

مماشل برقيات

خالد خان یوسفرئی

کامسیٹ انسٹیوٹ آف انفارمیشن ٹیکنالوجی، اسلام آباد

khalidyousafzai@comsats.edu.pk

عنوان

دیباچہ

xi

xiii

میری پہلی کتاب کا دیباچہ

	حسای ایمپلیفائر	1
1	حسای ایمپلیفائر کے سرے یا پتھرے	1.1
2	حسای ایمپلیفائر کی بنیادی کارکردگی	1.2
6	حسای ایمپلیفائر کا مساوی دور	1.3
7	داخلی سروں پر برقی رو صفر ہوتی ہے	1.3.1
8	داخلی سروں پر برقی رو صفر ہوتی ہے	1.3.2
8	داخلی مزاحمت کو لامحدود تصور کیا جاتا ہے	1.3.3
8	تفرقی افزائش کو لامحدود تصور کیا جاتا ہے	1.3.4
8	خارجی مزاحمت کو صفر اُبم تصور کیا جا سکتا ہے	1.3.5
9	کامل حسای ایمپلیفائر	1.4
13	حسای ایمپلیفائر کے ادوار	1.5
13	منفی ایمپلیفائر	1.5.1
26	مثبت ایمپلیفائر	1.5.2
28	مستحکم کار	1.5.3
32	تفرق کار	1.5.4
33	تکمل کار	1.5.5
35	جمع کار	1.5.6
37	منفی کار	1.5.7
43	جمع و منفی کار	1.5.8
44	آلٹی ایمپلیفائر	1.5.9
52	حسای ایمپلیفائر کا ناقص بن	1.6
52	حسای ایمپلیفائر کا لمبیز بونا	1.6.1
53	حسای ایمپلیفائر کی رفتار چال	1.6.2
55	عددی اشارے سے مماثلی اشارے کا حصول	1.7
57	یک سمتی اندرونی داخلی انحرافی برقی دباؤ کا مسئلہ	1.7.1
61	داخلی برقی رو کا مسئلہ	1.7.2

66	موانہ کار	1.8
77	ڈائیڈ	2
85	کامل ڈائیڈ	2.1
86	ڈائیڈ کے چند ادوار	2.2
87	بدلی دیاو سے یک سمتی دیاو کا حصول (سمت کاری)	2.3
87	2.3.1 نصف لبر سمت کاری	
91	2.3.2 مکمل لبر سمت کاری	
91	چوٹی حاصل کار	2.4
93	حیطہ اتار کار	2.5
95	پیدا کار برقی دیاو	2.6
98	2.6.1 برقیاتی شکنجہ	
99	برقیاتی تراش	2.7
101	2.8 حسایی ایمپلیفائر کی مدد سے ڈائیڈ کے کامل ادوار	
101	2.8.1 کامل نصف لبر سمت کار	
101	2.8.2 کامل چوٹی حاصل کار	
102	2.8.3 کامل حیطہ اتار کار	
102	2.8.4 ڈائیڈ لگ ایمپلیفائر	
104	2.8.5 ضرب کار	
104	2.8.6 کامل مکمل لبر سمت کار	
107	2.9 ڈائیڈ کے منتفی ادوار	
108	2.10 یک سمتی برقی بار کا خط	
109	2.10.1 گراف کا طریقہ	
110	2.10.2 دبرانے کا طریقہ	
112	2.11 کاریسی محدود اور ترسیم	
112	2.11.1 محدود کی منتفی	
113	2.11.2 خط کا چھوٹا حصہ سیدھا تصور کیا جا سکتا ہے	
113	2.11.3 گراف سے قیمت حاصل کرنے کا عمل	
117	2.12 باریک اشاراتی تجزیہ	
119	2.12.1 بدلی رو، بار کا خط	
123	2.12.2 باریک اشاراتی مراحمت	
124	2.12.3 خط مماس سے باریک اشاراتی مراحمت کا حصول	
125	2.13 طبیعتی نیم موصل اشیاء	
128	2.14 منفی قسم کا نیم موصل	
130	2.15 مثبت قسم کا نیم موصل	
133	2.16 مال برداری	
133	2.16.1 نفوذ	
135	2.16.2 بہاؤ	
138	2.17 مشت اور منفی اقسام کے نیم موصل مواد کا ملاپ	
141	2.18 اُٹا مائل ڈائیڈ	
143	2.18.1 اُٹا مائل ڈائیڈ بطور کیسٹر	

144	بے قابو صورت	2.19
146	زینر برقی دبلو بالمقابل درج حرارت	2.19.1
146	سیدھا مائل ڈائیوڈ	2.20
146	سیدھے مائل ڈائیوڈ کی نفوذی کپسٹسنس	2.20.1
147	ڈائیوڈ کے دیگر اقسام	2.21
148	شانکی ڈائیوڈ	2.21.1
149	وریکٹر ڈائیوڈ	2.21.2
149	فوٹو ڈائیوڈ پا شمسی ڈائیوڈ	2.21.3
149	نوری ڈائیوڈ	2.21.4
149	ضیائی وابستہ کار	2.21.5
150	ضیائی ذرائع ابلاغ	2.21.6
150	ڈائیوڈ کے ماذل	2.22
151	سیدھے خطوط کا ماذل	2.22.1
154	کامل ڈائیوڈ ماذل	2.22.2
155	ڈائیوڈ کا پسٹ تعدد باریک اشاراتی ماذل	2.22.3
156	ڈائیوڈ کا بلند تعدد باریک اشاراتی ماذل	2.22.4
156	زینر ڈائیوڈ اور اس کا ماذل	2.23
166	یک سمتی اور بدلائی متغیرات کے حساب کی علیحدگی	2.24
169	قانون مریع حیطہ انار کار	2.25
170	سپاٹ ماذل	2.26
181	ٹرانزسٹر (دو جوڑ ٹرانزسٹر)	3
181	ٹرانزسٹر کی ساخت اور اس کی بیادی کارکردگی	3.1
183	افراٹنڈہ حال منفی-جمع-منفی npn ٹرانزسٹر کی کارکردگی	3.2
190	غیر افراٹنڈہ کردہ برقی دباؤ	3.3
191	افراٹنڈہ حال جمع-منفی-جمع pnp ٹرانزسٹر کی کارکردگی	3.4
191	V_{EC} اور V_{EB} کے pnp نقطے کارکردگی اور یک سمتی ادوار کا تحلیلی تجزیہ	3.4.1
192	نقطے کارکردگی اور یک سمتی ادوار کا تحلیلی تجزیہ	3.5
192	افراٹنڈہ ٹرانزسٹر کے یک سمتی ادوار کا حل	3.5.1
211	غیر افراٹنڈہ ٹرانزسٹر کے دور کا حل	3.5.2
214	مقطع ٹرانزسٹر کے دور کا حل	3.5.3
216	ڈارلنگن جوڑی	3.6
218	تعین نقطے سے نقطہ کارکردگی کا انحراف	3.7
218	3.7.1 تبدیلی β سے لاحق مسائل استوارنے کا شرط	
225	3.7.2 تبدیلی V_{BE} سے نقطہ کارکردگی کا سرک جانا	
226	3.7.3 نقطہ کارکردگی سوارنے کے اسپاب	
228	مزاحمت کا عکس	3.8
233	ٹرانزسٹر کے خط	3.9
233	$i_C - v_{BE}$ خط	3.9.1
235	$i_C - v_{CE}$ خط	3.9.2
238	یک سمتی ادوار کا ترسیمی تجزیہ	3.10

238	یک سمتی بار کا خط	3.10.1
239	باریک اشارات	3.10.2
241	برقی دباؤ V_{CC} اور مزاحمت R_C کے نقطہ کارکردگی پر اثرات	3.10.3
241	داخلی برقی رو کے نقطہ کارکردگی پر اثرات	3.10.4
242	خارجی اشارہ کے حدود	3.10.5
243	بدلی رو، بار کا خط	3.10.6
253	ٹرانزسٹر ماذل برائے وسیع اشارات	3.11
253	ایپرزمال ماذل	3.11.1
261	pnp ٹرانزسٹر کا ایپرزمال ماذل	3.11.2
262	مال برداری ماذل	3.11.3
267	نفی کار	3.12
271	باریک اشاراتی تجزیہ	3.13
272	ترسیمی تجزیہ	3.13.1
273	باریک اشاراتی داخلی مزاحمت r_e اور r_{be}	3.13.2
274	تحلیلی تجزیہ	3.13.3
282	پست تعددی ٹرانزسٹر ماذل برائے باریک اشارات	3.14
286	ٹی ماذل	3.14.1
288	پائی ماذل بعد خارجی مزاحمت r_0	3.14.2
288	یک سمتی اور بدلنے متغیرات کی علیحدگی	3.15
293	باریک اشاراتی ادوار کا پائی ماذل کی مدد سے حل	3.16
313	زنجری ضرب کا طریقہ	3.16.1
333	برقی بار، داخلی مزاحمت اور ایمپلیفائر کی افراش	3.17
336	زنجری ایمپلیفائر	3.18
344	ایمٹر مشترک، کلکٹر مشترک اور بیس مشترک ایمپلیفائر	3.19
357	خطی لحاظ سے ایمپلیفائر کی درجہ بندی	3.20
359	ٹرانزسٹر سے ڈائوڈ کا حصول	3.21
360	برقی دباؤ کی سپلانی	3.22
362	ٹرانزسٹر لیگ ایمپلیفائر	3.23
363	شاتکی ٹرانزسٹر	3.24
366	قوی ٹرانزسٹر	3.25
366	قاپو ریکلکٹفائر	3.26
375	میدانی ٹرانزسٹر	4
375	n ماسفیٹ کی ساخت (پڑھانا n ماسفیٹ)	4.1
378	n ماسفیٹ کی بیادی کارکردگی	4.2
378	گیٹ پر برقی دباؤ کی عدم موجودگی	4.2.1
378	گیٹ کے ذریعہ برقی رو کے لئے راہ کی تیاری	4.2.2
386	n ماسفیٹ کی مساوات	4.3
391	قابل برداشت برقی دباؤ	4.3.1
392	درجہ حرارت کے اثرات	4.3.2
393	پڑھانا pMOSFET ماسفیٹ	4.4

395	غیر افاندہ	4.4.1
396	گھناتا n ماسفیٹ	4.5
397	مقطع صورت	4.5.1
397	غیر افاندہ	4.5.2
397	دبوج	4.5.3
397	افاندہ	4.5.4
398	گھناتا p ماسفیٹ	4.6
398	جزوا ماسفیٹ CMOS	4.7
398	ماسفیٹ کے یک سمتی ادوار کا حل	4.8
417	ماسفیٹ ایمپلیفیائر کا ترسیمی تجزیہ	4.9
418	ماسفیٹ ایمپلیفیائر کا تحلیلی تجزیہ	4.10
418	یک سمتی تجزیہ	4.10.1
418	بدلتی رو تجزیہ	4.10.2
421	ماسفیٹ ماذل	4.11
421	خارجی مزاحمت r_0	4.11.1
423	وسيع اشاراتی ماسفیٹ ماذل	4.11.2
423	باریک اشاراتی ماسفیٹ π ماذل	4.11.3
426	باریک اشاراتی ماسفیٹ ماذل	4.11.4
427	یک سمتی اور بدلتے متغیرات کی علیحدگی	4.11.5
435	سیماس نفی کار	4.12
438	جوڈار فیٹ (JFET)	4.13
440	برقی رو بالمقابل برقی دباؤ	4.13.1
442	pJFET	4.13.2
442	باریک اشاراتی ماذل	4.13.3
448	مخلوط ادوار میں ماسفیٹ کا نقطہ کارکردگی تعین کرنے کے ادوار	4.14
448	پیدا کار مستقل برقی رو	4.14.1
454	مزاحمت کے عکس	4.15
456	تابع سورس (ڈرین مشترک ایمپلیفیائر)	4.16
462	گیٹ مشترک ایمپلیفیائر	4.17
463	زنگیری ایمپلیفیائر	4.18
467	قوی ماسفیٹ	4.19
479	تفرقی ایمپلیفیائر	5
479	دو جوڑ ٹرانزیستر کا تفرقی جوڑ	5.1
479	5.1.1 تفرقی اشارہ کی عدم موجودگی	
482	5.1.2 تفرقی اشارہ موجود	
484	باریک داخلی تفرقی اشارہ پر تفرقی جوڑے کی بیادی کارکردگی	5.2
485	وسيع داخلی اشارہ پر تفرقی جوڑے کی کارکردگی	5.3
489	باریک اشارہ پر تفرقی جوڑے کے کارکردگی پر تفصیلی غور	5.4
489	5.4.1 باریک اشاراتی مساوات	
491	5.4.2 برقی رو کا حصول بذریعہ ٹرانزیستر ماذل	

493	5.4.3	داخلی تفرقی مزاحمت
496	5.4.4	داخلی مشترک مزاحمت اور مشترکہ افراش
499	5.5	غیر کامل تفرقی جوڑے کا ناقص پن
499	5.5.1	داخلی انحرافی برقی دباؤ
502	5.5.2	داخلی میلان برقی رو اور انحرافی داخلی میلان برقی رو
503	5.6	مخلوط ادوار میں دو جوڑ ٹرانزسٹر کے مائل کونسے کے طریقے
503	5.7	پیداکار مستقل برقی رو
505	5.8	آئینہ برقی رو
512	5.8.1	متعدد پیداکار مستقل برقی رو
512	5.9	ٹرانزسٹر بار سے لدا دو جوڑ ٹرانزسٹر کا تفرقی ایمپلیفائر
525	5.10	وائڈل پیداکار برقی رو
529	5.11	ولمن آئینہ
534	5.12	کیسکوڈ ایمپلیفائر
536	5.13	ماسفیٹ کے تفرقی جوڑے
544	5.14	داخلی انحرافی برقی دباؤ
548	5.15	ماسفیٹ آئینہ برقی رو
552	5.15.1	برقی سیلانی کے اثرات سے آزاد پیداکار برقی رو
554	5.16	ماسفیٹ کیسکوڈ تفرقی ایمپلیفائر
559	6	ایمپلیفائر کا تعدادی رد عمل اور فلٹر
559	6.1	پست تعدادی رد عمل
561	6.2	بیس سرے پر کپیسٹر C_B
568	6.3	ایمٹر سرے پر کپیسٹر C_E
574	6.4	کلکٹر سرے پر کپیسٹر C_C
576	6.5	بودا خطوط
582	6.6	بیس اور کلکٹر بیرونی کپیسٹر
588	6.7	بیس اور ایمٹر بیرونی کپیسٹروں کا مجموعی اثر
593	6.8	قاپو، ایمٹر اور کلکٹر بیرونی کپیسٹروں کا مجموعی اثر
596	6.9	پست انقطعی تعدد بدزرعہ سورس کپیسٹر
603	6.10	مسئله ملر
606	6.11	بلند تعدادی رد عمل
606	6.11.1	بلند تعدادی پائی π ماذل
608	6.11.2	مشترک ایمٹر بلند انقطعی تعدد
613	6.11.3	مشترک بیس بلند انقطعی تعدد
614	6.11.4	f_T کا تجربیاتی تخمینہ
615	6.11.5	برقی بار کے موجودگی میں بلند تعدادی رد عمل
623	6.11.6	مشترک سورس ماسفیٹ ایمپلیفائر کا بلند تعدادی رد عمل
626	6.12	مشترک کلکٹر ایمپلیفائر کا بلند تعدادی رد عمل
631	6.13	مشترک بیس ایمپلیفائر کا بلند انقطعی تعدد
636	6.14	کیسکوڈ ایمپلیفائر
646	6.15	فلٹر یا چھلنی

647	بڑ ورت فلٹر (چہلنی)	6.16
654	بڑ ورت فلٹر کا دور	6.16.1
667	وپسی ادوار	7
668	ایمپلیفائر کی جماعت بندی	7.1
668	برقی دیاو ایمپلیفائر	7.1.1
670	برقی رو ایمپلیفائر	7.1.2
672	موصل نما ایمپلیفائر	7.1.3
673	مراحمت نما ایمپلیفائر	7.1.4
674	وپسی اشارہ	7.2
676	بینادی کارکردگی	7.3
679	افرانشی دائہ	7.3.1
679	بینادی مفروضے	7.3.2
680	وپسی ایمپلیفائر کی خوبیاں	7.4
680	مستحکم افرانش	7.4.1
683	تعددی بگاڑ	7.4.2
684	دائہ کارکردگی کر پڑی میں وسعت	7.4.3
685	داخلی مراحمت	7.5
686	وپسی برقی دیاو ایمپلیفائر کا داخلی مراحمت	7.5.1
688	وپسی برقی رو ایمپلیفائر کا داخلی مراحمت	7.5.2
689	وپسی موصل نما ایمپلیفائر کا داخلی مراحمت	7.5.3
691	وپسی مراحمت نما ایمپلیفائر کا داخلی مراحمت	7.5.4
693	خارجی مراحمت	7.6
693	وپسی برقی دیاو ایمپلیفائر کا خارجی مراحمت	7.6.1
695	وپسی برقی رو ایمپلیفائر کا خارجی مراحمت	7.6.2
696	وپسی موصل نما ایمپلیفائر کا خارجی مراحمت	7.6.3
697	وپسی مراحمت نما ایمپلیفائر کا خارجی مراحمت	7.6.4
700	وپسی ایمپلیفائر کر جماعت بندی کی مثالیں	7.7
700	وپسی برقی دیاو ایمپلیفائر	7.7.1
702	وپسی مراحمت نما ایمپلیفائر	7.7.2
703	وپسی موصل نما ایمپلیفائر	7.7.3
705	وپسی برقی رو ایمپلیفائر	7.7.4
707	وپسی مراحمت نما ایمپلیفائر	7.7.5
709	وپسی ایمپلیفائر کا تفصیلی تجزیہ	7.8
711	وپسی برقی دیاو ایمپلیفائر	7.9
713	وپسی برقی دیاو زنجیری ایمپلیفائر	7.10
719	مرتعش کی تخلیق	8
721	مرتعش کی تخلیق	8.1
723	مراحمت-کپیسٹر RC مرتعش	8.2
729	وائی مرتعش	8.3

731	پر منی امالہ-کیپیٹر <i>LC</i> بمسٹر مرتعش	8.4
734	خود-مائیل دور	8.4.1
735	ٹرانزسٹر بمسٹر مرتعش	8.5
739	عمومی مرتعش	8.6
741	بارٹلے اور کالپنیس مرتعش	8.7
746	فلمنی مرتعش	8.7.1

دیباچہ

برق آلات اور عددی ادوار کے بعد مثال برقيات میری تیسری کتاب ہے۔ یہ کتاب بھی اس اميد کے ساتھ لکھی گئی ہے کہ یہ ایک دن برق انجینئرنگ کی نصابی کتاب کے طور پر پڑھائی جائے گی۔ اميد کی جاتی ہے کہ اب بھی طلبہ و طالبات اس سے استفادہ حاصل کر سکیں گے۔

یہ کتاب Ubuntu استعمال کرتے ہوئے XeLatex میں تشكیل دی گئی۔ پروزہ جات کے خط Octave جبکہ ادوار کو gEDA کی مدد سے بنایا گیا ہے۔ کئی ادوار پر GnuCap کی مدد سے غور کیا گیا۔ میں ان سافت ویر لکھنے والوں کا دل سے شکر گزار ہوں۔ میں طلبہ و طالبات سے گزارش کرتا ہوں کہ وہ آگے بڑھیں اور اس قسم کے سافت ویر لکھیں یا ان کا ترجمہ علاقائی زبانوں میں کریں۔

میں یہاں ان تمام خواتین و حضرات کا شکریہ ادا کرنا چاہتا ہوں جنہوں نے اس کتاب کے مکمل ہونے میں میری مدد کی۔

آپ سے التماس ہے کہ اس کتاب کو زیادہ سے زیادہ طلبہ و طالبات تک پہنچائیں اور اس میں غلطیوں کی نشاندہی میرے ای میل پتہ پر کریں۔

خالد خان یوسفزئی
9 نومبر 2014

میری پہلی کتاب کا دیباچہ

گزشتہ چند برسوں سے حکومت پاکستان اعلیٰ تعلیم کی طرف توجہ دیے رہی ہے جس سے ملک کی تاریخ میں پہلی مرتبہ اعلیٰ تعلیمی اداروں میں تحقیق کا رجحان پیدا ہوا ہے۔ امید کی جاتی ہے کہ پہ سلسلہ جاری رہے گا۔

پاکستان میں اعلیٰ تعلیم کا نظام انگریزی زبان میں رائج ہے۔ دنیا میں تحقیقی کام کا بیشتر حصہ انگریزی زبان میں ہی چھپتا ہے۔ انگریزی زبان میں بر موضوع پر لاتعداد کتابیں پائی جاتی ہیں جن سے طلبہ و طالبات استفادہ حاصل کر سکتے ہیں۔

ہمارے ملک میں طلبہ و طالبات کی ایک بڑی تعداد بنیادی تعلیم اردو زبان میں حاصل کرتی ہے۔ ان کے لئے انگریزی زبان میں موجود مواد سے استفادہ حاصل کرنا تو ایک طرف، انگریزی زبان از خود ایک رکاوٹ کے طور پر ان کے سامنے آتی ہے۔ یہ طلبہ و طالبات ذینب ہونے کے باوجود آگے بڑھنے اور قوم و ملک کی بھر پور خدمت کرنے کے قابل نہیں رہتے۔ ایسے طلبہ و طالبات کو اردو زبان میں نصاب کی اچھی کتابیں درکار ہیں۔ ہم نے قومی سطح پر ایسا کرنے کی کوئی خاطر خواہ کوشش نہیں کی۔

میں برسوں تک اس صورت حال کی وجہ سے پریشانی کا شکار رہا۔ کچھ کرنے کی نیت رکھنے کے باوجود کچھ نہ کر سکتا تھا۔ میرے لئے اردو میں ایک صفحہ بھی لکھنا ناممکن تھا۔ آخر کار ایک دن میں نے اپنی اس کمزوری کو کتاب نہ لکھنے کا جواز بنانے سے انکار کر دیا اور یوں یہ کتاب وجود میں آئی۔

یہ کتاب اردو زبان میں تعلیم حاصل کرنے والے طلبہ و طالبات کے لئے نہایت آسان اردو میں لکھی گئی ہے۔ کوشش کی گئی ہے کہ اسکول کی سطح پر نصاب میں استعمال تکنیکی الفاظ ہی استعمال کئے جائیں۔ جہاں ایسے الفاظ موجود نہ تھے وہاں روز مرہ میں استعمال ہونے والے الفاظ چنے گئے۔ تکنیکی الفاظ کی چنانی کے وقت اس بات کا خیال رکھا گیا کہ ان کا استعمال دیگر مضامین میں بھی ممکن ہو۔

کتاب میں بین الاقوامی نظام اکائی استعمال کی گئی ہے۔ ابم متغيرات کی علامتیں وہی رکھی گئی ہیں جو موجودہ نظام تعلیم کی نصابی کتابوں میں رائج ہیں۔ یوں اردو میں لکھنے اس کتاب اور انگریزی میں اسی مضمون پر لکھی کتاب پڑھنے والے طلبہ و طالبات کو ساتھ کام کرنے میں دشواری نہیں ہو گی۔

امید کی جاتی ہے کہ یہ کتاب ایک دن خالصتاً اردو زبان میں انجینئرنگ کی نصابی کتاب کے طور پر استعمال کی جائے گی۔ اردو زبان میں الیکٹریکل انجینئرنگ کی مکمل نصاب کی طرف یہ بہلا قدم ہے۔

اس کتاب کے پڑھنے والوں سے گزارش کی جاتی ہے کہ اسے زیادہ سے زیادہ طلبہ و طالبات تک پہنچانے میں مدد دیں اور انہیں جہاں اس کتاب میں غلطی نظر آئے وہ اس کی نشاندہی میری ای میل پر کریں۔ میں ان کا نہایت شکر گزار ہوں گا۔

اس کتاب میں تمام غلطیاں مجھ سے ہی ڈلی پین البتہ اسے درست بنانے میں بہت لوگوں کا پاتھ ہے۔ میں ان سب کا شکریہ ادا کرتا ہوں۔ یہ سلسلہ ابھی جاری ہے اور مکمل ہونے پر ان حضرات کے تاثرات یہاں شامل کئے جائیں گے۔
میں یہاں کامسیٹ یونیورسٹی اور پائیر ایجوکیشن کمیشن کا شکریہ ادا کرنا چاہتا ہوں جن کی وجہ سے ایسی سرگرمیاں ممکن ہوئیں۔

خالد خان یوسفزئی
28 اکتوبر 2011

علامات

اس کتاب میں بین الاقوامی نظامِ اکائی SI استعمال کیا گیا ہے۔ یون میٹر، کلوگرام اور سینکنڈ کے علاوہ وولٹ، ایمپیر، اوہم اور واث کو جوں کا توں استعمال کیا جائے گا۔
برقی دباؤ، برق رو اور ان کی مخصوص خصیتیں اجاتگر کرانے کی خاطر مختلف علامتیں استعمال کی جائیں۔ ان علامتوں کو، جن سے بخوبی واقف ہونا ضروری ہے، یہاں پیش کرتے ہیں۔

$V_{DD}, V_{CC}, V_{EE}, V_{BB}$ پیدا کار یک سمتی برقی دباؤ

V_{BE}, V_{CE}, I_D, I_C یک سمتی برقی دباؤ اور برقی رو (اشارہ موجود یا عدم موجود)

V_{CEQ}, I_{CQ} نقطہ کارکردگی پر یک سمتی برقی دباؤ اور برقی رو (اشارہ عدم موجود)

$v_d, v_{be}, i_d, i_c, i_e$ بدلتا اشارہ (اوسط قیمت صفر)

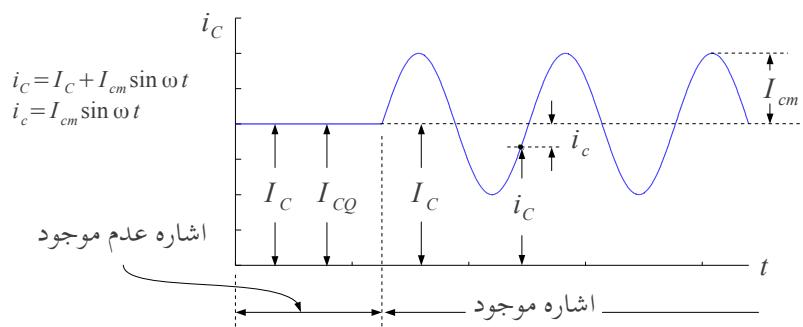
I_d, I_c, I_e, I_b سائن نما برقی رو کی موثر قیمت (rms)

$V_{dm}, V_{cem}, I_{dm}, I_{cm}$ اشارے کی چوٹ

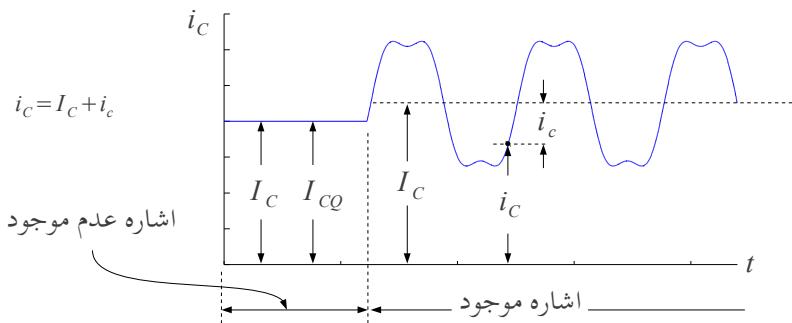
$v_D, v_{BE}, v_{CE}, v_{BC}$ لمحاتی برقی دباؤ

i_D, i_C, i_E, i_B لمحاتی برقی رو

ان کی مزید وضاحت شکل 0.1 اور شکل 0.2 میں کی گئی ہے۔



شکل 0.1: سائن نما اشاره



شکل 0.2: غیر سائن نما اشاره

اصطلاحات	
voltage	برق دباو
current	برق رو
resistance	برق مراحمت
capacitor	کپیسٹر
inductor	اماله
impedance	برق رکاوٹ
voltage source	پیدا کار برق دباو
current source	پیدا کار برق رو
dependent voltage source	تابع پیدا کار برق دباو
independent voltage source	آزاد پیدا کار برق دباو
OPAMP	حسابی ایچلیفائر
difference pair	تفرقی جوڑا
signal	اشارہ
signal generator	پیدا کار اشارہ
frequency	تعدد
BJT transistor	دو جوڑا ترانزیستر
diode	ڈائیوڈ
mosfet	ماسفیٹ
AM signal	حیطہ سوار اشارہ

الباب 1

حسابی ایمپلیفائر

ٹرانزسٹر¹ کی ایجاد سے اب تک الیکٹرانکس کے میدان میں ناقابل یقین اور حریت انگیز ترقی ہوئی ہے۔ شروع میں الگ الگ ٹرانزسٹر استعمال کر کے الیکٹرانک ادوار بنائے جاتے تھے۔ بعد میں سلیکان کی پتی² پر ایک سے زیادہ ٹرانزسٹر بنانے کا رجحان پیدا ہوا۔ اس طرح مخلوط ادوار³ وجود میں آئے۔ ایک مریع سنٹی میٹر رقبہ کی سلیکان پتی⁴ پر اربوں ٹرانزسٹر بنانا ممکن ہوا اور دیکھتے ہی دیکھتے الیکٹرانک اشیاء زندگی کے بر شعبے پر چھا گئیں۔

اس کتاب میں الیکٹرانک پر زہ جات کی کارکردگی اور ان کے استعمال سے الیکٹرانک ادوار بنانے پر غور کیا جائے گا۔ پہلے باب میں حسابی ایمپلیفائر⁵ پر غور کیا جائے گا۔ حسابی ایمپلیفائر در حقیقت کئی ٹرانزسٹر پر مبنی ایک نہایت مقبول مخلوط دور ہے جس کا استعمال، برقی پر زہ جات مثلاً مزاحمت، کمیٹر وغیرہ کی طرح، نہایت آسان ہے۔ حسابی ایمپلیفائر کی اندرونی ساخت پر اس کتاب میں آگے جا کر ایک مکمل باب ہے۔

1.1 حسابی ایمپلیفائر کے سرے یا پنسی

حسابی ایمپلیفائر کی علامت شکل 1.1 الف میں دکھائی گئی ہے۔ حسابی ایمپلیفائر کے عموماً تین سرے ہوتے ہیں جن میں سے دو اس کے داخلی اور ایک خارجی سرا ہوتا ہے۔ یوں شکل۔ الف میں ایک نمبر پیا۔ اس کا خارجی سرا ہے جبکہ دو اور تین نمبر پنسیے اس کے داخلی سرے ہیں۔ شکل الف میں حسابی ایمپلیفائر کی علامت میں دو مزید طاقت کے سرے بھی دکھائئے گئے ہیں جو حسابی ایمپلیفائر کو برقی طاقت مہیا کرنے کی خاطر استعمال ہوتے ہیں۔ حسابی ایمپلیفائر اُسی وقت کام کر سکتا ہے جب ان طاقت کے پنسیوں

transistor¹

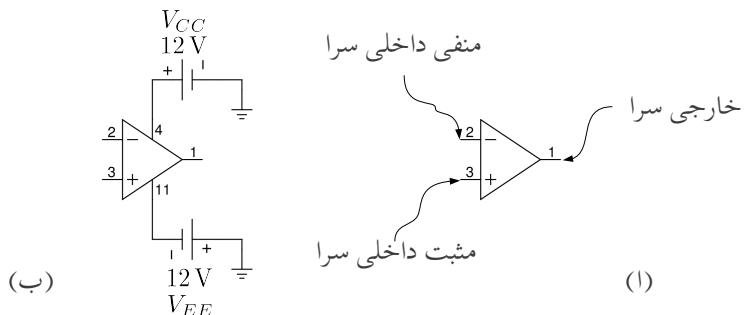
silicon chip²

integrated chip (IC)³

⁴ پائیروجن اور آکسیجن کے ملاب سے پانی H₂O بنتا ہے۔ اسی طرح سلیکان اور آکسیجن کے ملاب سے SiO₂ یعنی ریت یا منی پنسی ہے

operational amplifier (OPAMP)⁵

⁶ پنسیوں کو نمبر کرنے کا طریقہ جلد بلالا جائے گا



شکل 1.1: حسابی ایمپلیفائر کی علامت

پر درکار برق طاقت مہیا کی جائے۔ شکل 1.1 ب میں چار نمبر سرا مثبت برق طاقت کا سرا ہے لہذا اس پر مثبت برق دباؤ مہیا کی گئی ہے جبکہ گیارہ نمبر سرا منفی طاقت کا سرا ہے لہذا اس پر منفی برق دباؤ مہیا کی گئی ہے۔ حسابی ایمپلیفائر ان مہیا کردہ برق دباؤ سے برق طاقت حاصل کرتا ہے۔ روایتی طور پر مثبت برق دباؤ کو V_{CC} اور منفی برق دباؤ کو V_{EE} پکارا جاتا ہے۔ یوں شکل میں $V_{CC} = 12V$ اور $V_{EE} = -12V$ ہیں۔ حسابی ایمپلیفائر کو عموماً شکل 1.1 الف کی علامت سے ظاہر کرتے ہوئے طاقت پنیوں کو نہیں دکھایا جاتا۔

مثبت برق دباؤ اور منفی برق دباؤ عموماً پیدا کار برق دباؤ سے مہیا کیا جاتا ہے۔ اس کتاب میں اس الہ کو پیدا کار برق دباؤ، برق دباؤ کی سپلائی⁷ یا طاقت کی سپلائی⁸ پکارا جائے گا۔ صنعت کار ایک یا ایک سے زیادہ تعداد میں حسابی ایمپلیفائر پلاسٹک کی ڈبیا میں بند کرتے ہیں۔ شکل 1.2 میں ایک ہی ڈبیا میں چار حسابی ایمپلیفائر دکھائی گئے ہیں۔ ڈبیا میں بند تمام حسابی ایمپلیفائر کے V_{CC} آپس میں جوڑ کر چار نمبر پنیا پر جبکہ تمام V_{EE} کو آپس میں جوڑ کر گیارہ نمبر پنیا پر پہنچایا گیا ہے۔ ڈبیا پر باریک کٹ لگایا جاتا ہے۔ اس کٹ سے گھومنتے ہوئے پنیوں کو نمبر کیا جاتا ہے۔ شکل 1.1 میں حسابی ایمپلیفائر کے پنیوں پر لکھئے گئے نمبر ڈبیا کے پنیوں کو ظاہر کرتے ہیں۔

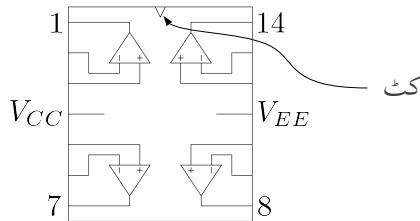
1.2 حسابی ایمپلیفائر کی بنیادی کارکردگی

حسابی ایمپلیفائر کی بنیادی کارکردگی کچھ یوں ہے۔ اگر حسابی ایمپلیفائر کے دو داخلی سروں کے مابین تفرقی برق اشارہ v_d ⁹ مہیا کیا جائے تو یہ خارجی سرے پر v_d کو A_d گناہ کر خارج کرے گا، یعنی خارجی اشارہ v_o اور داخلی اشارہ v_d کا تعاقب مندرجہ ذیل ہے۔

(1.1)

$$v_o = A_d \times v_d$$

voltage source⁷
power supply⁸
differential voltage signal⁹



شکل 1.2: حسابی ایمپلیفائر کی ڈیا

جهان

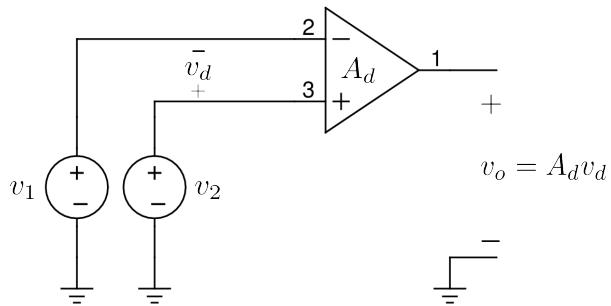
$$(1.2) \quad v_d = v_2 - v_1$$

کے برابر ہے۔ شکل 1.3 میں اس حقیقت کو دکھایا گیا ہے۔ A_d کو ایمپلیفائر کا تفرقی برق دباؤ کی افراش¹⁰ یا برق دباؤ کی تفرقی افراش کہتے ہیں۔ یوں حسابی ایمپلیفائر کو تفرقی ایمپلیفائر¹¹ ہی کہتے ہیں۔ مساوات 1.1 میں اگر داخلی اشارہ کو دکنا کر دیا جائے تو خارجی اشارہ بھی دکنا ہو جائے گا۔ یوں حسابی ایمپلیفائر کی کارکردگی خطی¹² نوعیت کی ہے۔
یہاں اس بات کا ذکر کرنا ضروری ہے کہ حسابی ایمپلیفائر کے خارجی اشارہ v_o کی قیمت کسی صورت مثبت برق دباؤ V_{CC} سے زیادہ یا منفی برق دباؤ V_{EE} سے کم نہیں ہو سکتی۔ حقیقت میں v_o کی زیادہ سے زیادہ ممکنہ حد V_{CC} سے، 1 تا 3 وولٹ کم ہوتا ہے۔ اسی طرح v_o کی کم سے کم ممکنہ حد V_{EE} سے، 1 تا 3 وولٹ زیادہ ہوتا ہے۔ یعنی

$$(1.3) \quad (V_{EE} + \Delta_-) < v_o < (V_{CC} - \Delta_+)$$

اس مساوات میں Δ_+ اور Δ_- ایک سے تین وولٹ کو ظاہر کرتے ہیں۔ اس کتاب میں جب تک کہا نہ جائے ہم Δ_+ اور Δ_- کی قیمت صفر تصور کریں گے۔ یوں v_o مثبت برق دباؤ V_{CC} سے لے کر منفی برق دباؤ V_{EE} تک کی قیمت اختیار کر سکتا ہے۔ حصہ 1.6.1 میں اس عمل پر تذکرہ کیا جائے گا۔ اگر حسابی ایمپلیفائر کو مہیا تفرقی اشارہ v_d کی قیمت اتنی ہو کہ مساوات 1.1 سے حاصل v_o کی قیمت مساوات 1.3 میں دیے حدود سے تجاوز کرے تو اس صورت میں حسابی ایمپلیفائر مساوات 1.1 پر پورا نہیں اترے گا جبکہ اس کی v_o مساوات 1.3 میں دیے حدود کے اندر ہی رہے گی۔ اس صورت میں مثبت جانب بڑھتے ہوئے v_o کی قیمت $(V_{CC} - \Delta_+)$ تک پہنچ کر رک جائے گی یا پھر منفی جانب گھشتے ہوئے v_o کی قیمت $(V_{CC} - \Delta_-)$ تک پہنچ کر رک جائے گی۔ اس صورت میں $|v_d|$ کو مزید بڑھانے سے v_o کی قیمت پر کوئی اثر نہیں ہوتا۔ اس صورت میں حسابی ایمپلیفائر کی کارکردگی غیر خطی ہو گی اور اس کو حسابی ایمپلیفائر کا لبریز¹³ ہونا کہتے ہیں۔

differential voltage gain¹⁰
difference amplifier¹¹
linear relation¹²
saturation¹³



شکل 1.3: حسابی ایمپلیفائر کی کارکردگی

مثال 1.1: ایک حسابی ایمپلیفائر جس کی تفرقہ افزائش برق دباؤ A_d کی قیمت $100\,000 \frac{V}{V}$ ہے کو اس کے داخلی سروں پر مندرجہ ذیل برق دباؤ مہیا کئے جاتے ہیں۔

$$v_2 = 10 \mu V \text{ اور } v_1 = 0 V .1$$

$$v_2 = 0 V \text{ اور } v_1 = 10 \mu V .2$$

$$v_2 = 2.00005 V \text{ اور } v_1 = 2.00003 V .3$$

$$v_2 = 2.0005 V \text{ اور } v_1 = 2.0003 V .4$$

$$v_2 = 2.03 V \text{ اور } v_1 = 2.05 V .5$$

$$v_2 = 2.03 V \text{ اور } v_1 = 2.03 V .6$$

جبکہ $\Delta_+ = \Delta_- = 0$ ہونے کی صورت میں حسابی ایمپلیفائر کی v_o دریافت کریں۔

حل: جب تک v_o مساوات 1.3 میں دیے گئے حدود کے اندر رہے، حسابی ایمپلیفائر داخلی برق دباؤ کو ایک لاکھ مرتبہ بڑھا کر خارج کرے گا۔ یوں

$$\begin{aligned} v_0 &= A_d \times v_d & .1 \\ &= A_d \times (v_2 - v_1) \\ &= 100000 \times (10 \times 10^{-6} - 0) \\ &= 1 V \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 v_0 &= A_d \times v_d \\
 &= A_d \times (v_2 - v_1) \\
 &= 100000 \times (0 - 10 \times 10^{-6}) \\
 &= -1 \text{ V}
 \end{aligned} \quad .2$$

$$\begin{aligned}
 v_0 &= A_d \times v_d \\
 &= A_d \times (v_2 - v_1) \\
 &= 100000 \times (2.00005 - 2.00003) \\
 &= 2 \text{ V}
 \end{aligned} \quad .3$$

$$\begin{aligned}
 v_0 &= A_d \times v_d \\
 &= A_d \times (v_2 - v_1) \\
 &= 100000 \times (2.0005 - 2.0003) \\
 &= 20 \text{ V}
 \end{aligned} \quad .4$$

دیے ہلود سے تجاوز کر گئی جو کہ ناممکن صورت حال ہے۔ لہذا اس جواب کو رد کیا جاتا ہے۔ اس صورت میں حسابی ایمپلیفائر کی کوشش ہو گئی کہ v_0 کی قیمت بیس وولٹ ہو لیکن حسابی ایمپلیفائر ایسا کرنے سے عاجز ہے کیونکہ اس کے خارجی اشارے کی قیمت V_{CC} کی قیمت سے زیادہ نہیں ہوسکتی۔ لہذا $\Delta_+ = \Delta_- = 0$ لیتے ہوئے اس صورت میں v_0 زیادہ سے زیادہ ممکنہ برقی دباؤ کے برابر ہو گا یعنی $v_0 = +12V$ ہو گا۔ حقیقت میں v_0 کی زیادہ سے زیادہ ممکنہ قیمت V_{CC} سے ایک یا دو وولٹ کم ہوتی ہے۔ حسابی ایمپلیفائر بنانے والے یہ معلومات فراہم کرتے ہیں۔

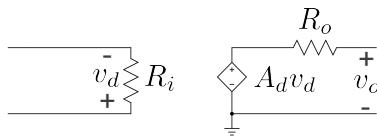
$$\begin{aligned}
 v_0 &= A_d \times v_d \\
 &= A_d \times (v_2 - v_1) \\
 &= 100000 \times (2.03 - 2.05) \\
 &= -2000 \text{ V}
 \end{aligned} \quad .5$$

کر گئی جو کہ ناممکن صورت حال ہے۔ اس صورت میں v_0 کی قیمت V_{EE} سے قدر زیادہ قیمت اختیار کرے گی۔ $\Delta_+ = \Delta_- = 0$ لیتے ہوئے اس صورت $v_0 = -12V$ ہو گئی۔

$$\begin{aligned}
 v_0 &= A_d \times v_d \\
 &= A_d \times (v_2 - v_1) \\
 &= 100000 \times (2.03 - 2.03) \\
 &= 0 \text{ V}
 \end{aligned} \quad .6$$

یہاں آپ نے دیکھا کہ دونوں داخلی سروں پر برابر برقی دباؤ مہیا کرنے سے حسابی ایمپلیفائر صفر وولٹ خارج کرتا ہے۔ دونوں داخلی سروں پر برابر مہیا کردہ برقی دباؤ کو مشترکہ برقی دباؤ¹⁴ کہتے ہیں۔ حسابی ایمپلیفائر مشترکہ برقی دباؤ کو رد کرتا ہے۔

common mode voltage¹⁴



شکل 1.4: حسابی ایمپلیفائر کا مساوی دور

یہاں یہ بتلاتا چلوں کہ کسی بھی داخلی برقی دباؤ کو مشترکہ برقی دباؤ¹⁵ v_{CM} اور تفرقی برقی دباؤ¹⁶ v_d میں تقسیم کیا جا سکتا ہے۔ پانچویں جزو میں $v_1 = 2.05 \text{ V}$ اور $v_2 = 2.03 \text{ V}$ کو یوں بیان کیا جا سکتا ہے کہ حسابی ایمپلیفائر کو $V = \frac{2.05+2.03}{2} = 2.04 \text{ V}$ بطور مشترکہ برقی دباؤ فراہم کئے گئے جبکہ اسے $V = -0.02 \text{ V} = 2.05 - 2.03$ بطور تفرقی برقی دباؤ مہیا کئے گئے۔

اس مثال میں آپ نے دیکھا کہ چند مائیکرو وولٹ¹⁷ برقی دباؤ کو حسابی ایمپلیفائر پڑھا کر وولٹ کی حد میں لے آتا ہے۔ یہاں آپ کی دلپسی کی خاطر بتلاتا چلوں کہ انسانی اعصا بی نظام ستر ملی وولٹ 70 mV کے لگ بھگ برقی دباؤ پر کام کرتا ہے۔ یوں حسابی ایمپلیفائر استعمال کرتے ہوئے آپ اعصا بی نظام کے کارکردگی پر تحقیق کر سکتے ہیں۔

اس مثال کے پہلے دو حصوں میں آپ نے دیکھا کہ اگر داخلی برقی دباؤ کو حسابی ایمپلیفائر کے مثبت داخلی سرے¹⁸ پر مہیا کیا جائے تو اس سے حاصل خارجی برقی دباؤ کی علامت تبدیل نہیں ہوتی۔ یعنی اگر مثبت برقی دباؤ مہیا کی جائے تو مثبت برقی دباؤ ہی خارج کی جاتی ہے۔ اس کے برعکس اگر برقی دباؤ کو حسابی ایمپلیفائر کے منفی داخلی سرے¹⁹ پر مہیا کیا جائے تو اس سے حاصل خارجی برقی دباؤ کی علامت تبدیل ہو جاتی ہے۔ یعنی اگر مثبت برقی دباؤ مہیا کی جائے تو منفی برقی دباؤ خارج کی جاتی ہے۔

1.3 حسابی ایمپلیفائر کا مساوی دور

حسابی ایمپلیفائر کا مساوی دور شکل 1.4 میں دکھایا²⁰ گیا ہے۔ جیسا کہ شکل سے واضح ہے داخلی جانب سے حسابی ایمپلیفائر بالکل ایک مزاحمت R_i کی طرح معلوم ہوتا ہے جبکہ خارجی جانب یہ قابو برقی دباؤ کی سپلائی²¹ جس کے ساتھ سلسہ وار مزاحمت R_o جزی ہو معلوم ہوتا ہے۔ قابو برقی دباؤ کی سپلائی، داخلی جانب مہیا اشارہ v_d سے قابو ہوتا ہے۔

حسابی ایمپلیفائر کے صنعت کاروں کی کوشش ہوتی ہے کہ حسابی ایمپلیفائر کے داخلی مزاحمت R_i کی قیمت زیادہ سے زیادہ جبکہ خارجی مزاحمت R_o کی قیمت کم سے کم ہو۔ اسی طرح کوشش کی جاتی ہے کہ تفرقی افزائش برقی دباؤ A_d کی قیمت زیادہ سے زیادہ ہو۔ جدول 1.1 میں آپ کے اندازے

differential mode voltage¹⁵
 μV^{16}

non-inverting input¹⁷

inverting input¹⁸

¹⁹ اس شکل میں تفرقی برقی دباؤ کا مثبت سرا نجلی جانب ہے۔

controlled voltage source²⁰

کی خاطر ایک عام دستیاب حسابی ایمپلیفائر²¹ کے ماذل کے اجزاء دئے گئے ہیں۔ ان مقداروں کو مثال بناتے

جدول 1.1: عام دستیاب حسابی ایمپلیفائر کی مقررہ مقداریں

$10^{12} \Omega$	R_i
100Ω	R_o
$100\,000 \frac{V}{V}$	A_d

ہوئے شکل 1.4 پر غور کرتے ہیں۔

1.3.1 داخلی سروں پر برابر برقی دباؤ ریتا ہے

حسابی ایمپلیفائر کو عام طور خطی کارکردگی کے احاطے میں استعمال کیا جاتا ہے یعنی اسے استعمال کرتے ہوئے v_d کی قیمت اتنی رکھی جاتی ہے کہ v_0 مساوات 1.3 میں دیے گئے حدود کے اندر رہے۔ $V_{EE} = -12 V$ اور $V_{CC} = 12 V$ لیتے ہوئے v_0 کی زیادہ سے زیادہ ممکنہ قیمت تقریباً 12 V اور کم سے کم ممکنہ قیمت تقریباً -12 V ہے۔ جب $v_0 = 12 V$ ہو، اس وقت مساوات 1.1 کے تحت $v_d = 120 \mu V$ اور جب $v_0 = -12 V$ ہو اس وقت $v_d = -120 \mu V$ ہو گا۔ یوں حسابی ایمپلیفائر کو خطی خطرے میں استعمال کرتے ہوئے v_d کو دیکھتے ہوئے اس بات کو یوں بیان کر سکتے ہیں کہ

$$(1.4) \quad |v_d| = |v_2 - v_1| < 120 \mu V$$

رکھتے ہوئے حسابی ایمپلیفائر خطی خطرے میں رہتا ہے۔ $-120 \mu V$ اتنی کم برقی دباؤ ہے کہ اسے نظر انداز کیا جا سکتا ہے۔ ایسا کرنے سے حسابی ایمپلیفائر پر مبنی ادوار کو حل کرنا نہایت آسان ہو جاتا ہے۔ یوں اس مساوات کو اس طرح لکھا جا سکتا ہے

$$(1.5) \quad \begin{aligned} |v_2 - v_1| &\approx 0 \\ v_2 &\approx v_1 \end{aligned}$$

یہ نہایت ابھ مساوات ہے جسے بار بار استعمال کیا جائے گا۔ اس مساوات کے تحت جب تک حسابی ایمپلیفائر کو خطی احاطے میں استعمال کیا جائے اس وقت تک اس کے دونوں داخلی سروں پر تقریباً برابر برق دباؤ ہو گا۔

اوپر مثال کو دوبارہ دیکھتے ہوئے پہلی دو صورتوں میں $v_2 \approx v_1 \approx 0$ ہے جبکہ تیسرا صورت میں $v_2 \approx v_1 \approx 2 V$ ہے۔ ان میں حسابی ایمپلیفائر خطی احاطے میں کام کر رہا ہے۔ چوکی اور پانچویں صورتوں میں یہ غیر خطی احاطے میں کام کر رہا ہے۔ پانچویں صورت میں یہ بات زیادہ واضح سامنے آتی ہے کہ v_2 اور v_1 برابر نہیں۔ یہاں ان میں 20 mV کا فرق ہے جسے نظر انداز نہیں کیا جا سکتا۔

²¹ عام دستیاب ایمپلیفائر کی قیمت بازار میں فروخت ہونے والی تندور کی دو روپیوں کے لگ بھگ ہے

1.3.2 داخلی سروں پر برقی رو صفر ہوتی ہے

آپ نے دیکھا کہ حسابی ایمپلیفائر کو خطی احاطے میں استعمال کرتے ہوئے $|v_d| < 120 \mu V$ رہتا ہے۔ اگر $R_i = 10^{12} \Omega$ ہو تو شکل 1.4 کو دیکھتے ہوئے مزاحمت R_i میں برقی رو i کی قیمت

$$(1.6) \quad i = \frac{v_d}{R_i} = \frac{|120 \times 10^{-6}|}{10^{12}} = 1.2 \times 10^{-16} A$$

بوجی جو کہ قابل نظر انداز قیمت ہے۔ یوں ہم سمجھتے ہیں کہ حسابی ایمپلیفائر کے داخلی سروں پر برقی رو کی قیمت صفر ایمپیٹ ہو گی یا یہ کہ ان سروں کو مکمل طور منقطع تصور کیا جا سکتا ہے۔ یوں

$$(1.7) \quad i \approx 0 A$$

تصور کیا جاتا ہے۔

1.3.3 داخلی مزاحمت کو لامحدود تصور کیا جاتا ہے

جیسا کہ جدول میں ذکر ہوا حسابی ایمپلیفائر کے داخلی مزاحمت R_i کی قیمت نہایت بڑی ہوئی ہے۔ اتنی مزاحمت کو یقیناً لامحدود تصور کیا جا سکتا ہے یعنی

$$(1.8) \quad R_i \rightarrow \infty$$

اس کا مطلب ہے کہ داخلی سروں کو آپس میں مکمل طور منقطع سمجھا جا سکتا ہے۔

1.3.4 تفرقی افزائش کو لامحدود تصور کیا جاتا ہے

جدول 1.1 میں تفرقی افزائش برقی دباؤ کی مثال $A_d = 100000^{\frac{V}{V}}$ دی گئی ہے جسے لامحدود تصور کیا جا سکتا ہے یعنی

$$(1.9) \quad A_d \rightarrow \infty$$

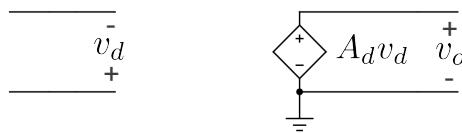
اس مساوات کو دیکھتے ہے خیال آتا ہے کہ لامحدود افزائش کی صورت میں اسے استعمال کیسے کیا جائے گا۔ درحقیقت حسابی ایمپلیفائر کو عموماً واپسی اشارہ²² مہیا کرتے ہوئے استعمال کیا جاتا۔ اس بات کی وضاحت حصہ 1.5 میں ہو جائے گی۔

1.3.5 خارجی مزاحمت کو صفر اوبم تصور کیا جا سکتا ہے

آپ دیکھیں گے کہ عام استعمال میں حسابی ایمپلیفائر کے خارجی جانب جائز بیرونی مزاحمتوں کی قیمتیں کلو اوبم $k\Omega$ کے حدود میں ہو گی جو کہ R_0 کی قیمت سے کئی گناہ زیادہ ہے۔ یوں حسابی ایمپلیفائر پر مبنی ادوار حل کرتے وقت اگر R_0 کو بالکل نظر انداز کر دیا جائے تو حاصل جواب پر خاص فرق نہیں پڑے گا۔ عام استعمال میں ایسا ہی تصور کیا جاتا ہے یعنی

$$(1.10) \quad R_0 \approx 0 \Omega$$

feedback signal²²



شکل 1.5: کامل حسابی ایمپلیفائر کا مساوی دور

1.4 کامل حسابی ایمپلیفائر

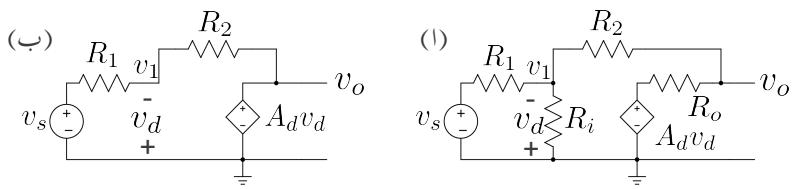
خطی خطرے میں استعمال ہوتے ہوئے حسابی ایمپلیفائر کی کارکردگی پر غور کرتے ہوئے کچھ حقائق سامنے آئے جنہیں مساوات 1.5، 1.7، 1.8 اور 1.10 میں بیان کیا گیا۔ ان مساوات کو یہاں یکجا کر کے پیش کرتے ہیں۔

$$\begin{aligned}
 &v_2 = v_1 && \text{خطی خطرے} \\
 &i = 0 \\
 (1.11) \quad &R_i = \infty \\
 &R_o = 0
 \end{aligned}$$

ایسا کرتے وقت \approx اور \rightarrow کے علامات کی جگہ = کی علامت استعمال کی گئی ہے۔ ان مساوات کے پہلے جزو میں خطی خطرے لکھ کر اس بات کی یاد دبائی کرائی جاتی ہے کہ داخلی سرے صرف اس صورت برابر برق دباو پر رہتے ہیں جب تک ایمپلیفائر خطی خطرے میں رہے۔ اس بات کی وضاحت مثال 1.5 میں ہو گئی۔ ان مساوات کو مدد نظر رکھتے ہوئے ہم شکل 1.4 کو دوبارہ بناتے ہیں۔ ایسا کرنے سے شکل 1.5 حاصل ہوتا ہے جو کہ کامل حسابی ایمپلیفائر²³ کا مساوی دور ہے۔ اس شکل سے واضح ہے کہ داخلی سروں پر برق رو صفر ایمپیٹر ہے، داخلی مزاحمت لامحدود جبکہ خارجی مزاحمت صفر اوبہم ہے۔

مثال 1.2:

- جدول 1.1 میں دیے گئے مقدار اور حسابی ایمپلیفائر کا غیر کامل مساوی دور استعمال کرتے ہوئے $R_1 = 10\text{k}\Omega$ اور $R_2 = 1\text{V}$ پر شکل 1.7 میں v_o کی قیمت حاصل کریں۔
- حسابی ایمپلیفائر کا کامل مساوی دور اور جدول 1.1 میں دیے گئے A_d کی قیمت استعمال کرتے ہوئے دوبارہ v_o کی قیمت حاصل کریں۔
- دونوں جوابات کا موازنہ کریں۔



شكل 1.6: حسابی ایمپلیفائز کے مساوی دور کا استعمال

حل: شکل 1.6 الف میں حسابی ایمپلیفائز کا غیر کامل مساوی دور جبکہ شکل الف میں اس کا کامل مساوی دور استعمال کرتے ہوئے شکل 1.7 کو بنایا گیا ہے۔

- شکل - الف میں کرچاف کے قانون برائے برق رو استعمال کرتے ہوئے

$$\begin{aligned} \frac{v_1 - v_s}{R_1} + \frac{v_1}{R_i} + \frac{v_1 - v_o}{R_2} &= 0 \\ \frac{v_o - v_1}{R_2} + \frac{v_o - A_d v_d}{R_o} &= 0 \end{aligned}$$

حاصل ہوتا ہے - دیے گئے قیمتیں استعمال کرتے ہوئے اور $v_1 = -v_d$ لکھ کر حل کرتے ہیں۔

$$\begin{aligned} \frac{-v_d - 1}{1000} + \frac{-v_d}{10 \times 10^{12}} + \frac{-v_d - v_o}{10000} &= 0 \\ \frac{v_o + v_d}{10000} + \frac{v_o - 100000v_d}{100} &= 0 \end{aligned}$$

کو نظر انداز کرتے ہوئے حاصل ہوتا ہے -

$$\begin{aligned} v_d &= \frac{1 + 0.1v_o}{1.1} \\ v_o &= \frac{10000001}{101} v_d \end{aligned}$$

اور یوں

$$v_o = -10.00111 \text{ V}$$

حاصل ہوتا ہے -

- شکل 1.6 ب پرکرچاف کے قانون برائے برق روکے استعمال کرتے ہوئے حل کرتے ہیں۔

$$\begin{aligned}\frac{v_1 - v_s}{R_1} + \frac{v_1 - A_d v_d}{R_2} &= 0 \\ \frac{-v_d - v_s}{R_1} + \frac{-v_d - A_d v_d}{R_2} &= 0 \\ v_d &= \frac{-v_s}{1 + \frac{R_1}{R_2} (1 + A_d)}\end{aligned}$$

اور یوں $v_o = A_d v_d$ لکھتے ہوئے

$$(1.12) \quad v_o = \frac{-A_d v_s}{1 + \frac{R_1}{R_2} (1 + A_d)}$$

یعنی

$$v_o = \frac{-100\,000 v_s}{1 + \frac{1000}{10\,000} (1 + 100\,000)} = -9.9989 \frac{\text{V}}{\text{V}}$$

حاصل ہوتا ہے۔

- پہلے جواب کی نسبت سے دیکھتے ہوئے دونوں جوابات میں صرف

$$\left| \frac{-10.00111 + 9.9989}{10.00111} \right| \times 100 = 0.0221 \%$$

کا فرق ہے جو کہ قابل نظر انداز ہے۔ یوں اس مثال میں غیر کامل اور کامل مساوی ادوار استعمال کرتے ہوئے یکسان جوابات حاصل ہوتے ہیں۔

مساوات 1.12 میں $\frac{R_1}{R_2} (1 + A_d) \gg 1$ اور $A_d \gg 1$ ہے۔ یوں اس مساوات کو با آسانی اس طرح بھی حل کیا جا سکتا ہے

$$v_o = \frac{-A_d v_s}{1 + \frac{R_1}{R_2} (1 + A_d)} \approx \frac{-A_d v_s}{\frac{R_1}{R_2} (1 + A_d)} \approx \frac{-A_d v_s}{\frac{R_1}{R_2} (A_d)} = -\frac{R_2}{R_1} v_s$$

یہی جواب $A_d \gg 1$ اور $A_d \gg \frac{R_1}{R_2} (1 + A_d)$ کے حقائق (یا شرائط) کی بجائے ∞ تصور کرتے ہوئے ہی حاصل کیا جا سکتا تھا۔

اس مثال میں حسابی ایمپلیفائر کے ساتھ بیرونی جوڑے گئے مزاحمت R_1 اور R_2 کی قیمتیں حسابی ایمپلیفائر کے اندرونی مزاحمت R_i سے بہت کم اور اندرونی مزاحمت R_o سے بہت زیادہ تھیں۔ مزید یہ کہ A_d کی قیمت کو لاحدود تصور کرتے ہوئے زیادہ آسانی سے جواب حاصل ہوتا ہے۔

جب بھی حسابی ایمپلیفائر کے ساتھ بیرونی جڑ مزاحمت کی قیمت R_i سے بہت کم اور R_o سے بہت زیادہ ہو، ایسی صورت میں غیر کامل اور کامل مساوی ادوار دونوں کے استعمال سے یکسان جوابات حاصل ہوتے ہیں۔ چونکہ کامل دور استعمال کرتے ہوئے جواب زیادہ آسانی سے حاصل ہوتا ہے لہذا ایسی صورت میں کامل مساوی دور بھی استعمال کیا جاتا ہے۔ مزید یہ کہ $A_d \rightarrow \infty$ تصور کرنے سے مسئلہ حل کرنا نہایت آسان ہو جاتا ہے۔ ان تین حلقائیں کو یہاں بیان کرتے ہیں۔

$$(1.13) \quad \begin{aligned} R_i &<< R_o \\ R_o &>> R_i \\ A_d &\rightarrow \infty \end{aligned}$$

حسابی ایمپلیفائر کے استعمال میں بیرونی مزاحمت کی قیمتیں تعین کرتے وقت اس بات کو یقینی بنایا جاتا ہے کہ یہ مساوات 1.13 پر پورا اترتیں۔ آئیں اب ایسے ادوار دیکھیں جو مساوات 1.13 پر پورا اترتے ہوں۔

مثال 1.3: شکل 1.7 میں حسابی ایمپلیفائر کا کامل مساوی دور استعمال کرتے ہوئے داخلی مزاحمت کی مساوات حاصل کریں۔
حل: شکل 1.6 ب میں کامل دور استعمال کرتے ہوئے اسی کو دوبارہ ذکھایا گیا ہے۔ منفی داخلی سری $v_o = -A_d v_1$ یعنی $v_1 = A_d v_o$ ہے۔

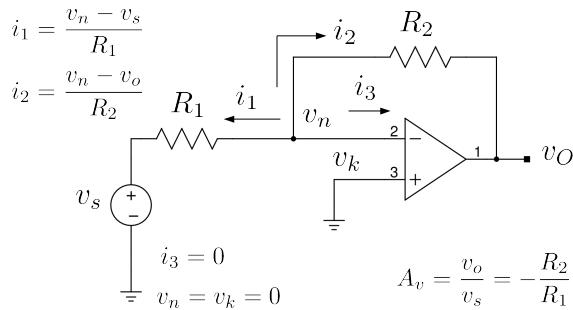
$$\begin{aligned} \frac{v_1 - v_s}{R_1} + \frac{v_1 - v_o}{R_2} &= 0 \\ \frac{v_1 - v_s}{R_1} + \frac{v_1 + A_d v_1}{R_2} &= 0 \\ v_1 = \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1 + A_d}{R_2} \right) v_s &= \frac{v_s}{R_1} \\ v_1 = \frac{v_s}{R_1} \left(\frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1+A_d}{R_2}} \right) & \end{aligned}$$

اس نتیجے کو استعمال کرتے ہوئے v_1 سے v_s کی جانب برق رو i_s یوں حاصل ہو گی۔

$$i_s = \frac{v_s - v_1}{R_1} = \frac{v_s}{R_1} - \frac{v_s}{R_1^2} \left(\frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1+A_d}{R_2}} \right)$$

جس سے داخلی مزاحمت کی مساوات یوں حاصل ہوتی ہے۔

$$(1.14) \quad R_{\text{داخلی}} = \frac{v_s}{i_s} = R_1 + \frac{R_2}{1 + A_d}$$



شکل 1.7: منفی ایمپلیفائر

1.5 حسابی ایمپلیفائر کے ادوار

حسابی ایمپلیفائر کو استعمال کرتے خارجی اشارہ کا کچھ حصہ لے کر اسے دوبارہ داخلی اشارہ کے طور استعمال کیا جاتا ہے۔ ایسے ادوار کو واپسی ادوار کہتے ہیں اور ایسے واپس کردہ اشارے کو واپسی اشارہ²⁴ کہتے ہیں۔ اس بات کی وضاحت جلد ہو گی۔

1.5.1 منفی ایمپلیفائر

شکل 1.7 میں دکھائے دور کو مثال بناتے ہوئے ہم حسابی ایمپلیفائر پر مبنی ادوار حل کرنا سیکھتے ہیں۔ اس دور کو منفی ایمپلیفائر²⁵ کہتے ہیں۔ اس شکل میں حسابی ایمپلیفائر کے داخلی سروں پر برق دباؤ کو v_k اور v_n جبکہ خارجی سرے پر برق دباؤ کو v_o کہا گیا ہے۔ اس کتاب میں یہی علامتیں استعمال کی جائیں گی۔

ایسے ادوار حل کرنے کی خاطر ہم حسابی ایمپلیفائر کے داخلی سروں پر کرچاف کے قوانین²⁶ کا سہارا لیتے ہیں۔ جوڑ²⁷ v_n سے تین شاخیں نکلتی ہیں۔ شکل میں ان شاخوں میں برق رو کو i_1 ، i_2 اور i_3 کہا گیا ہے۔ کرچاف کا قانون برائے برق رو²⁸ کہتا ہے کہ کسی بھی جوڑ پر اندر کی جانب کل برق رو اس جوڑ پر باہر کی جانب کل برق رو کرے برابر ہو گی۔ چونکہ ہم نے جوڑ پر تمام برق رو کو باہر کی جانب نکلتے تصور کیا ہے لہذا اس صورت میں ان کا مجموعہ صفر ہو گا یعنی

$$(1.15) \quad i_1 + i_2 + i_3 = 0$$

مساوات 1.11 کے تحت حسابی ایمپلیفائر کے داخلی سرے پر برق رو کی قیمت صفر ہوتی ہے۔ اس مثال

feedback signal²⁴

inverting amplifier²⁵

Kirchoff's laws²⁶

node²⁷

Kirchoff's current law²⁸

میں اس برقی روکو i_3 کہا گیا ہے لہذا

$$(1.16) \quad i_3 = 0$$

بے-اوہم کا قانون استعمال کرتے ہم i_1 اور i_2 حاصل کرتے ہیں۔

$$(1.17) \quad i_1 = \frac{v_n - v_s}{R_1}$$

$$i_2 = \frac{n_n - v_o}{R_2}$$

مساوات 1.16 اور 1.17 کو مساوات 1.15 میں استعمال کرتے حاصل ہوتا ہے

$$(1.18) \quad \frac{v_n - v_s}{R_1} + \frac{v_n - v_o}{R_2} + 0 = 0$$

جوڑ v_n پر کرچاف کا قانون برائے برقی رو استعمال کرتے ہم نے مساوات 1.18 حاصل کی۔ اگر جوڑ v_k پر بھی برقی ارکان مثلاً مزاحمتی یا برقی اشارات جڑیے ہوتے، تب اس جوڑ کو بھی بالکل جوڑ v_n کی طرح حل کرتے موجودہ مثال میں ایسا نہیں۔ جوڑ v_k برقی زمین²⁹ کے ساتھ جڑا ہے اور یوں ہم اس جوڑ کے لئے لکھ سکتے ہیں

$$(1.19) \quad v_k = 0$$

حسابی ایمپلیفائر کے دونوں داخلی برق سروں والے جوڑوں کے لئے یوں مساواتیں حاصل کرنے کے بعد ہم مساوات 1.11 کی پہلی شیق استعمال کرتے ہیں۔ مساوات 1.19 سے v_k کی قیمت کو مساوات 1.18 میں v_n میں استعمال کرتے حل کرتے ہیں۔

$$(1.20) \quad \frac{0 - v_s}{R_1} + \frac{0 - v_o}{R_2} = 0$$

$$-\frac{v_s}{R_1} - \frac{v_o}{R_2} = 0$$

$$v_o = -\frac{R_2}{R_1} v_s$$

اس مساوات کو عموماً یوں لکھا جاتا ہے۔

$$(1.21) \quad A_v = \frac{v_o}{v_s} = -\frac{R_2}{R_1}$$

بے مساوات شکل 1.7 میں دیے منفی ایمپلیفائر کے خارجی اشارہ v_o اور مہیا کردہ داخلی اشارہ v_s کا تعلق بیان کرتا ہے۔ اس مساوات میں v_o اور v_s کے کسر کو منفی ایمپلیفائر کے برقی دباؤ کی افزائش³⁰

ground²⁹
voltage gain³⁰

A_v کہا گیا ہے۔ اس اصطلاح کو عموماً چھوٹا کر کے منفی افزائش یا صرف افزائش³¹ کہا جاتا ہے۔ اس مساوات میں منفی کی علامت اس حقیقت کو بیان کرتا ہے کہ خارجی اور داخلی اشارے آپس میں 180 کے زاویہ پر ہیں۔

مثال 1.4: شکل 1.7 میں دکھائئے منفی ایمپلیفائر میں $R_2 = 10\text{ k}\Omega$ اور $R_1 = 1\text{ k}\Omega$ تصور کریں۔ اس منفی ایمپلیفائر کو باری باری مندرجہ ذیل برقی اشارات بطور v_s مہیا کیا جاتا ہے۔ ان تمام کے لئے حسابی دور کا خارجی اشارہ v_o حاصل کریں۔ حل کرتے وقت $V_{EE} = 15\text{ V}$ اور $V_{CC} = 15\text{ V}$ تصور کریں۔

$$v_s = 0.2\text{ V} \quad .1$$

$$v_s = 0.31\text{ V} \quad .2$$

$$v_s = -0.52\text{ V} \quad .3$$

$$v_s = 0.1 \sin(t) \quad .4$$

$$v_s = 2 \sin(t) \quad .5$$

حل: جب تک خارجی اشارہ v_o مساوات 1.3 میں دیے ہے حدود کے اندر رہتا ہے، اس وقت تک مساوات 1.21 منفی ایمپلیفائر کی خارجی اشارہ v_o حاصل کرنے کے لئے استعمال ہو گا یعنی

$$v_o = -\left(\frac{R_2}{R_1}\right)v_s = -\left(\frac{10000}{1000}\right)v_s = -10v_s$$

$$v_o = -10 \times 0.2 = -2\text{ V} \quad .1$$

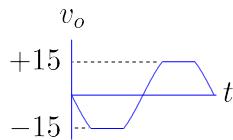
$$v_o = -10 \times 0.31 = -3.1\text{ V} \quad .2$$

$$v_o = -10 \times (-0.52) = 5.2\text{ V} \quad .3$$

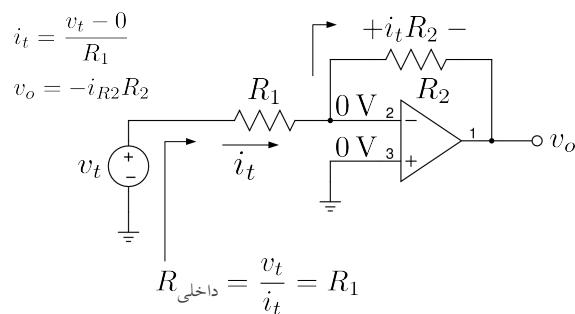
$$v_o = -10 \times 0.1 \sin(t) = -\sin(t) \quad .4$$

$$v_o = -10 \times 2 \sin(t) = \underbrace{-20 \sin(t)}_{\text{غیر خطی خط}} \quad .5$$

اس مثال کی پہلی چار صورتوں میں مساوات 1.21 سے صحیح جواب حاصل ہوتا ہے۔ آخری صورت میں چونکہ حاصل v_o کی قیمت حسابی ایمپلیفائر کے خطی حدود سے تجاوز کری ہے لہذا اس جواب کو رد کیا جاتا ہے۔ اس جواب کے نیچے غیر خطی خطہ لکھ کر اسی بات کی وضاحت کی گئی ہے۔ اس صورت میں t کی قیمت تبدیل کرتے $v_o = -20 \sin(t)$ کی قیمت میں جاتی ہے۔ جب تک حاصل جواب مساوات 1.3 میں دیے ہے حدود کے اندر رہے اسے صحیح تصور کیا جاتا ہے۔



شکل 1.8: حسابی ایمپلیفیائر کے لہریز ہونے سے خارجی اشارہ تراشا جاتا ہے



شکل 1.9: منفی حسابی ایمپلیفیائر کی داخلی مزاحمت

ہے۔ جہاں v_o کی قیمت V_{CC} سے بلند ہونے کی کوشش کرے وہاں $v_o = V_{CC}$ لیا جاتا ہے۔ اسی طرح جہاں v_o کی قیمت V_{EE} سے نجاوہ کرے وہاں $v_o = V_{EE}$ لیا جاتا ہے۔ اس بات کیوضاحت شکل 1.8 میں کی گئی ہے۔ اس شکل کی مدد سے آپ دیکھ سکتے ہیں کہ حسابی ایمپلیفیائر تا V_{CC} کے حدود میں خطی رہ عمل رکھتا ہے جبکہ ان حدود کے باہر یہ غیر خطی رہ عمل رکھتا ہے جس سے خارجی اشارہ تراشا جاتا ہے۔

اس مثال میں آپ نے دیکھا کہ v_s کے مثبت ہونے کی صورت میں v_o کی قیمت منفی ہوتی ہے جبکہ v_s کے منفی ہونے کی صورت میں v_o کی قیمت مثبت ہوتی ہے یعنی منفی ایمپلیفیائر مہیا کرده داخلی اشارے v_s کی قیمت کو الٹ کرتا ہے۔ اسی لئے اسے منفی ایمپلیفیائر³² کہا جاتا ہے۔ اسی مثال میں آپ نے دیکھا کہ v_o کی قیمت v_o کے منفی دس 10 ۔ گناہے یعنی یہ دور مہیا کرده اشارہ کے حیطہ کو بڑھا کر خارج کرتا ہے۔ اس مثال میں منفی ایمپلیفیائر کی برق دباو کی افزائش کی قیمت 10 ۔ ہے۔ منفی ایمپلیفیائر کی افزائش مساوات 1.21 سے حاصل ہوتی ہے۔

مثال 1.5: مثال 1.4 کے پہلے اجزاء میں ایمپلیفائر خطی خطے میں رہتا ہے جبکہ آخری جزو میں یہ غیر خطی خطے میں داخل ہوتا ہے۔ انہیں پر مزید غور کرتے ہیں۔ $v_s = 0.52 \text{ V}$ اور $v_o = 2 \text{ V}$ کی صورت میں v_n حاصل کریں۔

حل: پہلی صورت میں $v_o = -15 \text{ V}$ اور دوسری صورت میں $v_o = -5.2 \text{ V}$ ہوں گے۔ جوڑ v_n پر کرجاف کے قانون برائے برق رو سے

$$\frac{v_n - v_s}{R_1} + \frac{v_n - v_o}{R_2} = 0$$

$$v_n = \frac{v_s R_2 + v_o R_1}{R_1 + R_2}$$

حاصل ہوتا ہے لہذا پہلی صورت میں $v_n = 0 \text{ V}$ جبکہ دوسری صورت میں $v_n = 0.45 \text{ V}$ ہوں گے۔ دونوں صورتوں میں مثبت داخلی سرا برق زمین کے ساتھ جڑا ہے لہذا $v_k = 0 \text{ V}$ رہتا ہے۔ آپ دیکھ سکتے ہیں کہ جب تک ایمپلیفائر خطی خطے میں رہے $v_n = v_k$ رہتا ہے جبکہ غیر خطی خطے میں داخل ہوتے ہی $v_n \neq v_k$ ہو جاتا ہے۔

$$(1.22) \quad v_d = 0 \quad \text{خطی خطے}$$

$$(1.23) \quad v_d \neq 0 \quad \text{غیر خطی خطے}$$

منفی حسابی ایمپلیفائر کا داخلی مزاحمت داخلی R حاصل کرنے کی خاطر شکل 1.9 سے رجوع کریں۔ داخلی مزاحمت حاصل کرنے کی خاطر دور پر v_t لاگو کرتے ہوئے i_t ناپا جاتا ہے۔ ان دونوں کی شرح کو داخلی مزاحمت کہا جاتا ہے یعنی

$$R_{\text{داخلی}} = \frac{v_t}{i_t}$$

چونکہ جوڑ v_k برق زمین کے ساتھ جڑا ہے لہذا $v_k = 0$ ہو گا اور یوں v_n بھی صفر وولٹ پر ہو گا۔ اس طرح R_1 کا دایاں سرا صفر وولٹ پر ہے جبکہ اس کے بائیں سرے پر v_t لاگو کیا گیا ہے لہذا $i_t = \frac{v_t}{R_1}$ ہو گا۔ اس قیمت کو مندرجہ بالا مساوات میں استعمال کرتے ہوئے

$$(1.24) \quad R_{\text{داخلی}} = R_1$$

حاصل ہوتا ہے۔ جیسا شکل میں دکھایا گیا ہے، مزاحمت R_1 سے گزرتی برق رو i_t جوڑ v_n پر صرف R_2 کے جانب جا سکتی ہے۔ یوں R_2 میں بھی i_t برق رو پائی جائے گی جس سے اس مزاحمت کے دوسروں کے درمیان $i_t R_2$ برق دباو پیدا ہو گا۔ چونکہ R_2 کا بایاں سرا صفر وولٹ پر ہے لہذا اس کا دایاں سرا یعنی جوڑ v_o پر $i_t R_2$ ۔ برق دباو پایا جائے گا۔ اس طرح

$$v_o = -i_t R_2 = -\frac{v_t}{R_1} R_2$$

بوگا جس سے منفی حسابی ایمپلیفائر کی جانی پہچانی مساوات

$$(1.25) \quad A_v = \frac{v_o}{v_t} = -\frac{R_2}{R_1}$$

حاصل ہوئے ہے۔

منفی حسابی ایمپلیفائر کی افزائش برقرار رکھتے ہوئے اس کے داخلی مزاحمت کو بڑھانے کی خاطر R_1 کی قیمت بڑھانی ہو گی۔ چونکہ $A_v = -\frac{R_2}{R_1}$ ہے لہذا R_1 بڑھاتے وقت R_2 کی قیمت بھی بڑھانی ہو گی۔ کبھی کبھار R_2 کی قیمت اتنی بڑھ جاتی ہے کہ اس سے دیگر مسائل پیدا ہوتے ہیں۔ آئیں دیکھئیں کہ ایسی صورت حال سے کیسے نپٹا جا سکتا ہے۔

مثال 1.6: شکل 1.10 میں دکھائے دور کی افزائش حاصل کریں۔

حل: $v_k = 0$ کی وجہ سے $i_1 = \frac{v_s}{R_1}$ ہے لہذا $v_n = 0$ ہو گا۔ i_1 جوڑ v_n پر کرنے کے جانب مژاجائے گی۔ یوں $i_2 = i_1 R_2$ ہوگا جس سے $v_1 = v$ یعنی

$$v_1 = -\frac{R_2}{R_1} v_s$$

اور

$$i_3 = \frac{0 - v_1}{R_3} = \frac{R_2}{R_1 R_3} v_s$$

ہوں گے $i_4 = i_2 + i_3$ یعنی

$$i_4 = \frac{v_s}{R_1} + \frac{R_2}{R_1 R_3} v_s = \left(1 + \frac{R_2}{R_3}\right) \frac{v_s}{R_1}$$

بوگا جو مزاحمت R_4 میں سے گرتے ہوئے اس پر $i_4 R_4$ برق دباو پیدا کرے گا۔ یوں

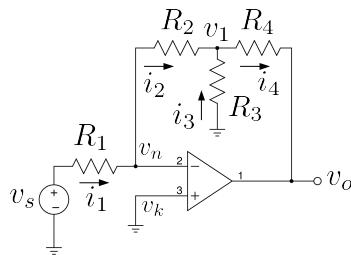
$$v_1 - v_o = i_4 R_4 = \left(1 + \frac{R_2}{R_3}\right) \frac{R_4 v_s}{R_1}$$

v_1 کی قیمت کے استعمال سے

$$-\frac{R_2}{R_1} v_s - v_o = \left(1 + \frac{R_2}{R_3}\right) \frac{R_4 v_s}{R_1}$$

یعنی

$$(1.26) \quad A_v = \frac{v_o}{v_s} = -\frac{R_2}{R_1} \left[1 + \left(\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right) R_4 \right]$$



شکل 1.10: منفی حسابی ایمپلیفائز کا داخلی مزاحمت بڑھایا گیا ہے

حاصل ہوتا ہے۔
اس ایمپلیفائز کے داخلی مزاحمت کی قیمت R_1 ہے۔

اس مثال کے نتائج مدنظر رکھتے ہوئے ہم دیکھتے ہیں کہ داخلی مزاحمت بڑھانے کی خاطر اگر R_1 کی قیمت بڑھائی جائے تو افزائش برقرار رکھنے کی خاطر یہ ضروری نہیں کہ R_2 کی قیمت بھی بڑھائی جائے۔ ہم R_4 اور R_3 کے قیمتیں ایسی رکھ سکتے ہیں کہ درکار افزائش حاصل کی جائے۔ یہ بات خصوصی طور پر غور طلب ہے کہ R_3 کے قیمت کو کم کرتے ہوئے افزائش بڑھائی جا سکتی ہے لہذا R_1 کی قیمت زیادہ سے زیادہ رکھتے ہوئے داخلی مزاحمت بڑھائی جا سکتی ہے۔

مثال 1.7: شکل 1.10 میں داخلی مزاحمت $300 \text{ k}\Omega$ جیکہ $A_v = -100 \frac{\text{V}}{\text{V}}$ درکار ہے۔ تمام مزاحمت حاصل کریں۔

حل: داخلی مزاحمت کی شرط کی وجہ سے $R_1 = 300 \text{ k}\Omega$ رکھی جاتی ہے۔ ایسی صورت میں R_2 اور R_4 کو بھی $300 \text{ k}\Omega$ ہی رکھتے ہوئے R_3 کی قیمت مساوات 1.26 سے 3061Ω حاصل ہوتی ہے۔

مزاحمت کو اس کے قیمت سے پکارا جاتا ہے۔ یوں $1 \text{ k}\Omega$ قیمت کے مزاحمت کو $1 \text{ k}\Omega$ کا مزاحمت پکارا جائے گا۔ $\pm 5\%$ مزاحمت سے مراد ایسا مزاحمت ہے جس کی قیمت پکاری قیمت سے پانچ فی صد زیادہ یا کم ممکن ہے۔ یوں $1 \text{ k}\Omega \pm 5\% = 0.95 \text{ k}\Omega$ تا $1.05 \text{ k}\Omega$ ممکن ہے۔ $1 \text{ k}\Omega$ کو مزاحمت کی پکاری گئی قیمت³³ جیکہ $5\% \pm 5\%$ کو قیمت میں غلطی³⁴ کہا جاتا ہے۔

مزاحمت R کی قیمت $5\% \pm 5\%$ سے $R = (1 + 0.05) \frac{5}{100} R$ بڑھنے سے جو جائز گی۔ اسی طرح

nominal value³³
tolerance³⁴

R کی قیمت 5% کم ہونے سے $(1 - 0.05) R$ ہو جائے گی۔ ان دو قیمتوں کو ہم $(1 + \epsilon) R$ اور $(1 - \epsilon) R$ لکھ سکتے ہیں جہاں $\epsilon = 0.05$ کے برابر ہے۔

مثال 1.8: منفی حسابی ایمپلیفائر میں $R_1 = 1\text{k}\Omega$ جبکہ $R_2 = 47\text{k}\Omega$ رکھا گیا۔ دونوں مزاحمتوں کے قیمت میں $\pm 5\%$ غلطی کی گنجائش ہے۔ اس ایمپلیفائر کے ممکنہ افزائش کے حدود حاصل کریں۔

حل: منفی حسابی ایمپلیفائر کی افزائش $A = -\frac{R_2}{R_1}$ کے برابر ہے۔ اس کا حتمی قیمت اس وقت کم سے کم ہو گا جب R_2 کی حقیقی قیمت 5% کم یعنی $(1 - \epsilon) R_2$ کی حقیقی R_1 جبکہ $\epsilon = 0.05$ کے برابر ہے۔ اسی طرح افزائش کی زیادہ سے زیادہ قیمت اس وقت حاصل ہو گی جب R_2 کی حقیقی قیمت 5% زیادہ جبکہ R_1 کی حقیقی قیمت 5% کم ہو۔ یوں

$$A_{\text{کمتر}} = -\frac{1 - \epsilon}{1 + \epsilon} \left(\frac{R_2}{R_1} \right) = -\frac{0.95}{1.05} \left(\frac{47000}{1000} \right) = -42.524$$

$$A_{\text{بلندتر}} = -\frac{1 + \epsilon}{1 - \epsilon} \left(\frac{R_2}{R_1} \right) = -\frac{1.05}{0.95} \left(\frac{47000}{1000} \right) = -51.947$$

اس مثال میں آپ نے دیکھا کہ مزاحمتوں کے قیمت میں غلطی کی گنجائش کی وجہ سے افزائش کی قیمت درکار قیمت سے اخراج کر سکتی ہے۔ موجودہ مثال میں ایمپلیفائر کے افزائش کی پکاری گئی قیمت $-47\frac{\text{V}}{\text{V}}$ ہے جبکہ حقیقت میں یہ $-42.524\frac{\text{V}}{\text{V}}$ تا $-51.947\frac{\text{V}}{\text{V}}$ کے درمیان کہیں پر بھی ہو سکتی ہے۔ یوں حقیقی افزائش، پکاری گئی قیمت سے

$$\left| \frac{51.947 - 47}{47} \times 100 \right| \approx 10\%$$

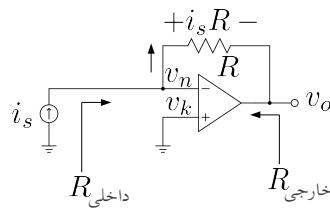
زیادہ یا کم ممکن ہے۔

مثال 1.9: شکل 1.11 میں دکھائی دور کا داخلی مزاحمت، خارجی مزاحمت اور مزاحمت نما افزائش³⁵ $R_m = \frac{v_o}{i_s}$ حاصل کریں۔ اس دور کو استعمال کرتے ہوئے برق رو اشارے i_s سے برق دباؤ کا اشارہ حاصل کیا جاتا ہے۔

حل: جوڑ v_k برق زمین کے ساتھ جزا ہے لہذا $v_k = 0$ اور یوں $v_n = 0$ ہو گا۔ داخلی جانب برق رو i_s جبکہ برق دباؤ v_n ہے لہذا

$$R_{\text{داخلی}} = \frac{v_n}{i_s} = \frac{0}{i_s} = 0\Omega$$

transconductance gain³⁵



شکل 1.11: حسابی مزاحمت نما ایمپلیفیائر

حاصل ہوتا ہے۔

خارجی مزاحمت حاصل کرنے کی خاطر کامل حسابی ایمپلیفیائر کا دور جسے شکل 1.5 میں دکھایا گیا ہے کو زیر استعمال لاتے ہیں۔ $v_d = 0$ ہونے کی صورت میں اس کے خارجی جانب صفر اوبم حاصل ہوتا ہے لہذا

$$R_{خارجی} = 0\Omega$$

حاصل ہوتا ہے۔

آئیں اب مزاحمت نما افزائش R_m حاصل کریں۔ جیسے شکل میں دکھایا گیا ہے، جوڑ v_n پر آمد برق رو i_s صرف مزاحمت R کی جانب جا سکتی ہے۔ یوں اس مزاحمت پر $i_s R$ برق دباو پیدا ہو گا۔ مزاحمت کا بایان سرا برق زمین پر ہے لہذا

$$v_o = -i_s R$$

$$R_m = \frac{v_o}{i_s} = -R$$

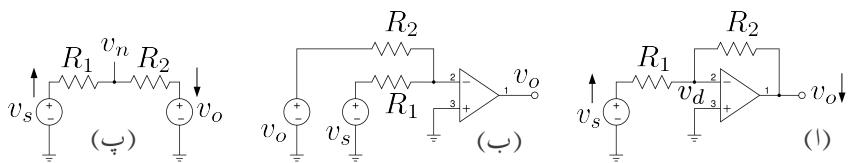
ہو گا۔

حسابی منفی ایمپلیفیائر کو شکل 1.12 الف میں دوبارہ دکھایا گیا ہے جبکہ شکل الف میں اسی کو قدر مختلف طرز پر بنایا گیا ہے۔ شکل الف میں یہ بات کھل کر سامنے آتی ہے کہ خارجی اشارہ v_o کو بھی بطور داخلی اشارہ استعمال کیا جا رہا ہے۔

ایسے ادوار جن میں خارجی اشارہ کو بطور داخلی اشارہ استعمال کیا گیا ہو کو واپسی ادوار³⁶ کہتے ہیں اور جن خارجی اشارات کو یوں بطور داخلی اشارات استعمال کیا گیا ہو انہیں واپسی اشارات³⁷ کہتے ہیں۔ یوں منفی ایمپلیفیائر واپسی ادوار کی ایک مثال ہے۔

حسابی ایمپلیفیائر کے تفرقی افزائش برق دباو A_d کی قیمت لاحدود ہونے کے وجہ سے نہایت کم داخلی اشارے پر ہی اس کو غیر خطی خطرے میں داخل ہونا چاہیے۔ حقیقت میں ایمپلیفیائر استعمال ہی خطی خطرے میں ہوتا ہے اور واپسی اشارے کی شمولیت اس کو ممکن بناتی ہے۔

feedback circuits³⁶
feedback signals³⁷



شکل 1.12: واپسی حسابی منفی ایمپلیفیٹر

حسابی منفی ایمپلیفیٹر پر دوبارہ غور کریں۔ داخلی اشارہ v_s کو منفی داخلی سرے پر مہیا کیا گیا ہے۔ جیسا شکل میں تیر کرنے شانوں سے دکھایا گیا ہے کہ اگر داخلی اشارہ v_s کو مثبت جانب (\uparrow) لے جایا جائے تو خارجی اشارہ v_o منفی جانب (\downarrow) حرکت کرتا ہے۔ اسی طرح اگر داخلی اشارہ v_s کو منفی جانب (\downarrow) لے جایا جائے تو خارجی اشارہ v_o مثبت جانب حرکت کرتا ہے۔ منفی داخلی سرے پر کرچاف کے قانون برائے برق رو سے

$$(1.27) \quad \frac{v_n - v_s}{R_1} + \frac{v_n - v_o}{R_2} = 0$$

$$(1.28) \quad v_o = \frac{R_2}{R_1} v_s$$

حاصل ہوتا ہے جہاں دوسرے قدم پر $v_k = 0$ کی وجہ سے $v_n = 0$ کا استعمال کیا گیا۔ اسی حقیقت کو یوں بھی دیکھا جا سکتا ہے کہ حسابی ایمپلیفیٹر v_o کو یوں رکھتا ہے کہ $v_d = 0$ یعنی $v_k = v_n$ حاصل ہو۔ چونکہ منفی حسابی ایمپلیفیٹر میں $v_k = 0$ ہے لہذا حسابی ایمپلیفیٹر v_o کو یوں رکھے گا کہ $v_n = 0$ حاصل ہو۔ شکل 1.12 پ میں v_n کی مساوات حاصل کرتے ہوئے اس مساوات پر $v_n = 0$ کی شرط لا گو کریں۔ ایسا کرنے سے مساوات 1.27 ہی حاصل ہوتے ہیں۔

مثال 1.10: حسابی منفی ایمپلیفیٹر میں Ω , $R_1 = 1\text{k}\Omega$, $R_2 = 5\text{k}\Omega$, $v_s = 1\text{V}$ اور $v_s = 2\text{V}$ پر v_o حاصل کریں۔ تینوں جوابات کو استعمال کرتے ہوئے شکل 1.12 پ میں v_n کی قیمت حاصل کریں۔ حل: ان داخلی اشارات پر

$$v_o = - \left(\frac{5000}{1000} \right) \times 1 = -5\text{V}$$

$$v_o = - \left(\frac{5000}{1000} \right) \times 1.5 = -7.5\text{V}$$

$$v_o = - \left(\frac{5000}{1000} \right) \times 2 = -10\text{V}$$

حاصل ہوتے ہیں۔ آئیں برداخلی۔ خارجی برقی دیا وکے جوڑے کو استعمال کرتے ہوئے شکل 1.12 پ میں

v_n حاصل کریں۔ کچھ کے قانون برائے برق رو سے

$$\frac{v_n - v_s}{R_1} + \frac{v_n - v_o}{R_2} = 0$$

$$v_n = \frac{R_2 v_s + R_1 v_o}{R_1 + R_2}$$

حاصل ہوتا ہے اور یوں

$$v_n = \frac{5000 \times 1 + 1000 \times (-5)}{1000 + 5000} = 0 \text{ V}$$

$$v_n = \frac{5000 \times 1.5 + 1000 \times (-7.5)}{1000 + 5000} = 0 \text{ V}$$

$$v_n = \frac{5000 \times 2 + 1000 \times (-10)}{1000 + 5000} = 0 \text{ V}$$

حاصل ہوتے ہیں۔

مندرجہ بالا مثال میں ہم نے دیکھا کہ v_0 اس جانب حرکت کرتا ہے جس جانب $v_k - v_n$ یعنی v_d کی قیمت صفر حاصل ہو۔ وہ واپسی دور کے خارجی اشارہ، دور کے داخلی اشارے کے الٹ کام کرنے کو منفی واپسی دور³⁸ کہتے ہیں اور اس عمل کو منفی واپسی عمل یا صرف منفی واپسی کہتے ہیں۔ اس باب میں منفی واپسی ادوار حل کرنے پر غور کیا جائے گا۔ مثبت واپسی کا استعمال باب 8 میں دیکھا جائے گا۔

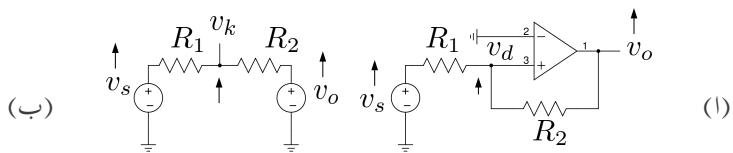
شکل 1.13 میں مثبت واپسی دور کی مثال دکھائی گئی ہے۔ یہاں v_s حسابی ایمپلیفائر کے مثبت داخلی سرے پر مہبا کیا گیا ہے۔ یوں v_s بڑھانے سے v_d بڑھے گا اور یوں v_0 ہی مثبت جانب بڑھے گا۔ جیسے شکل الف میں دکھایا گیا ہے کہ v_s اور v_0 دونوں بڑھنے سے v_k صرف بڑھے ہی سکتا ہے۔ اگر v_0 کو بطور واپسی اشارہ داخلی سرے پر مہبا نہ کیا جاتا تب ہی v_s بڑھانے سے v_k اور v_d بڑھتے لیکن v_0 کا بطور واپسی اشارہ استعمال کرنے کی وجہ سے v_k اور v_d مزید زیادہ بڑھتے ہیں۔ ایسے ادوار جن میں واپسی اشارہ اور داخلی اشارہ ایک ہی جانب کو حرکت کریں کو مثبت واپسی ادوار³⁹ کہتے ہیں۔ مثبت واپسی ادوار کا خارجی اشارہ عموماً مکمل مثبت یا مکمل منفی جانب غیر خطی خطرے میں رہتا ہے ما سوائے ان حالت کے جب یہ منفی سے مثبت سے منفی جانب حرکت کر رہا ہو۔ آئیں شکل 1.13 کو مثال بناتے ہوئے مثبت واپسی ادوار حل کرنا دیکھتے ہیں۔ تصور کریں کہ $v_s = 0$ اور $v_0 = 0$ صفر ہیں۔ یوں شکل الف میں

$$v_k = \frac{R_2 v_s + R_1 v_o}{R_1 + R_2} = 0$$

حاصل ہوتا ہے۔ یوں $v_d = v_k - v_n$ بھی صفر رہے گا۔ جیسا کہ ہم اب دیکھیں گے کہ اس حال میں مثبت واپسی دور نہایت غیر مستحکم حال میں ہے۔ تصور کریں کہ کسی وجہ سے v_s کی قیمت بڑھ کر

negative feedback circuit³⁸

positive feedback circuit³⁹



شکل 1.13: مثبت واپسی دور کی مثال

$v_s = \Delta v$ ہو جاتی ہے۔ حسابی ایمپلیفیٹر کے رد عمل سے پہلے $v_o = 0$ ہی رہے گا اور یوں

$$v_k = \frac{R_2 \times \Delta v + R_1 \times 0}{R_1 + R_2} = \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) \Delta v$$

$$v_d = v_k - v_n = \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) \Delta v$$

بہوں گے۔ حسابی ایمپلیفیٹر v_d کو A_d گنا بڑھانا چاہئے گا۔ آئیں v_o کے بڑھنے کے عمل کو دیکھیں۔ تصور کریں کہ خارجی اشارہ بڑھتے بڑھتے ہے۔ اس طرح

$$v_k = \frac{R_2 \times \Delta v + R_1 \times \Delta v_{o1}}{R_1 + R_2} = v_d$$

ہو جائے گا۔ جیسا کہ آپ دیکھ سکتے ہیں v_d کی قیمت پہلے سے بڑھ گئی ہے۔ یوں $v_o = V_{CC}$ مزید بڑھے گا جس سے v_d مزید بڑھے گا۔ آخر کار v_o مثبت سپلائی پر رکھ جائے گا یعنی $v_o = V_{CC}$ ہو جائے گا۔ اس وقت

$$v_k = \frac{R_2 \times \Delta v + R_1 \times V_{CC}}{R_1 + R_2} \approx \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2} \right) V_{CC} = v_d$$

ہو گا۔ آپ دیکھ سکتے ہیں کہ مثبت واپسی دور میں

$$(1.29) \quad v_k \neq v_n$$

بتوئے ہیں۔ اسی وجہ سے مثبت ادوار کو اس باب میں استعمال ہونے والے طریقے سے حل نہیں کیا جا سکتا جہاں ہم v_k اور v_n کے مساوات حاصل کرتے ہوئے $v_k = v_n$ تصور کر کر v_o کے لئے حل کرتے ہیں۔

مثبت واپسی دور کی ہیجان یہ ہے کہ اس کا خارجی اشارہ جب بھی حرکت کرے تو یہ اسی جانب حرکت کرتا ہے جس جانب دور کا داخلی اشارہ (بغیر واپس آئیے) حرکت کرے۔

مثال 1.11: شکل 1.13 میں

$$R_1 = 1 \text{ k}\Omega \quad R_2 = 9 \text{ k}\Omega \quad V_{CC} = 12 \text{ V} \quad V_{EE} = -12 \text{ V}$$

لیتے ہوئے v_s کی وہ قیمت حاصل کریں جس پر خارجی اشارہ مکمل منفی سے مکمل مثبت جانب حرکت کرے گا۔ اسی طرح v_s کی وہ قیمت حاصل کریں جس پر خارجی اشارہ مکمل مثبت سے مکمل منفی جانب حرکت کرے گا۔

حل: تصور کریں کہ خارجی اشارہ مکمل منفی جانب ہے یعنی $v_o = -12 \text{ V}$ جبکہ $v_s = 0$ ہے۔ اس وقت

$$v_k = v_d = \frac{9000 \times 0 + 1000 \times 12}{1000 + 9000} = 1.2 \text{ V}$$

ہوگا۔ v_o اس لمحے منفی جانب حرکت کرے گا جب v_d کی قیمت منفی ہو جائے۔ آئیں $v_d = 0$ پر درکار v_s کی قیمت حاصل کریں۔

$$0 = \frac{9000 \times v_s + 1000 \times 12}{1000 + 9000}$$

$$v_s = -1.333 \text{ V}$$

حاصل ہوتا ہے۔ جوں بھی v_s کی قیمت -1.333 V سے کم ہو جائے، اسی لمحے $v_o = -12 \text{ V}$ ہو جائے گا۔

اسی طرح اگر $v_o = -12 \text{ V}$ ہے تو خارجی اشارہ اس وقت مثبت جانب حرکت کرے گا جب

$$0 = \frac{9000 \times v_s + 1000 \times (-12)}{1000 + 9000}$$

$$v_s = 1.333 \text{ V}$$

$$v_s > 1.333 \text{ V}$$

شکل 1.14 میں دو منفی حسابی ایمپلیفائر سلسلہ وار جوڑتے ہوئے زنجیری ایمپلیفائر حاصل کیا گیا ہے۔ زنجیر کے پہلی کڑی کا داخلی اشارہ v_{s1} جبکہ اس کا خارجی اشارہ v_{o1} اور اس کی افزائش $A_{v1} = -\frac{R_2}{R_1}$ ہے۔ زنجیر کے دوسری کڑی کا داخلی اشارہ v_{s2} جبکہ اس کا خارجی اشارہ v_{o2} اور اس کی افزائش $A_{v2} = -\frac{R_4}{R_3}$ ہے۔ پہلے کڑی کے خارجی اشارے کو دوسرے کڑی کو بطور داخلی اشارہ مہیا کیا گیا ہے لہذا $v_{o2} = v_{o1}$ ہے۔ یوں ہم لکھ سکتے ہیں۔

$$v_{o1} = A_{v1}v_{s1}$$

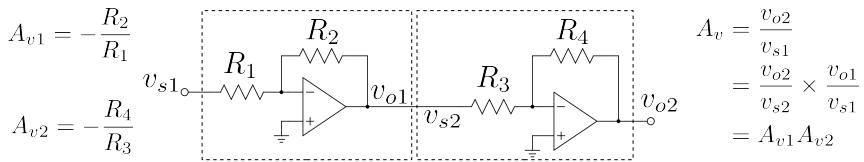
اور

$$v_{o2} = A_{v2}v_{s2}$$

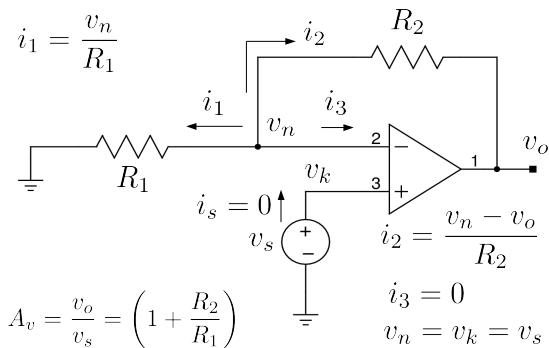
$$= A_{v2}v_{o1}$$

اس مساوات میں گزشتہ مساوات سے حاصل v_{o1} استعمال کرتے ہوئے

$$v_{o2} = A_{v2}A_{v1}v_{s1}$$



شکل 1.14: زنجیری حسابی ایمپلیفائر



شکل 1.15: مثبت ایمپلیفائر

لکھا جا سکتا ہے۔ زنجیری ایمپلیفائر کا داخلی اشارہ v_{s1} جبکہ اس کا خارجی اشارہ v_{o2} ہے۔ یوں زنجیری ایمپلیفائر کی افزائش $A_v = \frac{v_{o2}}{v_{s1}}$ کو مندرجہ بالا مساوات سے یوں حاصل کر سکتے ہیں۔

$$(1.30) \quad A_v = \frac{v_{o2}}{v_{s1}} = A_{v1}A_{v2}$$

یہ ایک اہم نتیجہ ہے جس کے مطابق ایمپلیفائر سلسلہ وار جوڑنے سے ان کی افزائش آپس میں ضرب ہوتی ہے۔ زنجیری ایمپلیفائر میں مزید کڑیاں اسی طرح سلسلہ وار جوڑی جا سکتی ہیں۔

1.5.2 مثبت ایمپلیفائر

شکل 1.15 میں ایک اور واپسی دور دکھایا گیا ہے جسے مثبت ایمپلیفائر⁴⁰ کہتے ہیں۔ آئیں اس دور کو کرچاف کے قوانین کی مدد سے حل کرتے ہیں۔ اس شکل میں جوڑ v_n سے باہر کی جانب تین برق رو، i_1 ، i_2 اور i_3 نکلتے دکھائے گئے ہیں۔ چونکہ حسابی ایمپلیفائر کے داخلی سرے پر اندر کی جانب جاتی برق رو ہے لہذا یہ مساوات 1.11 کے شیق نمبر دو کی وجہ سے صفر کے برابر ہے۔ باقی دو برق رو کو

non-inverting amplifier⁴⁰

اُبم کے قانون کی مدد سے حاصل کیا جاتا ہے۔ یوں

$$(1.31) \quad \begin{aligned} i_1 &= \frac{v_n}{R_1} \\ i_2 &= \frac{v_n - v_o}{R_2} \\ i_3 &= 0 \end{aligned}$$

جوڑ v_k چونکہ سیدھا فرائم کردہ برقی اشارہ v_s کے ساتھ جزا ہے لہذا اس کے لئے ہم لکھ سکتے ہیں

$$(1.32) \quad v_k = v_s$$

کرچاف کے قانون برائے برقی روکو مساوات 1.31 کے ساتھ مل کر استعمال کرتے حاصل ہوتا ہے

$$(1.33) \quad \begin{aligned} i_1 + i_2 + i_3 &= 0 \\ \frac{v_n}{R_1} + \frac{v_n - v_o}{R_2} + 0 &= 0 \end{aligned}$$

مساوات 1.11 کی پہلی شق کے مطابق v_k اور v_n کی قیمتیں برابر رہتی ہیں۔ یوں مساوات 1.32 میں دیے گئے v_k کی قیمت کو مساوات 1.33 میں v_n کی جگہ استعمال کرتے ہم مساوات 1.33 کو حل کرتے ہیں۔

$$(1.34) \quad \begin{aligned} \frac{v_s}{R_1} + \frac{v_s - v_o}{R_2} &= 0 \\ \frac{v_s}{R_1} + \frac{v_s}{R_2} - \frac{v_o}{R_2} &= 0 \\ \left(\frac{v_s}{R_1} + \frac{v_s}{R_2} \right) R_2 &= v_o \\ \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) v_s &= v_o \end{aligned}$$

اس مساوات کو عموماً یوں لکھا جاتا ہے۔

$$(1.35) \quad A_v = \frac{v_o}{v_s} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$$

v_o اور v_s کے کسر کو مثبت ایچلیفائر کی برقی دباؤ کی افرائش⁴¹ A_v کہتے ہیں۔ اس اصطلاح کو عموماً چھوٹا کر کے اس سے صرف مثبت افرائش کہتے ہیں۔

voltage gain⁴¹

اس ایمپلیفائر کا داخلی مزاحمت حاصل کرنے کی خاطر v_s لاگو کرتے ہوئے i_s ناپتے ہیں۔ چونکہ حسابی ایمپلیفائر کا داخلی برقی رو صفر ہوتا ہے لہذا $i_s = 0$ ہو گا۔ یوں

$$(1.36) \quad R_{\text{داخلی}} = \frac{v_s}{i_s} = \frac{v_s}{0} \rightarrow \infty$$

حاصل ہوتا ہے۔

مثال 1.12: شکل 1.15 میں دکھلائے مثبت ایمپلیفائر میں $R_2 = 15 \text{ k}\Omega$ اور $R_1 = 2 \text{ k}\Omega$ تصور کریں۔ اس مثبت ایمپلیفائر کو باری باری مندرجہ ذیل برقی اشارات بطور v_s مہیا کیا جاتا ہے۔ ان تمام کے لئے حسابی دور کا خارجی اشارہ v_o حاصل کریں۔ حل کرتے وقت $V_{CC} = 15 \text{ V}$ اور $V_{EE} = -15 \text{ V}$ تصور کریں۔

$$v_s = 1.2 \text{ V} .1$$

$$v_s = -0.25 \text{ V} .2$$

$$v_s = 0.33 \cos(\omega t) .3$$

حل: مساوات 1.35 سے اس مثبت ایمپلیفائر کی افزائش حاصل کرتے ہیں۔

$$A_v = \left(1 + \frac{15000}{2} \right) = 8.5 \frac{\text{V}}{\text{V}}$$

یوں

$$v_o = A_v \times v_s = 8.5 \times 1.2 = 10.2 \text{ V} .1$$

$$v_o = A_v \times v_s = 8.5 \times (-0.25) = 2.125 \text{ V} .2$$

$$v_o = A_v \times v_s = 8.5 \times 0.33 \cos(\omega t) = 2.805 \cos(\omega t) .3$$

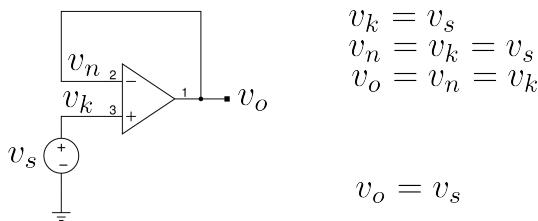
اس مثال میں داخلی اشارہ مثبت ہونے کی صورت میں خارجی اشارہ مثبت ہے جبکہ داخلی اشارہ منفی ہونے کی صورت میں خارجی اشارہ بھی منفی ہے۔ یوں مثبت ایمپلیفائر داخلی اشارہ کو بغیر الثائے بڑھا کر خارج کرتا ہے۔ اسی لئے اسے مثبت ایمپلیفائر⁴² کہتے ہیں۔

1.5.3 مستحکم کار

مثبت ایمپلیفائر کی افزائش یہاں دوبارہ پیش کرتے ہیں۔

$$(1.37) \quad A_v = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

non-inverting amplifier⁴²



شکل 1.16: مستحکم کار

اگر مثبت ایمپلیفیٹر میں R_1 کی قیمت لا محدود لی جائے اور R_2 کی قیمت صفر اوہم لی جائے تو اس مساوات کے مطابق اس کی افزائش

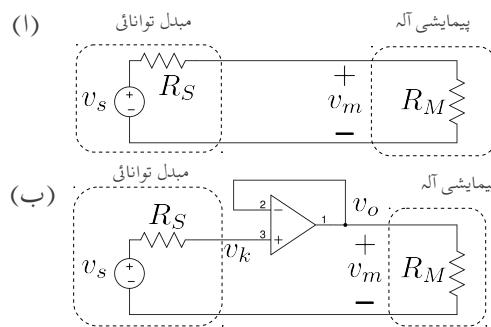
$$(1.38) \quad A_v = 1 + \frac{0}{\infty} = 1$$

ہو گئی۔ ایسا دور جس سے مستحکم کار⁴³ کہتے ہیں کو شکل 1.16 میں دکھایا گیا ہے۔ اس دور کی افزائش ایک کے برابر جبکہ داخلی مزاحمت لا محدود ہے۔ اس دور کو یوں بھی سمجھا جا سکتا ہے کہ مثبت داخلی سرے پر برقی دباؤ v_s ہے۔ یوں منفی داخلی سرے پر بھی اتنا ہی برقی دباؤ ہو گا مگر یہ سرا اور خارجی سرا اپس میں جڑئے ہیں۔ یوں خارجی سرے پر بھی یہی برقی دباؤ ہو گا یعنی $v_o = v_s$ ہو گا جس سے افزائش $1 = \frac{v_o}{v_s}$ حاصل ہوئی ہے۔ آئیں مستحکم کار کا استعمال جانیں۔

طبعی متغیرات⁴⁴ مثلاً کمیت، حرارت وغیرہ کی برقیاتی پیمائش سے پہلے انہیں عموماً مبدل توانائی⁴⁵ کر مدد سے برقی اشارات میں تبدیل کیا جاتا ہے اور ان برقی اشارات کو پیمائشی آلہ⁴⁶ سے ناپا جاتا ہے۔ جیسا کہ آپ جانتے ہیں کہ کسی بھی دور کا تکونن مساوی دور⁴⁷ بنایا جا سکتا ہے جسے ایک عدد پیدا کار برقی دباؤ اور ایک عدد مزاحمت کی شکل دی جاتی ہے۔ مبدل توانائی کا تکونن دور شکل 1.17 الف میں بائیں جانب نقطہ دار لکیر میں گھیرا دکھایا گیا ہے جہاں برقی دباؤ اور R_S اس کی تکونن برقی دباؤ اور R_M کی تکونن مزاحمت ہے۔ پیمائشی آلہ داخلی سروں پر کسی قسم کا برقی اشارہ خارج نہیں کرتا بلکہ ان سروں پر یہ صرف اشارہ حاصل کرنے کی صلاحیت رکھتا ہے لہذا اس کے داخلی جانب کا تکونن دور صرف ایک عدد مزاحمت R_M پر منحصر ہوتا ہے جیسے شکل۔ الف میں دائیں جانب دکھایا گیا ہے۔ شکل۔ الف میں مبدل توانائی کے خارجی سروں کو پیمائشی آلہ کے داخلی سروں کے ساتھ جوڑا گیا ہے تاکہ مبدل توانائی کا اشارہ v_s ناپا جا سکے۔ پیمائشی آلہ داخلی سروں پر لاگو برقی دباؤ v_m ناپتا ہے۔ شکل۔ الف میں پیمائشی آلہ کے داخلی سروں پر

$$v_m = \left(\frac{R_M}{R_M + R_S} \right) v_s$$

buffer⁴³
variables⁴⁴
transducer⁴⁵
measuring instrument⁴⁶
Thevenin circuit⁴⁷



شكل 1.17: مستحکم کار کی مدد سے حساس اشارہ کی پیمائش

پایا جاتا ہے جس سے پیمائشی آله پڑھے گا اگرچہ حقیقت میں اشارہ کی اصل قیمت v_s ہے۔ مثال کے طور پر اگر $R_S = 5 \text{ M}\Omega$ ، $R_M = 10 \text{ M}\Omega$ اور اشارہ کی قیمت $v_s = 100 \text{ mV}$ ہو تو پیمائشی آله

$$v_m = \frac{10 \times 10^6 \times 100 \times 10^{-3}}{10 \times 10^6 + 5 \times 10^6} = 66.66 \text{ mV}$$

پڑھے گا۔ آپ دیکھ سکتے ہیں کہ یہ ناقابل قبول صورت حال ہے۔

مبدل توانائی تخلیق دیتے وقت کوشش کی جاتی ہے کہ اس کے قانون مساوی مزاحمت R_S کی قیمت کم سے کم ہو۔ اسی طرح پیمائشی آله تخلیق دیتے وقت کوشش کی جاتی ہے کہ اس کے داخل مزاحمت R_M کی قیمت زیادہ سے زیادہ ہو۔ یوں آپ دیکھ سکتے ہیں کہ اگر $R_M >> R_S$ ہو تو $v_m \approx v_s$

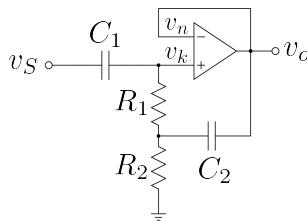
ہو گا۔

آپ دیکھ سکتے ہیں کہ پیمائشی آله کی داخلی مزاحمت مبدل توانائی پر بوجہ ڈالتی ہے جس سے مبدل کے بیرونی سروں پر میسر اشارے کی قیمت میں کمی رونما ہوتی ہے۔ یوں بوجہ کو ہلکا کرنے کی خاطر R_M کی قیمت بڑھانی ہو گی۔ اس مثال میں مبدل توانائی کو پیمائشی آله بطور برق بار⁴⁸ نظر آتا ہے۔ یہ بار جتنا کم ہو اتنا بہتر ہو گا۔

اس مسئلے کو مستحکم کار کی مدد سے با آسانی حل کیا جا سکتا ہے۔ شکل 1.17 ب میں مبدل توانائی اور پیمائشی آله کے وسط میں مستحکم کار کی نسب کیا گیا ہے۔ چونکہ حسابی ایمپلیفیائر کا داخلی مزاحمت لاحدہ ہوتا ہے اور اس کی داخلی برق رو صفر ہوتی ہے لہذا اس دور میں مزاحمت R_S میں اُبم کے قانون کے تحت صفر برق دباو گھٹھے گا اور یوں $v_0 = v_s$ اور $v_0 = v_m$ ہو گا۔ چونکہ مزاحمت R_M کو یہی برق دباو فراہم کیا جاتا ہے لہذا $v_m = v_s = v_0$ ہو گا۔

مستحکم کار کا کمال یہ ہے کہ یہ برق بار R_M کو از خود اٹھا لیتا ہے اور اس کا بوجہ مبدل توانائی پر نہیں ڈالتا۔ یوں یہ حساس اشارات کو مستحکم کرتا ہے۔

load⁴⁸



شکل 1.18: بدلنا رو مستحکم کار

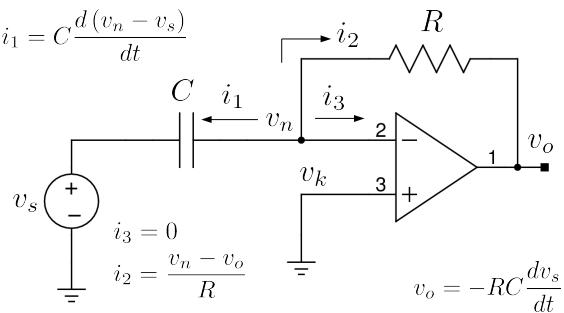
آپ نے دیکھا کہ مستحکم کار کی مدد سے اشارہ کی صحیح قیمت حاصل ہوتی ہے۔ حساس اور باریک اشارات کی پیمائش عموماً مستحکم کار کے مدد سے ہی کی جاتی ہے۔

1.5.3.1 بدلنا رو مستحکم کار

عموماً اشارے کے یک سنتی حصے کو روکتے ہوئے اس کے بدلنے حصے کو مستحکم بنانے کی ضرورت ہوتی ہے۔ ایسی صورت میں بدلنا رو مستحکم کار جسے شکل 1.18 میں دکھایا گیا ہے استعمال کیا جائے گا۔ C_1 اور C_2 کی قیمت اتنی رکھی جاتی ہے کہ درکار تعداد پر انہیں قصر دور تصور کیا جاسکے۔ مزاحمت R_1 اور R_2 حساسی ایمپلیفائر کے مثبت داخلی سرنے کے داخلی میلان برق رو⁴⁹ کے لئے راستے فراہم کرتے ہیں۔ C_1 داخلی اشارے کے بدلنے جزو کو حساسی ایمپلیفائر کے مثبت داخلی سرنے تک پہنچنے کا راستہ فراہم کرتے ہوئے یہکہ سنتی جزو کو روکتا ہے۔ C_2 کے عدم موجودگی میں داخلی اشارے کو بدلنا داخلی مزاحمت $R_1 + R_2$ نظر آتا جبکہ مستحکم کار سے موقع کی جاتی ہے کہ اس کا داخلی مزاحمت بہت زیادہ ہو۔ آئین دیکھیں کہ C_2 کی شمولیت سے داخلی مزاحمت کیسے بڑھتی ہے۔ v_S کا بدلنا جزو v_s مثبت داخلی سرنے پر پہنچتا ہے۔ یوں $v_n = v_s$ ہو گا جس سے $v_n = v_k = v_s$ اور $v_o = v_s$ کے درکار تعداد پر قصر دور ہو گا اور یوں R_1 اور R_2 کے جوڑ پر بھی v_s اشارہ پایا جائے گا۔ اب دوبارہ داخلی جانب سے سوچیں۔ حساسی ایمپلیفائر کا مثبت داخلی سرا از خود کوئی برق رو گزرنے نہیں دیتا۔ چونکہ مزاحمت R_1 کے دونوں سروں پر v_s برق دباو پایا جاتا ہے لہذا اس میں گزرنے برق رو بھی صفر ہے۔ یوں v_s سے کسی قسم کا برق رو حاصل نہیں کیا جاتا جو کہ منقطع صورت کی نشانی ہے۔ یوں بدلنا مستحکم کار درکار تعداد پر لامحدود داخلی مزاحمت پیش کرتے ہوئے حساس اشارے پر بالکل بوجہ نہیں ڈالتا۔

کسی بھی ایمپلیفائر جس کی $A_v \approx 1$ ہو، کے خارجی سرنے سے داخلی جانب یوں کمپیٹر نسب کر کرے اس کا داخلی مزاحمت بڑھایا جا سکتا ہے۔ شرط صرف یہ ہے کہ درکار تعداد پر کمپیٹر قصر دور کام کرتے ہوئے مکمل خارجی اشارے کو داخلی جانب مزاحمت R_1 تک پہنچا سکے۔ مزاحمت R_1 کے ایک سرنے کو جس جانب داخلی اشارہ کھینچتا ہے، خارجی اشارہ بھی اسی جانب مزاحمت کا دوسرا سرا کھینچتا ہے۔

⁴⁹ داخلی میلان برقی پر حصہ 1.7.2 میں غور کیا جائے گا۔



شکل 1.19: تفرق کار

1.5.4 تفرق کار

ایک اور اہم دور جس سے تفرق کار⁵⁰ کہتے ہیں کو شکل 1.19 میں دکھایا گیا ہے۔ اس دور کو بالکل پہلی دو ادوار کی طرح حل کرتے ہیں۔ جوڑ پر تین برق روکے لئے لکھ سکتے ہیں۔

$$(1.39) \quad \begin{aligned} i_1 &= C \frac{d(v_n - v_s)}{dt} \\ i_2 &= \frac{v_n - v_o}{R} \\ i_3 &= 0 \end{aligned}$$

جبکہ جوڑ v_k کے لئے لکھ سکتے ہیں۔

$$(1.40) \quad v_k = 0$$

کرچاف کے قانون برائے برق روک جوڑ v_n پر یوں لکھا جا سکتا ہے۔

$$(1.41) \quad i_1 + i_2 + i_3 = 0$$

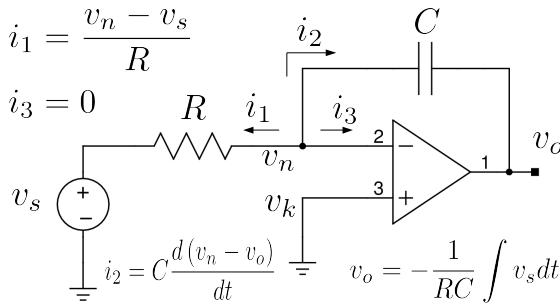
مساوات 1.39 میں دیے گئے قیمتیوں کو مساوات 1.41 میں پرکرتے ہیں

$$C \frac{d(v_n - v_s)}{dt} + \frac{v_n - v_o}{R} + 0 = 0$$

$$v_n = 0 \quad \text{لیتے ہوئے} \quad v_n = v_k$$

$$-C \frac{d v_s}{dt} - \frac{v_o}{R} = 0$$

differentiator⁵⁰



شکل 1.20: تکمل کار

حاصل ہوتا ہے جس سے یوں لکھ سکتے ہیں۔

$$(1.42) \quad v_o = -RC \frac{dv_s}{dt}$$

اس مساوات کے تحت یہ دور مہیا کردہ اشارہ v_s کے تفرق کے نسبت سے خارجی اشارہ v_o پیدا کرتا ہے۔ اسی سے اس دور کو تفرق کار⁵¹ کہتے ہیں۔

1.5.5 تکمل کار

تفرق دور کو دیکھنے کے بعد خیال آتا ہے کہ کیا حسابی ایمپلیفیٹر کو استعمال کرتے کسی تفاعل کا تکمل⁵² حاصل کیا جا سکتا ہے۔ جواب ہے جی بان۔ تکمل کار⁵³ کو شکل 1.20 میں دکھایا گیا ہے۔ اس دور کے لئے ہم لکھ سکتے ہیں

$$(1.43) \quad \begin{aligned} i_1 &= \frac{v_n - v_s}{R} \\ i_2 &= C \frac{d(v_n - v_o)}{dt} \\ i_3 &= 0 \end{aligned}$$

اور

$$(1.44) \quad v_k = 0$$

differentiator⁵¹
integral⁵²
integrator⁵³

کرچاف کا قانون برائے برقی رو استعمال کرتے ہوئے اور v_n میں v_k کی قیمت (یعنی صفر وولٹ) استعمال کرتے ہوئے حل کرتے ہیں۔

$$\begin{aligned} i_1 + i_2 + i_3 &= 0 \\ \frac{v_n - v_s}{R} + C \frac{d(v_n - v_o)}{dt} + 0 &= 0 \\ -\frac{v_s}{R} - C \frac{dv_o}{dt} &= 0 \end{aligned}$$

اس کا تکملہ لیتے ہیں

$$\begin{aligned} \frac{dv_o}{dt} &= -\frac{v_s}{RC} \\ dv_o &= -\frac{v_s}{RC} dt \\ \int dv_o &= -\int \frac{v_s}{RC} dt \end{aligned}$$

یعنی

$$(1.45) \quad v_o = -\frac{1}{RC} \int v_s dt$$

اس مساوات میں v_o حاصل کرنے کی خاطر مساوات کرنے نشان کے دونوں جانب کا تکملہ لیا گیا ہے۔ اس طرح تکمل کار کا خارجی اشارہ v_o اسے مہیا کئے گئے اشارہ v_s کے تکملہ کے برابر راست متناسب ہوتا ہے۔ اسی خاصیت کی وجہ سے اس دور کو تکمل کار⁵⁴ کہتے ہیں۔

مثال 1.13: مساوات $v_o = V_p \sin \omega t$ اور $C = 6.8 \mu F$ اور $R = 1 k\Omega$ کی صورت میں

- تکمل کار کا خارجی اشارہ حاصل کریں۔

- کتنی تعداد پر خارجی اشارے کا حیطہ داخلی اشارے کے حیطے کے برابر ہو گا۔

- خارجی اور داخلی اشارے کا زاویاتی تعلق کیا ہے۔

حل:

- مساوات 1.45 کی مدد سے

$$v_o = -\frac{1}{1000 \times 6.8 \times 10^{-6}} \int V_p \sin \omega t dt = \frac{147V_p}{\omega} \cos \omega t$$

حاصل ہوتا ہے۔

integrator⁵⁴

- دونوں حیطے برابر اس وقت ہوں گے جب

$$\frac{\frac{147V_p}{\omega}}{\omega} = V_p$$

$$\omega = 147$$

$$f = \frac{147}{2\pi} = 23.396 \text{ Hz}$$

ہو گا۔

- داخلی اشارے کو یون لکھتے ہوئے

$$v_s = V_p \sin \omega t = V_p \cos (\omega t - 90)$$

ہم دیکھتے ہیں کہ داخلی اشارے سے خارجی اشارہ 90° آگے ہے۔

مثال 1.14 : $v_s = -0.1 \text{ V}$ اور $C = 10 \mu\text{F}$ اور $R = 1 \text{ k}\Omega$ کی صورت میں v_o حاصل کریں۔
حل:

$$v_o = -\frac{1}{1000 \times 10 \times 10^{-6}} \int -0.1 \text{ dt} = 10t$$

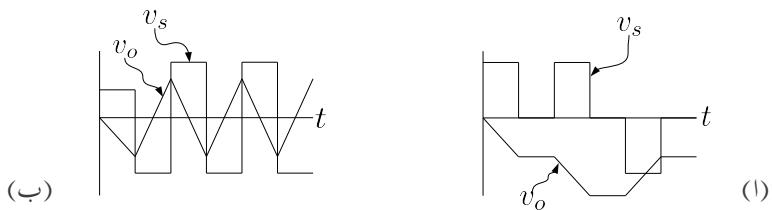
حاصل ہوتا ہے۔ آپ دیکھ سکتے ہیں کہ خارجی اشارہ وقت کے راست تناسب بڑھتا ہے۔ یہ ایک سینکنڈ میں دس وولٹ بڑھ رہا ہے۔ اگر داخلی اشارہ مثبت کر دیا جائے تو خارجی اشارہ منفی جانب روں ہو جائے گا۔

شکل 1.21 میں دو مختلف داخلی اشارات پر تکمل کار کا رد عمل دکھایا گیا ہے۔ آپ یہاں رک کر تسلی کر لیں کہ خارجی اشارات آپ کے موقع کے عین مطابق ہیں۔

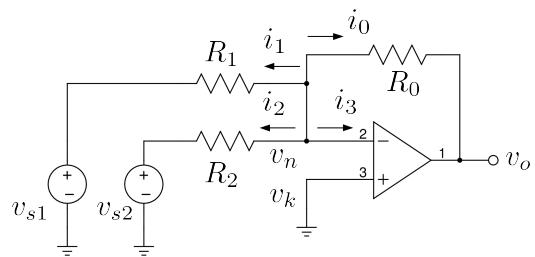
1.5.6 جمع کار

حسابی ایمپلیفائر کو دو یا دو سے زیادہ اشارات کا مجموعہ حاصل کرنے کے لئے بھی استعمال کیا جا سکتا ہے۔ ایسے ہی جمع کار⁵⁵ کو شکل 1.22 میں دکھایا گیا ہے۔ اس شکل میں دو اشارات v_{s1} اور v_{s2} مہیا کئے گئے ہیں۔ اشارہ v_{s1} مزاحمت R_1 کے ذریعہ حسابی ایمپلیفائر کے v_n سرے کے ساتھ جڑا ہے۔ اسی طرح اشارہ v_{s2} مزاحمت R_2 کے ذریعہ حسابی ایمپلیفائر کے v_n سرے کے ساتھ جڑا ہے۔

leading⁵⁵
adder⁵⁶



شكل 1.21: تكمل کار کی کارکردگی کے مثال



شكل 1.22: جمع کار

ہے۔ مزید اشارات کو بھی اسی ترکیب سے جوڑا جا سکتا ہے۔ شکل میں دکھائی گئی برق روکے لئے یوں لکھ سکتے ہیں۔

$$(1.46) \quad \begin{aligned} i_1 &= \frac{v_n - v_{s1}}{R_1} \\ i_2 &= \frac{v_n - v_{s2}}{R_2} \\ i_3 &= 0 \\ i_o &= \frac{v_n - v_o}{R_0} \end{aligned}$$

اسی طرح جوڑ v_k کے لئے لکھ سکتے ہیں

$$(1.47) \quad v_k = 0$$

جوڑ v_n پر کرچاف کے قانون برائے برق رو استعمال کرتے ہوئے حل کرتے ہیں۔

$$\begin{aligned} i_1 + i_2 + i_3 + i_4 &= 0 \\ \frac{v_n - v_{s1}}{R_1} + \frac{v_n - v_{s2}}{R_2} + 0 + \frac{v_n - v_o}{R_0} &= 0 \\ -\frac{v_{s1}}{R_1} - \frac{v_{s2}}{R_2} - \frac{v_o}{R_0} &= 0 \end{aligned}$$

$v_n = 0$ لیتے ہوئے $v_n = v_k$

حاصل ہوتا ہے جس سے

$$(1.48) \quad v_o = -R_0 \left(\frac{v_{s1}}{R_1} + \frac{v_{s2}}{R_2} \right)$$

لکھ سکتے ہیں۔ R_0 ، R_1 اور R_2 کی قیمتیں برابر ہونے کی صورت میں اس مساوات کو یوں لکھ سکتے ہیں۔

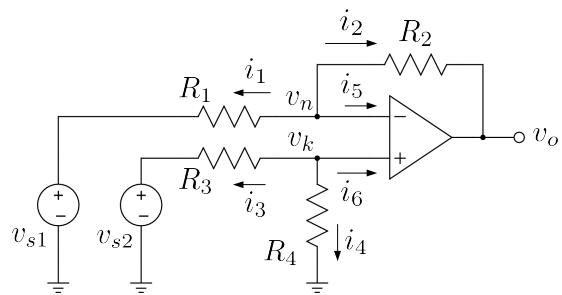
$$(1.49) \quad v_o = -R \left(\frac{v_{s1}}{R} + \frac{v_{s2}}{R} \right) = -(v_{s1} + v_{s2})$$

اس صورت میں آپ دیکھ سکتے ہیں کہ منفی علامت کے علاوہ، v_o دونوں اشارات کا مجموع ہے۔ اسی لئے اس دور کو جمع کار⁵⁷ کہتے ہیں۔

1.5.7 منفی کار

حسابی ایپلیفائر سے دو اشارات منفی کرنے والے دور پر اس حصہ میں غور کرتے ہیں۔ اس دور کو شکل 1.23 میں دکھایا گیا ہے۔ شکل کو دیکھتے ہم لکھ سکتے ہیں۔

adder⁵⁷



شكل 1.23: منفي کار

$$\begin{aligned}
 i_1 &= \frac{v_n - v_{s1}}{R_1} \\
 i_2 &= \frac{v_n - v_o}{R_2} \\
 i_3 &= \frac{v_k - v_{s2}}{R_3} \\
 i_4 &= \frac{v_k}{R_4} \\
 i_5 &= 0 \\
 i_6 &= 0
 \end{aligned} \tag{1.50}$$

انہیں کوچاف کرے قانون برائے برق رو میں استعمال کرتے ہوئے، جوڑ v_n کے لئے یوں لکھ سکتے ہیں۔

$$\begin{aligned}
 i_1 + i_2 + i_5 &= 0 \\
 \frac{v_n - v_{s1}}{R_1} + \frac{v_n - v_o}{R_2} + 0 &= 0 \\
 v_n \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) &= \frac{v_{s1}}{R_1} + \frac{v_o}{R_2} \\
 v_n &= \frac{\frac{v_{s1}}{R_1} + \frac{v_o}{R_2}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}}
 \end{aligned} \tag{1.51}$$

اسی طرح جوڑ v_k پر کرچاف کا قانون برائے برقی رو لاگو کرتے ہوئے اسے یوں حل کر سکتے ہیں۔

$$(1.52) \quad \begin{aligned} i_3 + i_4 + i_6 &= 0 \\ \frac{v_k - v_{s2}}{R_3} + \frac{v_k}{R_4} + 0 &= 0 \\ v_k \left(\frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} \right) &= \frac{v_{s2}}{R_3} \\ v_k &= \frac{\frac{v_{s2}}{R_3}}{\frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}} \end{aligned}$$

مساوات 1.11 کی پہلی شق کے تحت v_k اور v_n برابر ہوتے ہیں۔ یوں مساوات 1.51 اور 1.52 کو برابر ڈالتے ہوئے

$$\begin{aligned} v_n &= v_k \\ \frac{\frac{v_{s1}}{R_1} + \frac{v_o}{R_2}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} &= \frac{\frac{v_{s2}}{R_3}}{\frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}} \end{aligned}$$

یعنی

$$(1.53) \quad \begin{aligned} v_o &= \frac{R_4}{R_1} \left(\frac{R_1 + R_2}{R_3 + R_4} \right) v_{s2} - \frac{R_2}{R_1} v_{s1} \\ &= \left(\frac{1 + \frac{R_2}{R_1}}{1 + \frac{R_3}{R_4}} \right) v_{s2} - \frac{R_2}{R_1} v_{s1} \end{aligned}$$

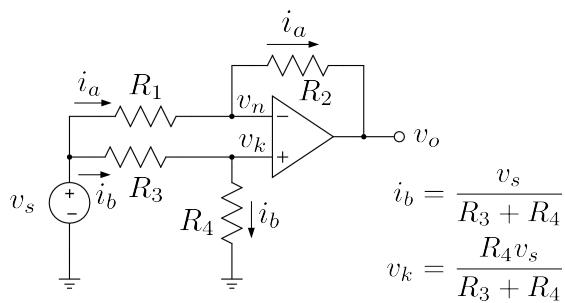
حاصل ہوتا ہے۔ یہ دور کی عمومی مساوات ہے۔ اگر دور میں $R_1 = R_3 = R_a$ جبکہ $R_2 = R_4 = R_b$ ہوں تب اس مساوات سے

$$(1.54) \quad v_o = \frac{R_b}{R_a} (v_{s2} - v_{s1})$$

حاصل ہوتا ہے۔ اگر R_a اور R_b کی قیمتیں برابر ہوں تو اس صورت میں دور دونوں اشارات کو منفی کرنے گا۔ اسی لئے اس دور کو منفی کار⁵⁸ کہتے ہیں۔ اگر R_a اور R_b برابر نہ ہوں تو دور دونوں اشارات میں فرق کو بڑھانے یا گھٹانے کی صلاحیت ہی رکھتا ہے

مثال 1.15: منفی کار کا مشترکہ داخلی مزاحمت تمام مزاحمت برابر ہونے کی صورت میں حاصل کریں۔ تمام مزاحمت مختلف ہونے کی صورت میں جواب کیا ہوگا۔

subtractor⁵⁸



شکل 1.24: منفی کار کا مشترکہ داخلی مزاحمت

حل: مشترکہ داخلی مزاحمت حاصل کرنے کی خاطر دونوں سروں کو آپس میں جوڑتے ہوئے ان پر مشترکہ اشارہ v_s لاگو کیا جاتا ہے۔ اشارے سے i_a اور i_b برق رو منفی کار میں داخل ہوں گے۔ مشترکہ مزاحمت داخلی برق دباؤ اور داخلی برق رو کے مجموعہ کی شرح کو کہتے ہیں یعنی

$$R_{مشترک} = \frac{v_s}{i_a + i_b}$$

آئین داخلی مزاحمت کو پہلے حساب و کتاب سے حاصل کریں۔ مقام مزاحمت R کے برابر ہونے کی صورت میں

$$v_0 = 0$$

$$v_k = \frac{v_s}{2}$$

$$v_n = \frac{v_s}{2}$$

حاصل ہوتے ہیں۔ لہذا

$$i_a = \frac{v_s - v_n}{R} = \frac{v_s}{2R}$$

$$i_b = \frac{v_s - v_k}{R} = \frac{v_s}{2R}$$

$$i_a + i_b = \frac{v_s}{R}$$

اور یوں

$$R_{داخلی} = R$$

حاصل ہوتا ہے۔

اس جواب کو یوں بھی حاصل کیا جا سکتا ہے۔ حسابی ایمپلیفائر کے دونوں داخلی سروں پر داخلی برق رو صفر ہوتی ہے۔ v_k پر داخلی برق رو صفر ہونے کی وجہ سے اسے کھلے سرے تصور کیا جا سکتا ہے۔ اس طرح R_3 اور R_4 کو v_s اور برق زمین کے مابین سلسلہ وار جزا تصور کیا جا سکتا ہے۔ تمام مزاحمت برابر ہونے کی وجہ سے $v_o = 0V$ ہے لہذا اسے برق زمین تصور کیا جا سکتا ہے۔ v_n پر برق رو صفر ہونے کی وجہ سے اس داخلی سرے کو بھی کھلے سرے تصور کیا جا سکتا ہے۔ یوں R_1 اور R_2 کو بھی v_s اور برق زمین کے مابین سلسلہ وار جزا تصور کیا جا سکتا ہے۔ اس طرح سلسلہ وار جزرے R_1 اور R_2 کو سلسلہ وار جزرے R_3 اور R_4 کے متوازی تصور کیا جا سکتا ہے لہذا

$$\frac{1}{R_{\text{داخلی}}} = \frac{1}{R_1 + R_2} + \frac{1}{R_3 + R_4} = \frac{1}{2R} + \frac{1}{2R} = \frac{1}{R}$$

$$R_{\text{داخلی}} = R$$

حاصل ہوتا ہے۔

تمام مزاحمت مختلف ہونے کی صورت میں مساوات 1.53 سے خارجی اشارہ یوں حاصل ہوتا ہے۔

$$v_o = \left[\left(\frac{R_1 + R_2}{R_3 + R_4} \right) \frac{R_4}{R_1} - \frac{R_2}{R_1} \right] v_s$$

حسابی ایمپلیفائر کے دونوں داخلی سروں پر داخلی برق رو صفر ہونے کی وجہ سے R_1 اور R_2 میں یکسان برق رو i_a پایا جائے گا۔ اسی طرح R_3 اور R_4 میں i_b پایا جائے گا جہاں

$$i_a = \frac{v_s - v_0}{R_1 + R_2}$$

$$= v_s \left[\frac{1}{R_1 + R_2} - \frac{R_4}{R_1 (R_3 + R_4)} + \frac{R_2}{R_1 (R_1 + R_2)} \right]$$

$$= \frac{R_3 v_s}{R_1 (R_3 + R_4)}$$

$$i_b = \frac{v_s}{R_3 + R_4}$$

کے برابر ہیں۔ یوں

$$R_{\text{داخلی}} = \frac{v_s}{i_a + i_b} = \frac{R_1 (R_3 + R_4)}{R_1 + R_3}$$

حاصل ہوتا ہے۔

اسی جواب کو قدر آسان طریقے سے یوں حاصل کیا جا سکتا ہے۔ حسابی ایمپلیفائر کے مشتب داخلی سرے کو کھلے سرے تصور کیا جا سکتا ہے۔ اس طرح R_3 اور R_4 کو v_s اور برق زمین کے مابین دو سلسلہ وار جزرے مزاحمت تصور کیا جا سکتا ہے۔ ان دو مزاحمتوں میں برق دباؤ کے تقسیم سے

$$v_k = \frac{R_4 v_s}{R_3 + R_4}$$

حاصل ہوتا ہے۔ اسی طرح ان میں برقی رو

$$i_b = \frac{v_s}{R_3 + R_4}$$

حاصل ہوتا ہے۔ $v_k = v_n$ ہونے کی بدولت v_n بھی یہی ہو گا۔ لہذا R_1 میں برقی رو

$$i_a = \frac{v_s - v_n}{R_1} = \frac{v_s - \frac{R_4 v_s}{R_3 + R_4}}{R_1}$$

ہو گا۔ ان دو برقی رو سے داخلی مزاحمت حاصل ہوتا ہے۔ v_n کی قیمت v_k تعین کرتا ہے۔ چونکہ v_k کا دارومند مزاحمت R_3 اور R_4 پر ہے جبکہ i_a کا دارومند v_n اور R_1 پر ہے لہذا i_a اور i_b دونوں پر R_2 کا کوئی اثر نہیں۔ اسی لئے داخلی مزاحمت میں R_2 کا کوئی کردار نہیں۔

مثال 1.16: منفی کار کے تمام مزاحمت برابر ہونے کی صورت میں دونوں داخلی سروں پر مشترکہ داخلی اشارہ v_s مہیا کرنے سے $v_0 = 0V$ حاصل ہوتا ہے۔ اس صورت میں منفی کار کی مشترکہ افزائش صفر حاصل ہوتی ہے۔ $6.8k\Omega \pm 5\%$ کے مزاحمت استعمال کرتے ہوئے ایمپلیفائز کی خراب سے خراب تر مشترکہ افزائش کیا ممکن ہے۔ مشترکہ افزائش جتنی زیادہ ہو اتنا ہی اسے خراب سمجھا جاتا ہے۔ حل: مساوات 1.53 کے مطابق مشترکہ داخلی اشارے کی صورت ($v_{s1} = v_{s2} = v_s$) میں مشترکہ افزائش

$$\begin{aligned} \frac{v_0}{v_s} &= \left(\frac{R_1 + R_2}{R_3 + R_4} \right) \frac{R_4}{R_1} - \frac{R_2}{R_1} \\ &= \frac{R_1 R_4 - R_2 R_3}{R_1 (R_3 + R_4)} \\ &= \frac{1 - \frac{R_2 R_3}{R_1 R_4}}{1 + \frac{R_3}{R_4}} \end{aligned}$$

حاصل ہوئے۔ اس مساوات میں v_0 کی زیادہ سے زیادہ قیمت اس صورت حاصل ہو گی جب $\frac{R_3}{R_4}$ کے قیمت کم سے کم ہو۔ $\frac{R_3}{R_4}$ کی قیمت کم سے کم تب ہو گی جب R_3 پانچ فی صد کم اور R_4 پانچ فی صد زیادہ ہو یعنی جب $R_3 = 6.46k\Omega$ اور $R_4 = 7.14k\Omega$ ہوں۔ اسی طرح R_1 اور R_2 کی قیمت کم سے کم تب ہو گی جب $R_1 = 7.14k\Omega$ اور $R_2 = 6.46k\Omega$ ہوں گے۔ ان قیمتوں کے استعمال سے خراب سے خراب تر مشترکہ افزائش

$$\frac{v_0}{v_s} = \frac{1 - \frac{6.46 \times 6.46}{7.14 \times 7.14}}{1 + \frac{6.46}{7.14}} = 0.095238 \frac{V}{V}$$

حاصل ہوتی ہے۔

مثال 1.17: مثال 1.16 میں تمام مزاحمت مختلف ہونے کی صورت میں مزاحمت کے قیمت میں غلطی کی وجہ سے خراب تر مشترکہ افزائش کی عمومی جواب حاصل کریں۔
حل: گریٹر مثال میں

$$\frac{v_o}{v_s} = \frac{1 - \frac{R_2 R_3}{R_1 R_4}}{1 + \frac{R_3}{R_4}}$$

حاصل کی گئی۔ جیسا ویاں بتلا گیا R_2 اور R_3 کے قیمت کم سے کم یعنی $(1 - \epsilon) R_2$ اور $(1 + \epsilon) R_3$ کے قیمت زیادہ سے زیادہ یعنی $(1 + \epsilon) R_1$ اور $(1 - \epsilon) R_4$ ہونے ہوں گے۔ اس طرح

$$\frac{v_o}{v_s} = \frac{1 - \left(\frac{1-\epsilon}{1+\epsilon}\right)^2 \frac{R_2 R_3}{R_1 R_4}}{1 + \left(\frac{1-\epsilon}{1+\epsilon}\right) \frac{R_3}{R_4}}$$

حاصل ہوتا ہے۔ تمام مزاحمت ایک ہی قیمت کے ہونے کی صورت میں

$$\frac{v_o}{v_s} = \frac{2\epsilon}{1 + \epsilon}$$

حاصل ہوتا ہے۔

آپ نے حسابی ایمپلیفائر پر مبنی کئی ادوار دیکھے۔ یہ ادوار جمع، منفی، تفرق اور تکملہ جیسے حسابی اعمال سرانجام دیتے ہیں یا پھر اشارات کی افزائش کرتے ہیں۔ انہیں خوبیوں کی بدولت ہم اسے حسابی ایمپلیفائر پکارتے ہیں۔⁵⁹

1.5.8 جمع و منفی کار

شکل 1.25 میں متعدد داخلی سروں والا جمع و منفی کار دکھایا گیا ہے۔ مثبت داخلی سروں پر v_{j1} تا v_{js} جبکہ منفی داخلی سروں پر v_{m1} تا v_{mn} اشارات مہیا کئے گئے ہیں۔ آئیں اس دور کو حل کریں۔ جوڑ v_n پر کرچاف کے قانون برائے برق رو سے ہم لکھ سکتے ہیں

$$\frac{v_n - v_{m1}}{R_{m1}} + \frac{v_n - v_{m2}}{R_{m2}} \dots + \frac{v_n - v_{mn}}{R_{mn}} + \frac{v_n - v_o}{R_0} = 0$$

$$v_n \left(\frac{1}{R_{m1}} + \frac{1}{R_{m2}} \dots + \frac{1}{R_{mn}} + \frac{1}{R_0} \right) = \frac{v_{m1}}{R_{m1}} + \frac{v_{m2}}{R_{m2}} \dots + \frac{v_{mn}}{R_{mn}} + \frac{v_o}{R_0}$$

جس میں

$$\frac{1}{R_{m1}} + \frac{1}{R_{m2}} \dots + \frac{1}{R_{mn}} = \frac{1}{R_m}$$

لکھتے ہوئے

$$v_n \left(\frac{1}{R_m} + \frac{1}{R_0} \right) = \frac{v_{m1}}{R_{m1}} + \frac{v_{m2}}{R_{m2}} \dots + \frac{v_{mn}}{R_{mn}} + \frac{v_o}{R_0}$$

$$v_n = \left(\frac{R_m R_0}{R_m + R_0} \right) \left(\frac{v_{m1}}{R_{m1}} + \frac{v_{m2}}{R_{m2}} \dots + \frac{v_{mn}}{R_{mn}} + \frac{v_o}{R_0} \right)$$

حاصل ہوتا ہے۔ اسی طرح جو v_k کے لئے حل کرتے ہیں۔

$$\frac{v_k - v_{j1}}{R_{j1}} + \frac{v_k - v_{j2}}{R_{j2}} \dots + \frac{v_k - v_{js}}{R_{js}} = 0$$

$$v_k \left(\frac{1}{R_{j1}} + \frac{1}{R_{j2}} \dots + \frac{1}{R_{js}} \right) = \frac{v_{j1}}{R_{j1}} + \frac{v_{j2}}{R_{j2}} \dots + \frac{v_{js}}{R_{js}}$$

جس میں

$$\frac{1}{R_{j1}} + \frac{1}{R_{j2}} \dots + \frac{1}{R_{js}} = \frac{1}{R_j}$$

استعمال کرتے ہوئے

$$v_k = \frac{R_j}{R_{j1}} v_{j1} + \frac{R_j}{R_{j2}} v_{j2} \dots + \frac{R_j}{R_{js}} v_{js}$$

حاصل ہوتا ہے۔ $v_n = v_k$ لکھتے ہوئے v_0 کے لئے حل کرتے ہوئے حاصل ہوتا ہے۔

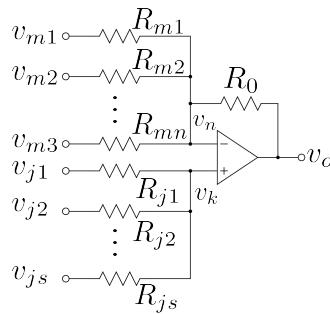
$$(1.55) \quad v_0 = \left(1 + \frac{R_0}{R_m} \right) \left(\frac{R_j}{R_{j1}} v_{j1} + \frac{R_j}{R_{j2}} v_{j2} \dots \right.$$

$$(1.56) \quad \left. \dots + \frac{R_j}{R_{js}} v_{js} \right) - \left(\frac{R_0}{R_{m1}} v_{m1} + \frac{R_0}{R_{m2}} v_{m2} \dots + \frac{R_0}{R_{mn}} v_{mn} \right)$$

1.5.9 آلاتي ايمپلیفائر

حسابي ايمپلیفائر پر تبصرہ کرتے ہوئے آلاتي ايمپلیفائر⁶⁰ کا ذکر کرنا لازم ہے۔ آلاتي ايمپلیفائر باریک اور حساس اشارات کے حصول کے لئے استعمال کیا جاتا ہے۔ موجودہ دور میں ہر قسم کے طبعی متغیرات کو

instrumentation amplifier⁶⁰



شکل 1.25: جمع و منفی کار

برقی اشارات میں تبدیل کر کرے ان پر کمپیوٹر کی مدد سے غور کیا جاتا ہے۔ آپ برق قلب نگار⁶¹ سے بخوبی واقف ہوں گے جو دل کے کارکردگی کے اشارات کھینچتا ہے۔ برق قلب نگار کو آلاتی ایمپلیفیٹر کے مدد سے بھی بنایا جاتا ہے۔⁶²

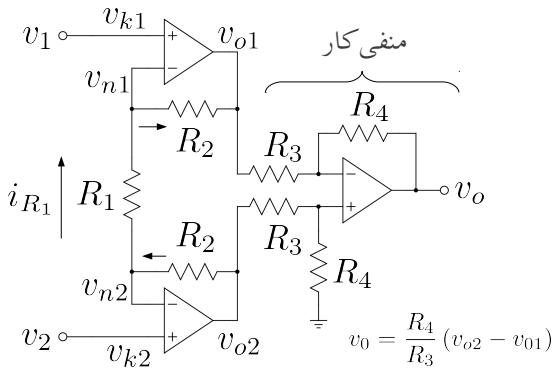
ان حساس اشارات کے حصول کے لئے زیادہ سے زیادہ داخلی برق رکاوٹ⁶³ والے ادوار استعمال کئے جاتے ہیں۔ ایسے جگہوں پر عموماً آلاتی ایمپلیفیٹر استعمال کیا جاتا ہے جس کا داخلی برق رکاوٹ لامحدود تصور کیا جا سکتا ہے۔ آلاتی ایمپلیفیٹر کو شکل 1.26 میں دکھایا گیا ہے۔ اس دور میں v_1 اور v_2 داخلی اشارات ہیں۔ کسی بھی حسابی ایمپلیفیٹر کے داخلی سروں پر برقی دباؤ برابر رہتا ہے۔ یوں $v_{n1} = v_{k1} = v_1$ اور $v_2 = v_{n2} = v_{k2}$ ہو گا۔ اس طرح مزاحمت R_1 کے نیچے جانب سرے پر برقی دباؤ کی قیمت v_2 اور اس کے اوپر جانب سرے پر برقی دباؤ کی قیمت v_1 ہو گی۔ یوں R_1 کے سروں کے مابین برقی دباؤ کی قیمت $(v_2 - v_1)$ ہو گی اور اس میں برقی رو

$$(1.57) \quad i_{R_1} = \frac{v_2 - v_1}{R_1}$$

ہو گی۔

جوڑ v_{n1} پر کرچاف کے قانون برائی برق رو لاگو کرنے سے ثابت ہوتا ہے کہ اس جوڑ پر نسب R_2 میں i_{R_1} کے برابر برق رو گزرنے گی جس سے شکل میں تیر کے نشان سے دکھایا گیا ہے۔ اسی طرح جوڑ v_{n2} پر کرچاف کے قانون سے ثابت ہوتا ہے کہ اس جوڑ پر نسب R_2 میں i_{R_1} گزرنے گی جس سے تیر کے نشان سے دکھایا گیا ہے۔ اس طرح i_{R_1} تین سلسلہ وار جزی مزاحمت R_1 ، R_2 اور R_2 سے گزرتی ہے۔ ان سلسلہ وار جزی مزاحمتوں کے آخری سروں کے مابین برقی دباؤ کو یوں لکھ

⁶¹ ecg مورخہ 21 مارچ 2014 کو میری بیٹی عفت بربخت نے انجینئرنگ کے آخری سال کے ڈھنائی کے دوران آلاتی ایمپلیفیٹر سے برقی قلب نگار باتے ہوئے دل کی دھنکن کے اشارات حاصل کئے۔
⁶² input impedance⁶³



شکل 1.26: آلتی ایمپلیفائر

سکتے ہیں۔

$$\begin{aligned}
 v_{o2} - v_{o1} &= i_{R_1} \times (R_2 + R_1 + R_2) \\
 &= \frac{(v_2 - v_1)}{R_1} (R_1 + 2R_2) \\
 &= \left(1 + \frac{2R_2}{R_1}\right) (v_2 - v_1)
 \end{aligned} \tag{1.58}$$

اس برقی دباؤ کو خارجی جانب منفی کار کو مہیا کیا جاتا ہے اور یوں

$$v_o = \frac{R_4}{R_3} (v_{o2} - v_{o1}) = \frac{R_4}{R_3} \left(1 + \frac{2R_2}{R_1}\right) (v_2 - v_1) \tag{1.59}$$

جو کہ آلتی ایمپلیفائر کی درکار مساوات ہے۔

مثال 1.18: ایک آلتی ایمپلیفائر میں

$$R_1 = 500 \Omega \quad R_2 = 50 \text{k}\Omega$$

$$R_3 = 10 \text{k}\Omega \quad R_4 = 10 \text{k}\Omega$$

$$v_2 = 4 + 0.003 \sin \omega t$$

$$v_1 = 4 - 0.003 \sin \omega t$$

بین۔ آلتی ایمپلیفائر کے ہر جوڑ پر برقی دباؤ حاصل کریں۔ مشترک اشارہ رد کرنے کی صلاحیت CMRR حاصل کریں۔

حل:

دونوں داخلی سروں پر یکسان برقی دباؤ کو مشترکہ برقی دباؤ کہتے ہیں جبکہ دونوں داخلی سروں کے مابین برقی دباؤ کو تفرقہ برقی دباؤ کہتے ہیں۔ یوں

$$v_{\text{مشترک}} = 4 \text{ V}$$

$$v_{\text{تفرقہ}} = 0.06 \sin \omega t$$

ہیں۔ یوں انہیں

$$v_2 = v_{\text{مشترک}} + \frac{v_{\text{تفرقہ}}}{2}$$

$$v_1 = v_{\text{مشترک}} - \frac{v_{\text{تفرقہ}}}{2}$$

لکھا جا سکتا ہے۔

جوڑ v_{n1} پر v_1 جبکہ جوڑ v_{n2} پر v_2 پایا جائے گا۔ یوں R_1 میں برقی روکی قیمت

$$I_{R1} = \frac{(4 + 0.003 \sin \omega t) - (4 - 0.003 \sin \omega t)}{500} = 12 \times 10^{-6} \sin \omega t$$

ہو گئی۔ یوں مزاحمت R_2 کے دو سروں کے مابین برقی دباؤ کی قیمت

$$12 \times 10^{-6} \sin \omega t \times 50 \times 10^3 = 0.6 \sin \omega t$$

ہو گئی۔ R_2 میں برقی روکی سمت مزاحمت کے دائیں سرے سے باقیں سرے کی جانب ہے۔ یوں اس کا دیاں سرا مثبت جبکہ بایاں سرا منفی ہو گا۔ چونکہ ان سروں پر برقی دباؤ کو v_{o2} اور v_{n2} کہا گیا ہے لہذا

$$v_{o2} - v_{n2} = 0.6 \sin \omega t$$

$$v_{o2} = 4 + 0.003 \sin \omega t + 0.6 \sin \omega t$$

$$= 4 + 0.603 \sin \omega t$$

ہو گا۔ اسی طرح اوپر والے R_2 میں برقی روکی سمت v_{n1} سے v_{o1} کے جانب ہے لہذا

$$v_{n1} - v_{o1} = 0.6 \sin \omega t$$

$$v_{o1} = 4 - 0.003 \sin \omega t - 0.6 \sin \omega t$$

$$= 4 - 0.603 \sin \omega t$$

حاصل ہو گا۔ یہاں رک کر نتائج پر غور کریں۔ مشترکہ اشارہ جوں کا توں ہے جیکہ تفرقہ اشارہ دونوں خارجی سروں پر بڑھ گیا ہے۔ v_{o1} اور v_{o2} کو منفی کارکے حوالے کیا جاتا ہے۔ منفی کارکے مثبت داخلی

سرا v_k پر کرچاف کے قانون برائے برق رو لکھتے ہوئے

$$\begin{aligned} \frac{v_k - v_{o2}}{R_3} + \frac{v_k}{R_4} &= 0 \\ v_k &= \left(\frac{R_4}{R_3 + R_4} \right) v_{o2} \\ &= 2 + 0.2015 \sin \omega t \end{aligned}$$

حاصل ہوتا ہے۔ v_n اور v_k برابر ہونے کی وجہ سے v_n بھی یہی ہو گا۔ مندرجہ بالا جواب R_3 اور R_4 کو سلسلہ وار v_{o2} اور برق زمین کے مابین جزا تصور کرتے ہوئے برق دباؤ کے تقسیم کی مساوات سے ہی حاصل ہوتا ہے۔ منفی کار کا خارجی اشارہ

$$\begin{aligned} v_o &= \frac{R_4}{R_3} (v_{o2} - v_{o1}) \\ &= \frac{10000}{10000} [(4 + 0.603 \sin \omega t) - (4 - 0.603 \sin \omega t)] \\ &= 1.206 \sin \omega t \end{aligned}$$

حاصل ہوتا ہے۔
چونکہ خارجی اشارے میں مشترکہ اشارے کا نام و نشان تک نہیں لہذا مشترکہ افزائش صفر کے برابر ہے یعنی $A_m = 0$ جبکہ تفرقی افزائش کو مندرجہ بالا مساوات سے یوں حاصل کیا جا سکتا ہے۔

$$A_d = \frac{v_o}{v_d} = \frac{1.206 \sin \omega t}{0.06 \sin \omega t} = 201$$

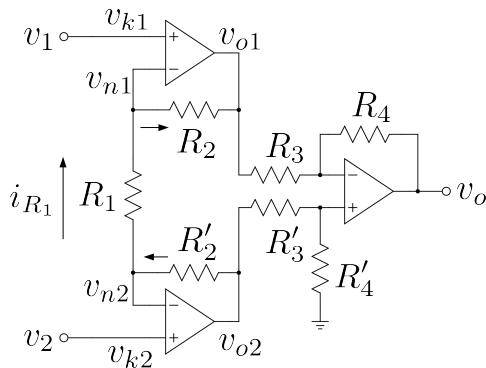
اس طرح مشترکہ اشارہ رد کرنے کی صلاحیت

$$CMRR = \frac{A_d}{A_m} = \infty$$

حاصل ہوتا ہے۔

اس مثال میں آلاتی ایمپلیفائر نے مشترکہ اشارے کو مکمل رد کرتے ہوئے تفرقی اشارے کو 201 گناہ بڑھایا۔ یہاں اس بات پر توجہ دیتے ہوئے ذہن نشین کریں کہ مزاحمتون کے قیمتیں جس طرح بھی رکھی جائیں v_{o1} اور v_{o2} میں کسی صورت بھی مشترکہ اشارہ بڑھتا نہیں۔ یہ جوں کا توں ان دو خارجی سروں پر پایا جاتا ہے۔ آلاتی ایمپلیفائر کا دوسرا حصہ یعنی منفی کار v_{o2} سے v_{o1} سے ہے۔ منفی کرتے ہوئے مشترکہ اشارے کو مکمل طور رد کر دیتا ہے۔ تفرقی اشارے کو آلاتی ایمپلیفائر کے دونوں حصے بڑھانے کی صلاحیت رکھتے ہیں۔ اگلے مثال میں ان حقائق پر مزید غور کیا جائے گا۔

آلاتی ایمپلیفائر میں دونوں مزاحمت جنہیں R_2 لکھا گیا ہے کے قیمتیں برابر رکھی جائیں۔ البتہ مزاحمت کے قیمتیں میں غلطی کی بنا پر ان کی قیمت $(1 - \epsilon) R_2$ تا $(1 + \epsilon) R_2$ ممکن ہوتی ہیں۔ مزاحمت کے قیمت میں $\pm 1\%$ غلطی کی صورت میں $\epsilon = 0.01$ کے برابر ہو گا۔ شکل 1.27



شکل 1.27: آلانی ایمپلیفائر کی مثال

میں آلانی ایمپلیفائر کو دوبارہ دکھاتے ہوئے ان حقائق کو واضح کیا گیا ہے جہاں ایک مزاحمت کو R_2 جبکہ دوسرا کو R'_2 لکھا گیا ہے۔ اسی طرح R_3 اور R'_3 کو بھی دکھایا گیا ہے۔

مثال 1.19:

- شکل 1.27 کو استعمال کرتے ہوئے آلانی ایمپلیفائر کے مشترکہ افزائش A_d اور تفرق افزائش A_m کے مساوات حاصل کریں۔
- مزاحمتوں کے قیمت مکمل طور درست ہونے کی صورت میں $A_m = 0$ اور یوں $CMRR = \infty$ حاصل ہوتا ہے۔ مندرجہ ذیل $\pm 1\%$ مزاحمت استعمال کرتے ہوئے مشترکہ اشارہ رد کرنے کی صلاحیت $CMRR$ کی کمتر قیمت کیا ممکن ہے۔

$$\begin{aligned} R_1 &= 10 \text{ k}\Omega & R_2 &= R'_2 = 100 \text{ k}\Omega \\ R_3 &= R'_3 = 10 \text{ k}\Omega & R_4 &= R'_4 = 10 \text{ k}\Omega \end{aligned}$$

$$R_1 = 1 \text{ k}\Omega \quad \text{کر دینے سے جواب کیا حاصل ہوتا ہے۔}$$

- مزاحمت کے ان قیمتوں سے مشترکہ اشارہ رد کرنے کی صلاحیت $CMRR$ کی کمتر قیمت کیا ممکن ہے۔

$$\begin{aligned} R_1 &= 10 \text{ k}\Omega & R_2 &= R'_2 = 10 \text{ k}\Omega \\ R_3 &= R'_3 = 10 \text{ k}\Omega & R_4 &= R'_4 = 100 \text{ k}\Omega \end{aligned}$$

حل:

• مشترکہ اشارے کو v_c جبکہ تفرقہ اشارے کو v_d لکھتے ہوئے

$$v_2 = v_c + \frac{v_d}{2}$$

$$v_1 = v_c - \frac{v_d}{2}$$

لیتے ہوئے حل کرتے ہیں۔

• آلاتی ایمپلیفائر کے پہلے حصے کے لئے ہم لکھ سکتے ہیں۔

$$(1.60) \quad i_{R1} = \frac{v_{n2} - v_{n1}}{R_1} = \frac{v_2 - v_1}{R_1}$$

$$v_{o2} = v_{n2} + i_{R1} R'_2 = \left(1 + \frac{R'_2}{R_1}\right) v_2 - \frac{R'_2}{R_1} v_1$$

$$= \left(1 + \frac{R'_2}{R_1}\right) \left(v_c + \frac{v_d}{2}\right) - \frac{R'_2}{R_1} \left(v_c - \frac{v_d}{2}\right)$$

$$= v_c + \left(\frac{1}{2} + \frac{R'_2}{R_1}\right) v_d$$

$$v_{o1} = v_{n1} - i_{R1} R_2 = -\frac{R_2}{R_1} v_2 + \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) v_1$$

$$= -\frac{R_2}{R_1} \left(v_c + \frac{v_d}{2}\right) + \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \left(v_c - \frac{v_d}{2}\right)$$

$$= v_c - \left(\frac{1}{2} + \frac{R_2}{R_1}\right) v_d$$

آلاتی ایمپلیفائر کے دوسرے حصے کو مساوات 1.53 بیان کرتا ہے جس میں مزاحمتون کے موجودہ نام استعمال کرتے ہوئے یہاں دوبارہ پیش کرتے ہیں۔

$$v_o = \left(\frac{1 + \frac{R_4}{R_3}}{1 + \frac{R'_3}{R'_4}}\right) v_{o2} - \frac{R_4}{R_3} v_{o1}$$

اس میں مساوات 1.60 کا استعمال کرتے ہوئے

$$\begin{aligned}
 v_o &= \left(\frac{1 + \frac{R_4}{R_3}}{1 + \frac{R'_3}{R'_4}} \right) \left[v_c + \left(\frac{1}{2} + \frac{R'_2}{R_1} \right) v_d \right] - \frac{R_4}{R_3} \left[v_c - \left(\frac{1}{2} + \frac{R_2}{R_1} \right) v_d \right] \\
 &= \left[\frac{1 + \frac{R_4}{R_3}}{1 + \frac{R'_3}{R'_4}} - \frac{R_4}{R_3} \right] v_c + \left[\left(\frac{1 + \frac{R_4}{R_3}}{1 + \frac{R'_3}{R'_4}} \right) \left(\frac{1}{2} + \frac{R'_2}{R_1} \right) + \frac{R_4}{R_3} \left(\frac{1}{2} + \frac{R_2}{R_1} \right) \right] v_d \\
 &= A_c v_c + A_d v_d
 \end{aligned}$$

جہاں

$$\begin{aligned}
 A_c &= \frac{1 + \frac{R_4}{R_3}}{1 + \frac{R'_3}{R'_4}} - \frac{R_4}{R_3} = \frac{1 + \frac{R_4}{R_3} - \frac{R_4}{R_3} - \frac{R'_3 R_4}{R'_4 R_3}}{1 + \frac{R'_3}{R'_4}} = \frac{1 - \frac{R'_3 R_4}{R'_4 R_3}}{1 + \frac{R'_3}{R'_4}} \\
 A_d &= \left(\frac{1 + \frac{R_4}{R_3}}{1 + \frac{R'_3}{R'_4}} \right) \left(\frac{1}{2} + \frac{R'_2}{R_1} \right) + \frac{R_4}{R_3} \left(\frac{1}{2} + \frac{R_2}{R_1} \right)
 \end{aligned}$$

- پس۔

• کمتر CMRR اس وقت حاصل ہو گی جب مشترک افزائش بلند تر جبکہ تفرق افزائش کمتر ہو یعنی

$$CMRR_{کمتر} = \left| \frac{A_{d_{بلندتر}}}{A_{c_{کم}}} \right|$$

A_c کی بلند تر قیمت اس وقت حاصل ہو گی جب $\frac{R'_3 R_4}{R'_4 R_3}$ کی قیمت کم سے کم ہو یعنی

$$R'_4 = (1 + 0.01) 10000 = 10100$$

$$R'_3 = (1 - 0.01) 10000 = 9900$$

$$R_4 = (1 - 0.01) 10000 = 9900$$

$$R_3 = (1 + 0.01) 10000 = 10100$$

اسی طرح A_d کی کمتر قیمت اس وقت حاصل ہو گی جب

$$R_1 = (1 + 0.01) 10000 = 10100$$

$$R'_2 = (1 - 0.01) 100000 = 99000$$

$$R_2 = (1 - 0.01) 100000 = 99000$$

ہوں۔ ان سے

$$CMRR_{کمتر} = 1030$$

حاصل ہوتا ہے۔

$$R_1 = 1 \text{ k}\Omega \quad *$$

$$CMRR_{کمتر} = 9852$$

ہو جاتا ہے۔

* ان نئے قیمتیوں سے

$$R'_4 = (1 + 0.01) 100000 = 101000$$

$$R'_3 = (1 - 0.01) 10000 = 9900$$

$$R_4 = (1 - 0.01) 100000 = 99000$$

$$R_3 = (1 + 0.01) 10000 = 10100$$

$$R1 = (1 + 0.01) 10000 = 10100$$

$$R_2 = R'_2 = (1 - 0.01) 10000 = 9900$$

اور

$$CMRR_{کمتر} = 814$$

حاصل ہوتا ہے۔

اس مثال میں دو حقائق سامنے آئے۔ پہلا یہ کہ A_d بڑھانے سے $CMRR$ کی کمتر قیمت بڑھتی ہے۔ دوسرا یہ ہے کہ آلاتی ایمپلیفائر کے A_d کو پہلے حصے سے حاصل کرنا زیادہ ہوتا ہے۔

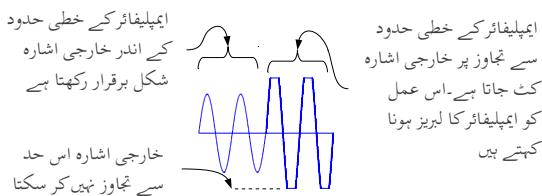
1.6 حسابی ایمپلیفائر کا ناقص پن

اب تک حسابی ایمپلیفائر پر مبنی جتنے بھی ادوار پر غور ہوا، ان تمام میں حسابی ایمپلیفائر کو کامل تصور کیا گیا۔ اس حصہ میں غیر کامل حسابی ایمپلیفائر پر غور کیا جائے گا۔

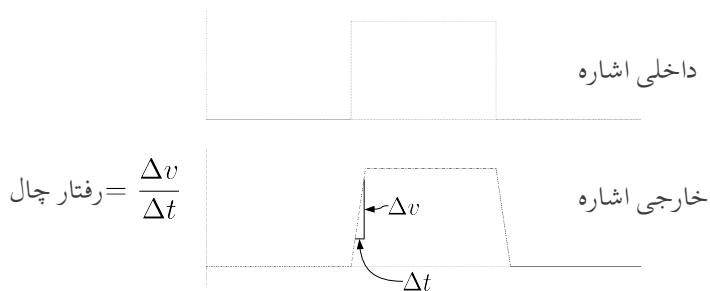
1.6.1 حسابی ایمپلیفائر کا لبریز بونا

حسابی ایمپلیفائر کا v_0 پر صورت مساوات 1.3 میں دیے گئے حدود کے اندر رہتا ہے۔ v_0 ان حدود سے تجاوز کرنے کی کوشش کرتے ہی غیر خطی صورت اختیار کر لیتا ہے۔ حسابی ایمپلیفائر کے اس غیر خطی عمل کو حسابی ایمپلیفائر کا لبریز⁶⁴ ہونا کہتے ہیں۔ شکل 1.28 میں یہ عمل دکھایا گیا ہے۔

⁶⁴ saturation



شکل 1.28: حسابی ایمپلیفائر کا لبریز ہونا



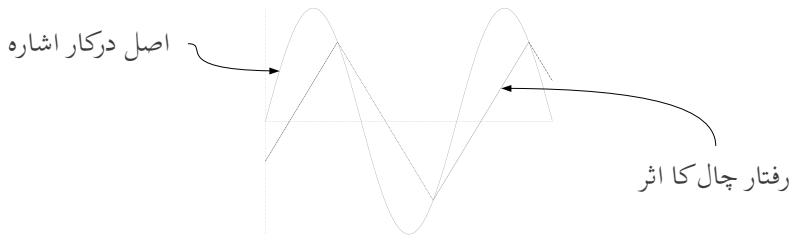
شکل 1.29: حسابی ایمپلیفائر کا رفتار چال

1.6.2 حسابی ایمپلیفائر کی رفتار چال

کوئی بھی اشارہ لامحدود رفتار سے تبدیل نہیں ہو سکتا۔ یہی حسابی ایمپلیفائر کے خارجی اشارے کے لئے بھی درست ہے۔ اگر حسابی ایمپلیفائر کو مستطیلی اشارہ بطور داخلی اشارہ فراہم کیا جائے تو اس کا خارجی اشارہ ترجیحی شکل کا ہو گا۔ آئین اس عمل کو مستحکم کار کی مدد سے سمجھئیں۔ اگر مستحکم کار کا شکل 1.29 میں دکھایا مستطیلی داخلی اشارہ فراہم کیا جائے تو اس کا خارجی اشارہ ترچھا ہو گا۔ خارجی اشارے کو کسی ایک برق دباؤ سے کسی دوسرا برق دباؤ کو حاصل کرنے کے لئے وقت درکار ہوتا ہے۔ خارجی اشارہ جس رفتار سے حرکت کرتا ہے اسے حسابی ایمپلیفائر کا رفتار چال⁶⁵ پکارا جائے گا۔ رفتار چال کی وضاحت شکل میں کی گئی ہے۔ رفتار چال کو عموماً وولٹ فی مائیکرو سیکنڈ $\frac{V}{\mu s}$ لکھا جاتا ہے۔

$$(1.61) \quad \text{رفتار چال} = \left| \frac{\Delta v}{\Delta t} \right|$$

slew rate⁶⁵



شکل 1.30: رفتار چال کا اثر

سائین نما اشارہ $V_p \sin \omega t$ کے تفرق کی زیادہ سے زیادہ قیمت $t = 0$ پر پائی جاتی ہے یعنی

$$\left. \frac{dv_s}{dt} \right|_{t=0} = \omega V_p \cos \omega t \Bigg|_{t=0} = \omega V_p$$

جب تک یہ مقدار حسابی ایمپلیفائر کے رفتار چال سے کم ہو اس وقت تک حسابی ایمپلیفائر خوش اسلوبی سے اس اشارے کو خارج کرے گا۔ جیسے ہی یہ مقدار رفتار چال سے بڑھ جائے، حسابی ایمپلیفائر کے خارجی اشارے میں خلل پیدا ہو جائے گا۔ حسابی ایمپلیفائر کے رفتار چال کو اس کی پوری طاقت پر تعددی دائہ کارکردگی⁶⁶ کی شکل میں یوں بیان کیا جاتا ہے

$$(1.62) \quad \text{رفتار چال} = \frac{\omega}{V_p} \text{ دائرہ کارکردگی}$$

$$(1.63) \quad \text{رفتار چال} = \frac{f}{2\pi V_p} \text{ دائرہ کارکردگی}$$

جہاں V_p حسابی ایمپلیفائر کی زیادہ سے زیادہ ممکنہ خارجی برقی دباؤ ہے۔ کم برقی دباؤ خارج کرتے ہوئے اس تعدد کی قیمت بڑھ جاتی ہے۔ یوں V_0 برقی دباؤ خارج کرتے ہوئے

$$(1.64) \quad \text{رفتار چال} = \frac{\omega}{بلند تر} \frac{1}{V_0}$$

ہو گا۔ شکل 1.30 میں خارجی اشارے پر رفتار چال کا اثر دکھایا گیا ہے۔ یہ اشارہ اپنی اصل صورت کھو کر تکونی شکل اختیار کر گیا ہے جہاں تکون کے اطراف سے بلند اور پست ہو رہے ہیں۔

مثال 1.20: ایک حسابی ایمپلیفائر جس کی رفتار چال $\frac{V}{\mu s} = 100$ ہے کا مستحکم کار بنایا جاتا ہے جس سے نہایت کم دورانیے والے $V = 5$ چوٹی کے موٹا مستطیلی پتلے اشارات⁶⁷ مہیا کئے جاتے ہیں۔

full power band width⁶⁶
pulses⁶⁷

- اشارے کے چوٹ کی کم سے کم وہ دورانیہ t_p دریافت کریں جس پر خارجی اشارہ بھی 5V تک پہنچ پاتا ہے۔

- اگر داخلی اشارہ متواتر تبدیل ہوتے ہوئے حاصل کردہ دورانیہ t_p کے لئے 5V اور اتنے بھی دورانیے کے لئے 0V پر رہتا ہو تو خارجی اشارے کی شکل کیا ہو گی۔

حل:

- رفتار چال کے مطابق خارجی اشارہ ایک مائیکرو سیکنڈ میں سو وولٹ حاصل کرنے کی صلاحیت رکھتا ہے۔ پانچ وولٹ حاصل کرنے کے لئے یوں 50ns درکار ہے۔ داخلی اشارے کی چوٹ کم سے کم 50ns کے لئے برقرار ریس گی تو مستحکم کار کا خارجی اشارہ ہی پانچ وولٹ تک پہنچ جائے گا۔

- اس صورت میں جیسے ہی خارجی اشارہ پانچ وولٹ پر پہنچتا ہے اسی لمحہ داخلی اشارہ صفر وولٹ ہو جاتا ہے اور یوں حسابی ایپلیفائر کا خارجی اشارہ $\frac{V}{\mu s} 100$ کے رفتار سے اب 5V سے 0V کی جانب روانہ ہوتا ہے۔ یوں خارجی اشارہ تکونی شکل کا ہو گا جو متواتر 50ns لیتے ہوئے 5V تک اور اسی طرح 50ns لیتے ہوئے 0V کے درمیان ارتعاش کرتا رہے گا۔
-
-

مثال 1.21: ایک منفی حسابی ایپلیفائر $0.1 \sin \omega t$ کا اشارہ تیس گنا بڑھاتا ہے۔ اگر حسابی ایپلیفائر کا رفتار چال $\frac{V}{\mu s} 1000$ ہو تو داخلی اشارے کی وہ بلند ترین تعداد حاصل کریں جس پر خارجی اشارہ نہ بگزکرے۔

حل: خارجی اشارہ $-3 \sin \omega t - 3 \sin \omega t = 0$ ہے جس کا تیز ترین رفتار

$$|-3\omega \cos \omega t|_{t=0} = 3\omega$$

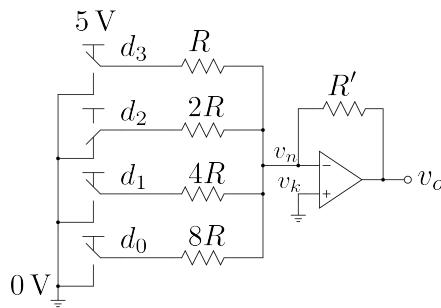
ہے۔ یوں

$$f = \frac{1000 \times 10^6}{2 \times \pi \times 3} = 53 \text{ MHz}$$

وہ بلند ترین تعداد ہے جس کے اشارے کو ایپلیفائر بالکل درست خارج کر سکتا ہے۔

1.7 عددی اشارے سے مماثلی اشارے کا حصول

شکل 1.31 میں عددی اشارے سے مماثل اشارہ حاصل کرنے والا دور دکھایا گیا ہے جس سے ہم عددی سے مماثل کار⁶⁸ کھیں گے۔ اس دور کے چار داخلی اشارات d_0 تا d_3 ہیں جنہیں انفرادی طور پر برقی زمین



شکل 1.31: چار بٹ کا عددی سے مماثل کار

یعنی 0 V یا مثبت برق دباؤ یعنی 5 V کرے ساتھ جوڑا جا سکتا ہے۔ شکل میں $d_2 = 0\text{ V}$ پر جبکہ d_1 اور d_3 کو 5 V پر دکھایا گیا ہے۔ آئین اس دور کو حل کرتے ہیں۔

$$\begin{aligned}v_k &= 0 \\ \frac{v_n - d_3}{R} + \frac{v_n - d_2}{2R} + \frac{v_n - d_1}{4R} + \frac{v_n - d_0}{8R} + \frac{v_n - v_o}{R'} &= 0 \\ v_0 &= -\frac{R'}{8R} (8d_3 + 4d_2 + 2d_1 + d_0)\end{aligned}$$

جسے یوں بہتر طریقے سے لکھا جا سکتا ہے۔

$$(1.65) \quad v_0 = -\frac{R'}{8R} (2^3 d_3 + 2^2 d_2 + 2^1 d_1 + 2^0 d_0)$$

عددی سے مماثل کار عددی⁶⁹ متغیرہ لیتے ہوئے اس کا مماثل⁷⁰ متغیرہ خارج کرتا ہے۔ عددی متغیرات کو دبری نظام اعداد⁷¹ میں لکھا جاتا ہے۔ دبری نظام اعداد کے دو ہی ہندسے ہیں یعنی 0 (صفر) اور 1 (ایک)۔ 0 کو 0 V اور 1 کو 5 V سے ظاہر کیا جاتا ہے۔ d_0 تا d_3 کو $d_3 d_2 d_1 d_0$ لکھتے ہوئے چار بٹ⁷² کا دبرا عدد حاصل ہوتا ہے۔ یوں شکل میں دکھائی صورت

$$d_3 d_2 d_1 d_0 = 1011_2$$

کو ظاہر کرتی ہے جو کہ اعشاری نظام گنتی⁷³ میں گیارہ 11_{10} کے برابر ہے۔

digital⁶⁹
analog⁷⁰
binary number system⁷¹
bit⁷²
decimal number system⁷³

اگر تمام داخلی دہرے ہندسے صفر کر دیے جائیں تو مساوات 1.65 کے مطابق عددی سے مماثل کار $v_0 = 0 \text{ V}$ خارج کرے گا جبکہ اگر تمام داخلی دہرے ہندسے ایک کر دیے جائیں یعنی انہیں 5 V سے ظاہر کیا جائے تو دور

$$\begin{aligned} v_0 &= -\frac{R'}{8R} (2^3 \times 5 + 2^2 \times 5 + 2^1 \times 5 + 2^0 \times 5) \\ &= -\frac{R'}{8R} (2^3 + 2^2 + 2^1 + 2^0) \times 5 \\ &= -\frac{R'}{8R} (8 + 4 + 2 + 1) \times 5 \\ &= -\frac{R'}{8R} \times 75 \end{aligned}$$

خارج کرے گا۔

R' اور R کی قیمت سے درکار قیمت تعین کی جا سکتی ہے۔ مثلاً $R' = \frac{8R}{15}$ رکھتے ہوئے مندرجہ بالا مساوات کے مطابق عددی سے مماثل کار $v_0 = -5 \text{ V}$ خارج کرے گا۔ چونکہ d_0 تا d_3 کے چار ہندسوں پر منی دبرا عدد سولہ 16 مختلف قیمتیں ظاہر کر سکتا ہے لہذا عددی سے مماثل کار صفر وولٹ تا منفی پانچ وولٹ سولہ مختلف قیمتیں خارج کر سکتا ہے۔ عددی سے مماثل کار میں اسی طرز پر مزید داخلی اشارات جوڑتے ہوئے زیادہ ہندسوں کا عددی سے مماثل کار بنایا جاتا ہے۔

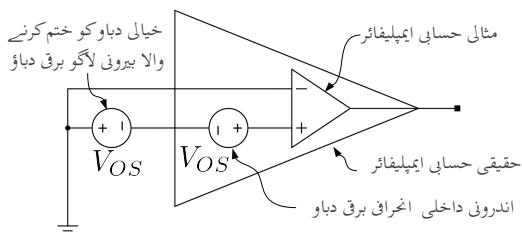
مثال 1.22: $R' = \frac{8R}{15}$ رکھتے ہوئے $d_3d_2d_1d_0$ کی قیمت 10102 ہونے کی صورت میں عددی سے مماثل کار کتنی برقی دباو خارج کرے گا۔ حل:

$$\begin{aligned} v_0 &= -\frac{R'}{8R} (2^3 \times 5 + 2^2 \times 0 + 2^1 \times 5 + 2^0 \times 0) \\ &= -\frac{R'}{8R} (2^3 + 2^1) \times 5 \\ &= -3.333 \text{ V} \end{aligned}$$

1.7.1 یک سمتی اندرونی داخلی انحرافی برقی دباو کا مسئلہ

اگر کامل حسابی ایپلیفائر کے دونوں داخلی سرے آپس میں جوڑ کر انہیں برقی زمین کے ساتھ جوڑا جائے، یعنی $v_k = v_n = 0$ کر دیا جائے، تو ہم موقع کرتے ہیں کہ اس کا خارجی اشارہ صفر وولٹ کا ہو گا، یعنی $v_0 = A_d v_d = 0$ ہو گا۔ حقیقت میں ایسا نہیں ہوتا⁷⁴ اور عموماً اس طرح جزا حسابی ایپلیفائر

⁷⁴ اس مسئلہ کے پیدا ہونے کی وجوبات پر حصہ 5.5.1 میں تفصیلاً تبصرہ کیا جائے گا



شکل 1.32: داخلی انحرافی برقی دباؤ اور اس کا خاتمه

مشتب یا منفی جانب لبریز پایا جاتا ہے۔ حسابی ایمپلیفیائر کے V_o کو صفر وولٹ پر لانے کی خاطر حسابی ایمپلیفیائر کے دونوں داخلی سروں کے مابین برقی دباؤ V_{OS} مہیا کرنا پڑتا ہے۔ اس حقیقت کو یوں بھی بیان کیا جا سکتا ہے کہ حسابی ایمپلیفیائر بنائے وقت پوری کوشش کے باوجود اسے کامل بنانا ناممکن ہوتا ہے اور اس میں کچھ کمی رہ جاتی ہے جس کی وجہ سے اس کا عمل یوں پایا جاتا ہے جیسے اس کے داخلی سروں کے مابین برقی دباؤ V_{OS} جزی ہو۔ اس خیالی برقی دباؤ کو ختم کرنے کی خاطر یہی اس کے مابین فراہم کرنی پڑتی ہے۔ اس خیالی برقی دباؤ کو اندرونی داخلی انحرافی برقی دباؤ⁷⁵ کہتے ہیں۔ شکل 1.32 میں اس کی وضاحت کی گئی ہے۔

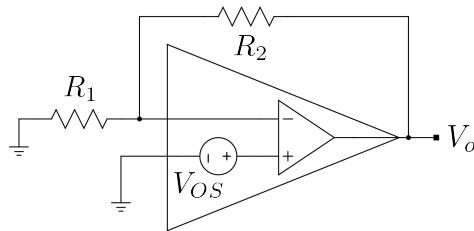
اندرونی داخلی انحرافی برقی دباؤ کی موجودگی غیر پسندیدہ حقیقت ہے جسے ختم کرنے کی تمام تر کوشش کی جاتی ہے۔ حسابی ایمپلیفیائر بنائے والے صنعت کار اپنے بنائے گئے حسابی ایمپلیفیائر میں پائے جانے والے اندرونی داخلی انحرافی برقی دباؤ کے حدود کی معلومات فراہم کرتے ہیں۔ یہ حدود عموماً $\pm 1\text{ mV}$ تا $\pm 5\text{ mV}$ تک ہوتے ہیں۔ اندرونی داخلی انحرافی برقی دباؤ کی علامت نہیں بتلائی جاتی چونکہ قبل از استعمال اس کا جانتا مکن نہیں ہوتا۔ اندرونی داخلی انحرافی برقی دباؤ کا تخمینہ لگانے کی خاطر مشتب ایمپلیفیائر استعمال کیا جا سکتا ہے۔ شکل 1.33 میں اسے دکھایا گیا ہے۔ اس شکل میں مشتب سرے کو برقی زمین کے ساتھ جوڑا گیا ہے۔ مزاحمت R_2 کی قیمت کو R_1 کی قیمت سے اتنا بڑا رکھا جاتا ہے کہ خارجی سرے پر چند وولٹ کی یک سختی برقی دباؤ V_{OS} پایا جائے۔ اس دور میں اندرونی داخلی انحرافی برقی دباؤ کو بطور داخلی اشارہ استعمال کیا گیا ہے۔ اگر اس اندرونی داخلی انحرافی برقی دباؤ کی قیمت V_{OS} ہو تو مشتب ایمپلیفیائر کے لئے یوں لکھا جا سکتا ہے۔

$$(1.66) \quad V_o = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) V_{OS} = \frac{(R_1 + R_2)}{R_1} V_{OS}$$

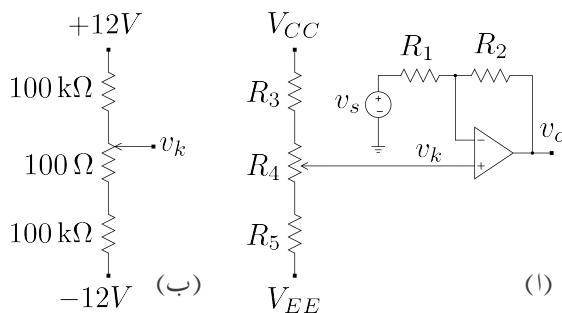
اس مساوات میں V_{OS} کے علاوہ تمام متغیرات بھی معلوم ہیں۔ یوں ان سے V_{OS} حاصل کی جا سکتی ہے یعنی

$$(1.67) \quad V_{OS} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_o$$

input offset voltage⁷⁵



شکل 1.33: داخلي انحرافي برقى دباؤ کي پيمانش



شکل 1.34: داخلي انحرافي برقى دباؤ سے پاک، منفي ايمپليفائر

شکل 1.34 الف میں اندروونی داخلي انحراف برق دباؤ کے اثر کو ختم کر کر منفي ايمپليفائر کا استعمال دکھایا گیا ہے۔ ایسے ادوار میں R_5 اور R_3 کی قیمتیں کئی کلو اُبیم $k\Omega$ ہوئیں جبکہ متغیر مزاحمت R_4 کی قیمت اتنی رکھی جاتی ہے کہ اس کے درمیانی پینا سے قابل حصول برق دباؤ استعمال کردہ حسابی ايمپليفائر کے اندروونی داخلي انحراف برق دباؤ V_{OS} کے حدود سے قدر زیادہ ہو۔ ایسے متغیر مزاحمت پر پیچ نسب ہوتا ہے جس سے گھماتے ہوئے حسابی ايمپليفائر کے خارجی اشارے V_o کو صفر وولٹ کرتے ہوئے اندروونی داخلي انحراف برق دباؤ کے اثر کو ختم کیا جاتا ہے۔

مثال 1.23: اگر شکل 1.34 الف میں

$$V_{CC} = 12 \text{ V} \quad V_{EE} = -12 \text{ V} \quad V_{OS} = 2 \text{ mV}$$

ہیں۔ داخلي انحراف برق دباؤ کے خاتمے کے لئے درکار مزاحمت R_3 ، R_4 اور R_5 منتخب کریں۔ حل: چونکہ داخلي انحراف برق دباؤ کی قیمت معلوم ہونیے کے باوجود اس کا رخ معلوم نہیں ہوتا لہذا

بھی ان مزاحمت کو یوں منتخب کرنا ہو گا کہ R_4 تبدیل کرتے ہوئے ہم -2 mV تا 2 mV یعنی کُل 4 mV کی تبدیلی حاصل کر سکیں۔ ہم $R_3 = R_5 = 100 \text{ k}\Omega$ لیتے ہوئے R_4 کی قیمت حاصل کرتے ہیں۔

$$\begin{aligned} (+12 - (-12)) \times \left(\frac{R_4}{R_3 + R_4 + R_5} \right) &= 0.004 \\ 24 \times \left(\frac{R_4}{200000 + R_4} \right) &= 0.004 \\ R_4 &= 33 \Omega \end{aligned}$$

ہم اس سے قدر زیادہ مزاحمت منتخب کرتے ہیں مثلاً $R_4 = 100 \Omega$ ۔ آئیں دیکھیں کہ ان قیمتوں سے v_k میں کن حدود کے مابین تبدیلی ممکن ہے۔ R_4 کے متغیر سری کو ایک جانب پورا گھما کر شکل الف میں دکھایا گیا ہے۔ اس صورت میں کرجاف کے قانون برائے برق روکی مدد سے ہم لکھ سکتے ہیں

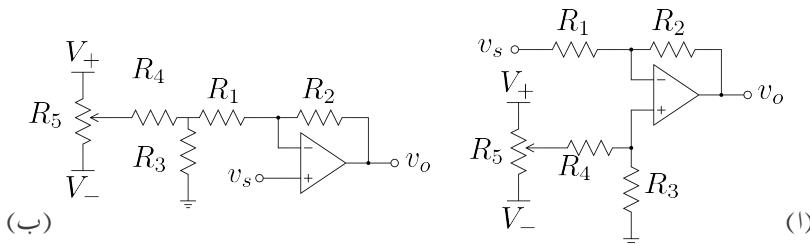
$$\begin{aligned} \frac{v_k - V_{CC}}{R_3} + \frac{v_k - V_{EE}}{R_4 + R_5} &= 0 \\ \frac{v_k - 12}{100000} + \frac{v_k + 12}{100 + 100000} &= 0 \\ v_k &= 5.99 \text{ mV} \end{aligned}$$

اسی طرح اگر R_4 کو دوسری جانب پورا گھما یا جائز تباہی کے لئے

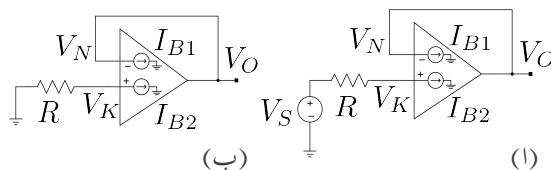
$$\begin{aligned} \frac{v_k - V_{CC}}{R_3 + R_4} + \frac{v_k - V_{EE}}{R_5} &= 0 \\ \frac{v_k - 12}{100000 + 100} + \frac{v_k + 12}{100000} &= 0 \\ v_k &= -5.99 \text{ mV} \end{aligned}$$

حاصل ہوتا ہے۔ موجودہ مثال میں حسابی ایمپلیفائر کا داخلی اخراجی برق دباؤ -2 mV تا 2 mV کے مابین کہیں پر بھی ہو سکتا ہے۔ حسابی ایمپلیفائر کا داخلی اشارہ $v_s = 0$ رکھتے ہوئے اس کے خارجی اشارے v_o پر نظر رکھ کر R_4 کو اس مقام پر لا یا جاتا ہے جہاں $v_o = 0$ حاصل ہو۔ R_4 کو اسی قیمت پر پکا چھوڑ دیا جاتا ہے۔

شکل 1.35 میں داخلی اخراجی برق دباؤ سے پاک منفی اور مثبت ایمپلیفائر دکھائے گئے ہیں۔ ان ادوار میں $V_- = -12 \text{ V}$ ، $V_+ = 12 \text{ V}$ اور $R_3 = 100 \Omega$ ، $R_4 = 150 \text{ k}\Omega$ ، $R_5 = 50 \text{ k}\Omega$ کی صورت میں $\pm 8 \text{ mV}$ کے داخلی اخراجی برق دباؤ کا خاتمہ ممکن ہو گا۔



شکل 1.35: داخلی انحرافی برقی دباؤ سے پاک ایمپلیفائر



شکل 1.36: داخلی برقی رو کا مسئلہ

1.7.2 داخلی برقی رو کا مسئلہ

اگرچہ حسابی ایمپلیفائر کی داخلی برقی رو I_B کی قیمت عموماً قابل نظر انداز ہوتی ہے البتہ کبھی کبھار نہایت حساس یا باریک اشارات کی قیمت ہی I_B کے لگ بھگ ہوتی ہے۔ ایسی صورت میں I_B کو نظر انداز کرنا ممکن نہیں ہوتا۔ اس طرح کے مجبوری کے علاوہ بھی ادوار بناتے وقت اگر I_B کو مد نظر رکھا جائے تو کچھ حرج نہیں۔ داخلی برقی رو یک سمتی نوعیت کی ہوتی ہے۔ حسابی ایمپلیفائر کے درست کارکردگی کے لئے یہ ضروری ہے کہ اس کے دونوں داخلی سروں پر یک سمتی برقی رو کے لئے راستہ موجود ہو۔ آئین دیکھتے ہیں کہ اس I_B کے بارے میں عموماً کیا کیا جاتا ہے۔

حسابی ایمپلیفائر کی اندرovenی ساخت کی وجہ سے اس کے داخلی سروں پر یک سمتی برقی رو درکار ہوتی ہے۔ مزید یہ کہ دونوں داخلی سروں پر برقی رو کا رخ ایک بھی سمت میں ہوتا ہے۔ اگر کسی ایک قسم کے ایمپلیفائر میں برقی رو کا رخ داخلی سروں پر اندر کی جانب ہو تو کسی دوسرے قسم کے ایمپلیفائر میں دونوں یک سمتی داخلی برقی رو کا رخ باہر کی جانب ہو سکتا ہے۔ اس داخلی برقی رو جسے داخلی میلان برقی رو⁷⁶ کہتے ہیں کے مقدار کا دارومندار ایمپلیفائر کی ساخت پر ہوتا ہے۔ شکل 1.36 الف میں مستحکم کار دکھایا گیا ہے جہاں حسابی ایمپلیفائر کے داخلی برقی رو I_{B1} اور I_{B2} کو پیدا کار مستقل برقی رو⁷⁷ تصور کیا گیا ہے۔ یک سمتی داخلی اشارہ V_S کی قیمت صفر ہونے کی صورت میں شکل الف حاصل

input bias current⁷⁶
constant current source⁷⁷

ہوتا ہے۔ مستحکم کارکی خاصیت یہ ہے کہ یہ داخلی اشارہ کو بغیر تبدیلی خارج کرتا ہے۔ یوں ہم توقع رکھتے ہیں کہ $V_S = 0$ کی صورت میں $V_O = 0$ ہوگا مگر ایسا نہیں ہوتا۔ شکل الف پر غور کرنے سے معلوم ہوتا ہے کہ داخلی برق روکی وجہ سے

$$V_K = -I_{B2}R$$

حاصل ہوتا ہے۔ $V_N = V_K$ ہونے سے

$$(1.68) \quad V_O = -I_{B2}R$$

حاصل ہوگا۔ جیسا کہ پہلے ذکر ہوا، چونکہ عام حالات میں داخلی میلان برق روکی قیمت نہیں کم ہوتی ہے لہذا اس برق روکو عموماً نظر انداز کرنا ممکن ہوتا ہے۔ اس وقت ہم کوئی ایسی ترکیب جاننا چاہیں گے کہ ناقابل نظر انداز داخلی میلان برق روکی صورت میں یہ دور $V_O = 0$ خارج کرے۔ شکل 1.37 میں مستحکم کارکو ذرا تبدیل کرتے ہوئے اس میں مزاحمت R_1 شامل کیا گیا ہے۔ مستحکم کارکی کارکردگی ایسا کرنے سے برگز متاثر نہیں ہوتی۔ اس دور میں بھی

$$V_K = -I_{B2}R$$

اور

$$V_N = V_K = -I_{B2}R$$

حاصل ہوتا ہے۔ البتہ R_1 پر اوبم کے قانون سے

$$V_O - V_N = I_{B1}R_1$$

لکھا جا سکتا ہے جس سے

$$V_O = V_N + I_{B1}R_1$$

حاصل ہوتا ہے۔ اگر دونوں داخلی میلان برق روکے قیمتیں برابر ہوں ($I_{B1} = I_{B2} = I_B$) تب ہم اس مساوات کو یوں لکھ سکتے ہیں۔

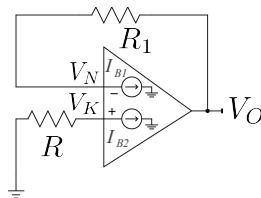
$$V_O = -I_B R + I_B R_1$$

دور میں

$$(1.69) \quad R_1 = R$$

$V_O = 0$ حاصل ہوتا ہے یعنی

$$V_O = -I_B R + I_B R = 0$$



شکل 1.37: داخلی برقی رو کرے مسئلے کا حل

پس ہم نے دیکھا کہ دور میں دونوں دخول پر یک سمتی برق روکرے لئے برابر مزاحمت نسب کرنے سے داخلی میلان برق روکا مسئلہ حل ہو جاتا ہے۔

اگر $R_1 = R$ لیتے ہوئے اس حقیقت کو مد نظر رکھا جائے کہ دونوں داخلی برق روکرے قیمتیں برابر نہیں ہوتیں تو اس صورت میں گزشتہ مساوات سے

$$(1.70) \quad V_O = -I_{B2}R + I_{B1}R = (I_{B1} - I_{B2})R$$

حاصل ہوتا ہے۔ اگرچہ اس صورت میں $V_O = 0$ حاصل نہیں ہوگا مگر چونکہ

$$|I_{B1} - I_{B2}| \ll I_B$$

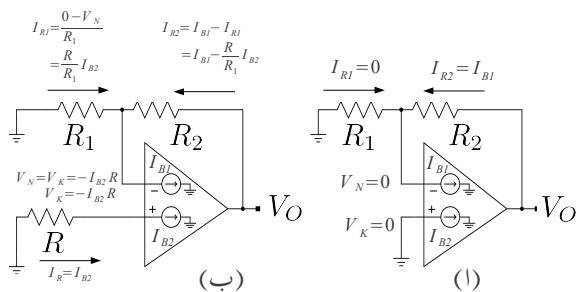
ہوتا ہے لہذا مساوات 1.70 سے حاصل V_O کی قیمت مساوات 1.68 سے حاصل V_O کی قیمت سے زیادہ ہے (یعنی کم) ہے۔

مثال 1.24: منفی ایپلیفائر میں مسئلہ داخلی برق دباؤ کی نشاندہی کریں اور اس سے نپٹے کا حل دریافت کریں۔

حل: شکل 1.7 میں منفی ایپلیفائر دکھایا گیا ہے جس میں داخلی اشارہ کی قیمت صفر کرنے سے شکل 1.38 الف حاصل ہوتا ہے۔ شکل-الف میں مشتبہ داخلی سرا برق زمین کے ساتھ جزا ہے لہذا $V_N = V_K = 0$ ہوگا۔ $V_N = 0$ ہونے کی وجہ سے $I_{R1} = 0$ ہوگا اور $I_{R2} = I_{B1}$ یوں منفی داخلی سرے کی داخلی برق رو تام کی تمام مزاحمت R_2 سے گزرے گی یعنی $I_{B2} = I_{B1}$ ہوگا۔ مزاحمت R_2 پر اوبم کے قانون سے V_O یوں حاصل ہوتا ہے۔

$$(1.71) \quad \begin{aligned} V_O - V_N &= I_{R2}R_2 \\ V_O &= V_N + I_{R2}R_2 \\ V_O &= 0 + I_{B1}R_2 \\ V_O &= I_{B1}R_2 \end{aligned}$$

شکل 1.38 ب میں مشتبہ داخلی سرے سے برق زمین تک مزاحمت R جوڑ کر داخلی برق روکرے مسئلے کو حل کرنے کی کوشش کی گئی ہے۔ جیسا شکل میں دکھایا گیا ہے $I_R = I_{B2}$ ہونے کی وجہ سے



شکل 1.38: منفی ایمپلینفائز میں مسئلہ داخلی برقی رو اور اس کا حل

$V_K = V_N = -I_{B2}R$ ہوگا۔ یوں منفی داخلی سرے پر ہی اتنا ہی برق دباو ہوگا (یعنی $V_K = -I_{B2}R$)۔ مزاحمت R_1 کا بایان سرا برق زمین پر ہے جب کہ اس کا دایاں سرے پر منفی برق دباو ہے لہذا اس میں بائیں سرے سے دائیں سرے کی جانب برق رو گزرنے گا

$$I_{R1} = \frac{R}{R_1} I_{B2}$$

منفی داخلی سرے پر کرچاف کرے قانون برائے برق رو کی مدد سے I_{R2} یوں حاصل کیا جا سکتا ہے۔

$$\begin{aligned} I_{R1} + I_{R2} &= I_{B1} \\ \frac{R}{R_1} I_{B2} + I_{R2} &= I_{B1} \\ I_{R2} &= I_{B1} - \frac{R}{R_1} I_{B2} \end{aligned}$$

مزاحمت R_2 پر اُوبم کا قانون استعمال کرتے ہوئے V_O حاصل کرتے ہیں۔

$$\begin{aligned} V_O - V_N &= I_{R2} R_2 \\ V_O &= V_N + I_{R2} R_2 \\ V_O &= -I_{B2} R + \left(I_{B1} - \frac{R}{R_1} I_{B2} \right) R_2 \end{aligned} \tag{1.72}$$

اگر دونوں داخلی میلان برق رو کی قیمتیں برابر ہوں یعنی $I_{B1} = I_{B2}$ تب اس مساوات سے حاصل ہوتا

ہے۔

$$(1.73) \quad V_O = -I_B R + \left(I_B - \frac{R}{R_1} I_B \right) R_2 \\ = I_B \left(-R + R_2 - \frac{RR_2}{R_1} \right)$$

ہم چاہتے ہیں کہ داخلی میلان برق روکی وجہ سے کسی قسم کا خارجی برق دباؤ پیدا نہ ہو۔ اس مساوات میں $V_O = 0$ استعمال کرتے ہوئے ہم R کی وہ قیمت دریافت کر سکتے ہیں جس سے ایسا ممکن ہو یعنی

$$(1.74) \quad R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

پس منفی ایمپلیفائر کے مشتبہ داخلی سرے اور برق زمین کے درمیان متوازی جڑے R_1 اور R_2 کے برابر مزاحمت نسب کرنے سے داخلی میلان برق رو کا مسئلہ حل ہو جاتا ہے۔ اگر دونوں داخلی میلان برق رو برابر نہ ہوں تب مساوات 1.72 میں

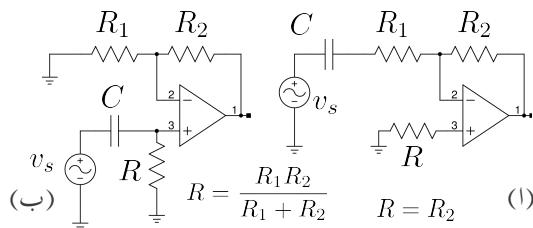
$$R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

لیتے ہوئے

$$(1.75) \quad V_O = (I_{B1} - I_{B2}) R_2$$

حاصل ہوتا ہے۔ یوں اس صورت میں اگرچہ داخلی میلان برق رو کا مسئلہ پوری طرح حل نہیں ہوتا لیکن مساوات 1.71 کے ساتھ موازنہ کرنے سے (چونکہ $|I_{B1} - I_{B2}| >> |I_{B1}|$ ہے) ہم دیکھتے ہیں کہ V_O میں خاطر خواہ کمی آتی ہے۔

ہم دیکھتے ہیں کہ حسابی ایمپلیفائر کے دونوں داخلی سروں پر یک سمعتی میلان برق رو کو برق زمین تک پہنچنے کی خاطر برابر مزاحمت فراہم کرنے سے داخلی برق رو کا مسئلہ حل ہوتا ہے۔ یہاں یک سمعتی میلان برق رو کے راستے کی بات کی گئی نہ کہ بدلتے برق رو کے راستے کی۔ اس بات کی وضاحت شکل 1.39 کی مدد سے کرتے ہیں۔ یاد رہیے کہ کپیسٹر میں یک سمعتی برق رو نہیں گرر سکتا اور یہ بالکل لامحدود مزاحمت کی طرح کردار ادا کرتا ہے۔ شکل 1.38 اکثر میں ایمپلیفائر دکھایا گیا ہے جس کا عمومی طور پر مشتبہ داخلی سرا برق زمین کے ساتھ جڑا ہوتا ہے۔ منفی داخلی سرے کے یک سمعتی میلان برق رو کا برق زمین تک راستہ R_2 ہے اور یوں مشتبہ داخلی سرے اور برق زمین کے درمیان $R = R_2$ جوڑ کر داخلی میلان برق رو کا مسئلہ حل کیا گیا ہے۔ شکل 1.38 ب میں مشتبہ ایمپلیفائر دکھایا گیا ہے۔ یہاں اشارہ کو کپیسٹر کے ذریعہ ایمپلیفائر کے ساتھ جوڑا گیا ہے جس سے اس داخلی سرے کے میلان برق رو کو برق زمین تک راستہ میسر نہیں ہو گا اور یوں یہ ایمپلیفائر کام کرنے سے قادر ہے۔ اس کی صحیح کارکردگی کے لئے ضروری ہے کہ اس داخلی سرے سے برقی زمین تک یک سمعتی میلان برق رو کے لئے راستہ موجود



شکل 1.39: مسئلہ داخلی برقی رو کے چند مثالیں اور یک سمتی برقی رو کا برقی زمین تک رسائی کا راستہ

بو-چونکہ منفی داخلی سرے کے یک سمتی میلان برق رو کا برقی زمین تک راستہ R_1 اور R_2 کے ذریعہ ہے اور یک سمتی میلان برق رو کے نقطہ نظر سرے پر دونوں مزاحمت متوازی جڑر پس لہذا مثبت داخلی سرے اور زمین کے درمیان مزاحمت

$$R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

نسب کر کرے اس داخلی سرے کے یک سمتی میلان برق رو کو زمین تک راستہ فراہم کیا جاتا ہے اور ساتھ ہی ساتھ مسئلہ داخلی میلان برق رو کو بھی حل کیا جاتا ہے۔ یہاں یہ بتلانا ضروری ہے کہ مثبت داخلی سرے اور زمین کے درمیان مزاحمت R نسب کرنے سے اس داخلی سرے کا داخلی مزاحمت کم ہوتا ہے جو کہ عموماً قابل برداشت نہیں ہوتا۔

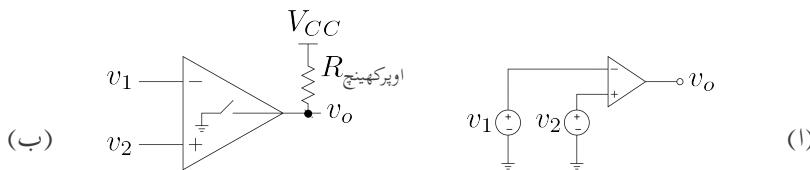
1.8 موازنہ کار

شکل 1.40 الف کے حسابی ایمپلیفائر میں $v_1 > v_2$ کی صورت میں v_0 مکمل مثبت یعنی V_{CC} پر ہو گا جبکہ $v_1 < v_2$ کی صورت میں v_0 مکمل منفی یعنی V_{EE} پر ہو گا۔ حسابی ایمپلیفائر داخلی اشارات کا موازنہ کرتے ہوئے V_{EE} یا V_{CC} خارج کرتا ہے۔ یہ عمل نہایت اہم ہے اور اس عمل کی رفتار تیز تر درکار ہوتی ہے۔ موازنہ کار⁷⁸ ایسا مخلوط دور ہے جسے خاص اسی مقصد کے لئے تخلیق دیا گیا ہے۔

موازنہ کار کی علامت وہی ہے جو حسابی ایمپلیفائر کی ہے۔ حسابی ایمپلیفائر مثبت یا منفی اشارہ خارج کر سکتا ہے جبکہ موازنہ کار داخلی اشارات کا موازنہ کرتے ہوئے دو مختلف صورت اختیار کر سکتا ہے۔ ایک صورت میں یہ منقطع ہو جاتا ہے جبکہ دوسری صورت میں یہ مقرر برق دباؤ خارج کرتا ہے جو عموماً 0 V یا V_{EE} ہوتا ہے۔

موازنہ کار کی کارکردگی کو شکل الف میں دکھایا گیا ہے جہاں اس کے ممکنہ خارجی صورت منقطع اور 0 V ہے۔ $v_1 > v_2$ کی صورت میں سوچ منقطع رہتا ہے جبکہ $v_1 < v_2$ کی صورت میں سوچ چالو ہو کر خارجی سرے کو برق زمین کے ساتھ جوڑتا ہے۔ خارجی سرے اور V_{CC} کے درمیان مزاحمت اور کمینج R جوڑنے سے منقطع صورت میں $v_0 = V_{CC}$ حاصل کیا جا سکتا ہے۔

comparator⁷⁸



شکل 1.40: موازنہ کار

آئیں موازنہ کار کے استعمال کی ایک مثال دیکھیں۔

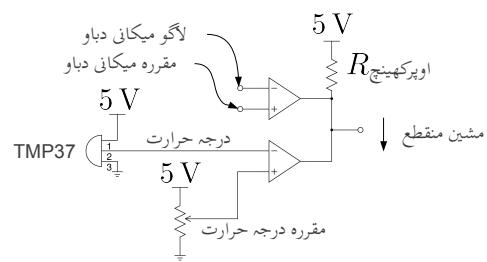
مثال 1.25: اس مثال میں چالو میکانیکی درجہ حرارت اور اس میں میکانیکی دباؤ پر نظر رکھا جاتا ہے۔ اگر ان میں کوئی ایک یا دونوں مقررہ حدف سے تجاوز کریں تو میکانیکی میکانیکی دباؤ پر نظر رکھا جاتا ہے۔ اس وقت تک چالو رہتا ہے جب تک اسے چالو رکھنے والا $5V$ کا اشارہ ملتا رہے۔ میکانیکی دباؤ منقطع ہو جاتا ہے جب اسے منقطع کرنے والا $v_o = 0V$ کا اشارہ ملے۔ منقطع کر دینے والے اشارے کو تیر کے نشان سے دکھایا گیا ہے۔

شکل 1.41 میں دو موازنہ کار متوازی جوڑے گئے ہیں۔ نچلے موازنہ کار کے منفی داخلی سرے پر $^{79}\text{TMP37}$ کا خارجی اشارہ جوڑا گیا ہے جس سے شکل میں درجہ حرارت کہا گیا ہے۔ ایسا مخلوط دور ہے جو درجہ حرارت کے راست متناسب برق دباؤ خارج کرتا ہے۔ 0°C پر $0V$ اور 100°C پر یہ $1V$ خارج کرتا ہے۔ اس کو $5V$ کی درکار طاقت مہیا کی گئی ہے۔ اسی موازنہ کار کے مثبت داخلی سرے پر قابل تبدیل میاحت نسب کی گئی ہے۔ قابل تبدیل میاحت پر نسب پیچ کو گھماتے ہوئے موازنہ کار کے مثبت داخلی سرے پر $0V$ تا $5V$ برق دباؤ دیا جا سکتا ہے جس سے شکل میں مقررہ درجہ حرارت کہا گیا ہے۔ مقررہ درجہ حرارت کو $0.5V$ پر رکھا گیا ہے۔ 50°C پر $0.5V$ خارج کرے گا۔

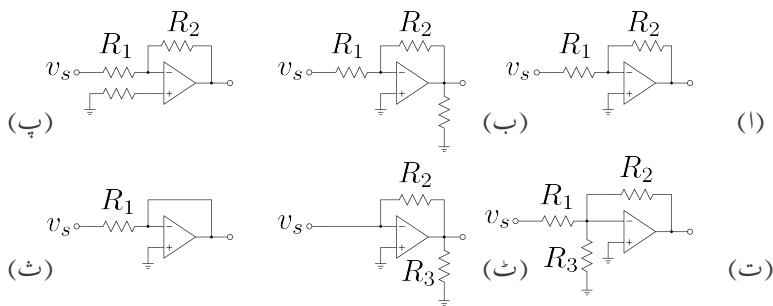
موازنہ کار اس وقت تک منقطع رہے گا جب تک درجہ حرارت 50°C سے کم رہے۔ جیسے ہی درجہ حرارت اس حدف سے تجاوز کرے، موازنہ کار $v_o = 0V$ خارج کرتے ہوئے میکانیکی دباؤ پر منقطع کر دیگا۔

شکل میں دکھائیے دوسرے موازنہ کار کو بھی اسی طرح استعمال کیا گیا ہے۔ اس کا مثبت داخلی سرے کو مقررہ میکانیکی دباؤ کے حدف پر رکھا جاتا ہے جبکہ اس کے منفی داخلی سرے کو میکانیکی دباؤ پر رکھا جاتا ہے۔ جیسے ہی میکانیکی دباؤ مقررہ حدف سے تجاوز کرے، موازنہ کار خارجی اشارے v_o کو نیچے کھینچ کر برق زمین $0V$ پر لاتے ہوئے میکانیکی دباؤ پر منقطع کر دیگا۔ آپ دیکھ سکتے ہیں کہ دونوں موازنہ کار خارجی اشارے کو صرف برق زمین پر لانے کی صلاحیت رکھتے ہیں۔

اسی طرح مزید موازنہ کار متوازی جوڑتے ہوئے دیگر متغیرات پر نظر رکھی جا سکتی ہے۔



شكل 1.41: موازنه کار کی مثال



شکل 1.42: حسابی منفی ایمپلیفیائر کے سوالات

سوالات

سوال 1.1: شکل 1.42 میں

$$V_{CC} = 12 \text{ V} \quad V_{EE} = -12 \text{ V} \quad v_s = 0.5 \text{ V}$$

$$R_1 = 10 \text{ k}\Omega \quad R_2 = 200 \text{ k}\Omega \quad R_3 = 10 \text{ k}\Omega$$

ہیں۔

- کامل حسابی ایمپلیفیائر تصور کرتے ہوئے ان تمام ادوار کے داخلی مزاحمت اور خارجی اشارے حاصل کریں۔
- غیر کامل حسابی ایمپلیفیائر تصور کرتے ہوئے دوبارہ حل کریں۔ غیر کامل حسابی ایمپلیفیائر کے جزو

$$A = 60000 \quad R_i = 100 \text{ M}\Omega \quad R_o = 200 \Omega$$

ہیں۔

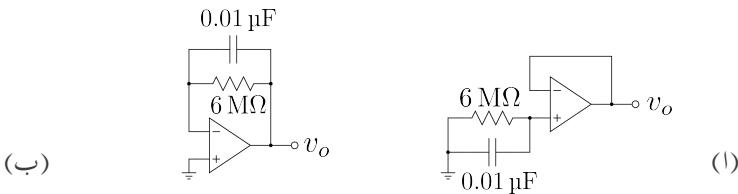
جوابات:

- داخلی مزاحمت: $10 \text{ k}\Omega, 10 \text{ k}\Omega$ اور $10 \text{ k}\Omega$ خارجی اشارہ: -10 V ، 0 V اور -10 V ، -12 V ، -10 V ، -10 V اور 0 V

سوال 1.2: کامل حسابی ایمپلیفیائر تصور کرتے ہوئے $10 \text{ M}\Omega$ سے کم مزاحمتون کے استعمال سے صفحہ 13 پر دیے شکل 1.7 کے طرز پر منفی حسابی ایمپلیفیائر تخلیق دیں۔

سوال 1.3: کی صورت میں $A_v = -25 \frac{\text{V}}{\text{V}}$ اور زیادہ سے زیادہ ممکنہ داخلی مزاحمت کیا ہو گی۔

سوال 1.4: کی صورت میں زیادہ سے زیادہ ممکنہ داخلی مزاحمت کیا ہو گی۔



شکل 1.43: حسابی ایمپلیفائر کے میلان برقی رو کا حصول

سوال 1.3: 200 kΩ سے کم مزاحمت استعمال کرتے ہوئے $A_v = -1000$ کا منفی ایکلیپسائز بنانے سے زیادہ سے زیادہ ممکنہ داخلی مزاحمت صرف 200 Ω حاصل ہوتی ہے۔ صفحہ 19 پر دیئے شکل 1.10 کے طرز پر ایکلیپسائز بنائیں جس کی داخلی مزاحمت زیادہ سے زیادہ ہو۔

$$\frac{R_4}{R_2} + \frac{R_4}{R_3} = 1000 \quad , \quad R_1 = R_2 = 200 \text{ k}\Omega \quad , \quad R_{\text{داخلى}} = 200 \text{ k}\Omega$$

سوال 4: حسابی ایمپلیفائر کی میلان برق رو حاصل کرنے کی خاطر شکل 1.43 استعمال کیا جاتا ہے۔ کپیسٹر کے استعمال سے برق شور کا خاتمہ ہوتا ہے۔

- شکل-الف میں $V_0 = -1.2\text{V}$ جبکہ شکل الف میں $V_0 = -1.21\text{V}$ پایا جاتا ہے۔ مثبت داخلی سرے کی میلان برق رو I_{B1} اور منفی داخلی سرے کی میلان برق رو I_{B2} اور ان کی سمتیں حاصل کریں۔

• I_{B1} اور I_{B1} سے انحرافی برقی رو حاصل کریں

- ایک حسابی ایمپلیفیاٹر جس کی میلان برق رو $nA = 100$ کے لگ بھگ ہے کی مکمل درست میلان برق رو حاصل کرنے کی خاطر شکل کو استعمال کیا جاتا ہے۔ قابل ناپ خارجی اشارہ حاصل کرنے کی خاطر مراہمت کی وہ قیمت تجویز کریں جس پر $v_o = 1.5V$ کے لگ بھگ حاصل ہو۔

جوابات: A) 200 nA، B) 15 MΩ، C) 201.66 nA، D) 1.5 سوال: ایمپلیفیٹر کے آخری سال میں آلاتی ایمپلیفیٹر کو استعمال کرتے ہوئے برق قلب نگار⁸⁰ بنانے کا منصوبہ بنایا۔ پہلے مرحلے میں انہوں نے شکل 1.26 میں $R_1 = 250\Omega$ ، $R_2 = 2.5\text{k}\Omega$ اور $R_3 = R_4 = 39\text{k}\Omega$ رکھ کر داینی ہاتھ کی کلائی کو v_1 جبکہ بائیں ہاتھ کی کلائی کو v_2 کرے ساتھ جوڑا۔ ایسا کرنے کی خاطر ہم محوری تار⁸¹ استعمال کئے گئے جن کی بیرونی تامیسے کی چادر کو دور کرے برق زمین کے ساتھ جوڑا گیا تاکہ تار میں حساس اشارات پر بیرونی ناپسندیدہ برق شور کے اثرات کم سے کم کئے جا سکیں۔ دیاں لمحے بھی برق زمین کے ساتھ جوڑا گیا جس سے 50Hz کا برق شور نہایت کم ہو جاتا ہے۔ حساس اشارات میں واپٹا کرے 50Hz کا شور عموماً پایا جاتا ہے جس سے نپٹنا ضروری ہوتا ہے۔

انہوں نے دیکھا کہ v_0 پر دل کی دھڑکن کی چوٹی 0.6 V تھی۔

co-axial cable⁸¹

- اصل اشارہ $v_1 - v_2$ کی قیمت دریافت کریں۔
- دل کا کون سا طرف دھڑکتے وقت مثبت برقی دباؤ پر تھا۔

سوال 1.6: برق قلب نگار میں برق شور کے مسئلہ پر تحقیق کرنے کی خاطر عفت نے سائنس نما داخلی اشارے کے حیطے کو سو گنا بڑھانے کی خاطر شکل 1.7 میں دکھائے منفی حسابی ایمپلیفائر استعمال کیا جس میں $R_1 = 1\text{ k}\Omega$ اور $R_2 = 100\text{ k}\Omega$ رکھے گئے۔ بغیر زیادہ غور کئے لہرین⁸² پر دیکھا گیا کہ 0.1V کا اشارہ بڑھاتے وقت دور نہایت عمدگی سے کام کرتے ہوئے 10V خارج کرتا ہے۔ عفت نے امید رکھی کہ 10mV کے اشارے کو بھی دور خوش اسلوبی سے بڑھاتے ہوئے 1V خارج کرے گا۔ لہرین میں غور سے دیکھتے ہوئے معلوم ہوا ہے کہ خارجی اشارے کی مثبت چوٹی 1.2V جبکہ اس کی منفی چوٹی -0.8 V ہے۔ پر تھی۔

- $v_s = 0\text{ V}$ کی صورت میں v_0 کی کیا قیمت متوقع ہے۔
- اگر مسئلہ میلان برق رو کی وجہ سے پیدا ہوا بوبت حسابی ایمپلیفائر کے مثبت داخلی سرے پر کتنی مزاحمت نسب کرنے سے مسئلہ حل ہو گا۔
- مثبت داخلی سرے پر درکار مزاحمت نسب کرنے سے $v_s = 0\text{ V}$ کی صورت میں $v_0 = 0.19\text{ V}$ حاصل ہوتا ہے۔ یوں میلان برق رو کی وجہ سے خارجی اشارے میں 10mV کا فرق پیدا ہو رہا ہے۔ میلان برق رو کی قیمت حاصل کریں۔
- توقع کی جاتی ہے کہ بقايا $v_0 = 0.19\text{ V}$ داخلی انحراف برق دباؤ کی وجہ سے ہے۔ استعمال کئے گئے حسابی ایمپلیفائر کی داخلی انحراف برق دباؤ V_{OS} حاصل کریں۔

جوابات: $|V_{OS}| = 1.88\text{ mV}$, $I_B = 100\text{ nA}$, 990Ω , 0.2 V

سوال 1.7: مال لادنے سے پہلے اور لادنے کے بعد ٹرک کا وزن کرتے ہوئے لدے گئے مال کا وزن حاصل کیا جاتا ہے۔ ٹرک کا وزن ناپنے کی خاطر لوڈ سیل⁸³ استعمال کیا جاتا ہے جو در حقیقت ویٹ سٹوں چکور⁸⁴ پر مشتمل ہوتا ہے۔ ویٹ سٹوں چکور⁸⁵ کو شکل 1.44 میں دکھایا گیا ہے۔ عام صورت میں اس کے چاروں مزاحمتوں کی قیمت برابر R ہوئے ہے۔ وزن پڑنے پر ان میں سے ایک مزاحمت کی مزاحمت تبدیل ہو کر $R + \Delta R$ ہو جاتی ہے۔ ویٹ سٹوں چکور سے اشارات V_1 اور V_2 حاصل کرتے ہوئے آلاتی ایمپلیفائر کو مہیا کئے جاتے ہیں جو ان میں نہایت باریک فرق $V_2 - V_1$ کو بڑھا کر خارج کرتا ہے۔ ویٹ سٹوں چکور کو آلاتی ایمپلیفائر کے ساتھ جوڑ کر خارجی اشارہ v_0 کی مساوات حاصل کریں۔ آلاتی ایمپلیفائر کو صفحہ 46 پر شکل 1.5.9 میں دکھایا گیا ہے۔

جواب: ویٹ سٹوں چکور کا

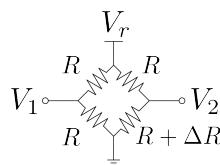
$$V_2 - V_1 = \frac{\Delta R}{4 \left(R + \frac{\Delta R}{2} \right)} V_r$$

oscilloscope⁸²

load cell⁸³

Wheatstone bridge⁸⁴

⁸⁵ ویٹ سٹوں چکور کا نام چارلس ویٹ سٹوں سے منسوب ہے جنہوں نے اس کا استعمال عام بنایا



شكل 1.44: ویٹ سٹون چکور

کرے برابر ہے۔ اس کو آلاتی ایمپلیفائر کی افزائش سے ضرب دیتے ہوئے

$$v_o = \frac{\Delta R}{4(R + \frac{\Delta R}{2})} \left(\frac{R_4}{R_3} \right) \left(1 + \frac{2R_2}{R_1} \right) V_r$$

حاصل ہوتا ہے۔

سوال 1.8: مثبت حسابي ایمپلیفائر میں $v_s = 0.5 \text{ V}$ اور $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$ رکھئے گئے۔ $R_2 = 14.7 \text{ k}\Omega$ اشارے پر $v_o = 7.85 \text{ V}$ متوقع ہے۔ مزاحمتون کے قیمتوں میں $\pm 5\%$ غلطی کے گنجائش کی صورت میں

- v_o کے ممکنہ حدود حاصل کریں۔
- کل غلطی اصل جواب کے کتنے فی صد ہے۔
- اگر کل غلطی کو 5% سے کم رکھا جائے تو مزاحمتون کے قیمت میں زیادہ سے زیادہ کتنے فی صد غلطی قابل برداشت ہو گئی۔

جوابات: خارجی اشارہ 7.15 V تا 8.62368 V ممکن ہے۔ زیادہ سے زیادہ v_o اس وقت حاصل ہو گا جب R_2 کی قیمت 5% زیادہ اور R_1 کی قیمت 5% کم ہو۔ کل غلطی $18.77\% \pm 1.33\%$ ہے۔

سوال 1.9: غیر کامل حسابي ایمپلیفائر استعمال کرتے ہوئے منفی حسابي ایمپلیفائر بنایا جاتا ہے جس میں $R_1 = 5 \text{ k}\Omega$ اور $R_2 = 50 \text{ k}\Omega$ رکھئے جاتے ہیں۔ غور کرنے پر معلوم ہوتا ہے کہ $\frac{v_o}{v_s} = -9.99 \frac{\text{V}}{\text{V}}$ حاصل ہوا ہے۔ کاملاً حسابي ایمپلیفائر کا مساوی دور استعمال کرتے ہوئے حسابي ایمپلیفائر کی A_d حاصل کریں۔

جوابات: $A_d = 10989 \frac{\text{V}}{\text{V}}$

سوال 1.10: صفحہ 21 پر مزاحمت نما ایمپلیفائر دکھایا گیا ہے۔ $A_d \rightarrow \infty$ کی صورت میں مزاحمت نما ایمپلیفائر کی $-R = \frac{v_o}{i_s}$ کے برابر ہوتی ہے۔ محدود A_d کی صورت میں حسابي ایمپلیفائر کے کامل مساوی دور کے استعمال سے $\frac{v_o}{i_s}$ اور داخلی مزاحمت حاصل کریں۔

جوابات: $R = \frac{A_d R}{A_d + 1}$ ، $\frac{v_o}{i_s} = -\frac{A_d R}{A_d + 1}$ = داخلی

سوال 1.11: ایک منفی حسابی ایمپلیفائر جس کی $A_d = 60000 \frac{V}{V}$ ہو خطی خطے میں رہتے ہوئے 12V خارج کر رہا ہے۔ کامل مساوی دور استعمال کرتے ہوئے منفی داخلی سرے پر برقی دباؤ حاصل کریں۔ اگر $A_d = 1000 \frac{V}{V}$ ہوتا تب جواب کیا ہوتا۔

جوابات: -12 mV ، $-200 \mu\text{V}$

سوال 1.12: لامحدود A_d کی صورت میں منفی حسابی ایمپلیفائر کی $A_v = -\frac{R_2}{R_1}$ حاصل ہوئے ہے۔

- محدود A_d کی صورت میں صفحہ 9 پر شکل 1.4 میں دیے کامل مساوی دور استعمال کرتے ہوئے حاصل کریں۔ A_v

- لامحدود A_d کے جواب کی نسبت سے A_v میں غلطی کا فی صد حاصل کریں۔

• $A_d = 10000 \frac{V}{V}$ کی صورت میں $\frac{R_2}{R_1}$ کی وہ قیمت حاصل کریں جس پر A_v میں غلطی 0.1% ہو۔

• $A_d = 10000 \frac{V}{V}$ کی صورت میں $R_2 = 9 \text{k}\Omega$ رکھتے ہوئے R_1 کی وہ قیمت حاصل کریں جس پر A_v بالکل برابر $50 \frac{V}{V}$ ہو۔ اگر ایمپلیفائر میں $R_1 = 180 \Omega$ ہے تو R_1 کے متوازی کتنی مذاہم جوزئی سے بالکل صحیح درکار R_1 حاصل ہوئے ہے۔

جوابات: $\frac{R_2}{R_1} = \frac{1}{0.111} \approx 9.009$ ، $A_v = \frac{-A_d R_2}{1 + R_1(A_d + 1)} = 9.009 \left(\frac{R_1 + R_2}{R_1 A_d + R_2} \right)$ ۔ آخری جواب سے ظاہر ہے کہ $A_v = -9 \frac{V}{V}$ سے زیادہ افزائش پر فرق 0.1% سے زیادہ ہو گا۔ $R_1 = 179.9819 \Omega$ ، $1.8 \text{ M}\Omega$ ،

سوال 1.13: صفحہ 33 پر تکمل کار دکھایا گیا ہے۔ اس میں $R = 14.7 \text{k}\Omega$ اور $C = 0.01 \mu\text{F}$ رکھیں۔ حسابی ایمپلیفائر کی داخلی اخراجی برقی دباؤ $V_{OS} = 2 \text{ mV}$ ہونے کی وجہ سے خارجی اشارہ صفر وولٹ سے کتنی دیر میں $V_{EE} = -12 \text{ V}$ یا $V_{CC} = 12 \text{ V}$ تک پہنچ جائے گا۔ اگر $C = 0.1 \mu\text{F}$ کر دیا جائے تو جواب کیا ہو گا۔

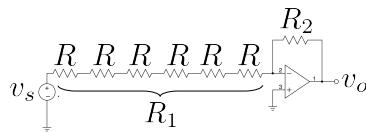
جواب: $v_s = 0.882 \text{ s}$ ، 8.82 s ان جوابات سے آپ دیکھ سکتے ہیں کہ داخلی اشارے کی عدم موجودگی یعنی $v_s = 0$ کی صورت میں تکمل کار صفر وولٹ خارج نہیں کرتا بلکہ خارجی اشارہ مکمل مثبت یا مکمل منفی جانب پہنچنے کی کوشش کرتا ہے۔ RC کی قیمت بڑھا کر v_o کی رفتار آبستہ کرتے ہوئے اس عمل کو دیکھنے کی وضاحت دوسری جزو میں کی گئی۔

اسا بدلنا داخلی اشارہ جس کے مثبت اور منفی حصے برابر ہوں کے ایک چکر کا اوپسٹ صفر ہوتا ہے۔ تکمل کار ایسے اشارے کا تکمل لیتے ہوئے V_{OS} کا بھی تکمل لیتا ہے۔ نتیجتاً تکمل کار کا خارجی اشارہ اوپسٹاً صفر وولٹ پر نہیں رہتا بلکہ اس کی مثبت چوٹی V_{CC} یا منفی چوٹی V_{EE} پر رہتے ہوئے یہ داخلی اشارے کا تکمل لیتا ہے۔

سوال 1.14: صفحہ 55 پر عددی سے مثال کار دکھایا گیا ہے۔ 15_{10} سروں پر -12 V خارج کرنے کی خاطر R' کی قیمت حاصل کریں۔ اس صورت 9_{10} پر کتنی مثال برقی دباؤ خارج کیا جائے گا۔

جواب: 15_{10} در حقیقت 1111_2 کو ظاہر کرتا ہے۔ $R' = 1.28R$ درکار قیمت ہے۔ 9_{10} پر $v_o = -7.2 \text{ V}$ خارج کیا جائے گا۔

سوال 1.15: چالو ٹریکٹر پر بیسہ ڈرائیور سے ٹی وی پر نشریات کی خاطر سوال و جواب کیا جاتا ہے۔ ٹریکٹر کی شور کو ختم کرنے کی خاطر دو مائل کا استعمال کیا جاتا ہے۔ ایک مائل کو ڈرائیور کے



شكل 1.45: بلند برقی دباؤ کے اشارے کا حصول

منہ سے دو فٹ کے فاصلے پر جبکہ دوسرے کو منہ کے قریب رکھا جاتا ہے۔ دور مائیک صرف ٹریکٹر کا شور سنتے ہوئے v_{s1} اشارہ خارج کرتا ہے جبکہ قریب مائیک ٹریکٹر کے شور کے ساتھ ساتھ ڈرائیور کی گفتگو ہمی حاصل کرتے ہوئے اشارہ v_{s2} خارج کرتا ہے۔ ٹریکٹر کے شور کو $V_t \cos \omega_t t$ جبکہ ڈرائیور کی گفتگو کو $V_d \cos \omega_d t$ لکھتے ہوئے

$$v_{s2} = V_t \cos \omega_t t + V_d \cos \omega_d t$$

$$v_{s1} = V_t \cos \omega_t t$$

اسارات حاصل ہوتے ہیں۔ صفحہ 38 پر دکھائے منفی کار استعمال کرتے ہوئے شور سے پاک اشارہ حاصل کریں۔

جواب: تمام مزاحمت برابر قیمت کے رکھیں۔

سوال 1.16: سوال 1.15 کے سوال و جواب لیتے وقت دیکھا گیا کہ دور مائیک میں نسبتاً زیادہ شور پایا جاتا ہے۔ یوں

$$v_{s2} = V_t \cos \omega_t t + V_d \cos \omega_d t$$

$$v_{s1} = 1.2V_t \cos \omega_t t$$

اسارات حاصل ہوتے ہیں۔ حل تجویز کریں۔

$$\text{جواب: } \frac{R_4(R_1+R_2)}{R_1(R_3+R_4)} = 1.2 \frac{R_2}{R_1}$$

سوال 1.17: لوپا پگھلانے والی بھتی تخلیق دیتے وقت معلوم ہوا کہ 3 kV سے زیادہ برقی دباؤ پر مسائل پیدا ہوتے ہیں۔ برقی دباؤ کو 3 kV سے کم رکھنے کی خاطر برقی دباؤ کا واپسی اشارہ درکار ہے۔ واپسی اشارے کو شکل 1.45 کے منفی ایمپلیفائر میں $R_2 < R_1$ رکھتے ہوئے حاصل کیا جاتا۔ 3 kV پر 6V کا اشارہ درکار ہے۔ کسی بھی مزاحمت میں 30 mW سے زیادہ برقی طاقت ضائع نہیں ہونا چاہئے۔ جوابات: $R = 8.33 \text{ M}\Omega$ اور $R_1 = 6R = 500R_2$

سوال 1.18: $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 2 \text{ k}\Omega$, $V_{CC} = 12 \text{ V}$ اور $V_{EE} = -12 \text{ V}$ رکھتے ہوئے منفی حسابی ایمپلیفائر کے داخلی سائنس نما اشارے کی زیادہ سے زیادہ چوٹی کیا ہو گی جس پر ایمپلیفائر خطی خطے میں رہتا ہو۔ مثبت ایمپلیفائر کے لئے بھی جواب حاصل کریں۔

جوابات: 2.4 V اور 2.4 V

سوال 1.19: مستطیلی پتلے اشارات⁸⁶ کے دورانیہ چڑائی⁸⁷ سے مراد اشارے کا 10% سے 90%

pulses⁸⁶
rise time⁸⁷

چوٹی تک پہنچنے کا دورانیہ ہے۔ اسی طرح دورانیہ اترائی⁸⁸ سے مراد اشارے کا چوٹی کے 90% سے 10% تک پہنچنے کا دورانیہ ہے۔

V 5V چوٹی اور $1\mu s$ دوري عرصے⁸⁹ والا چکور اشارہ⁹⁰ مستحکم کار کو فراہم کیا جاتا ہے۔ دورانیہ چڑائی اور دورانیہ اترائی کا مجموعہ دوري عرصے کے 5% سے کم ہونا درکار ہے۔ رفتار چال حاصل کریں۔

جواب: $160 \frac{V}{\mu s}$

سوال 1.20: صفحہ 45 پر جمع و منفی کار دکھایا گیا ہے۔ جمع و منفی کار کے مشت داخلی سروں سے جڑے v_{j1} تا v_{js} کو قصر دور کرتے ہوئے مزاحمت R_{j1} تا R_{js} کے داخلی سرے برقی زمین کے ساتھ جوڑتے ہوئے دور کا خارجی اشارہ v_{om} حاصل کریں۔ اسی طرح منفی داخلی سرے قصر دور کرتے ہوئے خارجی اشارہ v_{oj} حاصل کریں۔ تمام داخلی اشارات کے موجودگی میں خارجی اشارہ $v_{om} + v_{oj}$ کے برابر ہو گا۔ اس طرح مساوات 1.55 حاصل کریں۔

سوال 1.21: لامحدود A_d کی صورت میں مستحکم کار کا خارجی اشارہ اس کے داخلی اشارے کے برابر ہوتا ہے۔ اور $A_d = 1000 \frac{V}{V}$ اور $A_d = 10000 \frac{V}{V}$ کی صورت میں خارجی اشارہ کتنے فی صد کم یا زیادہ ہو گا۔

جوابات: خارجی اشارہ $9.999 \times 10^{-3} \text{ %}$ ، 0.0999 % فی صد کم ہو گا۔

سوال 1.22: منفی کار اور جمع کار میں تمام مزاحمت برابر ہونے کی صورت میں v_1 کو صفر وولٹ کرتے ہوئے v_2 کو نظر آئے والا داخلی مزاحمت کیا ہو گا۔ اسی طرح v_2 کو صفر وولٹ کرتے ہوئے v_1 کو نظر آئے والا داخلی مزاحمت کیا ہو گا۔ جواب بغیر حساب و کتاب کے بتائیں۔

جوابات: R ، $2R$ ، R ، اور R

سوال 1.23: صفحہ 38 پر منفی کار دکھایا گیا ہے۔ مساوات 1.53 اس کی خارجی مساوات ہے۔ داخلی اشارات

$$v_{s2} = v_m + \frac{v_f}{2}$$

$$v_{s2} = v_m - \frac{v_f}{2}$$

کے داخلی اشارات منفی کار کو مہیا کئے جاتے ہیں جہاں v_m کو مشترکہ اشارہ⁹¹ جبکہ v_f کو تفرق اشارہ⁹² کہتے ہیں۔ خارجی مساوات کو

$$(1.76) \quad v_o = A_m v_m + A_f v_f$$

صورت میں لکھیں۔ مشترکہ افزائش تقسیم تفرق افزائش کو مشترکہ اشارہ رد کرنے کے صلاحیت⁹³

fall time⁸⁸
time period⁸⁹
square wave⁹⁰
common mode signal⁹¹
differential mode signal⁹²
common mode rejection ratio CMRR⁹³

کہتے ہیں۔ ثابت کریں کہ

$$CMRR = \frac{A_{\text{نفر}}}{A_{\text{مشترک}}} = \frac{1 + \frac{1}{2} \left(\frac{R_1}{R_2} + \frac{R_3}{R_4} \right)}{\frac{R_1}{R_2} - \frac{R_3}{R_4}}$$

کے برابر ہے۔

سوال 1.24: منفی کار بناتے وقت $R_2 = \frac{R_3}{R_4}$ رکھا جاتا ہے جس سے اس کی مشترکہ اشارہ رد کرنے کے صلاحیت کی قیمت لاحدود حاصل ہوتی ہے۔ حقیقی مزاحمتوں کی قیمت ان کے پکارے گئے قیمتوں سے اوپر نیچے ہوتیں ہیں۔ سوال 1.23 میں حاصل جواب کو استعمال کرتے ہوئے ثابت کریں کہ ایسی صورت میں کم سے کم مشترکہ اشارہ رد کرنے کے صلاحیت کی قیمت $\frac{A+1+\epsilon^2}{4\epsilon}$ کے برابر ہو گی جہاں $A = \frac{R_2}{R_1} = \frac{R_4}{R_3}$ کے برابر ہے اور مزاحمت کے قیمتوں میں 5% غلطی کے لئے $\epsilon = 0.05$ ہو گا۔

سوال 1.24: $R_1 = R_3 = 1 \text{ k}\Omega$ اور $R_2 = R_4 = 21 \text{ k}\Omega$ کی صورت میں اگر مزاحمتوں کے قیمتوں میں $\pm 5\%$ غلطی کی گنجائش ہو تو مشترکہ اشارہ رد کرنے کے صلاحیت کی قیمت کیا حاصل ہو گی۔ $\pm 0.1\%$ کی صورت میں جواب کیا ہو گا۔

جوابات: 5500، 110، 110

سوال 1.25: $\pm 12 \text{ V}$ پر چلنے والے ایک حسابی ایمپلیفائر کا خارجی اشارہ $-10.5 \text{ V} \rightarrow 10.5 \text{ V}$ تا 10.5 V بغیر بگرے تبدیل ہو سکتا ہے۔ اسے استعمال کرتے ہوئے $A_v = -40 \frac{\text{V}}{\text{V}}$ کا منفی حسابی ایمپلیفائر بنایا جاتا ہے۔ داخلی اشارے کی وہ چوٹی V_p حاصل کریں جس پر خارجی اشارہ بگڑ جائے گا۔

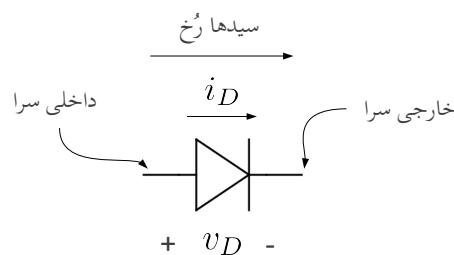
جواب: $|V_p| > 0.2625 \text{ V}$

الباد 2

ڈائیوڈ

الیکٹرانک پر زہ جات میں ڈائیوڈ کلیدی مقام رکھتا ہے۔ ڈائیوڈ کی علامت شکل 2.1 میں دکھائی گئی ہے۔ ڈائیوڈ کی خاصیت یہ ہے کہ اس کے دو سروں کے مابین، برقی رو صرف ایک رُخ میں گزر سکتی ہے۔ ڈائیوڈ کی علامت میں تیر کا نشان اسی رُخ کو ظاہر کرتا ہے۔ اس رُخ کو ڈائیوڈ کا سیدھا رُخ کہتے ہیں۔ ڈائیوڈ کے دو اہم اقسام سلیکان ڈائیوڈ اور جرمینیم ڈائیوڈ ہیں۔ سلیکان ڈائیوڈ کے خصوصیات جرمینیم ڈائیوڈ سے بہت بہتر ہیں۔ اسی لئے سلیکان ڈائیوڈ زیادہ مقبول ہیں۔ اس کتاب میں سلیکان ڈائیوڈ پر ہی تبصرہ کیا جائے گا۔ ڈائیوڈ کے دو سروں کے مابین برقی دیا و v_D اور ڈائیوڈ میں سیدھے رخ برقی رو i_D کو ناپنے کا درست طریقہ اسی شکل میں دکھایا گیا ہے۔ ڈائیوڈ کے کارکردگی کی $i_D - v_D$ مساوات مندرجہ ذیل

diode^l



شکل 2.1: ڈائیوڈ کی علامت

ہے۔

$$(2.1) \quad i_D = I_S \left(e^{\frac{qv_D}{nkT}} - 1 \right)$$

اس مساوات میں حرارتی برق دباؤ² کو V_T

$$(2.2) \quad V_T = \frac{kT}{q}$$

لکھتے ہوئے مساوات کو عموماً یوں لکھا جاتا ہے

$$(2.3) \quad i_D = I_S \left(e^{\frac{v_D}{nV_T}} - 1 \right)$$

جهان

 I_S لبریزی برق رو³ q الیکٹران کا چارج $C = 1.6 \times 10^{-19}$ k بولٹمن⁴ کا مستقل $J/K = 1.38 \times 10^{-23}$ T کیلوں پیمائش حرارت⁵ V_T حرارتی برق دباؤ

n اخراجی جزو⁶ جس کی قیمت ایک تا دو بوئی ہے۔ مخلوط ادوار میں بنائے گئے ڈائیوڈ کا عموماً $n = 1$ جبکہ انفرادی دو سروں والے ڈائیوڈ کا $n = 2$ ہوتا ہے۔ اس کتاب میں $n = 1$ تصور کیا جائے گا۔

 $n = 1$ لیتے ہوئے

$$(2.4) \quad i_D = I_S \left(e^{\frac{v_D}{V_T}} - 1 \right)$$

حاصل ہوتا ہے۔ اس کتاب میں یہی مساوات بطور ڈائیوڈ کی مساوات استعمال کی جائے گی۔

مثال 2.1: مندرجہ ذیل حرارت پر حرارتی برق دباؤ V_T کی قیمت حاصل کریں۔thermal voltage²saturation current³Boltzmann constant⁴Kelvin⁵emission coefficient⁶

1. پانی ابلنے کے درجہ حرارت یعنی 100°C پر⁷
 2. پانی منجمد ہونے کے درجہ حرارت یعنی 0°C پر
 3. تیس ڈگری سیلیسیئس یعنی 23°C پر
- حل:

1. پانی سو ڈگری سیلیسیئس یعنی 100°C پر ابلتا ہے۔ اس درجہ حرارت جو کہ ڈگری سنٹی گریڈ یا ڈگری سیلیسیئس $^{\circ}\text{C}$ میں ہے کو کیلوین K حرارتی پیمائش میں تبدیل کرتے ہیں۔ چونکہ ہوتا ہے لہذا $V_T = 373\text{K}$ کی قیمت $^{\circ}\text{C} + 273$ پر درکار ہے۔ یوں

$$V_T = \frac{kT}{q} = \frac{1.38 \times 10^{-23} \times 373}{1.6 \times 10^{-19}} = 0.03217\text{V}$$

2. پانی صفر ڈگری سیلیسیئس یعنی 273K پر منجمد ہوتا ہے۔ اس حرارت پر

$$V_T = \frac{kT}{q} = \frac{1.38 \times 10^{-23} \times 273}{1.6 \times 10^{-19}} = 0.0237\text{V}$$

یعنی 23.7mV کے برابر ہے۔

3. تیس ڈگری سیلیسیئس جسے عام زندگی کا ریائشی درجہ حرارت لیا جاتا ہے پر حرارتی برقی دباؤ کی قیمت

$$V_T = \frac{kT}{q} = \frac{1.38 \times 10^{-23} \times 300}{1.6 \times 10^{-19}} = 0.0258\text{V}$$

یعنی 25.8mV ہے۔

عام طور ڈائیوڈ کی مساوات میں حرارتی برقی دباؤ کو 25mV لیا جاتا ہے جسے یاد رکھنا قدر آسان ہے یعنی

(2.5) $V_T = 25\text{mV}$

مثال 2.2: ایک ایسے ڈائیوڈ جس کا $I_S = 5.1\text{fA}$ کے برابر ہو کی برقی دباؤ v_D ان برقی رو i_D پر حاصل کریں۔

$$i_D = 1\text{mA}$$

Celsius^7

$$i_D = 10 \text{ mA} .2$$

$$i_D = 100 \text{ mA} .3$$

حل: مساوات 2.3 میں $n = 1$ اور $V_T = 25 \text{ mV}$ لیتے ہوئے۔

$$v_D = V_T \ln \left(\frac{i_D}{I_S} + 1 \right) = 0.025 \times \ln \left(\frac{1 \times 10^{-3}}{5.1 \times 10^{-15}} + 1 \right) = 0.65 \text{ V} .1$$

$$v_D = V_T \ln \left(\frac{i_D}{I_S} + 1 \right) = 0.025 \times \ln \left(\frac{10 \times 10^{-3}}{5.1 \times 10^{-15}} + 1 \right) = 0.707 \text{ V} .2$$

$$v_D = V_T \ln \left(\frac{i_D}{I_S} + 1 \right) = 0.025 \times \ln \left(\frac{100 \times 10^{-3}}{5.1 \times 10^{-15}} + 1 \right) = 0.767 \text{ V} .3$$

مثال میں دئے ڈائیوڈ سے گزرتے مشتبہ برقی رو i_D کی قیمت سو گناہ بڑھنے سے اس کے برقی دباؤ v_D کی قیمت 0.65 V سے بڑھ کر 0.767 V ہوئی۔ یہ ایک نہایت اہم اور عمومی نتیجہ ہے جسے استعمال کرتے ہم عام طور ایک ایسے سلیکان ڈائیوڈ جس میں سیدھے رُخ برقی رو کا ہاوا ہو، کے دو سروں کے مابین برقی دباؤ کو 0.7 V ہی تصور کرتے ہیں یعنی

$$(2.6) \quad v_D = 0.7 \text{ V}$$

یہاں بتلاتا چلوں کہ سیدھے مائل جرمینیم ڈائیوڈ⁸ پر 0.2 V پائی جاتے ہیں۔ مساوات 2.3 میں $I_S = 5.1 \times 10^{-15} \text{ A}$ لیتے ہوئے اسے مشتبہ برقی دباؤ کے لئے شکل 2.2 میں گراف کیا گیا ہے جہاں افقی محور پر v_D کو وولٹ میں اور عمودی محور پر i_D کو ایمپیئر میں دکھایا گیا ہے۔ اس گراف سے واضح ہے کہ $0.5 \text{ V} > v_D > 0 \text{ V}$ کے احاطے میں ڈائیوڈ سے گزرنی برقی رو رو قابل نظر انداز ہے۔ اگرچہ جب ہی $v_D > 0 \text{ V}$ ہو ڈائیوڈ کو سیدھا مائل⁹ تصور کیا جاتا ہے، حقیقت میں ڈائیوڈ کو $0.5 \text{ V} > v_D > 0 \text{ V}$ کی صورت میں ہی چالو تصور کیا جاتا ہے۔ یوں $v_D = 0.5 \text{ V}$ کو ڈائیوڈ کی چالو برقی دباؤ¹⁰ کہتے ہیں۔ چالو ڈائیوڈ کی مساوات میں چونکہ

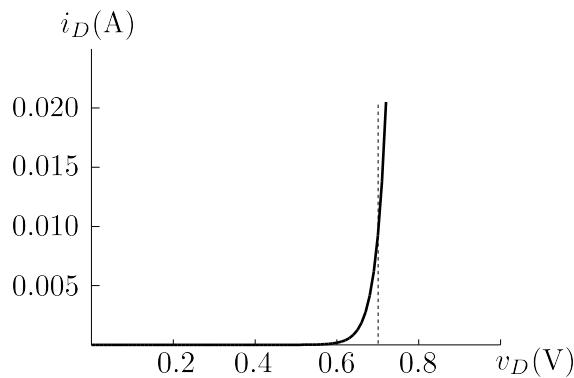
$$e^{\frac{v_D}{V_T}} >> 1$$

ہوتا ہے لہذا چالو ڈائیوڈ کی مساوات یوں لکھی جا سکتی ہے۔

$$(2.7) \quad i_D \approx I_S e^{\frac{v_D}{V_T}}$$

شکل 2.2 میں 0.7 V پر نقطہ دار لگا کر اس بات کی وضاحت کی گئی ہے کہ سیدھے مائل ڈائیوڈ کی برقی دباؤ v_D تقریباً 0.7 V وولٹ ریتی سے ڈائیوڈ پر سیدھے رُخ برقی دباؤ کو سیدھے رُخ ڈائیوڈ

germanium diode⁸
forward biased⁹
cut-in voltage¹⁰



شکل 2.2: سیدھے مائل ڈائوڈ کا خط

پر برق دباؤ کا گھٹاؤ کہتے ہیں جسے عموماً چھوٹا کر کر سیدھا برق دباؤ کا گھٹاؤ یا مزید چھوٹا کر کر صرف سیدھا گھٹاؤ کہتے ہیں۔ یون ڈائوڈ کا سیدھا گھٹاؤ تقریباً 0.7 V وولٹ تصور کیا جاتا ہے۔

مثال 2.3: پچھلے مثال کے ڈائوڈ کی برقی رو i_D ان برقی دباؤ پر حاصل کریں۔

$$v_D = -10\text{ V} \quad .1$$

$$v_D = -1\text{ V} \quad .2$$

$$v_D = -0.1\text{ V} \quad .3$$

حل:

$$i_D = I_S \left(e^{\frac{v_D}{V_T}} - 1 \right) = I_S \left(e^{-\frac{10}{0.025}} \right) = I_S \left(e^{-400} - 1 \right) \approx I_S \quad .1$$

$$i_D = I_S \left(e^{\frac{v_D}{V_T}} - 1 \right) = I_S \left(e^{-\frac{1}{0.025}} \right) = I_S \left(e^{-40} - 1 \right) \approx I_S \quad .2$$

$$i_D = I_S \left(e^{\frac{v_D}{V_T}} - 1 \right) = I_S \left(e^{-\frac{0.1}{0.025}} \right) = I_S \left(e^{-4} - 1 \right) \approx I_S \quad .3$$

مثال 2.4: I_S کی قیمت درجہ حرارت بڑھنے 15% فی کیلوں بڑھتی ہے۔ 5°C درجہ حرارت بڑھنے سے I_S کی قیمت کتنا ہو جائے گی۔

حل: درجہ حرارت 1°C بڑھنے سے نئی قیمت $1.15I_S$ ہو جائے گی۔ مزید 1°C بڑھنے سے I_S مزید 15% بڑھ کر $1.15 \times 1.15I_S$ ہو جائے گی۔ یوں 5°C بڑھنے سے

$$1.15^5 I_S \approx 2I_S$$

ہو جائے گا۔

اس مثال سے ہم دیکھتے ہیں کہ درجہ حرارت 5°C بڑھنے سے I_S کی قیمت دگنی ہو جاتی ہے۔ اس طرح اگر مثلاً 25°C پر $I_S = 10^{-15} \text{ A}$ ہوتا ہے تو 30°C پر $I_S = 2 \times 10^{-15} \text{ A}$ اور 35°C پر $I_S = 4 \times 10^{-15} \text{ A}$ ہو جائے گی۔

مشق 2.1: 25°C پر $I_S = 10^{-15} \text{ A}$ ہے۔ 125°C پر I_S کی قیمت حاصل کریں۔
جواب: $2^{20} \times I_S \approx 1 \text{nA}$

آپ نے مثال 2.4 میں دیکھا کہ منفی v_D کی صورت میں برق روکی قیمت تقریباً $-I_S$ کے برابر ہوئی برق روکا ہوا ڈائیوڈ میں الٹی رُخ کی جانب ہوتا ہے جبکہ اس کا کل مقدار $|I_S|$ رہتا ہے۔ یاد رہے کہ I_S ایک نہایت چھوٹی مقدار ہے جسے عموماً صفر ہی تصور کیا جاتا ہے۔ حقیقی ڈائیوڈ میں الٹی رُخ برق روکی قیمت I_S سے کمی درجہ زیادہ ہوتی ہے۔ مثلاً جہاں اللہ مائل ڈائیوڈ کے مساوات کے مطابق $A = 10^{-15} \text{ A}$ ہے تو $I_S = 10^{-15} \text{ A}$ برق روگزرننا چاہیے وہاں حقیقت میں الٹی رُخ $A = 10^{-9} \text{ A}$ برق روکی ممکن ہے۔ مزید یہ کہ اللہ مائل کرنے والا برق دباؤ بھی الٹی رُخ برق روکی مقدار پر اثر انداز ہوتا ہے۔

الٹی رُخ برق روکا بیشتر حصہ ڈائیوڈ میں الٹی رُخ رستا برق رو¹¹ ہے جو ڈائیوڈ کے رقبے کے ساتھ راہ راست تناسب رکھتا ہے۔ I_S بھی ڈائیوڈ کے pn جوڑ کے رقبے کے ساتھ راہ راست تناسب رکھتا ہے۔ درجہ حرارت 5°C بڑھنے سے I_S کی قیمت دگنا ہو جاتی ہے جبکہ الٹی رُخ رستا برق روکی قیمت 10°C بڑھنے سے دگنا ہوتی ہے۔

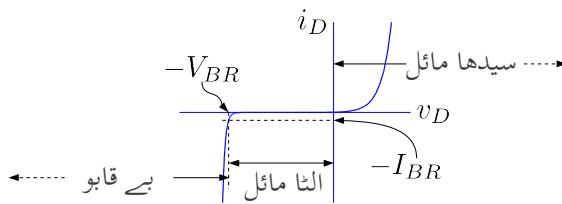
جب ڈائیوڈ پر بیرونی لاگو برق دباؤ ڈائیوڈ میں الٹی رُخ برق روگزارنے کی کوشش کرے ہم کہتے ہیں کہ ڈائیوڈ اللہ مائل¹² کیا گیا ہے اور اسی طرح بیرونی لاگو برق دباؤ ڈائیوڈ میں سیدھے رُخ برق روگزارنے کی کوشش کرے تب ہم کہتے ہیں کہ ڈائیوڈ سیدھا مائل¹³ کیا گیا ہے۔ شکل 2.3 میں ڈائیوڈ کا برق دباؤ بال مقابل برق رو ($v_D - i_D$) کا خط دکھایا گیا ہے جس میں ڈائیوڈ کے سیدھے مائل اور الٹی مائل خطے دکھائیں گئے ہیں۔ اس شکل میں بے قابو خطے¹⁴ بھی دکھایا گیا ہے جو مساوات 2.3 سے کسی صورت اخذ نہیں کیا جا سکتا۔

reverse leakage current¹¹

reverse biased¹²

forward biased¹³

breakdown region¹⁴



شکل 2.3: ڈائیوڈ کا برقی دباؤ بالمقابل برقی رو کا خط

درachi مساوات 2.3 حاصل کرتے وقت ڈائیوڈ کی کئی پیچیدگیاں نظر انداز کی گئیں اور یوں اگرچہ یہ مساوات سیدھے مائل ڈائیوڈ کی کارکردگی کو ہتھ بہت بیان کرتا ہے، اللہ مائل ڈائیوڈ کی کارکردگی کو یہ پوری طرح صحیح بیان نہیں کرتا اور ڈائیوڈ کے بے قابو خطے کو سراسر خطا کر جاتا ہے۔ بے قابو خطے پر آگے تبصرہ کیا جائے گا۔ یہاں صرف اتنا بتانا ضروری ہے کہ اگر ڈائیوڈ پر اللہ رخ برق دباؤ لاگو کر کرے اسے اللہ مائل کیا جائے تو ڈائیوڈ اس برق دباؤ کو برداشت کرتا ہے اور اللہ رخ برق رو نہیں گرنے دیتا۔ اگر اس اللہ مائل کرنے والے برق دباؤ کو بتدریج بڑھائی جائے تو آخر کار یہ ڈائیوڈ کے برداشت کے حد سے تجاوز کر جائے گا اور ڈائیوڈ یک دم اللہ رخ بے قابو برق رو گزارنے دیے گا۔ جس برق دباؤ پر ایسا ہو اسے ڈائیوڈ کی ناقابل برداشت اللٹ برق دباؤ¹⁵ V_{BR} کہتے ہیں۔ اگرچہ گراف میں ناقابل برداشت برق دباؤ منفی محور پر ہے، اس کی قیمت مشت لکھی اور پڑھی جاتی ہے۔ مختلف ڈائیوڈ کی ناقابل برداشت برق دباؤ مختلف ہوتی ہے اور یہ چند وولٹ سے ہزاروں وولٹ تک ممکن ہے۔

شکل 2.3 میں دکھائے تین خطوں کی نشاندہی یوں کی جاتی ہے۔

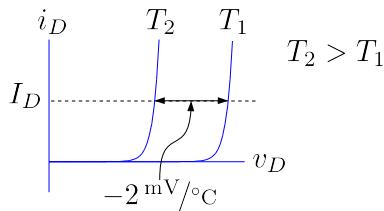
- سیدھا مائل $0 < v_D$

- اللٹ مائل $-V_{BR} < v_D < 0$

- بے قابو $v_D < -V_{BR}$

ڈائیوڈ کی مساوات میں V_T واضح طور پر درجہ حرارت پر منحصر ہے۔ اگرچہ I_S کو مستقل سمجھا گیا ہے، حقیقت میں یہ بھی درجہ حرارت پر منحصر ہوتا ہے۔ اگر ڈائیوڈ میں سیدھے درجہ حرارت بڑھایا جائے تو مساوات 2.3 میں V_T کی وجہ سے ہم توقع کرتے ہیں کہ ڈائیوڈ پر برق دباؤ کی قیمت بھی بڑھے گی۔ جیسا شکل 2.4 میں دکھایا گیا ہے، حقیقت میں ایسا نہیں ہوتا اور ہم دیکھتے ہیں کہ برق رو بدلے بغیر، 1°C درجہ حرارت بڑھانے سے ڈائیوڈ پر برق دباؤ کی قیمت 2 mV گھٹتی ہے۔ درachi مساوات بڑھانے سے I_S کی قیمت بھی بڑھتی ہے اور I_S کا اثر V_T کے اثر پر غالب ہے۔ مزید یہ کہ حقیقت میں اللہ رخ برق رو کی مقدار اللہ رخ برق دباؤ کی قیمت بڑھانے سے معمولی بڑھتی ہے۔ درجہ حرارت کے ساتھ ڈائیوڈ پر برقی دباؤ کی قیمت کی تبدیلی کو برقیاتی ہرمومیٹر¹⁶ بنانے میں بروئے کار لایا گیا ہے۔

reverse breakdown voltage¹⁵
thermometer¹⁶



شكل 2.4: برقی دیاو بالمقابل درجہ حرارت

مثال 2.5: میں نے لاہور میں ٹوکر نیاز بیگ کے مقام پر واقع عطا گروپ آف انڈسٹریز¹⁷ میں کام کرتے ہوئے قوی برقیات¹⁸ کے میدان میں 100kW تا 1.5MW کے لوبا پکھالنے کی بھتیاں¹⁹ بنائیں۔ قوی برقیات میں بزاروں ایکیٹر اور ولٹ کے صلاحیت رکھنے والے ڈائیوڈ استعمال کئے جاتے ہیں۔ یہ مثال مجھے اُس وقت درپیش مسائل میں سے لیا گیا ہے۔

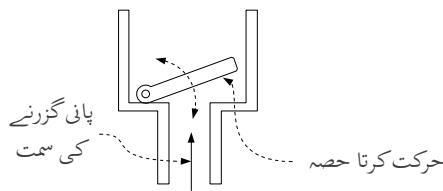
ایک ڈائیوڈ میں یکدم 1000A گزارنے سے اس پر شروع میں $V_D = 0.724\text{ V}$ پائے جاتے ہیں جو کچھ دیر میں گھستے ہوئے 0.708 V ہو کر اسی قیمت پر برقیار رہتے ہیں۔

- برق رو گزرنے سے ڈائیوڈ کی اندرونی درجہ حرارت میں کتنا اضافہ پیدا ہوا۔
- گرم ہونے کے بعد ڈائیوڈ میں برق طاقت کا ضیاء حاصل کریں۔
- فی واث طاقت کے ضیاء سے درجہ حرارت میں اضافے کو ڈائیوڈ کا حراری مزاحمت²⁰ کہتے ہیں۔ ڈائیوڈ کا حراری مزاحمت حاصل کریں۔

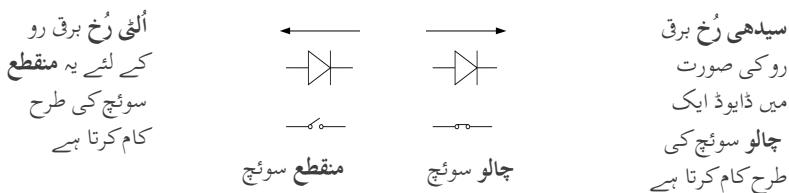
حل:

- V_D میں $0.708 - 0.724 = -0.016\text{ V}$ یعنی -0.016 V کی تبدیلی پیدا ہوئی۔ چونکہ 1°C درجہ حرارت بڑھنے سے V_D میں -2 mV کی تبدیلی رونما ہوئی ہے لہذا ڈائیوڈ کے اندرونی درجہ حرارت میں $\frac{0.016}{0.002} = 8^\circ\text{C}$ کا اضافہ پیدا ہوا۔
- ڈائیوڈ میں برق طاقت کا ضیاء $1000 \times 0.708 = 708\text{ W}$ ہے۔

$$\bullet \text{حراری مزاحمت } \frac{8}{708} = 0.011 \frac{{}^\circ\text{C}}{\text{W}} \text{ ہے۔}$$



شکل 2.5: پانی کے پائپ پر نسب والوں



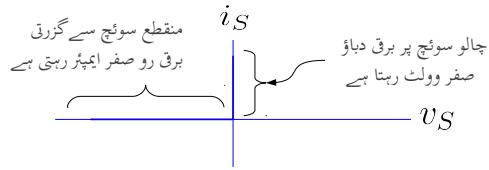
شکل 2.6: ڈائیوڈ بطور برقی سوئچ

2.1 کامل ڈائیوڈ

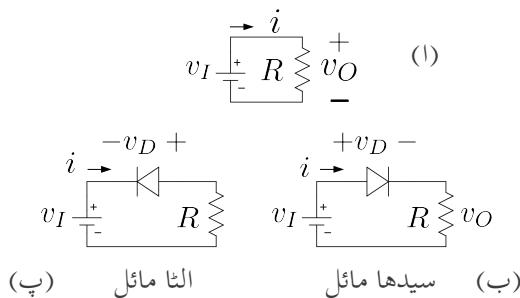
ڈائیوڈ سمجھنے کی خاطر ہم کامل ڈائیوڈ کی بات کرتے ہیں۔ کامل ڈائیوڈ²¹ حقیقت میں نہیں پایا جاتا مگر اسے سمجھنا آسان اور اسے سمجھ کر اصل ڈائیوڈ کی کارکردگی سمجھنا زیادہ آسان ہوتا ہے۔ ڈائیوڈ کی کارکردگی دل کے والوں²² کی مانند ہے۔ دل کا والو خون کو صرف ایک جانب گزرنے دیتا ہے۔ اسی طرح ڈائیوڈ برق رو کو صرف سیدھے رُخ گزرنے دیتا ہے۔ شکل 2.5 میں پانی کے پائپ پر نسب والو دکھایا گیا ہے جس کی کارکردگی شکل سے ہی واضح ہے۔

برق نقطہ نظر سے کامل ڈائیوڈ کو ایک ایسا خود کار برق سوئچ²³ تصور کیا جا سکتا ہے جو ڈائیوڈ میں سے گزرتی برق رو کی سمت کو دیکھتے ہوئے چالو یا منقطع²⁴ ہو سکے۔ ڈائیوڈ میں سیدھے رُخ برق رو اسے چالو کرنے ہے جبکہ الٹی رُخ برق رو اسے منقطع کرنے ہے۔ یوں ڈائیوڈ میں الٹی رُخ برق رو کا گر ممکن نہیں ہوتا۔ شکل 2.6 میں ایسا دکھایا گیا ہے۔ اس سوئچ کا خط شکل 2.7 میں دکھایا گیا ہے۔ اس شکل کا ڈائیوڈ کے خط کے ساتھ موازنہ کریں۔ اگر ڈائیوڈ کے 0.7V کو نظر انداز کیا جائے تو یہ دونوں خطوط یکسان معلوم ہوتے ہیں۔

ideal diode²¹valve²²switch²³switch OFF²⁴



شکل 2.7: ڈائیوڈ سوچ کا خط



شکل 2.8: سیدھا مائل ڈائیوڈ اور الثا مائل ڈائیوڈ

2.2 ڈائیوڈ کے چند ادوار

شکل 2.8 میں تین ادوار دکھائے گئے ہیں۔ شکل الف میں برق دباؤ v_I ، گھنی کی سمت میں برق رو نہ پیدا کرتا ہے جس سے تیر کے نشان سے ظاہر کیا گیا ہے۔ شکل ب اور شکل پ میں مزاحمت کے ساتھ سلسلہ وار ڈائیوڈ بھی نسب کر دئے گئے ہیں۔ شکل ب میں ڈائیوڈ یون جوڑا گیا ہے کہ برق رو نہ کی سمت شکل 2.1 میں دکھائے ڈائیوڈ کے سیدھے رخ کی جانب ہے جبکہ شکل پ میں برق رو نہ کی سمت ڈائیوڈ کی اولٹ رخ کی جانب ہے۔ یوں شکل ب میں برق رو نہ کا گرگر ممکن ہے جبکہ شکل پ میں برق رو نہ کا گزر ناممکن ہے۔ شکل ب میں برق دباؤ v_I ڈائیوڈ کو مائل کرتا ہے کہ یہ برق رو کو سیدھے رخ گزرنے دے۔ ہم کہتے ہیں کہ ڈائیوڈ سیدھے رخ مائل کیا گیا ہے یا کہ ڈائیوڈ سیدھا مائل²⁵ کیا گیا ہے۔ اس کے برعکس شکل پ میں برق دباؤ v_I ڈائیوڈ میں اُنثے رخ برق رو گزارنے کی کوشش کرتا ہے۔ اس صورت میں ہم کہتے ہیں کہ ڈائیوڈ اُنثے رخ مائل کیا گیا ہے یا کہ ڈائیوڈ اُنٹا مائل²⁶ کیا گیا ہے۔ ڈائیوڈ کے سیدھے مائل حال کو چالو حال جیکہ اس کے اُنٹ مائل حال بھی کہتے ہیں۔ شکل ب کے لئے

forward biased²⁵
reverse biased²⁶

کرچاف کی مساوات برائے برق دباؤ لکھتے ہیں۔

$$(2.8) \quad v_I = v_D + iR$$

مثال 2.6: شکل 2.8 ب میں مزاحمت کی قیمت $1\text{ k}\Omega$ تصور کریں۔ ڈائیوڈ کے برق دباؤ v_D کو پہلے نظر انداز کرتے ہوئے اور بعد میں اسے 0.7 V لیتے ہوئے مندرجہ ذیل صورتوں میں برق رو حاصل کریں۔

$$v_I = 22.9\text{ V} .1$$

$$v_I = 1.2\text{ V} .2$$

حل: v_D کو نظر انداز کرتے ہوئے مساوات 2.8 کی مدد سے حل کرتے ہیں۔

$$i = \frac{v_I}{R} = \frac{22.9}{1000} = 22.9\text{ mA} .1$$

$$i = \frac{v_I}{R} = \frac{1.2}{1000} = 1.2\text{ mA} .2$$

اب $v_D = 0.7\text{ V}$ لیتے ہوئے دوبارہ حل کرتے ہیں۔

$$i = \frac{v_I}{R} = \frac{22.9 - 0.7}{1000} = 22.2\text{ mA} .1$$

$$i = \frac{v_I}{R} = \frac{1.2 - 0.7}{1000} = 0.5\text{ mA} .2$$

اس مثال میں $v_I = 22.9\text{ V}$ کی صورت میں v_D کے اثر کو شامل کرنے سے حاصل برق رو i کی قیمت پر خاطر خواہ اثر نہیں پڑتا جبکہ $v_I = 1.2\text{ V}$ کی صورت میں اس کے شمولیت سے برق رو کی قیمت آدھے سے بھی کم ہو جاتی ہے۔ اس سے ظاہر ہوتا ہے کہ v_D کو برجگہ نظر انداز نہیں کیا جا سکتا۔

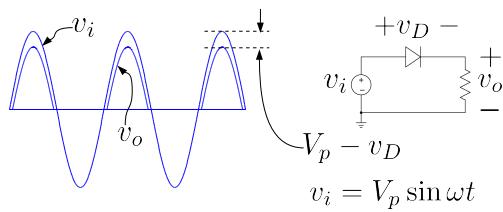
2.3 بدلنی دباؤ سے یک سمتی دباؤ کا حصول (سمت کاری)

2.3.1 نصف لہر سمت کاری

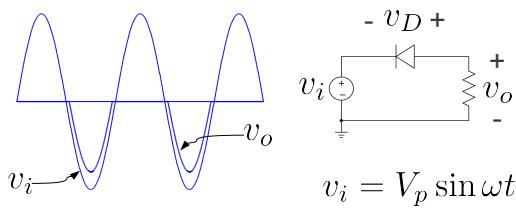
شکل 2.9 میں بدلنی داخلی برق دباؤ $v_i = V_p \sin \omega t$ کے مثبت حصے ڈائیوڈ کو سیدھا مائل کرتے ہیں۔ یوں اس دوران

$$v_o = v_i - v_D \approx V_p \sin \omega t - 0.7$$

ہوتا ہے جہاں سیدھے مائل ڈائیوڈ پر برق دباؤ کو تقریباً 0.7 V لیا گیا ہے۔ اس کے برعکس v_i کے منفی حصے ڈائیوڈ کو اُلٹا مائل کر کے منقطع کر دیتے ہیں اور یوں اس دوران $V_o = 0\text{ V}$ ہوتا ہے۔ شکل



شكل 2.9: نصف لہر مثبت سمت کار



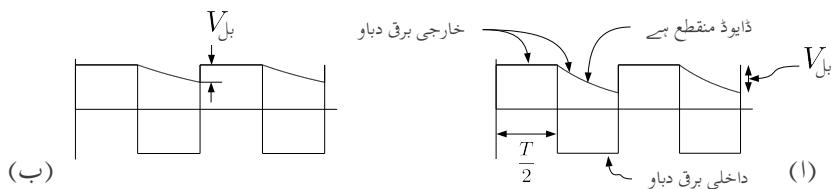
شكل 10.2: نصف لہر منفی سمت کار

2.9 میں v_i اور v_o بھی گراف کئے گئے ہیں۔ آپ دیکھ سکتے ہیں کہ v_o کی چوٹی v_i کے چوٹی سے تقریباً 0.7V کم ہے۔ عمومی استعمال میں v_i کی چوٹی کی قیمت 0.7V سے گئی گناہ زیادہ ہوتی ہے اور یوں v_o کے چوٹی کو v_i چوٹی کے برابر ہی تصور کیا جاتا ہے۔

اس دور کی مدد سے بلدی برق دباؤ جو مثبت اور منفی حصوں پر مشتمل ہے سے ایک ایسی خارجی برق دباؤ حاصل کی گئی ہے جس میں داخلی برق دباؤ کے صرف مثبت حصے موجود ہیں۔ بلدی برق دباؤ سے نصف لہر کی یک سینی برق دباؤ کے حصوں کو نصف لہر سمت کاری²⁷ کہتے ہیں۔ یوں شکل 2.9 میں دئیے دور کو نصف لہر مثبت سمت کار²⁸ کہتے ہیں۔

نصف سمت کار جسے عام فہم میں آدھا ریکنیفار²⁹ کہتے ہیں ایک انتہائی اہم دور ہے جسے استعمال کرتے ہوئے کئی ادوار مثلاً پیدا کار برق دباؤ یعنی برق دباؤ کی سپلائی، بیٹری چارجر³⁰ وغیرہ بنائے جاتے ہیں۔ شکل 2.10 میں ڈائیوڈ کو قدر مختلف طریقہ سے جوڑا گیا ہے۔ اس صورت میں داخلی برق دباؤ v_i کے منفی حصے ڈائیوڈ کو سیدھا مائل کرتے ہیں جبکہ اس کے مثبت حصے ڈائیوڈ کو اُنہا مائل کرتے ہیں۔ یوں خارجی برق دباؤ میں داخلی برق دباؤ کے صرف منفی حصے موجود ہوتے ہیں۔ اس دور کو نصف لہر منفی سمت کار³¹ کہتے ہیں۔

half wave rectification²⁷half wave positive rectifier²⁸half wave rectifier²⁹³⁰موباںل فون رکھنے والی بیٹری چارجر سے بخوبی آگاہ ہون گے۔half wave negative rectifier³¹



شکل 2.11: نصف لہر سمت کار کے خارجی برقی دباؤ میں بل

مثال 2.7: بار سر لدیے مثبت نصف لہر سمت کار کو $50 \text{ Hz} \pm 15 \text{ V}$ حیطے کا مستطیل داخلی اشارہ فراہم کیا جاتا ہے جس کے مثبت اور منفی حصے برابر دورانیہ کے ہیں۔ بار $R_L = 100\Omega$ جبکہ $C = 100 \mu\text{F}$ ہیں۔ خارجی برقی دباؤ بلدار ہوتا ہے۔ اس میں بل³² کی مقدار حاصل کریں۔ ڈائیوڈ پر برقی دباؤ کے گھشتے کو نظر انداز کریں۔ خارجی برقی دباؤ میں بل کو 1 V سے کم رکھنے کی خاطر درکار کپیسٹر کی قیمت حاصل کریں۔ حل: شکل 2.11 الف میں صورت حال دکھائی گئی ہے جہاں خارجی برقی دباؤ کا بلدار ہونا واضح ہے۔ داخلی برقی دباؤ منفی ہونے کے صورت میں ڈائیوڈ منقطع رہتا ہے۔ اس دوران کپیسٹر C برق طاقت فراہم کرتا ہے۔ پچاس تعدد کے اشارے کا دوری عرصہ³³ بیس ملی سیکنڈ ہے۔ یوں کپیسٹر سے دس ملی سیکنڈ کے لئے چارج کی نکاسی ہوتی ہے۔ داخلی برقی دباؤ کے منفی ہونے کے لمحے کو $t = 0$ لیتے ہوئے کپیسٹر پر برقی دباؤ v_C کو یوں لکھا جا سکتا ہے

$$v_C = V_p e^{-\frac{t}{RC}}$$

جہاں $V_p = 15 \text{ V}$ ہے۔ اس مساوات سے دس ملی سیکنڈ بعد $v_C = 5.5 \text{ V}$ حاصل ہوتا ہے جس سے

$$V_b = 15 - 5.5 = 9.5 \text{ V}$$

حاصل ہوتا ہے۔ بل کو 1 V رکھنے کی خاطر دس ملی سیکنڈ نکاسی کے بعد $v_C = 15 - 1 = 14 \text{ V}$ درکار ہے۔ یوں

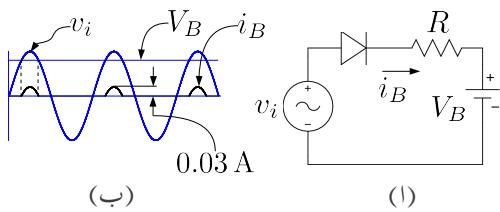
$$14 = 15e^{-\frac{0.01}{100C}}$$

$$C = 1449 \mu\text{F}$$

حاصل ہوتا ہے۔ کپیسٹر، مزاحمت وغیرہ معین قیمتوں میں دستیاب ہوتے ہیں لہذا انہیں قیمتوں میں سے کپیسٹر، مزاحمت وغیرہ چنا ہوتا ہے۔ ہم $1500 \mu\text{F}$ اور 25 V کا کپیسٹر استعمال کریں گے۔ کپیسٹر کے برقی دباؤ کی صلاحیت درکار برقی دباؤ کی چوٹی سے زیادہ ہونا لازمی ہے۔

ripple³²

time period³³



شكل 2.12: بیٹری چارجر

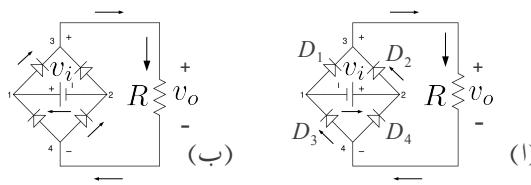
آپ نے دیکھا کہ کپیسٹر کی قیمت بڑھانے سے بل میں کمی آتی ہوئی ہے۔ یہ حقیقت برق دباؤ کے سپلائی³⁴ میں کام آئے گی۔

مثال 2.8: شکل 2.12-1 میں نصف لہر مثبت سمت کارکے خارجی جانب مزاحمت کی جگہ بیٹری نسب کی گئی ہے۔ یون نصف لہر کار بیٹری چارج کرتا ہے۔ اس دور میں بیٹری کا برق دباؤ $V_B = 12 \text{ V}$ جبکہ $R = 100\Omega$ اور $v_i = 15 \sin \omega t$ ہے جہاں $\omega = 100\pi$ کے برابر ہے۔ اس بیٹری چارجر کی برق رو i_B حاصل کر کے گراف کریں۔ مزاحمت R برق رو کی چوٹی کو ڈائیوڈ اور بیٹری کے قابل برداشت حد سے نیچے رکھتا ہے۔ حل: داخلی برق دباؤ v_i کی قیمت مسلسل تبدیل ہوتا ہے۔ جب تک v_i کی قیمت بیٹری کے برق دباؤ یعنی بارہ وولٹ سے کم رہے ڈائیوڈ اتنا مائل رہے گا اور اس میں برق رو نہیں گزرسے گی۔ جیسے ہی v_i کی قیمت 12 V سے تجاوز کرے ڈائیوڈ سیدھا مائل ہو کر برق رو گزارے گا اور اس دوران v_D کو نظر انداز کرتے ہوئے مزاحمت پر اُوہم کے قانون سے ہم لکھ سکتے ہیں۔

$$i_R = i_B = \frac{v_i - V_B}{R} = \frac{15 \sin 100\pi t - 12}{100} = 0.15 \sin 100\pi t - 0.12$$

شکل 2.12 - ب میں بیٹری چارج کرنے والی برق رو i_B اور V_B بھی دکھائے گئے ہیں۔ برق دباؤ اور برق رو کو ایک ہی جگہ گراف کیا گیا ہے تاکہ وقت t کے ساتھ مختلف متغیرات کے تعلق کیوضاحت ہو سکے۔ جیسا آپ دیکھ سکتے ہیں بیٹری صرف ان اوقات چارج ہوتا ہے جب $v_i > V_B$ ہو۔ شکل میں نقطہ دار لکیوں سے ایسے ایک دورانیہ کی نشاندہی کی گئی ہے جب بیٹری چارج ہو رہی ہو۔ کی چوٹی 30 mA ہے جس سے یون حاصل کیا گیا۔

$$0.15 \sin \frac{\pi}{2} - 0.12 = 0.15 - 0.12 = 0.03 \text{ A}$$



شکل 2.13: مکمل لہر سمت کار

2.3.2 مکمل لہر سمت کاری

شکل 2.13 میں مکمل لہر سمت کار³⁵ دکھایا گیا ہے۔ اس دور میں چار ڈائیوڈ مربع کی شکل میں جوڑے گئے ہیں اور دور کو v_i بطور بدلتا داخلی برق دباو مہیا کیا گیا ہے۔ دور کی کارکردگی سمجھنے کی خاطر شکل 2.14 الف پر توجہ رکھیں۔ v_i کی قیمت مثبت ہونے کی صورت میں پیدا کار برق دباو کے مثبت (+) سرے سے برق رو بابر کی جانب ہو گی۔ چونکہ برق رو ڈائیوڈ میں الٹی جانب نہیں گزر سکتی لہذا یہ ڈائیوڈ D_2 سے گزرے گی جبکہ اس دوران ڈائیوڈ D_4 منقطع حال رہے گا۔ برق رو D_2 سے خارج ہو کر چونکہ D_1 میں الٹی جانب نہیں گزر سکتی لہذا یہ مزاحمت R میں داخل ہو گی۔

اسی طرح پیدا کار برق دباو کے منفی سرے سے سے برق رو کی راہ معلوم کرنے کی خاطر ہم دیکھتے ہیں کہ پیدا کار برق دباو کے منفی (-) سرے پر برق رو اندر کی جانب ہو گی۔ یہ برق رو صرف D_3 کے راستے ہی ممکن ہے چونکہ D_1 میں الٹی برق رو کا گزر ناممکن ہے۔ ہم دیکھتے ہیں کہ مثبت برق دباو کی صورت میں برق رو ڈائیوڈ D_2 اور D_4 سے گزرتی ہے جبکہ ڈائیوڈ D_1 اور D_3 منقطع رہتے ہیں۔ اس دوران مزاحمت میں برق رو کی سمت شکل میں دکھائی گئی ہے۔

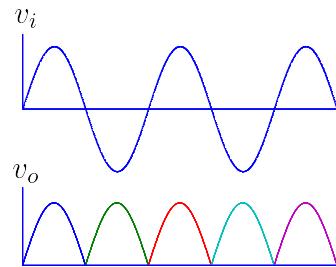
اب دیکھتے ہیں کہ پیدا کار برق دباو کے برق دباو کی قیمت منفی ہونے کی صورت میں کیا ہوتا ہے۔ یہ صورت حال شکل 2.13 - ب میں دکھائی گئی ہے۔ اس صورت میں برق رو ڈائیوڈ D_1 اور D_4 سے گزرے گی جبکہ D_2 اور D_3 منقطع رہیں گے۔ برق رو اب بھی مزاحمت میں گرشتہ سمت میں ہی گزرے گی۔

یوں جیسا شکل 2.14 میں دکھایا گیا ہے، بدلتے داخلی دباو v_i کی قیمت مثبت یا منفی ہو، مزاحمت پر ہر وقت برقی دباو v_o مثبت ہی رہتا ہے۔ چونکہ v_o کی سمت تبدیل نہیں ہوتی لہذا یہ یک سمتی برقی دباو ہے۔

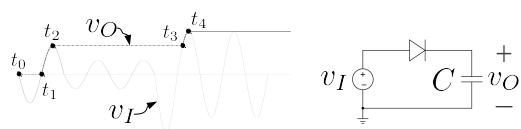
2.4 چوٹی حاصل کار

شکل 2.15 میں چوٹی حاصل کار³⁶ دکھایا گیا ہے۔ اس دور کو مثبت آدھے لہر سمت کار میں ڈائیوڈ کے خارجی جانب مزاحمت کی جگہ کپیسٹر نسب کر کر حاصل کیا گیا ہے۔ ڈائیوڈ پر برقی دباو کے 0.7V

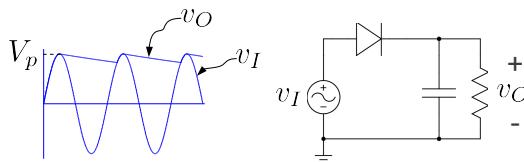
full wave rectifier³⁵
peak detector³⁶



شکل 2.14: مکمل لہر سمت کار کے داخلی اور خارجی خط



شکل 2.15: چوٹی حاصل کار



شکل 2.16: حیطہ اتار کار

گھٹنے کو نظر انداز کرتے ہوئے چوٹی حاصل کار کی کارکردگی کچھ یوں ہے۔ وقت $t = 0$ ³⁷ پر چالو کیا جاتا ہے۔ لمحہ t_0 یعنی $t = 0$ پر داخلی برق دباؤ v_I اور خارجی برق دباؤ v_O دونوں صفر وولٹ کرے برابر ہیں۔ لمحہ t_0 سے لمحہ t_1 تک داخلی برق دباؤ ڈائیوڈ کو الٹ مائل کرتے ہوئے منقطع رکھتا ہے اور یوں اس دوران v_O صفر رہے گا۔ t_1 سے لمحہ t_2 تک خارجی برق دباؤ v_O خوش اسلوبی سے داخلی برق دباؤ v_I کی پیروی کرتے ہوئے کپیسٹر کو چارج کرتا ہے۔ اس دوران دور میں برق روکی مساوات مندرجہ ذیل ہے۔

$$i = C \frac{dv_O}{dt}$$

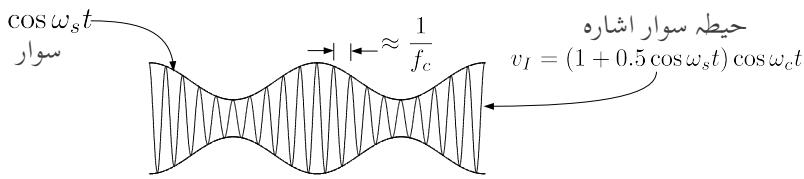
t_2 گزرتے ہی v_I کی قیمت کم ہونا شروع ہو جاتا ہے۔ یوں t_2 سے t_3 تک $v_I < v_O$ رہتا ہے جس کی وجہ سے ڈائیوڈ منقطع رہتا ہے۔ اس دوران کپیسٹر سے چارج کے نکاسی کا کوئی راستہ موجود نہیں ہوتا لہذا کپیسٹر پر برق دباؤ برقرار رہتا ہے جس سے افقی لکیر سے دکھایا گیا ہے۔ t_3 گزرتے ہی v_I کی قیمت کپیسٹر پر پائی جانے والے برق دباؤ سے بڑھ گیا ہے۔ یوں ڈائیوڈ ایک بار پھر سیدھا مائل ہوتے ہوئے چالو صورت اختیار کر لیتا ہے۔ t_3 تا t_4 دوبارہ v_O کی پیروی کرتا ہے۔ t_4 کے بعد کپیسٹر پر برق دباؤ تبدیل نہیں ہوتا۔

اس تجزیہ سے واضح ہے کہ یہ دور داخلی اشارہ کی چوٹی حاصل کر کرے اس پر برقرار رہتا ہے۔ اسی لئے اسے مثبت چوٹی حاصل کار کہتے ہیں۔ اگر اس دور میں ڈائیوڈ الٹ رخ لگایا جائے تو خارجی اشارہ v_O منفی چوٹی پر چارج ہو جائے گا اور یوں اس دور کو منفی چوٹی حاصل کار کہا جائے گا۔

2.5 حیطہ اتار کار

مثبت چوٹی حاصل کار میں کپیسٹر کے متوازنی مزاحمت جوڑنے سے حیطہ اتار کار³⁸ حاصل ہوتا ہے جسے شکل 2.16 میں دکھایا گیا ہے۔ جیسا کہ آپ دیکھ سکتے ہیں چوٹی V_p کے فوراً بعد داخلی برق دباؤ گھٹتا ہے جبکہ خارجی جانب کپیسٹر اسی چوٹی پر چارج رہ جاتا ہے۔ اس سے ڈائیوڈ الٹ مائل ہو جاتا ہے اور اس میں سے برق روکا گزر ناممکن ہو جاتا ہے۔ ڈائیوڈ کو منقطع تصور کریں تو ہمارے پاس

³⁷ t_0 وغیرہ کو نقطوں سے ظاہر کیا گیا ہے
AM demodulator³⁸



شكل 2.17: حیطہ سوار اشارہ

چارج شدہ کپیسٹر C اور اس کے متوازی جزا مزاحمت R رہ جاتا ہے۔ کپیسٹر کا چارج اسی مزاحمت کے راستے خارج ہو کر اس پر برق دباؤ گھٹاتا ہے۔ ایسا مندرجہ ذیل مساوات کے تحت ہوتا ہے۔

$$(2.9) \quad v_O = V_p e^{-\frac{t}{RC}}$$

اس مساوات میں چوٹی کو $t = 0$ تصور کیا گیا ہے۔ کپیسٹر سے چارج اس لمحہ تک خارج ہوتا ہے جب تک کپیسٹر پر برق دباؤ v_O دور کے داخلی برق دباؤ v_I سے زیادہ رہے۔ جیسے ہی v_I کی مقدار ایک بار پھر v_O کی مقدار سے نجاوڑ کر جائے، اسی لمحہ ڈائیوڈ بارہ سیدھا مائل ہو کر کپیسٹر کو دوبارہ چارج کرنا شروع کر دیتا ہے۔ شکل میں باریک لکیر سے داخلی برق دباؤ جبکہ موئی لکیر سے خارجی برق دباؤ دکھایا گیا ہے۔ حیطہ اتار کار میں RC کو یوں رکھا جاتا ہے کہ کپیسٹر پر v_I کے چوٹیوں کے برابر برق دباؤ رہے جو دراصل v_s ہی ہے۔ یوں اصل اشارہ دوبارہ حاصل ہوتا ہے۔ کسی بھی اشارہ یعنی اطلاع v_s کو ایک جگہ سے دوسرا جگہ منتقل کرنے کی خاطر اسے بلند تعدد کے ساتھ۔ نما اشارہ v_c کے بعد حیطے پر حیطہ سوار کار³⁹ کی مدد سے سوار کیا جاتا ہے۔ منتقلی کے مقام پر پہنچنے کے بعد حیطہ سوار اشارے سے حیطہ اتار کار کی مدد سے اصل اشارہ یعنی اطلاع v_s دوبارہ حاصل کیا جاتا ہے۔ v_c کے حیطے پر سوار کرنے سے مراد v_c کے حیطے کو v_s کے مطابق تبدیل کرنے کو کہتے ہیں۔ $v_s = 0.5 \cos \omega_s t$ کو مثال بناتے ہوئے آگے بڑھتے ہیں۔ حیطہ سوار اشارہ حاصل کرنے کی خاطر v_s اور v_c کو حیطہ سوار کار سے گزارا جاتا ہے جس سے

$$(2.10) \quad v_I = (1 + 0.5 \cos \omega_s t) \cos \omega_c t = V_p \cos \omega t$$

حاصل ہوتا ہے۔ اس اشارہ جس کو شکل 2.17 میں دکھایا گیا ہے کو حیطہ سوار اشارہ⁴⁰ v_I کہتے ہیں۔ v_I کے دو متواتر چوٹیوں کے درمیان حیطہ اتار کار کے کپیسٹر پر برق دباؤ گھٹتا ہے۔ یہ وقفہ تقریباً $\frac{1}{f_c}$ کے برابر ہے جس سے استعمال کرتے ہوئے مساوات 2.9 سے مسئلہ مکلارن کی مدد سے وقفے کے آخر میں برق دباؤ

$$(2.11) \quad v_O = V_p e^{-\frac{1}{RCf_c}} \approx V_p \left(1 - \frac{1}{RCf_c} + \dots \right)$$

AM modulator³⁹
AM signal⁴⁰

حاصل ہوتا ہے۔ یوں اس دوران برق دباؤ میں تبدیلی

$$|\Delta v_O| = \frac{V_p}{RCf_c}$$

حاصل ہونے ہے یعنی اس وقفے کے دوران خارجی اشارے کی وقت کے ساتھ شرح تبدیلی

$$(2.12) \quad \frac{|\Delta v_O|}{\frac{1}{f_c}} = \frac{V_p}{RC}$$

ہے۔ حیطہ اتار کار میں RC کو یوں رکھا جاتا ہے کہ بھیجھے گئے اشارے v_s میں زیادہ سے زیادہ تبدیلی کو ہمی پکڑا جا سکے۔ v_s میں تبدیلی کی شرح

$$\frac{dv_s}{dt} = -0.5\omega_s \sin \omega_s t$$

ہے جس کی زیادہ سے زیادہ قیمت $\omega_s t = \frac{n\pi}{2}$ پر حاصل ہونے ہے جہاں $n = 1, 3, 5, \dots$ ہے۔ یہ قیمت

$$\left| \frac{dv_s}{dt} \right| = 0.5\omega_s$$

ہے۔ اس زیادہ سے زیادہ داخلی اشارے کے تبدیلی کی شرح کو حیطہ اتار کار کے تبدیلی کے شرح کے برابر رکھا جاتا ہے۔ $\omega_s t = \frac{n\pi}{2}$ پر مساوات 2.10 کے تحت $V_p = 1$ حاصل ہوتا ہے جس سے مساوات 12 میں استعمال کرتے ہوئے یوں

$$(2.13) \quad \frac{1}{RC} = 0.5\omega_s$$

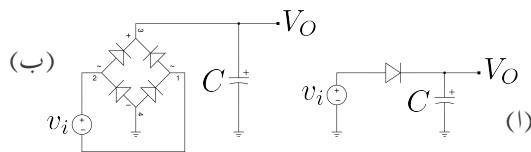
رکھا جاتا ہے۔ یہ مساوات حیطہ اتار کار کی مساوات ہے۔ اگر کپیسٹر کو اس مساوات سے حاصل قیمت سے زیادہ رکھا جائے تو خارجی اشارہ تیزی سے تبدیل ہونے والے داخلی اشارے کو نہیں پکڑ سکے گا۔ اگر کپیسٹر کی قیمت اس سے کم رکھی جائے تو خارجی اشارے میں بل 41 زیادہ پایا جائے گا۔

2.6 پیدا کار برقی دباؤ

سمت کار کے خارجی جانب زیادہ قیمت کا کپیسٹر نسب کر کر کے پیدا کار برق دباؤ 42 حاصل ہوتا ہے جیسا شکل 2.18 الف میں دکھایا گیا ہے۔ اس پر کپیسٹر کے متوازنی برق بار لادا جاتا ہے جس سے عموماً R_L سے ظاہر کیا جاتا ہے۔ پیدا کار برق دباؤ یعنی برق طاقت کے سپلانی کو گھریلو بجلی یا صنعتی بجلی فراہم کرتے ہوئے یک سمی برق دباؤ پکستی 43 حاصل کیا جاتا ہے۔

بے بار پیدا کار برق دباؤ کی کارکردگی بالکل چوٹی حاصل کار کی طرح ہے جبکہ برق بار سے لدے پیدا کار برق دباؤ کی کارکردگی حیطہ اتار کار کی طرح ہے۔ البتہ پیدا کار میں ہماری کوشش ہوتی ہے کہ

ripple⁴¹
power supply⁴²



شكل 2.18: پیدا کار برقی دباؤ

V میں بل کم سے کم بہو تاکہ اسے یک سمی برقی دباؤ کے طور استعمال کرنا ممکن ہو۔ پیدا کار برقی دباؤ تقریباً ہر بر قیاقی آہے یا مشین میں پایا جاتا ہے۔ چونکہ پیدا کار برقی دباؤ داخلی طاقت 50 Hz کے سائنس نما v_i سے حاصل کرتا ہے لہذا C بھی اسی تعداد سے چارج ہوتا ہے۔ v_i کے دو چوٹیوں کے مابین $\frac{1}{50} = 20\text{ ms}$ (بیس ملی سیکنڈ) کے وقفے کے دوران R_L کو کپیسٹر C طاقت مہیا کرتا ہے۔

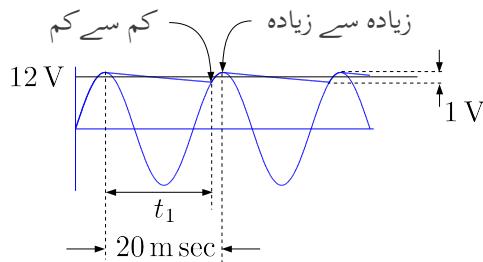
مثال 2.9: ایک عدد 12 V کا پیدا کار برقی دباؤ درکار ہے جس سے $6\text{ k}\Omega$ داخلی مزاحمت کے برقی بار کو طاقت مہیا کرنا ہے۔ برقی بار کو دی جانے والے برقی دباؤ کے قیمت میں کل تبدیلی $\pm 0.5\text{ V}$ سے کم ہونا ضروری ہے۔ کپیسٹر C کی قیمت حاصل کریں۔ حل: شکل 2.19 میں ان معلومات کو دکھایا گیا ہے۔ کپیسٹر t_1 دورانیہ کے لئے برقی بار کو طاقت فراہم کرتا ہے اور یوں اس دوران اس سے چارج کی نکاسی ہوتی ہے۔ البتہ t_1 کو دو چوٹیوں کے درمیان وقفے کے برابر ہی عموماً تصور کیا جاتا ہے۔ یوں $t_1 = 20\text{ ms}$ لیا جاتا ہے۔ اس مسئلے کو دو طریقوں سے حل کرتے ہیں۔ پہلے مثال 2.7 کی طرح حل کرتے ہیں۔ کپیسٹر نکاسی کا دورانیہ بیس ملی سیکنڈ ہے۔ اس دورانیہ میں کپیسٹر پر برقی دباؤ 12.5 V سے گھٹ کر 11.5 V رہ جاتا ہے یوں

$$11.5 = 12.5e^{-\frac{0.02}{6000C}}$$

$$C = 39.98 \mu\text{F}$$

حاصل ہوتا ہے۔ آئیں اسی مسئلے کو قدر مختلف اور زیادہ آسان طریقے سے حل کریں۔ درکار بارہ وولٹ کو شکل 2.19 میں پختہ لکیر سے دکھایا گیا ہے۔ برقی دباؤ اس سے 0.5 V کم یا زیادہ ہو سکتا ہے۔ یوں برقی بار میں بل⁴³ 0.5 V یا 1 V کے برابر ہے جبکہ زیادہ سے زیادہ برقی دباؤ 12.5 V اور کم سے کم برقی دباؤ 11.5 V ہے۔ بارہ وولٹ پر R_L میں $\frac{12}{6000} = 2\text{ mA}$ جبکہ زیادہ سے زیادہ برقی دباؤ پر $\frac{11.5}{6000} = 1.9167\text{ mA}$ اور کم سے کم برقی دباؤ پر $\frac{12.5}{6000} = 2.08333\text{ mA}$ کا برقی رو گز رہے گا۔

برقی دباؤ کے تبدیلی سے برقی رو کے تبدیلی کو نظر انداز کرتے ہوئے اس کی اوسط قیمت لی جاتی ہے۔ یوں ہم تصور کرتے ہیں کہ R_L میں 2 mA گز رہے جس سے کپیسٹر کے چارج کی نکاسی



شکل 2.19: مثال پیدا کار برقی دباؤ

ہوئی ہے۔ ہم جانتے ہیں کہ

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$$

ΔQ کے برابر ہوتا ہے۔ اس سے کپیسٹر میں t_1 کے دوران کپیسٹر پر پائیے جانے والے چارج میں تبدیلی حاصل کرتے ہیں۔

$$\Delta Q = I \times \Delta t = (2 \times 10^{-3}) \times (20 \times 10^{-3}) = 40 \times 10^{-6}$$

کپیسٹر کی مساوات $\Delta Q = C \Delta V$ کو $Q = CV$ لکھتے ہیں جہاں $\Delta V = 1V$ کے برابر ہے۔ یوں

$$\Delta Q = I \times \Delta t = C \Delta V$$

لکھا جا سکتا ہے جس سے

$$C \times 1 = 40 \times 10^{-6}$$

$$C = 40 \mu F$$

حاصل ہوتا ہے۔

آپ نے دیکھا کہ دونوں طریقوں سے حل کرتے تقریباً برابر جوابات حاصل ہوتے ہیں۔ البتہ دوسرا طریقہ استعمال کرتے ہوئے صرف کاغذ اور قلم استعمال کرتے ہوئے جواب کا حصول ممکن ہے۔

کپیسٹر کی قیمت بڑھانے سے سپلانی کے خارجی برق دباؤ میں بل کم کیا جا سکتا ہے۔ حقیقت میں ڈائیوڈ میں برق دباؤ کا گھٹاؤ اور داخلی بدلتے برق دباؤ میں تبدیلی ہمارے قابو میں نہیں ہوتے لہذا اس طرح کے پیدا کار برق دباؤ سے قطعی یک سمیتی برق دباؤ کا حصول ممکن نہیں ہوتا۔ جہاں درکار یک سمیتی برق

دباو کی قیمت چند وولٹ زیادہ یا کم قابل برداشت ہو وباں اس طرح کی سپلائی استعمال کی جا سکتی ہے۔ یک سمعتی برق دباو کی قیمت زیادہ یا کم ہونے کے باوجود برقی دباو میں بل کو کپیسٹر سے قابو رکھنا ممکن ہے۔

مشق 2.2: 10 mA کے برق بار کو چلانے کی خاطر 5 V کا پیداکار برق دباو درکار ہے جس میں بل $\pm 0.1\text{V}$ سے کم ہونا ضروری ہے۔ کپیسٹر کی قیمت حاصل کریں۔ اس قسم کا پیداکار برق دباو

برقیاتی ادوار کو چلانے کی خاطر عموماً درکار ہوتا ہے۔

جواب: $1000\mu\text{F}$

مندرجہ بالا مثال کو مد نظر رکھتے ہوئے ہم دیکھتے ہیں کہ شکل 2.18 ب میں دکھائے پیداکار برق دباو میں درکار کپیسٹر کی قیمت شکل الف کے حوالے سے آہی ہو گی کیوں کہ اس میں ایک ڈائیوڈ یعنی آہے سمت کار کی جگہ مربع ڈائیوڈ یعنی مکمل سمت کار استعمال کیا گیا ہے۔ مکمل سمت کار میں کپیسٹر بر 10 ms چارج ہو گا۔ مثال 2.9 کو شکل 2.18 ب کے لئے حل کرتے ہوئے $t_1 = 10\text{ ms}$ لیا جائے گا جس سے $C = 20\mu\text{F}$ حاصل ہوتا ہے۔

کامل ڈائیوڈ تصور کرتے ہوئے خارجی برق دباو کی زیادہ سے زیادہ قیمت V_p جبکہ اس میں کل بل ΔV لکھتے ہوئے

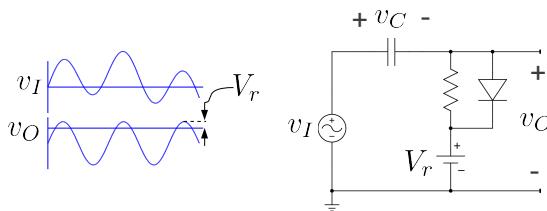
$$(2.14) \quad V_{\text{یکسمنی}} = V_p - \frac{\Delta V}{2}$$

حاصل ہو گا۔

2.6.1 برقیاتی شکنجہ

عموماً برقیاتی اشارات مطلوبہ جگہ تک پہنچتے پہنچتے اپنی اصل شکل کھو جاتے ہیں۔ ایک عامومی مسئلہ اشارہ کے حیطہ کا برقیار نہ رہتا ہے۔ آئین اس کی ایک مثال دیکھیں۔

آپ جانتے ہیں کہ بدلتی برق رو مقناطیس پیدا کرتی ہے اور بدلتی مقناطیسی میدان برق دباو کو جنم دیتا ہے۔ یوں اگر باریک اشاراتی تاروں کے قریب عام استعمال کے گھریلو یا صنعتی بجلی کے تار گزریں تو ان میں بدلتی برق رو باریک اشاراتی تاروں میں برق دباو پیدا کرتا ہے جس سے اشارہ کا حیطہ متاثر ہوتا ہے۔ شکل 2.20 میں اشارہ v_I کا حیطہ یوں متاثر ہوا دکھایا گیا ہے۔ یہ اشارہ دراصل سائن شکل کا ہما لیکن یہاں تک پہنچتے پہنچتے اس کا یہ حال ہو چکا ہے۔ شکل 2.20 میں دکھایا دور اشارہ کے مشت حیطہ کو V_r کی قیمت پر زبردستی رکھتا ہے جس سے اشارہ کی اصل صورت رو نما ہو جاتی ہے۔ گویا یہ دور اشارہ کے حیطہ کو شکنجہ میں پکڑتے رکھتا ہے۔ اسی سے اس دور کا نام برقیاتی شکنجہ⁴⁴ نکلا ہے جس سے عموماً چھوٹا کر کے صرف شکنجہ کہتے ہیں اس دور کی کارکردگی پچھلے حصہ میں دکھائیں دور کی طرح ہے۔ اسے سمجھنے کی خاطر ڈائیوڈ کو کامل ڈائیوڈ اور مزاحمت R کو لا محدود تصور کریں۔ یہ



شکل 2.20: شکنجہ

بھی تصور کریں کہ داخلی اشارہ v_I کے حیطہ v_p کی مقدار خارجی جانب جزئی بیٹری کی برق دباو V_r سے زیادہ ہے۔ خارجی جانب کی برق دباو v_O پر غور کرنے معلوم ہوتا ہے کہ یہ کسی صورت V_r سے تجاوز نہیں کر سکتا کیونکہ جب بھی v_O کی مقدار V_r سے تجاوز کرے، ڈائیوڈ سیدھا مائل ہو جائے گا۔ سیدھے مائل ڈائیوڈ کی صورت میں v_O اور V_r برابر رہیں گے۔ کرچاف کے قانون برائے برق دباو کے تحت سیدھے مائل ڈائیوڈ کی صورت میں

$$v_I = v_C + v_D + V_r$$

ہو گا۔ داخلی برق دباو کے چوٹی پر v_D کو صفر وولٹ اور v_I کو v_p لیتے ہوئے اس مساوات سے کپیسٹر کا برق دباو یوں حاصل ہوتا ہے

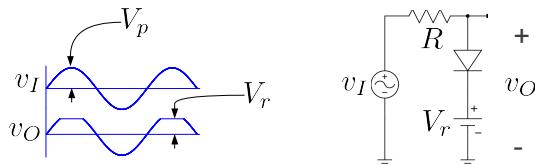
$$v_C = v_I - v_D - V_r \approx v_p - V_r$$

یوں کپیسٹر اس برق دباو پر رہتے ہوئے خارجی برق دباو کے مثبت حیطہ کو V_r سے تجاوز کرنے سے روکتا ہے۔ جیسا کہ پہلے ذکر ہوا اصل استعمال میں داخلی اشارہ کا حیطہ از خود کم اور زیادہ ہوتا ہے۔ اس صورت کو شکل میں دکھایا گیا ہے۔ اس صورت سے منظر کی خاطر دور میں ڈائیوڈ کے متوازنی مزاحمت R نسب کی گئی ہے تاکہ اس کے راستے کپیسٹر کا چارج خارج ہو سکے اور یہ بعد میں آئے والی کم چوٹی کو بھی فابو کر سکے۔

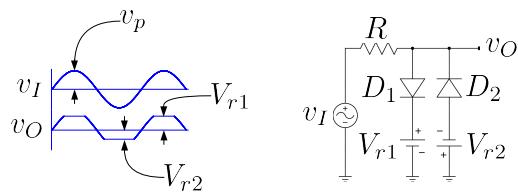
2.7 برقیاتی تراش

شکنجہ کے دور میں کپیسٹر کی جگہ مزاحمت استعمال کرنے سے برقیاتی تراش⁴⁵ کا دور حاصل ہوتا ہے جسے شکل 2.21 میں دکھایا گیا ہے۔ برقیاتی تراش یا تراش ایک ایسا دور ہے جو اشارہ کے چوٹی کو ایک خاص حد سے تجاوز نہیں کرنے دیتا بلکہ اسے کاٹ دیتا ہے۔ دکھایا دور صرف ایک جانب کی چوٹی کاٹتا ہے لہذا اس کو ایک طرف کا تراش کہا جائے گا۔ جب تک داخلی برق دباو کی قیمت V_r سے کم ہو

clipper⁴⁵



شکل 2.21: ایک طرف کا تراش



شکل 2.22: دو اطراف کا تراش

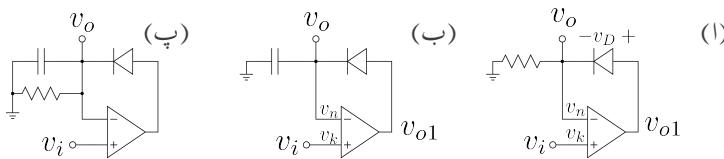
ڈائیوڈ اث مائل یعنی منقطع رہتا ہے۔ اس صورت میں خارجی برقی دباؤ داخلی برقی دباؤ کے برابر رہے گا یعنی ہو گا اور مزاحمت R میں برقی رو کی مقدار صفر ایمپیر رہے گی۔ جیسے ہی داخلی برقی دباؤ کی قیمت V_r سے تجاوز کر جائے ڈائیوڈ سیدھا مائل ہو جاتا ہے۔ جتنی دیر کے $v_I > V_r$ رہے اتنی دیر کے لئے ڈائیوڈ کو چالو سوچ سمجھا جا سکتا ہے اور یوں اس دوران خارجی برقی دباؤ کی قیمت V_r رہے گی۔ اس دوران مزاحمت اور ڈائیوڈ دونوں میں برقی رو کی مقدار

$$i_R = \frac{v_I - V_r}{R}$$

ہو گی۔

آپ نے دیکھا کہ یہ دور داخلی برقی دباؤ کو V_r پر تراشتا ہے۔ اس دور میں دو ڈائیوڈ کے استعمال سے دو اطراف کا تراش حاصل ہوتا ہے جسے شکل 2.22 میں دکھایا گیا ہے۔ اس دور میں جب تک v_I کی قیمت مشتبہ ہو ڈائیوڈ D_2 اث مائل رہتا ہے۔ یوں مشتبہ داخلی برقی دباؤ کے لئے یہ دور بالکل پچھلے دئے گئے ایک طرف کے تراش کی طرح کام کرتا ہے اور داخلی اشارہ کے مشتبہ چوٹی کو V_{r1} پر تراشتا ہے۔

منفی داخلی برقی دباؤ کی صورت میں ڈائیوڈ D_1 اث مائل رہتا ہے اور یہ دور داخلی اشارہ کے منفی چوٹی کو V_{r2} پر تراشتا ہے۔ شکل میں داخلی اور تراشے گئے خارجی برقی دباؤ بھی دکھائے گئے ہیں۔



شکل 2.23: کامل ادوار

2.8 حسابی ایمپلیفائر کی مدد سے ڈائیوڈ کے کامل ادوار

2.8.1 کامل نصف لہر سمت کار

ڈائیوڈ پر منفی نصف لہر سمت کار کے خارجی اشارے کی چوٹی مہیا کردہ داخلی اشارے کے چوٹی سے تقریباً $0.7V$ کم ہوتی ہے۔ یہ حقیقت شکل 2.9 میں واضح کی گئی۔ حسابی ایمپلیفائر استعمال کرتے ہوئے ایسا کامل نصف لہر سمت کار حاصل ہوتا ہے جس کے خارجی اشارے کی چوٹی داخلی اشارے کے چوٹی کے بالکل برابر ہوتی ہے۔ شکل 2.23 الف میں ایسا کامل نصف لہر مثبت سمت کار دکھایا گیا ہے جس میں خارجی اشارہ v_o کو ڈائیوڈ کے خارجی سرے سے حاصل کیا گیا ہے۔ ڈائیوڈ کی سمتثانی سے کامل نصف لہر منفی سمت کار حاصل ہوگا۔

تصور کریں کہ $v_i = 0V$ اور یوں حسابی ایمپلیفائر کا خارجی اشارہ v_{o1} ہی صفر وولٹ ہے۔ اب تصور کریں کہ داخلی اشارہ مثبت جانب بڑھتا ہے۔ حسابی ایمپلیفائر کا خارجی اشارہ اس قدر مثبت جانب بڑھے گا کہ $v_k = v_n$ یعنی $v_k = v_i$ ہو۔ یوں $v_o = v_i + v_D$ کے برابر ہوگا۔

اب تصور کریں کہ داخلی اشارہ منفی جانب بڑھتا ہے۔ حسابی ایمپلیفائر کا خارجی اشارہ v_{o1} اس قدر منفی جانب بڑھنے کی کوشش کرے گا کہ $v_k = v_n$ ہو۔ البتہ v_{o1} منفی ہوتے ہی ڈائیوڈ الثا مائل ہو کر منقطع ہو جاتا ہے۔ یوں حسابی ایمپلیفائر کا خارجی اشارہ v_k پر اثر انداز نہیں ہو پاتا۔ ایسی صورت میں حسابی ایمپلیفائر کا خارجی اشارہ مکمل منفی یعنی $v_{o1} = V_{EE}$ ہو کر رہ جائے گا۔ ڈائیوڈ منقطع ہونے سے حسابی ایمپلیفائر کا منفی مداخل مزاحمت R کے ذریعہ برقی زمین سے جز جاتا ہے۔ حسابی ایمپلیفائر کا داخلی برق رو صفر ہونے کے ناطے مزاحمت میں بھی برق رو I کا گزر ممکن نہیں۔ یوں $v_k = IR = 0$ یعنی $v_o = 0V$ ہو گا۔ آپ دیکھ سکتے ہیں کہ منفی داخلی اشارے کی صورت میں خارجی اشارہ صفر وولٹ رہتا ہے۔

مثبت داخلی اشارے کی صورت میں $v_i = v_0$ جبکہ منفی داخلی اشارے کی صورت میں $v_o = 0V$ حاصل ہوتا ہے جو کہ مثبت نصف لہر سمت کار کی کارکردگی ہے۔

2.8.2 کامل چوٹی حاصل کار

شکل 2.23 الف میں مزاحمت کی جگہ کپیسٹر نسب کرنے سے شکل ب حاصل ہوتا ہے جو کامل مثبت چوٹی حاصل کار کا دور ہے۔ $v_i = 0V$ اور $v_o = 0V$ سے شروع کرتے ہوئے اس دور کی کارکردگی دیکھتے ہیں۔ داخلی اشارہ مثبت جانب بڑھنے سے v_{o1} اس قدر بڑھتا ہے کہ $v_n = v_k$ رہے۔ یوں

$v_0 = v_i$ رہتا ہے۔ جب داخلی اشارہ اپنے چوٹی V_p پر پہنچتا ہے، اس لمحہ $v_k = V_p$ اور یوں $v_n = V_p$ ہوتا ہے۔ اس لمحہ کپیسٹر کی V_p برق دباؤ پر چارج ہو جاتا ہے۔ $v_k = v_n$ حاصل کرنے کی خاطر اس لمحہ $v_{01} = V_p + v_D$ کے برابر ہو گا۔

داخلی اشارہ اپنے چوٹی تک پہنچنے کے بعد کم ہونا شروع ہوتا ہے۔ حسابی ایمپلیفائر کا خارجی اشارہ v_{01} کم ہو کر کوشش کرتا ہے کہ $v_k = v_n$ رکھ سکے۔ البتہ ڈائیوڈ کے خارجی جانب نسب کپیسٹر پر V_p برق دباؤ پایا جاتا ہے اور v_{01} کی قیمت جیسے ہی V_p سے کم ہوتا ہے اسی لمحہ ڈائیوڈ الٹ مائل ہو کر منقطع ہو جاتا ہے۔ ڈائیوڈ منقطع ہونے سے کپیسٹر پر چارج کے نکاسی کا کوئی راستہ نہیں رہتا اور یوں اس پر برفراز V_p برق دباؤ رہتا ہے۔ اس طرح $v_0 = V_p$ رہتا ہے۔

آپ نے دیکھا کہ کپیسٹر پر داخلی اشارے کے چوٹی کے بالکل برابر برق دباؤ حاصل ہوتا ہے جسے بطور خارجی اشارہ v_0 لیا جاتا ہے۔ صرف ڈائیوڈ پر مبنی چوٹی حاصل کار میں کپیسٹر پر داخلی اشارے کے چوٹی سے v_D برابر کم برق دباؤ پایا جاتا ہے جبکہ موجودہ دور حقیقی چوٹی حاصل کرتا ہے۔

2.8.3 کامل حیطہ اتار کار

شکل 2.23 پ میں کامل حیطہ اتار کار دکھایا گیا ہے۔ امید کی جاتی ہے کہ اس کی کارکردگی آپ خود سمجھ پائیں گے۔

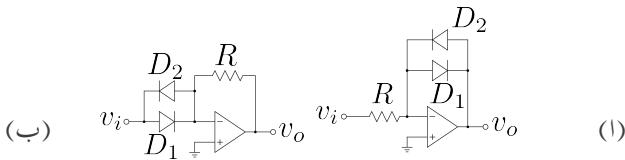
2.8.4 ڈائیوڈ لاگ ایمپلیفائر

حسابی منفی ایمپلیفائر میں مزاحمت کی جگہ ڈائیوڈ نسب کرنے سے شکل 2.24 الف کا لاگ ایمپلیفائر⁴⁶ حاصل ہوتا ہے۔ مثبت v_i کی صورت میں v_0 منفی ہو گا جس سے D_1 سیدھا مائل جبکہ D_2 الٹا مائل ہو گا۔ اسی طرح منفی v_i کی صورت میں v_0 مثبت ہو گا جس سے D_1 الٹا مائل جبکہ D_2 سیدھا مائل ہو گا۔ یوں کسی بھی وقت ایک ڈائیوڈ منقطع ہوتا ہے جبکہ دوسرا سیدھا مائل رہتا ہے۔ اگرچہ حقیقت میں منفی متغیرہ کا لاگ نہیں پایا جاتا اور یوں دور میں صرف D_1 ہونا چاہئے۔ کا لیکن عموماً دو ڈائیوڈ استعمال کئے جاتے ہیں۔ یوں داخلی اشارہ مثبت یا منفی ممکن ہوتا ہے۔ مثبت v_i کی صورت میں حل کرتے ہیں۔ حسابی ایمپلیفائر کے مثبت مداخل برق زمین کے ساتھ جزا ہے لہذا اس پر برق دباؤ v_k صفر ہو گا۔ منفی مداخل پر برق دباؤ v_n لکھتے ہوئے کرچاف کے قانون برائے برق روکی مدد سے

$$\frac{v_n - v_i}{R} + i_D = 0$$

لکھا جا سکتا ہے جہاں i_D ڈائیوڈ D_1 کی برقی رو ہے۔ اس مساوات میں $v_n = 0$ اور i_D کی

log amplifier⁴⁶



شکل 2.24: لاگ ایمپلیفائر

جگہ ڈائیوڈ کی مساوات استعمال کرتے ہوئے

$$\begin{aligned} \frac{v_n - v_i}{R} + I_S e^{\frac{v_n - v_o}{V_T}} &= 0 \\ -\frac{v_i}{R} + I_S e^{\frac{-v_o}{V_T}} &= 0 \\ \frac{v_i}{I_S R} &= e^{\frac{-v_o}{V_T}} \end{aligned}$$

حاصل ہوتا ہے جہاں ڈائیوڈ پر برقی دباؤ کو $v_o - v_n$ لیا گیا ہے۔ دونوں جانب قدرتی لاگ⁴⁷ لیتے ہوئے حاصل ہوتا ہے۔

$$v_o = -V_T \ln \left(\frac{v_i}{I_S R} \right)$$

شکل ب میں قدرتی الٹ-لاگ ایمپلیفائر⁴⁸ دکھایا گیا ہے۔ حسابی ایمپلیفائر کے دونوں مداخل کو برقی زمین تصور کرتے ہوئے مثبت v_i کی صورت میں ڈائیوڈ D_1 سیدھا مائل ہوتے ہوئے

$$\begin{aligned} i_D &= I_S e^{\frac{v_i - v_n}{V_T}} \\ &= I_S e^{\frac{v_i}{V_T}} \end{aligned}$$

برق روگزارے گا جو حسابی ایمپلیفائر کے منفی مداخل پر مزاحمت کی جانب مڑ جائے گا۔ یوں

$$\begin{aligned} I_S e^{\frac{v_i}{V_T}} &= \frac{v_n - v_o}{R} \\ v_o &= -I_S R e^{\frac{v_i}{V_T}} \end{aligned}$$

حاصل ہوتا ہے۔ آپ دیکھ سکتے ہیں کہ یہ دور داخلی اشارے کا قدرتی الٹ-لاگ حاصل کرتا ہے۔

natural log⁴⁷
natural anti-log⁴⁸

2.8.5 ضرب کار

v_A اور v_B کے لाग جمع کرنے سے $\ln v_A + \ln v_B = \ln v_A v_B$ حاصل ہوتا ہے جس کا الٹ۔ لاگ لینے سے $v_A v_B$ یعنی دونوں متغیرات کا حاصل ضرب حاصل ہوتا ہے۔ اسی حقیقت کو استعمال کرتے ہوئے لاگ اور الٹ۔ لاگ ایپلیفائر استعمال کرتے ہوئے شکل 2.25 میں ضرب کار⁴⁹ حاصل کیا گیا ہے۔ لاگ ایپلیفائر کے مساوات استعمال کرتے ہوئے ہم لکھ سکتے ہیں۔

$$v_{o1} = -V_T \ln \frac{v_{i1}}{I_S R}$$

$$v_{o2} = -V_T \ln \frac{v_{i2}}{I_S R}$$

اسی طرح جمع کار کے مساوات سے

$$v_{o3} = -(v_{o1} + v_{o2})$$

$$= V_T \ln \frac{v_{i1}}{I_S R} + V_T \ln \frac{v_{i2}}{I_S R}$$

$$= V_T \ln \frac{v_{i1} v_{i2}}{I_S^2 R^2}$$

اور الٹ۔ لاگ کے مساوات سے

$$v_0 = -I_S R e^{\frac{v_{o3}}{V_T}}$$

$$= -I_S R e^{\ln \frac{v_{i1} v_{i2}}{I_S^2 R^2}}$$

$$= -\frac{v_{i1} v_{i2}}{I_S R}$$

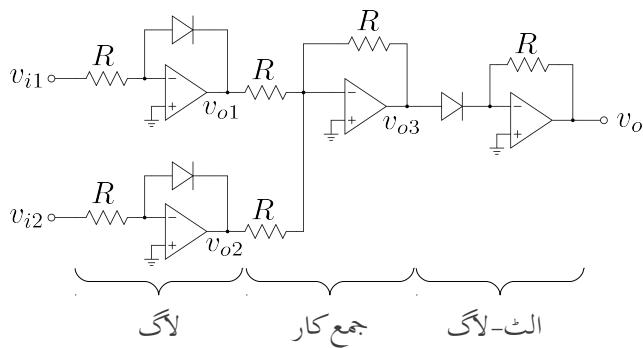
حاصل ہوتا ہے۔ یہ ضرب کار داخلی متغیرات کو آپس میں ضرب دیتے ہوئے $\frac{-1}{I_S R}$ سے بھی ضرب دیتا ہے۔ شکل میں جمع کار کی بجائے منفی کار کے استعمال سے تقسیم کار⁵⁰ حاصل ہوتا ہے۔

2.8.6 کامل مکمل لہر سمت کار

شکل 2.26 میں کامل مکمل لہر سمت کار دکھایا گیا ہے۔ آئیں اس کی کارکردگی مثبت اور منفی v_i کی صورت میں دیکھیں۔

مثبت v_i کی صورت میں v_{o1} منفی ہو جائے گا جس سے D_1 الٹا مائل ہو کر منقطع جبکہ D_2 سیدھا مائل ہو جائے گا۔ D_2 سیدھا مائل ہونے سے U_1 پر $v_n = v_k$ ہو گا۔ D_1 کو

multiplier⁴⁹
divider⁵⁰



شکل 2.25: ضرب کار

منقطع اور U_1 کے منفی مداخل کو برق زمین پر تصور کرتے ہوئے شکل 2.27 الف حاصل ہوتا ہے جو کہ سیدھا سادہ جمع کار ہے جس سے

$$v_o = -v_i$$

حاصل ہوتا ہے۔ شکل 2.27 الف میں v_1 بھی دکھایا گیا ہے۔ چونکہ اس کے دونوں جانب مزاحمتوں کے سرے صفر وولٹ پر ہیں لہذا اس صورت $v_1 = 0V$ رہے گا۔ شکل 2.27 ت میں مشتبہ v_i کی صورت میں v_o اور v_1 دکھائے گئے ہیں۔

منفی v_i کی صورت میں v_{o1} مشتبہ ہو جائے گا جس سے D_2 الثا مائل ہو کر منقطع جبکہ D_1 سیدھا مائل ہو جائے گا۔ یوں U_1 حسابی ایپلیفائر شکل 2.27 ب صورت اختیار کر لے گا جس کے لئے ہم لکھ سکتے ہیں

$$v_k = 0$$

$$\frac{v_n - v_i}{R} + \frac{v_k - v_1}{R} = 0$$

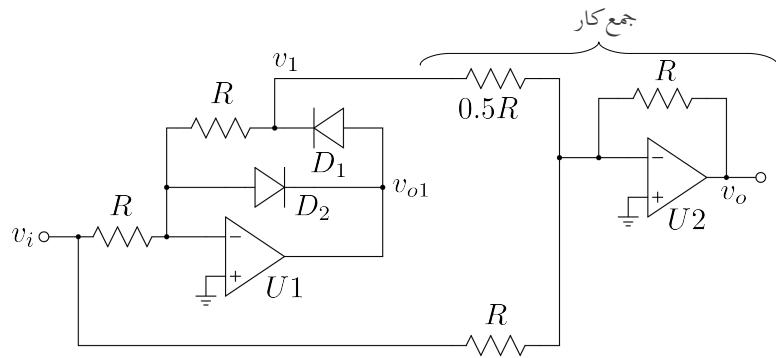
اور یوں

$$v_1 = -v_i$$

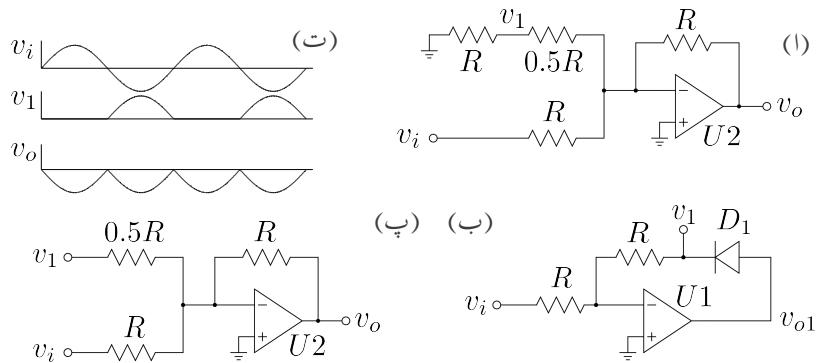
حاصل ہوتا ہے۔ آپ دیکھ سکتے ہیں کہ $v_{o1} = v_1 + v_D$ ہو گا جہاں v_D سیدھے مائل ڈائیڈ D_1 پر برق دباو ہے۔ v_1 کے استعمال سے جمع کار کو شکل 2.27 پ کے طرز پر بنایا جا سکتا ہے جس سے

$$v_o = -v_i - 2v_1$$

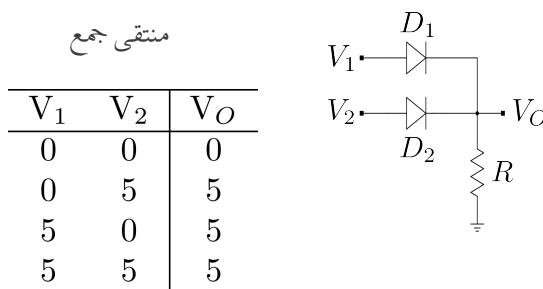
حاصل ہوتا ہے۔ شکل 2.27 ت میں منفی v_i کی صورت میں v_1 اور v_o دکھائے گئے ہیں۔



شكل 2.26: کامل مکمل لہر سمت کار



شكل 2.27: کامل مکمل لہر سمت کار کی کارکردگی



شکل 2.28: منتقی جمع

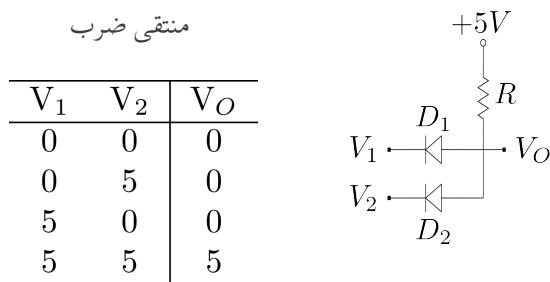
2.9 ڈائیوڈ کے منتقی ادوار

ڈائیوڈ پر مبنی ادوار حل کرنے کے طریقہ پر اس حصہ میں غور کیا جائے گا۔ ڈائیوڈ پر مبنی ادوار حل کرتے وقت اگر سیدھے مائل اور الٹے مائل ڈائیوڈوں کے نشاندہی کر دی جائے تو ان ادوار کو حل کرنا نہایت آسان ہو جاتا ہے۔ اس صورت میں سیدھے مائل ڈائیوڈوں کی جگہ چالو سوچ اور الٹے مائل ڈائیوڈوں کی جگہ منقطع سوچ نسب کر کرے دور کو حل کیا جا سکتا ہے۔ بدقصمیت سے قبل از وقت یہ جاننا کہ کون کون سے ڈائیوڈ سیدھے مائل اور کون کون سے ڈائیوڈ الٹے مائل بین عموماً ناممکن ہوتا ہے۔ ڈائیوڈ کے ادوار حل کرنے کا کوئی ایک سادہ طریقہ نہیں پایا جاتا البتہ گھبرانے کی بات نہیں چونکہ ایسے ادوار حل کرنے کے مشق سے یہ اندازہ لگانا کہ کون کون سے ڈائیوڈ سیدھے یا الٹے مائل بین عموماً ممکن ہوتا ہے۔ اس طریقہ کو مشق سے بہتر سیکھا جا سکتا ہے۔ ایسا کرنے کی خاطر شکل 2.28 میں دئے دور پر غور کریں۔

اس دور میں دو ڈائیوڈ استعمال کئے گئے ہیں۔ دور کے دو غیر تابع داخلی برق دباؤ (اشارات) کو V₁ اور V₂ جبکہ خارجی برق دباؤ کو V_O کہا گیا ہے۔ یہ ایک مخصوص دور بہے جس کے داخلی برق دباؤ کے دو ہی ممکنہ قیمتیں ہیں۔ یہ تو یا صفر وولٹ (0V) اور یا پھر پانچ وولٹ (5V) ہو سکتے ہیں۔ یوں داخلی جانب چار ممکنہ صورتیں پائی جاتی ہیں جنہیں شکل میں بطور جدول دکھایا گیا ہے۔ آئیں باری ان چار صورتوں پر غور کریں۔

پہلی صورت میں دونوں داخلی برق دباؤ صفر وولٹ ہیں یعنی 0 = V₁ اور 0 = V₂ ہیں۔ یہ جدول کی پہلی صف میں دکھایا گیا ہے۔ اس صورت میں واضح ہے کہ دور میں برق رو ممکن نہیں۔ یوں خارجی جانب نسب مزاحمت میں برق رو صفر ہونے کی وجہ سے اس کے سروں کے مابین برق دباؤ ہی صفر وولٹ ہو گا۔ جدول کی پہلی صف میں دائیں جانب V_O کی صف میں 0 اسی کو ظاہر کرتا ہے۔

دوسری صورت V₁ صفر وولٹ جبکہ V₂ پانچ وولٹ کے برابر ہے یعنی V₁ = 0V جبکہ V₂ = 5V ہے۔ اس صورت کو جدول کے دوسری صف میں دکھایا گیا ہے۔ غور کرنے سے آپ دیکھ سکتے ہیں کہ اس صورت میں ڈائیوڈ D₂ سیدھا مائل جبکہ D₁ الٹ مائل ہے۔ یوں D₂ کو چالو سوچ جبکہ D₁ کو منقطع سوچ تصور کر کے یہ واضح ہے کہ خارجی برق دباؤ پانچ وولٹ ہے یعنی V_O = 5V ہے۔



شكل 2.29: منتقى ضرب

اسی طرح جدول کی تیسرا صفحہ کے حوالے سے D_1 سیدھا مائل جبکہ D_2 الٹ مائل ہوگا اور $V_O = 5$ ہوگا۔ جدول کی آخری صفحہ میں دونوں ڈائیوڈ سیدھے مائل ہوں گے اور یوں $V_O = 5$ ہو گا۔ اس دور کی جدول منتقی جمع کو ظاہر کرتی ہے لہذا یہ جمع گیٹ⁵¹ ہے۔ اس شکل میں مزید ڈائیوڈ جوڑ کر داخلی اشارات کی تعداد بڑھائی جا سکتی ہے۔

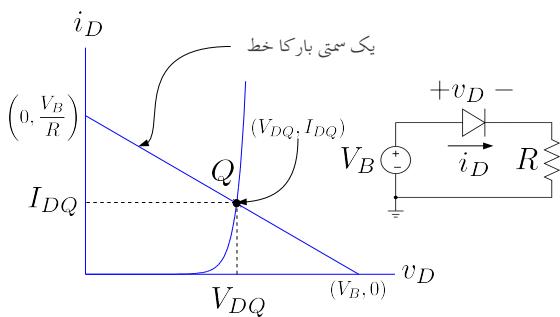
شکل 2.29 میں ڈائیوڈ پر مبنی ضرب گیٹ⁵² دکھایا گیا ہے۔ پہلے جدول میں دئے آخری صفحہ پر غور کرتے ہیں۔ اگر دونوں داخلی اشارات کی قیمتی پانچ وولٹ (5V) ہوں تو مزاحمت میں برقی رو صفر ایمپیئر ہو گی لہذا خارجی برقی دباؤ بھی پانچ وولٹ ہو گا یعنی $V_O = 5$ ہو گا۔ جدول میں دئے بقایا ممکنات پر غور کرتے آپ آسانی سے تمام صورتوں میں خارجی برقی دباؤ حاصل کر سکتے ہیں۔

2.10 یک سمنی برقی بار کا خط

برقی بار کے خط اس کتاب میں آگئے جا کر ٹرانزسٹر⁵³ کے ادوار میں نہایت کارآمد ثابت ہوں گے۔ ڈائیوڈ کے ادوار میں اسرے متعارف کرانے سے ان خط کا سمجھنا نسبتاً آسان ہوتا ہے۔ گزشتہ صفحات میں ڈائیوڈ کے ادوار حل کرتے سیدھے مائل ڈائیوڈ کو چالو سوچ جبکہ الٹے مائل ڈائیوڈ کو منقطع سوچ تصور کیا جاتا رہا۔ ایسا کرنے سے ڈائیوڈ کی خاصیت نظر انداز ہو جاتی ہے۔ اگرچہ بیشتر موقع پر ایسا کرنا درست ہوتا ہے، ہر حال کبھی کبھی ڈائیوڈ کی خاصیت کو مد نظر رکھنا ضروری ہوتا ہے۔ اس حصہ میں ایسا ہی کیا جائے گا۔

شکل 2.30 میں دکھائے گئے دور کو مثال بناتے ہیں۔ کرچاف کے قانون برائے برقی دباؤ کے مطابق اس

OR gate⁵¹
AND gate⁵²
transistor⁵³



شکل 2.30: برقی بار کا خط اور نقطہ مائل

دور کے لئے ہم یوں لکھ سکتے ہیں۔

$$(2.15) \quad V_B = v_D + i_D R$$

اس مساوات میں i_D اور v_D دو متغیرات ہیں اور یوں اسے حل کرنا ممکن نہیں۔ اسے حل کرنے کی خاطر ہمیں ڈائیوڈ کی مساوات بھی درکار ہے یعنی

$$(2.16) \quad i_D = I_S \left(e^{\frac{v_D}{V_T}} - 1 \right) \approx I_S e^{\frac{v_D}{V_T}}$$

ان دو مساوات کو کافی طریقوں سے حل کر کر i_D اور v_D اصل کئے جا سکتے ہیں۔ آئیں انہیں حل کرنے کے چند طریقے دیکھیں۔

2.10.1 گراف کا طریقہ

شکل 2.30 میں مساوات 2.15 اور مساوات 2.16 کو گراف کیا گیا ہے۔ جس نقطے پر دونوں مساوات کے خط ٹکراتے ہیں یہی ان کا حل ہے یعنی (V_{DQ}, I_{DQ}) ۔ اس نقطے کو یک سمعتی نقطہ مائل⁵⁴ یا یک سمعتی نقطہ کارکردگی کہتے ہیں۔ ان ناموں کو عموماً جھوٹا کر کر نقطہ مائل یا نقطہ کارکردگی پکارتے ہیں۔ نقطہ کارکردگی کو Q سے ظاہر کیا جاتا ہے۔

شکل 2.30 میں مساوات 2.15 کے خط کو یک سمعتی بار کا خط⁵⁵ کہا گیا ہے۔ اس نام کو جھوٹا کر کے اسے بار کا خط بھی کہتے ہیں۔ آئیں اس خط پر غور کرتے ہیں۔ بار کے خط کی ڈھلوان⁵⁶

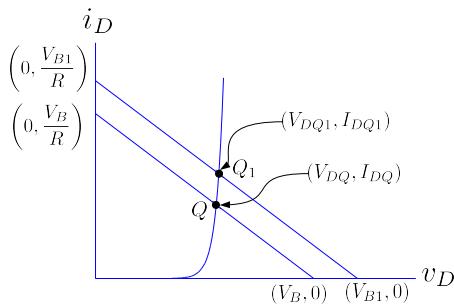
$$\frac{\Delta i_D}{\Delta v_D} = -\frac{1}{R}$$

DC bias point⁵⁴

⁵⁵ یہی کہتے ہیں بار لاد جانا ہے۔ بہانہ R بطور برقی بار کردار ادا کرتا ہے اور اس کے مساوات کے گراف کو بار کا خط کہتے ہیں

DC load line⁵⁶

gradient⁵⁷



شكل 2.31: داخلی برقی دباؤ کا بار کے خط پر اثر

کے برابر ہے۔ بار کا خط افقی محور یعنی برقی دباؤ v_D کے محور کو $(V_B, 0)$ پر ٹکراتا ہے جبکہ عمودی محور یعنی برقی رو i_D کے محور کو $\left(0, \frac{V_B}{R}\right)$ پر ٹکراتا ہے۔ یوں اگر مزاحمت برقرار رکھتے ہوئے دور میں داخلی برقی دباؤ V_B کی قیمت بڑھا کر V_{B1} کر دی جائے تو بار کا خط افقی محور کو موجودہ جگہ سے قدرِ دائمی جانب $(V_{B1}, 0)$ پر ٹکرائے گا اور عمودی محور کو $\left(0, \frac{V_{B1}}{R}\right)$ پر ٹکرائے گا۔

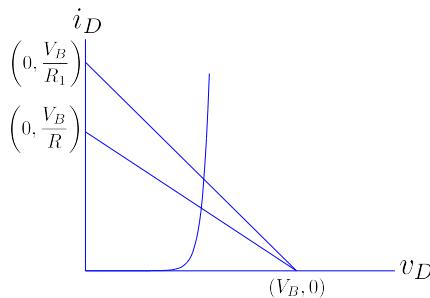
شکل 2.31 میں بار کے خطوط کو داخلی برقی V_B اور V_{B1} کے لئے گراف کیا گیا ہے۔ آپ دیکھ سکتے ہیں کہ بیرونی برقی دباؤ V_B بڑھانے سے بار کے خط کا ڈھلوان تبدیل نہیں ہوتا اور یوں دونوں خطوط آپس میں متوازی ہوتے ہیں۔ اس کے برعکس اگر بیرونی برقی دباؤ V_B برقرار رکھتے ہوں جائے اور مزاحمت R_1 کر دیا جائے تو بار کے خط کا ڈھلوان تبدیل ہو گا جبکہ یہ اب بھی محور برقی دباؤ کو $(V_B, 0)$ پر ٹکرائے گا۔ محور برقی رو سے ٹکرانے کا مقام تبدیل ہو کر $\left(0, \frac{V_B}{R_1}\right)$ ہو جائے گا۔ شکل 2.32 میں اس صورت کو دکھایا گیا ہے جہاں مزاحمت کی نئی قیمت R_1 کو اس کی پرانی قیمت R سے کم تصور کیا گیا ہے۔

2.10.2 دبرانے کا طریقہ

عموماً مساوات دبرانے کے طریقے⁵⁸ سے با آسانی حل کئے جاتے ہیں۔ موجودہ مسئلہ بھی کچھ اسی نوعیت کا ہے اور اسے بھی دبرانے کے طریقے سے نپتا جا سکتا ہے۔ اس طریقے کو مثال کی مدد سے دیکھتے ہیں۔

مثال 2.10: شکل 2.30 میں $V_D = 0.6\text{ V}$ اور $R = 15\text{ k}\Omega$ ہیں۔ اگر اس ڈائیوڈ میں $I_D = 2\text{ mA}$ برقی رو گزرتا ہے تو اس دور میں برقی رو حاصل کریں۔

iteration method⁵⁸



شکل 2.32: مزاحمت کی تبدیلی کا بار کے خط پر اثر

حل: مساوات 2.16 سے

$$I_S = \frac{i_D}{\left(\frac{v_D}{e^{\frac{0.6}{0.025}}}\right)} = \frac{2 \times 10^{-3}}{e^{\frac{0.6}{0.025}}} = 7.550269 \times 10^{-14} \text{ A}$$

حاصل ہوتا ہے۔ بھیں قبل از وقت ڈائیوڈ کی برق رو یا اس پر برق دباؤ معلوم نہیں مگر دائیں گئے معلومات سے ہم یہ اخذ کر سکتے ہیں کہ اگر برق رو دو ملی ایمپیٹر کے قریب ہو تو برق دباؤ اشاریہ چہ ولٹ کے قریب ہو گا۔

2 mA کو $I_{D_0} = 2 \text{ mA}$ لکھتے ہوئے (یعنی $V_{D_0} = 0.6 \text{ V}$) اور $I_{D_0} = 2 \text{ mA}$ کو $V_{D_0} = 0.6 \text{ V}$ (یعنی $I_{D_0} = 2 \text{ mA}$) ہم سوال حل کرتے ہیں۔ طریقہ کار کچھ یوں ہے کہ ہم اخذ کریں گے کہ ڈائیوڈ پر V_{D_0} برق دباؤ ہے۔ اس قیمت کو استعمال کرتے ہوئے مساوات 2.15 کی مدد سے ہم برق رو حاصل کریں گے جس سے ہم I_{D_1} کہیں گے۔ مساوات 2.16 میں I_{D_1} کی قیمت استعمال کرتے ہوئے ڈائیوڈ پر برق دباؤ حاصل کیا جائے گا جس سے ہم V_{D_1} کہیں گے۔

ڈائیوڈ پر برق دباؤ اس صورت ہوتا جب اس میں I_{D_0} برق رو گزرتی جبکہ ہم دیکھ سکتے ہیں کہ اصل دور میں برق رو I_{D_1} کے قریب ہو گی اور یوں I_{D_1} کے نسبت سے حاصل شدہ برق دباؤ V_{D_1} اصل قیمت کے زیادہ قریب برق دباؤ ہو گا۔ یوں اگر V_{D_1} استعمال کرتے ہوئے یہ سارا سلسلہ دوبارہ دبرا یا جائے یعنی مساوات 2.15 میں V_{D_1} استعمال کرتے ہوئے I_{D_2} حاصل کیا جائے تو حاصل برق رو مزید بہتر جواب ہو گا اور اگر مساوات 2.16 میں I_{D_2} استعمال کرتے ہوئے V_{D_2} حاصل کیا جائے تو یہ V_{D_1} سے بہتر جواب ہو گا۔ اس طریقے کو اس وقت تک دبرا یا جاتا ہے جب تک حاصل قیمتوں میں تبدیلی قابل نظر انداز ہو جائے۔ آئیں دبرا نے کے اس طریقے کو استعمال کریں۔

$$\text{مساوات 2.15 میں } V_{D_0} = 0.6 \text{ V} \text{ استعمال کرنے سے}$$

$$I_{D_1} = \frac{V_B - V_{D_0}}{R} = \frac{15 - 0.6}{15000} = 0.96 \text{ mA}$$

اور مساوات 2.16 میں I_{D_1} کے استعمال سے

$$V_{D_1} = V_T \ln \frac{I_{D_1}}{I_S} = 0.025 \times \ln \left(\frac{0.96 \times 10^{-3}}{7.550269 \times 10^{-14}} \right) = 0.58165077 \text{ V}$$

یہ برق دباؤ گرشتہ اخذ کردہ قیمت سے زیادہ درست قیمت ہے لہذا اس کو استعمال کرتے ہوئے ہم ایک مرتبہ پھر مساوات 2.15 حل کرتے ہیں۔

$$I_{D_2} = \frac{15 - 0.58165}{15000} = 0.9612233 \text{ mA}$$

یہ جواب بالکل درست تب ہوتا اگر 0.9612233 mA 0.58165077 V پر ڈائیوڈ کا برق دباؤ ایسا نہیں ہے لہذا ہمیں ایک مرتبہ پھر ڈائیوڈ کے برق دباؤ کا بہتر اندازہ لگانا ہو گا۔ یوں 0.9612233 mA کو I_{D_2} اور ڈائیوڈ پر برق دباؤ کو V_{D_2} لیتے ہوئے۔

$$V_{D_2} = V_T \ln \frac{I_{D_2}}{I_S} = -0.025 \times \ln \left(\frac{0.9612233 \times 10^{-3}}{7.550269 \times 10^{-14}} \right) = 0.58168261 \text{ V}$$

حاصل ہوتا ہے۔ اور اس نئی قیمت کو استعمال کرتے ہوئے

$$I_{D_3} = \frac{V_B - V_{D_2}}{R} = \frac{15 - 0.58168261}{15000} = 0.9612211 \text{ mA}$$

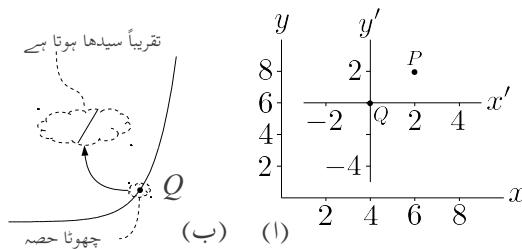
حاصل ہوتا ہے۔ ہم دیکھتے ہیں کہ گرشتہ دو حاصل جواب یعنی $I_{D_2} = 0.9612233 \text{ mA}$ اور $I_{D_3} = 0.9612211 \text{ mA}$ تقریباً برابر ہیں۔ ایسا ہونا اس بات کی نشانی ہے کہ جواب اصل جواب کے بہت قریب ہے اور یوں $I_{D_4} = 0.96122 \text{ mA}$ کو ہم درست جواب تسلیم کر لیتے ہیں۔

2.11 کارٹیسی محدد اور ترسیم

اس حصے میں کارٹیسی محدد اور ترسیم پر غور کیا جائے گا جس کی اس کتاب میں کئی جگہ ضرورت پیش آئے گی۔ اگرچہ اس حصے کو کتاب کے آخر میں ضمیمہ کے طور رکھنا چاہئے تھا مگر اس کی اہمیت کو دیکھتے ہوئے میں نے اسے اس باب کا حصہ بنا لیا ہے۔ طلبہ سے گزارش کی جاتی ہے کہ وہ اس حصے کو بخوبی سمجھیں۔

2.11.1 محدد کی منتقلی

شکل 2.33 الف میں دو کارٹیسی محدد دکھائے گئے ہیں۔ $(x - y)$ کارٹیسی محدد میں دو نقطے $P(6, 8)$ اور $Q(4, 6)$ دکھائے گئے ہیں۔ $(x' - y')$ محدد میں یہی نقطے $P'(2, 2)$ اور $Q'(0, 0)$ بن جاتے ہیں۔



شکل 2.33: (ا) کارتیسی محدد. (ب) خط کے چھوٹے حصے کا سیدھا پن

2.11.2 خط کا چھوٹا حصہ سیدھا تصور کیا جا سکتا ہے

شکل 2.33 ب میں یہ حقیقت دکھایا گیا ہے کہ کسی بھی خط کے چھوٹے سے حصے کو سیدھا تصور کیا جا سکتا ہے۔ اگر کبھی آپ کسی خط کا چھوٹا حصہ لیں اور آپ کو لگئے کہ یہ چھوٹا حصہ سیدھا تصور کرنے کے قابل نہیں ہے تو اس سے مزید چھوٹا حصہ لیجئے۔ اس شکل میں چھوٹے بللے میں گھیرے خط کو بڑھے بللے میں بڑھا کر دکھایا گیا ہے جہاں اس کا سیدھا پن صاف واضح ہے۔

2.11.3 گراف سے قیمت حاصل کرنے کا عمل

شکل 2.34 ب کے گراف سے مختلف x پر $y(x)$ کی قیمت حاصل کر کر انہیں جدول 2.1 میں دکھایا گیا ہے۔ آپ گراف سے قیمت حاصل کرنے کے اس عمل سے بخوبی واقف ہیں۔ اس شکل میں $(x)y$ خم دار خط ہے۔

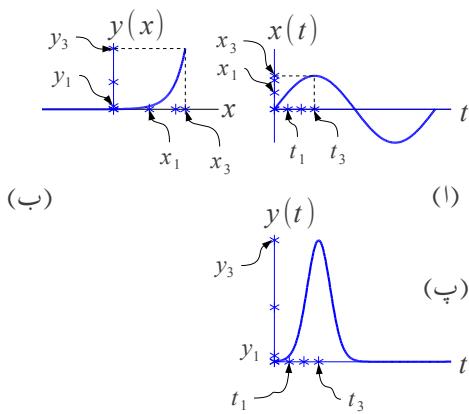
جدول 2.1: گراف سے حاصل کی گئی قیمتیں

x	0	1	2	3	4	5
y	0	0.03	0.12	0.44	1.49	4.99

اب تصور کریں کہ $x(t)$ وقت کے ساتھ تبدیل ہوتا تفاضل ہے اور ہم چاہتے ہیں کہ وقت کے ساتھ $y(t)$ کی تبدیلی گراف کریں۔ $x(t)$ کے وقت کے ساتھ گراف کی شکل کچھ بھی ہو سکتی ہے۔ شکل 2.34 الف میں $x(t)$ کو سائنس غا تصور کیا گیا ہے۔

شکل 2.34 الف میں مختلف اوقات مثلاً $t_0, t_1, t_2, \dots, t_n$ پر $x_0, x_1, x_2, \dots, x_n$ کی قیمت حاصل کریں جہاں x_0 سے مراد t_0 پر x کی قیمت یعنی $x(t_0)$ ہے۔ t_0 تا t_n نقاط کی کل تعداد $n+1$ کا تعین آپ جیسے اور جتنی چاہیں کر سکتے ہیں۔ اسی طرح کسی دو قریبی نقاط کے مابین فاصلہ مثلاً

$$\Delta t_2 = t_3 - t_2$$



شکل 2.34: وقت کے ساتھ بدلنے متغیرات کی مثال

آپ جتنی چاہیں رکھ سکتے ہیں۔ اس کے علاوہ کسی دو قریبی نقاط کے درمیان فاصلہ مثلاً

$$\Delta t_5 = t_6 - t_5$$

اور کسی اور دو قریبی نقاط کے درمیان فاصلہ مثلاً

$$\Delta t_8 = t_9 - t_8$$

ایک دونوں سے مختلف ہو سکتے ہیں۔ اس طرح آپ کے پاس جدول 2.2 حاصل ہوگا۔

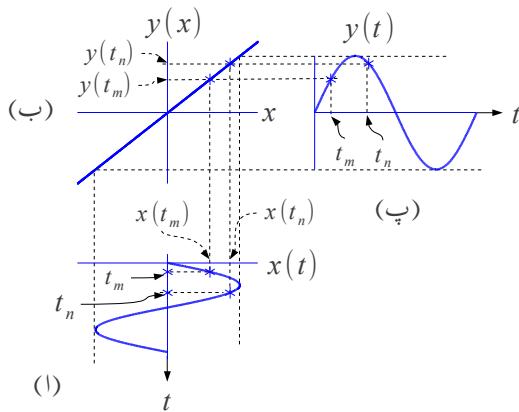
جدول 2.2: $x(t)$ کا جدول					
	t_0	t_1	t_2	\dots	t_n
	x_0	x_1	x_2	\dots	x_n

جدول 2.2 میں دئے x پر شکل 2.34 ب سے y کے قیمتیں حاصل کریں۔ یوں آپ کے پاس $y_0, y_1, y_2, \dots, y_n$ حاصل ہوں گے۔ ان قیمتیوں کو استعمال کرتے ہوئے $y(t)$ بال مقابل t کا جدول 2.3 حاصل ہوگا جس سے شکل 2.34 پ کی طرح گراف کریں۔ یہاں میں بتانا چاہیوں گا کہ اس مثال میں تفاعل $y(x)$ خم دار⁵⁹ تھا۔ اس کو استعمال کرتے ہوئے تفاعل $(t)x(t)$ سے تفاعل $(t)y(t)$ حاصل کی گئی۔ $x(t)$ اور $y(t)$ کی شکلیں بالکل مختلف ہیں۔

مندرجہ بالا تمام عمل کو نہایت عملگی اور نسبتاً زیادہ آسانی کے ساتھ بھی سرانجام دیا جا سکتا ہے۔ آئیں اس بہتر طریقے کو شکل 2.35 کی مدد سے دیکھیں جہاں بدلنے اشارہ $x(t)$ کو شکل 2.35

curved⁵⁹

جدول 2.3: $y(t)$ کا جدول	
t	$y(t)$ بال مقابل
t_0	
t_1	
t_2	
\dots	
t_n	
y_0	
y_1	
y_2	
\dots	
y_n	



شکل 2.35: سیدھا تفاضل اشارے کی شکل برقرار رکھتا ہے

الف میں گھما کر دکھایا گیا ہے۔ اس مثال میں بھی $x(t)$ کو سائنس نما تصور کیا گیا ہے جبکہ تفاضل $y(x)$ کو سیدھا خط یعنی

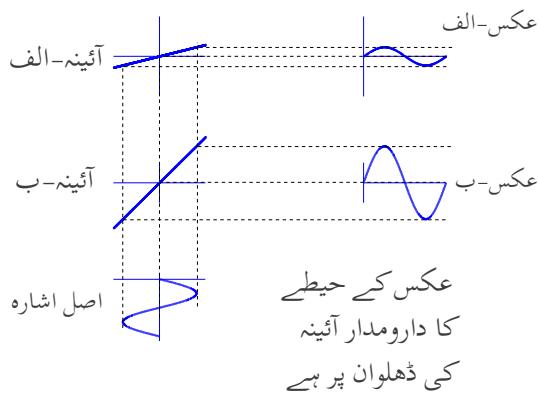
$$(2.17) \quad y(x) = mx$$

تصور کرتے ہوئے شکل ب میں دکھایا گیا ہے۔⁶⁰ جیسے کہ آپ آگے دیکھیں گے، سیدھا $y(x)$ نہایت اہمیت کا حامل ہے اور اس موقع سے فائدہ اٹھاتے ہوئے ہم اسی کو استعمال کرتے ہوئے آگے بڑھتے ہیں۔ مساوات 2.17 میں m شکل 2.33 ب میں نقطہ Q پر خط کے چھوٹی سیدھے حصے کی ڈھلوان ہے یعنی

$$(2.18) \quad m = \left. \frac{\partial y}{\partial x} \right|_Q$$

شکل 2.35 الف میں دو نقطے t_m اور t_n کو مثال بناتے ہوئے پورے عمل کو سمجھایا گیا ہے۔ ان دو نقطوں پر $x(t_m)$ اور $x(t_n)$ حاصل کئے جاتے ہیں۔ ان کی قیمت جاننا ضروری نہیں، بس اتنا درکار ہے کہ ان کی نشاندہی گراف پر کر دی جائے۔

⁶⁰ سیدھے خط کی مساوات $y = mx + c$ یہ جہاں c وہ نقطہ ہے جہاں خط y محور کو کاٹتا ہے۔ سیدھا خط $(0, 0)$ سے گزرنے کی صورت میں $c = 0$ ہو گا اور یون سیدھے خط کی مساوات $y = mx$ ہو گی۔



شکل 2.36: عکس کا حیطہ بال مقابل آئینے کی ڈھلوان

شکل الف اور شکل ب یوں بنائے جاتے ہیں کہ شکل ب کا x محدد شکل الف کے x محدد کے متوازی ہو اور ان کی جسامت بھی برابر ہو۔ یوں شکل الف میں $x(t_m)$ اور $y(t_n)$ سے سیدھی لکھیں شکل ب تک لے جائیں۔ اس طرح شکل ب سے $(x(t_m), y(t_n))$ اور $y(t_m)$ حاصل ہوں گے۔ شکل ب اور شکل پ یوں بنائے جاتے ہیں کہ شکل پ کا y محدد شکل ب کے y محدد کے بالکل دائیں جانب برابر رکھا جائے اور ان کی جسامت بھی برابر ہو۔ یوں شکل ب کے $y(t_m)$ اور $y(t_n)$ سے سقطوں سے شکل پ تک افقي لکھیں بنائیں۔ شکل پ پر ان سقطوں کو وقت t_m اور t_n کے ساتھ گراف کریں۔ مندرجہ بالا پورا عمل شکل 2.35 کو دیکھتے ہی ایک دم سمجھ آ جانا چاہئے۔

شکل 2.35 میں $y(x)$ ایک خطی (یعنی غیر-خم دار) تفاعل ہے۔ اسے استعمال کرتے ہوئے شکل پ حاصل کی گئی۔ شکل پ اور شکل الف ہو ایک ہی طرح ہیں۔ ان کے صرف حیطے مختلف ہو سکتے ہیں۔ یہ ایک نہایت اپیم نتیجہ ہے جس کا برقيات کے میدان میں کلیدی کردار ہے۔ اس حقیقت کو استعمال کرتے ہوئے غیر-خم دار تفاعل کے اشکال میں چونکہ صرف حیطہ تبدیل ہوتا ہے لہذا عموماً اشارہ $x(t)$ کے چوٹیوں سے شکل ب تک اور یہاں سے شکل پ تک لکھیں کہیںج کر شکل پ مکمل کر دیا جاتا ہے۔

شکل 2.34 اور شکل 2.35 میں $x(t)$ کو داخلی (یا اصل) اشارہ، $y(t)$ کو خارجی (یا منعکس⁶¹) اشارہ جبکہ $y(x)$ کو آئینہ⁶² تصور کریں۔ یوں ہم کہہ سکتے ہیں کہ غیر-خم دار آئینے میں اشارے کی شکل جوں کی نوں رہتی ہے جبکہ خم دار آئینہ شکل بکاڑ دیتا ہے۔ شکل 2.36 میں آئینہ کی ڈھلوان کا عکس کے حیطے پر اثر دکھایا گیا ہے۔ آئینہ الف کی ڈھلوان آئینہ ب کی ڈھلوان سے زیادہ ہے۔ جیسے آپ دیکھ سکتے ہیں کہ آئینے کی ڈھلوان پڑھانے سے عکس کا حیطہ پڑھتا ہے جبکہ آئینہ کی ڈھلوان گھٹانے سے عکس کا حیطہ گھٹتا ہے۔ آئینے کی ڈھلوان یوں بھی رکھی جا سکتی ہے کہ عکس کے حیطے میں

image⁶¹
mirror⁶²

کوئی تبدیلی پیدا نہ ہو اور یہ اصل اشارہ کے حیطے کے برابر ہی رہے۔ مندرجہ بالا تذکرہ کو تحلیلی جامہ پہناتے ہیں۔ مساوات 2.17 میں $x(t)$ لکھتے ہوئے اس مساوات کو یوں لکھا جا سکتا ہے۔

$$(2.19) \quad \begin{aligned} y[x(t)] &= mx(t) \\ y(t) &= mx(t) \end{aligned}$$

اس مساوات کے تحت $y(t)$ کا حیطہ $x(t)$ کے حیطے کا m گناہوگا جہاں m آئینہ کی ڈھلوان ہے۔ برقيات کے میدان میں برق دباؤ v اور برق رو i کا استعمال ہوتا ہے۔ رواجی طور پر برق دباؤ کو $x(t)$ جبکہ برق رو کو $y(t)$ تصور کیا جاتا ہے۔ شکل 2.37 میں ایسا ذکھایا گیا ہے۔ آپ جانتے ہیں کہ یک سختی برق دباؤ تقسیم یک سختی برق رو کو مزاحمت R جبکہ یک سختی برق رو تقسیم یک سختی برق دباؤ کو موصلیت G لکھا جاتا ہے۔ مزید یہ کہ باریک اشاراتی مزاحمت کو r جبکہ باریک اشاراتی موصلیت کو g لکھا جاتا ہے۔ یوں مساوات 2.18 میں چھوٹے (یعنی باریک) سیدھے حصے کی ڈھلوں m کی جگہ باریک اشاراتی موصلیت g کا استعمال ہوگا۔ یوں مساوات 2.17 کو برقيات کے میدان میں استعمال کرتے وقت مندرجہ ذیل طرز پر لکھا جائے گا۔

$$(2.20) \quad i(t) = gv(t)$$

اسی طرح مساوات 2.18 کو یوں لکھا جائے گا

$$(2.21) \quad g = \left. \frac{\partial i}{\partial v} \right|_Q$$

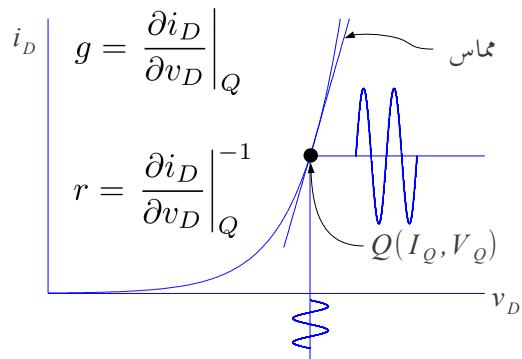
اور باریک اشاراتی مزاحمت r کے لئے یوں لکھا جائے گا۔

$$(2.22) \quad r = \left. \frac{\partial i}{\partial v} \right|_Q^{-1}$$

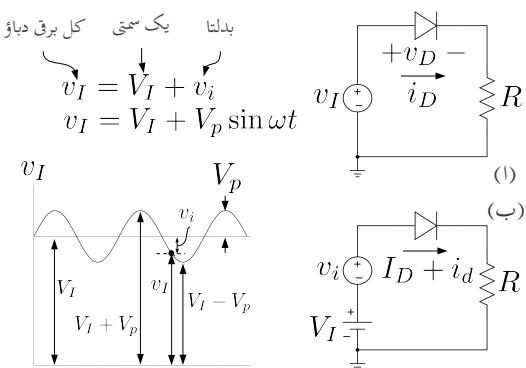
2.12 باریک اشاراتی تجزیہ

شکل 2.38 الف میں داخلی برق دباؤ v_I استعمال کی گئی ہے۔ گراف میں v_I کی قیمت مثبت رہتی ہوئے مسلسل تبدیل ہوتی ذکھائی گئی ہے۔ جیسا شکل ب میں ذکھایا گیا ہے، v_I کو یوں بھی تصور کیا جا سکتا ہے کہ اسے یک سختی برق دباؤ V_I اور بدلتے برق دباؤ v_i کو سلسلہ وار جوڑ کر حاصل کیا گیا ہے یعنی

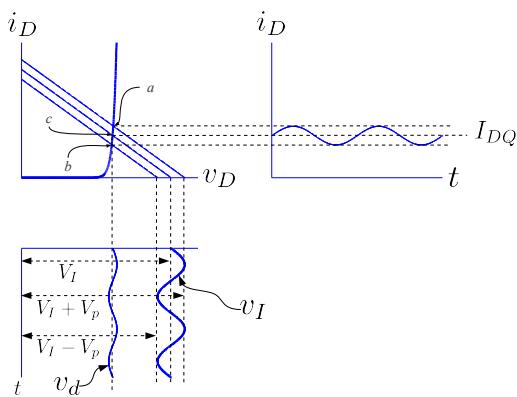
$$(2.23) \quad v_I = V_I + v_i$$



شكل 2.37: باریک اشاراتی موصليت اور باریک اشاراتی مزاحمت



شكل 2.38: باریک اشارہ



شکل 2.39: ڈائیوڈ پر باریک اشارات

باریک اشارہ⁶³ سے مراد وہ بدلتا اشارہ ہے جس کا حیطہ دور میں پائے جانے والے یک سمتی برق دباؤ یا یک سمتی برق رو کی قیمتوں سے نہایت کم ہو (یعنی $V_I << v_i$)۔

شکل 2.31 میں تغیر پذیر داخلی برق دباؤ کا بار کے خط پر اثر دکھایا گیا۔ اسی ترکیب کو یہاں استعمال کرتے ہوئے باریک داخلی اشارہ v_i کی موجودگی میں ڈائیوڈ کی کارکردگی پر غور کیا جائے گا۔ تغیر پذیر داخلی برق دباؤ v_I سے نپٹنے کی خاطر مختلف لمحات پر وقت کو ساکن تصور کرتے ہوئے ان لمحات پر داخلی برق دباؤ کی کل قیمت لی جاتی ہے۔ ان قیمتوں پر بار کے خط اور ڈائیوڈ کی مساوات کا خط گراف کیا جاتا ہے۔ یوں مختلف اوقات پر ڈائیوڈ کے مختلف نقطہ نظر (V_{DQ}, I_{DQ}) حاصل کئے جاتے ہیں۔

شکل 2.39 میں $\omega t_0 = 0$ ، $\omega t_0 = 270$ اور $\omega t_0 = 90$ پر داخلی برق دباؤ $v_I(t_0) = V_I(t_0)$ ،

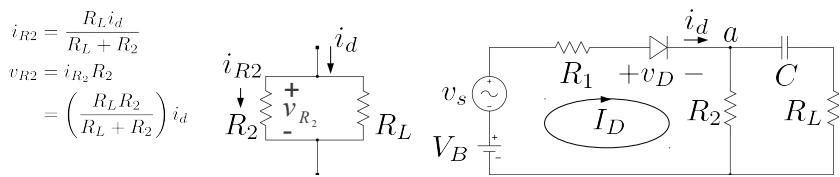
$v_I(t_1) = V_I - V_p$ اور $v_I(t_2) = V_I + V_p$ استعمال کرتے بار کے خط گراف کئے گئے ہیں۔

شکل 2.38 کے داخلی برق دباؤ کے گراف کو گھٹی کی سمت 90 کے زاویہ گھما کر شکل 2.39 میں بنایا گیا ہے۔ یوں تغیر پذیر داخلی برق دباؤ سے بار کے خط حاصل کرتے ہوئے دور میں بدلنی برق رو حاصل کی جاتی ہے۔ یہ ترکیب شکل پر غور کرنے سے واضح ہو گی۔

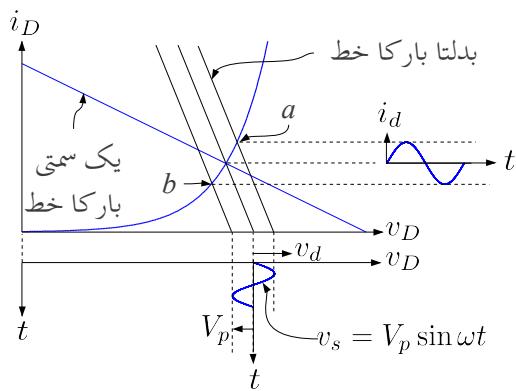
2.12.1 بدلنی برق، بار کا خط

حصہ 2.10 میں یک سمتی بار کے خط پر گفتگو کی گئی۔ اسی کو آگے بڑھاتے ہوئے بدلنی برق، بار کے خط⁶⁴ کو یہاں پیش کیا جائے گا جس کا اگلے بابوں میں کلیدی کردار ہو گا۔ شکل 2.40 میں دکھائے ڈائیوڈ کے دور میں کپیسٹر بھی استعمال کیا گیا ہے۔ تصور کریں کہ باریک اشارہ v_s کے تعدد پر کپیسٹر کو قصر دور (یعنی $0 \rightarrow |X_C|$) تصور کیا جا سکتا ہے۔ چونکہ کپیسٹر میں سے یک سمتی برق رو نہیں گزرتی لہذا یک

small signal⁶³
AC load line⁶⁴



شکل 2.40: ڈائیوڈ کے دور میں کمپیسٹر کے استعمال سے بدلتی رو، بار کا خط پیدا ہوتا ہے



شکل 2.41: بدلتی بار کا خط

سمتی برقی رو R_L سے نہیں گزرنے گی۔ کمپیسٹر کو یک سمتی متغیرات کے لئے کھلے دور تصور کیا جا سکتا ہے۔ ایسا کرنے سے یک سمتی دور حاصل ہوتا ہے جس کے یک سمتی بار کے خط کی ڈھلوان $\frac{1}{R_1+R_2}$ ہو گی اور R_L کا اس میں کوئی کردار نہیں ہو گا۔ بدلتے اشارہ کے نقطہ نظر سے ڈائیوڈ کے خارجی جانب دو متوازی جزئی مزاحمت پائی جاتی ہیں جن کی کل مزاحمت R_t ہے یعنی

$$(2.24) \quad R_t = \frac{R_L R_2}{R_L + R_2}$$

بدلتے اشارہ کو R_t برقی بار دکھائی دیتا ہے۔ یوں بدلتے اشارہ کے بار کے خط کی ڈھلوان $\frac{1}{R_t}$ ہو گی جو کہ یک سمتی بار کے خط کے ڈھلوان سے مختلف ہے۔ یوں بدلتی رو، بار کا خط کھینچتے کرتے وقت اس کی ڈھلوان $\frac{1}{R_t}$ رکھی جائے گی۔ بدلتے اشارہ کے تبدیل کے ساتھ بدلتی رو، بار کا خط بھی جگہ تبدیل کرتا ہے۔ یہ بالکل ایسا ہی ہے جیسے شکل 2.39 میں یک سمتی بار کے خط کے لئے دکھایا گیا۔ چونکہ بدلتی بار کے خط کی ڈھلوان بھی معلوم ہے لہذا اسے گراف کرنے کی خاطر بھی مزید صرف اس پر ایک

نقطہ درکار ہے۔ اگر بدلتے اشارے کا حیثہ کم کرتے کرتے صفر کر دیا جائے تو یک سختی صورت حال پیدا ہوتی ہے اور ہم جانتے ہیں کہ یک سختی بار کا خط نقطہ مائل سے گزرتا ہے۔ یوں صاف ظاہر ہے کہ بدلتے بار کا خط بھی نقطہ مائل سے گزرتا ہے۔ شکل 2.41 میں دونوں بار کے خط گراف کئے گئے ہیں۔ اس طرح پہلے یک سختی بار کا خط گراف کیا جاتا ہے جس سے نقطہ مائل حاصل کیا جاتا ہے۔ نقطہ مائل سے گزرتا بدلتی رو، بار کا خط گراف کیا جاتا ہے جس کی ڈھلوان بدلتے اشارہ کے بار سے حاصل کی جاتی ہے۔ بدلتے اشارہ کے موجودگی میں بدلتی رو، بار کا خط ڈائیوڈ کے خط پر نقطہ Q کے قریب قریب ریٹے ہوئے a اور b کے درمیان چال قدمی کرتا ہے۔ یہاں بھی نقطہ کارکردگی پر باریک اشارات کے لئے ڈائیوڈ کے خط کو سیدھا تصور کرتے ہوئے محدود $v_d - i_d$ بنائیں جا سکتے ہیں جن سے اور i_d کو پڑھا جا سکتا ہے۔

شکل 2.40 پر v_d اور i_d کو تخلیلی طریقے سے بھی حاصل کیا جا سکتا ہے۔ ایسا کرنے کی خاطر شکل 2.40 پر غور کرتے ہیں۔ اگر یہاں $v_s = 0$ رکھا جائے تو بائیں دائیرے میں صرف یک سختی برق رو I_D گزرتے گی جس سے مزاحمت R_2 پر برق دباؤ $I_D R_2$ پیدا ہو گا۔ یہی برق دباؤ جو a پر پایا جائے گا۔ اور کپیسٹر C آپس میں سلسلہ وار جڑے ہیں۔ یوں ان کی برق رکاوٹ $R_L + \frac{1}{j\omega C}$ ہے۔ یہ برق رکاوٹ R_2 کے متوازی جزی ہے۔ R_2 اور کپیسٹر مل کر برق رکاوٹ Z پیدا کرتے ہیں جہاں

$$(2.25) \quad \frac{1}{Z} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_L + \frac{1}{j\omega C}}$$

$$(2.26) \quad Z = \frac{R_2 \left(R_L + \frac{1}{j\omega C} \right)}{R_2 + R_L + \frac{1}{j\omega C}}$$

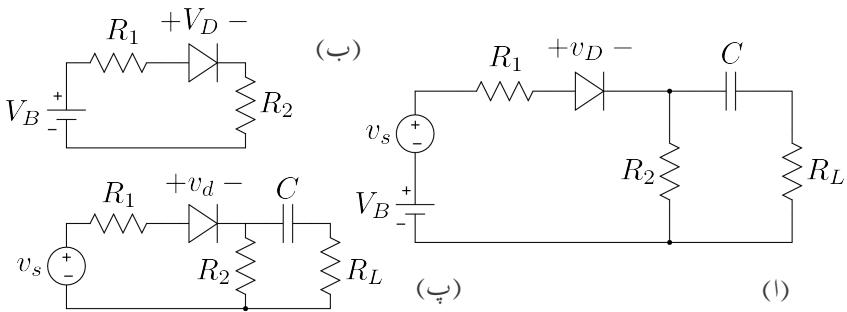
کے برابر ہے۔ کپیسٹر یک سختی برق رو کے لئے کھلے سرے کردار ادا کرتا ہے لہذا R_L میں یک سختی برق رو کی قیمت صفر ایمپیئر ہو گی اور اس پر یک سختی برق دباؤ کی قیمت بھی صفر وولٹ ہو گا۔ کپیسٹر C جو a پر پائے جائے والے یک سختی برق دباؤ کو برشاشت کرے گا اور یوں کپیسٹر پر $V_C = I_D R_2$ برق دباؤ پایا جائے گا۔ کرجاف کے قانون برائے برق دباؤ سے لکھا جا سکتا ہے۔

$$(2.27) \quad V_B = I_D R_1 + V_D + I_D R_2$$

آئیں اب شکل 2.40 میں یک سختی برق دباؤ V_B برق رکاوٹ سے پڑھایا جاتا ہے تاہم $V_B \ll v_s$ رکھا جاتا ہے۔ $V_B + v_s$ اب کل برق رو $i_D = I_D + i_d$ پیدا کریں گے۔ $i_d = I_D + i_d$ کی کھانی تبدیل نہیں ہوتی البتہ i_d پر غور درکار ہے۔ i_d مزاحمت R_1 اور ڈائیوڈ سے گزرتے ہوئے جو a پر پہنچتی ہے جہاں اسے دو راستے ملتے ہیں۔ اس مثال کی خاطر کپیسٹر کو یک سختی برق رو کے لئے قصر دور تصور کرتے ہوئے صورت حال کو شکل میں دکھایا گیا ہے۔ i_d کا کچھ حصہ R_2 میں گزرتے کا یعنی

$$(2.28) \quad i_{R2} = \left(\frac{R_L}{R_L + R_2} \right) i_d$$

یوں R_2 میں کل برق رو کی قیمت $I_D + i_{R2}$ ہو گی۔ کرجاف کے قانون برائے برق دباؤ کو بائیں دائیرے



شکل 2.42: دور کا پک سمتی اور بدلنے حصے میں تقسیم

میں استعمال کرتے ہوئے

$$\begin{aligned} V_B + v_s &= i_D R_1 + v_D + (I_D + i_{R2}) R_2 \\ &= (I_D + i_d) R_1 + (V_D + v_d) + \left[I_D + \left(\frac{R_L}{R_L + R_2} \right) i_d \right] R_2 \end{aligned}$$

لکھا جائے گا جہاں دوسرے قدم پر $v_D = V_D + v_d$ اور $i_D = I_D + i_d$ کا استعمال کیا گیا۔ اس مساوات کو دو مساوات میں یوں لکھا جا سکتا ہے۔

$$(2.29) \quad V_B = I_D R_1 + V_D + I_D R_2$$

$$(2.30) \quad v_s = i_d R_1 + v_d + i_d \left(\frac{R_L R_2}{R_L + R_2} \right)$$

مندرجہ بالا مساوات کا پہلا جزو یک سمتی بار کے خط کی مساوات ہے جبکہ اس کا دوسرا جزو بدلنی رو بار کے خط کی مساوات ہے۔ شکل 2.40 کو شکل 2.42 میں دوبارہ دکھایا گیا ہے جہاں اصل دور کے ساتھ دو مزید ادوار دکھائے گئے ہیں۔ شکل 2.42 ب میں صرف یک سمتی سپلائی V_B استعمال کرتے ہوئے اصل دور کے وہ حصے دکھائے گئے ہیں جن میں یک سمتی برقی رو I_D گزرتی ہے۔ اس میں کرچاف کے قانون برائی برقی دباو سے مساوات 2.29 کا پہلا جزو حاصل ہوتا ہے۔ اسی طرح شکل 2.42 پ میں صرف بدلنا سپلائی v_s استعمال کرتے ہوئے اصل دور کے وہ حصے شامل کئے گئے ہیں جن میں بدلنی برقی رو i_d گزرتی ہے۔ اس شکل میں ڈائیوڈ پر برقی دباو کو v_d لکھتے ہوئے اس بات کیوضاحت کی گئی ہے کہ ڈائیوڈ پر بدلنے برقی دباو کی بات کی جا رہی ہے۔ اس دور پر کرچاف کے قانون برائی برقی دباو سے مساوات 2.29 کا دوسرا جزو حاصل ہوتا ہے۔ بدلنے بار کے خط کی مساوات میں ڈائیوڈ کا باریک اشارات مزاحمت r_d استعمال کرتے ہوئے $v_d = i_d r_d$ لکھا جا سکتا ہے اور یوں اس خط سے

حاصل کیا جا سکتا ہے۔

$$v_s = i_d R_1 + i_d r_d + i_d \left(\frac{R_L R_2}{R_L + R_2} \right)$$

$$i_d = \frac{v_s}{R_1 + r_d + \left(\frac{R_L R_2}{R_L + R_2} \right)}$$

اور $v_d = i_d r_d$ کے استعمال سے v_d حاصل کیا جا سکتا ہے۔
یوں اصل شکل کو شکل ب اور شکل پ کے طرز پر بناتے ہوئے یک سختی اور بدلتے برق دباؤ) باری باری حاصل کئے جا سکتے ہیں۔ یہ نہایت اہم اور عمومی ترکیب ہے جس سے برقيات کے میدان میں عموماً استعمال کیا جاتا ہے۔ اس کتاب میں اس ترکیب کا بار بار استعمال کیا جائے گا۔

2.12.2 باریک اشاراتی مزاحمت

تغیر پذیر داخلی برق دباؤ میں باریک اشارات کو نظر انداز کرتے ہوئے حاصل نقطہ مائل کو شکل 2.39 میں c سے ظاہر کیا گیا ہے۔ باریک اشارہ کی موجودگی میں یہ نقطہ تبدیل ہوتے ہوئے a اور b کے درمیان رہتا ہے۔ ان دو نکتوں کے مابین ڈائیوڈ کا خط تقریباً ایک سیدھی لکیر کی مانند ہے۔⁶⁵ یاد رہیے کہ مزاحمت کی برق دباؤ بالمقابل برق رو کا خط سیدھی لکیر ہوتا ہے۔ اگر نقطہ c پر $v_d - i_d$ کا کارکاریسی محدود بنایا جائے⁶⁶ اور گراف کو a سے b تک محدود کر دیا جائے تو اس خط پر میں ڈائیوڈ کے مساوات کا گراف عام مزاحمت کا گراف معلوم ہوتا ہے۔ شکل 2.43 الف کے نقطہ کارکردگی Q کے قریب قریب رہتے ہوئے ڈائیوڈ کے خط کو سیدھا تصور کرتے ہوئے شکل ب میں دکھایا گیا ہے۔ یوں ان دو نکتوں کے مابین ڈائیوڈ کو مزاحمت r_d تصور کیا جا سکتا ہے جہاں

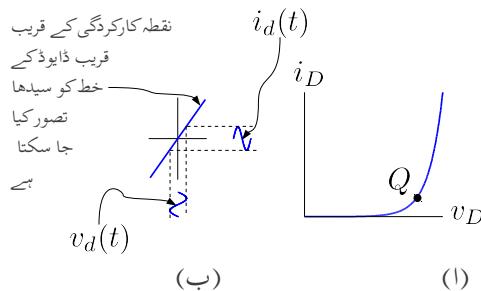
$$(2.31) \quad r_d = \frac{v_d}{i_d}$$

شکل 2.43 الف میں وسیع اشاراتی محدود ($i_D - v_D$) جبکہ شکل 2.43 ب میں باریک اشاراتی محدود ($i_d - v_d$) استعمال کئے گئے ہیں۔ شکل ب میں یہ ہی دیکھتے ہیں کہ نقطہ کارکردگی پر ڈائیوڈ کے باریک اشاراتی مزاحمت r_d کو استعمال کرتے ہوئے ڈائیوڈ کے باریک اشاراتی برق دباؤ ($v_d(t)$) پر اس کے باریک اشاراتی برق رو ($i_d(t)$) کا خط بھی نہیں آسانی کے ساتھ حاصل کیا جا سکتا ہے۔ باریک اشارہ کے موجودگی میں ڈائیوڈ نقطہ مائل کے قریب قریب رہتے گا۔ یوں اگر نقطہ c کو (V_{DQ}, I_{DQ}) لکھا جائے تو نقطہ a کو $(V_{DQ} + \Delta V_{DQ}, I_{DQ} + \Delta I_{DQ})$ جبکہ نقطہ b کو $(V_{DQ} - \Delta V_{DQ}, I_{DQ} - \Delta I_{DQ})$ لکھا جا سکتا ہے۔ یوں نقطہ c پر ڈائیوڈ کی مزاحمت r_d یوں حاصل کی جائے گی۔

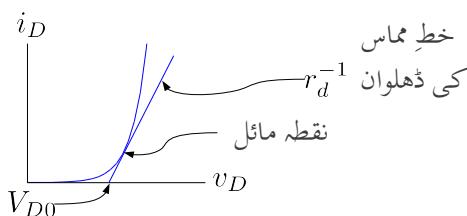
$$(2.32) \quad r_d = \frac{\Delta v_D}{\Delta i_D} \Big|_{I_{DQ}} = \frac{\Delta V_{DQ}}{\Delta I_{DQ}}$$

⁶⁵ حصہ 2.11.2 میں دیکھا گیا کہ کسی بھی خط کے باریک حصے کو سیدھا تصور کیا جا سکتا ہے۔

⁶⁶ حصہ 2.11.1 میں محدود کی منتقلی پر بحث کی گئی



شکل 2.43: ڈائیوڈ کے باریک اشارات کا حصول



شکل 2.44: نقطہ کارکردگی پر خط مماس سے باریک اشاراتی مزاحمت کا حصول

مساوات 2.31 اور مساوات 2.32 اس مزاحمت کو سمجھنے کے مختلف طریقے ہیں۔
2.31 کو ڈائیوڈ کا باریک اشاراتی مزاحمت⁶⁷ کہتے ہیں اور اس کی قیمت نقطہ کارکردگی پر منحصر ہے۔

2.12.3 خط مماس سے باریک اشاراتی مزاحمت کا حصول

شکل 2.44 میں نقطہ کارکردگی پر خط مماس⁶⁸ دکھایا گیا ہے۔ آپ دیکھ سکتے ہیں کہ نقطہ کارکردگی پر خط مماس سے ڈائیوڈ کا باریک اشاراتی مزاحمت r_d حاصل کیا جا سکتا ہے۔ آئیں r_d کو چالو ڈائیوڈ کے مساوات (یعنی مساوات 2.7) کے خط مماس سے حاصل کریں۔ نقطہ کارکردگی پر چالو ڈائیوڈ کا خط مماس حاصل کرنے کی خاطر چالو ڈائیوڈ کی مساوات کا تفرقہ⁶⁹ لین گے۔ اس تفرقہ کی قیمت نقطہ $i_D = I_{DQ}$ پر حاصل کر کے نقطہ کارکردگی پر مزاحمت r_d حاصل کی جائے گی یعنی

small signal resistance⁶⁷
tangent⁶⁸
differentiation⁶⁹

$$(2.33) \quad i_D = I_S \left(e^{\frac{v_D}{V_T}} - 1 \right) \approx I_S e^{\frac{v_D}{V_T}}$$

$$\frac{di_D}{dv_D} = \frac{I_S e^{\frac{v_D}{V_T}}}{V_T}$$

چونکہ $i_D = I_S e^{\frac{v_D}{V_T}}$ ہے لہذا ہم لکھ سکتے ہیں کہ

$$(2.34) \quad \frac{di_D}{dv_D} = \frac{I_S e^{\frac{v_D}{V_T}}}{V_T} = \frac{i_D}{V_T}$$

$$\left. \frac{di_D}{dv_D} \right|_{I_{DQ}} = \frac{I_{DQ}}{V_T}$$

خطِ ماس کے اس ڈھلوان سے باریک اشاراتی مزاحمت حاصل کرتے ہیں۔

$$(2.35) \quad r_d = \left. \left(\frac{di_D}{dv_D} \right)^{-1} \right|_{I_{DQ}} = \frac{V_T}{I_{DQ}}$$

مثال 2.11: ایک ڈائیوڈ جس کا $I_S = 9.32 \times 10^{-14} \text{ A}$ اور 15 mA کی برق رو پر باریک اشاراتی مزاحمت حاصل کریں۔
حل: مساوات 2.35 کے تحت $i_D = 15 \text{ mA}$ پر

$$(2.36) \quad r_d = \frac{25 \times 10^{-3}}{15 \times 10^{-3}} = 1.666 \Omega$$

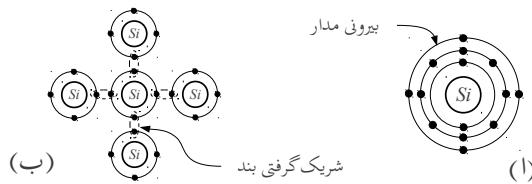
اور $i_D = 25 \mu\text{A}$ پر

$$(2.37) \quad r_d = \frac{25 \times 10^{-3}}{25 \times 10^{-6}} = 1000 \Omega$$

2.13 طبیعت نیم موصل اشیاء

ڈائیوڈ نیم موصل⁷⁰ مواد سے بنائے جاتے ہیں۔ اس حصہ میں نیم موصل اشیاء کی طبیعت میں غور کیا جائے گا۔ اگرچہ برقیاتی پر زہ جات جرمینیم یا سلیکان دونوں سے بنائے جا سکتے ہیں، حقیقت میں سلیکان کی عمدہ خوبیوں کی بدولت برقیاتی پر زہ جات زیادہ تر سلیکان سے ہی بنایا جاتا ہے۔ اسی وجہ سے اس کتاب میں صرف سلیکان پر بات کی جائے گی۔

semiconductor⁷⁰



شكل 2.45: سلیکان ایٹم اور سلیکان قلم میں شریک گرفتی بند

کیمیائی دوری جدول⁷¹ کے چوہئے قطار یعنی چوہئے جماعت⁷² میں کاربن C⁷⁴، سلیکان Si⁷³، جرمینیم Ge⁷⁵ وغیرہ پائے جاتے ہیں۔ ان تمام عناصر⁷⁶ کے ایشی نمونہ یا ایشی ماذل⁷⁷ کے پیروني مدار⁷⁸ میں چار الیکٹران⁷⁹ پائے جاتے ہیں۔ یوں ان کی کیمیائی گرفت⁸⁰ +4 یا -4 ممکن ہے۔ اس جماعت کے عناصر شریک گرفتی بند⁸¹ بناتے ہیں۔

برقیاتی پر زہ جات بنانے کی خاطر 99.999999% فی صد خالص سلیکان درکار ہوتا ہے جسے عموماً نو-نو صاف سلیکان پکارا جاتا ہے۔ اتنی خالص سلیکان حاصل کرنا از خود فنی مہارت کی انتہا ہے۔ خالص سلیکان غیر موصل ہوتا ہے لیکن اس میں، نہایت باریک مقدار میں، مختلف اجزاء کی ملاوٹ⁸² سے اس کے موصلیت⁸³ کو تبدیل کر کر اسے موصل بنایا جا سکتا ہے۔ اسی لئے سلیکان کو نیم موصل⁸⁴ پکارا جاتا ہے۔ وزن کے لحاظ سے زمین کے پیروني ٹھوس سطح کا 28% سلیکان پر مشتمل ہے۔ عام ریت سلیکان اور آکسیجن کا مرکب SiO_2 ہے۔

سلیکان کا ایشی عدد⁸⁵ یا جوبوی عدد 14 ہے۔ یوں اس کے پیروني مدار میں چار الیکٹران پائے جاتے ہیں۔ اس کے پیروني مدار میں آٹھ الیکٹران پورا کرنے کی خاطر یہ چار قربی سلیکان ایشیوں کے ساتھ شریک گرفتی بند بنائے گئے۔ شکل 2.45 میں اس کی سادہ صورت دکھائی گئی ہے۔

تحمی صفر حرارت 0 K پر موجود سلیکان کے قلم میں تمام شریک گرفتی بند برقرار رہتے ہیں اور یوں اس

periodic table ⁷¹
group ⁷²
carbon ⁷³
silicon ⁷⁴
germanium ⁷⁵
elements ⁷⁶
atomic model ⁷⁷
shell ⁷⁸
electrons ⁷⁹
valency ⁸⁰
covalent bond ⁸¹
doping ⁸²
conductance ⁸³
semiconductor ⁸⁴
atomic number ⁸⁵
crystal ⁸⁶

میں آزاد الیکٹران کے عدم موجودگی کی وجہ سے یہ غیر موصل ہوتا ہے۔ جیسے جیسے سلیکان کا درجہ حرارت بلند کیا جائے، حرارتی توانائی کی بنا پر اس میں جگہ جگہ شریک گرفتی بند منقطع ہونا شروع ہو جاتے ہیں۔

شریک گرفتی بند میں قید الیکٹران اس بند کے ٹوٹنے سے آزاد ہو جاتا ہے۔ بند کے ٹوٹنے سے الیکٹران خارج ہو کر آزاد منفی چارج کے طور سلیکان میں حرکت کرتا ہے اور یوں یہ قلم کی موصلیت میں کردار ادا کرتا ہے۔ اس طرح شریک گرفتی بند کی قید سے آزاد ہوا الیکٹران جو اب سلیکان میں آزادی سے حرکت کر سکتا ہو کو آزاد الیکٹران⁸⁷ یا متحرک الیکٹران⁸⁸ کہتے ہیں۔ اسی طرح شریک گرفتی بند ٹوٹنے کی وجہ سے الیکٹران کے اخراج سے اس مقام پر خالی خلاء رہ جاتا ہے اور یہاں موجود سلیکان کا ایتم مثبت چارج اختیار کر لیتا ہے۔ مثبت ایتم قریب موجود شریک گرفتی بندوں سے الیکٹران کھینچنے کی کوشش کرتا ہے اور کبھی کبھار ایسا کرنے میں کامیاب ہو جاتا ہے۔ یوں اس ایتم کا چارج دوسرے ایتم کو منتقل ہو جاتا ہے اور ساتھ ہی ساتھ اس خلاء کا مقام بھی تبدیل ہو کر دوسرے ایتم کے مقام پر منتقل ہو جاتا ہے۔ ایسا بار بار ہونے سے خلاء اور مسلسل جگہ تبدیل کرتا ہے۔ خلاء اور مثبت ایتم کا مقام ایک ساتھ حرکت کرتے ہیں گویا کہ خلاء از خود مثبت چارج ہو۔ یوں سلیکان میں آزادی سے حرکت کرتے مثبت خلاء کو آزاد خول⁸⁹ یا متحرک خول⁹⁰ کہتے ہیں۔ آزاد خول بالکل آزاد الیکٹران کی طرح سلیکان کی موصلیت میں کردار ادا کرتا ہے۔ آزاد خول کا چارج کے چارج کے برابر مگر مثبت ہوتا ہے۔

حرارت سے شریک گرفتی بند ٹوٹنے کی وجہ سے پیدا آزاد الیکٹران (منفی چارج) کو حرارتی الیکٹران⁹¹ جبکہ اس سے پیدا آزاد خول (مثبت چارج) کو حرارتی خول⁹² بھی کہتے ہیں۔ چونکہ ایک شریک گرفتی بند ٹوٹنے سے ایک آزاد الیکٹران اور ایک آزاد خول وجود میں آتے ہیں لہذا حرارتی الیکٹران اور حرارتی خول کی تعداد برابر رہتی ہے۔ حرارت سے پیدا الیکٹران اور خول کو اقلیتی الیکٹران⁹³ اور اقلیتی خول⁹⁴ بھی کہتے ہیں۔ حرارت سے آزاد الیکٹران اور آزاد خول کے پیدائش کے عمل کو حرارتی پیدائش⁹⁵ کہتے ہیں۔ حرارتی پیدائش کی شرح⁹⁶ کا انحصار درجہ حرارت پر ہے۔

آزاد الیکٹران اور آزاد خول سلیکان میں بلا ترتیب حرکت کرتے ہیں اور ایسا کرتے ہوئے کبھی کبھار آپس میں دوبارہ جڑ جاتے ہیں۔ ان کے جڑنے سے ایک آزاد الیکٹران اور ایک آزاد خول کا وجود ختم ہو جاتا ہے۔ اس عمل کو دوبارہ جڑنا⁹⁷ جبکہ اس کی شرح کو دوبارہ جڑنے کی شرح⁹⁸ کہتے ہیں۔ جب حرارتی پیدائش کی شرح اور دوبارہ چڑنے کی شرح برابر ہو تو اس صورت کو حرارتی توازن کہتے ہیں۔ نیم موصل اشیاء کی طبیعتیں سے معلوم ہوتا ہے کہ حرارتی پیدائش سے پیدا آزاد الیکٹران کی تعدادی

free electron ⁸⁷
mobile electron ⁸⁸
free hole ⁸⁹
mobile hole ⁹⁰
thermal electron ⁹¹
thermal hole ⁹²
minority electrons ⁹³
minority hole ⁹⁴
thermal generation ⁹⁵
thermal generation rate ⁹⁶
recombination ⁹⁷
recombination rate ⁹⁸

کثافت⁹⁹ n یا آزاد خول کی تعدادی کثافت p کو مندرجہ ذیل مساوات سے حاصل کیا جا سکتا ہے۔

$$(2.38) \quad p_i^2 = n_i^2 = BT^3 e^{-\frac{E_g}{kT}}$$

جہان

n_i حرارتی الیکٹران کی تعداد فی مربع سنٹی میٹر ہے۔

p_i حرارتی خول کی تعداد فی مربع سنٹی میٹر ہے۔

B کی مقدار بر عنصر کے لئے مختلف ہے۔ سلیکان کے لئے اس کی قیمت 5.4×10^{31} ہے۔

T حتمی حرارت ہے۔ اس کی اکائی کیلوں K ہے۔

k بولٹزمن کا مستقل $8.62 \times 10^{-5} \text{ eV/K}$

E_G یہ شریک گرفتی بند منقطع کرنے کے لئے درکار توانائی ہے جس کی قیمت سلیکان کے لئے 1.12 eV ہے۔

یاد رہے کہ حرارتی الیکٹران اور حرارتی خول کی تعدادی کثافتیں برابر ہوتی ہیں۔ یعنی

$$(2.39) \quad n_i = p_i$$

2.14 منفی قسم کا نیم موصل

کیمیائی دوری جدول کے پانچویں گماعت میں نائٹروجن N، فاسفورس P وغیرہ پائی جاتے ہیں۔ ان عناصر کے ایشموں کے بیرونی مدار میں پانچ الیکٹران پائی جاتے ہیں۔ نائٹروجن کو مثال بناتے دیکھتے ہیں کہ سلیکان کے قلم میں ان عناصر کی، نہایت باریک مقدار میں، موجودگی کے کیا اثرات مرتب ہوتے ہیں۔ سلیکان کے قلم میں سلیکان کے ایش ایک خاص ترتیب سے جڑے ہوتے ہیں۔ سلیکان کے قلم میں شامل کئے جانے والے ملاوی نائٹروجن کے ایشموں کی تعداد نہایت کم ہوتی ہے اور یوں نائٹروجن کے ایشموں کی موجودگی کا قلم میں ایشموں کے ترتیب پر کوئی اثر نہیں ہوتا۔ شامل کئے جانے والے ملاوی نائٹروجن کے ایش قلم میں جگہ سلیکان ایش کی جگہ لے کر قلم کا حصہ بن جاتے ہیں۔ شکل 2.46 میں نائٹروجن کے ایش کو سلیکان کے قلم میں بستے دکھایا گیا ہے۔ نائٹروجن ایش کے بیرونی مدار میں موجود پانچ الیکٹرانوں میں سے چار الیکٹران قلم میں قریب چار سلیکان ایشموں کے ساتھ شریک گرفتی بند بنانے بین جبکہ پانچواں الیکٹران فالتو رہ جاتا ہے۔ اس فالتو الیکٹران کا نائٹروجن ایش کے ساتھ کمزور بند¹⁰⁰ ہوتا ہے جسے الیکٹران کی حرارتی توانائی جلد منقطع کر کے الیکٹران کو آزاد کر دیتی ہے۔ اس طرح آزاد الیکٹران قلم میں مکمل آزادی کے ساتھ حرکت کر سکتے ہیں جس سے قلم موصول ہو جاتا ہے۔ قلم میں نائٹروجن ایشموں کی تعداد تبدیل کر کے اس کی موصليت پر قابو رکھا جاتا ہے۔ شکل 2.46 میں ایک آزاد الیکٹران¹⁰¹

number density⁹⁹
bond¹⁰⁰
free electron¹⁰¹

کو سلیکان ایشموں کے مابین دکھایا گیا ہے۔ یوں اگر شامل کئے گئے ملاوٹی نائٹروجن ایشموں کی تعدادی کثافت N_D ایٹم فی مربع سنٹی میٹر ہو تو اس سے پیدا آزاد الیکٹرانوں کی کثافت n_{n0} تقریباً اتنی بی ہو گی یعنی

$$(2.40) \quad n_{n0} \approx N_D$$

اس مساوات میں حرارتی آزاد الیکٹرانوں کی تعداد کو نظر انداز کیا گیا ہے جو کہ ایک جائز قدم ہے۔ نیم موصل اشیاء کی طبیعت سے معلوم ہوتا ہے کہ حرارتی توازن کی صورت میں آزاد الیکٹران کی کثافت n_{n0} اور آزاد خول کی کثافت p_{n0} کے ضرب کا جواب اٹل ہوتا ہے یعنی

$$(2.41) \quad n_{n0} p_{n0} = n_i^2$$

جہاں کسی بھی درجہ حرارت پر n_i^2 کی قیمت مساوات 2.38 سے حاصل ہو گی۔ یوں منفی نیم موصل سلیکان میں آزاد خول کی کثافت

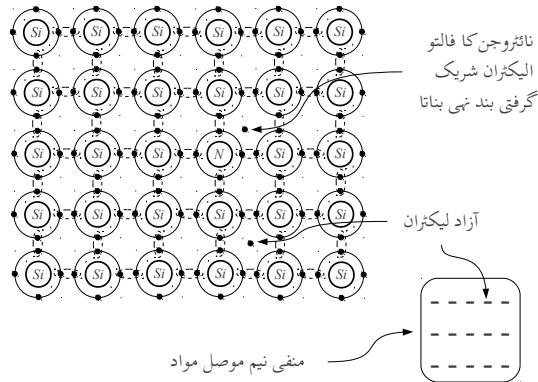
$$(2.42) \quad p_{n0} = \frac{n_i^2}{n_{n0}} \approx \frac{n_i^2}{N_D}$$

ہو گی۔ منفی نیم موصل میں اکثریتی الیکٹرانوں¹⁰² کی کثافت شامل کئے جانے والے ملاوٹی ایشموں کی تعداد پر منحصر ہے جبکہ اس میں اقلیتی خول¹⁰³ کی کثافت درجہ حرارت پر منحصر ہے۔ منفی نیم موصل میں آزاد الیکٹران کی تعداد آزاد خول کی تعداد سے کئی درجہ زیادہ ہو گی۔

اس مثال میں نائٹروجن کی شمولیت سے سلیکان میں متحرک آزاد الیکٹران یعنی متحرک منفی چارج¹⁰⁴ نے موصلیت پیدا کی۔ ایسے سلیکان کو منفی قسم کا نیم موصل یا منفی نیم موصل¹⁰⁵ کہتے ہیں۔ یوں منفی نیم موصل تیار کرنے کی خاطر سلیکان میں کیمیائی دوری جدول کے پانچویں جماعت کے عناصر بطور ملاوٹ شامل کئے جاتے ہیں۔ کسی بھی مکمل ایٹم میں پروتون اور الیکٹران کی تعداد برابر ہوتی ہے۔ یوں ایٹم کا کل چارج صفر ہوتا ہے۔ سلیکان میں نائٹروجن بطور ملاوٹ شامل کرنے سے اس کا کل چارج صفر ہی رہتا ہے۔ نائٹروجن ایٹم کے فالتوں الیکٹران کی جدائی کے بعد نائٹروجن ایٹم مثبت چارج رکھتا ہے۔ یوں اگرچہ قلم کا کل چارج اب بھی صفر ہی ہے لیکن جس مقام پر نائٹروجن کا مثبت ایٹم موجود ہو اس مقام پر کل چارج مثبت ہو گا اور جس مقام پر آزاد الیکٹران موجود ہو وہاں کل چارج منفی ہو گا۔

قلم میں تمام ایٹم اپنی جگہ جکڑے رہتے ہیں۔ یہ اپنی اپنی جگہ جھوٹ سکتے ہیں لیکن جگہ تبدیل نہیں کر سکتے۔ ایسے ایشموں کو ساکن تصور کرتے ہوئے ہم دیکھتے ہیں کہ قلم میں جگہ جگہ ساکن مثبت چارج والے نائٹروجن ایٹم پائے جاتے ہیں۔ یوں منفی قسم کے نیم موصل قلم میں مثبت چارج ساکن رہتے ہیں جبکہ اس میں منفی چارج (آزاد الیکٹران) حرکت پذیر ہوتے ہیں۔ یوں منفی نیم موصل مواد میں برق روکا ہوا آزاد الیکٹران کے حرکت سے ہوتا ہے۔ آزاد الیکٹران نیم موصل مواد کے وجود میں بالکل اسی

majority electrons¹⁰²minority holes¹⁰³mobile negative charge¹⁰⁴n-type semiconductor¹⁰⁵



شكل 2.46: نائتروجن کی شمولیت سے منفی قسم کے نیم موصل کا حصول

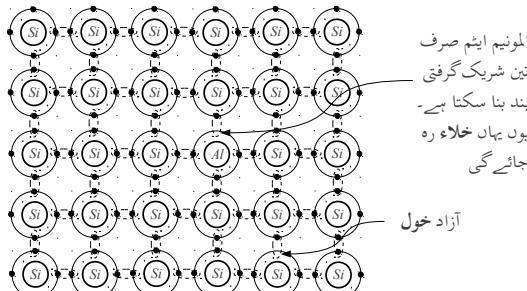
طرح حرکت کرتے ہیں جیسے بند ڈبہ میں گیس کے ایش یا مالیکیول حرکت کرتے ہیں۔ اسی وجہ سے آزاد الیکٹران کو کبھی کبھار الیکٹران گیس¹⁰⁶ بھی کہا جاتا ہے۔

ان دو اقسام کے چارجوں کا تذکرہ کرتے عموماً ساکن چارج¹⁰⁷ اور متھرک چارج¹⁰⁸ کی بات کی جاتی ہے۔ یوں منفی قسم کے نیم موصل مادے میں موصلیت صرف متھرک چارجوں کی وجہ سے پیدا ہوتی ہے۔ ساکن چارج کا قلم کے موصلیت پیدا کرنے میں کوئی کردار نہیں۔ منفی نیم موصل مواد کو ظاہر کرنا بھی شکل میں دکھایا گیا ہے جہاں (—) آزاد الیکٹران کے وجود کو اجاگر کرنا کہ کُل برق چارج کو۔ سلیکان میں بیرونی مادہ مثلاً نائتروجن کے شمولیت سے پیدا آزاد الیکٹران کو اکثریتی الیکٹران¹⁰⁹ بھی کہتے ہیں۔

2.15 مثبت قسم کا نیم موصل

کیمیائی دوری جدول کے تیسرا جماعت میں بوران B، المونیم Al وغیرہ پائے جاتے ہیں جن کے بیرونی مدار میں صرف تین الیکٹران ہوتے ہیں۔ سلیکان کے قلم میں اس جماعت کے عناصر کی شمولیت کے اثرات دیکھنے کی خاطر المونیم کی شمولیت کو مثال بناتے ہیں۔ سلیکان کے قلم میں سلیکان کے ایش ایک خاص ترتیب سے جڑے ہوتے ہیں۔ سلیکان کے قلم میں بطور ملاوٹ شامل کئے جانے والے المونیم ایشموں کی تعداد نہایت کم ہونے کی بنا پر یہ قلم میں ایشموں کے ترتیب پر اثر انداز نہیں ہوتے۔ شامل کئے جانے والے ملاوٹ المونیم کے ایش قلم میں جگہ جگہ سلیکان ایش کی جگہ لے کر قلم کا حصہ بن جاتے ہیں۔

electron gas¹⁰⁶
immobile charges¹⁰⁷
mobile charges¹⁰⁸
majority electrons¹⁰⁹



شکل 2.47: المونیم ایشم قلم میں سلیکان ایشم کی جگہ لیتا ہے

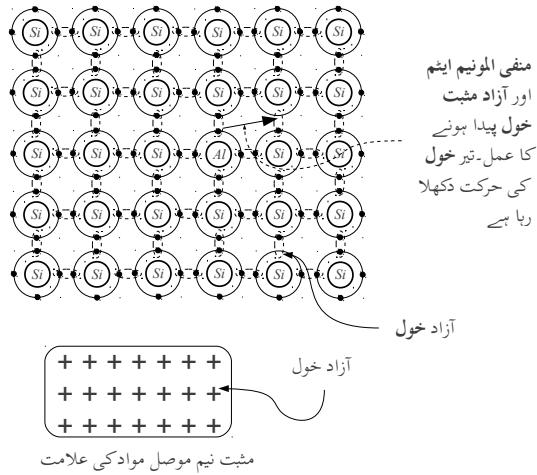
شکل 2.47 میں المونیم کے ایشم کو سلیکان کے قلم میں بستے دکھایا گیا ہے۔ قلم میں بستے المونیم ایشم کے بیرونی مدار میں موجود تین الیکٹران قلم میں قریب تر تین سلیکان ایشمود کے ساتھ شریک گرفتی بند بنا لیتے ہیں۔ المونیم ایشم کے بیرونی مدار میں چوہنے الیکٹران کی عدم موجودگی کی بنا پر قریب چوہنے سلیکان ایشم کے ساتھ شریک گرفتی بند بنا نہیں ہوتا۔ یوں اس بند کی جگہ خلاء رہ جاتی ہے۔

شکل 2.48 کو دیکھتے ہوئے آگے پڑھیں۔ حرارتی توانائی سے عین ممکن ہوتا ہے کہ اس خلاء کے قریب کوئی شریک گرفتی بند منقطع ہو جائے اور وہاں سے الیکٹران خارج ہو جائے۔ خارج شدہ الیکٹران بھٹکتا بھٹکتا المونیم کے قریب خلاء کو پُر کر کے یہاں شریک گرفتی بند کو جنم دیتا ہے۔ ایسا ہونے سے المونیم ایشم منفی چارج اختیار کر لیتا ہے جبکہ جہاں سے الیکٹران خارج ہوا ہو اس مقام پر مثبت آزاد خول¹¹⁰ رہ جاتا ہے۔ اس مثبت آزاد خول کو خول الف کہتے ہوئے گفتگو آگے بڑھاتے ہیں۔ اسی طرح حرارتی توانائی نو پیدا خول الف کے قریب کسی اور شریک گرفتی بند کو منقطع کر کے یہاں سے الیکٹران خارج کرتے ہوئے خول ب پیدا کرنے گا اور خارج الیکٹران خول الف تک پہنچ کر اسے پُر کر کے یہاں خول کے وجود کو ختم کر دیے گا۔ اسی طرح خول ب پیدا ہونے سے خول ب پُر ہو گا وغیرہ وغیرہ۔ یوں آزاد خول مسلسل جگہ تبدیل کرنے گا جبکہ منفی المونیم ایشم ساکن رہتا ہے۔ مسلسل حرکت پذیر مثبت خول (آزاد خول) کی بدولت قلم کی موصلیت وجود میں آقی ہے جبکہ ساکن منفی چارج (المونیم ایشم) کا قلم کی موصلیت میں کوئی کردار نہیں۔ یوں مثبت نیم موصل مواد میں برق روکا ہوا آزاد خول کے حرکت سے ہوتا ہے۔

چونکہ اس طرح کے قلم میں خول بطور مثبت چارج کردار ادا کرتا ہے اور یہی موصلیت کو جنم دیتا ہے لہذا اسے مثبت قسم کی نیم موصل مواد یا مثبت نیم موصل¹¹¹ کہتے ہیں۔ مثبت نیم موصل مواد کو ظاہر کرنا بھی شکل 2.48 میں دکھایا گیا ہے جہاں (+) آزاد خول کے وجود کو اجاگر کرتا ہے ناکہ کُل برق چارج کو۔

اس طرح آزاد خول قلم میں مکمل آزادی کے ساتھ حرکت کر سکتے ہیں جس سے قلم موصل ہو جاتا ہے۔ قلم میں المونیم ایشمود کی تعداد تبدیل کر کے اس کی موصلیت پر قابو رکھا جاتا ہے۔ آزاد خول نیم

free hole¹¹⁰
p-type semiconductor¹¹¹



شكل 2.48: آزاد خول کی حرکت اور مثبت نیم موصل مواد ظاہر کرنے کی علامت

موصل مواد کے وجود میں بالکل اسی طرح حرکت کرتے ہیں جیسے بند ڈبے میں گیس کے ایش یا مالیکیول حركت کرتے ہیں۔ اسی وجہ سے آزاد خول کو کبھی کبھار خول گیس¹¹² ہی کہا جاتا ہے۔ سلیکان میں بیرونی مواد مثلاً Al کے شمولیت سے پیدا آزاد خول کو اکثریتی خول ہی کہتے ہیں۔ مثبت نیم موصل سلیکان بناتے وقت اگر اس میں شامل کئے جانے والے ملاوٹی ایشموں کی کثافت N_A ایش فی مربع سینٹی میٹر ہو تو اس میں حرارتی آزاد خول کو نظر انداز کرتے ہوئے اکثریتی آزاد خول کی کثافت p_{n0} ہی تقریباً اتنی ہو گی یعنی

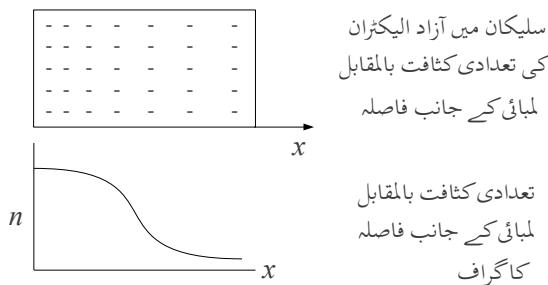
$$(2.43) \quad p_{n0} = N_A$$

جبکہ حرارتی متوازن صورت میں اس میں آزاد الیکٹرانوں کی کثافت مساوات 2.41 کے تحت

$$(2.44) \quad n_{p0} = \frac{n_i^2}{p_{p0}} \approx \frac{n_i^2}{N_A}$$

ہو گا۔ مثبت نیم موصل میں اکثریتی خول¹¹⁴ کی کثافت شامل کئے جانے والے ملاوٹی ایشموں کی تعداد پر منحصر ہے جبکہ اس میں اقلیتی الیکٹرانوں¹¹⁵ کی کثافت درجہ حرارت پر منحصر ہے۔

hole gas¹¹²
majority holes¹¹³
majority holes¹¹⁴
minority electrons¹¹⁵



شکل 2.49: تعدادی کثافت میں نا بمواری نفوذ پیدا کرتا ہے

2.16 مال برداری

آزاد الیکٹران اور آزاد خول نفوذ¹¹⁶ اور ہباو¹¹⁷ کے ذریعہ سلیکان میں حرکت کر کر ایک مقام سے دوسرا مقام منتقل ہو سکتے ہیں۔ کائنات میں قادری مال برداری¹¹⁸ ان دو خود کار طریقوں سے ہوتی ہے۔ پانی میں سیاہی کا پھیلاو اور دریا میں پانی کا ہباو انہیں کی بدولت ہے۔

2.16.1 نفوذ

نفوذ سے مراد آزاد الیکٹران اور خول کی وہ بلا ترتیب حرکت ہے جو حرارتی توانائی کی وجہ سے پیدا ہوتی ہے۔ سلیکان میں آزاد الیکٹران (آزاد خول) کی یکسان تعدادی کثافت کی صورت میں آزاد الیکٹران (آزاد خول) کے نفوذ سے برق رو پیدا نہیں ہوتی۔ اس حقیقت کی مدد سے بہتر سمجھا جا سکتا ہے جہاں فرضی سلیکان کے ایک سلاخ میں لمبائی کے جانب آزاد الیکٹرانوں کی تعداد تبدیل ہوتی دکھائی گئی ہے۔ اسی شکل میں اس کا گراف بھی دکھایا گیا ہے۔ اس شکل میں آزاد الیکٹران دائمی جانب نفوذ کریں گے۔ اس طرح سلاخ میں روایتی برق رو کی سمت پائیں جانب ہو گی۔

پانی میں رنگ نفوذ کے ذریعہ حل ہوتا ہے۔ آزاد خول کے نفوڈی برق رو کی مساوات شکل 2.50 کی مدد سے حاصل کرتے ہیں۔ شکل میں سلیکان کی مشتب نیم موصل سلاخ دکھائی گئی ہے جس کا رقبہ عمودی تراش A ہے۔ شکل میں نقطہ الف پر آزاد خولوں کی تعدادی کثافت (p) جبکہ اس کے قریب Δx فاصلہ پر نقطہ ب پر تعدادی کثافت $p + \Delta p$ ہے۔ ان دو نقطوں پر سلاخ کے چھوٹی سی لمبائی Δx

diffusion¹¹⁶

drift¹¹⁷

transportation¹¹⁸

diffusion current¹¹⁹

میں کل خولوں کی تعداد $pA\Delta x$ اور $(p + \Delta p)A\Delta x$ ہو گی۔ ہم تصور کرتے ہیں کہ سلاخ میں خول صرف لمبائی کے جانب حرکت کرتے ہیں۔ اس طرح حصہ الف کے آدھے خول، یعنی $pA\Delta x/2$ ، بائیں جانب اور آدھے دائیں جانب حرکت کریں گے۔ اسی طرح حصہ ب کے آدھے خول، یعنی $(p + \Delta p)A\Delta x/2$ ، بائیں اور آدھے دائیں جانب حرکت کریں گے۔ یوں ان دو نقطوں کے درمیان نقطہ دار لکیر پر دائیں جانب گزرتے کل خولوں کی تعداد

$$\frac{pA\Delta x}{2} - \frac{(p + \Delta p)A\Delta x}{2} = -\frac{\Delta p A\Delta x}{2}$$

ہو گی۔ خول کے چارج کو q لکھتے ہوئے اس لکیر سے دائیں جانب گزرتے کل چارج کی مقدار کو یوں لکھا جا سکتا ہے۔

$$\Delta Q_p = -\frac{q\Delta p A\Delta x}{2}$$

تصور کریں کہ چارجوں کی یوں منتقلی وقت Δt میں عمل میں آتی ہے۔ اس طرح سلاخ میں برق رو یون $I_p = \Delta Q_p / \Delta t$

$$I_p = \frac{\Delta Q_p}{\Delta t} = -\frac{q\Delta p A\Delta x}{2\Delta t}$$

اس برق رو کی کثافت J_p کو یوں لکھا جا سکتا ہے۔

$$(2.45) \quad J_p = \frac{I_p}{A} = -\frac{q\Delta p \Delta x}{2\Delta t}$$

کسی بھی تفاعل y کے لئے ہم لکھ سکتے ہیں $\Delta y = \frac{dy}{dx} \Delta x$ یوں موجودہ صورت میں لکھا جا سکتا ہے۔

$$(2.46) \quad \Delta p = \frac{dp}{dx} \Delta x$$

ان دو مساواتوں سے حاصل ہوتا ہے

$$(2.47) \quad J_p = \frac{I_p}{A} = -q \frac{dp}{dx} \frac{\Delta x^2}{2\Delta t}$$

اس مساوات میں

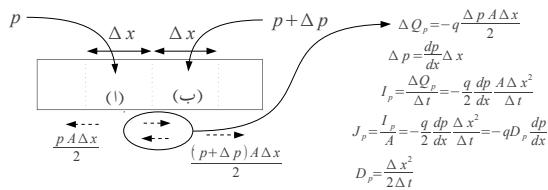
$$(2.48) \quad D_p = \frac{\Delta x^2}{2\Delta t}$$

لکھ کر حاصل ہوتا ہے

$$(2.49) \quad J_p = -q D_p \frac{dp}{dx}$$

یہ مساوات نفوذی برق رو کی کثافت یا کثافتِ نفوذی رو¹²⁰ کو بیان کرتا ہے۔¹²¹ جہاں

diffusion current density¹²⁰
نفوذ کے ذریعہ مال برداری کیے اس قسم کو اُنف فی Fick Adolph کی دریافت کی



شکل 2.50: آزاد خول سے حاصل نفوذی برقی رو

آزاد خولوں سے پیدا نفوذی برقی رو کی کثافت¹²² ہے۔ J_p

q خول کے چارج کی مقدار یعنی $1.6 \times 10^{-19} C$ ہے۔

D_p خول کے نفوذ کا مستقل¹²³ ہے۔ سلیکان میں $D_p = 12 \text{ cm}^2/\text{s}$ کے برابر ہوتا ہے۔

p آزاد خول کی تعدادی کثافت ہے۔

آزاد الیکٹرانوں کے لئے نفوذی برقی رو کی کثافت کی مساوات مندرجہ ذیل ہے۔

$$(2.50) \quad J_n = q D_n \frac{dn}{dx}$$

اس مساوات میں منفی کی علامت استعمال نہ کرنے سے ہی برقی رو کی صحیح سمت حاصل ہوتی ہے۔ D_n آزاد الیکٹران کے نفوذ کا مستقل¹²⁴ ہے جس کی قیمت سلیکان کے لئے $34 \text{ cm}^2/\text{s}$ ہے۔

2.16.2 بہاو

آزاد الیکٹران اور آزاد خول کے حرکت کرنے کا دوسرا ذریعہ ہوا¹²⁵ ہے۔ بہاو سے پیدا برقی رو کو بہاو برقی رو¹²⁶ کہتے ہیں۔

اگر سلیکان کے ایک سلاخ، جس کی لمبائی L ہو، کے دو سرور کے مابین برقی دباؤ V مہیا کی جائے تو اس سلاخ میں برقی شدت¹²⁷ E پیدا ہو گی جہاں

$$E = \frac{V}{L}$$

diffusion current density¹²²

hole's diffusion constant¹²³

electron's diffusion constant¹²⁴

drift¹²⁵

drift current¹²⁶

electric field intensity¹²⁷

کے برابر ہے۔ برق دباؤ کی شدت آزاد الیکٹران اور آزاد خول کو اسراع دے گا۔ آزاد خول کا رفتار برق شدت کی سمت میں جبکہ آزاد الیکٹران کا رفتار اس کے الٹ سمت میں بڑھے گا۔ برق شدت سے پیدا چارجوں کے رفتار کو رفتار ہوا¹²⁸ کہتے ہیں۔ آگرے صرف آزاد الیکٹران پر گفتگو کرتے ہیں اگرچہ یہ سب کچھ آزاد خول کے لئے ہمی درست ہے۔ اس گفتگو میں آزاد الیکٹران کو صرف الیکٹران کہیں گے۔

الیکٹران کی رفتار کے دو اجزاء ہیں۔ ایک جزو حرارتی رفتار ہے جبکہ دوسرا جزو ہوا کی رفتار یا رفتار ہوا ہے۔ اگر سلیکان کے سلاخ میں بر مقام پر حرارت یکسان ہوتا ہے اس سلاخ میں حرارتی رفتار کی اوسط قیمت بر مقام پر برابر ہو گی۔ حرارتی رفتار بلا ترتیب ہے اور یوں سمعتی حرارتی رفتار کی اوسط قیمت صفر ہوتی ہے۔ لہذا اس صورت میں سمعتی حرارتی رفتار کا سلیکان میں برق رو پیدا کرنے میں کوئی کردار نہیں۔ اس کے برعکس الیکٹران کی سمعتی رفتار ہوا¹²⁹ برق شدت کے الٹ سمت میں ہوتی ہے اور اس کی اوسط قیمت برق شدت پر منحصر ہوتی ہے۔ یوں برق شدت کے موجودگی میں سلیکان میں برق رو سمعتی رفتار ہوا کے وجہ سے ہوتی ہے۔ سمعتی رفتار ہوا پر اب گفتگو کرتے ہیں۔

برق شدت کی وجہ سے حرکت کرتے چارج وقتاً فوتوً ساکن ایتموں کے ساتھ نکرا کر اپنی توانائی ضائع کر دیتے ہیں اور ان کی مخفی سمعتی رفتار ہوا¹³⁰ صفر ہو جاتی ہے۔ نکرانے کے بعد یہ ایک بار پھر برق شدت کی وجہ سے رفتار پکڑتے ہیں۔ یوں نکرانے کی وجہ سے الیکٹران کی رفتار لگاتار نہیں بڑھتی بلکہ یہ کسی اوسط رفتار سے سلیکان میں برق شدت کے الٹ سمت حرکت کرتے ہیں۔ اس اوسط سمعتی رفتار کو اوسط سمعتی رفتار ہوا یا صرف سمعتی رفتار ہوا کہتے ہیں۔

سلیکان کے قلم میں برق شدت E کے موجودگی میں الیکٹران پر قوت $F = -qE$ عمل کرے گا۔ اس قوت کی وجہ سے الیکٹران اسراع a پکڑتے گا جسے نیوتن¹³¹ کے مساوات $F = m_n a$ سے حاصل کیا جا سکتا ہے یعنی

$$a = -\frac{qE}{m_n}$$

اگر الیکٹران کے نکرانے کا اوسط وقفہ t_n ہو تو اتنے وقت میں ساکن حال سے چلا الیکٹران رفتار v_{t_n} اختیار کرے گا جہاں

$$v_{t_n} = a \times t_n = -\frac{qEt_n}{m_n}$$

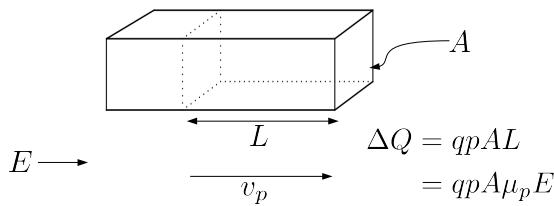
دورانیہ t_n میں یوں الیکٹران کا اوسط رفتار اس کے آدھا ہو گا یعنی

$$v_n = \frac{v_{t_n}}{2} = -\frac{qEt_n}{2m_n}$$

اس مساوات میں $\mu_n = \frac{q t_n}{2 m_n}$ لکھنے سے اسے یوں لکھا جا سکتا ہے

$$(2.51) \quad v_n = -\mu_n E$$

drift speed¹²⁸
drift velocity¹²⁹
instantaneous drift velocity¹³⁰
Newton's law¹³¹



شکل 2.51: برقی شدت سے برقی رو کا پیدا ہونا

جہاں μ_n کو الیکٹران کی حرکت پذیری¹³² کہتے ہیں۔ اگر سمتی رفتار ہاو کو cm/s اور برقی شدت کو V/cm میں نایا جائے تو سلیکان میں الیکٹران کی حرکت پذیری μ_n کی قیمت $\text{Vs}/\text{cm}^2/\text{Vs}$ ہے۔ اسی طرح آزاد خول کے لئے ہم لکھ سکتے ہیں۔

$$(2.52) \quad v_p = \mu_p E$$

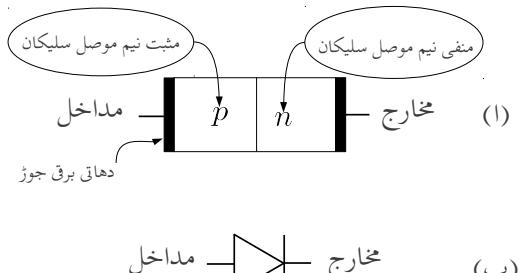
جہاں سلیکان میں آزاد خول کی حرکت پذیری μ_p کی قیمت $480 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ کے لئے بھگ ہے۔ سلیکان کے سطح پر حرکت پذیری کی قیمت گھرائی پر حرکت پذیری کے قیمت سے دس گناہ تک کم ہو سکتی ہے۔ یہاں گھرائی پر الیکٹران کی حرکت پذیری اور گھرائی پر خول کی حرکت پذیری کی بات کی گئی۔ شکل 2.51 میں مثبت نیم موصل سلیکان کا سلاخ دکھایا گیا ہے جس میں آزاد خول کی تعدادی کثافت p فی مربع سنتی میٹر ہے۔ اگر اس سلاخ میں برقی شدت E ہو تو اس میں آزاد خول کی سمتی رفتار ہاو v_p اسی سمت میں ہو گی۔ یوں ایک سیکنڈ میں آزاد خول اس سلاخ میں v_p سنتی میٹر کا فاصلہ طے کریں گے۔ سلاخ کے لمبائی L کا حجم $A \times L$ ہے اور اتنے حجم میں $p \times A \times L$ آزاد خول ہوں گے۔ یوں اتنے حجم میں کل آزاد چارج $\Delta Q = qpAL$ ہو گا۔ اگر v_p سنتی میٹر لمبائی کی بات کریں تو اتنے سلاخ میں موجود آزاد خول کا چارج $\Delta Q = qpAv_p$ ہو گا۔ سلاخ کے دائیں جانب سطح A سے یوں ہر سیکنڈ $qpAv_p$ چارج گزرنے گا اور یوں اس سلاخ میں برقی رو I_p کی قیمت $qpAv_p$ ہو گی۔ اس برق رو کی کثافت J_p

$$(2.53) \quad J_p = \frac{I_p}{A} = qp v_p = qp \mu_p E$$

بالکل اسی طرح آزاد الیکٹران کے لئے بھی مساوات لکھی جا سکتی ہے۔ آزاد الیکٹران کے چارج کو $(-q)$ لکھتے ہوئے چونکہ اس کے لئے $v_n = \mu_n E$ ہے لہذا آزاد الیکٹران کے لئے اس مساوات کو یوں لکھا جا سکتا ہے۔

$$(2.54) \quad J_n = \frac{I_n}{A} = (-q)n v_n = (-q)n(-\mu_n)E = qn\mu_n E$$

electron mobility¹³²



شكل 2.52: ڈائیوڈ کی بناؤث اور اس کی علامت

آزاد الیکٹران اور آزاد خول کے موجودگی میں برق رو دونوں چارجوں کی وجہ سے پیدا ہو گئی اور یوں اس صورت میں ہم لکھ سکتے ہیں۔

$$(2.55) \quad J_{\sigma} = qn\mu_n E + qp\mu_p E = q(n\mu_n + p\mu_p)E$$

اس مساوات میں

$$(2.56) \quad \sigma = (n\mu_n + p\mu_p)$$

لکھنے سے اسے یوں لکھا جا سکتا ہے۔

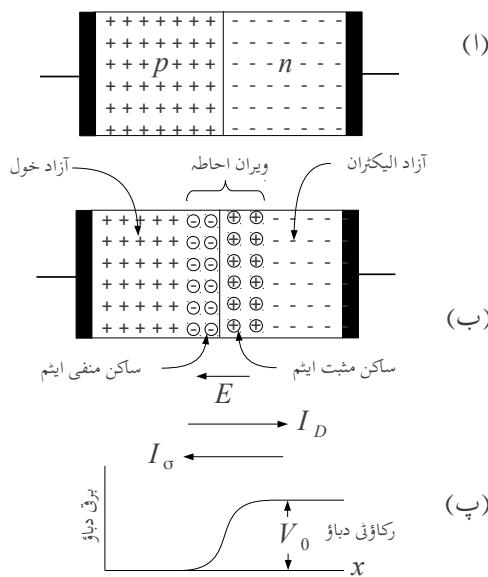
$$(2.57) \quad J_{\sigma} = q\sigma E$$

یہ مساوات برق شدت کی بدولت ہواو سے پیدا برق روکی مساوات ہے جس میں σ سلیکان کے موصلیت کا مستقل¹³³ ہے۔ مساوات 2.57 درحقیقت قانونِ اوبم¹³⁴ ہے۔

2.17 مثبت اور منفی اقسام کے نیم موصل مواد کا ملاب

مثبت نیم موصل مواد اور منفی نیم موصل مواد کے ملاب سے ڈائیوڈ وجود میں آتا ہے۔ شکل 2.52 میں اس کی بناؤث اور علامت دکھائی گئی ہے۔ حقیقت میں ڈائیوڈ تیار کرتے وقت سلیکان کی ایک ہی پڑی پر منفی اور مثبت قسم کے نیم موصل احاطے ملا کر بنائی جاتی ہے۔ تصور کریں کہ مثبت نیم موصل اور منفی نیم موصل سلیکان کو جوڑا جاتا ہے۔ اس وقت کا صورت حال شکل 2.53-1 میں دکھایا گیا ہے۔ نفوذ کی وجہ سے مثبت نیم موصل حصے سے آزاد خول منفی نیم موصل حصے کی جانب حرکت کریں گے اور اسی طرح منفی نیم موصل حصے سے آزاد الیکٹران مثبت نیم موصل حصے کی جانب حرکت کریں گے

conductivity¹³³
Ohm's law¹³⁴



شکل 2.53: رکاوٹی برقی دباؤ

گے۔ مثبت نیم موصل حصے سے خولوں کے نکل جانے سے یہاں سرحد کے قریب ساکن منفی ایشم نمودار یا بے پرده ہوں گے۔ اسی طرح منفی نیم موصل حصے سے الیکٹران کرنے کے نکل جانے سے یہاں سرحد کے قریب ساکن مثبت ایشم نمودار یا بے پرده ہوں گے۔ مثبت نیم موصل حصے میں داخل الیکٹرانوں میں سے چند سرحد کے قریب آزاد خولوں سے مل کر ختم ہو جائیں گے جبکہ بقایا اس حصے میں بطور اقلیتی چارج اس وقت تک بسیں گے جب تک یہ کسی خول کے ساتھ مل کر ختم نہ ہو جائیں۔ اسی طرح منفی حصے میں داخل آزاد خولوں میں سے جند یہاں آزاد الیکٹرانوں سے مل کر ختم ہو جائیں گے جبکہ بقایا اس حصے میں بطور اقلیتی چارج اس وقت تک بسیں گے جب تک یہ کسی آزاد خول کے ساتھ مل کر ختم نہ ہو جائیں۔ یہ صورت حال شکل 2.53 ب میں ذکھائی گئی ہے جہاں ساکن ایشموں کو گول دائیرے میں بند دکھایا گیا ہے۔ آزاد الیکٹرانوں اور آزاد خولوں کے اس حرکت سے پیدا نفوذی برق روکو I_D لکھتے ہیں جہاں نیچے کر کے نفوذ کے مستقل D لکھنے سے اس برق روکی بطور نفوذی برق رو پہچان کی گئی ہے۔ نیم موصل سلیکان از خود غیر چارج شدہ¹³⁵ ہوتا ہے۔ شکل ب کے دونوں جانب غیر چارج شدہ نیم موصل سلیکان ہے جبکہ ان کے درمیانی سرحد پر چارج شدہ ساکن ایشم نمودار ہو چکے ہیں۔ اس درمیانے خطے کو ویران خطہ¹³⁶ کہتے ہیں۔ یوں سرحد کے دائیں جانب مثبت ایشم جبکہ اس کے باقیں جانب منفی

¹³⁵ neutral depletion region¹³⁶

ایش موجود ہیں۔ آپ جانبے بین کہ ایک جانب مثبت چارج اور دوسرے جانب منفی چارج کا وجود برق شدت E^{137} پیدا کرتا ہے اور ان کے مابین برق دباؤ V_0^{138} پایا جاتا ہے۔ یوں ویران خطے میں برق شدت E پایا جائے گا۔

اگر منفی نیم موصل حصے سے حرارتی توانائی کی بدولت حرکت کرتا آزاد خول 139 بھیکتا ہوا ویران خطے میں داخل ہو جائے تو اس پر برق شدت کی وجہ سے برق قوت $F = qE$ عمل کرے گی جو اسے مثبت نیم موصل حصے میں دھکیل دے گی۔ اسی طرح اگر مثبت نیم موصل حصے سے آزاد خول ویران خطے میں داخل ہو جائے تو اسے ہمی مثبت نیم موصل حصے میں دھکیل دیا جاتا ہے۔

اگر مثبت نیم موصل حصے سے آزاد الیکٹران حرارتی توانائی کی بدولت حرکت کرتا ویران خطے پہنچ جائے تو اس پر برق قوت $F = -qE$ عمل کر کے اسے منفی نیم موصل حصے میں دھکیل دے گی۔ اسی طرح اگر منفی نیم موصل حصے سے آزاد الیکٹران ویران خطے میں داخل ہو جائے تو اسے ہمی منفی نیم موصل حصے میں دھکیل دیا جاتا ہے۔

آپ دیکھ سکتے ہیں کہ یہ برق شدت سے پیدا ہوا کا عمل ہے۔ اس عمل سے پیدا برق رو I_S کو شکل میں دکھایا گیا ہے۔ چونکہ اس خطے میں کسی قسم کا آزاد چارج زیادہ دیر نہیں ہٹ سکتا اس لئے اسے ویران خطے 140 کہتے ہیں۔

برق رو I_S کی مقدار کا دارومند حرارتی توانائی سے حرکت کرنے اُن آزاد الیکٹرانوں اور آزاد خولوں پر ہے جو ویران خطے میں بھیک جائیں۔ اس کے برعکس برق رو I_D کی مقدار دونوں نیم موصل خطوں میں شامل کئے گئے ملاٹی ایشموں کی تعدادی کثافت اور رکاوٹی برق دباؤ V_0 پر ہے۔ یوں I_D کی مقدار V_0 پڑھنے سے کم ہوئی ہے۔

جس لمحہ مثبت اور منفی نیم موصل سلیکان کو آپس میں جوڑا جائے اس لمحہ صرف I_D برق رو پائی جائے گی۔ جیسے جیسے ویران خطے کے حدود بڑھیں گے ویسے ویسے E اور V_0 کی مقداریں بڑھیں گے اور یوں I_D کی مقدار گھٹھیں گی جبکہ I_S کی مقدار بڑھے 142 گی۔ آخر کار ان دو قسموں کی برق رو کی مقداریں برابر ہو جائیں گی (یعنی $I_D = I_S$) اور نیم موصل جزو سلیکان متوازن صورت اختیار کر لے گا۔

متوازن صورت حال کرے حصول کرے بعد اگر کسی وجہ سے I_D کی قیمت بڑھ جائے تو اس سے مزید چارج شدہ ایش نمودار یوں گے جس سے E اور V_0 کی قیمت میں اضافہ ہو گا جس سے کسی اضافے کی روک تھام ہو گی اور ایک مرتبہ دوبارہ متوازن صورت حال پیدا ہو گا۔ اس کے برعکس اگر کسی وجہ سے I_D کی قیمت میں کمی آئے تو چونکہ I_S مسلسل چالو 143 رہتا ہے لہذا چارج شدہ ایشموں کی تعداد میں کمی آئے گی جس سے E اور V_0 کی قیمتیں میں کمی آئے گی۔ رکاوٹی دباؤ میں کمی I_D کے گھٹنے کو روکے گی اور ایک مرتبہ دوبارہ متوازن صورت حال پیدا ہو گا۔

electric field intensity¹³⁷
voltage¹³⁸

¹³⁹ یاد ریے کہ نیم موصل سلیکان میں حرارتی توانائی کی بدولت بر وقت حرارتی چارج پیدا ہوتے رہتے ہیں۔

¹⁴⁰ depletion region

¹⁴¹ ایسی ویران خطے پیدا نہیں ہوا بوتا لہذا I_S صفر ہوتا ہے۔

¹⁴² I_S کی قیمت حرارتی توانائی سے حرکت کرنے آزاد چارجوں کے ویران خطے میں بھیکنے پر منحصر ہے۔ ویران خطے کے حدود پڑھنے سے ایسا ہونے کے امکانات بڑھ جائے ہیں۔

¹⁴³ عام حالت میں ویران خطے کے حدود نہایت کم تبدیل ہوتے ہیں لہذا I_S کی قیمت کو غیر تغیر پذیر ہونے یعنی اٹل نصوص کیا جانا سکتا ہے۔

شکل میں دکھایا برق دباؤ V_0 نفوذ کے عمل کو روکتا ہے۔ اسی لئے اسے رکاوٹی برق دباؤ¹⁴⁴ کہتے ہیں۔ سلیکان میں رکاوٹی برق دباؤ کی عمومی قیمت 0.6 V تا 0.8 V رہتی ہے۔ اس کی اوسط قیمت کو عموماً 0.7 V لیا جاتا ہے۔

مثال 2.12: اگر ڈائیوڈ کے سروں کے مابین برق تار جوڑی جائے تو کیا رکاوٹی برق دباؤ کی وجہ سے برق تار میں برق رو پیدا ہو گی؟ حل: برگز نہیں۔ اگر ایسا ممکن ہوتا تو ہم ڈائیوڈ سے لگاتار توانائی حاصل کر سکتے ہوتے جو کہ قانون برائی بقائی توانائی کے خلاف ہے۔

حقیقت میں ڈائیوڈ کے سروں پر نیم موصل اور دھافی برق تار کے جوڑ پر برق دباؤ پیدا ہوتا ہے جو رکاوٹی برق دباؤ کے عین برابر اور اس کے الٹے جانب ہوتا ہے۔ اس طرح بیرونی برق تار میں برق رو نہیں پیدا ہوتی۔ نیم موصل اور برق تار کے جوڑ پر پیدا برق دباؤ ان کے آپس میں چھوٹے سے پیدا ہوتا ہے۔

مثال 2.13: رکاوٹی برق دباؤ V_0 کو وولٹ میٹر¹⁴⁵ سے کیسے ناپا جاتا ہے۔ حل: رکاوٹی برق دباؤ کو وولٹ میٹر سے ناپنا ممکن نہیں۔ رکاوٹی برق دباؤ ناپتے وقت جیسے ہی میٹر کی برق تاریں ڈائیوڈ کے سروں کو چھوٹے ہیں، ان سروں پر برق دباؤ پیدا ہوتا ہے جو رکاوٹی برق دباؤ کے بالکل برابر اور اس کے الٹے سمت میں ہوتا ہے۔ یوں وولٹ میٹر صفر وولٹ جواب دیتا ہے۔

2.18 اُنٹا مائل ڈائیوڈ

اُنٹے مائل ڈائیوڈ میں برق رو نہیں گزرتی یعنی اُنٹا مائل ڈائیوڈ منقطع¹⁴⁶ رہتا ہے۔ اس حقیقت پر اس حصہ میں غور کیا جائے گا۔ اُنٹے مائل ڈائیوڈ کی کارکردگی سمجھنا اس میں الٹی جانب برق رو پر غور کرنے سے زیادہ آسان ہوتا ہے۔

اُنٹے مائل ڈائیوڈ پر شکل 2.54 کی مدد سے غور کرتے ہیں جہاں بیرونی پیدا کار برق رو¹⁴⁷ ، ڈائیوڈ میں اُنٹی جانب برق رو I گزارتا ہے۔ پیدا کار برق رو اس آلہ کو کہتے ہیں جو درکار برق رو مہیا کر سکتے۔ تصور کریں کہ I کی قیمت ڈائیوڈ کے اندروں ہہاوس سے پیدا برق رو I_S سے کم ہے۔ عام حالات میں اُنٹے مائل ڈائیوڈ میں ایسا ہی ہوتا ہے۔ حصہ 2.19 میں اس صورت پر غور ہو گا جب I کی قیمت I_S سے تجاوز کر جائے۔

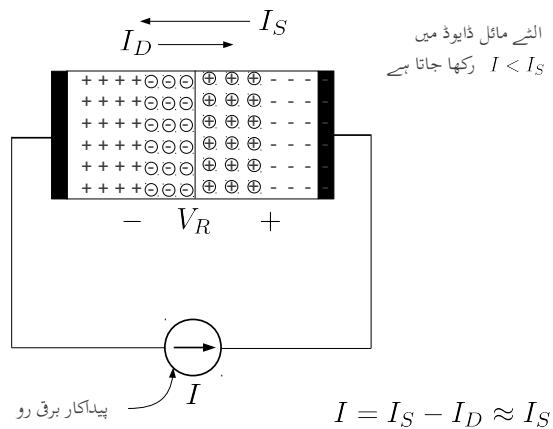
بیرون ڈائیوڈ، برق رو موصل تار میں الیکٹرانوں کی حرکت سے پیدا ہوتی ہے۔ برق تار میں الیکٹران برق رو I کے الٹے جانب حرکت کرتے ہیں۔ یوں شکل میں ڈائیوڈ کے دائیں جانب یعنی اس کے منفی نیم موصل

blocking voltage¹⁴⁴

volt meter¹⁴⁵

cut off¹⁴⁶

current source¹⁴⁷



شكل 2.54: الثانية مائل ڈائیوڈ

حصے سے آزاد الیکٹران نکل کر برق تار میں داخل ہوتے ہیں جس سے اس خطے میں مزید ایش بے پرده یعنی چارج شدہ ہو کر ویران خطے کی لمبائی بڑھاتے ہیں۔

اسی طرح شکل میں ڈائیوڈ کے باشند جانب یعنی اس کے مثبت نیم موصل حصے میں برق تار سے الیکٹران پہنچتے ہیں۔ آزاد خول اس سرے کے جانب حرکت کر کے ان الیکٹرانوں کے ساتھ مل کر ختم ہوتے ہیں۔ مثبت نیم موصل میں آزاد خولوں کے خاتمے کی وجہ سے یہاں چارج شدہ ایشونوں کی تعداد بڑھتی ہے اور یہاں کے ویران خطے کا رقبہ بھی بڑھتا ہے۔

ڈائیوڈ میں ویران خطے کے بڑھنے سے رکاوٹی برق دباؤ کی قیمت میں V_R کا اضافہ ہوتا ہے جس سے نفوذی برق رو I_D کی قیمت نہیں کم ہو جاتی ہے۔ یہ اضافی رکاوٹی برق دباؤ یعنی V_R ڈائیوڈ کے سروں پر نمودار ہو جاتا ہے جسے ولٹ میٹر کی مدد سے ناپا جا سکتا ہے۔

$$(2.58) \quad I = I_S - I_D$$

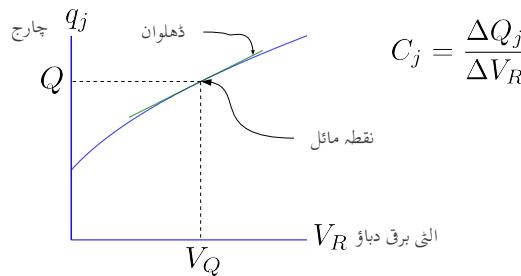
اگر I_D کی قیمت نہیں کم ہو جائے، جیسا کہ عموماً ہوتا ہے، تو اس صورت میں اس مساوات کو یوں لکھ سکتے ہیں۔

$$(2.59) \quad I \approx I_S$$

اس مساوات کے تحت الثانية مائل ڈائیوڈ میں الٹی جانب برق رو کی قیمت I_S کے برابر ہوتی ہے۔ مساوات 2.4 بھی یہی کہتا ہے۔ I_S کی قیمت نہیں کم ہوتی ہے اور اسے عموماً صفر تصور کیا جاتا ہے۔

یوں ڈائیوڈ کو الثانية مائل کرنے سے اس میں الٹی جانب ملٹائی برق رو ¹⁴⁸ گزرتی ہے جو رکاوٹی برق دباؤ

¹⁴⁸reverse recovery time¹⁴⁹



شکل 2.55: چارج بالمقابل الٹا برقی دباؤ اور کپیسٹنس

کو تیزی سے اتنا بڑھا دیتا ہے کہ ڈائیوڈ میں صرف I_S کے برابر برقی رو رہ جائے۔

آپ نے دیکھا کہ اگر پیدا کار برقی دباؤ¹⁵⁰ کے دریعہ ڈائیوڈ کو اُنٹا مائل کیا جائے تو جب تک الٹی برقی دباؤ کی قیمت ڈائیوڈ کے برداشت کی حد سے تجاوز نہ کر جائے اس وقت تک ڈائیوڈ میں الٹی جانب صرف I_S برقی رو گزرنے گی جو کہ ایک نہایت کم مقدار ہے۔ اس لئے الش مائل ڈائیوڈ کو منقطع¹⁵¹ تصور کیا جاتا ہے۔

یہاں یہ بتلانا ضروری ہے کہ حقیقت میں الش مائل ڈائیوڈ میں I_S سے کمی گنا زیادہ برقی رو گزرنی ہے اور اس کی قیمت درحقیقت الش لاگو برقی دباؤ پر منحصر ہوتی ہے۔ اس کی وجہ ہے کہ اوپر دیا گیا نظریہ حقیقی حالات کا ایک سادہ نمونہ ہے جو الش مائل صورت کی پیچیدگیاں نظر انداز کرتا ہے۔ ایک ڈائیوڈ جس کی I_S کی قیمت $A^{-15} \text{ A}$ کے برابر ہو حقیقت میں الٹی جانب 10^{-9} A تک برقی رو گزار سکتا ہے۔ چونکہ حقیقت میں الٹی جانب گزرنی برقی رو کی قیمت بھی نہایت کم ہوتی ہے لہذا الش مائل ڈائیوڈ کو منقطع ہی تصور کیا جاتا ہے۔

2.18.1 الٹا مائل ڈائیوڈ بطور کپیسٹر

آپ نے دیکھا کہ ڈائیوڈ میں جوڑ کے ایک جانب مثبت ایشم اور دوسرا جانب منفی ایشم نمودار ہو جاتے ہیں۔ یوں جوڑ کے ایک جانب ویران خطے میں مثبت چارج (+q) اور دوسرا جانب ویران خطے میں اس کے برابر مگر منفی چارج یعنی (-q) پیدا ہوتا ہے۔ ان دو اقسام کے چارجون کے درمیان رکاوٹی برقی دباؤ V_0 پیدا ہوتا ہے۔ اگر ڈائیوڈ پر الٹی برقی دباؤ V_R بابر سے لاگو کی جائے تو مزید چارج شدہ نمودار ہوتے ہیں جس سے جوڑ کے دونوں جانب چارج کی مقدار بڑھ جاتی ہے اور رکاوٹی برقی دباؤ میں V_R کا اضافہ ہو جاتا ہے۔ جوڑ پر چارج q_i اور بیرونی برقی دباؤ V_R کا خط شکل 2.55 میں دکھایا گیا ہے۔ یہاں ایک لمحہ رک کر غور کریں کہ کیا ویران خطے کے دونوں جانب چارج کے چادر اور ان

voltage source¹⁵⁰
cut off¹⁵¹

کے مابین رکاوٹی برق دباو ایک کپیسٹر¹⁵² نہیں بن جاتے۔ یقیناً ایسا ہی ہے۔ آپ کپیسٹر کی مساوات

$$(2.60) \quad Q = CV$$

سے بخوبی آشنا ہوں گے۔ اس مساوات میں برق دباو اور چارج خطی تعلق رکھتا ہے اور مساوات کا مستقل یعنی C کپیسٹر کی قیمت ہے۔ شکل 2.55 میں برق دباو اور چارج کا تعلق قدر مختلف ہے۔ اس خط پر کسی بھی نقطہ پر C_j کو یوں بیان کیا جاتا ہے۔

$$(2.61) \quad C_j = \left. \frac{dq_j}{dV_R} \right|_{V_Q}$$

شکل میں آپ دیکھ سکتے ہیں کہ کسی بھی نقطہ پر کپیسٹر کی قیمت درحقیقت اس نقطہ پر خط کے ڈھلوان کے برابر ہوتا ہے۔ یوں اس خط کی مدد سے کسی بھی نقطہ پر ڈائیوڈ کی کپیسٹنس حاصل کرنے کی خاطر اس نقطہ پر ماس کا خط بنائیں اور اس خط کی ڈھلوان حاصل کریں۔ یہی ڈائیوڈ کی کپیسٹنس ہو گئی۔ ڈائیوڈ کی کپیسٹنس C_j کی قیمت مساوات 2.62 سے بھی حاصل کی جا سکتی ہے۔ یہ مساوات درحقیقت شکل 2.55 کے خط کو الجبرائی طور سے حل کرنے سے حاصل ہوتا ہے۔

$$(2.62) \quad C_j = \frac{C_{j0}}{\left(1 + \frac{V_R}{V_0}\right)^m}$$

جوڑ کے ایک جانب n ملاوٹی ایٹھوں کی تعدادی کثافت کو جس انداز سے تبدیل کرتے ہوئے جوڑ کے دوسرے جانب p ملاوٹی ایٹھوں کی تعدادی کثافت حاصل کی جاتی ہے، m کی قیمت اسی پر منحصر ہوتی ہے۔ m کو شرح جزو بندی کہتے ہیں۔ m کی عمومی قیمت $\frac{1}{3}$ تا $\frac{1}{2}$ ہے۔ C_j کو ڈائیوڈ کے جوڑ کی کپیسٹنس یا جوڑ کی کپیسٹنس¹⁵³ کہتے ہیں۔

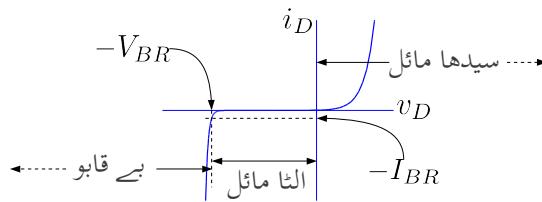
سیدھے مائل ڈائیوڈ کی اللی کپیسٹنس C_j مساوات 2.62 میں V_R کی جگہ V_{DQ} کے استعمال سے حاصل کرتے وقت دیکھا گیا ہے کہ صحیح حاصل نہیں ہوتا لہذا سیدھے مائل ڈائیوڈ میں اس کی قیمت مندرجہ ذیل مساوات سے حاصل کی جاتی ہے۔

$$(2.63) \quad C_j = 2C_{j0}$$

2.19 بے قابو صورت

اگر ڈائیوڈ اللی مائل کرنے والے برق دباو کو بتدریج بڑھایا جائے تو آخر کار یہ ڈائیوڈ کے برداشت کی حد سے تجاوز کر جائے گا اور ڈائیوڈ یکدم اللی جانب بے قابو برق روگزرنے دے گا۔ اس برق دباو کو ناقابل برداشت برق دباو¹⁵⁴ V_{BR} کہتے ہیں۔ ڈائیوڈ میں یکدم اللی جانب برق روگزرننا دو مختلف وجوہات کی بنا پر

capacitor¹⁵²
junction capacitance¹⁵³
break down voltage¹⁵⁴



شکل 2.56: ڈائیوڈ کے برقی دباؤ بال مقابل برقی رو کا خط

عمل میں آ سکتا ہے۔ نیم موصل سلیکان میں چارجون کے تودہ¹⁵⁵ کی وجہ سے یا پھر زینر اثر¹⁵⁶ سے ڈائیوڈ میں پکدم بے قابو برقی رو گزار سکتا ہے۔ ائم ان دونوں کو سمجھئیں۔

جب ہی اللٹ مائل ڈائیوڈ کے ویران خطے میں آزاد چارج داخل ہو، اس پر برقی شدت E عمل کرتا ہے جس کی وجہ سے یہ تیزی سے ایک جانب ویران خطے سے نکل جاتا ہے۔ یوں اگر ایک آزاد الیکٹران ویران خطے میں داخل ہو تو یہاں کی برقی شدت E اس الیکٹران کو منفی نیم موصل خطے کی جانب دھکیل دیتا ہے۔ آزاد الیکٹران برقی شدت سے میکانی توانائی حاصل کرتے ہوئے اور ایشمنوں کے ساتھ بار ٹکراتے ہوئے ویران خطے سے باہر جانب حرکت کرتا ہے۔

اگر آزاد الیکٹران برقی شدت سے اتنی میکانی توانائی حاصل کر کے اس کے ٹکرانے سے سلیکان ایشم ایک الیکٹران کھو بیٹھے تو اس صورت میں ویران خطے میں ایک آزاد الیکٹران جلد دوسرا آزاد الیکٹران پیدا کرے گا۔ یہ دو آزاد الیکٹران برقی شدت سے میکانی توانائی حاصل کرتے ہوئے دو مزید ایشمنوں سے ٹکراتے ہوئے دو اور آزاد الیکٹران پیدا کریں گے اور یوں آزاد الیکٹرانوں کی تعداد بے قابو بڑھے گی جس سے ڈائیوڈ میں اللٹ جانب بے قابو برقی رو گزرنے کی طرح کا عمل ہے اور اسی لئے اس عمل کو بے قابو بوجہ تودہ¹⁵⁷ کہتے ہیں۔

ڈائیوڈ کے اللٹ جانب بے قابو ہونے کا دوسرا ذریعہ زینر عمل کہلاتا ہے۔ اگر اللٹ مائل کرنے والے برق دباؤ کے بڑھانے سے ویران خطے میں برقی شدت کی قیمت اتنی بڑھ جائے کہ اس کے کھینچ سے ہی الیکٹران ایشمنوں سے جدا ہو سکیں تو اس برق دباؤ پر یکدم اللٹ جانب بے قابو برق رو گزرنے کی۔ اس طرح اللٹ جانب برق رو گزارنے والے ڈائیوڈ کو زینر ڈائیوڈ¹⁵⁸ کہتے ہیں اور اس برق دباؤ V_Z کو زینر برق دباؤ¹⁵⁹ کہتے ہیں۔ زینر ڈائیوڈ عموماً زینر عمل سے بے قابو حال میں ہی استعمال کئے جاتے ہیں۔ زینر ڈائیوڈ کے خط کے بے قابو حصے کی ڈھلوان انتہائی زیادہ ہوتی ہے۔ زینر ڈائیوڈ اس کے علاوہ بالکل عام ڈائیوڈ کی مانند ہوتا ہے اور اسے عام ڈائیوڈ کی جگہ استعمال کیا جا سکتا ہے۔

عمومی طور پر پانچ وولٹ سے کم برقی دباؤ پر بے قابو ہونا زینر عمل کی نشانی ہوئی ہے جبکہ سات وولٹ سے زیادہ برقی دباؤ پر بے قابو ہونا تودہ کے عمل کی نشانی ہوتی ہے۔ پانچ تا سات وولٹ کے مابین

avalanche¹⁵⁵
کلارنس میل ون زینر Zener Melvin Clarence نے زینر ڈائیوڈ ایجاد کی
avalanche breakdown¹⁵⁷
zener diode¹⁵⁸
zener voltage¹⁵⁹

بے قابو ہونا زینر اور تودہ دونوں کی وجہ سے ممکن ہوتا ہے۔

2.19.1 زینر برقی دباؤ بالمقابل درجہ حرارت

تقریباً $V = 7$ زینر برق دباؤ کے زینر ڈائیوڈ کی زینر برق دباؤ درجہ حرارت تبدیل ہونے سے تبدیل نہیں ہوتا۔ اس سے زیادہ زینر برق دباؤ والے زینر ڈائیوڈ کی زینر برق دباؤ درجہ حرارت بڑھانے سے بڑھتا ہے جبکہ اس سے کم زینر برق دباؤ والے زینر ڈائیوڈ کی زینر برق دباؤ درجہ حرارت بڑھانے سے کم ہوتا ہے۔ یوں برق دباؤ کے تبدیلی کی عمومی شرح کو ایک فی اکائی سیلیسیئس لیتے ہوئے درجہ حرارت 1°C بڑھانے سے $7V$ زینر ڈائیوڈ کی زینر برق دباؤ $7.07V$ ہو جائے گا۔

2.20 سیدھا مائل ڈائیوڈ

سیدھے مائل چالو حال ڈائیوڈ پر شکل 2.57 کی مدد سے غور کرتے ہیں جہاں ڈائیوڈ کو بیرونی پیدا کار برقی رو¹⁶⁰ کی مدد سے I فراہم کی گئی ہے۔ بیرونی برق رو، I ، ڈائیوڈ کے دونوں سروں پر اکثریت چارج فراہم کرتی ہے یعنی منفی نیم موصل کو آزاد الیکٹران اور مثبت نیم موصل کو آزاد خول۔ منفی نیم موصل کو فراہم کرده آزاد الیکٹران اس جانب ویران خطے میں مثبت ایشمنو کے ساتھ مل کر انہیں غیر چارج شدہ بناتے ہیں جیکہ مثبت نیم موصل خطے میں مہیا کرده آزاد خول اس جانب ویران خطے میں منفی ایشمنو کے ساتھ مل کر انہیں غیر چارج شدہ بناتے ہیں۔ یوں ویران خطے کی لمبائی کم ہو جاتی ہے اور یہاں کی رکاوٹی برق دباؤ کی قیمت بھی کم ہو جاتی ہے۔ رکاوٹی برق دباؤ کی قیمت کم ہونے سے نفوذی برق رو I_D میں اضافہ ہوتا ہے۔ کرچاف کے مساوات برائے برق رو کے مطابق یوں

$$(2.64) \quad I = I_D - I_S$$

ہو گا۔ سیدھے مائل ڈائیوڈ کی رکاوٹی برق دباؤ میں V_F وولٹ کی کمی آتی ہے۔ یہ برق دباؤ یعنی ڈائیوڈ کے سروں پر نودار ہوتا ہے جس سے وولٹ میٹر¹⁶¹ کی مدد سے ناپا جا سکتا ہے۔ V_F ناپتے وقت ڈائیوڈ کا مثبت نیم موصل سرا زیادہ برق دباؤ پر ہوتا ہے۔ اسی طرح اگر ڈائیوڈ کو پیدا کار برق دباؤ V_F سے سیدھا مائل کیا جائے تو ڈائیوڈ کی اندرونی رکاوٹی برق دباؤ میں V_F وولٹ کی کمی پیدا ہو گی اور اس میں مساوات 2.64 کے تحت برق رو گزرسے گی۔

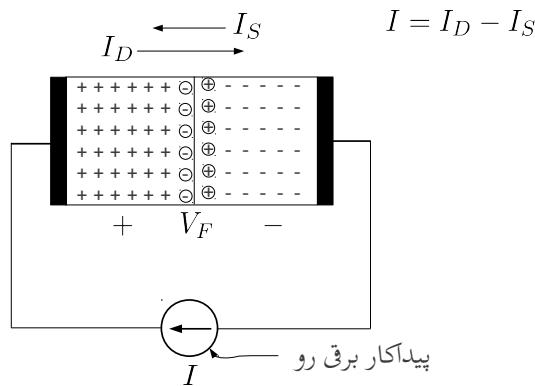
2.20.1 سیدھے مائل ڈائیوڈ کی نفوذی کپیسٹنس

حصہ 2.18.1 میں اللئے مائل ڈائیوڈ کے ویران خطے کی دونوں جانب چارجوں کے جمع ہونے سے پیدا کپیسٹنس پر غور کیا گیا جہاں آخر میں سیدھے مائل ڈائیوڈ کی کپیسٹنس کا بھی ذکر کیا گیا۔ سیدھے مائل ڈائیوڈ میں ایک اور نوعیت کی کپیسٹنس پائی جاتی ہے جس پر اس حصے میں غور کیا جائے گا۔ اس کپیسٹنس کو ڈائیوڈ کی نفوذی کپیسٹنس¹⁶² پکارا جائے گا۔

current source¹⁶⁰

volt meter¹⁶¹

diffusion capacitance¹⁶²



شکل 2.57: سیدھا مائل ڈائیوڈ

آپ جانتے ہیں کہ ڈائیوڈ میں الیکٹران ایک خالی جگہ سے دوسری خالی جگہ منتقل ہو کر برق رو کو جنم دیتا ہے۔ اگر ایک خالی جگہ سے دوسری خالی جگہ منتقل ہونے کے لئے درکار اوسط دورانیہ τ سیکنڈ ہوتا ہے تو $I_D = \frac{Q}{\tau}$ ہو گی جہاں Q اوسط چارج ہے۔ یوں ڈائیوڈ کی مساوات کو یوں لکھا جا سکتا ہے

$$(2.65) \quad I_D = \frac{Q}{\tau} = I_S e^{\frac{V_D}{V_T}}$$

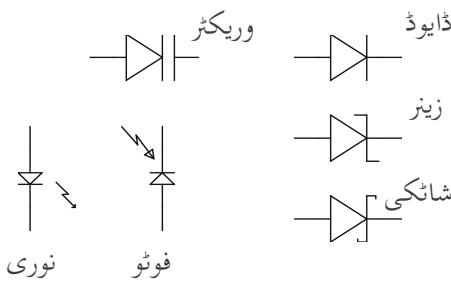
اگر ہم سیدھے کپیسٹر کی تعریف $C_d = \frac{dQ}{dV_D}$ کریں تب مندرجہ بالا مساوات سے

$$(2.66) \quad C_d = \frac{I_D \tau}{V_T}$$

حاصل ہوتا ہے۔ آپ دیکھ سکتے ہیں کہ اس کپیسٹر کی قیمت سیدھے برق رو کے برائے راست متناسب ہے اور یوں اس کی قیمت کافی زیادہ ممکن ہے۔ مثال کے طور پر اگر $I_D = 1 \text{ mA}$ اور $\tau = 1 \text{ s}$ ہو تو $C_d = 40 \text{ pF}$ ہو گا۔ ڈائیوڈ استعمال کرتے تیز رفتار عددی ادوار¹⁶³ میں یہ وہ کپیسٹس ہے جو بلند تر تعداد کی حد تعین کرتا ہے۔

2.21 ڈائیوڈ کے دیگر اقسام

زینر ڈائیوڈ کی علاوہ دیگر اقسام کے ڈائیوڈ بھی پائے جاتے ہیں۔ اس حصہ میں ان کا تعارف کرایا جائے گا۔ شکل 2.58 میں ان کے علامتیں دی گئی ہیں۔



شكل 2.58: مختلف ڈائیوڈ کے علامت

2.21.1 شائکی ڈائیوڈ

منفی نیم موصل اور مثبت نیم موصل کے ملاب سے ڈائیوڈ وجود میں آتا ہے۔ نیم موصل کے ساتھ دھات جوڑنے سے بھی ڈائیوڈ وجود میں آتا ہے جسے شائکی ڈائیوڈ¹⁶⁴ کہتے ہیں۔ ڈائیوڈ کے علامت میں انگریزی حروف تہجی S کی شولیت سے شائکی ڈائیوڈ کی علامت حاصل ہوتی ہے۔ شائکی ڈائیوڈ منفی نیم موصل اور دھات مسئلہ پلاٹنیم¹⁶⁵ کے ملاب سے بنایا جاتا ہے۔ شائکی ڈائیوڈ میں رکاوٹی برق دباو کی قیمت 0.12 V تا 0.45 V ہوتا ہے جسے عمومی طور پر 0.3 V تصور کیا جاتا ہے۔

سیدھے مائل شائکی ڈائیوڈ میں منفی نیم موصل سے الیکٹران کی ویران خطے سے گزر کر دھات تک پہنچنے سے برق رو وجود میں آتی ہے۔ چونکہ دھات میں الیکٹران کی حرکت با آسانی ہوتی ہے لہذا دوبارہ جزوئی کا دورانیہ τ نہایت کم ہوتا ہے۔ τ کی قیمت 10 ps کے لگ بھگ ہوتا ہے جو کہ ڈائیوڈ کے دورانیہ سے کئی درجے کم ہے۔ اس طرح $I_D = 1 \text{ ms}$ پر شائکی ڈائیوڈ کا نفوذی کپیسٹر مساوات 2.66 سے $C_d = 0.4 \text{ pF}$ حاصل ہوتا ہے۔

ان ڈائیوڈ میں نہایت کم چارج ذخیرہ ہوتا ہے۔ یوں انہیں انتہائی تیزی سے سیدھے مائل چالو حال سے الش مائل منقطع حال یا الش مائل منقطع حال سے سیدھے مائل چالو حال میں لا یا جا سکتا ہے۔ نہایت بلند تعداد پر چلنے والے ادوار میں ان کا استعمال عام ہے۔

یہاں یہ بتلانا ضروری ہے کہ نیم موصل اور دھات کا برجوٹ شائکی ڈائیوڈ نہیں بناتا۔ کسی بھی ڈائیوڈ کو استعمال کرنے کی خاطر اس کے سروں پر دھاتی برقی تار جوڑا جاتا ہے۔ ایسے جوڑ جہاں شائکی ڈائیوڈ پیدا نہیں ہوتا کو مراہقی جوڑ¹⁶⁶ کہتے ہیں۔ مراہقی جوڑ نہایت زیادہ ملاوٹ والے نیم موصل سطح پر دھات جوڑ کر بنائے جاتے ہیں۔

schottky diode¹⁶⁴
platinum¹⁶⁵
ohmic contact¹⁶⁶

2.21.2 وریکٹر ڈائیوڈ

الٹا مائل ڈائیوڈ کے ویران خطے کے دونوں جانب چارج پائے جاتے ہیں جس سے کپیسٹر کا اثر پیدا ہوتا ہے۔ اس کپیسٹر C_j کی کی قیمت الٹا مائل کرنے والے برق دباؤ V_R پر منحصر ہے۔ یوں V_R تبدیل کر کر کے C_j کی قیمت تبدیل کی جا سکتی ہے۔ یوں الٹا مائل ڈائیوڈ بطور قابل تبدیل کپیسٹر کے استعمال کیا جا سکتا ہے جنہیں ریٹینیو کو کسی چینل پر ٹیون کرنے کے لئے استعمال کیا جاتا ہے۔ اس مقصد کے لئے خاص ڈائیوڈ بنائے جاتے ہیں جن میں C_j کی قیمت اور اس میں تبدیلی کی گنجائش کا زیادہ سے زیادہ رکھا جاتا ہے۔ ان ڈائیوڈ کو وریکٹر ڈائیوڈ¹⁶⁷ کہتے ہیں۔ اس کی علامت میں کپیسٹر کی علامت شامل کر کر پہچان کی جاتی ہے۔

2.21.3 فوٹو ڈائیوڈ یا شمسی ڈائیوڈ

ڈائیوڈ کے مثبت۔ منفی جوڑ پر روشنی چمکانے سے ویران خطے میں ضیائی ذرے یعنی فوٹان¹⁶⁸ شریک گرفتی بند¹⁶⁹ کو توڑ کر آزاد الیکٹران اور آزاد خول پیدا کرتے ہیں۔ ویران خطے میں برق شدت ان چار جوں کو یہاں سے باہر نکال جاتے ہیں۔ یوں ڈائیوڈ میں اللہ رُخ برق روگزرتی ہے۔ ایسے ڈائیوڈ کو شمسی ڈائیوڈ¹⁷⁰ یا فوٹو ڈائیوڈ پکارا جاتا ہے۔ فوٹو ڈائیوڈ کو بطور شمسی چادر¹⁷¹ استعمال کرنے کا رجحان دن بدن بڑھ رہا ہے اور یہ صاف و شفاف بجلی پیدا کرنے کا ذریعہ ہے۔ اس کی علامت میں تیر والے لکیر میں روشنی چمکانے کے عمل کو ظاہر کیا جاتا ہے۔ روشنی کا ایک شریک گرفتی بند توڑتا ہے۔ یوں روشنی کی شدت بڑھا کر زیادہ آزاد چارج پیدا کئے جا سکتے ہیں۔

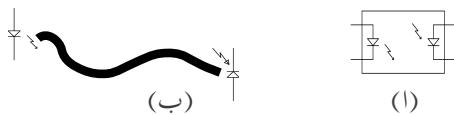
2.21.4 نوری ڈائیوڈ

فوٹو ڈائیوڈ کے برعکس نوری ڈائیوڈ¹⁷² میں جب سیدھے رُخ برق روگزاري جائے تو چارجوں کے ملاپ سے روشنی پیدا کی جا سکتی ہے۔ ایک الیکٹران اور ایک خول کے ملاپ سے ایک فوٹان وجود میں آتا ہے۔ یوں برق روکے بڑھانے سے پیدا روشنی کی شدت بڑھتی ہے۔ اس کی علامت میں تیر والے لکیر سے روشنی خارج کرنے کا عمل دکھا کر پہچان کی جاتی ہے۔

2.21.5 ضیائی وابستہ کار

شکل 2.59 الف میں ضیائی وابستہ کار¹⁷³ دکھایا گیا ہے جسے نوری ڈائیوڈ اور شمسی ڈائیوڈ کو ایک بھی ڈبے میں یوں بند کرتے بنایا گیا ہے کہ نوری ڈائیوڈ سے خارج شعاعیں شمسی ڈائیوڈ پر پہنیں۔ یوں اگر ضیائی وابستہ کار کے بائیں جانب نوری ڈائیوڈ میں برق روگزاري جائے تو اس کے دائیں جانب شمسی ڈائیوڈ سے برق دباؤ حاصل ہوگا۔ اس طرح ضیائی وابستہ کار کے دونوں اطراف کا آپس میں برق طور پر مکمل منقطع ہونے کے باوجود ایک جانب سے دوسری جانب برق اشارہ منتقل کیا جا سکتا ہے۔ اس آلہ کو ایسے

varactor diode¹⁶⁷photon¹⁶⁸covalent bond¹⁶⁹photo diode¹⁷⁰solar panel¹⁷¹light emitting diode LED¹⁷²optocoupler¹⁷³



شکل 2.59: ضیائی وابستہ کار اور ضیائی ذرائع ابلاغ

مقامات پر استعمال کیا جاتا ہے جہاں دو ادوار کو برق طور پر منقطع رکھتے ہوئے ان کے مابین معلومات کی ترسیل کی ضرورت ہو۔

ضیائی وابستہ کار کے استعمال سے دو ادوار کے مابین برق شور¹⁷⁴ کے منتقلی کو روکنے میں مدد ملتی ہے۔ اس کا استعمال عددی ادوار¹⁷⁵ کے علاوہ قوی برقیات¹⁷⁶ میں بھی بہت اہم ہے جہاں پانچ وولٹ پر چلنے والے مخلوط ادوار کی مدد سے ہزاروں وولٹ پر چلنے والے قوی برقیاتی ادوار کو قابو گیا جاتا ہے۔ طبی آلات میں اس کے استعمال سے مریض کو برق جہش کا لگنے کے امکانات کو ختم کیا جاتا ہے۔

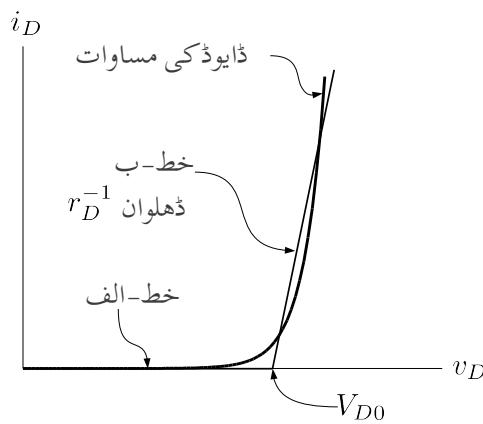
2.21.6 ضیائی ذرائع ابلاغ

شکل 2.59 ب میں ضیائی ذرائع ابلاغ¹⁷⁷ کا نظام دکھایا گیا ہے جس کی کارکردگی کچھ یوں ہے۔ نوری ڈائیوڈ اور شمسی ڈائیوڈ کے مابین ضیائی تار¹⁷⁸ یوں نسب کیا جاتا ہے کہ نوری ڈائیوڈ سے خارج شعاعیں ضیائی تار میں داخل ہوں اور ضیائی تار کے دوسرے سرے سے خارج ہوئی شعاعیں شمسی ڈائیوڈ پر پڑیں۔ یوں ایک جانب نوری ڈائیوڈ میں برق روگزارنے سے تار کے دوسری جانب برق حاصل ہوتا ہے۔ اس نظام کو استعمال کرتے ہوئے ایک مقام سے دوسرے مقام اشارہ کیجیا جا سکتا ہے۔ موجودہ نظام ابلاغ اسی پر منحصر ہے۔ ضیائی تار¹⁷⁹ ایک ایسی تار کو کہتے ہیں جس میں روشنی کے شعاع بغیر گھٹنے گزرتی ہے۔

2.22 ڈائیوڈ کے ماذل

الجنینریونگ کے شعبے میں کسی چیز کا اصل بنانے سے پہلے اس کا ماذل تیار کیا جاتا ہے۔ اس ماذل پر مختلف تجربے کئے جاتے ہیں۔ ان تجربات کے نتائج کو مدنظر رکھتے ہوئے ڈیزائن کو بہتر بنایا جاتا ہے اور صرف اس وقت اصل تیار کیا جاتا ہے جب ڈیزائن کامیاب ثابت ہو۔ موجودہ دور میں کمپیوٹر کا استعمال اس پہلو سے نہیں اہم ہے۔ یہاں یہ بتلانا ضروری ہے کہ الجنینریونگ مفہوم کے بغیر، کمپیوٹر کے ماذل استعمال کرتے کہی بھی کوئی چیز تیار نہیں کی جا سکتی۔ کمپیوٹر صرف ایک الہ ہے اور اس سے حاصل جوابات کی اہمیت کمپیوٹر استعمال کرنے والے کی قابلیت پر منحصر ہے۔

electrical noise ¹⁷⁴
digital circuits ¹⁷⁵
power electronics ¹⁷⁶
optical communication ¹⁷⁷
optical cable ¹⁷⁸
optical cable ¹⁷⁹



شکل 2.60: مساوات کا سیدھے خطوط سے اظہار

2.22.1 سیدھے خطوط کا ماذل

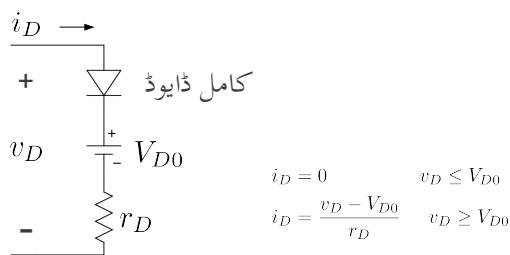
ڈائیوڈ کی برق رو یا اس پر برق دباو ڈائیوڈ کی مساوات سے حاصل کی جا سکتی ہے۔ عموماً اوقات بھیں عمومی جوابات مطلوب ہوتے ہیں اور ہم اس مساوات کو حل کرنے کی پیچیدگیوں میں نہیں پڑنا چاہتے۔ یہ بات خاص کر اس وقت کے لئے درست ہے جب قلم و کاغذ سے جواب حاصل کرنے کی کوشش کی جا رہے ہو۔

شکل 2.60 میں ڈائیوڈ کی مساوات کا گراف دکھایا گیا ہے۔ زیادہ باریکوں کو نظر انداز کرتے ہوئے ڈائیوڈ کے گراف کو دو سیدھے خط تصور کیا جا سکتا ہے جنہیں خط-ا اور خط ب کہا گیا ہے۔ خط الف برق دباو کے محور پر $(0, 0)$ سے $(V_{D0}, 0)$ تک ہے اور اس کی ڈھلوان صفر ہے جبکہ خط ب $(V_{D0}, 0)$ سے شروع ہوتا ہے اور اس کی ڈھلوان $\frac{1}{r_D}$ ہے۔ خط ب کی ڈھلوان اور نقطہ $(V_{D0}, 0)$ اثل نہیں ہیں بلکہ ان کو تبدیل کرتے ہوئے مختلف خطوں میں بہتر جوابات حاصل کئے جا سکتے ہیں۔ موجودہ مثال میں گراف کے اوپر والے حصے میں ڈائیوڈ کی مساوات اور خط ب سے حاصل جوابات میں فرق کم کرنے کی خاطر خط ب کی ڈھلوان بڑھائی جا سکتی ہے۔ ان دو سیدھے خطوط کو الجیرائی طرز پر یوں بیان کیا جائے گا

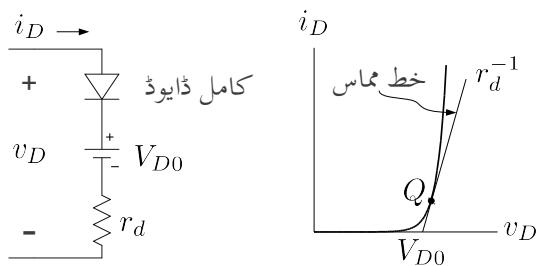
$$(2.67) \quad i_D = \begin{cases} 0 & v_D < V_{D0} \\ \frac{v_D - V_{D0}}{r_D} & v_D \geq V_{D0} \end{cases}$$

اور ان مساوات سے شکل 2.61 میں دکھایا وسیع اشاراتی سیدھے خطوط کا ماذل¹⁸⁰ حاصل ہوتا ہے۔ ڈائیوڈ کے وسیع اشاراتی سیدھے خطوط کے ماذل کو استعمال کرتے ہوئے i_D اور v_D کے تقریباً

piece wise linear model¹⁸⁰



شكل 2.61: وسیع اشاراتی سیدھے خطوط کا ڈائیوڈ ماذل



شكل 2.62: باریک اشاراتی سیدھے خطوط کا ڈائیوڈ ماذل

درست جوابات وسیع حدود کرے اندر حاصل کئے جا سکتے ہیں۔ بعض اوقات ہمیں کسی ایک نقطے کے قریب قریب رہتے ہوئے زیادہ درست جواب درکار ہوتا ہے۔ شکل 2.62 الف میں اس نقطہ Q پر ڈائیوڈ کی مساوات کا خط ماس دکھایا گیا ہے جس کی ڈھلوان r_d^{-1} ہے۔ ڈائیوڈ کے سیدھے خطوط کے ماذل میں r_d^{-1} استعمال کرتے ہوئے اس نقطے کے قریب ہترین جوابات حاصل ہوتے ہیں۔ باریک اشاراتی! سیدھے خطوط کا ماذل¹⁸¹ شکل 2.62 ب میں دکھایا گیا ہے۔

مثال 2.14: شکل 2.63 میں دئے گئے سیدھے خط کی مساوات حاصل کریں۔ شکل 2.60 کے ساتھ اس کا موازنہ کرتے ہوئے مساوات 2.67 میں نہلے جزو کی مساوات حاصل کریں۔ حل: کسی بھی سیدھے خط جس کی ڈھلوان m ہو کی مساوات یوں لکھی جا سکتی ہے

$$m = \frac{y - y'}{x - x'}$$

جہاں (x', y') اس خط پر کوئی نقطہ ہے۔ شکل میں $(X_0, 0)$ ایسا نقطہ ہے جو خط پر پایا جاتا

small signal piece wise linear model¹⁸¹

$$\begin{aligned}
 m &= \frac{y - y'}{x - x'} = \frac{y - 0}{x - X_0} \\
 y &= m(x - X_0) \\
 x &= \frac{y}{m} + X_0
 \end{aligned}$$

شکل 2.63: سیدھے خط کی مساوات

ہے۔ یوں اس خط کی مساوات یوں لکھی جا سکتی ہے۔

$$m = \frac{y - 0}{x - X_0}$$

اس کو مزید یوں دو طرح لکھا جا سکتا ہے۔

$$\begin{aligned}
 y &= m(x - X_0) \\
 x &= \frac{y}{m} + X_0
 \end{aligned} \tag{2.68}$$

شکل 2.60 پر غور کرتے ہوئے ہم دیکھتے ہیں کہ وہاں x اور y کی جگہ v_D اور i_D کا استعمال ہے جبکہ ڈھلوان $\frac{1}{r_D}$ اور خط پر پائی جانے والا نقطہ $(V_{D0}, 0)$ ہے۔ یوں مساوات 2.68 کے پہلے جزو کو اس طرح لکھا جائے گا۔

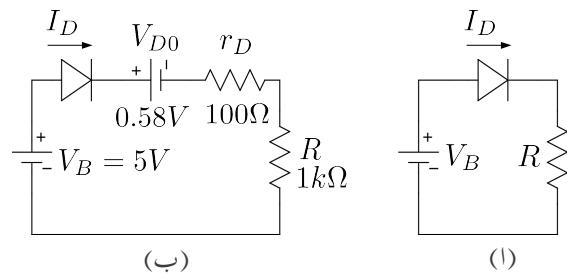
$$i_D = \frac{1}{r_D}(v_D - V_{D0}) = \frac{v_D - V_{D0}}{r_D}$$

مثال 2.15: شکل 2.64 الف میں ڈائیوڈ کی جگہ اس کے وسیع اشاراتی سیدھے خطوط کا ماذل استعمال کرتے ہوئے اسے حل کریں۔ اس ماذل میں $V_{D0} = 0.58\text{V}$ اور $r_D = 100\Omega$ لیں۔
حل: شکل ب میں ڈائیوڈ کی جگہ اس کا ماذل نسب کیا گیا ہے جس سے

$$I_D = \frac{V_B - V_{D0}}{R + r_D} = \frac{5 - 0.58}{1000 + 100} = 4.018\text{mA}$$

اور ڈائیوڈ پر برقی دباؤ

$$V_D = V_{D0} + I_D r_D = 0.58 + 4.018 \times 10^{-3} \times 100 = 0.9818\text{V}$$



شکل 2.64: سیدھے خطوط ڈائیوڈ مادل کی مثال

حاصل ہوتا ہے۔

2.22.2 کامل ڈائیوڈ مادل

مندرجہ بالا ماڈلوں میں سیدھے مائل ڈائیوڈ پر برقی دباؤ v_D کو مختلف طریقوں سے نپٹا گیا۔ عموماً دور میں مختلف برقی دباؤ کی قیمتیں v_D سے کئی گنا ہوتی ہیں اور اس صورت v_D کی قیمت کو نظر انداز کیا جا سکتا ہے۔ ایسی جگہوں پر $v_D = 0V$ لیا جا سکتا ہے اور سیدھے مائل ڈائیوڈ کو کامل ڈائیوڈ¹⁸² تصور کیا جا سکتا ہے۔

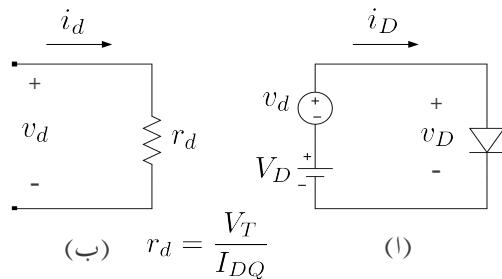
مثال 2.16: مثال 2.15 میں اگر $V_B = 200V$ اور $R = 100\text{k}\Omega$ سیدھے خطوط کے مادل کی مدد سے اور دوبارہ کامل مادل کی مدد سے حاصل کریں۔
حل: سیدھے خطوط کے مادل سے

$$I_D = \frac{V_B - V_{D0}}{R + r_D} = \frac{200 - 0.58}{100000 + 100} = 1.9922 \text{ mA}$$

کامل ڈائیوڈ کے مادل سے

$$I_D = \frac{V_B}{R} = \frac{200}{100000} = 2 \text{ mA}$$

آپ دیکھ سکتے ہیں کہ دونوں جواب تقریباً برابر ہیں۔



شکل 2.65: پست تعدد باریک اشاراتی ماذل

2.22.3 ڈائیوڈ کا پست تعدد باریک اشاراتی ماذل

حصہ 2.12 میں باریک اشاراتی مزاحمت r_d پر تذکرہ کیا گیا۔ اس حصے میں اس پر مزید غور کیا جائے گا۔ شکل 2.65 الف میں V_D ڈائیوڈ کا نقطہ کارکردگی تعین کرتا ہے جبکہ v_d باریک اشارہ ہے۔ یون کسی بھی لمحہ ڈائیوڈ پر کل برق دباؤ

$$(2.69) \quad v_D = V_D + v_d$$

ہو گا اور اس میں برق رو

$$(2.70) \quad i_D = I_D + i_d$$

ہو گی۔ I_D اور V_D یک سمعتی مقداریں ہیں۔ دراصل یہ V_{DQ} اور I_{DQ} ہی ہیں۔ صفر اشارہ یعنی $v_d = V_D$ کی صورت میں $i_D = I_D$ ہو گا اور ڈائیوڈ کی مساوات سے

$$(2.71) \quad i_D = I_S e^{\frac{V_D}{V_T}} = I_{DQ}$$

حاصل ہوتا ہے۔ بدلتے اشارہ کی موجودگی میں ڈائیوڈ کی مساوات کو یوں لکھ سکتے ہیں۔

$$(2.72) \quad i_D \approx I_S e^{\frac{v_D}{V_T}} = I_S e^{\frac{V_D + v_d}{V_T}} = I_{DQ} e^{\frac{v_d}{V_T}}$$

جهان مساوات 2.71 کا استعمال کیا گیا۔ سلسلہ مکلارن¹⁸³ سے اسے مزید یوں لکھ سکتے ہیں۔

$$(2.73) \quad i_D = I_{DQ} \left[1 + \frac{1}{1!} \frac{v_d}{V_T} + \frac{1}{2!} \left(\frac{v_d}{V_T} \right)^2 + \dots \right]$$

$(e^x = 1 + \frac{x}{1!} + \frac{x^2}{2!} + \dots)$ Maclaurin's series¹⁸³

اس مساوات میں اگر v_d کی قیمت V_T کے قیمت سے بہت کم ہو (یعنی $v_d < V_T$) تو پہلے دو جزو کے علاوہ بقايا کو نظر انداز کرنا ممکن ہو گا اور اسے یون لکھا جا سکتا ہے۔

$$(2.74) \quad i_D \approx I_{DQ} \left(1 + \frac{v_d}{V_T} \right)$$

جس سے حاصل ہوتا ہے

$$(2.75) \quad i_D \approx I_{DQ} + \left(\frac{I_{DQ}}{V_T} \right) v_d = I_{DQ} + \frac{v_d}{r_d}$$

جهان مساوات 2.35 میں حاصل کیا گیا ڈائیوڈ کا باریک اشاراتی مزاحمت $r_d = \frac{V_T}{I_{DQ}}$ استعمال کیا گیا۔ چونکہ $i_D = I_{DQ} + i_d$ ہوتا ہے لہذا مساوات 2.75 کا پہلا جزو نقطہ کارکردگی پر یک سنتی برقی رو I_{DQ} ہے جبکہ اس کا دوسرا جزو بدلئے اشارہ v_d پر منحصر برقی رو i_d ہے یعنی

$$(2.76) \quad i_d = \frac{v_d}{r_d}$$

ڈائیوڈ کا پست تعداد باریک اشاراتی ماذل شکل 2.65 ب میں دکھایا گیا ہے۔ آپ تسلی کر سکتے ہیں کہ پست تعداد باریک اشاراتی ماذل بھی برقی رو i_d پر مساوات 2.76 کی طرح برقی دباو v_d دیتا ہے۔ ڈائیوڈ کا باریک اشاراتی ماذل صرف ڈائیوڈ کے باریک اشاراتی مزاحمت r_d پر مشتمل ہے۔

2.22.4 ڈائیوڈ کا بلند تعداد باریک اشاراتی ماذل

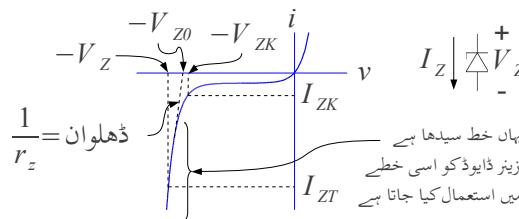
اب تک ہم ڈائیوڈ کے وہ ماذل دیکھتے رہے جو کم تعداد پر ڈائیوڈ کے کارکردگی پر صحیح اترتے ہیں۔ اگر بلند تعداد کے اشارات پر ڈائیوڈ کی کارکردگی پر غور کرنا ہو تو ڈائیوڈ کا بلند تعداد باریک اشاراتی ماذل استعمال کرنا ہو گا جو ڈائیوڈ کے اندروفی کپیسٹر کا بھی حساب رکھتا ہو۔ ڈائیوڈ کے اندروفی کپیسٹر دو طرح کے ہوتے ہیں۔ پہلا کپیسٹر C_J ویران خطے کے دونوں جانب الٹ برق چارجوں کی وجہ سے پیدا ہوتا ہے جبکہ دوسرے قسم کا کپیسٹر C_d چارجوں کے ہماؤ سے پیدا ہوتا ہے۔ ان کپیسٹروں کو ڈائیوڈ کے پست تعداد باریک اشاراتی ماذل میں مزاحمت r_d کے متوازن نسب کر کے ڈائیوڈ کا بلند تعداد باریک اشاراتی ماذل 184 حاصل ہوتا ہے جسے شکل 2.66 میں دکھایا گیا ہے۔ وسیع حیطے کے اشارات کے استعمال کے لئے اس ماذل میں وسیع اشارہ کے کپیسٹر C_J اور C_d استعمال کئے جائیں گے۔

2.23 زینر ڈائیوڈ اور اس کا ماذل

شکل 2.67 میں زینر ڈائیوڈ کے برقی دباو بال مقابل برقی رو کا خط اور اس کی علامت دکھائی گئی ہے۔ اس کی علامت میں انگریزی حروف تہجی Z شامل کر کے اس کی پہچان کی جاتی ہے۔ سیدھا مائل زینر ڈائیوڈ بالکل ایک عام ڈائیوڈ کے مانند کام کرتا ہے اور اسے آپ عام ڈائیوڈ کی جگہ استعمال کر سکتے ہیں۔ بس یہ

$$\begin{aligned}
 r_d &= \frac{V_T}{I_{DQ}} \\
 C_j &= \frac{C_{j0}}{\left(1 - \frac{V_{DQ}}{V_o}\right)^n} & V_{DQ} < 0 \\
 C_j &\approx 2C_{j0} & V_{DQ} > 0 \\
 C_d &= \frac{\tau I_{DQ}}{V_T}
 \end{aligned}$$

شکل 2.66: بلند تعداد باریک اشاراتی ڈائیوڈ مادل



شکل 2.67: زینر ڈائیوڈ کے خط پر ابہ نقطے

ذہن میں رکھیں کہ عام ڈائیوڈ استعمال کرتے وقت ہم کبھی نہیں چاہتے کہ یہ الٹی برق رو گزرنے دے جبکہ زینر ڈائیوڈ کو عموماً ان مقامات پر استعمال کیا جاتا ہے جہاں اس میں الٹی برق رو ہی گزاری جاتی ہے۔ زینر ڈائیوڈ کے خط پر جہاں برق رو بڑھنے شروع ہوئے سے اسے زینر ڈائیوڈ کا گھٹنا¹⁸⁵ کہتے ہیں۔ زینر ڈائیوڈ بنانے والے صنعت کار زینر ڈائیوڈ کے گھٹنے پر برق دباؤ V_{ZK} اور برق رو I_{ZK} کی قیمت فراہم کرتے ہیں۔ چونکہ زینر ڈائیوڈ عموماً اللہ مائل رکھا جاتا ہے لہذا، جیسا شکل 2.67 میں دکھایا گیا ہے، اس پر برق دباؤ اور اس میں برق رو عام ڈائیوڈ کے الٹ ناپی جاتے ہیں۔ اس طرح اگر خط پر منفی تیس وولٹ 30 V پر زینر گھٹنا پایا جائے تو صنعت کار اس کی قیمت $V_{ZK} = 30\text{ V}$ فراہم کرے گا۔ اسی طرح صنعت کار، زینر برق دباؤ V_Z کی عمومی قیمت کسی خاص برق رو I_{ZT} پر ناپ کر فراہم کرتا ہے۔ زینر ڈائیوڈ کو عموماً اس کے زینر برق دباؤ سے بھی پکارا جاتا ہے یعنی $V_Z = 10\text{ V}$ کی صورت میں اسے دس وولٹ کا زینر کہا جائے گا۔

اگر زینر ڈائیوڈ پر برق دباؤ V_Z اور اس میں گزرتی برق رو I_Z ہو تو اس میں برق طاقت کے ضیاع¹⁸⁷

¹⁸⁵ زینر خط پر زینر گھٹنا بالکل انسانی ٹکھنیکی طرح معلوم ہوتا ہے۔¹⁸⁶ knee power loss¹⁸⁷

P کا تخمینہ یوں لگایا جاتا ہے -

$$(2.77) \quad P = V_Z \times I_Z$$

صنعت کار زینر ڈائیوڈ میں برق طاقت کے ضیاء کی مقررہ حد بھی فراہم کرتا ہے۔ زینر ڈائیوڈ استعمال کرتے وقت اس حد سے کسی صورت تجاوز کرنے سے زینر ڈائیوڈ تباہ ہو جاتا ہے۔
 یوں اگر $V = 5.6$ V اور $I = 0.25$ W کے زینر میں 10 mA کا برق روگر رہا ہو تو اس میں برق طاقت کا ضیاء $W = 5.6 \times 0.01 = 56 \text{ mW}$ ہو گا جو کہ اس زینر ڈائیوڈ کے طاقت کے ضیاء کی حد یعنی 0.25 W سے کم ہے لہذا زینر ڈائیوڈ صحیح سلامت کام کرتا رہے گا۔ اس کے برعکس اگر اسی زینر میں 100 mA برق روگرے تو اس میں برق طاقت کا ضیاء $W = 5.6 \times 0.1 = 0.56 \text{ W}$ ہو گا جو کہ 0.25 W سے زیادہ ہے۔ اس صورت زینر ڈائیوڈ گرم ہو کر تباہ ہو جائے گا۔ ڈینائیئن انجنئر¹⁸⁸ عموماً زینر ڈائیوڈ میں برق طاقت کے ضیاء کو مقررہ حد کے نصف سے نیچے ہی رکھتے ہیں۔ یوں اس زینر ڈائیوڈ میں ڈینائیئن انجنئر کہی ہی 22 mA سے زیادہ برق رو نہیں گردنے دیے گا۔ 22 mA پر طاقت کا ضیاء $W = 5.6 \times 0.022 = 0.123 \text{ W}$ ہو گا جو کہ تقریباً 0.25 W کا نصف ہے۔
 زینر ڈائیوڈ میں برق طاقت کے ضیاء سے حرارتی توانائی پیدا ہوتی ہے جس سے زینر ڈائیوڈ کا درجہ حرارت بڑھتا ہے۔ اگر زینر ڈائیوڈ سے حرارتی طاقت کے اخراج کی شرح اس میں برق طاقت کے ضیاء سے پیدا حرارتی طاقت کی شرح سے کم ہو تو زینر ڈائیوڈ کا درجہ حرارت بڑھتے بڑھتے ناقابل برداشت ہو جاتا ہے جس سے یہ تباہ ہو جاتا ہے۔ برقراری پر زہ جات عموماً اسی طریقے سے تباہ ہوتے ہیں۔ درجہ حرارت بڑھنے سے نئی موصل مادہ پکھل جاتا ہے اور یوں پر زہ تباہ ہو جاتا ہے۔
 زینر ڈائیوڈ کے خط کی ڈھلوان اور اس کے باریک اشاراتی زینر مزاحمت r_z کا تعلق عام ڈائیوڈ کی طرح ہی ہے یعنی

$$(2.78) \quad \frac{1}{r_z} = \frac{1}{\text{ڈھلوان}}$$

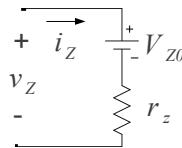
بس فرق صرف اتنا ہے کہ زینر ڈائیوڈ یوں بنایا جاتا ہے کہ اس کی ڈھلوان زیادہ سے زیادہ ہو۔ یوں اس کی اشاراتی زینر مزاحمت کم سے کم ہوتی ہے جس سے زینر ڈائیوڈ میں برق روکے تبدیلی سے اس پر برق دباؤ میں کم سے کم تبدیلی رو نہ ہوتی ہے۔ چونکہ $\frac{\Delta v_Z}{\Delta i_Z} = r_z$ ہوتا ہے لہذا اس بات کو یوں لکھا جا سکتا ہے

$$(2.79) \quad \Delta v_Z = \Delta i_Z r_z$$

آپ دیکھ سکتے ہیں کہ r_z کی قیمت جتنی کم ہو برق روکے تبدیلی سے برق دباؤ میں اتنی کم تبدیلی رو نہ ہوگی۔

زینر ڈائیوڈ کا ماذل حاصل کرنے کی خاطر اس کے خط کو نقطہ (V_Z, I_Z) سے ڈھلوان $\frac{1}{r_z}$ کے نقطے دار لکیر سے افقی محور تک پہنچایا جاتا ہے جہاں یہ محور کو V_{Z0} پر نکراتا ہے۔ اس خط کی مساوات کو یوں لکھا جا سکتا ہے

$$(2.80) \quad v_Z = V_{Z0} + i_Z r_z$$



شکل 2.68: زینر ڈائیوڈ کا مادل

اس مساوات سے زینر ڈائیوڈ کا مادل حاصل ہوتا ہے جسے شکل 2.68 میں دکھایا گیا ہے۔ زینر گھنٹے کے قریب خط کافی زیادہ مرتا ہے جبکہ زینر ڈائیوڈ کے برق رو (یعنی $I_{ZK} >> I_Z$) پر یہ خط تقریباً سیدھا رہتا ہے۔ زینر ڈائیوڈ کا عمومی استعمال اس سیدھے خط پر مبنی کیا جاتا ہے۔ زینر ڈائیوڈ کو عموماً زینر گھنٹے کے قریب استعمال نہیں کیا جاتا۔ زینر گھنٹے کے قریب خط پر نظر انداز کرتے ہوئے اور $r_z = 0$ لیتے ہوئے زینر ڈائیوڈ کے خط کو سادہ شکل دی جا سکتی ہے جسے شکل میں دکھایا گیا ہے۔

شکل 2.67 میں زینر ڈائیوڈ کا لبریزی برق رو بڑھا کر دکھایا گیا ہے تاکہ شکل میں اہم نکات دکھانا ممکن ہو۔ شکل 2.69 الف میں زینر ڈائیوڈ کے خط کو صحیح جسامت کے لحاظ سے دکھایا گیا ہے جہاں آپ دیکھ سکتے ہیں کہ لبریزی برق رو قابل نظر انداز ہوتی ہے۔

جیسا اور ذکر ہوا کہ زینر ڈائیوڈ کو عموماً اسی مائل کیا جاتا ہے اور ایسا کرتے وقت زینر گھنٹے کے قریب خط کے استعمال سے گریز کیا جاتا ہے۔ اگر زینر گھنٹے کے قریب خط پر نظر انداز کیا جائے اور $r_z = 0$ تصور کیا جائے تو زینر ڈائیوڈ کے خط کو شکل 2.69 - ب کے طرز پر بنایا جا سکتا ہے۔ اس سادہ خط کے مطابق زینر ڈائیوڈ دو ہی صورت اختیار کر سکتا ہے۔ پہلی صورت میں اس پر برق دباؤ تبدیل ہو سکتی ہے مگر اس میں برق رو کی قیمت صفر رہتی ہے یعنی

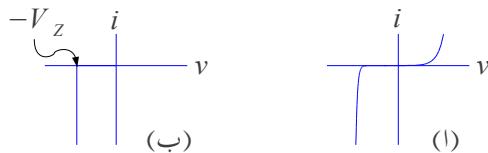
$$(2.81) \quad \begin{aligned} 0 \leq |v_Z| &< |V_Z| \\ |i_Z| &= 0 \end{aligned}$$

اس صورت میں اسے منقطع حالت میں تصور کیا جائے گا۔ دوسری صورت میں اس پر برق دباؤ V_Z رہتا ہے جبکہ اس میں برق رو قابل تبدیل ہے یعنی

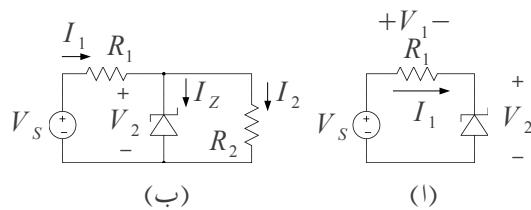
$$(2.82) \quad \begin{aligned} |v_Z| &= |V_Z| \\ 0 \leq |i_Z| &\leq |I_{Zmax}| \end{aligned}$$

جہاں I_{Zmax} وہ برق رو ہے جس پر زینر ڈائیوڈ میں برق طاقت کا ضیاع قابل برداشت حد کے برابر ہوتا ہے۔ اس صورت میں اسے بے قابو حالت میں تصور کیا جائے گا۔

شکل 2.69 - ب زیادہ آسانی اور جلدی سے قابل قبول جوابات حاصل کرنے میں اہم کردار ادا کرتا ہے۔ شکل 2.70 - الف میں دئے دوں میں زینر ڈائیوڈ کو بے قابو حالت میں رکھ کر اس دور کو عموماً سادہ



شكل 2.69: زینر ڈائیوڈ کا خط اور اس خط کی سادہ شکل



شكل 2.70: زینر ڈائیوڈ کا استعمال

پیدا کار برق دباؤ (یعنی برق دباؤ کی سپلائی) کے طور استعمال کیا جاتا ہے جس کی خارجی یک سمعتی برقی دباؤ کی قیمت V_Z کے برابر ہوتا ہے۔ اس پر، جیسا شکل ب میں دکھایا گیا ہے، برقی بار کو مزاحمت R_2 کی جگہ نسب کیا جاتا ہے۔ اس سپلائی کے مختلف پہلو پر چند مثالیں دیکھتے ہیں۔

مثال 2.17: شکل 2.70 میں زینر برقی دباؤ V_Z کی قیمت 5.6 V ہے جبکہ $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$ ہے۔ مندرجہ ذیل V_S پر کامل زینر ڈائیوڈ کے برقی دباؤ اور اس میں گزرتی برق رو حاصل کریں۔

$$V_S = 3 \text{ V} \quad .1$$

$$V_S = 8 \text{ V} \quad .2$$

$$V_S = 20 \text{ V} \quad .3$$

حل: شکل 2.70 ب کو استعمال کرتے ہوئے حل کرتے ہیں۔

1. لاگو برقی دباؤ $V_S = 3 \text{ V}$ کو شش کریں گا کہ زینر ڈائیوڈ میں برق رو گزارے۔ البتہ زینر ڈائیوڈ کے خط کے مطابق زینر ڈائیوڈ میں V_Z سے کم برقی دباؤ پر منقطع رہتا ہے یعنی مساوات 2.81 کے

تحت $I_Z = 0$ ہوگا۔ یوں اس دور میں مزاحمت R_1 پر اُوہم کے قانون سے

$$V_1 = V_S - V_2 = I_1 \times R_1 = 0$$

$$V_2 = V_S$$

$$V_2 = 3 \text{ V}$$

حاصل ہوتا ہے یعنی زینر ڈائیوڈ پر 3 V برقی دباؤ ہوگا جبکہ اس میں صفر برقی رو ہوگا۔

2. اس مرتبہ لاگو برقی دباؤ زینر برقی دباؤ سے زیادہ ہے لہذا زینر ڈائیوڈ برقی رو گزارے گا۔ مساوات 2.82 کے تحت اس صورت زینر ڈائیوڈ پر V_Z کا برقی دباؤ ہوگا جبکہ مزاحمت پر اُوہم کے قانون کے تحت

$$V_1 = V_S - V_Z = I_1 \times R_1$$

$$= 8 - 5.6 = I_1 \times 1000$$

$$I_1 = 2.4 \text{ mA}$$

ہوگا۔ چونکہ یہی برقی رو زینر ڈائیوڈ سے بھی گزرتا ہے لہذا $I_Z = 2.4 \text{ mA}$ حاصل ہوتا ہے۔

3. یہاں بھی لاگو برقی دباؤ زینر ڈائیوڈ میں برقی رو گزارنے کی صلاحیت رکھتا ہے لہذا

$$V_1 = V_S - V_Z = I_1 \times R_1$$

$$= 20 - 5.6 = I_1 \times 1000$$

$$I_1 = 14.4 \text{ mA}$$

حاصل ہوتا ہے جس سے $I_Z = 14.4 \text{ mA}$ حاصل ہوتا ہے۔

مثال 2.18: شکل 2.70 الف میں زینر ڈائیوڈ کے متوازی مزاحمت $R_2 = 1 \text{ k}\Omega$ جوڑ کر شکل 2.70 ب حاصل ہوتا ہے۔ مثال 2.17 میں دئے معلومات استعمال کرتے ہوئے برقی دباؤ V_2 حاصل کریں۔ حل:

1. گزشتہ مثال میں $V_S = 3 \text{ V}$ پر دیکھا گیا کہ زینر ڈائیوڈ منقطع رہتا ہے اور یوں $I_Z = 0$ ہو گا۔ منقطع زینر کو دور سے نکلا جا سکتا ہے۔ ایسا کرنے سے دو سلسلہ وار مزاحمت رہ جاتے ہیں جن سے

$$V_2 = \frac{V_S \times R_2}{R_1 + R_2} = \frac{3 \times 1000}{1000 + 1000} = 1.5 \text{ V}$$

حاصل ہوتا ہے۔ چونکہ زینر ڈائیوڈ میں صفر برقی رو گزرتا ہے لہذا دونوں مزاحمت میں برابر برقی رو گزرنے کا جس سے یوں حاصل کیا جا سکتا ہے۔

$$I_1 = I_2 = \frac{V_S}{R_1 + R_2} = \frac{3}{2000} = 1.5 \text{ mA}$$

2. یہاں $V_S = 8\text{ V}$ ہونے سے یوں معلوم ہوتا ہے کہ زینر ڈائیوڈ بے-قاپو حال میں ہو گا مگر غور کرنے سے ثابت ہوتا ہے کہ ایسا نہیں ہے۔ یہ ایک دلچسپ مثال ہے جس سے حل کرنے سے سوج میں وسعت پیدا ہوتی ہے۔

شکل 2.70 ب کے تحت زینر ڈائیوڈ دو ہی صورتوں میں رہ سکتا ہے یعنی منقطع یا بے-قاپو۔ نہیں دو صورتوں کو مساوات 2.81 اور مساوات 2.82 بیان کرتے ہیں۔

آئیں موجودہ مثال میں زینر کو منقطع تصور کریں۔ منقطع زینر ڈائیوڈ کا دور پر کسی قسم کا کوئی اثر نہیں ہوتا اور اس سے دور سے مکمل طور نکالا جا سکتا ہے۔ ایسا کرنے سے ہمارے پاس دو سلسلہ وار مزاحمت رہ جاتے ہیں جن سے

$$V_2 = \frac{V_S \times R_2}{R_1 + R_2} = \frac{8 \times 1000}{1000 + 1000} = 4\text{ V}$$

حاصل ہوتا ہے۔ $V_2 = 4\text{ V}$ ہونے سے صاف ظاہر ہے کہ زینر ڈائیوڈ منقطع رہے گا۔ یوں زینر ڈائیوڈ کو منقطع تصور کرنا درست ہے۔ منقطع زینر ڈائیوڈ میں $I_Z = 0$ رہے گا جبکہ مزاحمت میں

$$I_1 = I_2 = \frac{V_S}{R_1 + R_2} = \frac{8}{2000} = 4\text{ mA}$$

حاصل ہوتا ہے۔

اسی مثال کو یوں بھی حل کر سکتے ہیں کہ ہمیں تصور کیا جائے کہ دور میں زینر ڈائیوڈ نہیں لگایا گیا۔ اس طرح $V_2 = 4\text{ V}$ حاصل ہوتا ہے۔ اب اگر زینر ڈائیوڈ نسب کر دیا جائے تو یہ منقطع ہی رہے گا۔

آئیں اسی مثال کو تیسری مرتبہ یوں حل کریں کہ زینر ڈائیوڈ کو بے-قاپو صورت میں تصور کیا جائے۔ چونکہ بے-قاپو زینر ڈائیوڈ برق دباو ہی پایا جاتا ہے لہذا یوں $V_2 = V_Z = 5.6\text{ V}$ ہو گا۔ شکل 2.70 ب میں $V_2 = 5.6\text{ V}$ لیتے ہوئے اُبم کے قانون سے

$$I_1 = \frac{V_S - V_2}{R_1} = \frac{8 - 5.6}{1000} = 2.4\text{ mA}$$

$$I_2 = \frac{V_2}{R_2} = \frac{5.6}{1000} = 5.6\text{ mA}$$

حاصل ہوتے ہیں۔ زینر ڈائیوڈ اور دونوں مزاحمت کے مشترک جوڑ پر کرچاف کے قانون برائے برق رو کے تحت $I_Z = I_1 + I_2$ ہونا چاہئے جس سے

$$I_Z = I_1 - I_2 = 2.4\text{ mA} - 5.6\text{ mA} = -3.2\text{ mA}$$

حاصل ہوتا ہے۔ منفی زینر برق رو کا مطلب ہے کہ زینر ڈائیوڈ میں برق رو کی سمت شکل 2.70 ب کے الٹ ہے۔ ایسا ہونے سے صاف ظاہر ہے کہ زینر ڈائیوڈ برگز بے-قاپو حالت میں نہیں ہے۔ بے-قاپو حالت میں برق رو شکل میں دکھائے رخ میں ہوتا۔ یوں ہم نے زینر ڈائیوڈ کو غلط حالت میں تصور کیا ہما اور یہ بے-قاپو صورت میں نہیں ہے۔ اس طرح زینر ڈائیوڈ منقطع ہی ہے۔ یہاں سے ہم ہمیں حل کر چکے ہیں۔

3. اس مثال کو بھی کئی طریقوں سے حل کیا جا سکتا ہے۔ ہم تصور کرتے ہیں کہ زینر ڈائیوڈ سے قابو ہے۔ اس صورت $V_2 = V_Z = 5.6 \text{ V}$

$$I_1 = \frac{V_S - V_2}{R_1} = \frac{20 - 5.6}{1000} = 14.4 \text{ mA}$$

$$I_2 = \frac{V_2}{R_2} = \frac{5.6}{1000} = 5.6 \text{ mA}$$

حاصل ہوتے ہیں۔ کرچاف کے قانون برائے برق رو سے

$$I_1 = I_2 + I_Z$$

$$14.4 \text{ mA} = 5.6 \text{ mA} + I_Z$$

$$I_Z = 8.8 \text{ mA}$$

حاصل ہوتا ہے۔ جونکہ زینر ڈائیوڈ میں سے قابو برق رو کے رخ بھی برق رو گزر رہی ہے لہذا جواب درست ہے۔

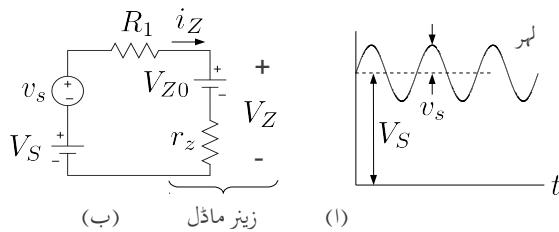
آپ دیکھ سکتے ہیں کہ جب تک I_1 کی قیمت سے زیادہ ہو اس صورت میں زینر ڈائیوڈ میں سے قابو برق رو گزرنے گا جس کی قیمت $I_Z = I_1 - I_2$ ہو گی۔ اس کے علاوہ ہی ممکن ہے کہ $I_1 = I_2$ اور $I_Z = 0$ ہو۔ تیسرا صورت جہاں I_1 کی قیمت I_2 کے قیمت سے کم حاصل ہو درست نہیں اور اسے رد کیا جاتا ہے۔

شکل 2.70 الف کے برق دباو کی سپلائی کو داخلی جانب برق دباو مہیا کیا گیا ہے جس کو شکل 2.71 الف میں دکھایا گیا ہے۔ غور کرنے سے معلوم ہوتا ہے کہ داخلی برق دباو مکمل طور پر یک سمتی نہیں ہے بلکہ اس میں ناپسندیدہ لہر v_s پایا جاتا ہے جبکہ یک سکتی برق دباو V_S اس کا بیشتر حصہ ہے۔ ان دونوں حصوں کی نشاندہی شکل میں کی گئی ہے۔ زینر ڈائیوڈ سے بنائی گئی برق دباو کے سپلائی سے توقع کی جاتی ہے کہ اس میں لہر کی مقدار کم سے کم ہو گی۔

مثال 2.19: شکل 2.70 الف میں $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$ اور V_2 حاصل کریں۔

حل: شکل 2.70 الف میں زینر ڈائیوڈ کا ماذل استعمال کرتے ہوئے شکل 2.71 ب حاصل ہوتا ہے۔ خارجی برق دباو دراصل زینر پر پائی جانے والا برق دباو V_Z ہی ہے جس سے یوں حاصل کرتے ہیں۔

$$\begin{aligned} i_Z &= \frac{V_S + v_s - V_{Z0}}{R_1 + r_z} \\ &= \frac{15 + 1.2 \sin \omega t - 5.6}{1000 + 10} \\ &= (9.3 + 1.18811 \sin \omega t) \times 10^{-3} A \end{aligned}$$



شكل 2.71: زینر سپلائی

اس سے زینر برقی دباؤ حاصل کرتے ہیں۔

$$\begin{aligned} V_Z &= V_{Z0} + i_Z r_z \\ &= 5.6 + (9.3 + 1.18811 \sin \omega t) \times 10^{-3} \times 10 \\ &= 5.693 + 0.01188 \sin \omega t \end{aligned}$$

آپ دیکھ سکتے ہیں کہ داخلی برقی دباؤ میں لمب، یک سمعتی حصے کا $100 \times \frac{1.2}{15} = 8\%$ بنتا ہے جبکہ خارجی برقی دباؤ میں لمب صرف $0.2086\% = \frac{0.01188}{5.693} \times 100$ ہے۔ زینر ڈائیوڈ کے استعمال سے لمب نہایت کم ہو گئی ہے۔

مثال 2.72: شکل 2.72 میں زینر سپلائی کے متوازی برق بار R_L نسب کیا گیا ہے تاکہ برق بار کو مستقل برق دباؤ مہیا کی جائے۔ برق بار کو تقریباً نو ولٹ درکار ہے لہذا نو ولٹ کا زینر میں اس کیا جاتا ہے۔ زینر ڈائیوڈ کا $V_{Z0} = 9\text{V}$ جبکہ اس کا $r_z = 20\text{V}$ ہے۔ برق بار کی مزاجمت 2 kΩ تا 9 kΩ تبدیل ہو سکتی ہے۔ ان حدود میں بار پر برقی دباؤ v_L کا تخمینہ لگائیں۔

حل: شکل ب میں اس کا باریک مساوی دور ذکھایا گیا ہے۔ ہم تصور کرتے ہیں کہ زینر ڈائیوڈ بے قابو صورت میں رہتا ہے۔ یوں زینر ڈائیوڈ اور برق بار پر تقریباً 9 kΩ رہتے ہیں اور

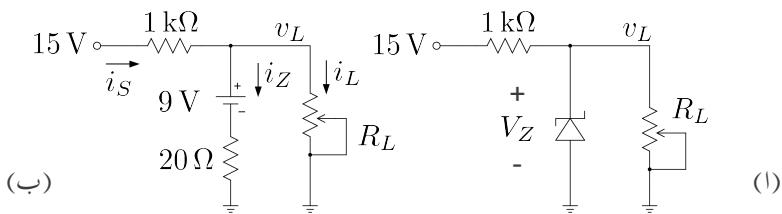
$$i_S = \frac{15 - 9}{1000} = 6\text{mA}$$

بوگا۔ اگر $R_L = 2\text{k}\Omega$ بوتب

$$i_L = \frac{9}{2000} = 4.5\text{mA}$$

اور

$$i_Z = 6\text{mA} - 4.5\text{mA} = 1.5\text{mA}$$



شکل 2.72: زینر سپلائی پر بدلنا پار

ہوں گے۔ اس طرح حقیقت میں

$$(2.83) \quad v_L \Big|_{R_L=2\text{k}\Omega} = V_{Z0} + i_Z r_z = 9 + 1.5 \times 10^{-3} \times 20 = 9.03 \text{ V}$$

پایا جائے گا۔

اب چونکہ ہمیں زینر ڈائیوڈ پر پائے جانے والے برق دباؤ کی زیادہ درست قیمت دریافت ہو گئی ہے لہذا ہم مندرجہ بالا تمام معلومات دوبارہ حاصل کر سکتے ہیں۔ اس طرح $i_L = 4.515 \text{ mA}$, $i_S = 5.97 \text{ mA}$ اور $i_Z = 1.455 \text{ mA}$ حاصل ہوتے ہیں جن سے $v_L = 9.0291 \text{ V}$ حاصل ہوتا ہے جو تقریباً مساوات 2.83 میں دیا گیا جواب ہی ہے۔ آپ اس نئی قیمت کو استعمال کرتے ہوئے اور ہتر جواب حاصل کر سکتے ہیں لیکن جیسا کہ آپ نے دیکھا پہلا جواب عموماً قابل قبول ہوتا ہے۔ یوں $2 \text{ k}\Omega$ کے برق بار پر زینر سپلائی 9.03 V برق دباؤ مہیا کرتی ہے۔

برق بار $6 \text{ k}\Omega$ کرنے سے i_S پر کوئی اثر نہیں ہوتا۔ بقایا معلومات حاصل کرتے ہیں۔ یوں

$$i_L = \frac{9}{6000} = 1.5 \text{ mA}$$

اور

$$i_Z = 6 \text{ mA} - 1.5 \text{ mA} = 4.5 \text{ mA}$$

ہوں گے۔ اس طرح حقیقت میں برق بار پر

$$(2.84) \quad v_L \Big|_{R_L=6\text{k}\Omega} = V_{Z0} + i_Z r_z = 9 + 4.5 \times 10^{-3} \times 20 = 9.09 \text{ V}$$

پائے جائیں گے۔

آپ نے دیکھا کہ برق بار کا $2 \text{ k}\Omega$ تا $2 \text{ k}\Omega$ تبدیل ہونے سے اس کی برق رو 4.5 mA تا 1.5 mA تبدیل ہوتی ہے۔ زینر سپلائی کا برق دباؤ صرف 9.03 V تا 9.09 V یعنی 60 mV تبدیل ہوتا ہے۔

بہتا ہے۔ چونکہ ہم نو ولٹ کی سپلائی بنانے نکلے تھے لہذا نو ولٹ کی نسبت سے دیکھتے ہوئے بار کے بر ق دباو میں صرف

$$\frac{9.09 - 9.03}{9} \times 100 = 0.66\%$$

کی تبدیلی آتی ہے۔ زینر سپلائی کے بر ق دباو میں تبدیلی کا دارومدار زینر ڈائیوڈ کے بر ق رو میں تبدیلی پر ہے۔ اگر کسی طرح زینر ڈائیوڈ کے بر ق رو میں تبدیلی کو کم کیا جائے تو سپلائی سے حاصل بر ق دباو میں تبدیلی مزید کم ہو گی۔ حصہ 3.22 میں ایسا کرنا دکھایا جائے گا۔

2.24 یک سمیٰ اور بدلتے متغیرات کے حساب کی علیحدگی

شکل 2.73 میں ڈائیوڈ کا دور دکھایا گیا ہے۔ اس دور میں ڈائیوڈ کی جگہ اس کا باریک اشاراتی مادل (شکل 2.62) نسب کرنے سے شکل 2.73 ب حاصل ہوتا ہے۔ اس دور کو حل کرنے سے حاصل ہوتا ہے

$$\begin{aligned} V_{SS} + v_s &= V_{D0} + i_D(R + r_d) \\ (2.85) \quad &= V_{D0} + (I_D + i_d)(R + r_d) \\ &= V_{D0} + I_D R + I_D r_d + i_d R + i_d r_d \end{aligned}$$

بدلتا اشارہ کے عدم موجودگی میں (یعنی جب v_d اور i_d کے قیمتیں صفر ہوں) اس مساوات کو یوں لکھا جائے گا

$$(2.86) \quad V_{SS} = V_{D0} + I_D R + I_D r_d$$

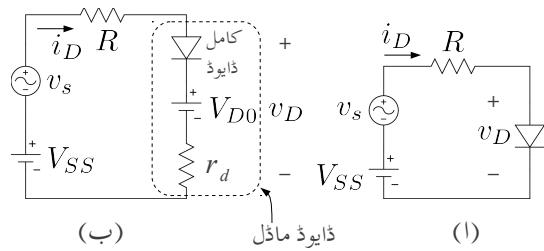
بدلتے متغیرات کے موجودگی میں مساوات 2.85 کو یوں حل کر سکتے ہیں۔

$$\begin{aligned} \overbrace{V_{SS}}^{v_s} + v_s &= \overbrace{V_{D0} + I_D R + I_D r_d}^{v_s} + i_d R + i_d r_d \\ (2.87) \quad v_s &= i_d R + i_d r_d \end{aligned}$$

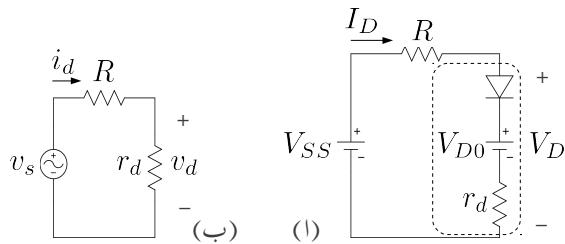
جہاں مساوات 2.86 کی مدد سے دائیں اور بائیں بازو کے یک سمیٰ مقداروں کی نشاندہی کرتے ہوئے انہیں کاث کر مساوات کا دوسرا جزو حاصل کیا گیا۔

مساوات 2.86 اور مساوات 2.87 کے دوسرے جزو کے ادوار شکل 2.74 میں دکھائے گئے ہیں۔ شکل 2.74 ب اس دور کا مساوی باریک اشاراتی دور کھلاتا ہے۔ ڈائیوڈ کے باریک اشارات i_d اور v_d یوں حاصل کیا جائیں گے۔

$$\begin{aligned} (2.88) \quad i_d &= \frac{v_s}{R + r_d} \\ v_d &= i_d r_d = \frac{r_d v_s}{R + r_d} \end{aligned}$$



شكل 2.73: یک سمتی اور بدلتے متغیرات کی علیحدگی



شکل 2.74: یک سمتی اور باریک اشاراتی مساوی ادوار

مندرجہ بالا طریقہ کار ایک عمومی طریقہ کار ہے جس کو استعمال کرتے ہوئے ڈائیوڈ کے ادوار بالعموم اور ٹرانزستر کے ادوار بالخصوص حل کئے جاتے ہیں۔ اس طریقے میں ادوار حل کرتے وقت پہلے بدلتے اشارات کو نظر انداز کرتے ہوئے نقطہ مائل حاصل کیا جاتا ہے۔ اس نقطے پر ڈائیوڈ (ٹرانزستر) کے باریک اشاراتی ماذل کے اجزاء حاصل کئے جاتے ہیں۔ باریک اشاراتی حساب و کتاب کی خاطر مساوی باریک اشاراتی دور بنایا جاتا ہے جس میں تمام یک سمتی پیدا کار برق دباؤ کو قصر دور کرتے ہوئے ڈائیوڈ (ٹرانزستر) کی جگہ اس کا باریک اشاراتی ماذل نسب کیا جاتا ہے۔ یوں حاصل مساوی باریک اشاراتی دور کو عام برق دور کے مانند حل کرتے ہوئے باریک اشاراتی برق دباؤ اور باریک اشاراتی برق رو حاصل کئے جاتے ہیں۔ یک سمتی اور باریک اشاراتی حساب و کتاب کا یوں علیحدہ کرنا برقیات کے میدان میں عموماً استعمال کیا جاتا ہے۔ اگلے بابوں میں اس طریقہ کار کو بار بار بروئے کار لایا جائے گا۔

مثال 2.21: شکل 2.73 الف میں $V_{SS} = 12 \text{ V}$ اور $v_s = 0.5 \sin \omega t$ اور $R = 5 \text{ k}\Omega$ لیتے ہوئے ڈائیوڈ سے گزرنے برق رو i_d اور اس پر بدلتا برق دباؤ v_d حاصل کریں۔ حل: اس دور کا مساوی باریک اشاراتی دور شکل 2.74 ب میں دکھایا گیا ہے جسے حل کرنے کی خاطر ڈائیوڈ کے باریک اشاراتی مزاحمت r_d کی قیمت جانتا ضروری ہے۔ ڈائیوڈ کے باریک اشاراتی مزاحمت نقطہ مائل سے مساوات 2.35 سے حاصل کیا جاتا ہے۔ شکل 2.73 کے یک سمتی حل سے

$$(2.89) \quad I_D = I_{DQ} = \frac{V_{SS} - 0.7}{R} = \frac{12 - 0.7}{5000} = 2.26 \text{ mA}$$

حاصل ہوتا ہے جس سے

$$(2.90) \quad r_d = \frac{V_T}{I_{DQ}} = \frac{0.025}{0.00226} = 11.062 \Omega$$

حاصل ہوتا ہے۔ یوں شکل 2.74 ب کے دور سے

$$(2.91) \quad \begin{aligned} i_d &= \frac{v_s}{R + r_d} \\ &= \frac{0.5 \sin \omega t}{5000 + 11} \\ &= 9.978 \times 10^{-5} \sin \omega t \\ v_d &= i_d r_d \\ &= (9.978 \times 10^{-5} \sin \omega t) \times 11 \\ &= 1.0976 \times 10^{-3} \sin \omega t \end{aligned}$$

حاصل ہوتے ہیں۔

قانون مریع حیطہ اتار کار

اس باب میں زیادہ طاقت یعنی زیادہ حیطے کے اشارے کی صورت میں حیطہ اتار کار پر غور کیا گیا جہاں حیطہ اتار کار کا خارجی برق دباؤ اس کے داخلی برق دباؤ کے چوٹی کے برابر ہوتا ہے۔ اس حصے میں کم طاقت یعنی کم حیطے کے اشارے کی صورت میں حیطہ اتار کار کی کارکردگی پر غور کیا جائے گا جہاں آپ دیکھئیں گے کہ حیطہ اتار کار کا خارجی برق دباؤ اس کے داخلی برق دباؤ کے مریع کے راست تناسب ہوتا ہے۔ اس حصے میں آپ یہ بھی دیکھئیں گے کہ کم طاقت والے اشارے کی طاقت کو حیطہ اتار کار سے ناپا جا سکتا ہے۔

شکل 2.75 میں مزاحمت R_S کو ریدیو اشارہ v_i فرایم کیا گیا ہے۔ دراصل جس ہی دور کو ریدیو اشارہ فرایم کیا جا رہا ہوا دباؤ کے داخلی مزاحمت کو R_S سے ظاہر کیا جاتا ہے۔ درائع ابلاغ¹⁸⁹ کے ادوار میں R_S کی قیمت عموماً 50Ω ہوتی ہے۔ آپ جانتے ہیں کہ سائن نما برق دباؤ $V_p \cos \omega t$ کی موثر¹⁹⁰ قیمت V_{rms} کے برابر ہے۔ یوں مزاحمت R_S میں برق طاقت کے ضیاع کو

$$(2.92) \quad P = \frac{V_{rms}^2}{R_S} = \frac{V_p^2}{2R_S}$$

لکھا جا سکتا ہے۔ اس طاقت کو نانپنے کی غرض سے R_S کے متوازی ڈائیوڈ اور مزاحمت R_L نسب کثیر گئے ہیں جہاں سلسلہ وار جنی ڈائیوڈ اور R_L کے کل مزاحمت کی قیمت R_S کے قیمت سے بہت زیادہ رکھی جاتی ہے تاکہ ان کی شمولیت داخلی اشارے پر بوجہ نہ ڈالی۔ اگرچہ ایسا تصور کرنا ضروری نہیں لیکن ہم اس حصے میں تصور کریں گے کہ ڈائیوڈ کو معمولی یک سنتی برق دباؤ دی کر سیدھا مائل رکھا گیا ہے۔ شکل میں اس یک سنتی برق دباؤ کو نہیں دکھایا گیا ہے۔ آئیں اب تخلیقی تجزیہ کریں۔

کسی بھی خمدار تفاضل (x) کو سلسلہ طاقت¹⁹¹

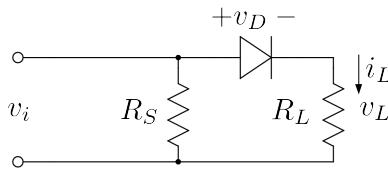
$$f(x) = c_1 x + c_2 x^2 + c_3 x^3 + \dots$$

سرے ظاہر کیا جا سکتا ہے۔ اسی طرح اس شکل میں ڈائیوڈ اور مزاحمت R_L کے برق روکو داخلی برق دباؤ $v_i = V_p \cos \omega t$ کے سلسلہ طاقت سے یوں ظاہر کیا جا سکتا ہے۔

$$\begin{aligned} i_L &= c_1 v_i + c_2 v_i^2 + c_3 v_i^3 + \dots \\ &= c_1 V_p \cos \omega t + c_2 V_p^2 \cos^2 \omega t + \dots \end{aligned}$$

اس مساوات میں $\cos^2 \omega t = \frac{1+\cos 2\omega t}{2}$ استعمال کرتے ہوئے

$$\begin{aligned} i_L &= c_1 V_p \cos \omega t + c_2 V_p^2 \left(\frac{1 + \cos 2\omega t}{2} \right) + \dots \\ &= \frac{c_2 V_p^2}{2} + c_1 V_p \cos \omega t + \frac{c_2 V_p^2}{2} \cos 2\omega t + \dots \end{aligned}$$



شكل 2.75: ڈائیوڈ قانون مربع حیطہ اتار کار

حاصل ہوتا ہے جہاں یک سمتی جزو کے پہلے رکھا گیا ہے۔ لہذا R_L پر برق دباؤ $v_L = i_L R_L$ یوں لکھا جا سکتا ہے۔

$$v_L = \frac{c_2 V_p^2 R_L}{2} + c_1 V_p R_L \cos \omega t + \frac{c_2 V_p^2 R_L}{2} \cos 2\omega t + \dots$$

اس برق دباؤ کو فلٹر کرتے ہوئے اس میں سے خالص یک سمتی جزو کو علیحدہ کیا جا سکتا ہے۔ R_L کے متوازی ایک عدد کپیسٹر نسب کرنے سے ہی بدلتے اجزاء کو ختم کرتے ہوئے

$$(2.93) \quad v_L = \frac{c_2 V_p^2 R_L}{2}$$

حاصل کیا جا سکتا ہے۔ اس مساوات کے تحت کم طاقت کے داخلی اشارے کی صورت میں ڈائیوڈ کا خارجی یک سمتی برق دباؤ اس کے داخلی بدلتے برق دباؤ کے مربع کے راست تناسب ہوتا ہے۔ اس کے بعد کس چوٹی حاصل کار کا خارجی برق دباؤ اس کے داخلی برق دباؤ کے چوٹی کے برابر ہوتا ہے۔ مساوات 2.93 قانون مربع¹⁹² کی ایک شکل ہے۔

مساوات 2.93 کو مساوات 2.92 کے ساتھ ملاتے ہوئے

$$(2.94) \quad v_L = c_2 R_L R_S P = cP$$

لکھا جا سکتا ہے جہاں $c = c_2 R_L R_S$ لکھا گیا ہے۔ یہ قانون مربع کی دوسری شکل ہے جس کے تحت کم طاقت پر مزاحمت R_L کا یک سمتی برق دباؤ اور R_S میں طاقت کا ضیاع راست تناسب کا تعلق رکھتے ہیں۔ اس حقیقت کو استعمال کرتے ہوئے ذرائع ابلاغ میں ڈائیوڈ کے استعمال سے اشارے کی طاقت ناپی جاتی ہے۔ ڈائیوڈ کے اس دور کو ڈائیوڈ قانون مربع شناسنده¹⁹³ کہتے ہیں۔

2.26 سپائٹ مادل

انجینئرنگ کے میدان میں کمپیوٹر کا استعمال ناگزیر ہے۔ برقیاتی ادوار عموماً کمپیوٹر پروگرام استعمال کرتے ہوئے تخلیق دئے جاتے ہیں۔ کمپیوٹر پر ہی دور کی کارکردگی دیکھتے ہوئے اس میں ردوبدل پیدا کیا جاتا

diode square law¹⁹²
diode square law detector¹⁹³

جدول 2.4: سپائٹ ماذل کے جزو

ماذل کے جزو کا نام	علامت	سپائٹ کا جزو	قیمت
لہبیزی برقی رو	I_S	R_S	10^{-14} A
مزاحمت	R_S	n	0Ω
اخراجی جزو	τ_T	C_{j0}	1
اوسط دورانیہ عبور	V_{ZK}	m	0 s
صفر برقی دباؤ پر الٹی کپیسٹنس	I_{ZK}	V_0	0 F
جزو شرہ بندی			0.5
نا قابل برداشت برقی دباؤ			$\infty \text{ V}$
ناقابل برداشت برقی رو			10^{-19} A
رکاوٹی برقی دباؤ			1 V

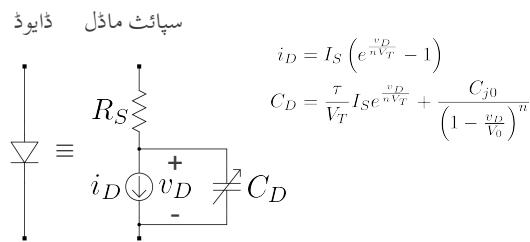
ہے حقیقتی کہ درکار نتائج حاصل ہوں۔ اس کے بعد اصل دور بنانے کا مرحلہ آتا ہے۔ اس قسم کا نہایت مقبول کمپیوٹر پروگرام سپائٹ¹⁹⁴ کہلاتا ہے۔ آپ سے گزارش کی جاتی ہے کہ سپائٹ¹⁹⁵ کا ہمپرور استعمال کریں۔ اس حصے میں سپائٹ میں استعمال کئے جانے والے ڈائیوڈ کے ماذل پر تبصرہ کیا جائے گا۔ یہاں یہ بتلانا ضروری ہے کہ برقیات کو سمجھہ بغیر کمپیوٹر کی مدد سے کسی صورت کام کرتا ہوا دور تخلیق دینا ناممکن ہے۔

شکل 2.76 میں ڈائیوڈ کا سپائٹ ماذل دکھایا گیا ہے جو کہ وسیع اشاراتی ماذل ہے۔ اس ماذل میں ڈائیوڈ کے مثبت اور منفی خطوطوں کے مزاحمت کو R_S کہا گیا ہے۔ اس کی قیمت اکائی تا دبائی کے حدود میں ہوئی ہے۔ یہ مزاحمت ڈائیوڈ کی نا پسندیدہ خوبیوں میں سے ایک ہے۔

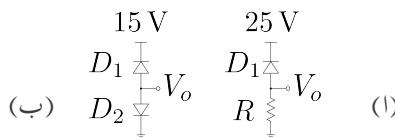
ڈائیوڈ کے ساکن یا یک سمتی رو حال کو اس کے $i_D - v_D$ مساوات سے ہی حاصل کیا جاتا ہے جبکہ بدلنی رو حال میں ڈائیوڈ کی تغیر پذیر کپیسٹنس C_D بھی کردار ادا کرتا ہے۔ شکل میں $i_D - v_D$ اور C_D کی مساواتیں دی گئی ہیں۔ باریک اشاراتی تجزیہ کے وقت سپائٹ پروگرام ڈائیوڈ کا باریک اشاراتی مزاحمت r_d اور اس کی باریک اشاراتی کپیسٹنس C_d اور C_j استعمال کرتا ہے۔

جدول 2.4 ڈائیوڈ کے سپائٹ ماذل کے تمام اجزاء اور ان کے عمومی قیمتیں پیش کرتا ہے۔ اگر سپائٹ پروگرام استعمال کرتے وقت ان اجزاء کی قیمتیں فراہم نہ کی جائیں تو سپائٹ پروگرام جدول 2.4 میں دئے گئے قیمتیں استعمال کرتا ہے۔

spice¹⁹⁴پہلا سپائٹ کمپیوٹر پروگرام کیلئے فوریتا، برقلسی کیے یونیورسٹی میں تیار کیا گیا۔¹⁹⁵



شكل 2.76: ڈائیوڈ کا سپائٹ ماذل



شكل 2.77: الشے برقی رو کی ناپ

سوالات

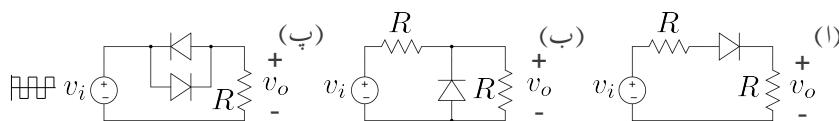
سوال 2.1: ایک ڈائیوڈ جس کا $n = 1$ کرے برابر ہے میں 1 mA برق روگزرتے وقت اس پر 0.61 V کا برق دباو پایا جاتا ہے۔ اس ڈائیوڈ پر جب 0.66 V برق دباو پایا جائے تو اس میں برق رو حاصل کریں۔ اس ڈائیوڈ کی I_S حاصل کریں۔
جوابات: $I_S = 2.53 \times 10^{-14} \text{ A}$, 7.389 mA

سوال 2.2: ایک ڈائیوڈ کو 0.57 mA اور 8.167 mA پر چلاتے ہوئے اس پر 0.65 V اور 0.72 V برق دباو پائے جاتے ہیں۔ اس ڈائیوڈ کی n اور I_S حاصل کریں۔
جوابات: $I_S = 10^{-14} \text{ A}$, $n = 1.05$

سوال 2.3: الشے مائل ڈائیوڈ سے رستا برق رو کو نانپے کے لئے شکل 2.77 الف میں دکھایا دور استعمال کرتے ہیں۔ اتنا حساس اشارہ نانپے کی خاطر نہیں زیادہ داخلی مزاحمت رکھنے والا آہ استعمال کیا جاتا ہے۔ 30°C پر شکل میں $V_o = 0.2 \text{ V}$ ناپا جاتا ہے۔ 60°C اور 0°C پر کیا ناپے جائیں گے۔
جوابات: $R = 500 \text{ k}\Omega$, 1.6 V , 0.025 V

سوال 2.4: شکل 2.77 ب میں دونوں ڈائیوڈ بالکل یکسان ہیں جن کا $I_D = 10 \text{ mA}$ اور $n = 1$ پر $V_D = 0.11 \text{ V}$ ہے۔ 25°C پر $V_o = 0.62 \text{ V}$ ناپا جاتا ہے۔

- الشے رستا برق رو حاصل کریں۔



شکل 2.78: ڈائیوڈ کے سوالات

• الٹا رستا برق رو لبریزی برق رو I_S کے کتنے گنا ہے۔

جوابات: 13.8 pA، 81.45

سوال 2.5: ایک ڈائیوڈ کی برق رو دگنی کر دی جاتی ہے۔ 1 = n اور 2 = n کی صورت میں برقی دباؤ میں تبدیلی حاصل کریں۔

جوابات: 34.657 mV، 17.328 mV

سوال 2.6: ایک ڈائیوڈ کی برق رو دس گنا کر دی جاتی ہے۔ 1 = n اور 2 = n کی صورت میں برقی دباؤ میں تبدیلی حاصل کریں۔

جوابات: 115 mV، 57.56 mV

سوال 2.7: ایک ڈائیوڈ میں یکدم 2 A گزارنے سے اس پر شروع میں $V_D = 0.69$ V پائے جاتے ہیں جو کچھ دیر میں گھشتے ہوئے 0.64 V ہو کر اسی قیمت پر رہتے ہیں۔ برق رو گزرنے سے ڈائیوڈ کی اندروں درجہ حرارت میں کتنا اضافہ پیدا ہوا۔ گرم ہونے کے بعد ڈائیوڈ میں برق طاقت کا ضیاع حاصل کریں۔ ف) واث طاقت کے ضیاع سے درجہ حرارت میں اضافہ حاصل کریں۔ اس کو ڈائیوڈ کی حرارق مزاحمت کہتے ہیں۔¹⁹⁶

جوابات: 25 °C، 1.28 W اور $\frac{19.53}{W}$ °C

سوال 2.8: شکل 2.78 کے تینوں ادوار میں کامل ڈائیوڈ تصور کرتے ہوئے مستطیل داخلی اشارہ v_i سے خارجی اشارہ v_o حاصل کریں۔ داخلی اشارے کا حیطہ ± 1 V لیں۔

جوابات: (الف) صرف مثبت 0.5 V حیطے کا مستطیل اشارہ۔ (ب) صرف منفی 0.5 V حیطے کا مستطیل اشارہ۔ (پ) بالکل داخلی اشارے کی طرح ± 1 V کا مستطیل اشارہ۔

سوال 2.9: شکل 2.78 کے تینوں ادوار میں سیدھے ڈائیوڈ پر 0.7 V کا گھٹاؤ لیتے ہوئے مستطیل داخلی اشارہ v_i سے خارجی اشارہ v_o حاصل کریں۔ داخلی اشارے کا حیطہ ± 1 V لیں۔

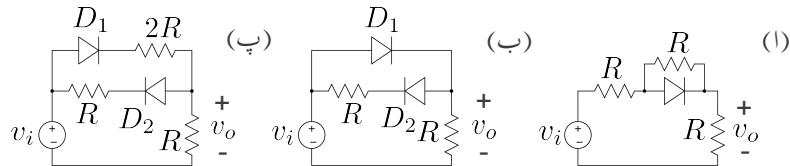
جوابات: (الف) مستطیل اشارہ جس کا مثبت حیطہ 0.15 V جبکہ منفی حیطہ 0.7 V۔ (ب) مستطیل صفر ولٹ ہے۔

سوال 2.10: شکل 2.78 کے تینوں ادوار میں کامل ڈائیوڈ تصور کرتے ہوئے داخلی اشارے v_i کو سائن۔ نما لیتے ہوئے خارجی اشارے v_o حاصل کریں۔ داخلی اشارے کا حیطہ ± 1 V لیں۔

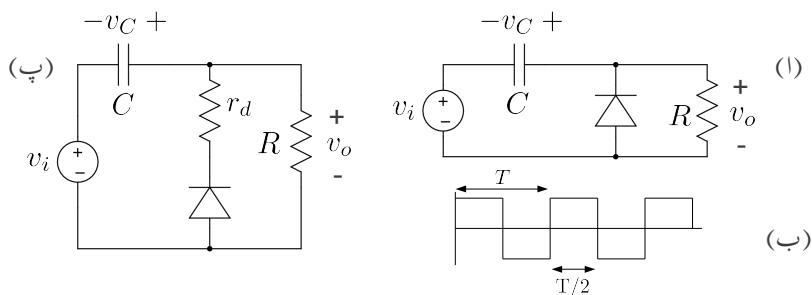
سوال 2.11: شکل 2.78 کے تینوں ادوار میں سیدھے مائل ڈائیوڈ پر 0.7 V برقی دباؤ کا گھٹاؤ تصور کرتے ہوئے داخلی اشارے v_i کو سائن۔ نما لیتے ہوئے خارجی اشارے v_o حاصل کریں۔ داخلی اشارے کا

حیطہ ± 1 V لیں۔

سوال 2.12: شکل 2.79 میں 15 V حیطے کا مستطیل داخلی اشارہ مہبا کیا جاتا ہے۔ کامل ڈائیوڈ تصور کرتے ہوئے خارجی اشارات حاصل کریں۔



شكل 2.79: ڈائیوڈ کے دیگر سوالات



شكل 2.80: شکنجہ

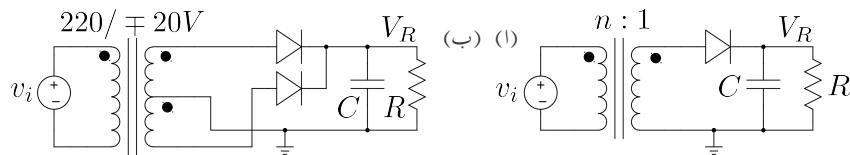
حل: (ا) مثبت داخلی اشارے کی صورت میں ڈائیوڈ سیدھا مائل ہو گا۔ یوں $v_o = 7.5V$ ہو گا۔ منفی داخلی اشارے کے وقت ڈائیوڈ مائل ہو گا لہذا $v_o = 5V$ ہو گا۔ (ب) مثبت v_i کے وقت D_1 سیدھا مائل اور یوں $v_o = 15V$ ہو گا۔ منفی v_i کی صورت میں D_2 سیدھا مائل ہو گا لہذا $v_o = -15V$ ہو گا۔ (پ) مثبت v_i پر $v_o = 5V$ جبکہ منفی v_i پر $v_o = -7.5V$ ہے۔

سوال 2.13: شکل 2.80 الف میں شکنجہ دکھایا گیا ہے۔ اسے شکل ب میں دکھایا لگاتار مستطیلی داخلی اشارہ مہیا کیا جاتا ہے جس کا حیطہ $RC = \frac{T}{2} \mp 10V$ ہے۔ $RC = \frac{T}{2}$ کی صورت میں کامل ڈائیوڈ تصور کرتے ہوئے خارجی اشارے کا خط کھینچیں۔

جواب: داخلی اشارہ منفی ہوتے ہی خارجی اشارہ $0V$ ہو جاتا ہے جبکہ کپیسٹر جلدی سے $v_C = 10V$ پر چارج ہو جاتا ہے۔ داخلی اشارہ مثبت ہوتے ہی خارجی اشارہ $20V$ ہو جاتا ہے جو $T/2$ سیکنڈوں میں گھٹتے ہوئے $7.36V$ رہ جاتا ہے۔

سوال 2.14: شکل 2.80 پ میں ڈائیوڈ کی مزاحمت r_d کو واضح دکھاتے ہوئے شکنجہ دکھایا گیا ہے۔ اسے شکل ب میں دکھایا لگاتار مستطیلی داخلی اشارہ مہیا کیا جاتا ہے جس کا حیطہ $\mp 10V$ ہے۔ $RC = \frac{T}{2}$ اور $r_dC \ll T$ کی صورت میں خارجی اشارے کا خط کھینچیں۔

جواب: پہلے سوال کی طرح داخلی اشارہ مثبت ہونے کے لئے پر $v_C = 10V$ اور خارجی اشارہ $20V$ ہوتا ہے۔ $\frac{T}{2}$ سیکنڈ بعد خارجی اشارہ $7.36V$ جبکہ $v_C = -2.64V$ ہوتے ہیں۔ جیسی



شکل 2.81: بارہ وولٹ کے برقی دباؤ کی سپلائی

بھی داخلی اشارہ منفی ہوتا ہے اس لئے $r_d C \ll T$ ہو گا۔ $v_0 = -12.64 \text{ V}$ ہونے کے ناطے یہ صورت زیادہ دیر نہیں پائی جائے گی اور جلد ہی کپیسٹر r_d کے راستے 10 V پر چارج ہو جائے گا جس سے $v_0 = 0 \text{ V}$ ہو جائے گا۔ یوں داخلی اشارہ منفی ہونے کے لحاظ پر خارجی اشارے پر منفی سوئی نما برق دباؤ پایا جائے گا۔

سوال 2.15: شکل 2.81 الف میں گھریلو واپڈا¹⁹⁷ کی بھلی استعمال کرتے ہوئے بارہ وولٹ کی سپلائی بنائی گئی ہے۔ $R_L = 1.2 \text{ k}\Omega$ ہے جبکہ یک سمتی برق دباؤ میں بل $\pm 1 \text{ V}$ سے کم رکھنا ہے۔ ٹرانسفارمر کی شرح $1 : n$ اور کپیسٹر کی قیمت حاصل کریں۔ واپڈا 50 Hz تعداد کی $\sqrt{2} \times 220 \cos \omega t$ ہے جس کی موثر¹⁹⁸ قیمت 220 V ہے۔ ڈائیوڈ پر برقی دباؤ کے گھٹاؤ کو نظر انداز کریں۔

$$\text{جوابات: } n = 23.93, 100 \mu\text{F}$$

سوال 2.16: شکل 2.81 ب میں قدر مختلف ٹرانسفارمر استعمال کرتے ہوئے دو ڈائیوڈ کی مدد سے مکمل سمت کار حاصل کیا گیا ہے۔ ٹرانسفارمر کے داخلی جانب گزشتہ سوال کی طرح واپڈا کی بھلی فراہم کی گئی ہے۔ ٹرانسفارمر کے داخلی جانب 220 V موثر قیمت کا برقی دباؤ فراہم کیا جاتا ہے۔ خارجی جانب ٹرانسفارمر کے درمیانے پنیا کو برقی زمین تصور کرتے ہوئے باقی دو پنیوں پر آپس میں الٹ بیس وولٹ حاصل ہوتے ہیں۔ $R = 50 \Omega$ اور $C = 4700 \mu\text{F}$ کی صورت میں خارجی یک سمتی برقی دباؤ V_R اور اس میں بل حاصل کریں۔ کامل ڈائیوڈ تصور کریں۔

$$\text{جوابات: تقریباً } 27.68 \text{ V, تقریباً } \pm 0.6 \text{ V}$$

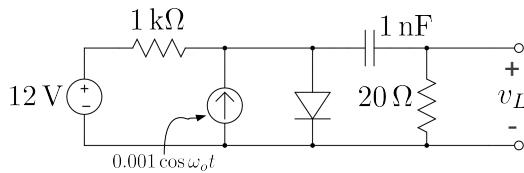
سوال 2.17: $I_S = 5 \text{ fA}$ کے ڈائیوڈ کے برقی دباؤ بال مقابل برقی رو کا خط کھینچیں۔ اس پر سے چالو کرده برقی دباؤ کا تحمینہ لگائیں۔

سوال 2.18: ڈائیوڈ پر برقی دباؤ 50 mV اور i_{D1} اور i_{D2} کی شرح حاصل کریں۔ یہی شرح 200 mV ، 100 mV اور 500 mV کے لئے بھی حاصل کریں۔

سوال 2.19: برقی رو دس گناہ کرنے سے ڈائیوڈ کے برقی دباؤ میں تبدیلی حاصل کریں۔ برقی رو سو گناہ کرنے سے ڈائیوڈ کے برقی دباؤ میں تبدیلی حاصل کریں۔

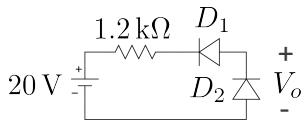
$$\text{جوابات: } 57 \text{ mV}, 115 \text{ mV}$$

سوال 2.20: ڈائیوڈ کے مساوات $i_D = I_0 e^{\frac{v_D}{V_T}}$ کا مکلارن سلسلہ¹⁹⁹ حاصل کریں۔ اگر $V_T \ll v_D$ ہو تو اس سلسلہ کے صرف پہلے دو جزو لیتے ہوئے ثابت کریں کہ $i_D + \frac{v_d}{r_d} \approx I_D$ لکھا جا سکتا ہے جہاں $r_d = \frac{V_T}{I_D}$ کے برابر ہے۔



شکل 2.82: دبرانے کے طریقے کی مثال

$$i_D = \begin{cases} 2 \times 10^{-3}v_D^2, & v_D \geq 0 \\ -I_o, & v_D < 0 \end{cases}$$



شکل 2.83: ڈائیوڈ کی مربع مساوات

سوال 2.21: شکل 2.82 میں ڈائیوڈ کا دور دکھایا گیا ہے۔ $I_S = 10 \text{ fA}$ اور $V_T = 25 \text{ mV}$ لیتے ہوئے ڈائیوڈ میں یک سمیتی برق رو دبرانے کے طریقے²⁰⁰ سے حاصل کریں۔

جواب: $V_D = 0.7 \text{ V}$ تصور کرتے ہوئے 11.3 mA حاصل ہوتا ہے جس سے استعمال کرتے ہوئے V_D کی قیمت 0.69383 V حاصل ہوتا ہے۔ اسی طرح متواتر حل کرتے ہوئے 11.306 mA ،

سوال 2.22: مندرجہ بالا مثال کے نتائج استعمال کرتے ہوئے ڈائیوڈ کو یک سمیتی برق رو لیا جاتا ہے۔ $\omega_0 = 5 \times 10^6 \text{ rad/s}$ اور $v_L = 5 \times 10^{10} \text{ rad/s}$ پر شکل میں بدلتا برقی دباؤ v_L حاصل کریں۔

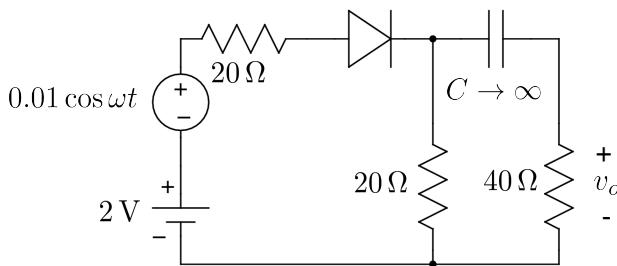
جوابات:

$$\begin{aligned} r_d &= 2.2 \Omega \\ 0.000044 \cos(5 \times 10^6 t + 1.55) \\ 0.0018 \cos(5 \times 10^8 t + 0.42) \\ 0.00198 \cos(5 \times 10^{10} t + 0.0045) \end{aligned}$$

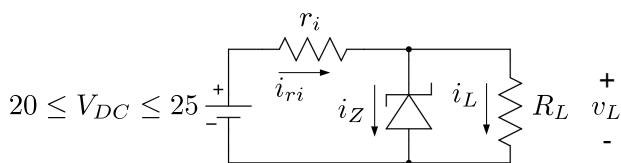
سوال 2.23: ڈائیوڈ کے خط کے گول حصے کو دیکھتے ہوئے یوں معلوم ہوتا ہے جیسے یہ کا خط ہے۔ ڈائیوڈ کے خط کو کبھی کبھار سادہ بنانے کے غرض سے $i_D = \alpha v_D^2$ لکھا جاتا ہے۔ شکل 2.83 میں بالکل یکسان ڈائیوڈ استعمال کئے گئے ہیں جن کی مساوات بھی شکل میں دی گئی ہے۔ V_o حاصل کریں۔

جواب: $V_o = 10 - 600 I_o$

سوال 2.24: شکل 2.84 میں $I_D = 30 \text{ mA}$ پر ڈائیوڈ میں $V_D = 0.68 \text{ V}$ گزارتا ہے۔



شکل 2.84: بار کے خط کا سوال



شکل 2.85: زینر ڈائیوڈ کا سوال

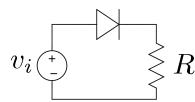
1. ڈائیوڈ کے خط پر یک سمتی بار کا خط کھینچ کر نقطہ مائل حاصل کریں۔
2. نقطہ مائل پر ڈائیوڈ کی مزاحمت r_d حاصل کریں۔
3. بدلتا برقی دباؤ v_o حاصل کریں۔
4. نقطہ مائل پر بدلتی رو، بار کا خط کھینچیں۔

جوابات: $0.0019 \cos \omega t$ (0.68 V, 33 mA)

سوال 2.25: شکل 2.85 میں دکھائیے زینر ڈائیوڈ پر اس وقت تک 12 V کا برقی دباؤ برقرار رہتا ہے جب تک اس میں 2 mA تا 200 mA کا برقی روگزیر رہا ہو۔ $R_L = 60 \Omega$ ہے۔

1. r_i کی وہ قیمت حاصل کریں جس پر یک سمتی برقی دباؤ 20 V تا 25 V تا 20 V تک تبدیل کرتے ہوئے زینر ڈائیوڈ پر 12 V برقرار رہیں۔
2. زینر ڈائیوڈ میں زیادہ سے زیادہ طاقت کا ضیاع حاصل کریں۔

جوابات: جب تک زینر پر بارہ وولٹ رہیں تب تک $i_L = \frac{12}{60} = 0.2 \text{ A}$ رہے گا۔ لہذا داخلی برقی دباؤ تبدیل کرنے سے صرف زینر ڈائیوڈ میں برقی رو تبدیل ہوتا ہے۔ 20 V پر زینر میں کم سے کم 2 mA رکھتے ہوئے $i_{ri} = 0.202 \text{ A}$ ہو گا جس سے $r_i = 39.6 \Omega$ حاصل ہوتا ہے۔ داخلی برقی دباؤ



شكل 2.86: ڈائیوڈ کی برقی رو

$$i_Z = 0.3282 - 0.2 = 0.1282 \text{ A} \quad i_{ri} = \frac{25-12}{39.6} = 0.3282 \text{ A}$$

اور طاقت کا ضیاع 1.5384 W

سوال 2.26: شکل 2.85 میں بدلتے مزاحمت R_L اور بدلتے داخلی برق دباؤ کی صورت میں v_L کو زینر ڈائیوڈ کے مدد سے برقرار رکھا گیا ہے۔ اس سوال میں R_L کی قیمت 150Ω تا 1200Ω جبکہ داخلی برق دباؤ 20.2 V تا 20.2 V تبدیل ہو سکتے ہیں۔ گرستہ سوال میں اس زینر ڈائیوڈ کے خصوصیات بیان کئے گئے ہیں۔

1. درکار r_i کی قیمت حاصل کریں۔
2. حاصل کردہ r_i کو استعمال کرتے ہوئے 150Ω بار اور 20.2 V داخلی برق دباؤ پر i_L ، i_{ri} اور i_Z حاصل کریں۔
3. حاصل کردہ r_i کو استعمال کرتے ہوئے 150Ω بار اور 25 V داخلی برق دباؤ پر i_L ، i_{ri} اور i_Z حاصل کریں۔
4. حاصل کردہ r_i کو استعمال کرتے ہوئے 1200Ω بار اور 20.2 V داخلی برق دباؤ پر i_L ، i_{ri} اور i_Z حاصل کریں۔
5. حاصل کردہ r_i کو استعمال کرتے ہوئے 1200Ω بار اور 25 V داخلی برق دباؤ پر i_L ، i_{ri} اور i_Z حاصل کریں۔

جوابات:

$$r_i = 100 \Omega .1$$

$$i_L = 80 \text{ mA}, \quad i_{ri} = 82 \text{ mA}, \quad i_Z = 2 \text{ mA} .2$$

$$i_L = 80 \text{ mA}, \quad i_{ri} = 130 \text{ mA}, \quad i_Z = 50 \text{ mA} .3$$

$$i_L = 10 \text{ mA}, \quad i_{ri} = 82 \text{ mA}, \quad i_Z = 72 \text{ mA} .4$$

$$i_L = 10 \text{ mA}, \quad i_{ri} = 130 \text{ mA}, \quad i_Z = 120 \text{ mA} .5$$

سوال 2.27: سوال 2.26 میں $r_i = 100 \Omega$ استعمال کیا جاتا ہے۔ داخلی برق دباؤ 20.2 V کی صورت میں $R_L = 50 \Omega$ کر دیا جاتا ہے۔ اس صورت میں v_L ، i_L اور i_Z حاصل کریں۔

جوابات: $V = 6.7333 \text{ V}$ ، $I = 134.666 \text{ mA}$ اور زینر گھنٹے سے کم برق دباؤ پر زینر ڈائیوڈ میں برق رو 0 A ہوتی ہے۔

سوال 2.28: شکل 2.86 میں آدھا سمت کار دکھایا گیا ہے جسے $v_i = 310 \cos \omega t$ داخلی برق دباؤ مہیا کیا گیا ہے۔ استعمال شدہ ڈائیوڈ زیادہ سے زیادہ 1 A کی اوسط برق رو برداشت کر سکتا ہے۔ مزاحمت کی کم سے کم ممکنہ قیمت حاصل کریں۔

جواب: ڈائیوڈ آدھے لہر کے لئے چالو رہتا ہے۔ آدھے لہر کی اوسط برق رو $\frac{V_p}{\pi R}$ کے برابر ہے۔ یوں حاصل ہوتا ہے۔

الباب 3

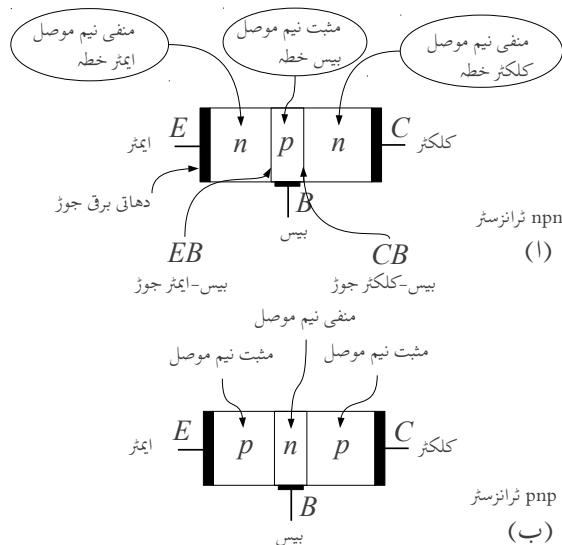
ٹرانزسٹر (دو جوڑ ٹرانزسٹر)

برقیات میں دو اقسام کے پرزہ جات پائے جاتے ہیں۔ ان میں مذاہمت، کپیسٹر، امالہ اور ڈائیوڈ کو غیر عامل¹ پرزہ جات پکارا جاتا ہے جبکہ ٹرانزسٹر² کے دیگر اقسام کو عامل³ پرزہ جات پکارا جاتا ہے۔ برقیات کی ترقی ٹرانزسٹر کی ایجاد کی وجہ سے ہے۔ اس باب میں دو جوڑ والے ٹرانزسٹر پر غور کیا جائے گا۔ دو جوڑ والے ٹرانزسٹر کو عموماً صرف ٹرانزسٹر کہتے ہیں۔ اگلے باب میں برق میدان سے چلنے والے ٹرانزسٹر پر غور کیا جائے گا۔ برق میدان سے چلنے والے ٹرانزسٹر کو اس کتاب میں میدانی ٹرانزسٹر⁴ کہا جائے گا۔

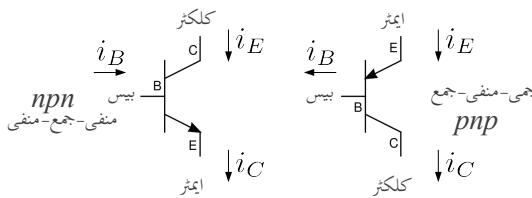
3.1 ٹرانزسٹر کی ساخت اور اس کی بنیادی کارکردگی

شکل 3.1 میں دو اقسام کے ٹرانزسٹروں کی بناؤت دکھائی گئی ہے۔ شکل الف میں دو منفی نیم موصل خطوط کرے مابین ایک مثبت نیم موصل خطہ سمیتا گیا ہے۔ اس قسم کے ٹرانزسٹر کو منفی-جمع-منفی ٹرانزسٹر یا npn ٹرانزسٹر کہتے ہیں۔ ان تین نیم موصل خطوط کو ایمپٹ خطہ⁵، بیس خطہ⁶ اور کلکٹر خطہ⁷ کہتے ہیں۔ شکل میں ان کی وضاحت کی گئی ہے۔ اس کے برعکس شکل ب میں دو مثبت نیم موصل خطوط کرے مابین ایک منفی نیم موصل خطہ سمیتا گیا ہے۔ اس قسم کے ٹرانزسٹر کو جمع-منفی-جمع ٹرانزسٹر یا pnp ٹرانزسٹر کہتے ہیں۔ منفی-جمع-منفی ٹرانزسٹر کے تین برقی سرے پن جنہیں ایمپٹ⁸، E ، کلکٹر⁹ اور بیس¹⁰ B کہتے ہیں۔ اس ٹرانزسٹر میں منفی نیم موصل n اور مثبت نیم موصل p خطوط

passive¹
transistor²
active³
field effect transistor⁴
emitter⁵
base⁶
collector⁷
emitter⁸
collector⁹
base¹⁰



شکل 3.1: منفی-جمع-منفی ٹرانزسٹر اور جمع-منفی-جمع ٹرانزسٹر کی بناؤث



شکل 3.2: ٹرانزسٹر کے علامات

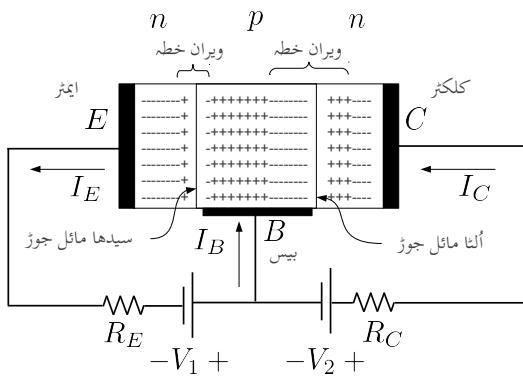
جدول 3.1: ٹرانزسٹر کے تین مختلف انداز کا کارکردگی

انداز کا کارکردگی	بیس-ایمٹر جوڑ	بیس-کلکٹر جوڑ
افزائندہ حال	سیدھا مائل	غیر چالو یا الٹا مائل
غیر افزائندہ حال	سیدھا مائل	چالو
مقطوع حال	الٹا مائل	الٹا مائل

کے درمیان دو $p - n$ جوڑ بین جنہیں بیس-ایمٹر BE جوڑ اور بیس-کلکٹر BC جوڑ کہتے ہیں۔ شکل 3.2 میں دو جوڑ ٹرانزسٹر کے دو اقسام کے علامات دکھائے گئے ہیں۔ بیس-ایمٹر جوڑ پر تیر کا نشان ٹرانزسٹر میں اس جوڑ سے گزرتی برق روکی صحیح سمت دکھلاتا ہے۔ یوں npn ٹرانزسٹر میں ایمٹر سرے سے برق رو i_E باہر کی جانب کو جبکہ باقی دو سروں پر برق رو ٹرانزسٹر کے اندر جانب کو ہو گی۔ pnp ٹرانزسٹر میں ایمٹر سرے پر برق رو اندر جانب جسکے باقی دو سروں پر برق روکی سمت ٹرانزسٹر کے باہر جانب کو ہو گی۔ ٹرانزسٹر کے بیس-ایمٹر جوڑ اور بیس-کلکٹر جوڑ کو سیدھا مائل یا الٹا مائل کر کے ٹرانزسٹر کو تین مختلف طریقوں پر چلا یا جا سکتا ہے۔ جدول 3.1 میں ٹرانزسٹر مائل کرنے کے تین ممکنہ طریقے دکھائے گئے ہیں۔ ٹرانزسٹر کو بطور ایپلیفائر استعمال کرنے کی خاطر اسے افزائندہ حال میں رکھا جاتا ہے۔ عددی ادوار¹¹ میں ٹرانزسٹر کے غیر افزائندہ حال اور مقطوع حال دونوں استعمال ہوتے ہیں۔

3.2 افزائندہ حال منفی-جمع-منفی npn ٹرانزسٹر کی کارکردگی

شکل 3.3 میں منفی-جمع-منفی npn ٹرانزسٹر کو اس طرح برق دیاو مہیا کئے گئے ہیں کہ اس کا بیس-ایمٹر BE جوڑ سیدھا مائل جبکہ اس کا بیس-کلکٹر BC جوڑ الٹا مائل ہو۔ یوں بیس-ایمٹر BE پر پیدا ویران خطے کی لمبائی کم ہو جائے گی جبکہ بیس-کلکٹر BC جوڑ پر پیدا ویران خطے کی لمبائی بڑھ جائے گی۔ شکل میں منفی-جمع-منفی npn ٹرانزسٹر کے برق سروں پر برق روکی سمتیں دکھائی گئی ہیں۔ شکل میں بیس خطے کی لمبائی کو بڑھا کر دکھایا گیا ہے۔ npn ٹرانزسٹر کی کارکردگی کا دارو مدار دو n خطوں کا انتہائی قریب ہونے پر ہے۔ یوں حقیقت میں بیس خطے کی لمبائی چند



شكل 3.3: بیس-ایمٹر جوڑ سیدھا مائل جبکہ بیس-کلکٹر جوڑ اُلتا مائل کیا گیا ہے

مائیکرو میٹر μm ہوئی ہے۔ شکل 3.4 میں اس ٹرانزسٹر میں چار جوں کے حرکت کی وضاحت کی گئی ہے۔ بیس-ایمٹر جوڑ بالکل ڈائیوڈ کی مانند عمل کرتا ہے۔ بیرونی برق دباؤ کی وجہ سے آزاد الیکٹران ایمٹر خطے سے بیس خطے میں داخل ہوتے ہیں۔ ان الیکٹرانوں کو شکل میں مداخل الیکٹران¹² کہا گیا ہے۔ اسی طرح بیس خطے سے آزاد خوں ایمٹر خطے میں داخل ہوتے ہیں۔ ان خولوں کو شکل میں مداخل خول¹³ کہا گیا ہے۔ منفی۔ جمع۔ منفی ٹرانزسٹر کی کارکردگی مداخل الیکٹرانوں پر منحصر ہوئی ہے جبکہ مداخل خوں اس میں کوئی کردار ادا نہیں کرتے۔ چونکہ مداخل الیکٹرانوں کی تعداد ایمٹر خطے میں ملاوی ایشمنوں کی تعدادی کافیت¹⁴ N_D پر منحصر ہے جبکہ مداخل خولوں کی تعداد بیس خطے میں ملاوی ایشمنوں کی تعدادی کافیت N_A پر منحصر ہے لہذا ٹرانزسٹر کے ایمٹر خطے میں N_D کی قیمت بیس خطے میں N_A کی قیمت سے کمی درجہ زیادہ رکھی جاتی ہے۔ شکل 3.5 میں منفی۔ جمع۔ منفی ٹرانزسٹر میں چار جوں کی حرکت دکھائی گئی ہے۔ چونکہ روایتی برق رو اور الیکٹران کے بہاو کی سمتیں آپس میں اُٹ بھوتی ہیں لہذا اس ٹرانزسٹر کے ایمٹر سرے پر الیکٹران کا بہاو اندر کی جانب ہو گا۔ فرض کریں کہ ایمٹر سرے پر ہر سینکنڈ x الیکٹران ٹرانزسٹر میں داخل ہوتے ہیں۔ الیکٹران کا چارج q ۔ لکھتے ہوئے یوں ایمٹر سرے پر برق رو I_E کی قیمت

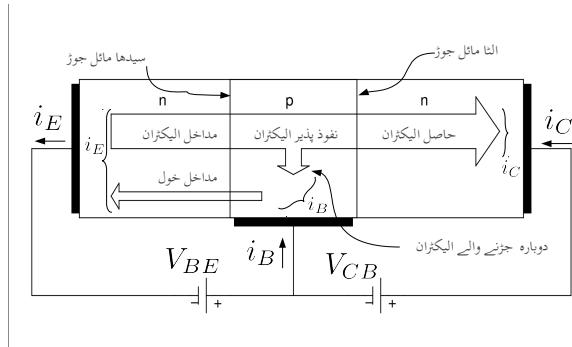
(3.1)

$$I_E = xq$$

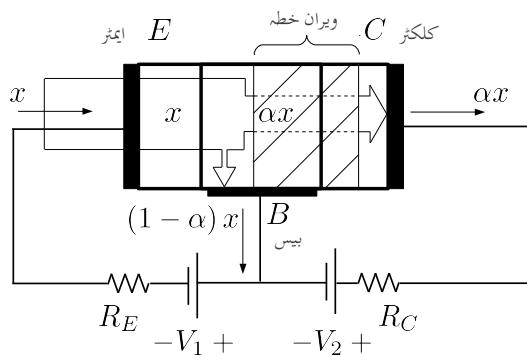
ہو گی۔ بیرونی برق دباؤ بیس۔ ایمٹر جوڑ کو سیدھا مائل کئے ہوئے ہے۔ یوں اس جوڑ میں بالکل سیدھے مائل ڈائیوڈ کی طرح برق رو کا گر بہو گا اور تمام کے تمام x الیکٹران بیس خطے میں پہنچ جائیں گے۔¹⁵ بیس خطے میں مداخل الیکٹران بر جانب نفوذ پانیز ہوں گے۔ جیسا ہمہ ذکر ہوا بیس خطے کا بیشتر حصہ ویران خطہ بن چکا ہے۔ بیس خطے میں مداخل الیکٹران اس باریک لمبائی والے بیس خطے سے ٹرانزسٹر

injected electrons¹²injected holes¹³number density¹⁴¹⁵ بہاو کے نظر انداز کیا گیا ہے۔ اس کی بات آگئے جا کر ہو گی

3.2. افرازیه حال منفی-جمع-منفی $n-p-n$ ٹرانزسٹر کی کارکردگی



شکل 3.4: npn ٹرانزسٹر میں چارجوں کی حرکت



شکل 3.5: npn ٹرانزسٹر میں الیکٹرانوں کا بہاو

کے بیرونی سرے B تک پہنچنے کی کوشش کریں گے۔ ایسے الیکٹران حرارتی توانائی کی بدولت بیس خطے میں پر جانب نفوذ پذیر ہوں گے تاہم بیرونی برقی دباؤ V_I کی وجہ سے ان کی اوسط رفتار برقی سرے B کی جانب بوقت ہے۔ ان الیکٹرانوں میں سے متعدد الیکٹران اس سفر کے دوران بیس۔ کلکٹر جوڑ کے ویران خطے میں داخل ہو جاتے ہیں۔ جیسا کہ آپ جانتے ہیں کہ اس ویران خطے سے منفی چارج تیزی سے دائیں جانب یعنی کلکٹر خطے میں منتقل ہو جاتے ہیں۔ یوں x الیکٹرانوں کا بیشتر حصہ کلکٹر خطے میں پہنچ جاتا ہے اور یہاں سے ٹرانزسٹر کے بیرونی کلکٹر سرے پر پہنچ کر برقی رو I_C پیدا کرتا ہے۔ کلکٹر خطے پہنچنے والے الیکٹرانوں کی تعداد کو αx لکھا جا سکتا ہے جہاں α کی قیمت عموماً 0.9 تا 0.99 ہوتی ہے۔ یوں کلکٹر سرے پر برقی رو I_C کی قیمت

$$(3.2) \quad I_C = \alpha x q$$

بوگی۔ بقایا الیکٹران یعنی $(\alpha - 1)$ الیکٹران ٹرانزسٹر کے بیرونی بیس سرے پہنچ کر برقی رو I_B کو جنم دیتے ہیں یعنی

$$(3.3) \quad I_B = (1 - \alpha)x q$$

ان تین مساواتوں سے حاصل ہوتا ہے

$$(3.4) \quad \begin{aligned} I_E &= x q \\ I_C &= \alpha x q = \alpha I_E \\ I_B &= (1 - \alpha)x q = (1 - \alpha)I_E \\ I_E &= I_B + I_C \end{aligned}$$

ان سے مزید حاصل ہوتا ہے

$$(3.5) \quad \begin{aligned} I_C &= \alpha I_E = \frac{\alpha}{1 - \alpha} I_B = \beta I_B \\ I_E &= I_C + I_B = (\beta + 1)I_B \end{aligned}$$

جہاں

$$(3.6) \quad \beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha}$$

لکھا گیا ہے۔ مساوات 3.5 کو ثکروں میں دوبارہ لکھتے ہیں۔

$$(3.7) \quad I_C = \alpha I_E$$

$$(3.8) \quad \beta = \frac{I_C}{I_B}$$

$$(3.9) \quad I_E = (\beta + 1)I_B$$

چونکہ $\alpha \approx 1$ ہوتا ہے لہذا مساوات 3.7 سے ظاہر ہے کہ I_C کی قیمت تقریباً I_E کے برابر ہو گی۔ مساوات 3.8 سے ظاہر ہے کہ β ٹرانزسٹر کی افزائش برقی رو¹⁶ ہے۔

current gain¹⁶

مساوات 3.6 کو یوں بھی لکھ سکتے ہیں

$$(3.10) \quad \alpha = \frac{\beta}{\beta + 1}$$

مثال 3.1: مندرجہ ذیل کے لئے β حاصل کریں۔

$$\alpha = 0.9 .1$$

$$\alpha = 0.99 .2$$

$$\alpha = 0.999 .3$$

حل:

$$\beta = \frac{\alpha}{1-\alpha} = \frac{0.9}{1-0.9} = 9 .1$$

$$\beta = \frac{\alpha}{1-\alpha} = \frac{0.99}{1-0.99} = 99 .2$$

$$\beta = \frac{\alpha}{1-\alpha} = \frac{0.999}{1-0.999} = 999 .3$$

مثال 3.2: α کے لئے $\beta = 74$ حاصل کریں۔

$$\alpha = \frac{\beta}{\beta+1} = \frac{74}{74+1} = 0.986$$

مثال 3.3: ایک ٹرانزسٹر میں پر سیکنڈ $10^{15} \times 6$ الیکٹران بیس۔ ایمپ جوڑ سے گزرتے ہیں۔ اگر $\alpha = 0.993$ ہوتا ہے اس کے برقی سروں پر برق رو حاصل کریں۔
حل: الیکٹران کا چارج $C = 1.6 \times 10^{-19} C$ لیتے ہوئے

$$I_E = nq = 6 \times 10^{15} \times 1.6 \times 10^{-19} = 9.6 \times 10^{-4} = 0.96 \text{ mA}$$

$$(3.11) \quad I_C = \alpha I_E = 0.995 \times 0.96 \times 10^{-4} = 0.9552 \text{ mA}$$

$$I_B = I_E - I_C = 4.8 \mu\text{A}$$

ٹرانزسٹر کی اہمیت β سے منسلک ہے۔ مساوات 3.8 کہتا ہے کہ $I_C = \beta I_B$ ہے۔ یعنی کلکٹر سرے کا برقی رو بیس سرے کے برقی رو کے β گناہ ہے۔ یوں اگر β کی قیمت 35 ہوتا ہے تو بیس کے برقی

روکم یا زیادہ کرنے سے کلکٹر سرے پر برق روکی قیمت 35 گناہم یا زیادہ ہو گی۔ آپ دیکھ سکتے ہیں کہ بیس سرے پر ہوڑی مقدار میں برق روکلکٹر سرے پر زیادہ مقدار کے برق روکو قابو کرنے ہے۔ اس عمل کو افراش¹⁷ کہتے ہیں۔ یوں β کو ٹرانزسٹر کی افراش برق روک¹⁸ کہنے گے۔ ٹرانزسٹر کے افراش کی صلاحیت ہی کی وجہ سے برقیات کے میدان کا وجود ہے۔ ٹرانزسٹر کا BE جوڑ بالکل سادہ ڈائیوڈ کی طرح کردار ادا کرتا ہے۔ یوں اس جوڑ کے برق روکو

$$I_E = I'_S \left(e^{\frac{V_{BE}}{V_T} - 1} \right)$$

لکھتے ہوئے

$$I_C = \alpha I'_S \left(e^{\frac{V_{BE}}{V_T} - 1} \right)$$

$$I_B = \frac{\alpha I'_S}{\beta} \left(e^{\frac{V_{BE}}{V_T} - 1} \right)$$

لکھا جا سکتا ہے۔ اگر ہم I_S کو لکھیں تب ان مساوات کو

$$(3.12) \quad \begin{aligned} I_E &= \frac{I_C}{\alpha} \left(e^{\frac{V_{BE}}{V_T} - 1} \right) \\ I_C &= I_S \left(e^{\frac{V_{BE}}{V_T} - 1} \right) \\ I_B &= \frac{I_S}{\beta} \left(e^{\frac{V_{BE}}{V_T} - 1} \right) \end{aligned}$$

لکھا جا سکتا ہے۔ اس کتاب میں مساوات 3.12 ہی استعمال کئے جائیں گے۔ آپ نے دیکھا کہ I_B کم یا زیادہ کرنے سے I_C بھی کم یا زیادہ ہوتی ہے۔ حقیقت میں V_{BE} کم یا زیادہ کرنے سے I_B کم یا زیادہ کیا جاتا ہے۔ بیس۔ ایمٹر جوڑ پر برق دباؤ V_{BE} کم یا زیادہ کرنے سے I_E مساوات 3.12 کے تحت کم یا زیادہ ہو گی اور I_B بھی کم یا زیادہ ہو گی۔ I_C اور I_B کی شرح β رہے گا۔

اب تک کی گفتگو سے ظاہر ہے کہ npn ٹرانزسٹر میں مداخل خولوں کا I_C کے پیدا کرنے میں کوئی کردار نہیں۔ اسی لئے جیسا شروع میں ذکر ہوا مداخل خولوں کی تعداد کم سے کم رکھی جاتی ہے۔ مندرجہ بالا گفتگو میں بیس۔ کلکٹر جوڑ کو الٹ مائل رکھا گیا۔ الٹ مائل ڈائیوڈ کی طرح اس جوڑ میں الٹ جانب برق رو I_S گزرنے گی۔ ڈائیوڈ کی طرح حقیقت میں الٹ برق روکی اصل قیمت تجزیہ سے حاصل I_S کی قیمت سے کئی درجہ زیادہ ہوتی ہے اور اس کی قیمت الٹ برق دباؤ پر منحصر ہوتی ہے۔ ٹرانزسٹر

gain¹⁷
current gain¹⁸

میں اس برق رو کو I_{CB0} لکھا جاتا ہے۔ I_{CB0} سے مراد اینٹر سرے کو کھلے سرے رکھتے ہوئے بیس۔ کلکٹر جوڑ پر الٹی برق رو ہے۔ اوپر مساوات حاصل کرتے وقت I_{CB0} کو نظر انداز کیا گیا ہے۔ یوں حقیقت میں

$$(3.13) \quad I_C = \alpha I_E + I_{CB0}$$

کرے برابر ہے۔ I_{CB0} کی قیمت درج حرارت 10°C پڑھائے سے تقریباً دگنی ہوئی ہے۔ جدید ٹرانزسٹروں میں I_{CB0} قابل نظر انداز ہوتا ہے لہذا اس کتاب میں ہم I_{CB0} کو نظر انداز کریں گے۔

npn ٹرانزسٹر اسی صورت افراٹنڈہ رہتا ہے جب اس کے بیس۔ اینٹر جوڑ کو سیدھا مائل جبکہ اس کے بیس۔ کلکٹر جوڑ کو غیر چالو رکھا جائے۔ یوں ٹرانزسٹر کو افراٹنڈہ حال رکھنے کی خاطر اس کے بیس۔ کلکٹر جوڑ پر برق دباؤ V_{BE} مثبت رکھی جائے جبکہ اس کے بیس۔ کلکٹر جوڑ پر برق دباؤ V_{BC} کو یا تو منفی رکھا جاتا ہے اور یا اسے چالو کرده برق دباؤ یعنی 0.5V سے کم رکھا جاتا ہے۔ سیدھے مائل بیس۔ اینٹر جوڑ پر کسی بھی سیدھے مائل جمع۔ منفی جوڑ کی طرح برق دباؤ کو 0.7V تصور کیا جاتا ہے۔

اب تک کے بحث میں β کو مستقل تصور کیا گیا۔ درحقیقت میں β کی قیمت از خود i_C پر منحصر ہوئی ہے۔ شکل 3.6 میں کسی ایک ٹرانزسٹر کو مثال بناتے ہوئے β اور i_C کا تعلق دکھایا گیا ہے۔ کسی بھی ٹرانزسٹر کو عموماً کسی خاص برق رو کے لگ بھگ استعمال کیا گیا جاتا ہے۔ شکل میں اس کی نشاندہی کی گئی ہے۔ آپ دیکھ سکتے ہیں کہ اس خطے میں β کی قیمت بہت زیادہ تبدیل نہیں ہوئی اور یوں β میں تبدیلی کو نظر انداز کرتے ہوئے اس خطے میں اوسط β کے قیمت کو ٹرانزسٹر کا β تصور کیا جاتا ہے۔ اس کتاب میں i_C کے تبدیلی سے β کے تبدیلی کو نظر انداز کیا جائے گا۔

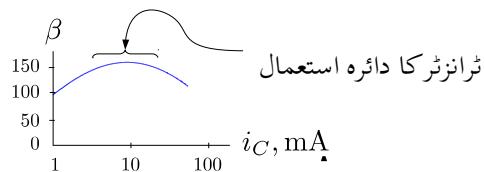
β دو یک سمعتی برق رو یعنی I_C اور I_B کی شرح ہے جسے عموماً h_{FE} بھی لکھا جاتا ہے یعنی

$$(3.14) \quad \beta = h_{FE} = \frac{i_C}{I_B}$$

ٹرانزسٹر کی اشارے کی افراٹش کے لئے استعمال کیا جاتا ہے جو کہ یک سمعتی نہیں بلکہ بدلتا برق دباؤ یا بدلنے برق رو ہوتا ہے۔ یوں ٹرانزسٹر استعمال کرتے ہوئے یہیں اس کے $\frac{i_C}{i_b}$ یعنی $\frac{\Delta i_C}{\Delta i_B}$ سے زیادہ دلچسپی ہے۔ اس شرح کو h_{fe} کہتے ہیں یعنی

$$(3.15) \quad h_{fe} = \frac{\Delta i_C}{\Delta i_B} = \frac{i_C}{i_b}$$

یوں h_{FE} کو ٹرانزسٹر کا یک سمعتی افراٹش برق رو جبکہ h_{fe} کو اس کا بدلتا افراٹش برق رو کہا جاتا ہے۔ اگرچہ h_{FE} اور h_{fe} کے قیمتی مختلف ہوئی ہیں لیکن ان میں فرق بہت زیادہ نہیں ہوتا۔ اس کتاب میں h_{FE} اور h_{fe} میں فرق کو نظر انداز کرتے ہوئے انہیں ایک بھی قیمت کا تصور کرتے ہوئے β سے ظاہر کیا جائے گا۔



شكل 3.6: افراش بالمقابل برقی رو

$$V_{BC} = V_B - V_C$$

$$V_{BE} = V_B - V_E$$

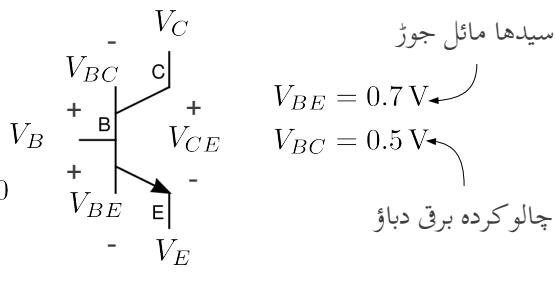
$$V_{CE} = V_C - V_E$$

$$V_{CE} + V_{BC} - V_{BE} = 0$$

$$V_{CE} = V_{BE} - V_{BC}$$

$$= 0.7 - 0.5$$

$$= 0.2 \text{ V}$$



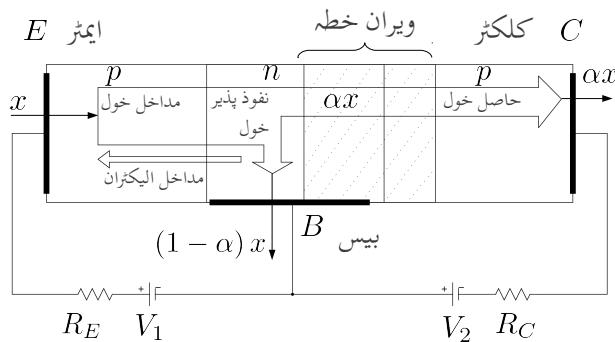
شكل 3.7: ٹرانزسٹر کی غیر افزائندہ کردہ برقی دباؤ

3.3 غیر افزائندہ کردہ برقی دباؤ

شكل 3.7 میں ٹرانزسٹر کے سیدھے مائل بیس-ایمپ جوڑ پر $V_{BE} = 0.7 \text{ V}$ جبکہ اس کے بیس-کلکٹر جوڑ پر $V_{BC} = 0.5 \text{ V}$ دکھائی گئے ہیں۔ جیسا شکل میں دکھایا گیا ہے اس صورت میں برقی دباؤ V_{CE} کی قیمت 0.2 V ہوتی ہے۔ اگر بیس-کلکٹر جوڑ پر برقی دباؤ کو اس حد (یعنی چالو کردہ برقی دباؤ) سے بڑھایا جائے تو V_{CE} کی قیمت 0.2 V سے کم ہو جائے گی اور ٹرانزسٹر غیر افزائندہ صورت اختیار کر لے گا۔ لہذا افزائندہ حال ٹرانزسٹر پر برقی دباؤ V_{CE} کی قیمت 0.2 V سے زیادہ رہتی ہے۔ کہ اس قیمت کو ٹرانزسٹر کا غیر افزائندہ برقی دباؤ $V_{CE, \text{ غير افزائندہ}}$ کہتے ہیں¹⁹ یعنی

$$(3.16) \quad V_{CE, \text{ غير افزائندہ}} = 0.2 \text{ V}$$

¹⁹ V_{CEsat}



شکل 3.8: pnp ٹرانزسٹر میں خول کا بھاو

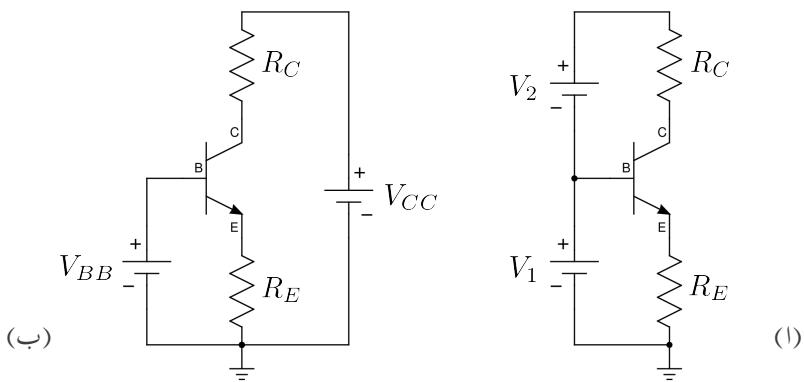
3.4 افزائندہ حال جمع-منفی-جمع pnp ٹرانزسٹر کی کارکردگی

شکل 3.8 میں pnp ٹرانزسٹر کے بیس۔ ایمٹر جوڑ کو سیدھا مائل جبکہ بیس۔ کلکٹر جوڑ کو الثا مائل کرتے ہوئے اسے افزائندہ خطے میں رکھا گیا ہے۔ pnp ٹرانزسٹر کی کارکردگی بالکل npn ٹرانزسٹر کی طرح ہے۔ فرق صرف اتنا ہے کہ npn ٹرانزسٹر میں برق روکا وجود ٹرانزسٹر میں الیکٹرانوں کی حرکت سے ہوتا ہے جبکہ pnp ٹرانزسٹر میں برق روکا وجود ٹرانزسٹر میں خولوں کی حرکت سے ہوتا ہے۔

جیسا شکل میں دکھایا گیا ہے، بیرونی لامپ برق دیا و V_1 ایمٹر۔ بیس جوڑ کو سیدھا مائل کرتا ہے جس سے ایمٹر سے بیس خطے میں خول داخل ہوتے ہیں اور بیس خطے سے ایمٹر خطے میں الیکٹران داخل ہوتے ہیں۔ چونکہ بیس خطے میں الیکٹران کی تعدادی کثافت ایمٹر میں خول کی تعدادی کثافت سے کمی درجے کم رکھی جاتی ہے لہذا ایمٹر سے بیس خطے میں داخل ہونے والے خولوں کی تعداد بیس سے ایمٹر داخل ہونے والے الیکٹرانوں کی تعداد سے کمی درجے زیادہ ہوتی ہے۔ بیس خطے کی لمائی نہیاں کم ہوتی ہے اور یوں بیس خطے میں داخل ہونے والے خولوں کا بیشتر حصہ بیس۔ کلکٹر جوڑ پر پائے جانے والے ویران خطے تک پہنچتا ہے۔ ویران خطے میں خول داخل ہوتے ہیں ہمارے پائے جانے والے برق میدان کی وجہ سے کلکٹر میں دھکیل دئے جاتے ہیں۔ یوں ایمٹر سے بیس میں خارج کئے جانے والے خولوں کا بیشتر حصہ کلکٹر پہنچ کر I_C پیدا کرتا ہے۔ کلکٹر کے دھانے جوڑ پر پہنچنے والا برعکس، ٹرانزسٹر میں باہر سے آنے والے الیکٹران کے ساتھ مل کر ختم ہوتا ہے۔ یوں بیرونی دور میں برق روکا الیکٹران کے حرکت سے جبکہ pnp کے اندر برق روکے جوڑ کے حرکت سے پیدا ہوتا ہے۔

$$V_{EC} \text{ اور } V_{EB} \text{ کے pnp } 3.4.1$$

V_{CE} npn ٹرانزسٹر کے سیدھے مائل بیس۔ ایمٹر جوڑ پر $V_{BE} = 0.7\text{V}$ پایا جاتا ہے اور $V_{CE} = 0.2\text{V}$ پر ٹرانزسٹر غیر افزائندہ ہو جاتا ہے۔ pnp ٹرانزسٹر میں بھی ایسا ہی ہوتا ہے پس جوڑ کے نام اللے لکھنے پڑتے ہیں یعنی pnp کے سیدھے مائل ایمٹر۔ بیس جوڑ پر $V_{EB} = 0.7\text{V}$ پایا جاتا ہے اور $V_{EC} = 0.2\text{V}$ پر ٹرانزسٹر غیر افزائندہ ہو جاتا ہے۔



شکل 3.9: ٹرانزسٹر کو افزائندہ حال مائل کرنے کے طریقے

3.5 نقطہ کارکردگی اور یک سمتی ادوار کا تحلیلی تجزیہ

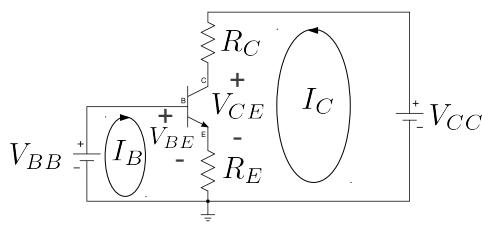
ٹرانزسٹر کے ساتھ مزاحمت (مزمومت) اور یک سمیٰ پیدا کار برق دباؤ (برق رو) منسٹلک کر کرے اسے تین مختلف طرز پر چلا جا سکتا ہے۔ ان تین طریقوں کو جدول میں بیان کیا گیا ہے۔ ٹرانزسٹر کے نقطہ کارکردگی (نقطہ مائل) پر اس کے یک سمیٰ برق رو کو I_B , I_E , I_C , V_{BC} , V_{CE} , V_{BE} اور یک سمیٰ برق دباؤ کو I_{EQ} , I_{CQ} , I_{BQ} , I_{EQ} لکھتے ہیں۔ ڈائیوڈ کے نقطہ مائل کی طرز پر ان قیمتوں کے لکھنے کا درست انداز V_{CEQ} وغیرہ ہے۔ اس کتاب میں جہاں غلطی کی گنجائش نہ ہو وہاں ان قیمتوں کو پہلی طرز پر لکھا جائے گا جیسے I_{CO} کو I_C لکھا جائز گا۔

اس حصہ میں ٹرانسٹر کے یک سمتی ادوار حل کرنے پر غور کیا جائے گا جہاں ٹرانسٹر کے مختلف حال یعنی افزائندہ حال، غیر افزائندہ حال اور منقطع حال باری باری دیکھئے جائیں گے۔

3.5.1 افزائندہ ٹرانزسٹر کریک سمتی ادوار کا حل

ٹرانزسٹر کی علامت استعمال کرتے ہوئے شکل 3.9 کو شکل 3.5 کی طرز پر بنا جاسکتا ہے جہاں V_1 کی جگہ V_{BB} لکھا گیا ہے اور V_2 کی جگہ V_{CC} لکھا گیا ہے۔ ٹرانزسٹر دوارا کو عموماً شکل ب کی طرز پر بنا جاتا ہے۔

مثال 3.4: شکل 3.9 الف میں V_1 کی قیمت تین وولٹ اور V_2 کی قیمت آٹھ وولٹ ہونے کی صورت میں اس کے مساوی دور شکل 3.9 ب میں V_{CC} اور V_{BB} کی قیمتیں حاصل کریں۔



$$\begin{aligned}V_{BB} &= V_{BE} + (I_B + I_C)R_E \\&= V_{BE} + I_E R_E \\I_E &= \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_E} \approx I_C\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}V_{CC} &= I_C R_C + V_{CE} + I_E R_E \\&\approx I_C R_C + V_{CE} + I_C R_E \\V_{CE} &= V_{CC} - I_C (R_C + R_E)\end{aligned}$$

شکل 3.10: ٹرانزسٹر کا بیادی دور

حل:

(3.17) $V_{BB} = V_1 = 3 \text{ V}$

(3.18) $V_{CC} = V_1 + V_2 = 3 + 8 = 11 \text{ V}$

لہذا V_{BB} کی قیمت تین وولٹ جبکہ V_{CC} کی قیمت گیارہ وولٹ ہے۔

شکل 3.10 میں ٹرانزسٹر کا دور دکھایا گیا ہے۔ داخلی جانب کرچاف کے قانون برائے برقی دباؤ کی مدد سے ہم ٹرانزسٹر میں برقی رو I_C یوں حاصل کر سکتے ہیں۔

$$\begin{aligned}V_{BB} &= V_{BE} + (I_B + I_C)R_E \\V_{BB} &= V_{BE} + I_E R_E \\I_E &= \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_E} \\I_C &= \alpha I_E \\I_B &= \frac{I_E}{\beta + 1}\end{aligned}\quad (3.19)$$

جہاں دوسرے قدم پر $I_B + I_C = I_E$ لکھا گیا ہے۔ ٹرانزسٹر کے ادوار حل کرتے ہوئے عموماً I_C کے برابر ہی تصور کیا جاتا ہے۔ ٹرانزسٹر کے سیدھے مائل بیس۔ ایٹر جوڑ پر برقی دباؤ کو V_{BE} لکھا جاتا ہے جس کی عمومی قیمت کسی بھی سیدھے مائل ڈائیوڈ کی طرح 0.7 V تصور کی جاتی ہے۔ یعنی

(3.20) $V_{BE} = 0.7 \text{ V}$

اسی طرح خارجی جانب کرچاف کے قانون برائے برقی دباؤ کی مدد سے ٹرانزسٹر کے کلکٹر۔ ایٹر سروں کے

مابین برق دباؤ V_{CE} یوں حاصل کی جاتی ہے۔

$$\begin{aligned}
 V_{CC} &= I_C R_C + V_{CE} + (I_B + I_C) R_E \\
 V_{CC} &= I_C R_C + V_{CE} + I_E R_E \\
 V_{CE} &= V_{CC} - I_C R_C - I_E R_E \\
 V_{CE} &\approx V_{CC} - I_C (R_C + R_E)
 \end{aligned} \tag{3.21}$$

جهان آخری قدم پر $I_E \approx I_C \approx 1$ میلی آمپر حاصل کردہ برقی دباؤ V_{CE} کی قیمت V_{CE} سے کم ہونے کی صورت میں ٹرانزسٹر غیر افزائندہ ہو گا اور مندرجہ بالا جوابات درست نہیں ہوں گے۔ اس صورت حال پر آگئے جا کر تجزیہ کیا جائے گا۔

مثال 3.5: شکل 3.10 میں

$$V_{CC} = 12 \text{ V}$$

$$V_{BB} = 1.2 \text{ V}$$

$$R_C = 10 \text{ k}\Omega$$

$$R_E = 1 \text{ k}\Omega$$

ہونے کی صورت میں برقی رو I_C اور برقی دباؤ V_{CE} حاصل کریں۔
حل: مساوات 3.19 کی مدد سے

$$\begin{aligned}
 I_E &= \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_E} = \frac{1.2 - 0.7}{1000} = 0.5 \text{ mA} \\
 I_C &\approx I_E = 0.5 \text{ mA}
 \end{aligned}$$

اور مساوات 3.21 کی مدد سے

$$\begin{aligned}
 V_{CE} &\approx V_{CC} - I_C (R_C + R_E) \\
 &= 12 - 0.5 \times 10^{-3} (10000 + 1000) \\
 &= 6.5 \text{ V}
 \end{aligned}$$

چونکہ حاصل کردہ V_{CE} کی قیمت V_{CE} سے زیادہ ہے لہذا ٹرانزسٹر افزائندہ حال ہے اور یوں تمام حاصل کردہ جوابات درست ہیں۔

مثال 3.6: مثال 3.5 میں ٹرانزسٹر کی افزائش برقی رو $\beta = 99$ اور برقی دباؤ V_{CE} کی اصل قیمتیں حاصل کریں۔ ان قیمتیوں کا گرشتہ مثال میں حاصل کی گئی قیمتیوں سے موازنہ کریں۔

حل: مساوات 3.10 سے $\alpha = \frac{\beta}{\beta+1} = \frac{99}{99+1} = 0.99$ ہے۔
یوں $I_C = \alpha I_E = 0.99 \times 0.5 \text{ mA} = 0.495 \text{ mA}$ جبکہ مساوات 3.21 سے

$$\begin{aligned} V_{CE} &= V_{CC} - I_C R_C - I_E R_E \\ &= 12 - 0.495 \times 10^{-3} \times 10000 - 0.5 \times 10^{-3} \times 1000 \\ &= 6.55 \text{ V} \end{aligned}$$

چونکہ حاصل کردہ V_{CE} کی قیمت غیرفاراندہ سے زیادہ ہے لہذا ٹرانزسٹر افزائندہ حال ہے اور یوں یوں تمام حاصل کردہ جوابات درست ہیں۔
آپ دیکھ سکتے ہیں کہ α کی قیمت ایک (1) تصور کر کے یعنی اس کے اثر کو نظر انداز کرتے ہوئے I_C کی قیمت 0.495 mA کے بجائے 0.5 mA حاصل ہوتی ہے۔ دونوں جوابات میں صرف فرق ہے 1.01% یعنی

$$\frac{0.495 \times 10^{-3} - 0.5 \times 10^{-3}}{0.495 \times 10^{-3}} \times 100 = 1.01 \%$$

اسی طرح دونوں مثالوں میں حاصل کئے گئے برقی دباؤ V_{CE} میں 0.76% فرق ہے یعنی

$$\left| \frac{6.55 - 6.5}{6.55} \right| \times 100 = 0.76 \%$$

گزشتہ دو مثالوں سے ظاہر ہے کہ ٹرانزسٹر کے ادوار حل کرتے ہوئے α کی قیمت ایک (1) تصور کی جا سکتی ہے۔ ٹرانزسٹر کے ادوار قلم و کاغذ کی مدد سے حل کرتے ہوئے عموماً اپسہ بھی کیا جاتا ہے اور نتیجتاً I_E کی جگہ I_C بھی کی قیمت استعمال کی جاتی ہے۔ $I_C \approx I_E$ لینے کا مطلب I_B کو نظر انداز کرنا ہے۔

مثال 3.7: شکل 3.11 میں

$$V_{CC} = 12 \text{ V}$$

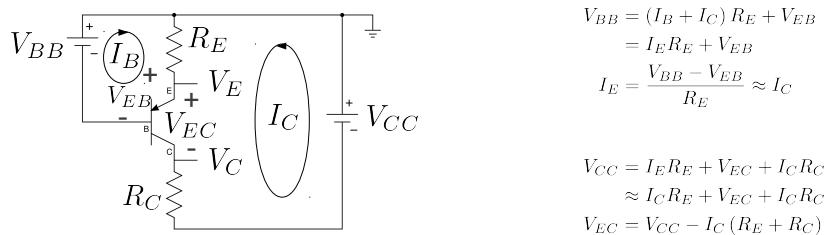
$$V_{BB} = 1.2 \text{ V}$$

$$R_C = 10 \text{ k}\Omega$$

$$R_E = 1 \text{ k}\Omega$$

بی۔ I_C اور V_{EC} حاصل کریں۔
حل: بیس جانب کر چاف کے قانون برائے برقی دباؤ کی مدد سے

$$\begin{aligned} V_{BB} &= (I_B + I_C) R_E + V_{EB} \\ &= I_E R_E + V_{EB} \end{aligned}$$



شكل 3.11: جمع منفی جمع ٹرانزسٹر کا سادہ دور

لکھا جا سکتا ہے جہاں دوسرے قدم پر $I_B + I_C$ کو I_E لکھا گیا ہے۔ یوں

$$I_E = \frac{V_{BB} - V_{EB}}{R_E} = \frac{1.2 - 0.7}{1000} = 0.5 \text{ mA}$$

$$I_C \approx I_E = 0.5 \text{ mA}$$

حاصل ہوتا ہے۔ اسی طرح کرچاف کے قانون برائے برقی دباؤ کی مدد سے

$$V_{CC} = (I_B + I_C) R_E + V_{EC} + I_C R_C$$

$$= I_E R_E + I_C R_C + V_{EC}$$

لکھا جا سکتا ہے۔ اگر $I_E \approx I_C$ لیا جائے تو

$$V_{EC} = V_{CC} - I_C (R_E + R_C)$$

$$= 12 - 0.5 \times 10^{-3} \times (1000 + 10000)$$

$$= 6.5 \text{ V}$$

حاصل ہوتا ہے۔ اس مثال کا مثال 3.5 کے ساتھ موازنہ کریں۔

مثال 3.8: شکل 3.12 میں ذکھائے گئے ٹرانزسٹر دور میں

$$V_{CC} = 15 \text{ V}$$

$$V_{BB} = 1.1 \text{ V}$$

$$R_C = 5.6 \text{ k}\Omega$$

$$R_E = 900 \Omega$$

$$\beta = 36$$

بیں۔ اس دور میں ٹرانزسٹر کے تینوں سروں پر برق دباؤ اور برق رو حاصل کریں۔
 حل: ٹرانزسٹر کے داخلی جانب کرچاف کے قانون برائے برق دباؤ کی مدد سے I_E حاصل کرتے ہیں۔

$$\begin{aligned}V_{BB} &= V_{BE} + I_E R_E \\I_E &= \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_E} \\&= \frac{1.1 - 0.7}{900} \\&= 0.44 \text{ mA}\end{aligned}$$

عموماً I_C کو I_E کے برابر ہی تصور کیا جاتا ہے لیکن چونکہ یہاں خصوصی طور پر تمام برق رو مانگی گئی ہیں لہذا ہم ان کی اصل قیمتی حاصل کرتے ہیں۔

$$\begin{aligned}\alpha &= \frac{\beta}{\beta + 1} \\&= \frac{36}{36 + 1} \\&= 0.97297\end{aligned}$$

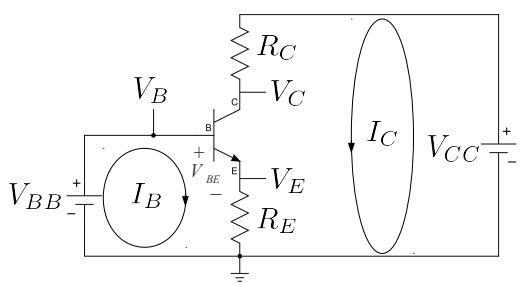
$$\begin{aligned}I_C &= \alpha I_E \\&= 0.97297 \times 0.4444 \times 10^{-3} \\&= 0.432 \text{ mA}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}I_B &= \frac{I_E}{\beta + 1} \\&= \frac{0.4444 \times 10^{-3}}{36 + 1} \\&= 12.01 \mu\text{A}\end{aligned}$$

آپ دیکھ سکتے ہیں کہ β کی قیمت کم ہونے کی صورت میں I_C اور I_E کی قیمتوں میں فرق بڑھ جاتا ہے اگرچہ انہیں پہر بھی، قلم و کاغذ کی مدد سے حل کرتے ہوئے، برابر ہی تصور کیا جاتا ہے۔
 ٹرانزسٹر کے سروں پر برق دباؤ حاصل کرتے ہیں۔

$$\begin{aligned}V_C &= V_{CC} - I_C R_C \\&= 15 - 0.432 \times 10^{-3} \times 5.6 \times 10^3 \\&= 12.581 \text{ V}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}V_E &= I_E R_E \\&= 0.4444 \times 10^{-3} \times 900 \\&= 0.4 \text{ V}\end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
 V_{BB} &= V_{BE} + (I_B + I_C) R_E \\
 &= V_{BE} + I_E R_E \\
 I_E &= \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_E} \approx I_C \\
 V_C &= V_{CC} - I_C R_C \\
 V_E &= I_E R_E \\
 V_B &= V_E + V_{BE} \\
 &= I_E R_E + V_{BE} \\
 V_{CE} &= V_C - V_E \\
 &= V_{CC} - I_C R_C - I_E R_E
 \end{aligned}$$

شكل 3.12: ٹرانزسٹر دور کی مثال

$$\begin{aligned}
 V_B &= V_E + V_{BE} \\
 &= 0.4 + 0.7 \\
 &= 1.1 \text{ V}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{CE} &= V_C - V_E \\
 &= 12.581 - 0.4 \\
 &= 12.181 \text{ V}
 \end{aligned}$$

چونکہ ٹرانزسٹر کے بیس پر 1.1 V لاگو کیا گیا ہے لہذا ایمیٹر پر برقی دباؤ کو یوں بھی حاصل کیا جا سکتا ہے

$$V_E = V_B - V_{BE} = 1.1 - 0.7 = 0.4 \text{ V}$$

مثال 3.9: شکل 3.11 میں ذکھائے گئے ٹرانزسٹر دور میں

$$\begin{aligned}
 V_{CC} &= 15 \text{ V} \\
 V_{BB} &= 1.1 \text{ V} \\
 R_C &= 5.6 \text{ k}\Omega \\
 R_E &= 900 \Omega \\
 \beta &= 36
 \end{aligned}$$

بین۔ اس دور میں ٹرانزسٹر کے تینوں سروں پر برقی دباؤ اور برقی رو حاصل کریں۔
 حل: ٹرانزسٹر کے داخلی جانب کرجاف کے قانون برائے برقی دباؤ کی مدد سے I_E حاصل کرتے ہیں۔

$$V_{BB} = I_E R_E + V_{EB}$$

$$I_E = \frac{V_{BB} - V_{EB}}{R_E}$$

$$= \frac{1.1 - 0.7}{900}$$

$$= 0.44 \text{ mA}$$

عموماً I_C اور I_E کے ٹھیک ٹھیک قیمتیں حاصل کرتے ہیں۔

$$\begin{aligned}\alpha &= \frac{\beta}{\beta + 1} \\ &= \frac{36}{36 + 1} \\ &= 0.97297\end{aligned}$$

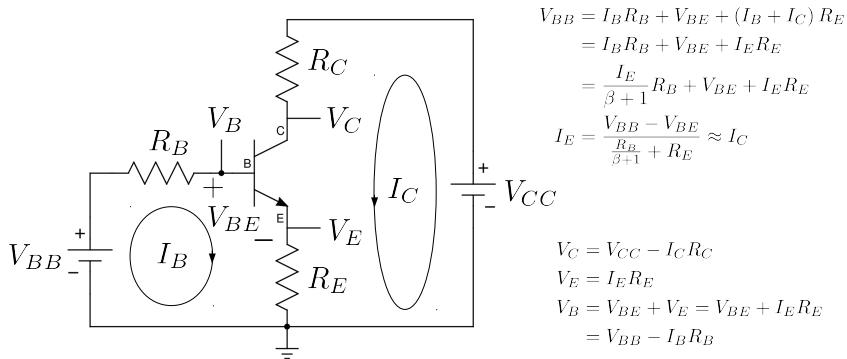
$$\begin{aligned}I_C &= \alpha I_E \\ &= 0.97297 \times 0.4444 \times 10^{-3} \\ &= 0.432 \text{ mA}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}I_B &= \frac{I_E}{\beta + 1} \\ &= \frac{0.4444 \times 10^{-3}}{36 + 1} \\ &= 12.01 \mu\text{A}\end{aligned}$$

ٹرانزسٹر کے سروں پر برقی دباؤ حاصل کرتے ہیں۔

$$\begin{aligned}V_C &= -V_{CC} + I_C R_C \\ &= -15 + 0.432 \times 10^{-3} \times 5.6 \times 10^3 \\ &= -12.581 \text{ V}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}V_E &= -I_E R_E \\ &= -0.4444 \times 10^{-3} \times 900 \\ &= -0.4 \text{ V}\end{aligned}$$



شكل 3.13: ٹرانزسٹر دور جہاں تینوں سروں کے ساتھ مراحمت منسلک ہیں

$$\begin{aligned} V_B &= V_E - V_{EB} \\ &= -0.4 - 0.7 \\ &= -1.1 \text{ V} \end{aligned}$$

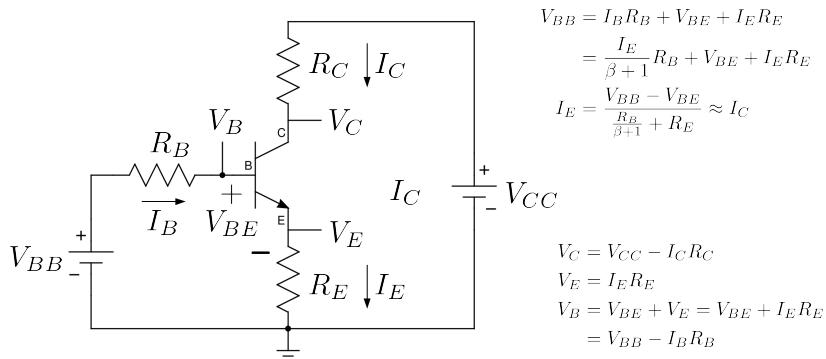
$$\begin{aligned} V_{EC} &= V_E - V_C \\ &= -0.4 + 12.581 \\ &= 12.181 \text{ V} \end{aligned}$$

چونکہ بیس پر برقی دباؤ -1.1 V لگو کیا گیا ہے لہذا $V_E = V_B + V_{EB}$ لکھ کر بھی حاصل کیا جا سکتا ہے یعنی

$$V_E = V_B + V_{EB} = -1.1 + 0.7 = -0.4 \text{ V}$$

شکل 3.13 میں دکھائے دور کے داخلی جانب R_B نصب کیا گیا ہے۔ اس دور کو ہی گزشتہ دوروں کی طرح حل کیا جاتا ہے۔ داخلی جانب کرچاف کے قانون برائے برقی دباؤ کی مدد سے

$$\begin{aligned} V_{BB} &= I_B R_B + V_{BE} + (I_B + I_C) R_E \\ V_{BB} &= \frac{I_E}{\beta + 1} R_B + V_{BE} + I_E R_E \\ I_E &= \frac{V_{BB} - V_{BE}}{\frac{R_B}{\beta + 1} + R_E} \approx I_C \end{aligned} \tag{3.22}$$



شکل 3.14:

حاصل ہوتا ہے۔ اسی طرح دور کرے خارجی جانب ہم لکھ سکتے ہیں

$$(3.23) \quad V_{CC} = I_C R_C + V_{CE} + (I_B + I_C) R_E$$

$$(3.24) \quad V_{CC} = I_C R_C + V_{CE} + I_E R_E$$

$$(3.25) \quad V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C - I_E R_E$$

$$(3.26) \quad V_{CE} \approx V_{CC} - I_C (R_C + R_E)$$

مثال 3.10: شکل 3.14 میں

$$V_{CC} = 15 \text{ V}$$

$$V_{BB} = 1.1 \text{ V}$$

$$R_C = 5.6 \text{ k}\Omega$$

$$R_E = 900 \Omega$$

$$R_B = 3.3 \text{ k}\Omega$$

$$\beta = 36$$

ہونے کی صورت میں V_{CE} اور I_C حاصل کریں۔

حل: شکل میں ٹرانزسٹر کے تینوں سروں پر ٹرانزسٹر کے برق رو لکھے گئے ہیں۔ یوں بیس جانب

$$\begin{aligned} V_{BB} &= I_B R_B + V_{BE} + I_E R_E \\ &= \left(\frac{I_E}{\beta + 1} \right) R_B + V_{BE} + I_E R_E \\ &= \left(\frac{R_B}{\beta + 1} \right) I_E + V_{BE} \end{aligned}$$

لکھا جا سکتا ہے جس سے

$$I_E = \frac{1.1 - 0.7}{\frac{3300}{36+1} + 900} = 0.404 \text{ mA} \approx I_C$$

حاصل ہوتا ہے۔ اسی طرح خارجی جانب

$$\begin{aligned} V_{CC} &= I_C R_C + V_{CE} + I_E R_E \\ &\approx (R_C + R_E) I_C + V_{CE} \end{aligned}$$

سے

$$V_{CE} = 15 - 4.04 \times 10^{-4} \times (5600 + 900) = 12.374 \text{ V}$$

حاصل ہوتا ہے۔ چونکہ $V_{CE} < V_{CE}$ غیرافائدہ کا ہی اور V_{CE} ہے لہذا ٹرانزسٹر افراہنده حال ہے اور درست جواب ہے۔

مثال 3.11: شکل 3.15 میں

$$V_{CC} = 12 \text{ V}$$

$$V_{BB} = 1.2 \text{ V}$$

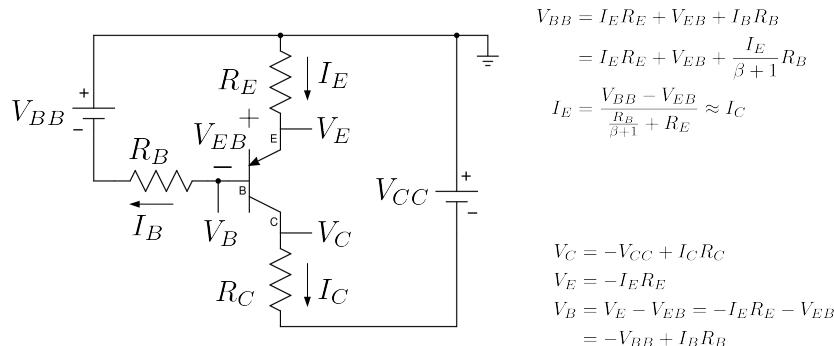
$$R_C = 4.7 \text{ k}\Omega$$

$$R_E = 1.2 \text{ k}\Omega$$

$$R_B = 2.8 \text{ k}\Omega$$

$$\beta = 27$$

ہونے کی صورت میں I_C اور V_{EC} حاصل کریں۔



شکل 3.15

حل: بیس جانب

$$\begin{aligned}
 V_{BB} &= I_E R_E + V_{EB} + I_B R_B \\
 &= I_E R_E + V_{EB} + \left(\frac{I_E}{\beta+1} \right) R_B \\
 &= V_{EB} + \left(R_E + \frac{R_B}{\beta+1} \right) I_E
 \end{aligned}$$

سے

$$\begin{aligned}
 I_E &= \frac{V_{BB} - V_{EB}}{R_E + \frac{R_B}{\beta+1}} \\
 &= \frac{1.2 - 0.7}{1200 + \frac{2800}{27+1}} \\
 &= 0.385 \text{ mA}
 \end{aligned}$$

حاصل ہوتا ہے۔ اسی طرح ہم لکھ سکتے ہیں۔

$$\begin{aligned}
 V_{CC} &= I_E R_E + V_{EC} + I_C R_C \\
 &\approx V_{EB} + I_C (R_E + R_C)
 \end{aligned}$$

جس سے

$$\begin{aligned} V_{EC} &= V_{CC} - I_C (R_E + R_C) \\ &= 12 - 0.385 \times 10^{-3} \times (1200 + 4700) \\ &= 9.73 \text{ V} \end{aligned}$$

حاصل ہوتا ہے۔ چونکہ حاصل V_{EC} کی قیمت 0.2 V سے زیادہ ہے لہذا ٹرانزسٹر افزائندہ ہی ہے اور یہی درست جوابات پین۔

ٹرانزسٹر کو افزائندہ حال رکھنے کی خاطر اس کسے بیس۔ ایمٹر جوڑ کو سیدھا مائل جبکہ اس کرے بیس۔ کلکٹر جوڑ کو غیر چالو رکھا جاتا ہے۔ اب تک دکھائیں گئے ادوار میں ایسا کرنے کی خاطر دو عدد پیدا کار برق دباؤ یعنی V_{BB} اور V_{CC} استعمال کئے گئے۔ ٹرانزسٹر کے دونوں جوڑوں کو صرف ایک عدد پیدا کار برق دباؤ کی مدد سے بھی درست مائل کیا جاسکتا ہے۔ اس عمل کو دیکھتے ہیں۔

شکل 3.16 الف میں داخلی جانب R_1 اور R_2 نصب کئے گئے ہیں۔ شکل 3.16 ب میں اسی دور کو قدر مختلف طرز پر بنایا گیا ہے جہاں داخلی جانب کے حصے کو نقطے دار لکیر سے گھیرا گیا ہے۔

مسئلہ ہون کے مطابق کسی بھی خطی دور کا مساوی ہونون دور حاصل کیا جا سکتا ہے جو ایک عدد ہون مزاحمت R_{th} اور ایک عدد ہون برق دباؤ V_{th} پر مشتمل ہوتا ہے۔

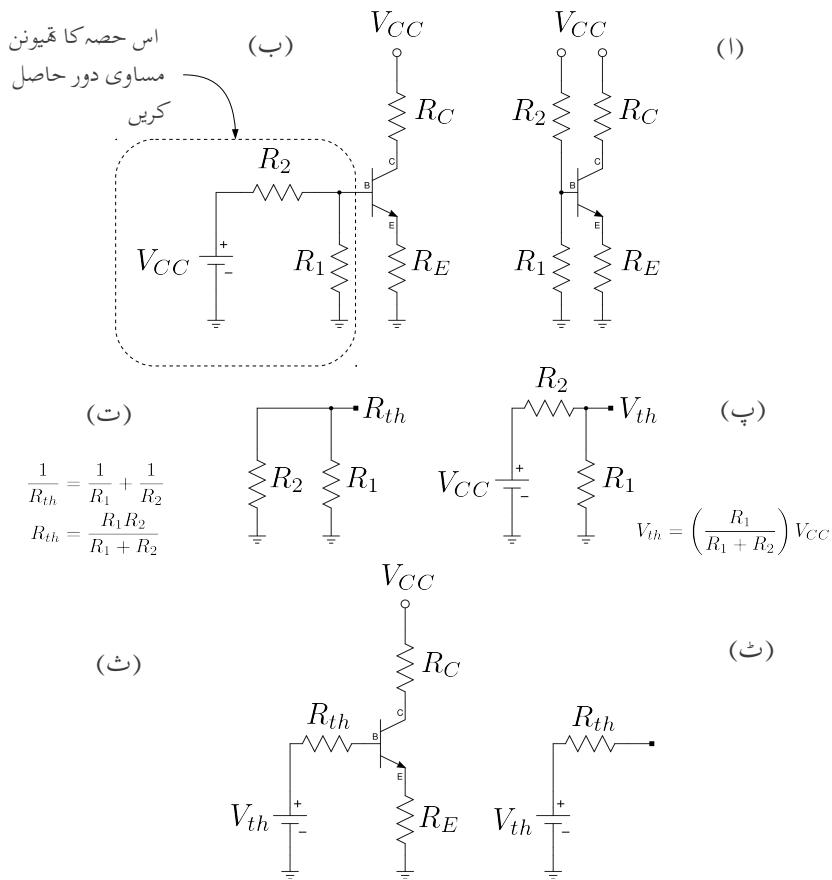
جن دو برق سروں پر ہون مساوی دور درکار ہو ان سروں کو آزاد یعنی کھلے سرے رکھ کر یہاں کا برق دباؤ حاصل کیا جاتا ہے۔ یہی ہون برق دباؤ V_{th} کھلاتا ہے۔ یہ عمل شکل 3.16 پ میں دکھایا گیا ہے۔ اسی طرح ہون مزاحمت R_{th} حاصل کرنے کی خاطر دور کے اندروں پیدا کار برق دباؤ کو قصر دور²⁰ کر کے انہیں دو سروں پر برق مزاحمت حاصل کی جاتی ہے۔ یہی ہون مزاحمت ہوتی ہے۔ یہ عمل شکل 3.16 ت میں دکھایا گیا ہے۔ یوں

$$\begin{aligned} V_{th} &= \frac{R_1 V_{CC}}{R_1 + R_2} \\ \frac{1}{R_{th}} &= \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \\ R_{th} &= \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \end{aligned} \tag{3.27}$$

یوں نقطے دار لکیر میں گھیرے حصے کا مساوی ہونون دور شکل 3.16 ث میں دکھایا گیا ہے۔ شکل 3.16 الف میں داخلی جانب اس مساوی ہونون دور کے استعمال سے شکل 3.16 ث حاصل ہوتا ہے جو کہ یوہو شکل 3.13 میں دکھایا دور ہے۔ فرق صرف اتنا ہے کہ V_{th} کو R_B اور R_B کو R_{th} لکھا گیا ہے۔

شکل 3 میں دکھائے دور کو بالکل شکل 3.13 میں دکھائے دور کی طرح حل کیا جاتا ہے۔ آئیں اس کی ایک مثال دیکھیں۔

²⁰ اندروں پیدا کار برقی رو کو کھلے سرے کیا جاتا ہے



شکل 3.16: ایک عدد پیدا کار برقی دباؤ کی مدد سے ٹرانزسٹر کا مائل کرنا

مثال 3.12: شکل 3.16 الف میں

$$V_{CC} = 12 \text{ V}$$

$$R_C = 5.6 \text{ k}\Omega$$

$$R_E = 820 \Omega$$

$$R_1 = 8.9 \text{ k}\Omega$$

$$R_2 = 99 \text{ k}\Omega$$

$$\beta = 100$$

بین۔ ٹرانزسٹر کی برقی رو I_C اور اس پر برق دباؤ V_{CE} حاصل کریں۔
حل: اس طرح کے ادوار حل کرنے کا طریقہ شکل 3.16 میں قدم بقدم دکھایا گیا ہے۔ مساوات 3.27 کی مدد سے

$$V_{th} = \frac{12 \times 8900}{8900 + 99000} = 0.9898 \text{ V}$$

$$R_{th} = \frac{8900 \times 99000}{8900 + 99000} = 8166 \Omega$$

ان مساوی ہونن مقداروں کو استعمال کرتے ہوئے شکل 3.17 میں مساوی دور دکھایا گیا ہے جس سے حل کر کرے $I_C = 0.3214 \text{ mA}$ اور $V_{CE} = 9.9366 \text{ V}$ حاصل ہوتے ہیں۔ چونکہ حاصل کردہ V_{CE} کی قیمت غیر افراہی V_{CE} سے زیادہ ہے لہذا ٹرانزسٹر افزائندہ حال ہے اور یوں حاصل کردہ جوابات درست ہیں۔

مثال 3.13: شکل 3.18 الف میں

$$V_{CC} = 20 \text{ V}, \quad R_C = 10 \text{ k}\Omega, \quad R_B = 200 \text{ k}\Omega$$

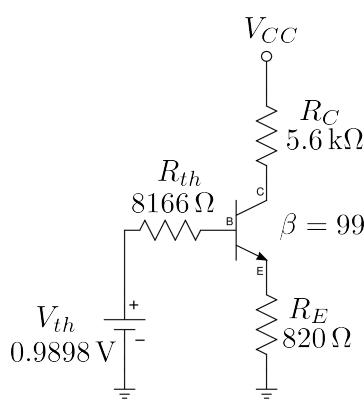
$$R_E = 100 \Omega, \quad \beta = 99$$

بین۔ نقطہ کار کردگی حاصل کریں۔
حل: ٹرانزسٹر کے کلکٹر پر کرچاف کے قانون برائے برق رو کی مدد سے

$$I_{RC} = I_B + I_C$$

لکھا جا سکتا ہے۔ چونکہ $I_{RC} = I_E$ ہوتا ہے لہذا $I_B + I_C = I_E$ ہو گا۔ یوں کرچاف کے قانون برائے برق دباؤ کے استعمال سے

$$V_{CC} = I_E R_C + I_B R_B + V_{BE} + I_E R_E$$



$$\begin{aligned}
 V_{th} &= I_B R_{th} + V_{BE} + (I_B + I_C) R_E \\
 &= \frac{I_E}{\beta+1} R_{th} + V_{BE} + I_E R_E \\
 I_E &= \frac{V_{th} - V_{BE}}{\frac{R_{th}}{\beta+1} + R_E} \\
 &= \frac{0.9898 - 0.7}{\frac{8166}{99+1} + 820} = 0.3214 \text{ mA}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{CC} &= I_C R_C + V_{CE} + (I_B + I_C) R_E \\
 &= I_C R_C + V_{CE} + I_E R_E \\
 &\approx I_C R_C + V_{CE} + I_C R_E \\
 V_{CE} &\approx V_{CC} - I_C (R_C + R_E) \\
 &= 12 - 0.3214 \times 10^{-3} \times (5600 + 820) \\
 &= 9.9366 \text{ V}
 \end{aligned}$$

شکل 3.17: مسئلہ تھون کی مدد سے دور حل کرنے کا عمل

لکھ کر $i_B = \frac{I_E}{\beta+1}$ پر کرتے حاصل ہوتا ہے

$$I_E = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_C + \frac{R_E}{\beta+1} + R_E}$$

ڈئے گئے قیمتیں پر کرتے ہوئے

$$\begin{aligned}
 I_E &= \frac{20 - 0.7}{10000 + \frac{200000}{99+1} + 100} \\
 &= 641 \mu\text{A}
 \end{aligned}$$

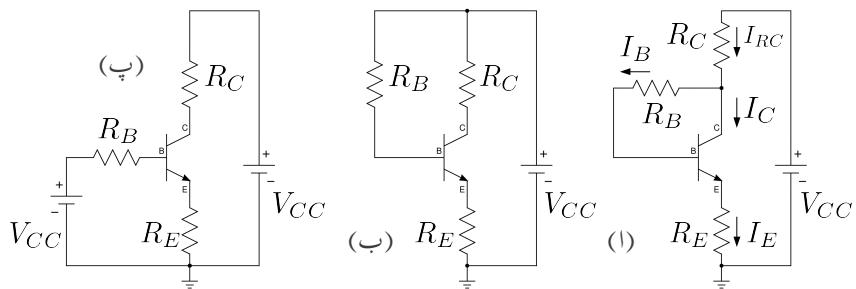
حاصل ہوتا ہے۔ کچاف کے قانون برائے برق دباؤ کو خارجی جانب یوں لکھا جا سکتا ہے

$$V_{CC} = I_E R_C + V_{CE} + I_E R_E$$

جس سے

$$\begin{aligned}
 V_{CE} &= V_{CC} - I_E (R_C + R_E) \\
 &= 20 - 641 \times 10^{-6} \times (10000 + 100) \\
 &= 13.5 \text{ V}
 \end{aligned}$$

حاصل ہوتا ہے۔



شکل 3.18: ایک پیدا کار برقی دباؤ کے استعمال سے نقطہ کارکردگی کے دیگر اشکال

مثال 3.18: شکل 3.18 ب میں

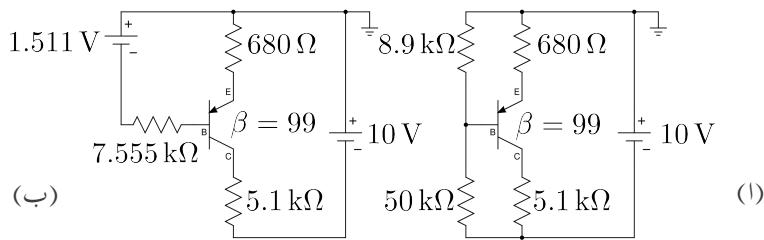
$$V_{CC} = 20 \text{ V}, \quad R_C = 1 \text{ k}\Omega, \quad R_B = 600 \text{ k}\Omega \\ R_E = 1 \text{ k}\Omega, \quad \beta = 99$$

بین۔ نقطہ کارکردگی حاصل کریں۔
 حل: شکل پ میں اسی کو دوبارہ بنایا گیا ہے جہاں داخلی اور خارجی جانب بالکل علیحدہ واضح
 نظر آتے ہیں۔ داخلی جانب کرچاف کے قانون برائے برق دباؤ سے

$$\begin{aligned} V_{CC} &= I_B R_B + V_{BE} + I_E R_E \\ &= \frac{I_E}{\beta + 1} R_B + V_{BE} + I_E R_E \\ &= V_{BE} + I_E \left(\frac{R_B}{\beta + 1} + R_E \right) \end{aligned}$$

لکھا جا سکتا ہے جس میں دی گئی قیمتیں پر کرنے سے

$$\begin{aligned} I_E &= \frac{V_{CC} - V_{BE}}{\frac{R_B}{\beta + 1} + R_E} \\ &= \frac{20 - 0.7}{\frac{500000}{99 + 1} + 1000} \\ &= 3.21 \text{ mA} \end{aligned}$$



شکل 3.19

حاصل ہوتا ہے۔ اسی طرح خارجی جانب

$$V_{CC} = I_C R_C + V_{CE} + I_E R_E$$

میں $I_C \approx I_E$ لیتے ہوئے

$$\begin{aligned} V_{CE} &= V_{CC} - I_C (R_C + R_E) \\ &= 20 - 3.21 \times 10^{-3} (1000 + 1000) \\ &= 13.58 \text{ V} \end{aligned}$$

حاصل ہوتا ہے۔

مثال 3.15: شکل 3.19 میں I_C اور V_{EC} حاصل کریں۔
حل: مسئلہ ٹکونن کی مدد سے شکل 3.19 ب حاصل ہوتا ہے جس میں

$$V_{th} = \frac{-10 \times 8900}{8900 + 50000} = -1.511 \text{ V}$$

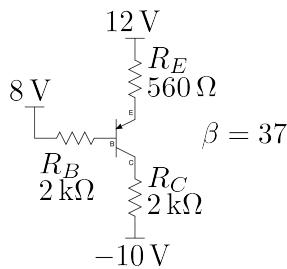
$$R_{th} = \frac{8900 \times 50000}{8900 + 50000} = 7.555 \text{ k}\Omega$$

ہیں۔ یوں شکل ب سے

$$\begin{aligned} 1.511 &= 680 \times I_E + 0.7 + 7555 \times I_B \\ &= 680 \times I_E + 0.7 + 7555 \times \frac{I_E}{99 + 1} \end{aligned}$$

لکھتے ہوئے

$$I_C \approx I_E = 1.07 \text{ mA}$$



شکل 3.20

حاصل ہوتا ہے۔ اسی طرح شکل ب سے ہی

$$\begin{aligned} 10 &\approx I_C (680 + 5100) + V_{EC} \\ &= 1.07 \times 10^{-3} \times (680 + 5100) + V_{EC} \end{aligned}$$

یعنی

$$V_{EC} = 3.81 \text{ V}$$

حاصل ہوتا ہے۔ چونکہ حاصل V_{EC} کی قیمت 0.2 V سے زیادہ ہے لہذا ٹرانزسٹر افزائندہ ہی ہے اور یہی درست جوابات پیں۔

مثال 3.16: شکل 3.20 میں ٹرانزسٹر کے تینوں سروں پر برقی دباؤ حاصل کریں۔
حل: بیس جانب کرچاف کے قانون برائے برقی دباؤ سے

$$12 - 8 = I_B R_B + V_{EB} + I_E R_E$$

لکھا جا سکتا ہے جس میں $I_B = \frac{I_E}{\beta + 1}$ پر کرنے پیں۔

$$4 = \frac{I_E}{37 + 1} \times 2000 + 0.7 + I_E \times 560$$

$$I_E = 5.39 \text{ mA}$$

حاصل ہوتا ہے۔ یوں

$$V_E = 12 - I_E R_E = 12 - 5.39 \times 10^{-3} \times 560 = 8.98 \text{ V}$$

$$V_B = V_E - V_{EB} = 8.98 - 0.7 = 8.28 \text{ V}$$

$$V_C = -10 + I_C R_C \approx -10 + 5.39 \times 10^{-3} \times 2000 = 0.78 \text{ V}$$

حاصل ہوتے ہیں۔

مثال 3.17: مثال 3.12 کے تمام مزاحمت میں برقی طاقت کا ضیاع حاصل کریں۔ ٹرانزسٹر کے دونوں جوڑ پر بھی طاقت کا ضیاع حاصل کریں۔

حل: مزاحمت $R_E = 0.3214 \text{ mA}$ میں برق رو سے اس میں برقی طاقت کا ضیاع $I_E^2 R_E$ یعنی $84.7 \mu\text{W}$ ہے۔ اسی طرح $I_C = I_E$ لیتے ہوئے R_C میں $578 \mu\text{W}$ حاصل ہوتا ہے۔ ٹرانزسٹر کے ایمٹر سرے پر برقی دباؤ V_E کی قیمت $I_E R_E = 0.26 \text{ V}$ اور یوں اس کے بیس سرے پر $0.26 + 0.7 = 0.96 \text{ V}$ ہو گا۔ یوں R_1 میں طاقت کا ضیاع $\frac{0.96 \times 0.96}{8900} = 0.04 \mu\text{W}$ یعنی $104 \mu\text{W}$ جبکہ R_2 میں $\frac{(12 - 0.96)^2}{99000} = 1.23 \text{ mW}$ یعنی 1.23 mW ہو گا۔

ٹرانزسٹر کے کلکٹر پر $10.2 \text{ V} - 0.3214 \times 5.6 = 9.26 \text{ V}$ ہے لہذا اس کا بیس۔ کلکٹر جوڑ $V_C = 12 - 0.3214 \times 0.96 = 9.26 \text{ V}$ ہے۔ اس المائیل ہے۔ اس جوڑ پر طاقت کا ضیاع $9.26 \times 0.3214 = 2.98 \text{ mW}$ ہو گا۔ بیس۔ کلکٹر جوڑ سے I_C گرفتا ہے جسے I_E کے برابر ہی لیا گیا ہے۔ بیس۔ ایمٹر جوڑ پر برقی دباؤ 0.7 V لیتے ہوئے اس جوڑ پر طاقت کا ضیاع $0.7 \times 0.3214 = 0.22 \text{ mW}$ ہو گا۔

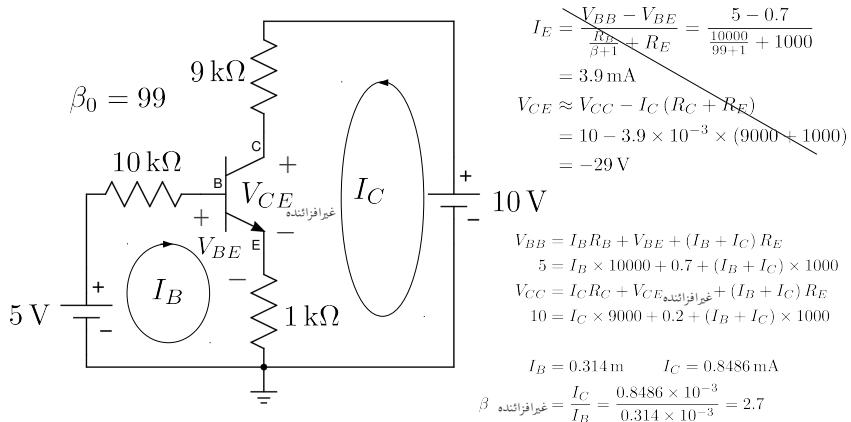
مندرجہ بالا مثال سے یہ حقیقت سامنے آتی ہے کہ عمومی استعمال میں طاقت کے ضیاع کا بیشتر حصہ بیس۔ کلکٹر جوڑ پر پایا جاتا ہے۔ کم طاقت کے ٹرانزسٹر عموماً پلاسٹک ڈبیا میں بند مہباکٹے جاتے ہیں۔ پلاسٹک ڈبیا سے ٹرانزسٹر کے تینوں سرے باہر نکلے پائے جاتے ہیں۔ زیادہ طاقت کے ٹرانزسٹر کو عموماً دھاتی ڈبے میں بند مہباکیا کیا جاتا ہے۔ ایسے ٹرانزسٹر کے بیس۔ کلکٹر جوڑ کو ٹھنڈا رکھنے کی خاطر کلکٹر کو دھاتی ڈبے کے ساتھ جوڑا جاتا ہے۔ جوڑ سے دھات میں گرمی کے منتقلی سے جوڑ ٹھنڈا ہوتا ہے۔ ہوا لگنے سے دھاتی ڈب ٹھنڈا رہتا ہے۔ اگر ضرورت درپیش آئے تو دھاتی ڈبے کو ازخود زیادہ بڑی جسامت کے سروکار²¹ کے ساتھ جوڑا جاتا ہے جس سے گرمی کی منتقلی مزید بڑھ جاتی ہے۔

جب بھی کوئی دور بنایا جائے، اس میں استعمال تمام اجزاء میں طاقت کا ضیاع حاصل کیا جاتا ہے۔ اگر کسی پر زمیں میں طاقت کا ضیاع اس پر زمیں کی برداشت حد سے تجاوز کر جائے تو ایسا پر زمہ جل کر تباہ ہو جائے گا۔ ایسی صورت سے پچنے کی خاطر یا تو ڈیزائن کو تبدیل کیا جائے گا اور یا ہر زیادہ برداشت والا پر زمہ استعمال کیا جائے گا۔

3.5.2 غیر افراہنده ٹرانزسٹر کے دور کا حل

شکل 3.21 میں دکھائے دور میں اگر ٹرانزسٹر کو افراہنده حال تصور کرتے ہوئے حل کیا جائے تو V_{CE} کی قیمت منفی انتیس وولٹ -29 V حاصل ہوئی ہے جو کہ غیر افراہنده V_{CE} سے کم ہے۔ یوں ٹرانزسٹر کو افراہنده تصور کرنا درست نہیں اور اس جواب کو رد کرنا ہو گا۔ شکل میں اس جواب پر ترجمہ لکھ لگا کر رد کیا گیا ہے۔

heat sink²¹



شکل 3.21: غیر افزائندہ مائل ٹرانزسٹر کا حل

ٹرانزسٹر ادوار حل کرتے ہوئے اسی طرح ہمیں ٹرانزسٹر کو افزائندہ حال تصور کرتے ہوئے دور کو حل کیا جاتا ہے۔ اگر حاصل V_{CE} کی قیمت غیر افزائندہ حال V_{CE} سے زیاد یا اس کے برابر ہو تو جوابات کو درست تسلیم کر لیا جاتا ہے ورنہ ان جوابات کو رد کرتے ہوئے، ٹرانزسٹر کو غیر افزائندہ تصور کر کر دور کو دوبارہ حل کیا جاتا ہے۔

غیر افزائندہ ٹرانزسٹر پر پائے جانے والے برقی دباؤ V_{CE} کی قیمت غیر افزائندہ V_{CE} یعنی 0.2 V ہوئی ہے۔ مزید یہ کہ مساوات 3.7 اور مساوات 3.8 وغیرہ صرف افزائندہ حال ٹرانزسٹر کے لئے بیان کئے گئے۔ ان حقائق کو مد نظر رکھتے ہوئے غیر افزائندہ ٹرانزسٹر کے ادوار حل کرتے ہوئے β_0 کو زیر استعمال نہیں لایا جاتا۔ دور کو بالکل ایک سادہ برقی دور کے طرز پر حل کیا جاتا ہے جہاں $V_{BE} = 0.7 \text{ V}$ اور $V_{CE} = 0.2 \text{ V}$ لیا جاتا ہے۔ شکل 3.21 میں دور کے حل کرنے کا درست طریقہ دکھایا گیا ہے جہاں $I_B = 0.314 \text{ mA}$ اور $I_C = 0.8486 \text{ mA}$ حاصل کیا گیا ہے۔ ان قیمتیوں سے غیر افزائندہ ٹرانزسٹر کی افزائش $\beta = 2.7$ حاصل کی گئی ہے جو کہ اس کے دئے گئے افزائش $\beta_0 = 99$ سے نہایت کم ہے۔

اگر دور حل کرنے سے پہلے ہی غیر افزائندہ β معلوم ہو تو اسے بالکل افزائندہ حال کی طرح حل کیا جا سکتا ہے۔ قوی برقیات کے میدان میں ٹرانزسٹر بطور برقیاتی سوچیج استعمال کیا جاتا ہے جہاں اسے فی سیکنڈ کی مرتبہ غیر افزائندہ اور منقطع کیا جاتا ہے۔ افزائندہ صورت میں یہ چالو سوچیج اور منقطع صورت میں منقطع سوچیج کا کردار ادا کرتا ہے۔ تخلیق کار قبل از تخلیق فیصلہ کرتا ہے کہ ٹرانزسٹر کو کس حد تک غیر افزائندہ کیا جائے گا۔

مثال 3.18: شکل 3.21 میں

$$V_{CC} = 10 \text{ V}$$

$$R_C = 9 \text{ k}\Omega$$

$$R_B = 10 \text{ k}\Omega$$

$$R_E = 1 \text{ k}\Omega$$

$$\beta_0 = 99$$

ہی رکھتے ہوئے V_{BB} کی وہ قیمت دریافت کریں جہاں ٹرانزسٹر افزائندہ حال سے نکل کر غیر افزائندہ صورت اختیار کر لینا ہے۔ حل: جس لمحہ ٹرانزسٹر افزائندہ سے غیر افزائندہ صورتِ حال اختیار کرتا ہے اس وقت دور حل کرنے کی خاطر اس کی عمومی افزائش β_0 قابل استعمال ہوئی ہے یعنی مساوات 3.8 اور مساوات 3.9 قابل استعمال ہیں۔ مزید یہ کہ اس لمحہ پر $V_{CE} = 0.2 \text{ V}$ ہی ہو گا لہذا ہم لکھ سکتے ہیں کہ

$$\alpha = \frac{\beta_0}{\beta_0 + 1} = \frac{99}{99 + 1} = 0.99$$

$$\begin{aligned} V_{BB} &= I_B R_B + V_{BE} + (I_B + I_C) R_E \\ &= V_{BE} + I_E \left(\frac{R_B}{\beta_0 + 1} + R_E \right) \\ &= 0.7 + I_E \times 1100 \\ V_{CC} &= I_C R_C + V_{CE} + (I_B + I_C) R_E \\ &= V_{CE} + I_E (\alpha R_C + R_E) \\ &= 0.2 + I_E \times 99100 \end{aligned}$$

نچلی مساوات میں چونکہ $I_E = 0.9889 \text{ mA}$ ہے لہذا اس سے $V_{CC} = 10 \text{ V}$ حاصل ہوتا ہے جس سے استعمال کرتے ہوئے دوسری مساوات سے $V_{BB} = 1.78779 \text{ V}$ حاصل ہوتا ہے۔

مثال 3.19: شکل 3.21 میں

$$V_{CC} = 10 \text{ V}$$

$$V_{BB} = 5 \text{ V}$$

$$R_C = 9 \text{ k}\Omega$$

$$R_E = 1 \text{ k}\Omega$$

$$\beta_0 = 90$$

رکھتے ہوئے R_B کی وہ قیمت دریافت کریں جس سے ٹرانزسٹر اس حد تک غیر افزائندہ صورت اختیار کر لے گا کہ اس کی $\beta = 30$ غیر افزائندہ β ہو۔ اس کو یوں بھی بیان کیا جاتا ہے کہ ٹرانزسٹر کو تین گنا غیر افزائندہ کریں یعنی غیر افزائندہ β کی قیمت β_0 سے تین گنا کم ہو۔ حل: یہاں غیر افزائندہ β کی قیمت دی گئی ہے جس سے استعمال کیا جا سکتا ہے۔ یوں

$$\alpha = \frac{30}{31} = 0.9677$$

$$V_{CC} = I_C R_C + V_{CE} + I_E R_E$$

$$V_{CC} = \alpha I_E R_C + V_{CE} + I_E R_E$$

$$10 = 0.2 + 9709 \times I_E$$

$$I_E = 1.009 \text{ mA}$$

اسے استعمال کرتے ہوئے

$$V_{BB} = I_B R_B + V_{BE} + I_E R_E$$

$$V_{BB} = V_{BE} + I_E \left(\frac{R_B}{\beta_{\text{غیر افزائندہ}} + 1} + R_E \right)$$

$$5 = 0.7 + 1.009 \times 10^{-3} \times \left(\frac{R_B}{30 + 1} + 1000 \right)$$

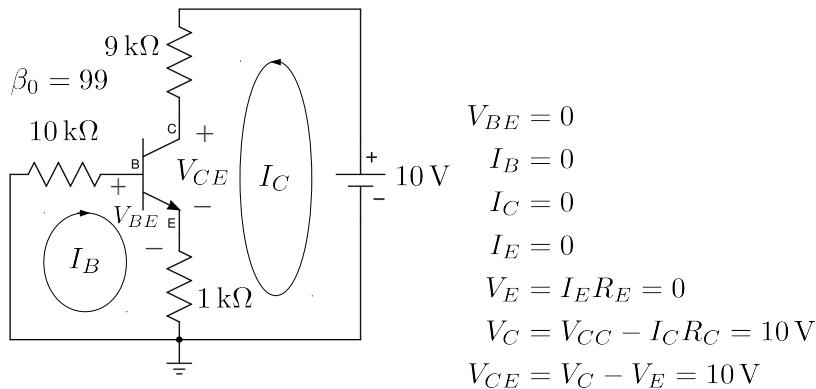
$$R_B = 101.111 \text{ k}\Omega$$

حاصل ہوتا ہے۔

3.5.3 منقطع ٹرانزسٹر کے دور کا حل

جدول کے تحت بیس۔ ایٹر جوڑ کو غیر۔ چالو کرنے سے ٹرانزسٹر منقطع صورت اختیار کر لیتا ہے۔ حقیقت میں ٹرانزسٹر کو منقطع کرنے کی خاطر اس کے بیس۔ ایٹر جوڑ کو عموماً اللہ مائل کیا جاتا ہے۔ ایسا کرتے وقت اس بات کا دھیان رکھا جاتا ہے کہ اللہ برق دباؤ اس جوڑ کے قابل برداشت اللہ برق دباؤ کی حد سے تجاوز نہ کر جائے۔ عموماً اللہ برق دباؤ کی قیمت چند ولٹ ہی ہوئی ہے۔

منقطع ٹرانزسٹر بالکل ایک منقطع برق سوئچ کی طرح عمل کرتا ہے یعنی اس میں سے کوئی برق رو نہیں گزرے۔ عموماً یہ صورت، دور کو دیکھتے ہی واضح ہو جاتی ہے جیسے شکل 3.22 میں ہے۔ اس شکل میں داخلی جانب کوئی برق دباؤ نہیں کیا گیا۔ یوں ٹرانزسٹر کا بیس۔ ایٹر جوڑ غیر چالو ہو گا۔ لہذا داخلی جانب برق رو I_B کی قیمت صفر ہو گی۔ I_B صفر ہونے کی وجہ سے ٹرانزسٹر کے باقی دو سروں پر بھی برق رو کی قیمت صفر ہو گی۔ جیسا شکل میں حل کر کے ذکر یا گیا اس صورت میں $V_{CE} = V_{CC}$ ہو گا۔



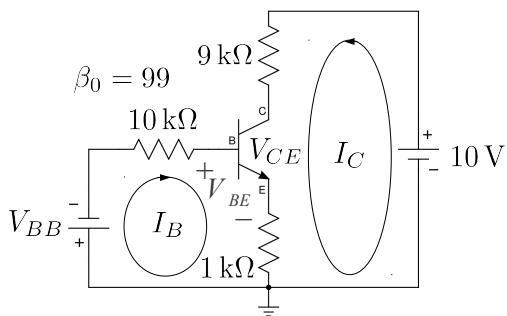
شکل 3.22: منقطع حال ٹرانزسٹر-بیس-ایمپل جوڑ سیدھا مائل نہیں ہے

مثال 3.20: شکل 3.23 میں داخلی جوڑ الٹا مائل ہے اور یوں ٹرانزسٹر منقطع ہو گا۔ اگرچہ اس دور کو دیکھتے ہی آپ کہہ سکتے ہیں کہ یہ منقطع ہے، ہم پھر بھی اسے حل کر کر دیکھتے ہیں۔ ایسا کرتے ہوئے تصور کریں کہ ٹرانزسٹر افرائندہ حال ہے۔ یوں آپ $V_{BE} = 0.7\text{ V}$ لین گے۔

$$\begin{aligned}
 V_{BB} &= V_{BE} + I_B R_B + I_E R_E \\
 I_E &= \frac{V_{BB} - V_{BE}}{\frac{R_B}{\beta+1} + R_E} \\
 &= \frac{-3 - 0.7}{\frac{10000}{100} + 1000} \\
 &= -3.36\text{ mA}
 \end{aligned}$$

اس ناممکن جواب کو رد کیا جاتا ہے

یہاں دھیان رہیں کہ $V_{BB} = -3\text{ V}$ ہے۔ حاصل جواب منفی ہونے کا مطلب ہے کہ برقی روکی سمت عمومی سمت کے الٹ ہے۔ جب بھی ٹرانزسٹر میں الٹی جانب یک سمتی برقی رو پیدا کرنے کی کوشش کی جائے یہ منقطع صورت اختیار کر لیتا ہے لہذا اس جواب کو رد کرتے ہوئے ٹرانزسٹر کو منقطع تصور کیا جائے گا اور اس کے تمام سروں پر برقی روکی قیمت صفر تصور کی جائے گی۔ یوں $V_{CE} = 10\text{ V}$ ہو گا۔



داخلی جانب مہیا کردہ برق دباؤ
قابل-خارج جوڑ کو الٹا مائل کرتا ہے۔
لہذا اس جوڑ سے برق رو نہیں
گزرے گا۔ یوں داخلی برق رو صفر
ہو گی جس کی وجہ سے خارجی
برق رو بکی صفر ہو گی۔

شکل 3.23: الٹا مائل داخلی جوڑ

3.6 ڈارلنگٹن جوڑی

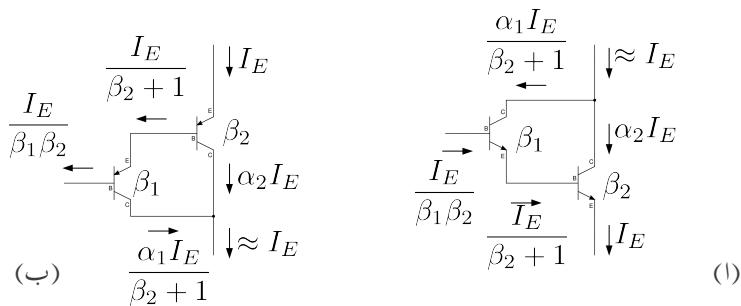
شکل 3.24 3 الف میں دو عدد npn ٹرانزسٹر کو مخصوص طرز پر جوڑا گیا ہے جس سے npn ڈارلنگٹن جوڑی²² یا ڈارلنگٹن ٹرانزسٹر²³ کہتے ہیں۔ شکل ب میں ڈارلنگٹن جوڑی دکھائی گئی ہے۔

شکل الف میں اگر Q_2 کے ایمٹر پر I_E برق رو پایا جائے تو اس کے کلکٹر پر $\alpha_2 I_E$ اور اس کے بیس پر $\frac{I_E}{\beta_2 + 1}$ برق رو پایا جائے گا۔ Q_2 کے بیس پر برق رو Q_1 کے ایمٹر پر برق رو ہی ہے لہذا Q_1 کے ایمٹر پر $\frac{I_E}{\beta_2 + 1}$ ہی پایا جائے گا۔ یوں Q_1 کے کلکٹر پر $\frac{I_E}{\alpha_1 \beta_2 + 1}$ اور اس کے بیس پر $\frac{I_E}{(\beta_1 + 1)(\beta_2 + 1)}$ پایا جائے گا جو نقریباً $\frac{I_E}{\beta_1 \beta_2}$ کے برابر ہے۔ یہ تمام شکل پر بھی دکھائے گئے ہیں۔ یوں اس جوڑی کو از خود ٹرانزسٹر تصور کیا جا سکتا ہے جس کی افراش $\beta_1 \beta_2$ کے برابر ہے۔ اسی طرز پر تین ٹرانزسٹر جوڑ کر $\beta_1 \beta_2 \beta_3$ حاصل ہو گا۔ یقیناً زیادہ ٹرانزسٹر جوڑ کر زیادہ β حاصل کرنا ممکن ہے۔

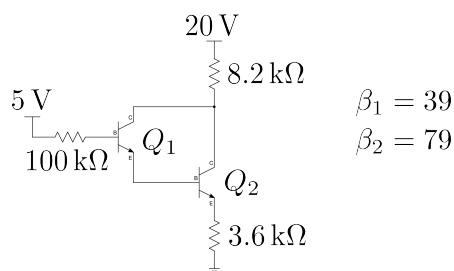
مثال 3.25: شکل 3.21 کو حل کریں۔
حل: بیس جانب کرچاف کرے قانون برائے برق دباؤ سے

$$5 = I_{B1} \times 100000 + V_{BE1} + V_{BE2} + I_{E2} \times 3600$$

²² جناب سُنْتی ڈارلنگٹن نے اس شکل کو دریافت کیا。
²³ npn darlington pair



شکل 3.24: ڈارلینگٹن جوڑیاں



شکل 3.25: ڈارلینگٹن جوڑی کا دور

لکھا جا سکتا ہے۔ اس میں $I_{B1} \approx \frac{I_{E2}}{\beta_1 \beta_2}$ اور $V_{BE} = 0.7\text{V}$

$$5 = \frac{I_{E2}}{39 \times 79} \times 100000 + 0.7 + 0.7 + I_{E2} \times 3600$$

$$I_{E2} = 0.917\text{ mA}$$

حاصل ہوتا ہے۔ یوں

$$V_{E2} = I_{E2} R_E 2 = 0.917 \times 10^{-3} \times 3600 = 3.3\text{V}$$

$$V_{B2} = V_{E2} + V_{BE2} = 3.3 + 0.7 = 4\text{V}$$

$$V_{B1} = V_{E1} + V_{BE1} = V_{B2} + V_{BE1} = 4.7\text{V}$$

$$V_{C2} \approx 20 - 0.917 \times 10^{-3} \times 8200 = 12.48\text{V}$$

اور

$$I_{B2} = I_{E1} = \frac{I_{E2}}{\beta_2 + 1} = \frac{0.917 \times 10^{-3}}{79 + 1} = 11.5\text{ }\mu\text{A}$$

$$I_{B1} = \frac{I_{E1}}{\beta_1 + 1} = \frac{11.5 \times 10^{-6}}{39 + 1} = 288\text{ nA}$$

حاصل ہوتے ہیں۔

3.7 تعین نقطے سے نقطہ کارکردگی کا انحراف

3.7.1 تبدیلی β سے لاحق مسائل استوارنے کا شرط

مثال 3.1 سے ظاہر ہے کہ α کی قیمت میں ذرا سی تبدیلی سے β کی قیمت میں نمایاں تبدیلی پیدا ہوتی ہے۔ ٹرانزسٹر بنانے والوں کی کوشش ہوتی ہے کہ ان کے کسی ایک قسم کے تمام ٹرانزسٹروں کے β کی قیمت یکسان ہو۔ ان کے تمام تر کوششوں کے باوجود ایسا ممکن نہ ہو سکا ہے اور کسی بھی ایک قسم کے ٹرانزسٹروں کے عوامی β_0 کی قیمت دو حدود کے مابین رہتی ہے یعنی

$$(3.28) \quad \beta_{\text{منظر}} \approx 3 \times \beta_{\text{بلندتر}}$$

مزید یہ کہ $\beta_{\text{منظر}}$ کی قیمت $\beta_{\text{بلندتر}}$ کے تقریباً تین گناہوں سے بھی کم ہے یعنی

$$(3.29) \quad \beta_{\text{منظر}} = 3 \times \beta_{\text{بلندتر}}$$

آئیں ایک مثال کی مدد سے دیکھیں کہ اس سے کس قسم کا مسئلہ پیدا ہو سکتا ہے۔

مثال 3.22: تصور کریں کہ شکل 3.13 میں

$$\begin{aligned}V_{CC} &= 12 \text{ V} \\V_{BB} &= 2.7 \text{ V} \\R_C &= 10 \text{ k}\Omega \\R_E &= 1 \text{ k}\Omega \\R_B &= 100 \text{ k}\Omega\end{aligned}$$

بیں۔ مزید یہ کہ اس دور میں استعمال کئے جانے والے ٹرانزسٹر کے عمومی افراش برق رو β_0 کی قیمت ایک سو ہے (یعنی $\beta_0 = 100$)۔

1. اس صورت میں عمومی نقطہ کارکردگی پر برق رو I_{CQ} اور برق دباو V_{CQ} حاصل کریں۔

2. کمتر β اور بلندتر β پر بھی I_C اور V_{CE} کی قیمتیں حاصل کریں۔

حل:

1. مساوات 3.22 اور مساوات 3.23 کی مدد سے عمومی برق رو اور عمومی برق دباو حاصل کرتے بیں

$$\begin{aligned}I_{EQ} \approx I_{CQ} &\approx \frac{V_{BB} - V_{BE}}{\frac{R_B}{\beta_0 + 1} + R_E} \\&= \frac{2.7 - 0.7}{\frac{100000}{100 + 1} + 1000} \\&= 1.004975 \text{ mA} \\V_{CEQ} \approx V_{CC} - I_{CQ} (R_C + R_E) &= 12 - 1.004975 \times 10^{-3} \times (9000 + 1000) \\&= 1.95 \text{ V}\end{aligned}$$

چونکہ حاصل کردہ V_{CE} کی قیمت غیر افادہ سے زیادہ ہے لہذا ٹرانزستر افزائندہ حال ہے اور یوں حاصل کردہ جوابات درست ہیں۔

2. آپ دیکھ سکتے ہیں کہ $50 = \text{کمتر } \beta$ اور $150 = \text{بلندتر } \beta$ کے برابر ہیں چونکہ ان دو حدود کے مابین عمومی قیمت 100 ہے یعنی

$$\beta_0 = \frac{\beta_{\text{بلندتر}} + \beta_{\text{کمتر}}}{2} = \frac{150 + 50}{2} = 100$$

اور آپ دیکھ سکتے ہیں کہ $\text{کمتر } \beta \approx \text{بلندتر } \beta$ بھی ہے۔

کمتر β کی قیمت استعمال کرتے ہوئے حاصل ہوتا ہے

$$\begin{aligned} I_{EQ} \approx I_{CQ} &= \frac{V_{BB} - V_{BE}}{\frac{R_B}{\beta_{کمتر}} + R_E} \\ &= \frac{2.7 - 0.7}{\frac{100000}{50+1} + 1000} \\ &= 0.6755 \text{ mA} \end{aligned}$$

یہ قیمت عمومی قیمت سے 32.78 % کم ہے یعنی

$$\frac{1.004975 - 0.6755}{1.004975} \times 100 = 32.78 \%$$

اور

$$\begin{aligned} V_{CEQ} &\approx V_{CC} - I_{CQ} (R_C + R_E) \\ &= 12 - 0.6755 \times 10^{-3} \times (9000 + 1000) \\ &= 5.245 \text{ V} \end{aligned}$$

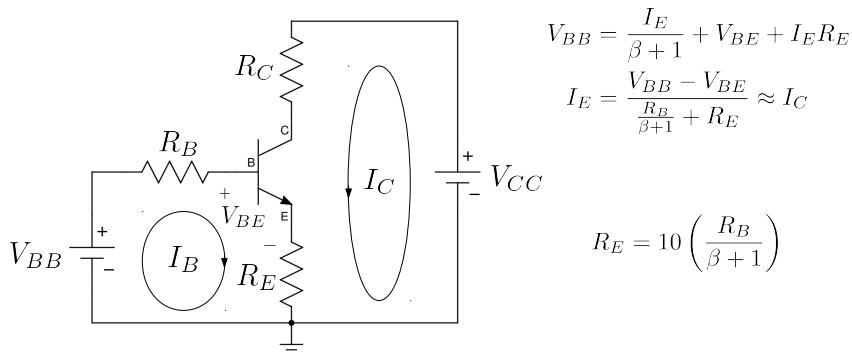
آپ دیکھ سکتے ہیں کہ کمتر β استعمال کرتے ہوئے جوابات تبدیل ہو گئے ہیں۔ حاصل کردہ V_{CE} کی قیمت غیر افزائندہ سے زیادہ ہے لہذا ٹرانزسٹر اب ہی افزائندہ حال ہو گا۔ β بلندتر کی قیمت استعمال کرتے ہوئے حاصل ہوتا ہے۔

$$\begin{aligned} I_{EQ} \approx I_{CQ} &= \frac{V_{BB} - V_{BE}}{\frac{R_B}{\beta_{بلندتر}} + R_E} \\ &= \frac{2.7 - 0.7}{\frac{100000}{150+1} + 1000} \\ &= 1.2032 \text{ mA} \end{aligned}$$

اور

$$\begin{aligned} V_{CE} &\approx V_{CC} - I_{CQ} (R_C + R_E) \\ &= 12 - 1.203 \times 10^{-3} \times (9000 + 1000) \\ &= 0.032 \text{ V} \quad \text{اس ناممکن جواب کو رد کیا جاتا ہے} \\ &= 0.2 \text{ V} \quad \text{لہذا درست جواب ہے} \end{aligned}$$

چونکہ حاصل کردہ V_{CE} کی قیمت غیر افزائندہ سے کم ہے لہذا ٹرانزسٹر غیر افزائندہ حال ہو گا اور یہ بطور ایمپلیفیائر کام نہیں کرے گا۔

شکل 3.26: تبدیلی β سے لاحق مسئلہ استوارنے کا شرط

مثال 3.22 سے ایک اہم حقیقت سامنے آتی ہے۔ چونکہ ایک ہی قسم کے دو عدد ٹرانزسٹر کے β کی قیمتیں اس کے عمومی قیمت β_0 سے انحراف کر سکتے ہیں لہذا دو بالکل ایک ہی طرح بنائے گئے ادوار میں ٹرانزسٹروں کے نقطہ کارکردگی اپنی تعین جگہ سے سرک سکتی ہے۔ جیسا اس مثال میں دکھایا گیا، عین ممکن ہے کہ کسی ایک دور میں ٹرانزسٹر افزائندہ حال اور دوسرے میں غیر افزائندہ حال ہو۔

آج کل لاتعداد برقیاتی آلات مثلاً موبائل فون وغیرہ بنائے جاتے ہیں اور ایسے بر ایک عدد آلہ میں لاتعداد ٹرانزسٹر استعمال ہوتے ہیں۔ ان آلات کے درست کارکردگی کے لئے یہ ضروری ہے کہ ان میں استعمال کئے گئے ٹرانزسٹر، ڈیزائن کردہ نقطہ کارکردگی پر ہی رہیں۔ آئیں دیکھئے ہیں کہ ایسا کس طرح ممکن بنایا جا سکتا ہے۔

شکل 3.26 میں مزاحمتون اور پیدا کار برق دباؤ کی مدد سے ٹرانزسٹر مائل کیا گیا ہے۔ یاد دہانی کی خاطر مساوات 3.22 اور مساوات 3.23 کو یہاں دوبارہ پیش کرتے ہیں۔

$$\begin{aligned}
 V_{BB} &= I_B R_B + V_{BE} + (I_B + I_C) R_E \\
 &= \frac{I_E}{\beta + 1} R_B + V_{BE} + I_E R_E \\
 I_E &= \frac{V_{BB} - V_{BE}}{\frac{R_B}{\beta+1} + R_E} \approx I_C
 \end{aligned} \tag{3.30}$$

$$\begin{aligned}
 V_{CC} &= I_C R_C + V_{CE} + (I_B + I_C) R_E \\
 &= I_C R_C + V_{CE} + I_E R_E \\
 V_{CE} &= V_{CC} - I_C R_C - I_E R_E \\
 &\approx V_{CC} - I_C (R_C + R_E)
 \end{aligned} \tag{3.31}$$

مساوات 3.30 کے مطابق اگرچہ I_C پر β کے اثر کو ختم نہیں کیا جا سکتا مگر R_E کی قیمت کو کم کرنا ممکن ہے یعنی $\frac{R_B}{\beta+1}$ سے بڑھا کر اس اثر کو کم سے کم کرنا ممکن ہے یعنی

$$R_E \gg \frac{R_B}{\beta+1} \tag{3.32}$$

عموماً شکل 3.26 کے طرز پر بنائے گئے ادوار میں β کے اثرات کو کم کرنے کی خاطر R_E کی قیمت کو $\frac{R_B}{\beta+1}$ سے دس گناہ کرنا رکھا جاتا ہے یعنی

$$R_E = \frac{10R_B}{\beta_0 + 1} \tag{3.33}$$

R_E کے قیمت کو $\frac{R_B}{\beta+1}$ کے دس گناہ قیمت سے مزید بڑھانے سے دیگر معاملات متاثر ہوتے ہیں۔ مساوات 3.33 ٹرانزسٹر ادوار تخلیق دینے میں اہم کردار ادا کرتا ہے۔ مساوات 3.33 کو تبدیلی β سے لاحق مسائل استوارنے کا شرط کہتے ہیں۔ آئیں مساوات 3.33 کے تحت بنائے گئے دور کی مثال دیکھیں۔

مثال 3.23: شکل 3.26 میں

$$\begin{aligned}
 V_{CC} &= 12 \text{ V} \\
 V_{BB} &= 1.8 \text{ V} \\
 R_C &= 9 \text{ k}\Omega \\
 R_E &= 1 \text{ k}\Omega \\
 R_B &= 10.1 \text{ k}\Omega
 \end{aligned}$$

ہیں جبکہ β_0 کی عمومی قیمت 100 ہے۔ اس دور میں برق رو I_C اور V_{CE} کی ممکنہ حدود حاصل کریں۔

حل: اس مثال میں دئے گئے R_E اور R_B کے قیمتیں مساوات 3.33 کے عین مطابق ہیں۔ جیسا مثال 3.22 میں دیکھا گیا کہ $\beta = 50$ اور $\beta = 150$ بلندتر ہیں۔

۔ 100 = β_0 پر برق رو اور برق دباؤ حاصل کرتے ہیں۔

$$\begin{aligned} I_{EQ} \approx I_{CQ} &= \frac{V_{BB} - V_{BE}}{\frac{R_B}{\beta_0 + 1} + R_E} \\ &= \frac{1.8 - 0.7}{\frac{10100}{100+1} + 1000} \\ &= 1 \text{ mA} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{CE} &\approx V_{CC} - I_{CQ} (R_C + R_E) \\ &= 12 - 1 \times 10^{-3} \times (9000 + 1000) \\ &= 2 \text{ V} \end{aligned}$$

2. کمتر افزائش β پر ان کی قیمتیں

$$I_{EQ} \approx I_{CQ} = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{\frac{R_B}{\beta_{کم} + 1} + R_E} = \frac{1.8 - 0.7}{\frac{10100}{50+1} + 1000} = 0.918 \text{ mA}$$

$$\begin{aligned} V_{CE} &\approx V_{CC} - I_{CQ} (R_C + R_E) \\ &= 12 - 0.918 \times 10^{-3} \times (9000 + 1000) \\ &= 2.82 \text{ V} \end{aligned}$$

ہوں گی-برق رو اپنی عمومی قیمت سے 8.2 % کم ہو گئی ہے یعنی

$$\frac{1 \times 10^{-3} - 0.918 \times 10^{-3}}{1 \times 10^{-3}} \times 100 = 8.2 \%$$

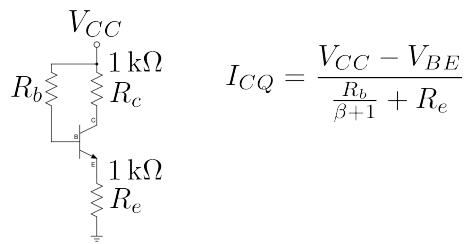
3. بلندتر افزائش β پر ان کی قیمتیں

$$I_{EQ} \approx I_{CQ} = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{\frac{R_B}{\beta_{بلند} + 1} + R_E} = \frac{1.8 - 0.7}{\frac{10100}{150+1} + 1000} = 1.031 \text{ mA}$$

$$\begin{aligned} V_{CE} &\approx V_{CC} - I_{CQ} (R_C + R_E) \\ &= 12 - 1.031 \times 10^{-3} \times (9000 + 1000) \\ &= 1.69 \text{ V} \end{aligned}$$

ہوں گی-برق رو اپنی عمومی قیمت سے 3.1 % بڑھ گئی ہے یعنی

$$\frac{1.031 \times 10^{-3} - 1 \times 10^{-3}}{1 \times 10^{-3}} \times 100 = 3.1 \%$$



شکل 3.27

مثال 3.23 میں آپ نے دیکھا کہ مساوات 3.33 پر پورے اترتے دور میں برق روکی قیمت اس کی عمومی قیمت سے دس فی صد سے کم انحراف کرتی ہے۔ اس مثال میں زیادہ سے زیادہ انحراف 8.2 فی صد رہا ہے۔ پیدا کار برق دباؤ اور مراہتوں کے استعمال سے ٹرانزسٹر مائل کرتے ہوئے تخلیق کار مساوات 3.33 کو بروئے کار لا کر اس بات کو یقینی بناتا ہے کہ ٹرانزسٹر تخلیق کردگی سے زیادہ تجاوز نہیں کرے گا۔ بعض اوقات ٹرانزسٹر استعمال کرنے سے پہلے اس کا β ناپا جاتا ہے۔ ایسی صورت میں چونکہ β کی قیمت ٹنیک ٹنیک معلوم ہوئی ہے لہذا مساوات 3.33 کے تحت دور تخلیق دینا لازم نہیں ہوتا۔ ائم ایسی مثال دیکھیں جس میں مساوات 3.33 کو استعمال نہیں کیا گیا۔

مثال 3.24: شکل 3.27 میں $V_{CC} = 12 \text{ V}$ ، $R_b = 150 \text{ k}\Omega$ ، $V_{BE} = 0.7 \text{ V}$ جبکہ β کی قیمت ٹنیک 50 ہے۔ I_{CEQ} اور I_{CQ} حاصل کریں۔
حل: داخلی جانب کرچاف کرے قانون برائے برق دباؤ کے مطابق

$$\begin{aligned} V_{CC} &= I_B R_b + V_{BE} + I_E R_e \\ &= V_{BE} + I_E \left(\frac{R_b}{\beta+1} + R_e \right) \end{aligned}$$

ہر جہاں دوسرے قدم پر $I_E = (\beta + 1) I_B$ کا استعمال کیا گیا۔ یوں $I_{CQ} \approx I_{EQ}$ لکھتے ہوئے

$$\begin{aligned} I_E &\approx I_C = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{\frac{R_b}{\beta+1} + R_e} \\ &= \frac{12 - 0.7}{\frac{150000}{49+1} + 1000} \\ &= 2.825 \text{ mA} \end{aligned}$$

حاصل ہوتا ہے۔ خارجی جانب ہم لکھ سکتے ہیں

$$\begin{aligned} V_{CC} &= I_{CQ}R_c + V_{CEQ} + I_{EQ}R_e \\ &\approx V_{CEQ} + I_{CQ}(R_c + R_e) \end{aligned}$$

جس سے

$$V_{CEQ} = 6.35 \text{ V}$$

حاصل ہوتا ہے۔

3.7.2 تبدیلی V_{BE} سے نقطہ کارکردگی کا سرک جانا

ڈائیڈ کے باب میں صفحہ 2.4 پر شکل 84 کے تبدیلی سے سیدھے مائل ڈائیڈ کی برقی دباؤ V_D کا تبدیل ہونا دکھایا گیا۔ اس باب کے حصہ 3.9 میں آپ دیکھیں گے کہ ٹرانزسٹر کا V_{BE} بھی بالکل اسی طرح درجہ حرارت کے ساتھ تبدیل ہوتا ہے۔ مساوات 3.30 پر دوبارہ غور کرنے سے معلوم ہوتا ہے کہ V_{BE} کے تبدیل ہونے سے I_C تبدیل ہوگا اور یوں نقطہ کارکردگی اپنے معین جگہ سے سرک جائے گا۔ آئیں نقطہ کارکردگی کے سرک کا تخمينہ لگائیں اور اس سے نجات حاصل کرنے کے طریقے سمجھئیں۔

دو مختلف درجہ حرارت T_1 اور T_2 پر V_{BE1} اور V_{BE2} لکھتے ہوئے مساوات 3.30 کے تحت دو مختلف برقی رو I_{C1} اور I_{C2} حاصل ہوں گے جہاں

$$(3.34) \quad I_{C1} = \frac{V_{BB} - V_{BE1}}{\frac{R_B}{\beta+1} + R_E}$$

$$(3.35) \quad I_{C2} = \frac{V_{BB} - V_{BE2}}{\frac{R_B}{\beta+1} + R_E}$$

برقی رو کی تبدیلی حاصل کرتے ہیں۔

$$(3.36) \quad \Delta I_C = I_{C2} - I_{C1} = \frac{V_{BE1} - V_{BE2}}{\frac{R_B}{\beta+1} + R_E} = - \left(\frac{\Delta V_{BE}}{\frac{R_B}{\beta+1} + R_E} \right)$$

جہاں ($V_{BE2} - V_{BE1}$) کو ΔV_{BE} لکھا گیا ہے۔ اگر ٹرانزسٹر کا یہ دور مساوات 3.33 پر پورا اترتا ہو تب مندرجہ بالا مساوات میں R_E کی قیمت سے بہت زیادہ ہو گی اور اس صورت

میں اسے یوں لکھا جا سکے گا۔

$$(3.37) \quad \Delta I_C = - \left(\frac{\Delta V_{BE}}{\frac{R_B}{\beta+1} + R_E} \right) \approx - \left(\frac{\Delta V_{BE}}{R_E} \right)$$

مساوات 3.37 تبدیلی V_{BE} کی وجہ سے نقطہ کارکردگی کے سرک جانے کی مساوات ہے۔ آپ دیکھ سکتے ہیں کہ R_E بڑھانے سے I_C میں تبدیلی کم کی جا سکتی ہے۔

3.7.3 نقطہ کارکردگی سوارنے کے اسباب

حصہ 3.7.1 اور حصہ 3.7.2 میں نقطہ کارکردگی سرک جانے کے وجوہات بتائے گئے۔ اس مسئلے کو نہایت عمدگی سے یوں پیش کیا جا سکتا ہے۔ کوئی بھی تابع تفاضل مثلاً $I_C(\beta, V_{BE}, \dots)$ جو آزاد متغیرات مثلاً β ، V_{BE} وغیرہ کے تابع ہو، کی قیمت ان آزاد متغیرات پر منحصر ہو گی۔ یوں اگر ان آزاد متغیرات میں ΔV_{BE} ، $\Delta \beta$ ، \dots کی باریک تبدیلی پیدا ہو تو تابع تفاضل کی قیمت میں کل باریک تبدیلی یوں حاصل کی جائے گی۔

$$(3.38) \quad \Delta I_C = \frac{\partial I_C}{\partial \beta} \Delta \beta + \frac{\partial I_C}{\partial V_{BE}} \Delta V_{BE} + \dots$$

اس مساوات میں

$$(3.39) \quad S_\beta = \frac{\partial I_C}{\partial V_{BE}}$$

$$(3.40) \quad S_{V_{BE}} = \frac{\partial I_C}{\partial V_{BE}}$$

⋮

لکھتے ہوئے اسے یوں لکھا جا سکتا ہے۔

$$(3.41) \quad \Delta I_C = S_\beta \Delta \beta + S_{V_{BE}} \Delta V_{BE} + \dots$$

جہاں S_β ، $S_{V_{BE}}$ وغیرہ کو نقطہ کارکردگی کے سوارنے کے اسباب²⁴ کہا جائے گا۔ آئیں ان اسباب کا تخمینہ لگائیں۔

مساوات 3.37 سے

$$(3.42) \quad S_{V_{BE}} = - \left(\frac{1}{\frac{R_B}{\beta+1} + R_E} \right) \approx - \frac{1}{R_E}$$

حاصل ہوتا ہے۔

مساوات 3.39 میں نقطہ کارکردگی سوارنے کے اسباب کو تفرق کرے ذریعہ سمجھایا گیا ہے۔ جہاں متغیرات میں کم تبدیلی پائی جائے وہاں تفرق لیتے ہوئے درست جوابات حاصل ہوتے ہیں۔ ٹرانزسٹر کے β میں تبدیلی کو کم تصور نہیں کیا جا سکتا لہذا $S_\beta = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{\frac{R_B}{\beta_1 + 1} + R_E}$ حاصل کرتے وقت دو مختلف β پر I_C حاصل کرتے ہوئے برق رو میں کل تبدیلی $\Delta I_C = \beta_2 (V_{BB} - V_{BE})$ حاصل کی جاتی ہے جس سے β میں کل تبدیلی $\Delta\beta$ سے تقسیم کرتے ہوئے $S_\beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta\beta}$ کیا جاتا ہے۔ آئین اس عمل کو دیکھیں۔

S_β حاصل کرنے کی خاطر مساوات 3.30 کو دوبارہ دیکھئے ہیں۔ β_1 اور β_2 پر ہم برق رو یون لکھ سکتے ہیں۔

$$(3.43) \quad I_{C1} = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{\frac{R_B}{\beta_1 + 1} + R_E} \approx \frac{\beta_1 (V_{BB} - V_{BE})}{R_B + (\beta_1 + 1) R_E}$$

$$(3.44) \quad I_{C2} = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{\frac{R_B}{\beta_2 + 1} + R_E} \approx \frac{\beta_2 (V_{BB} - V_{BE})}{R_B + (\beta_2 + 1) R_E}$$

مندرجہ بالا مساوات میں دوسری مساوات سے پہلی مساوات منفی کرنے سے ΔI_C حاصل ہوتا ہے۔ البتہ اس مساوات کی بہتر شکل بھی حاصل کی جا سکتی ہے۔ ایسا کرنے کی خاطر دوسری مساوات کو پہلی مساوات سے تقسیم کرتے ہوئے حاصل مساوات کے دونوں جانب سے ایک (1) منفی کرتے ہیں۔

$$\begin{aligned} \frac{I_{C2}}{I_{C1}} &= \left(\frac{\beta_2 (V_{BB} - V_{BE})}{R_B + (\beta_2 + 1) R_E} \right) \times \left(\frac{R_B + (\beta_1 + 1) R_E}{\beta_1 (V_{BB} - V_{BE})} \right) \\ &= \frac{\beta_2 [R_B + (\beta_1 + 1) R_E]}{\beta_1 [R_B + (\beta_2 + 1) R_E]} \\ \frac{I_{C2}}{I_{C1}} - 1 &= \frac{\beta_2 [R_B + (\beta_1 + 1) R_E] - \beta_1 [R_B + (\beta_2 + 1) R_E]}{\beta_1 [R_B + (\beta_2 + 1) R_E]} \\ \frac{I_{C2} - I_{C1}}{I_{C1}} &= \frac{\beta_2 R_B + \beta_2 \beta_1 R_E + \beta_2 R_E - \beta_1 R_B - \beta_1 \beta_2 R_E - \beta_1 R_E}{\beta_1 [R_B + (\beta_2 + 1) R_E]} \\ \frac{\Delta I_C}{I_{C1}} &= \frac{(\beta_2 - \beta_1) (R_B + R_E)}{\beta_1 [R_B + (\beta_2 + 1) R_E]} \\ &= \frac{(R_B + R_E)}{\beta_1 [R_B + (\beta_2 + 1) R_E]} \Delta\beta \end{aligned}$$

جہاں آخری قدم پر $(\beta_2 - \beta_1)$ کو $\Delta\beta$ لکھا گیا ہے۔ اس سے S_β حاصل کرتے ہیں۔

$$(3.45) \quad S_\beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta\beta} = \frac{I_{C1}}{\beta_1} \left[\frac{R_B + R_E}{R_B + (\beta_2 + 1) R_E} \right]$$

اسی طرز پر آپ V_{BB} میں تبدیلی سے پیدا $S_{V_{BB}}$ حاصل کر سکتے ہیں وغیرہ وغیرہ۔

مساوات 3.41 میں مساوات 3.42 اور مساوات 3.45 استعمال کرتے ہوئے اسے یوں لکھا جا سکتا ہے۔

$$(3.46) \quad \Delta I_C = \frac{I_{C1}}{\beta_1} \left[\frac{R_B + R_E}{R_B + (\beta_2 + 1) R_E} \right] \Delta \beta - \frac{1}{R_E} \Delta V_{BE} + \dots$$

تمام نقطہ کارکردگی سوارنے کے اسباب کی مدد سے برق رو I_C کے کل تبدیلی کو مندرجہ بالا مساوات کے طرز پر لکھا جا سکتا ہے۔ نقطہ کارکردگی سوارنے کے اسباب کی قیمتیں قابو کرتے ہوئے اس تبدیلی کو قابل قبول حد کے اندر رکھا جاتا ہے۔

3.8 مزاحمت کا عکس

شکل 3.28 الف میں برق رو کو I_{Ca} لکھتے ہوئے اس کی قیمت حاصل کرتے ہیں۔

$$(3.47) \quad I_{Ca} = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{\frac{R_B}{\beta+1} + R_E}$$

اسی طرح شکل ب میں برق رو کو I_{Cb} لکھتے ہوئے اس کی قیمت حاصل کرتے ہیں۔ ہم دیکھتے ہیں کہ R'_B اور R_E سلسلہ وار جڑیں اور ان کا کردار بالکل ایسا ہی ہے جیسے یہاں ایک ہی مزاحمت R''_E نسب ہو جس کی قیمت $(R'_B + R_E)$ ہے۔ شکل 3.29 الف میں یہ تصور دکھایا گیا ہے۔ یوں

$$(3.48) \quad I_{Cb} = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R''_E} = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R'_B + R_E}$$

حاصل ہوتا ہے۔ اگر اس مساوات میں R'_B کی قیمت مساوات 3.47 کے $\frac{R_B}{\beta+1}$ کے برابر ہو تو I_{Ca} اور I_{Cb} برابر ہوں گے یعنی اگر

$$(3.49) \quad R'_B = \frac{R_B}{\beta+1}$$

ہو تو

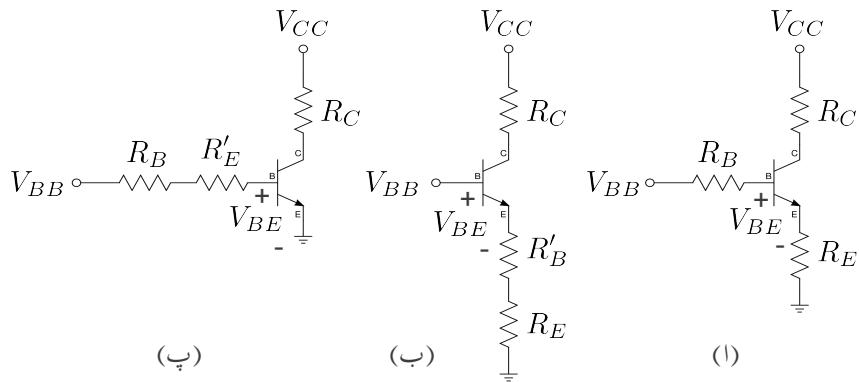
$$(3.50) \quad I_{Ca} = I_{Cb}$$

ہو گا، اگرچہ ان دو اشکال کے V_{CE} مختلف ہوں گے چونکہ

$$V_{CEa} = V_{CC} - I_C (R_C + R_E)$$

$$V_{CEb} = V_{CC} - I_C R_C$$

ہوں گے اور یوں $V_{CEa} \neq V_{CEb}$ ہوں گے۔ اسی طرح شکل پ میں برق رو کو I_{Cc} لکھتے ہوئے اسے حاصل کرتے ہیں۔ یہاں R'_E اور R_B سلسلہ وار جڑیں ہیں اور ان کا کردار بالکل ایک ایسے



شکل 3.28: مزاحمت کے عکس

مزاحمت R''_B کی طرح ہے جس کی قیمت $(R_B + R'_E)$ کے برابر ہو۔ شکل 3.29 ب میں یہ تصور دکھایا گیا ہے۔ یوں

$$(3.51) \quad I_{Cc} = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{\left(\frac{R''_B}{\beta+1}\right)} = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{\left(\frac{R_B}{\beta+1} + \frac{R'_E}{\beta+1}\right)}$$

حاصل ہوتا ہے۔ اس مساوات میں اگر $\frac{R'_E}{\beta+1}$ کی قیمت مساوات 3.47 کے R_E کے برابر ہو یعنی اگر

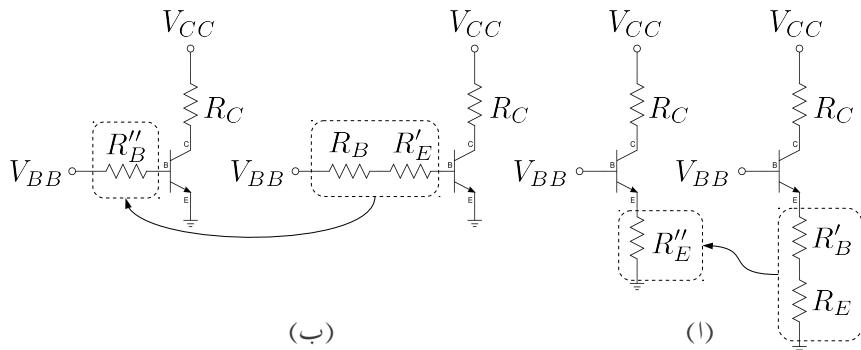
$$(3.52) \quad \frac{R'_E}{\beta+1} = R_E$$

ہو تو

$$(3.53) \quad I_{Cc} = I_{Ca}$$

ہوں گے، اگرچہ مساوات 3.52 کو یوں بھی لکھا جا سکتا ہے۔

$$(3.54) \quad R'_E = (\beta + 1) R_E$$



شکل 3.29: مراہمت کے عکس

مثال 3.25: شکل 3.28 الف میں

$$\begin{aligned}\beta &= 99 \\ V_{CC} &= 15 \text{ V} \\ V_{BB} &= 6.2 \text{ V} \\ R_C &= 5 \text{ k}\Omega \\ R_E &= 5 \text{ k}\Omega \\ R_B &= 50 \text{ k}\Omega\end{aligned}$$

ہیں۔

1. شکل 3.28 الف کا برقی رو I_C حاصل کریں۔
2. شکل ب میں R'_B کی وہ قیمت حاصل کریں جس سے شکل ب کی برقی رو شکل الف کی برقی رو کے برابر ہو گئی۔
3. شکل پ میں R'_E کی وہ قیمت حاصل کریں جس سے اس شکل پ کی برقی رو شکل الف کے برقی رو کے برابر ہو گئی۔

حل :

.1

$$I_{Ca} = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{\frac{R_B}{\beta+1} + R_E} = \frac{6.2 - 0.7}{\frac{50000}{99+1} + 5000} = 1 \text{ mA}$$

.2

$$R'_B = \frac{R_B}{\beta + 1} = \frac{50000}{99 + 1} = 500 \Omega$$

اس قیمت کی مزاحمت کے استعمال سے شکل 3.29 میں R''_E کی قیمت

$$R'_B + R_E = 500 + 5000 = 5500 \Omega$$

ہو گی اور اس میں برق رو کی قیمت

$$I_{Cb} = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R'_B + R_E} = \frac{6.2 - 0.7}{500 + 5000} = 1 \text{ mA}$$

ہی حاصل ہو گی۔

.3

$$R'_E = (\beta + 1)R_E = (99 + 1) \times 5000 = 500 \text{ k}\Omega$$

حاصل ہوتا ہے۔ اس قیمت کو استعمال کرتے ہوئے شکل 3.29 ب میں

$$R''_E = R_B + R'_E = 50 \text{ k}\Omega + 500 \text{ k}\Omega = 550 \text{ k}\Omega$$

ہو گا اور یوں

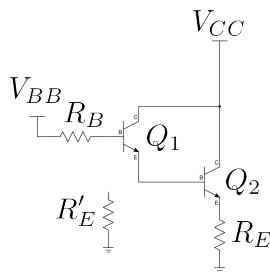
$$I_{Cc} = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{\left(\frac{R''_B}{\beta + 1} \right)} = \frac{6.2 - 0.7}{\left(\frac{550000}{99 + 1} \right)} = 1 \text{ mA}$$

ہی حاصل ہوتا ہے۔

مساوات 3.49 اور مساوات 3.54 اہم نتائج ہیں۔ ٹرانزسٹر کے بیس سرے پر دیکھتے ہوئے R_E کا کردار بالکل ایسا ہوتا ہے جیسے بیس سرے کے ساتھ مزاحمت R'_E جزا ہو۔ اس تمام کو یوں بھی کہا جا سکتا ہے کہ ایٹر پر جزرے مزاحمت R_E ، ٹرانزسٹر کے بیس سرے سے بالکل R'_E معلوم ہوتا ہے۔ اسی لئے R'_E کو R_E کا عکس کہا جاتا ہے۔

اسی طرح ٹرانزسٹر کے بیس سرے کے ساتھ جزرے مزاحمت R_B کو اگر ٹرانزسٹر کے ایٹر سرے سے دیکھا جائے تو یہ بالکل ایسا معلوم ہوتا ہے جیسے ایٹر سرے کے ساتھ مزاحمت R'_B جزا ہے۔ اسی لئے R'_B کو R_B کا عکس کہا جاتا ہے۔

مندرجہ بالا کا نپوڑیہ ہے کہ ٹرانزسٹر ادوار میں برق رو I_C حاصل کرتے وقت، ایٹر پر موجود مزاحمت کا عکس لیتے ہوئے اسے بیس جانب منتقل کیا جا سکتا ہے۔ اسی طرح ٹرانزسٹر کے بیس جانب مزاحمت



شکل 3.30: ڈارلنگن میں مزاحمت کا عکس

کا عکس لیتے ہوئے ایمٹر جانب منتقل کیا جا سکتا ہے۔ یاد رہے کہ یہ صرف اور صرف حساب کتاب آسان بنانے کا ایک گر ہے۔ اصل ٹرانزسٹر دور کی جگہ کبھی بھی عکس استعمال کرتے حاصل دور کام نہیں کرے گا۔

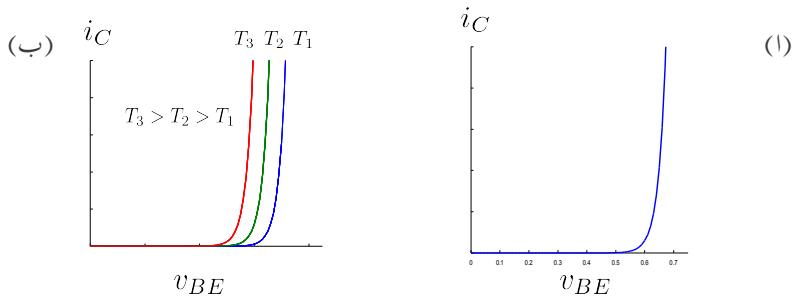
مثال 3.26: شکل 3.30 میں بیس جانب R_E کا عکس حاصل کریں۔
حل: بیس جانب کرچاف کرے قانون برائے برق دباو سے

$$V_{BB} = I_{B1}R_B + V_{BE1} + V_{BE2} + I_{E2}R_E$$

لکھا جا سکتا ہے جس میں $I_{E2} = \frac{I_{B1}}{\beta_1\beta_2}$ لکھتے ہوئے

$$\begin{aligned} V_{BB} &= I_{B1}R_B + V_{BE1} + V_{BE2} + \frac{I_{B1}}{\beta_1\beta_2}R_E \\ &= I_{B1}R_B + V_{BE1} + V_{BE2} + \frac{R_E}{\beta_1\beta_2}I_{B1} \\ &= I_{B1}R_B + V_{BE1} + V_{BE2} + I_{B1}R'_E \end{aligned}$$

ملتا ہے جہاں $R'_E = \frac{R_E}{\beta_1\beta_2}$ لکھا گیا ہے۔ اس مساوات کے تحت بیس جانب برق رو I_{B1} دو مزاحمت سے گزرتی ہے۔ بہلا مزاحمت R_B اور دوسرا R'_E ہے۔ یوں ٹرانزسٹر کے بیس جانب مزاحمت نظر آتا ہے اور یہی R_E کا بیس جانب عکس ہے۔



شکل 3.31: ٹرانزسٹر کے خط اور اس پر درجہ حرارت کے اثرات

3.9 ٹرانزسٹر کے خط

ٹرانزسٹر کے تین سرے کی بدولت اس کے تین برق رو اور تین برق دباؤ ممکن ہیں۔ ان میں کسی دو کو آپس میں گراف کیا جا سکتا ہے۔

$$i_C - v_{BE} \quad 3.9.1$$

شکل 3.31 الف میں $i_C - v_{BE}$ خط دکھایا گیا ہے جو بالکل ڈائڈ کے خط کی طرح کا ہے۔ $i_C - v_{EB}$ خط کے مساوات مندرجہ ذیل ہیں۔

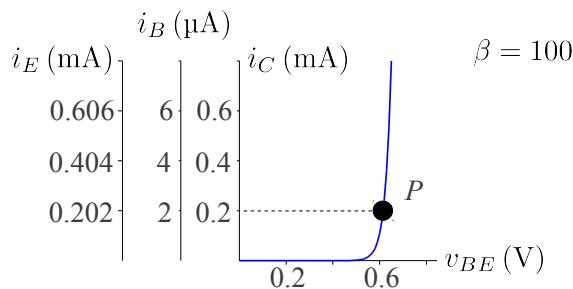
$$(3.55) \quad i_C = I_S \left(e^{\frac{v_{BE}}{V_T} - 1} \right) \quad \text{n-p-n}$$

$$(3.56) \quad i_C = I_S \left(e^{\frac{v_{EB}}{V_T} - 1} \right) \quad \text{p-n-p}$$

جنہیں $e^{\frac{v_{BE}}{V_T}} \gg 1$ کی صورت میں عموماً

$$(3.57) \quad i_C \approx I_S e^{\frac{v_{BE}}{V_T}}$$

$$(3.58) \quad i_C \approx I_S e^{\frac{v_{EB}}{V_T}}$$



شكل 3.32: برقی رو بالمقابل برقی دباؤ

لکھا جاتا ہے۔ چونکہ $i_C = \beta i_B$ اور $i_E = i_B + i_C$ ہوتے ہیں لہذا $i_E - v_{BE}$ اور خطوط کی شکلیں ایک جیسے ہوں گی۔ ان کے مساوات مندرجہ ذیل ہیں۔

$$(3.59) \quad i_E = \frac{I_S}{\alpha} e^{\frac{v_{BE}}{V_T}}$$

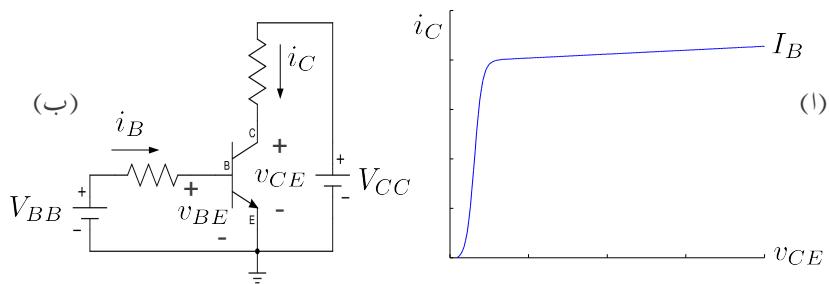
$$(3.60) \quad i_B = \frac{I_S}{\beta} e^{\frac{v_{BE}}{V_T}}$$

شکل 3.32 میں ایک ہی گراف پر تینوں خطوط کے گراف کی مثال دی گئی ہے جہاں حزبِ معمول ایک ہی افقی محدد ہے جو v_{BE} کو ظاہر کرتا ہے جبکہ عمومی محدودوں کی تعداد تین ہے جو i_C ، i_E اور i_B کو ظاہر کرتے ہیں۔ v_{BE} کی پیمائش وولٹ V میں دی گئی ہے جبکہ i_C اور i_E mA میں اور i_B μ A میں دی گئی ہے۔ $\beta = 100$ تصور کرتے ہوئے نقطہ P پر ڈائیوڈ کی طرح، جہاں اشد درستنگی درکار نہ ہو وبا، ٹرانزسٹر کے ادوار کے یک سمتی حل حاصل کرتے وقت سیدھے مائل بیس۔ ایمپ جوڑ پر برقی دباؤ v_{BE} کو 0.7 V ہی لیا جاتا ہے۔ اسی طرح یہاں بھی $v_{BE} = 0.5$ V سے کم برقی دباؤ پر برقی رو i_C کی قیمت قابل نظر انداز ہوتی ہے اور اس صورت میں ٹرانزسٹر کے اس جوڑ کو غیر-چالو تصور کیا جاتا ہے۔ یوں ٹرانزسٹر کے لئے بھی چالو کرده برقی دباؤ کی قیمت 0.5 V ہے۔

بالکل ڈائیوڈ کی طرح i_C برقرار رکھتے ہوئے، ایک ڈگری سنتی گریڈ درجہ حرارت بڑھانے سے v_{BE} کی قیمت 2 mV گھٹتی ہے یعنی

$$(3.61) \quad \frac{\Delta v_{BE}}{\Delta T} = -2 \text{ mV/}^\circ\text{C}$$

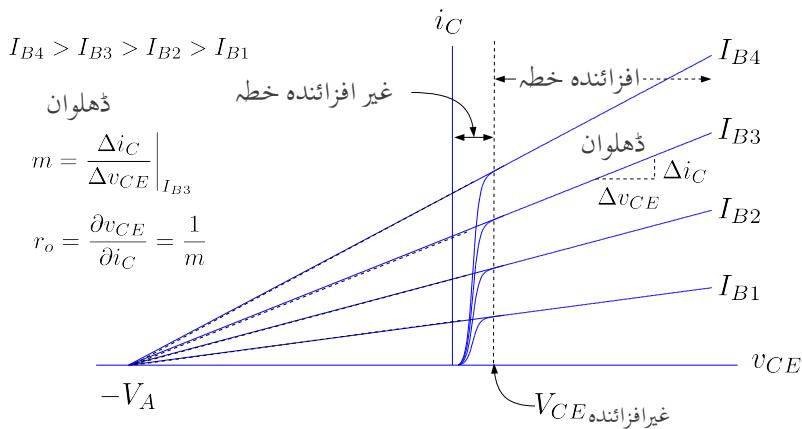
ٹرانزسٹر کا v_{EB} بھی اسی شرح سے حرارت کے ساتھ گھٹتا ہے۔

شکل 3.33: $i_C - v_{CE}$ کا npn خط3.9.2 $i_C - v_{CE}$ خط

شکل 3.33 الف میں npn ٹرانزسٹر کے i_C کا گراف دکھایا گیا ہے جس سے حاصل کرتے وقت i_B کو کسی ایک مقررہ قیمت I_B پر رکھا گیا۔ شکل 3.33 ب میں ٹرانزسٹر کا وہ دور بھی دکھایا گیا ہے جس سے گراف حاصل کرنے کی خاطر استعمال کیا گیا۔ گراف حاصل کرنے سے قبل V_{BB} کو تبدیل کرتے ہوئے مقررہ I_B پیدا کیا جاتا ہے۔ i_B کو برقرار I_B پر رکھنے کی خاطر V_{BB} کو اس کے بعد تبدیل نہیں کیا جاتا۔ اس کے بعد گراف حاصل کرنے کی خاطر V_{CC} کو قدم با قدم صفر وولٹ 0V سے بڑھایا جاتا ہے اور بر قدم پر ٹرانزسٹر کی برق رو i_C اور برق دباؤ v_{CE} ناپے جاتے ہیں۔ یوں ناپ شدہ i_C اور v_{CE} کا گراف شکل الف میں دکھایا گیا ہے جہاں گراف کے اوپر I_B لکھ کر اس بات کی یاد دبانی کرائی گئی ہے کہ یہ گراف مقررہ I_B پر حاصل کی گئی ہے۔ اسی طرز پر i_B کو مختلف قیمتوں پر رکھ کر مختلف $i_C - v_{CE}$ کے خط حاصل کئے جا سکتے ہیں۔ اس طرح کے خطوط شکل 3.34 میں دکھائے گئے ہیں۔ ان گراف کو دیکھتے ہوئے یہ حقیقت سامنے آتی ہے کہ v_{CE} کی قیمت بتدریج کم کرتے ہوئے ایک مقام آتا ہے جہاں i_C کی قیمت نہایت تیزی سے گھشتے شروع ہوتی ہے۔ اس مقام سے کم v_{CE} کے خط کو غیر افزائندہ خط²⁵ جبکہ اس سے زیادہ v_{CE} کے خط کو افزائندہ خط²⁶ کہتے ہیں۔ اس حصہ میں ہم افزائندہ خط پر غور کریں گے۔

افزائندہ خط²⁶ میں $i_C - v_{CE}$ کے خط سیدھی شکل اختیار کر لیتے ہیں۔ ہر خط ایک خاص ڈھلوان رکھتا ہے۔ اگر ان تمام خطوط کو منفی v_{CE} کے جانب فرضی طور نقش کیا جائے تو یہ ایک ہی نقطہ پر جا ملتے ہیں جہاں $v_{CE} = -V_A$ ہوتا ہے۔ اس فرضی نقش کو نقطہ دار لکبیوں سے دکھایا گیا ہے۔ کسی ہی ٹرانزسٹر کے V_A کی قیمت کو بطور مثبت عدد کے بیان کیا جاتا ہے جس سے ارلی برق دباؤ²⁷ کہتے ہیں۔²⁸ دو جوڑ والے ٹرانزسٹروں کا ارلی برق دباؤ پچاس وولٹ تا سو وولٹ ہوتا ہے۔ یہ معلومات ٹرانزسٹر بنانے والے صنعت کار مہیا کرتے ہیں۔

saturation region²⁵active region²⁶Early voltage²⁷²⁸



شکل 3.34: npn کے خطوط اور ارلی برقی دباؤ

شکل 3.34 میں کسی ایک نقطہ پر خط کی ڈھلوان m دکھائی بسے یعنی

$$m = \frac{\Delta i_C}{\Delta v_{CE}} \Big|_{I_B3}$$

ٹرانزسٹر کے خارجی جانب خارجی مزاحمت r_o کو یوں لکھا جا سکتا ہے

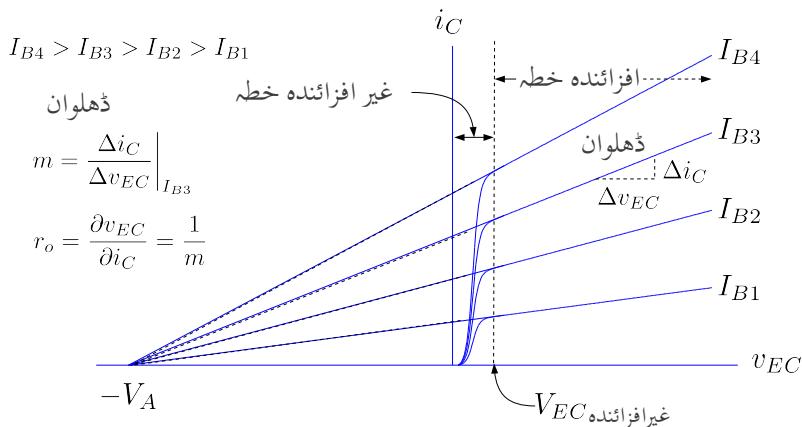
$$\begin{aligned} r_o &= \frac{\partial v_{CE}}{\partial i_C} \Big|_{I_B} \\ &= \frac{1}{m} \\ &= \frac{\partial i_C}{\partial v_{CE}} \Big|_{I_B}^{-1} \end{aligned}$$

چونکہ $i_C - v_{CE}$ کے خط اور فرضی نقش کئے گئے نقطہ دار لکیر کی ڈھلوان برابر ہیں لہذا ہم خارجی مزاحمت کو یوں بھی حاصل کر سکتے ہیں

$$(3.62) \quad r_o = \frac{V_A + V_{CE}}{I_C}$$

حقیقت میں افزائندہ خط کے نچلے حد پر (یعنی غیر افزائندہ خط کے بالکل قریب) کی قیمت استعمال کرتے ہوئے اس مساوات کو یوں لکھا جا سکتا ہے

$$(3.63) \quad r_o \approx \frac{V_A}{I_C}$$

شکل 3.35: $i_C - v_{EC}$ خطوط

اگرچہ افزائندہ خط میں v_{CE} کے تبدیلی سے I_C کی قیمت تبدیل ہوتی ہے مگر اس تبدیلی کو یک سنتی مطالعہ کے دوران نظر انداز کیا جاتا ہے۔ البتہ بدلتے رو مطالعہ میں r_o ابھیت رکھتا ہے۔ شکل 3.35 میں pnp ٹرانزسٹر کے $i_C - v_{EC}$ خطوط دکھائے گئے ہیں۔ $V_{EC_{\text{غیرافزائندہ}}} = 0.2 \text{ V}$ ہی ہے۔ اس سے کم v_{EC} پر ٹرانزسٹر غیر افزائندہ جبکہ اس سے زیادہ پر افزائندہ ہوتا ہے۔

مثال 3.27: ایک ایسے npn ٹرانزسٹر جس کی ارلی برقی دباؤ کی قیمت پچاس وولٹ $V_A = 50 \text{ V}$ ہے کی خارجی مزاحمت $A = 100 \mu\text{A}$ اور 1 mA کی برقی رو پر حاصل کریں۔

.1

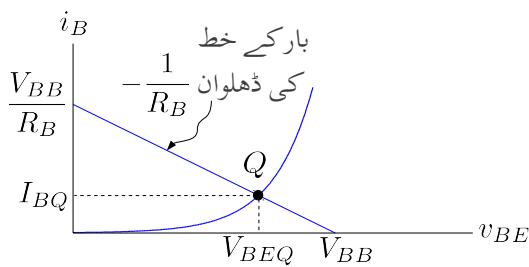
$$r_o \approx \frac{I_C}{V_A} = \frac{50}{100 \times 10^{-6}} = 500 \text{ k}\Omega$$

.2

$$r_o = \frac{50}{10^{-3}} = 50 \text{ k}\Omega$$

.3

$$r_o = \frac{50}{10 \times 10^{-3}} = 5 \text{ k}\Omega$$



شکل 3.36: داخلی جانب کے نقطہ مائل کا حصول

3.10 یک سمتی ادوار کا ترسیمی تجزیہ

اگرچہ ٹرانزسٹر ادوار کو عموماً الجیرائی طریقہ سے حل کیا جاتا ہے مگر گراف کے استعمال سے بہت گہری سمجھ پیدا ہوتی ہے۔ اس طریقہ کو سمجھنے کے بعد ٹرانزسٹر ادوار تخلیق دینے میں آسانی پیدا ہوتی ہے۔ آئیں شکل 3.37 میں دئے دور کو گراف کی مدد سے حل کرتے ہیں۔

3.10.1 یک سمتی بار کا خط

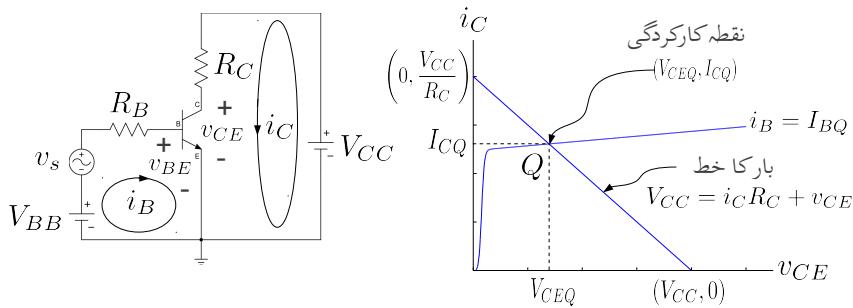
شکل 3.37 میں، بدلتے اشارہ v_s کو نظر انداز کرتے ہوئے، ٹرانزسٹر دور کے داخلی جانب ہم لکھ سکتے ہیں۔

$$(3.64) \quad V_{BB} = i_B R_B + v_{BE}$$

چونکہ ٹرانزسٹر کا بیس۔ایمٹر جوڑ بالکل ایک ڈائیوڈ کی مانند ہوتا ہے لہذا مندرجہ بالا مساوات کو داخلی جانب کا یک سمتی بار کا خط کہا جا سکتا ہے۔ ٹرانزسٹر کے $i_B - v_{BE}$ خط پر اس کو مساوات کو کھینچنے سے نقطہ مائل حاصل ہوتا ہے جس سے V_{BEQ} اور I_{BQ} حاصل ہوتے ہیں۔ یہ عمل شکل 3.36 میں دکھایا گیا ہے۔ اسی طرح، بدلتے اشارات کو نظر انداز کرتے ہوئے، شکل 3.37 میں ٹرانزسٹر دور کے خارجی جانب ہم لکھ سکتے ہیں۔

$$(3.65) \quad V_{CC} = i_C R_C + v_{CE}$$

اس مساوات کو ٹرانزسٹر کے $i_C - v_{CE}$ خط پر گراف کیا گیا ہے۔ بار کا خط برق دباو کے محور کو $(V_{CC}, 0)$ پر اور برق روکے محور کو $\left(0, \frac{V_{CC}}{R_C}\right)$ پر نکراتا ہے اور اس کی ڈھلوان $\frac{1}{R_C}$ ہے۔ یہاں اس بات کو مدد نظر رکھنا ضروری ہے کہ ٹرانزسٹر کے $i_C - v_{CE}$ خطوں میں سے صرف اس خط کو گراف کیا گیا ہے جس پر $i_B = I_{BQ}$ کے لئے ہے جہاں شکل 3.37 میں حاصل کی گئی۔ بار کی مساوات میں i_C اور v_{CE} دو آزاد متغیرات ہیں۔ دو آزاد متغیرات کو حاصل کرنے کی خاطر دو مساوات درکار ہوتے ہیں۔ بار کی مساوات پہلی مساوات ہے جبکہ ٹرانزسٹر کا $i_C - v_{CE}$ خط دوسری مساوات



شکل 3.37: یک سمتی بار کا خط

کا گراف ہے۔ جہاں دو مساوات کے گراف ملتے ہیں یہی ان کا حل ہوتا ہے۔ شکل میں اسے نقطہ کارکردگی Q کہا گیا ہے اور اس نقطے پر متغیرات کی قیمت (V_{CEQ}, I_{CQ}) ہے۔ یوں اس دور میں ٹرانزستر کے خارجی جانب برقی روکی قیمت جبکہ اس کے بیس۔ کلکٹر سروں کے مابین برقی دباؤ کی قیمت V_{CEQ} ہو گی۔

3.10.2 باریک اشارات

آئیں اب شکل 3.37 میں باریک اشارات پر غور کریں۔ باریک اشارہ v_s کے موجودگی میں ٹرانزستر کے داخلی جانب کل برقی دباؤ $(V_{BB} + v_s)$ ہو گا اور ہم اس جانب بارکی مساوات یوں لکھ سکتے ہیں۔

$$(3.66) \quad V_{BB} + v_s = i_B R_B + v_{BE}$$

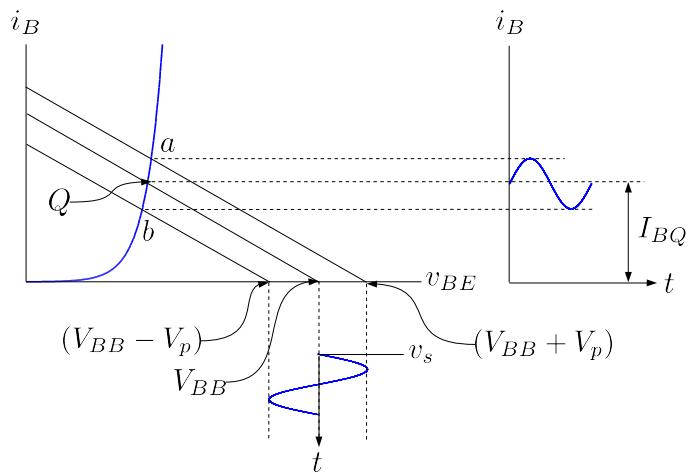
بارکی یہ مساوات $i_B - v_{BE}$ کے گراف پر کھینچی گئی شکل 3.38 میں دکھائی گئی ہے جہاں

$$(3.67) \quad v_s = V_p \sin \omega t$$

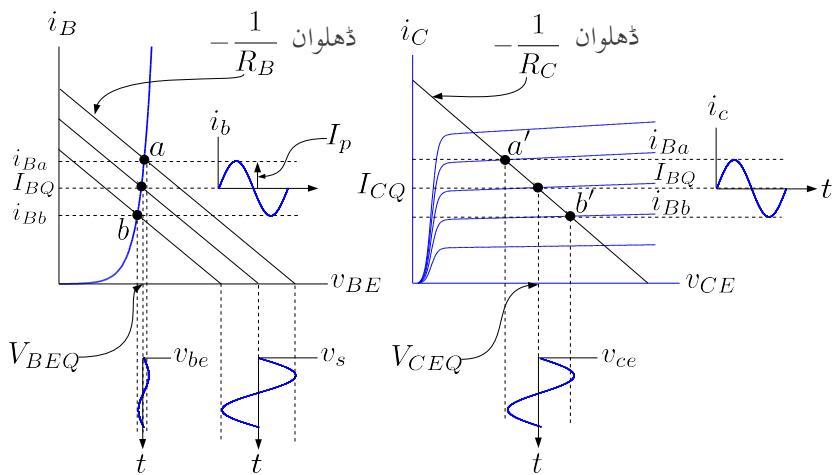
تصور کیا گیا ہے۔ آپ دیکھ سکتے ہیں کہ بار کا خط اپنی جگہ سے پلتا ہے جس کی وجہ سے نقطہ کارکردگی $i_B - v_{BE}$ خط پر Q کے قریب قریب رہتے ہوئے a اور b کے درمیان چال قدمی کرتا ہے جس سے i_B کی قیمت بھی I_{BQ} سے انحراف کرتی ہے۔ i_B کو یوں لکھا جا سکتا ہے۔

$$(3.68) \quad i_B = I_{BQ} + I_p \sin \omega t$$

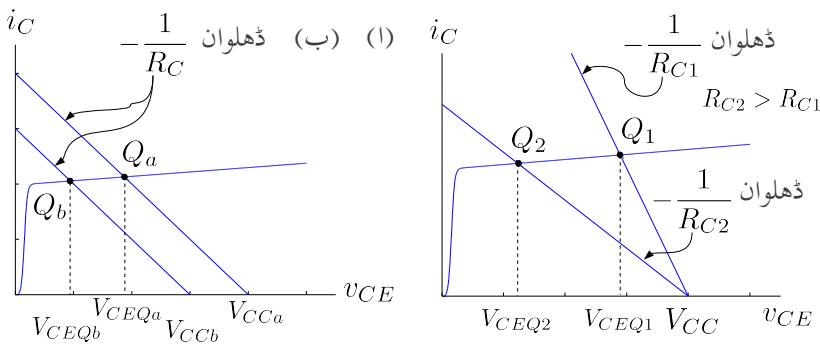
جہاں نقطہ کارکردگی کے قریب $i_B - v_{BE}$ خط کو سیدھا تصور کیا گیا ہے۔ شکل 3.39 میں باریک اشارہ v_s اور اس کے پیدا کردار v_{be} ، i_b ، v_{ce} اور i_c اور اشارات دکھائی گئی ہیں۔ i_b ، v_s ، v_{be} اور i_c ہم زاویہ بین جبکہ v_{ce} ان سب سے 180 کے زاویہ پر ہے۔ یاد رہے کہ تمام اشارات کا دوری عرصہ یکسان سے چونکہ ایپلیفائر اشارے کے تعدد کو تبدیل نہیں کرتا۔



شکل 3.38: باریک اشارات پذیریع گراف



شکل 3.39: باریک اشارات



شکل 3.40: نقطہ کارکردگی پر پیدا کار برقی دباؤ اور مزاحمت کے اثرات

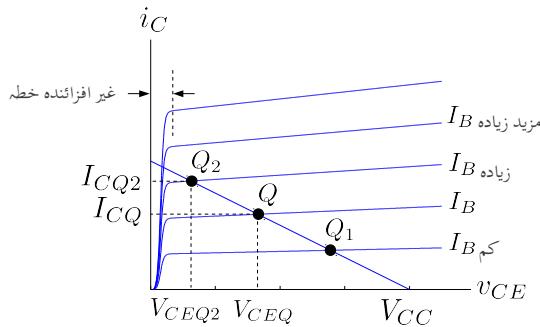
3.10.3 برقی دباؤ V_{CC} اور مزاحمت R_C کے نقطہ کارکردگی پر اثرات

شکل 3.37 میں ایک مرتبہ R_C کی قیمت R_{C1} رکھی گئی اور دوسری مرتبہ اسے R_{C2} رکھا گیا جبکہ بقايا دور میں کوئی تبدیلی نہیں کی گئی۔ R_{C1} کی قیمت R_{C2} سے زیادہ ہے۔ ان دونوں صورتوں کو شکل 3.40 الف میں دکھایا گیا ہے۔ R_{C1} کی صورت میں بار کا خط ٹرانزسٹر کے $i_C - v_{CE}$ خط کو Q_1 پر ٹکراتا ہے اور یون ٹرانزسٹر کے اس نقطہ کارکردگی پر برقی دباؤ v_{CE} کی قیمت V_{CEQ1} ہوگی۔ R_{C2} کی صورت میں بار کے خط کی ڈھلوان کم ہو گئی ہے اور یہ $i_C - v_{CE}$ خط کو Q_2 پر ٹکراتا ہے جہاں v_{CE} کی قیمت V_{CEQ2} ہے۔ یوں آپ دیکھ سکتے ہیں کہ بار کے مساوات (یعنی مساوات 3.65) میں صرف مزاحمت تبدیل کرنے سے بار کے خط کی ڈھلوان تبدیل ہوتی ہے جس سے ٹرانزسٹر کا نقطہ کارکردگی تبدیل ہوتا ہے۔ ان دونوں صورتوں میں بار کے خط برقی دباؤ کے محور کو V_{CC} پر ہی ٹکراتے ہیں۔

شکل 3.40 ب میں صرف برقی دباؤ V_{CC} کے تبدیل ہونے کے اثرات کو دکھایا گیا ہے جہاں V_{CCa} کی قیمت V_{CCb} سے زیادہ رکھی گئی ہے۔ V_{CC} سے بڑھا کر V_{CCa} کرنے سے نقطہ کارکردگی Q_a سے منتقل ہو جاتا ہے جبکہ بار کے خط کی ڈھلوان تبدیل نہیں ہوتی۔

3.10.4 داخلی برقی رو کے نقطہ کارکردگی پر اثرات

شکل 3.41 میں بار کا خط مختلف داخلی برقی رو $I_B - v_{CE}$ پر نہش کیا گیا ہے۔ اگر داخلی برقی رو کو I_B سے بڑھا کر I_{Bd} کر دیا جائے تو نقطہ کارکردگی Q سے منتقل ہو جائے گا۔ یوں برقی رو I_{CQ} سے بڑھ کر I_{CQ2} ہو جائے گی جبکہ برقی دباؤ v_{CEQ} سے کم ہو کر V_{CEQ2} ہو جائے گا۔ اگر I_B کو مزید بڑھا کر I_{Bd} کیا جائے تو نقطہ کارکردگی غیر افراشده میں داخل ہو جاتا ہے جہاں v_{CE} کی قیمت غیر افراشده $V_{CE,unadjusted}$ یعنی $0.2V$ سے ہی کم ہو جاتی ہے۔ I_B کو مزید بڑھانے سے نہ تو i_C اور نہ ہی v_{CE} کی قیمت میں خاطر خواہ تبدیلی رو نہ ہوتی ہے۔ یہی وجہ ہے کہ اس خط کو غیر افراشده خط کہتے ہیں۔



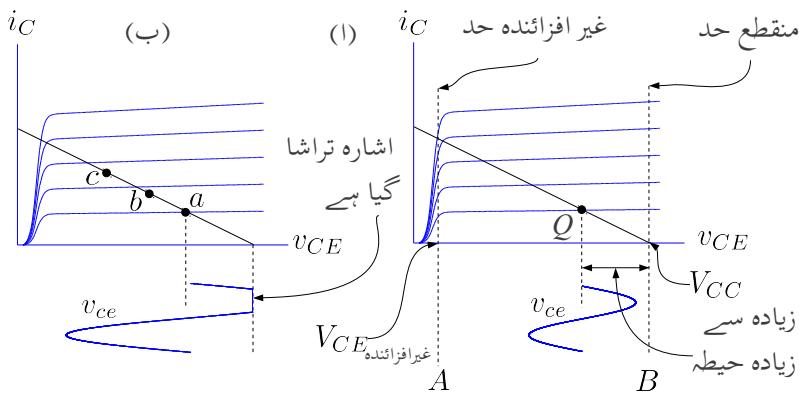
شكل 3.41: نقطہ کارکردگی بالمقابل داخلی برقی رو

آپ دیکھ سکتے ہیں کہ I_B کی قیمت بڑھاتے ہوئے ٹرانزسٹر آخر کار غیر افزائندہ خط میں داخل ہو جاتا ہے جہاں اس میں برقی رو I_{CQ} کی قیمت تقریباً $\frac{V_{CC}}{R_C}$ ہی رہتی ہے۔ غیر افزائندہ خط میں داخل ہونے کے بعد I_B بڑھانے سے ٹرانزسٹر غیر افزائندہ خط کے مزید گھرائی میں چلا جاتا ہے۔ اس خط میں ٹرانزسٹر مکمل طور چالو ہوتا ہے اور یہ چالو برقی سوئچ کا کردار ادا کرتا ہے۔ یہ صورت حال شکل 3.41 میں دکھایا گیا ہے۔

اس کے برعکس اگر I_B کی قیمت بتدریج کم کی جائے تو نقطہ کارکردگی اس جانب حرکت کرتا ہے جس جانب I_{CQ} کی قیمت کم ہوئی ہے۔ اگر I_B کو نہایت کم یا اسے بالکل روک کر صفر کر دیا جائے تو نقطہ کارکردگی افقی محور سے ٹکرا جائے گا جہاں $I_{CQ} = 0A$ اور $V_{CEQ} = V_{CC}$ ہو گا۔ اس نقطے پر ٹرانزسٹر مکمل منقطع صورت اختیار کئے ہوتا ہے اور یہ ایک منقطع برقی سوئچ کا کردار ادا کرتا ہے۔

3.10.5 خارجی اشارہ کے حدود

مندرجہ بالا حصے میں ہم نے دیکھا کہ I_B کو بڑھا کر ٹرانزسٹر کو غیر افزائندہ کیا جا سکتا ہے جبکہ اسے گھٹا کر ٹرانزسٹر کو منقطع کیا جا سکتا ہے۔ ٹرانزسٹر کو بطور ایمپلیفائر استعمال کرتے ہوئے اس بات کو یقینی رکھنا ضروری ہے کہ ٹرانزسٹر افزائندہ خط میں ہی رہے۔ نقطہ کارکردگی تعین کرنے کے پیچھے کئی وجوہات ہو سکتے ہیں۔ شکل 3.42 میں نقطہ کارکردگی کو یوں رکھا گیا ہے کہ اشارہ کے عدم موجودگی میں I_{BQ} کم سے کم ہو۔ موبائل فون میں ایسا ہی کیا جاتا ہے تاکہ اس کی بیٹری زیادہ وقت بغیر چارج کئے کام کر سکے۔ شکل الف میں اس ایمپلیفائر کا خارجی اشارہ v_{ce} دکھایا گیا ہے۔ اگر ایمپلیفائر کا داخلی اشارہ v_s مزید بڑھ جائے تو ظاہر ہے کہ v_{ce} بھی بڑھنے کی کوشش کرے گا لیکن جیسے شکل ب سے واضح ہے کہ ایسا نہیں ہو گا۔ اگرچہ v_{ce} کا آدھا لمب صفحی بڑھ گیا ہے لیکن اس کا دوسرا حصہ تراشا گیا ہے۔ اگر نقطہ کارکردگی کو a سے قدر بائیں نقطہ b پر منتقل کر دیا جائے تو موجودہ v_{ce} بغیر تراشی حاصل کیا جا سکتا ہے۔ آپ یہ بھی دیکھ سکتے ہیں کہ اگر نقطہ کارکردگی کو مزید بائیں،



شکل 3.42: خارجی اشارہ کے حدود

نقطہ c پر منتقل کر دیا جائے جائے تو v_{ce} لہر کا دوسرا جانب تراشنا شروع ہو جائے گا۔ جیسے شکل 3.42 الف میں دکھایا گیا ہے کہ افزائندہ ٹرانزسٹر کے v_{CE} کی کم سے کم ممکنہ قیمت $V_{CE\text{افزائندہ حد}}$ ہے جبکہ اس کی زیادہ سے زیادہ ممکنہ قیمت V_{CC} ہے۔ ان حدود کو A اور B نقطے دار لکھوں سے دکھایا گیا ہے۔ v_{CE} ان حدود سے تجاوز نہیں کر سکتا لہذا نقطہ کارکردگی Q کے ایک جانب خارجی اشارے کی چوٹی A تک اور دوسری جانب B تک بغیر تراشہ بڑھائی جا سکتی ہے۔ جیسے شکل الف میں دکھایا گیا ہے یوں ہم سائیں۔ نما خارجی اشارہ v_{ce} کی زیادہ سے زیادہ چوٹی کی حد کا تعین اس شکل سے کر سکتے ہیں۔

3.10.6 بدلتی رو، بار کا خط

ٹرانزسٹر ادوار میں V_{BE} اور β کے تبدیلی سے نقطہ کارکردگی کے تبدیلی کو روکنے کی خاطر R_E استعمال کیا جاتا ہے۔ البتہ جیسے آپ صفحہ 303 پر مساوات 3.217 میں دیکھیں گے، R_E کے استعمال سے ٹرانزسٹر ایمپلیفیائر کی افراش کم ہو جاتی ہے۔ نقطہ کارکردگی یک سمتی رو سے تعین کیا جاتا ہے جبکہ افراش کا تعلق بدلتے اشارات کے ساتھ ہے۔ یوں اگر کسی طرح یک سمتی رو کے نقطہ نظر سے دور میں پایا جائے جبکہ بدلتے اشارے کے نقطہ نظر سے R_E کی قیمت صفر کر دی جائے تو دونوں واجبات پورے ہوں گے۔ شکل 3.43 الف میں R_E کے متوازی لاحدود قیمت کا کپیسٹر نسب کیا گیا ہے۔ یک سمتی رو کپیسٹر سے نہیں گزری، لہذا نقطہ کارکردگی حاصل کرتے وقت کپیسٹر کو نظر انداز کیا جائے گا۔ لاحدود کپیسٹر کی برقی رکاوٹ صفر اول ہم ہے جو R_E کے متوازی جزا ہے۔ یوں بدلتا اشارہ R_E سے برگز نہیں گزرے گا بلکہ یہ کپیسٹر کے راستے گزرنے گا۔ بدلتی رو کو مزاحمت کر متبادل راستہ فراہم کرنے والا کپیسٹر قصری کپیسٹر²⁹ پکارا جاتا ہے۔ محدود کپیسٹر کے کارکردگی پر باب 6 میں غور کیا

bypass capacitor²⁹

جائز گا۔ اس حصے میں لامحدود کپیسٹر نسب کرنے کے اثرات پر غور کیا جائے گا۔ اس کتاب کے حصہ 2.12.1 میں ڈائیوڈ ادوار کے بدلنی رو، بار کے خط پر غور کیا گیا۔ ائمی ٹرانزسٹر کے بدلنی رو، بار کے خط پر غور کریں۔

شکل 3.43 الف کے خارجی جانب

$$(3.69) \quad V_{CC} = i_C R_C + v_{CE} + i_E R_E \\ \approx v_{CE} + i_C (R_C + R_E) \quad \text{یک سمتی رو، بار کا خط}$$

ہر جہاں $i_C \approx i_E$ لیا گیا ہے۔ ڈائیوڈ کی طرح یہاں مندرجہ بالا مساوات کو یک سمتی رو، بار کا خط پکارا جاتا ہے جسے عموماً چھوٹا کر کے صرف یک سمتی بار کا خط³⁰ کہتے ہیں۔ شکل 3.44 الف میں i_E کو یک سمتی I_{EQ} اور بدلنی i_e حصوں میں لکھا گیا ہے۔ یک سمتی اشارے کے لئے کپیسٹر کو ہلے سرے کردار ادا کرتا ہے لہذا، جیسے شکل 3.44 ب میں لکھا گیا ہے، I_{EQ} صرف مراہم R_E سے گزرے گا۔ یوں ٹرانزسٹر کے ایٹر پر $V_{EQ} = I_{EQ} R_E$ ہو گا۔ کپیسٹر پر ہی یہی یک سمتی برقی دباؤ پایا جائے گا۔

جیسے شکل 3.44 ب پ میں لکھا گیا ہے، بدلنے اشارے کے لئے لامحدود کپیسٹر کی برقی رکاوٹ $\frac{1}{j\omega C_E} = 0$ ہو گی اور یوں i_e کپیسٹر کے راستے گزرنے کا۔ اس طرح ٹرانزسٹر کے ایٹر پر برقی دباؤ پیدا کوئی کردار ادا نہیں کرے گا۔ صرف I_E کے بدولت ایٹر پر برقی دباؤ پیدا ہو گا۔ ان حقائق کو استعمال کرتے ہوئے مندرجہ بالا مساوات میں متغیرات کو یک سمتی اور بدلنے حصوں میں لکھتے ہیں

$$(3.70) \quad V_{CC} = (I_{CQ} + i_e) R_C + (V_{CEQ} + v_{ce}) + I_{EQ} R_E$$

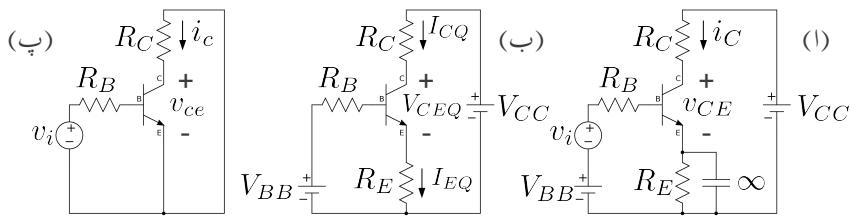
بدلنے اشارات کے عدم موجودگی میں مساوت 3.70 کو یوں لکھا جا سکتا ہے

$$(3.71) \quad V_{CC} \approx V_{CEQ} + I_{CQ} (R_C + R_E) \quad \text{یک سمتی رو، بار کا خط}$$

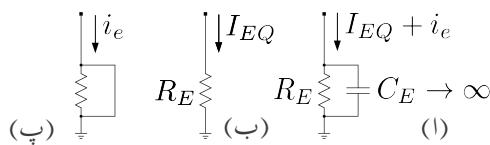
جہاں $I_{CQ} \approx I_{EQ}$ لیا گیا ہے۔ آپ تسلی کر لیں کہ بدلنے اشارے کے عدم موجودگی میں مندرجہ بالا مساوات اور مساوت 3.69 ایک ہی خط کو ظاہر کرتے ہیں لہذا مساوات 3.71 بھی یک سمتی رو، بار کے خط کی مساوات ہے۔

شکل 3.43 ب سے بھی مساوات 3.71 حاصل ہوتا ہے لہذا شکل 3.43 ب درحقیقت شکل 3.43 الف کا مساوی یک سمتی دور ہے۔ آپ دیکھ سکتے ہیں کہ یک سمتی دور حاصل کرنے کی خاطر کپیسٹر کو ہلے سرے اور بدلنے اشارہ v_i کو صفر کرتے ہوئے بقايا دور لیا جاتا ہے۔ بدلنے اشارے کے موجودگی میں مساوات 3.70 کے یک سمتی اجزاء کو مساوات کے ایک جانب جبکہ بدلنے اجزاء کو دوسرے جانب لکھتے ہیں۔

$$(3.72) \quad i_C R_C + v_{ce} = \underbrace{V_{CC} - I_{CQ} R_C - V_{CEQ} - I_{EQ} R_E}_0$$



شکل 3.43: کپیسٹر اور بدلنی رو، بار کا خط



شکل 3.44: یک سمتی اور بدلنے رو کی علیحدگی

مساوات 3.71 کو $V_{CC} - I_{CQ}R_C - V_{CEQ} - I_{CQ}R_E = 0$ لکھتے ہوئے ہم دیکھتے ہیں کہ مندرجہ بالا مساوات میں مساوی نشان کے دائیں جانب صفر لکھا جا سکتا ہے لہذا اس سے

$$(3.73) \quad i_c R_C + v_{ce} = 0 \quad \text{بدلنی رو، بار کا خط}$$

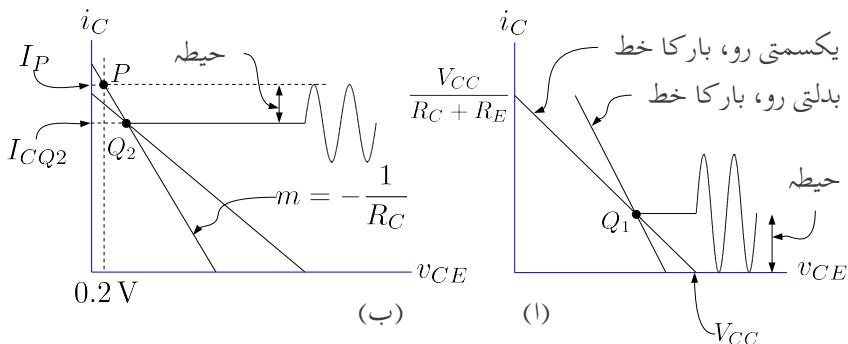
حاصل ہوتا ہے جو بدلنی رو، بار کا خط ہے جسے عموماً بدلنی بار کا خط³¹ پکارا جاتا ہے۔ شکل 3.43 پ سے ہی یہی مساوات حاصل ہوتا ہے۔ بدلنی رو، مساوی شکل حاصل کرتے وقت تمام یک سمتی برق دباؤ کے سپلائے اور تمام کپیسٹروں کو قصر دور کرتے ہوئے دور کا بقايا حصہ لیا جاتا ہے۔

مساوات 3.71 سے یک سمتی بار کے خط کی مزاحمت $R = R_C + R_E$ پکستی R جبکہ مساوات 3.73 سے بدلنی بار کے خط کی مزاحمت $R_E = R_{\text{بدلنی}}$ حاصل ہوتے ہیں۔ یہ ایک دلچسپ صورت ہے۔ بدلنے اشارے کے عدم موجودگی میں دور کا نقطہ کارکردگی یک سمتی بار کے خط پر پایا جائے گا جبکہ بدلنے اشارے کے موجودگی میں دور بدلنی بار کے خط پر چھل قدمی کرے گا۔

شکل 3.45 الف میں یک سمتی بار کے خط پر Q_1 نقطہ کارکردگی ہے۔ بدلنے اشارے کے عدم موجودگی میں ٹرانزسٹر اسی نقطے پر رہے گا۔ بدلنی رو، بار کا خط اسی نقطے پر کھینچا جاتا ہے۔ یک سمتی رو، بار کے خط کی ڈھلوان $\frac{1}{R_{\text{بدلنی}}} - 1$ ہے۔ اسی طرح بدلنی رو، بار کے خط کی ڈھلوان $m = -\frac{1}{R_{\text{بدلنی}}}$ ہے۔

بدلنے اشارے کے موجودگی میں ٹرانزسٹر بدلنی رو، بار کے خط پر چھل قدمی کرے گا۔ سائن نما بدلنے اشارے کے موجودگی میں i_C دکھایا گیا ہے۔ شکل میں زیادہ سے زیادہ ممکنہ منفی حیطے کا i_C

AC load line³¹



شكل 3.45: بدلتی رو، بار کرے خط پر چہل قدمی

دکھایا گیا ہے۔ اگر داخلی اشارے کو مزید بڑھایا جائے تو i_C کا نچلا یعنی منفی حصہ تراشا جائے گا۔ آپ دیکھ سکتے ہیں کہ نقطہ کارکردگی کو (V_{CEQ}, I_{CQ}) پر رکھتے ہوئے زیادہ سے زیادہ ممکنہ منفی حیطہ I_{CQ} حاصل ہوتا ہے۔

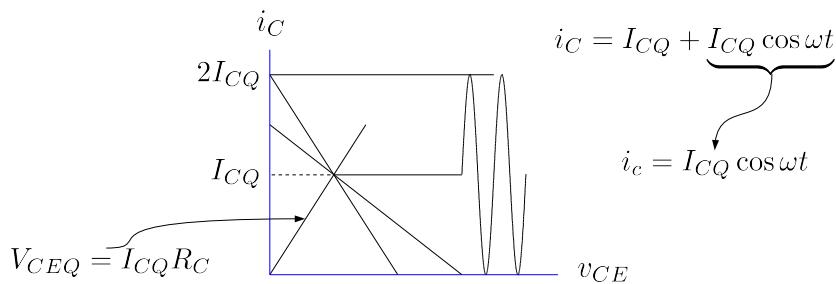
شکل 3.45 ب میں یک سمتی بار کرے خط پر Q_2 نقطہ کارکردگی ہے۔ سائن نما بدلتی اشارے کے موجودگی میں i_C دکھایا گیا ہے۔ غیر افادہ V_{CE} یعنی 0.2 V پر نقطے دار عمودی لکیر لگائی گئی ہے جسے بدلتی رو، بار کا خط P پر نکراتا ہے۔ چونکہ ٹرانزسٹر V_{CE} غیر افادہ سے کم برقی دباؤ پر قوتِ افزائش کھو دیتا ہے لہذا i_C کی مشتبہ چھوٹی شکل میں دکھائے I_P پر تراشی جائے گی۔ اس طرح i_C کا زیادہ سے زیادہ ممکنہ حیطہ $I_P - I_{CQ2}$ کے برابر ہو گا۔

آئیں بدلتی بار کرے خط کی مساوات حاصل کریں۔ $x - y - m \cdot \text{مدد} = v_{CE} - v_{CE}$ ڈھلوان اور نقطے $(x' - y')$ سے گزرتے خط کی مساوات (V_{CEQ}, I_{CQ}) پر بدلتی بار کرے خط کی مساوات درکار ہے۔ بدلتی بار کرے خط کی ڈھلوان پر نقطے $(x' - y')$ سے گزرتے خط کی مساوات درکار ہے۔

$$(3.74) \quad i_C - I_{CQ} = -\frac{1}{R_c} (v_{CE} - V_{CEQ})$$

شکل 3.45 میں نقطہ کارکردگی کو Q_1 اور Q_2 کے درمیان یوں رکھا جا سکتا ہے کہ i_C کا حیطہ دونوں جانب برابر تراشا جائے۔ اس طرح زیادہ سے زیادہ ممکنہ حیطے کا i_C حاصل کیا جا سکتا ہے۔ مساوات 3.74 کو استعمال کرتے ہوئے اس نقطے کو حاصل کرتے ہیں۔ شکل 3.46 میں یک سمتی رو، بار کا خط اور بدلتی رو، بار کا خط دکھائیں گئے ہیں۔ V_{CE} کو نظر انداز کرتے ہوئے ہم دیکھتے ہیں کہ اگر بدلتی رو، بار کا خط عمودی مدد کو $2I_{CQ}$ پر چھوئے تب i_C کے دونوں جانب نا تراشا حیطہ I_{CQ} ہو گا۔ مساوات 3.74 میں یوں $v_{CE} = 0$ پر $i_C = 2I_{CQ}$ رکھتے ہوئے

$$2I_{CQ} - I_{CQ} = -\frac{1}{R_c} (0 - V_{CEQ})$$



شکل 3.46: زیادہ سے زیادہ ممکنہ حیطہ حاصل کرنے کے لئے درکار نقطہ کارکردگی

یعنی

$$(3.75) \quad V_{CEQ} = I_{CQ}R_C$$

حاصل ہوتا ہے۔ اس مساوات کو ہی شکل میں دکھایا گیا ہے۔ جہاں یہ مساوات اور یک سمتی بار کا خط آپس میں ملتے ہیں وہ درکار نقطہ کارکردگی ہے۔ مساوات 3.71 میں $I_{CQ} \approx I_{EQ}$ لکھتے ہوئے اس میں مساوات 3.75 پر کرتے ہوئے دونوں جانب زیادہ سے زیادہ حیطہ حاصل کرنے کے لئے درکار نقطہ کارکردگی پر برقی رو

$$I_{CQ} = \frac{V_{CC}}{2R_C + R_E}$$

حاصل ہوئے۔ اس مساوات میں $R = R_C + R_E$ اور $R_C = R_{\text{پکسمی}} + R_{\text{بدلی}}$ لکھتے ہوئے ایسا مساوات حاصل ہوتا ہے جو یاد رکھنے کے لئے زیادہ آسان ثابت ہوتا ہے یعنی

$$(3.76) \quad I_{CQ} = \frac{V_{CC}}{R_{\text{بدلی}} + R_{\text{پکسمی}}}$$

اس مساوات کو مساوات 3.75 کے ساتھ ملاتے ہوئے

$$(3.77) \quad V_{CEQ} = \frac{R_{\text{بدلی}} V_{CC}}{R_{\text{بدلی}} + R_{\text{پکسمی}}}$$

حاصل ہوتا ہے۔ مساوات 3.76 اور مساوات 3.77 زیادہ سے زیادہ ممکنہ حیطے کا خارجی بدلتا اشارہ حاصل کرنے کے لئے درکار نقطہ کارکردگی دیتے ہیں۔

مثال 3.28: شکل 3.43 الف میں $V_{CC} = 12 \text{ V}$ اور $R_E = 200 \Omega$ ، $R_C = 1 \text{ k}\Omega$ ، $R_{\text{پکسیٹر}} = 1 \text{ M}\Omega$ کی قیمت کو لامحدود تصور کرتے ہوئے بدلنے اشارے کا زیادہ سے زیادہ ممکنہ حیطہ حاصل کرنے کے لئے درکار نقطہ کارکردگی حاصل کریں۔

حل: مساوات 3.76 اور مساوات 3.77 میں $R = 1000 + 200 = 1200$ پسندیدہ اور $R = 200$ استعمال کرتے ہوئے

$$I_{CQ} = \frac{12}{1200 + 200} = 8.57 \text{ mA}$$

$$V_{CEQ} = \frac{12 \times 1000}{1200 + 200} = 8.57 \text{ V}$$

نقطہ کارکردگی حاصل ہوتا ہے۔ یوں خارجی برق رو کا زیادہ سے زیادہ ممکنہ حیطہ 8.57 mA ہے۔

مثال 3.29: مندرجہ بالا مثال میں $\beta = 37$ لیتے ہوئے R_B اور V_{BB} حاصل کریں۔
حل: $R_E = \frac{10R_B}{\beta+1}$ کے استعمال سے $R_B = 760 \Omega$ حاصل ہوتا ہے۔ کرچاف کے قانون برائے برق دباؤ کے استعمال سے

$$V_{BB} = V_{BE} + I_E \left(\frac{R_B}{\beta + 1} + R_E \right)$$

$$= 0.7 + 8.57 \times 10^{-3} \left(\frac{760}{37 + 1} + 200 \right) = 2.58 \text{ V}$$

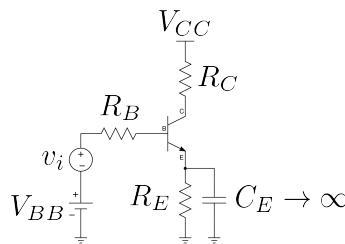
حاصل ہوتا ہے۔

مثال 3.30: شکل 3.47 میں $R_C = 1.2 \text{ k}\Omega$ ، $V_{CC} = 17 \text{ V}$ جبکہ کپیسٹر کی قیمت لامحدود ہے۔ ٹرانزسٹر کے β کی قیمت 50 تا 150 جبکہ V_{BE} کی قیمت 0.6 تا 0.8 ممکن ہے۔ V_{CE} کو 0.2 V اور R_B اور R_E کے ایسی قیمتیں حاصل کریں کہ i_C کم از کم $\pm 4 \text{ mA}$ تک ممکن ہو۔

حل: شکل 3.48 میں صورت حال دکھائی گئی ہے۔ یک سمتی رو، بار کا خط افقی محور کو V_{CC} پر جبکہ عمودی محور کو $\frac{V_{CC}}{R_C + R_E}$ پر چھوٹا ہے۔ بدلتی رو، بار کے خط کی ڈھلوان $\frac{1}{R_C}$ ہے۔ جب تک i_C بدلتی رو بار کا خط Q_1 اور Q_2 کے درمیان یک سمتی رو بار کے خط کو ٹکرائے اس وقت تک کا حیطہ $\pm 4 \text{ mA}$ ممکن ہے۔ Q_1 اور Q_2 کے درمیان کسی اور مقام پر بدلتی رو بار کا خط پائی جانے کی صورت میں i_C کا حیطہ $\pm 4 \text{ mA}$ یا اس سے زیادہ ممکن ہو گا۔

Q_1 پر پائی جانے والا بدلتی رو، بار کے خط کی صورت میں i_C کا حیطہ I_{CQ1} کے برابر ہو گا۔ اگر I_{CQ1} کی قیمت 4 mA ہو تو i_C کا حیطہ $\pm 4 \text{ mA}$ ممکن ہو گا۔ یوں

$$(3.78) \quad I_{CQ1} = 4 \text{ mA}$$



شکل 3.47: بدلی رو، بار کرے خط کی مثال

Q_2 پر پائے جانے والا بدلی رو بار کا خط، V_{CE} پر عمودی کھینچے خط کو نقطے P پر ٹکراتا ہے۔ چونکہ V_{CE} کم برق دباؤ پر ثرازنسٹر قوت افزائش کھو دیتا ہے لہذا i_C کا حیطہ $I_P - I_{CQ2}$ کے برابر ہو گا۔ اس طرح اگر Q_2 پر برقی رو I_{CQ2} پر نقطے P پر $I_{CQ2} + 4 \text{ mA}$ ہو تو i_C کا حیطہ $\pm 4 \text{ mA}$ ممکن ہو گا۔ کسی بھی سیدھے خط کی مساوات ($y' = m(x - x') + y$) سے $m = \frac{\Delta y}{\Delta x}$ حاصل ہوتا ہے جہاں Δx اور Δy اس خط پر کسی دونقطوں سے حاصل کئے جا سکتے ہیں۔ بدلی رو، بار کرے خط پر P اور Q_2 دونقطیں ہیں جن سے

$$-\frac{1}{1200} = \frac{I_{CQ2} + 4 \text{ mA} - I_{CQ2}}{V_{CEQ2} - V_{CEQ2}}$$

یعنی

$$V_{CEQ2} - 0.2 = 4 \times 10^{-3} \times 1200$$

یعنی

$$(3.79) \quad V_{CEQ2} = 5 \text{ V}$$

لکھا جا سکتا ہے۔ یک سمتی رو، بار کرے خط کی مساوات شکل 3.47 کے خارجی جانب کرچا ف کے قانون سے یوں لکھی جا سکتی ہے

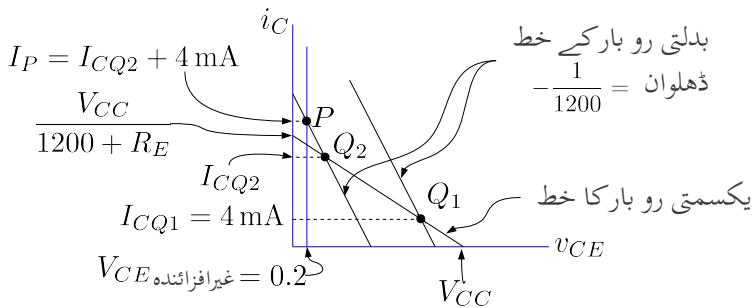
$$(3.80) \quad V_{CC} = V_{CEQ2} + I_{CQ2} (R_C + R_E)$$

مساوات 3.79 کو مندرجہ بالا مساوات میں استعمال کرتے ہیں

$$V_{CC} = 5 + I_{CQ2} (R_C + R_E)$$

جس سے I_{CQ2} کی قیمت

$$(3.81) \quad I_{CQ2} = \frac{V_{CC} - 5}{R_C + R_E} = \frac{12}{1200 + R_E}$$



شکل 3.48

حاصل ہوتی ہے۔ نقطہ کارکردگی کو Q_1 اور Q_2 کے درمیان رکھنے کی خاطر I_{CQ} کا مندرجہ ذیل مساوات پر پورا اترنا لازم ہے۔

$$(3.82) \quad I_{CQ1} < I_{CQ} < I_{CQ2}$$

$$4 \text{ mA} < I_{CQ} < \frac{12}{1200 + R_E}$$

جس سے $R_E < 1.8 \text{ k}\Omega$ حاصل ہوتا ہے۔ آئیں اب V_{BE} اور β میں تبدیلی کے اثرات کو دیکھیں۔ شکل 3.47 کے داخلی جانب

$$(3.83) \quad V_{BB} = V_{BE} + I_{CQ} \left(\frac{R_B}{\beta + 1} + R_E \right)$$

یعنی

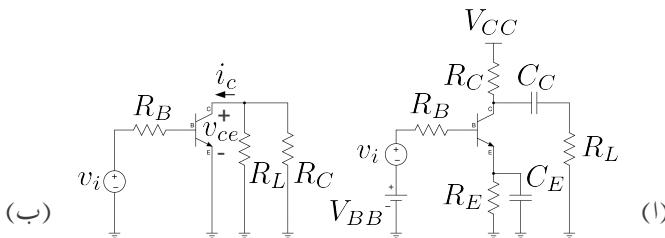
$$(3.84) \quad I_{CQ} = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{\frac{R_B}{\beta + 1} + R_E}$$

لکھا جا سکتا ہے۔ مساوات 3.83 کا کوئی واحد حل نہیں پایا جاتا ہے بلکہ مختلف R_E لیتے ہوئے اسے حل کیا جا سکتا ہے۔ مثلاً اگر $R_E = 1 \text{ k}\Omega$ لیا جائے تب $\beta = 50$ پر $R_B = 5.1 \text{ k}\Omega$ یعنی کمرت برق رو اس وقت پائی جائے گی جب حاصل ہوتا ہے۔ ہم دیکھتے ہیں کہ $I_{CQ1} = 4 \text{ mA}$ یعنی $V_{BE} = 0.8 \text{ V}$ اور $\beta = 50$ ہو۔ ان قیمتوں کو استعمال کرتے ہوئے

$$V_{BB} = 0.8 + 4 \times 10^{-3} \left(\frac{5100}{50 + 1} + 1000 \right) = 5.2 \text{ V}$$

حاصل ہوتا ہے۔ $V_{BE} = 0.6 \text{ V}$ اور $\beta = 150$ کی صورت میں مساوات 3.84 سے

$$I_{CQ} = \frac{5.2 - 0.6}{\frac{5100}{150 + 1} + 1000} = 4.45 \text{ mA}$$



شکل 3.49

حاصل ہوتا ہے۔ $R_E = 1\text{ k}\Omega$ پر مساوات 3.82 سے $I_{CQ2} = 5.45\text{ mA}$ حاصل ہوتا ہے جو کہ V_{CC} سے زیادہ ہے۔ یون 4.45 mA

$$R_E = 1\text{ k}\Omega$$

$$R_B = 5.1\text{ k}\Omega$$

$$V_{BB} = 5.2\text{ V}$$

مطلوبہ جوابات بین۔

مثال 3.31: شکل 3.49 الف میں C_C کے ذریعہ ایمپلیفائر کو برقی بار R_L کرے ساتھ وابستہ کیا گیا ہے۔ ایسا کپیسٹر جو دو حصوں کی وابستگی پیدا کرتے ہوئے ایک حصے سے دوسرا حصے میں اشارے کی منتقلی کرے جفتی کپیسٹر³² پکارا جاتا ہے۔ شکل میں i_C کا زیادہ سے زیادہ ممکنہ حیطہ اور اس کے لئے درکار نقطہ کارکردگی حاصل کریں۔ کپیسٹروں کی قیمت لامحدود تصور کریں۔ حل: یک سمتی رو کے لئے کپیسٹروں کو کھلے سرے کرتے ہوئے یک سمتی رو، بار کے خط کی مساوات حاصل کرتے ہیں۔

$$(3.85) \quad V_{CC} = i_C R_C + v_{CE} + i_E R_E$$

$$(3.86) \quad \approx v_{CE} + i_C (R_C + R_E) \quad \text{یک سمتی رو، بار کا خط}$$

بدلے اشارے کے عدم موجودگی میں اس مساوات کو یوں لکھ سکتے ہیں۔

$$(3.87) \quad V_{CC} \approx V_{CEQ} + I_{CQ} (R_C + R_E) \quad \text{یک سمتی رو، بار کا خط}$$

شکل ب میں بدلتی رو، بار کا خط حاصل کرنے کی خاطر V_{BB} ، V_{CC} اور کپیسٹروں کو قصر دور کیا گیا ہے۔ آپ دیکھ سکتے ہیں کہ بدلے اشارے کے نقطہ نظر سے R_C اور R_L متوازی جڑے ہیں۔ اس

³² coupling capacitor

دور سے بدلتی رو، بار کا خط یوں حاصل ہوتا ہے۔

$$(3.88) \quad v_{ce} + i_c \left(\frac{R_C R_L}{R_C + R_L} \right)$$

چونکہ $i_C = I_{CQ} + i_c$ اور $v_{CE} = V_{CEQ} + v_{ce}$ ہوتے ہیں لہذا مندرجہ بالا مساوات کو یوں لکھا جا سکتا ہے

$$(3.89) \quad i_C - I_{CQ} = - \left(\frac{R_C + R_L}{R_C R_L} \right) (v_{CE} - V_{CEQ}) \quad \text{بدلتی رو، بار کا خط}$$

جو کہ درکار بدلتی رو، بار کا خط ہے۔ یہ مساوات 3.74 کے طرز کی مساوات ہے لہذا مساوات 3.75 کی طرز پر یہاں بھی مساوات 3.87 اور

$$(3.90) \quad V_{CEQ} = I_{CQ} R_{\text{پدلي}} = I_{CQ} \frac{R_C R_L}{R_C + R_L}$$

کو آپس میں حل کرتے ہوئے نقطہ کارکردگی حاصل کرتے ہیں۔

$$V_{CC} = I_{CQ} \frac{R_C R_L}{R_C + R_L} + I_{CQ} (R_C + R_E)$$

جس سے

$$(3.91) \quad I_{CQ} = \frac{V_{CC}}{\frac{R_C R_L}{R_C + R_L} + R_C + R_E} = \frac{V_{CC}}{R_{\text{پدلي}} + R_{\text{بڪسٽي}}}$$

$$(3.92) \quad V_{CEQ} = I_{CQ} R_{\text{پدلي}} = \frac{V_{CC}}{1 + \frac{R_{\text{بڪسٽي}}}{R_{\text{پدلي}}}}$$

حاصل ہوتا ہے جو کہ زیادہ سے زیادہ ممکنہ حیطہ حاصل کرنے کے لئے درکار نقطہ کارکردگی ہے۔ جیسے شکل 3.46 میں دکھایا گیا ہے یوں i_C کا زیادہ سے زیادہ نا تراشا حیطہ مندرجہ بالا مساوات میں دئے گئے برابر ہو گا۔ چونکہ i_c متوازی جنرے R_L اور R_C سے گزرتا ہے لہذا تقسیم برقی رو سے R_L میں برقی رو i_{RL} کی قیمت $\frac{R_C I_{CQ}}{R_L + R_C}$ ہو گی۔ سائن نما اشارے کی صورت میں یوں

$$(3.93) \quad i_{RL} = \frac{R_C}{R_L + R_C} I_{CQ} = \frac{R_C}{R_L + R_C} \left(\frac{V_{CC}}{\frac{R_C R_L}{R_C + R_L} + R_C + R_E} \right)$$

ہو گئی۔

مثال 3.32: شکل 3.49 میں 3.49 V سے زیادہ حیطے کا i_C حاصل کرنے کے لئے درکار نقطہ کارکردگی حاصل کریں۔ حل: چونکہ $R_E = 400\Omega$ اور $R_C = R_L = 2k\Omega$ ہے لہذا مساوات 3.91 کے تحت نقطہ کارکردگی

$$I_{CQ} = \frac{12}{2400 + 1000} = 3.529 \text{ mA}$$

$$V_{CEQ} = 3.529 \times 10^{-3} \times 1000 = 3.529 \text{ V}$$

حاصل ہوتا ہے۔ یوں i_C کا زیادہ سے زیادہ ممکنہ حیطہ 3.529 mA اور R_L سے گزرتے برق رو i_{RL} کا زیادہ سے زیادہ ممکنہ حیطہ 1.765 mA ہو گا۔

3.11 ٹرانزسٹر مادل براۓ وسیع اشارات

قلم و کاغذ استعمال کرتے ہوئے ٹرانزسٹر ادوار کے قابل قبول حل حاصل کرنے کے طریقوں پر گرشنہ حصوں میں تصریح ہوئے۔ ان طریقوں سے حاصل جوابات سے بہتر نتائج حاصل کرنے کی خاطر نسبتاً بہتر مادل استعمال کئے جاتے ہیں۔ آئیں ایسے چند مادلوں پر غور کرتے ہیں۔

3.11.1 ایز-مال مادل

ایز-مال مادل ٹرانزسٹر کو افزائندہ، غیر افزائندہ اور منقطع تینوں خطوں میں نہایت عملگی سے بیان کرتا ہے اور اسے استعمال کرتے ہوئے حقیقت کے بہت قریب نتائج حاصل ہوتے ہیں۔ یہ مادل کم تعدد کرے اشارات کے لئے استعمال کیا جاتا ہے۔ کمپیوٹر کا بروگرام سپاٹ³³ اسی مادل سے اخذ کردہ مال۔ برداری مادل استعمال کرتا ہے جس پر اگلے حصے میں گفتگو ہو گی۔

عمومی طرز پر مادل کردہ npn ٹرانزسٹر کے مختلف مساوات لکھتے وقت مساوات میں (F) بطور زیر نوشت استعمال کیا جائے گا جو عمومی طرز پر مادل کردہ ٹرانزسٹر کو ظاہر کرے گا۔

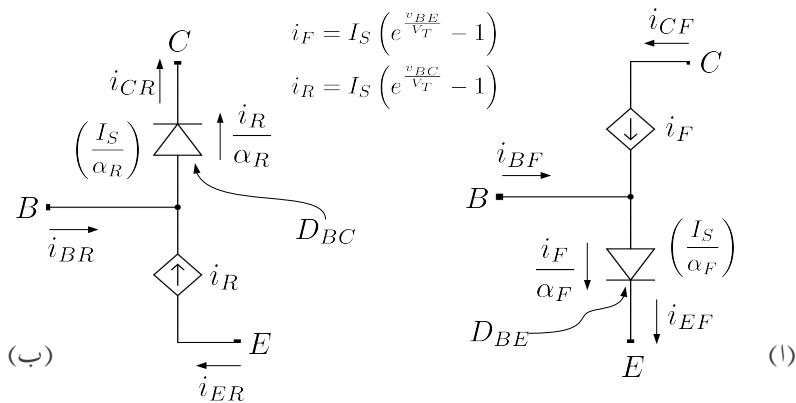
عمومی طرز پر مادل کردہ npn ٹرانزسٹر کے کلکٹر سرے پر برق رو کی مساوات مندرجہ ذیل ہے۔

$$(3.94) \quad i_{CF} = I_S \left(e^{\frac{V_{BE}}{V_T}} - 1 \right)$$

اس مساوات کی مدد سے ایثر برق رو i_{EF} اور بیس برق رو i_{BF} حاصل کرتے ہیں۔

$$(3.95) \quad i_{EF} = \frac{i_{CF}}{\alpha_F} = \frac{I_S}{\alpha_F} \left(e^{\frac{V_{BE}}{V_T}} - 1 \right)$$

$$(3.96) \quad i_{BF} = i_{EF} - i_{CF} = \frac{I_S}{\alpha_F} \left(e^{\frac{V_{BE}}{V_T}} - 1 \right) - I_S \left(e^{\frac{V_{BE}}{V_T}} - 1 \right)$$



شکل 3.50 npn ٹرانزسٹر کے ایپر-مال ماذل کا حصول

اس آخری مساوات کو حاصل کرتے وقت مساوات 3.94 اور مساوات 3.95 استعمال کئے گئے۔ اس آخری مساوات کو مزید حل کر کرے یوں بھی لکھا جا سکتا ہے۔

$$(3.97) \quad i_{BF} = I_S \left(\frac{1}{\alpha_F} - 1 \right) \left(e^{\frac{V_{BE}}{V_T}} - 1 \right) = \frac{I_S}{\beta_F} \left(e^{\frac{V_{BE}}{V_T}} - 1 \right)$$

جمہان

$$(3.98) \quad \left(\frac{1}{\alpha_F} - 1 \right) = \frac{1 - \alpha_F}{\alpha_F} = \frac{1}{\beta_F}$$

کا استعمال کیا گیا۔

ان مساوات سے آپ دیکھ سکتے ہیں کہ $i_{CF} = \beta_F i_{BF}$ اور $i_{CF} = \alpha_F i_{EF}$ ہیں جو کہ ٹرانزسٹر کے جانے پہچانے مساوات ہیں۔ یوں شکل 3.50 الف عمومی طرز پر ماذل npn ٹرانزسٹر کا وسیع اشاراتی ماذل ہے۔ مساوات 3.94، مساوات 3.95 اور مساوات 3.96 (یا اس کا مساوی مساوات 3.97) ٹرانزسٹر کے سروں پر برق روکرے مساوات ہیں۔ ایک ایسا دور جس کے تین سرے ہوں اور جس سے حل کر کے اس کے سروں پر یہی تین مساوات حاصل ہوں کو ٹرانزسٹر کا ماذل تصور کیا جاتا ہے۔

شکل 3.50 الف میں قابو پیدا کار برق روکا استعمال کیا گیا ہے جس کی قابو مساوات مندرجہ ذیل ہے۔

$$(3.99) \quad i_F = I_S \left(e^{\frac{v_{BE}}{V_T}} - 1 \right)$$

اس کے علاوہ اس شکل میں ایک عدد ڈائیوڈ استعمال کیا گیا ہے۔ جیسا کہ آپ دیکھ سکتے ہیں کہ یہ ٹرانزسٹر کے بیس۔ ایٹر جوڑ کا ڈائیوڈ D_{BE} ہے۔ مساوات 3.4 میں ڈائیوڈ کے لبریزی برق رو کو یہاں I_{SBE} لکھتے ہوئے اس ڈائیوڈ میں برق رو کی مساوات مندرجہ ذیل ہے۔

$$(3.100) \quad i_D = I_{SBE} \left(e^{\frac{v_{BE}}{V_T}} - 1 \right)$$

جہاں I_{SBE} بیس۔ ایٹر جوڑ کے ڈائیوڈ کا لبریزی برق رو ہے جس کی قیمت مندرجہ ذیل ہے

$$(3.101) \quad I_{SBE} = \frac{I_S}{\alpha_F}$$

شکل میں I_{SBE} کی اس قیمت کو یاد دیا کی خاطر ڈائیوڈ کے قریب قوسین میں بند لکھا گیا ہے۔ آئین شکل 3.50 الف کے تین سروں پر برق رو حاصل کریں۔ ہم دیکھتے ہیں کہ i_{CF} اور i_{EF} برابر ہیں یعنی

$$(3.102) \quad i_{CF} = I_S \left(e^{\frac{v_{BE}}{V_T}} - 1 \right)$$

ایٹر سرے کی برق رو i_{EF} اور ڈائیوڈ D_{BE} میں گرتی برق رو $I_{D_{BE}}$ بھی آپس میں برابر ہیں یعنی

$$(3.103) \quad i_{EF} = \frac{I_S}{\alpha_F} \left(e^{\frac{v_{BE}}{V_T}} - 1 \right)$$

بیس سرے پر کرچاف کے قانون برائے برق رو کے تحت ($i_{BF} = i_{EF} - i_{CF}$) ہو گا یعنی

$$(3.104) \quad i_{BF} = \frac{I_S}{\alpha_F} \left(e^{\frac{v_{BE}}{V_T}} - 1 \right) - I_S \left(e^{\frac{v_{BE}}{V_T}} - 1 \right)$$

ہم دیکھتے ہیں کہ مساوات 3.102، مساوات 3.103 اور مساوات 3.104 میں ہو ہو ٹرانزسٹر کے مساوات 3.94، مساوات 3.95 اور مساوات 3.96 ہیں۔ یوں شکل 3.50 الف میں دکھائیں دور کو عمومی طرز پر مائل کردہ ٹرانزسٹر کا ماذل تصور کیا جا سکتا ہے۔ اب تصور کریں کہ ٹرانزسٹر کے ایٹر اور کلکٹر سروں کو استعمال کے نقطہ سے آپس میں بدل دیا جائے یعنی بیس۔ ایٹر جوڑ کو غیر چالو جبکہ بیس۔ کلکٹر جوڑ کو سیدھا مائل کر دیا جائے۔ ایسا کرنے سے شکل ب حاصل ہوتا ہے جو غیر عمومی طرز پر مائل کردہ ٹرانزسٹر کا ماذل ہے۔ شکل ب میں i_{BR} ، i_{CR} ، i_{ER} اور α_R لکھتے وقت (R) کو بطور زیرِ نوشت استعمال کیا گیا ہے جو غیر عمومی طرز پر مائل کردہ صورت کو ظاہر کرتا ہے۔ شکل ب میں ٹرانزسٹر کے سروں کے نام تبدیل نہیں کئے گئے ہیں یعنی جس سرے کو شکل الف میں E کہا گیا، اسی سرے کو شکل ب میں بھی E کہا گیا ہے۔ یوں شکل ب میں ایٹر اور کلکٹر سروں پر برق رو کی سمیتی الٹی ہوں گی۔

شکل ب میں بیس۔ کلکٹر جوڑ کے ڈائیوڈ کے لبریزی برق رو I_{SBC} کی قیمت مندرجہ ذیل ہے

$$(3.105) \quad I_{SBC} = \frac{I_S}{\alpha_R}$$

یوں اس ڈائیوڈ کے برق رو کی مساوات مندرجہ ذیل ہو گئی۔

$$(3.106) \quad i_{DBC} = \frac{I_S}{\alpha_R} \left(e^{\frac{v_{BC}}{V_T}} - 1 \right)$$

شکل میں قابو پیدا کار برق رو i_R کا بھی استعمال کیا گیا ہے جس کی قابو مساوات مندرجہ ذیل ہے۔

$$(3.107) \quad i_R = I_S \left(e^{\frac{v_{BC}}{V_T}} - 1 \right)$$

اس شکل کے تین سروں پر برق رو حاصل کرتے ہیں۔
ہم دیکھتے ہیں کہ ڈائیوڈ کا برق رو ہی i_{CR} ہے لہذا

$$(3.108) \quad i_{CR} = \frac{I_S}{\alpha_R} \left(e^{\frac{v_{BC}}{V_T}} - 1 \right)$$

اسی طرح i_{ER} دراصل i_R ہی ہے لہذا

$$(3.109) \quad i_{ER} = I_S \left(e^{\frac{v_{BC}}{V_T}} - 1 \right)$$

بیس سرے پر کرچاف کے قانون برائے برق رو سے i_{BR} یوں حاصل ہوتا ہے۔

$$(3.110) \quad i_{BR} = i_{CR} - i_{ER} = \frac{I_S}{\alpha_R} \left(e^{\frac{v_{BC}}{V_T}} - 1 \right) - I_S \left(e^{\frac{v_{BC}}{V_T}} - 1 \right)$$

اس آخری مساوات کو حاصل کرتے وقت مساوات 3.108 اور مساوات 3.109 استعمال کئے گئے۔ اس آخری مساوات کو مزید حل کر کرے یوں بھی لکھا جا سکتا ہے۔

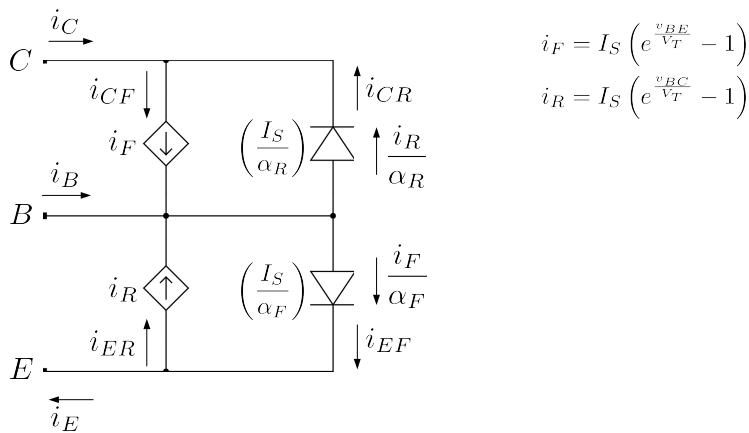
$$(3.111) \quad i_{BR} = I_S \left(\frac{1}{\alpha_R} - 1 \right) \left(e^{\frac{v_{BC}}{V_T}} - 1 \right) = \frac{I_S}{\beta_R} \left(e^{\frac{v_{BC}}{V_T}} - 1 \right)$$

جہاں

$$(3.112) \quad \left(\frac{1}{\alpha_R} - 1 \right) = \left(\frac{1 - \alpha_R}{\alpha_R} \right) = \frac{1}{\beta_R}$$

کا استعمال کیا گیا۔

$n-p-n$ ٹرانزسٹر کی کارکردگی کو افزائندہ، غیر افزائندہ اور منقطع تینوں خطوط میں بیان کرنے کی خاطر شکل 3.50 الف اور شکل ب کے ادوار آپس میں متوازی جوڑ کر شکل 3.51 حاصل کیا جاتا ہے جو $n-p-n$ ٹرانزسٹر کا ایک مال ماذلہ ہے۔ عمومی طرز پر مائل ٹرانزسٹر کا بیس۔ ایمٹر جوڑ سیدھا مائل (یعنی $v_{BE} \geq 0 \text{ V}$) ہوتا ہے جبکہ بیس۔ کلکٹر جوڑ چالو (یعنی $v_{BC} \leq 0.5 \text{ V}$) ہوتا ہے۔ یوں مثلاً اگر $i_F = 1.957 \text{ mA}$ اور $v_{BE} = -0.5 \text{ V}$ ہون تو $v_{BC} = 0.65 \text{ V}$ لیتے ہوئے



شکل 3.51: npn کا ٹرانزسٹر کا ایر-مال ماذل

اور $i_R \approx I_S$ حاصل ہوتے ہیں۔ اس طرح i_R اور اس پر منحصر جزو نظر انداز کئے جا سکتے ہیں۔ شکل 3.52 الف میں ایسا ہی کرتے ہوئے ماذل کرے وہ حصے دکھائے گئے ہیں جو عمومی طرز پر مائل ٹرانزسٹر کی کارکردگی دیتے ہیں۔ ماذل کرے بقایا حصوں پر کاثا لگایا گیا ہے نظر انداز کیا گیا ہے۔ اسی طرح شکل ب میں غیر عمومی طرز پر مائل ٹرانزسٹر کی کارکردگی دینے والے حصے دکھائے گئے ہیں جبکہ بقایا حصوں پر کاثا لگایا گیا ہے۔

i_F اور i_R کے مساوات ایک جیسے اشکال رکھتے ہیں اور یوں معلوم ہوتا ہے جیسے ٹرانزسٹر کے دونوں جانب کی کارکردگی یکسان ہو گی۔ حقیقت میں ایسا نہیں۔ فرض کریں کہ $\alpha_R = 0.01$ ، $\alpha_F = 0.99$ اور $I_S = 10^{-14} \text{ A}$ ہیں۔ اس ٹرانزسٹر کو عمومی طرز پر

$$V_{BE} = 0.65 \text{ V}$$

پر مائل کیا جاتا ہے۔ یوں

$$I_F = 1.9573 \text{ mA}$$

حاصل ہوتا ہے جس سے

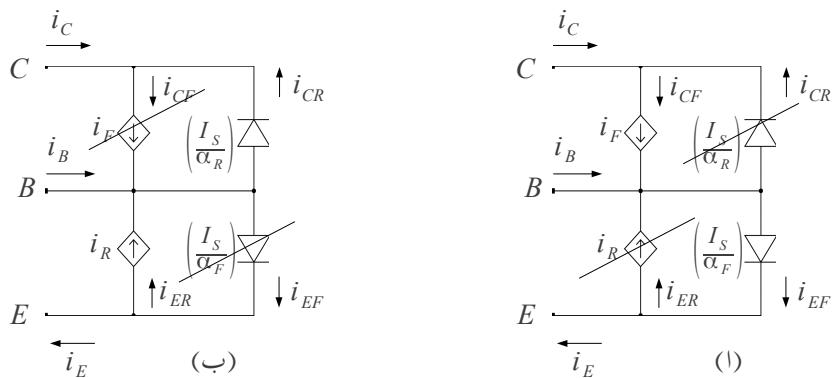
$$I_C = 1.9573 \text{ mA}$$

$$I_E = 1.9771 \text{ mA}$$

$$I_B = 19.573 \mu\text{A}$$

حاصل ہوتے ہیں۔ اس کے برعکس اگر اسی ٹرانزسٹر کو غیر عمومی طرز پر

$$V_{BC} = 0.65 \text{ V}$$



شكل 3.52: npn ایروز مال ماذل کی کارکردگی

پر مائل کیا جائے تب

$$I_R = 1.9573 \text{ mA}$$

حاصل ہوتا ہے۔ (ٹرانزسٹر کے سروں کے نام تبدیل کئے بغیر) اس سے

$$I_E = -1.9573 \text{ mA}$$

$$I_C = -195.73 \text{ mA}$$

$$I_B = 197.76 \text{ mA}$$

حاصل ہوتے ہیں۔ فرق صاف ظاہر ہے۔

غیر افزائندہ خطرے میں بیس۔ ایک جوڑ اور بیس۔ کلکٹر جوڑ دونوں سیدھے مائل ہو سکتے ہیں۔ ایسی صورت میں i_F اور i_R دونوں کی قیمتیں ناقابلِ نظر انداز ہوں گی اور پورا ماذل استعمال ہو گا۔ شکل 3.51 کو دیکھتے ہوئے ہم لکھ سکتے ہیں۔

$$(3.113) \quad i_E = i_{EF} - i_{ER} = i_{EF} - \alpha_R i_{CR}$$

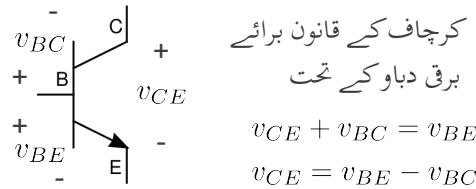
$$(3.114) \quad i_C = i_{CF} - i_{CR} = \alpha_F i_{EF} - i_{CR}$$

$$(3.115) \quad i_B = i_E - i_C$$

مساوات 3.102 اور مساوات 3.108 کے استعمال سے مساوات 3.114 کو یوں لکھا جا سکتا ہے۔

$$(3.116) \quad i_C = I_S \left(e^{\frac{v_{BE}}{V_T}} - 1 \right) - \frac{I_S}{\alpha_R} \left(e^{\frac{v_{BC}}{V_T}} - 1 \right)$$

$$(3.117) \quad \approx I_S e^{\frac{v_{BE}}{V_T}} - \frac{I_S}{\alpha_R} e^{\frac{v_{BC}}{V_T}}$$



شکل 3.53: ٹرانزسٹر پر برقی دباؤ کا آپس میں تعلق

اسی طرح مساوات 3.113 کو یوں لکھا جا سکتا ہے

$$(3.118) \quad i_E \approx \frac{I_S}{\alpha_F} e^{\frac{v_{BE}}{V_T}} - I_S e^{\frac{v_{BC}}{V_T}}$$

اس طرح مساوات 3.115 سے حاصل ہوتا ہے

$$(3.119) \quad \begin{aligned} i_B &\approx \left(\frac{I_S}{\alpha_F} e^{\frac{v_{BE}}{V_T}} - I_S e^{\frac{v_{BC}}{V_T}} \right) - \left(I_S e^{\frac{v_{BE}}{V_T}} - \frac{I_S}{\alpha_R} e^{\frac{v_{BC}}{V_T}} \right) \\ &= \left(\frac{1}{\alpha_F} - 1 \right) I_S e^{\frac{v_{BE}}{V_T}} + \left(\frac{1}{\alpha_R} - 1 \right) I_S e^{\frac{v_{BC}}{V_T}} \\ &= \frac{I_S}{\beta_F} e^{\frac{v_{BE}}{V_T}} + \frac{I_S}{\beta_R} e^{\frac{v_{BC}}{V_T}} \end{aligned}$$

مساوات 3.116 میں $e^{\frac{v_{BC}}{V_T}}$ کو فوسین کے باہر نکالنے سے اسے یوں لکھا جا سکتا ہے

$$(3.120) \quad i_C = I_S e^{\frac{v_{BC}}{V_T}} \left(e^{\frac{v_{BE}-v_{BC}}{V_T}} - \frac{1}{\alpha_R} \right)$$

شکل 3.53 میں ٹرانزسٹر پر برقی دباؤ کے مابین تعلق بیان کیا گیا ہے یعنی

$$(3.121) \quad v_{CE} = v_{BE} - v_{BC}$$

جس سے استعمال کرتے ہم اس مساوات کو یوں لکھ سکتے ہیں

$$(3.122) \quad i_C = I_S e^{\frac{v_{BC}}{V_T}} \left(e^{\frac{v_{CE}}{V_T}} - \frac{1}{\alpha_R} \right)$$

ہی طریقہ مساوات 3.119 پر استعمال کرتے ہیں یعنی

$$(3.123) \quad i_B = I_S e^{\frac{v_{BC}}{V_T}} \left(\frac{e^{\frac{v_{BE}-v_{BC}}{V_T}}}{\beta_R} + \frac{1}{\beta_R} \right)$$

$$(3.124) \quad = I_S e^{\frac{v_{BC}}{V_T}} \left(\frac{e^{\frac{v_{CE}}{V_T}}}{\beta_F} + \frac{1}{\beta_R} \right)$$

مساوات 3.122 کو مساوات 3.123 پر تقسیم کرنے سے حاصل ہوتا ہے

$$(3.125) \quad \frac{i_C}{i_B} = \frac{I_S e^{\frac{v_{BC}}{V_T}} \left(e^{\frac{v_{CE}}{V_T}} - \frac{1}{\alpha_R} \right)}{I_S e^{\frac{v_{BC}}{V_T}} \left(e^{\frac{v_{CE}}{V_T}} + \frac{1}{\beta_R} \right)} = \beta_F \frac{\left(e^{\frac{v_{CE}}{V_T}} - \frac{1}{\alpha_R} \right)}{\left(e^{\frac{v_{CE}}{V_T}} + \frac{\beta_F}{\beta_R} \right)}$$

اس مساوات سے v_{CE} کی مساوات حاصل کی جا سکتی ہے یعنی

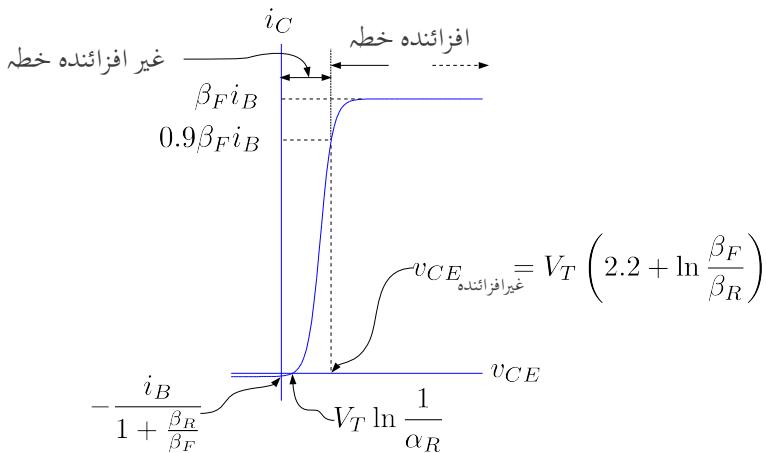
$$(3.126) \quad v_{CE} = V_T \ln \left(\frac{\frac{1}{\alpha_R} + \frac{(i_C/i_B)}{\beta_R}}{1 - \frac{(i_C/i_B)}{\beta_F}} \right)$$

مندرجہ بالا الجبرا سے ایسا معلوم ہوتا ہے جیسے ٹرانزسٹر کے ایمٹ اور کلکٹر سروں کو آپس میں بدلہ جا سکتا ہے۔ حقیقت میں ٹرانزسٹر یوں بنائے جاتے ہیں کہ عموماً $\alpha_F \approx 0.01$ اور $\alpha_R \approx 0.01$ کے برابر ہوتے ہیں۔ یوں β_F کی قیمت سے کئی گناہ زیادہ ہوتی ہے اور ٹرانزسٹر صرف عمومی طرز پر سیدھا مائل کرنے سے ہی اس کی صحیح کارکردگی حاصل کی جا سکتی ہے۔ مساوات 3.125 کو شکل 3.54 میں دکھایا گیا ہے۔ شکل سے واضح ہے کہ v_{CE} کو زیادہ بڑھانے سے برق رو i_C بڑھتے ہیں۔ برقرار قیمت $(\beta_F i_B)$ حاصل کر لیتے ہیں۔ شکل میں افرائندہ اور غیر افرائندہ خطوط کی نشاندہی بھی کی گئی ہے۔ شکل میں ان دو خطوں کے سرحد کو طے کرنا دکھایا گیا ہے۔ جہاں i_C کی قیمت اس کے بلند تر قیمت کے نویں فی صد ہو (یعنی جہاں $i_C = 0.9\beta_F i_B$ ہو) یہی ان دو خطوں کے مابین حد ہے۔ مساوات 3.126 سے اس حد پر برقی دباؤ v_{CE} یوں حاصل کیا جا سکتا ہے

$$(3.127) \quad V_{CE} = V_{CE_{\text{غيرافرائندہ}}} = V_T \ln \left(\frac{\frac{1+\beta_R}{\beta_R} + \frac{0.9\beta_F}{\beta_R}}{1 - 0.9} \right)$$

جس سے $V_{CE_{\text{غيرافرائندہ}}}$ لکھتے ہیں۔ عموماً β_F کی قیمت β_R سے کئی گناہ زیادہ ہوتی ہے اور یوں اس مساوات کو اس طرح بھی لکھا جا سکتا ہے۔

$$(3.128) \quad V_{CE_{\text{غيرافرائندہ}}} \approx V_T \ln \left(\frac{\frac{0.9\beta_F}{\beta_R}}{1 - 0.9} \right) = V_T \ln \frac{9\beta_F}{\beta_R} = V_T \left[2.2 + \ln \left(\frac{\beta_F}{\beta_R} \right) \right]$$



شکل 3.54: ایز-مال مادل سے حاصل کردہ ٹرانزسٹر کا خط

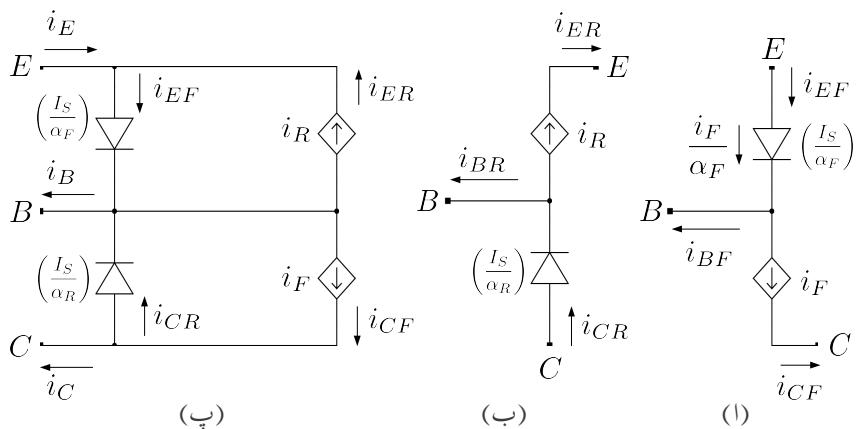
اگر $\beta_F = 180$ اور $\beta_R = 0.01$ ہو تو $V_{CE} = 0.2995 \text{ V}$ حاصل ہوتا ہے۔ اسی طرح اگر $\beta_F = 100$ اور $\beta_R = 0.15$ ہو تو $V_{CE} = 0.21756 \text{ V}$ حاصل ہوتا ہے۔ اس کتاب میں جہاں خاص طور بتایا نہ جائے ویا $V_{CE} = 0.2 \text{ V}$ لیا جائے گا۔

صفحہ 236 پر شکل 3.34 میں دئے خطوط سے یہ غلط ناشر ملتا ہے کہ $i_C = 0 \text{ A}$ پر $v_{CE} = 0 \text{ V}$ ہوتا ہے۔ شکل 3.54 سے صاف ظاہر ہے کہ ایسا بزرگ نہیں۔ $i_C = 0 \text{ A}$ پر $v_{CE} = V_T \ln \frac{1}{\alpha_R}$ کے برابر ہوتا ہے۔ اسی طرح $i_C > 0 \text{ A}$ پر $v_{CE} < 0 \text{ V}$ کی قیمت بھی یہاں شکل پر دکھائی گئی ہے۔

کچھ ادوار مثلاً ٹرانزسٹر-ٹرانزسٹر منطق³⁴ میں v_{CE} کی قیمت صفر یا منفی ہو سکتی ہے۔ ایسی صورت میں i_C کی قیمت بھی صفر یا منفی ہو سکتی ہے۔

3.11.2 ٹرانزسٹر کا ایز-مال مادل pnp

شکل 3.55 میں ایز-مال مادل کا حصول دکھایا گیا ہے۔ شکل الف میں عمومی طرز پر مائل کردہ ٹرانزسٹر کا مادل دکھایا گیا ہے۔ جیکہ شکل ب میں غیر عمومی طرز پر مائل کردہ ٹرانزسٹر کا مادل دکھایا گیا ہے۔ ان دونوں کو متوالی جوڑ کر شکل پ میں pnp ٹرانزسٹر کا مکمل ایز-مال مادل دکھایا گیا ہے۔ چونکہ عمومی طرز پر مائل کردہ pnp ٹرانزسٹر میں اینٹر-بیس ($E - B$) جوڑ سیدھا مائل کیا

شکل 3.55: pnp ٹرانزسٹر کا ایبرز-مال مادل

جاتا ہے لہذا pnp ٹرانزسٹر کے مساوات لکھتے وقت v_{EB} کا استعمال کیا جاتا ہے لہذا

$$i_F = I_S \left(e^{\frac{v_{EB}}{V_T}} - 1 \right)$$

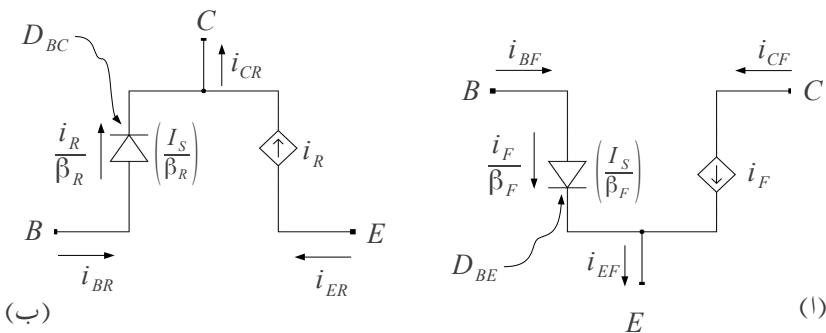
$$i_R = I_S \left(e^{\frac{v_{CB}}{V_T}} - 1 \right)$$

لکھ جائیں گے۔ امید کی جاتی ہے کہ آپ اس مادل کو خود سمجھ سکیں گے۔

3.11.3 مال برداری مادل

شکل 3.57 میں عمومی طرز پر مائل (یعنی سیدھا مائل) $n-p-n$ ٹرانزسٹر کا ایک اور مادل دکھایا گیا ہے جہاں i_{CF} ، i_{EF} وغیرہ لکھتے ہوئے (F) کو بطور زیر نوشت استعمال کیا گیا ہے جو کہ عمومی طرز پر مائل ٹرانزسٹر کو ظاہر کرتا ہے۔ عمومی طرز پر مائل کردہ (یعنی سیدھا مائل کردہ) ٹرانزسٹر کا بیس۔ ایٹر جوڑ سیدھا مائل جنکہ اس کا بیس۔ کلکٹر جوڑ غیر چالو رکھا جاتا ہے۔ اس شکل میں قابو پیدا کار برق رو i_F استعمال کیا گیا ہے۔ i_F وہ برق رو ہے جو ایٹر خطے اور کلکٹر خطے کے مابین بیس خطے کے ذریعہ چارجوں کی مال برداری سے پیدا ہوتا ہے۔ اسے سیدھے رخ مال برداری سے پیدا برق رو کہہ سکتے ہیں۔

اس مادل میں ایک عدد ڈائیوڈ استعمال کیا گیا ہے جو دراصل ٹرانزسٹر کے بیس۔ ایٹر جوڑ کے ڈائیوڈ D_{BE} کو ظاہر کرتا ہے۔ مساوات 2.4 میں ڈائیوڈ کے لبیزی برق رو کو I_{SBE} لکھتے ہیں۔ موجودہ استعمال



شکل 3.56: npn ٹرانزسٹر کے مال برداری ماذل کا حصول

میں I_{SBE} کی قیمت مندرجہ ذیل ہے

$$(3.129) \quad I_{SBE} = \frac{I_S}{\beta_F}$$

شکل الف میں ڈائیوڈ D_{BE} کے فریب قوسین میں بند I_{SBE} کی قیمت $\frac{I_S}{\beta_F}$ کو باد دیاں کے خاطر لکھا گیا ہے۔ اس طرح ڈائیوڈ D_{BE} کے مساوات کو یوں لکھا جا سکتا ہے۔

$$(3.130) \quad i_{DF} = \frac{I_S}{\beta_F} \left(e^{\frac{v_{BE}}{V_T}} - 1 \right)$$

شکل الف کو دیکھتے ہیں لکھ سکتے ہیں

$$(3.131) \quad i_{CF} = i_F = I_S \left(e^{\frac{v_{BE}}{V_T}} - 1 \right)$$

$$(3.132) \quad i_{BF} = i_{DF} = \frac{i_F}{\beta_F} = \frac{I_S}{\beta_F} \left(e^{\frac{v_{BE}}{V_T}} - 1 \right)$$

$$(3.133) \quad i_{EF} = i_{BF} + i_{CF} = \frac{i_{CF}}{\alpha_F} = \frac{I_S}{\alpha_F} \left(e^{\frac{v_{BE}}{V_T}} - 1 \right)$$

شکل 3.57 ب میں ٹرانزسٹر کے بیس۔ کلکٹر جوڑ کو سیدھا مائل جبکہ بیس۔ ایٹر جوڑ کو غیر چالو رکھ کر ٹرانزسٹر کو غیر عمومی طرز پر (یعنی الثا) مائل کیا گیا ہے۔ اس شکل میں ڈائیوڈ D_{BC} استعمال کیا گیا ہے جو ٹرانزسٹر کے بیس۔ کلکٹر جوڑ کے ڈائیوڈ کو ظاہر کرتا ہے۔ اس ڈائیوڈ کے لبریزی برق رو I_{SBC} کی قیمت مندرجہ ذیل ہے۔

$$(3.134) \quad I_{SBC} = \frac{I_S}{\beta_R}$$

شکل (ب) میں یاد دہانی کی خاطر ڈائیوڈ کے قریب اس قیمت کو قوسین میں بند لکھا گیا ہے۔ ڈائیوڈ کے علاوہ ایک عدد قابو پیدا کار برق رو i_R استعمال کیا گیا ہے جو ایمٹ اور کلکٹر خطوطوں کے مابین، بیس خط کے ذریعہ، چارجوں کے مال برداری سے پیدا برق رو کو ظاہر کرتا ہے۔ استعمال ہونے والے i_R کا قابو مساوات مندرجہ ذیل ہے۔

$$(3.135) \quad i_R = I_S \left(e^{\frac{v_{BC}}{V_T}} - 1 \right)$$

شکل ب کو دیکھتے ہوئے برق رو کے مساوات لکھتے ہیں۔

$$(3.136) \quad i_{ER} = i_R = I_S \left(e^{\frac{v_{BC}}{V_T}} - 1 \right)$$

$$(3.137) \quad i_{BR} = \frac{i_R}{\beta_R} = \frac{I_S}{\beta_R} \left(e^{\frac{v_{BC}}{V_T}} - 1 \right)$$

$$(3.138) \quad i_{CR} = i_{BR} + i_{ER} = \frac{i_R}{\alpha_R} = \frac{I_S}{\alpha_R} \left(e^{\frac{v_{BC}}{V_T}} - 1 \right)$$

ان مساوات میں (R) کو بطور زیر نوشت استعمال کیا گیا ہے جو غیر عمومی طرز پر مائل کردہ ٹرانزسٹر کو ظاہر کرتا ہے۔ یہاں بیس خط کے میں غیر عمومی (یعنی الٹی) رخ چارجوں کے مال برداری سے حاصل برق رو کو i_R کہا گیا ہے۔ یوں i_R کو الٹی رخ مال برداری سے پیدا برق رو کہہ سکتے ہیں۔

3.56 npn ٹرانزسٹر کو افزائندہ، غیر افزاں دہ اور منقطع تینوں خطوطوں میں ظاہر کرنے کی خاطر شکل الف اور شکل ب کو متوازی جوڑ کر شکل 3.57 حاصل کیا گیا ہے جو npn ٹرانزسٹر کا مال برداری ماذل ہے۔ دونوں اشکال کو متوازی جوڑتے وقت i_R اور i_F کے مجموعہ کو i_T کہا گیا ہے یعنی

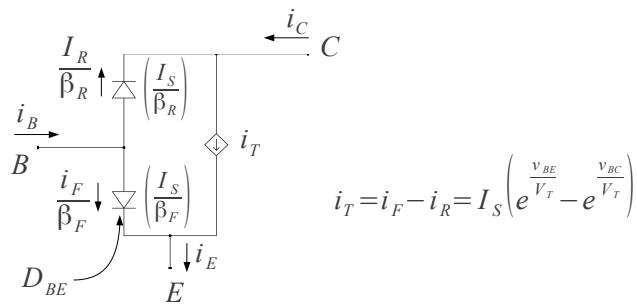
$$(3.139) \quad \begin{aligned} i_T &= i_F - i_R \\ &= I_S \left(e^{\frac{v_{BE}}{V_T}} - 1 \right) - I_S \left(e^{\frac{v_{BC}}{V_T}} - 1 \right) \\ &= I_S \left(e^{\frac{v_{BE}}{V_T}} - e^{\frac{v_{BC}}{V_T}} \right) \end{aligned}$$

یوں i_T کو کسی ہی طرز پر مائل کردہ ٹرانزسٹر میں چارجوں کے مال برداری سے حاصل برق رو تصور کیا جا سکتا ہے۔ شکل 3.57 میں ذکھائیے مال برداری ماذل کو دیکھتے ہوئے، مساوات 3.131 اور مساوات 3.136 کے استعمال سے کسی ہی طرز پر مائل ٹرانزسٹر کے مساوات حاصل کئے جا سکتے ہیں۔ آئیں ان مساوات کو حاصل کریں۔ ایسا کرتے وقت دھیان رہیں کہ i_{EF} کا رُخ ٹرانزسٹر کے سرے پر باہر جانب کو ہے، i_{ER} کا رُخ اندر کی جانب کو ہے، i_{CF} کا رُخ اندر جانب کو جبکہ i_{CR} کا رُخ باہر جانب کو ہے۔ یوں

$$(3.140) \quad i_C = i_{CF} - i_{CR}$$

$$(3.141) \quad i_E = i_{EF} - i_{ER}$$

$$(3.142) \quad i_B = i_{BF} - i_{BR}$$



شکل 3.57 ٹرانزسٹر کا مال برداری میڈل

$$\begin{aligned}
 i_C &= I_S \left(e^{\frac{v_{BE}}{V_T}} - 1 \right) - \frac{I_S}{\alpha_R} \left(e^{\frac{v_{BC}}{V_T}} - 1 \right) \\
 &= I_S \left(e^{\frac{v_{BE}}{V_T}} - 1 \right) - I_S \left(1 + \frac{1}{\beta_R} \right) \left(e^{\frac{v_{BC}}{V_T}} - 1 \right) \\
 &= I_S \left(e^{\frac{v_{BE}}{V_T}} - 1 \right) - I_S - \frac{I_S}{\beta_R} \left(e^{\frac{v_{BC}}{V_T}} - 1 \right) \\
 &\approx I_S \left(e^{\frac{v_{BE}}{V_T}} - 1 \right) - \frac{I_S}{\beta_R} \left(e^{\frac{v_{BC}}{V_T}} - 1 \right)
 \end{aligned}
 \tag{3.143}$$

$\frac{1}{\alpha} = 1 + \frac{1}{\beta}$ کا استعمال کیا گیا جس سے مساوات کے حصول میں دوسری قدم پر $\alpha = \frac{\beta}{1+\beta}$ کا استعمال کیا گیا۔ مساوات کے حصول کے آخری قدم پر I_S کو نظر انداز کیا گیا۔

$$\begin{aligned}
 i_E &= \frac{I_S}{\alpha_F} \left(e^{\frac{v_{BE}}{V_T}} - 1 \right) - I_S \left(e^{\frac{v_{BC}}{V_T}} - 1 \right) \\
 &= I_S \left(1 + \frac{1}{\beta_F} \right) \left(e^{\frac{v_{BE}}{V_T}} - 1 \right) - I_S \left(e^{\frac{v_{BC}}{V_T}} - 1 \right) \\
 &\approx I_S \left(e^{\frac{v_{BE}}{V_T}} - e^{\frac{v_{BC}}{V_T}} \right) + \frac{I_S}{\beta_F} \left(e^{\frac{v_{BE}}{V_T}} - 1 \right)
 \end{aligned}
 \tag{3.144}$$

مساوات 3.144 کے حصول میں دوسری قدم پر $\alpha = \frac{\beta}{1+\beta}$ کا استعمال کیا گیا جس سے مساوات کے حصول کے آخری قدم پر I_S کو نظر انداز کیا گیا ہے۔

$$i_B = \frac{I_S}{\beta_F} \left(e^{\frac{v_{BE}}{V_T}} - 1 \right) + \frac{I_S}{\beta_R} \left(e^{\frac{v_{BC}}{V_T}} - 1 \right)
 \tag{3.145}$$

مساوات 3.143 اور مساوات 3.144 میں پہلی فوسین بیس خطے میں کل چارجوں کی مال برداری سے پیدا برقی رو i_T کو ظاہر کرتا ہے جس کی قیمت شکل 3.56 الف اور شکل ب سے یوں حاصل ہوتی ہے۔

$$(3.146) \quad i_T = i_F - i_R = I_S \left(e^{\frac{v_{BE}}{V_T}} - e^{\frac{v_{BC}}{V_T}} \right)$$

یوں مساوات 3.143 اور مساوات 3.144 کو اس طرح لکھا جا سکتا ہے۔

$$(3.147) \quad i_C = i_T - \frac{I_S}{\beta_R} \left(e^{\frac{v_{BC}}{V_T}} - 1 \right)$$

$$(3.148) \quad i_E = i_T + \frac{I_S}{\beta_F} \left(e^{\frac{v_{BE}}{V_T}} - 1 \right)$$

مثال 3.33: مال برداری ماذل سے npn ٹرانزسٹر کے i_B ، i_C اور i_E برقی رو حاصل کریں۔ حل: شکل 3.57 کو دیکھتے ہوئے دو ڈائوڈ کے برقی رو یوں لکھے جا سکتے ہیں۔

$$i_{D_{BE}} = \frac{I_S}{\beta_F} \left(e^{\frac{v_{BE}}{V_T}} - 1 \right)$$

$$i_{D_{BC}} = \frac{I_S}{\beta_R} \left(e^{\frac{v_{BC}}{V_T}} - 1 \right)$$

اور یوں کرچاف کے قانون برائے برق رو سے i_B حاصل کیا جا سکتا ہے یعنی

$$(3.149) \quad i_B = i_{D_{BE}} + i_{D_{BC}}$$

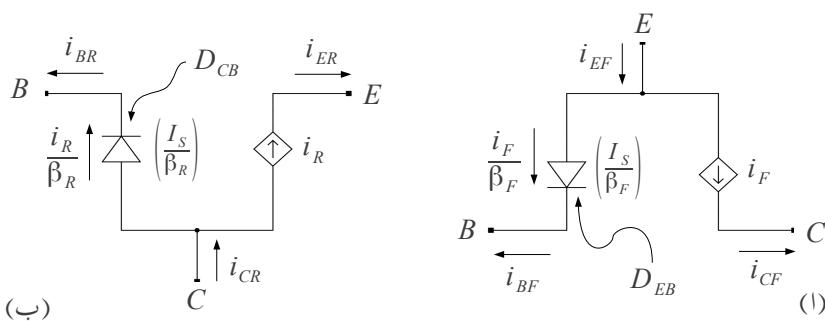
$$(3.150) \quad = \frac{I_S}{\beta_F} \left(e^{\frac{v_{BE}}{V_T}} - 1 \right) + \frac{I_S}{\beta_R} \left(e^{\frac{v_{BC}}{V_T}} - 1 \right)$$

یہ بالکل مساوات 3.145 ہی حاصل ہوا ہے۔ اسی طرح کلکٹر اور ایمٹ سروں پر کرچاف کے قانون برائے برق رو کی مدد سے ہم لکھ سکتے ہیں۔

$$(3.151) \quad i_C = i_T - i_{D_{BC}} = I_S \left(e^{\frac{v_{BE}}{V_T}} - e^{\frac{v_{BC}}{V_T}} \right) - \frac{I_S}{\beta_R} \left(e^{\frac{v_{BC}}{V_T}} - 1 \right)$$

$$(3.152) \quad i_E = i_T + i_{D_{BE}} = I_S \left(e^{\frac{v_{BE}}{V_T}} - e^{\frac{v_{BC}}{V_T}} \right) - \frac{I_S}{\beta_F} \left(e^{\frac{v_{BE}}{V_T}} - 1 \right)$$

یہ بالکل مساوات 3.143 اور مساوات 3.144 کے جواب ہی ہیں۔



شکل 3.58: pnp ٹرانزسٹر کے مال برداری ماذل کا حصول

مشق 3.1: مشق : شکل 3.58 کی مدد سے pnp ٹرانزسٹر کے مساوات لکھیں اور ٹرانزسٹر کا مال برداری ماذل حاصل کریں جسے شکل 3.59 میں دکھایا گیا ہے۔

عمومی طرز پر مائل ٹرانزسٹر میں ایمٹر-بیس جوڑ کو سیدھا مائل $v_{EB} \geq 0V$ جیکہ کلکٹر-بیس جوڑ کو غیر چالو رکھا جاتا ہے جبکہ غیر عمومی طرز پر مائل کردہ pnp ٹرانزسٹر میں v_{EB} کو غیر چالو رکھا جاتا ہے جبکہ v_{CB} کو سیدھا مائل رکھا جاتا ہے۔ یوں سیدھے رُخ اور اللئے رُخ چارجون کے مال برداری سے پیدا برقی روکے مساوات مندرجہ ذیل ہوں گے۔

$$(3.153) \quad i_F = I_S \left(e^{\frac{v_{EB}}{V_T}} - 1 \right)$$

$$(3.154) \quad i_R = I_S \left(e^{\frac{v_{CB}}{V_T}} - 1 \right)$$

3.12 نفی کار

شکل 3.60 میں چند خطوط دکھائے گئے ہیں۔ آپ $mx = y$ کے خط سے بخوبی واقف ہیں۔ یہ خط کارتیسی محدود کے مرکزی نقطے $(0,0)$ سے گزرتا ہے۔ اسی شکل میں $y = -mx$ کو بھی دکھایا گیا ہے۔ آپ دیکھ سکتے ہیں کہ x محور میں $mx = y$ کا عکس لینے سے $y = -mx$ حاصل ہوتا ہے۔ اگر $y = mx$ کو $(0,0)$ سے $(0,c)$ منتقل کیا جائے تو $c = mx + y$ حاصل ہوتا ہے۔ اسی طرح $y = -mx$ کو $(0,0)$ سے $(0,c)$ منتقل کرنے سے $y = -mx + c$ حاصل ہوتا ہے۔

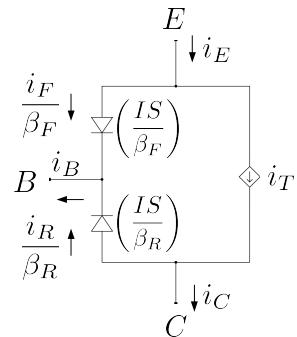
اسی طرح $y = f(x)$ کا x محور میں عکس $y = -f(x)$ ہوگا اور خط کو مثبت x جانب c اکائی منتقل کرنے سے $y = f(x) + c$ حاصل ہوتا ہے۔ ان حقائق کو یوں بیان کیا جا سکتا ہے۔

• y محور میں $x = f(y)$ کا عکس لینے سے $x = -f(y)$ حاصل ہوتا ہے۔

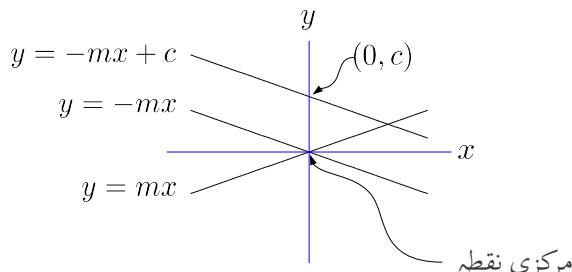
ڈائیوڈ کے لبریزی برقی رو
مندرجہ ذیل ہیں

$$I_{SD_{EB}} = \frac{I_S}{\beta_F}$$

$$I_{SD_{CB}} = \frac{I_S}{\beta_R}$$



شکل 3.59: ٹرانزسٹر کا مال برداری ماذل pnp



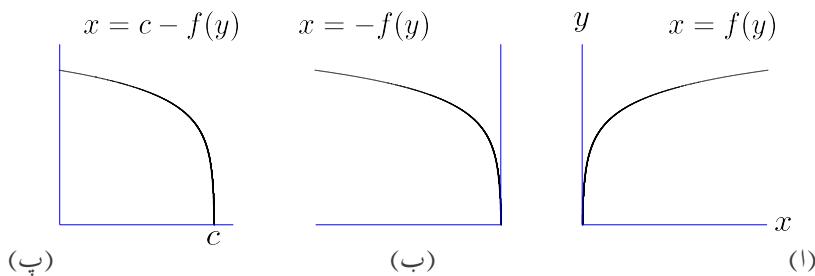
شکل 3.60: افقی محور میں عکس اور عمودی سمت میں منتقلی

• $x = f(y)$ کو x محور پر مثبت جانب c اکائی منتقل کرنے سے $x = f(y) + c$ حاصل ہوتا ہے۔
شکل 3.61 الف میں $f(y) = x$ جبکہ شکل ب میں اسی کا عمودی محور میں عکس $(y = -f(x))$ دکھایا گیا ہے۔ شکل پ میں عکس کو دائیں جانب c اکائی منتقل کرتے ہوئے $(y = -f(x) + c)$ حاصل کیا گیا ہے۔
ان معلومات کو مد نظر رکھتے ہوئے آگے بڑھتے ہیں۔ شکل 3.62 الف میں ٹرانزسٹر کا سادہ دور دکھایا گیا ہے۔ اس دور پر ہم تفصیلًا بحث کر چکے ہیں۔ آئیں اس کے بار کا خط کھینچیں۔ اس دور کے لئے لکھا جا سکتا ہے۔

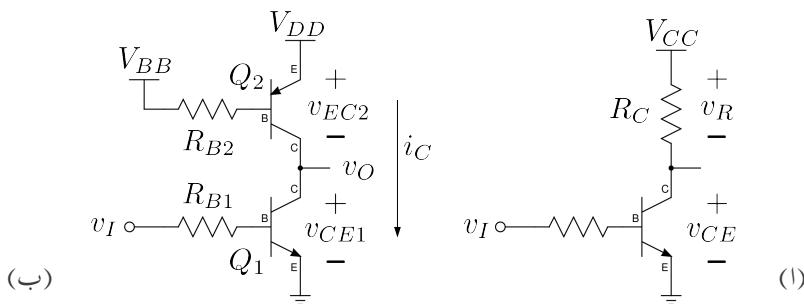
$$v_{CE} = V_{CC} - v_R$$

یہاں $v_R = i_C R_C$ کے برابر ہے لہذا اسی مساوات کو یوں لکھا جا سکتا ہے

$$v_{CE} = V_{CC} - i_C R_C$$



شکل 3.61: عمودی محور میں عکس اور افقی سمت میں منتقلی



شکل 3.62: نفی کار

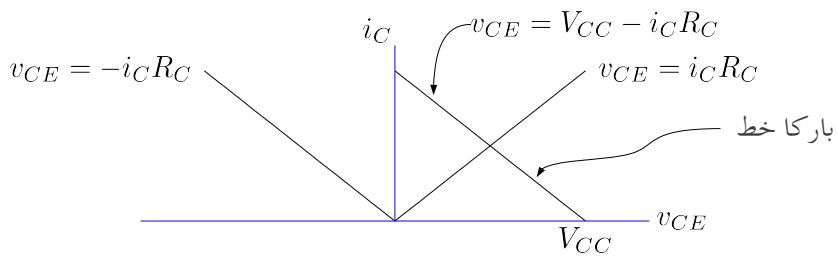
شکل 3.60 کے طرز پر کھینچا جا سکتا ہے۔ عمودی محور میں اس خط کا عکس لینے سے حاصل ہوتا ہے جس سے آکیاں افقی محور پر دائیں منتقل کرتے ہوئے بار کا خط حاصل ہوتا۔ شکل 3.63 میں قدم با قدم ایسا کرنا دکھایا گیا ہے۔

آئیں اب اصل موضوع پر غور کریں۔ شکل 3.62 ب میں نفی کار³⁵ دکھایا گیا ہے جو عددی ادوار³⁶ کا اہم ترین دور ہے۔ عددی ادوار میں مشتب سپلائی کو عموماً V_{DD} لکھا جاتا ہے۔ اسی لئے شکل میں V_{CC} یا V_{EE} کی جگہ V_{DD} لکھا گیا ہے۔ یہاں Q_2 بطور برقی بار کردار ادا کرتا ہے۔ شکل کو دیکھتے ہوئے

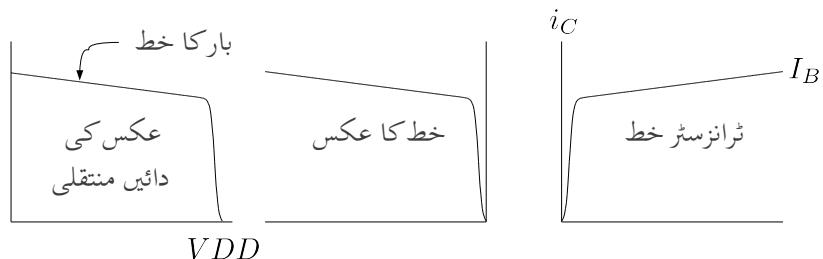
$$v_{CE1} = V_{DD} - v_{EC2}$$

لکھا جا سکتا ہے۔ آپ دیکھ سکتے ہیں کہ یہی بار کے خط کی مساوات ہے۔ عمودی محور میں

³⁵ NOT gate
³⁶ digital circuits



شکل 3.63: برقی بار کے خط کا حصول

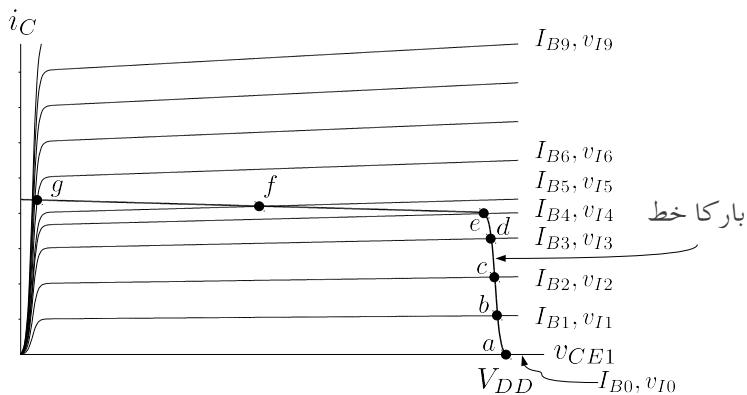


شکل 3.64: ٹرانزسٹر کے خط کی عمودی محور میں عکس اور افقی سمت میں منتقلی۔

شکل 3.64 کے عکس کو افقی محور پر دائیں جانب V_{DD} منتقل کرنے سے مندرجہ بالا مساوات کھینچا جا سکتا ہے۔ اس عمل کو شکل 3.64 میں قدم با قدم دکھایا گیا ہے۔
ٹرانزسٹر Q_2 کے ایمٹر اور بیس پر یک سمتی برق دباؤ مہیا کئے گئے ہیں لہذا اس کے بیس پر برق رو I_B یک سمتی ہو گی جس سے شکل سے یوں حاصل کیا جا سکتا ہے۔

$$I_B = \frac{V_{DD} - V_{EB} - V_{BB}}{R_{B2}}$$

ٹرانزسٹر کے i_C کے خط کے عکس کو افقی محور پر دائیں جانب $v_{EC2} = f(i_C)$ خطوط سے مراد pnp ٹرانزسٹر کے i_C بال مقابل v_{EC} خطوط ہیں جنہیں صفحہ 237 پر شکل 3.35 میں دکھایا گیا ہے۔ چونکہ موجودہ صورت میں Q_2 کے بیس پر برق رو تبدیل نہیں ہو رہی لہذا ان خطوط میں سے صرف اس خط کو چنا جائے گا جو حاصل کردہ I_B پر پایا جائے۔
شکل 3.65 میں Q_1 کے خطوط پر بار کے خط کو کھینچا گیا ہے۔ اگر اس دور کو بطور ایمپلیفائر استعمال کرنا مقصد ہو تو نقطہ کار کردار کو f کے قریب رکھ کر زیادہ سے زیادہ حیطے کا خارجی اشارہ حاصل کرنا ممکن بنایا جا سکتا ہے۔ نقطہ کار کردار کو f پر رکھنے کی خاطر Q_1 کے بیس پر I_{B5} برق رو



شکل 3.65: ٹرانزسٹر خطوط پر بار کا خط کھینچا گیا ہے۔

درکار ہو گی۔ شکل 3.62 کو دیکھتے ہوئے Q_2 کے بیس پر برق رو کی مساوات یوں لکھی جا سکتی ہے

$$i_B = \frac{v_I - v_{BE}}{R_{B1}}$$

جہاں $v_{BE} = 0.7\text{V}$ لیا جاتا ہے۔ I_{B5} برق رو حاصل کرنے کی خاطر v_{I5} کی درکار قیمت v_{I5} اس مساوات سے حاصل کی جا سکتی ہے۔ شکل 3.65 میں Q_1 کے خطوط پر I_{B2} , I_{B1} ، وغیرہ لکھتے ہوئے v_{I2} , v_{I1} وغیرہ بھی لکھے گئے ہیں۔

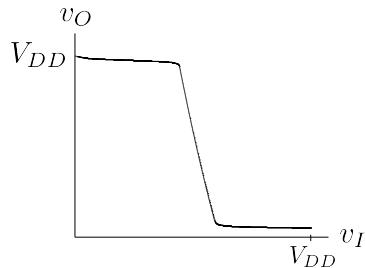
عددی ادوار میں عموماً $5\text{V} = V_{DD}$ ہوتا ہے جبکہ v_I کی دو ہی ممکنہ قیمتیں ہیں۔ یہ یا تو 0V اور یا پھر 5V ہوتا ہے۔ آئین v_I کی قیمت 0V تا 5V تبدیل کرتے ہوئے شکل 3.65 کی مدد سے v_O حاصل کریں۔ آپ دیکھ سکتے ہیں کہ v_O دراصل v_{CE1} کے ہی برابر ہے۔

$v_O = V_{DD}$ پر $v_I = 0\text{A}$ اور Q_1 نقطہ a پر ہو گا جہاں سے $v_O = 0\text{V}$ یعنی 5V حاصل ہوتا ہے۔ اسی طرح مختلف نقاط پر v_O بالمقابل v_I حاصل کرتے ہوئے شکل 3.66 میں دکھایا گیا v_O بالمقابل v_I کا خط کھینچا جاتا ہے۔

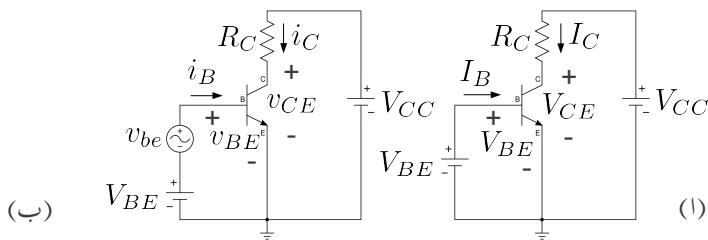
صفحہ 435 پر حصہ 4.12 میں ہتر نفی کار پر غور کیا جائے گا۔

3.13 باریک اشاراتی تجزیہ

اس حصے میں کم تعداد پر ٹرانزسٹر کے باریک اشاراتی کارکردگی پر غور کیا جائے گا جس کی مدد سے اگلے حصے میں ٹرانزسٹر کا پست تعدادی باریک اشاراتی ماذل حاصل کیا جائے گا۔ اسی ماذل میں ٹرانزسٹر کے اندرونی کپیسٹروں کی شمولیت سے بلند تعدادی باریک اشاراتی ماذل حاصل ہوتا ہے جسے حصہ 6.11.1 میں حاصل کیا گیا ہے۔



شكل 3.66: نفی کار کا خارجی اشارہ بالمقابل داخلی اشارہ خط



شكل 3.67: نقطہ مائل پر ٹرانزسٹر کی کارکردگی

3.13.1 ترسیمی تجزیہ

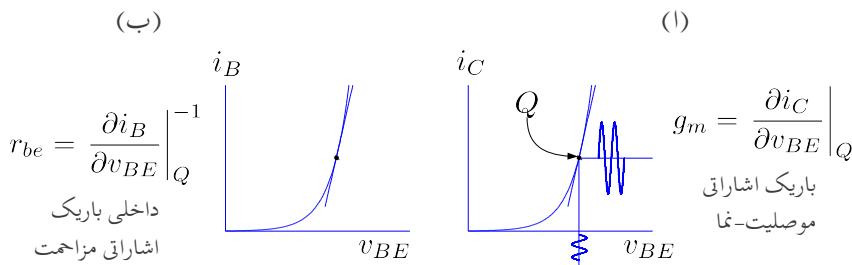
شکل 3.67 الف میں ٹرانزسٹر کا دور دکھایا گیا ہے جس کے داخلی جانب مائل کرنے والا برق دباؤ ٹرانزسٹر کو V_{BE} پر مائل کرتا ہے۔ شکل 3.68 ب میں یوں حاصل نقطہ کارکردگی Q دکھایا گیا ہے۔ شکل 3.67 کے ساتھ سلسلہ وار بدلتا باریک اشارہ v_{be} جوڑا گیا ہے۔ v_{be} کسی بھی شکل کا ہو سکتا ہے۔ یہاں اسے سائنس نما تصور کیا گیا ہے۔ یوں ٹرانزسٹر نقطہ مائل کے قریب فریب رہتے ہوئے خط $-v_{BE} - i_C$ پر چال قدمی کرتا ہے۔ شکل 3.68 الف میں اس عمل سے پیدا باریک اشاراتی برق دباؤ v_{be} اور باریک اشاراتی برق رو i_c دکھائی گئے ہیں۔ یہاں طلبہ سے گزارش کی جاتی ہے کہ وہ صفحہ 112 پر دئے چکے حصے 2.11 کو ایک مرتبہ دوبارہ دیکھئیں۔

شکل 3.68 الف سے صاف واضح ہے کہ

$$(3.155) \quad i_c = g_m v_{be}$$

ہے جہاں

$$(3.156) \quad g_m = \left. \frac{\partial i_c}{\partial v_{BE}} \right|_Q$$



شکل 3.68: باریک اشاراتی افزائش موصل-نما اور باریک اشاراتی داخلي مزاحمت

ہے۔ مندرجہ بالا دو مساوات حصہ 2.11 میں بطور مساوات 2.20 اور مساوات 2.21 پیش کئے گئے۔ مساوات 3.155 میں $i_c(t)$ اور $v_{be}(t)$ کی جگہ i_c اور v_{be} لکھا گیا ہے۔ مساوات میں بار بار قوسین میں بند t نہ لکھنے سے مساوات کچھ صاف دکھائی دیتے ہیں۔ مساوات 3.155 کے تحت ٹرانزسٹر کا خارجی باریک اشاراتی برقی رو i_c اس کے داخلي باريک اشاراتي برقی دباو v_{be} کے گناہ ہے۔ اسی لئے g_m کو ٹرانزسٹر کا باريک اشاراتي افزائش موصليت-نما³⁷ کہتے ہیں جسے عموماً چھوٹا کر کے افزائش موصليت-نما یا صرف موصليت-نما³⁸ پکالرا جاتا ہے۔

برقی رو تقسیم برقی دباو کو موصليت کہتے ہیں۔ g_m ٹرانزسٹر کے خارجی جانب کے برقی رو اور اس کے داخلي جانب کے برقی دباو سے حاصل کیا جاتا ہے۔ یوں یہ حقیقی موصليت نہیں ہے بلکہ اس کی مساوات موصليت کی مساوات سے مشابہ رکھتا ہے۔ یوں اسے g_m لکھا اور موصليت-نما³⁹ پکارا جاتا ہے۔ g_m کی آکائی موصليت کی آکائی $\frac{A}{V}$ یا سیمیتر⁴⁰ ہی ہے۔

3.13.2 باريک اشاراتي داخلي مزاحمت r_e اور r_{be}

ٹرانزسٹر کے داخلي جانب برقی دباو v_{BE} مہبا کرنے سے اس کے بیس سرے پر برقی رو i_B اور ایمپر سرے پر برقی رو i_E پیدا ہوتا ہے۔ شکل 3.68 ب میں ٹرانزسٹر کا $v_{BE} - i_B$ خط دکھایا گیا ہے۔ نقطہ کارکردگی پر $i_B - v_{BE}$ خط سے ٹرانزسٹر کا باريک اشاراتي داخلي مزاحمت r_{be} یوں حاصل کیا جاتا ہے۔

$$(3.157) \quad r_{be} = \frac{\partial v_{BE}}{\partial i_B} \Big|_Q$$

small signal transconductance gain³⁷
transconductance gain³⁸
transconductance³⁹
Siemens⁴⁰

یعنی اگر نقطہ کارکردگی پر اس خط کی ڈھلوان m ہو تو

$$(3.158) \quad r_{be} = \frac{1}{m}$$

ہو گا۔ اس کو یوں لکھا جا سکتا ہے۔

$$r_{be} = \left. \frac{\partial i_B}{\partial v_{BE}} \right|_Q^{-1}$$

r_{be} کو عمومی طور پر کتابوں میں r_π لکھا جاتا ہے۔ ٹرانزسٹر کا باریک اشاراتی مزاحمت حاصل کرتے وقت i_B کے بجائے اگر i_E لیا جائے تو ٹرانزسٹر کا باریک اشاراتی مزاحمت r_e حاصل ہو گا یعنی

$$(3.159) \quad r_e = \left. \frac{\partial v_{BE}}{\partial i_E} \right|_Q$$

اگر نقطہ کارکردگی پر $i_E v_{BE}$ خط کی ڈھلوان m_1 ہو تو

$$(3.160) \quad r_e = \frac{1}{m_1}$$

ہو گا۔ اس کو یوں لکھا جا سکتا ہے

$$(3.161) \quad r_e = \left. \frac{\partial i_E}{\partial v_{BE}} \right|_Q^{-1}$$

3.13.3 تحلیلی تجزیہ

اس حصے میں ارلی برق دباؤ V_A کو نظر انداز کیا جائے گا نتیجتاً v_{CE} کا i_C پر کوئی اثر نہیں ہو گا۔ اس اثر کو بعد میں شامل کیا جائے گا۔ شکل 3.67 الف کے لئے مساوات 3.55 اور کرچاف کا قانون استعمال کرتے ہوئے ہم لکھ سکتے ہیں

$$(3.162) \quad I_C = I_S e^{\frac{V_{BE}}{V_T}}$$

$$(3.163) \quad V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C$$

جبکہ شکل ب میں

$$(3.164) \quad v_{BE} = V_{BE} + v_{be}$$

اور

$$(3.165) \quad i_C = I_C + i_c$$

لکھا جا سکتا ہے۔ یوں حاصل ہوتا ہے۔

$$(3.166) \quad i_C = I_S e^{\frac{v_{BE}}{V_T}} \\ = I_S e^{\frac{V_{BE} + v_{be}}{V_T}} \\ = I_S e^{\frac{V_{BE}}{V_T}} e^{\frac{v_{be}}{V_T}}$$

مساوات 3.162 کی مدد سے اسے یوں لکھ سکتے ہیں۔

$$(3.167) \quad i_C = I_C e^{\frac{v_{be}}{V_T}}$$

اگر $v_{be} < V_T$ ہو تو سلسلہ مکالرن کی مدد سے اس مساوات کو یوں لکھ سکتے ہیں۔

$$(3.168) \quad i_C = I_C \left[1 + \frac{1}{1!} \left(\frac{v_{be}}{V_T} \right) + \frac{1}{2!} \left(\frac{v_{be}}{V_T} \right)^2 + \dots \right]$$

اگر مساوات 3.168 کے تیسرا جزو کی قیمت اس کے دوسرے جزو کی قیمت سے بہت کم ہو یعنی

$$(3.169) \quad \frac{1}{2!} \left(\frac{v_{be}}{V_T} \right)^2 \ll \frac{1}{1!} \left(\frac{v_{be}}{V_T} \right) \\ v_{be} \ll 2 \times V_T$$

تب اس مساوات کو یوں لکھا جا سکتا ہے۔

$$(3.170) \quad i_C \approx I_C \left(1 + \frac{v_{be}}{V_T} \right)$$

مساوات 3.169 باریک اشارہ کی تخلیلی تعریف ہے۔ چونکہ

$$2 \times V_T = 2 \times 0.025 = 0.05 \text{ V}$$

کے برابر ہے لہذا v_{be} کو اس صورت باریک اشارہ تصور کیا جائے گا جب اس کی قیمت 0.05 V (یعنی پچاس ملی وولٹ) سے بہت کم ہو۔ حقیقت میں اگر v_{be} کی قیمت 10 mV سے کم ہو تو اسے باریک اشارہ تصور کیا جاتا ہے۔ مساوات 3.170 کو ٹرانزسٹر کا باریک اشاراتی مساوات کہتے ہیں۔

مثال 3.34: مساوات 3.168 اور مساوات 3.170 میں $I_C = 1 \text{ mA}$ لیتے ہوئے
کے باریک اشارہ کے لئے i_C کی قیمت حاصل کریں اور دونوں جوابات کا موازنہ کریں۔
حل: مساوات 3.168 سے

$$i_C = 10^{-3} \left[1 + \frac{1}{1!} \left(\frac{0.01}{0.025} \right) + \frac{1}{2!} \left(\frac{0.01}{0.025} \right)^2 + \dots \right] \approx 1.48 \text{ mA}$$

جبکہ مساوات 3.170 سے

$$i_C = 10^{-3} \left(1 + \frac{0.01}{0.025} \right) = 1.4 \text{ mA}$$

حاصل ہوتا ہے۔ یوں باریک اشاراتی مساوات کے استعمال سے جواب میں

$$\frac{1.48 - 1.4}{1.4} \times 100 = 5.4 \%$$

کا فرق آتا ہے جو کہ قابل قبول ہے۔ یاد رہے کہ 10 mV سے کم اشارات کے لئے یہ فرق مزید کم ہو گا۔

مساوات 3.170 کو یوں لکھا جا سکتا ہے۔

$$(3.171) \quad i_C = I_C + \frac{I_C}{V_T} v_{be}$$

مساوات 3.165 کے ساتھ موازنہ کرنے سے ہم دیکھتے ہیں کہ کلکٹر برق رو i_C کے دو جزو ہیں۔ اس کا پہلا جزو وہی یک سختی برق رو I_C ہے جس سے شکل 3.67 میں حاصل کیا گیا جبکہ اس کا دوسرا جزو $\left(\frac{I_C}{V_T} v_{be} \right)$ باریک اشارہ پر منحصر بدلنا جزو ہے یعنی

$$(3.172) \quad i_c = \frac{I_C}{V_T} v_{be}$$

اس مساوات کو یوں بھی لکھا جا سکتا ہے

$$(3.173) \quad i_c = g_m v_{be}$$

جهان

$$(3.174) \quad g_m = \frac{I_C}{V_T}$$

لیا گیا ہے۔ مساوات 3.173 سے ہم دیکھتے ہیں کہ بدلی کلکٹر برق رو i_c کی قیمت داخلی اشارہ v_{be} کے g_m گناہ ہے۔ جیسے کہ پہلے ذکر ہوا g_m کو ٹرانزسٹر کی افراش موصليت۔ نما یا صرف موصليت۔ نما⁴¹ کہا جاتا ہے اور اس کی پيمائش سيميت⁴² S میں کسی جاتی ہے۔ مندرجہ بالا دو مساوات درحقیقت مساوات 3.155 اور مساوات 3.156 ہیں۔ مساوات 3.174 سے ہم دیکھتے ہیں کہ افراش موصليت۔ نما کی قیمت ٹرانزسٹر کے یک سختی برق رو I_C کے برابر راست متناسب ہے۔ یوں I_C کی قیمت دگنی کرنے سے g_m کی قیمت بھی دگنی ہو جائے گی۔

transconductance⁴¹
siemens⁴²

مثال 3.35: افزائش موصلیت۔ ناکی قیمت 0.1 mA ، 1 mA اور 10 mA کے سختی برقی رو پر حاصل کریں۔
حل: مساوات 3.174 کی مدد سے $I_C = 0.1 \text{ mA}$ پر

$$g_m = \frac{I_C}{V_T} = \frac{0.1 \times 10^{-3}}{25 \times 10^{-3}} = 4 \text{ mS}$$

حاصل ہوتا ہے۔ اسی طرح $I_C = 1 \text{ mA}$ پر

$$g_m = \frac{I_C}{V_T} = \frac{1 \times 10^{-3}}{25 \times 10^{-3}} = 40 \text{ mS}$$

اور $I_C = 10 \text{ mA}$ پر

$$g_m = \frac{I_C}{V_T} = \frac{10 \times 10^{-3}}{25 \times 10^{-3}} = 0.4 \text{ S}$$

حاصل ہوتا ہے۔

مساوات 3.173 کو یوں لکھا جا سکتا ہے

$$(3.175) \quad g_m = \frac{i_c}{v_{be}}$$

جہاں i_c اور v_{be} باریک اشارات بین۔ مساوات 3.164 میں باریک اشارہ v_{be} کو Δv_{be} لکھتے ہوئے یوں لکھا جا سکتا ہے۔

$$(3.176) \quad v_{BE} = V_{BE} + \Delta v_{BE}$$

ایسا لکھنے سے مساوات 3.171 کی جگہ مندرجہ ذیل حاصل ہوتا ہے۔

$$(3.177) \quad i_c = I_C + \frac{I_C}{V_T} \Delta v_{BE}$$

یوں

$$(3.178) \quad i_c = I_C + \Delta i_C$$

لکھتے ہوئے مساوات 3.172 کی نئی شکل یوں ہو گئی۔

$$(3.179) \quad \Delta i_C = \frac{I_C}{V_T} \Delta v_{BE}$$

جس سے

(3.180)
$$\Delta i_C = g_m \Delta v_{BE}$$

حاصل ہوتا ہے جس سے یوں لکھا جا سکتا ہے۔

(3.181)
$$g_m = \frac{\Delta i_C}{\Delta v_{BE}}$$

جیسا کہ شکل 3.68 میں دکھایا گیا ہے، مندرجہ بالا مساوات کے مطابق g_m ٹرانزسٹر کے خط کے ماس کی ڈھلوان ہے۔ اس مساوات کو مزید بہتر یوں لکھا جا سکتا ہے

(3.182)
$$g_m = \left. \frac{\partial i_C}{\partial v_{BE}} \right|_Q$$

مساوات 3.182 افراش موصلیت۔ نما g_m کی ترسیلی تعريف ہے۔
 جیسا کہ شکل 3.68 سے واضح ہے کہ $i_C - v_{BE}$ خط کی ڈھلوان پر نقطے پر مختلف ہے۔ یوں g_m کی مقدار اسی نقطے پر حاصل کرنا ضروری ہے جس پر ٹرانزسٹر مائل کیا گیا ہو۔ مساوات 3.182 میں دائیں باتھ تفرق لیتے وقت نقطے (یعنی Q) کو ہی مد نظر رکھا گیا ہے۔

مساوات 3.182 استعمال کرتے ہوئے مساوات 3.174 کو نہایت آسانی سے یوں حاصل کیا جا سکتا ہے۔
 پہلے کلکٹر بر ق رو کی مساوات کا تفرق لیتے ہیں۔

(3.183)
$$i_C = I_S e^{\frac{v_{BE}}{V_T}}$$

$$\frac{\partial i_C}{\partial v_{BE}} = \frac{I_S}{V_T} e^{\frac{v_{BE}}{V_T}}$$

مساوات 3.182 کے تحت نقطہ کارکردگی پر اس تفرق کی قیمت ہی g_m ہے۔ نقطہ کارکردگی پر اس مساوات کی قیمت حاصل کرنے کی خاطر $v_{BE} = V_{BE}$ استعمال کرتے ہیں جہاں (V_{BE}, I_C) نقطہ مائل ہے۔

$$g_m = \left. \frac{i_C}{V_T} \right|_{v_{BE}=V_{BE}}$$

$$= \frac{I_S e^{\frac{V_{BE}}{V_T}}}{V_T}$$

مساوات 3.162 کا سہارا لیتے ہوئے اس کو یوں لکھا جا سکتا ہے۔

(3.184)
$$g_m = \frac{I_C}{V_T}$$

شکل 3.68 ب میں ٹرانزسٹر کا $i_B - v_{BE}$ خط گراف کیا گیا ہے۔ نقطہ مائل پر خط کے ڈھلوان سے ٹرانزسٹر کا باریک اشاراتی مزاحمت r_{be} حاصل کیا جا سکتا ہے یعنی

$$(3.185) \quad r_{be} = \left. \frac{\partial i_B}{\partial v_{BE}} \right|_Q^{-1}$$

چونکہ $i_C = \beta i_B$ ہوتا ہے لہذا

$$(3.186) \quad i_B = \frac{i_C}{\beta} = \frac{I_S}{\beta} e^{\frac{v_{BE}}{V_T}}$$

لکھا جائے گا۔ ان دو مساوات کی مدد سے r_{be} کی قیمت حاصل کرتے ہیں۔ مساوات 3.186 کا تفرق لیتے ہیں

$$\frac{\partial i_B}{\partial v_{BE}} = \frac{I_S}{\beta V_T} e^{\frac{v_{BE}}{V_T}}$$

اور اس تفرق کی نقطہ کارکردگی پر قیمت حاصل کرتے ہیں۔ اپسا کرنے کی خاطر $v_{be} = V_{BE}$ استعمال کرنا ہو گا۔ یوں

$$\left. \frac{\partial i_B}{\partial v_{BE}} \right|_{v_{BE}=V_{BE}} = \frac{I_S}{\beta V_T} e^{\frac{V_{BE}}{V_T}}$$

حاصل ہوتا ہے۔ مساوات 3.162 کا سہارا لیتے ہوئے اسے یوں لکھا جا سکتا ہے۔

$$\left. \frac{\partial i_B}{\partial v_{BE}} \right|_{v_{BE}=V_{BE}} = \frac{I_C}{\beta V_T}$$

اور چونکہ

$$r_{be} = \left. \frac{\partial i_B}{\partial v_{BE}} \right|_{v_{BE}=V_{BE}}^{-1}$$

ہوتا ہے لہذا

$$(3.187) \quad r_{be} = \frac{\beta V_T}{I_C}$$

حاصل ہوتا ہے۔ مزید یہ کہ مساوات 3.184 کی مدد سے اسے یوں بھی لکھ سکتے ہیں۔

$$(3.188) \quad r_{be} = \frac{\beta}{g_m}$$

$$\beta = r_{be} g_m$$

یا گرستہ دو مساوات ٹرانزسٹر کے باریک اشاراتی داخلی مزاحمت r_{be} کے حصول کے لئے استعمال کئے جاتے ہیں۔ مساوات 3.188 سے یہ حقیقت سامنے آتی ہے کہ β کے غیر متغیر ہونے کی وجہ سے اگر کسی ٹرانزسٹر کا برق رو I_C بڑھا کر اس کا g_m بڑھایا جائے تو ٹرانزسٹر کا r_{be} کم ہو جائے گا۔ بالکل r_{be} کے حصول کے طرز پر اگر $i_E - v_{BE}$ کے خط سے شروع کیا جائے تو باریک اشاراتی مزاحمت r_e حاصل کیا جا سکتا ہے جہاں

$$(3.189) \quad r_e = \left. \frac{\partial i_E}{\partial v_{BE}} \right|_Q^{-1}$$

ہے۔ آئیں ایسا ہی کریں۔

$$(3.190) \quad \begin{aligned} i_E &= \frac{I_S}{\alpha} e^{\frac{v_{BE}}{V_T}} \\ \frac{\partial i_E}{\partial v_{BE}} &= \frac{I_S}{\alpha V_T} e^{\frac{v_{BE}}{V_T}} \\ \left. \frac{\partial i_E}{\partial v_{BE}} \right|_Q &= \frac{I_S}{\alpha V_T} e^{\frac{v_{BE}}{V_T}} \\ &= \frac{I_C}{\alpha V_T} \end{aligned}$$

یوں

$$(3.191) \quad r_e = \frac{\alpha V_T}{I_C}$$

حاصل ہوتا ہے جس سے یوں بھی لکھا جا سکتا ہے۔

$$(3.192) \quad r_e = \frac{\alpha}{g_m} \approx \frac{1}{g_m}$$

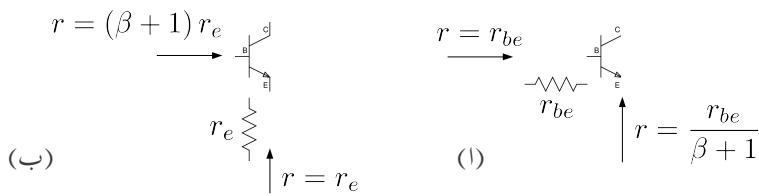
مساوات 3.191 میں $\alpha = \frac{\beta}{\beta+1}$ لیتے ہوئے اس کا مساوات 3.187 کے ساتھ موازنہ کرنے سے حاصل ہوتا ہے

$$(3.193) \quad r_e = \frac{r_{be}}{\beta + 1}$$

اس کو یوں بھی لکھا جا سکتا ہے۔

$$(3.194) \quad r_{be} = (\beta + 1) r_e$$

میں دیکھا کہ ٹرانزسٹر کے اینٹر پر جائز مزاحمت R_E کا عکس بیس جانب $(\beta + 1) R_E$ نظر آتا ہے اور r_e دراصل ایک بھی مزاحمت کے دو شکلیں ہیں۔ آئیں اس حقیقت پر غور کریں۔ آپ نے حصہ



شکل 3.69: باریک اشاراتی داخلی مزاحمت اور ان کے عکس

ہے۔ اسی طرح اس کے بیس جانب مزاحمت R_B کا عکس ایمٹر جانب $\frac{R_B}{(\beta+1)}$ نظر آتا ہے۔ ان نتائج کو یہاں استعمال کرتے ہیں۔

وہ مزاحمت ہے جو ٹرانزستر کے بیس جانب سے دیکھتے ہوئے نظر آتا ہے جبکہ r_e وہ مزاحمت ہے جو ٹرانزستر کے ایمٹر جانب سے دیکھتے ہوئے نظر آتا ہے۔ اگر r_{be} کو ٹرانزستر کا باریک اشاراتی مزاحمت تصور کیا جائے تو ٹرانزستر کے بیس جانب r_{be} نظر آئے گا جبکہ اس کے ایمٹر جانب سے دیکھتے ہوئے ہیں $\frac{r_{be}}{(\beta+1)}$ نظر آئے گا۔ مساوات 3.193 یہی کچھ کہتا ہے۔ اسی طرح اگر r_e کو ٹرانزستر کا باریک اشاراتی مزاحمت تصور کیا جائے تو ٹرانزستر کے ایمٹر جانب سے r_e نظر آئے گا جبکہ اس کے بیس جانب سے دیکھتے ہوئے ہیں $(\beta+1)r_e$ نظر آئے گا۔ مساوات 3.194 یہی کہتا ہے۔ شکل 3.69 ان حقائق کے تصوراتی اشکال پیش کرتا ہے۔

مثال 3.36: pnp ٹرانزستر کے g_m ، r_{be} ، r_e اور r_0 کے مساوات حاصل کریں۔
حل: مساوات 3.55 کو استعمال کرتے ہوئے

$$g_m = \left. \frac{\partial i_C}{\partial v_{EB}} \right|_Q$$

$$= \frac{I_S e^{\frac{V_{EB}}{V_T}}}{V_T}$$

یعنی

$$(3.195) \quad g_m = \frac{I_C}{V_T}$$

حاصل ہوتا ہے۔ اسی طرح $i_B = \frac{i_C}{\beta}$ لکھتے ہوئے

$$(3.196) \quad r_{be} = \left. \frac{\partial v_{EB}}{\partial i_B} \right|_Q = \left. \frac{\partial i_B}{\partial v_{EB}} \right|_Q^{-1} = \frac{\beta V_T}{I_C} = \frac{\beta}{g_m}$$

اور $i_E = \frac{i_C}{\alpha}$ لکھتے ہوئے

$$(3.197) \quad r_e = \frac{\alpha V_T}{I_C} = \frac{r_{be}}{\beta + 1} = \frac{\alpha}{g_m} \approx \frac{1}{g_m}$$

حاصل ہوتے ہیں۔ خارجی مزاحمت r_o ایک برقی دباؤ سے یوں حاصل ہوتا ہے۔

$$(3.198) \quad r_o = \left. \frac{\Delta v_{EC}}{\Delta i_C} \right|_Q = \frac{V_A + V_{EC}}{I_C} \approx \frac{V_A}{I_C}$$

3.14 پست تعدادی ٹرانزسٹر ماذل برائے باریک اشارات

گزشتہ حصے میں ہم نے دیکھا کہ ٹرانزسٹر کے نقطہ کارکردگی پر اس کی افزائش موصل۔ نما g_m اور داخلی مزاحمت r_{be} حاصل کی جا سکتی ہے۔ ان دونوں مساواتوں کو یہاں دوبارہ پیش کرتے ہیں۔

$$(3.199) \quad g_m = \frac{\Delta i_C}{\Delta v_{BE}} = \frac{i_c}{v_{be}}$$

$$(3.200) \quad r_{be} = \frac{\Delta v_{BE}}{\Delta i_B} = \frac{v_{be}}{i_b}$$

جنہیں یوں بھی لکھا جا سکتا ہے۔

$$(3.201) \quad i_c = g_m v_{be}$$

$$(3.202) \quad i_b = \frac{v_{be}}{r_{be}}$$

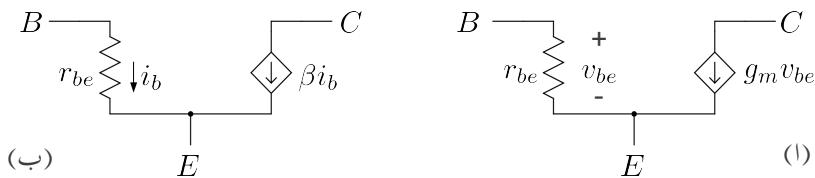
ان مساوات کے مطابق مائل کردہ ٹرانزسٹر پر داخلی جانب باریک اشارہ v_{be} لاگو کرنے سے اس کے داخلی جانب بیس سرے پر برق رو i_b پیدا ہوتا ہے جیکہ اس کے خارجی جانب برق رو i_c پیدا ہوتا ہے۔ یہ دو مساوات ٹرانزسٹر کی باریک اشارات کارکردگی بیان کرتے ہیں۔ اگرچہ مساوات 3.201 و 3.202 کے مطابق i_c صرف v_{be} پر منحصر ہے، حقیقت میں ایسا نہیں ہوتا اور i_c کی قیمت خارجی برق دباؤ v_{CE} پر بھی منحصر ہوتا ہے۔ فی الحال i_c پر v_{CE} کے اثر کے بحث کو ملتوی کرتے ہیں اور مندرجہ بالا دو مساوات کو ٹرانزسٹر کی مکمل باریک اشاراتی کارکردگی بیان کرنے والے مساوات مان لیتے ہیں۔

شکل 3.70 الف پر نظر ڈالنے سے ہم دیکھتے ہیں کہ اس دور سے

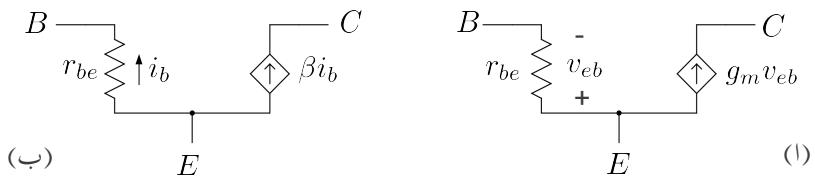
$$v_{be} = i_b r_{be}$$

$$i_c = g_m v_{be}$$

مساوات حاصل ہوتے ہیں جو کہ مساوات 3.201 اور مساوات 3.202 ہی ہیں۔ یوں یہ دور ٹرانزسٹر کی باریک اشاراتی کارکردگی ہی بیان کرتا ہے، لہذا یہ دور ٹرانزسٹر کا باریک اشاراتی ماذل ہی ہے۔ اس کا عمومی نام



شکل 3.70: پست تعددی باریک اشاراتی پائیز ماذل



شکل 3.71: pnp مادل کا باریک اشاراتی

ٹرانزیستر کا پست تعدادی باریک اشارتی پائے (π) ماذل⁴³ ہے جس سے چھوٹا کر کے صرف π ماذل یا پائے ماذل پکارا جاتا ہے۔

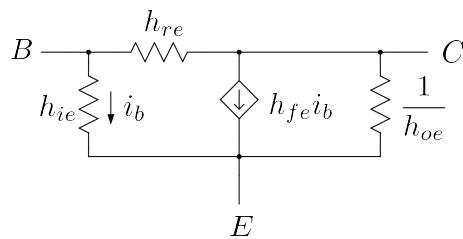
شکل 3.70 ب میں π مادل کا قدر مختلف دور دکھایا گیا ہے۔ مساوات 188.3 اور مساوات 202.3 کے استعمال سے

$$\beta i_b = \beta \frac{v_{be}}{r_{be}} = g_m v_{be}$$

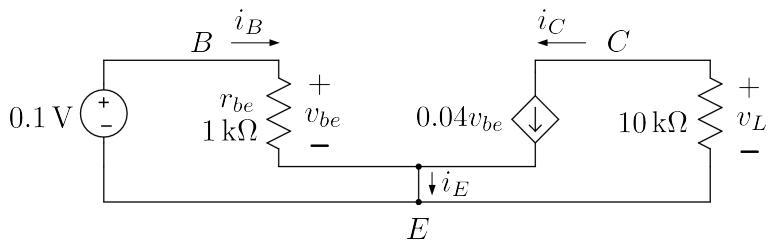
لکھتے ہوئے ہم دیکھتے ہیں کہ دونوں اشکال سے حاصل جوابات یکساں ہیں۔ شکل 3.70 الف اور شکل ب اس کتاب میں یار بار استعمال کئے جائیں گے۔

شکل 3.71 میں pnp ٹرانسیستر کے پائے ماذل دکھائے گئے ہیں جہاں برق روکی سمتیں شکل 3.70 کے لئے ہیں۔ اسی طرح ہیں vbe کی جگہ v_{eb} استعمال کیا گیا ہے۔ اگر pnp کے ان ماذلوں میں v_{eb} کی جگہ vbe لکھا جائے تو قابو پیدا کار برق روکی سمت لٹ ہو جائے گی اور یوں شکل 3.70 بھی حاصل ہو گا۔ اس طرح ہم دیکھتے ہیں کہ pnp کے لئے بھی شکل 3.70 کے ماذل استعمال کئے جا سکتے ہیں۔ اس کتاب میں ایسا بھی کیا جائے گا۔ شکل 3.72 میں پائے ماذل کی ایک اور نہایت مقبول شکل دکھائی گئی ہیں جہاں تمام اجزاء کے نام h سے شروع ہوتے ہیں۔ ان اجزاء کو h اجزاء بھی پکارا جاتا

low frequency small signal π model⁴³



شکل 3.72: پائیے مادل کی ایک اور مقابل شکل



شکل 3.73

ہے۔ آپ دیکھ سکتے ہیں کہ دراصل

$$h_{ie} = r_{be}$$

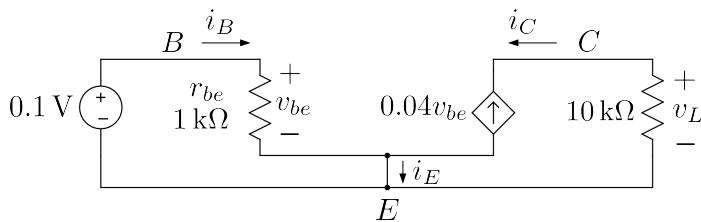
$$h_{fe} = \beta$$

$$h_{oe} = \frac{1}{r_o}$$

$$h_{re} = \infty$$

بین۔ صنعت کار عموماً ٹرانزسٹر کے h -اجزاء فراہم کرتے ہیں۔ h -مادل پر مزید کوئی بات نہیں کی جائے گی۔

مثال 3.37: شکل 3.70 میں E اور B کے درمیان 0.1 V کا برقی دیا و مہیا کریں اور C اور E کے درمیان $10 \text{ k}\Omega$ کی مزاحمت نسب کریں۔ اگر $g_m = 0.4 \text{ S}$ اور $r_{be} = 1 \text{ k}\Omega$ ہوں تو نسب کثیر گئے مزاحمت پر برقی دیا کیا ہو گا۔ شکل 3.70 کی جگہ استعمال کرتے ہوئے دوبارہ حل کریں۔



شکل 3.74

حل: شکل 3.73 میں دور دکھایا گیا ہے جس کو دیکھ کر

$$i_B = \frac{0.1}{1000} = 0.1 \text{ mA}$$

$$v_{BE} = 0.1 \text{ V}$$

لکھا جا سکتا ہے - یوں

$$i_C = 0.04 \times 0.1 = 4 \text{ mA}$$

حاصل ہوتا ہے جس سے استعمال کرتے ہوئے

$$v_L = -i_C \times 10000 = -0.004 \times 10000 = -4 \text{ V}$$

حاصل ہوتا ہے - E جوڑ پر کرچاف کرے قانون برائے برق روکی مدد سے

$$i_E = i_B + i_C = 4.1 \text{ mA}$$

حاصل ہوتا ہے -

آئیں شکل 3.74 کو استعمال کرتے ہوئے دوبارہ حل کریں۔ اس شکل میں شکل 3.71 کا ماذل استعمال کیا گیا ہے۔ یہاں

$$i_B = \frac{0.1}{1000} = 0.1 \text{ mA}$$

$$v_{eb} = -0.1 \text{ V}$$

بیں۔ چونکہ یہاں i_C اور $g_m v_{eb}$ کے سمتیں آپس میں الٹ بین لہذا $i_C = -g_m v_{eb}$ لکھا جائے گا۔ یوں

$$i_C = -0.04 \times (-0.1) = 4 \text{ mA}$$

حاصل ہوتا ہے جس سے استعمال کرتے ہوئے

$$v_L = -i_C \times 10000 = -0.004 \times 10000 = -4 \text{ V}$$

حاصل ہوتا ہے اسی طرح

$$i_E = i_B + i_C = 4.1 \text{ mA}$$

حاصل ہوتا ہے۔

دونوں اشکال کے جوابات بالکل یکسان ہیں۔ یہی وجہ ہے کہ pnp کے لئے بھی شکل 3.70 کا ماذل استعمال کیا جاتا ہے۔

3.14.1 ماذل T میں

گزشتہ حصے میں ہم نے دیکھا کہ پائے ماذل کو حل کرنے سے ٹرانزسٹر کے مساوات (یعنی مساوات 3.201 اور مساوات 3.202) حاصل ہوتے ہیں اور یوں اسے ٹرانزسٹر کا ماذل تصور کیا جا سکتا ہے۔ پائے ماذل کے علاوہ بھی ادوار بنائے جا سکتے ہیں جن سے انہی مساوات کا حصول ممکن ہے۔ ایسے قام ادوار کو بھی ٹرانزسٹر کے ماذل تصور کیا جا سکتا ہے۔ ان میں T ماذل⁴⁴ خاصہ مقبول ہے۔ ایمٹر مشترک⁴⁵ اور کلکٹر مشترک ادوار حل کرتے ہوئے عموماً پائے ماذل ہی استعمال کیا جاتا ہے جبکہ بیس مشترک ادوار کو T ماذل کی مدد سے زیادہ آسانی سے حل کرنا ممکن ہوتا ہے۔ r_o کو نظر انداز کرتے ہوئے T ماذل کے مختلف اشکال کو شکل 3.75 میں ذکھایا گیا ہے۔ انہیں ماذل میں C اور E کے مابین r_o نسب کرتے ہوئے r_o کے اثر کو بھی شامل کیا جا سکتا ہے۔

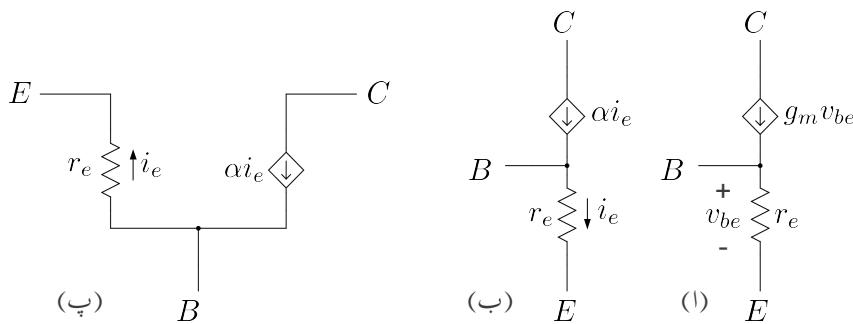
شکل 3.75 الف میں چونکہ C سرے کے ساتھ قابو پیدا کار برق رو سلسلہ وار جزا ہے لہذا $i_c = g_m v_{be}$ ہو گا۔ اوبم کے قانون کے مطابق اگر r_e پر برق دباو پایا جائے تو $i_e = \frac{v_{be}}{r_e}$ ہو گا۔ کرجاف کے قانون برائے برق دباو کے تحت $i_e - i_b = i_c$ ہو گا۔ آئیں اس کی قیمت حاصل کریں۔ چونکہ

$$r_{be} = \frac{\beta V_T}{I_C}$$

$$r_e = \frac{r_{be}}{\beta + 1} = \frac{\alpha V_T}{I_C}$$

$$g_m = \frac{I_C}{V_T}$$

⁴⁴ ماذل کی شکل انگریزی کی حروف تہجی T کی مانند ہے۔ اسی لئے اس کو ثی ماذل کہتے ہیں۔
⁴⁵ مشترک ایمٹر، مشترک کلکٹر اور مشترک بیس کی پہچان حصہ 3.19 میں کی گئی ہے



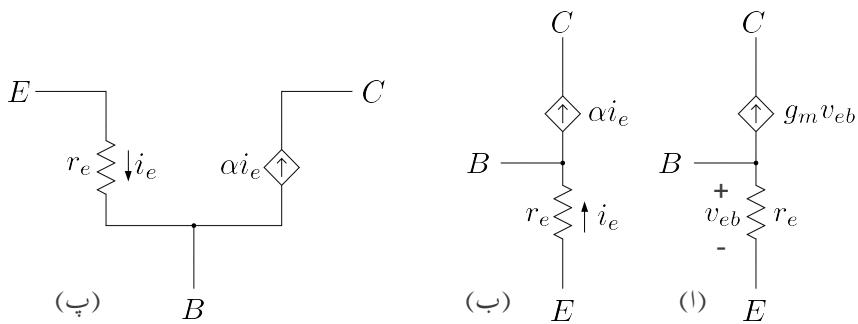
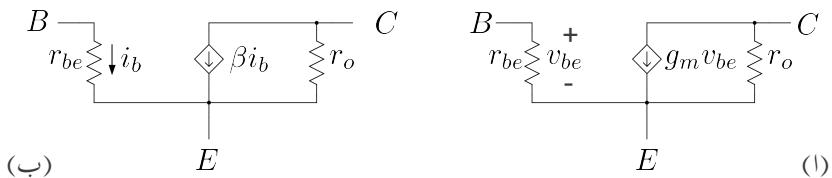
شکل 3.75: ٹی ماذل

بین لہذا

$$\begin{aligned}
 i_b &= i_e - i_c \\
 &= \frac{v_{be}}{r_e} - g_m v_{be} \\
 &= v_{be} \left(\frac{I_C}{\alpha V_T} - \frac{I_C}{V_T} \right) \\
 &= \frac{I_C}{V_T} v_{be} \left(\frac{1 - \alpha}{\alpha} \right) \\
 &= \frac{I_C}{V_T} v_{be} \frac{1}{\beta} \\
 &= \frac{v_{be}}{r_{be}}
 \end{aligned}$$

پس ٹی T ماذل سے بھی ٹرانزسٹر کے باریک اشاراتی مساوات حاصل ہوتے ہیں اور یوں اسے بطور ٹرانزسٹر ماذل استعمال کیا جا سکتا ہے۔ شکل ب میں ٹی-ماذل کی دوسری ممکنہ صورت دکھائی گئی ہے جہاں $i_c = \alpha i_e$ کا استعمال کیا گیا ہے۔ شکل پ میں ٹی-ماذل کو پائے۔ طرز پر بنایا گیا ہے۔

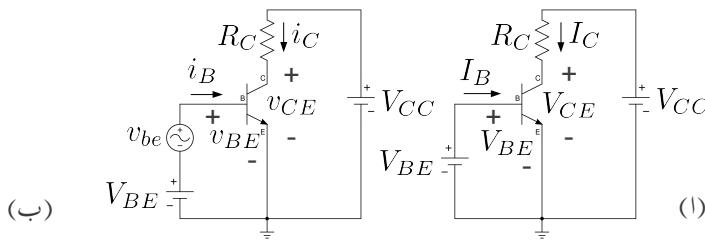
شکل 3.76 میں pnp کے T ماذل دکھایا گیا ہے۔ یہاں ہی اگر v_{be} کی جگہ v_{eb} لکھا جائے تو شکل میں قابو پیدا کار برقی روکی سمت الٹ ہو جائے گی اور یوں اس سے شکل 3.75 ہی حاصل ہو گا۔ اس کا مطلب ہے کہ pnp کے لئے ہی شکل 3.75 کے ماذل استعمال کئے جا سکتے ہیں۔ اس کتاب میں ایسا بھی کیا جائے گا۔

شکل 3.76 مادل $T \not\sim pnp : 3.76$ شکل 3.77: پائے مادل بعده خارجی مزاحمت r_o 3.14.2 پائے مادل بعده خارجی مزاحمت r_o

مساوات 3.62 ٹرانزسٹر کا باریک اشاراتی خارجی مزاحمت r_o دیتا ہے۔ i_C پر v_{ce} کے اثرات کو ٹرانزسٹر مادل میں r_o سے ظاہر کیا جاتا ہے۔ شکل 3.77 میں پائے مادل بعده خارجی مزاحمت r_o دکھائے گئے ہیں۔

3.15 یک سمیتی اور بدلتے متغیرات کی علیحدگی

شکل 3.78 الف میں ٹرانزسٹر کا یک سمیتی دور دکھایا گیا ہے جہاں V_{BE} ٹرانزسٹر کا نقطہ کارکردگی تعین کرتا ہے۔ شکل ب میں V_{BE} کے ساتھ سلسلہ وار باریک اشارہ v_{be} جوڑا گیا ہے جس کی وجہ سے ٹرانزسٹر نقطہ مائل کے قریب۔ قریب۔ $v_{BE} - v_{BE}$ خط پر چال قدمی کرتا ہے۔ شکل الف میں تمام متغیرات یک سمیتی پس لہذا i_C کو V_{BE} اور i_C کو v_{BE} لکھا جائے گا۔ یوں مساوات 3.55 اور کرچاف کا



شکل 3.78: یک سمتی اور بدلنے متغیرات کی علیحدگی

قانون برائے برق دباؤ استعمال کرتے ہوئے شکل الف کے لئے ہم لکھ سکتے ہیں۔

$$(3.203) \quad I_C = I_S e^{\frac{V_{BE}}{V_T}}$$

$$(3.204) \quad V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C$$

جبکہ شکل ب کرے لئے یوں لکھا جا سکتا ہے۔

$$\begin{aligned}
 i_C &= I_C + i_c \\
 &= I_S e^{\frac{v_{BE}}{V_T}} \\
 &= I_S e^{\frac{V_{BE} + v_{be}}{V_T}} \\
 &= I_S e^{\frac{V_{BE}}{V_T}} e^{\frac{v_{be}}{V_T}} \\
 &= I_C e^{\frac{v_{be}}{V_T}}
 \end{aligned}$$

جہاں آخری قدم پر مساوات 3.203 کا سہارا لیا گیا۔ سلسلہ مکالرن کی مدد سے اس کو یوں لکھ سکتے ہیں۔

$$i_C = I_C \left[1 + \frac{1}{1!} \left(\frac{v_{be}}{V_T} \right) + \frac{1}{2!} \left(\frac{v_{be}}{V_T} \right)^2 + \dots \right]$$

باریک اشارات کر لئے اس مساوات کر پھر دو جزو لینا کافی ہوتا ہے اور یوں

$$i_C \approx I_C + \frac{I_C}{V_T} v_{be}$$

لکھا جا سکتا سر-تقریباً یہ ایک علامت \approx کے جگہ یہ ایک علامت = استعمال کرتے ہوئے

مساوات 3.184 کے استعمال سے حاصل ہوتا ہے۔

$$i_C = I_C + \frac{I_C}{V_T} v_{be}$$

$$I_C + i_c = I_C + g_m v_{be}$$

اور یوں

$$(3.205) \quad i_c = g_m v_{be}$$

اسی طرح شکل 3.78 ب کے خارجی جانب

$$v_{CE} = V_{CC} - i_C R_C$$

$$V_{CE} + v_{ce} = V_{CC} - (I_C + i_c) R_C$$

$$V_{CE} + v_{ce} = V_{CC} - I_C R_C - i_c R_C$$

$$\underbrace{V_{CE} - V_{CC} + I_C R_C}_{=0} + v_{ce} = -i_c R_C$$

جہاں آخری قدم پر مساوات 3.204 کی مدد حاصل کی گئی۔ مساوات 3.205 کو استعمال کرتے ہوئے اسے یوں لکھ سکتے ہیں۔

$$(3.206) \quad v_{ce} = -g_m R_C v_{be}$$

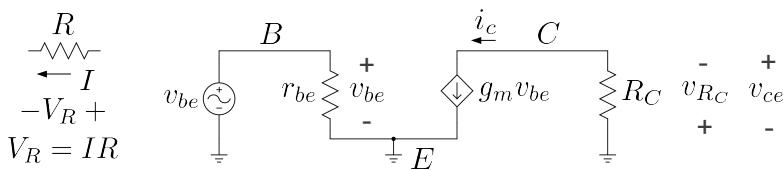
جس سے باریک اشاراتی افزائش برقی دباؤ A_v حاصل کی جا سکتی ہے۔

$$(3.207) \quad A_v = \frac{v_{ce}}{v_{be}} = -g_m R_C$$

مساوات 3.203 اور مساوات 3.204 سے شکل 3.78 میں یک سختی متغیرات I_C اور V_{CE} حاصل ہوتے ہیں جبکہ مساوات 3.205 اور مساوات 3.206 سے اسی شکل کے بدلتے متغیرات i_c اور v_{ce} حاصل ہوتے ہیں۔ یک سختی متغیرات شکل الف سے حاصل کئے گئے جہاں بدلتے متغیرات موجود نہیں۔ شکل 3.70 کے دئے گئے ٹرانزسٹر کے باریک اشاراتی ماذل پر داخلی جانب v_{be} لاگو کرتے ہوئے اور اس کے خارجی جانب مزاحمت R_C جوڑنے سے شکل 3.79 حاصل ہوتا ہے جس سے

$$(3.208) \quad i_c = g_m v_{be}$$

حاصل ہوتا ہے جو کہ بالکل مساوات 3.205 ہے جس سے اصل ٹرانزسٹر کا دور حل کرتے حاصل کیا گیا تھا۔ اسی طرح V_{R_C} کو اوبم کے قانون کی مدد سے حاصل کرتے ہیں۔ شکل میں بائیں جانب اوبم کے قانون کا صحیح استعمال دکھایا گیا ہے جہاں مزاحمت R میں اگر برقی رو I دائمی سری سے داخل ہو تو اوبم کا قانون استعمال کرتے وقت برقی دباؤ V_R کا مشتب طرف مزاحمت کا وہ سرا لیا جاتا ہے جہاں سے مزاحمت میں برقی رو داخل ہو۔ یوں اوبم کے قانون سے



شکل 3.79: باریک اشاراتی مساوی دور

$$\begin{aligned}
 (3.209) \quad v_{RC} &= i_c R_C \\
 &= g_m R_C v_{be}
 \end{aligned}$$

حاصل ہوتا ہے۔ اگر ہم v_{ce} حاصل کرنا ہو تو ہم شکل سے دیکھتے ہیں کہ یہ v_{RC} کے الٹ ہے (یعنی $v_{ce} = -v_{RC}$)۔ یوں

$$(3.210) \quad v_{ce} = -g_m R_C v_{be}$$

حاصل ہوتا ہے جو کہ بالکل مساوات ہی ہے جس سے اصل ٹرانزسٹر کا دور حل کرتے حاصل کیا گیا تھا۔ مندرجہ بالا مساوات سے باریک اشاراتی افزائش برقی دباؤ A_v حاصل ہوتی ہے۔

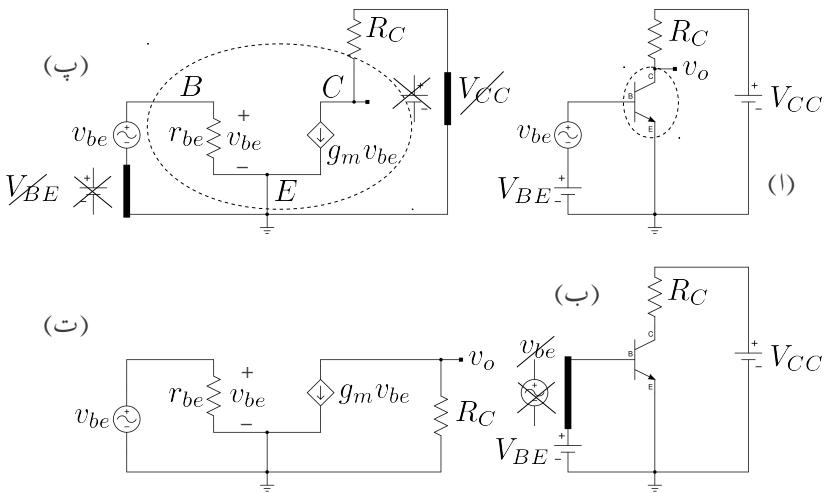
$$(3.211) \quad A_v = \frac{v_{ce}}{v_{be}} = -g_m R_C$$

ہم دیکھتے ہیں کہ شکل 3.78 ب میں دئے گئے دور کے بدلنے متغیرات شکل 3.80 کو حل کرنے سے ہی حاصل کئے جا سکتے ہیں۔ یہ ایک انتہائی اہم نتیجہ ہے جس کو استعمال کرتے ہوئے ٹرانزسٹر کے ادوار کو قلم و کاغذ پر حل کرتے استعمال کیا جاتا ہے۔ شکل 3.80 میں دکھایا دور شکل 3.78 ب کا مساوی باریک اشاراتی دور ہے۔

آئیں شکل 3.80 کی مدد سے دیکھیں کہ کسی بھی ٹرانزسٹر دور کے مساوی یک سمتی اور مساوی باریک اشاراتی ادوار کیسے حاصل کئے جاتے ہیں۔ ہم نے اوپر دیکھا کہ بدلنے متغیرات کے مساوات میں مقام یک سمتی متغیرات کٹ جاتے ہیں۔ یوں کسی بھی دور کا مساوی باریک اشاراتی دور حاصل کرتے وقت دور میں تمام یک سمتی پیدا کار کی قیمتیں صفر کر دیں جاتے ہیں اور ٹرانزسٹر کی جگہ ٹرانزسٹر کا باریک اشاراتی ماذل نسب کر دیا جاتا ہے۔ یک سمتی پیدا کار برقی دباؤ کی قیمت صفر کرنے کی خاطر ان کے دونوں سرے قصر دور تصور کئے جاتے ہیں۔ اگرچہ موجودہ مثال میں یک سمتی پیدا کار برقی رو استعمال نہیں کیا گیا لیکن اگر ایسا کیا جائے تو یہ کسی پیدا کار برقی رو کی قیمت صفر کرنے کی خاطر اس کو کھلے سرے کر دیا جاتا ہے۔

آئیں اب شکل 3.80 الف میں دئے گئے دور کے مساوی ادوار حاصل کریں۔ شروع مساوی یک سمتی دور کے حصول سے کرتے ہیں۔

جیسا شکل ب میں دکھایا گیا ہے کہ تمام بدلنے اشارات کی قیمت صفر کرنے سے دور کا مساوی یک سمتی دور حاصل ہوتا ہے۔ اس دور میں v_{be} بدلنا اشارہ ہے جس سے دور سے خارج کرتے ہوئے اس مقام کو قصر دور کر دیا گیا ہے (یعنی جن دو برقی تاروں کے ساتھ v_{be} جزا تاروں کو آپس میں جوڑ



شکل 3.80: (ا) اصل دور (ب) مساوی یک سمتی دور (ت) مساوی باریک اشاراتی دور

دیا گیا ہے جبکہ یہاں سے v_{be} کو نکال دیا گیا ہے۔ جوڑ کو وضاحت کی خاطر موئی تار سے دکھایا گیا ہے۔

شکل (پ) میں مساوی باریک اشاراتی دور حاصل کیا گیا ہے۔ ایسا کرنے کی خاطر ٹرانزسٹر کی جگہ اس کا باریک اشاراتی π ماذل نسب کیا گا ہے۔ جبکہ تمام یک سمتی پیدا کار کو قصر دور کر دیا گیا ہے۔ چونکہ اصل دور یعنی شکل الف میں V_{BE} اور V_{CC} یک سمتی پیدا کار بین لہذا انہیں قصر دور کیا گیا ہے۔ ان کی جگہ نسب تاروں کو وضاحت کی غرض سے موٹا کر کرے دکھایا گیا ہے۔ شکل پ کو عموماً شکل ت کی مانند بنایا جاتا ہے۔ اس کتاب میں بھی ایسا ہی کیا جائے گا۔ آپ تسلی کر لیں کہ شکل پ اور شکل ت بالکل یکساں ہیں۔

اس حصے میں ہم نے دیکھا کہ ٹرانزسٹر ادوار کے حل حاصل کرتے وقت یہ ممکن ہے کہ پہلے بدلتے متغیرات کو نظر انداز کیا جائے اور اس کا یک سمتی دور حل کیا جائے۔ یوں حاصل یک سمتی متغیرات سے نقطے کارکرڈگی پر ٹرانزسٹر کے r_{be} اور g_m حاصل کئے جائیں اور پھر دور میں یک سمتی پیدا کار کو نظر انداز کرتے ہوئے بدلتے اشارات حاصل کئے جائیں۔ قلم و کاغذ پر ٹرانزسٹر ادوار اسی طریقہ کار کو استعمال کرتے ہوئے حاصل کئے جاتے ہیں۔ اگلے حصے میں اس طریقے کی مشق کرائی جائے گی۔ آپ سے گزارش کی جائی ہے کہ ان مشقوں سے فائدہ اہمتر ہوئے اس طریقے کو اچھی طرح سیکھ لیں۔

یہاں یہ بتلانا ضروری ہے کہ ٹرانزسٹر ماذل استعمال کرتے ہوئے مساوی باریک اشاراتی ادوار کو کسی صورت اصل ٹرانزسٹر کا دور نہ سمجھا جائے۔ یہ صرف اور صرف حساب و کتاب آسان بنانے کا ایک طریقہ ہے۔

3.16 باریک اشاراتی ادوار کا پائے ماذل کی مدد سے حل

ٹرانزسٹر ایمپلیفائر کو پائے (π) ماذل استعمال کرتے ہوئے ایک منظم طریقے سے حل کیا جاتا ہے۔ اس طریقہ کارکرکے اقدام مندرجہ ذیل ہیں۔

1. اصل ٹرانزسٹر دور کا مساوی یک سمتی دور حاصل کر کرے اسے حل کرتے ہوئے I_C اور V_{CE} حاصل کریں۔ یہ نقطہ کارکردگی پر ٹرانزسٹر کے متغیرات ہیں۔

2. آگے بڑھنے سے پہلے تسلی کر لیں کہ ٹرانزسٹر افزائندہ خطے میں ہے (یعنی $V_{CE} > V_{CE_{افرائندہ}}$ ۔)

3. حاصل کردہ I_C استعمال کرتے ہوئے نقطہ کارکردگی پر ٹرانزسٹر کے باریک اشاراتی ماذل کرے جزو حاصل کریں یعنی۔

$$\begin{aligned} g_m &= \frac{I_C}{V_T} \\ r_{be} &= \frac{\beta}{g_m} \\ r_e &= \frac{V_T}{I_E} \approx \frac{1}{g_m} \end{aligned}$$

4. اصل ٹرانزسٹر دور میں تمام پیدا کار برق دباؤ کو قصر دور اور پیدا کار برق روکو کھلے دور کرتے ہوئے ٹرانزسٹر کی جگہ ٹرانزسٹر کا مساوی باریک اشاراتی ماذل نسب کرتے ہوئے دور کا مساوی باریک اشاراتی دور حاصل کریں۔

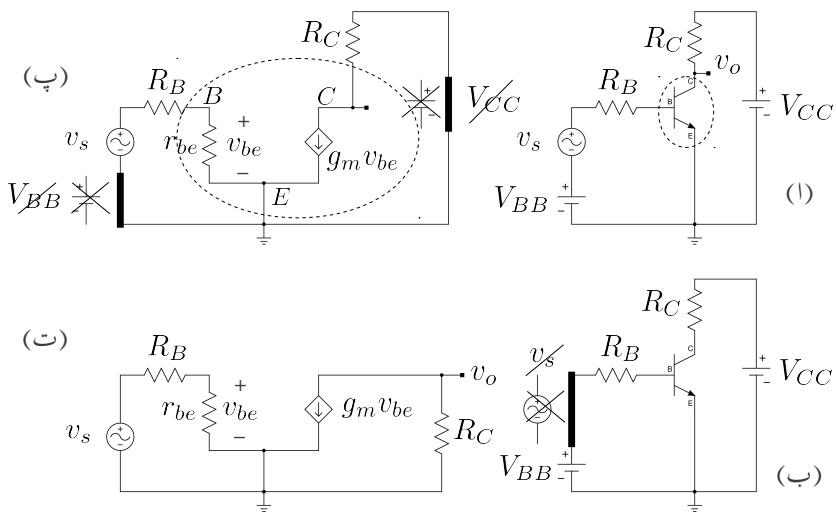
5. حاصل مساوی باریک اشاراتی دور کو حل کرتے ہوئے ایمپلیفائر کے خاصیت حاصل کریں۔ (مثلاً افزائش برق دباؤ A_v ، داخلی مزاحمت R_i ، خارجی مزاحمت R_o وغیرہ)

6. آخر میں اس بات کی بھی تسلی کر لیں کہ ٹرانزسٹر کا نقطہ کارکردگی یوں منتخب ہو کہ خارجی اشارہ (جس سے v_0 لکھا جائے گا) کے حیطے کے مثبت اور منفی چوٹیوں پر بھی ٹرانزسٹر افزائندہ ہی رہے۔ (یعنی کہ خارجی اشارہ v_0 کے چوتھا تراشی نہیں جاتی)

اس عمل کے پہلے تین اقدام آپ دیکھ چکے ہیں۔ آئیں اب مساوی باریک اشاراتی دور کو حل کرنا دیکھیں۔ ایسا شکل 3.81 کی مدد سے کرتے ہیں جس میں مزاحمت R_B بھی نسب کیا گیا ہے۔ یہاں ٹرانزسٹر کی افزائش برق روکو β_0 تصور کریں۔

شکل ب میں اس دور کا مساوی یک سمتی دور حاصل کیا گیا ہے۔ اس کو حل کرتے ہوئے I_C اور V_{CE} حاصل کرتے ہیں۔ داخلی جانب چونکہ

$$\begin{aligned} V_{BB} &= I_B R_B + V_{BE} \\ I_B &= \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B} \end{aligned}$$



شکل 3.81: (ا) اصل دور (ب) مساوی یک سمتی (ت) مساوی باریک اشاراتی

ہے لہذا

$$(3.212) \quad I_C = \beta_0 I_B = \beta_0 \left(\frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B} \right)$$

حاصل ہوتا ہے - یہی جواب R_B کو ٹرانزسٹر کے ایمٹر جانب منتقل کرتے ہوئے $\frac{R_B}{\beta_0}$ لکھ کر ہی حاصل کیا جا سکتا ہما یعنی

$$I_C = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{\left(\frac{R_B}{\beta_0} \right)}$$

خارجی جانب سے

$$(3.213) \quad V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C$$

حاصل ہوتا ہے - باریک اشاراتی متغیرات حاصل کرنے سے پہلے یہاں رک کر تسلی کر لیں کہ ٹرانزسٹر افزائندہ خطے میں ہے۔ اگر حاصل کردہ V_{CE} کی قیمت غیر افزائندہ V_{CE} سے کم ہو تو ٹرانزسٹر غیر افزائندہ ہو گا اور اشارہ کو بڑھانے سے قاصر ہو گا۔ اس صورت میں باریک اشاراتی تجربہ کرنے کی ضرورت نہیں۔

حاصل I_C سے ٹرانزسٹر ماذل کے جزو r_{be} اور g_m حاصل کرنے کے بعد شکل ت سے افزائش A_v یوں حاصل کی جائے گی۔ داخلی جانب ہم لکھ سکتے ہیں

$$v_s = i_b (R_B + r_{be})$$

$$i_b = \frac{v_s}{R_B + r_{be}}$$

اور چونکہ $v_{be} = i_b r_{be}$ ہے لہذا

$$v_{be} = \frac{v_s r_{be}}{R_B + r_{be}}$$

حاصل ہوتا ہے۔ خارجی جانب ہم لکھ سکتے ہیں۔

$$i_c = g_m v_{be}$$

$$v_o = -i_c R_C$$

مندرجہ بالا تین مساوات سے v_o لکھا جا سکتا ہے یعنی

$$v_o = -i_c R_C = - (g_m v_{be}) R_C = -g_m R_C \left(\frac{v_s r_{be}}{R_B + r_{be}} \right)$$

جس سے افزائش A_v یوں حاصل ہوتی ہے۔

$$(3.214) \quad A_v = \frac{v_o}{v_s} = -\frac{g_m r_{be} R_C}{R_B + r_{be}}$$

یہاں رک کر تسلی کر لیں کہ آیا مطلوبہ خارجی اشارہ v_o کے مثبت اور منفی چوٹیوں پر بھی ٹرانزسٹر افزائندہ خطے میں ہی رہتا ہے یا نہیں۔ میرے خیال میں یہ بات مثال کی مدد سے زیادہ آسانی سے سمجھ آئے گی۔

مثال 3.38: شکل 3.81 میں

$$\beta_0 = 100$$

$$V_{CC} = 15 \text{ V}$$

$$V_{BB} = 2.5 \text{ V}$$

$$R_C = 7.5 \text{ k}\Omega$$

$$R_B = 180 \text{ k}\Omega$$

لیتے ہوئے باریک اشاراتی افزائش برق دباؤ A_v حاصل کریں۔ زیادہ سے زیادہ نا تراشیدہ خارجی اشارے حاصل ہوتے وقت داخلی اشارے کا حیطہ دریافت کریں۔

حل: پہلے یک سمیٰ متغیرات حاصل کرئے ہیں۔

$$I_C = \beta_0 \left(\frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B} \right) = 100 \times \left(\frac{2.5 - 0.7}{180000} \right) = 1 \text{ mA}$$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C = 15 - 10^{-3} \times 7.5 \times 10^3 = 7.5 \text{ V}$$

چونکہ حاصل V_{CE} کی قیمت 0.2 V (عین V_{CE} میں زیادہ ہے لہذا ٹرانزسٹر افراہنڈ ہے اور یہ داخلی اشارے کو بڑھا سکتا ہے۔ آئیں π ماذل کے جزو حاصل کریں۔

$$g_m = \frac{I_C}{V_T} = \frac{1 \times 10^{-3}}{25 \times 10^{-3}} = 40 \text{ mS}$$

$$r_{be} = \frac{\beta_0}{g_m} = \frac{100}{40 \times 10^{-3}} = 2.5 \text{ k}\Omega$$

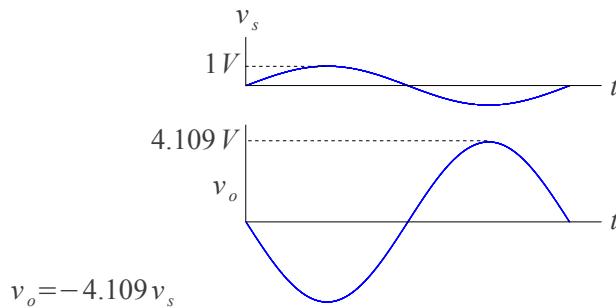
$$r_e \approx \frac{1}{g_m} = \frac{1}{40 \times 10^{-3}} = 25 \Omega$$

اور انہیں استعمال کرتے ہوئے باریک اشارات کی افزائش برقی دباؤ A_v حاصل کریں۔

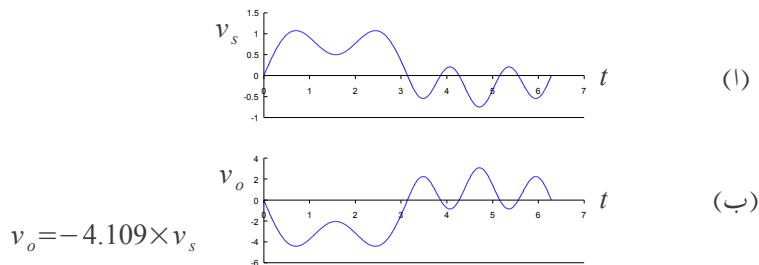
$$A_v = \frac{v_o}{v_s} = -\frac{g_m r_{be} R_C}{R_B + r_{be}} = -\frac{0.04 \times 2500 \times 7.5 \times 10^3}{180 \times 10^3 + 2500} = -4.109 \frac{\text{V}}{\text{V}}$$

اس مساوات کے مطابق یہ ٹرانزسٹر ایمپلیفائر داخلی اشارہ v_s کے حیطے کو 4.109 گناہیں بڑھائے گا۔ A_v کی قیمت منفی ہونے کا مطلب یہ ہے کہ جس لمحہ داخلی اشارہ مثبت ہو گا اس لمحہ خارجی اشارہ منفی ہو گا۔ شکل میں داخلی اشارہ کو سائن نما تصویر کرتے ہوئے اس حقیقت کی وضاحت کی گئی ہے۔ سائن نما اشارہ کی صورت میں یہ کہا جا سکتا ہے کہ داخلی اور خارجی اشارات آپس میں 180 پر بین۔ داخلی اشارہ کی شکل کچھ بھی ہو سکتی ہے۔ شکل 3.83 میں غیر سائن۔ نما اشارہ دکھایا گیا ہے جہاں دونوں گرافون میں برقی دباؤ کے محدود کی پیمائش مختلف ہے۔ آپ دیکھ سکتے ہیں کہ جب داخلی اشارہ مثبت ہوتا ہے اس وقت خارجی اشارہ منفی ہوتا ہے اور جب داخلی اشارہ منفی ہوتا ہے اس دوران خارجی اشارہ مثبت ہوتا ہے۔ یہ جاننے کے لئے کہ اس ایمپلیفائر سے کتنے حیطے کا زیادہ سے زیادہ خارجی اشارہ v_o حاصل کیا جا سکتا ہے ہم بار کے خط کی مدد حاصل کرتے ہیں جسے شکل 3.84 میں دکھایا گیا ہے۔ آپ دیکھ سکتے ہیں کہ نقطہ کارکردگی کے ایک جانب خارجی اشارہ 7.5 V کا حیطہ رکھ سکتا ہے جبکہ دوسرا جانب 7.3 V کا۔ یوں جیسے ہی خارجی اشارے کا حیطہ 7.3 V سے بڑھ جائے اس کا ایک طرف کتنے شروع ہو جائے گا۔ 7.3 V کے حیطے کا خارجی اشارہ اس وقت حاصل ہو گا جب داخلی اشارے کا حیطہ 1.777 V ہو گا یعنی

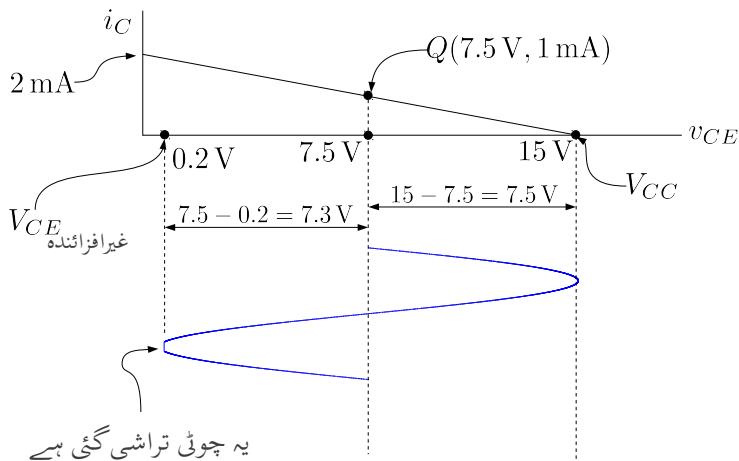
$$|v_s| = \left| \frac{v_o}{A_v} \right| = \left| \frac{7.3}{4.109} \right| = 1.777 \text{ V}$$



شکل 3.82: سائن-نما اشارات



شکل 3.83: غیر سائن-نما اشارہ



شكل 3.84: خارجی اشارے کی زیادہ سے زیادہ ناتراشیدہ چوٹی

مثال 3.39: مثال 3.38 میں ٹرانزسٹر کا اولی برق دباؤ $V_A = 200 \text{ V}$ ہے۔ شکل 3.77 الف کا مادل استعمال کرتے ہوئے A_v دوبارہ حاصل کریں۔
حل: r_o کی شمولیت سے پہلی معمولیت سے متفاہر نہیں ہوتی لہذا مثال 3.38 میں حاصل کی گئی قیمتیں یہاں کر کے لئے بھی درست ہیں۔ مساوات 3.63 سے

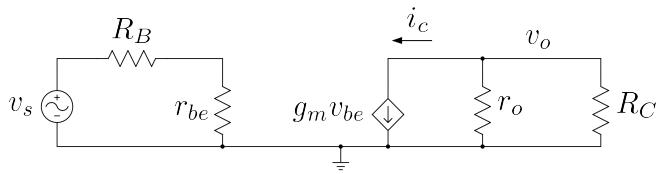
$$r_o = \frac{V_A}{I_C} = \frac{200}{1 \times 10^{-3}} = 200 \text{ k}\Omega$$

حاصل ہوتا ہے۔ یوں شکل 3.85 حاصل ہوتا ہے۔ اس دور کو حل کرتے ہیں۔ خارجی جانب متوازن جڑے r_o اور R_C کی کل مزاحمت $\frac{r_o R_C}{r_o + R_C}$ ہے جس سے عموماً $v_o = -i_c \left(\frac{r_o R_C}{r_o + R_C} \right)$ لکھا جاتا ہے۔ یوں اس شکل کو دیکھتے ہوئے

$$v_o = -i_c \left(\frac{r_o R_C}{r_o + R_C} \right) = -i_c \left(\frac{200000 \times 7500}{200000 + 7500} \right) = -7229 i_c$$

$$i_c = g_m v_{be} = 40 \times 10^{-3} v_{be}$$

$$v_{be} = \left(\frac{r_{be}}{R_B + r_{be}} \right) v_s = \left(\frac{2500}{180000 + 2500} \right) v_s = 0.0137 v_s$$



شکل 3.85: ٹرانزسٹر کا خارجی مزاحمت شامل کرتے مساوی دور

لکھا جا سکتا ہے۔ اس طرح

$$v_o = -7229 \times 40 \times 10^{-3} \times 0.0137 v_s = -3.96 v_s$$

حاصل ہوتا ہے یعنی

$$A_v = \frac{v_o}{v_s} = -3.96 \frac{\text{V}}{\text{V}}$$

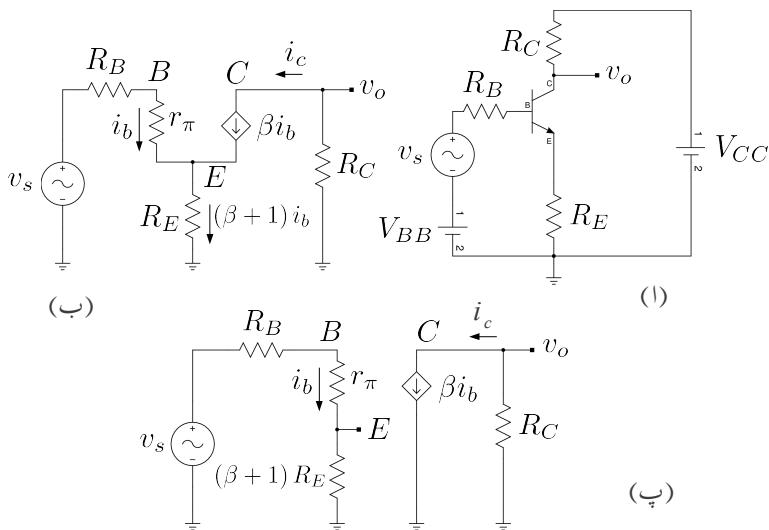
مثال 3.38 میں $A_v = -4.109 \frac{\text{V}}{\text{V}}$ حاصل ہوا تھا۔ یون r_o کو نظر انداز کرتے ہوئے جواب میں صرف

$$\left| \frac{3.96 - 4.109}{3.96} \right| \times 100 = 3.76 \%$$

تبديلی آئی۔

مندرجہ بالا مثال میں ہم نے دیکھا کہ r_o کو نظر انداز کرتے ہوئے ایپلیفائر کی افزائش حاصل کرنے سے قابل نظر انداز غلطی پیدا ہوئی ہے۔ یہ ابھم نتیجہ ہے جس کی بنا پر ٹرانزسٹر ایپلیفائر حل کرتے ہوئے عموماً r_o کو نظر انداز کیا جاتا ہے۔ اس کتاب میں جہاں r_o کا کردار ابھم نہ ہو، اسے نظر انداز کیا جائے گا۔ یاد رہیے کہ حقیقت میں r_o پایا جاتا ہے لہذا $\infty \rightarrow R_C$ کرنے سے لامحدود افزائش حاصل نہیں ہوگی چونکہ خارجی جانب R_C اور r_o متوازی جڑیں ہیں اور ان کی مجموعی مزاحمت کسی صورت R_C یا r_o سے زیادہ نہیں ہو سکتی۔

مثال 3.40: شکل 3.86 الف کے ایپلیفائر میں R_E کا اضافہ کیا گیا ہے۔ اس ایپلیفائر کی افزائش A_v اور داخلی مزاحمت r_i حاصل کریں۔

شکل 3.86: ایمپلیفیائر بمعہ R_E

حل: ایمپلیفیائر میں بدلتے اشارات کو نظر انداز کرتے ہوئے پہلے یک سمیت متغیرات حاصل کرتے ہیں۔

$$I_C = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{\frac{R_B}{\beta+1} + R_E}$$

$$\begin{aligned} V_{CE} &= V_{CC} - I_C R_C - I_E R_E \\ &\approx V_{CC} - I_C (R_C + R_E) \end{aligned}$$

یہاں رک کر تسلی کر لیں کہ حاصل V_{CE} کی قیمت غیرافونڈہ V_{CE} سے زیادہ ہے چونکہ صرف اسی صورت ٹرانزسٹر اشارات کو بڑھانے کی صلاحیت رکھتا ہے۔ حاصل I_C سے ٹرانزسٹر کے پائے ماذل کر کے جزو حاصل کرتے ہیں۔

$$g_m = \frac{I_C}{V_T}$$

$$r_{be} = \frac{\beta}{g_m}$$

$$r_e = \frac{\alpha}{g_m} \approx \frac{1}{g_m}$$

اگرچہ اس مثال میں r_e اور g_m کے قیمتیں استعمال نہیں کی گئی ان کو پھر بھی حاصل کیا گیا ہے۔ تمام جزو حاصل کرنے کی عادت اچھی ثابت ہوتی ہے۔

شکل ب میں پائے ماذل استعمال کرتے ہوئے شکل الف کا مساوی باریک اشاراتی دور دکھایا گیا ہے جس میں r_o کو نظر انداز کیا گیا ہے۔ اس دور میں ٹرانزسٹر کے تین سروں پر برق رو مندرجہ ذیل ہیں۔

$$\begin{aligned} i_b \\ i_c = \beta i_b \\ i_e = i_b + i_c = (\beta + 1) i_b \end{aligned}$$

یوں شکل ب میں داخلی جانب کے دائیں میں کرچاف کے قانون برائے برق دباو کے استعمال سے ہم لکھ سکتے ہیں۔

$$\begin{aligned} v_s &= i_b R_B + i_b r_\pi + (\beta + 1) i_b R_E \\ &= i_b (R_B + r_\pi + (\beta + 1) R_E) \end{aligned}$$

اور یوں

$$i_b = \frac{v_s}{R_B + r_\pi + (\beta + 1) R_E}$$

حاصل ہوتا ہے۔ اس مساوات سے دور کا داخلی باریک اشاراتی مزاحمت حاصل کیا جا سکتا ہے یعنی

$$r_i = \frac{v_s}{i_b} = R_B + r_\pi + (\beta + 1) R_E$$

خارجی جانب کے دائیں میں چونکہ $i_c = \beta i_b$ ہیں لہذا $v_o = -i_c R_C$ اور $i_c = \beta i_b$

$$v_o = -\beta R_C i_b = -\frac{\beta R_C v_s}{R_B + r_\pi + (\beta + 1) R_E}$$

اور

$$(3.215) \quad A_v = \frac{v_o}{v_s} = -\frac{\beta R_C}{R_B + r_\pi + (\beta + 1) R_E}$$

حاصل ہوتے ہیں۔ اس مساوات کو

$$\begin{aligned} (3.216) \quad A_v &= -\frac{\beta}{\beta + 1} \frac{R_C}{\frac{R_B}{\beta+1} + r_e + R_E} \\ &= -\frac{\alpha R_C}{\frac{R_B}{\beta+1} + r_e + R_E} \\ &\approx -\frac{R_C}{\frac{R_B}{\beta+1} + r_e + R_E} \end{aligned}$$

بھی لکھا جا سکتا ہے جہاں $r_e = \frac{r_\pi}{\beta+1}$ کا استعمال کیا گیا ہے۔

آئیں شکل 3.86 پ کو حل کریں جہاں مزاحمت کی قیمت بڑھا کر $(\beta + 1) R_E$ کرتے ہوئے داخلی اور خارجی دائروں کو جدا کر دیا گیا ہے۔
جوڑ E پر شکل 3.86 ب میں $v_E = (\beta + 1) i_b \times R_E$ برقی دباؤ پایا جاتا ہے۔ شکل 3.86 پ میں یہاں $R_E (\beta + 1) i_b \times (\beta + 1)$ پایا جاتا ہے۔ یہ دونوں مقدار برابر ہیں۔

$$v_E = (\beta + 1) i_b \times R_E = i_b \times (\beta + 1) R_E$$

شکل 3.86 پ کے داخلی دائروں پر کرچاف کا قانون برائے برقی دباؤ استعمال کرنے سے

$$v_s = i_b R_B + i_b r_\pi + i_b (\beta + 1) R_E$$

حاصل ہوتا ہے۔ یہ بالکل شکل ب سے حاصل مساوات کی طرح ہے جس سے داخلی باریک اشاراتی مزاحمت بھی بالکل وہی حاصل ہوتا ہے یعنی

$$r_i = \frac{v_s}{i_b} = R_B + r_\pi + (\beta + 1) R_E$$

اسی طرح خارجی جانب یہاں بھی $v_o = -i_c R_C$ اور $i_c = \beta i_b$ بین جن سے

$$v_o = -\beta R_C i_b = -\frac{\beta R_C v_s}{R_B + r_\pi + (\beta + 1) R_E}$$

حاصل ہوتے ہیں جن سے

$$A_v = \frac{v_o}{v_s} = -\frac{\beta R_C}{R_B + r_\pi + (\beta + 1) R_E}$$

بھی حاصل ہوتا ہے۔

یون شکل ب اور شکل پ سے بالکل یکسان جوابات حاصل ہوتے ہیں۔ یہ ایک اہم نتیجہ ہے جس سے اس کتاب میں بار بار استعمال کیا جائے گا۔ جب بھی پست تعداد پر چلنے والے ٹرانزسٹر کے ایمٹر مشترک⁴⁶ یا کلکٹر مشترک ایمپلیفائر میں مزاحمت R_E استعمال کیا جائے، اس کا مساوی باریک اشاراتی دور بناتے وقت داخلی اور خارجی دائروں کو جدا کرتے ہوئے داخلی دائروں میں $R_E (\beta + 1)$ مزاحمت نسب کرتے ہوئے حل کریں۔ تمام حاصل جوابات درست ہوں گے۔ جیسا آپ باب 6 میں دیکھیں گے کہ بلند تعدد پر چلتے ایمپلیفائر کے لئے ایسا کر کر جواب حاصل کرنا ممکن نہ ہو گا۔

⁴⁶ مشترک ایمٹر، مشترک کلکٹر اور مشترک بیس کی پہچان حصہ 3.19 میں کی گئی ہے

افزائش برق دباؤ کے مساوات کو یوں بھی لکھا جا سکتا ہے۔

$$\begin{aligned} A_v &= -\frac{\beta R_C}{R_B + r_{be} + (\beta + 1) R_E} \\ &= -\left(\frac{\beta}{\beta + 1}\right) \left(\frac{R_C}{\frac{R_B}{\beta+1} + \frac{r_{be}}{\beta+1} + R_E}\right) \\ &= -\alpha \left(\frac{R_C}{\frac{R_B}{\beta+1} + r_e + R_E}\right) \end{aligned}$$

اس مساوات کے حصول کے تیسرا قدم پر r_e کو $\frac{r_{be}}{\beta+1}$ کو لکھا گیا۔ اس مساوات کا انتہائی آسان مطلب ہے جس کی مدد سے اسے با آسانی یاد رکھا جا سکتا ہے۔ ٹرانزستر کے کلکٹر پر کل مزاحمت R_C ہے جبکہ اس کے ایٹر پر مزاحمت R_E کے ساتھ سلسلہ وار r_{be} اور R_B کے عکس $\frac{r_{be}}{\beta+1}$ اور منسلک ہیں۔ r_e کو لکھا جا سکتا ہے۔ یوں ایٹر پر کل مزاحمت $\sum R_E$ کی قیمت

$$\sum R_E = \frac{R_B}{\beta + 1} + r_e + R_E$$

ہے۔ اس مساوات میں R_B داخلی اشارہ v_s کے ساتھ سلسلہ وار جزئی مزاحمت ہے۔ کلکٹر پر کل مزاحمت کو $\sum R_C$ لکھتے ہوئے اس مساوات کو یوں لکھا جا سکتا ہے۔

$$(3.217) \quad A_v = -\alpha \left(\frac{\sum R_C}{\sum R_E} \right) = -\alpha \left(\frac{\text{کلکٹر پر کل مزاحمت}}{\text{ایٹر پر کل مزاحمت}} \right)$$

مساوات 3.217 نہایت ابھیت کا حامل ہے جو آپ کو زبانی یاد ہونا چاہیے۔ اس مساوات کو استعمال کرتے ہوئے عموماً α کی قیمت (1) تصور کی جاتی ہے۔ اگر 3.86 الف کا بدلتا رو مساوی دور بنایا جائے تو ٹرانزستر کے بیس جانب V_{BB} قصر دور ہو جائے گا اور داخلی اشارہ v_s کے ساتھ صرف ایک عدد مزاحمت R_B پایا جائے گا۔ مساوات 3.217 کے صحیح استعمال کے لئے یہ ضروری ہے کہ ایمپلیفیائر کے بیس جانب حصے کا مساوی دور اسی طرز پر ہو۔

یہ دیکھنے کی خاطر کہ مندرجہ بالا مساوات واقعی عمومی مساوات ہے ہم مساوات 3.214 کو بھی اسی صورت میں بدل سے بین۔

$$\begin{aligned} A_v &= -\frac{g_m r_{be} R_C}{R_B + r_{be}} \\ &= -\frac{\beta R_C}{R_B + r_{be}} \\ &= -\frac{\beta R_C}{(\beta + 1) \left(\frac{R_B}{\beta+1} + \frac{r_{be}}{\beta+1} \right)} \\ &= -\frac{\alpha R_C}{\frac{R_B}{\beta+1} + r_e} \\ &= -\alpha \left(\frac{\sum R_C}{\sum R_E} \right) \end{aligned}$$

مثال 3.41: شکل 3.86 الف میں

$$V_{CC} = 12 \text{ V}$$

$$V_{BB} = 2.35 \text{ V}$$

$$\beta = 99$$

$$R_B = 150 \text{ k}\Omega$$

$$R_C = 75 \text{ k}\Omega$$

$$R_E = 15 \text{ k}\Omega$$

لیتے ہوئے باریک اشاراتی داخلی مزاحمت $r_i = \frac{v_s}{i_b}$ اور افزائش A_v حاصل کریں۔
حل: پہلے یک سمیت متغیرات حاصل کر سے بین۔

$$I_C = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{\frac{R_B}{\beta+1} + R_E} = \frac{2.35 - 0.7}{\frac{150000}{99+1} + 15000} = 0.1 \text{ mA}$$

$$\begin{aligned} V_{CE} &\approx V_{CC} - I_C (R_C + R_E) \\ &= 12 - 0.1 \times 10^{-3} \times (75000 + 15000) = 3 \text{ V} \end{aligned}$$

چونکہ حاصل V_{CE} کی قیمت V_{CE} غیر افزائندہ 0.2 V یعنی 0.2 V سے زیادہ ہے لہذا ٹرانزسٹر افزائندہ ہے اور اشارات کو بڑھانے کی صلاحیت رکھتا ہے۔ بار کا خط کھینچ کر آپ دیکھ سکتے ہیں کہ خارجی اشارے کی زیادہ سے زیادہ ناتراشیدہ چوتھی نقطہ کارکردگی کے ایک جانب $3 - 0.2 = 2.8 \text{ V}$ اور دوسری

جانب $12 - 3 = 9\text{V}$ ہوں گے۔ یوں سائن۔ نما اشارہ کی زیادہ سے زیادہ خارجی ناتراشیدہ چوٹی 2.8V ممکن ہو گے۔
حاصل I_C سے ٹرانزستر کے پائے ماذل کے جزو حاصل کرتے ہیں۔

$$g_m = \frac{I_C}{V_T} = \frac{0.1 \times 10^{-3}}{25 \times 10^{-3}} = 4 \text{ mS}$$

$$r_{be} = \frac{\beta}{g_m} = \frac{99}{0.004} = 24.75 \text{ k}\Omega$$

$$r_e = \frac{V_T}{I_E} = \frac{\alpha}{g_m} = \frac{0.99}{0.004} = 247.5 \Omega$$

باریک اشاراتی داخلی مزاحمت حاصل کرتے ہیں۔

$$\begin{aligned} r_i &= \frac{v_s}{i_b} = R_B + r_{be} + (\beta + 1) R_E \\ &= 150000 + 24750 + (99 + 1) \times 15000 \\ &= 1.67475 \text{ M}\Omega \end{aligned}$$

ایمپلیفائر کی افرائش برق دباؤ حاصل کرتے ہیں۔

$$\begin{aligned} A_v &= \frac{v_o}{v_s} = -\frac{\beta R_C}{R_B + r_{be} + (\beta + 1) R_E} \\ &= -\frac{99 \times 75000}{150000 + 24750 + (99 + 1) \times 15000} \\ &= -4.4335 \frac{\text{V}}{\text{V}} \end{aligned}$$

مساوات 3.217 کی مدد سے یہی جواب سیدھو سیدھ حاصل کیا جا سکتا ہے جہاں

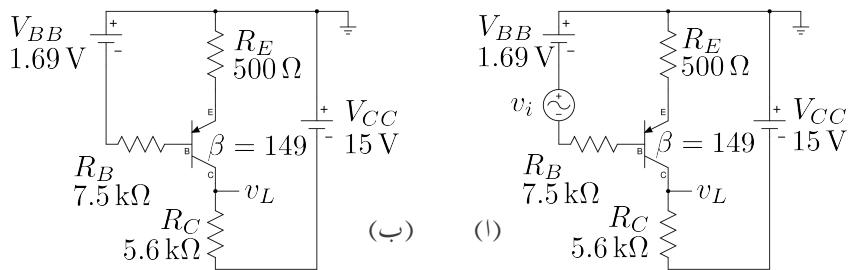
$$\sum R_C = R_C = 75 \text{ k}\Omega$$

اور

$$\begin{aligned} \sum R_E &= \frac{R_B}{\beta + 1} + r_e + R_E \\ &= \frac{150000}{99 + 1} + 247.5 + 15000 \\ &= 16747.5 \Omega \end{aligned}$$

لئے جائیں گے اور یوں

$$A_v = -\left(\frac{\sum R_C}{\sum R_E}\right) = -0.99 \times \left(\frac{75000}{16747.5}\right) = -4.4335 \frac{\text{V}}{\text{V}}$$



شكل 3.87: جمع-منفی-جمع ایمپلیفیائر

حاصل ہوتا ہے۔

مثال 3.42: شکل 3.87 الف میں $A_v = \frac{v_L}{v_i} = 0.001 \sin \omega t$ حاصل کریں۔ اگر $v_i = 0.001 \sin \omega t$ ہو تو v_L کیا ہو گا؟
 حل: بدلتے متغیرات کو نظر انداز کرتے ہوئے شکل 3.87 ب سے یک سعی متغیرات حاصل کرتے ہیں۔ داخلی جانب

$$\begin{aligned} V_{BB} &= I_E R_E + V_{EB} + I_B R_B \\ &= I_E R_E + V_{EB} + \left(\frac{I_E}{\beta + 1} \right) R_B \\ &= V_{EB} + I_E \left(R_E + \frac{R_B}{\beta + 1} \right) \end{aligned}$$

لکھا جا سکتا ہے جس سے

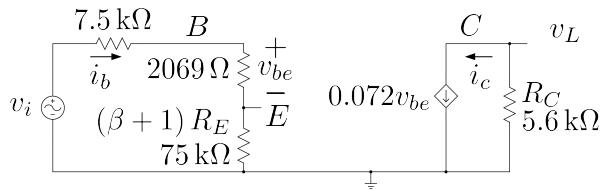
$$I_C \approx I_E = \frac{1.69 - 0.7}{500 + \frac{7500}{149+1}} = 1.8 \text{ mA}$$

حاصل ہوتا ہے۔ خارجی جانب

$$\begin{aligned} V_{CC} &= I_E R_E + V_{EC} + I_C R_C \\ &\approx V_{EC} + I_C (R_E + R_C) \end{aligned}$$

سے

$$V_{EC} = 15 - 1.8 \times 10^{-3} \times (500 + 5600) = 4.02 \text{ V}$$



شکل 3.88: جمع-منفی-جمع ایمپلیفائر مساوی باریک اشاراتی دور

حاصل ہوتا ہے جو کہ V_{EC} سے زیادہ ہے لہذا ترانزسٹر افزائندہ خطے میں ہے۔ ان قیمتیوں سے پائے ماذل کے اجزاء حاصل کرتے ہیں

$$g_m = \frac{I_C}{V_T} = \frac{1.8 \times 10^{-3}}{25 \times 10^{-3}} = 0.072 \text{ S}$$

$$r_{be} = \frac{\beta}{g_m} = \frac{149}{0.072} = 2069 \Omega$$

جنہیں استعمال کرتے ہوئے شکل 3.88 کا باریک اشاراتی مساوی دور حاصل ہوتا ہے۔ اس مساوی دور میں مثال 3.40 کے شکل 3.86 پ کی طرح پائے ماذل میں تبدیلی کی گئی۔

مساوی دور کے داخلی جانب

$$i_b = \frac{v_i}{7500 + 2069 + 75000} = \frac{v_i}{84569}$$

$$v_{be} = i_b \times 2069 = \frac{v_i}{84569} \times 2069 = 0.024465v_i$$

لکھا جا سکتا ہے جبکہ اس کے خارج جانب

$$i_c = 0.072v_{be}$$

$$v_L = -i_c \times 5600$$

$$= -0.072 \times v_{be} \times 5600$$

$$= -0.072 \times (0.024465v_i) \times 5600$$

$$= -9.864v_i$$

یوں

$$A_v = \frac{v_L}{v_i} = -9.864 \frac{\text{V}}{\text{V}}$$

حاصل ہوتا ہے۔ اسی جواب کو یوں بھی حاصل کیا جا سکتا ہے۔

$$\sum R_C = 5.6 \text{ k}\Omega$$

$$\sum R_E = \frac{R_B}{\beta + 1} + \frac{r_{be}}{\beta + 1} + R_E = 563.79 \Omega$$

$$A_v = -\frac{\sum R_C}{\sum R_E} = -\frac{5600}{563.79} = -9.933 \frac{\text{V}}{\text{V}}$$

حاصل ہوتا ہے۔ A_v کے ان دو جوابات میں صرف

$$\left| \frac{9.933 - 9.864}{9.933} \right| \times 100 = 0.69 \%$$

کا فرق ہے۔ یہ فرق $I_C \approx I_E$ تصور کرنے سے پیدا ہوا۔ I_C کی ٹھیک ٹھیک قیمت حاصل کرتے دوبارہ جوابات حاصل کرتے ہیں۔

$$I_C = \alpha I_E = \left(\frac{\beta}{\beta + 1} \right) I_E = 1.788 \text{ mA}$$

$$g_m = \frac{I_C}{V_T} = \frac{1.788 \times 10^{-3}}{25 \times 10^{-3}} = 0.07152 \text{ S}$$

$$r_{be} = \frac{\beta}{g_m} = 2083.333 \Omega$$

یوں پائے ماذل استعمال کرتے ہوئے

$$i_b = \frac{v_i}{7500 + 2083.33 + 75000} = \frac{v_i}{84583.33}$$

$$v_{be} = i_b \times 2083.33 = \frac{v_i}{84583.33} \times 2083.33 = 0.02463 v_i$$

اور

$$i_c = g_m v_{be} = 0.07152 \times 0.02463 v_i = 1.7615376 \times 10^{-3} v_i$$

$$v_L = -i_c \times 5600 = -1.7615376 \times 10^{-3} v_i \times 5600 = -9.8646 v_i$$

بعنی

$$A_v = \frac{v_L}{v_i} = -9.865 \frac{\text{V}}{\text{V}}$$

حاصل ہوتا ہے۔ اسی طرح

$$\begin{aligned}\sum R_C &= 5.6 \text{ k}\Omega \\ \sum R_E &= \frac{7500}{149+1} + \frac{2083.33}{149+1} + 500 = 563.889 \Omega \\ A_v &= -\alpha \frac{\sum R_C}{\sum R_E} = -\frac{149}{149+1} \times \frac{5600}{563.889} = -9.865 \frac{\text{V}}{\text{V}}\end{aligned}$$

حاصل ہوتا ہے۔
اگر $v_i = 0.001 \sin \omega t$ ہو تو

$$v_L = -9.864 \times 0.001 \sin \omega t = -0.009864 \sin \omega t$$

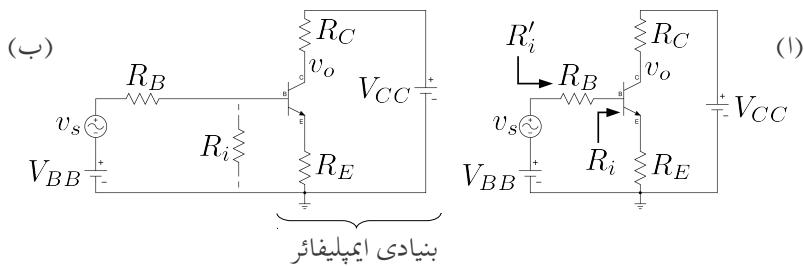
ہو گا۔

اس مثال میں آپ نے دیکھا کہ چھوٹی چھوٹی چیزیں نظر انداز کرنے سے جوابات جلد حاصل ہوتے ہیں مگر ان میں اور اصل جوابات میں معمولی فرق پایا جاتا ہے۔ یہ فرق قابل نظر انداز ہوتا ہے۔ قلم و کاغذ کے ساتھ ٹرانزستر ادوار حل کرتے ہوئے عموماً اسی طرح جلد حاصل کردہ جوابات کو درست تسلیم کیا جاتا ہے۔ اس کتاب میں عموماً ایسا ہی کیا جائیں گا۔ اگر زیادہ ٹھیک جوابات درکار ہوں تو تمام متغیرات کے ٹھیک ٹھیک قیمتیں استعمال کرتے ہوئے جوابات حاصل کئے جا سکتے ہیں۔

اب تک ایمپلیفائر حل کرتے وقت ہم ٹرانزستر کے بیس جانب تمام مزاحمت کو ایمپلیفائر کا حصہ تصور کرتے ہوئے مساوات 3.217 استعمال کرتے آ رہے ہیں۔ آئیں اسی مسئلے کو قدر مختلف نظر سے دیکھیں۔ ایسا کرنے سے مساوات 3.217 میں $\sum R_E$ کا مطلب کچھ تبدیل ہو جائے گا۔

شکل 3.86 کو مثال بناتے ہوئے یہاں دوبارہ شکل 3.89 الف میں پیش کرتے ہیں۔ شکل الف میں داخلی جانب سے دیکھتے ہوئے دو داخلی مزاحمت i_R اور i'_R دکھائے گئے ہیں۔ R_i سے مراد وہ مزاحمت ہے جو ٹرانزستر کے بیس پر دیکھتے ہوئے نظر آتا ہے جبکہ i'_R سے مراد وہ مزاحمت ہے جو داخلی اشارے v_s کو نظر آتا ہے۔ [ہم عموماً R' سے مراد R کا ٹرانزستر میں عکس مطلب لیتے ہیں۔ یہاں ہم i'_R سے برگز یہ مراد نہیں لے رہے۔ امید کی جاتی ہے کہ اس حصے میں اس حقیقت کو آپ ذہن میں رکھیں گے۔]۔ شکل کو دیکھتے ہوئے ہم لکھ سکتے ہیں

$$\begin{aligned}(3.218) \quad R_i &= (\beta + 1) (r_e + R_E) \\ &= r_{be} + (\beta + 1) R_E \\ R'_i &= R_B + R_i \\ &= R_B + (\beta + 1) (r_e + R_E)\end{aligned}$$



شکل 3.89

ٹرانزسٹر کے ایٹر جانب ان داخلی مزاحمت کے عکس

$$\frac{R_i}{\beta + 1} = r_e + R_E$$

$$\frac{R'_i}{\beta + 1} = \frac{R_B}{\beta + 1} + r_e + R_E$$

بین-مساوات 3.217 میں $\sum R_E$ سے مراد داخلی مزاحمت R'_i کا عکس ہے۔ آئیں اب اسی ایمپلیفائر کو دوسرا نظر سے دیکھیں۔

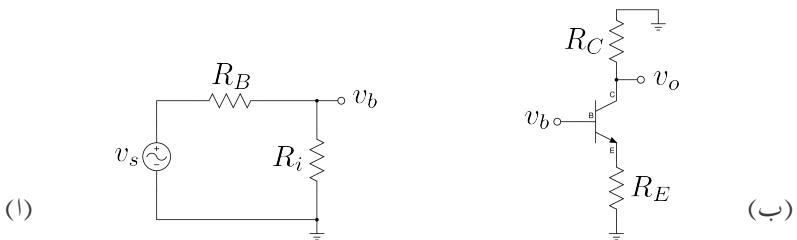
شکل 3.89 ب میں بنیادی ایمپلیفائر کی نشاندہی کی گئی ہے۔ R_B اس بنیادی ایمپلیفائر کا حصہ نہیں ہے۔ ٹرانزسٹر کے بیس سے دیکھتے ہوئے ایمپلیفائر مزاحمت R_i نظر آتا ہے۔ اس حقیقت کی وضاحت شکل ب میں ٹرانزسٹر کے بیس جانب R_i دکھا کر کی گئی ہے۔

شکل 3.90 میں ایمپلیفائر کا باریک اشارانی مساوی دور بناتے ہوئے اس کے دو نکتے بھی کر دئے گئے ہیں۔ یوں شکل 3.90 الف کو دیکھتے ہوئے ہم لکھ سکتے ہیں

$$(3.219) \quad v_b = \left(\frac{R_i}{R_B + R_i} \right) v_s \\ = \left(\frac{(\beta + 1)(r_e + R_E)}{R_B + (\beta + 1)(r_e + R_E)} \right) v_s$$

جہاں مساوات 3.218 سے R_i کی قیمت پُر کی گئی۔ شکل 3.90 ب کو دیکھتے ہوئے ہم

$$(3.220) \quad \begin{aligned} \sum R_C &= R_C \\ \sum R_E &= r_e + R_E \\ A'_v &= \frac{v_o}{v_b} = -\frac{\sum R_C}{\sum R_E} = -\frac{R_C}{r_e + R_E} \end{aligned}$$



شکل 3.90

لکھ سکتے ہیں جس سے

$$(3.221) \quad v_o = - \left(\frac{R_C}{r_e + R_E} \right) v_b$$

حاصل ہوتا ہے۔ اس مساوات میں v_b کی قیمت مساوات 3.219 سے پُر کرتے ہوئے

$$(3.222) \quad v_o = - \left(\frac{R_C}{r_e + R_E} \right) \left(\frac{(\beta + 1)(r_e + R_E)}{R_B + (\beta + 1)(r_e + R_E)} \right) v_s$$

یعنی

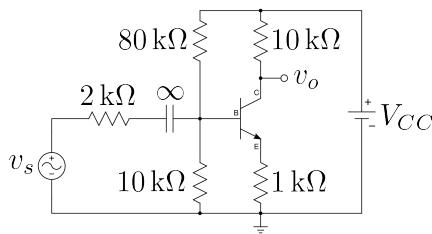
$$(3.223) \quad A_v = \frac{v_o}{v_s} = \frac{-R_C}{\frac{R_B}{\beta+1} + r_e + R_E}$$

حاصل ہوتا ہے۔ یہ مساوات بہو ہو مساوات 3.216 ہی ہے۔

مساوات 3.223 میں کسر کے نچلے حصے میں $r_e + R_E$ دراصل $\sum R_E$ ہے جو از خود داخلی مزاحمت کا ایمٹر جانب عکس ہے یعنی $\sum R_E = \frac{R_i}{\beta+1}$ یوں اگر داخلی مزاحمت بڑھائی جائے تو افزائش A_v گھٹے گی۔ یہ ابم نتیجہ ہے۔ ایپلیفائر تخلیق دیتے وقت اس حقیقت کو سامنے رکھا جاتا ہے۔ عموماً ہمیں زیادہ داخلی مزاحمت اور زیادہ افرائش درکار ہوتے ہیں۔ ایسی صورت میں مصالحت سے کام لیا جاتا ہے اور خوابشات کو کم کرتے ہوئے درمیانے جوابات تسلیم کئے جاتے ہیں۔ یہ بتلاتا چلوں کہ ایک سے زیادہ ایپلیفائر استعمال کرتے ہوئے کسی بھی قیمت کے داخلی مزاحمت اور افرائش حاصل کئے جا سکتے ہیں۔ اس طرح کے ایپلیفائر آپ آگئے جا کر دیکھیں گے۔

ایپلیفائر حل کرنے کا یہ طریقہ نہایت ابم ہے۔ اس طریقے کو آگئے بابوں میں بار بار استعمال کیا جائے گا۔ آپ سے گزارش کی جاتی ہے کہ اس طریقے کو سمجھئے بغیر آگئے مت بڑھیں۔ اس طریقے کو قدم با قدم دوبارہ پیش کرتے ہیں۔

- ٹرانزسٹر کے بیس پر دیکھتے ہوئے ایپلیفائر کا داخلی مزاحمت R_i حاصل کریں۔



شکل 3.91:

- دور میں بنیادی ٹرانزسٹر ایپلیفائر کی جگہ اس کا داخلی مزاحمت R_i نسب کرتے ہوئے سادہ داخلی دور حاصل کریں۔
- اس سادہ داخلی دور میں v_b حاصل کریں۔ v_b سے مراد R_i پر پائے جانے والا باریک اشارہ ہے۔
- بنیادی ایپلیفائر کی افزائش $A'_v = \frac{v_o}{v_b} = -\frac{\sum R_C}{\sum R_E}$ سے حاصل کریں۔ $\sum R_E$ سے مراد بنیادی ایپلیفائر کا $\sum R_E$ ہے۔
- کُل افزائش $A_v = \frac{v_o}{v_s}$ اور v_b کی مدد سے حاصل کریں۔

مثال 3.43: شکل 3.91 میں بنیادی ایپلیفائر کا داخلی مزاحمت حاصل کرتے ہوئے افزائش $A_v = \frac{v_o}{v_s}$ حاصل کریں۔ $r_e = 25 \Omega$ اور $\beta = 100$ ہیں۔ باریک اشاراتی دور میں کپیسٹر کو قصر دور تصور کریں۔
حل: شکل 3.92 میں بدلتی رو مساوی دور دکھایا گیا ہے۔ شکل ب میں داخلی مزاحمت

$$R_i = (100 + 1) \times (25 + 1000) \approx 100 \text{ k}\Omega$$

ہے۔ شکل الف میں سادہ داخلی دور دکھایا گیا ہے جہاں

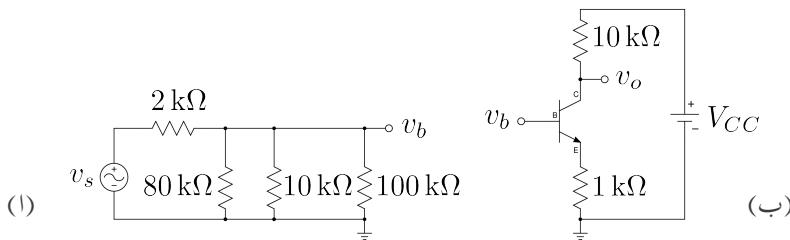
$$80 \text{ k}\Omega \parallel 10 \text{ k}\Omega \parallel 100 \text{ k}\Omega = 8.16 \text{ k}\Omega$$

لیتے ہوئے

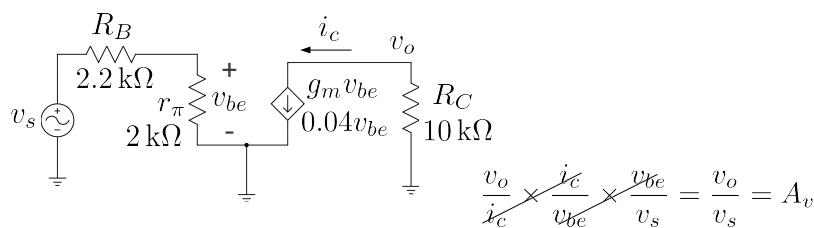
$$v_b = \left(\frac{8160}{2000 + 8160} \right) v_s = 0.803 v_s$$

حاصل ہوتا ہے۔ شکل ب سے

$$A'_v = \frac{v_o}{v_b} = -\frac{\sum R_C}{\sum R_E} = -\frac{10000}{25 + 1000} = -9.756 \frac{\text{V}}{\text{V}}$$



شکل 3.92

شکل 3.93: زنجیری ضرب سے A_v کا حصول

حاصل ہوتا ہے - یوں

$$A_v = \frac{v_o}{v_s} = \frac{v_o}{v_b} \times \frac{v_b}{v_s} = -9.756 \times 0.803 = -7.834 \frac{\text{V}}{\text{V}}$$

حاصل ہوتا ہے -

3.16.1 زنجیری ضرب کا طریقہ

ٹرانزسٹر کے پائے ماذل کو استعمال کرتے ہوئے افراہش برق دباؤ A_v حاصل کرنا ہم نے دیکھا۔ اس سے پہلے کے ایسے مزیدمثال دیکھیں ہم ایک نہایت عمدہ طریقہ کار سیکھتے ہیں جس کی مدد سے A_v کا حصول بہت آسان ہو جاتا ہے۔

شکل 3.93 میں باریک اشاراتی دور دکھایا گیا ہے جس کے لئے ہم تین مساوات لکھ سکتے ہیں یعنی

$$(3.224) \quad \begin{aligned} v_o &= -i_c R_C \\ i_c &= g_m v_{be} \\ v_{be} &= \frac{r_\pi v_s}{r_\pi + R_B} \end{aligned}$$

ان تین مساوات کو یوں بھی لکھ سکتے ہیں۔

$$(3.225) \quad \begin{aligned} \frac{v_o}{i_c} &= -R_C = -10000 \\ \frac{i_c}{v_{be}} &= g_m = 0.04 \\ \frac{v_{be}}{v_s} &= \frac{r_\pi}{r_\pi + R_B} = \frac{2200}{2200 + 2000} = 0.5238 \end{aligned}$$

اس مساوات کے پہلی جزو کے باقی باتھ کے دو متغیرات v_o اور i_c کے قیمتیں دور حل کرنے کے بعد ہی ہمیں معلوم ہوتی ہیں جبکہ مساوات کے دائیں باتھ پر $-R_C$ کی قیمت -10000 ہمیں دور حل کرنے سے پہلے ہی معلوم ہے۔ یوں اگرچہ دور حل کرنے سے پہلے ہمیں نہ تو v_o کی قیمت معلوم ہے اور ناہی i_c کی، مگر اس مساوات کے تحت ہم جانتے ہیں کہ $\frac{v_o}{i_c}$ بر صورت 10000 کے برابر ہو گا۔

اسی طرح مندرجہ بالا مساوات کے دوسرے جزو میں باقی باتھ i_c اور v_{be} کی قیمتیں صرف دور حل کرنے کے بعد ہی ہمیں معلوم ہوتی ہیں جبکہ دائیں باتھ g_m کی قیمت 0.04 ہمیں پہلے سے معلوم ہے۔ یوں اگرچہ دور حل کرنے سے پہلے ہمیں نہ تو i_c کی قیمت معلوم ہے اور ناہی v_{be} کی، مگر ہم جانتے ہیں کہ $\frac{i_c}{v_{be}}$ بر صورت 0.04 کے برابر ہو گا۔

اسی طرح مساوات کے تیسرا جزو سے ہم جانتے ہیں کہ $\frac{v_{be}}{v_s}$ کی قیمت بر صورت 0.5238 رہے گی۔

آئیں ان معلومات کو زیر استعمال لائے ہوئے A_v حاصل کریں۔ جیسے شکل 3.93 میں دکھایا گیا ہے، A_v کو زنجیری ضرب سے یوں لکھا جا سکتا ہے۔

$$(3.226) \quad A_v = \frac{v_o}{v_s} = \left(\frac{v_o}{i_c} \right) \times \left(\frac{i_c}{v_{be}} \right) \times \left(\frac{v_{be}}{v_s} \right)$$

مندرجہ بالا مساوات میں تینوں قوسین میں بند تناسب کے قیمتیں مساوات 3.225 میں دی گئی ہیں۔ یوں اگرچہ دور حل کرنے سے قبل، مساوات 3.226 کے دائیں جانب متغیرات (یعنی v_o , i_c , v_{be} وغیرہ) کی قیمتیں ہم نہیں جانتے لیکن مساوات 3.225 کی مدد سے ان تینوں نسبت کے قیمتیں ہم جانتے ہیں اور یوں ہم اس سے A_v کی قیمت حاصل کر سکتے ہیں یعنی

$$(3.227) \quad A_v = -10000 \times 0.04 \times 0.5238 = -209.52 \frac{\text{V}}{\text{V}}$$

زنجیری ضرب لکھتے وقت مندرجہ ذیل نقاط پاد رکھیں۔

1. باریک اشاراتی دور حل کرنے سے پہلے ہمیں دور میں کہیں پر بھی برق دباو یا برق رو کے مقدار معلوم نہیں ہوتے۔ (بہاں اگرچہ آپ کہ سکتے ہیں کہ v_s داخلی اشارہ ہونے کے ناطے ہمیں قبل از حل معلوم ہے لیکن یاد رہے کہ ایسی صورت بھی پیدا ہو سکتی ہے جہاں v_s بھی معلوم نہ ہو)۔

2. اس کے برعکس دور کے تمام مزاحمت کے قیمت اور π ماذل کے تمام جزو (مسئلاً g_m ، r_π اور β) کے قیمت ہمیں پہلے سے معلوم ہوتے ہیں۔

3. یوں زنجیری ضرب کی خاطر قوسین لکھتے ہوئے مساواتوں کے باقی پاٹہ پر صرف نا معلوم مقدار یعنی برق دباو یا برق رو پائے جائیں گے جبکہ ان کے دائیں پاٹہ معلوم متغیرات یعنی مزاحمت یا π ماذل کے جزو پائے جائیں گے۔

4. زنجیری ضرب لکھتے ہوئے ایمپلیفائر کے خارجی نقطے سے شروع کرتے ہوئے داخلی جانب چلتے ہوئے زنجیر کی کڑی جوڑتے رہیں۔

5. زنجیری ضرب کی برائی کڑی (قوسین) میں اوپر لکھا متغیرہ گزشہ کڑی (قوسین) کا چلا متغیرہ ہو گا۔

مساوات 3.226 کے زنجیری ضرب پر دوبارہ غور کرتے ہیں۔ زنجیری ضرب شکل 3.93 کو دیکھتے ہوئے یوں لکھا جاتا ہے۔ ہم جانتے ہیں کہ

$$A_v = \frac{v_o}{v_s}$$

ہوتا ہے مگر ہمیں v_0 معلوم نہیں۔ البتہ شکل سے ہم دیکھتے ہیں کہ

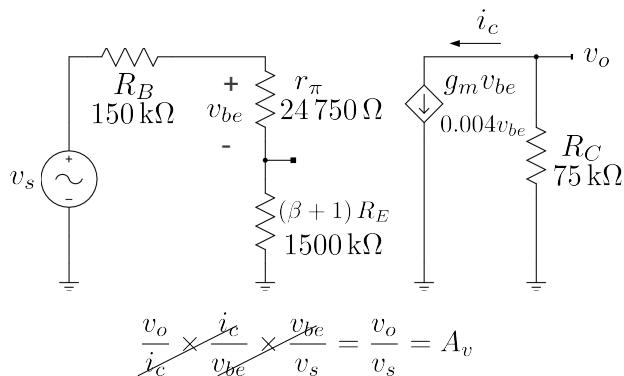
$$\frac{v_o}{i_c} = -R_C = -10\,000$$

ہے اور یوں ہمیں $\frac{v_o}{i_c}$ کی قیمت معلوم ہے۔ اس طرح A_v کی مساوات کو یوں لکھا جا سکتا ہے

$$A_v = \left(\frac{v_o}{i_c} \right) \times \left(\frac{i_c}{v_s} \right)$$

آپ دیکھ سکتے ہیں کہ اس مساوات میں تمام متغیرات صرف نا معلوم برق دباو یا برق رو ہیں۔ مزید یہ کہ دوسری قوسین یعنی $\left(\frac{i_c}{v_s} \right)$ میں اوپر i_c لکھا گیا ہے جو اس سے پہلے قوسین میں نیچے لکھا گیا ہے۔ مندرجہ بالا مساوات میں اگرچہ ہمیں پہلی قوسین کی قیمت معلوم ہے لیکن مسئلہ ابھی بھی حل نہیں ہوا چونکہ دوسری قوسین کی قیمت ہمیں معلوم نہیں۔ شکل سے ہم دیکھتے ہیں کہ اگرچہ i_c کی قیمت ہم نہیں جانتے لیکن ہم جانتے ہیں کہ

$$\frac{i_c}{v_{be}} = g_m = 0.04$$



شكل 3.94: زنجیری ضرب کی ایک اور مثال

کے برابر ہے۔ اس طرح A_v کی مساوات کو یوں لکھا جا سکتا ہے

$$A_v = \left(\frac{v_o}{i_c} \right) \times \left(\frac{i_c}{v_{be}} \right) \times \left(\frac{v_{be}}{v_s} \right)$$

یہاں پہنچ کر ہم دیکھتے ہیں کہ تمام قوسین کی قیمتیں ہم جانتے ہیں اور یوں A_v کی قیمت حاصل کی جا سکتی ہے۔ اس بات پر بھی توجہ دیں کہ تیسرا قوسین میں کسر میں اور v_{be} لکھا گیا ہے جو کہ اس سے پہلے قوسین میں بند کسر میں نیچے لکھا گیا ہے۔

آپ اس طریقہ کار پر ایک مرتبہ دوبارہ نظر ڈالیں۔ ہم دور کے خارجی جانب v_o سے شروع کرتے ہوئے داخلی جانب v_s کی طرف قدم بڑھاتے ہوئے قوسین شامل کئے جاتے ہیں۔ اس عمل کا مشق کرنے کے بعد آپ دیکھیں گے کہ آپ مساوات 3.226 کے طرز کی مساوات شکل کو دیکھتے ہی لکھ سکیں گے۔ زنجیری ضرب کا یہ طریقہ نہایت اہم ہے جس سے ہم عموماً استعمال کریں گے۔

مثال 3.44: مثال 3.41 کو زنجیری ضرب کے طریقے سے حل کریں۔ حل: شکل 3.94 میں درکار باریک اشاراتی مساوی دور دکھایا گیا ہے جس کے لئے ہم مندرجہ ذیل مساوات لکھ سکتے ہیں۔

$$(3.228) \quad \begin{aligned} v_o &= -i_c R_C \\ i_c &= g_m v_{be} \\ v_{be} &= \frac{r_\pi v_s}{R_B + r_\pi + (\beta + 1) R_E} \end{aligned}$$

جن سے مندرجہ ذیل کسر حاصل کئے جا سکتے ہیں۔

$$\begin{aligned}
 \frac{v_o}{i_c} &= -R_C = -75000 \\
 \frac{i_c}{v_{be}} &= g_m = 0.004 \\
 (3.229) \quad \frac{v_{be}}{v_s} &= \frac{r_\pi}{R_B + r_\pi + (\beta + 1) R_E} \\
 &= \frac{24750}{150000 + 24750 + (99 + 1) \times 15000} \\
 &= 0.014778325
 \end{aligned}$$

ان کی مدد سے ہم لکھ سکتے ہیں

$$\begin{aligned}
 A_v &= \left(\frac{v_o}{i_c} \right) \times \left(\frac{i_c}{v_{be}} \right) \times \left(\frac{v_{be}}{v_s} \right) \\
 (3.230) \quad &= (-75000) \times (0.004) \times (0.014778325) \\
 &= -4.433 \frac{\text{V}}{\text{V}}
 \end{aligned}$$

مندرجہ بالا مساوات کو یوں لکھا جا سکتا ہے۔ خارجی سرے سے شروع کرتے ہم دیکھتے ہیں کہ $v_o = -i_c R_C$ ہے اور یوں v_o کو i_c کی مدد سے لکھا جا سکتا ہے۔ اگلے قدم پر ہم نے یہ دیکھنا ہے کہ i_c کو کیسے لکھا جا سکتا ہے۔ ہم دیکھتے ہیں کہ $i_c = g_m v_{be}$ ہے اور یوں i_c کو v_{be} کی مدد سے لکھا جا سکتا ہے۔ تیسرا قدم پر ہم دیکھتے ہیں کہ v_{be} کو v_s کی مدد سے لکھا جا سکتا ہے۔

مثال 3.45: شکل 3.95 الف کے ایپلیفائر میں

$V_{CC} = 15 \text{ V}$	$\beta = 179$
$R_C = 75 \text{ k}\Omega$	$R_E = 15 \text{ k}\Omega$
$R_1 = 320 \text{ k}\Omega$	$R_2 = 1.7 \text{ M}\Omega$
$R_s = 5 \text{ k}\Omega$	$R_L = 375 \text{ k}\Omega$

ہیں۔ ایپلیفائر کی افزائش برق دیا و $A_v = \frac{v_o}{v_s}$ حاصل کریں۔

حل: پہلے یک سمتی متغیرات حاصل کرتے ہیں۔ ایپلیفائر میں عموماً کپیسٹر استعمال کئے جاتے ہیں جن کا ایک اہم مقصد یہ سمتی برق دیا اور یہ سمتی برق روکو دور کے محدود حصے کے اندر رکھنا ہوتا ہے۔ عموماً ان کپیسٹر کی قیمت اتنی رکھی جاتی ہے کہ اشارات کے تعداد پر ان کپیسٹر کی برق رکاوٹ کم

سے کم ہو۔ یوں اشارات بغیر گھٹے ان سے گزر سکتے ہیں۔ چونکہ کپیسٹر یک سمعی متغیرات کے لئے کھلے دور کے طور کام کرتا ہے لہذا بدلتے اشارات کے ساتھ منسلک دور کے حصہ ٹرانزسٹر کے نقطہ کارکردگی کو متاثر نہیں کر سکتے چونکہ ان تک یک سمعی متغیرات کی رسمی نہیں ہوتی۔ ہم ایپلیفائر ادوار میں تصور کریں گے کہ بدلتے اشارات کے لئے کپیسٹر قصر دور کے طور کام کرتے ہیں اور یک سمعی متغیرات کے لئے یہ کھلے دور کے طور کام کرتے ہیں۔ جہاں ایسا تصور نہ کرنا ہو ویاں بتلایا جائے گا۔

مساوی یک سمعی دور حاصل کرنے کی غرض سے شکل ب میں کپیسٹروں کو کھلے دور کر دیا گیا ہے۔ یوں آپ دیکھ سکتے ہیں کہ دو جگہ دور کے حصے یک سمعی دور سے منقطع ہو جاتے ہیں۔ انہیں نقطے دار لکیریوں میں گھبرا دکھایا گیا ہے۔ ان حصوں کو نظر انداز کرتے ہوئے شکل پ حاصل ہوتا ہے۔ شکل 3.95 پ کا صفحہ 205 پر شکل 3.16 الف کے ساتھ موازنہ کرنے سے صاف ظاہر ہوتا ہے کہ دونوں اشکال بالکل یکسان ہیں۔ اس بات کو یہاں اچھی طرح سمجھ کر آگے بڑھیں کہ ٹرانزسٹر ایپلیفائر میں باریک اشارات کو بذریعہ کپیسٹروں کے یوں منتقل کیا جاتا ہے کہ ٹرانزسٹر کا نقطہ کارکردگی متاثر نہ ہو۔

مسئلہ ہونن کی مدد سے شکل ت میں اسی یک سمعی دور کو دوبارہ دکھایا گیا ہے جہاں

$$V_{th} = \frac{R_1 V_{CC}}{R_1 + R_2} = \frac{320 \times 10^3 \times 15}{320 \times 10^3 + 1.7 \times 10^6} = 2.37624 \text{ V}$$

$$R_{th} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{320 \times 10^3 \times 1.7 \times 10^6}{320 \times 10^3 + 1.7 \times 10^6} = 269.3 \text{ k}\Omega$$

$$I_C = \frac{V_{th} - V_{BE}}{\frac{R_{th}}{\beta+1} + R_E}$$

$$= \frac{2.37624 - 0.7}{\frac{269.3 \times 10^3}{179+1} + 15 \times 10^3}$$

$$= 0.1016 \text{ mA}$$

$$V_{CE} \approx V_{CC} - I_C (R_C + R_E)$$

$$= 15 - 0.1016 \times 10^{-3} \times (75 \times 10^3 + 15 \times 10^3)$$

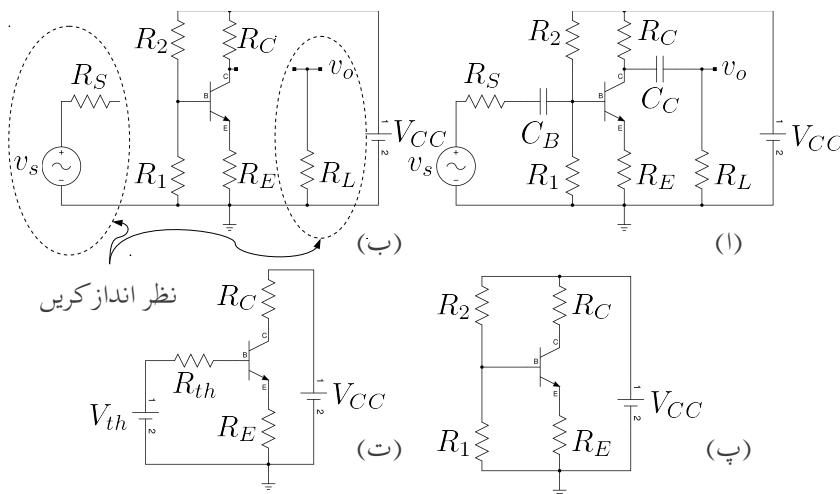
$$= 5.856 \text{ V}$$

چونکہ حاصل $V_{CE} > 0.2 \text{ V}$ لہذا ٹرانزسٹر افراٹنڈ ہے۔ ٹرانزسٹر کے π ماذل کے جزو حاصل کرتے ہیں۔

$$g_m = \frac{I_C}{V_T} = \frac{0.1016 \times 10^{-3}}{25 \times 10^{-3}} = 4.046 \text{ mS}$$

$$r_{be} = \frac{\beta}{g_m} = \frac{179}{4.064 \times 10^{-3}} = 44.045 \text{ k}\Omega$$

$$r_e \approx \frac{1}{g_m} = 246 \text{ }\Omega$$

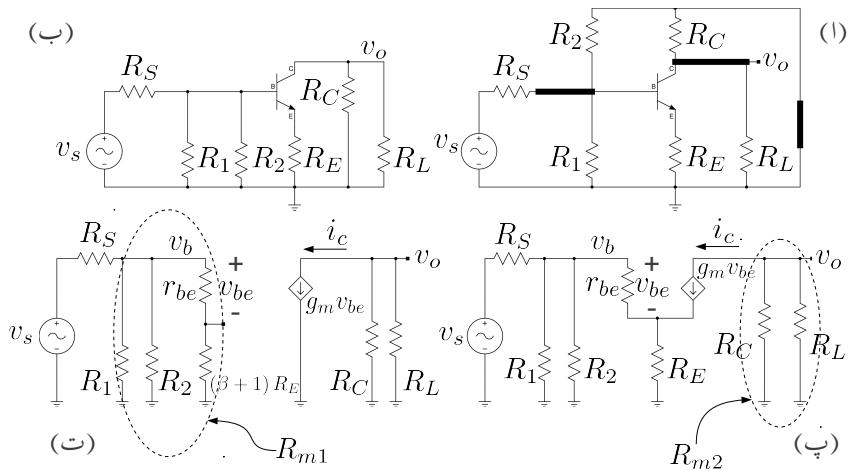


شکل 3.95: یک سمی اور بدلتے متغیرات کے علیحدگی کی مثال

جیسے پہلے ذکر ہوا کہ اینپلیفائر میں کپیسٹر کی قیمت اتنی رکھی جاتی ہے کہ باریک اشارہ کے تعدد پر ان کی برقی رکاوٹ (X_C) قابل نظر انداز ہو۔ یوں مساوی بدلتا دور بناتے وقت تمام کپیسٹر کو قصر دور کر دیا جاتا ہے۔ شکل 3.96 الف میں یوں پیدا کار برقی دباؤ V_{CC} کے علاوہ کپیسٹر C_B اور C_C کو بھی قصر دور کیا گیا ہے۔ ان قصر دور کو مولی لکیوں سے واضح کیا گیا ہے۔ ایسا کرنے سے R_C کے علاوہ R_2 کا بھی ایک سرا برقی زمین سے جا جوتا ہے۔ اسی کو شکل ب میں صاف سنتہا بنا کر دکھایا گیا ہے۔ یہاں رک کر تسلی کر لیں کہ آپ کو شکل الف اور شکل ب یکسان نظر آتے ہیں چونکہ اس عمل کی بار بار ضرورت پڑے گی۔ اس شکل میں R_L اور R_C صاف متوازن جزرے نظر آتے ہیں۔ شکل ب میں ٹرانزسٹر کی جگہ π ماذل نسب کرنے سے شکل ب حاصل ہوتا ہے۔ یہاں داخلی اور خارجی حصوں کو علیحدہ علیحدہ کرتے ہوئے عکس $(\beta + 1) R_E$ کے استعمال سے شکل ت حاصل ہوتا ہے۔ شکل 3.96 ت سے زنجیری ضرب کی ذریعہ A_v حاصل کیا جاتا ہے۔ ایسا کرنے سے پہلے ایک چھوٹے سے نکتے پر غور کرتے ہیں۔ شکل ت میں ٹرانزسٹر کے بیس سرے پر برقی دباؤ کو v_b لکھا گیا ہے۔ شکل ت میں R_1 ، R_2 اور $r_{be} + (\beta + 1) R_E$ آپس میں متوازن جزرے ہیں۔ ان متوازن جزرے میں مذاہتوں کی کل قیمت کو R_{m1} لکھتے ہیں جہاں

$$(3.231) \quad \frac{1}{R_{m1}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{r_{be} + (\beta + 1) R_E}$$

شکل (ت) سے زنجیری ضرب لکھ کر A_v حاصل کیا جاتا ہے۔ ایسا کرنے سے پہلے v_b پر غور کرتے ہیں۔ شکل 3.97 الف میں متوازن جزرے مذاہتوں R_{m1} اور R_{m2} کو استعمال کرتے ہوئے اسی دور کو بنایا گیا ہے جس سے اس دور کا سادہ پن اجاگر ہوتا ہے۔ شکل 3.97 ب میں دور کا صرف داخلی



شكل 3.96: باریک اشاراتی دور

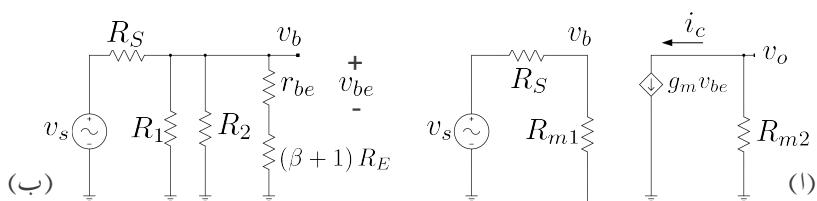
جانب دکھایا گیا ہے۔ شکل 3.97 3 الف سے بہم لکھ سکتے ہیں۔

$$v_b = \frac{R_{m1}v_s}{R_{m1} + R_S}$$

اس مساوات سے v_b حاصل کرنے کے بعد شکل ب کو دیکھتے ہوئے ہم لکھ سکتے ہیں۔

$$v_{be} = \frac{r_{be}v_b}{r_{be} + (\beta + 1)R_E}$$

مندرجہ بالا دو مساوات سے مندرجہ ذیل قوسین حاصل ہوتے ہیں جنہیں A_v حاصل کرنے میں استعمال

شكل 3.97: v_{be} اور v_b کا حصول

کیا جائے گا۔

$$(3.232) \quad \frac{v_b}{v_s} = \frac{R_{m1}}{R_{m1} + R_S}$$

$$(3.233) \quad \frac{v_{be}}{v_b} = \frac{r_{be}}{r_{be} + (\beta + 1) R_E}$$

آئیں اب A_v حاصل کریں۔ شکل 3.96 ت کو دیکھتے ہوئے اور شکل 3.97 کو ذہن میں رکھتے ہوئے ہم لکھ سکتے ہیں۔

$$(3.234) \quad A_v = \left(\frac{v_o}{i_c} \right) \left(\frac{i_c}{v_{be}} \right) \left(\frac{v_{be}}{v_b} \right) \left(\frac{v_b}{v_s} \right)$$

اس مساوات پر غور کریں۔ یہ گزشتہ مثالوں سے قدر مختلف ہے چونکہ یہاں ایک قوسین زیادہ ہے۔ آئیں تمام قوسین کی قیمتیں استعمال کرتے ہوئے اس مساوات کو حل کریں۔ پہلے درکار قیمتیں حاصل کرتے ہیں یعنی

$$\frac{1}{R_{m1}} = \frac{1}{320 \times 10^3} + \frac{1}{1.7 \times 10^6} + \frac{1}{44045 + (179 + 1) \times 15 \times 10^3}$$

$$R_{m1} = 245.2386 \text{ k}\Omega$$

$$\frac{1}{R_{m2}} = \frac{1}{75000} + \frac{1}{375000}$$

$$R_{m2} = 62.5 \text{ k}\Omega$$

$$\frac{v_o}{i_c} = -R_{m2} = -62500$$

$$\frac{i_c}{v_{be}} = g_m = 0.004064$$

$$\frac{v_{be}}{v_b} = \frac{r_{be}}{r_{be} + (\beta + 1) R_E} = \frac{44045}{440405 + (179 + 1) \times 15000} = 0.01605$$

$$\frac{v_b}{v_s} = \frac{R_{m1}}{R_{m1} + R_S} = \frac{245238.6}{245238.6 + 5000} = 0.980019$$

اور یوں

$$A_v = -62500 \times 0.004064 \times 0.01605 \times 0.980019 = -3.9952 \frac{\text{V}}{\text{V}}$$

حاصل ہوتا ہے۔

آئیں اسی افراش کو صفحہ 303 پر دئیے مساوات 3.217 کی مدد سے حاصل کریں۔ ایسا کرنے کی خاطر پہلے دور کو مخصوص شکل میں لایا جائے گا۔ اس شکل میں ٹرانزسٹر کے بیس جانب بدلتا اشارہ اور مزاحمت سلسلہ وار جزے ہونے چاہئے۔ پہلے ہی کرتے ہیں۔

شکل 3.96 ب میں ٹرانزسٹر کے داخلی جانب کے حصے کو شکل 3.98 الف میں دکھایا گیا ہے۔ اس کا تقویٰن مساوی دور حاصل کرتے ہیں۔ متوازی جڑے R_1 اور R_2 کی مجموعی مزاحمت کو R_{12} کہتے ہوئے

$$\begin{aligned} R_{12} &= \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \\ &= \frac{320 \times 10^3 \times 1.7 \times 10^6}{320 \times 10^3 + 1.7 \times 10^6} \\ &= 269.3 \text{ k}\Omega \end{aligned}$$

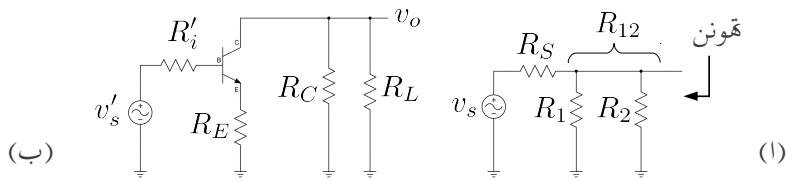
حاصل ہوتا ہے۔ اس قیمت کو استعمال کرتے ہوئے تقویٰن مساوی دور میں حاصل مزاحمت کو R'_i اور حاصل برقی دباؤ کے اشارے کو v'_i لکھتے ہوئے

$$\begin{aligned} R'_i &= \frac{R_S R_{12}}{R_S + R_{12}} \\ &= \frac{5 \times 10^3 \times 269.3 \times 10^3}{5 \times 10^3 + 269.3 \times 10^3} \\ &= 4.91 \text{ k}\Omega \\ v'_i &= \left(\frac{R_{12}}{R_S + R_{12}} \right) v_s \\ &= \left(\frac{269.3 \times 10^3}{5000 + 269.3 \times 10^3} \right) v_s \\ &= 0.98177 v_s \end{aligned}$$

حاصل ہوتے ہیں۔ یوں

$$\begin{aligned} \sum R_C &= \frac{R_C R_L}{R_C + R_L} \\ &= \frac{75 \times 10^3 \times 375 \times 10^3}{75 \times 10^3 + 375 \times 10^3} \\ &= 62.5 \text{ k}\Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sum R_E &= \frac{R'_i}{\beta + 1} + r_e + R_E \\ &= \frac{4910}{179 + 1} + 246 + 15000 \\ &= 15.273 \text{ k}\Omega \end{aligned}$$



شکل 3.98: کل کلکٹر اور ایمپر مزاحمت کے شرح سے افزائش کا حصول

$$\text{حاصل ہوتے ہیں۔ } \alpha = \frac{179}{179+1} = 0.994444$$

$$\begin{aligned} \frac{v_o}{v_i'} &= -\alpha \frac{\sum R_C}{\sum R_E} \\ &= -0.994444 \times \frac{62.5 \times 10^3}{15.273 \times 10^3} \\ &= -4.0693 \frac{\text{V}}{\text{V}} \end{aligned}$$

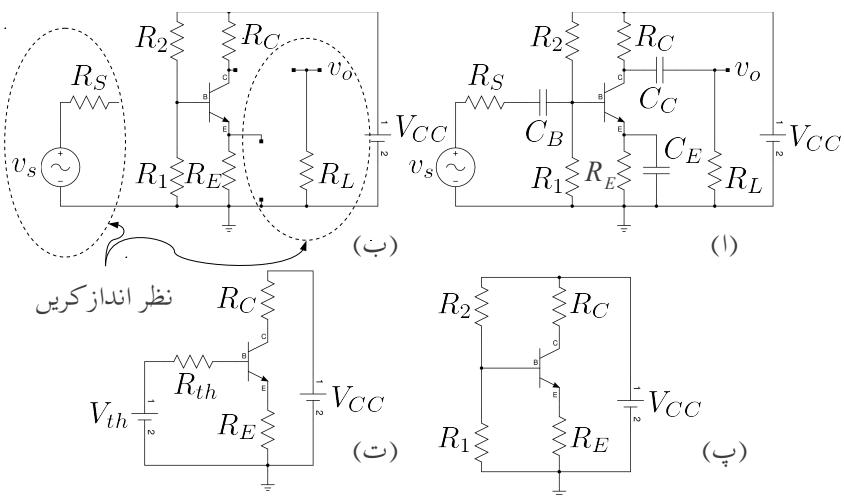
حاصل ہوتا ہے جس سے

$$\begin{aligned} A_v &= \frac{v_o}{v_i'} \times \frac{v_i'}{v_s} \\ &= -4.0693 \times 0.98177 \\ &= -3.995 \frac{\text{V}}{\text{V}} \end{aligned}$$

حاصل ہوتا ہے۔ آپ مساوات 3.217 کی قوت استعمال سے متاثر ہو سکتے ہیں۔ R_S کو ایمپلیفائر کا حصہ تصور نہیں کرتے ہوئے باریک اشاراتی داخل مزاحمت r_i شکل 3.96 ت سے حاصل کرتے ہیں جہاں ہم دیکھتے ہیں کہ یہ دراصل R_{m1} ہی ہے اور یوں

$$r_i = R_{m1} = 245.2386 \text{ k}\Omega$$

حاصل ہوتا ہے۔ آپ دیکھ سکتے ہیں کہ باریک اشاراتی داخلی مزاحمت کا دارومندار R_1 ، R_2 اور ٹرانزسٹر کے بیس سرے پر دیکھتے ہوئے مزاحمت $(r_{be} + (\beta + 1)R_E)$ پر ہے۔ ان تمام قیمتیوں میں عموماً r_{be} کی قیمت نسبتاً کم ہوتی ہے۔



شکل 3.99: مثال کا مساوی یک سمتی دور

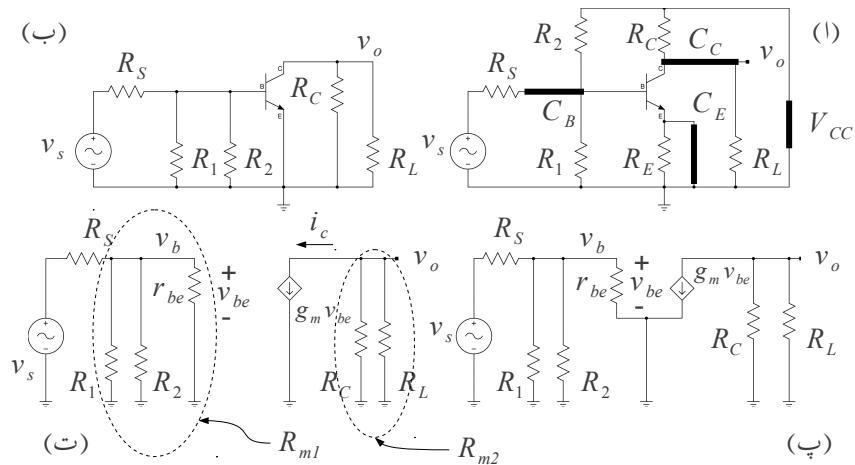
مثال 3.46: شکل 3.95 الف میں R_E کے متوازی کپیسٹر C_E نسب کریں جہاں C_E کی قیمت اتنی بھی کہ یہ اشارہ کو کم سے کم گھٹاتا ہے۔ اس ایمپلیفائر کی داخلی مزاحمت r_i اور افزائش A_v حاصل کریں۔

$$\begin{array}{ll} V_{CC} = 15 \text{ V} & \beta = 179 \\ R_C = 75 \text{ k}\Omega & R_E = 15 \text{ k}\Omega \\ R_1 = 320 \text{ k}\Omega & R_2 = 1.7 \text{ M}\Omega \\ R_s = 5 \text{ k}\Omega & R_L = 375 \text{ k}\Omega \end{array}$$

حل: کپیسٹر سمتی دور کو شکل 3.100 الف میں دکھایا گیا ہے۔ اس کا مساوی یک سمتی دور حاصل کرنا شکل ب، پ اور ت میں دکھایا گیا ہے۔ آپ دیکھ سکتے ہیں کہ کپیسٹر C_E کے شمولیت سے بھی ٹرانزسٹر کے نقطہ کار کر دگی پر کسی قسم کا کوئی اثر نہیں پڑا۔ یوں پچھلی مثال کے نتائج یہاں استعمال کئے جا سکتے ہیں یعنی

$$\begin{aligned} g_m &= 4.064 \text{ mS} \\ r_{be} &= 44.045 \text{ k}\Omega \\ r_e &\approx 246 \Omega \end{aligned}$$

شکل 3.100 میں اس کا مساوی باریک اشاراتی دور حاصل کرنا دکھایا گیا ہے۔ جیسا شکل 3.100 الف میں دکھایا گیا ہے، چونکہ C_E باریک اشارات کے لئے قصر دور ہوتا ہے لہذا R_E بھی قصر دور ہو جاتا



شکل 3.100: مثال کا مساوی باریک اشاراتی دور

ہر اور یہ باریک اشاراتی دور کا حصہ نہیں بنتا۔ یوں شکل ت سے

$$\frac{1}{R_{m1}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{r_{be}}$$

$$\frac{1}{R_{m2}} = \frac{1}{R_L} + \frac{1}{R_C}$$

حاصل ہوتا ہے جن سے

$$\frac{1}{R_{m1}} = \frac{1}{320 \times 10^3} + \frac{1}{1.7 \times 10^6} + \frac{1}{44045}$$

$$R_{m1} = 37.854 \text{ k}\Omega$$

اور

$$\frac{1}{R_{m2}} = \frac{1}{75 \times 10^3} + \frac{1}{37.5 \times 10^3}$$

$$R_{m2} = 62.5 \text{ k}\Omega$$

قیمتیں ملتی ہیں۔ شکل سے زنجیری ضرب لکھتے ہوئے ہم دیکھتے ہیں کہ اس مثال میں v_b ہی v_{be} ہے۔ یوں

$$A_v = \left(\frac{v_o}{i_c} \right) \left(\frac{i_c}{v_{be}} \right) \left(\frac{v_{be}}{v_s} \right)$$

لکھا جائے گا جہاں

$$\frac{v_o}{i_c} = -R_{m2} = -62500$$

$$\frac{i_c}{v_{be}} = g_m = 0.004064$$

$$\frac{v_{be}}{v_s} = \frac{R_{m1}}{R_{m1} + R_S} = \frac{37.854 \times 10^3}{37.854 \times 10^3 + 5 \times 10^3} = 0.8833$$

جس سے

$$A_v = (-62500) \times (0.004064) \times (0.8833) = 224 \frac{\text{V}}{\text{V}}$$

حاصل ہوئے ہے۔ گزشتہ مثال کی افزائش کے ساتھ موازنہ کرنے سے معلوم ہوتا ہے کہ C_E نسب کرنے سے افزائش بہت زیادہ بڑھ گئی ہے۔ اس کو مساوات 3.217 یعنی

$$A_v = -\alpha \frac{\sum R_C}{\sum R_E}$$

کی مدد سے با آسانی سمجھا جا سکتا ہے۔ چونکہ باریک اشارات کے لئے C_E بطور قصر دور کام کرتا ہے لہذا

$$\sum R_E = \frac{R_{th}}{\beta + 1} + r_e$$

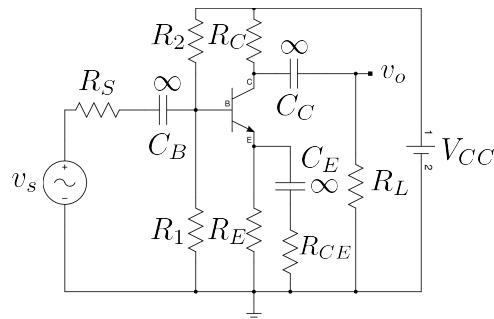
رہ جاتا ہے جبکہ

$$\sum R_C = R_{m2}$$

بھی ہے۔ $\sum R_E$ کم ہونے کی وجہ سے افزائش میں اضافہ پیدا ہوا ہے۔ اس حقیقت کو سمجھ کر یاد رکھیں۔ شکل سے باریک اشاراتی داخلی مزاحمت حاصل کرتے ہیں۔

$$r_i = R_{m1} = 37.854 \text{ k}\Omega$$

جهان R_S کو ایمپلیفائر کا حصہ نہیں تصور کیا گیا ہے۔ گزشتہ ایمپلیفائر کے ساتھ موازنہ کرنے سے ہم دیکھتے ہیں کہ داخلی مزاحمت بہت کم ہو گئی ہے۔ باریک اشارات کے لئے کپیسٹر C_E بطور قصر دور کام کرتا ہے اور یون ٹرانزسٹر کے بیس سرے پر دیکھتے ہوئے یہیں صرف r_{be} نظر آتا ہے۔ داخلی مزاحمت متوازی جزوں R_1 ، R_2 اور r_{be} پیدا کرتے ہیں اور یون اس کی قیمت کم ہو گئی ہے۔ مندرجہ بالا دو مثالوں سے ہم دیکھتے ہیں کہ R_E اور C_E کے استعمال سے باریک اشاراتی داخلی مزاحمت r_i اور افزائش A_v متاثر ہوتے ہیں۔ ان میں ایک بڑھانے سے دوسرا گھشتتا ہے۔



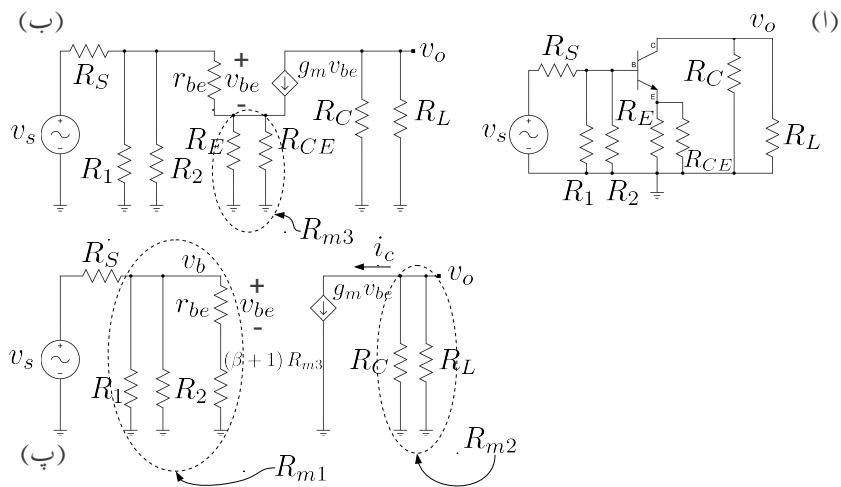
شکل 3.101: یک سمتی اور باریک اشارات کئے علیحدگی کی ایک اور مثال

مثال 3.47: کپیسٹر C_E اور مزاحمت R_{CE} سلسلہ وار جوڑتے ہوئے انہیں شکل 3.95 الف میں R_E کے متوازی نسب کریں۔ حاصل ایمپلیفائر کی داخلی مزاحمت r_i اور افزائش A_v حاصل کریں۔ R_{CE} کی قیمت 100Ω رکھیں۔ حل: شکل 3.101 میں دور دکھایا گیا ہے۔ کپیسٹر کی برق رکاوٹ $Z_C = \frac{1}{j\omega C}$ ہوتی ہے۔ کسی بھی تعداد پر کپیسٹر کی قیمت بڑھا کر اس کی برق رکاوٹ کی قیمت کم کی جا سکتی ہے۔ جیسا پہلے بتالیا گیا کہ باریک اشارات کو بغیر گھٹائے منتقل کرنے کی خاطر کپیسٹر کی قیمت زیادہ سے زیادہ رکھی جاتی ہے۔ شکل میں کپیسٹر پر لامحدود کا نشان (∞) اسی حقیقت کو بیان کرتا ہے جہاں اس کا مطلب یوں لیا جاتا ہے کہ باریک اشارات کے تعداد پر $|Z_C|$ کی قیمت صفر لی جائے۔

اس دور کا بھی یک سمتی مساوی دور پہلی مثالوں کی طرح رہے گا اور یوں وباں کے نتائج یہاں قابل استعمال ہیں۔ باریک اشاراتی دور کا حصول شکل 3.102 میں دکھایا گیا ہے۔ باریک اشاراتی دور میں R_E اور R_{CE} متوازی جڑیں بین جنہیں R_{m3} کھاگیا ہے۔ یوں

$$\begin{aligned} \frac{1}{R_{m1}} &= \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{r_{be} + (\beta + 1) R_{m3}} \\ \frac{1}{R_{m2}} &= \frac{1}{R_C} + \frac{1}{R_L} \\ \frac{1}{R_{m3}} &= \frac{1}{R_E} + \frac{1}{R_{CE}} \end{aligned}$$

لکھا جائے گا جن سے ان تمام کی قیمتیں حاصل کی جائیں گی۔ R_{m2} اور R_{m3} کی قیمتیں پہلے



شکل 3.102: مثال کا باریک اشاراتی دور

حاصل کی جائیں گے۔ دور میں دی گئی معلومات کو اپنی سہولت کی خاطر یہاں دوبارہ لکھتے ہیں۔

$$\begin{array}{ll}
 V_{CC} = 15 \text{ V} & \beta = 179 \\
 R_C = 75 \text{ k}\Omega & R_E = 15 \text{ k}\Omega \\
 R_1 = 320 \text{ k}\Omega & R_2 = 1.7 \text{ M}\Omega \\
 R_s = 5 \text{ k}\Omega & R_L = 375 \text{ k}\Omega \\
 R_{CE} = 100 \Omega &
 \end{array}$$

اسی طرح یک سمتی حل کرے بعد حاصل کئے گئے مادل کے جزو ہی یہاں دوبارہ لکھتے ہیں۔

$$\begin{aligned}
 g_m &= 4.064 \text{ S} \\
 r_{be} &= 44.045 \text{ k}\Omega \\
 r_e &\approx 246 \Omega
 \end{aligned}$$

اور انہیں استعمال کرتے ہوئے حاصل کرتے ہیں۔

$$\frac{1}{R_{m2}} = \frac{1}{75000} + \frac{1}{375000}$$

$$R_{m2} = 62.5 \text{ k}\Omega$$

$$\frac{1}{R_{m3}} = \frac{1}{15000} + \frac{1}{100}$$

$$R_{m3} = 99.3377 \Omega$$

اور

$$\frac{1}{R_{m1}} = \frac{1}{320000} + \frac{1}{1700000} + \frac{1}{44045 + (179 + 1) \times 99.3377}$$

$$R_{m1} = 50.348 \text{ k}\Omega$$

شکل 3.102 پ سے ہم مندرجہ ذیل مساوات لکھ سکتے ہیں۔

$$\frac{v_o}{i_c} = -R_{m2} = -62500$$

$$\frac{i_c}{v_{be}} = g_m = 0.004064$$

$$\frac{v_b}{v_s} = \frac{R_{m1}}{R_{m1} + R_S} = \frac{50348}{50348 + 5000} = 0.9096625$$

$$\frac{v_{be}}{v_b} = \frac{r_{be}}{r_{be} + (\beta + 1)R_{m3}} = \frac{44045}{44045 + (179 + 1) \times 99.3377} = 0.711255$$

ان نتائج کو استعمال کرتے ہوئے شکل پ سے ہی A_v حاصل کرتے ہیں۔

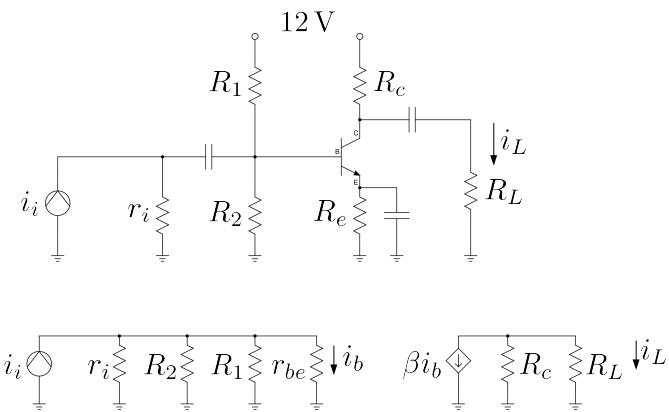
$$\begin{aligned} A_v &= \left(\frac{v_o}{i_c} \right) \left(\frac{i_c}{v_{be}} \right) \left(\frac{v_{be}}{v_b} \right) \left(\frac{v_b}{v_s} \right) \\ &= (-62500) \times (0.004064) \times (0.711255) \times (0.9096625) \\ &= -164 \frac{\text{V}}{\text{V}} \end{aligned}$$

اسی شکل سے ایپلیفائر کی باریک اشاراتی داخلی مزاحمت حاصل کرتے ہیں جو کہ R_{m1} کے برابر ہے۔ یوں

$$r_i = R_{m1} = 50.348 \text{ k}\Omega$$

حاصل ہوتا ہے۔ یاد رہے کہ مزاحمت R_S کو یہاں ایپلیفائر کا حصہ تصور نہیں کیا گیا۔ اگر اس کو بھی شامل کیا جائے تو کل داخلی مزاحمت کی قیمت مندرجہ ذیل ہو گی۔

$$r_{i_{\text{کل}}} = r_i + R_S = 55.348 \text{ k}\Omega$$



شکل 3.103: ایمپلیفیاٹر کا تخلیق

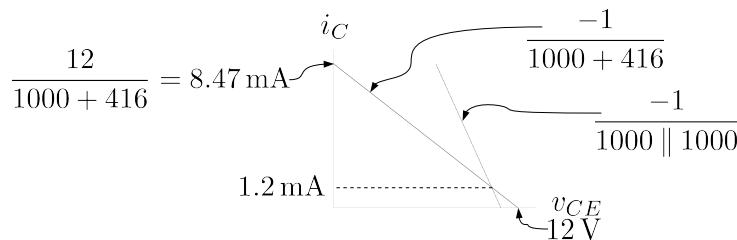
اس مثال میں ایک اہم بات سامنے آئی۔ کپیسٹر C_E اور مزاہمت R_{CE} کے استعمال سے یہ ممکن ہے کہ ہم ٹرانزسٹر ایمپلیفیاٹر کی افزائش اپنے مرضی سے طے کر سکیں۔ اس مثال میں اگر R_{CE} کی قیمت صفر رکھی جائے تو زیادہ سے زیادہ افزائش حاصل ہوتی ہے اور اگر R_{CE} کی قیمت لا محدود کر دیا جائے تو کم سے کم افزائش حاصل ہوتی ہے۔ R_{CE} کی قیمت ان حدود کے درمیان رکھتے ہوئے افزائش بھی دو حدود کے اندر کہیں پر بھی رکھی جا سکتی ہے۔ مساوات 3.217 یعنی

$$A_v = -\alpha \frac{\sum R_C}{\sum R_E}$$

کی مدد سے اس حقیقت کو با آسانی سمجھا جا سکتا ہے۔ اس مثال میں متوازی جزر مزاہمت R_E اور R_{CE} کے کل مزاہمت کو $\sum R_E$ کہیں گے۔ یہاں چونکہ R_E کو نقطہ کار کردگی تعین کرنے کی خاطر استعمال کیا گیا ہے لہذا اس کو تبدیل کئے بغیر A_v میں تبدیلی R_{CE} کی مدد سے حاصل کی جا سکتی ہے۔

مثال 3.48: شکل 3.103 میں $r_i = 5\text{k}\Omega$ اور $R_L = 1\text{k}\Omega$ اور $\beta = 120$ بین-برق رو افزائش $A_i = -30 \frac{\text{A}}{\text{A}}$ حاصل کرنے کی خاطر درکار مزاہمت حاصل کریں۔
حل: مساوی دور سے افزائش لکھتے ہیں

$$A_i = \frac{i_L}{i_i} = -30 = -120 \left(\frac{R_c}{R_c + R_L} \right) \left(\frac{r_{be}}{r_{be} + r_i \| R_1 \| R_2} \right)$$



شکل 3.104: بار کے خطوط

جس سے

$$(3.235) \quad \frac{1}{4} = \left(\frac{R_c}{R_c + 1000} \right) \left(\frac{r_{be}}{r_{be} + 5000 \parallel R_1 \parallel R_2} \right)$$

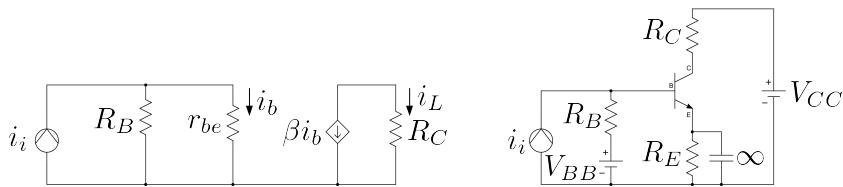
حاصل ہوتا ہے۔ ایسی وہ تمام قیمتیں جو اس مساوات پر پورا اتریں درست جواب ہیں۔ آئیں ہم دونوں فوصلیں کی قیمتیں برابر رکھ کر دیکھیں۔ ایسا کرنے سے عموماً قابل قبول جوابات حاصل ہوتے ہیں۔ یوں

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} &= \left(\frac{R_c}{R_c + 1000} \right) \\ \frac{1}{2} &= \left(\frac{r_{be}}{r_{be} + 5000 \parallel R_1 \parallel R_2} \right) \end{aligned}$$

لیتے ہیں۔ یوں پہلی مساوات سے $R_c = 1\text{k}\Omega$ حاصل ہوتا ہے۔ دوسرے مساوات میں $R_1 \parallel R_2$ کو R_b لکھتے ہیں۔

$$\frac{1}{2} = \left(\frac{r_{be}}{r_{be} + 5000 \parallel R_b} \right)$$

اس مساوات میں دو نا معلوم متغیرات ہیں لہذا کسی ایک کی قیمت خود چنی ہو گی۔ اگر $R_b = 5\text{k}\Omega$ رکھی جائے تب $r_{be} = 2.5\text{k}\Omega$ حاصل ہوتا ہے۔ اگر $R_b \rightarrow \infty$ تصور کی جائے تب $r_{be} = 5\text{k}\Omega$ حاصل ہوتا ہے۔ آپ دیکھ سکتے ہیں کہ R_b تبدیل کرنے سے r_{be} کی قیمت پر خاص اثر نہیں ہوتا۔ یوں $R_b = 5\text{k}\Omega$ اور $r_{be} = 2.5\text{k}\Omega$ مساوات 3.33 کی مدد سے $R_e = 416\Omega$ حاصل ہوتا ہے۔ چونکہ $r_{be} = \frac{\beta V_T}{I_{CQ}}$ ہوتا ہے لہذا $I_{CQ} = 1.2\text{mA}$ حاصل ہوتا ہے۔ شکل 3.104 میں یک سختی اور بدلنی رو بار کے خط دکھائے گئے ہیں جہاں سے آپ دیکھ سکتے ہیں کہ i_c کے حیطے کی حد 1.2mA ہے۔ یوں i_L کے حیطے کی حد 0.6mA ہے۔ اگر زیادہ حیطہ درکار ہو تو تخلیق کو اس نقطے نظر سے دوبارہ سرانجام دینا ہو گا کہ I_{CQ} درکار حیطہ فراہم کر سکے۔



شکل 3.105: ایمپلیفائر اور اس کا باریک اشاراتی مساوی دور

$R_1 = 48 \text{ k}\Omega$ حاصل ہوتا ہے۔ یوں $V_{BB} = 1.2492 \text{ V}$ اور $A_i = \frac{i_L}{i_i}$ سے β اور I_{CQ} حاصل ہوتے ہیں۔ $R_2 = 5.58 \text{ k}\Omega$

آئیں شکل 3.105 پر غور کریں۔ اس کی افزائش $A_i = \frac{i_L}{i_i}$ یوں حاصل کی جا سکتی ہے۔

$$\begin{aligned} A_i &= \frac{i_L}{i_i} = \frac{i_L}{i_b} \times \frac{i_b}{i_i} \\ &= -\beta \left(\frac{R_B}{R_B + r_{be}} \right) \end{aligned}$$

اس کو یوں

$$A_i = \frac{-\beta}{1 + \frac{r_{be}}{R_B}}$$

لکھتے ہوئے یہ حقیقت سامنے آتی ہے کہ زیادہ سے زیادہ افزائش اس وقت حاصل ہو گی جب

$$(3.236) \quad r_{be} \ll R_B$$

$$(3.237) \quad \frac{\beta V_T}{I_{CQ}} \ll R_B$$

بو جہاں دوسرے قدم پر $r_{be} = \frac{\beta V_T}{I_{CQ}}$ کا استعمال کیا گیا۔ ایسا کرتے ہوئے افزائش کی حتمی قیمت ٹرانزسٹر کے β کے برابر ہو گی۔ صفحہ 222 پر مساوات 3.32 اور مندرجہ بالا شرط کو اکھھے لکھتے ہیں۔

$$(3.238) \quad r_{be} = \frac{\beta V_T}{I_{CQ}} \ll R_B \ll (\beta + 1) R_E$$

مساوات 3.238 ٹرانزسٹر ایمپلیفائر تخلیق دینی کی بنیادی شرط ہے۔ اگر ایمپلیفائر تخلیق دیتے ہوئے اس شرط کو پورا کیا جائے تو تخلیق کردہ ایمپلیفائر کی افزائش زیادہ سے زیادہ ہو گی اور ساتھ ہی ساتھ

ٹرانزسٹر کا نقطہ کارکردگی β کے تبدیلی سے قابل قبول حد تک متاثر ہو گا۔ اگر اس شرط کو نہ انداخت کرنا ہو گا۔

مکن نہ ہو تب یا تو کم افزائش اور یا پھر β کے تبدیلی سے نقطہ کارکردگی کا اپنی جگہ سے انحراف کو برداشت کرنا ہو گا۔

3.17 برقی بار، داخلی مزاحمت اور ایمپلیفائر کی افزائش

شکل 3.106 میں ایک ایمپلیفائر اور اس کا مساوی باریک اشاراتی دور دکھائے گئے جہاں تمام کپیسٹروں کی قیمت لامحدود ہے۔ اس کی افزائش

$$\begin{aligned} A_{v1} &= \frac{v_L}{v_i} = \frac{v_L}{i_c} \times \frac{i_c}{v_{be}} \times \frac{v_{be}}{v_i} \\ &= -400 \times 0.39 \times 1 = -156 \frac{\text{V}}{\text{V}} \end{aligned}$$

جبکہ داخلی مزاحمت R'_i

$$R'_i = 100 \Omega$$

اور R_i

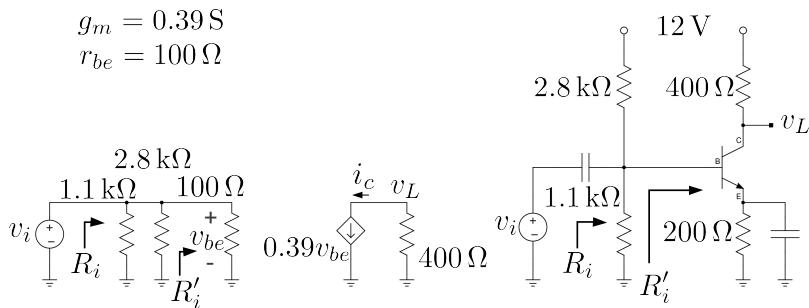
$$\begin{aligned} \frac{1}{R_i} &= \frac{1}{2800} + \frac{1}{1100} + \frac{1}{100} \\ R_i &= 88.76 \Omega \end{aligned}$$

حاصل ہوتے ہیں۔ R'_i ٹرانزسٹر کے بیس پر دیکھتے ہوئے مزاحمت ہے جبکہ R_i ٹرانزسٹر کو مائل کرنے والے مزاحمتوں کے اثر کو بھی شامل کرتا ہے۔ شکل 3.107 میں خارجی جانب برق بار R_L لادا گیا ہے۔ اگر $R_L = 200 \Omega$ ہو تب اس ایمپلیفائر کی افزائش

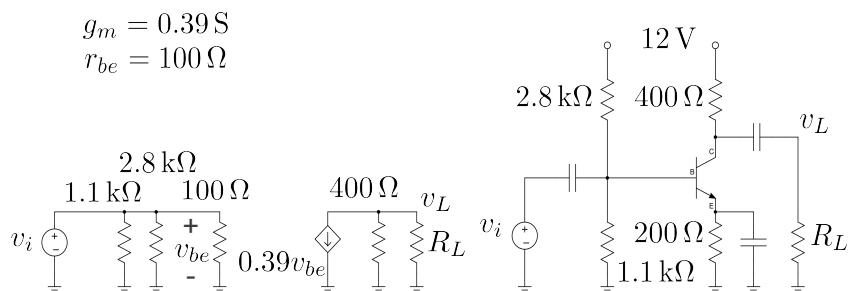
$$\begin{aligned} A_{v2} &= \frac{v_L}{v_i} = \frac{v_L}{i_c} \times \frac{i_c}{v_{be}} \times \frac{v_{be}}{v_i} \\ (3.239) \quad &= -\left(\frac{400 \times 200}{400 + 200}\right) \times 0.39 \times 1 = -52 \frac{\text{V}}{\text{V}} \end{aligned}$$

حاصل ہوتے ہے جبکہ اگر $R_L = 88.76 \Omega$ ہو تب

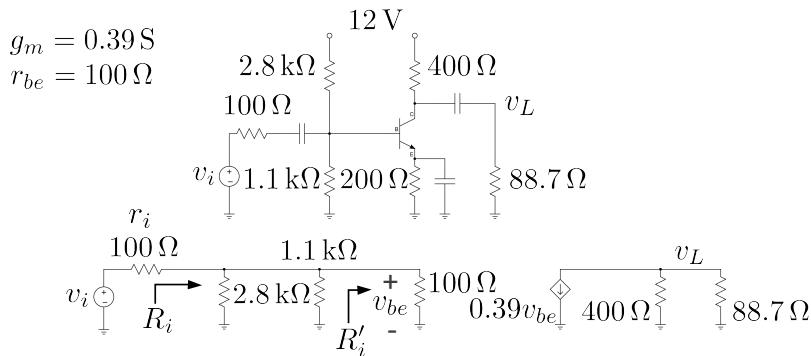
$$\begin{aligned} A_{v3} &= \frac{v_L}{v_i} = \frac{v_L}{i_c} \times \frac{i_c}{v_{be}} \times \frac{v_{be}}{v_i} \\ (3.240) \quad &= -\left(\frac{400 \times 88.76}{400 + 88.76}\right) \times 0.39 \times 1 = -28 \frac{\text{V}}{\text{V}} \end{aligned}$$



شكل 3.106: سادہ ایمپلیفیائر



شكل 3.107: سادہ بار سے لدا ایمپلیفیائر



شکل 3.108: داخلی مزاحمت کا اثر

حاصل ہوتا ہے۔ مندرجہ بالا دونوں اشکال میں $v_{be} = v_i$ ہونے کی بدولت افزائش میں تیسرا کسر یعنی $\frac{v_{be}}{v_i}$ کا کوئی کردار نہیں۔ آئین داخلی اشارے کی مزاحمت کا اثر دیکھیں۔ شکل 3.108 میں اس غرض سے داخلی اشارے کا مزاحمت بھی شامل کیا گیا ہے۔ اس ایمپلیفیٹر کے لئے ہم لکھ سکتے ہیں

$$\begin{aligned}
 A_{v4} &= \frac{v_L}{v_i} = \frac{v_L}{i_c} \times \frac{i_c}{v_{be}} \times \frac{v_{be}}{v_i} \\
 &= - \left(\frac{400 \times 88.76}{400 + 88.76} \right) \times 0.39 \times \left(\frac{R_i}{r_i + R_i} \right) \\
 &= - \left(\frac{400 \times 88.76}{400 + 88.76} \right) \times 0.39 \times \left(\frac{88.76}{100 + 88.76} \right) \\
 &= -28 \times 0.47 \\
 &= -13 \frac{\text{V}}{\text{V}}
 \end{aligned}$$

جہاں r_i اور R_i کے کردار کی وجہ سے افزائش گزشتہ قیمت کے 0.47 گناہ گئی ہے۔ یاد رہے کہ حقیقت میں r_i ہر صورت موجود ہوتا ہے۔ $A_{v4} = 0.47 A_{v'}$ لکھتے ہوئے ہم دیکھتے ہیں کہ ٹرانزسٹر کے بیس تاکلکٹر کی افزائش $A_{v'}$ یعنی $\frac{v_L}{v_{be}}$ میں کوئی تبدیلی رونما نہیں ہوئی۔ کل افزائش میں کمی اس وجہ سے پیدا ہوئی کہ ٹرانزسٹر کے بیس تک مکمل داخلی اشارہ نہیں پہنچ پاتا یعنی r_i کے

موجودگی میں

$$\begin{aligned} v_{be} &= \left(\frac{R_i}{r_i + R_i} \right) v_i \\ &= \left(\frac{88.76}{100 + 88.76} \right) v_i \\ &= 0.47 v_i \end{aligned}$$

بوجاتا ہے جبکہ اس کے غیر موجودگی میں $v_{be} = v_i$ ہوتا ہے۔
ان حقائق کو سمجھنے کے بعد زنجیری ایمپلیفیائر پر غور کرتے ہیں۔

3.18 زنجیری ایمپلیفیائر

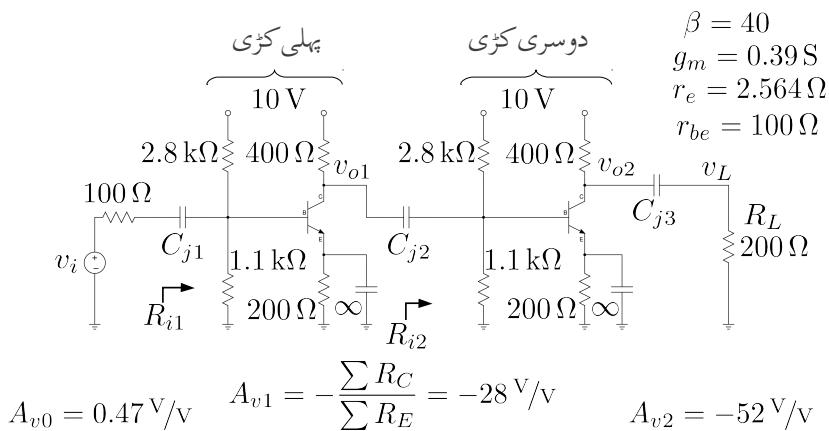
شکل 3.109 میں دو کڑی زنجیری ایمپلیفیائر⁴⁷ دکھایا گیا ہے جس میں دو بالکل یکسان ایمپلیفیائر کو جفتی کپیسٹر C_{j2} کی مدد سے آپس میں جوڑا گیا ہے۔ ایسا کرنے سے ٹرانزسٹر کا نقطہ کارکردگی متاثر نہیں ہوتا۔ داخلی جانب 100Ω مزاحمت والا داخلی اشارہ v_i جفتی کپیسٹر C_{j1} کی مدد سے ایمپلیفیائر کی پہلی کڑی کے ساتھ جوڑا گیا ہے جبکہ خارجی جانب برق بار R_L تک C_{j3} کی مدد سے خارجی اشارہ پہنچایا گیا ہے۔ آپ دیکھ سکتے ہیں کہ اسی سلسلے میں مزید کڑیاں جوڑتے ہوئے زیادہ کڑیوں والا زنجیری ایمپلیفیائر حاصل کیا جا سکتا ہے۔ مزید یہ کہ کڑیوں کا یکسان ہونا بالکل ضروری نہیں۔ ہر کڑی مختلف بوسکتی ہے۔

آئی جلد یک سمتی تجزیہ کریں۔ چونکہ $V_{th} \approx 2.82\text{ V}$ اور $R_{th} \approx 790\Omega$ ہیں لہذا $I_{CQ} \approx 9.7\text{ mA}$ ہے۔ یوں $r_{be} \approx 100\Omega$ اور $g_m = 0.39\text{ S}$ حاصل ہوتے ہیں۔
شکل 3.110 میں شکل 3.109 کا باریک اشارتی مساوی دور دکھایا گیا ہے۔ متوازن مزاحمت کا مجموعہ یعنی

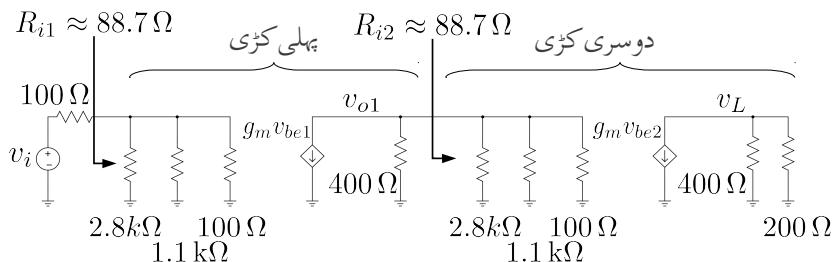
$$\begin{aligned} 2800 &\parallel 1100 \parallel 100 = 88.7\Omega \\ 400 &\parallel 2800 \parallel 1100 \parallel 100 = 72.6\Omega \\ 400 &\parallel 200 = 133.33\Omega \end{aligned}$$

لیتے ہوئے شکل 3.111 حاصل ہوتا ہے۔
اس شکل میں

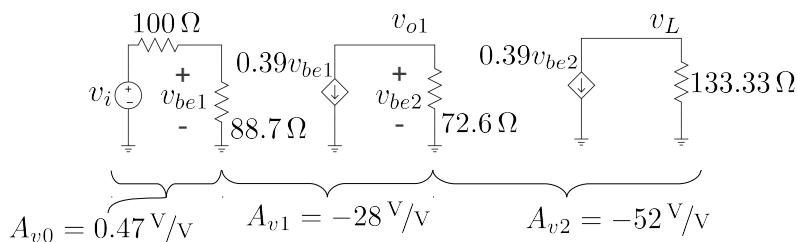
$$\begin{aligned} \frac{v_L}{v_{o1}} &= \frac{v_L}{v_{be2}} = A_{v2} = -0.39 \times 133.33 = -52 \frac{\text{V}}{\text{V}} \\ \frac{v_{o1}}{v_{be1}} &= \frac{v_{be2}}{v_{be1}} = A_{v1} = -0.39 \times 72.6 = -28 \frac{\text{V}}{\text{V}} \\ \frac{v_{be1}}{v_i} &= A_{v0} = \frac{88.7}{100 + 88.7} = 0.47 \frac{\text{V}}{\text{V}} \end{aligned}$$



شکل 3.109: دو کڑی زنجیری ایمپلیفیائر



شکل 3.110: دو کڑی زنجیری ایمپلیفیائر کا باریک اشاراتی مساوی دور



شکل 3.111: دو کڑی زنجیری ایمپلیفیائر کا باریک اشاراتی ساده مساوی دور

لکھا جا سکتا ہے۔ یوں زنجیری ایمپلیفائر کی کل افزائش زنجیری ضرب سے

$$\begin{aligned} A_v &= \frac{v_L}{v_i} = \frac{v_L}{v_{o1}} \times \frac{v_{o1}}{v_{be1}} \times \frac{v_{be1}}{v_i} \\ &= A_{v0} A_{v1} A_{v2} \\ &= 0.47 \times (-28) \times (-52) = 684 \frac{\text{V}}{\text{V}} \end{aligned}$$

حاصل ہوتی ہے۔

یہاں رک کر دوبارہ غور کریں۔ شکل 3.109 سے سیدھا شکل 3.111 حاصل کرتے ہوئے کل افزائش حاصل کی جا سکتی ہے۔ حقیقت میں اس قدم کی بھی کوئی ضرورت نہیں۔ جیسا کہ شکل 3.109 پر ہی دکھایا گیا ہے، آپ اسی شکل پر ہر کڑی کی افزائش $\frac{\sum R_C}{\sum R_E}$ حاصل کر سکتے ہیں۔ کیلکولیٹر⁴⁸ کی مدد سے شکل کو دیکھتے ہوئے $\sum R_E$ اور $\sum R_C$ کو حاصل کرتے ہوئے افزائش حاصل کی جا سکتی ہے۔ یوں مثلاً دوسری کڑی میں $A_{v2} = -52 \frac{\text{V}}{\text{V}}$ میں $\sum R_E = r_e = 2.56 \Omega$ جبکہ $\sum R_C = 133 \Omega$ سے حاصل ہوتا ہے۔

شکل 3.109 میں پہلی کڑی اور دوسری کڑی کے ایمپلیفائر وں کے داخلی مزاحمت R_{i1} اور R_{i2} کی وضاحت کی گئی ہے۔ شکل 3.110 میں ان کی قیمتیں

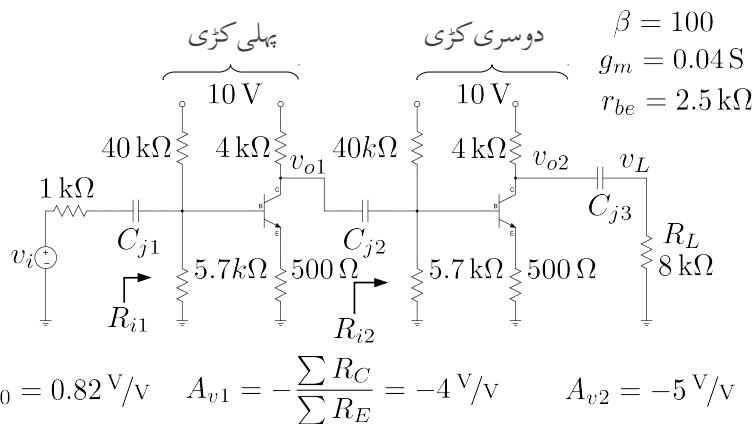
$$\begin{aligned} \frac{1}{R_{i1}} &= \frac{1}{2800} + \frac{1}{1100} + \frac{1}{100} \\ R_{i1} &= 88.7 \Omega \end{aligned}$$

اور

$$\begin{aligned} \frac{1}{R_{i2}} &= \frac{1}{2800} + \frac{1}{1100} + \frac{1}{100} \\ R_{i2} &= 88.7 \Omega \end{aligned}$$

دکھائی گئیں ہیں۔ ایمپلیفائر ٹرانزسٹر کے بیس سرے پر پائے جانے والے اشارے کی افزائش کرتا ہے۔ داخلی جانب ہم دیکھتے ہیں کہ ٹرانزسٹر کے بیس پر v_i کی بجائے $\frac{88.7v_i}{100+88.7} = 0.47v_i$ پایا جاتا ہے۔ اشارے کے قیمت میں کمی ایمپلیفائر کے داخلی مزاحمت R_{i1} کی بدولت ہے۔ v_i کے نقطے نظر سے ایمپلیفائر 88.7 Ω کا مزاحمت ہے۔ اسی طرح پہلی کڑی کے ایمپلیفائر کو دوسرा ایمپلیفائر بطور مزاحمت R_{i2} نظر آتا ہے۔

یہاں ایک مرتبہ دوبارہ مساوات 3.239 اور مساوات 3.240 پر نظر ڈالیں جہاں ایک کڑی کے ایمپلیفائر پر تجربہ کرتے ہوئے خارجی جانب برقی بار لادنے کے اثرات پر غور کیا گیا۔ شکل 3.109 کے دوسری کڑی کے افزائش پر 200 Ω برقی بار کا اثر بالکل ایسا ہی ہے جیسے شکل 3.107 میں 200 Ω کے بار کا۔ اسی طرح شکل 3.109 میں پہلی کڑی پر دوسری کڑی کے 88.76 Ω کے داخلی مزاحمت کا اثر شکل 3.107 میں 88.76 Ω کے بار کی طرح ہے۔



شکل 3.112: دو کڑی زنجیری ایمپلیفیائر کا باریک اشاراتی سادہ مساوی دور

جیسا کہ آپ جانتے ہیں کہ $A_v \approx -\frac{\sum R_C}{\sum R_E}$ ہوتا ہے لہذا زیادہ β کے ٹرانزسٹر استعمال کرنے سے دوسری کڑی کی افزائش نہیں بڑھتی لیکن ایسا کرنے سے دوسری کڑی کا داخلی مزاہت ضرور بڑھتا ہے جس سے پہلی کڑی کی افزائش بڑھے گی۔

مثال 3.49: شکل 3.112 میں $A_v = \frac{v_L}{v_i}$ حاصل کریں۔

حل: شکل 3.113 میں اس کا مساوی دور دکھایا گیا ہے جہاں سے حاصل ہوتے ہیں۔ اسی طرح ان دونوں اشکال میں سے کسی بھی سے مندرجہ ذیل لکھا جا سکتا ہے۔

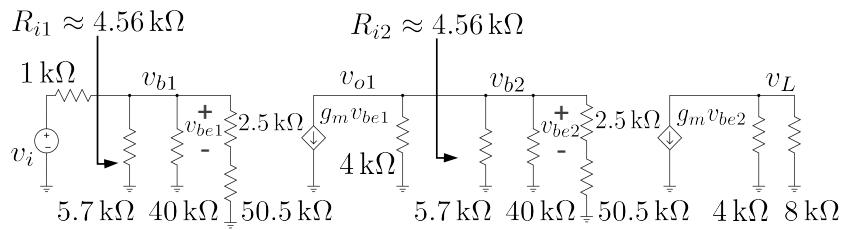
$$A_{v0} = \frac{v_{b1}}{v_i} = \frac{4560}{4560 + 1000} = 0.82 \frac{\text{V}}{\text{V}}$$

$$A_{v1} = \frac{v_{o1}}{v_{b1}} = -0.04 \times \frac{4000 \times 4560}{4000 + 4560} \times \frac{2500}{2500 + 50500} = -4 \frac{\text{V}}{\text{V}}$$

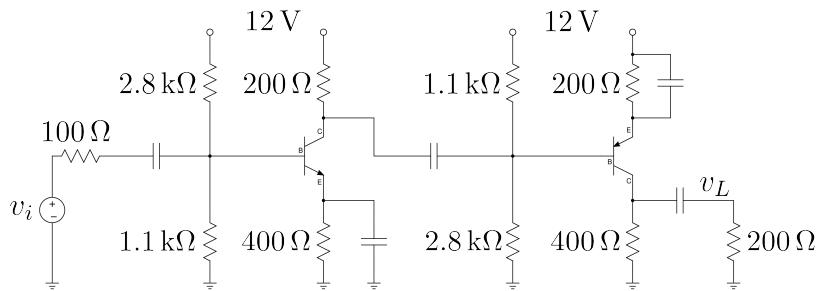
$$A_{v2} = \frac{v_L}{v_{b2}} = -0.04 \times \frac{4000 \times 8000}{4000 + 8000} \times \frac{2500}{2500 + 50500} = -5 \frac{\text{V}}{\text{V}}$$

لہذا

$$\begin{aligned} A_v &= \frac{v_L}{v_i} = \frac{v_L}{v_{b2}} \frac{v_{o1}}{v_{b1}} \frac{v_{b1}}{v_i} \\ &= (-5)(-4)(0.82) = 16.4 \frac{\text{V}}{\text{V}} \end{aligned}$$



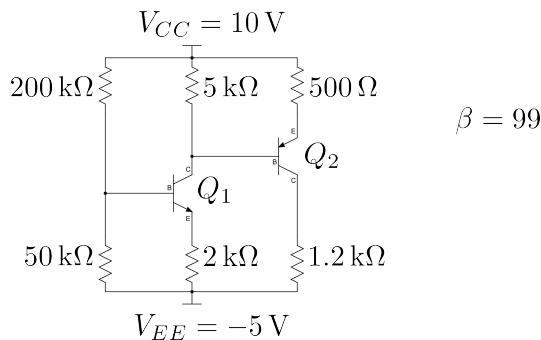
شکل 3.113: دو کڑی زنجیری ایمپلیفیائر کا باریک اشاراتی مساوی دور



شکل 3.114: دو کڑی زنجیری ایمپلیفیائر

مثال 3.50: شکل 3.109 میں دوسری کڑی pnp سے بناتے ہوئے شکل 3.114 حاصل ہوتا ہے۔ اس پر اچھی طرح غور کریں۔ شکل 3.109 پر جتنی بحث کی گئی اور اس کے تمام مساوات موجودہ دور پر لاگو ہوتے ہیں۔

مثال 3.51: شکل 3.115 میں دو کڑی زنجیری یک سمتی رو ایمپلیفیائر دکھایا گیا ہے۔ اس کے تمام یک سمتی متغیرات ٹھیک ٹھیک حاصل کریں۔ دونوں ٹرانزسٹر کا $\beta = 99$ ہے۔



شکل 3.115: دو کڑی یک سمتی زنجیری ایمپلیفیٹر

حل: Q_1 کے داخلی جانب مسئلہ ہونکی مدد سے

$$V_{th} = \left(\frac{50000}{200000 + 50000} \right) \times [10 - (-5)] - 5 = -2 \text{ V}$$

$$R_{th} = \frac{50000 \times 200000}{50000 + 200000} = 40 \text{ k}\Omega$$

حاصل ہوتے ہیں جنہیں استعمال کرتے ہوئے شکل 3.116 الف حاصل ہوتا ہے۔ شکل 3.116 الف میں Q_1 کے داخلی جانب کرچاف کے قانون برائے برق دباؤ کی مدد سے

$$2 + 40000 \times I_B + 0.7 + 2000 \times I_E - 5 = 0$$

$$\text{لکھا جا سکتا ہے جس میں } I_B = \frac{I_E}{\beta+1} \text{ پُر کرنے سے}$$

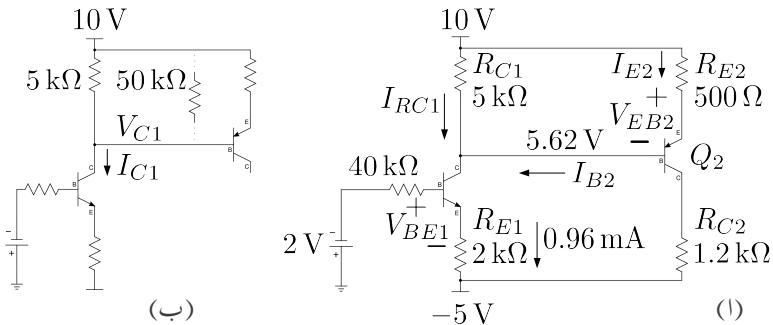
$$I_{E1} = \frac{5 - 2 - 0.7}{\frac{40000}{99+1} + 2000} = 0.95833 \text{ mA}$$

$$I_{C1} = \frac{\beta}{\beta + 1} I_{E1} = 0.94875 \text{ mA}$$

حاصل ہوتے ہیں۔ یوں

$$\begin{aligned} V_{E1} &= I_{E1} R_{E1} - 5 \\ &= 0.95833 \times 10^{-3} \times 2000 - 5 \\ &= -3.08 \text{ V} \end{aligned}$$

حاصل ہوتا ہے۔ Q_1 کے کلکٹر جانب برق رو I_{C1} کے دو راستے ہیں۔ پہلا راستہ R_{C1} کے ذریعے اور دوسرا راستہ Q_2 سے ہوتے ہوئے R_{E2} کے ذریعے۔ یوں کرچاف کے قانون برائے برق رو کے



شکل 3.116: دو کھی یک سمتی زنجیری ایچیلیفائر

استعمال سے

$$(3.241) \quad \begin{aligned} I_{C1} &= I_{RC1} + I_{B2} \\ 0.94875 \times 10^{-3} &= I_{RC1} + I_{B2} \end{aligned}$$

لکھا جا سکتا ہے۔ پہلے راستے پر

$$(3.242) \quad V_{C1} = V_{B2} = 10 - I_{RC1}R_{C1} = 10 - 5000I_{RC1}$$

جبکہ دوسرا راستے پر

$$(3.243) \quad \begin{aligned} V_{C1} &= V_{B2} = 10 - I_{E2}R_{E2} - V_{EB2} \\ &= 10 - (\beta + 1)I_{B2}R_{E2} - V_{EB2} \\ &= 10 - (99 + 1) \times I_{B2} \times 500 - 0.7 \\ &= 9.3 - 50000I_{B2} \end{aligned}$$

حاصل ہوتا ہے۔ مندرجہ بالا تین مساوات کو حل کرتے ہیں۔ مساوات 3.242 اور 3.243 کو برابر لکھتے ہیں۔

$$\begin{aligned} 10 - 5000I_{RC1} &= 9.3 - 50000I_{B2} \\ 5000I_{RC1} - 50000I_{B2} - 0.7 &= 0 \end{aligned}$$

مساوات 3.241 سے I_{RC1} حاصل کرتے ہوئے اس مساوات میں پُر کرتے ہیں

$$5000 \left(0.94875 \times 10^{-3} - I_{B2} \right) - 50000I_{B2} - 0.7 = 0$$

جس سے

$$I_{B2} = 73.5 \mu\text{A}$$

حاصل ہوتا ہے - یوں

$$I_{E2} = (\beta + 1) I_{B2} = 7.35 \text{ mA}$$

$$I_{C2} = \alpha I_{E2} = 7.28 \text{ mA}$$

$$I_{RC1} = I_{C1} - I_{B2} = 0.94875 \text{ mA} - 73.5 \mu\text{A} = 0.87525 \text{ mA}$$

$$V_{B2} = V_{CC} - I_{RC1} R_{C1} = 10 - 0.87525 \times 10^{-3} \times 5000 = 5.62 \text{ V}$$

حاصل ہوتے ہیں - Q_2 پر

$$V_{E2} = V_{B2} + V_{EB2} = 5.62 + 0.7 = 6.32 \text{ V}$$

$$V_{C2} = -5 + I_{C2} R_{C2} = -5 + 7.28 \times 10^{-3} \times 1200 = 3.736 \text{ V}$$

$$V_{EC2} = V_{E2} - V_{C2} = 6.32 - 3.736 = 2.584 \text{ V}$$

حاصل ہوتے ہیں - یوں Q_2 افراہنڈہ سے اور حاصل کردہ جوابات درست ہوں گے۔
اسی مثال کو یوں جلدی حل کیا جا سکتا ہے - $I_C \approx I_E$ لیتے ہوئے

$$I_{C1} \approx I_{E1} = 0.95833 \text{ mA}$$

حاصل ہوتا ہے - جیسے شکل 3.116 ب میں دکھایا گیا ہے، R_{E2} کا عکس ٹرانزسٹر Q_2 کے بیس جانب $(\beta + 1) R_{E2}$ نظر آتا ہے جو R_{C1} کے متوازی جڑا ہے - یوں ان کا مجموع

$$\frac{(\beta + 1) R_{E2} R_{C1}}{(\beta + 1) R_{E2} + R_{C1}} = 4.545 \text{ k}\Omega$$

حاصل ہوتا ہے جس سے I_{C1} گزرتا ہے - یوں

$$V_{C1} = V_{B2} = V_{CC} - 4545 \times 0.95833 \times 10^{-3} = 5.644 \text{ V}$$

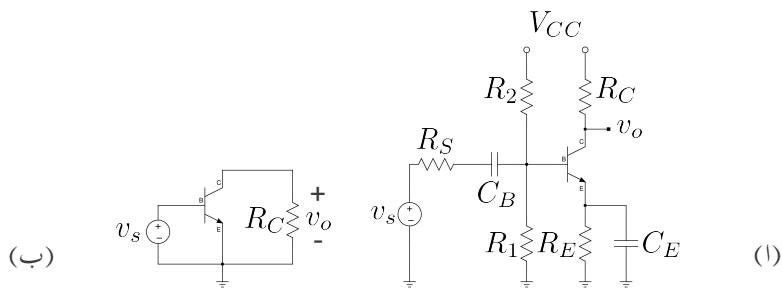
حاصل ہوتا ہے - یوں

$$V_{E2} = V_{B2} + V_{EB2} = 5.644 + 0.7 = 6.344 \text{ V}$$

$$I_{E2} = \frac{V_{CC} - V_{E2}}{R_{E2}} = \frac{10 - 6.344}{500} = 7.312 \text{ mA}$$

$$V_{C2} = -5 + I_{E2} R_{C2} = -5 + 7.312 \times 10^{-3} \times 1200 = 3.774 \text{ V}$$

$$V_{EC2} = V_{E2} - V_{C2} = 6.344 - 3.774 = 2.57 \text{ V}$$



شکل 3.117: ایمٹر مشترک ایمپلیفیائر

3.19 ایمٹر مشترک، کلکٹر مشترک اور بیس مشترک ایمپلیفیائر

شکل الف میں ایمپلیفیائر دکھایا گیا ہے۔ شکل ب میں ٹرانزسٹر مائل کرنے والے رکن نہ دکھاتے ہوئے اسی کا بدلتی رو شکل دکھایا گیا ہے جہاں کپسٹروں اور یک سختی برقی دباؤ V_{CC} کو قصر دور تصور کیا گیا ہے۔ مزید داخلی اشارے کی مزاحمت R_S کو بھی نظر انداز کیا گیا ہے تاکہ اصل نقطے پر نظر رکھنا زیادہ آسان ہو۔ اس شکل سے صاف ظاہر ہے کہ داخلی اشارے کو ٹرانزسٹر کے بیس B اور ایمٹر E کے مابین مہیا کیا گیا ہے جبکہ خارجی اشارے کو کلکٹر C اور ایمٹر E کے مابین سے حاصل کیا جاتا ہے۔ یوں ٹرانزسٹر کا ایمٹر E مشترک سرا ہے۔ اسی سے اس طرز کے ایمپلیفیائر کو مشترکہ ایمٹر ایمپلیفیائر یا ایمٹر مشترک ایمپلیفیائر⁴⁹ پکارا جاتا ہے۔ اگر شکل الف میں کپسٹر C_E استعمال نہ کیا جاتا تو ٹرانزسٹر کا ایمٹر برقی زمین پر نہ ہوتا اور شکل ب میں داخلی اشارہ بیس اور برقی زمین کے مابین مہیا کیا جاتا۔ ایسی صورت میں بھی اسے ایمٹر مشترک ایمپلیفیائر ہی پکارا جاتا ہے۔ اس باب میں اب تک جتنے ایمپلیفیائر دیکھے گئے وہ تمام ایمٹر مشترک ایمپلیفیائر تھے۔

شکل 3.118 الف میں کلکٹر مشترک⁵⁰ اور اس کے نیچے اس کا مساوی باریک اشاراتی دور جبکہ شکل ب میں بیس مشترک⁵¹ ایمپلیفیائر اور اس کے نیچے اس کا باریک اشاراتی مساوی دور دکھائے گئے ہیں۔ ان ایمپلیفیائر میں بھی اگر مشترکہ سرے اور برقی زمین کے مابین مزاحمت وغیرہ نسب ہوتا، انہیں تب بھی انہیں ناموں سے پکارا جاتا۔

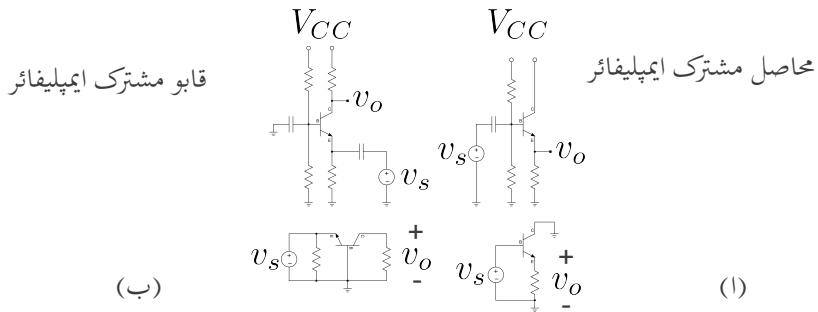
مثال 3.52: شکل 3.119 میں

$$R_1 = 100 \text{ k}\Omega, \quad R_2 = 10 \text{ k}\Omega, \quad R_E = 1 \text{ k}\Omega$$

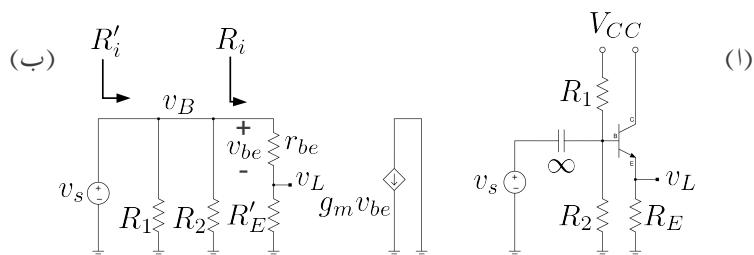
$$r_{be} = 1 \text{ k}\Omega, \quad \beta = 99$$

بیس- R'_i اور $A_v = \frac{v_L}{v_s}$ حاصل کریں۔

common emitter⁴⁹
common collector⁵⁰
common base⁵¹



شکل 3.118: بیس مشترک اور کلکٹر مشترک ایمپلیفیائر



شکل 3.119: کلکٹر مشترک

حل: شکل ب میں مساوی باریک اشارائق دو دکھایا گیا ہے جہاں R'_E ٹرانزسٹر کے بیس جانب کا عکس یعنی $R_E (\beta + 1)$ ہے۔ یوں

$$\begin{aligned} A_v &= \frac{v_L}{v_s} = \frac{v_L}{v_B} \times \frac{v_B}{v_s} \\ &= \frac{R'_E}{r_{be} + R'_E} \\ &= \frac{(99+1) \times 1000}{1000 + (99+1) \times 1000} \\ &= 0.99 \frac{V}{V} \approx 1 \frac{V}{V} \end{aligned}$$

جبکہ

$$R_i = r_{be} + R'_E = 1000 + 100000 = 101 \text{ k}\Omega$$

اور

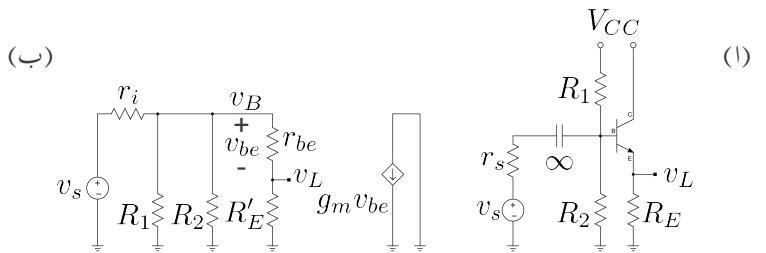
$$\begin{aligned} R'_i &= R_1 \parallel R_2 \parallel R_i \\ &= R_1 \parallel R_2 \parallel (\beta + 1) R_E \end{aligned}$$

یعنی

$$\begin{aligned} \frac{1}{R'_i} &= \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_i} \\ &= \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{r_{be} + (\beta + 1) R_E} \\ R'_i &= 8.34 \text{ k}\Omega \end{aligned}$$

بین۔

مثال 3.53: شکل 3.120 میں $A_v = 5 \text{ k}\Omega$ ہے جبکہ بقايا تمام متغيرات مثال 3.52 کی ہیں۔ حاصل کریں۔



شکل 3.120: کلکٹر مشترک کی دوسری مثال

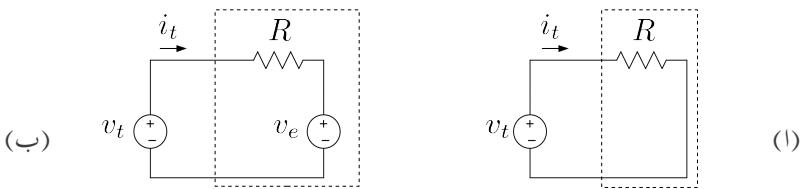
حل: شکل ب سے

$$\begin{aligned}
 A_v &= \frac{v_L}{v_s} = \frac{v_L}{v_B} \times \frac{v_B}{v_s} \\
 &= \frac{R'_E}{r_{be} + R'_E} \times \frac{R_1 \parallel R_2 \parallel (r_i + R'_E)}{r_i + [R_1 \parallel R_2 \parallel (r_{be} + R'_E)]} \\
 &= \frac{100000}{1000 + 100000} \times \frac{8340}{5000 + 8340} \\
 &= 0.99 \times 0.625 \\
 &= 0.619 \frac{\text{V}}{\text{V}}
 \end{aligned}$$

مثال 3.52 میں ہم نے دیکھا کہ کلکٹر مشترک ایمپلیفیٹر کی افزائش برق دباؤ تقریباً ایک کے برابر ہے۔ یوں ہم کہہ سکتے ہیں کہ خارجی اشارہ خوش اسلوبی سے داخلی اشارے کی پیروی کرتا ہے۔ اسی سے اس ایمپلیفیٹر کو پیروکار⁵² بھی پکارا جاتا ہے۔ ہم نے یہ بھی دیکھا کہ R_1 اور R_2 کی وجہ سے داخلی مزاحمت $101\text{k}\Omega$ سے کم ہو کر صرف $8.34\text{k}\Omega$ رہ گئی۔ مثال 3.53 میں اسی کی وجہ سے افزائش بہت کم ہو گئی۔ آئیں داخلی مزاحمت بڑھانے کا ایک طریقہ دیکھئیں۔

شکل 3.121 الف میں نقطہ دار لکیٹر میں بند دور کا داخلی مزاحمت حاصل کرنے کی خاطر اس پر v_t برق دباؤ لاگو کی جاتی ہے۔ برق رو i_t ناپ کر داخلی مزاحمت $\frac{v_t}{i_t}$ سے حاصل کی جاتی ہے۔ اس دور میں ہم جانتے ہیں کہ $\frac{v_t}{i_t} = \frac{v_t}{R}$ ناپی جائے گی جس سے داخلی مزاحمت کی قیمت R حاصل ہوتی ہے۔

آئیں یہی طریقہ شکل ب کے دور پر استعمال کرتے ہوئے اس کا داخلی مزاحمت حاصل کریں۔ $v_t - v_e$ برق رو ناپی جائے گا۔ تصور کریں کہ کسی طریقے سے $v_e = 0.9v_t$ کے برابر



شكل 3.121: داخلی مزاحمت بڑھانے کا طریقہ

رہتا ہے - یوں

$$i_t = \frac{v_t - 0.9v_t}{R} = \frac{0.1v_t}{R}$$

نایی جائے گی جس سے داخلی مزاحمت

$$\frac{v_t}{i_t} = \frac{R}{0.1} = 10R$$

حاصل ہوتا ہے۔ آپ نے دیکھا کہ نقطے دار لکیر میں بند دور میں پائے جانے والے برقی دباؤ v_e کی وجہ سے داخلی مزاحمت دس گنا بڑھ گئی ہے۔ اگر $0.99v_t = v_e$ ہوتا تب داخلی مزاحمت سو گنا بڑھ جاتی۔ یہ جانتے ہیں کہ کلکٹر مشترک ایمپلیفائر کی افزائش تقریباً ایک کرے برابر ہے یوں اس کے ایکٹر پر v_e تقریباً اس کے بیس پر v_b کے برابر ہوتا ہے۔ اس حقیقت کو استعمال کرتے ہوئے کلکٹر مشترک ایمپلیفائر کی داخلی مزاحمت بڑھائی جا سکتی ہے۔ آئین مندرجہ ذیل مثال میں ایسا ہوتے دیکھیں۔

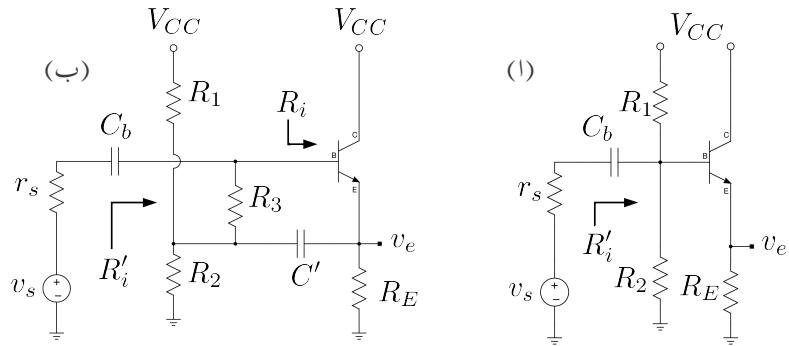
مثال 3.54: شکل 3.122 الف میں کلکٹر مشترک ایمپلیفائیر دکھایا گیا ہے جس میں کچھ تبدیلی کرتے ہوئے شکل ب حاصل کی گئی ہے۔ ثابت کریں کہ شکل 3.122 ب میں دکھائے گئے دور سے داخلی مزاحمت R_i بڑھ جاتی ہے۔ دونوں اشکال میں

$$R_1 = 10 \text{ k}\Omega, \quad R_2 = 1 \text{ k}\Omega, \quad R_E = 1 \text{ k}\Omega$$

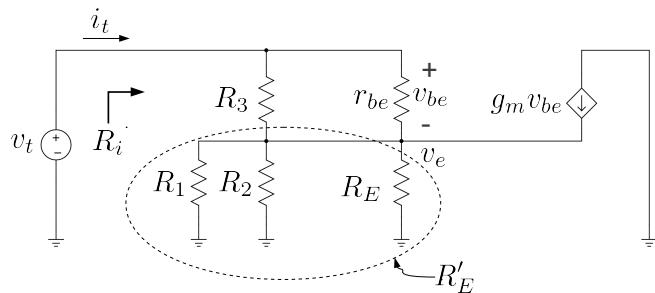
$$R_3 = 10 \text{ k}\Omega, \quad r_{be} = 1 \text{ k}\Omega, \quad \beta = 99$$

بیں۔ حل: شکل 3.123 میں مساوی باریک اشاراتی دور دکھایا گیا ہے۔ جوڑ ۷ پر کرچاف کے قانون برائے برق رو سر

$$(3.244) \quad \frac{v_e - v_t}{R_3} + \frac{v_e - v_t}{r_{be}} + \frac{v_e}{R_1} + \frac{v_e}{R_2} + \frac{v_e}{R_F} = g_m (v_t - v_e)$$



شکل 3.122: کلکٹر مشترک کا داخلی مزاحمت پڑھایا گیا ہے



شکل 3.123: مساوی دور

لکھا جا سکتا ہے۔ شکل میں R'_E کو $R_1 \parallel R_2 \parallel R_E$ کہا گیا ہے۔ اس طرح

$$\frac{1}{R'_E} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_E}$$

لکھتے ہوئے مساوات 3.244 کو یوں

$$\frac{v_e - v_t}{R_3} + \frac{v_e - v_t}{r_{be}} + \frac{v_e}{R'_E} = g_m (v_t - v_e)$$

یعنی

$$v_e \left(\frac{1}{R_3} + \frac{1}{r_{be}} + \frac{1}{R'_E} + g_m \right) = v_t \left(\frac{1}{R_3} + \frac{1}{r_{be}} + g_m \right)$$

لکھتے ہوئے

$$v_e = \left(\frac{\frac{1}{R_3} + \frac{1}{r_{be}} + g_m}{\frac{1}{R_3} + \frac{1}{r_{be}} + \frac{1}{R'_E} + g_m} \right) v_t$$

حاصل کرتے ہیں۔ مساوات 3.188 کے استعمال سے اسے یوں لکھا جا سکتا ہے۔

$$\begin{aligned} v_e &= \left(\frac{\frac{1}{R_3} + \frac{1}{r_{be}} + \frac{\beta}{r_{be}}}{\frac{1}{R_3} + \frac{1}{r_{be}} + \frac{1}{R'_E} + \frac{\beta}{r_{be}}} \right) v_t \\ &= \left(\frac{\frac{1}{R_3} + \frac{\beta+1}{r_{be}}}{\frac{1}{R_3} + \frac{1}{R'_E} + \frac{\beta+1}{r_{be}}} \right) v_t \end{aligned}$$

شکل سے ہم دیکھتے ہیں کہ

$$\begin{aligned} i_t &= \frac{v_t - v_e}{R_3} + \frac{v_t - v_e}{r_{be}} \\ &= (v_t - v_e) \left(\frac{1}{R_3} + \frac{1}{r_{be}} \right) \end{aligned}$$

کے برابر ہے۔ v_e کی قیمت پر کرنے سے

$$\begin{aligned} i_t &= \left[v_t - \left(\frac{\frac{1}{R_3} + \frac{\beta+1}{r_{be}}}{\frac{1}{R_3} + \frac{1}{R'_E} + \frac{\beta+1}{r_{be}}} \right) v_t \right] \left(\frac{1}{R_3} + \frac{1}{r_{be}} \right) \\ &= \left[\frac{\frac{1}{R_3} + \frac{1}{R'_E} + \frac{\beta+1}{r_{be}} - \frac{1}{R_3} - \frac{\beta+1}{r_{be}}}{\frac{1}{R_3} + \frac{1}{R'_E} + \frac{\beta+1}{r_{be}}} \right] \left(\frac{1}{R_3} + \frac{1}{r_{be}} \right) v_t \\ &= \left[\frac{\frac{1}{R_3} + \frac{1}{r_{be}}}{R'_E \left(\frac{1}{R_3} + \frac{1}{R'_E} + \frac{\beta+1}{r_{be}} \right)} \right] v_t \end{aligned}$$

یعنی

$$\frac{v_t}{i_t} = \frac{\frac{R'_E}{R_3} + 1 + \frac{(\beta+1)R'_E}{r_{be}}}{\frac{1}{R_3} + \frac{1}{r_{be}}}$$

حاصل ہوتا ہے جس سے

$$(3.245) \quad R'_i = \frac{v_t}{i_t} = \frac{\frac{r_{be}R'_E}{R_3} + r_{be} + (\beta+1)R'_E}{\frac{r_{be}}{R_3} + 1}$$

حاصل ہوتا ہے۔ چونکہ $R_3 \gg r_{be}$ لہذا R'_i کو یوں لکھا جا سکتا ہے۔

$$(3.246) \quad R'_i \approx \frac{r_{be}R'_E}{R_3} + r_{be} + (\beta+1)R'_E$$

اس کے برعکس شکل 3.122 الف سے داخلی مزاحمت کی قیمت

$$R_1 \parallel R_2 \parallel \left[r_{be} + (\beta+1)R_E \right]$$

حاصل ہوئے جو بہ صورت $r_{be} + (\beta+1)R_E$ سے کم ہے۔
دیگر قیمتیں پر کرنے سے شکل 3.122 الف کے لئے

$$R_1 \parallel R_2 \parallel \left[r_{be} + (\beta+1)R_E \right] = 900 \Omega$$

جبکہ دی گئی قيمتوں سے $R_E = 471 \Omega'$ حاصل کرتے ہوئے شکل ب میں

$$\begin{aligned} R'_i &= \frac{\frac{r_{be}R'_E}{R_3} + r_{be} + (\beta + 1) R'_E}{\frac{r_{be}}{R_3} + 1} \\ &= \frac{\frac{1000 \times 471}{10000} + 1000 + (99 + 1) 471}{\frac{1000}{10000} + 1} \\ &= \frac{47.1 + 1000 + 47100}{0.1 + 1} \\ &= 43.77 \text{ k}\Omega \end{aligned}$$

حاصل ہوتا ہے جو کہ سادہ کلکٹر مشترک ایمپلیفیائر کی 900Ω کے داخلی مزاحمت سے بہت زیادہ ہے۔ اس جواب سے یہ حقیقت بھی سامنے آتی ہے کہ $\frac{r_{be}R'_E}{R_3}$ اور $\frac{r_{be}}{R_3}$ دو نظر انداز کیا جا سکتا ہے لہذا مساوات 3.246 کو

$$(3.247) \quad R'_i \approx r_{be} + (\beta + 1) R'_E$$

لکھا جا سکتا ہے۔ اس مساوات کو یاد رکھنا نہایت آسان ہے۔ شکل 3.122 ب کو دیکھتے ہوئے صاف ظاہر ہے کہ R'_i دراصل دو متوازی جزے مزاحمت کا مجموعہ ہے۔ اس کا ایک حصہ R_3 اور اس کے ساتھ منسلک اجزاء جبکہ اس کا دوسرا حصہ ٹرانزسٹر کے بیس پر داخلی مزاحمت R_i ۔ چونکہ R_3 کے دونوں سروں پر تقریباً برابر برق دباؤ رہتا ہے لہذا اس کی مزاحمت کو لاحدود تصور کرتے ہوئے نظر انداز کیا جاتا ہے۔ یوں داخلی مزاحمت R'_i اور R_i برابر ہوں گے۔ C' کو قصر دور تصور کرتے ہوئے ہم دیکھتے ہیں کہ ٹرانزسٹر کے ایٹر پر کل $R_E \parallel R_1 \parallel R_2 \parallel R_3$ یعنی R'_E مزاحمت نسبت ہے۔ یوں ٹرانزسٹر کے بیس پر داخلی مزاحمت $r_{be} + (\beta + 1) R'_E$ ہو گئی جو مطلوبہ جواب ہے۔

مثال 3.55: شکل 3.124 الف میں بیس مشترک ایمپلیفیائر دکھایا گیا ہے۔ اسے عموماً شکل ب کے طرز پر بنایا جاتا ہے جہاں داخلی جانب کو بائیں باتھ اور خارجی جانب کو دائیں باتھ پر رکھا گیا ہے۔

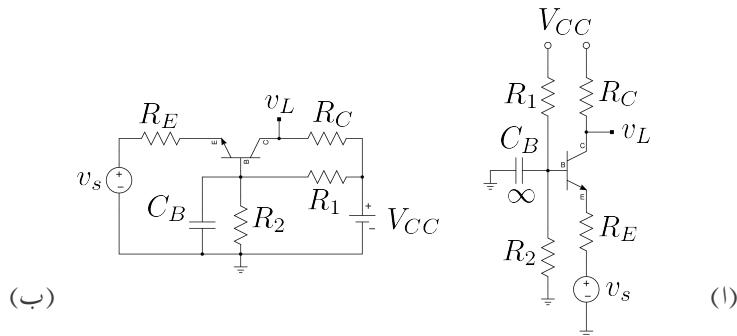
$$A_v = \frac{v_o}{v_s} \quad \text{اور} \quad A_i = \frac{i_o}{i_s} \quad \text{حاصل کریں۔}$$

حل: شکل 3.125 میں ٹرانزسٹر کا ٹی-ماؤڈل استعمال کرتے ہوئے اس کا باریک اشاراتی مساوی دور دکھایا گیا ہے۔ صفحہ 287 پر شکل 3.75 میں ٹی-ماؤڈل دکھایا گیا ہے۔ بیس مشترک ایمپلیفیائر کو ٹی-ماؤڈل سے حل کرنا زیادہ آسان ثابت ہوتا ہے۔ اس شکل میں

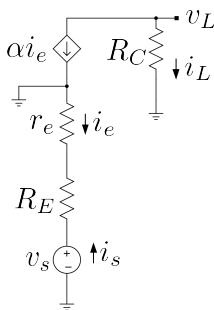
$$i_s = \frac{v_s}{R_E + r_e}$$

ہے۔ یوں

$$i_e = -is = -\frac{v_s}{R_E + r_e}$$



شکل 3.124: بیس مشترک ایمپلیفیکٹر



شکل 3.125: بیس مشترک ایمپلیفیکٹر باریک اشاراتی مساوی دور

اور

$$i_c = \alpha i_e = -\frac{\alpha v_s}{R_E + r_e}$$

ہوں گے جس سے

$$v_L = -i_c R_C = \frac{\alpha R_C v_s}{R_E + r_e}$$

حاصل ہوتا ہے۔ اس طرح

$$A_v = \frac{v_L}{v_s} = \frac{\alpha R_C}{R_E + r_e}$$

بوگا۔
جونک

$$i_L = -i_c == -\alpha i_e = \alpha i_s$$

ہے لہذا

$$A_i = \frac{i_L}{i_s} = \alpha$$

حاصل ہوتا ہے۔ آپ دیکھ سکتے ہیں کہ بیس مشترک ایمپلیفائر برقی دباؤ کی افزائش کر پاتا ہے جبکہ اس کی برقی روکی افزائش α کے برابر ہے۔

مثال 3.56: شکل 3.126 میں ایمٹر مشترک اور بیس مشترک کا زنجیری ایمپلیفائر ذکھایا گیا ہے جس میں

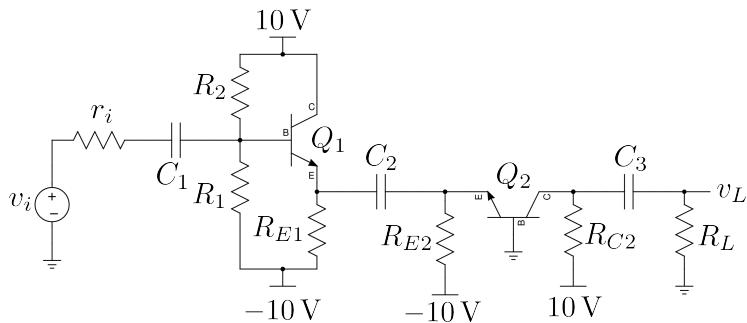
$$\begin{aligned} R_1 &= 20 \text{k}\Omega, & R_2 &= 160 \text{k}\Omega, & R_{E1} &= 1 \text{k}\Omega \\ R_{E2} &= 9.3 \text{k}\Omega, & R_{C2} &= 5 \text{k}\Omega, & R_L &= 5 \text{k}\Omega \\ r_i &= 1 \text{k}\Omega \end{aligned}$$

بیس جبکہ ٹرانزسٹر کا $A_v = \frac{v_L}{v_i} = 99$ ہے۔ $\beta = 99$ حاصل کریں۔ تمام کپیسٹروں کی قیمت لامحدود تصور کریں۔

حل: پہلے یک سمعتی متغیرات حاصل کرتے ہیں۔ ایسا کرتے ہوئے تمام کپیسٹر کھلے دور کردار ادا کریں گے۔ یونوں ایمپلیفائر کو مکمل طور پر علیحدہ سمجھ کر حل کیا جائے گا۔ پہلے Q_1 پر مبنی ایمٹر مشترک کو حل کرتے ہیں۔

$$V_{BB1} = \left(\frac{10 + 10}{20000 + 160000} \right) \times 20000 - 10 = -7.777 \text{ V}$$

$$R_{B1} = \frac{20000 \times 160000}{20000 + 160000} = 17.778 \text{k}\Omega$$



شکل 3.126: ایمٹر مشترک اور بیس مشترک کا زنجیری ایمپلیفائر

اور یوں

$$I_{C1} \approx I_{E1} = \frac{-7.777 - 0.7 + 10}{\frac{17778}{99+1} + 1000} = 1.29 \text{ mA}$$

$$g_{m1} = \frac{I_C}{V_T} = \frac{1.29 \times 10^{-3}}{25 \times 10^{-3}} = 51.6 \text{ mS}$$

$$r_{be1} = \frac{\beta + 1}{g_m} = \frac{99 + 1}{0.0516} = 1938 \Omega$$

حاصل ہوتے ہیں۔ اب Q_2 پر مبنی بیس مشترک کو حل کرتے ہیں۔

$$I_C \approx I_{E2} = \frac{V_B - V_{BE} - V_{EE}}{R_E} = \frac{0 - 0.7 + 10}{9300} = 1 \text{ mA}$$

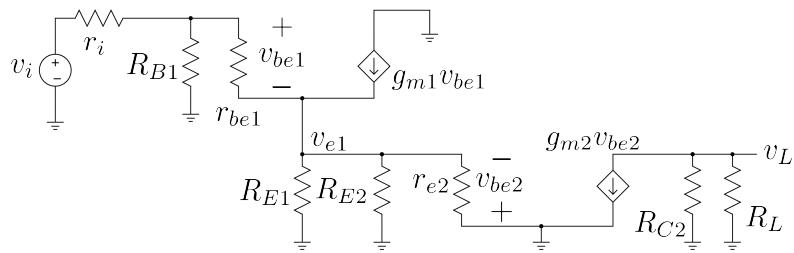
اور یوں

$$g_{m2} = \frac{1 \times 10^{-3}}{25 \times 10^{-3}} = 40 \text{ mS}$$

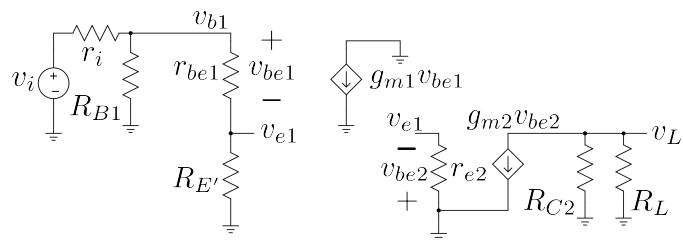
$$r_{e2} \approx \frac{1}{g_{m2}} = \frac{1}{0.04} = 25 \Omega$$

حاصل ہوتے ہیں۔

ایمٹر مشترک کے لئے پائیے ماذل جبکہ بیس مشترک کے لئے ٹی ماذل کو پائیے ماذل کے طرز پر بناتے ہوئے زنجیری ایمپلیفائر کا پاریک اشاراق مساوی دور شکل 3.127 میں دکھایا گیا ہے۔ R_{E1} ، R_{E2} اور r_{e2} متوالی جڑیں ہیں جن کا مساوی مزاحمت 24Ω بتا ہے۔ اس کو $(\beta + 1)$ سے ضرب دیتے ہوئے ایمٹر مشترک کے پائیے ماذل میں داخلی اور خارجی دائروں کو علیحدہ کیا جا سکتا ہے۔ ایسا کرتے ہوئے شکل 3.128 حاصل ہوتا ہے جہاں $R'_E = 2.4 \text{ k}\Omega$ کہا گیا ہے۔ یعنی



شکل 3.127: ایمپ مشترک اور بیس مشترک کا زنجیری ایمپلیفائر کا مساوی باریک اشاراتی دور



شکل 3.128

یوں

$$A_v = \frac{v_L}{v_i} = \frac{v_L}{v_{be2}} \times \frac{v_{be2}}{v_{e2}} \times \frac{v_{e2}}{v_{b1}} \times \frac{v_{b1}}{v_i}$$

لکھا جا سکتا ہے۔ شکل کو دیکھئے ہوئے

$$\frac{v_L}{v_{be2}} = -g_m 2 (R_C \parallel R_L) = -0.04 \left(\frac{5000 \times 5000}{5000 + 5000} \right) = -100$$

$$\frac{v_{be2}}{v_{e2}} = -1$$

$$\frac{v_{e2}}{v_{b1}} = \frac{R'_E}{r_{be1} + R'_E} = \frac{2400}{1938 + 2400} = 0.553$$

لکھا جا سکتا ہے۔

$$R_{B1} \parallel (r_{be1} + R'_E) = \frac{17778 \times (1938 + 2400)}{17778 + 1938 + 2400} = 3487 \Omega$$

لیتے ہوئے

$$\frac{v_{b1}}{v_i} = \frac{3487}{r_i + 3487} = \frac{3487}{1000 + 3487} = 0.777$$

حاصل ہوتا ہے۔ یوں

$$A_v = (-100)(-1) \times 0.553 \times 0.777 = 43 \frac{\text{V}}{\text{V}}$$

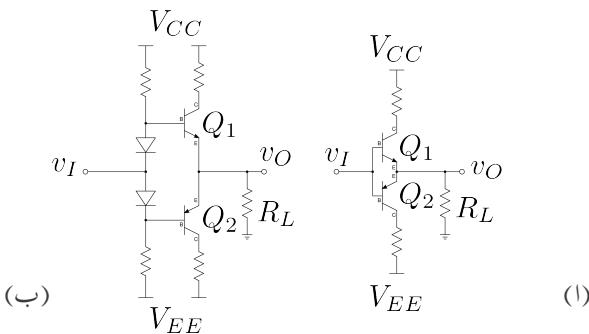
حاصل ہوتا ہے۔

3.20 خطی لحاظ سے ایمپلیفائر کی درجہ بندی

اب تک تمام ایمپلیفائر میں ٹرانزسٹر کے نقطہ کارکردگی کو یوں رکھا گیا کہ ٹرانزسٹر تمام اوقات خطی خطرے میں رہے۔ ایسا ایمپلیفائر جو 360 زاویے کے اشارے کو بڑھانے کی صلاحیت رکھتا ہے درجہ الف⁵³ کا ایمپلیفائر کہلاتا ہے۔ داخلی اشارے کے عدم موجودگی میں بھی ایسے ایمپلیفائر میں I_{CQ} برق رو گزرنے ہے جس سے ٹرانزسٹر میں $V_{CEQ} I_{CQ}$ طاقت کا ضیاع پایا جاتا ہے۔ آپ دیکھ سکتے ہیں کہ بیٹری سے چلنے والے آلات کے لئے ایسا قطعاً قابل قبول نہیں۔⁵⁴

class A⁵³

⁵⁴ آپ کہیں نہیں چاہیں گے کہ آپ کرنے والے موبائل کی بیتری بغیر استعمال کرنے ختم ہو جائے۔



شكل 129.3: درجہ ب ایپلیفائر

ٹرانزسٹر کے نقطہ کارکردگی کو چالو کر دے V_{CE} سے قدر نیچے رکھنے سے $I_{CQ} \approx 0$ رکھا جا سکتا ہے۔ $n-p-n$ ٹرانزسٹر کی صورت میں، مثبت اشارے کی موجودگی میں ٹرانزسٹر چالو ہو جاتا ہے اور ایپلیفائر کام کرنا شروع کر دیتا ہے جبکہ منفی اشارے کی صورت میں ٹرانزسٹر منقطع رہتا ہے اور یون ایسا ایپلیفائر منفی اشارہ بڑھانے کی صلاحیت نہیں رکھتا۔ $p-n-p$ ٹرانزسٹر کی صورت میں ایسا ایپلیفائر صرف منفی اشارے کو بڑھانے کی صلاحیت رکھتا ہے۔ ایسا ایپلیفائر جو 180 زاویہ پر اشارہ بڑھا سکے درجہ ب⁵⁵ ایپلیفائر کہلاتا ہے۔

شکل 129.3 الف میں دو عدد درجہ ب ایپلیفائر جوڑتے ہوئے ایک ایسا ایپلیفائر تخلیق دیا گیا ہے جو 360 زاویہ پر کام کرتا ہے۔ داخلی اشارے کی عدم موجودگی میں $V_{BE} = V_{EB} = 0V$ ہوتا ہے۔ یون دونوں ٹرانزسٹر منقطع رہتے ہیں اور ان میں طاقت کا ضیاع نہیں پایا جاتا۔ مثبت اشارے کی صورت میں Q_1 چالو ہو جاتا ہے جبکہ منفی اشارے کی صورت میں Q_2 چالو ہو جاتا ہے۔ یون $v_O \approx v_I$ حاصل ہوتا ہے۔ اگر داخلی اشارہ 0.7V سے کم ہو تو ٹرانزسٹر چالو نہ ہو پائیں گے۔ شکل ب میں اس مسئلے کو حل کرنا دکھایا گیا ہے۔ آپ دیکھ سکتے ہیں کہ دونوں ڈائوڈ سیدھے مائل ہیں اور یون ان پر تقریباً 0.7V پایا جائے گا۔ یون معمولی مثبت حیطے پر ہی Q_1 چالو ہو جائے گا اور اسی طرح معمولی منفی حیطے پر Q_2 چالو ہو جائے گا۔

درجہ ب ایپلیفائر کے خارجی اشارے کی شکل بگری ہوئی ہے۔ اس کی شکل درست کرنے کی خاطر درجہ الف اور درجہ ب کی درمیانی صورت اختیار کی جاتی ہے جہاں ایپلیفائر 180 سے قدر زیادہ زاویہ تک کام کرے۔ ایسے ایپلیفائر کو درجہ الف۔ ب⁵⁶ ایپلیفائر کہا جاتا ہے۔

درجہ ب⁵⁷ ایپلیفائر سے مراد ایسا ایپلیفائر ہے جو 180 سے کم زاویہ پر کام کرتا ہو۔ ایسے ایپلیفائر انتہائی بلند تعداد⁵⁸ پر استعمال کئے جاتے ہیں جہاں ٹرانزسٹر کے خارجی جانب LC کی مدد سے درکار خارجی اشارہ پیدا کیا جاتا ہے۔

class B⁵⁵
class AB⁵⁶
class C⁵⁷
RF⁵⁸

درجہ ت⁵⁹ ایمپلیفائر سے مراد ایسا ایمپلیفائر ہے جس میں ٹرانزسٹر بطور سوچ کام کرتا ہو۔ ٹرانزسٹر یا مکمل چالو اور یا پھر مکمل منقطع رہتا ہے۔

3.21 ٹرانزسٹر سے ڈائیوڈ کا حصول

مخلوط ادوار میں حقیقت میں ڈائیوڈ ازخود نہیں بنایا جاتا بلکہ اس کی جگہ ٹرانزسٹر بنایا جاتا ہے اور اس ٹرانزسٹر کے بیس کو کلکٹر کے ساتھ جوڑ کر بطور ڈائیوڈ استعمال کیا جاتا ہے۔ شکل 3.130 الف میں استعمال کرتے ہوئے ڈائیوڈ حاصل کیا گیا ہے۔ ساتھ ہی ڈائیوڈ دکھا کر ٹرانزسٹر سے حاصل ڈائیوڈ کی سمت دکھائی گئی ہے۔ چونکہ ٹرانزسٹر کے بیس اور کلکٹر آپس میں جزوئے بین لہذا $v_{CE} = v_{BE}$ ہو گا اور یہ بالکل ایک ڈائیوڈ کی طرح ہی کردار ادا کرے گا۔ آئیں اس ڈائیوڈ کا باریک اشاراتی داخلی مزاحمت حاصل کریں۔ ایسا کرنے کی خاطر ٹرانزسٹر کے کلکٹر اور اینٹر کے مابین v_t برقی دباؤ مہیا کرتے ہوئے ہوں کا حساب لگاتے ہیں۔ ڈائیوڈ کی داخلی مزاحمت $\frac{v_t}{i_t}$ ہو گی۔ شکل ب میں ٹرانزسٹر کا پائے ماذل استعمال کرتے ہوئے مساوی باریک اشاراتی دور دکھایا گیا ہے جس کو دیکھ کر ہم لکھ سکتے ہیں

$$i_t = \frac{v_t}{r_{be}} + g_m v_{be}$$

$$v_{be} = v_t$$

جن سے

$$i_t = \frac{v_t}{r_{be}} + g_m v_t$$

$$= \left(\frac{1 + g_m r_{be}}{r_{be}} \right) v_t$$

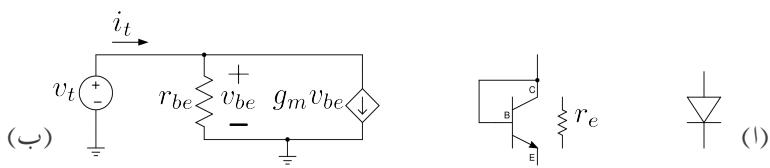
$$= \left(\frac{1 + \beta}{r_{be}} \right) v_t$$

حاصل ہوتا ہے جہاں دوسرے قدم پر $g_m r_{be} = \beta$ کا استعمال کیا گیا ہے۔ یوں

$$(3.248) \quad \frac{v_t}{i_t} = \frac{r_{be}}{1 + \beta} = r_e$$

حاصل ہوتا ہے جہاں $r_e = \frac{r_{be}}{\beta + 1}$ کا استعمال کیا گیا۔ اس مساوات سے ڈائیوڈ کا باریک اشاراتی داخلی مزاحمت r_e حاصل ہوتا ہے۔ شکل 3.130 الف میں ٹرانزسٹر کے سامنے کلکٹر اور اینٹر کے مابین کو r_e مزاحمت اسی کو ظاہر کر رہی ہے۔

مثال 3.57: ایک ٹرانزسٹر کے کلکٹر اور بیس کو آپس میں جوڑ کر ٹرانزسٹر کو بطور ڈائیوڈ استعمال کیا جا رہا ہے۔ اس ٹرانزسٹر میں 1 mA کا یک سمتی برقی روپا یا جاتا ہے۔ اس ڈائیوڈ کی باریک اشاراتی مزاحمت حاصل کریں۔



شکل 3.130: ٹرانزسٹر سے ڈائیوڈ کا حصول

حل: 1 mA پر

$$g_m = \frac{I_C}{V_T} = \frac{1 \times 10^{-3}}{25 \times 10^{-3}} = 0.04 \text{ S}$$

$$r_e \approx \frac{1}{g_m} = \frac{1}{0.04} = 25 \Omega$$

حاصل ہوتے ہے لہذا اس ڈائیوڈ کا باریک اشاراتی داخلی مزاحمت 25Ω ہے۔

3.22 برقی دباؤ کی سپلائی

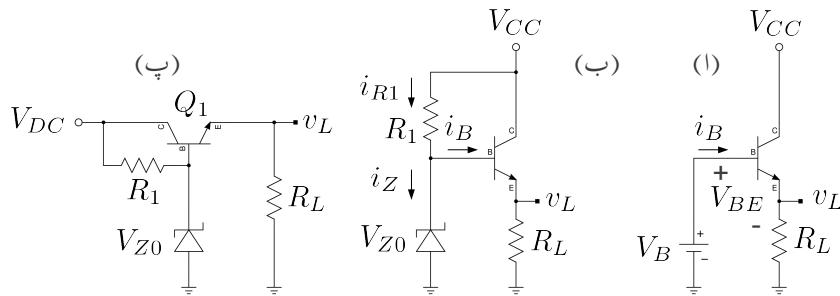
صفحہ 164 پر مثال 2.20 میں آپ نے دیکھا کہ زینر ڈائیوڈ میں برقی روکے تبدیلی کی وجہ سے سپلائی کے برقی دباؤ میں تبدیلی پیدا ہوتی ہے۔ اس حصے میں زینر ڈائیوڈ کے برقی رو میں تبدیلی کو کم کرتے ہوئے ہتر سپلائی بنائی جائے گی۔

شکل 3.131 الف مشترکہ ایمپلیفیٹر ہے جس کے داخلی جانب بیٹری سے V_B برقی دباؤ ممیبا کی گئی ہے۔ یون خارجی جانب $v_L = V_B - V_{BE}$ ہو گا۔ برقی بار R_L میں برقی رو i_L کی قیمت $\frac{v_L}{R_L}$ ہو گی اور بیٹری سے $\frac{i_L}{\beta+1}$ برقی رو حاصل کی جائے گی۔

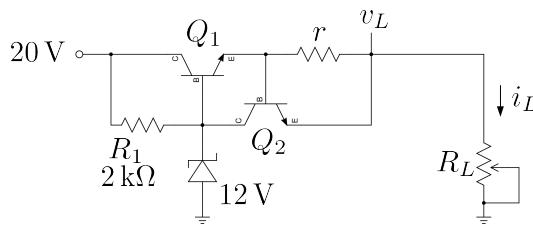
شکل ب میں بیٹری کی جگہ مزاحمت R_1 اور زینر ڈائیوڈ استعمال کیا گیا ہے۔ زینر ڈائیوڈ کو غیر قابو صورت میں تصور کرتے ہوئے ٹرانزسٹر کے بیس پر V_{Z0} برقی دباؤ پایا جائے گا اور یون $v_L = V_{Z0} - V_{BE}$ ہو گا۔ $R_L \rightarrow \infty$ کی صورت میں $i_L = 0 A$ اور یون $i_B = \frac{i_L}{\beta+1} = 0 A$ ہو گا۔ اسی طرح

$$(3.249) \quad i_{R1} = \frac{V_{CC} - V_{Z0}}{R_1}$$

$i_Z = i_{R1}$ کی صورت میں کرجاف کے قانون برائے برقی رو $i_{R1} = i_B + i_Z$ سے $i_B = 0 A$ حاصل ہوتا ہے۔ اب تصور کریں کہ R_L کی قیمت محدود اور $0 \Omega < R_L < \infty$ سے زیادہ یعنی



شکل 3.131: مشترکہ ایمٹر بطور برقی دباؤ کی سپلانی



شکل 3.132: ٹرانزسٹر سے حاصل برقی دباؤ کی سپلانی

ہے۔ اب ہی $i_B = \frac{i_L}{\beta+1}$ مندرجہ بالا مساوات سے ہی حاصل ہو گی۔ البتہ $i_L = \frac{v_L}{R_L}$ اور $v_L = \frac{r}{r+R_L} V_{CC}$ ہوں گے۔ یوں

$$\begin{aligned} i_Z &= i_{R1} - i_B \\ &= \frac{V_{CC} - V_{Z0}}{R_1} - \frac{i_L}{\beta+1} \end{aligned}$$

ہو گا۔ آپ دیکھ سکتے ہیں کہ v_L کی قیمت کا دارومندار صرف زینر ڈائیوڈ کے برقی دباؤ پر ہے۔ یوں اس دور کو برقی دباؤ کے سپلانی کے طور پر استعمال کیا جا سکتا ہے۔ اس دور کو بطور برقی دباؤ کے سپلانی استعمال کرتے ہوئے شکل پ کے طرز پر بنایا جاتا ہے۔

آپ دیکھ سکتے ہیں کہ i_L میں Δi_L تبدیلی سے i_B میں صرف $\frac{\Delta i_L}{\beta+1}$ تبدیلی رونما ہو گی۔ $\beta = 99$ کی صورت میں i_L کے تبدیلی کو سو گناہکم کر دیا گیا ہے۔ یوں زینر ڈائیوڈ کے برقی رو میں بھی سو گناہکم تبدیلی پیدا ہو گی جس سے زینر ڈائیوڈ پر پائیے جانے والے برقی دباؤ میں تبدیلی بھی سو گناہکم ہو گی۔

شکل 3.131 پ میں اگر R_L کی مزاحمت ہمایت کم کر دی جائے یا سپلانی کے خارجی جانب کو برقی

زمین کے ساتھ قصر دور کر دیا جائے تو ایسی صورت میں ٹرانزسٹر کے جلنے کا امکان ہو گا۔ ایسی صورت سے بچنے کی خاطر سپلائی کے خارجی برق روکی حد مقرر کر دی جائی ہے۔ اس حد سے کم برق روکی صورت میں سپلائی بالکل عام حالت کی طرح کام کرتے ہوئے مقرر برق دباؤ مہیا کرنی ہے البتہ جیسے ہی برق رو اس حد سے تجاوز کرنے کی کوشش کرے، سپلائی خارجی برق دباؤ کو گھٹا کر برق روکو مقررہ حد کے اندر رکھتی ہے۔ شکل 3.132 میں ٹرانزسٹر Q_2 اور مزاحمت r اسی مقصد کی خاطر سپلائی میں نسب کٹے گئے ہیں۔

برق رو i_L مزاحمت r میں گزرتے ہوئے اس پر $i_L r$ برق دباؤ پیدا کرنے گا جو درحقیقت Q_2 کا V_{BE} ہے۔ جب تک V_{BE} کی قیمت تقریباً $0.5V$ سے کم رہے اس وقت تک Q_2 منقطع رہے گا اور اس کا کسی قسم کا کوئی کردار نہیں ہو گا۔ البتہ اگر i_L بڑھتے ہوئے اتنی ہو جائے کہ $V_{BE} \geq 0.5V$ ہو، تب Q_2 چالو ہو کر i_S میں اضافہ پیدا کرتے ہوئے خارجی برق دباؤ v_L کھائے گا۔

$r = 2.5\Omega$ کی صورت میں i_L کی حد $\frac{0.5}{2.5} = 200 \text{ mA}$ ہو گی۔ اتنی برق رو پر بھی Q_1 کا i_B صرف 2 mA ہے۔ چالو Q_2 جیسے ہی 4 mA سے زیادہ برق رو گزارے گا اسی وقت زیور ڈایوڈ غیر قابو حالت سے نکل آئے گا اور اس پر برق دباؤ $12V$ سے گھٹ جائیں گے۔ بُری ترین صورت اس وقت پیش آئے گی جب $v_L = 0V$ ہو۔ ایسا خارجی جانب قصر دور ہونے سے ہو سکتا ہے۔ اس وقت V_{CE} کو مد نظر رکھتے ہوئے Q_2 غیر اندادہ

$$\frac{20 - 0.2}{2000} = 9.9 \text{ mA}$$

سیدھا خارجی جانب پہنچائے گا جبکہ Q_1 میں سے 200 mA گزر رہا ہو گا لہذا $i_L = 209.9 \text{ mA}$ تک پہنچ پائے گا۔ یاد رہے کہ Q_2 کسی صورت بھی Q_1 کو 200 mA سے کم برق رو گزارنے پر مجبور نہیں کر سکتا چونکہ ایسا ہوتے ہی $V_{BE} < 0.5V$ ہو جائے گا اور Q_2 چالو نہیں رہ سکے گا۔

برق رو کا حد مقرر کرنے کی خاطر استعمال کٹے گئے مزاحمت r کی وجہ سے خارجی برق دباؤ v_L پر اثر ہوتا ہے جس سے $v_L = V_{Z0} - V_{BE} - i_L r$ لیکن جیسا آپ نے دیکھا اس مزاحمت کی قیمت نہیں کم ہوئی ہے اور کم برق رو اس کے اثر کو نظر انداز کیا جا سکتا ہے۔ اس مزاحمت کے اثر کو سپلائی میں مزید پر زمینے نسب کر کے ختم کیا جا سکتا ہے۔

3.23 ٹرانزسٹر لاگ ایمپلیفیائر

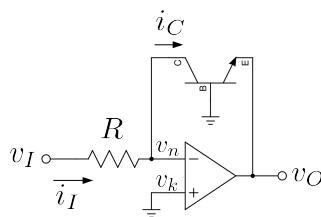
شکل 3.133 میں ٹرانزسٹر لاگ ایمپلیفیائر⁶⁰ دکھایا گیا ہے۔ $v_k = v_n = 0V$ ہونے کی بدولت

$$i_I = \frac{v_I}{R}$$

لکھا جا سکتا ہے۔ کرجاف کے قانون برائے برق رو سے $i_I = i_C$ ہو گا جہاں مساوات 3.55 کے تحت

$$i_C \approx I_S e^{\frac{v_{BE}}{V_T}}$$

log amplifier⁶⁰



شکل 3.133: ٹرانزسٹر لگ ایمپلیفائر

لکھا جا سکتا ہے۔ $v_{BE} = -v_O$ لیتے ہوئے یوں

$$\begin{aligned}\frac{v_I}{R} &= I_S e^{\frac{v_{BE}}{V_T}} \\ &= I_S e^{-\frac{v_O}{V_T}}\end{aligned}$$

جس سے

$$(3.250) \quad v_O = -V_T \ln \frac{v_I}{I_S R}$$

حاصل ہوتا ہے۔ اس مساوات کے تحت خارجی برق دباؤ v_O داخلی برق دباؤ کے قدرتی لگ⁶¹ کے برابر ہے۔ یہاں رک کر شکل 2.24 کو بھی ایک نظر دیکھیں۔

3.24 شائکی ٹرانزسٹر

غیر افزائندہ ٹرانزسٹر کے BE اور BC جوڑ سیدھے مائل ہوتے ہیں۔ جیسے حصہ 2.20.1 میں بتایا گیا، سیدھے مائل pn جوڑ کا نفوذی کیسٹر کافی زیادہ ہوتا ہے۔ یوں اگر ٹرانزسٹر کو افزائندہ خطے میں لانا ہو تو پہلے ان کیسٹروں میں ذخیرہ چارج کی نکاسی کرنے ہو گئی۔ زیادہ بڑے کیسٹر کی نکاسی زیادہ دیر میں بوقتی ہے لہذا ایسا ٹرانزسٹر زیادہ تیزی سے غیر-افزائندہ حال سے افزائندہ حال میں نہیں لایا جا سکتا۔ اگر کسی طرح ان کیسٹروں کی قیمت کم کر دی جائے تو ٹرانزسٹر زیادہ تیز رفتار پر کام کرنے کے قابل ہو جائے گا۔

شکل 3.134 الف میں ٹرانزسٹر کے بیس اور کلکٹر کے درمیان شائکی ڈائوڈ نسب کیا گیا ہے۔ ایسا کرنے سے شائکی ٹرانزسٹر⁶² وجود میں آتا ہے جس کی علامت شکل ب میں دکھائی گئی ہے۔ شائکی ٹرانزسٹر کی کارکردگی شکل 3.135 میں دئیے ایمپلیفائر کی مدد سے دیکھتے ہیں۔ چالو ٹرانزسٹر کا $V_{BE} = 0.7 V$ ہوتا ہے۔ اگر ٹرانزسٹر افزائندہ حال میں ہوتا شائکی ڈائوڈ اس کا کوئی کردار نہیں ہو۔

⁶¹ \ln
Schottky transistor⁶²

گا البتہ اگر ٹرانزسٹر غیر افزائندہ ہونے کی کوشش کرے تب V_{CE} کم ہو کر شائکی ڈائیوڈ کو سیدھا مائل کر دے گا۔ یہی صورت حال شکل میں دکھائی گئی ہے۔ یہیں سے ایک اہم حقیقت واضح ہوتی ہے۔ چونکہ سیدھے مائل شائکی ڈائیوڈ پر 0.3V پائیے جاتے ہیں لہذا ٹرانزسٹر کا V_{BC} بھی 0.3V پر ہو گا۔ آپ جانتے ہیں کہ pn جوڑ کو چالو کرنے کی خاطر کم از کم 0.5V درکار ہوتے ہیں لہذا BC جوڑ چالو حالت میں نہیں ہو گا۔ غیر چالو جوڑ کی برق رو قابل نظر انداز ہوتی ہے۔ یوں صفحہ 147 پر دئے مساوات 2.66 کے تحت اس جوڑ کی نفوذی کپیسٹس بھی قابل نظر انداز ہو گئی۔ کپیسٹر کے کم ہونے کی وجہ سے یہ ٹرانزسٹر زیادہ رفتار پر کام کر پائے گا۔
کرچاف کے قانون برائے برق رو سے ہم دیکھتے ہیں کہ

$$V_{BE} = V_{CE} + V_D$$

کے برابر ہے۔ یوں شائکی ڈائیوڈ کے سیدھے برق دباو کو 0.3V لیتے ہوئے ہم دیکھتے ہیں کہ $V_{CE} = 0.4V$ حاصل ہوتا ہے۔ یہ اہم حقیقت ہے جس کے مطابق شائکی ٹرانزسٹر کا V_{CE} کسی صورت 0.4V سے کم نہیں ہو سکتا اور یوں یہ کبھی ہی غیر افزائندہ حال میں نہیں پایا جائے گا۔
شکل میں یوں

$$I_{RB} = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B} = \frac{9.7 - 0.7}{10000} = 0.9 \text{ mA}$$

$$I_{RC} = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{R_C} = \frac{9.4 - 0.4}{1200} = 7.5 \text{ mA}$$

حاصل ہوتے ہیں۔ مزید کرچاف کے قانون برائے برق رو سے ہم دیکھتے ہیں کہ

$$I_C = I_D + I_{RC}$$

$$I_D = I_{RB} - I_B$$

ہیں۔ ان دو مساوات کے ساتھ $I_B = \frac{I_C}{\beta}$ کو ملا کر

$$I_C = I_{RB} - I_B + I_{RC}$$

$$= I_{RB} - \frac{I_C}{\beta} + I_{RC}$$

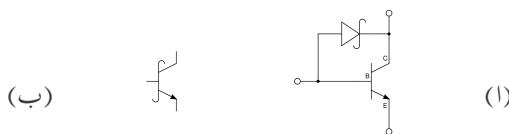
یعنی

$$I_C = 8.316 \text{ mA}$$

حاصل ہوتا ہے۔ یوں

$$I_D = I_C - I_{RC} = 0.816 \text{ mA}$$

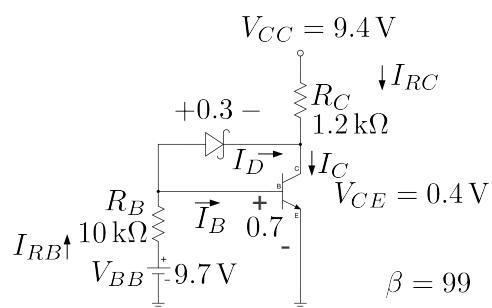
ہوں گے۔



شکل 3.134: شائکی ٹرانزسٹر کی بنوٹ اور علامت

$$\begin{aligned}V_{CE} &= V_{BE} - V_D \\&= 0.7 - 0.3 \\&= 0.4 \text{ V}\end{aligned}$$

شائکی ٹرانزسٹر کیہی
جی غیر افزائندہ نہیں ہوتا



شکل 3.135: شائکی ایمپلینفائر

3.25 قوى ٹرانزسٹر

سلیکان پتی پر ٹرانزسٹر کا رقبہ بڑھا کر زیادہ طاقت کے ٹرانزسٹر بنائے جاتے ہیں۔ کئی ایمپیٹر اور کئی سو وولٹ تک کام کرنے والے ایسے قوى ٹرانزسٹر⁶³ زیادہ طاقت قابو کرنے میں کام آتے ہیں۔ اس طرح کے متعدد ٹرانزسٹر متوازنی جوڑ کر مزید زیادہ برق رو کو قابو کیا جاتا ہے۔ یک سمتی سے بدلتی رو برق دباؤ بناتے انورٹر⁶⁴ میں انہیں عموماً استعمال کیا جاتا ہے۔ قوى ٹرانزسٹر ایک مائیکرو سیکنڈ کے لگ بھگ دورانیہ میں چالو سے منقطع سے چالو حالت میں لائنے جا سکتے ہیں۔

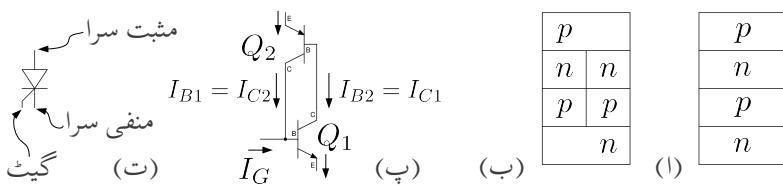
برق طاقت کا ضیاع قوى ٹرانزسٹر کو گرم کرتے ہوئے اس کا درجہ حرارت بڑھاتا ہے۔ ٹرانزسٹر کا درجہ حرارت بڑھنے سے اس کا V_{BE} گھشتا ہے۔ یوں متوازنی جائز ٹرانزسٹر میں اگر کسی وجہ سے ایک ٹرانزسٹر زیادہ گرم ہو تو اس کا V_{BE} گھٹ جائے گا۔ متوازنی جائز ٹرانزسٹروں میں جس ٹرانزسٹر کا V_{BE} کم سے کم ہو، اس کا B زیادہ سے زیادہ ہو گا لہذا اس کا C بھی زیادہ سے زیادہ ہو گا۔ یوں زیادہ گرم ہونے والا ٹرانزسٹر مزید زیادہ برق رو گزارتے ہوئے مزید زیادہ گرم ہو گا۔ اگر اس عمل کو روکا نہ جائے تو یہ ٹرانزسٹر آخر کار جل جائے گا۔ ٹرانزسٹر کے کلکٹر کو عموماً موصل نالی دار دھات چادر⁶⁵ کے ساتھ جوڑ کر ٹھنڈا رکھا جاتا ہے۔ تمام ٹرانزسٹر کو قریب قریب ایک ہی موصل نالی دار دھات چادر کے ساتھ جوڑ کر کوشش کی جاتی ہے کہ تمام ٹرانزسٹر ایک ہی درجہ حرارت پر رہیں تاکہ ان میں برق روکی تقسیم متاثر نہ ہو۔

3.26 قابو ریکٹیفیائر

شکل 3.136 الف میں p اور n کے چار تہ کا پر泽ہ دکھایا گیا ہے جسے قابو ریکٹیفیائر⁶⁶ کہتے ہیں۔ شکل ب کے درمیان لکھا کر اسی کو آپس میں جڑے pnp اور npn ٹرانزسٹر دکھایا گیا ہے جس سے شکل پ حاصل ہوتا ہے۔ قابو ریکٹیفیائر کے عموماً تین سرے باہر مہیا کئے جاتے ہیں جنہیں ہم مثبت سرا⁶⁷، منفی سرا⁶⁸ اور گیٹ⁶⁹ کہیں گے۔ گیٹ عموماً npn کا بیس ہوتا ہے۔ قابو ریکٹیفیائر کی علامت شکل ت میں دکھائی گئی ہے۔

قابو ریکٹیفیائر کی کارکردگی بالآخر شکل پ کی مدد سے سمجھی جا سکتی ہے۔ تصور کریں کہ دونوں ٹرانزسٹر منقطع ہیں۔ بیرونی مداخلت کے بغیر دونوں منقطع ہی رہیں گے۔ اب تصور کریں کہ گیٹ پر باہر سے برق رو I_G فراہم کی جاتی ہے۔ یوں Q_1 چالو ہو کر $I_{C2} = \beta_1 I_G$ خارج کرے گا جو کہ Q_2 کے بیس کی برق رو ہے اور یوں Q_2 بھی چالو ہو کر $\beta_2 I_{B2}$ خارج کرے گا جو Q_1 کو برقرار چالو رکھے گا۔ آپ دیکھ سکتے ہیں کہ اگر اب I_G کو صفر بھی کر دیا جائے تو قابو ریکٹیفیائر چالو ہی رہے گا۔ حقیقت میں دیکھا گیا ہے کہ I_G منفی کرنے سے ہی قابو ریکٹیفیائر منقطع نہیں ہوتا۔ قابو ریکٹیفیائر کو بغیر I_G کے چالو رکھنے کی خاطر ضروری ہے کہ اس میں کم از کم I_L برق رو گزرا رہی ہو۔ اس

power transistor⁶³
inverter⁶⁴
heat sink⁶⁵
scr, thyristor⁶⁶
anode⁶⁷
cathode⁶⁸
gate⁶⁹



شکل 3.136: قابو ریکنیفار

p	
n	n
p	p
n	

(ا)

p
n
p
n

(ب)

برق رو کو ہم برق رو چالو رکھنے کی حد⁷⁰ کہیں گے۔ چالو قابو ریکنیفار کو منقطع کرنے کا ایک ہی طریقہ ہے۔ اس سے گزرتے ہوئے برق رو کو کچھ دورانیے کے لئے تقریباً صفر کرنا ہو گا۔ حقیقت میں اگر اس سے گزرتی برق رو کو ایک مخصوص حد I_h سے کم کر دی جائے تو قابو ریکنیفار منقطع صورت اختیار کر لیتا ہے۔ اس حد کو ہم قابو ریکنیفار کی برق رو منقطع کرنے کی حد⁷¹ کہیں گے۔

چالو ہونے کے بعد قابو ریکنیفار بالکل ایک سادہ ڈائیوڈ کی طرح کام کرتے ہوئے گزرتی برق رو قابو کرنے کی صلاحیت کھو دیتا ہے۔

قابو ریکنیفار بغیر I_G کے بھی کئی طریقوں سے چالو کیا جا سکتا ہے۔ اگر اس پر لاگو برق دباؤ قابل برداشت حد سے تجاوز کر جائے تو یہ چالو ہو جاتا ہے۔ اسی طرح درجہ حرارت بڑھانے سے ٹرانزسٹر کی الی جانب رستا برق رو بڑھتی ہے جس سے یہ چالو ہو سکتا ہے۔

جہاں قوی ٹرانزسٹر صرف چند ایپیٹر برق رو گزارنے کی صلاحیت رکھتا ہے ویاں قابو ریکنیفار کئی بزار ایپیٹر قابو کرنے کی صلاحیت رکھتا ہے اور یہ کئی سیکروں وولٹ کے برق دباؤ کو برداشت کر سکتا ہے۔ اس وقت ٹرانزسٹر پر مبنی انورٹر⁷² تقریباً 100 kW تک دستیاب ہیں جبکہ قابو ریکنیفار پر مبنی 10 MW طاقت کے انورٹر لوہے کی بھیلوں میں عام استعمال ہوتے ہیں۔

latching current⁷⁰
holding current⁷¹
inverter⁷²

ابم نکات

$$i_C = I_S \left(e^{\frac{v_{BE}}{V_T}} - 1 \right) \approx I_S e^{\frac{v_{BE}}{V_T}}$$

$$V_T = \frac{kT}{q} \approx 25 \text{ mV}$$

$$I_C = \alpha I_E$$

$$I_E = I_B + I_C$$

$$i_c = \beta i_b$$

$$i_e = (\beta + 1) i_b$$

$$\beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha}$$

$$\alpha = \frac{\beta}{\beta + 1}$$

$$V_{BE} = 0.7 \text{ V}$$

$$V_{CE} = 0.2 \text{ V}$$

$$\frac{\Delta v_{BE}}{\Delta T} = -2 \text{ mV/}^\circ\text{C}$$

$$g_m = \left. \frac{\partial i_C}{\partial v_{BE}} \right|_Q = \frac{I_C}{V_T}$$

$$r_{be} = \left. \frac{\partial v_{BE}}{\partial i_B} \right|_Q = \frac{\beta}{g_m}$$

$$r_e = \left. \frac{\partial v_{BE}}{\partial i_E} \right|_Q = \frac{r_{be}}{\beta + 1} = \frac{\alpha}{g_m} \approx \frac{1}{g_m}$$

$$r_o = \left. \frac{\partial v_{CE}}{\partial i_C} \right|_Q = \frac{V_A + V_{CE}}{I_C} \approx \frac{V_A}{I_C}$$

$$R_E = \frac{10R_B}{\beta + 1}$$

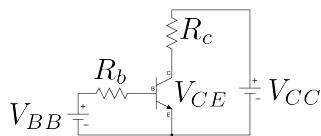
$$r_{be} = \frac{\beta V_T}{I_{CQ}} \ll R_B \ll (\beta + 1) R_E$$

$$S_{V_{BE}} \approx -\frac{1}{R_E}$$

$$S_\beta = \frac{I_{C1}}{\beta_1} \left[\frac{R_B + R_E}{R_B + (\beta_2 + 1) R_E} \right]$$

$$I_{CQ} = \frac{V_{CC}}{R_{پکسمتی} + R_{بدانی}}$$

$$A_v = -\alpha \frac{\sum R_C}{\sum R_E} = -\alpha \left(\frac{\text{کلکثر پر کل مزاحمت}}{\text{ایمپر پر کل مزاحمت}} \right)$$



شكل 3.137: ٹرانزسٹر کا یک سمتی دور

سوالات

مندرجہ ذیل سوالات میں $I_C = I_E$ تصور کرتے ہوئے حل کریں۔
سوال 3.1: شکل 3.137 میں

$$V_{CC} = 10 \text{ V} \quad V_{BB} = 2.5 \text{ V} \quad \beta = 99 \\ R_b = 147 \text{ k}\Omega \quad R_c = 4 \text{ k}\Omega$$

لیتے ہوئے V_{CE} ، I_C اور I_B حاصل کریں۔
جوابات: $V_{CE} = 5.1 \text{ V}$ اور $I_B = 12.245 \mu\text{A}$ ، $I_C = 1.2245 \text{ mA}$

سوال 3.2: سوال 3.1 میں $R_C = 8 \text{ k}\Omega$ کرتے ہوئے اسے دوبارہ حل کریں۔

جوابات: $V_{CE} = 0.2 \text{ V}$ اور $I_B = 12.245 \mu\text{A}$ ، $I_C = 1.2245 \text{ mA}$

سوال 3.3: سوال 3.1 میں $R_C = 12 \text{ k}\Omega$ کرتے ہوئے اسے دوبارہ حل کریں۔

جوابات: $V_{CE} = 0.2 \text{ V}$ اور $I_B = 12.245 \mu\text{A}$ ، $I_C = 0.8166 \text{ mA}$

سوال 3.4: شکل 3.137 میں

$$V_{CC} = 20 \text{ V} \quad \beta = 99 \\ R_b = 100 \text{ k}\Omega \quad R_c = 9 \text{ k}\Omega$$

بی۔ V_{BB} کی وہ قیمت حاصل کریں جس پر ٹرانزسٹر غیر افزائندہ صورت اختیار کر لیتا ہے۔

جواب: $V_{BB} = 2.9 \text{ V}$ ، $I_B = 22 \mu\text{A}$ ، $I_C = 2.2 \text{ mA}$ ، $V_{CE} = 0.2 \text{ V}$

سوال 3.5: سوال 3.4 میں V_{BB} کی وہ قیمت حاصل کریں جس پر $V_{CE} = \frac{V_{CC}}{2}$ ہوگا۔

جواب: $V_{BB} = 1.811 \text{ V}$ ، $I_B = 11.11 \mu\text{A}$ ، $I_C = 1.111 \text{ mA}$ ، $V_{CE} = 9 \text{ V}$

سوال 3.6: شکل 3.138 میں

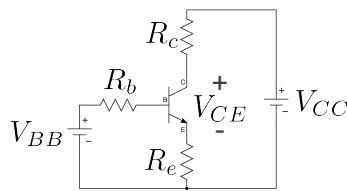
$$V_{CC} = 15 \text{ V} \quad V_{BB} = 3.5 \text{ V} \quad \beta = 99 \\ R_b = 14.7 \text{ k}\Omega \quad R_c = 4 \text{ k}\Omega \quad R_e = 1.47 \text{ k}\Omega$$

لیتے ہوئے V_{CE} ، I_C اور I_B حاصل کریں۔
جوابات: $V_{CE} = 5.528 \text{ V}$ اور $I_B = 17.49 \mu\text{A}$ ، $I_C = 1.73 \text{ mA}$

سوال 3.7: سوال 3.6 میں $V_{BB} = 6 \text{ V}$ کرتے ہوئے اسے دوبارہ حل کریں۔

جوابات: ٹرانزسٹر غیر افزائندہ ہے۔ $V_{CE} = 0.2 \text{ V}$ اور $I_B = 84.03 \mu\text{A}$ ، $I_C = 2.681 \text{ mA}$

سوال 3.8: سوال 3.7 میں ٹرانزسٹر غیر افزائندہ ہے۔ اس صورت میں ٹرانزسٹر کا β کیا ہے۔



شکل 3.138

$$\text{جواب: } \beta = \frac{I_C}{I_B} = 31.9$$

سوال 3.9: شکل 3.137 میں $\beta = 37$ ، $I_C = 1.8182 \mu\text{A}$ ، $V_{CC} = 12 \text{ V}$ اور $R_C = 3.3 \text{ k}\Omega$ ہیں۔ رکھنے کی خاطر درکار R_B اور V_{BB} حاصل کریں۔

سوال 3.10: شکل 3.138 میں $\beta = 37$ ، $V_{CC} = 12 \text{ V}$ اور $R_C = 3.3 \text{ k}\Omega$ ہیں۔ اس طرح کے مسائل سے انجینئر کا عموماً واسطہ پڑتا ہے۔ انجینئر کی صلاحیت یہاں کام آتی ہے۔ موجودہ مسئلہ میں اگر V_{BB} اور R_B میں سے کسی ایک کی قیمت چن لی جائے تو دوسرے کی قیمت اس مساوات سے حاصل کی جا سکتی ہے۔ یوں $V_{BB} = 6 \text{ V}$ جنہی سے $R_B = 107.86 \text{ k}\Omega$ حاصل ہوتا ہے۔

سوال 3.11: شکل 3.138 میں $\beta = 37$ ، $V_{CC} = 12 \text{ V}$ اور $R_C = 3.3 \text{ k}\Omega$ ہیں۔ اور $I_C = 1 \text{ mA}$ رکھنے کی خاطر بقایا اجزاء حاصل کریں۔

جوابات: $V_{BB} = 3.67 \text{ V}$ اور $R_B = 10.26 \text{ k}\Omega$ ، $R_E = 2.7 \text{ k}\Omega$

سوال 3.11: شکل 3.138 میں $\beta = 37$ اور $V_{CC} = 12 \text{ V}$ اور $V_{CEQ} = 6.1 \text{ V}$ حاصل کی جائے۔ اس سے زیادہ رکھنے کی خاطر بار کا خط کھینچیں اور اس سے V_{CEQ} حاصل کریں۔ بقایا تمام اجزاء ہی حاصل کریں۔ ایسا کرتے ہوئے $R_C = 10R_E$ اور $I_C = 1 \text{ mA}$ رکھیں۔

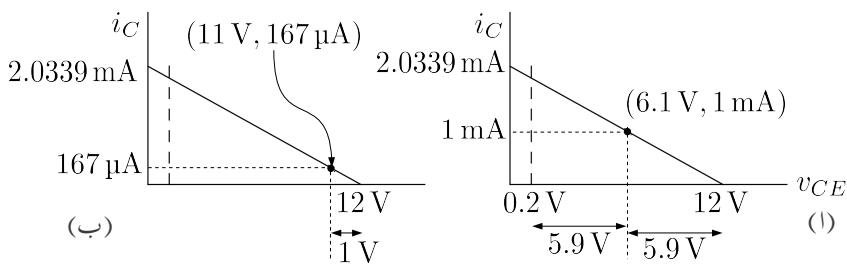
جوابات: بار کے خط کو شکل 3.139 میں دکھایا گیا ہے جس سے $V_{CEQ} = 6.1 \text{ V}$ حاصل ہوتا ہے۔

سوال 3.12: شکل 3.138 میں خارجی اشارے کا حیطہ $\pm 1 \text{ V}$ متوغع ہے۔ دور کو نو وولٹ کے بیٹری سے V_{CC} مہیا کیا جاتا ہے۔ بیٹری کو زیادہ دیر کارامد رکھنے کی خاطر اس سے حاصل یک سختی برقی روکم سے کم رکھا جاتا ہے۔ سوال 3.11 میں حاصل کئے گئے R_E اور R_C استعمال کرتے ہوئے بار کے خط سے I_{CQ} اور V_{CEQ} کا تعین کر کے V_{BB} حاصل کریں۔

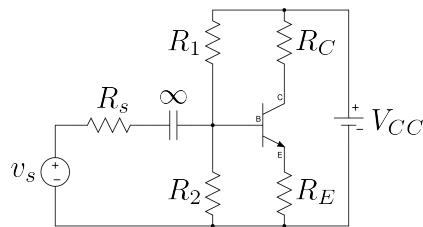
جوابات: بار کے خط کو شکل 3.139 میں دکھایا گیا ہے جس سے $V_{CEQ} = 11 \text{ V}$ اور $I_C = 167 \mu\text{A}$ حاصل ہوتے ہیں۔ یوں $V_{BB} = 0.798 \text{ V}$ حاصل ہوتا ہے۔

سوال 3.13: سوال 3.12 میں R_E کی قیمت R_C سے بہت کم رکھی گئی جس کی وجہ سے V_{BB} کی قیمت بھی بہت کم حاصل ہوئی۔ دیکھتے ہیں کہ V_{BB} کی قیمت کم ہونے سے کیا مسئلہ پیدا ہوتا ہے۔ سوال 3.12 کے دور میں اگر حقیقت میں $V_{BE} = 0.7 \text{ V}$ کے بجائے 0.65 V ہوتا I_C کیا ہوگی۔

جواب: $I_C = 251 \mu\text{A}$ ۔ آپ دیکھ سکتے ہیں کہ V_{BE} میں ذرہ سی تبدیلی سے برقی رو پچاس



شکل 3.139



شکل 3.140

فی صد بڑھ گئی ہے جبکہ ہم چاہتے ہیں کہ ٹرانزسٹر کے خصوصیات تبدیل ہونے سے برق رو میں کم سے کم تبدیلی رو نما ہو۔

سوال 3.14: شکل 3.138 میں $V_{CE} = 5 \text{ V}$ اور $I_C = 1 \text{ mA}$ حاصل کرنی ہے۔ R_E اور R_C کو برابر رکھتے ہوئے R_B کی وہ قیمت حاصل کریں جس سے β کی قیمت 49 تا 149 تبدیل ہونے کے باوجود I_C میں کل دس فی صد سے زیادہ تبدیلی رو نما نہ ہو۔ V_{BB} بھی حاصل کریں۔

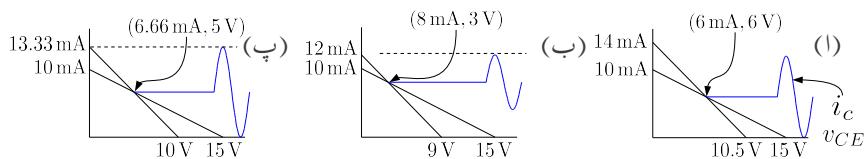
جوابات: $R_E = R_C = 8 \text{ k}\Omega$ ہیں۔ درکار ہے لہذا $\beta = 49 = 0.95 \text{ mA}$ پر برق رو 5% کم یعنی $\beta = 149$ جبکہ 0.95 mA پر برق رو 5% زیادہ یعنی 1.05 mA تصور کرتے ہوئے $V_{BB} = 9.566 \text{ k}\Omega$ ، $R_B = 66.66 \text{ k}\Omega$ حاصل ہوتے ہیں۔

سوال 3.15: سوال 3.14 کے نتائج حاصل کرنے کی خاطر شکل 3.140 میں R_1 اور R_2 حاصل کریں۔

جوابات: $R_2 = 328 \text{ k}\Omega$ ، $R_1 = 83 \text{ k}\Omega$

سوال 3.16: شکل 3.140 میں

$$R_C = 500 \Omega, R_E = 100 \Omega, R_1 = 15 \text{ k}\Omega, R_2 = 4 \text{ k}\Omega, V_{CC} = 10 \text{ V}$$



شکل 3.141:

جبکہ $\beta = 100$ بین-نقطہ کارکردگی حاصل کریں۔ اس دور میں کم β کا ٹرانزسٹر استعمال کرنا ہے۔ ایسا کرتے ہوئے برق رو میں دس فی صد تک کی تبدیلی قابل قبول ہے۔ نئے ٹرانزسٹر کے کم سے کم قابل قبول β کی قیمت حاصل کریں۔

جوابات: $\beta = 68$, $3.57V$, $10.7mA$

سوال 3.17: سوال 3.16 کے تمام مزاحمت اور ٹرانزسٹر کے بیس۔ کلکٹر جوڑ پر برق طاقت کا ضیاع حاصل کریں۔

جوابات: $P_{RE} = 57 \text{ mW}$ اور $P_{RC} = 11.4 \text{ mW}$ لیتے ہوئے $I_C = I_E = 10.7 \text{ mA}$ اور $V_B = 1.77 \text{ V}$ اور یوں $V_E = I_E R_E = 1.07 \text{ V}$ حاصل ہوتا ہے۔

$$P_{R1} = 4.5 \text{ mW} \quad 0.78 \text{ mW} \quad P_{R2} = \frac{V_B^2}{R_2}$$

سوال 3.18: شکل 3.140 میں R_E کے متوازی لامحدود قیمت کا کپیسٹر نسب کیا جاتا ہے۔ $R_C = 37$, $V_{CC} = 15 \text{ V}$, $R_E = 750 \Omega$, 750Ω بین۔

• $I_{CQ} = 6 \text{ mA}$ کی خاطر R_1 اور R_2 حاصل کریں۔

• یک سمتی اور بدلنا بار کا خط کھینچیں اور ان پر تمام ابم نقطیں ظاہر کریں۔

• V_{CEQ} کو نظر انداز کرتے ہوئے، حاصل قیمتون کے استعمال سے خارجی اشارے کا زیادہ سے زیادہ ممکنہ حیطہ کیا ہو گا۔

جوابات:

$$R_2 = 4572 \Omega \quad \text{اور} \quad R_1 = 7566 \Omega \quad \text{اور} \quad V_{BB} = 5.65 \text{ V}$$

• $V_{CEQ} = 6 \text{ V}$ ، شکل 3.141 الف میں یک سمتی اور بدلنی رو، بار کے خط دکھائے گئے ہیں۔ بدلنی رو، بار کے خط کی ڈھلوان $\frac{1}{750}$ ہے اور یہ یک سمتی رو، بار کے خط کو نقطہ کارکردگی پر ٹکراتا ہے۔

• شکل سے i_c کا حیطہ $i_c = 6 \text{ mA}$ تک ممکن ہے۔ i_c کی منفی چوٹی پہلے تراشی جائے گی۔

سوال 3.19: سوال 3.18 میں $I_{CQ} = 9 \text{ mA}$ رکھتے ہوئے i_c کا زیادہ سے زیادہ حیطہ کیا ممکن ہے۔ حل: شکل 3.141 ب میں یک سمتی اور بدلنی رو خطوط دکھائے گئے ہیں جہاں سے i_c کا زیادہ سے زیادہ حیطہ 4 mA تک ممکن ہے۔ i_c کی مشتبہ چوٹی پہلے تراشی جائے گی۔

سوال 3.20: سوال 3.18 میں نقطہ کارکردگی کس مقام پر رکھنے سے i_c کا حیطہ زیادہ سے زیادہ حاصل کرنا ممکن ہوگا۔ اس حیطے کی قیمت حاصل کریں۔
 حل: ($I_{CQ} = 6.66 \text{ mA}, 5 \text{ V}$) درکار نقطہ کارکردگی ہے۔ جیسے شکل 3.141 پ میں دکھایا گیا ہے i_c کا زیادہ سے زیادہ حیطہ 6.66 mA ہوگا۔ i_c کا حیطہ مزید بڑھانے سے دونوں جانب تراشا جائے گا۔

الباب 4

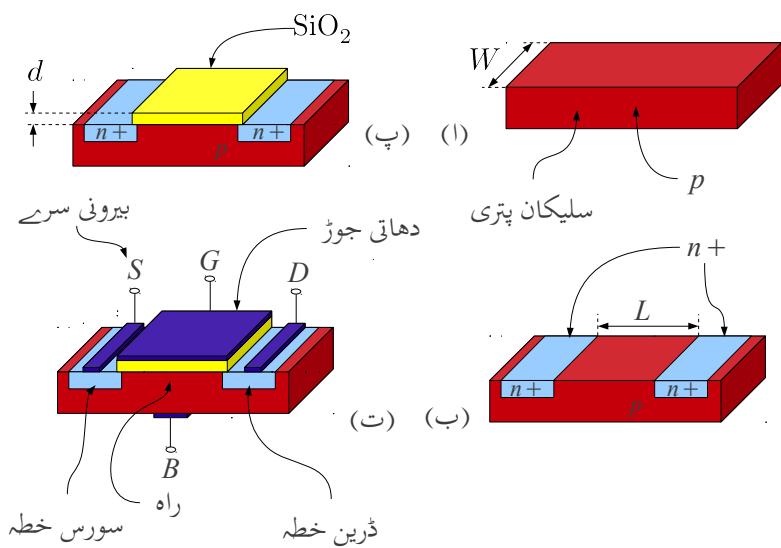
میدانی ٹرانزسٹر

دو جوڑ ٹرانزسٹر کی طرح میدانی ٹرانزسٹر یا فیٹ FET بھی اپنے دو سروں کے مابین برق روکا گزر قابو کرنے کی صلاحیت رکھتا ہے۔ یوں ابھی بطور ایمپلیفائر یا برق سوچ استعمال کیا جا سکتا ہے۔ میدانی ٹرانزسٹر کے دو سروں کے مابین برق میدان کی شدت¹ اس میں برق روکے گزر کو قابو کرتا ہے۔ اسی سے اس کا نام میدانی ٹرانزسٹر نکلا ہے۔ میدانی ٹرانزسٹر n یا p قسم کا بنانا ممکن ہوتا ہے۔ n قسم فیٹ میں برق روکا گزر بذریعہ منفی چارج جوں جبکہ p قسم کے فیٹ میں بذریعہ مشتمل چارج جوں ہوتا ہے۔ میدانی ٹرانزسٹر کے کئی اقسام بین جن میں ماسفیٹ MOSFET سب سے زیادہ مقبول ہے۔ بقایا اقسام کے ٹرانزسٹروں کے نسبت ماسفیٹ کا بنانا نسبتاً آسان ہے۔ مزید یہ کہ ماسفیٹ کم رقبہ پر بنتا ہے اور یوں انہیں استعمال کرتے ہوئے سلیکان کی پتی پر زیادہ گھنٹے ادوار بنانا ممکن ہوتا ہے۔ مخلوط عددی ادوار صرف ماسفیٹ استعمال کرتے ہوئے تخلیق دینا ممکن ہے یعنی ایسے ادوار مزاحمت یا ڈائیڈ کے استعمال کے بغیر بنائے جا سکتے ہیں۔ انہیں وجوبات کی بنا پر جدید عددی مخلوط ادوار² مثلاً مائیکروپروسیسروں³ اور حافظہ⁴ ماسفیٹ سے ہی تخلیق دئے جاتے ہیں۔ اس باب میں ماسفیٹ MOSFET پر بالخصوص اور جوڑ دار فیٹ JFET پر بالعموم غور کیا جائے گا۔

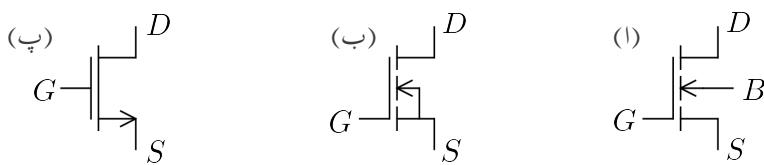
4.1 n ماسفیٹ کی ساخت (بڑھاتا n ماسفیٹ)

شکل 4.1 میں n ماسفیٹ بتتے ہوئے دکھایا گیا ہے۔ اس شکل میں وضاحت کی غرض سے ماسفیٹ کے مختلف حصے بڑھا کر دکھائے گئے ہیں جن کا ماسفیٹ کے حقیقی جسامت سے کوئی تعلق نہیں۔ اگرچہ شکل میں سلیکان کی پتی کی موٹائی کو کم دکھایا گیا ہے حقیقت میں یہ ماسفیٹ کے جسامت سے اتنی موٹی ہوتی ہے کہ اس کے موٹائی کو ماسفیٹ کی جسامت کے لحاظ سے لاحدہ تصور کیا جاتا ہے۔ شکل

electric field intensity¹
digital integrated circuits²
microprocessor³
memory⁴



شکل 4.1: n-میافیٹ کی ساخت

شکل 4.2: n پڑھاتا ماسفیٹ کی مختلف علامتیں

4.1 الف میں مشتبہ یعنی p قسم کے سلیکان⁵ کی پتی جس کی چوڑائی W ہے سے شروع کیا گیا ہے۔ سلیکان پتی کی موٹائی ماسفیٹ کے وجود سے بہت زیادہ بوتی ہے لہذا سلیکان پتی کی موٹائی کو لاحدود تصور کیا جاتا ہے۔ جیسا شکل ب میں دکھایا گیا ہے، اس پتی میں دو جگہ دوری جدول⁶ کے پانچویں گروہ، یعنی n قسم کے ایشموں کے نفوذ سے ملاوٹ کر کر $n+$ خطے بنائے گئے ہیں۔ ان خطوں میں n ایشموں کی عددی کثافت عام حالات سے کمی زیادہ رکھی جاتی ہے۔ اسی لئے انہیں n کے بجائے $n+$ خطے کہا گیا ہے۔ ان دو $n+$ خطوں کے مابین فاصلہ L ہے۔ شکل پ میں p قسم کی سلیکان کی پتی کے اوپر، دو $n+$ خطوں کے مابین SiO_2 اگایا جاتا ہے۔ SiO_2 انتہائی بہتر غیر موصل ہے۔ اگائے گئے SiO_2 کی موٹائی d ہے۔ شکل ت میں $n+$ خطوں کے علاوہ SiO_2 کے اوپر اور سلیکان پتی کے نچلے سطح پر برق جوڑ بنانے کی غرض سے دھات جوڑا گیا ہے۔ ان چاروں دھاتی سطحوں کے ساتھ برق نار جوڑ کر انہیں بطور ماسفیٹ کے بیرونی سروں کے استعمال کیا جاتا ہے۔ ان بیرونی برق سروں کو سورس، گیٹ⁷، ڈرین اور بدن⁸ کہا جائے گا اور انہیں S ، G ، D اور B سے پہچانا جاتا ہے۔ شکل 4.2 میں ماسفیٹ کی مختلف علامتیں دکھائی گئی ہیں۔ عموماً بدن⁹ کو سورس کے ساتھ جوڑ کر باہر ان دونوں کے لئے ایک ہی سرانکالا جاتا ہے جسے سورس تصور کیا جاتا ہے۔ ایسی صورت میں ماسفیٹ کے تین سرے پائے جائیں گے۔ شکل پ میں اسی کی علامت دکھائی گئی ہے۔ جہاں تیر کا نشان ماسفیٹ میں سے گزرتے برق رو کی صحیح سمت دکھاتا ہے۔ اس کتاب میں عموماً ماسفیٹ کو تین سروں کا ہی تصور کیا گیا ہے۔

بدن اور ڈرین pn ڈائیوڈ بناتے ہیں۔ اسی طرح بدن اور سورس ہی pn ڈائیوڈ بناتے ہیں۔ بدن اور سورس کو ایک ساتھ جوڑنے سے بدن اور سورس کے درمیان ڈائیوڈ قصر دور ہو جاتا ہے اور ساتھ ہی ساتھ بدن اور ڈرین کے درمیان ڈائیوڈ سورس اور ڈرین کے درمیان جڑ جاتا ہے۔ شکل 4.2 پ میں اگرچہ سورس سے ڈرین ڈائیوڈ نہیں دکھایا گیا لیکن یہ یاد رکھنا ضروری ہے کہ ایسا ڈائیوڈ پایا جاتا ہے۔ اسے عموماً استعمال بھی کیا جاتا ہے۔

جیسا کہ آپ دیکھیں گے گیٹ اور سورس سروں کے مابین برق دباؤ کی شدت¹⁰ کے ذریعہ سلیکان کی

silicon⁵periodic table⁶gate⁷

8

body⁹

MOSFET¹⁰ کو نام کئے پہلے تین مخفف یعنی MOS اس کی ساخت یعنی Metal Oxide Semiconductor میں حاصل کئے گئے ہیں جیکہ بقاہا مخفف یعنی برقی دباؤ کی شدت سے چلتے کے عمل یعنی Field Effect Transistor سے لئے گئے ہیں۔

پتی میں، گیٹ کے نیچے، سورس اور ڈرین خطوں کے مابین برق روکے لئے راہ¹¹ پیدا کی جاتی ہے۔ اس راہ کے مقام کو شکل ت میں دکھایا گیا ہے۔ سورس اور ڈرین سروں کے مابین برق دباو لاگو کرنے سے اس راہ میں برق روکا گزر ہوتا ہے۔ جیسا کہ شکل سے واضح ہے اس راہ کی لمبائی L اور چوڑائی W ہو گی۔ راہ کی لمبائی عموماً $1\text{ }\mu\text{m}$ تا $10\text{ }\mu\text{m}$ جبکہ اس کی چوڑائی $2\text{ }\mu\text{m}$ تا $500\text{ }\mu\text{m}$ ہوتی ہے۔

دو جوڑ ٹرانزسٹر میں بیس پر لاگو برق روکی مدد سے ٹرانزسٹر میں برق روکے ہہا کو قابو کیا جاتا ہے جہاں بیس میں $\frac{C}{\beta}$ برق رو درکار ہوتی ہے۔ اس کے بر عکس ماسفیٹ کے گیٹ اور بقاہی حصوں کے درمیان غیر موصل SiO_2 پایا جاتا ہے جس میں برق روکا گزر تقریباً ناممکن ہوتا ہے۔ حقیقت میں گیٹ میں یک سختی برق روکی مقدار¹⁵ 10^{-15} A ایمپیئر کے لگ بھگ ہوتی ہے جو ایک قابل نظر انداز مقدار ہے۔

دو جوڑ ٹرانزسٹر کے بر عکس میدانی ٹرانزسٹروں میں دونوں $n+$ خطے بالکل یکساں ہوتے ہیں اور ان میں کسی ایک کو بطور سورس اور دوسرے کو ڈرین خطے استعمال کیا جا سکتا ہے۔

اگرچہ موجودہ کئی اقسام کے میدانی ٹرانزسٹروں کے ساخت مندرجہ بالا بتائے ساخت سے مختلف ہوتے ہیں (جیسے ان میں عموماً دهات کے بجائے دیگر مصنوعی اجزاء استعمال کئے جاتے ہیں) ہم پھر بھی انہیں ماسفیٹ پکاریں گے۔

4.2 n ماسفیٹ کی بنیادی کارکردگی

4.2.1 گیٹ پر برقی دباو کی عدم موجودگی

n ماسفیٹ، جسے ہم اس کتاب میں منفی ماسفیٹ بھی کہیں گے، کے گیٹ پر برقی دباو لاگو کئے بغیر اسے دو آپس میں اللشے جڑے ڈائیوڈ تصویر کیا جا سکتا ہے جہاں p سلیکان پتی (بدن) اور $n+$ سورس پہلا ڈائیوڈ اور اسی طرح p سلیکان پتی (بدن) اور $n+$ ڈرین دوسرا ڈائیوڈ ہے۔ یہ دو اللشے جڑے ڈائیوڈ ڈرین اور سورس سروں کے مابین برق روکے گزر کو ناممکن بناتے ہیں۔ اس صورت میں ان دو سروں کے مابین نہایت زیادہ مزاحمت (تقریباً $10^{12}\text{ }\Omega$) پائی جاتی ہے۔

شکل 4.3 الف میں ماسفیٹ کا گیٹ آزاد رکھ کر اس کے سورس اور ڈرین سروں کے مابین برقی دباو v_{DS} لاگو کیا گیا ہے۔ مزید یہ کہ ان کے بدن اور ڈرین دونوں سروں کو برقی زمین پر رکھا گیا ہے۔

4.2.2 گیٹ کے ذریعہ برقی روکے لئے راہ کی تیاری

شکل 4.3 ب میں بدن اور سورس کو برقی زمین پر رکھتے ہوئے گیٹ پر برقی دباو v_{GS} مہیا کیا گیا ہے۔ گیٹ پر مشتمل برقی دباو p قسم کی سلیکان پتی میں آزاد خول کو دور دھکیلتا ہے جبکہ یہاں موجود آزاد اقلیتی الیکٹران کو گیٹ کی جانب کھینچتا ہے۔ مزید یہ کہ اس برقی دباو کی وجہ سے دونوں $n+$ خطوں میں موجود (ضرورت سے زیادہ تعداد میں) آزاد الیکٹرانوں کو بھی گیٹ کے نیچے کھینچا جاتا ہے۔ اگر گیٹ پر مشتمل برقی دباو بتدریج بڑھایا جائے تو گیٹ کے نیچے p سلیکان میں الیکٹرانوں کی تعداد بڑھتی ہے اور آخر کار الیکٹرانوں کی تعداد خلوں کی تعداد سے بھی زیادہ ہو جاتی ہے۔ اس عمل سے p خطہ الثا ہو کر n خطہ بن جاتا ہے۔ ایک قسم کے سلیکان سے زبردستی دوسری قسم کی سلیکان بنانے کے

عمل کو الثاکرنا¹² کہتے ہیں اور ایسے الثاکرے گئے خطے کو الثاخطے¹³ کہا جاتا ہے۔ گیٹ پر برق دباؤ بڑھانے سے گیٹ کے نیچے الثاخطے ہی بڑھتا ہے اور آخر کار یہ سورس سے ڈرین تک پہل جاتا ہے۔ یوں سورس سے ڈرین تک n قسم کی راہ وجود میں آتی ہے۔ جیسے ہی سورس اور ڈرین خطوں کے مابین راہ پیدا ہوتا ہے ان خطوں کے مابین برق روکا گز مرکن ہو جاتا ہے۔ جس برق دباؤ پر ایسا ہو جائے اس کو دبلیز برق دباؤ¹⁴ V_t کہتے ہیں۔ شکل ب میں یوں پیدا کیا گیا راہ دکھایا گیا ہے۔ حقیقت میں V_t سے ذرا سی زیادہ برق دباؤ پر برق روکا گز مرکن ہوتا ہے۔ یوں ہم کہہ سکتے ہیں کہ گیٹ پر V_t یا اس سے کم برق دباؤ کی صورت میں ٹرانزسٹر غیر چالو یا منقطع رہتا ہے جبکہ گیٹ پر V_t سے زیادہ برق دباؤ کی صورت میں ٹرانزسٹر چالو یا غیر منقطع رہتا ہے یعنی

$$(4.1) \quad \begin{array}{ll} v_{GS} \leq V_t & \text{منقطع} \\ v_{GS} > V_t & \text{چالو یا غیر منقطع} \end{array}$$

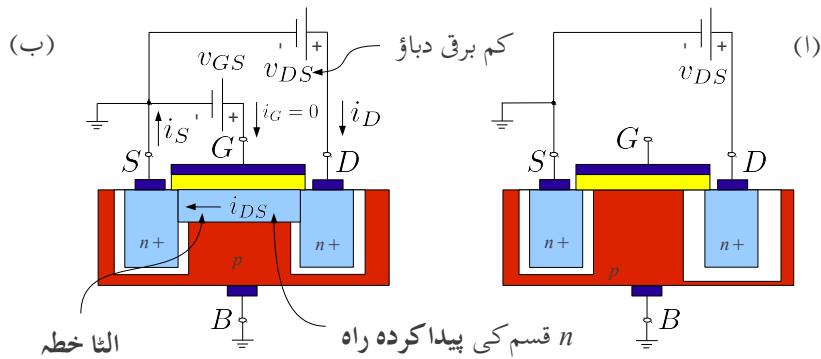
یوں $v_{GS} = V_t$ کو دبلیز تصور کیا جا سکتا ہے جس کی ایک جانب ماسفیٹ چالو جبکہ اس کی دوسری جانب ماسفیٹ منقطع رہتا ہے۔ چالو ماسفیٹ کے ڈرین اور سورس سروں کے مابین برق دباؤ لاگو کرنے سے پیدا کردہ راہ میں برق رو i_D گز رہے گی۔ چونکہ گیٹ کی برق رو کی قیمت صفر ہے لہذا ڈرین سرے پر برق رو i_D اور سورس سرے پر برق رو i_S کی قیمتیں برابر ہوں گی یعنی

$$(4.2) \quad \begin{array}{l} i_G = 0 \\ i_D = i_S = i_{DS} \end{array}$$

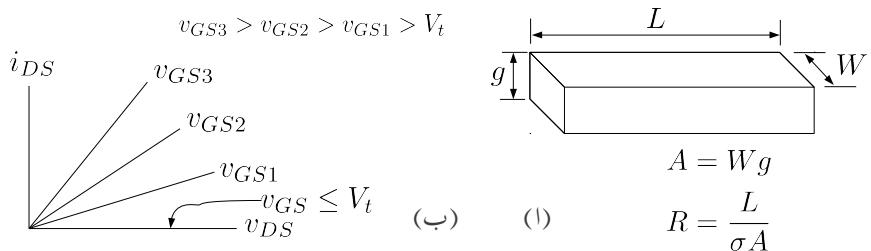
دھیان رہے کہ p قسم کی سلیکان پتی پر n قسم کا راہ پیدا ہوتا ہے اور ایسے ٹرانزسٹر کا پورا نام n ماسفیٹ nMOSFET ہے جہاں n اس پیدا کردہ راہ کے قسم کو بتلاتا ہے۔ n راہ میں برق رو کا وجود الیکٹرونوں کے حرکت کی بدولت ہے جو سورس سے راہ میں داخل ہو کر ڈرین تک سفر کرتے ہیں۔ اس کو یوں بھی کہا جا سکتا ہے کہ الیکٹران سورس سے راہ میں خارج ہوتے ہیں اور ڈرین پر راہ سے حاصل کئے جاتے ہیں۔ اسی سے ماسفیٹ کے ان دو خطوں کے نام سورس¹⁵ اور ڈرین¹⁶ نکلے ہیں۔ جیسے آپ آگئے دیکھیں گے، ماسفیٹ کے گیٹ کی مدد سے ماسفیٹ میں برق رو کو قابو کیا جاتا ہے۔ اسی سے گیٹ کا نام نکلا ہے۔ جیسا کہ اوپر ذکر ہوا، لاگو کئے بغیر V_t یا اس سے زیادہ v_{GS} لاگو کرنے سے n قسم کا راہ پیدا ہوتا ہے۔ اس پیدا کردہ راہ کو شکل 4.4 الف میں دکھایا گیا ہے۔ گیٹ پر لاگو برق دباؤ کو V_t سے مزید بڑھانے سے گیٹ کے نیچے الیکٹرانوں کی تعداد مزید بڑھتی ہے اور یوں پیدا کردہ راہ کی گہرائی¹⁸ بڑھتی ہے۔ یوں اس قسم کے ماسفیٹ کو n بڑھاتا ماسفیٹ¹⁸ کہتے ہیں۔ شکل الف میں پیدا کردہ راہ اور اس کی مزاحمت R دکھائی گئی ہے جہاں n قسم کے راہ کے موصلیت کا مستقل¹⁹ σ ہے۔ گیٹ پر v_{GS1} برق دباؤ (جہاں V_{GS1} کی قیمت

inversion¹²
inversion layer¹³
threshold voltage¹⁴
source¹⁵
drain¹⁶

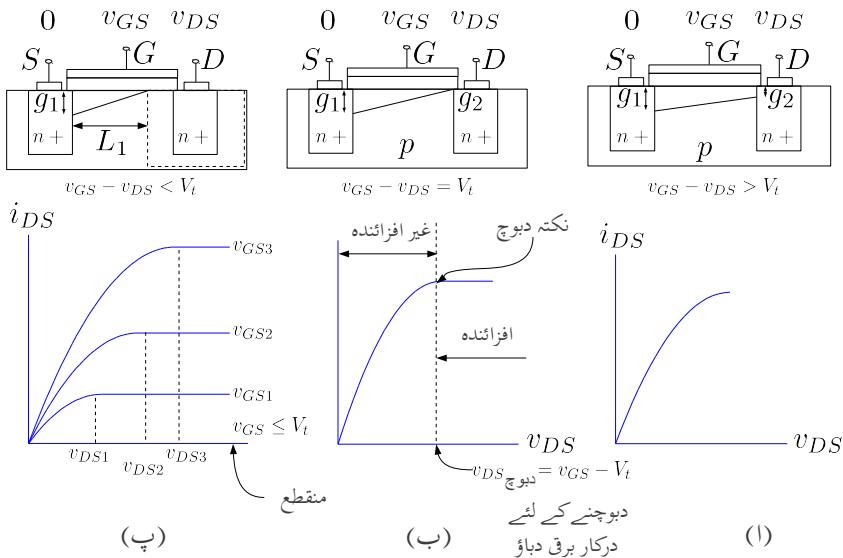
¹⁷ جس مقام سے کوئی چیز خارج ہو، اس کو انگریزی میں سورس کہتے ہیں اور جہاں سے نکالی ہو اس کو ڈرین کہتے ہیں۔
¹⁸ enhancement nMOSFET¹⁸
¹⁹ conductivity¹⁹



شكل 4.3: برقی راہ کا وجود پیدا ہونا



شكل 4.4: پیدا کردہ راہ کی مزاحمت



شکل 4.5: پیدا کردہ راہ کی گھرائی اور n بڑھانے ماسفیٹ کے خط

زیادہ ہے) سے پیدا کردہ راہ کو مزاحمت R تصور کرتے ہوئے ہم دیکھتے ہیں کہ اس پر لمبائی کی جانب کوڑا سا برق دباو v_{DS} لاگو کرنے سے اس میں برق رو i_{DS} گزرنے گی۔ شکل 4.4 ب میں انہیں گراف کیا گیا ہے جہاں خط کے قریب لکھ کر اس بات کی یاد دبانی کرائی گئی ہے کہ راہ کو V_{GS1} برق دباو سے حاصل کیا گیا ہے۔ گیٹ پر برق دباو V_{GS} بڑھانے سے پیدا کردہ راہ کی گھرائی 8 بڑھتی ہے جس سے اس کی مزاحمت R کم ہوتی ہے اور یوں $v_{DS} - i_{DS}$ کے گراف کا ڈھلوان بڑھتا ہے۔ اس حقیقت کو شکل ب میں دکھایا گیا ہے جہاں گیٹ پر نسبتاً زیادہ برق دباو یعنی v_{GS2} لاگو کرنے ہوئے $v_{DS} - i_{DS}$ کا خط گراف کیا گیا ہے۔ اسی طرح گیٹ پر برق دباو کو مزید بڑھا کر v_{GS3} کرتے ہوئے ہمیں $v_{DS} - i_{DS}$ کا خط گراف کیا گیا ہے۔

سورس خط کو برق زمین پر رکھتے ہوئے گیٹ پر لاگو برق دباو جیسے ہی V_t سے تجاوز کر جائے، سورس اور ڈرین خطوں کے درمیان راہ پیدا ہو جاتی ہے۔ یوں پیدا کردہ راہ کی گھرائی 8 گیٹ پر V_t سے اضافی برق دباو ($v_{GS} - V_t$) پر منحصر ہوتی ہے۔

یاد رہے کہ گیٹ کے نیچے کسی بھی نقطے پر p قسم سلیکان کی پتی میں n قسم کی راہ پیدا کرنے کی خاطر یہ ضروری ہے کہ اس نقطے پر گیٹ اور سلیکان کی پتی کے مابین کم از کم V_t برق دباو پایا جائے۔ اگر گیٹ اور سلیکان پتی کے مابین V_t برق دباو پایا جائے تو پیدا کردہ راہ کی گھرائی لاحدہ کم ہو گی۔ پیدا کردہ راہ کی گھرائی گیٹ اور سلیکان پتی کے مابین V_t سے اضافی برق دباو پر منحصر ہے۔

شکل 4.5 الف میں سورس خطہ برقی زمین یعنی صفر وولٹ پر ہے جبکہ گیٹ پر v_{GS} برقی دباؤ ہے۔ یوں یہاں گیٹ اور سلیکان پتی کے مابین ($v_{GS} - 0 = v_{GS}$) برقی دباؤ پایا جاتا ہے اور پیدا کردہ راہ کی گھرائی اضافی برقی دباؤ یعنی ($v_{GS} - V_t$) پر منحصر ہو گئی جس سے شکل میں 81 کھاگیا ہے۔ اسی شکل میں ڈرین خطہ v_{DS} وولٹ پر ہے اور یوں یہاں پیدا کردہ راہ کی گھرائی ($v_{GS} - v_{DS} - V_t$) کے اضافی برقی دباؤ پر منحصر ہو گئی جس سے شکل میں 82 کھاگیا ہے۔ آپ دیکھ سکتے ہیں کہ 82 کی مقدار v_{DS} سے کم ہے۔ یوں پیدا کردہ راہ تکونی شکل اختیار کر لے گا۔ v_{DS} کی مقدار صرف ہونے کی صورت میں 81 اور 82 برابر ہوتے ہیں اور پیدا کردہ راہ کی مزاحمت یعنی چالو ماسفیٹ کی مزاحمت

$$(4.3) \quad \frac{\text{لمبائی}}{\text{رقبہ} \times \text{موصلیت کا مستقل}} = \frac{L}{\sigma Wg}$$

کے برابر ہوتی ہے۔ v_{DS} کی مقدار صفر وولٹ سے بڑھانے سے 82 کم ہوتا ہے اور پیدا کردہ راہ کی مزاحمت بڑھتی ہے جس سے $v_{DS} - i_{DS}$ خط کی ڈھلوان کم ہو گئی۔ شکل الف میں بڑھتے v_{DS} کے ساتھ $v_{DS} - i_{DS}$ خط کی ڈھلوان بتدریج کم ہوتی ڈکھائی گئی ہے۔

آپ دیکھ سکتے ہیں کہ v_{DS} کو بڑھا کر 82 کی مقدار صفر کی جا سکتی ہے جیسے شکل ب میں ڈکھایا گیا ہے۔ ہم کہتے ہیں کہ پیدا کردہ راہ دبوج^{20} دی گئی ہے۔

سورس خطے کو برقی زمین اور گیٹ کو v_{GS} برقی دباؤ پر رکھتے ہوئے اگر v_{DS} بڑھایا جائے تو ڈرین خطے کے بالکل قریب گیٹ اور سلیکان پتی کے مابین $v_{DS} - v_{GS}$ برقی دباؤ پایا جائے گا اور جب تک یہ برقی دباؤ V_t سے زیادہ رہے یہاں n قسم کی راہ برقرار رہے گی۔ اگر $v_{DS} - v_{GS}$ کی قیمت V_t سے کم ہو تو ڈرین کے قریب راہ کا بنتا ممکن نہیں ہو گا۔ جب

$$(4.4) \quad v_{GS} - v_{DS} = V_t$$

ہو جائے تو ہم کہتے ہیں کہ پیدا کردہ راہ دبوج دی گئی ہے اور جس v_{DS} پر ایسا ہوا سے پیدا کردہ راہ v_{DS} کے لئے درکار برقی دباؤ دبوج کہتے ہیں۔ مساوات 4.4 سے

$$(4.5) \quad V_{DS} = v_{GS} - V_t$$

حاصل ہوتا ہے۔ مساوات 4.4 میں $v_{DS} = v_D - v_S$ اور $v_{GS} = v_G - v_S$ لکھتے ہوئے

$$(v_G - v_S) - (v_D - v_S) = V_t \\ v_G - v_D = V_t$$

حاصل ہوتا ہے جس میں $v_{GD} = v_G - v_D$ لکھ کر

$$(4.6) \quad v_{GD} = V_t$$

لکھا جا سکتا ہے۔

pinch off²⁰

یہاں ایسا محسوس ہوتا ہے کہ پیدا کردہ راہ کی گھرائی صفر ہوتے ہی (یعنی راہ دبوخت ہی) راہ کی مزاحمت لا محدود ہو جائے گی اور ٹرانزسٹر میں برقی روکا گزرننا ناممکن ہو جائے گا۔ حقیقت میں ایسا نہیں ہوتا۔ جب تک v_{DS} کی قیمت دبوچ سے کم رہے، اسے بڑھانے سے i_{DS} بتدریج بڑھتا ہے مگر چونکہ v_{DS} بڑھانے سے پیدا کردہ راہ کی مزاحمت بھی بڑھتی ہے لہذا i_{DS} کے بڑھنے کی شرح بتدریج کم ہوتی ہے۔ v_{DS} پر ٹرانزسٹر میں گزرنی برقی روکی قیمت دبوچ i_{DS} کھلاقی ہے اور اگر v_{DS} کو دبوچ سے بڑھایا جائے تو دیکھا جاتا ہے کہ ٹرانزسٹر سے گزرتی برقی رو مستقل دبوچ i_{DS} کے برابر ہی رہتی ہے اور اس میں کسی قسم کا اضافہ نہیں آتا۔ یہ تمام شکل ب میں دکھایا گیا ہے۔

شکل 4.5 ب میں ٹرانزسٹر کے افزائندہ اور غیر افزائندہ خطے بھی دکھائئے گئے ہیں۔ یہ دو جو ٹرانزسٹر کے نوعیت کے ہی ہیں۔ شکل 4.5 پ میں مختلف گیٹ کے برقی دباو پر $i_{DS} - v_{DS}$ کے خط کھینچے گئے ہیں اور ان کے نقطہ دبوچ پر برقی دباو کو v_{DS1} اور v_{DS2} اور v_{DS3} سے کم ہو تک راہ وجود میں نہیں ہے۔ سورس خطے برقی زمین پر رکھتے ہوئے اگر گیٹ پر برقی دباو V_t سے کم ہو تو اسے گزرتی برقی روکی قیمت صفر رہتی ہے۔ منقطع صورت بھی اسی شکل میں دکھایا گیا ہے۔

n ماسفیٹ کے ان نتائج کو یہاں ایک جگہ لکھتے ہیں۔

منقطع

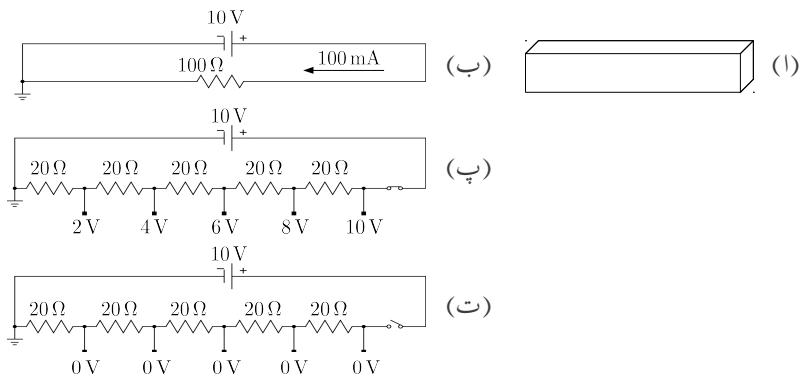
$$(4.7) \quad v_{GS} \leq V_t$$

جالو

$$(4.8) \quad \begin{array}{ll} v_{GS} - v_{DS} \geq V_t & \text{غیر افزائندہ} \\ v_{GS} - v_{DS} = V_t & \text{نقطہ دبوچ} \\ v_{GS} - v_{DS} \leq V_t & \text{افزائندہ} \end{array}$$

انہیں مساوات کو یوں

$$(4.9) \quad \begin{array}{ll} v_{GS} \leq V_t & \text{منقطع} \\ v_{DS} \leq v_{GS} - V_t & \text{غیر افزائندہ} \\ v_{DS} = v_{GS} - V_t & \text{نقطہ دبوچ} \\ v_{DS} \geq v_{GS} - V_t & \text{افزائندہ} \end{array}$$



شكل 6.4: پیدا کردہ راہ میں مختلف مقامات پر برقی دباؤ

یا یوں

$$\begin{aligned}
 v_{GS} &\leq V_t && \text{منقطع} \\
 v_{GD} &\geq V_t && \text{غیر افزائندہ} \\
 v_{GD} &= V_t && \text{نقطہ دبوج} \\
 v_{GD} &\leq V_t && \text{افزائندہ}
 \end{aligned} \tag{4.10}$$

بھی لکھا جا سکتا ہے۔ یاد رہے کہ افزائندہ یا غیر افزائندہ خطے بننے کے لئے لازمی ہے کہ ماسفیٹ چالو (بعنی غیر منقطع) ہو۔ ماسفیٹ کو افزائندہ خطے میں رکھ کر ایمپلیفیائر بنایا جاتا ہے۔

مثال 4.1: شکل 4.6 الف میں n ماسفیٹ کے پیدا کردہ راہ کو بطور سو اُہم (100Ω) کے موصل سلاخ دکھایا گیا ہے جس پر لمبائی کے جانب دس وولٹ (10V) برق دباؤ لاگو کیا گیا ہے۔ مسئلہ کو سادہ رکھنے کی خاطر پیدا کردہ راہ کے ترجیح پن کو نظر انداز کریں۔

1. پیدا کردہ راہ کے مختلف مقامات پر برقی دباؤ حاصل کریں۔

2. اگر $V_t = 3V$ اور $v_{GS} = 15V$ ہوں تب پیدا کردہ راہ کا صورتِ حال کیا ہو گا۔

3. اگر $V_t = 3V$ اور $v_{GS} = 11V$ ہوں تب پیدا کردہ راہ کا صورتِ حال کیا ہو گا۔

حل:

1. موصل سلاخ کو ایک مزاحمت تصویر کیا جا سکتا ہے۔ یوں اس مسئلہ کو شکل ب کے طرز پر پیش کیا جا سکتا ہے جس میں 100 mA برق رو پیدا ہو گی۔ مزید یہ کہ سو اوبس کی مزاحمت کو کئی مزاحمت سلسلہ وار جزئے تصویر کیا جا سکتا ہے۔ شکل پ میں اسے چار عدد 20Ω سلسلہ وار جزئے تصویر کیا گیا ہے جہاں بر جوڑ پر برق دباؤ بھی دکھایا گیا ہے۔

2. چونکہ ڈرین سرے پر

$$v_{GS} - v_{DS} = 15 - 10 = 5 > V_t$$

ہے لہذا یہاں پیدا کردہ راہ وجود میں آئے گا اور ٹرانزسٹر میں برق رو کا گزر ممکن ہو گا۔

3. چونکہ ڈرین سرے پر

$$v_{GS} - v_{DS} = 11 - 10 = 1 < V_t$$

ہے لہذا پیدا کردہ راہ دبوچا جائے گا۔ اگر ایسا ہونے سے پیدا کردہ راہ کی مزاحمت لامحدود ہو جائے اور اس میں برق رو کی مقدار صفر ہو جائے تو صورت حال شکل ت کے مانند ہو گی جہاں ڈرین سرے پر لامحدود مزاحمت کو بطور منقطع کئے گئے برق سوچ دکھایا گیا ہے۔ آپ دیکھ سکتے ہیں کہ برق رو کی عدم موجودگی میں پیدا کردہ راہ میں بر مقام پر برق دباؤ کی مقدار صفر وولٹ (0V) ہو جائے گی اور یوں ڈرین سرے پر بھی صفر وولٹ بول جس سے

$$v_{GS} - v_{DS} = 11 - 0 = 11 > V_t$$

ہو گا اور یوں برق رو کا گزر ممکن ہو گا۔

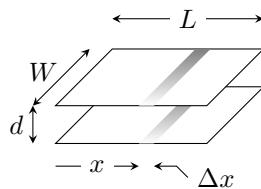
مندرجہ بالا دو نتائج متضاد ہیں۔ پہلے نتیجے کے مطابق برق رو کا گزر نا ممکن ہے جبکہ دوسرا نتیجے کے مطابق، اس کے برعکس، برق رو کا گزر ممکن ہے۔ حقیقی صورت حال کو شکل 4.5 پ میں دکھایا گیا ہے جہاں آپ دیکھ سکتے ہیں کہ پیدا کردہ راہ کے دبوچنے کا مقام تبدیل ہو چکا ہے اور یوں پیدا کردہ راہ کی لمبائی قدر کم ہو گئی ہے اور ساتھ ہی ساتھ ڈرین سرے پر ویران خطہ اتنا بڑھ گیا ہے کہ ایک جانب یہ ڈرین خطے کو اور دوسری جانب پیدا کردہ راہ کو چھوٹا ہے۔ چونکہ نقطہ دبوچ پر گیٹ اور پیدا کردہ راہ کے مابین V_t برق دباؤ پایا جاتا ہے لہذا نقطہ دبوچ پر

$$v_{DS} = v_{GS} - V_t$$

ہو گا اور ڈرین۔سورس سروں کے مابین اضافی برق دباؤ ($v_{DS} - v_{GS}$) ویران خطہ برداشت کری گا۔

پیدا کردہ راہ پر لاگو برق دباؤ (v_{DS}) اس میں برق رو پیدا کرے گا جو کہ سورس سے ڈرین جانب الیکٹران کے ہاو سے پیدا ہو گا۔ یہ الیکٹران نقطہ دبوچ پر ہنچتے ہی ویران خطے میں داخل ہوں گے۔ ویران خطے میں آزاد الیکٹران نہیں ہٹر سکتے اور انہیں ڈرین خطے میں دھکیل دیا جاتا ہے۔ یوں الیکٹران سورس سرے سے روان ہو کر ڈرین سرے ہنچ کر v_{DS} پیدا کرتے ہیں۔

شکل پ میں گیٹ پر مختلف برق دباؤ کے لئے ماسفیٹ کے خط گراف کئے گئے ہیں۔



شکل 4.7: گیٹ اور راہ بطور دو چادر کپیسٹر کردار ادا کرتے ہیں۔

4.3 n ماسفیٹ کی مساوات

مندرجہ بالا تذکرے کو مد نظر رکھتے ہوئے $i_{DS} - v_{DS}$ ماسفیٹ کی n مساوات حاصل کرتے ہیں۔ ایسا کرتے وقت سورس سری کو برق زمین (یعنی صفر ولٹ) پر رکھا جائے گا جبکہ گیٹ کو v_{GS} اور ڈرین سری کو v_{DS} پر رکھا جائے گا۔ مزید یہ کہ $v_{GS} - v_{DS} > V_t$ رکھا گیا ہے۔ پیدا کردہ راہ میں سورس سے ڈرین خطے کی جانب فاصلے کو x لیتے ہوئے سورس جانب $x = 0$ اور برقی دباؤ صفر ولٹ ہو گا جبکہ ڈرین جانب $L = x$ اور برقی دباؤ v_{DS} ہو گا۔ ان دو حدود کے درمیان کسی بھی نقطے x پر برقی دباؤ کو $v(x)$ لکھتے ہیں۔ گیٹ اور پیدا کردہ راہ (یعنی n قسم کا موصل) بطور دو چادر کے کپیسٹر²¹ کا کردار ادا کریں گے۔ پیدا کردہ راہ میں لمبائی کے رُخ نقطے x پر ذرہ سی لمبائی Δx پر غور کرتے ہیں۔ یہ لمبائی بطور کپیسٹس ΔC کردار ادا کرے گا جہاں

$$(4.11) \quad \Delta C = \frac{\epsilon \times \text{رقبہ}}{\text{فاصلہ}} = \frac{\epsilon W \Delta x}{d}$$

ہو گا۔ اس کپیسٹر کو شکل 4.7 میں دکھایا گیا ہے۔

آپ کپیسٹر کی مساوات $Q = C \times V$ سے بخوبی آگاہ ہوں گے۔ اس مساوات کے مطابق کپیسٹر کے مشت چادر پر چارج Q کی مقدار کپیسٹر کے دو چادروں کے مابین برقی دباؤ V پر منحصر ہوتا ہے۔ کپیسٹر کے منفی چادر پر ($-Q$) چارج پایا جاتا ہے۔ ماسفیٹ کے کپیسٹر ΔC پر بھی اسی طرح چارج پایا جائے گا مگر اس کا تخمینہ لگانے کی خاطر اس مسئلہ کو زیادہ گھرائی سے دیکھنا ہو گا۔ آئیں ایسا ہی کرتے ہیں۔

جیسا کہ آپ جانتے ہیں کہ کسی بھی نقطے x پر تب راہ پیدا ہوتا ہے جب اس نقطے پر گیٹ اور سلیکان پتی کے مابین V_t برقی دباؤ پایا جائے (یعنی جب $v_{GS} - v(x) = V_t$ ہو) اور ایسی صورت میں پیدا کردہ راہ میں قابل نظر انداز (تقریباً صفر) مقدار میں n قسم کا چارج یعنی آزاد الیکٹران جمع ہوتے ہیں۔ یوں $(0 = v(x) - v_{GS} - V_t)$ ہونے کی صورت میں آزاد الیکٹرانوں کی تعداد بھی (تقریباً) صفر ہوتی ہے۔ جیسے گیسے گیٹ اور سلیکان پتی کے مابین برقی دباؤ مزید بڑھایا جائے یہاں آزاد الیکٹرانوں

²¹parallel plate capacitor

کی تعداد بڑھتی ہے۔ یوں آزاد الیکٹرانوں کی تعداد کا دارومندار برق دباؤ $(v_{GS} - V_t - v(x))$ پر ہوتا ہے اور ہم ماسفیٹ کے لئے کپیسٹر کی مساوات یوں لکھ سکتے ہیں۔

$$(4.12) \quad \Delta Q = \Delta C \times V \\ = \left[\frac{\epsilon W \Delta x}{d} \right] \times [v_{GS} - V_t - v(x)]$$

پیدا کردہ راہ میں اس نقطہ پر چارج کی مقدار اتنی ہی مگر منفی قسم کی ہو گی۔ اس مساوات کو پیدا کردہ راہ کے لئے یوں لکھا جا سکتا ہے۔

$$(4.13) \quad \frac{\Delta Q_n}{\Delta x} = - \left[\frac{\epsilon W}{d} \right] \times [v_{GS} - V_t - v(x)]$$

فاصلہ کے ساتھ برقی دباؤ کی شرح کو شدتِ برقی دباؤ E کہتے ہیں۔ یوں نقطہ x پر

$$(4.14) \quad E = - \frac{\Delta v(x)}{\Delta x}$$

ہو گا۔ اس کی سمت ڈرین سے سورس خط کی جانب ہے۔ شدت برقی دباؤ کسی بھی مثبت چارج کو E کی سمت میں جبکہ منفی چارج کو الٹی جانب دھکیلتا ہے۔ چونکہ پیدا کردہ راہ میں منفی چارج پائے جاتے ہیں لہذا شدت برقی دباؤ انہیں سورس سے ڈرین خط کی جانب دھکیلے گا۔ کسی بھی موصل میں چارجون کی رفتار ویاں کے شدت برقی دباؤ کے برائی راست متناسب ہوتا ہے۔ یوں منفی چارجون کے رفتار کو $(-\mu_p E)$ اور مثبت چارجون کے رفتار کو $(\mu_n E)$ لکھا جائے گا جہاں μ_n سلیکان پتی میں الیکٹران کی حرکت پذیری²² کہلاتا ہے جبکہ μ_p سلیکان پتی میں خول کی حرکت پذیری²³ کہلاتا ہے۔ یہاں حرکت پذیری سے مراد اتنا خط ہے میں حرکت پذیری ہے۔ یہاں رک کر تسلی کر لیں کہ یہ دو مساوات دونوں اقسام کے چارجون کے رفتار کے صحیح سمت دیتے ہیں۔ یوں رفتار کو $\frac{\Delta x}{\Delta t}$ لکھتے ہوئے الیکٹرانوں کے لئے ہم یوں لکھ سکتے ہیں۔

$$(4.15) \quad \frac{\Delta x}{\Delta t} = -\mu_n E = \mu_n \frac{\Delta v(x)}{\Delta t}$$

مساوات 4.13 اور مساوات 4.15 کی مدد سے ہم پیدا کردہ راہ میں آزاد الیکٹرانوں کے حرکت سے برقی رو یوں حاصل کر سکتے ہیں۔

$$(4.16) \quad i(x) = \frac{\Delta Q_n}{\Delta t} = \frac{\Delta Q_n}{\Delta x} \times \frac{\Delta x}{\Delta t} \\ = - \left[\frac{\epsilon W}{d} \right] [v_{GS} - V_t - v(x)] \times \left[\mu_n \frac{\Delta v(x)}{\Delta x} \right]$$

electron mobility²²
hole mobility²³

اس مساوات کو یوں لکھا جا سکتا ہے۔

$$(4.17) \quad i(x)\Delta x = - \left[\frac{\epsilon W}{d} \right] [v_{GS} - V_t - v(x)] \times [\mu_n \Delta v(x)]$$

اس مساوات میں Δ کو باریک سے باریک تر لیتے ہوئے مساوات کا تکملہ لیتے ہیں جہاں پیدا کردہ راہ کے سورس سرے کو ابتدائی نقطہ جبکہ اس کے ڈرین سرے کو اختتامی نقطہ لیتے ہیں۔ یوں ابتدائی نقطہ پر $x = 0$ جبکہ اختتامی نقطہ پر $x = L$ ہے۔ اسی طرح ابتدائی برقی دباؤ $v(0) = 0$ جبکہ اختتامی برقی دباؤ $v(L) = v_{DS}$ ہے۔ یوں

$$(4.18) \quad \int_0^L i(x) dx = \int_0^{v_{DS}} - \left[\frac{\epsilon \mu_n W}{d} \right] [v_{GS} - V_t - v(x)] dv(x)$$

چونکہ پیدا کردہ راہ میں از خود برقی رو نہ پیدا اور نہ ہی غائب ہو سکتی ہے لہذا اس میں لمبائی کی جانب برقی رو تبدیل نہ ہو گی۔ اس برقی رو کو i لکھتے ہوئے تکملہ سے باہر نکالا جا سکتا ہے۔

$$(4.19) \quad \begin{aligned} \int_0^L i(x) dx &= i \int_0^L dx = \int_0^{v_{DS}} - \left[\frac{\epsilon \mu_n W}{d} \right] [v_{GS} - V_t - v(x)] dv(x) \\ ix|_0^L &= - \left[\frac{\epsilon \mu_n W}{d} \right] \left[(v_{GS} - V_t) v(x)|_0^{v_{DS}} - \frac{v(x)^2}{2}|_0^{v_{DS}} \right] \\ iL &= - \left[\frac{\epsilon \mu_n W}{d} \right] \left[(v_{GS} - V_t) v_{DS} - \frac{v_{DS}^2}{2} \right] \\ i &= - \left[\frac{\epsilon \mu_n}{d} \right] \left[\frac{W}{L} \right] \left[(v_{GS} - V_t) v_{DS} - \frac{v_{DS}^2}{2} \right] \end{aligned}$$

منفی برقی رو کا مطلب ہے کہ یہ بڑھتے x کے الٹ جانب رو ان ہے یعنی ڈرین سے سورس جانب۔ ماسفیٹ میں اسی جانب برقی رو کو i_{DS} لکھا جاتا ہے۔ یوں

$$(4.20) \quad i_{DS} = \left[\frac{\epsilon \mu_n}{d} \right] \left[\frac{W}{L} \right] \left[(v_{GS} - V_t) v_{DS} - \frac{v_{DS}^2}{2} \right]$$

نقطہ دبوج پر $v_{DS} = v_{GS} - V_t$ دبوج سے استعمال کرتے اس مساوات سے حاصل ہوتا ہے۔

$$(4.21) \quad \begin{aligned} i_{DS\text{ دبوج}} &= \left[\frac{\epsilon \mu_n}{d} \right] \left[\frac{W}{L} \right] \left[(v_{GS} - V_t) v_{DS\text{ دبوج}} - \frac{v_{DS\text{ دبوج}}^2}{2} \right] \\ &= \left[\frac{\epsilon \mu_n}{d} \right] \left[\frac{W}{L} \right] \left[(v_{GS} - V_t) (v_{GS} - V_t) - \frac{(v_{GS} - V_t)^2}{2} \right] \\ &= \frac{1}{2} \left[\frac{\epsilon \mu_n}{d} \right] \left[\frac{W}{L} \right] (v_{GS} - V_t)^2 \end{aligned}$$

چونکہ افزائندہ خط میں نقطہ دبوچ پر برق رو کے برابر برق رو بھی رہتی ہے لہذا افزائندہ خط میں برق رو کی بھی یہی مساوات ہے۔
ان مساوات میں

$$(4.22) \quad k'_n = \left(\frac{\epsilon \mu_n}{d} \right)$$

$$k_n = \left(\frac{\epsilon \mu_n}{d} \right) \left(\frac{W}{L} \right) = k'_n \left(\frac{W}{L} \right)$$

لیتے ہوئے انہیں دوبارہ لکھتے ہیں۔ ساتھ ہی ساتھ ان کا دائرہ عمل متعین کرنے کے نکات بھی درج کرتے ہیں۔
غیر افزائندہ خط:

$$(4.23) \quad v_{GS} > V_t$$

$$v_{GS} - v_{DS} = v_{GD} = \geq V_t$$

$$(4.24) \quad i_{DS} = k'_n \left[\frac{W}{L} \right] \left[(v_{GS} - V_t) v_{DS} - \frac{v_{DS}^2}{2} \right]$$

$$= k_n \left[(v_{GS} - V_t) v_{DS} - \frac{v_{DS}^2}{2} \right]$$

نقطہ دبوچ:

$$(4.25) \quad v_{GS} > V_t$$

$$v_{GS} - v_{DS} = v_{GD} = V_t$$

$$(4.26) \quad i_{DS} = \frac{k'_n}{2} \left[\frac{W}{L} \right] [v_{GS} - V_t]^2$$

$$= \frac{k_n}{2} [v_{GS} - V_t]^2$$

افزائندہ:

$$(4.27) \quad v_{GS} > V_t$$

$$v_{GS} - v_{DS} = v_{GD} \leq V_t$$

$$(4.28) \quad i_{DS} = \frac{k'_n}{2} \left[\frac{W}{L} \right] [v_{GS} - V_t]^2$$

$$= \frac{k_n}{2} [v_{GS} - V_t]^2$$

منقطع:

$$(4.29) \quad v_{GS} \leq V_t \\ i_{DS} = 0$$

مسافیٹ تخلیق دیتے وقت پیدا کردہ راہ کے چوڑائی W اور لمبائی L کی تناسب بدل کر مختلف $i_{DS} - v_{DS}$ خط حاصل کئے جاتے ہیں۔
یاد دہانی کی خاطر کچھ باتیں دوبارہ دیکھاتے ہیں۔

V_t کو غیر افزائندہ خطے میں استعمال کرنے کی خاطر گیث اور سورس کے مابین v_{DS} سے زیادہ برق دباؤ مہیا کیا جاتا ہے اور ڈرین-سورس سروں کے مابین برق دباؤ کو راہ برق دباؤ دبوچ سے کم رکھا جاتا ہے یعنی

$$(4.30) \quad \begin{aligned} v_{GS} &> V_t && \text{راہ پیدا} \\ v_{DS} &\leq v_{DS\text{ دبوچ}} && \text{نقطہ دبوچ} \\ &\leq v_{GS} - V_t && \end{aligned}$$

اسی طرح nMOSFET کو افزائندہ خطے میں استعمال کرنے کی خاطر گیث اور سورس کے مابین V_t سے زیادہ برق دباؤ مہیا کیا جاتا ہے اور ڈرین-سورس سروں کے مابین برق دباؤ کو راہ برق دباؤ دبوچ سے زیادہ رکھا جاتا ہے یعنی

$$(4.31) \quad \begin{aligned} v_{GS} &> V_t && \text{راہ پیدا} \\ v_{DS} &\geq v_{DS\text{ دبوچ}} && \text{نقطہ دبوچ} \\ &\geq v_{GS} - V_t && \end{aligned}$$

نقطہ دبوچ ان دو خطوں کے درمیان حد ہے جس سے دونوں کا حصہ تصور کیا جا سکتا ہے۔
nMOSFET کو منقطع کرنے کی خاطر گیث اور سورس کے مابین V_t یا اس سے کم برق دباؤ رکھا جاتا ہے یعنی

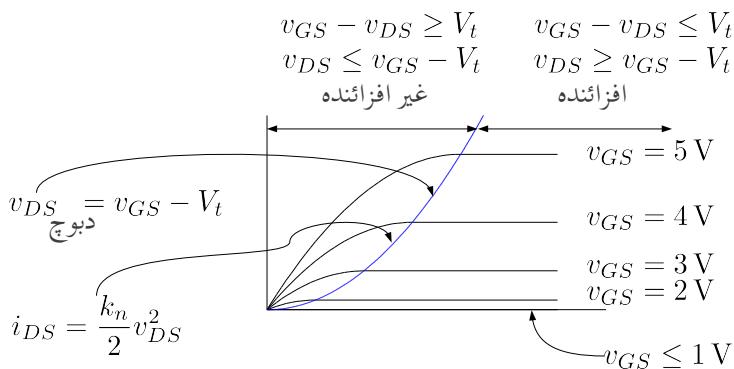
$$(4.32) \quad v_{GS} \leq V_t \quad \text{منقطع}$$

غیر افزائندہ ماسفیٹ پر جب باریک v_{DS} لاگ کیا جائے تو مساوات 4.24 میں v_{DS}^2 کو نظر انداز کرنا ممکن ہوتا ہے اور اس مساوات کو یوں لکھا جا سکتا ہے۔

$$i_{DS} = k'_n \left[\frac{W}{L} \right] \left[(v_{GS} - V_t) v_{DS} - \frac{v_{DS}^2}{2} \right] \approx k'_n \left[\frac{W}{L} \right] [(v_{GS} - V_t) v_{DS}]$$

اس مساوات سے باریک v_{DS} کی صورت میں ماسفیٹ کی مزاجمت حاصل کی جا سکتی ہے یعنی

$$(4.33) \quad R = \frac{v_{DS}}{i_{DS}} = \frac{1}{k'_n \left[\frac{W}{L} \right] [v_{GS} - V_t]}$$



شكل 4.8:

ماسیفیٹ کر گیٹ پر برقی دباؤ تبدیل کر کرے اس کی مزاحمت تبدیل کی جاتی ہے اور یوں ما سیفیٹ کو بطور قابو مزاحمت استعمال کیا جا سکتا ہے۔

شکل 4.8 میں ماسفیٹ کا خط دکھایا گیا ہے جس میں افزائندہ اور غیر افزائندہ خطوط کے درمیان لکیر کھینچی گئی ہیں۔ چونکہ ماسفیٹ غیر افزائندہ سے افزائندہ خطے میں اس وقت داخل ہوتا ہے جب $v_{GS} - v_{DS} = v_t$ یعنی $v_{GS} = v_{DS} + v_t$ ہو لہذا مساوات 4.28 میں $(v_{GS} - V_t) = V_{DS}$ کی جگہ v_{DS} پر کرنے سے اس لکیر کی مساوات حاصل ہو گی۔ یوں

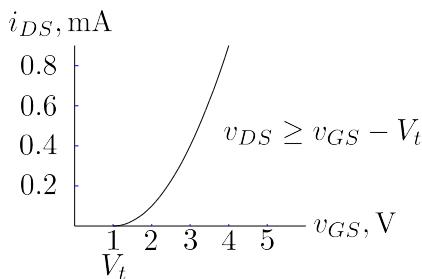
$$(4.34) \quad i_{DS} = \frac{k_n}{2} v_{DS}^2$$

حاصل ہوتا ہے جسے شکل 4.8 میں ماسفیٹ کے خطوط پر کھینچا گیا ہے جبکہ مساوات 4.28 کو شکل 4.9 میں کھینچا گیا ہے۔ باب 3 میں دو جوڑ ٹرانزسٹر کے غیر افزائندہ اور افزائندہ خطوط دکھائے گئے ہیں۔ ان کا ماسفیٹ کے خطوط کے ساتھ موازنہ کریں۔ ٹرانزسٹر تقریباً 0.2 V سے کم V_{CE} پر غیر افزائندہ جبکہ اس سے زیادہ برق دباؤ پر افزائندہ ہوتا ہے۔ ماسفیٹ v_{DS} سے کم برق دباؤ پر غیر افزائندہ جبکہ اس سے زیادہ برق دباؤ پر افزائندہ ہوتا ہے جہاں v_{DS} کی قیمت مساوات 4.5 سے حاصل کی جاتی ہے۔

ٹرانزسٹر کے β کی طرح ایک بھی قسم کے دو عدد ماسفیٹ کے k_n میں فرق پایا جاتا ہے۔ اسی طرح ان کے V_t میں بھی فرق پایا جاتا ہے۔ ان وجوہات کی بنا پر کسی بھی دور میں ماسفیٹ تبدیل کرنے سے نقطہ کارکردگی تبدیل پوسٹر کا امکان پوتا ہے۔

4.3.1 دیا و پرداشت پر قیمی قایما

v_{DS} کو دیوج DS سے جتنا بڑھایا جائے، نقطہ دیوج ڈرین خطے سے اتنا بھی دور ہو جاتا ہے۔ اگر اس برقی دیاکوں کو بتدریج بڑھایا جائے تو نقطہ دیوج آخر کار سورس خطے تک پہنچ جاتا ہے اور ان خطوں کے



شکل 4.9: افراشندہ ماسفیٹ کا برقی رو بال مقابل گیٹ کی برقی دباؤ

مابین برق رو تیزی سے بڑھتا ہے۔ یہ عمل تقریباً 20 V پر پیدا ہوتا ہے۔ یہ عمل از خود نقصان دہ نہیں جب تک بے قابو برق رو ماسفیٹ کی قابل برداشت برق رو کے حد سے تجاوز نہ کر جائے۔ یہ عمل نسبتاً کم لمبائی کے راہ رکھنے والے ماسفیٹ میں پایا جاتا ہے۔

ذرین اور سلیکان پتی کے مابین برق دباؤ کو ویران خطہ برداشت کرتا ہے۔ اگر یہ برق دباؤ ویران خطہ کی برداشت سے تجاوز کر جائے تو ویران خطہ تودہ کے عمل سے بے قابو ہو جائے گا جس سے ان خطروں کے مابین برق رو تیزی سے بڑھنے شروع ہو جائے گا۔ یہ عمل عموماً 50 V تا 100 V کے درمیان پیدا ہوتا ہے۔

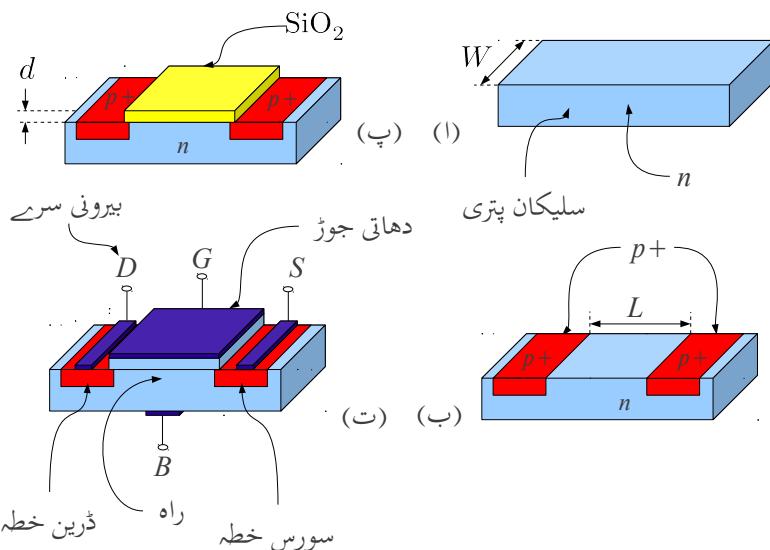
ایک تیسرا عمل جو ماسفیٹ کو فوراً تباہ کر لیتا ہے اس وقت پیش آتا ہے جب گیٹ اور سورس کے مابین برق دباؤ یہاں کے قابل برداشت حد $V_{GS_{BR}}$ سے تجاوز کر جائے۔ یاد رہے کہ گیٹ اور سورس کے درمیان انتہائی باریک غیر موصل SiO_2 کی تہ ہوتی ہے۔ یون گیٹ اور سورس کے مابین کچھ ہی برق دباؤ پر اس غیر موصل میں شدت برق دباؤ بہت زیادہ بڑھ کر اس کے برداشت کی حد سے تجاوز کر جاتا ہے۔ یہ عمل تقریباً 50 V پر غوردار ہوتا ہے۔ اس عمل سے پچھے کی خاطر گیٹ پر ڈائیوڈ بطور شکنجہ لگایا جاتا ہے جو گیٹ پر برق دباؤ کو اس خطروناک حد سے کم رکھتا ہے۔ یاد رہے کہ عام استعمال میں ماسفیٹ کو قابل برداشت برق دباؤ سے کم برق دباؤ پر استعمال کیا جاتا ہے۔

4.3.2 درجہ حرارت کے اثرات

V_t اور k'_n دونوں پر درجہ حرارت کا اثر پایا جاتا ہے۔ دو جوڑ ٹرانزسٹر کے V_{BE} کی طرح V_t کی حرارت بڑھنے سے کم ہوتا ہے یعنی

$$(4.35) \quad \frac{dV_t}{dT} = -2 \frac{\text{mV}}{\text{°C}}$$

البتہ k'_n کی قیمت درجہ حرارت بڑھنے سے بڑھتی ہے اور k'_n بڑھنے کا اثر V_t بڑھنے کے اثر سے زیادہ ہوتا ہے لہذا ماسفیٹ کی مزاحمت درجہ حرارت بڑھنے سے بڑھتی ہے۔ قوی ماسفیٹ کو اپس میں متوازی جوڑتے وقت اس حقیقت کو زیر استعمال لایا جاتا ہے۔



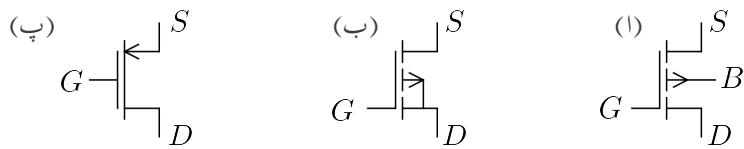
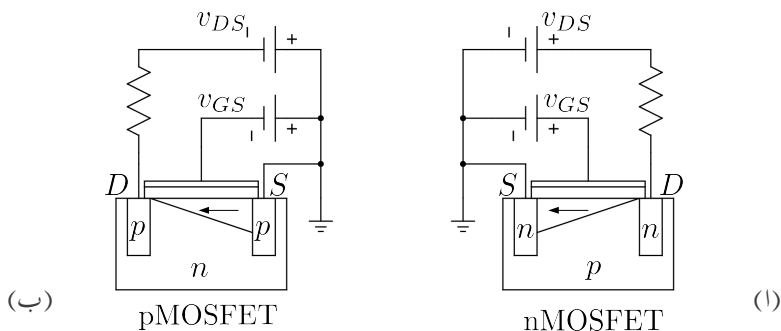
شکل 4.10: p ماسفیٹ کی ساخت

4.4 بڑھاتا pMOSFET ماسفیٹ

p ماسفیٹ، جسے ہم اس کتاب میں مثبت ماسفیٹ ہی کہیں گے، کو n قسم کی سلیکان پتی پر بنایا جاتا ہے جس میں دو عدد p+ قسم کے خطے بنائے جاتے ہیں۔ pMOSFET کی کارکردگی بالکل nMOSFET کی طرح ہے البتہ اس میں v_{DS} ، v_{GS} اور V_t تینوں کی قیمتیں منفی ہوتی ہیں۔ اسی طرح برق رو i_{DS} کی سمت بھی الٹی ہوتی ہے یعنی برق رو ٹرانزیستر کے ڈرین سرے سے باہر کی جانب ہوتا ہے۔ اسی لئے pMOSFET کے برق رو کو i_{SD} لکھا جائے گا۔ p ماسفیٹ بنائے کی ترکیب شکل 4.11 میں دکھائی گئی ہے جبکہ اس کی علامتیں شکل 4.11 میں دکھائی گئی ہیں۔ pMOSFET کے راہ میں برق رو خول کے حرکت کی بدولت ہے۔ سورس سے خول راہ میں خارج ہو کر ڈرین تک سفر کرتے ہیں جہاں انہیں راہ سے حاصل کیا جاتا ہے۔ ماسفیٹ میں برق رو خولوں کے اسی حرکت کی بدولت ہے۔

nMOSFET کی جسامت کم ہونے کی بدولت سلیکان پتی کی تعداد میں بنایا جا سکتا ہے۔ یوں اگرچہ مخلوط ادوار میں nMOSFET کو pMOSFET پر ترجیح دی جاتی ہے مگر پھر بھی ان کی اپنی اہمیت ہے جس کی بنا پر انہیں ہی مخلوط ادوار میں استعمال کیا جاتا ہے۔ بالخصوص جزووا ماسفیٹ (CMOS) ادوار جو کہ ابھی ترین ادوار تصور کئے جاتے ہیں ان دونوں اقسام کو استعمال کرتے ہی بنائے جاتے ہیں۔

شکل 4.12 میں موازنے کے لئے بڑھاتے nMOSFET اور pMOSFET کو نقطہ دبوج پر مائل کرتے دکھائے گئے ہیں۔ nMOSFET میں سورس S کو برقی زمین پر رکھا گیا ہے۔ پیدا کردہ راہ میں برق رو کو تیر

شكل 4.11: p بُرهاتا ماسفیٹ کی علامتیں

شكل 4.12: بُرهاتے pMOSFET اور nMOSFET نقطہ دبوج پر

کے نشان سے دکھایا گیا ہے۔ یوں اگر راہ کا بیان سرا صفر وولٹ پر ہو تو اس کا دایاں سرا مثبت برق دباؤ پر ہو گا۔ یوں گیٹ اور بائیں سرے کے مابین برق دباؤ زیادہ ہو گا جبکہ گیٹ اور دائیں سرے کے مابین برق دباؤ نسبتاً کم ہو گا جس سے راہ ترجیھی شکل کا پیدا ہو گا۔ جہاں گیٹ اور سلیکان کے مابین برق دباؤ زیادہ ہو ویاں راہ کی گھرائی زیادہ ہو گی۔ pMOSFET میں بھی سورس S کو برق زمین پر رکھا گیا ہے۔ پیدا کردہ راہ میں برق روکو تیر کے نشان سے دکھایا گیا ہے۔ یوں اگر راہ کا دایاں سرا صفر وولٹ پر ہو تو اس کا بیان سرا منفی برق دباؤ پر ہو گا۔ یوں گیٹ اور دائیں سرے کے مابین برق دباؤ زیادہ ہو گا جبکہ گیٹ اور بائیں سرے کے مابین برق دباؤ نسبتاً کم ہو گا۔ جہاں گیٹ اور سلیکان کے مابین برق دباؤ زیادہ ہو ویاں راہ کی گھرائی زیادہ ہو گی۔ آپ دیکھ سکتے ہیں کہ دونوں اقسام کے ماسفیٹ میں پیدا کردہ راہ ڈرین پر دبوچ جاتا ہے۔

i_{DS} کے pMOSFET کے متغیریں ہیں لہذا v_{SG} ، v_{DS} اور v_{SD} اور i_{SD} کے pMOSFET کے مساوات مندرجہ ذیل ہیں۔

4.4.1 غیر افرائندہ

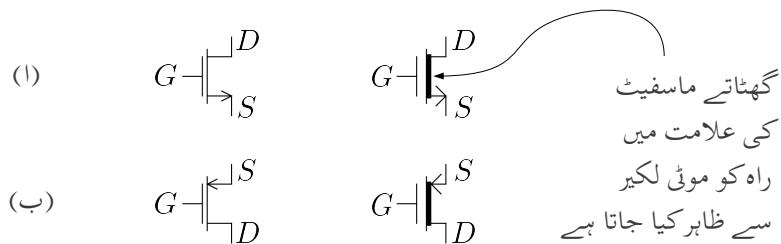
$$(4.36) \quad v_{SG} > -V_t \\ v_{DG} \geq -V_t \\ i_{SD} = k'_p \left[\frac{W}{L} \right] \left[(v_{SG} + V_t) v_{SD} - \frac{v_{SD}^2}{2} \right]$$

نقطہ دبوچ

$$(4.37) \quad v_{SG} > -V_t \\ v_{DG} = -V_t \\ i_{SD} = \frac{k'_p}{2} \left[\frac{W}{L} \right] [v_{SG} + V_t]^2$$

افرائندہ

$$(4.38) \quad v_{SG} > -V_t \\ v_{DG} \leq -V_t \\ i_{SD} = \frac{k'_p}{2} \left[\frac{W}{L} \right] [v_{SG} + V_t]^2$$



شکل 4.13: گھٹائے اور بڑھائے ماسفیٹ کی علامتیں

منقطع

$$(4.39) \quad v_{SG} \leq -V_t \\ i_{SD} = 0$$

4.5 گھٹاتا n ماسفیٹ

nMOSFET بناتے وقت، اس کے سورس اور ڈرین خطوں کے درمیان سلیکان پتی میں گیٹ کے بالکل نیچے n قسم کے خطے کے اضافہ سے n قسم کا ماسفیٹ! گھٹاتا²⁴ وجود میں آتا ہے۔ شکل 4.13 الف میں n قسم کے گھٹائے ماسفیٹ کی علامت دکھائی گئی ہے۔ گھٹائے ماسفیٹ کی علامت میں راہ کو موٹی لکیر سے ظاہر کیا جاتا ہے۔ شکل الف میں n گھٹاتا ماسفیٹ کی علامت دکھائی گئی ہے۔ ساتھ ہی موازنے کی خاطر n بڑھائے ماسفیٹ کی علامت بھی دکھائی گئی ہے۔

چونکہ گھٹاتا ماسفیٹ میں پہلے سے ہی سورس اور ڈرین خطوں کے مابین راہ موجود ہوتا ہے لہذا گیٹ پر صفر ولٹ ($v_{GS} = 0$) ہوتے ہوئے بھی اگر سورس اور ڈرین سروں کے مابین برق دباو v_{DS} لاگو کی جائے تو ماسفیٹ میں برق رو i_{DS} گزرنے گا۔ گیٹ پر برق دباو بڑھانے سے راہ کی گھرائی بڑھتی ہے جس سے برق رو میں اضافہ ہوتا ہے جبکہ گیٹ پر منفی برق دباو لاگو کرنے سے راہ کی گھرائی گھٹتی ہے جس سے i_{DS} میں کمی آتی ہے۔ اسی سے اس کا نام n قسم کا گھٹاتا ماسفیٹ²⁵ نکلا ہے۔ اگر گیٹ پر لاگو برق دباو کو بتدریج منفی جانب لے جایا جائے تو آخر کار راہ کی گھرائی صفر ہو جائے گی اور ماسفیٹ میں برق رو کا گزرنा ممکن نہیں رہے گا۔ یہ برق دباو اس ماسفیٹ کا V_t ہوتا ہے۔ یوں n قسم کے گھٹاتا ماسفیٹ کا V_t منفی قیمت رکھتا ہے۔

گھٹاتا اور بڑھاتا ماسفیٹ کے مساوات میں کوئی فرق نہیں لہذا اب تک کے تمام بڑھاتا ماسفیٹ کے مساوات جوں کے تو گھٹاتا ماسفیٹ کے لئے ہی استعمال کئے جائیں گے۔

depletion nMOSFET²⁴
depletion nMOSFET²⁵

4.5.1 منقطع صورت

اگر گھٹانا ماسفیٹ کے v_{GS} پر V_t سے کم (یعنی مزید منفی) برق دباو لاگو کیا جائے تو راہ کا وجود نہیں رہے گا یعنی پیدا کردہ راہ نہیں رہے گا اور ماسفیٹ منقطع صورت²⁶ اختیار کر لے گا۔ اس شرط کو یوں بیان کیا جاتا ہے۔

$$(4.40) \quad v_{GS} \leq V_t$$

یوں اگر کسی گھٹانا ماسفیٹ کا $V_t = -3.5\text{V}$ ہو اور اس کے گیٹ پر لاگو $v_{GS} = -4\text{V}$ کیا جائے تو یہ منقطع ہو جائے گا اور اگر اس کے گیٹ پر $v_{GS} = 1.2\text{V}$ یا -2.2V ہو تو ماسفیٹ چالو رہے گا۔ یا $v_{GS} = 5.3\text{V}$ لاگو کیا جائے تو ماسفیٹ چالو رہے گا۔

4.5.2 غیر افزائندہ

v_{GS} سے زیادہ برق دباو لاگو کرنے سے ماسفیٹ چالو حالت اختیار کر لیتا ہے۔ جب تک چالو ماسفیٹ کے گیٹ پر ڈرین خط سے $|V_t|$ وولٹ کم نہ ہو جائیں گھٹانا ماسفیٹ غیر افزائندہ ہو گا۔ اس شرط کو یوں بیان کیا جاتا ہے۔

$$(4.41) \quad \begin{aligned} v_{GS} - v_{DS} &\geq V_t \\ v_{GD} &\geq V_t \end{aligned}$$

یوں اسی مثال کو آگے بڑھاتے ہوئے اگر $V_t = -3.5\text{V}$ ہو اور $v_{GS} = 5.3\text{V}$ ہو تو جب تک $v_{DS} < 8.8\text{V}$ رہے ماسفیٹ غیر افزائندہ رہے گا۔

4.5.3 دبوج

جب گیٹ پر ڈرین سے $|V_t|$ وولٹ کم ہو جائیں تو پیدا کردہ راہ دبوچا جاتا ہے۔ اس شرط کو یوں بیان کرتے ہیں۔

$$(4.42) \quad \begin{aligned} v_{GS} - v_{DS} &= V_t \\ v_{GD} &= V_t \end{aligned}$$

یوں $v_{DS} = 8.8\text{V}$ اور $v_{GS} = 5.3\text{V}$ کی صورت میں جب $V_t = -3.5\text{V}$ کردہ راہ دبوچا جائے گا۔

4.5.4 افزائندہ

جب چالو ماسفیٹ کے ڈرین پر گیٹ سے $|V_t|$ وولٹ زیادہ ہوں تو یہ افزائندہ حال میں ہو گا۔ اس شرط کو یوں بیان کرتے ہیں۔

$$(4.43) \quad \begin{aligned} v_{GS} - v_{DS} &\leq V_t \\ v_{GD} &\leq V_t \end{aligned}$$

cut off state²⁶

یوں $V_t = -3.5 \text{ V}$ اور $v_{GS} = 5.3 \text{ V}$ کی صورت میں جب $v_{DS} > 8.8 \text{ V}$ ہو تو ماسفیٹ افرائندہ خطرے میں ہو گا۔

یہاں تسلی کر لیں کہ گھٹاتا ماسفیٹ کے مختلف خطوط کی مساواتیں بالکل وہی بین جو عام ماسفیٹ کی بین۔ فرق صرف اتنا ہے کہ گھٹاتا ماسفیٹ کے V_t کی قیمت منفی ہوتی ہے۔

4.6 گھٹاتا p ماسفیٹ

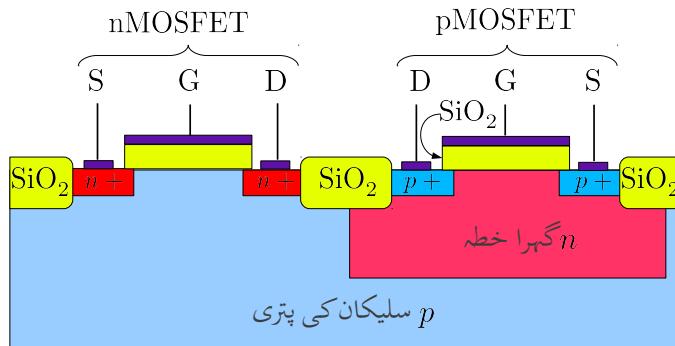
p قسم کا گھٹاتا ماسفیٹ اسی طرح p ماسفیٹ بناتے وقت سلیکان پڑی میں گیٹ کے بالکل نیچے p قسم کی راہ، سورس سے ڈرین خطرے تک بناتے سے پیدا ہوتا ہے۔ p قسم کے گھٹاتا ماسفیٹ اور عام p قسم کے ماسفیٹ کے مساوات ایک ہی طرح کرے ہیں۔ فرق صرف اتنا ہے کہ p قسم کے گھٹاتا ماسفیٹ کی V_t کی قیمت مثبت ہوتی ہے۔ مزید یہ کہ کسی بھی p قسم کے ماسفیٹ کی طرح p قسم کے گھٹاتا ماسفیٹ میں برق رو ڈرین سرے سے باہر کی جانب ہوتا ہے۔ شکل 4.13 ب میں p قسم کے گھٹاتے ماسفیٹ کی علامت دکھائی گئی ہے۔

4.7 CMOS ماسفیٹ

جزوا ماسفیٹ nMOSFET اور pMOSFET دونوں استعمال کرتے ہنترے ہیں جنہیں p سلیکان پر بنایا جاتا ہے۔ p سلیکان پر ہے البتہ pMOSFET p بناتے وقت پہلے سلیکان میں گہرا n خطہ بنایا جاتا ہے اور پھر اس خطرے میں pMOSFET بنایا جاتا ہے۔ شکل 4.14 میں جزووا ماسفیٹ کی ساخت دکھائی گئی ہے۔ جزووا ماسفیٹ کو عام فہم میں سیماں²⁷ کہتے ہیں۔ شکل میں ماسفیٹ کے دونوں جانب SiO_2 کے گھرے حصے دکھائے گئے ہیں جو ساتھ ساتھ دو ماسفیٹ کو مکمل طور پر علیحدہ رکھنے کی خاطر استعمال کئے جاتے ہیں۔ یاد رہے کہ SiO_2 نہایت عمدہ غیر موصل ہے۔ سیماں کو p سلیکان پر بھی بنایا جا سکتا ہے۔ پس اس میں pMOSFET کو گھرے n خطے میں بنانا ہو گا جبکہ nMOSFET تو بنتا ہیں p سلیکان پر ہے۔

4.8 ماسفیٹ کے یک سمیتی ادوار کا حل

اس حصے میں ماسفیٹ کے یک سمیتی ادوار حل کئے جائیں گے۔ جیسے اس کتاب کے شروع میں بتایا گیا ہے، یک سمیتی متغیرات انگریزی کے بڑے حروف سے ظاہر کئے جاتے ہیں۔ یوں گیٹ پر برق دیا وکو v_{GS} کی جگہ V_{GS} لکھا جائے گا۔ اسی طرح v_{DS} کو V_{DS} اور i_{DS} کو I_{DS} لکھا جائے گا۔ اس حصے میں دئے گئے مثالوں کو پہلے خود حل کرنے کی کوشش کریں اور بعد میں کتاب میں دئے حل دیکھیں۔



شکل 4.14: سیماس یا جزو ماسفیٹ کی ساخت

مثال 4.2: ایک منفی گھٹاتا ماسفیٹ جس کا $V_t = -3.2 \text{ V}$ اور $v_{DS} = 1 \text{ V}$ ہے لہذا بیں کا برقی رو مندرجہ ذیل پر حاصل کریں۔

$$v_{GS} = -4 \text{ V} .1$$

$$v_{GS} = -3.2 \text{ V} .2$$

$$v_{GS} = -2.8 \text{ V} .3$$

$$v_{GS} = -2.2 \text{ V} .4$$

$$v_{GS} = 1.5 \text{ V} .5$$

حل:

1. $v_{GS} = -4 \text{ V}$ اور $v_{GS} = -3.2 \text{ V}$ بیں-چونکہ $V_t = -3.2 \text{ V}$ ہے لہذا $-4 < -3.2$ ہے اور یوں گھٹاتا ماسفیٹ منقطع ہے اور اس میں برقی رو کا گزر ممکن نہیں ہے یعنی $i_{DS} = 0$ ہے۔

2. $v_{GS} = -3.2 \text{ V}$ اور $v_{GS} = V_t = -3.2 \text{ V}$ ہونے کی وجہ سے $i_{DS} = 0$ ہے۔ اس صورت پیدا کردہ راہ وجود میں آئے گا مگر اس کی گھرائی تقریباً صفر ہو گئی اور اس میں برقی رو کا گزر ممکن نہیں ہے یعنی $i_{DS} = 0$ ہے۔

3. $v_{GS} > V_t = -3.2 \text{ V}$ اور $v_{GS} = -2.8 \text{ V}$ پر چونکہ $-2.8 > -3.2$ ہے لہذا $V_{DS} = 1 \text{ V}$ پر گیٹ اور ڈرین کے مابین برقی دباؤ ہے اور یوں گھٹاتا ماسفیٹ چالو ہے۔

$$v_{GS} - v_{DS} = (-2.8) - (1) = -3.8 \text{ V}$$

ہے جو کہ V_t سے کم ہے یعنی

$$v_{GS} - v_{DS} < V_t$$

لہذا گھٹاتا ماسفیٹ افزائندہ ہے اور یوں

$$\begin{aligned} i_{DS} &= \frac{k_n}{2} [v_{GS} - V_t]^2 \\ &= \frac{0.1 \times 10^{-3}}{2} \times [(-2.8) - (-3.2)] \\ &= 8 \mu\text{A} \end{aligned}$$

$v_{GS} > V_t = -3.2 \text{ V}$ اور $v_{GS} = -2.2 \text{ V}$. 4
ہے اور یوں گھٹاتا ماسفیٹ چالو ہے۔ $V_{DS} = +1 \text{ V}$ پر گیٹ اور ڈرین کے مابین برقی دباؤ

$$v_{GS} - v_{DS} = (-2.2) - (1) = -3.2 \text{ V}$$

ہے جو کہ V_t کے برابر ہے یعنی

$$v_{GS} - v_{DS} = V_t$$

لہذا گھٹاتا ماسفیٹ نقطہ دبوچ پر ہے۔ یوں

$$\begin{aligned} i_{DS} &= \frac{k_n}{2} [v_{GS} - V_t]^2 \\ &= \frac{0.1 \times 10^{-3}}{2} [(-2.2) - (-3.2)]^2 \\ &= 50 \mu\text{A} \end{aligned}$$

$v_{GS} > V_t = -3.2 \text{ V}$ اور $v_{GS} = 1.5 \text{ V}$. 5
ہے اور یوں گھٹاتا ماسفیٹ چالو ہے۔ $V_{DS} = 1 \text{ V}$ پر گیٹ اور ڈرین کے مابین برقی دباؤ

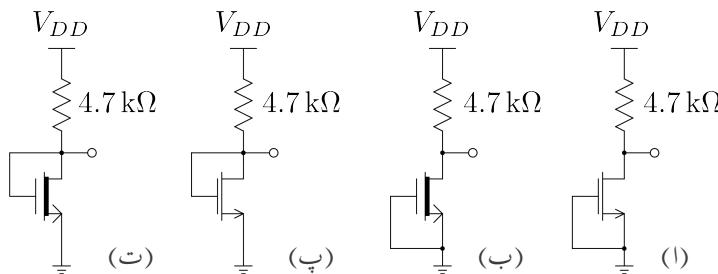
$$v_{GS} - v_{DS} = +1.5 - 1 = 0.5 \text{ V}$$

ہے جو کہ V_t سے زیادہ ہے یعنی

$$v_{GS} - v_{DS} > V_t$$

لہذا گھٹاتا ماسفیٹ غیر افزائندہ ہے۔ یوں

$$\begin{aligned} i_{DS} &= k_n \left[(v_{GS} - V_t) v_{DS} - \frac{v_{DS}^2}{2} \right] \\ &= 0.1 \times 10^{-3} \times \left[(1.5 - (-3.2)) \times 1 - \frac{1^2}{2} \right] \\ &= 2.159 \text{ mA} \end{aligned}$$



شکل 4.15: ماسفیٹ کے پک سمتی ادوار

مثال 4.3: شکل 4.15 الف میں منفی بڑھاتا ماسفیٹ کے گیٹ کو سورس کے ساتھ جوڑ کر دور بنایا گیا ہے۔ اس ماسفیٹ کا $V_t = 3\text{ V}$ اور $k_n = 0.2\text{ mAV}^{-2}$ ہے۔ دور میں برق رو حاصل کریں۔ حل: n قسم کے بڑھاتا ماسفیٹ کے V_t کی قیمت بر صورت مشتمل ہوتی ہے۔ n قسم کے ماسفیٹ کا گیٹ اور سورس آپس میں جوڑنے سے $V_{GS} = 0$ ہو جاتا ہے اور یون $V_{GS} < V_t$ ہوتا ہے جس سے ماسفیٹ منقطع ہو جاتا ہے اور $I_{DS} = 0$ ہوتا ہے۔

مثال 4.4: شکل 4.15 ب میں منفی گھٹھاتا ماسفیٹ کے گیٹ کو سورس کے ساتھ جوڑ کر دور بنایا گیا ہے۔ اس ماسفیٹ کا $V_t = -3\text{ V}$ اور $k_n = 0.2\text{ mAV}^{-2}$ ہے۔ دور میں برق رو حاصل کریں۔ حل: n قسم کے ماسفیٹ کا گیٹ اور سورس آپس میں جوڑنے سے $V_{GS} = 0$ ہو جاتا ہے اور یون $V_{GS} > V_t$ یعنی ماسفیٹ چالو ہوتا ہے۔ اب یہ دیکھنا ہو گا کہ آیا یہ ماسفیٹ افزائندہ خطے میں ہے یا کہ غیر افزائندہ خطے میں ہے۔

ماسفیٹ کے سوالات میں عموماً قبل از وقت یہ جاننا ممکن نہیں ہوتا کہ ماسفیٹ افزائندہ یا غیر افزائندہ خطے میں ہے۔ یوں آپ جان نہیں سکتے کہ ماسفیٹ کی برق رو حاصل کرتے وقت افزائندہ ماسفیٹ کی مساوات یا غیر افزائندہ ماسفیٹ کی مساوات استعمال ہو گی۔ اس طرح کے سوالات حل کرتے وقت آپ تصور کریں گے کہ ماسفیٹ افزائندہ (یا غیر افزائندہ) خطے میں ہے²⁸ اور پھر دور حل کرنے کی کوشش کریں گے۔ حل کرنے کے بعد دوبارہ تسلی کریں گے کہ ماسفیٹ

²⁸میری عادت یہ کہ میں ماسفیٹ کو افزائندہ تصور کر کے دور حل کرنے کی کوشش پہلی کرتا ہوں۔

افرائندہ (یا غیر افرائندہ) خطے میں ہی ہے۔ اگر حتمی جواب اور تصور کردہ صورتیں یکسان نکل آئیں تو حل تسلیم کر لیا جاتا ہے ورنہ ماسفیٹ کو غیر افرائندہ (افرائندہ) تصور کر کے دور کو دوبارہ حل کیا جاتا ہے۔ آئیں اس ترکیب کو استعمال کریں۔

ہم تصور کرتے ہیں کہ گھٹاتا ماسفیٹ افرائندہ خطے میں ہے۔ یوں مساوات 4.28 کے تحت

$$I_{DS} = \frac{k_n}{2} (V_{GS} - V_t)^2 = \frac{0.2 \times 10^{-3}}{2} (0 - (-3))^2 = 0.9 \text{ mA}$$

شکل ب میں خارجی جانب کرچاف کا قانون برائے برقی دباؤ استعمال کرتے ہوئے

$$\begin{aligned} V_{DD} &= I_{DS} R_D + V_{DS} \\ 10 &= 0.9 \times 10^{-3} \times 4.7 \times 10^3 + V_{DS} \\ V_{DS} &= 5.77 \text{ V} \end{aligned}$$

حاصل ہوتا ہے۔

اس جواب کو استعمال کرتے ہوئے ہم نے یہ دیکھنا ہو گا کہ آیا ماسفیٹ واقعی افرائندہ ہے یا نہیں۔ مساوات 4.8 کا آخری جزو افرائندہ ماسفیٹ کی شرط بیان کرتا ہے۔ موجودہ مثال میں

$$V_{GS} - V_{DS} = 0 - 5.77 = -5.77 \text{ V}$$

ہے جبکہ $V_{GS} - V_{DS} < V_t$ ہے۔ یوں $V_t = -5.77 \text{ V}$ کی شرط پوری ہوتی ہے اور ماسفیٹ یقیناً افرائندہ ہی ہے لہذا $I_{DS} = 0.9 \text{ mA}$ ہی صحیح جواب ہے۔

آئیں اسی مثال میں ماسفیٹ کو غیر افرائندہ تصور کر کے مثال کو دوبارہ حل کرتے ہیں۔ غیر افرائندہ ماسفیٹ کی مساوات حل کرنے کی خاطر V_{DS} کا معلوم ہونا ضروری ہے۔ دور کے خارجی جانب کرچاف کے قانون برائے برقی دباؤ سے ملتا ہے

$$\begin{aligned} V_{DD} &= I_{DS} R_D + V_{DS} \\ 10 &= I_{DS} \times 4.7 \times 10^3 + V_{DS} \\ V_{DS} &= 10 - 4700 I_{DS} \end{aligned}$$

غیر افزائندہ ماسفیٹ کے مساوات میں V_{DS} کی جگہ اسے استعمال کرتے حل کرتے ہیں۔

$$\begin{aligned} I_{DS} &= k_n \left[(V_{GS} - V_t) V_{DS} - \frac{V_{DS}^2}{2} \right] \\ \frac{I_{DS}}{k_n} &= \left[(V_{GS} - V_t) V_{DS} - \frac{V_{DS}^2}{2} \right] \\ \frac{I_{DS}}{0.2 \times 10^{-3}} &= \left[(0 - (-3)) (10 - 4700 I_{DS}) \frac{(10 - 4700 I_{DS})^2}{2} \right] \\ 5000 I_{DS} &= 30 - 14100 - 50 - 11045000 I_{DS}^2 + 47000 I_{DS} \\ 11045000 I_{DS}^2 - 27900 I_{DS} - 20 &= 0 \\ I_{DS} &= 3.1 \text{ mA}, -0.58 \text{ mA} \end{aligned}$$

آپ نے دیکھا کہ دو درجی مساوات²⁹ کے دو حل نکل آئے۔ جب بھی ایسی دو درجی مساوات حل کی جائے، آپ دیکھیں گے کہ ان میں صرف ایک جواب قابل قبول ہو گا جبکہ دوسرا جواب رد کیا جائے۔ آئیں ان جوابات میں سے صحیح جواب چنیں۔ اگر $I_{DS} = 3.1 \text{ mA}$ ہو تو

$$V_{DS} = 10 - 4700 \times 3.1 \times 10^{-3} = -4.57 \text{ V}$$

ہو گا۔ مثبت برقی رو تب ممکن ہے جب ماسفیٹ پر مثبت V_{DS} ہو جبکہ یہاں منفی برقی دباؤ حاصل ہوتا ہے لہذا جواب رد کیا جاتا ہے۔ (ہم جانتے ہیں کہ چالو ماسفیٹ بطور موصول کردار ادا کرتا ہے۔ لہذا موجودہ دور کو دو سلسلہ وار جزئی مزاحمت تصور کیا جا سکتا ہے۔ یوں ماسفیٹ پر برقی دباؤ مثبت ہونا چاہئے جبکہ یہاں منفی جواب حاصل ہوا ہے) $I_{DS} = -0.58 \text{ mA}$ ہی نا ممکن جواب ہے اور اسے رد کیا جاتا ہے۔ دونوں جوابات رد ہونے کا مطلب ہے کہ ماسفیٹ کو غیر افزائندہ تصور کرنا غلط تھا۔

مثال 4.5: شکل 4.15 پ میں منفی بڑھاتا ماسفیٹ کے ڈرین اور گیٹ جوڑ کر یک سمتی دور بنایا گیا ہے۔ اس ماسفیٹ کا $V_{DD} = 10 \text{ V}$ اور $k_n = 0.2 \text{ mAV}^{-2}$ ہے جبکہ دور میں $V_{GS} = 3 \text{ V}$ ہے۔ دور میں برقی رو حاصل کریں۔ حل: گیٹ اور ڈرین جوڑنے سے گیٹ اور ڈرین برابر برقی دباؤ پر ہوں گے یعنی

$$V_{GS} = V_{DS}$$

ہو گا۔ یوں $V_{GS} - V_{DS} < V_t$ ہو گا اور یوں $V_{GS} - V_{DS} = 0$ ہو گا۔ اس طرح ماسفیٹ افزائندہ

quadratic equation²⁹

بوگا اور برقی رو

$$I_{DS} = \frac{k_n}{2} (V_{GS} - V_t)^2$$

سے حاصل کر سکتے ہیں۔ البتہ ایسا کرنے کی خاطر ہمیں V_{GS} کی قیمت درکار ہو گی۔ شکل پ کے خارجی جانب کرچاف کے قانون برائے برقی دباؤ کے استعمال سے

$$V_{DD} = I_{DS}R_D + V_{DS}$$

حاصل ہوتا ہے۔ چونکہ اس مثال میں $V_{GS} = V_{DS}$ ہے لہذا اس مساوات کو یوں لکھ سکتے ہیں

$$V_{DD} = I_{DS}R_D + V_{GS}$$

$$10 = I_{DS} \times 4.7 \times 10^3 + V_{GS}$$

$$V_{GS} = 10 - 4700I_{DS}$$

اس مساوات کو افزائندہ ماسفیٹ کے مساوات کے ساتھ حل کرنے سے برقی رو حاصل کی جا سکتی ہے۔ اس مساوات سے حاصل V_{GS} کو افزائندہ ماسفیٹ کے مساوات میں استعمال کرتے ہیں

$$I_{DS} = \frac{k_n}{2} (V_{GS} - V_t)^2$$

$$\frac{2I_{DS}}{k_n} = (V_{GS} - V_t)^2$$

$$22090000I_{DS}^2 - 75800I_{DS} + 49 = 0$$

$$I_{DS} = 2.567 \text{ mA}, 0.8639 \text{ mA}$$

ان دو جوابات سے V_{DS} کے دو قیمتیں حاصل ہوتی ہیں۔

$$V_{DS} = V_{GS} = 10 - 2.567 \times 10^{-3} \times 4700 = -2.06 \text{ V}$$

$$V_{DS} = V_{GS} = 10 - 0.8639 \times 10^{-3} \times 4700 = 5.94 \text{ V}$$

ان میں پہلے جواب کے مطابق $V_{GS} = -2.06 \text{ V}$ ہے جس سے $V_t < V_{GS} = -2.06 \text{ V}$ حاصل ہوتا ہے۔ اگر ایسا ہوتا تو ماسفیٹ منقطع ہوتا اور اس میں برقی رو کا گزر ممکن ہی نہیں ہوتا لہذا یہ جواب غلط ہے۔ دوسرا جواب کے مطابق $V_{GS} = 5.94 \text{ V}$ حاصل ہوا ہے اور یوں $V_t > V_{GS} = 5.94 \text{ V}$ ہے۔ اس طرح ماسفیٹ چالو حال میں ہے اور جواب تسلیم کرنا ہو گا۔

مثال 4.6: شکل 4.15 ت میں منفی گھٹانا ماسفیٹ کا گیٹ اور ڈرین جوڑ کر دور بنایا گیا ہے۔ اس ماسفیٹ کا $k_n = 0.2 \text{ mA}V^{-2}$ اور $V_t = -3 \text{ V}$ ہے جبکہ دور میں $V_{DD} = 10 \text{ V}$ ہے۔ دور میں برقی رو حاصل کریں۔

حل: اس مثال میں خارجی جانب کرچاف کے قانون برائے برق دباو کے تحت

$$\begin{aligned} V_{DD} &= I_{DS} R_D + V_{DS} \\ 10 &= I_{DS} \times 4700 + V_{DS} \end{aligned}$$

حاصل ہوتا ہے۔ چونکہ گیٹ اور ڈرین آپس میں جڑے بین لہذا ان پر برابر برق دباو پایا جائے گا یعنی $V_{GS} = V_{DS}$

$$\begin{aligned} V_{DD} &= I_{DS} R_D + V_{GS} \\ 10 &= I_{DS} \times 4700 + V_{GS} \\ V_{GS} &= 10 - 4700 I_{DS} \end{aligned}$$

اگر ماسفیٹ منقطع ہو تو برق روکی مقدار صفر ہو گی اور اس صورت میں اس مساوات کے تحت $V_{GS} = 10 \text{ V}$ حاصل ہوتا ہے۔ گھٹاتا ماسفیٹ کا V_t منفی ہوتا ہے اور یوں یہاں $V_{GS} > V_t$ ہے جو کہ چالو ماسفیٹ کی نشانی ہے۔ یوں اس ماسفیٹ کو منقطع تصور کرنا غلط ہے۔ آئیں اب دیکھتے ہیں کہ آیا ماسفیٹ افزائندہ یا غیر افزائندہ خطے میں ہے۔

گیٹ اور ڈرین آپس میں جڑے ہونے کی وجہ سے $V_{GS} - V_{DS} = 0$ ہو گا۔ چونکہ گھٹاتا ماسفیٹ کا V_t منفی مقدار ہوتا ہے لہذا $V_{GS} - V_{DS} > V_t$ ہو گا اور یوں اگر یہ ماسفیٹ چالو ہو تو یہ بر صورت افزائندہ خطے میں ہو گا اور اس کی مساوات افزائندہ ماسفیٹ کی مساوات سے حاصل کی جا سکتی ہے۔

$$\begin{aligned} I_{DS} &= \frac{k_n}{2} (V_{GS} - V_t)^2 \\ \frac{2I_{DS}}{k_n} &= (V_{GS} - V_t)^2 \\ 22090000 I_{DS}^2 &- 132200 I_{DS} + 169 = 0 \\ I_{DS} &= 4.13 \text{ mA}, 1.85 \text{ mA} \end{aligned}$$

ہم جانتے ہیں کہ اگر یہاں ماسفیٹ چالو ہو تو یہ افزائندہ ہو گا لہذا دیکھنا یہ ہے کہ آیا ماسفیٹ چالو ہے یا نہیں۔

اگر $I_{DS} = 4.13 \text{ mA}$ ہو تو

$$\begin{aligned} V_{GS} &= 10 - 4700 I_{DS} \\ &= 10 - 4700 \times 4.13 \times 10^{-3} \\ &= -9.41 \text{ V} \end{aligned}$$

اور یوں $V_t < V_{GS}$ ہو گا جو کہ منقطع ماسفیٹ کی نشانی ہے۔ منقطع ماسفیٹ برق روگزار بی نہیں سکتا لہذا اس جواب کو رد کیا جاتا ہے۔

اگر $I_{DS} = 1.85 \text{ mA}$ ہو تو

$$\begin{aligned} V_{GS} &= 10 - 4700I_{DS} \\ &= 10 - 4700 \times 1.85 \times 10^{-3} \\ &= 1.3 \text{ V} \end{aligned}$$

اور یوں $V_{GS} > V_t$ ہو گا جو کہ چالو ماسفیٹ کی نشانی ہے۔ یوں $I_{DS} = 1.85 \text{ mA}$ ہی درست جواب ہے۔

مثال 4.7: شکل 4.15 پ میں

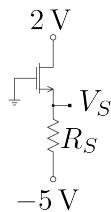
$$\begin{aligned} k_n &= 0.15 \text{ mAV}^{-2} \\ V_t &= 3.5 \text{ V} \\ V_{DD} &= 10 \text{ V} \end{aligned}$$

بین-برف رو $I_{DS} = 0.6 \text{ mA}$ حاصل کرنے کی خاطر R_D کی قیمت دریافت کریں۔ حل: جیسے مثال 4.6 میں ثابت کیا گیا، بڑھاتا n ماسفیٹ کا گیٹ اور ذرین جوڑنے سے ماسفیٹ چالو حال میں ربتا ہے۔ مزید یہ کہ یہ افزائندہ ہوتا ہے جیسے مندرجہ ذیل مساوات سے دیکھا جا سکتا ہے۔

$$\begin{aligned} V_{GS} &= V_{DS} \\ V_{GS} - V_{DS} &= 0 \\ V_{GS} - V_{DS} &< V_t \end{aligned}$$

یوں افزائندہ ماسفیٹ کی مساوات استعمال کرتے ہوئے V_{GS} کے لئے حل کرتے ہیں۔

$$\begin{aligned} I_{DS} &= \frac{k_n}{2} (V_{GS} - V_t)^2 \\ 0.6 \times 10^{-3} &= \frac{0.15 \times 10^{-3}}{2} (V_{GS} - 3)^2 \\ \frac{2 \times 0.6 \times 10^{-3}}{0.15 \times 10^{-3}} &= (V_{GS} - 3)^2 \\ 8 &= (V_{GS} - 3)^2 \\ V_{GS} &= \pm\sqrt{8} + 3 \\ V_{GS} &= 0.172 \text{ V}, 5.828 \text{ V} \end{aligned}$$



شکل 4.16:

کے جواب کو رد کرتے ہیں چونکہ اس طرح $V_{GS} < V_t$ ہو گا اور ماسفیٹ منقطع ہو گا۔ $V_{GS} = 5.828\text{ V}$ کو تسلیم کرتے ہوئے دور کے خارجی جانب کرچاف کے قانون برائی برق دباؤ میں V_{GS} کی قیمت کو حاصل شدہ V_{DS} کی قیمت کے برابر لیتے ہوئے

$$\begin{aligned}V_{DD} &= I_{DS}R_D + V_{DS} \\10 &= 0.6 \times 10^{-3} \times R_D + 5.828 \\R_D &= 6.95\text{k}\Omega\end{aligned}$$

حاصل ہوتا ہے -

مثال 4.8: اگر شکل 4.16 میں $I_{DS} = 0.8\text{ mA}$ ، $V_t = 2.5\text{ V}$ ، $k_n = 0.4\text{ mAV}^{-2}$ اور $V_D = 2\text{ V}$ ہو تو اس دور کے مزاحمت کی قیمت حاصل کریں۔
حل: دور کے داخلی جانب کرچاف کے قانون برائی برق دباؤ کے تحت

$$\begin{aligned}V_{GS} + I_{DS}R_S - 5 &= 0 \\V_{GS} &= 5 - I_{DS}R_S\end{aligned}$$

اگر ماسفیٹ منقطع ہو تو برق رو کی قیمت صفر ہو گی اور یوں

$$V_{GS} = 5 - I_{DS}R_S = 5 - 0 \times R_S = 5\text{ V}$$

حاصل ہوتا ہے جس سے $V_{GS} > V_t$ ثابت ہوتا ہے جو کہ چالو ماسفیٹ کی نشانی ہے۔ لہذا ماسفیٹ منقطع نہیں ہے۔

گیٹ برق زمین پر ہے جبکہ ڈرین دو ولٹ پر ہے۔ یوں

$$V_{GD} = V_G - V_D = 0 - 2 = -2\text{ V}$$

حاصل ہوتا ہے اور یوں $V_{GD} < V_t$ ثابت ہوتا ہے جو کہ افراہنده ماسفیٹ کی نشانی ہے۔ اس طرح افراہنده ماسفیٹ کی مساوات استعمال ہو گی

$$\begin{aligned} I_{DS} &= \frac{k_n}{2} (V_{GS} - V_t)^2 \\ I_{DS} &= \frac{k_n}{2} ([5 - I_{DS} R_S] - V_t)^2 \\ 0.8 \times 10^{-3} &= \frac{0.4 \times 10^{-3}}{2} (5 - 0.8 \times 10^{-3} \times R_S - 2.5)^2 \\ \pm \sqrt{4} &= (2.5 - 0.8 \times 10^{-3} \times R_S) \\ R_S &= 0.625 \text{ k}\Omega, \quad 5.625 \text{ k}\Omega \end{aligned}$$

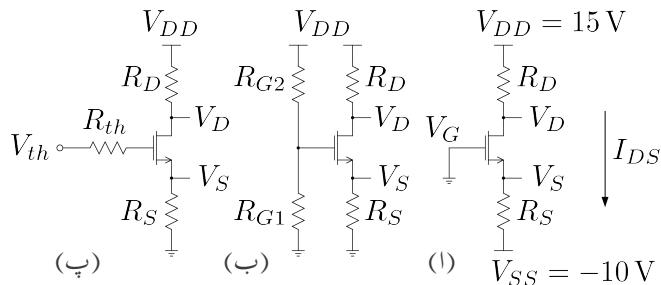
اگر $R_S = 0.625 \text{ k}\Omega$ ہو تب

$$V_{GS} = 5 - I_{DS} R_S = 5 - 0.8 \times 10^{-3} \times 0.625 \times 10^3 = 4.5 \text{ V}$$

ہو گا اور یوں $V_{GS} > V_t$ ہو گا یعنی ماسفیٹ منقطع ہو گا۔ منقطع ماسفیٹ میں برق روکا گزر ممکن نہیں اور یوں یہ ناقابل قبول جواب ہے اور اسے رد کیا جاتا ہے۔

مثال 4.9: شکل 4.17 میں دئے گئے دور کو اس طرح تخلیق کریں کہ $I_{DS} = 2 \text{ mA}$ جبکہ $V_{GS} = 2 \text{ V}$ ہو۔ دور میں استعمال کئے گئے ماسفیٹ کی $k_n = 0.6 \text{ mA} \text{ V}^{-2}$ ہے۔ دور میں $V_{DD} = 15 \text{ V}$ اور $V_{SS} = -10 \text{ V}$ رکھیں۔ حل: چونکہ گیٹ صفر جبکہ ڈرین دو ولٹ پر ہے لہذا $V_{GD} = -2 \text{ V}$ اور یوں $V_{GD} < V_t$ ہے جو کہ افراہنده ماسفیٹ کی نشانی ہے۔ یوں

$$\begin{aligned} I_{DS} &= \frac{k_n}{2} (V_{GS} - V_t)^2 \\ 2 \times 10^{-3} &= \frac{0.6 \times 10^{-3}}{2} (V_{GS} - 3.3)^2 \\ V_{GS} &= 3.3 \mp \sqrt{\frac{4}{0.6}} \\ V_{GS} &= 0.718 \text{ V}, \quad 5.88 \text{ V} \end{aligned}$$



شکل 4.17: ماسفیٹ کے مزید یک سمتی ادوار

اگر $V_{GS} = 0.718 \text{ V}$ لیا جائے تب $V_t < V_t$ ہو گا اور ماسفیٹ منقطع ہو گا لہذا اس جواب کو رد کیا جاتا ہے۔ یوں $V_{GS} = 5.88 \text{ V}$ صحیح جواب ہے۔ دور کے خارجی جانب کرچاف کے قانون برائے برقی دباؤ کے تحت

$$V_{GS} = V_G - V_S$$

$$5.88 = 0 - V_S$$

$$V_S = -5.88 \text{ V}$$

یوں اُوبم کے قانون کے تحت

$$R_S = \frac{V_S - V_{SS}}{I_{DS}} = \frac{-5.88 - (-10)}{2 \times 10^{-3}} = 2.06 \text{ k}\Omega$$

اور

$$R_D = \frac{V_{DD} - V_D}{I_{DS}} = \frac{15 - 2}{2 \times 10^{-3}} = 7.5 \text{ k}\Omega$$

حاصل ہوتے ہیں۔

مثال 4.10: شکل 4.17 ب میں دو جوڑ ٹرانزسٹر مائل کرنے کے طرز پر گیٹ کے ساتھ دو مزاحمت

منسلک کر کے ماسفیٹ کو مائل کیا گیا ہے۔ اگر

$$V_{DD} = 12 \text{ V}$$

$$R_D = 6.8 \text{ k}\Omega$$

$$R_S = 5.6 \text{ k}\Omega$$

$$R_{G1} = R_{G2} = 10 \text{ M}\Omega$$

$$V_t = 2.5 \text{ V}$$

$$k_n = 0.1 \text{ mA V}^2$$

بود تب اس دور میں تمام برقی دباؤ اور برقی رو حاصل کریں۔ حل: شکل پ میں اس کا مساوی ہمون دور دکھایا گیا ہے جہاں

$$V_{th} = \frac{R_{G1}V_{DD}}{R_{G1} + R_{G2}} = 6 \text{ V}$$

$$R_{th} = \frac{R_{G1}R_{G2}}{R_{G1} + R_{G2}} = 3 \text{ M}\Omega$$

چونکہ ماسفیٹ کے گیٹ پر برقی رو کی قیمت صفر ہوتی ہے ($I_G = 0$) لہذا ماسفیٹ کے گیٹ پر برقی دباؤ اسی ہمون برقی دباؤ کے برابر ہو گا یعنی

$$V_G = 6 \text{ V}$$

شکل ب میں گیٹ کو کھلے سرے تصور کرتے ہوئے R_1 اور R_2 کے جوڑ پر یہی 6 V پائے جائیں گے۔ یوں ماسفیٹ کے ادوار حل کرتے ہوئے ہمون مساوی دور بنانا لازم نہیں اور شکل ب پر ہی گیٹ پر 6 V لکھ کر آگے بڑھا جا سکتا ہے۔

خارجی جانب مزاحمت پر اوبم کا قانون لاگو کرنے سے ماسفیٹ کے سورس اور ڈرین سروں پر برقی دباؤ کے مندرجہ ذیل کلیات حاصل ہوتے ہیں۔

$$V_{DD} - V_D = I_{DS}R_D$$

$$V_D = V_{DD} - I_{DS}R_D$$

$$V_D = 12 - 6800I_{DS}$$

$$V_S = I_{DS}R_S = 5600I_{DS}$$

یوں

$$V_{GS} = V_G - V_S = (6) - (5600I_{DS})$$

$$V_{GD} = V_G - V_D = (6) - (12 - 6800I_{DS}) = -6 + 6800I_{DS}$$

بوگا۔ ان معلومات کے ساتھ رہتے ہوئے ہم یہ نہیں کہہ سکتے کہ ماسفیٹ افزائندہ یا غیر افزائندہ خطے میں ہے۔ اس طرح کے مسائل میں ہم ماسفیٹ کو افزائندہ (غیر افزائندہ) تصور کر کے دور کو حل کرتے

بیں۔ حتمی جواب حاصل ہونے کے بعد دوبارہ دیکھتے ہیں کہ آیا ماسفیٹ افزائندہ (غیر افزائندہ) ہی بھے۔ آئیں ایسا ہی کرتے ہوئے ہم ماسفیٹ کو افزائندہ تصور کر دیں۔ یوں

$$I_{DS} = \frac{k_n}{2} (V_{GS} - V_t)^2$$

$$I_{DS} = \frac{0.1 \times 10^{-3}}{2} [(6 - 5600I_{DS}) - 2.5]^2$$

$$3.136 \times 10^7 I_{DS}^2 - 4.8 \times 10^4 I_{DS} + 6.25 = 0$$

$$I_{DS} = 1.389 \text{ mA}, 0.144 \text{ mA}$$

حاصل ہوتا ہے۔ 1.38 mA سے

$$V_{GS} = 6 - 1.389 \times 10^{-3} \times 5.6 \times 10^3 = -1.778 \text{ V}$$

یعنی $V_t < V_{GS}$ حاصل ہوتا ہے لہذا اس جواب کو رد کیا جاتا ہے۔ 0.144 mA سے

$$V_{GS} = 6 - 0.144 \times 10^{-3} \times 5.6 \times 10^3 = 5.19 \text{ V}$$

یعنی $V_t > V_{GS}$ حاصل ہوتا ہے جو کہ چالو ماسفیٹ کی نشانی ہے۔ مزید یہ کہ اس برق رو سے

$$V_{GD} = -6 + 0.144 \times 10^{-3} \times 6.8 \times 10^3 = -5.02 \text{ V}$$

یعنی $V_t < V_{GD}$ حاصل ہوتا ہے جو کہ افزائندہ ماسفیٹ کی نشانی ہے۔ یوں 0.144 mA کو درست جواب تسلیم کیا جاتا ہے۔ اس طرح

$$V_D = 12 - 0.144 \times 10^{-3} \times 6.8 \times 10^3 = 11.02 \text{ V}$$

$$V_S = 0.144 \times 10^{-3} \times 5.6 \times 10^3 = 0.806 \text{ V}$$

حاصل ہوتے ہیں۔

مثال 4.11: شکل 4.17 ب میں

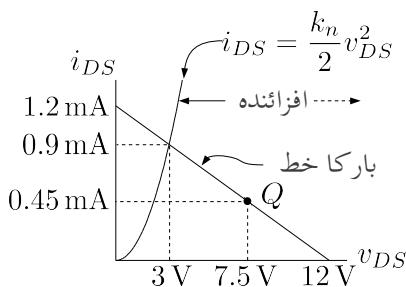
$$V_{DD} = 12 \text{ V}$$

$$R_D = 10 \text{ k}\Omega$$

$$R_S = 2 \text{ k}\Omega$$

$$V_t = 2.5 \text{ V}$$

$$k_n = 0.2 \text{ mA V}^2$$



شکل 18.4: بار کے خط سے نقطہ کارکردگی کا حصول

بیں۔ اس ایمپلیفائر کے گیٹ پر لاحدہ دکیسٹر کے ذریعہ داخلی اشارہ مہیا کیا جاتا ہے۔ v_{DS} کی زیادہ سے زیادہ متداخل چوٹی کے لئے درکار نقطہ مائل حاصل کریں۔
حل: بار کے خط³⁰ کی مساوات

$$V_{DD} = v_{DS} + i_{DS} (R_D + R_S)$$

$$12 = v_{DS} + 10000i_{DS}$$

کو شکل 18.4 میں گراف کیا گیا ہے۔ شکل میں نقطہ دبوج کے گراف کی مدد سے افزائندہ خط کی نشاندہی بھی کی گئی ہے۔ نقطہ دبوج کا خط مساوات 4.34 سے حاصل کیا گیا یعنی

$$i_{DS} = \frac{k_n}{2} v_{DS}^2$$

ان دو مساوات کو اکٹھے کرتے ہوئے

$$12 = v_{DS} + 10000i_{DS}$$

$$= v_{DS} + 10000 \times \frac{0.2 \times 10^{-3}}{2} v_{DS}^2$$

حاصل ہوتا ہے۔ اس دو درجی مساوات سے $v_{DS} = 3\text{V}$ حاصل ہوتا ہے۔ اس کا دوسرا جواب $v_{DS} = 4.5\text{V}$ ہے جس سے رد کیا جاتا ہے چونکہ v_{DS} منفی ممکن نہیں۔ حاصل v_{DS} سے $i_{DS} = 0.9\text{mA}$ حاصل ہوتا ہے۔

ماسفیٹ ایمپلیفائر بار کے خط پر چہل قدمی کرتا ہے۔ جیسے شکل میں دکھایا گیا ہے، ماسفیٹ اس وقت تک افزائندہ رہتا ہے جب تک v_{DS} کی قیمت v_{DS} سے زیادہ ہو۔ یوں ماسفیٹ کا v_{DS} تین وولٹ سے کم نہیں رکھا جا سکتا لہذا

$$3\text{V} \leq v_{DS} < 12\text{V}$$

$$0 < i_{DS} < 0.9\text{mA}$$

load line³⁰

خارجی متغیرات کے حدود ہیں جن میں ماسفیٹ افزائندہ رہے گا۔ ان قیمتوں کے بالکل درمیانی نقطے پر نقطہ کارکردگی رکھنے سے زیادہ سے زیادہ i_{DS} اور V_{DS} حاصل کرنا ممکن ہوگا۔ یوں نقطہ کارکردگی کو (7.5 V, 0.45 mA) رکھا جائے گا۔

مثال 4.12: p بڑھاتا ماسفیٹ استعمال کرتے ہوئے شکل 4.19 الف کا دور بنایا گیا ہے۔ ماسفیٹ کو افزائندہ خط میں رکھتے ہوئے $V_D = 4 \text{ V}$ اور $I_{SD} = 0.2 \text{ mA}$ حاصل کریں۔
حل: $V_D = 4 \text{ V}$ اور $I_{SD} = 0.2 \text{ mA}$ حاصل کرنے کی خاطر اوبم کے قانون کے تحت

$$\begin{aligned}V_D &= I_{SD} R_D \\4 &= 0.2 \times 10^{-3} R_D \\R_D &= 20 \text{ k}\Omega\end{aligned}$$

حاصل ہوتا ہے۔
افزائندہ ماسفیٹ کی مساوات سے

$$\begin{aligned}I_{SD} &= \frac{k_p}{2} (V_{SG} + V_t)^2 \\0.2 \times 10^{-3} &= \frac{0.1 \times 10^{-3}}{2} (V_{SG} - 2)^2 \\V_{SG} &= 0 \text{ V}, 4 \text{ V}\end{aligned}$$

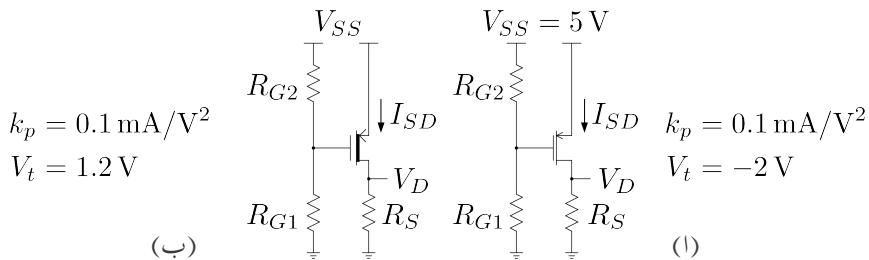
حاصل ہوتے ہیں۔ افزائندہ p بڑھاتا ماسفیٹ کے لئے ضروری ہے کہ $V_{SG} > -V_t$ رہے۔ چونکہ $-V_t = -(-2) = 2 \text{ volt}$

ہے لہذا اس شرط کا مطلب ہے کہ $V_{SG} > 2 \text{ V}$ ہو۔ یوں $V_{SG} = 4 \text{ V}$ کو درست جواب تسلیم کیا جاتا ہے۔ یوں چونکہ $V_S = 5 \text{ V}$ لہذا

$$\begin{aligned}V_{SG} &= V_S - V_G \\4 &= 5 - V_G \\V_G &= 1 \text{ V}\end{aligned}$$

درکار ہے۔ R_{G1} اور R_{G2} کے قیمتیں چن کر $V_G = 1 \text{ V}$ حاصل کیا جا سکتا ہے۔ مثلاً اگر $R_{G1} = 1 \text{ M}\Omega$ چنانچہ تو

$$\begin{aligned}V_G &= \frac{R_{G1} V_{SS}}{R_{G1} + R_{G2}} \\R_{G2} &= R_{G1} \left(\frac{V_{SS}}{V_G} - 1 \right) \\R_{G2} &= 4 \text{ M}\Omega\end{aligned}$$



شکل 4.19: p ماسفیٹ کر یک سمتی ادوار

حاصل ہوتا ہے۔

مثال 4.13: شکل 4.19 ب میں p قسم کا گھٹاتا ماسفیٹ استعمال کرتے دور بنایا گیا ہے جس میں ماسفیٹ کو افزائندہ رکھتے ہوئے $V_D = 1V$ اور $I_{SD} = 0.2 \text{ mA}$ درکار ہیں۔ اس دور کو حل کریں۔

$$V_D = I_{SD} R_D$$

$$1 = 0.2 \times 10^{-3} R_D$$

$$R_D = 5\text{ k}\Omega$$

افزائندہ ماسفیٹ کی مساوات سے

$$I_{SD} = \frac{k_p}{2} (V_{SG} + V_t)^2$$

$$0.2 \times 10^{-3} = \frac{0.1 \times 10^{-3}}{2} (V_{SG} + 1.2)^2$$

$$V_{SG} = -3.2 \text{ V}, 0.8 \text{ V}$$

چالو p قسم کے گھٹاتا ماسفیٹ کے لئے $V_{SG} > -V_t$ یعنی $V_{SG} > -1.2\text{ V}$ ضروری ہے۔ یوں $V_{SG} = 0.8\text{ V}$ کو درست جواب تسلیم کیا جاتا ہے اور $V_{SG} = -3.2\text{ V}$ کو رد کیا جاتا ہے۔ یوں

$$V_{SG} = V_S - V_G$$

$$0.8 = 5 - V_G$$

$$V_G = 4.2 \text{ V}$$

$$\text{درکار ہے} - R_{G1} = 10 \text{ M}\Omega \quad \text{لیتے ہوئے}$$

$$R_{G2} = R_{G1} \left(\frac{V_{SS}}{V_G} - 1 \right) = 10 \times 10^6 \left(\frac{5}{4.2} - 1 \right) = 0.19 \text{ M}\Omega$$

حاصل ہوتا ہے -

مثال 4.14: شکل 4.20 الف میں I_{DS} اور V_{DS} حاصل کریں۔ گھٹاتا ماسفیٹ کے

$$k_n = 0.1 \text{ mA V}^{-2}$$

$$V_t = -1 \text{ V}$$

ہیں۔
حل: ماسفیٹ کا گیٹ برقی زمین پر ہے یعنی $V_G = 0 \text{ V}$ ہے۔ بقایا دو سروں کے لئے ہم لکھ سکتے ہیں۔

$$V_S = I_{DS} R_S = 2000 I_{DS}$$

$$V_D = V_{DD} - I_{DS} R_D = 5 - 16000 I_{DS}$$

یوں

$$V_{GS} = V_G - V_S = 0 - 2000 I_{DS} = -2000 I_{DS}$$

تصور کرئے ہیں کہ ماسفیٹ افزائندہ ہے۔ اس طرح

$$I_{DS} = \frac{k_n}{2} (V_{GS} - V_t)^2$$

$$I_{DS} = \frac{0.1 \times 10^{-3}}{2} [(-2000 I_{DS}) - (-1)]^2$$

$$I_{DS} = 5.958 \text{ mA}, 0.042 \text{ mA}$$

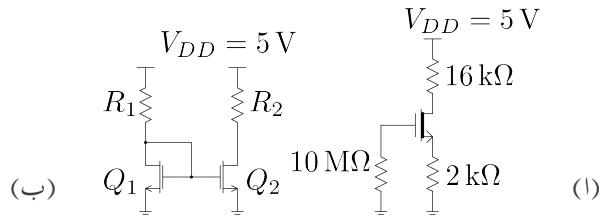
5.958 mA کے برق رو سے $V_{GS} = -5.958 \times 10^{-3} \times 2000 = -11.9 \text{ V}$ حاصل ہوتا ہے جو کہ منقطع ماسفیٹ کی نشانی ہے لہذا اس جواب کو رد کیا جاتا ہے۔ 0.042 mA کے برق رو سے $V_{GS} = -0.042 \times 10^{-3} \times 2000 = -0.084 \text{ V}$ حاصل ہوتا ہے جو کہ چالو ماسفیٹ کی نشانی ہے۔ یہی صحیح جواب ہے۔ مزید یہ کہ

$$V_S = 0.042 \times 10^{-3} \times 2000 = 0.084 \text{ V}$$

$$V_D = 5 - 0.042 \times 10^{-3} \times 16000 = 4.328 \text{ V}$$

$$V_{DS} = V_D - V_S = 4.328 - 0.084 = 4.224 \text{ V}$$

$$V_{GD} = V_G - V_D = 0 - 4.328 = -4.328 \text{ V}$$



شکل 4.20: ماسفیٹ کے یک سمتی ادوار

چونکہ $V_{GD} < V_t$ ہے لہذا ماسفیٹ افزائندہ ہی ہے جیسے تصور کیا گیا تھا۔

مثال 4.15: شکل 4.20 ب میں برق آئینہ³¹ دکھایا گیا ہے۔ اس دور میں استعمال ہونے والے دونوں ماسفیٹ کو بالکل پکساد تصور کرتے ہوئے اسے حل کریں۔

حل: Q_1 کا گیٹ اس کے ڈرین کے ساتھ منسلک کیا گیا ہے۔ یہاں رک کر مثال 4.5 کو دوبارہ دیکھیں جہاں اس طرح جڑے ماسفیٹ پر تفصیلی گفتگو کی گئی ہے۔

ماسفیٹ کا گیٹ اور ڈرین جڑے ہونے کی وجہ سے ان دونوں پر برابر برق دباؤ پایا جائے گا یعنی $V_{G1} = V_{D1}$ ہو گا۔ یوں $V_{GS1} = V_{DS1}$ اور $V_{GS1} - V_t < V_t$ ہو گا۔ یہ افزائندہ ماسفیٹ کی نشانی ہے۔ کرچاف کے قانون برائے برق دباؤ کے تحت

$$V_{DD} = I_{DS1}R_1 + V_{DS1}$$

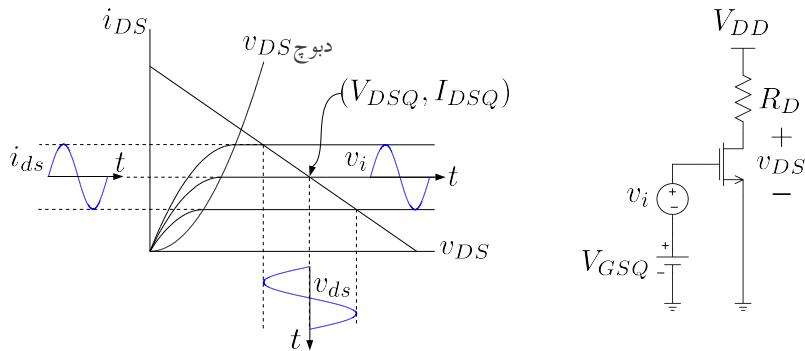
$$V_{DS1} = V_{DD} - I_{DS1}R_1$$

ہے۔ چونکہ V_{DS1} اور V_{GS1} برابر ہیں لہذا

$$V_{GS1} = V_{DS1} = V_{DD} - I_{DS1}R_1$$

ہو گا اور یوں

$$\begin{aligned} I_{DS1} &= \frac{k_n}{2} (V_{GS} - V_t)^2 \\ &= \frac{k_n}{2} [(V_{DD} - I_{DS1}R_1) - V_t]^2 \end{aligned}$$



شکل 4.21: ماسفیٹ ایمپلیفیائر

ہو گا۔ اس مساوات کو حل کرتے برق رو کی دو مقادیر حاصل ہوں گے جن میں سے صرف ایک مقدار قابل قبول ہو گی۔ اس برق رو کے مطابق V_{GS1} حاصل کیا جا سکتا ہے۔ دور میں دونوں ماسفیٹ کے گیٹ آپس میں جڑے ہیں جبکہ دونوں کے سورس برق زمین پر ہیں۔ یوں $V_{GS2} = V_{GS1}$ ہو گا۔ جب تک ماسفیٹ Q_2 بھی افزائندہ رہے اس کی برق رو

$$I_{DS2} = \frac{k_n}{2} (V_{GS2} - V_t)^2$$

ہو گی جو کہ ماسفیٹ Q_1 کے برق رو کے برابر ہے یعنی $I_{DS2} = I_{DS1}$ ۔ یوں R_1 کی مدد سے Q_1 میں درکار برق رو حاصل کی جاتی ہے۔ چونکہ V_{GS1} اور V_{GS2} برابر ہیں لہذا Q_2 میں بھی Q_1 کے برق رو جتنا برق رو گزرسے گا۔

4.9 ماسفیٹ ایمپلیفیائر کا ترسیمی تجزیہ

ماسفیٹ کو بطور ایمپلیفیائر استعمال کرنے کی خاطر اسے افزائندہ خطے میں مائل کیا جاتا ہے۔ شکل 4.21 میں ماسفیٹ ایمپلیفیائر دکھایا گیا ہے۔ ساتھ ہی ماسفیٹ کے خطوط اور برق بار کا خط بھی دکھایا گیا ہے۔ افزائندہ خطے کے حد کو v_{DS} کے خط سے دکھایا گیا ہے۔ ماسفیٹ ایمپلیفیائر اس وقت تک خوش اسلوبی سے داخلی اشارے کو بڑھاتا ہے جب تک ماسفیٹ افزائندہ خطے میں رہے۔ ہم یہاں nMOSFET کو مثال بنانے کے لئے ماسفیٹ ایمپلیفیائر پر تبصرہ کریں گے۔ ماسفیٹ کے باقیا تمام اقسام پر مبنی ایمپلیفیائر بھی اسی طرح کام کرتے ہیں۔

شکل 4.21 میں نقطہ کارکردگی ماسفیٹ کے گیٹ پر برق دباو، V_{GSQ} ، بار کی مراحت R_D اور برق دباو کی سپلانی V_{DD} تعین کرتے ہیں۔ $v_i = 0$ ہونے کی صورت میں ماسفیٹ نقطہ کارکردگی پر پایا جائے گا جہاں اس کے یک سمتی برق رو V_{DSQ} اور یک سمتی برق رو I_{DSQ} ہوں گے۔ اب تصور کریں

کہ باریک اشارہ v_i مثبت جانب بڑھتا ہے۔ یوں ماسفیٹ کے گیٹ پر کل برق دباؤ V_{GSQ} سے بڑھ جائے گا جس سے i_{DS} بڑھ جائے گی جبکہ v_{DS} گھٹ جائے گا۔ اسی طرح اگر v_i منفی ہوتا ہے تو گیٹ پر برق دباؤ گھٹے گا جس سے i_{DS} گھٹے گی جبکہ v_{DS} بڑھے گا۔ شکل میں سائیں نما v_i کی صورت میں ایسا ہوتا دکھایا گیا ہے۔ آپ دیکھ سکتے ہیں کہ بار کے خط کی ڈھلوان کم کرنے سے v_{ds} بڑھتا ہے۔ اس ایمپلیفائر کی افزائش برق دباؤ A_v ہے۔

4.10 ماسفیٹ ایمپلیفائر کا تحلیلی تجزیہ

شکل 4.22 میں بڑھاتا ماسفیٹ کو استعمال کرتے ہوئے ایمپلیفائر کا دور بنایا گیا ہے جس میں دو عدد پیدا کار برق دباؤ V_{GS} اور V_{DD} ماسفیٹ کو مائل کرنے کی خاطر استعمال کئے گئے ہیں۔ جیسا کہ ہم اسی باب میں آگئے دیکھیں گے، حقیقت میں عموماً ایسا نہیں کیا جاتا۔ ہر حال اس دور کی مدد سے ایمپلیفائر پر غور کرنا نسبتاً آسان ہے۔

اس دور میں داخلی جانب یک سمعی پیدا کار V_{GS} کے ساتھ سلسلہ وار بدلتا اشارہ v_{gs} منسلک کیا گیا ہے۔ اس دور کا مقصد داخلی اشارہ v_{gs} کا حیطہ بڑھانا ہے۔ بڑھایا گیا اشارہ ماسفیٹ کے ڈرین سے حاصل کیا جائے گا۔
مندرجہ ذیل بحث گرشتہ باب میں ٹرانزسٹر پر بحث کرے ہو ہو ہے۔

4.10.1 یک سمتی تجزیہ

ماسفیٹ کا نقطہ کارکردگی حاصل کرنے کی خاطر بدلتے اشارہ کو قصر دور کیا جاتا ہے یعنی اس کی قیمت صفر کر دی جاتی ہے۔ یوں

$$(4.44) \quad I_{DS} = \frac{k_n}{2} (V_{GS} - V_t)^2$$

حاصل ہوتا ہے۔ خارجی جانب کرچاف کرے قانون برائے برق دباؤ سے

$$(4.45) \quad V_{DS} = V_{DD} - I_{DS} R_D$$

حاصل ہوتا ہے۔ ماسفیٹ افزائندہ رہنے کی خاطر

$$V_{GS} - V_{DS} < V_t$$

کا ہونا ضروری ہے۔

4.10.2 بدلتی رو تجزیہ

بدلتی رو تجزیہ کی خاطر دور میں v_{gs} پر نظر رکھی جائے گی۔ شکل 4.22 میں V_{GS} اور v_{gs} سلسلہ وار جوڑنے سے

$$(4.46) \quad v_{GS} = V_{GS} + v_{gs}$$

$$\begin{aligned}
 i_{DS} &= \frac{k_n}{2} (v_{GS} - V_t)^2 = \frac{k_n}{2} (V_{GS} + v_{gs} - V_t)^2 \\
 &= \underbrace{\frac{k_n}{2} (V_{GS} - V_t)^2}_{I_{DS}} + k_n (V_{GS} - V_t) v_{gs} + \underbrace{\frac{k_n}{2} v_{gs}^2}_{\text{نا گوار جزو}}
 \end{aligned}$$

نا گوار جزو
 اشاراتی جزو
 یک سمتی جزو

$v_{GS} = V_{GS} + v_{gs}$

شکل 4.22: ماسفیٹ ایمپلیفیائر کے برقی روکے مختلف اجزاء

حاصل ہوتا ہے جس کو استعمال کرتے ہوئے

$$(4.47) \quad i_{DS} = \frac{k_n}{2} (v_{GS} - V_t)^2$$

$$\begin{aligned}
 i_{DS} &= \frac{k_n}{2} \left(V_{GS} + v_{gs} - V_t \right)^2 \\
 &= \frac{k_n}{2} \left[(V_{GS} - V_t) + v_{gs} \right]^2 \\
 &= \frac{k_n}{2} \left[(V_{GS} - V_t)^2 + 2(V_{GS} - V_t)v_{gs} + v_{gs}^2 \right] \\
 &= \frac{k_n}{2} (V_{GS} - V_t)^2 + k_n (V_{GS} - V_t) v_{gs} + \frac{k_n}{2} v_{gs}^2
 \end{aligned}$$

حاصل ہوتا ہے۔ اس مساوات کا پہلا جزو $\frac{k_n}{2} (V_{GS} - V_t)^2$ یک سمتی جزو ہے۔ یہ مساوات 4.44 میں دئے گئے برابر ہے اور یوں اسے I_{DS} لکھا جا سکتا ہے۔ مساوات کا دوسرا جزو $k_n (V_{GS} - V_t) v_{gs}$ بدلنے روک جزو ہے۔ یہ جزو داخلی اشارہ کا $(V_{GS} - V_t)$ گنہ بڑھایا جزو ہے اور یوں اسے i_{ds} لکھا جا سکتا ہے۔ مساوات کا تیسرا جزو v_{gs} کے مریع کے راست تناسب ہے اور یوں یہ جزو اشارہ کی شکل بگاڑتا³² ہے۔ یہ آخری جزو $\frac{k_n}{2} v_{gs}^2$ نا گوار جزو ہے۔ اشارہ کی اصل شکل برقرار رکھنے کی خاطر اس جزو کی قیمت دوسرے جزو سے بہت کم رکھنی ضروری ہے یعنی

$$\frac{k_n}{2} v_{gs}^2 \ll k_n (V_{GS} - V_t) v_{gs}$$

distortion³²

اس سے حاصل ہوتا ہے

$$(4.49) \quad v_{gs} \ll 2(V_{GS} - V_t)$$

مساوات 4.49 باریک اشارہ³³ کی شرط بیان کرتا ہے۔ جو اشارہ اس مساوات پر پورا اترے اسے باریک اشارہ تصور کیا جاتا ہے۔ اگر داخلی اشارہ باریک اشارہ کی شرط پر پورا اترے تب مساوات 4.48 میں آخری جزو کو نظر انداز یا جا سکتا ہے اور اسے یوں لکھا جا سکتا ہے۔

$$(4.50) \quad i_{DS} \approx I_{DS} + i_{ds}$$

جہاں

$$(4.51) \quad i_{ds} = k_n (V_{GS} - V_t) v_{gs}$$

مساوات 4.51 کو یوں بھی لکھا جا سکتا ہے۔

$$(4.52) \quad i_d = g_m v_{gs}$$

جہاں

$$(4.53) \quad g_m = \frac{i_d}{v_{gs}} = k_n (V_{GS} - V_t)$$

مسفیٹ کی باریک اشاراتی موصل۔ غا افزائش ہے۔ مساوات 4.44 کی مدد سے g_m کو یوں بھی لکھا جا سکتا ہے۔

$$(4.54) \quad \begin{aligned} g_m &= \sqrt{2I_{DS}k_n} \\ &= \frac{2I_{DS}}{V_{GS} - V_t} \end{aligned}$$

g_m کے با ضابطہ تعریف کے مطابق یہ ماسفیٹ کے $i_{DS} - v_{GS}$ خط کے نقطہ مائل پر مماس کی ڈھلوان ہے یعنی

$$(4.55) \quad g_m = \left. \frac{\partial i_{DS}}{\partial v_{GS}} \right|_{v_{GS}=V_{GSQ}}$$

اشارة v_{gs} کی موجودگی میں مساوات 4.45 مندرجہ ذیل صورت اختیار کر لیتا ہے۔

$$(4.56) \quad v_{DS} = V_{DD} - i_{DS} R_D$$

small signal³³

مساوات 4.50 کے استعمال سے

$$(4.57) \quad v_{DS} = V_{DD} - (I_{DS} + i_{ds}) R_D \\ = V_{DD} - I_{DS} R_D - i_{ds} R_D$$

یہ مساوات داخلی اشارہ کے موجودگی میں خارجی برق دباؤ دیتا ہے۔ داخلی اشارہ کے عدم موجودگی میں i_{ds} کی قیمت صفر ہو گئی اور اس سے مساوات 4.45 حاصل ہو گا۔ اس مساوات کو یوں بھی لکھا جا سکتا ہے۔

$$(4.58) \quad v_{DS} = V_{DS} + v_{ds}$$

جہاں V_{DS} مساوات 4.45 میں دی گئی ہے جبکہ

$$(4.59) \quad v_{ds} = -i_{ds} R_D$$

ہے۔ مساوات 4.52 کی مدد سے

$$(4.60) \quad v_{ds} = -g_m R_D v_{gs}$$

حاصل ہوتا ہے جس سے افزائش برق دباؤ یوں حاصل ہوتا ہے۔

$$(4.61) \quad A_v = \frac{v_{ds}}{v_{gs}} = -g_m R_D$$

یہاں منفی علامت کا مطلب یہ ہے کہ جب داخلی اشارہ v_{gs} مثبت ہو تو خارجی اشارہ v_{ds} منفی ہو گا یعنی یہ دو اشارات آپس میں 180° زاویہ پر رہتے ہیں۔ شکل 4.23 میں مساوات 4.47 کا خط کھینچا گیا ہے۔ نقطہ کارکردگی پر اس خط کی ڈھلوں g_m کھلاتی ہے۔ داخلی اشارہ v_{gs} کے عدم موجودگی میں ماسفیٹ نقطہ کارکردگی Q پر رہے گا اور یوں اس پر I_{DSQ} اور V_{GSQ} پائی جائیں گے۔ سائن نما v_{gs} کی صورت میں i_{DS} میں سائن نما جزو پایا جائے گا جس سے i_{ds} کہا جاتا ہے۔

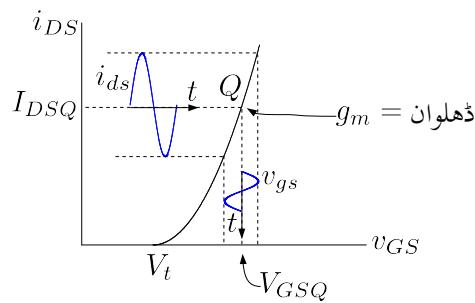
4.11 ماسفیٹ ماذل

اس حصے میں ماسفیٹ کے ماذل حاصل کئے جائیں گے جنہیں استعمال کر کے بدلتے برق دباؤ اور بدلتے برق رو حاصل کئے جاتے ہیں۔

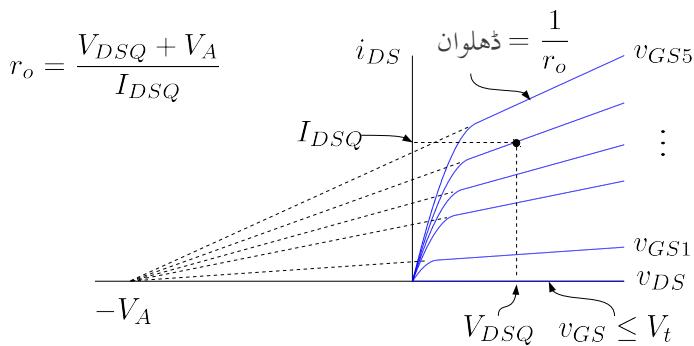
4.11.1 خارجی مزاحمت r_0

ماسفیٹ کو بطور ایمپلیفائیر استعمال کرنے کی خاطر اسے افزائندہ خطے میں مائل کیا جاتا ہے۔ مساوات 4.26 کے مطابق افزائندہ خطے میں v_{DS} تبدیل کرنے سے i_{DS} پر کوئی اثر نہیں ہوتا۔ صفحہ 381 پر شکل 4.5 پ میں v_{DS} کو دیوچ v_{DS} سے بڑھانے پر پیدا کردہ راہ کی لمبائی کم ہوتے دکھائی گئی ہے۔ مساوات 4.26 حاصل کرتے وقت اس اثر کو نظر انداز کیا گیا۔ پیدا کردہ راہ کی لمبائی کم ہونے سے پیدا کردہ راہ کی مزاحمت کم ہو جاتی ہے اور یوں i_{DS} بڑھ جاتا ہے۔ بڑھتے برق دباؤ کے ساتھ پیدا کردہ راہ کی لمبائی کم ہونے کے اثر کو ہم مساوات 4.26 میں ارلی برق دباؤ³⁴ V_A کے طرز کا جزو شامل کرنے

Early voltage³⁴



شكل 4.23: ماسفیٹ ایمپلیفائیر کا گیٹ پر برقی دباؤ بالمقابل ماسفیٹ کی برقی رو کا خط



شكل 4.24: اولی برقی دباؤ

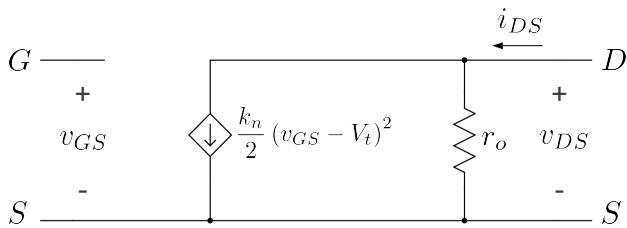
سے حاصل کر سکتے ہیں جیسے

$$(4.62) \quad i_{DS} = \frac{k'_n}{2} \left[\frac{W}{L} \right] [v_{GS} - V_t]^2 \left[1 + \frac{v_{DS}}{V_A} \right]$$

$$= \frac{k_n}{2} [v_{GS} - V_t]^2 \left[1 + \frac{v_{DS}}{V_A} \right]$$

ارلی برق دباؤ کے اثر کو شامل کرتے ہوئے ماسفیٹ کے خط شکل 4.24 میں گراف کئے گئے ہیں۔ اس مساوات سے ماسفیٹ کا خارجی مزاحمت حاصل کرنے کی عرض سے اس کا تفرق نقطہ مائل پر لیتے ہیں۔

$$\left. \frac{\partial i_{DS}}{\partial v_{DS}} \right|_{V_{GS}} = \frac{k_n}{2} (V_{GS} - V_t)^2 \frac{1}{V_A}$$



شکل 4.25: وسیع اشارات ماسفیٹ ماڈل

اور یوں

$$(4.63) \quad r_o = \left. \frac{\partial i_{DS}}{\partial v_{DS}} \right|_{v_{GS}}^{-1} = \frac{1}{\frac{k_n}{2} [v_{GS} - V_t]^2 \frac{1}{V_A}}$$

حاصل ہوتا ہے۔ اگر ارلی برق دباؤ کے اثر کو نظر انداز کیا جائے تو I_{DS} کو $\frac{k_n}{2} (v_{GS} - V_t)^2$ کو لکھا جا سکتا ہے اور یوں مندرجہ بالا خارجی مزاحمت کی مساوات کو ہتر طریقے سے یوں لکھا جا سکتا ہے۔

$$(4.64) \quad r_o = \left. \frac{\partial i_{DS}}{\partial v_{DS}} \right|_{v_{GS}}^{-1} \approx \frac{V_A}{I_{DS}}$$

ہم V_A کو ارلی برق دباؤ ہی کہیں گے۔ ارلی برق دباؤ کی قیمت پیدا کردہ راہ کے لمبائی کے راست تناسب ہوتا ہے۔

$$(4.65) \quad V_A \propto L_{r_o}$$

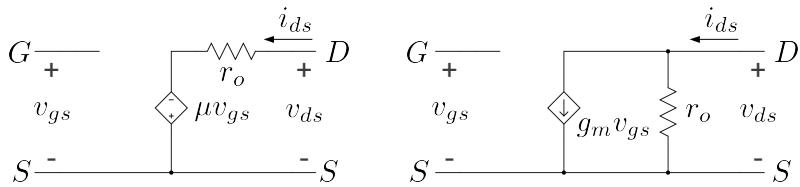
یوں r_o بڑھانے کی خاطر زیادہ لمبائی کی راہ تخلیق دی جاتی ہے۔ ماسفیٹ کے ارلی برق دباؤ کی عمومی قیمت 200V تا 300V ہوتی ہے۔

4.11.2 وسیع اشاراتی ماسفیٹ ماڈل

افزائندہ خطے میں ماسفیٹ کا وسیع اشاراتی ماڈل شکل 4.25 میں دکھایا گیا ہے۔ اس ماڈل کے داخلی جانب مزاحمت لاحدہ ہے جبکہ مساوات 4.64 اس کا خارجی مزاحمت r_o دیتا ہے۔ آپ دیکھ سکتے ہیں کہ اس ماڈل سے درست i_{DS} حاصل ہوتا ہے۔

4.11.3 باریک اشاراتی ماسفیٹ π ماڈل

ماسفیٹ کا باریک اشاراتی ماڈل بالکل BJT ٹرانزسٹر کی طرح حاصل کیا جاتا ہے۔ افزائندہ خطے میں استعمال ہوتے ماسفیٹ کا باریک اشاراتی ماڈل حاصل کرنے کی غرض سے مساوات 4.28 کا جزوی تفرقہ



شکل 4.26: پست تعددی باریک اشاراتی ماسفیٹ پائے ماذل

حاصل کرتے ہیں جس سے افزائش g_m حاصل ہو گی۔ جزوی تفرق کی قیمت نقطہ مائل V_{GS} پر حاصل کیا جاتا ہے۔ یوں

$$(4.66) \quad g_m = \left. \frac{\partial i_{DS}}{\partial v_{GS}} \right|_{V_{GS}} = k_n [V_{GS} - V_t]$$

حاصل ہوتا ہے۔ مساوات 4.28 کی یک سمتی شکل

$$I_{DS} = \frac{k_n}{2} (V_{GS} - V_t)^2$$

سے

$$V_{GS} - V_t = \sqrt{\frac{2I_{DS}}{k_n}}$$

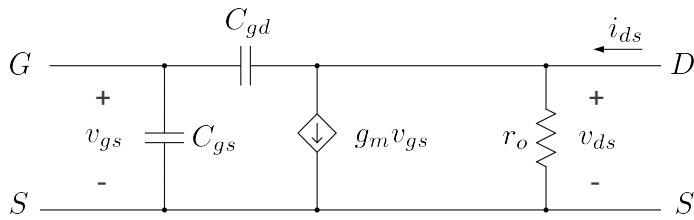
حاصل ہوتا ہے جس کی مدد سے مساوات 4.66 کو یوں بھی لکھا جا سکتا ہے۔

$$(4.67) \quad g_m = k_n [V_{GS} - V_t] = k_n \sqrt{\frac{2I_{DS}}{k_n}} = \sqrt{2k_n I_{DS}}$$

مساوات 4.64 سے حاصل r_o اور مساوات 4.67 سے حاصل g_m استعمال کرتے ہوئے ماسفیٹ کا پست تعددی باریک اشاراتی ماسفیٹ پائے ماذل حاصل ہوتا ہے جسے شکل 4.26 میں دائیں پانہ دکھایا گیا ہے۔ اس ماذل کا عمومی نام π ماذل ہے۔ دو جوڑ ٹرانزسٹر کے باریک اشاراتی ماذل کے ساتھ موازنہ کرتے ہوئے صاف ظاہر ہے کہ ماسفیٹ کا داخلی مزاہم لامحدود ہونے کی وجہ سے اس کی داخلی برقی رو صفر ہو گی۔ ماسفیٹ کے g_m کا دو جوڑ ٹرانزسٹر کے g_m کے ساتھ موازنہ کرنے سے معلوم ہوتا ہے کہ ماسفیٹ کی برقی رو چار گناہ کرنے سے اس کا g_m دگنا ہوتا ہے جبکہ دو جوڑ ٹرانزسٹر کی برقی رو صرف دگنا کرنے سے ہی اس کا g_m دگنا ہو جاتا ہے۔

شکل 4.26 میں اسی ماذل کی دوسری شکل بھی دکھائی گئی ہے جہاں ماذل میں خارجی جانب نارٹن مساوی کی جگہ ہونن مساوی استعمال کیا گیا ہے۔ یوں ہونن برقی دباؤ $g_m v_{gs} r_o$ کے برابر لیتے ہوئے

$$\mu = g_m r_o$$



شکل 4.27: بلند تعددی باریک اشاراتی ماسفیٹ پائے ماذل

حاصل ہوتا ہے۔
ماسفیٹ کے گیٹ اور سورس کے مابین C_{gs} کپیسٹر پایا جاتا ہے۔ کم تعداد پر ان کپیسٹر کو نظرانداز کیا جاتا ہے البتہ بلند تعداد پر ان کو نظرانداز کرنا ممکن نہیں ہوتا۔ یوں بلند تعداد پر ماسفیٹ کے پائے ماذل میں انہیں شامل کرنے سے بلند تعدادی پائے ماذل حاصل ہوتا ہے جسے شکل 4.27 میں دکھایا گیا ہے۔ کم v_{DS} کی صورت میں غیر افزائندہ ماسفیٹ کے گیٹ کے نیچے الٹا خطہ سورس سے ڈرین تک تقریباً یکسان شکل کا ہوتا ہے۔ گیٹ اور الٹا خطہ مل کر کپیسٹر $\frac{\epsilon WL}{d}$ کو جنم دیتے ہیں۔ اس کپیسٹر کا آدھا حصہ C_{gs} اور آدھا C_{gd} ہے یعنی

$$(4.68) \quad C_{gs} \approx C_{gd} \approx \left(\frac{1}{2} \right) \frac{\epsilon WL}{d}$$

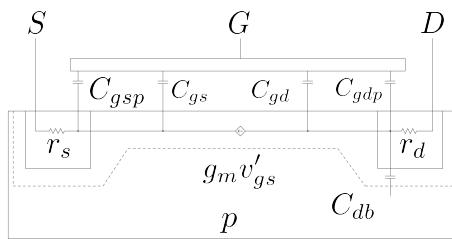
جہاں W گیٹ کی جوڑائی، L گیٹ کی لمائی، d گیٹ کی فاصلہ ہے۔ $\epsilon = \epsilon_r \epsilon_0$ ہے جبکہ $\epsilon_r = 3.9$ ہے۔ $\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \frac{\text{F}}{\text{m}}$ ہے۔ افزائندہ ماسفیٹ کے ڈرین جانب راہ دبوچا گیا ہوتا ہے۔ یوں گیٹ کے نیچے پیدا کردہ راہ پر جگ یکسان نہیں ہوتا۔ اس صورت میں $C_{gd} \approx 0$ جبکہ $C_{gs} \approx \frac{2\epsilon WL}{3d}$ ہوتا ہے۔

$$(4.69) \quad C_{gd} \approx 0$$

$$C_{gs} \approx \left(\frac{2}{3} \right) \frac{\epsilon WL}{d}$$

ان کے علاوہ گیٹ کا کچھ حصہ سورس کو اور کچھ حصہ ڈرین کو ڈھانپتا ہے جس سے گیٹ اور سورس کے مابین غیر مطلوب کپیسٹر C_{gsp} اور اسی طرح گیٹ اور ڈرین کے مابین غیر مطلوب کپیسٹر C_{gdp} پیدا ہوتا ہے۔ ڈرین اور سلیکان پتی کا مابین pn جوڑ پایا جاتا ہے جس کے کپیسٹر کو C_{db} سے ظاہر کیا جاتا ہے۔

ماسفیٹ کے ماذل میں C_{gs} گیٹ اور سورس کے درمیان دونوں اقسام کے کپیسٹروں کے مجموعے کو کہتے ہیں۔ اسی طرح C_{gd} بھی دونوں اقسام کے کپیسٹروں کے مجموعے کو ظاہر کرتا ہے۔ شکل 4.28 میں ان تمام قسم کے کپیسٹروں کو دکھایا گیا ہے۔ ساتھ ہی ساتھ مزاحمت r_s اور r_d بھی دکھائے گئے ہیں۔ بیرونی سورس سرے اور اندروںی سورس کے درمیان r_s مزاحمت پایا جاتا ہے۔ اسی طرح بیرونی ڈرین



شکل 4.28: ماسفیٹ ماذل کے اجزاء

سرے اور اندروئی ڈرین کے درمیان r_d پایا جاتا ہے۔ اس کتاب میں C_{db} ، r_s اور r_d کو استعمال نہیں کیا جائے گا۔
دو جوڑ ٹرانزسٹر کے پائے ماذلوں کی طرح ماسفیٹ کے باریک اشاراتی پائے ماذل nMOSFET اور pMOSFET دونوں کے لئے یکسان قابل استعمال ہیں۔

4.11.4 باریک اشاراتی ماسفیٹ تی ماذل

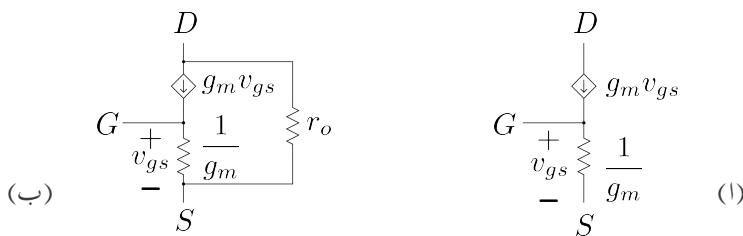
شکل 4.29 الف میں r_o کو نظر انداز کرتے ہوئے ماسفیٹ کا تی ماذل³⁵ دکھایا گیا ہے۔ اس ماذل میں گیث اور سورس کے مابین مزاحمت نسبت ہے جس کی قیمت $\frac{1}{g_m}$ ہے۔ اس ماسفیٹ ماذل کو پائے ماذل سے ماذل سے یون حاصل کیا جا سکتا ہے۔ پائے ماذل میں

$$(4.70) \quad \begin{aligned} i_g &= 0 \\ i_d &= i_s = i_{ds} = g_m v_{gs} \end{aligned}$$

پائے جاتے ہیں جہاں i_d اور i_s ڈرین اور سورس کے برق رو ہیں۔ داخلی مزاحمت لاحدود ہے۔ آئیں اب تی ماذل پر نظر ڈالیں۔ تی ماذل میں $i_d = g_m v_{gs}$ ہے۔ گیث اور سورس کے مابین مزاحمت نسبت ہے جس پر برق دباو v_{gs} ہے۔ یوں اوہم کے قانون سے اس مزاحمت میں برق رو کی مقدار

$$\frac{v_{gs}}{\frac{1}{g_m}} = \frac{\text{دباو برقی}}{\text{رو برقی}} = g_m v_{gs}$$

بوگی۔ یہی برق رو سورس پر ہوگی۔ گیٹ G کے جوڑ پر D کی جانب سے برق رو آتی ہے۔ اس جوڑ سے اتنی ہی برق رو مزاحمت سے گزرتے ہوئے S روان ہے۔ یوں کرچاف کے قانون برائے برق رو کی مدد سے گیٹ پر برق رو $i_g = 0$ حاصل ہوتی ہے۔ داخلی مزاحمت $\frac{v_{gs}}{i_g}$ کی قیمت 0 کی بنا پر لاحدود حاصل ہوتی ہے۔ ہم دیکھتے ہیں کہ تی ماذل سے بھی بالکل وہی جوابات حاصل ہوتے ہیں جو پائے ماذل سے حاصل ہوتے ہیں لہذا ماسفیٹ کے ادوار حل کرتے وقت تی ماذل کو بھی استعمال کیا جا سکتا ہے۔ تی ماذل میں r_o کی شمولیت شکل 4.29 ب میں دکھایا گیا ہے۔



شکل 4.29: باریک اشاراتی ماسفیٹ ٹی ماذل

دو جوڑ ٹرانزسٹر کے ٹی ماذل کی طرح شکل 4.29 میں دکھائے گئے ماسفیٹ کے ٹی ماذل nMOSFET دو نوں کے لئے قابل استعمال ہیں۔ اور pMOSFET

4.11.5 یک سمتی اور بدلتے متغیرات کی علیحدگی

مندرجہ بالا تذکرہ سے ہم دیکھتے ہیں کہ برقی دباؤ اور برق روکے دو حصے (یعنی یک سمتی حصہ اور بدلتا حصہ) ہوتے ہیں۔ ماسفیٹ کے ادوار حل کرتے وقت ان دو حصوں کو علیحدہ حل کیا جاتا ہے۔ پہلے بدلتے متغیرات کی قیمتیں صفر کرتے ہوئے یک سمتی حصہ حل کر کے نقطے مائل حاصل کیا جاتا ہے اور پھر بدلتے حصے کو ماذل کی مدد سے حل کیا جاتا ہے۔

مثال 4.16: مساوات 4.48 میں $\frac{k_n v_{gs}^2}{2}$ نا پسندیدہ حصہ ہے۔ اگر داخلی اشارہ $k_n V_p^2 \cos^2 \omega t = \frac{1+\cos(2\omega t)}{2} [1 + \cos(2\omega t)]$ استعمال کرتے ہوئے لکھا جا سکتا ہے جو داخلی اشارے کے دگنی تعدد کا جزو ہے۔ یہی اصل اشارے کی شکل بگاڑتا ہے۔ خارجی اشارے میں دگنی تعدد اور اصل تعدد کے اجزاء کے حیطوں کی نسبت حاصل کریں۔ اگر $V_{GS} = 4V$ اور $V_t = 1.4V$ حاصل کردہ نسبت 1% ہو۔

$$\text{حل: دگنی تعدد کا حصہ } \frac{k_n V_p^2}{4} \cos(2\omega t) \text{ ہے۔ یوں}$$

$$\frac{\text{بگرا جزو}}{\text{اصل جزو}} = \frac{V_p}{4(V_{GS} - V_t)}$$

حاصل ہوتا ہے۔ اس طرح

$$\frac{V_p \times 100}{4(4 - 1.4)} = 1$$

$$V_p \leq 104 \text{ mV} \text{ حاصل ہوتا ہے۔}$$

مثال 4.17: ایک دور جس سے شکل 4.17 ب میں دکھایا گیا ہے کا تجربہ کرتے ہوئے مندرجہ ذیل معلومات حاصل کئے جاتے ہیں۔

$$V_{DD} = 12 \text{ V}$$

$$R_D = 6.8 \text{ k}\Omega$$

$$R_S = 5.6 \text{ k}\Omega$$

$$R_{G1} = R_{G2} = 10 \text{ M}\Omega$$

بین-مزید اس کے گیٹ پر $V_G = 6 \text{ V}$ جبکہ سورس پر $V_S = 0.81 \text{ V}$ ناپے جاتے ہیں۔ ساتھ ہی ساتھ باریک اشاراتی برقی دیا وکی افزائش $A_v = -6.8 \frac{\text{V}}{\text{V}}$ ناپے جاتی ہے جہاں خارجی اشارے کو ڈرین سے لیا گیا۔ استعمال کئے گئے ماسفیٹ کی k_n اور V_t حاصل کریں۔ حل: اوبم کے قانون سے

$$I_{DS} = \frac{V_S}{R_S} = \frac{0.81}{5600} = 1.4464 \text{ mA}$$

حاصل ہوتا ہے۔ ساتھ ہی ساتھ

$$V_{GS} = V_G - V_S = 6 - 0.81 = 5.19 \text{ V}$$

بے۔ مساوات 4.61 کی مدد سے $g_m = 1 \text{ mA/volt}$ حاصل کرتے ہوئے مساوات 4.53 میں پر کرتے ملتا ہے۔

$$10^{-3} = k_n (5.19 - V_t)$$

تصور کرتے ہیں کہ ماسفیٹ افزائندہ خطے میں بے یون افزائندہ ماسفیٹ کی مساوات سے

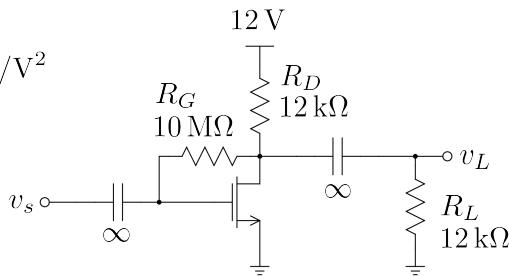
$$1.4464 \times 10^{-3} = \frac{k_n}{2} (5.19 - V_t)^2$$

حاصل ہوتا ہے۔ مندرجہ بالا دو نتائج ملا کر

$$1.4464 \times 10^{-3} = \frac{k_n}{2} \left(\frac{10^{-3}}{k_n} \right)^2$$

لکھا جا سکتا ہے جس سے $k_n = 0.345 \frac{\text{mA}}{\text{V}^2}$ حاصل ہوتا ہے۔ اس قیمت کو استعمال کرتے ہوئے $V_t = 2.29 \text{ V}$

$$\begin{aligned}V_t &= 2 \text{ V} \\k_n &= 0.2 \text{ mA/V}^2 \\V_A &= 60 \text{ V}\end{aligned}$$



شکل 4.30: ماسفیٹ ایمپلیفیاٹر

شکل کو دیکھتے ہوئے

$$V_D = V_D D - I_{DS} R_D = 15 - 1.4464 \times 10^{-3} \times 6800 = 5.16 \text{ V}$$

لکھا جا سکتا ہے۔ یوں

$$V_{GD} = V_G - V_D = 6 - 5.16 = 0.835 \text{ V}$$

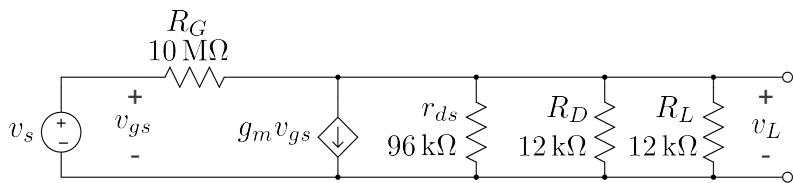
حاصل ہوتا ہے جو V_t سے کم ہے لہذا ماسفیٹ افزائندہ خطے میں ہی ہے۔

مثال 4.18: شکل 4.30 میں ماسفیٹ ایمپلیفیاٹر دکھایا گیا ہے۔ داخلی اور خارجی جانب لامحدود جفتی کپسٹ استعمال کئے گئے ہیں۔ داخلی مزاحمت، خارجی مزاحمت اور افزائش $A_v = \frac{v_L}{v_s}$ حاصل کریں۔ حل: چونکہ گیٹ پر برق رو صفر ہے لہذا R_G پر صفر ولٹ کا گھٹاؤ ہو گا۔ اس طرح $V_G = V_D$ ہو گے، یعنی $V_{GS} = V_{DS} = 0 \text{ V}$ ہو گا۔ یوں $V_{GD} = V_t < V_t$ ہے جس سے ثابت ہوتا ہے کہ ماسفیٹ افزائندہ خطے میں ہے۔ یوں

$$\begin{aligned}I_{DS} &= \frac{0.2 \times 10^{-3}}{2} (V_{GS} - 2)^2 \\&= \frac{0.2 \times 10^{-3}}{2} (V_{DS} - 2)^2\end{aligned}$$

لکھا جا سکتا ہے۔ اُوسم کے قانون سے

$$I_{DS} = \frac{12 - V_{DS}}{R_D} = \frac{12 - V_{DS}}{12000}$$



شکل 4.31: ماسفیٹ ایمپلیفیاٹر کا مساوی باریک اشاراتی دور

حاصل ہوتا ہے۔ ان دو مساوات کو ملا کر حل کرنے سے

$$V_{DS} = 4.5 \text{ V}, \quad I_{DS} = 0.625 \text{ mA}$$

حاصل ہوتا ہے۔ دو درجی مساوات کے دوسرے جواب کو رد کیا جاتا ہے۔
کی قیمت

$$\begin{aligned} g_m &= k_n (V_{GS} - V_t) \\ &= 0.2 \times 10^{-3} (4.5 - 2) \\ &= 0.5 \frac{\text{mA}}{\text{V}} \end{aligned}$$

اور خارجی مزاحمت r_o کی قیمت

$$r_o = \frac{V_A}{I_{DS}} = \frac{60}{0.625 \times 10^{-3}} = 96 \text{ k}\Omega$$

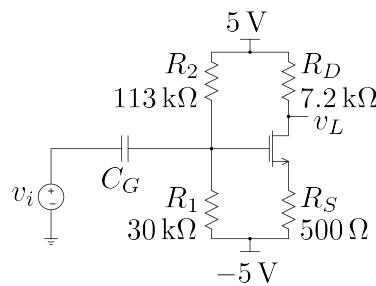
حاصل ہوتے ہیں۔ شکل 4.31 میں ان قیمتیوں کو استعمال کرتے ہوئے مساوی پست تعدادی باریک اشاراتی دور دکھایا گیا ہے۔ R_G سے گزرتے برق رو کو نظر انداز کرتے ہوئے

$$\begin{aligned} v_L &\approx -g_m v_{gs} (r_o \parallel R_D \parallel R_L) \\ &= -2.823 v_{gs} \end{aligned}$$

حاصل ہوتا ہے۔ چونکہ v_{gs} اور v_s برابر ہیں لہذا

$$A_v = \frac{v_L}{v_s} = -2.823 \frac{\text{V}}{\text{V}}$$

حاصل ہوتا ہے۔ چونکہ R_G میں برقی رو



شکل 4.32: مشترک ایمٹر بمع ایمٹر مزاحمت

$$\begin{aligned}
 i_s &= \frac{v_s - v_L}{R_G} \\
 &= \frac{v_s}{R_G} \left(1 - \frac{v_L}{v_s}\right) \\
 &= \frac{v_s}{R_G} [1 - (-2.823)] \\
 &= 3.823 \frac{v_s}{R_G}
 \end{aligned}$$

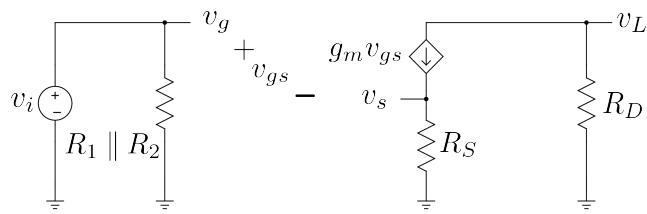
کے برابر ہے لہذا داخلی مزاحمت

$$R_i = \frac{v_s}{i_s} = \frac{R_G}{3.823} = 2.6 \text{ M}\Omega$$

حاصل ہوتا ہے۔

مثال 4.19: شکل 4.32 میں $k_n = 1.2 \frac{\text{mA}}{\text{V}^2}$ اور $V_t = 0.8 \text{ V}$ اور r_o بیں۔ $A_v = \frac{v_L}{v_i}$ حاصل کریں۔ کپیسٹر کی قیمت لاحدود نصویر کریں۔
حل: یک سمتی تجهیز سے $V_{GS} = 1.8 \text{ V}$ اور $I_{DS} = 0.6 \text{ mA}$ اور $V_{DS} = 5.38 \text{ V}$ حاصل ہوتے ہیں۔ یوں ماسفیٹ افرائندہ خطے میں ہے۔ انہیں استعمال کرتے ہوئے

$$g_m = \sqrt{2k_n I_{DS}} = \sqrt{2 \times 1.2 \times 10^{-3} \times 0.6 \times 10^{-3}} = 1.2 \text{ mS}$$



شکل 4.33: مشترک ایمپ بمع ایمپ مزاحمت کا باریک اشاراتی مساوی دور

حاصل ہوتا ہے۔ ایمپلیفائر کا باریک اشاراتی مساوی دور شکل 4.33 میں دکھایا گیا ہے جس سے

$$v_L = -g_m v_{gs} R_D = -8.64 v_{gs}$$

$$v_g = v_i$$

$$v_s = g_m v_{gs} R_S = 0.6 v_{gs}$$

حاصل ہوتے ہیں۔ چونکہ $v_{gs} = v_g - v_s$ ہے لہذا

$$v_{gs} = v_i - 0.6 v_{gs}$$

لکھا جا سکتا ہے جس سے

$$v_{gs} = \frac{v_i}{1.6} = 0.625 v_i$$

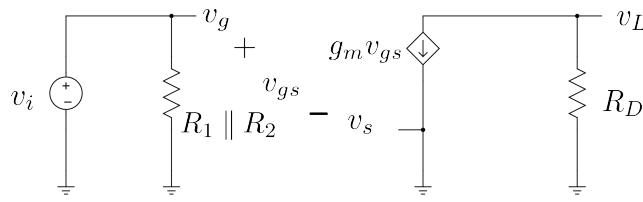
حاصل ہوتا ہے۔ اس قیمت کو v_L کی مساوات میں پُر کرتے ملتا ہے

$$v_L = -8.64 \times 0.625 \times v_i = -5.4 v_i$$

یعنی

$$A_v = \frac{v_L}{v_i} = -5.4 \frac{\text{V}}{\text{V}}$$

مثال 4.20: مثال 4.19 میں R_S کے متوازی لاحدود قیمت کا کپیسٹر نسب کرتے ہوئے A_v دوبارہ حاصل کریں۔



شکل 4.34

حل: کمپیسٹر نسب کرنے سے نقطہ کارکردگی پر کوئی اثر نہیں پڑتا لہذا $g_m = 1.2 \text{ mS}$ بھی رہے گا۔ باریک اشاراتی مساوی دور شکل 4.34 میں دکھایا گیا ہے جس سے

$$v_L = -g_m v_{gs} R_D = -8.64 v_{gs}$$

$$v_g = v_i$$

$$v_s = 0$$

یعنی

$$v_{gs} = v_i$$

$$v_L = -8.64 v_i$$

اور

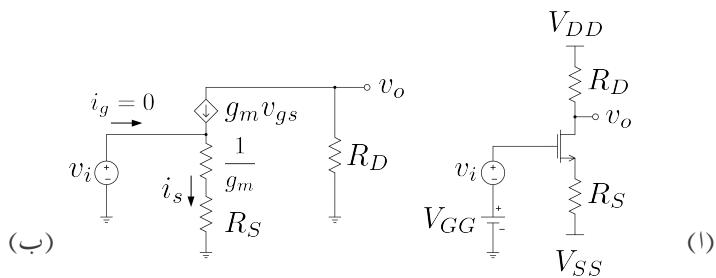
$$A_v = -8.64 \frac{\text{V}}{\text{V}}$$

حاصل ہوتے ہیں۔

ان دو مثالوں سے آپ دیکھتے ہیں کہ R_S کی شمولیت سے A_v کے گھشتا ہے لیکن چونکہ R_S کے استعمال سے نقطہ کارکردگی مستحکم ہوتا ہے لہذا R_S کا استعمال کیا جاتا ہے۔ R_S کے متوازی لاحدود کمپیسٹر نسب کرنے سے A_v پر R_S کے ٹھیرے اثر کو ختم کیا جاتا ہے۔

مثال 4.21: شکل 4.35 الف کے ایمپلیفیور کو ٹی ماڈل سے حل کریں۔

حل: شکل ب میں ٹی ماڈل استعمال کرتے ہوئے اس کا باریک اشاراتی مساوی دور دکھایا گیا ہے۔ ٹی ماڈل استعمال کرتے وقت اس حقیقت کو بروئے کار لائیں کہ گیٹ پر برق رو صفر رہتی ہے۔ شکل میں $i_g = 0$ لکھ کر اس حقیقت کی یاد دہانی کرائی گئی ہے۔ داخلی جانب کرچاف کے قانون برائے برق دباؤ



شکل 4.35

کی مدد سے ہم لکھ سکتے ہیں۔

$$i_s = \frac{v_i}{\frac{1}{g_m} + R_S}$$

چونکہ $i_g = 0$ ہے لہذا یہی برقی رو R_D سے بھی گزرے گی۔ اس طرح

$$v_o = - \left(\frac{v_i}{\frac{1}{g_m} + R_S} \right) R_D$$

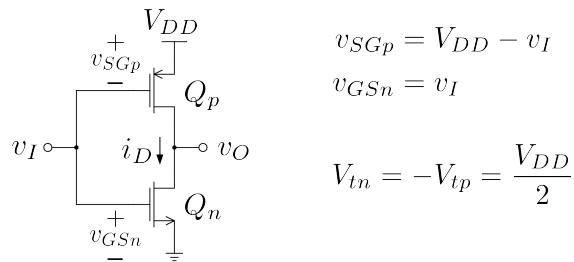
بوگا۔ جس سے

$$(4.71) \quad A_v = \frac{v_o}{v_i} = - \left(\frac{R_D}{\frac{1}{g_m} + R_S} \right)$$

حاصل ہوتا ہے۔ اس مساوات کو یوں بہتر طرز پر لکھا جا سکتا ہے

$$(4.72) \quad A_v = - \frac{\sum R_{\text{ذین}}}{\sum R_{\text{سourس}}}$$

صفحہ 303 پر مساوات 3.217 میں $\alpha = 1$ لینے ہوئے مساوات 4.72 ہی حاصل ہوتا ہے۔ دو جوڑ ٹرانزسٹر کی صورت میں r_e کو $\frac{1}{g_m}$ کو لکھا گیا جبکہ یہاں ہم اس کو $\frac{1}{g_m}$ ہی لکھیں گے۔



شکل 4.36: نفی کار

4.12 سیماس نفی کار

عددی ادوار³⁶ میں نفی کار³⁷ کلیدی کردار ادا کرتا ہے۔ جیسا کہ پہلے بھی ذکر کیا گیا، سیماس ٹیکنالوژی کی ہتر خصوصیات کی بنا پر مخلوط ادوار زیادہ تر انہیں کو استعمال کرتے ہوئے بنائے جاتے ہیں۔ شکل 4.36 اف میں ایک عدد pMOSFET اور ایک عدد nMOSFET استعمال کرتے ہوئے نفی کار بنایا گیا ہے۔ عددی اشارات صرف دو ہی قیمتیں 0 V یعنی پست صورت یا 5 V یعنی بلند صورت اختیار کر سکتے ہیں۔ آئین v_I کو ان قیمتیوں پر رکھتے ہوئے خارجی اشارہ v_O حاصل کریں۔ شکل کو دیکھتے ہوئے

$$(4.73) \quad \begin{aligned} v_{SGp} &= V_{DD} - v_I \\ v_{GSn} &= v_I \end{aligned}$$

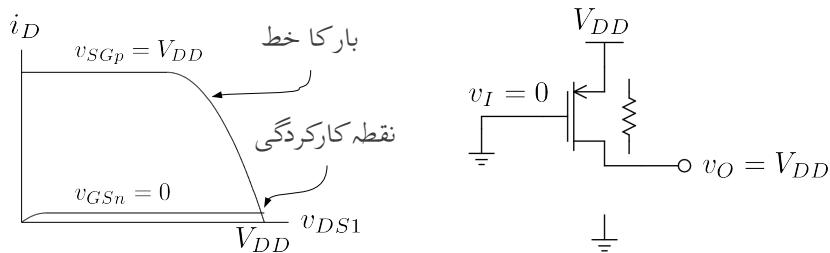
لکھا جا سکتا ہے۔ مزید تصور کریں کہ

$$(4.74) \quad V_{tn} = -V_{tp} = V_t$$

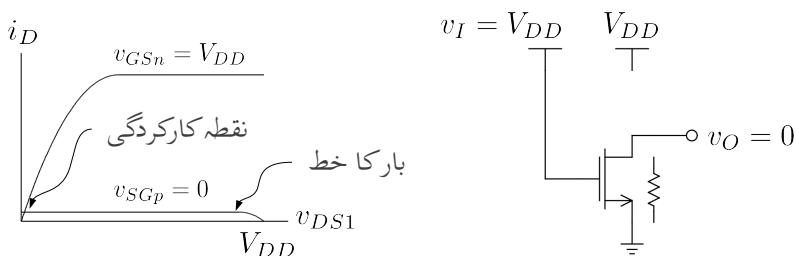
کے برابر ہے۔ داخلی اشارہ $v_I = 0V$ کی صورت میں مساوات 4.73 سے $v_{GSn} = 0V$ حاصل ہوتا ہے۔ چونکہ V_{tn} مثبت مقدار ہے لہذا $v_{GSn} < V_{tn}$ ہے۔ اس طرح Q_n منقطع ہو گا اور اس کی برقی رو صفر ہو گی۔ اس کے برعکس Q_p کے لئے مساوات 4.73 کے مطابق $v_{SGp} = V_{DD} - V_{tp}$ حاصل ہوتا ہے۔ یہوں ہے لہذا Q_p چالو ہو گا۔ شکل 4.37 میں منقطع Q_n کے خط پر چالو Q_p کے خط کو بطور بار کا خط دکھایا گیا ہے۔ Q_p کے خط کا عمودی محور میں عکس لینے کے بعد اس عکس کو افقی محور پر دائیں جانب V_{DD} اکایاں منتقل کرنے سے بار کا خط³⁸ حاصل ہوتا ہے۔ Q_n کے خط کو افقی محور سے قدر اوپر کر کر دکھایا گیا ہے تاکہ یہ محور سے علیحدہ نظر آئے۔ ان دو خطوط سے حاصل نقطہ کارکردگی کے مطابق $v_{DSQ} \approx V_{DD}$ کے برابر ہے۔ اس طرح $0 = v_I = V_{DD} - v_O$ حاصل ہوتا ہے۔

digital circuits³⁶
NOT gate³⁷

³⁸ صفحہ 267 پر حصہ 3.12 کی شروع میں ٹرانزیستر بار کا خط کھیجنا دکھایا گیا۔ اس طبقے پر ایک مرتبہ دوبارہ نظر ڈالیں۔



شکل 4.37: داخلي اشاره پست بونئے کي صورت مين خارجي اشاره بلند حاصل ہوتا ہے۔



شکل 4.38: داخلي اشاره بلند بونئے کي صورت مين خارجي اشاره پست حاصل ہوتا ہے۔

یہی جواب خطوط کھینچے بغیر یوں حاصل کیا جا سکتا ہے۔ منقطع Q_n کو کھلے دور جبکہ چالو Q_p کو بطور مزاحمت تصور کریں۔ ایسا کرنے سے شکل 4.37 میں دکھایا دور حاصل ہوتا ہے جس کو دیکھ کر $v_O = V_{DD}$ لکھا جا سکتا ہے۔

داخلي اشاره $v_I = V_{DD}$ کي صورت مين مساوات 4.73 سے $v_{GSn} = V_{DD} > V_{tn}$ حاصل ہوتا ہے لہذا $v_{GSn} > V_{tp}$ ہے۔ اس طرح Q_n چالو ہو گا۔ اس کے برعکس Q_p کے لئے مساوات 4.73 کے مطابق $v_{SGp} = 0$ حاصل ہوتا ہے۔ یوں $v_{SGp} < -V_{tp}$ ہے لہذا Q_p منقطع ہو گا۔ شکل 4.38 میں چالو Q_n کے خط پر منقطع Q_p کے خط کو بطور بار کا خط دکھایا گیا ہے۔ بار کے خط کو افقی محور سے قدر اوپر کر کر دکھایا گیا ہے تاکہ یہ محور سے علیحدہ نظر آئی۔ ان دو خطوط سے حاصل نقطہ کارکردگی کے مطابق 0 کے برابر ہے۔ اس طرح $v_I = V_{DD}$ کي صورت مين $v_O = 0$ حاصل ہوتا ہے۔

یہی جواب خطوط کھینچے بغیر یوں حاصل کیا جا سکتا ہے۔ چالو Q_n کو مزاحمت جبکہ منقطع Q_p کو کھلے دور تصور کریں۔ ایسا کرنے سے شکل 4.38 میں دکھایا دور حاصل ہوتا ہے جس کو دیکھ کر $v_O = V_{DD}$ لکھا جا سکتا ہے۔

$v_I = 0$ کي صورت مين $v_{DS} = V_{DD}$ کے برابر حاصل ہوتا ہے لہذا Q_n میں برق طاقت کا ضیاع قابل نظر انداز ہو گا۔ چونکہ اس صورت میں $0 \approx V_{SD}$ ہے لہذا Q_p میں طاقت کا ضیاع

اس سے بھی کم ہو گا۔ $v_I = V_{DD}$ کی صورت میں Q_p کے کردار آپس میں تبدیل ہو جاتے ہیں لہذا طاقت کا ضیاء جوں کا توں رہتا ہے۔ حقیقت میں ماسفیٹ سے بنائے نفی کار میں کل طاقت کا ضیاء ایک مائیکرو وات سے بھی کم ہوتا ہے۔

آئیں شکل 4.36 میں دئے نفی کار کا v_O بالمقابل v_I خط حاصل کریں۔ ایسا کرنے کی خاطر v_I کو بتدریج 0V سے V_{DD} تک تبدیل کرتے ہوئے v_O حاصل کیا جائے گا۔ یہ دونوں ماسفیٹ کے برق رو بالمقابل برق دباؤ مساوات لکھتے ہیں۔

شکل سے Q_n کے $v_{GS} = v_I$ اور $v_{DS} = v_O$ لکھا جا سکتا ہے۔ یوں مساوات 4.23 اور مساوات 4.24 کو یوں لکھا جا سکتا ہے۔

$$(4.75) \quad i_{DS} = k_n \left[(v_I - V_{tn}) v_O - \frac{v_O^2}{2} \right] \quad \text{جب } v_O \leq v_I - V_{tn}$$

اسی طرح مساوات 4.27 اور مساوات 4.28 کو

$$(4.76) \quad i_{DS} = \frac{k_n}{2} [v_I - V_{tn}]^2 \quad \text{جب } v_O \geq v_I - V_{tn}$$

لکھا جا سکتا ہے۔ اسی طرح Q_p کے لئے مساوات 4.36 کو

$$(4.77) \quad i_{SD} = k_p \left[(V_{DD} - v_I + V_{tp}) (V_{DD} - v_O) - \frac{(V_{DD} - v_O)^2}{2} \right] \quad \text{جب } v_O \geq v_I - V_{tp}$$

اور مساوات 4.38 کو

$$(4.78) \quad i_{SD} = \frac{k_p}{2} [V_{DD} - v_I + V_{tp}]^2 \quad \text{جب } v_O \leq v_I - V_{tp}$$

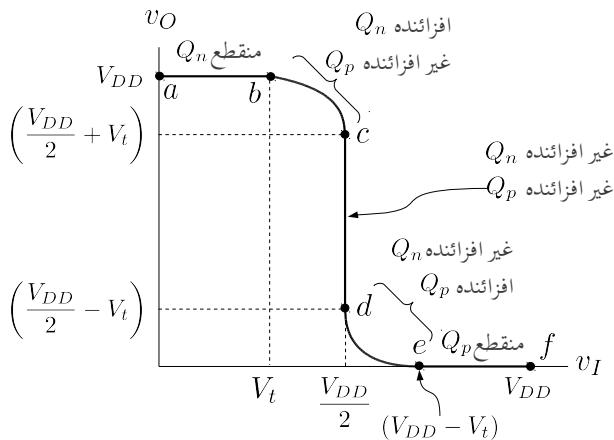
لکھا جا سکتا ہے۔ نفی کار کو عموماً یوں تخلیق دیا جاتا ہے کہ

$$(4.79) \quad V_{tn} = |V_{tp}| = V_t$$

$$(4.80) \quad k_n = k_p$$

ہو۔ اس طرح v_O بالمقابل v_I کا خط متشاکل تناسب رکھتا ہے اور خارجی سرے پر v_O کی پست اور بلند دونوں صورتوں میں نفی کار یکسان برق رو کی صلاحیت رکھتا ہے۔ مندرجہ بالا چار مساوات سے شکل 4.39 میں دکھایا گیا خط حاصل ہوتا ہے۔ عددی ادوار کے نقطہ نظر سے غالباً اس خط سے زیادہ ابہم کوئی خط نہیں پایا جاتا لہذا اس کو اچھی طرح سمجھ کر ہی آگے بڑھیں۔ آئیں اس پر خط مزید غور کریں۔

شکل 4.39 پر ابہم نقطے دکھائے گئے ہیں۔ تصور کریں کہ $V_t = 1\text{V}$ اور $V_{tp} = -1\text{V}$ اور $V_{tn} = 1\text{V}$ تا b خط پر غور کریں۔ یہاں v_I کی قیمت 0V تا 1V ہے۔ چونکہ Q_n کی $v_{GS} = v_I$ ہے لہذا $v_{GS} < V_{tn}$ یوں منقطع ہے۔ اس کے برعکس



شکل 4.39: نفی کار کا خط

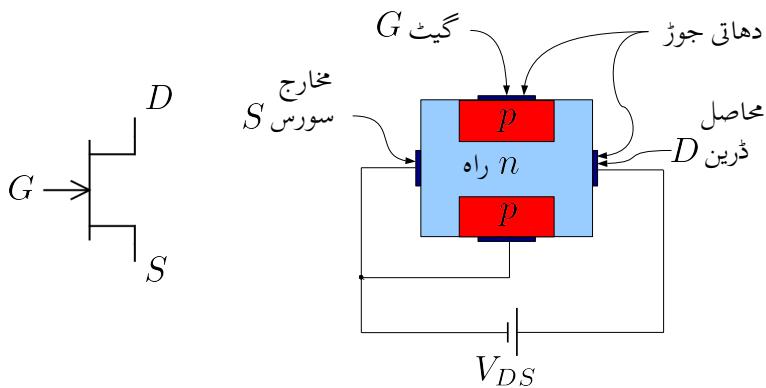
$v_{SG} = V_{DD} - v_I$ کی قیمت 4V تا 5V رہے گی۔ جونکہ $V_{tp} = -1\text{V}$ ہے لہذا $v_{SG} > -V_{tp}$ ہے۔ اس طرح $v_{SG} > -V_{tp} = 1\text{V}$ ہو گا اور اس طرح Q_p چالو ہے۔ مزید ہے لہذا اسی ماسفیٹ کے v_{GD} کی قیمت -4V تا -5V رہے گی جو V_{tp} سے کم ہے لہذا Q_p غیر افزائندہ ہو گا۔

شکل 4.39 سے v_O اور v_I کی قیمتیں پڑھتے ہوئے تسلی کر لیں کہ b تا c منفی ماسفیٹ افزائندہ جبکہ مثبت ماسفیٹ غیر افزائندہ ہے۔ بقایا نقطوں کے درمیان بھی صورت حال دیکھیں۔

4.13 جوڑدار فیٹ (JFET)

جوڑدار فیٹ کے دو اقسام یعنی n اور p پائے جاتے ہیں۔ شکل 4.40 میں n قسم کے جوڑدار فیٹ یعنی (n JFET) کی ساخت اور علامت دکھائئے گئے ہیں۔ منفی جوڑدار فیٹ بنانے کی خاطر n قسم سلیکان ٹکڑے کے دونوں اطراف p قسم کے خطے بنائے جاتے ہیں جنہیں گیٹ³⁹ کہتے ہیں۔ ان دو خطوں کو بیرونی دھاتی تار سے جوڑ کر بطور گیٹ (G) استعمال کیا جاتا ہے۔ شکل میں اس بیرونی دھاتی تار کو نہیں دکھایا گیا ہے۔ دو گیٹوں کے درمیان راہ میں آزاد الیکٹران پائے جاتے ہیں۔ اس راہ پر بیرونی برق دباؤ v_{DS} لاگو کرنے سے راہ میں موجود آزاد الیکٹران منفی برق دباؤ والے سرے سے مثبت برق دباؤ والے سرے کی جانب حرکت کریں گے جس سے برق رو i_{DS} پیدا ہو گی۔ یوں منفی برق دباؤ والے سرے سے خارج الیکٹران، مثبت برق دباؤ والے سرے پر حاصل ہوتے ہیں۔ اسی سے ان دو سروں کو سورس S اور ڈرین D کے نام دئے گئے ہیں۔ روایتی برق رو الیکٹران کے حرکت کی الٹ سمت ہوتی ہے۔ یوں

gate³⁹



شکل 4.40: جوڈار منفی فیٹ کی ساخت

(nJFET) میں روایتی برق روکی سمت راہ میں ڈرین سے سورس کی جانب ہوگی۔ اگرچہ راہ میں برق رو دونوں جانب بالکل یکساں طور ممکن ہے اور یوں اس کے سروں کو S اور D کے نام دینا شاید درست نہ لگے ہم پھر ہمیں اس راہ کے ایک سرے کو سورس (S) جبکہ دوسرے سرے کو ڈرین (D) پکاریں گے۔ بیرونی برق دباو کا مشتبہ سرا (nJFET) کے D کی جانب رکھا جائے گا۔ nJFET میں راہ n قسم کے نیم موصل سے حاصل ہوتا ہے اور اس کے نام میں n اسی کو ظاہر کرتا ہے۔

آئیں شکل 4.41 کی مدد سے nJFET کی کارکردگی پر غور کریں۔ راہ اور گیٹ آپس میں pn جوڑ یعنی ڈائیوڈ بناتے ہیں۔ nJFET کی علامت میں گیٹ پر تیر کا نشان اس ڈائیوڈ کے سیدھے رخ کو دکھاتا ہے۔ اس جوڑ پر بالکل ڈائیوڈ کی طرح ویران خطہ وجود میں آتا ہے اور جیسا کہ آپ جانتے ہیں، اس ویران خطے کی چوڑائی کا دارومندانہ اس جوڑ پر پائے جانے والے برق دباو پر ہے۔ شکل الف میں سورس S کو برق زمین پر رکھتے ہوئے گیٹ G پر منفی برق دباو لاگو کیا گیا ہے۔ گیٹ پر لاگو منفی برق دباو کو جتنا زیادہ منفی کیا جائے ویران خطہ اتنا ہی زیادہ چوڑا ہو گا اور n راہ کی چوڑائی اتنی ہی کم ہو گی۔ v_{GS} کو اگر بتدریج منفی جانب بڑھایا جائے تو ویران خطہ بڑھتے بڑھتے آخر کار تمام n راہ کو گھیر لے گا۔ جس v_{GS} پر ایسا ہو، اس کو nJFET کے دبوچنے کا برق دباو کہتے ہیں اور روایتی طور اسے V_p سے ظاہر کیا جاتا ہے۔ یوں nJFET کے V_p کی قیمت منفی ہو گی۔ اس سے معلوم یہ ہوا کہ راہ کی گھرائی کو گیٹ پر برق دباو سے قابو کیا جا سکتا ہے۔ مزید یہ کہ گیٹ اور راہ pn جوڑ بناتے ہیں۔ اگر گیٹ اور راہ کے درمیان مشتبہ برق دباو دی جائے تو راہ کی گھرائی مزید نہیں بڑھ سکتی بلکہ گیٹ اور راہ کے مابین pn جوڑ سیدھا مائل ہو جائے گا اور اس میں برق روگزرنے شروع ہو جائے گی۔ یوں آپ دیکھ سکتے ہیں کہ nJFET میں گیٹ اور راہ کے درمیان برق دباو کو pn جوڑ کے چالو برق دباو $0.5V$ سے کم ہی رکھا جاتا ہے۔

D اور S کے مابین راہ بالکل ایک موصل سلاخ کی مانند مزاحمت کا کردار ادا کرے گا۔ یوں اگر راہ کی لمبائی L ، گھرائی g ، چوڑائی W اور اس کے موصلیت کا مستقل σ ہو تو اس کا مزاحمت

$$R = \frac{L}{\sigma W g}$$

اب تصور کریں کہ ڈرین D پر معمولی مشت برقی دباؤ v_{DS} لاگو کیا جاتا ہے۔ n راہ میں برقی رو i_{DS} گزرے گی جس کی قیمت اوبم کے قانون سے حاصل کی جا سکتی ہے۔ v_{DS} کو کم یا زیادہ کرتے ہوئے i_{DS} کو کم یا زیادہ کرنا ممکن ہے۔ کم v_{DS} پر، کسی بھی مزاحمت کی طرح، برقی دباؤ بالمقابل برقی رو کا خط تقریباً سیدھا ہو گا۔ اب تصور کریں کہ v_{GS} کو تبدیل کئے بغیر v_{DS} کو بڑھایا جائے۔ یوں n راہ کے سورس سرے پر $0V$ جیکہ اس کے ڈرین سرے پر v_{DS} برقی دباؤ پائی جائے گی۔ جیسا شکل ب میں دکھایا گیا ہے، یوں سورس سرے کے قریب pn جوڑ پر ویران خطے کی چوڑائی کم جبکہ ڈرین سرے کے قریب ویران خطے کی چوڑائی زیادہ ہو گی۔ ان دو سروں کے درمیان ویران خطے کی چوڑائی ترجیھی شکل اختیار کرے گی۔ اس ترجیھا پن کی وجہ سے n راہ کی مزاحمت بڑھے گی جس سے راہ کا مزاحمت بھی بڑھے گا۔ یوں اگرچہ کم $v_{DS} - i_{DS}$ کا خط سیدھا ہو گا لیکن جیسے جیسے v_{DS} بڑھایا جائے، راہ کا مزاحمت ایسے ایسے بڑھے گا اور یوں $v_{DS} - i_{DS}$ کے خط میں جھکاؤ پیدا ہو گا۔ اگر v_{DS} کو بتدریج بڑھایا جائے تو آخر کار ڈرین سرے کی جانب ویران خطے بڑھتے رہتے راہ کو دبوچ جائے گا۔ شکل ب میں ایسا ہوتے دکھایا گیا ہے۔ v_{DS} کو مزید بڑھانے سے برقی رو میں تبدیلی نہیں پیدا ہوتی اور اس کی قیمت نقطہ دبوچ پر پائی جانے والے برقی رو کے قیمت پر ہی رہتی ہے۔

مندرجہ بالا تذکرے سے ظاہر ہے کہ JFET بالکل گھٹاتا ماسفیٹ کی مانند کام کرتا ہے۔ البتہ جہاں ماسفیٹ کے گیٹ پر مشت یا منفی برقی دباؤ دینا ممکن ہے، nJFET کے گیٹ پر صرف منفی برقی دباؤ ہی دینا ممکن ہے۔ اگر اس کے گیٹ پر مشت برقی دباؤ دی جائے تو گیٹ اور راہ کے مابین pn جوڑ یعنی یہاں کا ڈائیوڈ سیدھا مائل ہو جائے گا اور گیٹ nJFET کو قابو کرنے کی صلاحیت کھو دیے گا۔ چونکہ JFET کے گیٹ پر ڈائیوڈ کو الثا مائل رکھا جاتا ہے لہذا اس کے گیٹ پر نہایت کم (الثا مائل ڈائیوڈ کے برابر) برقی رو پائی جاتی ہے جس سے عموماً صفر ایمپیر تصور کیا جاتا ہے۔ یہ برقی رو اگرچہ نہایت کم ہے لیکن ماسفیٹ کے گیٹ پر اس سے بھی کئی درجے کم برقی رو پائی جاتی ہے۔

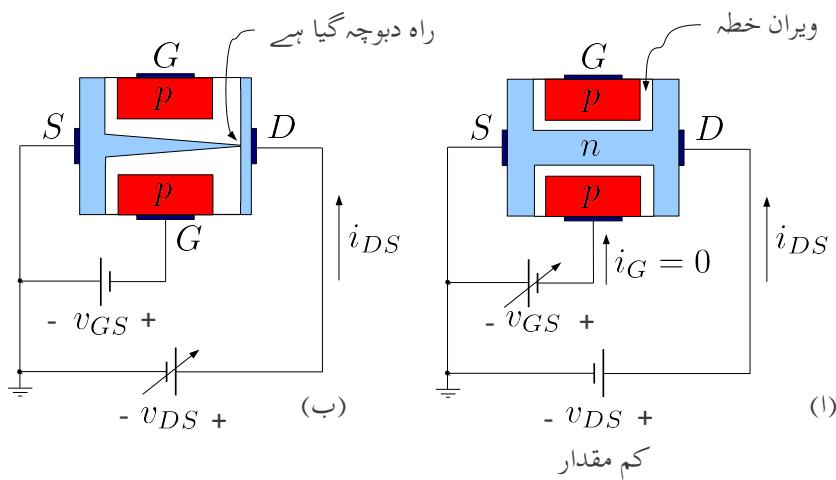
4.13.1 برقی رو بالمقابل برقی دباؤ

چونکہ JFET کی کارکردگی بالکل گھٹاتا ماسفیٹ کی مانند ہے لہذا گھٹاتا ماسفیٹ کے مساوات ہی JFET کے لئے بھی استعمال کئے جائیں گے۔ البتہ ادب میں JFET کے مساوات کو قدر مختلف طریقے سے لکھا جاتا ہے۔ آئیں nJFET کے مساوات دیکھیں۔

4.13.1.1 منقطع خط

جیسا کہ اوپر ذکر کیا گیا، اگر v_{GS} کو V_p سے کم کیا جائے تو ویران خطے تمام راہ کو گھیر لیتا ہے اور برقی رو کا گزر ممکن نہیں ہوتا یعنی

$$(4.81) \quad v_{GS} \leq V_p \quad i_D = 0$$



شکل 4.41: جوڑدار منفی فیٹ کی کارکردگی

4.13.1.2 غیر افزائندہ خطہ

غیر افزائندہ خطے میں pn جوڑ کو الٹا مائل رکھتے ہوئے v_{GS} کو V_p سے زیادہ رکھا جاتا ہے۔ مزید v_{DS} کو نقطہ دبوج سے کم رکھا جاتا ہے۔ اس خطے میں ماسفیٹ کی مساوات 4.24 کو کر کر لئے یہاں لکھتے ہوئے V_t کی جگہ V_p لکھا جائے گا۔

$$\begin{aligned} i_{DS} &= k_n \left[(v_{GS} - V_p)v_{DS} - \frac{v_{DS}^2}{2} \right] \\ &= \frac{k_n V_p^2}{2} \left[2 \left(\frac{v_{GS}}{V_p} - 1 \right) \frac{v_{DS}}{V_p} - \left(\frac{v_{DS}}{V_p} \right)^2 \right] \end{aligned}$$

اس مساوات میں I_{DSS} کے لئے $\frac{k_n V_p^2}{2}$ کو JFET کے لئے لکھا جاتا ہے۔ یوں

$$\begin{aligned} V_p &\leq v_{GS} \leq 0, & v_{DS} &\leq v_{GS} - V_p \\ (4.82) \quad i_{DS} &= I_{DSS} \left[2 \left(\frac{v_{GS}}{V_p} - 1 \right) \frac{v_{DS}}{V_p} - \left(\frac{v_{DS}}{V_p} \right)^2 \right] \end{aligned}$$

4.13.1.3 افراہنہ خطہ

مسافیٹ کی مساوات 4.28 کو یوں لکھا جاتا ہے۔

$$(4.83) \quad V_p \leq v_{GS} \leq 0, \quad v_{DS} \geq v_{GS} - V_p$$

$$i_{DS} = I_{DSS} \left(1 - \frac{v_{GS}}{V_p} \right)^2 \left(1 + \frac{v_{DS}}{V_A} \right)$$

جہاں ارلی برق دیا و V_A ⁴⁰ کے اثر کو بھی شامل کیا گیا ہے۔ ارلی برق دیا و کسے اثر کو نظر انداز کرتے ہوئے، $v_{GS} = 0$ پر اس مساوات سے $i_{DS} = I_{DSS}$ حاصل ہوتا ہے لہذا I_{DSS} وہ برق رو ہے جو گیٹ کو سورس کے ساتھ جوڑنے سے حاصل ہوئے ہے۔ مندرجہ بالا مساوات میں $(v_{DS} \geq v_{GS} - V_p)$ کو $(v_{GD} \leq V_p)$ یا $(v_{GS} - v_{DS} \leq V_p)$ بھی لکھا جا سکتا ہے۔

pJFET 4.13.2

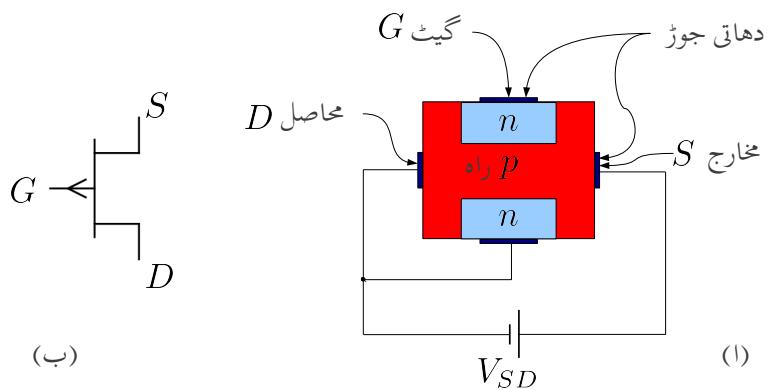
جیسا شکل 4.42 الف میں دکھایا گیا ہے، مثبت جوڑ دار فیٹ بنانے کی خاطر p قسم سلیکان ٹکڑے کے دونوں اطراف n گیٹ بنائے جاتے ہیں۔ ان دو خطلوں کو بیرونی دھاتی تار سے جوڑ کر بطور گیٹ (G) استعمال کیا جاتا ہے۔ دو گیٹوں کے درمیان راہ میں آزاد خول پائے جاتے ہیں۔ اس راہ پر بیرونی برق دیا و v_{SD} لاگو کرنے سے راہ میں موجود آزاد خول مثبت برق دیا و والے سرے سے منفی برق دیا و والے سرے کی جانب حرکت کریں گے جس سے برق رو i_{SD} پیدا ہوگی۔ یوں مثبت برق دیا و والے سرے سے خارج خول، منفی برق دیا و والے سرے پر حاصل ہوتے ہیں۔ اسی سے ان دو سروں کو سورس S اور ڈرین D کے نام دئے گئے ہیں۔ یوں (pJFET) میں روایتی برق رو کی سمت راہ میں سورس سے ڈرین کی جانب ہو گی۔ بیرونی برق دیا و کا مثبت سرا (p) کے S کی جانب رکھا جائے گا۔ pJFET میں راہ p قسم کے نیم موصل سے حاصل ہوتا ہے اور اس کے نام میں p اسی کو ظاہر کرتا ہے۔ جیسا شکل 4.42 ب میں دکھایا گیا ہے، pJFET کی علامت میں گیٹ پر تیر کا نشان راہ سے گیٹ کی جانب کو ہوتا ہے۔ pJFET کی صحیح کارکردگی کے لئے ضروری ہے کہ گیٹ اور راہ پر بننے والے pn جوڑ کو غیر چالو رکھا جائے یعنی اس جوڑ پر ڈائیوڈ کے سیدھے رخ 0.5V سے برق دیا و کو کم رکھا جائے۔

4.13.3 باریک اشاراتی ماڈل

چونکہ JFET اور MOSFET کی کارکردگی یکسان ہے لہذا ان کے پست تعدادی اور بلند تعدادی پائے ماڈل بھی یکسان ہیں۔ یہاں

$$(4.84) \quad g_m = \left(\frac{-2I_{DSS}}{V_p} \right) \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_p} \right)$$

$$(4.85) \quad = \left(\frac{-2I_{DSS}}{V_p} \right) \sqrt{\frac{I_D}{I_{DSS}}}$$



شکل 4.42: جوڑدار مثبت فیٹ کی ساخت

کے برابر ہے جہاں I_D نقطہ مائل پر یک سمیت برق رو ہے۔ اسی طرح

$$(4.86) \quad r_o = \frac{V_A}{I_D}$$

کے برابر ہے۔

مثال 4.22: ایک nJFET کے $I_{DSS} = 8 \text{ mA}$ اور $V_p = -3 \text{ V}$ اور $v_{GS} = -1.5 \text{ V}$ پر حاصل کریں۔ اولی برق دباؤ کے اثر کو نظر انداز کریں۔
حل: چونکہ $v_{GS} - V_p$ کی قیمت

$$(-1.5 \text{ V}) - (-3 \text{ V}) = 1.5 \text{ V}$$

دئے گئے v_{DS} کے قیمت سے کم ہے لہذا مساوات 4.83 کے پہلے جزو کے تحت فیٹ افزائندہ خطرے میں ہے اور یوں اسی مساوات کے دوسرا جزو کے تحت

$$i_{DS} = 8 \times 10^{-3} \left[1 - \left(\frac{-1.5}{-3} \right) \right]^2 = 2 \text{ mA}$$

حاصل ہوتا ہے۔

مثال 4.23: مندرجہ بالا مثال میں v_{GS} کو بڑھا کر -1.4V کر دیا جاتا ہے۔ i_{DS} میں تبدیلی حاصل کرتے ہوئے $\frac{\Delta i_{DS}}{\Delta v_{GS}}$ حاصل کریں۔ مساوات 4.84 سے g_m کی قیمت حاصل کرتے ہوئے دونوں جوابات کا موازنہ کریں۔

حل: اب ہمی ($v_{DS} \geq v_{GS} - V_p$) ہے لہذا

$$i_{DS} = 8 \times 10^{-3} \left[1 - \left(\frac{-1.4}{-3} \right) \right]^2 = 2.2756 \text{ mA}$$

حاصل ہوتا ہے جس سے

$$\frac{\Delta i_{DS}}{\Delta v_{GS}} = \frac{2.2756 \text{ mA} - 2 \text{ mA}}{(-1.4) - (-1.5)} = 2.756 \frac{\text{mA}}{\text{V}}$$

حاصل ہوتا ہے۔ مساوات 4.84 کے تحت

$$g_m = \left(\frac{-2 \times 8 \text{ mA}}{-3} \right) \sqrt{\frac{2 \text{ mA}}{8 \text{ mA}}} = 2.6667 \text{ mA}$$

حاصل ہوتا ہے۔ ان دونوں جوابات میں صرف

$$\left(\frac{2.756 - 2.6667}{2.6667} \right) \times 100 = 3.34 \%$$

کا فرق ہے۔ v_{GS} میں تبدیلی کو کم سے کم کرتے ہوئے زیادہ درست جواب حاصل ہوتا ہے۔

مثال 4.24: ارلی برقی دباؤ V_A کی قیمت 75V لیتے ہوئے خارجی مزاحمت r_o کا تخمینہ اور 1mA اور 10mA پر لگائیں۔ ایسا کرتے ہوئے تصور کریں کہ فیٹ افزائندہ خطے میں ہے۔

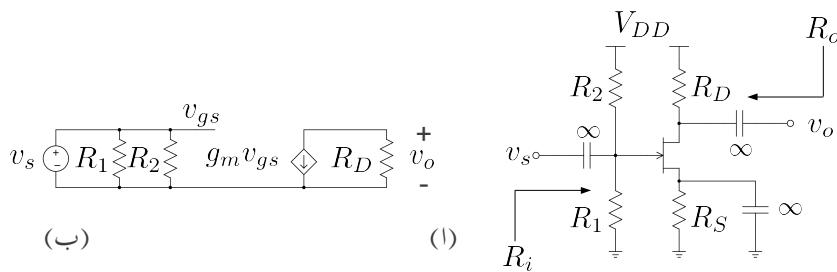
حل: ایک ملی ایمپیئر پر

$$r_o = \frac{75}{0.001} = 75 \text{ k}\Omega$$

اور دس ملی ایمپیئر پر

$$r_o = \frac{75}{0.01} = 7.5 \text{ k}\Omega$$

حاصل ہوتا ہے۔



شکل 4.43: جوڑدار منفی فیٹ کی مثال

مثال 4.25: شکل 4.43 میں منفی جوڑدار فیٹ کا ایپلیفائر دکھایا گیا ہے جس میں استعمال ہونے والے فیٹ کی $V_p = -3\text{V}$ اور $I_{DSS} = 8\text{mA}$ ہیں۔ $V_{DD} = 15\text{V}$ تصور کرئے ہوئے برقی رو، ایسا کرتے وقت گیٹ پر نسب مزاحمت میں $10\mu\text{A}$ حاصل کرنے کی خاطر درکار مزاحمت معلوم کریں۔ جبکہ $V_G = 4\text{V}$ ، $V_D = 9\text{V}$ ، $I_{DS} = 5\text{mA}$ اور $A_v = 10$ کی برقی رو تصور کریں۔ تمام کمپیسٹروں کی قیمت لاحدہ تصور کرئے ہوئے ایپلیفائر کی افزائش A_v حاصل کریں۔ ایپلیفائر کی داخلی مزاحمت R_i اور خارجی مزاحمت R_o بھی حاصل کریں۔

حل: گیٹ کے مزاحمت میں $10\mu\text{A}$ برقی رو ہے۔ یوں

$$\frac{V_{DD}}{R_1 + R_2} = 10\mu\text{A}$$

$$R_1 + R_2 = \frac{15}{10 \times 10^{-6}} = 1.5\text{M}\Omega$$

حاصل ہوتا ہے۔ گیٹ پر 4V حاصل کرنے کی خاطر

$$V_G = \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2} \right) V_{DD}$$

$$4 = \left(\frac{R_1}{1.5 \times 10^6} \right) \times 15$$

$$R_1 = 400\text{k}\Omega$$

حاصل ہوتا ہے۔ یوں

$$R_2 = 1.5\text{M}\Omega - 400\text{k}\Omega = 1.1\text{M}\Omega$$

حاصل ہوتا ہے - $V_D = 9 \text{ V}$ کی خاطر

$$V_{DD} - V_D = I_{DS} R_D$$

$$R_D = \frac{15 - 9}{5 \times 10^{-3}} = 1.2 \text{ k}\Omega$$

حاصل ہوتا ہے -
چونکہ $(V_G - V_D = 4 - 9 = -5)$ میں ہے - یوں مساوات 4.83 کے تحت

$$5 \times 10^{-3} = 8 \times 10^{-3} \left(1 - \frac{V_{GS}}{-3} \right)^2$$

$$V_{GS} = -0.628 \text{ V}$$

یعنی

$$V_{GS} = V_G - V_S = -0.628 \text{ V}$$

$$V_S = 4.628 \text{ V}$$

حاصل ہوتا ہے - جس سے

$$V_S = I_{DS} R_S$$

$$R_S = \frac{4.628}{5 \times 10^{-3}} = 925 \Omega$$

حاصل ہوتا ہے -
شکل ب میں مساوی باریک اشاراتی دور دکھایا گیا ہے جس سے

$$R_i = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = 293 \text{ k}\Omega$$

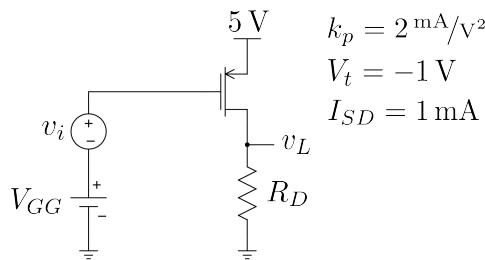
$$R_o = R_D = 1.2 \text{ k}\Omega$$

حاصل ہوتے ہیں۔ آپ دیکھ سکتے ہیں کہ R_i کا دارومندگیت پر نسب مزاہمتوں پر ہے - یوں داخلی مزاہمت بڑھانے کی خاطر ان مزاہمتوں کو زیادہ سے زیادہ رکھا جاتا ہے جس کا مطلب ہے کہ ان میں گزرتے یک سنتی روکوکم سے کم رکھا جاتا ہے۔ اس مثال میں اس برقی روکو $10 \mu\text{A}$ رکھا گیا ہے۔ مساوات 4.84 کی مدد سے

$$g_m = \frac{-2 \times 8 \times 10^{-3}}{-3} \sqrt{\frac{5 \times 10^3}{8 \times 10^{-3}}} = 4.216 \frac{\text{mA}}{\text{V}}$$

اور یوں

$$A_v = \frac{v_o}{v_s} = -g_m R_D = -4.216 \times 10^{-3} \times 1.2 \times 10^3 = -5.059 \frac{\text{V}}{\text{V}}$$



شکل 4.44

حاصل ہوتا ہے۔

مثال 4.26: شکل 4.44 میں v_i , V_{GG} , R_D , $I_{SD} = 1 \text{ mA}$ اور $v_L = 2 + 0.56 \sin \omega t$ بیس-پیس میں حاصل کرتے ہوئے حاصل کریں۔
 حل: یک سمتی $v_L = 2 \text{ V}$ ہے لہذا

$$R_D = \frac{2}{1 \times 10^{-3}} = 2 \text{ k}\Omega$$

ہر سے ماسفیٹ کو افزائندہ تصور کرتے ہوئے ماسفیٹ کی مساوات سے

$$10^{-3} = \frac{2 \times 10^{-3}}{2} (V_{SG} - 1)^2$$

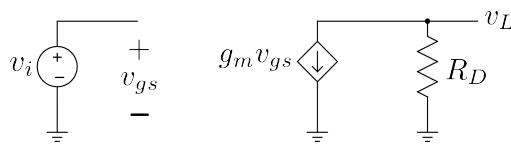
$-V_t = 1 \text{ V}$ اور 2 V حاصل ہوتے ہیں۔ $V_t = -1 \text{ V}$ ہے لہذا $V_{SG} = 2 \text{ V}$ کی شرط سے $V_{SG} > -V_t$ کو درست جواب تسلیم کیا جاتا ہے۔ یوں

$$\begin{aligned} V_{SG} &= V_S - V_G \\ &= 5 - V_G \end{aligned}$$

سے $V_G = V_{GG} = 3 \text{ V}$ حاصل ہوتا ہے۔ شکل 4.45 میں باریک اشاراتی مساوی دور دکھایا گیا ہے جسے دیکھ کر $v_L = -g_m v_{gs} R_D$ لکھا جا سکتا ہے جہاں

$$g_m = \sqrt{2k_p I_{SD}} = \sqrt{2 \times 2 \times 10^{-3} \times 10^{-3}} = 2 \text{ mS}$$

$$v_{gs} = v_i$$



شکل 4.45

کے برابر بین۔ v_L میں بدلتا حصہ $0.56 \sin \omega t$ ہے جس سے استعمال کرتے ہوئے

$$0.56 \sin \omega t = -2 \times 10^{-3} v_i \times 2000$$

$$A_v = -4 \frac{V}{V} \text{ اور } v_i = -0.14 \sin \omega t \text{ سے حاصل ہوتے ہیں۔}$$

4.14 مخلوط ادوار میں ماسفیٹ کا نقطہ کارکردگی تعین کرنے کے ادوار

شکل 4.43 اور 4.22 میں مزاحمت استعمال کرتے ہوئے انفرادی ماسفیٹ کا نقطہ کارکردگی تعین کیا گیا۔ مخلوط ادوار میں ماسفیٹ کا نقطہ کارکردگی مزاحمت استعمال کرتے ہوئے تعین نہیں کیا جاتا۔ مخلوط دور بنائے وقت سلیکان پتی کرے کم سے کم رقبے پر زیادہ سے زیادہ پڑھنے بنائے جاتے ہیں۔ یوں مخلوط دور میں ان پرزوں کو ترجیح دی جاتی ہے جو کم سے کم رقبہ گھیریں۔ ماسفیٹ کی نسبت سے مزاحمت زیادہ رقبہ گھیرتا ہے لہذا مزاحمت کے استعمال سے بچنے کی بر ممکنہ کوشش کی جاتی ہے۔ مزید یہ کہ سلیکان پر بالکل درست قیمت کا مزاحمت بنائے کی خاطر اضافی گران قیمت اقدام کرنے پتی ہیں جیکہ درکار خوبیوں کا ماسفیٹ آسانی سے بنتا ہے۔ اس کے علاوہ انفرادی ماسفیٹ ایمپلیفائر میں جفتی اور متباہل راستہ کپیسٹر استعمال کئے جاتے ہیں۔ مخلوط دور میں چند pF سے زیادہ قیمت کا کپیسٹر بنانا ممکن نہیں ہوتا لہذا کپیسٹر کا استعمال بھی ممکن نہیں ہوتا۔ آئین دیکھیں کہ مخلوط دور میں ماسفیٹ کا نقطہ کارکردگی کیسے تعین کیا جاتا ہے۔

4.14.1 پیدا کار مستقل برقی رو

شکل 4.46 الف میں پیدا کار مستقل برق رو⁴¹ کا سادہ دور اور شکل ب میں اس کی علامت دکھائی گئی ہے۔ مثال 4.5 کی طرح Q_1 اور حوالہ R کے دور کو حل کرنے سے برق رو I_{DS1} اور برق دباؤ $V_{DS1} = V_{GS1}$ حاصل ہوں گے۔ Q_1 اور Q_2 کے سورس آپس میں جڑے ہیں اور اسی طرح ان کے گیٹ ہی آپس میں جڑے ہیں لہذا ان دونوں کے V_{GS} برابر ہوں گے یعنی

$$V_{GS1} = V_{GS2} = V_{GS}$$

constant current source⁴¹

ہو گا۔ Q_1 کا گیٹ اور ڈرین آپس میں جڑیں بین لہذا اس کا $V_{GD} < V_t$ ہے اور یہ افزائندہ خطے میں ہے لہذا

$$(4.87) \quad I_{DS1} = \frac{k'_n}{2} \left(\frac{W}{L} \right)_1 (V_{GS} - V_t)^2$$

ہو گا۔ گیٹ پر برق رو صفر ہونے سے I_{DS1} اور $I_{\text{حوالہ}}$ برابر ہو گے۔ یوں اُپس کے قانون سے

$$(4.88) \quad I_{DS1} = I_{\text{حوالہ}} = \frac{V_{DD} - V_{GS1}}{R_{\text{حوالہ}}}$$

لکھا جا سکتا ہے۔ درکار I_{DS1} کے لئے دور میں مزاحمت $R_{\text{حوالہ}}$ کی قیمت مندرجہ بالا دو مساوات حل کر کرے حاصل کی جاتی ہے۔
اگر ہم تصور کریں گے کہ Q_2 بھی افزائندہ خطے میں ہے تو اس کے لئے ہم لکھ سکتے ہیں

$$(4.89) \quad I_{DS2} = I_{\text{عکس}} = \frac{k'_n}{2} \left(\frac{W}{L} \right)_2 (V_{GS} - V_t)^2$$

جہاں I_{DS1} کے برابر ہے۔ I_{DS2} کو I_{DS1} سے تقسیم کرتے ہوئے ملتا ہے

$$(4.90) \quad \frac{I_{DS2}}{I_{DS1}} = \frac{I_{\text{عکس}}}{I_{\text{حوالہ}}} = \frac{\left(\frac{W}{L} \right)_2}{\left(\frac{W}{L} \right)_1}$$

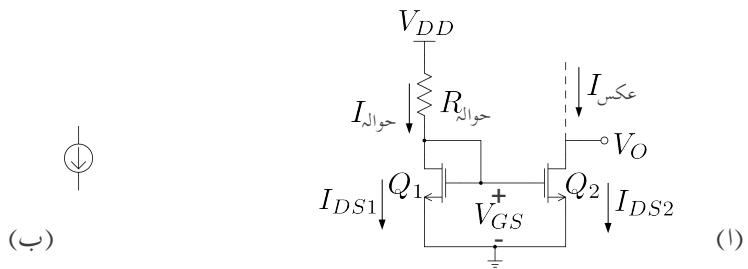
آپ دیکھ سکتے ہیں کہ I_{DS2} کی قیمت کا دارومندار I_{DS1} کے قیمت کے حوالے سے ہے۔ اگر دونوں ماسفیٹ بالکل ایک ہی جسامت کے ہوں تو

$$(4.91) \quad I_{\text{حوالہ}} = I_{\text{عکس}}$$

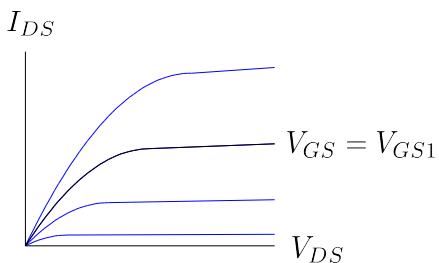
حاصل ہوتا ہے۔ ایسا معلوم ہوتا ہے جیسے $I_{\text{عکس}} = I_{\text{حوالہ}}$ بالکل $I_{\text{عکس}} = I_{\text{حوالہ}}$ کا عکس ہے۔ اسی سے اس دور کا دوسرا نام آئینہ برق رو⁴² نکلا ہے۔ دونوں برق رو برابر نہ ہونے کی صورت میں ہی اس دور کو اسی نام سے پکارا جاتا ہے۔

پیدا کار مستقل برق رو میں مزاحمت $R_{\text{حوالہ}}$ کی مدد سے درکار برق رو حاصل کیا جاتا ہے۔ اس مزاحمت کو تبدیل کرنے سے V_{GS1} اور V_{GS2} تبدیل ہوتے ہیں۔ آپ دیکھ سکتے ہیں کہ Q_2 کو Q_1 قابو کرتا ہے۔ یوں Q_2 تابع ماسفیٹ ہے۔ مخلوط دور میں دونوں ماسفیٹ کے k'_n اور V_t یکسان ہوتے ہیں۔ یوں $\left(\frac{W}{L} \right)_1$ اور $\left(\frac{W}{L} \right)_2$ کی شرح سے $I_{\text{عکس}}$ اور $I_{\text{حوالہ}}$ کی شرح تعین ہوتی ہے۔

مندرجہ بالا تصویر میں اولی برق دباؤ کے اثر کو نظر انداز کرتے ہوئے تصور کیا گیا کہ دو ماسفیٹ کے V_{GS} برابر ہونے کی صورت میں ان کے I_{DS} بھی برابر ہوتے ہیں۔ حقیقت میں ایسا نہیں ہوتا اور دو ماسفیٹ جن کے V_{GS} برابر ہوں کے برق رو صرف اور صرف اسی وقت برابر ہوتے ہیں جب ان



شکل 4.46: پیدا کار مستقل برقی رو



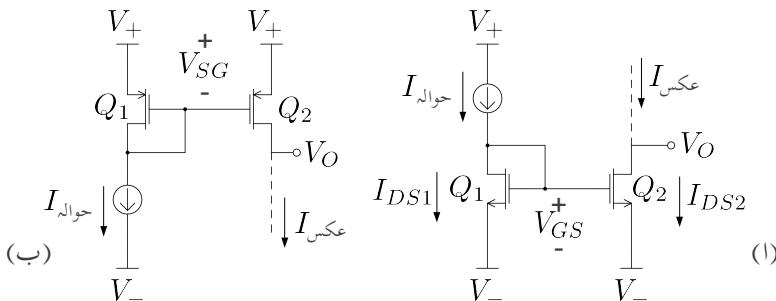
شکل 4.47: ماسفیٹ کا خط

کے V_{DS} بھی برابر ہوں۔ شکل 4.47 میں ماسفیٹ Q_2 کے خط دکھائے گئے ہیں۔ V_{GS2} کی قیمت V_{GS1} کے برابر ہے جو قطعی مقدار ہے لہذا ان تمام خطوط میں صرف ایک ہی خط کارآمد ہے۔ اس خط کو موٹا کر کے دکھایا گیا ہے۔ آپ دیکھ سکتے ہیں کہ V_{GS} تبدیل کئے بغیر V_{DS} کے بڑھانے سے I_{DS} بڑھتی ہے۔ V_{DS2} کے تبدیلی سے عکس I میں تبدیلی کو ماسفیٹ کے خارجی مزاحمت r_0 کی مدد سے حاصل کیا جا سکتا ہے۔

شکل 4.48 الف میں حوالہ R کی جگہ دوسرا پیدا کار مستقل برقی رو کا استعمال کیا گیا ہے۔ Q_1 میں I برق روپائی جاتی ہے۔ افزائندہ ماسفیٹ کی مساوات سے Q_1 کی حاصل کی جا سکتی ہے جو Q_2 پر بھی لاگو ہے۔ یوں آپ دیکھ سکتے ہیں کہ اس صورت میں بھی

$$I_{\text{حوالہ}} = I_{\text{عکس}}$$

ہو گا۔ اس شکل میں مثبت برقی سیلانی کو V_+ اور منفی کو V_- لکھا گیا ہے۔ شکل ب میں pMOSFET استعمال کرتے ہوئے آئینہ برق رو بنایا گیا ہے جس کی کارکردگی بالکل nMOSFET سے بنائے گئے آئینہ برق رو کی طرح ہے۔ فرق صرف اتنا ہے کہ nMOSFET میں عکس I کی سمت آئینہ کے جانب ہے جبکہ pMOSFET آئینہ میں عکس I کی سمت آئینہ سے باہر کو ہے۔



شکل 4.48: آئینه برقی رو

مثال 4.27: پیدا کار مستقل برقی رو میں

$$V_{DD} = 15 \text{ V}, \quad k_n = 0.12 \frac{\text{mA}}{\text{V}^2}, \quad V_t = 2.1 \text{ V}$$

$$\text{حل: جواہر } I = \frac{4.87}{4} \text{ لیتے ہوئے مساوات حوالہ } R \text{ حاصل کریں۔}$$

$$2 \times 10^{-3} = \frac{0.12 \times 10^{-3}}{2} (V_{GS1} - 2.1)^2$$

۲۷۳

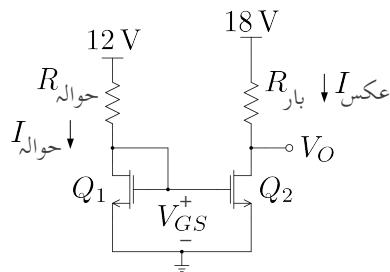
$$V_{GS1} = 7.8735 \text{ V}, -3.67 \text{ V}$$

حاصل ہوتے ہیں۔ منفی جواب کو رد کیا جاتا ہے چونکہ V_t سے کم ہے جس سے ماسفیٹ منقطع حالت میں ہو گا۔ مثبت جواب کو لیتے ہوئے مساوات 4.87 کو استعمال کرتے ہوئے

$$2 \times 10^{-3} = \frac{15 - 7.8735}{R_{\text{loop}}}$$

$$R_{\text{حوالہ}} = 5.66 \text{ k}\Omega \text{ سے حاصل ہوتا ہے۔}$$

مثال 4.28: شکل 4.49 میں دونوں ماسنیٹ کے $k_n = 0.2 \frac{\text{mA}}{\text{V}^2}$ اور $V_t = 1.7 \text{ V}$ ہیں۔ مزید یہ کہ $R_L = 4.7 \text{ k}\Omega$ اور $R_s = 6.8 \text{ k}\Omega$ ہے۔ عکس I اور V_O حاصل کریں۔



شكل 4.49: پیدا کار مستقل برقی رو کی مثال

حل: لیتے ہوئے $V_{DS1} = V_{GS1}$

$$\frac{12 - V_{GS1}}{6800} = \frac{0.2 \times 10^{-3}}{2} (V_{GS1} - 1.7)^2$$

~~

$$V_{GS1} = 4.926 \text{ V}, -2.99 \text{ V}$$

حاصل ہوتا ہے۔ کو رد کیا جاتا ہے چونکہ اس طرح $V_{GS1} < V_t$ حاصل ہوتا ہے جو منقطع ماسفیٹ کو ظاہر کرتا ہے۔ مساوات 4.88 دنون استعمال کرتے ہوئے $V_{GS1} = 4.926 \text{ V}$ پر برقی رو حاصل کرتے ہیں۔ ظاہر ہے دونوں جوابات برابر ہوں گے۔

$$I_{DS1} = \frac{12 - 4.926}{6800} = 1.04 \text{ mA}$$

$$I_{DS1} = \frac{0.2 \times 10^{-3}}{2} (4.926 - 1.7)^2 = 1.04 \text{ mA}$$

چونکہ یہ آئینہ برقی رو ہے لہذا

$$I_{حوالہ} = I_{عکس} = 1.04 \text{ mA}$$

بوگا۔ Q_2 کے ڈرین پر

$$\begin{aligned} V_O &= V_{DS2} = 17 - I_{DS2} R_{بار} \\ &= 17 - 1.04 \times 10^{-3} \times 4700 \\ &= 12.1 \text{ V} \end{aligned}$$

بین-یوں Q_2 کا

$$V_{GD2} = V_{GS2} - V_{DS2} = 4.925 - 12.1 = -7.1 \text{ V}$$

حاصل ہوتا ہے۔ چونکہ $V_{GD2} < V_t$ لہذا Q_2 افزائندہ خط سے میں ہی ہے۔

مثال 4.29: مندرجہ بالا مثال میں R_{bar} کی وہ قیمت حاصل کریں جس پر Q_2 افزائندہ خط سے نکل آئے گا۔

حل: $V_{GS2} = V_{GS1} = V_{GD2} < V_t$ اس وقت تک افزائندہ رہے گا جب تک $V_{GD2} < V_t$ ہو۔ چونکہ 4.925 V ہی رہے گا جبکہ

$$\begin{aligned} V_{DS2} &= 17 - I_{DS2} R_{bar} \\ &= 17 - 1.04 \times 10^{-3} \times R_{bar} \end{aligned}$$

کے برابر ہے۔ یوں Q_2 اس وقت افزائندہ خط سے باہر نکلے گا جب

$$\begin{aligned} V_{GD2} &= V_{GS2} - V_{DS2} > V_t \\ &= 4.925 - \left(17 - 1.04 \times 10^{-3} \times R_{bar} \right) > 1.7 \end{aligned}$$

ہو گا۔ یوں تقریباً $R_{bar} > 13.24 \text{ k}\Omega$ حاصل ہوتا ہے۔ مثال کے طور پر اگر بار کا مزاحمت $15 \text{ k}\Omega$ کر دیا جائے تو $V_{DS2} = 1.4 \text{ V}$ اور $V_{GD2} = 3.5 \text{ V}$ حاصل ہوتا ہے جو کہ V_t سے زیادہ ہے۔ یعنی ماسفیٹ افزائندہ خط سے میں نہیں ہے۔

مثال 4.30: مثال 4.28 میں $V_{DS1} = 4.926 \text{ V}$ ، $V_{DS2} = 12.1 \text{ V}$ اور $I_{DS1} = 1.04 \text{ mA}$ حاصل ہوئے۔ $V_A = 50 \text{ V}$ کی صورت میں I_{DS2} حاصل کردہ قیمت سے کتنا اختلاف کرے گا۔

حل: ماسفیٹ کا خارجی مزاحمت تقریباً

$$r_o = \frac{50}{1.04 \times 10^{-3}} \approx 48 \text{ k}\Omega$$

ہے۔ اگر V_{DS2} کی قیمت 4.926 V ہوتا تب تو $I_{DS2} = 1.04 \text{ mA}$ ہوتا۔ البتہ

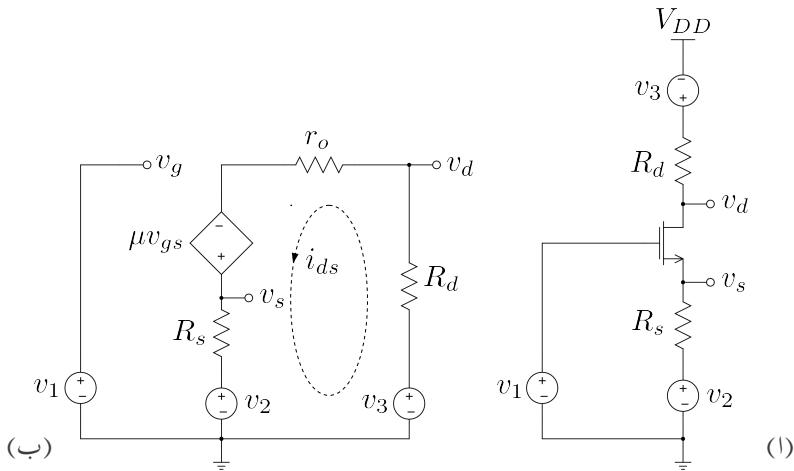
$$12.1 - 4.926 = 7.175 \text{ V}$$

زیادہ ہے لہذا ماسفیٹ کے خارجی مزاحمت کی تعریف

$$r_o = \frac{\Delta V_{DS}}{\Delta I_{DS}}$$

سے

$$\Delta I_{DS} = \frac{7.175}{48000} \approx 149 \mu\text{A}$$



شکل 4.50: مزاحمت کے عکس

ہو گا۔ یوں

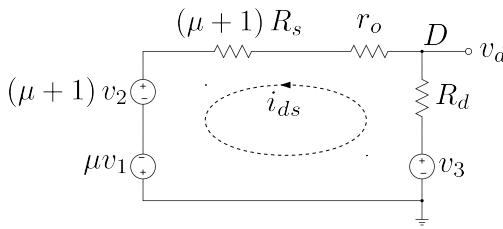
$$I_{\text{حول}} = 1.04 \text{ mA} + 149 \mu\text{A} = 1.189 \text{ mA}$$

ہو گا۔

4.15 مزاحمت کے عکس

دو جو ڈنر ٹرانزسٹر کے حصہ 3.8 میں آپ نے دیکھا کہ ٹرانزسٹر کے ایمٹر پر پائیے جانے والے بیرونی مزاحمت R_E کا ٹرانزسٹر کے بیس جانب عکس $(\beta + 1)$ نظر آتا ہے۔ اسی طرح ڈنر ٹرانزسٹر کے ایمٹر پر اس کے اندر ورنی مزاحمت r_e کا عکس ٹرانزسٹر کے بیس جانب $(\beta + 1)r_e$ نظر آتا ہے جس سے لکھا جاتا ہے۔ ٹرانزسٹر کے بیس جانب بیرونی جڑ مزاحمت R_B کا عکس ٹرانزسٹر کے ایمٹر جانب $\frac{R_B}{\beta + 1}$ نظر آتا ہے۔ اسی طرح ڈنر ٹرانزسٹر کے بیس جانب ڈنر ٹرانزسٹر کی اندر ورنی مزاحمت r_{be} کا عکس ٹرانزسٹر کے ایمٹر جانب $\frac{r_{be}}{\beta + 1}$ نظر آتا ہے جس سے لکھا جاتا ہے۔ برق دباؤ کا عکس بیس سے ایمٹر یا ایمٹر سے بیس جانب تبدیلی کے بغیر جوں کا توں نظر آتا ہے۔

ماسفیٹ میں مزاحمت کے عکس پر گفتگو کرنے کی خاطر شکل 4.50 الف پر غور کرتے ہیں۔ اس دور میں ماسفیٹ کے تینوں سروں پر اشارات فراہم کئے گئے ہیں تاکہ مختلف ممکنات کو دیکھا جا سکے۔ ماسفیٹ مائل کرنے والے اجزاء کو شامل نہیں کیا گیا ہے تاکہ اصل موضوع پر توجہ رہے۔



شکل 4.51: ڈرین جانب عکس

شکل ب میں اس کا باریک اشاراتی مساوی دور دکھایا گیا ہے جس سے دیکھتے ہوئے

$$i_{ds} = \frac{\mu v_{gs} + v_3 - v_2}{R_s + r_o + R_d}$$

لکھا جا سکتا ہے جہاں

$$v_{gs} = v_1 - i_{ds} R_s - v_2$$

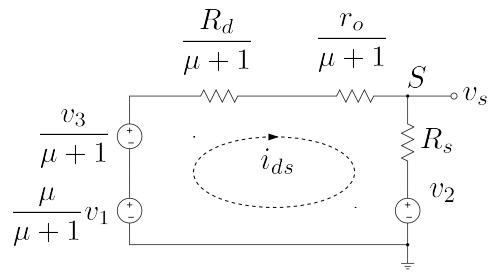
کے برابر ہے۔ ان دو مساوات کو ملا کر حاصل ہوتا ہے

$$(4.92) \quad i_{ds} = \frac{\mu v_1 + v_3 - (\mu + 1) v_2}{(\mu + 1) R_s + r_o + R_d}$$

مساویات 4.92 سے شکل 4.51 حاصل ہوتا ہے۔ اس شکل کو دیکھتے ہوئے یہ حقیقت سامنے آتی ہے کہ ڈرین پر پائے جانے والے v_3 ، r_o اور R_d جوں کے توں بین جبکہ سورس پر پائے جانے والے v_1 اور R_s دونوں $(\mu + 1)$ سے ضرب شدہ ہیں جبکہ گیٹ پر پائے جانے والا v_2 صرف μ سے ضرب شدہ ہے۔ ڈرین پر پائے جانے والے اجزاء جوں کے توں بین لہذا یہ شکل ڈرین سے دیکھتے ہوئے نظر آئے گی۔ اس طرح ڈرین سے دیکھتے ہوئے سورس پر پائے جانے والا مزاحمت اور برق اشارہ دونوں کا عکس $(\mu + 1)$ سے ضرب ہوتا نظر آتے گا جبکہ گیٹ پر برق اشارہ صرف μ سے ضرب ہوتا نظر آتے گا۔ مساوات 4.92 کے کسر میں اوپر اور نچلے دونوں حصوں کو $\mu + 1$ سے تقسیم کرتے ہوئے یوں لکھا جا سکتا ہے

$$(4.93) \quad i_{ds} = \frac{\frac{\mu v_1}{\mu+1} + \frac{v_3}{\mu+1} - v_2}{R_s + \frac{r_o}{\mu+1} + \frac{R_d}{\mu+1}}$$

جس سے شکل 4.52 حاصل ہوتا ہے۔ یہاں آپ دیکھ سکتے ہیں کہ سورس کا مزاحمت R_s اور اشارہ v_2 جوں کے توں بین جبکہ ڈرین اور گیٹ کے اشارات اور مزاحمت کے عکس نظر آتے ہیں۔ اس طرح سورس سے دیکھتے ہوئے ڈرین کے اجزاء یعنی v_3 ، r_o اور R_d تینوں $(\mu + 1)$ سے تقسیم ہوتے نظر آتے ہیں۔ جیسے گزشتہ شکل میں دیکھا گیا تھا کہ v_1 کا عکس ڈرین پر μ سے ضرب ہوتا نظر آتا ہے اور ڈرین پر پائے جانے والے اس عکس کا سورس جانب عکس $(\mu + 1)$ سے تقسیم ہوتا ہے۔



شكل 4.52: سورس جانب عکس

4.16 تابع سورس (ڈرین مشترک ایمپلیفائر)

نقطہ مائل

شکل 4.53 الف میں گھٹاتا ماسفیٹ کا تابع سورس ایمپلیفائر دکھایا گیا ہے۔ یہاں $nFET$ ہی استعمال کیا جا سکتا ہے۔ ایسا دور منفی V_{GSQ} مہیا کرنے کی خاطر استعمال کیا جاتا ہے۔ یک سمعتی بار کا خط لکھتے ہیں۔

$$(4.94) \quad V_{DD} = v_{DS} + i_{DS} (R_1 + R_2)$$

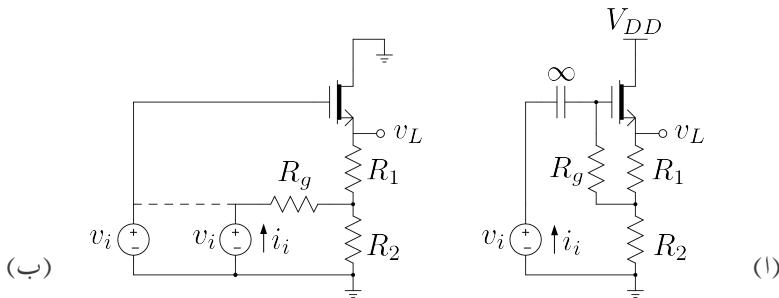
نقطہ مائل یک سمعتی مقداروں سے حاصل ہوتا ہے۔ مزاحمت R_g میں صفر یک سمعتی برقی رو ہونے کی وجہ سے اس کے دونوں سروں پر برابر یک سمعتی برقی دباؤ پایا جائے گا۔ شکل الف میں R_g کے پچھے سرے پر $I_{DSQ}R_2$ برقی دباؤ پایا جاتا ہے اور یوں ماسفیٹ کے گیٹ پر بھی یہی برقی دباؤ ہو گا۔ ماسفیٹ کے سورس پر $(R_1 + R_2)I_{DSQ}$ برقی دباؤ ہے۔ یوں ماسفیٹ کے لئے ہم لکھ سکتے ہیں

$$(4.95) \quad \begin{aligned} V_{GSQ} &= V_{GQ} - V_{SQ} \\ &= I_{DSQ} (R_2) - I_{DSQ} (R_1 + R_2) \\ &= -I_{DSQ} R_1 \end{aligned}$$

عموماً V_{GSQ} چند وولٹ کے برابر ہو گا جبکہ V_{DD} تقریباً V_{DSQ} کے نصف کے برابر ہو گا۔ یوں کسی بھی حقیقی ایمپلیفائر میں $R_1 \ll R_2$ ہو گا۔

افرائش A_v

شکل 4.53 ب میں باریک اشاراتی مساوی دور بنانے کی غرض سے V_{DD} اور گیٹ کپیسٹر کو قصر دور کیا گیا ہے۔ مزید گیٹ اور سورس کو علیحدہ کرنے کی خاطر v_i کو دو مرتبہ بنایا گیا ہے جہاں نقطہ دار لکھتے ہیں۔ دونوں سروں پر برابر برقی اشارہ v_i پایا جاتا ہے۔ نقطہ دار لکھتے ہیں۔



شکل 4.53: تابع سورس

گیٹ اور سورس دونوں جانب کوئی تبدیلی نہیں پیدا ہوتی چونکہ دونوں جانب v_i اپنی جگہ پر برقرار پایا جاتا ہے۔ یوں شکل 4.52 کے طرز پر باریک اشاراتی مساوی دور بناتے ہوئے شکل 4.54 الف حاصل ہوتا ہے۔ اس شکل میں تمام اجزاء کو سورس منتقل کیا گیا ہے، R_2 ، R_g اور v_i کی جگہ ان کا ہونن مساوی دور استعمال کرتے ہوئے شکل 4.54 ب حاصل ہوتا ہے جہاں

$$v_{th} = \frac{R_2 v_i}{R_2 + R_g}$$

$$R_{th} = \frac{R_2 R_g}{R_2 + R_g} = R_2 \parallel R_g$$

کے برابر ہیں۔ شکل 4.54 ب میں

$$R_s = R_1 + (R_2 \parallel R_g)$$

لکھتے ہوئے

$$(4.96) \quad i_{ds} = \frac{\left[\frac{\mu}{\mu+1} - \frac{R_2}{R_2+R_g} \right] v_i}{\frac{r_o}{\mu+1} + R_s}$$

$$v_L = i_{ds} R_s + \frac{R_2}{R_2 + R_g} v_i$$

لکھا جا سکتا ہے جس سے

$$v_L = \left[\frac{\frac{\mu}{\mu+1} - \frac{R_2}{R_2+R_g}}{\frac{r_o}{\mu+1} + R_s} \right] R_s v_i + \frac{R_2}{R_2 + R_g} v_i$$

حاصل ہوتا ہے - جس سے $A_v = \frac{v_L}{v_i}$ یوں حاصل ہوتا ہے -

$$(4.97) \quad A_v = \frac{\left(\frac{\mu}{\mu+1}\right) R_s + \left(\frac{R_2}{R_2+R_g}\right) \left(\frac{r_o}{\mu+1}\right)}{\frac{r_o}{\mu+1} + R_s}$$

چونکہ $\mu = g_m r_o$ کے برابر ہے لہذا $\frac{r_o}{\mu+1} \approx \frac{1}{g_m}$ لکھا جا سکتا ہے جس سے مندرجہ بالا مساوات کو یوں بھی لکھ سکتے ہیں۔

$$(4.98) \quad A_v = \frac{g_m \left(\frac{\mu}{\mu+1}\right) R_s + \left(\frac{R_2}{R_2+R_g}\right)}{1 + g_m R_s}$$

اگر $R_g \gg R_2$ ہو، جیسا کہ عموماً ہوتا ہے، تب $\frac{R_2}{R_2+R_g}$ کو نظر انداز کرتے ہوئے اس مساوات کو یوں لکھا جا سکتا ہے -

$$(4.99) \quad A_v \approx \frac{g_m \left(\frac{\mu}{\mu+1}\right) R_s}{1 + g_m R_s}$$

عموماً $R_g \gg R_2$ اور یوں $R_s \approx R_1 + R_2$ لکھا جا سکتا ہے۔ اگر $1 \gg g_m R_s$ ہی تو تب مندرجہ بالا مساوات کو

$$(4.100) \quad A_v \approx \frac{\mu}{\mu+1} \approx 1$$

لکھا جا سکتا ہے۔ اس مساوات سے صاف ظاہر ہے کہ ماسفیٹ کے تابع سورس ایپلیفائر کا خارجی اشارہ بھی خوش اسلوبی سے داخلی اشارے کی پیروی کرتا ہے۔ دو جو ٹرانزسٹر کی طرح ماسفیٹ کے مشترکہ ذرین ایپلیفائر کا A_v بھی تقریباً ایک کے برابر ہے۔

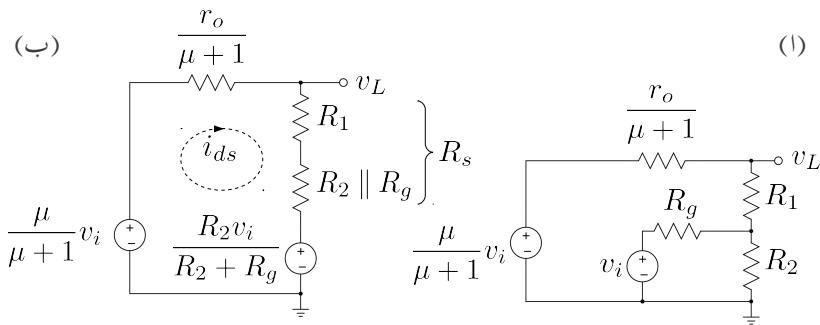
خارجی مزاحمت

شکل 4.54 ب کو دیکھتے ہوئے خارجی مزاحمت یوں لکھی جا سکتی ہے۔

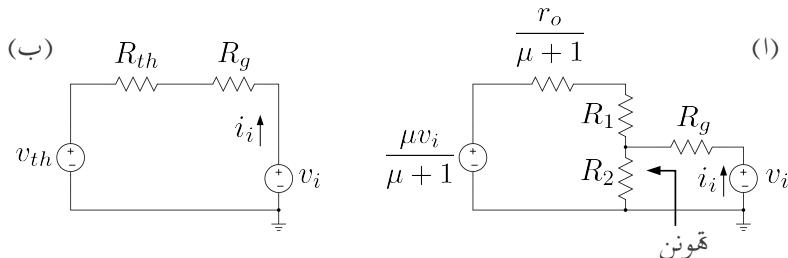
$$(4.101) \quad R_o = \frac{r_o}{\mu+1} \parallel R_s \\ = \frac{1}{g_m} \parallel R_s$$

اگر $R_s \gg \frac{1}{g_m}$ ہو تو اس سے یوں لکھا جا سکتا ہے -

$$(4.102) \quad R_o \approx \frac{1}{g_m}$$



شکل 4.54: تابع سورس کا مساوی باریک اشاراتی دور



شکل 4.55: تابع سورس کا داخلی مزاحمت

داخلی مزاحمت

داخلی مزاحمت شکل 4.53 الف میں $\frac{v_i}{i_i}$ سے حاصل ہوگی۔ چونکہ گیٹ کی برق را صفر ہوتی ہے لہذا i_i وہ برق را ہے جو مزاحمت R_g سے گزرتی ہے۔ شکل 4.53 ب میں اس کی نشاندہی کی گئی ہے۔ چونکہ اس شکل میں v_i دو جگہ نظر آتا ہے لہذا یہ ضروری ہے کہ R_g کے ساتھ جزوی v_i پر نظر رکھی جائے۔

شکل 4.54 الف کو قدر مختلف طرز پر شکل 4.55 الف میں دکھایا گیا ہے جہاں مطلوبہ v_i اور i_i

کی وضاحت کی گئی ہے۔ R_g کے باقی جانب کا ہمون مساوی دور لیتے ہوئے

$$(4.103) \quad v_{th} = \frac{R_2 \left(\frac{\mu}{\mu+1} \right) v_i}{R_1 + R_2 + \frac{r_o}{\mu+1}}$$

$$R_{th} = R_2 \parallel \left(\frac{r_o}{\mu+1} + R_1 \right)$$

حاصل ہوتا ہے۔ شکل 4.55 ب میں حاصل کردہ ہمون دور استعمال کیا گیا ہے۔ یوں

$$i_i = \frac{v_i - v_{th}}{R_g + R_{th}}$$

$$= \frac{v_i - \frac{R_2 \left(\frac{\mu}{\mu+1} \right) v_i}{R_1 + R_2 + \frac{r_o}{\mu+1}}}{R_g + R_2 \parallel \left(\frac{r_o}{\mu+1} + R_1 \right)}$$

لکھتے ہوئے داخلی مزاحمت R_i یوں حاصل ہوتا ہے۔

$$(4.104) \quad R_i = \frac{v_i}{i_i} = \frac{R_g + R_2 \parallel \left(\frac{r_o}{\mu+1} + R_1 \right)}{1 - \frac{R_2 \left(\frac{\mu}{\mu+1} \right)}{R_1 + R_2 + \frac{r_o}{\mu+1}}}$$

اس مساوات میں $\frac{r_o}{\mu+1} \approx \frac{1}{g_m}$ پر کرنے سے

$$(4.105) \quad R_i = \frac{R_g + R_2 \parallel \left(\frac{1}{g_m} + R_1 \right)}{1 - \frac{g_m R_2 \left(\frac{\mu}{\mu+1} \right)}{g_m (R_1 + R_2) + 1}}$$

حاصل ہوتا ہے۔ اگر $R_g \gg R_2$ اور $R_g \gg R_2$ جیسا کہ عموماً ہوتا ہے، تب اس مساوات کو

$$(4.106) \quad R_i \approx \frac{R_g}{1 - \frac{R_2 \left(\frac{\mu}{\mu+1} \right)}{R_1 + R_2}}$$

لکھا جا سکتا ہے۔ اگر ساتھ ہی ساتھ $R_2 \gg R_1$ ہو تو اس سے مزید سادہ مساوات یوں حاصل ہوتی ہے۔

$$(4.107) \quad R_i \approx (\mu + 1) R_g$$

مثال 3.54 میں بیس سے ایٹھر مزاحمت جوڑنے سے داخلی مزاحمت میں اضافہ ہوتا دکھایا گیا۔ یہاں بھی ایسا کرنے سے داخلی مزاحمت کی قیمت R_g سے زیادہ ہو جاتی ہے۔

مثال 4.31: شکل 4.53 الف میں استعمال کئے جانے والے ماسفیٹ کے میں $V_t = -3 \text{ V}$, $k_n = 0.2 \frac{\text{mA}}{\text{V}^2}$ اور $V_{DSQ} = 10 \text{ V}$, $I_{DSQ} = 0.4 \text{ mA}$ اور $r_o = 90 \text{ k}\Omega$ ہیں۔ 15 V کی سپلائی استعمال کرتے ہوئے اور $R_i = 200 \text{ k}\Omega$ حاصل کرنے کی خاطر درکار مزاحمت حاصل کریں۔ حل:

$$I_{DSQ} = \frac{k_n}{2} (V_{GS} - V_t)^2$$

$$0.002 = \frac{0.00015}{2} (V_{GSQ} + 2.7)^2$$

سے

$$V_{GSQ} = -5 \text{ V}, \quad -1 \text{ V}$$

حاصل ہوتے ہیں۔ $V_{GSQ} = -5 \text{ V}$ کو رد کیا جاتا ہے چونکہ یہ قیمت V_t سے کم ہے جس سے ماسفیٹ منقطع ہو جاتا ہے۔ یوں مساوات 4.95 کے تحت $R_1 = 2.5 \text{ k}\Omega$ حاصل ہوتا ہے۔ مساوات 4.94 کی مدد سے

$$R_1 + R_2 = \frac{V_{DD} - V_{DSQ}}{I_{DSQ}}$$

$$= \frac{15 - 10}{0.4 \times 10^{-3}}$$

$$= 12.5 \text{ k}\Omega$$

حاصل ہوتا ہے اور یوں $R_2 = 10 \text{ k}\Omega$ ہو گا۔ چونکہ

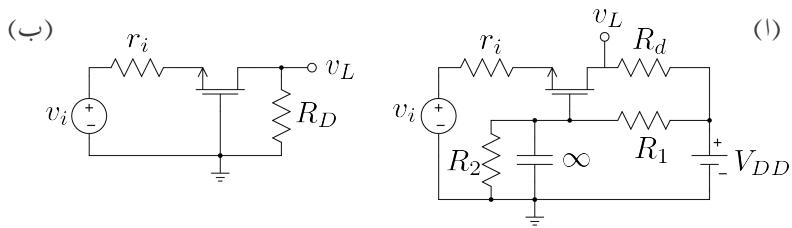
$$V_{GD} = V_{GS} - V_{DS} = -1 - 10 = -11 \text{ V} < V_t$$

ہے لہذا ماسفیٹ کو افزائندہ خطے میں ٹھیک تصور کیا گیا تھا۔ مساوات 4.67 سے

$$g_m = \sqrt{2k_n I_{DS}} = \sqrt{2 \times 0.2 \times 10^{-3} \times 0.4 \times 10^{-3}} = 0.4 \text{ mS}$$

اور یوں $R_s \approx R_1 + R_2 = R_g \gg R_2$ تصور کرتے ہوئے $\mu = g_m r_o = 36$ حاصل ہوتا ہے۔ اور یوں مساوات 4.99 سے $12.5 \text{ k}\Omega$ حاصل ہوتا ہے اور یوں مساوات

$$A_v \approx \frac{0.4 \times 10^{-3} \left(\frac{36}{36+1} \right) 12.5 \times 10^3}{1 + 0.4 \times 10^{-3} \times 12.5 \times 10^3} = 0.81 \frac{\text{V}}{\text{V}}$$



شکل 4.56: گیٹ مشترک ایمپلیفیائر

حاصل ہوتا ہے - مساوات 4.106 کی مدد سے $R_i = 200 \text{ k}\Omega$ حاصل کرنے کی خاطر

$$200000 = \frac{R_g}{1 - \frac{10000(\frac{36}{36+1})}{2500+10000}}$$

سے $R_g = 44 \text{ k}\Omega$ حاصل ہوتا ہے -

4.17 گیٹ مشترک ایمپلیفیائر

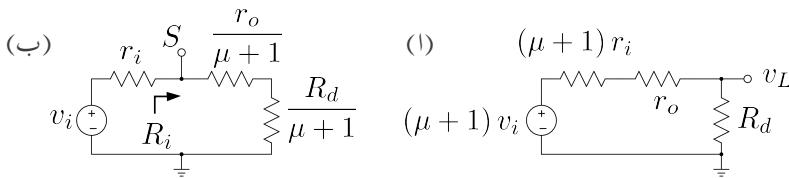
شکل 4.56 الف میں گیٹ مشترک ایمپلیفیائر دکھایا گیا ہے جبکہ شکل ب میں اسی کا مساوی بدلتی رو دور دکھایا گیا ہے۔ گیٹ پر نسب کپیسٹر کی قیمت لاحدود دکھائی گئی ہے۔ یون درکار تعداد پر کپیسٹر کو قصر دور تصور کیا گیا ہے۔ شکل ب کا شکل 4.50 کے ساتھ موازنہ کریں۔ یہاں v_1 اور v_3 صفر وولٹ ہیں جیکہ v_2 کو v_i کہا گیا ہے۔ لہذا تمام اجزاء کو ڈرین میں منتقل کرتے ہوئے شکل 4.51 کے طرز پر شکل 4.57 الف حاصل ہوتا ہے۔ اسی طرح سورس جانب کا عکس شکل ب میں دکھایا گیا ہے۔

شکل 4.57 الف کو دیکھتے ہوئے ہم لکھ سکتے ہیں

$$v_L = \frac{R_d}{(\mu + 1) r_i + r_o + R_d} (\mu + 1) v_i$$

جس سے افزائش $A_v = \frac{v_L}{v_i}$ یون لکھی جا سکتی ہے

$$A_v = \frac{(\mu + 1) R_d}{(\mu + 1) r_i + r_o + R_d}$$



شکل 4.57: گیٹ مشترک ایمپلیفیائر کے ڈرین اور سورس جانب عکس

شکل 4.57 ب سے ایمپلیفیائر کا داخلی مزاحمت لکھا جا سکتا ہے یعنی

$$R_i = \frac{r_o + R_d}{\mu + 1}$$

گیٹ مشترک ایمپلیفیائر بلند تعداد پر استعمال ہوتا ہے۔ یہ بطور برقی سوئچ ہی استعمال کیا جاتا ہے۔

4.18 زنجیری ایمپلیفیائر

ایک سے زیادہ ایمپلیفیائر کو زنجیری کی شکل میں جوڑ کر زیادہ سے زیادہ افزائش حاصل کرنا ممکن ہوتا ہے۔ ایسے زنجیری ایمپلیفیائر میں عموماً داخلی جانب پہلی کڑی، درکار داخلی مزاحمت فراہم کرنے کی غرض سے تخلیق دیا جاتا ہے جبکہ آخری کڑی کو درکار خارجی مزاحمت کے لئے تخلیق دیا جاتا ہے۔ درمیانی کڑیاں درکار افزائش حاصل کرنے کے لئے تخلیق دین جاتی ہیں۔

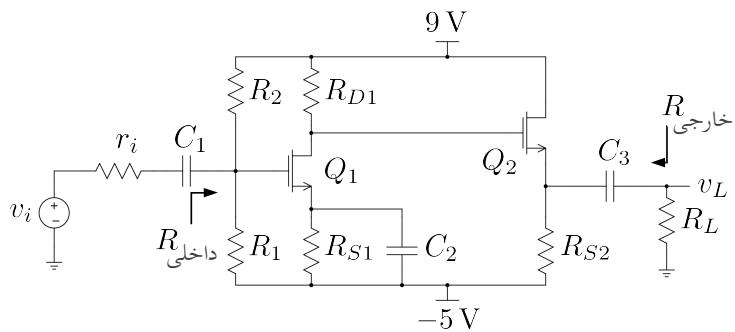
مثال 4.32: شکل 4.58 میں دو بالکل یکسان ماسفیٹ استعمال کرتے ہوئے، پہلی کڑی سورس مشترک اور دوسری کڑی ڈرین مشترک ایمپلیفیائر سے تخلیق دی گئی ہے۔ $k_n = 0.6 \frac{\text{mA}}{\text{V}^2}$ اور $V_t = 1 \text{V}$ اور $I_{DS1} = 0.12 \text{ mA}$ ، $I_{DS2} = 1.2 \text{ mA}$ ، $V_{DS1} = V_{DS2} = 5 \text{ V}$ حاصل کرنے کے لئے درکار R_{D1} ، R_{S1} اور R_{S2} حاصل کریں۔ $R_{S1} = 150 \text{ k}\Omega$ حاصل کرنے کے لئے درکار R_1 اور R_2 حاصل کریں۔ قائم کپیسٹروں کی قیمت لاحدود تصور کریں۔

حل: Q_2 کے خارجی جانب کرچاف کے قانون برائے برقی دباؤ سے

$$\begin{aligned} 9 + 5 &= V_{DS2} + I_{DS2}R_{S2} \\ &= 5 + 1.2 \times 10^{-3}R_{S2} \end{aligned}$$

سے $R_{S2} = 7.5 \text{ k}\Omega$ حاصل ہوتا ہے۔ افزائندہ ماسفیٹ کی مساوات سے

$$1.2 \times 10^{-3} = \frac{0.6 \times 10^{-3}}{2} (V_{GS2} - 1)^2$$



شکل 4.58: دو کڑی زنجیری ماسفیٹ ایمپلیفیائر

حاصل ہوتا ہے۔ Q_2 کے سورس پر برقی دباؤ $V_{GS2} = 3 \text{ V}$

$$V_{S2} = 9 - V_{DS2} = 9 - 5 = 4 \text{ V}$$

ہے یوں اس کے لئے پر

$$V_{G1} = V_{S2} + V_{GS2} = 4 + 3 = 7 \text{ V}$$

ہوں گے جو V_{D1} کے برابر ہے۔ یوں مزاحمت R_{D1} پر اُوہم کے قانون سے

$$9 - V_{D1} = I_{DS1}R_{D1}$$

$$9 - 7 = 0.12 \times 10^{-3}R_{D1}$$

$$\text{حاصل ہوتا ہے۔} \quad V_{DS1} = 5 \text{ V} \quad R_{D1} = 16.7 \text{ k}\Omega$$

$$V_{S1} = V_{D1} - V_{DS1} = 7 - 5 = 2 \text{ V}$$

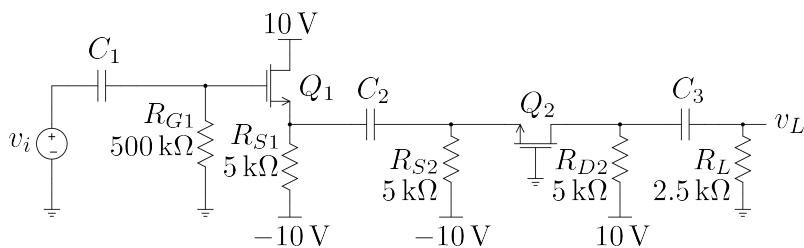
اور R_{S1} پر اُوہم کے قانون سے

$$V_{S1} - (-5) = I_{DS1}R_{S1}$$

$$7 = 0.12 \times 10^{-3}R_{S1}$$

حاصل ہوا ہے۔ Q_1 کو افزائندہ تصور کرتے ہوئے افزائندہ ماسفیٹ کی مساوات

$$0.12 \times 10^{-3} = \frac{0.6 \times 10^{-3}}{2} (V_{GS1} - 1)^2$$



شکل 4.59: دو کڑی زنجیری مشترک ڈرین، مشترک گیٹ ایمپلیفیائر

$$\text{سے حاصل ہوتے ہیں لہذا } V_{GS1} = 1.632 \text{ V}$$

$$\begin{aligned} V_{G1} &= V_{S1} + V_{GS1} \\ 2 + 1.632 &= 3.632 \text{ V} \end{aligned}$$

حاصل ہوتا ہے۔ V_{G1} کے لئے ہم لکھ سکتے ہیں

$$V_{G1} = 3.632 = \left[\frac{9 - (-5)}{R_1 + R_2} \right] R_1 - 5$$

چونکہ R کے برابر ہے جس کی قیمت $150 \text{ k}\Omega$ درکار ہے لہذا

$$150 \times 10^3 = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2}$$

مندرجہ بالا دو مساوات سے $R_1 = 392 \text{ k}\Omega$ اور $R_2 = 243 \text{ k}\Omega$ حاصل ہوتے ہیں۔

مثال 4.33: شکل 4.59 میں I_{DS1} ، $V_{t1} = V_{t2} = 2 \text{ V}$ اور $k_{n1} = k_{n2} = 3 \frac{\text{mA}}{\text{V}^2}$ لیتے ہوئے، $A_v = \frac{v_L}{v_i}$ حاصل کریں۔ ان قیمتوں کو استعمال کرتے ہوئے کل افزائش I_{DS2} حاصل کریں۔

حل: ماسفیٹ کو افزائندہ تصور کرتے ہوئے بدلتے متغیرات کی قیمت صفر کرتے ہوئے نقطہ مائل حاصل کرنے کی غرض سے Q_1 کے لئے لکھا جا سکتا ہے

$$V_{G1} = 0$$

$$V_{S1} = -10 + I_{DS1} R_{S1} = -10 + 5000 I_{DS1}$$

جس سے

$$V_{GS1} = V_{G1} - V_{S1} = 10 - 5000I_{DS1}$$

حاصل ہوتا ہے۔ یوں افزائندہ ماسفیٹ کی مساوات

$$I_{DS1} = \frac{0.003}{2} (10 - 5000I_{DS1} - 2)^2$$

$$\text{سے } I_{DS1} = 0.73 \text{ mA اور}$$

$$g_{m1} = \sqrt{2k_{n1}I_{DS1}} = \sqrt{2 \times 0.003 \times 0.00073} = 2.09 \text{ mS}$$

حاصل ہوتے ہیں۔ اسی طرح Q_2 کے

$$V_{G2} = 0$$

$$V_{S2} = -10 + 5000I_{DS2}$$

$$V_{GS2} = V_{G2} - V_{S2} = 10 - 5000I_{DS2}$$

سے افزائندہ ماسفیٹ کی مساوات

$$I_{DS2} = \frac{0.003}{2} (10 - 5000I_{DS2} - 2)^2$$

$$\text{دیتا ہے جس سے } I_{DS2} = 0.73 \text{ mA}$$

$$g_{m2} = \sqrt{2 \times 0.003 \times 0.00073} = 2.09 \text{ mS}$$

حاصل ہوتا ہے۔ یہاں رک کر تسلی کر لیں کہ دونوں ماسفیٹ افزائندہ خطے میں ہی ہیں۔ ان قیمتیوں کے ساتھ پائیے ماذل استعمال کرتے ہوئے زنجیری ایمپلیفیائر کا مساوی دور شکل 4.60 میں دکھایا گیا ہے جس کو دیکھ کر ہم

$$v_{g1} = v_i$$

$$v_{g2} = 0$$

$$v_{s1} = v_{s2} = v_s$$

لکھ سکتے ہیں۔ یوں

$$v_{gs1} = v_i - v_s$$

$$v_{gs2} = -v_s$$

لکھا جا سکتا ہے۔ v_s کی مساوات حاصل کرتے ہیں۔

$$\begin{aligned} v_s &= \left(g_{m1}v_{gs1} + g_{m2}v_{gs2} \right) \left(\frac{R_{S1}R_{S2}}{R_{S1} + R_{S2}} \right) \\ &= g_m [(v_i - v_s) + (-v_s)] R_S \end{aligned}$$

جهان دوسرے قدم پر R_S کو لکھا گیا۔ یوں

$$v_s = \frac{g_m R_S v_i}{1 + 2g_m R_S}$$

حاصل ہوتا ہے۔ v_L کے لئے یوں لکھا جا سکتا ہے

$$\begin{aligned} v_L &= -g_{m2} v_{gs2} \left(\frac{R_{D2} R_L}{R_{D2} + R_L} \right) \\ &= g_m v_s \left(\frac{R_{D2} R_L}{R_{D2} + R_L} \right) \end{aligned}$$

جهان $g_{m1} = g_{m2} = g_m$ کا استعمال کیا گیا ہے۔ اس میں v_s پُر کرنے سے

$$v_L = g_m \left(\frac{g_m R_S v_i}{1 + 2g_m R_S} \right) \left(\frac{R_{D2} R_L}{R_{D2} + R_L} \right)$$

حاصل ہوتا ہے جس سے

$$A_v = \frac{v_L}{v_i} = \frac{g_m^2 R_S}{1 + 2g_m R_S} \left(\frac{R_{D2} R_L}{R_{D2} + R_L} \right)$$

لکھا جا سکتا ہے۔

$$R_S = \frac{5000 \times 5000}{5000 + 5000} = 2.5 \text{ k}\Omega$$

$$\frac{R_{D2} R_L}{R_{D2} + R_L} = \frac{5000 \times 2500}{5000 + 2500} = 1.667 \text{ k}\Omega$$

کے استعمال سے

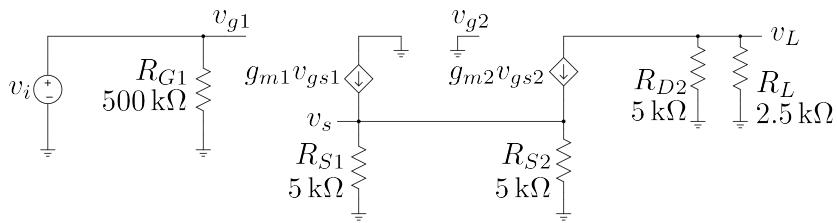
$$A_v = \left(\frac{0.00209^2 \times 2500}{1 + 2 \times 0.00209 \times 2500} \right) \times 1667 = 1.59 \frac{\text{V}}{\text{V}}$$

حاصل ہوتا ہے۔

4.19 قوى ماسفيٹ

سلیکان پتی پر ماسفیٹ کا رقبہ بڑھا کر زیادہ طاقت کا ماسفیٹ وجود میں آتا ہے۔ کئی ایپیئر اور وولٹ تک کام کرنے والے ایسے قوى ماسفيٹ⁴³ زیادہ طاقت قابو کرنے میں کام آتے ہیں۔ اس طرح کے متعدد ماسفیٹ

power mosfet⁴³



شکل 4.60: دو کڑی زنجیری مشترک ڈرین، مشترک گیٹ ایمپلیفیاٹر کا مساوی دور

متوازی جوڑ کر مزید زیادہ برقی روکو قابو کیا جاتا ہے۔ یک سمتی سے بدلتی رو برقی دباو بناتے انورٹر⁴⁴ میں انہیں عموماً استعمال کیا جاتا ہے۔ قوی ٹرانزسٹر کی نسبت سے قوی ماسفیٹ انتہائی تیز ہے۔ اسے چالو سے منقطع یا منقطع سے چالو حالت میں چند نینو سیکنڈ میں لایا جا سکتا ہے۔ مزید یہ کہ اسے چالو کرنے کی خاطر درکار برق طاقت نہیں کم ہے جس سے عام CMOS مخلوط دور فراہم کر سکتا ہے۔

برقی طاقت کا ضیاع قوی ماسفیٹ کو گرم کرتے ہوئے اس کا درجہ حرارت بڑھاتا ہے۔ درجہ حرارت بڑھنے سے ماسفیٹ کی مزاحمت بھی بڑھتی ہے۔ یوں متوازی جڑی ٹرانزسٹر میں اگر کسی وجہ سے ایک ماسفیٹ زیادہ گرم ہو تو اس کی مزاحمت بڑھ جائے گا۔ متوازی جڑی ماسفیٹ میں جس ماسفیٹ کا مزاحمت زیادہ ہو، اس کا i_{DS} کم ہو گا۔ یوں زیادہ گرم ہونے والا ماسفیٹ خود بخود کم برق روگزارتے ہوئے کم گرم ہو گا۔ آپ دیکھ سکتے ہیں کہ متوازی جڑی قوی ٹرانزسٹر کے بر عکس متوازی جڑی قوی ماسفیٹ از خود برق روکی تقسیم یوں رکھتے ہیں کہ ان میں کسی ایک پر زیادہ بوجہ نہ ڈالے۔ قوی ماسفیٹ کو بھی ٹنڈا رکھنے کی خاطر سرد کار⁴⁵ کے ساتھ جوڑ کر رکھا جاتا ہے۔

اہم نکات

nMOSFET منفی ماسفیٹ

بڑھاتا منفی ماسفیٹ کے V_t کی قیمت مثبت ہوتی ہے جبکہ گھٹاتا منفی ماسفیٹ کے V_t کی قیمت منفی ہوتی ہے۔ V_A کی قیمت دونوں کے لئے مثبت ہے۔ دونوں کے مساوات میں کوئی فرق نہیں۔

inverter⁴⁴
heat sink⁴⁵

غیر افزائندہ

$$v_{GS} > V_t, \quad v_{GD} \geq V_t$$

$$i_{DS} = k'_n \left(\frac{W}{L} \right) \left[(v_{GS} - V_t) v_{DS} - \frac{v_{DS}^2}{2} \right]$$

$$\text{کم برقی دباؤ پر مزاحمت} = \frac{1}{k'_n \left(\frac{W}{L} \right) (v_{GS} - V_t)}$$

افزائندہ

$$v_{GS} > V_t, \quad v_{GD} \leq V_t$$

$$i_{DS} = \frac{k'_n}{2} \left(\frac{W}{L} \right) (v_{GS} - V_t)^2 \left(1 + \frac{v_{DS}}{V_A} \right)$$

مثبت ماسفیٹ pMOSFET

بڑھاتا مثبت ماسفیٹ کے V_t کی قیمت منفی ہوئی ہے جبکہ گھشتا مثبت ماسفیٹ کے V_t کی قیمت مثبت ہوئی ہے۔ V_A کی قیمت دونوں کے لئے مثبت ہے۔ دونوں کے مساوات میں کوئی فرق نہیں۔

غیر افزائندہ

$$v_{SG} > -V_t, \quad v_{DG} \geq -V_t$$

$$i_{SD} = k'_p \left(\frac{W}{L} \right) \left[(v_{SG} + V_t) v_{SD} - \frac{v_{SD}^2}{2} \right]$$

$$\text{کم برقی دباؤ پر مزاحمت} = \frac{1}{k'_p \left(\frac{W}{L} \right) (v_{SG} + V_t)}$$

افزائندہ

$$v_{SG} > -V_t, \quad v_{DG} \leq -V_t$$

$$i_{SD} = \frac{k'_p}{2} \left(\frac{W}{L} \right) (v_{SG} + V_t)^2 \left(1 + \frac{v_{SD}}{V_A} \right)$$

کے nMOSFET اجزاء اشاراتی باریک

$$r_o = \left| \frac{V_A}{I_{DS}} \right|$$

$$g_m = k' \left(\frac{W}{L} \right) (V_{GS} - V_t)$$

سوالات

سوال 4.1: ایک nMOSFET کا v_{DS} پر ماسفیٹ کی مزاحمت کی مساوات کیا ہوگی۔ اگر $V_{GS} = 1.8 \text{ V}$ ، $\frac{W}{L} = 20$ اور $d = 0.02 \mu\text{m}$ ، $\mu_n = 650 \frac{\text{cm}^2}{\text{Vs}}$ اور $\epsilon = 3.97\epsilon_0$ ہے۔ نہایت جوabat: $V_t = 0.8 \text{ V}$ ہو تو ماسفیٹ کی مزاحمت نہایت کم v_{DS} پر کیا ہوگی۔

$$r = \frac{1}{k'_n \frac{W}{L} (v_{GS} - V_t)} = 445 \Omega$$

سوال 4.2: pMOSFET کا $\mu_p \approx 0.4\mu_n$ ہوتا ہے۔ سوال 4.1 میں بقايا معلومات تبدیل کئے بغیر V_{SD} پر حاصل کریں۔ جواب: 1114Ω

سوال 4.3: بقايا ساخت مکمل طور پر ایک جیسے رکھتے ہوئے منفی اور مثبت ماسفیٹ کے چوڑائی W کی ایسی شرح دریافت کریں جن پر دونوں ماسفیٹ کی مزاحمت برابر ہو۔ جواب: $\frac{W_n}{W_p} = 0.4$

سوال 4.4: ایک منفی ماسفیٹ جس کے $v_{GS} = 4 \text{ V}$ اور $V_t = 1 \text{ V}$ اور $k_n = 0.02 \frac{\text{mA}}{\text{V}^2}$ پر چلا جاتا ہے۔ $v_{DS} = 3 \text{ V}$ اور $i_{DS} = 6 \text{ mA}$ اور $90 \mu\text{A}$ اور $50 \mu\text{A}$ حاصل کریں۔ جوابات:

سوال 4.5: ایک منفی ماسفیٹ جس کے

$$k_n = 0.08 \frac{\text{mA}}{\text{V}^2}, \quad V_t = 1 \text{ V}$$

بین کو افزائندہ خطے میں $i_{DS} = 4 \text{ mA}$ پر استعمال کرنے کی خاطر درکار v_{GS} اور کم سے کم v_{DS} حاصل کریں۔ اگر اس منفی ماسفیٹ کی $V_t = -1 \text{ V}$ ہو تو جوابات کیا ہوں گے۔

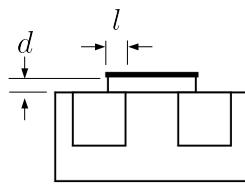
جوابات: $V_t = 1 \text{ V}$ کی صورت میں $v_{GS} = 11 \text{ V}$ اور $v_{DS} \geq 10 \text{ V}$ جبکہ $V_t = -1 \text{ V}$ کی صورت میں $v_{GS} = 9 \text{ V}$ اور $v_{DS} \geq 10 \text{ V}$ اور $i_{DS} = 0.4 \text{ mA}$ کے لئے دوبارہ حل کریں۔

سوال 4.6: سوال 4.5 کو $i_{DS} = 0.4 \text{ mA}$ کے لئے حاصل ہوتے ہیں۔ جوابات: $V_t = 1 \text{ V}$ کی صورت میں $v_{GS} = 4.16 \text{ V}$ اور $v_{DS} \geq 3.16 \text{ V}$ جبکہ $V_t = -1 \text{ V}$ کی صورت میں $v_{GS} = 2.16 \text{ V}$ اور $v_{DS} \geq 3.16 \text{ V}$ حاصل ہوتے ہیں۔

سوال 4.7: منفی بڑھاتا ماسفیٹ کے مساوات کے خط کاغذ پر قلم سے کھینچیں۔ انہیں کو کمپیوٹر کی مدد سے کھینچیں۔

سوال 4.8: شکل 4.61 میں W چوڑائی کا گیٹ سورس کو ڈھانپتا ہوا دکھایا گیا ہے۔ گیٹ اور سورس کا ڈھانپا گیا حصہ مل کر کپیسٹر C_{gsp} کو جنم دیتے ہیں۔ اس کپیسٹر کی چوڑائی W اور لمبائی l ہے۔ جبکہ کپیسٹر کے دو چادروں کے درمیانی فاصلہ d ہے۔ اگر μm , $d = 0.02 \mu\text{m}$, $W = 100 \mu\text{m}$ اور $l = 1 \mu\text{m}$ ہو تو اس کپیسٹر کی قیمت کیا ہوگی۔ لیں جہاں $\epsilon = 3.97\epsilon_0$ اور $\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \frac{\text{F}}{\text{m}}$ کے برابر ہے۔

$$\text{جوابات: } 176 \text{ fF}, \quad C_{gsp} = \frac{\epsilon_r \epsilon_0 W l}{d}$$



شکل 4.61: سورس اور ڈرین کو گیٹ ڈھانپ کر کیسٹر کو جنم دیتا ہے

سوال 4.9: ایک منفی بڑھاتا ماسفیٹ کے گیٹ اور ڈرین کو آپس میں جوڑ کر اس کے v_{DS} اور i_{DS} ناپے جاتے ہیں۔ $V_t = 0.5575 \text{ V}$ پر $i_{DS} = 1 \text{ mA}$ جبکہ $V_t = 4 \text{ V}$ پر $i_{DS} = 2.5 \text{ mA}$ ناپے جاتا ہے۔ اس ماسفیٹ کے k_n اور V_t حاصل کریں۔

جوابات: $V_t = 0.169 \frac{\text{mA}}{\text{V}^2}$ ، $k_n = 0.5575 \text{ V}$ کا ہونا ضروری ہے۔

سوال 4.10: ایک بڑھاتا منفی ماسفیٹ کا $v_{GS} = 5 \text{ V}$ پر رکھتے ہوئے اس کے i_{DS} اور $v_{DS} = 6 \text{ V}$ پر $i_{DS} = 2 \text{ mA}$ جبکہ $v_{DS} = 3 \text{ V}$ پر $i_{DS} = 4 \text{ mA}$ ناپے جاتے ہیں۔ اس ماسفیٹ کے k_n اور V_t حاصل کریں۔

جوابات: $V_t = 3.24 \text{ V}$ ، $k_n = 2.59 \frac{\text{mA}}{\text{V}^2}$

سوال 4.11: کم v_{DS} پر منفی بڑھاتا ماسفیٹ کو بطور متغیر مزاحمت استعمال کیا جا سکتا ہے۔ مزاحمت کی قیمت v_{GS} سے فابوکی جاتی ہے۔ $k'_n = 15 \frac{\mu\text{A}}{\text{V}^2}$ اور $V_t = 1.2 \text{ V}$ پر $v_{GS} = 2 \text{ V}$ ہیں۔ $8 \text{ k}\Omega$ حاصل کرنے کے لئے درکار $\frac{W}{L} = 10 \mu\text{m}$ حاصل کریں۔ اگر $L = 10 \mu\text{m}$ ہو تو W کیا ہو گا؟

جوابات: $v_{GS} = 8 \text{ V}$ پر مزاحمت کی قیمت کیا ہو گی؟

940Ω ، $104.2 \mu\text{m}$

سوال 4.12: ایک ماسفیٹ کو افزائندہ خطے میں استعمال کرتے ہوئے اس کا v_{GS} برقرار رکھا جاتا ہے۔ $v_{DS} = 5 \text{ V}$ پر $i_{DS} = 3.3 \text{ mA}$ جبکہ $v_{DS} = 10 \text{ V}$ پر $i_{DS} = 3.6 \text{ mA}$ ناپے جاتے ہیں۔ ماسفیٹ کی r_o اور ارلی برقی دباؤ V_A دریافت کریں۔

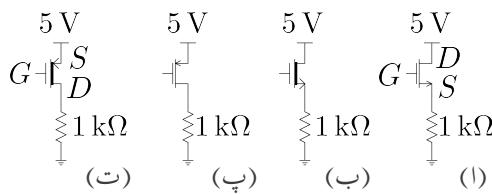
جوابات: $r_o = \frac{\Delta v_{DS}}{\Delta i_{DS}} = 33.33 \text{ k}\Omega$ ، $V_A = 50 \text{ V}$

سوال 4.13: مندرجہ بالا سوال کے ماسفیٹ کے خارجی مزاحمت r_o کی قیمت اور $i_{DS} = 10 \text{ mA}$ پر حاصل کریں۔

جوابات: $5 \text{ k}\Omega$ ، $r_o = \frac{V_A}{I_{DSQ}} = 500 \text{ k}\Omega$

سوال 4.14: ایک گھناتے منفی ماسفیٹ کے سورس کے ساتھ جوڑا جائے تب $V_t = -3 \text{ V}$ اور $k_n = 0.2 \frac{\text{mA}}{\text{V}^2}$ ہیں۔ اگر گیٹ کو $v_{DS} = 5 \text{ V}$ اور $i_{DS} = 0.9 \text{ mA}$ پر کیا ہوں گے؟ ان دونوں صورتوں میں ماسفیٹ کس خطے میں ہو گا؟

جوابات: 0.8 mA ، 0.9 mA پہلی صورت میں غیر افزائندہ جبکہ دوسری صورت میں افزائندہ خطے میں ہے۔



شکل 4.62:

سوال 4.15: شکل 4.62 الف کے ماسفیٹ کا $k_n = 160 \frac{\mu A}{V^2}$ اور $V_t = 1V$ اور $i_{DS} = 160 \frac{\mu A}{V^2}$ کیا ہوگا؟ اگر گیٹ کو سورس کے ساتھ جوڑا جائے تو i_{DS} کی قیمت کیا ہوگی۔ جوابات: ڈرین کے ساتھ جوڑنے سے $0.56mA$ جبکہ سورس کے ساتھ جوڑنے سے $0mA$

سوال 4.16: شکل 4.62 ب کے ماسفیٹ کا $V_t = -1V$ اور $k_n = 160 \frac{\mu A}{V^2}$ کیا ہوگا؟ اگر گیٹ کو سورس کے ساتھ جوڑا جائے تو i_{DS} کی قیمت کیا ہوگی۔

جوابات: ڈرین کے ساتھ جوڑنے سے $1.525mA$ جبکہ سورس کے ساتھ جوڑنے سے $0.16mA$ سوال 4.17: شکل 4.62 پ کے ماسفیٹ کا $V_t = -1V$ اور $k_p = 160 \frac{\mu A}{V^2}$ کیا ہوگا؟ اگر گیٹ کو ڈرین کے ساتھ جوڑا جائے تو i_{DS} کی قیمت کیا ہوگی۔

جوابات: ڈرین کے ساتھ جوڑنے سے $0.04mA$ جبکہ سورس کے ساتھ جوڑنے سے $0A$ سوال 4.18: شکل 4.62 ت کے ماسفیٹ کا $V_t = 1V$ اور $k_p = 160 \frac{\mu A}{V^2}$ کیا ہوگا؟ اگر گیٹ کو ڈرین کے ساتھ جوڑا جائے تو i_{DS} کی قیمت کیا ہوگی۔

جوابات: ڈرین کے ساتھ جوڑنے سے $1.52mA$ جبکہ سورس کے ساتھ جوڑنے سے $0.08mA$ سوال 4.19: شکل 4.63 الف میں $k_{n1} = 50 \frac{\mu A}{V^2}$ ، $k_{n2} = 200 \frac{\mu A}{V^2}$ جبکہ دونوں ماسفیٹ کا $V_t = 1V$ ہے۔ v_O حاصل کریں۔

جواب: $2.3333V$ ، دونوں ماسفیٹ افزائندہ خطے میں بین۔

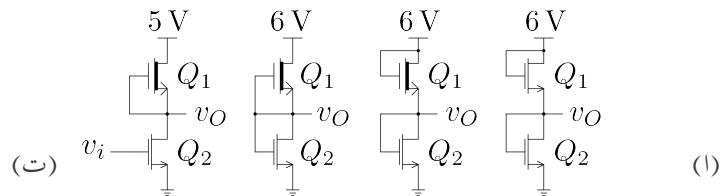
سوال 4.20: شکل 4.63 ب میں $k_{n1} = 50 \frac{\mu A}{V^2}$ ، $k_{n2} = 200 \frac{\mu A}{V^2}$ جبکہ $V_{t1} = -0.8V$ ، $V_{t2} = 1.2V$ ہے۔ v_O حاصل کریں۔

جواب: $3.04V$ ، Q_2 افزائندہ جبکہ Q_1 غیر افزائندہ ہے۔

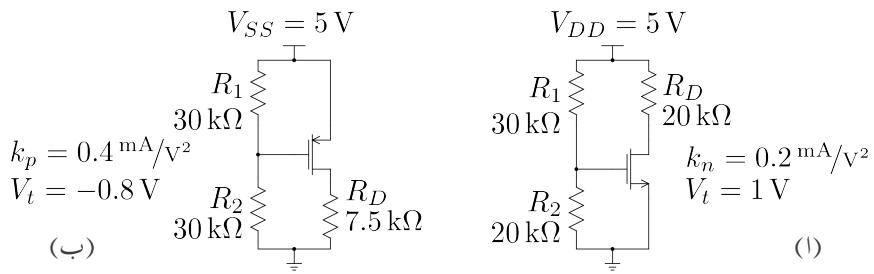
سوال 4.21: شکل 4.63 پ میں $k_{n1} = 50 \frac{\mu A}{V^2}$ ، $k_{n2} = 200 \frac{\mu A}{V^2}$ جبکہ $V_{t1} = -0.8V$ ، $V_{t2} = 1.2V$ ہے۔ v_O حاصل کریں۔

جواب: $1.6V$ دونوں افزائندہ خطوط میں بین۔

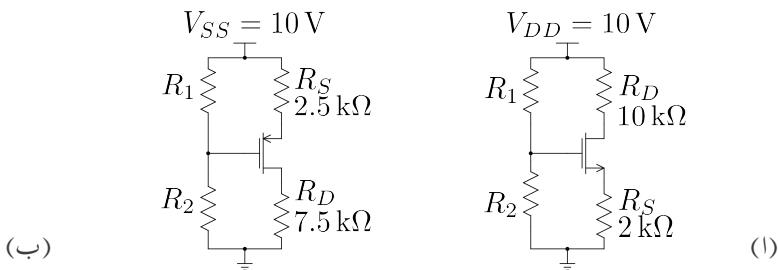
سوال 4.22: شکل 4.64 الف میں نقطہ کارکردگی حاصل کریں۔



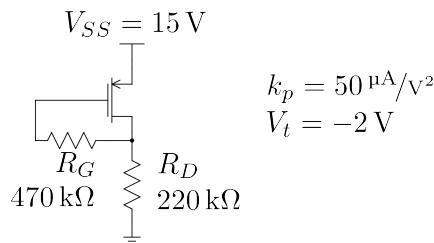
شکل : 4.63



شکل 4.64:



شکل 4.65



شکل 4.66

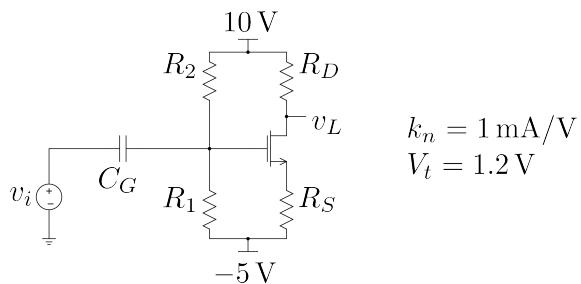
جواب: $3\text{V} , 0.1\text{mA}$

سوال 4.23: شکل 4.64 ب میں نقطہ کارکردگی حاصل کریں۔

جواب: $v_{SD} = 1.14\text{V} , i_{SD} = 0.515\text{mA}$ سوال 4.24: شکل 4.65 ب میں $k_n = 0.32 \frac{\text{mA}}{\text{V}^2}$ اور $V_t = 2\text{V}$ بیں۔ R_1 اور R_2 کو یوںچنیں کہ $I_{DS} = 0.5\text{mA}$ ہو اور ان مزاحمت میں I_{DS} کے 10% برق روپائی جائے۔جواب: $R_2 = 95.4\text{k}\Omega , R_1 = 104.6\text{k}\Omega$ سوال 4.25: شکل 4.65 ب میں $k_p = 0.22 \frac{\text{mA}}{\text{V}^2}$ اور $V_t = -1.5\text{V}$ بیں۔ R_1 اور R_2 کو یوںچنیں کہ $V_{SD} = 5\text{V}$ ہو اور ان مزاحمت میں I_{SD} کے 10% برق روپائی جائے۔جواب: $R_2 = 102.36\text{k}\Omega , R_1 = 97.64\text{k}\Omega$

سوال 4.26: شکل 4.66 میں ماسفیٹ کا نقطہ کارکردگی حاصل کریں۔

جواب: $V_{GS} = -3.45\text{V} , I_{SD} = 52.5\mu\text{A}$ سوال 4.27: شکل 4.65 ب میں $R_S = 1.2\text{k}\Omega$ اور $R_D = 5.6\text{k}\Omega$ اور $V_{DD} = 12\text{V}$ بیں۔ اگرماسفیٹ کا $k_n = 0.18 \frac{\text{mA}}{\text{V}^2}$ اور $V_t = 1.8\text{V}$ ہو تو $i_{DS} = 0.8\text{mA}$ حاصل کرنے کی خاطردرکار R_1 اور R_2 حاصل کریں۔ R_1 اور R_2 میں برق رو i_{DS} کے پانچ فی صد رکھیں۔جوابات: $R_1 = 156.5\text{k}\Omega , R_2 = 143.5\text{k}\Omega$



شکل 4.67

سوال 4.28: عموماً ایک ہی قسم کے دو عدد ماسفیٹ کے خصوصیات میں فرق ہوتا ہے۔ یوں اگر سوال 4.27 میں ماسفیٹ کے V_t کی قیمت 1.6 V تا 2 V ممکن ہو جبکہ k_n اب ہی $0.18 \frac{\text{mA}}{\text{V}^2}$ ہو تو i_{DS} کی قیمت کے حدود حاصل کریں۔

جواب: 0.735 mA تا 0.8656 mA دونوں صورتوں میں ماسفیٹ افزائندہ ہے۔

سوال 4.29: شکل 4.65 الف میں $R_1 = 100 \text{ k}\Omega$ اور $R_2 = 50 \text{ k}\Omega$ بین۔ R_S پر 0.55 V برقی دباؤ پایا جاتا ہے۔ R_2 کے متوازی $1000 \text{ k}\Omega$ نسب کرنے کے بعد R_S پر 0.507 V ناپا جاتا ہے۔ ماسفیٹ کو دونوں صورتوں میں افزائندہ خطے میں تصور کرتے ہوئے g_m حاصل کریں۔

جواب: $0.33 \frac{\text{mA}}{\text{V}}$

سوال 4.30: مندرجہ بالا سوال میں ماسفیٹ کا k_n اور V_t بھی حاصل کریں۔

جوابات: $V_t = 1.2 \text{ V}$ ، $k_n = 0.22 \frac{\text{mA}}{\text{V}^2}$

سوال 4.31: شکل 4.64 الف میں $i_{DS} = 0.1 \text{ mA}$ کی توقع ہے۔ یوں $v_{DS} = 3 \text{ V}$ ہونی چاہئے۔ اصل قیمت 2.94 V ناپی جاتی ہے۔ ماسفیٹ کی اولی برقی دباؤ حاصل کریں۔

جواب: 100 V

سوال 4.32: شکل 4.67 کے ایپلیفائر میں $I_{DS} = 2 \text{ mA}$ اور $V_{DS} = 5 \text{ V}$ حاصل کرنے کے لئے درکار مزاحمت حاصل کریں۔ R_S کے نو گنا رکھیں اور R_1 میں برقی رو I_{DS} کے دس فی صد رکھیں۔ ایپلیفائر کا $A_v = \frac{v_L}{v_i}$ بھی حاصل کریں۔

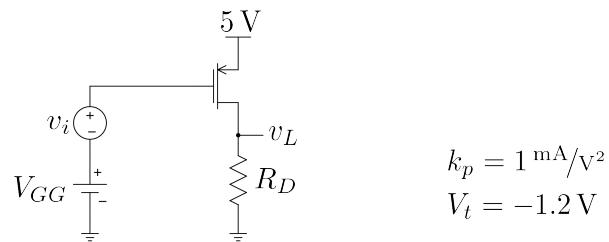
جوابات: $R_2 = 64 \text{ k}\Omega$ ، $R_1 = 11 \text{ k}\Omega$ ، $R_D = 4.5 \text{ k}\Omega$ ، $R_S = 0.5 \text{ k}\Omega$ اور $A_v = -2.25 \frac{\text{V}}{\text{V}}$ ، $g_m = 2 \text{ mS}$ بین۔

سوال 4.33: شکل 4.68 میں $A_v = -6 \frac{\text{V}}{\text{V}}$ اور $V_{SD} = 3 \text{ V}$ حاصل کرنے کی خاطر درکار R_D اور V_{GG} حاصل کریں۔ I_{SD} کی قیمت کیا ہو گی؟

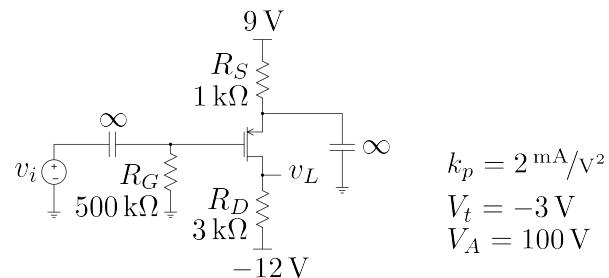
جوابات: $I_{SD} = 0.222 \text{ mA}$ ، $V_{GG} = 3.133 \text{ V}$ ، $R_D = 9 \text{ k}\Omega$

سوال 4.34: شکل 4.69 میں $A_v = \frac{v_L}{v_i}$ اور V_{SD} ، I_{SD} حاصل کریں۔

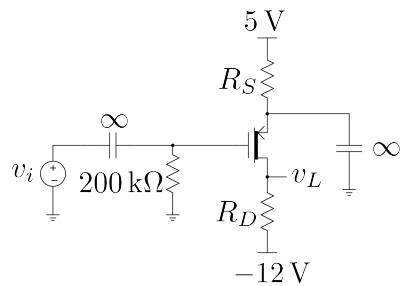
جوابات: $r_o = 25.5 \text{ k}\Omega$ ، $g_m = 4 \text{ mS}$ ، $V_{SD} = 2 \text{ V}$ ، $I_{SD} = 4 \text{ mA}$ اور $A_v = -10.73 \frac{\text{V}}{\text{V}}$



شکل 4.68



شکل 4.69



شکل 4.70

سوال 4.35: شکل 4.70 میں $V_A = 40 \text{ V}$ اور $k_p = 2 \frac{\text{mA}}{\text{V}^2}$ اور $R_S = 4.70 \text{ k}\Omega$ بیں۔ اور R_D کی ایسی قیمتیں حاصل کریں جن سے $I_{SD} = 0.36 \text{ mA}$ اور $V_{SD} = 6 \text{ V}$ حاصل ہوں۔ $A_v = \frac{v_L}{v_i}$ کی قیمت بھی حاصل کریں۔

جوابات: $A_v = -22.7 \frac{\text{V}}{\text{V}}$ اور $r_o = 128 \text{ k}\Omega$ ، $R_S = 8.333 \text{ k}\Omega$ اور $R_D = 22 \text{ k}\Omega$ حاصل ہوتے ہیں۔

سوال 4.36: صفحہ 464 پر شکل 4.58 میں $R_{D1} = 16.7 \text{ k}\Omega$ ، $R_2 = 243 \text{ k}\Omega$ ، $R_1 = 392 \text{ k}\Omega$ اور $V_t = 1 \text{ V}$ اور $k_n = 0.6 \frac{\text{mA}}{\text{V}^2}$ استعمال کرتے ہوئے دونوں ماسفیٹ کے نقطہ کارکردگی حاصل کریں۔

جوابات: $V_{DS1} = 5 \text{ V}$ ، $I_{DS1} = 0.12 \text{ mA}$ ، $V_{DS2} = 5 \text{ V}$ ، $I_{DS2} = 1.2 \text{ mA}$ اور $A_v = 4.59$ میں صفحہ 465 پر شکل 4.59 میں

$$R_{G1} = 100 \text{ k}\Omega, \quad R_L = 5 \text{ k}\Omega$$

$$k_{n1} = 4 \frac{\text{mA}}{\text{V}^2}, \quad k_{n2} = 6 \frac{\text{mA}}{\text{V}^2}$$

$$V_{t1} = V_{t2} = 1.5 \text{ V}$$

بیں۔ دور کو اس طرح تخلیق دیں کہ $I_{DS2} = 6 \text{ mA}$ ، $I_{DS1} = 2 \text{ mA}$ اور $V_{DS2} = 8 \text{ V}$ ہوں۔ حاصل جواب استعمال کرتے ہوئے g_{m1} ، g_{m2} اور $A_v = \frac{v_L}{v_i}$ حاصل کریں۔

جوابات: $A_v = 1.75 \frac{\text{V}}{\text{V}}$ ، $R_{D2} = 818 \text{ }\Omega$ ، $R_{S2} = 1.182 \text{ k}\Omega$ ، $R_{S1} = 3.75 \text{ k}\Omega$

الباب 5

تفرقی ایمپلیفائر

5.1 دو جوڑ ٹرانزسٹر کا تفرقی جوڑا

5.1.1 تفرقی اشارہ کی عدم موجودگی

شکل 5.1 میں دو جوڑ ٹرانزسٹر کا بنیادی تفرقی جوڑ¹ دکھایا گیا ہے۔ تفرقی جوڑ میں دو بالکل یکسان² ٹرانزسٹر استعمال کئے جاتے ہیں۔ تفرقی جوڑ کی صحیح کارکردگی کے لئے یہ ضروری ہے کہ Q_1 اور Q_2 افزائندہ خطے میں ریپن۔ انہیں افزائندہ خطے میں رکھنے کی خاطر تفرقی جوڑ کو R_C کی مدد سے پیدا کار مثبت برق دباؤ V_{CC} کے ساتھ جوڑا گیا ہے۔ جیسا کہ اسی باب میں بعد میں دکھایا جائے گا R_C کی جگہ ٹرانزسٹر بھی استعمال کئے جاتے ہیں۔ تفرقی جوڑ کے دو داخلی اشارات v_{B1} اور v_{B2} بین جبکہ اس کا عمومی تفرقی خارجی اشارہ v_o ہے جسے شکل 5.2 میں دکھایا گیا ہے۔ بعض اوقات v_{C1} یا v_{C2} کو بطور خارجی اشارہ v_o لیا جاتا ہے۔ تفرقی جوڑ کے دونوں ٹرانزسٹروں کے ایمیٹ سرے آپس میں جڑے ہونے کی وجہ سے ان دونوں سروں پر بر صورت برابر برق دباؤ ہوگا (یعنی $v_{E1} = v_{E2}$)۔ ان برابر برق دباؤ کو لکھتے ہوئے زیرِ نوشت (1 اور 2) لکھے بغیر v_E لکھا جا سکتا ہے یعنی

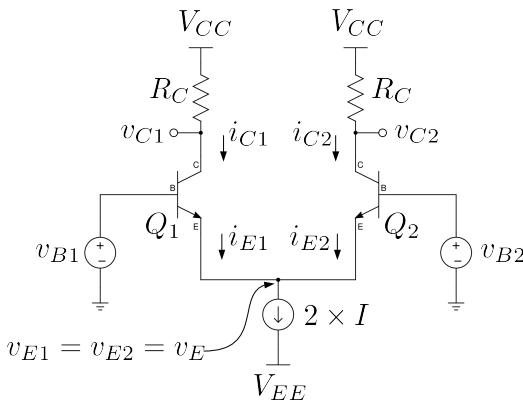
$$(5.1) \quad v_{E1} = v_{E2} = v_E$$

مزید یہ کہ اس جوڑ پر پیدا کار برق رو کی برق رو i_{E1} اور i_{E2} میں تقسیم ہو گی جس کے لئے کرچاف کے قانون برائے برق رو کے تحت لکھا سکتا ہے

$$(5.2) \quad i_{E1} + i_{E2} = 2 \times I$$

تفرقی جوڑ کی کارکردگی پر شکل 5.2 کی مدد سے غور کرتے ہیں جہاں تفرقی جوڑ کے دونوں داخلی سروں پر یک سمتی برق دباؤ V_B بطور داخلی اشارات v_{B1} اور v_{B2} مہیا کیا گیا ہے۔ یوں

difference pair¹
matched²



شکل 1.5: دو جوڑ ٹرانزسٹر کے تفرقی جوڑے کی بنیادی ساخت

کو بطور مشترکہ برق دباؤ³ مہیا کیا گیا ہے۔ دور کو دیکھتے ہوئے یہ بات واضح ہے کہ اس کے باعث اور دائیں اطراف بالکل یکسان پین-یوں دونوں اطراف میں برابر برق روپائی جائے گی (یعنی $i_{E1} = i_{E2}$ اور $i_{C1} = i_{C2} = \alpha I$ حاصل ہوتا ہے اور یوں بوگا۔ لہذا اسی صورت میں مساوات 5.2 سے

$$v_{C1} = V_{CC} - i_{C1}R_C = V_{CC} - \alpha IR_C$$

$$v_{C2} = V_{CC} - i_{C2}R_C = V_{CC} - \alpha IR_C$$

اس صورت میں

$$(5.3) \quad v_o = v_{C2} - v_{C1} = 0$$

بوگا۔ یہ ایک اہم اور عمومی نتیجہ ہے جس کے تحت اگر تفرقی جوڑے کے دونوں مداخل پر برابر برق دباؤ مہیا کیا جائے تو یہ صفر وولٹ خارج کرے گا۔ اس حقیقت کو یوں بہتر بیان کیا جا سکتا ہے کہ تفرقی جوڑا مشترکہ برق دباؤ کو رد کرتا ہے۔ تفرقی برق اشارہ v_d کو یوں بیان کیا جاتا ہے

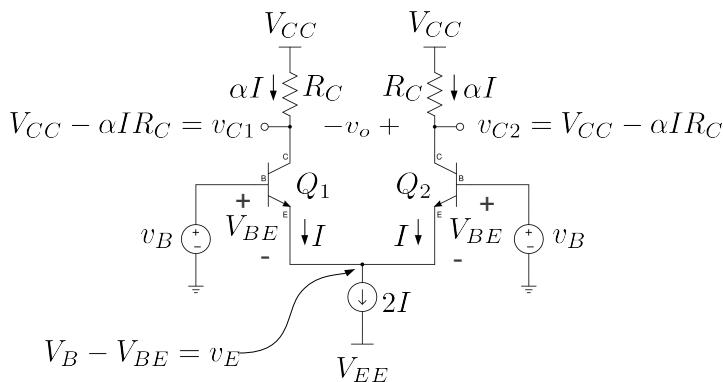
$$(5.4) \quad v_d = v_{B1} - v_{B2}$$

جبکہ مشترکہ برق دباؤ v_{CM} کو یوں بیان کیا جاتا ہے

$$(5.5) \quad v_{CM} = \frac{v_{B1} + v_{B2}}{2}$$

یہاں رک کر تسلی کر لیں کہ v_d حسابی ایمپلیفیٹر کا تفرقی برق دباؤ ہی ہے۔ اسی طرح v_{B1} حسابی ایمپلیفیٹر کا مثبت مدخل جبکہ v_{B2} اس کا منفی مدخل ہے۔

³ common mode voltage



شکل 5.2: دونوں مداخل پر برابر برقی دباؤ کی صورت

مثال 5.1: شکل 5.2 میں

$$V_{CC} = 15 \text{ V} \quad V_{EE} = -15 \text{ V}$$

$$V_B = 3 \text{ V} \quad R_C = 3.9 \text{ k}\Omega$$

$$I = 2 \text{ mA} \quad \alpha = 0.99$$

ہیں۔ تفرقی جوڑی کے تمام برقی دباؤ اور برقی رو حاصل کریں۔

حل: پیدا کار مستقل برقی رو کی برقی رو کی قیمت $2 \times I = 4 \text{ mA}$ ہے۔ چونکہ دونوں ٹرانزسٹر کے سرے برابر برقی دباؤ یعنی 3 V پر ہیں لہذا $V_{BE} = 0.7 \text{ V}$ لیتے ہوئے

$$v_E = 3 - 0.7 = 2.3 \text{ V}$$

ہو گا اور

$$i_{E1} = i_{E2} = \frac{4 \text{ mA}}{2} = 2 \text{ mA}$$

اور یوں

$$i_{C1} = i_{C2} = \alpha \times 2 \text{ mA} = 0.99 \times 2 \text{ mA} = 1.8 \text{ mA}$$

$$v_{C1} = v_{C2} = 15 - 1.8 \times 10^{-3} \times 3.9 \times 10^3 = 7.9 \text{ V}$$

$$v_o = v_{C2} - v_{C1} = 7.9 - 7.9 = 0 \text{ V}$$

$$\text{یہاں پیدا کار مستقل برق روکے سروں پر } 2.3 \text{ V اور } 15 \text{ V - ہونے سے اس پر} \\ 2.3 - (-1.5) = 17.3 \text{ V}$$

ہوں گے۔ مزید یہ کہ ٹرانزستروں کے بیس سروں پر 3 V جبکہ ان کے کلکٹر سروں پر 7.9 V ہونے سے ان کے بیس۔ کلکٹر جوڑ الٹ مائل ہیں۔ یوں یہ افزائندہ خطے میں ہیں جو کہ تفرقی جوڑ کے صحیح کارکردگی کے لئے ضروری ہے۔

مثال 5.2: مثال 5.1 میں مشترکہ برق دباؤ کی وہ حد معلوم کریں جس پر ٹرانزسٹر غیر۔ افزائندہ خطے میں داخل ہو جائیں گے۔

حل: اس مثال میں ہم نے دیکھا کہ مشترکہ برق دباؤ مہیا کرنے سے دونوں ٹرانزستروں میں برابر برق رو کا گزر ہوتا ہے اور ان کے کلکٹر سروں پر 7.9 V پایا جاتا ہے۔ اگر بیس۔ کلکٹر جوڑ پر سیدھی رُخ چالو کر دہ برق دباؤ یعنی 0.5 V پایا جائے تو ٹرانزسٹر غیر۔ افزائندہ صورت اختیار کر لیتا ہے۔ یوں ٹرانزسٹر اس وقت تک افزائندہ رہیں گے جب تک ان کے بیس سروں پر تقریباً (7.9 + 0.5 = 8.4 V) یا اس سے کم مشترکہ برق دباؤ پائی جائے یعنی

$$v_{CM} \leq 8.4 \text{ V}$$

5.1.2 تفرقی اشارہ موجود

آئیں تفرقی برق اشارہ کو صفر ولٹ سے بڑھا کر تفرقی جوڑ کی کارکردگی دیکھیں۔ شکل 5.3 الف میں v_{B2} کو برق زمین⁴ یعنی صفر ولٹ پر رکھا گیا ہے جبکہ $v_{B1} = 0.9 \text{ V}$ رکھا گیا ہے۔ آپ دیکھ سکتے ہیں کہ اس صورت تفرقی جوڑ کے دو اطراف یکسان صورت نہیں رہتے۔ اگر دونوں مداخل پر صفر ولٹ دئے جاتے تو

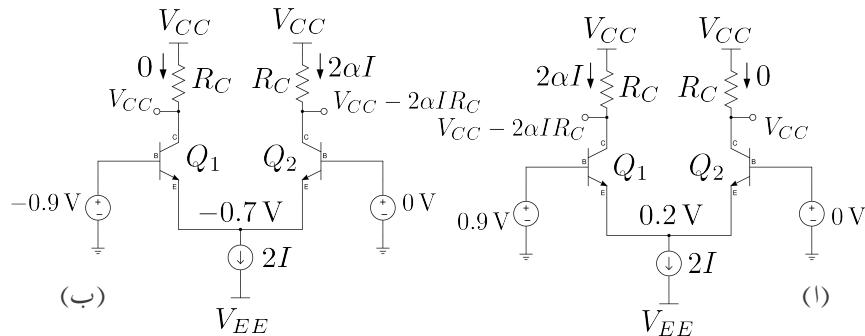
$$v_{BE1} = v_{BE2} = 0.7 \text{ V} \\ v_E = v_B - v_{BE} = 0 - 0.7 = -0.7 \text{ V}$$

ہوتے۔ ایک مداخل مثلاً v_{B2} کو صفر ولٹ پر رکھتے ہوئے اگر v_{B1} پر برق دباؤ بڑھایا جائے تو آپ دیکھ سکتے ہیں کہ Q_1 کا بیس۔ کلکٹر جوڑ سیدھے مائل ہو گا اور

$$v_E = v_{B1} - v_{BE1}$$

رسے گا۔ اس طرح اگر $v_{B1} = 0.9 \text{ V}$ کر دیا جائے تو

$$v_E = 0.9 - 0.7 = 0.2 \text{ V}$$



شكل 5.3: تفرقی اشارہ کے موجودگی میں تفرقی جوڑے کی کارکردگی

ہو گا اور یوں Q_2 کے بیس-کلکٹر جوڑ پر

$$v_{BE2} = v_{B2} - v_E = 0 - 0.2 = -0.2 \text{ V}$$

برقی دباؤ ہو گا جو اسے منقطع رکھے گا۔ منقطع ٹرانزسٹر میں برق رو کا گزر ممکن نہیں لہذا تمام کا تمام $I \times 2$ برق رو ٹرانزسٹر Q_1 کو منتقل ہو جائے گی یعنی

$$i_{E1} = 2I$$

۱۰

$$v_{C1} = V_{CC} - 2\alpha IR_C$$

$$v_{C2} = V_{CC}$$

$$v_o = v_{C2} - v_{C1} = +2\alpha IR_C$$

بُوگرے۔ آپ دیکھ سکتے ہیں تفرقی اشارہ کے موجودگی میں خارجی برق دباؤ v_0 کی قیمت صفر وولٹ نہیں رہتی۔ حقیقت میں تفرقی جوڑا نہیں کم داخلی تفرقی برق دباؤ پر بھی تمام کی تمام برق رو (یعنی $I \times 2$) کو ایک ٹرانزسٹر منتقل کر کر $+2\alpha IR_C$ برق دباؤ خارج کر دے گا جس کے بعد تفرقی دباؤ مزید بڑھانے سے خارجی برق دباؤ v_0 میں مزید تبدیلی ممکن نہیں۔ تفرقی جوڑے کے دونوں دخول صفر وولٹ ہونے کی صورت میں $v_E = -0.7V$ ہوتا ہے۔ اب اگر $v_{B2} = 0V$ رکھتے ہوئے $v_{B1} = -0.9V$ کر دیا جائے تو Q_2 کا بیس۔ ایمٹر جوڑ سیدھا مائل ہو جائے گا لہذا $v_E = -0.7V$ ہو گا۔ یوں Q_1 کے بیس سرے پر $-0.9V$ ۔ جبکہ اس کے ایمٹر سرے پر $-0.7V$ ۔ ہونے کی وجہ سے یہ منقطع صورت اختیار کر لے گا۔ یہ صورت شکا۔ 5.3 ب میں دکھائی گئی ہے۔ یوں پیدا کار مستقلاً برقی روکے، پیدا شدہ تمام

برق رو (یعنی $I \times 2$) ٹرانزسٹر Q_2 کو منتقل ہو جائے گی۔ اس طرح

$$\begin{aligned} i_{E1} &= 0 \\ i_{E2} &= 2I \\ v_{C1} &= V_{CC} \\ v_{C2} &= V_{CC} - 2\alpha IR_C \\ v_o &= v_{C2} - v_{C1} = -2\alpha IR_C \end{aligned}$$

ہوں گے۔ شکل 5.3 الف میں ہم نے دیکھا کہ $v_d = v_{B1} - v_{B2} = 0.9 \text{ V}$ کی صورت میں تفرقی جوڑا تمام کی تمام برق رو (یعنی $I \times 2$) کو ایک ٹرانزسٹر میں منتقل کر جکا ہوتا ہے اور یوں یہ خارج کرتا ہے جبکہ شکل ب میں $v_d = -0.9 \text{ V}$ بین اور تفرقی جوڑا تمام کی تمام برق رو کو دوسرے ٹرانزسٹر میں منتقل کر کے $v_o = -2\alpha IR_C$ خارج کرتا ہے۔

5.2 باریک داخلی تفرقی اشارہ پر تفرقی جوڑے کی بنیادی کارکردگی

کچاف کے قانون برائے برق رو کے تحت $i_{E1} + i_{E2} = 2 \times I$ رہے گا۔ اب تصور کریں کہ تفرقی جوڑے کو باریک تفرقی اشارہ v_d مہاکیا کیا جاتا ہے۔ باریک تفرقی اشارہ سے مراد اتنی v_d ہے جس سے تمام کی تمام برق رو $I \times 2$ کسی ایک ٹرانزسٹر میں منتقل نہ ہو۔ جیسا شکل 5.4 میں دکھایا گیا ہے، ہم اس صورت کو یوں بیان کر سکتے ہیں کہ $v_{B1} + \frac{v_d}{2}$ اشارہ بطور v_{B1} اور $v_{B2} - \frac{v_d}{2}$ اشارہ بطور v_{B2} مہاکیا جاتا ہے یعنی

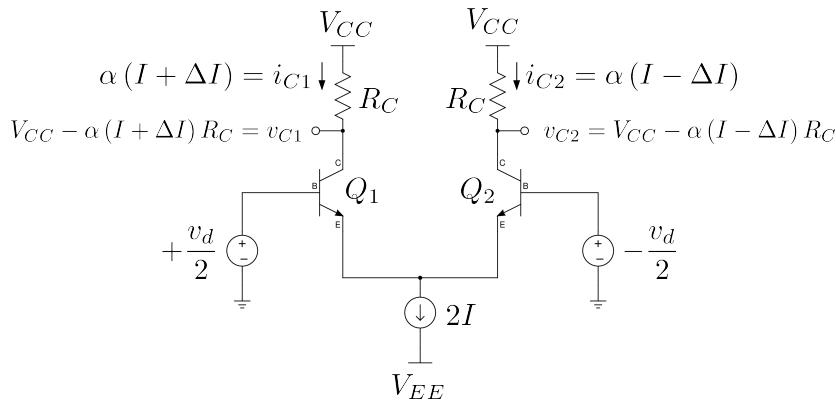
$$\begin{aligned} v_{B1} &= +\frac{v_d}{2} \\ v_{B2} &= -\frac{v_d}{2} \end{aligned}$$

اگر v_{B1} اور v_{B2} دونوں پر صفر وولٹ دئے جاتے تب $i_{E1} = i_{E2} = I$ ہوتا۔ اب جب v_{B1} کو بلکا بڑھایا اور v_{B2} کو گھٹایا گیا ہے تو $i_{B1} - i_{B2} = \Delta I$ کا اضافہ ہو گا جبکہ $i_{E1} + i_{E2} = 2I$ میں اتنی ہم کمی واقع ہو گی۔ تاہم اب بھی $i_{E1} + i_{E2} = 2I$ ہو گا۔ یوں

$$\begin{aligned} i_{E1} &= I + \Delta I \\ i_{E2} &= I - \Delta I \end{aligned}$$

ہوں گے۔ لہذا

$$\begin{aligned} i_{C1} &= \alpha I_{E1} = \alpha (I + \Delta I) \\ i_{C2} &= \alpha I_{E2} = \alpha (I - \Delta I) \\ v_{C1} &= V_{CC} - i_{C1} R_C = V_{CC} - \alpha (I + \Delta I) \\ v_{C2} &= V_{CC} - i_{C2} R_C = V_{CC} - \alpha (I - \Delta I) \\ v_o &= v_{C2} - v_{C1} = +2\alpha \Delta I R_C \end{aligned}$$



شکل 4.4: باریک تفرقی اشارے پر صورت حال

ہوں گے۔ یہاں یہ بات ذہن نشین کرنا ضروری ہے کہ تفرقی جوڑے کے ایک ٹرانزستر کی برق رو میں جتنا بھی اضافہ (یا کمی) پیدا ہو، دوسرے ٹرانزستر میں اتنی ہی کمی (یا اضافہ) پیدا ہوتا ہے۔

5.3 وسیع داخلی اشارہ پر تفرقی جوڑے کی کارکردگی

اس حصہ میں تفرقی جوڑے پر تفصیلی غور کیا جائے گا۔ Q_1 کے بیس سرے پر v_{B1} جبکہ اس کے ایمٹر سرے پر v_{E1} برق دباو پایا جاتا ہے۔ چونکہ دونوں ٹرانزستر کے ایمٹر سرے آپس میں جڑے ہیں لہذا $v_{E1} = v_{E2} = v_E$ ہو گا۔ یوں ایمٹر سرے کے برق دباو کو v_{E1} اور v_{E2} لکھنے کے بجائے v_E لکھ سکتے ہیں۔ اس طرح

$$(5.6) \quad v_{BE1} = v_{B1} - v_{E1} = v_{B1} - v_E$$

ہو گا۔ اسی طرح Q_2 کے لئے ہم لکھ سکتے ہیں

$$(5.7) \quad v_{BE2} = v_{B2} - v_{E2} = v_{B2} - v_E$$

ان برق دباو کو استعمال کر کے ہم لکھ سکتے ہیں

$$(5.8) \quad i_{C1} = I_S \left(e^{\frac{v_{BE1}}{V_T}} - 1 \right) \approx I_S e^{\frac{v_{BE1}}{V_T}} = I_S e^{\frac{v_{B1}-v_E}{V_T}}$$

$$(5.9) \quad i_{C2} = I_S \left(e^{\frac{v_{BE2}}{V_T}} - 1 \right) \approx I_S e^{\frac{v_{BE2}}{V_T}} = I_S e^{\frac{v_{B2}-v_E}{V_T}}$$

یوں

$$(5.10) \quad i_{E1} = \frac{i_{C1}}{\alpha} = \frac{I_S}{\alpha} e^{\frac{v_{B1}-v_E}{V_T}}$$

$$(5.11) \quad i_{E2} = \frac{i_{C2}}{\alpha} = \frac{I_S}{\alpha} e^{\frac{v_{B2}-v_E}{V_T}}$$

ان مساوات میں v_{B1} اور v_{B2} داخلی اشارات بین جنہیں آزاد متغیرات تصور کیا جائے جبکہ i_{E1} اور i_{E2} تابع متغیرات بین جن کا حصول درکار ہے۔ آئین انہیں حاصل کریں۔ پھر قدم میں مساوات 5.11 کو مساوات 5.10 سے تقسیم کر کر v_E سے چھٹکارا حاصل کیا جاتا ہے۔

$$(5.12) \quad \frac{i_{E2}}{i_{E1}} = \frac{\left(\frac{I_S}{\alpha} e^{\frac{v_{B2}-v_E}{V_T}} \right)}{\left(\frac{I_S}{\alpha} e^{\frac{v_{B1}-v_E}{V_T}} \right)} = e^{\left(\frac{v_{B2}-v_{B1}}{V_T} \right)} = e^{-\frac{v_d}{V_T}}$$

جہاں v_d کو لکھا گیا ہے۔ دونوں جانب ایک (1) جمع کرتے ہیں

$$(5.13) \quad \frac{i_{E2}}{i_{E1}} + 1 = 1 + e^{\frac{v_d}{V_T}}$$

$$(5.14) \quad \frac{i_{E2} + i_{E1}}{i_{E1}} = 1 + e^{-\frac{v_d}{V_T}}$$

جونکہ $i_{E1} + i_{E2} = 2 \times I$ ہوتا ہے لہذا اس مساوات کو یوں لکھ سکتے ہیں

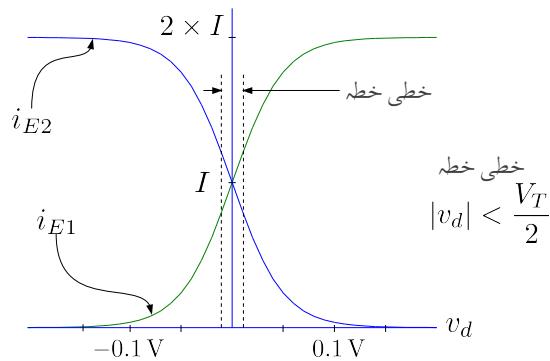
$$(5.15) \quad \frac{2 \times I}{i_{E1}} = 1 + e^{-\frac{v_d}{V_T}}$$

اسے الثاکرنے سے تابع متغیرہ i_{E1} حاصل ہوتا ہے

$$(5.16) \quad \begin{aligned} \left(\frac{2 \times I}{i_{E1}} \right)^{-1} &= \left(1 + e^{-\frac{v_d}{V_T}} \right)^{-1} \\ \frac{i_{E1}}{2 \times I} &= \frac{1}{\left(1 + e^{-\frac{v_d}{V_T}} \right)} \end{aligned}$$

یعنی

$$(5.17) \quad i_{E1} = \frac{2 \times I}{\left(1 + e^{-\frac{v_d}{V_T}} \right)}$$



شکل 5.5: تفرقی جوڑے کے خط $v_d - i_d$

اگر ہم مساوات 5.10 کو مساوات 5.11 سے تقسیم کرے تو مندرجہ ذیل مساوات حاصل ہوتا۔

$$(5.18) \quad i_{E2} = \frac{2 \times I}{\left(1 + e^{+\frac{v_d}{V_T}}\right)}$$

مساوات 5.17 اور مساوات 5.18 شکل 5.5 میں کہیںچھے گئے ہیں۔

مثال 5.3: صفر وولٹ تفرقی اشارہ یعنی $v_d = 0$ پر i_{E1} اور i_{E2} حاصل کریں۔

حل: مساوات 5.17 سے حاصل ہوتا ہے

$$i_{E1} = \frac{2 \times I}{1 + e^{-\frac{0}{V_T}}} = \frac{2 \times I}{1 + e^0} = \frac{2 \times I}{1 + 1} = I$$

اسی طرح مساوات 5.18 سے حاصل ہوتا ہے

$$i_{E2} = \frac{2 \times I}{1 + e^{+\frac{0}{V_T}}} = \frac{2 \times I}{1 + e^0} = \frac{2 \times I}{1 + 1} = I$$

مثال 5.4: مندرجہ ذیل تفرقی برقی اشارات پر i_{E2} حاصل کریں۔

.1

$$v_d = -0.15 \text{ V}$$

.2

$$v_d = -0.1 \text{ V}$$

.3

$$v_d = 0.1 \text{ V}$$

.4

$$v_d = 0.15 \text{ V}$$

حل: مساوات 5.18 کے تحت

.1

$$i_{E2} = \frac{2 \times I}{1 + e^{\frac{-0.15}{0.025}}} = \frac{2 \times I}{1 + 0.0024788} \approx 2 \times I$$

.2

$$i_{E2} = \frac{2 \times I}{1 + e^{\frac{-0.1}{0.025}}} = \frac{2 \times I}{1 + 0.018316} = 0.982 \times 2 \times I$$

.3

$$i_{E2} = \frac{2 \times I}{1 + e^{\frac{\pm 0.1}{0.025}}} = \frac{2 \times I}{1 + 54.598} = 0.018 \times 2 \times I$$

.4

$$i_{E2} = \frac{2 \times I}{1 + e^{\frac{\pm 0.15}{0.025}}} = \frac{2 \times I}{1 + 403.41} = 0.00247 \times 2 \times I \approx 0$$

مثال 5.3 سے صاف ظاہر ہے کہ تفرقی اشارہ کے عدم موجودگی میں دونوں ٹرانزسٹر میں برابر برق رو پائی جاتی ہے۔ مزید یہ کہ ان برق رو پر مشتمل اشارہ v_{CM} کا کسی قسم کا کوئی اثر نہیں۔ مثال 5.4 میں $v_d = -0.1 \text{ V}$ پر 98.2 فی صد برق رو Q_2 سے گزرتی ہے جبکہ $v_d = 0.1 \text{ V}$ پر صرف 1.8 فی صد اس میں سے گزرتی ہے۔ اس سے بات واضح ہوتی ہے کہ تفرقی اشارہ میں باریک تبدیلی سے تفرقی جوڑ میں برق رو کی تقسیم بہت زیادہ متاثر ہوتی ہے۔

تفرقی جوڑے میں برق رو کو ایک ٹرانزسٹر سے دوسرا ٹرانزسٹر میں منتقل کرنے کی خاطر نہایت کم داخلی تفرقی برق دباؤ درکار ہوتا ہے۔ مزید یہ کہ اس تمام عمل میں تفرقی جوڑے کے دونوں ٹرانزسٹر افزائندہ حال رہتے ہیں۔

جیسا کہ آپ جانتے ہیں کہ ٹرانزسٹر کے بیس۔ ایٹر جوڑ پر اندرولی کپیسٹر $C_{b/e}$ اور بیس۔ کلکٹر جوڑ پر اندرولی کپیسٹر $C_{b/c}$ پائے جاتے ہیں۔ غیر۔ افزائندہ ٹرانزسٹر میں ان کپیسٹروں کے مجموعہ کی قیمت، افزائندہ ٹرانزسٹر کے نسبت، زیادہ ہوئی ہے۔ ان کپیسٹروں میں چارج ہرنا یا ان سے چارج کرنے کا نکاسی کرنے کے وقت درکار ہوتا ہے۔ اس درکار وقت کا دارو مدار کل کپیسٹر کی قیمت اور ان دو مختلف برق دباؤ (جن کے مابین اس میں چارج بھرا جائے یا چارج کی نکاسی کی جائے) پر ہوتا ہے۔

تفرقی جوڑا چونکہ بر صورت افزائندہ رہتا ہے لہذا اس کے کپیسٹر کی قیمت کم ترین رہتی ہے اور چونکہ اسے چلانے کی خاطر درکار تفرقی اشارہ v_d کرے دو حدود قریب قریب ہیں لہذا اسے استعمال کرتے ہوئے نہایت تیز رفتار ادوار تخلیق دینا ممکن ہوتا ہے۔ یہی وجہ ہے کہ تیز ترین عددی برقیات (مثلاً ایٹر جوڑا منطق⁵) میں بالخصوص اور دیگر تیز ترین برقیات میں بالعموم تفرقی جوڑا ہی استعمال ہوتا ہے۔

اس حصہ میں ہم تفرقی جوڑ کو بطور ایمپلیفائر استعمال کریں گے۔ شکل 5.5 کو دیکھتے ہوئے معلوم ہوتا ہے کہ دو نقطے دار لکیروں کے درمیان داخلی اشارہ v_d اور برق رو i_{E1} (یا i_{E2}) کے مابین خطی تعلق پایا جاتا ہے یعنی اس خطے میں v_d جتنے گناہیا یا گھٹایا جائے i_{E1} (یا i_{E2}) میں اتنے گناہی کی ہی تبدیلی پیدا ہوئی ہے۔ خطی تعلق کا خطہ تقریباً

$$(5.19) \quad |v_d| < \frac{V_T}{2}$$

پر پایا جاتا ہے۔ آئیں اس خطی خطے پر مزید غور کریں۔

5.4 باریک اشارہ پر تفرقی جوڑے کے کارکردگی پر تفصیلی غور

5.4.1 باریک اشاراتی مساوات

مساوات 5.17 اور مساوات 5.18 قطعی مساوات ہیں جن سے تفرقی جوڑے میں برق رو کی تقسیم حاصل کی جا سکتی ہے۔ اگر ہم شکل 5.5 میں دکھائے خطی خطے کی بات کریں تو اس خطے میں برق رو کی تقسیم کو نہایت سادہ اور خطی مساوات سے ہی حاصل کیا جا سکتا ہے۔ اس حصہ میں ان مساوات کو حاصل کرتے ہیں۔

مساوات 5.17 کو یہاں دوبارہ پیش کرتے ہیں۔

$$(5.20) \quad i_{E1} = \frac{2 \times I}{1 + e^{-\frac{v_d}{V_T}}}$$

اس مساوات کو $e^{\frac{1}{2} \frac{v_d}{V_T}}$ سے ضرب اور تقسیم کرتے ہیں۔

$$(5.21) \quad i_{E1} = \left(\frac{2I}{1 + e^{-\frac{v_d}{V_T}}} \right) \left(\frac{e^{\frac{1}{2} \frac{v_d}{V_T}}}{e^{\frac{1}{2} \frac{v_d}{V_T}}} \right) = \frac{2I e^{\frac{1}{2} \frac{v_d}{V_T}}}{e^{+\frac{1}{2} \frac{v_d}{V_T}} + e^{-\frac{1}{2} \frac{v_d}{V_T}}}$$

emitter coupled logic⁵

آپ جانتے ہیں کہ باریک x کی صورت میں e^{+x} اور e^{-x} کے مکالرن تسلسل⁶ یوں لکھے جا سکتے ہیں۔

$$e^{+x} = 1 + x + \frac{x^2}{2!} + \frac{x^3}{3!} + \dots$$

$$e^{-x} = 1 - x + \frac{x^2}{2!} - \frac{x^3}{3!} + \dots$$

چونکہ خطی خطے میں $|v_d| < \frac{V_T}{2}$ ہے لہذا $e^{-\frac{v_d}{V_T}}$ اور $e^{+\frac{v_d}{V_T}}$ کے مکالرن تسلسل میں پہلے چند جزو کو چھوڑ کر بقايا تمام اجزاء کے قیمتیں نہایت کم ہوں گی۔ مساوات 5.21 میں $e^{-\frac{v_d}{V_T}}$ اور $e^{+\frac{v_d}{V_T}}$ اور کے مکالرن تسلسل پُر کرتے ہیں۔

$$(5.22) \quad i_{E1} = 2I \frac{1 + \frac{1}{2} \frac{v_d}{V_T} \dots}{\left(1 + \frac{1}{2} \frac{v_d}{V_T} \dots\right) + \left(1 - \frac{1}{2} \frac{v_d}{V_T} \dots\right)}$$

$$\approx 2I \frac{\left(1 + \frac{1}{2} \frac{v_d}{V_T} \dots\right)}{2}$$

$$= I \left(1 + \frac{1}{2} \frac{v_d}{V_T}\right)$$

$$= I + \frac{I}{2} \frac{v_d}{V_T}$$

جہاں دوسرے قدم پر تسلسل کے صرف پہلے دو جزو رکھئے گئے۔ یہ وہ سادہ خطی مساوات ہے جس کی تلاش نہیں۔ اس کو یوں لکھتے ہیں۔

$$(5.23) \quad i_{E1} = I + \frac{I}{V_T} \frac{v_d}{2}$$

اسی طرح اگر i_{E2} کی سادہ خطی مساوات حاصل کی جائے تو وہ مندرجہ ذیل ہو گی۔

$$(5.24) \quad i_{E2} = I - \frac{I}{V_T} \frac{v_d}{2}$$

ان نتائج سے حاصل ہوتا ہے

$$(5.25) \quad i_{C1} = \alpha i_{E1} = \alpha I + \frac{\alpha I}{V_T} \frac{v_d}{2}$$

$$i_{C2} = \alpha i_{E2} = \alpha I - \frac{\alpha I}{V_T} \frac{v_d}{2}$$

تفرقی اشارہ کے عدم موجودگی، یعنی $v_d = 0$ ، کی صورت میں $i_{E1} = i_{E2} = I$ ہی حاصل ہوتے ہیں جو کہ ان ٹرانزسٹر کے نقطہ کارکردگی پر برق رو I_{EQ1} اور I_{EQ2} بین-اسی طرح $v_d = 0$ کی صورت میں مساوات 5.25 سے $i_{C1} = \alpha I$ اور $i_{C2} = \alpha I$ حاصل ہوتا ہے جو نقطہ کارکردگی پر کلکٹر برق رو بین جنہیں I_{CQ} لکھا جا سکتا ہے۔ تفرقی اشارہ کے موجودگی میں مساوات 5.25 میں یک سمیت رو کے علاوہ بدلنی رو بھی پائی جاتی ہے۔ یوں انہیں

$$(5.26) \quad \begin{aligned} i_{C1} &= I_C + \frac{\alpha I}{V_T} \frac{v_d}{2} \\ &= I_C + i_c \\ i_{C2} &= I_C - \frac{\alpha I}{V_T} \frac{v_d}{2} \\ &= I_C - i_c \end{aligned}$$

لکھا جا سکتا ہے جہاں i_c بدلنی برق رو یعنی

$$(5.27) \quad i_c = \frac{\alpha I}{V_T} \frac{v_d}{2} = \left(\frac{I_C}{V_T} \right) \frac{v_d}{2}$$

ہے۔ آپ صفحہ 276 پر دئے گئے مساوات 3.174 کی مدد سے جانتے ہیں کہ $\frac{I_C}{V_T}$ دراصل g_m سے لہذا اسے مزید اس طرح لکھ سکتے ہیں۔

$$(5.28) \quad i_c = g_m \frac{v_d}{2}$$

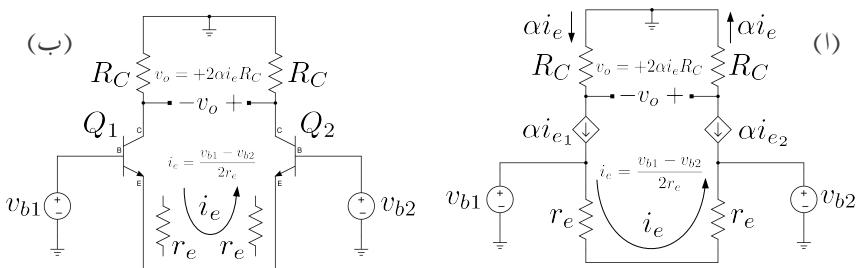
اس طرح مساوات 5.25 کو یوں لکھ سکتے ہیں۔

$$(5.29) \quad \begin{aligned} i_{C1} &= I_C + g_m \frac{v_d}{2} \\ i_{C2} &= I_C - g_m \frac{v_d}{2} \end{aligned}$$

یہاں رک کر شکل 5.4 میں دکھائے گئے مساوات کا مساوات 5.25 میں حاصل کئے گئے قیمتیوں کے ساتھ موازنہ کریں۔ آپ دیکھ سکتے ہیں کہ $\frac{\alpha I}{V_T} \frac{v_d}{2} = \alpha \Delta I$ ہے۔ باریک داخلی اشارے پر مساوات 5.28 کی مدد سے تفرقی جوڑے میں برق رو i_c حاصل کی جا سکتی ہے۔ یہ ایک اہم نتیجہ ہے جس پر اگلے حصے میں تبصرہ کیا جائے گا۔

5.4.2 برقی رو کا حصول بذریعہ ٹرانزسٹر ماذل

گزشتہ حصہ میں مساوات 5.28 حاصل کی گئی جس کے مدد سے تفرقی جوڑے میں برق رو i_c حاصل کی جا سکتی ہے۔ آئیں اسی مساوات کو انتہائی سادہ طریقہ سے حاصل کریں۔ شکل 5.6 ب میں تفرقی جوڑے کا مساوی بدلنی رو شکل دکھایا گیا ہے جہاں تمام یک سمیت پیدا کار برق دباؤ کو قصر دور اور تمام یک سمیت



شکل 5.6: تفرقی برقی رو کا حصول بذریعہ ماذل

پیدا کار برقی رو کو کھلے سرے کیا گیا ہے۔ شکل 5.6 میں ٹرانزسٹر کے ٹی۔ ماذل استعمال کر کرے اسی کا مساوی دور بنایا گیا ہے جہاں سے صاف ظاہر ہے کہ

$$(5.30) \quad i_e = \frac{v_{b1} - v_{b2}}{2r_e} = \frac{v_d}{2r_e}$$

ہو گا جہاں $v_{b1} - v_{b2}$ کو v_d لکھا گیا ہے۔ یوں $i_{e1} = i_e$ جبکہ $i_{e2} = -i_e$ کے برابر ہو گا۔ صفحہ 280 پر مساوات 3.192 کے تحت $r_e = \frac{\alpha}{g_m}$ کے برابر ہے۔ یوں اس مساوات کو اس طرح لکھ سکتے ہیں۔

$$(5.31) \quad i_e = \frac{g_m}{\alpha} \frac{v_d}{2}$$

اور یوں

$$(5.32) \quad i_c = \alpha i_e = g_m \frac{v_d}{2}$$

اس طرح نہایت آسانی سے اس مساوات کو حاصل کیا گیا۔ یہ مساوات حاصل کرتے وقت ماذل بنانا ضروری نہیں۔ شکل 5.6 ب میں ایمٹر سرے کے مزاحمت r_e کو تفرقی جوڑے کے اندر جانب دکھایا گیا ہے۔ یہ ایک تصوراتی شکل ہے جسے دیکھ کر آپ مساوت لکھ سکتے ہیں۔

ان دونوں اشکال کو دیکھ کر خارجی برقی دباؤ v_o حاصل کیا جا سکتا ہے یعنی

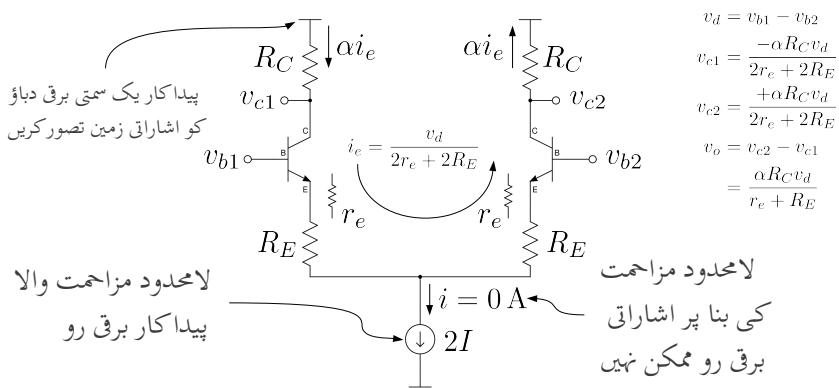
$$(5.33) \quad v_o = +i_c \times 2 \times R_C = +g_m R_C v_d$$

اس مساوات سے تفرقی افزائش برقی دباؤ $A_d = \frac{v_o}{v_d}$ حاصل کی جا سکتی ہے۔

$$(5.34) \quad A_d = \frac{v_o}{v_d} = +g_m R_C$$

موجودہ طریقے کی افادیت دیکھنے کی خاطر شکل 5.7 میں دکھائے تفرقی ایمپلیفیٹر پر غور کریں جہاں

differential voltage gain⁷



شکل 5.7: اشاراتی برقی رو کے سادہ طریقہ کی ایک اور مثال

ٹرانزسٹر کے ایٹر سرے پر بیرونی مزاحمت R_E نسب کئے گئے ہیں۔ اس دور کو دیکھ کر ہی ہم لکھ سکتے ہیں۔

$$i_e = \frac{v_d}{2r_e + 2R_E}$$

اس مساوات سے تفرقی افزائش برقی دباؤ حاصل ہوتی ہے۔

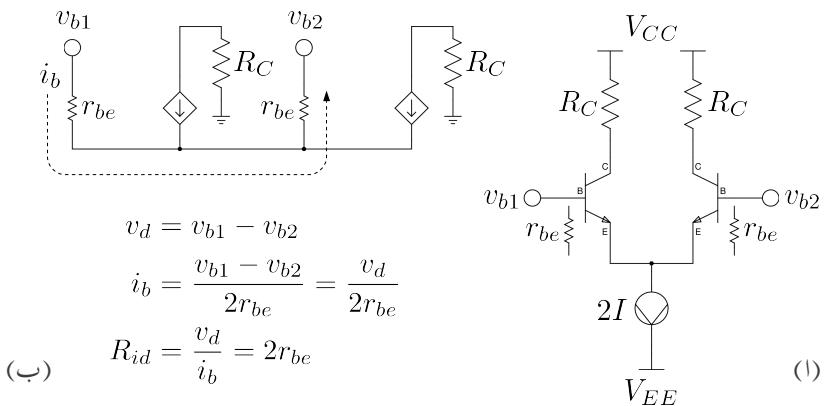
$$(5.35) \quad \begin{aligned} i_c &= \alpha i_e = \frac{\alpha v_d}{2r_e + 2R_E} \\ v_o &= +2i_c R_C = +\frac{\alpha v_d R_C}{r_e + R_E} \\ A_d &= \frac{v_o}{v_d} = +\frac{\alpha R_C}{r_e + R_E} \approx +\frac{R_C}{r_e + R_E} \end{aligned}$$

یاد رہے کہ اشاراتی تجویہ کرتے وقت یک سمتی برقی دباؤ کو قصر دور جبکہ یک سمتی برقی رو کو آزاد سرے کر دیا جاتا ہے۔

5.4.3 داخلي تفرقی مزاحمت

تفرقی جوڑے میں دونوں ٹرانزسٹر کے π ماذل استعمال کرتے شکل 5.8 ب حاصل ہوتا ہے جس سے اس کی داخلي برقی رو i_b

$$(5.36) \quad i_b = \frac{v_{b1} - v_{b2}}{2r_{be}} = \frac{v_d}{2r_{be}}$$



شكل 5.8: تفرقی جوڑے کی داخلی تفرقی مزاحمت

اور اس سے تفرقی جوڑے کا داخلی تفرقی مزاحمت⁸ یوں حاصل ہوتا ہے۔

$$(5.37) \quad R_{id} = \frac{v_b}{i_b} = 2r_{be}$$

یہی دو جوابات مکمل مادل بنانے کے بغیر بھی حاصل کئے جا سکتے ہیں جیسے شکل 5.8 الف میں دکھایا گیا ہے جہاں دونوں ٹرانزسٹر کے داخلی مزاحمت r_{be} کو ان کے داخلی جانب دکھا کر واضح کیا گیا ہے۔ اسی طریقے کو شکل 5.7 میں دکھائی تفرقی جوڑے کے لئے استعمال کرتے ہیں۔ چونکہ اس شکل میں

$$(5.38) \quad i_e = \frac{v_d}{2r_e + 2R_E}$$

ہے لہذا

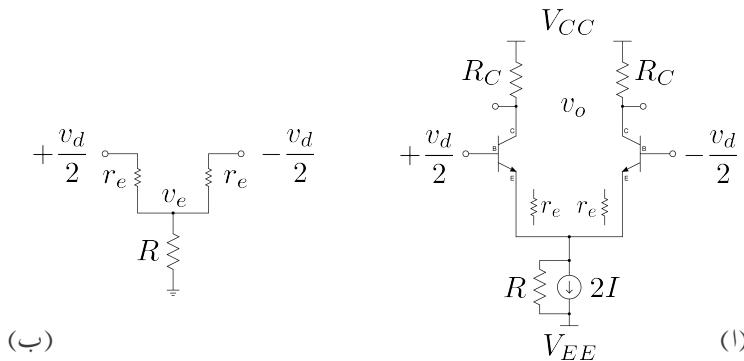
$$(5.39) \quad i_b = \frac{i_e}{\beta + 1} = \frac{1}{\beta + 1} \left(\frac{v_d}{2r_e + 2R_E} \right)$$

بوگا جس سے داخلی تفرقی مزاحمت یوں حاصل ہے۔

$$(5.40) \quad R_{id} = \frac{v_d}{i_b} = (\beta + 1) (2r_e + 2R_E)$$

اب تک ہم تصور کرتے رہے ہیں کہ تفرقی ایمپلیفیاٹر میں استعمال کئے جانے والے پیدا کار مستقل برق رو کی اندروںی مزاحمت لاحدہ ہوتی ہے۔ حقیقت میں پائے جانے والے پیدا کار مستقل برق رو کی اندروںی

differential input resistance⁸



شكل 5.9: باریک اشاراتی مزاحمت کو زیر نظر رکھئے ہوئے داخلی تفرقی مزاحمت

مزاحمت نہیاں زیادہ مگر محدود ہوئی ہے۔ شکل 5.9 الف میں پیدا کار مستقل برق روکا مساوی نارٹن دور استعمال کرتے ہوئے اس کے اندروفن باریک اشاراتی مزاحمت R_e کو بھی شامل کیا گیا ہے۔ اس شکل میں ٹرانزسٹر کا اندروفن مزاحمت v_e کو تفرق جوڑے کے اندر جانب فرضی طور دکھایا گیا ہے۔ شکل 5.9 ب میں اس ایمپلیفیر کے داخلی جانب کا باریک اشاراتی ماذک دکھایا گیا ہے۔ ٹرانزسٹروں کے ایمٹ سرے کا برق دباؤ v_e حاصل کرنے کی خاطر اس جوڑ پر کرچاف کا قانون برائے برق رو نافذ کرتے ہیں۔

$$(5.41) \quad \frac{v_e - \frac{v_d}{2}}{r_e} + \frac{v_e + \frac{v_d}{2}}{r_e} + \frac{v_e}{R} = 0$$

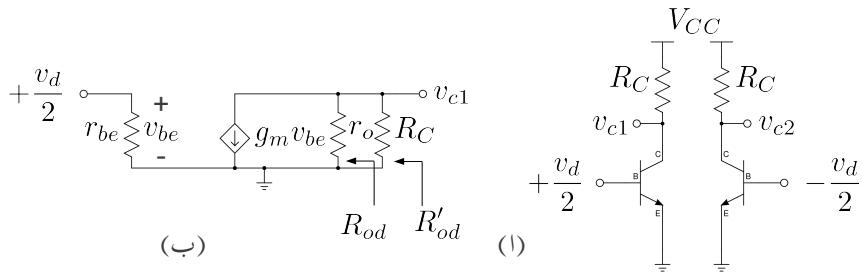
اس مساوات سے حاصل ہوتا ہے۔

$$(5.42) \quad v_e = 0$$

اس نتیجے کے مطابق باریک تفرقی اشارہ v_d کا v_e پر کوئی اثر نہیں ہوتا اور v_e پر وقت صفر وولٹ یعنی برق زمین پر رہتا ہے۔ اس حقیقت کو مد نظر رکھتے ہوئے شکل 5.9 الف کا (باریک تفرقی اشارہ کے لئے) مساوی سادہ دور شکل 5.10 الف میں دکھایا گیا ہے۔ اس شکل میں تفرقی ایمپلیفیائر کو دو عدد مشترک۔ ابٹر ایمپلیفیائر تصویر کرنا دکھایا گیا ہے جہاں بائیں پانہ کے ایمپلیفیائر کا داخلی اشارہ $\frac{v_d}{2}$ اور اس کا خارجی اشارہ v_{c1} ہے جبکہ دائیں ایمپلیفیائر کا داخلی اشارہ $\frac{v_d}{2}$ اور اس کا خارجی اشارہ v_{c2} ہے۔ شکل ب میں بائیں پانہ کے ایمپلیفیائر کا باریک اشاراتی ماذل دکھایا گیا ہے جہاں ٹرانزistor کے اندروفی خارجی مزاحمت r_o کے اثر کو ہمی شامل کیا گیا ہے۔ اس ماذل سے آدھے دور کا داخلی باریک اشاراتی مزاحمت r_{be} کے برابر حاصل ہوتا ہے۔ تفرقی ایمپلیفیائر کا داخلی باریک اشاراتی مزاحمت اس کا دکنبا ہو گا یعنی

$$(5.43) \quad R_{id} = 2r_{be}$$

Norton equivalent⁹



شكل 5.10: تفرقی ایمپلیفائز بطور دو عدد ایمپلیفائز

اگر v_o کو v_{c1} اور v_{c2} کے مابین لیا جائے تو تفرقی افزائش برقی دباؤ

$$(5.44) \quad A_d = \frac{v_o}{v_d} = \frac{v_{c2} - v_{c1}}{v_d} = g_m (R_C \parallel r_o)$$

حاصل ہوتا ہے۔ عموماً r_o کی قیمت R_C سے بہت زیادہ ہوتی ہے اور یوں اس مساوات کو یوں لکھا جا سکتا ہے۔

$$(5.45) \quad A_{d\text{ پوری}} = \frac{v_{c2} - v_{c1}}{v_d} = g_m R_C = \frac{R_C}{r_e}$$

اس کے برعکس اگر v_o کو v_{c1} (یا v_{c2}) سے حاصل کیا جائے تو تفرقی افزائش برقی دباؤ یوں حاصل ہوتی ہے۔

$$(5.46) \quad A_{d\text{ آدھی}} = \frac{v_o}{v_d} = \frac{v_{c1}}{v_d} = -\frac{R_C}{2r_e}$$

شكل 5.10 ب میں آدھرے ایمپلیفائز کے خارجی تفرقی مزاحمت R_{od} اور R'_{od} دکھائے گئے ہیں۔ وہ مزاحمت ہے جس میں R_C کے اثر کو شامل نہیں کیا گیا یعنی اس میں R_C کو لاحدود تصور کرتے دور کا مزاحمت حاصل کیا گیا ہے۔ ہم کہتے ہیں کہ یہ مزاحمت R_C سے پہلا کا مزاحمت ہے۔ R_{od} کی قیمت r_o ہے۔ R'_{od} آدھرے ایمپلیفائز کا وہ خارجی تفرقی مزاحمت ہے جو ٹرانزسٹر کے اندر وی مزاحمت r_o اور اس کے ساتھ منسلک بیرونی مزاحمت R_C دونوں کے اثر کو شامل کرتا ہے۔ اس کی قیمت $(r_o \parallel R_C)$ ہے۔

5.4.4 داخلي مشتركہ مزاحمت اور مشتركہ افزائش

شكل 5.11 الف میں تفرقی جوڑے کو مشتركہ داخلي اشارہ v_{CM} فراہم کیا گیا ہے۔ دونوں بالوں کے ٹرانزسٹروں میں یکسان برق رو i_e گزرے گی اور یوں

$$(5.47) \quad v_e = (i_{e1} + i_{e2}) R = 2i_e R$$

ہو گا۔ اسی کو شکل ب کے طرز پر بھی بنایا جا سکتا ہے۔ آپ دیکھ سکتے ہیں کہ اب بھی v_e کی قیمت وہی ہے یعنی

$$(5.48) \quad v_e = i_e(2R) = 2i_e R$$

اسی طرح دونوں اشکال میں ٹرانزستروں میں یک سمتی برقی روکی قیمت I ہی ہے۔ یوں مشترکہ اشارے کے لئے شکل الف کو دو یکسان ایپلیفائر تصور کیا جا سکتا ہے۔ شکل ب سے

$$(5.49) \quad i_e = \frac{v_{CM}}{r_e + 2R}$$

حاصل ہوتا ہے جس سے ایک بازو کا مشترکہ مزاحمت یوں حاصل ہوتا ہے

$$(5.50) \quad \begin{aligned} i_b &= \frac{i_e}{\beta + 1} = \frac{v_{CM}}{(\beta + 1)(r_e + 2R)} \\ R_{icm} &= \frac{v_{CM}}{i_b} = (\beta + 1)(r_e + 2R) \end{aligned}$$

تفرقی ایپلیفائر کا مشترکہ داخلی مزاحمت اس کے دگنا ہو گا یعنی

$$(5.51) \quad R_{icm} = 2(\beta + 1)(r_e + 2R)$$

مزید یہ کہ

$$(5.52) \quad v_{c1} = v_{c2} = -\alpha i_e R_C = -\frac{\alpha R_C v_{CM}}{r_e + 2R}$$

حاصل ہوتے ہیں۔ اگر خارجی اشارہ v_o کو v_{c1} اور v_{c2} کے مابین لیا جائے تو اس کی قیمت صفر وولٹ ہو گی اور مشترکہ افراش برق دباؤ¹⁰ صفر ہو گا۔ البتہ اگر v_o کو v_{c1} (یا v_{c2}) سے حاصل کیا جائے تو

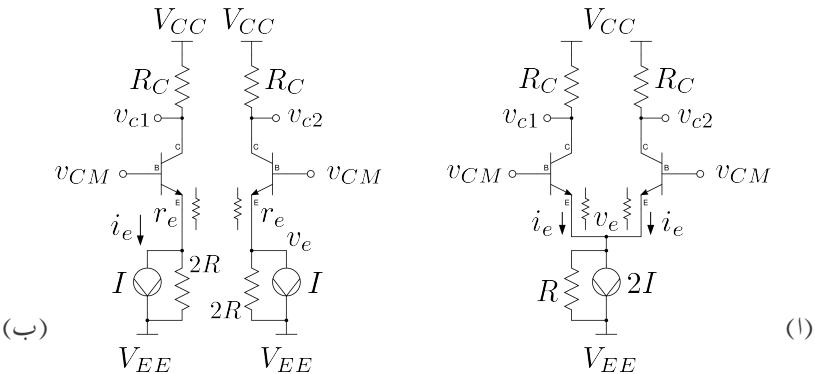
$$(5.53) \quad v_o = v_{c1} = -\frac{\alpha R_C v_{CM}}{r_e + 2R}$$

ہو گا اور مشترکہ افراش برق دباؤ

$$(5.54) \quad A_{cm} = \frac{v_o}{v_{CM}} = \frac{v_{c1}}{v_{CM}} = -\frac{\alpha R_C}{r_e + 2R}$$

ہو گا۔ R کی قیمت R_C اور r_e کے قیمتوں سے بہت زیادہ ہوتا ہے اور یوں مشترکہ اشارہ حقیقت میں بڑھنے کے بجائے گھشتا ہے۔ کامل تفرقی ایپلیفائر صرف تفرقی اشارے کو بڑھا کر خارج کرتا ہے۔ البتہ حقیقی تفرقی ایپلیفائر غیر کامل ہوتے ہیں۔ مساوات 5.46 کے تحت $v_o = A_d v_d$ ہوتا ہے جبکہ مساوات 5.54 کے تحت

common mode voltage gain¹⁰



شكل 5.11: مشترک آدھے دور کا حصول

ہوتا ہے۔ حقیقت میں تفرقی ایپلیفائر کے خارجی اشارہ میں دونوں جزو پائے جاتے ہیں اور یوں

$$(5.55) \quad v_0 = A_d v_d + A_{cm} v_{CM}$$

ہوگا۔ تفرقی ایپلیفائر تفرقی اشارہ کو بڑھاتا ہے جبکہ یہ مشترکہ اشارہ کو رد کرتا ہے۔ مشترکہ اشارہ رد کرنے کے صلاحیت¹¹ CMRR کو اور A_d اور A_{cm} کے تناسب سے ناپا جاتا ہے یعنی

$$(5.56) \quad CMRR = \left| \frac{A_d}{A_{cm}} \right| = \frac{r_e + 2R}{\alpha r_e}$$

جهان مساوات 5.46 اور مساوات 5.54 کی مدد حاصل کی گئی ہے۔ مشترکہ اشارہ رد کرنے کے صلاحیت CMRR کو عموماً ڈیسی بیل¹² میں ناپا جاتا ہے یعنی

$$(5.57) \quad CMRR = 20 \log \left| \frac{A_d}{A_{cm}} \right|$$

مندرجہ بالا بحث، تفرقی ایپلیفائر کے دونوں بازوں بالکل یکسان ہونے کے صورت میں درست ہوگا۔ حقیقت میں عموماً ایسا نہیں ہوتا اور ایپلیفائر کے دونوں بازووں میں فرق کی بنا پر مشترکہ خارجی اشارہ v_{c1} اور v_{c2} کے مابین لینے کے صورت میں بھی صفر وولٹ نہیں ہوتا۔ اُنہیں اس اثر کو زیادہ غور سے دیکھیں۔

تصور کریں کہ تفرقی ایپلیفائر کے دو بازووں میں استعمال کئے گئے مزاحمت R_C میں فرق کے علاوہ

common mode rejection ratio CMRR¹¹
decibell dB¹²

دونوں بازو بالکل یکسان بیں۔ یوں $R_{C2} = R_C - \Delta R_C$ اور $R_{C1} = R_C + \Delta R_C$ ہونے سے

$$(5.58) \quad v_{c1} = -\frac{\alpha (R_C + \Delta R_C) v_{CM}}{r_e + 2R}$$

$$v_{c2} = \frac{\alpha (R_C - \Delta R_C) v_{CM}}{r_e + 2R}$$

اور یوں

$$(5.59) \quad v_o = v_{c2} - v_{c1} = -\frac{\alpha \Delta R_C v_{CM}}{r_e + 2R}$$

$$A_{cm} = \frac{v_o}{v_{CM}} = -\frac{\alpha \Delta R_C}{r_e + 2R}$$

یوں تفرقی ایمپلیفیائر کے دو بازو غیر یکسان ہونے کی صورت میں مشترکہ افزائش برقی دباؤ صفر نہیں رہتی۔ خارجی اشارہ v_{c1} اور v_{c2} کر مابین لیتے ہوئے تفرقی ایمپلیفیائر کا مشترکہ اشارہ رد کرنے کے صلاحیت CMRR مساوات 5.46 اور مساوات 5.59 کی مدد سے یوں حاصل ہوتا ہے

$$(5.60) \quad CMRR = \frac{g_m (r_e + 2R) R_C}{\alpha \Delta R_C}$$

5.5 غير كامل تفرقی جوڑے کا ناقص پن

5.5.1 داخلی انحرافی برقی دباؤ

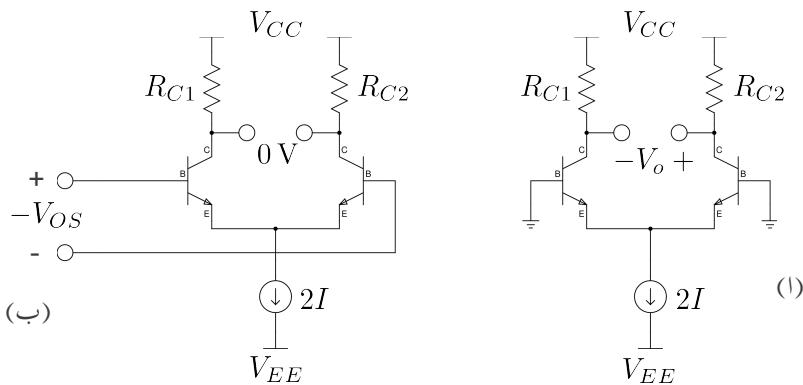
کامل تفرق جوڑا داخلی برقی دباؤ کی عدم موجودگی (یعنی $V_{B1} = V_{B2} = 0$) کی صورت میں صفر وولٹ کا برقی دباؤ خارج کرتا ہے۔ حقیقی تفرق جوڑا غیر کامل ہوتا ہے اور اس صورت میں اس کے خارجی برقی دباؤ صفر وولٹ سے انحراف کرتا ہے اور یوں یہ صفر وولٹ کے بجائے V_o وولٹ خارج کرتا ہے۔ اس برقی دباؤ یعنی V_o کو خارجی انحرافی برقی دباؤ¹³ کہتے ہیں۔ خارجی انحرافی برقی دباؤ کو تفرقی جوڑے کے تفرقی دباؤ¹⁴ V_{OS} سے تقسیم کر کر داخلی انحرافی برقی دباؤ¹⁴ A_d حاصل ہوتا ہے یعنی

$$(5.61) \quad V_{OS} = \frac{V_O}{A_d}$$

صفاف ظاہر ہے کہ تفرق جوڑے کے داخلی جانب $-V_{OS}$ ۔ مہیا کرنے سے خارجی جانب صفر وولٹ حاصل ہو گا۔ شکل 5.12 میں اس کی وضاحت کی گئی ہے۔ انحرافی برقی دباؤ تفرقی جوڑے کے مزاحمت R_{C2} اور R_{C1} برابر نہ ہونے سے پیدا ہوتا ہے۔ اسی طرح Q_1 اور Q_2 یکسان نہ ہونے سے بھی انحرافی برقی دباؤ جنم لیتا ہے۔ آئیں ان پر غور کریں۔

تفرقی جوڑے کے دو ٹرانزسٹر مکمل طور یکسان ہونے کی صورت میں اگر اس کے دونوں داخلی سرے برق زمین پر رکھے جائیں (یعنی $V_{B1} = V_{B2} = 0$) تو برق رو $I \times 2$ ان میں برابر تقسیم ہو گی۔

output offset voltage¹³
input offset voltage¹⁴



شكل 5.12: داخلي انحرافي برقى دباؤ

اگر R_{C1} اور R_{C2} کی قيمتیں ہی بالکل برابر ہوں تو V_{C1} اور V_{C2} برابر ہوں گے اور یوں ہو گا۔ البتہ اگر R_{C1} اور R_{C2} کی قيمتیں مختلف ہوں مثلاً $V_o = 0$

$$(5.62) \quad \begin{aligned} R_{C1} &= R_C + \Delta R_C \\ R_{C2} &= R_C - \Delta R_C \end{aligned}$$

تب

$$(5.63) \quad \begin{aligned} V_{C1} &= V_{CC} - \alpha I R_{C1} = V_{CC} - \alpha I (R_C + \Delta R_C) \\ V_{C2} &= V_{CC} - \alpha I R_{C2} = V_{CC} - \alpha I (R_C - \Delta R_C) \end{aligned}$$

ہوں گے اور یوں

$$(5.64) \quad V_o = V_{C2} - V_{C1} = 2\alpha I \Delta R_C$$

ہو گا۔ بہ خارجی انحراف برق دباؤ ہے جس سے داخلي انحرافي برق دباؤ یوں حاصل ہوتا ہے۔

$$(5.65) \quad V_{OS} = \frac{V_O}{A_d} = \frac{2\alpha I \Delta R_C}{g_m R_C} = \frac{2\alpha I \Delta R_C}{\left(\frac{\alpha I}{V_T}\right) R_C} = 2V_T \frac{\Delta R_C}{R_C}$$

اس مساوات کے حصول میں $A_d = g_m R_C$ کا استعمال کیا گیا ہے۔ داخلي انحراف برق دباؤ کو بطور مثبت عدد لکھا جاتا ہے یعنی

$$(5.66) \quad |V_{OS}| = \left| 2V_T \frac{\Delta R_C}{R_C} \right|$$

آئیں اب ٹرانزسٹر یکسان نہ ہونے سے پیدا انجراف برق دباو پر غور کریں۔ فرض کریں کہ ٹرانزسٹر کے I_S مختلف بیں یعنی

$$(5.67) \quad I_{S1} = I_S + \Delta I_S \\ I_{S2} = I_S - \Delta I_S$$

ہیں۔ شکل 5.12 الف میں ٹرانزسٹر کے ایمٹر سرے آپس میں جزئے ہیں جبکہ ان کے بیس سرے برق زمین پر ہیں۔ یوں $V_{BE1} = V_{BE2} = V_{BE}$ ہے۔ اس صورت ٹرانزسٹر کی برقی رو مندرجہ ذیل ہوں گی۔

$$(5.68) \quad I_{C1} = (I_S + \Delta I_S) \left(1 + e^{\frac{V_{BE}}{V_T}} \right) \\ I_{C2} = (I_S - \Delta I_S) \left(1 + e^{\frac{V_{BE}}{V_T}} \right)$$

ان سے $\frac{I_{C2}}{I_{C1}}$ حاصل کرتے ہیں۔

$$(5.69) \quad \frac{I_{C2}}{I_{C1}} = \frac{I_S - \Delta I_S}{I_S + \Delta I_S}$$

دونوں جانب ایک (1) جمع کرتے ہیں۔

$$(5.70) \quad \frac{I_{C2}}{I_{C1}} + 1 = 1 + \frac{I_S - \Delta I_S}{I_S + \Delta I_S} \\ \frac{I_{C2} + I_{C1}}{I_{C1}} = \frac{2I_S}{I_S + \Delta I_S}$$

چونکہ $I_{C1} + I_{C2} = 2 \times I \times \alpha$ ہے لہذا اس مساوات سے حاصل ہوتا ہے۔

$$(5.71) \quad I_{C1} = I \times \alpha \left(\frac{I_S + \Delta I_S}{I_S} \right) = \alpha I \left(1 + \frac{\Delta I_S}{I_S} \right)$$

اسی طرح I_{C2} کے لئے حاصل ہوگا۔

$$(5.72) \quad I_{C2} = I \times \alpha \left(\frac{I_S - \Delta I_S}{I_S} \right) = \alpha I \left(1 - \frac{\Delta I_S}{I_S} \right)$$

اور

$$\begin{aligned}
 V_{C1} &= V_{CC} - \alpha I \left(1 + \frac{\Delta I_S}{I_S} \right) R_C \\
 V_{C2} &= V_{CC} - \alpha I \left(1 - \frac{\Delta I_S}{I_S} \right) R_C \\
 (5.73) \quad V_O &= V_{C2} - V_{C1} = 2\alpha I R_C \frac{\Delta I_S}{I_S} \\
 |V_{OS}| &= \left| \frac{V_O}{A_d} \right| = \left| \frac{V_O}{g_m R_C} \right| = \left| \frac{2\alpha I R_C \frac{\Delta I_S}{I_S}}{\frac{\alpha I}{V_T} R_C} \right| = \left| 2V_T \frac{\Delta I_S}{I_S} \right|
 \end{aligned}$$

ان دو وجوہات کے علاوہ دیگر وجوہات (مثلاً β اور r_o میں فرق) کے بغایت پیدا ہوتا ہے۔

5.5.2 داخلي میلان برقی رو اور انحرافی داخلي میلان برقی رو تفرق جوڑے کے دونوں بازوں مکمل یکسان ہونے کی صورت میں دونوں جانب برابر یک سمتی میلان برق رو¹⁵ کا گزر ہوتا ہے یعنی

$$(5.74) \quad I_{B1} = I_{B2} = \frac{I}{\beta + 1}$$

البتہ دونوں بازووں میں فرق کی بنا پر دونوں جانب کی داخلي میلان برق رو مختلف ہو سکتی ہیں۔ ایسی صورت میں دونوں جانب کی داخلي میلان برق رو میں فرق، جسے انحراف داخلي برق رو¹⁶ I_{OS} کہتے ہیں، کو یوں حاصل کرتے ہیں۔

$$(5.75) \quad I_{OS} = |I_{B1} - I_{B2}|$$

ٹرانزسٹر کے β میں اس کے عمومی قیمت سے انحراف کو دیکھتے ہیں۔ تصور کریں کہ

$$\begin{aligned}
 \beta_1 &= \beta + \Delta\beta \\
 \beta_2 &= \beta - \Delta\beta
 \end{aligned}$$

بین جہاں β اس کے عمومی قیمت ہے اور $\Delta\beta$ اس عمومی قیمت سے انحراف ہے۔ اس طرح

$$\begin{aligned}
 (5.77) \quad I_{B1} &= \frac{I}{\beta + \Delta\beta + 1} = \frac{I}{(\beta + 1) \left(1 + \frac{\Delta\beta}{\beta + 1} \right)} \approx \frac{I}{\beta + 1} \left(1 - \frac{\Delta\beta}{\beta + 1} \right) \\
 I_{B2} &= \frac{I}{\beta - \Delta\beta + 1} = \frac{I}{(\beta + 1) \left(1 - \frac{\Delta\beta}{\beta + 1} \right)} \approx \frac{I}{\beta + 1} \left(1 + \frac{\Delta\beta}{\beta + 1} \right)
 \end{aligned}$$

input bias current¹⁵
input offset current¹⁶

$$\frac{1+x+x^2+\cdots}{1-x\sqrt{\frac{1}{1-\frac{x}{x-\frac{x^2}{x^2-\frac{x^2-x^3}{\ddots}}}}}}$$

شکل 5.13: لمبی تقسیم

ہوں گے۔ مندرجہ بالا مساوات میں x تصور کرتے ہوئے شکل 5.13 میں دکھائے لمبی تقسیم کے طرز پر حل کرتے ہوئے صرف پہلے دو جزو لئے گئے ہیں۔ اس طرح

$$(5.78) \quad I_B = \frac{I_{B1} + I_{B2}}{2} = \frac{I}{\beta + 1}$$

اور

$$(5.79) \quad I_{OS} = \left| \frac{I}{\beta + 1} \left(\frac{\Delta\beta}{\beta + 1} \right) \right| = I_B \left(\frac{\Delta\beta}{\beta + 1} \right)$$

حاصل ہوتے ہیں۔

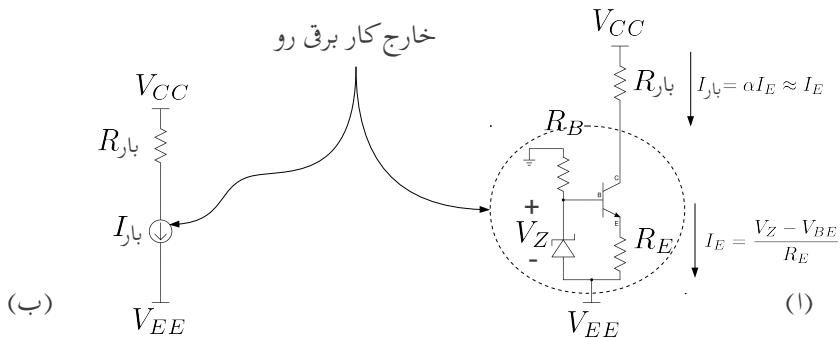
5.6 مخلوط ادوار میں دو جوڑ ٹرانزسٹر کے مائل کرنے کے طریقے

ہم نے دو جوڑ ٹرانزسٹر کو چار عدد مزاحمت کے مدد سے مائل کر کر ان کے نقطہ کارکردگی تعین کرنا دیکھا۔ مخلوط دور میں ٹرانزسٹر کے نسبت، مزاحمت بنانا زیادہ مہنگا ثابت ہوتا ہے۔ اسی لئے مخلوط ادوار میں مزاحمت کے استعمال سے گریز کیا جاتا ہے اور ان میں ٹرانزسٹر کو پیدا کار مستقل برق رو¹⁷ کی مدد سے مائل کیا جاتا ہے۔ اس سے پہلے کہ ہم دیکھیں یہ کیسا کیا جاتا ہے یہ ضروری ہے کہ پیدا کار مستقل برق رو پر غور کیا جائے۔

5.7 پیدا کار مستقل برقی رو

شکل 5.14 الف میں $n-p-n$ ٹرانزسٹر استعمال کرتے ہوئے پیدا کار مستقل برق رو کا حصول دکھایا گیا ہے۔ اس دور میں، α کو تقریباً ایک (1 \approx) تصور کرتے ہوئے، جب تک ٹرانزسٹر افراٹنڈہ رہے، بار

¹⁷ constant current source



شكل 5.14: خارج کار برقی رو

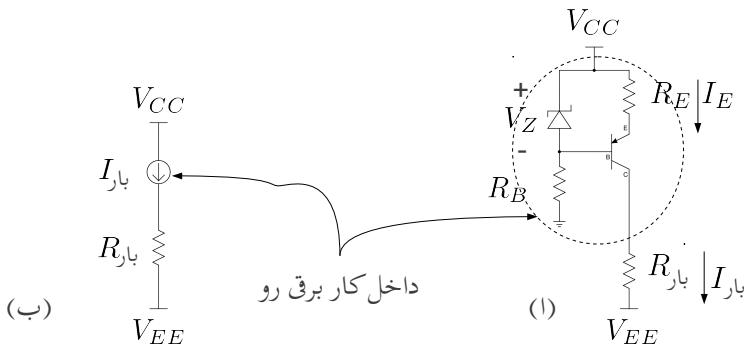
کا دارو مدار زینر ڈائیوڈ کے R_E اور مزاحمت V_Z پر ہے یعنی

$$I_E = \frac{V_Z - V_{BE}}{R_E}$$

یوں بار I_E تبدیل کرنے سے اس میں برقی رو تبدیل نہیں ہوتی۔ اس سے ہم دیکھ سکتے ہیں کہ بار I_E سے منسلک بقا یا دور بطور پیداکار مستقل برق رو کام کرتا ہے۔ شکل میں نقطہ دار دائٹرے میں بند حصے کو پیداکار مستقل برق رو کہتے ہیں۔ شکل 5.14 ب میں پیداکار مستقل برق رو کی علامت (تیر والا دائٹر) استعمال کرتے ہوئے اسی دور کو دوبارہ پیش کیا گیا ہے۔ علامت میں تیر کا نشان مستقل برق رو کی سمت دکھلاتا ہے۔ آپ دیکھ سکتے ہیں کہ اس طرز کے پیداکار مستقل برق رو کو استعمال کرتے ہوئے بار کو مثبت برق دباؤ V_{CC} اور پیداکار مستقل برق رو کے مابین نسبت میں جاتا ہے اور مستقل برق رو کی سمت بار سے پیداکار مستقل برق رو کی جانب ہوتی ہے۔ یہاں آپ دیکھ سکتے ہیں کہ بار سے برق رو خارج ہو کر پیداکار مستقل برق رو میں داخل ہوتا ہے۔ ایسا پیداکار مستقل برق رو بار سے برق رو زبردستی خارج کرتا ہے۔ اسی لئے اس دور کا زیادہ مقبول نام خارج کار مستقل برق رو یا صفر خارج کار برق رو¹⁸ ہے۔ شکل 5.15 الف میں pnp ٹرانزیستر پر مبنی پیداکار مستقل برق رو دکھایا گیا ہے جبکہ شکل 5.15 ب میں اسی دور کی علامتی شکل دکھائی گئی ہے۔ اس طرز کے پیداکار مستقل برق رو کو استعمال کرتے ہوئے بار کو پیداکار مستقل برق رو اور منفی برق دباؤ V_{EE} کے مابین نسبت میں جاتا ہے اور مستقل برق رو کی سمت پیداکار مستقل برق رو سے بار کی جانب ہوتی ہے۔ ایسا پیداکار مستقل برق رو بار میں برق رو زبردستی داخل کرتا ہے۔ اسی لئے اس دور کو داخل کار مستقل برق رو یا صرف داخل کار برق رو¹⁹ بھی کہا جاتا ہے۔

مخلوط ادوار میں عموماً متعدد پیداکار مستقل برق رو درکار ہوتے ہیں۔ وقت کے ساتھ ایسے ادوار کے کارکردگی میں تبدیلی آتی ہے جس سے عمرو رسیدگی²⁰ کا عمل کہتے ہیں۔ اسی طرح درجہ حرارت اور دیگر

current sink¹⁸
current source¹⁹
ageing²⁰



شکل 5.15: داخل کار برقی رو

وجوبات کی بنا پر بھی ادوار کے کارکردگی میں تبدیلی رونما ہوئی ہے۔ مخلوط دور میں استعمال ہونے والے تمام پیداکار مستقل برق رو میں پائے جانے والے اس طرح کے اثرات کو یکسان بنانے کی کوشش کی جاتی ہے۔ یوں ان سے نپیٹنا نسبتاً آسان ہوتا ہے۔ آئینہ دیکھیں کہ اس طرز کے پیداکار مستقل برق رو کیسے بنائے جاتے ہیں۔

5.8 آئینہ برقی رو

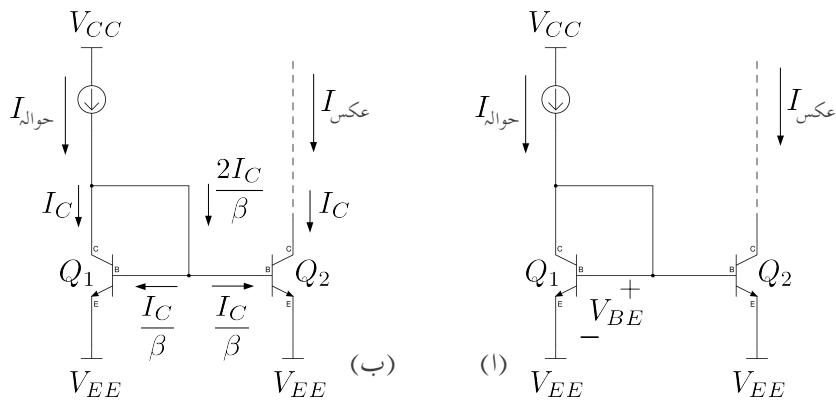
شکل 5.16 الف میں آئینہ برق رو²¹ دکھایا گیا ہے۔ تصور کریں کہ دونوں ٹرانزسٹر کے β کی قیمت لامحدود ہے اور بائیں بازو میں برق رو حوالہ I_1 گزر رہی ہے۔ β کی قیمت لامحدود ہو تو ٹرانزسٹر کے بیس سے پر برق رو I_B قابل نظر انداز ہو گی۔ یوں ٹرانزسٹر Q_1 میں برق رو حوالہ I_1 اور اس کے بیس۔ ایمٹر جوڑ پر برق دباؤ V_{BE} پایا جائے گا جہاں

$$(5.80) \quad I_B = I_S \left(e^{\frac{V_{BE}}{V_T}} - 1 \right)$$

ٹرانزسٹر Q_1 اور Q_2 کے بیس سے آپس میں جزئے ہیں۔ اسی طرح ان کے ایمٹر سرے بھی آپس میں جزئے ہیں۔ یوں Q_2 کے بیس۔ ایمٹر جوڑ پر بھی برق دباؤ V_{BE} ہی پایا جائے گا۔ اس ٹرانزسٹر کے لئے ہم لکھ سکتے ہیں۔

$$(5.81) \quad I_{\text{عكس}} = I_S \left(e^{\frac{V_{BE}}{V_T}} - 1 \right)$$

current mirror²¹



شكل 16.16: آئینہ برقی رو

مساوات 5.81 کو مساوات 5.80 سے تقسیم کرتے ملتا ہے۔

$$(5.82) \quad \frac{I_{\text{حالة}}}{I_{\text{عكس}}} = \frac{I_S \left(e^{\frac{V_{BE}}{V_T}} - 1 \right)}{I_S \left(e^{\frac{V_{BE}}{V_T}} - 1 \right)} = 1$$

$$I_{\text{حالة}} = I_{\text{عكس}}$$

یوں عکس I بالکل حوالہ I کا عکس ہے۔ اس کو یوں بھی بیان کر سکتے ہیں کہ بار میں حوالہ I کے حوالے سے برق رو گزرنی ہے۔ جیسا کہ مثال 5.5 میں واضح کیا گیا ہے آئینہ برق رو کی صحیح کارکردگی کے لئے یہ ضروری ہے کہ Q_2 کو افراٹنڈ رکھا جائے۔ محدود β کی وجہ سے عکس I اور حوالہ I میں معمولی فرق ریتا ہے جس کی شکل ب میں وضاحت کی گئی ہے۔ چونکہ دونوں جانب ٹرانزستر کے بیس۔ ایٹر جوڑ پر یکسان برق دباؤ V_{BE} پایا جاتا ہے لہذا ان دونوں کے کلکٹر سروں پر برابر برق رو I_C پائی جائے گی۔ یعنی

$$(5.83) \quad I_{C1} = I_S \left(e^{\frac{V_{BE}}{V_T}} - 1 \right)$$

$$I_{C2} = I_S \left(e^{\frac{V_{BE}}{V_T}} - 1 \right)$$

$$I_{C1} = I_{C2} = I_C$$

اسی طرح ان کے بیس سروں پر بھی برابر برق رو پائی جائے گی یعنی

$$(5.84) \quad I_{B1} = \frac{I_{C1}}{\beta} = \frac{I_C}{\beta}$$

$$I_{B2} = \frac{I_{C2}}{\beta} = \frac{I_C}{\beta}$$

بائیں بازو کرچاف کے قانون برائے برق رو کے تحت

$$(5.85) \quad I_{B1} = I_C + \frac{2I_C}{\beta} = I_C \left(1 + \frac{2}{\beta}\right)$$

جبکہ دائیں بازو

$$(5.86) \quad I_{B2} = I_{C2} = I_C$$

یوں

$$(5.87) \quad I_{B1} = \frac{I_{CC}}{1 + \frac{2}{\beta}}$$

ہو گا۔ جیسے آپ دیکھ سکتے ہیں کہ دونوں بازووں کی برق رو میں ٹرانزستر کے بیس سرے کی برق رو کی وجہ سے فرق پایا جاتا ہے۔ شکل 5.17 میں اس اثر کو کم کرنے کی ترکیب دکھائی گئی ہے جہاں سے ظاہر ہے کہ

$$(5.88) \quad I_{B1} \approx \frac{I_{CC}}{1 + \frac{2}{\beta^2}}$$

اس مساوات کو مساوات 5.87 کے ساتھ دیکھیں۔ فرق کے مقدار کو β گناہم کر دیا گیا ہے۔ اگر شکل 5.17 میں حوالہ I_{B1} پیدا کرنے کی خاطر ایک عدد مزاہمت R کو V_{CC} اور Q_3 کے کلکٹر سرے کے درمیان جوڑ دیا جائے تو حوالہ I_{B1} یوں حاصل ہو گا۔

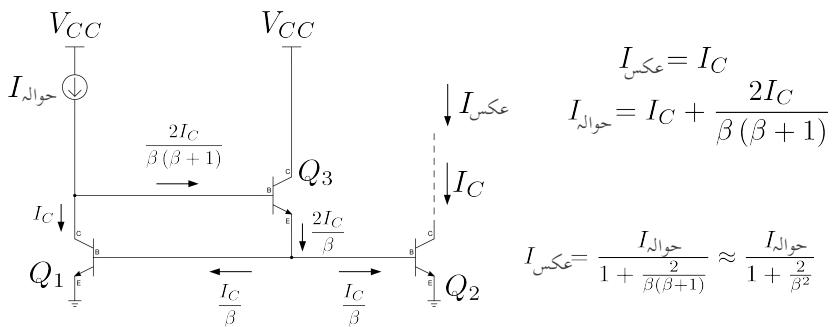
$$(5.89) \quad I_{B1} = \frac{V_{CC} - V_{BE1} - V_{BE3}}{R}$$

مثال 5.5: شکل 5.18 الف میں، نقطہ دار لکیٹر میں بند، ایک سادہ خارج کار مستقل برق رو دکھایا گیا ہے جسے استعمال کرتے ہوئے برق بار بار R میں برق رو عکس I گزاری جا رہی ہے۔ شکل ب میں خارج کار مستقل برق رو کی علامت استعمال کرتے ہوئے اسی دور کو دوبارہ پیش کیا گیا ہے۔ اگر

$$R = 11.3 \text{ k}\Omega$$

$$R_{bar} = 5 \text{ k}\Omega$$

یوں تو



شکل 5.17: بہتر پیداکار مستقل برقی رو

1. برق بار بار R میں برقی رو عکس I حاصل کریں۔
 2. برق دباؤ V_0 حاصل کریں۔
 3. اگر بار R کی مزاحمت دگنی کر دی جائے تب V_0 کی قیمت کیا ہو گی۔
 4. بار R کی مزاحمت $20\text{k}\Omega$ ہونے کی صورت میں V_0 کی قیمت حاصل کریں۔
 5. برق بار بار R کی وہ مزاحمت دریافت کریں جس پر ٹرانزسٹر Q_2 غیر افزائندہ حال ہو جاتا ہے۔
 6. برق بار کی مزاحمت $40\text{k}\Omega$ کرنے سے کیا نتائج مرتب ہوں گے۔
- حل:

1. ٹرانزسٹر Q_1 کا اینٹر سرا 12V - پر ہے جبکہ اس کے بیس-اینٹر جوڑ پر 0.7V پائی جاتے ہیں۔ یوں اس کا بیس سرا -11.3V - پر ہو گا۔ چونکہ بیس اور کلکٹر جزرے بین الہذا کلکٹر ہی -11.3V - پر ہو گا۔ یوں مزاحمت R کے ایک سرے پر -11.3V - بین۔ مزاحمت کا دوسرا سرا برق زمین پر ہے اور یوں اس پر 0V ہے۔ مزاحمت R میں برقی رو

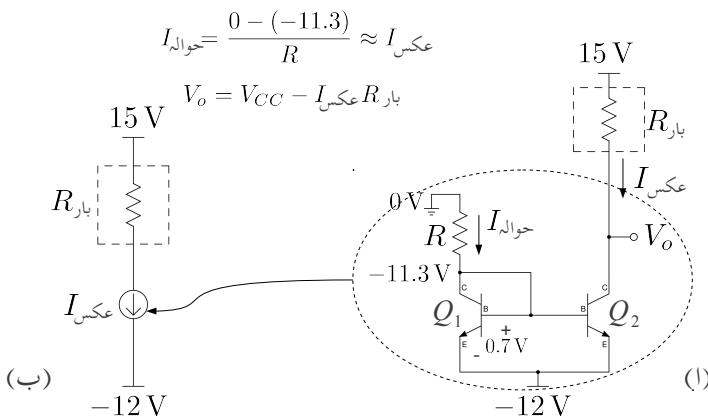
$$I_{\text{وہلہ}} = \frac{0 - (-11.3)}{11300} = 1\text{mA}$$

پائی جائے گی۔ برق بار بار R سے بھی ایک ملی اینپیٹر کی برقی رو گزرسے گی۔

2. ٹرانزسٹر Q_2 کے کلکٹر سرے پر برق دباؤ

$$\begin{aligned} V_0 &= V_{CC} - I_{\text{وہلہ}} R_{\text{بار}} \\ &= 15 - 10^{-3} \times 5 \times 10^3 = 10\text{V} \end{aligned}$$

پایا جاتا ہے۔



شکل 5.18: خارج کار مستقل برقی رو اور اس کی علامت

3. برقی بار کی مزاحمت دگنی یعنی $10\text{ k}\Omega$ کرنے سے

$$\begin{aligned} V_o &= V_{CC} - I_{بار}R_{بار} \\ &= 15 - 10^{-3} \times 2 \times 5 \times 10^3 = 5\text{ V} \end{aligned}$$

4. برقی بار کی مزاحمت $20\text{ k}\Omega$ کرنے سے

$$\begin{aligned} V_o &= V_{CC} - I_{بار}R_{بار} \\ &= 15 - 10^{-3} \times 20 \times 10^3 = -5\text{ V} \end{aligned}$$

ہو گا۔

5. اس مثال کے جزو ب، پ اور ت میں ہم دیکھتے ہیں کہ جب برقی بار بار R کی مزاحمت بڑھائی جائے تو خارج کار مستقل برقی رو برقی دباؤ V_o گھٹا کر برقی بار میں برقی رو کی قیمت برقرار رکھتا ہے۔ آپ دیکھ سکتے ہیں کہ اگر برقی بار کی مزاحمت اسی طرح بتدریج بڑھائی جائے تو آخر کار Q_2 غیر افزائندہ خطے میں داخل ہو جائے گا اور اس کے لئے V_o کا مزید گھٹانا ممکن نہ ہو گا۔ ٹرانزسٹر Q_2 غیر افزائندہ ہونے کے بعد اگر برقی بار کی مزاحمت مزید بڑھائی جائے تو اس میں برقی رو گھٹنا شروع ہو جائے گی۔

ٹرانزسٹر Q_2 اس صورت غیر افزائندہ ہو گا جب اس کے کلکٹر۔ ایٹر سروں کے مابین 0.2 V پائی جائیں۔ اس صورت میں اگر گرشتہ جزو کے مساوات کو بار R کے لئے حل کریں تو حاصل

ہوتا ہے

$$15 = I_{\text{بار}} R_{\text{بار}} + V_{CE\text{نہیں}} \quad \text{غیرافراہنڈہ}$$

$$15 = 10^{-3} \times R_{\text{بار}} + 0.2 - 12$$

$$R_{\text{بار}} = \frac{15 + 12 - 0.2}{10^{-3}} = 26.8 \text{ k}\Omega$$

6. ہم نے دیکھا کہ خارج کار مستقل برق رو $26.8 \text{ k}\Omega$ کے برق بار تک کرے مزاحمت میں مستقل برق رو برقرار رکھ سکتا ہے۔ برق بار کے مزاحمت کو مزید بڑھانے سے برق بار میں روان برق رو گھٹنا شروع ہو جاتی ہے۔ $40 \text{ k}\Omega$ کے برق بار کے لئے

$$15 = IR_{\text{بار}} + V_{CE\text{نہیں}} \quad \text{غیرافراہنڈہ}$$

$$15 = I \times 40 \times 10^3 + 0.2 - 12$$

$$I = \frac{15 + 12 - 0.2}{40 \times 10^3} = 0.67 \text{ mA}$$

ہم دیکھتے ہیں کہ برق رو کی قیمت اصل I سے گھٹ جاتی ہے اور خارج کار مستقل برق رو صحیح کارکردگی نہیں کر پاتا۔

شکل 19.5. الف میں $n-p-n$ ٹرانزسٹروں پر مبنی خارج کار مستقل برق رو دکھایا گیا ہے۔ یہ دور نقطہ دار لکیر کی جگہ نسب مطلوبہ دور میں مستقل برق رو عکس I گزارتا ہے۔ اس شکل کے لئے ہم لکھ سکتے ہیں۔

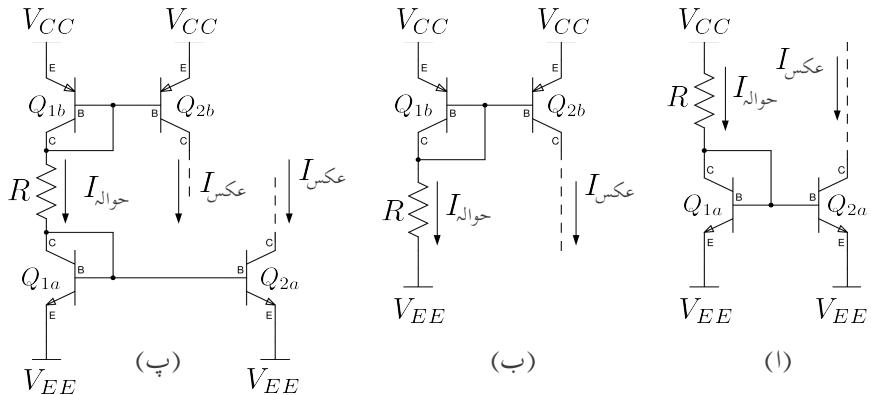
$$V_{CC} = I_{\text{حوالہ}} R + V_{BE} + V_{EE}$$

$$I_{\text{حوالہ}} = \frac{V_{CC} - 0.7 - V_{EE}}{R} = I_{\text{عکس}}$$

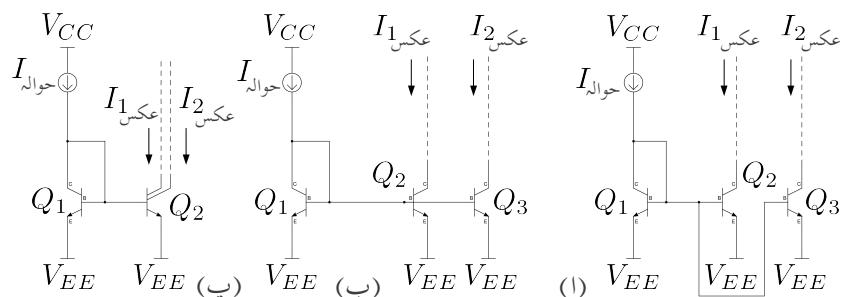
شکل ب میں اسی کا مساوی $p-n-p$ ٹرانزسٹروں پر مبنی داخل کار مستقل برق رو دکھایا گیا ہے۔ یہ دور نقطہ دار لکیر کی جگہ نسب مطلوبہ دور میں مستقل برق رو عکس I گزارتا ہے۔ شکل پ میں ان دونوں ادوار کو یوں جوڑا گیا ہے کہ ایک ہی مزاحمت دونوں پیداکار مستقل برق رو کے عکس I کا تعین کرتا ہے۔ اس دور کے لئے ہم لکھ سکتے ہیں۔

$$V_{CC} = V_{EB} + I_{\text{حوالہ}} R + V_{BE} + V_{EE}$$

$$I_{\text{حوالہ}} = \frac{V_{CC} - 0.7 - 0.7 - V_{EE}}{R} = I_{\text{عکس}}$$



شکل 5.19: پیداکار مستقل برقی رو کے مختلف ادوار



شکل 5.20: دو عکس کا حصول

5.8.1 متعدد پیداکار مستقل برقی رو

شکل 5.16 میں تیسرا ٹرانزسٹر یعنی Q_3 کے شمولیت سے شکل 5.20 الف حاصل ہوتا ہے۔ چونکہ Q_3 کے بیس-ایمٹ جوڑ پر ہی Q_1 اور Q_2 کے برابر V_{BE} پایا جاتا ہے لہذا اس میں ہی بالکل انہیں کے برابر I_C برقی رو پائی جائے گی۔ آئینہ دیکھتے ہیں کہ اس دور میں محدود β کتنا کردار ادا کرتا ہے۔ محدود β کی صورت میں ہم لکھ سکتے ہیں کہ

$$(5.90) \quad I_{C\text{ عکس}} = I_{2\text{ عکس}} = I_{1\text{ عکس}}$$

$$(5.91) \quad I_{\text{حوالہ}} = I_C + \frac{3I_C}{\beta}$$

اور یوں

$$(5.92) \quad I_{\text{عکس}} = \frac{I_{\text{حوالہ}}}{1 + \frac{3}{\beta}}$$

اس دور کو عموماً شکل 5.20 ب یا شکل 5.20 پ کے طرز پر صاف اور شفاف طریقے سے بنایا جاتا ہے۔ شکل پ میں ایک ہی ٹرانزسٹر کے دو کلکٹر دکھائے گئے ہیں۔ اس سے مراد دو ٹرانزسٹر لینا چاہیے جس کے بیس آپس میں جڑے ہیں اور اسی طرح اس کے اینٹر ہی آپس میں جڑے ہیں جبکہ دونوں کے کلکٹر آپس میں نہیں جوڑے گئے ہیں۔

اسی بحث کو آگے بڑھاتے ہوئے ایک ایسے پیداکار مستقل برقی رو جو n عکس بناتا ہو کے لئے مساوات 5.92 کی صورت یوں ہو گئی۔

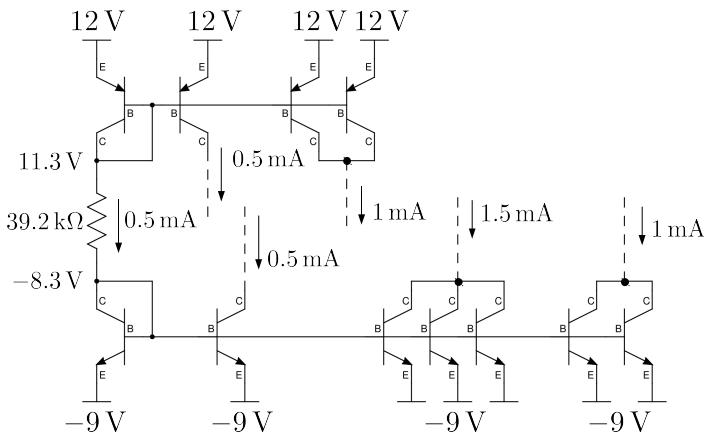
$$(5.93) \quad I_{\text{عکس}} = \frac{I_{\text{حوالہ}}}{1 + \frac{n+1}{\beta}}$$

شکل 5.21 میں دو یا دو سے زیادہ ٹرانزسٹر جوڑ کر حاصل عکس کو دگنا یا اس سے بھی بڑھانا دکھایا گیا ہے۔

5.9 ٹرانزسٹر بار سے لدا دو جوڑ ٹرانزسٹر کا تفرقی ایمپلیفائر

جیسا کہ پہلے ہی ذکر کیا گیا، مخلوط ادوار بناتے وقت کوشش کی جاتی ہے کہ مزاحمتوں کا استعمال کم سے کم کیا جائے۔ جیسا کہ شکل 5.22 الف میں دکھایا گیا ہے، مخلوط ادوار میں استعمال ہونے والے تفرقی ایمپلیفائر کے خارجی جانب مزاحمت R_C کی جگہ آئینہ برقی رو استعمال کیا جاتا ہے۔

پیداکار مستقل برقی رو کل $I \times 2$ برقی رو جوڑوا ٹرانزسٹروں سے گزارتا ہے۔ یوں داخلی تفرقی برقی اشارہ کے عدم موجودگی میں ایمپلیفائر کے ٹرانزسٹر کے Q_{a1} اور Q_{a2} میں یک سنتی برقی رو I گزر کر انہیں مائل کر رکھے۔ Q_{b1} اور Q_{b2} جو کہ آئینہ برقی رو ہیں، بطور برقی بار استعمال کئے گئے ہیں۔ Q_{b1} کی برقی رو کو دیکھ کر Q_{b2} اس کا عکس برقی رو پیدا کرتا ہے۔ چونکہ Q_{b1} سے وہی برقی رو گزرتی ہے جو Q_{a1} سے گزرتی ہے لہذا I بطور حوالہ استعمال ہو گا اور Q_{b2} اس کے برابر (یعنی



شکل 5.21: متعدد پیداکار مستقل برقی رو

I) عکس پیدا کرے گا۔ چونکہ Q_{a2} میں ہی I برق رو گز رہی ہے لہذا Q_{b2} کی پیدا کردہ تمام کی تمام برق رو Q_{a2} سے ہی گز رہے گی اور یوں بیرونی برق مزاحمت R_L میں صفر برق رو گز رہے گی۔ یوں v_o صفر ولٹ ہو گا۔ اب تصور کریں کہ تفرقی برق اشارہ v_d مہیا کیا جاتا ہے۔ اور Q_{a1} میں بدلتی برق رو $g_m \frac{v_d}{2}$ پیدا ہو گی جن کی سمتیں شکل میں دکھائی گئی ہیں۔ Q_{a1} کا برق رو Q_{a2} میں دکھایا گیا ہے۔ جوڑ v_o میں دو اطراف سے $g_m \frac{v_d}{2}$ کی برق رو داخل ہوتی ہے۔ یوں اس کے شکل میں دکھایا گیا ہے۔ جوڑ v_o میں دو اطراف سے $g_m v_d$ کے کافی برق رو کے مطابق اتنی ہی برق رو اس جوڑ سے باہر نکلے گی۔ یوں بار R_L میں $g_m v_d$ برق رو زمین کی جانب گز رہے گی اور یوں

$$(5.94) \quad v_o = \left(g_m \frac{v_d}{2} + g_m \frac{v_d}{2} \right) R_L = g_m R_L v_d$$

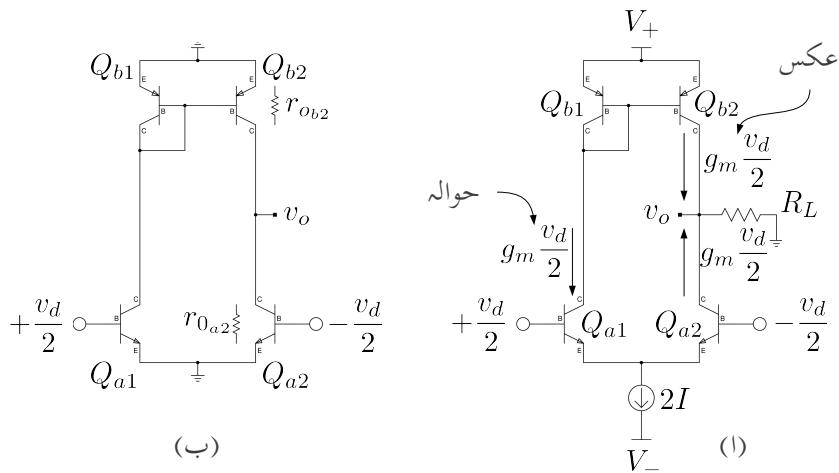
ہو گا اور تفرقی افزائش برقی دباو

$$(5.95) \quad A_d = \frac{v_o}{v_d} = g_m R_L$$

ہو گا۔

مساوات 5.94 پر دوبارہ غور کریں۔ اس میں $g_m \frac{v_d}{2}$ ایک مرتبہ تفرقی جوڑ کی وجہ سے اور دوبارہ آئینہ کی وجہ سے ہے۔ یوں آئینہ کے دو کردار ہیں۔ یہ بطور برق بار استعمال ہوتا ہے اور ساتھ ہی ساتھ اس کی وجہ سے تفرقی ایمپلیفیاٹر کی افزائش برقی دباو دکنی ہو جاتی ہے۔

شکل 5.22 الف میں R_L نہ استعمال کرتے ہوئے اس کی افزائش حاصل کرنے کی خاطر اس کا باریک اشاراتی دور شکل ب میں دکھایا گیا ہے جہاں ٹرانزسٹر Q_{a2} اور Q_{b2} کے اندر ہی خارجی



شکل 5.22: ٹرانزسٹر بار سے لدا دو جوڑ ٹرانزسٹر والا تفرقی ایمپلیفیٹر

مزاحمت r_0 کو ان کے باہر دکھا کر واضح کیا گیا ہے۔ شکل ب میں ٹرانزسٹر Q_{a1} اور Q_{a2} کے اینٹر کو برق زمین پر دکھایا گیا ہے۔ تفرقی اشارے کے لئے ایسا کرنا ممکن ہے۔ اس حقیقت کو مساوات 5.42 میں سمجھایا گیا ہے۔ آپ دیکھ سکتے ہیں کہ R_L کی جگہ دونوں ٹرانزسٹروں کے خارجی مزاحمت متوازی جڑے ہیں اور یوں مساوات 5.95 کو اس طرح لکھ سکتے ہیں۔

$$(5.96) \quad A_d = g_m (r_{o_{b2}} \parallel r_{o_{a2}})$$

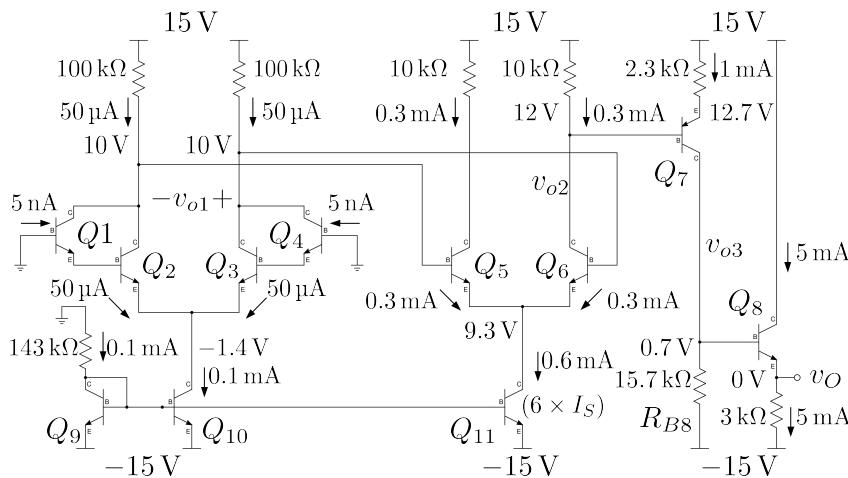
اگر $r_{o_{a2}}$ اور $r_{o_{b2}}$ برابر ہوں یعنی $r_{o_{a2}} = r_{o_{b2}} = r_0$ تب اس مساوات کو مزید سادہ صورت دی جا سکتی ہے یعنی

$$(5.97) \quad A_d = \frac{g_m r_0}{2} = \frac{1}{2} \left(\frac{I_C}{V_T} \right) \left(\frac{V_A}{I_C} \right) = \frac{V_A}{2 V_T}$$

جہاں g_m کو $\frac{I_C}{V_T}$ اور r_0 کو $\frac{V_A}{I_C}$ لکھا گیا ہے۔
 $V_A = 50 \text{ V}$

$$A_d = \frac{50}{25 \times 10^{-3}} = 2000 \frac{\text{V}}{\text{V}}$$

حاصل ہو گا۔ مساوات 5.96 کے مطابق $r_{o_{a2}}$ اور $r_{o_{b2}}$ کی قیمت بڑھا کر تفرقی ایمپلیفیٹر کی افزائش مزید بڑھائی جا سکتی ہے۔



شکل 5.23: حسابی ایمپلیفیٹر کا بنیادی دور

مثال 5.6: شکل 5.23 میں حسابی ایمپلیفیٹر کا بنیادی دور دکھایا گیا ہے جہاں تمام ٹرانزسٹر کا $\beta = 100$ ہے۔ Q_1 کا بیس اور Q_4 کا بیس حسابی ایمپلیفیٹر کے دو داخلی سرے بین جنہیں برق زمین پر رکھا گیا ہے جبکہ Q_8 کا ایمپلیفیٹر کا خارجی سرا ہے۔

- تمام یک سنتی متغیرات حاصل کریں۔
- داخلی میلان برق رو I_B حاصل کریں۔

حل: پہلے حسابی ایمپلیفیٹر کے مختلف حصے ہچانے کی کوشش کرتے ہیں۔ Q_9 اور Q_{10} کا $143\text{k}\Omega$ مزاحمت آئینہ برق رو بناتے ہیں۔ Q_{11} کے برق رو کا عکس پیش کرتا ہے۔ Q_1 اور Q_2 مل کر ایک ڈارلنگٹن جوڑی بناتے ہیں۔ اسی طرح Q_3 اور Q_4 دوسرا ڈارلنگٹن جوڑی ہے۔ یہ دو ڈارلنگٹن مل کر پہلا یا داخلی تفرقی ایمپلیفیٹر بناتے ہیں۔ Q_5 اور Q_6 دوسرا تفرقی ایمپلیفیٹر ہے۔ Q_7 اور Q_8 کا $2.3\text{k}\Omega$ اور $15.7\text{k}\Omega$ مل کر یک سعی برق دباو کی قیمت تبدیل کرتے ہیں جبکہ Q_8 اور $3\text{k}\Omega$ خارجی حصہ ہیں۔

Q_9 کے بیس پر

$$V_{B9} = -15 + V_{BE} = -14.3 \text{ V}$$

ہیں۔ اس کے کلکٹر پر بھی یہی برق دباو ہے لہذا اوہم کے قانون سے $143\text{k}\Omega$ مزاحمت میں

$$\frac{0 - (-14.3)}{143000} = 0.1 \text{ mA}$$

ہے۔ Q_{10} کے کلکٹر پر بھی یہی برق رو پایا جائے گا جبکہ Q_{11} کے کلکٹر پر چہ گنا زیادہ برق رو یعنی 0.6 mA پایا جائے گا۔

پہلی تفرقی جوڑی میں 0.1 mA برابر تقسیم ہو گا۔ یوں Q_2 اور Q_3 دونوں کا $I_C \approx I_E = 50 \mu\text{A}$ ہو گا جبکہ ان کے بیس پر $\frac{50 \mu\text{A}}{\beta}$ یعنی $0.5 \mu\text{A}$ پایا جائے گا۔ اگر پہلی تفرقی جوڑی میں ڈارلنگٹن استعمال نہ کیا جاتا تو حسابی ایمپلیفائر کا داخلی میلان برق رو ہی Q_2 کا بیس برق رو Q_1 کا طرح Q_3 کا بیس برق رو Q_4 کا I_E ہے۔ یوں Q_4 کا بیس برق رو $\frac{0.5 \mu\text{A}}{\beta}$ یعنی 5nA سے کم کرتے ہے۔ یوں ڈارلنگٹن کے استعمال سے حسابی ایمپلیفائر کے داخلی میلان برق رو کو $0.5 \mu\text{A}$ سے کم کر کر 5nA کے لکھ کر دیا گیا۔ Q_2 کے لکھ کر Q_5

$$V_{C2} = 15 - I_{C2}R_{C2} = 15 - 50 \times 10^{-6} \times 100 \times 10^3 = 10 \text{ V}$$

پایا جائے گا۔ اسی طرح Q_3 کے لکھ کر 10 V پایا جائے گا۔ جونکہ Q_1 کا بیس برق زمین پر ہے لہذا $V_{B1} = 0 \text{ V}$ ہے جبکہ اس کا ایمٹر -0.7 V پر ہے۔ اس طرح Q_2 کا بیس -0.7 V پر ہے اور یوں اس کا ایمٹر -1.4 V پر ہے۔ اور Q_6 کے لکھ کر Q_5 اور 0.6 mA پر 0.6 mA برابر تقسیم ہو گا۔ یوں

$$I_{E5} = I_{E6} = \frac{0.6 \times 10^{-3}}{2} = 0.3 \text{ mA}$$

پایا جائے گا۔ یوں ان کے بیس پر $\frac{0.3 \mu\text{A}}{\beta}$ یعنی $3 \mu\text{A}$ پایا جائے گا۔ حقیقت میں $3 \mu\text{A}$ اور 50nA مل کر $100 \text{k}\Omega$ سے گزرتے ہیں۔ ہم نے ہلی تفرقی جوڑی میں $3 \mu\text{A}$ کو نظر انداز کیا تھا۔ اگر اس کو ہمی شامل کیا جائے تو پہلی جوڑی کے لکھ کر 9.7 V پایا جائے گا۔ قلم و کاغذ پر جلد حساب کتاب کرتے وقت عموماً اسی طرح بیس پر پائے جانے والے برق رو کو نظر انداز کیا جاتا ہے۔ ہم اسی لئے اس کو نظر انداز کرتے ہوئے 10 V کے جواب کو ہمی صحیح تسلیم کرتے ہوئے آگے بڑھتے ہیں۔ اس طرح Q_5 اور Q_6 کے ایمٹر پر

$$V_E = V_B - V_{BE} = 10 - 0.7 = 9.3 \text{ V}$$

پایا جائے گا جبکہ ان کے لکھ کر

$$V_C = 15 - 0.3 \times 10^{-3} \times 10000 = 12 \text{ V}$$

پایا جاتا ہے۔ یوں $V_{CE5} = V_{CE6} = 2.7 \text{ V}$ اور دونوں ٹرانزسٹر افرائندہ ہیں۔ جونکہ حسابی ایمپلیفائر کے دونوں داخلی سرے برق زمین پر ہیں لہذا ہم توقع کرتے ہیں کہ یہ صفر وولٹ خارج کرے گا۔ یہاں ہم دیکھ رہے ہیں کہ دوسرا تفرقی ایمپلیفائر 12 V خارج کر رہا ہے۔ یہ ضروری ہے کہ کسی طرح اس برق دباؤ سے چٹکارہ حاصل کیا جائے۔ Q_7 ، Q_8 اور $15.7 \text{k}\Omega$ میں $5.3 \text{k}\Omega$ مدد کرتے ہیں۔ Q_7 کے بیس پر 12 V ہونے کی وجہ سے اس کے ایمٹر پر

$$V_{E7} = V_{B7} + V_{EB7} = 12 + 0.7 = 12.7 \text{ V}$$

ہوں گے۔ یوں اوہم کے قانون کی مدد سے $2.3 \text{k}\Omega$ میں

$$\frac{15 - 12.7}{2300} = 1 \text{ mA}$$

ہو گا جو $15.7 \text{ k}\Omega$ سے گزرتے ہوئے اس پر

$$10^{-3} \times 15700 = 15.7 \text{ V}$$

کا برق دباؤ پیدا کرے گا جس کی وجہ سے Q_8 کے بیس پر

$$V_{B8} = -15 + 15.7 = 0.7 \text{ V}$$

پایا جائے گا۔ اس طرح Q_8 کے ایمٹر پر

$$V_{E8} = V_{B8} - V_{BE} = 0.7 - 0.7 = 0 \text{ V}$$

پایا جائے گا۔ آپ دیکھ سکتے ہیں کہ $2.3 \text{ k}\Omega$ اور $15.7 \text{ k}\Omega$ کی قیمتوں سے $v_O = 0 \text{ V}$ حاصل کیا گیا۔ Q_7 اور اس کے ساتھ منسلک دو مراہم یک سمتی برق دباؤ کی سطح تبدیل کرنے کی صلاحیت رکھتے ہیں۔ اسی وجہ سے اس دور کو ہم سطح تبدیل کار²² کہیں گے۔

مثال 5.7: شکل 5.23 کے حسابی ایمپلیفیائر کو داخلی اشارہ v_d مہیا کیا جاتا ہے۔ ایمپلیفیائر کا باریک اشاراتی افزائش $A_d = \frac{v_O}{v_d}$ ، داخلی مراہم اور خارجی مراہم حاصل کریں۔

حل: شکل 5.24 میں بدلتی رو مساوی دور دکھایا گیا ہے جہاں

$$v_2 = +\frac{v_d}{2}$$

$$v_1 = -\frac{v_d}{2}$$

ہیں۔ Q_2 اور Q_3 میں $50 \mu\text{A}$ برق رو پایا جاتا ہے لہذا ان کے

$$g_{m2} = g_{m3} = \frac{I_C}{V_T} = \frac{50 \times 10^{-6}}{25 \times 10^{-3}} = 2 \text{ mS}$$

$$r_{e2} = r_{e3} = \frac{1}{g_m} = \frac{1}{0.002} = 500 \Omega$$

ہیں۔ Q_1 اور Q_4 میں $0.5 \mu\text{A}$ برق رو پائی جاتی ہے لہذا ان کے

$$g_{m1} = g_{m4} = \frac{0.5 \times 10^{-6}}{25 \times 10^{-3}} = 20 \mu\text{S}$$

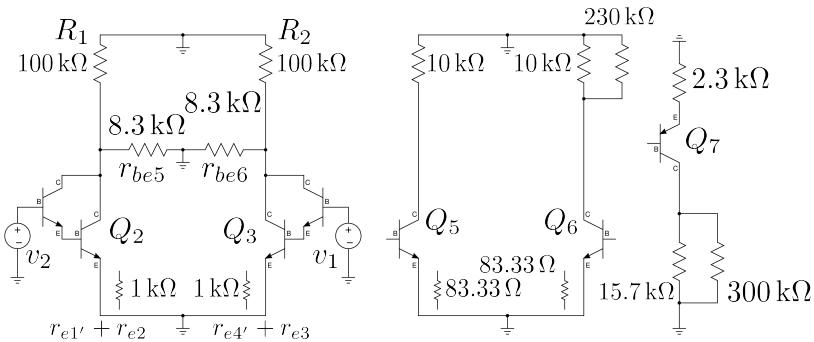
$$r_{e1} = r_{e4} = \frac{1}{20 \mu\text{S}} = 50 \text{ k}\Omega$$

$$A_{d1} = \frac{\sum R_C}{\sum R_E} = 7.66 \text{ V/V}$$

$$A_{d2} = -\frac{1}{2} \frac{\sum R_C}{\sum R_E} = -60 \text{ V/V}$$

$$A_{d3} = -6.826 \text{ V/V}$$

$$A_{d4} \approx 1 \text{ V/V}$$



شکل 5.24

بین- Q_1 کا r_{e1} چونکہ Q_2 کے بیس پر پایا جاتا ہے لہذا اس کو ہمی Q_2 کے ایمٹر پر منتقل کرنا ضروری ہے۔ $50 \text{ k}\Omega$ منتقل کرنے سے $\frac{50 \text{ k}\Omega}{\beta} = 500 \Omega$ حاصل ہوتا ہے۔ یوں r_{e1} کا عکس $r_{e1'} = 500 \Omega$ حاصل ہوتا ہے۔ اس طرح Q_2 کے ایمٹر پر کل مزاحمت $r_{e1} + r_{e1'}$ یعنی $1 \text{ k}\Omega$ پایا جائے گا۔ اسی طرح Q_4 کا r_{e4} چونکہ Q_3 کے بیس پر پایا جاتا ہے لہذا اس کو ہمی Q_3 کے ایمٹر پر منتقل کرنا ضروری ہے۔ $50 \text{ k}\Omega$ منتقل کرنے سے $\frac{50 \text{ k}\Omega}{\beta} = 500 \Omega$ حاصل ہوتا ہے۔ اس طرح Q_3 کے ایمٹر پر کل مزاحمت $r_{e3} + r_{e4'}$ یعنی $1 \text{ k}\Omega$ پایا جائے گا۔ ان معلومات کو شکل 5.24 پر پیش کیا گیا ہے۔

دوسری تفرقی جوڑی کے Q_5 اور Q_6 میں 0.3 mA پایا جاتا ہے لہذا ان کے

$$g_{m5} = g_{m6} = \frac{0.3 \times 10^{-3}}{25 \times 10^{-3}} = 0.012 \text{ S}$$

$$r_{e5} = r_{e6} = \frac{1}{0.012} = 83.33 \Omega$$

$$r_{be5} = r_{be6} = \beta r_e = 8.3 \text{ k}\Omega$$

بین۔ اس جوڑی کا داخلی مزاحمت $2r_{be}$ سے جو پہلی تفرقی جوڑی کا بار بنتا ہے۔ شکل میں Q_2 اور Q_3 کے کلکٹر کے مابین $8.3 \text{ k}\Omega$ کے سلسلہ وار مزاحمت اسی داخلی مزاحمت کو ظاہر کرتا ہے۔ تفرقی اشارے کی صورت میں دوسری تفرقی جوڑی کا ایمٹر برق زمین پر رہتا ہے۔ یوں Q_2 اور Q_3 کے کلکٹر پر دونوں $8.3 \text{ k}\Omega$ کا درمیانی نقطہ برق زمین پر ہو گا۔ ان معلومات کو استعمال کرتے ہوئے آپ دیکھ سکتے ہیں کہ پہلی تفرقی

جوڑی کی افزائش

$$\begin{aligned}
 A_{d1} &= \frac{v_{o1}}{v_d} = \frac{\sum R_C}{\sum R_E} \\
 (5.98) \quad &= \frac{15328}{2000} \\
 &= 7.66 \frac{V}{V}
 \end{aligned}$$

حاصل ہونی ہے جہاں R_C دنونوں ٹرانزسٹر کے کلکٹر پر متوازی جزے $200\text{k}\Omega$ اور $16.6\text{k}\Omega$ کا مجموعی مزاحمت ہے جبکہ $\sum R_E$ ان کے ایٹر کے درمیان کل مزاحمت یعنی $2r_e$ ہے۔ مثبت افزائش کا مطلب ہے کہ مثبت v_d کی صورت میں v_{o1} بھی مثبت ہو گا۔

تیسرا ایمپلیفیاٹر کا داخلی مزاحمت $\beta R_{E7} = 230\text{k}\Omega$ ہے جو R_{C6} کے متوازی جزا ہے۔ چونکہ $230\text{k}\Omega \gg 10\text{k}\Omega$ اس کے لئے اس کے کل مزاحمت کو $10\text{k}\Omega$ ہی لے سکتے ہیں۔ اس کا مطلب ہے کہ تیسرا ایمپلیفیاٹر کا داخلی مزاحمت اتنا زیادہ ہے کہ اس کے اثر کو نظر انداز کیا جا سکتا ہے۔ یوں دوسرا ایمپلیفیاٹر کی تفرقی افزائش

$$\begin{aligned}
 A_d &= \frac{\sum R_C}{\sum R_E} \\
 &= -\frac{10000}{83.33} \\
 &= -120 \frac{V}{V}
 \end{aligned}$$

ہو گی۔ البتہ دوسرا تفرقی جوڑی سے تفرقی اشارہ حاصل نہیں کیا جاتا بلکہ اس کے صرف ایک بازو سے خارجی اشارہ حاصل کیا گیا ہے۔ یوں کار آمد افزائش اس قیمت کے آدھی ہو گی یعنی

$$\begin{aligned}
 A_{d2} &= -\frac{1}{2} \frac{\sum R_C}{\sum R_E} \\
 (5.99) \quad &= -\frac{1}{2} \frac{10000}{83.33} \\
 &= -60 \frac{V}{V}
 \end{aligned}$$

افزائش میں منفی کا نشان یہ دکھلاتا ہے کہ مثبت v_2 اور منفی v_1 کی صورت میں اس حصے کا خارجی اشارہ منفی ہو گا۔

Q_7 اور اس کے ساتھ منسلک $2.3\text{k}\Omega$ اور $15.7\text{k}\Omega$ مل کر مشترک ایٹر ایمپلیفیاٹر پیں۔ r_e کے اور Q_8 کے داخلی مزاحمت کو نظر انداز کرتے ہوئے اس ایمپلیفیاٹر کی افزائش

$$A_{d3} = -\frac{15700}{2300} = -6.826 \frac{V}{V}$$

حاصل ہونی ہے۔

اور اس کے ساتھ منسلک $3\text{k}\Omega$ مل کر مشترک کلکٹر ایمپلیفائر بناتے ہیں۔ مشترک کلکٹر کی افزائش تقریباً ایک کے برابر ہوتی ہے یوں

$$A_{d4} \approx 1 \frac{V}{V}$$

ہو گا۔

ان چاروں افزائش کو استعمال کرتے ہوئے حسابی ایمپلیفائر کی کل افزائش

$$\begin{aligned} A_d &= \frac{v_o}{v_d} = A_{d1} \times A_{d2} \times A_{d3} \times A_{d4} \\ &= 7.66 \times (-60) \times (-6.826) \times 1 \\ &= 3137 \frac{V}{V} \end{aligned}$$

حاصل ہوتی ہے۔

شکل 5.24 کو دیکھتے ہوئے Q_2 اور Q_3 کے ایمٹر پر مزاحمت Q_1 اور Q_4 کے بیس جانب

$$\begin{aligned} R_i &\approx (1000 + 1000) \times \beta^2 \\ &= 2000 \times 10000 \\ &= 20\text{M}\Omega \end{aligned}$$

نظر آئے گا۔ یہی حسابی ایمپلیفائر کا داخلی مزاحمت ہے۔ خارجی جانب r_e کے Q_8 کو نظر انداز کرتے ہیں۔ $15.7\text{k}\Omega$ کا عکس ٹرانزسٹر کے ایمٹر جانب

$$\frac{15700}{100} = 157\Omega$$

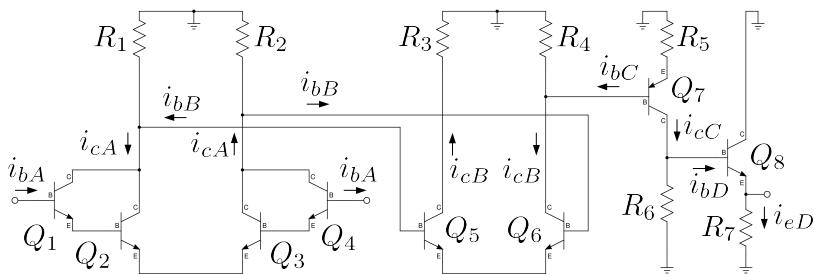
نظر آتا ہے۔ یہ عکس $3\text{k}\Omega$ کے متوازی جزا ہے لہذا حسابی ایمپلیفائر کا خارجی مزاحمت

$$R_o = \frac{157 \times 3000}{157 + 3000} = 149\Omega$$

حاصل ہوتا ہے۔

مثال 5.8: شکل 5.23 کے حسابی ایمپلیفائر کی افزائش $A_i = \frac{i_L}{i_b}$ کی مساوات حاصل کریں۔ A_i کو استعمال کرتے ہوئے $A_d = \frac{v_o}{v_d}$ کی مساوات بھی حاصل کریں۔

حل: شکل 5.25 میں مساوی باریک اشاراتی دور دکھایا گیا ہے جہاں داخلی جانب سے پہلے ایمپلیفائر کو A، دوسرا کو تحریر B، تیسرا کو C اور خارجی ایمپلیفائر کو D سے ظاہر کرتے ہوئے زنجیری ضرب



شکل 5.25: برقی رو کی افزائش

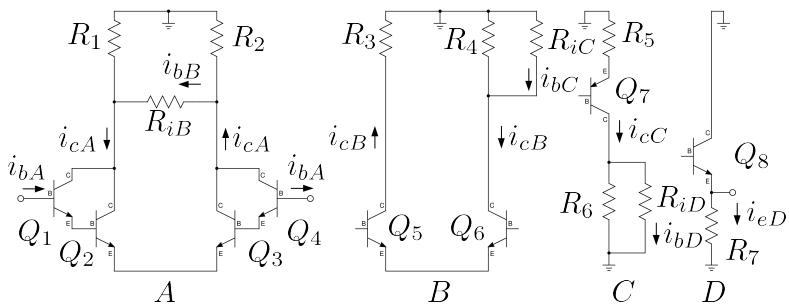
سے ہم لکھ سکتے ہیں

$$(5.100) \quad A_i = \frac{i_L}{i_b} = \frac{i_{eD}}{i_{bA}} = \frac{i_{eD}}{i_{bD}} \times \frac{i_{bD}}{i_{cC}} \times \frac{i_{cC}}{i_{bC}} \times \frac{i_{bC}}{i_{cB}} \times \frac{i_{cB}}{i_{bB}} \times \frac{i_{bB}}{i_{cA}} \times \frac{i_{cA}}{i_{bA}}$$

شکل 5.26 میں چاروں ایمپلیفیائروں کو علیحدہ علیحدہ کیا گیا ہے۔ آپ دیکھ سکتے ہیں کہ پہلے ایمپلیفیائر کے خارجی جانب دوسرے ایمپلیفیائر کا داخلی مزاحمت R_{iB} نسبت ہے۔ i_{cA} کا وہ حصہ جو R_{iB} سے گزرے درحقیقت دوسرے ایمپلیفیائر کا داخلی برقی رو i_{bB} ہے۔ شکل پر اس بات کیوضاحت کی گئی ہے۔ یوں اس شکل سے ہم لکھ سکتے ہیں۔

$$(5.101) \quad \begin{aligned} \frac{i_{eD}}{i_{bD}} &= \beta_8 + 1 \\ \frac{i_{bD}}{i_{cC}} &= \frac{R_6}{R_6 + R_{iD}} \\ \frac{i_{cC}}{i_{bC}} &= \beta_7 \\ \frac{i_{bC}}{i_{cB}} &= \frac{R_4}{R_4 + R_{iC}} \\ \frac{i_{cB}}{i_{bB}} &= \beta_6 \\ \frac{i_{bB}}{i_{cA}} &= \frac{R_1 + R_2}{R_1 + R_2 + R_{iB}} \\ \frac{i_{cA}}{i_{bA}} &= \beta_1 \beta_2 \end{aligned}$$

تمام ٹرانزسٹر کے β برابر لیتے ہوئے



شكل 5.26

$$\begin{aligned}
 r_{e2} &= r_{e3} = \frac{V_T}{I} \\
 r_{be2} &= r_{be3} = (\beta + 1) r_{e2} \\
 r_{1e} &= r_{e4} = (\beta + 1) \frac{V_T}{I} = (\beta + 1) r_{e2} \\
 r_{be1} &= r_{be4} = (\beta + 1)^2 r_{e2}
 \end{aligned}
 \tag{5.102}$$

حاصل ہوتے ہیں۔ شکل کو دیکھتے ہوئے

$$\begin{aligned}
 R_{iA} &= r_{be1} + r_{be4} + (r_{be2} + r_{be3}) \times (\beta + 1) \\
 &= 4(\beta + 1)^2 r_{e2} \\
 R_{iB} &= 2r_{be5} \\
 R_{iC} &\approx R_5 \times (\beta + 1) \\
 R_{iD} &\approx R_7 \times (\beta + 1)
 \end{aligned}
 \tag{5.103}$$

لکھا جا سکتا ہے۔ مزید یہ کہ

$$\begin{aligned}
 v_L &= i_{eD} R_7 \\
 v_d &= i_{bA} R_{iA}
 \end{aligned}$$

لکھتے ہوئے

$$\begin{aligned}
 A_d &= \frac{v_L}{v_d} \\
 (5.104) \quad &= \frac{i_{eD} R_7}{i_{bA} R_{iA}} \\
 &= A_i \times \frac{R_7}{R_{iA}}
 \end{aligned}$$

حاصل ہوتا ہے۔

ذرا کوشش کرنے سے مندرجہ بالا تمام مساوات شکل 5.23 کو دیکھ کر ہی لکھے جا سکتے ہیں۔ آپ داخلی جانب یا خارجی جانب سے شروع ہوئے زنجیری ضرب لکھتے ہیں اور پھر زنجیری ضرب کے تمام اجزاء شکل کو دیکھتے ہوئے پُر کرتے ہیں۔

مثال 5.9: مثال 5.8 میں A_d اور A_i کی قیمتیں حاصل کریں۔

حل: مثال 5.7 میں مندرجہ ذیل معلومات حاصل کی گئیں۔

$$r_{e2} = 500 \Omega, \quad r_{e5} = 83.333 \Omega$$

یوں مساوات 5.103 سے

$$R_{iA} = 4 \times 100^2 \times 500 = 20 \text{ M}\Omega$$

$$R_{iB} = 2 \times 100 \times 83.333 = 1667 \Omega$$

$$R_{iC} = 2300 \times 100 = 230 \text{ k}\Omega$$

$$R_{iD} = 3000 \times 100 = 300 \text{ k}\Omega$$

اور مساوات 5.101 سے

$$\begin{aligned}\frac{i_{eD}}{i_{bD}} &= 100 \\ \frac{i_{bD}}{i_{cC}} &= \frac{15.7 \times 10^3}{15.7 \times 10^3 + 300 \times 10^3} = 0.04973 \\ \frac{i_{cC}}{i_{bC}} &= 100 \\ \frac{i_{bC}}{i_{cB}} &= \frac{10 \times 10^3}{10 \times 10^3 + 230 \times 10^3} = 0.04167 \\ \frac{i_{cB}}{i_{bB}} &= 100 \\ \frac{i_{bB}}{i_{cA}} &= \frac{2 \times 100 \times 10^3}{2 \times 100 \times 10^3 + 1667} = 0.99173 \\ \frac{i_{cA}}{i_{bA}} &= 100 \times 100 = 10000\end{aligned}$$

حاصل ہوتے ہیں۔ اس طرح مساوات 5.100 سے

$$\begin{aligned}A_i &= \frac{i_{eD}}{i_{bA}} = 100 \times 0.04973 \times 100 \times 0.04167 \times 100 \times 0.99173 \times 10000 \\ &= 20.55 \frac{\text{MA}}{\text{A}}\end{aligned}$$

اور مساوات 5.104 سے

$$\begin{aligned}A_d &= \frac{v_L}{v_d} = 20.55 \times 10^6 \times \frac{3000}{20 \times 10^6} \\ &= 3082 \frac{\text{V}}{\text{V}}\end{aligned}$$

حاصل ہوتا ہے۔ مثال 5.7 میں $A_d = 3137 \frac{\text{V}}{\text{V}}$ حاصل کی گئی۔ دونوں جوابات میں فرق $1 \approx \alpha$ اور اس طرح کے دیگر استعمال کئے گئے قیمتیوں میں معمولی فرق کی وجہ سے ہے۔ ان دو جوابات میں صرف

$$\left| \frac{3137 - 3082}{3137} \right| \times 100 = 1.75 \%$$

کا فرق ہے۔

شکل 5.24 میں دوسرے ایپلیفائر کا داخلی مزاحمت $r_{be5} + r_{be6} = 16.6 \text{ k}\Omega$ ہے جو پہلی ایپلیفائر کا بار بتا ہے۔ یوں $R_1 + R_2$ اور $r_{be5} + r_{be6} \ll R_1 + R_2$ چونکہ $r_{be5} + r_{be6}$ لہذا ان متوازی جڑی مزاحمت کے مجموعی مزاحمت کو تقریباً $r_{be5} + r_{be6}$ لیا جا سکتا ہے۔ اس کے برعکس تیسرا ایپلیفائر کا داخلی مزاحمت ہتھ بڑا ہے لہذا دوسرے ایپلیفائر پر اس کے بار کو نظر انداز کیا جاتا ہے۔ ایسا کرنے سے پہلے اور دوسرے ایپلیفائر کے افزائش یوں لکھے جا سکتے ہیں۔

$$A_{d1} = \frac{\sum R_C}{\sum R_E} = \frac{r_{be5} + r_{be6}}{4r_{e2}}$$

$$A_{d2} \approx -\frac{1}{2} \frac{\sum R_C}{\sum R_E} = -\frac{1}{2} \left(\frac{R_{C6}}{r_{e5} + r_{e6}} \right)$$

اس طرح ان دو کڑیوں کی کل افزائش

$$(5.105) \quad A_d = A_{d1} A_{d2} = -\frac{1}{2} \times \left(\frac{r_{be5} + r_{be6}}{4r_{e2}} \right) \times \left(\frac{R_{C6}}{r_{e5} + r_{e6}} \right)$$

$$= -\frac{1}{2} \times \frac{(\beta + 1)(r_{e5} + r_{e6})}{4r_{e2}} \times \left(\frac{R_{C6}}{r_{e5} + r_{e6}} \right)$$

$$= -\frac{1}{2} \times \frac{(\beta + 1) R_{C6}}{4r_{e2}}$$

حاصل ہوتی ہے۔ اس مساوات کے تحت β بڑھانے اور r_{e2} کو کم کرنے سے افزائش بڑھتی ہے۔ چونکہ $r_e = \frac{V_T}{I_C}$ ہوتا ہے لہذا I بڑھانے سے r_{e2} کو کم کھٹکتا گا۔

اس کے علاوہ اگر پہلے ایپلیفائر میں ڈارلنگٹن جوڑی استعمال نہ کی جائے تو اس کی داخلی مزاحمت آدھی اور افزائش دگنی ہو جائے گی۔

صفحہ 311 پر مساوات 3.223 پر تصریح کرتے وقت یہ حقیقت بتلائی گئی تھی کہ اگر افزائش بڑھائی جائے تو داخلی مزاحمت کو کم کر سکتی ہے۔ تفرقی ایپلیفائر میں بھی داخلی مزاحمت کو کم کر سکتی ہے۔

5.10 وائٹلر پیداکار برقی رو

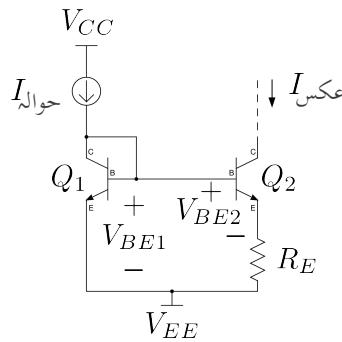
شکل 5.16 میں Q_2 کے ایٹر پر R_E نسب کرنے سے وائٹلر پیداکار برقی رو²³ حاصل ہوتا ہے جسے شکل 5.27 میں دکھایا گیا ہے۔ ٹرانزسٹر کے برقی رو کے مساوات کو استعمال کرتے ہوئے

$$V_{BE1} = V_T \ln \left(\frac{I_{\text{حوالہ}}}{I_S} \right)$$

$$V_{BE2} = V_T \ln \left(\frac{I_{\text{عکس}}}{I_S} \right)$$

Widlar current source²³

²⁴ باب وائٹلر نے اس دور کو دریافت کیا۔



شکل 5.27: وائٹلر پیداکار برقی رو

لکھا جا سکتا ہے۔ ان دو مساوات کو آپس میں منفی کرنے سے

$$V_{BE1} - V_{BE2} = V_T \ln \left(\frac{I_{حوالہ}}{I_{عکس}} \right)$$

حاصل ہوتا ہے۔ شکل کو دیکھتے ہوئے ہم

$$V_{BE1} = V_{BE2} + I_{عکس} R_E$$

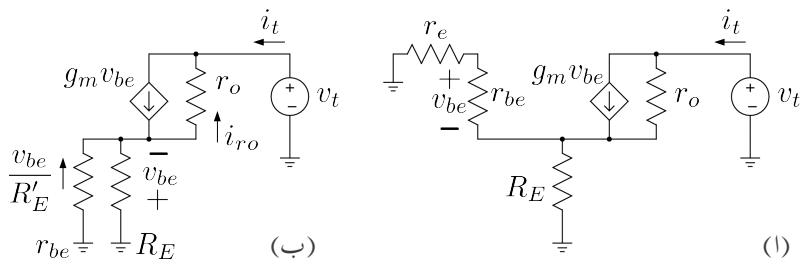
لکھ سکتے ہیں۔ یوں

$$(5.106) \quad I_{عکس} R_E = V_T \ln \left(\frac{I_{حوالہ}}{I_{عکس}} \right)$$

لکھا جا سکتا ہے۔

آئیں وائٹلر پیداکار برقی رو کی خارجی مزاحمت R_0 حاصل کریں۔ ایسا کرنے کی خاطر Q_2 کے کلکٹر پر v_t برق دباو مہیا کرتے ہوئے i_t کا حساب لگا کر $\frac{v_t}{i_t}$ معلوم کیا جا سکتا ہے جو کہ R_0 کی قیمت ہو گی۔

وائٹلر پیداکار برقی رو میں Q_1 کے کلکٹر اور بیس آپس میں جڑتے ہیں۔ یوں یہ بطور ڈائوڈ کردار ادا کرتا ہے۔ صفحہ 359 پر مساوات 3.248 ایسے ٹرانزسٹر کی مزاحمت r_e دیتا ہے۔ وائٹلر پیداکار برقی رو کی خارجی مزاحمت حاصل کرنے کی خاطر Q_2 کا پائیے ماذل استعمال کرتے ہیں جبکہ Q_1 کی جگہ اس کا باریک اشاراتی مساوی مزاحمت r_e نسب کرتے ہیں۔ ایسا کرتے ہوئے شکل 5.28 الف حاصل ہوتا ہے۔ آپ جانتے ہیں کہ $(\beta + 1) r_{be} = r_e$ ہوتا ہے۔ یوں $r_{be} \gg r_e$ ہے لہذا سلسہ وار جڑتے ہیں r_{be} اور r_e اور r_{be} کو نظر انداز کیا جا سکتا ہے۔ ایسا کرنے سے شکل ب حاصل ہوتا ہے جہاں سے صاف ظاہر ہے کہ R_E اور r_{be} متوازی جڑتے ہیں۔ $R'_E \parallel R_E$ کو لکھتے ہوئے اس میں برق رو کو $\frac{v_{be}}{R'_E}$ لکھا جا سکتا ہے۔ اس



شکل 5.28: وائٹلر پیداکار برقی رو کا باریک اشاراتی مساوی دور

برق رو کی سمت شکل میں دکھائی گئی ہے۔ کرچاف کے قانون برائے برق رو کی مدد سے

$$g_m v_{be} + \frac{v_{be}}{R'_E} = i_{ro}$$

لکھا جا سکتا ہے جس سے

$$i_{ro} = \left(g_m + \frac{1}{R'_E} \right) v_{be}$$

حاصل ہوتا ہے۔ یوں کرچاف کے قانون برائے برق دباؤ کی مدد سے

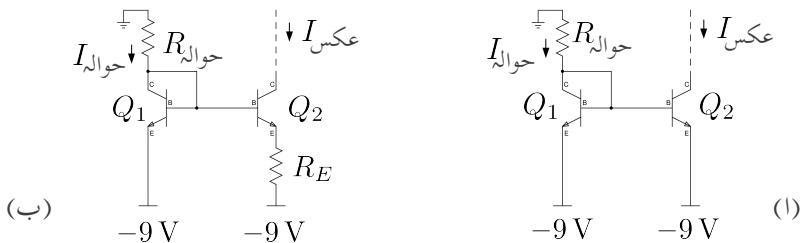
$$(5.107) \quad v_t = -v_{be} - \left(g_m + \frac{1}{R'_E} \right) v_{be} r_o$$

اور کرچاف کے قانون برائے برق رو کی مدد سے

$$(5.108) \quad i_t = g_m v_{be} - \left(g_m + \frac{1}{R'_E} \right) v_{be}$$

لکھا جا سکتا ہے۔ مساوات 5.107 کو مساوات 5.108 سے تقسیم کرتے ہوئے وائٹلر پیداکار برقی دباؤ کی خارجی مزاحمت \$R_o\$ یوں حاصل ہوئی ہے۔

$$\begin{aligned} R_o &= \frac{v_t}{i_t} = R'_E \left[1 + r_o \left(g_m + \frac{1}{R'_E} \right) \right] \\ &= R'_E + r_o \left(1 + g_m R'_E \right) \end{aligned}$$



شکل 5.29: ولسن آئینہ

اس مساوات میں R'_E کو نظر انداز کرتے ہوئے خارجی مزاحمت R_o کی سادہ مساوات

$$(5.109) \quad R_o \approx r_o \left(1 + g_m R'_E \right)$$

حاصل ہوئی ہے جہاں

$$(5.110) \quad R'_E = \frac{r_{be} R_E}{r_{be} + R_E}$$

کے برابر ہے۔ اس طرح خارجی مزاحمت r_o سے بڑھ کر $(1 + g_m R'_E) r_o$ ہو گئی ہے۔ یہ ایک عمومی نتیجہ ہے اور یون کسی بھی دو جوڑ ٹرانزیستر جس کے ایمٹر پر R_E مزاحمت نسب ہو اور جس کا بیس سرا برقی زمین پر ہو کی خارجی مزاحمت مساوات 5.109 سے حاصل ہو گی۔

مثال 5.10: شکل 5.29 میں سادہ آئینہ اور وائلٹر آئینہ دکھائے گئے ہیں۔ $I = 15 \mu\text{A}$ حاصل کرنے کی خاطر درکار مزاحمت حاصل کریں۔
حل: شکل الف میں $15 \mu\text{A}$ حاصل کرنے کی خاطر

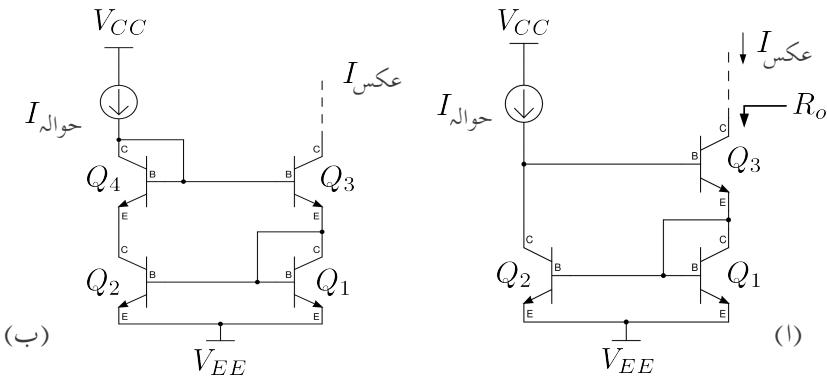
$$R_{\text{حوالہ}} = \frac{9 - 0.7}{15 \times 10^{-6}} = 553 \text{ k}\Omega$$

درکار ہے۔ شکل ب میں $I = 1 \text{ mA}$ رکھتے ہوئے $I = 15 \mu\text{A}$ حاصل کرتے ہیں۔ $I = 1 \text{ mA}$ حاصل کرنے کی خاطر

$$R_{\text{حوالہ}} = \frac{9 - 0.7}{1 \times 10^{-3}} = 8.3 \text{ k}\Omega$$

اور مساوات 5.106 سے

$$R_E = \frac{25 \times 10^{-3}}{15 \times 10^{-6}} \ln \left(\frac{10^{-3}}{15 \times 10^{-6}} \right) = 7 \text{ k}\Omega$$



شکل 5.30: ولسن آئینہ

حاصل ہوتے ہیں۔ آپ نے دیکھا کہ کم برق رو پیدا کرنے کی خاطر سادہ پیدا کار کو $553 \text{ k}\Omega$ جبکہ وائٹلر پیدا کار کو $8.3 \text{ k}\Omega$ اور $7 \text{ k}\Omega$ کے مزاحمت درکار ہیں۔ جیسا کہ آپ جانتے ہیں کہ مخلوط دور میں زیادہ قیمت کا مزاحمت زیادہ جگہ گھیرتا ہے جو کہ مہنگا پڑتا ہے۔ اسی لئے مخلوط ادوار میں وائٹلر پیدا کار استعمال کیا جائے گا۔

5.11 ولسن آئینہ

شکل 5.16 میں سادہ آئینہ برق رو دکھایا گیا۔ $V_{CE1} = 0.7 \text{ V}$ لیتے ہوئے $V_{BE} = 0.7 \text{ V}$ ہے جبکہ $V_{CE2} \neq V_{CE1}$ ہوتا ہے۔ اب تک آئینہ برق رو پر تبصروں میں ہم نے ارلی برق دباو کے اثرات کو نظر انداز کیا۔ حقیقت میں اگرچہ شکل 5.16 میں $V_{BE1} = V_{BE2}$ ہے لیکن $V_{CE1} \neq V_{CE2}$ کی بنا پر ارلی برق دباو کے اثر کو کم کرنے سے ارلی برق دباو کے اثر کو کم کیا جا سکتا ہے۔ اسی غرض سے شکل 5.16 میں تیسرا ٹرانزسٹر شامل کرتے ہوئے شکل 5.30 الف حاصل ہوتا ہے جس کو ولسن آئینہ²⁵ کہتے ہیں۔ ولسن آئینے میں

$$V_{CE1} = V_{BE1} = 0.7 \text{ V}$$

$$V_{CE2} = V_{BE1} + V_{BE3} = 1.4 \text{ V}$$

ہیں۔ دونوں ٹرانزسٹر کے V_{CE} میں فرق صرف 0.7 V رہ گیا ہے۔ اس دور کو حل کرتے ہوئے تمام ٹرانزسٹر

Wilson mirror²⁵

²⁶خارج آر ولسن نے اس آئینہ کو دریافت کیا۔

کو بالکل یکسان تصور کیا جائے گا۔ چونکہ مکر I_{C3} دراصل i_{C3} ہی ہے لہذا ہم i_{C3} اور حوالہ I کا تعلق حاصل کریں گے۔ Q_1 - کے لئے ہم لکھ سکتے ہیں۔

$$\begin{aligned} i_{C1} &= i_{C2} = i_C \\ i_{B1} &= i_{B2} = i_B \end{aligned}$$

کے لئے Q_3

$$(5.111) \quad \begin{aligned} i_{B3} &= \frac{i_{C3}}{\beta} \\ i_{E3} &= \left(\frac{\beta+1}{\beta} \right) i_{C3} \end{aligned}$$

لکھا جا سکتا ہے۔ کرچاف کے قانون برائے برق روکے تخت

$$(5.112) \quad \begin{aligned} i_{E3} &= i_{C1} + i_{B1} + i_{B2} \\ &= i_C + 2i_B \\ &= \left(\frac{\beta+2}{\beta} \right) i_C \end{aligned}$$

لکھا جا سکتا ہے۔ مندرجہ بالا دو مساوات میں i_{E3} کو برابر لکھتے ہوئے

$$\left(\frac{\beta+1}{\beta} \right) i_{C3} = \left(\frac{\beta+2}{\beta} \right) i_C$$

i_C کی مساوات حاصل ہوتی ہے۔

$$(5.113) \quad i_C = \left(\frac{\beta+1}{\beta+2} \right) i_{C3}$$

کرچاف کے قانون برائے برق روکی مدد سے

$$\begin{aligned} I_{\text{حوالہ}} &= i_{C2} + i_{B3} \\ &= i_C + \frac{i_{C3}}{\beta} \end{aligned}$$

لکھا جا سکتا ہے جس میں i_C کی قیمت مساوت 5.113 سے پُر کرتے ہوئے

$$\begin{aligned} I_{\text{حوالہ}} &= \left(\frac{\beta+1}{\beta+2} \right) i_{C3} + \frac{i_{C3}}{\beta} \\ &= \left(\frac{\beta+1}{\beta+2} + \frac{1}{\beta} \right) i_{C3} \end{aligned}$$

لکھا جا سکتا ہے۔ اس مساوات سے

$$\begin{aligned} I_{\text{حوالہ}} &= \left[\frac{\beta(\beta+1) + \beta + 2}{\beta(\beta+2)} \right] i_{C3} \\ &= \left[\frac{\beta^2 + 2\beta + 2}{\beta(\beta+2)} \right] i_{C3} \\ &= \left[\frac{\beta(\beta+2) + 2}{\beta(\beta+2)} \right] i_{C3} \end{aligned}$$

حاصل ہوتا ہے جس سے یوں لکھا جا سکتا ہے۔

$$\begin{aligned} I_{\text{عکس}} = i_{C3} &= \left[\frac{\beta(\beta+2)}{\beta(\beta+2) + 2} \right] I_{\text{حوالہ}} \\ &= \left[\frac{1}{1 + \frac{2}{\beta(\beta+2)}} \right] I_{\text{حوالہ}} \end{aligned}$$

اس مساوات کو

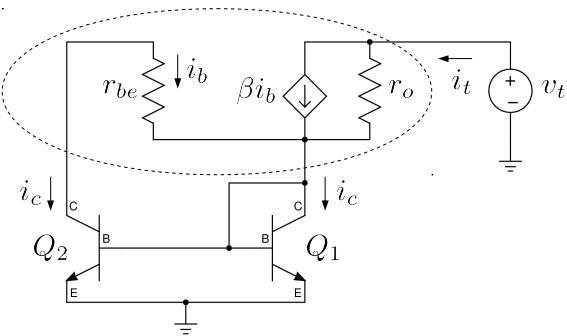
$$(5.114) \quad I_{\text{عکس}} \approx \left[\frac{1}{1 + \frac{2}{\beta^2}} \right] I_{\text{حوالہ}}$$

لکھا جا سکتا ہے۔ اس مساوات کا صفحہ 507 پر مساوات 5.88 کے ساتھ موازنہ کریں۔ دونوں مساوات بالکل ایک جیسے ہیں۔

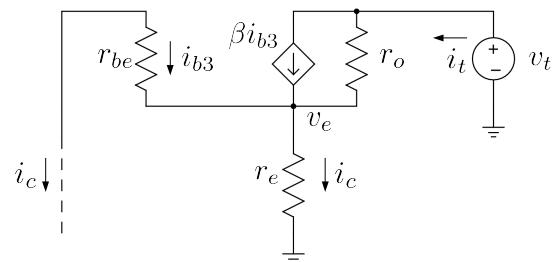
آئین آئینے کی خارجی مزاحمت حاصل کریں۔ ایسا کرنے کی خاطر Q_3 کے کلکٹر پر v_t لاگو کرتے ہوئے i_t کا حساب لگاتے ہیں۔ $\frac{v_t}{i_t}$ خارجی مزاحمت R_0 ہو گا۔ Q_3 کا پائی ماڈل استعمال کرتے ہوئے ولسن آئینے کو شکل 5.31 میں دکھایا گیا ہے۔ نقطہ دار دائیں سے دو جگہ i_c برق رو خارج اور ایک جگہ i_t داخلی ہو رہی ہے۔ یوں کرچاف کے قانون برائی برق رو کی مدد سے ہم لکھ سکتے ہیں

$$(5.115) \quad i_t = 2i_c$$

شکل 5.31 میں Q_1 کا بیس اس کے کلکٹر کے ساتھ جزا ہے جس کی وجہ سے یہ بطور ڈائیڈ کردار ادا کرتا ہے اور اس کو مزاحمت r_e سے ظاہر کیا جا سکتا ہے۔ Q_2 کا r_{be} اس کے متوازی جزا ہے۔ جونکے $r_e \ll r_{be}$ ہوتا ہے لہذا ان کا مساوی مزاحمت تقریباً r_e ہی کے برابر ہو گا۔ شکل 5.32 میں اس حقیقت کو مدد نظر رکھتے ہوئے دور کو دوبارہ دکھائی ہے۔ Q_1 اور Q_2 کے کلکٹر پر برقی i_c برق رو گز رہے گی جس سے شکل میں دکھایا گیا ہے۔ شکل کو دیکھتے ہوئے



شكل 5.31: ولسن آئینے کی خارجی مزاحمت



شكل 5.32 :

$$v_e = i_c r_e$$

$$i_{b3} = i_c$$

لکھا جا سکتا ہے۔ ساتھ ہی ساتھ کرچاف کرے قانون برائے برق روکی مدد سے

$$i_t = \beta i_{b3} + \frac{v_t - v_e}{r_{o3}}$$

$$= -\beta i_c + \frac{v_t}{r_{o3}} - \frac{v_e}{r_{o3}}$$

$$= -\beta i_c + \frac{v_t}{r_{o3}} - \left(\frac{r_e}{r_{o3}} \right) i_c$$

لکھا جا سکتا ہے جہاں دوسرے قدم پر i_{b3} کا استعمال کیا گیا۔ چونکہ $r_o \ll r_e$ ہوتا ہے لہذا مندرجہ بالا مساوات میں آخری جزو کو نظر انداز کیا جا سکتا ہے۔ یوں مساوات 5.115 کے استعمال سے

$$2i_c = -\beta i_c + \frac{v_t}{r_{o3}}$$

حاصل ہوتا ہے جس کو

$$i_c (\beta + 2) r_{o3} = v_t$$

لکھا جا سکتا ہے۔ ولسن آئینے کا خارجی مزاحمت $R_o = \frac{v_t}{i_t}$ کے برابر ہے جہاں $i_t = 2i_c$ ہے۔ یوں

$$(5.116) \quad R_o = \frac{v_t}{i_t} = \frac{v_t}{2i_c} = \frac{(\beta + 2) r_{o3}}{2}$$

حاصل ہوتا ہے جس کو

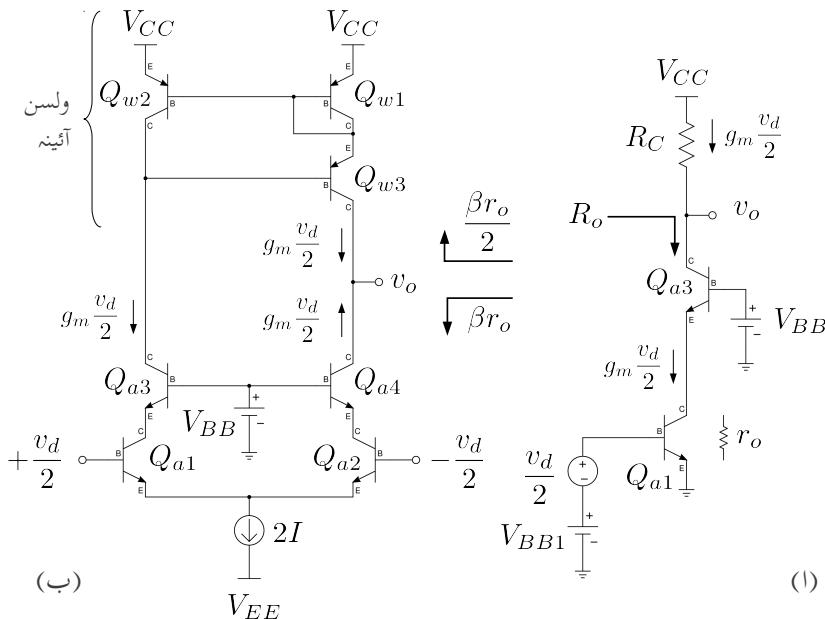
$$(5.117) \quad R_o \approx \frac{\beta r_o}{2}$$

لکھا جا سکتا ہے جہاں r_{o3} کو r_o لکھا گیا ہے۔ آپ دیکھ سکتے ہیں کہ ولسن آئینے کی خارجی مزاحمت r_o سے $\frac{\beta}{2}$ گناہ زیادہ ہے۔

اس حصے کے شروع میں ذکر کیا گیا کہ ارلی برق دباؤ کے اثر کو کم کرنے کی خاطر ولسن آئینے میں V_{CE2} اور V_{CE1} میں فرق کو کم کرتے ہوئے 0.7V کر دیا گیا۔ اس فرق کو مکمل طور ختم ہی کیا جا سکتا ہے۔ شکل 5.30 ب میں Q_4 کی شمولیت سے

$$V_{CE2} = V_{BE1} + V_{BE3} - V_{BE4} = 0.7V$$

ہو جاتا ہے۔ یوں $V_{CE1} = V_{CE2} = 0.7V$ کرتے ہوئے ارلی برق دباؤ کے اثرات سے چھٹکارا حاصل کیا گیا ہے۔ اس کے علاوہ چونکہ Q_1 اور Q_2 میں برابر برق روپا یا جاتا ہے اور اب ان پر برق دباؤ بھی برابر ہے لہذا ان میں طاقت کا ضیاع بھی برابر ہو گا۔ یوں یہ برابر گرم ہوتے ہوئے برابر درجہ حرارت پر رہیں گے۔ اس طرح درجہ حرارت میں فرق کی بنا پر کارکردگی میں فرق سے بھی چھٹکارا حاصل ہوتا ہے۔



شكل 5.33: کیسکوڈ ایمپلیفائر اور تفرقی کیسکوڈ ایمپلیفائر

5.12 کیسکوڈ ایمپلیفائر

مشترک ایٹر اور مشترک بیس ایمپلیفائر کو آپس میں جوڑ کر زنجیری ایمپلیفائر بنایا جا سکتا ہے۔ شکل 5.33 الف میں ایسے ایمپلیفائر کو دکھایا گیا ہے۔ اس ایمپلیفائر کو کیسکوڈ ایمپلیفائر²⁷ کہتے ہیں۔²⁸

الف میں ایسے ایمپلیفائر کو دکھایا گیا ہے۔ اس ایمپلیفائر کو کیسکوڈ ایمپلیفائر²⁷ کہتے ہیں۔²⁸

اوپر مائل رکھا جاتا ہے۔ یوں دونوں ٹرانزستروں کے لئے ہم لکھ سکتے ہیں۔

$$\begin{aligned} g_m &= \frac{I}{V_T} \\ r_e &= \frac{1}{g_m} \\ r_{be} &= (\beta + 1) r_e \end{aligned}$$

اگر Q_{1a} کو $\frac{v_d}{2}$ داخلی اشارہ مہیا کیا جائے تو اس کا $i_{c1} = g_m \frac{v_d}{2}$ ہو گا۔ یہی برق رو سے بھی گزرے گا یوں $i_{c3} = i_{c1} = g_m \frac{v_d}{2}$ لیتے ہوئے $v_o = -g_m R_C \frac{v_d}{2}$ اس طرح ہو گا۔

cascode amplifier²⁷

²⁸ کیسکوڈ کا نام فریدرک وینن بنت نے پہلی مرتبہ تجویز کیا۔

آئین کیسکوڈ ایمپلیفائر کا باریک اشاراتی خارجی مزاحمت R_o حاصل کریں۔ باریک اشاراتی تجزیہ کرتے ہوئے ہم دیکھتے ہیں کہ Q_{3a} کے ایٹر اور برق زمین کے مابین Q_{1a} کا r_o نسب ہے جبکہ Q_{3a} کا بیس برق زمین پر ہے۔ ایسی صورت میں مساوات 5.97 اور مساوات 5.117 کی مدد سے R_o حاصل کیا جا سکتا ہے۔ موجودہ مسئلے میں R_E کی جگہ r_o نسب ہے لہذا مساوات 5.117 کو یوں لکھا جائے گا۔

$$R'_E = \frac{r_{be} r_o}{r_{be} + r_o}$$

5.118 کی بنا پر اس مساوات سے $R'_E \approx r_{be}$ حاصل ہوتا ہے اور یوں مساوات 5.109 سے

$$\begin{aligned} R_o &= r_o (1 + g_m r_{be}) \\ &= r_o (1 + \beta) \\ &\approx \beta r_o \end{aligned}$$

حاصل ہوتا ہے۔ کیسکوڈ ایمپلیفائر میں R_C کی جگہ ٹرانزستر بار ہمی استعمال کیا جا سکتا ہے۔ دو کیسکوڈ ایمپلیفائر کو ملا کر تفرقی کیسکوڈ حاصل ہوتا ہے۔ شکل 5.33 ب میں ایسا ہی تفرقی ایمپلیفائر دکھایا گیا ہے جہاں ولسن آئینے کو بطور برق بار استعمال کیا گیا ہے۔ اس شکل میں Q_{a1} ، Q_{a3} ، ایک کیسکوڈ جبکہ Q_{a2} اور Q_{a4} دوسرا کیسکوڈ ہے۔ انہیں ملا کر کیسکوڈ تفرقی جوڑی حاصل کی گئی ہے۔

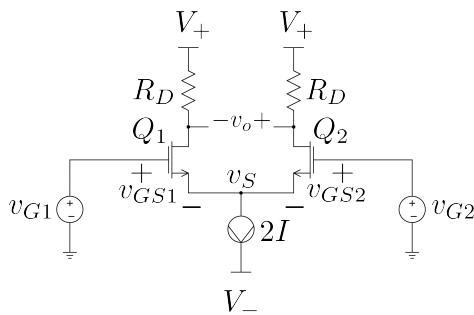
لیتے ہوئے تفرقی کیسکوڈ کا باریک اشاراتی حل حاصل کرتے ہیں۔ Q_{1a} کو $\frac{v_d}{2}$ داخلی اشارہ مہیا کیا گیا ہے۔ یوں اس کا خارجی برق رو $i_{c1} = g_m \frac{v_d}{2}$ ہو گا۔ یہی برق رو Q_{a3} سے گزرتے ہوئے ولسن آئینے کو بطور داخلی برق رو مہیا ہوتا ہے۔ یوں ولسن آئینے Q_{w3} سے $g_m \frac{v_d}{2}$ بطور عکس خارج کرے گا۔ کیسکوڈ کے دوسری جانب کو $i_{c2} = -g_m \frac{v_d}{2}$ داخلی اشارہ مہیا کیا جاتا ہے۔ یوں Q_{2a} کو $\frac{v_d}{2}$ برق رو Q_{4a} سے ہی گزرنے گا۔ ولسن آئینے کی خارجی مزاحمت مساوات 5.117 کے تحت $\frac{\beta r_o}{2}$ ہے جبکہ کیسکوڈ کی خارجی مزاحمت مساوات 5.118 کے تحت βr_o ہے۔ ان دونوں متوازنی جنڑی خارجی مزاحمت کی نشاندہی شکل 5.33 ب میں کی گئی ہے۔ ان کی مجموعی مزاحمت $\frac{\beta r_o}{3}$ حاصل ہوتی ہے۔ یوں

$$\begin{aligned} v_o &= \left(g_m \frac{v_d}{2} + g_m \frac{v_d}{2} \right) \frac{\beta r_o}{3} \\ &= \frac{1}{3} g_m \beta r_o v_d \end{aligned}$$

حاصل ہوتا ہے۔ $r_o = \frac{V_A}{I_T}$ اور $g_m = \frac{I_C}{V_T}$ لکھتے ہوئے

$$(5.119) \quad A_d = \frac{v_o}{v_d} = \frac{1}{3} \beta \left(\frac{V_A}{V_T} \right)$$

حاصل ہوتا ہے۔ صفحہ 514 پر مساوات 5.97 سادہ تفرقی جوڑی کی افزائش دیتا ہے۔ آپ دیکھ سکتے ہیں کہ کیسکوڈ تفرقی ایمپلیفائر کی افزائش اس سے $\frac{2\beta}{3}$ گنا زیادہ ہے۔



شکل 5.34: ماسفیٹ کا بنیادی تفرقی جوڑا

5.13 ماسفیٹ کے تفرقی جوڑے

شکل 5.34 میں دو یکسان بڑھاتے ماسفیٹ پر مبنی بنیادی تفرقی جوڑا دکھایا گیا ہے۔ تفرقی جوڑے میں ماسفیٹ کو افزائندہ رکھا جاتا ہے۔ ارلی برق دباؤ کو نظر انداز کرتے ہوئے اسے حل کرتے ہیں۔ تفرقی اشارہ v_d سے مراد

$$v_d = v_{G1} - v_{G2}$$

ہے۔ چونکہ دونوں ماسفیٹ کے سورس آپس میں جڑے ہیں لہذا $v_{S1} = v_{S2} = v_S$ کے برابر ہو گا۔ یوں $v_d = v_{GS1} + v_S - (v_{GS2} + v_S) = v_{GS1} - v_{GS2}$

$$(5.120) \quad v_d = (v_{GS1} + v_S) - (v_{GS2} + v_S) \\ = v_{GS1} - v_{GS2}$$

لکھا جا سکتا ہے۔ دھیان رہیے کہ v_{G1} اور v_{G2} تبدیل کرنے سے v_S بھی تبدیل ہوتا ہے۔ بدلتے اشارے کے عدم موجودگی میں $v_{GS1} = v_{GS2} = V_{GS}$ ہوتا ہے۔ اس صورت میں تفرقی جوڑے کے دونوں ماسفیٹ میں برابر یک سمی برق روگزرنگ ہے۔ تفرقی جوڑے میں کرچاف کے قانون برائے برق روکی مدد سے

$$(5.121) \quad i_{DS1} + i_{DS2} = 2I$$

لکھا جا سکتا ہے۔ یوں بدلتے اشارے کے عدم موجودگی ($v_d = 0$) میں اس مساوات سے $i_{DS1} = I$ حاصل ہوتا ہے۔ یوں ہم لکھ سکتے ہیں

$$(5.122) \quad I_{DS1} = I_{DS2} = I = \frac{k_n}{2} (V_{GS} - V_t)^2$$

بدلتے اشارے کے موجودگی میں

$$i_{DS1} = \frac{k_n}{2} (v_{GS1} - V_t)^2$$

$$i_{DS2} = \frac{k_n}{2} (v_{GS2} - V_t)^2$$

ہوں گے۔ آئیں i_{DS1} اور i_{DS2} کے ایسے مساوات حاصل کریں جن کا آزاد متغیرہ صرف v_d ہو۔ ایسا کرنے کی خاطر مندرجہ بالا دو مساوات کا جزر لیتے ہیں۔

$$\sqrt{i_{DS1}} = \sqrt{\frac{k_n}{2}} (v_{GS1} - V_t)$$

$$\sqrt{i_{DS2}} = \sqrt{\frac{k_n}{2}} (v_{GS2} - V_t)$$

$\sqrt{i_{DS2}}$ کو منفی کرتے ہیں $\sqrt{i_{DS1}}$

$$\sqrt{i_{DS1}} - \sqrt{i_{DS2}} = \sqrt{\frac{k_n}{2}} (v_{GS1} - v_{GS2})$$

$$= \sqrt{\frac{k_n}{2}} v_d$$

جہاں مساوات 5.120 کو استعمال کیا گیا۔ مساوات 5.121 سے i_{DS2} حاصل کر کے مندرجہ بالا مساوات میں پُر کرتے ہیں۔

$$\sqrt{i_{DS1}} - \sqrt{2I - i_{DS1}} = \sqrt{\frac{k_n}{2}} v_d$$

اس مساوات کا مربع لیتے ہیں

$$i_{DS1} + 2I - i_{DS1} - 2\sqrt{i_{DS1}}\sqrt{2I - i_{DS1}} = \frac{k_n}{2} v_d^2$$

$$2\sqrt{i_{DS1}}\sqrt{2I - i_{DS1}} = 2I - \frac{k_n}{2} v_d^2$$

اس کا دوبارہ مربع لیتے ہوئے دو درجی مساوات حاصل ہوتی ہے

$$4i_{DS1} (2I - i_{DS1}) = 4I^2 + \frac{k_n^2}{4} v_d^4 - 2Ik_n v_d^2$$

$$4i_{DS1}^2 - 8Ii_{DS1} + 4I^2 + \frac{k_n^2}{4} v_d^4 - 2Ik_n v_d^2 = 0$$

جس سے

$$i_{DS1} = \frac{8I \mp \sqrt{64I^2 - 4 \times 4 \times (4I^2 + \frac{k_n^2}{4}v_d^4 - 2Ik_nv_d^2)}}{2 \times 4}$$

$$= I \mp \frac{\sqrt{2Ik_nv_d^2 - \frac{k_n^2}{4}v_d^4}}{2}$$

$$= I \mp \left(\frac{v_d}{2}\right) \sqrt{2Ik_n} \sqrt{1 - \frac{k_n}{2I} \left(\frac{v_d}{2}\right)^2}$$

حاصل ہوتا ہے۔ بدلتے اشارے کے عدم موجودگی ($v_d = 0$) کی صورت میں اس مساوات سے $i_{DS1} = I$ حاصل ہوتا ہے جو کہ درست جواب ہے۔ شکل 5.34 کو دیکھ کر ہم کہہ سکتے ہیں کہ مثبت v_d کی صورت میں i_{DS1} کی قیمت I سے بڑھ جائے گی۔ یوں مندرجہ بالا مساوات سے i_{DS1} کا درست مساوات یوں لکھا جائے گا۔

$$(5.123) \quad i_{DS1} = I + \left(\frac{v_d}{2}\right) \sqrt{2Ik_n} \sqrt{1 - \frac{k_n}{2I} \left(\frac{v_d}{2}\right)^2}$$

مساوات 5.121 کی مدد سے

$$i_{DS2} = 2I - i_{DS1}$$

$$= 2I - \left[I + \left(\frac{v_d}{2}\right) \sqrt{2Ik_n} \sqrt{1 - \frac{k_n}{2I} \left(\frac{v_d}{2}\right)^2} \right]$$

بعنی

$$(5.124) \quad i_{DS2} = I - \left(\frac{v_d}{2}\right) \sqrt{2Ik_n} \sqrt{1 - \frac{k_n}{2I} \left(\frac{v_d}{2}\right)^2}$$

حاصل ہوتا ہے۔
مساوات 5.122 کو ان دو طرز

$$\sqrt{k_n} = \frac{\sqrt{2I}}{V_{GS} - V_t}$$

$$\frac{k_n}{2I} = \frac{1}{(V_{GS} - V_t)^2}$$

پر بھی لکھا جا سکتا ہے جن کے استعمال سے مساوات 5.123 اور مساوات 5.124 کو یوں لکھا جا سکتا ہے۔

$$(5.125) \quad i_{DS1} = I + \left(\frac{v_d}{2} \right) \frac{2I}{V_{GS} - V_t} \sqrt{1 - \frac{1}{(V_{GS} - V_t)^2} \left(\frac{v_d}{2} \right)^2}$$

$$i_{DS2} = I - \left(\frac{v_d}{2} \right) \frac{2I}{V_{GS} - V_t} \sqrt{1 - \frac{1}{(V_{GS} - V_t)^2} \left(\frac{v_d}{2} \right)^2}$$

صفحہ 420 پر مساوات 4.49 باریک اشارے کی تعریف $v_d \ll 2(V_{GS} - V_t)$ دیتا ہے۔ اگر داخلی اشارہ اس شرط پر پورا اترتا ہو تو مساوات 5.125 میں جزر کے اندر ایک سے منفی ہونے والے حصے کو نظر انداز کیا جا سکتا ہے اور ان مساوات کو یوں لکھا جا سکتا ہے۔

$$(5.126) \quad i_{DS1} \approx I + \left(\frac{v_d}{2} \right) \frac{2I}{V_{GS} - V_t}$$

$$i_{DS2} \approx I - \left(\frac{v_d}{2} \right) \frac{2I}{V_{GS} - V_t}$$

صفحہ 420 پر مساوات 4.54 کے تحت

$$g_m = \frac{2I_{DS}}{V_{GS} - V_t}$$

کے برابر ہے جہاں I_{DS} ماسفیٹ سے گزرنی یک سمی برق رو ہے۔ مساوات 5.126 میں یک سمی برق رو کو I کہا گیا ہے۔ یوں مساوات 5.126 کو

$$(5.127) \quad i_{DS1} \approx I + g_m \left(\frac{v_d}{2} \right)$$

$$i_{DS2} \approx I - g_m \left(\frac{v_d}{2} \right)$$

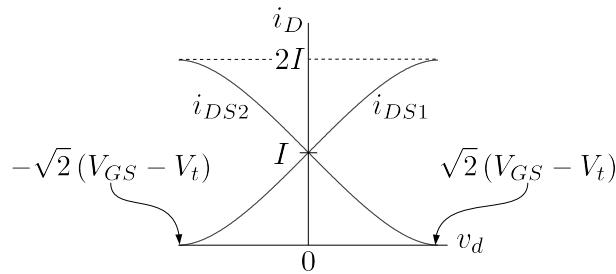
لکھا جا سکتا ہے۔ مساوات 5.127 کا انتہائی سادہ مطلب ہے۔ مثبت بدلتی برقی اشارے کے موجودگی میں i_{DS1} کی قیمت میں $g_m \frac{v_d}{2}$ کا اضافہ ہوتا ہے جبکہ i_{DS2} کی قیمت میں اتنی بھی کمی رونما ہوتی ہے۔ i_{DS2} جمع i_{DS1} اب بھی $2I$ کے برابر ہے۔ اور i_{DS2} میں اس بدلتی برقی رو کو i_d لکھا جا سکتا ہے یعنی یوں

$$(5.128) \quad i_d = g_m \left(\frac{v_d}{2} \right)$$

یوں

$$(5.129) \quad i_{DS1} = I + i_d$$

$$i_{DS2} = I - i_d$$



شكل 5.35: ماسفیٹ تفرقی جوڑے کے داخلي تفرقی برقی دباؤ بال مقابل خارجي برقی رو کے خط

کے برابر ہیں۔ v_d کی وہ قیمت جس پر تمام کی تمام $2I$ یک سمتی برقی رو کسی ایک ماسفیٹ میں منتقل ہو جاتی ہے کو مساوات 5.125 کی مدد سے حاصل کیا جا سکتا ہے۔ مثبت v_d کی صورت میں برقی رو $i_{DS1} = 2I$ ہوں گے۔ مساوات 5.125 میں $i_{DS2} = 0$ جبکہ Q_1 کو منتقل ہو گئی۔ یوں پُر کرنے سے حل کرنے سے

$$(5.130) \quad |v_d| = \sqrt{2}(V_{GS} - V_t)$$

حاصل ہوتا ہے۔ اس قیمت سے v_d کو مزید بڑھانے سے برقی رو میں مزید تبدیلی رونما نہیں ہو گئی۔ اتنی بھی منفی داخلي برقی دباؤ کی صورت میں تمام کی تمام یک سمتی برقی رو $i_{DS1} = 2I$ ہوں گے۔ شکل 5.35 میں مساوات 5.125 کے خط کھینچے گئے ہیں۔ ان خطوط سے آپ دیکھ سکتے ہیں کہ v_d کی وہ قیمت جس پر تمام کی تمام برقی رو ایک جانب منتقل ہو جاتی ہے صفحہ 420 پر مساوات 4.49 میں بیان کئے باریک اشارے کی حد سے کم ہے۔

شكل 5.34 سے

$$\begin{aligned} v_{D1} &= V_+ - i_{DS1} R_D \\ v_{D2} &= V_+ - i_{DS2} R_D \end{aligned}$$

لکھ کر اس میں مساوات 5.127 استعمال کرتے ہوئے

$$\begin{aligned} v_0 &= v_{D2} - v_{D1} \\ &= (i_{DS1} - i_{DS2}) R_D \\ &= \left[g_m \frac{v_d}{2} - g_m \left(\frac{v_d}{2} \right) \right] \\ &= g_m v_d \end{aligned}$$

ملتا ہے جس سے تفرق افزائش

$$(5.131) \quad A_d = \frac{v_o}{v_d} = g_m R_D$$

حاصل ہوتا ہے۔

مثال 5.11: شکل 5.34 میں دکھائے گئے ماسفیٹ کے تفرقی جوڑے میں $2I = 200 \mu\text{A}$ ہے جبکہ $V_t = 1.2 \text{ V}$ اور $k_n = 0.1 \frac{\text{mA}}{\text{V}^2}$ ہیں۔ v_d حاصل کرتے ہوئے کی وہ قیمت حاصل کریں جس پر تمام کی تمام برق رو ایک ماسفیٹ منتقل ہو جاتی ہے۔ م حل: $v_d = 0$ پر دونوں ماسفیٹ اپنے نقطہ کارکردگی پر ہوتے ہیں اور دونوں میں برابر $100 \mu\text{A}$ برق رو پایا جاتا ہے۔ افزائندہ ماسفیٹ کی مساوات سے یوں

$$100 \times 10^{-6} = \frac{0.1 \times 10^{-3}}{2} (V_{GS} - 1.2)^2$$

لکھتے ہوئے 2.614 V حاصل ہوتا ہے۔ صفحہ 420 پر مساوات 4.54 کے استعمال سے

$$g_m = \sqrt{2 \times 100 \times 10^{-6} \times 0.1 \times 10^{-3}} = 0.1414 \text{ mS}$$

اور مساوات 5.130 سے

$$|v_d| = \sqrt{2} (2.614 - 1.2) = 2 \text{ V}$$

حاصل ہوتا ہے۔ یوں $v_d = 2 \text{ V}$ پر تمام برق رو Q_1 سے گزرے گا جبکہ $v_d = -2 \text{ V}$ پر تمام برق رو Q_2 سے گزرے گا۔

مثال 5.12: مثال 5.11 میں $R_D = 50 \text{ k}\Omega$ جبکہ $V_+ = 18 \text{ V}$ کی صورت میں تفرقی جوڑے کی تفرق افزائش حاصل کریں۔ حل: مساوات 5.131 کی مدد سے

$$A_d = 0.1414 \times 10^{-3} \times 50000 = 7.07 \frac{\text{V}}{\text{V}}$$

حاصل ہوتا ہے۔

مثال 5.13: شکل 5.34 میں دکھائے گئے ماسفیٹ کے تفرقی جوڑے میں $2I = 200 \mu\text{A}$ ہے جبکہ $V_t = 1.2 \text{ V}$ ہیں۔ Q_2 کو برق زمین پر رکھتے ہوئے v_s ، v_{GS1} اور v_{G1} کی قیمتیں مندرجہ ذیل صورتوں میں حاصل کریں۔

$$i_{DS1} = 100 \mu\text{A} \quad .1$$

$$i_{DS1} = 150 \mu\text{A} \quad .2$$

$$i_{DS1} = 200 \mu\text{A} \quad .3$$

حل:

.1 $i_{DS1} = 100 \mu\text{A}$ کی صورت میں مساوات 5.121 کے تحت $i_{DS2} = 100 \mu\text{A}$ ہو گی۔ اس صورت میں دونوں ماسفیٹ میں برابر برقی رو ہو گا۔ افزائندہ ماسفیٹ کی مساوات سے

$$100 \times 10^{-6} = \frac{0.1 \times 10^{-3}}{2} (v_{GS1} - 1.2)^2$$

$$\text{سے } v_{GS1} = 2.614 \text{ V حاصل ہوتے ہیں۔ } v_{GS2} \text{ بھی اتنا ہی ہو گا۔}$$

یہاں غور کریں۔ v_{GS1} معلوم ہے لیکن v_{G1} معلوم نہیں ہے۔ اس کے برعکس v_{GS2} معلوم ہونے کے ساتھ ساتھ یہ بھی معلوم ہے کہ اس Q_2 کے گیٹ برقی زمین پر ہے۔ یوں $v_{G2} = 0 \text{ V}$ پر ہے۔

$v_{GS1} = v_{G2} - v_S$ لکھتے ہوئے اور $v_S = -2.614 \text{ V}$ حاصل ہوتا ہے۔ $v_{GS2} = v_{G1} - v_S$ میں حاصل کردہ v_S اور v_{GS1} کی قیمتیں پُر کرنے سے $v_{G1} = 0 \text{ V}$ حاصل ہوتا ہے۔

.2 $i_{DS1} = 150 \mu\text{A}$ کی صورت میں مساوات 5.121 کے تحت $i_{DS2} = 50 \mu\text{A}$ ہو گی۔ افزائندہ ماسفیٹ کے مساوات سے دونوں ماسفیٹ کے v_{GS1} حاصل کرتے ہیں۔ Q_1 کے مساوات سے

$$150 \times 10^{-6} = \frac{0.1 \times 10^{-3}}{2} (v_{GS1} - 1.2)^2$$

$$v_{GS1} = 2.932 \text{ V}$$

اور Q_2 کے مساوات سے

$$50 \times 10^{-6} = \frac{0.1 \times 10^{-3}}{2} (v_{GS2} - 1.2)^2$$

$$v_{GS2} = 2.2 \text{ V}$$

حاصل ہوتے ہیں۔ Q_2 کے معلومات سے

$$v_{GS2} = v_{G2} - v_S = 0 - v_S$$

$$\text{اور یوں } v_S = -2.2 \text{ V سے}$$

$$v_{GS1} = v_{G1} - v_S$$

$$2.932 = v_{G1} - (-2.2)$$

$$v_{G1} = 0.732 \text{ V}$$

حاصل ہوتا ہے۔

$i_{DS1} = 200 \mu\text{A}$ اور $i_{DS2} = 0 \mu\text{A}$ کی صورت میں مساوات 5.121 کے تحت Q_1 کے مساوات سے

$$200 \times 10^{-6} = \frac{0.1 \times 10^{-3}}{2} (v_{GS1} - 1.2)^2$$

$$v_{GS1} = 3.2 \text{ V}$$

اور Q_2 کے مساوات سے

$$0 = \frac{0.1 \times 10^{-3}}{2} (v_{GS2} - 1.2)^2$$

$$v_{GS2} = 1.2 \text{ V}$$

حاصل ہوتے ہیں۔ یوں

$$v_{GS2} = v_{G2} - v_S$$

$$1.2 = 0 - v_S$$

اور $v_S = -1.2 \text{ V}$ سے

$$v_{GS1} = v_{G1} - v_S$$

$$3.2 = v_{G1} - (-1.2)$$

$$v_{G1} = 2 \text{ V}$$

حاصل ہوتے ہیں۔

مثال 5.14: مثال 5.13 میں $v_{G1} = 4 \text{ V}$ کی صورت میں v_{GS1} ، v_{GS2} اور v_S کی قیمتیں حاصل کریں۔

حل: مثال 5.13 میں دیکھا گیا کہ $v_{GS1} = 3.2 \text{ V}$ کرنے سے تمام کی تمام برقی رو Q_1 کو منتقل ہو جاتی ہے۔ Q_1 کے گیٹ پر برقی دباؤ مزید بڑھانے سے i_{DS1} پر کوئی اثر نہیں پڑتا اور یہ $200 \mu\text{A}$ ہی رہتی ہے۔ یوں $v_{GS1} = 3.2 \text{ V}$ ہی رہے گا۔ یوں

$$v_{GS1} = v_{G1} - v_S$$

$$3.2 = 4 - v_S$$

حاصل ہوتا ہے اور یوں $v_S = 0.8 \text{ V}$ سے

$$v_{GS2} = v_{G2} - v_S$$

$$= 0 - 0.8$$

$$= -0.8 \text{ V}$$

ہو گا۔ اس صورت میں چونکہ $V_{GS2} < V_t$ ہے لہذا Q_2 منقطع ہو گا۔

5.14 داخلی انحرافی برقی دباؤ

MASFİET کے تفرقی جوڑے میں بھی ناقص پن پایا جاتا ہے۔ شکل 5.34 میں داخلی انحرافی برقی دباؤ²⁹ تین وجوہات سے پیدا ہو سکتا ہے۔ ڈرین پر نسب مزاہتوں میں فرق، دونوں MASFİET کے $\frac{W}{L}$ میں فرق اور دونوں MASFİET کے V_t میں فرق وہ تین وجوہات ہیں۔ آئیں ان کے اثر کو باری باری دیکھئیں۔

$$(5.132) \quad R_{D1} = R_D + \Delta R_D$$

$$R_{D2} = R_D - \Delta R_D$$

کی صورت میں دونوں MASFİET میں برابر برق رو I تصور کرتے ہوئے

$$V_{D1} = V_+ - I(R_D + \Delta R_D)$$

$$V_{D2} = V_+ - I(R_D - \Delta R_D)$$

$$V_O = V_{DS2} - V_{DS1} = 2I\Delta R_D$$

حاصل ہوتا ہے جس کو A_d سے تقسیم کرنے سے داخلی انحرافی برقی دباؤ حاصل ہوتا ہے۔ A_d کو مساوات 5.131 پیش کرتا ہے۔ صفحہ 420 پر مساوات 4.54 کے تحت $g_m = \frac{2I_{DS}}{V_{GS}-V_t}$ کے برابر ہے۔ یہاں I کو I_{DS} کہا گیا ہے۔ یوں

$$A_d = g_m R_D = \left(\frac{2I}{V_{GS}-V_t} \right) R_D$$

لکھتے ہوئے

$$V_{OS} = \frac{V_O}{A_d}$$

$$= \frac{2I\Delta R_D}{\left(\frac{2I}{V_{GS}-V_t} \right) R_D}$$

یعنی

$$(5.133) \quad V_{OS} = (V_{GS} - V_t) \left(\frac{\Delta R}{R} \right)$$

حاصل ہوتا ہے۔

input offset voltage²⁹

آئين اب k_n میں فرق کے اثرات کو دیکھئیں۔ تصور کریں کہ

$$(5.134) \quad \begin{aligned} \left(\frac{W}{L}\right)_1 &= \frac{W}{L} + \Delta \left(\frac{W}{L}\right) \\ \left(\frac{W}{L}\right)_2 &= \frac{W}{L} - \Delta \left(\frac{W}{L}\right) \end{aligned}$$

ہیں۔ ایسی صورت میں

$$\begin{aligned} i_{DS1} &= \frac{k_{n1}}{2} (V_{GS} - V_t)^2 \\ i_{DS2} &= \frac{k_{n2}}{2} (V_{GS} - V_t)^2 \end{aligned}$$

ہوں گے۔ i_{DS1} کی مساوات سے تقسیم کرتے ہوئے

$$\frac{i_{DS2}}{i_{DS1}} = \frac{\frac{k_{n2}}{2} (V_{GS} - V_t)^2}{\frac{k_{n1}}{2} (V_{GS} - V_t)^2} = \frac{k_{n2}}{k_{n1}}$$

ملتا ہے جس کے دونوں جانب ایک جمع کرتے ہوئے

$$\begin{aligned} \frac{i_{DS2}}{i_{DS1}} + 1 &= \frac{k_{n2}}{k_{n1}} + 1 \\ \frac{i_{DS2} + i_{DS1}}{i_{DS1}} &= \frac{k_{n2} + k_{n1}}{k_{n1}} \\ \frac{2I}{i_{DS1}} &= \frac{k_{n2} + k_{n1}}{k_{n1}} \end{aligned}$$

حاصل ہوتا ہے جہاں تیسرا قدم پر مساوات 5.121 کے تحت $i_{DS1} + i_{DS2} = 2I$ لکھا گیا۔ مندرجہ بالا مساوات کو الثاکری ہوئے

$$\begin{aligned} \frac{i_{DS1}}{2I} &= \frac{k_{n1}}{k_{n2} + k_{n1}} \\ &= \frac{k'_n \left[\frac{W}{L} + \Delta \left(\frac{W}{L} \right) \right]}{k'_n \left[\frac{W}{L} - \Delta \left(\frac{W}{L} \right) + \frac{W}{L} + \Delta \left(\frac{W}{L} \right) \right]} \\ &= \frac{\left[\frac{W}{L} + \Delta \left(\frac{W}{L} \right) \right]}{2 \frac{W}{L}} \end{aligned}$$

لکھا جا سکتا ہے جس سے

$$(5.135) \quad i_{DS1} = I \left[1 + \frac{\Delta \left(\frac{W}{L} \right)}{\frac{W}{L}} \right]$$

حاصل ہوتا ہے۔ مساوت 5.121 کو استعمال کرتے ہوئے

$$i_{DS2} = 2I - i_{DS1}$$

$$= 2I - I \left[1 + \frac{\Delta \left(\frac{W}{L} \right)}{\frac{W}{L}} \right]$$

سے

$$(5.136) \quad i_{DS2} = I \left[1 - \frac{\Delta \left(\frac{W}{L} \right)}{\frac{W}{L}} \right]$$

حاصل ہوتا ہے۔ ان i_{DS1} اور i_{DS2} کے استعمال سے

$$(5.137) \quad V_{OS} = (V_{GS} - V_t) \left[\frac{\Delta \left(\frac{W}{L} \right)}{\frac{W}{L}} \right]$$

حاصل ہوتا ہے۔ آخر میں دونوں ماسفیٹ کے V_t میں فرق کے اثرات کو دیکھتے ہیں۔ فرض کریں کہ

$$(5.138) \quad V_{f1} = V_t + \Delta V_t$$

$$V_{f2} = V_t - \Delta V_t$$

بین۔ اس صورت میں

$$i_{DS1} = \frac{k_n}{2} (V_{GS} - V_t - \Delta V_t)^2$$

$$= \frac{k_n}{2} (V_{GS} - V_t)^2 \left(1 - \frac{\Delta V_t}{V_{GS} - V_t} \right)^2$$

$$i_{DS2} = \frac{k_n}{2} (V_{GS} - V_t + \Delta V_t)^2$$

$$= \frac{k_n}{2} (V_{GS} - V_t)^2 \left(1 + \frac{\Delta V_t}{V_{GS} - V_t} \right)^2$$

لکھا جا سکتا ہے جہاں $(V_{GS} - V_t)$ کو قوصین کے باہر لایا گیا۔ دونوں مساوات میں دائیں جانب قوصین کھولتے ہیں۔

$$i_{DS1} = \frac{k_n}{2} (V_{GS} - V_t)^2 \left[1 - \frac{2\Delta V_t}{V_{GS} - V_t} + \left(\frac{\Delta V_t}{V_{GS} - V_t} \right)^2 \right]$$

$$i_{DS2} = \frac{k_n}{2} (V_{GS} - V_t)^2 \left[1 + \frac{2\Delta V_t}{V_{GS} - V_t} + \left(\frac{\Delta V_t}{V_{GS} - V_t} \right)^2 \right]$$

اگر $\left(\frac{\Delta V_t}{V_{GS} - V_t} \right)^2$ کو نظر انداز کیا جا سکتا ہے۔ یوں

$$i_{DS1} = \frac{k_n}{2} (V_{GS} - V_t)^2 \left[1 - \frac{2\Delta V_t}{V_{GS} - V_t} \right]$$

$$i_{DS2} = \frac{k_n}{2} (V_{GS} - V_t)^2 \left[1 + \frac{2\Delta V_t}{V_{GS} - V_t} \right]$$

حاصل ہوتے ہیں۔ ان مساوات میں

$$I = \frac{k_n}{2} (V_{GS} - V_t)^2$$

پُر کرنے سے انہیں

$$i_{DS1} = I \left[1 - \frac{2\Delta V_t}{V_{GS} - V_t} \right]$$

$$i_{DS2} = I \left[1 + \frac{2\Delta V_t}{V_{GS} - V_t} \right]$$

لکھا جا سکتا ہے۔ یوں

$$v_{D1} = V_+ - i_{DS1} R_D$$

$$v_{D2} = V_+ - i_{DS2} R_D$$

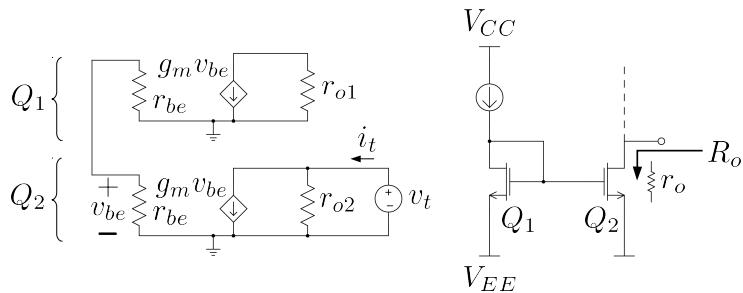
سے

$$V_O = (i_{DS1} - i_{DS2}) R_D$$

$$= -4IR_D \left(\frac{\Delta V_t}{V_{GS} - V_t} \right)$$

اور

$$(5.139) \quad V_{OS} = \frac{V_O}{A_d} = -2\Delta V_t$$



شکل 5.36: سادہ آئینے کی خارجی مزاحمت

حاصل ہوتا ہے۔ $\Delta R_S = \frac{W}{L} (V_{GS} - V_t)$ اور V_{OS} کو کم رکھنے کی خاطر ماسفیٹ کو کم سے کم R_C میں فرق اور دونوں ٹرانزسٹروں کے I_S میں فرق کی بنا پر پیدا ہوتا ہے۔ ماسفیٹ کے تفرقی جوڑے میں داخلی انحراف برق دباؤ پیدا کرنے کی تیسری وجہ V_t بھی پائی جاتی ہے۔

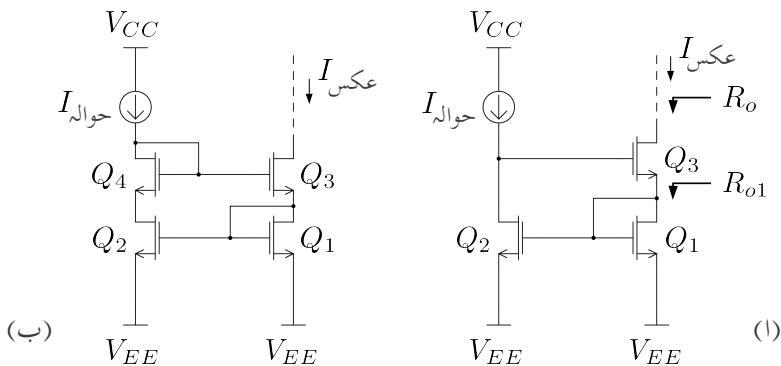
5.15 ماسفیٹ آئینے برقی رو

شکل 5.36 میں ماسفیٹ کا سادہ آئینے برق رو دکھایا گیا ہے جس کو دیکھتے ہیں کہ $R_0 = r_{o2}$ کے برابر ہے۔ آئینے ہی نتیجہ ماسفیٹ ماذل استعمال کرتے ہوئے حاصل کریں۔ خارجی مزاحمت حاصل کرنے کی خاطر Q_2 کے ڈرین پر باریک اشاراتی v_t لاگو کرتے ہوئے i_t کا تخمینہ لگا کر $\frac{v_t}{i_t}$ سے خارجی مزاحمت R_0 حاصل کیا جا سکتا ہے۔ شکل 5.36 میں دونوں ٹرانزسٹروں کے ماذل استعمال کرتے ہوئے مساوی باریک اشاراتی مساوی دور بھی دکھایا گیا ہے۔ v_t کی عدم موجودگی میں دونوں ٹرانزسٹروں کے $v_{be} = 0V$ رہتے ہیں جس کی بنا پر دونوں کے $g_m v_{be} = 0A$ ہوں گے۔ v_t لاگو کرنے سے دونوں ٹرانزسٹروں کے v_{be} پر برق دباؤ تبدیل نہیں ہوتا لہذا اب بھی دونوں کے $g_m v_{be} = 0A$ ہی ہوں گے۔ اس طرح $i_t = \frac{v_t}{r_{o2}}$ جس سے $R_0 = r_{o2}$ حاصل ہوتا ہے۔

جبکہ آپ جانتے ہیں کہ آئینے کی خارجی مزاحمت جتنی زیادہ ہو اتنا بہتر ہے۔ آئین ماسفیٹ کے ولسن آئینے پر غور کریں اور دیکھیں کہ اس کی خارجی مزاحمت کتنی حاصل ہوتی ہے۔

شکل 5.37 میں ولسن آئینے برق رو دکھایا گیا ہے۔ دو جوڑ ٹرانزسٹر سے بنائے گئے ولسن آئینے میں ماسفیٹ استعمال کرنے سے یہ دور حاصل کیا گیا ہے۔ شکل 5.37 ب میں Q_4 کا اضافہ کرتے ہوئے Q_1 اور Q_2 کے V_{DS} برابر کر دئے گئے ہیں۔ ایسا کرنے سے ولسن آئینے میں ارلی برق دباؤ کا اثر ختم ہو جاتا ہے۔

خارجی مزاحمت حاصل کرنے کی خاطر شکل 5.37 میں Q_3 کے ڈرین پر v_t لاگو کرتے ہوئے i_t کا تخمینہ لگاتے ہیں۔ خارجی مزاحمت ان دونوں کی شرح کو کہتے ہیں۔ آئین پہلے Q_1 پر غور کریں۔ صفحہ 360 پر شکل 3.130 میں دو جوڑ ٹرانزسٹر کے کلکٹر اور بیس کو جوڑ کر ڈائوڈ حاصل



شکل 5.37: ولسن آئینے کی خارجی مزاحمت

کیا گیا ہے۔ شکل 5.37 الف میں Q_1 کو اسی طرز پر جوڑا گیا ہے۔ آئیں شکل 5.37 الف میں Q_1 کا خارجی مزاحمت R_{o1} حاصل کریں۔ R_o حاصل کرنے کی خاطر Q_1 کے ڈرین پر v_{t1} لاگو کرتے ہوئے i_t کا تخمینہ لگاتے ہیں۔ شکل 5.38 میں ایسا کرتے ہوئے Q_1 کا باریک اشاراق مساوی دور بنایا گیا ہے۔ چونکہ ڈرین اور گیٹ آپس میں جڑیں ہیں لہذا $v_t = v_{gs1}$ ہے۔ یوں

$$\begin{aligned} i_{t1} &= g_{m1}v_{gs1} + \frac{v_{t1}}{r_{o1}} \\ &= g_{m1}v_{t1} + \frac{v_{t1}}{r_{o1}} \end{aligned}$$

لکھتے ہوئے

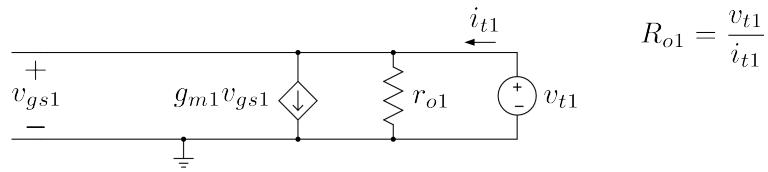
$$(5.140) \quad R_{o1} = \frac{v_{t1}}{i_{t1}} = \frac{r_{o1}}{1 + g_{m1}r_{o1}}$$

حاصل ہوتا ہے۔ $1 \gg g_{m1}r_{o1}$ کی بنا پر اس مساوات کو

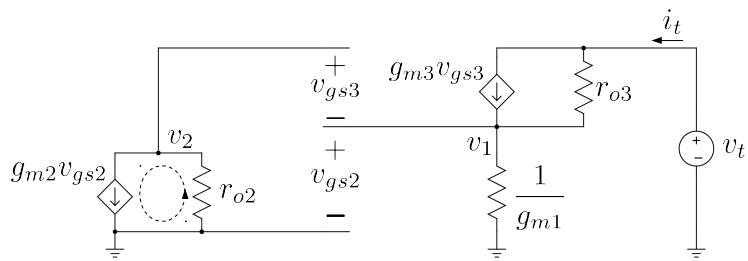
$$(5.141) \quad R_{o1} \approx \frac{1}{g_{m1}}$$

لکھا جا سکتا ہے۔ اس مساوات کے تحت ڈائیوڈ کے طرز پر جڑیں ماسفیٹ کو مزاحمت $\frac{1}{g_m}$ تصور کیا جا سکتا ہے۔ یہ ایک ابم اور عمومی نتیجہ ہے۔

شکل 5.37 الف میں Q_1 کی جگہ مزاحمت $\frac{1}{g_{m1}}$ جبکہ بقایا ٹرانزسٹروں کے ماذل استعمال کرتے ہوئے شکل 5.39 حاصل ہوتا ہے۔ یہاں رک کر تسلی کر لیں کہ یہی مساوی دور ہے۔



شكل 5.38: ماسفیٹ بطور ڈائوڈ



شكل 5.39: ماسفیٹ ولسن آئینے کا باریک اشاراتی مساوی دور

شکل 5.39 میں Q_1 کے ڈرین پر برق دباؤ کو v_1 کہا گیا ہے۔ تمام کی تمام مزاحمت i_t سے گزرتی ہے لہذا $v_1 = g_{m1}v_{gs2}$ کے برابر ہے۔ آپ دیکھ سکتے ہیں کہ v_1 دراصل v_{gs2} ہی ہے لہذا

$$(5.142) \quad v_{gs2} = v_1 = \frac{i_t}{g_{m1}}$$

لکھا جا سکتا ہے۔ یوں Q_2 کے ماذل میں

$$g_{m2}v_{gs2} = \frac{g_{m2}i_t}{g_{m1}}$$

کے برابر ہو گا۔ آپ دیکھ سکتے ہیں کہ یہی برق رو r_{o2} میں برق زمین سے جوڑ v_2 کی جانب رو ہے۔ یوں

$$v_2 = -\frac{g_{m2}r_{o2}i_t}{g_{m1}}$$

کے برابر ہے۔ چونکہ $v_2 = v_{gs3}$ ہی ہے لہذا

$$(5.143) \quad v_{gs3} = -\frac{g_{m2}r_{o2}i_t}{g_{m1}}$$

کے برابر ہے۔ یوں کوچاف کے قانون برائے برق رو کی مدد سے

$$\begin{aligned} i_t &= g_{m3}v_{gs3} + \frac{v_t - v_1}{r_{o3}} \\ &= -\frac{g_{m2}g_{m3}r_{o2}i_t}{g_{m1}} + \frac{v_t - g_{m1}i_t}{r_{o3}} \end{aligned}$$

لکھا جا سکتا ہے جہاں دوسری قدم پر مساوات 5.142 اور مساوات 5.143 کا استعمال کیا گیا۔ اس کو

$$i_t + \frac{g_{m2}g_{m3}r_{o2}i_t}{g_{m1}} + \frac{g_{m1}i_t}{r_{o3}} = \frac{v_t}{r_{o3}}$$

لکھتے ہوئے

$$(5.144) \quad R_o = \frac{v_t}{i_t} = r_{o3} + \frac{g_{m2}g_{m3}r_{o2}r_{o3}}{g_{m1}} + g_{m1}$$

حاصل ہوتا ہے۔ اگر تمام ماسفیٹ بالکل یکسان ہوں تب $v_t = g_m = g_{m2} = g_{m3} = g_{m1} = g_{m2} = r_{o2}$ اور $r_{o3} = r_o$ لکھا جا سکتا ہے۔ مندرجہ بالا مساوات میں درمیانی جزو بقايا دو اجزاء سے ہت بڑی ہے لہذا پہلی اور آخری اجزاء کو نظر انداز کرتے ہوئے

$$(5.145) \quad R_o \approx g_m r_o^2$$

حاصل ہوتا ہے۔

5.15.1 برقی سپلائی کے اثرات سے آزاد پیداکار برقی رو

مختلف آئینہ برق رو پر تبصری کے دوران یہ تصور کیا گیا کہ جو I_{CC} ایک مستقل مقدار ہے جس پر V_{EE} وغیرہ کا کوئی اثر نہیں۔ آئین ایسے پیداکار برق رو پر غور کریں جس کی پیدا کردہ برقی رو پر V_+ ، V_- وغیرہ کا کوئی اثر نہیں ہوتا۔ ایسے پیداکار برق رو کو شکل 5.40 میں دکھایا گیا ہے۔ تمام ماسفیٹ کو افزائشہ تصور کریں Q_3 اور Q_4 مل کر پیدا کار برق رو بناتے ہیں جسے اب تک ہم دیکھتے آ رہے ہیں اور Q_4 بالکل یکساں ہیں۔ یوں $I_{D1} = I_{D2}$ ہو گا۔ آئین اب Q_1 اور Q_2 پر غور کریں۔ Q_1 کا برق رو I_{D1} ہی ہے۔ اسی طرح Q_2 کا برق رو I_{D2} ہی ہے۔ یوں

$$I_{D1} = \frac{k'_n}{2} \left(\frac{W}{L} \right)_1 (V_{GS1} - V_t)^2$$

$$I_{D2} = \frac{k'_n}{2} \left(\frac{W}{L} \right)_2 (V_{GS2} - V_t)^2$$

ان دونوں برق رو کو برابر لکھتے ہوئے

$$(5.146) \quad \frac{k'_n}{2} \left(\frac{W}{L} \right)_1 (V_{GS1} - V_t)^2 = \frac{k'_n}{2} \left(\frac{W}{L} \right)_2 (V_{GS2} - V_t)^2$$

حاصل ہوتا ہے۔ ساتھ ہی ساتھ شکل کو دیکھتے ہوئے ہم لکھ سکتے ہیں

$$(5.147) \quad V_{GS1} = V_{GS2} + I_{D2}R$$

مساوات 5.147 کو مساوات 5.146 میں پُر کرتے ہوئے کے لئے حل کرتے ہیں۔

$$\frac{k'_n}{2} \left(\frac{W}{L} \right)_1 (V_{GS2} + I_{D2}R - V_t)^2 = \frac{k'_n}{2} \left(\frac{W}{L} \right)_2 (V_{GS2} - V_t)^2$$

دونوں اطراف کا جزر لیتے ہوئے

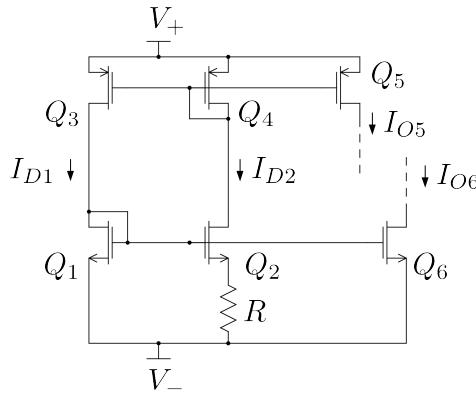
$$\sqrt{\left(\frac{W}{L} \right)_1} (V_{GS2} + I_{D2}R - V_t) = \sqrt{\left(\frac{W}{L} \right)_2} (V_{GS2} - V_t)$$

سے

$$R = \frac{V_{GS2} - V_t}{I_{D2}} \left[\sqrt{\frac{\left(\frac{W}{L} \right)_2}{\left(\frac{W}{L} \right)_1}} - 1 \right]$$

حاصل ہوتا ہے۔ I_{D2} - کی مساوات سے

$$V_{GS2} - V_t = \sqrt{\frac{I_{D2}}{\frac{k'_n}{2}}}$$



شکل 5.40: سپلائی کے اثرات سے آزاد پیداکار برقی رو

لکھا جا سکتا ہے۔ یوں

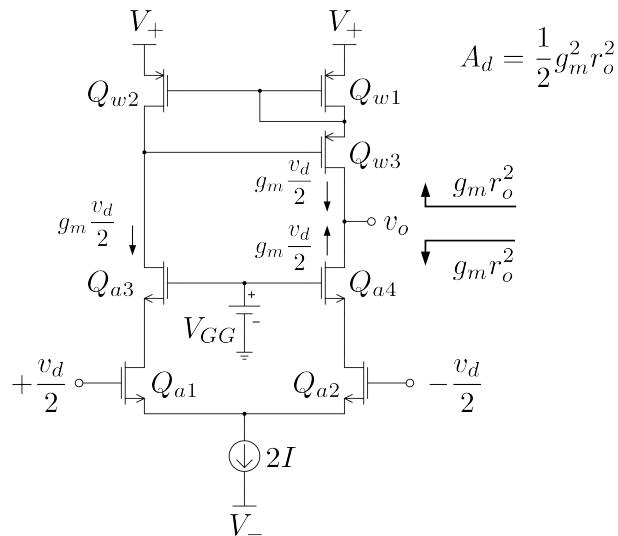
$$(5.148) \quad R = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{k_{n2} I_{D2}}} \left[\sqrt{\left(\frac{W}{L}\right)_2} - 1 \right]$$

حاصل ہوتا ہے۔ اس قیمت کی مزاحمت اس بات کو یقینی بنائے گی کہ $I_{D1} = I_{D2}$ ہوں گے۔ چونکہ $R \geq 0$ ہوتا ہے لہذا

$$\left(\frac{W}{L}\right)_2 \geq \left(\frac{W}{L}\right)_1$$

ہو گا۔ Q_1 کے برقی رو کے عکس لینے کی خاطر V_{GS1} برقی دباؤ مزید ماسفیٹ کو دیا جاتا ہے۔ شکل میں یوں Q_6 سے عکس I حاصل کیا گیا ہے جسے I_{O6} سے ظاہر کیا گیا ہے۔ اسی طرح Q_4 کے برقی رو کے عکس لینے کی خاطر V_{GS4} برقی دباؤ مزید ماسفیٹ کو دیا جاتا ہے۔ شکل میں یوں Q_5 سے عکس I حاصل کیا گیا ہے جسے ظاہر کیا گیا ہے۔

I_{D1} اور I_{D2} اس وقت تک V_+ اور V_- کے اثرات سے آزاد رہتے ہیں جب تک Q_2 اور Q_3 افزائندہ رہیں۔ یاد رہیے کہ Q_1 کا گیٹ اور اس کا ڈرین آپس میں جڑے ہیں لہذا یہ بر صورت افزائندہ ہی رہتا ہے۔ اسی طرح Q_4 کا گیٹ اور ڈرین بھی آپس میں جڑے ہیں لہذا یہ ماسفیٹ بھی بر صورت افزائندہ ہی رہتا ہے۔ اور Q_4 کا V_{SG4}



شکل 5.41: ماسفیٹ کیسکوڈ تفرقی ایمپلیفائر

5.16 ماسفت کیسکوڈ ترقی، ایمیلیفائے

شکل 5.41 میں ماسفیٹ سے بنایا گیا کیسکوڈ تفرقی ایمپلیفار دکھایا گیا ہے جس میں ولسن آئینے کو بطور برقی بار استعمال کیا گیا ہے۔ ولسن آئینے کی خارجی مزاحمت گرگشتہ حصے میں حاصل کی گئی۔ آئین کیسکوڈ کی خارجی مزاحمت بھی حاصل کریں۔ ایسا کرنے کی خاطر Q_{44} کے ڈرین پر V_4 مہیا کرتے ہوئے ہیں کا تضمین لگائیں گے۔ V_4 خارجی مزاحمت ہو گا۔

شکل 5.42 میں کیسکوڈ ایپلیفائر کا مطلوبہ حصہ دکھایا گیا ہے۔ ساتھ ہی دونوں ماسفیٹ کے باریک اشاراتی ماذل استعمال کرتے ہوئے مساوی دور بھی بنایا گیا ہے جہاں تفرق داخلي اشارہ 0 = v_d رکھا گیا ہے۔ چونکہ Q_{02} کا سورس اور گیث دونوں برق زمین پر پس لہذا 0 = v_{gs2} ہے۔ یوں 0 = v_{gs2} ہو گا۔ اس طرح Q_{02} کی جگہ صرف r_{02} نسب کیا جا سکتا ہا۔ آپ دیکھ سکتے ہیں کہ i_t تمام کی تمام r_{02} سے گرفتی ہے لہذا $i_t r_{02} = v_1 - v_7$ کے برابر ہے۔ شکل سے صاف ظاہر ہے کہ $v_1 - v_7 = v_{gs4}$ ہے۔ یوں

$$(5.149) \quad \begin{aligned} v_1 &= i_t r_{o2} \\ v_{gs4} &= -i_t r_{o2} \end{aligned}$$

لکھا جا سکتا ہے۔ کرجاف کے قانون برائے برق روکی مدد سے

$$\begin{aligned} i_t &= g_{m4} v_{gs4} + \frac{v_t - v_1}{r_{o4}} \\ &= -i_t g_{m4} r_{o2} + \frac{v_t - i_t r_{o2}}{r_{o4}} \end{aligned}$$

لکھا جا سکتا ہے جہاں دوسری قدم پر مساوات 149.5 کا سہارا لیا گیا۔ اس مساوات کو

$$i_t + i_t g_{m4} r_{o2} + \frac{i_t r_{o2}}{r_{o4}} = \frac{v_t}{r_{o4}}$$

لکھتے ہوئے

$$(5.150) \quad R_o = \frac{v_t}{i_t} = r_{o4} + g_{m4} r_{o2} r_{o4} + r_{o2}$$

حاصل ہوتا ہے جہاں درمیانی جزو بقايا دو اجزاء سے ہوتے ہیں لہذا پہلی اور تیسرا جزو کو نظر انداز کیا جا سکتا ہے۔ ساتھ ہی ساتھ اگر تمام ماسفیٹ بالکل یکسان ہوں تب $g_{m2} = g_{m4} = g_m$ اور $R_o = r_{o2} = r_{o4} = r_o$ لکھا جا سکتا ہے۔ یوں

$$(5.151) \quad R_o = g_m r_o^2$$

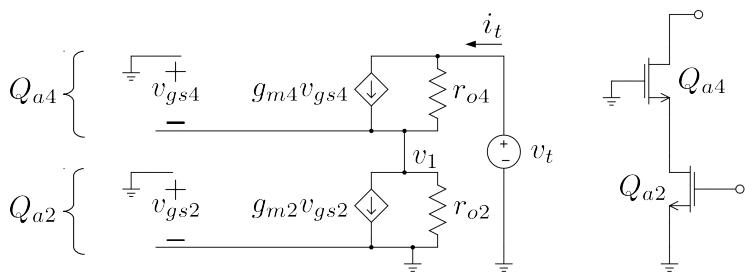
حاصل ہوتا ہے۔ شکل 5.41 میں اس خارجی مزاحمت کو دکھایا گیا ہے۔ کیسکوڈ نفرق جوڑے کی خارجی مزاحمت اور ولسن آئینے کی خارجی مزاحمت آپس میں متوازی جڑے پس لہذا ان کا مجموع $\frac{8m r_o^2}{2}$ ہو گا۔ یوں کیسکوڈ نفرقی ایمپلیفائر کا خارجی اشارہ

$$v_o = \left(g_m \frac{v_d}{2} + g_m \frac{v_d}{2} \right) \left(g_m r_o^2 \right)$$

ہو گا جس سے

$$(5.152) \quad A_d = \frac{1}{2} g_m^2 r_o^2$$

حاصل ہوتا ہے۔



شکل 5.42: ماسفیٹ کیسکوڑہ کا خارجی مزاحمت

سوالات

سوال 5.1: شکل 5.1 میں $R_C = 15 \text{ k}\Omega$ ، $I = 0.5 \text{ mA}$ ، $V_{EE} = -10 \text{ V}$ ، $V_{CC} = 10 \text{ V}$ اور $\alpha = 0.97$ بیں۔ $v_{B1} = v_{B2} = -2 \text{ V}$ کی صورت میں v_o حاصل کریں۔ مشترکہ اشارے کی بلند تر قیمت حاصل کریں۔

جواب: $0 \text{ V} \leq V_{CM} \leq 3.15 \text{ V}$

سوال 5.2: شکل 5.1 میں $R_C = 15 \text{ k}\Omega$ ، $I = 0.25 \text{ mA}$ ، $V_{EE} = -10 \text{ V}$ ، $V_{CC} = 10 \text{ V}$ اور $\alpha = 0.97$ بیں۔ $v_{B2} = -3.1 \text{ V}$ اور $v_{B1} = -2 \text{ V}$ کی صورت میں v_o حاصل کریں۔

جواب: 7.35 V

سوال 5.3: مساوات 5.18 حاصل کریں۔

سوال 5.4: سوال 5.2 میں $v_{B1} = -2.1 \text{ V}$ اور $v_{B2} = -2.101 \text{ V}$ کی صورت میں v_o حاصل کریں۔

سوال 5.5: مساوات 5.24 حاصل کریں۔

سوال 5.6: i_{DS1} کو i پر تقسیم کرتے ہوئے مساوات 5.136 حاصل کریں۔

سوال 5.7: مساوات 5.137 حاصل کریں۔

سوال 5.8: اگر شکل 5.23 میں Q_{11} کا لبریزی برق رو $I_S \times 4$ ہو تو $v_O = 0 \text{ V}$ حاصل کرنے کے لئے درکار R_{B8} حاصل کریں۔

جواب: $25.2 \text{ k}\Omega$

سوال 5.9: شکل 5.23 میں $V_{EE} = -15 \text{ V}$ ، $V_{CC} = 15 \text{ V}$ بیے۔ تمام ٹرانزسٹر کا $\beta = 100$ ہے۔ Q_9 کا $I_{C9} = 1 \text{ mA}$ درکار ہے۔ R_{C9} کا شامل کرتے ہوئے $V_{C2} = V_{C3} = 7.5 \text{ V}$ حاصل کرنے کی خاطر R_{C2} حاصل کرنے کی خاطر $R_{C5} = 10 \text{ V}$ حاصل کرنے کی خاطر $R_{C5} = 0.5 \text{ mA}$ درکار R_{E7} حاصل کریں۔ اور $v_O = 0 \text{ V}$ حاصل کرنے کے لئے درکار R_{E8} اور R_{B8} حاصل کریں۔

جوابات: $R_{E7} = 8.6 \text{ k}\Omega$ ، $R_{C5} = 3.33 \text{ k}\Omega$ ، $R_{C2} = 4.2857 \text{ k}\Omega$ ، $R_{C9} = 28.6 \text{ k}\Omega$ ، $R_{E8} = 2.5 \text{ k}\Omega$ اور $R_{B8} = 31.4 \text{ k}\Omega$

سوال 5.10: سوال 5.9 میں R_{C5} کی کس قیمت پر Q_5 غیر افراٹنڈ ہو جائے گا۔ یاد رہیں کہ ٹرانزسٹر اس وقت غیر افراٹنڈ ہوتا ہے جب اس کا $V_{CB} \leq 0.5 \text{ V}$ ہو۔

جواب: $5.333 \text{ k}\Omega$

سوال 5.11: سوال 5.9 میں چاروں ایمپلیفائر کے داخلی مزاحمت حاصل کریں۔
جوابات: $2\text{M}\Omega$, $3.33\text{k}\Omega$, $860\text{k}\Omega$ اور $250\text{k}\Omega$

سوال 5.12: سوال 5.9 میں تمام تفرقی ایمپلیفائر کی افزائش حاصل کرتے ہوئے کُل افراش A_d حاصل کریں۔

$$\text{جوابات: } A_d = 4380 \frac{\text{V}}{\text{V}}, 1, -3.65 \frac{\text{V}}{\text{V}}, -100 \frac{\text{V}}{\text{V}}$$

سوال 5.13: سوال 5.9 میں $v_d = 200\mu\text{V}$ ہے۔ دوسرے، تیسرا اور چوتھے تفرقی ایمپلیفائر کے خارجی اشارے دریافت کریں۔

$$\text{جواب: } 0.876\text{V}, 0.876\text{V}, 0.24\text{V}, 2.4\text{mV}$$

سوال 5.14: سوال 5.9 میں A_i حاصل کرتے ہوئے A_d کی قیمت حاصل کریں۔

سوال 5.15: صفحہ 528 پر شکل 5.29 ب میں $R_E = 12\text{k}\Omega$ جبکہ R_E بین-عکس I حاصل کریں۔

جواب: $I = 0.83\text{mA}$ اور $I_o = 9.3\mu\text{A}$ با آسانی حاصل کیا جا سکتا ہے۔ اس کے علاوہ بار بار حل کرتے ہوئے ہتر سے ہتر جواب حاصل کرتے ہوئے بھی جواب حاصل کیا جا سکتا ہے۔

سوال 5.16: صفحہ 529 پر شکل 5.30 الف میں ولسن آئینہ دکھایا گیا ہے۔ ٹرانزستر کا $\beta = 100$ جبکہ ارلی برق دباؤ $V_A = 150\text{V}$ ہے۔ $V_A = 1.5\text{mA}$ کی صورت میں خارجی مزاحمت R_o حاصل کریں۔

$$\text{جواب: } R_o = 5\text{M}\Omega, r_o = 100\text{k}\Omega$$

سوال 5.17: صفحہ 548 پر شکل 5.36 میں ماسفیٹ ولسن آئینہ دکھایا گیا ہے۔ $V_A = 50\text{V}$ اور $k_n = 0.4 \frac{\text{mA}^2}{\text{V}}$ لیتے ہوئے $I_{DS} = 1.5\text{mA}$ پر آئینے کی خارجی مزاحمت R_o اور افزائش A_d حاصل کریں۔

$$\text{جواب: } A_d = 666 \frac{\text{V}}{\text{V}}, R_o = 1.22\text{M}\Omega$$

سوال 5.18: صفحہ 534 پر شکل 5.33 میں تفرقی کیسکوڈ ایمپلیفائر دکھایا گیا ہے۔ اگر $\beta = 100$ اور $V_A = 200\text{V}$ ہوں تب A_d کی قیمت کیا ہو گی؟ اگر $v_d = 0.00002 \sin \omega t$ ہو تو v_o کیا ہو گا؟

$$\text{جوابات: } v_o = 5.34 \sin \omega t, A_d = 267 \frac{\text{kV}}{\text{V}}$$

الباب 6

ایمپلیفائر کا تعددی رد عمل اور فلٹر

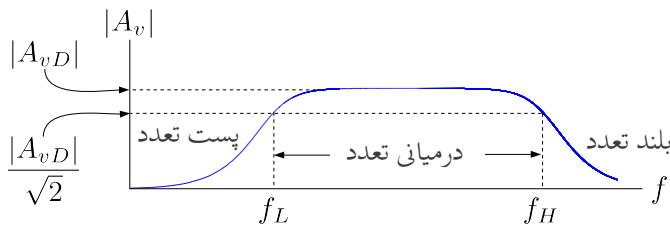
6.1 پست تعددی رد عمل

ٹرانزسٹر باب کے حصہ 3.0 میں ایمپلیفائر میں کپیسٹر کا استعمال دکھایا گیا جہاں کپیسٹر کی قیمت لامحدود تصور کرتے ہوئے ادوار حل کئے گئے۔ اس باب میں کپیسٹر کے کردار پر تفصیلاً بحث کی جائے گی اور اس کی قیمت تعین کرنا سکھایا جائے گا۔

اس باب میں افزائش کی حتمی قیمت $|A|$ کو افزائش ہی پکارا جائے گا۔ جہاں وضاحت کی ضرورت ہو وہاں اسے افزائش کی حتمی قیمت کہ کر پکارا جائے گا۔ ٹرانزسٹر ایمپلیفائر کی افزائش A_v (یا A_i) کے حتمی قیمت کی تعددی رد عمل عموماً شکل 6.1 کے طرز پر ہوتی ہے۔ ایسا خط عموماً لاگ-لاگ¹ محدود پر کھینچا جاتا ہے۔ ایمپلیفائر کی زیادہ سے زیادہ افزائش A_{vD} (یا A_{iD}) درمیانی تعدد پر رونما ہوتی ہے جبکہ بہت کم اور بہت زیادہ تعدد پر اس کی قیمت گھٹ جاتی ہے۔ شکل میں f_L اور f_H دو ایسے تعداد کی وضاحت کی ہیں جس پر افزائش کم ہوتے ہوتے $\frac{|A_{vD}|}{\sqrt{2}}$ (یا $\frac{|A_{iD}|}{\sqrt{2}}$) ہو جاتی ہے۔ f_L کو پست انقطعی تعدد² جبکہ f_H کو بلند انقطعی تعدد³ کہتے ہیں۔ ایمپلیفائر کی تعددی رد عمل کی بات کرتے ہوئے تعدد کی تین خطے یا حدود کا عموماً ذکر ہوتا ہے جنہیں پست تعدد⁴، درمیانی تعدد⁵ اور بلند تعدد⁶ کہے جاتے ہیں۔ A_{vD} لکھتے ہوئے زیر نوشت میں D اس حقیقت کو ظاہر کرتا ہے کہ افزائش کی یہ قیمت درمیانی⁸ تعدد پر پائی جاتی ہے۔ اگرچہ f_L سے کم تعدد یا f_H سے زیادہ تعدد پر بھی ایمپلیفائر کو استعمال کیا جا سکتا ہے البتہ ان خطوں میں ایمپلیفائر کی

log-log ¹
low cut-off frequency ²
high cut-off frequency ³
low frequency ⁴
mid frequency ⁵
high frequency ⁶
limits ⁷

⁸ لفظ درمیانی کے پہلے حرف "د" کی آواز سے D حاصل کی گئی ہے



شکل 6.1: عمومی تعددی رد عمل

افرائش کم ہوتی ہے۔ اسی لئے f_H تا f_L کو ایمپلیفائر کا **دائرہ کارکردگی**⁹ B کہتے ہیں یعنی

$$(6.1) \quad B = f_H - f_L$$

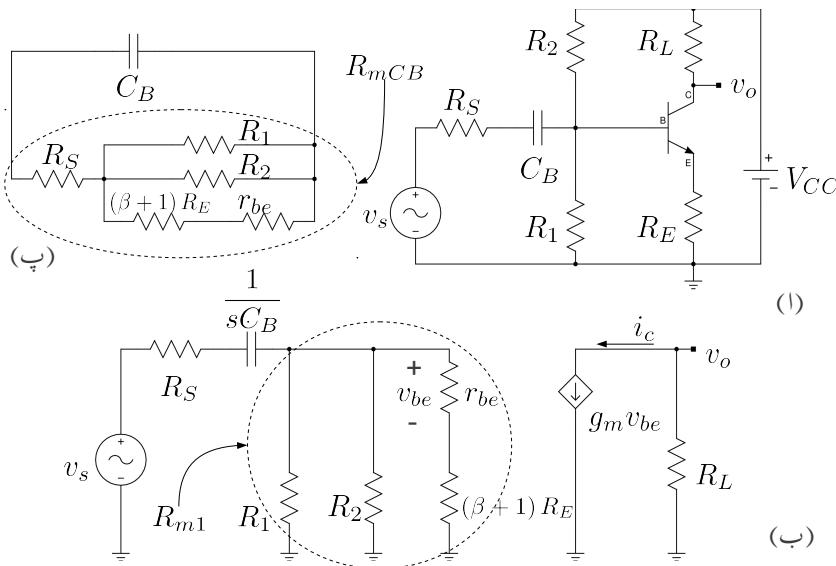
اگر $f_H \gg f_L$ ہوتا ہے تو $B \approx f_H$ لکھا جا سکتا ہے یعنی

$$(6.2) \quad B \approx f_H$$

مشترکہ ایمپلیفائر کے داخلی اشارے کی رسائی عموماً بذریعہ جفتی کپیسٹر C_B^{10} کی جاتی ہے جبکہ اس سے خارجی اشارے کی حصولی عموماً بذریعہ جفتی کپیسٹر C_C کی جاتی ہے۔ مزید یہ کہ قصیری کپیسٹر¹¹ C_E اشارے کو مزاحمت R_E کے مقابلہ راستے فراہم کرتے ہوئے افراش بڑھاتا ہے۔ اس باب کے پہلے چند حصوں میں ان کپیسٹروں کا پست انقطعاعی تعدد کے ساتھ تعلق پر غور کیا جائے گا۔ کم تعداد پر ان کپیسٹروں کی برقی رکاوٹ بڑھ جاتی ہے جس کی وجہ سے A_v () کی قیمت گھٹتی ہے۔ یوں یہی بیرونی¹² کپیسٹر پست انقطعاعی تعدد f_L کی قیمت تعین کرتے ہیں۔ حقیقت میں پست انقطعاعی تعدد f_L کا داروں مدار کپیسٹر C_E پر ہوتا ہے۔ بلند تعداد پر ان تمام بیرونی کپیسٹروں کی برقی رکاوٹ کم ہو جاتی ہے اور انہیں قصر دور تصور کیا جاتا ہے۔ مثال 6.10 میں بیرونی نسب کپیسٹر کی وجہ سے پیدا بلند انقطعاعی نکتہ دکھایا گیا ہے۔

ٹرانزسٹر کے $B - E$ اور $B - C$ جوڑ پر اندروں کپیسٹر $C_{b'e}$ اور $C_{b'c}$ پائی جاتے ہیں۔ درمیانی تعداد اور اس سے کم تعداد پر ان اندروں کپیسٹروں کی برقی رکاوٹ اتنی زیادہ ہوئی ہے کہ انہیں کھلے دور تصور کیا جاتا ہے۔ بلند تعداد پر ان کی برقی رکاوٹ کم ہو جاتی ہے اور انہیں نظر انداز کرنا ممکن نہیں رہتا۔ انہیں اندروں کپیسٹروں کی وجہ سے بلند تعداد پر A_v () کی قیمت گھٹتی ہے۔ یوں کم تعداد پر ٹرانزسٹر ایمپلیفائر کی افراش حاصل کرتے وقت صرف بیرونی کپیسٹروں کو مدد نظر رکھا جاتا ہے جبکہ اندروں کپیسٹروں کو کھلے دور تصور کیا جاتا ہے۔ اسی طرح بلند تعداد پر صرف اندروں کپیسٹروں

band⁹
coupling capacitor¹⁰
bypass capacitor¹¹
وغیرہ بیرونی کپیسٹر ہیں جنہیں ٹرانزسٹر کے ساتھ جوڑا جاتا ہے
 C_C, C_E, C_B^{12}

شکل 6.2: کپیسٹر C_B کا کردار

کو مدِ نظر رکھا جاتا ہے جبکہ بیرونی کپیسٹروں کو قصر دور تصور کیا جاتا ہے اور درمیانی تعداد پر بیرونی کپیسٹروں کو قصر دور جبکہ اندروونی کپیسٹروں¹³ کو کھلے دور تصور کیا جاتا ہے۔ اس باب میں تمام مساوات لاپلاس بدلت¹⁴ استعمال کرتے ہوئے s کے ساتھ لکھے جائیں گے۔ سائن گما اشارات کے لئے s کی جگہ $j\omega$ لکھتے ہوئے جوابات حاصل کئے جاتے ہیں۔

6.2 بیس سرے پر کپیسٹر C_B

ایپلیفائر استعمال کرتے وقت اس کے داخلی اور خارجی جانب مختلف چیزیں جوڑی جا سکتی ہیں مثلاً لاوڈ سیکر یا دوسرا ایپلیفائر۔ ایسی بیرونی اشیاء جوڑتے وقت یہ ضروری ہے کہ ٹرانزسٹر کا نقطہ کارکردگی اپنی جگہ برقرار رہے۔ کپیسٹر یک سمتی برقی روکر کھلے سرے کردار ادا کرتا ہے لہذا کپیسٹر کے ذریعہ ایپلیفائر کو داخلی جانب اشارہ فراہم کرنے یا ایپلیفائر کے خارجی جانب سے کپیسٹر کے ذریعہ اشارہ حاصل کرنے سے ٹرانزسٹر کے نقطہ کارکردگی پر کوئی اثر نہیں ہوتا۔ شکل 6.2 الف میں ایسا ہی کرتے ہوئے کپیسٹر C_B کے ذریعہ داخلی اشارے کو ایپلیفائر تک پہنچایا گیا ہے۔ شکل 6.2 ب میں اسی کا مساوی باریک اشاراتی دور شکل میں C_C اور C_E نہیں استعمال کئے گئے۔

¹³ ٹرانزسٹر مائقہ میں پائی جائے والی کپیسٹر مثلاً $C_{b'e}$ وغیرہ ٹرانزسٹر کے اندروونی کپیسٹر ہیں Laplace transform¹⁴

دکھایا گیا ہے جہاں نقطہ دار دائیرے میں بندکل مزاحمت کو R_{m1} لکھا گیا ہے یعنی

$$\frac{1}{R_{m1}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{r_{be} + (\beta + 1) R_E}$$

شکل ب کے لئے لکھا جا سکتا ہے۔

$$\begin{aligned} A_v &= \left(\frac{v_o}{i_c} \right) \left(\frac{i_c}{v_{be}} \right) \left(\frac{v_{be}}{v_b} \right) \left(\frac{v_b}{v_s} \right) \\ &= (-R_L) (g_m) \left(\frac{r_{be}}{r_{be} + (\beta + 1) R_E} \right) \left(\frac{R_{m1}}{R_S + \frac{1}{sC_B} + R_{m1}} \right) \\ &= (-R_L) (g_m) \left(\frac{r_{be}}{r_{be} + (\beta + 1) R_E} \right) \left(\frac{s R_{m1} C_B}{s (R_S + R_{m1}) C_B + 1} \right) \end{aligned}$$

مندرجہ بالا مساوات میں $j\omega$ کو s لکھا گیا ہے۔ مساوات کے آخری قوسین میں کسر کے اوپر والے حصے سے $R_{m1} C_B$ اور اس کے پچھے حصے سے $(R_S + R_{m1}) C_B$ باہر نکالتے ہوئے مندرجہ ذیل مساوات حاصل ہوتا ہے۔

$$A_v = -R_L g_m \left(\frac{r_{be}}{r_{be} + (\beta + 1) R_E} \right) \left(\frac{R_{m1}}{R_S + R_{m1}} \right) \left(\frac{s}{s + \frac{1}{(R_S + R_{m1}) C_B}} \right)$$

جیسے شکل 6.2 پ میں وضاحت کی گئی ہے کہ v_s کو قصر دور تصور کرتے ہوئے، C_B کے متوازی کل مزاحمت کی قیمت $(R_S + R_{m1})^{15}$ لکھتے ہوئے اس مساوات کو یوں لکھا جا سکتا ہے۔

$$(6.3) \quad A_v = -R_L g_m \left(\frac{r_{be}}{r_{be} + (\beta + 1) R_E} \right) \left(\frac{R_{m1}}{R_S + R_{m1}} \right) \left(\frac{s}{s + \frac{1}{R_{mCB} C_B}} \right)$$

اگر اس مساوات میں تعداد ω کی قیمت بتدربیج بڑھائی جائے تو آخری قوسین کی قیمت ایک (1) تک پہنچنے کی کوشش کرے گی۔ اگرچہ اس مساوات کو حاصل کرنے کی خاطر ٹرانزیستر کا پست تعدد ماذل استعمال کیا گیا تھا جو صرف کم اور درمیانی تعداد کے لئے درست ہے مگر فی الحال اس بحث میں بڑے بغیر تصور کرتے ہیں کہ ω کی قیمت لامحدود کر دی جاتی ہے۔ یوں

$$A_v \Big|_{\omega \rightarrow \infty} = -R_L g_m \left(\frac{r_{be}}{r_{be} + (\beta + 1) R_E} \right) \left(\frac{R_{m1}}{R_S + R_{m1}} \right) \left(\frac{\infty}{\infty + \frac{1}{R_{mCB} C_B}} \right)$$

¹⁵ R_{mCB} لکھتے ہوئے اس میں R_m سے مراد متوازی مزاحمت جیکہ C_B سے مراد کپیسٹر

حاصل ہوتا ہے جس سے درمیانی تعداد کی افزائش A_{vD} کہتے ہیں۔

$$(6.4) \quad A_{vD} = A_v \Bigg|_{\omega \rightarrow \infty} = -R_L g_m \left(\frac{r_{be}}{r_{be} + (\beta + 1) R_E} \right) \left(\frac{R_{m1}}{R_S + R_{m1}} \right)$$

A_{vD} کو نلکی محدود کے طرز پر یوں لکھا جا سکتا ہے۔

$$(6.5) \quad A_{vD} = |A_{vD}| \angle \theta_D$$

جہاں

$$(6.6) \quad |A_{vD}| = (R_L) (g_m) \left(\frac{r_{be}}{r_{be} + (\beta + 1) R_E} \right) \left(\frac{R_{m1}}{R_S + R_{m1}} \right)$$

$$(6.7) \quad \theta_D = \pi$$

کے برابر ہیں۔ مندرجہ بالا مساوات میں $|A_{vD}|$ افزائش کی حتمی قیمت جبکہ θ_D افزائش کا زاویہ ہے۔ A_{vD} کے استعمال سے مساوات 6.3 کو مندرجہ ذیل طریقے سے لکھ سکتے ہیں۔

$$(6.8) \quad A_v = A_{vD} \left(\frac{s}{s + \frac{1}{R_{mCB} C_B}} \right)$$

مساوات 6.3 کو نلکی محدود کے طرز پر یوں لکھا جا سکتا ہے

$$(6.9) \quad A_v = |A_v| \angle \theta$$

جہاں

$$(6.10) \quad |A_v| = |A_{vD}| \frac{\omega}{\sqrt{\omega^2 + \left(\frac{1}{R_{mCB} C_B} \right)^2}}$$

$$\theta = -\frac{\pi}{2} - \tan^{-1}(\omega R_{mCB} C_B)$$

ہیں۔ اگرچہ مساوات 6.4 حتمی طور پر صرف لاحدود تعداد کے لئے درست ہے لیکن جیسے آپ مثال 6.1 میں دیکھیں گے کہ درمیانی سطح کے تعداد کے لئے بھی یہی مساوات صحیح جوابات دیتا ہے۔ یوں A_{vD} کو ایپلیفائر کی درمیانی تعداد کی افزائش کہتے ہیں۔

مثال 6.1: شکل 6.2 الف میں گرشتہ کئی مثالوں کی طرح

$$\begin{array}{ll} V_{CC} = 15 \text{ V} & \beta = 179 \\ R_L = 75 \text{ k}\Omega & R_E = 15 \text{ k}\Omega \\ R_1 = 320 \text{ k}\Omega & R_2 = 1.7 \text{ M}\Omega \\ R_s = 5 \text{ k}\Omega & C_B = 0.1 \text{ nF} \end{array}$$

لیتے ہوئے مندرجہ ذیل تعداد پر افزائش A_v حاصل کریں۔
1. لا محدود

$$f = 1 \text{ MHz} .2$$

$$f = 100 \text{ kHz} .3$$

$$f = 10 \text{ kHz} .4$$

$$f = 1 \text{ kHz} .5$$

حل: یک سمی تجزیہ سے مندرجہ ذیل r_{be} ، g_m اور r_e حاصل ہوتے ہیں۔

$$g_m = 4.064 \text{ mS}$$

$$r_{be} = 44.045 \text{ k}\Omega$$

$$r_e \approx 246 \Omega$$

1. لا محدود تعداد یعنی $f = \infty$ پر مساوات 6.4 کی مدد سے A_{vD} کی قیمت

$$\begin{aligned} A_{vD} &= (-75000) (0.004064) \left(\frac{44045}{44045 + 180 \times 15000} \right) \left(\frac{245238}{5000 + 245238} \right) \\ &= -4.79463 \\ &= 4.79463/\underline{\pi} \end{aligned}$$

حاصل ہوتا ہے جہاں آخری قدم پر افزائش کو نلکی محدود کرے طرز پر لکھا گیا ہے۔ اس جواب کے مطابق داخلی اشارے کا حیطہ 4.79463 گنا بڑھے گا اور اس کے زاویہ میں π ریڈین یعنی 180 کی تبدیلی رونما ہو گی۔

2. 1 MHz پر مساوات 6.8 کی مدد سے

$$\begin{aligned} A_v &= \frac{-4.79463}{1 + \frac{1}{j \times 2 \times \pi \times 10^6 \times (5000 + 245238) \times 0.1 \times 10^{-9}}} \\ &= -4.79443 - j0.03049 \\ &= 4.7945/-3.13523 \end{aligned}$$

حاصل ہوتا ہے۔ آپ دیکھ سکتے ہیں کہ افزائش کی حد تک قیمت لامحدود تعداد پر 4.79463 ہے جبکہ اب اس کی قیمت 4.7945 ہو گئی ہے۔ ان دو قیمتوں میں فرق کو نظر انداز کیا جا سکتا ہے۔ زاویہ -179.635° یعنی تقریباً 180.36° ہے۔

$$\text{پر } f = 100 \text{ kHz} .3$$

$$\begin{aligned} A_v &= \frac{-4.79463}{1 + \frac{1}{j \times 2 \times \pi \times 100 \times 10^3 \times (5000 + 245238) \times 0.1 \times 10^{-9}}} \\ &= -4.7753 - j0.30372 \\ &= 4.78495 / -3.0781 \end{aligned}$$

حاصل ہوتا ہے۔ اب بھی افزائش تقریباً A_{vD} کے برابر ہے۔

$$\text{پر } f = 10 \text{ kHz} .4$$

$$\begin{aligned} A_v &= \frac{-4.79463}{1 + \frac{1}{j \times 2 \times \pi \times 10 \times 10^3 \times (5000 + 245238) \times 0.1 \times 10^{-9}}} \\ &= -3.4137 - j2.1712 \\ &= 4.04567 / -2.5751 \end{aligned}$$

حاصل ہوتا ہے۔ ہم دیکھتے ہیں کہ 100 kHz پر افزائش کی قیمت قدر کم ہو گئی ہے یعنی اس کی موجودہ قیمت A_{vD} کے 84% ہے

$$\frac{4.04567}{4.79463} \times 100 = 84\%$$

جبکہ زاویہ -147° ہے۔

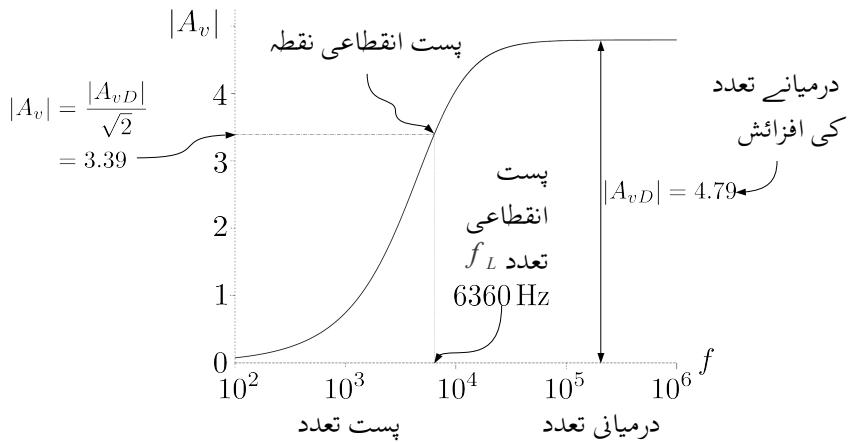
$$\text{پر } f = 1 \text{ kHz} .5$$

$$\begin{aligned} A_v &= \frac{-4.79463}{1 + \frac{1}{j \times 2 \times \pi \times 1 \times 10^3 \times (5000 + 245238) \times 0.1 \times 10^{-9}}} \\ &= -0.1157 - j0.7357 \\ &= 0.7447 / -1.7268 \end{aligned}$$

حاصل ہوتا ہے جو کہ نہایت کم افزائش ہے۔ ایک کلو ہریٹ کے تعداد پر حاصل کی گئی افزائش کے صرف 15% ہے۔

$$\frac{0.7447}{4.79463} \times 100 = 15\%$$

ایک کلو ہریٹ کے کم تعداد پر افزائش کا نہایت کم بوجانا صاف ظاہر ہے۔



شکل 6.3: پست انقطاعی تعدد

مندرجہ بالا مثال میں ہم نے دیکھا کہ ایک خاص حد سے زیادہ تعدد پر افزائش کی قیمت کو تقریباً A_{vD} کے برابر تصور کیا جا سکتا ہے۔ البتہ اس حد سے کم تعدد پر افزائش کی قیمت کم ہو جاتی ہے۔ بودا خط¹⁶ اس قسم کے معلومات کو ظاہر کرنے کا ایک نہایت عمدہ طریقہ ہے۔ موجودہ مسئلے میں افزائش بالمقابل تعدد کو بودا خط کے طرز پر شکل 6.3 میں کھینچا گیا ہے جہاں تعدد کو لامگی¹⁷ پیمانے پر دکھایا گیا ہے۔ اس شکل میں زیادہ تعدد پر افزائش تبدیل نہیں ہوتی اور $|A_{vD}|$ ہی رہتی ہے۔ حقیقت میں بلند تعدد¹⁸ پر بھی افزائش کم پڑ جاتی ہے۔ موجودہ حصے میں صرف پست تعدد¹⁹ پر افزائش کے کم ہونے پر غور کیا جائے گا۔ زیادہ تعدد پر افزائش کے کم ہونے پر آگے جا کر غور کیا جائے گا۔ شکل کو دیکھتے ہوئے ہم کہہ سکتے ہیں کہ کم تعدد پر یہ ایمپلیفائر داخلی اشارات کو نہیں بڑھائے گا۔ تعدد بتدریج کم کرتے ہوئے، جس تعداد پر افزائش کی قیمت کم ہوتے ہوتے $|A_{vD}| = \frac{1}{\sqrt{2}}$ گناہ ہو جائے اسی کو انقطاعی نقطہ تصور کیا جاتا ہے۔ شکل 6.3 میں $f = 6360 \text{ Hz}$ پر $|A_v| = \frac{|A_{vD}|}{\sqrt{2}}$ ہو جاتا ہے۔ یوں ہم کہیں گے کہ یہ ایمپلیفائر 6360 Hz سے کم تعداد کے اشارات کو نہیں بڑھاتا۔ جیسا کہ پہلے ذکر کیا گیا، زیادہ تعداد پر بھی ایمپلیفائر کی افزائش کم ہو جاتی ہے یوں موجودہ نقطے کا پورا نام پست انقطاعی نکتہ ہے جبکہ اس نقطے پر تعداد f_L کو پست انقطاعی تعدد²⁰ پکارا جاتا ہے۔

Bode plot¹⁶
 \log^{17}
 high frequency¹⁸
 low frequency¹⁹
 low cut-off frequency²⁰

مساوات 6.10 سے ہم پست انقطاعی تعداد حاصل کر سکتے ہیں۔ ایسا کرنے کی خاطر اس تعداد کو ω_L لکھتے ہوئے مساوات کو $|A_v| = \frac{|A_{vD}|}{\sqrt{2}}$ (یعنی درمیانی تعداد پر افزائش سے 3 dB کم) کے لئے حل کرتے ہیں

$$\frac{|A_{vD}|}{\sqrt{2}} = |A_{vD}| \frac{\omega_L}{\sqrt{\omega_L^2 + \left(\frac{1}{R_{mCB}C_B}\right)^2}}$$

$$\frac{1}{\sqrt{2}} = \frac{\omega_L}{\sqrt{\omega_L^2 + \left(\frac{1}{R_{mCB}C_B}\right)^2}}$$

دونوں جانب کا مربع لیتے ہوئے

$$\frac{1}{2} = \frac{\omega_L^2}{\omega_L^2 + \left(\frac{1}{R_{mCB}C_B}\right)^2}$$

سے

$$(6.11) \quad \omega_L = \frac{1}{R_{mCB}C_B}$$

$$f_L = \frac{1}{2\pi R_{mCB}C_B}$$

ہو۔ اس طرح مساوات 6.8 لکھنے کا بہتر انداز یوں ہے۔

$$(6.12) \quad A_v = A_{vD} \left(\frac{s}{s + \omega_L} \right)$$

مندرجہ بالا مساوات اور شکل 6.2 کو ایک ساتھ دیکھتے ہوئے معلوم ہوتا ہے کہ f_L کی قیمت داخلی R_{mCB} اور اس کے ساتھ متوازی کل مزاحمت C_B پر منحصر ہے۔ مثال 6.1 میں یوں

$$f_L = \frac{1}{2\pi (5000 + 245238) \times 0.1 \times 10^{-9}} = 6360 \text{ Hz}$$

حاصل ہوتا ہے۔

مثال 6.2: مندرجہ بالا مثال 6.1 میں صرف C_B کی قیمت تبدیل کرتے ہوئے ایپلیفائر کو انسانی آواز کا حیطہ بڑھانے کے قابل بنائیں۔

حل: انسان 20 Hz تا 20 kHz کی آواز سن سکتا ہے۔ اگر C_B کو 20 گزارنے کی غرض سے منتخب کیا جائے تو یہ اس سے زیادہ تمام تعداد کے اشارات کو بھی گزارنے گا اور یوں 20 kHz

کے اشارے کو کوئی مسئلہ دریش نہیں آئے گا۔ اگرچہ f_L کو 20 Hz پر رکھتے ہوئے بھی C_B حاصل کیا جاتا ہے لیکن ہم جانتے ہیں کہ f_L پر افزائش کم ہو جاتی ہے لہذا ہم f_L کو درکار تعداد سے دس گناہم یعنی 2 Hz پر رکھتے ہوئے مساوات 6.11 کی مدد سے C_B حاصل کرتے ہیں۔

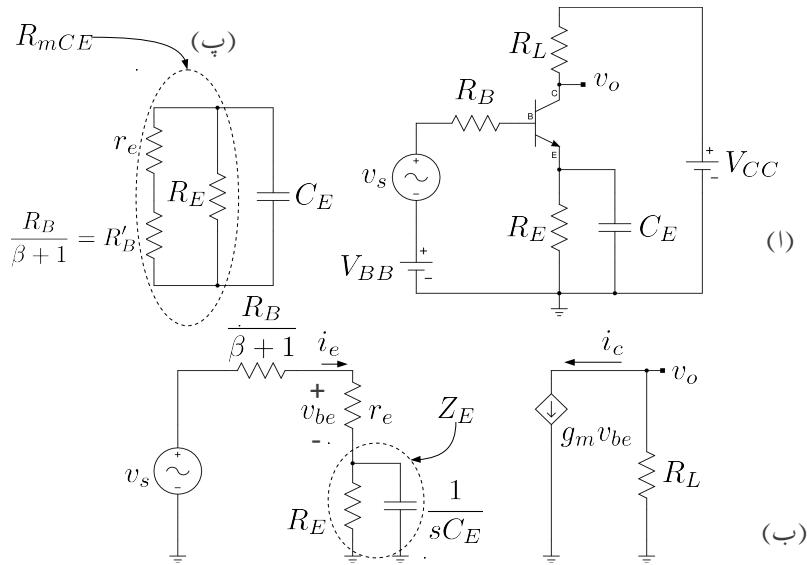
$$\begin{aligned} C_B &= \frac{1}{2\pi f_L (R_{mCB})} \\ &= \frac{1}{2\pi \times 2 \times 250238} \\ &= 0.318 \times 10^{-6} = 0.318 \mu\text{F} \end{aligned}$$

6.3 ایمٹر سرے پر کپیسٹر C_E

ٹرانزستر کا نقطہ کارکردگی تعین کرنے کے علاوہ β میں تبدیلی سے نقطہ کارکردگی میں تبدیلی رونما ہونے کو R_E کرے استعمال سے کم کیا جاتا ہے۔ البتہ ایمپلیفائر کی افزائش بڑھانے کے لئے یہ ضروری ہے کہ ٹرانزستر کے ایمٹر سرے پر کم سے کم مزاہمت ہو۔ ان دو متفضاد شرائط پر پورا اترتا دور شکل 6.4 الف میں دکھایا گیا ہے۔ چونکہ کپیسٹر C_E یک سختی برق روکنے کے لئے کھلے دور کا کردار ادا کرتا ہے لہذا اس کے استعمال سے یک سختی متغیرات متاثر نہیں ہوتے۔ C_E کو یوں چنانجاہت ہے کہ درکار تعدد پر اس کی برق رکاوٹ²¹ R_E سے کم ہو۔ چونکہ C_E مزاہمت R_E کے متوازنی جزا ہے لہذا بدلتی روکے نقطہ نظر سے ٹرانزستر کے ایمٹر پر کل رکاوٹ R_E سے کم ہو جاتی ہے اور یوں افزائش بڑھتی ہے۔ اس حصے میں C_E پر توجہ رکھنے کی خاطر C_B اور C_C کا استعمال نہیں کیا گیا۔

شکل 6.4 ب میں شکل 6.4 الف کا مساوی باریک اشاراتی دور دکھایا گیا ہے جس سے ہم افزائش کی مساوات لکھ سکتے ہیں۔ باریک اشاراتی دور میں بیس جانب کے مزاہمت کے عکس ایمٹر جانب دکھائے گئے ہیں۔ جیسا کہ آپ جانتے ہیں کہ ایمٹر جانب کے مزاہمت کا عکس، بیس جانب $(\beta + 1)$ (β + 1) گناہم زیادہ نظر آتا ہے جبکہ بیس جانب مزاہمت کا عکس، ایمٹر جانب $(\beta + 1)$ (β + 1) گناہم نظر آتا ہے۔ یوں بیس جانب کے مزاہمت R_B اور r_{be} کے عکس، ایمٹر جانب $\frac{r_{be}}{\beta+1}$ اور $\frac{R_B}{\beta+1}$ نظر آئیں گے۔

$$\begin{aligned} A_v &= \left(\frac{v_o}{i_c} \right) \left(\frac{i_c}{v_{be}} \right) \left(\frac{v_{be}}{v_s} \right) \\ (6.13) \quad &= (-R_L) (g_m) \left(\frac{r_e}{\frac{R_B}{\beta+1} + r_e + Z_E} \right) \end{aligned}$$

شکل 6.4: C_E کا کردار کپیسٹر

جہاں

$$(6.14) \quad \frac{1}{Z_E} = sC_E + \frac{1}{R_E}$$

$$Z_E = \frac{1}{sC_E + \frac{1}{R_E}}$$

اور

$$(6.15) \quad r_e = \frac{r_{be}}{\beta + 1}$$

ہیں۔ شکل ب میں v_s کو نظر انداز کرتے ہوئے C_E کے متوازی کل مزاحمت کو لکھتے ہوئے ہم دیکھتے ہیں کہ

$$(6.16) \quad \frac{1}{R_{mCE}} = \frac{1}{R_E} + \frac{1}{\frac{R_B}{\beta+1} + r_e} = \frac{1}{R_E} + \frac{1}{R'_B + r_e}$$

کے برابر ہے۔ شکل ب میں اس مزاحمت کی وضاحت کی گئی ہے۔

مساوات 6.13 میں R'_B کو $\frac{R_B}{\beta+1}$ لکھتے ہوئے اور اس میں مساوات 6.14 سے Z_E کی قیمت استعمال کرتے ہوئے حل کرتے ہیں۔

$$A_v = (-R_L) (g_m) \left(\frac{r_e}{R'_B + r_e + \frac{1}{sC_E + \frac{1}{R_E}}} \right)$$

آخری قوسین کو $\left(sC_E + \frac{1}{R_E} \right)$ سے ضرب اور تقسیم کرتے ہیں۔

$$\begin{aligned} A_v &= -R_L g_m r_e \left(\frac{sC_E + \frac{1}{R_E}}{(R'_B + r_e) \left(sC_E + \frac{1}{R_E} \right) + 1} \right) \\ &= -R_L g_m r_e \left(\frac{sC_E + \frac{1}{R_E}}{sC_E (R'_B + r_e) + \frac{(R'_B + r_e)}{R_E} + 1} \right) \end{aligned}$$

نچلے جانب $(R'_B + r_e)$ باہر نکالتے ہیں۔

$$A_v = -\frac{R_L g_m r_e}{(R'_B + r_e)} \left(\frac{sC_E + \frac{1}{R_E}}{sC_E + \frac{1}{R_E} + \frac{1}{R'_B + r_e}} \right)$$

اس مساوات کے آخری قدم پر مساوات 6.16 استعمال کرتے ہوئے اسے مزید حل کرتے ہیں۔

$$A_v = - \left(\frac{R_L g_m r_e}{R'_B + r_e} \right) \left(\frac{sC_E + \frac{1}{R_E}}{sC_E + \frac{1}{R_{mCE}}} \right)$$

کسر کے اوپر اور نیچے سے C_E باہر نکالتے ہوئے حاصل ہوتا ہے۔

$$(6.17) \quad A_v = - \left(\frac{R_L g_m r_e}{R'_B + r_e} \right) \left(\frac{s + \frac{1}{R_E C_E}}{s + \frac{1}{R_{mCE} C_E}} \right)$$

اس کو مساوات 6.12 کے طرز پر لکھتے ہیں یعنی

$$(6.18) \quad A_v = A_{vD} \left(\frac{s + \omega_1}{s + \omega_2} \right)$$

یا

$$\begin{aligned}
 A_v &= A_{vD} \left(\frac{j\omega + \omega_1}{j\omega + \omega_2} \right) \\
 (6.19) \quad &= A_{vD} \left(\frac{j2\pi f + 2\pi f_1}{j2\pi f + 2\pi f_2} \right) \\
 &= A_{vD} \left(\frac{jf + f_1}{jf + f_2} \right)
 \end{aligned}$$

جہاں

$$\begin{aligned}
 \omega_1 &= 2\pi f_1 = \frac{1}{R_E C_E} \\
 (6.20) \quad \omega_2 &= 2\pi f_2 = \frac{1}{R_{mCE} C_E}
 \end{aligned}$$

اور

$$(6.21) \quad A_{vD} = - \left(\frac{R_L g_m r_e}{R'_B + r_e} \right)$$

کے برابر ہیں۔ کسی بھی تعدد ω پر

$$(6.22) \quad |A_v| = |A_{vD}| \frac{\sqrt{\omega^2 + \omega_1^2}}{\sqrt{\omega^2 + \omega_2^2}}$$

ہو گا۔

مساوات 6.18 میں ω کی قیمت کو ω_1 اور ω_2 سے بہت زیادہ تصور کرتے ہوئے افزائش کی قیمت حاصل کرتے ہیں۔ اس زیادہ تعدد کو $\omega \rightarrow \infty$ تصور کرتے ہوئے

$$(6.23) \quad A_v \Bigg|_{\omega \rightarrow \infty} = A_{vD} \left(\frac{j\infty + \omega_1}{j\infty + \omega_2} \right) = A_{vD}$$

حاصل ہوتا ہے۔ یوں A_{vD} درمیانی تعدد پر افزائش ہے۔

عموماً ایمپلیفیائر مساوات 3.33 کے تحت تخلیق دئے جاتے ہیں جس کے مطابق R_E کی قیمت $\frac{R_B}{(\beta+1)}$ سے بہت زیادہ ہوتی ہے۔ اگر مساوات 3.33 کے شرط کو قدر تبدیل کر کے یوں بیان کیا جائے کہ

$$(6.24) \quad R_E \gg \frac{R_B}{\beta+1} + r_e$$

تب مساوات 6.18 کا صفر²² اس کے قطب²³ سے کم تعداد پر پایا جائے گا یعنی

$$(6.25) \quad \omega_1 \ll \omega_2$$

عموماً $\frac{R_B}{\beta+1} \gg r_e$ ہوتا ہے اور یوں مساوات 6.24 اور مساوات 3.33 کو تقریباً ایک ہی شرط تصور کیا جا سکتا ہے۔ افزائش $|A_v|$ اس وقت درمیانی تعدد کے $|A_{vD}|$ سے 3 dB کم ہو گئی جب

$$(6.26) \quad |A_v| = |A_{vD}| \sqrt{\frac{\omega_L^2 + \omega_1^2}{\omega_L^2 + \omega_2^2}} = \frac{|A_{vD}|}{\sqrt{2}}$$

ہو۔ مندرجہ بالا مساوات میں مطلوبہ تعداد کو ω_L لکھا گیا ہے جس سے حل کرتے حاصل ہوتا ہے

$$(6.27) \quad \omega_L = \sqrt{\omega_2^2 - 2\omega_1^2} \approx \omega_2$$

جہاں مساوات 6.25 کے تحت ω_1 کو نظر انداز کیا گیا ہے۔ اگر ω_2^2 کی قیمت $2\omega_1^2$ سے کم ہو تب مندرجہ بالا مساوات کے تحت $|A_{vD}|$ کبھی بھی 3 dB سے کم نہیں ہو گا اور یوں ω_L نہیں پایا جائے گا۔

مثال 6.3: شکل 6.4 الف میں

$$V_{CC} = 15 \text{ V}$$

$$V_{BB} = 2.376 \text{ V}$$

$$R_L = 75 \text{ k}\Omega$$

$$R_E = 15 \text{ k}\Omega$$

$$R_B = 269.3 \text{ k}\Omega$$

$$\beta = 179$$

$$C_E = 10 \text{ nF}$$

بین۔ A_{vD} اور f_L حاصل کرتے ہوئے $|A_v|$ کا خط کھینچیں۔
حل: ان قیمتیوں سے

$$I_C = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{\frac{R_B}{\beta+1} + R_E} = \frac{2.376 - 0.7}{\frac{269.3 \times 10^3}{179+1} + 15000} = 101.6 \mu\text{A}$$

$$g_m = \frac{I_C}{V_T} = \frac{101.6 \times 10^{-6}}{25 \times 10^{-3}} = 4.064 \text{ mS}$$

$$r_e = \frac{1}{4.064 \times 10^{-3}} = 246 \Omega$$

zero²²
pole²³

اور

$$\frac{1}{R_{mCE}} = \frac{1}{15000} + \frac{1}{\frac{269300}{179+1} + 246}$$

$$R_{mCE} = 1560.83 \Omega$$

حاصل ہوتے ہیں۔ یوں R_E بنتا ہے جو کہ $R_E = \frac{R_B}{\beta+1} + r_e = 1742 \Omega$ سے بہت کم ہے۔ مساوات 6.20 کے تحت

$$\omega_1 = \frac{1}{15000 \times 10 \times 10^{-9}} = 6666 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$\omega_2 = \frac{1}{1560.83 \times 10 \times 10^{-9}} = 64068 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

حاصل ہوتے ہیں۔ چونکہ ω_2^2 کی قیمت سے زیادہ ہے لہذا مساوات 6.27 کے تحت

$$\omega_L = \sqrt{64068^2 - 2 \times 6666^2} = 63370 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$f_L = \frac{63370}{2 \times \pi} = 10 \text{ kHz}$$

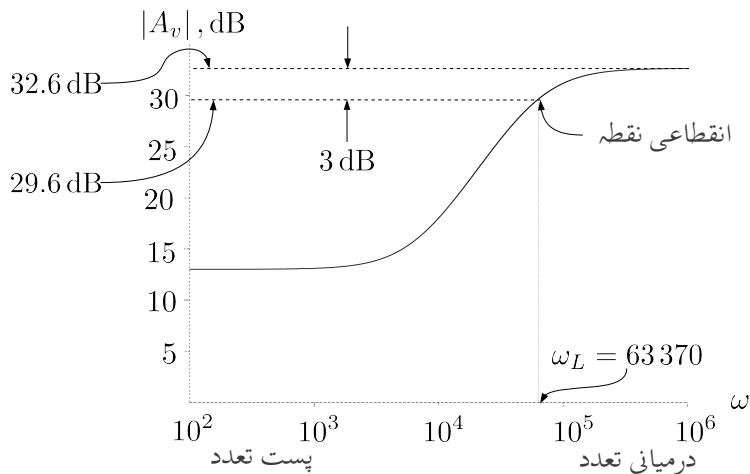
حاصل ہوتا ہے۔ اگر اس مساوات میں $2\omega_1^2$ کو نظر انداز کیا جائے تب ω_L کی قیمت $64068 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$ حاصل ہوئی ہے۔ ان دو جوابات میں نہایت کم فرق ہے۔ مساوات 6.21 سے درمیانی تعداد کی افزائش حاصل کرتے ہیں۔

$$A_{vD} = -\frac{75000 \times 4.064 \times 10^{-3} \times 246}{\frac{269300}{179+1} + 246} = -43 \frac{\text{V}}{\text{V}}$$

اور یوں کسی بھی تعداد پر افزائش کی مساوات مندرجہ ذیل ہو گی۔

$$(6.28) \quad A_v = -43 \left(\frac{s + 6666}{s + 64068} \right)$$

شکل 6.5 میں $|A_v| = 43 \sqrt{\frac{\omega^2 + 6666^2}{\omega^2 + 64068^2}}$ کا خط کھینچا گیا ہے جس میں افقی محدود پر $\log \omega$ اور عمودی محدود پر $20 \log |A_v|$ رکھے گئے ہیں۔ یوں عمودی محدود سے افزائش کو ڈیسی بیل²⁴ میں پڑھا جائے گا۔

شکل 6.5: C_E سے حاصل ω_L

6.4 کلکٹر سرے پر کپیسٹر C_C

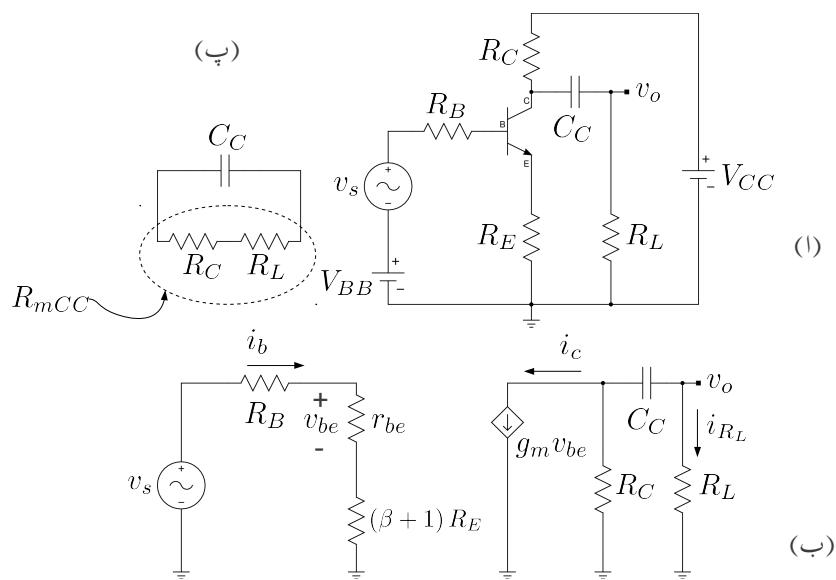
ایمپلیفیٹر کا خارجی اشارہ کپیسٹر C_C کے ذریعہ حاصل کرنے سے یک سمتی متغیرات متاثر نہیں ہوتے۔ شکل 6.6 میں کلکٹر سرے سے C_C کے ذریعہ خارجی اشارے کو درکار مقام یعنی R_L تک پہنچایا گیا ہے۔ شکل 6.6 ب میں اسی کا مساوی باریک اشارتی دور دکھایا گیا۔ سلسلہ وار جڑے R_L اور C_C کا برقی رکاوٹ Z

$$Z = R_L + \frac{1}{sC_C}$$

بے-برق روکے تقسیم کی مساوات سے R_C کے ساتھ متوازی جڑے برقی رکاوٹ Z میں i_{R_L} یوں حاصل کیا جائے گا۔

$$i_{R_L} = - \left(\frac{R_C}{R_C + Z} \right) i_c$$

جهاں منفی کی علامت اس لئے پیدا ہوئی کہ i_c کی سمت i_{R_L} کے الٹ رکھی گئی۔



شکل 6.6: کپیسٹر C_C کے اثرات

افراش کی مساوات یوں لکھی جائے گی۔

$$A_v = \frac{v_o}{v_s} = \left(\frac{v_o}{i_{R_L}} \right) \left(\frac{i_{R_L}}{i_c} \right) \left(\frac{i_c}{v_{be}} \right) \left(\frac{v_{be}}{v_s} \right)$$

$$= (R_L) \left(-\frac{R_C}{R_C + Z} \right) (g_m) \left(\frac{r_{be}}{R_S + r_{be} + (\beta + 1)R_E} \right)$$

منفی کی علامت باہر نکالتے ہوئے، Z میں $\frac{R_C}{R_C + Z}$ کی قیمت پر کر کے اسے دائیں منتقل کرتے ہیں۔

$$A_v = - (R_L) (g_m) \left(\frac{r_{be}}{R_S + r_{be} + (\beta + 1)R_E} \right) \left(\frac{R_C}{R_C + R_L + \frac{1}{sC_C}} \right)$$

$$= - \left(\frac{R_L g_m r_{be}}{R_S + r_{be} + (\beta + 1)R_E} \right) \left(\frac{s R_C}{(R_C + R_L) \left(s + \frac{1}{(R_C + R_L) C_C} \right)} \right)$$

جہاں دائیں جانب آخری کسر میں نیچے $(R_C + R_L)$ باہر نکالا گیا ہے۔ اسی کسر کے اوپر حصے سے R_C اور اس کے نیچے حصے سے $(R_C + R_L)$ کو مساوات کے دائیں جانب منتقل کرتے ہوئے اسے یوں لکھا جا سکتا ہے۔

$$(6.29) \quad A_v = - \frac{R_C R_L}{R_C + R_L} \left(\frac{g_m r_{be}}{R_S + r_{be} + (\beta + 1)R_E} \right) \left(\frac{s}{s + \frac{1}{(R_C + R_L) C_C}} \right)$$

$$= A_{vD} \left(\frac{s}{s + \omega_L} \right)$$

جہاں

$$(6.30) \quad A_{vD} = A_v \Big|_{\omega \rightarrow \infty} = - \frac{R_C R_L}{R_C + R_L} \left(\frac{g_m r_{be}}{R_S + r_{be} + (\beta + 1)R_E} \right)$$

$$\omega_L = \frac{1}{(R_C + R_L) C_C}$$

کے برابر ہیں۔

6.5 بوڈا خطوط

ایمپلیفائر کے افزائش بال مقابل تعدد کے خط کو عموماً بوڈا خط²⁵ کے طرز پر کھینچا جاتا ہے²⁶۔ افزائش کی حتمی قیمت بال مقابل تعدد اور افزائش کا زاویہ بال مقابل تعدد کے خط علیحدہ کھینچے جاتے

Bode plot²⁵

²⁶ بنڈرک واٹ بوڈا نئے خط کھینچنے کے اس طرز کو دریافت کیا۔ ان خطوط کو بوڈا یا بوڈی خطوط بکارا جاتا ہے

ہیں جنہیں حتمی قیمت بالمقابل تعدد کا بوڈا خط اور زاویہ بالمقابل تعدد کا بوڈا خط پکارا جاتا ہے۔ حتمی قیمت بالمقابل تعدد کے بوڈا خط میں افقی محدود پر $\log \omega$ یا $\log f$ جبکہ اس کے عمودی محدود پر $|20 \log|A_v||$ رکھے جاتے ہیں۔ یوں عمودی محدود پر حتمی قیمت ڈیسی بیل²⁷ میں پائی جائے گی۔ زاویہ بالمقابل تعدد کے بوڈا خط میں افقی محدود پر $\log \omega$ یا $\log f$ جبکہ عمودی محدود پر زاویہ θ رکھتا ہے۔ بوڈا خطوط کو سمجھنے کی خاطر مساوات 6.19 کو مثال بناتے ہوئے افراش کی حتمی قیمت بالمقابل تعدد کا بوڈا خط کھینچتے ہیں۔ مساوات میں

$$A_{vD} = -177.8 \frac{V}{V}$$

$$f_1 = 100 \text{ Hz}$$

$$f_2 = 10 \text{ kHz}$$

لیتے ہوئے ہمارا دوبارہ پیش کرتے ہیں۔

$$\begin{aligned} A_v &= A_{vD} \left(\frac{jf + f_1}{jf + f_2} \right) \\ &= A_{vD} \frac{f_1}{f_2} \left(\frac{1 + j \frac{f}{f_1}}{1 + j \frac{f}{f_2}} \right) \\ &= -177.8 \left(\frac{100}{10000} \right) \left(\frac{1 + j \frac{f}{100}}{1 + j \frac{f}{10000}} \right) \\ &= -1.778 \left(\frac{1 + j \frac{f}{100}}{1 + j \frac{f}{10000}} \right) \\ &= |A_v| e^{j\theta} \end{aligned}$$

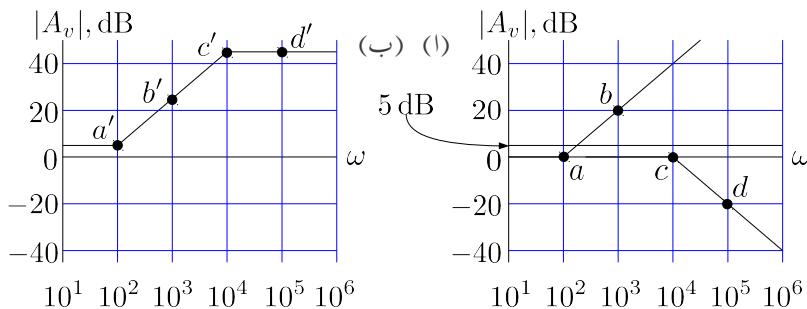
جہاں

$$(6.31) \quad |A_v| = 1.778 \frac{\sqrt{1 + \left(\frac{f}{100}\right)^2}}{\sqrt{1 + \left(\frac{f}{10000}\right)^2}}$$

$$\theta = \pi + \left(\tan^{-1} \frac{f}{100} \right) - \left(\tan^{-1} \frac{f}{10000} \right)$$

کسے برابر ہیں۔ آئیں مساوات 6.31 کو استعمال کرتے ہوئے $|A_v|$ بالمقابل f کا بوڈا خط کھینچنا سیکھیں۔

dB²⁷



شكل 6.7: حتمی قیمت بالمقابل تعدد کے بودا خط کے اجزاء

|Av| کو ڈیسی بیل²⁸ میں لکھتے ہوئے

$$(6.32) \quad |Av|_{dB} = 20 \log 1.778 + 20 \log \sqrt{1 + \frac{f^2}{100^2}} - 20 \log \sqrt{1 + \frac{f^2}{10000^2}}$$

حاصل ہوتا ہے۔ $|Av|_{dB}$ کا خط کھینچنے کی خاطر مندرجہ بالا مساوات کے تین اجزاء کے خطوط کو
باری باری کھینچتے ہوئے آخر میں تمام کا سادہ مجموعہ حاصل کریں گے۔
ایسا کرنے کی خاطر مساوات 6.32 کو دیکھتے ہیں۔ اس کا پہلا جزو

$$20 \log 1.778 \approx 5 \text{ dB}$$

ایک مستقل مقدار ہے جس کی قیمت تعداد پر منحصر نہیں۔ اس سے 5 dB پر سیدھا افقی خط حاصل
ہوتا ہے جسے شکل 6.7 الف میں دکھایا گیا ہے۔
مساوات کے دوسرے جزو کی کارکردگی نہایت کم اور نہایت زیادہ تعداد پر دیکھتے ہیں۔ نہایت کم تعداد
یعنی $f \ll f_1$ پر چونکہ $\left(\frac{f}{f_1}\right)^2 \ll 1$ ہو گا لہذا اس جزو سے

$$(6.33) \quad 20 \log \sqrt{1 + \left(\frac{f}{f_1}\right)^2} \rightarrow 20 \log 1 = 0 \text{ dB}$$

حاصل ہوتا ہے۔ نہایت زیادہ یعنی $f \gg f_1$ پر چونکہ $\left(\frac{f}{f_1}\right)^2 \gg 1$ ہو گا لہذا

$$(6.34) \quad 20 \log \sqrt{1 + \left(\frac{f}{f_1}\right)^2} \rightarrow 20 \log \sqrt{\left(\frac{f}{f_1}\right)^2} = 20 \log \frac{f}{100} \quad \text{dB}$$

decibell²⁸

حاصل ہوتا ہے جہاں آخری قدم پر $f_1 = 100$ کا استعمال کیا گیا ہے۔

$20 \log \frac{f}{100}$ کی قیمت 100، 1000، 10000 اور 100000 کے تعداد پر 0، 20، 40 اور 60 ڈیسی بیل حاصل ہوتی ہے۔ اس حقیقت کو یوں بیان کیا جا سکتا ہے کہ تعدد دس گناہ کرنے سے افراش 20 dB بڑھتی ہے یا کہ افراش 20 dB فی دبائی کے شرح سے بڑھتی ہے۔ افقی محور پر تعدد کا لाग لیتے ہوئے ان قیمتوں کے استعمال سے خط کھینچا گیا ہے۔ یہ خط تعدد کے محور کو f_1 یعنی $\log(100) = 2$ پر چھوٹے ہوئے 20 dB فی دبائی کے شرح سے بڑھتا ہے۔ ایسا خط کھینچتے وقت $(f_1, 0 \text{ dB})$ اور $(10f_1, 20 \text{ dB})$ کے مقام پر نقطے لگا کر انہیں سیدھی لکھتے ہوئے جوڑتے ہوئے حاصل کیا جاتا ہے۔

شکل 6.7 الف میں $(f_1, 0 \text{ dB})$ یعنی $(10^2, 0 \text{ dB})$ اور $(10f_1, 20 \text{ dB})$ یعنی $(10^3, 20 \text{ dB})$ پر نقطہ b دکھائے گئے ہیں۔ نہایت کم تعدد پر مساوات 6.33 کے مطابق اس جزو کی قیمت 0 dB ہے۔ حقیقت میں بوڈا خط کھینچتے وقت کم تعدد کو $f_1 \ll f$ کی بجائے $f_1 \leq f$ لیا جاتا ہے۔ یوں نقطہ a سے کم تعدد پر اس جزو کی قیمت 0 dB دکھائی گئی ہے۔ اس طرح بوڈا خط کھینچتے ہوئے نہایت زیادہ تعدد کو $f \gg f_1$ کی بجائے $f \geq f_1$ لیا جاتا ہے۔ یوں اگر a پر 0 dB ہوتے تو دس گنا زیادہ تعدد پر 20 dB ہو گا۔ اس نقطے کو b سے ظاہر کیا گیا ہے۔ a تک 0 dB پر رہتا ہوا اور b سے گرتا سیدھا خط دوسرے جزو کا بوڈا خط ہے۔ مساوات 6.32 کے تیسرا جزو کی کارکردگی نہایت کم اور نہایت زیادہ تعدد پر دیکھتے ہیں۔ نہایت کم تعدد یعنی $f \ll f_2$ پر

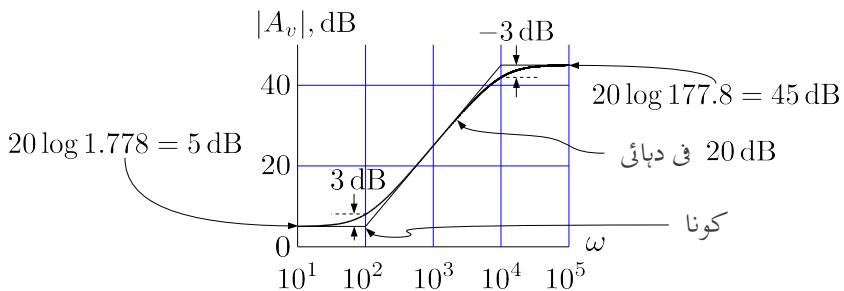
$$(6.35) \quad -20 \log \sqrt{1 + \left(\frac{f}{f_2}\right)^2} \rightarrow 20 \log 1 = 0 \text{ dB}$$

جبکہ نہایت زیادہ تعدد یعنی $f \gg f_2$ پر

$$(6.36) \quad -20 \log \sqrt{1 + \left(\frac{f}{f_2}\right)^2} \rightarrow -20 \log \sqrt{\left(\frac{f}{f_2}\right)^2} = -20 \log \frac{f}{10000} \text{ dB}$$

حاصل ہوتا ہے جہاں آخری قدم پر $f_2 = 10000$ کا استعمال کیا گیا ہے۔

$-20 \log \frac{f}{10000}$ کی قیمت 10000، 100000، 1000000 اور 10000000 کے تعداد پر 0، -20، -40 اور -60 ڈیسی بیل حاصل ہوتی ہے۔ اس حقیقت کو یوں بیان کیا جا سکتا ہے کہ تعدد دس گناہ کرنے سے افراش 20 dB بڑھتی ہے یا کہ افراش 20 dB فی دبائی کے شرح سے تبدیل ہوئی ہے۔ افقی محور پر تعدد کا لाग لیتے ہوئے ان قیمتوں کے استعمال سے خط کھینچا گیا ہے۔ یہ خط تعدد کے محور کو f_2 یعنی $\log(10000) = 4$ پر چھوٹے ہوئے 20 dB فی دبائی کے شرح سے تبدیل ہوتا ہے۔ ایسا خط کھینچتے وقت f_2 تعدد پر 0 dB اور $10f_2 = 100000$ تعدد پر -20 dB کے مقام پر نقطے لگا کر انہیں سیدھی لکھتے ہوئے حاصل کیا جاتا ہے۔ شکل 6.7 الف میں ان نقطوں کو c اور d سے ظاہر کیا گیا ہے۔ یاد رہے کہ f_2 یعنی 10^4 سے کم تعدد پر اس جزو کی قیمت 0 dB ہے۔



شکل 6.8: اصل خط اور بوڈا خط کا موازنہ

شکل 6.7 ب میں ان تینوں خطوط کا مجموعہ لیا گیا ہے جو کہ مساوات 6.31 کے $|A_v|$ کا مکمل بوڈا خط ہے۔ شکل 6.7 الف میں نقطہ a پر مساوات 6.32 کے پہلے جزو کے خط کی قیمت 5 dB جبکہ بقايا دو اجزاء کے قیمتیں 0 dB ہیں۔ یون ان کا مجموعہ 5 dB ہے جسے شکل 6.7 ب میں a' سے ظاہر کیا گیا ہے۔ b پر ان تین اجزاء کے قیمتیں 5 dB، 5 dB اور 0 dB ہیں جن کے مجموعہ 25 dB کو b' سے ظاہر کیا گیا ہے۔ c پر تینوں کا مجموعہ 45 dB کو c' سے ظاہر کیا گیا ہے۔ d پر تین اجزاء کے قیمتیں 5 dB، 5 dB اور 20 dB ہیں جن کا مجموعہ 45 dB ہی ہے۔ اس نقطے کو d' سے ظاہر کیا گیا ہے۔

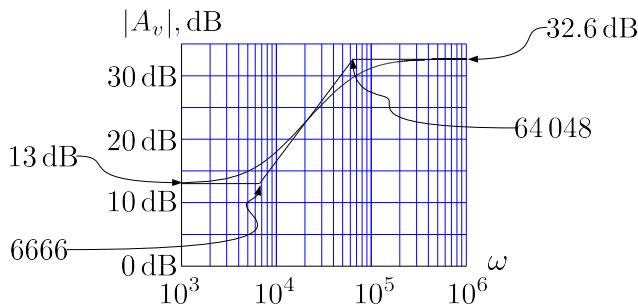
مندرجہ بالا تمام عمل کو نہایت آسانی سے یوں سرانجام دیا جا سکتا ہے۔ دئے گئے مساوات کی حتمی قیمت کمتر تعدد پر حاصل کریں۔ بوڈا خط کی قیمت ہی رکھتے ہوئے تعدد بڑھائیں حتیٰ کہ مساوات کا صفر یا قطب آجائے۔ اگر صفر آجائے تو بوڈا خط کی قیمت 20 dB فی دبائی کی شرح سے بڑھانا شروع کر دیں اور اگر قطب آجائے تو بوڈا خط کی قیمت 20 dB فی دبائی کی شرح سے گھٹانا شروع کر دیں۔ تعدد بڑھاتے رہیں حتیٰ کہ مساوات کا اگلا صفر یا قطب آجائے۔ پر مرتبہ صفر آئے پر بوڈا خط کے تبدیلی کی شرح سے گھٹانا شروع کر دیں۔

شکل 6.8 میں مساوات 6.31 کے بوڈا خط اور اس کا حقیقی خط²⁹ ایک ساتھ دکھائے گئے ہیں۔ آپ دیکھ سکتے ہیں کہ بوڈا خط کے کونوں پر دونوں خطوط میں 3 dB کا فرق پایا جاتا ہے جبکہ بقايا تعدد پر دونوں تقریباً ایک ہی طرح کے ہیں۔ مساوات 6.33 سے اس فرق کو سمجھا جا سکتا ہے۔ کونے پر تعدد f_1 کے برابر ہے یوں اس مساوات سے

$$20 \log \sqrt{1 + \left(\frac{f_1}{f_2}\right)^2} = 20 \log \sqrt{2} \approx 3 \text{ dB}$$

حاصل ہوتا ہے ناکہ 0 dB۔ اسی حقیقت کے بنا پر بوڈا خط کے کونوں کو 3 dB نقطے بھی کہتے ہیں۔

²⁹ حقیقی خط کمپیوٹر کے پروگرام میٹ لیب matlab یا اکیوے octave کی مدد سے باسانی کہیجنا جا سکتا ہے۔ اس کتاب میں پیشہ خلفوط لینکس linux میں پائی جانے والی پروگرام آنکھوں استعمال کرتے ہوئے یہ کہیجئے گئے ہیں۔



شکل 6.9:

مثال 6.4: مساوات 6.28 کا بودا خط کھینچیں۔
حل: اس مساوات کو دوبارہ پیش کرتے ہیں۔

$$A_v = -43 \left(\frac{j\omega + 6666}{j\omega + 64068} \right)$$

انتہائی کم تعداد ($\omega \rightarrow 0$) پر اس کی حدی قیمت

$$|A_v|_{\omega \rightarrow 0} = 43 \left(\frac{0 + 6666}{0 + 64068} \right) = 4.474$$

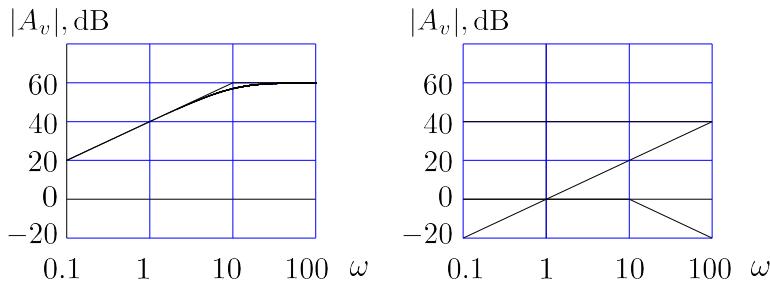
یعنی

$$20 \times \log 4.474 \approx 13 \text{ dB}$$

حاصل ہوئے۔ مساوات کا صفر 6666 جبکہ اس کا قطب 64068 پر پایا جاتا ہے۔ ان معلومات سے شکل 6.9 میں بودا خط حاصل کیا گیا ہے۔

مثال 6.5: مندرجہ ذیل مساوات کا بودا خط کھینچیں۔

$$A_v = \frac{1000s}{s + 10}$$



شکل 6.10:

حل: اس کو عمومی طرز پر لکھتے ہیں۔

$$A_v = \frac{100j\omega}{\frac{j\omega}{10} + 1}$$

جس سے ڈیسی بیل میں لکھتے ملتا ہے

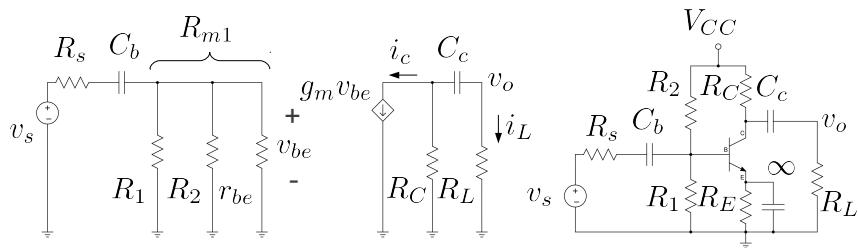
$$A_v = 20 \log 100 + 20 \log \omega - 20 \log \sqrt{\frac{\omega^2}{10^2} + 1}$$

اس کے بودا خط کے اجزاء شکل 6.10 الف جبکہ مکمل بودا خط شکل ب میں دکھائے گئے ہیں۔

مندرجہ بالا مثال میں دی گئی مساوات میں کسر کے اوپر تعددی جزو ہے۔ اس پر غور کریں۔ بودا خط میں $\left(\frac{j\omega}{\omega_0} + 1\right)$ طرز پر لکھئے گئے جزو کی قیمت ω_0 سے کم تعداد پر 0 dB جبکہ اس سے زیادہ تعداد پر بیس ڈیسی بیل فی دبائی کی شرح سے تبدیل ہوتا ہے۔ اس کے برعکس $(j\omega)$ کہیں ہی 0 dB پر برقرار نہیں رہتا۔ یہ $\omega = 1$ پر 0 dB سے گزرتے ہوئے بیس ڈیسی بیل فی دبائی کی شرح سے تمام تعداد پر تبدیل ہوتا ہے۔ اگر یہ جزو بطور صفر پایا جائے تو یہ بیس ڈیسی بیل فی دبائی کی شرح سے بڑھتا ہے جبکہ اگر جزو بطور قطب پایا جائے تو یہ بیس ڈیسی بیل فی دبائی کی شرح سے گھشتتا ہے۔

6.6 بیس اور کلکٹر یرونی کپیسٹر

شکل 6.11 میں بیس اور کلکٹر پر کپیسٹر نسب کٹھے گئے ہیں۔ اگرچہ شکل میں اینٹر پر C_E ہی نسب بہے لیکن اس کی قیمت لاحدود تصور کی گئی ہے۔ یوں درکار تعداد پر اس کو قصر دور تصور کیا گیا ہے۔ مساوی شکل میں



شکل 6.11: بیس اور کلکٹر پر کپیسٹر نسب کرنے کے اثرات

$$\frac{1}{R_{m1}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{r_{be}}$$

لیتے ہوئے ہم لکھ سکتے ہیں۔

$$\begin{aligned} A_v &= \frac{v_o}{v_s} = \left(\frac{v_o}{i_L} \right) \left(\frac{i_L}{i_c} \right) \left(\frac{i_c}{v_{be}} \right) \left(\frac{v_{be}}{v_s} \right) \\ &= R_L \left(-\frac{R_C}{R_C + R_L + \frac{1}{sC_c}} \right) (g_m) \left(\frac{R_{m1}}{R_s + R_{m1} + \frac{1}{sC_b}} \right) \\ &= -g_m R_L R_C R_{m1} \left(\frac{sC_c}{sC_c (R_C + R_L) + 1} \right) \left(\frac{sC_b}{sC_b (R_s + R_{m1}) + 1} \right) \\ &= -\frac{g_m R_L R_C R_{m1}}{(R_C + R_L) (R_s + R_{m1})} \left(\frac{s}{s + \frac{1}{C_c (R_C + R_L)}} \right) \left(\frac{s}{s + \frac{1}{C_b (R_s + R_{m1})}} \right) \end{aligned}$$

اس مساوات میں

$$(6.37) \quad \begin{aligned} \omega_c &= \frac{1}{C_c (R_C + R_L)} \\ \omega_b &= \frac{1}{C_b (R_s + R_{m1})} \end{aligned}$$

لیتے ہوئے یون لکھا جا سکتا ہے۔

$$(6.38) \quad A_v = -\frac{g_m R_L R_C R_{m1}}{(R_C + R_L) (R_s + R_{m1})} \left(\frac{s}{s + \omega_c} \right) \left(\frac{s}{s + \omega_b} \right)$$

اس مساوات میں $\frac{R_C R_L}{R_C + R_L}$ متوازی جڑے مزاحمت کی کل مزاحمت بے جسے عموماً $R_C \| R_L$ لکھا جاتا ہے۔ اسی طرح $\frac{R_s \| R_{m1}}{R_S}$ کو $\frac{1}{R_s} \left(\frac{R_s R_{m1}}{R_s + R_{m1}} \right)$ لکھتے ہوئے اسے یوں لکھا جا سکتا ہے۔

$$(6.39) \quad A_v = -\frac{1}{R_s} (R_C \| R_L) (R_s \| R_{m1}) \left(\frac{s}{s + \omega_c} \right) \left(\frac{s}{s + \omega_b} \right) \\ = A_{vD} \left(\frac{s}{s + \omega_c} \right) \left(\frac{s}{s + \omega_b} \right)$$

جہاں

$$A_{vD} = -\frac{1}{R_s} (R_C \| R_L) (R_s \| R_{m1})$$

لکھا گیا ہے۔

پست انقطعائی تعدد پر $|A_v| = \frac{A_{vD}}{\sqrt{2}}$ یوں مساوات 6.39 میں پست انقطعائی تعدد کو ω_L لکھتے ہوئے حاصل ہوتا ہے

$$A_{vD} \left(\frac{\omega_L}{\sqrt{\omega_L^2 + \omega_c^2}} \right) \left(\frac{\omega_L}{\sqrt{\omega_L^2 + \omega_b^2}} \right) = \frac{A_{vD}}{\sqrt{2}}$$

جسے

$$2\omega_L^4 = (\omega_L^2 + \omega_c^2)(\omega_L^2 + \omega_b^2)$$

یعنی

$$\omega_L^4 - (\omega_c^2 + \omega_b^2)\omega_L^2 - \omega_c^2\omega_b^2 = 0$$

لکھا جا سکتا ہے۔ اس کو حل کرتے ملتا ہے

$$(6.40) \quad \omega_L^2 = \frac{\omega_c^2 + \omega_b^2}{2} + \frac{\sqrt{\omega_c^4 + 6\omega_c^2\omega_b^2 + \omega_b^4}}{2}$$

مندرجہ بالا مساوات میں منفی جزر کو شامل نہیں کیا گیا چونکہ اس کے استعمال سے ω_L^2 کی قیمت منفی حاصل ہوتی ہے۔

شکل 6.11 کو دیکھ کر معلوم ہوتا ہے کہ C_b اور C_c کا ایک دوسرے پر کوئی اثر نہیں۔ مساوات 6.39 اسی حقیقت کی تصدیق کرتا ہے۔

مثال 6.6: شکل 6.11 میں

$$V_{CC} = 9 \text{ V}, R_C = 1.8 \text{ k}\Omega, R_E = 200 \text{ }\Omega$$

$$R_1 = 2.2 \text{ k}\Omega, R_2 = 16 \text{ k}\Omega, R_s = 1 \text{ k}\Omega$$

$$\beta = 99, R_L = 1.8 \text{ k}\Omega$$

ہیں۔

- C_c اور C_b کی ایسی قیمتیں حاصل کریں کہ $f_c = 5 \text{ Hz}$ جبکہ $f_b = 50 \text{ Hz}$

- مندرجہ بالا قیمتوں کو استعمال کرتے ہوئے مساوات 6.39 کا بودا خط کھینچتے ہوئے پست انقطاعی تعدد حاصل کریں۔

- $f_c = f_b = f_c$ رکھتے ہوئے پست انقطاعی تعدد 50 Hz حاصل کرنے کی خاطر f_b اور حاصل کریں

حل: نقطہ کارکردگی حاصل کرنے وقت تمام کپیسٹر کھلے سر کردار ادا کرتے ہیں۔ مسئلہ ہونک کی مدد سے، $I_{CQ} = 1.768 \text{ mA}$ جبکہ $V_{th} = 1.0879 \text{ V}$ حاصل ہوتے ہیں جن سے $R_{th} = 1.934 \text{ k}\Omega$ اور $r_{be} = 1.394 \text{ k}\Omega$ حاصل ہوتے ہیں۔ یوں $R_{m1} = 810 \text{ }\Omega$ $g_m = 0.071 \text{ mS}$ ہے۔

$$C_c = \frac{1}{2\pi f_c (R_C + R_L)} = \frac{1}{2 \times \pi \times 5 \times (1800 + 1800)} = 8.84 \mu\text{F}$$

$$C_b = \frac{1}{2\pi f_b (R_s + R_{m1})} = \frac{1}{2 \times \pi \times 50 \times (1000 + 810)} = 1.76 \mu\text{F}$$

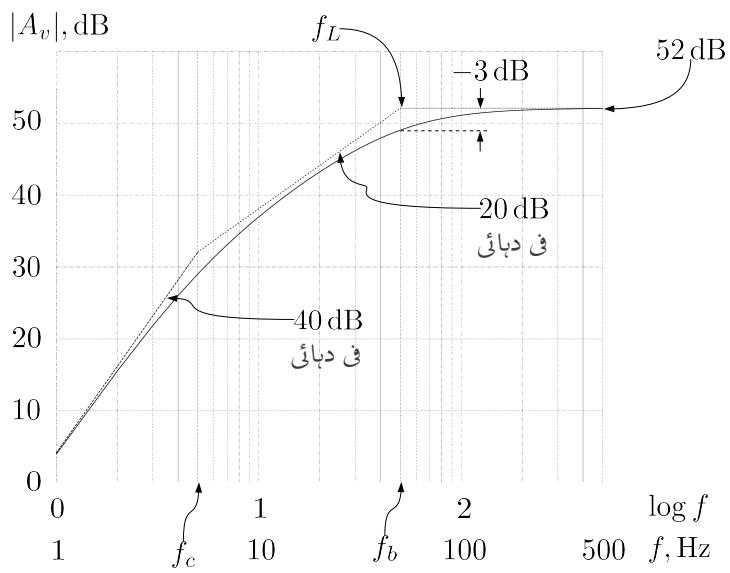
- شکل 6.12 میں بودا خط کھینچا گیا ہے جہاں سے واضح ہے کہ پست انقطاعی تعدد تقریباً f_b کے برابر ہے۔ شکل میں 1 Hz تا 5 Hz بودا خط کی ڈھلوان 40 dB فی دبائی ہے جبکہ 5 Hz تا 50 Hz اس کی ڈھلوان 20 dB فی دبائی ہے۔

جب ہی بودا خط میں پست انقطاعی نقطہ تعین کرنے والے کونوں میں سب سے زیادہ تعدد پر پائے جانے والے کونے سے بقايا کونے دور دور ہوں، ایسی صورت میں پست انقطاعی نقطہ تقریباً اسی زیادہ تعداد کے کونے پر ہوگا۔

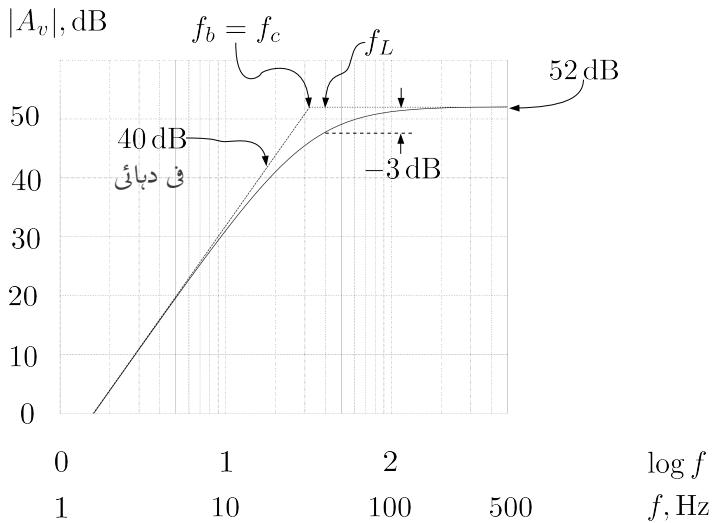
آئیں مساوات 6.40 حل کرتے دیکھیں کہ جواب کیا حاصل ہوتا ہے۔ اس مساوات میں ω_c اور ω_b کی قیمتیں پر کرتے ملتا ہے

$$\omega_L = 317.254$$

$$f_L = 50.49 \text{ Hz}$$



شكل 6.12: پست انقطاعی نقطہ زیادہ تعداد والے کونسے بھی



شکل 6.13: جزو اکونوں کی صورت میں پست انقطعائی نقطہ

مساوات 6.40 میں $\omega_c = \omega_b$ پُر کرتے حل کرتے ہیں •

$$\omega_L^2 = \frac{2\omega_b^2 + \sqrt{\omega_b^4 + 6\omega_b^4 + \omega_b^4}}{2} = (1 + \sqrt{2}) \omega_b^2$$

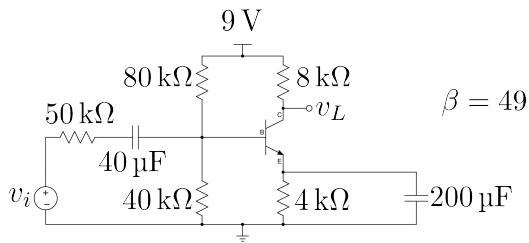
یوں

$$\omega_L = \left(\sqrt{1 + \sqrt{2}} \right) \omega_b$$

حاصل ہوتا ہے جس سے $f_L = 50 \text{ Hz}$ حاصل کرنے کی خاطر

$$f_b = \frac{f_L}{\sqrt{1 + \sqrt{2}}} = \frac{50}{\sqrt{1 + \sqrt{2}}} = 32 \text{ Hz}$$

رکھنا ہو گا۔ شکل 6.13 میں صورت حال دکھایا گیا ہے۔



شکل 6.14:

6.7 بیس اور ایمٹر بیرونی کپیسٹروں کا مجموعی اثر

اب تک دیکھئے گئے تمام ادوار میں ہم نے دیکھا کہ کسی بھی کپیسٹر کی بدولت پیدا ہوڈا خط کے قطب کو $\omega = \frac{1}{R_m C}$ لکھا جا سکتا ہما جہاں R_m اس کپیسٹر کے متوازی جزی مزاحمت ہے۔ بیس اور ایمٹر دونوں پر کپیسٹر نسب کرنے سے ایسا سادہ مساوات حاصل نہیں ہوتا۔ آئیں شکل 6.14 میں $\frac{v_L}{v_i} = \beta + 1$ حاصل کرتے ہوئے اس صورت کو بھی دیکھیں۔ شکل 6.15 میں اس کا باریک مساوی دور دکھایا گیا ہے جس میں R_e اور C_e کو ٹرانزستر کے بیس جانب منتقل کرتے ہوئے R'_e اور C'_e لکھا گیا ہے۔ یوں

$$R'_e = (\beta + 1) R_e$$

$$C'_e = \frac{C_e}{\beta + 1}$$

بیس۔ شکل کو دیکھتے ہوئے ہم لکھ سکتے ہیں

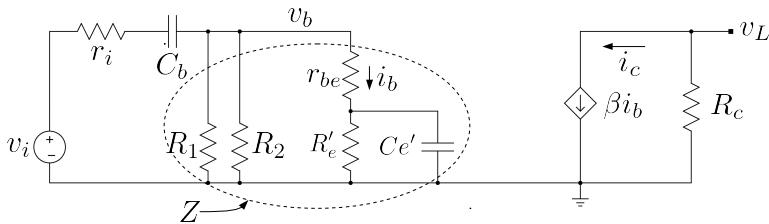
$$(6.41) \quad A_v = \frac{v_L}{v_i} = \frac{v_L}{i_c} \times \frac{i_c}{i_b} \times \frac{i_b}{v_b} \times \frac{v_b}{v_i}$$

$$= -R_c \beta \left(\frac{1}{R'_e} + sC'_e \right) \left(\frac{Z}{r_i + \frac{1}{sC_b} + Z} \right)$$

جہاں r_{be} کو نظر انداز کرتے ہوئے

$$\frac{1}{Z} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R'_e} + sC'_e$$

کے برابر ہے۔ مساوات 6.41 کو کسی طرح یوں نہیں لکھا جا سکتا کہ C_b اور C_e علیحدہ قوسمیں کا حصہ بنی۔ یوں ان دو کپیسٹروں سے علیحدہ علیحدہ ہوڈا خط کے کونے حاصل کرنا ممکن نہیں ہے۔



شکل 6.15

دئے گئے قیمتیں پر کرتے ہیں۔

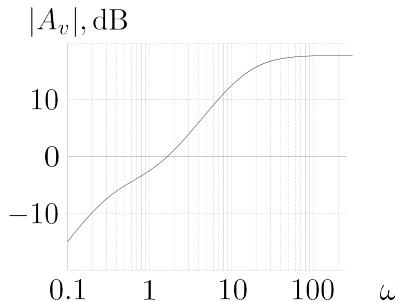
$$\begin{aligned}\frac{1}{Z} &= \frac{1}{40000} + \frac{1}{80000} + \frac{1}{200000} + 4 \times 10^{-6} \times s \\ &= (42.5 + 4s) \times 10^{-6}\end{aligned}$$

مساوات 6.41 میں کسر کرنے نیچے سے Z باہر نکالتے ہوئے کسر کرنے اور پر موجود Z کے ساتھ کاٹتے ہوئے ملتا ہے

$$A_v = -R_e \beta \left(\frac{1}{R'_e} + sC'_e \right) \left(\frac{1}{\left(r_i + \frac{1}{sC_b} \right) \frac{1}{Z} + 1} \right)$$

اس میں قیمتیں پر کرتے ہیں

$$\begin{aligned}A_v &= \frac{-(1.96 + 1.568s)}{\left(50000 + \frac{1}{0.00004s} \right) (42.5 + 4s) \times 10^{-6} + 1} \\ &= \frac{-(1.96 + 1.568s)}{2.125 + 0.2s + \frac{1.0625}{s} + 0.1 + 1} \\ &= \frac{-(1.96 + 1.568s)}{3.225 + 0.2s + \frac{1.0625}{s}} \\ &= \frac{-(1.96 + 1.568s)s}{3.225s + 0.2s^2 + 1.0625} \\ &= \frac{-(1.96 + 1.568s)s}{0.2s^2 + 3.225s + 1.0625}\end{aligned}$$



شکل 6.16

جسے یوں لکھا جا سکتا ہے

$$\begin{aligned} A_v &= \frac{-(1.96 + 1.568s)s}{0.2(s^2 + 16.125s + 5.3125)} \\ &= \frac{-6.25(1.25 + s)s}{(s + 0.336)(s + 15.788)} \end{aligned}$$

اس کو عمومی شکل میں لکھتے ہوئے اس کا بودا خط کھینچتے ہیں۔

$$(6.42) \quad A_v = \frac{-1.8473 \left(1 + \frac{s}{1.25}\right)s}{\left(1 + \frac{s}{0.336}\right) \left(1 + \frac{s}{15.788}\right)}$$

شکل 6.16 میں اس مساوات کا خط ذکھایا گیا ہے۔
شکل 6.15 پر دوبارہ غور کریں۔ C'_e اور C_b کے قیمتوں میں واضح فرق ہے۔ کم تعداد پر $\frac{1}{\omega C'_e}$ کی قیمت سے ہت زیادہ ہو گی۔ یوں کم تعداد پر C'_e کو کھلے سرے تصور کرتے ہوئے C_b کے کردار پر غور کرتے ہیں۔ C_b کے متوازی کل مزاحمت R_{mCb} مندرجہ ذیل ہے

$$R_{mCb} = r_i + R_1 \parallel R_2 \parallel R'_e = 73.529 \text{ k}\Omega$$

یوں ہم توقع رکھتے ہیں کہ C_b سے

$$\frac{1}{R_{mCB} \times C_b} = \frac{1}{73.529 \times 10^3 \times 40 \times 10^{-6}} = 0.34$$

تعداد پر قطب حاصل ہو گا۔ ہم دیکھتے ہیں کہ یہ قطب مساوات 6.42 میں دئے 0.336 تعداد پر قطب کے تقریباً برابر ہے۔ اسی طرح نہایت زیادہ تعداد پر $\frac{1}{\omega C_b}$ کو قصر دور تصور کیا جا سکتا ہے۔ ایسا کرتے

ہوئے C'_e کے متوازی کل مزاحمت حاصل کرتے ہیں

$$\frac{1}{R_{mCe'}} = \frac{1}{r_i} + \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R'_e}$$

سے

$$R_{mCe'} = 16 \text{ k}\Omega$$

حاصل ہوتا ہے۔ ہم توقع کرتے ہیں کہ یوں C'_e سے حاصل قطب

$$\frac{1}{R_{mCe'} \times C'_e} = \frac{1}{16 \times 10^3 \times 4 \times 10^{-6}} = 15.625 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

پر پایا جائے گا۔ ہم دیکھتے ہیں کہ یہ قطب مساوات 6.42 میں دئے 15.788 تعداد پر دئے قطب کے تقریباً برابر ہے۔ مساوات کا صفر 1.25 کے تعدد پر پایا جاتا ہے جو درحقیقت $\frac{1}{R_e C_e}$ کے برابر ہے۔

مثال 6.7: مساوات 6.41 کو حل کریں۔

حل: اس مساوات کو دوبارہ پیش کرتے ہیں۔

$$(6.43) \quad A_v = -R_c \beta \left(sC'_e + \frac{1}{R'_e} \right) \left[\frac{Z}{r_i + \frac{1}{sC_b} + Z} \right]$$

جہاں r_{be} کو نظر انداز کرتے ہوئے

$$\frac{1}{Z} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R'_e} + sC'_e = \frac{1}{R_m} + sC'_e$$

کے برابر ہے جہاں

$$\frac{1}{R_m} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R'_e}$$

لیا گیا ہے۔ مساوات 6.43 میں کسر کے نیچے سے Z باہر نکالتے ہوئے کسر کے اوپر موجود Z کے ساتھ کاٹتے ہوئے ملتا ہے

$$A_v = -R_c \beta \left(sC'_e + \frac{1}{R'_e} \right) \left[\frac{1}{\left(r_i + \frac{1}{sC_b} \right) \frac{1}{Z} + 1} \right]$$

اس میں Z پڑھتے ہوئے حل کرتے ہیں۔

$$\begin{aligned} A_v &= \frac{-R_c \beta \left(sC'_e + \frac{1}{R'_e} \right)}{\left(r_i + \frac{1}{sC_b} \right) \left(\frac{1}{R_m} + sC'_e \right) + 1} \\ &= \frac{-R_c \beta \left(sC'_e + \frac{1}{R'_e} \right)}{\frac{r_i}{R_m} + sr_i C'_e + \frac{1}{sR_m C_b} + \frac{C'_e}{C_b} + 1} \end{aligned}$$

کسر کے پچھے حصے میں s کی تعلق سے اجزاء اکھھے کرتے ہوئے حل کرتے ہیں۔

$$\begin{aligned} A_v &= \frac{-R_c \beta \left(sC'_e + \frac{1}{R'_e} \right)}{sr_i C'_e + \left(\frac{r_i}{R_m} + \frac{C'_e}{C_b} + 1 \right) + \frac{1}{sR_m C_b}} \\ &= \frac{-R_c \beta R_m C_b \left(sC'_e + \frac{1}{R'_e} \right) s}{s^2 r_i C'_e R_m C_b + s \left(\frac{r_i}{R_m} + \frac{C'_e}{C_b} + 1 \right) R_m C_b + 1} \\ &= \frac{-R_c \beta R_m C_b C'_e \left(s + \frac{1}{R'_e C'_e} \right) s}{r_i C'_e R_m C_b \left[s^2 + s \left(\frac{r_i}{R_m} + \frac{C'_e}{C_b} + 1 \right) \frac{1}{r_i C'_e} + \frac{1}{r_i C'_e R_m C_b} \right]} \end{aligned}$$

اس مزید یوں لکھ سکتے ہیں۔

$$\begin{aligned} A_v &= \frac{\frac{-R_c \beta}{r_i} \left(s + \frac{1}{R'_e C'_e} \right) s}{s^2 + s \left(\frac{1}{R_m C'_e} + \frac{1}{r_i C_b} + \frac{1}{r_i C'_e} \right) + \frac{1}{r_i C'_e R_m C_b}} \\ &= \frac{\frac{-R_c \beta}{r_i} \left(s + \frac{1}{R'_e C'_e} \right) s}{s^2 + s \left[\frac{1}{R_m C'_e} + \frac{1}{r_i} \left(\frac{1}{C_b} + \frac{1}{C'_e} \right) \right] + \frac{1}{R_m C'_e r_i C_b}} \end{aligned}$$

اس مساوات میں

$$\begin{aligned} \omega_c &= \frac{1}{R'_e C'_e} = \frac{1}{R_e C_e} \\ \omega_1 &= \frac{1}{R_m C'_e} \\ (6.44) \quad \omega_2 &= \frac{1}{r_i} \left(\frac{1}{C_b} + \frac{1}{C'_e} \right) \\ \omega_3 &= \frac{1}{r_i C_b} \end{aligned}$$

لکھتے ہوئے

$$A_v = \frac{\frac{-R_c\beta}{r_i} (s + \omega_c) s}{s^2 + s [\omega_1 + \omega_2] + \omega_1 \omega_3}$$

حاصل ہوتا ہے جسے یوں لکھا جا سکتا ہے

$$(6.45) \quad A_v = \frac{\frac{-R_c\beta}{r_i} (s + \omega_c) s}{(s + \omega_{q1})(s + \omega_{q2})} = \frac{\frac{-R_c\beta\omega_c}{\omega_{q1}\omega_{q2}} \left(\frac{s}{\omega_c} + 1\right) s}{\left(\frac{s}{\omega_{q1}} + 1\right) \left(\frac{s}{\omega_{q2}} + 1\right)}$$

جہاں

$$(6.46) \quad \omega_{q1} = \frac{-(\omega_1 + \omega_2) - \sqrt{(\omega_1 + \omega_2)^2 - 4\omega_1\omega_3}}{2}$$

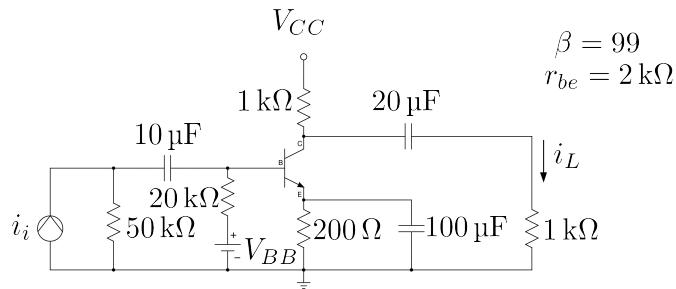
$$\omega_{q2} = \frac{-(\omega_1 + \omega_2) + \sqrt{(\omega_1 + \omega_2)^2 - 4\omega_1\omega_3}}{2}$$

ہیں۔

6.8 قابو، ایمٹر اور کلکٹر بیرونی کپیسٹروں کا مجموعی اثر

مثال 6.6 میں یہ حقیقت سامنے آئی کہ اگر کسی ایک کپیسٹر سے حاصل کونسی کسی دوسرا کپیسٹر سے حاصل کونسے سے بہت بلند تعداد پر پایا جائے تو پست انقطعی تعداد زیادہ تعدد پر پائے جانے والے کونے پر ہو گا۔ ایمپلیفائر تخلیق دیتے ہوئے اس حقیقت کو عموماً بروئے کار لایا جاتا ہے۔ اسی طرح مثال 6.7 میں یہ حقیقت سامنے آئی کہ بیس اور ایمٹر دونوں پر کپیسٹر نسب بونے کی صورت میں دور کو حل کرنا دشوار ہوتا ہے اور اسے حل کرنے سے زیادہ قابل استعمال مساواتیں حاصل نہیں ہوتیں۔

عموماً ایمپلیفائر میں C_B ، C_C اور C_E تینوں پائے جاتے ہیں۔ ایمپلیفائر کسی مخصوص اشارے کے لئے تخلیق دئے جاتا ہے۔ اشارے کی کم سے کم اور زیادہ سے زیادہ ممکنہ تعدد کو مد نظر رکھتے ہوئے ایمپلیفائر تخلیق دیا جاتا ہے۔ ایمپلیفائر کی پست انقطعی تعداد اشارے کے کم سے کم ممکنہ تعدد سے کم رکھا جاتا ہے۔ یوں ایمپلیفائر پست انقطعی تعداد تک درمیانی تعدد کی افزائش برقرار رکھتا ہے جبکہ پست انقطعی نقطے سے کم تعداد پر ایمپلیفائر کی کارکردگی اہمیت نہیں رکھتی چونکہ اس خطے میں اسے استعمال نہیں کیا جاتا۔



شکل 6.17

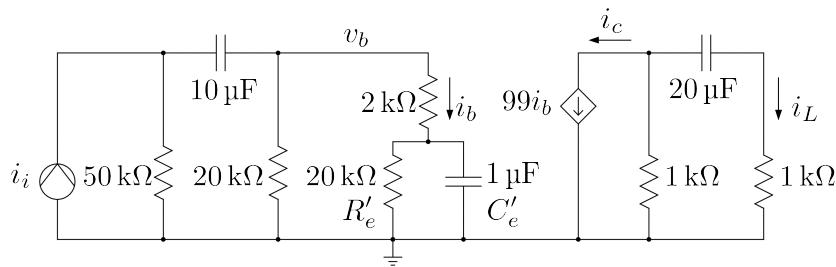
$\omega_0 = \frac{1}{R_m C}$ لیتے ہوئے $C = \frac{1}{\omega_0 R_m}$ حاصل ہوتا ہے۔ یوں کم R_m کی صورت میں C کی بڑی قیمت حاصل ہوتی ہے۔ حقیقی ایمپلیفائر میں C_E کے ساتھ کل متوازی جزی مزاہمت کی قیمت C_B اور C_C کے متوازی مزاہتوں سے کم ہوتی ہے۔ لہذا کسی بھی ω_0 کے لئے درکار C_E کی قیمت بقايا دو کپیسٹروں سے بڑی ہوتی ہے۔ اسی لئے پست انقطعائی تعداد کو C_E کے مدد سے حاصل کیا جاتا ہے جبکہ C_C اور C_B سے حاصل انقطعائی نقطوں کو اس سے کمی درجے کم تعدد پر رکھا جاتا ہے۔ یوں حاصل C_E کی قیمت کم سے کم ہو گی۔ اگر اس کے برعکس C_B یا C_C کی مدد سے درکار پست انقطعائی نقطے حاصل کیا جائے تو اس صورت میں C_E سے حاصل نقطے کو اس سے بھی کم تعدد پر رکھنا ہو گا جس سے C_E کی قیمت زیادہ حاصل ہو گی۔ آئیں ایک مثال کی مدد سے ایسے ایمپلیفائر کا تجزیہ کریں۔

مثال 6.8: شکل 6.17 میں $A_i = \frac{i_L}{i_i}$ کا درمیانی تعدد پر افراش A_i حاصل کریں۔ اس کا پست انقطعائی تعدد بھی حاصل کریں۔

حل: شکل 6.18 میں مساوی دور دکھایا گیا ہے جہاں $R'_e = (\beta + 1) R_e$ اور $C'_e = \frac{C_e}{\beta + 1}$ استعمال کئے گئے ہیں۔ درمیانی تعدد پر تمام کپیسٹر قصر دور کردار ادا کریں گے۔ یوں

$$\begin{aligned} A_i &= \frac{i_L}{i_c} \times \frac{i_c}{i_b} \times \frac{i_b}{v_b} \times \frac{v_b}{i_i} \\ &= \left(\frac{-1000}{2000} \right) (99) \left(\frac{1}{2000} \right) (1754) \\ &= -43 \frac{\text{A}}{\text{A}} \end{aligned} \quad (1754)$$

یعنی 32.67 dB حاصل ہوتا ہے۔



شکل 6.18:

ہم دیکھتے ہیں کہ C_c کی وجہ سے ایک عدد قطب

$$\omega_{qc} = \frac{1}{20 \times 10^{-6} \times 2000} = 25 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

پر پایا جائے گا۔ C_e اور C_b کے کردار پر اب غور کرتے ہیں۔ C_e کا عکس ٹرانزسٹر کے بیس جانب لیا گیا ہے جو کہ $1 \mu\text{F}$ کے برابر ہے۔ یوں جن تعداد پر $1 \mu\text{F}$ اہمیت رکھتا ہے ان تعداد پر C_b بطور قصر دور کردار ادا کرے گا۔ C_b کو قصر دور تصور کرتے ہوئے $1 \mu\text{F}$ کے متوازی کل مزاحمت

$$R'_e \parallel (r_{be} + r_i \parallel R_b) = 8.976 \text{ k}\Omega$$

حاصل ہوتا ہے لہذا $1 \mu\text{F}$ سے حاصل قطب

$$\omega_{qe} = \frac{1}{10^{-6} \times 8976} = 111.4 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

پر پایا جائے گا۔ اسی طرح جن تعداد پر $10 \mu\text{F}$ اہمیت رکھتا ہے ان تعداد پر $1 \mu\text{F}$ بطور کھلے دور کردار ادا کرے گا۔ $1 \mu\text{F}$ کو کھلے دور تصور کرتے ہوئے $10 \mu\text{F}$ کے متوازی کل مزاحمت

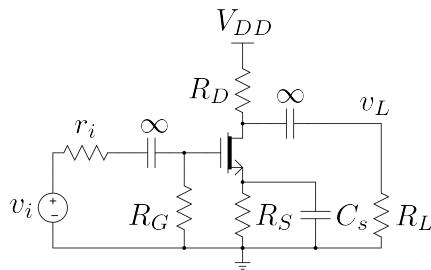
$$r_i + R_b \parallel [r_{be} + R'_e] = 60.476 \text{ k}\Omega$$

حاصل ہوتا ہے اور یوں

$$\omega_{qb} = \frac{1}{10 \times 10^{-6} \times 60476} = 1.65 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

پر قطب پایا جائے گا۔ آپ نے دیکھا کہ

$$\omega_{qe} \gg \omega_{qc} \gg \omega_{qb}$$



شکل 6.19:

بین-یوں پست انقطعی تعدد $\omega_L = \omega_{qe}$ پر پایا جائے گا۔ مندرجہ بالا حساب و کتاب میں ω_{qe} پر ہم نے C_b کو قصر دور تصور کیا تھا جبکہ ω_{qb} پر اسے کھلے دور تصور کیا تھا۔ آئیں دیکھیں کہ کیا ایسا کرنا درست تھا۔ ω_{qe} پر C_b کی برق رکاوٹ کی حتمی قیمت

$$\left| \frac{1}{\omega_{qe} C_b} \right| = \frac{1}{111.4 \times 10 \times 10^{-6}} = 0.898 \text{ k}\Omega$$

ہے۔ C'_e کے متوازی کل مزاحمت کے لحاظ سے یہ چھوٹی مقدار ہے جس سے نظر انداز کیا جا سکتا ہے۔ یوں آپ دیکھ سکتے ہیں کہ ω_{qe} پر C_b کی برق رکاوٹ کو نظر انداز کرتے ہوئے اسے قصر دور تصور کیا جا سکتا ہے۔ اسی طرح ω_{qb} پر

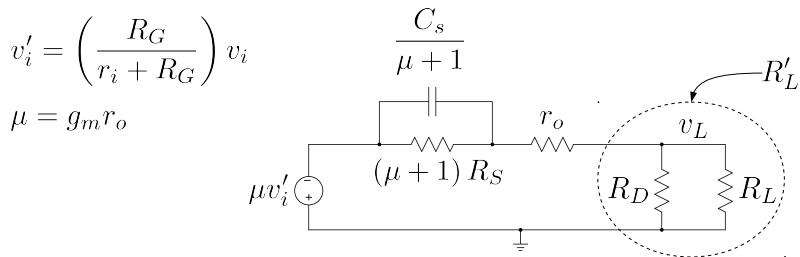
$$\left| \frac{1}{\omega_{qb} C'_e} \right| = \frac{1}{1.65 \times 10^{-6}} = 606 \text{ k}\Omega$$

ہے لہذا ω_{qb} پر C_e کو کھلے دور تصور کیا جا سکتا ہے۔

6.9 پست انقطعی تعدد بنریمعہ سورس کپیسٹر

شکل 6.19 میں گیٹ اور کلکٹر کپیسٹروں کی قیمت لامحدود تصور کریں۔ $A_v = \frac{v_L}{v_i}$ حاصل کرتے ہوئے پست انقطعی تعدد ω_L حاصل کرتے ہیں۔ گیٹ پر برق دباؤ کو v'_i لکھتے ہیں جہاں

$$v'_i = \left(\frac{R_G}{r_i + R_G} \right) v_i$$



شکل 6.20

کے برابر ہے۔ یوں صفحہ 455 پر شکل 4.51 کے طرز پر موجودہ دور کا مساوی دور بناتے ہوئے شکل 6.20 حاصل ہوتا ہے۔ مساوی دور میں سورس پر پائے جانے والے برقی رکاوٹ $(\mu + 1)$ سے ضرب ہو کر کلکٹر منتقل ہوتے ہیں۔ کی رکاوٹ C_s کی رکاوٹ $\frac{\mu+1}{sC_s}$ یوں ہو جائے گی یعنی کپیسٹر کی قیمت $\frac{C_s}{\mu+1}$ ہو جائے گی۔

مساوی دور میں متوازی جڑ مزاحمت اور کپیسٹر کی کل برقی رکاوٹ کو Z لکھتے ہیں جہاں

$$\frac{1}{Z} = \frac{1}{(\mu + 1) R_S} + \frac{sC_s}{\mu + 1}$$

$$Z = \frac{(\mu + 1) R_S}{1 + sR_S C_s}$$

کے برابر ہے۔ اس طرح

$$v_L = \left(\frac{R'_L}{Z + r_o + R'_L} \right) (-\mu v'_i)$$

لکھا جا سکتا ہے جہاں $R'_L = \frac{R_L R_D}{R_L + R_D}$ کے برابر ہے۔ اس میں Z پُر کرتے ہیں۔

$$v_L = \frac{-\mu R'_L v'_i}{\frac{(\mu+1)R_S}{1+sR_S C_s} + r_o + R'_L}$$

یوں

$$\begin{aligned}\frac{v_L}{v'_i} &= \frac{-\mu R'_L (1 + sR_S C_s)}{(\mu + 1) R_S + (1 + sR_S C_s) (r_o + R'_L)} \\ &= \frac{-\mu R'_L (1 + sR_S C_s)}{(\mu + 1) R_S + r_o + R'_L + sR_S C_s (r_o + R'_L)} \\ &= \left(\frac{-\mu R'_L}{r_o + R'_L} \right) \frac{s + \frac{1}{R_S C_s}}{s + \frac{(\mu+1)R_S+r_o+R'_L}{R_S C_s (r_o + R'_L)}}\end{aligned}$$

حاصل ہوتا ہے - پہلی قوسین میں $\mu = g_m r_o$ پر کرنے سے اس قوسین کو

$$\begin{aligned}\frac{-g_m r_o R'_L}{r_o + R'_L} &= -g_m (r_o \| R'_L) \\ &= -g_m (r_o \| R_L \| R_D) \\ &= -g_m R_{\parallel}\end{aligned}$$

لکھا جا سکتا ہے جہاں

$$R_{\parallel} = r_o \| R_L \| R_D$$

کے برابر ہے - یوں

$$\frac{v_L}{v'_i} = -g_m R_{\parallel} \left[\frac{s + \frac{1}{R_S C_s}}{s + \frac{(\mu+1)R_S+r_o+R'_L}{R_S C_s (r_o + R'_L)}} \right]$$

حاصل ہوتا ہے - افراش

$$(6.47) \quad A_v = \frac{v_L}{v_i} = \left(\frac{v_L}{v'_i} \right) \times \left(\frac{v'_i}{v_i} \right)$$

$$(6.48) \quad = -g_m R_{\parallel} \left[\frac{s + \frac{1}{R_S C_s}}{s + \omega_L} \right] \left(\frac{R_G}{r_i + R_G} \right)$$

کے برابر ہے جہاں

$$(6.49) \quad \omega_L = \frac{(\mu + 1) R_S + r_o + R'_L}{R_S C_s (r_o + R'_L)}$$

پست انقطاعی تعدد ہے۔ ω_L کو مزید یوں لکھا جا سکتا ہے

$$(6.50) \quad \omega_L = \frac{1}{R_m \frac{C_s}{\mu+1}}$$

جہاں R_m شکل 6.20 میں کے متوازی کل مزاحمت ہے یعنی

$$\begin{aligned} \frac{1}{R_m} &= \frac{1}{(\mu+1) R_S} + \frac{1}{r_o + R'_L} \\ R_m &= \frac{(\mu+1) R_S (r_o + R'_L)}{(\mu+1) R_S + r_o + R'_L} \end{aligned}$$

درمیانی تعدد پر افزائش حاصل کرنے کی خاطر $\omega \rightarrow \infty$ استعمال کرتے ہوئے مساوات 6.47 سے

$$\begin{aligned} A_{vD} = A_v \Big|_{\omega \rightarrow \infty} &= -g_m R_{\parallel} \left(\frac{R_G}{r_i + R_G} \right) \left[\frac{\infty + \frac{1}{R_S C_s}}{\infty + \omega_L} \right] \\ &= -g_m R_{\parallel} \left(\frac{R_G}{r_i + R_G} \right) \end{aligned}$$

حاصل ہوتا ہے۔ عموماً $R_G \gg r_i$ ہوتا ہے۔ یوں

$$(6.51) \quad A_{vD} \approx -g_m R_{\parallel}$$

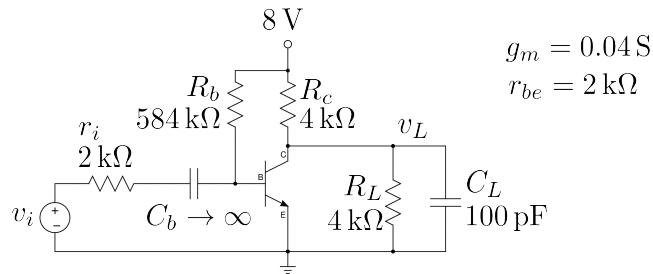
لکھا جا سکتا ہے۔

مثال 6.9: شکل 6.19 میں $r_o = 10 \text{ k}\Omega$ ، $R_L = 100 \text{ k}\Omega$ ، $R_D = 4.7 \text{ k}\Omega$ ، $R_S = 1 \text{ kHz}$ اور $f_L = 20 \text{ Hz}$ کو پر رکھنے کی خاطر درکار C_s حاصل کریں۔ درمیانی تعدد پر افزائش A_v بھی حاصل کریں۔ حل: مساوات 6.49 کی مدد سے

$$2 \times \pi \times 20 = \frac{(0.004 \times 10000 + 1) \times 1000 + 10000 + 4489}{1000 \times C_s (10000 + 4489)}$$

یعنی $C_s = 30.5 \mu\text{F}$ حاصل ہوتا ہے۔ مندرجہ بالا مساوات میں $R'_L = 4489 \Omega$ پُر کیا گیا ہے۔ مساوات 6.51 میں

$$\begin{aligned} \frac{1}{R_{\parallel}} &= \frac{1}{10000} + \frac{1}{100000} + \frac{1}{4700} = 3.22765 \times 10^{-4} \\ R_{\parallel} &= 3098 \end{aligned}$$



شکل 6.21:

پر کرتے ہوئے

$$A_{vD} = -0.004 \times 3098 = -12.4 \frac{V}{V}$$

حاصل ہوتا ہے۔

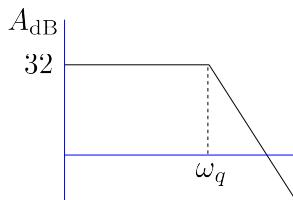
اب تک ہم نے جتنے بھی مثال دیکھئے ان تمام میں بیرونی جڑ کپیسٹر کی وجہ سے پست انقطعائی نقطے حاصل ہوئے۔ آئیں اب ایک ایسا مثال دیکھیں جہاں بیرونی کپیسٹر کی وجہ سے زیادہ تعداد کا اشارہ متاثر ہوتا ہو۔ اس مثال سے زیادہ تعداد کے مسائل بھی سامنے آئیں گے جن کا آگئے تفصیلاً جائزہ لیا جائے گا۔

مثال 6.21: شکل 6.21 میں $A_v = \frac{v_L}{v_i}$ کی مساوات حاصل کرنے ہوئے اس کا بودا خط کھینچیں۔
حل: اس کو آپ آسانی سے حل کر سکتے ہیں۔ جواب مندرجہ ذیل ہے۔

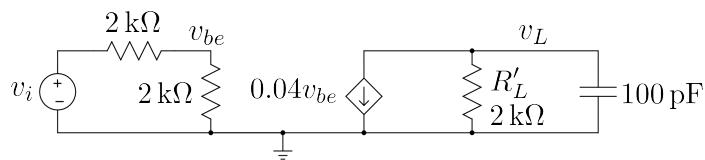
$$A_v = -g_m \left(\frac{R_b \| r_{be}}{r_i + R_b \| r_{be}} \right) \left(\frac{R_c \| R_L}{\frac{s}{\omega_q} + 1} \right) = \frac{-40}{\frac{s}{5 \times 10^6} + 1}$$

$$\omega_q = \frac{1}{(R_c \| R_L) C_L} = 5 \times 10^6$$

بودا خط شکل 6.22 میں دیا گیا ہے۔ آپ دیکھ سکتے ہیں کہ ω_q سے کم تعداد کے اشارات پر کپیسٹر کا کوئی اثر نہیں۔ یوں ω_q بلند انقطعائی تعداد ہے۔



شکل 6.22



شکل 6.23

مثال 6.11: مثال 6.10 میں اگر داخلی اشارہ صفر ولٹ سے یکدم 20 mV ہو جائے تو v_L نئی قیمت کے حتمی قیمت کے 90% کتنی دیر میں پہنچ پائے گا۔

حل: شکل 6.23 میں R_b کو نظر انداز اور $R_c \parallel R_L$ کو R'_L لکھتے ہوئے مساوی دور دکھایا گیا ہے۔ جیسے ہی داخلی اشارہ 20 mV ہوتا ہے اسی دم $v_{be} = 10 \text{ mV}$ ہو جائے گا اور یون $i_c = 0.4 \text{ mA}$ ہو جائیں گے۔ کرچاف کے قانون برائے برقی روکرے تحت خارجی جانب

$$C_L \frac{dv_L}{dt} + \frac{v_L}{R'_L} + g_m v_{be} = 0$$

$$C_L \frac{dv_L}{dt} + \frac{v_L}{R'_L} + 0.0004 = 0$$

لکھا جا سکتا ہے جسے

$$\frac{dv_L}{dt} = -\frac{1}{R'_L C_L} (v_L + 0.0004 R'_L)$$

$$\frac{dv_L}{dt} = -\frac{1}{R'_L C_L} (v_L + 0.8)$$

یا

$$\frac{dv_L}{v_L + 0.8} = -\frac{dt}{R'_L C_L}$$

لکھتے ہیں۔ اس کا تکملہ لیتے ہیں

$$\begin{aligned}\int \frac{dv_L}{v_L + 0.8} &= -\frac{1}{R'_L C_L} \int dt \\ \ln(v_L + 0.8) &= -\frac{t}{R'_L C_L} + K' \\ v_L + 0.8 &= Ke^{-\frac{t}{R'_L C_L}}\end{aligned}$$

حاصل ہوتا ہے جہاں K' اور K تکملہ کے مستقل ہیں۔ $t = 0$ پر $v_L = 0$ سے

حاصل ہوتا ہے لہذا

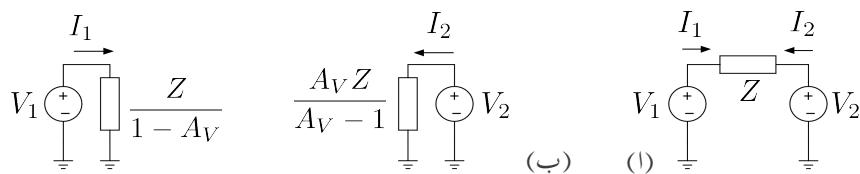
$$\begin{aligned}v_L &= 0.8 \left(e^{-\frac{t}{R'_L C_L}} - 1 \right) \\ &= 0.8 \left(e^{-5 \times 10^6 t} - 1 \right)\end{aligned}$$

لامحدود وقت گزرنے کے بعد یعنی $t \rightarrow \infty$ پر اس مساوات کے تحت $v_L = -0.8 \text{ V}$ ہو گا۔ یوں اس قیمت کے 90% قیمت حاصل کرنے کی خاطر حل کرتے ہیں

$$-0.9 \times 0.8 = 0.8 \left(e^{-5 \times 10^6 t} - 1 \right)$$

جس سے $t = 0.46 \mu\text{s}$ حاصل ہوتا ہے

اس مثال میں ہم نے دیکھا کہ داخلی اشارے کے تبدیلی کے کچھ دیر بعد خارجی اشارہ اپنی نئی قیمت تک پہنچ پاتا ہے۔ آپ دیکھ سکتے ہیں کہ تیز رفتار عددی ادوار میں C_L کی قیمت کم سے کم رکھنا نہایت ضروری ہے۔ جہاں بھی تیز رفتار سے تبدیل ہونے والا اشارہ پایا جائے وباں C_L در حقیقت غیر ضروری ناپسندیدہ کپیسٹر ہوتا ہے جسے کم کرنے کی پوری کوشش کی جاتی ہے۔ اس مثال میں کپیسٹر کی بدولت دور کے رفتار میں سستی پیدا ہونا دیکھا گیا۔ آئیں اب بلند تعدد انقطاعی نقطوں پر غور کریں اور جن کپیسٹروں سے یہ نقطے پیدا ہوتے ہیں ان کی نشاندہی کریں۔ ہمیں مسئلہ ملر پر غور کرتے ہیں جو آگے بار بار استعمال ہو گا۔



شکل 6.24: مسئله ملر

مسئله ملر 6.10

ٹرانزسٹر ایمپلیفائر کا بلند تعدادی رد عمل دیکھنے سے پہلے شکل 6.24 کی مدد سے مسئله ملر³⁰ پر غور کرتے ہیں۔³¹ شکل الف میں دو برقی دیاو کے مابین برق رکاوٹ Z نسب کی گئی ہے۔ V_1 سے باہر نکلتے برقی روکو I_1 سے ظاہر کرتے ہوئے

$$I_1 = \frac{V_1 - V_2}{Z}$$

حاصل ہوتا ہے۔ آئیں اس برقی روکو قدر مختلف طریقے سے لکھیں۔

$$\begin{aligned} I_1 &= \frac{V_1 - V_2}{Z} \\ &= V_1 \left(\frac{1 - \frac{V_2}{V_1}}{Z} \right) \\ &= \frac{V_1}{\left(\frac{Z}{1 - \frac{V_2}{V_1}} \right)} \end{aligned}$$

جس کو مزید یوں لکھ سکتے ہیں۔

$$(6.52) \quad I_1 = \frac{V_1}{Z_M}$$

جہاں

$$(6.53) \quad Z_M = \frac{Z}{1 - \frac{V_2}{V_1}}$$

Miller theorem³⁰
³¹ جان ملنن ملنے اس مسئلے کو دریافت کیا

کے برابر ہے۔ اس مساوات میں

$$(6.54) \quad \frac{V_2}{V_1} = A_V$$

لکھتے ہوئے

$$(6.55) \quad Z_M = \frac{Z}{1 - A_V}$$

حاصل ہوتا ہے۔

شکل 6.24 ب میں V_1 کے ساتھ Z_M جوڑا دکھایا گیا ہے۔ جہاں تک V_1 کا تعلق ہے، شکل الف اور شکل ب دونوں میں V_1 سے بالکل یکسان I_1 برق رو حاصل ہوتا ہے۔ یوں V_1 کے نقطہ نظر سے شکل الف کے طرز پر لگائے گئے Z اور شکل ب کے طرز پر لگائے گئے Z_M مساوی ادوار ہیں۔ Z_M ملرو برق رکاوٹ پکارا جاتا ہے۔³² آئیں اب V_2 کے نقطہ نظر سے دیکھیں جس سے باہر نکلتے ہوئے برق رو کو I_2 سے ظاہر کرتے ملتا ہے

$$\begin{aligned} I_2 &= \frac{V_2 - V_1}{Z} \\ &= V_2 \left(\frac{1 - \frac{V_1}{V_2}}{Z} \right) \\ &= \frac{V_2}{\left(\frac{Z}{1 - \frac{V_1}{V_2}} \right)} \end{aligned}$$

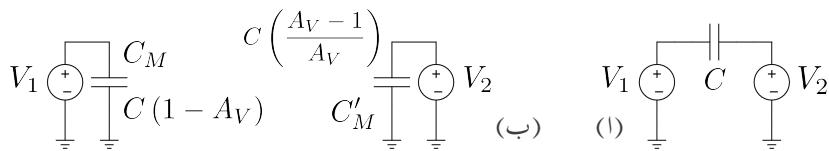
جسے

$$(6.56) \quad I = \frac{V_2}{Z'_M}$$

لکھ سکتے ہیں جہاں

$$\begin{aligned} Z'_M &= \frac{Z}{1 - \frac{V_1}{V_2}} \\ &= \frac{Z}{\frac{V_1}{V_2} \left(\frac{V_2}{V_1} - 1 \right)} \\ &= \frac{\left(\frac{V_2}{V_1} \right) Z}{\frac{V_2}{V_1} - 1} \end{aligned}$$

³² Z_M لکھتے ہوئے زیر نوشت میں ہر چھتے حروف تہجی میں M ملرو کو ظاہر کرتا ہے



شکل 6.25: ملر کپیسٹر

یعنی

$$(6.57) \quad Z'_M = \frac{A_V Z}{A_V - 1}$$

کے برابر ہے۔ شکل 6.24 میں V_2 کے ساتھ Z کی جگہ Z'_M جوڑا دکھایا گیا ہے۔ V_2 کے نقطے نظر سے شکل الف اور شکل ب مساوی ادوار ہیں۔

شکل 6.24 میں Z کی جگہ کپیسٹر C نسب کرنے سے شکل 6.25 حاصل ہوتا ہے۔ مساوات 6.55 میں کپیسٹر کی برقی رکاوٹ کو $\frac{1}{j\omega C}$ لکھتے ہوئے

$$\begin{aligned} \frac{1}{j\omega C_M} &= \frac{\left(\frac{1}{j\omega C}\right)}{1 - A_V} \\ &= \frac{1}{j\omega C (1 - A_V)} \end{aligned}$$

یعنی

$$(6.58) \quad C_M = C (1 - A_V)$$

حاصل ہوتا۔ اسی طرح مساوات 6.57 سے

$$\begin{aligned} \frac{1}{j\omega C'_M} &= \frac{A_V \left(\frac{1}{j\omega C}\right)}{A_V - 1} \\ &= \frac{A_V}{j\omega C (A_V - 1)} \\ &= \frac{1}{j\omega C \left(1 - \frac{1}{A_V}\right)} \end{aligned}$$

یعنی

$$(6.59) \quad C'_M = C \left(1 - \frac{1}{A_V}\right)$$

حاصل ہوتا مساوات 6.58 کا اگلے حصے میں بار بار استعمال ہو گا۔ C_M ملر کپیسٹر³³ پکارا جاتا ہے۔

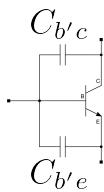
6.11 بلند تعدادی رد عمل

گزشتہ حصول میں پست تعدد پر ٹرانزسٹر ایمپلیفائر کی کارکردگی دیکھئی گئی جہاں ٹرانزسٹر کے ساتھ بیرونی جزر کپیسٹروں کی وجہ سے پائے جانے والے پست انقطعائی نقطعوں پر غور کیا گی۔ اس حصے میں بلند تعدد پر ایمپلیفائر کی کارکردگی دیکھئی جائے گی۔ بلند تعدد پر ٹرانزسٹر کے ساتھ بیرونی جزر کپیسٹروں کی برق رکاوٹ $\frac{1}{C_{ob}}$ نہایت کم ہوتی ہے اور یوں انہیں قصر دور تصور کیا جاتا ہے۔ بلند تعدد پر ٹرانزسٹر کے اندروں کپیسٹروں کی وجہ سے بلند انقطعائی نقطہ پیدا ہوتا ہے جس پر اس حصے میں غور کیا جائے گا۔ پہلے $n-p-n$ ٹرانزسٹر کو مثال بناتے ہوئے ان اندروں کپیسٹروں پر تبصرہ کرتے ہیں۔

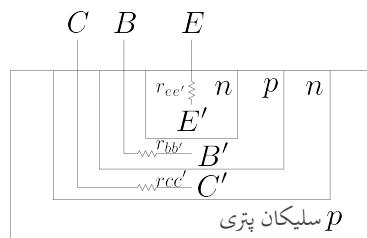
6.11.1 بلند تعدادی پائے π مادل

استعمال کے دوران ٹرانزسٹر کے بیس۔ ایٹر جوڑ کو الٹ مائل رکھا جاتا ہے۔ بالکل ڈائیوڈ کی طرح، اس الٹ مائل $p-n$ جوڑ پر ویران خطہ پایا جاتا ہے جس کے ایک جانب مشتبہ چارج جبکہ دوسرا جانب منفی چارج پایا جاتا ہے۔ یہ دو الٹ قسم کے چارج مل کر کپیسٹر کو جنم دیتے ہیں جسے $C_{b'c}$ کی علامت سے ہو چانا جاتا ہے۔ اس کپیسٹر کی قیمت نہایت کم ہوتی ہے جو پست تعدد پر چلنے والے ٹرانزسٹروں میں 30 pF کے لگ بھگ جبکہ بلند تعدد پر چلنے والے ٹرانزسٹروں میں 1 pF یا اس سے بھی کم ہوتی ہے۔ اس کپیسٹر کی قیمت الٹا مائل کرنے والے برق دباؤ V_{CB} پر منحصر ہوتی ہے۔ حقیقت میں $C_{b'c}$ کی قیمت $V_{CB}^{-\frac{1}{2}}$ یا $V_{CB}^{-\frac{1}{3}}$ کے تناسب سے تبدیل ہوتی ہے۔ صنعت کار عموماً $C_{b'c}$ کو پکار کر اس کی قیمت کپیسٹر کے معلومات صفحات میں پیش کرتا ہے۔

اس کے علاوہ بیس۔ ایٹر جوڑ پر کپیسٹر $C_{b'e}$ پایا جاتا ہے جس کی قیمت 5000 pF تا 100 pF پائی جاتی ہے۔ آئیں دیکھیں کہ یہ کپیسٹر کس طرح پیدا ہوتا ہے۔ ٹرانزسٹر کے بیس۔ ایٹر جوڑ پر مشتبہ اشارے کی موجودگی میں ایٹر سے بیس کی جانب آزاد الیکٹران روان ہوتے ہیں جن کا بیشتر حصہ بیس خطے سے بذریعہ نفوذ گزرا کر آخر کار کلکٹر پہنچ کر i_c کا حصہ بنتے ہیں۔ اب تصور کریں کہ اس سے پہلے کہ الیکٹران بیس خطے سے گزرا کر اشارے منفی ہو جاتا ہے۔ آزاد الیکٹران اشارے کی نئی حقیقت کو دیکھتے ہوئے واپس ایٹر سے کی جانب چل پڑیں گے۔ نتیجتاً کلکٹر سے پر برق رو i_c کی مقدار نسبتاً کم ہو جائے گی۔ اس عمل کو مد نظر رکھتے ہوئے آپ دیکھ سکتے ہیں کہ ٹرانزسٹر کے کارکردگی کے لئے ضروری ہے کہ بیس خطے سے الیکٹران کے گزرنے کا دورانیہ مہیا کرده اشارے کے دوری عرصے سے کم ہو۔ جیسے جیسے اشارے کی تعدد بڑھائی جائے، ویسے ویسے کلکٹر برق رو i_c کی قیمت کم ہوتی جاتی ہے۔ بڑھتی تعداد کی وجہ سے کم برق رو کے حصول کو کپیسٹر $C_{b'e}$ سے ظاہر کیا جاتا ہے۔ بدلتے اشارے کی وجہ سے بیس خطے سے گزرنے کے آزاد الیکٹران کبھی کلکٹر اور کبھی ایٹر کی جانب پہنچنے کی کوشش ہی کرتے رہ جاتے ہیں۔ یوں بیس خطے میں گھیرے الیکٹرانوں کی تعداد کل برق رو I_{EQ} پر منحصر ہوتی ہے۔ $C_{b'e}$ کی مقدار بیس خطے میں گھیرے چارجوں کی مقدار پر منحصر



شکل 6.26: ٹرانزسٹر کے اندروئی کپیسٹر کو بطور بیرونی کپیسٹر دکھایا گیا ہے



شکل 6.27: ٹرانزسٹر کے اندروئی مزاحمت

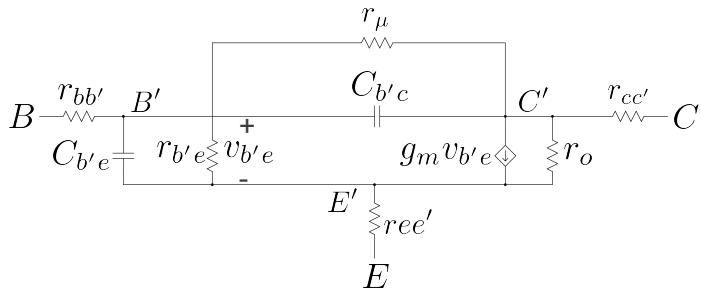
ہوئی ہے اور یوں اس کی قیمت برق روکے راست تناسب ہوئی ہے۔ ٹرانزسٹر کے اندروئی کپیسٹروں کو شکل 6.26 میں بطور بیرونی کپیسٹر دکھایا گیا ہے۔

شکل 6.27 میں ٹرانزسٹر کی ساخت دکھائی گئی ہے جہاں بیرونی سروں کو حسب معمول E ، B اور C کھا گیا ہے۔ ٹرانزسٹر کے بیس کے بیرونی سرے B' اور اندروئی نقطے E' کے درمیان غیر مطلوب مزاحمت³⁴ $r_{bb'}$ پایا جاتا ہے۔ یہ مزاحمت بیس خطے کی خصوصیات پر منحصر ہوتا ہے۔ اسی طرح ایک پر $r_{ee'}$ اور کلکٹر پر $r_{cc'}$ غیر مطلوب مزاحمت پائے جاتے ہیں۔ الٹ مائلبیس۔ ایکٹر جوڑ میں الٹ جانب یک سعی برق روکو مزاحمت r_μ سے ظاہر کیا جاتا ہے۔ اس کتاب میں $r_{ee'}$ ، $r_{cc'}$ اور r_μ کو صفر تصور کرتے ہوئے نظر انداز کیا جائے گا۔

ٹرانزسٹر کے پست تعددی پائے ماذل میں ان تمام اجزاء کی شمولیت سے بلند تعددی پائے ماذل حاصل ہوتا ہے جس کو شکل 6.28 میں دکھایا گیا ہے۔ شکل 6.29 الف میں اسی کا سادہ دور دکھایا گیا ہے جس میں $r_{ee'}$ ، $r_{cc'}$ اور r_μ کو نظر انداز کیا گیا ہے۔ اس ماذل کو قلم و کاغذ سے حل کرنا زیادہ آسان ثابت ہوتا ہے۔ اس کتاب میں اسی ماذل کو استعمال کیا جائے گا۔

$r_{bb'}$ کی قیمت بیس خطے کی چوڑائی کے راست تناسب ہوئی ہے۔ پست تعددی ٹرانزسٹر کے بیس خطے کی چوڑائی بلند تعددی ٹرانزسٹر کے بیس خطے کی چوڑائی سے زیادہ ہوئی ہے۔ اسی لئے پست تعددی ٹرانزسٹر کی $r_{bb'}$ بلند تعددی ٹرانزسٹر کے $r_{bb'}$ سے زیادہ ہوئی ہے۔ $r_{bb'}$ کو مستقل تصور کیا جاتا ہے جس کی قیمت 10Ω تا 50Ω ہوئی ہے۔ پست تعددی پائے ماذل کے جزو r_{be} کو

parasitic resistor³⁴



شکل 6.28: بلند تعددی پائے ماذل

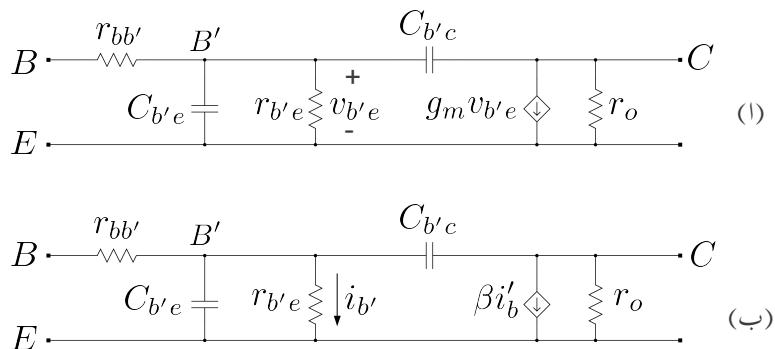
یہاں $r_{b'e}$ کھاگیا ہے۔ یوں مساوات 3.187 کے تحت

$$(6.60) \quad r_{b'e} = \frac{\beta V_T}{I_{CQ}}$$

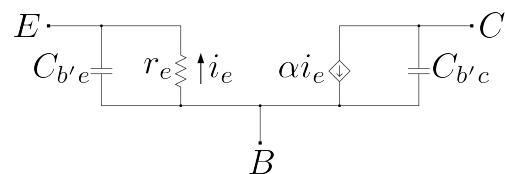
کے برابر ہے۔ $v_{b'e} = i_b' r_{b'e}$ لکھتے ہوئے اور مساوات 3.188 سے $g_m = \frac{\beta}{r_{b'e}}$ کے استعمال سے شکل الف کے $i_c = \beta i_b' = g_m v_{b'e}$ کو دکھایا گیا بلند تعددی پائے ماذل حاصل ہوتا ہے۔ شکل ب میں i_b' پر دوبارہ غور کریں۔ یہ میں سے گزرنی برق رو بسے ناکہ ٹرانزستر کے بیرونی بس سری برق پائی جانے والی برق رو۔ ٹرانزستر اس برق رو کے نسبت سے i_c خارج کرتا ہے۔ بلند تعداد پر $C_{b'e}$ کے راستے داخلی برق رو کا کچھ حصہ گزرنے کا جس کی وجہ سے ٹرانزستر کی افزائش میں کمی رونما ہو گی۔ ٹرانزستر کے پست تعددی میں ماذل کو صفحہ 3.75 میں دکھایا گیا ہے۔ شکل 3.75 ب میں ٹرانزستر کے اندر ہونی کیسٹر کے شمولیت سے شکل 6.30 حاصل ہوتا ہے جس میں $r_{bb'}$ شامل نہیں کیا گیا۔ میں ماذل کا استعمال مشترکہ بس ایمپلیفائر حل کرتے وقت آتا ہے جہاں $r_{bb'}$ کے اثر کو نظر انداز کرنا ممکن ہوتا ہے۔ میں i_e وہ برق رو بسے جو اندر ہونی مزاحمت r_e میں سے گزرنی ہے۔

6.11.2 مشترکہ ایمپلند انقطاعی تعدد

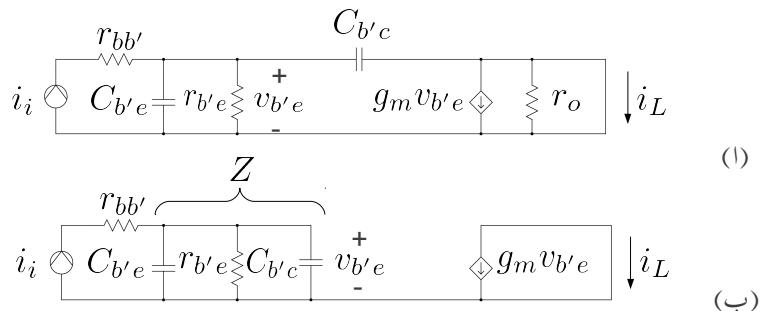
شکل 6.29 الف کے خارجی جانب برق بار R_L جوڑ کر افزائش برق رو $A_i = \frac{i_L}{i_i}$ حاصل کی جا سکتی ہے جس کی قیمت R_L بڑھانے سے گھٹے گی۔ ایسا کرنے کی بجائے، جیسا کہ شکل 6.31 الف میں دکھایا گیا ہے، ہم $R_L = 0$ رکھتے ہوئے قصر دور افزائش برق رو A_i حاصل کرتے ہیں جو اس کی زیادہ ممکنہ قیمت ہے۔ چونکہ $R_L = 0$ سے مراد ٹرانزستر کے کلکٹر کو اس کے ایمپل کے ساتھ جوڑنا ہے لہذا ایسا کرنے سے r_0 ہی قصر دور ہو جاتا ہے اور ساتھ ہی ساتھ $C_{b'e}$ کا ایک سرا برق زمین کے ساتھ جڑ جاتا ہے۔ چنانکہ ٹرانزستر کا ایمپل ہی برق زمین پر ہے لہذا $C_{b'e}$ کا یہ سرا ایمپل کے ساتھ جڑ جاتا ہے۔ ان حقائق کو مد نظر رکھتے ہوئے شکل ب حاصل ہوتا ہے۔ شکل الف میں



شکل 29: ساده بلند تعددی پائی ماذل



شکل 30: بلند تعددی ٹی ماذل



شکل 6.31: قصر دور برقی رو افراش

بم دیکھتے ہیں کہ $C_{b'c}$ میں داخلی جانب سے خارجی جانب برق رو گزرنے کی جگہ شکل ب میں ایسا نہیں ہوتا۔ بم $C_{b'c}$ میں داخلی جانب سے خارجی جانب گزرنے ہوئے برق رو کو نظر انداز کرتے ہوئے شکل 6.31 کی مدد سے زیادہ سے زیادہ ممکنہ قیمت حاصل کرتے ہیں۔ شکل میں

$$\begin{aligned}\frac{1}{Z} &= sC_{b'e} + sC_{b'c} + \frac{1}{r_{b'e}} \\ &= s(C_{b'e} + C_{b'c}) r_{b'e} + 1\end{aligned}$$

$$Z = \frac{r_{b'e}}{s(C_{b'e} + C_{b'c})r_{b'e} + 1}$$

حاصلا، ہوتا ہے - یوں

$$\begin{aligned}
A_i \Big|_{v_{ce}=0} &= \frac{i_L}{i_i} = \left(\frac{i_L}{i_c} \right) \left(\frac{i_c}{v_{b'e}} \right) \left(\frac{v_{b'e}}{i_i} \right) \\
&= (-1) (g_m) (Z) \\
&= \frac{-g_m r_{b'e}}{s (C_{b'e} + C_{b'c}) r_{b'e} + 1} \\
&= \frac{-g_m r_{b'e}}{(C_{b'e} + C_{b'c}) r_{b'e} \left[s + \frac{1}{(C_{b'e} + C_{b'c}) r_{b'e}} \right]}
\end{aligned}$$

لکھا جا سکتا ہے۔ اس کو مزید یوں لکھ سکتے ہیں

$$(6.61) \quad A_i \Big|_{v_{ce}=0} = - \left(\frac{\beta \omega_\beta}{s + \omega_\beta} \right) = - \left(\frac{\beta}{1 + j \frac{f}{f_\beta}} \right)$$

جہاں $g_m r_{b'e} = \beta$ اور

$$(6.62) \quad \omega_\beta = 2\pi f_\beta = \frac{1}{(C_{b'e} + C_{b'c}) r_{b'e}}$$

کے برابر ہے۔ A_i کی حتمی قیمت

$$(6.63) \quad |A_i|_{v_{ce}=0} = \frac{\beta}{\sqrt{1 + \left(\frac{f}{f_\beta}\right)^2}}$$

حاصل ہوتی ہے۔ f_β کو ٹرانزسٹر کی قصر دور بلند انقطاعی تعدد کہتے ہیں۔ مساوات 6.62 میں \gg $C_{be'}$ ہونے کی وجہ سے مندرجہ ذیل سادہ مساوات حاصل ہوتی ہے۔

$$(6.64) \quad \omega_\beta = 2\pi f_\beta \approx \frac{1}{C_{b'e} r_{b'e}}$$

مساوات 6.61 کے حتمی قیمت کا بودا خط شکل 6.32 میں دکھایا گیا ہے۔ مساوات 6.2 کی مدد سے ہم دیکھتے ہیں کہ f_β ایپلیفائر کے دائروں کا کارکردگی³⁵ B کے برابر ہے۔ بودا خط میں f_T تعدد کا ذکر کیا گیا ہے۔ وہ تعدد ہے جس پر افزائش کی قیمت 0 dB یعنی ایک (1) کے برابر ہو جاتی ہے۔ آئیں f_T پر مزید غور کریں۔ مساوات 6.61 سے تعدد کی وہ قیمت حاصل کی جا سکتی ہے جس پر قصر دور افزائش کی حتمی قیمت ایک (1) کے برابر ہو۔ اس تعدد کو ω_T لکھتے ہوئے

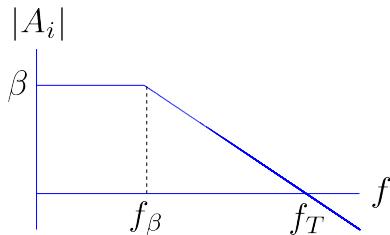
$$|A_i| = \frac{\beta \omega_\beta}{\sqrt{\omega_T^2 + \omega_\beta^2}} = 1$$

سے

$$\beta \omega_\beta = \sqrt{\omega_T^2 + \omega_\beta^2}$$

اور اس کا مربع لیتے ہوئے حل کرتے

$$\beta^2 \omega_\beta^2 = \omega_T^2 + \omega_\beta^2$$



شکل 6.32: بلند تعددی بودا خط

بعنی

$$(6.65) \quad \begin{aligned} \omega_T^2 &= \beta^2 \omega_\beta^2 - \omega_\beta^2 \\ \omega_T &= \omega_\beta \sqrt{\beta^2 - 1} \end{aligned}$$

چونکہ $\beta \gg 1$ ہوتا ہے لہذا

$$(6.66) \quad \begin{aligned} \omega_T &\approx \beta \omega_\beta \\ f_T &\approx \beta f_\beta \end{aligned}$$

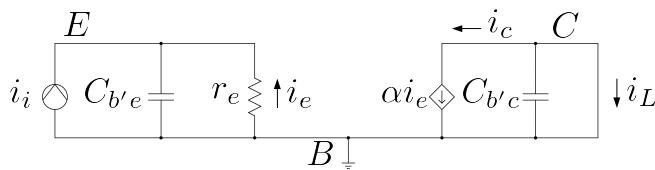
لکھا جا سکتا ہے۔ اس مساوات کے تحت f_T دراصل ٹرانزستر کے β اور f_β کا حاصل ضرب ہے۔ اسی سے f_T کو ٹرانزستر کا افزائش ضرب دائرہ کارکردگی³⁶ کہتے ہیں۔ ٹرانزستر کے بلند تعددی صلاحیت کو اس کے معلوماتی صفحات³⁷ میں بطور f_T پیش کیا جاتا ہے۔ یوں کسی بھی اشارے کو بڑھانے کی خاطر استعمال کئے جانے والے ایمپلیفائر کے ٹرانزستر کی f_T اس اشارے کی تعداد سے زیادہ ہونا ضروری ہے۔ مندرجہ بالا مساوات کو یوں دیکھا جا سکتا ہے کہ اگر دو مختلف ٹرانزستروں کی f_T برابر جبکہ ان کے β برابر نہ ہوں تو کم β والے ٹرانزستر کا f_β زیاد ہو گا اور یوں یہ نسبتاً زیادہ بلند تعدد کے اشارات کو بڑھانے کی صلاحیت رکھے گا۔

مساوات 6.66 اور مساوات 6.62 کو ملاتے ہوئے اور $\beta = g_m r_{b'e}$ لکھتے ہوئے

$$(6.67) \quad \begin{aligned} f_T &\approx \frac{g_m}{2\pi(C_{b'e} + C_{b'c})} \\ &\approx \frac{g_m}{2\pi C_{b'e}} \end{aligned}$$

حاصل ہوتا ہے جہاں دوسری قدم پر $C_{b'e} \gg C_{b'c}$ کی وجہ سے $C_{b'c}$ کو نظر انداز کیا گیا ہے۔

gain bandwidth product³⁶
data sheet³⁷



شکل 6.33: مشترک بیس قصر دور برقی رو افزایش

مساوات 6.66 کے مطابق f_T وہ حتمی بلند تعدد ہے جس تک مشترکہ ایمپریاٹر ایمپلیفیاٹر اشارے کا حیطہ بڑھانے کی صلاحیت رکھتا ہے۔ اس مساوات کو حاصل کرتے وقت $C_{b'e}$ کے راستے کلکٹر تک پہنچتے برق رو کو نظر انداز کیا گیا جس کی وجہ سے حقیقت میں مشترکہ ایمپریاٹر ایمپلیفیاٹر کبھی بھی f_T تعدد کے اشارات کو نہیں بڑھا سکتا۔

6.11.3 مشترکہ بیس بلند انقطعائی تعدد

آئیں مشترکہ بیس طرز پر استعمال کئے جانے والے ایمپلیفیاٹر کی بلند انقطعائی تعدد حاصل کریں۔ بلند انقطعائی تعدد ٹرانزیستر کے ساتھ بیرونی جزرے میاہم وغیرہ پر ہی منحصر ہو گا۔ دو مختلف ٹرانزیستروں کا آپس میں موازنہ کرنے کے لئے بہ ضروری ہے کہ ٹرانزیستر کے ساتھ بیرونی جزرے پر زوں کے اثر کو شامل نہ کیا جائے۔ یوں مشترکہ بیس بلند تعددی ماڈل کو استعمال کرتے ہوئے شکل 6.33 کو زنجیری ضرب سے حل کرتے ہیں۔

$$\begin{aligned} A_i \Big|_{v_{cb} \rightarrow 0} &= \frac{i_L}{i_i} = \left(\frac{i_L}{i_c} \right) \left(\frac{i_c}{i_e} \right) \left(\frac{i_e}{i_i} \right) \\ &= (-1)(\alpha) \left(\frac{-\frac{1}{j\omega C_{b'e}}}{r_e + \frac{1}{j\omega C_{b'e}}} \right) \\ &= \frac{\alpha}{j\omega C_{b'e} r_e + 1} \end{aligned}$$

جہاں پہلی قوسین میں منفی کی علامت اس لئے استعمال کئے گئے کہ اس قوسین کے برقی رو i_L اور i_c آپس میں الٹ سمت رکھتے ہیں۔ اسی طرح تیسرا قوسین میں i_e اور i_i آپس میں الٹ سمت رکھتے ہیں۔ مندرجہ بالا مساوات میں

$$C_{b'e} r_{b'e} = \frac{C_{b'e} r_{b'e}}{\beta} = \frac{1}{\beta \omega_\beta} = \frac{1}{\omega_T}$$

لیتے ہوئے اسے یوں لکھ سکتے ہیں۔

$$(6.68) \quad A_i \Big|_{v_{cb} \rightarrow 0} = \frac{\alpha}{j \frac{\omega}{\omega_T} + 1}$$

اس مساوات کے مطابق مشترکہ بیس طرز کے ایمپلیفائر کی بلند انقطاعی تعدد، جسے ω_α پکارا جاتا ہے، ٹرانزسٹر کے ω_T کے برابر ہوتا ہے یعنی

$$(6.69) \quad \omega_\alpha = \beta \omega_\beta = \omega_T$$

آپ دیکھ سکتے ہیں کہ مشترکہ بیس طرز کے ایمپلیفائر انتہائی بلند انقطاعی تعدد رکھتے ہیں۔ حقیقت میں ω_T کے تعدد پر یہاں استعمال کیا گیا ٹرانزسٹر کا بلند تعددی ٹی ماڈل درست ثابت نہیں ہوتا لہذا مندرجہ بالا مساوات حقیقت میں درست نہیں۔ دیکھا یہ گیا ہے کہ

$$(6.70) \quad \omega_\alpha = (1 + \lambda) \omega_T$$

کے برابر ہوتا ہے جہاں λ کی قیمت 0.2 تا 1 ہوتی ہے۔ λ کی عمومی قیمت 0.4 ہے۔

f_T کا تجرباتی تخمینہ 6.11.4

f_T نہایت بلند تعدد ہے جسے ناپنا قدر مشکل ہوتا ہے۔ مساوات 6.63 کو استعمال کرتے ہوئے f_T کو کم تعداد پر ناپا جا سکتا ہے۔ اس مساوات کے مطابق اگر A_i کو تعدد f_1 پر ناپا جائے جہاں ($f_1 \gg f_\beta$) ہو مثلاً f_1 کی قیمت f_β کے پانچ یا چھ گناہ ہو تو اسے یوں لکھا جا سکتا ہے۔

$$(6.71) \quad |A_i|_{v_{ce}=0} \approx \frac{\beta f_\beta}{f_1} = \frac{f_T}{f_1}$$

لہذا f_1 تعداد پر $|A_i|$ ناپ کر f_T کی قیمت کا تخمینہ لگایا جاتا ہے۔ f_T کو استعمال کرتے ہوئے مساوات 6.67 سے $C_{b'e}$ کی قیمت حاصل کی جاتی ہے۔

مثال 6.12: ایک ٹرانزسٹر جس کا $I_{CQ} = 0.75 \text{ mA}$ ، $\beta = 200$ ہے کا $f_\beta = 1.3 \text{ MHz}$ اور $I_{CQ} = 0.75 \text{ mA}$ کے تعداد پر $|A_i|_{v_{ce}=0} = 0$ ناپتے ہوئے $41.5 \frac{\text{A}}{\text{A}}$ حاصل ہوتا ہے۔ اس کی f_T کا تخمینہ لگاتے ہوئے $C_{b'e}$ حاصل کریں۔ حل: مساوات 6.71 کی مدد سے

$$f_T = 41.5 \times 6.5 \text{ MHz} \approx 270 \text{ MHz}$$

حاصل ہوتا ہے۔ I_{CQ} سے

$$g_m = \frac{I_{CQ}}{V_T} = \frac{0.75 \text{ mA}}{25 \text{ mV}} = 0.03 \text{ S}$$

حاصل ہوتا ہے جس سے مساوات 6.67 میں استعمال کرتے ہوئے

$$C_{b'e} = \frac{g_m}{2\pi f_T} = \frac{0.03}{2\pi \times 270 \times 10^6} \approx 18 \text{ pF}$$

حاصل ہوتا ہے -

6.11.5 برقی بار کرے موجودگی میں بلند تعدادی رد عمل

شکل 6.34 میں مشترکہ ایمٹر ایمپلیفائر اور اس کا بلند تعدد مساوی دور دکھایا گیا ہے۔ یہ بلند تعدد پر استعمال ہونے والے مشترکہ ایمٹر ایمپلیفائر کی عمومی شکل ہے۔ آئین چہلے مساوی دور کی سادہ شکل حاصل کریں تاکہ توجہ ملر کپیسٹر پر رکھنی آسان ہو۔ چہلے مساوی دور کے داخلی جانب نقطہ دار دائیں میں بند حصے کا مساوی ہقونن دور حاصل کرتے ہیں۔ شکل 6.35 الف میں اس حصے کو پیش کیا گیا ہے جہاں ہقونن برقی دباؤ v_{th} اور ہقونن مزاحمت R_{th} کی نشانہبی بھی کی گئی ہے۔ شکل 6.35 ب میں مساوی ہقونن دور دکھایا گیا ہے۔ متوازی جڑیں R_1 اور R_2 کی کل مزاحمت کو R_B یعنی

$$(6.72) \quad R_B = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

لکھتے ہوئے

$$(6.73) \quad v_{th} = \left(\frac{R_B}{R_S + R_B} \right) v_s$$

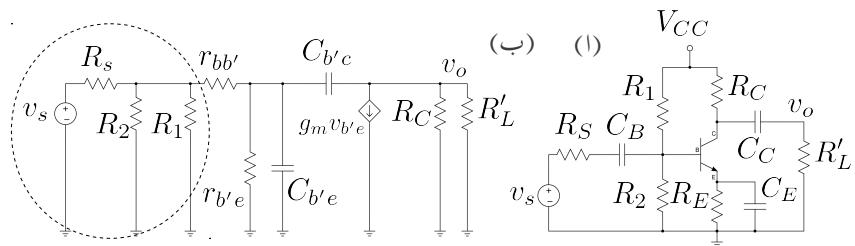
$$(6.74) \quad R_{th} = \frac{R_S R_B}{R_S + R_B}$$

حاصل ہوتے ہیں۔ شکل 6.34 ب میں R_L' متوازی جڑیں ہیں۔ ان کے کل مزاحمت کو لکھتے ہیں یعنی

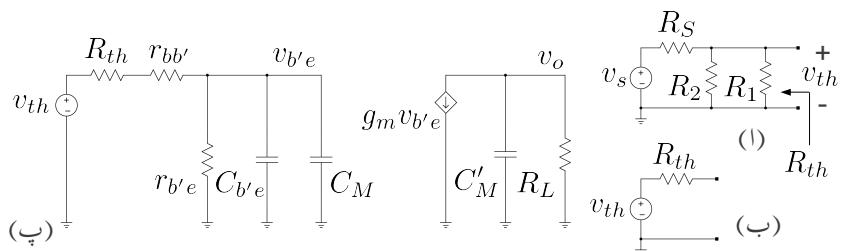
$$(6.75) \quad R_L = \frac{R_C R_L'}{R_C + R_L'}$$

$C_{b'c}$ پر نظر ڈالنے سے ہم دیکھتے ہیں کہ اس کے ایک جانب $v_{b'e}$ اور دوسرا جانب v_o برق دباؤ ہے۔ یوں $C_{b'c}$ کے ملر کپیسٹر حاصل کئے جا سکتے ہیں۔ ان تبدیلیوں کی مدد سے شکل 6.35 پ کا سادہ دور حاصل ہوتا ہے جہاں $C_{b'c}$ کو مسئلہ ملر کی مدد سے C_M' اور C_M جڑوا کپیسٹروں میں تبدیل کر دیا گیا ہے۔ شکل 6.34 پ کے طرز پر ادوار میں عموماً C_M' کی برق رکاوٹ متوازی جڑیں مزاحمت R_L سے ہت زیادہ ہوتی ہے یعنی

$$(6.76) \quad \frac{1}{\omega C_M'} \gg R_L$$



شکل 6.34: ایمپلیفیائر اور اس کا بلند تعدد مساوی دور



شکل 6.35: بلند تعددی سادہ دور

لہذا C'_M کو نظر انداز کیا جاتا ہے۔ ایسا کرنے سے شکل 6.36 حاصل ہوتا ہے۔ آئین دیکھیں کہ مندرجہ بالا مساوات کیوں درست ثابت ہوتا ہے۔

کسی بھی ایمپلیفائر کو بلند اور پست انقطعی تعداد کے مابین درمیانی تعداد کے خطے میں استعمال کیا جاتا ہے جہاں یہ داخلی اشارے کا حیطہ بڑھانے کی صلاحیت رکھتا ہے۔ اس خطے میں ترانزسٹر کا پست تعدادی ماڈل استعمال کیا جاتا ہے۔ اگر شکل 6.36 پ میں پست تعدادی ماڈل استعمال کیا جائے تو ملر کپیسٹر کے حصول میں درکار A_V کی قیمت

$$(6.77) \quad A_V = \frac{v_o}{v_{be}} = -g_m R_L$$

ہو گی جہاں v_{be} کی جگہ $v_{b'e}$ کا استعمال کیا گیا ہے۔ اس قیمت کو استعمال کرتے ہوئے مساوات 6.58 سے

$$(6.78) \quad C_M = C_{b'e} (1 + g_m R_L)$$

$$(6.79) \quad C'_M = C_{b'e} \left(1 + \frac{1}{g_m R_L} \right)$$

حاصل ہوتے ہیں۔ درمیانی تعداد کے خطے میں ایمپلیفائر کی افزائش کی حتمی قیمت $|A_V|$ ایک (۱) سے کئی گناہ زیادہ ہوتی ہے (یعنی $g_m R_L \gg 1$) لہذا

$$(6.80) \quad C'_M \approx C_{b'e}$$

ہو گا۔ $C_{b'e}$ کی قیمت انتہائی کم ہوتی ہے۔ یوں اس کے بر ق رکاوٹ کی حتمی قیمت برق بار سے بہت زیادہ ہو گی یعنی

$$(6.81) \quad \left| \frac{1}{j\omega C_{b'e}} \right| \gg R_L$$

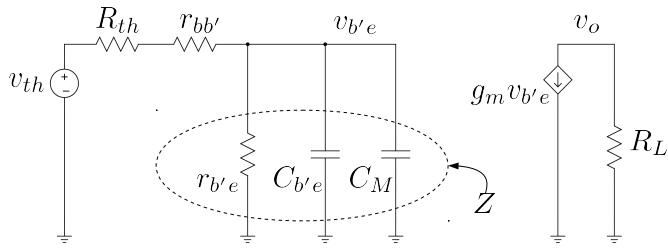
لہذا $C_{b'e}$ کو نظر انداز کیا جا سکتا ہے۔ بلند تعداد ایمپلیفائر حل کرتے وقت C_M کو استعمال جبکہ C'_M کو استعمال نہیں کیا جاتا۔ یہاں اس بات کو ذہن نشین کر لیں کہ ایمپلیفائر کی افزائش بڑھانے سے C_M کی قیمت بھی بڑھتی ہے۔

آئین شکل 6.36 کو کرجاف کے قوانین استعمال کرتے ہوئے حل کرتے ہیں۔ شکل میں $r_{b'e}$ ، $r_{b'e}$ اور C_M متوازی جڑیں ہیں۔ ان کی کل برقی رکاوٹ کو Z سے ظاہر کرتے ہیں۔ یوں

$$\frac{1}{Z} = s(C_{b'e} + C_M) + \frac{1}{r_{b'e}}$$

سے

$$(6.82) \quad Z = \frac{r_{b'e}}{s(C_{b'e} + C_M) r_{b'e} + 1}$$



شکل 6.36: ملر کپیسٹر کے اثرات

حاصل ہوتا ہے۔ زنجیری ضرب سے

$$\begin{aligned} A'_v &= \frac{v_o}{v_{th}} = \left(\frac{v_o}{i_c} \right) \left(\frac{i_c}{v_{b'e}} \right) \left(\frac{v_{b'e}}{v_{th}} \right) \\ &= (-R_L) (g_m) \left(\frac{Z}{R_{th} + r_{bb'} + Z} \right) \end{aligned}$$

حاصل ہوتا ہے۔ اس میں Z کی قیمت استعمال کرتے ہوئے حل کرتے ہیں۔

$$\begin{aligned} A'_v &= -R_L g_m \left(\frac{\frac{r_{b'e}}{s(C_{b'e} + C_M)r_{b'e} + 1}}{R_{th} + r_{bb'} + \frac{r_{b'e}}{s(C_{b'e} + C_M)r_{b'e} + 1}} \right) \\ &= \frac{-R_L g_m r_{b'e}}{[s(C_{b'e} + C_M)r_{b'e} + 1](R_{th} + r_{bb'}) + r_{b'e}} \\ &= \frac{-R_L g_m r_{b'e}}{s(C_{b'e} + C_M)r_{b'e}(R_{th} + r_{bb'}) + R_{th} + r_{bb'} + r_{b'e}} \\ &= \frac{-R_L g_m r_{b'e}}{(C_{b'e} + C_M)r_{b'e}(R_{th} + r_{bb'}) \left[s + \frac{R_{th} + r_{bb'} + r_{b'e}}{(C_{b'e} + C_M)r_{b'e}(R_{th} + r_{bb'})} \right]} \end{aligned}$$

جسے

$$(6.83) \quad A'_v = - \left[\frac{g_m R_L}{(C_{b'e} + C_M)(R_{th} + r_{bb'})} \right] \left(\frac{1}{s + \omega_H} \right)$$

لکھا جا سکتا ہے جہاں

$$(6.84) \quad \begin{aligned} \omega_H &= \frac{R_{th} + r_{bb'} + r_{b'e}}{(C_{b'e} + C_M) r_{b'e} (R_{th} + r_{bb'})} \\ &= \frac{1}{[r_{b'e} \| (R_{th} + r_{bb'})] (C_{b'e} + C_M)} \\ &\quad \frac{1}{R_m (C_{b'e} + C_M)} \end{aligned}$$

ہے۔ ω_H کی مساوات جانی پہچانی شکل یعنی $\frac{1}{R_m C}$ بے جہاں C متوازی جٹرے کپیسٹر $C_{b'e}$ اور C_M کی کل کپیسٹس (C_{b'e} + C_M) ہے جبکہ R_m اس کپیسٹر کے ساتھ کل متوازی جٹری مزاحمت ہے۔ شکل 6.36 میں v_s کو قصر دور کرتے ہوئے r_{b'e} کے ساتھ متوازی جٹرے (R_{th} + r_{bb'}) کی کل مزاحمت R_m ہے یعنی

$$\begin{aligned} \frac{1}{R_m} &= \frac{1}{r_{b'e}} + \frac{1}{R_{th} + r_{bb'}} \\ R_m &= \frac{r_{b'e} (R_{th} + r_{bb'})}{R_{th} + r_{bb'} + r_{b'e}} \end{aligned}$$

جسے یوں بھی لکھا جا سکتا ہے۔

$$R_m = r_{b'e} \| (R_{th} + r_{bb'})$$

چونکہ R_{th} کی قیمت r_{b'e} اور r_{bb'} سے بہت زیاد ہوئی ہے یعنی

$$\begin{aligned} R_{th} &\gg r_{bb'} \\ R_{th} &\gg r_{b'e} \end{aligned}$$

لہذا

$$R_m \approx r_{b'e}$$

کے برابر ہو گا اور یوں

$$(6.85) \quad \begin{aligned} \omega_H &= \frac{1}{(C_{b'e} + C_M) r_{b'e}} \\ f_H &= \frac{1}{2\pi (C_{b'e} + C_M) r_{b'e}} \end{aligned}$$

ہو گا۔ ω_H کا مساوات 6.64 میں دئے ω_β سے موازنہ کرتے ہیں۔

$$(6.86) \quad \frac{\omega_\beta}{\omega_H} = \frac{\left(\frac{1}{C_{b'e} r_{b'e}}\right)}{\left[\frac{1}{(C_{b'e} + C_M) r_{b'e}}\right]} = \frac{C_{b'e} + C_M}{C_{b'e}} = 1 + \frac{C_M}{C_{b'e}}$$

آپ دیکھ سکتے ہیں کہ مشترکہ ایمپلیفائر کا بلند انقطعی تعدد ω_H ہے لہذا ایمپلیفائر کی افزائش ω_β تعداد پر نہایت کم ہو گی۔

$A_v = \frac{v_o}{v_s}$ کو مساوات 6.83 اور مساوات 6.73 کی مدد سے یوں حاصل کر سکتے ہیں۔

$$\begin{aligned} A_v &= \frac{v_o}{v_s} = \left(\frac{v_o}{v_{th}} \right) \left(\frac{v_{th}}{v_s} \right) \\ &= - \left[\frac{g_m R_L}{(C_{b'e} + C_M)(R_{th} + r_{bb'})} \right] \left(\frac{R_B}{R_S + R_B} \right) \left(\frac{1}{s + \omega_H} \right) \\ &= - \left[\frac{g_m R_L}{\omega_H (C_{b'e} + C_M)(R_{th} + r_{bb'})} \right] \left(\frac{R_B}{R_S + R_B} \right) \left(\frac{1}{1 + \frac{s}{\omega_H}} \right) \\ &= - \left(\frac{g_m R_m R_L}{R_{th} + r_{bb'}} \right) \left(\frac{R_B}{R_S + R_B} \right) \left(\frac{1}{1 + \frac{s}{\omega_H}} \right) \end{aligned}$$

جہاں دوسرے قدم پر مساوات 6.84 کا استعمال کیا گیا۔ $R_m \approx r_{b'e}$ کی صورت میں اسے یوں لکھا جا سکتا ہے۔

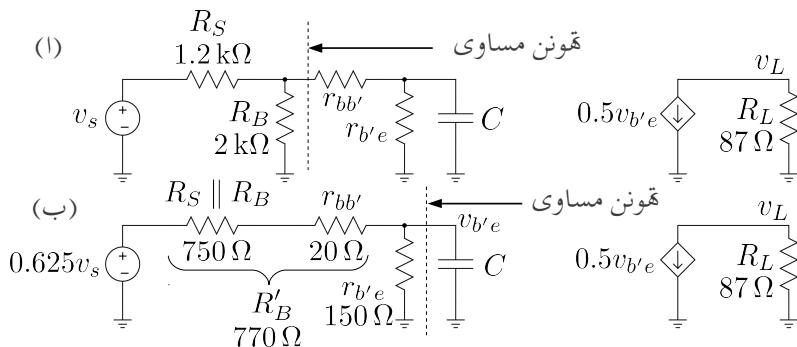
$$\begin{aligned} A_v &\approx - \left(\frac{g_m r_{b'e} R_L}{R_{th} + r_{bb'}} \right) \left(\frac{R_B}{R_S + R_B} \right) \left(\frac{1}{1 + \frac{s}{\omega_H}} \right) \\ &\quad \text{لکھتے ہوئے } g_m r_{b'e} = \beta \\ (6.87) \quad A_v &\approx - \left(\frac{\beta R_L}{R_{th} + r_{bb'}} \right) \left(\frac{R_B}{R_S + R_B} \right) \left(\frac{1}{1 + \frac{s}{\omega_H}} \right) \end{aligned}$$

حاصل ہوتا ہے۔ اس مساوات سے درمیانی تعدد پر $|A_{vD}|_{\omega \ll \omega_H}$ حاصل کرتے ہیں۔

$$(6.88) \quad |A_{vD}|_{\omega \ll \omega_H} = - \left(\frac{\beta R_L}{R_{th} + r_{bb'}} \right) \left(\frac{R_B}{R_S + R_B} \right)$$

مثال 6.13: شکل 6.34 میں

$$\begin{array}{lll} V_{CC} = 15 \text{ V} & R_1 = 7 \text{ k}\Omega & R_2 = 2.8 \text{ k}\Omega \\ R_C = 650 \Omega & R'_L = 100 \Omega & R_E = 260 \Omega \\ C_{b'c} = 2 \text{ pF} & C_{b'e} = 220 \text{ pF} & r_{bb'} = 20 \Omega \\ & \beta = 75 & R_S = 1.2 \text{ k}\Omega \end{array}$$



شکل 6.37: مسئلہ نارٹن اور مسئلہ تھونن کے بار بار استعمال سے دور کا حل

لیتے ہوئے $I_{CQ} \approx 12.5 \text{ mA}$, $r_{b'e} = 150 \Omega$ اور $g_m = 0.5 \text{ S}$ کی درمیانی تعدد پر افزائش A_v اور بلند انقطعی تعدد f_H حاصل کریں۔
حل: حصہ 6.11.5 میں اسی کو کرچاف کرے قوانین کی مدد سے حل کیا گیا۔ اس مثال کو مسئلہ نارٹن اور مسئلہ تھونن کے بار بار استعمال سے حل کرتے ہیں۔

$$R_L \parallel R_C \parallel R'_L$$

$$R_L = \frac{650 \times 100}{650 + 100} = 87 \Omega$$

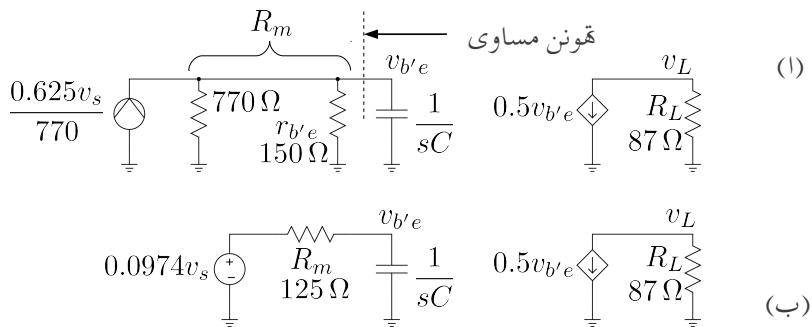
حاصل ہوتا ہے۔ شکل 6.34 ب سے مسئلہ ملکی مدد سے شکل 6.37 ب میں اسی کو مدد سے حل کر دیا گیا۔

$$\begin{aligned} C &= C_{b'e} + C_M \\ &= C_{b'e} + (1 + g_m R_L) C_{b'c} \\ &= 220 \times 10^{-12} + (1 + 0.5 \times 87) \times 2 \times 10^{-12} \\ &= 220 \text{ pF} + 89 \text{ pF} \\ &= 309 \text{ pF} \end{aligned}$$

کے برابر ہے اور $R_B \parallel R_1 \parallel R_2$ کو کہا گیا ہے یعنی

$$R_B = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{7000 \times 2800}{7000 + 2800} = 2 \text{ k}\Omega$$

اس شکل میں نقطہ دار لکیر کے بائیں جانب کا مساوی تھونن دور لیتے ہوئے شکل 6.37 ب میں نظر آئے۔



شکل 6.38: مسئلہ نارٹن اور مسئلہ تھونن کے بار بار استعمال سے دور کا حل

بے جہاں تھونن مساوی مقدار

$$\left(\frac{R_B}{R_S + R_B} \right) v_s = 0.625v_s \quad \text{دباؤ برقی تھونن}$$

$$R_S \parallel R_B = 750\Omega \quad \text{مراحمت تھونن}$$

بی۔ شکل 6.37 ب کے نقطہ دار لکیر سے بائیں جانب حصے کا اب مساوی نارٹن دور لیتے ہیں جسے شکل 6.38 الف میں دکھایا گیا ہے جہاں نارٹن مساوی برقی رو

$$\frac{0.625v_s}{R'_B} = \frac{0.625}{770}v_s$$

کے برابر ہے۔ شکل 6.38 الف میں نقطہ دار لکیر کے بائیں جانب حصے کا تھونن مساوی دور لیتے ہوئے شکل ب حاصل ہوتا ہے۔ شکل 6.38 ب کو دیکھ کر v_{be} کی مساوات لکھی جا سکتی ہے۔

$$v_{be} = 0.0974v_s \left(\frac{\frac{1}{sC}}{125 + \frac{1}{sC}} \right) = 0.0974v_s \left(\frac{1}{125 \times sC + 1} \right)$$

$$= \frac{0.0974v_s}{1 + \frac{j\omega}{26 \times 10^6}} = \frac{0.0974v_s}{1 + \frac{jf}{4 \times 10^6}}$$

زنجیری ضرب سے

$$\begin{aligned} A_v &= \frac{v_L}{v_s} = \frac{v_L}{i_c} \times \frac{i_c}{v_{b'e}} \times \frac{v_{b'e}}{v_s} \\ &= -87 \times 0.5 \times \left(\frac{0.0974}{1 + \frac{jf}{4 \times 10^6}} \right) \\ &= \frac{-4.2}{1 + \frac{jf}{4 \times 10^6}} \end{aligned}$$

لکھا جا سکتا ہے جہاں سے بلند انقطاعی تعدد تقریباً $f_H = 4 \text{ MHz}$ جبکہ درمیانی تعدد کی افزائش حاصل ہوتی ہے۔

6.11.6 مشترکہ سورس ماسفیٹ ایمپلیفیائر کا بلند تعدادی رد عمل

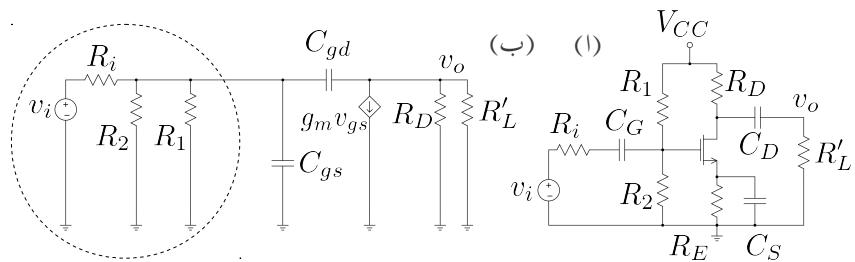
شکل 6.39 الف میں ماسفیٹ ایمپلیفیائر اور شکل ب میں اسی کا مساوی بلند تعدادی دور دکھایا گیا ہے جس میں ماسفیٹ کا بلند تعدادی ماڈل استعمال کیا گیا ہے۔ ماسفیٹ کا بلند تعدادی ماڈل ماسفیٹ کے پست تعدادی ماڈل میں C_{gs} اور C_{gd} اندروفن کپیسٹر کی شمولیت سے حاصل کیا گیا ہے۔ شکل 6.39 ب اور شکل 6.34 ب تقریباً یکسان صورت رکھتے ہیں۔ ماسفیٹ کے ماڈل میں $C_{gs} \gg C_{gd}$ ہوتا ہے۔ پست تعدادی ماسفیٹ کے C_{gs} کی قیمت 50 pF جبکہ بلند تعدادی ماسفیٹ کی 5 pF سے ہی کم ہوتی ہے۔ پست تعدادی ماسفیٹ کے C_{gd} کی قیمت 5 pF جبکہ بلند تعدادی ماسفیٹ کی 0.5 pF سے ہی کم ہوتی ہے۔

$$\begin{aligned} R_L &= \frac{R'_L R_D}{R'_L + R_D} \\ R_G &= \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \end{aligned}$$

لیتے ہوئے نقطہ دار دائٹرے میں بند حصے کا ہونن مساوی دور حاصل کرتے ہیں۔

$$\begin{aligned} R_{th} &= \frac{R_i R_G}{R_i + R_G} \\ v_{th} &= \left(\frac{R_G}{R_i + R_G} \right) v_i \end{aligned}$$

کا ملر کپیسٹر استعمال کرتے ہوئے شکل 6.40 حاصل ہوتا ہے۔ آئیں اس مرتبہ C'_M کو نظر انداز



شکل 6.39: ماسفیٹ ایمپلیفیٹر اور اس کا بلند تعددی مساوی دور

نہ کرتے ہوئے دور کو حل کریں۔ متوازی جڑے Z_L اور C'_M کی برقی رکاوٹ کو لکھتے ہوئے

$$\frac{1}{Z_L} = j\omega C'_M + \frac{1}{R_L}$$

$$Z_L = \frac{R_L}{j\omega C'_M R_L + 1}$$

حاصل ہوتا ہے۔ یوں

$$\begin{aligned} \frac{v_o}{v_{th}} &= \left(\frac{v_o}{i_d} \right) \left(\frac{i_d}{v_{gs}} \right) \left(\frac{v_{gs}}{v_{th}} \right) \\ &= (-Z_L) (g_m) \left(\frac{\frac{1}{j\omega(C_{gs}+C_M)}}{R_{th} + \frac{1}{j\omega(C_{gs}+C_M)}} \right) \\ &= - \left(\frac{g_m R_L}{j\omega C'_M R_L + 1} \right) \left(\frac{1}{j\omega(C_{gs} + C_M) R_{th} + 1} \right) \end{aligned}$$

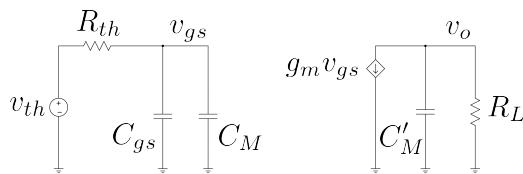
اس میں

$$(6.89) \quad \omega'_H = \frac{1}{C'_M R_L}$$

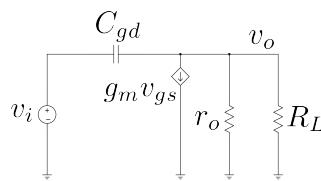
$$(6.90) \quad \omega_H = \frac{1}{(C_{gs} + C_M) R_{th}}$$

لیتے ہوئے

$$(6.91) \quad \frac{v_o}{v_{th}} = - \left(\frac{g_m R_L}{j \frac{\omega}{\omega'_H} + 1} \right) \left(\frac{1}{j \frac{\omega}{\omega_H} + 1} \right)$$



شکل 6.40: ماسفیٹ ایمپلیفائر میں ملر کپیسٹر کا اثر



شکل 6.41: بلند ترین ممکنہ انقطاعی تعدد کا حصول

لکھا جا سکتا ہے۔

آپ دیکھ سکتے ہیں کہ $C'_M \omega'_H$ سے ω'_H حاصل ہوتا ہے جسے گرستہ حصے میں نظر انداز کیا گیا۔ حقیقت میں $\omega_H \gg \omega'_H$ ہوتا ہے لہذا ماسفیٹ ایمپلیفائر میں ہی C'_M کی موجودگی کو نظر انداز کیا جاتا ہے۔ یوں تعدد پر چلتے ہوئے کل افزائش یوں لکھی جائے گی۔

$$(6.92) \quad A_v = \left(\frac{v_o}{v_{th}} \right) \left(\frac{v_{th}}{v_i} \right) = - \left(\frac{g_m R_L}{j \frac{\omega}{\omega_H} + 1} \right) \left(\frac{R_G}{R_G + R_i} \right)$$

اس مساوات کے مطابق بلند انقطاعی تعدد کا دارومندار R_{th} پر ہے۔ آئیں دیکھیں کہ ماسفیٹ کی بلند ترین انقطاعی تعدد کس صورت حاصل ہو گی۔ ایسا کرنے کی خاطر شکل 6.39 میں $R_i = 0 \Omega$ لیتے ہوئے اس کا مساوی دور حاصل کرتے ہیں جسے شکل 6.41 میں دکھایا گیا ہے جہاں r_o کو بھی شامل کیا گیا ہے۔ اس شکل میں چونکہ R_1 اور C_{gs} تینوں داخلی اشارہ v_i کے متوازی جزے ہیں لہذا گیٹ پر v_i بھی پایا جائے۔ یوں $v_{gs} = v_i$ کے برابر ہو گا۔ v_o جوڑ پر کرچاف کے قانون برائے برق روکے مدد سے ہم لکھ سکتے ہیں

$$\frac{v_o - v_i}{\frac{1}{j\omega C_{gd}}} + g_m v_i + \frac{v_o}{\frac{R_L r_o}{R_L + r_o}} = 0$$

$$\frac{v_o}{v_i} = \left(\frac{R_L r_o}{r_L + r_o} \right) \left[\frac{j\omega C_{gd} - g_m}{1 + \omega C_{gd} \left(\frac{R_L r_o}{R_L + r_o} \right)} \right]$$

یعنی

$$(6.93) \quad A_v = \frac{v_o}{v_i} = \left(\frac{g_m R_L r_o}{r_L + r_o} \right) \left[-1 + \frac{j \frac{\omega C_{gd}}{g_m}}{1 + j \omega C_{gd} \left(\frac{R_L r_o}{R_L + r_o} \right)} \right]$$

جس میں

$$(6.94) \quad \omega_s = \frac{g_m}{C_{gd}}$$

$$(6.95) \quad \omega_H = \frac{1}{C_{gd} \left(\frac{R_L r_o}{R_L + r_o} \right)}$$

لیتے ہوئے

$$(6.96) \quad A_v = \left(\frac{g_m R_L r_o}{r_L + r_o} \right) \left[\frac{-1 + j \frac{\omega}{\omega_s}}{1 + j \frac{\omega}{\omega_H}} \right]$$

حاصل ہوتا ہے۔ اس مساوات میں $\omega_s \gg \omega_H$ ہوتا ہے یعنی

$$\frac{g_m}{C_{gd}} \gg \frac{1}{C_{gd} \left(\frac{R_L r_o}{R_L + r_o} \right)}$$

جسے

$$(6.97) \quad g_m \left(\frac{R_L r_o}{R_L + r_o} \right) \gg 1$$

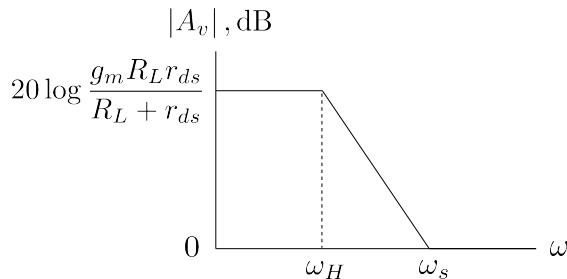
لکھا جا سکتا ہے۔ مساوات 6.96 کا بودا خط شکل 6.42 میں دکھایا گیا ہے۔ ω_H کی قیمت R_L سے وابسطہ ہے۔ اگر $R_L \rightarrow \infty$ کر دیا جائے تو بلند ترین انقطعی تعدد

$$(6.98) \quad \omega_H \Big|_{R_L \rightarrow \infty} = \frac{1}{C_{gd} r_o}$$

حاصل ہو گی جو ماسفیٹ ماذل کے اجزاء C_{gd} اور r_o پر منحصر ہے۔

6.12 مشترک کلکٹر ایمپلیفائر کا بلند تعددی رد عمل

شکل 6.43 الہ میں کلکٹر مشترک ایمپلیفائر دکھایا گیا ہے جس کا مساوی باریک اشاراتی بلند تعددی دور شکل ب میں دکھایا گیا ہے۔ بلند تعدد پر بیرونی نسب کپیسٹر C_b قصر دور کردار ادا کرتا ہے۔ شکل ب



شکل 6.42: ماسفیٹ ایمپلیفائر کا بودا خط

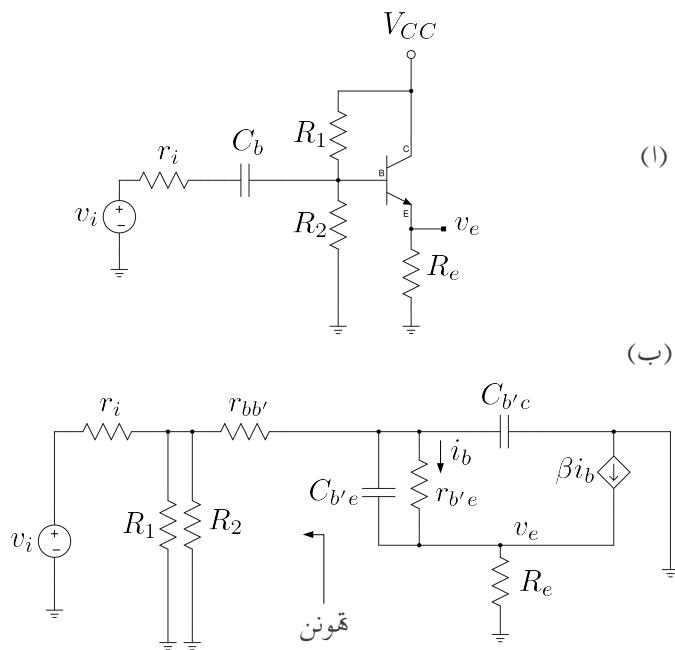
سے واضح ہے کہ صرف $r_{b'e}$ سے گزرنی برق رو i_b کو ٹرانزسٹر β گنا بڑھاتا ہے۔ اس شکل میں کپیسٹر $C_{b'e}$ کا بائیں جانب کا مساوی ہونن دور حاصل کرتے ہیں

$$V_{th} = \left(\frac{R_1 \parallel R_2}{r_i + R_1 \parallel R_2} \right) v_i = v_s$$

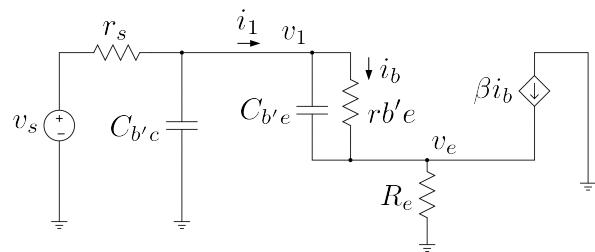
$$R_{th} = r_i \parallel R_1 \parallel R_2 + r_{bb'} = r_s$$

جہاں ہونن برق دباو کو v_s اور ہونن برق مزاحمت کو r_s لکھا گیا ہے۔ شکل ب میں $C_{b'e}$ کا ایک سرا برق زمین سے جزا ہے۔ یوں شکل ب کو شکل 6.44 کے طرز پر بنایا جا سکتا ہے۔ اس شکل کو دیکھتے ہوئے کرجاف کرے قانون برائے برق رو کے استعمال سے ایٹر پر ہم لکھ سکتے ہیں

$$(v_e - v_1) s C_{b'e} + \frac{v_e - v_1}{r_{b'e}} + \frac{v_e}{R_e} = \beta i_b = \beta \frac{v_1 - v_e}{r_{b'e}}$$



شکل 6.43: کلکٹر مشترک بلند تعددی رد عمل



شکل 6.44: کلکٹر مشترک بلند تعددی سادہ مساوی دور

یعنی

$$\begin{aligned}
 v_1 &= \left[\frac{sC_{b'e} + \frac{\beta+1}{r_{b'e}} + \frac{1}{R_e}}{sC_{b'e} + \frac{\beta+1}{r_{b'e}}} \right] v_e \\
 &= \left[\frac{\left(sC_{b'e} + \frac{\beta+1}{r_{b'e}} \right) + \frac{1}{R_e}}{sC_{b'e} + \frac{\beta+1}{r_{b'e}}} \right] v_e \\
 (6.99) \quad &= \left[\frac{\left(sC_{b'e} + \frac{\beta+1}{r_{b'e}} \right)}{sC_{b'e} + \frac{\beta+1}{r_{b'e}}} + \frac{\frac{1}{R_e}}{sC_{b'e} + \frac{\beta+1}{r_{b'e}}} \right] v_e \\
 &= \left[1 + \frac{1}{R_e \left(sC_{b'e} + \frac{\beta+1}{r_{b'e}} \right)} \right] v_e
 \end{aligned}$$

اسی طرح جوڑ v_1 پر کرچاف کے قانون برائے برق روکے استعمال سے ہم لکھ سکتے ہیں

$$\frac{v_1 - v_s}{r_s} + v_1 sC_{b'c} + (v_1 - v_e) sC_{b'e} + \frac{v_1 - v_e}{r_{b'e}} = 0$$

یعنی

$$\begin{aligned}
 \left(\frac{1}{r_s} + sC_{b'c} + sC_{b'e} + \frac{1}{r_{b'e}} \right) v_1 &= \frac{v_s}{r_s} + v_e \left(sC_{b'e} + \frac{1}{r_{b'e}} \right) \\
 \left(\frac{1}{r_s} + sC_{b'c} + sC_{b'e} + \frac{1}{r_{b'e}} \right) \left[1 + \frac{1}{R_e \left(sC_{b'e} + \frac{\beta+1}{r_{b'e}} \right)} \right] v_e & \\
 &= \frac{v_s}{r_s} + v_e \left(sC_{b'e} + \frac{1}{r_{b'e}} \right)
 \end{aligned}$$

جہاں دوسرے قدم پر مساوات 6.99 کا استعمال کیا گیا۔ باقیں پانہ کے کسر کو کھولتے ہیں

$$\begin{aligned}
 \left(\frac{1}{r_s} + sC_{b'c} + sC_{b'e} + \frac{1}{r_{b'e}} \right) v_e + \left[\frac{\frac{1}{r_s} + sC_{b'c} + sC_{b'e} + \frac{1}{r_{b'e}}}{R_e \left(sC_{b'e} + \frac{\beta+1}{r_{b'e}} \right)} \right] v_e & \\
 &= \frac{v_s}{r_s} + v_e \left(sC_{b'e} + \frac{1}{r_{b'e}} \right)
 \end{aligned}$$

اور یکسان اجزاء اکٹھے کرتے ہیں۔

$$\left[\frac{1}{r_s} + sC_{b'c} + \frac{\frac{1}{r_s} + sC_{b'c} + sC_{b'e} + \frac{1}{r_{b'e}}}{R_e \left(sC_{b'e} + \frac{\beta+1}{r_{b'e}} \right)} \right] v_e = \frac{v_s}{r_s}$$

اس مساوات کو

$$\left[\frac{1}{r_s} (1 + sr_s C_{b'c}) + \frac{\frac{1}{r_s} (1 + sr_s C_{b'c}) + \frac{1}{r_{b'e}} (sr_{b'e} C_{b'e} + 1)}{\frac{R_e (\beta+1)}{r_{b'e}} \left(s \frac{r_{b'e} C_{b'e}}{\beta+1} + 1 \right)} \right] v_e = \frac{v_s}{r_s}$$

لکھ کر دونوں جانب کو r_s سے ضرب دیتے اور

$$(6.100) \quad \omega_1 = \frac{1}{r_s C_{b'c}}$$

$$(6.101) \quad \omega_\beta = \frac{1}{r_{b'e} C_{b'e}}$$

$$(6.102) \quad \omega_T = \frac{\beta+1}{r_{b'e} C_{b'e}}$$

لکھتے ہوئے یوں

$$\left[\left(1 + \frac{j\omega}{\omega_1} \right) + \frac{\left(1 + \frac{j\omega}{\omega_1} \right) + \frac{r_s}{r_{b'e}} \left(\frac{j\omega}{\omega_\beta} + 1 \right)}{\frac{R_e (\beta+1)}{r_{b'e}} \left(\frac{j\omega}{\omega_T} + 1 \right)} \right] v_e = v_s$$

یا

$$\left[\frac{\frac{R_e (\beta+1)}{r_{b'e}} \left(\frac{j\omega}{\omega_T} + 1 \right) \left(1 + \frac{j\omega}{\omega_1} \right) + \left(1 + \frac{j\omega}{\omega_1} \right) + \frac{r_s}{r_{b'e}} \left(\frac{j\omega}{\omega_\beta} + 1 \right)}{\frac{R_e (\beta+1)}{r_{b'e}} \left(\frac{j\omega}{\omega_T} + 1 \right)} \right] v_e = v_s$$

لکھا جا سکتا ہے۔ کسر کرے اور حصے میں تمام قویں کھولتے ہوئے اس مساوات کو یوں لکھا جا سکتا ہے

$$\frac{A + j\omega B + (j\omega)^2 C}{\frac{R_e (\beta+1)}{r_{b'e}} \left(\frac{j\omega}{\omega_T} + 1 \right)} = \frac{v_s}{v_e}$$

جہاں

$$\begin{aligned} A &= \frac{R_e(\beta+1)}{r_{b'e}} + 1 + \frac{r_s}{r_{b'e}} \\ B &= \frac{R_e(\beta+1)}{r_{b'e}\omega_T} + \frac{R_e(\beta+1)}{r_{b'e}\omega_1} + \frac{1}{\omega_1} + \frac{r_s}{r_{b'e}\omega_\beta} \\ C &= \frac{R_e(\beta+1)}{r_{b'e}\omega_T\omega_1} \end{aligned}$$

کے برابر ہیں۔ اس سے

$$(6.103) \quad \frac{v_e}{v_s} = \frac{\frac{R_e(\beta+1)}{r_{b'e}} \left(\frac{j\omega}{\omega_T} + 1 \right)}{A + j\omega B + (j\omega)^2 C}$$

حاصل ہوتا ہے۔ اگر $R_e \gg r_s + r_{b'e}$ ہو تو اس مساوات کو اس طرح لکھا جا سکتا ہے

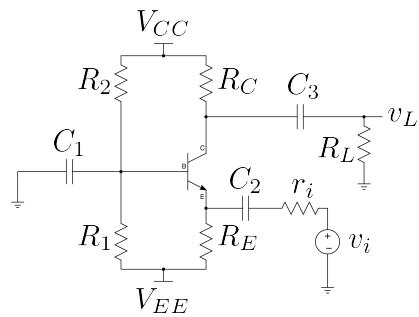
$$(6.104) \quad \frac{v_e}{v_s} = \frac{1 + \frac{j\omega}{\omega_T}}{1 + j\omega \left(\frac{1}{\omega_1} + \frac{1 + \frac{r_s}{R_e}}{\omega_T} \right) + \frac{j\omega}{\omega_T} \frac{j\omega}{\omega_1}}$$

6.13 مشترک بیس ایمپلیفائر کا بلند انقطاعی تعدد

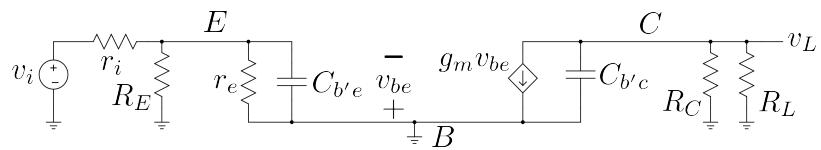
شکل 6.45 میں بیس مشترک ایمپلیفائر دکھایا گیا ہے۔ صفحہ 287 پر ٹرانزستر کا ٹی ماؤنٹ دکھایا گیا ہے جس سے پائی ٹی ماؤنٹ کی شکل میں بناتے ہوئے شکل 6.45 کا بلند تعددی مساوی دور شکل 6.46 میں دکھایا گیا ہے۔ باریک اشاراق دور میں R_2 اور R_1 دونوں کے دونوں سرے برقی زمین پر ہیں لہذا انہیں نہیں دکھایا گیا۔ چونکہ ٹرانزستر کا بیس سرا برقی زمین پر ہے لہذا $C_{b'c}$ کا ایک سرا برقی زمین پر ہو گا اور یوں اسے کلکٹر اور برقی زمین کے مابین دکھایا گیا ہے۔

مساوی دور سے دو انقطاعی تعدد حاصل ہوتے ہیں یعنی

$$(6.105) \quad \begin{aligned} \omega_{H1} &= \frac{1}{(r_e \| R_E \| r_i) C_{b'e}} \\ \omega_{H2} &= \frac{1}{(R_C \| R_L) C_{b'c}} \end{aligned}$$



شكل 6.45: بیس مشترک ایمپلیفیٹر



شكل 6.46: بیس مشترک ایمپلیفیٹر کا مساوی دور

درمیانی تعدد پر افزائش حاصل کرتے وقت $C_{b'e}$ اور $C_{b'c}$ کو کھلے دور تصور کیا جاتا ہے۔ یوں

$$\begin{aligned} A_v &= \frac{v_L}{v_i} = \frac{v_L}{i_c} \times \frac{i_c}{v_{b'e}} \times \frac{v_{b'e}}{v_i} \\ &= - (R_C \parallel R_L) g_m \left(-\frac{R_E \parallel r_e}{R_E \parallel r_e + r_i} \right) \\ &= (R_C \parallel R_L) g_m \left(\frac{R_E \parallel r_e}{R_E \parallel r_e + r_i} \right) \end{aligned}$$

لکھا جا سکتا ہے جہاں پہلی اور تیسرا قوسین میں موجود منفی ایک آپس میں ضرب ہو کر ختم ہو جاتے ہیں۔

مثال 6.14: شکل 6.45 میں

$$\begin{aligned} V_{CC} &= 5 \text{ V}, & V_{EE} &= -5 \text{ V}, & R_E &= 600 \Omega \\ R_1 &= 6 \text{ k}\Omega, & R_2 &= 38 \text{ k}\Omega, & R_C &= 5 \text{ k}\Omega \\ R_L &= 10 \text{ k}\Omega, & r_i &= 100 \Omega \end{aligned}$$

بین-ٹرانزسٹر کا ہیں۔ حل: پہلے یک سمتی حل درکار ہے۔ گونون مساوی اجزاء حاصل کرتے ہیں۔

$$V_{BB} = \frac{5 + 5}{6000 + 38000} \times 6000 - 5 = -3.64 \text{ V}$$

$$R_B = \frac{6000 \times 38000}{6000 + 38000} = 5.182 \text{ k}\Omega$$

یوں

$$I_E = \frac{-3.64 - 0.7 + 5}{\frac{5182}{149+1} + 600} = 1.04 \text{ mA}$$

یوں

$$g_m = \frac{1.04 \times 10^{-3}}{25 \times 10^{-3}} = 0.0416 \text{ S}$$

$$r_e = 24 \Omega$$

$$r_{b'e} = 24 \times 150 = 3.6 \text{ k}\Omega$$

حاصل ہوتے ہیں۔

$R_{b'e}$ کے متوازی کل مزاحمت $C_{b'e}$

$$\frac{1}{R_{be'}} = \frac{1}{24} + \frac{1}{600} + \frac{1}{100}$$

$$R_{b'e} = 18.75 \Omega$$

جیکہ $C_{b'c}$ کے متوازی کل مزاحمت

$$R_{b'c} = \frac{5000 \times 10000}{5000 + 10000} = 3.333 \text{ k}\Omega$$

بین-یوں مساوات 6.105 کی مدد سے

$$f_{H1} = \frac{1}{2 \times \pi \times 18.75 \times 35 \times 10^{-12}} = 242 \text{ MHz}$$

$$f_{H2} = \frac{1}{2 \times \pi \times 3333 \times 4 \times 10^{-12}} = 11.93 \text{ MHz}$$

حاصل ہوتے ہیں لہذا اس ایمپلیفائر کا بلند انقطعائی تعدد 11.93 MHz ہے۔ اس مثال میں بلند انقطعائی تعدد کا دارومندار $C_{b'c}$ پر ہے ناکہ $C_{b'e}$ پر۔

$$A_v = \left(\frac{5000 \times 10000}{5000 + 1000} \right) 0.0416 \left(\frac{\frac{24 \times 600}{24+600}}{\frac{24 \times 600}{24+600} + 100} \right)$$

$$= 26 \frac{\text{V}}{\text{V}}$$

مثال 6.15: گزشتہ مثال کے دور میں اگر داخلی اشارہ بیس پر مہیا کیا جائے تو ایمٹر مشترک ایمپلیفائر حاصل ہوتا ہے جس سے شکل 6.47 میں دکھایا گیا ہے۔ بقایا تمام متغیرات وہی رکھتے ہوئے دیکھتے ہیں کہ اس صورت میں بلند انقطعائی تعدد کیا حاصل ہوتا ہے۔
حل: مساوی دور شکل 6.48 میں دکھایا گیا ہے۔ گزشتہ مثال کی معلومات استعمال کرتے ہوئے

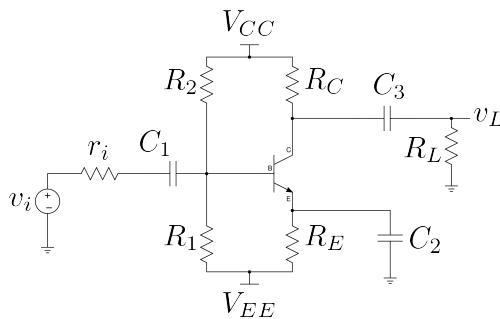
$$C_M = (1 + 0.0416 \times 3333) \times 4 \times 10^{-12} = 559 \text{ pF}$$

$$C_{b'e} + C_M = 594 \text{ pF}$$

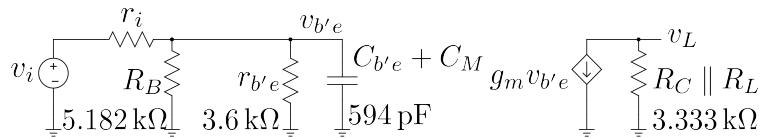
اور اس کے متوازی کل مزاحمت R_m

$$\frac{1}{R_m} = \frac{1}{100} + \frac{1}{5182} + \frac{1}{3600}$$

$$R_m = 95.5 \Omega$$



شکل 6.47: ایمٹر مشترک ایمپلیفائر



شکل 6.48: ایمٹر مشترک ایمپلیفائر کے انقطعائی تعدد حاصل کرنے کے لئے درکار مساوی دور

حاصل ہوتا ہے - یوں بلند انقطعائی تعدد

$$f_H = \frac{1}{2\pi \times 95.5 \times 594 \times 10^{-12}} = 2.8 \text{ MHz}$$

اور درمیانی تعدد پر افزائش

$$A_v = \frac{v_L}{v_i} = -3333 \times 0.0416 \times \frac{\frac{3600 \times 5182}{3600+5182}}{\frac{3600 \times 5182}{3600+5182} + 100} = -132 \frac{\text{V}}{\text{V}}$$

مندرجہ بالا دو مساوات سے آپ دیکھ سکتے ہیں کہ بیس مشترک ایمپلیفائر کی بلند انقطعائی تعدد ایمٹر مشترک ایمپلیفائر کے بلند انقطعائی تعدد سے تقریباً سوا چار گنا زیادہ ہے۔

6.14 کیسکوڈ ایمپلیفائر

ایمپلیفائر کے بلند تعدادی رد عمل پر غور کرے دوران یہ حقیقت سامنے آئی کہ اگرچہ $C_{b'c}$ کی قیمت نہایت کم لیکن ملر کپیسٹر³⁸ کی وجہ سے بلند انقطاعی نقطہ تعین کرنے میں اس کا کردار نہایت اہم ہے۔ ٹرانزستر ایمپلیفائر بلند انقطاعی نقطے سے کم تعدد کے اشارات کو بڑھاتا ہے۔ یوں ہم چاہیں گے کہ یہ نقطہ بلند سے بلند تر تعداد پر پایا جائے۔ اس حصے میں کیسکوڈ ایمپلیفائر³⁹ پر غور کیا جائے گا جس میں ملر کپیسٹر کی قیمت کم سے کم ہونے کی بنا پر زیادہ سے زیادہ تعداد پر بلند تر انقطاعی نقطہ حاصل ہوتا ہے⁴⁰۔

شکل 6.49 الف میں کیسکوڈ ایمپلیفائر دکھایا گیا ہے۔ Q_1 اور اس کے ساتھ منسلک R_1 , R_2 اور R_E اور C_E مل کر مشترکہ ایمٹر طرز کا ایمپلیفائر بناتے ہیں جسے کپیسٹر C_{B1} کے ذریعہ داخلی اشارہ v_i فراہم کیا گیا ہے۔ R_i داخلی اشارہ فراہم کرنے والے کی مزاحمت ہے۔ عام صورت میں Q_1 کے کلکٹر پر برق بار RL لادا جاتا ہے لیکن کیسکوڈ میں ایسا نہیں کیا جاتا۔ کیسکوڈ میں Q_2 بطور برق بار کردار ادا کرتا ہے۔ Q_2 کے بیس پر بیرونی کپیسٹر C_{B2} کا کردار نہایت اہم ہے۔ درکار تعداد پر C_{B2} بطور قصر دور کام کرتے ہوئے Q_2 کے بیس کو برق زمین پر رکھتا ہے۔ Q_2 اور اس کے ساتھ منسلک R'_1 , R'_2 اور C_{B2} مل کر مشترکہ بیس طرز کا ایمپلیفائر بناتے ہیں۔

کیسکوڈ کی بلند انقطاعی تعداد اس میں پائی جانے والے Q_1 پر مبنی مشترکہ ایمٹر طرز کے ایمپلیفائر اور Q_2 پر مبنی مشترکہ بیس طرز کے ایمپلیفائر کی بلند انقطاعی تعداد پر منحصر ہو گی۔ مساوات 6.62 اور مساوات 6.69 ان ایمپلیفائر کی قصر دور بلند تر انقطاعی تعداد w_α اور w_β دیتے ہیں جن کے تحت $w_\alpha = w_T$ کے برابر ہے جہاں w_β کے برابر کیسکوڈ ایمپلیفائر کی قصر دور بلند انقطاعی تعداد جبکہ w_α مشترکہ بیس طرز کے ایمپلیفائر کی قصر دور بلند انقطاعی تعداد ہے۔ چونکہ $w_\alpha = w_T$ کے برابر ہے لہذا مشترکہ بیس طرز کا ایمپلیفائر ٹرانزستر کے w_T تعداد تک قابل استعمال ہوتا ہے۔ اس کے برعکس مشترکہ ایمٹر طرز کے ایمپلیفائر کی بلند انقطاعی تعداد C_M پر منحصر ہوئی ہے جو از خود اس پر لدی برق بار RL پر منحصر ہوتا ہے۔ یوں کیسکوڈ ایمپلیفائر کی بلند تعددی انقطاعی تعداد اس میں پائی جانے والے مشترکہ ایمٹر ایمپلیفائر کی بلند انقطاعی تعداد پر منحصر ہو گا۔ آئیں اب اس پر غور کریں۔

شکل 6.49 ب میں کیسکوڈ ایمپلیفائر کا مساوی باریک اشاراتی دور دکھایا گیا ہے جس میں ٹرانزستر مائل کرنے والے اجزاء نہیں دکھائے گئے تاکہ کیسکوڈ ایمپلیفائر کی بنیادی کارکردگی پر توجہ رہے۔ اس شکل میں Q_2 کا مزاحمت r_{e2} بطور Q_1 کے برق بار کردار ادا کرتا ہے۔ r_{e2} کو Q_2 کے باپر دکھاتے ہوئے اسے Q_1 کے کلکٹر اور برق زمین کے مابین دکھایا گیا ہے۔ شکل پ میں Q_2 کا T ماذل⁴¹ استعمال کرتے ہوئے اس بات کی وضاحت کی گئی ہے کہ Q_1 کے کلکٹر اور برق زمین کے درمیان r_{e2} نسبت بے۔

Q_1 کا برق بار r_{e2} r_{e1} لیتے ہوئے

$$(6.106) \quad C_M = (1 + g_m r_{e2}) C_{b'c}$$

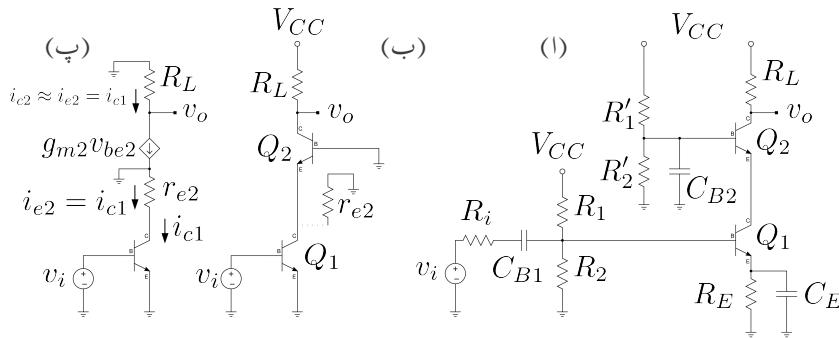
حاصل ہوتا ہے۔ چونکہ Q_1 اور Q_2 میں برابر یک سمعتی برق رو I_{CQ} گزرتا ہے لہذا $g_m r_{e2} = \frac{I_{CQ}}{V_T}$ اور $r_{e2} = \frac{1}{g_m}$ اور $r_{e1} = r_{e2}$ ہوں گے۔ آپ یہ بھی دیکھ سکتے ہیں کہ باریک

Miller capacitor³⁸

فریٹرک وضن بیٹ نے اس ایمپلیفائر کو دریافت کیا اور اس کا نام کیسکوڈ ایمپلیفائر رکھا۔

cascode amplifier⁴⁰

ماذل پر حصہ 3.14.1 میں تصریح کیا گیا ہے۔



شکل 6.49: کیسکوڈ ایمپلیفیائر

اشاراتی برق رو \$i_{e2} \approx i_{c2} = i_{c1}\$ ہو گا۔ یوں \$g_{m1}r_{e2} = 1\$ لیتے ہوئے

$$(6.107) \quad C_M = (1 + 1) C_{b'e} = 2C_{b'e}$$

حاصل ہوتا ہے جو کہ کم ترین ممکنہ ملر کپیسٹر ہے۔ \$C_M\$ کی قیمت کم سے کم ہونے کی بنا پر مشترکہ ایٹر طرز کے ایمپلیفیائر کی بلند انقطاعی تعداد زیادہ سے زیادہ تعدد پر حاصل ہوئی ہے۔

شکل 6.50 میں \$Q_1\$ کا بلند تعدادی ماڈل استعمال کرتے ہوئے باریک اشاراتی مساوی دور دکھایا گیا ہے جس میں \$r_{e2}\$ کو بطور برق بار دکھایا گیا ہے۔ متوازی جڑیں \$R_1\$ اور \$R_2\$ کے کل مزاحمت کو \$R_B\$ لکھتے ہیں یعنی

$$\frac{1}{R_B} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

یوں متوازی جڑیں مزاحمت \$R_1\$، \$R_2\$ کی کل مقدار \$r_{be}\$ اور \$R_m\$ یوں لکھی جا سکتی ہے۔

$$\begin{aligned} \frac{1}{R_m} &= \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{r_{be}} \\ &= \frac{1}{R_B} + \frac{1}{r_{be}} \end{aligned}$$

یعنی

$$R_m = \frac{R_B r_{be}}{R_B + r_{be}}$$

اسی طرح متوازی جڑیں \$R_m\$ اور دو کیسٹروں کی برقی رکاوٹ \$Z\$ کو یوں لکھ سکتے ہیں۔

$$\frac{1}{Z} = j\omega (C_{b'e} + 2C_{b'e}) + \frac{1}{R_m}$$

ایمپلیفائر کی موصل نما افزائش $G_M = \frac{i_c}{v_i}$ یوں حاصل ہوئے ہے۔

$$\begin{aligned} G_m &= \frac{i_{c1}}{v_i} = \left(\frac{i_c}{v_{be}} \right) \left(\frac{v_{be}}{v_i} \right) \\ &= g_m \left(\frac{Z}{R_i + Z} \right) \\ &= g_m \left[\frac{Z}{Z \left(\frac{R_i}{Z} + 1 \right)} \right] \\ &= \frac{g_m}{\frac{R_i}{Z} + 1} \end{aligned}$$

اس میں $\frac{1}{Z}$ استعمال کرتے

$$\begin{aligned} G_m &= \frac{g_m}{R_i \left[j\omega (C_{b'e} + 2C_{b'c}) + \frac{1}{R_m} \right] + 1} \\ &= \frac{g_m}{j\omega (C_{b'e} + 2C_{b'c}) R_i + \frac{R_i}{R_m} + 1} \end{aligned}$$

حاصل ہوتا ہے۔ اس کے نچلے حصے سے باہر لیتے ہوئے

$$G_m = \frac{g_m}{\left(\frac{R_i}{R_m} + 1 \right) \left[j\omega \frac{(C_{b'e} + 2C_{b'c}) R_i}{\frac{R_i}{R_m} + 1} + 1 \right]}$$

حاصل ہوتا ہے جس میں

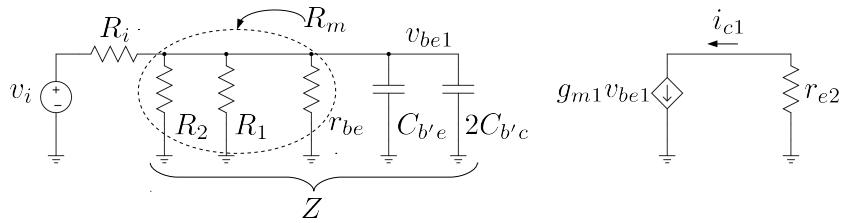
$$(6.108) \quad \omega_H = \frac{\frac{R_i}{R_m} + 1}{(C_{b'e} + 2C_{b'c}) R_i}$$

لکھتے ہوئے

$$(6.109) \quad G_m = \left(\frac{g_m}{\frac{R_i}{R_m} + 1} \right) \left(\frac{1}{j \frac{\omega}{\omega_H} + 1} \right)$$

حاصل ہوتا ہے۔

شکل 6.49 پ میں اس بات کی وضاحت کی گئی ہے کہ Q_2 میں وہی برق روگزرتی ہے جو Q_1 میں گزرتی ہے اور یوں $i_{c1} = i_{c2}$ ہوتا ہے۔ اس حقیقت کو مد نظر رکھتے ہوئے کیسکوڈ ایمپلیفائر کے



شکل 6.50: کیسکرڈ ایمپلیفیائر باریک اشاراتی تجزیہ

برق دباؤ کی افزائش

$$\begin{aligned}
 A_v &= \frac{v_o}{v_i} = \left(\frac{v_o}{i_{c2}} \right) \left(\frac{i_{c2}}{i_{c1}} \right) \left(\frac{i_{c1}}{v_i} \right) \\
 &= \left(\frac{v_o}{i_{c2}} \right) \left(\frac{i_{c2}}{i_{c1}} \right) (G_m) \\
 &= (-R_L) (1) (G_m)
 \end{aligned}$$

یعنی

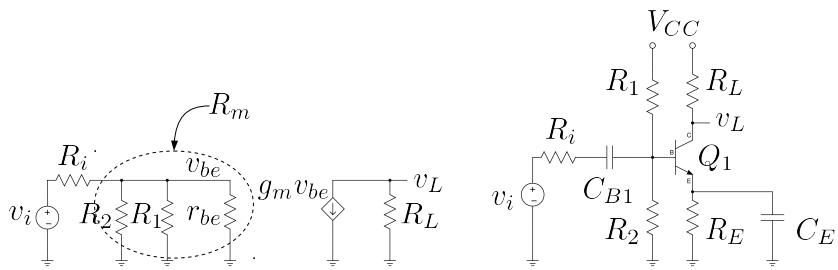
$$\begin{aligned}
 A_v &= - \left(\frac{g_m R_L}{\frac{R_i}{R_m} + 1} \right) \left(\frac{1}{j \frac{\omega}{\omega_H} + 1} \right) \\
 &= A_{vD} \left(\frac{1}{j \frac{\omega}{\omega_H} + 1} \right)
 \end{aligned} \tag{6.110}$$

حاصل ہوتی ہے جہاں A_{vD} درمیانی تعداد پر افزائش ہے جو

$$A_{vD} = - \left(\frac{g_m R_L}{\frac{R_i}{R_m} + 1} \right) = - \left(\frac{g_m R_L R_m}{R_i + R_m} \right) \tag{6.111}$$

کے برابر ہے۔ اس طرح کیسکرڈ ایمپلیفیائر پوری برق دباؤ کی افزائش دیتے ہوئے بلند انقطعائی تعداد کو بلند تر تعداد تک لی جاتا ہے۔ ω_H کو مزید

$$\begin{aligned}
 \omega_H &= \frac{R_i + R_m}{(C_{b'e} + 2C_{b'c}) R_i R_m} \\
 &= \frac{1}{(C_{b'e} + 2C_{b'c}) \frac{R_i R_m}{R_i + R_m}}
 \end{aligned} \tag{6.112}$$



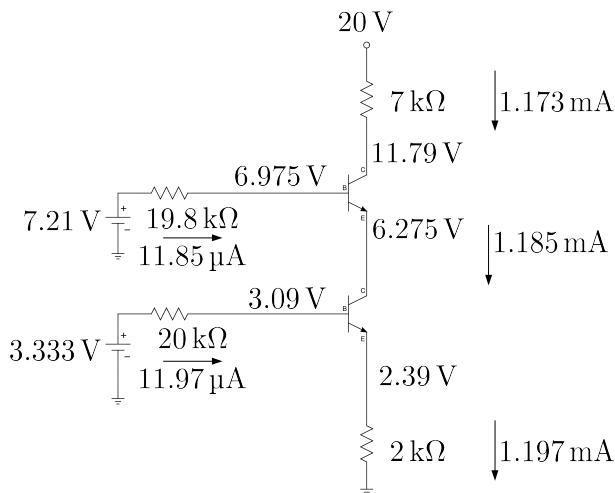
شکل 6.51: کیسکوڈ ایمپلیفائر کا مشترک ایمٹر حصہ

لکھا جا سکتا ہے جہاں کپیسٹر $R_i \parallel R_m$ کے متوازی کل مزاحمت $C_{b'e} + 2C_{b'c}$ دراصل متوازی جزرے، R_i اور R_2 کی کل مزاحمت ہے۔ آپ دیکھ سکتے ہیں کہ کیسکوڈ ایمپلیفائر کی بلند انقطعی تعدد کو بھی $\omega_H = \frac{1}{RC}$ کی شکل میں لکھا جا سکتا ہے جہاں C کل کپیسٹر اور R اس کے ساتھ متوازی جزری کل مزاحمت ہے۔

شکل 6.49 الف میں Q_1 مشترک ایمٹر ایمپلیفائر ہے۔ اگر Q_2 کو دور سے نکال کر R_L کو Q_1 کے ایٹر کے ساتھ جوڑا جائے تو شکل 6.51 میں دکھایا گیا مشترک ایمٹر ایمپلیفائر حاصل ہو گا جس کا درمیانی تعدد پر مساوی دور بھی اسی شکل میں دکھایا گیا ہے۔ آئین زنجیری ضرب کی مدد سے شکل 6.51 کا $A_v = \frac{v_L}{v_i}$ حاصل کریں۔

$$\begin{aligned}
 (6.113) \quad A_v &= \frac{v_L}{v_i} = \frac{v_L}{i_c} \times \frac{i_c}{v_{be1}} \times \frac{v_{be1}}{v_i} \\
 &= -R_L g_m \left(\frac{R_m}{R_i + R_m} \right) \\
 &= \frac{-g_m R_L R_i}{R_i + R_m}
 \end{aligned}$$

اس مساوات کا مساوات 6.111 کے ساتھ موازنہ کرنے سے ثابت ہوتا ہے کہ کیسکوڈ ایمپلیفائر کی درمیانی تعدد پر افزائش وہی ہے جو مشترک ایمٹر ایمپلیفائر کی ہے۔ کیسکوڈ ایمپلیفائر کی افادیت اس حقیقت میں ہے کہ اس کا بلند انقطعی تعدد کافی زیادہ تعدد پر پایا جاتا ہے۔



شکل 6.52: کیسکوڈ ایمپلیفیائر کے یک سمتی متغیرات

مثال 6.16: شکل 6.49 الف میں

$$R_1 = 120 \text{ k}\Omega, \quad R_2 = 24 \text{ k}\Omega, \quad R_E = 2 \text{ k}\Omega$$

$$R'_1 = 55 \text{ k}\Omega, \quad R'_2 = 31 \text{ k}\Omega, \quad R_i = 0.1 \text{ k}\Omega$$

$$C_{b'e} = 30 \text{ pF}, \quad C_{b'c} = 3 \text{ pF}, \quad R_L = 7 \text{ k}\Omega$$

$$\beta = 99, \quad V_{CC} = 20 \text{ V}, \quad V_A = \infty$$

بی۔ کیسکوڈ ایمپلیفیائر کے تمام یکمستی متغیرات ٹھیک ٹھیک حاصل کریں۔

حل: شکل 6.52 میں اس کا یک سختی دور دکھایا گیا ہے جہاں Q_1 اور Q_2 کے بیس جانب مسئلہ

ہونن سے حاصل مساوی ادوار نسب کر دئے گئے ہیں۔

 Q_1 کا برقی رو سیدھا یوں حاصل ہو جاتا ہے

$$(6.114) \quad I_{E1} = \frac{3.333 - 0.7}{\frac{20000}{99+1} + 2000} = 1.197 \text{ mA}$$

جس سے

$$I_{C1} = \left(\frac{99}{99+1} \right) \times 1.197 \text{ mA} = 1.185 \text{ mA}$$

$$I_{B1} = \frac{1.197 \text{ mA}}{99+1} = 11.97 \mu\text{A}$$

حاصل ہوتے ہیں۔ یہ معلومات شکل پر دکھائی گئی ہیں۔
 Q_2 کا برق رو مساوات 6.114 کے طرز پر تب حاصل کیا جا سکتا ہے جب اس کے ایمٹر پر نسب مزاحمت معلوم ہو۔ یہاں ایسا کوئی مزاحمت نظر نہیں آ رہا۔ یہاں طریقہ سوچ کچھ یوں ہے۔ چونکہ Q_1 کے کلکٹر پر 1.185 mA پایا جاتا ہے لہذا Q_2 کا I_{E2} یہی ہو گا۔ اگر ایسا ہو تو

$$I_{C2} = \left(\frac{99}{99+1} \right) \times 1.185 \text{ mA}$$

$$I_{B2} = \frac{1.185 \text{ mA}}{99+1} = 11.85 \mu\text{A}$$

ہوں گے۔ آئیں اب حاصل کردہ برق رو کو استعمال کرتے ہوئے مختلف مقامات پر برق دباو حاصل کریں۔ Q_1 کے ایمٹر پر

$$V_{E1} = I_{E1} R_E = 1.197 \times 10^{-3} \times 2000 = 2.39 \text{ V}$$

پایا جائے گا۔ یوں

$$V_{B1} = V_{E1} + V_{BE1} = 2.39 + 0.7 = 3.09 \text{ V}$$

پایا جائے گا۔ یہی برق دباو یوں ہی حاصل کیا جا سکتا ہے کہ بیس جانب $20 \text{ k}\Omega$ مزاحمت میں سے جب $11.97 \mu\text{A}$ گزرے گا تو اُوہم کے قانون کے تحت اس کے دو سروں کے مابین تقریباً 0.24 V کا برق دباو ہو گا یوں

$$V_{B1} = 3.33 - I_{B1} \times 20000 = 3.09 \text{ V}$$

اسی طریقے سے Q_2 کے بیس پر

$$V_{B2} = 7.21 - 11.85 \times 10^{-6} \times 19800 = 6.975 \text{ V}$$

حاصل ہوتا ہے جس کو استعمال کرتے ہوئے

$$V_{E2} = V_{B2} - V_{BE2} = 6.975 - 0.7 = 6.275 \text{ V}$$

حاصل ہوتا ہے۔ Q_2 کے کلکٹر پر

$$V_{C2} = 20 - 1.173 \times 10^{-3} \times 7000 = 11.79 \text{ V}$$

حاصل ہوتے ہیں۔ ان تمام معلومات سے

$$V_{CE1} = V_{C1} - V_{E1} = 6.275 - 2.39 = 3.885 \text{ V}$$

$$V_{CE2} = V_{C2} - V_{E2} = 11.79 - 6.275 = 5.55 \text{ V}$$

حاصل ہوتے ہیں۔ چونکہ دونوں V_{CE} کے قیمتیں 0.2 V سے زیادہ ہے لہذا دونوں ٹرانزسٹر افزائندہ ہیں۔

یہ تمام معلومات حاصل کرتے وقت ہم تصور کر رہے ہیں کہ دونوں ٹرانزسٹر افزائندہ ہیں۔ فرض کریں کہ R'_1 اور R'_2 کے قیمتیں یوں چنی جائیں کہ V_{E2} کی قیمت اتنی گر جائے کہ Q_1 افزائندہ نہ رہ سکے تب یہ تمام حساب کتاب غلط ہو گا اور کیسکوڈ ایمپلیفائر صحیح کام نہیں کرے گا۔ تخلیق دیتے وقت اس بات کا خیال رکھا جاتا ہے کہ دونوں ٹرانزسٹر یک سمیت برق روگزارتے ہوئے افزائندہ رہیں۔

مثال 6.17: مثال 6.16 میں دئے گئے معلومات کو استعمال کرتے ہوئے کیسکوڈ ایمپلیفائر کی درمیانی تعداد پر افزائش A_v اور بلند انقطعی تعدد f_H حاصل کریں۔
حل: Q_1 کا یک سمیت برق رو I_{C1}

$$V_{BB} = \frac{24000 \times 20}{24000 + 120000} = 3.333 \text{ V}$$

$$R_B = \frac{24000 \times 120000}{24000 + 120000} = 20 \text{ k}\Omega$$

$$I_{C1} \approx I_{E1} = \frac{3.333 - 0.7}{\frac{20000}{99+1} + 2000} = 1.197 \text{ mA}$$

حاصل ہوتا ہے۔ یہی یک سمیت برق رو Q_2 میں سے بھی گزرے گا۔ یوں

$$g_{m1} = g_{m2} = g_m = \frac{1.197 \times 10^{-3}}{25 \times 10^{-3}} = 47.88 \text{ mS}$$

$$r_{be1} = r_{be2} = r_{be} \approx \frac{99}{0.04788} = 2067 \Omega$$

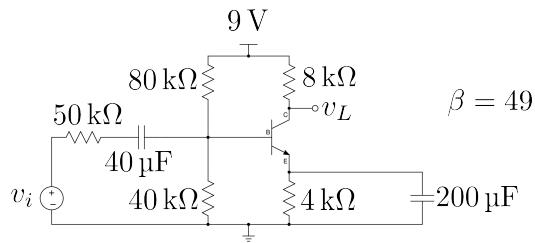
حاصل ہوتے ہیں۔ درمیانی تعداد پر افزائش مساوات 6.111 کی مدد سے حاصل کرتے ہیں جس میں درکار ہو گا یعنی

$$\frac{1}{R_m} = \frac{1}{120000} + \frac{1}{24000} + \frac{1}{2067}$$

$$R_m = 1873 \Omega$$

جس سے استعمال کرتے ہوئے

$$A_{vD} = \frac{-0.04788 \times 7000 \times 1873}{100 + 1873} = -318 \frac{\text{V}}{\text{V}}$$



شکل 6.53: مشترک ایمپلیفیٹر کا مکمل تعددی رد عمل

اور مساوات 6.112 کی مدد سے

$$\omega_H = \frac{1}{(30 \times 10^{-12} + 2 \times 3 \times 10^{-12}) \left(\frac{100 \times 1873}{100 + 1873} \right)} = 293 \frac{\text{Mrad}}{\text{s}}$$

$$f_H = \frac{293000000}{2\pi} = 46.6 \text{ MHz}$$

حاصل ہوتا ہے۔

اب تک اس باب میں ہم پست انقطعی تعدد، بلند انقطعی تعدد اور درمیانی تعدد پر افزائش کی مثالیں دیکھتے رہے ہیں۔ آئیں ان تینوں کو یکجا کرتے ہوئے اس کا بودھ خط حاصل کریں۔

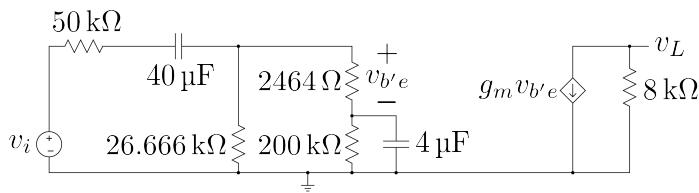
مثال 6.18: شکل 6.53 میں ٹرانزسٹر کا $C_{b'e} = 2 \text{ pF}$ اور $f_t = 200 \text{ MHz}$ ہے۔ اس ایمپلیفیٹر کی پست اور بلند انقطعی تعدد حاصل کریں۔ درمیانی تعدد پر افزائش حاصل کرتے ہوئے افزائش کے حتمی قیمت کا مکمل بودھ خط کھینچیں۔

حل: یک سعی تجذیب سے $R_B = 26.666 \Omega$ اور $V_{BB} = 3 \text{ V}$ حاصل ہوتے ہیں جس سے $r_{b'e} = 2500 \Omega$ اور $r_e = 50 \Omega$ ، $g_m = 0.02 \text{ S}$ اور $I_C = 0.507 \text{ mA}$ ہیں۔

مساوات 6.67 کی مدد سے f_T کو استعمال کرتے ہوئے $C_{b'e}$ یوں حاصل ہوتا ہے

$$C_{b'e} = \frac{g_m}{2\pi f_T} - C_{b'c} = \frac{0.02}{2\pi \times 200 \times 10^6} - 2 \times 10^{-12} = 14 \text{ pF}$$

شکل 6.54 میں کم تعدد پر مساوی دور دکھایا گیا ہے جہاں $(\beta + 1) R_E = 200 \text{ k}\Omega$ اور $\frac{C_E}{\beta+1} = 4 \mu\text{F}$ استعمال کئے گئے۔ ٹرانزسٹر کے اندر ونی کپیسٹروں کو کھلے دور تصور کیا گیا ہے۔ ہم تصور کرتے ہیں کہ پست انقطعی تعدد C_E سے حاصل کیا گیا ہے اور اس تعدد پر $40 \mu\text{F}$ کے کپیسٹر کو



شکل 6.54: مشترک ایمٹر کا کم تعدد پر مساوی دور

قصر دور تصور کرتے ہیں۔ یوں پست انقطاعی تعدد f_L کو $4 \mu\text{F}$ اور اس کے متوازی کل مزاہمت R سے حاصل کرتے ہیں۔ اگر 2464Ω کو نظر انداز کیا جائے تو

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{50000} + \frac{1}{26666} + \frac{1}{200000}$$

$$R = 16 \text{ k}\Omega$$

حاصل ہوتا ہے اور یوں

$$f_L = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2\pi \times 16000 \times 4 \times 10^{-6}} = 2.5 \text{ Hz}$$

حاصل ہوتا ہے۔

شکل 6.55 میں زیادہ تعدد پر مساوی دور دکھایا گیا ہے جس میں بیرونی کپیسٹروں کو قصر دور تصور کیا گیا ہے۔ شکل میں

$$C_M = (1 + 0.02 \times 8000) 2 \times 10^{-12} = 322 \text{ pF}$$

لیتے ہوئے کل کپیسٹر استعمال کیا گیا ہے۔ کپیسٹر کے متوازی کل مزاہمت کو R کہتے ہوئے

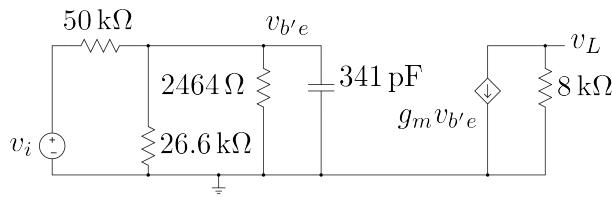
$$\frac{1}{R} = \frac{1}{50000} + \frac{1}{26666} + \frac{1}{2464}$$

$$R = 2158 \Omega$$

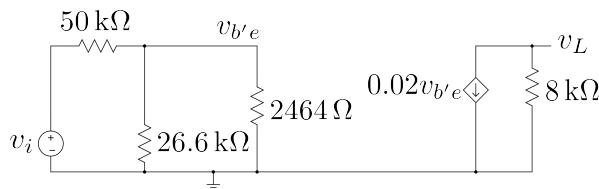
حاصل ہوتا ہے۔ یوں بلند انقطاعی تعدد f_H

$$f_H = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2\pi \times 2158 \times 336 \times 10^{-12}} = 219 \text{ kHz}$$

حاصل ہوتا ہے۔



شکل 6.55: مشترک ایمٹر کا زیادہ تعدد پر مساوی دور



شکل 6.56: مشترک ایمٹر کا درمیانی تعدد پر مساوی دور

درمیانی تعدد پر شکل 6.56 حاصل ہوتا ہے جس میں متوازی جزئے $26.666 \text{ k}\Omega$ اور $2.464 \text{ k}\Omega$ کی کل مزاحمت کو $2.255 \text{ k}\Omega$ لیتے ہوئے

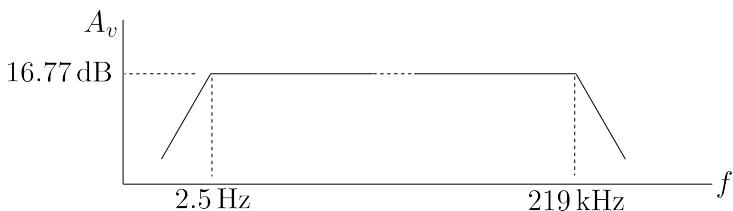
$$A_v = \frac{v_L}{v_i} = -8000 \times 0.02 \times \frac{2255}{2255 + 50000} = -6.9 \frac{\text{V}}{\text{V}}$$

حاصل ہوتا ہے۔ ان تمام معلومات کو شکل 6.57 کرے بودا خط میں دکھایا گیا ہے۔

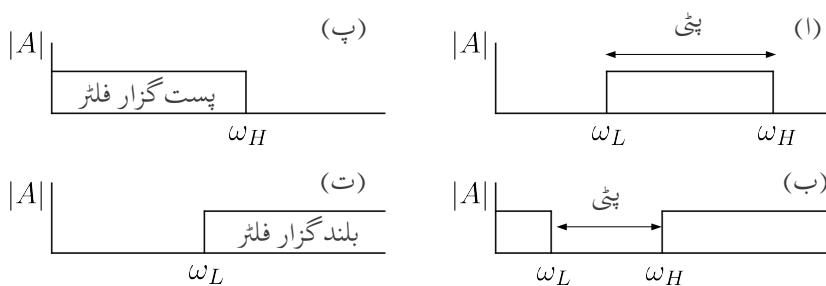
6.15 فلٹر یا چھلنی

ایسا دور جو کسی خاص حدود کے درمیان تعدد رکھنے والے اشارات کو گزار فلٹر⁴² یا پٹی گزار چھلنی کہتے ہیں۔ اس کے برعکس ایک ایسا دور جو کسی خاص حدود کے درمیان تعدد رکھنے والے اشارات کو روک دیے اور انہیں گزرنے نہ دے کو پٹی روک فلٹر⁴³ یا پٹی روک چھلنی کہتے ہیں۔ شکل 6.58 الف میں پٹی گزار فلٹر، شکل ب میں پٹی روک فلٹر، شکل پ میں پست گزار فلٹر جبکہ شکل ت میں بلند گزار فلٹر کی افزائش بال مقابل تعدد کے خط دکھائے گئے ہیں۔ حقیقت میں ایسے کامل فلٹر نہیں پائے

band pass filter⁴²
band stop filter⁴³



شکل 6.57: مشترک ایمپر کا مکمل بوڈا خط



شکل 6.58: فلٹر یا چھلی کے اقسام

جاتے اور حقیقی پست گزار فلٹر ω_H سے قدر بلند تعداد کے اشارات کو بھی گزارتا ہے۔ فلٹر ایسے قلیوں سے حاصل کیا جاتا ہے جس کا خط شکل 6.58 کے قریب قریب ہو۔ حسابی ایمپلیفیائر استعمال کرتے ہوئے ہر قسم کے فلٹر تخلیق دئے جاتے ہیں۔ ایسے فلٹروں میں بٹر ورت فلٹر کا اپنا ایک مقام ہے۔ آئیں اس پر غور کرتے ہیں۔

6.16 بٹر ورت فلٹر (چھلی)

کسی بھی n درجی تسلسل کو

$$s^n + c_{n-1}s^{n-1} + c_{n-2}s^{n-2} + \cdots + c_2s^2 + c_1s + c_0$$

کی صورت میں لکھا جا سکتا ہے جہاں $s = \sigma + j\omega$ مخلوط تعدد جبکہ c_1, c_2, c_3 وغیرہ، تسلسل کے ضربیہ مستقل ہیں۔ جفت n کی صورت میں یعنی $n = 2, 4, 6, \dots$ کی صورت میں $(s^2 + 2\zeta_m\omega_m s + \omega_m^2)$

طرز کے $\frac{n}{2}$ دو درجی کلیات کو آپس میں ضرب دیتے ہوئے اسی تسلسل کو یوں لکھا جا سکتا ہے

$$(6.115) \quad (s^2 + 2\zeta_1\omega_1 s + \omega_1^2) (s^2 + 2\zeta_2\omega_2 s + \omega_2^2) \dots$$

جہاں ζ_m اور ω_m دو درجی کلیات کے مستقل بین-میں کو دھیما پن کا مستقل⁴⁴ اور ω_m کو آزاد قدرتی تعدد⁴⁵ کہا جاتا ہے۔ طاق n یعنی $n = 1, 3, 5, \dots$ کی صورت میں $(s^2 + 2\zeta_m\omega_m s + \omega_m^2)$ طرز کے $\frac{n-1}{2}$ دو درجی کلیات اور ایک عدد $(s + \omega_0)$ کو آپس میں ضرب دیتے ہوئے اسی تسلسل کو یوں لکھا جا سکتا ہے۔

$$(6.116) \quad (s + \omega_0) (s^2 + 2\zeta_1\omega_1 s + \omega_1^2) (s^2 + 2\zeta_2\omega_2 s + \omega_2^2) \dots$$

بڑ ورت تسلسل⁴⁶ $B_n(s)$ میں مساوات 6.115 اور مساوات ω_m میں تمام ω_m برابر ہوتے ہیں۔ ایسی صورت میں تمام ω_m کو ω_0 لکھتے ہوئے بڑ ورت تسلسل کو یوں لکھا جا سکتا ہے

$$(6.117) \quad B_n(s) = (s^2 + 2\zeta_1\omega_0 s + \omega_0^2) (s^2 + 2\zeta_2\omega_0 s + \omega_0^2) \dots$$

$$(6.117) \quad B_n(s) = (s + \omega_0) (s^2 + 2\zeta_1\omega_0 s + \omega_0^2) (s^2 + 2\zeta_2\omega_0 s + \omega_0^2) \dots$$

جہاں پہلی تسلسل جفت n اور دوسری تسلسل طاق n کے لئے ہے۔

آئیں بڑ ورت تسلسل میں s کی وہ قیمتیں حاصل کریں جن پر $B_n(s)$ کی قیمت صفر ہو جاتی ہے۔

کی یہ قیمتیں تسلسل کے صفر⁴⁷ کھلاتے ہیں۔

$s = -\omega_0$ سے $s + \omega_0 = 0$ حاصل ہوتا ہے۔ شکل 6.59 الف میں مخلوط سطح⁴⁸ پر اس نقطے کو دکھایا گیا ہے۔ مخلوط سطح کے افقی محور پر حقیقی اعداد جبکہ اس کے عمودی محور پر خیالی اعداد پائیں جاتے ہیں۔ یوں $s = \sigma + j\omega$ لکھتے ہوئے σ کو افقی جبکہ $j\omega$ کو عمودی محور پر رکھا جائے گا۔

دو درجی قلیات

$$(6.118) \quad s^2 + 2\zeta_m\omega_0 s + \omega_0^2 = 0$$

سے

$$(6.119) \quad s_1 = s_m = -\zeta_m\omega_0 + j\omega_0\sqrt{1 - \zeta_m^2}$$

$$s_2 = s_m^* = -\zeta_m\omega_0 - j\omega_0\sqrt{1 - \zeta_m^2}$$

صفر حاصل ہوتے ہیں۔ آپ دیکھ سکتے ہیں کہ کسی بھی دو درجی کلیہ سے دو صفر حاصل ہوتے ہیں جو $\alpha \mp j\beta$ کے طرز کے ہوتے ہیں۔ اسی لئے انہیں s_m اور s_m^* لکھا گیا ہے۔ شکل 6.59 ب میں ان صفروں

damping constant⁴⁴
undamped natural frequency⁴⁵
Butterworth⁴⁶
zeros⁴⁷
complex plane⁴⁸

کو دکھایا گیا ہے۔ آپ دیکھ سکتے ہیں کہ دونوں صفر عمودی مور کے بائیں جانب پائے جاتے ہیں۔ ایک صفر افقی مور کے اوپر جانب جبکہ دوسرا صفر مور کے نیچے جانب پایا جاتا ہے۔ دونوں افقی مور سے برابر فاصلے پر پائے جاتے ہیں۔ یہ عمومی نتائج ہیں۔

s_m^* اور s_m کی حتمی قیمت

$$(6.120) \quad |s_m| = |s_m^*| = \omega_0$$

حاصل ہوتے ہیں۔ کسی بھی مخلوط عدد کو حقیقی اور خیالی اجزاء کی صورت میں لکھا جا سکتا ہے۔ اسی مخلوط عدد کو حتمی قیمت اور زاویہ کی شکل میں بھی لکھا جا سکتا ہے۔ یوں s_m مخلوط عدد کو مثال بناتے ہوئے اسے دونوں طرح لکھتے ہیں۔

$$(6.121) \quad s_m = -\zeta_m \omega_0 + j\omega_0 \sqrt{1 - \zeta_m^2} = |s_m| \angle \theta$$

جہاں

$$(6.122) \quad |s_m| = \sqrt{\zeta_m^2 \omega_0^2 + \omega_0^2 (1 - \zeta_m^2)} = \omega_0$$

کے برابر ہے۔ شکل 6.59 پ میں نقطہ s_m سے نقطہ 0 تک کا فاصلہ $|s_m|$ یعنی اس کی حتمی قیمت دکھلاتا ہے۔ اس شکل میں زاویہ θ_m دکھایا گیا ہے۔ شکل کو دیکھتے ہوئے

$$(6.123) \quad \cos \theta_m = \frac{\zeta_m \omega_0}{\omega_0} = \zeta_m$$

لکھا جا سکتا ہے۔ مساوات 6.122 کے تحت تمام صفروں کی حتمی قیمت ω_0 کے برابر ہے۔ یوں مخلوط سطح پر تمام صفر ω_0 رداں کے دائیرے پر پائے جائیں گے۔ اس حقیقت کو شکل 6.59 پ میں دکھایا گیا ہے۔ آپ دیکھ سکتے ہیں کہ s_1 اور s_1^* آپس میں افقی مور کے الٹ جانب برابر فاصلے پر ہیں۔ یہی کچھ s_2 اور s_2^* کے لئے بھی درست ہے۔ پڑ ورت تسلسل کے تمام صفر اسی دائیرے پر عمودی مور کے بائیں جانب پائے جائیں گے۔

پڑ ورت تسلسل کے کسی بھی دو درجی جزو کو

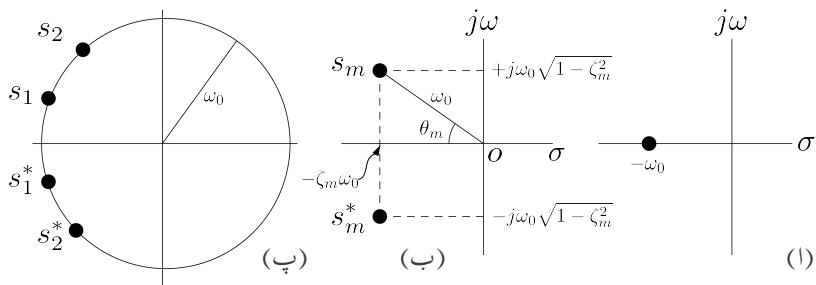
$$s^2 + s\zeta_m \omega_0 s + \omega_0^2 = \omega_0^2 \left[\left(\frac{s}{\omega_0} \right)^2 + 2\zeta_m \left(\frac{s}{\omega_0} \right) + 1 \right]$$

کی صورت میں لکھا جا سکتا ہے۔ اگر مساوات 6.118 میں $1 = \omega_0$ رکھا جاتا تب شکل 6.59 پ میں دائیرے کا رداں ایک کے برابر ہوتا جبکہ مساوات 6.123 اب بھی درست ثابت ہوتا۔ اکائی رداں کے اس دائیرے کو پڑ ورت دائیرہ⁴⁹ کہا جائے گا۔

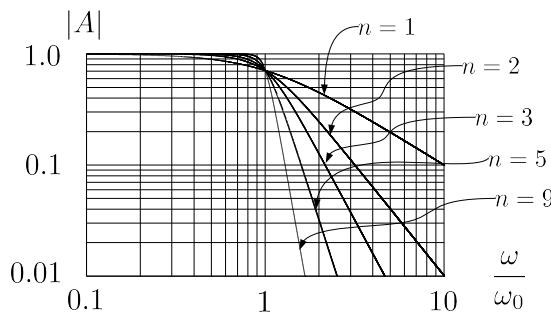
پڑ ورت فلٹر⁵⁰ کا عمومی کلیہ

$$(6.124) \quad A(s) = \frac{A_0}{B_n(s)}$$

Butterworth circle⁴⁹
Butterworth filter⁵⁰



شکل 6.59: مخلوط سطح پر بٹر ورت تسلسل کے صفر



شکل 6.60: بٹر ورت پست گریار چھلنی

ہے۔ اس مساوات کی حدی قیمت نہایت سادہ شکل رکھتی ہے۔

$$(6.125) \quad |A(s)| = \frac{|A_0|}{\sqrt{1 + \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^{2n}}}$$

$|A(s)|$ لیتے ہوئے $|A(s)| = 1$ کے خط کو n کی مختلف قيمتوں کے لئے شکل 6.60 میں کھینچا گیا ہے۔ آپ دیکھ سکتے ہیں کہ n کی تمام قيمتوں کے لئے $|A(s)|$ کی قيمت ω_0 تعداد پر 3 dB گھٹ جاتی ہے۔ ساتھ ہی ساتھ یہ حقیقت بھی واضح ہے کہ n کی قيمت بڑھانے سے شکل 6.60 کی صورت شکل 6.58 پ کے قریب تر ہوئی جاتی ہے۔

$\omega_0 = 1$ کی صورت میں بٹر ورت کے تسلسل کو جدول 6.1 میں پیش کیا گیا ہے۔ طاق n کی صورت میں بٹر ورت تسلسل میں $(s+1)$ ضرور پایا جاتا ہے جبکہ جفت n کی صورت میں صرف دو درجی⁵¹ اجزاء پائے جاتے ہیں۔

quadratic⁵¹

جدول 6.1: بُٹر ورت تسلسل

n	$B_n(s)$
1	$(s + 1)$
2	$(s^2 + 1.414s + 1)$
3	$(s + 1)(s^2 + s + 1)$
4	$(s^2 + 0.765s + 1)(s^2 + 1.848s + 1)$
5	$(s + 1)(s^2 + 0.618s + 1)(s^2 + 1.618s + 1)$
6	$(s^2 + 0.518s + 1)(s^2 + 1.414s + 1)(s^2 + 1.932s + 1)$

مثال 6.19: جدول 6.1 میں $n = 2$ کے لئے $|B_n(s)|$ حاصل کرتے ہوئے مساوات 6.125 ثابت کریں۔
حل: جدول میں $1 = \omega_0$ لیتے ہوئے $n = 2$ کے لئے بُٹر ورت تسلسل

$$B_2(s) = s^2 + 1.414s + 1$$

دیا گیا ہے $s = j\omega$ استعمال کرتے ہوئے

$$\begin{aligned} B_2(s) &= (j\omega)^2 + 1.414j\omega + 1 \\ &= -\omega^2 + 1.414j\omega + 1 \\ &= 1 - \omega^2 + j1.414\omega \end{aligned}$$

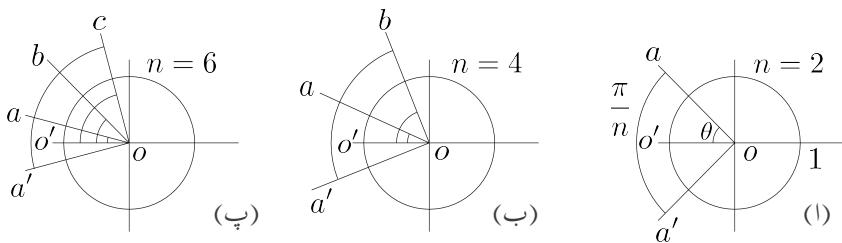
حاصل ہوتا ہے جس سے

$$\begin{aligned} |B_2(s)| &= \sqrt{(1 - \omega^2)^2 + (1.414\omega)^2} \\ &= \sqrt{1 + \omega^4 - 2\omega^2 + 2\omega^2} \\ &= \sqrt{1 + \omega^4} \end{aligned}$$

حاصل ہوتا ہے۔

بُٹر ورت تسلسل میں $1 = \omega_0$ لیتے ہوئے دو درجی اجزاء کو (لکھا جا سکتا ہے
جہاں ζ کو بُٹر ورت دائیرے سے حاصل کیا جا سکتا ہے۔ شکل 6.61 میں بُٹر ورت دائیرے سے جفت n
کی صورت میں ζ کا حصول دکھایا گیا ہے۔ بُٹر ورت دائیرے کا رداس⁵² ایک کے برابر ہے۔ جفت n کی

radius⁵²



شکل 6.61: جفت بٹر ورت دائرة

صورت میں اس دائرے پر زاویہ $\angle aoo'$ کھینچا جاتا ہے جہاں یہ زاویہ $\frac{\pi}{n}$ کے برابر ہوتا ہے۔ یوں $n = 2$ کی صورت میں اس دائرے پر $\frac{\pi}{2}$ یعنی 90° کا زاویہ کھینچا جائے گا۔ اس زاویے کو یوں کھینچا جاتا ہے کہ $\angle aoo' = \angle a'oo' = \theta$ لکھتے ہوئے یہ کو

$$(6.126) \quad \zeta = \cos \theta$$

سرے حاصل کیا جاتا ہے۔ یوں $n = 2$ کی صورت میں

$$\zeta = \cos 45 = 0.7071$$

حاصل ہوتا ہے اور بٹر ورت کلیہ

$$s^2 + 2\zeta s + 1 = s^2 + 1.4142s + 1$$

صورت اختیار کر لیگا جو جدول 6.1 کے عین مطابق ہے۔
شکل 6.61 ب میں $n = 4$ ہے۔ یوں 45° ہے۔ $\angle aoo' = \angle a'oo' = \frac{\pi}{4} = 45^\circ$ ہو گا جہاں $\angle aoo' = \angle a'oo'$ ہی رکھئے گئے ہیں۔ یوں $n = 4$ کی صورت میں بٹر ورت کلیے میں دو درجی اجزاء دو مرتبہ پائیں جاتے ہیں۔ یوں ایک اضافی زاویہ 45° ہی کھینچا جاتا ہے۔ یوں

$$\theta_1 = \angle aoo' = 22.5$$

$$\theta_2 = \angle boo' = 67.5$$

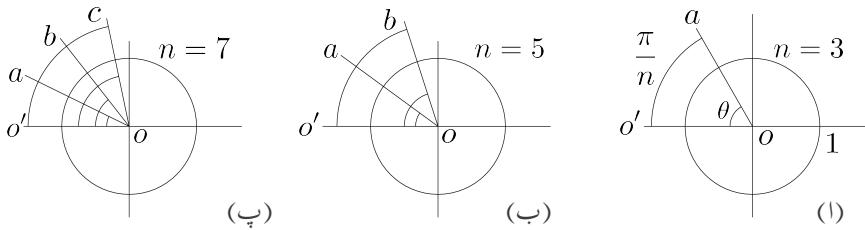
ہوں گے جن سے

$$\zeta_1 = \cos 22.5 = 0.9239$$

$$\zeta_2 = \cos 67.5 = 0.3827$$

حاصل ہوتے ہیں لہذا بٹر ورت کلیہ

$$(s^2 + 2 \times 0.9239 \times s + 1) (s^2 + 2 \times 0.3827s + 1)$$



شکل 6.62: طاق بٹر ورت دائڑہ

يعنى

$$(s^2 + 1.848s) (s^2 + 0.765s + 1)$$

ہوگا۔ شکل 6.62 میں طاق n کی صورت میں θ کا حصول دکھایا گیا ہے۔ شکل الف میں $n = 3$ کے لئے حل کیا گیا ہے جہاں $\angle aoo'$ کا زاویہ $\frac{\pi}{n}$ یعنی 60° کا کھینچا گیا ہے۔ $\angle aoo' = \theta$ لیتے ہوئے

$$\zeta = \cos 60 = 0.5$$

حاصل ہوتا ہے۔ طاق بٹر ورت کلیئے میں $(s + 1)$ کا اضافی جزو پایا جاتا ہے لہذا $n = 3$ کی صورت میں بٹر ورت کلیئے

$$(s + 1) (s^2 + 2 \times 0.5 \times s + 1)$$

يعنى

$$(s + 1) (s^2 + s + 1)$$

ہوگا۔ $n = 5$ کی صورت میں $\frac{\pi}{5}$ یعنی 36° کھینچنے کے بعد $\angle boa'$ ہی 36° کھینچیں۔ یوں

$$\theta_1 = \angle aoo'$$

$$\theta_2 = \angle boo'$$

جدول 6.1 میں $\omega_0 \neq 1$ لیتے ہوئے ہلے درجے بٹر ورت فلٹر کے کلیے کو ہوں گے۔

$$(6.127) \quad \frac{A(s)}{A_0} = \frac{1}{\left(\frac{s}{\omega_0}\right) + 1}$$

جبکہ دو درجی بٹر ورت فلٹر کے کلیے کو

$$(6.128) \quad \frac{A(s)}{A_0} = \frac{1}{\left(\frac{s}{\omega_0}\right)^2 + 2\zeta\left(\frac{s}{\omega_0}\right) + 1}$$

لکھا جا سکتا ہے۔

6.16.1 بٹر ورت فلٹر کا دور

شکل 6.63 الف میں پہلے درجے کا پست گزار بٹر ورت فلٹر دکھایا گیا ہے۔ اس کو دیکھتے ہوئے

$$v_k = \left(\frac{\frac{1}{sC}}{R + \frac{1}{sC}} \right) v_i = \frac{v_i}{sRC + 1}$$

$$v_o = \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) v_k$$

لکھا جا سکتا ہے جس سے

$$A(s) = \frac{v_o}{v_i} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \left(\frac{1}{sRC + 1} \right)$$

حاصل ہوتا ہے۔ اس میں

$$(6.129) \quad \omega_0 = \frac{1}{RC}$$

$$A_0 = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

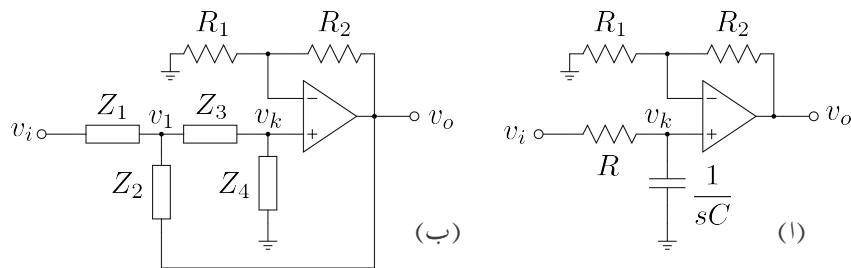
لکھتے ہوئے

$$\frac{A(s)}{A_0} = \frac{1}{\left(\frac{s}{\omega_0}\right) + 1}$$

حاصل ہوتا ہے۔ اس کا مساوات 6.127 کے ساتھ سے موازنہ کریں جو پہلے درجے کی بٹر ورت فلٹر کی مساوات ہے۔ آپ دیکھ سکتے ہیں کہ شکل 6.63 الف میں پہلے درجے کا بٹر ورت فلٹر ہے۔ اور C کی جگہ آپس میں تبدیل کرنے سے پہلے درجے کا بلند گزار بٹر ورت فلٹر حاصل ہوتا ہے۔ ایک درجی بٹر ورت فلٹر میں A_0 کی قیمت کچھ بھی رکھی جا سکتی ہے۔ عموماً A_0 کو استعمال کرتے ہوئے اشارہ بڑھایا جاتا ہے۔

آئیں شکل 6.63 ب میں دئے دوسرے درجے کے بٹر ورت فلٹر کو حل کریں۔ جوڑ v_1 پر کرچاف کے قانون برائے برق رو کی مدد سے

$$\frac{v_1 - v_i}{Z_1} + \frac{v_1}{Z_3 + Z_4} + \frac{v_1 - v_o}{Z_2} = 0$$



شکل 6.63: بٹر ورت فلٹر

لکھا جا سکتا ہے جبکہ کرچاف کے قانون برائے برق دباو کی مدد سے

$$v_k = \left(\frac{Z_4}{Z_3 + Z_4} \right) v_1$$

لکھا جا سکتا ہے - مثبت ایمپلیفیائر کے لئے

$$v_o = \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) v_k = A_0 v_k$$

لکھا جا سکتا ہے - ان تینوں مساوات کو حل کرنے سے

$$(6.130) \quad A(s) = \frac{v_o}{v_i} = \frac{A_0 Z_2 Z_4}{Z_2 (Z_1 + Z_3 + Z_4) + Z_1 Z_4 (1 - A_0)}$$

حاصل ہوتا ہے - پست گزار فلٹر کی صورت میں Z_1 اور Z_3 مزاحمت جبکہ Z_2 اور Z_4 کپیسٹر ہوتے ہیں۔ ایسا دور شکل 6.64 الف میں دکھایا گیا ہے۔ اس کے برعکس بلند گزار فلٹر میں Z_1 اور Z_3 کپیسٹر جبکہ Z_2 اور Z_4 مزاحمت ہوتے ہیں۔ شکل 6.64 ب میں بلند گزار فلٹر دکھایا گیا ہے۔

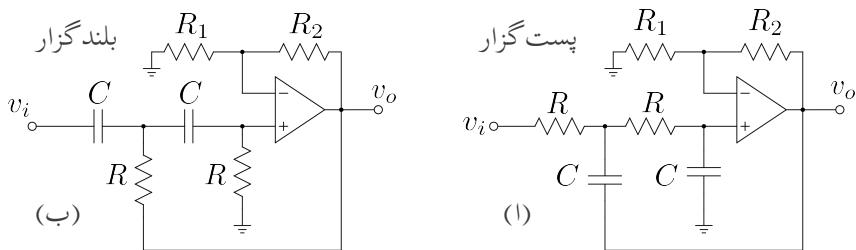
شکل 6.64 الف کے لئے مساوات 6.130

$$(6.131) \quad A(s) = \frac{A_0 \left(\frac{1}{RC} \right)^2}{s^2 + \left(\frac{3-A_0}{RC} \right) s + \left(\frac{1}{RC} \right)^2}$$

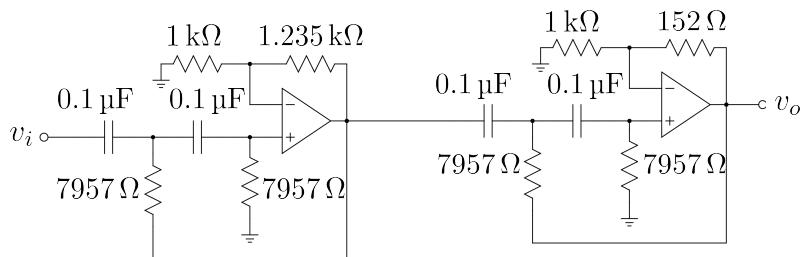
مساوات 6.131 کا مساوات 6.128 کے ساتھ موازنہ کرتے ہوئے

$$(6.132) \quad \omega_0 = \frac{1}{RC}$$

$$A_0 = 3 - 2\zeta$$



شکل 6.64: بٹر ورت پست گزار اور بلند گزار فلٹر



شکل 6.65: چار درجی بلند گزار بٹر ورت فلٹر

حاصل ہوتے ہیں۔

ان معلومات کے ساتھ اب ہم بٹر ورت فلٹر تخلیق دے سکتے ہیں۔ RC کو درکار $\frac{1}{\omega_0}$ کے برابر رکھا جاتا ہے جہاں پست گزار فلٹر کی صورت میں یہ ωH جبکہ بلند گزار فلٹر کی صورت میں $\omega L = \omega_0$ کے برابر ہو گا۔ جفت n کی صورت میں شکل 6.64 کے طرز کے $\frac{n}{2}$ کڑیاں استعمال کرتے ہوئے زنجیری ایمپلیفیٹر بنایا جاتا ہے۔ جدول 6.1 سے مطلوبہ دو درجی کلیات کے چ حاصل کئے جاتے ہیں۔ بر چ کے لئے ایک کڑی تخلیق دی جاتی ہے۔ طاق 6.6 کی صورت میں شکل 6.64 کے طرز پر $\frac{1}{2}$ کڑیوں کے علاوہ شکل 6.63 کے طرز پر اضافی کڑی بھی استعمال کی جاتی ہے۔ اگرچہ یہ ضروری نہیں کہ تمام کڑیوں میں بالکل یکسان قیمتیوں کے مزاحمت اور کمپسٹر نسب کئے جائیں، حقیقت میں ایسا ہی کیا جاتا ہے اور یوں تمام کڑیاں بالکل یکسان دکھتی ہیں۔

مثال 6.20: ایک ایسا چار درجی بلند گزار بٹر ورت فلٹر تخلیق دیں جس کی $f_L = 200 \text{ Hz}$ ہو۔ حل: شکل 6.64 طرز کے دو کڑیاں زنجیری شکل میں جوڑ کر چار درجی بلند گزار فلٹر حاصل ہو گا۔

جدول 6.1 سے چار درجی فلٹر کے

$$\zeta_1 = \frac{0.765}{2} = 0.3825$$

$$\zeta_2 = \frac{1.848}{2} = 0.924$$

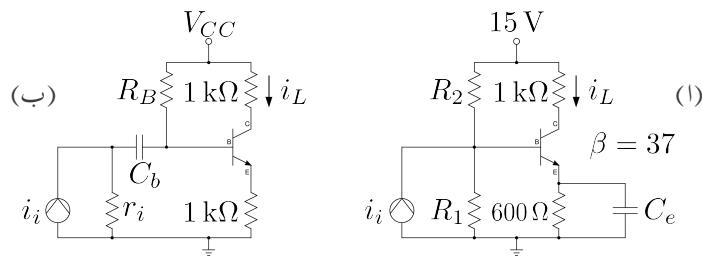
حاصل ہوتے ہیں۔ اس طرح مساوات 6.132 سے

$$A_{v1} = 3 - 0.765 = 2.235$$

$$A_{v2} = 3 - 1.848 = 1.152$$

چونکہ مشتب ایمپلیفیائر کی افزائش $A_v = 1 + \frac{R_2}{R_1}$ کے برابر ہے لہذا پہلی کڑی کے لئے $1.235 = 1 + \frac{R_2}{R_1}$ رکھنا ہو گا۔ اگر $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$ رکھا جائے تو $R_2 = 1.235 \text{ k}\Omega$ ہو گا۔ اسی طرح دوسری کڑی کے لئے اگر پہلی مزاحمت $1 \text{ k}\Omega$ رکھی جائے تو دوسری مزاحمت 152Ω رکھنا ہو گا۔

اسی طرح $f_L = 200 \text{ Hz}$ حاصل کرنے کی خاطر اگر $C = 0.1 \mu\text{F}$ رکھا جائے تو مساوات 6.132 سے $\Omega 7957$ حاصل ہوتا ہے۔ شکل 6.65 میں تخلیق کردہ فلٹر دکھایا گیا ہے۔ حاصل ہوتے ہیں۔



شکل 6.66:

سوالات

تمام سوالات میں $\beta \approx \beta + 1$ لیا جا سکتا ہے۔

سوال 6.1: شکل 6.66 الف میں

R_2 اور R_1 کی ایسی قیمتیں حاصل کریں کہ i_L کا حیطہ زیادہ سے زیادہ ممکن ہو۔

پست انقطاعی نقطہ 5 Hz پر رکھنے کے لئے درکار کپیسٹر C_e کی قیمت حاصل کریں۔

$A_i = \frac{i_L}{i_i}$ حاصل کریں اور اس کے حتمی قیمت کا بودا خط کھینچیں۔

جوابات: $R_2 = 7.6 \text{ k}\Omega$ ، $R_1 = 3.26 \text{ k}\Omega$ ، $V_{BB} = 4.5 \text{ V}$ ، $R_B = 2.2 \text{ k}\Omega$ ، $I_{CQ} = 5.77 \text{ mA}$ ، $C_e = 548 \mu\text{F}$ ، $r_e = 4.3 \Omega$ ،

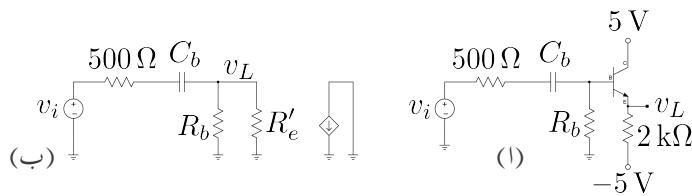
$$A_i = \left(\frac{\beta R_B}{R_B + r_{be}} \right) \frac{s + \frac{1}{R_E C_E}}{s + \frac{R_B + r_{be} + \beta R_E}{R_E C_E (R_B + r_{be})}} = 34.5 \left(\frac{s + 3.04}{s + 31.66} \right)$$

سوال 6.2: شکل 6.66 ب میں $r_i = 40 \text{ k}\Omega$ ، $R_B = 200 \text{ k}\Omega$ ، $\beta = 137$ اور $r_e = 60 \text{ Hz}$ پر حاصل کرنے کے لئے درکار C_b کی قیمت کیا ہو گی؟ $A_i = \frac{i_L}{i_i}$ کی مساوات حاصل کرتے ہوئے اس کے حتمی قیمت کا بودا خط کھینچیں۔

جوابات: $R_e \gg r_e$ کی بنا پر r_e کو نظر انداز کرتے ہوئے $C_b = 21.8 \text{ nF}$ حاصل ہوتا ہے۔

$$A_i = \frac{r_i \parallel R'_B}{r_e + R_E} \left(\frac{s}{s + \frac{1}{(r_i + R'_B) C_b}} \right)$$

سوال 6.3: شکل 6.67 الف میں R_b کی ایسی قیمت حاصل کریں کہ $I_{CQ} = 2 \text{ mA}$ حاصل ہو۔ پست انقطاعی تعداد کو 10 Hz پر رکھنے کی خاطر درکار C_b حاصل کریں۔



شکل 6.67

جوابات: جو ابادت: $I_{CQ} = \frac{0 - V_{BE} + 5}{\frac{R_b}{\beta+1} + R_e}$ سے $R_b = 10.65 \text{ k}\Omega$ حاصل ہوتا ہے۔ شکل ب میں باریک

شاراٹی مساوی دور دکھایا گیا ہے جہاں R_e کو $(\beta + 1)$ سے ضرب دیتے ہوئے ٹرانزسٹر کے بیس جانب منتقل کر کے R'_e کھاگیا ہے۔ اس شکل کو دیکھتے ہی $\omega = \frac{1}{C_b(r_i + R_b \| R'_e)}$ لکھا جا سکتا ہے جس سے $C_b = 1.529 \mu\text{F}$ حاصل ہوتا ہے۔

سوال 6.4: شکل 6.66 ب میں R_e کے متوازی $100 \mu\text{F}$ کپیسٹر نسب کرتے ہوئے $\frac{i_L}{i_i}$ کے حتمی قیمت کا بودا خط کھینچیں۔ $V_{CC} = 10 \text{ V}$ اور $\beta = 99$ ، $R_B = 400 \text{ k}\Omega$ ، $r_i = 200 \text{ k}\Omega$ ، $C_b = 10 \mu\text{F}$ اور

جواب:

$$A_i = \frac{-158s \left(1 + \frac{s}{10}\right)}{\left(1 + \frac{s}{0.355}\right) \left(1 + \frac{s}{17.65}\right)}$$

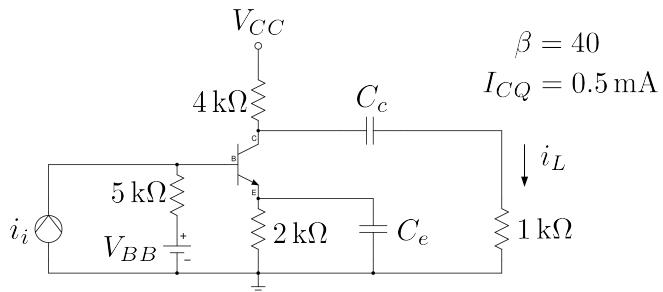
سوال 6.5: شکل 6.68 میں

$A_i = \frac{i_L}{i_i}$ کی مساوات حاصل کریں۔ r_{be} کو نظر انداز نہ کریں۔

- دونوں کپیسٹروں کی وہ قیمتیں دریافت کریں جن پر A_i کے دونوں قطب 10 rad/s پر پائیں۔

- افراش A_i کے حتمی قیمت کا بودا خط کھینچیں۔

جوابات:



شكل 6.68

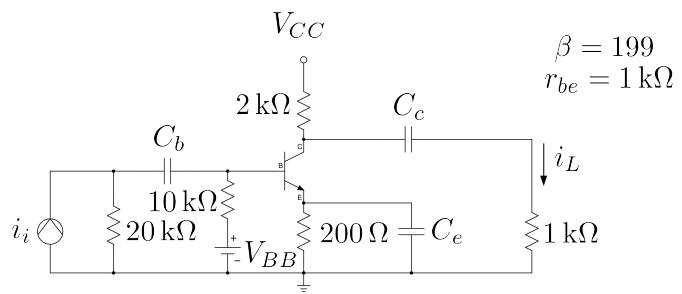
$$\begin{aligned}
 A_i &= \frac{-R_c r_i \beta}{(R_c + R_L)(r_i + r_{be})} \frac{s(s + w_s)}{(s + w_{q1})(s + w_{q2})} \\
 w_s &= \frac{1}{R_e C_e} \\
 w_{q1} &= \frac{1}{(R_c + R_L) C_c} \\
 w_{q2} &= \frac{1}{\left[R_e \parallel \left(\frac{r_i + r_{be}}{\beta + 1} \right) \right] C_e} \\
 r_{be} &= \frac{\beta V_T}{I_{CQ}}
 \end{aligned}$$

$$C_e = 636 \mu F, C_c = 20 \mu F$$

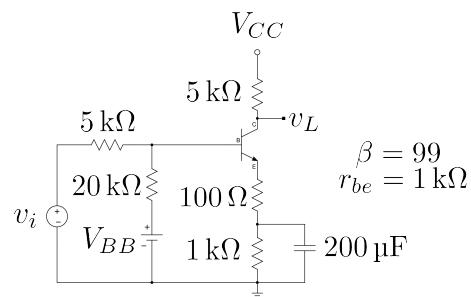
سوال 6.6: شکل 6.69 میں پست انقطاعی تعدد 200 rad/s کے خاطر درکار C_e کو مثال 6.8 کے طرز پر حاصل کریں۔ بقایا دونوں کپسٹروں کے قطب 5 rad/s پر رکھئے ہوئے ان کی بھی قیمتیں حاصل کریں۔ درمیانی تعدد پر افزائش حاصل کریں۔
جوابات: $-138 \frac{A}{A}$, 7.1 μF , 66.6 μF , 155 μF

سوال 6.7: شکل 6.70 میں $A_v = \frac{v_L}{v_i}$ حاصل کریں۔
جواب: $A_v = \frac{-26.4(s+5)}{s+38.55}$

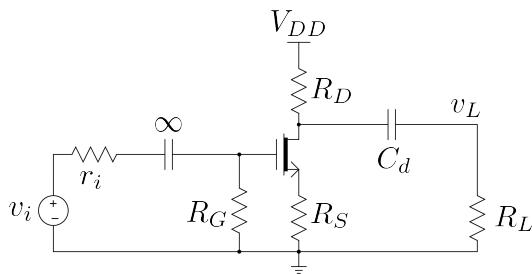
سوال 6.8: شکل 6.71 میں $A_v = \frac{v_L}{v_i}$ حاصل کرتے ہوئے پست انقطاعی تعدد ω_L کی مساوات حاصل کریں۔ $r_o = 10 \text{ k}\Omega$, $R_L = 100 \text{ k}\Omega$, $R_D = 4.7 \text{ k}\Omega$, $R_S = 1 \text{ k}\Omega$



شکل 6.69



شکل 6.70



شکل 6.71:

سوال 6.8: شکل 6.71 میں R_S کے متوازی لامحدود کپیسٹر نسب کرتے ہوئے سوال 6.7 کو دوبارہ حل کریں۔
جوابات: $C_d = 55 \text{ nF}$

$$\omega_L = \frac{1}{C_d \left[R_L + \left(R_D \parallel r_o + (\mu + 1) R_S \right) \right]}$$

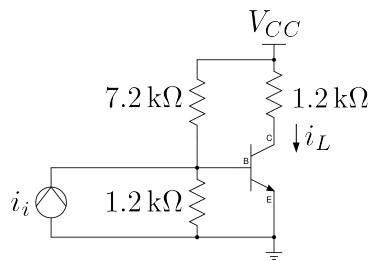
سوال 6.9: شکل 6.71 میں R_S کے ساتھ موازنہ کرتے ہوئے آپ دیکھ سکتے ہیں کہ کسی بھی پست انقطعائی تعدد کے حصول کے لئے درکار ٹرانزیستر کی طرح ماسفیٹ کا بھی سورس کپیسٹر زیادہ قیمت رکھتا ہے۔
جوابات: $C_d = 77 \text{ nF}$

$$\omega_L = \frac{1}{C_d (R_L + R_D \parallel r_o)}$$

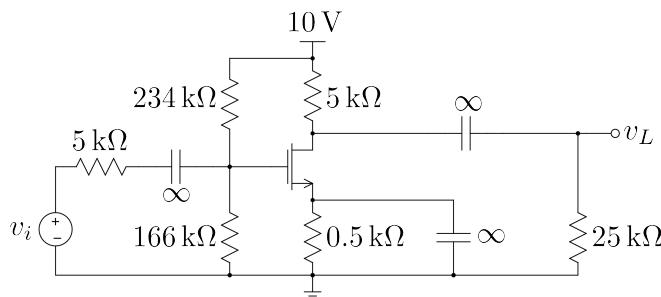
مندرجہ بالا دونوں سوالات کے نتائج کا مثال 6.9 میں حاصل C_s کے ساتھ موازنہ کرتے ہوئے آپ دیکھ سکتے ہیں کہ کسی بھی پست انقطعائی تعدد کے حصول کے لئے درکار ٹرانزیستر کی طرح ماسفیٹ کا بھی سورس کپیسٹر زیادہ قیمت رکھتا ہے۔

سوال 6.10: شکل 6.72 میں $\frac{i_L}{i_i} = 34 \text{ dB}$ اور بلند انقطعائی تعدد 1.2 MHz ناپا جاتا ہے۔ یہ سمتی برق رو $C_{b'b'c}$ اور $r_{bb'}$ اور $I_{CQ} = 2 \text{ mA}$ کو صفر تصور کرتے ہوئے β ، f_T اور $r_{b'e}$ اور $C_{b'e}$ حاصل کریں۔
جوابات: $r_{b'e} = 1625 \Omega$ ، $f_T = 155 \text{ MHz}$ ، $\beta = 129$ ، $r_e = 12.5 \Omega$ ، $g_m = 0.08 \text{ S}$ ، $C_{b'e} = 82 \text{ pF}$

سوال 6.11: صفحہ 616 پر شکل 6.34 میں $R_2 = R'_L = R_C = 1.2 \text{ k}\Omega$ ، $R_S = R_1 = 12 \text{ k}\Omega$ ، $f_T = 200 \text{ MHz}$ ، $I_{CQ} = 10 \text{ mA}$ اور $r_{bb'} = 0$ پیں۔ ڈرمیانی تعدد کی $A_{vD} = \frac{v_o}{v_s}$ اور بلند انقطعائی تعداد کی f_H حاصل کریں۔
جوابات: $C_M = 1200 \text{ pF}$ ، $C_{b'e} = 318 \text{ pF}$ ، $R_{th} = 1 \text{ k}\Omega$ ، $r_{b'e} = 253 \Omega$ ، $g_m = 0.4 \text{ S}$ ، $A_{vD} = -5.9 \frac{\text{V}}{\text{V}}$ ، 414 kHz



شکل 6.72



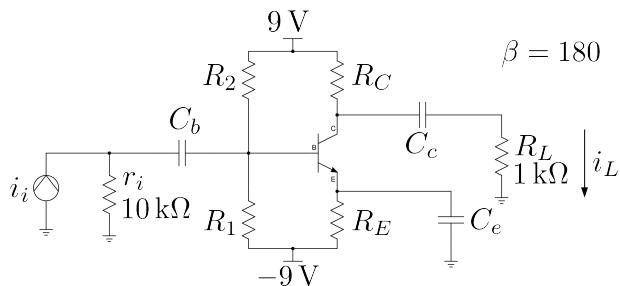
شکل 6.73

سوال 6.12: سوال 6.11 میں $I_{CQ} = 1\text{ mA}$ اور $\beta = 25$ ، $C_{b'e} = 2\text{ pF}$ تصور کرتے ہوئے اور A_{vD} دوبارہ حاصل کریں۔ بقایا تمام معلوم جوں کے توں بین۔
جوابات: $f_H = 4.9\text{ MHz}$ ، $R_{th} = 0.4\text{ m}\Omega$ ، $A_{vD} = -1.47 \frac{\text{V}}{\text{V}}$ ، $v_L = 6.84\text{ V}$ ، $C_M = 50\text{ pF}$ ، $C_{b'e} = 32\text{ pF}$ ، $g_m = 0.04\text{ S}$ ، $r_{b'e} = 650\Omega$ ، $k_n = 0.4\text{ mA/V}^2$ ، $V_t = 1\text{ V}$ ، $C_{gd} = 0.02\text{ pF}$ ، $C_{gs} = 0.25\text{ pF}$ ، $I_{DS} = 0.4\text{ mA}$ ، $f_T = 333\text{ MHz}$

سوال 6.13: ایک ماسفیٹ جس کا $V_t = 1\text{ V}$ ، $C_{gd} = 0.02\text{ pF}$ ، $C_{gs} = 0.25\text{ pF}$ اور $k_n = 0.4\text{ mA/V}^2$ بین۔ $I_{DS} = 0.4\text{ mA}$ پر چلا کر رہا ہے۔ اس کی f_T حاصل کریں۔

سوال 6.14: شکل 6.73 میں $C_{gd} = 0.12\text{ pF}$ اور $C_{gs} = 1.2\text{ pF}$ ، $V_t = 2\text{ V}$ ، $k_n = 1 \frac{\text{mA}}{\text{V}^2}$ اور A_v کا f_H حاصل کریں۔ ملر کیپیسٹر، f_T اور $C_M = 0.895\text{ pF}$ اور $g_m = 1.55\text{ mS}$ اور $I_{DS} = 1.2\text{ mA}$ ۔ جوابات: $f_T = 118\text{ MHz}$ ، $f_H = 8.4\text{ MHz}$ اور $A_v = 149$ ۔

سوال 6.15: کیسکوڈ ایمپلیفیائر کو شکل 6.49 میں دکھایا گیا ہے جس میں $V_{CC} = 15\text{ V}$ اور $I_{C1} = 0.5\text{ mA}$ بین۔ $R_E = 2.5\text{ k}\Omega$ اور $R_2 = 10\text{ k}\Omega$ یوں چنیں کہ $\beta = 149$ ہو۔



شکل 6.74

سوال 6.16: شکل 6.74 میں داخلی اشارے کی مزاحمت $1 \text{ k}\Omega$ بسے۔ زیادہ سے زیادہ A_i حاصل کرنے کے لئے یہ ضروری ہے کہ $i_i = 10 \text{ k}\Omega$ جبکہ بار کی مزاحمت $1 \text{ k}\Omega$ بسے۔ میں سے گزرے۔ اسی طرح خارجی جانب زیادہ سے زیادہ i_L تب حاصل ہو گا جب $R_C \gg R_L$ ہو۔ $V_{CE} = 9 \text{ V}$ اور $R_C = 9R_E$ ، $R_B = r_i$ کو ایسا چنیں کہ دونوں سے حاصل کونے 2 Hz پر پائے جائیں جبکہ C_e کو 20 Hz کے کونے کے لئے چنیں۔ درمیانی تعدد پر افزائش $A_i = \frac{i_L}{i_i}$ حاصل کریں۔

جوابات: $V_{BB} = 1.69 \text{ V}$ ، $I_C = 1.62 \text{ mA}$ ، $R_C = 5 \text{ k}\Omega$ ، $R_E = 556 \text{ }\Omega$ ، $R_B = 10 \text{ k}\Omega$ ، $C_b = 15.9 \mu\text{F}$ ، $C_c = 13.3 \mu\text{F}$ ، $R_1 = 24.7 \text{ k}\Omega$ اور $R_2 = 16.8 \text{ k}\Omega$ ۔ $C_e = 198 \mu\text{F}$ ۔ $A_i = -96.4 \frac{\text{A}}{\text{A}}$

سوال 6.17: سوال 6.16 میں استعمال شدہ ترانزستر کا $f_T = 250 \text{ MHz}$ اور $C_{b'e} = 5 \text{ pF}$ بین۔ بلند انقطعی تعدد کی افزائش A_i کا خط کھینچیں اور اس پر پست انقطعی تعدد، بلند انقطعی تعدد اور درمیانی تعدد کی افزائش A_r واضح طور پر دکھائیں۔ $A_r = \frac{v_L}{i_i}$ حاصل کریں۔ ایسا کرنے کی خاطر $A_i R_L = \frac{v_L}{i_i} \times \frac{i_L}{i_i}$ یعنی $A_i R_L$ لکھ کر حاصل کریں۔

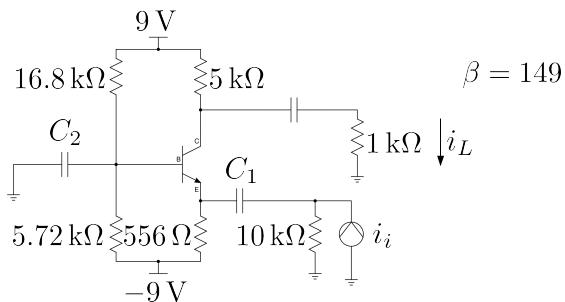
جوابات: $A_r = -96.4 \frac{\text{kV}}{\text{A}}$ ، $f_H = 11.57 \text{ MHz}$ ، $C_{b'e} = 631 \text{ pF}$

سوال 6.18: شکل 6.75 میں درمیانی تعدد پر $A_i = \frac{i_L}{i_i}$ حاصل کریں۔ ترانزستر کا $f_T = 250 \text{ MHz}$ اور $C_{b'e} = 5 \text{ pF}$ بین۔ بلند انقطعی تعدد بھی حاصل کریں۔ بیرونی کپیسٹروں کی قیمت لاحدہ تصور کریں۔

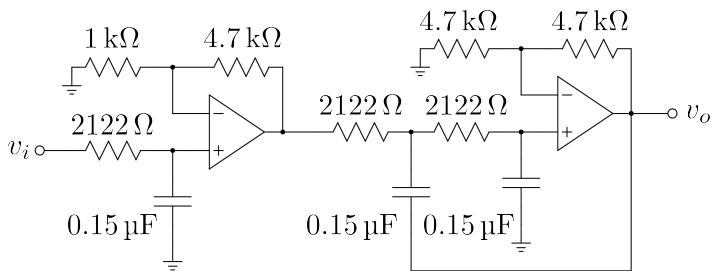
جوابات: $f_{Hbc} = 32 \text{ MHz}$ ، $f_{Hbe} = 46.7 \text{ MHz}$ ، $C_{b'e} = 636 \text{ pF}$ ، $A_i = 0.833 \frac{\text{A}}{\text{A}}$ بین۔ یہ دونوں جوابات بہت قریب بیسیں تا ہم ہم $C_{b'e}$ سے پیدا کو بلند انقطعی تعدد لے سکتے ہیں۔

سوال 6.19: شکل 6.61 کی مدد سے $n = 6$ کی صورت میں تینوں k حاصل کرتے ہوئے بڑ ورث کلیہ لکھیں۔

جواب: جدول 6.1 میں جوابات دئے گئے ہیں۔



شکل 6.75



شکل 6.76: بٹر ورت فلٹر کا سوال

سوال 6.20: شکل 6.62 کی مدد سے $n = 7$ کی صورت میں تینوں k حاصل کرتے ہوئے بٹر ورت کلیے لکھیں۔

جواب: جدول 6.1 میں جوابات دئے گئے ہیں۔

سوال 6.21: مساوات 6.130 حاصل کریں۔

سوال 6.22: مساوات 6.131 حاصل کریں۔

سوال 6.23: $n = 3$ اور $n = 4$ کے لئے مساوات 6.125 کو مثال 6.19 کے طرز پر ثابت کریں۔

سوال 6.24: شکل 6.76 میں بٹر ورت فلٹر دکھایا گیا ہے۔ اس کی پہچان کرتے ہوئے اس کے مختلف متغیرات حاصل کریں۔ جوابات: یہ تین درجی $f_H = 500\text{ Hz}$ کا پست گزار فلٹر ہے۔ پہلی کڑی $\frac{5.7}{7}$ کی افزائش بھی فراہم کرتی ہے۔

الباب 6. ایمپلیفائر کا تعددی رد عمل اور فلٹر

الباب 7

واپسی ادوار

عموماً نظام کے مستقبل کی کارکردگی اس کے موجودہ نتائج پر منحصر ہوتی ہے۔ ایسے نظام جو اپنے موجودہ کارکردگی کے نتائج کو دیکھتے ہوئے مستقبل کی کارروائی کا فیصلہ کرتے ہیں کو واپسی نظام¹ کہا جائے گا۔

انسانی جسم از خود ایک واپسی نظام کی مثال ہے۔ میز پر پڑے قلم کو اٹھاتے وقت آپ باتھ اس کی جانب آگے بڑھاتے ہیں۔ آنکھیں آپ کو بتلاتی ہیں کہ باتھ اور قلم کے مابین کتنا فاصلہ رہ گیا ہے۔ اس معلومات کو مدد نظر رکھتے ہوئے آپ اپنے باتھ کو مزید آگے بڑھاتے ہیں حتیٰ کہ آپ کا باتھ قلم تک پہنچ جائے۔ اس پورے عمل میں بڑھ باتھ کے موجودہ مقام کی خبر آپ کو ملتی رہی جس کو مدد نظر رکھتے ہوئے باتھ کے اگلے لمحہ کی حرکت کا فیصلہ کیا گیا۔ کسی بھی واپسی نظام میں موجودہ نتائج حاصل کرنے کے ایک سے زیادہ ذرائع ممکن ہیں۔ اگر باتھ کے حرکت کی دوبارہ بات کی جائے تو قلم کو ایک مرتبہ دیکھنے کے بعد آپ آنکھیں بند کر کر بھی قلم کو اٹھا سکتے ہیں۔ ایسا کرنا یوں ممکن ہوتا ہے کہ بازو کا اعصابی نظام بڑھ باتھ کے مختلف جوڑوں کے زاویوں کو ناپتا ہے۔ ذہن اس معلومات کو استعمال کرتے ہوئے یہ بتلا سکتا ہے کہ باتھ کس مقام پر موجود ہے۔ کسی بھی واپسی نظام میں موجودہ نتائج کی خبر حاصل کرنے کی صلاحیت اور اس معلومات کو استعمال کرتے ہوئے اپنے مستقبل کی کارروائی کو تبدیل کرنے کی صلاحیت ہونا ضروری ہے۔

برقیات کے میدان میں واپسی ادوار نہایت اہم ہیں۔ ایسے ادوار نا صرف مہیا کرده داخلی اشارہ بلکہ دور کے اپنے خارجی اشارے کو بھی مدد نظر رکھتے ہوئے اگلے لمحہ کا خارجی اشارہ تعین کرتے ہیں۔ خارجی اشارے کے خبر کو واپسی اشارہ² کہا جائے گا۔ یہاں یہ بتلاتا چلوں کہ یہ ضروری نہیں کہ واپسی ادوار کو داخلی اشارہ بر صورت مہیا کیا جائے۔ مرتعش³ اس قسم کے ادوار کی ایک اہم قسم ہے جنہیں داخلی اشارہ درکار نہیں۔ مرتعش پر اگلے باب میں غور کیا جائے گا۔

feedback system¹
feedback signal²
oscillator³

7.1 ایمپلیفائر کی جماعت بندی

ایمپلیفائر کا داخلی اشارہ برق دباو یا برق رو ہو سکتا ہے۔ اسی طرح اس کا خارجی اشارہ برق دباو یا برق رو ہو سکتا ہے۔ یوں ایمپلیفائر کو چار ممکنہ جماعتوں میں تقسیم کیا جا سکتا ہے جنہیں جدول 7.1 میں ذکھایا گیا ہے۔

جدول 7.1: ایمپلیفائر کی جماعت بندی

افرائش	خارجی اشارہ	ایمپلیفائر کی جماعت	داخلی اشارہ
A_v	برقی دباو	برقی دباو ایمپلیفائر	برقی دباو
A_i	برقی رو	برقی رو ایمپلیفائر	برقی رو
A_g	برقی دباو	موصل نما ایمپلیفائر	برقی دباو
A_r	برقی رو	مراحمت نما ایمپلیفائر	برقی رو

ہم برق دباو ایمپلیفائر سے توقع کرتے ہیں کہ یہ داخلی برق دباو کو A_v گناہ بڑھا کر خارج کرے گا۔ یوں اگر اس ایمپلیفائر پر خارجی جانب R_{L1} بار لادا جائے اور ایمپلیفائر کو V_s^4 اشارہ داخلی جانب مہیا کیا جائے تو ہم توقع کریں گے کہ بار پر $A_v V_s$ برقی دباو پایا جائے گا۔ اب اگر بار کو تبدیل کرتے ہوئے R_{L2} کر دیا جائے ہم تب بھی توقع کریں گے کہ خارجی برقی دباو $A_v V_s$ ہی رہے گا۔ اسی طرح اگر داخلی اشارے کی مراحمت R_s تبدیل کی جائے تو ہم توقع کرتے ہیں کہ اس کا خارجی برقی دباو پر کوئی اثر نہیں ہو گا۔ اس تمام کا مطلب ہے کہ A_v پر R_s کا کوئی اثر نہیں ہونا چاہیے۔ ہم بقايا تین قسم کے ایمپلیفائر سے بھی توقع کرتے ہیں کہ ان کی افزائش پر بھی R_s کا کوئی اثر نہیں ہونا چاہیے۔

7.1.1 برقی دباو ایمپلیفائر

برقی دباو ایمپلیفائر کا مساوی ٹکونن دور شکل 7.1 میں نقطہ دار لکیر میں بند ذکھایا گیا ہے۔ اسے داخلی جانب اشارہ V_s مہیا کیا گیا ہے جبکہ خارجی جانب اس پر برقی بار R_L لادا گیا ہے۔ داخلی اشارہ کی مراحمت R_s ہے۔ داخلی جانب برقی رو کو I_i لکھتے ہوئے کرچاف کا قانون برائے برقی دباو استعمال کرتے ہیں۔

$$V_s = I_i R_s + I_i R_i$$

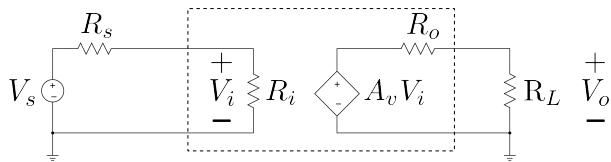
$$I_i = \frac{V_s}{R_s + R_i}$$

اور یوں

$$(7.1) \quad V_i = I_i R_i = V_s \left(\frac{R_i}{R_s + R_i} \right)$$

⁴ ادبیات میں وابسی ادوار پر غور کرتے ہوئے اشارات کو بڑے حروف تہجی سے ظاہر کیا جاتا ہے۔ اس باب میں بھی ایسا ہی کریں گے

کیونن مساوی دور



شکل 7.1: برقی دباؤ ایمپلیفیاٹر کا مساوی تھوڑن دور

حاصل ہوتا ہے۔ اسی طرح خارجی جانب برقی روکو I_0 لکھتے ہوئے حاصل ہوتا ہے

$$(7.2) \quad \begin{aligned} A_v V_i &= I_0 R_o + I_0 R_L \\ I_0 &= \frac{A_v V_i}{R_o + R_L} \\ V_o &= I_0 R_L = A_v V_i \left(\frac{R_L}{R_o + R_L} \right) \end{aligned}$$

اس مساوات میں V_i کی قیمت استعمال کرتے حاصل ہوتا ہے

$$(7.3) \quad \begin{aligned} V_o &= A_v V_s \left(\frac{R_L}{R_o + R_L} \right) \left(\frac{R_i}{R_s + R_i} \right) \\ A_V &= \frac{V_o}{V_s} = A_v \left(\frac{R_L}{R_o + R_L} \right) \left(\frac{R_i}{R_s + R_i} \right) \end{aligned}$$

اس مساوات کے تحت افزائش کی قیمت اشارے کے مزاحمت R_s اور بار کے مزاحمت R_L پر منحصر ہے جب کہ ایسا نہیں ہونا چاہیے۔ آئین دیکھیں کہ R_s اور R_L کے اثر کو کیسے ختم یا کم سے کم کیا جا سکتا ہے۔

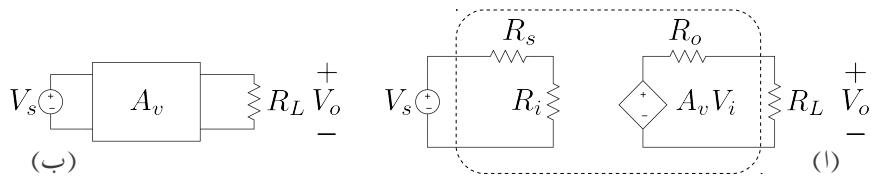
برقی دباؤ ایمپلیفیاٹر میں اگر

$$(7.4) \quad \begin{aligned} R_i &\rightarrow \infty \\ R_o &\rightarrow 0 \end{aligned}$$

ہوں تب مساوات 7.3 سے

$$(7.5) \quad A_V = A_v$$

حاصل ہوتا ہے۔ ایسا ایمپلیفیاٹر جس کی کل افزائش A_V کا دارومندار اشارے کے مزاحمت R_s اور بار کے مزاحمت R_L پر قطعاً منحصر نہیں ہو اور جس کے A_V کی قیمت اٹل ہو کو برقی دباؤ ایمپلیفیاٹر کہتے ہیں۔ شکل 7.1 میں ذکھایا، مساوات 7.4 پر پورا اترتا دور کامل برقی دباؤ ایمپلیفیاٹر کا دور ہے۔



شکل 7.2: برقی دباو ایمپلیفائر کا سادہ ڈبہ نما شکل

حقیقی برقی دباو ایمپلیفائر مساوات 7.4 کی بجائے مساوات 7.6 پر پورا اترتا ہے۔

$$(7.6) \quad \begin{aligned} R_i &\gg R_s \\ R_0 &\ll R_L \end{aligned}$$

جس کے لئے ہم لکھ سکتے ہیں

$$(7.7) \quad A_V \approx A_v$$

مساوات 7.2 سے آپ دیکھ سکتے ہیں کہ لاحدود R_L پر $\frac{V_o}{V_i}$ کی قیمت A_v کے برابر ہے یعنی

$$(7.8) \quad A_v = \left. \frac{V_o}{V_i} \right|_{R_L \rightarrow \infty}$$

لہذا A_v کو ایمپلیفائر کی لاحدود بار کے مزاحمت پر افزائش برقی دباو پکارا جاتا ہے۔ اسے بے بار ایمپلیفائر کی افزائش برقی دباو بھی پکارا جا سکتا ہے۔

شکل 7.2 الف میں برقی دباو ایمپلیفائر میں داخلی اشارہ کی مزاحمت R_s کو بھی ایمپلیفائر کا حصہ تصور کرتے ہوئے شکل ب میں اسی کا سادہ ڈبہ نما شکل دکھایا گیا ہے۔

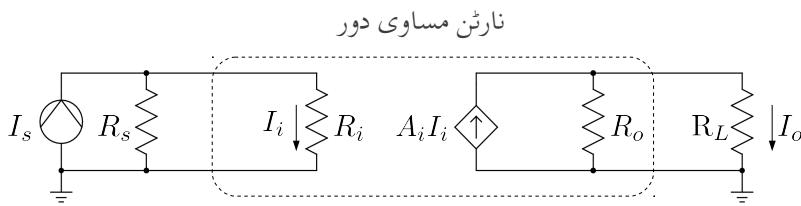
7.1.2 برقی رو ایمپلیفائر

برقی رو ایمپلیفائر کا مساوی نارٹن دور شکل 7.3 میں نقطہ دار لکیر میں بند دکھایا گیا ہے۔ اسے داخلی جانب اشارہ I_i مہیا کیا گیا ہے جبکہ خارجی جانب اس پر برقی بار R_L لا داگیا ہے۔ پیدا کار داخلی اشارہ کی مزاحمت R_s ہے۔ داخلی جانب تقسیم برقی رو سے حاصل ہوتا ہے

$$(7.9) \quad I_i = I_s \left(\frac{R_s}{R_s + R_i} \right)$$

اسی طرح خارجی جانب تقسیم برقی رو سے حاصل ہوتا ہے

$$(7.10) \quad I_o = A_i I_i \left(\frac{R_o}{R_o + R_L} \right)$$



شکل 7.3: برقی رو ایمپلیفائر کا مساوی نارٹن دور

مندرجہ بالا دو مساوات سے حاصل ہوتا ہے

$$(7.11) \quad I_o = A_i I_s \left(\frac{R_s}{R_s + R_i} \right) \left(\frac{R_o}{R_o + R_L} \right)$$

جس سے کل افزائش برق رو A_I یوں حاصل ہوتی ہے

$$(7.12) \quad A_I = \frac{I_o}{I_s} = A_i \left(\frac{R_s}{R_s + R_i} \right) \left(\frac{R_o}{R_o + R_L} \right)$$

مساوات 7.12 میں اگر

$$(7.13) \quad \begin{aligned} R_i &\ll R_s \\ R_o &\gg R_L \end{aligned}$$

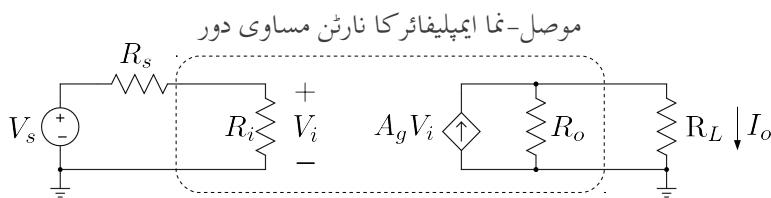
ہو تو اسے یوں لکھا جا سکتا ہے

$$(7.14) \quad A_I \approx A_i$$

ایسا ایمپلیفائر جس کی افزائش A_I کا دارومدار داخلی بیرونی مزاحمت R_s اور خارجی بیرونی مزاحمت R_L پر قطعاً منحصر نہیں ہو اور جس کے A_I کی قیمت اٹل ہو کو برق رو ایمپلیفائر کہتے ہیں۔ برق رو ایمپلیفائر مساوات 7.13 کے تحت ہی تخلیق دئی جاتے ہیں تاکہ ان کی افزائش زیادہ سے زیادہ ہو اور اس کی قیمت خارجی مزاحمت پر منحصر نہ ہو۔ کامل برق رو ایمپلیفائر میں $0 = R_i = 0$ اور $R_o = \infty$ ہوں گے۔ مساوات 7.10 سے آپ دیکھ سکتے ہیں کہ $R_L = 0$ کی صورت میں

$$(7.15) \quad \left. \frac{I_o}{I_i} \right|_{R_L=0} = A_i$$

حاصل ہوتا ہے، لہذا A_i کو صفر بار کے مزاحمت پر ایمپلیفائر کی افزائش برق رو پکارا جائے گا۔



شکل 7.4: موصل نما ایمپلیفائر کا مساوی دور

7.1.3 موصل نما ایمپلیفائر

آپ نے برق دیا اور برق رو ایمپلیفائر کے مساوی دور دیکھئے۔ دیا ایمپلیفائر کا ہونن مساوی جبکہ رو ایمپلیفائر کا نارٹن مساوی دور استعمال کیا گیا۔ یہاں اس بات کا سمجھنا ضروری ہے کہ جہاں برق دیا وکی بات کی جائے وہاں ہونن مساوی دور استعمال کیا جاتا ہے اور جہاں برق رو کی بات کی جائے وہاں نارٹن مساوی دور استعمال کیا جاتا ہے۔ یوں چونکہ برق دیا ایمپلیفائر داخلی برق دیا کو بڑھاتا ہے لہذا داخلی جانب اشارہ پیدا کار کا ہونن مساوی دور استعمال کیا گیا۔ اسی طرح چونکہ یہ ایمپلیفائر برق دیا ہی خارج کرتا ہے لہذا خارجی جانب ایمپلیفائر کا ہونن مساوی دور ہی استعمال کیا گیا۔

برق رو ایمپلیفائر کا داخلی اشارہ برق رو ہوتا ہے لہذا داخلی جانب اشارہ پیدا کار کا نارٹن مساوی دور استعمال کیا جاتا ہے۔ اسی طرح یہ ایمپلیفائر برق رو ہی خارج کرتا ہے لہذا خارجی جانب بھی نارٹن مساوی دور استعمال کیا گیا۔

موصل نما ایمپلیفائر کا داخلی اشارہ برق دیا جبکہ اس کا خارجی اشارہ برق رو ہوتا ہے لہذا اس کا تجزیہ کرتے وقت داخلی جانب اشارہ پیدا کار کا ہونن جبکہ اس کے خارجی جانب نارٹن مساوی دور استعمال کیا جائے گا۔ شکل 7.4 میں موصل نما ایمپلیفائر کا مساوی دور دکھایا گیا ہے۔ موصل نما ایمپلیفائر کے لئے بم لکھ سکتے ہیں

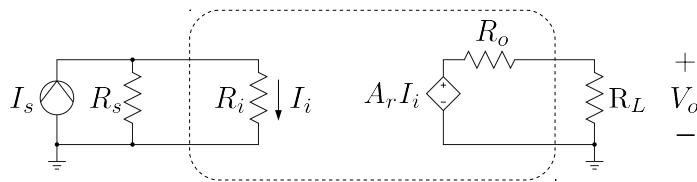
$$\begin{aligned}
 V_i &= V_s \left(\frac{R_i}{R_i + R_s} \right) \\
 I_o &= A_g V_i \left(\frac{R_o}{R_o + R_L} \right) \\
 I_o &= A_g V_s \left(\frac{R_i}{R_i + R_s} \right) \left(\frac{R_o}{R_o + R_L} \right)
 \end{aligned} \tag{7.16}$$

لہذا

$$A_G = \frac{I_o}{V_s} = A_g \left(\frac{R_i}{R_i + R_s} \right) \left(\frac{R_o}{R_o + R_L} \right) \tag{7.17}$$

مساویات 7.16 سے آپ دیکھ سکتے ہیں کہ $R_L = 0$ کی صورت میں $\frac{I_o}{V_i}$ کی قیمت A_g کے برابر ہے

مزاحمت-نما ایمپلیفیائر کا ہیونن مساوی دور



شکل 7.5: مزاحمت نما ایمپلیفیائر کا مساوی دور

یعنی

$$(7.18) \quad \left. \frac{I_o}{V_i} \right|_{R_L=0} = A_g$$

اسی طرح

$$(7.19) \quad \begin{aligned} R_i &\gg R_s \\ R_o &\gg R_L \end{aligned}$$

کی صورت میں مساوات 7.17 سے حاصل ہوتا ہے

$$(7.20) \quad A_G \approx A_g$$

ایسا ایمپلیفیائر جس کی افزائش A_G کا دارومندار R_s اور مزاحمت R_L پر قطعاً منحصر نہیں ہو اور جس کے کی قیمت اٹل ہو کو موصل نما ایمپلیفیائر کہتے ہیں۔

7.1.4 مزاحمت نما ایمپلیفیائر

شکل 7.5 میں مزاحمت نما ایمپلیفیائر دکھایا گیا ہے جس کا داخلی اشارہ برق رو I_s اور خارجی اشارہ برق دباؤ V_o ہے۔ اس کو یوں حل کیا جائے گا۔

$$(7.21) \quad \begin{aligned} I_i &= I_s \left(\frac{R_s}{R_s + R_i} \right) \\ V_o &= A_r I_i \left(\frac{R_L}{R_L + R_o} \right) \end{aligned}$$

اس مساوات سے ہم دیکھتے ہیں کہ $R_L = \infty$ کی صورت میں $\frac{V_o}{I_i} = A_r$ کی قیمت برابر ہو گئی یعنی

$$(7.22) \quad \left. \frac{V_o}{I_i} \right|_{R_L=\infty} = A_r$$

لہذا A_r کو لامحدود بار مزاحمت پر ایمپلیفائر کی مزاحمت نما افزائش کہتے ہیں۔ کل مزاحمت نما افزائش R مساوات 7.21 سے حاصل کرتے ہیں۔

$$(7.23) \quad A_R = \frac{V_o}{I_s} = A_r \left(\frac{R_s}{R_s + R_i} \right) \left(\frac{R_L}{R_L + R_o} \right)$$

آپ دیکھ سکتے ہیں کہ

$$(7.24) \quad \begin{aligned} R_i &\ll R_s \\ R_o &\ll R_L \end{aligned}$$

کی صورت میں مساوات 7.23 کو یوں لکھا جا سکتا ہے

$$(7.25) \quad A_R \approx A_r$$

یعنی اس صورت ایمپلیفائر کی مزاحمت نما افزائش کا دارومندار R_s اور R_L پر نہیں۔

مثال 7.1: شکل 7.1 میں بار کے مزاحمت R_L میں برق رو کی قیمت $\frac{V_o}{R_L}$ کے برابر ہے۔ $\frac{I_o}{V_s}$ کی شرح کو موصل نما افزائش تصور کرتے ہوئے ثابت کریں کہ اسے موصل نما ایمپلیفائر تصور نہیں کیا جا سکتا۔ حل:

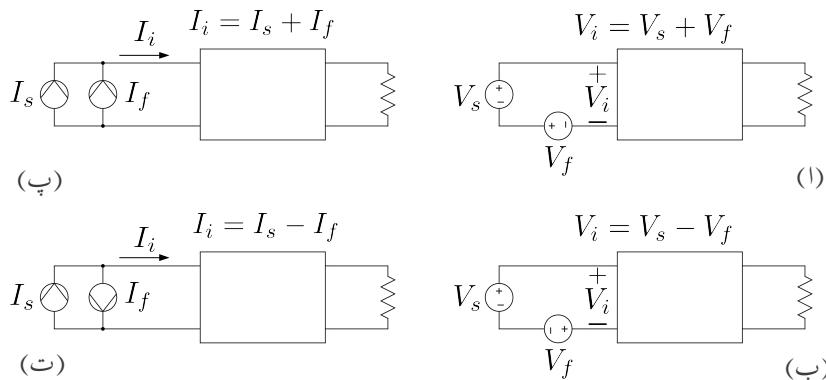
$$A_G = \frac{I_o}{V_s} = \frac{I_o}{V_o} \times \frac{V_o}{V_s} = \frac{1}{R_L} \times A_V$$

اس مساوات کے تحت A_G کی قیمت بار کے مزاحمت R_L کے قیمت پر منحصر ہے۔ ایمپلیفائر کی افزائش کی قیمت بار کے مزاحمت کے قیمت پر منحصر نہیں ہو سکتی لہذا اسے موصل نما ایمپلیفائر تصور نہیں کیا جا سکتا۔

7.2 واپسی اشارہ

مندرجہ بالا حصے میں ہم نے چار اقسام کے ایمپلیفائر دیکھے۔ اس حصے میں ان میں واپسی اشارہ شامل کرنے کی ترکیب دکھائی جائے گی۔ واپسی اشارے کو ایمپلیفائر کے داخلی اشارے کے ساتھ جمع یا اس سے منفی کیا جاتا ہے۔

شکل 7.6 الف میں واپسی اشارے V_f کو برق دباو اشارے V_s کے ساتھ جمع کرنا دکھایا گیا ہے جبکہ شکل 7.6 ب میں V_s کو V_f سے منفی کرنا دکھایا گیا ہے۔ شکل پ میں واپسی اشارے I_f کو برق رو اشارے I_s کے ساتھ جمع کرنا دکھایا گیا ہے جبکہ شکل ت میں I_f کو I_s سے منفی کرنا دکھایا گیا ہے۔ برق دباو اشارات کو آپس میں جمع یا منفی کرتے وقت انہیں سلسلہ وار جوڑا جاتا ہے جبکہ برق رو اشارات کو



شکل 7.6: اشارات کو آپس میں جمع اور منفی کرنے کے طریقے

آپس میں جمع یا منفی کرتے وقت انہیں متوازی جوڑا جاتا ہے۔ برقی دباو اشارے کو کسی صورت برقی رو اشارے کے ساتھ جمع یا منفی نہیں کیا جا سکتا۔⁵

شکل 7.2 ب میں دکھائے برقی دباو ایمپلیفائر کو مثال بناتے ہیں۔ برقی دباو ایمپلیفائر داخلی جانب اشارات کو برقی دباو کی صورت میں حاصل کرتا ہے لہذا اس کے داخلی جانب واپسی اشارہ ہی برقی دباو کی صورت میں ہوگا۔ واپسی اشارے کو ایمپلیفائر کے خارجی اشارے سے حاصل کیا جاتا ہے۔ V_0 سے V_f حاصل کرنے والے دور، جس کو واپس کار⁶ کہتے ہیں، کو ڈبی کی شکل سے دکھاتے ہوئے شکل 7.7 الف حاصل ہوتا ہے جس سے واپسی برقی دباو ایمپلیفائر کہا جائے گا۔ اس شکل میں اوپر والا ذہ بندی برقی دباو ایمپلیفائر ہے جبکہ نچلا ذہ بندی ایمپلیفائر کے خارجی اشارہ V_0 ہے جبکہ اس کا خارجی واپسی اشارہ V_f ہے۔ واپس کار کا داخلی اشارہ بندی ایمپلیفائر کے خارجی جانب سے متوازی حاصل کیا جاتا ہے جبکہ V_f کو V_s کے ساتھ سلسہ وار جوڑا گیا ہے۔

اس شکل میں واپسی اشارے V_f کو اشارہ V_s سے منفی کیا گیا ہے اور یوں اس ایمپلیفائر کو منفی واپسی برقی دباو ایمپلیفائر⁷ کہا جائے گا۔ اگر V_f کو V_s کے ساتھ جمع کیا جاتا تب اسے جمع واپسی برقی دباو ایمپلیفائر⁸ کہا جاتا۔ اس باب میں منفی واپسی ایمپلیفائر پر ہی بحث کی جائے گی۔ اگلے باب میں جمع واپسی ادوار کا استعمال کیا جائے گا۔

شکل 7.7 ب میں برقی رو ایمپلیفائر میں واپسی اشارے کی شمولیت دکھائی گئی ہے۔ بندی ایمپلیفائر کے داخلی جانب I_o سے I_f منفی کیا گیا ہے۔ یوں اس مکمل دور کو منفی واپسی برقی رو ایمپلیفائر⁹ کہا جائے گا۔ واپسی اشارے کو خارجی اشارہ I_o سے حاصل کیا گیا ہے۔ ایسا کرنے کی خاطر واپس کار کے داخلی

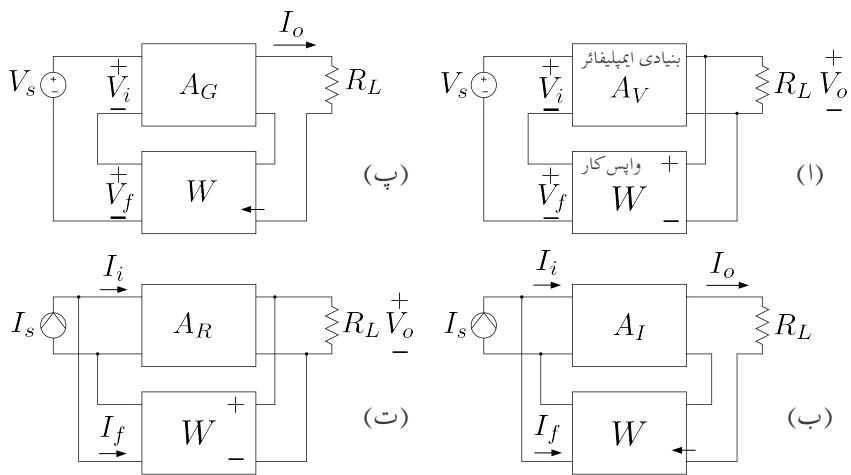
⁵ اپنے جانے ہیں کہ آلو اور ٹماٹر کو آپس میں جمع یا منفی نہیں کیا جا سکتا۔ اسی طرح برقی دباو کو صرف برقی دباو کی ساتھ یہ جمع یا اس سے منفی کیا جا سکتا۔

feedback circuit⁶

negative feedback voltage amplifier⁷

positive feedback voltage amplifier⁸

negative feedback current amplifier⁹



شکل 7.7: واپسی ایمپلیفائر کے اقسام

جانب کو بنیادی ایمپلیفائر کے خارجی جانب کے ساتھ سلسلہ وار جوڑا گیا ہے تاکہ خارجی برق رو I_o واپس کار کو بطور داخلی اشارہ مہبا کیا جا سکے۔

یہاں رک کر اس بات کو سمجھئیں کہ خارجی برق دباؤ V_o سے واپسی اشارہ حاصل کرتے وقت واپس کار کے داخلی جانب کو بنیادی ایمپلیفائر کے خارجی جانب متوازی جوڑا جاتا ہے جبکہ خارجی برق رو I_o سے واپسی اشارہ حاصل کرتے وقت واپس کار کا داخلی جانب اور بنیادی ایمپلیفائر کا خارجی جانب سلسلہ وار جوڑے جاتے ہیں۔ واپسی اشارہ از خود برق دباؤ یا برق رو کی صورت میں ہو سکتا ہے۔

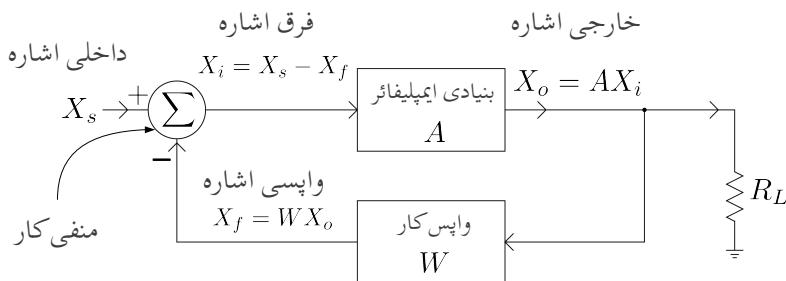
شکل 7.7 پ میں موصل نما ایمپلیفائر میں واپسی اشارہ شامل کرنا دکھایا گیا ہے۔ یہاں بنیادی ایمپلیفائر کا خارجی اشارہ برق رو I_o ہے جس سے واپسی اشارہ حاصل کیا جاتا ہے لہذا واپس کار کے داخلی جانب کو بنیادی ایمپلیفائر کے خارجی جانب سلسلہ وار جوڑا گیا ہے۔ واپس کار کا خارجی اشارہ برق دباؤ V_o سے جس سے منفی کیا گیا ہے۔

شکل 7.7 ت میں مراحمت نما ایمپلیفائر میں واپسی اشارے کی شمولیت دکھائی گئی ہے جس سے آپ خود سمجھ سکتے ہیں۔

جہاں متن سے واضح ہو وہاں ان ایمپلیفائر کے پورے نام کی جگہ صرف واپسی ایمپلیفائر کا نام استعمال کیا جائے گا۔

7.3 بنیادی کارکردگی

ٹرانزسٹر ایمپلیفائر کے دور میں ٹرانزسٹر کا ماذل نسب کرتے ہوئے انہیں کرجاف کے قوانین سے حل کرنے سے آپ بخوبی واقف ہیں۔ واپسی ایمپلیفائر کو ہی اسی طرح حل کرنا ممکن ہے البتہ انہیں یوں حل کرنے سے واپسی عمل کی وضاحت نہیں ہوتی۔ اس حصے میں ہم واپسی ایمپلیفائر کو اس طرح حل کریں گے کہ ان



شکل 7.8: بنیادی واپسی ایمپلیفائر

میں واپسی اشارے کا کردار اجاگر ہو۔ واپسی ادوار کے تین جزو بیں۔ پہلا جزو بنیادی ایمپلیفائر، دوسرا جزو جمع کار (یا منفی کار) اور تیسرا جزو واپس کار۔ شکل 7.8 میں ان تینوں اجزاء کو دکھایا گیا ہے۔ یہاں بنیادی ایمپلیفائر سے مراد حصہ 7.1 میں دکھائے چار قسم کے ایمپلیفائر میں سے کوئی بھی ہو سکتا ہے۔ اشارے کی مزاحمت R_S کو یہاں بنیادی ایمپلیفائر کا حصہ تصور کیا گیا ہے۔ یوں شکل 7.8 میں A سے مراد A_R یا A_G ، A_I ، A_V کے علاوہ واپس کار کا داخلی جانب کے ایمپلیفائر ہے۔ یہاں R_L کے جانب نسبت ہے اور A واپس کار کے بار کو بھی شامل کرتے حاصل کیا جاتا ہے۔ اس کی وضاحت حصہ 7.8 میں کی جائے گی۔ ایمپلیفائر کے داخلی اشارے کی X_S کو I_S یا V_S کو I_o لکھتے ہوئے آگے بڑھتے ہیں۔ یوں اس شکل میں بنیادی ایمپلیفائر اشارہ X_o کو بڑھا کر بطور X_o خارج کرتا ہے یعنی

$$(7.26) \quad X_o = AX_i$$

اس مساوات کو یوں بھی لکھا جا سکتا ہے

$$(7.27) \quad A = \frac{X_o}{X_i}$$

واپس کار عموماً غیر عامل پر زہ جات یعنی مزاحمت، کپیسٹر وغیرہ سے تخلیق دیا جاتا ہے۔ یہ خارجی اشارے کا کچھ حصہ داخلی جانب تک پہنچاتا ہے۔ شکل سے آپ دیکھ سکتے ہیں کہ واپس کار X_o کا کچھ حصہ منفی کار کو بطور واپسی اشارہ X_f پیش کرتا ہے جہاں

$$(7.28) \quad X_f = WX_o$$

ہے۔ W سے مراد واپس کار کے خارجی اور داخلی اشاروں کی شرح یعنی $\frac{X_f}{X_o}$ ہے۔ W کو واپس کار کا مستقل¹⁰ کہا جائے گا۔

feedback constant¹⁰

منفی کار داخلی اشارے X_s سے واپسی اشارہ X_f کو منفی کر کر اسے بطور فرق اشارہ X_i خارج کرتا ہے یعنی

$$(7.29) \quad X_i = X_s - X_f$$

اس میں مساوات 7.28 استعمال کرتے

$$(7.30) \quad X_i = X_s - WX_0$$

ملتا ہے جس میں مساوات 7.27 کے استعمال سے

$$\frac{X_0}{A} = X_s - WX_0$$

حاصل ہوتا ہے۔ اس کو X_0 کے لئے حل کرتے ہیں

$$X_0 = A(X_s - WX_0)$$

$$X_0(1 + WA) = AX_s$$

$$X_0 = \left(\frac{A}{1 + WA} \right) X_s$$

یوں پورے دور کے داخلی اشارے کو X_s اور اس کا خارجی اشارے کو X_0 لیتے ہوئے واپسی دور کے کل افزائش A_f کو یوں لکھ سکتے ہیں۔

$$(7.31) \quad A_f = \frac{X_0}{X_s} = \frac{A}{1 + WA}$$

منفی واپسی ایپلیفائر میں $|A_f| < |A|$ ہوتا ہے جبکہ مثبت واپسی ایپلیفائر میں $|A_f| > |A|$ ہوتا ہے۔

مثال 7.2: ایک ایپلیفائر جس کا $A = 99$ ہے میں واپسی اشارے کی شمولیت سے واپسی ایپلیفائر تخلیق دیا جاتا ہے۔ $W = 0.01$ اور $W = 0.1$ پر واپسی ایپلیفائر کی افزائش A_f حاصل کریں۔

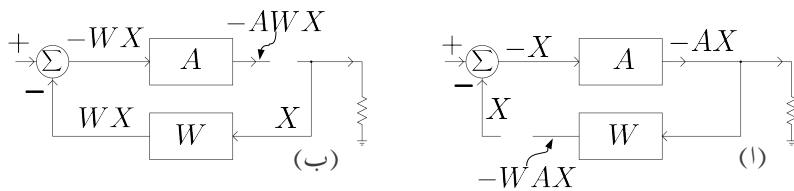
حل: مساوات 7.31 کی مدد سے $W = 0.01$ پر

$$A_f = \frac{99}{1 + 0.01 \times 99} = 49.749$$

جبکہ $W = 0.1$ پر

$$A_f = \frac{99}{1 + 0.1 \times 99} = 9.0826$$

حاصل ہوتا ہے۔ منفی واپسی ایپلیفائر کی افزائش واضح طور کم ہوئی ہے۔



شکل 7.9: بنيادي و اپسی ايمپليفائر کا شرح دائره

7.3.1 افرايشي دائره

و اپسی ايمپليفائر میں بنيادي ايمپليفائر اور واپسی دور بند دائيرے کی شکل میں آپس میں جوڑے جاتے ہیں۔ شکل 7.9 الف میں اس دائیرے کو واپسی دور کے خارجی نقطے پر کھلے سرے کر دیا گیا ہے جبکہ داخلی اشارے کو منقطع کر دیا گیا ہے۔ فرض کریں کہ اس نقطے کے باين جانب اشارہ X پایا جاتا ہے۔ اس نقطے سے دائیرے میں گھڑی کے سمت چلتے ہوئے ہم دیکھتے ہیں کہ اشارہ X پہلے 1 سے ضرب ہو کر X ہوتا ہے۔ اس کے بعد ايمپليفائر سے گزرتے ہوئے A سے ضرب ہو کر AX ہو جاتا ہے اور آخر کار واپسی دور سے گزرتے ہوئے W سے ضرب کھا کر WAX ہو جاتا ہے۔ یوں یہ اشارہ پورے دائیرے سے گزرتے ہوئے WA سے ضرب ہوتا ہے جسے واپسی ايمپليفائر کا افرايشي دائرة¹¹ کہا جائے گا۔ شکل b میں دائیرے کو ایک اور جگہ سے کھلے سرے کرتے ہوئے ہی عمل دکھایا گیا ہے۔ آپ دیکھ سکتے ہیں کہ دائیرے کو کہیں سے ہی کھلے سرے کرتے ہوئے اس نقطے سے گھڑی کی سمت پورا چکر کاٹتے ہوئے اشارہ WA سے ہی ضرب ہوتا ہے۔

7.3.2 بنيادي مفروضے

واپسی ايمپليفائر پر بات کرتے ہوئے مندرجہ ذیل مفروضے تصور کئے جائیں گے۔

1. واپس کار کے مستقل W کی قیمت پر بار کے مزاحمت R_L اور اشارے کے مزاحمت R_s کا کوئی اثر نہیں ہوتا۔

2. بنيادي ايمپليفائر کی افرايش A کے قیمت پر بار کے مزاحمت R_L کا کوئی اثر نہیں ہوتا۔

3. داخلی اشارہ صرف اور صرف بنيادي ايمپليفائر سے گزرتے ہوئے خارجی جانب پہنچتا ہے۔ اس کا مطلب ہے کہ اگر A کی قیمت صفر کر دی جائے تو X_0 کی قیمت بھی صفر ہو جائے گی۔ (بنيادي ايمپليفائر میں ثرازنستر کا g_m یا h_{fe} صفر کرنے سے A کی قیمت صفر کی جا سکتی ہے۔)

اس مفروضے کے تحت واپس کار میں اشارہ صرف اور صرف واپسی ايمپليفائر کے خارجی جانب سے داخلی جانب گزر سکتا ہے۔ حقیقت میں واپس کار عموماً مزاحمت، کپیسٹر وغیرہ سے بنا ہوتا ہے

loop gain¹¹

اور اس میں اشارہ دونوں جانب گزر سکتا ہے۔ ہم دیکھیں گے کہ اس کے باوجود حقیقی ایپلیفائر میں پر بھی اس مفروضے پر چلتے ہوئے درست جوابات حاصل ہوتے ہیں۔

4. خارجی اشارہ صرف اور صرف واپس کار سے گزرتے ہوئے داخلی جانب پہنچ سکتا ہے۔ اس مفروضے کے تحت اشارہ بنیادی ایپلیفائر میں گزرتے ہوئے خارجی جانب سے داخلی جانب نہیں پہنچ سکتا۔ اس کا مطلب ہے کہ اگر واپس کار کے مستقل W کی قیمت صفر کر دی جائے تو واپسی اشارے کی قیمت بھی صفر ہو جائے گی۔

7.4 واپسی ایپلیفائر کی خوبیاں

منفی واپسی ایپلیفائر افزائش گھٹاتا ہے جبکہ ایپلیفائر کا بنیادی مقصد ہی اس کی افزائش ہے۔ اس کے باوجود منفی واپسی ایپلیفائر کا استعمال عام ہے۔ منفی واپسی ایپلیفائر افزائش گھٹاتے ہوئے ایپلیفائر کی متعدد اہم خوبیوں کو بہتر کرتا ہے۔ اس حصے میں انہیں پر غور کیا جائے گا۔

7.4.1 مستحکم افزائش

درجہ حرارت میں تبدیلی، عمر رسیدگی یا ٹرانزسٹر وغیرہ کی تبدیلی سے کسی بھی ایپلیفائر کی افزائش متاثر ہوتی ہے۔ آئیں ایک مثال سے دیکھیں کہ واپسی ایپلیفائر میں افزائش کے تبدیلی کو کس طرح گھٹایا جاتا ہے۔

مثال 7.3: ایک بنیادی ایپلیفائر جس کی اصل افزائش $A = 50$ ہے میں ٹرانزسٹر تبدیل کیا جاتا ہے جس کے بعد اس کی نئی افزائش $A_1 = 45$ ہو جاتی ہے۔ افزائش میں تبدیلی کی فی صد شرح حاصل کریں۔ اس ایپلیفائر میں واپسی اشارہ شامل کیا جاتا ہے جہاں $W = 0.1$ ہے۔ ٹرانزسٹر تبدیل کرنے سے پہلے اور ٹرانزسٹر تبدیل کرنے کے بعد واپسی ایپلیفائر کی افزائش حاصل کریں اور ان میں تبدیلی کی فی صد شرح حاصل کریں۔

بنیادی ایپلیفائر میں تبدیلی کی فی صد شرح

$$\left| \frac{45 - 50}{45} \right| \times 100 = 11.11\%$$

ہے۔ واپسی ایپلیفائر میں ٹرانزسٹر تبدیل کرنے سے پہلے A_f اور ٹرانزسٹر تبدیل کرنے کے بعد A_{f1} مندرجہ ذیل ہیں

$$A_f = \frac{50}{1 + 0.1 \times 50} = 8.3333$$

$$A_{f1} = \frac{45}{1 + 0.1 \times 45} = 8.1818$$

یوں تبدیلی کی فی صد سرچ

$$\left| \frac{8.1818 - 8.3333}{8.3333} \right| \times 100 = 1.818 \%$$

ہے۔

آپ نے دیکھا کہ بنیادی ایمپلیفائر میں 11.11 فی صد تبدیلی آئی جبکہ واپسی ایمپلیفائر میں صرف 1.818 فی صد تبدیلی آئی۔ یوں ایمپلیفائر میں واپسی اشارے کی شمولیت سے افزائش مستحکم ہوئی۔ اس حقیقت کو یوں بیان کیا جاتا ہے کہ واپسی اشارے سے افزائش

$$\frac{11.1111}{1.818} = 6.1117$$

یعنی تقریباً چھ گنا مستحکم ہوئی۔
آئیں اس تمام کو حسابی شکل دین۔ مساوات 7.31 میں A_f کا A کے ساتھ تفرق لیتے ہیں۔

$$\frac{dA_f}{dA} = \frac{1}{(1 + WA)^2}$$

اس کو یوں بھی لکھ سکتے ہیں۔

$$dA_f = \frac{dA}{(1 + WA)^2}$$

اس مساوات کو مساوات 7.31 سے تقسیم کرتے ہیں۔

$$\begin{aligned} \frac{dA_f}{A_f} &= \left(\frac{dA}{(1 + WA)^2} \right) \times \left(\frac{1 + WA}{A} \right) \\ &= \left(\frac{dA}{A} \right) \left(\frac{1}{1 + WA} \right) \end{aligned}$$

اس مساوات سے افزائش کا مستحکم M ہونا یوں حاصل ہوتا ہے۔

$$(7.32) \quad M = \frac{\left| \frac{dA}{A} \right|}{\left| \frac{dA_f}{A_f} \right|} = 1 + WA$$

مساوات 7.31 کو یوں بھی لکھا جا سکتا ہے

$$(7.33) \quad A_f = \frac{A}{M}$$

مندرجہ بالا دو مساوات سے آپ دیکھ سکتے ہیں کہ وapsی ایمپلیفائر میں کل افزائش M گناہ کھٹی ہے۔ ساتھ ہی ساتھ کل افزائش M گنا مستحکم ہو جاتی ہے۔ یوں ایمپلیفائر تخلیق دیتے وقت آپ افزائش گھٹاتے ہوئے اسے زیادہ مستحکم بنا سکتے ہیں یا اس کے برعکس افزائش کو کم مستحکم کرتے ہوئے اس کی قیمت بڑھا سکتے ہیں۔

اگر

(7.34)

$$|WA| \gg 1$$

ہو تو مساوات 7.31 مندرجہ ذیل سادہ صورت اختیار کر لیتا ہے۔

(7.35)

$$A_f = \frac{A}{1 + WA} \approx \frac{A}{WA} = \frac{1}{W}$$

مساوات 7.35 انتہائی اہم مساوات ہے جس کے تحت $1 \gg WA$ کی صورت میں وapsی ایمپلیفائر کی افزائش صرف وaps کار کے W پر منحصر ہوتی ہے۔ جیسا کہ پہلے ہی ذکر ہوا، وaps کار کو عموماً مزاحمت وغیرہ سے بنایا جاتا ہے۔ برقياتی پرزاجات میں ٹرانزistor، ماسفیٹ اور ڈائیوڈ وغیرہ کی کارکردگی درجہ حرارت یا وقت کے ساتھ تبدیل ہوتی ہے۔ ان کے برعکس مزاحمت، کپیسٹر وغیرہ میں ایسی تبدیلیاں نہیات کم ہوتی ہیں۔ یوں درجہ حرارت یا وقت کے ساتھ وaps کار کی W کے تبدیل کو رد کیا جا سکتا ہے جس سے وapsی ایمپلیفائر کی افزائش نہیات مستحکم ہو جاتی ہے۔

مستحکم ایمپلیفائر تخلیق دینے کا طریقہ ایک مثال کی مدد سے سیکھتے ہیں۔

مثال 7.4: موصل نما ایمپلیفائر تخلیق دیتے وقت درجہ حرارت کے تبدیلی سے توقع کی جاتی ہے کہ بغیر وapsی اشارے کے ایمپلیفائر کی افزائش میں 5% تبدیلی رونما ہو گی جو کہ قابل قبول نہیں۔ زیادہ سے زیادہ 0.4% تبدیلی قابل برداشت ہے۔ ایک عدد موصل نما وapsی ایمپلیفائر تخلیق دین جس کی افزائش $45^A/7$ ہو اور اس میں تبدیلی 0.4% سے تجاوز نہ کرے۔

حل:

ایسی صورت میں بنیادی ایمپلیفائر کی افزائش A کو ضرورت سے M گنا زیادہ رکھ کر اسے تخلیق دیا جاتا ہے۔ اس ایمپلیفائر کے افزائش میں درجہ حرارت کے تبدیلی سے 5% تبدیلی پیدا ہو گی۔ اس کے بعد اس میں وapsی اشارے کی شمولیت کی جاتی ہے جس سے ایمپلیفائر کی وapsی افزائش M گنا کم ہونے کے ساتھ ساتھ M گنا مستحکم بھی ہو جاتی ہے۔

موجودہ صورت میں تمام معلومات فی صد کی صورت میں دی گئی ہیں۔ مساوات 7.32 کو استعمال کرتے ہوئے اگر بنیادی ایمپلیفائر کی افزائش میں تبدیلی dA کی قیمت پانچ فی صد ہے تو A کی قیمت سو

فی صد ہوگی۔ اسی طرح اگر dA_f کی قیمت آدھا فی صد ہو تو A_f کو سو فی صد تصور کیا جائے گا۔ یوں

$$\frac{dA}{A} = M \left(\frac{dA_f}{A_f} \right)$$

$$\frac{5}{100} = M \left(\frac{0.5}{100} \right)$$

$$M = 10$$

حاصل ہوتا ہے۔ یوں اس ایمپلیفائر کو دس گنا مستحکم کرنے کی ضرورت ہے۔

لہذا ہم ایسا ایمپلیفائر تخلیق دین گے جس کی واپسی اشارہ شامل کرنے سے پہلے افزائش درکار قیمت سے M گنا زیادہ ہو یعنی A کی قیمت $450 = 45 \times 10$ ہوگی۔ اس میں واپسی اشارے کی شمولیت سے افزائش کو دس گنا مستحکم کیا جائے گا اور ساتھ ہی ساتھ $A_f = 45$ حاصل کی جائے گی جو کہ درکار موصول نہ افزائش ہے۔ مساوات 7.31 کے تحت

$$45 = \frac{450}{1 + W \times 450} \approx \frac{1}{W}$$

$$W = \frac{1}{45} = 0.02222$$

حاصل ہوتا ہے جو کہ واپس کار کے مستقل کی درکار قیمت ہے۔

مثال 7.5: $A_f = -100$ اور $A = -1000$ کی صورت میں W حاصل کریں۔
حل:

$$-100 = \frac{-1000}{1 - 1000W}$$

سے $W = -0.009$ حاصل ہوتا ہے۔

مساوات 7.35 میں A_f سے مراد واپسی ایمپلیفائر کی افزائش ہے جو کہ برق دباؤ واپسی ایمپلیفائر کی صورت میں A_{vf} ، برق رو واپسی ایمپلیفائر کی صورت میں A_{if} ، موصول نہ واپسی ایمپلیفائر کی صورت میں A_{gf} اور مزاحمت نہ واپسی ایمپلیفائر کی صورت میں A_{rf} کو ظاہر کرتا ہے۔

7.4.2 تعددی بگاڑ

مساوات 7.35 کے تحت $1 \gg WA$ کی صورت میں واپسی ایمپلیفائر کی افزائش صرف اور صرف W پر منحصر ہوتی ہے۔ اگر واپس کار کی خاصیت تعدد پر منحصر نہ ہو تو واپسی ایمپلیفائر کی کارکردگی بھی

تعدد پر منحصر نہیں ہو گئی۔ واپس کار میں صرف مزاحمت استعمال کرتے ہوئے اس کے کارکردگی کو تعدد سے پاک بنایا جا سکتا ہے۔
اگر واپس کار میں کپیسٹر اور امالہ استعمال کئے جائیں تب اس کی کارکردگی تعدد پر منحصر ہو گئی۔ ایسی صورت میں واپسی ایمپلیفائر کی کارکردگی بھی تعدد پر منحصر ہو گئی۔ یہ اگر کسی خاص تعدد ω_0 پر W کی قیمت کم ہو جبکہ اس تعدد سے کم یا اس سے زیادہ تعدد پر W کی قیمت زیادہ ہو تو A_f کی قیمت ω_0 پر زیادہ ہو گئی جبکہ ω_0 سے کم یا زیادہ تعدد پر اس کی قیمت کم ہو گئی۔ یہ پٹی گزار فلٹر¹² کی خاصیت ہے۔ اسی طرح پٹی روک فلٹر¹³، پست گزار فلٹر اور بلند گزار فلٹر بھی بنائے جا سکتے ہیں۔

7.4.3 دائرہ کارکردگی کے پٹی میں وسعت

فرض کریں کہ بنیادی ایمپلیفائر کے افزائش میں ایک عدد قطب پایا جاتا ہے یعنی

$$A = \frac{A_0}{1 + \frac{j\omega}{\omega_H}}$$

اس مساوات میں A_0 سے مراد درمیانی تعدد کی افزائش اور ω_H اس کی بلند انقطعی تعدد ہے۔ واپسی اشارے کی شمولیت کے بعد

$$\begin{aligned} A_f &= \frac{A}{1 + WA} \\ &= \frac{\frac{A_0}{1 + \frac{j\omega}{\omega_H}}}{1 + \frac{WA_0}{1 + \frac{j\omega}{\omega_H}}} \\ &= \frac{A_0}{1 + \frac{j\omega}{\omega_H} + WA_0} \\ &= \frac{\frac{A_0}{1 + WA_0}}{1 + \frac{j\omega}{\omega_H(1 + WA_0)}} \end{aligned}$$

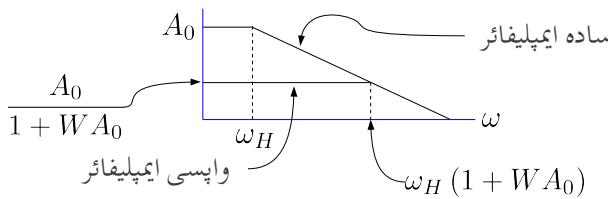
اس مساوات سے واپسی ایمپلیفائر کی درمیانی تعدد پر افزائش

$$(7.36) \quad A_{f0} = \frac{A_0}{1 + WA_0}$$

ہے جبکہ اس کی بلند انقطعی تعدد

$$(7.37) \quad \omega'_H = \omega_H (1 + WA_0)$$

band pass filter¹²
band stop filter¹³



شکل 7.10: دائرة کارکردگی بالمقابل افزائش

ہے۔ واپسی ایمپلیفیائر کے درمیانی تعدد کی افزائش اور اس کی بلند انقطعی تعداد کو ضرب کرتے ہوئے

$$(7.38) \quad \frac{A_0}{1 + WA_0} \times \omega_H (1 + WA_0) = A_0 \omega_H$$

ملتا ہے جو سادہ ایمپلیفیائر کے درمیانی تعدد کی افزائش ضرب اس کی بلند انقطعی تعداد ہے۔ یوں افزائش کو کم کرتے ہوئے بلند انقطعی تعدد کو بڑھایا جا سکتا ہے یا پھر بلند انقطعی تعدد کو کم کرتے ہوئے افزائش کو بڑھایا جا سکتا ہے۔ شکل 7.10 اس حقیقت کو دکھلاتی ہے۔

مثال 7.6: ایک سادہ ایمپلیفیائر کی درمیانی تعدد پر افزائش $\frac{V}{V} = 3000$ ہے جبکہ اس کی بلند انقطعی تعدد 500 Hz ہے۔ اس میں واپسی اشارہ شامل کرتے ہوئے واپسی ایمپلیفیائر حاصل کیا جاتا ہے۔ اگر واپس کار کا مستقل $W = 0.01$ ہو تو واپسی ایمپلیفیائر کی درمیانی تعدد کی افزائش اور بلند انقطعی تعداد کیا ہوں گے؟

حل:

$$A_{f0} = \frac{3000}{1 + 3000 \times 0.01} = 96.77 \frac{\text{V}}{\text{V}}$$

$$f_H = 500 \times (1 + 3000 \times 0.01) = 15.5 \text{ kHz}$$

7.5 داخلي مزاحمت

ہم نے دیکھا کہ منفی واپسی اشارے کی شمولیت سے افزائش M گناہٹی ہے۔ اس حصے میں داخلي مزاحمت پر واپسی اشارے کے اثر کو دیکھا جائے گا۔

7.5.1 وapsی برقی دباو ایمپلیفائر کا داخلی مزاحمت

شکل 7.1 میں داخلی جانب منفی وapsی اشارہ V_f شامل کرتے ہوئے شکل 7.11 حاصل ہوتا ہے۔ فرق صرف اتنا ہے کہ موجودہ شکل میں R_s کو ایمپلیفائر کا حصہ تصور کیا گیا ہے اور

$$(7.39) \quad A'_v = A_v \left(\frac{R_i}{R_i + R_s} \right)$$

رکھا گیا ہے۔ یوں اشارے کی مزاحمت R_s کو ایمپلیفائر کا حصہ تصور کرتے ہوئے افزائش برقی دباو کو A'_v لکھا گیا ہے۔ اس دور میں

$$\begin{aligned} V_o &= A'_v V'_i \left(\frac{R_L}{R_o + R_L} \right) \\ &= A_v V'_i \left(\frac{R_i}{R_i + R_s} \right) \left(\frac{R_L}{R_o + R_L} \right) \\ \frac{V_o}{V'_i} &= A_v \left(\frac{R_i}{R_i + R_s} \right) \left(\frac{R_L}{R_o + R_L} \right) \end{aligned}$$

حاصل ہوتا ہے۔ مساوات 7.39 اور مساوت 7.3 کے ساتھ موازنہ کرنے سے اس مساوات سے حاصل ہوتا ہے

$$(7.40) \quad \frac{V_o}{V'_i} = A'_v \left(\frac{R_L}{R_o + R_L} \right) = A_V$$

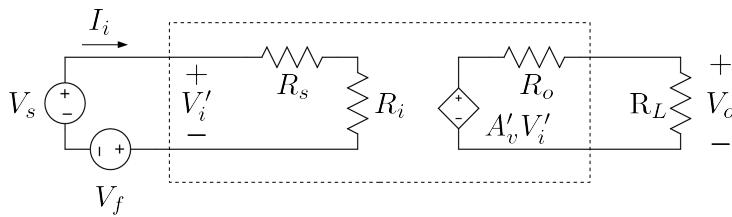
اس مساوات میں $R_L \rightarrow \infty$ کی صورت میں

$$(7.41) \quad A_V \Big|_{R_L \rightarrow \infty} = A'_v$$

حاصل ہوتا ہے۔
وapsی اشارے کی عدم موجودگی میں

$$(7.42) \quad \begin{aligned} V_s &= V'_i = I_i (R_i + R_s) \\ R'_i &= \frac{V_s}{I_i} = R_i + R_s \end{aligned}$$

حاصل ہوتا ہے جو کہ R_s کو شامل کرتے ہوئے برقی دباو ایمپلیفائر کی کل داخلی مزاحمت R'_i ہے۔ آئیں اب



شکل 7.11: واپسی برقی دباؤ ایمپلیفیاٹر کی داخلی مزاحمت

واپسی اشارے کی شمولیت کے بعد $\frac{V_s}{I_i}$ حاصل کریں۔

$$\begin{aligned} V_s - V_f &= I_i (R_s + R_i) \\ V_s - W V_o &= I_i (R_s + R_i) \\ V_s - W A_V V'_i &= I_i (R_s + R_i) \\ V_s - W A_V I_i (R_s + R_i) &= I_i (R_s + R_i) \\ V_s &= (1 + W A_V) (R_s + R_i) I_i \end{aligned}$$

اس مساوات میں تیسرا قدم پر مساوات 7.40 اور چوتھا قدم پر مساوات 7.42 کا استعمال کیا گیا۔ اس سے حاصل ہوتا ہے

$$\begin{aligned} (7.43) \quad R'_{if} &= \frac{V_s}{I_i} \\ &= (1 + W A_V) (R_s + R_i) \\ &= (1 + W A_V) R'_i \end{aligned}$$

اس مساوات کے مطابق منفی واپسی اشارے کی شمولیت سے داخلی مزاحمت M گناہ بڑھ جاتا ہے۔ اس نتیجے کو یوں سمجھا جا سکتا ہے کہ واپسی اشارے کی عدم موجودگی میں اشارہ V_s لاگو کرنے سے داخلی جانب برق روگرتی ہے۔ ان دونوں کی شرح کو داخلی مزاحمت کہتے ہیں۔ منفی واپسی اشارے کے موجودگی میں داخلی جانب کل برق دباؤ کم ہو کر ($V_s - V_f$) رہ جاتا ہے جس سے داخلی جانب برق رو کی قیمت بھی کم ہو جاتی ہے۔ یوں V_s اور داخلی برق رو کی شرح بڑھ جاتی ہے، جس سے داخلی مزاحمت بھی بڑھ جاتا ہے۔ آپ دیکھ سکتے ہیں کہ برق دباؤ کا واپسی اشارہ چاہیے خارجی برق دباؤ یا خارجی برق رو سے حاصل کیا جائے، یہ برصورت داخلی مزاحمت کو بڑھائے گا۔ مساوات 7.43 میں $R_s = 0$ پُر کرتے ہوئے

$$(7.44) \quad R_{if} = (1 + W A_V) R_i$$

حاصل ہوتا ہے جہاں داخلی مزاحمت کو R_{if} لکھ کر اس بات کی وضاحت کی گئی ہے کہ اس میں $R_s = 0$ لیا گیا ہے۔

7.5.2 واپسی برقی رو ایمپلیفائر کا داخلی مزاحمت

شکل 7.3 میں دکھائے برق رو ایمپلیفائر میں داخلی جانب منفی واپسی اشارہ I_f شامل کرتے ہوئے اسے یہاں شکل 7.12 میں دوبارہ دکھایا گیا ہے۔ فرق صرف اتنا ہے کہ یہاں R_s کو ایمپلیفائر کا حصہ تصور کیا گیا ہے اور

$$(7.45) \quad A'_i = A_i \left(\frac{R_s}{R_s + R_i} \right)$$

رکھا گیا ہے۔ اس دور میں

$$(7.46) \quad I'_i = I_s - I_f$$

کرے برابر ہے۔

واپسی اشارے کی عدم موجودگی (یعنی $I_f = 0$) کی صورت میں اشارہ I_s لاگو کرنے سے داخلی جانب ہم لکھ سکتے ہیں

$$(7.47) \quad \begin{aligned} I'_i &= I_s \\ V_i &= I'_i \left(\frac{R_s R_i}{R_s + R_i} \right) = I_s \left(\frac{R_s R_i}{R_s + R_i} \right) \\ R'_i &= \frac{V_i}{I_s} = \frac{R_s R_i}{R_s + R_i} \end{aligned}$$

جہاں R_s کو شامل کرتے ہوئے، R'_i بغیر واپسی ایمپلیفائر کی کل داخلی مزاحمت ہے۔ اسی طرح شکل 7.12 میں

$$\begin{aligned} I_o &= A'_i I'_i \left(\frac{R_o}{R_o + R_L} \right) \\ &= A_i I'_i \left(\frac{R_s}{R_s + R_i} \right) \left(\frac{R_o}{R_o + R_L} \right) \\ \frac{I_o}{I'_i} &= A_i \left(\frac{R_s}{R_s + R_i} \right) \left(\frac{R_o}{R_o + R_L} \right) \end{aligned}$$

حاصل ہوتا ہے جہاں دوسرے قدم پر مساوات 7.45 کا استعمال کیا گیا ہے۔ اس مساوات کے دائیں جانب کا مساوات 7.12 کے ساتھ موازنہ کرنے سے حاصل ہوتا ہے

$$(7.48) \quad A_I = \frac{I_o}{I'_i}$$

واپسی اشارے کے موجودگی میں داخلي مزاحمت یوں حاصل ہوگا

$$\begin{aligned} I'_i &= I_s - I_f \\ &= I_s - WI_o \\ &= I_s - WA_I I'_i \\ I'_i &= \frac{I_s}{1 + WA_I} \end{aligned}$$

جہاں آخری قدم پر مساوات 7.48 کا استعمال کیا گیا۔ اس صورت میں داخلي برق دباؤ

$$\begin{aligned} V_i &= I'_i \left(\frac{R_s R_i}{R_s + R_i} \right) \\ &= I'_i R'_i \\ &= \left(\frac{I_s}{1 + WA_I} \right) R'_i \end{aligned}$$

حاصل ہوتا ہے جس سے

$$(7.49) \quad R'_{if} = \frac{V_i}{I_s} = \frac{R'_i}{1 + WA_I}$$

حاصل ہوتا ہے۔ اس مساوات کے تحت واپسی رو ایمپلیفائر کا داخلي مزاحمت R'_{if} غیر واپسی ایمپلیفائر کے داخلي مزاحمت R'_i سے M گناہم ہوتا ہے۔

اس حقیقت کو یوں سمجھا جا سکتا ہے کہ واپسی اشارے کے عدم موجودگی میں I_s داخلي مزاحمت R'_i سے گزرتے ہوئے V_i کو جنم دیتا ہے۔ V_i اور I_s کی شرح کو داخلي مزاحمت کہتے ہیں۔ واپسی اشارے کے موجودگی میں مزاحمت i سے گرتی برق رو کی قیمت کم ہو کر $I_s - I_f$ ہو جاتی ہے لہذا V_i کی قیمت بھی کم ہو جاتی ہے۔ یوں I_s اور V_i کی شرح بھی کم ہو جاتی ہے۔ آپ دیکھ سکتے ہیں کہ I_f چاہے خارجی برق دباؤ V_0 یا خارجی برق رو I_0 سے حاصل کیا جائے، اس کا داخلي کل مزاحمت پر ایک جیسا اثر ہوتا ہے یعنی کل داخلي مزاحمت کم ہوتا ہے۔

مساوات 7.49 میں $R_s = 0$ پر کرتے ہوئے

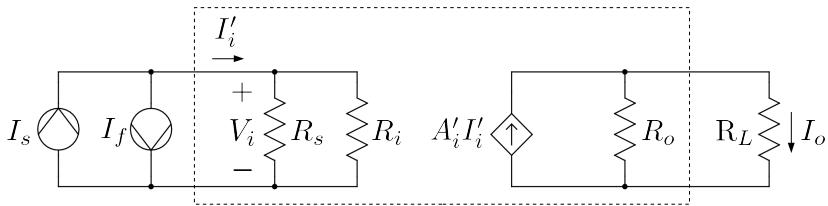
$$(7.50) \quad R'_{if} = \frac{R_i}{1 + WA_I}$$

حاصل ہوتا ہے جہاں داخلي مزاحمت کو R_{if} لکھ کر اس بات کی وضاحت کی گئی ہے کہ اس میں $R_s = 0$ لیا گیا ہے۔

7.5.3 واپسی موصل نما ایمپلیفائر کا داخلي مزاحمت

شکل 7.4 میں واپسی اشارہ V_f کی شولیت اور

$$(7.51) \quad A'_g = A_g \left(\frac{R_i}{R_s + R_i} \right)$$



شکل 7.12: واپسی برقی رو ایمپلیفائر کی داخلی مزاحمت

تصویر کرتے ہوئے یہاں شکل 7.13 میں دوبارہ دکھایا گیا ہے۔ مزید یہ کہ یہاں R_s کو ایمپلیفائر کا حصہ تصور کیا گیا ہے۔ اس شکل کے لئے ہم لکھ سکتے ہیں

$$\begin{aligned} I_o &= A'_g V'_i \left(\frac{R_o}{R_o + R_L} \right) \\ &= A_g V'_i \left(\frac{R_i}{R_s + R_i} \right) \left(\frac{R_o}{R_o + R_L} \right) \\ \frac{I_o}{V'_i} &= A_g \left(\frac{R_i}{R_s + R_i} \right) \left(\frac{R_o}{R_o + R_L} \right) \end{aligned}$$

جہاں دوسرے قدم پر مساوات 7.51 کا استعمال کیا گیا۔ مساوات 7.17 کے ساتھ موازنہ سے حاصل ہوتا ہے۔

$$(7.52) \quad \frac{I_o}{V'_i} = A_G$$

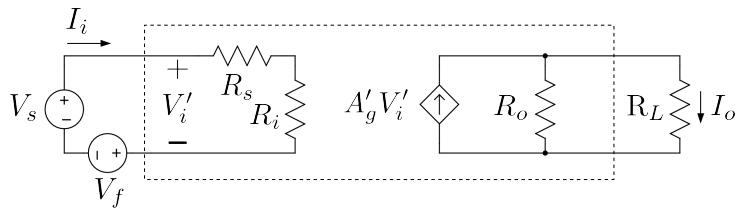
واپسی اشارہ V_f کے عدم موجودگی میں ہم R_s کو شامل کرتے ہوئے کل داخلی مزاحمت R'_i حاصل کرتے ہیں۔

$$V'_i = V_s = I_i (R_s + R_i)$$

$$R'_i = \frac{V_s}{I_i} = R_s + R_i$$

آئیں اب واپسی اشارے کے موجودگی میں کل داخلی مزاحمت R'_{if} حاصل کریں۔

$$\begin{aligned} (7.53) \quad V'_i &= V_s - V_f \\ &= V_s - W I_o \\ &= V_s - W A_G V'_i \\ V'_i &= \frac{V_s}{1 + W A_G} \end{aligned}$$



شکل 7.13: واپسی موصل نما ایمپلیفیائر کی داخلي مزاحمت

تيسرے قدم پر مساوات 7.52 کا استعمال کیا گیا۔ اس مساوات کو

$$(7.54) \quad V'_i = I_i (R_s + R_i)$$

میں ڈالتے ہیں

$$\frac{V_s}{1 + WA_G} = I_i (R_s + R_i)$$

جس سے حاصل ہوتا ہے

$$(7.55) \quad R'_{if} = \frac{V_s}{I_i} = (R_s + R_i) (1 + WA_G) \\ = R'_i (1 + WA_G)$$

اس مساوات کے مطابق واپسی اشارے کے موجودگی میں کل داخلي مزاحمت R'_{if} کی قيمت واپسی اشارے کے عدم موجودگی میں کل داخلي مزاحمت R_i کے M گناہے۔ مساوات 7.55 میں $R_s = 0$ پر کرتے ہوئے

$$(7.56) \quad R_{if} = R_i (1 + WA_G)$$

حاصل ہوتا ہے جہاں داخلي مزاحمت R_{if} لکھ کر اس بات کی وضاحت کی گئی ہے کہ اس میں $R_s = 0$ لیا گیا ہے۔

7.5.4 واپسی مزاحمت نما ایمپلیفیائر کا داخلي مزاحمت

شکل 7.5 میں واپسی اشارہ V_f کی شولیت اور

$$(7.57) \quad A'_r = A_r \left(\frac{R_s}{R_s + R_i} \right)$$

تصور کرتے ہوئے یہاں شکل 7.14 میں دوبارہ دکھایا گیا ہے۔ مزید یہ کہ یہاں R_s کو ایمپلیفائر کا حصہ تصور کیا گیا ہے۔ اس شکل کے لئے ہم لکھ سکتے ہیں

$$\begin{aligned} V_o &= A'_r I'_i \left(\frac{R_L}{R_o + R_L} \right) \\ &= A_r I'_i \left(\frac{R_s}{R_s + R_i} \right) \left(\frac{R_L}{R_o + R_L} \right) \\ \frac{V_o}{I'_i} &= A_r \left(\frac{R_s}{R_s + R_i} \right) \left(\frac{R_L}{R_o + R_L} \right) \end{aligned}$$

جہاں دوسرے قدم پر مساوات کیا گیا ہے۔ مساوات 7.23 کے ساتھ موازنہ کرتے ہوئے مندرجہ بالا مساوات سے حاصل ہوتا ہے۔

$$(7.58) \quad \frac{V_o}{I'_i} = A_R$$

وapsی اشارے کے عدم موجودگی میں $I'_i = I_s$ ہوتا ہے لہذا داخلی مزاحمت R'_i یوں حاصل ہوتا ہے

$$\begin{aligned} (7.59) \quad V_i &= I'_i \left(\frac{R_s R_i}{R_s + R_i} \right) \\ &= I_s \left(\frac{R_s R_i}{R_s + R_i} \right) \\ R'_i &= \frac{V_i}{I_s} = \left(\frac{R_s R_i}{R_s + R_i} \right) \end{aligned}$$

وapsی اشارے کے موجودگی میں

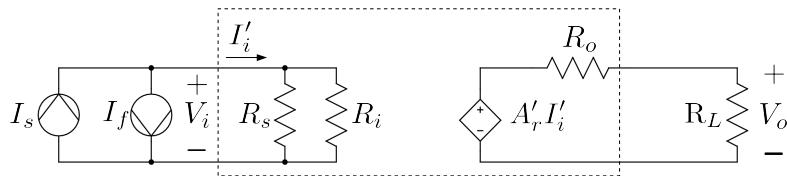
$$\begin{aligned} I'_i &= I_s - I_f \\ &= I_s - WV_o \\ &= I_s - WA_R I'_i \\ I'_i &= \frac{I_s}{1 + WA_R} \end{aligned}$$

اس مساوات کو

$$V_i = I'_i \left(\frac{R_s R_i}{R_s + R_i} \right)$$

میں استعمال کرتے حاصل ہوتا ہے

$$V_i = \left(\frac{I_s}{1 + WA_R} \right) \left(\frac{R_s R_i}{R_s + R_i} \right)$$



شکل 7.14: واپسی مزاحمت نما ایمپلیفائر کی داخلی مزاحمت

جس سے واپسی اشارے کے موجودگی میں کل داخلی مزاحمت R'_{if} یوں حاصل ہوتا ہے۔

$$(7.60) \quad R'_{if} = \frac{V_i}{I_s} = \left(\frac{1}{1 + WA_R} \right) \left(\frac{R_s R_i}{R_s + R_i} \right) = \frac{R'_i}{1 + WA_R}$$

اس مساوات کے تحت واپسی اشارے کے موجودگی میں کل داخلی مزاحمت R'_{if} کی قیمت واپسی اشارے کے عدم موجودگی میں کل داخلی مزاحمت R'_i سے M گناہم ہوتا ہے۔
مساوات 7.60 میں $R_s = 0$ پر کرتے ہوئے

$$(7.61) \quad R_{if} = \frac{R_i}{1 + WA_R}$$

حاصل ہوتا ہے جہاں داخلی مزاحمت کو R_{if} لکھ کر اس بات کی وضاحت کی گئی ہے کہ اس میں $R_s = 0$ لیا گیا ہے۔

7.6 خارجی مزاحمت

اس حصے میں خارجی مزاحمت پر واپسی اشارے کے اثر کو دیکھا جائے گا۔

7.6.1 واپسی برقی دباؤ ایمپلیفائر کا خارجی مزاحمت

شکل 7.11 میں R_L کو منقطع کرتے ہوئے، $V_s = 0$ رکھ¹⁴ کر خارجی جانب برقی دباؤ V_t لاگ کرتے ہیں۔ V_t اور I_t کی شرح اس ایمپلیفائر کا خارجی مزاحمت R_{of} ہو گا۔ شکل 7.15 میں ایسا دکھایا گیا ہے۔

¹⁴ برقی دباؤ کو صفر کرنے کی خاطر اسی قصر دور کیا جانا یہے

جہاں سے ہم لکھ سکتے ہیں

$$\begin{aligned} I_t &= \frac{V_t - A'_v V'_i}{R_o} \\ &= \frac{V_t + A'_v V_f}{R_o} \\ &= \frac{V_t + A'_v W V_t}{R_o} \end{aligned}$$

اور یوں واپسی اشارے کے موجودگی میں خارجی مزاحمت یوں حاصل ہوتا ہے

$$(7.62) \quad R_{of} = \frac{V_t}{I_t} = \frac{R_o}{1 + WA'_v}$$

اگر R_L کو بھی شامل کیا جائے تب چونکہ R_{of} اور R_L متوازی جڑیں ہیں لہذا اس صورت کل خارجی مزاحمت R_{of}' یوں حاصل ہو گئی

$$\begin{aligned} R_{of}' &= \frac{R_{of} R_L}{R_{of} + R_L} = \frac{\left(\frac{R_o}{1+WA'_v}\right) R_L}{\left(\frac{R_o}{1+WA'_v}\right) + R_L} \\ &= \frac{\frac{R_o R_L}{1+WA'_v}}{\frac{R_o + R_L(1+WA'_v)}{1+WA'_v}} = \frac{R_o R_L}{R_o + R_L(1+WA'_v)} \\ &= \frac{R_o R_L}{R_o + R_L + WA'_v R_L} = \frac{R_o R_L}{(R_o + R_L)\left(1 + \frac{WA'_v R_L}{R_o + R_L}\right)} \\ &= \frac{\frac{R_o R_L}{R_o + R_L}}{1 + \frac{WA'_v R_L}{R_o + R_L}} \end{aligned}$$

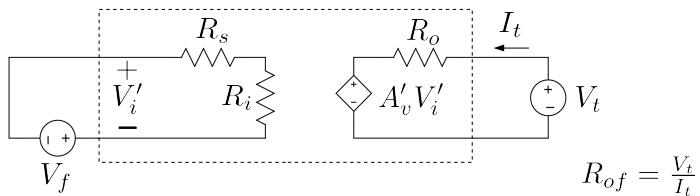
$A_V \frac{A'_v R_L}{R_o + R_L}$ اور R_L کا مساوی متوازی مزاحمت ہے جس سے لکھتے ہوئے اور $\frac{R_o R_L}{R_o + R_L}$ لکھتے ہوئے مندرجہ بالا مساوات سے حاصل ہوتا ہے

$$(7.63) \quad R_{of}' = \frac{R'_o}{1 + WA_V}$$

مزید لا محدود بار مزاحمت یعنی $\infty \rightarrow \infty$ پر

$$(7.64) \quad R'_{of} \Big|_{R_L \rightarrow \infty} = \frac{R_{of} R_L}{R_{of} + R_L} \Big|_{R_L \rightarrow \infty} = R_{of}$$

ہی حاصل ہوتا ہے



شکل 7.15: واپسی برقی دباؤ ایمپلیفائر کا خارجی مزاحمت

7.6.2 واپسی برقی رو ایمپلیفائر کا خارجی مزاحمت

شکل 7.12 میں R_L کو منقطع کرتے ہوئے، $I_s = 0$ رکھ¹⁵ کر خارجی جانب برقی دباؤ V_t لاگو کرتے ہیں۔ V_t - اور I_t کی شرح اس ایمپلیفائر کا خارجی مزاحمت R_{of} ہو گا۔ شکل 7.16 میں ایسا دکھایا گیا ہے جہاں سے ہم لکھ سکتے ہیں

$$\begin{aligned} V_t &= (I_t + A'_i I'_i) R_o \\ &= (I_t - A'_i I_f) R_o \\ &= (I_t - A'_i W I_o) R_o \end{aligned}$$

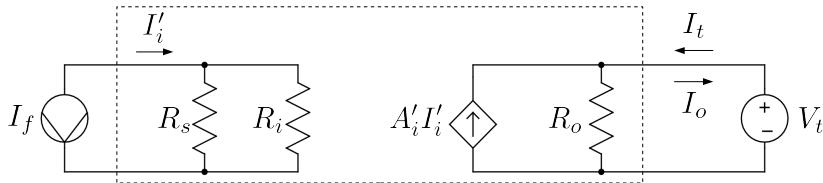
جیسا شکل میں دکھایا گیا ہے $I_t = -I_o$ لہذا مندرجہ بالا مساوات کو یوں لکھ سکتے ہیں

$$V_t = (I_t + A'_i W I_t) R_o$$

جس سے یوں حاصل ہوتا ہے

$$(7.65) \quad R_{of} = \frac{V_t}{I_t} = R_o (1 + W A'_i)$$

¹⁵ برقی رو کو صفر کرنے کی خاطر اسے کھلی دور کیا جانا ہے



شكل 7.16: واپسی برقی رو ایمپلیفائز کا خارجی مزاحمت

بار مزاحمت R_L مزاحمت R_{of} کے متوازی جزا ہے لہذا اس کے شمولیت سے کل خارجی مزاحمت R'_{of} یوں حاصل کرتے ہیں۔

$$\begin{aligned}
 R'_{of} &= \frac{R_{of}R_L}{R_{of} + R_L} = \frac{R_o(1 + WA'_i)R_L}{R_o(1 + WA'_i) + R_L} \\
 &= \frac{(1 + WA'_i)R_oR_L}{R_o + WA'_iR_o + R_L} = \frac{(1 + WA'_i)R_oR_L}{R_o + R_L + WA'_iR_o} \\
 &= \frac{(1 + WA'_i)R_oR_L}{(R_o + R_L) + WA'_iR_o} = \frac{(1 + WA'_i)R_oR_L}{(R_o + R_L)\left(1 + \frac{WA'_iR_o}{R_o + R_L}\right)} \\
 &= \left(\frac{R_oR_L}{R_o + R_L}\right) \frac{(1 + WA'_i)}{\left(1 + W\frac{A'_iR_o}{R_o + R_L}\right)}
 \end{aligned}$$

اور R_L متوازی جوڑنے سے $\frac{A'_iR_o}{R_o + R_L}$ حاصل ہوگا۔ اس کو R'_o اور A_I کو لکھتے ہوئے حاصل ہوتا ہے

$$(7.66) \quad R'_{of} = R'_o \frac{(1 + WA'_i)}{(1 + WA_I)}$$

7.6.3 واپسی موصل نما ایمپلیفائز کا خارجی مزاحمت

شكل 7.13 میں R_L کو منقطع کرتے ہوئے، $V_s = 0$ رکھ¹⁶ کر خارجی جانب برق دباؤ V_t لاگو کرتے ہیں۔ V_t اور I_t کی شرح اس ایمپلیفائز کا خارجی مزاحمت R_{of} ہوگا۔ شکل 7.17 میں ایسا دکھایا گیا ہے

¹⁶ برقی دباؤ کو صفر کرنے کی خاطر اسے قصر دور کیا جاتا ہے

جهان سے ہم لکھ سکتے ہیں

$$\begin{aligned} V_t &= \left(I_t + A'_g V'_i \right) R_o \\ &= \left(I_t + A'_g V_f \right) R_o \\ &= \left(I_t - A'_g W I_o \right) R_o \\ &= \left(I_t + A'_g W I_t \right) R_o \end{aligned}$$

جهان دوسرے قدم پر $V'_i = -V_f$ اور چوتھے قدم پر $I_o = -I_t$ کا استعمال کیا گیا ہے۔ یوں کل خارجی مزاحمت R_{of} کی قیمت یوں حاصل ہوتی ہے۔

$$(7.67) \quad R_{of} = \frac{V_t}{I_t} = R_o \left(1 + WA'_g \right)$$

اگر R_L کو بھی شامل کیا جائے تب کل خارجی مزاحمت کو R'_{of} لکھتے ہوئے

$$\begin{aligned} R'_{of} &= \frac{R_{of} R_L}{R_{of} + R_L} = \frac{R_o R_L \left(1 + WA'_g \right)}{R_o \left(1 + WA'_g \right) + R_L} \\ &= \frac{R_o R_L \left(1 + WA'_g \right)}{R_o + R_o WA'_g + R_L} = \frac{R_o R_L \left(1 + WA'_g \right)}{\left(R_o + R_L \right) \left(1 + \frac{R_o WA'_g}{R_o + R_L} \right)} \\ &= \left(\frac{R_o R_L}{R_o + R_L} \right) \left(\frac{1 + WA'_g}{1 + \frac{R_o A'_g W}{R_o + R_L}} \right) \end{aligned}$$

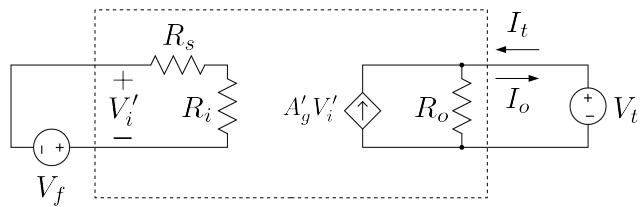
اس مساوات میں $\frac{R_o A'_g}{R_o + R_L}$ کو R'_o لکھتے ہوئے اور A_G کو $\frac{R_o R_L}{R_o + R_L}$ لکھتے ہوئے حاصل ہوتا ہے

$$(7.68) \quad R'_{of} = R'_o \left(\frac{1 + WA'_g}{1 + WA_G} \right)$$

7.6.4 واپسی مزاحمت نما ایمپلیفائر کا خارجی مزاحمت

شکل 7.14 میں R_L کو منقطع کرتے ہوئے، $I_s = 0$ رکھ¹⁷ کر خارجی جانب برق دباؤ V_t لاگو کرنے سے ہیں۔ I_t اور V_t کی شرح اس ایمپلیفائر کا خارجی مزاحمت R_{of} ہو گا۔ شکل 7.18 میں ایسا دکھایا گیا ہے

¹⁷ برقی روکو صفر کرنے کی خاطر اسے کھلیے دور کیا جانا ہے



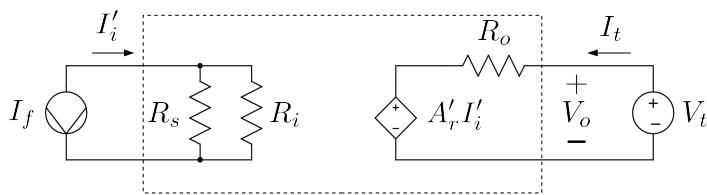
شکل 7.17: واپسی موصل نما ایمپلیفائر کا خارجی مزاحمت

جهان سے بھم لکھ سکتے ہیں

$$\begin{aligned} I_t &= \frac{V_t - A'_r I'_i}{R_o} \\ &= \frac{V_t + A'_r I_f}{R_o} \\ &= \frac{V_t + A'_r W V_o}{R_o} \\ &= \frac{V_t + A'_r W V_t}{R_o} \end{aligned}$$

جهان دوسرے قدم پر $I'_i = -I_f$ کا استعمال اور چوتھے قدم پر $V_o = V_t$ کا استعمال کیا گیا ہے۔ یون کل خارجی مزاحمت R_{of} کو یون حاصل کیا جا سکتا ہے۔

$$(7.69) \quad R_{of} = \frac{V_t}{I_t} = \frac{R_o}{1 + WA'_r}$$



شکل 7.18: واپسی مزاحمت نما ایمپلیفیائر کا خارجی مزاحمت

اگر R_L کو بھی شامل کیا جائے تب کل خارجی مزاحمت R'_o کو یوں حاصل کیا جائے گا۔

$$\begin{aligned}
 R'_{of} &= \frac{R_{of}R_L}{R_{of} + R_L} = \frac{\left(\frac{R_oR_L}{1+WA'_r}\right)}{\left(\frac{R_o}{1+WA'_r} + R_L\right)} \\
 &= \frac{\left(\frac{R_oR_L}{1+WA'_r}\right)}{\left(\frac{R_o + R_L(1+WA'_r)}{1+WA'_r}\right)} = \frac{R_oR_L}{R_o + R_L(1+WA'_r)} \\
 &= \frac{R_oR_L}{R_o + R_L + WA'_rR_L} = \frac{R_oR_L}{(R_o + R_L)\left(1 + \frac{WA'_rR_L}{R_o + R_L}\right)} \\
 &= \left(\frac{R_oR_L}{R_o + R_L}\right) \left(\frac{1}{1 + \frac{WA'_rR_L}{R_o + R_L}}\right)
 \end{aligned}$$

اس مساوات میں $\frac{A'_rR_L}{R_o + R_L}$ کو R'_o لکھتے ہوئے اور A_R کو $\frac{R_oR_L}{R_o + R_L}$ کو پیش کیا گیا ہے۔

$$(7.70) \quad R'_{of} = \frac{R'_o}{1 + WA_R}$$

جدول 7.2 میں ان نتائج کو پیش کیا گیا ہے۔

برق دباؤ ایمپلیفیائر کا داخلی مزاحمت زیادہ سے زیادہ جبکہ اس کا خارجی مزاحمت کم سے کم درکار ہوتا ہے۔ اس جدول سے آپ دیکھ سکتے ہیں کہ واپسی اشارے کی شمولیت سے برق دباؤ ایمپلیفیائر کا داخلی مزاحمت بڑھتا ہے جبکہ اس کا خارجی مزاحمت گھشتا ہے۔ جہاں ایمپلیفیائر کا داخلی اشارہ برق دباؤ ہو ویاں زیادہ سے زیادہ داخلی مزاحمت درکار ہوتا ہے جبکہ اس کے برعکس جہاں داخلی اشارہ برق رو ہو ویاں کم سے کم داخلی مزاحمت درکار ہوتا ہے۔ اسی طرح جہاں خارجی اشارہ برق دباؤ کا ہو ویاں کم سے کم خارجی مزاحمت درکار ہوتا ہے جبکہ خارجی اشارہ برق رو ہونے کی صورت میں زیادہ سے زیادہ خارجی مزاحمت درکار ہوتا ہے۔ جدول سے آپ دیکھ سکتے ہیں کہ تمام صورتوں میں واپسی اشارے کی

جدول 7.2: واپسی ایمپلیفائر کے داخلی اور خارجی مراحمت

ایمپلیفائر کی قسم	داخلی مراحمت	خارجی مراحمت
برقی دباؤ	$R'_{if} = R'_i (1 + WA_V)$	$R_{of} = \frac{R_o}{1 + WA'_v}$
برقی رو	$R'_{if} = \frac{R'_i}{1 + WA_I}$	$R_{of} = R_o (1 + WA'_i)$
موصل نما	$R'_{if} = R'_i (1 + WA_G)$	$R_{of} = R_o (1 + WA'_g)$
مراحمت نما	$R'_{if} = \frac{R'_i}{1 + WA_R}$	$R_{of} = \frac{R_o}{1 + WA'_r}$

شمولیت سے داخلی اور خارجی مراحمت بہتر ہوتی ہے۔ سوال 7.3 تا سوال 7.6 انہی حقائق کو اجاگر کرتے ہیں۔ ان سوالات میں آپ یہ بھی دیکھیں گے کہ $WA \gg 1$ کی صورت میں $A_f \approx \frac{1}{W}$ لیا جا سکتا ہے۔

7.7 واپسی ایمپلیفائر کے جماعت بندی کی مثالیں

کسی بھی واپسی ایمپلیفائر کے جماعت بندی اس کے داخلی جانب مساوات 7.30 کے طرز کے مساوات سے کی جاتی ہے۔ ایسے مساوات میں X_0 اور X_s سے جدول 7.1 کے تحت ایمپلیفائر کی جماعت اخذ کی جاتی ہے اور اگر دیا گیا ایمپلیفائر مساوات 7.34 پر پورا اترتا ہو تو W استعمال کرتے ہوئے مساوات 7.35 سے اس کی افزائش لکھی جا سکتی ہے۔ واپسی ایمپلیفائر عموماً مساوات 7.34 پر پورا اترتے ہیں۔ اس حصے میں مساوات 7.30 کے طرز کی مساوات کا حصول دکھایا جائے گا۔ ایسا کرتے ہوئے تصور کیا جائے گا کہ ایمپلیفائر مساوات 7.34 پر پورا اترتا ہے لہذا افزائش کے لئے مساوات 7.35 استعمال کیا جائے گا۔

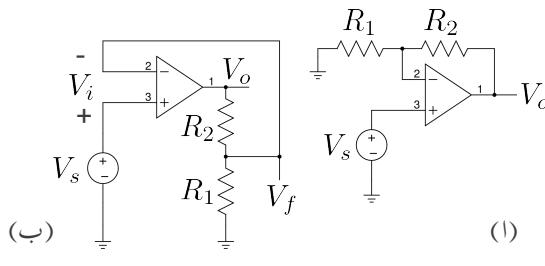
حسابی ایمپلیفائر کی افزائش نہایت زیادہ ہوتی ہے۔ یوں اس پر مبنی واپسی دور مساوات 7.34 پر پورا اترتا ہے اور اس کی داخلی مساوات ہو ہو مساوات 7.30 کی طرح ہوتا ہے۔ یوں حسابی ایمپلیفائر استعمال کرتے ہوئے کامل واپسی ادوار بنائے جاتے ہیں۔

ٹرانزسٹر ایمپلیفائر کی افزائش عموماً بہت زیادہ نہیں ہوتی۔ یوں ٹرانزسٹر دور مساوات 7.34 پر پوری طرح پورا نہیں اترتا۔ اس کا داخلی مساوات اگرچہ مساوات 7.30 کی طرح ہوتا ہے مگر اس میں کئی غیر ضروری جزو بھی پائے جاتے ہیں۔ ان غیر ضروری اجزاء کی قیمت جتنی کم ہو اتنا بہتر واپسی ایمپلیفائر بتتا ہے۔

7.7.1 واپسی برقی دباؤ ایمپلیفائر

مثبت حسابی ایمپلیفائر کو شکل 7.19 الف میں دکھایا گیا ہے۔ شکل ب میں اسی کو قدر مختلف طرز پر دوبارہ بنایا گیا ہے جہاں اس میں واپسی اشارے کی پہچان آسانی سے ممکن ہے۔ شکل ب میں داخلی جانب

$$\begin{aligned}V_i &= V_s - V_f \\V_f &= \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2} \right) V_o \\&= WV_o \\W &= \frac{R_1}{R_1 + R_2} \\AV &= \frac{1}{W} \\&= 1 + \frac{R_2}{R_1}\end{aligned}$$



شکل 7.19: مثبت حسابی ایمپلیفیٹر ایک واپسی برقی دباؤ ایمپلیفیٹر ہے

کرچاف کے قانون برائے برقی دباؤ سے

(7.71) $V_i = V_s - V_f$

لکھا جا سکتا ہے جہاں

(7.72) $V_f = \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2} \right) V_o = WV_o$

ہے۔ یوں

(7.73) $W = \frac{R_1}{R_1 + R_2}$

حاصل ہوتا ہے۔

مساوات 7.72 سے صاف ظاہر ہے کہ واپسی اشارہ برقی دباؤ کی صورت میں پایا جاتا ہے اور اس کو خارجی برقی دباؤ سے حاصل کیا گیا ہے۔ اسی طرح مساوات 7.71 سے ظاہر ہے کہ داخلی جانب دو برقی دباؤ کے اشارات کو ایک دونوں سے منفی کیا جا رہے ہیں۔ یوں ہم کہہ سکتے ہیں کہ مثبت حسابی ایمپلیفیٹر واپسی برقی دباؤ ایمپلیفیٹر کی قسم ہے۔ مزید یہ کہ مساوات 7.72 سے صاف ظاہر ہے کہ R_1 اور R_2 مل کر واپس کار کا کردار ادا کرتے ہیں۔ اس حصے میں اپنی پوری توجہ واپس کار پہچانتے پر رکھئیں۔

حسابی ایمپلیفیٹر کی افراش A_{vf} نہایت زیادہ ہوئی ہے لہذا مثبت ایمپلیفیٹر مساوات 7.34 پر پورا اترتا ہے اور یوں مساوات 7.35 کے تحت

(7.74) $A_{vf} \approx \frac{1}{W} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$

حاصل ہوتا ہے جو کہ ہم جانتے ہیں کہ درست جواب ہے۔

حسابی ایمپلیفیٹر کا ایک منفی داخلی سوا جبکہ دوسرا مثبت داخلی سوا ہے۔ اس حصے میں واپسی ایمپلیفیٹر میں داخلی اشارہ V_i کو مثبت داخلی سرے پر مہیا کیا گیا جبکہ واپسی اشارہ V_f کو منفی داخلی

سرے پر مہیا کیا گیا۔ جب بھی داخلی اور واپسی اشارات کو دو مختلف داخلی سروں پر مہیا کیا جائے، انہیں سلسلہ وار جزا تصور کریں۔ چونکہ صرف برق دباؤ کے اشارات کو بھی سلسلہ وار جوڑا جا سکتا ہے لہذا ایسی صورت میں داخلی اور واپسی اشارات کو برق دباؤ اشارات تصور کریں۔ مزید داخلی اشارے کو ٹکونن شکل دین اور واپسی اشارے کی مساوات کو برق دباؤ (یعنی V_f) کی صورت میں حاصل کریں۔ V_f کے مساوات سے یہ بتلاتا ممکن ہو گا کہ آیا I_0 یا I_f سے واپسی اشارہ حاصل کیا گیا ہے۔ ان معلومات سے ایپلیفائر کی جماعت دریافت ہوتی ہے۔

7.7.2 واپسی مزاحمت نما ایپلیفائر

شکل 7.20 الف میں منفی حسابی ایپلیفائر دکھایا گیا ہے۔ شکل ب میں داخلی اشارے کا نارٹن مساوی دور استعمال کیا گیا ہے۔ یوں

$$(7.75) \quad I_s = \frac{V_s}{R_1}$$

بوگا۔ شکل پ کے داخلی جانب کرچاف کے قانون برائے برق رو کی مدد سے مساوات 7.29 کے طرز پر

$$(7.76) \quad I_i = I_s - I_f$$

لکھا جا سکتا ہے جہاں قانون اہم کی مدد سے

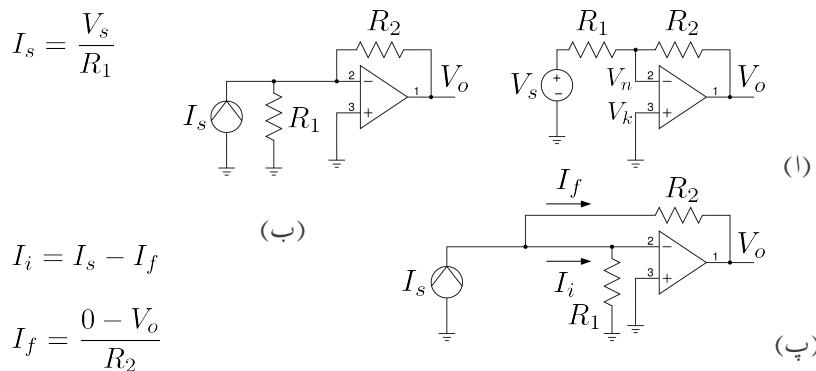
$$(7.77) \quad I_f = \frac{V_n - V_o}{R_2} = \frac{0 - V_o}{R_2} = WV_o$$

حاصل ہوتا ہے۔ مندرجہ بالا مساوات لکھتے ہوئے یاد رہے کہ حسابی ایپلیفائر کے منفی اور مثبت داخلی سروں پر برابر برق دباؤ رہتا ہے۔ چونکہ یہاں مثبت داخلی سرا برق زمین پر ہے لہذا $V_k = 0$ ہو گا اور اس طرح $V_n = 0$ حاصل ہوتا ہے۔ مساوات 7.77 سے ظاہر ہے کہ واپسی اشارہ برق رو کی صورت میں ہے اور اس کو خارجی برق دباؤ سے حاصل کیا گیا ہے۔ مساوات 7.76 سے ظاہر ہے کہ داخلی جانب دو برق رو کے اشارات کو ایک دونوں سے منفی کیا جا رہے ہے۔ یوں ان دو مساوات کو دیکھتے ہوئے ہم کہہ سکتے ہیں کہ منفی حسابی ایپلیفائر دراصل واپسی مزاحمت نما ایپلیفائر کی قسم ہے۔ مندرجہ بالا مساوات سے

$$(7.78) \quad W = -\frac{1}{R_2}$$

حاصل ہوتا ہے۔ آپ دیکھ سکتے ہیں کہ R_2 ہی واپس کار ہے۔ حسابی ایپلیفائر کی افزائش نہایت زیادہ ہوتی ہے لہذا منفی ایپلیفائر مساوات 7.34 پر پورا اترتا ہے اور یوں مساوات 7.35 کے تحت

$$(7.79) \quad A_{rf} = \frac{V_o}{I_s} \approx \frac{1}{W} = -R_2$$



شکل 7.20: منفی حسابی ایمپلیفیٹر ایک واپسی مراحمت نما ایمپلیفیٹر ہے

حاصل ہوتا ہے۔ مساوات 7.75 کی مدد سے اس مساوات کو یوں لکھا جا سکتا ہے

$$(7.80) \quad \frac{V_o}{\left(\frac{V_s}{R_1}\right)} = -R_2$$

$$(7.81) \quad \frac{V_o}{V_s} = -\frac{R_2}{R_1}$$

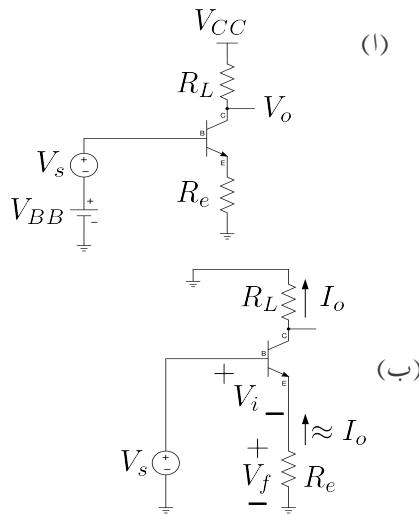
جو کہ منفی حسابی ایمپلیفیٹر کی جانی ہوچانی مساوات ہے۔

اس حصے میں واپسی مراحمت نما ایمپلیفیٹر میں داخلی اشارے کو منفی داخلی سرے پر مہیا کیا گیا۔ اسی طرح واپسی اشارے کو بھی منفی داخلی سرے پر بھی مہیا کیا گیا۔ جب بھی داخلی اور واپسی اشارات کو ایک ہی داخلی سرے پر مہیا کیا جائے، انہیں متوازی جڑا تصور کریں۔ چونکہ صرف برق روکے اشارات کو ہی متوازی جوڑا جا سکتا ہے لہذا ایسی صورت میں داخلی اور واپسی اشارات کو برق رو اشارات تصور کریں۔ مزید داخلی اشارے کو نارٹن شکل دین اور واپسی اشارے کی مساوات کو برق رو (یعنی I_o) کی صورت میں حاصل کریں۔ I_o کے مساوات سے یہ بتلانا ممکن ہو گا کہ آیا خارجی برق دباو یا خارجی برق رو سے واپسی اشارہ حاصل کیا گیا ہے۔ ان معلومات سے ایمپلیفیٹر کی جماعت دریافت ہوتی ہے۔

7.7.3 واپسی موصل نما ایمپلیفیٹر

شکل 7.21 الف میں ٹرانزسٹر کا دور دکھایا گیا ہے جس میں بار R_L ٹرانزسٹر کے کلکٹر پر لگایا گیا ہے۔ شکل ب میں باریک اشاراتی تجزیے کی غرض سے $V_{CC} = 0$ اور $V_{BB} = 0$ لئے گئے ہیں۔ مزید ٹرانزسٹر کے کو V_i کو V_{be} لکھتے ہوئے

$$\begin{aligned}V_i &= V_s - V_f \\V_f &= -I_o R_e \\W &= -R_e \\A_{gf} &\approx \frac{1}{W} = -\frac{1}{R_e}\end{aligned}$$



شكل 7.21: ٹرانزستر کا واپسی موصل نما ایمپلیفیائر

$$\begin{aligned}V_i &= V_s - V_f \\&= V_s - (-I_o R_e) \\&= V_s - W I_o\end{aligned}$$

لکھا جا سکتا ہے۔ اس کا $(X_i = X_s - W X_o)$ کے ساتھ موازنہ کرنے سے
 $W = -R_e$

حاصل ہوتا ہے۔ مندرجہ بالا دو مساوات کو دیکھتے ہوئے ہم کہہ سکتے ہیں کہ یہ واپسی موصل نما ایمپلیفیائر ہے اور یون

$$(7.83) \quad A_{gf} = \frac{I_o}{V_s} \approx \frac{1}{W} = -\frac{1}{R_e}$$

حاصل ہوتا ہے۔

حصہ 7.3.2 میں چند بنیادی مفروضے بیان کئے گئے جس کے پہلی شق کے مطابق W کے قیمت پر بار R_L کا کوئی اثر نہیں ہو سکتا۔ یون W کی قیمت یا اس کی مساوات حاصل کرتے وقت یہ خیال رہے کہ اس پر بار کے مزاحمت R_L کا کسی قسم کا کوئی اثر نہیں ہونا چاہئے۔ اگر $I_0 = \frac{V_o}{R_L}$ لکھا جائے تو $V_f = -\frac{R_e}{R_L} V_o = -W$ حاصل ہو گا۔ حاصل W کی قیمت R_L پر منحصر ہے جو قابل قبول نہیں۔ اسی لئے اس کو غلط جواب تصور کرتے ہوئے رد کیا جاتا ہے۔

حاصل کردہ A_{gf} کے استعمال سے $A_{vf} = I_0 R_L = \frac{V_o}{V_s} = \frac{I_o R_L}{V_s}$ یعنی V_o حاصل کرتے ہیں۔ چونکہ V_o ہے لہذا

$$(7.84) \quad A_{vf} = \frac{V_o}{V_s} = \frac{I_o R_L}{V_s} = \left(\frac{I_o}{V_s} \right) R_L = A_{gf} R_L = -\frac{R_L}{R_e}$$

حاصل ہوتا ہے۔

اس مساوات کے مطابق $\frac{V_o}{V_s}$ کی قیمت R_L سے منسلک ہے۔ اس لئے اگرچہ اسے برقی دباؤ کا حیطہ

بڑھانے کی خاطر استعمال کیا جا سکتا ہے مگر یہ برگز برقی دباؤ ایمپلیفائر نہیں ہے اور جب ہی بار R_L تبدیل کی جائے اس ایمپلیفائر کی $\frac{V_o}{V_s}$ کی شرح تبدیل ہو جائے گی۔ اس کے برعکس مساوات 7.83 کے تحت

$\frac{I_o}{V_s}$ کے قیمت پر R_L کا کوئی اثر نہیں لہذا اس ایمپلیفائر کو واپسی موصل نہ ایمپلیفائر تصور کیا جائے گا۔

شکل پ میں R_s بھی شامل کیا گیا ہے۔ یہاں R_s کو ایمپلیفائر کا اندرونی حصہ تصور کرتے ہوئے

$V_i = V_s - V_f$ لکھا جا سکتا ہے۔ یوں مندرجہ بالا تمام تبصرہ اس شکل کے لئے بھی درست ہے۔

ٹرانزسٹر کے B اور E کو دو علیحدہ داخلی سرے تصور کیا جا سکتا ہے¹⁸۔ یوں اس حصے میں واپسی

موصل نہ ایمپلیفائر میں داخلی اشارے کو B پر مہیا کیا گیا جبکہ واپسی اشارے کو E پر مہیا کیا گیا۔ جب

بھی داخلی اور واپسی اشارات کو دو مختلف داخلی سروں پر مہیا کیا جائے، انہیں سلسہ وار جڑا تصور

کریں۔ چونکہ صرف برقی دباؤ اشارات ہی سلسہ وار جوڑے جا سکتے ہیں لہذا ایسی صورت میں داخلی

اور واپسی اشارات کو برقی دباؤ اشارات تصور کریں۔ مزید داخلی اشارے کو ہوئن شکل دیں جبکہ واپسی

اشارے کی مساوات کو برقی دباؤ (یعنی V_f) کی صورت میں حاصل کریں۔

واپسی اشارے کی مساوات سے یہ بتلانا ممکن ہو گا کہ آیا I_0 یا V_o سے واپسی اشارہ حاصل کیا گیا ہے۔ ان معلومات سے ایمپلیفائر کی جماعت دریافت ہوتی ہے۔ اس صورت میں B اور E کے مابین برقی دباؤ کو V_i لکھا جائے گا۔

7.7.4 واپسی برقی رو ایمپلیفائر

شکل 7.22 الف میں ٹرانزسٹر کا دور دکھایا گیا ہے جس میں بار R_L ٹرانزسٹر Q_2 کے کلکٹر پر لگایا گیا

ہے۔ شکل ب میں باریک اشاراتی تجزیے کی غرض سے کپیسٹر کو قصر دور اور $V_{CC} = V_{BB} = 0$ لیا گیا ہے۔

مزید داخلی اشارے کا نارٹن مساوی دور استعمال کیا گیا ہے اور R_s کو ایمپلیفائر کا حصہ تصور کیا گیا ہے۔ یوں کرچاف کے قانون براۓ برقی رو کی مدد سے ہم لکھ سکتے ہیں۔

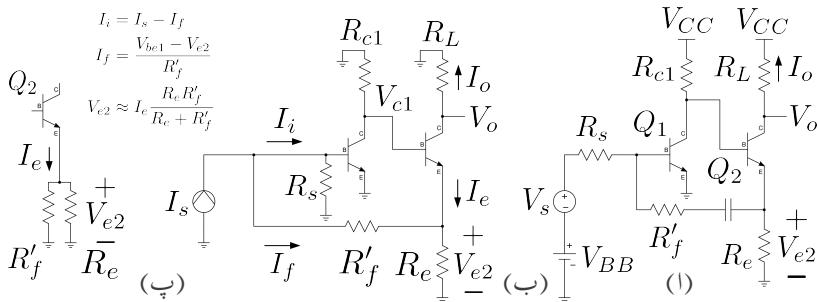
$$I_i = I_s - I_f$$

جهان

$$I_f = \frac{V_{be1} - V_{e2}}{R'_f}$$

کے برابر ہے۔ کامل واپسی ادوار میں واپسی اشارے کی مساوات $X_f = WX_0$ ہوتی ہے۔ ٹرانزسٹر واپسی ادوار کامل ادوار نہیں ہوتے۔ مندرجہ بالا مساوات میں $\frac{V_{be1}}{R'_f}$ کا واپسی اشارہ پیدا کرنے میں کوئی کردار نہیں

¹⁸ ایسا کرتے ہوئے B کو منفی جیکے E کو مثبت داخلی سرا تصور کریں



شکل 7.22: ٹرانزسٹر کا واپسی برقی رو ایمپلیفیائر

چونکہ V_{be1} داخلی جانب کا متغیر ہے ناکہ خارجی جانب کا۔ یوں مندرجہ بالا مساوات میں $\frac{V_{be1}}{R'_f}$ غیر ضروری جزو ہے۔ یہ جزو اس لئے پایا گیا ہے کہ ٹرانزسٹر ادوار کامل واپسی ادوار نہیں ہوتے۔ اس غیر ضروری جزو کو نظر انداز کرتے ہوئے

$$I_f \approx -\frac{V_{e2}}{R'_f}$$

حاصل ہوتا ہے۔ اسی طرح جیسے شکل پ میں دکھایا گیا ہے، V_{be1} کو نظر انداز کرتے ہوئے (یعنی $V_{be1} = 0$ لیتے ہوئے) اور R'_f اور R_e کو متوازن تصور کیا جا سکتا ہے اور یوں

$$\begin{aligned} V_{e2} &\approx I_e \left(\frac{R_e R'_f}{R_e + R'_f} \right) \\ &= -I_o \left(\frac{R_e R'_f}{R_e + R'_f} \right) \end{aligned}$$

حاصل ہوتا ہے جہاں $-I_o \approx I_e$ کے برابر لیا گیا ہے۔ اس طرح

$$I_f \approx -\frac{V_{e2}}{R'_f} = \left(\frac{R_e}{R_e + R'_f} \right) I_o$$

لکھا جا سکتا ہے جس سے

$$W = \frac{R_e}{R_e + R'_f}$$

حاصل ہوتا ہے۔
آپ دیکھ سکتے ہیں کہ یہ واپسی برق رو ایمپلیفائر ہے اور یوں

$$(7.85) \quad A_{if} \approx \frac{1}{W} = 1 + \frac{R'_f}{R_e}$$

لکھا جا سکتا ہے۔
اس ایمپلیفائر کا $\frac{V_o}{V_s}$ یوں حاصل کیا جا سکتا ہے۔

$$(7.86) \quad A_{vf} = \frac{V_o}{V_s} = \frac{I_o R_L}{I_s R_s} = \left(\frac{I_o}{I_s} \right) \left(\frac{R_L}{R_s} \right)$$

$$= A_{if} \left(\frac{R_L}{R_s} \right) = \left(1 + \frac{R'_f}{R_e} \right) \left(\frac{R_L}{R_s} \right)$$

اس حصے میں داخلی اور واپسی دونوں اشارات کو ٹرانزسٹر کے B پر مہیا کیا گیا۔ جب بھی ان دو اشارات کو ایک ہی داخلی سرے پر مہیا کیا جائے، انہیں متوازی جزا تصور کریں۔ چونکہ صرف برق رو اشارات ہی متوازی جوڑے جا سکتے ہیں لہذا ایسی صورت میں داخلی اور واپسی اشارات کو برق رو اشارات تصور کریں۔ مزید داخلی اشارے کو نارٹن شکل دین جبکہ واپسی اشارے کی مساوات کو برق رو (یعنی I_f) کی صورت میں حاصل کریں۔ واپسی اشارے کی مساوات سے یہ بتلانا ممکن ہو گا کہ آیا V_o یا I_o سے واپسی اشارہ حاصل کیا گیا ہے۔ ان معلومات سے ایمپلیفائر کی جماعت دریافت ہوئی ہے۔
جس داخلی سرے پر داخلی اشارہ جزا ہو اگر اسی نقطے پر مزاحمت (یا کپیسٹر وغیرہ) کا ایک سرا جزا ہو جبکہ اس مزاحمت (یا کپیسٹر) کا دوسرا سرا ایمپلیفائر کے خارجی جانب جزا ہو تو ایسی صورت میں داخلی اور واپسی اشارات متوازی جڑے ہوتے ہیں۔

7.7.5 واپسی مزاحمت نما ایمپلیفائر

شکل 7.23 الف میں ٹرانزسٹر کا دور دکھایا گیا ہے جس میں بار R_L ٹرانزسٹر کے E پر لگایا گیا ہے۔ شکل ب میں باریک اشاراتی تجزیے کی عرض سے کپیسٹر کو قصر دور کیا گیا ہے اور $V_{CC} = V_{BB} = 0$ لیا گیا ہے۔ مزید داخلی اشارے کا نارٹن مساوی دور استعمال کیا گیا ہے اور R_s کو ایمپلیفائر کا حصہ تصور کیا گیا ہے۔ یوں ہم لکھ سکتے ہیں

$$(7.87) \quad I_i = I_s - I_f$$

جہاں $I_s = \frac{V_s}{R_s}$ اور

$$I_f = \frac{V_{be} - V_o}{R_f}$$

$$= \frac{V_{be}}{R_f} - \frac{V_o}{R_f}$$

کے برابر ہے۔ اس مساوات میں $\frac{V_{be}}{R_f}$ کا واپسی اشارہ پیدا کرنے میں کوئی کردار نہیں البتہ $\frac{V_o}{R_f}$ - خارجی برق دباؤ پر منحصر واپسی اشارہ ہے یوں مساوات کے پہلے جزو کو نظر انداز کرتے ہوئے ہم لکھ سکتے ہیں

$$\begin{aligned} I_f &\approx -\frac{V_o}{R_f} \\ &= WV_o \\ W &= -\frac{1}{R_f} \end{aligned}$$

اور یوں مساوات 7.87 کو ہم لکھ سکتے ہیں

$$\begin{aligned} I_i &\approx I_s - \left(-\frac{V_o}{R_f} \right) \\ &= I_s - WV_o \end{aligned}$$

جس سے ہم کہہ سکتے ہیں کہ یہ مزاحمت نہ واپسی ایمپلیفائر ہے اور یوں

$$(7.88) \quad A_{rf} \approx \frac{1}{W} = -R_f$$

اسی ایمپلیفائر کا $\frac{V_o}{V_s}$ یعنی A_{vf} یوں حاصل کیا جا سکتا ہے۔

$$(7.89) \quad A_{vf} = \frac{V_o}{V_s} = \frac{V_o}{I_s R_s} = \left(\frac{V_o}{I_s} \right) \frac{1}{R_s} = \frac{A_{rf}}{R_s} = -\frac{R_f}{R_s}$$

اسی طرح $\frac{I_o}{I_s}$ یوں حاصل ہو گا

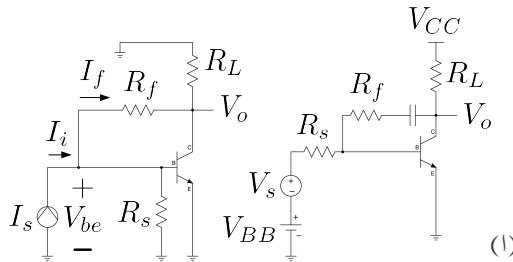
$$(7.90) \quad A_{if} = \frac{I_o}{I_s} = \frac{\frac{V_o}{R_L}}{I_s} = \left(\frac{V_o}{I_s} \right) \frac{1}{R_L} = \frac{A_{rf}}{R_L} = -\frac{R_f}{R_L}$$

اور $\frac{I_o}{V_s}$ کو یوں

$$(7.91) \quad A_{gf} = \frac{I_o}{V_s} = \frac{\frac{V_o}{R_L}}{I_s R_s} = \left(\frac{V_o}{I_s} \right) \frac{R_s}{R_L} = A_{rf} \frac{R_s}{R_L} = -\frac{R_f R_s}{R_L}$$

شکل 7.24 الف، ب اور پ میں شکل 7.23، شکل 7.22 اور شکل 7.21 دوبارہ دکھائی گئے ہیں۔ شکل الف پر غور کریں۔ اس میں خارجی دائیرے کی نشاندہی کی گئی ہے۔ خارجی جانب برق دباؤ V_o اور برق رو I_o کی بھی نشاندہی کی گئی ہے۔ ٹرانزسٹر کے C جہاد سے V_o یا (اور) I_o حاصل کیا گیا ہے کو خارجی نقطہ

$$\begin{aligned}
 I_i &= I_s - I_f \\
 I_f &= \frac{V_{be} - V_o}{R_f} \approx -\frac{V_o}{R_f} \\
 &= W V_o \\
 W &= \frac{1}{R_f} \\
 A_{rf} &= \frac{1}{W} = -R_f \quad (\text{ب})
 \end{aligned}$$



شکل 7.23: ٹرانزسٹر کا واپسی مزاحمت نما ایمپلیفائر

قرار دیا گیا ہے۔ بار R_L کو خارجی نقطے پر جوڑا جاتا ہے۔ اسی طرح واپسی نقطے کی بھی نشاندہی کی گئی ہے۔ یہ وہ نقطہ ہے جہاں سے واپس کار اشارہ حاصل کرتا ہے۔ یہاں R_f بطور واپس کار کردار ادا کر رہا ہے۔ اس شکل میں واپسی نقطہ اور خارجی نقطہ دونوں ایک ہی جوڑ پر پائے جاتے ہیں۔ ایسی صورت جہاں خارجی نقطہ اور واپسی نقطہ ایک ہی جوڑ پر پائے جائیں میں واپس کار خارجی برق دباو V_o سے واپسی اشارہ حاصل کرتا ہے۔

شکل 7.24 ب میں خارجی نقطہ اور واپسی نقطہ دو علیحدہ علیحدہ جوڑ پر پائے جاتے ہیں۔ یوں واپسی اشارے کو اس جوڑ سے حاصل نہیں کیا گیا جہاں سے V_o یا I_o حاصل کیا گیا ہے۔ البتہ واپسی اشارے کو خارجی دائیرے سے حاصل کیا گیا ہے۔ خارجی دائیرہ وہ دائیرہ ہے جس میں خارجی برق رو I_o کا ہوا ہوتا ہے۔ ایسی صورت جہاں خارجی نقطہ اور واپسی نقطہ دو علیحدہ علیحدہ جوڑ پر پائے جائیں میں واپس کار خارجی برق رو I_o سے واپسی اشارہ حاصل کرتا ہے۔

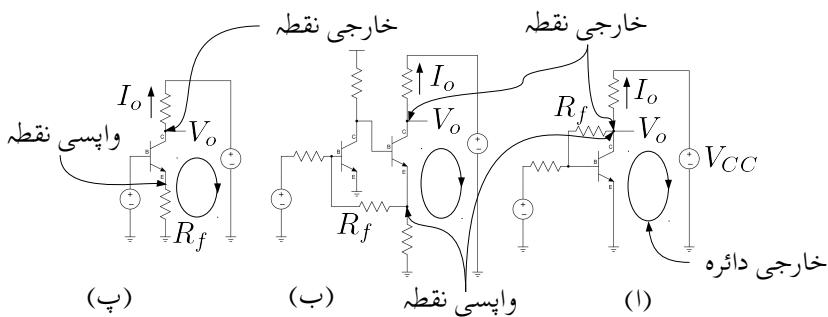
شکل 7.24 پ میں مزاحمت R_e کو لکھا گیا ہے۔ یہاں بھی خارجی اور واپسی نقطے دو علیحدہ علیحدہ جوڑ پر پائے جاتے ہیں لہذا یہاں بھی واپس کار خارجی برق رو I_o سے واپسی اشارہ حاصل کرتا ہے۔

7.8 واپسی ایمپلیفائر کا تفصیلی تجزیہ

اب تک مساوات 7.34 پر پورا اترتے واپسی ایمپلیفائر و پر غور کیا گیا۔ اس حصے میں ان واپسی ایمپلیفائر پر غور کیا جائے گا جو اس مساوات پر پورا نہیں اترتے۔ ایسا کرتے وقت ایمپلیفائر کو دو حصوں یعنی بنیادی ایمپلیفائر A اور واپس کار W میں تقسیم کیا جاتا ہے۔ واپسی ایمپلیفائر میں واپسی اشارے کو صفر کرتے ہوئے مگر واپس کار کے بار کو شامل کرتے ہوئے بنیادی ایمپلیفائر حاصل کیا جاتا ہے۔ مندرجہ ذیل اقدام کی مدد سے ایسا کیا جاتا ہے۔

بنیادی ایمپلیفائر کا داخلی حصہ حاصل کرنے کی خاطر خارجی اشارہ X_o کی قیمت کو صفر کر دیا جاتا ہے۔ یعنی

- اگر خارجی برق دباو V_o سے واپسی اشارہ حاصل کیا گیا ہو (یعنی $X_f = W X_o$) تو خارجی برق دباو کو قصر دور کر کر $0 = V_o$ کر دیا جاتا ہے جس سے X_f بھی صفر ہو جاتا ہے۔



شکل 7.24: واپسی نقطہ

- اس کے برعکس اگر واپسی اشارے کو I_0 سے حاصل کیا گیا ہو تو خارجی دائرے کو کھلے سرے کر دیا جاتا ہے۔ یوں $I_0 = 0$ ہو جاتا ہے جس سے X_f ہی صفر ہو جاتا ہے۔ بنیادی ایمپلیفیئر کا خارجی حصہ حاصل کرنے کی خاطر کل داخلی اشارہ X_i کی قیمت صفر کر دیا جاتا ہے۔ یعنی
- اگر داخلی اور واپسی اشارات متوازی جڑی ہوں تو یہ دونوں برق رو اشارات ہوں گے۔ انہیں قصر دور کرنے سے $I_i = 0$ کیا جاتا ہے۔
- اس کے برعکس اگر داخلی اور واپسی اشارات سلسلہ وار جڑی ہوں تو یہ دونوں برق دباو اشارات ہوں گے۔ داخلی دائرے کو کھلے سرے کرنے سے $V_i = 0$ کیا جاتا ہے۔ اس ترکیب سے واپسی اشارہ کے اثرات کو ختم کر دیا جاتا ہے جبکہ بنیادی ایمپلیفیئر پر واپس کار کے بار کے اثرات برقرار رہنے دئے جاتے ہیں۔ اس ترکیب کو استعمال کرتے ہوئے واپسی ایمپلیفیئر حل کرنے کے مکمل اقدام مندرجہ ذیل ہیں۔
- پہلے یہ فیصلہ کریں کہ X_f برق دباو یا برق رو کا اشارہ ہے۔ اگر X_f داخلی اشارہ X_i کے ساتھ سلسلہ وار جزا ہو تو X_f برق دباو اشارہ ہو گا اور اگر یہ X_i کے ساتھ متوازی جزا ہو تو X_f برق رو اشارہ ہو گا۔ اسی طرح فیصلہ کریں کہ X_0 برق دباو یا برق رو اشارہ ہے۔ اگر X_f کو X_0 کو جوڑ سے حاصل کیا گیا ہو تو X_0 برق دباو اشارہ ہو گا اور اگر X_f خارجی دائرہ سے حاصل کیا گیا ہو تو X_0 برق رو اشارہ ہو گا۔ واپسی ایمپلیفیئر کی جماعت دریافت کریں۔ اگر X_f اور X_i سلسلہ وار جڑی ہوں تو X_f برق دباو اشارہ یعنی V_f ہو گا اور اگر یہ دونوں متوازی جڑی ہوں تو X_f برق رو اشارہ یعنی I_f ہو گا۔ اسی طرح اگر واپسی اشارے کو خارجی نقطے سے حاصل کیا گیا ہو تو واپسی اشارے کو V_0 سے حاصل گیا ہو گا اور خارجی اشارے کو V_0 تصور کیا جائے گا۔ اس کے برعکس اگر واپسی اشارے کو خارجی دائرے سے حاصل کیا گیا ہو تو خارجی اشارہ I_0 تصور کیا جائے گا۔

- واپسی اشارے کا اثر ختم کرتے ہوئے مگر واپس کارکے بار کر کے اثر کو برقرار رکھتے ہوئے مندرجہ بالا قوانین کی مدد سے بنیادی ایمپلیفائر کا دور حاصل کریں۔ اگر X_s اور X_0 سلسلہ وار جڑے ہوں تب داخلی اشارہ X_s کا ٹکون مساوی دور استعمال کریں۔ اس کے برعکس اگر X_0 اور X_s متوازی جڑے ہوں تب داخلی اشارہ X_s کا نارٹن مساوی دور استعمال کریں۔
 - بنیادی ایمپلیفائر میں ٹرانزستر کا ماڈل استعمال کرتے ہوئے اس کا باریک اشاراتی مساوی دور حاصل کریں اور اس میں X_0 اور X_s کی نشاندہی کریں۔
 - واپسی اشارے $X_f = WX_0 = W X_0$ کی مساوات حاصل کریں جس سے W کی قیمت حاصل ہو گی۔
 - کرجاف کے قوانین استعمال کرتے ہوئے بنیادی ایمپلیفائر سے افزائش A ، داخلی مزاہمت R_i اور خارجی مزاہمت R_o حاصل کریں۔
 - مندرجہ بالا حاصل کردہ معلومات سے $A_f = R_{if}^i$ اور R_{of} حاصل کریں۔
- آئیں اس ترکیب کو استعمال کرتے ہوئے واپسی ایمپلیفائر حل کریں۔

7.9 واپسی برقی دباؤ ایمپلیفائر

شکل 7.25 الف میں واپسی برق دباؤ ایمپلیفائر دکھایا گیا ہے۔ نقطہ مائل حاصل کرنے کی خاطر V_s کے ساتھ V_{BB} سلسلہ وار تصور کریں جس کو شکل میں نہیں دکھایا گیا تاکہ اصل مضمون پر توجہ رکھنی آسان ہو۔ اس دور کو قدم با قدم حل کرتے ہیں۔ پہلے قدم پر اس کی جماعت جاننا ضروری ہے۔ اس دور پر تفصیلی بحث ہو چکی ہے۔ یہ واپسی برق دباؤ ایمپلیفائر ہے۔

چونکہ V_0 سے واپسی اشارہ حاصل کیا گیا ہے لہذا، بنیادی ایمپلیفائر کا داخلی مساوی دور حاصل کرنے کی خاطر V_0 کو قصر دور کرتے ہیں۔ ایسا شکل ب میں دکھایا گیا ہے جہاں صرف داخلی دائیرے پر نظر رکھتے ہوئے ہم لکھ سکتے ہیں

$$(7.92) \quad V_s = I_s R_s + V_{be}$$

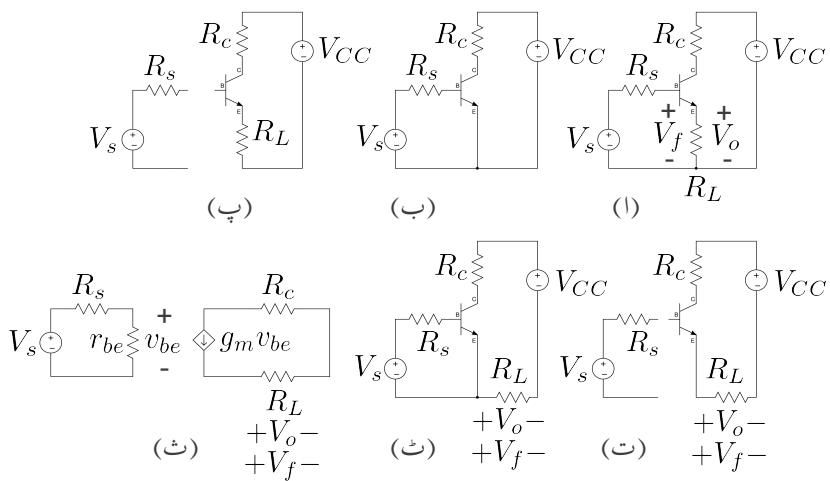
چونکہ داخلی جانب V_s اور V_f سلسلہ وار جڑے ہیں لہذا بنیادی ایمپلیفائر کا خارجی مساوی دور حاصل کرنے کی خاطر داخلی دائیرے کو کھلے سرے کر دیا جاتا ہے۔ ایسا شکل پ میں دکھایا گیا ہے۔ اس شکل میں صرف خارجی دائیرے پر نظر رکھتے ہوئے ہم لکھ سکتے ہیں

$$(7.93) \quad V_{CC} = I_c R_c + V_{ce} + I_c R_L$$

شکل پ کو قدر مختلف طرز پر شکل ت میں دوبارہ دکھایا گیا ہے جہاں V_0 اور V_f کی نشاندہی بھی کی گئی ہے۔ آپ تسلی کر لیں کہ اس شکل کے خارجی دائیرے کی مساوات بھی مندرجہ بالا مساوات ہی ہے۔ شکل ب کے داخلی مساوی دور اور شکل ت کے خارجی مساوی دور کو ملا کر شکل ث حاصل ہوتا ہے۔ شکل ث کے داخلی اور خارجی مساوات یوں حاصل ہوں گے۔

$$(7.94) \quad V_s = I_s R_s + V_{be}$$

$$(7.95) \quad V_{CC} = I_c R_c + V_{ce} + I_c R_L$$



شکل 7.25: بنیادی ایمپلیفائر کا حصول

بے بالکل مساوات 7.92 اور مساوات 7.93 ہی بین۔
شکل ٹ میں ٹرانزسٹر کا پائی ماذل استعمال کرتے ہوئے شکل ٹ کا باریک اشارتی دور حاصل کیا گیا ہے۔ اس سے

$$(7.96) \quad A_V = \frac{V_o}{V_s} = \frac{V_o}{I_c} \times \frac{I_c}{V_{be}} \times \frac{V_{be}}{V_s} = \frac{R_L g_m r_{be}}{R_s + r_{be}} = \frac{\beta R_L}{R_s + r_{be}}$$

حاصل ہوتا ہے جہاں مساوات 3.188 کے تحت $\beta = g_m r_{be}$ کے برابر ہے۔ شکل ٹ سے $V_o = V_f$ لہذا $W = 1$ حاصل ہوتا ہے۔ اس طرح

$$(7.97) \quad M = 1 + W A_V = 1 + \frac{\beta R_L}{R_s + r_{be}} = \frac{R_s + r_{be} + \beta R_L}{R_s + r_{be}}$$

بنیادی ایمپلیفائر کا داخلی مزاحمت ہے۔

$$(7.98) \quad R'_i = R_s + r_{be}$$

کے برابر ہے اور یون

$$(7.99) \quad R'_{if} = M R'_i = (R_s + r_{be}) \times \frac{R_s + r_{be} + \beta R_L}{R_s + r_{be}} = R_s + r_{be} + \beta R_L$$

حاصل ہوتا ہے۔

مساوات 7.41 کے تحت ∞ میں $A'_v = A_V|_{R_L \rightarrow \infty}$ ہے۔ یوں مساوات 7.96 میں $\infty \rightarrow R_L$ کے استعمال سے $A'_v = \infty$ حاصل ہوتا ہے۔ خارجی مزاحمت R_0 حاصل کرتے وقت بار R_L کو ایمپلیفائر کا حصہ تصور نہیں کیا جاتا اور یوں شکل ث سے $R_0 = \infty$ حاصل ہوتا ہے جس سے

$$R_{of} = \frac{R_o}{1 + WA'_v} = \frac{\infty}{\infty}$$

حاصل ہوتا ہے جس کا کوئی مطلب نہیں۔

مساوات 7.100 سے خارجی مزاحمت حاصل کرنا ممکن نہیں۔ R_{of} حاصل کرنے کی خاطر دور سے پہلے R'_{of} حاصل کریں اور پھر مساوات 7.64 کی مدد سے R_0 حاصل کریں۔ R_L کی شمولیت سے R'_o کی قیمت R_L کے برابر ہے۔ اس طرح

$$(7.100) \quad R'_{of} = \frac{R'_o}{M} = \frac{R_L(R_s + r_{be})}{R_s + r_{be} + \beta R_L}$$

اور

$$(7.101) \quad R_{of} = R'_{of} \Big|_{R_L \rightarrow \infty} = \frac{R_s + r_{be}}{\beta}$$

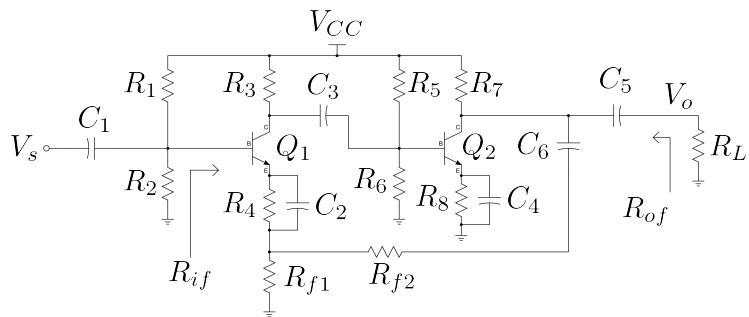
حاصل ہوتا ہے۔

7.10 واپسی برقی دباؤ زنجیری ایمپلیفائر

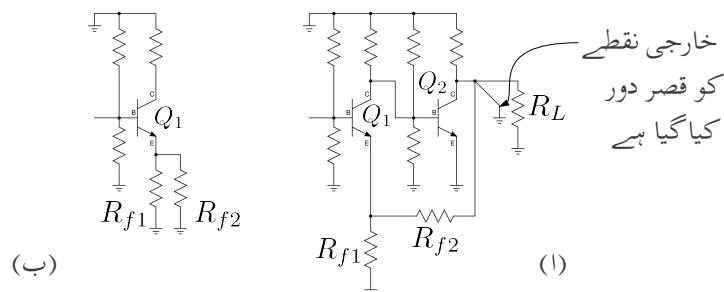
شکل 7.26 میں دو کڑی زنجیری ایمپلیفائر دکھایا گیا ہے۔ درکار تعداد پر تمام کیپسٹروں کو قصر دور تصور کریں۔ اس ایمپلیفائر میں خارجی برق دباؤ V_0 سے واپسی اشارہ V_f حاصل کیا گیا ہے لہذا بنیادی ایمپلیفائر کے داخلی جانب کا دور حاصل کرتے وقت خارجی نقطے کو قصر دور کیا جائے گا۔ چونکہ V_0 کو R_L پر ناپا جاتا ہے لہذا خارجی نقطے کو قصر دور کرنے سے مراد اس نقطے کو برقی زمین کے ساتھ جوڑنا ہے۔ شکل 7.27 الف میں ایسا دکھایا گیا ہے۔ جیسا کہ شکل ب میں دکھایا گیا ہے، اس عمل سے R_{f1} اور R_{f2} متوازی جز جاتے ہیں۔ اس ایمپلیفائر میں V_s اور V_f سلسلہ وار جز ہیں لہذا بنیادی ایمپلیفائر کے خارجی جانب کا دور حاصل کرتے وقت داخلی دائیں کو کھلے دور کیا جائے گا۔ اس دائیں کو Q_1 کے بیس یا اس کے ایمٹر پر کھلے دور کیا جا سکتا ہے۔ شکل 7.28 الف میں داخلی دائیں کو Q_1 کے ایمٹر پر کھلے دور کیا گیا ہے۔ جیسا کہ شکل ب میں دکھایا گیا ہے، اس عمل سے R_{f1} اور R_{f2} خارجی جانب سلسلہ وار جز جاتے ہیں۔ شکل 7.29 کو زنجیری ضرب سے با آسانی حل کرتے ہوئے A_v حاصل کی جا سکتی ہے۔ اسی طرح اس بنیادی ایمپلیفائر کا R_i اور R_0 بھی حاصل کیا جا سکتا ہے۔ شکل سے واپس کار کا W یوں حاصل ہوتا ہے۔

$$(7.102) \quad W = \frac{R_{f1}}{R_{f1} + R_{f2}}$$

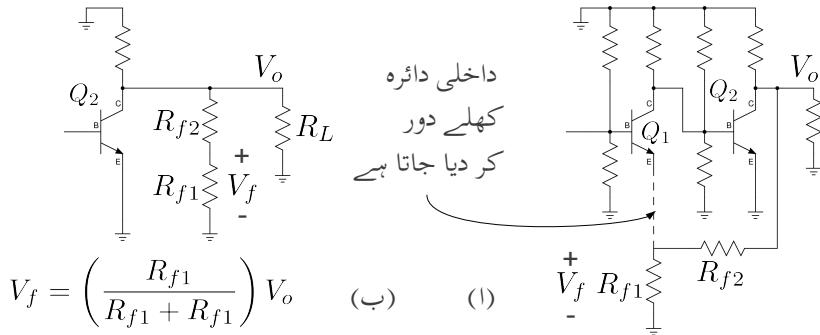
ان تمام معلومات سے A_{vf} ، A'_{vf} اور R'_{if} حاصل کیا جا سکتا ہے۔



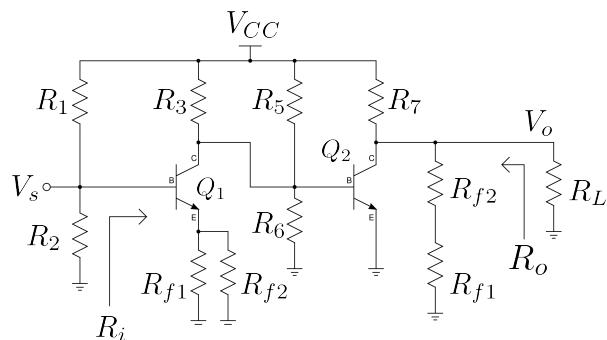
شکل 7.26: دو درجه زنجیری واپسی برقی دباؤ ایمپلیفیاٹر



شکل 7.27: دو درجه زنجیری واپسی برقی دباؤ ایمپلیفیاٹر کے داخلی حصے کا حصول



شکل 7.28: دو درجہ زنجیری واپسی برقی دباو ایمپلیفیائر کے خارجی حصے کا حصول



شکل 7.29: دو درجہ زنجیری واپسی برقی دباو ایمپلیفیائر کا بنیادی ایمپلیفیائر

سوالات

سوال 7.1: ایک سادہ ایمپلیفائر کی افزائش میں مختلف وجوبات کی بنا پر 7% کے فرق پیدا ہوتا ہے۔ اس ایمپلیفائر میں واسی اشارہ شامل کیا جاتا ہے۔ یوں حاصل واسی ایمپلیفائر کی افزائش میں انہیں وجوبات کی بنا پر صرف 1% کا فرق پیدا ہوتا ہے۔ M - کی قیمت حاصل کریں۔ اگر سادہ ایمپلیفائر کی افزائش $\frac{V}{245}$ تھی تو واسی ایمپلیفائر کے افزائش اور واسی کار کے مستقل W - کی قیمت کیا ہو گی؟

$$\text{جوابات: } 7: W = 0.02449 \frac{V}{V}, A_f = 35 \frac{V}{V}, M = 7 \frac{V}{V}$$

سوال 7.2: اگر سوال 7.1 میں سادہ ایمپلیفائر کا بلند انقطاعی تعداد 200 kHz ہو تو واسی ایمپلیفائر کی بلند انقطاعی تعداد کیا ہو گی۔

جواب: 1.4 MHz

سوال 7.3: ایک واسی برق دباؤ ایمپلیفائر کے $\frac{V}{2000}$ اور $R_i = 2 \text{ k}\Omega$ ، $A'_v = 500 \Omega$ اور $R_o = 500 \Omega$ بین۔ داخلی اشارے کی مزاحمت $R_s = 1 \text{ k}\Omega$ جبکہ برق بار $R_L = 10 \text{ k}\Omega$ بین۔ اس ایمپلیفائر میں واسی اشارہ شامل کیا جاتا ہے۔ واسی کار کا مستقل $\frac{V}{W} = 0.01$ ہے۔ واسی ایمپلیفائر کی افزائش، داخلی مزاحمت اور خارجی مزاحمت حاصل کریں۔

$$\text{جوابات: } R_{of} = 24 \Omega, R'_{if} = 60 \text{ k}\Omega, A_{vf} = 95 \frac{V}{V}$$

سوال 7.4: ایک واسی برق رو ایمپلیفائر کے $\frac{A}{2000}$ اور $R_i = 500 \Omega$ ، $A_i = 5 \text{ k}\Omega$ اور $R_o = 5 \text{ k}\Omega$ بین۔ داخلی اشارے کی مزاحمت $R_s = 5 \text{ k}\Omega$ جبکہ برق بار $R_L = 1 \text{ k}\Omega$ بین۔ اس ایمپلیفائر میں واسی اشارہ شامل کیا جاتا ہے۔ واسی کار کا مستقل $\frac{A}{W} = 0.01$ ہے۔ واسی ایمپلیفائر کی افزائش، داخلی مزاحمت اور خارجی مزاحمت حاصل کریں۔

$$\text{جوابات: } R_{of} = 96 \text{ k}\Omega, R'_{if} = 28 \Omega, A_{if} = 94 \frac{A}{A}$$

سوال 7.5: ایک موصل نما ایمپلیفائر کے $\frac{A}{2000}$ ، $A_g = 5 \text{ k}\Omega$ اور $R_i = 500 \Omega$ بین۔ داخلی اشارے کی مزاحمت $R_s = 500 \Omega$ جبکہ برق بار $R_L = 1 \text{ k}\Omega$ بین۔ اس ایمپلیفائر میں واسی اشارہ شامل کیا جاتا ہے۔ واسی کار کا مستقل $\frac{V}{W} = 0.01$ ہے۔ واسی ایمپلیفائر کی افزائش، داخلی مزاحمت اور خارجی مزاحمت حاصل کریں۔

$$\text{جوابات: } R_{of} = 9.59 \text{ k}\Omega, R'_{if} = 39 \text{ k}\Omega, A_{gf} = 86 \frac{A}{V}$$

سوال 7.6: ایک مزاحمت نما ایمپلیفائر کے $\frac{V}{A}$ ، $A'_r = 2000$ اور $R_i = 500 \Omega$ بین۔ داخلی اشارے کی مزاحمت $R_s = 5 \text{ k}\Omega$ جبکہ برق بار $R_L = 10 \text{ k}\Omega$ بین۔ اس ایمپلیفائر میں واسی اشارہ شامل کیا جاتا ہے۔ واسی کار کا مستقل $\frac{A}{W} = 0.01$ ہے۔ واسی ایمپلیفائر کی افزائش، داخلی مزاحمت اور خارجی مزاحمت حاصل کریں۔

$$\text{جوابات: } R_{of} = 238 \Omega, R'_{if} = 32 \Omega, A_{rf} = 93 \frac{V}{A}$$

سوال 7.7: آپ کے پاس $\frac{V}{2000}$ کا برق دباؤ ایمپلیفائر موجود ہے جس کا داخلی مزاحمت $5 \text{ k}\Omega$ اور خارجی مزاحمت 500Ω بین۔ اس کو استعمال کرتے ہوئے واسی برق دباؤ کا ایمپلیفائر تخلیق دیں جس کی افزائش $\frac{V}{12.5}$ ہو۔ داخلی اشارے کی مزاحمت $1 \text{ k}\Omega$ اور برق بار $1.5 \text{ k}\Omega$ متوقع بین۔ R_{of} اور R'_{if} بھی حاصل کریں۔

جوابات: $A_{vf} = 1250 \frac{V}{V}, A'_v = 1667 \frac{V}{V}, R'_i = 6 \text{ k}\Omega$ اور $R_{of} = 4.95 \Omega$ اور $R'_{if} = 606 \text{ k}\Omega$ بین۔ $W = 0.08 \frac{V}{V}$ درکار ہے۔

سوال 7.8: سوال 7.7 میں تخلیق کئے گئے واپسی ایمپلیفائر پر اگر $3\text{k}\Omega$ کا بار لادا جائے تو اس کی A_{vf} کی حاصل ہوگی۔

جواب: $\frac{V}{V} = 12.4$ ۔ بار کی مزاحمت آدھی کرنے سے واپسی افزائش میں صرف 0.8% کی تبدیلی آئی۔ واپسی ایمپلیفائر یقیناً مستحکم ہے۔

سوال 7.9: سوال 7.7 میں تخلیق کردہ واپسی ایمپلیفائر میں بنیادی ایمپلیفائر کو تبدیل کرتے ہوئے $\frac{V}{V} = 1500$ کا ایمپلیفائر نسب کیا جاتا ہے۔ ایسا کرنے سے A_{vf} کی نئی قیمت کیا حاصل ہوگی؟

جواب: $\frac{V}{V} = 12.33$ ۔ بنیادی ایمپلیفائر کے افزائش میں 25% تبدیلی سے واپسی ایمپلیفائر کے افزائش میں صرف % 1.36 کی تبدیلی پیدا ہوئی۔ واپسی ایمپلیفائر کے مستحکم ہونے کی یہ ایک اچھی مثال ہے۔

سوال 7.10: ایک واپسی برق دباؤ ایمپلیفائر میں $V_o = 12\text{V}$ ، $V_s = 150\text{mV}$ اور $V_f = 148\text{mV}$ پائے جاتے ہیں۔ اس ایمپلیفائر کے W ، A_{vf} اور A_V حاصل کریں۔ اگر بنیادی ایمپلیفائر کا $R'_i = 2\text{k}\Omega$ اور $R_o = 1950\Omega$ ہوں تو R_{of} اور R'_{if} کیا ہوں گے۔

جوابات: $R_{of} = R'_{if} = 150\text{k}\Omega$ اور $A_{vf} = 6000\frac{\text{V}}{\text{V}}$ ، $A_V = 80\frac{\text{V}}{\text{V}}$ ، $W = 0.01233\frac{\text{V}}{\text{V}}$ اور 26Ω ہیں۔

سوال 7.11: بنیادی برق رو ایمپلیفائر کی افزائش $\frac{A}{A} = 3000$ جبکہ اسی سے حاصل واپسی ایمپلیفائر کی افزائش $\frac{A}{A} = 15$ ہے۔ اور $R'_i = 20\text{k}\Omega$ اور $R_o = 15\text{k}\Omega$ کی صورت میں R'_{if} اور R_{of} حاصل کریں۔

جوابات: $R_{of} = 3\text{M}\Omega$ اور $R'_{if} = 100\Omega$

سوال 7.12: شکل 7.25 الف میں $I_{CQ} = 1\text{mA}$ ، $R_s = 2\text{k}\Omega$ ، $R_L = 1\text{k}\Omega$ ، $\beta = 100$ اور R'_{if} اور R_{of} حاصل کریں۔

جوابات: $R_{of} = 103.5\text{k}\Omega$ اور $R'_{if} = 2.5\text{k}\Omega$ اور $r_{be} = 22.22\frac{\text{V}}{\text{V}}$ اور 35Ω

سوال 7.13: سوال 7.12 میں β کی قیمت 200 جبکہ $I_{CQ} = 1\text{mA}$ ہی رکھتے ہوئے اسے دوبارہ حل کریں۔ A_{vf} میں کتنے فی صد تبدیلی رو نما ہوئی۔

جوابات: $A_{vf} = 0.978\frac{\text{V}}{\text{V}}$ اور $R_{of} = 22.5\text{k}\Omega$ ، $R'_{if} = 204.5\text{k}\Omega$ اور تبدیلی تقریباً 2% ہے۔

سوال 7.14: شکل 7.26 میں زنجیری ایمپلیفائر دکھایا گیا ہے جسکے مساوات 7.102 میں اس کے واپس کار کا مستقل W حاصل کیا گیا ہے۔ A_{vf} حاصل کریں۔

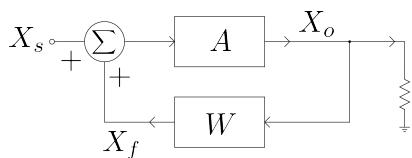
جواب: $A_{vf} = 1 + \frac{R_{f2}}{R_{f1}}$

الباب 8

مرتعش

گزشتہ باب میں منفی واپسی ادوار پر غور کیا گیا۔ اس باب میں مرتعش¹ پر غور کیا جائے گا جو مثبت واپسی دور کی ایک قسم ہے۔ مرتعش ایک ایسے دور کو کہتے ہیں جسے کوئی داخلی اشارہ دئے بغیر اس سے ارتعاش کرتا خارجی اشارہ حاصل کیا جاتا ہے۔ آئین مرتعش کی بنیادی کارکردگی شکل 8.1 کی مدد سے سمجھیں۔ تصور کریں کہ ایک لمحے کے لئے اس دور کو ارتعاش کرتا داخلی اشارہ X_o فراہم کرنے کے بعد $0 = X_s$ کر دیا جاتا ہے۔ اس طرح ایک لمحے کے لئے اس دور میں ارتعاش کرتا خارجی اشارہ X_o نمودار ہو گا۔ واپسی دور $X_o = WX_0$ سے $X_f = WX_0$ پیدا کرے گا جو کہ بنیادی ایپلیفائر کو بطور داخلی اشارہ مہیا کیا گیا ہے۔ بنیادی ایپلیفائر X_f سے خارجی اشارہ $X_o = AX_f = WAX_0$ پیدا کرے گا۔ یوں واپسی دور اور بنیادی ایپلیفائر میں ایک چکر کے بعد پہلی بار نمودار ہونے والے اشارے X_o کی قیمت اب WAX_0 ہو گی۔ یہ اشارہ بھی جب واپسی دور اور بنیادی ایپلیفائر میں ایک چکر کاٹئے تو اس کی نئی قیمت $(WA)^2 X_0$ ہو جائے گی۔ اسی طرح n چکر کے بعد بنیادی ایپلیفائر کا خارجی اشارہ $X_o = (WA)^n X_0$ ہو گا۔ اب اگر $1 = WA$ ہو تو n چکر کے بعد بھی بنیادی ایپلیفائر کا خارجی اشارہ $X_o = X_0$ ہی کرتا رہے گا۔ ایسی خوبی رکھنے والے دور کو مرتعش کہتے ہیں۔

oscillator¹



شکل 8.1: مثبت واپسی دور

اس کے برعکس اگر WA کی قیمت ایک (1) سے کم ہو، مثلاً $0.9 = WA$ ہو، تب پہلی مرتبہ نمودار ہونے والا اشارہ X_0 ایک چکر کے بعد کم ہو کر $0.9X_0$ رہ جائے گا۔ دو چکر کے بعد اس کی قیمت مزید کم ہو کر $0.81X_0 = (0.9)^2 X_0$ ہو جائے گی اور یوں ہر چکر کے بعد بنیادی ایپلیفائر کا خارجی اشارہ کم ہوتے ہوئے آخر کار صفر قیمت اختیار کر لے گا۔

اسی طرح اگر WA کی قیمت ایک (1) سے زیادہ ہو، مثلاً $1.1 = WA$ ہو، تب پہلی مرتبہ نمودار ہونے والا اشارہ X_0 ایک چکر کے بعد بڑھ کر $1.1X_0$ ہو جائے گا۔ دو چکر کے بعد اس کی قیمت مزید بڑھ کر $1.21X_0 = (1.1)^2 X_0$ ہو جائے گی اور یوں ہر چکر کے بعد بنیادی ایپلیفائر کا خارجی اشارہ بڑھتا رہے گا۔ خارجی اشارہ بڑھتے ہوئے اس مقام تک پہنچ جائے گا جہاں بنیادی ایپلیفائر غیر خطی خطرے میں داخل ہونا شروع ہو جائے گا۔ غیر خطی خطرے میں داخل ہوتے ہوئے بنیادی ایپلیفائر کے افزائش کی قیمت گھشتا شروع ہو جائے گی اور یوں خارجی اشارے کے حیطے کا بڑھنا پہلے کم اور آخر کار اس کا بڑھنا مکمل طور رک جائے گا۔ جہاں ٹرانزسٹر کی افزائش سے اشارے کا حیطہ بڑھنا اور اشارے کا حیطہ بڑھنے سے ٹرانزسٹر کی افزائش کم ہونے کے اعمال توازن اختیار کر لیں، وہی ارتعاشی اشارے کا حیطہ برقرار رہتا ہے۔ یہ اعمال غیر خطی نوعیت کے ہوتے ہیں جنہیں فلم و کاغذ سے حل کرتے ہوئے مرتعش کے خارجی اشارے کے حیطے کا حساب لگانا نہایت مشکل ہوتا ہے۔

کسی بھی مرتعش میں زیادہ دیر $1 = WA$ رکھنا ممکن نہیں ہوتا۔ درجہ حرارت میں تبدیلی، وقت کے ساتھ برقیاتی پر زہ جات میں تبدیلی اور ایسے دیگر وجوبات کی بنا پر مرتعش چالو کرتے ہی $1 \neq WA$ ہو جائے گا۔ اگر $1 < WA$ ہو جائے تو ایسی صورت میں مرتعش رکھ جائے گا۔ اس کے برعکس اگر WA کی قیمت 1 سے قدر زیادہ ہو جائے تو ایسی صورت میں مرتعش برقرار ارتعاشی اشارہ خارج کرتا ہے۔

مرتعش کے اس بنیادی اصول جس سے مساوت 8.1 میں دوبارہ دکھایا گیا ہے کو برکھازن کا اصول² کہتے ہیں۔³

$$(8.1) \quad WA = 1$$

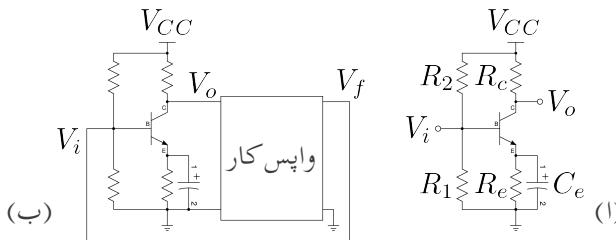
اس مساوات کے دو پہلو ہیں۔ اس مساوات کے تحت $1 = |WA|$ اور ساتھ ہی ساتھ $/WA = 2m\pi$ ہونا ضروری ہے جہاں $m = 0, 1, 2, \dots$ یوں اسے یوں لکھنا زیادہ بہتر ہے۔

$$(8.2) \quad |WA| = 1$$

$$(8.3) \quad /WA = 2m\pi$$

آپ دیکھ سکتے ہیں کہ حقیقت میں کسی بھی مرتعش کو برقرار کام کرتے رکھنے کے لئے یہ ضروری ہے کہ $1 > |WA|$ رکھا جائے۔ حقیقت میں $|WA| > 1.05$ رکھا جاتا ہے۔ مندرجہ بالا تذکرے میں تصویر کیا گیا کہ مرتعش کو چالو کرنے کی خاطر ایک لمحے کے لئے X_0 فراہم کیا گیا۔ حقیقت میں مرتعش کو چالو کرتے وقت اسے عموماً کسی قسم کا ارتعاش کرتا اشارہ نہیں مہیا کیا جاتا۔ کسی بھی دور جس سے برق طاقت مہیا نہیں کیا گیا ہو غیر چالو رہتا ہے اور ایسی صورت میں اس کے تمام اشارات صفر وولٹ (صفر ایپیئر) ہوتے ہیں۔ اس طرح جب مرتعش کو برق طاقت مہیا کر کے غیر چالو حالت سے چالو کیا جائے تو اس کے مختلف حصے چند ہی لمحوں میں غیر چالو صورت سے یک سمی مائل

Barkhausen criteria²
³ جرمی کے عالم طبیعت پائیج برکھازن نے اس اصول کو پیش کیا



شکل 8.2: مرتعش کی تخلیق

کر دہ صورت اختیار کر لیتے ہیں۔ یوں ان مختفات کے دوران مرتعش پر پائے جانے والے تمام اشارات تغیر پذیر ہوتے ہیں جنہیں ہم چالو کرتے وقت کی برقی شور تصویر کر سکتے ہیں۔ مرتعش عموماً اسی برقی شور سے چالو ہو کر ارتعاش پذیر ہوتا ہے۔ البتہ اگر کہیں ایسی صورت پائی جائے کہ مرتعش چالو ہوتے وقت از خود ارتعاش پذیر نہیں ہو پاتا ہو یا اگر برقی شور کا سہارا لیتے ہوئے مرتعش کو چالو کرنا قابل قبول نہ ہو تو مرتعش کو چالو کرنے کی خاطر بیرونی اشارہ چند مختفات کے لئے مہیا کیا جاتا ہے۔⁴

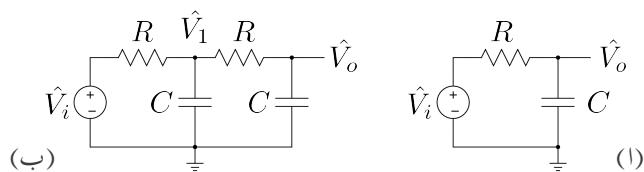
اب تک کی گفتگو میں خارجی اشارے کی شکل پر کسی قسم کی بحث نہیں کی گئی۔ حقیقت میں مرتعش کے خارجی اشارے کی شکل کچھ بھی ہو سکتی ہے البتہ اس باب میں صرف سائنس نما خارجی اشارہ پیدا کرنے والے مرتعش پر غور کیا جائے گا جن میں ٹرانزستر ایمپلیفیائر استعمال کرتے ہوئے واپسی اشارے کو مراحمت، کپیسٹر، امالہ، ٹرانسفارمر وغیرہ کی مدد سے حاصل کیا جاتا ہے۔
واپسی دور میں کپیسٹر اور امالہ (یعنی برقی رکاوٹ) کے استعمال سے واپس کار کے مستقل کی قیمت از خود تعدد (ω) پر منحصر ہوتی ہے۔ یوں اس کو $W(\omega)$ لکھنا زیادہ درست ہو گا۔ ایسی صورت میں برکھازن کا اصول $1 = |W(\omega)A|$ عموماً کسی ایک بھی تعدد پر پورا اترے گا۔ آپ جانتے ہیں کہ کسی بھی غیر سائنس نما لہر کو فوریئر تسلسل⁵ کی مدد سے لکھا جا سکتا ہے۔ فوریئر تسلسل میں $\omega_0, 2\omega_0, 3\omega_0, \dots$ تعدد پر لاحدہ اجزاء پائے جاتے ہیں۔ چالو کرتے وقت کے برقی شور کی بھی فوریئر تسلسل لکھی جا سکتی ہے جہاں سے صاف ظاہر ہے کہ اس میں بھی مرتعش ان میں سے صرف اس تعدد پر ارتعاش کرے گا جو برکھازن کے اصول پر پورا اترتا ہو۔

8.1 مرتعش کی تخلیق

شکل 8.2 الف میں بنیادی ایمپلیفیائر دکھایا گیا ہے۔ اس کے خارجی اشارے V_i اور داخلی اشارے V_o کے مابین 180 کا زاویہ ہے۔ اگر اسے استعمال کرتے ہوئے مرتعش تخلیق دینا ہو تو واپس کار کو مزید 180 کا زاویہ پیدا کرنا ہو گا۔ شکل ب میں واپس کار کو ڈبیے کی شکل میں دکھایا گیا ہے۔ یوں V_o اور V_f کے درمیان 180 کا زاویہ درکار ہے۔ ٹرانزستر کو V_f بطور داخلی اشارہ مہیا کرنے سے مرتعش حاصل ہوتا ہے۔ مندرجہ ذیل مثال میں اشارات کے مابین زاویہ پیدا کرنے کا ایک طریقہ دکھایا گیا ہے۔

⁴ مجھے گرشہ۔ پچیس سالوں میں صرف ایک مرتبہ مرتعش کو چالو کرنے کی خاطر اشارہ مہیا کرنا پڑا ہے۔

⁵ fourier series



شكل 8.3: مزاحمت-کپسٹر کی مدد سے اشارات کے زاویہ میں تبدیلی

مثال 8.1: شکل 8.3 الف میں \hat{V}_o اور \hat{V}_i کے درمیان زاویہ کی مساوات حاصل کریں۔

• لیتے ہوئے $R = 1 \text{ k}\Omega$ اور $C = 0.1 \mu\text{F}$ اس زاویہ کی قیمت حاصل کریں۔

• مزاحمت R کی وہ قیمت حاصل کریں جس پر یہ زاویہ 60° ہو گا۔

حل: $\hat{V}_i = V \angle 0^\circ$ لیتے ہوئے، دائیرے میں برقی رو \hat{I} لکھتے ہوئے کرچاف کے قانون برائے برقی دباؤ سے حاصل ہوتا ہے

$$\hat{I} = \frac{V \angle 0^\circ}{R - \frac{j}{\omega C}} = \frac{V}{\sqrt{R^2 + \frac{1}{\omega^2 C^2}}} \angle \tan^{-1} \left(\frac{1}{\omega R C} \right)$$

اور یوں

$$\hat{V}_0 = \hat{I} \times \left(\frac{-j}{\omega C} \right) = \frac{V}{\sqrt{1 + R^2 \omega^2 C^2}} \angle \tan^{-1} \left(\frac{1}{\omega R C} \right) - 90^\circ$$

جس سے داخلی اور خارجی اشارات کے مابین زاویہ

$$\angle \theta = \tan^{-1} \left(\frac{1}{\omega R C} \right) - 90^\circ$$

حاصل ہوتا ہے - یوں

$$\angle \theta = \tan^{-1} \left(\frac{1}{2 \times \pi \times 10000 \times 0.1 \times 10^{-6}} \right) - 90^\circ = 32.142^\circ$$

•

$$\tan^{-1} \left(\frac{1}{2 \times \pi \times 10000 \times R \times 0.1 \times 10^{-6}} \right) - 90^\circ = -60^\circ$$

$$R = 257 \Omega$$

حاصل ہوتے ہیں۔

مندرجہ بالا مثال کو دیکھتے ہوئے ایسا معلوم ہوتا ہے کہ مزاحمت-کپیسٹر کے دو کڑیاں استعمال کرتے ہوئے دگنا زاویہ حاصل کیا جا سکتا ہے۔ یہ بات درست ثابت ہوتی ہے، البتہ جیسے آپ سوال 8.1 میں دیکھیں گے، دو کڑی RC کا زاویہ حاصل کرتے وقت نسبتاً لمبی مساوات حل کرنی ہو گی۔

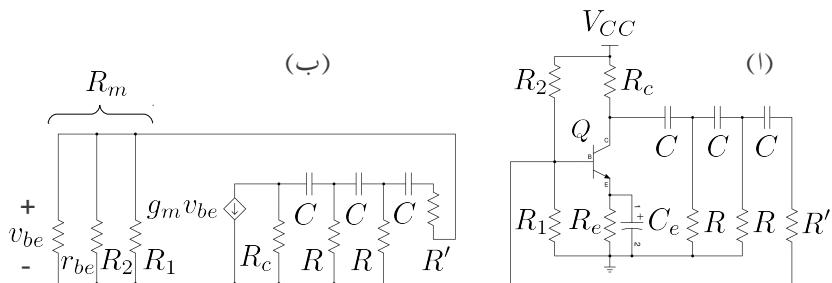
R اور C کے ضرب RC کو بڑھا کر زیادہ زاویہ حاصل کیا جاتا ہے۔ لامحدود $RC = \infty$ یعنی 90° حاصل ہوتا ہے۔ حقیقت میں لامحدود RC استعمال کرنا ممکن نہیں ہوتا لہذا ایک عدد مزاحمت اور ایک عدد کپیسٹر استعمال کرتے ہوئے 90° حاصل کرنا ممکن نہیں ہوتا۔ یوں RC کے دو کڑیوں سے 180° حاصل نہیں کیا جا سکتا۔ حقیقت میں کم از کم تین RC کڑیاں استعمال کرتے ہوئے 180° حاصل کیا جاتا ہے۔ مندرجہ ذیل حصے میں مزاحمت-کپیسٹر مرتعش میں ایسا ہی کیا گیا ہے۔

8.2 مزاحمت-کپیسٹر RC مرتعش

شکل 8.4 الف میں ٹرانزسٹر ایپلیفائر پر مبنی مرتعش دکھایا گیا ہے جس میں کلکٹر پر پائے جانے والے اشارے X_0 سے واپس کار X پیدا کرتا ہے۔ ٹرانزسٹر اپنے بیس پر پائے جانے والے اشارے کے حیطے کو بڑھا کر جبکہ اس کے زاویہ میں 180° کے تبدیلی کے ساتھ اسے کلکٹر پر خارج کرتا ہے۔ یوں بنیادی ایپلیفائر اور واپس کار کے دائیں میں ایک چکر کے بعد کل زاویہ میں تبدیلی کو 0° رکھنے کی خاطر واپس کار کو بھی 180° کی تبدیلی پیدا کرنا ہو گی۔ جیسا اور مثال میں دکھایا گیا، مزاحمت-کپیسٹر کے RC کے کڑیاں استعمال کرتے ہوئے ایسا کرنا ممکن ہے۔ شکل 8.4 الف میں مزاحمت اور کپیسٹر کو شکل 8.3 الف سے قدر مختلف طرز پر جوڑا گیا ہے۔

بنیادی ایپلیفائر Q ، R_1 ، R_2 ، R_e اور C_e پر مشتمل ہے۔ مرتعش کے خارجی تعداد پر کپیسٹر e بطور قصر دور کام کرتا ہے۔ بنیادی ایپلیفائر میں واپس کار شامل کرنے سے مرتعش حاصل ہوتا ہے۔ واپس کار تین عدد کپیسٹر اور تین عدد مزاحمت سے حاصل کیا گیا ہے۔ شکل ب میں ٹرانزسٹر کا پائے π ماذل استعمال کرتے ہوئے اس مرتعش کا مساوی دور دکھایا گیا ہے جس میں r_{be} کو قصر دو کیا گیا ہے۔ جیسے آپ دیکھ سکتے ہیں r_{be} اور R_1 اور R_2 متوازی جڑی ہیں۔ ان متوازی جڑی مزاحمت کی کل قیمت کو R_m لکھا گیا ہے۔ یوں R_m اور R' سلسلہ وار جڑی ہیں۔ حقیقت میں r_{be} کی قیمت R_1 اور R_2 کے قیمتوں سے نہیت کم ہوتی ہے اور یوں R_m کی قیمت تقیریاً r_{be} کے ہی برابر ہوتی ہے یعنی $r_{be} \approx R_m$ ہوتا ہے۔ اگر R' کی قیمت یوں منتخب کی جائے کہ $R' + R_m = R$ ہو تو ہم دیکھتے ہیں کہ واپسی دور تین یکسان RC حصوں پر مشتمل ہوتا ہے۔ اگرچہ واپسی دور کے تین کپیسٹروں کی قیمت آپس میں برابر یا تین مزاحمتوں کی قیمت آپس میں برابر رکھنا لازم نہیں، البتہ ایسا رکھنے سے مرتعش پر ترسیلی غور نسبتاً آسان ہو جاتا ہے۔ ہم ایسا ہی کرتے ہیں۔ شکل 8.5 پر نظر رکھیں جہاں $R_m \approx r_{be}$ اور $R' + r_{be}$ کو R کے برابر رکھا گیا ہے۔ یوں

$$V_1 = I_0 \left(R + \frac{1}{j\omega C} \right)$$

شكل 8.4: مزاحمت-کپیسٹر مرتعش یا RC مرتعش

بوگا جسے استعمال کرتے ہوئے ہم لکھ سکتے ہیں

$$I_1 = \frac{V_1}{R} = I_0 \left(1 + \frac{1}{j\omega CR} \right)$$

اس طرح

$$I_2 = I_1 + I_0 = I_0 \left(2 + \frac{1}{j\omega CR} \right)$$

بوگا۔ چونکہ $V_2 - V_1 = \frac{I_2}{j\omega C}$ کے برابر ہے لہذا

$$\begin{aligned} V_2 &= V_1 + \frac{I_2}{j\omega C} \\ &= I_0 \left(R + \frac{1}{j\omega C} \right) + \frac{I_0}{j\omega C} \left(2 + \frac{1}{j\omega CR} \right) \\ &= I_0 \left[R + \frac{3}{j\omega C} + \frac{1}{(j\omega C)^2 R} \right] \end{aligned}$$

یوں

$$I_3 = \frac{V_2}{R} = I_0 \left[1 + \frac{3}{j\omega CR} + \frac{1}{(j\omega CR)^2} \right]$$

اور

$$\begin{aligned}
 I_4 &= I_3 + I_2 \\
 &= I_0 \left[1 + \frac{3}{j\omega CR} + \frac{1}{(j\omega CR)^2} \right] + I_0 \left[2 + \frac{1}{j\omega CR} \right] \\
 &= I_0 \left[3 + \frac{4}{j\omega CR} + \frac{1}{(j\omega CR)^2} \right]
 \end{aligned}$$

ہوں گے۔ اسی طرح

$$\begin{aligned}
 V_3 &= V_2 + \frac{I_4}{j\omega C} \\
 (8.4) \quad &= I_0 \left[R + \frac{3}{j\omega C} + \frac{1}{(j\omega C)^2 R} \right] + \frac{I_0}{j\omega C} \left[3 + \frac{4}{j\omega CR} + \frac{1}{(j\omega CR)^2} \right] \\
 &= I_0 \left[R + \frac{6}{j\omega C} + \frac{5}{(j\omega C)^2 R} + \frac{1}{(j\omega C)^3 R^2} \right]
 \end{aligned}$$

ہو گا۔ اگر

$$(8.5) \quad R_c = kR$$

لیا جائے تب

$$\begin{aligned}
 I_5 &= \frac{V_3}{R_c} = \frac{V_3}{kR} \\
 &= I_0 \left[\frac{1}{k} + \frac{6}{j\omega CRk} + \frac{5}{(j\omega CR)^2 k} + \frac{1}{(j\omega CR)^3 k} \right]
 \end{aligned}$$

اور

$$\begin{aligned}
 I_6 &= I_5 + I_4 \\
 &= I_0 \left[\frac{1}{k} + \frac{6}{j\omega CRk} + \frac{5}{(j\omega CR)^2 k} + \frac{1}{(j\omega CR)^3 k} \right] \\
 &\quad + I_0 \left[3 + \frac{4}{j\omega CR} + \frac{1}{(j\omega CR)^2} \right]
 \end{aligned}$$

ہوں گے۔ چونکہ خیالی عدد $\sqrt{-1} = j$ ہوتا ہے لہذا $-j^2 = -1$ اور $j^3 = -j$ ہو گا۔ اسی طرح $\frac{1}{j} = j$ ہو گا۔ یوں

$$(8.6) \quad I_6 = I_0 \left[\frac{1}{k} + 3 - \frac{\left(\frac{5}{k} + 1\right)}{(\omega CR)^2} + j \left[\frac{1}{(\omega CR)^3 k} - \frac{\left(\frac{6}{k} + 4\right)}{\omega CR} \right] \right]$$

شکل کو دیکھتے ہوئے معلوم ہوتا ہے کہ $v_{be} = I_0 r_{be}$ اور $I_6 = -g_m v_{be}$ کے برابر بین لہذا $I_6 = -g_m r_{be} I_0$ ہو گا۔ باب 3 میں مساوات 3.188 کے نتیجے میں $g_m r_{be} = \beta I_0$ ہو گا جس سے مندرجہ بالا مساوات کے استعمال سے

$$(8.7) \quad I_0 \left[\frac{1}{k} + 3 - \frac{\left(\frac{5}{k} + 1\right)}{(\omega CR)^2} + j \left[\frac{1}{(\omega CR)^3 k} - \frac{\left(\frac{6}{k} + 4\right)}{\omega CR} \right] \right] = -\beta I_0$$

لکھا جا سکتا ہے۔

مساوات 8.7 میں مساوی نشان کے دونوں جانب کے حقیقی مقداریں آپس میں برابر ہوں گے اور اسی طرح مساوی نشان کے دونوں جانب خیالی مقداریں آپس میں برابر ہوں گے۔ یوں اس مساوات کو دو مساوات کی شکل میں لکھا جا سکتا ہے۔ خیالی مقداروں سے حاصل ہوتا ہے۔

$$I_0 \left[\frac{1}{(\omega CR)^3 k} - \frac{\left(\frac{6}{k} + 4\right)}{\omega CR} \right] = 0$$

جس سے حاصل ہوتا ہے

$$(8.8) \quad \begin{aligned} (\omega_0 CR)^2 &= \frac{1}{6+4k} \\ \omega_0 &= \frac{1}{CR\sqrt{6+4k}} \\ f_0 &= \frac{1}{2\pi CR\sqrt{6+4k}} \end{aligned}$$

مزاحمت۔ کمپیوٹر مرتعش مساوات 8.8 میں حاصل کردہ تعداد f_0 پر کام کرے گا۔ f_0 لکھتے وقت 0 کو زیر نوشت لکھ کر اس بات کی یاد دیاں کرائیں گے یہی ہے کہ یہ مرتعش کی قدرتی تعداد ہے۔ مساوات 8.7 کے حقیقی مقداروں سے حاصل ہوتا ہے۔

$$-I_0 \beta = I_0 \left[\frac{1}{k} + 3 - \frac{\left(\frac{5}{k} + 1\right)}{(\omega CR)^2} \right]$$

جسے مساوات 8.8 کی مدد سے یوں لکھا جا سکتا ہے۔

$$(8.9) \quad -\beta = \frac{1}{k} + 3 - \left(\frac{5}{k} + 1 \right) (6 + 4k)$$

$$\beta = \frac{29}{k} + 23 + 4k$$

مرتعش کو برقرار چالو رکھنے کی خاطر حقیقت میں β کو مندرجہ بالا حاصل کئے گئے قیمت سے زیادہ رکھنا پڑتا ہے لہذا اس مساوات کو یوں لکھنا چاہئے

$$(8.10) \quad \beta > \frac{29}{k} + 23 + 4k$$

مختلف k کے لئے ٹرانزستر کی کم سے کم β کی قیمت اس مساوات سے حاصل کی جا سکتی ہے۔ اگر بنیادی ایپلیفائر میں استعمال ٹرانزستر کا β مندرجہ بالا مساوات پر پورا نہ اترے، تب اس سے بنایا گیا مزاحمت-کپیسٹر مرتعش کام نہیں کرے گا۔ آئین ایسے مرتعش میں درکار ٹرانزستر کی کم سے کم β حاصل کریں۔ ایسا $0 = \frac{d\beta}{dk}$ لیتے ہوئے حاصل کیا جائے گا۔

$$\frac{d\beta}{dk} = -\frac{29}{k^2} + 0 + 4 = 0$$

$$k = \frac{\sqrt{29}}{2} = 2.69$$

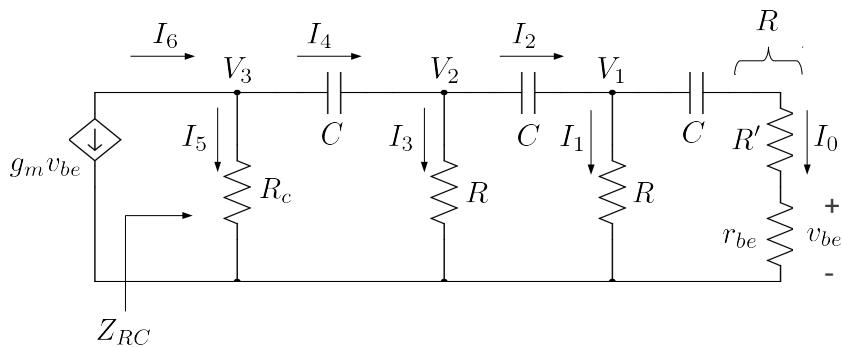
حاصل ہوتا ہے جس سے کم β کی مقدار

$$\beta_0 > \frac{29}{2.69} + 23 + 4 \times 2.69 \approx 44.5$$

حاصل ہوئے جس کے β کی قیمت 44.5 سے زیادہ ہو۔ مرتعش ہر وقت اپنی قدرتی تعداد پر ارتعاش کرتا ہے۔ یوں سکتا ہے جس کے $R_c = 2.69R$ رکھتے ہوئے مزاحمت-کپیسٹر مرتعش ایسا ٹرانزستر سے بنایا جا سکتا ہے کہ کم سے کم β کی قیمت 44.5 سے زیادہ ہو۔ مرتعش ہر وقت اپنی قدرتی تعداد پر ارتعاش کرتا ہے۔ یوں وہیں کار کے کپیسٹر کی برق رکاوٹ $\frac{-j}{\omega_C}$ کو مساوات 8.8 کی مدد سے $-jR\sqrt{6 + 4k}$ لکھا جا سکتا ہے۔ اس نتیجے کے مطابق اس برق رکاوٹ کی قیمت C کے بجائے مزاحمت R پر منحصر ہے۔ شکل 8.5 میں برق رکاوٹ Z_{RC} کی نشاندہی کی گئی ہے جو ٹرانزستر پر بطور برق بار لدا ہے۔ یوں Z_{RC} کی قیمت بھی پر منحصر نہیں ہو گی۔ اگرچہ واپس کار کے کسی بھی مزاحمت یا کپیسٹر کو تبدیل کرتے ہوئے اس مرتعش کی قدرتی تعداد تبدیل کی جا سکتی ہے، حقیقت میں عموماً وسیع حدود کے درمیان تعدد تبدیل کرنے کی خاطر تینوں کپیسٹروں کو ایک ساتھ برابر تبدیل کیا جاتا ہے۔ تینوں کپیسٹر یوں تبدیل کرنے سے Z_{RC} ، جو کہ بنیادی ایپلیفائر کا بار ہے، تبدیل نہیں ہوتا اور یوں ارتعاشی لہر کا حیطہ بھی تبدیل نہیں ہوتا۔ یہ مرتعش چند بہتر Hz سے کئی سو کلو بہتر kHz تک کے ارتعاش پیدا کرنے کے لئے استعمال کیا جاتا ہے۔ میگا بہتر MHz کے حدود میں اسے دیگر اقسام کے امالة۔ کپیسٹر LC مرتعشوں پر فوقیت حاصل نہیں۔

آئین اب Z_{RC} کی اصل قیمت حاصل کریں۔ شکل سے ظاہر ہے کہ

$$Z_{RC} = \frac{V_3}{I_6}$$



شكل 8.5: مزاحمت-کپیسٹر مرتعش کی مساوات کا حصول

کے برابر ہے۔ مساوات 8.4 اور مساوات 8.6 کی مدد سے

$$Z_{RC} = \frac{I_0 \left(R + \frac{6}{j\omega C} + \frac{5}{(j\omega C)^2 R} + \frac{1}{(j\omega C)^3 R^2} \right)}{I_0 \left(\frac{1}{k} + 3 - \frac{\left(\frac{5}{k}+1\right)}{(\omega CR)^2} + j \left[\frac{1}{(\omega CR)^3 k} - \frac{\left(\frac{6}{k}+4\right)}{\omega CR} \right] \right)}$$

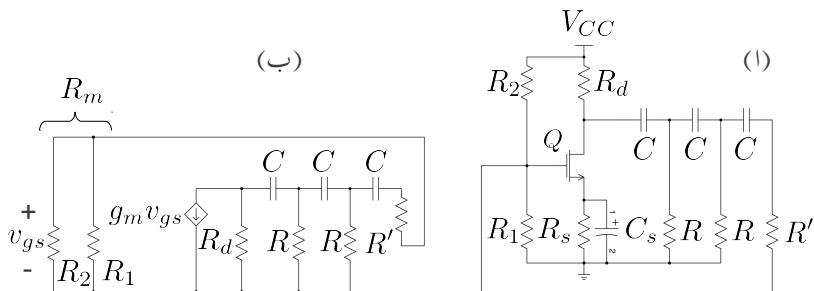
مساوات 8.8 میں دئے ω کی قیمت اس مساوات میں استعمال کرتے ہوئے

$$\begin{aligned} Z_{RC} &= \frac{R + \frac{6CR\sqrt{6+4k}}{jC} + \frac{5(CR\sqrt{6+4k})^2}{(jC)^2 R} + \frac{(CR\sqrt{6+4k})^3}{(jC)^3 R^2}}{\frac{1}{k} + 3 - \frac{\left(\frac{5}{k}+1\right)(CR\sqrt{6+4k})^2}{(CR)^2} + j \left[\frac{(CR\sqrt{6+4k})^3}{(CR)^3 k} - \frac{\left(\frac{6}{k}+4\right)(CR\sqrt{6+4k})}{CR} \right]} \\ &= \frac{-R \left[1 + \frac{6\sqrt{6+4k}}{j} + \frac{5(\sqrt{6+4k})^2}{(j)^2} + \frac{(\sqrt{6+4k})^3}{(j)^3} \right]}{\frac{29}{k} + 23 + 4k} \end{aligned}$$

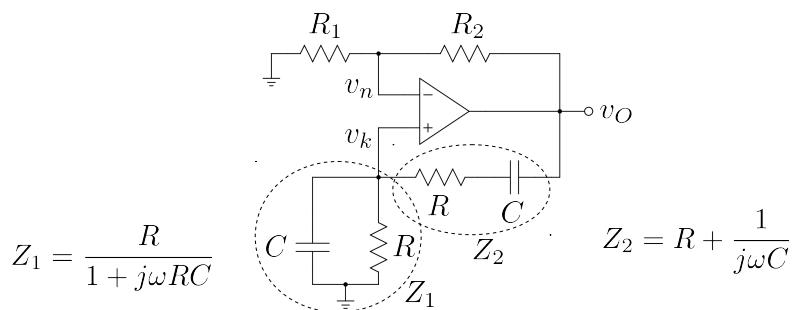
حاصل ہوتا ہے۔ اگر β مساوات 8.9 کے مطابق ہو تو

$$(8.11) \quad Z_{RC} = \frac{R}{\beta} \left[29 + 20k - j4k\sqrt{6+4k} \right]$$

حاصل ہوتا ہے۔



شکل 8.6: مزاحمت-کپیسٹر ماسفیٹ مرتعش



شکل 8.7: وائے مرتعش

شکل 8.6 الف میں ماسفیٹ سے RC مرتعش کا حصول دکھایا گیا ہے۔ شکل ب میں اسی کا مساوی دور دکھایا گیا ہے۔ جیسے آپ دیکھ سکتے ہیں یہ بالکل دو جوڑ ٹرانزستر کے دور کے طرح کا ہی ہے۔ حقیقی دور میں R' کے استعمال کی ضرورت نہیں ہوئی چونکہ R_1 اور R_2 کو یوں رکھنا ممکن ہو گا کہ یہ ماسفیٹ کو یک سنتی مائل کرنے کے ساتھ ساتھ $R = R_m = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$ کے شرط کو ہی پورا کرے جہاں $R_m = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$ برابر ہے۔

8.3 وائے مرتعش

شکل 8.7 میں وائے مرتعش⁷ دکھایا گیا ہے۔ وائے مرتعش⁸ پر پہلے بغیر حل کئے غور کرتے ہیں۔

Wien bridge oscillator⁷

⁸ اس مرتعش کو میکس وائے نے دریافت کیا۔

آپ جانتے ہیں کہ یک سمتی رو پر کپیسٹر کھلے سرے کردار ادا کرتا ہے۔ یوں اگر v_O برقرار کسی مثبت برق رو پر رہے تو Z_2 کھلے سرے کردار ادا کرے گا جبکہ Z_1 بطور مزاحمت R کردار ادا کرے گا۔ یوں v_k برق زمین پر رہے گا اور $v_k = 0$ ہو گا۔ اس کے برعکس R_1 اور R_2 حسابی ایمپلیفیٹر کے مشت خارجی برق دباو سے v_O پیدا کریں گے جو کہ مشت برق دباو ہو گا۔ ایسی صورت میں $v_k > v_O$ ہے اور حسابی ایمپلیفیٹر کا خارجی اشارہ v_O برقرار مشت نہیں رہ سکتا اور یہ جلد از جلد منفی ہونے کی کوشش کرے گا۔ آئیں اب تصور کریں کہ v_O برقرار کسی منفی برق دباو پر رہتا ہے۔ اس مرتبہ بھی $v_k = 0$ ہی حاصل ہوتا ہے البتہ منفی v_O کی صورت میں $v_n = \frac{R_1 v_O}{R_1 + R_2}$ بھی منفی برق دباو ہو گا اور یوں $v_n > v_k$ ہو گا۔ ایسی صورت میں حسابی ایمپلیفیٹر کا خارجی اشارہ برقرار منفی نہیں رہ سکتا اور یہ جلد از جلد مشت ہونے کی کوشش کرے گا۔ مندرجہ بالا تبصرے سے یہ حقیقت اجاگر ہوئی کہ v_O برقرار نہ مشت اور ناہی منفی برق دباو پر ٹھر سکتا ہے بلکہ یہ ارتعاش پذیر رہتا ہے۔

اگر $v_O = 0$ تصور کیا جائے تو $v_k = v_n = 0$ ہی حاصل ہوتے ہیں اور v_O برقرار برقی زمین پر بھی رہے گا۔ یہ صورت حال نا پائیدار ہے۔ برق ادوار میں مسلسل برق شور پایا جاتا ہے جس کی وجہ سے کسی بھی مقام پر پائیے جانے والے برق دباو میں لمحہ با لمحہ باریک تبدیلیاں پیدا ہوتی ہیں۔ یوں v_n اور v_k زیادہ دیر مکمل طور پر برابر برق دباو پر نہیں رہ سکتے اور جلد بھی لمحاتی طور پر $v_n > v_k$ اور یا $v_k < v_n$ ہو جائے گا۔ ایسا ہوتے ہی v_O حرکت میں آئے گا اور دور ارتعاش پذیر ہو جائے گا۔ آئیں اب وائے مرتعش کا تحلیلی تجزیہ کریں

وائے مرتعش کو دیکھتے ہوئے ہم لکھ سکتے ہیں۔

$$(8.12) \quad \begin{aligned} v_n &= \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2} \right) v_O \\ v_k &= \left(\frac{Z_1}{Z_1 + Z_2} \right) v_O \end{aligned}$$

جهان

$$(8.13) \quad \begin{aligned} Z_1 &= \frac{R}{1 + j\omega RC} \\ Z_2 &= R + \frac{1}{j\omega C} \\ &= \frac{1 + j\omega RC}{j\omega C} \end{aligned}$$

کے برابر ہیں۔ مساوات 8.13 کو مساوات 8.12 میں پُر کرتے ہوئے اور $v_k = v_n$ لکھتے ہوئے

$$\left(\frac{R_1}{R_1 + R_2} \right) v_O = \left(\frac{\frac{R}{1 + j\omega RC}}{\frac{R}{1 + j\omega RC} + \frac{1 + j\omega RC}{j\omega C}} \right) v_O$$

حاصل ہوتا ہے۔ اس کو حل کرتے ہوئے

$$\begin{aligned}\frac{R_1}{R_1 + R_2} &= \frac{j\omega RC}{j\omega RC + (1 + j\omega RC)^2} \\ &= \frac{j\omega RC}{j3\omega RC + 1 - \omega^2 R^2 C^2}\end{aligned}$$

یعنی

$$(8.14) \quad R_1 [j3\omega RC + 1 - \omega^2 R^2 C^2] = j\omega RC (R_1 + R_2)$$

ملتا ہے۔ اس مساوات کے حقیقی اور خیالی اجزاء علیحدہ کرتے ہوئے

$$\begin{aligned}R_1 (1 - \omega^2 R^2 C^2) &= 0 \\ j3\omega RCR_1 &= j\omega RC (R_1 + R_2)\end{aligned}$$

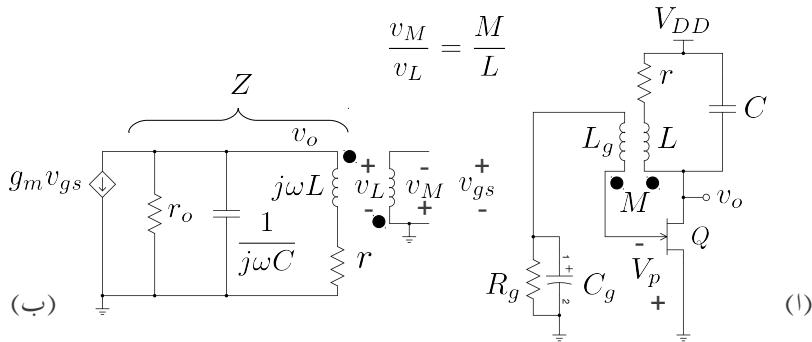
حاصل ہوتا ہے جس سے

$$(8.15) \quad \begin{aligned}\omega &= \omega_0 = \frac{1}{RC} \\ R_2 &= 2R_1\end{aligned}$$

حاصل ہوتا ہے۔ مساوات 8.15 وائے مرتعش کے شرائط بیان کرتے ہیں۔ ان شرائط کے مطابق وائے مرتعش کی قدرتی تعداد $\frac{1}{RC}$ کے برابر ہے اور یہ اس وقت ارتعاش کریے گا جب R_2 کی قیمت R_1 کے دکھا ہو۔ وائے مرتعش کو مشتبہ حسابی ایمپلیفیائر تصور کیا جا سکتا ہے جہاں v_k اس کا داخلی اشارہ جبکہ A_v اس کی افزائش ہے۔ $R_2 = 2R_1$ - کی صورت میں $\frac{R_1 + R_2}{R_1} A_v = 3 \frac{V}{V}$ کے برابر ہو گا۔ اس قیمت سے کم افزائش پر مرتعش ارتعاش پذیر نہ ہو پائے گا۔ مستحکم مرتعش کے لئے ضروری ہے کہ افزائش اس قیمت سے قدر زیادہ ہو۔ یوں حقیقت میں $2R_1 < R_2$ ہونا ضروری ہے۔ اگر R_2 کی قیمت $2R_1$ سے ذرہ سی زیادہ ہو تو مرتعش سائن مالہ خارج کرتا ہے البتہ $2R_1 \gg R_2$ کی صورت میں A_v کی قیمت ہتھ بڑھ جاتی ہے اور مرتعش مستطیل لہر خارج کرتا ہے۔

8.4 nJFET پر مبنی امالة-کپیسٹر LC بمسُر مرتعش

مزاحمت۔ کپیسٹر مرتعش میں RC کی کڑیاں جوڑ کر لمب کرے زاویے میں 180 کی تبدیلی پیدا کی گئی۔ اس حصے میں مشترک امالة (یعنی ٹرانسفارمر) کے استعمال سے 180 کی تبدیلی حاصل کی جائے گی۔ شکل 8.8 میں L اور L_g کو قریب رکھ کر مشترک امالة M حاصل کیا گیا ہے۔ اس مرتعش کی کارکردگی سمجھنے کی خاطر تصور کریں کہ ماسفیٹ میں w_0 تعداد کی برق روپائی جاتی ہے جس کی وجہ سے اس پر نسب LC پر اسی تعداد کی برق دباؤ پیدا ہو گی۔ مشترک امالة کی وجہ سے اس برق دباؤ کا کچھ حصہ L_g پر غودار ہوتے ہوئے ماسفیٹ کو چلائے گا۔ یوں گیٹ پر برق دباؤ سے LC پر برق دباؤ پیدا ہوتا ہے۔



شكل 8.8: امالة-کیپسٹر مرتعش

اور LC پر برق دباؤ کی وجہ سے گیٹ پر برق دباؤ پیدا ہوتا ہے۔ یہ نا ختم ہونے والا سلسلہ یوں برقرار رہے گا۔ آئیں اب اس مرتعش پر تحلیلی بحث کریں۔
 $nJFET$ کا گیٹ کھلے سرے کردار ادا کرتا ہے لہذا L_g میں صفر برق رو گزرنے گا۔ اس صورت میں اگر L پر برق دباؤ v_L پایا جائے تو L_g پر مشترکہ امالة M کی وجہ سے v_M پیدا ہو گا جہاں

$$(8.16) \quad \frac{v_M}{v_L} = \frac{M}{L}$$

کے برابر ہو گا۔ مشترکہ امالة میں برق طاقت کے ضیاع کو مزاہمت r سے ظاہر کیا گیا ہے۔ مشترکہ امالة میں نقطوں سے ہم زاویہ سرے دکھائئے جاتے ہیں۔ یوں اگر L پر برق دباؤ کا مشتب سرا نقطے کی جانب ہو تو L_g پر ہی برق دباؤ کا مشتب سرا نقطے کی جانب ہو گا۔ شکل سے واضح ہے کہ $v_{gs} = -v_M$ کے برابر ہے۔ یوں

$$(8.17) \quad v_{gs} = -\left(\frac{M}{L}\right)v_L$$

بوگا۔
 شکل ب میں $g_m v_{gs}Z = -\frac{v_o}{Z}$ کے برابر ہے جس سے $v_o = -g_m v_{gs}Z$ لکھا جا سکتا ہے جہاں

$$\frac{1}{Z} = \frac{1}{r_o} + j\omega C + \frac{1}{r + j\omega L}$$

کے برابر ہے۔ یوں

$$(8.18) \quad g_m v_{gs} = -\left(\frac{1}{r_o} + j\omega C + \frac{1}{r + j\omega L}\right)v_o$$

ہوگا۔ r اور L سلسلہ وار جڑے بین اور یون

$$(8.19) \quad v_L = \left(\frac{j\omega L}{r + j\omega L} \right) v_o$$

کے برابر ہے۔ یون مساوات 8.17 کو

$$(8.20) \quad v_{gs} = - \left(\frac{M}{L} \right) \left(\frac{j\omega L}{r + j\omega L} \right) v_o$$

اور مساوات 8.18 کو یون لکھ سکتے ہیں۔

$$-g_m \left(\frac{M}{L} \right) \left(\frac{j\omega L}{r + j\omega L} \right) v_o = - \left(\frac{1}{r_o} + j\omega C + \frac{1}{r + j\omega L} \right) v_o$$

دونوں جانب v_o کو کاٹتے ہوئے $(r + j\omega L)$ سے ضرب دیتے ہیں۔

$$(8.21) \quad \begin{aligned} j\omega M g_m &= \frac{r + j\omega L}{r_o} + j\omega C (r + j\omega L) + 1 \\ &= \frac{r}{r_o} + \frac{j\omega L}{r_o} + j\omega Cr - \omega^2 LC + 1 \end{aligned}$$

اس مساوات میں حقیقی اور خیالی جزو علیحدہ کئے جا سکتے ہیں۔ حقیقی جزو حل کرتے قدرتی تعدد ω_0 کی قیمت حاصل ہوتی ہے

$$(8.22) \quad \begin{aligned} \frac{r}{r_o} - \omega_0^2 LC + 1 &= 0 \\ \omega_0 &= \sqrt{\frac{1}{LC} \left(\frac{r}{r_o} + 1 \right)} \end{aligned}$$

حقیقت میں مشترکہ امالہ کی مزاحمت r کی قیمت ماسفیٹ کے مزاحمت r_o سے نہایت کم ہوتی ہے یعنی $r_o \ll r$ ہوتا ہے۔ یون مندرجہ بالا مساوات کے مطابق قدرتی تعدد کی قیمت تقریباً LC کی قدرتی تعدد کے برابر ہوتی ہے یعنی

$$(8.23) \quad \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

جہاں تقریباً کی جگہ برابر کا نشان استعمال کیا گیا ہے۔ اس اتفاق اور دلچسپ نتیجے کے مطابق یہ مرتعش متوازی جڑے LC کی قدرتی تعدد پر ارتعاش کرتا ہے۔ اسی نتیجے کی بنا پر اس مرتعش کو LC بمسُر مرتعش⁹ کہا جاتا ہے۔ اس مرتعش کی تعداد کپیسٹر C کی قیمت تبدیل کرتے ہوئے تبدیل کی جا سکتی ہے۔

مساوات 8.21 میں خیالی جزو حل کرتے ہوئے کم سے کم g_m کی قیمت حاصل ہوتی ہے یعنی

$$(8.24) \quad \begin{aligned} \omega M g_m &= \frac{\omega L}{r_o} + \omega C r \\ g_m &= \frac{1}{M} \left(\frac{L}{r_o} + C r \right) \end{aligned}$$

r کو نظر انداز کرتے ہوئے ہم دیکھتے ہیں کہ مرتعش ω_0 پر ارتعاش کرے گا۔ ω_0 پر متوازی جڑ LC کی برق رکاوٹ لا محدود ہو گئی اور بنیادی ایمپلیفیائر کے لئے ہم

$$v_o = -g_m v_{gs} r_o$$

لکھ سکتے ہیں۔ یوں

$$A_v = \frac{v_o}{v_{gs}} = -g_m r_o$$

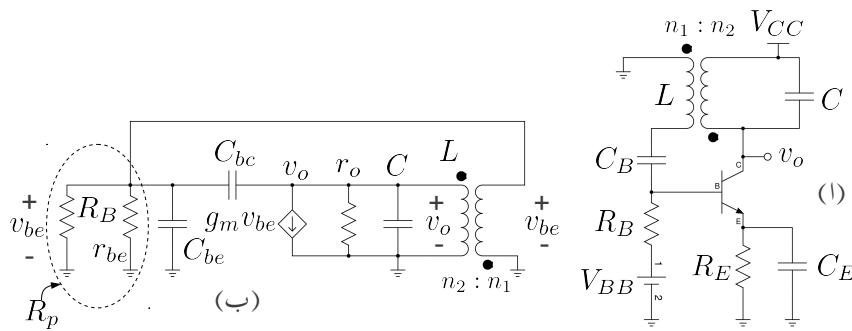
ہو گا۔ لا محدود بار پر افزائش کی حد تی قیمت کو μ لکھتے ہوئے یعنی $g_m r_o = \mu$ لیتے ہوئے مساوات 8.24 میں r_o کی جگہ $\frac{\mu}{g_m}$ لکھتے ہوئے حل کرتے ہیں۔

$$\begin{aligned} g_m M &= \frac{L}{r_o} + C r \\ g_m M &= \frac{L g_m}{\mu} + C r \\ g_m &= \frac{\mu C r}{\mu M - L} \end{aligned}$$

حقیقی مرتعش کی g_m اس سے زیادہ ہو گئی۔

8.4.1 خود-مائل دور

شکل 8.8 میں $nJFET$ کے مائل ہونے پر غور کرتے ہیں۔ تصور کریں کہ مرتعش ارتعاش پذیر ہے۔ یوں مشترکہ امالہ کی وجہ سے گیٹ پر سائن ٹنہ برق دباؤ $V_p \sin \omega t$ پایا جائے گا۔ $nJFET$ -کے گیٹ پر جب بھی مشتبہ برق دباؤ لا گو کی جائے یہ کسی بھی ڈائیوڈ کی طرح سیدھا مائل ہو جاتا ہے۔ گیٹ کا ڈائیوڈ، کپیسٹر C_g اور مزاہمت R_g بطور چوٹی حاصل کارکردار ادا کرتے ہیں جس پر حصہ 2.4 میں تفصیلاً غور کیا گیا ہے۔ یوں کپیسٹر C_g گیٹ پر پائے جانے والے سائن ٹنہ لہر کے چوٹی تک چارج ہو جائے گا یعنی اس پر برق دباؤ پایا جائے گا۔ جیسا شکل میں دکھایا گیا ہے، کپیسٹر پر برق دباؤ کا مشتبہ سرا برقی زمین کے ساتھ جڑا ہے۔ یوں گیٹ پر V_p برق دباؤ پایا جائے گا جو $nJFET$ کو مائل کرتا ہے۔ R_g کی قیمت یوں رکھی جاتی ہے کہ لہر کے ایک دوری عرصے میں C_g پر برق دباؤ برقرار رہے۔ ایسا کرنے کی خاطر $\frac{1}{f} \gg R_g C_g$ رکھا جاتا ہے جہاں f لہر کی تعداد ہے۔ اس مرتعش کی تعدد حاصل کرتے وقت تصور کیا



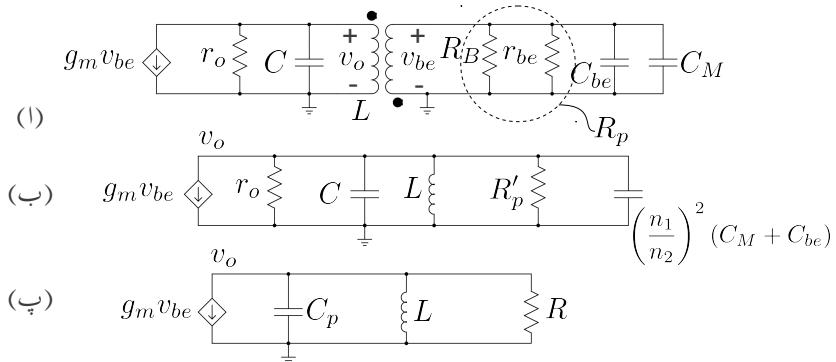
شکل 8.9: ٹرانزسٹر بمسر مرتعش

گیا تھا کہ گیٹ پر برق روکا گزر ممکن نہیں۔ یہاں ہم دیکھتے ہیں کہ $nJFET$ کو مائل کرنے کی خاطر گیٹ کے ڈائیڈ کا سیدھا مائل ہونا لازم ہے۔ چونکہ لمبی چوٹ پر نہایت کم دورانیہ کے لئے گیٹ کی سیدھا مائل ہوتا ہے جبکہ بقايا تمام وقت یہ الٹ مائل رہتا ہے لہذا گیٹ کو کھلے سرے تصور کیا جا سکتا ہے۔ جس لمحہ مرتعش کو برق طاقت V_{DD} مہبا کیا جائے اس لمحہ C_g پر صفر برق دباؤ پایا جاتا ہے۔ یوں $nJFET$ زیادہ i_{DS} گزرنے دیتا ہے جس سے اس کی g_m کی قیمت بھی زیادہ ہوتی ہے۔ زیادہ g_m کی وجہ سے دور کا ارتعاش پذیر ہونا ممکن ہوتا ہے۔ تصور کریں کہ ایسا ہی ہوتا ہے۔ g_m کی زیادہ قیمت کی وجہ سے ارتعاشی لمبی کا حیطہ پڑھتا جاتا ہے جس سے V_p پر برق دباؤ ہی پڑھتا جاتا ہے جو کہ گیٹ کو زیادہ سے زیادہ منفی کرتے ہوئے i_{DS} کی قیمت کو کم کرتا ہے۔ کم i_{DS} کی وجہ سے g_m کی قیمت بھی کم ہوتی ہے۔ آخر کار دور ایسی توازن اختیار کر لیتا ہے جہاں ارتعاشی لمبی کا حیطہ برقرار رہتا ہے۔

8.5 ٹرانزسٹر بمسر مرتعش

حصہ 8.4 میں $nJFET$ کا کم تعددی ماذل استعمال کرتے ہوئے مرتعش کو حل کرنا دکھایا گیا جس میں ٹرانسفارمر کو بطور مشترکہ امالہ تصور کیا گیا۔ اس حصے میں دو جوڑ ٹرانزسٹر کا بلند تعددی ماذل اور ٹرانسفارمر کے مساوات استعمال کرتے ہوئے بمسر مرتعش¹⁰ کا حل دکھایا جائے گا۔ ظاہر ہے کہ فیٹ پر مبنی مرتعش کو بھی اسی طرح حل کیا جا سکتا ہے۔ بلند تعدد پر ٹرانزسٹر (یا فیٹ) کے بلند تعدد ماذل ہی سے درست جوابات حاصل ہوتے ہیں لہذا بلند تعدد پر چلنے والے مرتعش کو حل کرتے ہوئے ٹرانزسٹر (یا فیٹ) کا بلند تعدد ماذل استعمال کرنا ضروری ہے۔ شکل 8.9 الف میں ٹرانزسٹر بمسر مرتعش دکھایا گیا ہے۔ ٹرانزسٹر کا بلند تعددی ماذل استعمال کرتے ہوئے شکل ب میں اسی کا مساوی دور دکھایا گیا ہے جس میں C_E اور C_B کو لاحدہ دلخواہ تصور کیا گیا ہے۔ مسئلہ ملو¹¹ کی مدد سے C_{bc} کا مساوی ملر کپیسٹر C_M استعمال کرتے ہیں۔ یوں C_M اور C_{be} متوالی جڑ جاتے ہیں۔ شکل 8.10 الف میں اسی دکھایا گیا ہے جہاں شکل کو قدر بہتر طرز پر بنایا گیا ہے۔ ٹرانسفارمر کے n_1 جانب برق رکاوٹ کا n_2 جانب عکس لیتے

tuned oscillator¹⁰
Miller theorem¹¹



شكل 10.8: ٹرانزسٹر بمسُر مرتعش کا باریک اشاراتی مساوی دور

بین۔ ایسا کرتے وقت برقی رکاوٹ کو $\left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2$ سے ضرب دیا جاتا ہے۔ یوں متوازی جزئے مزاحمت r_{be} اور R_p کو لکھتے ہوئے ٹرانسفارمر کی دوسری جانب منتقل کرتے R'_p حاصل ہوتا ہے جہاں

$$R'_p = \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2 R_p$$

کرے برابر ہے۔ C_M متوازی جزئے بین لہذا ان کا مجموع $C_{be} + C_M$ اور برقی رکاوٹ $\frac{1}{j\omega(C_{be}+C_M)}$ کرے برابر ہے۔ اس کا عکس

$$\left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2 \times \frac{1}{j\omega(C_{be}+C_M)}$$

بوگا جس کو

$$\frac{1}{j\omega \left[\frac{\frac{n_2^2}{n_1^2}}{n_2^2} (C_{be} + C_M) \right]}$$

لکھا جا سکتا ہے۔ یوں $C_{be} + C_M$ کا عکس

$$\left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 (C_{be} + C_M)$$

حاصل ہوتا ہے ہے جو C کے متوازی پایا جاتا ہے۔ ان تمام متوازی جزئے کپیسٹروں کو C_p لکھا گیا ہے جہاں

$$C_p = C + \left(\frac{n_1}{n_2} \right)^2 (C_{be} + C_M)$$

کے برابر ہے۔ اسی طرح متوازی جزئے r_o اور R'_p کے مجموعے کو R لکھا جا سکتا ہے۔ ایسا کرتے ہوئے شکل ب سے شکل پ حاصل ہوتا ہے۔
شکل پ کو حل کرتے ہیں جس میں

$$\frac{1}{Z} = j\omega C_p + \frac{1}{j\omega L} + \frac{1}{R}$$

کے برابر ہے۔ یوں $v_o = -g_m v_{be} Z$ کے برابر ہو گا جسے $v_o = -g_m v_{be} Z$ لکھا جا سکتا ہے یعنی

$$(8.25) \quad -g_m v_{be} = \left(j\omega C_p + \frac{1}{j\omega L} + \frac{1}{R} \right) v_o$$

ٹرانسفارمر کے دو جانب برق دباؤ کی شرح ان دو جانب چھوٹوں کے چکر کی شرح کے برابر ہوتا ہے۔ مزید اگر ایک جانب برق دباؤ کا مشتبہ سرا ٹرانسفارمر کی علامت پر دکھائے نقطے کی طرف ہو تو دوسرا جانب ہی برق دباؤ کا مشتبہ سرا اس جانب نقطے کی طرف کو ہو گا۔ ان دو حقائق سے

$$v_{be} = - \left(\frac{n_1}{n_2} \right) v_o$$

حاصل ہوتا ہے جہاں منفی کی علامت اس بات کو دکھلاتا ہے کہ ہم نے ٹرانسفارمر کے ایک جانب v_o کا مشتبہ سرا نقطے کی جانب جبکہ دوسرا جانب v_{be} کا مشتبہ سرا بغیر نقطے کی طرف رکھا ہے۔ ایسا کرنے سے اشارے میں 180 کی تبدیلی پیدا کی جاتی ہے جو کہ RC مرتعش میں تین کڑی RC سے حاصل کی گئی تھی۔
یوں مساوات 8.25 سے حاصل ہوتا ہے

$$g_m \left(\frac{n_1}{n_2} \right) v_o = \left(j\omega C_p + \frac{1}{j\omega L} + \frac{1}{R} \right) v_o$$

$$g_m \left(\frac{n_1}{n_2} \right) = \left(j\omega C_p + \frac{1}{j\omega L} + \frac{1}{R} \right)$$

اس مساوات کے خیالی اور حقیقی جزو علیحدہ کرتے ہیں۔ خیالی جزو سے حاصل ہوتا ہے

$$(8.26) \quad \omega_o = \frac{1}{\sqrt{LC_p}} = \frac{1}{\sqrt{L \left[C + \left(\frac{n_1}{n_2} \right)^2 (C_{be} + C_M) \right]}}$$

جکہ حقیقی جزو سے

$$g_m \left(\frac{n_1}{n_2} \right) = \frac{1}{R} = \left(\frac{n_1}{n_2} \right)^2 \times \frac{1}{R_p} + \frac{1}{r_o}$$

لکھا جا سکتا ہے۔ r_o - کی قیمت نسبتاً بہت زیادہ ہوتی ہے لہذا $\frac{1}{r_o}$ کو نظر انداز کرتے ہوئے

$$g_m R_p = \frac{n_1}{n_2}$$

حاصل ہوتا ہے۔ چونکہ R_B کی قیمت سے کئی درجے زیادہ ہوتی ہے لہذا

$$R_p = \frac{R_B r_{be}}{R_B + r_{be}} \approx r_{be}$$

ہوتا ہے اور یوں

$$g_m r_{be} = \frac{n_1}{n_2}$$

لکھا جا سکتا ہے۔ اس مساوات میں $g_m r_{be} = \beta$ کے استعمال سے

$$(8.27) \quad \beta = \frac{n_1}{n_2}$$

حاصل ہوتا ہے۔

قدرتی تعدد ω_0 پر متوازی جٹے L اور C_p کی برق رکاوٹ لامحدود ہوتی ہے لہذا شکل 8.10 پ میں

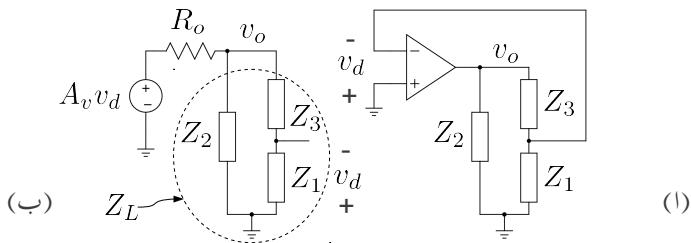
$$(8.28) \quad A_v = \frac{v_o}{v_{be}} = -g_m R$$

کے برابر ہو گا۔ یوں ملر کپیسٹر

$$C_M = C_{bc} (1 + g_m R)$$

کے برابر ہو گا۔

چونکہ $1 \gg \beta$ ہوتا ہے لہذا $1 \gg \frac{n_1}{n_2} \gg \frac{n_1}{n_2}$ ہو گا۔ اگر β کی قیمت $\frac{n_1}{n_2}$ سے معمولی زیادہ ہو تو مرتعش سائنس نما لمب خارج کرتا ہے۔ $\gg \frac{n_1}{n_2}$ کی صورت میں ٹرانزسٹر غیر خطی خطے میں داخلی ہو گا اور یہ مستطیل برق رو پیدا کرے گا البتہ L اور C_p اپنی قدرتی تعدد ω_0 پر ارتعاش کرتے ہیں لہذا مرتعش سائنس نما برق دباؤ v_o ہی خارج کرے گا۔



شکل 8.11: عمومی مرتعش

8.6 عمومی مرتعش

شکل 8.11 الف میں عمومی مرتعش دکھایا گیا ہے۔ کئی قسم کے مرتعش اس عمومی طرز پر بنائے جاتے ہیں جہاں بنادی ایپلیفائر کسی بھی قسم کا ہو سکتا ہے مسئللاً حسابی ایپلیفائر، دو جوڑ ٹرانزستر یا فیٹ پر مبنی ایپلیفائر وغیرہ۔ اس حصے میں بنادی ایپلیفائر کے داخلی مزاحمت کو لاحدود تصور کیا گیا ہے۔ ایسا فیٹ پر مبنی ایپلیفائر یا حسابی ایپلیفائر کے استعمال سے ممکن ہے۔ شکل ب میں ایپلیفائر کا ہمون مساوی دور استعمال کیا گیا ہے جہاں ایپلیفائر کے خارجی مزاحمت کو R_o لکھا گیا ہے۔ شکل ب میں

$$\frac{1}{Z_L} = \frac{1}{Z_2} + \frac{1}{Z_1 + Z_3}$$

$$Z_L = \frac{Z_2(Z_1 + Z_3)}{Z_1 + Z_2 + Z_3}$$

کے برابر ہے۔ یوں

$$(8.29) \quad v_o = A_v v_d \left(\frac{Z_L}{R_o + Z_L} \right)$$

کے برابر ہو گا۔ مزید یہ کہ Z_1 اور Z_3 کو سلسلہ وار جڑیں تصور کرتے ہوئے

$$(8.30) \quad v_d = - \left(\frac{Z_1}{Z_1 + Z_3} \right) v_o$$

حاصل ہوتا ہے۔ اس طرح مساوات 8.29 سے

$$(8.31) \quad v_o = A_v \left(\frac{-Z_1}{Z_1 + Z_3} \right) v_o \left(\frac{\frac{Z_2(Z_1 + Z_3)}{Z_1 + Z_2 + Z_3}}{R_o + \frac{Z_2(Z_1 + Z_3)}{Z_1 + Z_2 + Z_3}} \right)$$

$$1 = \frac{-A_v Z_1 Z_2}{R_o (Z_1 + Z_2 + Z_3) + Z_2 (Z_1 + Z_3)}$$

حاصل ہوتا ہے۔

اس مرتعش میں Z برقی رکاوٹ کو ظاہر کرتا ہے یوں امالة کی صورت میں $Z = j\omega L$ ہو گا جبکہ کپیسٹر کی صورت میں $Z = -\frac{j}{\omega C}$ ہو گا۔ ہم ωL کو X_L جبکہ $\frac{1}{\omega C}$ کو X_C لکھتے ہوئے $Z = jX$ لکھتے ہوئے ہے کہ سکتے ہیں جہاں مثبت X امالة کو ظاہر کرے گا جبکہ منفی X کپیسٹر کو ظاہر کرے گا۔ اس طرح مساوات 8.31 کو یوں لکھا جا سکتا ہے۔

$$(8.32) \quad \begin{aligned} 1 &= \frac{-A_v j X_1 j X_2}{R_o (j X_1 + j X_2 + j X_3) + j X_2 (j X_1 + j X_3)} \\ 1 &= \frac{A_v X_1 X_2}{j R_o (X_1 + X_2 + X_3) - X_2 (X_1 + X_3)} \end{aligned}$$

اس مساوات کے باہم پانچ صرف حقیقی مقداریں جبکہ اس کے دائیں پانچ حقیقی اور خیالی دونوں مقداریں پائیں جاتی ہیں۔ مساوات کے دو اطراف صرف اور صرف اس صورت برابر ہو سکتے ہیں جب دونوں جانب مقداریں برابر ہوں۔ چونکہ باہم پانچ خیالی مقداریں نہیں پائیں جاتے لہذا دائیں جانب خیالی مقداروں کی قیمت صفر ہو گی یعنی

$$(8.33) \quad X_1 + X_2 + X_3 = 0$$

اور یوں مساوات 8.32 مندرجہ ذیل صورت اختیار کر لے گا۔

$$1 = \frac{-A_v X_1 X_2}{X_2 (X_1 + X_3)} = \frac{-A_v X_1}{X_1 + X_3}$$

مساوات 8.33 سے $X_1 + X_3 = -X_2$ حاصل ہوتا ہے جس سے مندرجہ بالا مساوات میں استعمال کرتے ہوئے

$$1 = \frac{A_v X_1}{X_2}$$

یعنی

$$(8.34) \quad A_v = \frac{X_2}{X_1}$$

دیتا ہے۔ مساوات 8.34 کی درکار A_v دیتا ہے۔ حقیقت میں A_v اس قیمت سے زیادہ رکھا جائے گا۔ اس مساوات میں A_v مثبت قیمت رکھتا ہے لہذا مساواتی نشان کے دونوں جانب مثبت قیمتیں تب ممکن ہیں جب X_1 اور X_2 کی قیمتیں بھی یا تو دونوں مثبت ہوں اور یا پھر دونوں منفی ہوں۔ یعنی یا یہ دونوں امالة ہوں یا پھر دونوں کپیسٹر۔ چونکہ مساوات 8.33 کے تحت $X_1 + X_2 = -X_3$ ہو گا لہذا اگر X_1 اور X_2 دونوں کپیسٹر ہوں تب X_3 امالة ہو گا اور ایسی صورت میں مرتعش کو بارٹلیے مرتعش¹² پکارتے ہیں اور اگر X_1 اور X_2 دونوں کپیسٹر ہوں تب X_3 امالة ہو گا اور ایسی صورت میں اسے کالپس مرتعش¹³ پکارا جاتا ہے۔¹⁴

Hartley oscillator¹²
Colpitts oscillator¹³

¹⁴ رالف بارٹلی نے بارٹلیے مرتعش جبکہ ایڈون بنی کالپس نے کالپس مرتعش کا دور دریافت کیا۔

اگر X_1 اور X_2 دونوں امالہ ہوں تب مساوات 8.33 کو

$$j\omega L_1 + j\omega L_2 - \frac{j}{\omega C_3} = 0$$

لکھا جا سکتا ہے جس سے

$$(8.35) \quad \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{(L_1 + L_2)C}}$$

حاصل ہوتا ہے۔ اسی طرح اگر X_1 اور X_2 کپیسٹر ہوں تب مساوات 8.33 کو

$$-\frac{j}{\omega C_1} - \frac{1}{\omega C_2} + j\omega L_3 = 0$$

لکھا جا سکتا ہے جس سے

$$(8.36) \quad \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

حاصل ہوتا ہے جہاں

$$(8.37) \quad C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$$

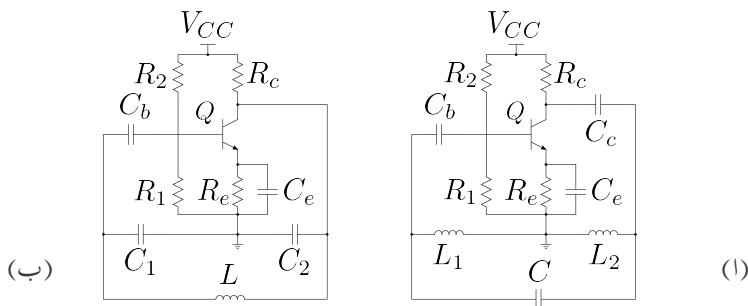
یعنی C_1 اور C_2 کی سلسلہ وار جزوی کل کپیسٹر ہے۔

8.7 بارٹلے اور کالپیس مرتعش

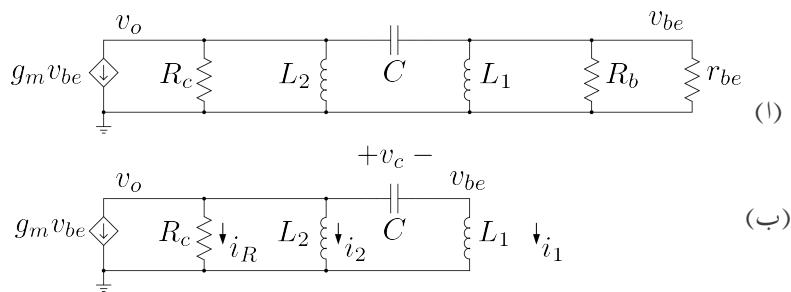
شکل 8.12 میں ٹرانزسٹر ایمپلیفیائر استعمال کرتے ہوئے بارٹلے اور کالپیس مرتعش بنائے گئے ہیں۔ شکل الف میں واپس کار یعنی L_1 ، L_2 اور C کی شمولیت سے بنیادی ایمپلیفیائر مرتعش میں تبدیل ہو جاتا ہے۔ شکل 8.11 کے ساتھ موازنہ کرنے سے آپ دیکھ سکتے ہیں کہ L_1 دراصل X_1 ہے، L_2 دراصل X_2 ہے جبکہ C دراصل X_3 ہے۔ اور C_c اس بات کو یقینی بناتے ہیں کہ واپس کار کی شمولیت سے بنیادی ایمپلیفیائر کے نقطہ مائل پر کوئی اثر نہیں ہو گا۔ شکل ب میں C_c کی ضرورت نہیں چونکہ C_1 ، C_2 اور C_b کی موجودگی میں اس راستے یک سمتی روکاگر ممکن نہیں۔ C_e - قصری کپیسٹر¹⁵ ہے جبکہ C_c اور C_b جفتی کپیسٹر¹⁶ ہیں۔ چالو تعدد پر C_c ، C_b اور C_e کو لامحدود تصور کیا جاتا ہے۔

بلند تعدد پر ان اشکال کو حل کرتے ہوئے ٹرانزسٹر کے بلند تعددی ماڈل استعمال ہو گا۔ ایسا کرتے وقت ماڈل کے مختلف جزو کو ہی واپس کار کا حصہ تصور کیا جا سکتا ہے۔ مثلاً ٹہایت بلند تعدد کالپیس مرتعش تخلیق دیتے وقت ٹرانزسٹر کے بلند تعدد ماڈل کے جزو C_{bc} اور C_{be} کا مساوی ملر کپیسٹر¹⁷ C_M کے مجموعے کو بطور C_1 استعمال کیا جاتا ہے (یعنی $C_1 = C_{be} + C_M$ ۔)

bypass capacitor¹⁵
coupling capacitors¹⁶
Miller capacitance¹⁷



شکل 8.12: ٹرانزسٹر پر مبنی بارٹلے اور کالپش مرتعش



شکل 8.13: ٹرانزسٹر پر مبنی بارٹلے مرتعش کا پست تعددی مساوی دور

شکل 8.11 کے عمومی مرتعش میں بنیادی ایمپلیفائر کا داخلی مزاحمت لامحدود ہے جبکہ شکل 8.12 کے دونوں مرتعش میں ایسا نہیں ہے۔

مثال 8.2: ٹرانزسٹر کا پست تعددی ماذل استعمال کرتے ہوئے شکل 8.12 الف کو حل کریں۔ حل کرتے وقت بنیادی ایمپلیفائر کے داخلی مزاحمت کو لامحدود تصور کرتے ہوئے نظر انداز کریں۔

حل: شکل 8.13 الف میں اس کا باریک اشاراتی مساوی دور دکھایا گیا ہے جس میں $R_1 \parallel R_2 \parallel R_b \parallel r_{be}$ لکھا گیا ہے۔ بنیادی ایمپلیفائر کا داخلی مزاحمت $\parallel R_b \parallel r_{be}$ کے برابر ہے جو $j\omega L_1$ کے متوازی جزا ہے $|j\omega L_1| \gg R_b \parallel r_{be}$ تصور کرتے ہوئے شکل ب حاصل ہوتا ہے۔

شکل ب میں اگر ٹرانزسٹر کا داخلی برق دباؤ v_{be} ہو تو L_1 میں برق رو

$$i_1 = \frac{v_{be}}{j\omega L_1}$$

ہو گئی جو کپیسٹر C سے گزرتے ہوئے اس پر

$$v_c = \frac{v_{be}}{j\omega L_1} \times \frac{1}{j\omega C} = -\frac{v_{be}}{\omega^2 L_1 C}$$

برق دباؤ پیدا کرے گا۔ یوں

$$\begin{aligned} v_o &= v_{be} + v_c \\ &= v_{be} - \frac{v_{be}}{\omega^2 L_1 C} \end{aligned}$$

ہو گا۔ L_2 میں

$$i_2 = \frac{v_o}{j\omega L_2} = \frac{v_{be} - \frac{v_{be}}{\omega^2 L_1 C}}{j\omega L_2}$$

اور R_c میں

$$i_R = \frac{v_o}{R_c} = \frac{v_{be} - \frac{v_{be}}{\omega^2 L_1 C}}{R_c}$$

پایا جائے گا۔ یوں کرچاف کے قانون برائے برق کی مدد سے ہم لکھ سکتے ہیں

$$\begin{aligned} -g_m v_{be} &= \frac{v_{be} - \frac{v_{be}}{\omega^2 L_1 C}}{R_c} + \frac{v_{be} - \frac{v_{be}}{\omega^2 L_1 C}}{j\omega L_2} + \frac{v_{be}}{j\omega L_1} \\ &= v_{be} \left[\frac{1}{R_c} - \frac{1}{\omega^2 R_c L_1 C} + \frac{1}{j\omega L_2} - \frac{1}{j\omega^3 L_1 L_2 C} + \frac{1}{j\omega L_1} \right] \end{aligned}$$

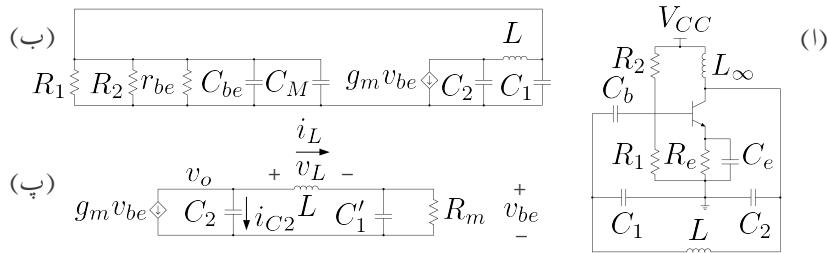
اس مساوات کے خیالی اور حقیقی اور اجزاء علیحدہ کرتے ملتا ہے

$$0 = \frac{1}{j\omega L_2} - \frac{1}{j\omega^3 L_1 L_2 C} + \frac{1}{j\omega L_1} \quad \text{خیالی}$$

$$-g_m = \frac{1}{R_c} - \frac{1}{\omega^2 R_c L_1 C} \quad \text{حقیقی}$$

خیالی جزو سے

$$(8.38) \quad \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{(L_1 + L_2) C}}$$



شكل 8.14: ٹرانزسٹر پر مبنی کالپنس مرتعش

اور حقیقی جزو سے

$$(8.39) \quad g_m R_c = |A_v| = \frac{L_2}{L_1}$$

حاصل ہوتا ہے۔ ان دو مساوات کا مساوات 8.35 اور مساوات 8.34 سے موازنہ کریں۔

مثال 8.3: شکل 8.14 الف میں ٹرانزسٹر پر مبنی کالپنس مرتعش دکھایا گیا ہے جس میں ٹرانزسٹر کے کلکٹر پر امالة L_{∞} نسب کیا گیا ہے۔ اس امالة کی قیمت مرتعش کے تعدد پر لامحدود تصور کی جاتی ہے۔ مرتعش کو حل کریں۔

حل: شکل ب میں ٹرانزسٹر کا بلند تعداد ماذل استعمال کرتے ہوئے مرتعش کا مساوی دور دکھایا گیا ہے جہاں مسئلہ ملکی مدد سے C_{bc} کا مساوی C_{bc} دکھایا گیا ہے۔ متوازی جڑی مزاحمت R_1 ، R_2 اور R_m کو r_{be} جیکہ متوازی جڑی کپیسٹر C_{be} ، C_M اور C'_1 کو لکھتے ہوئے شکل پ حاصل کی گئی ہے۔ حقیقت میں r_{be} کی قیمت R_1 اور R_2 سے بہت کم ہوتی ہے اور $R_m \approx r_{be}$ لیا جاسکتا ہے۔ اور C'_1 متوازی جڑی بین اور ان پر برقی دباؤ v_{be} پایا جاتا ہے۔ یوں ان میں برقی رو

$$i_{R_m} = \frac{v_{be}}{R_m}$$

$$i_{C'_1} = j\omega C'_1 v_{be}$$

بوگی۔ یوں کچاف کے قانون برائے برقی رو کے تحت

$$i_L = i_{R_m} + i_{C'_1} = \frac{v_{be}}{R_m} + j\omega C'_1 v_{be}$$

ہوگا۔ اس طرح

$$v_L = j\omega L i_L = j\omega L \left(\frac{1}{R_m} + j\omega C'_1 \right) v_{be}$$

جبکہ

$$v_o = v_{be} + v_L = \left[1 + j\omega L \left(\frac{1}{R_m} + j\omega C'_1 \right) \right] v_{be}$$

اور

$$i_{C_2} = j\omega C_2 v_o = j\omega C_2 \left[1 + j\omega L \left(\frac{1}{R_m} + j\omega C'_1 \right) \right] v_{be}$$

ہوں گے۔ کرچاف کے قانون برائے برق روکے تھت بے یعنی $i_{C_2} + i_L = -g_m v_{be}$

$$\begin{aligned} -g_m v_{be} &= j\omega C_2 \left[1 + j\omega L \left(\frac{1}{R_m} + j\omega C'_1 \right) \right] v_{be} + \left(\frac{1}{R_m} + j\omega C'_1 \right) v_{be} \\ -g_m &= j\omega C_2 \left[1 + j\omega L \left(\frac{1}{R_m} + j\omega C'_1 \right) \right] + \left(\frac{1}{R_m} + j\omega C'_1 \right) \\ -g_m &= j\omega C_2 - \omega^2 L C_2 \left(\frac{1}{R_m} + j\omega C'_1 \right) + \frac{1}{R_m} + j\omega C'_1 \\ -g_m &= j\omega C_2 - \frac{\omega^2 L C_2}{R_m} - j\omega^3 C'_1 L C_2 + \frac{1}{R_m} + j\omega C'_1 \end{aligned} \quad (8.40)$$

اس مساوات کے خیالی جزو سے حاصل ہوتا ہے

$$\begin{aligned} \omega C_2 - \omega^3 C'_1 L C_2 + \omega C'_1 &= 0 \\ \omega \left(C_2 - \omega^2 C'_1 L C_2 + C'_1 \right) &= 0 \end{aligned}$$

چونکہ چالو مرتعش کی تعداد صفر نہیں ہوتی (یعنی $\omega \neq 0$) لہذا

$$C_2 - \omega^2 C'_1 L C_2 + C'_1 = 0$$

ہوگا جس سے حاصل ہوتا ہے

$$\omega = \omega_o = \sqrt{\frac{C'_1 + C_2}{L C'_1 C_2}} = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (8.41)$$

جهان

$$(8.42) \quad \frac{1}{C} = \frac{1}{C'_1} + \frac{1}{C_2} = \frac{C'_1 + C_2}{C'_1 C_2}$$

کے برابر ہے۔ ω_0 مرتعش کی قدرتی تعداد ہے۔
مساوات 8.40 کے حقیقی جزو سے حاصل ہوتا ہے۔

$$-g_m = -\frac{\omega^2 L C_2}{R_m} + \frac{1}{R_m}$$

اس میں ω_0 کی قیمت استعمال کرتے حاصل ہوتا ہے

$$\begin{aligned} -g_m &= -\left(\frac{C'_1 + C_2}{L C'_1 C_2}\right) \frac{L C_2}{R_m} + \frac{1}{R_m} \\ g_m R_m &= \frac{C_2}{C'_1} \end{aligned}$$

$R_m \approx r_{be}$ لیتے ہوئے اور $\beta = g_m r_{be}$ کے برابر ہوگا اور یوں مندرجہ بالا مساوات سے حاصل ہوگا

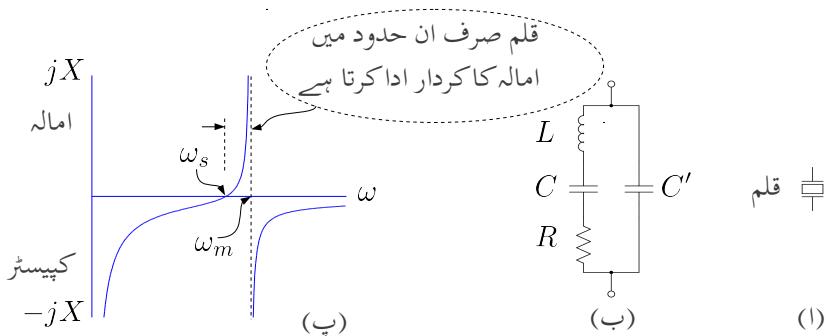
$$(8.43) \quad \beta \approx \frac{C_2}{C'_1}$$

حقیقت میں β کی قیمت اس مساوات میں دیے گئے سے زیادہ رکھی جائے گی۔

8.7.1 قلمی مرتعش

ایسا قلم¹⁸ جسے دبانے سے اس کے دو اطراف کے مابین برق دباؤ پیدا ہوتا ہے کو داب برق قلم¹⁹ کہتے ہیں۔ داب برق قلم پر برق دباؤ لاگو کرنے سے یہ پھیلتا (یا سکرتا) ہے۔ ایسے داب برق قلم کے قدرتی میکانی تعدد پر برق دباؤ فراہم کرتے ہوئے اسے ارتعاش پذیر بنایا جا سکتا ہے۔ قلموں کی طبیعتی خوبیاں انتہائی مستحکم ہوتی ہیں جو وقت یا حرارت سے بہت کم متاثر ہوتی ہیں۔ اسی لئے ایسے قلم کی قدرتی تعدد کی قیمت بھی مستحکم رہتے ہوئے تبدیل نہیں ہوتی۔ اسی خوبی کی بنا پر انہیں عموماً وقت ناپنے کے لئے استعمال کیا جاتا ہے۔ کوارٹر²⁰ گھنی کا صحیح وقت دکھانا مثالی ہے۔ دھاتی ڈبے میں بند، چند کلو ہرٹز kHz سے کئی میگا ہرٹز MHz تک کے قدرتی تعدد والے کوارٹر کے قلم، منڈی میں عام دستیاب ہیں۔ ڈبے پر قلم کی قدرتی تعدد کی قیمت لکھی گئی ہوتی ہے۔

crystal¹⁸
piezoelectric crystal¹⁹
quartz²⁰



شکل 8.15: داب برقی قلم

شکل 8.15 الف میں قلم کی علامت دکھائی گئی ہے جبکہ شکل ب میں اس کا مساوی دور دکھایا گیا ہے۔ مساوی دور میں قلم کے میکانی خوبی مامن m کو امالة L ، اسپرنگ کے مستقل K کے معکوس کو کپیسٹر C اور میکانی مزاحمت کو برقی مزاحمت R سے ظاہر کیا جاتا ہے جبکہ C' قلم کے دونوں سروں پر دھاق جوڑوں کے مابین کپیسٹر ہے۔

شکل ب میں مزاحمت R کو نظرانداز کرتے ہوئے قلم کی برق رکاوٹ حاصل کرتے ہیں۔

$$\begin{aligned}
 \frac{1}{Z} &= j\omega C' + \frac{1}{j\omega L + \frac{1}{j\omega C}} \\
 &= \frac{j\omega C' \left(j\omega L + \frac{1}{j\omega C} \right) + 1}{j\omega L + \frac{1}{j\omega C}} \\
 &= \frac{j\omega C' \left(j\omega L + \frac{1}{j\omega C} + \frac{1}{j\omega C'} \right)}{j\omega L + \frac{1}{j\omega C}} \\
 &= \frac{j\omega C' \left(j\omega L + \frac{1}{j\omega} \left(\frac{1}{C} + \frac{1}{C'} \right) \right)}{j\omega L + \frac{1}{j\omega C}}
 \end{aligned} \tag{8.44}$$

شکل ب میں C اور C' کو سلسلہ وار جزئی تصور کرتے ہوئے ہم دیکھتے ہیں کہ یہ دونوں L کے متوازی جزئی ہیں۔ یوں L کے متوازی جزئی کپیسٹر کو C_m لکھا جا سکتا ہے جہاں

$$\frac{1}{C_m} = \frac{1}{C} + \frac{1}{C'}$$

کے برابر ہے۔ اس طرح مساوات 8.44 کو یوں لکھا جا سکتا ہے

$$\begin{aligned} \frac{1}{Z} &= \frac{j\omega C' \left(j\omega L + \frac{1}{j\omega C_m} \right)}{j\omega L + \frac{1}{j\omega C}} \\ &= \frac{j\omega C' \left(j\omega L - \frac{j}{\omega C_m} \right)}{j\omega L - \frac{j}{\omega C}} \\ &= \frac{j\omega C' \left(\frac{jL}{\omega} \right) \left(\omega^2 - \frac{1}{LC_m} \right)}{\left(\frac{jL}{\omega} \right) \left(\omega^2 - \frac{1}{LC} \right)} \\ &= \frac{j\omega C' \left(\omega^2 - \frac{1}{LC_m} \right)}{\left(\omega^2 - \frac{1}{LC} \right)} \end{aligned}$$

جہاں $j = \frac{1}{j}$ کا استعمال کیا گیا ہے۔

قلم کے دو سروں سے دیکھتے ہوئے L کے ساتھ C سلسلہ وار جزا معلوم ہوتا ہے جبکہ L کے دو سروں سے دیکھتے ہوئے L کے ساتھ C_m متوازی جزا معلوم ہوتا ہے۔ $\frac{1}{LC} = \frac{1}{LC_m}$ کو $\omega_s^2 = \omega_m^2$ اور اس کے ساتھ سلسلہ وار جزر کپیسٹر C کی سلسلہ وار قدرتی تعدد جبکہ L کو $\omega_m^2 = \frac{1}{LC_m}$ اور اس کے ساتھ متوازی جزر کپیسٹر C_m کی متوازی قدرتی تعدد تصور کرتے ہوئے مندرجہ بالا مساوات کو یوں لکھا جا سکتا ہے

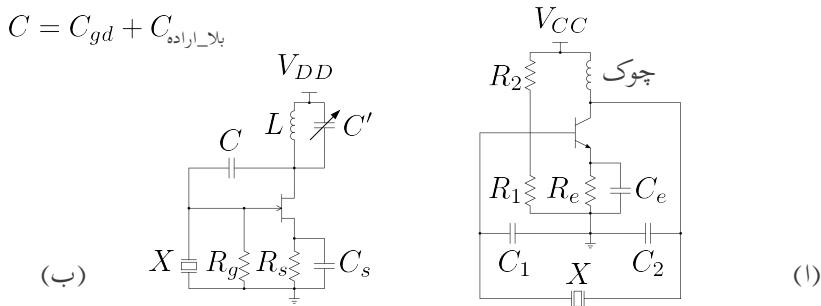
$$\frac{1}{Z} = \frac{j\omega C' \left(\omega^2 - \omega_m^2 \right)}{\left(\omega^2 - \omega_s^2 \right)}$$

جس سے حاصل ہوتا ہے

$$(8.45) \quad Z = \frac{-j \left(\omega^2 - \omega_s^2 \right)}{\omega C' \left(\omega^2 - \omega_m^2 \right)}$$

اس مساوات کو شکل 8.15 پ میں گراف کیا گیا ہے۔ حقیقت میں C' کی قیمت سے کٹی درجے زیادہ ہوتی ہے (یعنی $C' \gg C$)۔ یوں C_m کی قیمت C سے قدر کم ہوتا ہے جس سے ω_s کی قیمت ω_m کے قیمت سے قدر کم ہوتا ہے۔ ان دو قدرتی تعدد کی قیمتیوں میں 1% سے بھی کم فرق ہوتا ہے۔ مساوات 8.45 میں دیا برق رکاوٹ $\omega_m < \omega < \omega_s$ کے حدود میں بطور امالہ جبکہ $\omega_s < \omega < \omega_m$ کے حدود میں بطور کپیسٹر کردار ادا کرتا ہے۔

مندرجہ بالا تذکرے کو مد نظر رکھتے ہوئے ہم دیکھتے ہیں کہ کالپیس مرتعش میں امالہ کی جگہ قلم استعمال کیا جا سکتا ہے۔ شکل 8.14 میں ایسا کرتے ہوئے شکل 8.16 الف کا کالپیس قلمی مرتعش حاصل ہوتا ہے۔ چونکہ قلم صرف $\omega_m < \omega < \omega_s$ حدود میں بطور امالہ کردار ادا کرتا ہے لہذا ایسا



شکل 8.16: قلمی کالپیس اور بارٹلر مرتعش

مرتعش صرف انہیں حدود کے درمیان ارتعاش پذیر رہ سکتا ہے اور اس کی تعداد انہیں حدود کے درمیان رہیے گی۔ آپ دیکھ سکتے ہیں کہ قلمی مروتعش²¹ کی تعداد صرف قلم کی قدرتی تعداد پر منحصر ہے۔ اب چونکہ $w_m \approx w_s$ ہوتا ہے لہذا حقیقت میں ایسے مرتعش کی $w_m \approx w_s$ رہے گی۔ چونکہ مساوات 8.41 کی اس مرتعش کی تعداد دیتا ہے لہذا قلمی مرتعش اپنی تعداد w_s اور w_m کے درمیان اس جگہ برقار رکھئے گا جہاں مساوات 8.45 سے حاصل قلم کی برق رکاوٹ (یعنی L) کو استعمال کرتے ہوئے مساوات 8.41 سے ہی تعدد حاصل ہو۔ قلمی مرتعش کے استعمال کا مقصد ایک حتیٰ تعدد حاصل کرنا ہے جو قلم کو $w_m \approx w_s$ حدود میں استعمال کرئے حاصل ہوتا ہے۔

شکل 8.16 ب میں قلمی پارٹلے مرتعش دکھایا گیا ہے۔ C' کو نظر انداز کرتے اور قلم کو امالہ تصور کرتے ہوئے L ، C اور قلم پارٹلے مرتعش کی جانی چہجانی شکل میں جڑے ہیں۔ C' کی قیمت اتنی رکھی جاتی ہے کہ درکار تعدد پر متوازی جڑے L اور C' (جنہیں عام فہم میں LC ٹینک²² کہا جاتا ہے) کا مجموعہ امالہ کا کردار ادا کرے۔ عموماً C' قابل تبدیل کپیسٹر ہوتا ہے جس کی قیمت تبدیل کرتے ہوئے مرتعش کی تعداد باریکی سے قابو کی جاتی ہے۔ چونکہ متوازی جڑے LC کی برق رکاوٹ ان کے قدرق متوازی تعدد پر لاحدہ ہوئی ہے لہذا LC ٹینک کی قدرق متوازی تعدد کو مرتعش کے تعدد کے قریب رکھتے ہوئے $nJFET$ کے ڈرین پر ہے زیادہ برق رکاوٹ حاصل کیا جاتا ہے جس سے بنیادی ایمپلیفیاٹر کی افزائش زیادہ حاصل ہوئی ہے اور ارتعاشی اشارے کا حیطہ زیادہ سے زیادہ حاصل کرنا ممکن ہوتا ہے۔ اس مرتعش میں بیرونی کپیسٹر C کا استعمال ضروری نہیں۔ نہایت بلند تعدد حاصل کرتے وقت اس کپیسٹر کو نسبت نہیں کیا جاتا اور $nJFET$ کی اندروئی کپیسٹر C_{gd} اور $nJFET$ کے ڈرین اور گیٹ کے مابین تاروں کے مابین بلا ارادہ پائیے جانے والی کپیسٹر کو زیر استعمال لایا جاتا ہے۔

crystal oscillator²¹
tank²²

سوالات

سوال 8.1: شکل 8.3 ب میں RC کے دو حصے ترتیب وار جوڑے گئے ہیں۔ اس میں $\frac{\hat{V}_o}{\hat{V}_i}$ کی مساوات حاصل کریں۔ اگر $f = 10 \text{ kHz}$ اور $C = 0.01 \mu\text{F}$ ہوں تب \hat{V}_o اور \hat{V}_i میں کل 120° کا زاویہ حاصل کرنے کی خاطر درکار مزاحمت حاصل کریں۔

جوابات:

$$\frac{\hat{V}_o}{\hat{V}_i} = \frac{1}{1 + j\beta\omega RC - \omega^2 R^2 C^2}$$

$$R = 1196 \Omega$$

سوال 8.2: RC مرتعش میں کم سے کم ممکنہ β کا ٹرانزسٹر استعمال کیا جاتا ہے۔ $R = 200 \Omega$ کی صورت میں Z_{RC} کی قیمت حاصل کریں۔

$$Z_{RC} = 372 - j198$$

سوال 8.3: شکل 8.4 میں RC مرتعش دکھایا گیا ہے جس میں

$$V_{CC} = 9 \text{ V}, \quad R_c = 3 \text{ k}\Omega, \quad R_e = 1 \text{ k}\Omega$$

$$R_1 = 12.5 \text{ k}\Omega, \quad R_2 = 50 \text{ k}\Omega, \quad \beta = 99$$

بین-10 kHz پر چلنے کی خاطر درکار C اور R' حاصل کریں۔

جوابات: $I_{CQ} = 1 \text{ mA}$ اور $r_{be} = 2.54 \text{ k}\Omega$ بین- $k = 2.69$ اور $R_m = 2 \text{ k}\Omega$ حاصل ہوتا ہے جس سے $C = 3.5 \text{ nF}$ حاصل ہوتا ہے۔ چونکہ $R_m > R$ ہے لہذا تمام R برابر رکھنا ممکن نہ ہو گا اور یوں $R' = R/k$ کا قدر تعدد 10 kHz سے قدر مختلف ہو گی۔

سوال 8.4: شکل 8.4 کے RC مرتعش میں

$$V_{CC} = 9 \text{ V}, \quad R_c = 3.36 \text{ k}\Omega, \quad R_e = 1 \text{ k}\Omega$$

$$R_1 = 6.25 \text{ k}\Omega, \quad R_2 = 25 \text{ k}\Omega, \quad \beta = 49$$

بین-10 kHz پر چلنے کی خاطر درکار C اور R' حاصل کریں۔

جوابات: $I_{CQ} = 1 \text{ mA}$ اور $r_{be} = 1.25 \text{ k}\Omega$ بین- $k = 2.69$ کی صورت میں $R = 1250 \Omega$ حاصل ہوتا ہے جس سے $C = 3.1 \text{ nF}$ حاصل ہوتا ہے۔ $R_m = 1 \text{ k}\Omega$ اور $R' = 250 \Omega$ کا قدر تعدد رکھا جائے گا۔

سوال 8.5: صفحہ 729 پر شکل 8.7 میں وائی مرتعش دکھایا گیا ہے۔ $C = 0.1 \mu\text{F}$ ، $R = 15.9 \text{ k}\Omega$ ، $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$ اور $R_2 = 25 \text{ k}\Omega$ کی صورت میں مرتعش کی قدرتی تعدد حاصل کریں۔

$$f_0 = 100 \text{ Hz}$$

سوال 8.6: شکل 8.9 میں ٹرانزسٹر کا $V_A = 200 \text{ V}$ ، $\beta = 39$ ، $C_{bc} = 4 \text{ pF}$ اور $C_{be} = 10 \text{ pF}$ ہے۔ $I_{CQ} = 1 \text{ mA}$ اور $R_B = 5 \text{ k}\Omega$ بین جبکہ $R_B = 5 \text{ k}\Omega$ اور $C = 20 \text{ nF}$ اور $L = 200 \text{ nH}$ ہوں تب f_0 کیا ہو گا۔

جوابات: $R'_p = 0.51 \Omega$ ، $r_o = 200 \text{ k}\Omega$ ، $r_{be} = 925 \Omega$ ، $g_m = 0.04 \text{ S}$ ، $\frac{n_2}{n_1} = 0.02564$ اور $C_p = 39.166 \text{ nF}$ ، $C_M \approx 4 \text{ pF}$ ، $R \approx 0.51 \Omega$ ہو گا۔

سوال 8.7: شکل 8.12 کی جگہ لامحدود L نسب کیا جاتا ہے- R_B - کو نظر انداز کرتے اور ٹرانزستر کا پست تعدادی مساوی پائے ماذل استعمال کرتے ہوئے اسے حل کریں۔

$$\text{جوابات: } \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \text{ جہاں } C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} \text{ کے برابر ہے جبکہ } \beta = \frac{C_2}{C_1} = \beta \text{ حاصل ہوتا ہے۔}$$

سوال 8.8: سوال 8.7 کے کالپس مرتعش میں ٹرانزستر کا $50 = \beta$ ہے۔ اگر اس میں $C_1 = 0.01 \mu\text{F}$ رکھا جائے تو 200 kHz پر ارتعاش کرنے مرتعش کے بقایا اجزاء کے قیمتیں کیا ہوں گی؟

$$\text{جوابات: } L = 65 \mu\text{F}, C_2 = 0.5 \mu\text{F}, C_1 = 0.01 \mu\text{F}$$

سوال 8.9: شکل 8.12 کے کالپس مرتعش میں ٹرانزستر کا پست تعدادی ماذل استعمال کرتے ہوئے حل کریں۔ ایسا کرتے ہوئے بنیادی ایمپلیفائر کی داخلی مزاحمت لامحدود تصور کریں۔

$$\text{جوابات: } \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \text{ جہاں } C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} \text{ کے برابر ہے، } g_m R_c = \frac{C_1}{C_2} \text{ اور مساوات کا مساوات 8.34 کے ساتھ موازنہ کریں۔}$$

فرینگ

- Butterworth circle, 649
bypass capacitor, 243, 560

capacitor, 144
cascaded amplifier, 336
cascode amplifier, 534, 636
CE amplifier, 495
Celsius, 79
channel, 378
clamping circuit, 98
class
 A, 357
 AB, 358
 B, 358
 C, 358
 D, 359
clipper, 99
CMOS, 398
CMRR, 498
collector, 181
Colpitts oscillator, 740
common base, 344
common collector, 344
common emitter, 344
common mode voltage, 5, 480
common mode voltage gain, 497
comparator, 66
complex plane, 648
conductance, 126
conductivity, 138
constant current source, 448, 503
coupling capacitor, 251, 560

AC load line, 119
active component, 181
active region, 235
adder, 35, 37
ageing, 504
AM demodulator, 93
AM modulator, 94
AM signal, 94
amplifier
 difference, 3
 instrumentation, 44
 inverting, 13, 16
 non-inverting, 26, 28
anti-log, 103
atomic model, 126
atomic number, 126
avalanche, 145
avalanche breakdown, 145

band, 560, 611
band pass filter, 684
band stop filter, 684
Barkhausen criteria, 720
base, 181
bit, 56
blocking voltage, 141
Bode plot, 566, 576
Boltzmann constant, 78
break down voltage, 144
breakdown region, 82
buffer, 29
Butterworth, 648

- drift, 133, 135
- drift current, 135
- drift speed, 136
- drift velocity, 136

- Early voltage, 235, 421
- ecg, 45
- electric field intensity, 135
- electrical noise, 150
- electron gas, 130
- electron mobility, 137, 387
- emission coefficient, 78
- emitter, 181
- emitter coupled logic, 489
- emitter follower, 347
- enhancement nMOSFET, 379

- feedback circuit
 - negative, 23
 - positive, 23
- feedback signal, 21, 667
- feedback system, 667
- field effect transistor, 181
- filter
 - band pass, 646
 - band stop, 646
 - Butterworth, 649
- forward biased, 80, 82, 86
- free electron, 127
- free hole, 127, 131
- full wave rectifier, 91

- gain, 15, 188
- gain bandwidth product, 612
- gate
 - AND, 108
 - OR, 108
- generation rate, 127
- gradient, 109

- half wave rectifier
 - negative, 88

- covalent bond, 126, 149
- crystal, 126
- crystal oscillator, 749
- current gain, 186, 188
- current mirror, 449, 505
- current sink, 504
- current source, 504
- cut-in voltage, 80
- cut-off frequency
 - high, 559
 - low, 559

- DAC, 55
- damping constant, 648
- darlington pair, 216
- dB, 577
- DC bias point, 109
- DC load line, 109
- depletion nMOSFET, 396
- depletion region, 140
- difference pair, 479
- differential input resistance, 494
- differential mode voltage, 6
- differential voltage gain, 3
- differentiator, 32
- diffusion, 133
- diffusion capacitance, 146
- diffusion constant
 - electrons, 135
 - holes, 135
- diffusion current, 133
- diffusion current density, 134
- digital circuits, 435
- diode, 77
 - cut off, 143
 - germanium, 80
 - high frequency model, 156
 - square law, 170
- distortion, 419
- divider, 104
- doping, 126

- charges, 130
- electron, 127
- hole, 127
- multiplier, 104
- n-type semiconductor, 129
- natural frequency
 - undamped, 648
- NOT gate, 269, 435
- number density, 128
- ohmic contact, 148
- OPAMP, 43
- optical cable, 150
- optical communication, 150
- optocoupler, 149
- output offset voltage, 499
- p-type semiconductor, 131
- parasitic resistor, 607
- passive component, 181
- peak detector, 91
- photo diode, 149
- photon, 149
- piece wise linear model, 151
- piezoelectric crystal, 746
- pinch off, 382
- pole, 572
- power
 - mosfet, 467
 - transistor, 366
- power loss, 158
- power series, 169
- power supply, 88
- quartz, 746
- recombination, 127
- recombination rate, 127
- reverse biased, 82, 86
- reverse breakdown voltage, 83
- reverse leakage current, 82
- positive, 88
- Hartley oscillator, 740
- heat sink, 468
- holding current, 367
- hole gas, 132
- hole mobility, 387
- ideal diode, 154
- immobile
 - charges, 130
 - injected electrons, 184
 - injected holes, 184
- input bias current, 61, 502
- input offset current, 502
- input offset voltage, 58, 499
- integrator, 33, 34
- inversion, 379
- inversion layer, 379
- inverter, 366, 468
- iteration method, 110
- Kelvin, 78
- Laplace transform, 561
- latching current, 367
- LED, 149
- level shifter, 517
- log amplifier, 102, 362
- loop gain, 679
- Maclaurin's series, 155
- majority
 - electrons, 129, 130
 - holes, 132
- Miller capacitor, 636
- Miller theorem, 603, 735
- Miller's capacitor, 606
- minority
 - electrons, 127
 - hole, 127
- mirror, 416
- mobile

- valency, 126
- varactor diode, 149
- voltage gain, 14, 27
- Widlar current source, 525
- Wien bridge oscillator, 729
- zener
 - diode, 145
 - knee, 157
 - voltage, 145
 - zero, 572, 648
- ripple, 89, 96
- saturation
 - current, 78
 - OPAMP, 3, 52
 - region, 235
- schottky
 - diode, 148
 - transistor, 363
- scr, 366
- semiconductor, 125
- slew rate, 53
- small signal, 119
 - π model, 283
 - resistance, 124
- solar panel, 149
- spice, 171
- stability factors, 226
- subtracter, 39
- switch ON, 85
- T model, 426
- tank, 749
- thermal
 - electron, 127
 - generation, 127
 - generation rate, 127
 - hole, 127
 - resistance, 84, 173
 - voltage, 78
- thermometer, 83
- threshold voltage, 379
- thyristor, 366
- transconductance, 273, 276
- transconductance gain, 20, 273
- transducer, 29
- transistor, 181
- transportation, 133
- tuned oscillator, 733, 735

- ایمثیر جزا منطق، 489
 ایمثیر مشترک، 344
 بار کا خط
 بدلنی رو، 245
 یک سمتی، 109
 یکسمنی، 244
 باریک اشاراتی
 مزاحمت، 124
 باریک اشاراتی پائے ماذل، 283
 باریک اشارہ، 119
 بالشمن کا مستقل، 78
 پٹ، 56
 پژو ورت تسلسل، 648
 پژو ورت دائڑه، 649
 بدلتا افراش برقی رو، 189
 بدلنی رو، بار کا خط، 119، 245
 بدن، 377
 برقی
 رکاوٹ، 568
 زمین، 14
 قلب نگار، 45
 برقی دباؤ
 چالو، 80
 دبیز، 379
 رکاوٹی، 141
 غیر افراندہ کرده، 190
 برقی دباؤ سپلائی، 88، 95
 برقی رو
 الٹی رستا، 82
 برقی رو چالو رکھئے کی حد، 367
 برقی رو مقطع کرنے کی حد، 367
 برقی زمین، 482
 برقی شدت، 135
 برکھازن کا اصول، 720
 بل، 89، 95، 96
 بلند انقطاعی تعدد، 559، 600
 بلند تعدد، 559، 566
 بودا خط، 566، 576
 بھاو، 133، 135
 بھاو برقی رو، 135
 آزاد
 الیکٹران، 127
 خول، 127، 131
 الائی ایپلیفائر، 44
 آئینہ، 416
 ولسن، 529
 آئینہ برقی رو، 449، 505
 اخراجی جزو، 78
 ارلی برقی دباؤ، 421
 افرائش، 15، 188
 برقی دباؤ، 14، 27
 برقی رو، 186، 188
 موصل-نما، 273
 افرائش ضرب دائڑہ کارکردگی، 612
 افرائشی دائڑہ، 679
 افراندہ، 189
 خطہ، 235
 اقلیتی
 الیکٹران، 127
 خول، 127
 اکثریتی
 الیکٹران، 129، 130
 خول، 132
 النا
 خطہ، 379
 کرنا، 379
 مائل، 86
 الٹ لاگ، 103
 الٹی رستا برقی رو، 82
 الیکٹران گیس، 130
 انحرافی برقی دباؤ، 499
 انحرافی برقی رو، 502
 اندرونی داخلی انحرافی برقی دباؤ، 58
 انورٹر، 366، 468
 ایشمی عدد، 126
 ایشمی ماذل، 126
 ایپلیفائر
 زنجیری، 336
 واپسی، 675
 ایمثیر، 181

- پیس، 181
 پیس مشترک، 344
 بے قابو بوجہ توده، 145
 بے قابو خطہ، 82
- پائے مائل، 283
 پٹی روک فلٹر، 684
 پٹی گزار فلٹر، 684
 پست انقطاعی تعدد، 559
 پست تعدد، 559
 پکاری گئی قیمت، 19
 پورے طاقت پر دائروں کا رکردگی، 54
 پیدا کار برقی دباؤ، 95
 پیدا کار برقی رو
 والٹلر، 525
 پیدا کار مستقل برقی رو، 448
 پیروکار، 347
 پیماشی آگ، 29
- تار
 ضیائی، 150
 ہم محوری، 70
 تراش، 99
 تعدد
 قدرتی، 726
 قصر دور بلند انقطاعی، 611
 تعدادی کثافت، 128
 184
 تحرقی
 افزائش، 492
 افزائش برقی دباؤ، 3
 ایمیلیٹر، 3
 برقی اشارہ، 2
 برقی دباؤ، 6
 جوڑا، 479
 تفرق اشارہ، 75
 تفرق کار، 32
 تقسیم کار، 104
 تکمل کار، 33
 34
 توده، 145
 تھمامیٹر، 83
 تھونن دور، 29
- ٹرانزسٹر، 181
 قوی، 366
 ٹی مائل، 426
 ٹینک، 749
- جرمینیم ڈائیڈ، 80
 جنزا
 دوبارہ، 127
 شرح، 127
 جفتی کیسٹر، 251
 جماعت، 126
 جمع کار، 35
 جوڑا، 13
 جوڑ کی کیسٹشن، 144
- چالو، 80
 چالو برقی دباؤ، 80
 چوتھی حاصل کار، 91
 چھانی
 پٹی روک، 646
 پٹی گزار، 646
- حرارتی
 الکٹران، 127
 برقی دباؤ، 78
 پیداشر، 127
 پیداشر کی شرح، 127
 خول، 127
 مزاحمت، 173
 84
 حرکت پذیری
 الکٹران، 137
 خول، 387
 حسانی ایمپیلیٹر، 1
 حیطہ
 اثار کار، 93
 سوار اشارہ، 94
 سوار کار، 94
- خارج کار برقی رو، 504
 خارجی انحرافی برقی دباؤ، 499
 خارجی مزاحمت، 6
 خط مماس، 124

- نوري، 149
وريكتر، 149
ڏايوڻ قانون مربع شناسده، 170
ڏهلوان، 109
ڏيسى بيل، 577
ذرائع ابلاغ، 169
رخ
سيدها، 77
راه، 378
رفتار بهاو، 136
رفتار چال، 53
ركاوڻي برقي دباو، 141
زنجيرى ايمپليفاير، 336
زين
اثر، 145
برقي دباو، 145
ڏايوڻ، 145
گھشا، 157
ساكن چارج، 130
سپائث، 171، 253
سرد کار، 468، 211
سطح تبديل کار، 517
سلسله
طاقت، 169
مکلارن، 490، 155
سلسله طاقت، 169
سلسله مکلارن، 155
سمت کار
مکمل لہر، 91
نصف لہر، 88
سمتی رفتار بهاو، 136
سيدها رخ، 77
سيدها مائل، 86، 82، 80
سيدهه خطوط کا مائل، 151
سيليسپس، 79
سيماس، 398
شائڪي ٿرانسپر، 363
- خطى، 3
خم دار، 114
خول گيس، 132
داب برقي قلم، 746
داخلى
انحرافي برقي دباو، 499، 544
نفرقى مراحمت، 494
داخل کار برقي رو، 504
داخلى برقي رکاوٹ، 45
داخلى مراحمت، 6، 687، 689
داخلى ميلان برقي رو، 61
دائره کارکردگي، 560، 611
دبوچ، 382
درج
الف، 357
الف-ب، 358
ب، 358
پ، 358
ت، 359
درمانى تعدد، 559
دوباره
جزنا، 127
جزئىي کي شرح، 127
دوراني
اترائي، 75
جزائي، 74
دورى عرصه، 75
دبرانچ کا طريقه، 110
دبرى نظام اعداد، 56
دبليز برقي دباو، 379
ڈارلنگشن جوڙي، 216
ڏايوڻ، 77
بلند تعددی باريک اشاراتي ماڻل،
جرمينين، 80
زين، 145
شائڪي، 148
شمسي، 149
فوئٽو، 149
قانون مربع، 170
منقطع، 141

- قصر دور بلند انقطاعی تعدد، 611
 قصری کپیستر، 243
 قطب، 572
 قلم، 126
 قلمی مرتعش، 749
 قوى 366
 ماسفیٹ، 467
 قوى برقیات، 150
- کالپس مرتعش، 740
 کامل حسابی ایمپیلیفار، 9
 کامل ڈایوڈ، 154
 کپیستر، 144
 جفتی، 560
 قصری، 560
 کثافتِ نفوذی رو، 134
 کرچاف کے فوائیں، 13
 کلکٹر، 181
 کوارٹر، 746
 کیسکوڈ، 636
 کیسکوڈ ایمپیلیفار، 534
 کیلون پیمائش حرارت، 78
 کیمیائی دوری جدول، 126
 کیمیائی گرفت، 126
- گھناتا ماسفیٹ، 396
 گیٹ 108
 ضرب، 108
- لاپلاس بدل، 561
 لگ ایمپیلیفار، 102
 لبریز، 3
 لبریزی برقی رو، 78
 لود سیل، 71
 لہر بین، 71
- ماڈل
 پائے، 283
 ٹی، 426
 سیدھے خطوط، 151
- شارکی ڈایوڈ، 148
 شریک گرفتی بد، 126
 شکل بگزنا، 419
 شکنجہ، 98
 شمسی قادر، 149
 شمسی ڈایوڈ، 149
 شور، 150
 صفر، 572
- ضرب کار، 104
 ضیائی تار، 150
 ذراع ابلاغ، 150
 ذرے، 149
 وابستہ کار، 149
- طاقة کا ضیاء، 157
 طاقت کی سپلائی، 2
 عامل، 181
 عددی ادوار، 435
 عددی سے مماثل کار، 55
 عکس، 231
 عمر رسیدگی، 504
- غیر افراندہ، 190
 برقی دباؤ، 190
 خط، 235
 غیر عامل، 181
 غیر مطلوب مزاحمت، 607
- فلشن
 بٹر ورت، 649
 پیچ روک، 646
 پیچ گار، 646
 فوٹو ڈایوڈ، 149
 فیٹ، 375
- قاپو ریکٹیفار، 366
 قانون مریع، 170
 قدرتی تعدد، 726
 آزاد، 648

- مشترک اشاره، 75
 مشترک اشاره رد کرنے کے صلاحیت، 75
 مشترک افزائش، 497
 مشترک برقی دباؤ، 480، 5
 مکلاں تسلسل، 490
 مکمل لہر سمت کار، 91
 ملارٹ، 126
 ملر کپیسٹر، 636، 606
 منفی ایمپلیفائر، 16، 13
 منفی داخلی سرا، 6
 منفی کار، 39
 منفی نیم موصل، 129
 منفی واپسی برقی دباؤ ایمپلیفائر، 675
 منفی واپسی برقی رو ایمپلیفائر، 675
 منفی واپسی دور، 23
 منقطع ڈائیوڈ، 143، 141
 موازنہ کار، 66
 موثر، 175
 موصليت، 126
 مستقل، 138
 موصليت-نما، 276، 273
 میدانی ٹرانزیستر، 375، 181
 میلان برقی رو، 502
 ناقابل برداشت الث برقی دباؤ، 83
 ناقابل برداشت برقی دباؤ، 144
 نصف لہر
 مثبت سمت کار، 88
 منفی سمت کار، 88
 نفوذ، 133
 نفوذ کا مستقل
 الیکٹران، 135
 خول، 135
 نفوذی برقی رو، 133
 نفوذی کپیسٹس، 146
 نفی کار، 435، 269
 نقطہ کار کردگی سوارنے کے اسباب، 226
 نوری ڈائیوڈ، 149
 نیم موصل، 126، 125
 مثبت، 131
 منفی، 129
 ماسفیٹ، 375
 پڑھاتا، 379
 قوى، 467
 مال برداری، 133
 مائل
 الثا، 82
 سیدھا، 80، 82
 مبدل توانائی، 29
 متھرک الیکٹران، 127
 متھرک چارج، 130
 متھرک خول، 127
 متھرک منفی چارج، 129
 مثبت ایمپلیفائر، 26، 28
 مثبت داخلی سرا، 6
 مثبت نیم موصل، 131
 مثبت واپسی ادوار، 23
 مخلوط ادوار، 1
 مخلوط سطح، 648
 مداخل الیکٹران، 184
 مداخل خول، 184
 مرتعش
 ٹینک، 749
 قلمي، 749
 کالپس، 740
 وائن، 729
 بارتھے، 740
 بمسر، 733
 مزاحمت
 تفرقی داخلی، 494
 مزاحمت میں غلطی، 19
 مزاحمت نما افزائش، 20
 مزاحمتی جوڑ، 148
 مستحکم کار، 29
 مستطیلی پتلا اشارہ، 74، 54
 مستقل
 دھیماں، 648
 نفوذ الیکٹران، 135
 نفوذ خول، 135
 مسئلہ مل، 603
 مسئلہ ملر، 735
 مشترک-مخارج، 495

اشارہ، 667

برقی دباؤ ایمپلیفائر، 675

نظام، 667

واپس کار، 675

واپس کار کا مستقل، 677

واپسی ادار، 21

واپسی اشارات، 21

وانڈلر پیداکار برقی رو، 525

وائٹ مرتعش، 729

وریکٹر ڈائیوڈ، 149

ولسن آئیش، 529

ویٹ سیلوں چکور، 71

ویران خط، 140

بمسر مرتعش، 733، 735

بم محوری تار، 70

بکسان، 479

بک سمیتی

افراش برقی رو، 189

بار کا خط، 109، 244

نقطہ کارکردگی، 109

نقطہ مائل، 109