# برقی ادوار

خالد خان یوسفزئی
کامسیٹ انسٹیٹیوٹ آف انفارمیشن ٹیکنالوجی، اسلام آباد
khalidyousafzai@comsats.edu.pk

# عنوان

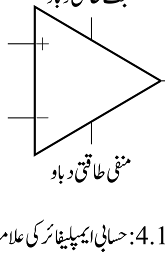
# باب 4

# حسابی ایمپلیفائر

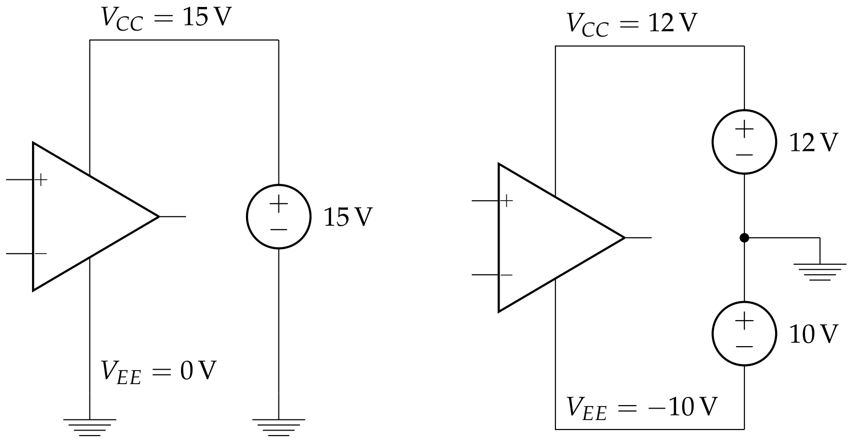
شکل 4.1 میں **حسابی ایمپلفائر**[1] کی علامت دکھائی گئی ہے۔حسابی ایمپلیفائر کے دو عدد داخلی سرے (پنیے) ہیں جنہیں **مثبت داخلی سرا**[2] اور **منفی داخلی سرا**[3] کہا جاتا ہے جبکہ اس کا ایک عدد **خارجی سرا** (پنیا) ہے۔اس کے علاوہ دو عدد **طاقتی پنیے**[4] حسابی ایمپلیفائر کو برقی طاقت فراہم کرنے کے لئے استعمال کئے جاتے ہیں جن میں ایک پر مثبت طاقتی دباو اور دوسرے پر منفی طاقتی دباو فراہم کی جاتی ہے۔حسابی ایمپلیفائر کے ادوار کرخوف کے قوانین سے باآسانی حل ہوتے ہیں۔

---

[1] operational amplifier, opamp
[2] non-inverting pin
[3] inverting pin
[4] power pins




شکل 4.1: حسابی ایمپلیفائر کی علامت۔




(ب) ایک عدد منبع دباو سے طاقت کی فراہمی۔

(ا) دو عدد منبع دباو سے طاقت کی فراہمی۔

شکل 4.2: حسابی ایمپلیفائر کو طاقت کی فراہمی کے طریقے۔

شکل 4.2-الف میں حسابی ایمپلیفائر کو دو عدد منبع دباو سے طاقت فراہم کی گئی ہے جبکہ شکل-ب میں ایک عدد منبع دباو سے حسابی ایمپلیفائر کو طاقت کی فراہمی کی گئی ہے۔ مثبت طاقتی دباو کو $V_{CC}$ اور منفی طاقتی دباو کو $V_{EE}$ لکھا جاتا ہے۔ شکل-الف میں $V_{CC} = 12\,\mathrm{V}$ اور $V_{EE} = -10\,\mathrm{V}$ ہیں۔ عموماً ادوار میں مثبت اور منفی طاقتی دباو کے حتمی قیمتیں برابر $|V_{CC}| = |V_{EE}|$ ہوتی ہیں۔ حسابی ایمپلیفائر کے داخلی سروں پر برقی اشارات[5] فراہم کئے جاتے ہیں۔

حسابی ایمپلیفائر داخلی سروں پر فراہم کردہ اشارات $v_k$ اور $v_n$ میں فرق $v_d$

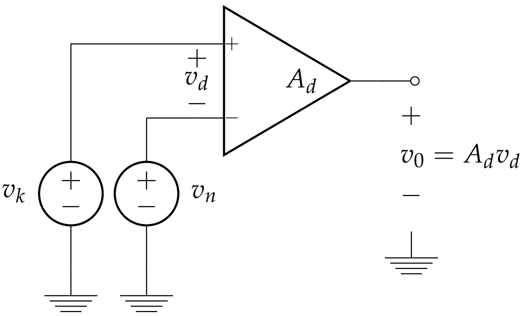
$$v_d = v_k - v_n \tag{4.1}$$

کو $A_d$ گنّا بڑھا کر خارجی پنیا پر خارج کرتا ہے۔

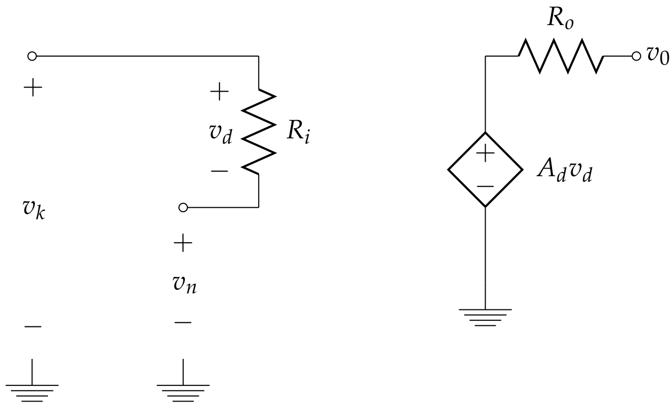
$$v_0 = A_d v_d = A_d(v_k - v_n) \tag{4.2}$$

$v_d$ کو **داخلی تفرقی اشارہ**[6] کہتے ہیں۔ داخلی تفرقی اشارہ بڑھانے کی صلاحیت کو **افزائش**[7] کہتے اور $A_d$ سے ظاہر کرتے ہیں۔ حسابی ایمپلیفائر کے ادوار کے اشکال میں عموماً طاقتی پنیے نہیں دکھائے جاتے تاکہ اشکال صاف ستھرے نظر آئیں۔ شکل 4.3 میں ایسا ہی کرتے ہوئے حسابی ایمپلیفائر کے طاقتی پنیے نہیں دکھائے گئے ہیں۔ شکل 4.4 میں حسابی ایمپلیفائر کے **ریاضی نمونے**[8] کا دور دکھایا گیا ہے جس سے حسابی ایمپلیفائر کی کارکردگی سمجھی جا سکتی ہے۔ اس نمونے سے ظاہر ہے کہ

[5] electrical signals
[6] difference signal
[7] gain
[8] model



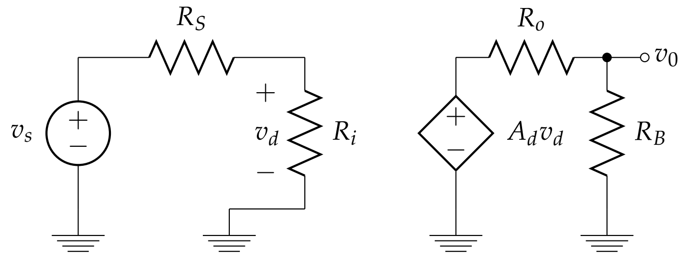

شکل 4.3: حسابی ایمپلیفائر داخلی اشارات کے فرق کو بڑھاتا ہے۔




شکل 4.4: حسابی ایمپلیفائر کا ریاضی نمونہ۔

حسابی ایمپلیفائر کے داخلی سروں پر داخلی رو $i_d$ اور داخلی تفرقی دباو $v_d$ راست تناسب کا تعلق رکھتے ہیں۔ یہ حقیقت داخلی پنیوں کے مابین مزاحمت $R_i = \frac{v_d}{i_i}$ ظاہر کرتی ہے۔اسی طرح خارجی جانب بھی مزاحمتی اثر پایا جاتا ہے جسے $R_o$ سے ظاہر کیا گیا ہے۔ آئیں حسابی ایمپلیفائر کا دور، اس کے ریاضی نمونے کی مدد سے حل کریں۔ شکل 4.5 میں حسابی ایمپلیفائر کے داخلی جانب منفی داخلی پنیے پر اشارہ $v_s$ اور مزاحمت $R_S$ سلسلہ وار جوڑے گئے ہیں جبکہ مثبت پنیا کو زمین کے ساتھ جوڑا گیا ہے۔خارجی جانب حسابی ایمپلیفائر پر مزاحمتی بوجھ $R_B$ ڈالا گیا ہے۔داخلی جانب تقسیم دباو سے

$$v_d = \left(\frac{R_i}{R_i + R_S}\right) v_s$$




شکل 4.5: حسابی ایمپلیفائر کا دور۔

لکھا جائے گا۔ خارجی جانب تقسیم دباو سے درج ذیل لکھا جاتا ہے۔

$$v_0 = \left(\frac{R_B}{R_B + R_o}\right) A_d v_d$$

مندرجہ بالا دو مساوات کو ملاتے ہوئے

$$\frac{v_0}{v_s} = A_d \left(\frac{R_B}{R_B + R_o}\right)\left(\frac{R_i}{R_i + R_S}\right) = A_v \tag{4.3}$$

حاصل ہوتا ہے جہاں $A_v$ بوجھ بردار حسابی ایمپلیفائر کی **افزائشِ دباو**[9] کہلاتی ہے۔

مساوات 4.3 میں دونوں قوسین کی قیمت اکائی سے کم ہے لہذا $A_v$ کی قیمت $A_d$ سے کم ہو گی۔ زیادہ سے زیادہ $A_v$ حاصل کرنے کی خاطر دونوں قوسین کی قیمت اکائی کے قریب ترین ہونا ضروری ہے۔ ایسا تب ممکن ہو گا جب

$$\begin{aligned} R_i &\gg R_S \\ R_o &\ll R_B \end{aligned} \tag{4.4}$$

ہوں۔

جدول 4.1 میں حسابی ایمپلیفائر کے ریاضی نمونے کے متغیرات کی قیمتوں کے عمومی حدود دیے گئے ہیں۔ آپ دیکھ سکتے ہیں کہ ایسے حسابی ایمپلیفائر دستیاب ہیں جن کی افزائش $50\,000\,\mathrm{V\,V^{-1}}$ ہے اور ایسے ایمپلیفائر بھی دستیاب ہیں جن کی افزائش $1\,000\,000\,\mathrm{V\,V^{-1}}$ ہے۔

---

[9] voltage gain

جدول 4.1: حسابی ایمپلیفائر کے نمونے کے متغیرات کی عمومی قیمتیں۔

| $R_0(\Omega)$ | $R_i(\Omega)$ | $A_d(\mathrm{V\,V^{-1}})$ |
|---|---|---|
| $2-200$ | $10^5-10^{12}$ | $50\,000-1\,000\,000$ |

مثال 4.1: شکل 4.5 میں $A_d = 100\,000\,\mathrm{V\,V^{-1}}$ ، $R_i = 10^{12}\,\Omega$ ، $R_o = 100\,\Omega$ ، $R_S = 50\,\mathrm{k\Omega}$ اور $R_B = 10\,\mathrm{k\Omega}$ ہیں۔ایمپلیفائر کی افزائش دباو $A_v$ حاصل کریں۔

حل: مساوات 4.3 میں دی گئی قیمتیں پُر کرتے ہیں۔

$$A_v = 100\,000\left(\frac{10\,000}{10\,000+100}\right)\left(\frac{10^{12}}{10^{12}+50\,000}\right) = 99\,010\,\mathrm{V\,V^{-1}}$$

---

حسابی ایمپلیفائر کا خارجی اشارہ کسی بھی صورت مثبت طاقتی دباو $V_{CC}$ سے زیادہ نہیں اور منفی طاقتی دباو $V_{EE}$ سے کم نہیں ہو سکتا۔کئی اقسام کے حسابی ایمپلیفائر کا خارجی اشارہ طاقتی دباو سے چند ملی وولٹ کے فاصلے تک پہنچ پاتا ہے۔عموماً حسابی ایمپلیفائر ایسا کرنے کی صلاحیت نہیں رکھتے اور ان کا خارجی اشارہ مثبت طاقتی دباو سے $1\,\mathrm{V}$ تا $3\,\mathrm{V}$ کم اور منفی طاقتی دباو سے $1\,\mathrm{V}$ تا $3\,\mathrm{V}$ زیادہ ہی رہتا ہے۔

$$V_{CC}-\Delta_+ > v_0 > V_{EE}+\Delta_- \tag{4.5}$$

آئیں اس حقیقت کے اثرات ایک مثال کی مدد سے دیکھیں۔

---

مثال 4.2: مثال 4.1 میں $v_s = 50\,\mathrm{\mu V}$ ، $v_s = 200\,\mathrm{\mu V}$ ، $v_s = 2\,\mathrm{V}$ اور $v_s = -150\,\mathrm{\mu V}$ کی صورت میں $v_0$ حاصل کریں۔حسابی ایمپلیفائر کے $\Delta_+ = 1.5\,\mathrm{V}$ اور $\Delta_- = 1.2\,\mathrm{V}$ تصور کریں جبکہ طاقتی دباو $12\,\mathrm{V}$ اور $-12\,\mathrm{V}$ ہیں۔

حل: مساوات 4.5 کے تحت خارجی اشارے کے حدود درج ذیل ہیں۔

$$\begin{gathered} 12-1.5 > v_0 > -12+1.2 \\ 10.5\,\mathrm{V} > v_0 > -10.8\,\mathrm{V} \end{gathered} \tag{4.6}$$

گزشتہ مثال میں ہم $A_v$ کی قیمت حاصل کر چکے ہیں۔ چونکہ $A_v = \frac{v_0}{v_s}$ ہوتا ہے لہٰذا $v_s = 50\,\mu\text{V}$ کی صورت میں

$$v_0 = A_v v_s = 99010 \times 50 \times 10^{-6} = 4.95\,\text{V} \qquad (v_s = 50\,\mu\text{V})$$

ہو گا۔ اسی طرح $v_s = 200\,\mu\text{V}$ کی صورت میں جواب

$$v_0 = 99010 \times 200 \times 10^{-6} = 19.8\,\text{V} \qquad (\text{اس جواب کو رد کیا جاتا ہے})$$

متوقع ہے۔ مساوات 4.6 کے تحت $v_0$ کی قیمت $10.5\,\text{V}$ سے زیادہ نہیں ہو سکتی۔ ایسی صورت میں حسابی ایمپلیفائر کوشش کرتا ہے کہ اس کا خارجی اشارہ $19.8\,\text{V}$ تک پہنچے لیکن ایسا ممکن نہیں ہے لہٰذا $v_0$ بڑھتے بڑھتے $10.5\,\text{V}$ پر جا رکتا ہے۔ یوں درست جواب درج ذیل ہے۔

$$v_0 = 10.5\,\text{V} \qquad (v_s = 200\,\mu\text{V})$$

داخلی اشارہ $2\,\text{V}$ ہونے کی صورت میں $v_0 = 198\,\text{kV}$ متوقع ہے جو حسابی ایمپلیفائر کے لئے حاصل کرنا ناممکن ہے لہٰذا اب بھی

$$v_0 = 10.5\,\text{V} \qquad (v_s = 2\,\text{V})$$

ہو گا۔ آخری داخلی اشارے کے لئے $v_0 = 99010 \times (-150 \times 10^{-6}) = -14.9\,\text{V}$ متوقع لیکن ناقابل حصول جواب ہے اور یوں

$$v_0 = -10.8\,\text{V} \qquad (v_s = -150\,\mu\text{V})$$

ہو گا۔

---

---

مثال 4.3: گزشتہ مثال میں مختلف داخلی اشارات مہیا کرتے ہوئے حسابی ایمپلیفائر کا خارجی اشارہ حاصل کیا گیا۔ آپ سے گزارش ہے کہ داخلی اشارے کے وہ حدود حاصل کریں جن کے اندر رہتے ہوئے $v_0$ اور $v_s$ کا تعلق خطی ہو گا۔

حل: ہم دیکھتے ہیں کہ جب تک خارجی اشارہ مساوات 4.5 میں دیے حدود کے اندر رہتا ہے اس وقت تک $v_0$ اور $v_s$ **خطی تعلق**[10] $A_v = \frac{v_0}{v_s}$ رکھتے ہیں۔ مندرجہ بالا مثال میں بالائی حد

$$v_{s,\text{بلند تر}} = \frac{v_0}{A_d} = \frac{10.5}{99010} = 106\,\mu\text{V}$$

پر اور نچلی حد

$$v_{s,\text{کمتر}} = \frac{v_0}{A_d} = \frac{-10.8}{99010} = -109\,\mu\text{V}$$

حاصل ہوتے ہیں۔ یوں حسابی ایمپلیفائر اس وقت تک داخلی اشارے کو خطی طور پر بڑھاتا ہے جب تک داخلی اشارہ درج ذیل حدود میں رہے۔

$$-109\,\mu\text{V} < v_s < 106\,\mu\text{V}$$

ان حدود میں رہتے ہوئے $v_d$ کے حدود شکل 4.5 سے بذریعہ تقسیم دباو یوں حاصل ہوتے ہیں۔

$$\begin{aligned} v_{d,\text{بلند تر}} &= \frac{R_i v_s}{R_i + R_S} = \frac{10^{12} \times 106\,\mu\text{V}}{10^{12} + 5 \times 10^4} \approx 106\,\mu\text{V} \\ v_{d,\text{کمتر}} &= \frac{10^{12} \times (-109\,\mu\text{V})}{10^{12} + 5 \times 10^4} \approx -109\,\mu\text{V} \end{aligned}$$

یوں جب تک

$$-109\,\mu\text{V} < v_d < 106\,\mu\text{V} \tag{4.7}$$

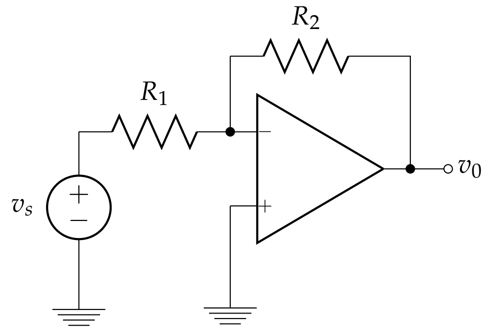
رہے، حسابی ایمپلیفائر خطی رہتا ہے۔

---

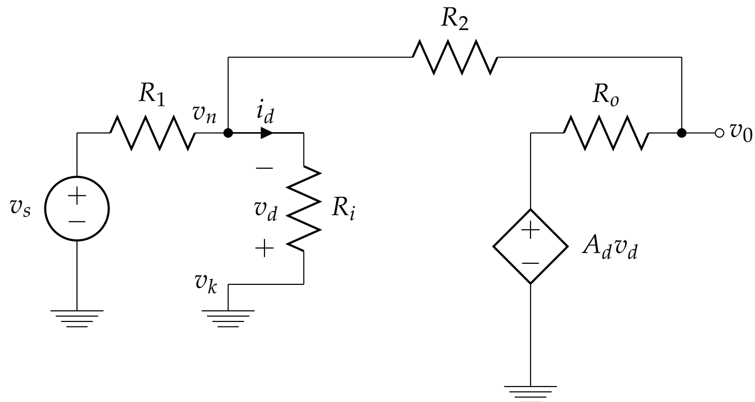
---

مثال 4.4: شکل 4.6 میں حسابی ایمپلیفائر کو یوں پلٹایا گیا ہے کہ اس کا مثبت سرا نیچے اور منفی سرا اوپر ہے۔ اس کی افزائش دباو $A_v = \frac{v_0}{v_s}$ حاصل کریں۔

[10] linear relationship




(ا) منفی ایمپلیفائر کا دور۔




(ب) منفی دور کا مساوی برقی دور۔

شکل 4.6: منفی ایمپلیفائر اور اس کا مساوی دور۔

حل: شکل 4.6-الف میں حسابی ایمپلیفائر کی جگہ اس کا نمونہ نسب کرنے سے شکل-ب حاصل ہوتا ہے جسے کرخوف کے قوانین سے حل کیا جا سکتا ہے۔ شکل-ب ایمپلیفائر کا مساوی دور ہے۔ منفی داخلی پنیے پر کرخوف مساوات رو لکھتے ہیں

$$\frac{v_n - v_s}{R_1} + \frac{v_n}{R_i} + \frac{v_n - v_0}{R_2} = 0$$

جسے

$$v_n \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_i} + \frac{1}{R_2} \right) = \frac{v_s}{R_1} + \frac{v_o}{R_2}$$

لکھتے ہوئے $v_n$ حاصل کرتے ہیں۔

$$v_n = \frac{\frac{v_s}{R_1} + \frac{v_o}{R_2}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_i} + \frac{1}{R_2}} \tag{4.8}$$

خارجی جوڑ پر کرخوف مساوات رو لکھتے ہیں

$$\frac{v_0 - v_n}{R_2} + \frac{v_0 - A_d v_d}{R_o} = 0$$

جس میں $v_d = -v_n$ پُر کرتے اور ترتیب دیتے ہوئے

$$v_0 \left( \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_o} \right) = v_n \left( \frac{1}{R_2} - \frac{A_d}{R_o} \right)$$

لکھا جا سکتا ہے۔ مساوات 4.8 کی مدد سے اس کو

$$v_0 \left( \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_o} \right) = \frac{\left( \frac{v_s}{R_1} + \frac{v_o}{R_2} \right) \left( \frac{1}{R_2} - \frac{A_d}{R_o} \right)}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_i} + \frac{1}{R_2}}$$

یا

$$v_0 \left( \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_o} \right) \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_i} + \frac{1}{R_2} \right) = \left( \frac{v_s}{R_1} + \frac{v_o}{R_2} \right) \left( \frac{1}{R_2} - \frac{A_d}{R_o} \right)$$

یعنی

$$v_0 \left( \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_o} \right) \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_i} + \frac{1}{R_2} \right) - \frac{v_0}{R_o} \left( \frac{1}{R_2} - \frac{A_d}{R_o} \right) = \frac{v_s}{R_1} \left( \frac{1}{R_2} - \frac{A_d}{R_o} \right)$$

لکھا جا سکتا ہے جس کو حل کرتے ہوئے درج ذیل افزائش دباو $A_v$ ملتی ہے۔

$$\frac{v_0}{v_s}=A_v=\frac{\frac{1}{R_1}\left(\frac{1}{R_2}-\frac{A_d}{R_o}\right)}{\left(\frac{1}{R_2}+\frac{1}{R_o}\right)\left(\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_i}+\frac{1}{R_2}\right)-\frac{1}{R_2}\left(\frac{1}{R_2}-\frac{A_d}{R_o}\right)}$$

اس کو درج ذیل صورت میں لکھ سکتے ہیں۔

$$\frac{v_0}{v_s}=A_v=\frac{-\frac{R_2}{R_1}}{1-\left[\frac{\left(\frac{1}{R_2}+\frac{1}{R_o}\right)\left(\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_i}+\frac{1}{R_2}\right)}{\left(\frac{1}{R_2}\right)\left(\frac{1}{R_2}-\frac{A_d}{R_o}\right)}\right]} \tag{4.9}$$

---

مثال 4.4 میں عمومی قیمتیں یعنی

$$R_1=1\,\mathrm{k\Omega},\quad R_2=10\,\mathrm{k\Omega},\quad R_i=10^8\,\Omega,\quad R_o=100\,\Omega,\quad A_d=10^5\,\mathrm{V\,V^{-1}}$$

پُر کرتے ہیں۔

$$\begin{aligned}A_v&=\frac{-10}{1-\left[\frac{(0.0101)(0.001101)}{(0.0001)\left(0.0001-\frac{100000000}{100}\right)}\right]}\\&=-9.999\,998\,888\,\mathrm{V\,V^{-1}}\end{aligned}$$

آپ دیکھ سکتے ہیں کہ $\frac{A_d}{R_o}$ جزو کے علاوہ تمام قوسین کی قیمتیں انتہائی چھوٹی ہیں۔آپ یہ بھی دیکھ سکتے ہیں کہ $A_d$ کی قیمت زیادہ ہونے کی وجہ سے چکور قوسین کی قیمت تقریباً صفر کے برابر حاصل ہوتی ہے لٰہذا چکور قوسین کی قیمت کو رد کیا جا سکتا ہے اور یوں مساوات 4.9 کو درج ذیل لکھا جا سکتا ہے۔

$$A_v=\frac{v_0}{v_s}=-\frac{R_2}{R_1} \tag{4.10}$$

اس مساوات سے افزائش دباو

$$A_v=-\frac{10000}{1000}=-10\,\mathrm{V\,V^{-1}}$$

حاصل ہوتی ہے۔ بالائی دو جوابات تقریباً برابر ہیں جبکہ نچلا جواب انتہائی آسانی سے حاصل ہوا۔آئیں حسابی ایمپلیفائر حل کرنے کا انتہائی آسان طریقہ سیکھیں۔اس طریقے میں کامل حسابی ایمپلیفائر استعمال کیا جاتا ہے لٰہذا پہلے کامل حسابی ایمپلیفائر پر غور کرتے ہیں۔

## 4.1 کامل حسابی ایمپلیفائر

ہم نے دیکھا کہ حسابی ایمپلیفائر کے داخلی مزاحمت $R_i$ کی قیمت بڑی مقدار ہے۔اسی طرح $A_d$ کی قیمت بھی بڑی مقدار ہے جبکہ $R_0$ کی قیمت بیرونی لاگو مزاحمتوں کی نسبت سے بہت کم ہے۔**کامل حسابی ایمپلیفائر**[11] میں $R_i$ اور $A_d$ کو لامحدود جبکہ $R_0$ کو صفر تصور کیا جاتا ہے۔

$$R_i \to \infty \tag{4.11}$$

$$A_d \to \infty \tag{4.12}$$

$$R_o \to 0 \tag{4.13}$$

مثال 4.3 میں ہم نے $v_d$ کے وہ حدود حاصل کئے جن میں رہتے ہوئے $v_0$ اور $v_s$ کا تعلق خطی ہوتا ہے۔حسابی ایمپلیفائر کو خطی خطے میں ہی چلایا جاتا ہے۔مساوات 4.7 میں یہ حدود دیے گئے ہیں جہاں سے واضح ہے کہ کسی بھی حقیقی دور میں $v_d$ کی حتمی قیمت تقریباً سو ملی وولٹ رہتی ہے جو نہایت کم مقدار ہے۔کامل حسابی ایمپلیفائر میں $v_d$ کو صفر تصور کیا جاتا ہے۔

$$v_d \to 0 \tag{4.14}$$

چونکہ $v_d = v_k - v_n$ کے برابر ہے لہٰذا مندرجہ بالا مساوات کو درج ذیل صورت میں بھی لکھا جا سکتا ہے۔

$$v_k = v_n \tag{4.15}$$

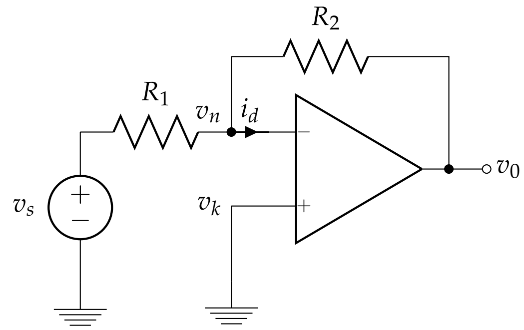
اگر $v_d = 100\,\mu\text{V}$ اور $R_i = 10^{12}\,\Omega$ لیا جائے تو شکل 4.6-ب میں $i_d = \frac{100\,\mu\text{V}}{10^{12}\,\Omega} \approx 0$ حاصل ہوتا ہے۔یوں کامل حسابی ایمپلیفائر کے دونوں داخلی پنیوں پر رو کی قیمت صفر تصور کی جاتی ہے۔

$$i_d = 0 \tag{4.16}$$

## 4.2 منفی ایمپلیفائر

گزشتہ مثال میں شکل 4.6 کو حل کیا گیا جسے یہاں بطور شکل 4.7 دوبارہ پیش کیا گیا ہے۔کامل حسابی ایمپلیفائر تصور کرتے ہوئے اسے حل کرتے ہیں۔ شکل میں داخلی دباو $v_k$ اور $v_n$ کی نشاندہی کی گئی ہے۔ساتھ ہی ساتھ حسابی ایمپلیفائر کی

[11] ideal opamp




شکل 4.7: منفی ایمپلیفائر۔

داخلی رو $i_d$ بھی ظاہر کی گئی ہے۔کامل حسابی ایمپلیفائر کے ادوار حل کرتے ہوئے جوڑ $v_k$ اور $v_n$ پر کرخوف مساوات لکھ کر ان سے $v_k$ اور $v_n$ حاصل کریں۔مساوات 4.15 کے تحت یہ قیمتیں برابر ہونی چاہیں للہذا انہیں برابر پُر کرتے ہوئے $v_0$ کے لئے حل کریں۔آئیں ایسا ہی کرتے ہیں۔

چونکہ جوڑ $v_k$ زمین کے ساتھ جڑا ہے للہذا اس کے لئے ہم لکھ سکتے ہیں۔

$$v_k = 0$$

جوڑ $v_n$ پر مساوات 4.16 کے تحت $i_d = 0$ لیتے ہوئے کرخوف قانون رو لکھتے ہیں۔

$$\frac{v_n - v_s}{R_1} + \frac{v_n - v_0}{R_2} = 0$$

چونکہ $v_k = 0$ ہے للہذا مساوات 4.15 کے تحت $v_n = 0$ ہو گا۔یہ قیمت درج بالا مساوات میں پُر کرتے ہیں۔

$$\frac{0 - v_s}{R_1} + \frac{0 - v_0}{R_2} = 0$$

اس کو حل کرتے ہوئے درج ذیل حاصل ہوتا ہے۔

$$\frac{v_0}{v_s} = -\frac{R_2}{R_1} \tag{4.17}$$

مساوات 4.10 سے موازنہ کریں۔آپ دیکھ سکتے ہیں کہ کامل حسابی ایمپلیفائر تصور کرتے ہوئے جواب نہایت آسانی سے حاصل ہوتا ہے۔

شکل 4.6 کا دور داخلی اشارہ $v_s$ کو بڑھانے کے ساتھ ساتھ منفی سے ضرب بھی دیتا ہے لہٰذا اس دور کو **منفی ایمپلیفائر**[12] کہتے ہیں۔

عموماً $R_2 > R_1$ ہوتا ہے اور یوں خارجی اشارے کا حیطہ داخلی اشارے کے حیطے سے زیادہ ہوتا ہے۔افزائش سے مراد اشارے کا حیطہ بڑھانا ہی ہے البتہ ایسی کوئی وجہ نہیں کہ $R_1 > R_2$ نہ رکھا جا سکے۔ایسا کرنے سے خارجی اشارے کا حیطہ داخلی اشارے کے حیطے سے کم ہو گا۔دونوں صورتوں میں $-\frac{R_2}{R_1}$ کو افزائش ہی کہا جاتا ہے۔

مندرجہ بالا مثال میں افزائش $A_v$ کی مقدار حسابی ایمپلیفائر کے ساتھ بیرونی جڑے مزاحمت $R_1$ اور $R_2$ پر منحصر ہے۔حسابی ایمپلیفائر کے متغیرات $A_d$ ، $R_i$ اور $R_o$ کا افزائش پر کوئی اثر نہیں۔اس کا مطلب ہے کہ شکل 4.7 میں حسابی ایمپلیفائر تبدیل کرنے سے افزائش تبدیل نہیں ہوتی۔حسابی ایمپلیفائر کے متغیرات درجہ حرارت، وقت اور دیگر طبعی اثرات کے ساتھ تبدیل ہوتے ہیں جبکہ مزاحمت کی قیمت میں تبدیلی انتہائی کم ہوتی ہے جسے رد کیا جا سکتا ہے۔چونکہ منفی ایمپلیفائر کی افزائش ان متغیرات پر منحصر نہیں لہٰذا اس کی افزائش اٹل تصور کی جا سکتی ہے۔اس کتاب میں یہاں سے آگے حسابی ایمپلیفائر کو کامل تصور کرتے ہوئے تمام ادوار حل کئے جائیں گے۔

---

مثال 4.5: منفی ایمپلیفائر کی افزائش $A_v = -15\,\mathrm{V\,V^{-1}}$ درکار ہے۔مزاحمتوں کی قیمتیں دریافت کریں۔اگر $v_s = -0.2\,\mathrm{V}$ ہو تب $v_0$ کیا ہو گا۔

حل: منفی ایمپلیفائر کے افزائش کا قلیہ $A_v = -\frac{R_2}{R_1}$ ہے جس سے $R_2 = 15R_1$ لکھا جا سکتا ہے۔ادوار تخلیق کرتے ہوئے عموماً ایسی صورت کا سامنا کرنا پڑتا ہے جہاں قلیات سے تمام متغیرات حاصل کرنا ممکن نہیں ہوتا۔موجودہ مثال بھی ایسی ہے۔ایسی صورت میں کسی ایک متغیرہ یا ایک سے زیادہ متغیرات کے قیمتیں چننی جاتی ہیں جس کے بعد بقایا متغیرات کو قلیات سے حاصل کیا جاتا ہے۔عموماً متغیرات چنتے وقت دیگر ضروریات کو مد نظر رکھا جاتا ہے۔

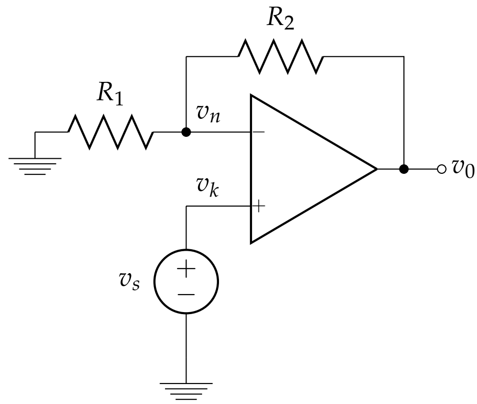
حسابی ایمپلیفائر کے ادوار میں مزاحمتوں کی قیمت $1\,\mathrm{k\Omega}$ تا $100\,\mathrm{k\Omega}$ رکھتے ہوئے ٹھیک ادوار بنتے ہیں لہٰذا ہم

$$R_1 = 1\,\mathrm{k\Omega}$$

چن سکتے ہیں جس سے $R_2 = 15\,\mathrm{k\Omega}$ حاصل ہوتا ہے۔

---

[12] inverting amplifier




شکل 4.8: مثبت ایمپلیفائر۔

دیے گئے اشارے کی صورت میں خارجی اشارہ

$$v_0 = A_v v_s = -15 \times (-0.2) = 3\,\text{V}$$

ہو گا۔

---

## 4.3 مثبت ایمپلیفائر

**مثبت ایمپلیفائر**[13] کو شکل 4.8 میں دکھایا گیا ہے۔اس کی افزائش $\frac{v_0}{v_s}$ حاصل کرتے ہیں۔

مثبت داخلی پنیا کی مساوات لکھتے ہیں۔

$$v_k = v_s \tag{4.18}$$

منفی داخلی پنیا پر $i_d = 0$ لیتے ہوئے کرخوف مساوات رو لکھ

$$\frac{v_n}{R_1} + \frac{v_n - v_0}{R_2} = 0$$

non-inverting amplifier[13]

کر $v_n$ کے لئے حل کرتے ہیں۔

$$v_n = \frac{\frac{v_0}{R_2}}{\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}} \tag{4.19}$$

مساوات 4.18 اور مساوات 4.19 میں حاصل کردہ $v_k$ اور $v_n$ کی قیمتیں برابر پُر کرتے ہیں۔

$$v_s = \frac{\frac{v_0}{R_2}}{\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}}$$

اس کو $\frac{v_0}{v_s}$ کے لئے حل کرتے ہوئے درج ذیل حاصل ہوتا ہے۔

$$A_v = \frac{v_0}{v_s} = 1 + \frac{R_2}{R_1} \tag{4.20}$$

---

مثال 4.6: مثبت ایمپلیفائر میں $R_1 = 2\,\mathrm{k\Omega}$ اور $R_2 = 8\,\mathrm{k\Omega}$ ہیں جبکہ $v_s = 0.5\sin 100t$ ہے۔ خارجی اشارہ حاصل کریں۔

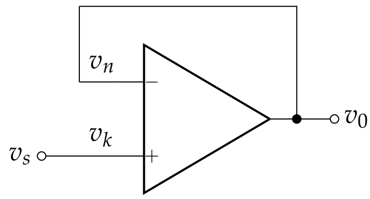
حل: افزائش

$$A_v = 1 + \frac{8000}{2000} = 5\,\mathrm{V\,V^{-1}}$$

حاصل ہوتا ہے جبکہ خارجی اشارہ درج ذیل ہو گا۔

$$v_0 = A_v v_s = 5 \times 0.5\sin 100t = 2.5\sin 100t \quad (\mathrm{V})$$

---




شکل 4.9: مستحکم کار۔

## 4.4 مستحکم کار

شکل 4.8 میں $R_1 = \infty$ اور $R_2 = 0$ پُر کرنے سے شکل 4.9 حاصل ہوتا ہے اور مساوات 4.20 سے

$$A_v = \frac{v_0}{v_s} = 1 + \frac{0}{\infty} = 1$$

یعنی

$$v_0 = v_s \tag{4.21}$$

حاصل ہوتا ہے۔ شکل 4.9 **مستحکم کار**[14] کہلاتا ہے۔ مساوات 4.21 حاصل کرنے کی دوسری منطق یہ ہے کہ چونکہ $v_k = v_s$ ہے لہٰذا $v_n$ بھی $v_s$ کے برابر ہو گا۔ اب $v_n$ اور $v_0$ ایک ہی جوڑ کے دو نام ہیں لہٰذا

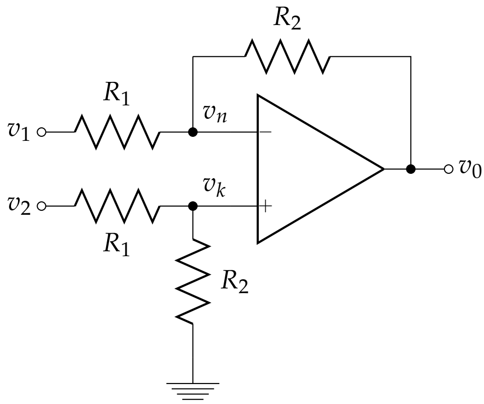
$$v_0 = v_s \tag{4.22}$$

ہو گا۔

## 4.5 منفی کار

شکل 4.10 میں $R_1$ دو جگہ نسب ہے۔ اس کا مطلب ہے کہ دونوں جگہ پر $R_1$ قیمت کے مزاحمت نسب ہیں۔ اسی طرح دو جگہوں پر $R_2$ نسب ہے جس کا مطلب ہے کہ ان جگہوں پر $R_2$ قیمت کے مزاحمت نسب ہیں۔ مثبت اور منفی داخلی

[14] buffer




شکل 4.10: منفی کار۔

پنیوں کے کرخوف مساوات رو لکھتے ہیں۔

$$\frac{v_n - v_1}{R_1} + \frac{v_n - v_0}{R_2} = 0$$
$$\frac{v_k - v_2}{R_1} + \frac{v_k}{R_2} = 0$$

ان سے $v_n$ اور $v_k$ حاصل کرتے ہیں۔

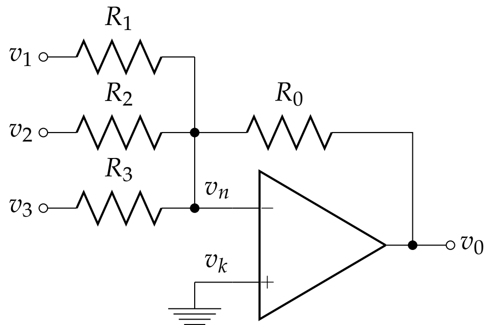
$$v_n = \frac{\frac{v_1}{R_1} + \frac{v_0}{R_2}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}}$$
$$v_k = \frac{\frac{v_2}{R_1}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}}$$

$v_n$ اور $v_k$ کو برابر پُر کرتے ہیں۔

$$\frac{\frac{v_1}{R_1} + \frac{v_0}{R_2}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} = \frac{\frac{v_2}{R_1}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}}$$

مساوی نشان کے دونوں اطراف کسر کے نچلے حصے برابر ہونے کی وجہ سے کٹ جاتے ہیں۔بقایا مساوات کو $v_0$ کے لئے حل کرتے ہوئے درج ذیل حاصل ہوتا ہے۔

$$v_0 = \frac{R_2}{R_1}\left(v_2 - v_1\right) \tag{4.23}$$




شکل 4.11: جمع کار۔

اس مساوات میں $R_1 = R_2$ کی صورت میں خارجی اشارہ داخلی اشارات کے فرق کے برابر ہے۔اسی لئے اس دور کو منفی کار[15] کہتے ہیں۔بیرونی مزاحمت برابر نہ ہونے کی صورت میں داخلی اشارات کے فرق کو $\frac{R_2}{R_1}$ گنا بڑھایا بھی جاتا ہے۔

## 4.6 جمع کار

جمع کار[16] کو شکل 4.11 میں دکھایا گیا ہے۔داخلی پنیوں پر مساوات لکھتے ہیں۔

$$v_k = 0$$
$$\frac{v_n - v_1}{R_1} + \frac{v_n - v_2}{R_2} + \frac{v_n - v_3}{R_3} + \frac{v_n - v_0}{R_0} = 0$$

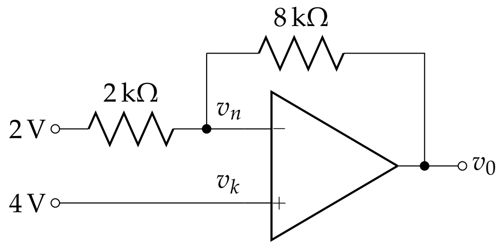
چونکہ $v_k = 0$ ہے لہٰذا $v_n = 0$ ہو گا۔یہ قیمت مندرجہ بالا مساوات میں پر کرتے ہیں۔

$$\frac{0 - v_1}{R_1} + \frac{0 - v_2}{R_2} + \frac{0 - v_3}{R_3} + \frac{0 - v_0}{R_0} = 0$$

اسے $v_0$ کے لئے حل کرتے ہیں۔

$$v_0 = -R_0 \left( \frac{v_1}{R_1} + \frac{v_2}{R_2} + \frac{v_3}{R_3} \right) \tag{4.24}$$

subtractor[15]
adder[16]




شکل 4.12: مثال 4.7 کا دور۔

اگر تمام بیرانی مزاحمتوں کی قیمتیں برابر ہوں یعنی اگر $R_1 = R_2 = R_3 = R_0$ ہو تب مندرجہ بالا مساوات درج ذیل صورت اختیار کرتی ہے۔

$$v_0 = -(v_1 + v_2 + v_3) \tag{4.25}$$

اس مساوات کے تحت خارجی اشارہ تمام داخلی اشارات کے مجموعے کے منفی برابر ہے۔اسی لئے اس دور کو جمع کار کہتے ہیں۔بیرونی مزاحمتیں برابر نہ ہونے کی صورت میں داخلی اشارات کے قدر[17] مختلف تصور کرتے ہوئے ان کا مجموعہ لیا جاتا ہے۔یوں پہلے اشارے کی قدر $\frac{R_0}{R_1}$ لی گئی ہے جبکہ دوسرے اشارے کی قدر $\frac{R_0}{R_2}$ لی گئی ہے۔شکل 4.11 میں مزید داخلی اشارات شامل کئے جا سکتے ہیں۔

---

مثال 4.7: شکل 4.12 میں $v_0$ دریافت کریں۔

حل: جوڑ $v_n$ پر کرخوف مساوات لکھتے ہیں۔

$$\frac{v_n - 2}{2000} + \frac{v_n - v_0}{8000} = 0$$

جس سے

$$v_n = \frac{8 + v_0}{5}$$

[17] weightage

حاصل ہوتا ہے۔ جوڑ $v_k$ کے لئے

$$v_k = 5$$

لکھا جا سکتا ہے۔ دونوں جوڑ کی قیمتیں برابر پُر کرتے ہیں۔

$$\frac{8+v_0}{5} = 5$$

اس سے درج ذیل حاصل ہوتا ہے۔

$$v_0 = 17\,\mathrm{V}$$

اگر مثبت طاقتی دباو اس قیمت سے زیادہ ہو تب یہی جواب درست ہو گا۔

---

## 4.7 متوازن اور غیر متوازن صورت

حسابی ایمپلیفائر **مخلوط دور**[18] ہے جس میں متعدد مزاحمت اور ٹرانزسٹر[19] پائے جاتے ہیں۔ ٹرانزسٹر کے بارے میں آپ **برقیات**[20] کی کتاب میں پڑھیں گے۔

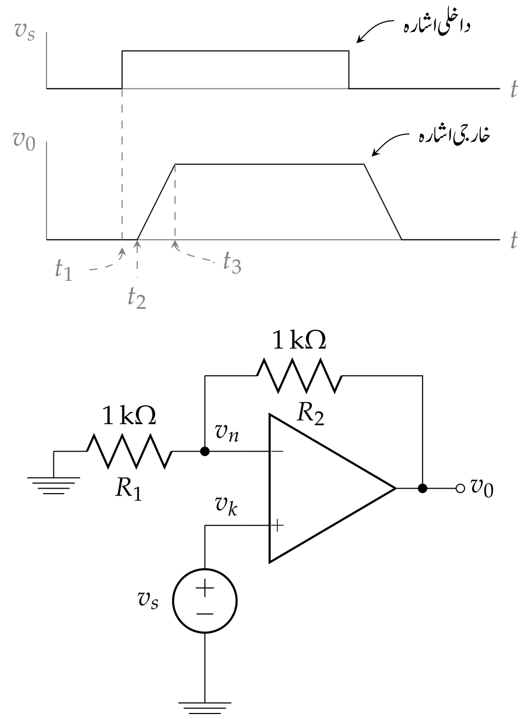
برقی اشارہ موصل تار میں تقریباً روشنی کی رفتار سے سفر کرتا ہے۔ یوں ٹرانزسٹر کا داخلی اشارہ تبدیل ہونے کا اثر ٹرانزسٹر کے خارجی اشارے پر کچھ دیر بعد ہوتا ہے، اگرچہ یہ دورانیہ انتہائی کم ہوتا ہے۔ حسابی ایمپلیفائر میں متعدد ٹرانزسٹر پائے جاتے ہیں لہٰذا حسابی ایمپلیفائر کے داخلی اشارے کے تبدیل ہونے کا اثر خارجی اشارے پر کچھ دیر بعد رونما ہو گا۔ اسی طرح خارجی اشارہ کسی ایک قیمت سے دوسری قیمت کے دباو تک پہنچتے ہوئے کچھ وقت لیتا ہے۔ شکل 4.13 میں مثبت ایمپلیفائر کے داخلی اشارے کو یک دم[21] تبدیل ہوتا دکھایا گیا ہے۔ مثبت ایمپلیفائر کی قلیہ افزائش

$$A_v = 1 + \frac{R_2}{R_1} \tag{4.26}$$

سے $A_v = 2\,\mathrm{V\,V^{-1}}$ حاصل ہوتا ہے۔ شکل میں خارجی اشارہ بھی دکھایا گیا ہے جہاں خارجی اشارہ تبدیل ہونے کے دورانیے کو بڑھا چڑھا کر پیش کیا گیا ہے۔ حقیقت میں یہ دورانیہ چند مائیکرو سیکنڈ کا ہوتا ہے۔

---

[18] integrated circuit, IC
[19] transistor
[20] electronics
[21] آپ یہاں سوال کر سکتے ہیں کہ اگر خارجی اشارہ یکدم تبدیل نہیں ہو سکتا تب داخلی اشارہ کس طرح یک دم تبدیل ہو سکتا ہے۔ فی الحال بس فرض کریں کہ ایسا ہے۔




شکل 4.13: متوازن دور کی مثال۔

آئیں شکل 4.13 پر تفصیلاً غور کریں۔ منفی جوڑ پر کرخوف مساوات رو

$$\frac{v_n}{R_1}+\frac{v_n-v_0}{R_2}=0$$

یعنی

$$v_n=\frac{R_1 v_0}{R_1+R_2} \tag{4.27}$$

ہے۔ یہی مساوات شکل کو دیکھ کر تقسیم دباو کے قلیے سے بھی لکھی جا سکتی ہے۔

وقت $t=0$ پر داخلی اشارہ $0\,\mathrm{V}$ ہے اور یوں مساوات 4.26 کے تحت $v_0=0\,\mathrm{V}$ ہو گا۔ مساوات 4.27 میں $v_0=0\,\mathrm{V}$ پُر کرتے ہوئے آپ دیکھ سکتے ہیں کہ $v_n=0\,\mathrm{V}$ ہے لہٰذا $v_k$ اور $v_n$ برابر ہیں۔

لمحہ $t_1$ پر داخلی اشارہ تبدیل ہو کر $1\,\mathrm{V}$ ہو جاتا ہے۔ ابتدائی طور پر داخلی اشارے کا اثر خارجی اشارے پر نہیں ہو گا لہٰذا $t_1$ سے $t_2$ تک $v_0=0\,\mathrm{V}$ ہی رہے گا۔ مساوات 4.27 میں $v_0=0\,\mathrm{V}$ پُر کرنے سے $v_n=0\,\mathrm{V}$ حاصل ہوتا ہے جبکہ $v_k=v_s=1\,\mathrm{V}$ ہے۔ یوں $t_1$ تا $t_2$ دورانیے میں $v_k$ اور $v_n$ برابر نہیں ہیں۔ اس طرح $v_d=v_k-v_n=1\,\mathrm{V}$ ہو گا۔ تفرقی داخلی اشارہ $v_d$ مثبت ہونے کی وجہ سے حسابی ایمپلیفائر خارجی اشارے کو مثبت طاقتی دباو کی جانب بڑھانا شروع کرتا ہے۔ یہ رد عمل خارجی اشارے پر لمحہ $t_2$ پر نمودار ہونا شروع ہوتا ہے۔ لمحہ $t_3$ پر خارجی اشارہ $2\,\mathrm{V}$ پر پہنچتا ہے۔ یوں $t_3$ پر مساوات 4.27 کے تحت

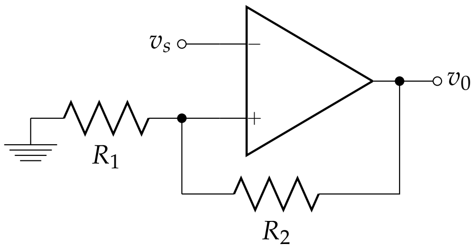
$$v_n=\frac{1000\times 2}{1000+1000}=1\,\mathrm{V}$$

ہو گا۔ یوں ایک مرتبہ پھر $v_k=v_n$ یعنی $v_d=0\,\mathrm{V}$ ہو گا۔ داخلی تفرقی اشارہ صفر ہوتے ہی حسابی ایمپلیفائر خارجی اشارہ تبدیل کرنا روک دیتا ہے۔ یوں $v_0=2\,\mathrm{V}$ پر برقرار رہتا ہے۔

آئیں دیکھیں کہ اگر کسی وجہ سے $v_0$ کی قیمت درکار قیمت ( $2\,\mathrm{V}$ ) سے مختلف ہو تب حسابی ایمپلیفائر کا رد عمل کیا ہو گا۔ فرض کریں کہ کسی طرح $v_0=2.2\,\mathrm{V}$ ہو جائے۔ ایسی صورت میں مساوات 4.27 کے تحت

$$v_n=\frac{1000\times 2.2}{1000+1000}=1.1\,\mathrm{V}$$

ہو گا جبکہ $v_k=1\,\mathrm{V}$ ہے لہٰذا $v_d=-0.1\,\mathrm{V}$ ہو گا جس کی وجہ سے حسابی ایمپلیفائر خارجی اشارے کو منفی طاقتی دباو کی جانب لے جانا شروع کرے گا یعنی $v_0$ کی قیمت $2.2\,\mathrm{V}$ سے گھٹنے شروع ہو جائے گی۔ ہم دیکھتے ہیں کہ




شکل 4.14: غیر متوازن دور کی مثال۔

$v_k = 1\,\text{V}$ کی صورت میں حسابی ایمپلیفائر کسی بھی صورت $v_0$ کی قیمت $2\,\text{V}$ سے زیادہ برداشت نہیں کرتا۔اسی طرح $v_0$ کی قیمت $2\,\text{V}$ سے کم ہونے کی صورت حال دیکھتے ہیں۔فرض کریں کہ $v_0 = 1.8\,\text{V}$ ہو جائے تب مساوات 4.27 کے تحت

$$v_n = \frac{1000 \times 1.8}{1000 + 1000} = 0.9\,\text{V}$$

اور $v_d = 1 - 0.9 = 0.1\,\text{V}$ ہو گا اور یوں حسابی ایمپلیفائر کا خارجی اشارہ $v_0$ مثبت طاقتی دباو کی جانب بڑھے گا۔آپ دیکھ سکتے ہیں کہ حسابی ایمپلیفائر کا خارجی اشارہ عین $2\,\text{V}$ پر آ رکتا ہے۔

مندرجہ بالا تبصرے سے آپ دیکھ سکتے ہیں کہ مثبت ایمپلیفائر کا خارجی اشارہ مساوات 4.26 اور $v_s$ کی قیمت سے تعین ہوتا ہے۔آپ نے دیکھا کہ خارجی اشارہ درکار قیمت پر ہی ٹھہرتا ہے۔اس خاصیت کو متوازن[22] صورت کہتے ہیں۔

آئیں اب شکل 4.14 میں دکھائے دور پر غور کرتے ہیں۔فرض کریں کہ $R_1 = R_2 = 1\,\text{k}\Omega$ اور $v_s = 1\,\text{V}$ ہیں۔اگر $v_0 = 2\,\text{V}$ ہو تب منفی داخلی جوڑ پر کرخوف مساوات رو

$$v_k = \frac{R_1 v_n}{R_1 + R_2} \tag{4.28}$$

سے $v_n = 1\,\text{V}$ اور یوں $v_d = 0\,\text{V}$ حاصل ہوتا ہے۔ایسا معلوم ہوتا ہے کہ یہی صحیح جواب ہے۔آئیں $v_0$ کی قیمت میں تبدیلی کے اثرات دیکھیں۔فرض کریں کہ $v_0 = 2.2\,\text{V}$ ہو جاتا ہے۔ایسی صورت میں درج بالا مساوات کے تحت

$$v_k = \frac{1000 \times 2.2}{1000 + 1000} = 1.1\,\text{V}$$

[22] stable

اور $v_d = v_k - v_n = 1.1 - 1 = 0.1\,\mathrm{V}$ ہو گا۔یوں خارجی اشارہ بڑھنے شروع ہو گا لیکن خارجی اشارہ جتنا بڑھتا ہے $v_k$ اور $v_d$ کی قیمتیں اتنی ہی زیادہ ہوتی چلی جاتی ہیں۔آخر کار $v_0 = V_{CC} - \Delta_+$ تک پہنچ کر رک جائے گا اور یہیں رکا رہے گا۔اس کے برعکس $v_0$ کی قیمت دو وولٹ سے کم ہونے کی صورت میں $v_d$ منفی ہو گا لہٰذا خارجی اشارہ منفی جانب چل پڑیگا اور آخر کار $V_{EE} + \Delta_-$ پر جا رکے گا۔

آپ دیکھ سکتے ہیں کہ قوانین کرخوف سے شکل 4.14 کا حاصل جواب (یعنی $v_0 = 2\,\mathrm{V}$) **غیر متوازن**[23] صورت کو ظاہر کرتی ہے جو برقرار نہیں رہ سکتی۔یوں حسابی ایمپلیفائر کے ادوار حل کرتے ہوئے دور کا متوازن یا غیر متوازن ہونے پر غور ضروری ہے۔اس کتاب میں ہم صرف متوازن ادوار پر غور کریں گے جو قوانین کرخوف سے قابل حل ہوں گے۔

## 4.8 موازنہ کار

حسابی ایمپلیفائر کی ایک مخصوص صورت کو موازنہ کار[24] کہتے ہیں۔

---

[23] unstable
[24] comparator