

برقی آلات

خالد خان یوسفزئی

جامعہ کامیٹ، اسلام آباد

khalidyoufazai@comsats.edu.pk

عنوان

ix	دیاچہ
3	1 بنیادی حقائق
3	1.1 بنیادی اکائیاں
3	1.2 غیر سمتی
4	1.3 سمتیہ
5	1.4 محدود
5	1.4.1 کارتیسی محدودی نظام
7	1.4.2 تکلی محدودی نظام
9	1.5 سمتیہ رقبہ
11	1.6 رقبہ عمودی تراش
12	1.7 برقی اور مقناطیسی میدان
12	1.7.1 برقی میدان اور برقی میدان کی شدت
13	1.7.2 مقناطیسی میدان اور مقناطیسی میدان کی شدت

13	سطحی اور حجمی کشافت	1.8
13	1.8.1 سطحی کشافت	
14	حجمی کشافت	1.9
15	صلیبی ضرب اور ضرب نقطہ	1.10
15	1.10.1 صلیبی ضرب	
17	1.10.2 نقطی ضرب	
20	1.11 تفرق اور جزوی تفرق	
20	1.12 خطی مکمل	
21	1.13 سطحی مکمل	
22	1.14 مرحلی سمتیہ	
27	2 مقناطیسی ادوار	
27	2.1 مزاحمت اور ہنگامی ہٹ	
28	2.2 کشافستِ برقی رد اور برقی میدان کی شدت	
30	2.3 برقی ادوار	
32	2.4 مقناطیسی دور حصہ اول	
34	2.5 کشافستِ مقناطیسی بہا اور مقناطیسی میدان کی شدت	
36	2.6 مقناطیسی دور حصہ دوم	
40	2.7 خود امالہ، مشترکہ امالہ اور توانائی	
47	2.8 مقناطیسی مادہ کے خواص	
51	2.9 ہیبان شدہ لچھا	

57	3	ٹرانسفارمر
58	3.1	ٹرانسفارمر کی اہمیت
61	3.2	ٹرانسفارمر کے اقسام
61	3.3	امالی برقی دباؤ
63	3.4	ہیجان انگیز برقی رد اور قابلی ضیاع
66	3.5	تبادلہ برقی دباؤ اور تبادلہ برقی رو کے خواص
70	3.6	ثانوی جانب بوجھ کا ابتدائی جانب اثر
71	3.7	ٹرانسفارمر کی علامت پر نقطوں کا مطلب
71	3.8	رکاوٹ کا تبادلہ
76	3.9	ٹرانسفارمر کے وولٹ-امپیئر
78	3.10	ٹرانسفارمر کے امالہ اور اس کے مساوی دور
78	3.10.1	لچھے کی مزاحمت اور اس کی متعاملہ علیحدہ کرنا
79	3.10.2	رستا امالہ
80	3.10.3	ثانوی برقی رد اور قالب کے اثرات
82	3.10.4	ثانوی لچھے کی امالی برقی دباؤ
83	3.10.5	ثانوی لچھے کی مزاحمت اور متعاملہ کے اثرات
83	3.10.6	رکاوٹ کا ابتدائی یا ثانوی جانب تبادلہ
86	3.10.7	ٹرانسفارمر کے سادہ ترین مساوی دور
87	3.11	کھلے دور معائنہ اور کسر دور معائنہ
88	3.11.1	کھلے دور معائنہ
90	3.11.2	کسر دور معائنہ
94	3.12	تین مرحلہ ٹرانسفارمر
101	3.13	ٹرانسفارمر چالو کرتے لمحہ زیادہ محرکی برقی رو کا گزر

103	4	برقی اور میکانیکی توانائی کا باہمی تبادلہ
103	4.1	مقتناطیسی نظام میں قوت اور قوت مروڑ
109	4.2	تبادلہ توانائی والا ایک لچھے کا نظام
115	4.3	توانائی اور ہمہ توانائی
119	4.4	متعدد لچھوں کا مقتناطیسی نظام
127	5	گھومتے مشین کے بنیادی اصول
127	5.1	قانون فیراڈے
128	5.2	معاصر مشین
138	5.3	محرک برقی دباؤ
142	5.4	پھیلے لچھے اور سائن نما مقتناطیسی دباؤ
143	5.4.1	بدلتی رو والے مشین
151	5.5	مقتناطیسی دباؤ کی گھومتی موجیں
152	5.5.1	ایک دور کی لپٹی مشین
153	5.5.2	تین دور کی لپٹی مشین کا تحلیلی تجزیہ
158	5.5.3	تین دور کی لپٹی مشین کا تریسی تجزیہ
161	5.6	محرک برقی دباؤ
161	5.6.1	بدلتی رو برقی جنریٹر
166	5.6.2	یک سمتی رو برقی جنریٹر
167	5.7	ہموار قطب مشینوں میں قوت مروڑ
168	5.7.1	توانائی کے طریقے سے میکانیکی قوت مروڑ کا حساب
170	5.7.2	مقتناطیسی بہاؤ سے میکانیکی قوت مروڑ کا حساب

177	6 یکساں حال، برقرار چالو معاصر مشین
178	6.1 متعدد مرحلہ معاصر مشین
181	6.2 معاصر مشین کے امالہ
182	6.2.1 خود امالہ
183	6.2.2 مشترکہ امالہ
185	6.2.3 معاصر امالہ
187	6.3 معاصر مشین کا مساوی دور یا ریاضی نمونہ
189	6.4 برقی طاقت کی منتقلی
194	6.5 یکساں حال، برقرار چالو مشین کے خصوصیات
194	6.5.1 معاصر جزیئر: برقی بوجھ بالمتقابل I_m کے خطوط
195	6.5.2 معاصر موثر: I_a بالمتقابل I_m کے خط
197	6.6 کھلے دور اور کسر دور معائنہ
197	6.6.1 کھلے دور معائنہ
198	6.6.2 کسر دور معائنہ

- 7.1 ساکن لچھوں کی گھومتی مقناطیسی موج 210
- 7.2 مشین کی سرکے اور گھومتی موجوں پر تبصرہ 210
- 7.3 ساکن لچھوں میں امالی برقی دباؤ 213
- 7.4 ساکن لچھوں کی موج کا گھومتے لچھوں کے ساتھ اضافی رفتار اور ان میں پیدا امالی برقی دباؤ 213
- 7.5 گھومتے لچھوں کی گھومتی مقناطیسی دباؤ کی موج 217
- 7.6 گھومتے لچھوں کے مساوی فرضی ساکن لچھے 218
- 7.7 امالی موٹر کا مساوی برقی دور 219
- 7.8 مساوی برقی دور پر غور 224
- 7.9 امالی موٹر کا مساوی تھون دور یا ریاضی نمونہ 228
- 7.10 پنجرانما امالی موٹر 234
- 7.11 بے بوجھ موٹر اور جامد موٹر کے معائنہ 235
- 7.11.1 بے بوجھ موٹر کا معائنہ 235
- 7.11.2 جامد موٹر کا معائنہ 237

- 8.1 میکانی سمت کار کی بنیادی کارکردگی 243
- 8.1.1 میکانی سمت کار کی تفصیل 245
- 8.2 یک سمتی جزیئر کی برقی دباؤ 249
- 8.3 قوت مروڑ 251
- 8.4 بیرونی پیمان اور خود پیمان یک سمتی جزیئر 253
- 8.5 یک سمتی مشین کی کارکردگی کے خط 257
- 8.5.1 حاصل برقی دباؤ بالمتقابل برقی بوجھ 257
- 8.5.2 رفتار بالمتقابل قوت مروڑ 259

باب 3

ٹرانسفارمر

ٹرانسفارمر وہ آلہ ہے جو بدلتا برقی دباؤ کو تبدیل کرتا ہے۔ یہ دو یا دو سے زیادہ لچھوں پر مشتمل ہوتا ہے جو مقناطیسی قالب¹ پر لپٹے ہوتے ہیں۔ یہ لچھے عموماً آپس میں جڑے ہوئے نہیں ہوتے۔ شکل 3.1-الف میں ٹرانسفارمر کی علامت دکھائی گئی ہے۔ دو لچھوں کے درمیان متوازی لکیریں مقناطیسی قالب کو ظاہر کرتی ہیں۔

دستیاب برقی دباؤ² پر ٹرانسفارمر کے ایک لچھے کو برقی طاقت فراہم کی جاتی ہے اور باقی لچھوں سے مختلف برقی دباؤ پر یہی برقی طاقت حاصل کی جاتی ہے۔ جس لچھے پر برقی دباؤ لاگو کیا جائے اسے ابتدائی لچھا³ کہتے ہیں اور ٹرانسفارمر کی اس جانب کو ابتدائی جانب⁴ کہتے ہیں۔ اسی طرح جس لچھے (لچھوں) سے برقی طاقت حاصل کی جاتی ہے اسے (انہیں) ثانوی لچھا⁵ (لچھے) کہتے ہیں اور اس جانب کو ثانوی جانب⁶ کہتے ہیں۔ ایسا شکل 3.1-ب میں دکھایا گیا ہے۔ ٹرانسفارمر کی علامت میں ابتدائی جانب کو بائیں طرف اور ثانوی جانب کو دائیں طرف دکھایا جاتا ہے۔

بڑے ٹرانسفارمر عموماً صرف دو لچھوں پر مشتمل ہوتے ہیں۔ اس کتاب میں مقناطیسی قالب پر لپٹے ہوئے دو لچھوں کے قوی ٹرانسفارمر پر تبصرہ کیا جائے گا۔

¹ magnetic core

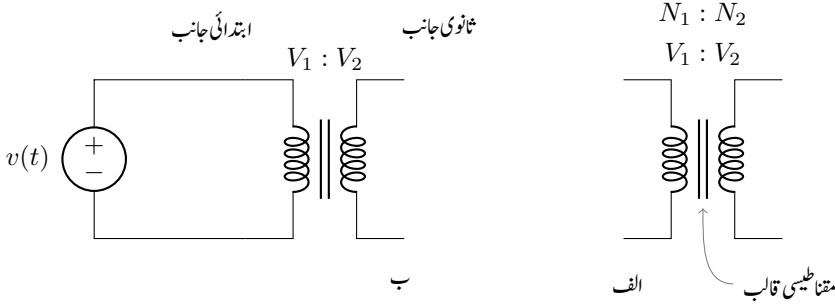
² بدلتی برقی دباؤ کی علامت میں مثبت اور منفی نشان وقت صفر پر برقی دباؤ کی مثبت اور منفی سرے ظاہر کرتے ہیں۔

³ primary coil

⁴ primary side

⁵ secondary coil

⁶ secondary side



شکل 3.1: ٹرانسفارمر کی علامت۔

ٹرانسفارمر کے کم برقی دباؤ کے لچھے کو کم برقی دباؤ کا لچھا⁷ کہتے ہیں اور ٹرانسفارمر کی اس جانب کو کم برقی دباؤ والی جانب کہتے ہیں جبکہ ٹرانسفارمر کے زیادہ برقی دباؤ کے لچھے کو زیادہ برقی دباؤ کا لچھا⁸ کہتے ہیں اور ٹرانسفارمر کی اس جانب کو زیادہ برقی دباؤ والی جانب کہتے ہیں۔

یوں اگر ٹرانسفارمر کے کم برقی دباؤ جانب برقی دباؤ لاگو کیا جائے اور زیادہ برقی دباؤ جانب سے برقی دباؤ حاصل کیا جائے تو ٹرانسفارمر کی کم برقی دباؤ جانب کو ابتدائی جانب کہیں گے اور اس کی زیادہ برقی دباؤ جانب کو ثانوی جانب کہیں گے۔

3.1 ٹرانسفارمر کی اہمیت

بدلتے رو کی برقی طاقت ایک مقام سے دوسرے مقام با آسانی اور نہایت کم برقی طاقت کی ضیاع سے منتقل کی جا سکتی ہے۔ یہی اس کی مقبولیت کا راز ہے۔ ٹرانسفارمر کے تبادلہ برقی دباؤ⁹ کی خصوصیت ایسا کرنے میں کلیدی کردہر ادا کرتی ہے جسے درج ذیل مثال کی مدد سے سمجھتے ہیں۔

مثال 3.1: شکل 3.2 سے رجوع کریں۔ برقی دباؤ اور برقی رو کی حاصل ضرب برقی طاقت ہوتی ہے:

$$p = v_1 i_1 = v_2 i_2$$

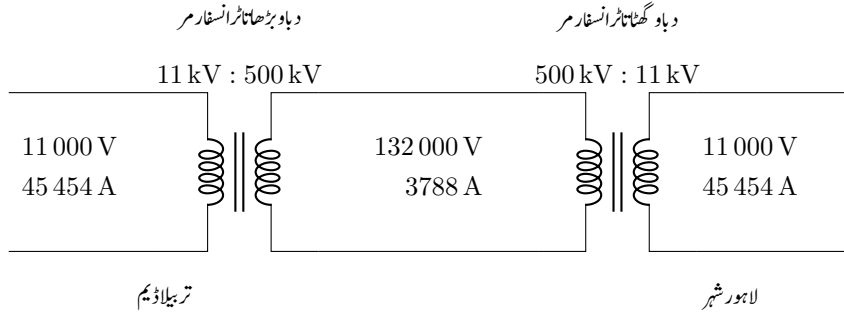
تصور کریں کہ تریلا ڈیم سے 500 MW برقی طاقت لاہور¹⁰ شہر کے گھریلو صارفین کو 220 وولٹ پر مہیا کرنی

⁷ low voltage coil

⁸ high voltage coil

⁹ voltage transformation property

¹⁰ ضلع صوابی میں بھی لاہور ایک تحصیل ہے لیکن اس شہر کو اتنی طاقت نہیں درکار



شکل 3.2: برقی طاقت کی منتقلی۔

ہے۔ اگر ہم اس طاقت کو 220 وولٹ پر ہی منتقل کرنا چاہیں تب برقی رو

$$i = \frac{p}{v} = \frac{500\,000\,000}{220} = 2\,272\,727\text{ A}$$

ہوگی۔ برقی تار میں کثافتِ برقی رو J_{au} تقریباً 5 ایمپیر فی مربع ملی میٹر $J_{au} = 5 \frac{\text{A}}{\text{mm}^2}$ ممکن ہوتی ہے۔ یہ ایک محفوظ کثافتِ برقی رو ہے۔ اگر برقی تار میں اس سے زیادہ برقی رو گزاری جائے تو اس کی مزاحمت میں برقی طاقت کے ضیاع سے یہ گرم ہو کر پگھل سکتی ہے۔ اس طرح صفحہ 14 پر مساوات 1.23 سے برقی تار کا رقبہ عمودی تراش

$$A = \frac{i}{J_{au}} = \frac{2\,272\,727}{5} = 454\,545\text{ mm}^2$$

ہو گا۔ گول تار تصور کریں تو اس کا رداس درج ذیل ہو گا۔

$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}} = \sqrt{\frac{454\,545}{\pi}} = 380\text{ mm} = 0.38\text{ m}$$

اتنی موٹی برقی تار کہیں نہیں پائی جاتی ہے¹¹۔ اگر یہ تار المونیم کی بنی ہو جس کی کثافت $\rho_v = 2700 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ ہوتی ہے تب ایک میٹر لمبی تار کی کمیت

$$m = 2700 \times \pi \times 0.38^2 \times 1 = 1224\text{ kg}$$

یعنی 1.2 ٹن ہوگی۔ المونیم اتنی مہنگی ہے کہ اس صورت میں اتنی برقی طاقت کو لاہور پہنچانا ممکن نہیں ہو گا¹²۔

¹¹ آپ مائیں یا نہ مائیں، آپ نے بھی اتنی موٹی برقی تار کبھی نہیں دیکھی ہوگی۔

¹² آج کل لاہور میں بجلی کی معطلی اس وجہ سے نہیں ہے۔

آئیں اب ٹرانسفارمر استعمال کر کے دیکھتے ہیں۔ ڈیم پر ایک ٹرانسفارمر نسب کر کے برقی دباؤ کو بڑھا کر 132 000 وولٹ یعنی 132 کلو وولٹ کیا جاتا ہے۔ یوں برقی رو درج ذیل ہوگا

$$i = \frac{p}{v} = \frac{500\,000\,000}{132\,000} = 3788 \text{ A}$$

جس کے لئے درکار برقی تار

$$A = \frac{i}{J_{au}} = \frac{3788}{5} = 758 \text{ mm}^2$$

$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}} = \sqrt{\frac{1667}{\pi}} = 15.5 \text{ mm}$$

□

صرف 15.5 ملی میٹر رداس کی ہوگی۔

اس مثال میں اگر تربیلا ڈیم میں نسب جنریٹر 11000 وولٹ برقی دباؤ پیدا کر رہا ہو تو تربیلا ڈیم پر نسب ٹرانسفارمر برقی دباؤ کو 11000 وولٹ سے بڑھا کر 132 کلو وولٹ کرے گا جبکہ لاہور شہر میں نسب ٹرانسفارمر 132 کلو وولٹ کو واپس 11000 وولٹ کرے گا۔

اسی مثال کو بڑھاتے ہیں۔ شہر میں 220 وولٹ کی بجائے 11000 وولٹ صارف کے قریب پہنچا کر محلہ میں نسب ٹرانسفارمر کی مدد سے 11000 وولٹ کو مزید گھٹا کر 220 وولٹ کیا جائے گا جو صارف کو فراہم کیے جائیں گے۔

شکل 3.2 میں ڈیم سے شہر تک کا نظام دکھایا گیا ہے جہاں ڈیم پر نسب ٹرانسفارمر کو برقی دباؤ بڑھاتا ٹرانسفارمر¹³ اور لاہور میں نسب ٹرانسفارمر کو برقی دباؤ گھٹاتا ٹرانسفارمر¹⁴ کہا گیا ہے۔

برقی طاقت عموماً 11 کلو وولٹ اور 25 کلو وولٹ کے مابین پیدا کی جاتی ہے۔ اس کی منتقلی 110 کلو وولٹ اور 1000 کلو وولٹ کے بیچ کی جاتی ہے جبکہ اس کا استعمال 1000 وولٹ سے کم پر کیا جاتا ہے۔

3.2 ٹرانسفارمر کے اقسام

گھروں اور کارخانوں کو برقی طاقت فراہم کرنے والے ٹرانسفارمر مقناطیسی قالب پر لپیٹے جاتے ہیں۔ یہ عموماً تین مرحلہ¹⁵ ہوتے ہیں جنہیں لوہے کے قالب والے تین مرحلہ قومی ٹرانسفارمر¹⁶ کہتے ہیں۔

نہایت چھوٹے ٹرانسفارمر عموماً لوہے کے قالب پر بنائے جاتے ہیں اور یکے مرحلہ¹⁷ ہوتے ہیں۔ یہ گھریلو استعمال کے برقی مشین، مثلاً موبائل چارجر، وغیرہ میں نسب ہوتے ہیں اور 220 وولٹ سے برقی دباؤ مزید گھٹاتے ہیں۔

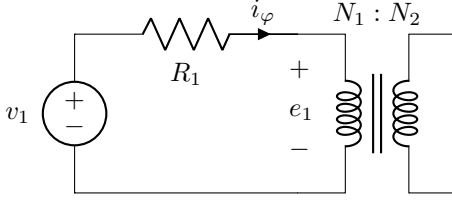
برقی دباؤ کی پیمائش کے لئے مستعمل ٹرانسفارمر، جو دباؤ کے ٹرانسفارمر¹⁸ کہلاتے ہیں، کے ثانوی اور ابتدائی برقی دباؤ کی تناسب پر خاص توجہ دی جاتی ہے۔ اسی طرح برقی رو کی پیمائش کے لئے مستعمل ٹرانسفارمر، جو رو کے ٹرانسفارمر¹⁹ کہلاتے ہیں، کے ثانوی اور ابتدائی رو کی تناسب پر خاص توجہ دی جاتی ہے۔ ویسے تو ہر ٹرانسفارمر کسی تناسب سے برقی دباؤ یا برقی رو کم یا زیادہ کرتا ہے لیکن جیسا پہلے ذکر کیا گیا، ان دو اقسام کے ٹرانسفارمر میں کم اور زیادہ کرنے کی تناسب پر خاص توجہ دی جاتی ہے۔ ان دو اقسام کے ٹرانسفارمر کی برقی سکت²⁰ نہایت کم²¹ ہوتی ہے۔

ٹرانسفارمر کے لچھوں کے مابین مشترکہ مقناطیسی بہاؤ خلاء کے ذریعہ بھی ممکن ہے۔ انہیں خلائی قالب ٹرانسفارمر²² کہتے ہیں۔ ایسے ٹرانسفارمر ذرائع ابلاغ²³ کے ادوار، یعنی ریڈیو، ٹی وی وغیرہ میں پائے جاتے ہیں۔ ان ٹرانسفارمر کی علامت شکل 3.3 میں دکھائی گئی ہے جس میں قالب ظاہر کرنے والی متوازی لکیریں نہیں پائی جاتی ہیں۔

3.3 امالی برقی دباؤ

اس حصے کا بنیادی مقصد بیرونی برقی دباؤ v اور اندرونی امالی برقی دباؤ e میں فرق واضح کرنا اور ان سے متعلق تکنیکی اصطلاحات کا تعارف ہے۔

three phase¹⁵iron core, three phase power transformer¹⁶single phase¹⁷potential transformer¹⁸current transformer¹⁹electrical rating²⁰یہ عموماً تقریباً پچیس وولٹ۔ ایکسپریس سکت رکھتے ہیں۔²¹air core transformer²²communication transformer²³



شکل 3.3: خلائی ٹرانسفارمر کی علامت۔

شکل 3.4: بیرونی برقی دباؤ اور اندرونی امالی برقی دباؤ میں فرق۔

شکل 3.4 میں بے بوجھ ²⁴ ٹرانسفارمر دکھایا گیا ہے، یعنی اس کا ثانوی لچھا کھلے دور رکھا گیا ہے۔ ابتدائی لچھے کی مزاحمت R_1 ہے جس کو بیرونی جزو دکھایا گیا ہے۔ ابتدائی لچھے پر v_1 برقی دباؤ لاگو کرنے سے ابتدائی لچھے میں ہیجان انگیز ²⁵ برقی رو i_ϕ گزرے گا۔ اس ہیجان انگیز برقی رو سے پیدا مقناطیسی دباؤ $N_1 i_\phi$ قالب میں مقناطیسی بہاؤ ϕ پیدا کے گا۔ یہ بدلتا مقناطیسی بہاؤ ابتدائی لچھے میں امالی برقی دباؤ e_1 پیدا کرتا ہے جسے درج ذیل مساوات پیش کرتی ہے۔

$$(3.1) \quad e_1 = -\frac{d\lambda}{dt} = -N_1 \frac{d\phi}{dt}$$

اس مساوات میں

- λ ابتدائی لچھے کی مقناطیسی بہاؤ کے ساتھ ارتباط بہاؤ ہے،
- ϕ مقناطیسی قالب میں مقناطیسی بہاؤ جو دونوں لچھوں میں سے گزرتی ہے،
- N_1 ابتدائی لچھے کے چکر ہیں۔

ابتدائی لچھے کی مزاحمت R_1 صفر نہ ہونے کی صورت میں کرخوف کے قانون برائے برقی دباؤ کے تحت درج ذیل ہو گا۔

$$(3.2) \quad v_1 = i_\phi R_1 + e_1$$

²⁴ unloaded
²⁵ excitation current

شکل 3.4 میں اس مزاحمت کو بطور بیرونی جزو، ٹرانسفارمر کے باہر، دکھایا گیا ہے۔ اس لچھے کی رستا متعاملہ بھی ہوگی جسے نظر انداز کیا گیا ہے۔ عموماً طاقت کے ٹرانسفارمر اور موٹروں میں $i_{\varphi} R_{l1}$ کی قیمت e_1 اور v_1 کی قیمتوں سے بہت کم ہوتی ہے لہذا اسے نظر انداز کیا جاسکتا ہے۔ ایسا کرتے ہوئے درج ذیل لکھا جاسکتا ہے۔

$$(3.3) \quad v_1 = e_1 = -N_1 \frac{d\varphi}{dt}$$

مساوات 3.2 سے ثابت ہوتا ہے کہ بیرونی لاگو برقی دباؤ v_1 اور اندرونی امالی برقی دباؤ e_1 دو علیحدہ برقی دباؤ ہیں۔ یہ بات سمجھ لینا بہت ضروری ہے۔ مساوات 3.3 کے تحت v_1 اور e_1 کی مطلق قیمتیں (تقریباً) ایک دوسرے کے برابر ہوتی ہیں²⁶۔ مساوات 3.3 میں دائیں ہاتھ منفی کی علامت پائی جاتی ہے۔ (ہمیں عموماً برقی دباؤ کی مطلق قیمت درکار ہوتی ہے تاکہ اس کی علامت لہذا اس کتاب میں مساوات 3.3 طرز کی مساواتوں میں دائیں ہاتھ منفی کی علامت عموماً نہیں لکھی گئی ہے۔)

لچھا یتجاہز²⁷ کرنے سے مراد اس پر بیرونی برقی دباؤ لاگو کرنا ہے جبکہ لچھے پر لاگو بیرونی برقی دباؤ کو یتجاہز انگیز برقی دباؤ²⁸ کہتے ہیں۔ لچھے کو یتجاہز شدہ لچھا²⁹ جبکہ اس میں رواں برقی رو کو یتجاہز انگیز برقی رو³⁰ کہتے ہیں۔

لچھے میں گزرتی مقناطیسی بہاؤ کی تبدیلی سے برقی دباؤ حاصل کیا جاسکتا ہے۔ ٹرانسفارمر میں ساکن لچھا سے برقی دباؤ حاصل کیا جاتا ہے۔ ساکن لچھا سے حاصل برقی دباؤ کو امالہ برقی دباؤ³¹ کہتے ہیں۔ برقی دباؤ کا حصول مقناطیسی میدان میں لچھے کی حرکت سے بھی ممکن ہے۔ ایسے برقی دباؤ کو محرک برقی دباؤ³² کہتے ہیں۔ یاد رہے ان برقی دباؤ میں کسی قسم کا فرق نہیں ہوتا۔ انہیں مختلف نام صرف پہچان کی خاطر دئے جاتے ہیں۔

3.4 ہیجان انگیز برقی رد اور قابلی ضیاع

جہاں مقناطیسی قالب میں بدلتا مقناطیسی بہاؤ ثانوی لچھوں میں فائدہ مند برقی دباؤ پیدا کرتا ہے وہاں یہ مقناطیسی قالب میں نقصان دہ برقی دباؤ کو بھی جنم دیتا ہے جس سے مقناطیسی قالب میں بھنور نما برقی رو³³ پیدا ہوتا ہے۔ بھنور نما برقی

²⁶ جس سے غلط فہمی پیدا ہوتی ہے کہ یہ ایک ہی برقی دباؤ کے دو مختلف نام ہیں۔

²⁷ excite

²⁸ excitation voltage

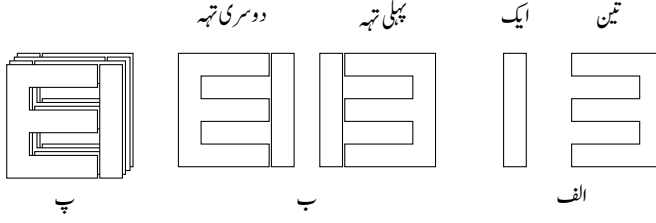
²⁹ excited coil

³⁰ excitation current

³¹ induced voltage

³² electromotive force, emf

³³ eddy currents



شکل 3.5: قالبی پتری کے اشکال اور ان کو تہہ در تہہ رکھنے کا طریقہ۔

رو مقناطیسی قالب میں برقی طاقت کے ضیاع کا سبب بنتا ہے جسے بھنور نما برقی رو کا ضیاع³⁴ یا مختصر آ قالبی ضیاع³⁵ کہتے ہیں۔ قالبی ضیاع کو کم سے کم کرنے کے لئے مقناطیسی قالب کو باریک لوہے کی پتیا³⁶ تہہ در تہہ رکھ کر بنایا جاتا ہے۔ ان پتروں پر غیر موصل روغن³⁷ کی تہہ لگائی جاتی ہے تاکہ بھنور نما برقی رو کو روکا جاسکے۔ آپ دیکھیں گے کہ برقی مشین کا قالب عموماً اسی طرح بنایا جاتا ہے۔ شکل 2.15 اور جدول 2.1 میں 0.3048 ملی میٹر موٹی M5 قالبی پتری کا $B - H$ مواد دیا گیا ہے۔

شکل 3.5-الف میں قالبی پتروں کے دو اشکال دکھائے گئے ہیں۔ ان کی صورت کی وجہ سے انہیں ایکے اور تین³⁸ پتری کہتے ہیں۔ شکل 3.5-ب میں ایک پتروں اور تین پتروں کو دو طرح آپس میں رکھا گیا ہے۔ ان دو طریقوں سے انہیں تہہ در تہہ رکھا جاتا ہے۔ لہذا اگر پہلی تہہ میں ایک دائیں جانب اور تین بائیں جانب رکھا جائے تو اس کے اوپر دوسری تہہ میں ایک کو بائیں جانب اور تین کو دائیں جانب رکھا جائے گا۔ تیسری تہہ میں پھر ایک کو دائیں اور تین کو بائیں جانب رکھا جائے گا، وغیرہ۔ اسی طرح انہیں جوڑ کر شکل 3.5-پ میں دکھایا گیا قالب حاصل کیا جاتا ہے۔

ہیجان انگیز برقی رو بے بوجھ اور بوجھ بردار ٹرانسفارمر میں یکساں ہوتا ہے۔ جیسا کہ پہلے بھی ذکر کیا گیا ہے، قوی ٹرانسفارمر اور موٹروں میں برقی دباؤ اور مقناطیسی بہاؤ سائن نما ہوتے ہیں جبکہ ان میں ہیجان انگیز برقی رو غیر سائن نما ہوتا ہے۔ یوں اگر

$$(3.4) \quad \begin{aligned} \varphi &= \phi_0 \sin \omega t = \phi_0 \cos (\omega t - 90^\circ) \\ \hat{\varphi} &= \phi_0 / -90^\circ \end{aligned}$$

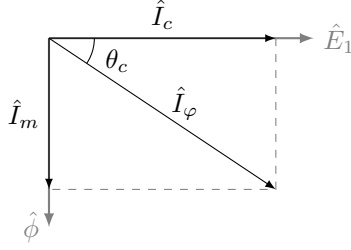
eddy current loss³⁴

core loss³⁵

laminations³⁶

enamel³⁷

E, I ³⁸



شکل 3.6: مختلف مرحلی سمتیوں کے زاویے۔

ہو تب

$$(3.5) \quad e_1 = N_1 \frac{d\varphi}{dt} = \omega N_1 \phi_0 \cos \omega t$$

$$\hat{E}_1 = \omega N_1 \phi_0 \angle 0$$

ہو³⁹ گا۔ یہاں ϕ_0 مقناطیسی بہاو کے حیطہ کو ظاہر کرتی ہے اور ω زاویائی تعداد ارتعاش یعنی $2\pi f$ کو ظاہر کرتی ہے جہاں f تعداد ارتعاش ہے جسے ہر ٹز Hz میں ناپا جاتا ہے۔ جیسا شکل 3.6 میں دکھایا گیا ہے \hat{E}_1 اور $\hat{\varphi}$ کے بیچ 90° کا زاویہ ہو گا۔ e_1 برقی دباؤ کی موثر قیمت E_{rms}

$$(3.6) \quad E_{rms} = \frac{\omega N_1 \phi_0}{\sqrt{2}} = 4.44 f N_1 \phi_0$$

ہے جس سے درج ذیل لکھا جاسکتا ہے۔

$$(3.7) \quad \phi_0 = \frac{E_{rms}}{4.44 f N_1 \phi_0}$$

یہاں رکھ کر دوبارہ نظر ثانی کرتے ہیں۔ اگر ایک لمحے پر E_{rms} موثر برقی دباؤ لاگو کیا جائے تو یہ لچھا اتنا ہیجان انگیز برقی رو i_φ گزرنے دیتا ہے جس سے نمودار ہونے والا مقناطیسی بہاو مساوات 3.7 میں دیے گئے مقناطیسی بہاو ϕ_0 کے برابر ہو۔ یہ حقیقت نہ صرف ٹرانسفارمر بلکہ کسی بھی مقناطیسی دور کے لئے درست اور لازم ہے۔

غیر سائن نما ہیجان انگیز برقی رو i_φ کو فوریئر تسلسل⁴⁰ سے درج ذیل لکھا جاسکتا ہے۔

$$(3.8) \quad i_\varphi = \sum_n (a_n \cos n\omega t + b_n \sin n\omega t)$$

³⁹ اس مساوات میں اور اس کے بعد پوری کتاب میں امالی برقی دباؤ کے ساتھ متقی علامت نہیں لگائی گئی ہے۔

⁴⁰ Fourier series

اس تسلسل میں $(a_1 \cos \omega t + b_1 \sin \omega t)$ کو بنیادی جزو⁴¹ جبکہ باقی حصہ کو موسیقائی جزو⁴² کہتے ہیں۔ بنیادی جزو میں $a_1 \cos \omega t$ ، مقناطیسی بہاو سے وجود میں آنے والے امالی برقی دباؤ، e_1 (مساوات 3.5) کے ہم قدم ہے اور دونوں ایک ساتھ بڑھتے اور گھٹتے ہیں جبکہ $b_1 \sin \omega t$ نوے درجہ زاویہ e_1 کے پیچھے رہتا ہے۔ قالب میں مختلف وجوہات کی بنا برقی طاقت کی ضائع، کو $a_1 \cos \omega t$ ظاہر کرتی ہے۔ اسی لئے اس جزو کو جزو قالبی ضیاع⁴³ کہتے ہیں۔ ہیجان انگیز برقی رو i_ϕ سے $a_1 \cos \omega t$ منفی کر کے مقناطیس بنانے والا برقی رو یا مقناطیسی برقی رو⁴⁴ حاصل ہو گا۔ تسلسل کی تیسری موسیقائی جزو سب سے زیادہ اہم ہے۔ قوی ٹرانسفارمر میں تیسرا موسیقائی جزو عموماً کل ہیجان انگیز برقی رو کا 40 فی صد ہوتا ہے۔

ماسوائے جب ہیجان انگیز برقی رو کے اثرات پر غور کیا جا رہا ہو، ہم ہیجان انگیز برقی رو کے غیر سائن نما ہونے کو نظر انداز کرتے ہیں۔ قوی ٹرانسفارمر کا ہیجان انگیز برقی رو اس کے کل برقی رو⁴⁵ کا تقریباً 5 فی صد ہوتا ہے لہذا اس کا اثر بہت کم ہوتا ہے۔ یوں ہم ہیجان انگیز برقی رو کو سائن نما تصور کر کے اس کے اثرات پر غور کرتے ہیں۔ ایسا کرنے سے مسئلہ پر غور کرنا آسان ہو جاتا ہے۔ اس فرضی سائن نما ہیجان انگیز برقی رو⁴⁶ \hat{I}_ϕ کی موثر قیمت $I_{\phi,rms}$ ، اصل ہیجان انگیز برقی رو کی موثر قیمت کے برابر رکھی جاتی ہے جبکہ اس کا زاویہ θ_c یوں رکھا جاتا ہے کہ اس سے حاصل برقی ضیاع اصل برقی ضیاع کے برابر ہو۔ شکل 3.6 کی مدد سے یہ بات سمجھنی زیادہ آسان ہے۔ قالبی ضیاع p_c ہونے کی صورت میں θ_c کی قیمت یوں منتخب کی جائے گی کہ درج ذیل مساوات درست ہو۔

$$(3.9) \quad p_c = E_{rms} I_{\phi,rms} \cos \theta_c$$

\hat{I}_ϕ دباؤ \hat{E}_1 سے θ_c پیچھے ہو گا۔

3.5 تبادلہ برقی دباؤ اور تبادلہ برقی رو کے خواص

ہم شکل 3.7 کی مدد سے ٹرانسفارمر کا مطالعہ کرتے ہیں۔ ہم فرض کرتے ہیں کہ ابتدائی لچھا N_1 اور ثانوی لچھا N_2 چکر کا ہے اور دونوں لچھوں کی مزاحمتیں صفر ہیں۔ ہم مزید فرض کرتے ہیں کہ پورا مقناطیسی بہاو قالب میں رہتا اور

⁴¹ fundamental component

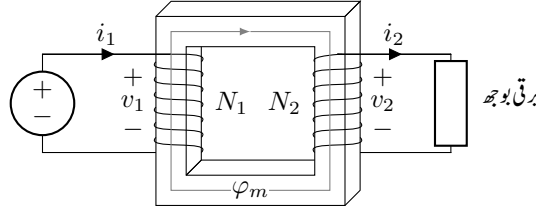
⁴² harmonic components

⁴³ core loss component

⁴⁴ magnetizing current

⁴⁵ کل برقی رو سے مراد وہ برقی رو ہے جو کل برقی بوجھ لانے سے حاصل ہوتا ہے۔

⁴⁶ یعنی بدلتی برقی رو i_ϕ کو اب مرحلہ سمتیہ کی مدد سے \hat{I}_ϕ لکھتے ہیں



شکل 3.7: کامل بوجھ بردار ٹرانسفارمر۔

دونوں لچھوں سے گزرتا ہے، قالب میں برقی توانائی ضائع نہیں ہوتی اور قالب کا مقناطیسی مستقل اتنا بڑا ہے کہ ہیجان انگیز برقی رو قابل نظر انداز ہے۔ برقی رو i_1 اور i_2 کے رخ یوں رکھے گئے ہیں کہ ان سے پیدا مقناطیسی بہاؤ ایک دوسرے کے مخالف رخ ہیں۔ اصل ٹرانسفارمر ان باتوں پر تقریباً پورا اترتا ہے۔ ایسے ٹرانسفارمر کو کامل ٹرانسفارمر⁴⁷ کہتے ہیں۔

کامل ٹرانسفارمر کے ابتدائی لچھے پر بدلتا برقی دباؤ v_1 لاگو کرنے سے قالب میں بدلتا مقناطیسی بہاؤ ϕ_m پیدا ہو گا جو ابتدائی لچھے میں، لاگو برقی دباؤ v_1 کے برابر، امالی برقی دباؤ e_1 پیدا کرتا ہے۔

$$(3.10) \quad v_1 = e_1 = N_1 \frac{d\phi_m}{dt}$$

یہی مقناطیسی بہاؤ دوسرے لچھے سے بھی گزرے گا اور اس میں e_2 امالی برقی دباؤ پیدا کرے گا جو ثانوی سروں پر برقی دباؤ v_2 کی صورت میں نمودار ہو گا۔

$$(3.11) \quad v_2 = e_2 = N_2 \frac{d\phi_m}{dt}$$

مساوات 3.10 کو مساوات 3.11 سے تقسیم کرتے ہوئے درج ذیل رشتہ حاصل ہوتا ہے

$$(3.12) \quad \frac{v_1}{v_2} = \frac{N_1 \frac{d\phi_m}{dt}}{N_2 \frac{d\phi_m}{dt}} = \frac{N_1}{N_2}$$

جس کے تحت کامل ٹرانسفارمر دونوں لچھوں کے چکروں کی نسبت سے تبادلہ برقی دباؤ⁴⁸ کرتا ہے۔

کامل ٹرانسفارمر میں طاقت کا ضیاع نہیں ہوتا ہے لہذا اس کو ابتدائی جانب جتنی برقی طاقت فراہم کی جائے وہ اتنی برقی طاقت ثانوی جانب دے گا:

$$(3.13) \quad p = v_1 i_1 = v_2 i_2$$

ideal transformer⁴⁷
voltage transformation⁴⁸

درج بالا مساوات سے

$$(3.14) \quad \frac{v_1}{v_2} = \frac{i_2}{i_1}$$

لکھا جاسکتا ہے جس کو مساوات 3.12 کے ساتھ ملا کر درج ذیل حاصل ہوتا ہے۔

$$(3.15) \quad \frac{v_1}{v_2} = \frac{i_2}{i_1} = \frac{N_1}{N_2}$$

مساوات 3.15 ٹرانسفارمر کی متبادلہ برقی دباؤ اور متبادلہ برقی رو⁴⁹ کی خاصیت پیش کرتی ہے جسے عموماً دو حصوں میں یوں لکھا جاتا ہے:

$$(3.16) \quad \begin{aligned} \frac{v_1}{v_2} &= \frac{N_1}{N_2} & \text{متبادلہ برقی دباؤ} \\ \frac{i_1}{i_2} &= \frac{N_2}{N_1} & \text{متبادلہ برقی رو} \end{aligned}$$

اس مساوات کا پہلی جزو کہتا ہے کہ ٹرانسفارمر کی دونوں جانب برقی دباؤ دونوں اطراف چکروں کا راست تناسب ہو گا جبکہ مساوات کا دوسری جزو کہتا ہے کہ ٹرانسفارمر کے دونوں اطراف برقی رو چکروں کا بالعکس تناسب ہو گا۔

مثال 3.2: شکل 3.7 میں درج ذیل لیتے ہوئے ٹرانسفارمر کی دونوں جانب برقی دباؤ اور برقی رو معلوم کریں۔

$$\begin{aligned} \hat{V}_1 &= 220/\underline{0} \\ N_1 : N_2 &= 220 : 22 \\ Z &= R = 10 \Omega \end{aligned}$$

حل: ابتدائی جانب برقی دباؤ 220 وولٹ دیا گیا ہے۔ ہم ثانوی جانب برقی دباؤ کو مساوات 3.16 کے پہلی جزو کی مدد سے حاصل کرتے ہیں۔

$$\hat{V}_2 = \frac{N_2}{N_1} \hat{V}_1 = \frac{22}{220} \times 220/\underline{0} = 22/\underline{0}$$

ثانوی دباؤ 22 وولٹ ہے جو ابتدائی دباؤ کے ہم قدم ہے۔ ثانوی برقی دباؤ 10 اوہم کی مزاحمت میں برقی رو پیدا کرے گا جسے اوہم کے قانون سے حاصل کرتے ہیں:

$$\hat{I}_2 = \frac{22/\underline{0}}{10} = 2.2/\underline{0}$$

ثانوی رو 2.2 امپیئر ہے۔ ابتدائی رو مساوات 3.16 کے دوسری جزو سے حاصل کرتے ہیں۔

$$\hat{I}_1 = \frac{N_2}{N_1} \hat{I}_2 = \frac{22}{220} \times 2.2/0 = 0.22/0$$

□

اس مثال کے نتائج ایک جگہ لکھ کر ان پر غور کرتے ہیں۔

$$\hat{V}_1 = 220/0, \quad \hat{V}_2 = 22/0, \quad \hat{I}_1 = 0.22/0, \quad \hat{I}_2 = 2.2/0$$

ابتدائی دباؤ ثانوی دباؤ کے دس گنا ہے جبکہ برقی رو میں قصہ الٹ ہے۔ ثانوی رو ابتدائی رو کے دس گنا ہے۔ طاقت دونوں اطراف برابر ہے۔ یہاں رک کر اس بات کو اچھی طرح سمجھ لیں کہ جس جانب برقی دباؤ زیادہ ہوتا ہے اس جانب برقی رو کم ہو گا۔ یوں زیادہ دباؤ لچھا کے چکر زیادہ ہوں گے اور اس لچھے میں نسبتاً باریک برقی تار استعمال ہو گی جبکہ کم دباؤ لچھا کم چکر کا ہو گا اور اس میں نسبتاً موٹی برقی تار استعمال ہو گی۔ موٹی تار زیادہ رو گزارنے کی سکت رکھتی ہے۔

مثال 3.3: صفحہ 73 پر شکل 3.8-الف میں رکاوٹ Z_2 کو بدلتے برقی دباؤ \hat{V}_1 کے ساتھ ایک ٹرانسفارمر کے ذریعہ جوڑا گیا ہے۔ درج ذیل معلومات کی روشنی میں رکاوٹ میں برقی رو اور طاقت کا ضیاع دریافت کریں۔

$$\hat{V}_1 = 110/0, \quad Z_2 = R + jX = 3 + j2, \quad N_1 : N_2 = 220 : 22$$

حل: ٹرانسفارمر کی متبادلہ برقی دباؤ کی خاصیت کے تحت ابتدائی 110 وولٹ دباؤ ثانوی جانب درج ذیل دباؤ \hat{V}_s دے گا۔

$$\hat{V}_s = \frac{N_2}{N_1} \hat{V}_1 = \frac{22}{220} \times 110/0 = 11/0$$

یوں ثانوی رو

$$\hat{I}_2 = \frac{\hat{V}_s}{Z} = \frac{11/0}{3 + j2} = 3.05/-33.69^\circ$$

اور رکاوٹ میں برقی طاقت کا ضیاع p_z درج ذیل ہو گا۔

$$p_z = I_2^2 R = 3.05^2 \times 3 = 27.9 \text{ W}$$

□

3.6 ثانوی جانب بوجھ کا ابتدائی جانب اثر

یہاں صفحہ 67 پر دکھائے گئے شکل 3.7 سے رجوع کریں۔ ہم حصہ 3.3 میں دیکھ چکے ہیں کہ بے بوجھ ٹرانسفارمر کے ابتدائی لچھے پر بدلتا برقی دباؤ v_1 لاگو کرنے سے اس لچھے میں ہیجان انگیز برقی رو i_φ گزرتا ہے جس کا مقناطیسی دباؤ $N_1 i_\varphi$ قالب میں مقناطیسی بہاؤ φ_m ⁵⁰ پیدا کرتا ہے۔ بہاؤ φ_m ابتدائی لچھے میں e_1 امالی برقی دباؤ پیدا کرے گا جو، لچھے کی مزاحمت صفر ہونے کی صورت میں، فراہم کردہ دباؤ کے برابر ہوگا:

$$(3.17) \quad v_1 = e_1 = N_1 \frac{d\varphi_m}{dt}$$

اب ہم ثانوی جانب برقی بوجھ لادتے ہیں۔ بوجھ بردار ٹرانسفارمر⁵¹ کے ثانوی جانب برقی رو i_2 رواں ہوگا جس کی وجہ سے $N_2 i_2$ مقناطیسی دباؤ وجود میں آئے گا۔ اس مقناطیسی دباؤ کی وجہ سے قالب میں مقناطیسی بہاؤ φ پیدا ہوگا۔ اگر اس مقناطیسی بہاؤ کا کچھ نہ کیا جائے تو قالب میں پہلے سے موجود مقناطیسی بہاؤ تبدیل ہو کر $\varphi_{\text{نئی}} = \varphi_m - \varphi$ ہو جائے گا اور یوں ابتدائی لچھے میں امالی دباؤ تبدیل ہو کر e ہو جائے گا۔ یوں ابتدائی جانب اب امالی دباؤ اور لاگو برقی دباؤ ایک دوسرے کے برابر نہیں ہوں گے جو مساوات 3.17 کے تحت ناممکن ہے۔ لہذا بوجھ φ کے اثر کو ختم کرنے کے لئے ابتدائی لچھے میں برقی رو i_1 نمودار ہوگا جو مقناطیسی دباؤ $N_2 i_2$ کے اثر کو ختم کر دے گا:

$$(3.18) \quad N_1 i_1 = N_2 i_2$$

یہ وہ ذریعہ ہے جس کی مدد سے ابتدائی لچھا جان پاتا ہے کہ ثانوی لچھے پر بوجھ لدا ہے۔ شکل 3.7 میں دونوں لچھوں میں مثبت برقی رو کی سمتیں یوں ہیں کہ ان کے مقناطیسی بہاؤ آپس میں مخالف رخ ہیں لہذا قالب میں دوبارہ مقناطیسی بہاؤ φ_m کے برابر ہوگا جیسا کہ ہونا چاہئے تھا۔ مساوات 3.18 سے متبادلہ رو کا کلیہ اخذ کیا جاسکتا ہے:

$$(3.19) \quad \frac{i_1}{i_2} = \frac{N_2}{N_1}$$

⁵⁰ φ کو یہاں φ_m کہا گیا ہے۔
loaded transformer⁵¹

3.7 ٹرانسفارمر کی علامت پر نقطوں کا مطلب

شکل 3.7 میں ٹرانسفارمر کے لچھوں پر نکتے لگائے گئے ہیں۔ یہ نکتے اس بات کو ظاہر کرتے ہیں کہ اگر ایک طرف کے لچھے پر برقی دباؤ v_1 یوں ہو کہ نکتے والا سرا مثبت اور بغیر نکتے والا سرا منفی ہو تو دوسرے لچھے پر برقی دباؤ v_2 اس طرح ہو گا کہ اس لچھے کا بھی نکتے والا سرا مثبت اور بغیر نکتے والا سرا منفی ہو گا۔

مزید یہ کہ ابتدائی جانب برقی رو ٹرانسفارمر کے نکتے والے سرے سے ٹرانسفارمر کی اندر جانب ہو گا جبکہ ثانوی جانب برقی رو نقطہ والے سرے سے ٹرانسفارمر سے باہر نکلے گا۔

یوں v_1 اور v_2 وقت کے ساتھ یکساں تبدیل ہوتے ہیں اور ان کے مابین صفر زاویہ ہے۔ لہذا یہ دو برقی دباؤ ہم قدم⁵² ہیں۔

3.8 رکاوٹ کا تبادلہ

اس حصہ میں کامل ٹرانسفارمر میں رکاوٹ کے تبادلہ پر غور کیا جائے گا۔ شکل 3.8-الف میں ایک ٹرانسفارمر دکھایا گیا ہے جس کی ابتدائی جانب سائن نما برقی دباؤ $\hat{V}_1 = V_1/\theta$ لاگو کیا گیا ہے۔ یہاں مرحلی سمتیہ استعمال کئے جائیں گے۔

جیسے اوپر ذکر ہوا، برقی دباؤ \hat{V}_1 اور آپس میں ہم قدم ہیں اور اسی طرح برقی رو \hat{I}_1 اور \hat{I}_2 آپس میں ہم قدم ہیں۔ مساوات 3.12 اور مساوات 3.19 کو مرحلی سمتیہ کی مدد سے یوں لکھ سکتے ہیں

$$\begin{aligned}\hat{V}_1 &= \left(\frac{N_1}{N_2}\right) \hat{V}_2 \\ \hat{I}_1 &= \left(\frac{N_2}{N_1}\right) \hat{I}_2\end{aligned}\quad (3.20)$$

چونکہ رکاوٹ

$$Z_2 = \frac{\hat{V}_2}{\hat{I}_2} = |Z_2| \angle \theta_z \quad (3.21)$$

کے برابر ہے لہذا

$$(3.22) \quad \frac{\hat{V}_1}{\hat{I}_1} = \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^2 \frac{\hat{V}_2}{\hat{I}_2} = \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^2 Z_2$$

اب اگر ہم ٹرانسفارمر بمع اس پر لدے رکاوٹ کی جگہ برقی دباؤ \hat{V}_1 کو رکاوٹ Z_1 پر لاگو کریں جہاں اس رکاوٹ کی قیمت

$$(3.23) \quad Z_1 = \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^2 Z_2$$

ہو تو \hat{V}_1 سے حاصل برقی رو یا اس سے حاصل برقی طاقت تبدیل نہیں ہوگی۔ یہ شکل 3.8-ب میں دکھایا گیا ہے جہاں سے واضح ہے کہ

$$(3.24) \quad \frac{\hat{V}_1}{\hat{I}_1} = Z_1 = \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^2 Z_2$$

لہذا شکل کے الف اور ب دونوں حصوں سے برقی دباؤ \hat{V}_1 کی برقی رو مساوات 3.22 اور مساوات 3.24 سے یکساں حاصل ہوتی ہے یعنی

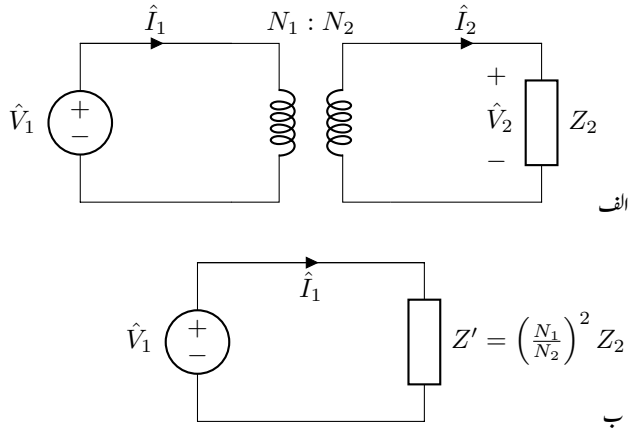
$$(3.25) \quad \hat{I}_1 = \frac{\hat{V}_1}{\left(\frac{N_1}{N_2} \right)^2 Z_2}$$

اور یوں الف اور ب دونوں حصوں میں برقی دباؤ \hat{V}_1 سے حاصل برقی طاقت برابر ہے یعنی

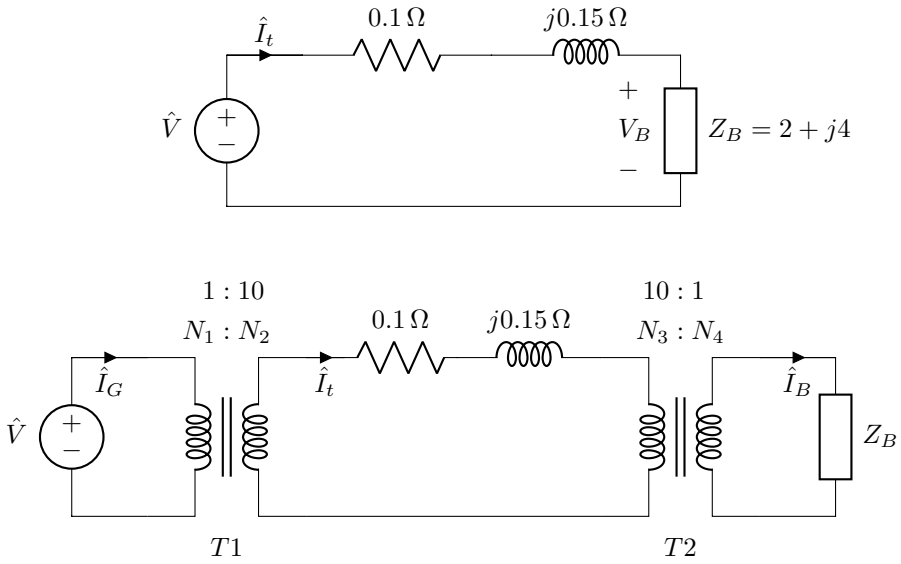
$$(3.26) \quad p = \hat{V}_1 \cdot \hat{I}_1 = \frac{V_1^2 \cos \theta_z}{\left(\frac{N_1}{N_2} \right)^2 |Z_2|}$$

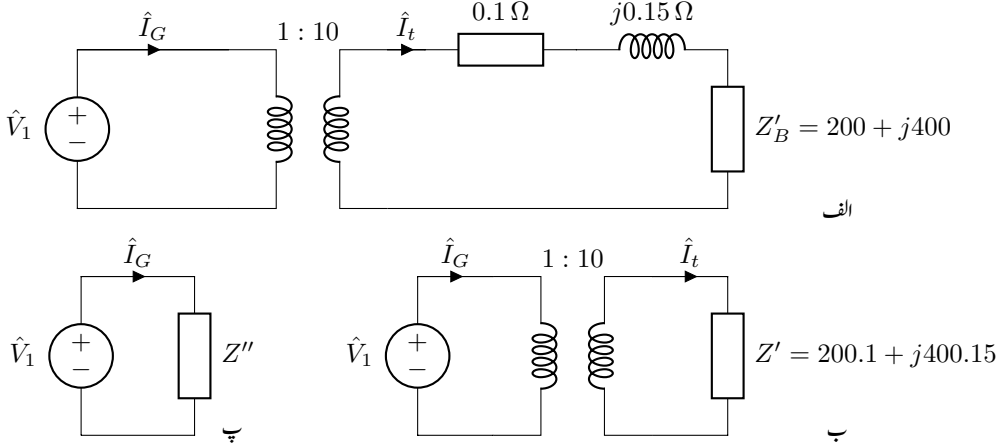
یوں اگر ٹرانسفارمر کے ثانوی جانب رکاوٹ Z_2 کا بوجھ ہو تو حساب کرتے وقت ہم یہ اخذ کر سکتے ہیں کہ ٹرانسفارمر بمع رکاوٹ Z_2 کی جگہ صرف Z_1 رکاوٹ لگی ہے، جہاں Z_1 مساوات 3.23 سے حاصل ہوتی ہے۔ رکاوٹ کا یوں ٹرانسفارمر کی ایک جانب سے دوسری جانب تبادلہ کیا جاسکتا ہے۔ ٹرانسفارمر کی اس خاصیت کو تبادلہ رکاوٹ⁵³ کی خصوصیت کہتے ہیں۔

مثال 3.4: شکل 3.9-الف میں رکاوٹ Z_B کا برقی بوجھ ایک جزیئر پر لد ا ہے۔ بوجھ تک برقی طاقت دو برقی تاروں کے ذریعہ منتقل کیا گیا ہے۔ ان تاروں کی مجموعہ رکاوٹ Z_t ہے۔



شکل 3.8: ٹرانسفارمر کی خاصیت متبادلہ رکاوٹ۔





شکل 3.10: ٹرانسفارمر قدم با قدم حل کرنے کا طریقہ۔

شکل-ب میں جزیئر کے قریب نسب برقی دباؤ بڑھانے والا ٹرانسفارمر برقی دباؤ کو دس گنا بڑھاتا ہے اور برقی بوجھ کے قریب نسب برقی دباؤ گھٹانے والا ٹرانسفارمر برقی دباؤ کو دس گنا گھٹاتا ہے۔ اس حصہ میں وہی برقی تار استعمال کئے گئے ہیں لہذا ان کی بھی مجموعہ رکاوٹ Z_t ہی ہے۔ اگر

$$Z_B = 2 + j4, \quad Z_t = 0.1 + j0.15, \quad \hat{V} = 415\angle 0$$

ہوں تو دونوں صورتوں میں

- برقی بوجھ پر برقی دباؤ معلوم کریں،
- برقی تاروں میں برقی طاقت کی ضیاع معلوم کریں۔

حل الف:

$$\begin{aligned} \hat{I}_G = \hat{I}_t = \hat{I}_B &= \frac{\hat{V}}{Z_t + Z_B} = \frac{415\angle 0}{0.1 + j0.15 + 2 + j4} \\ &= \frac{415\angle 0}{2.1 + j4.15} = 89.23\angle -63.159^\circ \\ &= 40.3 - j79.6 \end{aligned}$$

یوں رکاوٹ پر برقی دباؤ

$$\begin{aligned}\hat{V}_B &= \hat{I}_B Z_B = (40.3 - j79.6)(2 + j4) \\ &= 399 + j2 = 399/0.287^\circ\end{aligned}$$

اور برقی تاروں میں برقی طاقت کا ضیاع ہے

$$p_t = I_t^2 R_t = 89.23^2 \times 0.1 = 796 \text{ W}$$

حل ب: شکل 3.9 اور شکل 3.10 سے رجوع کریں۔ شکل 3.9 میں ٹرانسفارمر T_2 کے ثانوی جانب رکاوٹ کا مساوات 3.23 کی مدد سے اس کی ابتدائی جانب تبادلہ سے ملتا ہے

$$Z'_B = Z_1 = \left(\frac{N_3}{N_4}\right)^2 Z_B = \left(\frac{10}{1}\right)^2 (2 + j4) = 200 + j400$$

یوں شکل 3.10-الف حاصل ہوتا ہے۔ اس شکل میں اب برقی تار کی رکاوٹ اور تبادلہ شدہ رکاوٹ سلسلہ وار جڑے ہیں۔ ان کے مجموعہ کو Z' کہتے ہوئے

$$Z' = Z_t + Z'_B = 0.1 + j0.15 + 200 + j400 = 200.1 + j400.15$$

یہ شکل 3.10-ب میں دکھایا گیا ہے۔ ایک مرتبہ دوبارہ مساوات 3.23 استعمال کرتے ہوئے

$$Z'' = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 Z' = \left(\frac{1}{10}\right)^2 (200.1 + j400.15) = 2.001 + j4.0015$$

شکل 3.10-پ میں دکھایا گیا ہے۔ اب

$$\hat{I}_G = \frac{\hat{V}}{Z''} = \frac{415/0}{2.001 + j4.0015} = 92.76/-63.432^\circ$$

یہاں سے شکل 3.10-ب کی مدد سے اگر جنریٹر کی برقی رو معلوم ہو تو تبادلہ برقی رو سے

$$\hat{I}_t = \left(\frac{N_1}{N_2}\right) \hat{I}_G = \left(\frac{1}{10}\right) 92.76/-63.432^\circ = 9.276/-63.432^\circ$$

اس سے برقی تار میں طاقت کا ضیاع

$$p_t = I_t^2 R_t = 9.276^2 \times 0.1 = 8.6 \text{ W}$$

اسی طرح شکل 3.9 میں اگر \hat{I}_t معلوم ہو تو تبادلہ برقی رو سے

$$\begin{aligned}\hat{I}_B &= \left(\frac{N_3}{N_4}\right) \hat{I}_t = \left(\frac{10}{1}\right) 9.276 \angle -63.432^\circ \\ &= 92.76 \angle -63.432^\circ = 41.5 - j82.9\end{aligned}$$

اور رکاوٹ پر برقی دباؤ

$$\hat{V}_B = \hat{I}_B Z_B = (41.5 - j82.9) (2 + j4) = 414 + j0.2$$

ہوگی۔

ٹرانسفارمر کے بغیر برقی طاقت کی منتقلی میں برقی تاروں میں طاقت کی ضیاع 796 واٹ ہے جبکہ ٹرانسفارمر کے استعمال سے یہ صرف 8.6 واٹ ہے یعنی 92 گنا کم۔ یہی ٹرانسفارمر کی نہایت مقبولیت کی وجہ ہے۔ □

3.9 ٹرانسفارمر کے وولٹ-ایمپیئر

ٹرانسفارمر کی دونوں جانب برقی دباؤ ان لچھوں کے چکر پر منحصر ہوتا ہے۔ ٹرانسفارمر ایک خاص برقی دباؤ اور برقی رو کے لئے بنائے جاتے ہیں۔ ٹرانسفارمر جس برقی دباؤ $V_1 : V_2$ کے لئے بنائے جائیں یہ اس سے کم برقی دباؤ پر بھی استعمال کئے جاسکتے ہیں اگرچہ یہ عموماً بنائے گئے برقی دباؤ پر ہی چلائے جاتے ہیں۔ اسی طرح ٹرانسفارمر جتنی برقی رو $I_1 : I_2$ کے لئے بنائے جائیں انہیں اس سے کم برقی رو پر استعمال کیا جاسکتا ہے۔ حقیقت میں عموماً ٹرانسفارمر سے حاصل برقی رو اس حد سے کم ہی رکھی جاتی ہے۔

ٹرانسفارمر کی ایک جانب کی برقی دباؤ اور برقی رو کا حاصل ضرب اس کی دوسری جانب کی برقی دباؤ اور برقی رو کے حاصل ضرب کے برابر ہوتا ہے یعنی

$$(3.27) \quad V_1 I_1 = V_2 I_2$$

برقی دباؤ اور برقی رو کے حاصل ضرب یعنی $V_1 I_1$ یا $V_2 I_2$ کو ٹرانسفارمر کی وولٹ ضرب ایمپیئر کہتے ہیں جسے عموماً چھوٹا کر کے صرف وولٹے-ایمپیئر⁵⁴ کہا جاتا ہے⁵⁵۔ یہ ٹرانسفارمر کی برقی سکت کی ناپ ہے جو اس پر لگی تختی پر

⁵⁴ volt-ampere, VA
⁵⁵ وولٹ-ایمپیئر کو عموماً کلو وولٹ-ایمپیئر یعنی kVA میں بیان کیا جاتا ہے

لکھا جاتا ہے۔ اس تختی پر ٹرانسفارمر کے برقی دباؤ اور برقی تعداد ارتعاش بھی لکھے جاتے ہیں۔ یوں ٹرانسفارمر کے وولٹ-ایمپیئر

$$(3.28) \quad \text{وولٹ-ایمپیئر} = V_1 I_1 = V_2 I_2$$

ہوں گے۔

اگرچہ یہاں ذکر ٹرانسفارمر کا ہو رہا ہے دراصل برقی مشین یعنی موٹر اور جنریٹر کی تختیوں پر بھی ان کے چالو حالت کے برقی دباؤ، ان کے وولٹ-ایمپیئر اور برقی تعداد ارتعاش لکھے جاتے ہیں۔ اس کی وجہ یہ ہے کہ ان سب مشین کی کارکردگی کے بنیادی اصول ایک ہی طرح کے ہیں۔

مثال 3.5: ایک 25000 وولٹ-ایمپیئر اور 220 : 11000 وولٹ برقی سکت کے ٹرانسفارمر کے زیادہ برقی دباؤ کی جانب 11000 وولٹ لاگو ہیں۔

- اس کی ثانوی جانب زیادہ سے زیادہ کتنی برقی بوجھ ڈالی جاسکتی ہے۔
- اس زیادہ سے زیادہ برقی بوجھ پر اس کے ابتدائی لچھے میں برقی رو حاصل کریں۔

حل: اس ٹرانسفارمر کی معلومات یہ ہیں

$$25 \text{ kV A}, \quad 11000 : 220 \text{ V}$$

اس کی ثانوی جانب برقی دباؤ تبادلہ برقی دباؤ کی مساوات سے 220 وولٹ حاصل ہوتا ہے۔ یوں اس کی ثانوی جانب یعنی کم برقی دباؤ کی جانب زیادہ سے زیادہ برقی رو مساوات 3.28 سے حاصل کیا جاتا ہے۔

$$I_2 = \frac{25000}{220} = 113.636 \text{ A}$$

اسی طرح اس کی ابتدائی جانب زیادہ سے زیادہ برقی رو اسی مساوات سے یوں حاصل ہوتی ہے

$$I_1 = \frac{25000}{11000} = 2.27 \text{ A}$$

□

ٹرانسفارمر کی دونوں جانب لچھوں میں استعمال برقی تار کی موٹائی یوں رکھی جاتی ہے کہ ان میں کثافت برقی J ، ⁵⁶ یکساں ہو۔ لچھوں کی مزاحمت میں برقی رو گزرنے سے برقی طاقت کا ضیاع ہوتا ہے جس سے یہ گرم ہوتے ہیں۔ ٹرانسفارمر کی برقی رو کی حد لچھوں کی گرمائش پر منحصر ہوتی ہے۔ ان کی زیادہ سے زیادہ حرارت کو محفوظ حد کے اندر رکھا جاتا ہے۔

بڑے ٹرانسفارمر کے قالب اور لچھے ایک غیر موصل تیل سے بھری ٹینکی میں ڈبوئے رکھے جاتے ہیں۔ یہ تیل ایک تو برقی لچھوں کی حرارت کم کرنے میں مدد دیتا ہے اور دوسری جانب غیر موصل ہونے کی وجہ سے یہ زیادہ برقی دباؤ کے حصوں کو برقی طور پر جدا رکھنے میں مدد دیتا ہے۔ یہ تیل تقریباً 80°C پر خراب ہونا شروع ہو جاتا ہے اور ہر 8°C اضافی درجہ حرارت پر اس کی زندگی آدھی ہوتی رہتی ہے۔ یعنی اگر 80°C پر تیل کی کارآمد زندگی x سال ہے تو 88°C پر $x/2$ سال اور 96°C پر یہ صرف $x/4$ سال ہوگی۔

ٹرانسفارمر جس برقی دباؤ کے لئے بنایا جائے یہ اس پر لگی محنتی پر لکھا جاتا ہے۔ اس سے حاصل برقی رو کی حد کو ایک مختلف طریقے سے لکھا جاتا ہے۔

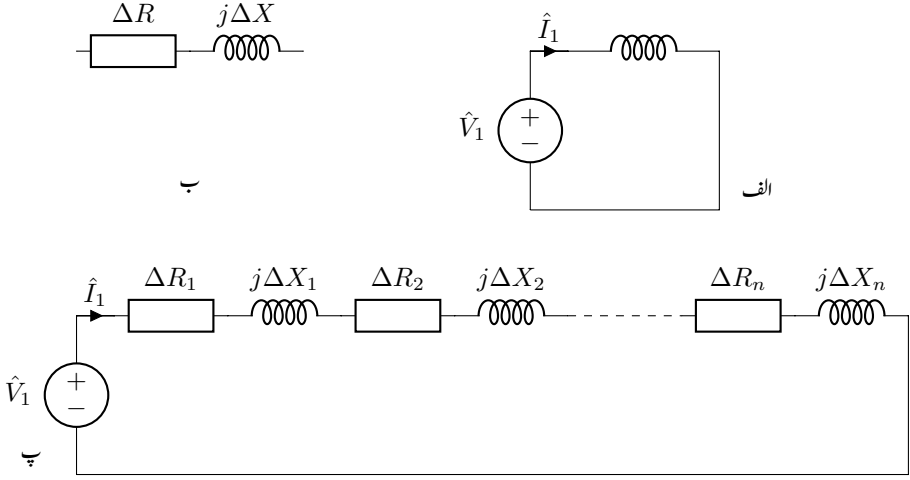
3.10 ٹرانسفارمر کے امالہ اور اس کے مساوی دور

3.10.1 لچھے کی مزاحمت اور اس کی متعاملہ علیحدہ کرنا

ٹرانسفارمر کی ابتدائی لچھے کی مزاحمت R_1 کو ہم نے حصہ 3.3 مساوات 3.2 میں دیکھا۔ لچھے کی مزاحمت کو لچھے سے باہر لچھے کے ساتھ سلسلہ وار جڑا دکھایا گیا تھا۔ دیکھتے ہیں یہ کیسے ممکن ہوتا ہے۔

شکل 3.11-الف میں ایک لچھے پر بدلتی برقی دباؤ لاگو کا گیا ہے۔ اگر لچھے کی برقی تار کو نہایت چھوٹے ٹکڑوں میں تقسیم کیا جائے تو اس کے ہر ٹکڑے کی نہایت کم مزاحمت اور متعاملہ ہوگی۔ ایسا ایک ٹکڑا شکل-ب میں دکھایا گیا ہے۔ چونکہ لچھا ان سب ٹکڑوں کے سلسلہ وار جڑنے سے بنا ہے لہذا شکل-الف کو ہم شکل-پ کی طرح بنا سکتے ہیں جہاں لچھے کے n ٹکڑے کیے گئے ہیں۔

⁵⁶ 1000 kV A ٹرانسفارمر کی لچھوں میں کثافت برقی رو تقریباً 3 A/mm^2 رکھی جاتی ہے



شکل 3.11: لچھے کی مزاحمت اور متعاملہ۔

اس دور کی مساوات لکھ کر حل کرتے ہیں۔

$$\begin{aligned}
 \hat{V}_1 &= \hat{I}_1 (\Delta R_1 + j\Delta X_1 + \Delta R_2 + j\Delta X_2 + \cdots \Delta R_n + j\Delta X_n) \\
 &= \hat{I}_1 (\Delta R_1 + \Delta R_2 + \cdots \Delta R_n) + \hat{I}_1 (j\Delta X_1 + j\Delta X_2 + \cdots j\Delta X_n) \\
 &= \hat{I}_1 (R + jX)
 \end{aligned}$$

جہاں

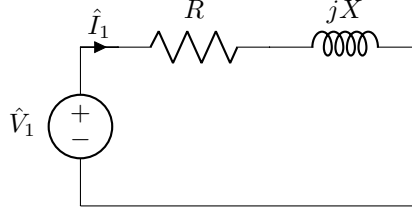
$$R = \Delta R_1 + \Delta R_2 + \cdots \Delta R_n$$

$$X = \Delta X_1 + \Delta X_2 + \cdots \Delta X_n$$

اس سے شکل 3.12 حاصل ہوتا ہے جس سے ثابت ہوتا ہے کہ حساب کتاب کی غرض سے لچھے کی مزاحمت اور متعاملہ علیحدہ کیے جاسکتے ہیں۔

3.10.2 رستہ امالہ

اوپر ایک کامل ٹرانسفارمر زیر بحث رہا۔ اب ہم ٹرانسفارمر میں ان عناصر کا ذکر کرتے ہیں جن کی وجہ سے ٹرانسفارمر غیر کامل ہو جاتا ہے۔ بہت سی جگہوں پر ٹرانسفارمر استعمال کرتے وقت ان عناصر کو مد نظر رکھ کر ہی اس کا صحیح استعمال ممکن ہوتا ہے۔ ان عناصر کے اثر کو شامل کرنے کے لئے ہم ٹرانسفارمر کا مساوی دور بناتے ہیں۔



شکل 3.12: لچھے کی مزاحمت اور متعاملہ کی علیحدگی۔

ابتدائی لچھے کے مقناطیسی بہاو کو دو حصوں میں تقسیم کیا جاسکتا ہے۔ پہلا حصہ وہ جو قالب سے گزر کر ابتدائی اور ثانوی لچھے دونوں سے گزرتا ہے۔ یہ ان کا مشترکہ مقناطیسی بہاو ہے اور دوسرا حصہ وہ جو صرف ابتدائی لچھے سے گزرتا ہے اور زیادہ تر قالب کے باہر خلاء میں ہی رہتا ہے۔ اس کو رستا مقناطیسی بہاو⁵⁷ کہتے ہیں۔ یہ شکل میں دکھایا گیا ہے۔ چونکہ ہوا میں مقناطیسی مستقل μ_0 مقررہ ہے لہذا یہاں ہچکچاہٹ بھی مقررہ ہے۔ یوں رستا مقناطیسی بہاو ابتدائی لچھے کی برقی رو کے براہ راست متناسب ہوتی ہے۔

اس کے اثر کو بالکل لچھے کی مزاحمت کی طرح لچھے سے باہر رستا امالہ L_1 ⁵⁸ یا رستا متعاملہ $X_1 = 2\pi f L_1$ ⁵⁹ سے ظاہر کیا جاتا ہے۔

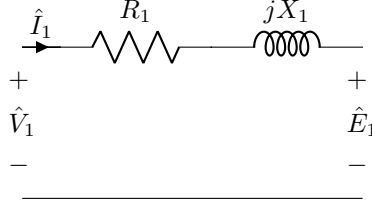
ٹرانسفارمر کے ابتدائی لچھے میں برقی رو \hat{I}_1 گزرنے سے رستا متعاملہ میں $\hat{V}_{X1} = j\hat{I}_1 X_1$ برقی دباؤ اور لچھے کے تار کی مزاحمت R_1 میں $\hat{V}_{R1} = \hat{I}_1 R_1$ برقی دباؤ گھٹتا ہے۔

یوں ابتدائی لچھے پر لاگو برقی دباؤ \hat{V}_1 میں سے کچھ برقی دباؤ R_1 میں کم ہو گا، کچھ متعاملہ X_1 میں کم ہو گا اور بقیہ \hat{E}_1 کے برابر ہو گا۔ یہ شکل 3.13 میں دکھایا گیا ہے۔

3.10.3 ثانوی برقی رو اور قالب کے اثرات

قالب میں دونوں لچھوں کا مشترکہ مقناطیسی بہاو ان کے مجموعی مقناطیسی دباؤ کی وجہ سے وجود میں آتا ہے۔ البتہ اگر ہم کچھ یوں سوچیں تو یہ زیادہ بہتر ہو گا۔ ہم کہتے ہیں کہ ابتدائی برقی رو کو دو شرائط پوری کرنی ہوگی۔ پہلی یہ کہ

leakage magnetic flux⁵⁷
leakage inductance⁵⁸
leakage reactance⁵⁹



شکل 3.13: ٹرانسفارمر مساوی دور، حصہ اول۔

اسے قالب میں ہیجانی مقناطیسی بہاؤ وجود میں لانا ہو گا اور دوسری یہ کہ اسے ثانوی لچھے کے پیدا کردہ مقناطیسی بہاؤ کو ختم کرنا ہو گا۔ لہذا ابتدائی برقی رو کو ہم دو حصوں میں تقسیم کر سکتے ہیں۔ ایک حصہ i_ϕ جو ہیجانی مقناطیسی بہاؤ پیدا کرے اور دوسرا \hat{I}_2 جو ثانوی لچھے کے مقناطیسی دباؤ کے اثر کو ختم کرے۔ لہذا

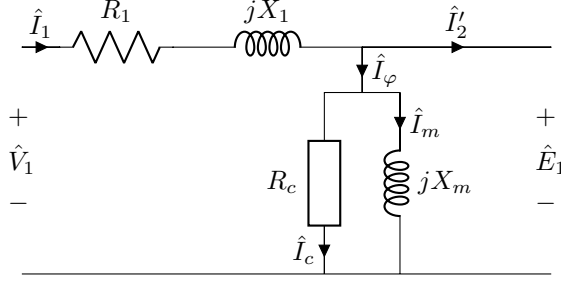
$$\hat{I}_2' = \frac{N_2}{N_1} \hat{I}_2 \quad (3.29)$$

اس باب کے حصہ 3.6 میں اس پر تفصیل سے غور کیا گیا ہے۔ برقی رو i_ϕ غیر سائن نما ہوتی ہے لیکن پھر بھی ہم اسے سائن نما \hat{I}_ϕ ہی تصور کرتے ہیں۔ اس کو ہم دو حصوں میں تقسیم کر سکتے ہیں یعنی

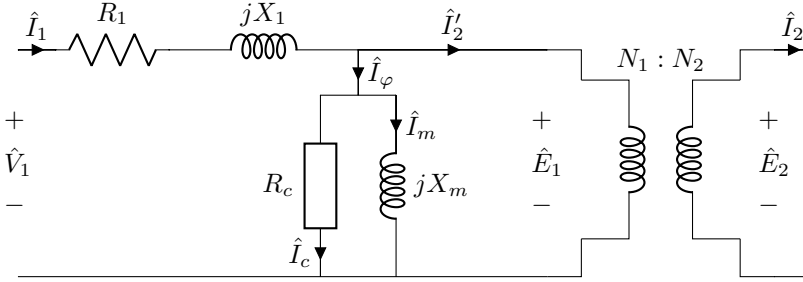
$$\hat{I}_\phi = \hat{I}_c + \hat{I}_m \quad (3.30)$$

جہاں \hat{I}_c اس کا وہ حصہ ہے جو ابتدائی لچھے کی امالی برقی دباؤ \hat{E}_1 کے ہم قدم ہے اور یہ قالب میں برقی توانائی کے ضیاع کو ظاہر کرتا ہے جبکہ \hat{I}_m اس کا وہ حصہ ہے جو \hat{E}_1 سے نوے درجہ زاویہ پیچھے ⁶¹ ہے اور لچھے میں مقناطیسی بہاؤ کو جنم دیتا ہے۔ برقی رو کے ان حصوں کو ہم ایک مزاحمت R_c اور ایک jX_m سے پیش کرتے ہیں۔ یہ شکل میں دکھایا گیا ہے۔ R_c کی مقدار اتنی رکھی جاتی ہے کہ اس میں برقی طاقت کا ضیاع اصل قالبی ضیاع کے برابر ہو یعنی $p_c = \hat{E}_{1,rms}^2 / R_c$ ، اسی طرح jX_m کی مقدار اتنی رکھی جاتی ہے کہ $\hat{I}_m = \hat{E}_1 / jX_m$ ہو۔ ان دونوں، یعنی R_c اور jX_m ، کی مقدار اصل برقی دباؤ اور تعدد پر حاصل کئے جاتے ہیں۔ یہ شکل 3.14 میں دکھایا گیا ہے۔

⁶⁰ سائن نما برقی رو کو مرطی سمتیہ سے ظاہر کیا جاتا ہے
lagging⁶¹



شکل 3.14: ٹرانسفارمر مساوی دور، حصہ دوم۔



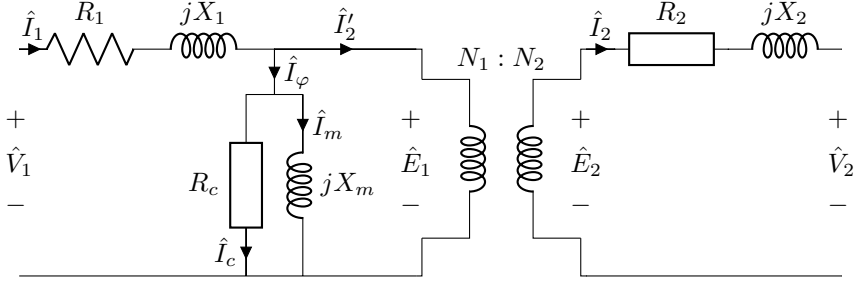
شکل 3.15: ٹرانسفارمر مساوی دور، حصہ سوم۔

3.10.4 ثنائی لچھے کی امالی برقی دباؤ

قالب میں مشترکہ مقناطیسی بہاؤ ثنائی لچھے میں امالی برقی دباؤ \hat{E}_2 پیدا کرے گی اور چونکہ یہی مقناطیسی بہاؤ ابتدائی لچھے میں \hat{E}_1 امالی پیدا کرتی ہے لہذا

$$(3.31) \quad \frac{\hat{E}_1}{\hat{E}_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

مساوات 3.30 اور مساوات 3.31 کو ایک کامل ٹرانسفارمر سے ظاہر کیا جاسکتا ہے۔ یہ شکل 3.15 میں دکھایا گیا ہے۔



شکل 3.16: ٹرانسفارمر کا مکمل مساوی دور یا ریاضی نمونہ۔

3.10.5 ثانوی لچھے کی مزاحمت اور متعاملہ کے اثرات

ثانوی لچھے کے سروں پر البتہ \hat{E}_2 برقی دباؤ نہیں ہو گا چونکہ ثانوی لچھے کے بالکل ابتدائی لچھے کی طرح، مزاحمت R_2 اور متعاملہ jX_2 ہوں گے جن میں ثانوی برقی رو \hat{I}_2 کی وجہ سے برقی دباؤ گھٹے گا۔ لہذا ثانوی لچھے کے سروں پر برقی دباؤ \hat{V}_2 قدر کم ہو گا۔ یعنی

$$(3.32) \quad \hat{V}_2 = \hat{E}_2 - \hat{I}_2 R_2 - j \hat{I}_2 X_2$$

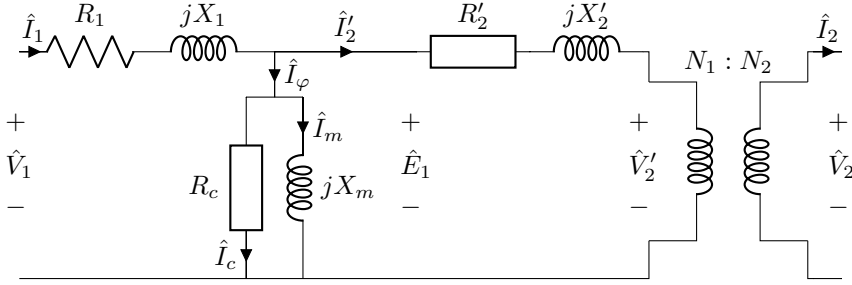
یوں حاصل ٹرانسفارمر کا مکمل مساوی دور یا ریاضی نمونہ⁶² شکل 3.16 میں دکھایا گیا ہے۔

3.10.6 رکاوٹ کا ابتدائی پائانوی جانب تبادله

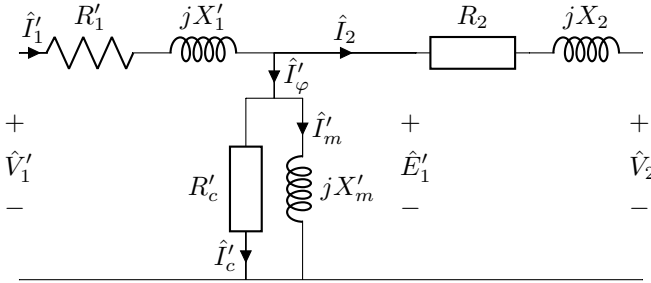
شکل 3.16 میں دکھائے دور کے سب جزو کا تبادله ایک جانب سے دوسری جانب کیا جاسکتا ہے۔ یہ کرنے سے کامل ٹرانسفارمر کو مساوی دور کی بائیں یا دائیں جانب لے جایا جاسکتا ہے۔ شکل 3.17 میں ثانوی جانب کی رکاوٹ کا ابتدائی جانب تبادله کیا گیا ہے جبکہ شکل 3.18 میں ابتدائی جانب کی رکاوٹ کا ثانوی جانب تبادله کیا گیا ہے۔ اس طرح حاصل مساوی دور میں عموماً کامل ٹرانسفارمر بنایا ہی نہیں جاتا۔ یہی شکل 3.18 میں کیا گیا ہے۔

تبادله شدہ رکاوٹ Z کو Z' سے ظاہر کیا جاتا ہے۔ یوں R_2 کے ٹرانسفارمر کی دوسری جانب تبادله کے بعد اسے R'_2 سے ظاہر کیا گیا ہے۔

ایسا دور استعمال کرتے وقت یہ ذہن میں رکھنا ہوتا ہے کہ ٹرانسفارمر کے کس جانب دور حل کیا جا رہا ہے۔



شکل 3.17: ثانوی جانب رکاوٹ کا ابتدائی جانب تبادلہ کیا گیا ہے۔



شکل 3.18: ابتدائی جانب رکاوٹ کا ثانوی جانب تبادلہ کیا گیا ہے۔

مثال 3.6: ایک 50 کلو وولٹ-ایمپیئر اور 220 : 2200 وولٹ برقی سکت کے ٹرانسفارمر کی زیادہ برقی دباؤ کی جانب کی رستار کاوٹ $Z_1 = 0.9 + j1.2$ اوہم اور کم برقی دباؤ کی جانب کی رستار کاوٹ $Z_2 = 0.0089 + j0.011$ اوہم ہے۔ اگر اس کی $R_c = 6.4 \text{ k}\Omega$ اور $X_m = 47 \text{ k}\Omega$ ہو تو اس کی شکل 3.17 اور شکل 3.18 میں استعمال ہونے والے جزو معلوم کریں۔

حل حصہ اول: معلومات:

$$50 \text{ kV A}, \quad 50 \text{ Hz}, \quad 2200 : 220 \text{ V}$$

ٹرانسفارمر کے دونوں جانب کی برقی دباؤ لچھوں کے چکروں کی نسبت سے ہوتے ہیں لہذا

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{2200}{220} = \frac{10}{1}$$

یوں اگر ٹرانسفارمر کی رکاوٹ کا زیادہ برقی دباؤ کی جانب تبادلہ کیا جائے تو

$$\begin{aligned} R'_2 + jX'_2 &= \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^2 (R_2 + jX_2) \\ &= \left(\frac{10}{1} \right)^2 (0.0089 + j0.011) \\ &= 0.89 + j1.1 \end{aligned}$$

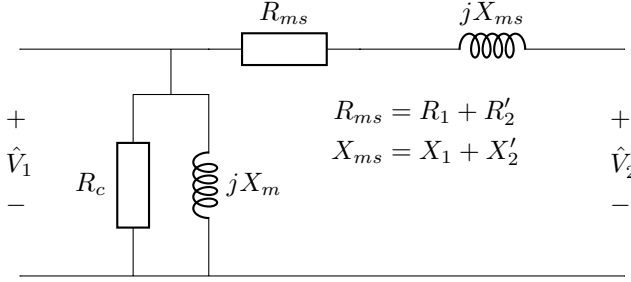
جبکہ اس کی بقایا رکاوٹ وہی رہیں گے۔ یوں شکل 3.17 کے جزو حاصل ہوئے۔

حل حصہ دوم: اگر مساوی دور کی رکاوٹ کا کم برقی دباؤ کی جانب تبادلہ کیا جائے تب

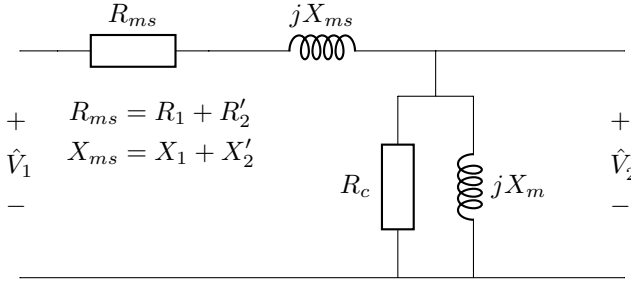
$$\begin{aligned} R'_1 + jX'_1 &= \left(\frac{N_2}{N_1} \right)^2 (R_1 + jX_1) \\ &= \left(\frac{1}{10} \right)^2 (0.9 + j1.2) \\ &= 0.009 + j0.012 \end{aligned}$$

اسی طرح

$$\begin{aligned} R'_c &= \left(\frac{N_2}{N_1} \right)^2 R_c = 64 \\ X'_m &= \left(\frac{N_2}{N_1} \right)^2 X_m = 470 \end{aligned}$$



شکل 3.19: R_c اور jX_m کو بائیں جانب منتقل کیا گیا ہے۔



شکل 3.20: R_c اور jX_m کو دائیں جانب منتقل کیا گیا ہے۔

□

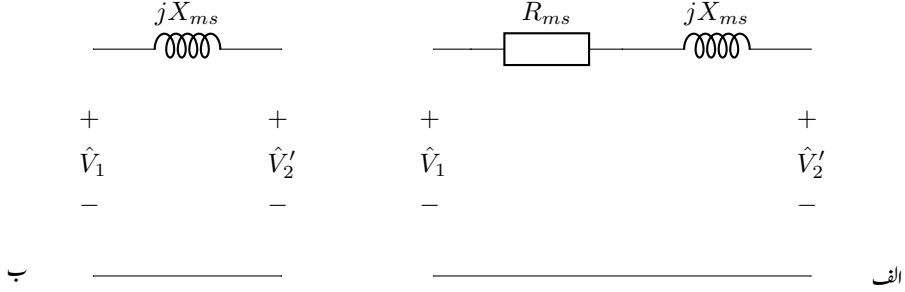
جبکہ Z_2 وہی رہے گا۔

3.10.7 ٹرانسفارمر کے سادہ ترین مساوی دور

ایک انجینئر کو جب ایک ٹرانسفارمر استعمال کرنا ہو تو وہ حساب کرتے وقت شکل 3.17 میں دیئے گئے دور کو استعمال کر سکتا ہے۔ یہ دور حقیقی ٹرانسفارمر کی بہت اچھی عکاسی کرتا ہے۔ البتہ جہاں ہمیں نہایت صحیح جواب مطلوب نہ ہوں وہاں اس دور کی سادہ اشکال بھی استعمال کی جاسکتی ہیں۔ اس باب میں ہم ایسے ہی سادہ مساوی دوروں کا ذکر کریں گے۔

شکل 3.17 میں R_c اور X_m کو بائیں یا دائیں طرف لے جانے سے شکل 3.19 اور شکل 3.20 حاصل ہوتے ہیں۔ چونکہ \hat{I}_ϕ کی مقدار نہایت کم⁶³ ہوتی ہے اس لئے ایسا کرنے سے حاصل جواب پر کوئی خاص فرق نہیں پڑتا۔

⁶³ \hat{I}_ϕ ٹرانسفارمر کے کل برقی بوجھ کے صرف دو سے چھ فی صد ہوتی ہے



شکل 3.21: ٹرانسفارمر کے سادہ مساوی ادوار۔

چونکہ اس شکل میں X_1 ، R_2' ، R_1 اور X_2' سلسلہ وار ہیں اس لئے ان کو جمع کیا جاسکتا ہے شکل میں ان کو مساوی مزاحمت R_{ms} اور مساوی متعاملہ X_{ms} کہا گیا ہے۔ اسی قسم کے ادوار شکل 3.18 سے بھی حاصل ہوتے ہیں۔

ہم ایک قدم اور آگے جاسکتے ہیں اور \hat{I}_ϕ کو مکمل طور پر نظر انداز کر سکتے ہیں یعنی اس کو ہم صفر تصور کر لیتے ہیں۔ اس کا مطلب ہے کہ مساوی دور میں R_c اور jX_m دونوں کو کھلے دور کیا جاتا ہے یعنی انہیں مساوی دور سے ہٹا دیا جاتا ہے۔ شکل 3.21-الف میں ایسا کیا گیا ہے۔ اس دور میں قالب کے اثرات کو مکمل طور پر نظر انداز کیا گیا ہے۔

بیشتر وقت ہمیں اس سے بھی کم صحیح جواب مطلوب ہوتا ہے۔ چونکہ $X_m \gg R_c$ لہذا ہم R_{ms} کو بھی نظر انداز کر سکتے ہیں۔ یوں شکل 3.21-ب حاصل ہوتا ہے۔

3.11 کھلے دور معائنہ اور کسر دور معائنہ

پچھلے حصے میں بیان کئے گئے ٹرانسفارمر کے مساوی دور کے جزو ٹرانسفارمر کے دو معائنوں سے حاصل کئے جاسکتے ہیں۔ ان معائنوں کو کھلے دور معائنہ اور کسر دور معائنہ کہتے ہیں۔ اس حصے میں انہیں پر غور کیا جائے گا۔

3.11.1 کھلے دور معائنہ

کھلے دور معائنہ⁶⁴ جیسا کہ نام سے واضح ہے، ٹرانسفارمر کی ایک جانب لچھے کے سروں کو آزاد رکھ کر کیا جاتا ہے۔ یہ معائنہ اتنی برقی دباؤ اور تعدد یا ان کے قریب ترین مقداروں پر کیا جاتا ہے جتنے پر ٹرانسفارمر کی بناوٹ⁶⁵ ہو۔ اگرچہ یہ معائنہ ٹرانسفارمر کے کسی بھی جانب کے لچھے پر کیا جاسکتا ہے، حقیقت میں اسے کم برقی دباؤ والی جانب کے لچھے پر کرنا آسان ہوتا ہے۔ یہ بات ایک مثال سے زیادہ آسانی سے سمجھ آتی ہے۔

مثلاً ہم 25 kV A اور 220 V : 11000 Hz کا 50 Hz پر چلنے والے ایک دور کے ٹرانسفارمر کا معائنہ کرنا چاہتے ہیں۔ اگر یہ معائنہ اس کے گیارہ ہزار کے لچھے پر کیا جائے تو گیارہ ہزار برقی دباؤ کے لگ بھگ برقی دباؤ استعمال کیا جائے گا اور اگر دو سو بیس برقی دباؤ والے لچھے پر کیا جائے تو دو سو بیس برقی دباؤ کے لگ بھگ برقی دباؤ استعمال کیا جائے گا۔ دونوں صورتوں میں تعدد 50 Hz کے لگ بھگ رکھا جائے گی۔ 11 kV کی برقی دباؤ پر کام کرنا نہایت خطرناک ثابت ہو سکتا ہے۔ یہی وجہ ہے کہ اس معائنہ کو کم برقی دباؤ والے لچھے پر ہی کیا جاتا ہے۔

جس برقی دباؤ پر ٹرانسفارمر عام حالات میں استعمال ہوتا ہے اس معائنہ میں کم برقی دباؤ والی جانب کے لچھے پر اتنے ہی یا اس کی قریب مقدار کی برقی دباؤ V_t لاگو کر کے کھلے دور برقی طاقت p_t اور کھلے دور برقی رو I_t ناپے جاتے ہیں۔ معائنہ حقیقت میں استعمال کے دوران برقی دباؤ کے جتنے قریب برقی دباؤ پر کیا جائے اتنا بہتر جواب حاصل ہوتا ہے۔ ٹرانسفارمر کی دوسری جانب لچھے کے سرے چونکہ آزاد رکھے جاتے ہیں اس لئے اس میں برقی رو صفر ہو گا۔ لہذا ناپا گیا برقی رو صرف پیمان انگیز برقی رو I_ϕ ہو گا۔ ٹرانسفارمر جتنی برقی رو کے لئے بنایا گیا ہو یہ برقی رو اس کے تقریباً دو سے چھ فی صد ہوتا ہے۔ شکل 3.17 کو مد نظر رکھتے ہوئے اگر ہم بائیں جانب کو کم برقی دباؤ والی جانب تصور کریں تو شکل میں V_t کو V_1 کی جگہ لاگو کرنا ہو گا۔ یوں ہم جو برقی رو ناپیں گے وہ غیر سمتی⁶⁶ I_1 ہو گا۔ چونکہ I_2' صفر کے برابر ہے لہذا I_1 درحقیقت \hat{I}_ϕ کے مقدار I_ϕ کے برابر ہو گا۔ یعنی اس طرح

$$I_t = I_1 = I_\phi$$

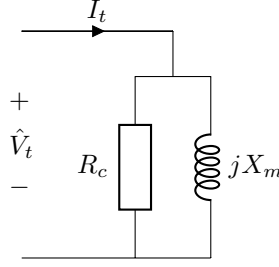
اتنی کم برقی رو سے لچھے کی رکاوٹ میں نہایت کم برقی دباؤ گھٹتا ہے، لہذا اسے نظر انداز کیا جاتا ہے یعنی

$$V_{R1} = I_t R_1 = I_\phi R_1 \approx 0$$

$$V_{X1} = I_1 X_1 = I_\phi X_1 \approx 0$$

یوں R_c اور X_m پر تقریباً V_t برقی دباؤ پایا جائے گا۔ یہ شکل 3.17 سے ظاہر ہے۔ ان حقائق کو مد نظر رکھتے ہوئے شکل 3.22 حاصل ہوتا ہے۔

open circuit test⁶⁴
design⁶⁵
scalar⁶⁶



شکل 3.22: کھلے سرے معائنہ۔

چونکہ برقی طاقت کا ضیاع صرف مزاحمت میں ہی ممکن ہے لہذا p_t صرف R_c میں ہی ضائع ہو گی۔ یوں

$$p_t = \frac{V_t^2}{R_c}$$

لکھا جائے گا۔ یوں

$$(3.33) \quad R_c = \frac{V_t^2}{p_t}$$

حاصل ہوتا ہے۔

اسی طرح چونکہ برقی دباؤ اور برقی رو کی مقداروں کے تناسب کو برقی رکاوٹ کی مقدار کہتے ہیں لہذا

$$|Z_t| = \frac{V_t}{I_t}$$

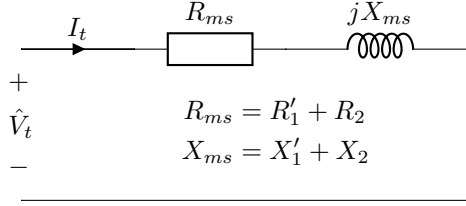
مگر شکل 3.22 سے واضح ہے کہ

$$\frac{1}{Z_t} = \frac{1}{R_c} + \frac{1}{jX_m}$$

لہذا

$$Z_t = \frac{jR_cX_m}{R_c + jX_m}$$

$$|Z_t| = \frac{R_cX_m}{\sqrt{R_c^2 + X_m^2}}$$



شکل 3.23: کسر دور معائنہ۔

جس سے حاصل ہوتا ہے

$$(3.34) \quad X_m = \frac{R_c |Z_t|}{\sqrt{R_c^2 - |Z_t|^2}}$$

مساوات 3.33 سے R_c اور مساوات 3.34 سے X_m کا حساب لگایا جاتا ہے۔

یاد رہے کہ حاصل کردہ R_c اور X_m ٹرانسفارمر کے اسی جانب کے لئے درست ہیں جس جانب انہیں حاصل کیا گیا ہو۔ اگر ان کی قیمتیں دوسری جانب درکار ہوں تب متبادلہ رکاوٹ کا استعمال کرتے ہوئے اس جانب کی قیمتیں حاصل کی جاسکتی ہیں۔

3.11.2 کسر دور معائنہ

یہ معائنہ بھی پچھلے معائنہ کی طرح ٹرانسفارمر کے کسی بھی طرف کیا جاسکتا ہے مگر حقیقت میں اسے زیادہ برقی دباؤ کے لچھے پر ہی کرنا زیادہ آسان ہوتا ہے۔ یہ معائنہ جتنے برقی رو کے لئے ٹرانسفارمر بنایا گیا ہو اتنی برقی رو یا اس کے قریب مقدار پر کیا جاتا ہے۔ یعنی اس معائنہ میں کوشش ہوتی ہے کہ ٹرانسفارمر کے لچھے میں اتنی برقی رو گزرے جتنی کے لئے یہ بنایا گیا ہو۔ لہذا اگر ہم پچھلے معائنہ میں استعمال ہونے والے ٹرانسفارمر کی بات آگے بڑھائیں تو اس کا زیادہ برقی دباؤ کا لچھا 2.2727 A اور کم برقی دباؤ کا لچھا 113.63 A کے لئے بنایا گیا ہے۔ لہذا اگر یہ معائنہ کم برقی دباؤ لچھے پر کیا جائے تو اسے 113.63 A پر کرنا ہوگا اور اگر زیادہ برقی دباؤ لچھے پر کیا جائے تو صرف 2.2727 A پر کرنا ہوگا جو کہ زیادہ آسان ہے۔

اس معائنہ میں کم برقی دباؤ لچھے کے دونوں سروں کو آپس میں جوڑا جاتا ہے یعنی انہیں کسر دور کر لیا جاتا ہے اور زیادہ برقی دباؤ لچھے پر اس جانب کی ڈیزائن کردہ برقی دباؤ کے دو سے بارہ فی صد کا برقی دباؤ V_t لاگو کر کے کسر

دور برقی رو I_t اور کسر دور برقی طاقت p_t ناپے جاتے ہیں۔ جس لچھے کے سرے آپس میں کسر دور ہوتے ہیں اس میں سے برقی رو گزرتی ہے اور اس کا عکس دوسری جانب بھی موجود ہوتا ہے۔ یہ برقی رو ٹرانسفارمر کے ڈیزائن کردہ برقی رو کے لگ بھگ ہوتا ہے۔ اس معائنہ کا دور شکل 3.23 میں دکھایا گیا ہے۔ کھلے سرے معائنہ کی طرح اگر کسر دور معائنہ میں بھی شکل 3.17 کے بائیں جانب کو کم برقی دباؤ والی جانب تصور کریں تو V_t کو V_2 کی جگہ لاگو کرنا ہو گا۔

چونکہ یہ معائنہ بہت کم برقی دباؤ پر کیا جاتا ہے لہذا اس معائنہ میں ہیجان انگیز برقی رو کو مکمل طور پر نظر انداز کیا جاسکتا ہے۔ شکل سے ہم دیکھتے ہیں کہ چونکہ برقی طاقت صرف مزاحمت میں ہی ضائع ہو سکتی ہے لہذا

$$p_t = I_t^2 (R_{ms})$$

ہو گا جس سے

$$(3.35) \quad R_{ms} = \frac{p_t}{I_t^2}$$

حاصل ہوتا ہے۔

کسر دور برقی رو اور برقی دباؤ سے ہمیں ملتی ہے

$$|Z_t| = \frac{V_t}{I_t}$$

مگر شکل سے واضح ہے کہ

$$Z_t = R_{ms} + jX_{ms}$$

$$|Z_t| = \sqrt{R_{ms}^2 + X_{ms}^2}$$

لہذا

$$(3.36) \quad X_{ms} = \sqrt{|Z_t|^2 - R_{ms}^2}$$

مساوات 3.35 کل مزاحمت دیتا ہے البتہ اس سے R_1 یا R_2 حاصل نہیں کیا جاسکتا۔ اسی طرح مساوات 3.36 سے X_1 اور X_2 علیحدہ نہیں کئے جاسکتے۔ کسر دور معائنہ سے اتنی ہی معلومات حاصل کرنا ممکن ہے۔ حقیقت میں اتنی معلومات کافی ہوتی ہے۔ اگر ان اجزاء کے علیحدہ علیحدہ قیمتیں درکار ہوں تو ایسی صورت میں تصور کیا جاتا ہے کہ

$$R'_1 = R_2$$

$$X'_1 = X_2$$

ہیں۔

چونکہ یہ معائنہ عموماً جہاں ٹرانسفارمر موجود ہو وہیں کرنا پڑتا ہے لہذا یہ ممکن نہیں ہوتا کہ ٹرانسفارمر کو بالکل اتنا برقی دباؤ دیا جائے جتنا درکار ہو بلکہ جو برقی دباؤ موجود ہو اسی سے کام چلانا پڑتا ہے۔ لیکن اس بات کا خیال بہت ضروری ہے کہ جو برقی دباؤ ٹرانسفارمر کو دیا جا رہا ہو وہ ڈیزائن کردہ برقی دباؤ کے دو سے بارہ فی صد ہو۔ مثلاً اگر اسی 220 V : 11000 ٹرانسفارمر کی بات کی جائے تو اس کے زیادہ برقی دباؤ لچھے پر 220 V اور 1320 V کے درمیان کوئی بھی برقی دباؤ دیا جاسکتا ہے۔ چونکہ ہمارے ہاں 220 V اور 440 V عام پائے جاتے ہیں لہذا ہم 220 V یا 440 V ہی استعمال کریں گے۔

یہاں یہ ایک مرتبہ دوبارہ یاد دہیانی کراتا جاول کہ ٹرانسفارمر کی ایک جانب لچھے کے سرے آپس میں جوڑ کر، یعنی انہیں کسر دور کر کے، دوسری جانب لچھے پر کسی بھی صورت میں اس جانب کی پوری برقی دباؤ لاگو نہیں کرنا۔ ایسا کرنا شدید خطرناک اور جان لیوا ثابت ہو سکتا ہے۔

یاد رہے کہ حاصل کردہ R_c اور X_m ٹرانسفارمر کے اسی جانب کے لئے درست ہیں جس جانب انہیں حاصل کیا گیا ہو۔ اگر ان کی قیمتیں دوسری جانب درکار ہوں تب متبادلہ رکاوٹ کا استعمال کرتے ہوئے اس جانب کی قیمتیں حاصل کی جاسکتی ہیں۔

مثال 3.7: ایک 25 کلو وولٹ-ایمپیئر، 220 : 11000 وولٹ اور 50 ہرٹز پر چلنے والے ٹرانسفارمر کے کھلے دور اور کسر دور معائنہ کئے جاتے ہیں جن کے نتائج یہ ہیں۔

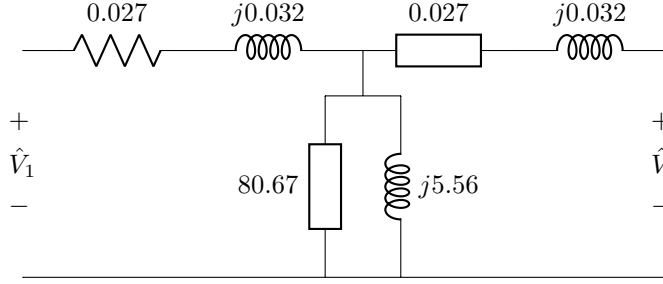
- کھلے دور معائنہ کرتے وقت کم برقی دباؤ کی جانب 220 V لاگو کئے جاتے ہیں۔ اسی جانب برقی رو 39.64 A اور طاقت کا ضیاع 600 W ناپے جاتے ہیں۔
- کسر دور معائنہ کرتے وقت زیادہ برقی دباؤ کی جانب 440 V لاگو کئے جاتے ہیں۔ اسی جانب برقی رو 2.27 A اور طاقت کا ضیاع 560 W ناپے جاتے ہیں۔

کھلے دور حل:

$$|Z_t| = \frac{220}{39.64} = 5.55 \Omega$$

$$R_c = \frac{220^2}{600} = 80.67 \Omega$$

$$X_m = \frac{80.67 \times 5.55}{\sqrt{80.67^2 - 5.55^2}} = 5.56 \Omega$$



شکل 3.24: کھلے دور اور کسر دور معائنہ سے کم برقی دباؤ جانب مساوی دور۔

کسر دور حل:

$$Z_t = \frac{440}{2.27} = 193.83 \Omega$$

$$R_{ms} = \frac{560}{2 \times 2.27^2} = 108.68 \Omega$$

$$X_{ms} = \sqrt{193.83^2 - 108.68^2} = 160 \Omega$$

ان نتائج کو کم برقی دباؤ جانب منتقل کرتے ہوئے

$$\left(\frac{220}{11000} \right)^2 \times 108.68 = 43.47 \text{ m}\Omega$$

$$\left(\frac{220}{11000} \right)^2 \times 160 = 64 \text{ m}\Omega$$

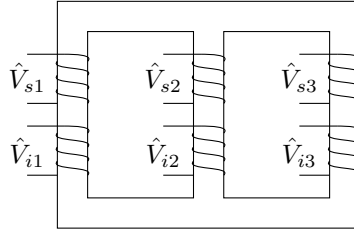
یعنی

$$R_1 = R'_2 = \frac{43.47 \text{ m}\Omega}{2} = 21.7 \text{ m}\Omega$$

$$X_1 = X'_2 = \frac{64 \text{ m}\Omega}{2} = 32 \text{ m}\Omega$$

□

حاصل ہوتا ہے۔ ان نتائج سے حاصل کم برقی دباؤ جانب مساوی دور شکل 3.24 میں دکھایا گیا ہے۔



شکل 3.25: ایک ہی قالب پر تین ٹرانسفارمر۔

3.12 تین مرحلہ ٹرانسفارمر

اب تک ہم ایک مرحلہ⁶⁷ ٹرانسفارمر پر غور کرتے رہے ہیں۔ حقیقت میں برقی طاقت کی منتقلی میں عموماً تین مرحلہ⁶⁸ ٹرانسفارمر استعمال ہوتے ہیں۔ تین مرحلہ ٹرانسفارمر یکساں تین عدد ایک مرحلہ ٹرانسفارمر اکٹھے رکھ کر بنایا جاسکتا ہے۔ یوں اگر ایک ٹرانسفارمر خراب ہو جائے تو اس کو ٹھیک ہونے کے لئے ہٹا کر بقایا دو ٹرانسفارمر دوبارہ چالو کئے جاسکتے ہیں۔ تین مرحلہ ٹرانسفارمر بنانے کا اس سے بہتر طریقہ شکل 3.25 میں دکھایا گیا ہے جہاں ایک ہی مقناطیسی قالب پر تینوں ٹرانسفارمر کے لچھے لپٹے گئے ہیں۔ اس شکل میں V_{i1} پہلے ٹرانسفارمر کا ابتدائی لچھا جبکہ V_{s1} اس کا ثانوی لچھا ہے۔ اس طرح کے تین مرحلہ ٹرانسفارمر سستے، ہلکے اور چھوٹے ہونے کی وجہ سے عام ہو گئے ہیں اور آپ کو روزمرہ زندگی میں یہی نظر آئیں گے۔ ان میں برقی ضیاع بھی قدر کم ہوتی ہے۔

شکل 3.26- الف میں تین ٹرانسفارمر دکھائے گئے ہیں۔ ان تین ٹرانسفارمر کے ابتدائی لچھے آپس میں دو طریقوں سے جوڑے جاسکتے ہیں۔ ایک کو ستارہ نما جوڑ⁶⁹ Y اور دوسرے کو ٹکونی جوڑ⁷⁰ Δ کہتے ہیں۔ اسی طرح ان تینوں ٹرانسفارمر کے ثانوی لچھے انہیں دو طریقوں سے جوڑے جاسکتے ہیں۔ یوں انہیں جوڑنے کے چار ممکنہ طریقے ہیں یعنی

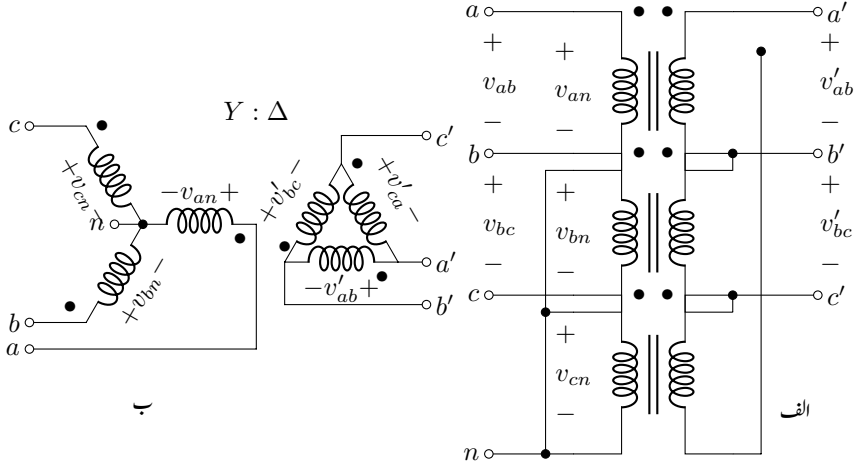
- ستارہ: ٹکونی $Y : \Delta$
- ستارہ: ستارہ $Y : Y$
- ٹکونی: ٹکونی $\Delta : \Delta$

⁶⁷ single phase

⁶⁸ three phase

⁶⁹ star connected

⁷⁰ delta connected



شکل 3.26: تین مرحلہ ستارہ-تکونی ٹرانسفارمر

• تکونی: ستارہ $\Delta : Y$

شکل 3.26-الف میں ان تین ٹرانسفارمرز کے ابتدائی لچھوں کو ستارہ نما جوڑا گیا ہے جبکہ ان کی ثانوی لچھوں کو تکونی جوڑا گیا ہے۔ شکل-ب میں تینوں ٹرانسفارمرز کی ابتدائی لچھوں کو ستارہ نما دکھایا گیا ہے۔ اسی طرح ثانوی لچھوں کو تکونی دکھایا گیا ہے۔ انہی شکلوں کی وجہ سے ان کو ستارہ نما جوڑ اور تکونی جوڑ کہتے ہیں۔

ایسی شکل بناتے وقت تینوں ٹرانسفارمرز کے ابتدائی لچھے کو جس زاویہ پر بنایا جاتا ہے اس کے ثانوی لچھے کو بھی اسی زاویہ پر بنایا جاتا ہے۔ یوں شکل کے حصہ الف میں سب سے اوپر ٹرانسفارمر جس کے ابتدائی جانب کے سرے an اور ثانوی جانب کے سرے $a'n'$ ہیں کو حصہ با میں صفر زاویہ پر بنایا گیا ہے۔ تین مرحلہ ٹرانسفارمرز کو اس طرح کی علامتوں سے ظاہر کیا جاتا ہے اور ان میں قالب نہیں دکھایا جاتا۔

ٹرانسفارمر کے جوڑ بیان کرتے وقت بائیں جانب کے جوڑ کو پہلے اور دائیں جانب کی جوڑ کو بعد میں پکارتے ہیں۔ یوں شکل میں ٹرانسفارمر کو ستارہ-تکونی جڑا ٹرانسفارمر کہیں گے۔ اسی طرح ابتدائی جانب کو بائیں اور ثانوی جانب کو دائیں ہاتھ بنایا جاتا ہے۔ یوں اس شکل میں ابتدائی جانب ستارہ نما ہے جبکہ ثانوی جانب تکونی ہے۔

ستارہ نما جڑی جانب سے چار برقی تاریں نکلتی ہیں۔ اس جانب لچھوں کے مشترکہ سرا n کو عموماً ٹرانسفارمر کے

نزدیک زمین میں گہرائی تک دھنسا دیا جاتا ہے۔ اس تار کو زمین تار⁷¹ یا صرف زمین⁷² کہتے ہیں۔ عام فہم میں اسے ٹھنڈی تار⁷³ کہتے ہیں۔ باقی تین یعنی a, b, c گرم تار⁷⁴ کہلاتے ہیں۔

ٹرانسفارمر کی لچھے پر برقی دباؤ کو ایک مرحلہ برقی دباؤ⁷⁵ \hat{V} کہتے ہیں اور لچھے میں برقی رو کو ایک مرحلہ برقی رو⁷⁶ \hat{I} کہتے ہیں۔ جبکہ ٹرانسفارمر سے باہر نکلتی کسی دو گرم تاروں کے مابین برقی دباؤ کو تار کے برقی دباؤ تار⁷⁷ $\hat{V}_{\text{تار}}$ کہتے ہیں اور کسی بھی گرم تار میں برقی رو کو تار کے برقی رو تار⁷⁸ $\hat{I}_{\text{تار}}$ کہتے ہیں۔ زمینی تار میں برقی رو کو زمین برقی رو⁷⁹ $\hat{I}_{\text{زمینی}}$ کہتے ہیں۔

ستارہ نما Y جانب کے مرحلہ مقداروں اور تار کی مقداروں کا آپس میں یوں رشتہ ہے

$$\begin{aligned} V_{\text{تار}} &= \sqrt{3} V_{\text{مرحلہ}} \\ I_{\text{تار}} &= I_{\text{مرحلہ}} \end{aligned} \quad (3.37)$$

جبکہ ٹکونی Δ جانب یک مرحلہ اور تار کی مقداروں کا آپس میں یوں رشتہ ہے

$$\begin{aligned} V_{\text{تار}} &= V_{\text{مرحلہ}} \\ I_{\text{تار}} &= \sqrt{3} I_{\text{مرحلہ}} \end{aligned} \quad (3.38)$$

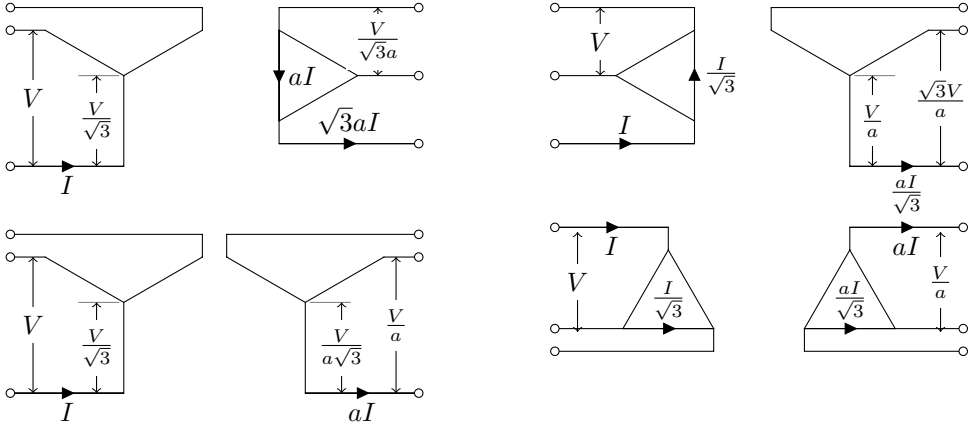
یہ مرحلی سمتیہ کے رشتے نہیں بلکہ ان کی غیر سمتی قیمتوں کے رشتے ہیں۔ ان دو مساواتوں سے حاصل ہوتا ہے

$$V_{\text{تار}} I_{\text{تار}} = \sqrt{3} V_{\text{مرحلہ}} I_{\text{مرحلہ}} \quad (3.39)$$

چونکہ ایک مرحلہ ٹرانسفارمر کی وولٹ-ایمپیئر⁷⁶ $V_{\text{مرحلہ}} I_{\text{مرحلہ}}$ ہیں اور ایسے تین ٹرانسفارمر مل کر ایک تین مرحلہ ٹرانسفارمر بناتے ہیں لہذا تین مرحلہ ٹرانسفارمر کی وولٹ-ایمپیئر اس کے تین گنا ہوں گے یعنی

$$(3.40) \quad 3 V_{\text{مرحلہ}} I_{\text{مرحلہ}} = 3 \times \frac{V_{\text{تار}} I_{\text{تار}}}{\sqrt{3}} = \sqrt{3} V_{\text{تار}} I_{\text{تار}}$$

ground⁷¹
ground, earth, neutral⁷²
neutral⁷³
live wires⁷⁴
phase voltage⁷⁵
phase current⁷⁶
line to line voltage⁷⁷
line current⁷⁸
ground current⁷⁹



شکل 3.27: ابتدائی اور ثانوی جانب تار اور یک مرحلہ مقداروں کے رشتے۔

یہ مساوات تین مرحلہ ادوار میں عام استعمال ہوتی ہے۔

ٹرانسفارمر کسی طرح بھی جوڑے جائیں وہ اپنی بنیادی کارکردگی تبدیل نہیں کرتے لہذا انہیں ستارہ نما یا ٹکونی جوڑنے کے بعد بھی ان میں ہر ایک ٹرانسفارمر انفرادی طور پر صفحہ 68 پر دئے مساوات 3.16 اور صفحہ 72 پر دئے مساوات 3.23 پر پورے اترے گا۔ انہیں استعمال کر کے شکل 3.27 میں دیئے گئے ٹرانسفارمر کے ابتدائی اور ثانوی جانب کی یک مرحلہ اور تار کی مقداروں کے رشتے حاصل کئے جاسکتے ہیں۔ اس شکل میں $a = N_1/N_2$ ہے جہاں $N_1 : N_2$ ان میں ایک مرحلہ ٹرانسفارمر کے چکر کی نسبت ہے۔ تین مرحلہ ٹرانسفارمر پر لگی تختی پر دونوں جانب تار کی برقی دباؤ کی نسبت لکھی جاتی ہے۔

جیسے شکل 3.27 میں دکھایا گیا ہے ستارہ-ٹکونی ٹرانسفارمر کی تار پر برقی دباؤ کی نسبت

$$(3.41) \quad \frac{V_{\text{ابتدائی}}}{V_{\text{ثانوی}}} = \sqrt{3}a = \sqrt{3} \left(\frac{N_1}{N_2} \right)$$

جبکہ ستارہ-ستارہ کا

$$(3.42) \quad \frac{V_{\text{ابتدائی}}}{V_{\text{ثانوی}}} = a = \left(\frac{N_1}{N_2} \right)$$

ٹکونی-ستارہ کا

$$(3.43) \quad \frac{V_{\text{ابتدائی}}}{V_{\text{ثانوی}}} = \frac{a}{\sqrt{3}} = \frac{1}{\sqrt{3}} \left(\frac{N_1}{N_2} \right)$$

اور ٹکونی-ٹکونی کا

$$(3.44) \quad \frac{V_{ابتدائی}}{V_{ثانوی}} = a = \left(\frac{N_1}{N_2} \right)$$

ہے۔

مثال 3.8: ایک مرحلہ تین یکساں ٹرانسفارمرز کو ستارہ-ٹکونی Δ : Y جوڑ کر تین مرحلہ ٹرانسفارمر بنایا گیا ہے۔ ایک مرحلہ ٹرانسفارمر کی برقی سکے⁸⁰ درج ذیل ہے:

$$50 \text{ kV A}, \quad 6350 : 440 \text{ V}, \quad 50 \text{ Hz}$$

ستارہ-ٹکونی ٹرانسفارمر کی ابتدائی جانب 11000 وولٹ کی تین مرحلہ تار کی برقی دباؤ لاگو کیا گیا۔ اس تین مرحلہ ٹرانسفارمر کی ثانوی جانب تار کا برقی دباؤ معلوم کریں۔

حل: حل کرتے وقت ہم ایک عدد ایک مرحلہ ٹرانسفارمر پر نظر رکھیں گے۔ ابتدائی جانب اگر ایک مرحلہ ٹرانسفارمر پر غور کیا جائے تو

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{6350}{440}$$

اور اس پر لاگو برقی دباؤ مساوات 3.37 کی مدد سے

$$V_{ابتدائی، یکمرحلہ} = \frac{V_{تار}}{\sqrt{3}} = \frac{11000}{\sqrt{3}} = 6350.85 \text{ V}$$

ہے لہذا اس ایک مرحلہ ٹرانسفارمر کی ثانوی جانب مساوات 3.16 کی مدد سے

$$V_{ثانوی} = \frac{N_2}{N_1} V_{ابتدائی} = \frac{440}{6350} \times 6350.85 \approx 440 \text{ V}$$

ہیں۔ چونکہ ثانوی جانب ان تین ایک مرحلہ ٹرانسفارمرز کو ٹکونی جوڑا گیا ہے لہذا مساوات 3.38 کی مدد سے اس جانب تار کی برقی دباؤ یہی ہوگی۔ اس تین مرحلہ ٹرانسفارمر کی تار پر برقی دباؤ کی نسبت

$$\frac{V_{ابتدائی، تار}}{V_{ثانوی، تار}} = \frac{11000}{440}$$

ہے۔ چونکہ ایک مرحلہ ٹرانسفارمر 50 کلو وولٹ-ایمپیئر کا ہے لہذا یہ تین مرحلہ ٹرانسفارمر 150 کلو وولٹ-ایمپیئر کا ہو گا۔ یوں اس تین مرحلہ ٹرانسفارمر کی سکت⁸¹

$$150 \text{ kV A}, \quad 11000 : 440 \text{ V}, \quad 50 \text{ Hz}$$

ہو گی۔

ٹرانسفارمر پر لگی تختی⁸² پر اس کی سکت بیان ہوتی ہے جس میں ٹرانسفارمر کے دونوں جانب تار کے برقی دباؤ لکھے جاتے ہیں نہ کہ لچھوں کے چکر۔

□

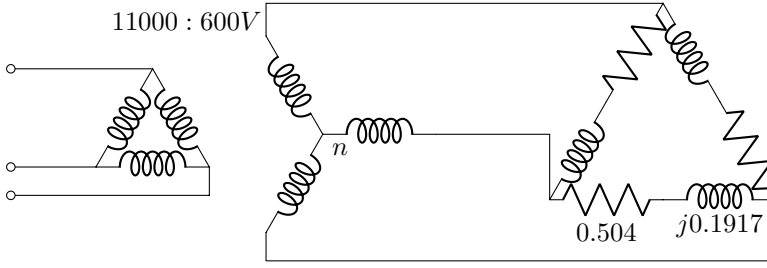
ستارہ-ستارہ جڑے ٹرانسفارمر عام طور استعمال نہیں ہوتے۔ اس کی وجہ یہ ہے کہ اگرچہ ان کی تین مرحلہ برقی دباؤ کے بنیادی جزو آپس میں 120° زاویائی فاصلے پر ہوتے ہیں لیکن ان کی تیسری موسیقائی جزو آپس میں ہم قدم ہوتی ہیں۔ قالب کی غیر بتدریج خصوصیات کی وجہ سے ٹرانسفارمر میں ہر صورت تیسری موسیقائی جزو پائے جاتے ہیں۔ تیسری موسیقائی جزو ہم قدم ہونے کی وجہ سے جمع ہو کر ایک نہایت بڑی برقی دباؤ کی موج پیدا کرتے ہیں جو کبھی کبھی برقی دباؤ کی بنیادی جزو سے بھی زیادہ بڑھ جاتی ہے۔

بقایا تین قسم کے جڑے ٹرانسفارمر میں برقی دباؤ کی تیسری موسیقائی جزو مسئلہ نہیں کرتیں چونکہ ان میں تکنیکی جڑے لچھوں میں برقی رو گھومنے شروع ہو جاتی ہے جو ان کے اثر کو ختم کر دیتی ہے۔

تین مرحلہ ٹرانسفارمر کے متوازن دور حل کرتے وقت ہم تصور کرتے ہیں کہ ٹرانسفارمر ستارہ نما جڑا ہے۔ یوں اس کے ایک مرحلے میں برقی رو، تار کی برقی رو ہی ہو گی اور اس کے ایک مرحلے پر لاگو برقی دباؤ، ایک مرحلہ برقی دباؤ ہو گا۔ اسی طرح ہم تصور کرتے ہیں کہ اس پر لدا برقی بوجھ بھی ستارہ نما جڑا ہے۔ یوں تین مرحلہ کی جگہ ہم ایک مرحلہ دور کا نسبتاً آسان مسئلہ حل کرتے ہیں۔ ایسا کرنے سے مسئلہ پر غور کرنا آسان ہو جاتا ہے۔ یہ ایک مثال سے زیادہ بہتر سمجھ آئے گا۔

مثال 3.9: ایک تین مرحلہ $Y : \Delta$ 2000 کلو وولٹ-ایمپیئر، 600 : 11000 وولٹ اور 50 ہرٹز پر چلنے والا کامل ٹرانسفارمر تین مرحلہ کے متوازن برقی بوجھ کو طاقت مہیا کر رہا ہے۔ یہ بوجھ تکنیکی جڑا ہے جہاں بوجھ کا ہر حصہ $(0.504 + j0.1917)$ کے برابر ہے۔ شکل 3.28 میں یہ دکھایا گیا ہے۔

• اس شکل میں ہر جگہ برقی رو معلوم کریں۔



شکل 3.28: ٹرانسفارمر تکونی متوازن بوجھ کو طاقت فراہم کر رہا ہے۔

- برقی بوجھ⁸³ کو درکار طاقت معلوم کریں

حل:

پہلے تکونی بوجھ کو ستارہ نما بوجھ میں تبدیل کرتے ہیں

$$Z_Y = \frac{Z_{\Delta}}{3} = \frac{0.504 + j0.1917}{3} = 0.168 + j0.0639$$

اس بوجھ کو ستارہ نما جڑا شکل 3.29 میں دکھایا گیا ہے۔ اس شکل میں ایک برقی تار جسے نقطہ دار لکیر سے ظاہر کیا گیا ہے کو ٹرانسفارمر کی زمینی نقطہ سے بوجھ کے مشترکہ سرے کے درمیان جڑا دکھایا گیا ہے۔ متوازن دور میں اس تار میں برقی رد صفر ہوگی۔ حل کرنے کی نیت سے ہم اس متوازن دور سے ایک مرحلہ لے کر حل کرتے ہیں۔

یوں مساوی برقی بوجھ میں برقی رو

$$I = \frac{346.41}{0.168 + j0.0639} = 1927.262 \angle -20.825^\circ$$

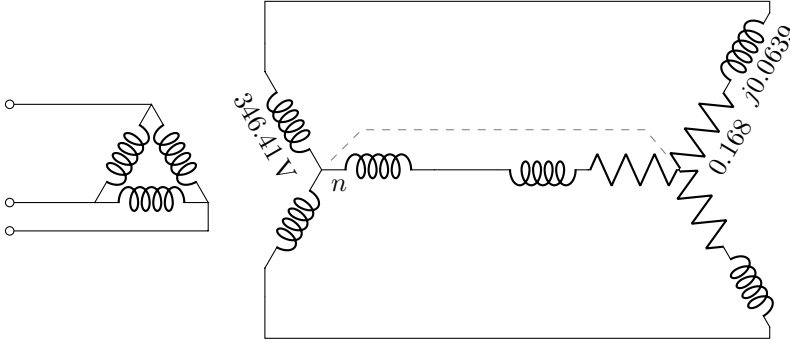
ہوگی اور اس ایک مرحلہ میں طاقت

$$p = 346.41 \times 1927.262 \times \cos(-20.825^\circ) = 624007 \text{ W}$$

ہوگی۔ یوں برقی بوجھ کو پوری درکار برقی طاقت اس کے تین گنا ہوگی یعنی 1872 kW اس بوجھ کا جزو طاقت⁸⁴

$$\cos(-20.825^\circ) = 0.93467$$

rating⁸¹
name plate⁸²
electrical load⁸³
power factor⁸⁴



شکل 3.29: تکنونی بوجھ کو مساوی ستارہ بوجھ میں تبدیل کیا گیا ہے۔

ہے۔

تکنونی بوجھ میں برقی رو $1112.7 = \frac{1927.262}{\sqrt{3}}$ ایمپیئر ہو گی۔ ٹرانسفارمر کی ابتدائی جانب برقی تاروں میں برقی رو

$$\left(\frac{600}{11000} \right) \times 1927.262 = 105.12$$

□

ایمپیئر ہو گی۔

اس مثال میں جزو طاقت 0.93467 ہے۔ اس کتاب کے لکھتے وقت پاکستان میں اگر صنعتی کارخانوں کی برقی بوجھ کی جزو طاقت 0.9 سے کم ہو جائے تو برقی طاقت فراہم کرنے والا ادارہ (واپڈا) جرمانہ نافذ کرتا ہے۔

3.13 ٹرانسفارمر چالو کرتے لمحہ زیادہ محرکی برقی رو کا گزر

ہم دیکھ چکے ہیں کہ اگر ٹرانسفارمر کے قالب میں کثافتِ مقناطیسی بہاؤ سائن نما ہو یعنی $B = B_0 \sin \omega t$ تو اس کے لئے ہم لکھ سکتے ہیں

$$\begin{aligned} v = e &= N \frac{\partial \varphi}{\partial t} = N A_c \frac{\partial B}{\partial t} \\ &= \omega N A_c B_0 \cos \omega t \\ &= V_0 \cos \omega t \end{aligned}$$

یعنی

$$(3.45) \quad B_0 = \frac{V_0}{\omega N A_c}$$

یہ مساوات برقرار چالو⁸⁵ ٹرانسفارمر کے لئے درست ہے۔

تصور کریں کہ ایک ٹرانسفارمر کو چالو کیا جا رہا ہے۔ چالو ہونے سے پہلے قالب میں مقناطیسی بہاو صفر ہے اور جس لمحہ اسے چالو کیا جائے اس لمحہ بھی یہ صفر ہی رہتا ہے۔

جس لمحہ ٹرانسفارمر کو چالو کیا جائے اس لمحہ لاگو برقی دباؤ

$$v = V_0 \cos(\omega t + \theta)$$

ہے۔ اگر $\theta = \pi/2$ یہ لمحہ ہو تو آدھے دور⁸⁶ کے بعد قالب میں کثافتِ مقناطیسی بہاو

$$\begin{aligned} B &= \frac{1}{N A_c} \int_0^{\pi/\omega} V_0 \cos(\omega t + \pi/2) dt \\ &= \frac{V_0}{\omega N A_c} \sin(\omega t + \pi/2)_0^{\pi/\omega} \\ &= - \left(\frac{2V_0}{\omega N A_c} \right) \end{aligned}$$

یعنی کثافتِ مقناطیسی بہاو کا طول معمول سے دگنا ہو گا۔ اگر یہی حساب $\theta = 0$ لمحہ کے لئے کیا جائے تو زیادہ سے زیادہ کثافتِ مقناطیسی بہاو بالکل مساوات 3.45 کے عین مطابق ہو گا۔ ان دو زاویوں کے مابین زیادہ سے زیادہ کثافتِ مقناطیسی بہاو ان دو حدوں کے درمیان رہتا ہے۔

قالب کی $B - H$ خط غیر بتدریج بڑھتا ہے۔ لہذا B دگنا کرنے کی خاطر H کو کئی گنا بڑھانا ہو گا جو لچھے میں محرک برقی رو بڑھانے سے ہوتا ہے⁸⁷۔ یہاں صفحہ 53 پر دکھائے شکل 2.17 سے رجوع کریں۔ قوی ٹرانسفارمر میں ہیبانی کثافتِ مقناطیسی بہاو کی چوٹی $1.3 \leq B_0 \leq 1$ ہوتی ہے۔ ٹرانسفارمر چالو کرتے لمحہ یوں کثافتِ مقناطیسی بہاو 2 سے 2.6 تسلا تک ہو سکتی ہے جس کے لئے درکار ہیبان انگیز برقی رو نہایت زیادہ ہو گی۔

⁸⁵ steady state

⁸⁶ time period

⁸⁷ 2000 کلو وولٹ - ہائیپر ٹرانسفارمر سے چالو کرتے وقت تھر تھراپٹ کی آواز آتی ہے

- earth, 94
- eddy current loss, 62
- eddy currents, 62, 126
- electric field
 - intensity, 10
- electrical rating, 59
- electromagnet, 131
- electromotive force, 61, 137
- emf, 137
- enamel, 62
- energy, 43
- Euler, 21
- excitation, 61
- excitation current, 50, 60, 61
- excitation voltage, 61
- excited coil, 61

- Faraday's law, 38, 125
- field coil, 131, 251
- flux, 30
- Fourier series, 63, 142
- frequency, 130
- fundamental, 142
- fundamental component, 64

- generator
 - ac, 159
- ground current, 94
- ground wire, 94

- harmonic, 142
- harmonic components, 64

- ampere-turn, 32
- armature coil, 131, 251
- axle, 161

- carbon bush, 177
- cartesian system, 4
- charge, 10, 136
- circuit breaker, 178
- coercivity, 46
- coil
 - high voltage, 56
 - low voltage, 56
 - primary, 55
 - secondary, 55
- commutator, 164, 241
- conductivity, 25
- conservative field, 108
- core, 55, 126
- core loss, 62
- core loss component, 64
- Coulomb's law, 10
- cross product, 13
- cross section, 9
- current
 - transformation, 66
- cylindrical coordinates, 5

- delta connected, 92
- design, 195
- differentiation, 18
- dot product, 15

- E,I, 62

parallel connected, 253
 permeability, 26
 relative, 26
 phase current, 94
 phase difference, 23
 phase voltage, 94
 phasor, 21
 pole
 non-salient, 140
 salient, 140
 power, 43
 power factor, 23
 lagging, 23
 leading, 23
 power factor angle, 23
 power-angle law, 188
 primary
 side, 55

 rating, 96, 97
 rectifier, 164
 relative permeability, 26
 relay, 101
 reluctance, 25
 residual magnetic flux, 45
 resistance, 25
 rms, 49, 164
 rotor, 36
 rotor coli, 104
 rpm, 155

 saturation, 47
 scalar, 1
 self excited, 251
 self flux linkage, 42
 self inductance, 42
 separately excited, 251
 side
 secondary, 55
 single phase, 23, 59
 slip, 209
 slip rings, 176, 229

Henry, 39
 hunting, 178
 hysteresis loop, 46

 impedance transformation, 71
 in-phase, 69
 induced voltage, 38, 49, 61
 inductance, 39

 Joule, 43

 lagging, 22
 laminations, 31, 62, 126
 leading, 22
 leakage inductance, 79
 leakage reactance, 79
 line current, 94
 line voltage, 94
 linear circuit, 226
 load, 98
 Lorentz law, 136
 Lorenz equation, 102

 magnetic constant, 26
 magnetic core, 31
 magnetic field
 intensity, 11, 33
 magnetic flux
 density, 33
 leakage, 78
 magnetizing current, 64
 mmf, 30
 model, 81, 207
 mutual flux linkage, 43
 mutual inductance, 42

 name plate, 97
 non-salient poles, 177

 Ohm's law, 26
 open circuit test, 86
 orthonormal, 3

unit vector, 2

VA, 75

vector, 2

volt, 137

volt-ampere, 75

voltage, 137

DC, 164

transformation, 66

Watt, 43

Weber, 32

winding

distributed, 140

winding factor, 147

star connected, 92

stator, 36

stator coil, 104, 127

steady state, 175

step down transformer, 58

step up transformer, 58

surface density, 11

synchronous, 130

synchronous inductance, 184

synchronous speed, 155, 176

Tesla, 33

theorem

maximum power transfer, 229

Thevenin theorem, 226

three phase, 59, 92

time period, 100, 142

torque, 165, 209

pull out, 178

transformer

air core, 59

communication, 59

ideal, 65

transient state, 175

- ابتدائی
جانب، 55
لچھا، 55
ارتباط بہاؤ، 39
اضافی
زاویائی رفتار، 212
اکائی سمتیہ، 2
امالہ، 39
امالی برقی دباؤ، 38، 49، 61
اوہم میٹر، 237
ایک، تین پتریاں، 62
ایک مرحلہ، 59
ایک پیسہ چکر، 32
بار، 136
برقرار چالو، 100، 175
برقی بار، 10، 136
برقی دباؤ، 28، 137
تبادلہ، 56، 66
محرک، 137
بیجائی، 185
یک سمتی، 164
برقی رو، 28
بھنور نما، 126
تبادلہ، 66
بیجان انگیز، 50
برقی سکت، 59
برقی میدان، 10
شدت، 10، 28
بش، 177
بناوٹ، 86
بنیادی جزو، 64، 142
بو جھ، 98
بھٹی، 114
بھنور نما
برقی رو، 62
ضیاع، 62
بھنور نما برقی رو، 126
بے بو جھ، 60
پتری، 31، 126
پتریاں، 62
پورا بو جھ، 197
پیچھے، 80
پیش زاویہ، 22
تاخیری زاویہ، 22
تار کی برقی دباؤ، 94
تار کی برقی رو، 94
تانبہ، 28
تبادلہ
رکاوٹ، 71
تختی، 97
تدریجی تفرق، 113
تعدد، 130
تعقب، 178
تفرق، 18
جزوی، 18
تکمل، 18
تکوئی جوڑ، 92
توانائی، 43
تین مرحلہ، 59، 92
ٹرانسفارمر
برقی دباؤ والا، 59
بو جھ بردار، 68
خلائی قالب، 59
دباؤ گھٹاتا، 58
دباؤ گھٹاتا، 58
ذرائع ابلاغ، 59
رو والا، 59
کامل، 65
ٹسلا، 33
ٹھنڈی تار، 94
ثانوی جانب، 55
چاول، 43
جزو
پھیلاؤ، 147
جزو طاقت، 23
پیش، 23
تاخیری، 23

- جزیرہ بدلتی رو، 159
جوڑ ٹکونی، 92
ستارہ نما، 92
چکر فی منٹ، 126
چوٹی، 211
خطی برقی دور، 226
خودار تباط بہاؤ، 42
خودامالہ، 42
داخلی پیمانہ سلسلہ وار، 253
متوازی، 253
مرکب، 253
دور چڑی مرکب، 253
دور شکن، 178
دوری عرصہ، 142، 100
دھرا، 161
رستا امالہ، 79
متعاملہ، 79
رستا متعاملیت، 217
رفقار اضافی زاویائی، 212
روغن، 62
ریاضی نمونہ، 207، 81
ریسے، 101
زاویہ جزو طاقت، 23
زمین، 94
زمینی برقی رو، 94
زمینی تار، 94
ساکن حصہ، 36
ساکن چھٹا، 104، 127
ستارہ نما جوڑ، 92
سرک، 209
سرک چھلے، 176، 229
سطحی تحلیل، 181
سطحی کشافیت، 11
سکت، 96، 97
سلسلہ وار، 145
سمت کار، 241
برقیاتی، 164
میکانی، 164
سمتیہ، 2
عمودی اکائی، 3
سمتی رفتار، 102
سیرانیت، 47
ضرب نقطہ، 15
ضرب صلیبی، 13
طاقت، 43
طاقت بالقابل زاویہ، 188
طول موج، 18
عارضی صورت، 175
عمودی تراش، 9
رقبہ، 9
غیر سمتی، 1
غیر معاصر، 178
فوریر، 250
فوریر تسلسل، 63، 142
فیراڈے قانون، 38، 125
قالب، 126
قالبی ضیاع، 62
جزو، 64
قانون اوہم، 26
کولمب، 10
لورینز، 136
قدامت پسند میدان، 108
قریب چڑی مرکب، 253

مرحلی فرق، 23
 مرکب جزیر، 253
 مزاحمت، 25
 مساوات اور نیز، 102
 مسئلہ
 تھون، 226
 زیادہ سے زیادہ طاقت کی منتقلی، 228
 مشترکہ ارتباط امالہ، 43
 مشترکہ امالہ، 42
 معاصر، 130
 معاصر امالہ، 184
 معاصر رفتار، 155، 176
 معائنہ
 کھلے دور، 86
 مقناطیس
 برقی، 131
 چال کا دائرہ، 46
 خاتم شدت، 46
 مقناطیسی برقی رو، 64
 مقناطیسی بہاؤ، 30
 رشتہ، 78
 کشاف، 33
 مقناطیسی چال، 52
 مقناطیسی دباؤ، 30
 سمت، 141
 مقناطیسی قالب، 31، 55
 مقناطیسی مستقل، 26، 166
 جزو، 26، 31
 مقناطیسی میدان
 شدت، 11، 33
 موثر، 19، 49
 موثر قیمت، 164
 موسیقائی جزو، 64، 142
 موصلیت، 25
 میدانی لچھے، 251
 واٹ، 43
 وولٹ، 137
 وولٹ-ایمپیئر، 75
 ویر، 32

قطب
 ابھرے، 140، 177
 ہموار، 140، 177
 قوت مروڑ، 165، 209
 انتہائی، 178
 قوی الیکٹرانکس، 207، 241
 قوی لچھے، 251
 کاربن بش، 177
 کارگزاری، 200
 کپیسٹر، 194
 کشاف
 برقی رو، 27
 کشاف مقناطیسی بہاؤ
 بقایا، 45
 کسر دور، 38
 گرم تار، 94
 گھومتا حصہ، 36
 گھومتا لچھا، 104
 لچھا
 ابتدائی، 55
 پھیلے، 140
 پیچدار، 40
 ثانوی، 55
 زیادہ برقی دباؤ، 56
 ساکن، 104
 سمت، 133
 قوی، 131
 کم برقی دباؤ، 56
 گھومتا، 104
 میدانی، 131
 محدود
 کارتیسی، 4
 نکلی، 5
 محرک برقی دباؤ، 61
 محور، 161
 مخلوط عدد، 192
 مرحلی سمتیہ، 21، 186

یک سمتی رو
مشین، 241
یک مرحلہ، 23
یک مرحلہ برقی دباؤ، 94
یک مرحلہ برقی رو، 94
یولر مساوات، 21

ویبر-چکر، 39
ہچکچاہٹ، 25، 30
ہم قدم، 69
ہیجان، 61
بیرونی، 251
خود، 251
لچھا، 61
ہیجان انگیز
برقی دباؤ، 61
برقی رو، 61
ہیجان انگیز برقی رو، 60
ہیجانی برقی دباؤ، 185