

برقی آلات

خالد خان یوسفزئی

جامعہ کامیٹ، اسلام آباد

khalidyoufazai@comsats.edu.pk

عنوان

ix

دیباچہ

1	بنیادی حقائق	1
1	1.1 بنیادی اکائیاں	1
1	1.2 غیر سمتی	1
2	1.3 سمتیہ	2
3	1.4 محدود	3
3	1.4.1 کارتیسی محدودی نظام	3
5	1.4.2 تکلی محدودی نظام	5
7	1.5 سمتیہ رقبہ	7
9	1.6 رقبہ عمودی تراش	9
10	1.7 برقی اور مقناطیسی میدان	10
10	1.7.1 برقی میدان اور برقی میدان کی شدت	10
11	1.7.2 مقناطیسی میدان اور مقناطیسی میدان کی شدت	11

11	سطحی اور حجمی کشافت	1.8
11	سطحی کشافت	1.8.1
12	حجمی کشافت	1.9
13	صلیبی ضرب اور ضرب نقطہ	1.10
13	صلیبی ضرب	1.10.1
15	نقطی ضرب	1.10.2
18	تفرق اور جزوی تفرق	1.11
18	خطی مکمل	1.12
19	سطحی مکمل	1.13
20	مرحلی سمتیہ	1.14
25	مقناطیسی ادوار	2
25	مزامت اور پچکاپاٹ	2.1
26	کشافتِ برقی رد اور برقی میدان کی شدت	2.2
28	برقی ادوار	2.3
30	مقناطیسی دور حصہ اول	2.4
32	کشافتِ مقناطیسی بہا اور مقناطیسی میدان کی شدت	2.5
34	مقناطیسی دور حصہ دوم	2.6
38	خود امالہ، مشترکہ امالہ اور توانائی	2.7
45	مقناطیسی مادہ کے خواص	2.8
49	بیجان شدہ لچھا	2.9

55	3	ٹرانسفارمر
56	3.1	ٹرانسفارمر کی اہمیت
59	3.2	ٹرانسفارمر کے اقسام
59	3.3	امالی برقی دباؤ
61	3.4	ہیجان انگیز برقی رد اور قابلی ضیاع
64	3.5	تبادلہ برقی دباؤ اور تبادلہ برقی رو کے خصوصیات
68	3.6	ثانوی جانب بوجھ کا ابتدائی جانب اثر
69	3.7	ٹرانسفارمر کی علامت پر نقطوں کا مطلب
69	3.8	رکاوٹ کا تبادلہ
74	3.9	ٹرانسفارمر کے وولٹ-امپیر
76	3.10	ٹرانسفارمر کے امالہ اور اس کے مساوی دور
76	3.10.1	لچھے کی مزاحمت اور اس کی متعاملہ علیحدہ کرنا
77	3.10.2	رستا امالہ
78	3.10.3	ثانوی برقی رد اور قالب کے اثرات
80	3.10.4	ثانوی لچھے کی امالی برقی دباؤ
81	3.10.5	ثانوی لچھے کی مزاحمت اور متعاملہ کے اثرات
81	3.10.6	رکاوٹ کا ابتدائی یا ثانوی جانب تبادلہ
84	3.10.7	ٹرانسفارمر کے سادہ ترین مساوی دور
85	3.11	کھلے دور معائنہ اور کسر دور معائنہ
86	3.11.1	کھلے دور معائنہ
88	3.11.2	کسر دور معائنہ
92	3.12	تین مرحلہ ٹرانسفارمر
99	3.13	ٹرانسفارمر چالو کرتے لمحہ زیادہ محرکی برقی رو کا گزر

101	4	برقی اور میکانیکی توانائی کا باہمی تبادلہ
101	4.1	مقتناطیسی نظام میں قوت اور قوت مروڑ
107	4.2	تبادلہ توانائی والا ایک لچھے کا نظام
113	4.3	توانائی اور ہمہ توانائی
117	4.4	متعدد لچھوں کا مقتناطیسی نظام
125	5	گھومتے مشین کے بنیادی اصول
125	5.1	قانون فیراڈے
126	5.2	معاصر مشین
136	5.3	محرک برقی دباؤ
140	5.4	پھیلے لچھے اور سائن نما مقتناطیسی دباؤ
141	5.4.1	بدلتی رو والے مشین
149	5.5	مقتناطیسی دباؤ کی گھومتی موجیں
150	5.5.1	ایک دور کی لپٹی مشین
151	5.5.2	تین دور کی لپٹی مشین کا تحلیلی تجزیہ
156	5.5.3	تین دور کی لپٹی مشین کا تریسی تجزیہ
159	5.6	محرک برقی دباؤ
159	5.6.1	بدلتی رو برقی ہزریٹر
164	5.6.2	یک سمتی رو برقی ہزریٹر
165	5.7	ہموار قطب مشینوں میں قوت مروڑ
166	5.7.1	توانائی کے طریقے سے میکانیکی قوت مروڑ کا حساب
168	5.7.2	مقتناطیسی بہاؤ سے میکانیکی قوت مروڑ کا حساب

175	6 یکساں حال، برقرار چالو معاصر مشین
176	6.1 متعدد مرحلہ معاصر مشین
179	6.2 معاصر مشین کے امالہ
180	6.2.1 خود امالہ
181	6.2.2 مشترکہ امالہ
183	6.2.3 معاصر امالہ
185	6.3 معاصر مشین کا مساوی دور یا ریاضی نمونہ
187	6.4 برقی طاقت کی منتقلی
192	6.5 یکساں حال، برقرار چالو مشین کے خصوصیات
192	6.5.1 معاصر جزیئر: برقی بوجھ بالمتقابل I_m کے خطوط
193	6.5.2 معاصر موٹر: I_a بالمتقابل I_m کے خط
195	6.6 کھلے دور اور کسر دور معائنہ
195	6.6.1 کھلے دور معائنہ
196	6.6.2 کسر دور معائنہ

- 7.1 ساکن لچھوں کی گھومتی مقناطیسی موج 208
- 7.2 مشین کی سرکے اور گھومتی موجوں پر تبصرہ 208
- 7.3 ساکن لچھوں میں امالی برقی دباؤ 211
- 7.4 ساکن لچھوں کی موج کا گھومتے لچھوں کے ساتھ اضافی رفتار اور ان میں پیدا امالی برقی دباؤ 211
- 7.5 گھومتے لچھوں کی گھومتی مقناطیسی دباؤ کی موج 215
- 7.6 گھومتے لچھوں کے مساوی فرضی ساکن لچھے 216
- 7.7 امالی موٹر کا مساوی برقی دور 217
- 7.8 مساوی برقی دور پر غور 222
- 7.9 امالی موٹر کا مساوی تھون دور یا ریاضی نمونہ 226
- 7.10 پنجرانما امالی موٹر 232
- 7.11 بے بوجھ موٹر اور جامد موٹر کے معائنہ 233
- 7.11.1 بے بوجھ موٹر کا معائنہ 233
- 7.11.2 جامد موٹر کا معائنہ 235

- 8.1 میکانی سمت کار کی بنیادی کارکردگی 241
- 8.1.1 میکانی سمت کار کی تفصیل 243
- 8.2 یک سمتی جزیر کی برقی دباؤ 247
- 8.3 قوت مروڑ 249
- 8.4 بیرونی پیمان اور خود پیمان یک سمتی جزیر 251
- 8.5 یک سمتی مشین کی کارکردگی کے خط 255
- 8.5.1 حاصل برقی دباؤ بالمتقابل برقی بوجھ 255
- 8.5.2 رفتار بالمتقابل قوت مروڑ 257

باب 2

مقناطیسی ادوار

2.1 مزاحمت اور ہچکچاہٹ

شکل 2.1 میں ایک سلاخ دکھائی گئی ہے جس کی لمبائی کے رخ مزاحمت¹

$$(2.1) \quad R = \frac{l}{\sigma A}$$

ہوگی جہاں σ موصلیت² اور $A = wh$ رقبہ عمودی تراش ہے۔ اس سلاخ کی ہچکچاہٹ³ \Re درج ذیل ہے جہاں μ



شکل 2.1: مزاحمت اور ہچکچاہٹ

resistance¹
conductivity²

مقناطیسی مستقل⁴ کہلاتا ہے۔

$$(2.2) \quad \mathfrak{R} = \frac{l}{\mu A}$$

مقناطیسی مستقل μ کو عموماً خلاء کی مقناطیسی مستقل $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \frac{\text{H}}{\text{m}}$ کی نسبت سے لکھا جاتا ہے یعنی

$$(2.3) \quad \mu = \mu_r \mu_0$$

جہاں μ_r جو مقناطیسی مستقل کہلاتا ہے۔ ہیکچاہٹ کی اکائی ایمپیئر-پکرفیویر ہے جس کی وضاحت جلد کی جائے گی۔

مثال 2.1: شکل 2.1 میں دی گئی سلاخ کی ہیکچاہٹ معلوم کریں جہاں $\mu_r = 2000$ ، $l = 10 \text{ cm}$ ، $h = 3 \text{ cm}$ اور $w = 2.5 \text{ cm}$ ہیں۔

حل:

$$\begin{aligned} \mathfrak{R} &= \frac{l}{\mu_r \mu_0 A} \\ &= \frac{10 \times 10^{-2}}{2000 \times 4\pi \times 10^{-7} \times 2.5 \times 10^{-2} \times 3 \times 10^{-2}} \\ &= 53\,044 \text{ A} \cdot \text{turns/Wb} \end{aligned}$$

□

2.2 کثافتِ برقی رواور برقی میدان کی شدت

شکل 2.2 میں ایک موصل سلاخ کے سروں پر برقی دباؤ v لاگو کیا گیا ہے۔ سلاخ میں برقی رو i اوہم کے قانون⁵ سے حاصل ہوگی۔

$$(2.4) \quad i = \frac{v}{R}$$

³ reluctance
⁴ permeability, magnetic constant
⁵ Ohm's law



$$R = \frac{l}{\sigma A}$$

$$i = \frac{v}{R} = v \left(\frac{\sigma A}{l} \right)$$

$$\frac{i}{A} = \sigma \frac{v}{l}$$

$$J = \sigma E$$

شکل 2.2: کثافت برقی رد اور برقی دباؤ کی شدت

درج بالا مساوات کو مساوات 2.1 کی مدد سے

$$(2.5) \quad i = v \left(\frac{\sigma A}{l} \right)$$

یعنی

$$(2.6) \quad \frac{i}{A} = \sigma \left(\frac{v}{l} \right)$$

یا

$$(2.7) \quad J = \sigma E$$

لکھا جاسکتا ہے جہاں J اور E کی تعریفات درج ذیل ہیں۔

$$(2.8) \quad J = \frac{i}{A}$$

$$(2.9) \quad E = \frac{v}{l}$$

شکل 2.2 میں سمتیہ J کی مطلق قیمت J اور سمتیہ E کی مطلق قیمت E لیتے ہوئے مساوات 2.7 کو درج ذیل لکھا جاسکتا ہے

$$(2.10) \quad J = \sigma E$$

جو قانون اوہم کی دوسری روپ ہے۔ J اور E دونوں کا رخ a_y ہے۔

شکل 2.2 سے ظاہر ہے کہ برقی رو i سلاخ کی رقبہ عمودی تراش A سے گزرتی ہے لہذا مساوات 2.8 کے تحت J ، کثافت برقی رو⁶ ہو گی۔ اسی طرح مساوات 2.9 سے واضح ہے کہ E برقی دباؤ فی اکائی لمبائی کو ظاہر کرتی ہے لہذا E کو برقی میدان⁷ کہتے ہیں⁷ یا (جہاں متن سے مقناطیسی میدان واضح ہو) مختصراً میدان⁸ کہتے ہیں۔

بالکل اسی طرح کی مساواتیں مقناطیسی متغیرات کے لئے حصہ 2.5 میں لکھی جائیں گی۔

2.3 برقی ادوار

برقی دور میں برقی دباؤ⁸ v کی وجہ سے برقی رو¹⁰ i پیدا ہوتی ہے۔ تانبا¹² کی موصلیت $\sigma = 5.9 \times 10^7 \frac{\text{S}}{\text{m}}$ ہے جو بہت بڑی مقدار ہے۔ موصلیت کی اکائی $\frac{\text{S}}{\text{m}}$ ہے۔ تانبا کی موصلیت کی مقدار بہت بڑی ہونے کی بنا اس سے بنی تار کی مزاحمت¹³ $R_{\text{ہر}}$ عموماً قابل نظر انداز ہو گی۔ تار میں برقی رو i گزرنے سے تار کے سروں کے بیچ برقی دباؤ $\Delta v = i R_{\text{ہر}}$ پیدا ہو گا جس کو $0 \rightarrow R_{\text{ہر}}$ کی بنا نظر انداز کیا جاسکتا ہے۔ یوں تانبے کی تار میں برقی دباؤ کے گھٹاؤ کو رد کیا جاسکتا ہے یعنی $\Delta v \rightarrow 0$ لے سکتے ہیں۔

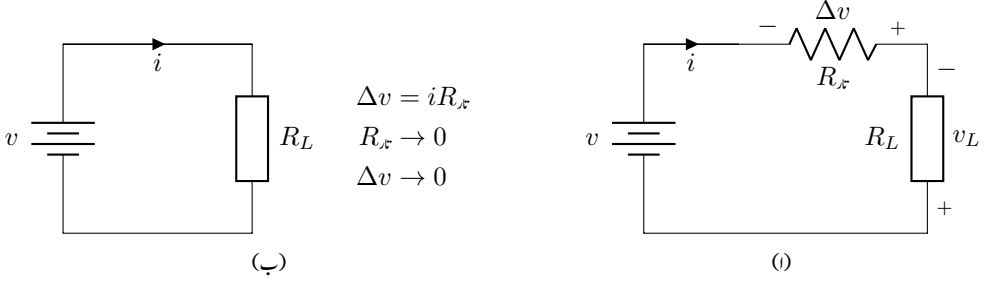
شکل 2.3-الف میں ایک ایسا ہی برقی دور دکھایا گیا ہے جس میں تانبے کی تار کی مزاحمت کو اکٹھے کر کے ایک ہی جگہ $R_{\text{ہر}}$ دکھایا گیا ہے۔ اس دور کے لئے درج ذیل لکھا جاسکتا ہے۔

$$(2.11) \quad v = \Delta v + v_L$$

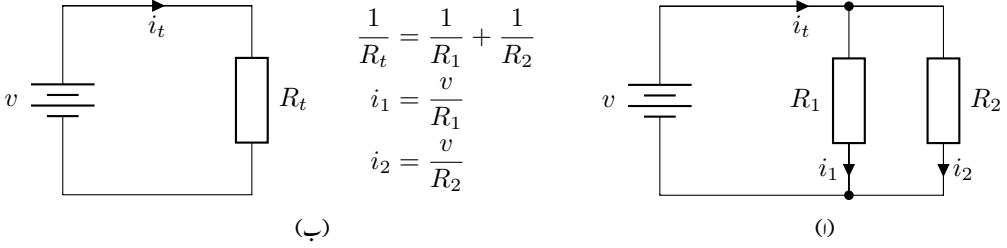
تار میں برقی گھٹاؤ Δv نظر انداز کرتے ہوئے

$$(2.12) \quad v = v_L$$

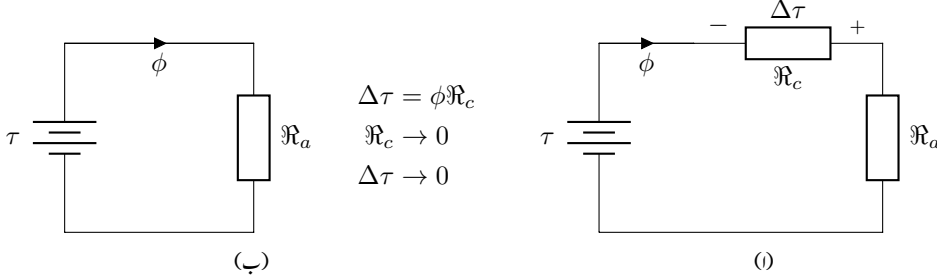
حاصل ہوتا ہے۔ اس کا مطلب ہوا کہ تار میں برقی دباؤ کا گھٹاؤ قابل نظر انداز ہونے کی صورت میں لاگو برقی دباؤ جوں کا توں مزاحمت R_L تک پہنچتا ہے۔ برقی ادوار حل کرتے ہوئے یہی حقیقت بروئے کار لاتے ہوئے تار میں برقی دباؤ کے گھٹاؤ کو نظر انداز کیا جاتا ہے۔ شکل 2.3-الف میں ایسا کرنے سے شکل 2.3-ب حاصل ہوتا ہے۔ یہاں یہ سمجھ لینا ضروری ہے کہ برقی تار کو اس غرض سے استعمال کیا جاتا ہے کہ لاگو برقی دباؤ کو مقام استعمال تک بغیر گھٹائے پہنچایا جائے۔



شکل 2.3: برقی ادوار میں برقی تار کی مزاحمت کو نظر انداز کیا جاسکتا ہے۔



شکل 2.4: کم مزاحمتی راہ میں برقی رو کی مقدار زیادہ ہوگی۔



شکل 2.5: مقناطیسی دور

شکل 2.4 میں دوسری مثال دی گئی ہے۔ یہاں ہم دیکھتے ہیں کہ برقی رو اس راہ زیادہ ہوگی جس کی مزاحمت کم ہو۔ یوں $R_1 < R_2$ کی صورت میں $i_1 > i_2$ ہو گا۔

2.4 مقناطیسی دور حصہ اول

مقناطیسی ادوار بالکل برقی ادوار کی طرح ہوتے ہیں۔ بس ان میں برقی دباؤ v کی جگہ مقناطیسی دباؤ τ ¹⁴، برقی رو i کی جگہ مقناطیسی بہاؤ ϕ ¹⁵ اور مزاحمت R کی جگہ ہچکچاہٹ \mathcal{R} ¹⁶ پائے جاتے ہیں۔ یوں بالکل برقی ادوار کی طرح مقناطیسی ادوار بنائے جاسکتے ہیں۔ ایسا ایک مقناطیسی دور شکل 2.5-الف میں دکھایا گیا ہے۔ یہاں بھی کوشش یہی ہے کہ مقناطیسی دباؤ τ بغیر گھٹائے ہچکچاہٹ \mathcal{R}_a تک پہنچائی جائے۔ عموماً \mathcal{R}_a خلائی درز کی اور \mathcal{R}_c مقناطیسی قالب کی ہچکچاہٹ ہوتی ہے۔ یوں \mathcal{R}_c قابل نظر انداز ہونے کی صورت میں شکل 2.5-ب حاصل ہو گا جس میں مقناطیسی بہاؤ ϕ ، بالکل اوہم کے قانون کی طرح، درج ذیل مساوات سے حاصل ہو گا۔

$$(2.13) \quad \tau = \phi \mathcal{R}_a$$

⁶ current density⁷ electric field intensity⁸ electric voltage⁹ برقی دباؤ کی اکائی ولٹ ہے جو الٹی کے ایسا نذر دودل کے نام ہے جنہوں نے برقی تیزی ایجاد کی۔¹⁰ electric current¹¹ برقی رو کی اکائی ایمپیئر ہے جو فرانس کے انڈر میر ایمپیئر کے نام ہے جن کا برقی و مقناطیسی میدان میں اہم کردار ہے۔¹² copper¹³ مزاحمت کی اکائی اوہم ہے جو جرمنی کے جارج سائنن اوہم کے نام ہے جنہوں نے قانون اوہم دریافت کیا۔¹⁴ magnetomotive force, mmf¹⁵ flux¹⁶ reluctance

جہاں \mathcal{R}_c قابل نظر انداز ہو وہاں، سلسلہ وار مزاحمتوں کی طرح، دو سلسلہ وار ہچکچاہٹوں کا مجموعی ہچکچاہٹ \mathcal{R}_s استعمال کر کے برقی رو حاصل ہوگی۔

$$(2.14) \quad \mathcal{R}_s = \mathcal{R}_a + \mathcal{R}_c$$

$$(2.15) \quad \tau = \phi \mathcal{R}_s$$

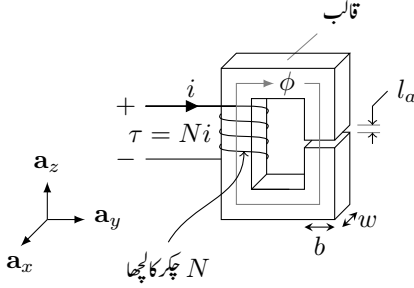
برقی دور کی طرح، مفت طیسی دباؤ کو کم ہچکچاہٹ کی راہ استعمال کرتے ہوئے مقام ضرورت تک پہنچایا جاتا ہے۔ مساوات 2.2 کے تحت ہچکچاہٹ کی قیمت مفت طیسی مستقل μ پر منحصر ہے۔ مفت طیسی مستقل کی اکائی ہینری فی میٹر $\frac{H}{m}$ ہے۔ μ کو عموماً $\mu = \mu_r \mu_0$ لکھا جاتا ہے جہاں $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ ہینری فی میٹر کے برابر ہے اور μ_r کو جو مفت طیسی مستقل¹⁷ کہتے ہیں۔ لوہا، کچھ دھاتیں اور چند جدید مصنوعی مواد ایسی ہیں جن کی μ_r کی قیمت 2000 اور 80 000 کے بیچ پائی جاتی ہیں۔ مفت طیسی دباؤ کو ایک جگہ سے دوسری جگہ منتقل کرنے کے لئے ان ہی مفت طیسی مواد کو استعمال کیا جاتا ہے۔

بد قسمتی سے مفت طیسی مواد کے μ کی قیمت اتنی زیادہ نہیں ہوتی ہے کہ ان سے بنی سلاخ کی ہچکچاہٹ ہر موقع پر قابل نظر انداز ہو۔ مساوات 2.2 کے تحت ہچکچاہٹ کم سے کم کرنے کی خاطر رقبہ عمودی تراش کو زیادہ سے زیادہ اور لمبائی کو کم سے کم کرنا ہو گا۔ یوں مفت طیسی دباؤ منتقل کرنے کے لئے باریک تار نہیں بلکہ خاصا زیادہ رقبہ عمودی تراش کا مفت طیسی راستہ درکار ہوتا ہے۔

مفت طیسی مشین، مثلاً موٹر اور ٹرانسفارمر، کا بیشتر حصہ مفت طیسی دباؤ منتقل کرنے والے ان مفت طیسی مواد پر مشتمل ہوتا ہے۔ ایسے مشینوں کے قلب میں عموماً یہی مفت طیسی مادہ پایا جاتا ہے لہذا ایسا مواد مفت طیسی قالب¹⁸ کہلاتا ہے (شکل 2.6)۔

برقی مشینوں میں مستعمل مفت طیسی قالب لوہے کی باریک چادر یا پتري¹⁹ تہہ در تہہ رکھ کر بنائی جاتی ہے۔ مفت طیسی قالب کے بارے میں مزید معلومات حصہ 2.8 میں فراہم کی جائے گی۔

¹⁷relative permeability, relative magnetic constant
¹⁸magnetic core
¹⁹laminations



$$H_a = \frac{\tau}{l_a} \quad B_a = \frac{\phi_a}{A_a}$$

$$l_a \ll w$$

$$l_a \ll b$$

شکل 2.6: کثافتِ مقناطیسی بہا اور مقناطیسی میدان کی شدت۔

2.5 کثافتِ مقناطیسی بہا اور مقناطیسی میدان کی شدت

حصہ 2.2 میں برقی دور کی مثال دی گئی۔ یہاں شکل 2.6 میں دکھائے گئے مقناطیسی دور پر غور کرتے ہیں۔ مقناطیسی قالب کی $\mu_r = \infty$ تصور کرتے ہوئے آگے بڑھتے ہیں۔ یوں قالب کی ہچکچاہٹ \mathcal{R}_c صفر ہو گی۔ حصہ 2.2 میں تانبا کی تار کی طرح یہاں مقناطیسی قالب کو مقناطیسی دباؤ τ ایک مقام سے دوسری مقام تک منتقل کرنے کے لئے استعمال کیا گیا ہے۔ شکل 2.6 میں مقناطیسی دباؤ کو خلائی درز کی ہچکچاہٹ \mathcal{R}_a تک پہنچایا گیا ہے۔ یہاں \mathcal{R}_c کو نظر انداز کرتے ہوئے کل ہچکچاہٹ کو خلائی درز کی ہچکچاہٹ کے برابر تصور کیا جاسکتا ہے:

$$(2.16) \quad \mathcal{R}_a = \frac{l_a}{\mu_0 A_a}$$

خلائی درز کی لمبائی l_a قالب کے رقبہ عمودی تراش کے اضلاع b اور w سے بہت کم ہونے کی صورت میں، یعنی $l_a \ll w$ اور $l_a \ll b$ ، خلائی درز کے رقبہ عمودی تراش A_a کو قالب کے رقبہ عمودی تراش \mathcal{R}_c کے برابر تصور کیا جاسکتا ہے:

$$(2.17) \quad A_a = A_c = wb$$

اس کتاب میں جہاں بتلایا نہ گیا ہو وہاں $l_a \ll w$ اور $l_a \ll b$ تصور کرتے ہوئے $A_a = A_c$ لیا جائے گا۔

مقناطیسی دباؤ τ کی تعریف درج ذیل مساوات پیش کرتی ہے۔

$$(2.18) \quad \tau = Ni$$

یوں برقی تار کے چکر ضرب تار میں برقی رو کو مقناطیسی دباؤ کہتے ہیں۔ مقناطیسی دباؤ کی اکائی ایمپیئر-چکر²⁰ ہے۔ حصہ 2.2 کی طرح ہم مساوات 2.15 کو یوں لکھ سکتے ہیں۔

$$(2.19) \quad \phi_a = \frac{\tau}{\mathcal{R}_a}$$

مقناطیسی بہاؤ کی اکائی²¹ ویبر²² اور ہچکچا ہٹ کی اکائی ایمپیئر-چکر فی ویبر²³ ہے۔ اس سلسلہ وار دور کے خلائی درز میں مقناطیسی بہاؤ ϕ_a اور قالب میں مقناطیسی بہاؤ ϕ_c ایک دوسرے کے برابر ہوں گے۔ درج بالا مساوات کو مساوات 2.2 کی مدد سے

$$\phi_a = \tau \left(\frac{\mu_0 A_a}{l_a} \right)$$

یا

$$(2.20) \quad \frac{\phi_a}{A_a} = \mu_0 \left(\frac{\tau}{l_a} \right)$$

لکھ سکتے ہیں جہاں درز کی نشاندہی زیر نوشت میں a لکھ کر کی گئی ہے۔ اس مساوات میں بائیں ہاتھ مقناطیسی بہاؤ فی اکائی رقبہ کو کثافتِ مقناطیسی بہاؤ²⁴ B_a اور دائیں ہاتھ مقناطیسی دباؤ فی اکائی لمبائی کو مقناطیسی میدان²⁵ کے شدت²⁵ H_a لکھا جا سکتا ہے:

$$(2.21) \quad B_a = \frac{\phi_a}{A_a}$$

$$(2.22) \quad H_a = \frac{\tau}{l_a}$$

کثافتِ مقناطیسی بہاؤ کی اکائی ویبر فی مربع میٹر ہے جس کو ٹسلا²⁶ کا نام دیا گیا ہے۔ مقناطیسی میدان کی شدت کی اکائی ایمپیئر فی میٹر²⁷ ہے۔ یوں مساوات 2.20 کو درج ذیل لکھا جا سکتا ہے۔

$$(2.23) \quad B_a = \mu_0 H_a$$

جہاں متن سے واضح ہو کہ مقناطیسی میدان کی بات ہو رہی ہے وہاں مقناطیسی میدان کی شدت کو مختصراً میدان²⁸ کے شدت کہا جاتا ہے۔

²⁰ ampere-turn

²¹ Weber

²² یہ اکائی جرمنی کے ولیم اڈورڈ ویبر کے نام ہے جن کا برقی و مقناطیسی میدان میں اہم کردار رہا ہے

²³ ampere-turn per weber

²⁴ magnetic flux density

²⁵ magnetic field intensity

²⁶ Tesla: یہ اکائی سربیا کے نیکولا ٹسلا کے نام ہے جنہوں نے برقی رو برقی طاقت عام کرنے میں اہم کردار ادا کیا۔

²⁷ ampere per meter

²⁸ field intensity

شکل 2.6 میں خلائی درز میں مقناطیسی بہاو کا رخ اکائی سمتیہ a_z کا مخالف ہے لہذا کثافتِ مقناطیسی بہاو $B_a = -B_a a_z$ لکھا جاسکتا ہے۔ اسی طرح خلائی درز میں مقناطیسی دباؤ اکائی سمتیہ a_z کی مخالف رخ دباؤ ڈال رہا ہے لہذا مقناطیسی دباؤ کی شدت $H_a = -H_a a_z$ جائے گی۔ اس طرح درج بالا مساوات کو درج ذیل سمتی روپ میں لکھا جاسکتا ہے۔

$$(2.24) \quad B_a = \mu_0 H_a$$

خلاء کی جگہ کوئی دوسرا مادہ ہونے کی صورت میں یہ مساوات درج ذیل لکھی جائے گی۔

$$(2.25) \quad B = \mu H$$

مثال 2.2: شکل 2.6 میں خلائی درز میں کثافتِ مقناطیسی بہاو 0.1 ٹسلا درکار ہے۔ قالب کی $\mu_r = \infty$ ہے، خلائی درز کی لمبائی 1 ملی میٹر اور قالب کے گرد برقی تار کے چکر 100 ہیں۔ درکار برقی رو i تلاش کریں۔
حل: مساوات 2.13 سے

$$\begin{aligned} \tau &= \phi \Re \\ Ni &= \phi \left(\frac{l}{\mu_0 A} \right) \\ \frac{\phi}{A} &= B = \frac{Ni\mu_0}{l} \end{aligned}$$

لکھ کر درج ذیل حاصل ہو گا۔

$$\begin{aligned} 0.1 &= \frac{100 \times i \times 4\pi 10^{-7}}{0.001} \\ i &= \frac{0.1 \times 0.001}{100 \times 4\pi 10^{-7}} = 0.79567 \text{ A} \end{aligned}$$

□

$i = 0.79567 \text{ A}$ برقی رو خلائی درز میں $B = 0.1 \text{ T}$ کثافتِ مقناطیسی بہاو پیدا کرے گا۔

2.6 مقناطیسی دور حصہ دوم

شکل 2.7 میں ایک سادہ مقناطیسی نظام دکھایا گیا ہے جس میں قالب کے مقناطیسی مستقل کو محدود تصور کرتے ہیں۔ مقناطیسی دباؤ $\tau = Ni$ مقناطیسی قالب میں مقناطیسی بہاو ϕ_c پیدا کرتا ہے۔ قالب کا رقبہ عمودی تراش A_c ہر



شکل 2.7: سادہ مقناطیسی دور۔

مقام پر یکساں ہے اور قالب کی اوسط لمبائی l_c ہے۔ قالب میں مقناطیسی بہاو کا رخ فلیمنگ کے دایاں ہاتھ قانون²⁹ کے دائیں ہاتھ کے قانون سے معلوم کیا جاسکتا ہے۔ اس قانون کو دو طریقوں سے بیان کیا جاسکتا ہے۔

- اگر ایک لچھے کو دائیں ہاتھ سے یوں پکڑا جائے کہ ہاتھ کی چار انگلیاں لچھے میں برقی رو کے رخ لپٹی ہوں تب انگوٹھا اُس مقناطیسی بہاو کے رخ ہو گا جو اس برقی رو کی وجہ سے وجود میں آیا ہو۔
- اگر ایک تار جس میں برقی رو کا گزر ہو کو دائیں ہاتھ سے یوں پکڑا جائے کہ انگوٹھا برقی رو کے رخ ہو تب باقی چار انگلیاں اُس مقناطیسی بہاو کے رخ لپٹی ہوں گی جو اس برقی رو کی وجہ سے پیدا ہو گا۔

ان دو بیانات میں پہلا بیان لچھے میں مقناطیسی بہاو کا رخ معلوم کرنے کے لئے زیادہ آسان ثابت ہوتا ہے جبکہ سیدھی تار کے گرد مقناطیسی بہاو کا رخ دوسرے بیان سے زیادہ آسانی سے معلوم کیا جاسکتا ہے۔

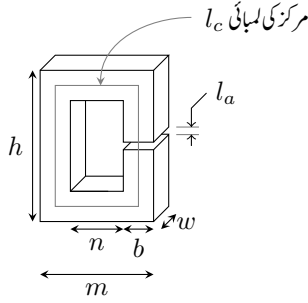
قالب میں مقناطیسی بہاو گھڑی کے رخ ہے۔ مقناطیسی بہاو ϕ کو شکل 2.7 میں ہلکی سیاہی کے تیر دار لکیر سے ظاہر کیا گیا ہے۔ قالب کی ہچکچاہٹ

$$\mathcal{R}_c = \frac{l_c}{\mu_c A_c}$$

لکھتے ہوئے مقناطیسی بہاو

$$\phi_c = \frac{\tau}{\mathcal{R}_c} = Ni \left(\frac{\mu_c A_c}{l_c} \right)$$

²⁹Fleming's right hand rule



$$\begin{aligned} A_a &= A_c = bw \\ b &= \frac{m - n}{2} \\ l_c &= 2(h + n) - l_a \end{aligned}$$

شکل 2.8: خلائی درز اور قالب کے ہچکچاہٹ۔

ہو گا۔ یوں تمام نا معلوم متغیرات حاصل ہو چکے۔

مثال 2.3: شکل 2.8 میں ایک مقناطیسی قالب دکھایا گیا ہے جس کی معلومات درج ذیل ہیں۔

$$(2.26) \quad \text{قالب} = \begin{cases} h = 20 \text{ cm} & m = 10 \text{ cm} \\ n = 8 \text{ cm} & w = 2 \text{ cm} \\ l_a = 1 \text{ mm} & \mu_r = 40\,000 \end{cases}$$

قالب اور خلائی درز کی ہچکچاہٹیں تلاش کریں۔

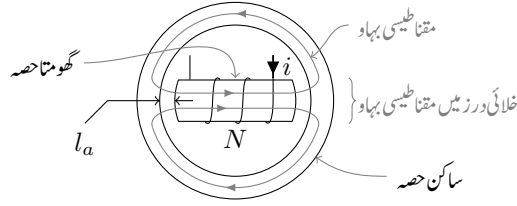
حل:

$$\begin{aligned} b &= \frac{m - n}{2} = \frac{0.1 - 0.08}{2} = 0.01 \text{ m} \\ A_a &= A_c = bw = 0.01 \times 0.02 = 0.0002 \text{ m}^2 \\ l_c &= 2(h + n) - l_a = 2(0.2 + 0.08) - 0.001 = 0.559 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mathcal{R}_c &= \frac{l_c}{\mu_r \mu_0 A_c} = \frac{0.559}{40000 \times 4\pi 10^{-7} \times 0.0002} = 55\,598 \text{ A} \cdot \text{t/Wb} \\ \mathcal{R}_a &= \frac{l_a}{\mu_0 A_a} = \frac{0.001}{4\pi 10^{-7} \times 0.0002} = 3\,978\,358 \text{ A} \cdot \text{t/Wb} \end{aligned}$$

قالب کی لمبائی خلائی درز کی لمبائی سے 559 گنا زیادہ ہونے کے باوجود خلائی درز کی ہچکچاہٹ قالب کی ہچکچاہٹ سے 71 گنا زیادہ ہے۔ یوں $\mathcal{R}_a \gg \mathcal{R}_c$ ہو گا۔

□



شکل 2.9: سادہ گھومنے والا مشین

مثال 2.4: شکل 2.9 سے رجوع کریں۔ خلائی درز 5 ملی میٹر لمبا ہے اور گھومتے حصہ پر 1000 چکر ہیں۔ خلائی درز میں 0.95 T کثافتِ برقی بہاؤ حاصل کرنے کی خاطر درکار برقی رو معلوم کریں۔

حل: اس شکل میں گھومتے مشین، مثلاً موٹر، کی ایک سادہ صورت دکھائی گئی ہے۔ ایسی مشینوں کا بیرونی حصہ ساکن رہتا ہے لہذا اس حصے کو مشین کا ساکن حصہ³⁰ کہتے ہیں۔ ساکن حصے کے اندر مشین کا گھومتا حصہ پایا جاتا ہے لہذا اس حصے کو مشین کا گھومتا حصہ³¹ کہتے ہیں۔ اس مثال میں ان دونوں حصوں (قالب) کا $\mu_r = \infty$ تصور کیا گیا ہے لہذا ان کی ہچکچاہٹ صفر ہو گی۔ مقناطیسی بہاؤ کو ہلکی سیابی کی لکیر سے ظاہر کیا گیا ہے۔ مقناطیسی بہاؤ کی ایک مکمل چکر کے دوران مقناطیسی بہاؤ دو خلائی درزوں سے گزرتا ہے۔ یہ دو خلائی درز ہر لحاظ سے ایک دوسرے جیسے ہیں لہذا ان دونوں خلائی درز کی ہچکچاہٹ بھی ایک دوسرے کے برابر ہو گی۔ مزید دونوں خلائی درزوں کی ہچکچاہٹ سلسلہ وار ہیں۔ شکل 2.9 میں مقناطیسی بہاؤ کو گھومتے حصہ، ساکن حصہ اور دو خلائی درزوں سے گزرتا ہوا دکھایا گیا ہے۔ خلائی درز کی لمبائی l_a ، قالب کے رقبہ A_c کی اضلاع سے بہت کم ہے لہذا خلائی درز کا عمودی رقبہ تراش A_a گھومتے حصہ کے رقبہ تراش کے برابر تصور کیا جائے گا۔

یوں $A_a = A_c$ لیتے ہوئے ایک خلائی درز کی ہچکچاہٹ

$$\mathcal{R}_a = \frac{l_a}{\mu_0 A_a} = \frac{l_a}{\mu_0 A_c}$$

اور دو سلسلہ وار خلائی درزوں کی کل ہچکچاہٹ درج ذیل ہو گی۔

$$\mathcal{R}_s = \mathcal{R}_a + \mathcal{R}_a = \frac{2l_a}{\mu_0 A_c}$$

stator³⁰
rotor³¹

خلائی درز میں مقناطیسی بہاو ϕ_a اور کشافتِ مقناطیسی بہاو B_a درج ذیل ہوں گے۔

$$\phi_a = \frac{\tau}{\mathfrak{R}_s} = (Ni) \left(\frac{\mu_0 A_c}{2l_a} \right)$$

$$B_a = \frac{\phi_a}{A_a} = \frac{\mu_0 Ni}{2l_a}$$

دی گئی معلومات پر کرتے ہوئے درج ذیل حاصل ہو گا۔

$$0.95 = \frac{4\pi 10^{-7} \times 1000 \times i}{2 \times 0.005}$$

$$i = \frac{0.95 \times 2 \times 0.005}{4\pi 10^{-7} \times 1000} = 7.56 \text{ A}$$

□

روایتی موٹروں اور جزیٹروں کی خلاء میں تقریباً ایک ٹسلا کشافتِ برقی بہاو ہوتی ہے۔

2.7 خود امالہ، مشترکہ امالہ اور توانائی

مقناطیسی بہاو کی وقت کے ساتھ تبدیلی برقی دباؤ کو جنم دیتی ہے۔ لہذا شکل 2.10-1 کے قالب میں مقناطیسی بہاو ϕ کی تبدیل کی بنا لچھے میں برقی دباؤ e پیدا ہو گا جو لچھے کے سروں پر نمودار ہو گا۔ اس طرح پیدا ہونے والی برقی دباؤ کو امالہ برقی دباؤ³² کہتے ہیں۔ قانون فیروئے³³ کے تحت³⁴ درج ذیل ہو گا (جہاں دائیں ہاتھ منفی کی علامت نہیں لکھی گئی ہے چونکہ ہمیں صرف دباؤ کی مطلق قیمت سے غرض ہے)۔

$$(2.27) \quad e = N \frac{\partial \phi}{\partial t} = \frac{\partial \lambda}{\partial t}$$

امالی برقی دباؤ کو منبع برقی دباؤ تصور کریں۔

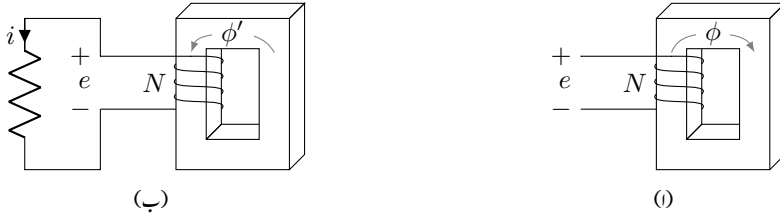
امالی برقی دباؤ کا رخ تعین کرنے کی خاطر لچھے کے سروں کو کمر دور³⁵ کریں۔ لچھے میں پیدا برقی رو اس رخ ہو گا جو مقناطیسی بہاو کی تبدیلی کو روکے۔

³² induced voltage

³³ Faraday's law

³⁴ ہاگل فیروئے انگلستانی سائنسدان تھے جنہوں نے محرک برقی دباؤ دریافت کی

³⁵ short circuit



شکل 2.10: قالب میں مقناطیسی بہاو کی تبدیلی لچھے میں برقی دباؤ پیدا کرتی ہے۔

فرض کریں شکل 2.10-1 میں بہاو ϕ گھڑی کی سوئیوں کے گھومنے کے رخ ہے اور بہاو کی مقدار بڑھ رہی ہے۔ بہاو کی تبدیلی کا مخالف بہاو ϕ' پیدا کرنے کی خاطر لچھے کا بالائی سر مثبت ہو گا۔ شکل 2.10-2 میں لچھے کے سروں کے سچے مزاحمت نسب کیا گیا ہے۔ لچھے کو منع دباؤ تصور کرتے ہوئے آپ دیکھ سکتے ہیں کہ مزاحمت میں رو کا رخ قالب میں گھڑی کے مخالف رخ بہاو ϕ' پیدا کرے گا۔

قالب میں مقناطیسی بہاو ϕ ، قالب پر لپیٹے گئے لچھے کے تمام پکڑوں N کے اندر سے گزرتا ہے۔ $N\phi$ کو لچھے کا ارتباط بہاو λ ³⁶ کہتے ہیں جس کی اکائی ویبر۔ پھر³⁷ ہے۔

$$\lambda = N\phi \quad (2.28)$$

جن مقناطیسی ادوار میں مقناطیسی مستقل μ کو اٹل مقدار تصور کیا جاسکے یا جن میں خلائی درز کی ہچکچاہٹ قالب کی ہچکچاہٹ سے بہت زیادہ ہو، $\mathcal{R}_a \gg \mathcal{R}_c$ ، ان میں لچھے کی امالہ L ³⁸ کی تعریف درج ذیل مساوات دیتی ہے۔

$$L = \frac{\lambda}{i} \quad (2.29)$$

امالہ کی اکائی ویبر۔ چکرنی انہیسیز ہے جس کو ہیزی³⁹ H کا نام⁴⁰ دیا گیا ہے۔ مساوات 2.29 میں $\lambda = N\phi$ ، $\phi = B_c A_c$ اور $\phi = \frac{Ni}{\mathcal{R}}$ پر کرتے ہوئے درج ذیل حاصل ہو گا

$$L = \frac{N\phi}{i} = \frac{NB_c A_c}{i} = \frac{N^2 \mu_0 A_a}{l_a} \quad (2.30)$$

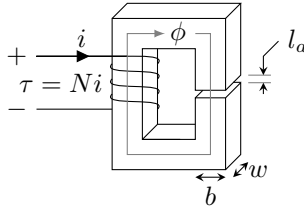
³⁶ flux linkage

³⁷ weber-turn

³⁸ inductance

³⁹ Henry

⁴⁰ امریکی سائنسدان جوزف ہیزی جنہوں نے مانگل فیروڈ سے علیحدہ طور پر محرک برقی دباؤ دریافت کی



شکل 2.11: امالہ (مثال 2.5)

جہاں قالب کا رقبہ عمودی تراش A_c اور درز کا رقبہ عمودی تراش A_a ایک دوسرے کے برابر لیے گئے ہیں۔

مثال 2.5: شکل 2.11 میں $b = 5 \text{ cm}$, $w = 4 \text{ cm}$, $l_a = 3 \text{ mm}$ جبکہ لچھے کے 1000 چکر اور قالب کی اوسط لمبائی $l_c = 30 \text{ cm}$ ہے۔ درج ذیل دو صورتوں میں لچھے کی امالہ تلاش کریں۔

• قالب کا $\mu_r = \infty$ ہے۔

• قالب کا $\mu_r = 500$ ہے۔

حل: (i) قالب کے $\mu_r = \infty$ کی بنا قالب کی ہچکچاہٹ قابل نظر انداز ہو گی لہذا امالہ درج ذیل ہو گا۔

$$\begin{aligned} L &= \frac{N^2 \mu_0 w b}{l_a} \\ &= \frac{1000^2 \times 4\pi \times 10^{-7} \times 0.04 \times 0.05}{0.003} \\ &= 0.838 \text{ H} \end{aligned}$$

(ب) $\mu_r = 500$ کی صورت میں قالب کی ہچکچاہٹ قابل نظر انداز نہیں ہو گی۔ خلاء اور قالب کی ہچکچاہٹ دریافت کرتے ہیں۔

$$\begin{aligned} \mathcal{R}_a &= \frac{l_a}{\mu_0 w b} = \frac{0.003}{4\pi \times 10^{-7} \times 0.04 \times 0.05} = 1193507 \text{ A} \cdot \text{t/Wb} \\ \mathcal{R}_c &= \frac{l_c}{\mu_r \mu_0 w b} = \frac{0.3}{500 \times 4\pi \times 10^{-7} \times 0.04 \times 0.05} = 238701 \text{ A} \cdot \text{t/Wb} \end{aligned}$$

یوں بہاؤ، ارتباط اور امالہ درج ذیل ہوں گے۔

$$\phi = \frac{Ni}{\mathfrak{R}_a + \mathfrak{R}_c}$$

$$\lambda = N\phi = \frac{N^2 i}{\mathfrak{R}_a + \mathfrak{R}_c}$$

$$L = \frac{\lambda}{i} = \frac{N^2}{\mathfrak{R}_a + \mathfrak{R}_c} = \frac{1000^2}{1\,193\,507 + 238\,701} = 0.698\text{ H}$$

□

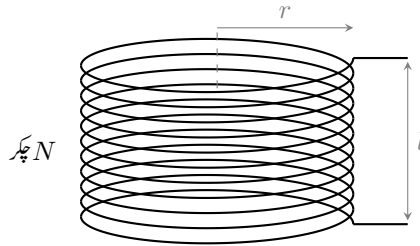
مثال 2.6: شکل 2.12 میں ایک پیچدار لچھا⁴¹ دکھایا گیا ہے جس کی جسامت درج ذیل ہے۔

$$N = 11, r = 0.49\text{ m}, l = 0.94\text{ m}$$

پیچدار لچھے کے اندر مقناطیسی بہاؤ ϕ کا بیشتر حصہ محوری رخ ہوتا ہے۔ لچھے کے باہر یہی بہاؤ پوری کائنات سے گزرتے ہوئے واپس لچھے میں داخل ہوتا ہے۔ چونکہ پوری کائنات کا رقبہ عمودی تراش A لامتناہی ہے لہذا لچھے کے باہر کشافیت مقناطیسی بہاؤ $B = \frac{\phi}{A}$ کی مقدار قابل نظر انداز ہوگی۔ لچھے کے اندر محوری رخ مقناطیسی شدت درج ذیل ہوگی۔

$$H = \frac{Ni}{l}$$

اس لچھے کی خود امالہ حاصل کریں۔



شکل 2.12: پیچدار لچھا

حل:

$$B = \mu_0 H = \frac{\mu_0 N i}{l}$$

$$\phi = B \pi r^2 = \frac{\mu_0 N i \pi r^2}{l}$$

$$\lambda = N \phi = \frac{\mu_0 N^2 i \pi r^2}{l}$$

$$L = \frac{\lambda}{i} = \frac{\mu_0 N^2 \pi r^2}{l}$$

N ، r اور l کی قیمتیں پر کرتے ہوئے درج ذیل امالہ حاصل ہو گا⁴²۔

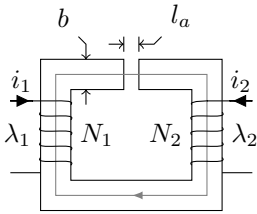
$$L = \frac{4\pi 10^{-7} \times 11^2 \times \pi \times 0.49^2}{0.94} = 122 \mu\text{H}$$

□

شکل 2.13 میں دو لچھوں کا ایک مقناطیسی دور دکھایا گیا ہے۔ ایک لچھے کے چکر N_1 اور اس میں برقی رو i_1 ہے، دوسرا لچھا N_2 چکر کا ہے اور اس میں برقی رو i_2 ہے۔ دونوں لچھوں میں مثبت برقی رو قالب میں ایک جیسے رخ مقناطیسی دباؤ پیدا کرتے ہیں۔ اگر قالب کا \mathcal{R}_c قابل نظر انداز ہو تب مقناطیسی بہاؤ ϕ درج ذیل ہو گا۔

$$(2.31) \quad \phi = (N_1 i_1 + N_2 i_2) \frac{\mu_0 A_a}{l_a}$$

دونوں لچھوں کا مجموعی مقناطیسی دباؤ، $N_1 i_1 + N_2 i_2$ ، مقناطیسی بہاؤ ϕ پیدا کرتا ہے۔ اس مقناطیسی بہاؤ کا پہلے لچھے



موٹائی = b

گہرائی = w

$$A_a = A_c = bw$$

$$\lambda_1 = N_1 \phi$$

$$\lambda_2 = N_2 \phi$$

$$\phi = \frac{N_1 i_1 + N_2 i_2}{\mathcal{R}_a + \mathcal{R}_c}$$

شکل 2.13: دو لچھے والا مقناطیسی دور۔

⁴² یہ چپواری لچھا میں نے 3000 گلوگرام لوہا پکھلانے والی بجلی میں استعمال کیا ہے۔

کے ساتھ ارتباط

$$(2.32) \quad \lambda_1 = N_1 \phi = N_1^2 \frac{\mu_0 A_a}{l_a} i_1 + N_1 N_2 \frac{\mu_0 A_a}{l_a} i_2$$

یعنی

$$(2.33) \quad \lambda_1 = L_{11} i_1 + L_{12} i_2$$

ہے جہاں L_{11} اور L_{12} سے مراد درج ذیل ہے۔

$$(2.34) \quad L_{11} = N_1^2 \frac{\mu_0 A_a}{l_a}$$

$$(2.35) \quad L_{12} = N_1 N_2 \frac{\mu_0 A_a}{l_a}$$

L_{11} پہلے لچھے کا خود امالہ⁴³ ہے اور $L_{11} i_1$ اس لچھے کے اپنے برقی رو i_1 سے پیدا مقناطیسی بہاؤ کے ساتھ ارتباط بہاؤ ہے جسے خود ارتباط بہاؤ⁴⁴ کہتے ہیں۔ L_{12} ان دونوں لچھوں کا مشترکہ امالہ⁴⁵ ہے اور $L_{12} i_2$ لچھا-1 کے ساتھ i_2 سے پیدا بہاؤ کے ساتھ ارتباط بہاؤ ہے جسے مشترکہ ارتباط بہاؤ⁴⁶ کہتے ہیں۔ بالکل اسی طرح ہم دوسرے لچھے کے لئے درج ذیل لکھ سکتے ہیں

$$(2.36) \quad \begin{aligned} \lambda_2 &= N_2 \phi = N_2 N_1 \frac{\mu_0 A_a}{l_a} i_1 + N_2^2 \frac{\mu_0 A_a}{l_a} i_2 \\ &= L_{21} i_1 + L_{22} i_2 \end{aligned}$$

جہاں L_{21} اور L_{22} سے مراد درج ذیل ہے۔

$$(2.37) \quad L_{22} = N_2^2 \frac{\mu_0 A_a}{l_a}$$

$$(2.38) \quad L_{21} = L_{12} = N_2 N_1 \frac{\mu_0 A_a}{l_a}$$

L_{22} لچھا-2 کا خود امالہ اور $L_{21} = L_{12}$ دونوں لچھوں کا مشترکہ امالہ ہے۔ امالہ کا تصور اس وقت کارآمد ہوتا ہے جب مقناطیسی مستقل μ کو اٹل تصور کرنا ممکن ہو۔

self inductance⁴³
self flux linkage⁴⁴
mutual inductance⁴⁵
mutual flux linkage⁴⁶

مساوات 2.29 کو مساوات 2.27 میں پر کرتے ہیں۔

$$(2.39) \quad e = \frac{\partial \lambda}{\partial t} = \frac{\partial (Li)}{\partial t}$$

اگر امالہ کی قیمت اٹل ہو، جیسا کہ ساکن مشینوں میں ہوتا ہے، تب ہمیں امالہ کی جانی پہچانی مساوات

$$(2.40) \quad e = L \frac{\partial i}{\partial t}$$

ملتی ہے۔ اگر امالہ بھی تبدیل ہو، جیسا کہ موٹروں اور جنریٹروں میں ہوتا ہے، تب درج ذیل ہو گا۔

$$(2.41) \quad e = L \frac{\partial i}{\partial t} + i \frac{\partial L}{\partial t}$$

توانائی⁴⁷ کی اکائی جاول⁴⁸ J⁴⁹ ہے اور طاقت⁵⁰ کی اکائی⁵¹ جاول فی سیکنڈ ہے جس کو واٹ⁵² W کا نام دیا گیا ہے۔

اس کتاب میں توانائی یا کام کو W سے ظاہر کیا جائے گا اگرچہ طاقت کی اکائی واٹ W کے لئے بھی یہی علامت استعمال ہوتی ہے۔ امید کی جاتی ہے کہ متن سے اصل مطلب جاننا ممکن ہو گا۔

وقت t کے ساتھ توانائی W کی تبدیلی کی شرح کو طاقت p کہتے ہیں۔ یوں درج ذیل لکھا جاسکتا ہے۔

$$(2.42) \quad p = \frac{dW}{dt} = ie = i \frac{d\lambda}{dt}$$

مقناطیسی دور میں لمحہ t₁ تا t₂ مقناطیسی توانائی کی تبدیلی کو مکمل کے ذریعہ حاصل کیا جاسکتا ہے:

$$(2.43) \quad \Delta W = \int_{t_1}^{t_2} p dt = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} i d\lambda$$

ایک لچھے کا مقناطیسی دور، جس میں امالہ کی قیمت اٹل ہو، کے لئے درج ذیل لکھا جاسکتا ہے۔

$$(2.44) \quad \Delta W = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} i d\lambda = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \frac{\lambda}{L} d\lambda = \frac{1}{2L} (\lambda_2^2 - \lambda_1^2)$$

⁴⁷energy

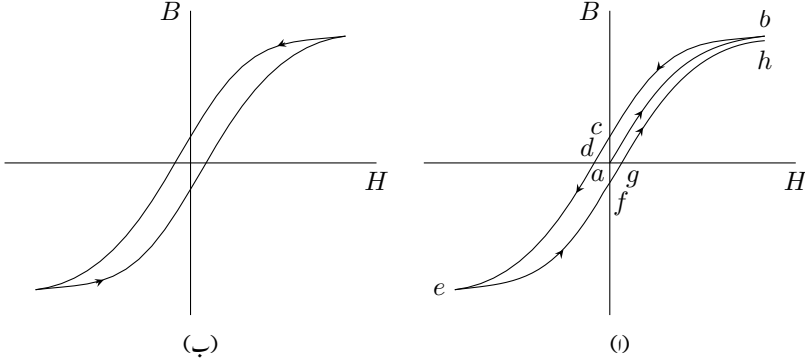
⁴⁸Joule

⁴⁹49 تیسویں پریسٹوٹ جاول انگلستانی سائنسدان جنہوں نے حرارت اور میکانیکی کام کا رشتہ دریافت کیا

⁵⁰power

⁵¹51-کالمبیز کے جیمزوات جنہوں نے بجارات پر چلنے والے انجن پر کام کیا

⁵²Watt



شکل 2.14: $B - H$ خطوط یا مقناطیسی چال کے دائرے۔

یوں t_1 پر $\lambda_1 = 0$ تصور کرتے ہوئے کسی بھی λ پر مقناطیسی توانائی درج ذیل ہو گی۔

$$(2.45) \quad \Delta W = \frac{\lambda^2}{2L} = \frac{Li^2}{2}$$

2.8 مقناطیسی مادہ کے خواص

قالب کے استعمال سے دو فوائد حاصل ہوتے ہیں۔ قالب کے استعمال سے کم مقناطیسی دباؤ، زیادہ مقناطیسی بہاؤ پیدا کرتا ہے اور مقناطیسی بہاؤ کو پسند کی راہ پر رہنے کا پابند بنایا جاسکتا ہے۔ ایک مرحلہ ٹرانسفارمر میں قالب کے استعمال سے مقناطیسی بہاؤ کو اس طرح پابند کیا جاتا ہے کہ تمام لچھوں میں یکساں بہاؤ پایا جاتا ہو۔ موٹروں میں قالب کے استعمال سے مقناطیسی بہاؤ کو یوں پابند کیا جاتا ہے کہ زیادہ سے زیادہ قوت پیدا ہو جبکہ جنریٹروں میں زیادہ سے زیادہ برقی دباؤ حاصل کرنے کی نیت سے بہاؤ کو پابند کیا جاتا ہے۔

مقناطیسی مواد کی B اور H کا تعلق ترسیم کی صورت میں پیش کیا جاتا ہے۔ لوہا نما مقناطیسی مادے کی $B - H$ ترسیم شکل 2.14-الف میں دکھائی گئی ہے۔ ایک لوہا نما مقناطیسی مادہ جس میں مقناطیسی اثر نہیں پایا جاتا ہو کو نقطہ a سے ظاہر کیا گیا ہے۔ اس نقطہ پر درج ذیل ہوں گے۔

$$(2.46) \quad \begin{aligned} H_a &= 0 \\ B_a &= 0 \end{aligned}$$

اس مادہ کو لچھے میں رکھ کر اس پر مقناطیسی دباؤ لاگو کیا جاسکتا ہے۔ مقناطیسی میدان کی شدت H لاگو کرنے سے لوہا نما مقناطیسی مادے میں کثافت مقناطیسی بہاؤ B پیدا ہوگی۔ میدان کی شدت بڑھانے سے کثافت مقناطیسی بہاؤ بھی بڑھے گی۔ اس عمل کو نقطہ a سے ابتدا کرتے ہوئے ایک تیردار قوس سے دکھایا گیا ہے۔ میدان کی شدت کو نقطہ b تک بڑھایا گیا ہے جہاں H_b اور B_b ہوں گے۔

نقطہ b تک پہنچنے کے بعد میدان کی شدت کم کرتے ہوئے دیکھا گیا ہے کہ واپسی قوس ایک مختلف راستہ اختیار کرتا ہے۔ یوں نقطہ b سے میدان کی شدت کم کرتے ہوئے صفر کرنے سے لوہا نما مادہ کی کثافت مقناطیسی بہاؤ کم ہو کر نقطہ c پر آن پہنچتی ہے۔ نقطہ b سے نقطہ c تک تیردار قوس اس عمل کو ظاہر کرتا ہے۔ نقطہ c پر بیرونی میدان کی شدت صفر ہے لیکن لوہا نما مادے کی کثافت مقناطیسی بہاؤ صفر نہیں ہے۔ یہ مادہ ایک مقناطیس بن گیا ہے جس کی کثافت مقناطیسی بہاؤ B_c ہے۔ اس مقدار کو بقایا کثافت مقناطیسی بہاؤ⁵³ کہتے ہیں۔ مصنوعی مقناطیس اسی طرح بنایا جاتا ہے۔

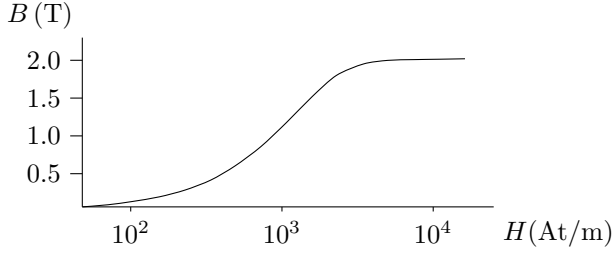
نقطہ c سے میدان کی شدت منفی رخ بڑھانے سے B کم ہوتے ہوئے آخر کار ایک مرتبہ دوبارہ صفر ہو جائے گی۔ اس نقطہ کو d سے ظاہر کیا گیا ہے۔ مقناطیسیت ختم کرنے کے لئے درکار میدان کی شدت کی مقدار $|H_d|$ کو مقناطیسیت ختم کرنے والی شدت یا مختصراً خاتم شدت⁵⁴ کہتے ہیں۔

منفی رخ میدان کی شدت مزید بڑھانے سے نقطہ e حاصل ہو گا۔ اس کے بعد منفی رخ کی میدان کی شدت کی مطلق قیمت کم کرنے سے نقطہ f حاصل ہو گا جہاں میدان کی شدت صفر ہونے کے باوجود کثافت مقناطیسی بہاؤ صفر نہیں ہے۔ اس نقطہ پر لوہا نما مادہ الٹ رخ مقناطیس بن چکا ہے اور B_f بقایا کثافت مقناطیسی بہاؤ ہے۔ اسی طرح اس رخ مقناطیسیت ختم کرنے کی شدت $|H_g|$ ہے۔ میدان کی شدت بڑھاتے ہوئے نقطہ b کی بجائے نقطہ h پہنچا جاتا ہے۔

برقی شدت کو متواتر اسی طرح پہلے ایک رخ اور پھر مخالف (دوسری) رخ ایک خاص حد تک پہنچانے سے آخر کار $B-H$ منحنی کا ایک بند دائرہ حاصل ہو گا جسے شکل 2.14-ب میں دکھایا گیا ہے۔ اس دائرہ پر گھڑی کے مخالف رخ سفر ہو گا۔ شکل 2.14-ب کو مقناطیسی چال کا دائرہ⁵⁵ کہتے ہیں۔

مختلف H کے لئے شکل 2.14-ب حاصل کر کے ایک ہی کاغذ پر کھینچنے کے بعد ان تمام کے b نقطے جوڑنے سے شکل 2.15 میں دکھائی گئی $B-H$ ترسیم حاصل ہوگی۔ ٹرانسفارمروں میں استعمال ہونے والی 0.3048 ملی میٹر موٹی $M5$ قالبی پتہ کی $B-H$ ترسیم شکل 2.15 میں دکھائی گئی ہے۔ اس ترسیم میں موجود مواد جدول 2.1

magnetic flux/residual⁵³
coercivity⁵⁴
hysteresis loop⁵⁵



شکل 2.15: $M5:2.15$ فولاد کی 0.3048 ملی میٹر موٹی پٹری کی ترسیم۔ میدان شدت کا پیمانہ لاگ ہے۔

میں بھی دیا گیا ہے۔ عموماً مقناطیسی مسائل حل کرتے ہوئے شکل 2.14 کی جگہ شکل 2.15 طرز کی ترسیم استعمال کی جاتی ہے۔ دھیان رہے کہ اس ترسیم میں H کا پیمانہ لاگ⁵⁶ ہے۔

لہذا مقناطیسی مادے پر لاگو مقناطیسی شدت بڑھانے سے کثافتِ مقناطیسی بہاو بڑھنے کی شرح بتدریج کم ہوتی جاتی ہے حتیٰ کہ آخر کار یہ شرح خلاء کی شرح μ_0 کے برابر ہو جاتی ہے:

$$(2.47) \quad \frac{\Delta B}{\Delta H} = \mu_0$$

اس اثر کو سیرامیٹ⁵⁷ کہتے ہیں جو شکل 2.15 میں واضح ہے۔

شکل 2.14 سے واضح ہے کہ H کی کسی بھی قیمت پر B کے دو ممکنہ قیمتیں ہوں گی۔ بڑھتے مقناطیسی بہاو کی صورت میں ترسیم میں نیچے سے اوپر جانے والی منحنی B اور H کا تعلق پیش کرے گی جبکہ گھٹے ہوئے مقناطیسی بہاو کی صورت میں اوپر سے نیچے جانے والی منحنی اس تعلق کو پیش کرے گی۔ چونکہ $\mu = B/H$ ہے لہذا B کی مقدار تبدیل ہونے سے μ کی قیمت بھی تبدیل ہوگی۔ باوجود اس کے ہم مقناطیسی ادوار میں μ کو ایک مستقل تصور کرتے ہیں۔ ایسا کرنے سے عموماً نتائج پر زیادہ اثر انداز نہیں ہوتا۔

مثال 2.7: شکل 2.15 یا اس کے مساوی جدول 2.1 میں دی گئی مواد استعمال کرتے ہوئے شکل 2.6 کی خلاء میں ایک ٹسلا اور دو ٹسلا کثافتِ مقناطیسی بہاو حاصل کرنے کے لئے درکار برقی رو معلوم کریں۔ درج ذیل معلومات استعمال کریں۔ قالب اور خلاء کا رقبہ عمودی تراش ایک دوسرے جتنا لیں۔

$$b = 5 \text{ cm}, w = 4 \text{ cm}, l_a = 3 \text{ mm}, l_c = 30 \text{ cm}, N = 1000$$

⁵⁶ log
⁵⁷ saturation

حل: ایک ٹسلا کے لئے۔

جدول 2.1 کے تحت قالب میں 1 ٹسلا کے لئے قالب کو 11.22 ایمپیئر-چکر فی میٹر قیمت کی شدت H درکار ہو گی۔ یوں 30 سم لمبے قالب کو $3.366 = 0.3 \times 11.22$ ایمپیئر چکر درکار ہوں گے۔

خلاء کو درج ذیل ایمپیئر-چکر فی میٹر شدت درکار ہے۔

$$H = \frac{B}{\mu_0} = \frac{1}{4\pi 10^{-7}} = 795671$$

یوں 3 ملی میٹر خلاء کو $0.003 \times 795671 = 2387$ ایمپیئر چکر درکار ہوں گے۔ اس طرح کل ایمپیئر-چکر $3.366 + 2387 = 2390.366$ ہیں جن سے درج ذیل حاصل کیا جاسکتا ہے۔

$$i = \frac{2390.366}{1000} = 2.39 \text{ A}$$

حل: دو ٹسلا کے لئے۔

جدول 2.1 کے تحت قالب میں 2 ٹسلا کثافت کے لئے قالب کو 10000 ایمپیئر-چکر فی میٹر H درکار ہو گی۔ یوں 30 سم قالب کو $3000 = 0.3 \times 10000$ ایمپیئر چکر درکار ہوں گے۔ خلاء کو

$$H = \frac{B}{\mu_0} = \frac{2}{4\pi 10^{-7}} = 1591342$$

ایمپیئر-چکر فی میٹر درکار ہیں لہذا 3 ملی میٹر لمبی خلاء کو $0.003 \times 1591342 = 4774$ ایمپیئر چکر درکار ہوں گے۔ یوں کل ایمپیئر-چکر $3000 + 4774 = 7774$ ہیں جن سے درج ذیل حاصل کیا جاسکتا ہے۔

$$i = \frac{7774}{1000} = 7.774 \text{ A}$$

□

اس مثال میں مقناطیسی سیرابیت واضح ہے۔

B	H	B	H	B	H	B	H	B	H	B	H
0.000	0	0.700	9	1.480	30	1.720	200	1.852	1000	1.998	9000
0.040	2	0.835	10	1.540	40	1.752	300	1.900	2000	2.000	10000
0.095	3	1.000	11.22	1.580	50	1.780	400	1.936	3000	2.020	20000
0.160	4	1.100	12.59	1.601	60	1.800	500	1.952	4000	2.040	30000
0.240	5	1.200	14.96	1.626	70	1.810	600	1.968	5000	2.048	40000
0.330	6	1.300	17.78	1.640	80	1.824	700	1.975	6000	2.060	50000
0.440	7	1.340	20	1.655	90	1.835	800	1.980	7000	2.070	60000
0.560	8	1.400	23.77	1.662	100	1.846	900	1.985	8000	2.080	70000

جدول 2.1: مقناطیسی بہاؤ بالقابل شدت

2.9 ہیجان شدہ لچھا

بدلتی رو بکلی میں برقی دباؤ اور مقناطیسی بہاؤ عموماً سائن نما ہوتے ہیں جن کا وقت کے ساتھ تعلق $\sin \omega t$ یا $\cos \omega t$ ہو گا۔ اس حصہ میں بدلتی رو سے لچھا ہیجان کرنا اور اس سے نمودار ہونے والی برقی توانائی کے ضیاع پر تذکرہ کیا جائے گا۔ قالب میں کثافت مقناطیسی بہاؤ

$$(2.48) \quad B = B_0 \sin \omega t$$

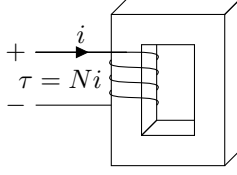
کی صورت میں قالب میں درج ذیل بدلتا مقناطیسی بہاؤ φ پیدا ہو گا۔

$$(2.49) \quad \varphi = A_c B = A_c B_0 \sin \omega t = \phi_0 \sin \omega t$$

اس مساوات میں مقناطیسی بہاؤ کا حیظ ϕ_0 ، کثافت مقناطیسی بہاؤ کا حیظ B_0 ، قالب کا رقبہ عمودی تراش A_c (جو ہر مقام پر یکساں ہے)، زاویائی تعدد $\omega = 2\pi f$ اور تعدد f ہے۔

فیراڈے کے قانون (مساوات 2.27) کے تحت یہ مقناطیسی بہاؤ لچھے میں $e(t)$ الہ برقی دباؤ⁵⁸ پیدا کرے گا

$$(2.50) \quad \begin{aligned} e(t) &= \frac{\partial \lambda}{\partial t} \\ &= \omega N \phi_0 \cos \omega t \\ &= \omega N A_c B_0 \cos \omega t \\ &= E_0 \cos \omega t \end{aligned}$$



شکل 2.16: سادہ مقناطیسی دور (مثال 2.8)۔

جس کا حیثہ درج ذیل ہو گا۔

$$(2.51) \quad E_0 = \omega N \phi_0 = 2\pi f N A_c B_0$$

ہم بدلتے رو مقداروں کے مربع کی اوسط کے جذر میں دلچسپی رکھتے ہیں جو ان مقداروں کی موثر⁵⁹ قیمت ہوتی ہے۔ جیسا صفحہ 19 پر مساوات 1.42 میں دیکھا گیا، سائن نما موج کی موثر قیمت موج کے حیثہ کی $1/\sqrt{2}$ گنتا ہو گی لہذا امالی برقی دباؤ کی موثر قیمت E_{rms} درج ذیل ہو گی۔

$$(2.52) \quad E_{rms} = \frac{E_0}{\sqrt{2}} = \frac{2\pi f N A_c B_0}{\sqrt{2}} = 4.44 f N A_c B_0$$

یہ مساوات بہت اہم ہے جس کو ہم بار بار استعمال کریں گے۔ بدلتے برقی دباؤ یا بدلتے برقی رو کی قیمت سے مراد ان کی موثر قیمت ہو گی۔ پاکستان میں گھریلو برقی دباؤ کی موثر قیمت 220 وولٹ ہے۔ اس سائن نما برقی دباؤ کی چوٹی $\sqrt{2} \times 220 = 311$ وولٹ ہو گی۔

مثال 2.8: شکل 2.16 میں لچھے کے 27 چکر ہیں۔ قالب کی لمبائی 30 سم جبکہ اس کا رقبہ عمودی تراش 229.253 مربع سم ہے۔ لچھے کو گھریلو 220 وولٹ موثر برقی دباؤ سے ہیجان کیا جاتا ہے۔ جدول 2.1 کی مدد سے مختلف برقی دباؤ پر محرک برقی رو معلوم کریں اور اس کا خط کھینچیں۔

حل: گھریلو برقی دباؤ 50 ہرٹز کی سائن نما موج ہو گی۔

$$(2.53) \quad v = \sqrt{2} \times 220 \cos(2\pi 50t)$$

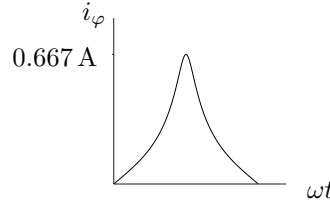
مساوات 2.52 کی مدد سے ہم کثافتِ مقناطیسی بہاؤ کی چوٹی حاصل کرتے ہیں۔

$$(2.54) \quad B_0 = \frac{220}{4.44 \times 50 \times 27 \times 0.0229253} = 1.601 \text{ T}$$

⁵⁹root mean square, rms

ωt	B	H	$0.3H$	$i_\phi = \frac{0.3H}{27}$	ωt	B	H	$0.3H$	$i_\phi = \frac{0.3H}{27}$
0.675	1.000	11.22	3.366	0.125	0.000	0.000	0	0.000	0.000
0.757	1.100	12.59	3.777	0.140	0.025	0.040	2	0.600	0.022
0.847	1.200	14.96	4.488	0.166	0.059	0.095	3	0.900	0.033
0.948	1.300	17.78	5.334	0.198	0.100	0.160	4	1.200	0.044
0.992	1.340	20	6.000	0.222	0.150	0.240	5	1.500	0.056
1.064	1.400	23.77	7.131	0.264	0.208	0.330	6	1.800	0.067
1.180	1.480	30	9.000	0.333	0.278	0.440	7	2.100	0.078
1.294	1.540	40	12.000	0.444	0.357	0.560	8	2.400	0.089
1.409	1.580	50	15.000	0.556	0.453	0.700	9	2.700	0.100
1.571	1.601	60	18.000	0.667	0.549	0.835	10	3.000	0.111

جدول 2.2: محرک برقی رو



شکل 2.17: $M5$ پٹری کے قالب میں 1.6 ٹسلا تک ہیجان پیدا کرنے کے لئے درکار ہیجان انگیز برقی رو۔

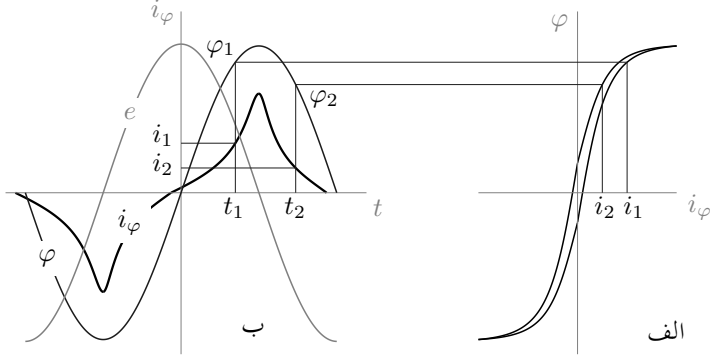
یوں قالب میں کثافتِ مقناطیسی بہاو کا حیثہ 1.601 ہو گا اور قالب میں کثافتِ مقناطیسی بہاو کی مساوات درج ذیل ہو گی۔

(2.55)

$$B = 1.601 \sin \omega t$$

ہم جدول کی مدد سے 0 اور 1.601 ٹسلا کے بیچ مختلف قیمتوں پر درکار محرک برقی رو i_ϕ معلوم کرنا چاہتے ہیں۔ ہم مختلف B پر جدول 2.1 سے قالب کی H حاصل کریں گے جو ایک میٹر لمبی قالب کے لئے درکار ایمپیرسز۔ چکر ہوں گے۔ اس سے 30 سم لمبی قالب کے لئے درکار ایمپیرسز۔ چکر کر معلوم کر کے برقی رو حاصل کریں گے۔

جدول 2.2 مختلف کثافتِ مقناطیسی بہاو کے لئے درکار محرک برقی رو دیتی ہے۔ جدول میں ہر B کی قیمت پر ωt مساوات 2.55 کی مدد سے حاصل کی گئی ہے۔ ωt بالقابل محرک برقی رو کا خط شکل 2.17 میں دیا گیا ہے۔ □



شکل 2.18: ہیجان انگیز برقی رو۔

برقی لچھے میں برقی دباؤ سے ہیجان پیدا کیا جاتا ہے۔ ہیجان شدہ لچھا میں گزرتے برقی رو i_ϕ کی بنا قالب میں مقناطیسی بہاو پیدا ہو گا۔ اس برقی رو i_ϕ کو ہیجان انگیز برقی رو⁶⁰ کہتے ہیں۔

مثال 2.8 میں ہیجان انگیز برقی رو معلوم کی گئی جسے شکل 2.17 میں دکھایا گیا۔ اسے حاصل کرتے وقت مقناطیسی چال⁶¹ کو نظر انداز کیا گیا۔ شکل 2.18 میں ہیجان انگیز برقی رو i_ϕ دکھائی گئی ہے جو مقناطیسی چال کو مد نظر رکھ کر حاصل کی گئی ہے۔ اس کو سمجھنا ضروری ہے۔

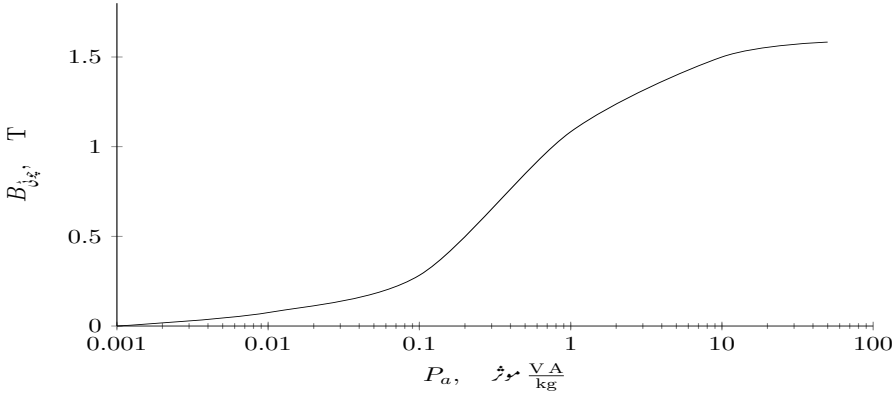
شکل 2.18-الف میں مقناطیسی چال کا دائرہ دکھایا گیا ہے۔ درج ذیل تعلقات کی بنا مقناطیسی چال کے خط کو $i_\phi - \phi$ کا خط لکھا جاسکتا ہے۔

$$\begin{aligned} Hl &= Ni \\ \phi &= BA_c \end{aligned} \quad (2.56)$$

قالب میں سائن نما مقناطیسی بہاو ϕ کو شکل 2.18-ب میں دکھایا گیا ہے۔ سائن نما مقناطیسی بہاو وقت کے ساتھ تبدیل ہوتا ہے۔ لمحہ t_1 پر اس کی قیمت ϕ_1 ہوگی۔ مقناطیسی بہاو ϕ_1 حاصل کرنے کے لئے درکار ہیجان انگیز برقی رو i_1 شکل-الف سے حاصل کی جاسکتی ہے۔ اسی ہیجان انگیز برقی رو کو شکل-ب میں لمحہ t_1 پر دکھایا گیا ہے۔

دھیان رہے کہ لمحہ t_1 پر مقناطیسی بہاو بڑھ رہا ہے لہذا مقناطیسی چال کے خط کا درست حصہ استعمال کرنا ضروری ہے۔ شکل 2.18-الف میں $i_\phi - \phi$ کے خط میں گھڑی کی سوئیوں کے مخالف رخ گھومتے ہوئے یوں نیچے سے اوپر

⁶⁰excitation current
⁶¹hysteresis



شکل 2.19: پچاس ہرٹز پر 0.3 ملی میٹر موٹی پٹری کے لئے درکار موثر وولٹ-ایمپیر فی کلو گرام قالب

جاتا ہوا حصہ استعمال کیا گیا ہے۔ شکل 2.14-ب میں تیر کے نشان مقناطیسی بہاو بڑھنے (نیچے سے اوپر) اور گٹھنے (اوپر سے نیچے) والے حصوں کی نشاندہی کرتے ہیں۔

لحہ t_2 پر مقناطیسی بہاو گھٹ رہا ہے۔ اس لحہ پر مقناطیسی بہاو φ_2 ہے اور اسے حاصل کرنے کے لئے درکار ہیجان انگیز برقی رو i_2 ہے۔

اسی طرح مختلف لمحات پر درکار ہیجان انگیز برقی رو حاصل کرنے سے شکل 2.18-ب کا i_φ خط ملتا ہے جو غیر سائن نما ہے۔

آپ جانتے ہیں کہ $\varphi = \phi_0 \sin \omega t$ کی صورت میں برقی دباؤ $e = N \frac{d\varphi}{dt} = N \phi_0 \omega \cos \omega t$ ہو گا۔ شکل 2.18-ب میں اس برقی دباؤ کو بھی دکھایا گیا ہے۔ آپ دیکھ سکتے ہیں کہ برقی دباؤ سے مقناطیسی بہاو 90° تاخیر سے ہے۔

قالب میں $B = B_0 \sin \omega t$ کی صورت میں H اور i_φ غیر سائن نما ہوں گے جن کی موثر قیمتوں $H_{c,rms}$ اور $i_{\varphi,rms}$ کا تعلق درج ذیل ہو گا۔

$$(2.57) \quad N i_{\varphi,rms} = l_c H_{c,rms}$$

مساوات 2.52 اور مساوات 2.57 سے درج ذیل حاصل ہو گا

$$(2.58) \quad E_{rms} i_{\varphi,rms} = \sqrt{2} \pi f B_0 H_{c,rms} A_c l_c$$

جہاں A_{cl_c} قالب کا حجم ہے۔ یوں A_{cl_c} حجم کے قالب کو B_0 کثافتِ مقناطیسی بہاؤ تک پہنچانے کے لئے درکار $E_{rms} i_{\phi, rms}$ مساوات 2.58 دے گی۔ ایک مقناطیسی قالب جس کا حجم A_{cl_c} اور میکانی کثافت ρ_c ہو، کی کمیت $m_c = \rho_c A_{cl_c}$ ہوگی لہذا ایک کلوگرام قالب کے لئے مساوات 2.58 کو درج ذیل روپ میں لکھا جاسکتا ہے۔

$$(2.59) \quad P_a = \frac{E_{rms} i_{\phi, rms}}{m_c} = \frac{\sqrt{2}\pi f}{\rho_c} B_0 H_{c, rms}$$

دیکھا جائے تو کسی ایک تعدد f پر P_a کی قیمت صرف قالب اور اس میں B_0 یعنی B چٹنی پر منحصر ہے، چونکہ $H_{c, rms}$ خود B_0 پر منحصر ہے۔ یہی وجہ ہے کہ قالب بنانے والے اکائی کمیت کے قالب میں مختلف چٹنی B پیدا کرنے کے لئے درکار $E_{rms} i_{\phi, rms}$ کی B_0 بالقابل P_a ترسیم مہیا کرتے ہیں۔ قالب کی 0.3 ملی میٹر موٹی پٹری کے لئے ایسی ترسیم شکل 2.19 میں دکھایا گیا ہے۔

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

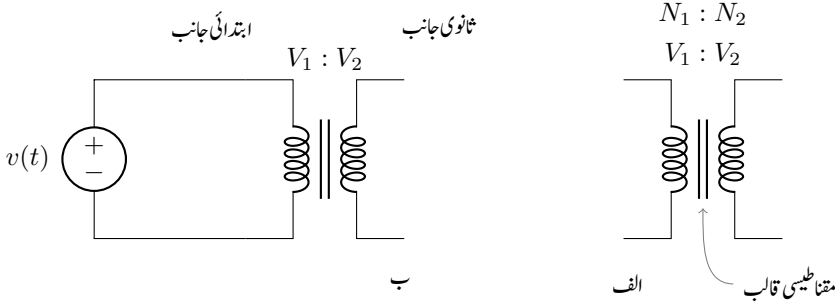
² بدلتی برقی دباؤ کی علامت میں مثبت اور منفی نشان وقت صفر پر برقی دباؤ کی مثبت اور منفی سرے ظاہر کرتے ہیں۔

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:

$$p = v_1 i_1 = v_2 i_2$$

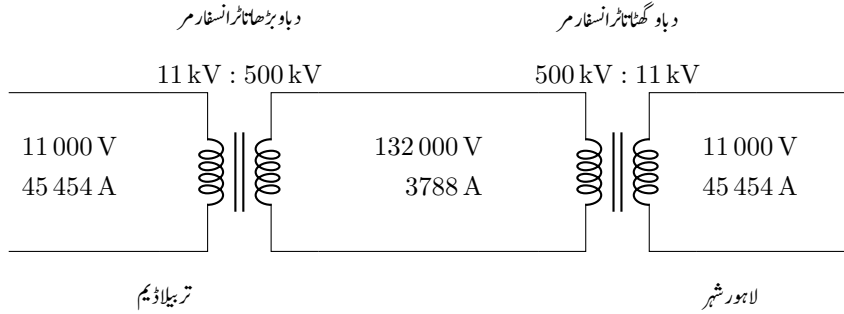
تصور کریں کہ تربیلا ڈیم سے 500 MW برقی طاقت لاہور¹⁰ شہر کے گھریلو صارفین کو 220 وولٹ پر مہیا کرنی

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 12 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 $i_\phi N_1$ 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 میں اس مزاحمت کو ٹرانسفارمر کے باہر دکھایا گیا ہے۔ اس لچھے کی رستا متعاملہ بھی ہوتی ہے لیکن اسے یہاں نظر انداز کیا گیا ہے۔ عام تر طاقت کے ٹرانسفارمر اور موٹروں میں $i\varphi R_1$ کی قیمت e_1 اور v_1 سے بہت کم ہوتی ہے لہذا اسے نظر انداز کیا جاسکتا ہے۔ ایسا کرنے سے ہم لکھ سکتے ہیں

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

مساوات 3.2 سے یہ 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 ان دو برقی دباؤ کی غیر سمتیں عموماً برابر ہوتی ہیں۔²⁶ اس کتاب میں عموماً مساوات 3.3 کی طرح مساواتوں میں دائیں جانب منفی کی علامت نہیں لکھی گئی۔ عموماً برقی دباؤ کی قیمت درکار ہوتی ہے تاکہ اس کی علامت۔

لچھا بیجاؤ²⁷ کرنے سے مراد اس پر بیرونی برقی دباؤ لاگو کرنا جبکہ لچھے پر لاگو بیرونی برقی دباؤ کو بیجاؤ انگیز برقی دباؤ²⁸ کہتے ہیں۔ لچھے کو بیجاؤ شدہ لچھا²⁹ جبکہ اس میں رواں برقی رو کو بیجاؤ انگیز برقی رو³⁰ کہتے ہیں۔

برقی دباؤ عموماً لچھے سے گزرتی مقناطیسی بہاؤ کی تبدیلی سے حاصل کی جاتی ہے۔ اگر ایسا کرتے لچھا ساکن رہے، جیسا کہ ٹرانسفارمر میں ہوتا ہے، تب حاصل برقی دباؤ کو امالی برقی دباؤ³¹ کہتے ہیں۔ اگر برقی دباؤ کا حصول مقناطیسی میدان میں لچھے کی حرکت سے ممکن بنایا جائے تب اسے 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 روادور قالبی ضیاع

جہاں مقناطیسی قالب میں بدلتی مقناطیسی بہاؤ ثنائی لچھوں میں فائدہ مند برقی دباؤ پیدا کرتی ہے وہاں یہ مقناطیسی قالب میں نقصان دہ برقی دباؤ کو بھی جنم دیتی ہے جس سے مقناطیسی قالب میں بھنور نما برقی رو³³ پیدا ہوتی ہے۔ اس بھنور نما برقی رو کی وجہ سے مقناطیسی قالب میں برقی طاقت کا ضیاع ہوتا ہے جسے بھنور نما برقی رو کا ضیاع³⁴ یا قالبی

²⁶ جس سے طلباء کو یہ غلط فہمی لاحق ہو جاتی ہے کہ یہ ایک ہی برقی دباؤ کے دو نام ہیں۔

²⁷ excitation

²⁸ excitation voltage

²⁹ excited coil

³⁰ excitation current

³¹ induced voltage

³² electromotive force, emf

³³ eddy currents

³⁴ eddy current loss



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

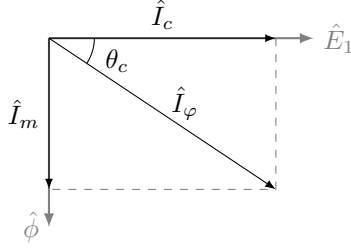
ضیاع³⁵ کہتے ہیں۔ اس برقی طاقت کے ضیاع کو کم سے کم کرنے کیلئے مقناطیسی قالب کو باریک لوہے کی پتیاں³⁶ تہہ در تہہ رکھ کر بنایا جاتا ہے۔ ان پتروں پر غیر موصل روغن³⁷ کی تہہ لگائی جاتی ہے تاکہ بھنور نما برقی رو کو روکا جا سکے۔ آپ دیکھیں گے کہ برقی مشین کا قالب عموماً اسی طرح بنایا جاتا ہے۔ شکل 2.15 اور جدول 2.1 میں 0.3048 ملی میٹر موٹی M5 قالبی پتری کی $B - H$ مواد دی گئی ہے۔

قالبی پتیاں عموماً دو اشکال کی ہوتی ہیں۔ یہ شکل 3.5-الف میں دکھایا گیا ہے۔ ان کی شکل کی وجہ سے یہ ایکے شکل اور تین³⁸ شکل کی پتیاں کہلاتے ہیں۔ شکل 3.5-ب میں ایک اور تین 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۔ اسی طرح انہیں جوڑ کر شکل کے حصہ د 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 ہیجان انگیز برقی روان میں غیر سائن نما ہوتی ہے لہذا اگر

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

core loss³⁵
laminations³⁶
enamel³⁷
E, I³⁸



شکل 3.6: مختلف مرحلی سمتیوں کے زاویے۔

ہو تو

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

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

ہو³⁹ گی۔ یہاں ϕ_0 مقناطیسی بہاو کے حیطہ کو ظاہر کرتی ہے، اور ω زاویائی تعداد ارتعاش کو یعنی $2\pi f$ جہاں f تعداد ارتعاش ہے جسے ہر ٹز Hz میں ناپا جاتا ہے۔ \hat{E}_1 اور $\hat{\phi}$ کے مابین 90° کا زاویہ ہے۔ یہ شکل 3.6 میں دکھایا گیا ہے۔ 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۔ اس کو ہم یوں بھی لکھ سکتے ہیں

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

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

غیر سائن نما ہیجان انگیز برقی رو i_ϕ کو فوریر تسلسل⁴⁰ سے یوں لکھ سکتے ہیں۔

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

³⁹ اس مساوات میں اور اس کے بعد پوری کتاب میں امالی برقی دباؤ کے ساتھ متقی کی علامت نہیں لگائی جائے گی

⁴⁰ Fourier series

اس میں $(a_1 \cos \omega t + b_1 \sin \omega t)$ کو بنیادی جزو⁴¹ کہتے ہیں اور باقی حصہ کو موسیقائی جزو⁴² کہتے ہیں۔ بنیادی جزو میں $a_1 \cos \omega t$ ، مقناطیسی بہاؤ سے وجود میں آنے والے امالی برقی دباؤ e_1 ، جو کہ مساوات 3.5 میں دی گئی ہے کے ہم قدم ہے۔ یعنی یہ دونوں وقت کے ساتھ یکساں بڑھتے اور گھٹتے ہیں جبکہ اس میں $b_1 \sin \omega t$ نئے درجہ زاویہ e_1 کے پیچھے رہتا ہے۔ قالب میں مختلف وجوہات سے 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 اگر $a_1 \cos \omega t$ منفی کی جائے تو بقایا کو مقناطیس بنانے والا برقی رو یا مقناطیسی برقی رو⁴⁴ کہتے ہیں۔ اس کی تیسری موسیقائی جزو سب سے زیادہ اہم ہے۔ قوی ٹرانسفارمروں میں یہ تیسری موسیقائی جزو عموماً کل ہیجان انگیز برقی رو کے 40 فی صد ہوتی ہے۔

سوائے وہاں، جہاں 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 کی ہیجان انگیز برقی رو اس کی کل برقی رو⁴⁵ کے صرف 5 فی صد کے قریب ہوتی ہے۔ لہذا اس کا اثر بہت کم ہوتا ہے۔ لہذا 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۔ شکل میں اگر دیکھا جائے تو

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

جہاں p_c قالبی ضیاع ہے۔ لہذا اگر \hat{I}_ϕ اور \hat{E}_1 کے مابین θ_c کا زاویہ ہو تو اس سے قالبی ضیاع صحیح حاصل ہوتا ہے۔ \hat{I}_ϕ اسی زاویہ سے \hat{E}_1 کے پیچھے رہتا ہے۔

3.5 تبادلہ برقی دباؤ اور تبادلہ برقی رو کے خصوصیات

ہم شکل 3.7 کی مدد سے ٹرانسفارمر کا مطالعہ کرتے ہیں۔ ہم فرض کرتے ہیں کہ ابتدائی جانب لچھے کے N_1 اور ثانوی جانب لچھے کے N_2 چکر ہیں اور یہ کہ ان دونوں لچھوں کی مزاحمت صفر ہے۔ ہم مزید یہ کہتے ہیں کہ پوری

⁴¹ fundamental component

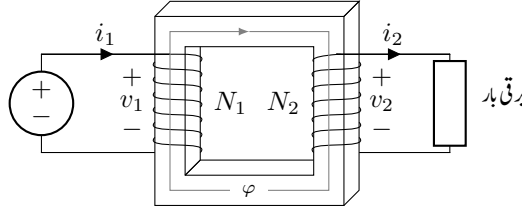
⁴² harmonic components

⁴³ core loss component

⁴⁴ magnetizing current

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

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۔

مقناطیسی بہاو قالب ہی میں رہتا ہے اور دونوں لچھوں سے گزرتا ہے۔ قالب میں برقی توانائی ضائع نہیں ہوتی اور اس کی مقناطیسی مستقل اتنی زیادہ ہے کہ چیمجان انگیز برقی رو قابل نظر انداز ہے۔ برقی رو i_1 اور i_2 کی سمتیں یوں رکھی گئی ہیں کہ ان سے وجود میں آنے والے مقناطیسی بہاو ایک دوسرے کی الٹ سمتوں میں ہیں۔ اصل ٹرانسفارمر ان باتوں پر تقریباً پورے اترتے ہیں۔ ایسے ٹرانسفارمر کو کامل ٹرانسفارمر⁴⁷ کہتے ہیں۔

جب اس کامل ٹرانسفارمر کے ابتدائی لچھے پر بدلتی برقی دباؤ v_1 لاگو کیا جائے تو اس کے قالب میں بدلتا مقناطیسی بہاو φ_m وجود میں آئے گا جو ابتدائی لچھے میں لاگو برقی دباؤ v_1 کے برابر امالی برقی دباؤ e_1 کو جنم دے گا۔ لہذا

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

یہ مقناطیسی بہاو دوسرے لچھے سے بھی گزرے گا اور اس میں e_2 امالی برقی دباؤ کو جنم دے گا جو ثانوی جانب کے سروں پر برقی دباؤ v_2 کی صورت میں حاصل ہو گا۔ یعنی

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

ان دونوں کی نسبت سے

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

لہذا ایک کامل ٹرانسفارمر دونوں لچھوں کے چکروں کی نسبت سے متبادلہ برقی دباؤ⁴⁸ کرتا ہے۔

چونکہ یہ ایک کامل ٹرانسفارمر ہے لہذا اسے جتنی برقی طاقت ابتدائی جانب دی جائے اتنی ہی برقی طاقت اس سے ثانوی جانب حاصل ہو گی، یعنی

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

یا

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

مساوات 3.12 کی مدد سے

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

یہ ایک انتہائی اہم نتیجہ ہے جو ٹرانسفارمر کی تبادلہ برقی دباؤ اور تبادلہ برقی رو⁴⁹ کی خصوصیات بیان کرتا ہے۔ اسے عموماً دو حصوں میں یوں لکھا جاتا ہے۔

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

اس مساوات کی پہلی جزو کہتی ہے کہ ٹرانسفارمر کی دونوں جانب برقی دباؤ ان کے چکروں کی راست تناسب ہو گا جبکہ مساوات کی دوسری جزو کہتی ہے کہ ٹرانسفارمر کے دونوں جانب برقی روان ان کے چکروں کے بالعکس تناسب ہو گا۔

مثال 3.2: شکل 3.7 میں اگر

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

ہوں تو ٹرانسفارمر کی دونوں جانب برقی دباؤ اور برقی رو معلوم کریں۔

حل: ابتدائی جانب برقی دباؤ دیا گیا ہے یعنی 220 وولٹ جبکہ ثانوی جانب برقی دباؤ مساوات 3.16 کی پہلی جزو کی مدد سے حاصل کیا جاتا ہے یعنی

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

ثانوی جانب 22 ولٹ ہیں جو ابتدائی جانب برقی دباؤ کے ہم قدم ہے۔ ثانوی جانب یہ برقی دباؤ 10 اوہم کی مزاحمت میں برقی رو پیدا کرے گا جسے اوہم کے قانون سے حاصل کیا جاتا ہے یعنی

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

ثانوی جانب 2.2 ایمپیر برقی رو ہے۔ ابتدائی جانب کی برقی رو مساوات 3.16 کی دوسری جزو کی مدد سے حاصل کی جاتی ہے یعنی

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

□

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

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

ہم دیکھتے ہیں ابتدائی جانب برقی دباؤ ثانوی جانب کی برقی دباؤ کے دس گنا ہے جبکہ برقی رو میں قصہ الٹ ہے۔ ثانوی جانب کی برقی رو ابتدائی جانب کی برقی رو کے دس گنا ہے۔ طاقت دونوں جانب برابر ہے۔ یہ نہایت اہم ہے کہ آپ اس بات کو اچھی طرح سمجھ لیں کہ جس جانب برقی دباؤ زیادہ ہوتا ہے اس جانب برقی رو کم ہوتی ہے۔ لہذا زیادہ برقی دباؤ کی جانب لچھے کے چکر زیادہ ہوں گے اور اس لچھے میں نسبتاً باریک برقی تار استعمال ہوگی جبکہ کم برقی دباؤ کا لچھا کم چکر کا ہوگا اور اس میں نسبتاً موٹی برقی تار استعمال ہوگی۔

مثال 3.3: صفحہ 71 پر دکھائے گئے شکل 3.8-الف سے رجوع کریں۔ اس شکل میں رکاوٹ Z_2 کو بدلتی برقی دباؤ \hat{V}_1 کے ساتھ ایک ٹرانسفارمر کے ذریعہ جوڑا گیا ہے۔ اگر

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

ہوں تو رکاوٹ میں برقی رو اور طاقت کا ضیاع معلوم کریں۔

حل: ٹرانسفارمر کی تبادلہ برقی دباؤ کی خصوصیت سے اس کے ابتدائی جانب 110 ولٹ برقی دباؤ ٹرانسفارمر کی ثانوی جانب تبدیل ہو کر \hat{V}_s ہو جائیں گے جہاں

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

ہے لہذا

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

اور برقی طاقت کا ضیاع p_z

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

□

3.6 ثنائی جانب بوجھ کا ابتدائی جانب اثر

یہاں صفحہ 65 پر دکھائے گئے شکل 3.7 سے رجوع کریں۔ ہم حصہ 3.3 میں دیکھ چکے ہیں کہ اگر ایک بے بوجھ ٹرانسفارمر کی ابتدائی لچھے پر بدلتی برقی دباؤ v_1 لاگو کی جائے تو اس لچھے میں ہیجان انگیز برقی رو i_φ گزرے گی۔ اس برقی رو کی مقناطیسی دباؤ $N_1 i_\varphi$ قالب میں مقناطیسی بہاؤ φ_m کو جنم دے گی۔ اگر لچھے کی مزاحمت صفر ہو تو φ_m ابتدائی لچھے میں e_1 امالی برقی دباؤ پیدا کرے گی جہاں

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

ہو گی۔

اب ہم ثنائی جانب برقی بوجھ لادتے ہیں۔ ایسا کرنے سے بوجھ بردار ٹرانسفارمر⁵¹ کے ثنائی جانب برقی رو i_2 رواں ہو گی جس کی وجہ سے $N_2 i_2$ مقناطیسی دباؤ وجود میں آئے گی۔ اس مقناطیسی دباؤ کی وجہ سے قالب میں مقناطیسی بہاؤ بوجھ φ پیدا ہو گا۔ اگر اس مقناطیسی بہاؤ کا کچھ نہ کیا جائے تو قالب میں پہلے سے موجود مقناطیسی بہاؤ تبدیل ہو کر بوجھ $\varphi = \varphi_m - \varphi$ بنی ہو جائے گا اور یوں ابتدائی لچھے میں امالی دباؤ تبدیل ہو کر e بنی ہو جائے گا۔ لہذا ابتدائی جانب پر اب امالی دباؤ اور اس پر لاگو برقی دباؤ برابر نہیں ہونگے جو کہ مساوات 3.17 کی موجودگی میں ناممکن

⁵⁰ φ کو یہاں φ_m کہا گیا ہے۔
loaded transformer⁵¹

ہے۔ لہذا اس مقناطیسی بہاو ϕ کے اثر کو ختم کرنے کیلئے ابتدائی لچھے میں برقی رو i_1 نمودار ہو گی جو اس مقناطیسی دباؤ یعنی $N_2 i_2$ کے اثر کو ختم کر دے گی یعنی

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

یہ وہ ذریعہ ہے جس سے ابتدائی جانب معلوم ہوتا ہے کہ ثانوی جانب پر بوجھ لدا ہے۔ شکل میں دونوں لچھوں میں برقی رو کی سمتیں یوں ہیں کہ ان کے مقناطیسی بہاو آپس میں الٹ سمت میں ہیں لہذا قالب میں اب پھر مقناطیسی بہاو ϕ_m کے برابر ہے جیسا کہ ہونا چاہئے تھا۔ اس مساوات کو یوں لکھ سکتے ہیں

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

یہ وہی مساوات ہے جو کامل ٹرانسفارمر کے لئے ثابت کی گئی تھی۔

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

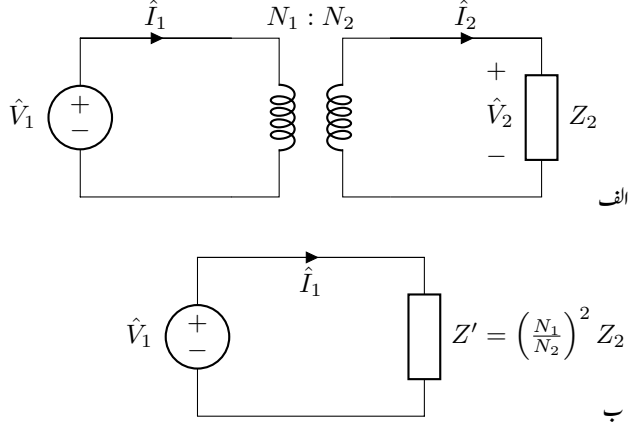
$$\frac{\hat{V}_1}{\hat{I}_1} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 \frac{\hat{V}_2}{\hat{I}_2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 Z_2 \quad (3.22)$$

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

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

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

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



شکل 3.8: ٹرانسفارمر کی خاصیت متبادلہ رکاوٹ۔

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

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

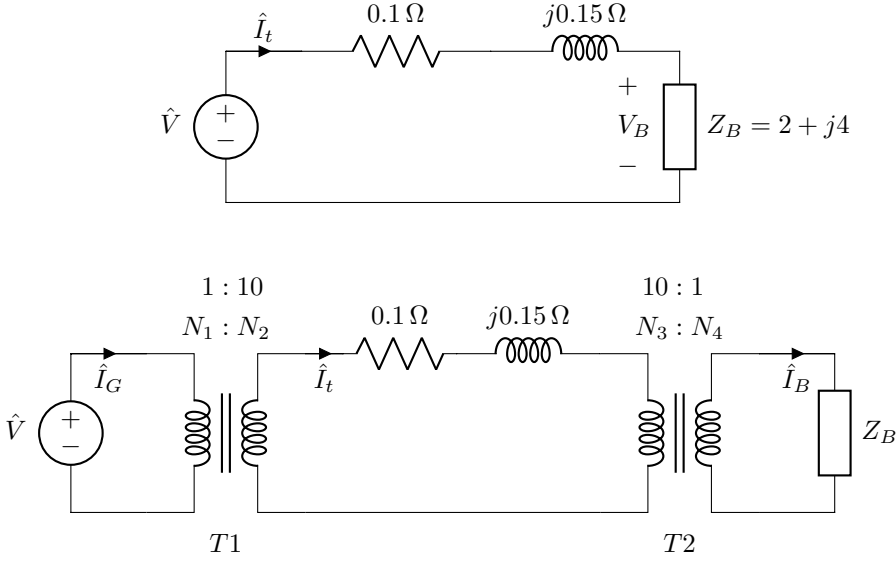
اور یوں الف اور ب دونوں حصوں میں برقی دباؤ \hat{V}_1 سے حاصل برقی طاقت برابر ہے یعنی

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

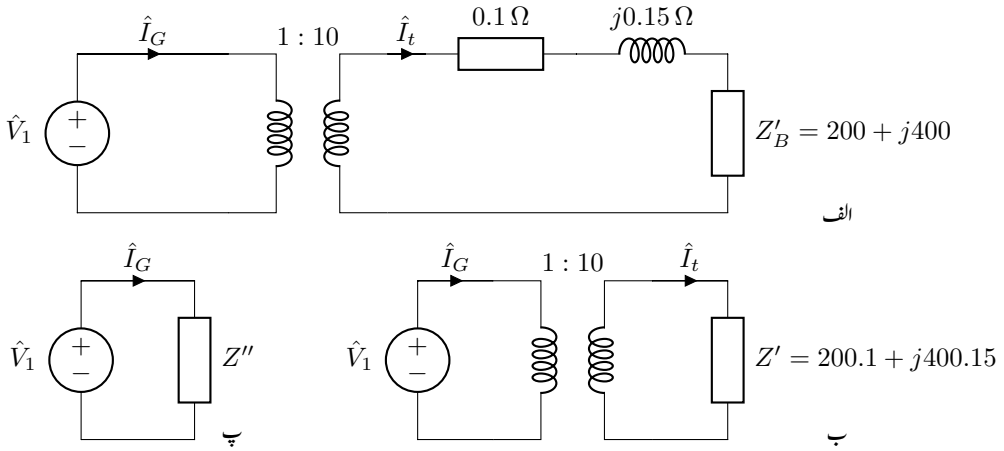
یوں اگر ٹرانسفارمر کے ثانوی جانب رکاوٹ Z_2 کا بوجھ ہو تو حساب کرتے وقت ہم یہ اخذ کر سکتے ہیں کہ ٹرانسفارمر بمع رکاوٹ Z_2 کی جگہ صرف Z_1 رکاوٹ لگی ہے، جہاں Z_1 مساوات 3.23 سے حاصل ہوتی ہے۔ رکاوٹ کا یوں ٹرانسفارمر کی ایک جانب سے دوسری جانب متبادلہ کیا جاسکتا ہے۔ ٹرانسفارمر کی اس خاصیت کو متبادلہ رکاوٹ⁵³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

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

⁵³ impedance transformation



شکل 3.9: برقی طاقت کی منتقلی۔



شکل 3.10: ٹرانسفارمر مقدم باقدم 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

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

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 متبادلہ 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

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

یہاں سے شکل 3.10-ب کی مدد سے اگر جزیئر کی برقی رو معلوم ہو تو متبادلہ برقی رو سے

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

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 متبادلہ 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 وولٹ-ایمپیئر⁵⁴ کہا جاتا ہے⁵⁵۔ یہ ٹرانسفارمر کی برقی سکت کی ناپ ہے جو اس پر لگی تختی پر لکھا جاتا ہے۔ اس تختی پر ٹرانسفارمر کے برقی دباؤ اور برقی تعداد ارتعاش بھی لکھے جاتے ہیں۔ یوں ٹرانسفارمر کے وولٹ-ایمپیئر

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

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۔

⁵⁴ volt-ampere, VA
⁵⁵ وولٹ-ایمپیئر کو عموماً گلو وولٹ-ایمپیئر یعنی kV A میں بیان کیا جاتا 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

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

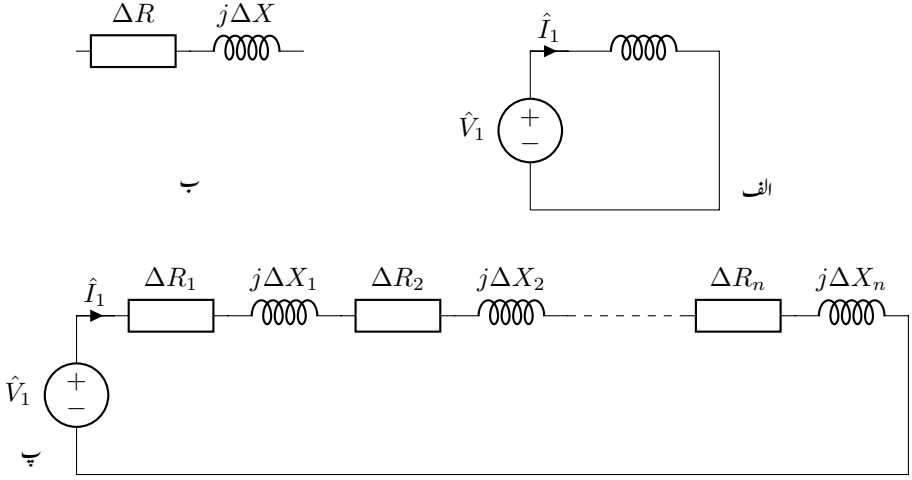
□

ٹرانسفارمر کی دونوں جانب لچھوں میں استعمال برقی تار کی موٹائی یوں رکھی جاتی ہے کہ ان میں کثافت برقی رو J 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 تختی پر لکھا جاتا ہے۔ اس سے حاصل برقی رو کی حد کو ایک مختلف طریقے سے لکھا جاتا ہے۔

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۔

3.10 ٹرانسفارمر کے امالہ اور اس کے مساوی دور

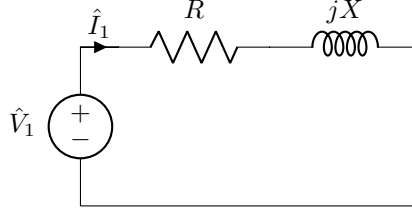
3.10.1 لچھے کی مزاحمت اور اس کی متعاملہ علیحدہ کرنا

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۔

اس دور کی مساوات لکھ کر حل کرتے ہیں۔

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



شکل 3.12: لچھے کی مزاحمت اور متعاملہ کی علیحدگی۔

جہاں

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

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

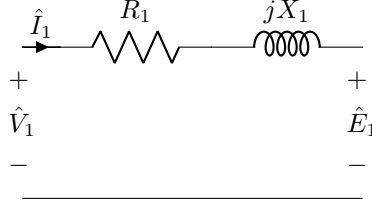
اس سے شکل 3.12 حاصل ہوتا ہے جس سے ثابت ہوتا ہے کہ حساب کتاب کی غرض سے لچھے کی مزاحمت اور متعاملہ علیحدہ کیے جاسکتے ہیں۔

3.10.2 رستہ مالہ

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۔

ابتدائی لچھے کے مقناطیسی بہاؤ 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 بہاؤ 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 رستہ مقناطیسی بہاؤ⁵⁷ کہتے ہیں۔ یہ شکل میں دکھایا گیا ہے۔ چونکہ ہوا میں مقناطیسی مستقل μ_0 مقررہ ہے لہذا یہاں ہچکچاہٹ بھی مقررہ ہے۔ یوں رستہ مقناطیسی بہاؤ ابتدائی لچھے کی برقی رو کے براہ راست متناسب ہوتی ہے۔

⁵⁷leakage magnetic flux



شکل 3.13: ٹرانسفارمر مساوی دور، حصہ اول۔

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 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۔

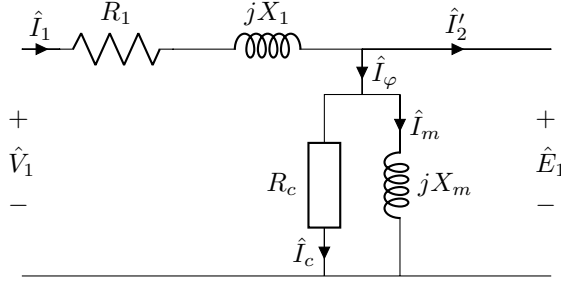
یوں ابتدائی لچھے پر لاگو برقی دباؤ \hat{V}_1 میں سے کچھ برقی دباؤ R_1 میں کم ہو گا، کچھ متعاملہ X_1 میں کم ہو گا اور بقیہ \hat{E}_1 کے برابر ہو گا۔ یہ شکل 3.13 میں دکھایا گیا ہے۔

3.10.3 ثانوی برقی رو اور قالب کے اثرات

قالب میں دونوں لچھوں کا مشترکہ مقناطیسی بہاؤ 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 ہو گی۔ پہلی یہ کہ 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

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

⁵⁸leakage inductance
⁵⁹leakage reactance



شکل 3.14: ٹرانسفارمر مساوی دور، حصہ دوم۔

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

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

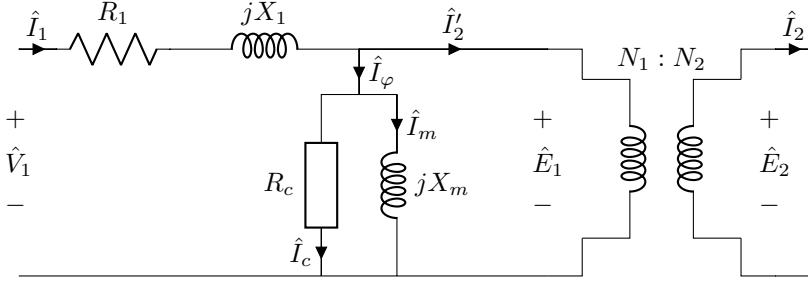
جہاں \hat{I}_c اس کا وہ حصہ ہے جو ابتدائی لچھے کی امالی برقی دباؤ \hat{E}_1 کے ہم قدم ہے اور یہ قالب میں برقی توانائی کے ضیاع کو ظاہر کرتا ہے جبکہ \hat{I}_m اس کا وہ حصہ ہے جو \hat{E}_1 سے نوے درجہ زاویہ پیچھے ⁶¹ ہے اور لچھے میں مقناطیسی بہاؤ کو جنم دیتا ہے۔ برقی رو کے ان حصوں کو ہم ایک مزاحمت R_c اور 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 $p_c = E_{1,rms}^2 / R_c$ ، 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۔

3.10.4 ثانوی لچھے کی امالی برقی دباؤ

قالب میں مشترکہ مقناطیسی بہاؤ ثانوی 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

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

⁶⁰ سائن نما برقی رو کو مرطی سمتیہ سے ظاہر کیا جاتا ہے
⁶¹ lagging



شکل 3.15: ٹرانسفارمر مساوی دور، حصہ سوم۔

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

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

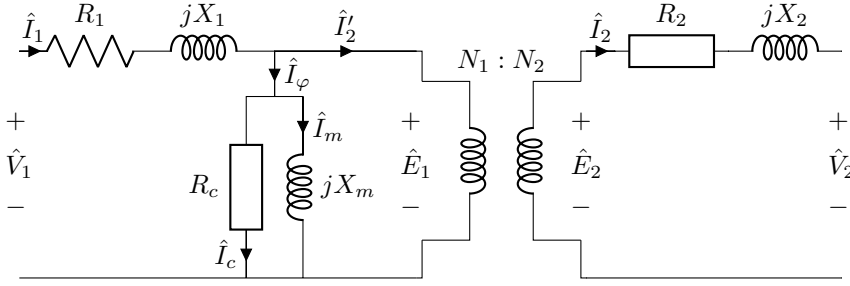
$$(3.32) \quad \hat{V}_2 = \hat{E}_2 - \hat{I}_2 R_2 - j \hat{I}_2 X_2$$

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

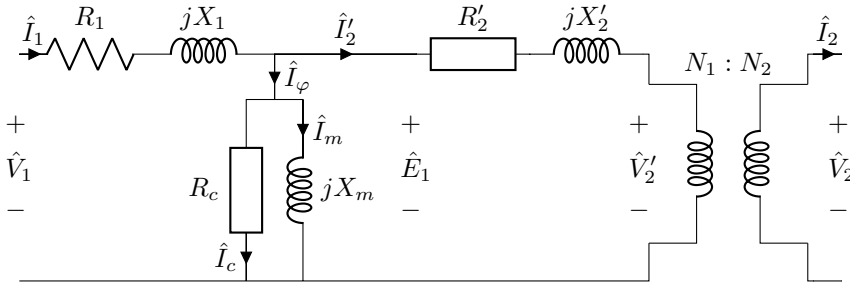
3.10.6 رکاوٹ کا ابتدائی یا ثانوی جانب تبادلہ

شکل 3.16 میں دکھائے دور کے سب جزو کا تبادلہ 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 تبادلہ کیا گیا ہے جبکہ شکل 3.18 میں ابتدائی جانب کی رکاوٹ کا ثانوی جانب تبادلہ کیا گیا ہے۔ اس طرح حاصل مساوی دور میں عموماً کامل ٹرانسفارمر بنایا ہی نہیں جاتا۔ یہی شکل 3.18 میں کیا گیا ہے۔

mathematical model⁶²



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



شکل 3.17: تینوی جانب رکاوٹ کا ابتدائی جانب تبادله کیا گیا ہے۔

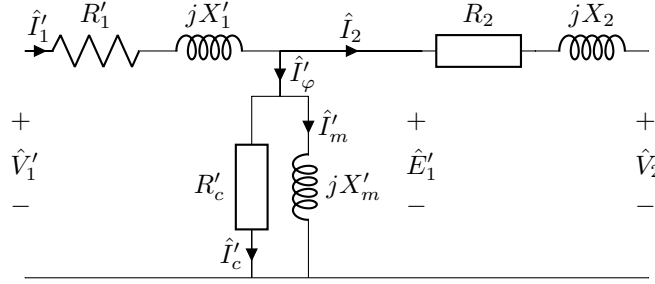
تبادلہ شدہ رکاوٹ Z کو Z' سے ظاہر کیا جاتا ہے۔ یوں R_2 کے ٹرانسفارمر کی دوسری جانب تبادله کے بعد اسے R'_2 سے ظاہر کیا گیا ہے۔

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

مثال 3.6: ایک 50 کلو وولٹ-ایمپیر اور 2200 : 220 وولٹ برقی سکت کے ٹرانسفارمر کی زیادہ برقی دباؤ کی جانب کی رستار رکاوٹ $Z_1 = 0.9 + j1.2$ اوہم اور کم برقی دباؤ کی جانب کی رستار رکاوٹ $Z_2 = 0.0089 + j0.011$ 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:

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



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

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 متبادلہ 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۔

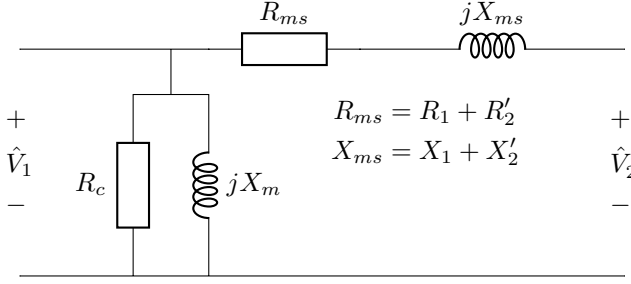
حل حصہ دوم: اگر مساوی دور کی رکاوٹ کا کم برقی دباؤ کی جانب متبادلہ کیا جائے تب

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

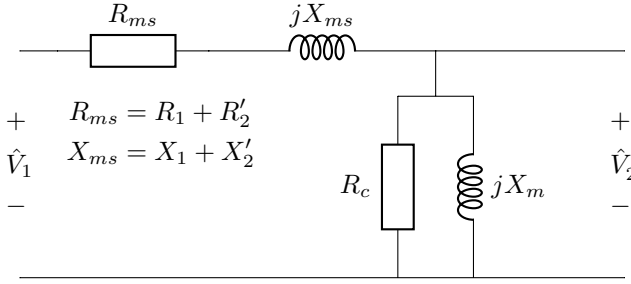
اسی طرح

$$R_c' = \left(\frac{N_2}{N_1}\right)^2 R_c = 64$$

$$X_m' = \left(\frac{N_2}{N_1}\right)^2 X_m = 470$$



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۔

□

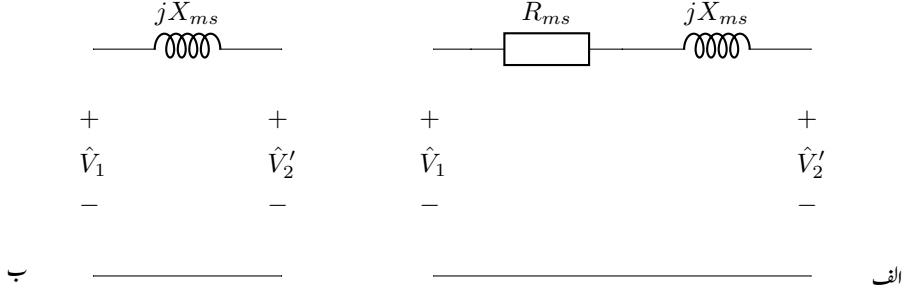
جبکہ Z_2 وہی رہے گا۔

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' ، X_2' اور R_1 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 X_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 ہیجان 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

$$I_t = I_1 = I_\phi$$

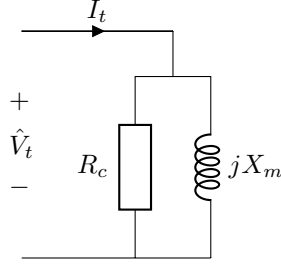
اتنی کم برقی رو سے لچھے کی رکاوٹ میں نہایت کم برقی دباؤ گھٹتا ہے، لہذا اسے نظر انداز کیا جاتا ہے یعنی

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

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

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 ہوگی۔ 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

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

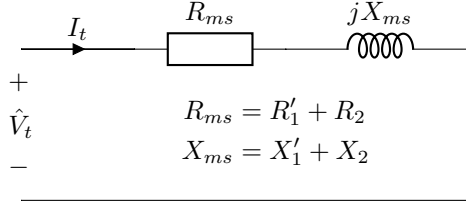
مگر شکل 3.22 سے واضح ہے کہ

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

لہذا

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

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



فکل 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۔

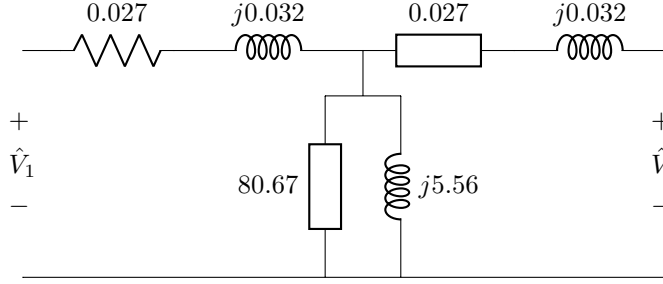
- کھلے دور معائنہ کرتے وقت کم برقی دباؤ کی جانب 220 V لاگو کئے جاتے ہیں۔ اسی جانب برقی رو 39.64 A اور طاقت کا ضیاع 600 W ناپے جاتے ہیں۔
- کسر دور معائنہ کرتے وقت زیادہ برقی دباؤ کی جانب 440 V لاگو کئے جاتے ہیں۔ اسی جانب برقی رو 2.27 A اور طاقت کا ضیاع 560 W ناپے جاتے ہیں۔

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

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

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

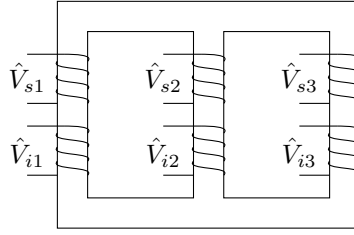
یعنی

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

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

□

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

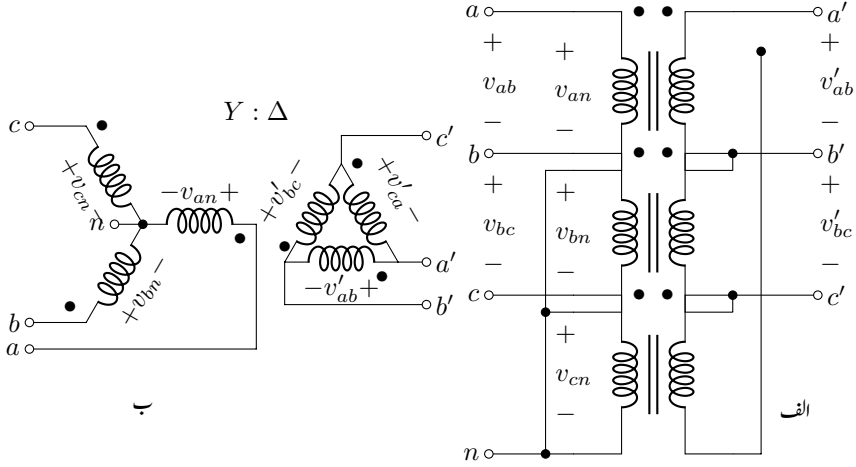
- ستارہ: ٹکونی $Y : \Delta$
- ستارہ: ستارہ $Y : Y$
- ٹکونی: ٹکونی $\Delta : \Delta$

⁶⁷single phase

⁶⁸three phase

⁶⁹star connected

⁷⁰delta 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 جوڑا 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 سر a'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}_{tar} کہتے ہیں اور کسی بھی گرم تار میں برقی رو کو تار کے برقی رو تار⁷⁸ \hat{I}_{tar} کہتے ہیں۔ زمینی تار میں برقی رو کو زمین برقی رو⁷⁹ $\hat{I}_{زمینی}$ کہتے ہیں۔

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

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

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

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

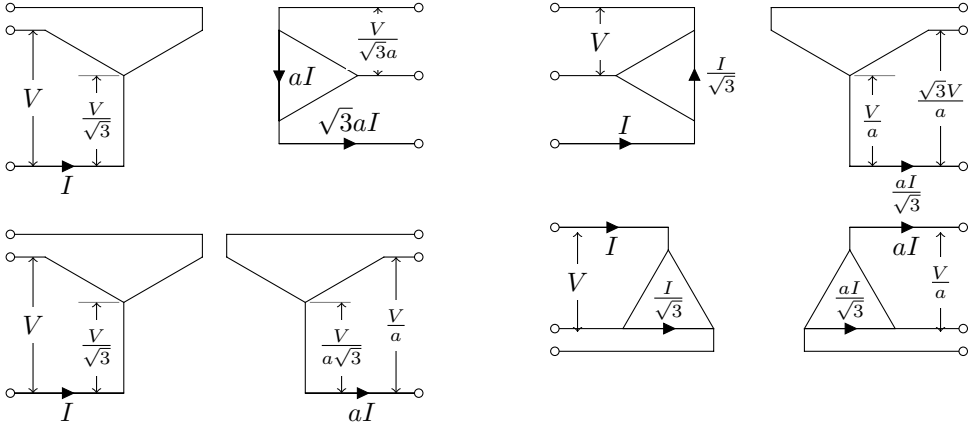
یہ مرحلی سمتیہ کے رشتے نہیں بلکہ ان کی غیر سمتی قیمتوں کے رشتے ہیں۔ ان دو مساواتوں سے حاصل ہوتا ہے

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

چونکہ ایک مرحلہ ٹرانسفارمر کی وولٹ-ایمپیئر⁷⁶ $V_{مرحلہ}I_{مرحلہ}$ 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

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

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 66 پر دئے مساوات 3.16 اور صفحہ 70 پر دئے مساوات 3.23 پر پورے اترے گا۔ انہیں استعمال کر کے شکل 3.27 میں دیئے گئے ٹرانسفارمروں 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۔

□

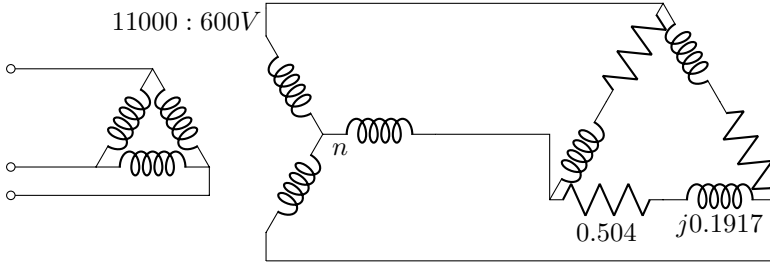
ستارہ-ستارہ جڑے ٹرانسفارمر عام طور استعمال نہیں ہوتے۔ اس کی وجہ یہ ہے کہ اگرچہ ان کی تین مرحلہ برقی دباؤ کے بنیادی جزو آپس میں 120° زاویائی فاصلے پر ہوتے ہیں لیکن ان کی تیسری موسیقائی جزو آپس میں ہم قدم ہوتی ہیں۔ قالب کی غیر بتدریج خصوصیات کی وجہ سے ٹرانسفارمر میں ہر صورت تیسری موسیقائی جزو پائے جاتے 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 تکونی 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 تکونی 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

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

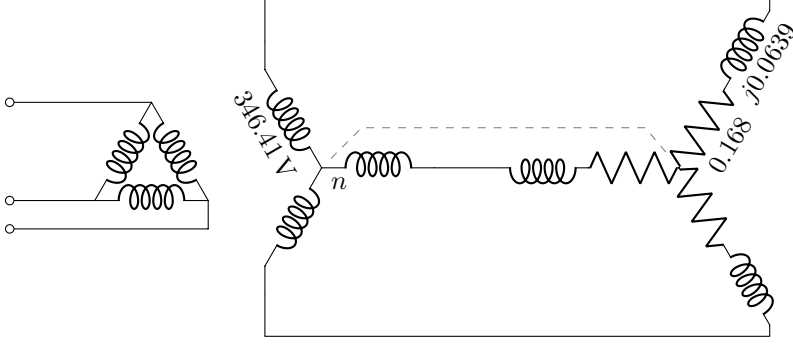
ہوگی اور اس ایک مرحلہ میں طاقت

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

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

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

□

ایمپیر 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 51 پر دکھائے شکل 2.17 سے رجوع کریں۔ قوی ٹرانسفارمر میں ہیجانی 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 ہیجان انگیز برقی رو نہایت زیادہ ہو گی۔

⁸⁵ steady state

⁸⁶ time period

⁸⁷ 2000 کلو وولٹ - ہیمپٹر 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 پتیاں، 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
پتیاں، 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
ٹائوی جانب، 55
چاول، 43
جزو
پھیلاؤ، 147
جزو طاقت، 23
پیش، 23
تاخیری، 23

- جزیر 159، بدلتی رو، 176، 229، سرک چٹے،
 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،
 فورئیر، 250،
 فورئیر 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 جڑی مرکب، 253،
 جزیر
 بدلتی رو، 159،
 جوڑ
 ٹکونی، 92،
 ستارہ نما، 92،
 چکر فی منٹ، 126،
 چوٹی، 211،
 خطی
 برقی دور، 226،
 خودارتباط بہاء، 42،
 خودامالہ، 42،
 داخلی پیمان
 سلسلہ وار، 253،
 متوازی، 253،
 مرکب، 253،
 دور جڑی مرکب، 253،
 دور شکن، 178،
 دوری عرصہ، 100، 142،
 دھرا، 161،
 رستا
 امالہ، 79،
 متعاملہ، 79،
 رستائیت، 217،
 رفتار
 اضافی زاویائی، 212،
 روغن، 62،
 ریاضی نمونہ، 81، 207،
 ریلے، 101،
 زاویہ جزو طاقت، 23،
 زمین، 94،
 زمینی برقی رو، 94،
 زمینی تار، 94،
 ساکن حصہ، 36،
 ساکن پچھا، 104، 127،
 ستارہ نما جوڑ، 92،
 سرک، 209،

- 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
 کپیٹر، 194
 کثافت
 برقی رو، 27
 کثافت مقناطیسی بہاؤ
 بقایا، 45
 کسر دور، 38
 گرم تار، 94
 گھومتا حصہ، 36
 گھومتا لچھا، 104
 لچھا
 ابتدائی، 55
 پھیلے، 140
 پیچیدار، 40
 ثانوی، 55
 زیادہ برقی دباؤ، 56
 ساکن، 104
 سمت، 133
 قوی، 131
 کم برقی دباؤ، 56
 گھومتا، 104
 میدانی، 131
 محدود
 کار تیزی، 4
 نکلی، 5
 محرک برقی دباؤ، 61
 محور، 161
 مخلوط عدد، 192
 مرحلی سمتیہ، 186، 21
- مرحلی فرق، 23
 مرکب جزیئر، 253
 مزاحمت، 25
 مساوات لورینز، 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
 کثافت، 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
 وپیر، 32

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

ویرجہ پھر، 39
پچکا ہٹ، 25، 30
ہم قدم، 69
ہیجان، 61
ہیرونی، 251
خود، 251
لچھا، 61
ہیجان انگیز
برقی دباؤ، 61
برقی رو، 61
ہیجان انگیز برقی رو، 60
ہیجانی برقی دباؤ، 185