

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 پنکچا ہٹ	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
60	3.3	امالی برقی دباؤ
62	3.4	ہیجان انگیز برقی رد اور قابلی ضیاع
65	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
70	3.8	رکاوٹ کا تبادلہ
75	3.9	ٹرانسفارمر کے وولٹ-امپیئر
77	3.10	ٹرانسفارمر کے امالہ اور اس کے مساوی دور
77	3.10.1	لچھے کی مزاحمت اور اس کی متعاملہ علیحدہ کرنا
78	3.10.2	رستا امالہ
79	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 جنریٹر
164	5.6.2	یک سمتی رو برقی جنریٹر
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 موثر: 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

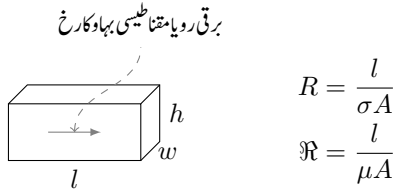
مقناطیسی ادوار

2.1 مزاحمت اور ہچکچاہٹ

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

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

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۔ ہچکچاہٹ کی اکائی ایمپیئر-پکرفیویر ہے جس کی وضاحت جلد کی جائے گی۔

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

حل:

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

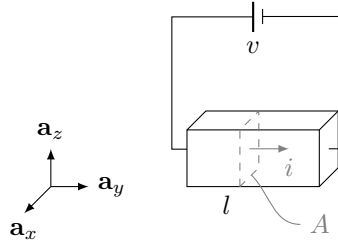
□

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 $\sigma = 5.9 \times 10^7 \frac{S}{m}$ ہے جو بہت بڑی مقدار ہے۔ موصلیت کی اکائی $\frac{S}{m}$ ہے۔ تانبا کی موصلیت کی مقدار بہت بڑی ہونے کی بنا اس سے بنی تار کی مزاحمت¹³ $R_{\text{تار}}$ عموماً قابل نظر انداز ہو گی۔ تار میں برقی رو i گزرنے سے تار کے سروں کے بیچ برقی دباؤ $\Delta v = i R_{\text{تار}}$ پیدا ہو گا جس کو $0 \rightarrow R_{\text{تار}}$ 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۔

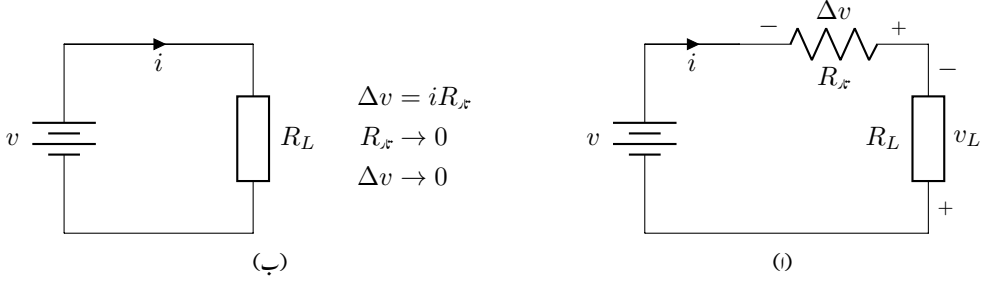
شکل 2.3-الف میں ایک ایسا ہی برقی دور دکھایا گیا ہے جس میں تانبے کی تار کی مزاحمت کو اکٹھے کر کے ایک ہی جگہ $R_{\text{تار}}$ دکھایا گیا ہے۔ اس دور کے لئے درج ذیل لکھا جاسکتا ہے۔

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

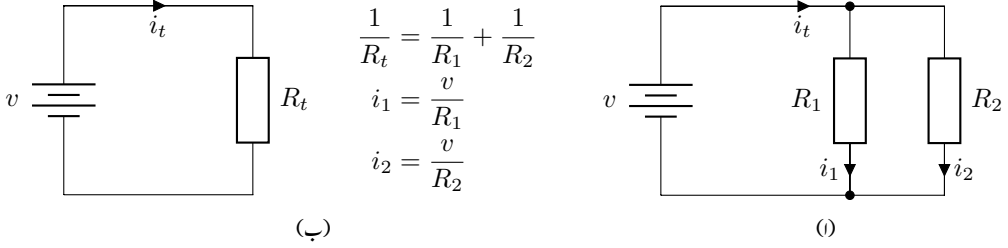
تار میں برقی گھٹاؤ Δv نظر انداز کرتے ہوئے

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

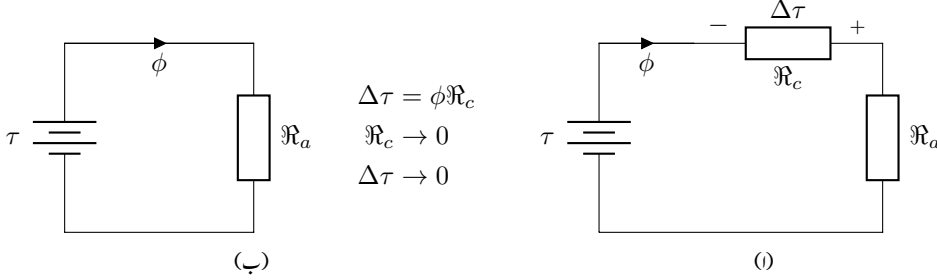
حاصل ہوتا ہے۔ اس کا مطلب ہوا کہ تار میں برقی دباؤ کا گھٹاؤ قابل نظر انداز ہونے کی صورت میں لاگو برقی دباؤ جوں کا توں مزاحمت R_L تک پہنچتا ہے۔ برقی ادوار حل کرتے ہوئے یہی حقیقت بروئے کار لاتے ہوئے تار میں برقی دباؤ کے گھٹاؤ کو نظر انداز کیا جاتا ہے۔ شکل 2.3-الف میں ایسا کرنے سے شکل 2.3-ب حاصل ہوتا ہے۔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

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

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

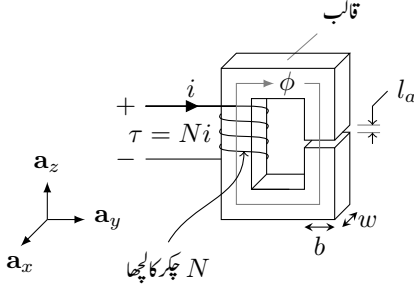
برقی دور کی طرح، مفت طیسی دباؤ کو کم ہچکچاہٹ کی راہ استعمال کرتے ہوئے مقام ضرورت تک پہنچایا جاتا ہے۔ مساوات 2.2 کے تحت ہچکچاہٹ کی قیمت مفت طیسی مستقل μ پر منحصر ہے۔ مفت طیسی مستقل کی اکائی ہینری فی میٹر $\frac{H}{m}$ ہے۔ μ کو عموماً $\mu = \mu_r \mu_0$ لکھا جاتا ہے جہاں $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ 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۔

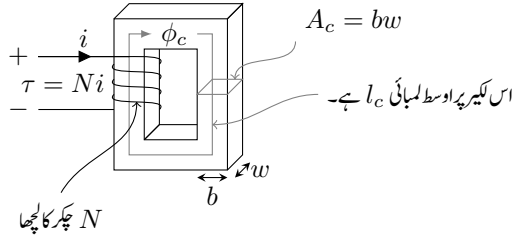
$$\begin{aligned} 0.1 &= \frac{100 \times i \times 4\pi 10^{-7}}{0.001} \\ i &= \frac{0.1 \times 0.001}{100 \times 4\pi 10^{-7}} = 0.79567 \text{ A} \end{aligned}$$

□

$i = 0.79567 \text{ A}$ 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۔

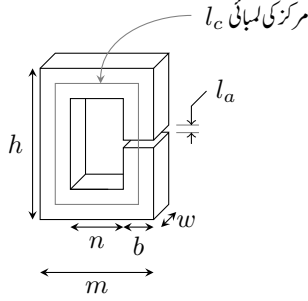
قالب میں مقناطیسی بہاو گھڑی کے رخ ہے۔ مقناطیسی بہاو ϕ کو شکل 2.7 میں ہلکی سیاہی کے تیر دار لکیر سے ظاہر کیا گیا ہے۔ قالب کی ہچکچاہٹ

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

لکھتے ہوئے مقناطیسی بہاو

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

²⁹ Fleming's right hand rule



$$A_a = A_c = bw$$

$$b = \frac{m - n}{2}$$

$$l_c = 2(h + n) - l_a$$

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:

$$b = \frac{m - n}{2} = \frac{0.1 - 0.08}{2} = 0.01 \text{ m}$$

$$A_a = A_c = bw = 0.01 \times 0.02 = 0.0002 \text{ m}^2$$

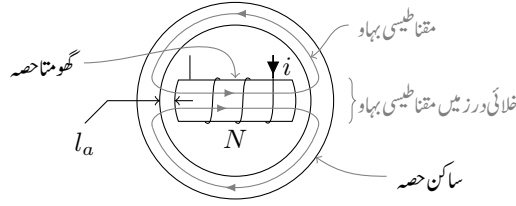
$$l_c = 2(h + n) - l_a = 2(0.2 + 0.08) - 0.001 = 0.559 \text{ m}$$

$$\mathcal{R}_c = \frac{l_c}{\mu_r \mu_0 A_c} = \frac{0.559}{40000 \times 4\pi 10^{-7} \times 0.0002} = 55\,598 \text{ A} \cdot \text{t/Wb}$$

$$\mathcal{R}_a = \frac{l_a}{\mu_0 A_a} = \frac{0.001}{4\pi 10^{-7} \times 0.0002} = 3\,978\,358 \text{ A} \cdot \text{t/Wb}$$

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 ہوگی۔ 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 ہوگی۔ 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 ہوگی۔

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

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۔ قانونِ 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۔

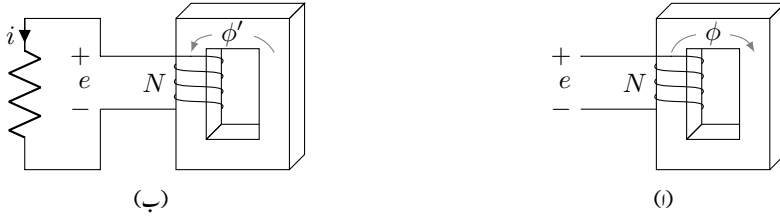
امالی برقی دباؤ کا رخ تعین کرنے کی خاطر لچھے کے سروں کو کمرِ دور³⁵ کریں۔ لچھے میں پیدا برقی رو اس رخ ہو گا جو مقناطیسی بہاو کی تبدیلی کو روکے۔

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-ا 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-ب 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 ہیز H ³⁹ 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

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

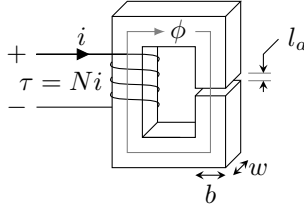
³⁶ flux linkage

³⁷ weber-turn

³⁸ inductance

³⁹ Henry

⁴⁰ امریکی سائنسدان جوزف ہیز 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۔

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

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

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

□

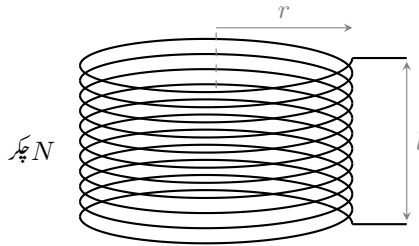
مثال 2.6: شکل 2.12 میں ایک پیچدار لچھا⁴¹ دکھایا گیا ہے جس کی جسامت درج ذیل ہے۔

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

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۔

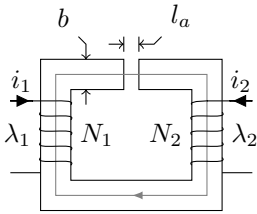
$$L = \frac{4\pi 10^{-7} \times 11^2 \times \pi \times 0.49^2}{0.94} = 122 \mu\text{H}$$

□

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



مونائی = 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

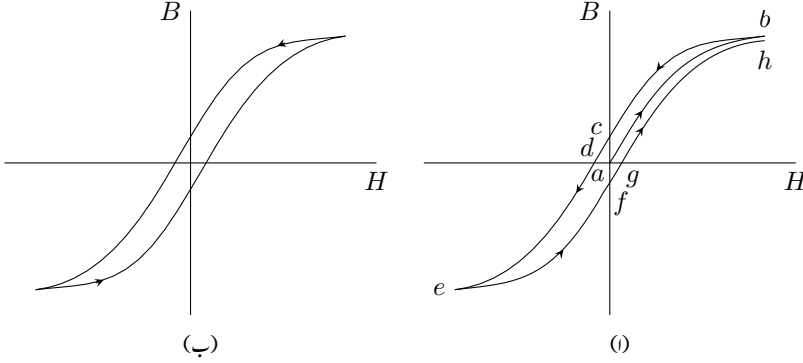
⁴⁸Joule

⁴⁹49 تیسری پریکٹس جاول انگلستانی سائنسدان جنہوں نے حرارت اور میکانیکی کام کا رشتہ دریافت کیا

⁵⁰power

⁵¹51-کالمبیز کے جیمز واٹ جنہوں نے بخارات 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۔

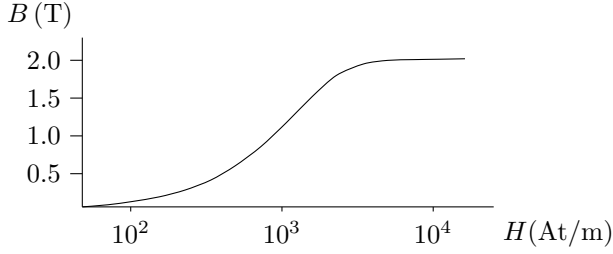
نقطہ c سے میدان کی شدت منفی رخ بڑھانے سے B کم ہوتے ہوئے آخر کار ایک مرتبہ دوبارہ صفر ہو جائے گی۔ اس نقطہ کو d سے ظاہر کیا گیا ہے۔ مقناطیسیت ختم کرنے کے لئے درکار میدان کی شدت کی مقدار $|H_d|$ کو مقناطیسیت ختم کرنے والی شدت یا مختصراً خاتم شدت⁵⁴ کہتے ہیں۔

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۔ ٹرانسفارمر 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۔

لوا نما 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۔

$$H = \frac{B}{\mu_0} = \frac{1}{4\pi 10^{-7}} = 795\,671$$

یوں 3 ملی میٹر خلاء کو $0.003 \times 795\,671 = 2387$ 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

$$H = \frac{B}{\mu_0} = \frac{2}{4\pi 10^{-7}} = 1\,591\,342$$

ایمپیئر-چکر فی میٹر درکار ہیں لہذا 3 ملی میٹر لمبی خلاء کو $0.003 \times 1\,591\,342 = 4774$ 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 بجلی 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

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

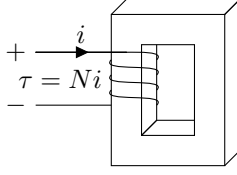
کی صورت میں قالب میں درج ذیل بدلتا مقناطیسی بہاؤ φ پیدا ہو گا۔

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

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۔

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

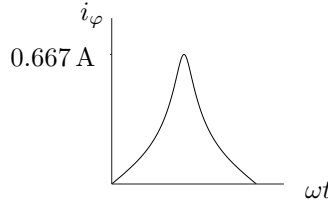
مساوات 2.52 کی مدد سے ہم کثافتِ مقناطیسی بہاؤ کی چوٹی حاصل کرتے ہیں۔

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

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۔

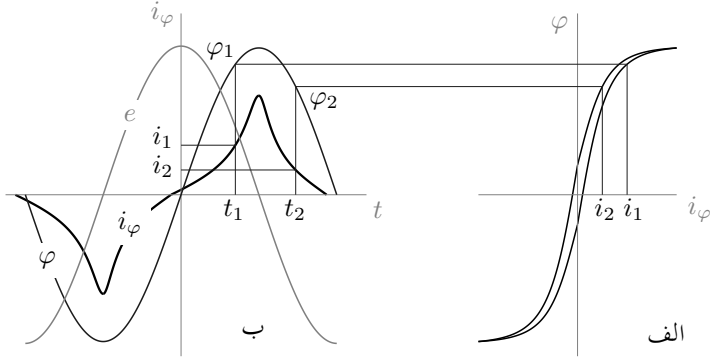
یوں قالب میں کثافتِ مقناطیسی بہاو کا حیثہ 1.601 ہو گا اور قالب میں کثافتِ مقناطیسی بہاو کی مساوات درج ذیل ہو گی۔

(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 پالہ⁶¹ 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۔

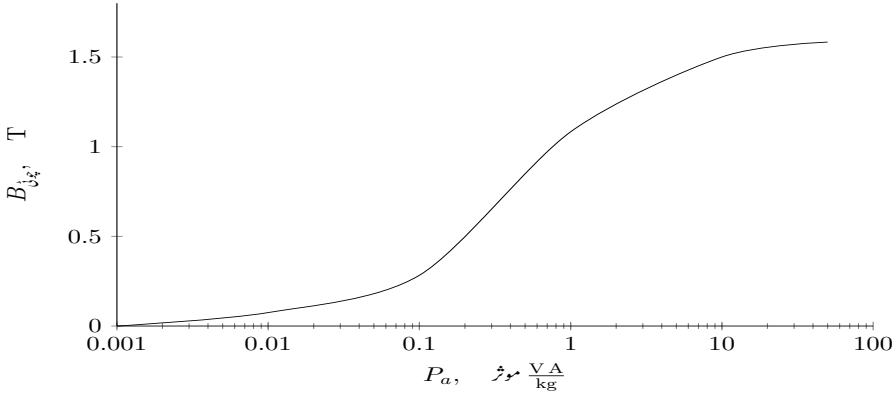
شکل 2.18-الف میں مقناطیسی چال کا دائرہ دکھایا گیا ہے۔ درج ذیل تعلقات کی بنا مقناطیسی چال کے خط کو $i_\phi - \phi$ کا خط لکھا جاسکتا ہے۔

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

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۔

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

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

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

- harmonic, 142
- harmonic components, 64

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

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

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

- E,I, 62

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

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

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

Henry, 39
 hunting, 178
 hysteresis loop, 46

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

 Joule, 43

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

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

 name plate, 97
 non-salient poles, 177

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

unit vector, 2

VA, 75

vector, 2

volt, 137

volt-ampere, 75

voltage, 137

DC, 164

transformation, 66

Watt, 43

Weber, 32

winding

distributed, 140

winding factor, 147

star connected, 92

stator, 36

stator coil, 104, 127

steady state, 175

step down transformer, 58

step up transformer, 58

surface density, 11

synchronous, 130

synchronous inductance, 184

synchronous speed, 155, 176

Tesla, 33

theorem

maximum power transfer, 229

Thevenin theorem, 226

three phase, 59, 92

time period, 100, 142

torque, 165, 209

pull out, 178

transformer

air core, 59

communication, 59

ideal, 65

transient state, 175

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

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

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

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

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

ویر-چکر، 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