برقی آلات

خالد خان یوسفزئی

جامعہ کامسیٹ، اسلام آباد
khalidyousafzai@comsats.edu.pk

عنوان

دیباچہ ix

1 بنیادی حقائق 1

1.1 بنیادی اکائیاں 1

1.2 مقداری 1

1.3 سمتیہ 2

1.4 محدد، خط مرتب 3

1.4.1 کارتیسی محدد کا نظام 3

1.4.2 نلکی محدد کا نظام 4

1.5 سمتیہ رقبہ 7

1.6 رقبہ عمودی تراش 8

1.7 برقی میدان اور مقناطیسی میدان 9

1.7.1 برقی میدان اور برقی میدان کی شدت 9

1.7.2 مقناطیسی میدان اور مقناطیسی میدان کی شدت 11

1.8 سطحی اور حجمی کثافت 11
1.8.1 سطحی کثافت 11
1.9 حجمی کثافت 12
1.10 ضربِ صلیبی اور ضربِ نقطہ 13
1.10.1 ضرب صلیبی 13
1.10.2 ضربِ نقطہ 16
1.11 تفرق اور جزوی تفرق 18
1.12 خطی تکمل 19
1.13 سطحی تکمل 20
1.14 مرحلی سمتیہ 21

2 مقناطیسی ادوار 25
2.1 مزاحمت اور ہچکچاہٹ 25
2.2 کثافتِ برقی رو اور برقی میدان کی شدت 26
2.3 برقی ادوار 28
2.4 مقناطیسی دور حصہ اول 30
2.5 کثافتِ مقناطیسی بہاو اور مقناطیسی میدان کی شدت 31
2.6 مقناطیسی دور حصہ دوم 34
2.7 خود امالہ، مشترکہ امالہ اور توانائی 38
2.8 مقناطیسی مادہ کے خصوصیات 45
2.9 ہیجان شدہ لچھا 49

3 ٹرانسفارمر 55
3.1 ٹرانسفارمر کی اہمیت 56
3.2 ٹرانسفارمر کے اقسام 59
3.3 امالی برقی دباو 60
3.4 ہیجان انگیز برقی رواور قالبی ضیاع 62
3.5 تبادلہ برقی دباواور تبادلہ برقی رو کے خصوصیات 65
3.6 ثانوی جانب بوجھ کا ابتدائی جانب اثر 68
3.7 ٹرانسفارمر کی علامت پر نقطوں کا مطلب 69
3.8 رکاوٹ کا تبادلہ 70
3.9 ٹرانسفارمر کے وولٹ-ایمپیئر 75
3.10 ٹرانسفارمر کے امالہ اور اس کے مساوی دور 77
3.10.1 لچھے کی مزاحمت اور اس کی متعاملہ علیحدہ کرنا 77
3.10.2 رِستا امالہ 79
3.10.3 ثانوی برقی رواور قالب کے اثرات 79
3.10.4 ثانوی لچھے کی امالی برقی دباو 81
3.10.5 ثانوی لچھے کی مزاحمت اور متعاملہ کے اثرات 82
3.10.6 رکاوٹ کا ابتدائی یا ثانوی جانب تبادلہ 82
3.10.7 ٹرانسفارمر کے سادہ ترین مساوی دور 84
3.11 کھلے دور معائنہ اور کسرِ دور معائنہ 86
3.11.1 کھلے دور معائنہ 87
3.11.2 کسرِ دور معائنہ 89
3.12 تین مرحلہ ٹرانسفارمر 93
3.13 ٹرانسفارمر چالو کرتے لمحہ زیادہ محرکی برقی رو کا گزر 101

4 برقی اور میکانی توانائی کا باہمی تبادلہ 103

4.1 مقناطیسی نظام میں قوت اور قوت مروڑ . . . 104

4.2 تبادلہ توانائی والا ایک لچھے کا نظام . . . 109

4.3 توانائی اور کو-توانائی . . . 114

4.4 زیادہ لچھوں کا مقناطیسی نظام . . . 119

5 گھومتے مشین کے بنیادی اصول 127

5.1 قانونِ فیراڈے . . . 127

5.2 معاصر مشین . . . 128

5.3 محرک برقی دباو . . . 138

5.4 پھیلے لچھے اور سائن نما مقناطیسی دباو . . . 142

5.4.1 بدلتی رو والے مشین . . . 143

5.5 مقناطیسی دباو کی گھومتی موجیں . . . 152

5.5.1 ایک دور کی لپٹی مشین . . . 152

5.5.2 تین دور کی لپٹی مشین کا تحلیلی تجزیہ . . . 154

5.5.3 تین دور کی لپٹی مشین کا ترسیمی تجزیہ . . . 158

5.6 محرک برقی دباو . . . 162

5.6.1 بدلتی رو برقی جنریٹر . . . 162

5.6.2 یک سمتی رو برقی جنریٹر . . . 167

5.7 ہموار قطب مشینوں میں قوت مروڑ . . . 168

5.7.1 توانائی کے طریقے سے میکانی قوت مروڑ کا حساب . . . 168

5.7.2 مقناطیسی بہاو سے میکانی قوت مروڑ کا حساب . . . 170

6 یکساں حال، برقرار چالو معاصر مشین 177

6.1 متعدد مرحلہ معاصر مشین 178
6.2 معاصر مشین کے امالہ 181
6.2.1 خود امالہ 182
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 189
6.5 یکساں حال، برقرار چالو مشین کے خصوصیات 194
6.5.1 معاصر جنریٹر: برقی بوجھ بالمقابل I_m کے خطوط 194
6.5.2 معاصر موٹر: I_a بالمقابل I_m کے خط 195
6.6 کھلے دور اور کسرِ دور معائنہ 197
6.6.1 کھلے دور معائنہ 197
6.6.2 کسرِ دور معائنہ 198

7 امالی مشین 209

7.1 ساکن لچھوں کی گھومتی مقناطیسی موج 210

7.2 مشین کی سرکنے اور گھومتی موجوں پر تبصرہ 210

7.3 ساکن لچھوں میں امالی برقی دباو 213

7.4 ساکن لچھوں کی موج کا گھومتے لچھوں کے ساتھ اضافی رفتار اور ان میں پیدا امالی برقی دباو 213

7.5 گھومتے لچھوں کی گھومتی مقناطیسی دباو کی موج 217

7.6 گھومتے لچھوں کے مساوی فرضی ساکن لچھے 218

7.7 امالی موٹر کا مساوی برقی دور 219

7.8 مساوی برقی دور پر غور 224

7.9 امالی موٹر کا مساوی تھونن دور یا ریاضی نمونہ 228

7.10 پنجرا نما امالی موٹر 234

7.11 بے بوجھ موٹر اور جامد موٹر کے معائنہ 235

7.11.1 بے بوجھ موٹر کا معائنہ 235

7.11.2 جامد موٹر کا معائنہ 237

8 یک سمتی رو مشین 243

8.1 میکانی سمت کار کی بنیادی کارکردگی 243

8.1.1 میکانی سمت کار کی تفصیل 245

8.2 یک سمتی جنریٹر کی برقی دباو 249

8.3 قوت مروڑ 251

8.4 بیرونی ہیجان اور خود ہیجان یک سمتی جنریٹر 253

8.5 یک سمتی مشین کی کارکردگی کے خط 257

8.5.1 حاصل برقی دباو بالمقابل برقی بوجھ 257

8.5.2 رفتار بالمقابل قوت مروڑ 259

فرہنگ 267

دیباچہ

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

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

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

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

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

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

یہ کتاب Ubuntu استعمال کرتے ہوئے XeLatex میں تشکیل دی گئی۔ یہ کتاب خطِ جمیل نوری نستعلیق میں لکھی گئی ہے۔

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

اس کتاب کے پڑھنے والوں سے گزارش کی جاتی ہے کہ اسے زیادہ سے زیادہ طلبہ و طالبات تک پہنچانے میں مدد دیں اور انہیں جہاں اس کتاب میں غلطی نظر آئے وہ اس کی نشاندہی میری برقیاتی پتہ

khalidyousafzai@comsats.edu.pk

پر کریں۔میں ان کا نہایت شکر گزار ہوں گا۔

میں یہاں عائشہ فاروق اور ان کے والد فاروق اعظم کا شکریہ ادا کرنا چاہوں گا جنہوں نے اس کتاب کو بار بار پڑھا اور مجھے مجبور کرتے رہے کہ میں اپنی اردو بہتر کروں۔میں ڈاکٹر نعمان جعفری کا نہایت مشکور ہوں جنہوں نے کتاب کی تکنیکی اصطلاح کرنے میں مدد کی۔ حرا خان اور ان کی والدہ عزرا برلاس نے مل کے کتاب کو درست کرنے میں مدد کی۔یہاں میں اپنے شاگرد فیصل خان کا بھی شکریہ ادا کرنا چاہوں گا جنہوں نے تکنیکی اصطلاحات چننے میں میری مدد کی۔

میں یہاں کامسیٹ یونیورسٹی اور ہائر ایجوکیشن کمیشن کا شکریہ ادا کرنا چاہتا ہوں جن کی وجہ سے ایسی سرگرمیاں ممکن ہوئیں۔

خالد خان یوسفزئی

28 اکتوبر 2011

باب 1

بنیادی حقائق

اس کتاب میں جگہ جگہ مختلف حقائق آئیں گے جنہیں اس باب میں اکٹھے کرنے کی کوشش کی گئی ہے۔یہ توقع کی جاتی ہے کہ یوں کتاب پڑھتے وقت اصل مضمون پر توجہ رکھنا زیادہ آسان ہو گا۔

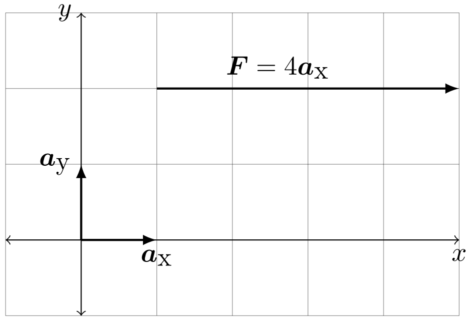
1.1 بنیادی اکائیاں

اس کتاب میں **بین الاقوامی نظامِ اکائی**[1] استعمال کیا جائے گا۔ اس نظام میں کمیت[2] کی اکائی **کلوگرام**، لمبائی کی اکائی **میٹر** اور وقت کی اکائی **سیکنڈ** ہے۔

1.2 مقداری

وہ متغیرہ جس کی مقدار معین ہو اسے **مقداری**[3] کہتے ہیں۔ اس کتاب میں مقداری متغیرہ کو سادہ طرز کی لکھائی میں انگریزی یا لاطینی زبان کے چھوٹے حروف یعنی $a, b, \alpha, \cdots$ یا بڑے حروف یعنی $A, B, \Psi, \cdots$ سے ظاہر کیا جائے گا، مثلاً برقی رو کو i یا I سے ظاہر کیا جاتا ہے۔

[1] International System Of Units, SI
[2] mass
[3] scalar



شکل 1.1: کارتیسی محدد

1.3 سمتیہ

وہ خط جس کا طول اور سمت معین ہو، اسے سمتیہ[4] کہتے ہیں۔ سمتیہ کو انگریزی یا لاطینی زبان کے چھوٹے یا بڑے حروف، جن کو موٹے طرز کی لکھائی میں لکھا گیا ہو، سے ظاہر کیا جائے گا، مثلاً قوت کو $\boldsymbol{F}$ سے ظاہر کیا جائے گا۔ یہاں شکل 1.1 سے رجوع کرنا بہتر ہے۔ ایک ایسا سمتیہ جس کا طول ایک کے برابر ہو، کو اکائی سمتیہ[5] کہتے ہیں۔ اس کتاب میں اکائی سمتیہ کو انگریزی زبان کے پہلے حرف کو موٹے طرز کی لکھائی میں لکھا جائے گا، مثلاً اکائی سمتیہ $\boldsymbol{a}_{\mathrm{X}}, \boldsymbol{a}_{\mathrm{y}}, \boldsymbol{a}_{\mathrm{Z}}$ خلاء کی تین عمودی سمتیات کو ظاہر کرتے ہیں۔ $\boldsymbol{a}_{\mathrm{X}}$ لکھتے ہوئے، زیر نوشت میں x، اس بات کی نشاندہی کرتا ہے کہ یہ اکائی سمتیہ خلاء کی x سمت کو ظاہر کرتا ہے۔ اگر کسی سمتیہ کا طول اور اس کی سمت کو علیحدہ علیحدہ لکھنا ہو تو اس کے طول کو ظاہر کرنے کے لئے سادہ طرز کی لکھائی میں وہی حرف استعمال کیا جائے گا جو اس سمتیہ کو ظاہر کرنے کے لئے، موٹے طرز کی لکھائی میں، استعمال کیا گیا ہو۔ یعنی سمتیہ $\boldsymbol{F}$ کے طول کو F سے ظاہر کیا جائے گا۔ شکل میں سمتیہ $\boldsymbol{F}$ کا طول F، چار کے برابر ہے۔ اگر کسی سمتیہ کی سمت میں ایک اکائی سمتیہ بنایا جائے تو یہ اکائی سمتیہ اس سمتیہ کی سمت کو ظاہر کرتا ہے۔ جیسے پہلے ذکر ہوا ہے ایسے اکائی سمتیہ کو انگریزی کے پہلے حرف، جس کو موٹے طرز کی لکھائی میں لکھا گیا ہو سے ظاہر کیا جائے گا یعنی سمتیہ $\boldsymbol{F}$ کی سمت کو $\boldsymbol{a}_F$ سے ظاہر کیا جائے گا۔ یہاں، زیر نوشت میں F ، اس بات کی یاد دہانی کراتا ہے کہ یہ اکائی سمتیہ $\boldsymbol{F}$ کی سمت کو ظاہر کر رہا ہے۔ شکل میں چونکہ قوت $\boldsymbol{F}$ کا رخ دائیں جانب ہے لہٰذا $\boldsymbol{a}_F$ اور $\boldsymbol{a}_{\mathrm{X}}$ برابر ہیں۔

---

[4] vector
[5] unit vector

1.4 محدد، خط مرتب

ایک ایسا طریقہ جس کے ذریعہ کسی نقطہ کا مقام متعین کیا جا سکے کو خط مرتب یا محدد کہتے ہیں۔

خلاء تین طرفہ [6] ہے۔ لہٰذا اس میں کسی ایک نقطہ کے مقام کو تین محدد کی مدد سے ظاہر کیا جا سکتا ہے۔ مزید یہ کہ خلاء میں کسی سمتیہ کو تین عمودی اکائی سمتیوں کی مدد سے لکھا جا سکتا ہے۔اب ہم ایسے چند محدد کے نظام دیکھتے ہیں۔

1.4.1 کارتیسی محدد کا نظام

شکل 1.1 میں خلاء کی دو سمتیں اکائی سمتیہ $\boldsymbol{a}_{\mathrm{x}}$ اور $\boldsymbol{a}_{\mathrm{y}}$ سے ظاہر کی گئی ہیں۔ یہ دونوں آپس میں عمودی ہیں یعنی ان کا آپس میں $90°$ کا زاویہ ہے۔ خلاء تین طرفہ ہے لہٰذا اسے تین **عمودی اکائی سمتیات** [7] سے ظاہر کیا جاتا ہے۔ ان سمتوں کی جانب، طول کو x, y, z سے ظاہر کیا جاتا ہے۔ آپ ان سے بخوبی واقف ہیں۔

اگر دائیں ہاتھ کی چار انگلیوں کو $\boldsymbol{a}_{\mathrm{x}}$ کی جانب رکھ کر انہیں $\boldsymbol{a}_{\mathrm{y}}$ کی جانب موڑا جائے تو اس ہاتھ کا انگوٹھا $\boldsymbol{a}_{\mathrm{z}}$ کی سمت کو ظاہر کرے گا۔لہٰذا، خلاء کا یہ تین اکائی سمتوں والا نظام ایک **دائیں ہاتھ کا نظام** [8] ہے۔

شکل 1.2 میں ایک سمتیہ $\boldsymbol{A}$، مبدا سے نقطہ $P(x, y, z)$ تک بنایا گیا ہے۔اس سمتیہ کو ہم **کارتیسی محدد** [9] میں تین سمتیہ سے یوں ظاہر کر سکتے ہیں۔

$$\boldsymbol{A} = \boldsymbol{A}_x + \boldsymbol{A}_y + \boldsymbol{A}_z \tag{1.1}$$

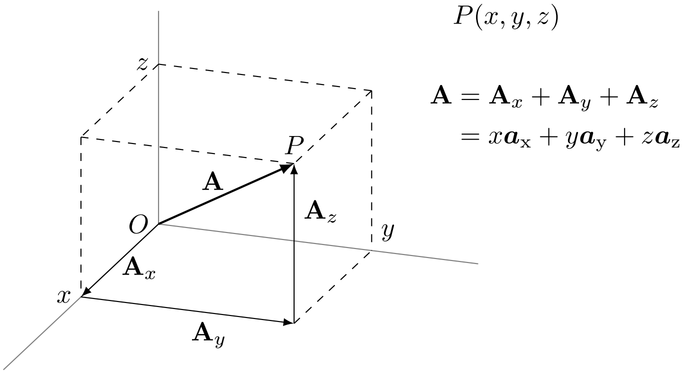
یا

$$\boldsymbol{A} = x\boldsymbol{a}_{\mathrm{x}} + y\boldsymbol{a}_{\mathrm{y}} + z\boldsymbol{a}_{\mathrm{z}} \tag{1.2}$$

کارتیسی محدد کے نظام میں اگر ہم متغیرہ z کو صفر رکھیں اور x, y کو تبدیل کریں تو ہمیں سطح $x - y$ ملتی ہے۔ اس طرح اگر شکل 1.2 میں نقطہ $P(2, 4, 3)$ ہو اور $x - y$ سطح کو زمین سمجھا جائے تو شکل میں ڈبہ کے بالائی

---

[6] three dimensional
[7] orthonormal vectors
[8] right handed coordinate system
[9] cartesian coordinates



شکل 1.2: کارتیسی محدد نظام میں ایک سمتیہ

سطح پر z کی مقدار معین ہے یعنی $z = 3$ جبکہ x صفر سے تین کے درمیان تبدیل اور y صفر سے چار کے درمیان تبدیل ہوتا ہے۔ یعنی اس ڈبہ کے بالائی سطح کو یوں لکھا جا سکتا ہے۔

$$\text{ڈبے کا بالائی سطح} = \begin{cases} 0 < x < 2 \\ 0 < y < 4 \\ z = 3 \end{cases} \tag{1.3}$$

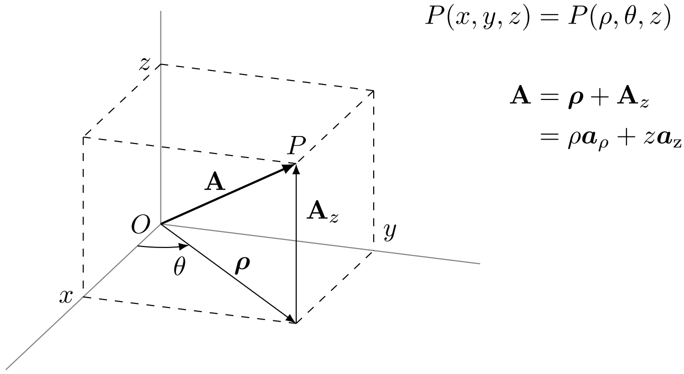
اسی طرح اگر z کو صفر اور تین کے درمیان ہر ممکن قیمت پر رکھ کر x اور y کو اسی طرح ان حدوں کے درمیان تبدیل کیا جائے تو ہمیں اس ڈبہ کا پورا حجم حاصل ہو گا۔ لہٰذا اس ڈبہ کے حجم کو ہم یوں لکھ سکتے ہیں۔

$$\text{ڈبے کا حجم} = \begin{cases} 0 < x < 2 \\ 0 < y < 4 \\ 0 < z < 3 \end{cases} \tag{1.4}$$

1.4.2 نلکی محدد کا نظام

شکل 1.3 میں ایک سمتیہ $\boldsymbol{A}$ مبدا سے نقطہ $P(x,y,z)$ تک بنایا گیا ہے۔ اس سمتیہ کو شکل میں دو سمتیوں کی مدد سے ظاہر کیا گیا ہے۔ یعنی

$$\boldsymbol{A} = \boldsymbol{\rho} + \boldsymbol{A}_z \tag{1.5}$$



شکل 1.3: نلکی محدد نظام

یا

$$\boldsymbol{A} = \rho \boldsymbol{a}_\rho + z\boldsymbol{a}_\text{z} \tag{1.6}$$

سمتیہ $\boldsymbol{a}_\rho$ سطح $x-y$ پر ہے۔ اس شکل سے ظاہر ہے کہ

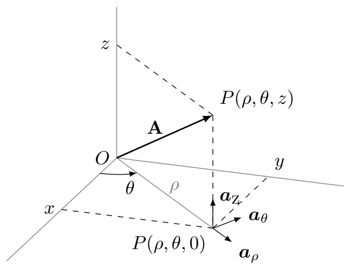
$$x = \rho \cos\theta \tag{1.7}$$

$$y = \rho \sin\theta \tag{1.8}$$

لہٰذا ہم نقطہ $P(x,y,z)$ کو متغیرہ x,y,z کی جگہ متغیرہ ρ,θ,z کی مدد سے یوں لکھ سکتے ہیں $P(\rho,\theta,z)$۔ لہٰذا ہم خلاء میں کسی بھی نقطہ کو اس کے تین متغیرہ ρ,θ,z سے ظاہر کر سکتے ہیں۔

وہ نظام جس میں متغیرہ ρ,θ,z کسی نقطہ کو متعین کرنے کے لئے استعمال ہوں کو **نلکی محدد**[10] کہتے ہیں۔ یہاں شکل 1.4 سے رجوع کریں۔ اس نظام کے تین عمودی اکائی سمتیہ $\boldsymbol{a}_\rho, \boldsymbol{a}_\theta, \boldsymbol{a}_\text{z}$ ہیں۔ یہ نظام بھی دائیں ہاتھ کا نظام ہے۔ لہٰذا اگر دائیں ہاتھ کی چار انگلیوں کو اکائی سمتیہ $\boldsymbol{a}_\rho$ کی جانب رکھ کر انہیں $\boldsymbol{a}_\theta$ کی جانب موڑیں تو اس ہاتھ کا انگوٹھا $\boldsymbol{a}_\text{z}$ کی سمت میں ہو گا۔ یہ تین عمودی اکائی سمتیہ کی تفصیل یوں ہے۔

سطح $x-y$ میں مبدا پر، محدد x سے زاویہ θ کی جانب اگر اکائی سمتیہ بنائی جائے تو یہ اکائی سمتیہ $\boldsymbol{a}_\rho$ ہو گی۔ اگر اسی سطح $x-y$ پر اکائی سمتیہ $\boldsymbol{a}_\rho$ کی عمودی سمت میں مبدا پر، زاویہ θ بڑھانے والے سمت میں، ایک اکائی سمتیہ بنائی جائے تو یہ اکائی سمتیہ $\boldsymbol{a}_\theta$ ہو گی۔ اکائی سمتیہ $\boldsymbol{a}_\text{z}$ وہی اکائی سمتیہ ہے جو کارتیسی محدد نظام میں تھی۔



شکل 1.4: نلکی نما محدد کی تعریف

یہاں یہ واضح رہے کہ اس نلکی محدد کے نظام میں $\boldsymbol{a}_\rho$ اور $\boldsymbol{a}_\theta$ کی سمتیں ہر نقطہ پر مختلف ہیں جیسا کہ شکل 1.5 میں دکھایا گیا ہے۔

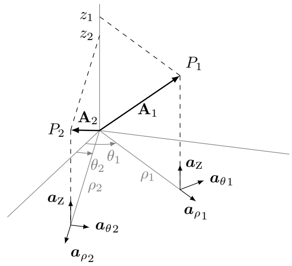
یہاں شکل 1.6 سے رجوع کریں۔ اگر نلکی محدد میں ایک سمتیہ (جس کا متغیرہ z صفر کے برابر ہو، یعنی $z = 0$ ، اور اس کا رداس ρ ایک مستقل مقدار ہو مثلاً $\rho = \rho_0$) کو یوں بنایا جائے کہ اس کا زاویہ θ کو صفر سے 2π تک لے جایا جائے تو اس سمتیہ کی چونچ سطح $x - y$ پر ایک دائرہ بنائے گی۔ اب اگر اسی سمتیہ کے متغیرہ z کو بھی تبدیل کیا جائے، مثلاً z کو صفر اور تین کے درمیان اس طرح تبدیل کیا جائے کہ ہر θ پر z کو صفر سے تین تک لے جایا جائے تو یہ سمتیہ ایک نلکی بنائے گی۔ اسی وجہ سے اس نظام کو نلکی محدد کہتے ہیں۔ اب اگر ہم سمتیہ کے تینوں متغیرہ تبدیل کریں تو ہمیں نلکی کا حجم ملتا ہے۔ اگلے تین مساوات ان باتوں کو ظاہر کرتے ہیں۔

$$\text{دائرہ} = \begin{cases} \rho = \rho_0 \\ 0 < \theta < 2\pi \\ z = 0 \end{cases} \tag{1.9}$$

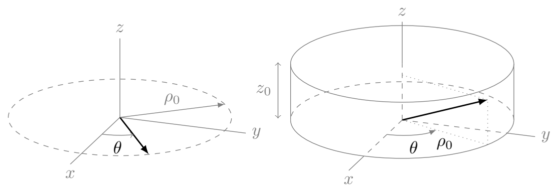
$$\text{نلکی نما سطح} = \begin{cases} \rho = \rho_0 \\ 0 < \theta < 2\pi \\ 0 < z < z_0 \end{cases} \tag{1.10}$$

$$\text{نلکی کا حجم} = \begin{cases} 0 < \rho < \rho_0 \\ 0 < \theta < 2\pi \\ 0 < z < z_0 \end{cases} \tag{1.11}$$

[10] cylindrical coordinates



شکل 1.5: نلکی محدد میں اکائی سمتیہ $\boldsymbol{a}_\rho$ اور $\boldsymbol{a}_\theta$ ہر نقطہ پر مختلف ہیں۔



شکل 1.6: نلکی محدد میں دائرہ اور نلکی

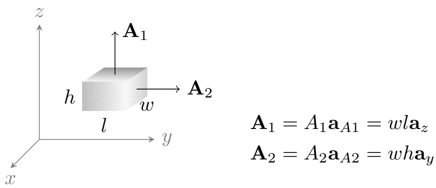
1.5 سمتیہ رقبہ

شکل 1.7 کو مدِ نظر رکھیں۔ کسی سطح سے اگر اس کے عمود کی جانب ایک فرضی لکیر کھینچی جائے تو اس لکیر پر اکائی سمتیہ اس سطح کی سمت کو ظاہر کرتی ہے۔ چونکہ کسی بھی سطح، مثلاً اس کتاب کا ایک صفحہ، کے دو اطراف ہوتے ہیں لہٰذا اس کے دو، آپس میں اُلٹ، سمتیں بیان کی جا سکتی ہیں۔ عموماً مسئلہ کو مدِ نظر رکھتے ہوئے ان میں سے ایک سمت کو اس سطح کی سمت لیا جاتا ہے۔ البتہ اگر یہ سطح بند سطح ہو، مثلاً گیند کی شکل کا ہو، تب باہر جانب کو ہی اس سطح کی سمت لیا جاتا ہے۔ شکل میں اُوپر کی سطح $\boldsymbol{A_1}$ کا رقبہ A_1 ہے اور اس کی سمت $\boldsymbol{a}_{\mathrm{Z}}$ ہے۔ لہٰذا $\boldsymbol{A_1}$ سمتیہ کا طول A_1 ہے اور اس کی سمت $\boldsymbol{a}_{\mathrm{Z}}$ ہے یعنی

$$A_1 = wl$$
$$\boldsymbol{a_{A1}} = \boldsymbol{a}_{\mathrm{Z}}$$

لہٰذا

$$\boldsymbol{A_1} = A_1 \boldsymbol{a_{A1}} = wl\boldsymbol{a}_{\mathrm{Z}} \tag{1.12}$$



شکل 1.7: سمتیہ رقبہ کا تعارف

اسی طرح دائیں جانب سطح $\boldsymbol{A_2}$ سمتیہ کا طول A_2 ہے اور اس کی سمت $\boldsymbol{a_{A2}}$ ہے۔ یعنی

$$A_2 = wh$$
$$\boldsymbol{a_{A2}} = \boldsymbol{a}_{\mathrm{y}}$$

لہٰذا

$$\boldsymbol{A_2} = A_2\boldsymbol{a_{A1}} = wh\boldsymbol{a}_{\mathrm{y}} \tag{1.13}$$

یوں نیچے کی سطح کا رقبہ $A_3 = wl$ ہے اور اس کی سمت خلاء کی اکائی سمتیہ $\boldsymbol{a}_{\mathrm{z}}$ کے اُلٹ ہے لہٰذا

$$\boldsymbol{A_3} = A_3\boldsymbol{a_{A3}} = wl(-\boldsymbol{a}_{\mathrm{z}}) = -wl\boldsymbol{a}_{\mathrm{z}} \tag{1.14}$$

یہاں دھیان کریں کہ رقبہ ہر صورت میں مثبت ہی ہوتا ہے البتہ اس کی سمت مثبت یا منفی ہو سکتی ہے۔ یہ بات کسی بھی سمتیہ کے لئے درست ہے لہٰذا کسی بھی سمتیہ کا طول ہر صورت میں مثبت ہی ہوتا ہے البتہ اس کی سمت مثبت یا منفی ہو سکتی ہے۔

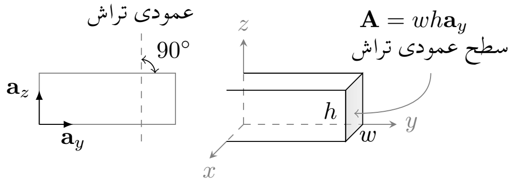
1.6 رقبہ عمودی تراش

زاویہ قائمہ بناتے ہوئے لمبائی میں کسی چیز کی کٹائی کو **عمودی تراش**[11] کہتے ہیں۔

شکل 1.8 میں ایک سلاخ دکھائی گئی ہے۔ اس کو اکائی سمتیہ $\boldsymbol{a}_{\mathrm{y}}$ کی سمت میں لٹایا گیا ہے۔ اگر ہم تصور میں اس سلاخ کو لمبائی کی عمودی سمت میں کاٹیں تو اس کا جو سرا بنے گا اس سطح کے رقبہ کو رقبہ **عمودی تراش**[12] کہتے ہیں۔ شکل میں دکھایا گیا رقبہ عمودی تراش $\boldsymbol{A}$ کی مقدار A ہے جہاں

$$A = wh \tag{1.15}$$

[11] cross section
[12] cross sectional area



شکل 1.8: رقبہ عمودی تراش

مسئلہ کو دیکھتے ہوئے اس رقبہ عمودی تراش کی سمت کا تعین کیا جاتا ہے۔ شکل میں اس کی سمت $\boldsymbol{a_A}$ خلاء کے اکائی سمتیہ $\boldsymbol{a}_{\mathrm{y}}$ کی جانب ہے لہٰذا

$$\boldsymbol{a_A} = \boldsymbol{a}_{\mathrm{y}} \tag{1.16}$$

شکل میں بائیں جانب سلاخ کے نچلے کونے پر اکائی سمتیہ $\boldsymbol{a}_{\mathrm{y}}$ اور $\boldsymbol{a}_{\mathrm{z}}$ دکھائے گئے ہیں۔ان سمتیوں کے ابتدائی نقطہ پر گول دائرہ میں ایک نقطہ دکھایا گیا ہے۔گول دائرہ میں بند نقطہ صفحہ سے عمودی طور پر کتاب کی باہر جانب سمت کو ظاہر کرتا ہے۔یہاں یہ سمتیہ $\boldsymbol{a}_{\mathrm{x}}$ کی سمت دکھلا رہا ہے۔اس کی اُلٹ سمت یعنی صفحہ کی عمودی اندر کی جانب کو گول دائرہ میں بند صلیب کے نشان سے ظاہر کیا جاتا ہے۔

1.7 برقی میدان اور مقناطیسی میدان

1.7.1 برقی میدان اور برقی میدان کی شدت

کولمب کے قانون[13] کے تحت **برقی بار**[14] سے لدے جسموں کے درمیان **قوت کشش**[15] یا **قوت دفع**[16] ان اجسام پر بار[17] کی مقدار کے حاصل ضرب کے راست متناسب اور باہمی فاصلہ کے مربع کے بالعکس متناسب ہوتی ہے۔ اس قانون کو مساوات کی شکل میں یوں لکھا جاتا ہے۔

$$F = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon r^2} \tag{1.17}$$

---

[13] Coulomb's law
[14] electric charge
[15] attractive force
[16] repulsive force
[17] charge

اگر ایک برقی بار کسی جگہ موجود ہو اور دوسرا برقی بار اس کے قریب لایا جائے تو دوسرے برقی بار پر کشش یا دفع کی قوت عمل کرے گی جس کا تعین کولمب کے قانون سے ہوتا ہے۔ اگر دوسرے برقی بار کو پہلے برقی بار سے آہستہ آہستہ دُور لے جائیں تو قوت کشش یا دفع کم ہوتی جاتی ہے۔ ایک خاص فاصلے کے بعد یہ قوت عملی طور پر صفر ہو جاتی ہے اور دوسرا بار پہلے بار کے حلقہ اثر سے باہر ہو جاتا ہے۔ اس حلقہ کے اندر واقع جگہ کو **برقی میدان** کہا جاتا ہے۔ برقی میدان کسی ایک بار کی وجہ سے بھی ہو سکتا ہے اور بہت سے باروں کی وجہ سے بھی ہو سکتا ہے۔ لہٰذا برقی میدان کی تعریف یوں کی جاتی ہے۔

کسی بار کے برقی میدان سے مراد بار کے اِرد گرد وہ جگہ ہے جس میں اس کا برقی اثر محسوس کیا جاتا ہے۔

برقی میدان کی شدت[18] $\boldsymbol{E}$ کی مقدار اور اس کی سمت کسی مقام پر معلوم کرنے کا طریقہ یہ ہے کہ ایک مثبت اکائی بار کو اگر کسی بار Q کے برقی میدان میں رکھا جائے تو جس سمت میں وہ مثبت اکائی بار حرکت کرے یا حرکت کرنے کے لئے مائل ہو، وہی برقی میدان کی شدت کی سمت ہو گی اور جو قوت اس پر اثر انداز ہو وہ برقی میدان کی شدت ہو گی۔ برقی میدان کی شدت کی اکائی **وولٹ فی میٹر**[19] ہے۔

کولمب کے قانون یعنی مساوات 1.17 کی مدد سے ایک بار Q کی برقی میدان کی شدت کی مقدار یوں حاصل کی جا سکتی ہے۔ بار Q اور اکائی بار یعنی ایک کولمب بار کے درمیان قوتِ کشش یا قوتِ دفع

$$F = \frac{Q \times 1}{4\pi\epsilon r^2} = \frac{Q}{4\pi\epsilon r^2} \tag{1.18}$$

نیوٹن ہو گی۔ یہی برقی میدان کی شدت کی مقدار ہے یعنی

$$E = \frac{Q}{4\pi\epsilon r^2} \tag{1.19}$$

اگر دو باروں کے درمیان سیدھی لکیر کھینچی جائے تو ان کے مابین قوتِ کشش یا قوتِ دفع کی سمت اس لکیر کی سمت میں ہو گی۔

---

[18] electric field intensity

[19] V/m

1.7.2 مقناطیسی میدان اور مقناطیسی میدان کی شدت

مقناطیسی میدان اور **مقناطیسی میدان کی شدت**[20] بالکل برقی میدان اور برقی میدان کی شدت کی طرح ہوتی ہے۔

مقناطیسی میدان کی تعریف یوں کی جاتی ہے۔ کسی مقناطیس کے مقناطیسی میدان سے مراد مقناطیس کے اِرد گرد وہ جگہ ہے جس میں اس کا مقناطیسی اثر محسوس کیا جاتا ہے۔

1.8 سطحی اور حجمی کثافت

1.8.1 سطحی کثافت

اکائی رقبہ کی سطح پر کسی چیز کی کُل مقدار کو اس چیز کی **سطحی کثافت**[21] کہتے ہیں۔ مثال کے طور پر اگر رقبہ A پر کسی متغیرہ کی کُل مقدار ϕ ہو تب اس متغیرہ کی اوسط سطحی کثافت $B_{\text{اوسط}}$ یہ ہو گی

$$B_{\text{اوسط}} = \frac{\phi}{A} \tag{1.20}$$

اس مساوات کو یوں بھی لکھا جا سکتا ہے

$$\phi = B_{\text{اوسط}} A \tag{1.21}$$

یعنی اگر ہمیں کسی سطح پر ایک متغیرہ کی اوسط سطحی کثافت معلوم ہو تب ہم اس سطح پر اس متغیرہ کی کُل مقدار اس مساوات کی مدد سے معلوم کر سکتے ہیں۔

اگر سطح پر متغیرہ ہر جگہ یکساں نہ ہو تب اس سطح پر سطحی کثافت جگہ جگہ تبدیل ہو گی۔ اس صورت میں اگر اتنا چھوٹا رقبہ لیا جائے کہ اس پر متغیرہ یکساں تصور کیا جا سکے تب اس نقطہ پر سطحی کثافت یوں حاصل ہو گی

$$B = \frac{\Delta\phi}{\Delta A} \tag{1.22}$$

[20] magnetic field intensity
[21] surface density

جہاں ΔA یہ چھوٹا رقبہ اور $\Delta\phi$ اس رقبے پر متغیرہ کی چھوٹی سی مقدار ہے۔ اگر یہ رقبہ ایک نقطہ کی مانند کر دیا جائے تب اس مساوات کو یوں لکھا جائے گا۔

$$B = \frac{\mathrm{d}\phi}{\mathrm{d}A} \tag{1.23}$$

اس مساوات کو ہم یوں بھی بیان کر سکتے ہیں

$$\mathrm{d}\phi = B\,\mathrm{d}A \tag{1.24}$$

یعنی اگر ہمیں کسی نقطہ پر ایک متغیرہ کی سطحی کثافت معلوم ہو تب اس نقطہ کے چھوٹے سے رقبہ پر ہم اس متغیرہ کی کل مقدار اس مساوات کی مدد سے معلوم کر سکتے ہیں۔

اسی طرح اگر ایک برقی تار کا رقبہ عمودی تراش A ہو اور اس میں برقی رو I گزر رہی ہو تو اس تار میں اوسط کثافتِ برقی رو

$$\rho_{\text{اوسط}} = \frac{I}{A} \tag{1.25}$$

ہو گی۔

1.9 حجمی کثافت

اکائی حجم میں کسی چیز کی کل مقدار کو اس چیز کی حجمی کثافت کہتے ہیں۔ یہاں ہم کمیت کی مثال لیتے ہیں۔ اگر کسی چیز کا حجم V اور اس کی کمیت m ہو تب اس کی اوسط حجمی کثافت یہ ہو گی۔

$$\rho_{\text{اوسط}} = \frac{m}{V} \tag{1.26}$$

اسی طرح اگر اس چیز کی کمیت اس کے حجم میں جگہ جگہ مختلف ہو تب اس کی ایک نقطہ کی حجمی کثافت معلوم کرنے کے لئے اس کا اتنا چھوٹا حصہ لیا جاتا ہے کہ اس چھوٹے حصہ میں اس کی کمیت کو ہر جگہ یکساں تصور کیا جا سکے تب اس چھوٹے حصے کی حجمی کثافت یہ ہو گی۔

$$\rho = \frac{\Delta m}{\Delta V} \tag{1.27}$$

اب اگر اس چھوٹے حصے کو ایک نقطہ مانند کر دیا جائے تب ہم لکھ سکتے ہیں کہ

$$\rho = \frac{\mathrm{d}m}{\mathrm{d}V} \tag{1.28}$$

اور

$$\mathrm{d}m = \rho \, \mathrm{d}V \tag{1.29}$$

یعنی اگر ہمیں ایک نقطہ کی حجمی کثافت معلوم ہو تب ہم ایک نہایت چھوٹے حجم کی کمیت اس مساوات کی مدد سے حاصل کر سکتے ہیں۔

1.10 ضربِ صلیبی اور ضربِ نقطہ

دو مقداری متغیرات کا حاصلِ ضرب مقداری متغیرہ ہی ہوتی ہے جبکہ دو سمتیہ متغیرات کا حاصلِ ضرب سمتیہ متغیرہ یا مقداری متغیرہ ہو سکتی ہے۔ان دو اقسام کے ضرب پر یہاں غور کیا جائے گا۔

1.10.1 ضرب صلیبی

ایسی دو سمتیہ متغیرات کا ضرب جس کا حاصلِ ضرب سمتیہ متغیرہ ہو کو **ضربِ صلیبی**[22] کہتے ہیں اور اسے یوں لکھا جاتا ہے۔

$$\boldsymbol{C} = \boldsymbol{A} \times \boldsymbol{B} \tag{1.30}$$

ضربِ صلیبی میں ضرب کے نشان کو صلیب کی علامت سے ظاہر کیا جاتا ہے۔اسی سے اس کا نام ضربِ صلیبی لیا گیا ہے۔

حاصل ضرب سمتیہ $\boldsymbol{C}$ کی مقدار

$$\begin{aligned} C &= |\boldsymbol{C}| = |\boldsymbol{A}||\boldsymbol{B}| \sin\theta_{AB} \\ &= AB \sin\theta_{AB} \end{aligned} \tag{1.31}$$

[22] cross product

ہے جہاں θ_{AB} ان کے مابین زاویہ ہے۔اس حاصل سمتیہ کی سمت دائیں ہاتھ کے قانون سے یوں حاصل کی جاتی ہے۔

اگر آپ دائیں ہاتھ کی چار انگلیوں کو سمتیہ $\boldsymbol{A}$ کی سمت میں رکھ کر $\boldsymbol{B}$ سمتیہ کی سمت موڑیں تو اس ہاتھ کا انگوٹھا $\boldsymbol{C}$ سمتیہ کی سمت کو ظاہر کرے گا۔

مثال 1.1: مندرجہ ذیل ضرب صلیبی حاصل کریں۔

- $\boldsymbol{a}_{\mathrm{X}} \times \boldsymbol{a}_{\mathrm{Z}} \quad \boldsymbol{a}_{\mathrm{Z}} \times \boldsymbol{a}_{\mathrm{X}} \quad \boldsymbol{a}_{\mathrm{y}} \times \boldsymbol{a}_{\mathrm{Z}} \quad \boldsymbol{a}_{\mathrm{X}} \times \boldsymbol{a}_{\mathrm{y}}$
- $\boldsymbol{a}_{\mathrm{Z}} \times \boldsymbol{a}_{\rho} \quad \boldsymbol{a}_{\rho} \times \boldsymbol{a}_{\theta} \quad \boldsymbol{a}_{\mathrm{y}} \times \boldsymbol{a}_{\mathrm{y}} \quad \boldsymbol{a}_{\mathrm{Z}} \times \boldsymbol{a}_{\mathrm{y}}$

حل: اس مثال میں سب سمتیہ اکائی ہیں۔اکائی سمتیہ کا طول ایک کے برابر ہوتا ہے۔ لہٰذا

- $\boldsymbol{a}_{\mathrm{X}} \times \boldsymbol{a}_{\mathrm{y}} = (1)(1)\sin 90 \boldsymbol{a}_{\mathrm{Z}} = \boldsymbol{a}_{\mathrm{Z}}$
- $\boldsymbol{a}_{\mathrm{y}} \times \boldsymbol{a}_{\mathrm{Z}} = (1)(1)\sin 90 \boldsymbol{a}_{\mathrm{X}} = \boldsymbol{a}_{\mathrm{X}}$
- $\boldsymbol{a}_{\mathrm{Z}} \times \boldsymbol{a}_{\mathrm{X}} = (1)(1)\sin 90 \boldsymbol{a}_{\mathrm{y}} = \boldsymbol{a}_{\mathrm{y}}$
- $\boldsymbol{a}_{\mathrm{X}} \times \boldsymbol{a}_{\mathrm{Z}} = (1)(1)\sin 90(-\boldsymbol{a}_{\mathrm{y}}) = -\boldsymbol{a}_{\mathrm{y}}$
- $\boldsymbol{a}_{\mathrm{Z}} \times \boldsymbol{a}_{\mathrm{y}} = (1)(1)\sin 90(-\boldsymbol{a}_{\mathrm{X}}) = -\boldsymbol{a}_{\mathrm{X}}$
- اس مثال میں چونکہ دونوں سمتیہ ایک ہی جانب ہیں لہٰذا ان کے مابین زاویہ صفر ہے۔صفر زاویہ کا سائن صفر ہی ہوتا ہے یعنی $\sin 0 = 0$ لہٰذا ان دو سمتیہ کا ضربِ صلیبی صفر ہو گا
  $\boldsymbol{a}_{\mathrm{y}} \times \boldsymbol{a}_{\mathrm{y}} = (1)(1)\sin 0 = 0$

- $\boldsymbol{a}_\rho \times \boldsymbol{a}_\theta = (1)(1)\sin 90 \boldsymbol{a}_{\text{z}} = \boldsymbol{a}_{\text{z}}$
- $\boldsymbol{a}_{\text{z}} \times \boldsymbol{a}_\rho = (1)(1)\sin 90 \boldsymbol{a}_\theta = \boldsymbol{a}_\theta$

مثال 1.2: شکل 1.9 میں چار نیوٹن کی قوت $\boldsymbol{F}$ محور سے تین میٹر کی سمتیہ فاصلہ $\boldsymbol{L}$ پر لاگو ہے۔اسی شکل میں اس کی تفصیل دی گئی ہے۔اس قوت کی قوت مروڑ حاصل کریں۔ حل: قوت مروڑ $\boldsymbol{T}$ کی تعریف یہ ہے

$$\boldsymbol{T} = \boldsymbol{L} \times \boldsymbol{F} \tag{1.32}$$

کارتیسی نظام میں اس سمتیہ فاصلہ کو یوں لکھا جا سکتا ہے

$$\boldsymbol{L} = L\sin\theta \boldsymbol{a}_{\text{x}} - L\cos\theta \boldsymbol{a}_{\text{y}} \tag{1.33}$$

لہٰذا

$$\begin{aligned}\boldsymbol{T} &= \left(L\sin\theta \boldsymbol{a}_{\text{x}} - L\cos\theta \boldsymbol{a}_{\text{y}}\right) \times F\boldsymbol{a}_{\text{y}}\\ &= L\sin\theta \boldsymbol{a}_{\text{x}} \times F\boldsymbol{a}_{\text{y}} - L\cos\theta \boldsymbol{a}_{\text{y}} \times F\boldsymbol{a}_{\text{y}}\\ &= LF\sin\theta \boldsymbol{a}_{\text{z}}\end{aligned}$$

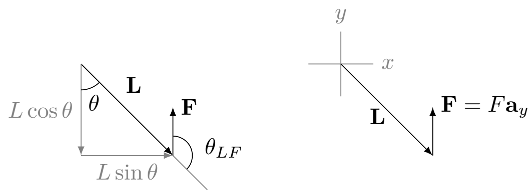
یہاں پچھلی مثال کی مدد سے $\boldsymbol{a}_{\text{x}} \times \boldsymbol{a}_{\text{y}} = \boldsymbol{a}_{\text{z}}$ اور $\boldsymbol{a}_{\text{y}} \times \boldsymbol{a}_{\text{y}} = 0$ لی گئی ہیں۔یوں

$$\boldsymbol{T} = LF\sin\theta \boldsymbol{a}_{\text{z}} = 12\sin\theta \boldsymbol{a}_{\text{z}} \quad \text{N m}$$

ہے۔اس مثال میں $\theta_{LF} = 180° - \theta$ ہے۔چونکہ کسی بھی زاویہ α کے لئے $\sin\alpha = \sin(180° - \alpha)$ ہوتا ہے لہٰذا اس قوت مروڑ کو یوں بھی لکھا جا سکتا ہے۔

$$\begin{aligned}\boldsymbol{T} &= LF\sin\theta \boldsymbol{a}_{\text{z}}\\ &= LF\sin\theta_{LF} \boldsymbol{a}_{\text{z}}\end{aligned}$$

یہی جواب ضربِ صلیبی کی تعریف یعنی مساوات 1.31 اور دائیں ہاتھ کے قانون کی مدد سے زیادہ آسانی سے حاصل ہوتا ہے۔



شکل 1.9: کارتیسی نظام میں قوت مروڑ کا حل

1.10.2 ضربِ نقطہ

ایسی دو سمتیہ متغیرات کا ضرب جس کا حاصلِ ضرب مقداری متغیرہ ہو کو ضربِ نقطہ[23] کہتے ہیں اور اسے یوں لکھا جاتا ہے۔

$$C = A \cdot B \tag{1.34}$$

ضربِ نقطہ میں ضرب کے نشان کو نقطہ کی علامت سے ظاہر کیا جاتا ہے۔اسی سے اس کا نام ضربِ نقطہ لیا گیا ہے۔

ضربِ نقطہ میں حاصلِ ضرب مقداری کی مقدار یوں حاصل ہوتی ہے

$$\begin{aligned} \boldsymbol{C} &= \boldsymbol{A} \cdot \boldsymbol{B} \\ &= |\boldsymbol{A}||\boldsymbol{B}| \cos\theta_{AB} \\ &= AB\cos\theta_{AB} \end{aligned} \tag{1.35}$$

جہاں θ_{AB} ان دو کے مابین زاویہ ہے۔

مثال 1.3: مندرجہ ذیل ضربِ نقطہ حاصل کریں

- $\boldsymbol{a}_{\mathrm{z}} \cdot \boldsymbol{a}_{\mathrm{z}} \quad \boldsymbol{a}_{\mathrm{y}} \cdot \boldsymbol{a}_{\mathrm{y}} \quad \boldsymbol{a}_{\mathrm{x}} \cdot \boldsymbol{a}_{\mathrm{x}}$
- $\boldsymbol{a}_{\rho} \cdot \boldsymbol{a}_{\theta} \quad \boldsymbol{a}_{\rho} \cdot \boldsymbol{a}_{\rho} \quad \boldsymbol{a}_{\mathrm{y}} \cdot \boldsymbol{a}_{\mathrm{z}} \quad \boldsymbol{a}_{\mathrm{x}} \cdot \boldsymbol{a}_{\mathrm{y}}$

---

[23] dot product

حل: اس مثال میں سب اکائی سمتیہ ہیں۔ اکائی سمتیہ کا طول ایک کے برابر ہوتا ہے۔

- $\boldsymbol{a}_{\mathrm{X}} \cdot \boldsymbol{a}_{\mathrm{X}} = (1)(1)\cos 0 = 1$
- $\boldsymbol{a}_{\mathrm{y}} \cdot \boldsymbol{a}_{\mathrm{y}} = (1)(1)\cos 0 = 1$
- $\boldsymbol{a}_{\mathrm{Z}} \cdot \boldsymbol{a}_{\mathrm{Z}} = (1)(1)\cos 0 = 1$
- $\boldsymbol{a}_{\mathrm{X}} \cdot \boldsymbol{a}_{\mathrm{y}} = (1)(1)\cos 90^\circ = 0$
- $\boldsymbol{a}_{\mathrm{y}} \cdot \boldsymbol{a}_{\mathrm{Z}} = (1)(1)\cos 90^\circ = 0$
- $\boldsymbol{a}_{\rho} \cdot \boldsymbol{a}_{\rho} = (1)(1)\cos 0 = 1$
- $\boldsymbol{a}_{\rho} \cdot \boldsymbol{a}_{\theta} = (1)(1)\cos 90^\circ = 0$

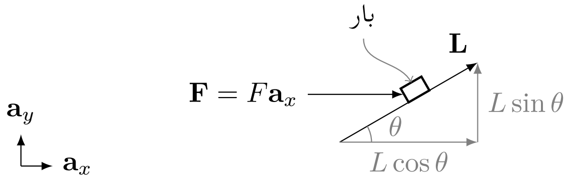
مثال 1.4: شکل 1.10 میں قوت $\boldsymbol{F}$ ایک بوجھ کو دھکیل رہی ہے۔ سمتیہ فاصلہ $\boldsymbol{L}$ طے کرنے پر قوت کتنا کام کر چکی ہو گی۔

حل: کام W کی تعریف یہ ہے

$$W = \boldsymbol{F} \cdot \boldsymbol{L} \tag{1.36}$$

ہم کارتیسی نظام میں سمتیہ فاصلہ کو یوں لکھ سکتے ہیں

$$\boldsymbol{L} = L\cos\theta \boldsymbol{a}_{\mathrm{X}} + L\sin\theta \boldsymbol{a}_{\mathrm{y}} \tag{1.37}$$



شکل 1.10: کارتیسی نظام میں کام

لہٰذا

$$
\begin{aligned}
W &= (F\boldsymbol{a}_{\mathrm{x}}) \cdot (L\cos\theta \boldsymbol{a}_{\mathrm{x}} + L\sin\theta \boldsymbol{a}_{\mathrm{y}}) \\
&= FL\cos\theta(\boldsymbol{a}_{\mathrm{x}} \cdot \boldsymbol{a}_{\mathrm{x}}) + FL\sin\theta(\boldsymbol{a}_{\mathrm{x}} \cdot \boldsymbol{a}_{\mathrm{y}}) \\
&= FL\cos\theta
\end{aligned} \tag{1.38}
$$

جہاں پچھلی مثال کی مدد سے $\boldsymbol{a}_{\mathrm{x}} \cdot \boldsymbol{a}_{\mathrm{x}} = 1$ اور $\boldsymbol{a}_{\mathrm{x}} \cdot \boldsymbol{a}_{\mathrm{y}} = 0$ لی گئی ہیں۔ یہی جواب ضربِ نقطہ کی تعریف یعنی مساوات 1.35 سے باآسانی حاصل ہوتا ہے۔

1.11 تفرق اور جزوی تفرق

مساوات 1.39 میں ایک تفاعل جس میں B_0 مقررہ ہے کا تفرق[24] دیا گیا ہے جبکہ مساوات 1.40 میں ایک تفاعل کا جزوی تفرق[25] دیا گیا ہے۔

$$
\begin{aligned}
B(\theta) &= B_0 \cos\theta \\
\frac{\mathrm{d}B}{\mathrm{d}\theta} &= -B_0 \sin\theta
\end{aligned} \tag{1.39}
$$

$$
\partial W(x,\lambda) = \frac{\partial W}{\partial x}\,\mathrm{d}x + \frac{\partial W}{\partial \lambda}\,\mathrm{d}\lambda \tag{1.40}
$$

---

[24] differentiation
[25] partial differentiation

1.12 خطی تکمل

مساوات 1.41 میں ایک تفاعل $B(\theta)$ دیا گیا ہے جسے شکل 1.11 میں دکھایا گیا ہے۔ اس کی طولِ موج[26] 2π ریڈیئن کے برابر ہے۔ ہم $-\pi/2 < \theta < \pi/2$ کے مابین اس کا اوسط معلوم کرتے ہیں۔ یہ تکمل[27] سے یوں ہو گا۔

$$B(\theta) = B_0 \cos\theta \tag{1.41}$$

$$B_{\text{اوسط}} = \frac{B_0}{\pi} \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \cos\theta \,\mathrm{d}\theta = \frac{2B_0}{\pi} \tag{1.42}$$

اسی طرح اگر اسی خطہ پر تفاعل کے مربع یعنی B^2 کا اوسط درکار ہو تو ایسا کرنا مساوات 1.43 میں دکھایا گیا ہے۔

$$\begin{aligned}
B^2_{\text{اوسط}} &= \frac{B_0^2}{\pi} \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \cos^2\theta \,\mathrm{d}\theta \\
&= \frac{B_0^2}{\pi} \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \frac{1+\cos 2\theta}{2} \,\mathrm{d}\theta \\
&= \frac{B_0^2}{2}
\end{aligned} \tag{1.43}$$

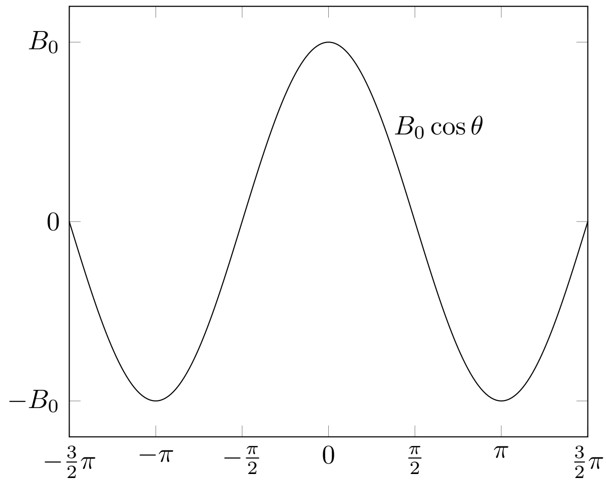
تفاعل کے مربع کی اوسط کا جزر بہت اہمیت رکھتا ہے۔ لہٰذا اس تفاعل کے مربع کی اوسط کا جزر $B_{\text{موثر}}$ مساوات 1.43 کی مدد سے یوں حاصل ہوتا ہے۔

$$B_{\text{موثر}} = \sqrt{B^2_{\text{اوسط}}} = \frac{B_0}{\sqrt{2}} \tag{1.44}$$

یہ ایک بہت اہم نتیجہ ہے جو آپ کو زبانی یاد ہونا چاہئے۔ یہ مساوات ہر سائن نما تفاعل کے لئے درست ہے۔ کسی بھی متغیرہ کے مربع کی اوسط کا جزر اس متغیرہ کی موثر[28] [29] قیمت کہلاتا ہے۔

---

[26] wavelength
[27] integration
[28] effective
[29] root mean square, rms



شکل 1.11: کوسائن موج

1.13 سطحی تکمل

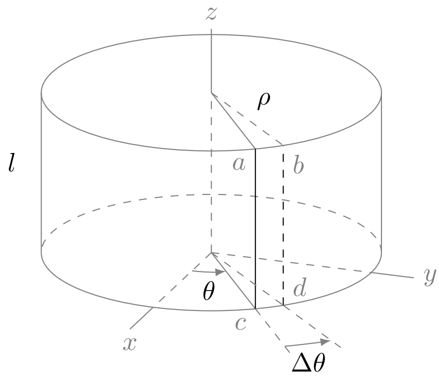
مثال کے طور پر اگر مساوات 1.41 شکل 1.12 میں نلکی کے بیرونی سطح پر متغیرہ B کی مقدار بتلاتی ہے اور یہ متغیرہ سطحی کثافت کو ظاہر کرے ہم آدھے بیرونی سطح مثلاً زاویہ $-\pi/2$ اور $\pi/2$ کے مابین اس کی کل مقدار ϕ معلوم کرتے ہیں۔اس سطح میں نلکی کے دونوں سرے شامل نہیں ہیں۔

ہم نلکی کے بیرونی سطح پر رقبہ ΔA لیتے ہیں جس کی چوڑائی $\rho\Delta\theta$ اور لمبائی l ہے۔یہ سطح $abcd$ ہے۔$\Delta\theta$ کو نہایت کم کرتے ہوئے سطح کا رقبہ $\rho l \,\mathrm{d}\theta$ لکھا جا سکتا ہے۔اس سطح پر B کی مقدار محوری لمبائی کی جانب تبدیل نہیں ہو رہی۔ سطح ΔA پر $\Delta\phi = B\Delta A$ ہو گا اور کل ϕ تکمل کی مدد سے یوں حاصل ہو گا۔

$$\Delta\phi = B\Delta A = B_0 l\rho\cos\theta\,\mathrm{d}\theta \tag{1.45}$$

$$\phi = B_0 l\rho\int_{-\pi/2}^{\pi/2}\cos\theta\,\mathrm{d}\theta = 2B_0 l\rho \tag{1.46}$$

اب ہم یہی مقدار نلکی کے آدھے بیرونی سطح پر کہیں پر بھی حاصل کرنا چاہیں تو ہمیں صرف تکمل کے دو حد تبدیل کرنے ہوں گے۔ اگر ہم مساوات 1.46 میں نچلا حد $(-\pi/2-\alpha)$ اور اُوپر کا حد $(\pi/2-\alpha)$ لیں تو یہ حاصل



شکل 1.12: نلکی کی بیرونی سطح پر متغیرہ کا تکمل کل مقدار دے گی۔

ہو گا۔

$$\phi(\alpha) = B_0 l \rho \int_{-\frac{\pi}{2}-\alpha}^{\frac{\pi}{2}-\alpha} \cos\theta \, \mathrm{d}\theta = 2B_0 l \rho \cos\alpha \tag{1.47}$$

یہاں $\phi(\alpha)$ اس بات کو واضح کرتا ہے کہ نتیجہ α پر منحصر ہے۔ یہ ایک بہت اہم مساوات ہے۔ مساوات 1.47 میں اگر $\alpha = 0$ ہو تو مساوات 1.46 ملتا ہے۔

1.14 مرحلی سمتیہ

سائن نما موج جن کا تعدد معین ہو کو مرحلی سمتیہ سے ظاہر کرنا نہایت مفید ثابت ہوتا ہے۔ مساوات یولر[30]

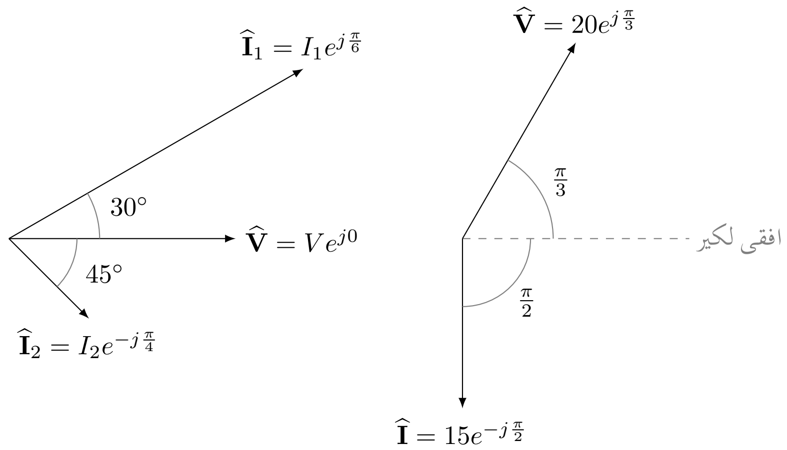
$$A_0 e^{\mp j(\omega t+\phi)} = A_0 \cos(\omega t+\phi) \mp j \sin(\omega t+\phi) \tag{1.48}$$

کی مدد سے کوسائن موج یوں لکھی جا سکتی ہے

$$A_0 \cos(\omega t+\phi) = \frac{A_0}{2}\left(e^{j(\omega t+\phi)} - e^{-j(\omega t+\phi)}\right) \tag{1.49}$$

---

[30] Euler's equation



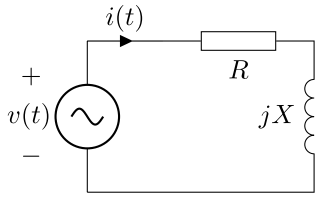
شکل 1.13: مرحلی سمتیہ

اس سے ثابت ہوتا ہے کہ کوسائن موج دراصل دو مخلوط اعداد کا مجموعہ ہے۔ مساوات یولر ایک مخلوط عدد کو ظاہر کرتا ہے جس کے دو جزو ہیں۔ اس کا ایک جزو حقیقی عدد ہے اور اس کا دوسرا جزو فرضی عدد ہے۔اس کا حقیقی جزو کوسائن موج کو ظاہر کرتا ہے۔ لٰہذا ایک کوسائن موج $A_0 e^{j(\omega t+\phi)}$ یا $A_0 e^{-j(\omega t+\phi)}$ کا حقیقی جزو ہوتا ہے۔ رسمی طور پر سائن نما موج کو $A_0 e^{j(\omega t+\phi)}$ سے ظاہر کیا جاتا ہے۔ مزید یہ کہ اس عدد کو چھوٹا کر کے صرف $A_0 e^{j\phi}$ یا پھر $A_0 \underline{/\phi}$ لکھا جاتا ہے۔کوسائن موج کے اس طرح ظاہر کرنے کو مرحلی سمتیہ[31] کہتے ہیں جہاں اس سمتیہ کا طول A_0 اور اُفقی لکیر سے زاویہ ϕ ہے۔

مرحلی سمتیہ استعمال کرتے وقت آپ کو یہ ذہن میں رکھنا ہوتا ہے کہ یہ ایک کوسائن موج ہے جس کا حیطہ A_0 ، دوری زاویہ ϕ اور زاویائی تعدد ω ہے۔

اس کتاب میں مرحلی سمتیہ کو سادہ طرزِ لکھائی میں انگریزی کے بڑے حروف جن پر ٹوپی کا نشان ہو سے ظاہر کیا جائے گا، یعنی $\hat{V}$, $\hat{I}$ وغیرہ اور ان کے طول کو بغیر ٹوپی کے نشان کے اسی حرف سے ظاہر کیا جائے گا۔مثلاً برقی

[31] phasor



$$
\begin{aligned}
Z &= R + jX \\
|Z| &= \sqrt{R^2 + X^2} \\
\phi_Z &= \tan^{-1}\frac{X}{R} \\
v(t) &= V_0\cos(\omega t + \alpha) \\
i(t) &= \frac{V_0}{|Z|}\cos(\omega t + \alpha - \phi_Z) \\
&= I_0\cos(\omega t + \alpha - \phi_Z)
\end{aligned}
$$

شکل 1.14: مرحلی سمتیہ کی مدد سے RL دور کا حل۔

دباو $v = 20\cos(\omega t + \frac{\pi}{3})$ کے لئے یہ سب درست ہیں۔

$$
\begin{aligned}
v &= 20\cos(\omega t + \frac{\pi}{3}) \\
\hat{V} &= 20e^{j\frac{\pi}{3}} \\
\hat{V} &= 20\angle\frac{\pi}{3} \\
V &= 20
\end{aligned}
\tag{1.50}
$$

اس مساوات میں پہلا جزو ایک عام کوسائن موج ہے۔ دوسرا جزو اِسی کو مرحلی سمتیہ سے ظاہر کر رہا ہے۔ تیسرا اس مرحلی سمتیہ کا طول اور چوتھا اس کا زاویہ بتلا رہا ہے۔ مرحلی سمتیہ کو عام سمتیوں کی طرح ہی تصور کیا جاتا ہے۔ اس مساوات میں $\hat{V}$ کا طول 20 اور اُفقی لکیر سے زاویہ $\frac{\pi}{3}$ ریڈیئن ہے۔زاویہ اُفقی لکیر سے گھڑی کی اُلٹی سمت ناپا جاتا ہے۔ اس سمت میں زاویہ مثبت ہے۔ شکل 1.13 میں اس $\hat{V}$ کے علاوہ چند اور مرحلی سمتیے دکھائے گئے ہیں۔

برقی ادوار میں عموماً برقی دباو $\hat{V}$ کی نسبت سے برقی رو $\hat{I}$ کا زاویہ بیان کیا جاتا ہے۔شکل 1.13 میں $\hat{I}_1$ تیس درجہ زاویہ برقی دباو سے آگے ہے جبکہ $\hat{I}_2$ پینتالیس درجہ زاویہ برقی دباو کے پیچھے ہے۔اس حقیقت کو یوں بیان کیا جاتا ہے کہ $\hat{I}_1$ تیس درجہ **پیش زاویہ**[32] پر ہے جبکہ $\hat{I}_2$ پینتالیس درجہ **تاخیری زاویہ**[33] پر ہے۔اسے طرح $\hat{I}_1$ کو **پیش** برقی رو جبکہ $\hat{I}_2$ کو **تاخیری** برقی رو کہا جاتا ہے۔دو مرحلی سمتیات کے آپس میں زاویے کو **مرحلی فرق**[34] کہتے ہیں لہٰذا $\hat{I}_1$ اور $\hat{I}_2$ میں $75°$ کا مرحلی فرق پایا جاتا ہے۔یہاں یہ دھیان رہے کہ شکل میں $45°$ مثبت لکھا گیا ہے۔چونکہ یہ اُفقی لکیر سے زاویہ ناپنے کی اُلٹ سمت میں ہے لہٰذا یہ ایک منفی زاویہ ہے۔

---

[32] leading angle
[33] lagging angle
[34] phase difference

اگر $v = V_0 \cos \omega t$ اور $i = I_0 \cos(\omega t + \theta)$ ہوں تب برقی طاقت $p = V_0 I_0 \cos \theta$ کے برابر ہو گا جہاں $\cos \theta$ کو **جزو طاقت**[35] اور θ کو **زاویہ جزو طاقت**[36] کہتے ہیں۔ اسی طرح تاخیری زاویہ کی صورت میں $\cos \theta$ کو **تاخیری جزو طاقت**[37] اور پیش زاویہ کی صورت میں $\cos \theta$ کو **پیش جزو طاقت**[38] کہتے ہیں۔

یہاں مرحلی سمتیوں کو استعمال کر کے ایک سادہ برقی دور حل کرتے ہیں۔ یوں ان سے وابستگی پیدا ہو جائے گی اور ان کا استعمال بھی سیکھ لیں گے۔

شکل 1.14 ایک سادہ $R - L$ **یک مرحلہ**[39] برقی دور ہے جس پر لاگو برقی دباو

$$\begin{aligned} v(t) &= V_0 \cos(\omega t + \alpha) \\ \hat{V} &= V_0 \underline{/\alpha} \end{aligned} \tag{1.51}$$

ہے۔ مرحلی سمتیہ کے استعمال سے ہم اس میں برقی رو $i(t)$ معلوم کرنا چاہتے ہیں۔

$$\begin{aligned} \hat{I} &= \frac{\hat{V}}{R + jX} = \frac{V_0 \underline{/\alpha}}{|Z| \underline{/\phi_Z}} \\ &= \frac{V_0}{|Z|} \underline{/\alpha - \phi_Z} = I_0 \underline{/\alpha - \phi_Z} \end{aligned} \tag{1.52}$$

جہاں ϕ_Z رکاوٹ کا زاویہ ہے۔ لہٰذا

$$i(t) = I_0 \cos(\omega t + \alpha - \phi_Z) \tag{1.53}$$

حاصل ہوتا ہے۔ یوں تاخیری زاویہ ϕ_Z کے برابر ہے۔

---

[35] power factor
[36] power factor angle
[37] lagging power factor
[38] leading power factor
[39] single phase

باب 2

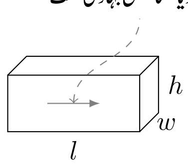
مقناطیسی ادوار

2.1 مزاحمت اور ہچکچاہٹ

شکل 2.1 میں ایک سلاخ دکھائی گئی ہے جس کی لمبائی کی سمت میں مزاحمت[1]

$$R = \frac{l}{\sigma A} \tag{2.1}$$

ہے جہاں σ موصلیت[2] کو ظاہر کرتی ہے اور $A = wh$ رقبہ عمودی تراش ہے۔ اس سلاخ کی ہچکچاہٹ[3] $\Re$ درج



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

شکل 2.1: مزاحمت اور ہچکچاہٹ

---

resistance[1]
conductivity[2]

ذیل ہے جہاں μ **مقناطیسی مستقل**[4] کہلاتا ہے۔

$$\Re = \frac{l}{\mu A} \tag{2.2}$$

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

$$\mu = \mu_r \mu_0 \tag{2.3}$$

جہاں μ_r **جزو مقناطیسی مستقل** کہلاتا ہے۔ ہچکچاہٹ کی اکائی ایمپیئر۔چکر فی ویبر ہے جس کی وضاحت جلد کی جائے گی۔

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

حل:

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

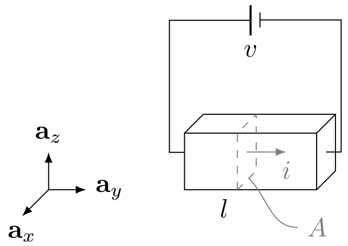
2.2 کثافتِ برقی رو اور برقی میدان کی شدت

اس سلاخ کے سروں پر برقی دباو v (شکل 2.2) لاگو کرنے سے اس میں برقی رو i گزرے گا جس کو اوہم کے قانون[5] سے حاصل کرتے ہیں۔

$$i = \frac{v}{R} \tag{2.4}$$

---

[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: کثافتِ برقی رو اور برقی دباو کی شدت

درج بالا مساوات کو مساوات 2.1 کی مدد سے

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

یا

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

یا

$$J = \sigma E \tag{2.7}$$

لکھا جا سکتا ہے جہاں J اور E کی تعریف درج ذیل ہے۔

$$J = \frac{i}{A} \tag{2.8}$$
$$E = \frac{v}{l} \tag{2.9}$$

شکل 2.2 میں سمتیہ $\boldsymbol{J}$ کی مقدار J ہو اور سمتیہ $\boldsymbol{E}$ کی مقدار E لیتے ہوئے مساوات 2.7 کو درج ذیل لکھا جا سکتا ہے

$$\boldsymbol{J} = \sigma \boldsymbol{E} \tag{2.10}$$

جو قانون اوہم کی دوسری روپ ہے۔ $\boldsymbol{J}$ اور $\boldsymbol{E}$ دونوں کا رخ $\boldsymbol{a}_{\text{y}}$ ہے۔

شکل 2.2 سے ظاہر ہے کہ برقی رو i سلاخ کی رقبہ عمودی تراش A سے گزرتی ہے لہٰذا مساوات 2.8 کے تحت J برقی رو کی کثافت کو ظاہر کرتی ہے لہٰذا J کو کثافتِ برقی رو[6] کہتے ہیں۔ اسی طرح مساوات 2.9 سے واضح ہے کہ

[6] current density

E برقی دباو فی اکائی لمبائی کو ظاہر کرتی ہے لہٰذا E کو **برقی میدان کی شدت**[7] یا (جہاں متن سے مقناطیسی میدان واضح ہو) مختصراً **میدانی شدت** 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 دباو**[8] v[9] کی وجہ سے **برقی رو**[10] i[11] پیدا ہوتی ہے۔ تانبا[12] کی موصلیت $\sigma = 5.9 \times 10^7 \, \frac{\mathrm{S}}{\mathrm{m}}$ ہے جو بہت بڑی مقدار ہے۔ $\frac{\mathrm{S}}{\mathrm{m}}$ موصلیت کی اکائی ہے۔ تانبا کی موصلیت کی مقدار بہت بڑی ہونے کی بنا اس سے بنی تار کی مزاحمت[13] $R_{\text{تار}}$ عموماً قابل نظرانداز ہو گی۔ تار میں برقی رو i گزرنے سے تار کے سروں کے بیچ برقی دباو $\Delta v = iR_{\text{تار}}$ پیدا ہو گا جس کو $R_{\text{تار}} \to 0$ کی بنا نظر انداز کیا جا سکتا ہے۔یوں تانبے کی تار میں برقی دباو کے گھٹاو کو رد کیا جا سکتا ہے یعنی ہم $\Delta v \to 0$ 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 جا سکتا ہے۔

$$v = \Delta v + v_L \tag{2.11}$$

تار میں برقی گھٹاو Δv نظرانداز کرتے ہوئے

$$v = v_L \tag{2.12}$$

حاصل ہوتا ہے۔اس کا مطلب ہے کہ اگر تار میں برقی دباو کا گھٹاو قابل نظرانداز ہو تب لاگو برقی دباو جوں کا توں مزاحمت R_L تک پہنچتا ہے۔ برقی ادوار حل کرتے ہوئے یہی حقیقت بروئے کار لاتے ہوئے تار میں برقی دباو کے گھٹاو کو نظرانداز 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 دباو کو مقام استعمال تک بغیر گھٹائے پہنچایا جائے۔

---

[7] electric field intensity

[8] electric voltage

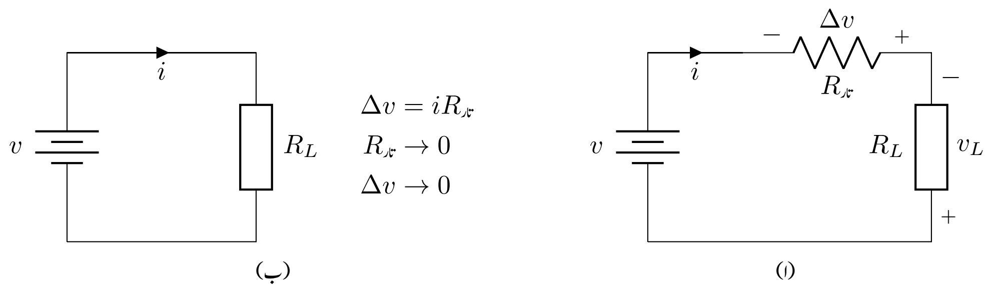
[9] برقی دباو کی اکائی وولٹ ہے جو اٹلی کے الِسانڈرو وولٹا کے نام ہے جنہوں نے برقی بیٹری ایجاد کی۔

[10] electric current

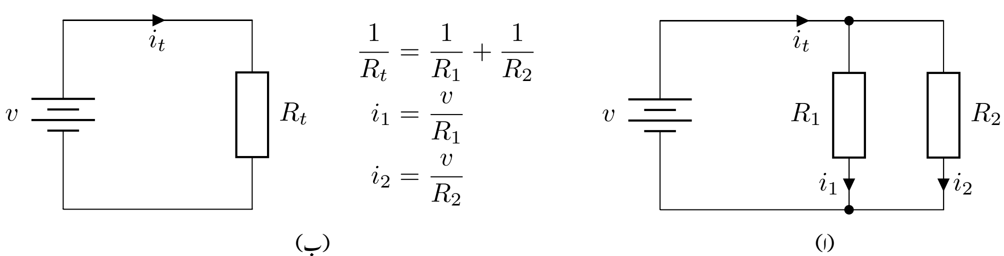
[11] برقی رو کی اکائی ایمپیئر ہے جو فرانس کے انڈرِ میرِ ایمپیئر کے نام ہے جن کا برقی و مقناطیسی میدان میں اہم کردار ہے۔

[12] copper

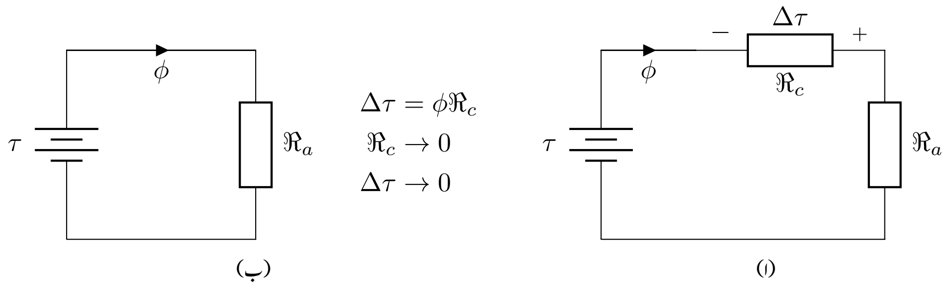
[13] مزاحمت کی اکائی اوہم ہے جو جرمنی کے جارج سائمن اوہم کے نام ہے جنہوں نے قانونِ اوہم دریافت کیا۔



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



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



شکل 2.5: مقناطیسی دور

شکل 2.4 میں ایک اور مثال دی گئی ہے۔ یہاں ہم دیکھتے ہیں کہ برقی رو اس راستے زیادہ ہوتی ہے جس کی مزاحمت کم ہو۔ لٰہذا اگر $R_1 < R_2$ ہو تب $i_1 > i_2$ ہو گا۔

2.4 مقناطیسی دور حصہ اول

مقناطیسی ادوار بالکل برقی ادوار کی طرح ہوتے ہیں۔ بس ان میں برقی دباو v کی جگہ **مقناطیسی دباو**[14] τ ، برقی رو i کی جگہ **مقناطیسی بہاو**[15] ϕ اور مزاحمت R کی جگہ **ہچکچاہٹ**[16] $\Re$ پائے جاتے ہیں۔ یوں بالکل برقی ادوار کی طرح مقناطیسی ادوار بنائے جا سکتے ہیں۔ ایک ایسا دور شکل 2.5-الف میں دکھایا گیا ہے۔ یہاں بھی کوشش یہی ہے کہ کسی طرح مقناطیسی دباو τ کو بغیر گھٹائے ہچکچاہٹ $\Re_a$ تک پہنچایا جائے۔ عموماً $\Re_a$ خلائی درز کی ہچکچاہٹ ہوتی ہے اور $\Re_c$ مقناطیسی قالب کی۔ یہاں بھی اگر $\Re_c$ قابل نظرانداز ہو تب شکل 2.5-ب حاصل ہو گا جس میں مقناطیسی بہاو ϕ، بالکل اوہم کے قانون کی طرح، درج ذیل مساوات سے حاصل ہو گا۔

$$\tau = \phi\Re_a \tag{2.13}$$

اگر $\Re_c$ کو نظرانداز کرنا ممکن نہ ہو تب بالکل سلسلہ وار مزاحمتوں کی طرح ہم دو سلسلہ وار ہچکچاہٹوں کا مجموعی ہچکچاہٹ $\Re_s$ استعمال کر کے برقی رو حاصل کریں گے، یعنی

$$\Re_s = \Re_a + \Re_c \tag{2.14}$$

$$\tau = \phi\Re_s \tag{2.15}$$

[14] magnetomotive force, mmf
[15] flux
[16] reluctance

برقی دور کی طرح، مقناطیسی دباو کو کم ہچکچاہٹ والی راہ سے مقام ضرورت تک پہنچایا جاتا ہے۔ مساوات 2.2 کے تحت ہچکچاہٹ کی قیمت مقناطیسی مستقل μ پر منحصر ہے۔مقناطیسی مستقل کی اکائی[17] ہینری فی میٹر $\frac{\mathrm{H}}{\mathrm{m}}$ 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 جزو مقناطیسی مستقل[18] 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۔ مقناطیسی دباو کو ایک جگہ سے دوسری جگہ منتقل کرنے کے لئے انہی مقناطیسی مواد کو استعمال کیا جاتا ہے۔ بد قسمتی سے مقناطیسی مواد کے μ کی مقدار اتنی زیادہ نہیں ہوتی ہے کہ ان سے بنی سلاخ کی ہچکچاہٹ ہر موقع پر قابل نظرانداز 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 مقناطیسی دباو منتقل کرنے کے لئے باریک تار نہیں بلکہ خاصی زیادہ رقبہ عمودی تراش کا مقناطیسی راستہ درکار ہوتا ہے۔مقناطیسی مشین، مثلاً موٹر اور ٹرانسفارمر، کا بیشتر حصہ مقناطیسی دباو منتقل کرنے والے ان مقناطیسی مواد پر مشتمل ہوتا ہے۔ایسے مشینوں کے قلب میں عموماً یہی مقناطیسی مادہ پایا جاتا ہے لہٰذا ایسا مواد مقناطیسی قالب[19] کہلاتا ہے (شکل 2.6)۔ برقی مشینوں میں استعمال مقناطیسی قالب لوہے کی باریک چادر یا پتری[20] تہہ در تہہ رکھ کر بنائی جاتی ہے۔ مقناطیسی قالب کے بارے میں مزید معلومات حصہ 2.8 میں فراہم کی جائے گی۔

2.5 کثافتِ مقناطیسی بہاو 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 ہیں۔ یوں قالب کی ہچکچاہٹ $\Re_c$ صفر ہو گی۔ حصہ 2.2 میں تانبا کی تار کی طرح یہاں مقناطیسی قالب کو مقناطیسی دباو τ ایک مقام سے دوسری مقام تک منتقل کرنے کے لئے استعمال کیا گیا ہے۔ شکل 2.6 میں مقناطیسی دباو کو خلائی درز کی ہچکچاہٹ $\Re_a$ تک پہنچایا گیا ہے۔ لہٰذا یہاں کل ہچکچاہٹ صرف خلائی درز کی ہچکچاہٹ ہی ہے یعنی:

$$\Re_a = \frac{l_a}{\mu_0 A_a} \tag{2.16}$$

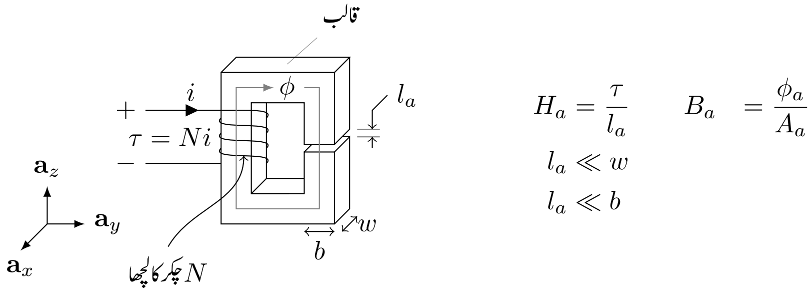
---

[17] Henry per meter

[18] relative permeability, relative magnetic constant

[19] magnetic core

[20] laminations



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

اگر خلائی درز کی لمبائی l_a قالب کے رقبہ عمودی تراش کے اضلاع b اور w سے بہت کم ہوں، یعنی $l_a \ll b$ اور $l_a \ll w$ تب خلائی درز کے رقبہ عمودی تراش A_a کو قالب کے رقبہ عمودی تراش $\Re_c$ کے برابر لیا جاتا ہے، یعنی:

$$A_a = A_c = wb \tag{2.17}$$

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

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

$$\tau = Ni \tag{2.18}$$

یوں برقی تار کے چکر ضرب تار میں برقی رو کو مقطاطیسی دباو کہتے ہیں۔ مقناطیسی دباو کی اکائی ایمپیئر-چکر[21] ہے۔ بالکل حصہ 2.2 کی طرح ہم مساوات 2.15 کو یوں لکھ سکتے ہیں۔

$$\phi_a = \frac{\tau}{\Re_a} \tag{2.19}$$

مقناطیسی بہاو کی اکائی[22] ویبر[23] ہے اور ہچکچاہٹ کی اکائی ایمپیئر-چکر فی ویبر[24] ہے۔ اس سلسلہ وار دور کی خلائی درز میں مقناطیسی بہاو ϕ_a اور قالب میں مقناطیسی بہاو ϕ_c ایک دوسرے کے برابر ہوں گے۔درج بالا مساوات کو مساوات 2.2 کی مدد سے

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

[21] ampere-turn
[22] Weber
[23] یہ اکائی جرمنی کے ولیم اڈورڈ ویبر کے نام ہے جن کا برقی و مقناطیسی میدان میں اہم کردار رہا ہے
[24] ampere-turn per weber

یا

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

لکھ سکتے ہیں جہاں درز کی نشاندہی زیر نوشت میں a لکھ کر کی گئی ہے۔ اس مساوات میں بائیں ہاتھ مقناطیسی بہاو فی اکائی رقبہ کو **کثافتِ مقناطیسی بہاو**[25] B_a اور دائیں ہاتھ مقناطیسی دباو فی اکائی لمبائی کو **مقناطیسی میدان کی شدت**[26] H_a لکھا جا سکتا ہے، یعنی:

$$B_a = \frac{\phi_a}{A_a} \tag{2.21}$$

$$H_a = \frac{\tau}{l_a} \tag{2.22}$$

کثافتِ مقناطیسی بہاو کی اکائی **ویبر فی مربع میٹر** ہے جس کو ٹسلا[27] کا نام دیا گیا ہے۔ مقناطیسی میدان کی شدت کی اکائی **ایمپیئر فی میٹر**[28] ہے۔ یوں مساوات 2.20 کو درج ذیل لکھا جا سکتا ہے۔

$$B_a = \mu_0 H_a \tag{2.23}$$

جہاں متن سے واضح ہو کہ مقناطیسی میدان کی بات ہو رہی ہے وہاں مقناطیسی میدان کی شدت کو مختصراً **میدانی شدت**[29] کہا جاتا ہے۔ شکل 2.6 میں ہم دیکھتے ہیں کہ خلائی درز میں مقناطیسی بہاو کا رخ اکائی سمتیہ $\boldsymbol{a}_{\mathrm{z}}$ کے ہے لہٰذا ہم کثافتِ مقناطیسی بہاو کو $\boldsymbol{B_a} = -B_a \boldsymbol{a}_{\mathrm{z}}$ لکھ سکتے ہیں۔ اسی طرح خلائی درز میں مقناطیسی دباو اکائی سمتیہ $\boldsymbol{a}_{\mathrm{z}}$ کی الٹ رخ دباو ڈال رہا ہے لہٰذا ہم مقناطیسی دباو کی شدت کو $\boldsymbol{H_a} = -H_a \boldsymbol{a}_{\mathrm{z}}$ لکھ سکتے ہیں۔ یوں درج بالا مساوات کو درج ذیل لکھا جا سکتا ہے۔

$$\boldsymbol{B_a} = \mu_0 \boldsymbol{H_a} \tag{2.24}$$

اگر خلاء کی جگہ کوئی اور مادہ ہو تب ہم اس مساوات کو درج ذیل لکھتے۔

$$\boldsymbol{B} = \mu \boldsymbol{H} \tag{2.25}$$

---

[25] magnetic flux density
[26] magnetic field intensity
[27] Tesla: یہ اکائی سربیا کے نکولا ٹسلا کے نام ہے جنہوں نے بدلتی رو برقی طاقت عام کرنے میں اہم کردار ادا کیا
[28] ampere per meter
[29] field intensity

مثال 2.2: شکل 2.6 میں خلائی درز میں کثافتِ مقناطیسی بہاو 0.1 ٹسلا درکار ہے۔ قالب کی $\mu_r = \infty$ ہے اور خلائی درز کی لمبائی 1 ملی میٹر ہے۔ اگر قالب کے گرد برقی تار کے 100 چکر ہوں تب درکار برقی رو i کتنا ہو گا۔

حل:

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

لہٰذا

$$
\begin{aligned}
0.1 &= \frac{100 \times i \times 4\pi 10^{-7}}{0.001} \\
i &= \frac{0.1 \times 0.001}{100 \times 4\pi 10^{-7}} = 0.795\,67\,\mathrm{A}
\end{aligned}
$$

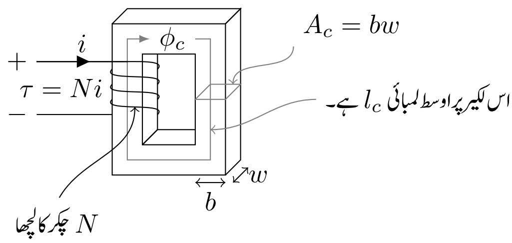
$i = 0.795\,67\,\mathrm{A}$ برقی رو خلائی درز میں $B = 0.1\,\mathrm{T}$ کثافتِ مقناطیسی بہاو پیدا کرے گا۔

2.6 مقناطیسی دور حصہ دوم

شکل 2.7 میں ایک سادہ مقناطیسی نظام دکھایا گیا ہے جس میں قالب کی مقناطیسی مستقل کو محدود تصور کرتے ہیں۔ مقناطیسی دباو $\tau = Ni$ مقناطیسی قالب میں مقناطیسی بہاو ϕ_c پیدا کرتا ہے۔ قالب کا رقبہ عمودی تراش A_c ہر جگہ ایک یکساں ہے اور قالب کی اوسط لمبائی l_c ہے۔ قالب میں مقناطیسی بہاو کا رخ فلیمنگ[30] کے دائیں ہاتھ کے قانون سے معلوم کیا جا سکتا ہے۔ اس قانون کو دو طریقوں سے بیان کیا جا سکتا 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۔

[30] Fleming's right hand rule



شکل 2.7: سادہ مقناطیسی دور۔

- 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 رخمعلوم 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 جا سکتا ہے۔

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

$$\Re_c = \frac{l_c}{\mu_c A_c}$$

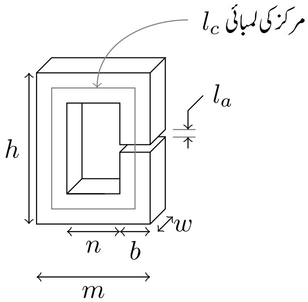
لکھتے ہوئے مقناطیسی بہاو

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

ہو گا۔اس طرح ہم تمام نا معلوم متغیرات حاصل کر پائے ہیں۔

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

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



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

شکل 2.8: خلائی درز اور قالب کے ہچکچاہٹ۔

قالب اور خلائی درز کی ہچکچاہٹیں حاصل کریں۔

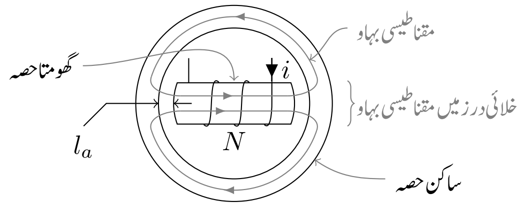
حل:

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

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

ہم دیکھتے ہیں اگرچہ قالب کی لمبائی خلائی درز کی لمبائی سے 559 گنا زیادہ ہے تب بھی خلائی درز کی ہچکچاہٹ 71 گنا زیادہ ہے۔یوں $\Re_a \gg \Re_c$ ہو گا۔

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 $0.95\,\mathrm{T}$ کثافتِ برقی بہاو حاصل کرنے کی خاطر درکار برقی رو معلوم کریں۔



شکل 2.9: سادہ گھومنے والا مشین

حل: اس شکل میں گھومتے مشین، مثلاً موٹر، کی ایک سادہ صورت دکھائی گئی ہے۔ ایسی مشینوں کا بیرونی حصہ ساکن رہتا ہے لہٰذا اس حصے کو مشین کا **ساکن حصہ**[31] کہتے ہیں۔ ساکن حصے کے اندر مشین کا گھومتا حصہ پایا جاتا ہے لہٰذا اس حصے کو مشین کا **گھومتا حصہ**[32] کہتے ہیں۔ اس مثال میں ان دونوں حصوں کا $\mu_r = \infty$ ہے لہٰذا ان کی ہچکچاہٹ صفر ہو گی۔ مقناطیسی بہاو کو ہلکی سیاہی کی لکیر سے ظاہر کیا گیا ہے۔ مقناطیسی بہاو کی ایک مکمل چکر کے دوران مقناطیسی بہاو دو خلائی درزوں سے گزرتا ہے۔ یہ دو خلائی درز ہر لحاظ سے ایک جیسے ہیں لہٰذا ان دونوں خلائی درز کی ہچکچاہٹ بھی ایک دوسرے کے برابر ہوں گی۔ مزید دونوں خلائی درزوں کی ہچکچاہٹ سلسلہ وار ہیں۔ شکل 2.9 میں مقناطیسی بہاو کو گھومتے حصہ، ساکن حصہ اور دو خلائی درزوں سے گزرتا ہوا دکھایا گیا ہے۔ خلائی درز کی لمبائی l_a بہت کم ہے لہٰذا خلائی درز کا عمودی رقبہ تراش A_a وہی ہو گا جو گھومتے حصہ کا ہے یعنی $A_a = A_c$ ہو گا۔

ایک خلائی درز کی ہچکچاہٹ

$$\Re_a = \frac{l_a}{\mu_0 A_a} = \frac{l_a}{\mu_0 \mathrm{A}_c}$$

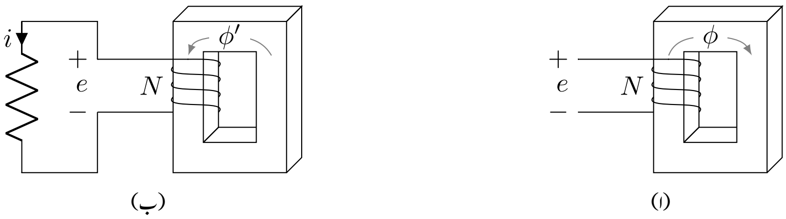
ہے لہٰذا دو سلسلہ وار خلائی درزوں کی کل ہچکچاہٹ درج ذیل ہو گی۔

$$\Re_s = \Re_a + \Re_a = \frac{2l_a}{\mu_0 A_c}$$

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

$$\phi_a = \frac{\tau}{\Re_s} = (Ni)\left(\frac{\mu_0 A_c}{2l_a}\right)$$
$$B_a = \frac{\phi_a}{A_a} = \frac{\mu_0 Ni}{2l_a}$$

[31] stator
[32] rotor



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

اس مساوات میں اعداد استعمال کرتے ہیں۔

$$
\begin{aligned}
0.95 &= \frac{4\pi 10^{-7} \times 1000 \times i}{2 \times 0.005} \\
i &= \frac{0.95 \times 2 \times 0.005}{4\pi 10^{-7} \times 1000} = 7.56\,\mathrm{A}
\end{aligned}
$$

موٹر اور جنریٹروں کی خلاء میں تقریباً ایک ٹسلا کثافتِ برقی بہاو ہوتی ہے۔

2.7 خود امالہ، مشترکہ امالہ اور توانائی

مقناطیسی بہاو کی وقت کے ساتھ تبدیلی برقی دباو کو جنم دیتی ہے۔ للٰذا شکل 2.10-ا کے قالب میں مقناطیسی بہاو ϕ کی تبدیلی کی بنا لچھے میں برقی دباو e پیدا ہو گا جو لچھے کے سروں پر نمودار ہو گا۔ اِس طرح پیدا ہونے والی برقی دباو کو **امالی برقی دباو**[33] کہتے ہیں۔ **قانونِ فیراڈے**[34] کے تحت[35] درج ذیل ہو گا۔

$$
e = N\frac{\partial \phi}{\partial t} = \frac{\partial \lambda}{\partial t} \tag{2.27}
$$

امالی برقی دباو کو منبع برقی دباو تصور کریں۔

---

[33] induced voltage
[34] Faraday's law
[35] مائکل فیراڈے انگلستانی سائنسدان تھے جنہوں نے محرک برقی دباو دریافت کی

امالی برقی دباو کی سمت کا تعین یوں کیا جاتا ہے کہ اگر دیئے گئے لچھے کی سروں کو کسرِ دور[36] کیا جائے تو اِس میں برقی رو اُس رخ ہو گی جو مقناطیسی بہاو کی تبدیلی کو روکے۔ یوں اگر شکل 2.10-ا میں بہاو کی سمت گھڑی کی سوئیوں کے گھومنے کے رخ ہو اور اگر بہاو بڑھ رہا ہو تب بہاو کی تبدیلی کے مخالف بہاو پیدا کرنے کی خاطر لچھے کا بالائی سر مثبت دباو پر ہو گا۔ شکل 2.10-ب میں لچھے کے سروں کے بیچ مزاحمت نسب کیا گیا ہے۔ لچھے کو منبع دباو تصور کرتے ہوئے آپ دیکھ سکتے ہیں کہ مزاحمت میں رو کی سمت قالب میں گھڑی کی الٹ رخ بہاو ϕ' پیدا کرے گا۔

قالب میں مقناطیسی بہاو ϕ لچھے کے تمام چکروں کے اندر سے گزرتا ہے۔ $N\phi$ کو لچھے کی ارتباط بہاو[37] λ کہتے ہیں جس کی اکائی ویبر-چکر[38] ہے۔

$$\lambda = N\phi \tag{2.28}$$

جن مقناطیسی ادوار میں مقناطیسی مستقل μ کو اٹل مقدار تصور کیا جا سکے یا جن میں خلائی درز کی ہچکچاہٹ قالب کی ہچکچاہٹ سے بہت زیادہ ہو $\Re_a \gg \Re_c$ ان میں لچھے کی امالہ[39] L کی تعریف درج ذیل ہے۔

$$L = \frac{\lambda}{i} \tag{2.29}$$

امالہ کی اکائی ویبر-چکر فی ایمپیئر ہے جس کو ہینری[40] H کا نام[41] دیا گیا ہے۔ یوں $\lambda = N\phi$ ، $\phi = B_c A_c$ اور $\phi = \frac{Ni}{\Re}$ پر کرتے ہوئے درج ذیل حاصل ہوتا ہے

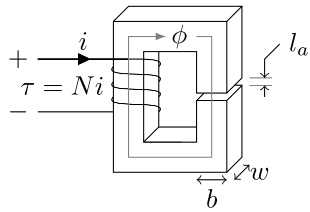
$$L = \frac{N\phi}{i} = \frac{NB_c A_c}{i} = \frac{N^2 \mu_0 A_a}{l_a} \tag{2.30}$$

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

---

[36] short circuit
[37] flux linkage
[38] weber-turn
[39] inductance
[40] Henry
[41] امریکی سائنسدان جوزف ہینری جنہوں نے مائکل فیراڈے سے علیحدہ طور پر محرک برقی دباو دریافت کی



شکل 2.11: امالہ (مثال 2.5)

- قالب کی $\mu_r = \infty$ ہے۔
- قالب کی $\mu_r = 500$ ہے۔

حل: (ا) قالب کی $\mu_r = \infty$ کی بنا قالب کی ہچکچاہٹ نظرانداز کی جا سکتی ہے۔یوں امالہ درج ذیل ہو گی۔

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

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

$$
\begin{aligned}
\Re_a &= \frac{l_a}{\mu_0 w b} = \frac{0.003}{4\pi 10^{-7} \times 0.04 \times 0.05} = 1\,193\,507\,\mathrm{A \cdot t/Wb} \\
\Re_c &= \frac{l_c}{\mu_r \mu_0 w b} = \frac{0.3}{500 \times 4\pi 10^{-7} \times 0.04 \times 0.05} = 238\,701\,\mathrm{A \cdot t/Wb}
\end{aligned}
$$

یوں درج ذیل ہو گا۔

$$
\begin{aligned}
\phi &= \frac{Ni}{\Re_a + \Re_c} \\
\lambda &= N\phi = \frac{N^2 i}{\Re_a + \Re_c} \\
L &= \frac{\lambda}{i} = \frac{N^2}{\Re_a + \Re_c} = \frac{1000^2}{1\,193\,507 + 238\,701} = 0.698\,\mathrm{H}
\end{aligned}
$$

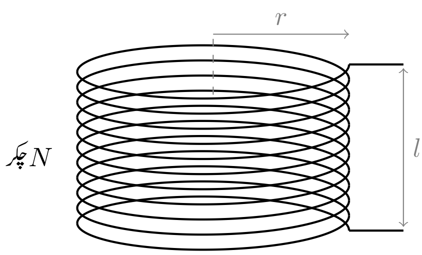
مثال 2.6: شکل 2.12 میں ایک پیچدار لچھا[42] دکھایا گیا ہے جس کی جسامت درج ذیل ہے۔

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

پیچدار لچھے کے اندر مقناطیسی بہاو ϕ کا بیشتر حصہ محوری رخ ہوتا ہے۔ لچھے کے بار یہی بہاو پوری کائنات سے گزرتے ہوئے واپس لچھے میں داخل ہوتا ہے۔چونکہ پوری کائنات کا رقبہ عمودی تراش A لامتناہی ہے لہٰذا لچھے کے باہر کثافت مقناطیسی بہاو $B = \frac{\phi}{A}$ کی مقدار قابل نظرانداز ہوتی ہے۔لچھے کے اندر محوری رخ مقناطیسی شدت درج ذیل ہو گی۔

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

اس لچھے کی خود امالہ حاصل کریں۔



شکل 2.12: پیچدار لچھا

حل:

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

---

[42] spiral coil

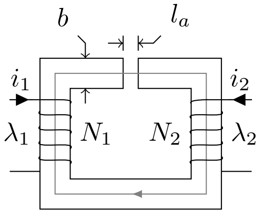
عددی N، r اور l کی قیمتیں پر کرتے ہوئے درج ذیل امالہ حاصل ہو گا[43]۔

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

شکل 2.13 میں دو لچھے والا 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 دباو پیدا کرتے ہیں۔ اگر قالب کا $\Re_c$ قابل نظرانداز ہو تب مقناطیسی بہاو ϕ درج ذیل ہو گا۔

$$\phi=(N_1i_1+N_2i_2)\frac{\mu_0A_a}{l_a} \tag{2.31}$$

دونوں لچھوں کے مجموعی مقناطیسی دباو یعنی $N_1i_1+N_2i_2$ سے پیدا ہونے والا مقناطیسی بہاو ϕ ہے۔ اس مقناطیسی



$b=$ موٹائی
$w=$ گہرائی

$$A_a=A_c=bw$$
$$\lambda_1=N_1\phi$$
$$\lambda_2=N_2\phi$$
$$\phi=\frac{N_1i_1+N_2i_2}{\Re_a+\Re_c}$$

شکل 2.13: دو لچھے والا مقناطیسی دور۔

بہاو کا پہلے لچھے کے ساتھ ارتباط

$$\lambda_1=N_1\phi=N_1^2\frac{\mu_0A_a}{l_a}i_1+N_1N_2\frac{\mu_0A_a}{l_a}i_2 \tag{2.32}$$

یعنی

$$\lambda_1=L_{11}i_1+L_{12}i_2 \tag{2.33}$$

[43] یہ پیچدار لچھا میں نے 3000 کلو گرام لوہا پگھلانے والی بھٹی میں استعمال کیا ہے۔

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

$$L_{11} = N_1^2 \frac{\mu_0 A_a}{l_a} \tag{2.34}$$

$$L_{12} = N_1 N_2 \frac{\mu_0 A_a}{l_a} \tag{2.35}$$

L_{11} پہلے لچھے کی خود امالہ[44] ہے اور $L_{11} i_1$ اس لچھے کی اپنے برقی رو i_1 سے پیدا مقناطیسی بہاو کے ساتھ ارتباط بہاو ہے جسے خود ارتباط بہاو[45] کہتے ہیں۔ L_{12} اِن دونوں لچھوں کا مشترکہ امالہ[46] ہے اور $L_{12} i_2$ لچھا-1 کے ساتھ i_2 سے پیدا بہاو کے ساتھ ارتباط بہاو ہے جسے مشترکہ ارتباط بہاو[47] کہتے ہیں۔ بالکل اسی طرح ہم دوسرے لچھے کے لئے درج ذیل لکھ سکتے ہیں

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

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

$$L_{22} = N_2^2 \frac{\mu_0 A_a}{l_a} \tag{2.37}$$

$$L_{21} = L_{12} = N_2 N_1 \frac{\mu_0 A_a}{l_a} \tag{2.38}$$

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

مساوات 2.29 کو مساوات 2.27 میں پر کرتے ہیں۔

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

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

$$e = L \frac{\partial i}{\partial t} \tag{2.40}$$

---

self inductance[44]
self flux linkage[45]
mutual inductance[46]
mutual flux linkage[47]

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

$$e = L\frac{\partial i}{\partial t} + i\frac{\partial L}{\partial t} \tag{2.41}$$

توانائی[48] کی اکائی جاول[49] J [50] ہے اور طاقت[51] کی اکائی[52] جاول فی سیکنڈ یا واٹ[53] W ہے۔

اس کتاب میں توانائی یا کام کو W سے ظاہر کیا جائے لیکن 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 کے ساتھ توانائی کی تبدیلی کی شرح کو طاقت کہتے ہیں۔اس طرح درج ذیل لکھا جا سکتا ہے۔

$$p = \frac{\mathrm{d}W}{\mathrm{d}t} = ie = i\frac{\partial \lambda}{\partial t} \tag{2.42}$$

مقناطیسی دور میں لمحہ t_1 تا t_2 مقناطیسی توانائی کی تبدیلی کو تکمل کے ذریعہ حاصل کیا جا سکتا ہے:

$$\Delta W = \int_{t1}^{t2} p \,\mathrm{d}t = \int_{\lambda 1}^{\lambda 2} i \,\mathrm{d}\lambda \tag{2.43}$$

اگر مقناطیسی دور میں ایک ہی لچھا ہو اور دور میں امالہ کی قیمت اٹل ہو تب درج ذیل ہو گا۔

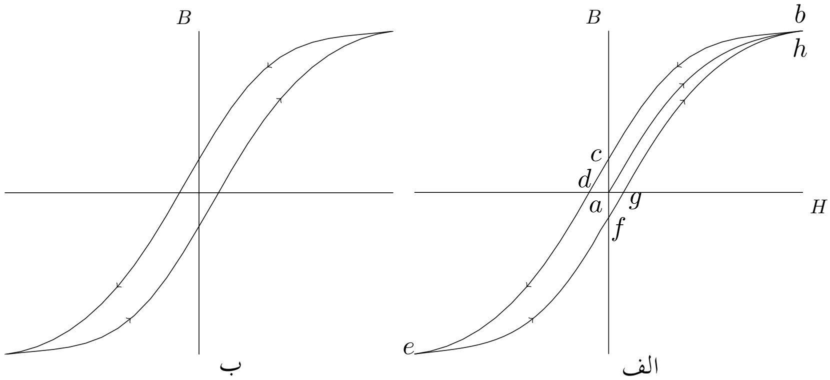
$$\Delta W = \int_{\lambda 1}^{\lambda 2} i \,\mathrm{d}\lambda = \int_{\lambda 1}^{\lambda 2} \frac{\lambda}{L} \,\mathrm{d}\lambda = \frac{1}{2L}\left(\lambda_2^2 - \lambda_1^2\right) \tag{2.44}$$

اگر لمحہ t_1 پر $\lambda_1 = 0$ تصور کیا جائے تب کسی دیئے گئے λ پر مقناطیسی توانائی درج ذیل ہو گی۔

$$\Delta W = \frac{\lambda^2}{2L} = \frac{Li^2}{2} \tag{2.45}$$

---

[48] energy
[49] Joule
[50] جیمس پریسقوٹ جاول انگلستانی سائنسدان جنہوں نے حرارت اور میکانی کام کا رشتہ دریافت کیا
[51] power
[52] سکاٹلینڈ کے جیمز واٹ جنہوں نے بخارات پر چلنے والے انجن پر کام کیا
[53] Watt



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

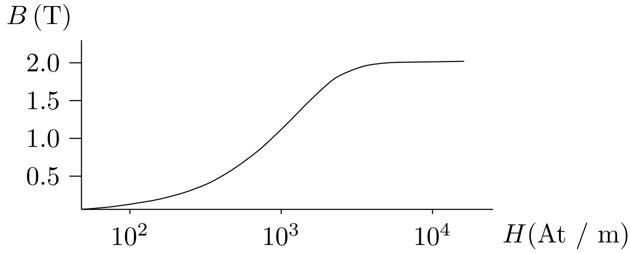
2.8 مقناطیسی مادہ کے خصوصیات

قالب کی استعمال سے دو فوائد حاصل ہوتے ہیں۔ قالب کے استعمال سے کم مقناطیسی دباو، زیادہ مقناطیسی بہاو پیدا کرتا ہے اور مقناطیسی بہاو کو پسند کی راہ پابند کیا جا سکتا ہے۔ ایک مرحلہ ٹرانسفارمروں میں قالب کی استعمال سے مقناطیسی بہاو کو یوں پابند کیا جاتا ہے کہ تمام لچھوں میں یکساں بہاو پایا جاتا ہو۔ موٹروں میں قالب کی استعمال سے مقناطیسی بہاو کو یوں پابند کیا جاتا ہے کہ زیادہ سے زیادہ قوت پیدا ہو جبکہ جنریٹروں میں زیادہ سے زیادہ برقی دباو حاصل کرنے کی نیت سے بہاو 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

$$\begin{aligned} H_a &= 0 \\ B_a &= 0 \end{aligned} \tag{2.46}$$

ہیں۔

ایسے مادہ کو لچھے میں رکھ کر اس پر مقناطیسی دباو لاگو کی جا سکتی ہے۔ مقناطیسی میدان کی شدت H لاگو کرنے سے لوہا نما مقناطیسی مادے میں کثافت مقناطیسی بہاو B پیدا ہو گی۔میدانی شدت بڑھانے سے کثافت مقناطیسی بہاو بھی بڑھے گی۔اس عمل کو نقطہ a سے شروع ایک نوکدار خط سے دکھایا گیا ہے۔میدانی شدت کو نقطہ b تک بڑھایا گیا ہے جہاں یہ مقداریں H_b اور B_b ہیں۔



شکل 2.15: $M5$ سٹیل کی 0.3048 ملی میٹر موٹی پتری کا خط۔ میدانی شدت کا پیمانہ لاگ ہے۔

اگر اس نقطہ تک پہنچنے کے بعد میدانی شدت کم کی جائے تو دیکھا یہ گیا ہے کہ واپسی کا خط مختلف راستہ اختیار کرتا ہے۔ یوں نقطہ b سے میدانی شدت کم کرتے ہوئے صفر کرنے سے لوہا نما مادہ کی کثافتِ مقناطیسی بہاو کم ہو کر نقطہ c پر آ پہنچتی ہے۔ نقطہ b سے نقطہ c تک نوکدار خط اس عمل کو ظاہر کرتا ہے۔ اس نقطہ پر بیرونی میدانی شدت صفر ہے لیکن لوہا نما مادے کی کثافتِ مقناطیسی بہاو صفر نہیں ہے۔ یہ اب ایک مقناطیس بن گیا ہے جس کی کثافتِ مقناطیسی بہاو B_c ہے۔ اس مقدار کو **بقایا کثافتِ مقناطیسی بہاو**[54] کہتے ہیں۔ مصنوعی مقناطیس اسی طرح بنایا جاتا ہے۔

یہاں سے میدانی شدت منفی رخ بڑھانے سے B کم ہوتے ہوتے آخر کار ایک مرتبہ دوبارہ صفر ہو جائے گی۔ اس نقطہ کو d سے ظاہر کیا گیا ہے۔ مقناطیسیت ختم کرنے کے لئے درکار میدانی شدت کی مقدار $|H_d|$ کو مقناطیسیت ختم کرنے والی شدت یا **خاتم شدت**[55] کہتے ہیں۔

منفی رخ میدانی شدت بڑھانے سے نقطہ e حاصل ہوتا ہے جہاں سے منفی رخ کی میدانی شدت کی مقدار ایک مرتبہ پھر کم کی جاتی ہے۔ یوں نقطہ f حاصل ہوتا ہے جہاں میدانی شدت صفر ہونے کے باوجود کثافتِ مقناطیسی بہاو صفر نہیں۔ اس نقطہ پر لوہا نما مادہ اُلٹ رخ مقناطیس بن چکا ہے اور B_f بقایا کثافتِ مقناطیسی بہاو ہے۔ اسی طرح اس رخ مقناطیسیت ختم کرنے کی شدت $|H_g|$ ہے۔ میدانی شدت بڑھاتے ہوئے ہم نقطہ b کی بجائے نقطہ h پہنچتے ہیں۔

اگر برقی شدت کو متواتر اسی طرح پہلے ایک رخ اور پھر اس کے الٹ رخ ایک خاص حد تک لے جایا جائے تو آخر کار $B - H$ خط ایک بند دائرہ کی صورت اختیار کر لیتا ہے جسے شکل 2.14-ب میں دکھایا گیا ہے۔ شکل 2.14-ب کو **مقناطیسی چال** کا دائرہ[56] کہتے ہیں۔

---

[54] magnetic flux!residual
[55] coercivity
[56] hysteresis loop

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 دکھایا $B-H$ خط حاصل ہوتا ہے۔ شکل 2.15 میں ٹرانسفارمروں میں استعمال ہونے والی 0.3048 ملی میٹر موٹی $M5$ قالب کی پتری کا $B-H$ خط دکھایا گیا ہے۔ اس خط میں موجود مواد جدول 2.1 میں بھی دیا گیا ہے۔ عموماً مقناطیسی مسائل حل کرتے ہوئے شکل 2.14 کی جگہ شکل 2.15 طرز کا خط استعمال کیا جاتا ہے۔ دھیان رہے کہ اس خط میں H کا پیمانہ لاگ[57] میں دکھایا گیا ہے۔

لوہا 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 رہ جاتی ہے یعنی

$$\frac{\Delta B}{\Delta H}=\mu_0 \tag{2.47}$$

اس اثر کو سیرابیت[58] 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 اُوپر جانے والا خط B اور H کا تعلق پیش کرے گا جبکہ گھٹے ہوئے مقناطیسی بہاو کی صورت میں اوپر سے نیچے جانے والا خط اس تعلق کو پیش کرے گا۔ چونکہ $B/H=\mu$ ہے لہٰذا B کی مقدار تبدیل ہونے سے μ بھی تبدیل ہو گی۔ باوجود اِس کے ہم مقناطیسی ادوار میں μ کو ایک مستقل تصور کرتے ہیں۔ یہ تصور کر لینے سے عموماً جواب پر زیادہ اثر نہیں پڑتا۔

مثال 2.7: شکل 2.15 یا اس کے مساوی جدول 2.1 میں دیئے گئے مواد کو 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۔ اس شکل میں

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

ہیں۔ قالب اور خلاء کا رقبہ عمودی تراش ایک دوسرے جتنا لیں۔

---

[57] log
[58] saturation

حل: ایک ٹسلا کے لئے۔
جدول 2.1 سے ہم دیکھتے ہیں کہ قالب میں 1 ٹسلا حاصل کرنے کے لئے قالب کو 11.22 ایمپیئر-چکر فی H میٹر درکار ہے۔یوں 30 سم لمبے قالب کو $0.3 \times 11.22 = 3.366$ ایمپیئر چکر درکار ہوں گے۔

خلاء کو

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

ایمپیئر-چکر فی میٹر درکار ہیں۔لہٰذا 3 ملی میٹر لمبی خلاء کو $0.003 \times 795671 = 2387$ ایمپیئر چکر درکار ہوں گے۔یوں کل ایمپیئر-چکر $3.366 + 2387 = 2390.366$ ہیں جن سے

$$i = \frac{2390.366}{1000} = 2.39\,\mathrm{A}$$

حاصل ہوتا ہے۔

حل: دو ٹسلا کے لئے۔

جدول 2.1 سے ہم دیکھتے ہیں کہ قالب میں 2 ٹسلا حاصل کرنے کے لئے قالب کو 10000 ایمپیئر-چکر فی میٹر H درکار ہے۔یوں 30 سم لمبے قالب کو $0.3 \times 10000 = 3000$ ایمپیئر چکر درکار ہیں۔خلاء کو

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

ایمپیئر-چکر فی میٹر درکار ہیں۔لہٰذا 3 ملی میٹر لمبی خلاء کو $0.003 \times 1591342 = 4774$ ایمپیئر چکر درکار ہیں۔یوں کل ایمپیئر-چکر $3000 + 4774 = 7774$ ہیں جن سے

$$i = \frac{7774}{1000} = 7.774\,\mathrm{A}$$

حاصل ہوتا ہے۔

اس مثال میں مقناطیسی سیرابیت کے اثرات واضح ہیں۔

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 بہاو بالمقابل شدت

2.9 ہیجان شدہ لچھا

عموماً بدلتی رو بجلی میں برقی دباو اور مقناطیسی بہاو سائن نما ہوتے ہیں یعنی یہ وقت کے ساتھ $\sin \omega t$ یا $\cos \omega t$ کا تعلق رکھتے ہیں۔ اِس سبق میں ہم بدلتی رو سے لچھے کو ہیجان کرنا اور اس سے نمودار ہونے والے برقی توانائی کے ضیاع کا تذکرہ کریں گے۔ ہم فرض کرتے ہیں کہ قالب میں کثافتِ مقناطیسی بہاو درج ذیل ہے۔

$$B = B_0 \sin \omega t \tag{2.48}$$

یوں قالب میں بدلتا مقناطیسی بہاو φ درج ذیل ہو گا۔

$$\varphi = A_c B = A_c B_0 \sin \omega t = \phi_0 \sin \omega t \tag{2.49}$$

اس مساوات میں مقناطیسی بہاو کا حیطہ $\mp\phi_0$ اور B کا حیطہ $\mp B_0$ ہیں۔ A_c قالب کا رقبہ عمودی تراش ہے جو ہر جگہ یکساں ہے۔ $\omega = 2\pi f$ ہے جہاں f تعدد ہے۔

فیراڈے کے قانون یعنی مساوات 2.27 کے تحت اس مقناطیسی بہاو کی وجہ سے لچھے میں $e(t)$ برقی دباو پیدا ہو گا

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

جس کا حیطہ

$$E_0 = \omega N \phi_0 = 2\pi f N A_c B_0 \tag{2.51}$$

ہے۔ $e(t)$ کو امالی برقی دباو[59] کہتے ہیں۔

ہم بدلتی رو مقداروں کے مربع کی اوسط کے جذر میں دلچسپی رکھتے ہیں جو ان مقداروں کی موثر[60] قیمت ہوتی ہے۔ جیسا صفحہ 19 پر مساوات 1.44 میں دیکھا گیا ہے، ایک سائن نما موج کی موثر قیمت اس کے حیطہ کے $1/\sqrt{2}$ گنّا ہوتی ہے لہٰذا امالی برقی دباو کی موثر قیمت E_{rms} درج ذیل ہو گی۔

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

یہ مساوات بہت اہمیت رکھتی ہے جس کو ہم بار بار استعمال کریں گے۔ بدلتی برقی دباو یا بدلتی برقی رو کی مقدار کا جب بھی ذکر ہو، یہ ان کی مربع کی اوسط کے جذر یعنی اس کی موثر قیمت کا ذکر ہوتا ہے۔ پاکستان میں گھریلو برقی دباو 220 وولٹ ہے۔ اس کا مطلب ہے کہ اس برقی دباو کی موثر قیمت 220 وولٹ ہے۔ چونکہ یہ سائن نما ہے لہٰذا اس کی چوٹی $\sqrt{2} \times 220 = 311$ وولٹ ہے۔

مثال 2.8: شکل 2.7 میں 27 چکر ہیں۔ قالب کی لمبائی 30 سم جبکہ اس کا رقبہ عمودی تراش 229.253 مربع سم ہے۔ لچھے میں گھریلو 220 وولٹ موثر برقی دباو سے ہیجان پیدا کیا جاتا ہے۔ جدول 2.1 کی مدد سے مختلف برقی دباو پر محرک برقی رو معلوم کریں اور اس کا خط کھینچیں۔

حل: گھریلو برقی دباو 50 ہرٹز کی سائن نما موج ہوتی ہے یعنی:

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

مساوات 2.52 کی مدد سے ہم کثافتِ مقناطیسی بہاو کی چوٹی حاصل کرتے ہیں:

$$B_0 = \frac{220}{4.44 \times 50 \times 27 \times 0.0229253} = 1.601\,\mathrm{T} \tag{2.54}$$

---

[59] induced voltage
[60] root mean square, rms

ωt	B	H	$0.3H$	$i_\varphi = \frac{0.3H}{27}$	ωt	B	H	$0.3H$	$i_\varphi = \frac{0.3H}{27}$
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

یوں قالب میں کثافتِ مقناطیسی بہاو صفر تا ∓ 1.601 ٹسلا تبدیل ہوتی رہتی ہے لہٰذا قالب میں کثافتِ مقناطیسی بہاو کی مساوات درج ذیل ہو گی۔

$$B = 1.601 \sin \omega t \tag{2.55}$$

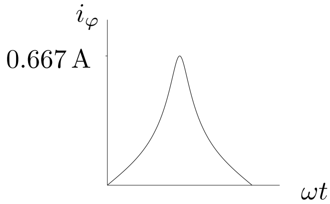
ہم فہرست کی مدد سے کثافتِ مقناطیسی بہاو کا 0 تا 1.601 ٹسلا مختلف قیمتوں پر درکار محرک برقی رو i_ϕ معلوم کرنا چاہتے ہیں۔ہم مختلف B پر جدول 2.1 سے قالب کی H حاصل کریں گے جو کہ ایک میٹر لمبی قالب کے لئے درکار ایمپیئر-چکر دیتی ہے۔اس سے 30 سم لمبی قالب کے لئے درکار ایمپیئر-چکر حل کر کے برقی رو حاصل کریں گے۔

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 بالمقابل محرک برقی رو کا خط شکل 2.16 میں دیا گیا ہے۔

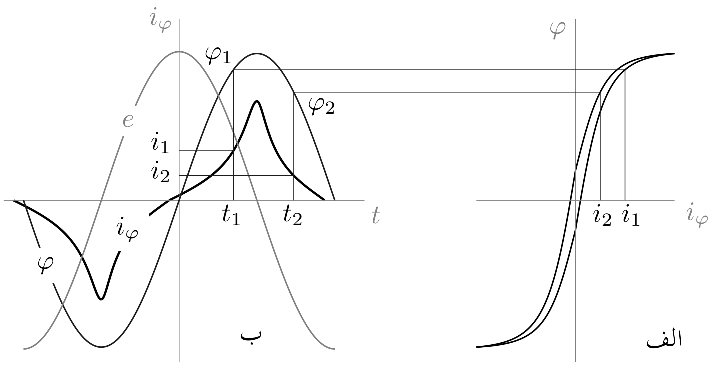
برقی لچھے میں برقی دباو سے ہیجان پیدا کیا جاتا ہے۔ہیجان شدہ لچھے میں برقی رو کی بنا قالب میں مقناطیسی بہاو پیدا ہوتا ہے۔ اس برقی رو i_φ کو **ہیجان انگیز برقی رو**[61] کہتے ہیں۔

مثال 2.8 میں ہیجان انگیز برقی رو معلوم کی گئی جسے شکل 2.16 میں دکھایا گیا۔اسے حاصل کرتے وقت **مقناطیسی چال**[62] کو نظر انداز کیا گیا۔شکل 2.17 میں ہیجان انگیز برقی رو i_φ دکھائی گئی ہے جو مقناطیسی چال کو مدِ نظر رکھ کر حاصل کی گئی ہے۔ اس کو سمجھنا نہایت ضروری ہے۔ شکل 2.17-الف میں مقناطیسی چال کا خط ہے۔چونکہ

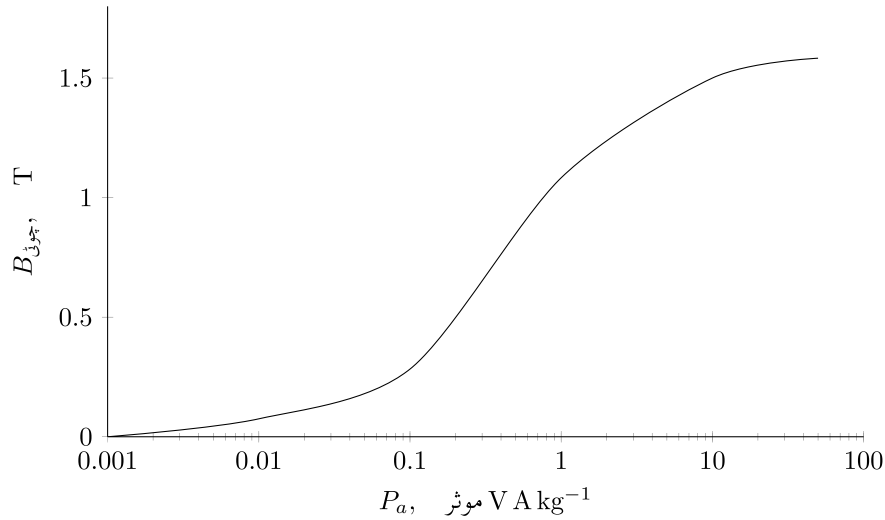
excitation current[61]
hysteresis[62]



شکل 2.16: $M5$ پتری کے قالب میں 1.6 ٹسلا تک ہیجان پیدا کرنے کے لئے درکار ہیجان انگیز برقی رو۔



شکل 2.17: ہیجان انگیز برقی رو۔



شکل 2.18: پچاس ہرٹز پر 0.3 ملی میٹر موٹی پتری کے لئے درکار موثر وولٹ-ایمپیئر فی کلو گرام قالب

$$\begin{aligned} Hl &= Ni \\ \varphi &= BA_c \end{aligned} \tag{2.56}$$

ہیں لہٰذا مقناطیسی چال کے خط کو $\varphi - i_\varphi$ کا خط لکھا جا سکتا ہے۔ شکل 2.17-ب قالب میں سائن نما مقناطیسی بہاو φ دکھا رہا ہے۔ سائن نما مقناطیسی بہاو وقت کے ساتھ تبدیل ہوتی ہے۔ لمحہ t_1 پر اس کی مقدار φ_1 ہے۔ مقناطیسی بہاو φ_1 حاصل کرنے کے لئے درکار ہیجان انگیز برقی رو i_1 شکل-الف سے حاصل کی جا سکتی 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 لہٰذا مقناطیسی چال کے خط کا صحیح حصہ استعمال کرنا ضروری ہے۔ شکل 2.17-الف میں $\varphi - i_\varphi$ کے خط میں گھڑی کی سوئیوں کے الٹ رخ گھومتے ہوئے یوں نیچے سے اوپر جاتا ہوا حصہ استعمال کیا گیا ہے۔ مقناطیسی بہاو بڑھنے کی صورت میں شکل 2.14-ب میں نیچے سے اوپر جاتے ہوئے حصے پر تیر کا نشان صحیح حصہ دیتا ہے۔ اسی طرح مقناطیسی بہاو گھٹنے کی صورت میں اوپر سے نیچے جاتے ہوئے حصے پر تیر کا نشان صحیح حصہ دیتا ہے۔

لمحہ t_2 پر مقناطیسی بہاو گھٹ رہا ہے۔ اس لمحہ 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 2.17-ب میں دکھایا گیا i_φ کا خط ملتا ہے۔یہ ایک غیر سائن نما خط ہے۔

آپ جانتے ہیں کہ اگر $\varphi = \phi_0 \sin \omega t$ ہو تب برقی دباو $e = N\frac{\mathrm{d}\varphi}{\mathrm{d}t} = N\phi_0\omega\cos\omega t$ ہو گا۔شکل 2.17-ب میں اس برقی دباو کو بھی دکھایا گیا ہے۔آپ دیکھ سکتے ہیں کہ مقناطیسی بہاو برقی دباو سے $90°$ پیچھے 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۔

$$N i_{\varphi,rms} = l_c H_{c,rms} \tag{2.57}$$

مساوات 2.52 اور مساوات 2.57 سے درج ذیل ملتا ہے۔

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

یہاں $A_c l_c$ قالب کا حجم ہے۔لہٰذا یہ مساوات ہمیں $A_c l_c$ حجم کی قالب کو B_0 کثافتِ مقناطیسی بہاو تک ہیجان کرنے کے لئے درکار $E_{rms} i_{\varphi,rms}$ دیتی ہے۔ایک مقناطیسی قالب جس کا حجم $A_c l_c$ اور میکانی کثافت ρ_c ہو کی کمیت $m_c = \rho_c A_c l_c$ ہو گی۔یوں ایک کلو گرام قالب کے لئے مساوات 2.58 درج ذیل لکھی جا سکتی ہے۔

$$P_a = \frac{E_{rms} i_{\varphi,rms}}{m_c} = \frac{\sqrt{2}\pi f}{\rho_c} B_0 H_{c,rms} \tag{2.59}$$

دیکھا جائے تو کسی ایک تعدد f پر P_a کی قیمت صرف قالب اور اس میں B_0 یعنی $B_{\text{چوٹی}}$ 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 $B_{\text{چوٹی}}$ پیدا کرنے کیلئے درکار $E_{rms} i_{\varphi,rms}$ کی B_0 بالمقابل P_a کی ترسیم مہیا کرتے ہیں۔قالب کی 0.3 ملی میٹر موٹی پتری کے لئے ایسا ترسیم شکل 2.18 میں دکھایا گیا ہے۔

باب 3

ٹرانسفارمر

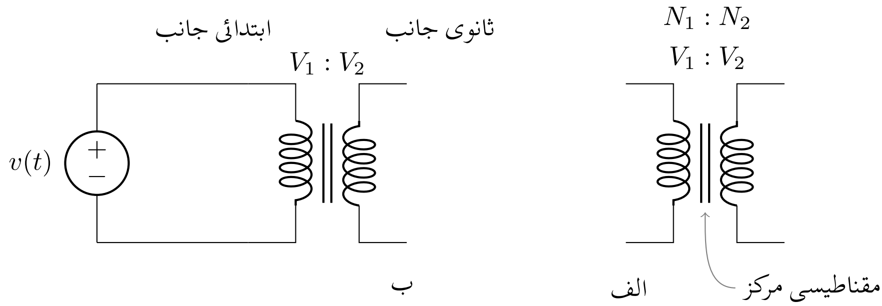
ٹرانسفارمر وہ آلہ ہے جو بدلتی برقی دباو تبدیل کرتا ہے۔ یہ دو یا دو سے زیادہ لچھوں پر مشتمل ہوتا ہے جو مقناطیسی قالب[1] پر لپٹے ہوتے ہیں۔یہ لچھے عموماً آپس میں جُڑے ہوئے نہیں ہوتے۔شکل 3.1-الف میں ٹرانسفارمر کی علامت دکھائی گئی ہے۔دو لچھوں کے درمیان متوازی لکیریں مقناطیسی قالب کو ظاہر کرتی ہیں۔

دستیاب برقی دباو[2] پر ٹرانسفارمر کے ایک لچھے کو برقی طاقت فراہم کی جاتی ہے اور باقی لچھوں سے مختلف برقی دباو پر یہی برقی طاقت حاصل کی جاتی ہے۔جس لچھے پر برقی دباو لاگو کیا جائے اسے **ابتدائی لچھا**[3] کہتے ہیں اور ٹرانسفارمر کی اس جانب کو **ابتدائی جانب**[4] کہتے ہیں۔اسی طرح جس لچھے (لچھوں) سے برقی طاقت حاصل کی جاتی ہے اسے (انہیں) **ثانوی لچھا**[5] (لچھے) کہتے ہیں اور اس جانب کو **ثانوی جانب**[6] کہتے ہیں۔یہ شکل کے حصہ ب میں دکھایا گیا ہے۔ٹرانسفارمر کی ابتدائی جانب کو بائیں ہاتھ کی جانب اور ثانوی جانب کو دائیں ہاتھ کی جانب بنایا جاتا ہے۔

بڑے ٹرانسفارمر عموماً دو ہی لچھوں پر مشتمل ہوتے ہیں۔اس کتاب میں ہم دو ہی لچھوں کے مقناطیسی قالب پر لپٹے قوی ٹرانسفارمر پر تبصرہ کریں گے۔

---

[1] magnetic core
[2] بدلتی برقی دباو کی علامت میں مثبت اور منفی نشان وقت صفر پر برقی دباو 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 دباو کے لچھے کو **کم برقی دباو کا لچھا**[7] کہتے ہیں اور ٹرانسفارمر کی اس جانب کو **کم برقی دباو والی جانب** کہتے ہیں جبکہ اس کے زیادہ برقی دباو کے لچھے کو **زیادہ برقی دباو کا لچھا**[8] کہتے ہیں اور ٹرانسفارمر کی اس جانب کو **زیادہ برقی دباو والی جانب** کہتے ہیں۔

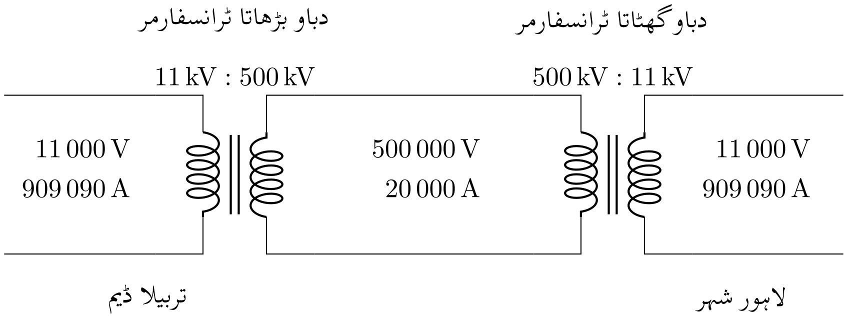
یوں اگر ٹرانسفارمر کے کم برقی دباو کی جانب برقی دباو لاگو کیا جائے اور زیادہ برقی دباو کی جانب سے برقی دباو حاصل کیا جائے تو ٹرانسفارمر کی کم برقی دباو والی جانب کو ابتدائی جانب کہیں گے اور اس کی زیادہ برقی دباو والی جانب کو ثانوی جانب کہیں گے۔

3.1 ٹرانسفارمر کی اہمیت

بدلتی رو کی برقی طاقت اتنی مقبول اس لئے ہوئی ہے کہ یہ ایک جگہ سے دوسری جگہ باآسانی اور نہایت کم برقی طاقت کی ضیاع کے ساتھ منتقل کی جا سکتی ہے۔ٹرانسفارمر کی تبادلہ برقی دباو[9] کی خصوصیت ایسا کرنے میں کلیدی کردار ادا کرتی ہے۔ یہ ایک مثال سے بہتر سمجھا جا سکتا ہے۔

مثال 3.1: شکل 3.2 سے رجوع کریں۔برقی دباو اور برقی رو کی حاصلِ ضرب برقی طاقت ہوتی ہے یعنی

[7] low voltage coil
[8] high voltage coil
[9] voltage transformation property



شکل 3.2: برقی طاقت کی منتقلی۔

$$p = v_1 i_1 = v_2 i_2$$

اب تصور کریں کہ تربیلا ڈیم $10,000,000,000$ واٹ یعنی دس گیگا واٹ[10] برقی طاقت پیدا کر رہا ہے اور اس طاقت کو لاہور[11] شہر منتقل کرنا ہے جہاں گھریلو صارفین کو یہ 220 وولٹ پر مہیا کرنی ہے۔اگر ہم اس طاقت کو 220 وولٹ پر ہی منتقل کرنا چاہیں تو برقی رو

$$i = \frac{p}{v} = \frac{10\,000\,000\,000}{220} = 45\,454\,545\,\mathrm{A}$$

ہو گی۔برقی تار میں کثافتِ برقی رو J_{au} تقریباً 5 ایمپیئر فی مربع ملی میٹر $J_{au} = 5\,\frac{\mathrm{A}}{\mathrm{mm}^2}$ 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 1.25 سے برقی تار کا رقبہ عمودی تراش

$$A = \frac{i}{J_{au}} = \frac{45454545}{5} = 9\,090\,909\,\mathrm{mm}^2$$

ہو گا۔گول تار تصور کریں تو اس کا رداس

$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}} = \sqrt{\frac{9090909}{\pi}} = 1701\,\mathrm{mm} = 1.7\,\mathrm{m}$$

---

[10] Giga Watt
[11] ضلع صوابی میں بھی لاہور ایک تحصیل ہے لیکن اس شہر کو اتنی طاقت نہیں درکار

حاصل ہوتی ہے۔آپ نے دیکھا کہ درکار برقی تار کا رداس 1.7 میٹر ہے۔اتنی موٹی برقی تار کہیں نہیں پائی جاتی ہے[12]۔اگر یہ تار المونیم کی بنی ہو جس کی کثافت $\rho_v = 2700\,\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m}^2}$ ہے تو ایک میٹر لمبی تار کی کمیت

$$m = 2700 \times \pi \times 1.7^2 \times 1 = 24\,513\,\mathrm{kg}$$

یعنی 24 ٹن ہو گی۔المونیم اتنی مہنگی ہے کہ اس صورت میں اتنی برقی طاقت کو لاہور پہنچانا ممکن نہیں[13]۔

ڈیم پر ایک ٹرانسفارمر نسب کیا جائے جو برقی دباو کو بڑھا کر 500 000 وولٹ یعنی 500 کلو وولٹ کر دے تب صرف

$$i = \frac{p}{v} = \frac{10\,000\,000\,000}{500\,000} = 20\,000\,\mathrm{A}$$

ایمپیئر درکار ہوں گے جس کے لئے درکار برقی تار

$$A = \frac{i}{J_{au}} = \frac{20\,000}{5} = 4000\,\mathrm{mm}^2$$

$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4000}{\pi}} = 35.7\,\mathrm{mm}$$

صرف 35 ملی میٹر رداس کی ہو گی۔

اس مثال میں اگر تربیلا ڈیم میں نسب جنریٹر 11000 وولٹ برقی دباو پیدا کر رہا ہو تو تربیلا ڈیم پر نسب ٹرانسفارمر برقی دباو کو 11000 وولٹ سے بڑھا کر 500 کلو وولٹ کرے گا جبکہ لاہور شہر میں نسب ٹرانسفارمر اس برقی دباو کو 500 کلو وولٹ سے واپس 11000 وولٹ کر دے گا۔

اسی مثال کو مزید آگے لے جاتے ہیں۔شہر میں 220 وولٹ کی بجائے 11000 وولٹ صارف تک پہنچائے جائیں گے اور۔وہیں نزدیک ایک اور ٹرانسفارمر 11000 وولٹ کو مزید گھٹا کر صارف کو 220 وولٹ فراہم کرے گی۔

شکل 3.2 میں ڈیم سے شہر تک کا نظام دکھایا گیا ہے جہاں ڈیم پر نسب ٹرانسفارمر کو **برقی دباو بڑھاتا ٹرانسفارمر**[14] اور لاہور میں نسب ٹرانسفارمر کو **برقی دباو گھٹاتا ٹرانسفارمر**[15] 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 مابین کی جاتی ہے جبکہ اس کا استعمال 1000 وولٹ سے کم پر کیا جاتا ہے۔

[12] آپ مانیں یا نہ مانیں، آپ نے بھی اتنی موٹی برقی تار کبھی نہیں دیکھی
[13] آج کل لاہور میں لوڈشیڈنگ اس وجہ سے نہیں
[14] step up transformer
[15] step down transformer

3.2 ٹرانسفارمر کے اقسام

گھروں اور کارخانوں کو برقی طاقت فراہم کرنے والے ٹرانسفارمر مقناطیسی قالب پر لپٹے جاتے ہیں۔یہ عموماً **تین مرحلہ**[16] ہوتے ہیں۔ اور انہیں **لوہے کے قالب والے تین مرحلہ قوی ٹرانسفارمر**[17] کہتے ہیں۔

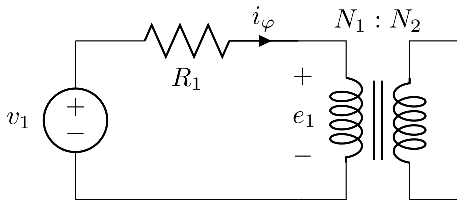
نہایت چھوٹے ٹرانسفارمر عموماً لوہے کے قالب اور **ایک مرحلہ**[18] ہوتے ہیں۔یہ گھریلو استعمال کے برقی مشین، مثلاً موبائل چارجر، میں لگے ہوتے ہیں اور 220 وولٹ سے برقی دباو مزید گھٹاتے ہیں۔

کچھ ٹرانسفارمر اس طرح بنائے جاتے ہیں کہ ان کی ثانوی جانب برقی دباو ان کی ابتدائی جانب برقی دباو کی خاص نسبت سے ہو۔یہ نسبت حاصل کرنے پر خاص توجہ دی جاتی ہے۔ انہیں **دباو کے ٹرانسفارمر**[19] کہتے ہیں۔اسی طرح کچھ ٹرانسفارمر اس طرح بنائے جاتے ہیں کہ ان کی ثانوی جانب برقی رو، ابتدائی جانب برقی رو کی خاص نسبت سے ہو۔ یہ نسبت حاصل کرنے پر خاص توجہ دی جاتی ہے۔ان کو **رو کے ٹرانسفارمر**[20] کہتے ہیں۔یہ دو قسم کے ٹرانسفارمر برقی دباو اور برقی رو ناپنے کے لئے استعمال ہوتے ہیں۔ ویسے تو ہر ٹرانسفارمر کسی نسبت سے ہی برقی دباو یا برقی رو کم یا زیادہ کرتا ہے لیکن جیسا پہلے ذکر ہوا ان دو قسم کے ٹرانسفارمروں میں کم اور زیادہ کرنے کی نسبت پر خاص توجہ رکھی جاتی ہے۔ان دو اقسام کے ٹرانسفارمروں کی برقی سکت[21] نہایت کم[22] ہوتی ہے۔

ٹرانسفارمر کے لچھوں کے مابین مشترکہ مقناطیسی بہاو خلاء کے ذریعہ بھی ممکن ہے۔انہیں **خلائی قالب ٹرانسفارمر**[23] کہتے ہیں۔ ایسے ٹرانسفارمر ذرائع ابلاغ[24] کے ادوار، یعنی ریڈیو، ٹی وی وغیرہ میں پائے جاتے ہیں۔ان ٹرانسفارمروں کی علامت شکل الف کی طرح ہوتی ہے مگر اس میں مقناطیسی قالب ظاہر کرنے والی متوازی لکیریں نہیں ہوتیں۔

---

[16] three phase
[17] iron core, three phase power transformer
[18] single phase
[19] potential transformer
[20] current transformer
[21] electrical rating
[22] یہ عموماً تقریباً پچیس وولٹ-ایمپیئر سکت رکھتے ہیں۔
[23] air core transformer
[24] communication transformer



شکل 3.3: بیرونی برقی دباو اور اندرونی امالی برقی دباو میں فرق۔

3.3 امالی برقی دباو

اس حصے کا بنیادی مقصد بیرونی برقی دباو v اور اندرونی امالی برقی دباو e میں فرق واضح کرنا اور اس سے تعلق رکھنے والی تکنیکی اصطلاح کا تعارف کرانا ہے۔

شکل 3.3 میں بے بوجھ[25] ٹرانسفارمر دکھایا گیا ہے یعنی اس کے ثانوی لچھے کو کھلے دور رکھا گیا ہے۔ابتدائی لچھے پر v_1 برقی دباو لاگو کرنے سے ابتدائی لچھے میں ہیجان انگیز[26] برقی رو i_φ گزرے گی۔اس ہیجان انگیز برقی رو سے پیدا مقناطیسی دباو $N_1 i_\varphi$ قالب میں مقناطیسی بہاو φ کو جنم دے گی۔ یہ بدلتی مقناطیسی بہاو ابتدائی لچھے میں امالی برقی دباو e_1 پیدا کرتی ہے جہاں

$$e_1 = -\frac{\mathrm{d}\lambda}{\mathrm{d}t} = -N_1 \frac{\mathrm{d}\varphi}{\mathrm{d}t} \tag{3.1}$$

اس مساوات میں

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

---

[25] unloaded
[26] excitation current

اگر اس ابتدائی لچھے کی برقی تار کی مزاحمت R_1 ہو تب کرخوف کے قانون برائے برقی دباو سے

$$v_1 = i_\varphi R_1 + e_1 \tag{3.2}$$

شکل میں اس مزاحمت کو ٹرانسفارمر کے باہر دکھایا گیا ہے۔اس لچھے کی رِستا متعاملہ بھی ہوتی ہے لیکن اسے یہاں نظرانداز 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 لہٰذا اسے نظرانداز کیا جا سکتا ہے۔ ایسا کرنے سے ہم لکھ سکتے ہیں

$$v_1 = e_1 = -N_1 \frac{\mathrm{d}\varphi}{\mathrm{d}t} \tag{3.3}$$

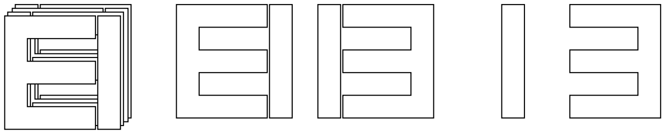
مساوات 3.2 سے یہ ثابت ہوتا ہے کہ بیرونی لاگو برقی دباو v_1 اور اندرونی امالی برقی دباو e_1 دو علیحدہ برقی دباو ہیں۔یہ بات سمجھ لینا بہت ضروری ہے۔مساوات 3.3 کے تحت ان دو برقی دباو کی مقداریں عموماً برابر ہوتی ہیں۔[27]اس کتاب میں عموماً مساوات 3.3 کی طرح مساواتوں میں دائیں جانب منفی کی علامت نہیں لکھی گئی ۔عموماً برقی دباو کی قیمت درکار ہوتی ہے نا کہ اس کی علامت۔

لچھا ہیجان[28] کرنے سے مراد اس پر بیرونی برقی دباو لاگو کرنا جبکہ لچھے پر لاگو بیرونی برقی دباو کو ہیجان انگیز برقی دباو[29] کہتے ہیں۔لچھے کو ہیجان شدہ لچھا[30] جبکہ اس میں رواں برقی رو کو ہیجان انگیز برقی رو[31] کہتے ہیں۔

برقی دباو عموماً لچھے سے گزرتی مقناطیسی بہاو کی تبدیلی سے حاصل کی جاتی ہے۔اگر ایسا کرتے لچھا ساکن رہے، جیسا کہ ٹرانسفارمر میں ہوتا ہے، تب حاصل برقی دباو کو امالی برقی دباو[32] کہتے ہیں۔اگر برقی دباو کا حصول مقناطیسی میدان میں لچھے کی حرکت سے ممکن بنایا جائے تب اسے محرک برقی دباو[33] کہتے ہیں۔یاد رہے ان برقی دباو میں کسی قسم کا فرق نہیں ہوتا۔انہیں مختلف نام صرف پہچان کی خاطر دئے جاتے ہیں۔

---

[27] جس سے طلباء کو یہ غلط فہمی لاحق ہو جاتی ہے کہ یہ ایک ہی برقی دباو کے دو نام ہیں۔
[28] excitation
[29] excitation voltage
[30] excited coil
[31] excitation current
[32] induced voltage
[33] electromotive force, emf



شکل 3.4: قالبی پتری کے اشکال اور ان کو تہہ در تہہ رکھنے کا طریقہ۔

3.4 ہیجان انگیز برقی رو اور قالبی ضیاع

جہاں مقناطیسی قالب میں بدلتی مقناطیسی بہاو ثانوی لچھوں میں فائدہ مند برقی دباو پیدا کرتی ہے وہاں یہ مقناطیسی قالب میں نقصان دہ برقی دباو کو بھی جنم دیتی ہے جس سے مقناطیسی قالب میں **بھنور نما برقی رو**[34] 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 ضیاع**[35] یا **قالبی ضیاع**[36] کہتے ہیں۔ اس برقی طاقت کے ضیاع کو کم سے کم کرنے کیلئے مقناطیسی قالب کو باریک لوہے کی **پتریاں**[37] تہہ در تہہ رکھ کر بنایا جاتا ہے۔ان پتریوں پر غیر موصل روغن[38] کی تہہ لگائی جاتی ہے تا کہ 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 پتریاں عموماً دو اشکال کی ہوتی ہیں۔یہ شکل 3.4-الف میں دکھایا گیا ہے۔ان کی شکل کی وجہ سے یہ **ایک** شکل اور **تین**[39] شکل کی پتریاں کہلاتے ہیں۔ شکل 3.4-ب میں ایک اور تین کو دو طرح آپس میں رکھا گیا ہے۔ان دو طریقوں سے انہیں تہہ در تہہ رکھا جاتا ہے۔لہٰذا 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۔

---

[34] eddy currents
[35] eddy current loss
[36] core loss
[37] laminations
[38] enamel
[39] E,I

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 دباو اور مقناطیسی بہاو سائن نما ہوتے ہیں جبکہ ہیجان انگیز برقی رو ان میں غیر سائن نما ہوتی ہے لہٰذا اگر

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

ہو تو

$$\begin{aligned}e_1 &= N_1 \frac{\mathrm{d}\varphi}{\mathrm{d}t} = \omega N_1 \phi_0 \cos \omega t \\ \hat{E}_1 &= \omega N_1 \phi_0 \underline{/0}\end{aligned} \tag{3.5}$$

ہو[40] 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 ہرٹز Hz میں ناپا جاتا ہے۔$\hat{E}_1$ اور $\hat{\varphi}$ کے مابین 90° کا زاویہ ہے۔یہ شکل 3.5 میں دکھایا گیا ہے۔e_1 برقی دباو کی موثر قیمت E_{rms}

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

ہے۔اس کو ہم یوں بھی لکھ سکتے ہیں

$$\phi_0 = \frac{E_{rms}}{4.44 f N_1 \phi_0} \tag{3.7}$$

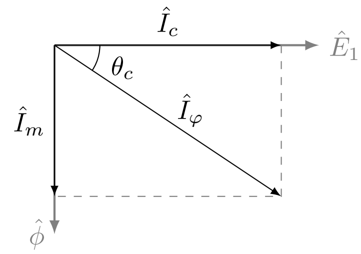
یہاں رک کر دوبارہ نظر ثانی کرتے ہیں۔اگر ایک لچھے پر E_{rms} موثر برقی دباو لاگو کی جائے تو یہ لچھا اتنی ہیجان انگیز برقی رو i_φ گزرنے دیتی ہے جس سے نمودار ہونے والا مقناطیسی بہاو مساوات 3.7 میں دیئے گئے مقناطیسی بہاو ϕ_0 کے برابر ہو۔یہ بات نہ صرف ٹرانسفارمر بلکہ کسی بھی مقناطیسی دور کے لئے درست اور لازم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

غیر سائن نما ہیجان انگیز برقی رو φ کو فوریئر تسلسل[41] سے یوں لکھ سکتے ہیں۔

$$i_\varphi = \sum_n \left(a_n \cos n\omega t + b_n \sin \omega t\right) \tag{3.8}$$

[40] اس مساوات میں اور اس کے بعد پوری کتاب میں امالی برقی دباو کے ساتھ منفی کی علامت نہیں لگائی جائے گی

[41] Fourier series



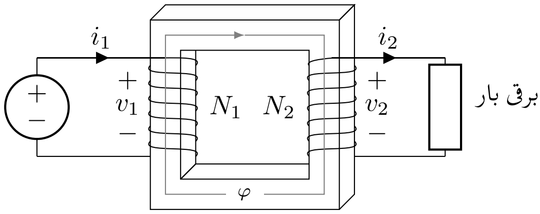
شکل 3.5: مختلف مرحلی سمتیوں کے زاویے۔

اس میں $(a_1 \cos\omega t + b_1 \sin\omega t)$ کو **بنیادی جزو**[42] کہتے ہیں اور باقی حصہ کو **موسیقائی جزو**[43] کہتے ہیں۔ بنیادی جزو میں $a_1 \cos\omega t$، مقناطیسی بہاو سے وجود میں آنے والے امالی برقی دباو 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 $b_1 \sin\omega t$ نوے 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 ضیاع**[44] 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 رو**[45] 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 نظرانداز کرتے ہیں۔ قوی ٹرانسفارمر کی ہیجان انگیز برقی رو اس کی کل برقی رو[46] کے صرف 5 فی صد کے قریب ہوتی ہے۔ لہٰذا اس کا اثر بہت کم ہوتا ہے۔ لہٰذا 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 رو[47] $\hat{I}_\varphi$ کی موثر قیمت $I_{\varphi,rms}$ ، 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 3.5 کی مدد سے یہ بات سمجھنی زیادہ آسان ہے۔ شکل میں اگر دیکھا جائے تو

$$p_c = E_{rms} I_{\varphi,rms} \cos\theta_c \tag{3.9}$$

[42] fundamental component
[43] harmonic components
[44] core loss component
[45] magnetizing current
[46] کل برقی رو سے مراد وہ برقی رو ہے جو کل برقی بوجھ لادنے سے حاصل ہو
[47] یعنی بدلتی برقی رو i_φ کو اب مرحلی سمتیہ کی مدد سے $\hat{I}_\varphi$ لکھتے ہیں



شکل 3.6: کامل بوجھ بردار ٹرانسفارمر۔

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

3.5 تبادلہ برقی دباو اور تبادلہ برقی رو کے خصوصیات

ہم شکل 3.6 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 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 ہیجان 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 اُلٹ سمتوں میں ہیں۔ اصل ٹرانسفارمر ان باتوں پر تقریباً پورے اترتے ہیں۔ ایسے ٹرانسفارمر کو کامل ٹرانسفارمر[48] کہتے ہیں۔

جب اس کامل ٹرانسفارمر کے ابتدائی لچھے پر بدلتی برقی دباو 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 دباو v_1 کے برابر امالی برقی دباو e_1 کو جنم دے گا۔ لہٰذا

$$v_1 = e_1 = N_1 \frac{\mathrm{d}\varphi_m}{\mathrm{d}t} \tag{3.10}$$

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

$$v_2 = e_2 = N_2 \frac{\mathrm{d}\varphi_m}{\mathrm{d}t} \tag{3.11}$$

[48] ideal transformer

ان دونوں کی نسبت سے

$$\frac{v_1}{v_2}=\frac{N_1\frac{\mathrm{d}\varphi_m}{\mathrm{d}t}}{N_2\frac{\mathrm{d}\varphi_m}{\mathrm{d}t}}=\frac{N_1}{N_2} \tag{3.12}$$

لہٰذا ایک کامل ٹرانسفارمر دونوں لچھوں کے چکروں کی نسبت سے **تبادلہ برقی دباؤ**[49] کرتا ہے۔

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

$$p=v_1 i_1=v_2 i_2 \tag{3.13}$$

یا

$$\frac{v_1}{v_2}=\frac{i_2}{i_1} \tag{3.14}$$

مساوات 3.12 کی مدد سے

$$\frac{v_1}{v_2}=\frac{i_2}{i_1}=\frac{N_1}{N_2} \tag{3.15}$$

یہ ایک انتہائی اہم نتیجہ ہے جو ٹرانسفارمر کی تبادلہ برقی دباؤ اور **تبادلہ برقی رو**[50] کی خصوصیات بیان کرتا ہے۔اسے عموماً دو حصوں میں یوں لکھا جاتا ہے۔

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

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

---

[49] voltage transformation
[50] current transformation

مثال 3.2: شکل 3.6 میں اگر

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ہم دیکھتے ہیں ابتدائی جانب برقی دباو ثانوی جانب کی برقی دباو کے دس گنا ہے جبکہ برقی رو میں قصہ اُلٹ 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 دباو زیادہ ہوتا ہے اس جانب برقی رو کم ہوتی ہے۔ لہٰذا زیادہ برقی دباو کی جانب لچھے کے چکر زیادہ ہوں گے اور اس لچھے میں نسبتاً باریک برقی تار استعمال ہو گی جبکہ کم برقی دباو کا لچھا کم چکر کا ہو گا اور اس میں نسبتاً موٹی برقی تار استعمال ہو گی۔

مثال 3.3: صفحہ 71 پر دکھائے گئے شکل 3.7-الف سے رجوع کریں۔ اس شکل میں رکاوٹ Z_2 کو بدلتی برقی دباو $\hat{V}_1$ کے ساتھ ایک ٹرانسفارمر کے ذریعہ جوڑا گیا ہے۔ اگر

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

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

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

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

ہے لہٰذا

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

اور برقی طاقت کا ضیاع p_z

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

3.6 ثانوی جانب بوجھ کا ابتدائی جانب اثر

یہاں صفحہ 65 پر دکھائے گئے شکل 3.6 سے رجوع کریں۔ ہم حصہ 3.3 میں دیکھ چکے ہیں کہ اگر ایک بے بوجھ ٹرانسفارمر کی ابتدائی لچھے پر بدلتی برقی دباو v_1 لاگو کی جائے تو اس لچھے میں ہیجان انگیز برقی رو i_φ گزرے گی۔ اس

برقی رو کی مقناطیسی دباو $N_1 i_\varphi$ قالب میں مقناطیسی بہاو φ_m[51] کو جنم دے گی ۔اگر لچھے کی مزاحمت صفر ہو تو φ_m ابتدائی لچھے میں e_1 امالی برقی دباو پیدا کرے گی جہاں

$$v_1 = e_1 = N_1 \frac{\mathrm{d}\varphi_m}{\mathrm{d}t} \tag{3.17}$$

ہو گی۔

اب ہم ثانوی جانب برقی بوجھ لادتے ہیں۔ ایسا کرنے سے بوجھ بردار ٹرانسفارمر[52] کے ثانوی جانب برقی رو i_2 رواں ہو گی جس کی وجہ سے $N_2 i_2$ مقناطیسی دباو وجود میں آئے گی۔ اس مقناطیسی دباو کی وجہ سے قالب میں مقناطیسی بہاو $\varphi_{\text{بوجھ}}$ پیدا ہو گا۔ اگر اس مقناطیسی بہاو کا کچھ نہ کیا جائے تو قالب میں پہلے سے موجود مقناطیسی بہاو تبدیل ہو کر $\varphi_{\text{نئی}} = \varphi_m - \varphi_{\text{بوجھ}}$ ہو جائے گا اور یوں ابتدائی لچھے میں امالی دباو تبدیل ہو کر $e_{\text{نئی}}$ ہو جائے گا۔ لہٰذا ابتدائی جانب پر اب امالی دباو اور اس پر لاگو برقی دباو برابر نہیں ہونگے جو کہ مساوات 3.17 کی موجودگی میں ناممکن ہے۔ لہٰذا اس مقناطیسی بہاو $\varphi_{\text{بوجھ}}$ کے اثر کو ختم کرنے کیلئے ابتدائی لچھے میں برقی رو i_1 نمودار ہو گی جو اس مقناطیسی دباو یعنی $N_2 i_2$ کے اثر کو ختم کر دے گی یعنی

$$N_1 i_1 = N_2 i_2 \tag{3.18}$$

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 اُلٹ سمت میں ہیں لہٰذا قالب میں اب پھر مقناطیسی بہاو φ_m کے برابر ہے جیسا کہ ہونا چاہئے تھا۔ اس مساوات کو یوں لکھ سکتے ہیں

$$\frac{i_1}{i_2} = \frac{N_2}{N_1} \tag{3.19}$$

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

3.7 ٹرانسفارمر کی علامت پر نقطوں کا مطلب

شکل 3.6 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 دباو v_1 یوں ہو کہ نکتے والا سرا مثبت اور بغیر نکتے والا سرا منفی ہو تو دوسرے لچھے پر برقی دباو v_2 اس طرح ہو گا کہ اس لچھے کا بھی نکتے والا سرا مثبت اور بغیر نکتے والا سرا منفی ہو گا۔

---

[51] φ کو یہاں φ_m کہا گیا ہے۔
[52] loaded transformer

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۔ لٰہذا یہ دو برقی دباو ہم قدم[53] ہیں۔

3.8 رکاوٹ کا تبادلہ

اس حصہ میں کامل ٹرانسفارمر میں رکاوٹ کے تبادلہ پر غور کیا جائے گا۔ شکل 3.7-الف میں ایک ٹرانسفارمر دکھایا گیا ہے جس کی ابتدائی جانب سائن نما برقی دباو $\hat{V}_1 = V_1\underline{/\theta}$ لاگو کیا گیا ہے۔ یہاں مرحلی سمتیہ استعمال کئے جائیں گے۔

جیسے اُوپر ذِکر ہوا، برقی دباو $\hat{V}_1$ اور $\hat{V}_2$ 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

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

چونکہ رکاوٹ

$$Z_2 = \frac{\hat{V}_2}{\hat{I}_2} = |Z_2|\,\underline{/\theta_z} \tag{3.21}$$

کے برابر ہے لٰہذا

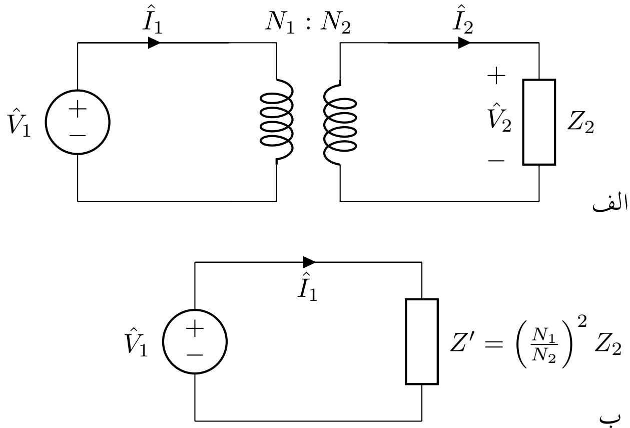
$$\frac{\hat{V}_1}{\hat{I}_1} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2\frac{\hat{V}_2}{\hat{I}_2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 Z_2 \tag{3.22}$$

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

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

---

[53] in-phase



شکل 3.7: ٹرانسفارمر کی تبادلہ رکاوٹ کی خصوصیت۔

ہو تو $\hat{V}_1$ سے حاصل برقی رو یا اس سے حاصل برقی طاقت تبدیل نہیں ہو گی۔ یہ شکل 3.7-ب میں دکھایا گیا ہے جہاں سے واضح ہے کہ

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

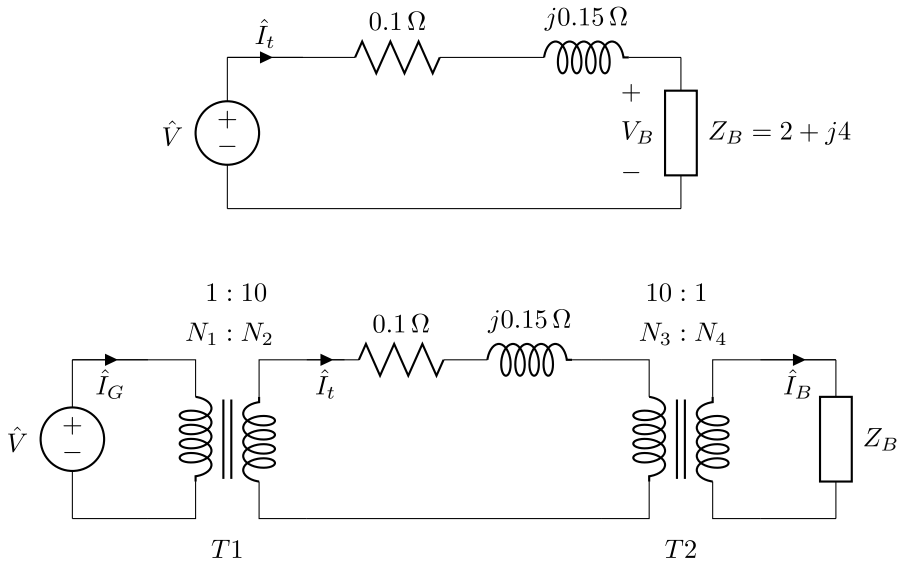
لہٰذا شکل کے الف اور ب دونوں حصوں سے برقی دباو $\hat{V}_1$ کی برقی رو مساوات 3.22 اور مساوات 3.24 سے یکساں حاصل ہوتی ہے یعنی

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

اور یوں الف اور با دونوں حصوں میں برقی دباو $\hat{V}_1$ سے حاصل برقی طاقت برابر ہے یعنی

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

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



شکل 3.8: برقی طاقت کی منتقلی۔

ٹرانسفارمر کی ایک جانب سے دوسری جانب تبادلہ کیا جاسکتا ہے۔ٹرانسفارمر کی اس خاصیت کو تبادلہ رکاوٹ[54] کی خصوصیت کہتے ہیں۔

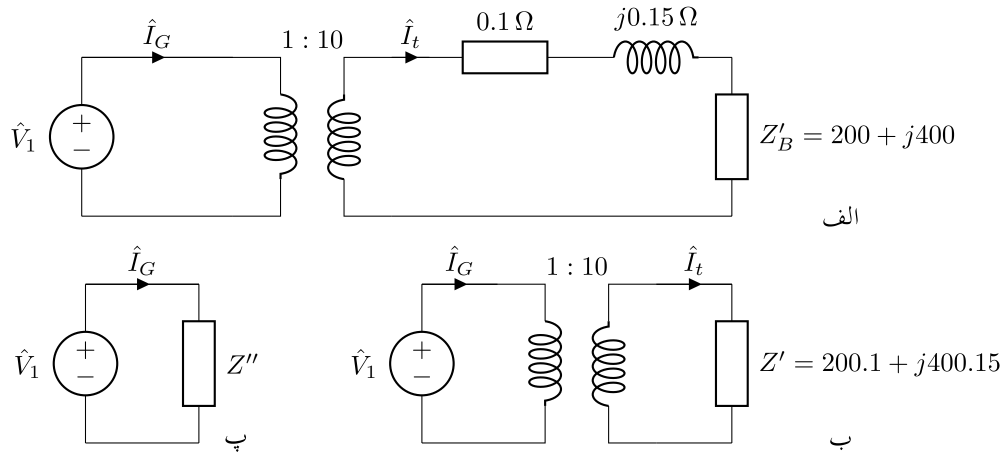
مثال 3.4: شکل 3.8-الف میں رکاوٹ Z_B کا برقی بوجھ ایک جنریٹر پر لدا ہے۔بوجھ تک برقی طاقت دو برقی تاروں کے ذریعہ منتقل کیا گیا ہے۔ان تاروں کی مجموعہ رکاوٹ Z_t ہے۔

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

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

ہوں تو دونوں صورتوں میں

[54] impedance transformation



شکل 3.9: ٹرانسفارمر قدم با قدم حل کرنے کا طریقہ۔

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

حل الف:

$$\begin{aligned}\hat{I_G} = \hat{I_t} = \hat{I_B} &= \frac{\hat{V}}{Z_t + Z_B} = \frac{415\underline{/0}}{0.1 + j0.15 + 2 + j4}\\ &= \frac{415\underline{/0}}{2.1 + j4.15} = 89.23\underline{/-63.159^\circ}\\ &= 40.3 - j79.6\end{aligned}$$

یوں رکاوٹ پر برقی دباو

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

اور برقی تاروں میں برقی طاقت کا ضیاع ہے

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

حل ب: شکل 3.8 اور شکل 3.9 سے رجوع کریں۔ شکل 3.8 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 3.9-الف حاصل ہوتا ہے۔ اس شکل میں اب برقی تار کی رکاوٹ اور تبادلہ شدہ رکاوٹ سلسلہ وار جُڑے 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 3.9-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 3.9-پ میں دکھایا گیا ہے۔ اب

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

یہاں سے شکل 3.9-ب کی مدد سے اگر جنریٹر کی برقی رو معلوم ہو تو تبادلہ برقی رو سے

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

اس سے برقی تار میں طاقت کا ضیاع

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

اسی طرح شکل 3.8 میں اگر $\hat{I}_t$ معلوم ہو تو تبادلہ برقی رو سے

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

اور رکاوٹ پر برقی دباو

$$\hat{V_B} = \hat{I_B} Z_B = (41.5 - j82.9)(2 + j4) = 414 + j0.2$$

ہو گی۔

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 دباو ان لچھوں کے چکر پر منحصر ہوتا ہے۔ٹرانسفارمر ایک خاص برقی دباو اور برقی رو کے لئے بنائے جاتے ہیں۔ٹرانسفارمر جس برقی دباو $V_1 : V_2$ کے لئے بنائے جائیں یہ اس سے کم برقی دباو پر بھی استعمال کئے جا سکتے ہیں اگرچہ یہ عموماً بنائے گئے برقی دباو 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 جا سکتا ہے۔حقیقت میں عموماً ٹرانسفارمر سے حاصل برقی رو اس حد سے کم ہی رکھی جاتی ہے۔

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

$$V_1 I_1 = V_2 I_2 \tag{3.27}$$

برقی دباو اور برقی رو کے حاصلِ ضرب یعنی $V_1 I_1$ یا $V_2 I_2$ کو ٹرانسفارمر کی وولٹ ضربِ ایمپیئر کہتے ہیں جسے عموماً چھوٹا کر کے صرف **وولٹ-ایمپیئر**[55] کہا جاتا ہے[56]۔یہ ٹرانسفارمر کی برقی سکت کی ناپ ہے جو اس پر لگی تختی پر لکھا جاتا ہے۔اس تختی پر ٹرانسفارمر کے برقی دباو اور برقی تعداد ارتعاش بھی لکھے جاتے ہیں۔یوں ٹرانسفارمر کے وولٹ-ایمپیئر

$$\text{وولٹ-ایمپیئر} = V_1 I_1 = V_2 I_2 \tag{3.28}$$

ہوں گے۔

---

[55] volt-ampere, VA

[56] وولٹ-ایمپیئر کو عموماً کلووولٹ-ایمپیئر یعنی kV A میں بیان کیا جاتا ہے

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 دباو، 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 دباو کی جانب 11000 وولٹ لاگو ہیں۔

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

حل: اس ٹرانسفارمر کی معلومات یہ ہیں

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

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

$$I_2 = \frac{25000}{220} = 113.636\,\mathrm{A}$$

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

$$I_1 = \frac{25000}{11000} = 2.27\,\mathrm{A}$$

ٹرانسفارمر کی دونوں جانب لچھوں میں استعمال برقی تار کی موٹائی یوں رکھی جاتی ہے کہ ان میں کثافتِ برقی رو J [57] یکساں ہو۔ لچھوں کی مزاحمت میں برقی رو گزرنے سے برقی طاقت کا ضیاع ہوتا ہے جس سے یہ گرم ہوتے

[57] $1000\,\mathrm{kV\,A}$ ٹرانسفارمر کی لچھوں میں کثافتِ برقی رو تقریباً $3\,\mathrm{A/mm^2}$ رکھی جاتی ہے

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 دباو کے حصوں کو برقی طور پر جدا رکھنے میں مدد دیتا ہے۔یہ تیل تقریباً $80\,^{\circ}\mathrm{C}$ پر خراب ہونا شروع ہو جاتا ہے اور ہر $8\,^{\circ}\mathrm{C}$ اضافی درجہ حرارت پر اس کی زندگی آدھی ہوتی رہتی ہے۔یعنی اگر $80\,^{\circ}\mathrm{C}$ پر تیل کی کارآمد زندگی x سال ہے تو $88\,^{\circ}\mathrm{C}$ پر $x/2$ سال اور $96\,^{\circ}\mathrm{C}$ پر یہ صرف $x/4$ سال ہو گی۔

ٹرانسفارمر جس برقی دباو 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۔

3.10 ٹرانسفارمر کے امالہ اور اس کے مساوی دور

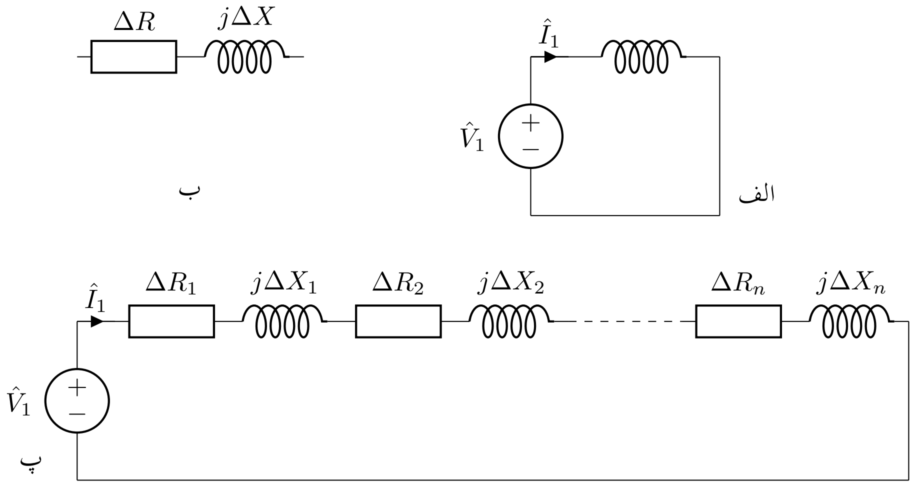
3.10.1 لچھے کی مزاحمت اور اس کی متعاملہ علیحدہ کرنا

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۔

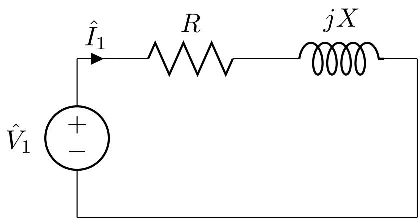
شکل 3.10-الف میں ایک لچھے پر بدلتی برقی دباو لاگو کیا گیا ہے۔اگر لچھے کی برقی تار کو نہایت چھوٹے ٹکڑوں میں تقسیم کیا جائے تو اس کے ہر ٹکڑے کی نہایت کم مزاحمت اور متعاملہ ہو گی۔ایسا ایک ٹکڑا شکل-ب میں دکھایا گیا ہے۔چونکہ لچھا ان سب ٹکڑوں کے سلسلہ وار جڑنے سے بنا ہے لہٰذا شکل-الف کو ہم شکل-پ کی طرح بنا سکتے ہیں جہاں لچھے کے n ٹکڑے کیے گیے ہیں۔

اس دور کی مساوات لکھ کر حل کرتے ہیں۔

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



شکل 3.10: لچھے کی مزاحمت اور متعاملہ۔



شکل 3.11: لچھے کی مزاحمت اور متعاملہ کی علیحدگی۔

جہاں

$$
\begin{aligned}
R &= \Delta R_1 + \Delta R_2 + \cdots \Delta R_n \\
X &= \Delta X_1 + \Delta X_2 + \cdots \Delta X_n
\end{aligned}
$$

اس سے شکل 3.11 حاصل ہوتا ہے جس سے ثابت ہوتا ہے کہ حساب کتاب کی غرض سے لچھے کی مزاحمت اور متعاملہ علیحدہ کیے جا سکتے ہیں۔

3.10.2 رِستا امالہ

اوپر ایک کامل ٹرانسفارمر زیرِ 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 مدِ 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 بہاو کو دو حصوں میں تقسیم کیا جا سکتا ہے۔ پہلا حصہ وہ جو قالب سے گزر کر ابتدائی اور ثانوی لچھے دونوں سے گزرتا ہے۔ یہ ان کا مشترکہ مقناطیسی بہاو ہے اور دوسرا حصہ وہ جو صرف ابتدائی لچھے سے گزرتا ہے اور زیادہ تر قالب کے باہر خلاء میں ہی رہتا ہے۔ اس کو **رستا مقناطیسی بہاو**[58] کہتے ہیں۔ یہ شکل میں دکھایا گیا ہے۔ چونکہ ہوا میں مقناطیسی مستقل μ_0 مقررہ ہے لٰہذا یہاں ہچکچاہٹ بھی مقررہ ہے۔ یوں رستا مقناطیسی بہاو ابتدائی لچھے کی برقی رو کے براہ راست متناسب ہوتی ہے۔

اس کے اثر کو بالکل لچھے کی مزاحمت کی طرح لچھے سے باہر **رستا امالہ**[59] L_1 یا **رستا متعاملہ**[60] $X_1 = 2\pi f L_1$ سے ظاہر کیا جاتا ہے۔

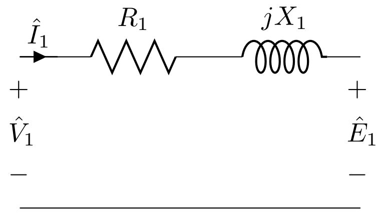
ٹرانسفارمر کے ابتدائی لچھے میں برقی رو $\hat{I}_1$ گزرنے سے رستا متعاملہ میں $\hat{V}_{X1} = j\hat{I}_1 X_1$ برقی دباو اور لچھے کے تار کی مزاحمت R_1 میں $\hat{V}_{R1} = \hat{I}_1 R_1$ برقی دباو گھٹتا ہے۔

یوں ابتدائی لچھے پر لاگو برقی دباو $\hat{V}_1$ میں سے کچھ برقی دباو R_1 میں کم ہو گا، کچھ متعاملہ X_1 میں کم ہو گا اور بقایا $\hat{E}_1$ کے برابر ہو گا۔ یہ شکل 3.12 میں دکھایا گیا ہے۔

3.10.3 ثانوی برقی رو اور قالب کے اثرات

قالب میں دونوں لچھوں کا مشترکہ مقناطیسی بہاو ان کے مجموعی مقناطیسی دباو 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 ہونگی۔ پہلی یہ کہ اسے قالب میں ہیجانی مقناطیسی بہاو وجود میں لانا ہو گا اور دوسری یہ کہ اسے ثانوی لچھے کے پیدا کردہ مقناطیسی بہاو کو

[58] leakage magnetic flux
[59] leakage inductance
[60] leakage reactance



شکل 3.12: ٹرانسفارمر مساوی دور، حصہ اول۔

ختم کرنا ہو گا۔ لہٰذا ابتدائی برقی رو کو ہم دو حصوں میں تقسیم کر سکتے ہیں۔ ایک حصہ i_φ جو ہیجانی مقناطیسی بہاو پیدا کرے اور دوسرا $\hat{I}_2'$ جو ثانوی لچھے کے مقناطیسی دباو کے اثر کو ختم کرے۔ لہٰذا

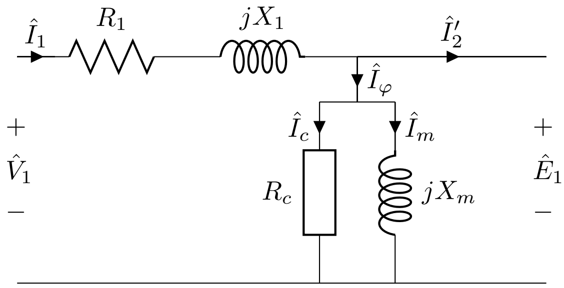
$$\hat{I}_2' = \frac{N_2}{N_1}\hat{I}_2 \tag{3.29}$$

اس باب کے حصہ 3.6 میں اس پر تفصیل سے غور کیا گیا ہے۔ برقی رو i_φ غیر سائن نما ہوتی ہے لیکن پھر بھی ہم اسے سائن نما[61] $\hat{I}_\varphi$ ہی تصور کرتے ہیں۔ اس کو ہم دو حصوں میں تقسیم کر سکتے ہیں یعنی

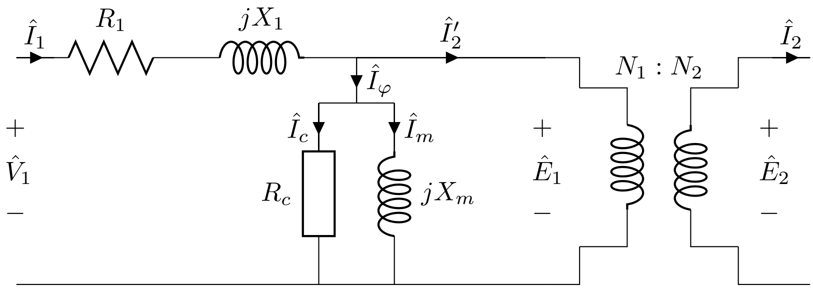
$$\hat{I}_\varphi = \hat{I}_c + \hat{I}_m \tag{3.30}$$

جہاں $\hat{I}_c$ اس کا وہ حصہ ہے جو ابتدائی لچھے کی امالی برقی دباو $\hat{E}_1$ 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[62] ہے اور لچھے میں مقناطیسی بہاو 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 دباو اور تعدد پر حاصل کئے جاتے ہیں۔ یہ شکل 3.13 میں دکھایا گیا ہے۔

[61] سائن نما برقی رو کو مرحلی سمتیہ سے ظاہر کیا جاتا ہے
[62] lagging



شکل 3.13: ٹرانسفارمر مساوی دور، حصہ دوم۔



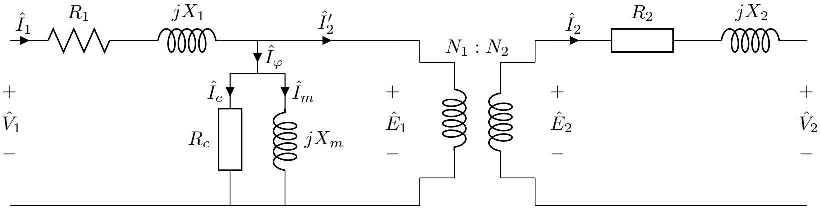
شکل 3.14: ٹرانسفارمر مساوی دور، حصہ سوم۔

3.10.4 ثانوی لچھے کی امالی برقی دباو

قالب میں مشترکہ مقناطیسی بہاو ثانوی لچھے میں امالی برقی دباو $\hat{E}_2$ پیدا کرے گی اور چونکہ یہی مقناطیسی بہاو ابتدائی لچھے میں $\hat{E}_1$ امالی پیدا کرتی ہے لٰہذا

$$\frac{\hat{E}_1}{\hat{E}_2} = \frac{N_1}{N_2} \tag{3.31}$$

مساوات 3.30 اور مساوات 3.31 کو ایک کامل ٹرانسفارمر سے ظاہر کیا جا سکتا ہے۔ یہ شکل 3.14 میں دکھایا گیا ہے۔



شکل 3.15: ٹرانسفارمر کا مکمل مساوی دور یا ریاضی نمونہ۔

3.10.5 ثانوی لچھے کی مزاحمت اور متعاملہ کے اثرات

ثانوی لچھے کے سروں پر البتہ $\hat{E}_2$ برقی دباو 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 دباو گھٹے گا۔ للٰذا ثانوی لچھے کے سروں پر برقی دباو $\hat{V}_2$ قدرِ کم ہو گا۔ یعنی

$$\hat{V}_2 = \hat{E}_2 - \hat{I}_2 R_2 - j\hat{I}_2 X_2 \tag{3.32}$$

یوں حاصل ٹرانسفارمر کا مکمل مساوی دور یا ریاضی نمونہ[63] شکل 3.15 میں دکھایا گیا ہے۔

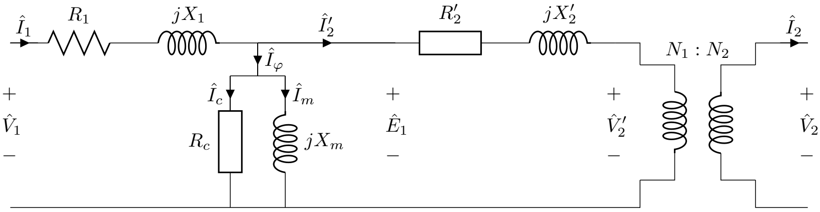
3.10.6 رکاوٹ کا ابتدائی یا ثانوی جانب تبادلہ

شکل 3.15 میں دکھائے دور کے سب جزو کا تبادلہ ایک جانب سے دوسری جانب کیا جا سکتا ہے۔ یہ کرنے سے کامل ٹرانسفارمر کو مساوی دور کی بائیں یا دائیں جانب لے جایا جا سکتا ہے۔ شکل 3.16 میں ثانوی جانب کی رکاوٹ کا ابتدائی جانب تبادلہ کیا گیا ہے جبکہ شکل 3.17 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 3.17 میں کیا گیا ہے۔

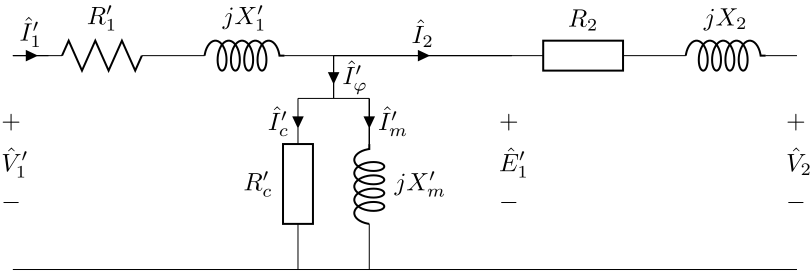
تبادلہ شدہ رکاوٹ Z کو Z' سے ظاہر کیا جاتا ہے۔ یوں R_2 کے ٹرانسفارمر کی دوسری جانب تبادلہ کے بعد اسے R'_2 سے ظاہر کیا گیا ہے۔

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

[63] mathematical model



شکل 3.16: ثانوی جانب رکاوٹ کا ابتدائی جانب تبادلہ کیا گیا ہے۔



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

مثال 3.6: ایک 50 کلو وولٹ-ایمپیئر اور 220 : 2200 وولٹ برقی سکت کے ٹرانسفارمر کی زیادہ برقی دباو کی جانب کی رستا رکاوٹ $Z_1 = 0.9 + j1.2$ اوہم اور کم برقی دباو کی جانب کی رِستا رکاوٹ $Z_2 = 0.0089 + j0.011$ اوہم ہے۔ اگر اس کی $R_c = 6.4\,\mathrm{k\Omega}$ اور $X_m = 47\,\mathrm{k\Omega}$ ہو تو اس کی شکل 3.16 اور شکل 3.17 میں استعمال ہونے والے جزو معلوم کریں۔

حل حصہ اول: معلومات:

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

ٹرانسفارمر کے دونوں جانب کی برقی دباو لچھوں کے چکروں کی نسبت سے ہوتے ہیں لہٰذا

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

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

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

جبکہ اس کی بقایا رکاوٹ وہی رہیں گے۔یوں شکل 3.16 کے جزو حاصل ہوئے۔

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

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

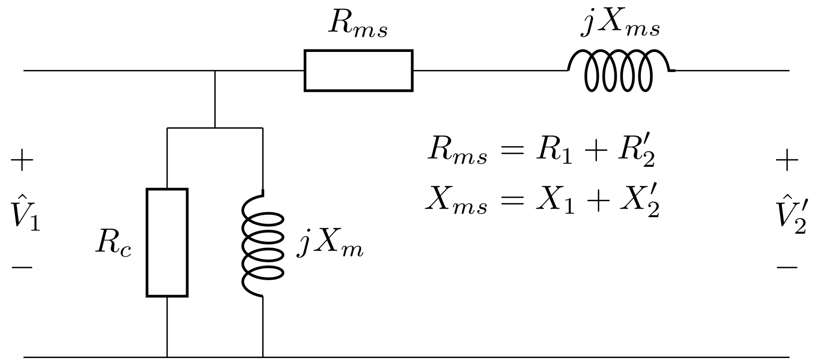
اسی طرح

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

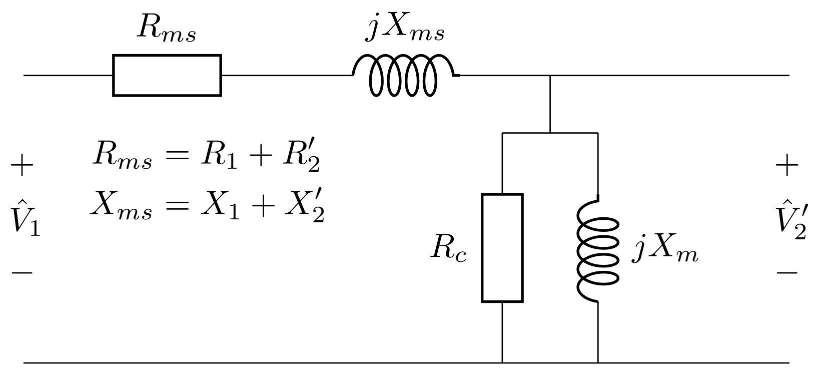
جبکہ Z_2 وہی رہے گا۔

3.10.7 ٹرانسفارمر کے سادہ ترین مساوی دور

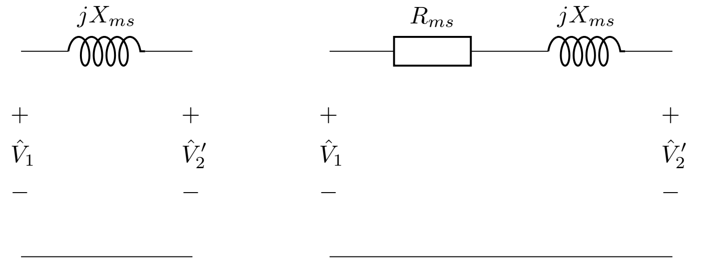
ایک انجنیئر کو جب ایک ٹرانسفارمر استعمال کرنا ہو تو وہ حساب کرتے وقت شکل 3.16 میں دیئے گئے دور کو استعمال کر سکتا ہے۔ یہ دور حقیقی ٹرانسفارمر کی بہت اچھی عکاسی کرتا ہے۔ البتہ جہاں ہمیں نہایت صحیح جواب مطلوب نہ ہوں



شکل 3.18: R_c اور jX_m کو بائیں جانب منتقل کیا گیا ہے۔



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



شکل 3.20: ٹرانسفارمر کے سادہ مساوی ادوار۔

وہاں اس دور کی سادہ اشکال بھی استعمال کی جا سکتیں ہیں۔ اس باب میں ہم ایسے ہی سادہ مساوی دوروں کا ذکر کریں گے۔

شکل 3.16 میں R_c اور X_m کو بائیں یا دائیں طرف لے جانے سے شکل 3.18 اور شکل 3.19 حاصل ہوتے ہیں۔چونکہ $\hat{I}_\varphi$ کی مقدار نہایت کم[64] ہوتی ہے اس لئے ایسا کرنے سے حاصل جواب پر کوئی خاص فرق نہیں پڑتا۔ چونکہ اس شکل میں R_1، R_2'، X_1 اور X_2' سلسلہ وار ہیں اس لئے ان کو جمع کیا جا سکتا ہے شکل میں ان کو مساوی مزاحمت R_{ms} اور مساوی متعاملہ X_{ms} کہا گیا ہے۔اسی قسم کے ادوار شکل 3.17 سے بھی حاصل ہوتے ہیں۔

ہم ایک قدم اور آگے جا سکتے ہیں اور $\hat{I}_\varphi$ کو مکمل طور پر نظر انداز کر سکتے ہیں یعنی اس کو ہم صفر تصور کر لیتے ہیں۔اس کا مطلب ہے کہ مساوی دور میں R_c اور jX_m دونوں کو کھلے دور کیا جاتا ہے یعنی انہیں مساوی دور سے ہٹا دیا جاتا ہے۔ شکل 3.20-الف میں ایسا کیا گیا ہے۔اس دور میں قالب کے اثرات کو مکمل طور پر نظرانداز کیا گیا ہے۔

بیشتر وقت ہمیں اس سے بھی کم صحیح جواب مطلوب ہوتا ہے۔چونکہ $R_c \gg X_m$ لہٰذا ہم R_{ms} کو بھی نظرانداز کر سکتے ہیں۔یوں شکل 3.20-ب حاصل ہوتا ہے۔

3.11 کھلے دور معائنہ اور کسرِ دور معائنہ

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

[64] $\hat{I}_\varphi$ ٹرانسفارمر کے کل برقی بوجھ کے صرف دو سے چھ فی صد ہوتی ہے

3.11.1 کھلے دور معائنہ

کھلے دور معائنہ[65] جیسا کہ نام سے واضح ہے، ٹرانسفارمر کی ایک جانب لچھے کے سروں کو آزاد رکھ کر کیا جاتا ہے۔ یہ معائنہ اتنی برقی دباو اور تعدد یا ان کے قریب ترین مقداروں پر کیا جاتا ہے جتنے پر ٹرانسفارمر کی بناوٹ[66] ہو۔ اگرچہ یہ معائنہ ٹرانسفارمر کے کسی بھی جانب کے لچھے پر کیا جا سکتا ہے، حقیقت میں اسے کم برقی دباو والی جانب کے لچھے پر کرنا آسان ہوتا ہے۔ یہ بات ایک مثال سے زیادہ آسانی سے سمجھ آتی ہے۔

مثلاً ہم $25\,\mathrm{kV\,A}$ اور $11000:220\,\mathrm{V}$ کا $50\,\mathrm{Hz}$ 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 دباو کے لگ بھگ برقی دباو استعمال کیا جائے گا اور اگر دو سو بیس برقی دباو والے لچھے پر کیا جائے تو دو سو بیس برقی دباو کے لگ بھگ برقی دباو استعمال کیا جائے گا۔ دونوں صورتوں میں تعدد $50\,\mathrm{Hz}$ کے لگ بھگ رکھا جائے گی۔ $11\,\mathrm{kV}$ کی برقی دباو پر کام کرنا نہایت خطرناک ثابت ہو سکتا ہے۔ یہی وجہ ہے کہ اس معائنہ کو کم برقی دباو والے لچھے پر ہی کیا جاتا ہے۔

جس برقی دباو پر ٹرانسفارمر عام حالات میں استعمال ہوتا ہے اس معائنہ میں کم برقی دباو والی جانب کے لچھے پر اتنے ہی یا اس کی قریب مقدار کی برقی دباو 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 دباو کے جتنے قریب برقی دباو 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۔ لہٰذا ناپا گیا برقی رو صرف ہیجان انگیز برقی رو $\hat{I}_\varphi$ 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 3.16 کو مدِ نظر رکھتے ہوئے اگر ہم بائیں جانب کو کم برقی دباو 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 مقداری[67] I_1 ہو گا۔ چونکہ I_2' صفر کے برابر ہے لہٰذا I_1 درحقیقت $\hat{I}_\varphi$ کے مقدار I_φ کے برابر ہو گا۔ یعنی اس طرح

$$I_t = I_1 = I_\varphi$$

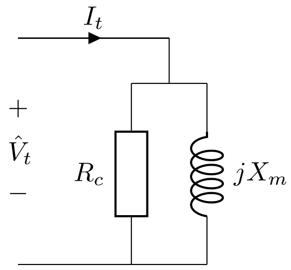
اتنی کم برقی رو سے لچھے کی رکاوٹ میں نہایت کم برقی دباو گھٹتا ہے، لہٰذا اسے نظر انداز کیا جاتا ہے یعنی

$$V_{R1} = I_t R_1 = I_\varphi R_1 \approx 0$$
$$V_{X1} = I_1 X_1 = I_\varphi X_1 \approx 0$$

یوں R_c اور X_m پر تقریباً V_t برقی دباو پایا جائے گا۔ یہ شکل 3.16 سے ظاہر ہے۔ ان حقائق کو مد نظر رکھتے ہوئے شکل 3.21 حاصل ہوتا ہے۔

---

[65] open circuit test
[66] design
[67] scalar



شکل 3.21: کھلے سرے معائنہ۔

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

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

لکھا جائے گا۔یوں

$$R_c = \frac{V_t^2}{p_t} \tag{3.33}$$

حاصل ہوتا ہے۔

اسی طرح چونکہ برقی دباو اور برقی رو کی مقداروں کے تناسب کو برقی رکاوٹ کی مقدار کہتے ہیں لہٰذا

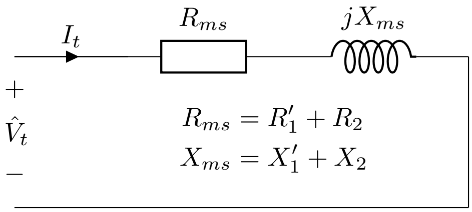
$$|Z_t| = \frac{V_t}{I_t}$$

مگر شکل 3.21 سے واضح ہے کہ

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

لہٰذا

$$\begin{aligned}
Z_t &= \frac{jR_cX_m}{R_c + jX_m} \\
|Z_t| &= \frac{R_cX_m}{\sqrt{R_c^2 + X_m^2}}
\end{aligned}$$



شکل 3.22: کسر دور معائنہ۔

جس سے حاصل ہوتا ہے

$$X_m = \frac{R_c|Z_t|}{\sqrt{R_c^2 - |Z_t|^2}} \tag{3.34}$$

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 تبادلہ رکاوٹ کا استعمال کرتے ہوئے اس جانب کی قیمتیں حاصل کی جا سکتی ہیں۔

3.11.2 کسرِ دور معائنہ

یہ معائنہ بھی پچھلے معائنہ کی طرح ٹرانسفارمر کے کسی بھی طرف کیا جا سکتا ہے مگر حقیقت میں اسے زیادہ برقی دباو 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۔ لہٰذا اگر ہم پچھلے معائنہ میں استعمال ہونے والے ٹرانسفارمر کی بات آگے بڑھائیں تو اس کا زیادہ برقی دباو کا لچھا 2.2727 A اور کم برقی دباو کا لچھا 113.63 A کے لئے بنایا گیا ہے۔ لہٰذا اگر یہ معائنہ کم برقی دباو لچھے پر کیا جائے تو اسے 113.63 A پر کرنا ہو گا اور اگر زیادہ برقی دباو لچھے پر کیا جائے تو صرف 2.2727 A پر کرنا ہو گا جو کہ زیادہ آسان ہے۔

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

دور برقی رو I_t اور کسرِ دور برقی طاقت p_t ناپے جاتے ہیں۔ جس لچھے کے سرے آپس میں کسرِ 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 3.22 میں دکھایا گیا ہے۔کھلے سرے معائنے کی طرح اگر کسر دور معائنے میں بھی شکل 3.16 کے بائیں جانب کو کم برقی دباو والی جانب تصور کریں تو V_t کو V_2 کی جگہ لاگو کرنا ہو گا۔

چونکہ یہ معائنہ بہت کم برقی دباو پر کیا جاتا ہے لہٰذا اس معائنہ میں ہیجان انگیز برقی رو کو مکمل طور پر نظرانداز کیا جا سکتا ہے۔ شکل سے ہم دیکھتے ہیں کہ چونکہ برقی طاقت صرف مزاحمت میں ہی ضائع ہو سکتی ہے لہٰذا

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

ہو گا جس سے

$$R_{ms} = \frac{p_t}{I_t^2} \tag{3.35}$$

حاصل ہوتا ہے۔

کسرِ دور برقی رو اور برقی دباو سے ہمیں ملتی ہے

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

مگر شکل سے واضح ہے کہ

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

لہٰذا

$$X_{ms} = \sqrt{|Z_t|^2 - R_{ms}^2} \tag{3.36}$$

مساوات 3.35 کل مزاحمت دیتا ہے البتہ اس سے R_1 یا R_2 حاصل نہیں کیا جا سکتا۔اسی طرح مساوات 3.36 سے X_1 اور X_2 علیحدہ نہیں کئے جا سکتے۔کسر دور معائنہ سے اتنی ہی معلومات حاصل کرنا ممکن ہے۔حقیقت میں اتنی معلومات کافی ہوتی ہے۔ اگر ان اجزاء ک 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 لہٰذا یہ ممکن نہیں ہوتا کہ ٹرانسفارمر کو بالکل اتنا برقی دباو دیا جائے جتنا درکار ہو بلکہ جو برقی دباو موجود ہو اسی سے کام چلانا پڑتا ہے۔ لیکن اس بات کا خیال بہت ضروری ہے کہ جو برقی دباو ٹرانسفارمر کو دیا جا رہا ہو وہ ڈیزائن کردہ برقی دباو کے دو سے بارہ فی صد ہو۔ مثلاً اگر اسی $220\,\mathrm{V} : 11000$ ٹرانسفارمر کی بات کی جائے تو اس کے زیادہ برقی دباو لچھے پر $220\,\mathrm{V}$ اور $1320\,\mathrm{V}$ کے درمیان کوئی بھی برقی دباو دیا جا سکتا ہے۔ چونکہ ہمارے ہاں $220\,\mathrm{V}$ اور $440\,\mathrm{V}$ عام پائے جاتے ہیں لہٰذا ہم $220\,\mathrm{V}$ یا $440\,\mathrm{V}$ ہی استعمال کریں گے۔

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

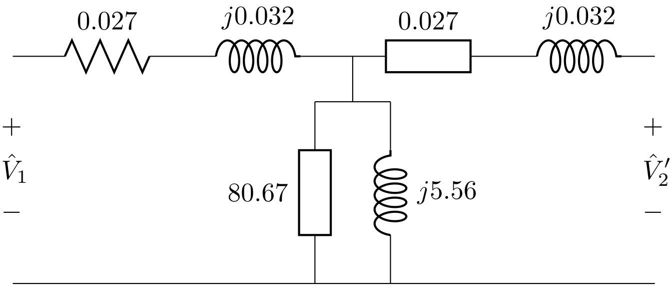
یاد رہے کہ حاصل کردہ R_c اور X_m ٹرانسفارمر کے اسی جانب کے لئے درست ہیں جس جانب انہیں حاصل کیا گیا ہو۔ اگر ان کی قیمتیں دوسری جانب درکار ہوں تب تبادلہ رکاوٹ کا استعمال کرتے ہوئے اس جانب کی قیمتیں حاصل کی جا سکتی ہیں۔

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

- کھلے دور معائنہ کرتے وقت کم برقی دباو کی جانب $220\,\mathrm{V}$ لاگو کئے جاتے ہیں۔اسی جانب برقی رو $39.64\,\mathrm{A}$ اور طاقت کا ضیاع $600\,\mathrm{W}$ ناپے جاتے ہیں۔
- کسرِ دور معائنہ کرتے وقت زیادہ برقی دباو کی جانب $440\,\mathrm{V}$ لاگو کئے جاتے ہیں۔اسی جانب برقی رو $2.27\,\mathrm{A}$ اور طاقت کا ضیاع $560\,\mathrm{W}$ ناپے جاتے ہیں۔

کھلے دور حل:

$$
\begin{aligned}
|Z_t| &= \frac{220}{39.64} = 5.55\,\Omega \\
R_c &= \frac{220^2}{600} = 80.67\,\Omega \\
X_m &= \frac{80.67 \times 5.55}{\sqrt{80.67^2 - 5.55^2}} = 5.56\,\Omega
\end{aligned}
$$



شکل 3.23: کھلے دور اور کسرِ دور معائنہ سے کم برقی دباو جانب مساوی دور۔

کسر دور حل:

$$
\begin{aligned}
Z_t &= \frac{440}{2.27} = 193.83\,\Omega \\
R_{ms} &= \frac{560}{2 \times 2.27^2} = 108.68\,\Omega \\
X_{ms} &= \sqrt{193.83^2 - 108.68^2} = 160\,\Omega
\end{aligned}
$$

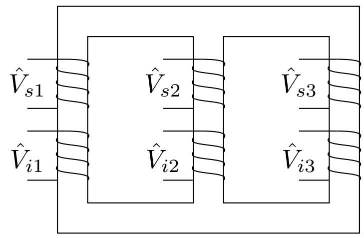
ان نتائج کو کم برقی دباو جانب منتقل کرتے ہوئے

$$
\begin{aligned}
\left(\frac{220}{11000}\right)^2 \times 108.68 = 43.47\,\mathrm{m}\Omega \\
\left(\frac{220}{11000}\right)^2 \times 160 = 64\,\mathrm{m}\Omega
\end{aligned}
$$

یعنی

$$
\begin{aligned}
R_1 = R_2' &= \frac{43.47\,\mathrm{m}\Omega}{2} = 21.7\,\mathrm{m}\Omega \\
X_1 = X_2' &= \frac{64\,\mathrm{m}\Omega}{2} = 32\,\mathrm{m}\Omega
\end{aligned}
$$

حاصل ہوتا ہے۔ان نتائج سے حاصل کم برقی دباو جانب مساوی دور شکل 3.23 میں دکھایا گیا ہے۔



شکل 3.24: ایک ہی قالب پر تین ٹرانسفارمر۔

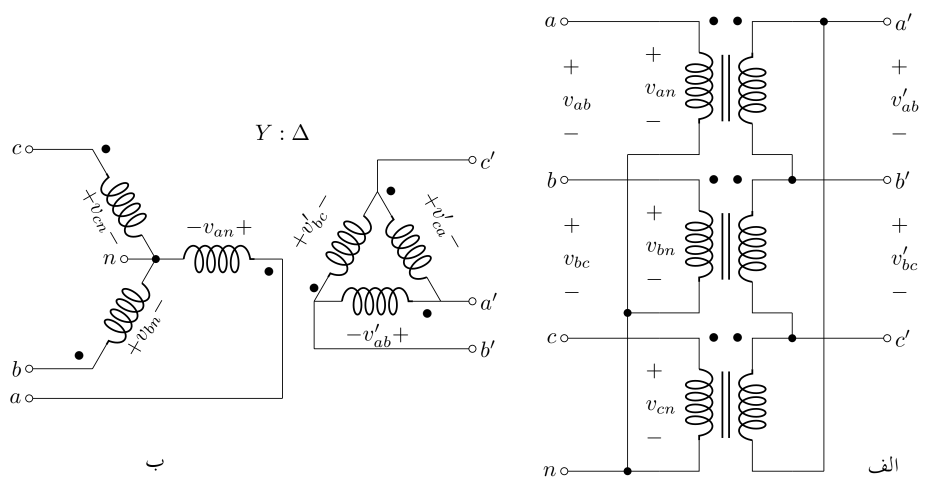
3.12 تین مرحلہ ٹرانسفارمر

اب تک ہم ایک مرحلہ[68] ٹرانسفارمر پر غور کرتے رہے ہیں۔حقیقت میں برقی طاقت کی منتقلی میں عموماً تین مرحلہ[69] ٹرانسفارمر استعمال ہوتے ہیں۔تین مرحلہ ٹرانسفارمر یکساں تین عدد ایک مرحلہ ٹرانسفارمر اکٹھے رکھ کر بنایا جا سکتا ہے۔یوں اگر ایک ٹرانسفارمر خراب ہو جائے تو اس کو ٹھیک ہونے کے لئے ہٹا کر بقایا دو ٹرانسفارمر دوبارہ چالو کئے جا سکتے ہیں۔تین مرحلہ ٹرانسفارمر بنانے کا اس سے بہتر طریقہ شکل 3.24 میں دکھایا گیا ہے جہاں ایک ہی مقناطیسی قالب پر تینوں ٹرانسفارمر کے لچھے لپیٹے گئے ہیں۔اس شکل میں $\hat{V}_{i1}$ پہلے ٹرانسفارمر کا ابتدائی لچھا جبکہ $\hat{V}_{s1}$ 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 روز مرہ زندگی میں یہی نظر آئیں گے۔ان میں برقی ضیاع بھی قدرِ کم ہوتی ہے۔

شکل 3.25-الف میں تین ٹرانسفارمر دکھائے گئے ہیں۔ان تین ٹرانسفارمر کے ابتدائی لچھے آپس میں دو طریقوں سے جوڑے جا سکتے ہیں۔ایک کو ستارہ نما جوڑ[70] Y اور دوسرے کو تکونی جوڑ[71] Δ کہتے ہیں۔اسی طرح ان تینوں ٹرانسفارمروں کے ثانوی لچھے انہیں دو طریقوں سے جوڑے جا سکتے ہیں۔یوں انہیں جوڑنے کے چار ممکنہ طریقے ہیں یعنی

- ستارہ:تکونی $Y:\Delta$
- ستارہ:ستارہ $Y:Y$
- تکونی:تکونی $\Delta:\Delta$

[68] single phase
[69] three phase
[70] star connected
[71] delta connected



شکل 3.25: تین مرحلہ ستارہ-تکونی ٹرانسفارمر

- تکونی:ستارہ $\Delta : Y$

شکل 3.25-الف میں ان تین ٹرانسفارمروں کے ابتدائی لچھوں کو ستارہ نما جوڑا گیا ہے جبکہ ان کی ثانوی لچھوں کو تکونی جوڑا گیا ہے۔ شکل-ب میں تینوں ٹرانسفارمر 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 ٹرانسفارمروں کے ابتدائی لچھے کو جس زاویہ پر بنایا جاتا ہے اس کے ثانوی لچھے کو بھی اُسی 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 ٹرانسفارمروں کو اس طرح کی علامتوں سے ظاہر کیا جاتا ہے اور ان میں قالب نہیں دکھایا جاتا۔

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

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

نزدیک زمین میں گہرائی تک دھنسا دیا جاتا ہے۔اس تار کو **زمینی تار**[72] یا صرف **زمین**[73] کہتے ہیں۔عام فہم میں اسے **ٹھنڈی تار**[74] کہتے ہیں۔ باقی تین یعنی a, b, c **گرم تار**[75] کہلاتے ہیں۔

ٹرانسفارمر کی لچھے پر برقی دباو کو **یک مرحلہ برقی دباو** $\hat{V}_{\text{یک مرحلہ}}$[76] کہتے ہیں اور لچھے میں برقی رو کو **یک مرحلہ برقی رو** $\hat{I}_{\text{یک مرحلہ}}$[77] کہتے ہیں۔ جبکہ ٹرانسفارمر سے باہر نکلتی کسی دو گرم تاروں کے مابین برقی دباو کو **تار کی برقی دباو** $\hat{V}_{\text{تار}}$[78] کہتے ہیں اور کسی بھی گرم تار میں برقی رو کو **تار کی برقی رو** $\hat{I}_{\text{تار}}$[79] کہتے ہیں۔ زمینی تار میں برقی رو کو **زمینی برقی رو** $\hat{I}_{\text{زمینی}}$[80] کہتے ہیں۔

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

$$\begin{aligned} V_{\text{تار}} &= \sqrt{3} V_{\text{یک مرحلہ}} \\ I_{\text{تار}} &= I_{\text{یک مرحلہ}} \end{aligned} \tag{3.37}$$

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

$$\begin{aligned} V_{\text{تار}} &= V_{\text{یک مرحلہ}} \\ I_{\text{تار}} &= \sqrt{3} I_{\text{یک مرحلہ}} \end{aligned} \tag{3.38}$$

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

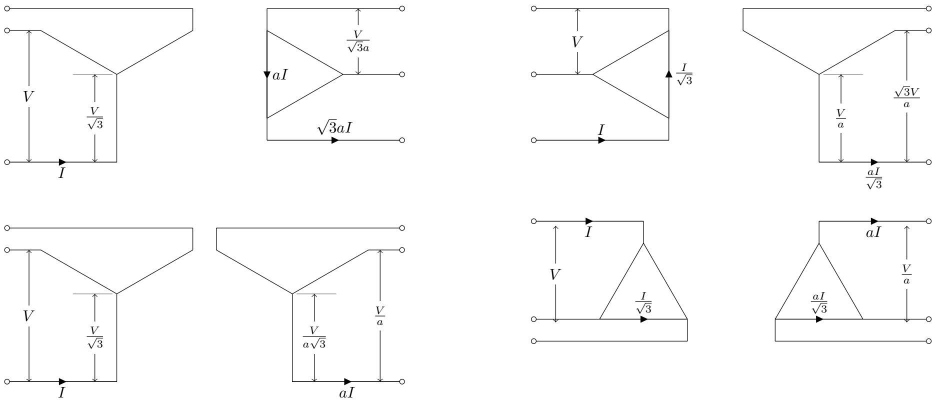
$$V_{\text{تار}} I_{\text{تار}} = \sqrt{3} V_{\text{یک مرحلہ}} I_{\text{یک مرحلہ}} \tag{3.39}$$

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

$$\text{وولٹ-ایمپیئر} = 3 V_{\text{یک مرحلہ}} I_{\text{یک مرحلہ}} = 3 \times \frac{V_{\text{تار}} I_{\text{تار}}}{\sqrt{3}} = \sqrt{3} V_{\text{تار}} I_{\text{تار}} \tag{3.40}$$

---

[72] ground
[73] ground, earth,neutral
[74] neutral
[75] live wires
[76] phase voltage
[77] phase current
[78] line to line voltage
[79] line current
[80] ground current



شکل 3.26: 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 لہٰذا انہیں ستارہ نما یا تکونی 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 3.26 میں دیئے گئے ٹرانسفارمروں کے ابتدائی اور ثانوی جانب کی یک مرحلہ اور تار کی مقداروں کے رشتے حاصل کئے جا سکتے 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 3.26 میں دکھایا گیا ہے ستارہ-تکونی ٹرانسفارمر کی تار پر برقی دباؤ کی نسبت

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

جبکہ ستارہ-ستارہ کا

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

تکونی-ستارہ کا

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

اور تکونی-تکونی کا

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

ہے۔

مثال 3.8: یک مرحلہ تین یکساں ٹرانسفارمروں کو ستارہ-تکونی Δ : Y جوڑ کر تین مرحلہ ٹرانسفارمر بنایا گیا ہے۔ایک مرحلہ ٹرانسفارمر کی برقی سکت[81] درج ذیل ہے:

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

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

حل: حل کرتے وقت ہم ایک عدد یک مرحلہ ٹرانسفارمر پر نظر رکھیں گے۔ ابتدائی جانب اگر یک 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 دباو مساوات 3.37 کی مدد سے

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

ہے لہٰذا اس یک مرحلہ ٹرانسفارمر کی ثانوی جانب مساوات 3.16 کی مدد سے

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

ہیں۔چونکہ ثانوی جانب ان تین یک مرحلہ ٹرانسفارمروں کو تکونی جوڑا گیا ہے لہٰذا مساوات 3.38 کی مدد سے اس جانب تار کی برقی دباو یہی ہو گی۔اس تین مرحلہ ٹرانسفارمر کی تار پر برقی دباو کی نسبت

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

---

[81] rating

ہے۔چونکہ یک مرحلہ ٹرانسفارمر 50 کلو وولٹ-ایمپیئر کا ہے لہٰذا یہ تین مرحلہ ٹرانسفارمر 150 کلو وولٹ-ایمپیئر کا ہو گا۔یوں اس تین مرحلہ ٹرانسفارمر کی سکت[82]

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

ہو گی۔

ٹرانسفارمر پر لگی تختی[83] پر اس کی سکت بیان ہوتی ہے جس میں ٹرانسفارمر کے دونوں جانب تار کے برقی دباو 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 دباو 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 دباو کی موج پیدا کرتے ہیں جو کبھی کبھی برقی دباو کی بنیادی جزو سے بھی زیادہ بڑھ جاتی ہے۔

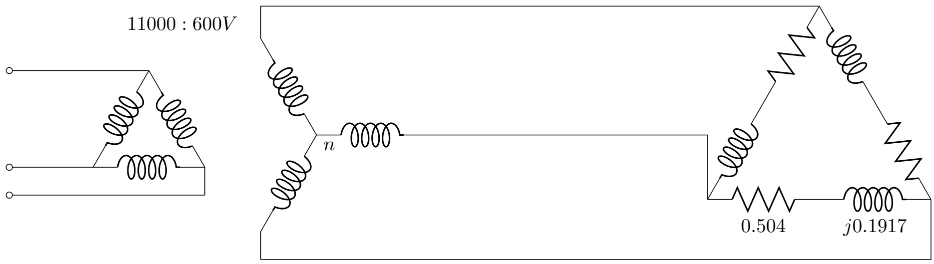
بقایا تین قسم کے جڑے ٹرانسفارمروں میں برقی دباو کی تیسری موسیقائی جزو مسئلہ نہیں کرتیں چونکہ ان میں تکونی جُڑے لچھوں میں برقی رو گھومنے شروع ہو جاتی ہے جو ان کے اثر کو ختم کر دیتی ہے۔

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 دباو، یک مرحلہ برقی دباو ہو گا۔اسی طرح ہم تصور کرتے ہیں کہ اس پر لدا برقی بوجھ بھی ستارہ نما جُڑا ہے۔یوں تین مرحلہ کی جگہ ہم یک 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 3.27 میں یہ دکھایا گیا ہے۔

---

[82] rating
[83] name plate



شکل 3.27: ٹرانسفارمر تکونی متوازن بوجھ کو طاقت فراہم کر رہا ہے۔

- 1. اس شکل میں ہر جگہ برقی رو معلوم کریں۔
- 2. برقی بوجھ[84] 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 3.28 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 رو صفر ہو گی۔حل کرنے کی نیت سے ہم اس متوازن دور سے ایک مرحلہ لے کر حل کرتے ہیں۔

یوں مساوی برقی بوجھ میں برقی رو

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

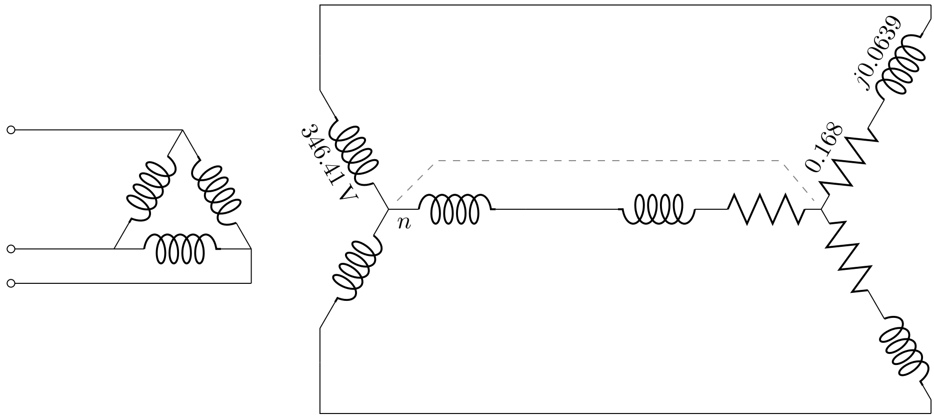
ہو گی اور اس ایک مرحلہ میں طاقت

$$p = 346.41 \times 1927.262 \times \cos(-20.825^\circ) = 624\,007\,\mathrm{W}$$

ہو گی۔ یوں برقی بوجھ کو پوری درکار برقی طاقت اس کے تین گنا ہو گی یعنی $1872\,\mathrm{kW}$ اس بوجھ کا جزو طاقت[85]

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

[84] electrical load
[85] power factor



شکل 3.28: تکونی بوجھ کو مساوی ستارہ بوجھ میں تبدیل کیا گیا ہے۔

ہے۔

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

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

ایمپیئر ہو گی۔

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

3.13 ٹرانسفارمر چالو کرتے لمحہ زیادہ محرکی برقی رو کا گزر

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

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

یعنی

$$B_0 = \frac{V_0}{\omega N A_c} \tag{3.45}$$

یہ مساوات برقرار چالو[86] 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 دباو

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

ہے۔ اگر $\theta = \pi/2$ یہ لمحہ ہو تو آدھے دوری عرصہ[87] کے بعد قالب میں کثافتِ مقناطیسی بہاو

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

---

[86] steady state
[87] time period

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۔لٰہذا B دگنا کرنے کی خاطر H کو کئی گنا بڑھانا ہو گا جو لچھے میں محرک برقی رو بڑھانے سے ہوتا ہے[88]۔یہاں صفحہ 52 پر دکھائے شکل 2.16 سے رجوع کریں۔قوی ٹرانسفارمروں میں ہیجانی کثافتِ مقناطیسی بہاو کی چوٹی $1 \leq B_0 \leq 1.3$ ہوتی ہے۔ٹرانسفارمر چالو کرتے لمحہ یوں کثافتِ مقناطیسی بہاو 2 سے 2.6 ٹسلا تک ہو سکتی ہے جس کے لئے درکار ہیجان انگیز برقی رو نہایت زیادہ ہو گی۔

[88] 2000 کلووولٹ-ایمپیئر ٹرانسفارمر سے چالو کرتے وقت تھرتھراہٹ کی آواز آتی ہے

باب 4

برقی اور میکانی توانائی کا باہمی تبادلہ

برقی رو یا مقناطیسی بہاو کی مدد سے برقی توانائی کو میکانی توانائی یا میکانی توانائی کو برقی توانائی میں تبدیل کیا جاتا ہے۔ مختلف مشین میں یہ عمل ہوتا ہے۔ ناپنے کے مشین نہایت کم طاقت کا تبادلہ کرتے ہیں۔ ان میں لاؤڈ سپیکر، مائکروفون وغیرہ شامل ہیں۔ ان کے برعکس ایک اور قسم کے مشین قوت پیدا کرتے ہیں۔ ان میں برقی مقناطیس، رِیلے[1] وغیرہ شامل ہیں۔ ایک تیسری قسم، جن میں برقی موٹر اور جنریٹر شامل ہیں، لگاتار توانائی کو ایک شکل سے دوسری شکل میں تبدیل کرتے ہیں۔

اس باب میں مقناطیسی بہاو کی مدد سے توانائی کے تبادلہ پر غور کیا جائے گا۔ برقی رو کی مدد سے توانائی کے تبادلہ کو انہیں طرح کے طریقوں سے حل کیا جاتا ہے اگرچہ ان کا تذکرہ اس کتاب میں نہیں کیا جائے گا۔

اس باب میں جو تراکیب ہم سیکھیں گے وہ بہت اہمیت رکھتے ہیں اور انجنیئر نگ میں بہت سے مسائل حل کرنے میں مدد گار ثابت ہوتے ہیں۔

[1] relay

4.1 مقناطیسی نظام میں قوت اور قوت مروڑ

اگر ایک برقی میدان میں برقی بار q رکھا جائے تو اس پر قوت

$$\boldsymbol{F} = q\boldsymbol{E} \tag{4.1}$$

پائی جاتی ہے۔ اگر برقی بار مثبت ہو تو یہ قوت برقی شدت $\boldsymbol{E}$ کی سمت میں ہوتی ہے اور اگر برقی بار منفی ہو تو یہ قوت $\boldsymbol{E}$ کی الٹ سمت میں ہوتی ہے۔ اسی طرح اگر ایک برقی بار مقناطیسی میدان میں حرکت کر رہا ہو اور اس کی سمتی رفتار[2] $\boldsymbol{v}$ ہو تو اس پر قوت

$$\boldsymbol{F} = q\left(\boldsymbol{v} \times \boldsymbol{B}\right) \tag{4.2}$$

پائی جاتی ہے۔ اس مرتبہ مثبت برقی بار پر قوت کی سمت دائیں ہاتھ کے قانون[3] سے معلوم کی جاتی ہے۔ اگر دائیں ہاتھ کی چار انگلیاں $\boldsymbol{v}$ کی سمت میں رکھ کر انہیں $\boldsymbol{B}$ کی سمت میں موڑا جائے تو انگوٹھا $\boldsymbol{F}$ کی سمت میں ہو گا۔ منفی برقی بار پر قوت اس کے مخالف سمت میں ہو گی۔ یہاں سمتی رفتار q اور $\boldsymbol{B}$ کے مابین ہے۔ اگر ایک برقی بار بیک وقت مقناطیسی اور برقی میدان میں حرکت کر رہا ہو تب اس پر قوت ہمیں گزشتہ دو قوانین ملا کر یعنی مساوات لورینز[4] سے ملتی ہے۔

$$\boldsymbol{F} = q\left(\boldsymbol{E} + \boldsymbol{v} \times \boldsymbol{B}\right) \tag{4.3}$$

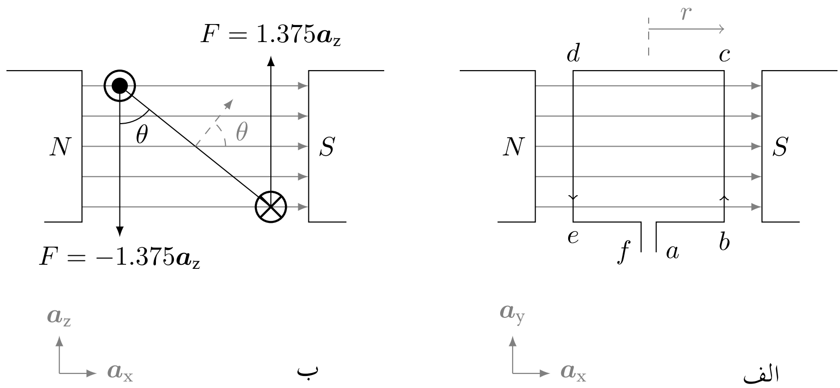
مساوات 4.2 میں اگر $\boldsymbol{v} = \mathrm{d}\boldsymbol{L}/\,\mathrm{d}t$ لی جائے تو اسے یوں لکھا جا سکتا ہے۔

$$\begin{aligned}\boldsymbol{F} &= q\left(\frac{\mathrm{d}\boldsymbol{L}}{\mathrm{d}t} \times \boldsymbol{B}\right)\\ &= \frac{q}{\mathrm{d}t}\left(\mathrm{d}\boldsymbol{L} \times \boldsymbol{B}\right)\\ &= i\left(\mathrm{d}\boldsymbol{L} \times \boldsymbol{B}\right)\end{aligned} \tag{4.4}$$

مثال 4.1: شکل 4.1 میں ایک لچھا مقناطیسی میدان میں دکھایا گیا ہے۔ لچھے کی رداس 15 سم، محوری لمبائی 50 سم اور اس میں برقی رو 5 ایمپیئر ہے۔ کثافتِ مقناطیسی بہاو کو نقطہ دار نوک والی لکیروں سے شمالی قطب سے جنوبی قطب کی جانب دکھایا گیا ہے۔ اگر کثافتِ مقناطیسی بہاو 0.55 ٹیسلہ ہو تو

---

[2] velocity
[3] right hand rule
[4] Lorenz equation



شکل 4.1: ایک چکر کے لچھے پر قوت اور قوت مروڑ

- لچھے کے اطراف پر قوت معلوم کریں اور
- لچھے پر قوت مروڑ τ معلوم کریں

حل: شکل-الف اور ب میں کارتیسی اکائی سمتیہ دیئے گئے ہیں۔اگر برقی تار کے سروں کو نظر انداز کیا جائے اور اسے ایک بند دائرہ سمجھا جائے تو شکل-الف میں برقی رو کی سمت میں تار کے اطراف کی لمبائیاں

$$\begin{aligned}
\boldsymbol{L}_{bc} &= l\boldsymbol{a}_{\text{y}}\\
\boldsymbol{L}_{cd} &= -2r\boldsymbol{a}_{\text{x}}\\
\boldsymbol{L}_{de} &= -l\boldsymbol{a}_{\text{y}}\\
\boldsymbol{L}_{eb} &= 2r\boldsymbol{a}_{\text{x}}
\end{aligned}$$

ہیں جبکہ $\boldsymbol{B} = B_0\boldsymbol{a}_{\text{x}}$ ہے۔یوں مساوات 4.2 سے ان اطراف پر قوت

$$\begin{aligned}
\boldsymbol{F}_{bc} &= i\left(\boldsymbol{L}_{bc} \times B_0\boldsymbol{a}_{\text{x}}\right)\\
&= 5\left(0.5\boldsymbol{a}_{\text{y}} \times 0.55\boldsymbol{a}_{\text{x}}\right)\\
&= -1.375\boldsymbol{a}_{\text{z}}\\
\boldsymbol{F}_{cd} &= 5\left(-0.3\boldsymbol{a}_{\text{x}} \times 0.55\boldsymbol{a}_{\text{x}}\right)\\
&= 0\\
\boldsymbol{F}_{de} &= 5\left(-0.5\boldsymbol{a}_{\text{y}} \times 0.55\boldsymbol{a}_{\text{x}}\right)\\
&= 1.375\boldsymbol{a}_{\text{z}}\\
\boldsymbol{F}_{ea} &= 0
\end{aligned}$$

نیوٹن ہو گی۔ہم دیکھتے ہیں کہ قوت محوری لمبائی کی جانب اطراف پر ہی لاگو ہے۔یہ دو قوت حصہ با میں دکھائے گئے ہیں جہاں سے یہ واضح ہے کہ یہ قوت مروڑ پیدا کریں گی۔ اس قوت مروڑ کی سمت دائیں ہاتھ کے قانون سے بھی با آسانی معلوم کی جا سکتی ہے۔قوت مروڑ

$$
\begin{aligned}
\boldsymbol{\tau} &= -1.375 \times 2 \times 0.15 \times \sin\theta \boldsymbol{a}_{\mathrm{y}} \\
&= -0.4125 \sin\theta \boldsymbol{a}_{\mathrm{y}}
\end{aligned}
$$

نیوٹن-میٹر ہے۔

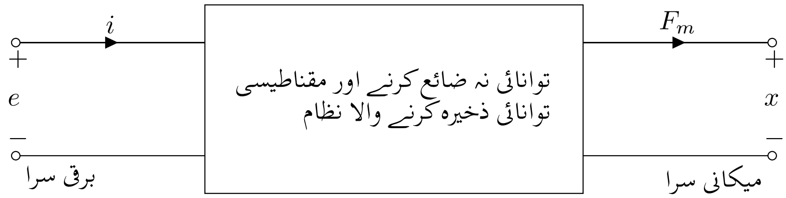
ان مساوات کا استعمال صرف سادہ ترین جگہوں ممکن ہوتا ہے۔ استعمال میں آنے والی مشین میں ان مساوات سے قوت کا تعین کرنا نہایت مشکل ثابت ہوتا ہے۔ اب ہم وہ طریقہ سیکھتے ہیں جس کی مدد سے ہم مختلف مشین میں قوت کا تعین کر سکیں گے۔ اس طریقہ کو توانائی کا طریقہ کہتے ہیں اور یہ توانائی کے اٹل ہونے پر مبنی ہے۔

گھومتی برقی مشین میں عموماً دو لچھے ہوتے ہیں۔ ان میں ایک لچھا مشین کے ساکن حصہ پہ لپٹا ہوتا ہے اور اسی لئے ساکن رہتا ہے۔ لہٰذا اس کو ساکن لچھا[5] کہتے ہیں ۔ دوسرا لچھا مشین کے گھومنے والے حصہ پہ لپٹا ہوتا ہے اور مشین گھومنے سے یہ بھی گھومتا ہے۔ لہٰذا اس کو گھومتا لچھا[6] کہتے ہیں۔ ایسے مشین کو اس طرح سمجھنا نہایت آسان ہے کہ ہم ان دو لچھوں کو دو مقناطیس سمجھیں۔ جس طرح دو مقناطیس اگر قریب لائے جائیں تو یہ کوشش کرتے ہیں کہ ایک کا شمال N دوسرے کے جنوب S کی سمت ہو۔

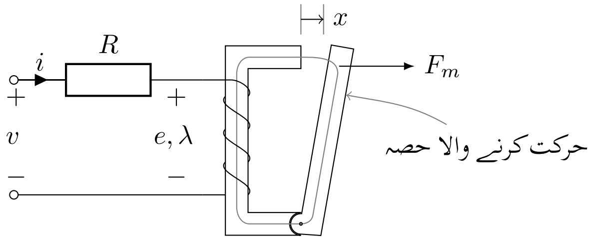
موٹر میں دونوں لچھے مقناطیس پیدا کرتے ہیں۔ ساکن لچھے کا مقناطیسی بہاو، گھومتے لچھے کے مقناطیسی بہاو سے کچھ آگے رہتا ہے اور اسے کھینچتا رہتا ہے۔ ایسا کرنے سے یہ کام کرتا ہے۔ جنریٹر میں اس کے برعکس گھومتا لچھا، ساکن لچھے پر کام کرتے ہوئے اس میں برقی دباو پیدا کرتا ہے۔

توانائی کے طریقے کو شکل 4.2 کی مدد سے سمجھا جا سکتا ہے۔یہاں مقناطیسی نظام کو ایک ڈبہ کی شکل میں دکھایا گیا ہے۔ اس کو برقی توانائی مہیا کی جاتی ہے جس سے یہ میکانی توانائی پیدا کرتا ہے۔ یہاں برقی توانائی کے دو متغیرہ e اور i ہیں اور میکانی توانائی کے متغیرہ فاصلہ x اور میدانی قوت[7] F_m ہیں۔ اس شکل میں بائیں جانب یعنی ابتدائی یا

[5] stator coil
[6] rotor coil
[7] میدانی قوت F_m میں چھوٹی لکھائی میں m لفظ میدانی کو ظاہر کر رہا ہے۔



شکل 4.2: برقی توانائی سے میکانی توانائی کے تبادلہ کا نظام۔



شکل 4.3: قوت پیدا کرنے والا آلا۔

اولین جانب i کا رُخ باہر سے اندر کی طرف ہے اور دائیں جانب یعنی ثانوی جانب F_m کا رُخ اندر سے باہر کی جانب ہے۔ یہ ٹرانسفارمر دور کے شکل 3.6 کی مانند ہے۔

اگر نظام میں توانائی کی ضیاع کو توانائی کے ذخیرہ ہونے سے علیحدہ کرنا ممکن ہو تو ایسی صورت میں توانائی کے ضیاع کو بیرونی رکن سے پیش کیا جاتا ہے۔ شکل 4.3 میں ایک ایسا ہی نظام دکھایا گیا ہے جس میں لچھا برقی نظام کو پیش کرتا ہے اور حرکت کرنے والا حصہ میکانی نظام کو پیش کرتا ہے۔ یہاں لچھے میں توانائی کے ضیاع کو، بیرونی مزاحمت R سے ظاہر کیا گیا ہے۔

توانائی کا بنیادی اصول کہتا ہے کہ توانائی نا تو پیدا کی جا سکتی ہے اور نا ہی اسے تباہ کیا جا سکتا ہے۔ اس کو صرف ایک قسم سے دوسرے قسم کی توانائی میں تبدیل کیا جا سکتا ہے۔ للہذا اسے جو برقی توانائی $\partial W_{\text{برقی}}$ دی جائے اس میں سے کچھ میکانی توانائی $\partial W_{\text{میکانی}}$ میں تبدیل ہو گی، کچھ مقناطیسی میدان میں ذخیرہ ہو گی یعنی $\partial W_{\text{مقناطیسی}}$ اور بقایا مختلف طریقوں سے ضائع $\partial W_{\text{ضائع}}$ ہو گی جو ہمارے کسی کام نہ آ سکے گی۔ یعنی

$$\partial W_{\text{برقی}} = \partial W_{\text{میکانی}} + \partial W_{\text{مقناطیسی}} + \partial W_{\text{ضائع}} \tag{4.5}$$

اگر برقی توانائی کے ضیاع کو نظرانداز کیا جائے تو

$$\partial W_{\text{برقی}} = \partial W_{\text{میکانی}} + \partial W_{\text{مقناطیسی}} \tag{4.6}$$

اس مساوات کو ∂t سے تقسیم کرنے سے حاصل ہوتا ہے

$$\frac{\partial W_{\text{برقی}}}{\partial t} = \frac{\partial W_{\text{میکانی}}}{\partial t} + \frac{\partial W_{\text{مقناطیسی}}}{\partial t} \tag{4.7}$$

یہ مساوات توانائی کی بجائے طاقت کی بات کرتا ہے۔ اگر ہم بائیں ہاتھ کی جانب یعنی برقی طاقت کو ei لکھیں اور دائیں ہاتھ کی جانب میکانی حصہ میں $F_m \partial x = \partial W_{\text{میکانی}}$ لکھیں تو

$$ei = F_m \frac{\partial x}{\partial t} + \frac{\partial W_m}{\partial t} \tag{4.8}$$

حاصل ہوتا ہے جہاں $W_{\text{مقناطیسی}}$ کو W_m لکھا گیا ہے۔مساوات 2.27 کے استعمال سے اسے یوں لکھا جا سکتا ہے۔

$$i\frac{\partial \lambda}{\partial t} = F_m \frac{\partial x}{\partial t} + \frac{\partial W_m}{\partial t} \tag{4.9}$$

یا

$$\partial W_m = i \partial \lambda - F_m \partial x \tag{4.10}$$

مساوات 4.10 توانائی کے طریقہ کی بنیاد ہے۔ یہ مساوات استعمال کرتے وقت یاد رہے کہ قوت بنیادی طور پر لورینز کے قانون[8] سے ہی پیدا ہوتی ہے۔مساوات 4.10 میں برقی متغیرہ i اور e کی بجائے i اور λ ہیں۔ لہٰذا شکل 4.2 کو شکل 4.4 کی طرح بھی بنایا جا سکتا ہے۔

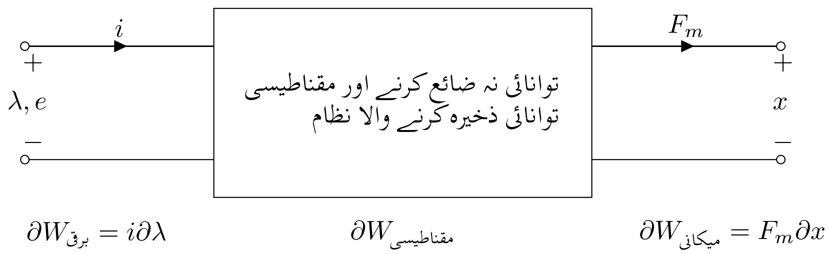
کسی بھی تفاعل[9] $z(x,y)$ کے لئے ہم لکھ سکتے ہیں

$$\partial z(x,y) = \frac{\partial z}{\partial x}\,\mathrm{d}x + \frac{\partial z}{\partial y}\,\mathrm{d}y \tag{4.11}$$

اسی طرح ہم $W_m(x,\lambda)$ کے لئے لکھ سکتے ہیں۔

$$\partial W_m(x,\lambda) = \frac{\partial W_m}{\partial x}\,\mathrm{d}x + \frac{\partial W_m}{\partial \lambda}\,\mathrm{d}\lambda \tag{4.12}$$

[8] Lorenz equation
[9] function



شکل 4.4: توانائی کی شکل تبدیل کرنے والا ایک نظام۔

اس مساوات اور مساوات 4.10 سے ہم اخذ کر سکتے ہیں کہ

$$F_m(x,\lambda) = -\left.\frac{\partial W_m(x,\lambda)}{\partial x}\right|_{\lambda_0} \tag{4.13}$$

$$i(x,\lambda) = \left.\frac{\partial W_m(x,\lambda)}{\partial \lambda}\right|_{x_0} \tag{4.14}$$

اگر ہم مقناطیسی میدان میں مقناطیسی توانائی $W_m(x,\lambda)$ معلوم کر سکیں تو مساوات 4.13 کو استعمال کر کے ہم قوت کا حساب لگا سکتے ہیں۔ ہم اگلے حصہ میں یہی کرتے ہیں۔

4.2 تبادلہ توانائی والا ایک لچھے کا نظام

شکل 4.3 میں ایک لچھے کا سادہ نظام دکھایا گیا ہے۔ لچھے میں برقی ضیاع کو بیرونی مزاحمت سے پیش کیا گیا ہے۔ میکانی نظام میں حرکت کرنے والے حصہ کے کمیت کو نظرانداز کیا گیا ہے۔ اگر اس کمیت کے اثر کا بھی حساب لگانا ہو تو اس کمیت کو ایک بیرونی کمیت تصور کیا جا سکتا ہے۔ اس طرح تبادلہ توانائی کے نظام پر غور کرنا آسان ہو جاتا ہے۔

قوت پیدا کرنے والے مشین میں حرکت ناگزیر ہے۔ عموماً حرکت تب ممکن ہوتی ہے جب مقناطیسی قالب میں خلاء ہو جو کم اور زیادہ ہو سکے۔ عموماً $\Re_a \gg \Re_c$ ہوتا ہے۔ لہٰذا جب بھی خلائی درز رکھنے والی مقناطیسی دور حل کرنی ہو، ہم $\Re_c$ کو نظرانداز کر سکتے ہیں۔ ایسا کرنے سے، جیسا مساوات 2.19 میں دیا گیا ہے، ہم مقناطیسی دباو τ اور مقناطیسی بہاو ϕ کو براہ راست متناسب لکھ سکتے ہیں۔ اسی طرح مساوات 2.29 کو اب ہم یوں لکھ سکتے ہیں

$$\lambda = L(x)i \tag{4.15}$$

اس مساوات میں امالہ کو $L(x)$ لکھ کر اس بات کی نشاندہی کی گئی ہے کہ یہ صرف اور صرف شکل 4.3 میں خلاء کی لمبائی x پر منحصر ہے۔

شکل 4.3 میں قوت F_m کی سمت میں طے ہونے والا فاصلہ x ہے۔ یوں میکانی کام $F_m \,\mathrm{d}x = \partial W_{\text{میکانی}}$ کے برابر ہو گا جبکہ $i \,\mathrm{d}\lambda = \partial W_{\text{برقی}}$۔ یوں شکل 4.3 کو مساوات 4.10 ظاہر کرتی ہے۔ اگر ہمیں مقناطیسی میدان میں ذخیرہ توانائی W_m معلوم کرنی ہو تو ہمیں مساوات 4.10 کا تکمل[10] لینا ہو گا۔ یعنی

$$\int \partial W_m = \int i(x,\lambda) \,\mathrm{d}\lambda - \int F_m(x,\lambda) \,\mathrm{d}x \tag{4.16}$$

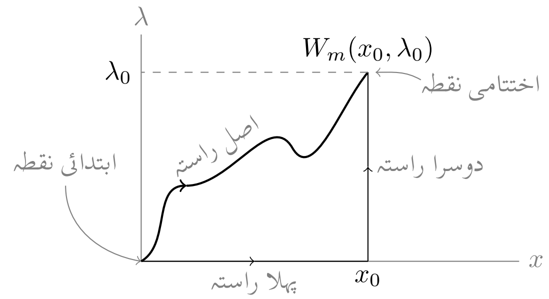
اس تکمل کا حصول شکل 4.5 سے واضح ہو گا۔ابتدائی نقطے پر مقناطیسی نظام کو کوئی برقی توانائی نہیں دی گئی۔ اس لئے اس میں برقی رو صفر ہے۔ برقی رو صفر ہونے کی وجہ سے مقناطیسی بہاو اور ارتباط بہاو بھی صفر ہے۔اسی وجہ سے مقناطیسی میدان میں مقناطیسی توانائی بھی صفر ہے۔یوں قوت اور حرکت بھی صفر ہے۔ یعنی ابتدائی نقطہ پر

$$i = \phi = \lambda = W_m = F_m = x = 0$$

ہے۔ابتدائی نقطہ شکل 4.5 میں دکھایا گیا ہے۔ ہم اب لچھے کو برقی توانائی فراہم کرتے ہیں۔ لچھے میں برقی رو رواں ہوتی ہے جس سے قوت اور حرکت پیدا ہوتی ہے۔ ہم آخر کار اختتامی نقطے پہ پہنچ جاتے ہیں۔اختتامی نقطہ بھی شکل میں دکھایا گیا ہے۔ اس نقطہ پہ $\lambda = \lambda_0$ اور $x = x_0$ ہے اور یہاں مقناطیسی میدان میں توانائی $W_m(x_0, \lambda_0)$ ہے۔ہم ابتدائی نقطہ سے اختتامی نقطہ تک پہنچنے کے لئے برقی توانائی کو یوں بڑھاتے ہیں کہ λ اور x شکل 4.5 میں موٹی لکیر سے دکھائے اصل راستے پر رہیں۔لہٰذا ہمیں آخری نقطہ پہ مقناطیسی میدان میں مقناطیسی توانائی $W_m(x_0, \lambda_0)$ معلوم کرنے کے لئے مساوات 4.16 کا اصل راستے پہ تکمل کرنا ہو گا۔ ایسا کرنا خاصا مشکل کام ہے۔ بجائے یہ ہم ایک بہتر راستہ اختیار کرتے ہیں۔

ہم اس حقیقت سے فائدہ اٹھاتے ہیں کہ مقناطیسی میدان ایک قدامت پسند میدان[11] ہے جس کا مطلب ہے کہ مقناطیسی میدان میں مقناطیسی توانائی صرف اور صرف اختتامی نقطہ کے x_0 اور λ_0 کی مقدار پر منحصر ہے[12]۔ اس کا مطلب یہ ہے کہ ہم جس راستے سے بھی آخری نقطہ تک پہنچیں ہمیں مقناطیسی میدان میں مقناطیسی توانائی یکساں ملے گی۔ لہٰذا ہم تکمل کرتے وقت شکل 4.5 میں ابتدائی نقطہ سے پہلے راستے چلتے ہیں اور جب ہم فاصلہ x_0 طے کر لیں

[10] integral
[11] conservative field
[12] تجاذبی میدان بھی قدامت پسند میدان ہے اسی لئے اگر کمیت m کو کسی بھی راستے h کی بلندی تک لے جایا جائے تو اس کی توانائی mgh ہو گی۔



شکل 4.5: مقناطیسی میدان میں توانائی۔

تو یہاں سے دوسرا راستہ اختیار کر کے اختتامی نقطہ (x_0,λ_0) پہ پہنچتے ہیں۔ لہٰذا ہم مساوات 4.16 کو اب دو ٹکڑوں میں لکھیں گے، نقطہ $(0,0)$ سے نقطہ $(x_0,0)$ تک اور پھر یہاں سے نقطہ (x_0,λ_0) تک

$$\int_{\text{اصل راستہ}} \partial W_m = \int_{\text{پہلا راستہ}} \partial W_m + \int_{\text{دوسرا راستہ}} \partial W_m \tag{4.17}$$

اس مساوات کی دائیں جانب جزو کو باری باری دیکھتے ہیں۔پہلے راستے تکمل کو یوں لکھا جا سکتا ہے۔

$$\int_{\text{پہلا راستہ}} \partial W_m = \int_0^0 i(x,0)\,\mathrm{d}\lambda - \int_0^{x_0} F_m(x,0)\,\mathrm{d}x \tag{4.18}$$

اس راستے جیسے شکل 4.5 سے ظاہر ہے اگر ہم $x=0$ سے $x=x_0$ تک چلیں تو اس پورے راستے پر λ صفر کے برابر ہی رہتا ہے۔ مساوات 4.18 میں اس بات کو برقی رو $i(x,0)$ اور قوت $F_m(x,0)$ لکھ کر واضح کیا گیا ہے۔ چونکہ λ کے شروع اور آخری مقدار برابر ہیں لہٰذا اس مساوات میں $\int_0^0 i(x,0)\,\mathrm{d}\lambda=0$ ہے۔

اگر $\lambda=0$ ہو تو مقناطیسی بہاو بھی صفر ہو گا۔ مقناطیسی بہاو کے صفر ہونے کا مطلب ہے کہ کوئی مقناطیسی اثر موجود نہیں لہٰذا قوت F_m بھی صفر ہو گا۔ اور ہم جانتے ہیں کہ صفر کا تکمل صفر ہی ہوتا ہے۔ لہٰذا اس مساوات میں $\int_0^{x_0} F_m(x,0)\,\mathrm{d}x=0$ ہو گا۔ یوں پہلے راستے پر تکمل یعنی مساوات 4.18 صفر کے برابر ہے یعنی

$$\int_{\text{پہلا راستہ}} \partial W_m = \int_0^0 i(x,0)\,\mathrm{d}\lambda - \int_0^{x_0} F_m(x,0)\,\mathrm{d}x = 0 \tag{4.19}$$

اسی طرح مساوات 4.17 کی دوسرے راستے کے تکمل کے جزو کو یوں لکھا جا سکتا ہے۔

$$\int_{\text{راستہ دوسرا}} \partial W_m = \int_0^{\lambda_0} i(x_0,\lambda)\,\mathrm{d}\lambda - \int_{x_0}^{x_0} F_m(x_0,\lambda)\,\mathrm{d}x \tag{4.20}$$

اس میں ہم دیکھتے ہیں کہ پورے راستے $x = x_0$ رہتا ہے۔ قوت کا تکمل صفر ہے چونکہ x کے ابتدائی اور اختتامی قیمتیں برابر ہیں۔ یعنی

$$\int_{x_0}^{x_0} F_m(x_0,\lambda)\,\mathrm{d}x = 0 \tag{4.21}$$

آخر میں رہ گیا برقی رو کا تکمل۔ مساوات 4.15 کو استعمال کرتے ہوئے

$$\int_0^{\lambda_0} i(x_0,\lambda)\,\mathrm{d}\lambda = \frac{1}{L(x_0)}\int_0^{\lambda_0}\lambda\,\mathrm{d}\lambda = \frac{\lambda_0^2}{2L(x_0)} \tag{4.22}$$

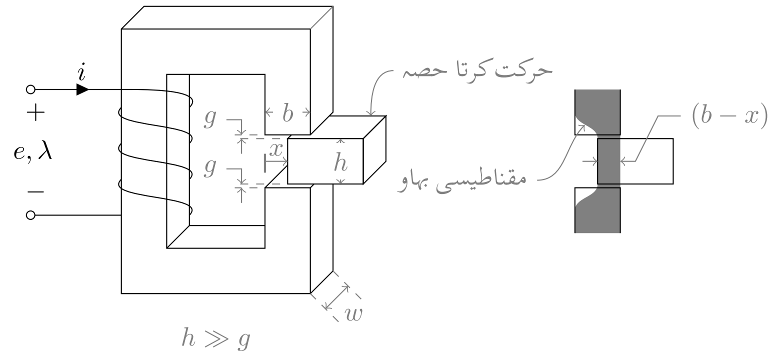
اس طرح ہمیں آخر کار مقناطیسی میدان میں توانائی کی مساوات حاصل ہو گئی۔

$$W = \frac{\lambda_0^2}{2L(x_0)} \tag{4.23}$$

اس مساوات کی مدد سے مساوات 4.13 کے ذریعہ قوت $F_m(x,\lambda)$ اور مساوات 4.14 کے ذریعہ برقی رو $i(x,\lambda)$ کا حساب اب ممکن ہے۔

مثال 4.2: شکل 4.6 میں حرکت کرنے والا ایک مقناطیسی نظام دکھایا گیا ہے۔ حرکت کرنے والے حصے اور ساکن حصے کے مابین خلائی درز g ہے۔ اگر $N = 500$، $g = 1\,\mathrm{mm}$، $b = 0.2\,\mathrm{m}$، $w = 0.4\,\mathrm{m}$ اور $i = 30\,\mathrm{A}$ ہوں تو اس خلائی درز میں توانائی W_m معلوم کریں۔

حل: چونکہ $g \ll h$ ہے لہٰذا مقناطیسی بہاو کا بیشتر حصہ حرکت کرتے حصے سے گزرے گا۔ ساکن حصے میں مقناطیسی بہاو خلائی درز کے قریب مڑ کر حرکت کرتے حصے میں سے گزرے گا۔ ہمیں معلوم ہے کہ $W_m = \frac{\lambda^2}{2L}$



شکل 4.6: حرکت اور توانائی۔

اور $L = \lambda i$ ہیں لہٰذا $W_m = \frac{1}{2}Li^2$ لکھا جا سکتا ہے جہاں $L = \frac{N^2\mu_0 A_g}{2g}$ اور $A_g = w(b-x)$ کے برابر ہیں۔یوں

$$
\begin{aligned}
W_m &= \frac{1}{2}\frac{N^2\mu_0 A_g}{2g}i^2 \\
&= \frac{1}{2} \times \frac{500^2 \times 4\pi 10^{-7} \times 0.4(0.2-x)}{2 \times 0.001} \times 30^2 \\
&= 28278(0.2-x)
\end{aligned}
$$

جاول کے برابر ہے۔

مثال 4.3: شکل 4.6 میں توانائی کے طریقہ سے قوت F_m معلوم کریں۔

حل: مساوات 4.13 کہتا ہے کہ $F_m = -\left.\frac{\partial W_m(x,\lambda)}{\partial x}\right|_{\lambda_0}$ ہے۔اس کا مطلب ہے کہ توانائی کے متغیرہ x اور λ ہونے چاہئے۔

مثال 4.2 میں ہم نے توانائی معلوم کی۔البتہ یہ معلوم کرنے کے لئے ہم نے λ کی بجائے $\lambda = Li$ استعمال کیا۔یوں توانائی کے متغیرہ x اور i بن گئے۔ ہم $W_m(x,i) = 28278(0.2-x)$ کو استعمال نہیں کر سکتے۔ ہمیں

$W_m(x,\lambda)$ چاہئے۔ درست طریقہ یہ ہے

$$W_m(x,\lambda)=\frac{\lambda^2}{2L}=\frac{\lambda^2}{2\left(\frac{N^2\mu_0 A_g}{2g}\right)}=\frac{g\lambda^2}{N^2\mu_0 w(b-x)}$$

اب اسے مساوات 4.13 میں استعمال کرتے ہوئے

$$\begin{aligned}F_m&=-\frac{\partial W_m(x,\lambda)}{\partial x}\\&=-\frac{g\lambda^2}{N^2\mu_0 w(b-x)^2}\end{aligned}$$

تفرق لینے کے بعد λ کی جگہ Li پُر کیا جا سکتا ہے۔یوں قوت

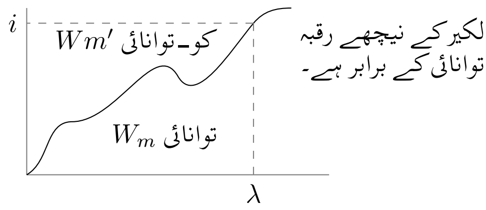
$$\begin{aligned}F_m&=-\frac{gL^2i^2}{N^2\mu_0 w(b-x)^2}\\&=-\frac{N^2\mu_0 wi^2}{4g}\\&=-28\,278\end{aligned}$$

نیوٹن حاصل ہوتا ہے۔منفی قوت کا مطلب ہے کہ قوت x کی اُلٹ جانب ہے یعنی حرکت کرنے والا حصہ اس جانب حرکت کرے گا جس جانب فاصلہ کم ہوتا ہو۔

4.3 توانائی اور کو-توانائی

شکل 4.7 میں λ اور i کے مابین ترسیم دکھایا گیا ہے۔ جیسا آپ دیکھ سکتے ہیں کہ لکیر کے نیچے رقبہ دراصل توانائی ہی ہے۔ اگر ہم اس ترسیم پر کوئی ایک نقطہ (λ, i) لیں اور اس نکتے سے ایک لکیر نیچے کی طرف اور دوسری لکیر بائیں جانب کھینچے تو ہمیں ایک مستطیل ملتا ہے جس کا رقبہ λi کے برابر ہو گا۔ اگر اس میں سے ہم توانائی W_m منفی کر لیں تو جو مقدار ملتی ہے اس کو کو-توانائی W'_m کہتے ہیں یعنی

$$W'_m=\lambda i-W_m \tag{4.24}$$



شکل 4.7: کو-توانائی کی تعریف۔

اس مساوات کے تدریجی تفرق[13]

$$\begin{aligned}\partial W'_m &= \partial(\lambda i) - \partial W_m \\ &= \lambda \partial i + i \partial \lambda - \partial W_m\end{aligned}$$

میں مساوات 4.10 کے استعمال سے

$$\partial W'_m = \lambda \partial i + i \partial \lambda - (i \partial \lambda - F_m \partial x)$$

یعنی

$$\partial W'_m = \lambda \partial i + F_m \partial x \tag{4.25}$$

حاصل ہوتا ہے۔

مساوات 4.11، 4.12، 4.13 اور 4.14 کی طرح یہاں بھی کسی بھی تفاعل $z(x,y)$ کا تدریجی فرق

$$\partial z(x,y) = \frac{\partial z}{\partial x}\,\mathrm{d}x + \frac{\partial z}{\partial y}\,\mathrm{d}y$$

ہے۔یوں ہم کو-توانائی $W'_m(x,i)$ کے لئے لکھ سکتے ہیں

$$\partial W'_m(x,i) = \frac{\partial W'_m}{\partial x}\,\mathrm{d}x + \frac{\partial W'_m}{\partial i}\,\mathrm{d}i \tag{4.26}$$

اس مساوات کو مساوات 4.25 کے سات دیکھیں تو

$$\lambda = \left.\frac{\partial W'_m}{\partial i}\right|_{x_0} \tag{4.27}$$

[13]partial differential

اور

$$F_m = \left.\frac{\partial W'_m}{\partial x}\right|_{i_0} \tag{4.28}$$

حاصل ہوتے ہیں۔ قوت معلوم کرنے کی یہ دوسری مساوات ہے۔ اس مساوات میں کو-توانائی استعمال ہوتی ہے جبکہ مساوات 4.13 میں توانائی کے ذریعہ قوت حاصل کی گئی۔

بالکل توانائی کے طریقہ سے ان مساوات کے تکمل سے حاصل ہوتا ہے

$$W'_m(i_0, x_0) = \int_0^{i_0} \lambda(i, x_0)\,\mathrm{d}i \tag{4.29}$$

جن نظام میں λ اور i تغیر راست ہوں اور جنہیں مساوات 2.29 کے تعلق سے پیش کیا جا سکے ان کے لئے اس مساوات کو مزید یوں حل کیا جا سکتا ہے۔

$$W'_m(i, x) = \int_0^{i} L(x) i\,\mathrm{d}i = \frac{L(x) i^2}{2} \tag{4.30}$$

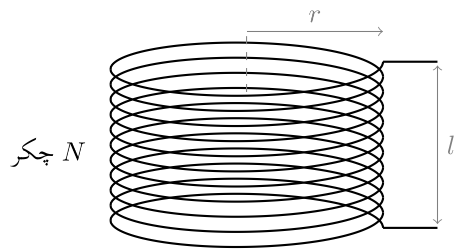
کچھ مسائل میں توانائی اور کچھ میں کو-توانائی کا استعمال زیادہ آسان ہوتا ہے۔

مثال 4.4: شکل 4.8 میں ایک پیچدار لچھا[14] دکھایا گیا ہے جس کی محوری لمبائی l، رداس r اور چکر N ہیں۔ایسے پیچدار لچھے کی مقناطیسی بہاو محوری سمت میں لچھے کے اندر ہی رہتی ہے۔ لچھے کے باہر مقناطیسی بہاو کی مقدار قابلِ نظر انداز ہوتی ہے۔یوں لچھے کے اندر محوری لمبائی کی سمت میں میدانی شدت $H \approx NI/l$ ہوتی ہے۔

ایسے پیچدار لچھے موصل دھاتوں کو امالی برقی توانائی کے ذریعہ پگھلانے کے لئے استعمال کئے جاتے ہیں۔میں اس طرح کی 100 کلوواٹ سے 1500 کلو واٹ برقی طاقت کی 100 کلو گرام سے 3000 کلو گرام لوہا پگھلانے کی **امالی برقی بھٹیاں**[15] بناتا رہا ہوں جو 500 ہرٹز سے 1200 ہرٹز کے درمیاں کام کرتی ہیں۔اس طرح کے پیچدار لچھے میں غیر موصل پیالے میں موصل دھات کے ٹکڑے ڈالے جاتے ہیں اور اس لچھے میں بدلتی رو گزاری جاتی ہے۔دھات میں بھنور نما امالی برقی رو اسے گرم کر کے پگھلا دیتی ہے۔لوہے کو یوں 1650 ڈگری **سلسیس**[16] تک گرم کیا جاتا ہے۔

---

[14] spiral coil
[15] high frequency, induction furnaces
[16] Celsius, Centigrade



شکل 4.8: پیچدار لچھا۔

- اس پیچدار لچھے پر معین برقی رو I_0 گزرنے کی صورت میں رداسی سمت میں میکانی دباو یعنی قوت فی مربع رقبہ معلوم کریں۔
- میری 3000 کلو گرام لوہا پگھلانے کی بھٹی کے پیچدار لچھے کی تفصیل کچھ یوں ہے۔

$$N = 11, \quad I_0 = 10\,000\,\mathrm{A}, \quad l = 0.94\,\mathrm{m}, \quad r = 0.49\,\mathrm{m}$$

اس پر رداسی سمت میں میکانی دباو، نیوٹن فی مربع میٹر، میں حاصل کریں۔

حل الف:

ہم کو-توانائی کا طریقہ استعمال کرتے ہیں۔

$$
\begin{aligned}
L &= \frac{\mu_0 N^2 \pi r^2}{l} \\
W'_m(r, i) &= \frac{L i^2}{2} = \frac{\mu_0 N^2 \pi r^2 I_0^2}{2l} \\
F &= \frac{\partial W'_m}{\partial r} = \frac{\mu_0 N^2 \pi r I_0^2}{l}
\end{aligned}
$$

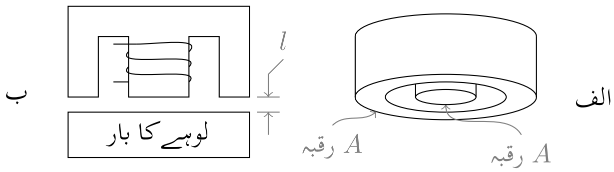
یہ مثبت قوت رداسی سمت میں باہر کی جانب ہے۔ لچھے کی گول سطح $A = 2\pi r l$ ہے۔ یوں میکانی دباو

$$\frac{F}{A} = \frac{\mu_0 N^2 \pi r I_0^2}{2\pi r l^2} = \frac{\mu_0 N^2 I_0^2}{2 l^2}$$

ہے۔

حل ب:

$$\frac{F}{A} = \frac{4\pi 10^{-7} \times 11^2 \times 10000^2}{2 \times 0.94^2} = 8605\,\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{m}^2}$$



شکل 4.9: برقی مقناطیس۔

مثال 4.5: 2000 کلوواٹ سے 3000 کلوواٹ کی لوہا پگھلانے کی بھٹیاں 30 ٹن[17] سے 70 ٹن لوہا روزانہ پگھلاتی ہیں۔[18] اتنا وزن ایک جگہ سے دوسری جگہ منتقل کرنے کی خاطر عموماً برقی مقناطیس استعمال ہوتا ہے۔ شکل 4.9-الف میں ایک ایسا ہی برقی مقناطیس دکھایا گیا ہے جس کی تفصیل کچھ یوں ہے۔

$$N = 300, \quad A = 0.8\,\mathrm{m}^2, \quad I = 30\,\mathrm{A}$$

اگر برقی مقناطیسی اور لوہے کے درمیان اوسط فاصلہ 2.5 سنٹی میٹر لیا جائے تو یہ برقی مقناطیسی کتنی کمیت لوہا اٹھا سکتی ہے۔

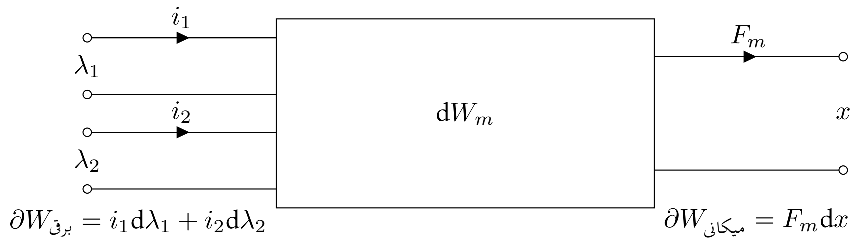
حل:

$$\begin{aligned}
L &= \frac{\mu_0 N^2 A}{2l} \\
W_m'(l,i) &= \frac{Li^2}{2} = \frac{\mu_0 N^2 A i^2}{4l} \\
F &= \frac{\partial W_m}{\partial l} = -\frac{\mu_0 N^2 A i^2}{4l^2} = -\frac{4\pi 10^{-7} \times 300^2 \times 0.8 \times 30^2}{4 \times 0.0254^2} = 31\,558\,\mathrm{N}
\end{aligned}$$

یوں یہ مقناطیس $\frac{31558}{9.8} = 3220\,\mathrm{kg}$ کمیت اٹھا سکتا ہے۔

---

[17] ہزار کلو گرام ایک ٹن کے برابر ہوتے ہیں۔
[18] یہ میں اپنے تجربے کی بنیاد پر کہہ رہا ہوں۔



شکل 4.10: دو لچھوں کا نظام۔

مثال 4.6: مثال 4.3 کو کو-توانائی کے طریقہ سے حل کریں۔

حل: مساوات 4.30 سے

$$W_m' = \frac{L(x)i^2}{2} = \frac{N^2\mu_0 w(b-x)i^2}{4g}$$

اور مساوات 4.28 سے

$$F_m = \frac{\partial W_m}{\partial x} = -\frac{N^2\mu_0 w i^2}{4g} = -28\,278\,\mathrm{N}$$

یہ اتنی ہی قوت ہے۔ہونا بھی ایسا ہی چاہیئے۔

4.4 زیادہ لچھوں کا مقناطیسی نظام

ابھی تک صرف ایک لچھے کے نظام کا مطالعہ کیا گیا ہے۔ اس حصہ میں ایک سے زیادہ لچھوں کے نظام کا مطالعہ کیا جائے گا۔ زیادہ لچھوں کا نظام بھی بالکل ایک لچھے کے نظام کی طرح حل ہوتے ہیں۔ شکل 4.10 میں بائیں جانب

ایک لچھے کا برقی رو i_1 اور دوسرے لچھے کا برقی رو i_2 ہے۔ لہٰذا

$$\partial W_{\text{برقی}} = i_1 \,\mathrm{d}\lambda_1 + i_2 \,\mathrm{d}\lambda_2 \tag{4.31}$$

$$\partial W_{\text{برقی}} = \partial W_{\text{میکانی}} + \partial W_m \tag{4.32}$$

$$i_1 \,\mathrm{d}\lambda_1 + i_2 \,\mathrm{d}\lambda_2 = F_m \,\mathrm{d}x + \partial W_m \tag{4.33}$$

لکھا جا سکتا ہے جہاں پہلی مساوات کو دوسری میں پُر کرتے ہوئے تیسری مساوات حاصل کی گئی جسے مزید یوں لکھ سکتے ہیں۔

$$\partial W_m(\lambda_1, \lambda_2, x) = i_1 \,\mathrm{d}\lambda_1 + i_2 \,\mathrm{d}\lambda_2 - F_m \,\mathrm{d}x \tag{4.34}$$

اب بالکل مساوات 4.11 کی طرح

$$\partial W_m(\lambda_1, \lambda_2, x) = \frac{\partial W_m}{\partial \lambda_1} \,\mathrm{d}\lambda_1 + \frac{\partial W_m}{\partial \lambda_2} \,\mathrm{d}\lambda_2 + \frac{\partial W_m}{\partial x} \,\mathrm{d}x \tag{4.35}$$

اس مساوات میں ہم نے دائیں طرف کی جگہ لکھا ہے۔ مساوات 4.34 اور 4.35 سے حاصل ہوتا ہے

$$i_1 = \left.\frac{\partial W_m(\lambda_1, \lambda_2, x)}{\partial \lambda_1}\right|_{\lambda_2, x} \tag{4.36}$$

$$i_2 = \left.\frac{\partial W_m(\lambda_1, \lambda_2, x)}{\partial \lambda_2}\right|_{\lambda_1, x} \tag{4.37}$$

$$F_m = \left.\frac{\partial W_m(\lambda_1, \lambda_2, x)}{\partial x}\right|_{\lambda_1, \lambda_2} \tag{4.38}$$

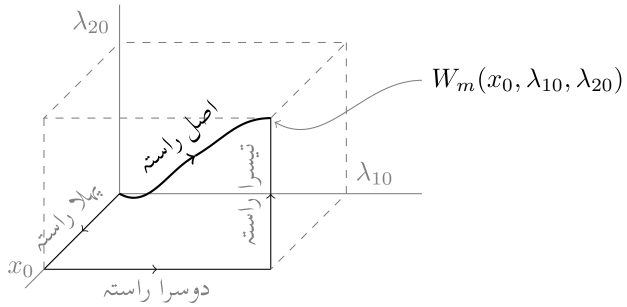
یہ مساوات تب استعمال ہو سکتے ہیں جب ہمیں توانائی W_m معلوم ہو لہٰذا ہم پہلے اسی کو معلوم کرتے ہیں۔

شکل 4.10 میں دونوں لچھوں کو اس طرح طاقت دی جاتی ہے کہ λ_1 اور λ_2 آہستہ آہستہ صفر سے بڑھتے ہوئے λ_{1_0} اور λ_{2_0} تک پہنچ جاتے ہیں اور ساتھ ہی ساتھ x صفر سے تبدیل ہو کر x_0 ہو جاتا ہے۔ اس اصل راستے کو شکل 4.11 میں موٹی لکیر سے ظاہر کیا گیا ہے۔ بالکل مساوات 4.17 کی طرح ہم لکھ سکتے ہیں۔

$$\int\limits_{\text{راستہ اصل}} \partial W_m = \int\limits_{\text{راستہ پہلا}} \partial W_m + \int\limits_{\text{راستہ دوسرا}} \partial W_m + \int\limits_{\text{راستہ تیسرا}} \partial W_m \tag{4.39}$$

ہم دائیں جانب کے تکمل کو باری باری حل کرتے ہیں۔

$$\int\limits_{\text{راستہ پہلا}} \partial W_m = \int_0^0 i_1 \,\mathrm{d}\lambda_1 + \int_0^0 i_2 \,\mathrm{d}\lambda_2 - \int_0^{x_0} F_m \,\mathrm{d}x \tag{4.40}$$



شکل 4.11: دو لچھوں کے نظام میں مقناطیسی میدان میں توانائی۔

اگر تکمل کے ابتدائی اور اختتامی نقطے ایک ہی ہوں تو تکمل صفر کے برابر ہوتا ہے لہٰذا

$$\int_0^0 i_1 \,\mathrm{d}\lambda_1 = \int_0^0 i_2 \,\mathrm{d}\lambda_2 = 0 \tag{4.41}$$

ہوں گے۔ پہلے راستے λ_1 اور λ_2 دونوں صفر ہیں۔ اس کا مطلب ہے کہ دونوں لچھوں میں برقی رو صفر ہے، لہٰذا مقناطیسی بہاو کی غیر موجودگی میں قوت $F_m = 0$ ہو گا اور صفر کا تکمل صفر ہی ہوتا ہے یعنی

$$\int_0^{x_0} F_m \,\mathrm{d}x = \int_0^{x_0} 0 \,\mathrm{d}x = 0 \tag{4.42}$$

اس طرح

$$\int_{\text{راستہ پہلا}} \partial W_m = 0 \tag{4.43}$$

حاصل ہوتا ہے۔ دوسرے راستے پر

$$\int_{\text{راستہ دوسرا}} \partial W_m = \int_0^{\lambda_{1_0}} i_1 \,\mathrm{d}\lambda_1 + \int_0^0 i_2 \,\mathrm{d}\lambda_2 - \int_{x_0}^{x_0} F_m \,\mathrm{d}x \tag{4.44}$$

جیسا پہلے ذکر کیا گیا کہ اگر تکمل کے ابتدائی اور اختتامی نقطے ایک ہی ہوں تو تکمل صفر کے برابر ہوتا ہے لہٰذا

$$\int_0^0 i_2 \,\mathrm{d}\lambda_2 = \int_{x_0}^{x_0} F_m \,\mathrm{d}x = 0 \tag{4.45}$$

ہوں گے جس سے

$$\int\limits_{\text{راستہ دوسرا}} \partial W_m = \int_0^{\lambda_{1_0}} i_1 \,\mathrm{d}\lambda_1 \tag{4.46}$$

رہ جاتا ہے۔ یہاں ہمیں مساوات 2.33، 2.36 اور 2.38 کی ضرورت پڑتی ہے۔ یہ تین مساوات مندرجہ ذیل ہیں

$$\lambda_1 = L_{11} i_1 + L_{12} i_2 \tag{4.47}$$
$$\lambda_2 = L_{21} i_1 + L_{22} i_2 \tag{4.48}$$
$$L_{12} = L_{21} \tag{4.49}$$

ان مساواتوں کو ہم i_1 اور i_2 کے لئے حل کریں تو حاصل ہوتا ہے۔

$$i_1 = \frac{L_{22}\lambda_1 - L_{12}\lambda_2}{D} \tag{4.50}$$
$$i_2 = \frac{L_{11}\lambda_2 - L_{21}\lambda_1}{D} \tag{4.51}$$

جہاں

$$D = L_{11}L_{22} - L_{12}L_{21} \tag{4.52}$$

کے برابر ہے۔ اب ہم مساوات 4.46 میں مساوات 4.50 پُر کرتے ہیں۔ چونکہ دوسرے راستے پہ λ_2 صفر ہے لہٰذا

$$\int_0^{\lambda_{1_0}} \left(\frac{L_{22}\lambda_1 - L_{12}\lambda_2}{D}\right) \mathrm{d}\lambda_1 = \frac{L_{22}}{D}\int_0^{\lambda_{1_0}} \lambda_1 \,\mathrm{d}\lambda_1 = \frac{L_{22}\lambda_{1_0}^2}{2D} \tag{4.53}$$

کے برابر ہے۔ یوں

$$\int\limits_{\text{راستہ دوسرا}} \partial W_m = \frac{L_{22}\lambda_{1_0}^2}{2D} \tag{4.54}$$

حاصل ہوتا ہے۔

اسی طرح تیسرے راستے پر

$$\int\limits_{\text{راستہ تیسرا}} \partial W_m = \int_{\lambda_{1_0}}^{\lambda_{1_0}} i_1 \,\mathrm{d}\lambda_1 + \int_0^{\lambda_{2_0}} i_2 \,\mathrm{d}\lambda_2 - \int_{x_0}^{x_0} F_m \,\mathrm{d}x \tag{4.55}$$

جیسا پہلے ذکر کیا گیا کہ اگر تکمل کے ابتدائی اور اختتامی نقطے ایک ہی ہوں تو تکمل صفر کے برابر ہوتا ہے لہٰذا

$$\int_{\lambda_{1_0}}^{\lambda_{1_0}} i_1 \,\mathrm{d}\lambda_1 = \int_{x_0}^{x_0} F_m \,\mathrm{d}x = 0 \tag{4.56}$$

ہوں گے اور بقایا حصے میں i_2 پُر کرتے ہوئے

$$\begin{aligned}\int_0^{\lambda_{2_0}} i_2 \,\mathrm{d}\lambda_2 &= \int_0^{\lambda_{2_0}} \left(\frac{L_{11}\lambda_2 - L_{21}\lambda_1}{D}\right) \mathrm{d}\lambda_2 \\ &= \frac{L_{11}\lambda_{2_0}}{2D} - \frac{L_{21}\lambda_{10}\lambda_{20}}{D}\end{aligned} \tag{4.57}$$

حاصل ہوتا ہے جس سے

$$\int_{\text{راستہ تیسرا}} \partial W_m = \frac{L_{11}\lambda_{2_0}^2}{2D} - \frac{L_{21}\lambda_{1_0}\lambda_{2_0}}{D} \tag{4.58}$$

ملتا ہے۔

مساوات 4.43، 4.54 اور 4.58 کو جمع کر کے مساوات 4.39 کا حل ملتا ہے۔

$$\int \partial W_m = \frac{L_{22}\lambda_{1_0}^2}{2D} + \frac{L_{11}\lambda_{2_0}^2}{2D} - \frac{L_{21}\lambda_{1_0}\lambda_{2_0}}{D} \tag{4.59}$$

اسی طرح اگر ہم کو-توانائی سے حل کرتے تو

$$\partial W'_m(x, i_1, i_2) = \lambda_1 \,\mathrm{d}i_1 + \lambda_2 \,\mathrm{d}i_2 + F_m \,\mathrm{d}x \tag{4.60}$$

جہاں

$$\lambda_1 = \left.\frac{\partial W'_m(x, i_1, i_2)}{\partial i_1}\right|_{x, i_2} \tag{4.61}$$

$$\lambda_2 = \left.\frac{\partial W'_m(x, i_1, i_2)}{\partial i_2}\right|_{x, i_1} \tag{4.62}$$

$$F_m = \left.\frac{\partial W'_m(x, i_1, i_2)}{\partial x}\right|_{i_1, i_2} \tag{4.63}$$

اسی طرح مساوات 4.59 کی جگہ کو-توانائی کے لئے حاصل ہوتا ہے

$$W'_m(x, i_1, i_2) = \frac{1}{2}L_{11}(x)i_1^2 + \frac{1}{2}L_{22}(x)i_2^2 + L_{12}(x)i_1 i_2 \tag{4.64}$$

جس سے قوت کی مساوات

$$F_m = \frac{i_1^2}{2}\frac{\mathrm{d}L_{11}(x)}{\mathrm{d}x} + \frac{i_2^2}{2}\frac{\mathrm{d}L_{22}(x)}{\mathrm{d}x} + i_1 i_2 \frac{\mathrm{d}L_{12}(x)}{\mathrm{d}x} \tag{4.65}$$

حاصل ہوتی ہے۔

مثال 4.7: شکل 4.10 میں میکانی کام کو $\partial W_{\text{میکانی}} = T_m \,\mathrm{d}\theta$ لکھ کر توانائی کے طریقہ سے حل کریں۔

حل:

$$\partial W_{\text{برقی}} = i_1 \,\mathrm{d}\lambda_1 + i_2 \,\mathrm{d}\lambda_2$$

اور $\partial W_{\text{میکانی}} = T_m \,\mathrm{d}\theta$ کو

$$\partial W_{\text{برقی}} = \partial W_{\text{میکانی}} + \partial W_m$$

میں پُر کرنے سے

$$\partial W_m = i_1 \,\mathrm{d}\lambda_1 + i_2 \,\mathrm{d}\lambda_2 - T_m \,\mathrm{d}\theta \tag{4.66}$$

حاصل ہوتا ہے۔ W_m کے جزوی تفرق

$$\partial W_m(\lambda_1, \lambda_2, \theta) = \frac{\partial W_m}{\partial \lambda_1}\,\mathrm{d}\lambda_1 + \frac{\partial W_m}{\partial \lambda_2}\,\mathrm{d}\lambda_2 + \frac{\partial W_m}{\partial \theta}\,\mathrm{d}\theta$$

کا مساوات 4.66 کے ساتھ موازنہ کرنے سے

$$i_1 = \left.\frac{\partial W_m(\lambda_1, \lambda_2, \theta)}{\partial \lambda_1}\right|_{\lambda_2, \theta} \tag{4.67}$$

$$i_2 = \left.\frac{\partial W_m(\lambda_1, \lambda_2, \theta)}{\partial \lambda_2}\right|_{\lambda_1, \theta} \tag{4.68}$$

$$T_m = -\left.\frac{\partial W_m(\lambda_1, \lambda_2, \theta)}{\partial \theta}\right|_{\lambda_1, \lambda_2} \tag{4.69}$$

حاصل ہوتے ہیں۔ان مساوات کا آخری جزو بالکل مساوات 4.34 کی طرح ہے۔اس کو حل کرنے کا ایک ایک قدم بالکل مساوات 4.34 کو حل کرنے کی طرح ہو گا بس فاصلہ x کی جگہ زاویہ θ آئے گا۔یوں جواب میں میدانی توانائی کے متغیرات $\lambda_1, \lambda_2, \theta$ ہوں گے یعنی۔

$$W_m(\lambda_{1_0}, \lambda_{2_0}, \theta_0) = \int W_m = \frac{L_{22}\lambda_{1_0}^2}{2D} + \frac{L_{11}\lambda_{2_0}^2}{2D} - \frac{L_{21}\lambda_{1_0}\lambda_{2_0}}{D} \tag{4.70}$$

اسی طرح کو-توانائی کے لئے جواب یہ ہے

$$\partial W_m'(i_1, i_2, \theta) = \lambda_1 \, \mathrm{d}i_1 + \lambda_2 \, \mathrm{d}i_2 + T_m \, \mathrm{d}\theta \tag{4.71}$$

$$\begin{aligned}
\lambda_1 &= \left. \frac{\partial W_m'(i_1, i_2, \theta)}{\partial i_1} \right|_{i_2, \theta} \\
\lambda_2 &= \left. \frac{\partial W_m'(i_1, i_2, \theta)}{\partial i_2} \right|_{i_1, \theta} \\
T_m &= \left. \frac{\partial W_m'(i_1, i_2, \theta)}{\partial \theta} \right|_{i_1, i_2}
\end{aligned} \tag{4.72}$$

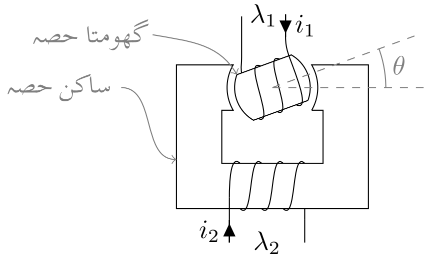
جہاں

$$W_m'(i_1, i_2, \theta) = \frac{1}{2} L_{11} i_1^2 + \frac{1}{2} L_{22} i_2^2 + L_{12} i_1 i_2 \tag{4.73}$$

ہے۔

مثال 4.8: شکل 4.12 میں دو لچھوں کا نظام دکھایا گیا ہے۔اس نظام کا ایک حصہ ساکن رہتا ہے اور دوسرا گھوم سکتا ہے۔افقی لکیر سے گھڑی کی اُلٹی جانب زاویہ θ ناپا جاتا ہے۔لچھوں کی خود امالہ اور مشترکہ امالہ مندرجہ ذیل ہیں۔

$$\begin{aligned}
L_{11} &= 20 + 30 \cos 2\theta \\
L_{22} &= (20 + 30 \cos 2\theta) \times 10^{-3} \\
L_{12} &= 0.15 \cos \theta
\end{aligned}$$



شکل 4.12: دو لچھوں کے نظام میں قوت مروڑ۔

برقی رو $i_1 = 0.02\,\mathrm{A}, i_2 = 5\,\mathrm{A}$ پر **قوت مروڑ** T_m معلوم کریں۔

حل: مساوات 4.73 سے کو-توانائی حاصل ہوتی ہے اور مساوات 4.72 کے آخری جزو سے قوت مروڑ یعنی

$$
\begin{aligned}
T_m = \frac{\partial W_m'}{\partial \theta} &= -30 i_1^2 \sin 2\theta - 30 \times 10^{-3} i_2^2 \sin 2\theta - 0.15 i_1 i_2 \sin\theta \\
&= -0.012 \sin 2\theta - 0.75 \sin 2\theta - 0.015 \sin\theta \\
&= -0.762 \sin 2\theta - 0.015 \sin\theta
\end{aligned}
$$

قوت مروڑ منفی ہونے کا مطلب ہے کہ یہ زاویہ کی اُلٹ سمت میں ہے۔یوں اگر آپ زاویہ بڑھائیں گے تو یہ نظام اسے کم کرنے کی جانب قوت مروڑ پیدا کرے گا اور اگر آپ زاویہ کم کرنے کی کوشش کریں تو یہ زاویہ بڑھانے کی جانب قوت مروڑ پیدا کرے گا۔سادہ زبان میں گھومتا حصہ اُفقی لکیر پر رہنے کی کوشش کرے گا۔

باب 5

گھومتے مشین کے بنیادی اصول

اس باب میں مختلف گھومتے مشین کے بنیادی اصول پر غور کیا جائے گا۔ظاہری طور پر مختلف مشین ایک ہی قسم کے اصولوں پر کام کرتے ہیں جنہیں اس باب میں اکٹھا کیا گیا ہے۔

5.1 قانونِ فیراڈے

فیراڈے کے قانون[1] کے تحت جب بھی ایک لچھے کا ارتباط بہاو λ وقت کے ساتھ تبدیل ہو تو اس لچھے میں برقی دباو پیدا ہوتا ہے۔ یعنی

$$e = -\frac{\partial \lambda}{\partial t} = -N\frac{\partial \phi}{\partial t} \tag{5.1}$$

گھومتے مشین میں ارتباط بہاو کی تبدیلی مختلف طریقوں سے لائی جاتی ہے۔ یا تو لچھے کو ساکن مقناطیسی بہاو میں گھمایا جاتا ہے، یا پھر ساکن لچھے میں مقناطیس گھمایا جاتا ہے، وغیرہ وغیرہ۔

[1] Faraday's law

لچھے مقناطیسی قالب[2] پر لپیٹے جاتے ہیں۔ اس طرح کم سے کم مقناطیسی دباو سے زیادہ سے زیادہ مقناطیسی بہاو حاصل کیا جاتا ہے اور لچھوں کے مابین مشترکہ مقناطیسی بہاو بڑھایا جاتا ہے۔ دیگر یہ کہ قالب کی شکل تبدیل کر کہ مقناطیسی بہاو کو ضرورت کی جگہ پہنچایا جاتا ہے۔

چونکہ ایسے مشین کے قالب میں مقناطیسی بہاو وقت کے ساتھ تبدیل ہوتا ہے لہٰذا قالب میں بھنور نما برقی رو[3] پیدا ہوتا ہے۔ ان بھنور نما برقی رو کو کم سے کم کرنے کی خاطر، قالب کو باریک لوہے کی پتری[4] تہہ در تہہ رکھ کر بنایا جاتا ہے ۔ یہ بالکل اسی طرح ہے جیسے ٹرانسفارمروں میں کیا جاتا ہے۔

5.2 معاصر مشین

شکل 5.1 میں معاصر برقی جنریٹر کا ایک بنیادی شکل دکھایا گیا ہے۔ اس کے قالب میں ایک مقناطیس ہے جو کہ گھوم سکتا ہے۔ مقناطیس کا مقام اس کے میکانی زاویہ θ_m سے بتلائی جاتی ہے۔ افقی لکیر سے گھڑی کے الٹ سمت زاویہ θ_m ناپا جاتا ہے۔

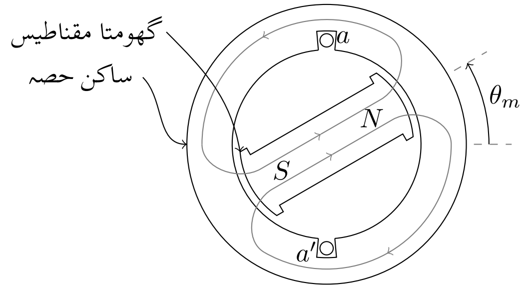
یہاں کچھ باتیں وضاحت طلب ہیں۔ اگر مقناطیس ایک مقررہ رفتار سے یوں گھوم رہا ہو کہ یہ ہر سیکنڈ میں n مکمل چکر لگائے تو ہم کہتے ہیں کہ مقناطیس کے گھومنے کی تعدد n ہرٹز[5] ہے۔اسی بات کو یوں بھی بیان کیا جاتا ہے کہ مقناطیس $60n$ چکر فی منٹ[6] کی رفتار سے گھوم رہا ہے۔ آپ جانتے ہیں کہ ایک چکر $360°$ زاویہ یا 2π ریڈیئن[7] پہ مشتمل ہوتا ہے۔ لہٰذا اسی گھومنے کی رفتار کو $2\pi n$ ریڈیئن فی سیکنڈ بھی کہا جا سکتا ہے۔اس بات کو اب ہم یوں بیان کر سکتے ہیں۔ اگر مقناطیس کے گھومنے کی تعدد f ہرٹز ہو تو یہ ω ریڈیئن فی سیکنڈ کی رفتار سے گھومتا ہے۔ جہاں

$$\omega = 2\pi f \tag{5.2}$$

اس کتاب میں گھومنے کی رفتار عموماً ریڈیئن فی سیکنڈ میں ہی بیان کی جائے گی۔

شکل 5.1 میں دکھائے گئے مشین میں مقناطیس کے دو قطب ہیں، اس لئے اس کو دو قطب والا مشین کہتے ہیں۔ اس مشین میں ایک ساکن لچھا استعمال ہوا ہے جس کی وجہ سے اس کو ایک لچھے کا مشین بھی کہتے ہیں۔ اس کے باہر

magnetic core[2]
eddy currents[3]
laminations[4]
Hertz[5]
rounds per minute, rpm[6]
radians[7]



شکل 5.1: دو قطب، ایک دور کا معاصر جنریٹر۔

مقناطیسی قالب ہے۔ قالب میں، اندر کی جانب دو شگاف ہیں، جن میں N چکر کا لچھا موجود ہے۔ لچھے کو a اور a' سے واضح کیا گیا ہے۔ چونکہ یہ لچھا جنریٹر کے ساکن حصہ پہ پایا جاتا ہے لہٰذا یہ بھی ساکن رہتا ہے اور اسی وجہ سے اسے ساکن لچھا[8] کہتے ہیں۔

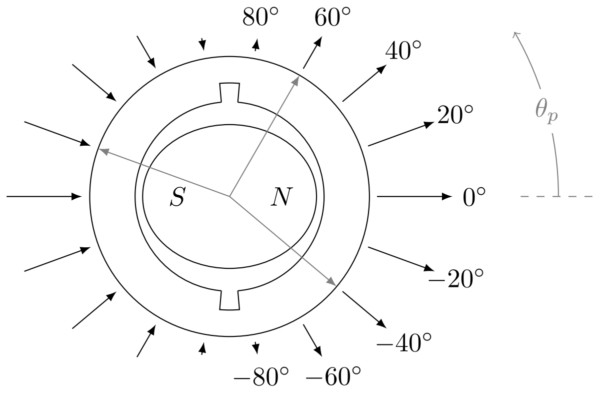
مقناطیس کا مقناطیسی بہاو اس کے شمالی قطب[9] N سے نکل کر خلائی درز میں سے ہوتا ہوا، باہر گول قالب میں سے گزر کر اور ایک مرتبہ پھر خلائی درز میں سے ہوتا ہوا مقناطیس کے جنوبی قطب[10] S میں داخل ہوتا ہے۔ اس مقناطیسی بہاو کو ہلکی سیاہی کے لکیروں سے دکھایا گیا ہے۔ اگر غور کیا جائے تو یہ مقناطیسی بہاو، سارا کا سارا، ساکن لچھے میں سے بھی گزرتا ہے۔

شکل 5.1 میں مقناطیس سیدھے سلاخ کی مانند دکھایا گیا ہے۔ شکل 5.2 میں اس مقناطیس کو تقریباً گول دکھایا گیا ہے۔ یہاں مقناطیس کے محور کا زاویہ θ_m صفر کے برابر ہے۔ مقناطیس اور ساکن قالب کے درمیان صفر زاویہ، یعنی $\theta = 0$، پر خلائی درز کی لمبائی کم سے کم اور نوے زاویہ، یعنی $|\theta| = 90°$، پہ زیادہ سے زیادہ ہے۔ کم خلائی درز سے زیادہ مقناطیسی بہاو ممکن ہوتا ہے۔ خلائی درز کو یوں تبدیل کیا جاتا ہے کہ خلائی درز میں سائن نما مقناطیسی بہاو پیدا ہو۔ مقناطیسی بہاو مقناطیس سے قالب میں عمودی زاویہ پہ داخل ہوتا ہے۔ اگر مقناطیس اور قالب کے درمیان خلائی درز میں B سائن نما ہو، یعنی

$$B = B_0 \cos \theta_p \tag{5.3}$$

تو خلائی درز میں مقناطیسی بہاو B کی مقدار θ_p کے ساتھ تبدیل ہو گی۔ یہ کثافتِ مقناطیسی بہاو صفر زاویہ، یعنی $\theta_p = 0$، پہ زیادہ سے زیادہ ہو گی اور نوے زاویہ، یعنی $|\theta_p| = 90°$، پہ صفر ہو گی۔ θ_p کو مقناطیس کے شمالی قطب سے

[8] stator coil
[9] north pole
[10] south pole



شکل 5.2: کثافتِ مقناطیسی بہاو کی زاویہ کے ساتھ تبدیلی۔

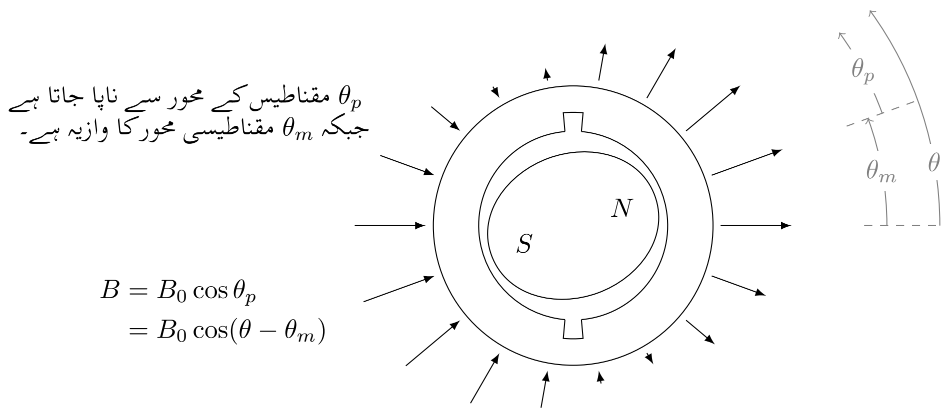
گھڑی کی اُلٹی سمت ناپا جاتا ہے۔ شکل 5.2 میں ساکن حصے کے باہر نوک دار لکیروں سے اس کثافتِ مقناطیسی بہاو کی مقدار اور اس کی سمت دکھائی گئی ہے۔ شکل میں ہلکی سیاہی سے $-40°$، $60°$ اور $160°$ زاویوں پر رداس کی سمت بھی دکھائی گئی ہے۔ جیسا کہ آپ دیکھ سکتے ہیں، $-40°$ اور $60°$ زاویوں پر مقناطیسی بہاو عین رداسی سمت میں ہے۔ اس کے برعکس زاویہ $160°$ پر مقناطیسی بہاو رداسی سمت کے عین الٹ ہے۔ یوں شکل سے آپ دیکھ سکتے ہیں کہ آدھے خلائی درز میں کثافتِ مقناطیسی بہاو رداس کی سمت میں ہے اور آدھے میں یہ رداس کے اُلٹ سمت میں ہے۔ یہ شکل میں دکھایا گیا ہے۔ اگر ہم خلائی درز میں کثافتِ مقناطیسی بہاو B اور زاویہ θ_p کا ترسیم کھینچیں تو یہ سائن نما ہو گا۔ شکل 5.3 میں مقناطیس کسی اور زاویہ پہ دکھایا گیا ہے۔ یہاں یہ سمجھ لینا ضروری ہے کہ کثافتِ مقناطیسی بہاو کی مقدار ہر حالت میں مقناطیس کے شمالی قطب پہ زیادہ سے زیادہ ہو گا اور یہاں اس کا رُخ رداس کی سمت میں ہو گا۔ شکل 5.3 میں خلائی درز میں کثافتِ مقناطیسی بہاو B، زاویے θ_p اور θ_m دکھائے گئے ہیں۔ اس شکل کے لئے ہم لکھ سکتے ہیں

$$\begin{aligned} B &= B_0 \cos \theta_p \\ \theta_p &= \theta - \theta_m \end{aligned} \tag{5.4}$$

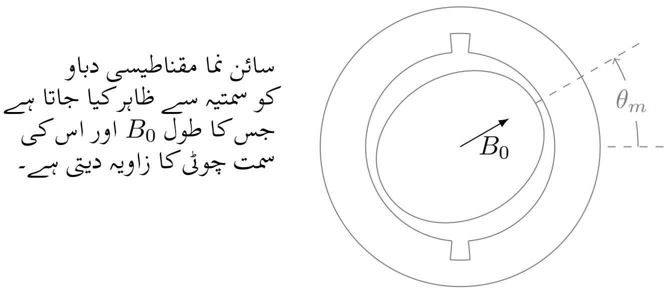
لہٰذا

$$B = B_0 \cos(\theta - \theta_m) \tag{5.5}$$

شکل 5.3 میں مقناطیس اور اس سے پیدا سائن نما مقناطیسی دباو دکھایا گیا ہے۔ ایسے مقناطیسی دباو کو ہم عموماً ایک



شکل 5.3: جب مقناطیس کسی زاویہ پہ ہو تو کثافتِ مقناطیسی بہاو یوں ہو گا

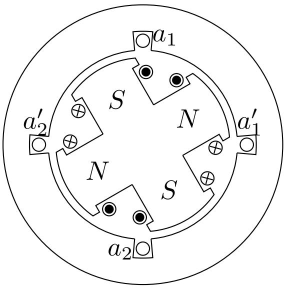


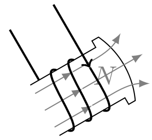
شکل 5.4: مقناطیسی دباو کو سمتیہ سے ظاہر کیا جاتا ہے۔

سمتیہ سے ظاہر کرتے ہیں جہاں سمتیہ کا طول مقناطیسی دباو کے حیطہ کے برابر ہوتا ہے اور اس کی سمت مقناطیس کی شمال کو ظاہر کرتا ہے۔ شکل 5.4 میں ایسا ہی دکھایا گیا ہے۔ یہ سمجھ لینا ضروری ہے کہ اس سمتیہ کی سمت سائن نما مقناطیسی دباو کے حیطہ کو واضح کرتا ہے۔

شکل 5.3 میں مقناطیس کو کسی ایک لمحہ t_1 زاویہ $\theta_m(t_1)$ پہ دکھایا گیا ہے۔ یہاں ساکن لچھے کا ارتباط بہاو λ_θ ہے۔ اگر مقناطیس، گھڑی کے الٹی سمت، ایک مقررہ رفتار ω_0 سے گھوم رہا ہو تو ساکن لچھے میں اس لمحہ $e(t)$ برقی دباو پیدا ہو گا جہاں

$$e(t) = \frac{\mathrm{d}\lambda_\theta}{\mathrm{d}t} \tag{5.6}$$





شکل 5.5: چار قطب والا ایک دور معاصر جنریٹر۔

کے برابر ہے۔چونکہ ہمیں برقی دباو کی قیمت نا کہ اس کے $\mp$ ہونے سے دلچسپی ہے لہٰذا اس مساوات میں منفی کی علامت کو نظر انداز کیا گیا ہے۔

جب مقناطیس آدھا چکر،یعنی π ریڈیئن، گھومے تو اس کے دونوں قطب آپس میں جگہیں تبدیل کر لیں گے۔ لچھے میں مقناطیسی بہاو کی سمت اُلٹی ہو جائے گی۔ ساکن لچھے میں ارتباط بہاو اب $-\lambda_\theta$ ہو جائے گا اور اس میں امالی برقی دباو $-e(t)$ ہو جائیں گے۔ اور جب مقناطیس ایک مکمل چکر کاٹے تو مقناطیس ایک مرتبہ پھر اسی جگہ ہو گا جہاں یہ شکل میں دکھایا گیا ہے۔ ساکن لچھے کا ارتباط بہاو ایک مرتبہ پھر λ_θ ہی ہو گا اور اس میں امالی برقی دباو بھی ایک مرتبہ پھر $e(t)$ ہی ہوں گے۔ یعنی مقناطیس اگر $\theta_m = 2\pi$ کا زاویہ طے کرے تو امالی برقی دباو کے زاویہ میں $\theta_e = 2\pi$ کی تبدیلی آتی ہے۔ لہٰذا دو قطب کی مشین میں میکانی زاویہ θ_m اور برقی زاویہ θ_e برابر ہوتے ہیں، یعنی

$$\theta_e = \theta_m$$

اس مشین میں اگر مقناطیس n چکر فی سیکنڈ کی رفتار سے گھومے تو لچھے میں امالی برقی دباو $e(t)$ بھی ایک سیکنڈ میں n مکمل چکر کاٹے گی۔ ہم کہتے ہیں کہ $e(t)$ کے **تعدد**[11] f_e کی مقدار n ہرٹز[12] ہے۔ یعنی اس صورت میں $f_e = n$ ہرٹز[13] یا ہم کسی بھی تعدد کے لئے لکھ سکتے ہیں

$$f_e = f_m$$

چونکہ اس مشین میں میکانی زاویہ θ_m اور برقی زاویہ θ_e وقت کے سات تبدیل ہوتے بھی آپس میں ایک نسبت رکھتے ہیں لہٰذا ایسے مشین کو معاصر مشین[14] کہتے ہیں۔ یہاں یہ نسبت ایک کی ہے۔

[11] frequency
[12] Hertz
[13] Hertz, Hz
[14] synchronous machine

شکل 5.5 میں چار قطب، ایک دور کا معاصر جنریٹر دکھایا گیا ہے۔ چھوٹے مشین میں عموماً مقناطیس ہی استعمال ہوتے ہیں۔ البتہ بڑے مشین میں برقی مقناطیس[15] استعمال ہوتے ہیں۔ شکل 5.5 میں ایسا ہی دکھایا گیا ہے۔ دو سے زیادہ قطب والے مشین میں کسی ایک شمالی قطب کو حوالہ متن بنایا جاتا ہے۔ شکل میں اس قطب کو θ_m پہ دکھایا گیا ہے اور یوں دوسرا شمالی قطب $(\theta_m + \pi)$ کے زاویہ پہ ہے۔

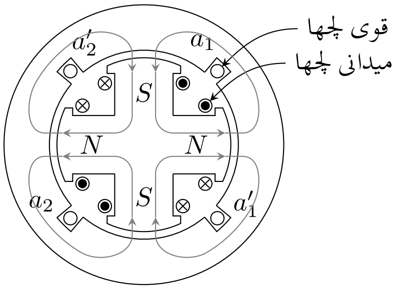
جیسا کہ نام سے واضح ہے، اس مشین میں موجود مقناطیس کے چار قطب ہیں۔ ہر ایک شمالی قطب کے بعد ایک جنوبی قطب آتا ہے۔ ایک دور کی آلوں میں مقناطیس کے جتنے قطب کے جوڑے ہوتے ہیں، اس میں اتنے ہی ساکن لچھے ہوتے ہیں۔ چونکہ شکل میں دیئے گئے مشین کے چار قطب یعنی دو جوڑے قطب ہیں، لہٰذا اس مشین کے ساکن حصہ پہ دو ساکن لچھے لپٹے گئے ہیں۔ ایک لچھے کو a_1 سے واضح کیا گیا ہے اور دوسرے کو a_2 سے۔ لچھے a_1 کو قالب میں موجود دو شگاف a_1 اور a'_1 میں لپیٹا گیا ہے۔ اسی طرح a_2 لچھے کو دو شگاف a_2 اور a'_2 میں رکھا گیا ہے۔ ان دونوں لچھوں میں یکساں برقی دباو پیدا ہوتی ہے۔ ان دونوں لچھوں کو سلسلہ وار[16] جوڑا جاتا ہے۔ اس طرح جنریٹر کی کل برقی دباو ایک لچھے میں پیدا برقی دباو کے دگنا ہوتا ہے۔ایک دور کے آلوں میں اگر قالب کو، مقناطیس کے جتنے قطب ہوں اتنے حصوں میں تقسیم کر لیا جائے، تو اس مشین کا ہر ایک ساکن لچھا ایسا ایک حصہ گھیرتا ہے۔ شکل میں چار قطب ہیں لہٰذا اس کا ایک لچھا نوے میکانی زاویہ کے احاطے کو گھیر رہا ہے۔

اب تک ہم نے گھومتے لچھے اور ساکن لچھے کی بات کی ہے۔یہ دو لچھے دراصل دو بالکل مختلف کارکردگی کے حامل ہوتے ہیں۔اس بات کی یہاں وضاحت کرتے ہیں۔

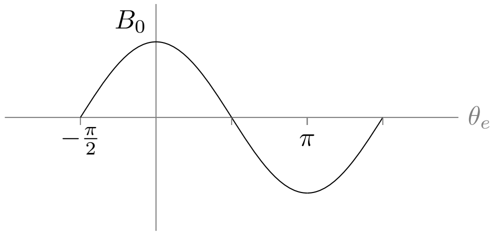
جیسا پہلے بھی ذکر ہوا چھوٹی گھومتی آلوں میں مقناطیسی میدان ایک مقناطیس ہی فراہم کرتی ہے جبکہ بڑے آلوں میں برقی مقناطیس یہ میدان فراہم کرتی ہے۔اگرچہ اب تک کی شکلوں میں مقناطیس کو گھومتے حصہ کے طور پر دکھایا گیا ہے مگر حقیقت میں یہ کبھی مشین کا گھومتا حصہ اور کبھی یہ اس کا ساکن حصہ ہوتا ہے۔ میدان فراہم کرنے والا لچھا مشین کے کل برقی طاقت کے چند فی صد برابر برقی طاقت استعمال کرتا ہے۔اس میدان فراہم کرنے والے لچھے کو میدانی لچھا[17] کہتے ہیں۔اس کے برعکس مشین میں موجود دوسری نوعیت کے لچھے کو قوی لچھا[18] کہتے ہیں۔ برقی جنریٹر سے حاصل برقی طاقت اس قوی لچھے سے ہی حاصل کیا جاتا ہے ۔ برقی موٹروں میں میدانی لچھے میں چند فی صد برقی طاقت کے خرچ کے علاوہ بقایا سارا برقی طاقت اسی قوی لچھے کو ہی فراہم کیا جاتا ہے۔

---

[15] electromagnet
[16] series connected
[17] field coil
[18] armature coil



شکل 5.6: چار قطب اور دو لچھے والے مشین میں مقناطیسی بہاو۔



شکل 5.7: سائن نما کثافتِ مقناطیسی بہاو۔

اب اگر ہم، گھومتے اور ساکن حصہ کے درمیان، خلائی درز میں B کو دیکھیں تو شمالی قطب سے مقناطیسی بہاو باہر کی جانب نکل کر قالب میں داخل ہوتا ہے جبکہ جنوبی قطب میں مقناطیسی بہاو قالب سے نکل کر جنوبی قطب میں اندر کی جانب داخل ہوتا ہے۔ یہ شکل 5.6 میں دکھایا گیا ہے۔ یوں اگر ہم اس خلائی درز میں ایک گول چکر کاٹیں تو مقناطیسی بہاو کی سمت دو مرتبہ باہر کی جانب اور دو مرتبہ اندر کی جانب ہو گی۔ مزید یہ کہ آلوں میں کوشش کی جاتی ہے کہ خلائی درز میں B سائن نما ہو۔ یہ کیسے کیا جاتا ہے، اس کو ہم آگے پڑھیں گے۔ لہٰذا اگر یہ تصور کر لیا جائے کہ B سائن نما ہی ہے تب خلائی درز میں B کی مقدار، شکل 5.7 کی طرح ہو گی۔اس شکل میں برقی زاویہ θ_e استعمال کیا گیا ہے۔

یوں ہم ایک ایسی معاصر مشین جس میں P قطب مقناطیس پایا جاتا ہو کے لئے لکھ سکتے ہیں

$$\theta_e = \frac{P}{2}\theta_m \tag{5.7}$$

$$f_e = \frac{P}{2}f_m \tag{5.8}$$

اس صورت میں میکانی اور برقی تعدد ایک مرتبہ پھر آپس میں ایک نسبت رکھتے ہیں۔

مثال 5.1: پاکستان میں گھروں اور کارخانوں میں 50 Hz کی برقی طاقت فراہم کی جاتی ہے یعنی ہمارے ہاں $f_e = 50$ ہے۔

- اگر یہ برقی طاقت دو قطب کے جنریٹر سے حاصل کی جائے تو یہ جنریٹر کس رفتار سے گھمایا جائے گا۔
- اگر جنریٹر کے بیس قطب ہوں تب یہ جنریٹر کس رفتار سے گھمایا جائے گا۔

حل:

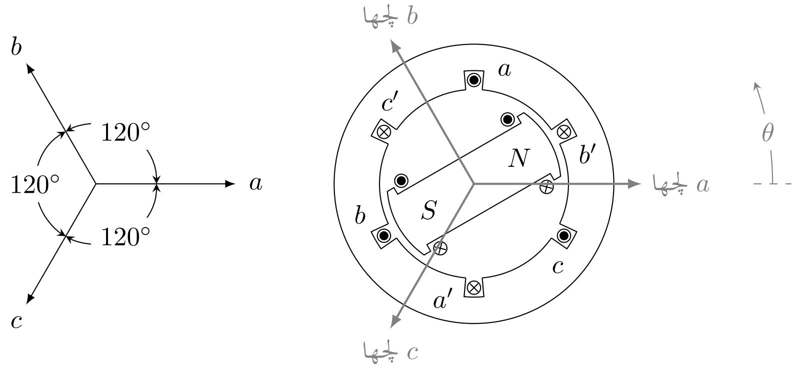
- مساوات 5.8 سے ہم دیکھتے ہیں کہ اگر یہ برقی طاقت دو قطب، $P = 2$، والے جنریٹر سے حاصل کی جائے تو اس جنریٹر کو $f_m = 50$ چکر فی سیکنڈ یعنی 3000 چکر فی منٹ[19] گھمانا ہو گا۔
- اگر یہی برقی طاقت بیس قطب، $P = 20$، والے جنریٹر سے حاصل کی جائے تو پھر اس جنریٹر کو $f_m = 5$ چکر فی سیکنڈ یعنی 300 چکر فی منٹ کی رفتار سے گھمانا ہو گا۔

اب یہ فیصلہ کس طرح کیا جائے کہ جنریٹر کے قطب کتنے رکھے جائیں۔ درحقیقت پانی سے چلنے والے جنریٹر سست رفتار جبکہ ٹربائن سے چلنے والے جنریٹر تیز رفتار ہوتے ہیں، لہٰذا پانی سے چلنے والے جنریٹر زیادہ قطب رکھتے ہیں جبکہ ٹربائن سے چلنے والے جنریٹر آپ کو دو قطب کے ہی ملیں گے۔

شکل 5.8 میں دو قطب والا تین دور کا معاصر مشین دکھایا گیا ہے۔اس میں تین ساکن لچھے ہیں۔ان میں ایک لچھا a ہے جو قالب میں شگاف a اور a' میں رکھا گیا ہے۔ اگر اس شکل میں باقی دو لچھے نہ ہوتے تو یہ بالکل شکل 5.1 میں دیا گیا مشین ہی تھا۔البتہ دیئے گئے شکل میں ایک کی بجائے تین ساکن لچھے ہیں۔

اگر a لچھا میں برقی رو یوں ہو کہ شگاف a میں برقی رو ، کتاب کے صفحہ سے عمودی رُخ میں باہر کی جانب ہو اور a' میں برقی رو کا رخ اس کے بالکل الٹ سمت میں ہو تو ہم لچھے کی سمت کا تعین دائیں ہاتھ کے ذریعہ یوں کرتے ہیں۔

[19] rpm, rounds per minute



شکل 5.8: دو قطب، تین دور معاصر مشین۔

- اگر ہم دائیں ہاتھ کی چار انگلیوں کو دونوں شگافوں میں برقی رو کی جانب لپٹیں تو اسی ہاتھ کا انگوٹھا لچھے کی سمت متعین کرتا ہے۔

شکل 5.8 میں لچھا a کی سمت تیر والی لکیر سے دکھائی گئی ہے۔ اس سمت کو ہم صفر زاویہ تصور کرتے ہیں۔ لہٰذا شکل میں a لچھا صفر زاویہ پر لپٹا گیا ہے، یعنی $\theta_a = 0^\circ$ ہے۔ باقی لچھوں کے زاویہ، لچھا a کی سمت سے، گھڑی کی اُلٹی رُخ، ناپے جاتے ہیں۔

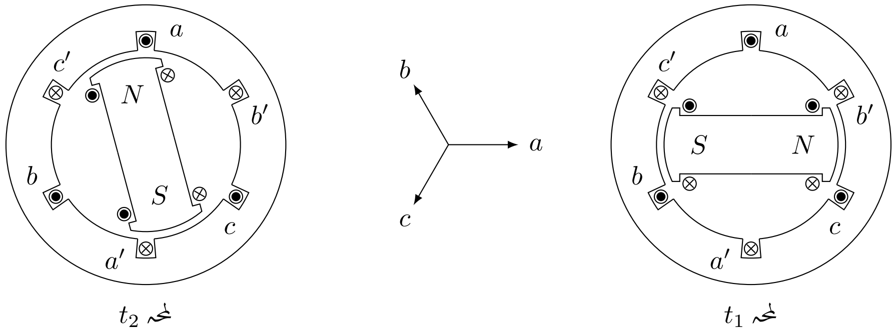
شکل 5.8 میں لچھا b کو شگاف b اور b' میں رکھا گیا ہے اور لچھا c کو شگاف c اور c' میں رکھا گیا ہے۔ مزید یہ کہ لچھا b کو 120° کے زاویہ پر اور لچھا c کو 240° زاویہ پر رکھا گیا ہے۔ یعنی $\theta_b = 120^\circ$ اور $\theta_c = 240^\circ$ ہیں۔

شکل 5.9 میں دکھائے گئے لمحہ t_1 پر اگر لچھے a کا ارتباط بہاو $\lambda_a(t_1)$ ہو تو جب مقناطیس 120° کا زاویہ طے کر لے، اس لمحہ t_2 پر لچھے b کا ارتباط بہاو $\lambda_b(t_2)$ ہو گا۔ ہم دیکھتے ہیں کہ لمحہ t_2 پر مقناطیس اور لچھا b آپس میں بالکل اسی طرح سے ہیں جیسے t_1 پر مقناطیس اور لچھا a تھے۔ لہٰذا لمحہ t_2 پر لچھا b کا ارتباط بہاو بالکل اتنا ہی ہو گا جتنا لمحہ t_1 پر a لچھا کا تھا۔ یعنی

$$\lambda_b(t_2) = \lambda_a(t_1) \tag{5.9}$$

اسی طرح اگر مقناطیس مزید 120° زاویہ طے کرے تو اس لمحہ t_3 پر لچھا c کا ارتباط بہاو $\lambda_c(t_3)$ ہو گا اور مزید یہ کہ یہ $\lambda_a(t_1)$ کے برابر ہو گا۔ یوں

$$\lambda_c(t_3) = \lambda_b(t_2) = \lambda_a(t_1) \tag{5.10}$$



شکل 5.9: دو قطب تین دور مشین۔

ہیں۔ان لمحات پر ان لچھوں میں

$$e_a(t_1) = \frac{\mathrm{d}\lambda_a(t_1)}{\mathrm{d}t} \tag{5.11}$$

$$e_b(t_2) = \frac{\mathrm{d}\lambda_b(t_2)}{\mathrm{d}t} \tag{5.12}$$

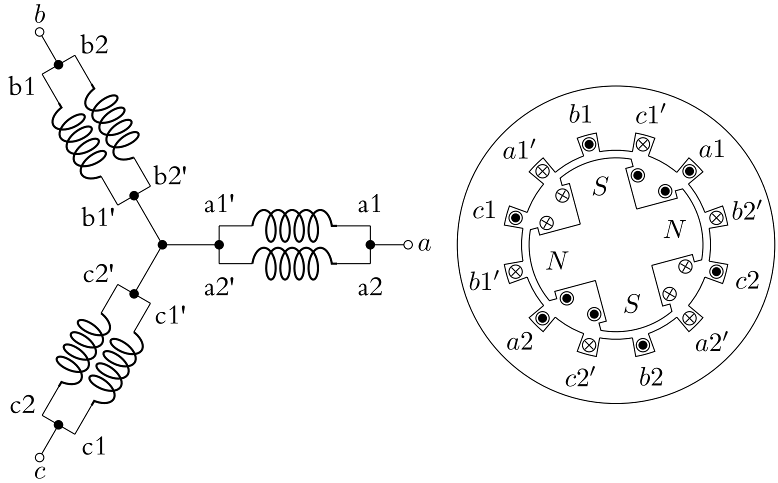
$$e_c(t_3) = \frac{\mathrm{d}\lambda_c(t_3)}{\mathrm{d}t} \tag{5.13}$$

ہوں گے۔مساوات 5.10 کی روشنی میں

$$e_a(t_1) = e_b(t_2) = e_c(t_3) \tag{5.14}$$

اگر شکل 5.9 میں صرف لچھا a پایا جاتا تو یہ بالکل شکل 5.1 کی طرح ہوتا اور اب اگر اس میں مقناطیس کو گھڑی کی اُلٹی سمت ایک مقررہ رفتار ω_0 سے گھمایا جاتا تو، جیسے پہلے تذکرہ کیا گیا ہے، لچھے a میں سائن نما برقی دباو پیدا ہوتی۔شکل 5.9 میں کسی ایک لچھے کو کسی دوسرے لچھے پر کوئی برتری حاصل نہیں۔ لہٰذا اب شکل 5.9 میں اگر مقناطیس اسی طرح گھمایا جائے تو اس میں موجود تینوں ساکن لچھوں میں سائن نما برقی دباو پیدا ہو گی البتہ مساوات 5.14 کے تحت یہ برقی دباو آپس میں $120°$ کے زاویہ پر ہوں گے۔

شکل 5.10 میں چار قطب، تین دور معاصر مشین دکھایا گیا ہے۔گھومتے حصے پر شمال اور جنوبی قطب باری باری پائے جاتے ہیں۔یوں شمال اور جنوب قطب کی ایک جوڑی $180°$ میکانی زاویہ طے کرتے ہیں۔یہی $360°$ برقی زاویہ بنتا ہے۔جیسا شکل 5.8 سے ظاہر ہے کہ ساکن حصے کے $360°$ برقی زاویہ پر تین دور کے لچھے نسب کئے جاتے ہیں۔یوں شکل 5.8 میں گھڑی کی الٹی سمت میں a، c'، b، a'، c اور b' اسی ترتیب سے پائے جاتے ہیں۔شکل 5.10



شکل 5.10: چار قطب، تین دور معاصر مشین۔

میں دو قطبین کے احاطے یعنی $180°$ میکانی زاویہ میں آپ کو بالکل اسی طرح تین دور کے $a1$، $c1'$، $b1$، $a1'$، $c1$ اور $c1'$ نظر آتے ہیں۔بقایا دو قطبین کے احاطے میں بھی بالکل اسی طرح آپ کو $a2$، $c2'$، $b2$، $a2'$، $c2$ اور $c2'$ نظر آتے ہیں۔ کسی بھی لمحہ $a1$ اور $a2$ لچھوں میں بالکل یکساں برقی دباو پیدا ہو گی۔ تین دور کے دو یکساں لچھوں کو سلسلہ وار یا متوازی جوڑ کر تین دور کی برقی دباو حاصل کی جاتی ہے۔ شکل میں انہیں متوازی جوڑ کر دکھایا گیا ہے جہاں a لچھے کو صفر زاویہ پر تصور کیا گیا ہے۔

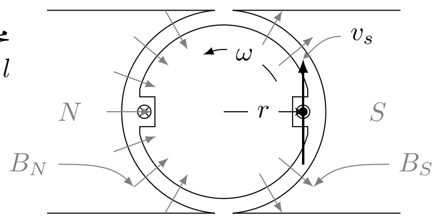
5.3 محرک برقی دباو

قانونِ لورینز[20] کے تحت اگر برقی بار[21] q مقناطیسی میدان $\boldsymbol{B}$ میں سمتی رفتار $\boldsymbol{v}$ سے حرکت کر رہا ہو تو اس پر قوت $\boldsymbol{F}$ اثر کرے گی جہاں

$$\boldsymbol{F} = q(\boldsymbol{v} \times \boldsymbol{B}) \tag{5.15}$$

کے برابر ہے۔

Lorentz law[20]
charge[21]



شکل 5.11: ایک چکر کا لچھا مقناطیسی میدان میں گھوم رہا ہے۔

یہاں سمتی رفتار سے مراد برقی بار کی سمتی رفتار ہے لہٰذا مقناطیسی میدان کو ساکن تصور کر کے اس میں برقی بار کی سمتی رفتار $\boldsymbol{v}$ ہو گی۔

اس قوت کی سمت دائیں ہاتھ کے قانون سے معلوم کی جاتی ہے۔اگر یہ برقی بار شروع کے نقطہ سے آخری نقطہ تک سمتی فاصلہ $\boldsymbol{l}$ طے کرے تو اس پر W کام ہو گا جہاں

$$W = \boldsymbol{F} \cdot \boldsymbol{l} = q(\boldsymbol{v} \times \boldsymbol{B}) \cdot \boldsymbol{l} \tag{5.16}$$

اکائی مثبت برقی بار کو ایک نقطہ سے دوسرے نقطہ منتقل کرنے کے لئے درکار کام کو ان دو نقطوں کے مابین **برقی دباو**[22] کہتے ہیں اور اس کی اکائی **وولٹ**[23] V ہے۔یوں اس مساوات سے ان دو نقطوں کے مابین حاصل برقی دباو

$$e = \frac{W}{q} = (\boldsymbol{v} \times \boldsymbol{B}) \cdot \boldsymbol{l} \tag{5.17}$$

وولٹ ہو گی۔

اس طرح حرکت کی مدد سے حاصل برقی دباو کو **محرک برقی دباو**[24] کہتے ہیں۔ روایتی طور پر کسی بھی طریقہ سے حاصل برقی دباو کو محرک برقی دباو کہتے ہیں۔ یوں کیمیائی برقی سیل وغیرہ کی برقی دباو بھی محرک برقی دباو کہلاتی ہے۔

اس مساوات کو شکل 5.11 میں استعمال کرتے ہیں۔ گھومتے حصہ پر ایک چکر کا لچھا نسب ہے۔بائیں جانب خلاء میں لچھے کی برقی تار پر غور کریں۔مساوات 5.15 کے تحت اس تار میں موجود مثبت برقی بار پر صفحہ کی عمودی سمت میں باہر کی جانب قوت اثر انداز ہو گی اور اس میں موجود منفی برقی بار پر اس کی اُلٹ سمت قوت عمل کرے گی۔اسی طرح مساوات 5.17 کے تحت صفحہ سے باہر جانب برقی تار کا سرا برقی دباو e کا مثبت سرا ہو گا اور صفحہ کی اندر جانب برقی تار کا سرا برقی دباو e کا منفی سرا ہو گا۔

[22] potential difference, voltage
[23] volt
[24] electromotive force, emf

اگر گھومتے حصہ کی محور پر نلکی محدد قائم کی جائے تو جنوبی مقناطیسی قطب کے سامنے خلاء میں $\boldsymbol{B}$ رداس کی سمت میں ہے جبکہ شمالی مقناطیسی قطب کے سامنے خلاء میں $\boldsymbol{B}$ رداس کی اُلٹ سمت میں ہے۔یوں جنوبی قطب کے سامنے شگاف میں برقی تار $\boldsymbol{l}_S$ کے لئے ہم لکھ سکتے ہیں

$$\begin{aligned}
\boldsymbol{v}_S &= v\boldsymbol{a}_\theta = \omega r\boldsymbol{a}_\theta \\
\boldsymbol{B}_S &= B\boldsymbol{a}_\mathrm{r} \\
\boldsymbol{l}_S &= l\boldsymbol{a}_\mathrm{z}
\end{aligned} \tag{5.18}$$

لہٰذا اس جانب لچھے کی ایک تار میں پیدا محرک برقی دباو

$$\begin{aligned}
e &= (\boldsymbol{v} \times \boldsymbol{B}) \cdot \boldsymbol{l} \\
&= \omega r B l(\boldsymbol{a}_\theta \times \boldsymbol{a}_\mathrm{r}) \cdot \boldsymbol{a}_\mathrm{z} \\
&= \omega r B l(-\boldsymbol{a}_\mathrm{z}) \cdot \boldsymbol{a}_\mathrm{z} \\
&= -\omega r B l
\end{aligned} \tag{5.19}$$

ہو گی۔

جنوبی مقناطیسی قطب کے سامنے شگاف میں برقی تار کی لمبائی کی سمت $\boldsymbol{a}_\mathrm{z}$ لی گئی ہے۔اس مساوات میں برقی دباو کے منفی ہونے کا مطلب ہے کہ برقی تار کا مثبت سرا $-\boldsymbol{a}_\mathrm{z}$ کی سمت میں ہے یعنی اس کا نچلا سرا مثبت اور اوپر والا سرا منفی ہے۔یوں اگر اس برقی تار میں برقی رو گزر سکے تو اس کی سمت $-\boldsymbol{a}_\mathrm{z}$ یعنی صفحہ کی عمودی سمت میں اندر کی جانب ہو گی جسے شگاف میں دائرہ کے اندر صلیبی نشان سے ظاہر کیا گیا ہے۔

اسی طرح شمالی مقناطیسی قطب کے سامنے شگاف میں موجود برقی تار کے لئے ہم لکھ سکتے ہیں

$$\begin{aligned}
\boldsymbol{v}_N &= v\boldsymbol{a}_\theta = \omega r\boldsymbol{a}_\theta \\
\boldsymbol{B}_N &= -B\boldsymbol{a}_\mathrm{r} \\
\boldsymbol{l}_N &= l\boldsymbol{a}_\mathrm{z}
\end{aligned} \tag{5.20}$$

اور یوں

$$\begin{aligned}
e_N &= (\boldsymbol{v}_N \times \boldsymbol{B}_N) \cdot \boldsymbol{l}_N \\
&= -\omega r B l(\boldsymbol{a}_\theta \times \boldsymbol{a}_\mathrm{r}) \cdot \boldsymbol{a}_\mathrm{z} \\
&= -\omega r B l(-\boldsymbol{a}_\mathrm{z}) \cdot \boldsymbol{a}_\mathrm{z} \\
&= \omega r B l
\end{aligned} \tag{5.21}$$

شمالی مقناطیسی قطب کے سامنے شگاف میں برقی تار کی لمبائی کی سمت $\boldsymbol{a}_{\mathrm{z}}$ لی گئی ہے۔اس مساوات میں برقی دباو کے مثبت ہونے کا مطلب ہے کہ برقی تار کا مثبت سرا $\boldsymbol{a}_{\mathrm{z}}$ کی سمت میں ہے یعنی اس کا اوپر والا سرا مثبت اور نچلا سرا منفی ہے۔یوں اگر اس برقی تار میں برقی رو گزر سکے تو اس کی سمت $\boldsymbol{a}_{\mathrm{z}}$ یعنی صفحہ کی عمودی سمت میں باہر کی جانب ہو گی جسے شگاف میں دائرہ کے اندر نقطہ کے نشان سے دکھایا گیا ہے۔

یہ دو برقی تار مل کر ایک چکر کا لچھا بناتے ہیں۔ ان دونوں کے نچلے سرے سلسلہ وار جڑے ہیں جو شکل میں نہیں دکھایا گیا۔یوں اس لچھے کے اوپر نظر آنے والے سروں پر کل برقی دباو e ان دو برقی تاروں میں پیدا برقی دباو کا مجموعہ ہو گا یعنی

$$\begin{aligned} e &= 2rlB\omega \\ &= AB\omega \end{aligned} \tag{5.22}$$

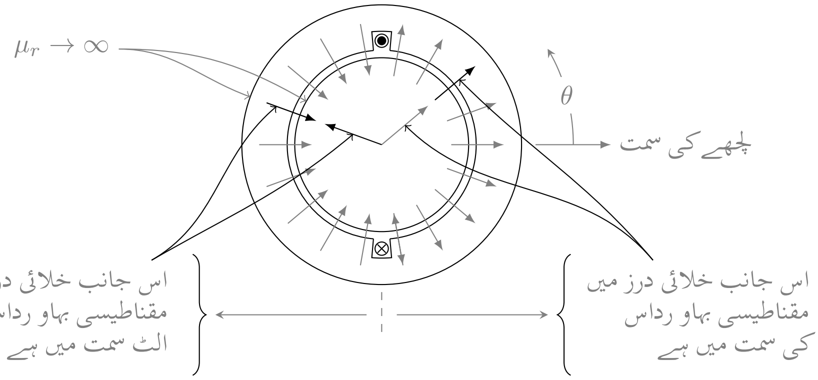
یہاں لچھے کا رقبہ $A = 2rl$ ہے۔اگر ایک چکر سے اتنی برقی دباو حاصل ہوتی ہے تو N چکر کے لچھے سے

$$\begin{aligned} e &= \omega NAB \\ &= 2\pi fNAB \\ &= 2\pi fN\phi \end{aligned} \tag{5.23}$$

حاصل ہو گا۔

گھومتی آلوں میں خلائی درز میں $\boldsymbol{B}$ اور $\boldsymbol{v}$ ہر لمحہ عمودی ہوتے ہیں۔مساوات 5.17 سے ظاہر ہے کہ اگر گھومنے کی رفتار اور محوری لمبائی معین ہوں تو پیدا کردہ برقی دباو ہر لمحہ B کے براہِ راست متناسب ہو گا۔لہٰذا اگر خلائی درز میں زاویہ کے ساتھ B تبدیل ہو تو گھومتے لچھے میں پیدا برقی دباو بھی زاویہ کے ساتھ تبدیل ہو گا۔یوں جس شکل کی برقی دباو حاصل کرنی ہو اُسی شکل کی کثافتِ مقناطیسی دباو خلائی درز میں پیدا کرنی ہو گی۔اگر سائن نما برقی دباو پیدا کرنی مقصد ہو تو خلائی درز میں محیط پر سائن نما کثافتِ مقناطیسی بہاو ضروری ہے۔

اگلے حصے میں خلائی درز میں ضرورت کے تحت B پیدا کرنے کی ترکیب بتلائی جائے گی۔



شکل 5.12: ساکن لچھا گچھ کی شکل میں ہے۔

5.4 پھیلے لچھے اور سائن نما مقناطیسی دباو

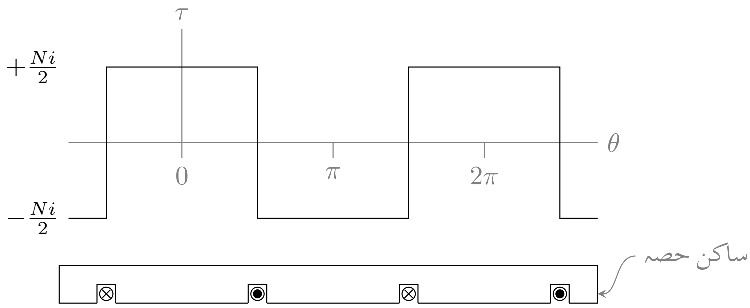
ہم نے اب تک جتنے مشین دیکھے ان سب میں گچھ[25] لچھے دکھائے گئے۔ مزید یہ کہ ان آلوں میں گھومتے حصے پہ موجود مقناطیس کے ابھرے قطب[26] تھے۔ درحقیقت آلوں کے عموماً ہموار قطب[27] ہوتے ہیں اور ان میں **پھیلے لچھے**[28] پائے جاتے ہیں۔ ایسا کرنے سے ہم ساکن اور گھومتے حصوں کے درمیان خلائی درز میں سائن نما مقناطیسی دباو اور سائن نما کثافتِ مقناطیسی بہاو پیدا کر سکتے ہیں۔

شکل 5.12 میں ایک لچھا گچھ کی شکل کا دکھایا گیا ہے۔اس کے گھومنے والا حصہ گول شکل کا ہے اور اس کا $\mu_r \to \infty$ ہے۔ساکن حصے کا بھی $\mu_r \to \infty$ ہے۔ لچھے کا مقناطیسی دباو $\tau = Ni$ ہے۔ یہ مقناطیسی دباو، مقناطیسی بہاو ϕ کو جنم دیتا ہے جس کو ہلکی سیاہی کی لکیروں سے ظاہر کیا گیا ہے۔ مقناطیسی بہاو کو لچھے کے گرد ایک چکر کاٹتے خلائی درز میں سے دو مرتبہ گزرنا پڑتا ہے۔ لہٰذا

$$\tau = Ni = 2Hl_a \tag{5.24}$$

---

[25] non-distributed coils
[26] salient poles
[27] non-salient poles
[28] distributed winding



شکل 5.13: پھیلے لچھے کی خلائی درز میں مقناطیسی دباو۔

یوں ساکن لچھے کا آدھا مقناطیسی دباو ایک خلائی درز اور آدھا دوسرے خلائی درز میں مقناطیسی بہاو پیدا کرتا ہے۔ مزید یہ کہ خلائی درز میں کہیں پہ مقناطیسی دباو (اور مقناطیسی بہاو)، رداس[29] کی سمت میں ہیں اور کہیں پہ خلائی درز میں مقناطیسی دباو (اور مقناطیسی بہاو)، رداس کی اُلٹی سمت میں ہیں۔ اگر ہم رداس کی سمت کو مثبت لیں تو مقناطیسی بہاو (اور مقناطیسی دباو) $\frac{\pi}{2} > \theta > \frac{\pi}{2}-$ کے درمیان رداس ہی کی سمت میں ہیں لہٰذا یہاں یہ مثبت ہیں جبکہ باقی جگہ مقناطیسی دباو (اور مقناطیسی بہاو) رداس کی اُلٹ سمت میں ہیں لہٰذا یہاں یہ منفی ہیں۔ ایسا ہی شکل 5.13 میں دکھایا گیا ہے۔ اس شکل میں خلائی درز میں مقناطیسی دباو کو زاویہ کے ساتھ ترسیم کیا گیا ہے۔ $-\frac{\pi}{2} < \theta < \frac{\pi}{2}$ کے درمیان خلائی درز میں مقناطیسی دباو τ_a لچھے کے مقناطیسی دباو τ کا آدھا ہے اور اس کی سمت مثبت ہے جبکہ $\frac{\pi}{2} < \theta < \frac{3\pi}{2}$ کی درمیان خلائی درز میں مقناطیسی دباو لچھے کے مقناطیسی دباو کے آدھا ہے اور اس کی سمت منفی ہے۔ یاد رہے کہ مقناطیسی دباو کی سمت کا تعین رداس کی سمت سے کیا جاتا ہے۔

5.4.1 بدلتی رو والے مشین

بدلتی رو (اے سی) مشین بناتے وقت یہ کوشش کی جاتی ہے کہ خلائی درز میں مقناطیسی دباو سائن نما ہو۔ایسا کرنے کی خاطر لچھوں کو ایک سے زیادہ شگافوں میں تقسیم کیا جاتا ہے۔ اس سے سائن نما مقناطیسی دباو کیسے حاصل ہوتی ہے، اس بات کی یہاں وضاحت کی جائے گی۔

[29] radius

فوریئر تسلسل[30] کے تحت ہم کسی بھی تفاعل[31] $f(\theta_p)$ کو یوں لکھ سکتے ہیں۔

$$f(\theta_p)=\sum_{n=0}^{\infty}(a_n\cos n\theta_p+b_n\sin n\theta_p) \tag{5.25}$$

اگر اس تفاعل کا دوری عرصہ[32] T ہو تب

$$\begin{aligned}a_0&=\frac{1}{T}\int_{-T/2}^{T/2}f(\theta_p)\,\mathrm{d}\theta_p\\a_n&=\frac{2}{T}\int_{-T/2}^{T/2}f(\theta_p)\cos n\theta_p\,\mathrm{d}\theta_p\\b_n&=\frac{2}{T}\int_{-T/2}^{T/2}f(\theta_p)\sin n\theta_p\,\mathrm{d}\theta_p\end{aligned} \tag{5.26}$$

کے برابر ہوں گے۔

مثال 5.2: شکل 5.13 میں دیئے گئے مقناطیسی دباو کا

- فوریئر تسلسل حاصل کریں۔
- تیسری موسیقائی جز[33] اور بنیادی جز[34] کی نسبت معلوم کریں۔

حل:

- مساوات 5.26 کی مدد سے

---

[30] Fourier series
[31] function
[32] time period
[33] third harmonic component
[34] fundamental component

$$
\begin{aligned}
a_0 &= \frac{1}{2\pi}\left[\int_{-\pi}^{-\pi/2}\left(-\frac{Ni}{2}\right)\mathrm{d}\theta_p+\int_{-\pi/2}^{\pi/2}\left(\frac{Ni}{2}\right)\mathrm{d}\theta_p+\int_{\pi/2}^{\pi}\left(-\frac{Ni}{2}\right)\mathrm{d}\theta_p\right]\\
&= \frac{1}{2\pi}\left[\left(-\frac{Ni}{2}\right)\left(-\frac{\pi}{2}+\pi\right)+\left(\frac{Ni}{2}\right)\left(\frac{\pi}{2}+\frac{\pi}{2}\right)+\left(-\frac{Ni}{2}\right)\left(\pi-\frac{\pi}{2}\right)\right]\\
&= 0
\end{aligned}
$$

اسی طرح

$$
\begin{aligned}
a_n &= \frac{2}{2\pi}\frac{Ni}{2}\left[\int_{-\pi}^{-\pi/2}-\cos n\theta_p\,\mathrm{d}\theta_p+\int_{-\pi/2}^{\pi/2}\cos n\theta_p\,\mathrm{d}\theta_p+\int_{\pi/2}^{\pi}-\cos n\theta_p\,\mathrm{d}\theta_p\right]\\
&= \frac{Ni}{2\pi}\left[-\left.\frac{\sin n\theta_p}{n}\right|_{-\pi}^{-\pi/2}+\left.\frac{\sin n\theta_p}{n}\right|_{-\pi/2}^{\pi/2}-\left.\frac{\sin n\theta_p}{n}\right|_{\pi/2}^{\pi}\right]\\
&= \frac{Ni}{2n\pi}\left[\sin\frac{n\pi}{2}+2\sin\frac{n\pi}{2}+\sin\frac{n\pi}{2}\right]\\
&= \left(\frac{4}{n\pi}\right)\left(\frac{Ni}{2}\right)\sin\frac{n\pi}{2}
\end{aligned}
$$

اس مساوات میں n کی قیمت ایک، دو، تین وغیرہ کے لئے ملتا ہے

$$
\begin{aligned}
&a_1=\left(\frac{4}{\pi}\right)\left(\frac{Ni}{2}\right),\quad a_3=-\left(\frac{4}{3\pi}\right)\left(\frac{Ni}{2}\right),\quad a_5=\left(\frac{4}{5\pi}\right)\left(\frac{Ni}{2}\right)\\
&a_2=a_4=a_6=0
\end{aligned}
$$

اسی طرح

$$
\begin{aligned}
b_n &= \frac{2}{2\pi}\frac{Ni}{2}\left[\int_{-\pi}^{-\pi/2}-\sin n\theta_p\,\mathrm{d}\theta_p+\int_{-\pi/2}^{\pi/2}\sin n\theta_p\,\mathrm{d}\theta_p+\int_{\pi/2}^{\pi}-\sin n\theta_p\,\mathrm{d}\theta_p\right]\\
&= \frac{Ni}{2\pi}\left[\left.\frac{\cos n\theta_p}{n}\right|_{-\pi}^{-\pi/2}-\left.\frac{\cos n\theta_p}{n}\right|_{-\pi/2}^{\pi/2}+\left.\frac{\cos n\theta_p}{n}\right|_{\pi/2}^{\pi}\right]\\
&= 0
\end{aligned}
$$

- ان جوابات سے

$$
\left|\frac{a_3}{a_1}\right|=\frac{\left(\frac{4}{3\pi}\right)\left(\frac{Ni}{2}\right)}{\left(\frac{4}{\pi}\right)\left(\frac{Ni}{2}\right)}=\frac{1}{3}
$$

حاصل ہوتا ہے۔لہٰذا تیسری موسیقائی جزو بنیادی جزو کے تیسرے حصے یعنی 33.33 فی صد کے برابر ہے۔

مثال 5.2 میں حاصل کئے گئے $a_1, a_2, \cdots$ استعمال کرتے ہوئے ہم خلائی درز میں مقناطیسی دباو τ کا فوریئر تسلسل یوں لکھ سکتے ہیں۔

$$\tau_a = \frac{4}{\pi}\frac{Ni}{2}\cos\theta_p - \frac{4}{3\pi}\frac{Ni}{2}\cos 3\theta_p + \frac{4}{5\pi}\frac{Ni}{2}\cos 5\theta_p + \cdots \tag{5.27}$$

مثال 5.2 سے ظاہر ہے کہ مقناطیسی دباو کے موسیقائی اجزاء کی قیمتیں اتنی کم نہیں کہ انہیں رد کیا جا سکے۔جیسا آپ اس باب میں آگے دیکھیں گے کہ حقیقت میں استعمال ہونے والے مقناطیسی دباو میں موسیقائی اجزاء قابل نظر انداز ہوں گے اور ہمیں صرف بنیادی جزو سے غرض ہو گا۔اسی حقیقت کو مد نظر رکھتے ہوئے ہم تسلسل کے موسیقائی اجزاء کو نظر انداز کرتے ہوئے اسی مساوات کو یوں لکھتے ہیں۔

$$\tau_a = \frac{4}{\pi}\frac{Ni}{2}\cos\theta_p = \tau_0\cos\theta_p \tag{5.28}$$

جہاں

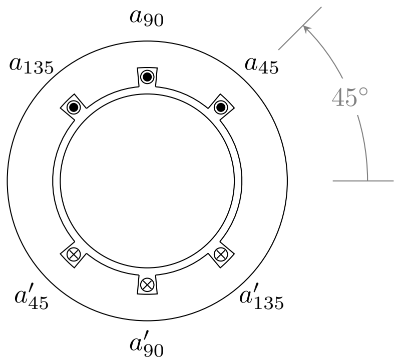
$$\tau_0 = \frac{4}{\pi}\frac{Ni}{2} \tag{5.29}$$

کے برابر ہے۔اس مساوات سے ہم دیکھتے ہیں کہ شکل 5.12 میں لچھے سے حاصل مقناطیسی دباو بالکل اسی طرح ہے جیسے شکل 5.2 میں سلاخ نما مقناطیس صفر زاویہ پر رکھے حالت میں دیتا۔ اگر یہاں یہ لچھا کسی ایسے زاویہ پر رکھا گیا ہوتا کہ اس سے حاصل مقناطیسی دباو زاویہ θ_m پر زیادہ سے زیادہ ہوتا تو یہ بالکل شکل 5.3 میں موجود مقناطیس کی طرح کا ہوتا۔ شکل 5.18 ایک ایسی ہی مثال ہے۔ ہم بالکل مساوات 5.62 کی طرح اس شکل میں لچھا a کے لئے لکھ سکتے ہیں۔

$$\begin{aligned} \tau_a &= \tau_0\cos\theta_{p_a} \\ \theta_{p_a} &= \theta - \theta_{m_a} = \theta - 0^\circ \\ \tau_a &= \tau_0\cos(\theta - \theta_m) = \tau_0\cos\theta \end{aligned} \tag{5.30}$$

اسی طرح لچھا b اور c کے چونکہ $\theta_{m_b} = 120^\circ$ اور $\theta_{m_c} = 240^\circ$ لہٰذا ان کے لئے ہم لکھ سکتے ہیں۔

$$\begin{aligned} \tau_b &= \tau_0\cos\theta_{p_b} \\ \theta_{p_b} &= \theta - \theta_{m_b} = \theta - 120^\circ \\ \tau_b &= \tau_0\cos(\theta - \theta_{m_b}) = \tau_0\cos(\theta - 120^\circ) \end{aligned} \tag{5.31}$$



شکل 5.14: پھیلا لچھا۔

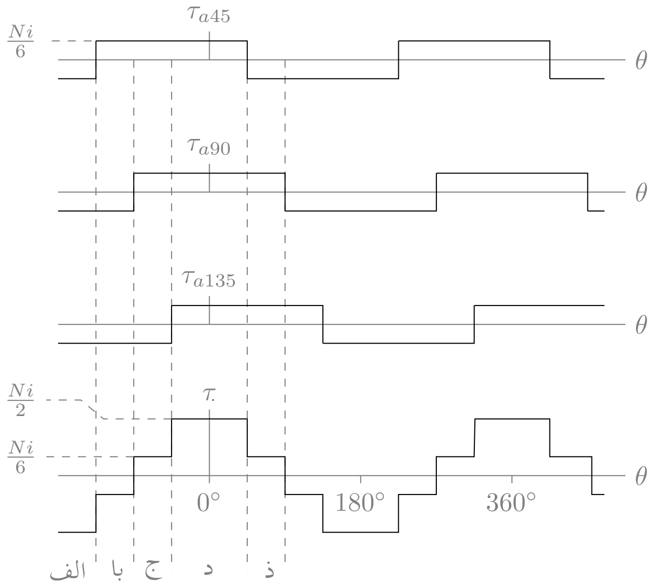
$$\begin{aligned}
\tau_c &= \tau_0 \cos\theta_{p_c} \\
\theta_{p_c} &= \theta - \theta_{m_c} = \theta - 240° \\
\tau_c &= \tau_0 \cos(\theta - \theta_{m_c}) = \tau_0 \cos(\theta - 240°)
\end{aligned} \tag{5.32}$$

اگرچہ ظاہری طور پر خلائی درز میں مقناطیسی دباو سائن نما ہرگز نہیں لگتا لیکن مساوات 5.27 ہمیں بتلاتی ہے کہ یہ محض آنکھوں کا دھوکہ ہے۔ اس مقناطیسی دباو کا بیشتر حصہ سائن نما ہی ہے۔ اب اگر ہم کسی طرح مساوات 5.27 میں پہلے رکن کے علاوہ باقی سب رکن کو صفر کر سکیں تو ہم بالکل سائن نما مقناطیسی دباو حاصل کر سکتے ہیں۔

شکل 5.14 میں تقسیم شدہ لچھا دکھایا گیا ہے۔ یہاں شکل 5.12 میں دکھائے گئے N چکر کے لچھے کو تین چھوٹے یکساں لچھوں میں تقسیم کیا گیا ہے۔لہٰذا ان میں ہر چھوٹا لچھا $\frac{N}{3}$ چکر کا ہے۔ ایسے چھوٹے لچھوں کو سلسلہ وار جوڑا[35] جاتا ہے اور یوں ان میں یکساں برقی رو i گزرے گی۔ ان تین لچھوں کو تین مختلف شگافوں میں رکھا گیا ہے۔پہلے لچھے کو شگاف a_{45} اور a'_{45} میں رکھا گیا ہے۔ دوسرے لچھے کو شگاف a_{90} اور a'_{90} میں اور تیسرے لچھے کو شگاف a_{135} اور a'_{135} میں رکھا گیا ہے۔

شگافوں کے ایک جوڑے کو ایک ہی طرح کے نام دیئے گئے ہیں، البتہ ایک شگاف کو a اور دوسرے کو a' نام دیا گیا ہے۔یوں شگافوں کا پہلے جوڑا a_{45} اور a'_{45} ہے۔ a شگافوں کے نام ان کے زاویوں کی نسبت سے رکھے گئے ہیں۔لہٰذا شگاف a_{45} درحقیقت $45°$ زاویہ پر ہے، شگاف a_{90} نوے درجہ زاویہ پر اور شگاف a_{135} ایک سو پینتیس درجہ زاویہ پر ہے۔

[35] series connected

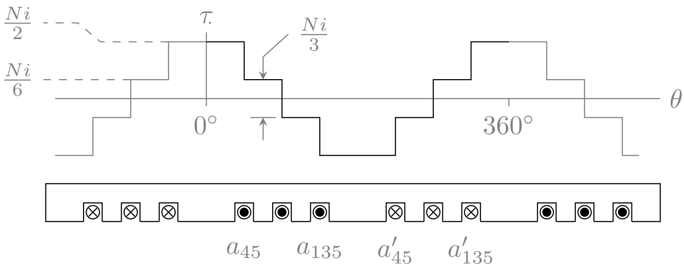


شکل 5.15: پھیلے لچھے کی کل مقناطیسی دباو۔

چونکہ ہر لچھا $\frac{N}{3}$ چکر کا ہے اور ان سب میں یکساں برقی رو i ہے، لہٰذا شکل 5.14 میں دیئے گئے پھیلے لچھے سے حاصل مقناطیسی دباو کا زاویہ کے ساتھ ترسیم شکل 5.15 کے نچلے ترسیم کی طرح ہو گا۔اس شکل میں سب سے اُوپر لچھا a_{45} کے مقناطیسی دباو کا ترسیم ہے۔ یہ بالکل شکل 5.13 میں دیئے ترسیم کی طرح ہے البتہ یہ صفر زاویہ سے -45° ہٹ کر ہے۔اُوپر سے دوسرا ترسیم لچھا a_{90} کا ہے جو ہو بہو شکل کی طرح ہے جبکہ اس سے نیچے لچھا a_{135} کا ترسیم ہے جو صفر زاویہ سے $+45^\circ$ ہٹ کر ہے۔ان تینوں ترسیمات میں طول $\frac{Ni}{6}$ ہے۔

ان تینوں ترسیمات سے کل مقناطیسی دباو کا ترسیم یوں حاصل ہوتا ہے۔اس شکل میں عمودی نقطہ دار لکیریں لگائی گئی ہیں۔ بائیں جانب پہلی لکیر کی بائیں طرف علاقے کو الف کہا گیا ہے۔اس علاقے میں پہلے تینوں ترسیمات کی مقدار $-\frac{Ni}{6}$ ہے لہٰذا ان کا مجموعہ $-\frac{Ni}{2}$ ہو گا۔یہی سب سے نچلے کل مقناطیسی دباو کی ترسیم میں دکھایا گیا ہے۔ اسی طرح علاقہ ب میں پہلے ترسیم کی مقدار $+\frac{Ni}{6}$، دوسری ترسیم کی $-\frac{Ni}{6}$ اور تیسری کی بھی $-\frac{Ni}{6}$ ہے۔ ان کا مجموعہ $-\frac{Ni}{6}$ بنتا ہے جو کل مقناطیسی دباو ہے۔علاقہ ج میں $+\frac{Ni}{6}$، $+\frac{Ni}{6}$ اور $-\frac{Ni}{6}$ مقداریں ہیں جن کا مجموعہ $+\frac{Ni}{6}$ ہی کل مقناطیسی دباو ہے جو سب سے نچلے ترسیم میں دکھایا گیا ہے۔ اسی طرح آپ پورا ترسیم کھینچ سکتے ہیں۔

شکل 5.15 کے نچلے ترسیم کو شکل 5.16 میں دوبارہ دکھایا گیا ہے۔



شکل 5.16: پھیلے لچھے کا مقناطیسی دباو۔

شکل 5.16 کا اگر شکل 5.15 کے ساتھ تقابل کیا جائے تو محض دیکھنے سے بھی یہ ظاہر ہے کہ شکل 5.16 زیادہ سائن نما موج کے نوعیت کا ہے۔ ہمیں فوریئر تسلسل حل کرنے سے بھی یہی نتیجہ ملتا ہے۔ہم دیکھ سکتے ہیں کہ شگافوں کی جگہ اور ان میں لچھوں کے چکر کو یوں رکھا جا سکتا ہے کہ ان سے پیدا کردہ مقناطیسی دباو سائن نما کے زیادہ سے زیادہ قریب ہو۔

چونکہ پھیلے لچھے کے مختلف حصے ایک ہی زاویہ پہ مقناطیسی دباو نہیں بناتے لہٰذا ان سے حاصل کل مقناطیسی دباو کا حیطہ ایک گچھ لچھے کے حیطہ سے قدرِ کم ہوتا ہے۔اس اثر کو مساوات 5.29 میں جزو k_w کے ذریعہ یوں ظاہر کیا جاتا ہے۔

$$\begin{aligned}\tau_0 &= k_w \frac{4}{\pi}\frac{Ni}{2}\\ \tau_a &= k_w \frac{4}{\pi}\frac{Ni}{2}\cos\theta = \tau_0\cos\theta\end{aligned} \tag{5.33}$$

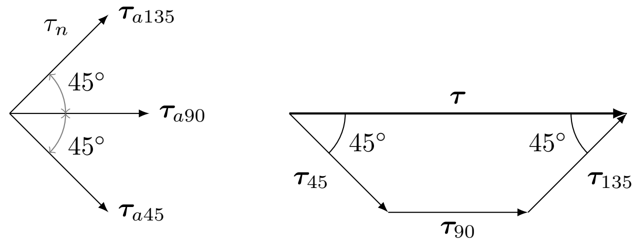
اس مساوات میں k_w کو **جزو پھیلاو**[36] کہتے ہیں۔ یہ اکائی سے قدرِ کم ہوتا ہے یعنی

$$0 < k_w < 1 \tag{5.34}$$

مثال 5.3: شکل 5.14 میں دیئے گئے پھیلے لچھے کے لئے k_w معلوم کریں۔

---

[36] winding factor



شکل 5.17: پھیلے لچھے کا جزو پھیلاو۔

حل: شکل 5.17 سے رجوع کریں۔ یہ تین چھوٹے لچھے برابر مقناطیسی دباو $\tau_n = \frac{4}{\pi}\frac{ni}{2}$ پیدا کرتے ہیں، البتہ ان کی سمتیں مختلف ہیں۔ یہاں چونکہ ایک لچھا $\frac{N}{3}$ چکر کا ہے لہٰذا $n = \frac{N}{3}$ ہے۔ ہم ان سمتیوں کو جمع کر کے ان کا مجموعی مقناطیسی دباو τ معلوم کرتے ہیں۔

$$\begin{aligned}\tau_a &= \tau_n \cos 45^\circ + \tau_n + \tau_n \cos 45^\circ \\ &= 2.4142\tau_n\end{aligned}$$

یعنی

$$\tau_a = 2.4142\frac{4}{\pi}\frac{ni}{2} = \frac{2.4142}{3}\frac{4}{\pi}\frac{Ni}{2} = 0.8047\frac{4}{\pi}\frac{Ni}{2}$$

لہٰذا $k_w = 0.8047$ کے برابر ہے۔

مثال 5.4: ایک تین دور 50 ہرٹز پر چلنے والا ستارہ نما جڑے جنریٹر کو 3000 چکر فی منٹ کی رفتار سے چلایا جا رہا ہے۔ تیس چکر کے میدانی لچھے کا جزو پھیلاو $k_{w,m} = 0.9$ جبکہ پندرہ چکر قوی لچھے کا جزو پھیلاو $k_{w,q} = 0.833$ ہیں۔ مشین کا رداس 0.7495 میٹر اور اس کی لمبائی $l = 2.828$ میٹر ہیں۔ خلائی درز $l_k = 0.04$ میٹر ہے۔ اگر اس کے میدانی لچھے میں 1000 ایمپیئر برقی رو ہے تو معلوم کریں

- میدانی مقناطیسی دباو کی زیادہ سے زیادہ مقدار۔

- خلائی درز میں کثافتِ مقناطیسی بہاو۔
- ایک قطب پر مقناطیسی بہاو۔
- محرک تار پر برقی دباو۔

حل:

-

$$\tau_0 = k_{w,m}\frac{4}{\pi}\frac{N_m i_m}{2} = 0.9 \times \frac{4}{\pi} \times \frac{30 \times 1000}{2} = 17\,186\,\mathrm{A \cdot turns/m}$$

-

$$B_0 = \mu_0 H_0 = \mu_0 \frac{\tau_0}{l_k} = 4\pi 10^{-7} \times \frac{17186}{0.04} = 0.54\,\mathrm{T}$$

-

$$\phi_0 = 2B_0 lr = 2 \times 0.54 \times 2.828 \times 0.7495 = 2.289\,15\,\mathrm{Wb}$$

-

$$\begin{aligned}E_{rms} &= 4.44 f k_{w,q} N_q \phi_0\\ &= 4.44 \times 50 \times 0.833 \times 15 \times 2.28915\\ &= 6349.85\,\mathrm{V}\end{aligned}$$

لہٰذا ستارہ جڑی جنریٹر کی تار کی برقی دباو

$$\sqrt{3} \times 6349.85 \approx 11\,000\,\mathrm{V}$$

ہو گی۔

جیسا پہلے ذکر ہوا ہم چاہتے ہیں کہ سائن نما مقناطیسی دباو حاصل کر سکیں۔ چھوٹے لچھوں کے چکر اور شگافوں کی جگہ یوں چنے جاتے ہیں کہ یہ بنیادی مقصد پورا ہو۔ شکل 5.16 میں ہم دیکھتے ہیں کہ صفر زاویہ کی دونوں جانب

مقناطیسی دباو کی موج یکساں طور پر گھٹتی یا بڑھتی ہے۔ یعنی جمع اور منفی پینتالیس زاویہ پر مقناطیسی دباو $\frac{Ni}{3}$ گھٹ جاتی ہے۔ اسی طرح جمع اور منفی نوے زاویہ پر یہ یکساں طور پر مزید گھٹتی ہے، وغیرہ وغیرہ۔ یہ ایک بنیادی اصول ہے جس کا خیال رکھنا ضروری ہے۔

چھوٹے لچھوں کے چکر اور شگافوں کی جگہوں کا فیصلہ فوریئر تسلسل کی مدد سے کیا جاتا ہے۔فوریئر تسلسل میں موسیقائی جزو کم سے کم اور اس میں بنیادی جزو زیادہ سے زیادہ رکھے جاتے ہیں۔

ساکن لچھوں کی طرح حرکت کرتے لچھوں کو بھی ایک سے زیادہ چھوٹے لچھوں میں تقسیم کیا جاتا ہے تا کہ سائن نما مقناطیسی دباو حاصل ہو۔

5.5 مقناطیسی دباو کی گھومتی موجیں

گھومتے آلوں میں لچھوں کو برقی دباو دیا جاتا ہے جس سے اس کا گھومنے والا حصہ حرکت میں آتا ہے۔ یہاں ہم اس بات کا مطالعہ کرتے ہیں کہ یہ گھومنے کی حرکت کیسے پیدا ہوتی ہے۔

5.5.1 ایک دور کی لپٹی مشین

مساوات 5.33 میں ایک لچھے کی مقناطیسی دباو یوں دی گئی ہے۔

$$\tau_a = k_w \frac{4}{\pi} \frac{Ni}{2} \cos\theta \tag{5.35}$$

اگر اس لچھے میں مقناطیسی بہاو بھی سائن نما ہو یعنی

$$i_a = I_0 \cos\omega t \tag{5.36}$$

تو

$$\tau_a = k_w \frac{4}{\pi} \frac{NI_0}{2} \cos\theta \cos\omega t = \tau_0 \cos\theta \cos\omega t \tag{5.37}$$

ہو گا جہاں

$$\tau_0 = k_w \frac{4}{\pi} \frac{N I_0}{2} \tag{5.38}$$

کے برابر ہے۔مساوات 5.37 کہتا ہے کہ یہ مقناطیسی دباو زاویہ θ اور لمحہ t کے ساتھ تبدیل ہوتا ہے۔ اس مساوات کو ہم مندرجہ ذیل قلیہ سے دو ٹکڑوں میں توڑ سکتے ہیں۔

$$\cos\alpha\cos\beta = \frac{\cos(\alpha+\beta)+\cos(\alpha-\beta)}{2}$$

لہٰذا

$$\tau_a = \tau_0 \left[\frac{\cos(\theta+\omega t)+\cos(\theta-\omega t)}{2}\right] = \tau_a^- + \tau_a^+ \tag{5.39}$$

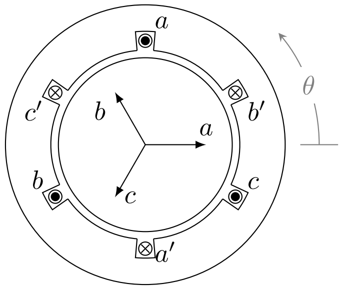
لکھا جا سکتا ہے۔یوں

$$\tau_a^- = \frac{\tau_0}{2}\cos(\theta+\omega t) \tag{5.40}$$

$$\tau_a^+ = \frac{\tau_0}{2}\cos(\theta-\omega t) \tag{5.41}$$

ہیں۔اس مساوات سے یہ بات سامنے آتی ہے کہ در حقیقت یہ مقناطیسی دباو دو اُلٹ سمتوں میں گھومنے والے مقناطیسی دباو کی موجیں ہیں۔ اس کا پہلا جزو τ_a^- زاویہ θ گھٹنے کی جانب گھومتا ہے یعنی گھڑی کی سمت میں اور اس کا دوسرا جزو τ_a^+ گھڑی کی اُلٹی سمت گھومتا ہے یعنی یہ زاویہ بڑھنے کی جانب گھومتا ہے۔

ایک دور کی لپٹی آلوں میں یہ کوشش کی جاتی ہے کہ ان دو گھومتے مقناطیسی دباو میں سے ایک کو بالکل ختم یا کم سے کم کیا جائے۔ اس طرح کرنے سے ایک ہی سمت میں کل مقناطیسی دباو گھومتا ملتا ہے جو بالکل اسی طرح کا ہوتا ہے جیسے ایک مقناطیس گھمایا جا رہا ہو۔ تین دور کے آلوں میں یہ کرنا نہایت آسان ہوتا ہے لہٰذا انہیں پہلے سمجھ لینا زیادہ بہتر ہو گا۔



$$\tau_a = \tau_0 \cos(\omega t + \theta_0) \cos(\theta)$$
$$\tau_b = \tau_0 \cos(\omega t + \theta_0 - 120^\circ) \cos(\theta - 120^\circ)$$
$$\tau_c = \tau_0 \cos(\omega t + \theta_0 + 120^\circ) \cos(\theta + 120^\circ)$$

شکل 5.18: تین دور کی لپٹی مشین۔

5.5.2 تین دور کی لپٹی مشین کا تحلیلی تجزیہ

شکل 5.18 میں تین دور کی لپٹی مشین دکھائی گئی ہے۔مساوات 5.30 ، 5.31 اور 5.32 میں ایسے تین لچھوں کی فوریئر تسلسل کی بنیادی جزو دیئے گئے ہیں جو کہ یہ ہیں۔

$$\begin{aligned}
\tau_a &= k_w \frac{4}{\pi} \frac{N_a i_a}{2} \cos\theta \\
\tau_b &= k_w \frac{4}{\pi} \frac{N_b i_b}{2} \cos(\theta - 120^\circ) \\
\tau_c &= k_w \frac{4}{\pi} \frac{N_c i_c}{2} \cos(\theta + 120^\circ)
\end{aligned} \tag{5.42}$$

اگر ان تین لچھوں میں تین دوری برقی رو ہو یعنی

$$\begin{aligned}
i_a &= I_0 \cos(\omega t + \alpha) \\
i_b &= I_0 \cos(\omega t + \alpha - 120^\circ) \\
i_c &= I_0 \cos(\omega t + \alpha + 120^\circ)
\end{aligned} \tag{5.43}$$

تو بالکل مساوات 5.37 کی طرح ہم مساوات 5.43 کی مدد سے مساوات 5.42 کو یوں لکھ سکتے ہیں۔

$$\begin{aligned}
\tau_a &= k_w \frac{4}{\pi} \frac{N_a I_0}{2} \cos\theta \cos(\omega t + \alpha) \\
\tau_b &= k_w \frac{4}{\pi} \frac{N_b I_0}{2} \cos(\theta - 120^\circ) \cos(\omega t + \alpha - 120^\circ) \\
\tau_c &= k_w \frac{4}{\pi} \frac{N_c I_0}{2} \cos(\theta + 120^\circ) \cos(\omega t + \alpha + 120^\circ)
\end{aligned} \tag{5.44}$$

اگر

$$N_a = N_b = N_c = N$$

ہو تو انہیں

$$\begin{aligned}
\tau_a &= \frac{\tau_0}{2}\left[\cos(\theta+\omega t+\alpha)+\cos(\theta-\omega t-\alpha)\right]\\
\tau_b &= \frac{\tau_0}{2}\left[\cos(\theta+\omega t+\alpha-240^\circ)+\cos(\theta-\omega t-\alpha)\right]\\
\tau_c &= \frac{\tau_0}{2}\left[\cos(\theta+\omega t+\alpha+240^\circ)+\cos(\theta-\omega t-\alpha)\right]
\end{aligned} \tag{5.45}$$

لکھ سکتے ہیں جہاں

$$\tau_0 = k_w \frac{4}{\pi}\frac{NI_0}{2} \tag{5.46}$$

ہے۔کل مقناطیسی دباو τ ان سب کا مجموعہ ہو گا۔ انہیں جمع کرنے سے پہلے ہم ثابت کرتے ہیں کہ

$$\cos\gamma + \cos(\gamma-240^\circ) + \cos(\gamma+240^\circ) = 0$$

کے برابر ہے۔ہمیں معلوم ہے کہ

$$\begin{aligned}
\cos(\alpha+\beta) &= \cos\alpha\cos\beta - \sin\alpha\sin\beta\\
\cos(\alpha-\beta) &= \cos\alpha\cos\beta + \sin\alpha\sin\beta
\end{aligned}$$

اگر ہم $\gamma = \alpha$ اور $\beta = 240^\circ$ لیں تو

$$\begin{aligned}
\cos(\gamma+240^\circ) &= \cos\gamma\cos 240^\circ - \sin\gamma\sin 240^\circ\\
\cos(\gamma-240^\circ) &= \cos\gamma\cos 240^\circ + \sin\gamma\sin 240^\circ
\end{aligned}$$

چونکہ $\cos 240^\circ = -\frac{1}{2}$ اور $\sin 240^\circ = -\frac{\sqrt{3}}{2}$ لہٰذا

$$\begin{aligned}
\cos(\gamma+240^\circ) &= -\frac{1}{2}\cos\gamma + \frac{\sqrt{3}}{2}\sin\gamma\\
\cos(\gamma-240^\circ) &= -\frac{1}{2}\cos\gamma - \frac{\sqrt{3}}{2}\sin\gamma
\end{aligned}$$

اب اس مساوات کو اگر ہم $\cos\gamma$ کے ساتھ جمع کریں تو جواب صفر ملتا ہے، یعنی

$$\cos\gamma + \cos(\gamma+240^\circ) + \cos(\gamma-240^\circ) = 0$$

$\gamma = \theta + \omega t + \alpha$ کے لئے اس مساوات کو یوں لکھ سکتے ہیں۔

$$\cos(\theta + \omega t + \alpha) + \cos(\theta + \omega t + \alpha + 240°) + \cos(\theta + \omega t + \alpha - 240°) = 0 \tag{5.47}$$

اب ہم اگر مساوات 5.45 میں دئے τ_a ، τ_b اور τ_c کو جمع کریں اور ان میں مساوات 5.47 کا استعمال کریں تو ملتا ہے

$$\tau^+ = \tau_a + \tau_b + \tau_c = \frac{3\tau_0}{2}\cos(\theta - \omega t - \alpha) \tag{5.48}$$

مساوات 5.48 کہتا ہے کہ کل مقناطیسی دباو کا حیطہ کسی ایک لچھے کے مقناطیسی دباو کے حیطہ کے $\frac{3}{2}$ گنا ہے۔مزید یہ کہ یہ مقناطیسی دباو کی موج گھڑی کی اُلٹی سمت گھوم رہی ہے۔ لہٰذا تین لچھوں کو $120°$ زاویہ پر رکھنے اور انہیں تین دور کی برقی رو، جو آپس میں $120°$ پر ہوں، سے ہیجان کرنے سے ایک ہی گھومتی مقناطیسی دباو کی موج وجود میں آتی ہے۔ یہاں اس بات کا ذکر کرنا ضروری ہے کہ اگر کوئی دو برقی رو آپس میں تبدیل کئے جائیں تو مقناطیسی موج کے گھومنے کی سمت تبدیل ہو جاتی ہے۔ یہ مثال میں واضح کیا گیا ہے۔

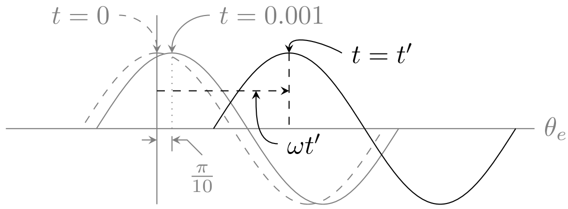
اب ہم دیکھتے ہیں کہ مساوات 5.48 ایک گھومتے موج کو ظاہر کرتی ہے۔یہ کرنے کے لئے ہمیں اس موج کی چوٹی کو دیکھنا ہو گا۔ہم اپنی آسانی کے لئے α کو صفر لیتے ہیں۔ اس مثال میں ہم برقی رو کی تعدد $50\,\mathrm{Hz}$ لیتے ہیں۔ اس موج کی چوٹی درحقیقت $\cos(\theta - \omega t)$ کی چوٹی ہی ہے لہٰذا ہم اسی کی چوٹی کو مد نظر رکھتے ہیں۔ ہمیں معلوم ہے کہ $\cos\alpha$ کی زیادہ سے زیادہ مقدار ایک کے برابر ہے یعنی اس کی چوٹی ایک کے برابر ہے اور یہ اس مقام پر پائی جاتی ہے جہاں α صفر کے برابر ہو یعنی جب $\cos 0 = 1$ کے برابر ہو۔ لہٰذا $\cos\alpha$ کی چوٹی اسی جگہ ہو گی جہاں α صفر کے برابر ہو گا۔اسی طرح $\cos(\theta - \omega t)$ کی چوٹی وہیں ہو گی جہاں $(\theta - \omega t)$ صفر کے برابر ہو یعنی $(\theta - \omega t) = 0$ پر۔

اب ابتدائی لمحہ یعنی $t = 0$ پر $\cos(\theta - \omega t)$ کی چوٹی $(\theta - \omega t) = 0$ پر ہو گی۔ اس کو حل کرتے ہیں۔

$$\begin{aligned}\theta - \omega t &= 0\\ \theta - \omega \times 0 &= 0\\ \theta &= 0\end{aligned}$$

ہم دیکھتے ہیں کہ موج کی چوٹی صفر برقی زاویہ پر ہے۔اسے شکل 5.19 میں ہلکی سیاہی میں نقطہ دار لکیر سے دکھایا گیا ہے۔ہم اس چوٹی کو کچھ وقفے کے بعد دوبارہ دیکھتے ہیں مثلاً $t = 0.001$ سیکنڈ کے بعد۔

$$\begin{aligned}&\theta - \omega t = 0\\ &\theta - \omega \times 0.001 = 0\\ &\theta = 0.001\omega = 0.001 \times 2 \times \pi \times 50 = 0.3142\,\mathrm{rad}\end{aligned}$$



شکل 5.19: حرکت کرتی موج۔

اب یہ چوٹی 0.3142 یا $\frac{\pi}{10}$ برقی ریڈیئن یعنی $18°$ کے برقی زاویہ پر ہے۔اسے شکل میں ہلکی سیاہی کے ٹھوس لکیر سے دکھایا گیا ہے۔یہ بات واضح ہے کہ مقناطیسی دباو کی موج گھڑی کی اُلٹی سمت یعنی زاویہ بڑھنے کی سمت میں گھوم گئی ہے۔ اسی طرح $t = 0.002$ پر یہ چوٹی $36°$ برقی زاویہ پر نظر آئے گی۔کسی بھی لمحہ t' پر بالکل اسی طرح چوٹی کا مقام معلوم کیا جا سکتا ہے جسے شکل میں تیز سیاہی کے ٹھوس لکیر سے دکھایا گیا ہے۔

$$
\begin{aligned}
\theta - \omega t' &= 0\\
\theta &= \omega t'
\end{aligned}
$$

اس مساوات سے یہ واضح ہے کہ چوٹی کا مقام متعین کرنے والا زاویہ بتدریج بڑھتا رہتا ہے۔اس مساوات سے ہم ایک مکمل 2π برقی زاویہ کے چکر کا وقت T حاصل کر سکتے ہیں یعنی

$$
\begin{aligned}
t &= \frac{\theta}{\omega}\\
T &= \frac{2\pi}{2\pi f} = \frac{1}{f}
\end{aligned}
\tag{5.49}
$$

اگر برقی رو کی تعدد 50 ہو تو یہ مقناطیسی دباو کی موج ہر $\frac{1}{50} = 0.02$ سیکنڈ میں ایک مکمل برقی چکر کاٹتی ہے یعنی یہ ایک سیکنڈ میں 50 برقی چکر کاٹتی ہے۔

اس مثال میں برقی زاویہ کی بات ہوتی رہی۔ دو قطب کی آلوں میں برقی زاویہ θ_e اور میکانی زاویہ θ_m برابر ہوتے ہیں۔ لہٰذا اگر دو قطب کی آلوں کی بات کی جائے تو مساوات 5.49 کے تحت ایک سیکنڈ میں مقناطیسی دباو کی موج f برقی یا میکانی چکر کاٹے گی جہاں f برقی رو کی تعدد ہے اور اگر P قطب رکھنے والی آلوں کی بات کی جائے تو چونکہ

$$
\theta_e = \frac{P}{2}\theta_m \tag{5.50}
$$

لہٰذا ایسے آلوں میں یہ مقناطیسی دباو کی موج ایک سیکنڈ میں f مقناطیسی چکر یعنی $\frac{2}{P}f$ میکانی شکر کاٹے گی۔

اگر ہم برقی رو کی تعدد کو f_e سے ظاہر کریں، مقناطیسی دباو کی موج کی چوٹی کے برقی زاویہ کو θ_e اور اس کے میکانی زاویہ کو θ_m سے ظاہر کریں اور اسی طرح اسی مقناطیسی دباو کی موج کے گھومنے کی رفتار کو ω_e یا ω_m سے ظاہر کریں تو

$$\begin{aligned} \omega_m &= \frac{2}{P}\omega_e \quad \text{rad/s} \\ f_m &= \frac{2}{P}f_e \quad \text{Hz} \\ n &= \frac{120 f_e}{P} \quad \text{rpm} \end{aligned} \tag{5.51}$$

ω_e اس موج کی معاصر رفتار برقی زاویہ فی سیکنڈ میں ہے جبکہ ω_m یہی معاصر رفتار میکانی زاویہ فی سیکنڈ میں ہے۔اسی طرح f_e اس موج کی برقی معاصر رفتار برقی ہرٹز میں اور f_m اس کی میکانی معاصر رفتار[37] میکانی ہرٹز میں ہے۔ برقی معاصر رفتار f_e ہرٹز ہونے کا مطلب یہ ہے کہ ایک سیکنڈ میں یہ موج f_e برقی چکر کا فاصلہ طے کرے گی جہاں ایک برقی چکر دو قطب کا فاصلہ یعنی 2π ریڈیئن کا زاویہ ہے۔اسی طرح میکانی معاصر رفتار f_m ہرٹز ہونے کا مطلب ہے کہ یہ موج ایک سیکنڈ میں f_m میکانی چکر کا فاصلہ طے کرے گی۔ایک میکانی چکر عام زندگی میں ایک چکر کو ہی کہتے ہیں۔ اس مساوات میں n میکانی چکر فی منٹ[38] کو ظاہر کرتے ہیں۔ یہ مساوات معاصر رفتار کی مساوات ہے۔

یہاں اس بات کا ذکر کرنا ضروری ہے کہ ہم q دور کی لپٹی مشین جس کے لچھے $\frac{2\pi}{q}$ برقی زاویہ پر رکھے گئے ہوں اور جن میں q دور کی برقی رو ہو، ایک ہی سمت میں گھومتی مقناطیسی دباو کی موج کو جنم دیتی ہے جیسے ہم نے تین دور کی مشین کے لئے دیکھا۔ مزید یہ کہ اس موج کا حیطہ کسی ایک لچھے سے پیدا مقناطیسی دباو کے حیطہ کے $\frac{q}{2}$ گنا ہو گا اور اس کے گھومنے کی رفتار $\omega_e = 2\pi f$ برقی ریڈیئن فی سیکنڈ ہو گی۔

5.5.3 تین دور کی لپٹی مشین کا ترسیمی تجزیہ

شکل 5.18 میں تین دور کی لپٹی مشین دکھائی گئی ہے۔ اس میں مثبت برقی رو کی سمتیں بھی دکھائی گئی ہیں، مثلاً a شگاف میں برقی رو صفحہ سے عمودی سمت میں باہر جانب کو ہے اور یہ بات نقطہ سے واضح کی گئی ہے۔ اسی طرح a'

[37] synchronous speed
[38] rpm, rounds per minute

شگاف میں برقی دباو صفحہ سے عمودی سمت میں اندر کی جانب کو ہے اور یہ بات صلیب کے نشان سے واضح کی گئی ہے۔ اگر برقی رو مثبت ہو تو اس کی یہی سمت ہو گی اور اس سے پیدا مقناطیسی دباو τ_a صفر زاویہ کی جانب ہو گا جیسے شکل میں دکھایا گیا ہے۔ لچھے میں برقی رو سے پیدا مقناطیسی دباو کی سمت دائیں ہاتھ کے قانون سے معلوم کی جا سکتی ہے۔ اب اگر اسی لچھے میں برقی رو منفی ہو تو اس کا مطلب ہے کہ برقی رو اُلٹ سمت میں ہے۔ یعنی اب برقی رو a شگاف میں صفحہ کے عمودی سمت میں اندر کی جانب ہے اور a' شگاف میں یہ صفحہ کے عمودی سمت میں باہر کی جانب کو ہے۔ لہٰذا اس برقی رو سے پیدا مقناطیسی دباو بھی پہلے سے اُلٹ سمت میں ہو گی یعنی یہ شکل میں دیئے گئے τ_a کے بالکل اُلٹ سمت میں ہو گی۔ اس تذکرہ کا بنیادی مقصد یہ تھا کہ آپ پر یہ بات واضح ہو جائے کہ برقی رو کے منفی ہونے سے اس سے پیدا مقناطیسی دباو کی سمت اُلٹ ہو جاتی ہے۔

اس شکل میں لچھوں میں برقی رو اور مقناطیسی دباو یہ ہیں

$$
\begin{aligned}
i_a &= I_0 \cos \omega t \\
i_b &= I_0 \cos(\omega t - 120^\circ) \\
i_c &= I_0 \cos(\omega t + 120^\circ)
\end{aligned}
\tag{5.52}
$$

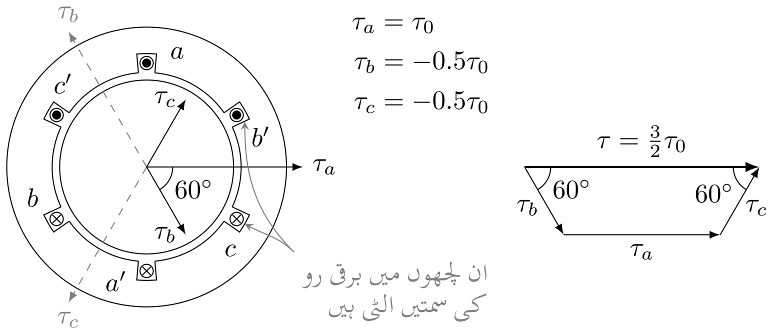
$$
\begin{aligned}
\tau_a &= k_w \frac{4}{\pi} \frac{N i_a}{2} = k_w \frac{4}{\pi} \frac{N I_0}{2} \cos \omega t = \tau_0 \cos \omega t \\
\tau_b &= k_w \frac{4}{\pi} \frac{N i_b}{2} = k_w \frac{4}{\pi} \frac{N I_0}{2} \cos(\omega t - 120^\circ) = \tau_0 \cos(\omega t - 120^\circ) \\
\tau_c &= k_w \frac{4}{\pi} \frac{N i_c}{2} = k_w \frac{4}{\pi} \frac{N I_0}{2} \cos(\omega t + 120^\circ) = \tau_0 \cos(\omega t + 120^\circ)
\end{aligned}
\tag{5.53}
$$

جبکہ ان کے مثبت سمتیں شکل میں دیئے گئے ہیں۔ اب ہم مختلف اوقات پر ان مقداروں کا حساب لگاتے ہیں اور ان کا کل مجموعی مقناطیسی دباو حل کرتے ہیں۔

لمحہ $t = 0$ پر ان مساوات سے ملتا ہے۔

$$
\begin{aligned}
i_a &= I_0 \cos 0 = I_0 \\
i_b &= I_0 \cos(0 - 120^\circ) = -0.5 I_0 \\
i_c &= I_0 \cos(0 + 120^\circ) = -0.5 I_0
\end{aligned}
\tag{5.54}
$$

$$
\begin{aligned}
\tau_a &= \tau_0 \cos 0 = \tau_0 \\
\tau_b &= \tau_0 \cos(0 - 120^\circ) = -0.5 \tau_0 \\
\tau_c &= \tau_0 \cos(0 + 120^\circ) = -0.5 \tau_0
\end{aligned}
\tag{5.55}
$$



شکل 5.20: لمحہ $t_0 = 0$ پر برقی رو اور مقناطیسی دباو۔

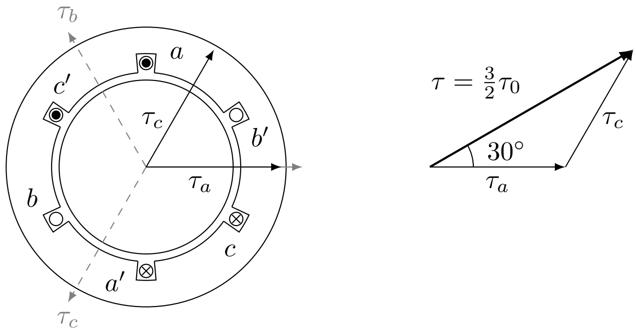
یہاں رک کر ذرا غور کریں۔ اس لمحہ پر i_a مثبت ہے جبکہ i_b اور i_c منفی ہیں۔ لہٰذا i_a اُسی سمت میں ہے جو شکل 5.18 میں a اور a' شگافوں میں نقطے اور صلیب سے دکھائے گئے ہیں جبکہ i_b اور i_c شکل میں دیئے گئے سمتوں کے اُلٹ ہیں۔ ان تینوں برقی رو کی اس لمحہ پر درست سمتیں شکل 5.20 میں دکھائی گئی ہیں۔ اس شکل میں تینوں مقناطیسی دباو بھی دکھائے گئے ہیں۔

کل مقناطیسی دباو باآسانی بذریعہ ترسیم، مجموعہ سمتیات سے معلوم کیا جا سکتا ہے یا پھر الجبرا کے ذریعہ ایسا کیا جا سکتا ہے۔

$$
\begin{aligned}
\boldsymbol{\tau}_a &= \tau_0 \boldsymbol{a}_{\mathrm{x}} \\
\boldsymbol{\tau}_b &= 0.5\tau_0 \left[\cos(60°)\boldsymbol{a}_{\mathrm{x}} - \sin(60°)\boldsymbol{a}_{\mathrm{y}}\right] \\
\boldsymbol{\tau}_c &= 0.5\tau_0 \left[\cos(60°)\boldsymbol{a}_{\mathrm{x}} + \sin(60°)\boldsymbol{a}_{\mathrm{y}}\right]
\end{aligned}
\tag{5.56}
$$

$$
\boldsymbol{\tau} = \boldsymbol{\tau}_a + \boldsymbol{\tau}_b + \boldsymbol{\tau}_c = \frac{3}{2}\tau_0 \boldsymbol{a}_{\mathrm{x}}
\tag{5.57}
$$

کل مقناطیسی دباو ایک لچھے کے مقناطیسی دباو کے ڈیڑھ گنا ہے اور یہ صفر زاویہ پر ہے۔ اب ہم گھڑی کو چلنے دیتے ہیں اور کچھ لمحے بعد t_1 پر دوبارہ یہی سب حساب لگاتے ہیں۔ چونکہ مساوات 5.52 اور مساوات 5.53 میں متغیرہ t کے بجائے ωt کا استعمال زیادہ آسان ہے لہٰذا ہم لمحہ t_1 کو یوں چنتے ہیں کہ $\omega t_1 = 30°$ کے برابر ہو۔ ایسا کرنے



شکل 5.21: لمحہ $\omega t_1 = 30°$ پر برقی رو اور مقناطیسی دباو۔

سے ہمیں یہ دو مساواتوں سے حاصل ہوتا ہے۔

$$
\begin{aligned}
i_a &= I_0 \cos 30° = \frac{\sqrt{3}}{2} I_0 \\
i_b &= I_0 \cos(30° - 120°) = 0 \\
i_c &= I_0 \cos(30° + 120°) = -\frac{\sqrt{3}}{2} I_0
\end{aligned} \tag{5.58}
$$

$$
\begin{aligned}
\tau_a &= \tau_0 \cos 30° = \frac{\sqrt{3}}{2} \tau_0 \\
\tau_b &= \tau_0 \cos(30° - 120°) = 0 \\
\tau_c &= \tau_0 \cos(30° + 120°) = -\frac{\sqrt{3}}{2} \tau_0
\end{aligned} \tag{5.59}
$$

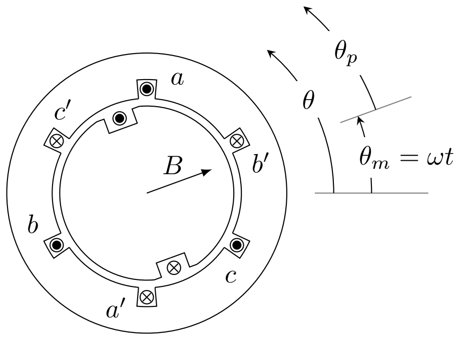
یہ شکل 5.21 میں دکھایا گیا ہے۔ کل مقناطیسی دباو کا طول τ کو تکون کے ذریعہ یوں حل کیا جا سکتا ہے۔ اسی طرح اس کا زاویہ بھی اسی سے حاصل ہوتا ہے۔ یعنی

$$
\tau = \sqrt{\tau_a^2 + \tau_c^2 - 2\tau_a\tau_c \cos 120°} = \frac{3}{2}\tau_0 \tag{5.60}
$$

اور چونکہ اس تکون کے دو اطراف برابر ہیں لٰہذا اس کے باقی دو زاویہ بھی برابر اور $30°$ ہیں۔

ہم دیکھتے ہیں کہ کل مقناطیسی دباو جو پہلے صفر زاویہ پر تھا اب وہ $30°$ کے زاویہ پر ہے یعنی وہ گھڑی کے اُلٹ سمت گھوم گیا ہے۔ اگر ہم اسی طرح $\omega t = 40°$ پر دیکھیں تو ہمیں کل مقناطیسی دباو اب بھی $\frac{3}{2}\tau_0$ ہی ملے گا البتہ اب یہ $45°$ کے زاویہ پر ہو گا۔ اگر کسی لمحہ جب $\omega t = \theta°$ کے برابر ہو یہ سارا حساب کیا جائے تو کل مقناطیسی دباو اب بھی $\frac{3}{2}\tau_0$ ہی ملے گا البتہ یہ $\theta°$ کے زاویہ پر ہو گا۔

$$\begin{aligned} B &= B_0 \cos \theta_p \\ &= B_0 \cos(\theta - \theta_m) \\ &= B_0 \cos(\theta - \omega t) \end{aligned}$$



شکل 5.22: بنیادی بدلتی رو جنریٹر۔

5.6 محرک برقی دباو

یہاں محرک برقی دباو[39] کو ایک اور زاویہ سے پیش کیا جاتا ہے۔

5.6.1 بدلتی رو برقی جنریٹر

شکل 5.22 میں ایک بنیادی بدلتے رو جنریٹر[40] دکھایا گیا ہے۔اس کا گھومتا برقی مقناطیس، خلائی درز میں سائن نما مقناطیسی دباو پیدا کرتا ہے جس سے درز میں سائن نما کثافتِ مقناطیسی بہاو B پیدا ہوتی ہے، یعنی

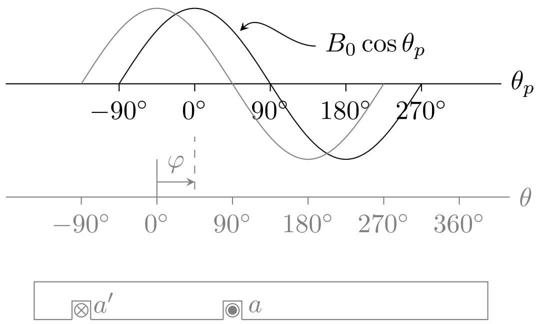
$$B = B_0 \cos \theta_p \tag{5.61}$$

یہ مقناطیس ω زاویاتی رفتار سے گھوم رہا ہے۔یوں اگر ابتدائی لمحہ $t = 0$ پر یہ a لچھے کی سمت یعنی ہلکی سیاہی کی اُفقی لکیر کی سمت میں ہو تو لمحہ t پر یہ گھوم کر زاویہ $\theta_m = \omega t$ پر ہو گا۔اس طرح یہی مساوات یوں بھی لکھا جا سکتا ہے۔

$$\begin{aligned} B &= B_0 \cos(\theta - \theta_m) \\ &= B_0 \cos(\theta - \omega t) \end{aligned} \tag{5.62}$$

شکل 5.23 میں B کو زاویہ θ اور θ_p کے ساتھ ترسیم کیا گیا ہے۔ اسی ترسیم میں لچھا a بھی دکھایا گیا ہے۔اس شکل

[39] ابتداء میں حرکت سے پیدا ہونے والی برقی دباو کو محرک برقی دباو کہتے تھے۔اب روایتی طور پر کسی بھی طرح پیدا کردہ برقی دباو کو محرک برقی دباو کہتے ہیں۔
[40] ac generator



شکل 5.23: لچھے میں سے گزرتا مقناطیسی بہاو۔

میں ہلکی سیاہی سے لمحہ $t = 0$ پر B دکھایا گیا ہے جب گھومتے برقی مقناطیس کا محور اور اس لچھے کا محور ایک ہی سمت میں ہوتے ہیں جبکہ کالی سیاہی میں اسی B کو کسی بھی لمحہ t پر دکھایا گیا ہے۔اس لمحہ پر برقی مقناطیس کے محور اور لچھے کے محور کے مابین ϑ زاویہ ہے۔ یہ زاویہ برقی مقناطیس کے گھومنے کی رفتار ω پر منحصر ہے یعنی

$$\vartheta = \omega t \tag{5.63}$$

لمحہ $t = 0$ پر لچھے میں سے زیادہ سے زیادہ مقناطیسی بہاو گزر رہی ہے۔ اگر خلائی درز بہت باریک ہو، تو اس کے اندر اور باہر جانب کے رداس تقریباً یکساں ہوں گے۔ برقی مقناطیس کے محور سے اس خلائی درز تک کا اوسط رداسی فاصلہ اگر ρ ہو اور برقی مقناطیس کا دھرے[41] کی سمت میں محوری لمبائی[42] l ہو تو اس لچھے میں وہی مقناطیسی بہاو ہو گا جو اس خلائی درز میں $-\frac{\pi}{2} < \theta < \frac{\pi}{2}$ کے مابین ہے۔ لمحہ $t = 0$ پر اسے یوں معلوم کیا جا سکتا ہے

$$\begin{aligned}
\phi_a(0) &= \int_{-\frac{\pi}{2}}^{+\frac{\pi}{2}} \boldsymbol{B} \cdot \mathrm{d}\boldsymbol{S} \\
&= \int_{-\frac{\pi}{2}}^{+\frac{\pi}{2}} (B_0 \cos\theta_p)(l\rho \,\mathrm{d}\theta_p) \\
&= B_0 l\rho \sin\theta_p \Big|_{-\frac{\pi}{2}}^{+\frac{\pi}{2}} \\
&= 2B_0 l\rho \\
&= \phi_0
\end{aligned} \tag{5.64}$$

---

[41] axle
[42] axial length

جہاں آخر میں $\phi_a(0)$ کو ϕ_0 کہا گیا ہے۔ یہی حساب اگر لمحہ t پر کی جائے تو کچھ یوں ہو گا۔

$$
\begin{aligned}
\phi_a(t) &= \int_{-\frac{\pi}{2}-\vartheta}^{+\frac{\pi}{2}-\vartheta} \boldsymbol{B}\cdot \mathrm{d}\boldsymbol{S}\\
&= \int_{-\frac{\pi}{2}-\vartheta}^{+\frac{\pi}{2}-\vartheta} (B_0\cos\theta_p)(l\rho\,\mathrm{d}\theta_p)\\
&= B_0 l\rho \sin\theta_p\Big|_{-\frac{\pi}{2}-\vartheta}^{+\frac{\pi}{2}-\vartheta}\\
&= 2B_0 l\rho\cos\vartheta\\
&= 2B_0 l\rho\cos\omega t
\end{aligned}
\tag{5.65}
$$

جہاں $\vartheta = \omega t$ لیا گیا ہے۔اسی مساوات کو یوں بھی حل کیا جا سکتا ہے

$$
\begin{aligned}
\phi_a(t) &= \int_{-\frac{\pi}{2}}^{+\frac{\pi}{2}} \boldsymbol{B}\cdot \mathrm{d}\boldsymbol{S}\\
&= \int_{-\frac{\pi}{2}}^{+\frac{\pi}{2}} (B_0\cos(\theta-\omega t))(l\rho\,\mathrm{d}\theta)\\
&= B_0 l\rho\sin(\theta-\omega t)\Big|_{-\frac{\pi}{2}}^{+\frac{\pi}{2}}\\
&= B_0 l\rho\left[\sin\left(\frac{\pi}{2}-\omega t\right)-\sin\left(-\frac{\pi}{2}-\omega t\right)\right]\\
&= 2B_0 l\rho\cos\omega t
\end{aligned}
\tag{5.66}
$$

اس مرتبہ تکمل زاویہ θ کے ساتھ کیا گیا ہے۔ انہیں مساوات 5.64 کی مدد سے یوں لکھا جا سکتا ہے۔

$$
\phi_a(t) = 2B_0 l\rho\cos\omega t = \phi_0\cos\omega t \tag{5.67}
$$

بالکل مساوات 5.66 کی طرح ہم b اور c لچھوں کے لئے بھی مقناطیسی بہاو کی مساواتیں حل کر سکتے ہیں۔ شکل 5.22 میں a لچھے میں زاویہ $-\frac{\pi}{2}$ سے $+\frac{\pi}{2}$ تک کا مقناطیسی بہاو گزرتا ہے۔ اس لئے $\phi_a(t)$ معلوم کرنے کے لئے مساوات 5.66 میں تکمل کے حدود یہی رکھے گئے تھے۔ اسی شکل سے واضح ہے کہ b لچھے کے تکمل کے حدود $+\frac{\pi}{6}$

اور $\frac{7\pi}{6}+$ جبکہ c کے حدود $\frac{5\pi}{6}+$ اور $\frac{11\pi}{6}+$ ہیں۔یہ زاویے ریڈیئن میں دیئے گئے ہیں۔یوں

$$\begin{aligned}
\phi_b(t) &= \int_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{7\pi}{6}} \boldsymbol{B}\cdot \mathrm{d}\boldsymbol{S}\\
&= \int_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{7\pi}{6}} (B_0\cos(\theta-\omega t))(l\rho\,\mathrm{d}\theta)\\
&= B_0 l\rho\,\sin(\theta-\omega t)\Big|_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{7\pi}{6}}\\
&= B_0 l\rho\left[\sin\left(\frac{7\pi}{6}-\omega t\right)-\sin\left(\frac{\pi}{6}-\omega t\right)\right]\\
&= 2B_0 l\rho\cos(\omega t-\frac{2\pi}{3})
\end{aligned} \tag{5.68}$$

اور

$$\begin{aligned}
\phi_c(t) &= \int_{\frac{5\pi}{6}}^{\frac{11\pi}{6}} \boldsymbol{B}\cdot \mathrm{d}\boldsymbol{S}\\
&= \int_{\frac{5\pi}{6}}^{\frac{11\pi}{6}} (B_0\cos(\theta-\omega t))(l\rho\,\mathrm{d}\theta)\\
&= B_0 l\rho\,\sin(\theta-\omega t)\Big|_{\frac{5\pi}{6}}^{\frac{11\pi}{6}}\\
&= B_0 l\rho\left[\sin\left(\frac{11\pi}{6}-\omega t\right)-\sin\left(\frac{5\pi}{6}-\omega t\right)\right]\\
&= 2B_0 l\rho\cos(\omega t+\frac{2\pi}{3})
\end{aligned} \tag{5.69}$$

اگر ایک لچھے کے N چکر ہوں تو اس میں پیدا برقی دباو کو یوں معلوم کیا جا سکتا ہے۔

$$\begin{aligned}
\lambda_a &= N\phi_a(t) = N\phi_0\cos\omega t\\
\lambda_b &= N\phi_b(t) = N\phi_0\cos(\omega t-120^\circ)\\
\lambda_c &= N\phi_c(t) = N\phi_0\cos(\omega t+120^\circ)
\end{aligned} \tag{5.70}$$

ان مساوات میں $\frac{2\pi}{3}$ ریڈیئن کو $120°$ لکھا گیا ہے۔ان سے لچھوں میں پیدا امالی برقی دباو کا حساب یوں لگایا جا سکتا ہے۔

$$
\begin{aligned}
e_a(t) &= -\frac{\mathrm{d}\lambda_a}{\mathrm{d}t} = \omega N \phi_0 \sin \omega t \\
e_b(t) &= -\frac{\mathrm{d}\lambda_b}{\mathrm{d}t} = \omega N \phi_0 \sin(\omega t - 120°) \\
e_c(t) &= -\frac{\mathrm{d}\lambda_c}{\mathrm{d}t} = \omega N \phi_0 \sin(\omega t + 120°)
\end{aligned} \tag{5.71}
$$

ان مساوات کو یوں بھی لکھ سکتے ہیں

$$
\begin{aligned}
e_a(t) &= \omega N \phi_0 \cos(\omega t - 90°) \\
e_b(t) &= \omega N \phi_0 \cos(\omega t + 150°) \\
e_c(t) &= \omega N \phi_0 \cos(\omega t + 30°)
\end{aligned} \tag{5.72}
$$

یہ مساوات تین دوری محرک برقی دباو کو ظاہر کرتے ہیں جو آپس میں $120°$ زاویہ پر ہیں۔ان سب کا حیطہ E_0 یکساں ہے جہاں

$$
E_0 = \omega N \phi_0 \tag{5.73}
$$

اور ان برقی دباو کی موثر قیمت[43]

$$
E_{\text{موثر}} = \frac{E_0}{\sqrt{2}} = \frac{2\pi f N \phi_0}{\sqrt{2}} = 4.44 f N \phi_0 \tag{5.74}
$$

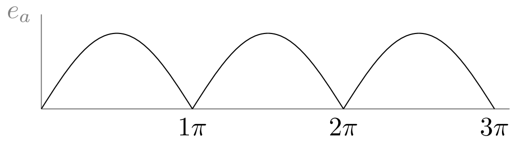
ہو گی۔ چونکہ $\phi = BA$ ہوتا ہے لہٰذا یہ مساوات بالکل صفحہ 50 پر دئے مساوات 2.52 کی طرح ہے۔

مساوات 5.72 سائن نما برقی دباو کو ظاہر کرتا ہے۔ اگرچہ اسے یہ سوچ کر حاصل کیا گیا کہ خلائی درز میں مقناطیسی بہاو صرف برقی مقناطیس کی وجہ سے ہے تاہم برقی دباو کا اس سے کوئی تعلق نہیں کہ خلائی درز میں مقناطیسی بہاو کس طرح وجود میں آئی اور یہ مساوات ان حالات کے لئے بھی درست ہے جہاں یہ مقناطیسی بہاو جنریٹر کے ساکن حصے میں پیدا ہوئی ہو یا ساکن اور حرکت پذیر دونوں حصوں میں پیدا ہوئی ہو۔

مساوات 5.74 ہمیں ایک گچھ لچھے میں پیدا برقی دباو دیتی ہے۔ اگر لچھا تقسیم شدہ ہو تو اس کے مختلف شگافوں میں موجود اس لچھے کے حصوں میں برقی دباو ہم مرحلہ نہیں ہوں گے لہٰذا ان سب کا مجموعی برقی دباو ان سب کا حاصل جمع نہیں ہو گا بلکہ اس سے قدرِ کم ہو گا۔ اس مساوات کو ہم ایک پھیلے لچھے کے لئے یوں لکھ سکتے ہیں۔

$$
E_{\text{موثر}} = 4.44 k_w f N \phi_0 \tag{5.75}
$$

[43] rms



شکل 5.24: ایک دور کا یک سمتی برقی دباو۔

تین دور برقی جنریٹروں کے k_w کی قیمت 0.85 تا 0.95 ہوتی ہے۔ یہ مساوات ہمیں ایک دور کی برقی دباو دیتی ہے۔ تین دور برقی جنریٹروں میں ایسے تین لچھوں کے جوڑے ہوتے ہیں اور ان کو Y یعنی ستارہ نما یا Δ یعنی تکونی جوڑا جاتا ہے۔

5.6.2 یک سمتی رو برقی جنریٹر

ہر گھومنے والا برقی جنریٹر بنیادی طور پر بدلتی رو جنریٹر ہی ہوتا ہے۔ البتہ جہاں یک سمتی برقی دباو[44] کی ضرورت ہو وہاں مختلف طریقوں سے بدلتی برقی دباو کو یک سمتی برقی دباو میں تبدیل کیا جاتا ہے۔ ایسا الیکٹرانکس کے ذریعہ جنریٹر کے باہر برقیاتی سمت کار[45] کی مدد سے کیا جا سکتا ہے یا پھر میکانی طریقے سے میکانی سمت کار[46] کی مدد سے جنریٹر کے اندر ہی کیا جا سکتا ہے۔ مساوات 5.71 میں دیئے گئے برقی دباو کو یک سمتی برقی دباو میں تبدیل کیا جائے تو یہ شکل 5.24 کی طرح ہو گا۔

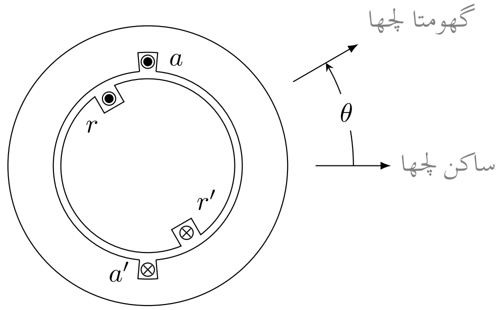
مثال 5.5: شکل 5.24 میں یک سمتی برقی دباو دکھائی گئی ہے۔اس یک سمتی برقی دباو کی اوسط قیمت حاصل کریں۔

حل:

$$E_{\text{اوسط}} = \frac{1}{\pi}\int_0^{\pi} \omega N\phi_0 \sin\omega t \,\mathrm{d}(\omega t) = \frac{2\omega N\phi_0}{\pi}$$

یک سمتی برقی جنریٹر پر باقاعدہ تبصرہ کتاب کے باب میں کیا جائے گا۔

[44] DC voltage
[45] rectifier
[46] commutator



شکل 5.25: ساکن امالہ اور گھومتا امالہ۔

5.7 ہموار قطب مشینوں میں قوت مروڑ

اس حصے میں ہم ایک کامل مشین میں قوت مروڑ[47] کا حساب لگائیں گے۔ ایسا دو طریقوں سے کیا جا سکتا ہے۔ ہم مشین کو دو مقناطیس سمجھ کر ان کے مابین قوتِ کشش، قوتِ دفع اور قوت مروڑ کا حساب لگا سکتے ہیں یا پھر اس میں ساکن اور گھومتے لچھوں کو امالہ سمجھ کر باب چار کی طرح توانائی اور کو توانائی کے استعمال سے اس کا حساب لگائیں۔ پہلے توانائی کا طریقہ استعمال کرتے ہیں۔

5.7.1 توانائی کے طریقے سے میکانی قوت مروڑ کا حساب

یہاں ہم ایک دور کی مشین کی بات کریں گے۔ اس سے حاصل جوابات کو با آسانی زیادہ دور کی آلوں پر لاگو کیا جا سکتا ہے۔ شکل 5.25 میں ایک دور کی کامل مشین دکھائی گئی ہے۔ کسی بھی لمحہ اس کی دو لچھوں میں کچھ زاویہ ہو گا جسے θ سے ظاہر کیا گیا ہے۔ خلائی درز ہر جگہ یکساں ہے لٰہذا یہاں اُبھرے قطب کے اثرات کو نظر انداز کیا جائے گا۔ مزید یہ کہ قالب کی $\mu_r \to \infty$ تصور کی گئی ہے لٰہذا لچھوں کی امالہ صرف خلائی درز کی مقناطیسی مستقل[48] μ_0 پر منحصر ہے۔

اس طرح ساکن لچھے کی امالہ L_{aa} اور گھومے لچھے کی امالہ L_{rr} مقررہ ہیں جبکہ ان کا مشترکہ امالہ $L_{ar}(\theta)$ زاویہ θ پر منحصر ہو گا۔ جب $\theta = 0$ یا $\theta = \mp 2\pi$ کے برابر ہو تو ایک لچھے کا سارا مقناطیسی بہاو دوسرے لچھے سے

torque[47]
magnetic constant, permeability[48]

بھی گزرتا ہے۔ ایسے حالت میں ان کا مشترکہ امالہ زیادہ سے زیادہ ہو گا جسے L_{ar0} لکھتے ہیں۔ جب $\theta = \mp 180°$ ہو اس لمحہ ایک مرتبہ پھر ایک لچھے کا سارا مقناطیسی بہاو دوسرے لچھے سے بھی گزرتا ہے البتہ اس لمحہ اس کی سمت اُلٹ ہوتی ہے لہٰذا اب ان کا مشترکہ امالہ بھی منفی ہو گا یعنی $-L_{ar0}$ اور جب $\theta = \mp 90°$ ہو تب ان کا مشترکہ امالہ صفر ہو گا۔ اگر ہم یہ ذہن میں رکھیں کہ خلائی درز میں مقناطیسی بہاو سائن نما ہے تب

$$L_{ar} = L_{ar0}\cos\theta \tag{5.76}$$

ہو گا۔ ہم ساکن اور گھومتے لچھوں کی ارتباط بہاو کو یوں لکھ سکتے ہیں

$$\begin{aligned}\lambda_a &= L_{aa}i_a + L_{ar}(\theta)i_r = L_{aa}i_a + L_{ar0}\cos(\theta)i_r\\ \lambda_r &= L_{ar}(\theta)i_a + L_{rr}i_r = L_{ar0}\cos(\theta)i_a + L_{rr}i_r\end{aligned} \tag{5.77}$$

اگر ساکن لچھے کی مزاحمت R_a اور گھومتے لچھے کی مزاحمت R_r ہو تو ہم ان لچھوں کے سروں پر دیئے گئے برقی دباو کو یوں لکھ سکتے ہیں۔

$$\begin{aligned}v_a &= i_aR_a + \frac{\mathrm{d}\lambda_a}{\mathrm{d}t} = i_aR_a + L_{aa}\frac{\mathrm{d}i_a}{\mathrm{d}t} + L_{ar0}\cos\theta\frac{\mathrm{d}i_r}{\mathrm{d}t} - L_{ar0}i_r\sin\theta\frac{\mathrm{d}\theta}{\mathrm{d}t}\\ v_r &= i_rR_r + \frac{\mathrm{d}\lambda_r}{\mathrm{d}t} = i_rR_r + L_{ar0}\cos\theta\frac{\mathrm{d}i_a}{\mathrm{d}t} - L_{ar0}i_a\sin\theta\frac{\mathrm{d}\theta}{\mathrm{d}t} + L_{rr}\frac{\mathrm{d}i_r}{\mathrm{d}t}\end{aligned} \tag{5.78}$$

یہاں θ برقی زاویہ ہے اور وقت کے ساتھ اس کی تبدیلی رفتار ω کو ظاہر کرتی ہے یعنی

$$\frac{\mathrm{d}\theta}{\mathrm{d}t} = \omega \tag{5.79}$$

میکانی قوت مروڑ بذریعہ کو توانائی حاصل کی جا سکتی ہے۔ کو توانائی صفحہ 125 پر مساوات 4.73 سے حاصل ہوتی ہے۔ یہ مساوات موجودہ استعمال کے لئے یوں لکھا جا سکتا ہے۔

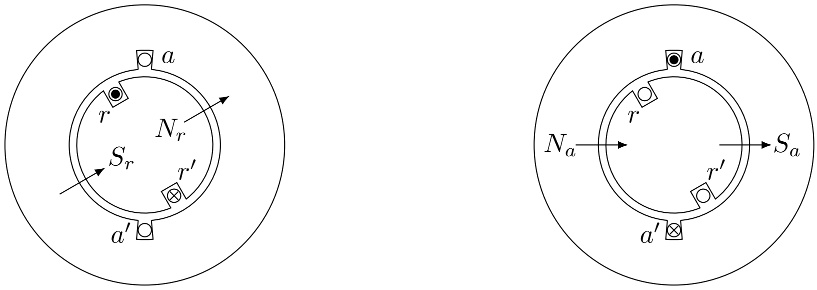
$$W'_m = \frac{1}{2}L_{aa}i_a^2 + \frac{1}{2}L_{rr}i_r^2 + L_{ar0}i_ai_r\cos\theta \tag{5.80}$$

اس سے میکانی قوت مروڑ T_m یوں حاصل ہوتا ہے۔

$$T_m = \frac{\partial W'_m(\theta_m, i_a, i_r)}{\partial\theta_m} = \frac{\partial W'_m(\theta, i_a, i_r)}{\partial\theta}\frac{\partial\theta}{\partial\theta_m} \tag{5.81}$$

چونکہ P قطب مشینوں کے لئے

$$\theta = \frac{P}{2}\theta_m \tag{5.82}$$



شکل 5.26: لچھوں کے قطبین۔

لہٰذا ہمیں مساوات 5.81 سے ملتا ہے

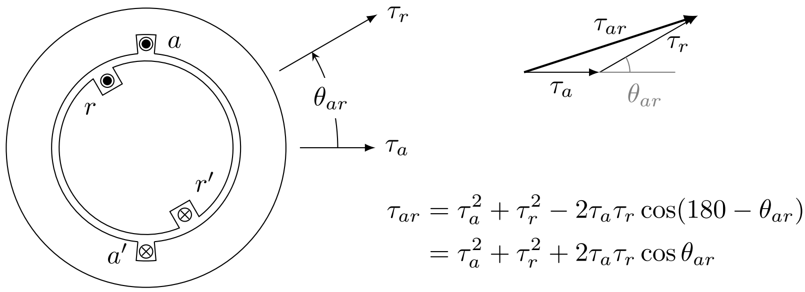
$$T_m = -\frac{P}{2} L_{ar0} i_a i_r \sin\left(\frac{P}{2}\theta_m\right) \tag{5.83}$$

اس مساوات میں قوت مروڑ T_m منفی ہے۔ اس کا مطلب ہے کہ اگر کسی لمحہ پر ساکن اور گھومتے لچھوں کے مقناطیسی بہاو کے درمیان زاویہ مثبت ہو تو ان کے مابین قوت مروڑ منفی ہو گا یعنی قوت مروڑ ان دونوں مقناطیسی بہاو کو ایک سمت میں رکھنے کی کوشش کرے گا۔

5.7.2 مقناطیسی بہاو سے میکانی قوت مروڑ کا حساب

شکل 5.26 میں دو قطب والی ایک دور کی مشین دکھائی گئی ہے۔ اس شکل میں بائیں جانب صرف گھومتے لچھے میں برقی رو ہے۔ اس لچھے کا مقناطیسی بہاو تیر کے نشان سے دکھایا گیا ہے، یعنی تیر اس مقناطیس کے محور کو ظاہر کرتا ہے۔ یہاں اگر صرف گھومتے حصے پر توجہ دی جائے تو یہ واضح ہے کہ گھومتا حصہ ایک مقناطیس کی مانند ہے جس کے شمالی اور جنوبی قطبین شکل میں دیئے گئے ہیں۔ اسی طرح شکل میں دائیں جانب صرف ساکن لچھے میں برقی رو ہے۔ اگر اس مرتبہ صرف ساکن حصے پر توجہ دی جائے تو اس کے بائیں جانب سے مقناطیسی بہاو نکل کر خلائی درز میں داخل ہوتی ہے، لہٰذا یہی اس کا شمالی قطب ہے اور اس مقناطیس کا محور بھی اسی تیر کی سمت میں ہے۔

یہاں یہ واضح رہے کہ اگرچہ کچھ لچھے دکھائے گئے ہیں لیکن درحقیقت دونوں لچھوں کے مقناطیسی دباو سائن۔نما ہی ہیں اور تیر کے نشان ان مقناطیسی دباو کی موج کے چوٹی کو ظاہر کرتے ہیں۔



شکل 5.27: خلائی درز میں مجموعی مقناطیسی دباو۔

شکل 5.27 میں اب دونوں لچھوں میں برقی رو ہے۔ یہ واضح ہے کہ یہ بالکل دو مقناطیسوں کی طرح ہے اور ان کے اُلٹ قطبین کے مابین قوتِ کشش ہو گا، یعنی یہ دونوں لچھے ایک ہی سمت میں ہونے کی کوشش کریں گے۔

یہاں یہ زیادہ واضح ہے کہ یہ دو مقناطیس کوشش کریں گے کہ θ_{ar} صفر کے برابر ہو یعنی ان کا میکانی قوت مروڑ θ_{ar} کے اُلٹ سمت میں ہو گا۔ یہی کچھ مساوات 5.83 کہتا ہے۔

ان برقی مقناطیسوں کے مقناطیسی دباو کو اگر ان کے مقناطیسی محور کی سمت میں τ_a اور τ_r سے ظاہر کیا جائے جہاں τ_a اور τ_r مقناطیسی دباو کے چوٹی کے برابر ہوں تو خلاء میں کل مقناطیسی دباو τ_{ar} ان کا جمع سمتیات ہو گا جیسے شکل میں دکھایا گیا ہے۔ اس کا طول τ_{ar} کوسائن کے قلیہ[49] سے یوں حاصل ہوتا ہے۔

$$
\begin{aligned}
\tau_{ar}^2 &= \tau_a^2 + \tau_r^2 - 2\tau_a\tau_r\cos(180^\circ - \theta_{ar}) \\
&= \tau_a^2 + \tau_r^2 + 2\tau_a\tau_r\cos\theta_{ar}
\end{aligned} \tag{5.84}
$$

خلائی درز میں یہ کل مقناطیسی دباو، مقناطیسی شدت H_{ar} کو جنم دے گا جو اس قلیہ سے حاصل ہوتا ہے۔

$$
\tau_{ar} = H_{ar} l_g \tag{5.85}
$$

H_{ar} مقناطیسی شدت کی چوٹی کو ظاہر کرتا ہے۔ اب جہاں خلاء میں مقناطیسی شدت H ہو وہاں مقناطیسی کو-توانائی کی کثافت $\frac{\mu_0}{2}H^2$ ہوتی ہے۔ خلائی درز میں اوسط کو-توانائی کی کثافت اس خلائی درز میں H^2 کی اوسط ضربِ $\frac{\mu_0}{2}$

---

[49] cosine law

ہو گی۔ کسی بھی سائن نما موج $H = H_0 \cos\theta$ کے H^2 کا اوسط $H^2_{\text{اوسط}}$ یوں حاصل کیا جاتا ہے۔

$$
\begin{aligned}
H^2_{\text{اوسط}} &= \frac{1}{\pi}\int_{-\frac{\pi}{2}}^{+\frac{\pi}{2}} H^2 \,\mathrm{d}\theta \\
&= \frac{1}{\pi}\int_{-\frac{\pi}{2}}^{+\frac{\pi}{2}} H_0^2 \cos^2\theta \,\mathrm{d}\theta \\
&= \frac{H_0^2}{\pi}\int_{-\frac{\pi}{2}}^{+\frac{\pi}{2}} \frac{1+\cos 2\theta}{2} \,\mathrm{d}\theta \\
&= \frac{H_0^2}{\pi}\left.\frac{\theta + \frac{\sin 2\theta}{2}}{2}\right|_{-\frac{\pi}{2}}^{+\frac{\pi}{2}} \\
&= \frac{H_0^2}{2}
\end{aligned} \tag{5.86}
$$

لہٰذا خلائی درز میں اوسط کو-توانائی کی کثافت $\frac{\mu_0}{2}\frac{H^2_{ar}}{2}$ ہو گی اور اس خلاء میں کل کو-توانائی اس اوسط کو-توانائی ضربِ خلاء کی حجم کے برابر ہو گا یعنی

$$W'_m = \frac{\mu_0}{2}\frac{H^2_{ar}}{2} 2\pi r l_g l = \frac{\mu_0 \pi r l}{2 l_g}\tau^2_{ar} \tag{5.87}$$

اس مساوات میں خلائی درز کی رداسی لمبائی l_g ہے اور اس کی دھرے[50] کی سمت میں محوری لمبائی[51] l ہے۔ محور سے خلاء کی اوسط رداسی فاصلہ r ہے۔ مزید یہ کہ $l_g \ll r$ ہے۔ اس طرح خلاء میں رداسی سمت میں کثافتِ مقناطیسی بہاو کی تبدیلی کو نظر انداز کیا جا سکتا ہے۔ اس مساوات کو ہم مساوات 5.84 کی مدد سے یوں لکھ سکتے ہیں۔

$$W'_m = \frac{\mu_0 \pi r l}{2 l_g}\left(\tau_a^2 + \tau_r^2 + 2\tau_a\tau_r\cos\theta_{ar}\right) \tag{5.88}$$

اس سے میکانی قوت مروڑ یوں حاصل کیا جا سکتا ہے

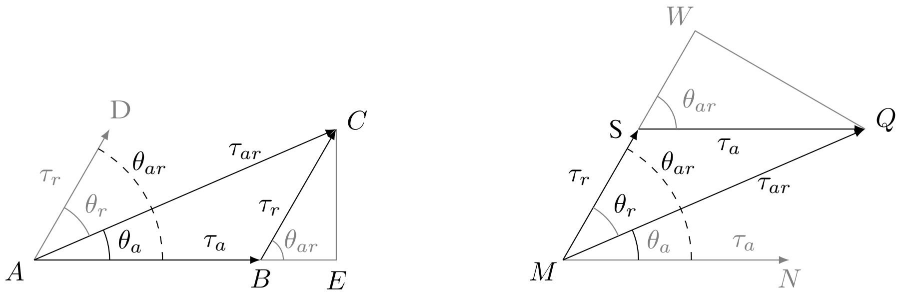
$$T_m = \frac{\partial W'_m}{\partial \theta_{ar}} = -\frac{\mu_0 \pi r l}{l_g}\tau_a\tau_r\sin\theta_{ar} \tag{5.89}$$

یہ حساب دو قطب والی مشین کے لئے لگایا گیا ہے۔ P قطب والے مشین کے لئے یہ مساوات ہر جوڑی قطب کا میکانی قوت مروڑ دیتا ہے لہٰذا ایسے مشین کے لئے ہم لکھ سکتے ہیں

$$T_m = -\frac{P}{2}\frac{\mu_0 \pi r l}{l_g}\tau_a\tau_r\sin\theta_{ar} \tag{5.90}$$

---

[50] axis
[51] axial length



شکل 5.28: مقناطیسی دباو اور ان کے زاویے۔

یہ ایک بہت اہم مساوات ہے۔ اس کے مطابق مشین کا میکانی قوت مروڑ اس کے ساکن اور گھومتے لچھوں کے مقناطیسی دباو کے چوٹی کے براہ راست متناسب ہے۔ اسی طرح یہ ان دونوں کے درمیان برقی زاویہ θ_{ar} کے سائن کے بھی براہ راست متناسب ہے۔ منفی میکانی قوت مروڑ کا مطلب ہے کہ یہ زاویہ θ_{ar} کے الٹ جانب ہے یعنی یہ میکانی قوت مروڑ اس زاویہ کو کم کرنے کی جانب کو ہے۔ مشین کے ساکن اور گھومتے حصوں پر ایک برابر مگر الٹ سمتوں میں میکانی قوت مروڑ ہوتا ہے البتہ ساکن حصے کا قوت مروڑ مشین کے وجود کے ذریعہ زمین تک منتقل ہو جاتا ہے جبکہ گھومتے حصے کا میکانی قوت مروڑ اس حصے کو گھماتا ہے۔

چونکہ مقناطیسی دباو برقی رو کے براہ راست متناسب ہے لہٰذا τ_a اور i_a آپس میں براہ راست متناسب ہیں جبکہ τ_r اور i_r آپس میں براہ راست متناسب ہیں۔ اس سے یہ ظاہر ہوتا ہے کہ مساوات 5.83 اور 5.90 ایک جیسے ہیں۔ درحقیقت یہ ثابت کیا جا سکتا ہے کہ یہ دونوں بالکل برابر ہیں۔

شکل 5.28 میں ایک مرتبہ پھر ساکن اور گھومتے لچھوں کے مقناطیسی دباو دکھائے گئے ہیں۔ شکل میں بائیں جانب تکون ΔAEC اور ΔBEC میں CE مشترکہ ہے اور ان دو تکونوں سے واضح ہے کہ

$$CE = \tau_r \sin\theta_{ar} = \tau_{ar} \sin\theta_a \tag{5.91}$$

اس مساوات کی مدد سے مساوات 5.90 یوں لکھا جا سکتا ہے۔

$$T_m = -\frac{P}{2}\frac{\mu_0 \pi r l}{l_g}\tau_a \tau_{ar} \sin\theta_a \tag{5.92}$$

اسی طرح شکل 5.28 کے دائیں جانب تکون ΔMWQ اور تکون ΔSWQ میں WQ کا طرف مشترکہ ہے اور

ان دو تکونوں سے واضح ہے کہ

$$WQ = \tau_a \sin\theta_{ar} = \tau_{ar}\sin\theta_r \tag{5.93}$$

اب اس مساوات کی مدد سے مساوات 5.90 یوں لکھا جا سکتا ہے۔

$$T_m = -\frac{P}{2}\frac{\mu_0\pi rl}{l_g}\tau_r\tau_{ar}\sin\theta_r \tag{5.94}$$

مساوات 5.90 مساوات 5.92 اور مساوات 5.94 کو ایک جگہ لکھتے ہیں۔

$$\begin{aligned} T_m &= -\frac{P}{2}\frac{\mu_0\pi rl}{l_g}\tau_a\tau_r\sin\theta_{ar} \\ T_m &= -\frac{P}{2}\frac{\mu_0\pi rl}{l_g}\tau_a\tau_{ar}\sin\theta_a \\ T_m &= -\frac{P}{2}\frac{\mu_0\pi rl}{l_g}\tau_r\tau_{ar}\sin\theta_r \end{aligned} \tag{5.95}$$

ان مساوات سے یہ واضح ہے کہ میکانی قوت مروڑ کو دونوں لچھوں کے مقناطیسی دباو اور ان کے مابین زاویہ کی شکل میں لکھا جا سکتا ہے یا پھر ایک لچھے کی مقناطیسی دباو اور کل مقناطیسی دباو اور ان دو کے مابین زاویہ کی شکل میں لکھا جا سکتا ہے۔

اس بات کو یوں بیان کیا جاسکتا ہے کہ میکانی قوت مروڑ دو مقناطیسی دباو کے آپس میں رد عمل کی وجہ سے وجود میں آتا ہے اور یہ ان مقناطیسی دباو کی چوٹی اور ان کے مابین زاویہ پر منحصر ہوتا ہے۔

مقناطیسی دباو، مقناطیسی شدت، کثافت مقناطیسی بہاو اور مقناطیسی بہاو سب کا آپس میں تعلق رکھتے ہیں لہٰذا ان مساوات کو کئی مختلف طریقوں سے لکھا جا سکتا ہے۔ مثلاً خلائی درز میں کل مقناطیسی دباو τ_{ar} اور وہاں کثافت مقناطیسی بہاو B_{ar} کا تعلق

$$B_{ar} = \frac{\mu_0\tau_{ar}}{l_g} \tag{5.96}$$

استعمال کر کے مساوات 5.95 کے آخری جزو کو یوں لکھا جا سکتا ہے

$$T_m = -\frac{P}{2}\pi rl\tau_r B_{ar}\sin\theta_r \tag{5.97}$$

مقناطیسی آلوں میں مقناطیسی قالب کی مقناطیسی مستقل μ کی محدود صلاحیت کی وجہ سے قالب میں کثافت مقناطیسی بہاو تقریباً ایک ٹسلا تک ہی بڑھائی جا سکتی ہے۔ لہٰذا مشین بناتے وقت اس حد کو مد نظر رکھنا پڑتا ہے۔ اسی طرح گھومتے لچھے کا مقناطیسی دباو اس لچھے میں برقی رو پر منحصر ہوتا ہے۔ اس برقی رو سے لچھے کی مزاحمت میں برقی توانائی ضائع ہوتی ہے جس سے یہ لچھا گرم ہوتا ہے۔ برقی رو کو اس حد تک بڑھایا جا سکتا ہے جہاں تک اس لچھے کو ٹھنڈا کرنا ممکن ہو۔ لہٰذا مقناطیسی دباو کو اس حد کے اندر رکھنا پڑتا ہے۔ چونکہ اس مساوات میں یہ دو بہت ضروری حدیں واضح طور پر سامنے ہیں اس لئے یہ مساوات مشین بنانے کی غرض سے بہت اہم ہے۔

اس مساوات کی ایک اور بہت اہم شکل اب دیکھتے ہیں۔ ایک قطب پر مقناطیسی بہاو ϕ_P ایک قطب پر اوسط کثافت مقناطیسی بہاو $B_{\text{اوسط}}$ ضربِ ایک قطب کا رقبہ A_P ہوتا ہے۔ جہاں

$$B_{\text{اوسط}} = \frac{1}{\pi} \int_{-\frac{\pi}{2}}^{+\frac{\pi}{2}} B_0 \cos\theta \,\mathrm{d}\theta = \frac{2B_0}{\pi} \tag{5.98}$$

$$A_P = \frac{2\pi r l}{P} \tag{5.99}$$

لہٰذا

$$\phi_P = \frac{2B_0}{\pi} \frac{2\pi r l}{P} \tag{5.100}$$

اور

$$T_m = -\frac{\pi}{2} \left(\frac{P}{2}\right)^2 \phi_{ar} \tau_r \sin\theta_r \tag{5.101}$$

یہ مساوات معاصر مشینوں کے لئے بہت کار آمد ہے۔

باب 6

یکساں حال، برقرار چالو معاصر مشین

جیسا کہ نام سے واضح ہے یہ وہ گھومنے والی مشین ہے جو ایک ہی رفتار سے گھومتی ہے اور یہ رفتار اس کو دیئے گئے برقی دباو کے تعدد پر منحصر ہوتی ہے۔

جب کسی جنریٹر پر بوجھ تبدیل کیا جائے یا اسے فراہم میکانی طاقت فراہم کرنے والے کی رفتار تبدیل کی جائے تو جنریٹر نئی صورتِ حال کے مطابق چند ہی لمحات میں دوبارہ برقرار صورت اختیار کر لیتا ہے۔اس برقرار چالو صورت میں اس کی رفتار، برقی دباو، برقی رو، درجہ حرارت وغیرہ مقررہ رہتے ہیں۔اسی طرح اگر موٹر پر بوجھ تبدیل ہو تو اسے درکار طاقت اور برقی رو تبدیل ہوں گے۔بوجھ تبدیل ہونے سے پہلے موٹر برقرار مقررہ برقی رو حاصل کرتا رہتا ہے اور اس کا درجہ حرارت ایک مقررہ قیمت پر رہتا ہے۔اسی طرح بوجھ تبدیل ہونے کے چند ہی لمحات میں یہ دوبارہ ایک نئی برقرار چالو صورت اختیار کر لیتا ہے جہاں اس کی برقی رو ایک نئی قیمت پر برقرار رہتی ہے اور اس کا درجہ حرارت بھی ایک نئی قیمت اختیار کر لیتا ہے۔دو مختلف برقرار چالو، یکساں صورتوں کے درمیان چند لمحات کے لئے مشین عارضی صورت[1] میں ہوتا ہے۔اس باب میں یکساں حال، برقرار چالو[2] مشین پر تبصرہ کیا جائے گا۔

معاصر آلوں میں عموماً قوی لچھا ساکن رہتا ہے جبکہ میدانی لچھا معاصر رفتار سے گھومتا ہے۔قوی لچھوں کی برقی رو میدانی لچھوں کی برقی رو کی نسبت بہت زیادہ ہوتی ہے اور اسے سرک چھلوں کے ذریعہ گزارنا نہایت مشکل ہوتا ہے لہٰذا قوی لچھوں کو ساکن رکھا جاتا ہے جبکہ میدانی لچھوں کو گھمایا جاتا ہے۔

---

transient state[1]
steady state[2]

ہم یہ دیکھ چکے ہیں کہ تین مرحلہ لپٹے ساکن لچھوں میں اگر متوازن تین مرحلہ برقی رو ہو تو یہ ایک گھومتے مقناطیسی دباو کی موج کو جنم دیتی ہے۔اس گھومتے موج کی رفتار کو معاصر رفتار[3] کہتے ہیں۔ معاصر مشین کا گھومتا حصہ اسی رفتار سے گھومتا ہے۔

معاصر مشین کے میدانی لچھے کو یک سمتی برقی رو درکار ہوتی ہے جو یا تو سرک چھلوں کے ذریعہ اس تک باہر سے پہنچائی جاتی ہے یا پھر مشین کے دھرے پر ہی نسب ایک چھوٹی یک سمتی جنریٹر سے اسے فراہم کی جاتی ہے۔

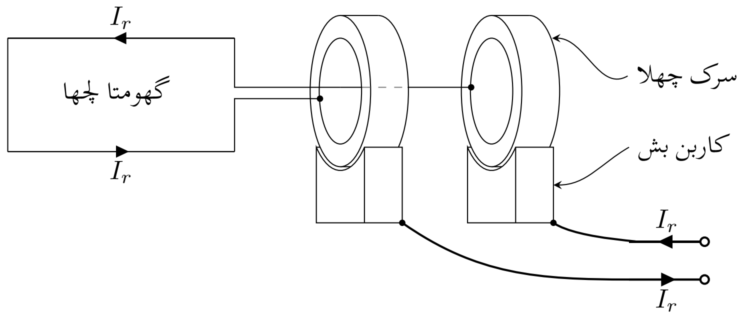
میدانی لچھا ایک میدانی مقناطیسی دباو کو جنم دیتی ہے جو اس لچھے کے ساتھ ساتھ معاصر رفتار سے گھومتی ہے۔ لہٰذا معاصر مشین کے گھومتے اور ساکن لچھوں کے مقناطیسی دباو معاصر رفتار سے ہی گھومتے ہیں۔ اسی وجہ سے انہیں معاصر مشین کہتے ہیں۔

6.1 متعدد مرحلہ معاصر مشین

معاصر مشین عموماً تین مرحلہ ہوتے ہیں۔ان کے تین مرحلہ ساکن قوی لچھے خلاء میں $120°$ برقی زاویہ پر نسب ہوتے ہیں جبکہ اس کے میدانی لچھے گھومتے حصے پر نسب ہوتے ہیں اور ان میں یک سمتی برقی رو ہوتی ہے۔

اگر مشین کے گھومتے حصے کو بیرونی میکانی طاقت سے گھمایا جائے تو یہ مشین ایک معاصر جنریٹر کے طور پر کام کرتی ہے اور اس کے تین مرحلہ ساکن قوی لچھوں میں تین مرحلہ برقی دباو پیدا ہوتی ہے جس کا برقی تعدد گھومنے کے رفتار پر منحصر ہوتا ہے۔ اس کے برعکس اگر مشین کے تین مرحلہ ساکن قوی لچھوں کو تین مرحلہ برقی طاقت مہیا کیا جائے تو یہ ایک معاصر موٹر کے طور کام کرتی ہے جو معاصر رفتار سے گھومتی ہے۔مشین کی کل برقی قوت کے چند فی صد برابر برقی قوت اس کے میدان لچھے کو درکار ہوتی ہے۔ گھومتے لچھے تک برقی دباو مختلف طریقوں سے پہنچائی جاتی ہے۔شکل 6.1 میں گھومتے لچھے تک موصل سرک چھلے[4] کی مدد سے یک سمتی برقی رو پہنچانے کا طریقہ دکھایا گیا ہے۔ یہ سرک چھلے اُسی دھرے پر نسب ہوتے ہیں جس پر گھومتا لچھا نسب ہوتا ہے اور یہ اس لچھے کے ساتھ یکساں طور پر گھومتے ہیں۔ سرک چھلوں کے بیرونی سطح پر کاربن کے ساکن بُش، اسپرنگ کی مدد سے ان کے ساتھ دبا کر رکھے جاتے ہیں۔ جب مشین چلتی ہے کاربن کے بُش ان سرک چھلوں پر سرکتے ہیں۔ اسپرنگ کا دباو ان کا

[3] synchronous speed
[4] slip rings



شکل 6.1: کاربن بُش اور سرک چھلوں سے لچھے تک برقی رو پہنچایا گیا ہے۔

برقی جوڑ مضبوط رکھتا ہے اور ان کے مابین چنگاریاں نہیں نکلتی۔ کاربن بُش کے ساتھ برقی تار لگی ہے۔ اس طرح یک سمتی برقی رو I_r ، کاربن بُش[5] سے سرک چھلوں اور یہاں سے گھومتے لچھے تک پہنچتی ہے۔

بڑے معاصر مشین میں میدانی یک سمتی برقی رو عموماً ایک بدلتی رو برقی جنریٹر سے حاصل کی جاتی ہے جو معاصر مشین کے دھرے پر ہی نسب ہوتی ہے اور اس کے ساتھ یکساں طور پر گھومتی ہے۔اس چھوٹے جنریٹر کی برقی دباو کو دھرے پر ہی نسب الیکٹرانکس کی مدد سے یک سمتی برقی دباو میں تبدیل کیا جاتا ہے۔ یوں سرک چھلے کی ضرورت نہیں رہتی۔ سرک چھلے رگڑ کی وجہ سے خراب ہوتے ہیں جس کی وجہ سے معاصر مشین کو مرمت کی خاطر بند کرنا پڑتا ہے جو بہت مہنگا پڑتا ہے۔

اُبھرے قطب[6] مشین پانی سے چلنے والے سست رفتار جنریٹر اور عام استعمال کے موٹروں کے لئے موزوں ہوتے ہیں جبکہ ہموار قطب[7] مشین تیز رفتار دو یا چار قطب والے ٹربائن جنریٹروں کے لئے موزوں ہوتے ہیں۔

کسی بھی مملکت کو درکار برقی توانائی ایک برقی جنریٹر سے دینا ممکن نہیں، لہٰذا حقیقت میں کچھ درجنوں سے لیکر کئی سو برقی جنریٹر بیک وقت یہ فرائضہ سر انجام دے رہے ہوتے ہیں۔ ایک سے زیادہ جنریٹر استعمال کرنا فائدہ مند ثابت ہوتا ہے۔ اوّل تو برقی توانائی کی ضرورت کے مطابق جنریٹر چالو کئے جا سکتے ہیں اور پھر ان جنریٹروں کو ضرورت کی جگہ کے ممکنہ طور پر قریب نسب کیا جا سکتا ہے۔ کسی بھی اس طرح کے بڑے نظام میں ایک جنریٹر کی حیثیت بہت کم ہو جاتی ہے۔ ایک جنریٹر چالو یا بند کرنے سے پورے نظام پر کوئی خاص فرق نہیں پڑتا۔ اس صورت میں ہم

---

[5] carbon bush
[6] salient poles
[7] non-salient poles

اس نظام کو ایک مقررہ برقی دباو اور ایک مقررہ برقی تعدد رکھنے والا نظام تصور کر سکتے ہیں۔ معاصر جنریٹروں کے کئی اہم پہلو باآسانی سمجھے جا سکتے ہیں اگر یہ تصور کر لیا جائے کہ یہ ایک ایسے ہی نظام سے جوڑا گیا ہے۔

مساوات 5.101 ایک معاصر مشین کا قوت مروڑ بتلاتا ہے۔اس مساوات کے مطابق برقی مقناطیسی قوت مروڑ کی کوشش ہوتی ہے کہ وہ مشین میں موجود عمل کرنے والے مقناطیسی دباو کو سیدھ میں لائے۔ برقرار چالو مشین کا برقی مقناطیسی قوت مروڑ اور اس کے دھرے پر لاگو میکانی قوت مروڑ برابر ہوتے ہیں۔ جب مشین ایک جنریٹر کی حیثیت سے استعمال ہو تب میکانی طاقت دھرے کو گھماتا ہے اور گھومتے لچھے کا مقناطیسی دباو کلِ مقناطیسی دباو سے گھومنے کی سمت میں آگے ہوتا ہے۔ مساوات 5.101 سے حاصل قوت مروڑ اس صورت میں گھومنے کو روکنے کی کوشش کرتا ہے۔میکانی طاقت چلتے پانی، ایندھن سے چلتے انجن وغیرہ سے حاصل ہو سکتا ہے۔ اسی طرح اگر مشین ایک موٹر کی حیثیت سے استعمال ہو رہا ہو، تب صورت اس کے بالکل اُلٹ ہو گی۔

اگر کلِ مقناطیسی بہاو ϕ_{ar} اور گھومتے لچھے کا مقناطیسی دباو τ_r تبدیل نہ ہو تب اسی مساوات کے مطابق مشین کا قوت مروڑ $\sin\theta_r$ کے ساتھ تبدیل ہو گا۔ اگر زاویہ θ_r صفر ہو تب یہ قوت مروڑ بھی صفر ہو گا۔ اب تصور کریں کہ یہی مشین ایک موٹر کے طور پر استعمال ہو رہی ہو۔ جیسے جیسے موٹر پر لدا میکانی بوجھ بڑھایا جائے ویسے ویسے اس کے دھرے پر میکانی قوت مروڑ بڑھے گی۔ موٹر کو برابر کا برقی مقناطیسی قوت مروڑ پیدا کرنا ہو گا جو یہ زاویہ بڑھا کر کرتا ہے۔یہاں یہ سمجھنا ضروری ہے کہ موٹر ہر وقت معاصر رفتار سے ہی گھومتا ہے اور وہ یہ زاویہ پل بھر کے لئے آہستہ ہو کر ضرورت کے مطابق درست کرتا ہے۔یعنی موٹر کا زاویہ θ_r ہر وقت میکانی قوت مروڑ کا تعقب[8] کرتی ہے۔

اگر موٹر پر لدا میکانی بوجھ بتدریج بڑھایا جائے تو ایک لمحہ آئے گا جب زاویہ θ_r نوے درجہ یعنی $\frac{\pi}{2}$ ریڈیئن تک پہنچ جائے گا۔ اس لمحہ موٹر اپنی انتہائی قوت مروڑ[9] پیدا کر رہی ہو گی۔ اگر بوجھ مزید بڑھایا جائے تو موٹر کسی بھی صورت میں اس کے مقابلے کا قوت مروڑ نہیں پیدا کر سکتی اور یہ موٹر رک جائے گی۔ ہم کہتے ہیں کہ موٹر نے غیر معاصر[10] صورت اختیار کر لی ہے۔ مساوات سے یہ ظاہر ہے کہ کلِ مقناطیسی بہاو یا گھومتے لچھے کا مقناطیسی دباو بڑھا کر اس انتہائی قوت مروڑ کی مقدار بڑھائی جا سکتی ہے۔

یہی صورت اگر مشین برقی جنریٹر کے طور پر استعمال کی جائے سامنے آتی ہے۔ جب بھی مشین غیر معاصر صورت اختیار کرے اسے جلد خود کار دور شکن[11] کی مدد سے برقی بھم رسانی سے الگ کر دیا جاتا ہے۔

---

[8] hunting
[9] pull out torque
[10] lost synchronism
[11] circuit breaker

ہم نے دیکھا کہ ایک معاصر موٹر صرف اور صرف معاصر رفتار سے ہی گھوم سکتی ہے اور صرف اسی رفتار پر گھومتی صورت میں قوت مروڑ پیدا کر سکتی ہے لہٰذا اگر اسے ساکن حالت سے چالو کرنے کی کوشش کی جائے تو یہ کوشش ناکام رہے گی۔ ایسے موٹر کو پہلے کسے اور طریقے سے معاصر رفتار تک لایا جاتا ہے اور پھر اسے چالو کیا جاتا ہے۔ ایسا عموماً ایک چھوٹی امالی موٹر[12] کی مدد سے کیا جاتا ہے جو بے بوجھ معاصر موٹر کو، اس کے معاصر رفتار تک لے آتا ہے اور پھر اس معاصر موٹر کو چالو کیا جاتا ہے۔ ایسی امالہ موٹر معاصر موٹر کے دھرے پر ہی نسب ہوتی ہے۔

6.2 معاصر مشین کے امالہ

ہم تصور کرتے ہیں کہ مشین دو قطب اور تین مرحلہ ہے اور اس کے لچھے ستارہ نما جڑے ہیں۔اس طرح لچھوں میں برقی رو، تار برقی رو[13] ہی ہو گی اور ان پر لاگو برقی دباو، یک مرحلہ برقی دباو ہو گی۔ایسا کرنے سے مسئلہ پر غور کرنا آسان ہو جاتا ہے جبکہ نتیجہ کسی بھی موٹر کے لئے درست ہوتا ہے۔

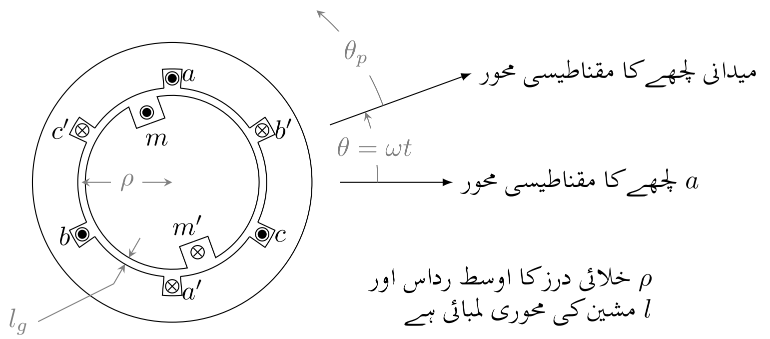
شکل 6.2 میں ایک ایسا تین مرحلہ دو قطب معاصر مشین دکھایا گیا ہے۔ اس کا گھومتا حصہ نلکی نما ہے۔اس کو دو قطب کا مشین یا پھر P قطب کے مشین کا دو قطب کا حصہ سمجھا جا سکتا ہے۔

یہاں گچھ لچھے دکھائے گئے ہیں لیکن حقیقت میں پھیلے لچھے ہی استعمال ہوتے ہیں اور انہیں درحقیقت پھیلے لچھے ہی سمجھا جائے۔ اس طرح ہر لچھا سائن نما برقی دباو پیدا کرتا ہے جس کی چوٹی لچھے کی مقناطیسی محور کی سمت میں ہوتی ہے۔ چونکہ معاصر مشین میں گھومتے لچھے میں یک سمتی رو ہی ہوتا ہے لہٰذا اس کا مقناطیسی دباو ہر لمحہ گھومتے حصے کی مقناطیسی محور کی سمت میں ہی رہتا ہے۔ یہ شکل میں دکھایا گیا ہے۔ اس طرح گھومتے لچھے کا مقناطیسی دباو گھومتے حصے کے ساتھ ساتھ معاصر رفتار سے گھومتا ہے۔

ہم فرض کرتے ہیں کہ مشین معاصر رفتار ω سے گھوم رہی ہے۔ اس طرح اگر لمحہ $t=0$ پر مرحلہ[14] a اور گھومتے لچھے کے مقناطیسی محور ایک ہی سمت میں ہوں تب کسی بھی لمحہ پر ان کے مابین زاویہ $\theta=\omega t$ ہو گا۔ امالہ کے حساب لگانے کے لئے شکل 6.2 سے رجوع کریں۔ شکل میں محیط پر خلائی درز یکساں ہے اور اس کی رداسی سمت

---

[12] induction motor
[13] line current
[14] phase



شکل 6.2: تین مرحلہ، دو قطب معاصر مشین۔

میں لمبائی l_g ہے۔ ساکن حصے میں شگافوں کے اثر کو نظرانداز کیا گیا ہے۔ محور سے خلائی درز تک کا اوسط رداسی فاصلہ ρ ہے اور مشین کی دھرے کی سمت میں محوری لمبائی l ہے۔

کسی بھی لچھے کے خود امالہ کا حساب کرتے وقت باقی سب لچھوں کو نظرانداز کریں۔ اس کا مطلب ہے کہ آپ تصور کریں کہ باقی سب لچھوں میں برقی رو صفر ہے یعنی ان لچھوں کے سرے آزاد رکھے گئے ہیں۔ حقیقت میں اگر آپ کبھی لچھوں کے خود امالہ کو مشین کی مدد سے ناپنا چاہیں تو آپ باقی سب لچھوں کے سرے آزاد ہی رکھیں گے۔

6.2.1 خود امالہ

گھومتے یا ساکن لچھے کی خود امالہ L زاویہ θ پر منحصر نہیں۔ ان میں سے کسی بھی لچھے کی مقناطیسی دباو τ

$$\tau = k_w \frac{4}{\pi} \frac{Ni}{2} \cos \theta_p \tag{6.1}$$

سے خلائی درز میں کثافت مقناطیسی بہاو B پیدا ہو گی جہاں

$$B = \mu_0 H = \mu_0 \frac{\tau}{l_g} = \mu_0 k_w \frac{4}{\pi} \frac{Ni}{2l_g} \cos \theta_p \tag{6.2}$$

یہ مساوات زاویہ θ_p کے ساتھ بدلتی کثافتِ مقناطیسی دباو B بتلاتی ہے۔ اس لچھے کا ایک قطب پر کل مقناطیسی بہاو ϕ کا حساب کرنے کے لئے ہمیں اس مساوات کا سطحی تکمل[15] یوں لینا ہو گا۔

$$
\begin{aligned}
\phi &= \int \boldsymbol{B} \cdot \mathrm{d}\boldsymbol{S} \\
&= \int_{-\frac{\pi}{2}}^{+\frac{\pi}{2}} B l \rho \, \mathrm{d}\theta_p \\
&= \mu_0 k_w \frac{4}{\pi} \frac{N i}{2 l_g} l \rho \int_{-\frac{\pi}{2}}^{+\frac{\pi}{2}} \cos\theta_p \, \mathrm{d}\theta_p \\
&= \frac{4 \mu_0 k_w N i l \rho}{\pi l_g}
\end{aligned} \tag{6.3}
$$

اب ہم اس لچھے کی خود امالہ L مساوات 2.29 میں جزو پھیلاو k_w کا اثر شامل کرتے ہوئے حاصل کر سکتے ہیں۔

$$
L = \frac{\lambda}{i} = \frac{k_w N \phi}{i} = \frac{4 \mu_0 k_w^2 N^2 l \rho}{\pi l_g} \tag{6.4}
$$

یہ مساوات اس شکل میں کسی بھی لچھے کی خود امالہ دیتا ہے۔یعنی

$$
L_{aa0} = L_{bb0} = L_{cc0} = \frac{4 \mu_0 k_{wa}^2 N_a^2 l \rho}{\pi l_g} \tag{6.5}
$$

اور

$$
L_{mm0} = \frac{4 \mu_0 k_{wm}^2 N_m^2 l \rho}{\pi l_g} \tag{6.6}
$$

6.2.2 مشترکہ امالہ

اب ہم دو لچھوں کا مشترکہ امالہ حاصل کرتے ہیں۔تصور کریں کہ صرف گھومتا لچھا مقناطیسی بہاو پیدا کر رہا ہے۔ ہم اس کا وہ حصہ جو a لچھے سے گزرے کا حساب لگا کر ان کا مشترکہ امالہ حاصل کریں گے۔ شکل 6.2 میں گھومتے اور a لچھے کے مابین کا زاویہ θ ہے۔اس صورت میں وہ مقناطیسی بہاو جو $(-\frac{\pi}{2} - \theta) < \theta_p < (\frac{\pi}{2} - \theta)$ کے مابین

[15] surface integral

ہو، a لچھے سے گزرے گا۔ اس مقناطیسی بہاو کا حساب مساوات 6.3 میں تکمل کے حدود تبدیل کر کے یوں حاصل ہو گا۔

$$
\begin{aligned}
\phi_{am} &= \int \boldsymbol{B} \cdot \mathrm{d}\boldsymbol{S} \\
&= \int_{-\frac{\pi}{2}-\theta}^{+\frac{\pi}{2}-\theta} Bl\rho \,\mathrm{d}\theta_p \\
&= \mu_0 k_{wm} \frac{4}{\pi} \frac{N_m i_m}{2l_g} l\rho \int_{-\frac{\pi}{2}-\theta}^{+\frac{\pi}{2}-\theta} \cos\theta_p \,\mathrm{d}\theta_p \\
&= \frac{4\mu_0 k_{wm} N_m i_m l\rho}{\pi l_g} \cos\theta
\end{aligned} \tag{6.7}
$$

اس مساوات سے ان کا مشترکہ امالہ یہ ہے

$$
L_{am} = \frac{\lambda_{am}}{i_m} = \frac{k_{wa} N_a \phi_{am}}{i_m} = \frac{4\mu_0 k_{wa} k_{wm} N_a N_m l\rho}{\pi l_g} \cos\theta \tag{6.8}
$$

اس کو یوں لکھ سکتے ہیں

$$
L_{am} = L_{am0} \cos\theta \tag{6.9}
$$

جہاں جیسے پہلے ذکر ہوا زاویہ θ گھومنے کی رفتار پر منحصر ہے یعنی $\theta = \omega t$ اور L_{am0} یہ ہے

$$
L_{am0} = \frac{4\mu_0 k_{wa} k_{wm} N_a N_m l\rho}{\pi l_g} \tag{6.10}
$$

اگرچہ یہ مساوات ایک گھومتے اور ایک ساکن لچھے کے لئے نکالا گیا ہے درحقیقت یہ اس شکل میں کسی بھی دو لچھوں کے لئے درست ہے۔ یہ دونوں لچھے ساکن ہوتے تب بھی جواب یہی آتا۔ اگر یہ دونوں گھومتے ہوتے تب بھی جواب یہی آتا۔ لہٰذا دو ساکن یکساں لچھے مثلاً a اور b جن کے مابین $120°$ کا زاویہ ہے کا آپس کا مشترکہ امالہ یہ ہو گا

$$
L_{ab} = \frac{4\mu_0 k_{wa} k_{wb} N_a N_b l\rho}{\pi l_g} \cos 120° = -\frac{2\mu_0 k_{wa}^2 N_a^2 l\rho}{\pi l_g} \tag{6.11}
$$

جہاں دونوں لچھے بالکل یکساں ہونے کی بدولت $k_{wb} = k_{wa}$ اور $N_b = N_a$ لئے گئے ہیں۔اگر تینوں ساکن لچھے بالکل یکساں ہو تب ہم اس مساوات اور مساوات 6.5 کی مدد سے یہ لکھ سکتے ہیں۔

$$
L_{ab} = L_{bc} = L_{ca} = -\frac{L_{aa0}}{2} \tag{6.12}
$$

6.2.3 معاصر امالہ

مشین پر لاگو برقی دباو کو مشین کے لچھوں کی خود امالہ، مشترکہ امالہ اور لچھوں میں برقی رو کی مدد سے لکھا جا سکتا ہے۔ یہ کرنے کے لئے ہم پہلے لچھوں کی ارتباط بہاو λ کو ان کے امالہ اور ان میں برقی رو کی مدد سے یوں لکھتے ہیں۔

$$\begin{aligned}
\lambda_a &= L_{aa}i_a + L_{ab}i_b + L_{ac}i_c + L_{am}I_m \\
\lambda_b &= L_{ba}i_a + L_{bb}i_b + L_{bc}i_c + L_{bm}I_m \\
\lambda_c &= L_{ca}i_a + L_{cb}i_b + L_{cc}i_c + L_{cm}I_m \\
\lambda_m &= L_{ma}i_a + L_{mb}i_b + L_{mc}i_c + L_{mm}I_m
\end{aligned} \tag{6.13}$$

ان مساوات میں ساکن لچھوں کے بدلتی برقی رو کو چھوٹے حروف یعنی i_a, i_b, i_c سے ظاہر کیا گیا ہے جبکہ گھومتے میدانی لچھے کے یک سمتی برقی رو کو بڑے حرف I_m سے ظاہر کیا گیا ہے۔

ان چار مساوات میں سے ہم کسی ایک کو چُنتے ہیں اور اسے حل کرتے ہیں۔ چونکہ یہ چاروں مساوات ایک طرح کے ہیں اس لئے باقی بھی ایسے ہی حل ہوں گے۔ ہم ان میں سے پہلے مساوات لیتے ہیں یعنی

$$\lambda_a = L_{aa}i_a + L_{ab}i_b + L_{ac}i_c + L_{am}I_m \tag{6.14}$$

مساوات 6.5 ہمیں a لچھے کا خود امالہ دیتا ہے۔ یہ مساوات یہ تصور کر کے نکالا گیا تھا کہ اس لچھے کا پورا مقناطیسی بہاو خلائی درز سے گزرتا ہے۔ حقیقت میں ایسا نہیں ہوتا اور کچھ مقناطیسی بہاو اس خلائی درز میں سے گزر کر دوسری جانب نہیں پہنچتا۔ ایسے مقناطیسی بہاو کی وجہ سے رستا امالہ L_{al} وجود میں آتا ہے۔ یہ بالکل ٹرانسفارمر کے رستا امالہ کی طرح ہے۔ یوں اس لچھے کا کل خود امالہ L_{aa} یہ ہے۔

$$L_{aa} = L_{aa0} + L_{al} \tag{6.15}$$

ہم مساوات 6.5، مساوات 6.9، مساوات 6.12 اور مساوات 6.15 کی مدد سے مساوات 6.14 کو یوں لکھتے ہیں۔

$$\begin{aligned}
\lambda_a &= (L_{aa0} + L_{al})\, i_a - \frac{L_{aa0}}{2} i_b - \frac{L_{aa0}}{2} i_c + L_{am0}I_m \cos\omega t \\
&= (L_{aa0} + L_{al})\, i_a - \frac{L_{aa0}}{2} (i_b + i_c) + L_{am0}I_m \cos\omega t
\end{aligned} \tag{6.16}$$

اب تین مرحلہ برقی رو مجموعہ صفر ہوتا ہے یعنی

$$i_a + i_b + i_c = 0 \tag{6.17}$$

لہٰذا مساوات 6.16 میں اس کو استعمال کرتے ملتا ہے

$$\begin{aligned}\lambda_a &= (L_{aa0} + L_{al})\, i_a - \frac{L_{aa0}}{2}(-i_a) + L_{am0} I_m \cos\omega t \\ &= \left(\frac{3}{2} L_{aa0} + L_{al}\right) i_a + L_{am0} I_m \cos\omega t \\ &= L_s i_a + L_{am0} I_m \cos\omega t\end{aligned} \tag{6.18}$$

جہاں

$$L_s = \frac{3}{2} L_{aa0} + L_{al} \tag{6.19}$$

کو معاصر امالہ[16] کہتے ہیں۔

اس مساوات اور مساوات 5.48 پر ایک مرتبہ دوبارہ غور کریں۔ یہ دونوں ملتے جلتے ہیں۔ وہاں کل گھومتا مقناطیسی دباو ایک لچھے کی مقناطیسی دباو کے $\frac{3}{2}$ گھنّا تھا اور یہاں معاصر امالہ ایک لچھے کی امالہ کے $\frac{3}{2}$ گھنّا ہے۔ یہ دو مساوات درحقیقت ایک ہی حقیقت کے دو پہلو ہیں۔

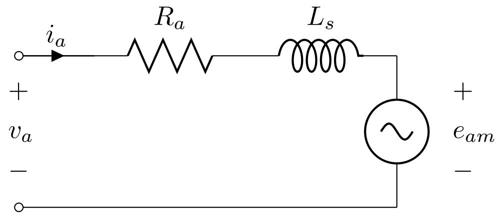
معاصر امالہ تین حصوں پر مشتمل ہے۔ پہلا حصہ L_{aa0} ہے جو a لچھے کا خود امالہ ہے۔ دوسرا حصہ $\frac{L_{aa0}}{2}$ اس لچھے یعنی a لچھے کا باقی دو لچھوں کے ساتھ اُس صورت میں مشترکہ امالہ ہے جب مشین میں تین مرحلہ متوازن برقی رو ہو۔ تیسرا حصہ L_{al} لچھے a کا رستا امالہ ہے۔ اس طرح معاصر امالہ مشین کے ایک لچھے کا ظاہری امالہ ہوتا ہے جب مشین میں متوازن برقی رو ہو۔

مثال 6.1: ایک معاصر جنریٹر کی یک مرحلہ کل خود امالہ $2.2\,\mathrm{mH}$ اور رستا امالہ $0.2\,\mathrm{mH}$ ہیں۔ اس مشین کے دو مرحلوں کا آپس میں مشترکہ امالہ اور مشین کا معاصر امالہ حاصل کریں۔

حل: چونکہ $L_{aa} = L_{aa0} + L_{al}$ لہٰذا $L_{aa0} = 2\,\mathrm{mH}$ ہے۔ مساوات 6.12 کی مدد سے $L_{ab} = -1\,\mathrm{mH}$ اور مساوات 6.19 کی مدد سے $L_s = 3.2\,\mathrm{mH}$ ہے۔

---

[16] synchronous inductance



شکل 6.3: معاصر موٹر کا مساوی دور یا ریاضی نمونہ۔

6.3 معاصر مشین کا مساوی دور یا ریاضی نمونہ

لچھا a پر لاگو برقی دباو اس لچھے کی مزاحمت R_a میں برقی دباو کے گھٹنے اور λ_a کے برقی دباو کے برابر ہو گا، یعنی

$$\begin{aligned} v_a &= i_a R_a + \frac{\mathrm{d}\lambda_a}{\mathrm{d}t} \\ &= i_a R_a + L_s \frac{\mathrm{d}i_a}{\mathrm{d}t} - \omega L_{am0} I_m \sin \omega t \\ &= i_a R_a + L_s \frac{\mathrm{d}i_a}{\mathrm{d}t} + e_{am} \end{aligned} \tag{6.20}$$

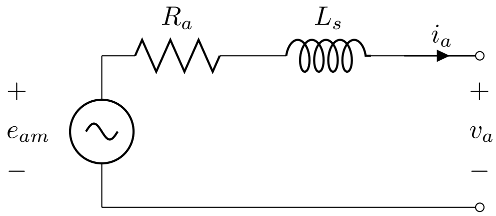
یہاں

$$\begin{aligned} e_{am} &= -\omega L_{am0} I_m \sin \omega t \\ &= \omega L_{am0} I_m \cos\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) \end{aligned} \tag{6.21}$$

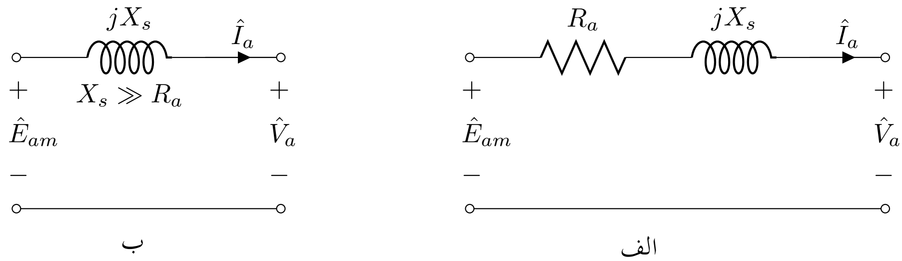
کو ہیجانی برقی دباو یا اندرونی پیدا برقی دباو کہتے ہیں جو گھومتے لچھے سے پیدا مقناطیسی بہاو کی وجہ سے وجود میں آتی ہے۔ اس کے موثر قیمت $E_{am,rms}$ مساوات 1.44 کی مدد سے حاصل ہوتا ہے۔

$$E_{am,rms} = \frac{\omega L_{am0} I_m}{\sqrt{2}} = 4.44 f L_{am0} I_m \tag{6.22}$$

مساوات 6.20 کو ایک برقی دور سے ظاہر کیا جا سکتا ہے جسے شکل 6.3 میں دکھایا گیا ہے۔ کسی بھی برقی آلہ پر جب برقی دباو لاگو کیا جائے تو برقی رو کی مثبت سمت لاگو برقی دباو کے مثبت سرے سے باہر کی جانب کو ہوتی ہے۔ لہٰذا اس شکل میں برقی رو i_a لاگو برقی دباو v_a کی مثبت سرے سے باہر کی جانب کو ہے۔ یہ شکل ایک موٹر کو ظاہر کرتی ہے جہاں موٹر کے مثبت سرے پر برقی رو اندر کی جانب کو ہوتا ہے۔ اگر موٹر کی بجائے ایک معاصر جنریٹر کی بات



شکل 6.4: معاصر جنریٹر کا مساوی دور یا ریاضی نمونہ۔



شکل 6.5: معاصر جنریٹر کے مساوی دور۔

ہوتی تو یہ جنریٹر برقی دباو پیدا کرتا اور برقی رو اس جنریٹر کی مثبت سرے سے باہر کی جانب کو ہوتی۔ اس صورت میں ہمیں شکل 6.3 کی جگہ شکل 6.4 ملے گا۔اس شکل کی مساوات اسی شکل سے یوں حاصل ہوتی ہے۔

$$e_{am} = i_a R_a + L_s \frac{\mathrm{d}i_a}{\mathrm{d}t} + v_a \tag{6.23}$$

یہاں یہ دھیان رہے کہ جنریٹر کے مساوی دور میں برقی رو کی مثبت سمت موٹر کے مساوی دور میں برقی رو کی مثبت سمت کے اُلٹ ہے۔اس کا مرحلی سمتیہ مساوات یوں لکھا جائے گا۔

$$\hat{E}_{am} = \hat{I}_a R_a + j\hat{I}_a X_s + \hat{V}_a \tag{6.24}$$

اس مرحلی سمتیہ کے مساوات کو شکل 6.5-الف میں دکھایا گیا ہے۔عام حالات میں X_s کی مقدار R_a سے سو سے دو سو گنا زیادہ ہوتی ہے۔

مثال 6.2: دو قطب 50 ہرٹز کا ایک معاصر جنریٹر 40 ایمپیئر میدانی برقی رو پر 2100 وولٹ یک مرحلہ موثر برقی دباو پیدا کرتی ہے۔اس مشین کی قوی اور میدانی لچھوں کے مابین مشترکہ امالہ حاصل کریں۔

حل: مساوات 6.22 سے

$$L_{am} = \frac{\sqrt{2}E_{am}}{\omega I_m} = \frac{\sqrt{2} \times 2100}{2 \times \pi \times 50 \times 40} = 0.2363\,\mathrm{H} \tag{6.25}$$

6.4 برقی طاقت کی منتقلی

شکل 3.20 ٹرانسفارمر کا مساوی دور (ریاضی نمونہ) اور شکل 6.5 معاصر جنریٹر کا مساوی دور (ریاضی نمونہ) ہے۔ دونوں بالکل ایک طرح کے ہیں، لہٰذا مندرجہ ذیل بیان دونوں کے لئے درست ہو گا، اگرچہ یہاں ہمیں صرف معاصر آلوں سے دلچسپی ہے۔

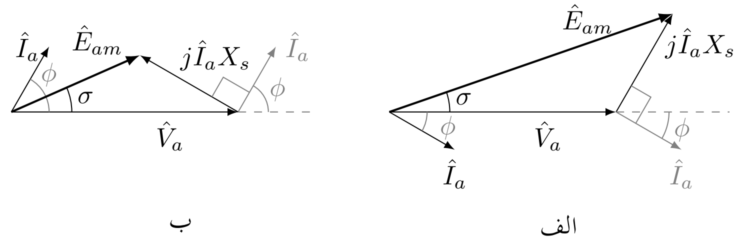
معاصر آلوں میں معاصر متعاملہ لچھے کی مزاحمت سے بہت زیادہ ہوتا ہے لہٰذا اس کے مزاحمت کو نظرانداز کیا جا سکتا۔ ایسا ہی شکل کے حصہ با میں کیا گیا ہے۔

شکل 6.5-ب کو اگر ہم ایک لمحے کے لئے ایک سادہ برقی دور سمجھیں جس کے بائیں جانب $\hat{E}_{am}$ اور دائیں جانب $\hat{V}_a$ برقی دباو ہے جن کے مابین ایک متعاملہ jX_s جڑا ہے۔ اس برقی دور میں برقی طاقت کے منتقلی کا حساب یوں ممکن ہے۔

شکل 6.5-ب کی مرحلی سمتیہ شکل 6.6 میں دی گئی ہے۔شکل 6.6-الف میں برقی رو $\hat{I}_a$ برقی دباو $\hat{V}_a$ سے ϕ زاویہ پیچھے ہے اور شکل 6.6-ب میں برقی رو ϕ زاویہ برقی دباو سے آگے ہے۔ چونکہ زاویہ اُفقی سمت سے گھڑی کی اُلٹی سمت ناپا جاتا ہے لہٰذا شکل-الف میں ϕ منفی زاویہ ہے اور σ مثبت زاویہ ہے جبکہ شکل-ب میں دونوں زاویے مثبت ہیں۔

دائیں جانب طاقت p_v منتقل ہو رہی ہے جہاں

$$p_v = V_a I_a \cos\phi \tag{6.26}$$



شکل 6.6: معاصر جنریٹر کا مرحلی سمتیہ۔

کے برابر ہے۔ شکل 6.6-الف سے

$$
\begin{aligned}
\hat{I}_a = I_a\underline{/\phi_a} &= \frac{\hat{E}_{am} - \hat{V}_a}{jX_s} \\
&= \frac{E_{am}\underline{/\sigma} - V_a\underline{/0}}{X_s\underline{/\frac{\pi}{2}}} \\
&= \frac{E_{am}\underline{/\sigma - \pi/2} - V_a\underline{/-\pi/2}}{X_s}
\end{aligned} \tag{6.27}
$$

لکھا جا سکتا ہے۔ایک مرحلی سمتیہ کے دو جزو ہوتے ہیں۔ اس کا حقیقی جزو اُفقی سمت میں بنایا جاتا ہے اور اس کا فرضی جزو حقیقی جزو کے عمود میں بنایا جاتا ہے۔ شکل 6.6 سے واضح ہے کہ اس مساوات کا حقیقی جزو $\hat{V}_a$ کے ہم قدم ہے لہٰذا

$$
\begin{aligned}
I_a \cos\phi_a &= \frac{E_{am}}{X_s}\cos\left(\sigma - \frac{\pi}{2}\right) - \frac{V_a}{X_s}\cos\left(-\frac{\pi}{2}\right) \\
&= \frac{E_{am}}{X_s}\sin\sigma
\end{aligned} \tag{6.28}
$$

اس مساوات اور مساوات 6.26 سے حاصل ہوتا ہے

$$
p_v = \frac{V_a E_{am}}{X_s}\sin\sigma \tag{6.29}
$$

تین مرحلہ معاصر مشین کے لئے اس مساوات کو تین سے ضرب دیں یعنی

$$
p_v = \frac{3V_a E_{am}}{X_s}\sin\sigma \tag{6.30}
$$

یہ طاقت بالمقابل زاویہ[17] کا قانون ہے۔اگر V_a معین ہو تو جنریٹر E_{am} یا σ بڑھا کر طاقت بڑھا سکتا ہے۔ E_{am} گھومتے لچھے میں برقی رو بڑھا کر بڑھائی جاتی ہے۔البتہ یہ ایک حد تک کرنا ممکن ہے۔ لچھے کی مزاحمت میں برقی توانائی

[17] power-angle law

ضائع ہونے سے یہ گرم ہوتا ہے اور اس کی حرارت کو خطرناک حد تک پہنچنے نہیں دیا جا سکتا۔ دوسری جانب σ کو نوے زاویہ تک بڑھایا جا سکتا ہے اور اس صورت میں جنریٹر زیادہ سے زیادہ طاقت مہیا کرے گا۔

$$p_{v,\text{انتہا}} = \frac{3V_a E_{am}}{X_s} \tag{6.31}$$

حقیقت میں جنریٹر کو اس طرح بنایا جاتا ہے کہ اس کی زیادہ سے زیادہ قابل استعمال طاقت نوے درجے سے کافی کم زاویہ پر ہو۔ نوے درجے پر جنریٹر کو قابو رکھنا مشکل ہو جاتا ہے۔

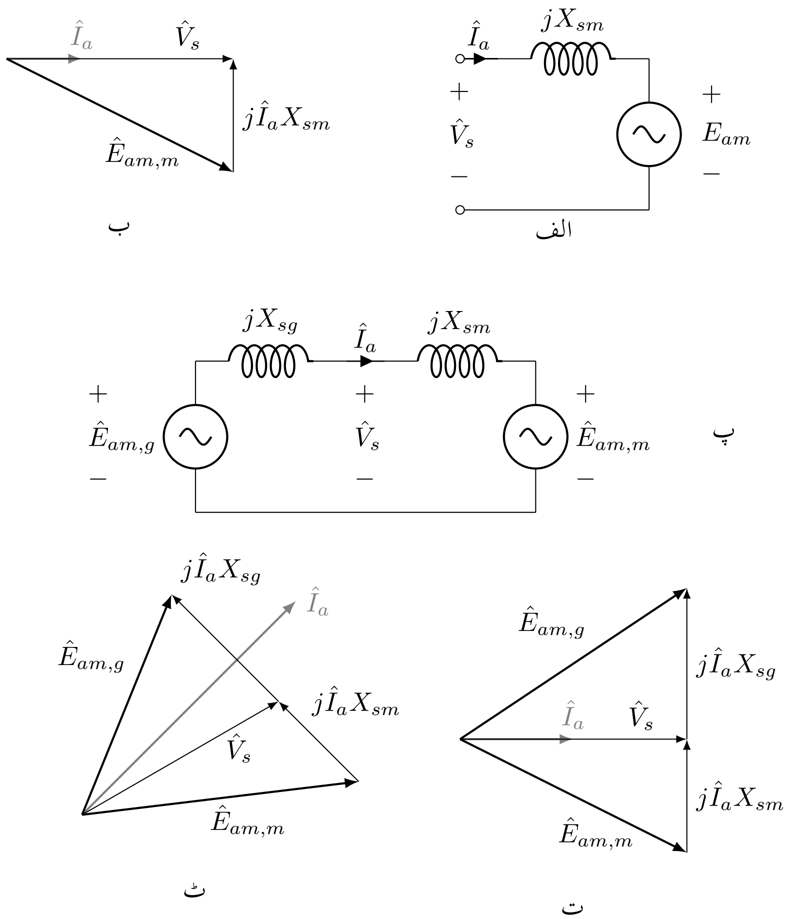
مثال 6.3: ایک 50 قطب ستارہ جڑی تین مرحلہ 50 ہرٹز 2300 وولٹ تار کی برقی دباو پر چلنے والی 1800 کلو وولٹ-ایمپیئر کی معاصر مشین کی یک مرحلہ معاصر امالہ 2.1 اوہم ہے۔

- مشین کے برقی سروں پر 2300 وولٹ تار کی برقی دباو مہیا کرتے ہوئے اگر اس کی میدانی برقی رو اتنی رکھی جائے کہ پورے بوجھ پر مشین کا جزو طاقت ایک کے برابر ہو تو اس سے زیادہ سے زیادہ کتنی قوت مروڑ حاصل کی جا سکتی ہے۔
- اگر اسے 2 قطب 3000 چکر فی منٹ تین مرحلہ ستارہ جڑی 2300 وولٹ تار کی برقی دباو پیدا کرنے والی 2200 کلو وولٹ-ایمپیئر کی معاصر جنریٹر سے چلایا جائے جس کی یک مرحلہ معاصر امالہ 2.3 اوہم ہو۔ موٹر پر اس کا پورا برقی بوجھ لاد کر جنریٹر کو معاصر رفتار پر چلاتے ہوئے دونوں مشینوں کی میدانی برقی رو تبدیل کی جاتی ہے حتیٰ کہ موٹر ایک جزو طاقت پر چلنے لگے۔ دونوں مشینوں کی میدانی برقی رو یہاں برقرار رکھ کر موٹر پر بوجھ آہستہ آہستہ بڑھائی جاتی ہے۔ اس صورت میں موٹر سے زیادہ سے زیادہ کتنی قوت مروڑ حاصل کی جا سکتی ہے اور اس کی سروں پر تار کی برقی دباو کتنی ہو گی۔

حل:

- شکل 6.7-الف اور 6.7-ب سے رجوع کریں۔ یک مرحلہ برقی دباو اور کل برقی رو یہ ہیں

$$\frac{2300}{\sqrt{3}} = 1327.9\,\text{V}$$
$$\frac{1800000}{\sqrt{3} \times 2300} = 451.84\,\text{A}$$



شکل 6.7: معاصر جنریٹر معاصر موٹر چلا رہی ہے۔
5

لہٰذا

$$\begin{aligned}\hat{E}_{am,m} &= \hat{V}_a - j\hat{I}_a X_{s,m}\\ &= 1327.9\underline{/0^\circ} - j451.84\underline{/0^\circ} \times 2.1\\ &= 1327.9 - j948.864\\ &= 1632\underline{/-35.548^\circ}\end{aligned}$$

ہے۔یوں مساوات 6.31 سے ایک مرحلے کی زیادہ سے زیادہ برقی طاقت

$$p_{\text{انتہا}} = \frac{1327.9 \times 1632}{2.1} = 1\,031\,968\,\mathrm{W}$$

ہے ۔یوں تین مرحلوں کی زیادہ سے زیادہ طاقت 3 095 904 واٹ ہو گی۔50 ہرٹز اور 50 قطب سے مشین کی معاصر میکانی رفتار مساوات 5.51 کی مدد سے دو چکر فی سیکنڈ حاصل ہوتی ہے یعنی $f_m = 2$۔یوں مشین سے زیادہ سے زیادہ قوت مروڑ

$$T_{\text{انتہا}} = \frac{p_{\text{انتہا}}}{2\pi f_m} = \frac{3095904}{2 \times \pi \times 2} = 246\,364\,\mathrm{N\,m}$$

حاصل ہو گی۔

- شکل 6.7-پ سے رجوع کریں۔پہلی جزو کی طرح یہاں بھی موٹر کی برقی سروں پر تار کی برقی دباو 2300 وولٹ اور اس کی محرک برقی دباو 1632 وولٹ ہے۔ جنریٹر کی محرک برقی دباو

$$\begin{aligned}\hat{E}_{am,g} &= \hat{V}_a + j\hat{I}_a X_{s,g}\\ &= 1327.9\underline{/0^\circ} + j451.84\underline{/0^\circ} \times 2.3\\ &= 1327.9 + j1039.233\\ &= 1686\underline{/38.047^\circ}\end{aligned}$$

ہے۔یہ صورت شکل 6.7-ت میں دکھائی گئی ہے۔

معاصر موٹر اس وقت زیادہ سے زیادہ طاقت پیدا کرے گی جب $\hat{E}_{am,g}$ اور $\hat{E}_{am,m}$ آپس میں 90° زاویہ پر ہوں۔ ایسا شکل 6.7-ٹ میں دکھایا گیا ہے ۔

اب مساوات 6.31 میں ایک معاصر امالہ کی جگہ سلسلہ وار جڑی موٹر اور جنریٹر کی امالہ ہیں اور دو برقی دباو اب موٹر اور جنریٹر کی محرک برقی دباو ہیں۔یوں موٹر کی یک مرحلہ زیادہ سے زیادہ طاقت

$$p_{\text{انتہا}} = \frac{1686 \times 1632}{2.3 + 2.1} = 625\,352\,\mathrm{W}$$

حاصل ہوں گے۔ تین مرحلوں سے یوں 056 876 1 واٹ حاصل ہوں گے اور زیادہ سے زیادہ قوت مروڑ

$$T_{\text{انتہا}} = \frac{1876056}{2 \times \pi \times 2} = 149\,291\,\mathrm{N\,m}$$

ہو گی۔

6.5 یکساں حال، برقرار چالو مشین کے خصوصیات

6.5.1 معاصر جنریٹر: برقی بوجھ بالمقابل I_m کے خطوط

شکل 6.5-ب کے لئے مرحلی سمتیوں کا مساوات یہ ہے

$$\hat{E}_{am} = \hat{V}_a + j\hat{I}_a X_s \tag{6.32}$$

اسے یوں لکھ سکتے ہیں

$$E_{am}\underline{/\sigma} = V_a\underline{/0} + I_a X_s \underline{/\tfrac{\pi}{2} + \phi} \tag{6.33}$$

اس مساوات کو مخلوط عدد[18] کے طور پر یوں لکھ سکتے ہیں۔

$$\begin{aligned}E_{am}\cos\sigma + jE_{am}\sin\sigma &= V_a\cos 0 + jV_a\sin 0 + I_a X_s\cos\left(\frac{\pi}{2}+\phi\right) + jI_a X_s\sin\left(\frac{\pi}{2}+\phi\right)\\ &= E_{am,x} + jE_{am,y}\end{aligned}$$

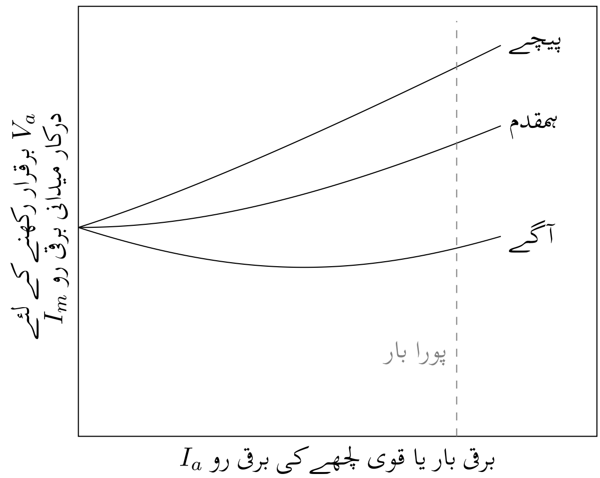
اس مساوات سے $\left|\hat{E}_{am}\right|$ یعنی E_{am} کی مقدار یوں حاصل ہوتی ہے۔

$$\begin{aligned}\left|\hat{E}_{am}\right| = E_{am} &= \sqrt{E_{am,x}^2 + E_{am,y}^2}\\ &= \sqrt{V_a^2 + (I_a X_s)^2 + 2V_a I_a X_s\sin\phi}\end{aligned} \tag{6.34}$$

جنریٹر کے سروں پر معین V_a رکھتے ہوئے مختلف ϕ کے لئے E_{am} بالمقابل I_a کے خط شکل 6.8 میں دکھائے گئے ہیں۔ چونکہ E_{am} اور I_m براہِ راست متناسب ہیں اور اسی طرح کسی ایک مخصوص جزو طاقت اور معین V_a کے لئے جنریٹر کا طاقت I_a کے براہِ راست متناسب ہوتا ہے لہٰذا یہی ترسیم I_m بالمقابل جنریٹر کے طاقت کو بھی ظاہر کرتا ہے۔

---

[18] complex number



شکل 6.8: جنریٹر: برقی بوجھ بالمقابل I_m کے خط

6.5.2 معاصر موٹر: I_a بالمقابل I_m کے خط

معاصر موٹر کا مساوی دور (ریاضی نمونہ) شکل 6.3 میں دکھایا گیا ہے اور اس کا مرحلی سمتیہ شکل 6.9 میں دکھایا گیا ہے۔ اس میں مزاحمت نظرانداز کرنے سے اس کی مساوات یوں ہو گی۔

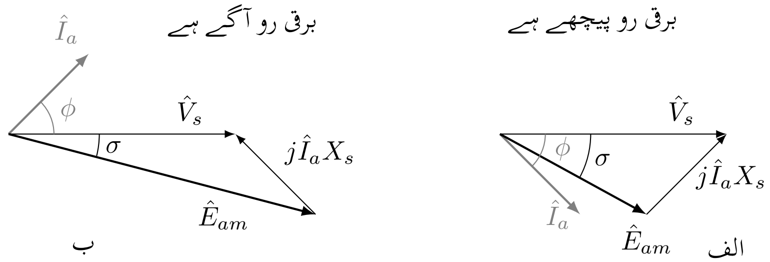
$$\begin{aligned}
\hat{V}_a &= \hat{E}_{am} + j\hat{I}_a X_s \\
V_a\underline{/0} &= E_{am}\underline{/\sigma} + jI_a\underline{/\phi}X_s \\
&= E_{am}\underline{/\sigma} + I_a X_s\underline{/\tfrac{\pi}{2}+\phi}
\end{aligned} \tag{6.35}$$

اس مساوات میں زاویے موٹر پر لاگو برقی دباو $\hat{V}_a$ کے حوالہ سے ہیں، یعنی $\hat{V}_a$ کا زاویہ صفر لیا گیا ہے۔ یاد رہے کہ زاویہ ناپنے کی مثبت سمت اُفقی لکیر سے گھڑی کی اُلٹی سمت ہے لہٰذا پیش زاویہ[19] مثبت اور تاخیری زاویہ[20] منفی ہیں۔ اس مساوات سے امالی دباو E_{am} کی مقدار یوں حاصل ہو گی۔

$$\begin{aligned}
E_{am}\underline{/\sigma} &= V_a\underline{/0} - I_a X_s\underline{/\tfrac{\pi}{2}+\phi} \\
&= V_a - I_a X_s\cos\left(\frac{\pi}{2}+\phi\right) - jI_a X_s\sin\left(\frac{\pi}{2}+\phi\right) \\
&= V_a + I_a X_s\sin\phi - jI_a X_s\cos\phi
\end{aligned}$$

---

[19] leading angle
[20] lagging angle



شکل 6.9: موٹر کا مرحلی سمتیہ۔
5

لہٰذا

$$|E_{am}| = \sqrt{(V_a + I_aX_s\sin\phi)^2 + (I_aX_s\cos\phi)^2} = \sqrt{V_a^2 + I_a^2X_s^2 + 2V_aI_aX_s\sin\phi} \tag{6.36}$$

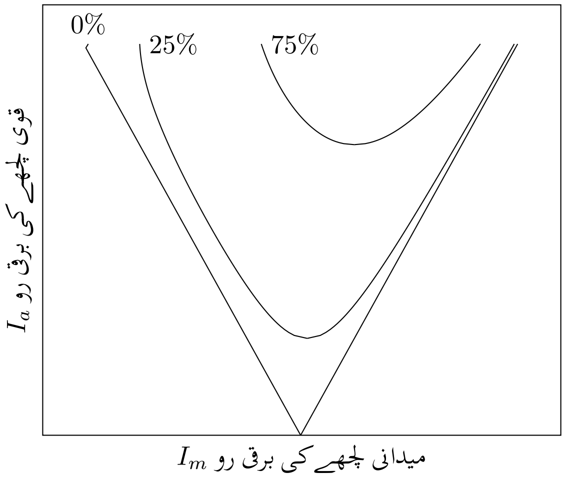
موٹر پر لاگو برقی دباو اور اس پر میکانی بوجھ کو 0%، 25% اور 75% پر رکھ کر اس مساوات کو شکل 6.10 میں ترسیم کیا گیا ہے۔ یہ موٹر کے E_{am} بالمقابل I_a خط ہیں۔ چونکہ امالی دباو I_m کے براہِ راست متناسب ہے لہٰذا یہی موٹر کے I_m بالمقابل I_a خط بھی ہیں۔ان میں سے ہر خط ایک معین میکانی بوجھ p کے لئے ہے جہاں

$$p = V_aI_a\cos\phi \tag{6.37}$$

اس مساوات سے واضح ہے کہ اگر p اور V_a معین ہوں تو جزو طاقت تبدیل کر کے I_a تبدیل کیا جا سکتا ہے۔لہٰذا مساوات 6.36 کو مساوات 6.37 کی مدد سے ترسیم کیا جاتا ہے۔ یہ کچھ یوں کیا جاتا ہے۔ معین V_a اور p کے لئے مختلف I_a پر مساوات 6.37 سے ϕ حاصل کریں۔ ان I_a اور ϕ کو مساوات 6.36 میں استعمال کر کے E_{am} کا حساب لگائیں اور E_{am} بالمقابل I_a ترسیم کریں۔

موٹر کی ان خطوط سے واضح ہے کہ I_m کو تبدیل کر کے موٹر کی جزو طاقت تبدیل کی جا سکتی ہے۔ لہٰذا موٹر کو پیش زاویہ یا تاخیری زاویہ پر چلایا جا سکتا ہے۔ اگر اسے پیش زاویہ پر رکھا جائے تو یہ ایک کپیسٹر[21] کے طور پر استعمال ہو سکتا ہے اگرچہ ایسا کیا نہیں جاتا چونکہ کپیسٹر از خود زیادہ سستا ہوتا ہے۔

[21] capacitor



شکل 6.10: موٹر: I_m بالمقابل I_a کے خط

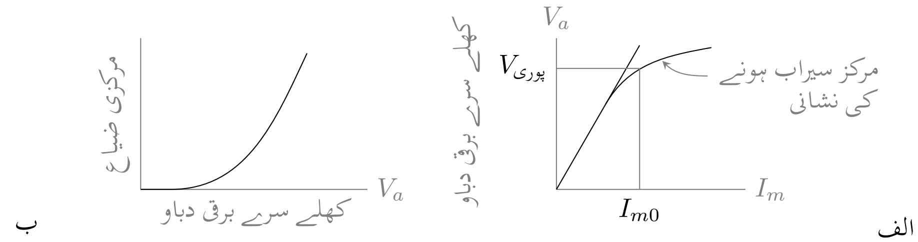
6.6 کھلے دور اور کسرِ دور معائنہ

معاصر مشین کے مساوی دور بنانے کے لئے اس کے جزو معلوم کرنا لازم ہے۔یہ دو قسم کے معائنوں سے کیا جاتا ہے۔ انہیں کھلے دور معائنہ اور کسرِ دور معائنہ کہتے ہیں۔ان معائنوں سے قالب کے سیراب ہونے کے اثرات بھی سامنے آتے ہیں۔ہم نے ٹرانسفارمر کے لئے بھی اسی قسم کے معائنے کیے تھے۔وہاں ہم نے دیکھا تھا کہ کُھلے دور معائنہ اس برقی دباو پر کیا جاتا ہے جتنے کے لئے مشین بنائی[22] گئی ہو جبکہ کسرِ دور معائنہ اس برقی رو پر کیا جاتا ہے جتنے کے لئے مشین بنائی گئی ہو۔یہاں بھی ایسا ہی کیا جائے گا۔

6.6.1 کُھلے دور معائنہ

معاصر مشین کے برقی سرے کُھلے رکھ کر اور اسے معاصر رفتار پر گُھماتے ہوئے مختلف I_m پر مشین کے سروں پر پیدا برقی دباو V_a ناپی جاتی ہے ۔ان دو کا ترسیم شکل 6.11-الف میں دکھایا گیا ہے۔ یہ خط مشین کے کُھلے دور خاصیت ظاہر کرتا ہے۔ یہی خط مشین بنانے والے بھی مہیا کر سکتے ہیں۔

[22] design



شکل 6.11: کھلے دور خط اور قالبی ضیاع۔

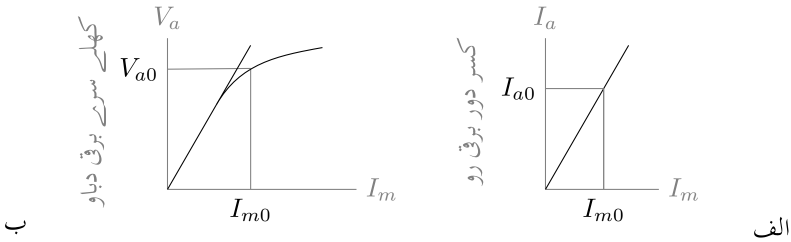
اس کتاب کے حصہ 2.8 میں بتلایا گیا تھا کہ قالب پر لاگو مقناطیسی دباو اگر بڑھایا جائے تو اس میں مقناطیسی بہاو بڑھتی ہے البتہ جلد ہی قالب سیراب ہونے لگتا ہے۔اس کا اثر شکل-الف میں خط کے جھکنے سے واضح ہے۔اگر قالب سیراب نہ ہوتا تو یہ خط شکل میں دیئے سیدھی لکیر کی پیروی کرتا۔شکل میں مشین کا پورا برقی دباو اور اس پر درکار برقی رو I_{m0} دکھلایا گیا ہے۔

یہ معائنہ کرتے وقت اگر دھرے پر میکانی طاقت p_1 ناپی جائے تو یہ بے بوجھ مشین کی طاقت کے ضیاع کے برابر ہو گی۔ اس کا بیشتر حصہ رگڑ کی وجہ سے، کچھ حصہ قالب میں ضیاع کی وجہ سے اور کچھ گھومتے لچھے میں ضیاع کی وجہ سے ہو گا۔یاد رہے کہ عموماً گھومتے لچھے کو یک سمتی جنریٹر سے برقی توانائی دی جاتی ہے اور یہ جنریٹر بھی مشین کے دھرے پر ہی نسب ہوتا ہے لہٰذا اسے طاقت محرک[23] سے ہی ملتی ہے۔ بے بوجھ مشین اور بوجھ بردار مشین دونوں کا رگڑ سے طاقت کے ضیاع کو یکساں سمجھا جاتا ہے چونکہ رگڑ سے طاقت کے ضیاع کا مشین پر لدے بوجھ سے کوئی خاص تعلق نہیں۔ اب اگر یہی معائنہ دوبارہ کیا جائے لیکن اس مرتبہ I_m بھی صفر رکھا جائے تو اس مرتبہ ناپا گیا طاقت p_2 صرف رگڑ کی وجہ سے طاقت کے ضیاع کے برابر ہو گا۔ان دو ناپے گئے طاقت کا فرق یعنی $(p_1 - p_2)$ قالب میں طاقت کے ضیاع اور گھومتے لچھے میں برقی ضیاع کے برابر ہو گا۔گھومتے لچھے میں برقی ضیاع بہت کم ہوتا ہے اور اس کو عموماً قالب کے ضیاع کا حصہ ہی تصور کیا جاتا ہے۔ اس طرح ناپے گئے قالبی ضیاع کا ایک خط شکل 6.11-ب میں دیا گیا ہے۔

6.6.2 کسرِ دور معائنہ

معاصر مشین کو معاصر رفتار پر جنریٹر کے طور چلاتے ہوئے اس کے ساکن لچھے کے سرے کسرِ دور کر کے مختلف I_m پر کسرِ دور برقی رو I_a ناپی جاتی ہے۔ ان دو کا ترسیم شکل 6.12-الف میں دکھایا گیا ہے۔یہ خط کسرِ دور مشین کی

[23] گھومتے لچھے کو توانائی یک سمتی جنریٹر سے آتی ہے اور اس جنریٹر کو دھرے سے آتی ہے۔



شکل 6.12: کسرِ دور خط اور کھلے دور خط۔

خاصیت دکھلاتا ہے۔ یہ معائنہ کرتے وقت یہ دھیان رکھنا بہت اہم ہے کہ I_a کی مقدار کہیں خطرناک حد تک نہ بڑھ جائے لہٰذا اسے جنریٹر کے پورے برقی بوجھ[24] پر I_a کی مقدار یا اس کی دگنی مقدار سے کم رکھنا ضروری ہے ورنہ مشین گرم ہو کر تباہ ہو سکتی ہے۔ کسرِ دور مشین میں، ڈیزائن کردہ برقی دباو کے، صرف دس سے پندرہ فی صد برقی دباو پر ہی اس میں سو فی صد برقی رو شروع ہو جاتی ہے۔ اتنا کم برقی دباو حاصل کرنے کے لئے خلائی درز میں اسی تناسب سے کم مقناطیسی بہاو درکار ہوتا ہے۔

شکل 6.5 میں جنریٹر کے مساوی برقی دور دکھائے گئے ہیں۔ اسے شکل 6.13 میں کسرِ دور کر کے دکھایا گیا ہے۔ یہاں سے واضح ہے کہ

$$\hat{E}_{am} = \hat{I}_a R_a + j\hat{I}_a X_s \tag{6.38}$$

R_a کو نظر انداز کر کے اس مساوات سے معاصر امالہ یوں حاصل کیا جا سکتا ہے۔

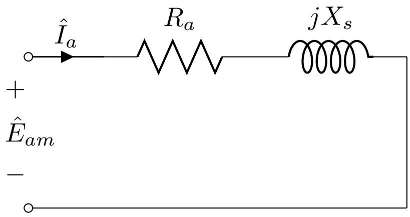
$$X_s = \frac{\left|\hat{E}_{am}\right|}{\left|\hat{I}_a\right|} = \frac{E_{am}}{I_a} \tag{6.39}$$

اس مساوات میں $\hat{I}_a$ کسرِ دور مشین کی برقی رو اور $\hat{E}_{am}$ اس کی اسی حال میں ایک دور کی امالہ برقی دباو ہے۔ کھلے دور مشین میں $\hat{I}_a$ صفر ہوتا ہے۔ مساوات 6.32 سے واضح ہے کہ اگر $\hat{I}_a$ صفر ہو تو $\hat{E}_{am}$ اور $\hat{V}_a$ برابر ہوں گے۔ لہٰذا ہم کسی معین I_{m0} پر شکل 6.12-الف سے I_{a0} اور شکل 6.12-ب سے V_{a0} معلوم کرتے ہیں اور ان سے X_s کا حساب لگاتے ہیں، یعنی

$$X_s = \frac{V_{a0}}{I_{a0}} \tag{6.40}$$

---

full load[24]



$$\hat{E}_{am} = \hat{I}_a R_a + j\hat{I}_a X_s$$
$$\approx j\hat{I}_a X_s \qquad X_s \gg R_a$$
$$X_s = \frac{|\hat{E}_{am}|}{|\hat{I}_a|}$$

شکل 6.13: معاصر امالہ۔

معاصر امالہ عموماً مشین کے پورے برقی دباو پر معلوم کی جاتی ہے تا کہ قالب سیراب ہونے کے اثر کو بھی شامل کیا جائے۔ شکل میں ایسا ہی کیا گیا ہے۔

معاصر امالہ مشین کو ستارہ نما تصور کر کے اس کا یک مرحلہ X_s حاصل کیا جاتا ہے۔ لہٰذا اگر معائنہ کرتے وقت مشین کی تار برقی دباو[25] ناپے گئے ہوں تو انہیں $\sqrt{3}$ سے تقسیم کر کے مشین کے یک مرحلہ برقی دباو حاصل کر کے مساوات میں استعمال کریں، یعنی

$$V_{\text{یک مرحلہ}} = \frac{V_{\text{تار}}}{\sqrt{3}} \tag{6.41}$$

مثال 6.4: ایک 75 کلو وولٹ-ایمپیئر ستارہ جڑی 415 وولٹ پر چلنے والی تین مرحلہ معاصر مشین کے کھلے دور اور کسرِ دور معائنے کئے گئے۔ حاصل نتائج یہ ہیں۔

- کھلے دور معائنہ: $V_{\text{تار}} = 415\,\mathrm{V}$ اور $I_m = 3.2\,\mathrm{A}$ ہیں۔
- کسر دور معائنہ: جب قوی لچھے کی برقی رو $104\,\mathrm{A}$ تھی تب میدانی لچھے کی برقی رو $2.48\,\mathrm{A}$ تھی اور جب قوی لچھے کی برقی رو $126\,\mathrm{A}$ تھی تب میدانی لچھے کی برقی رو $3.2\,\mathrm{A}$ تھی۔

اس مشین کی معاصر امالہ حاصل کریں۔

---

[25] line voltage

حل: یک مرحلہ برقی دباو

$$V_{\text{یک مرحلہ}} = \frac{V_{\text{تار}}}{\sqrt{3}} = \frac{415}{\sqrt{3}} = 239.6\,\mathrm{V}$$

ہے۔ یہ کھلے دور برقی دباو 3.2 ایمپیئر میدانی برقی رو پر حاصل ہوتی ہے۔ اتنی میدانی برقی رو پر کسرِ دور برقی رو 126 ایمپیئر ہیں لہٰذا یک مرحلہ معاصر امالہ

$$X_s = \frac{239.6}{126} = 1.901\,\Omega$$

ہو گی۔

کسرِ دور معائنہ کرتے وقت اگر دھرے پر لاگو میکانی طاقت p_3 ناپی جائے تو یہ کسرِ دور مشین کی کل ضیاع ہو گی۔ p_3 ناپتے وقت کسرِ دور برقی رو $I_{a,3}$ بھی ناپ لیں۔ اس کا کچھ حصہ قالب کی برقی ضیاع، کچھ دونوں لچھوں میں برقی ضیاع اور کچھ رگڑ سے میکانی ضیاع سے ہے۔ اب اگر اس سے پچھلے معائنہ میں ناپی گئی رگڑ کی ضیاع p_2 منفی کی جائے تو ہمیں لچھوں کی ضیاع اور قالب کی ضیاع ملتا ہے۔ جیسا اُوپر عرض کیا گیا کہ کسرِ دور مشین میں پورا برقی رو، پورے برقی دباو کے صرف دس تا بیس فی صد پر حاصل ہو جاتا ہے اور اتنا کم برقی دباو حاصل کرنے کے لئے درکار مقناطیسی بہاو اتنا ہی کم ہوتا ہے۔ اتنے کم مقناطیسی بہاو پر قالب میں ضیاع کو نظر انداز کیا جا سکتا ہے۔ اسی طرح کسی بھی کسرِ دور معاصر مشین کے گھومتے لچھے میں برقی ضیاع ساکن لچھے میں برقی ضیاع سے بہت کم ہوتا ہے اور اسے بھی نظرانداز کیا جا سکتا ہے۔ لہٰذا $(p_3 - p_2)$ کو ساکن لچھے میں برقی ضیاع کے برابر لیا جاتا ہے۔ شکل 6.14 میں ایک ایسا ہی خط دکھایا گیا ہے۔ لہٰذا

$$p_3 - p_2 = I_{a,3}^2 R_a$$

اس مساوات سے معاصر مشین کی مساوی مزاحمت یوں حاصل ہوتی ہے۔

$$R_a = \frac{p_3 - p_2}{I_{a,3}^2} \tag{6.42}$$

مثال 6.5: ایک 75 کلو وولٹ-ایمپیئر 415 وولٹ پر چلنے والی تین مرحلہ معاصر مشین کے پورے برقی رو پر کل کسرِ دور طاقت کا ضیاع 2.2 کلو واٹ ہے۔ اس مشین کی یک مرحلہ موثر مزاحمت حاصل کریں۔

شکل 6.14: کسرِ دور معاصر مشین میں طاقت کا ضیاع۔

حل: یک مرحلہ ضیاع $\frac{2200}{3}=733.33\,\mathrm{W}$ ہے۔ مشین کے پوری برقی رو

$$\frac{75000}{\sqrt{3}V_{\text{تار}}}=104.34\,\mathrm{A}$$

ہے۔ لہٰذا

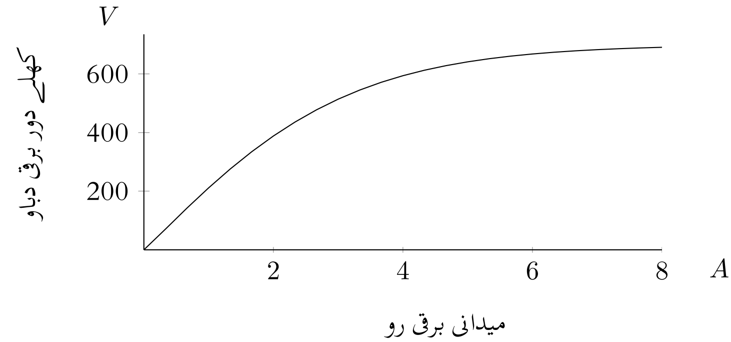
$$R_a=\frac{733.33}{104.34^2}=0.067\,\Omega$$

ہے۔

مثال 6.6: شکل 6.15 میں 500 وولٹ، 50 ہرٹز، 4 قطب ستارہ جڑی معاصر جنریٹر کا کھلے دور خط دکھایا گیا ہے۔ اس جنریٹر کا معاصر امالہ 0.1 اوہم اور قوی لچھے کی مزاحمت 0.01 اوہم ہے۔ پورے برقی بوجھ پر جنریٹر 0.92 تاخیری جزو طاقت[26] پر 1000 ایمپیئر فراہم کرتا ہے۔ پورے بوجھ پر رگڑ کے ضیاع اور لچھے کی مزاحمت میں ضیاع کا مجموعہ 30 کلو واٹ جبکہ قالب کی ضیاع 25 کلو واٹ ہے۔

- جنریٹر کی رفتار معلوم کریں۔
- بے بوجھ جنریٹر کی سروں پر 500 وولٹ برقی دباو کتنی میدانی برقی رو پر حاصل ہو گی۔

[26] lagging power factor



شکل 6.15: کھلے دور خط۔

- اگر جنریٹر پر 0.92 تاخیری جزو طاقت، 1000 ایمپیئر کا برقی بوجھ لادا جائے تو جنریٹر کے برقی سروں پر 500 وولٹ برقرار رکھنے کے لئے کتنی میدانی برقی رو درکار ہو گی۔
- جنریٹر پورے بوجھ پر کتنی طاقت فراہم کر رہا ہے جبکہ اس کو محرک کتنی میکانی طاقت فراہم کر رہا ہے۔ان دو سے جنریٹر کی فی صد کارگزاری[27] حاصل کریں۔
- اگر جنریٹر سے یک دم برقی بوجھ ہٹایا جائے تو اس لمحہ اس کے برقی سروں پر کتنا برقی دباو ہو گا۔
- اگر جنریٹر پر 1000 ایمپیئر 0.92 پیش جزو طاقت والا بوجھ لادا جائے تو جنریٹر کے برقی سروں پر 500 وولٹ برقرار رکھنے کے لئے کتنی میدانی برقی رو درکار ہو گی۔
- ان دو 1000 ایمپیئر تاخیری جزو طاقت اور پیش جزو طاقت بوجھوں میں کونسی بوجھ زیادہ میدانی برقی رو پر حاصل ہوتی ہے۔جنریٹر کس بوجھ سے زیادہ گرم ہو گا۔

حل:

- $f_e = \frac{P}{2} f_m$ سے $f_m = \frac{2}{4} \times 50 = 25$ چکر فی سیکنڈ یا $25 \times 60 = 1500$ چکر فی منٹ ہے۔
- شکل 6.15 سے 500 وولٹ کے لئے درکار میدانی برقی رو تقریباً 2.86 ایمپیئر ہے۔

---

[27] efficiency

- ستارہ برقی دباو کے تعلق $V_{\text{تار}} = \sqrt{3}V_{\text{یک مرحلہ}}$ سے $289 = \frac{500}{\sqrt{3}} = V_{\text{یک مرحلہ}}$ وولٹ حاصل ہوتا ہے۔ ستارہ جوڑ میں یک مرحلہ برقی رو اور تار برقی رو برابر ہوتے ہیں۔ جزو طاقت ستارہ یک مرحلہ برقی دباو کے نسبت سے بیان کیا جاتا ہے۔ چونکہ $\cos^{-1} 0.92 = 23.07°$ ہے لہٰذا اگر برقی سروں پر دباو $289\underline{/0°}$ لکھا جائے تو تاخیری دوری برقی رو $1000\underline{/-23.07°}$ لکھی جائے گی۔ یوں شکل 6.4 یا مساوات 6.24 سے اندرونی پیدا یک مرحلہ برقی دباو

$$\begin{aligned}
\hat{E}_a &= \hat{V}_a + \hat{I}_a\left(R_a + jX_s\right)\\
&= 289\underline{/0°} + 1000\underline{/-23.07°}(0.01 + j0.1)\\
&= 349\underline{/14.6°}
\end{aligned}$$

ہو گا جس سے اندرونی پیدا تار برقی دباو $604 = 349 \times \sqrt{3}$ وولٹ حاصل ہوتا ہے۔ شکل 6.15 سے اتنی دباو کے لئے $4.1\,\mathrm{A}$ میدانی برقی رو درکار ہے۔

- جنریٹر اس صورت میں

$$\begin{aligned}
p &= \sqrt{3}\hat{V}_a \cdot \hat{I}_a\\
&= \sqrt{3} \times 500 \times 1000 \times 0.92\\
&= 796\,743\,\mathrm{W}
\end{aligned}$$

فراہم کر رہا ہے جبکہ محرک

$$p_m = 796.743 + 30 + 25 = 851.74\,\mathrm{kW}$$

فراہم کر رہا ہے لہٰذا اس جنریٹر کی کار گزاری $\eta = \frac{796.743}{851.74} \times 100 = 93.54\%$ ہے۔

- اگر جنریٹر سے یک دم برقی بوجھ ہٹایا جائے تو اس لمحہ اس کے برقی سروں پر 604 وولٹ برقی دباو ہو گا۔

- پیش جزو طاقت کی صورت میں

$$\begin{aligned}
\hat{E}_a &= \hat{V}_a + \hat{I}_a\left(R_a + jX_s\right)\\
&= 289\underline{/0°} + 1000\underline{/23.07°}(0.01 + j0.1)\\
&= 276\underline{/20.32°}
\end{aligned}$$

درکار ہو گی جس سے اندرونی پیدا تار برقی دباو $478 = 276 \times \sqrt{3}$ وولٹ حاصل ہوتا ہے۔ شکل 6.15 سے اتنی دباو کے لئے $2.7\,\mathrm{A}$ میدانی برقی رو درکار ہے۔

- تاخیری جزو طاقت کے بوجھ پر جنریٹر کو زیادہ میدانی برقی رو درکار ہے۔میدانی لچھے کی مزاحمت میں اس کی وجہ سے زیادہ برقی طاقت ضائع ہو گی اور جنریٹر یوں زیادہ گرم ہو گا۔

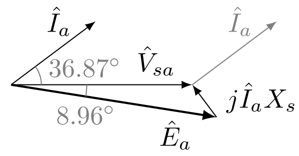
مثال 6.7: ایک 415 وولٹ، 40 کلو وولٹ-ایمپیئر ستارہ جڑی 0.8 جزو طاقت، 50 ہرٹز پر چلنی والی معاصر موٹر کا معاصر امالہ 2.2 اوہم ہے جبکہ اس کی مزاحمت قابل نظرانداز ہے۔اس کی رگڑ اور لچھوں کی مزاحمت میں طاقت کا ضیاع ایک کلو واٹ جبکہ قالبی ضیاع 800 واٹ ہے۔یہ موٹر 12.2 کلوواٹ میکانی بوجھ سے لدی ہے اور یہ 0.8 پیش جزو طاقت پر چل رہی ہے۔یاد رہے کہ معاصر امالہ مشین کو ستارہ نما تصور کرتے ہوئے حاصل کی جاتی ہے۔

- اس کی مرحلی سمتیہ بنائیں۔تار کی برقی رو $\hat{I}_t$ اور قوی لچھے کی برقی رو $\hat{I}_a$ حاصل کریں۔موٹر کی اندرونی ہیجانی برقی دباو $\hat{E}_a$ حاصل کریں۔
- میدانی برقی رو کو بغیر تبدیل کئے میکانی بوجھ آہستہ آہستہ بڑھا کر دگنی کی جاتی ہے۔اس صورت میں موٹر کی ردِ عمل مرحلی سمتیہ سے واضح کریں۔
- اس دگنی میکانی بوجھ پر قوی لچھے کی برقی رو، تار کی برقی رو اور موٹر کی اندرونی ہیجانی برقی دباو حاصل کریں۔موٹر کی جزو طاقت بھی حاصل کریں۔

حل:

- ستارہ جڑی موٹر کے سروں پر یک مرحلہ برقی دباو $\frac{415}{\sqrt{3}} = 239.6\,\mathrm{V}$ ہو گا جسے صفر زاویہ پر تصور کرتے ہوئے برقی رو کا زاویہ بیان کیا جاتا ہے۔یوں $\hat{V}_{sa} = 239.6\underline{/0^\circ}$ لکھا جائے گا۔جزو طاقت 0.8 زاویہ 36.87° کو ظاہر کرتا ہے۔ یوں تار کی برقی رو کا پیش زاویہ یہی ہو گا۔موٹر کو مہیا برقی طاقت اس کی میکانی طاقت اور طاقت کے ضیاع کے برابر ہو گی یعنی

$$12\,200\,\mathrm{W} + 1000\,\mathrm{W} + 800\,\mathrm{W} = 14\,000\,\mathrm{W}$$



شکل 6.16: بوجھ بردار معاصر موٹر۔

جس کے لئے درکار تار کی برقی رو

$$
\begin{aligned}
I_t &= \frac{p}{\sqrt{3} V_t \cos\theta} \\
&= \frac{14\,000}{\sqrt{3} \times 415 \times 0.8} \\
&= 24.346\,\mathrm{A}
\end{aligned}
$$

ہو گی۔ستارہ جڑی موٹر کے قوی لچھے کی برقی رو تار کے برقی رو کے برابر ہو گی۔یوں برقی رو کا زاویہ شامل کرتے ہوئے اسے

$$
\hat{I}_a = \hat{I}_t = 24.346\underline{/36.87^\circ}
$$

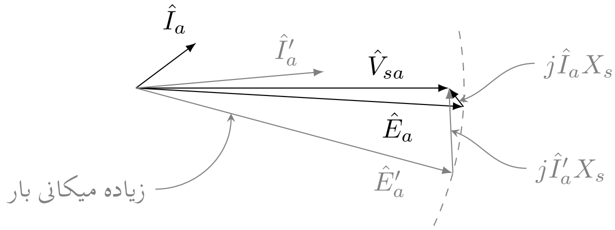
لکھا جا سکتا ہے۔

موٹر کا اندرونی یک مرحلہ ہیجانی برقی دباو موٹر کی مساوی دور شکل 6.3 کی مدد سے

$$
\begin{aligned}
\hat{E}_a &= \hat{V}_{a,s} - jX_s\hat{I}_a \\
&= 239.6\underline{/0^\circ} - j2.2 \times 24.346\underline{/36.87^\circ} \\
&= 276\underline{/-8.96^\circ}
\end{aligned}
$$

ہو گی۔یہ تمام صورت حال شکل 6.16 میں مرحلی سمتیات کی مدد سے دکھایا گیا ہے۔

- میکانی بوجھ بڑھنے سے موٹر کو زیادہ برقی طاقت درکار ہو گی۔ یہ اس صورت ممکن ہو گا جب موٹر کے قوی لچھے کی برقی رو بڑھ سکے۔میدانی برقی رو معین ہونے کی وجہ سے موٹر کی اندرونی ہیجانی برقی دباو $\hat{E}_a$ کی مقدار تبدیل نہیں ہو سکتی البتہ اس کا زاویہ تبدیل ہو سکتا ہے۔موٹر $\hat{E}_a$ کی مقدار تبدیل کئے بغیر برقی سروں پر لاگو برقی دباو $\hat{V}_a$ اور $\hat{E}_a$ کے مابین زاویہ بڑھا کر قوی لچھے کی برقی رو اور یوں حاصل برقی طاقت بڑھائے گا۔ایسا شکل 6.17 میں دکھایا گیا ہے۔شکل میں $\hat{E}_a$ مرحلی سمتیہ کی نوک نقطہ دار گول دائرہ پر رہتی ہے۔یوں اس کا طول تبدیل نہیں ہوتا۔زاویہ بڑھنے سے $\left|j\hat{I}_a X_s\right|$ بڑھتا ہے۔چونکہ X_s نہیں بڑھ رہا لہٰذا درحقیقت قوی لچھے کی برقی رو بڑھ گئی ہے۔زیادہ بوجھ کے متغیرات کو ہلکی سیاہی میں دکھایا گیا ہے۔



شکل 6.17: بوجھ بڑھنے کا اثر۔

- دگنی میکانی بوجھ پر موٹر کو کل $26200 = 1000 + 800 + 24400$ واٹ یا 26.2 کلو واٹ برقی طاقت درکار ہے۔ مساوات 6.29 کی مدد سے

$$\sigma = \sin^{-1}\left(\frac{pX_s}{3V_aE_a}\right) = \sin^{-1}\left(\frac{26200 \times 2.2}{3 \times 239.6 \times 276}\right) = 16.89^\circ$$

یوں موٹر کی اندرونی ہیجانی برقی دباو $276\underline{/-16.89^\circ}$ ہو گی اور قوی لچھے کی برقی رو

$$\begin{aligned}\hat{I}_a &= \frac{\hat{V}_a - \hat{E}_a}{jX_s}\\ &= \frac{239\underline{/0^\circ} - 276\underline{/-16.89^\circ}}{j2.2}\\ &= 38\underline{/17.4^\circ}\end{aligned}$$

ہو گی۔ ستارہ جوڑ کی وجہ سے $\hat{I}_t$ بھی اتنا ہی ہو گا۔ پیش جزو طاقت $\cos 17.4^\circ = 0.954$ ہے۔

باب 7

امالی مشین

گزشتہ برسوں میں قوی الیکٹرانکس[1] کی میدان میں بہت ترقی ہوئی۔اس کا ایک نتیجہ یہ نکلا کہ امالی موٹروں کی رفتار پر قابو رکھنا ممکن ہوا اور یوں ان موٹروں نے کارخانوں میں یک سمتی رو موٹروں کی جگہ لینی شروع کی۔ یہاں یہ بتلاتا چلوں کہ اس سے پہلے جہاں بھی موٹر کی رفتار اہمیت رکھتی وہاں یک سمتی رو موٹر ہی استعمال ہوتی جن کی رفتار پر قابو رکھنا نہایت آسان ہوتا ہے۔پچاس سال پہلے ترقی یافتہ ممالک میں یک سمتی سے امالی آلوں کی جانب تبدیلی شروع تھی۔ آج میں یہی تبدیلی پاکستان میں دیکھ رہا ہوں۔ امالی موٹروں کی مضبوطی اور دیرپا کام کرنے کی صلاحیت مثالی ہے۔ قوی الیکٹرانکس نے ان کی بے قابو رفتار کو قابو کر کے انہیں بلا مقابلہ بنا دیا۔

امالی موٹر ٹرانسفارمر کی ایک اور شکل ہے یا یوں کہنا بہتر ہو گا کہ یہ ایک ایسا ٹرانسفارمر ہے جس میں ثانوی لچھا حرکت بھی کرتا ہے۔یوں امالی موٹر کے ساکن لچھے ٹرانسفارمر کے ابتدائی لچھے اور موٹر کے گھومتے لچھے ٹرانسفارمر کے ثانوی لچھوں کی جگہ ہوتے ہیں۔ موٹر کے ساکن لچھوں کو بیرونی برقی طاقت دی جاتی ہے جبکہ اس کے گھومتے لچھوں میں خلاء میں گھومتے مقناطیسی موج سے پیدا امالی برقی دباو ہی کام آتی ہے۔اسی سے اس کا نام امالی موٹر نکلا ہے۔

اس باب کا مقصد امالی موٹر کی مساوی دور یعنی ریاضی نمونہ[2] بنا کر اس کی خصوصیات پر غور کرنا ہے۔ہم دیکھیں گے کہ ان کا مساوی دور ٹرانسفارمر کے مساوی دور کی طرح کا ہے۔

---

[1] power electronics
[2] mathematical model

یہاں بھی ہم تصور کرتے ہیں کہ موٹر دو قطب اور تین مرحلہ ہے اور اس کے لچھے ستارہ نما جڑے ہیں۔اس طرح یک مرحلہ لچھوں میں برقی رو، تار کی برقی رو ہی ہو گی اور ان پر لاگو برقی دباو، یک مرحلہ برقی دباو ہو گی۔ایسا کرنے سے مسئلہ پر غور کرنا آسان ہو جاتا ہے جبکہ نتیجہ کسی بھی موٹر کے لئے درست ہوتا ہے۔

7.1 ساکن لچھوں کی گھومتی مقناطیسی موج

امالی مشین کے ساکن لچھے بالکل معاصر مشین کے ساکن لچھوں کی طرح ہوتے ہیں۔مزید یہ کہ اس کے گھومتے حصے کے اتنے ہی قطب ہوتے ہیں جتنے اس کے ساکن لچھوں کے ہوتے ہیں ۔اگر ان ساکن لچھوں کو متوازن تین مرحلہ برقی رو سے ہیجان کیا جائے تو یہ ایک گھومتے مقناطیسی دباو کی موج کو جنم دیں گے جسے مساوات 5.48 میں دکھایا گیا ہے۔مساوات 5.51 اس موج کی معاصر رفتار دیتی ہے۔یہ دونوں مساوات یہاں یاد دھیانی کے لئے دوبارہ دیئے جاتے ہیں۔یہاں ساکن لچھوں میں برقی رو کی تعدد ω_e لکھی گئی ہے اور θ_0 کو صفر لیا گیا ہے۔

$$\begin{aligned} \tau_s^+(\theta,t) &= \frac{3\tau_0}{2}\cos(\theta-\omega_t) \\ f_m &= \frac{2}{P}f_e \end{aligned} \tag{7.1}$$

7.2 مشین کی سرکنے اور گھومتی موجوں پر تبصرہ

ہم دو قطب کے مشین پر غور کر رہے ہیں۔P قطب کا تذکرہ بھی بالکل اسی طرح ہے۔ساکن لچھوں میں تین مرحلہ برقی رو کی تعدد f_e ہے۔مساوات 5.51 کہتا ہے کہ دو قطب کی مشین میں موج کی معاصر رفتار بھی f_e چکر فی سیکنڈ ہے۔ اب تصور کریں کہ مشین کا گھومتا حصہ f میکانی چکر فی سیکنڈ سے موج کی سمت میں گھوم رہا ہے جہاں $f < f_e$ ہے۔ اس صورت میں ہر سیکنڈ گھومتا حصہ مقناطیسی بہاو کی موج سے پیچھے سرک جائے گا۔اس سرکنے کو موج کی معاصر رفتار کی نسبت سے یوں لکھا جاتا ہے۔

$$s = \frac{f_s - f}{f_s} = \frac{f_e - f}{f_e} \tag{7.2}$$

یہاں s مشین کے سرک[3] کی ناپ ہے۔اس مساوات سے حاصل ہوتا ہے۔

$$\begin{aligned} f &= f_s(1-s) = f_e(1-s) \\ \omega &= \omega_s(1-s) = \omega_e(1-s) \end{aligned} \tag{7.3}$$

یہاں غور کریں۔ مقناطیسی بہاو کی موج f_e زاویائی رفتار سے گھوم رہی ہے جبکہ گھومتے لچھے کی زاویائی رفتار f ہے۔گھومتے لچھے کے حوالہ سے مقناطیسی بہاو کی موج $(f_e - f)$ رفتار سے گھوم رہی ہے۔یعنی اگر گھومتے لچھے کو ساکن تصور کیا جائے تو گھومتے مقناطیسی بہاو کی موج $(f_e - f)$ اضافی رفتار سے گھوم رہی ہو گی۔یوں گھومتے لچھے میں امالی برقی دباو کی تعدد بھی $(f_e - f)$ ہو گی۔مساوات 7.3 کی مدد سے اس امالی برقی دباو کی تعدد f_r کو یوں لکھا جا سکتا ہے۔

$$f_r = f_e - f = f_e - f_e(1-s) = sf_e \tag{7.4}$$

اگر مشین کو ایک امالی موٹر کے طور پر استعمال کیا جا رہا ہو تو اس کے گھومتے لچھے کسر دور رکھے جاتے ہیں۔یوں ان لچھوں میں برقی رو کی تعدد sf_e اور ان کی مقدار لچھوں میں پیدا امالی برقی دباو اور لچھوں کی رکاوٹ پر منحصر ہوتی ہے۔ لچھوں کی رکاوٹ برقی رو کی تعدد پر منحصر ہوتی ہے۔

ساکن موٹر جب چالو کی جائے تو اس کے سرک s کی قیمت ایک ہوتی ہے یعنی $s = 1$ اور یوں اس کے گھومتے لچھوں میں برقی رو کی تعدد f_e ہوتی ہے۔ گھومتے لچھوں میں f_e تعدد کی برقی رو ایک گھومتی مقناطیسی دباو کی موج کو جنم دے گی جو معاصر رفتار سے گھومے گی۔یہ بالکل اسی طرح ہے جیسے ساکن لچھوں میں برقی رو سے گھومتا مقناطیسی دباو کا موج وجود میں آتا ہے۔لہٰذا ساکن اور گھومتے لچھے دونوں کے گھومتے مقناطیسی دباو کے موج ایک ہی رفتار سے گھومتے ہیں۔یہ دو مقناطیسی دباو کی موجیں دو گھومتے مقناطیسوں کی طرح ہیں جو کوشش کریں گے کہ ان کے مابین زاویہ صفر ہو۔یوں موٹر قوتِ مروڑ[4] پیدا ہوتا ہے جس کا حساب مساوات 5.90 سے لگایا جا سکتا ہے۔اگر موٹر کے دھرے پر لدے بوجھ کو مشین کا پیدا کردہ قوت مروڑ گھما سکے تو مشین گھومے گی۔اس کی رفتار تیز ہو کر ایک برقرار حد تک پہنچ جائے گی۔ امالی موٹر کی رفتار کبھی بھی معاصر رفتار تک نہیں پہنچ سکتی چونکہ اس رفتار پر اس کے گھومتے لچھوں کی نسبت سے ساکن لچھوں کی گھومتی مقناطیسی دباو کی موج ساکن ہو گی اور گھومتے لچھوں میں کوئی امالی برقی دباو پیدا نہیں ہو گا۔

جب موٹر چل پڑتی ہے تو اس کے گھومتے لچھوں میں برقی رو کی تعدد sf_e ہوتی ہے۔ ان برقی رو سے پیدا مقناطیسی دباو کی موج گھومتے لچھے کے حوالہ سے sf_e رفتار سے گھومے گی چونکہ معاصر رفتار برقی رو کی تعدد کے

---
[3] slip
[4] torque

برابر ہی ہوتی ہے۔اب گھومتا لچھا از خود f رفتار سے گھوم رہا ہوتا ہے لہٰذا یہ موج در حقیقت خلاء میں $(f + sf_e)$ رفتار سے گھومتی ہے۔مساوات 7.4 سے

$$f + sf_e = f + f_e - f = f_e \tag{7.5}$$

یہ ایک بہت اہم نتیجہ ہے۔ یہ مساوات کہتا ہے کہ موٹر کسی بھی رفتار سے گھوم رہی ہو، گھومتے لچھوں سے پیدا مقناطیسی دباو کی موج ساکن لچھوں سے پیدا مقناطیسی دباو کی موج کی رفتار سے ہی گھومتی ہے۔

مثال 7.1: ایک چار قطب کی ستارہ جڑی 50 ہرٹز، 415 وولٹ پر چلنے والی امالی موٹر 15 کلو واٹ کی اپنی پوری بوجھ پر پانچ فی صد سرک پر چلتی ہے۔

- اس موٹر کی معاصر رفتار کیا ہے۔
- پورے بوجھ پر اس کی کیا رفتار ہے۔
- پورے بوجھ پر گھومتے لچھے میں برقی تعداد ارتعاش کیا ہے۔
- پورے بوجھ سے لدے موٹر کی دھرے پر قوت مروڑ حاصل کریں۔

حل:

- مساوات 7.1 کی مدد سے معاصر رفتار $f_m = \frac{2}{4} \times 50 = 25$ چکر فی سیکنڈ یا $25 \times 60 = 1500$ چکر فی منٹ ہے۔
- پورے بوجھ سے لدا موٹر پانچ فی صد سرک پر چلتا ہے لہٰذا اس کی رفتار معاصر رفتار سے قدرِ کم ہو گی۔موٹر کی رفتار مساوات 7.3 کی مدد سے $f = 25(1 - 0.05) = 23.75$ چکر فی سیکنڈ یا 1425 چکر فی منٹ ہو گی۔
- گھومتے لچھے کی برقی تعداد ارتعاش $f_r = 0.05 \times 50 = 2.5$ ہرٹز ہے۔
- اس کے دھرے پر قوت مروڑ $T_m = \frac{p}{\omega_m} = \frac{15000}{2 \times \pi \times 23.75} = 100.5\,\mathrm{N\,m}$ ہو گی۔

7.3 ساکن لچھوں میں امالی برقی دباو

مساوات 7.1 کا پہلا جزو ساکن لچھوں کی پیدا کردہ مقناطیسی دباو کی موج کو ظاہر کرتی ہے۔ یہ مقناطیسی دباو مشین کی خلائی درز میں مقناطیسی شدت $H^+(\theta)$ پیدا کرے گی جس سے وہاں کثافت مقناطیس بہاو $B^+(\theta)$ پیدا ہو گا۔ اگر اس خلائی درز کی رداس کی سمت میں لمبائی l_g ہو تو

$$
\begin{aligned}
B^+(\theta) = \mu_0 H^+(\theta) &= \mu_0 \frac{\tau^+(\theta)}{l_g} \\
&= \frac{3\mu_0 \tau_0}{2l_g} \cos(\theta - \omega_e t) \\
&= B_0 \cos(\theta - \omega_e t)
\end{aligned}
\tag{7.6}
$$

یہ مساوات بالکل مساوات 5.4 کی طرح ہے۔ یوں مساوات 5.72 اس مقناطیسی موج $B^+(\theta)$ کی ساکن لچھوں میں پیدا کردہ امالی برقی دباو کو ظاہر کرے گی ۔ یہ مساوات یہاں دوبارہ دیا جا رہا ہے۔

$$
\begin{aligned}
e_{as}(t) &= \omega_e N_s \phi_0 \cos(\omega_t - 90^\circ) = E_s \cos(\omega_t - 90^\circ) \\
e_{bs}(t) &= \omega_e N_s \phi_0 \cos(\omega_t + 150^\circ) = E_s \cos(\omega_t + 150^\circ) \\
e_{cs}(t) &= \omega_e N_s \phi_0 \cos(\omega_t + 30^\circ) = E_s \cos(\omega_t + 30^\circ)
\end{aligned}
\tag{7.7}
$$

جہاں N_s ساکن لچھے کے چکر ہیں اور

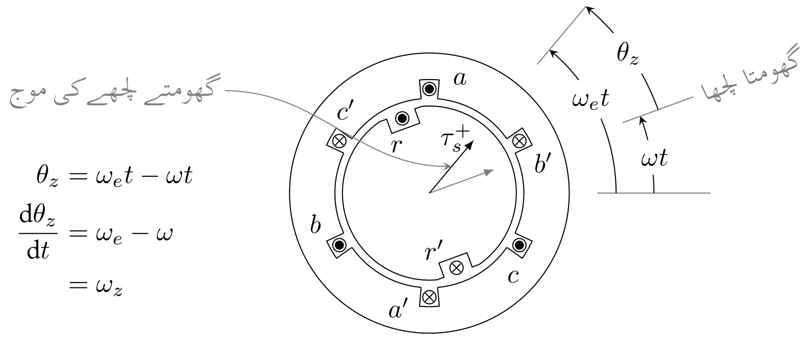
$$
E_s = \omega_e N_s \phi_0 \tag{7.8}
$$

یہاں $e_{as}(t)$ لکھتے ہوئے زیر نوشت میں a ، مرحلہ a کو ظاہر کرتا ہے اور s، ساکن[5] کو ظاہر کرتا ہے یعنی یہ ساکن a لچھے کی امالی برقی دباو ہے۔امالی موٹر کے a مرحلے کی بات ہی آگے کرتے ہیں۔گھومتی مقناطیسی دباو کی موج اس لچھے میں امالی برقی دباو $e_{as}(t)$ پیدا کرتی ہے۔

7.4 ساکن لچھوں کی موج کا گھومتے لچھوں کے ساتھ اضافی رفتار اور ان میں پیدا امالی برقی دباو

مساوات 7.1 کا پہلا جُز، ساکن لچھوں کی پیدا کردہ، گھومتے مقناطیسی دباو کی موج کو ظاہر کرتا ہے۔اس موج کی چوٹی[6] اس مقام پر ہوتی ہے جہاں $(\theta - \omega_e t)$ صفر کے برابر ہو۔ یوں لمحہ صفر پر اس کی چوٹی صفر زاویہ پر ہو گی اور لمحہ t پر

[5] لفظ ساکن میں حرف س کے آواز کو s سے ظاہر کیا گیا ہے۔
[6] peak



شکل 7.1: امالی موٹر اور اس کے گھومتے مقناطیسی دباو کی موجیں۔

اس موج کی چوٹی زاویہ $\omega_e t$ پر ہو گی۔ ساکن لچھوں کی مقناطیسی دباو کی موج کا زاویہ کسی بھی نقطہ کے حوالے سے کیا جا سکتا ہے۔ اس کتاب میں صفر زاویہ ساکن لچھا a کو لیا جاتا ہے۔اس طرح یہ زاویہ نقطہ دار اُفقی لکیر سے ناپا جاتا ہے۔شکل 7.1 میں ایسا ہی دکھایا گیا ہے۔اس شکل میں ایک امالی موٹر دکھائی گئی ہے جس کے تین مرحلہ ساکن لچھے ہیں۔

گھومتے لچھے بھی بالکل اسی طرح ہوتے ہیں اگرچہ شکل میں صرف ایک ہی گھومتا لچھا دکھایا گیا ہے۔ مشین f زاویائی رفتار سے گھوم رہی ہے۔ تصور کریں کہ لمحہ صفر یعنی $t = 0$ پر گھومتے حصہ کا a لچھا صفر زاویہ پر ہے، یعنی یہ نقطہ دار اُفقی لکیر پر ہے مزید یہ کہ اس لمحہ ساکن لچھوں کی گھومتی مقناطیسی دباو کی موج بھی اسی اُفقی لکیر پر ہے۔ اب کچھ دیر بعد لمحہ t پر یہ موج زاویہ $\omega_e t$ پر ہو گی۔ اتنی دیر میں گھومتا حصہ گھوم کر زاویہ ωt تک پہنچ جائے گا جہاں $\omega = 2\pi f$ مشین کی زاویائی میکانی رفتار ہے۔یہ سب شکل میں دکھایا گیا ہے۔لہٰذا لمحہ t پر موج اور گھومتے لچھے کے درمیان زاویہ θ_z یہ ہو گا

$$\theta_z = \omega_e t - \omega t \tag{7.9}$$

اگرچہ مقناطیسی موج نے $\omega_e t$ زاویہ طے کیا لیکن گھومتے لچھے کے حوالے سے اس نے صرف زاویہ $(\omega_e t - \omega t)$ طے کیا۔اسی طرح گھومتے لچھے کے حوالے سے اس موج کی اضافی[7] زاویائی رفتار[8] ω_z یہ ہو گی۔

$$\omega_z = \frac{\mathrm{d}\theta_z}{\mathrm{d}t} = \omega_e - \omega \tag{7.10}$$

[7] ω_z لکھتے ہوئے زیر نوشت میں z، لفظ اضافی کے حرف ض کی آواز کو ظاہر کرتا ہے۔
[8] relative angular speed

اس کو مساوات 7.4 کی مدد سے یوں لکھ سکتے ہیں۔

$$\omega_z = 2\pi(f_e - f) = 2\pi s f_e = s\omega_e \tag{7.11}$$

یہ مساوات کہتا ہے کہ گھومتے لچھے کے حوالے سے مقناطیسی موج کی رفتار سرک s پر منحصر ہے۔اس موج کا حیطہ البتہ تبدیل نہیں ہوا۔ اس طرح گھومتے لچھے کے حوالے سے مقناطیسی موج کی مساوات جو کہ مساوات 7.4 میں دی گئی ہے تبدیل ہو کر یہ بن جائے گی۔

$$B^+_{s,rz}(\theta, t) = B_0 \cos(\theta - \omega_z t) = B_0 \cos(\theta - s\omega_e t) \tag{7.12}$$

$B^+_{s,rz}$ میں + کا نشان گھڑی کی اُلٹی سمت گھومتی موج کو ظاہر کرتا ہے جبکہ زیر نوشت میں s, rz [9] اس بات کی یاد دھیانی کرتا ہے کہ یہ موج ساکن لچھوں کی وجہ سے وجود میں آیا اور اسے گھومتے یعنی رواں لچھوں کے حوالے سے دیکھا جا رہا ہے۔مزید یہ کہ اس مساوات کی تعدد اضافی تعدد $s\omega_e$ کے برابر ہے۔

یوں گھومتے لچھوں میں امالی برقی دباو مساوات 7.7 کی طرح ہی ہو گی مگر ان کی تعدد $s\omega_e t = \omega_z$ ہو گی یعنی[10]

$$\begin{aligned}
e_{arz}(t) &= s\omega_e N_r \phi_0 \cos(s\omega_e t - 90^\circ) = sE_r \cos(s\omega_e t - 90^\circ) \\
e_{brz}(t) &= s\omega_e N_r \phi_0 \cos(s\omega_e t + 150^\circ) = sE_r \cos(s\omega_e t + 150^\circ) \\
e_{crz}(t) &= s\omega_e N_r \phi_0 \cos(s\omega_e t + 30^\circ) = sE_r \cos(s\omega_e t + 30^\circ)
\end{aligned} \tag{7.13}$$

ان مساوات میں N_r گھومتے لچھے کے چکر ہیں اور

$$E_r = \omega_e N_r \phi_0 \tag{7.14}$$

اب تصور کریں کہ گھومتے لچھوں کو کسرِ دور کر دیا گیا ہے۔یہ امالی برقی دباو گھومتے لچھوں میں برقی رو i_{arz}[11] وغیرہ پیدا کرے گی جس کی تعدد $s\omega_e$ ہو گی۔ بالکل ساکن لچھے کی طرح، گھومتے لچھے کی مزاحمت R_r[12] اور اس کی امالہ L_r ہو گی جس کی متعاملیت $js\omega_e L_r$ ہو گی۔اسے ہم یوں لکھ سکتے ہیں۔

$$js\omega_e L_r = jsX_r \tag{7.15}$$

جہاں jX_r کو $j\omega_e L_r$ کے برابر لیا گیا ہے، یعنی jX_r اس لچھے کی ساکن حالت میں متعاملیت ہے جب سرک ایک کے برابر ہو۔گھومتے لچھوں میں برقی رو i_{arz} شکل 7.2 کی مدد سے حاصل کی جا سکتی ہے جہاں گھومتے لچھے میں امالی برقی دباو $e_{arz}(t)$ مساوات 7.13 میں دیا گیا ہے۔

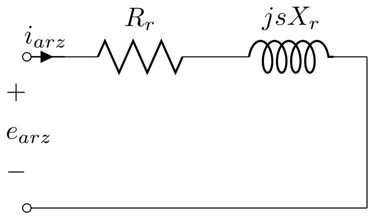
---

[9] s لفظ ساکن کے س کو ظاہر کرتا ہے، r لفظ رواں کے ر کو ظاہر کرتا ہے اور z لفظ اضافی کے ض کو ظاہر کرتا ہے۔

[10] e_{arz} میں مرحلہ a ہے۔ گھومتے لچھے کو r اور اضافی کو z ظاہر کرتا ہے۔

[11] یہاں r گھومتے لچھے کو ظاہر کرتا ہے اور z اس بات کی یاد دھیانی کرتا ہے کہ اس برقی رو کی تعدد، اضافی تعدد ہے۔

[12] ٹرانسفارمر کی اصطلاح میں ثانوی لچھے کو زیر نوشت میں 2 سے ظاہر کرتے ہیں۔ یہاں اسے r سے ظاہر کیا جاتا ہے۔



$$Z_r = R_r + jsX_r$$
$$\phi_z = \tan^{-1}\frac{sX_r}{R_r}$$
$$\hat{I}_{arz} = \frac{\hat{E}_{arz}}{Z_r}$$

$$\begin{aligned} i_{arz}(t) &= \tfrac{sE_r}{|Z|}\cos(s\omega_e t - 90^\circ - \phi_z) \\ &= I_{0r}\cos(s\omega_e t - 90^\circ - \phi_z) \end{aligned}$$

شکل 7.2: گھومتے لچھے کی مساوی دور اور اس میں اضافی تعدد کی رو۔

یہ شکل بالکل شکل 1.14 کی طرح ہے لہٰذا مساوات 1.53 اس میں برقی رو دے گی یعنی

$$\begin{aligned} i_{arz}(t) &= \frac{sE_r}{\sqrt{R_r^2 + s^2X_r^2}}\cos\left(s\omega_e t - 90^\circ - \phi_z\right) = I_{0r}\cos(s\omega_e t + \theta_0) \\ i_{brz}(t) &= \frac{sE_r}{\sqrt{R_r^2 + s^2X_r^2}}\cos\left(s\omega_e t + 150^\circ - \phi_z\right) = I_{0r}\cos(s\omega_e t - 120^\circ + \theta_0) \\ i_{crz}(t) &= \frac{sE_r}{\sqrt{R_r^2 + s^2X_r^2}}\cos\left(s\omega_e t + 30^\circ - \phi_z\right) = I_{0r}\cos(s\omega_e t + 120^\circ + \theta_0) \end{aligned} \tag{7.16}$$

یہ تین مرحلہ برقی رو ہیں جو آپس میں 120° کا زاویہ رکھتے ہیں۔ یہاں ϕ_z رکاوٹ کا زاویہ[13] ہے۔ امید کی جاتی ہے کہ اسے آپ مقناطیسی بہاو نہیں سمجھیں گے۔ یہاں

$$\begin{aligned} \theta_0 &= -90 - \phi_z \\ I_{0r} &= \frac{sE_r}{\sqrt{R_r^2 + s^2X_r^2}} \end{aligned} \tag{7.17}$$

شکل 7.2 سے واضح ہے کہ ایک گھومتے لچھے کی مزاحمت میں

$$p_r = I_{or}^2 R_r \tag{7.18}$$

برقی طاقت کا ضیاع ہو گا۔ یہ طاقت حرارت میں تبدیل ہو کر اس مزاحمت کو گرم کرے گی۔

---

[13] تکنیکی دنیا میں رکاوٹ کے زاویہ کے لئے ϕ_z استعمال ہوتا ہے۔ یہاں یہی کیا گیا ہے۔

7.5 گھومتے لچھوں کی گھومتی مقناطیسی دباو کی موج

ہم جانتے ہیں کہ ساکن تین مرحلہ لچھوں میں f_e تعدد کی برقی رو گھومتے مقناطیسی دباو کی موج کو جنم دیتی ہے جو اس ساکن لچھے کے حوالے سے f_e معاصر زاویائی رفتار سے گھومتی ہے۔ اسی طرح گھومتے تین دور لچھوں میں sf_e تعدد کی برقی رو ایک گھومتی مقناطیسی دباو کی موج τ_{rz}^+ کو جنم دیتی ہے جو اس گھومتے لچھے کے حوالے سے sf_e زاویائی رفتار سے گھومتی ہے۔

$$\tau_{rz}^+(\theta,t) = k_w \frac{4}{\pi}\frac{N_r I_{0r}}{2}\cos\left(\theta - s\omega_e t - \theta_0\right) \tag{7.19}$$

یہاں I_{0r} اور θ_0 مساوات 7.17 میں دیئے گئے ہیں۔اب چونکہ گھومتا لچھا از خود f زاویائی رفتار سے گھوم رہا ہے لہٰذا اس کی پیدا کردہ مقناطیسی دباو کی موج خلاء میں $(f+sf_e)$ زاویائی رفتار سے گھومتی ہے۔ اس رفتار کو مساوات 7.3 کی مدد سے یوں لکھ سکتے ہیں۔

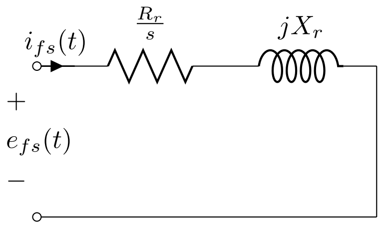
$$f + sf_e = f_e(1-s) + sf_e = f_e \tag{7.20}$$

لہٰذا گھومتے لچھوں کی مقناطیسی دباو کی موج کو ساکن لچھوں کے حوالے سے یوں لکھا جا سکتا ہے۔

$$\tau_{r,s}^+(\theta,t) = k_w \frac{4}{\pi}\frac{N_r I_{0r}}{2}\cos\left(\theta - \omega_e t - \theta_0\right) \tag{7.21}$$

$\tau_{r,s}^+$ میں $+$ کا نشان گھڑی کی اُلٹی سمت گھومتی موج کو ظاہر کرتا ہے جبکہ زیر نوشت میں r,s اس بات کی وضاحت کرتا ہے کہ یہ موج گھومتے یعنی رواں لچھوں کی وجہ سے وجود میں آیا ہے مگر اسے ساکن لچھوں کے حوالے سے دیکھا جا رہا ہے۔

یہاں وقفہ لے کر ذرا غور کرتے ہیں۔مساوات 7.21 کے مطابق گھومتا لچھا خود کسی بھی رفتار سے گھوم رہا ہو، اس کی پیدا کردہ گھومتی مقناطیسی دباو کی موج ساکن لچھے کے پیدا کردہ موج کی رفتار سے ہی گھومے گی۔لہٰذا مشین میں دو گھومتی مقناطیسی دباو کی موجیں ہیں جو ایک ہی معاصر رفتار سے گھوم رہی ہیں۔مساوات 5.89 میں کہا گیا ہے کہ دو مقناطیسی دباو کی موجودگی پیدا کرتی ہیں جو ان کے مابین زاویہ پر منحصر ہے۔لہٰذا امالی مشین میں موجود دو مقناطیسی موجیں پیدا کرتی ہیں اور اس کی مقدار ان دو موجوں کے مابین زاویہ پر منحصر ہوتی ہے۔امالی موٹر اس پر لدے بوجھ کے مطابق ان دو موجوں کے مابین زاویہ رکھتی ہے اور یوں درکار پیدا کرتی ہے۔



$$Z_{fs} = \frac{R_r}{s} + jX_r$$
$$\phi_z = \tan^{-1}\left(\frac{X_r}{\frac{R_r}{s}}\right) = \tan^{-1}\frac{sX_r}{R_r}$$

شکل 7.3: گھومتے لچھوں کی جگہ فرضی ساکن لچھے کی دور۔

7.6 گھومتے لچھوں کے مساوی فرضی ساکن لچھے

اب دوبارہ اصل موضوع پر آتے ہیں۔اگر گھومتے لچھوں کی جگہ N_r چکر کے تین مرحلہ فرضی ساکن لچھے ہوں تو مساوات 7.7 کی طرح ان میں امالی برقی دباو پیدا ہو گی یعنی[14]

$$\begin{aligned}
e_{afs}(t) &= \omega_e N_r \phi_0 \cos(\omega_e t - 90^\circ) = E_r \cos(\omega_e t - 90^\circ)\\
e_{bfs}(t) &= \omega_e N_r \phi_0 \cos(\omega_e t + 150^\circ) = E_r \cos(\omega_e t + 150^\circ)\\
e_{cfs}(t) &= \omega_e N_r \phi_0 \cos(\omega_e t + 30^\circ) = E_r \cos(\omega_e t + 30^\circ)
\end{aligned} \tag{7.22}$$

مزید فرض کریں کہ ان فرضی ساکن لچھوں کی مزاحمت $\frac{R_r}{s}$ اور متعاملیت jX_r ہیں یعنی

$$Z_{fs} = \frac{R_r}{s} + jX_r \tag{7.23}$$

اگر ان پر مساوات 7.22 میں دیئے گئے برقی دباو لاگو کی جائے جیسے شکل 7.3 میں دکھایا گیا ہے تو ان میں برقی رو

[14] ان مساوات میں زیر نوشت میں f لفظ فرضی کے ف کو ظاہر کرتا ہے۔

یہ ہو گی۔

$$
\begin{aligned}
i_{afs}(t) &= \frac{E_r}{\sqrt{\left(\frac{R_r}{s}\right)^2+X_r^2}} \cos\left(\omega_e t - 90^\circ - \phi_Z\right) = I_{or}\cos\left(\omega_e t + \theta_0\right) \\
i_{bfs}(t) &= \frac{E_r}{\sqrt{\left(\frac{R_r}{s}\right)^2+X_r^2}} \cos\left(\omega_e t + 150^\circ - \phi_Z\right) = I_{or}\cos\left(\omega_e t - 120^\circ + \theta_0\right) \\
i_{cfs}(t) &= \frac{E_r}{\sqrt{\left(\frac{R_r}{s}\right)^2+X_r^2}} \cos\left(\omega_e t + 300^\circ - \phi_Z\right) = I_{or}\cos\left(\omega_e t + 120^\circ + \theta_0\right)
\end{aligned} \tag{7.24}
$$

یہاں مساوات 7.17 استعمال کی گئی ہے۔اس مساوات میں دھیان رہے کہ رکاوٹ کا زاویہ ϕ_Z وہی ہے جو گھومتے لچھے کا تھا یعنی

$$
\phi_{fZ} = \tan^{-1}\frac{X}{\left(\frac{R}{s}\right)} = \tan^{-1}\frac{sX}{R} = \phi_Z \tag{7.25}
$$

ان برقی رو کی تعدد ω_e ہے اور ان کا پیدا کردہ گھومتا مقناطیسی موج یہ ہو گا۔

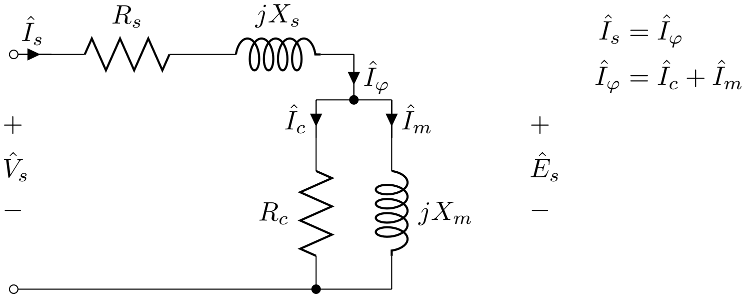
$$
\tau^+_{fs,s}(\theta,t) = k_w \frac{4}{\pi}\frac{N_r I_{0r}}{2}\cos(\theta - \omega_e t - \theta_0) \tag{7.26}
$$

یہ مقناطیسی موج ہو بہو گھومتے لچھے کی موج $\tau^+_{r,s}(\theta,t)$ ہے۔

7.7 امالی موٹر کا مساوی برقی دور

ہم ٹرانسفارمر کی ابتدائی جانب لچھے کی برقی دور پہلے بنا چکے ہیں جہاں لچھے کی مزاحمت R_1 اور اس کی رستا متعاملیت[15] jX_1 تھی۔ ٹرانسفارمر کے قالب میں وقت کے ساتھ بدلتی مقناطیسی بہاو اس لچھے میں امالی برقی دباو $\hat{E}_1$ پیدا کرتی۔ یوں

$$
\hat{V}_1 = \hat{I}_1\left(R_1 + jX_1\right) + \hat{E}_1 \tag{7.27}
$$



شکل 7.4: امالی موٹر کے ساکن لچھوں کا مساوی برقی دور۔

لکھا جا سکتا ہے جہاں $\hat{V}_1$ ابتدائی لچھے پر لاگو بیرونی برقی دباو ہے۔ہم دیکھیں گے کہ امالی موٹر کے ساکن لچھے کے لئے بھی یہی مساوات حاصل ہو گی۔

تصور کریں کہ مشین کے گھومتے لچھے کھلے دور ہیں اور اس کے ساکن لچھوں پر تین مرحلہ برقی دباو لاگو ہے۔ اس صورت میں ساکن لچھوں میں رواں برقی رو ایک گھومتے مقناطیسی دباو کی موج $\tau_s^+(\theta, t)$ پیدا کرے گی جو مساوات 7.1 میں دی گئی ہے۔

باب کے اس حصہ میں ہم مشین کے ایک مرحلے کو مدِ نظر رکھیں گے، مثلاً مرحلہ a۔ یہاں شکل 7.4 سے رجوع کریں۔اگر ساکن لچھے کی مزاحمت R_s اور متعاملیت jX_s ہو اور اس پر لاگو بیرونی برقی دباو $v_s(t)$ ہو تو کرخوف[16] کے برقی دباو کے قانون کے تحت

$$v_s(t) = i_s R_s + L_s \frac{\mathrm{d}i_s}{\mathrm{d}t} + e_s(t) \tag{7.28}$$

$e_s(t)$ مساوات 7.7 میں دی گئی اس موج کی ساکن لچھے میں پیدا امالی برقی دباو ہے ۔اسی کو مرحلی سمتیہ کے طور پر یوں لکھ سکتے ہیں۔

$$\hat{V}_s = \hat{I}_s \left(R_s + jX_s\right) + \hat{E}_s \tag{7.29}$$

ٹرانسفارمر کی مثال آگے بڑھاتے ہیں۔اگر موٹر کا گھومتا لچھا کھلے دور[17] رکھا جائے تو قالب میں ایک ہی گھومتی مقناطیسی دباو کی موج $\tau_s^+(\theta, t)$ ہو گی۔ساکن لچھے میں صرف برقی رو $\hat{I}_\varphi$ ہو گا جو قالب میں مقناطیسی بہاو φ_s کو

---
[15] leakage reactance
[16] Kirchoff's voltage law
[17] open circuited

جنم دے گی۔ یہ برقی رو $\hat{I}_{\varphi}$ غیر سائن نما ہوتی ہے۔ فوریئر تسلسل[18] سے اس کے بنیادی جزو اور ہارمونی جزو معلوم کئے جا سکتے ہیں۔ اس کے بنیادی جزو کے دو حصے ہوتے ہیں۔ ایک حصہ $\hat{I}_c$، لاگو بیرونی برقی دباو $\hat{V}_s$ کے ہم قدم ہوتا ہے اور یہ قالب میں طاقت کے ضیاع کو ظاہر کرتا ہے اور دوسرا حصہ $\hat{V}_s$ سے نوے درجہ پیچھے زاویہ پر رہتا ہے۔ $\hat{I}_{\varphi}$ میں سے $\hat{I}_c$ منفی کر کے بقایا کو مقناطیسی جزو کہتے ہیں اسے $\hat{I}_m$ سے ظاہر کرتے ہیں۔ یوں مقناطیسی جزو بنیادی جزو کے پیچھے حصے اور باقی سارے ہارمونی جزو کے مجموعے پر مشتمل ہوتا ہے اور یہ قالب میں مقناطیسی بہاو φ_s پیدا کرتا ہے۔

$$\hat{I}_{\varphi} = \hat{I}_c + \hat{I}_m \tag{7.30}$$

امالی موٹر کے مساوی دور میں $\hat{I}_c$ کو مزاحمت R_c سے اور $\hat{I}_m$ کو jX_{φ} سے ظاہر کیا جاتا ہے۔ ان دونوں کا حساب چلتے موٹر میں متوقع برقی تعدد اور امالی برقی دباو $\hat{E}_s$ پر کیا جاتا ہے یعنی

$$\begin{aligned} R_c &= \frac{\hat{E}_s}{\hat{I}_c} = \frac{E_s}{I_c} \\ X_{\varphi} &= \frac{\left|\hat{E}_s\right|}{\left|\hat{I}_m\right|} = \frac{E_s}{I_m} \end{aligned} \tag{7.31}$$

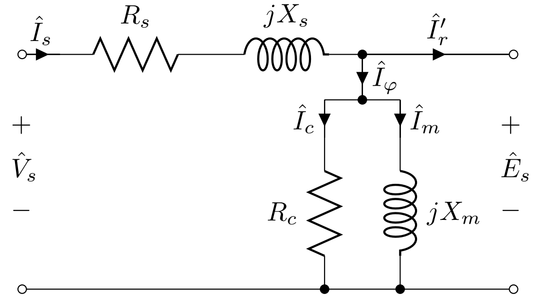
مقناطیسی دباو کی موج $\tau_s^+(\theta,t)$ گھومتے لچھے میں بھی امالی برقی دباو پیدا کرے گی۔ مساوات 7.29 میں اگر رکاوٹ میں برقی دباو کے گھٹنے کو نظر انداز کیا جائے تو لاگو بیرونی برقی دباو اور لچھے کی اندرونی امالی برقی دباو ہر حالت میں برابر ہوں گے۔ اب تصور کریں کہ گھومتے لچھے کسرِ دور کر دیے جائیں۔ ایسا کرتے ہی ان میں برقی رو گزرنے لگے گا جو مقناطیسی دباو کی موج $\tau_{r,s}^+(\theta,t)$ جو مساوات 7.21 میں دی گئی ہے کو جنم دے گی۔ اس موج سے ساکن لچھے میں امالی برقی دباو $\hat{E}_s$ تبدیل ہو جائے گی اور یوں یہ لاگو برقی دباو کے برابر نہیں رہے گی۔ یہ ایک نا ممکنہ صورتِ حال ہے۔

ساکن لچھے میں امالی برقی دباو، لاگو برقی دباو کے برابر تب رہے گی کہ قالب میں مقناطیسی دباو تبدیل نہ ہو۔ مشین کے قالب میں مقناطیسی دباو برقرار یوں رہتی ہے کہ ساکن لچھے مقناطیسی دباو $\tau_{r,s}^+(\theta,t)$ کی متضاد مقناطیسی دباو کی ایک موج پیدا کرتی ہے جو اس کے اثر کو مکمل طور پر ختم کر دیتی ہے۔ یہ موج پیدا کرنے کے لئے ساکن لچھوں میں برقی رو $\hat{I}_{\varphi}$ سے بڑھ کر $(\hat{I}_{\varphi} + \hat{I}'_r)$ ہو جاتی ہے جہاں یہ اضافی برقی رو یہ ہیں۔

$$\begin{aligned} i'_{ar}(t) &= I'_{or}\cos(\omega_e t + \theta_0) \\ i'_{br}(t) &= I'_{or}\cos(\omega_e t - 120^\circ + \theta_0) \\ i'_{cr}(t) &= I'_{or}\cos(\omega_e t + 120^\circ + \theta_0) \end{aligned} \tag{7.32}$$

---

[18] Fourier series



شکل 7.5: مساوی دور اضافی برقی رو کے ساتھ۔

ان اضافی برقی رو کی متضاد مقناطیسی دباو کی موج یہ ہے

$$\tau^{+}_{(r)}(\theta,t)=k_w\frac{4}{\pi}\frac{N_s I'_{0r}}{2}\cos(\theta-\omega_e t-\theta_0) \tag{7.33}$$

ساکن لچھوں میں اضافی برقی رو نے ہر لحہ گھومتے لچھوں کی برقی رو کے اثر کو ختم کرنا ہے لہٰذا یہ دونوں برقی رو ہم قدم[19] ہی ہوں گے۔چونکہ یہ مساوات اور مساوات 7.21 برابر ہیں

$$N_s I'_{0r}=N_r I_{0r} \tag{7.34}$$

لہٰذا ان سے حاصل ہوتا ہے۔

$$I'_{0r}=\left(\frac{N_r}{N_s}\right)I_{0r}=\left(\frac{N_r}{N_s}\right)\frac{sE_r}{\sqrt{R_r^2+s^2X_r^2}} \tag{7.35}$$

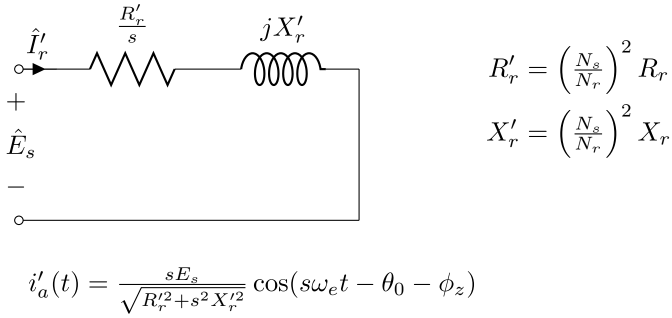
آپ نے دیکھا کہ گھومتے لچھے مقناطیسی دباو کی موج پیدا کرتے ہیں جن کے ذریعہ ساکن لچھوں کو معلوم ہوتا ہے کہ موٹر پر بوجھ لدا ہے اور وہ اس کے مطابق لاگو برقی دباو سے برقی رو لیتی ہیں۔یہاں تک امالی موٹر کی مساوی برقی دور شکل 7.5 میں دکھائی گئی ہے۔

یہاں ذرہ شکل 7.6 سے رجوع کریں۔اس شکل میں

$$\begin{aligned}R'_r&=\left(\frac{N_s}{N_r}\right)^2 R_r\\X'_r&=\left(\frac{N_s}{N_r}\right)^2 X_r\end{aligned} \tag{7.36}$$

---

[19] in-phase



شکل 7.6: گھومتے لچھے کا ایک اور مساوی دور۔

پر ساکن لچھوں کی امالی برقی دباو $\hat{E}_s$ لاگو ہے لہٰذا ان میں برقی رو یہ ہوں گی۔

$$
\begin{aligned}
i'_a(t) &= \frac{sE_s}{\sqrt{R'^2_r + s^2X'^2_r}} \cos(\omega_e t - 90^\circ - \phi_Z) \\
i'_b(t) &= \frac{sE_s}{\sqrt{R'^2_r + s^2X'^2_r}} \cos(\omega_e t + 150^\circ - \phi_Z) \\
i'_c(t) &= \frac{sE_s}{\sqrt{R'^2_r + s^2X'^2_r}} \cos(\omega_e t + 30^\circ - \phi_Z)
\end{aligned} \tag{7.37}
$$

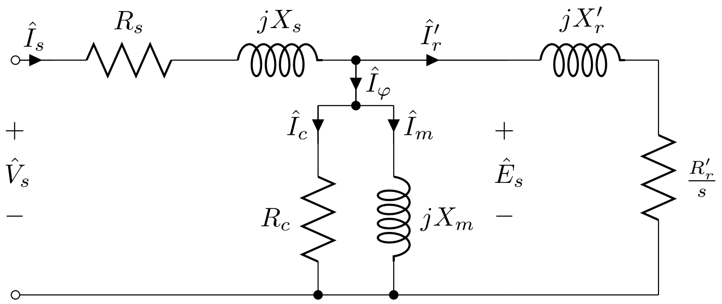
ان سب مساوات کا حیطہ برابر ہے۔اس حیطے کو یوں لکھا جا سکتا ہے۔

$$
\frac{sE_s}{\sqrt{R'^2_r + s^2X'^2_r}} = \frac{s\omega_e N_s \phi_0}{\sqrt{\left(\frac{N_s}{N_r}\right)^2 (R^2_r + s^2X^2_r)}} = \left(\frac{N_r}{N_s}\right) I_{0r} = I'_{0r} \tag{7.38}
$$

لہٰذا مساوات 7.37 اس طرح لکھا جا سکتا ہے۔

$$
\begin{aligned}
i'_a(t) &= I'_{0r} \cos(\omega_e t - 90^\circ - \phi_Z) \\
i'_b(t) &= I'_{0r} \cos(\omega_e t + 150^\circ - \phi_Z) \\
i'_c(t) &= I'_{0r} \cos(\omega_e t + 30^\circ - \phi_Z)
\end{aligned} \tag{7.39}
$$

یہ مساوات بالکل مساوات 7.32 کی طرح ہے۔ لہٰذا اگر شکل 7.5 میں ساکن لچھوں کی امالی برقی دباو $\hat{E}_s$ کے متوازی شکل 7.6 جوڑا جائے تو ایسا کرنے سے ساکن لچھوں میں اُتنا ہی اضافی برقی رو رواں ہو گا جو اصل موٹر میں گھومتے لچھوں کی وجہ سے ہوتا ہے۔ شکل 7.7 میں ایسا ہی کیا گیا ہے لہٰذا شکل میں دیا برقی دور، امالی موٹر کی صحیح عکاسی کرتی ہے۔ یہی امالی موٹر کی مساوی برقی دور ہے۔



شکل 7.7: امالی موٹر کی مساوی برقی دور۔

7.8 مساوی برقی دور پر غور

مساوات 7.18 ایک گھومتے لچھے میں برقی طاقت کے ضیاع کو ظاہر کرتا ہے۔مساوات 7.36 اور 7.38 کی مدد سے اسے یوں لکھا جا سکتا ہے۔

$$p_{\text{ضیاع}} = I_{0r}^2 R_r = \left(\frac{N_s^2}{N_r^2} I_{0r}'^2\right)\left(\frac{N_r^2}{N_s^2} R_r'\right) = I_{0r}'^2 R_r' \tag{7.40}$$

شکل 7.7 سے ظاہر ہے کہ ایک گھومتے لچھے کو کل

$$p_r = I_{0r}'^2 \frac{R_r'}{s} \tag{7.41}$$

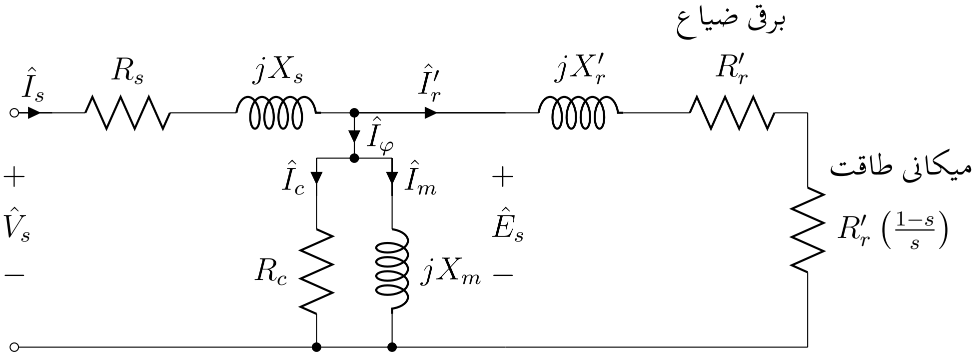
برقی طاقت دی جاتی ہے جس میں سے $p_{\text{ضیاع}}$ گھومتے لچھے کی مزاحمت میں ضائع ہو جاتی ہے اور بقایا بطور میکانی طاقت مشین کے دھرے پر پائی جاتی ہے یعنی

$$p = I_{0r}'^2 \frac{R_r'}{s} - I_{0r}'^2 R_r' = I_{0r}'^2 \frac{R_r'}{s}(1-s) = p_r(1-s) \tag{7.42}$$

یوں تین مرحلہ مشین جس میں تین لچھے ہوتے ہیں اس کے تین گنا میکانی طاقت فراہم کر سکتی ہے یعنی

$$p_{\text{میکانی}} = 3I_{0r}'^2 \frac{R_r'}{s}(1-s) = 3p_r(1-s) \tag{7.43}$$

اس مساوات سے واضح ہے کہ اگر سرک ایک کے برابر ہو تو موٹر کوئی میکانی طاقت فراہم نہیں کرے گی اور گھومتے حصے کو جتنی برقی توانائی مل رہی ہو وہ ساری کی ساری اس میں ضائع ہو کر اسے گرم کرے گی۔ یوں موٹر کے گرم



شکل 7.8: امالی موٹر کی ایک اور مساوی برقی دور۔

ہو کر جل جانے کا امکان ہوتا ہے۔ آپ اس مساوات سے دیکھ سکتے ہیں کہ امالی موٹر کی سرک صفر کے قریب رہنی چاہئے ورنہ یہ ناقابلِ قبول حد تک برقی توانائی ضائع کرے گا۔ ہم امالی موٹر کی مساوی برقی دور کو شکل 7.8 کی طرح بھی بنا سکتے ہیں۔ اس شکل میں شکل 7.7 میں دیئے مزاحمت $\frac{R'_r}{s}$ کو دو حصوں میں لکھا گیا ہے یعنی

$$\frac{R'_r}{s} = R'_r + R'_r\left(\frac{1-s}{s}\right)$$

یوں شکل 7.7 میں مزاحمت R'_r میں برقی طاقت کی ضیاع $I'^2_{0r}R'_r$ گھومتے لچھے کی ضیاع ہے جبکہ مزاحمت $R'_r\left(\frac{1-s}{s}\right)$ میں برقی طاقت کی ضیاع $I'^2_{0r}R'_r\left(\frac{1-s}{s}\right)$ دراصل میکانی طاقت ہے۔ یاد رہے کہ تین مرحلہ مشین کے لئے یہاں سے حاصل نتائج کو تین سے ضرب دینا ہو گا۔

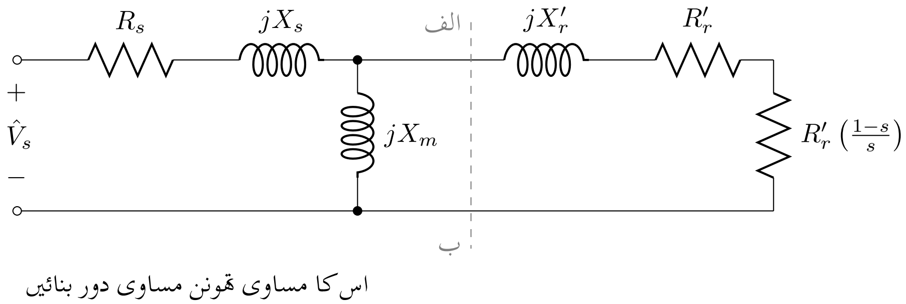
میکانی طاقت، قوت مروڑ ضربِ میکانی زاویائی رفتار ہوتی ہے۔ امالی موٹر کی میکانی زاویائی رفتار مساوات 7.3 میں دی گئی ہے جبکہ مساوات 5.51 میں میکانی معاصر رفتار ω_{sm} دی گئی ہے۔ یوں

$$p = T_m\omega = T_m \times 2\pi f = T_m \times 2\pi(1-s)f_s = T_m(1-s)\omega_{sm} \tag{7.44}$$

لہٰذا

$$T_m = \frac{p}{(1-s)\omega_{sm}} = \frac{3I'^2_{0r}}{\omega_{sm}}\frac{R'_r}{s} \tag{7.45}$$

اصل موٹر میں رگڑ، قالبی ضیاع، لچھوں میں ضیاع اور دیگر وجوہات کی بنا پر دھرے پر طاقت یا قوت مروڑ اس سے قدرِ کم ہو گی۔



شکل 7.9: امالی موٹر کا سادہ دور۔ قالبی ضیاع کو نظرانداز کیا گیا ہے۔

ٹرانسفارمر کے سادہ ترین مساوی دور بناتے وقت R_c اور X_m کو نظرانداز کیا گیا تھا۔ امالی موٹر میں ایسا کرنا ممکن نہیں ہوتا چونکہ موٹروں میں خلائی درز ہوتی ہے جس میں مقناطیسی بہاو پیدا کرنے کے لئے بہت زیادہ مقناطیسی دباو درکار ہوتی ہے۔ حقیقت میں بے بوجھ امالی موٹر کو اپنے پورے برقی رو کے تیس سے پچاس فی صد برقی رو قالب کو ہیجان کرنے کے لئے درکار ہوتی ہے۔ مزید یہ کہ خلائی درز کی وجہ سے اس کی رِستا امالہ بھی زیادہ ہوتی ہے اور اسے نظرانداز کرنا ممکن نہیں ہوتا۔ البتہ مساوی دور میں R_c کو نظرانداز کیا جا سکتا ہے جیسے شکل 7.9 میں دکھایا گیا ہے۔ اس شکل میں نقطہ دار لکیر کی بائیں جانب کا مساوی تھوِنن دور بنایا جا سکتا ہے۔ ایسا کرنے سے امالی موٹر پر غور کرنا نہایت آسان ہو جاتا ہے۔ اب ہم ایسا ہی کرتے ہیں۔

مثال 7.2: ستارہ جڑی چھ قطب پچاس ہرٹز اور 415 وولٹ پر چلنے والی 15 کلو واٹ امالی موٹر کے مساوی دور کے اجزاء یہ ہیں

$$R_s = 0.5\,\Omega, \quad R'_r = 0.31\,\Omega, \quad X_s = 0.9\,\Omega, \quad X'_r = 0.34\,\Omega, \quad X_m = 0.22\,\Omega$$

موٹر میں رگڑ سے طاقت کا ضیاع 600 واٹ ہے۔ قالبی ضیاع کو اسی کا حصہ تصور کیا گیا ہے۔ اس کو اٹل تصور کیا جائے۔ یہ موٹر درکار وولٹ اور تعداد ارتعاش پر دو فی صد سرک پر چل رہی ہے۔ اس حالت میں موٹر کی رفتار، اس کے دھرے پر پیدا قوت مروڑ اور طاقت، اس کے ساکن لچھے کی برقی رو اور اس کی فی صد کارگزاری حاصل کریں۔

حل: موٹر کی معاصر رفتار $f_m = \frac{2}{6} \times 50 = 16.66$ چکر فی سیکنڈ یا $16.66 \times 60 = 1000$ چکر فی منٹ۔ دو فی صد سرک پر موٹر کی رفتار $f = 16.66 \times (1 - 0.02) = 16.33$ چکر فی سیکنڈ یا $16.33 \times 60 = 979.8$ چکر فی منٹ ہے۔

شکل 7.9 میں دائیں جانب

$$jX'_r + R'_r + R'_r \frac{1-s}{s} = jX'_r + \frac{R'_r}{s} = j0.34 + \frac{0.31}{0.02} = j0.34 + 15.5$$

اور jX_m متوازی جڑے ہیں۔ان کی مساوی رکاوٹ یہ ہے

$$\frac{1}{Z} = \frac{1}{15.5 + j0.34} + \frac{1}{j22}$$
$$Z = 10.147 + j7.375 = R + jX$$

موٹر پر لاگو یک مرحلہ برقی دباو $\frac{415}{\sqrt{3}} = 239.6$ وولٹ ہے۔ یوں ساکن لچھے کی برقی رو

$$\begin{aligned}\hat{I}_s &= \frac{\hat{V}_s}{R_s + jX_s + Z} \\ &= \frac{239.6}{0.5 + j0.99 + 10.147 + j7.375} \\ &= 17.6956\underline{/-38.155^\circ}\end{aligned}$$

ہے۔اس موٹر کے گھومتے حصہ کو وہی طاقت منتقل ہو رہی ہے جو رکاوٹ Z کو منتقل ہو رہی ہے۔یعنی مساوات 7.41 کو ہم یوں بھی لکھ سکتے ہیں۔

$$p = I'^2_{or} \frac{R'_r}{s} = I_s^2 R = 17.6956^2 \times 10.147 = 3177.37\,\text{W}$$

تین مراحل کے لئے یہ مقدار $3 \times 3177.37 = 9532$ واٹ ہو گی۔مساوات 7.43 موٹر کی اندرونی میکانی طاقت دیتی ہے یعنی

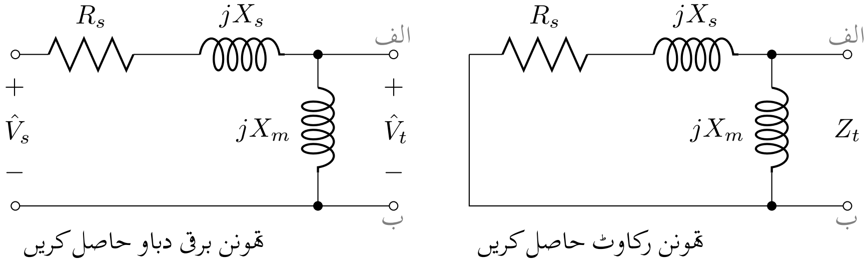
$$p_{\text{میکانی}} = 9532 \times (1 - 0.02) = 9341\,\text{W}$$

اس سے طاقت کا ضیاع منفی کر کے $9341 - 600 = 8741$ واٹ رہ جاتا ہے۔یہ موٹر کے دھرے پر میکانی طاقت ہو گی جس سے دھرے پر قوت مروڑ

$$T = \frac{8741}{2 \times \pi \times 16.33} = 85.1\,\text{N m}$$

ہو گی۔

موٹر کو کل مہیا برقی طاقت $\sqrt{3} \times 415 \times 17.6956 \times \cos(-38.155) = 10001.97$ واٹ ہے۔ یوں اس موٹر کی کارگزاری $\frac{8741}{10001.97} \times 100 = 87.39\,\%$ ہے۔



شکل 7.10: تھونن رکاوٹ اور تھونن برقی دباو حاصل کرنے کے دور۔

7.9 امالی موٹر کا مساوی تھونن دور یا ریاضی نمونہ

مسئلہ تھونن[20] کے مطابق کسی بھی سادہ خطی برقی دور[21] کو اس کے دو برقی سروں کے مابین ایک رکاوٹ اور ایک برقی دباو کی مساوی دور سے ظاہر کیا جا سکتا ہے۔اس مساوی دور کو مساوی تھونن دور کہتے ہیں جبکہ اس مساوی تھونن دور کی رکاوٹ کو تھونن رکاوٹ اور برقی دباو کو تھونن برقی دباو کہتے ہیں۔

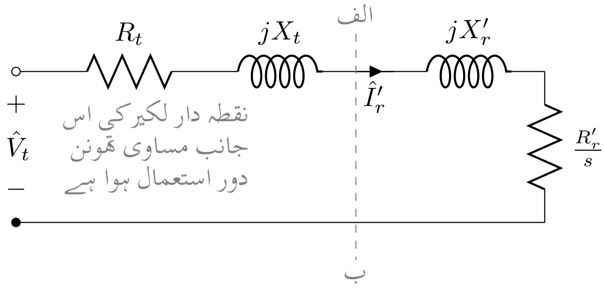
برقی دور کے دو برقی سروں کے مابین تھونن رکاوٹ حاصل کرنے کے لئے اس برقی دور کے اندرونی برقی دباو کسرِ دور کر کے ان دو برقی سروں کے مابین رکاوٹ معلوم کی جاتی ہے۔یہی رکاوٹ، تھونن رکاوٹ ہے۔انہیں برقی سروں پر تھونن برقی دباو حاصل کرنے کے لئے دیئے گئے برقی دور کے اندرونی برقی دباو برقرار رکھ کر ان دو سروں پر برقی دباو معلوم کی جاتی ہے۔ یہی برقی دباو در حقیقت تھونن برقی دباو ہے۔بعض اوقات ہم ایک برقی دور کے ایک خاص حصے کا مساوی تھونن دور بنانا چاہتے ہیں۔ایسا کرتے وقت بقایا برقی دور کو اس حصے سے مکمل طور پر منقطع کیا جاتا ہے۔ یوں شکل 7.10 سے واضح ہے کہ دو سروں الف اور ب کے مابین مساوی تھونن رکاوٹ اور تھونن برقی دباو یہ ہیں۔

$$\begin{aligned} Z_t &= \frac{(R_s + jX_s)\, jX_m}{R_s + jX_s + jX_m} = R_t + jX_t \\ \hat{V}_t &= \frac{jX_m \hat{V}_s}{R_s + jX_s + jX_m} = V_t \underline{/\theta_t} \end{aligned} \tag{7.46}$$

کسی بھی مخلوط عدد[22] کی طرح Z_t کو ایک حقیقی عدد R_t اور ایک فرضی عدد jX_t کا مجموعہ لکھا جا سکتا ہے۔ یہی اس مساوات میں کیا گیا ہے۔

---

[20] Thevenin theorem
[21] linear circuit
[22] complex number



شکل 7.11: تھونن دور استعمال کرنے کے بعد امالی موٹر کا مساوی دور۔

ہم یوں امالی موٹر کی مساوی برقی دور کو شکل 7.11 کی طرح بنا سکتے ہیں جہاں سے مرحلی سمتیہ کی استعمال سے مندرجہ ذیل برقی رو $\hat{I}'_r$ حاصل ہوتی ہے۔

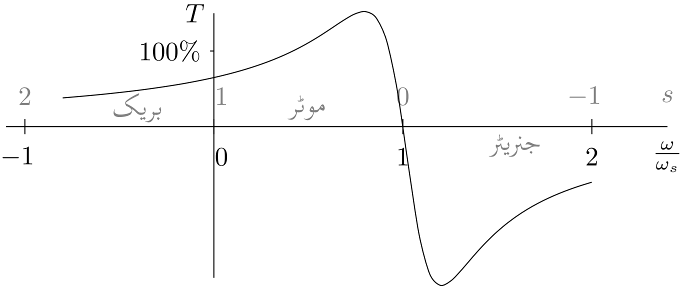
$$\begin{aligned}
\hat{I}'_r &= \frac{\hat{V}_t}{R_t + jX_t + \frac{R'_r}{s} + jX'_r} \\
\left|\hat{I}'_r\right| &= I'_r = \frac{V_t}{\sqrt{\left(R_t + \frac{R'_r}{s}\right)^2 + \left(X_t + X'_r\right)^2}}
\end{aligned} \tag{7.47}$$

چونکہ I'_r کی قیمت پر $\hat{V}_t$ کے زاویے کا کوئی اثر نہیں لہٰذا مساوی تھونن دور میں $\hat{V}_t$ کی جگہ $V\underline{/0}$ استعمال کیا جا سکتا ہے۔بقایا کتاب میں ایسا ہی کیا جائے گا۔

مساوات 7.45 سے یوں تین مرحلہ مشین کی قوت مروڑ یہ ہو گی

$$\begin{aligned}
T &= \frac{1}{\omega_{sm}} \frac{3V_t^2\left(\frac{R'_r}{s}\right)}{\left(R_t + \frac{R'_r}{s}\right)^2 + \left(X_t + X'_r\right)^2} \\
&= \frac{1}{\omega_{sm}} \frac{3V_t^2\left(\frac{R'_r}{s}\right)}{\frac{R'^2_r}{s^2} + 2R_t\frac{R'_r}{s} + R_t^2 + \left(X_t + X'_r\right)^2}
\end{aligned} \tag{7.48}$$

اس مساوات کو شکل 7.12 میں دکھایا گیا ہے۔ اس شکل میں موٹر کی رفتار کو معاصر رفتار کی نسبت سے دکھایا گیا ہے۔موٹر ازخود گھومتے مقناطیسی موج کی سمت میں گھومتی ہے اور اس کی رفتار معاصر رفتار سے قدرِ کم رہتی ہے۔زیادہ سرک پر موٹر کی کارگزاری نہایت خراب ہو جاتی ہے۔ اسی لئے لگاتار استعمال کے وقت اسے تقریباً پانچ فی



شکل 7.12: امالی موٹر کی قوت مروڑ بالمقابل سرک کا خط۔

صد سے کم سرک پر چلایا جاتا ہے بلکہ ان کی تخلیق یوں کی جاتی ہے کہ امالی موٹر اپنی پوری طاقت تقریباً پانچ فی صد سے کم سرک پر حاصل کرتی ہے۔

اگر موٹر کو زبردستی ساکن لچھوں کی گھومتے مقناطیسی موج کی سمت میں معاصر رفتار سے زیادہ رفتار پر گھمایا جائے تو یہ ایک جنریٹر کے طور پر کام کرنے شروع ہو جائے گی۔ایسا کرنے کے لئے بیرونی میکانی طاقت درکار ہو گی۔اگرچہ امالی مشین عام طور پر جنریٹر کے طور پر استعمال نہیں ہوتے البتہ ہوا سے برقی طاقت پیدا کرنے میں یہ جنریٹر کے طور پر کار آمد ثابت ہوتے ہیں۔

شکل 7.12 میں منفی رفتار بھی دکھائی گئی ہے جہاں سرک ایک سے زیادہ ہے۔ ایسا تب ہوتا ہے جب موٹر کو ساکن لچھوں کی گھومتی مقناطیسی دباو کی موج کی اُلٹ سمت میں گھمایا جائے۔موٹر کو جلد ساکن حالت میں لانے کے لئے یوں کیا جاتا ہے۔ تین مرحلہ موٹر پر لاگو برقی دباو کی کسی دو مرحلوں کو آپس میں اُلٹا دیا جاتا ہے۔ اس طرح موٹر کی ساکن لچھوں کی گھومتی مقناطیسی موج یکدم اُلٹ سمت میں گھومنے شروع ہو جاتی ہے جبکہ موٹر ابھی پہلی سمت میں ہی گھوم رہی ہوتی ہے۔اس طرح موٹر جلد آہستہ ہوتی ہے اور جیسے ہی موٹر رکھ کر دوسری جانب گھومنا چاہتی ہے اس پر لاگو برقی دباو منقطع کر دی جاتی ہے۔امالی موٹر یوں ریل گاڑی میں عموماً بطور بریک[23] استعمال کی جاتی ہے۔

یوں امالی مشین $s < 0$ کی صورت میں بطور جنریٹر، $0 < s < 1$ کی صورت میں بطور موٹر اور $s > 1$ کی صورت میں بطور بریک کام کرتا ہے۔

امالی موٹر کی زیادہ سے زیادہ قوت مروڑ مساوات 7.48 سے یوں حاصل کی جا سکتی ہے۔ قوت مروڑ اُسی لمحہ زیادہ سے زیادہ ہو گی جب گھومتے حصے کو زیادہ سے زیادہ طاقت میسر ہو۔زیادہ سے زیادہ طاقت منتقل کرنے کے مسئلہ[24]

[23] brake
[24] maximum power theorem

کے مطابق مزاحمت $\frac{R_r'}{s}$ میں طاقت کا ضیاع اس وقت زیادہ سے زیادہ ہو گا جب

$$\frac{R_r'}{s} = \left|R_t + jX_t + jX_r'\right| = \sqrt{R_t^2 + (X_t + X_r')^2} \tag{7.49}$$

ہو۔اس مساوات سے زیادہ سے زیادہ طاقت پر سرک s_z کو یوں لکھ سکتے ہیں۔

$$s_z = \frac{R_r'}{\sqrt{R_t^2 + (X_t + X_r')^2}} \tag{7.50}$$

مساوات 7.48 میں کسر کے نچلے حصے میں $R_t^2 + (X_t + X_r')^2$ کی جگہ مساوات 7.49 کا مربع استعمال کرتے ہوئے زیادہ سے زیادہ قوت مروڑ یوں حاصل کی جا سکتی ہے

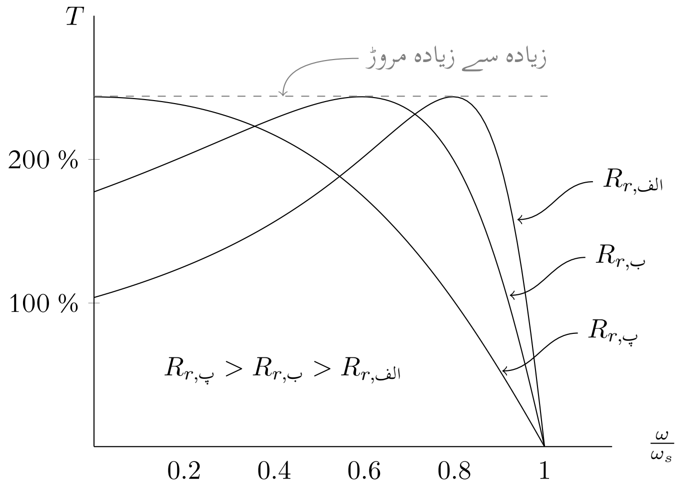
$$\begin{aligned}
T_z &= \frac{1}{\omega_{sm}} \frac{3V_t^2 \left(\frac{R_r'}{s}\right)}{\frac{R_r'^2}{s^2} + 2R_t \frac{R_r'}{s} + \frac{R_r'^2}{s^2}} \\
&= \frac{1}{\omega_{sm}} \frac{3V_t^2}{2\left(R_t + \frac{R_r'}{s}\right)} \\
&= \frac{1}{\omega_{sm}} \frac{3V_t^2}{2\left(R_t + \sqrt{R_t^2 + (X_t + X_r')^2}\right)}
\end{aligned} \tag{7.51}$$

جہاں آخری قدم پر مساوات کا استعمال دوبارہ کیا گیا۔

اس مساوات کے مطابق امالی موٹر کی زیادہ سے زیادہ قوت مروڑ اس کے گھومتے لچھوں کی مزاحمت پر منحصر نہیں۔ یہ ایک اہم معلومات ہے جسے استعمال کر کے امالی موٹر کی زیادہ سے زیادہ قوت مروڑ درکار رفتار پر حاصل کی جا سکتی ہے۔آئیں دیکھیں کہ یہ کیسا کیا جاتا ہے۔

امالی موٹر کے گھومتے لچھوں کے برقی سروں کو سرک چھلوں[25] کے ذریعہ باہر نکالا جاتا ہے[26] جہاں ان کے ساتھ سلسلہ وار بیرونی مزاحمت جوڑی جاتی ہے۔اس طرح گھومتے لچھوں کی کل مزاحمت بڑھ کر $R_r + R_{\text{بیرونی}}$ ہو جاتی ہے۔ ایسا کرنے سے مساوات 7.49 کے مطابق زیادہ سے زیادہ قوت مروڑ نسبتاً زیادہ سرک یعنی کم زاویائی رفتار پر حاصل کی جا سکتی ہے۔ شکل 7.13 میں مزاحمت $R_{r,\text{پ}}$ کے ساتھ ساکن موٹر کو چالو کرتے وقت زیادہ سے زیادہ

[25] slip rings
[26] شکل کے نمونے پر۔



شکل 7.13: بیرونی مزاحمت لگانے کے قوت مروڑ بالمقابل سرک کے خطوط پر اثرات۔

قوت مروڑ حاصل ہو سکتی ہے۔اس طرح بوجھ بردار موٹر ساکن حالت سے ہی زیادہ بوجھ اٹھانے کے قابل ہوتا ہے۔ چونکہ زیادہ سرک پر موٹر کی کارگزاری خراب ہوتی ہے لہٰذا اس طرح موٹر کو زیادہ دیر نہیں چلایا جاتا اور جیسے ہی اس کی رفتار بڑھ جاتی ہے، اس سے جُڑے بیرونی مزاحمتیں منقطع کر کے گھومتے لچھوں کے برقی سرے کسرِ دور کر دیئے جاتے ہیں۔

مثال 7.3: صفحہ 226 پر مثال 7.2 میں دی گئی امالی موٹر اس مثال میں استعمال کریں۔رگڑ سے طاقت کی ضیاع کو نظر انداز کریں۔

- اگر موٹر درکار وولٹ اور تعداد ارتعاش پر تین فی صد سرک پر چل رہی ہو تو ساکن لچھے میں گھومتے لچھے کے حصہ کی برقی رو I'_r اور مشین کی اندرونی میکانی طاقت اور قوت مروڑ حاصل کریں۔
- موٹر کی زیادہ سے زیادہ اندرونی پیدا قوت مروڑ اور اس قوت مروڑ پر موٹر کی رفتار حاصل کریں۔
- موٹر کی چالو ہونے کے لمحہ پر قوت مروڑ اور اسی لمحہ اس کی I'_r حاصل کریں۔

حل:

- یک مرحلہ برقی دباو $239.6 = \frac{415}{\sqrt{3}}$ استعمال کرتے ہوئے مساوات 7.46 کی مدد سے

$$\begin{aligned}
Z_t &= \frac{(0.5+j0.99)\,j22}{0.5+j0.99+j22} = 0.4576+j0.9573\\
\hat{V}_t &= \frac{j22 \times 239.6\underline{/0^\circ}}{0.5+j0.99+j22} = 229.2\underline{/1.246^\circ}
\end{aligned}$$

مساوات 7.47 میں تین فی صد سرک پر $\frac{R_r'}{s} = 10.3333$ کے استعمال سے

$$\begin{aligned}
\hat{I}_r' &= \frac{229.2\underline{/1.246^\circ}}{0.4576+j0.9573+10.3333+j0.34} = 21.1\underline{/-5.6^\circ}\\
I_r' &= \left|\hat{I}_r'\right| = 21.1\,\mathrm{A}
\end{aligned}$$

یہاں رک کر تسلی کر لیں کہ مندرجہ بالا مساوات میں $229.2\underline{/1.246^\circ}$ کی جگہ $229.2\underline{/0^\circ}$ استعمال کرنے سے I_r' کی یہی قیمت حاصل ہوتی۔
مساوات 7.43 اور 7.44 کی مدد سے

$$\begin{aligned}
p_m &= \frac{3 \times 21.1^2 \times 0.31}{0.03} \times (1-0.03) = 13\,387.46\,\mathrm{W}\\
T &= \frac{13387.46}{(1-0.03) \times 2 \times \pi \times 16.66} = 131.83\,\mathrm{N\,m}
\end{aligned}$$

- مساوات 7.50 سے زیادہ سے زیادہ طاقت پر سرک

$$s_z = \frac{0.31}{\sqrt{0.4576^2 + (0.9573+0.34)^2}} = 0.1638$$

اور اس پر موٹر کی رفتار $1000 \times (1-0.1638) = 836.2$ چکر فی منٹ ہو گی۔

- چالو کرتے لمحہ پر سرک ایک ہو گی لہٰذا $\frac{R_r'}{s} = 0.31$ ہو گا اور یوں

$$\begin{aligned}
\hat{I}_r' &= \frac{229.2\underline{/1.246^\circ}}{0.4576+j0.9573+0.31+j0.34} = 152.07\underline{/-58.14^\circ}\\
I_r' &= 152\,\mathrm{A}
\end{aligned}$$

اس لمحہ قوت مروڑ

$$T = \frac{3 \times 152.07^2 \times 0.31}{2 \times \pi \times 16.66} = 205\,\mathrm{N\,m}$$

مثال 7.4: دو قطب ستارہ جڑا پچاس ہرٹز پر چلنے والا تین مرحلہ امالی موٹر 2975 چکر فی منٹ کی رفتار پر بارہ کلوواٹ کے میکانی بوجھ سے لدا ہے۔موٹر کی سرک اور دھرے پر قوت مروڑ حاصل کریں۔

حل: معاصر رفتار $\frac{2}{P}f_e = \frac{2}{2} \times 50 = 50$ چکر فی سیکنڈ یا $50 \times 60 = 3000$ چکر فی منٹ ہے۔یوں سرک $s = \frac{3000-2975}{3000} = 0.00833$ یا 0.833 فی صد ہے۔ موٹر کی رفتار $\frac{2975}{60} = 49.5833$ چکر فی سیکنڈ ہے لہٰذا اس کے دھرے پر قوت مروڑ $\frac{12000}{2\times\pi\times49.58} = 38\,\mathrm{N\,m}$ ہو گی۔

7.10 پنجرا نما امالی موٹر

گھومتے لچھوں کی ساخت پر ذرا غور کرتے ہیں۔ گھومتے لچھوں کے N_r چکر ہوتے ہیں جہاں N_r کوئی بھی عدد ہو سکتا ہے۔سادہ ترین صورت میں N_r ایک کے برابر ہو سکتا ہے یعنی ایک ہی چکر کا گھومتا لچھا۔اب بجائے اس کے کہ قالب میں لچھوں کے لئے شگاف بنائے جائیں اور ہر شگاف میں تانبے کی تار کا ایک چکر لپٹا جائے ہم یوں بھی کر سکتے ہیں کہ ہر شگاف میں سیدھا تانبے کا ایک سلاخ رکھ دیں اور اس طرح کے سب سلاخوں کی ایک جانب کے سروں کو تانبے کی ایک دائرہ نما سلاخ سے کسرِ دور کر دیں اور اسی طرح دوسری جانب کے سب سروں کو بھی ایک تانبے کی دائرہ نما سلاخ سے کسرِ دور کر دیں۔ اس طرح تانبے کی سلاخوں کا پنجرا بن جاتا ہے۔اسی لئے ایسے امالی موٹروں کو پنجرا نما امالی موٹر کہتے ہیں۔

حقیقت میں شگافوں میں پگھلا تانبا یا سلور[27] ڈالا جاتا ہے جو ٹھنڈا ہو کر ٹھوس ہو جاتا ہے اور قالب کو جکڑ لیتا ہے۔دونوں اطراف کے دائرہ نما کسرِ دور کرنے والے چھلے بھی اِسی طرح اور اِسی وقت بنائے جاتے ہیں۔ اس طرح یہ ایک مضبوط گھومتا حصہ بن جاتا ہے۔ اسی مضبوطی کی وجہ سے پنجرا نما امالی موٹر نہایت مقبول ہوا ہے۔ ایسے موٹر سالوں تک بغیر دیکھ بال کے کام کرتے ہیں اور عام زندگی میں ہر جگہ پائے جاتے ہیں۔گھروں میں پانی کے پمپ اور پنکھے اِنہیں سے چلتے ہیں۔

[27] copper, aluminium

7.11 بے بوجھ موٹر اور جامد موٹر کے معائنہ

امالی موٹر کی کارکردگی دو معائنوں سے معلوم کی جاتی ہے۔ انہی سے اس کے مساوی برقی دور کے جزو بھی حاصل کئے جاتے ہیں۔ہم تین دور کی امالی موٹر کی مثال سے ان معائنوں کا تذکرہ کرتے ہیں۔

7.11.1 بے بوجھ موٹر کا معائنہ

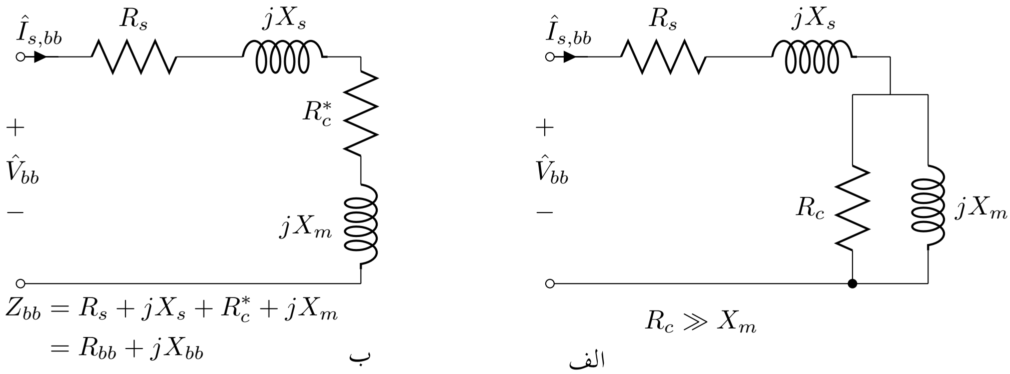
یہ معائنہ بالکل ٹرانسفارمر کے بے بوجھ معائنہ کی طرح ہے۔اس میں موٹر کی ہیجان انگیز برقی رو اور بے بوجھ موٹر میں طاقت کے ضیاع کی معلومات حاصل ہوتی ہیں۔

اس میں بے بوجھ امالی موٹر پر تین مرحلہ مساوی برقی دباو[28] V_{bb} لاگو کر کے بے بوجھ موٹر کی برقی طاقت کا ضیاع p_{bb} اور اس کے ساکن لچھے کی ہیجان انگیز برقی رو $I_{s,bb}$ ناپی جاتی ہے۔یہ معائنہ امالی موٹر کی پورے برقی دباو اور برقی تعدد پر کیا جاتا ہے۔

بے بوجھ امالی موٹر صرف اتنی قوت مروڑ پیدا کرتی ہے جتنی رگڑ اور دیگر طاقت کے ضیاع کی وجہ سے درکار ہو۔اتنی کم قوت مروڑ بہت کم سرک پر حاصل ہو جاتی ہے۔مساوات 7.47 سے ظاہر ہے کہ بہت کم سرک پر I'_r بھی نہایت کم ہو گی اور اس سے گھومتے لچھوں میں برقی طاقت کے ضیاع کو نظر انداز کیا جا سکتا ہے۔ اسی بات کو صفحہ 224 پر شکل 7.7 کی مدد سے بھی سمجھا جا سکتا ہے جہاں یہ واضح ہے کہ بہت کم سرک پر مزاحمت $\frac{R'_r}{s}$ کی قیمت بہت زیادہ ہو جاتی ہے اور اس کو کھلے دور سمجھا جا سکتا ہے۔ایسا کرنے سے شکل 7.14-الف ملتا ہے۔

شکل 7.14-الف میں R_c اور jX_m کے متوازی دور کا مساوی سلسلہ وار دور شکل 7.14-ب میں دکھایا گیا ہے۔کسی بھی امالی موٹر کی R_c کی قیمت اس کی X_m کی قیمت سے بہت زیادہ ہوتی ہے۔متوازی دور کی رکاوٹ Z_m

[28] V_{bb} لکھتے ہوئے لفظ بے بوجھ کے پہلے حروف ب اور ب کو زیر نوشت میں bb سے ظاہر کیا گیا ہے۔



شکل 7.14: بے بوجھ امالی موٹر کا معائنہ۔

سے مساوی سلسلہ وار رکاوٹ Z_s یوں حال ہوتی ہے۔

$$
\begin{aligned}
Z_m &= \frac{R_c jX_m}{R_c + jX_m} \\
&= \frac{R_c jX_m}{R_c + jX_m}\frac{R_c - jX_m}{R_c - jX_m} \\
&= \frac{jR_c^2 X_m + R_c X_m^2}{R_c^2 + X_m^2} \\
&\approx \frac{jR_c^2 X_m + R_c X_m^2}{R_c^2} \qquad \text{چونکہ}\, R_c \gg X_m \\
&= jX_m + \frac{X_m^2}{R_c} = jX_m + R_c^* = Z_s
\end{aligned} \tag{7.52}
$$

بے بوجھ ٹرانسفارمروں میں ابتدائی لچھوں کے برقی طاقت کے ضیاع کو بھی نظر انداز کیا جاتا ہے۔ بے بوجھ امالی موٹروں کی ہیجان انگیز برقی رو کافی زیادہ ہوتی ہے لہٰذا ان کے ساکن لچھوں کی برقی طاقت کے ضیاع کو نظر انداز نہیں کیا جا سکتا۔ بے بوجھ امالی موٹر کی p_{bb} سے اگر تین ساکن لچھوں کی برقی ضیاع منفی کی جائے تو اس میں میکانی طاقت کے ضیاع کا حساب لگایا جا سکتا ہے یعنی

$$
p_{\text{ضیاع}} = p_{bb} - 3I_{s,bb}^2 R_s \tag{7.53}
$$

میکانی طاقت کا ضیاع بے بوجھ اور بوجھ بردار موٹر کے لئے یکساں تصور کیا جاتا ہے۔

شکل 7.14-ب سے ہم لکھ سکتے ہیں۔

$$
\begin{aligned}
R_{bb} &= \frac{p_{bb}}{3I_{s,bb}^2} \\
Z_{bb} &= \frac{V_{bb}}{I_{s,bb}} \\
X_{bb} &= \sqrt{\left|Z_{bb}\right|^2 - R_{bb}^2} \\
X_{bb} &= X_s + X_m
\end{aligned}
\tag{7.54}
$$

یوں اس معائنہ سے موٹر کی بے بوجھ متعاملیت X_{bb} حاصل ہوتی ہے۔اگر کسی طرح ساکن لچھے کی متعاملیت X_s معلوم ہو تب اس مساوات سے X_m حاصل کی جا سکتی ہے۔اگلے معائنہ میں ہم X_s کا اندازہ لگا سکیں گے۔

7.11.2 جامد موٹر کا معائنہ

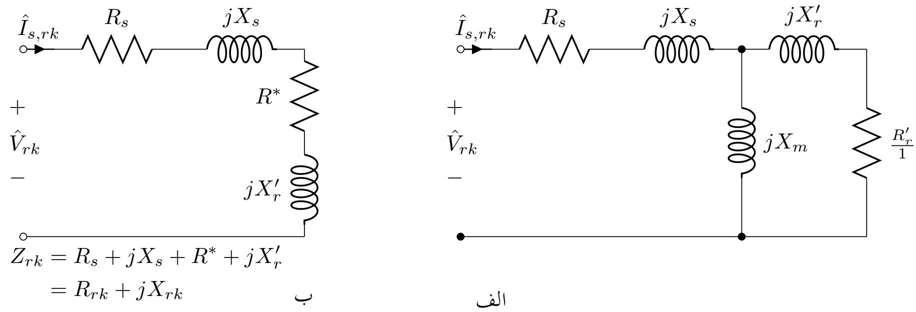
یہ معائنہ ٹرانسفارمر کے کسرِ دور معائنہ کی طرح ہے۔ اس میں مشین کے رِستا امالوں کی معلومات حاصل ہوتی ہے۔البتہ امالی موٹر کا مسئلہ ذرا زیادہ پیچیدہ ہے۔امالی موٹر کی رِستا امالہ گھومتے لچھوں میں برقی تعدد اور قالب کے سیر اب ہونے پر منحصر ہوتے ہیں۔

اس معائنہ میں امالی موٹر کے گھومتے حصے کو حرکت کرنے سے زبردستی روک دیا جاتا ہے جبکہ ساکن لچھوں پر بیرونی برقی دباو V_{rk} لاگو کر کے برقی طاقت p_{rk} اور ساکن لچھوں کی برقی رو $I_{s,rk}$ ناپی جاتی ہیں۔ اصولی طور پر یہ معائنہ اُن حالات کو مدِ نظر رکھ کر کیا جاتا ہے جن پر موٹر کی معلومات درکار ہوں۔

جس لمحہ ایک موٹر کو ساکن حالت سے چالو کیا جائے اس لمحہ موٹر کی سرک ایک کے برابر ہوتی ہے اور اس کے گھومتے لچھوں میں عام تعدد f_e کی برقی رو[29] $I_{t=0}$ ہوتی ہے، لہٰذا اگر اس لمحہ کے نتائج درکار ہوں تو موٹر کے ساکن لچھوں پر عام تعدد یعنی f_e کی اتنی برقی دباو لاگو کی جائے گی جتنی سے اس کے گھومتے لچھوں میں برقی رو $I_{t=0}$ ہو۔ اسی طرح اگر عام چالو حالت میں بوجھ بردار موٹر کے نتائج درکار ہوں جب موٹر کی سرک s اور اس کے گھومتے لچھوں میں برقی رو[30] $I_{t\to\infty}$ ہوتی ہے تو معائنہ میں sf_e تعدد کی برقی دباو استعمال کی جائے گی اور اس کی مقدار اتنی

[29] اس لمحہ کے برقی رو کو چھوٹی لکھائی میں وقت صفر سے منسلک کیا گیا ہے یعنی $t=0$

[30] زیر نوشت میں $t \to \infty$ اس بات کو ظاہر کرتی ہے کہ موٹر کافی دیر سے چالو ہے اور یہ ایک برقرار رفتار تک پہنچ گئی ہے۔



شکل 7.15: رکے امالی موٹر کا معائنہ۔

رکھی جائے گی جتنی سے گھومتے لچھوں میں $I_{t\to\infty}$ برقی رو وجود میں آئے۔ تقریباً $20\,\mathrm{kV\,A}$ سے چھوٹی موٹروں میں برقی تعدد کے اثرات قابل نظر انداز ہوتے ہیں لٰہذا ان کا معائنہ f_e تعدد کی برقی دباو پر ہی کیا جاتا ہے۔

یہاں صفحہ 224 پر دکھائے شکل 7.7 کو رکے موٹر کے معائنہ کی نقطہ نظر سے دوبارہ بناتے ہیں۔ رکے موٹر کی سرک ایک کے برابر ہوتی ہے۔ مزید یہ کہ اس معائنہ میں لاگو برقی دباو عام چالو موٹر پر لاگو برقی دباو سے خاصی کم ہوتی ہے۔ اتنی کم لاگو برقی دباو پر قالبی ضیاع کو نظرانداز کیا جا سکتا ہے۔ شکل میں R_c کو کھلے دور کرنا قالبی ضیاع کو نظرانداز کرنے کے مترادف ہے۔ ایسا کرنے سے شکل 7.15-الف ملتا ہے۔ چونکہ $s = 1$ ہے لٰہذا اس شکل میں $\frac{R'_r}{s}$ کو R'_r لیا گیا ہے۔

شکل 7.15-الف میں jX_m اور $(R'_r + jX'_r)$ متوازی جڑے ہیں۔ ان کا مساوی سلسلہ وار دور شکل 7.15-ب میں دکھایا گیا ہے۔ اس متوازی دور کی مزاحمت Z_m سے سلسلہ وار مزاحمت Z_s یوں حاصل ہوتی ہے۔

$$
\begin{aligned}
Z_m &= \frac{jX_m(R'_r + jX'_r)}{R'_r + j(X_m + X'_r)} \\
&= \left(\frac{jX_mR'_r - X_mX'_r}{R'_r + j(X_m + X'_r)}\right)\left(\frac{R'_r - j(X_m + X'_r)}{R'_r - j(X_m + X'_r)}\right) \\
&= \frac{jX_mR'^2_r + X_mR'_r(X_m + X'_r) - X_mX'_rR'_r + jX_mX'_r(X_m + X'_r)}{R'^2_r + (X_m + X'_r)^2} \\
&= \frac{X^2_mR'_r}{R'^2_r + (X_m + X'_r)^2} + \frac{j(X_mR'^2_r + X^2_mX'_r + X_mX'^2_r)}{R'^2_r + (X_m + X'_r)^2} \\
&= R^*_s + jX^*_s = Z_s
\end{aligned} \tag{7.55}
$$

اگر ان مساوات میں $X_m \gg R'_r$ اور $X_m \gg X'_r$ لیا جائے تو حاصل ہوتا ہے۔

$$R_s^* \approx R'_r \left(\frac{X_m}{X_m + X'_r}\right)^2 \tag{7.56}$$

$$X_s^* =\approx \frac{X_m R'^2_r}{X_m^2} + \frac{X_m^2 X'_r}{X_m^2} + \frac{X_m X'^2_r}{X_m^2} \approx X'_r \tag{7.57}$$

اس معائنہ میں ناپے مقداروں اور شکل 7.15-ب سے

$$\begin{aligned} Z_{rk} &= \frac{V_{rk}}{I_{s,rk}} \\ R_{rk} &= \frac{p_{rk}}{3I_{s,rk}^2} \\ X_{rk} &= \sqrt{\left|Z_{rk}\right|^2 - R_{rk}^2} \end{aligned} \tag{7.58}$$

حاصل ہوتے ہیں۔ اس مساوات کے پہلے جزو میں ناپے برقی دباو اور برقی رو سے رکاوٹ حاصل کی گئی ہے، اس کے دوسرے جزو سے مزاحمت اور تیسرے میں متعاملیت۔

اب شکل 7.15-ب سے واضح ہے کہ

$$X_{rk} = X_s + X'_r \tag{7.59}$$

امالی مشین مختلف خصوصیات کو مد نظر رکھ کر بنائے جاتے ہیں۔عام آدمی کے آسانی کے لئے ایسے مشینوں کی درجہ بندی کی جاتی ہے۔جدول 7.1 میں پنجرا نما امالی موٹر کے مختلف اقسام A, B, C, D اور ایسی مشین جن کا گھمتا حصہ لچھے پر مشتمل ہو، کے رِستا متعاملیت X_{rk} کو ساکن اور گھومتے لچھوں میں تقسیم کرنا دکھایا گیا ہے۔اس جدول کے مطابق، گھومتے لچھے والی مشین میں ساکن اور گھومتے متعاملیت برابر ہوتے ہیں۔ اسی طرح شکل 7.15-ب سے واضح ہے کہ $R_{rk} = R^* + R_s$ لہٰذا اگر ساکن لچھے کی مزاحمت R_s براہِ راست مزاحمت ناپنے کے آلہ یعنی اوہم میٹر[31] سے ناپی جائے تو

$$R^* = R_{rk} - R_s \tag{7.60}$$

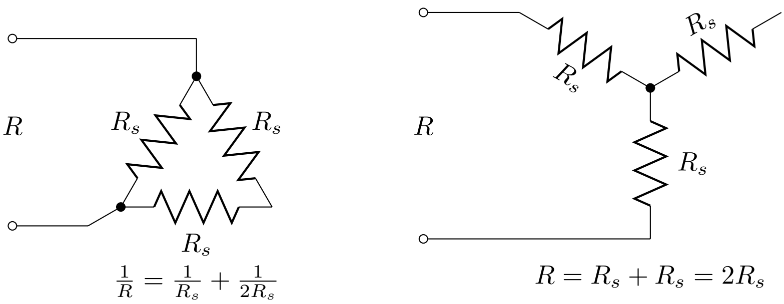
ہو گا اور اب R'_r کو مساوات 7.56 سے حاصل کیا جا سکتا ہے جہاں X_m بے بوجھ امالی موٹر کے معائنہ میں حاصل کی جاتی ہے۔

---

[31] Ohm meter

گھومتا حصہ	خاصیت	X_s	X_r'
لپٹا ہوا	کارکردگی گھومتے حصے کی مزاحمت پر منحصر	$0.5X_{rk}$	$0.5X_{rk}$
بناوٹ A	عام ابتدائی قوت مروڑ، عام ابتدائی رو	$0.5X_{rk}$	$0.5X_{rk}$
بناوٹ B	عام ابتدائی قوت مروڑ، کم ابتدائی رو	$0.4X_{rk}$	$0.6X_{rk}$
بناوٹ C	زیادہ ابتدائی قوت مروڑ، کم ابتدائی رو	$0.3X_{rk}$	$0.7X_{rk}$
بناوٹ D	زیادہ ابتدائی قوت مروڑ، زیادہ سرک	$0.5X_{rk}$	$0.5X_{rk}$

جدول 7.1: متعاملیت کی ساکن اور گھومتے حصوں میں تقسیم۔



شکل 7.16: ستارہ اور تکونی جڑی موٹروں کی ساکن لچھوں کی مزاحمت کا اوہم میٹر کی مدد سے حصول۔

اوہم میٹر کی مدد سے ساکن لچھے کی مزاحمت ناپتے وقت یہ جاننا ضروری ہے کہ موٹر ستارہ یا تکونی جڑی ہے۔ شکل 7.16 میں لچھے کو دونوں طرح جڑا دکھایا گیا ہے۔ اگر یک مرحلہ مزاحمت R_s ہو تو ستارہ جڑی موٹر میں اوہم میٹر $2R_s$ مزاحمت دے گی جبکہ تکونی جڑی موٹر کے لئے یہ $\frac{2}{3}R_s$ مزاحمت دے گی۔

مثال 7.5: ستارہ جڑی چار قطب پچاس ہرٹز اور 415 وولٹ پر چلنے والی موٹر کے معائنہ کئے جاتے ہیں۔ موٹر کی بناوٹ درجہ بندی A کے مطابق ہے۔ اوہم میٹر کسی بھی دو برقی سروں کے مابین 0.55 اوہم جواب دیتا ہے۔ بے بوجھ معائنہ 50 Hz اور 415 V پر کرتے ہوئے برقی رو 4.1 A اور طاقت کا ضیاع 906 W ناپے جاتے ہیں۔ جامد موٹر معائنہ 15 Hz اور 50 V پر کرتے ہوئے برقی رو 13.91 A اور طاقت کا ضیاع 850 W ناپے جاتے ہیں۔ اس موٹر کی مساوی برقی دور بنائیں اور پانچ فی صد سرک پر اس کی اندرونی میکانی طاقت حاصل کریں۔

حل: اوہم میٹر کے جواب سے ستارہ جڑی موٹر کے ساکن لچھے کی مزاحمت $R_s = \frac{0.55}{2} = 0.275\,\Omega$ حاصل ہوتی ہے۔بے بوجھ معائنہ میں یک مرحلہ برقی دباو $\frac{415}{\sqrt{3}} = 239.6\,\mathrm{V}$ ہے جس سے

$$
\begin{aligned}
R_{bb} &= \frac{906}{3 \times 4.1^2} = 17.965\,\Omega \\
\left|Z_B\right| &= \frac{239.6}{4.1} = 58.439\,\Omega \\
X_{bb} &= \sqrt{58.439^2 - 17.965^2} = 55.609\,\Omega = X_s + X_m
\end{aligned}
$$

لہٰذا رکے موٹر معائنہ کے نتائج سے X_s حاصل کرنے کے بعد X_m حاصل ہو جائے گی۔

ساکن لچھے کی مزاحمت میں اس برقی رو پر کل

$$3I_{bb}^2 R_s = 3 \times 4.1^2 \times 0.275 = 13.87\,\mathrm{W}$$

برقی طاقت کا ضیاع ہو گا لہٰذا رگڑ اور دیگر طاقت کا ضیاع $906 - 13.86 = 892$ واٹ ہو گا۔

رکے موٹر کے معائنہ میں یک مرحلہ برقی دباو $\frac{50}{\sqrt{3}} = 28.9$ وولٹ ہیں یوں اس معائنہ سے

$$
\begin{aligned}
R_{rk} &= \frac{850}{3 \times 13.91^2} = 1.464\,\Omega \\
\left|Z_{rk}\right| &= \frac{28.9}{13.91} = 2.07\,\Omega \\
X_{rk,15} &= \sqrt{2.07^2 - 1.464^2} = 1.46\,\Omega
\end{aligned}
$$

حاصل ہوتے ہیں۔ اس معائنہ میں برقی تعدد 15 ہرٹز تھی لہٰذا 50 ہرٹز پر متعاملیت

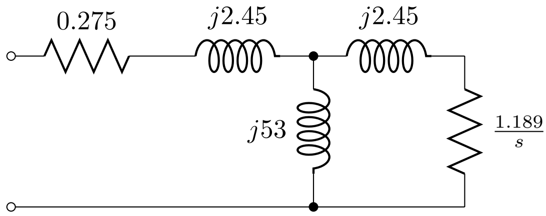
$$X_{rk,50} = \frac{50}{15} \times X_{rk,15} \approx 4.9\,\Omega$$

ہے۔درجہ بندی A کی امالی موٹر کے لئے یہ متعاملت ساکن اور گھومتے لچھے میں یکساں تقسیم ہوتی ہے لہٰذا

$$X_s = X_r' = \frac{4.9}{2} = 2.45\,\Omega$$

یوں

$$X_m = X_{bb} - X_s = 55.609 - 2.45 = 53\,\Omega$$



شکل 7.17: امالی موٹر کی مساوی برقی دور۔

چونکہ $R_s = 0.275$ اوہم ہے لہٰذا

$$R_r' = R_{rk} - R_s = 1.464 - 0.275 = 1.189\,\Omega$$

ہو گا۔ یہ مساوی برقی دور شکل 7.17 میں دکھایا گیا ہے۔

پانچ فی صد سرک پر اندرونی میکانی طاقت کی خاطر بائیں جانب کا تھوِنن مساوی دور استعمال کرتے ہوئے

$$\begin{aligned}
V_t &= 229\underline{/0.2833^\circ} \\
Z_t &= 0.251 + j2.343 \\
\left|\hat{I}_r'\right| &= 11.8\,\mathrm{A} \\
p_m &= \frac{3 \times 11.8^2 \times 0.974 \times (1 - 0.05)}{0.05} = 7730\,\mathrm{W}
\end{aligned}$$

باب 8

یک سمتی رو مشین

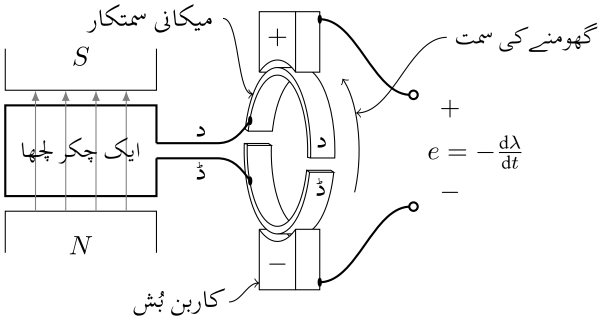
یک سمتی رو مشین یا تو یک سمتی رو[1] برقی طاقت پیدا کرتے ہیں یا پھر یہ یک سمتی رو برقی طاقت سے چلتے ہیں۔ یک سمتی رو موٹروں کی اہمیت بتدریج کم ہوتی جا رہی ہے اور ان کی جگہ امالی موٹر استعمال ہونے لگے ہیں جو جدید طرز کے قوی الیکٹرانکس[2] سے قابو کئے جاتے ہیں۔ موجودہ دور میں گاڑیوں میں لگے یک سمتی جنریٹر بھی دراصل سادہ بدلتی رو جنریٹر ہوتے ہیں جن کے اندر نسب ڈایوڈ[3] ان کی بدلتی محرک برقی دباو کو یک سمتی محرک برقی دباو میں تبدیل کر دیتی ہے۔

اس باب میں دو قطب کے یک سمتی آلوں کا مطالعہ کیا جائے گا۔ میکانی سمت کار رکھنے والے یک سمتی آلوں میں میدانی لچھا ساکن ہوتا ہے جبکہ قوی لچھا گھومتا ہے۔

8.1 میکانی سمت کار کی بنیادی کارکردگی

جنریٹر بنیادی طور پر بدلتی رو برقی دباو ہی پیدا کرتا ہے۔ یک سمتی جنریٹر کے اندر نسب سمت کار[4] میکانی طریقہ سے اس بدلتی رو کو یک سمتی رو میں تبدیل کرتا ہے اور یوں جنریٹر کی برقی سروں سے یک سمتی برقی دباو حاصل ہوتا ہے۔

[1] dc, direct current
[2] power electronics
[3] diode
[4] commutator

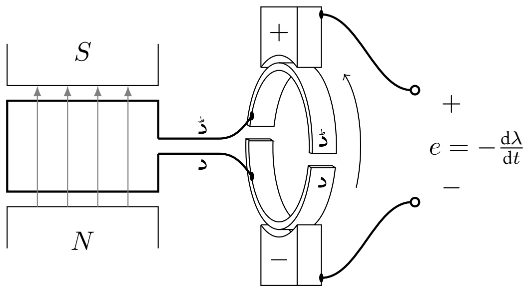


شکل 8.1: میکانی سمت کار۔

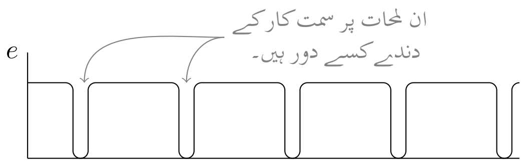
سمت کار کو شکل 8.1 میں دکھایا گیا ہے۔ اس شکل میں جنریٹر کے قوی لچھے کو ایک چکر کا دکھایا گیا ہے اگرچہ حقیقت میں ایسا نہیں ہوتا۔ قوی لچھے کے برقی سروں کو د اور ڈ سے ظاہر کیا گیا ہے جو سمت کار کے د اور ڈ حصوں کے ساتھ جُڑے ہیں۔ قوی لچھا اور سمت کار ایک ہی دھرے پر نسب ہوتے ہیں اور یوں یہ ایک ساتھ حرکت کرتے ہیں۔ تصور کریں کہ یہ دونوں گھڑی کی اُلٹی سمت مقناطیسی میدان میں گھوم رہے ہیں۔ مقناطیسی میدان اُفقی سطح میں N سے S کی جانب ہے جسے نوکدار لکیروں سے دکھایا گیا ہے۔ سمت کار کے ساتھ کاربن کے ساکن بُش، اسپرنگ کی مدد سے دبا کر رکھے جاتے ہیں۔ان کاربن کے بُشوں سے برقی دباو بیرونِ جنریٹر موصل برقی تاروں کے ذریعہ منتقل کی جاتی ہے۔ان بُشوں کو مثبت نشان یعنی + اور منفی نشان یعنی − سے ظاہر کیا گیا ہے۔

دکھائے گئے لمحہ پر لچھے میں پیدا برقی دباو e کی وجہ سے لچھے کا برقی سرا د مثبت اور اس کا برقی سرا ڈ منفی ہے۔یوں سمت کار کا حصہ د مثبت اور اس کا حصہ ڈ منفی ہے جس سے کاربن کے + نشان والا بُش مثبت اور − نشان والا بُش منفی ہے۔ آدھے چکر بعد خلاء میں لچھے کی د اور ڈ اطراف آپس میں جگہیں تبدیل کر لیں گی۔ یہ شکل 8.2 میں دکھایا گیا ہے۔ لچھے کے د اور ڈ اطراف اب بھی سمت کار کے د اور ڈ حصوں کے ساتھ جُڑے ہیں۔ اس لمحہ پر لچھے پر برقی دباو اُلٹ ہو گی اور اب اس کا د طرف منفی اور ڈ طرف مثبت ہو گا جیسے شکل میں دکھایا گیا ہے۔ یہاں سمت کار کی کارکردگی سامنے آتی ہے اور ہم دیکھتے ہیں کہ کاربن کا + نشان والا بُش اب بھی مثبت اور − نشان والا بُش اب بھی منفی ہے۔ یوں جنریٹر کے بیرونی برقی سروں پر اب بھی برقی دباو پہلے کی سمت میں ہی ہے۔ سمت کاری کے دانتوں کے مابین برقی دباو ہوتا ہے لہٰذا ان کو غیر موصل شہ کی مدد ایک دونوں سے اور دھرے سے دور رکھا جاتا ہے۔

گھومتے وقت ایک ایسا لمحہ آتا ہے جب سمت کار کے دونوں دانت کاربن کے دونوں بُشوں کے ساتھ جُڑے ہوتے ہیں یعنی اس لمحہ کاربن کے بُش لچھے کو کسرِ دور کرتے ہیں۔ کاربن کے بُش محیط پر اس طرح رکھے جاتے ہیں کہ جس



شکل 8.2: آدھے چکر کے بعد بھی + بُش مثبت ہی ہے۔



شکل 8.3: دو دندوں کے سمت کار سے حاصل یک سمتی برقی دباو۔

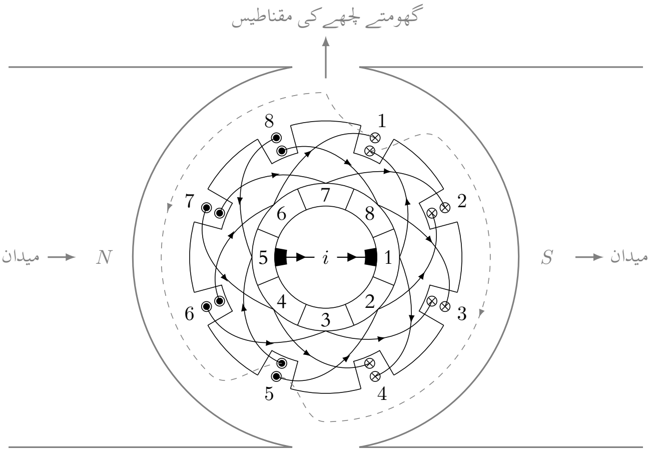
لمحہ لچھے میں برقی دباو مثبت سے منفی یا منفی سے مثبت ہونے لگے اسی لمحہ کاربن کے بُش لچھے کو کسرِ دور کرے۔ چونکہ اس لمحہ لچھے کے پیدا کردہ برقی دباو صفر ہوتی ہے لہٰذا اسے کسرِ دور کرنے سے کوئی نقصان نہیں ہوتا۔ اس طرح حاصل برقی دباو شکل 8.3 میں دکھایا گیا ہے۔

یہاں دو دندوں والا سمت کار اور دو مقناطیسی قطب کے درمیان گھومتا ایک ہی قوی لچھا دکھایا گیا ہے۔ حقیقت میں جنریٹر کے بہت سارے قطب ہوں گے اور ہر ایک قطب کے لئے سمت کار کے کئی دندے ہوں گے۔ مزید یہ کہ نہایت چھوٹی آلوں میں مقناطیسی میدان مقناطیس ہی فراہم کرتا ہے جبکہ بڑی آلوں میں مقناطیسی میدان ساکن میدانی لچھے فراہم کرتے ہیں۔ مشین کے دونوں قسم کے لچھے تقسیم شدہ ہوتے ہیں۔

اب ہم زیادہ دندوں کے ایک سمت کار کو دیکھتے ہیں۔

8.1.1 میکانی سمت کار کی تفصیل

پچھلے حصہ میں سمت کار کی بنیادی کارکردگی سمجھائی گئی۔ اس حصہ میں اس پر تفصیلاً غور کیا جائے گا۔ یہاں شکل 8.4 سے رجوع کریں۔ اس شکل میں اندر کی جانب دکھائے گئے سمت کار کے دندوں کو ہندسوں سے ظاہر کیا گیا ہے۔ سمت

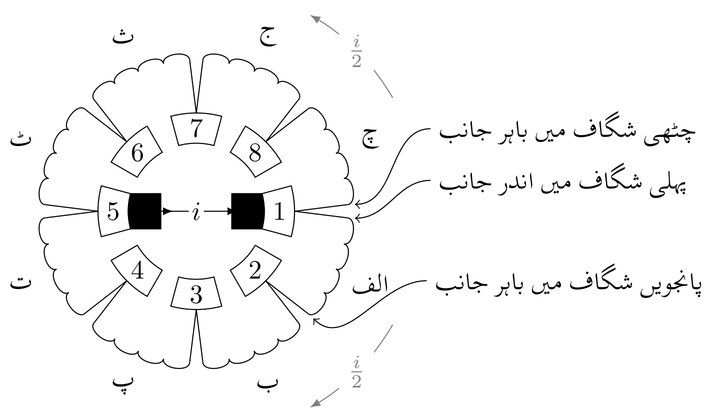


شکل 8.4: کاربن بُش سمتکار کے دندوں کو کسرِ دور نہیں کر رہا۔

کار کی اندر جانب کاربن بُش دکھائے گئے ہیں جبکہ بیرونِ جنریٹر برقی رو کو ظاہر کرتی ہے۔شگافوں کو بھی ہندسوں سے ظاہر کیا گیا ہے۔اس جنریٹر کے دو قطب ہیں جبکہ اس میں کل آٹھ شگاف ہیں۔اس طرح اگر ایک شگاف ایک قطب کے سامنے ہو تو تین شگاف چھوڑ کر موجود شگاف دوسرے قطب کے سامنے ہو گا۔ہم کہتے ہیں کہ ایسے دو شگاف ایک قطب فاصلے پر ہیں مثلاً شگاف ایک اور پانچ ایک قطب کے فاصلے پر ہیں۔

شگافوں میں موجود لچھوں میں برقی رو کی سمتیں نقطہ اور صلیب سے ظاہر کئے گئے ہیں۔ نقطہ صفحہ سے عمودی طور پر باہر جانب کی سمت کو ظاہر کرتی ہے جبکہ صلیب کے نشان اس کی اُلٹ سمت کو ظاہر کرتی ہے۔یوں پہلی شگاف میں برقی رو کی سمت عمودی طور پر صفحہ کی اندر جانب کو ہے۔

ہر شگاف میں دو لچھے دکھائے گئے ہیں۔پہلی شگاف کی اندر جانب موجود لچھا، سمت کار کی پہلی دانت سے جُڑا ہے۔یہ جوڑ موٹی لکیر سے ظاہر کی گئی ہے۔شگاف کے نچلے سرے سے نکل کر یہ لچھا پانچ نمبر شگاف کے نچلے سرے میں باہر جانب کو داخل ہوتا ہے۔اس بات کو نقطہ دار لکیر سے دکھایا گیا ہے۔اسی طرح دو لچھے دوسرے اور چھٹے شگافوں میں ہیں۔ان میں ایک لچھا دوسرے شگاف میں اندر کی جانب اور چھٹے شگاف میں باہر کی جانب ہے جبکہ دوسرا لچھا دوسرے شگاف میں باہر کی جانب اور چھٹے شگاف میں اندر کی جانب ہے۔ نقطہ دار لکیریں صرف پہلی اور پانچویں شگاف کے لئے دکھائے گئے ہیں۔آپ خود باقی شگافوں کے لئے انہیں بنا سکتے ہیں۔ہر لچھے کی ایک طرف شگاف میں اندر جانب اور اس کی دوسری طرف ایک قطب دور موجود شگاف میں باہر جانب کو ہوتی ہے۔سمت کار کا یہی پہلا دانت چوتھے شگاف کی باہر جانب موجود لچھے سے بھی جُڑا ہے۔آپ یہاں رکھ کر شکل 8.5 کی مدد سے مشین میں

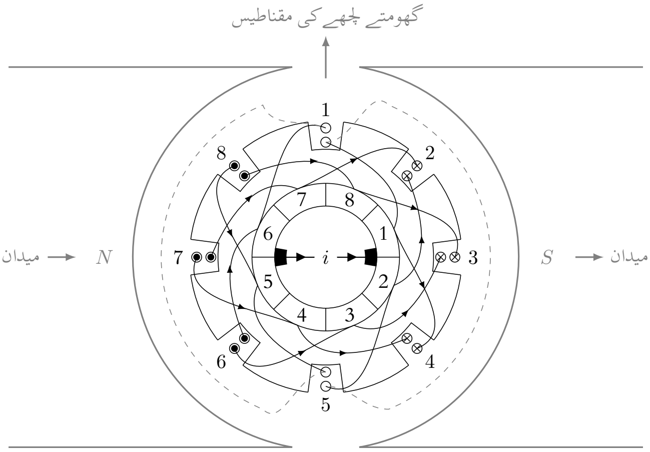


شکل 8.5: سمت کار سے جڑے لچھے۔

برقی رو کی سمتیں سمجھیں اور تسلی کر لیں کہ یہ درست دکھائے گئے ہیں۔اس شکل میں لچھوں کو الف، ب ، پ وغیرہ نام دیئے گئے ہیں جبکہ سمت کار کے دندوں کو ہندسوں سے ظاہر کیا گیا ہے۔کاربن کے بُش پہلے اور پانچویں دانت سے جڑے دکھائے گئے ہیں۔

اس شکل میں کاربن بُش سے برقی رو سمت کار کی پہلے دانت سے ہوتے ہوئے دو برابر مقداروں میں تقسیم ہو کر دو یکساں متوازی راستوں گزرے گی۔ایک راستہ سلسلہ وار جڑے الف، ب، پ اور ت لچھوں سے بنتا ہے جبکہ دوسرا راستہ سلسلہ وار جڑے ٹ، ث، ج اور چ لچھوں سے بنتا ہے۔یہ دو سلسلہ وار راستے آپس میں متوازی جڑے ہیں۔ برقی رو کی سمت نقطہ دار چونچ والی لکیر سے ظاہر کی گئی ہے۔دو متوازی راستوں سے گزرتا برقی رو ایک مرتبہ دوبارہ مل کر ایک ہو جاتا ہے اور سمت کار کے پانچویں دانت سے جڑے کاربن بُش کے ذریعہ مشین سے باہر نکل جاتا ہے۔ آپ دیکھ سکتے ہیں کہ گھومتے حصے کی شگافوں میں موجود لچھوں میں برقی رو مقناطیسی دباو کو جنم دے گی جو ساکن مقناطیسی دباو کی عمودی سمت میں ہو گی جیسا شکل 8.4 میں دکھایا گیا ہے۔یہ دو مقناطیسی دباو دھرے پر گھڑی کی سمت میں قوت مروڑ پیدا کریں گے۔یوں اگر مشین موٹر کے طور پر استعمال کی جا رہی ہو تو یہ گھڑی کی سمت گھومے گی۔اس صورت میں کاربن بُش پر بیرونی یک سمتی برقی دباو اس سمت میں لاگو کی جائے گی کہ اس میں برقی رو دکھلائی گئی سمت میں ہو۔

اب یہ تصور کریں کہ مشین ایک جنریٹر کے طور پر استعمال کی جا رہی ہو اور اسے گھڑی کی اُلٹی سمت بیرونی میکانی طاقت سے گھمایا جا رہا ہو۔یوں سمت کار کے آدھے دانت برابر حرکت کرنے کے بعد یہ شکل 8.6 میں دکھلائے حالت اختیار کر لے گی۔اس شکل میں دائیاں کاربن بُش سمت کار کے پہلے اور دوسرے دانت کے ساتھ جبکہ بائیاں



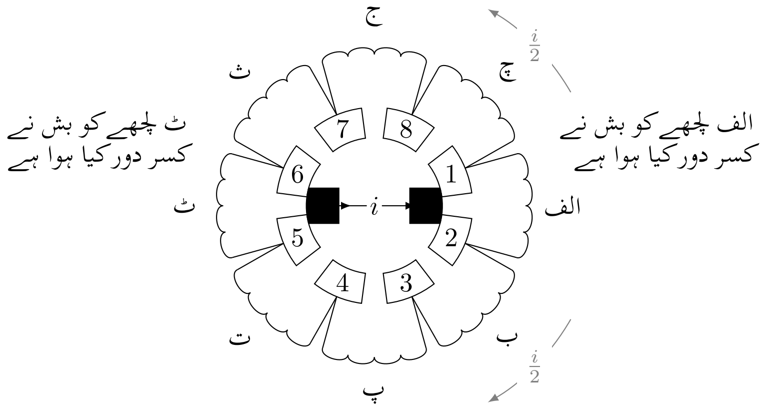
شکل 8.6: کاربن بُش سمت کار کے دندوں کو کسرِ دور کر رہا ہے۔

کاربن بُش اس کے پانچویں اور چھٹے دانت کے ساتھ جُڑ گئے ہیں۔یوں پہلے اور پانچویں شگافوں میں موجود لچھے کسرِ دور ہو گئے ہیں جبکہ بقایا شگافوں میں موجود لچھوں میں حسبِ معمول برقی رو ہو گا جن سے مقناطیسی دباو اب بھی پہلے کی طرح ساکن مقناطیسی کی دباو کی عمودی سمت میں ہو گا۔اس لمحہ کی صورت شکل 8.7 میں زیادہ واضح ہے۔

مشین جب سمت کار کے ایک دانت برابر حرکت کر لے تو کاربن کے بُش دوسرے اور چھٹے دانت سے جُڑ جائیں گے۔پہلے اور پانچویں شگافوں میں برقی رو کی سمت پہلی سے اُلٹ ہو جائے گی جبکہ باقی شگافوں میں برقی رو کی سمتیں برقرار رہیں گی۔گھومتے لچھوں کا برقی دباو اب بھی اُسی سمت میں ہو گا۔

جتنے لمحے کے لئے کاربن کے بُش دو لچھوں کو کسرِ دور کرتے ہیں اتنے وقت میں ان لچھوں میں برقی رو کی سمت اُلٹ ہو جاتی ہے۔کوشش کی جاتی ہے کہ اس دوران برقی رو وقت کے ساتھ بتدریج تبدیل ہو۔ایسا نہ ہونے سے کاربن کے بُش سے چنگاریاں نکلتی ہیں جن سے یہ بُش جلد ناکارہ ہو جاتے ہیں۔جنزیٹر کے کسر دور لچھوں میں پیدا برقی دباو انہیں لچھوں میں گھومتی برقی رو پیدا کرتی ہے جو ہمارے کسی کام کی نہیں۔لچھے اور کاربن بش کے برقی مزاحمت اس برقی رو کی قیمت کا تعین کرتے ہیں۔

حقیقت میں یک سمتی جنزیٹر میں درجن دانت فی قطب والا سمت کار استعمال ہو گا اور اگر مشین نہایت چھوٹی نہ ہو تو اس میں دو سے زیادہ قطب ہوں گے۔



شکل 8.7: کاربن بش دو دندوں کو کسر دور کر رہے ہیں۔

8.2 یک سمتی جنریٹر کی برقی دباو

گزشتہ حصہ میں شکل 8.5 کے الف، ب، پ اور ت لچھے سلسلہ وار جڑے ہیں۔ اسی طرح ٹ، ث، ج اور چ لچھے سلسلہ وار جڑے ہیں۔ حصہ 5.3 میں مساوات 5.23 ایک لچھے کی یک سمتی جنریٹر کی محرک برقی دباو e_1 دیتی ہے۔ اسے یہاں یاد دھیانی کی خاطر دوبارہ دیا جاتا ہے۔

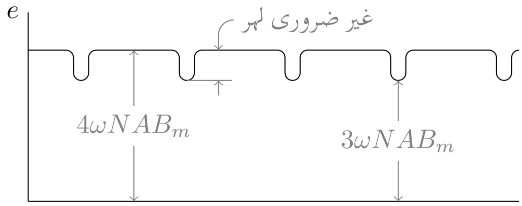
$$e_1 = \omega N \phi_m = \omega N A B_m \tag{8.1}$$

اگر خلائی درز میں B_m کی مقدار ہر جگہ یکساں ہو تو سب لچھوں میں برابر محرک برقی دباو پیدا ہو گا۔یوں شکل 8.4 میں دکھائے لمحہ پر جنریٹر کی کل محرک برقی دباو e ایک لچھے کی محرک برقی دباو کی چار گنا ہو گی یعنی

$$\begin{aligned}
e &= e_{\text{الف}} + e_{\text{ب}} + e_{\text{پ}} + e_{\text{ت}} \\
&= e_{\text{ٹ}} + e_{\text{ث}} + e_{\text{ج}} + e_{\text{چ}} \\
&= 4\omega N A B_m
\end{aligned} \tag{8.2}$$

جبکہ شکل 8.6 میں دکھائے لمحہ پر صرف تین لچھوں کی محرکی برقی دباو زیر استعمال آتی ہے یعنی

$$\begin{aligned}
e &= e_{\text{ب}} + e_{\text{پ}} + e_{\text{ت}} \\
&= e_{\text{ث}} + e_{\text{ج}} + e_{\text{چ}} \\
&= 3\omega N A B_m
\end{aligned} \tag{8.3}$$



شکل 8.8: آٹھ دندوں کی میکانی سمت کار سے حاصل برقی دباو۔

شکل 8.8 میں اس آٹھ دندوں والے میکانی سمت کار سے حاصل برقی دباو دکھائی گئی ہے۔اس شکل میں یک سمتی برقی دباو پر سوار غیر ضروری لہریں نظر آ رہی ہیں۔اگر جنریٹر میں ایک جوڑی قطب پر کل n لچھے ہوں تو شکل 8.5 کی طرح یہ دو $\frac{n}{2}$ سلسلہ وار لچھوں جتنی محرک برقی دباو پیدا کرے گی۔

$$e = \frac{n}{2}\omega N\phi_m = \frac{n}{2}\omega NAB_m \tag{8.4}$$

اس صورت میں یہ غیر ضروری لہریں کل یک سمتی برقی دباو کی تقریباً

$$\frac{\omega N\phi_m}{\frac{n}{2}\omega N\phi_m} \times 100 = \frac{2}{n} \times 100 \tag{8.5}$$

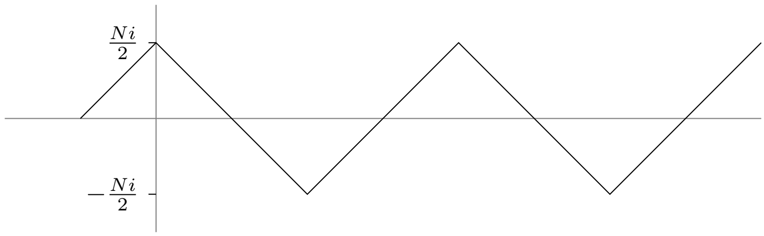
فی صد ہو گی۔آپ دیکھ سکتے ہیں کہ اگر فی قطب دندوں کی تعداد بڑھائی جائے تو حاصل برقی دباو زیادہ ہموار ہو گی اور یہ غیر ضروری لہریں قابلِ نظر انداز ہوں گے۔

اب تصور کریں کہ شکل 8.4 میں دیئے مشین کی خلائی درز میں B_m کی مقدار ہر جگہ یکساں نہیں ہے۔اس صورت میں لچھوں میں محرک برقی دباو مساوات 8.1 کے تحت مختلف زاویوں پر مختلف ہو گی۔اس طرح مشین سے حاصل کل برقی دباو چار سلسلہ وار لچھوں کی مختلف محرک برقی دباو کے مجموعہ کے برابر ہو گی یعنی

$$e = e_1 + e_2 + e_3 + e_4 \tag{8.6}$$

جہاں $e_1, e_2, \cdots$ مختلف لچھوں کی محرک برقی دباو کو ظاہر کرتے ہیں۔

اب شکل 8.4 پر غور کریں۔اگر گھومتا حصہ صرف ایک دندے برابر حرکت کرے تو اس شکل کی حالت دوبارہ حاصل ہوتی ہے اور اس سے حاصل برقی دباو بھی دوبارہ وہی ملتی ہے۔اگر میکانی سمت کار کی فی قطب دندوں کی تعداد زیادہ کر دی جائے تو یہ حرکت قابلِ نظر انداز ہو جاتی ہے۔ اب اگر خلائی درز میں کثافتِ مقناطیسی بہاو ہمواری کے ساتھ تبدیل ہو تو اتنی کم حرکت کے احاطے میں B_m کی مقدار میں کوئی خاص تبدیلی نہیں آئے گی اور اس احاطے



شکل 8.9: آری دندوں نما کثافتِ مقناطیسی دباو۔

میں اسے یکساں تصور کیا جا سکتا ہے۔یوں اگر لچھا اس احاطے میں حرکت کرے تو اس میں محرک برقی دباو تبدیل نہیں ہو گی۔یعنی جس لچھے کی محرکی برقی دباو e_1 ہے اُس کی اس احاطے میں محرکی برقی دباو یہی رہے گی۔یوں اگرچہ $e_1, e_2, \cdots$ آپس میں مختلف ہو سکتے ہیں مگر ان کی مقدار قطعی ہے، لہٰذا اس صورت میں مساوات 8.6 میں دی گئی محرکی برقی دباو کی مقدار بھی قطعی ہو گی۔

ہم نے دیکھا کہ اگر خلائی درز میں B_m ہمواری کے ساتھ تبدیل ہو تو جنریٹر سے معیاری یک سمتی محرک برقی دباو حاصل ہوتی ہے۔بدلتی رو جنریٹروں میں B_m سائن نما رکھنی ضروری ہوتی ہے۔نہایت چھوٹی یک سمتی آلوں میں خلائی درز میں B_m یکساں رکھا جاتا ہے جبکہ بڑی آلوں میں اسے ہمواری کے ساتھ تبدیل کیا جاتا ہے۔جیسا اوپر ذکر ہوا عملاً میکانی سمت کار کے دندوں تک لچھوں کے سروں کی رسائی ممکن تب ہوتی ہے جب ہر شگاف میں دو لچھے رکھے جائیں۔اس طرح رکھے لچھوں کی خلائی درز میں مقناطیسی دباو آری کے دندوں کی مانند ہوتا ہے۔یہ شکل 8.9 میں دکھایا گیا ہے۔

زیادہ قطب کے مشین میں شمالی اور جنوبی قطب کے ایک جوڑے کی پیدا یک سمتی برقی دباو مساوات 8.4 سے حاصل ہو گی جہاں n ایک قطبین کے جوڑے پر میکانی سمت کار کے دندوں کی تعداد ہو گی۔یوں زیادہ قطبین کے جوڑیوں سے حاصل یک سمتی برقی دباو کو سلسلہ وار یا متوازی جوڑا جا سکتا ہے۔

8.3 قوت مروڑ

یک سمتی آلوں کی امالی برقی دباو اور قوت مروڑ خلائی درز میں مقناطیسی دباو کی شکل پر منحصر نہیں۔اپنی سہولت کے لئے ہم ان کی خلائی درز میں مقناطیسی دباو سائن نما تصور کرتے ہیں۔شکل 8.9 میں دکھائے گئے قوی لچھے کی مقناطیسی

دباو کی بنیادی فوریئر جزو[5]

$$\tau_q = \frac{8}{\pi^2} \frac{NI}{2} \tag{8.7}$$

ہے۔یوں چونکہ یک سمتی مشین میں ساکن اور گھومتے لچھوں کی مقناطیسی دباو عمودی ہیں لہٰذا ان میں قوت مروڑ مساوات 5.101 کی طرح

$$T = -\frac{\pi}{2} \left(\frac{P}{2} \right)^2 \phi_m \tau_q \tag{8.8}$$

ہو گی۔

مثال 8.1: دو قطب بارہ دندوں کے میکانی سمت کار کے یک سمتی جنریٹر میں ہر قوی لچھا بیس چکر کا ہے۔ایک لچھے سے گزرتی مقناطیسی بہاو 0.0442 ویبر ہے۔جنریٹر 3600 چکر فی منٹ کی رفتار سے گھوم رہا ہے۔

- اس کی پیدا یک سمتی برقی دباو میں غیر ضروری لہریں کل برقی دباو کے کتنے فی صد ہیں۔
- یک سمتی برقی دباو حاصل کریں۔

حل:

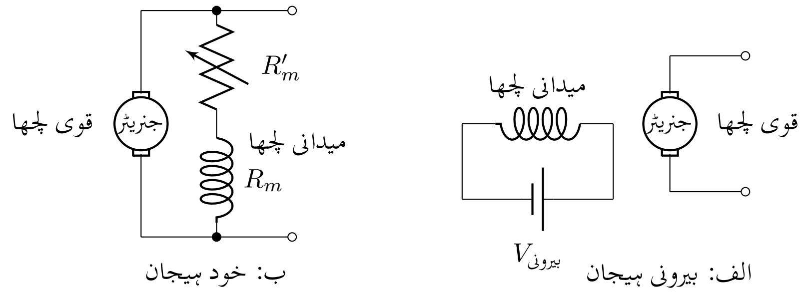
- مساوات 8.5 سے غیر ضروری لہریں $16.66 = 100 \times \frac{2}{12} = 100 \times \frac{2}{n}$ فی صد ہیں۔
- جنریٹر کی رفتار $60 = \frac{3600}{60}$ ہرٹز ہے یوں مساوات 8.4 کی مدد سے حاصل یک سمتی برقی دباو

$$e = \frac{12}{2} \times 2 \times \pi \times 60 \times 20 \times 0.0442 = 1999.82\,\mathrm{V}$$

ہے۔

---

[5] fundamental Fourier component



شکل 8.10: بیرونی ہیجان اور خود ہیجان یک سمتی جنریٹر۔

8.4 بیرونی ہیجان اور خود ہیجان یک سمتی جنریٹر

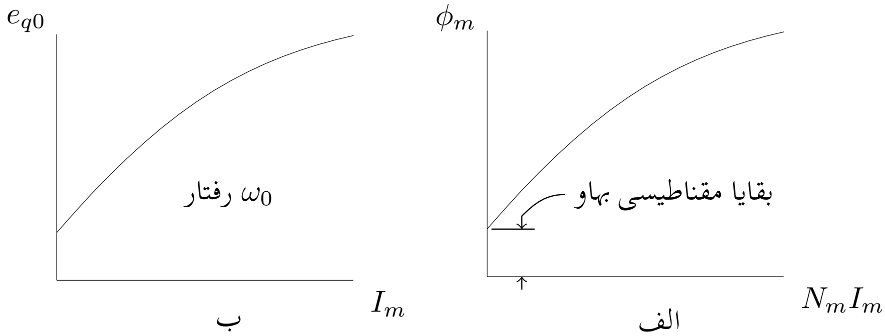
بیرونی ہیجان[6] یک سمتی جنریٹر کے میدانی لچھے کو بیرونی یک سمتی برقی دباو مہیا کی جاتی ہے جبکہ **خود ہیجان**[7] یک سمتی جنریٹر کے میدانی لچھے کو اس جنریٹر کی اپنی پیدا کردہ محرک برقی دباو ہی مہیا کی جاتی ہے۔یک سمتی جنریٹر کی کارکردگی اس کو ہیجان کرنے کے طریقے پر منحصر ہے۔

شکل 8.10-الف میں قوی لچھے[8] اور میدانی لچھے[9] کو آپس میں عمودی بنایا گیا ہے۔ یہ ایک سادہ طریقہ ہے جس سے یہ یاد رہتا ہے کہ ان لچھوں کی پیدا کردہ مقناطیسی دباو عمودی ہیں۔یہاں قوی لچھے کی شکل میکانی سمت کار کی طرح بنائی گئی ہے۔

چونکہ میدانی اور قوی لچھوں کی مقناطیسی دباو عمودی ہیں ہم اس سے یہ اخذ کرتے ہیں کہ ایک لچھے کی برقی دباو دوسرے لچھے کی برقی دباو پر اثر انداز نہیں ہوتی۔اس کا مطلب ہے کہ مقناطیسی قالب کی کسی ایک سمت میں سیرابیت اس سمت کی عمودی سمت میں سیرابیت پر اثر انداز نہیں ہوتی۔

شکل 8.10-الف میں بیرونی ہیجان مشین کی میدانی لچھے کو بیرونی یک سمتی برقی طاقت مہیا کی گئی ہے۔یوں میدانی لچھے کی برقی رو تبدیل کر کے اس کی میدانی مقناطیسی دباو τ_m، میدانی مقناطیسی بہاو ϕ_m اور کثافتِ مقناطیسی

separately excited[6]
self excited[7]
armature coil[8]
filed coil[9]



شکل 8.11: میدانی برقی رو سے محرکی برقی دباو قابو کی جاتی ہے۔

بہاو B_m تبدیل کی جا سکتی ہے۔یوں جنریٹر کی محرک برقی دباو مساوات 8.1 کے تحت تبدیل کی جا سکتی ہے یا پھر موٹر کی قوت مروڑ مساوات 8.8 کے تحت تبدیل کی جا سکتی ہے۔

برقی رو بڑھانے سے قالب کا سیراب ہونا شکل 8.11 میں واضح ہے۔یوں برقی رو بڑھاتے ہوئے شروع میں محرک برقی دباو اور میدانی لچھے کی برقی رو براہِ راست متناسب ہو گی جبکہ زیادہ برقی رو پر ایسا نہیں۔شکل میں خط ب مشین کے کُھلے سرے معائنہ سے حاصل کی جا سکتی ہے۔اس شکل میں محرکی برقی دباو کو e کی بجائے e_{q0} لکھ کر اس بات کی یاد دھیانی کرائی گئی ہے کہ یہ محرکی دباو قوی لچھے سے حاصل کی گئی ہے اور یہ ایک معین رفتار ω_0 پر حاصل کی گئی ہے۔اگر کسی اور رفتار ω پر اس خط سے محرکی برقی دباو e_q حاصل کرنی ہو تو مساوات 8.4 کی مدد سے

$$\frac{e_q}{e_{q0}} = \frac{\frac{n}{2}\omega NAB_m}{\frac{n}{2}\omega_0 NAB_m} = \frac{\omega}{\omega_0} \tag{8.9}$$

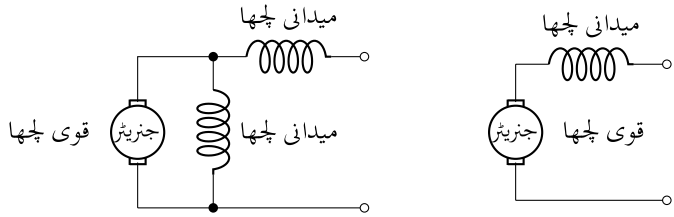
یعنی

$$e_q = \frac{rpm}{rpm_0} e_{q0} \tag{8.10}$$

جہاں رفتار کو چکر فی منٹ[10] میں بھی لیا گیا ہے۔یاد رہے کہ یہ مساوات صرف اُس صورت میں درست ہے جب مقناطیسی میدان تبدیل نہ ہو۔

مقناطیسی قالب اگر مقناطیس بنائی جائے تو اس میں بقایا مقناطیسی بہاو رہتی ہے۔یہ شکل کے حصہ الف میں دکھائی

[10] rpm, rounds per minute



ب: مرکب جڑی

الف: سلسلہ وار جڑی

شکل 8.12: سلسلہ وار اور مرکب جڑی خود ہیجان جنریٹر۔

گئی ہے۔یوں اگر میدانی لچھے کو ہیجان نہ بھی کیا جائے تو جنریٹر کچھ محرکی برقی دباو پیدا کرے گی[11]۔ یہ بقایا محرکی برقی دباو شکل ب میں صفر میدانی برقی رو پر دکھائی گئی ہے۔

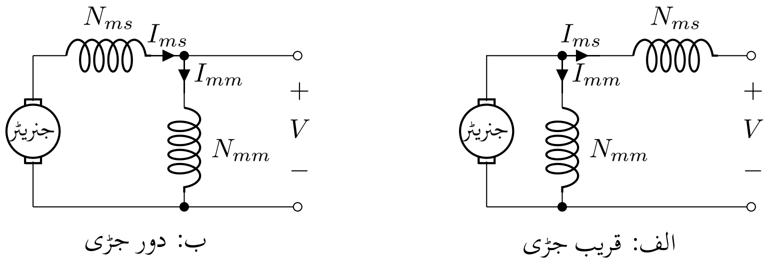
اگر خود ہیجان جنریٹر کو ساکن حال سے چالو کیا جائے تو بقایا محرکی برقی دباو پیدا ہو گی۔اس محرک برقی دباو سے میدانی لچھے میں برقی رو رواں ہو گا اور یوں مقناطیسی میدان پیدا ہو گا جس سے مشین ذرا زیادہ ہیجان ہو جائے گا اور یوں اس کی محرکی برقی دباو بھی کچھ بڑھ جائے گی۔اس طرح کرتے کرتے مشین جلد پوری محرک برقی دباو پیدا کرنے شروع ہوتا ہے۔یہ سب اسی اثنا میں ہوتا ہے جب مشین کی رفتار بڑھ رہی ہوتی ہے۔

شکل 8.10-ب میں خود ہیجان مشین دکھائی گئی ہے جس کے میدانی اور قوی لچھے متوازی جُڑے ہیں۔ اس طرح جڑی جنریٹر کو **خود ہیجان متوازی جڑی**[12] جنریٹر کہتے ہیں۔اس شکل میں میدانی لچھے کے ساتھ ایک مزاحمت سلسلہ وار جڑی ہے۔اس مزاحمت کو تبدیل کر کے میدانی برقی رو تبدیل کی جاتی ہے جس سے بالکل بیرونی ہیجان مشین کی طرح جنریٹر کی محرکی برقی دباو یا موٹر کی قوت مروڑ تبدیل کی جاتی ہے۔

شکل 8.12 میں خود ہیجان جنریٹر کی دو اور قسمیں دکھائی گئی ہیں۔ ایک **خود ہیجان سلسلہ وار جڑی** جنریٹر اور دوسری **خود ہیجان مرکب** جنریٹر ہے۔ سلسلہ وار جڑی جنریٹر میں میدانی اور قوی لچھے سلسلہ وار جُڑے ہوتے ہیں۔**مرکب** جنریٹر میں میدانی لچھے کے دو حصے ہوتے ہیں جن میں ایک قوی لچھے کے متوازی اور دوسرا اس کے سلسلہ وار جُڑے ہوتے ہیں۔مزید یہ کہ متوازی جُڑا حصہ قوی لچھے کے قریب ہو سکتا ہے یا پھر یہ سلسلہ وار لچھے کے دوسری جانب یعنی دور جُڑا ہو سکتا ہے۔ پہلی صورت میں اسے **قریب جڑی مرکب** جنریٹر اور دوسری صورت میں **دور جڑی مرکب** جنریٹر کہیں گے۔ شکل 8.13 میں مرکب جنریٹر کے دونوں اشکال دکھائے گئے ہیں۔

---

[11] آپ ٹھیک سوچ رہے ہیں۔ جنریٹر بنانے والے کارخانے میں قالب کو پہلی مرتبہ مقناطیس بنانا پڑتا ہے
[12] parallel connected



شکل 8.13: مرکب قریب جڑی اور مرکب دور جڑی خود ہیجان جنریٹر

یک سمتی موٹر بھی اسی طرح پکارے جاتے ہیں۔یعنی شکل 8.10 کی طرح جڑی دو موٹروں کو بیرونی ہیجان موٹر اور خود ہیجان متوازی جڑی موٹر کہیں گے۔موٹر میں قوی لچھے کی برقی رو کی سمت جنریٹر کے برقی رو کی سمت کے اُلٹ ہوتی ہے۔

ہر طرح جڑی یک سمتی جنریٹر کی میدانی مقناطیسی دباو اس کے میدانی لچھے کے چکر ضرب برقی رو کے برابر ہوتی ہے یعنی

$$\tau = N_m I_m \tag{8.11}$$

شکل 8.10 میں خود ہیجان متوازی جڑی جنریٹر کی میدانی لچھے میں برقی رو اس لچھے اور اس کے ساتھ جڑی مزاحمت کے مجموعہ مزاحمت $R = R_m + R'_m$ پر منحصر ہو گی یعنی $I_m = \frac{V}{R}$ یوں خود ہیجان متوازی جڑی جنریٹر کے لئے اس مساوات کو یوں لکھا جائے گا۔

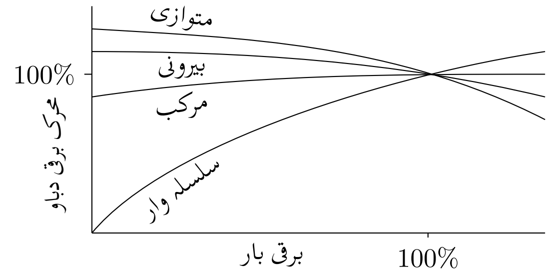
$$\tau_{m,m} = \frac{I_m V}{R_m + R'_m} \tag{8.12}$$

سلسلہ وار جڑی جنریٹر میں میدانی برقی رو جنریٹر کے قوی لچھے کی برقی رو کے برابر ہوتی ہے لہٰذا اس صورت میں اس مساوات کو یوں لکھا جا سکتا ہے۔

$$\tau_{m,s} = N_m I_q \tag{8.13}$$

شکل 8.13 میں مرکب جنریٹر میں میدانی مقناطیسی دباو کے دو حصے ہیں۔اس میں N_{mm} چکر کے متوازی جڑے میدانی لچھے میں برقی رو I_{mm} اور N_{ms} چکر کے سلسلہ وار جڑے میدانی لچھے میں برقی رو I_{ms} ہے لہٰذا

$$\tau_{m,mk} = N_{ms} I_{ms} + N_{mm} I_{mm} \tag{8.14}$$



شکل 8.14: یک سمتی جنریٹر کی محرک برقی دباو بمقابلہ برقی بوجھ کے خط۔

8.5 یک سمتی مشین کی کارکردگی کے خط

8.5.1 حاصل برقی دباو بالمقابل برقی بوجھ

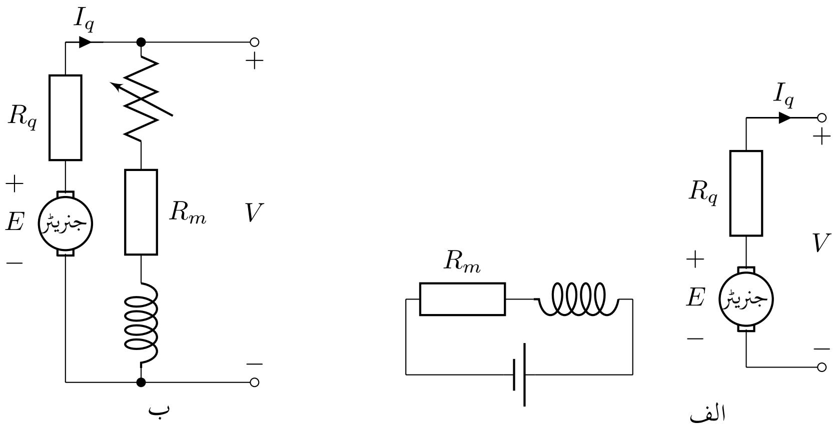
مختلف طریقوں سے جُڑے یک سمتی جنریٹروں سے حاصل برقی دباو بمقابلہ ان پر لدے برقی بوجھ کے خط شکل 8.14 میں دکھائے گئے۔ گھومتی رفتار معین تصور کی گئی ہے۔ دھرے پر لاگو بیرونی میکانی طاقت جنریٹر کی قوت مروڑ کے خلاف اسے گھمائے گی۔

ان خط کو سمجھنے کی خاطر پہلے بیرونی ہیجان جنریٹر پر غور کرتے ہیں جس کی مساوی برقی دور شکل 8.15-الف میں دی گئی ہے۔ بیرونی ہیجان جنریٹر پر برقی بوجھ لادنے سے اس کے قوی لچھے کی مزاحمت[13] R_q میں برقی رو I_q گزرنے سے اس میں برقی دباو گھٹتی ہے۔ لہٰذا جنریٹر سے حاصل برقی دباو V، جنریٹر کی اندرونی محرک برقی دباو E_q سے قدرِ کم ہوتی ہے یعنی

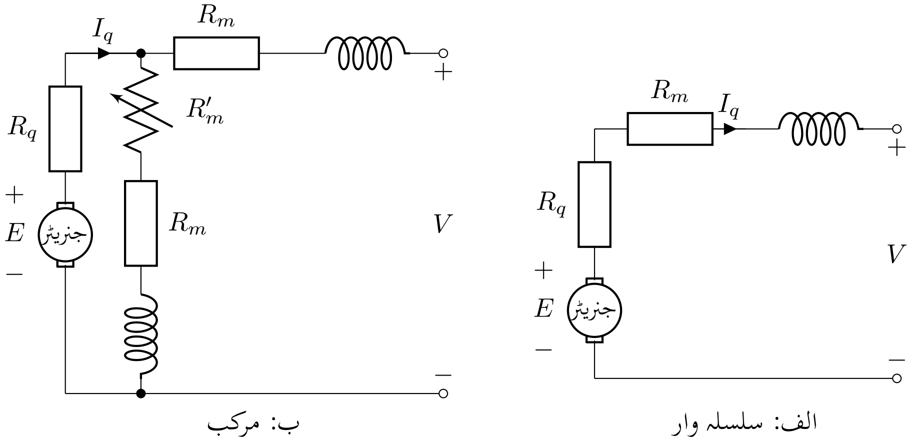
$$V = E_q - I_q R_q \tag{8.15}$$

برقی بوجھ I_q بڑھانے سے جنریٹر سے حاصل برقی دباو کم ہو گی۔ شکل میں بیرونی ہیجان جنریٹر کی خط ایسا ہی رجحان ظاہر کرتی ہے۔ حقیقت میں کچھ اور وجوہات بھی کار آمد ہوتے ہیں جن سے یہ خط سیدھی نہیں بلکہ جھکی ہوتی ہے۔

متوازی جڑی جنریٹر کے خط کا یہی رجحان ہے۔ متوازی جڑی جنریٹر پر بھی برقی بوجھ لادنے سے قوی لچھے کی مزاحمت میں برقی دباو گھٹتی ہے۔ یوں اس کے میدانی لچھے پر لاگو برقی دباو کم ہو جاتی ہے جس سے میدانی لچھے میں برقی رو



شکل 8.15: بیرونی ہیجان اور متوازی جڑی جنریٹر کی مساوی برقی دور۔



شکل 8.16: سلسلہ وار اور مرکب جنریٹر کے مساوی برقی دور۔

بھی گھٹتی ہے۔ اس سے محرک برقی دباو مزید کم ہوتی ہے۔اس طرح ان جنریٹر سے حاصل برقی دباو بمقابلہ برقی بوجھ کے خط کی ڈھلان بیرونی ہیجان جنریٹر کی خط سے زیادہ ہوتی ہے۔

شکل 8.16 میں سلسلہ وار اور مرکب جنریٹر کی مساوی برقی داو دکھائے گئے ہیں۔سلسلہ وار جڑی جنریٹر کے میدانی لچھے میں لدے بوجھ کی برقی رو ہی گزرتی ہے۔اس طرح بوجھ بڑھانے سے میدانی مقناطیسی دباو بھی بڑھتی ہے جس سے محرک برقی دباو بڑھتی ہے۔اس کا خط یہی دکھا رہا ہے۔اس طرح جُڑے جنریٹر عموماً استعمال نہیں ہوتے چونکہ ان سے حاصل برقی دباو، بوجھ کے ساتھ بہت زیادہ تبدیل ہوتی ہے۔

مرکب جڑی جنریٹر کی کارکردگی سلسلہ وار اور متوازی جڑی جنریٹروں کے مابین ہے۔مرکب جنریٹر میں بوجھ بڑھانے سے قوی لچھے کی وجہ سے حاصل برقی دباو میں کمی کو میدانی لچھے کی بڑھتی مقناطیسی دباو پورا کرتی ہے۔یوں مرکب جنریٹر سے حاصل برقی دباو اس پر لدے بوجھ کے ساتھ بہت کم تبدیل ہوتی ہے۔

بیرونی ہیجان، متوازی اور مرکب جڑی جنریٹروں سے حاصل برقی دباو کو متوازی جڑی لچھے میں برقی رو کی مدد سے وسیع حد تک تبدیل کیا جا سکتا ہے۔

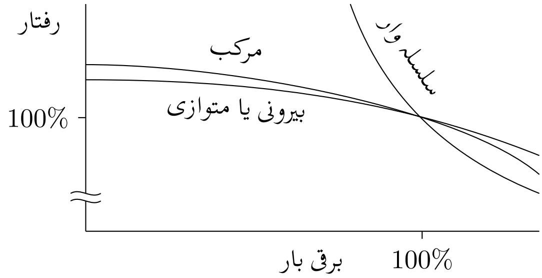
قوی لچھا چونکہ برقی بوجھ کو درکار برقی رو فراہم کرتی ہے لہٰذا یہ موٹی موصل تار کی بنی ہوتی ہے اور اس کے عموماً کم چکر ہوتے ہیں۔سلسلہ وار جنریٹر کے میدانی لچھے سے چونکہ مشین کا پوری برقی رو ہی گزرتا ہے لہٰذا یہ بھی موٹی موصل تار کی بنی ہوتی ہے۔باقی آلوں میں میدانی لچھے میں پورے برقی بوجھ کے چند ہی فی صد برقی رو گزرتی ہے لہٰذا یہ باریک موصل تار کی بنائی جاتی ہے اور اس کے عموماً زیادہ چکر ہوتے ہیں۔

8.5.2 رفتار بالمقابل قوت مروڑ

یہاں بھی شکل 8.15 اور شکل 8.16 سے رجوع کریں البتہ شکل میں برقی رو کی سمتیں اُلٹ کر دیں۔یک سمتی موٹر بھی جنریٹروں کی طرح مختلف طریقوں سے جُڑے جاتے ہیں۔موٹر کو معین بیرونی برقی دباو دی جاتی ہے جہاں سے یہ برقی رو حاصل کرتی ہے۔برقی رو باہر سے قوی لچھے کی جانب چلتی ہے لہٰذا موٹر کے لئے لکھا جائے گا

$$
\begin{aligned}
V &= E_q + I_q R_q \\
I &= \frac{V - E_q}{R_q}
\end{aligned}
\tag{8.16}
$$

[13] علامت Rq کے زیرنوشت میں q لفظ قوی کے پہلی حرف ق کو ظاہر کرتی ہے۔



شکل 8.17: یک سمتی موٹر کی میکانی بوجھ بمقابلہ رفتار کے خط۔

بیرونی ہیجان اور متوازی جڑی موٹروں میں میدانی لچھے کو برقرار معین بیرونی برقی دباو فراہم کی جاتی ہے لہٰذا میدانی مقناطیسی بہاو پر میکانی بوجھ کا کوئی اثر نہیں۔ بڑھتی میکانی بوجھ اٹھانے کی خاطر مساوات 8.8 کے تحت قوی لچھے کی مقناطیسی بہاو بڑھنی ہو گی۔ یہ تب ممکن ہو گا کہ اس میں برقی رو بڑھے۔ مساوات سے ہم دیکھتے ہیں کہ قوی لچھے کی محرکی برقی دباو E_q گھٹنے سے ہی ایسا ممکن ہے۔ E_q موٹر کی رفتار پر منحصر ہے لہٰذا موٹر کی رفتار کم ہو جائے گی۔ یوں میکانی بوجھ بڑھانے سے موٹر کی رفتار کم ہوتی ہے۔ شکل 8.17 میں یہ دکھایا گیا ہے۔

متوازی جڑی یا بیرونی ہیجان موٹر تقریباً معین رفتار ہی برقرار رکھتی ہے۔ اس کی رفتار بے بوجھ حالت سے پوری طرح بوجھ بردار حالت تک تقریباً صرف پانچ فی صد گھٹتی ہے۔ ان موٹروں کی رفتار نہایت آسانی سے میدانی لچھے کی برقی رو تبدیل کر کے تبدیل کی جاتی ہے۔ ایسا میدانی لچھے کے ساتھ سلسلہ وار جڑی مزاحمت کی تبدیلی سے کیا جاتا ہے۔ ان کی رفتار یوں وسیع حدوں کے مابین تبدیل کرنا ممکن ہوتا ہے۔ موٹر پر لاگو بیرونی برقی دباو تبدیل کر کے بھی رفتار قابو کی جا سکتی ہے۔ ایسا عموماً قوی الیکٹرانکس کی مدد سے کیا جاتا ہے۔

ان موٹر کی ساکن حال سے چالو کرتے لمحہ کی قوت مروڑ اور ان کی زیادہ سے زیادہ قوت مروڑ قوی لچھے تک برقی رو پہنچانے کی صلاحیت پر منحصر ہے یعنی یہ میکانی سمت کار پر منحصر ہے۔

سلسلہ وار جڑی موٹر پر لدی میکانی بوجھ بڑھانے سے اس کے قوی اور میدانی لچھوں میں برقی رو بڑھے گی۔ میدانی مقناطیسی بہاو بڑھے گی اور مساوات 8.16 کے تحت E_q کم ہو گی جو موٹر کی رفتار کم ہونے سے ہوتی ہے۔ بوجھ بڑھانے سے ان موٹر کی رفتار کافی زیادہ کم ہوتی ہے۔ ایسے موٹر ان جگہوں بہتر ثابت ہوتے ہیں جہاں زیادہ قوت مروڑ درکار ہو۔ بڑھتی قوت مروڑ کے ساتھ ان کی رفتار کم ہونے سے ان کو درکار برقی طاقت قوت مروڑ کے ساتھ زیادہ تبدیل نہیں ہوتا۔

یہاں اس بات کا ذکر ضروری ہے کہ بے بوجھ سلسلہ وار جڑی موٹر کی رفتار خطرناک حد تک بڑھ سکتی ہے۔ایسے موٹر کو استعمال کرتے وقت اس بات کا خاص خیال رکھنا ضروری ہے کہ موٹر ہر لمحہ بوجھ بردار رہے۔

ساکن حالت سے موٹر چالو کرتے وقت I_q کی قیمت زیادہ ہوتی ہے جس سے زیادہ مقناطیسی بہاو پیدا ہوتا ہے۔یوں چالو کرتے وقت موٹر کی قوت مروڑ خاصی زیادہ ہوتی ہے۔ یہ ایک اچھی خوبی ہے جس سے بوجھ بردار ساکن موٹر کو چالو کرنا آسان ہوتا ہے۔

مرکب موٹروں میں ان دو قسموں کی موٹروں کے خصوصیات پائے جاتے ہیں۔جہاں بوجھ بردار موٹر چالو کرنا ضروری ہو لیکن رفتار میں سلسلہ وار موٹر جتنی تبدیلی منظور نہ ہو وہاں مرکب موٹر کارآمد ثابت ہوتے ہیں۔

مثال 8.2: ایک 75 کلو واٹ 415 وولٹ اور 1200 چکر فی منٹ کی رفتار سے چلنے والے متوازی جڑی یک سمتی موٹر کے قوی لچھے کی مزاحمت 0.072 اوہم اور اس کی میدانی لچھے کی مزاحمت 83.2 اوہم ہے۔موٹر جس بوجھ سے لدا ہے اس پر موٹر 1123 چکر فی منٹ کی رفتار سے چلتے ہوئے 112 ایمپیئر لے رہی ہے۔

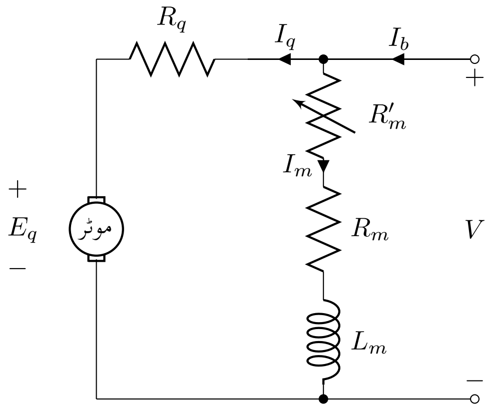
- میدانی برقی رو اور قوی لچھے کی برقی رو حاصل کریں۔
- موٹر کی اندرونی پیدا کردہ برقی دباو حاصل کریں۔
- اگر میدانی لچھے کی مزاحمت 100.2 اوہم کر دی جائے مگر قوی لچھے کی برقی رو تبدیل نہ ہو تو موٹر کی رفتار حاصل کریں۔قالب کی سیرابیت کو نظرانداز کریں۔

حل:

- شکل 8.18 سے رجوع کریں۔415 وولٹ پر میدانی لچھے کی برقی رو

$$I_m = \frac{V}{R_m + R'_m} = \frac{415}{83.2} = 4.988\,\mathrm{A}$$

ہو گی۔یوں قوی لچھے کی برقی رو $I_q = I_b - I_m = 112 - 4.988 = 107.012\,\mathrm{A}$ ہے۔



شکل 8.18: یک سمتی موٹر کی مثال۔

- یوں یک سمتی موٹر کی اندرونی پیدا کردہ برقی دباو

$$E_q = V - I_q R_q = 415 - 107.012 \times 0.072 = 407.295\,\mathrm{V}$$

ہے۔

- اگر میدانی لچھے کی مزاحمت 100.2 اوہم کر دی جائے تب

$$I_m = \frac{V}{R_m + R'_m} = \frac{415}{100.2} = 4.1417\,\mathrm{A}$$

ہو گی۔

- اگر قوی لچھے کی برقی رو 107.012 ایمپیئر ہی رکھی جائے تب

$$E_q = V - I_q R_q = 415 - 107.012 \times 0.072 = 407.295\,\mathrm{V}$$

ہی رہے گی۔

- مساوات 8.4 کی مدد سے چونکہ اندرونی پیدا کردہ برقی دباو تبدیل نہیں ہوئی مگر مقناطیسی بہاو تبدیل ہوا ہے لہٰذا موٹر کی رفتار تبدیل ہو گی۔ان دو مقناطیسی بہاو اور رفتاروں پر اس مساوات کی نسبت

$$\frac{E_{q1}}{E_{q2}} = \frac{\frac{n}{2}\omega_1 N \phi_{m1}}{\frac{n}{2}\omega_2 N \phi_{m2}}$$

میں چونکہ $E_{q1} = E_{q2}$ لہٰذا $\omega_1 \phi_{m1} = \omega_2 \phi_{m2}$ ہو گا۔ قالبی سیرابیت کو نظرانداز کرتے ہوئے چونکہ مقناطیسی بہاو میدانی دباو پر منحصر ہے جو از خود میدانی برقی رو پر منحصر ہے۔ لہٰذا اس آخری مساوات کو یوں لکھ سکتے ہیں۔

$$\frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{rpm_1}{rpm_2} = \frac{\phi_{m2}}{\phi_{m1}} = \frac{I_{m2}}{I_{m1}}$$

جس سے نئی رفتار

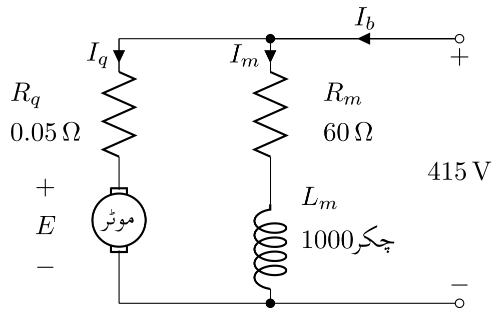
$$rpm_2 = \frac{I_{m1}}{I_{m2}} \times rpm_1 = \frac{4.988}{4.1417} \times 1123 = 1352.47$$

چکر فی منٹ حاصل ہوتی ہے۔اس مثال میں ہم دیکھتے ہیں کہ میدانی برقی رو کم کرنے سے موٹر کی رفتار بڑھتی ہے۔

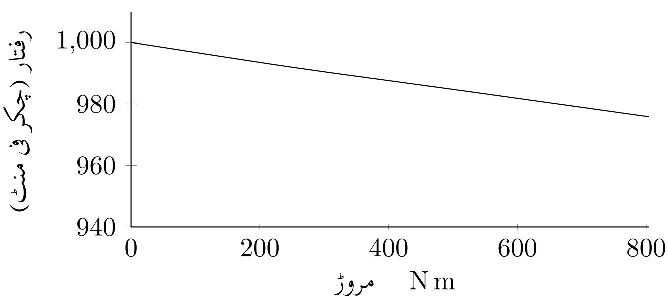
مثال 8.3: ایک 60 کلو واٹ، 415 وولٹ، 1000 چکر فی منٹ متوازی جڑی یک سمتی موٹر کی قوی لچھے کی مزاحمت 0.05 اوہم اور میدانی لچھے کی 60 اوہم ہے۔بے بوجھ موٹر کی رفتار 1000 چکر فی منٹ ہے۔میدانی لچھا 1000 چکر کا ہے۔

- جب یہ موٹر ایمپیئر لے رہی ہو اس وقت اس کی رفتار معلوم کریں۔
- 140 ایمپیئر پر اس کی رفتار معلوم کریں۔
- 210 ایمپیئر پر اس کی رفتار معلوم کریں۔
- اس موٹر کی رفتار بالمقابل قوت مروڑ ترسیم کریں ۔

حل:



شکل 8.19: متوازی جڑی موٹر کی مثال۔



شکل 8.20: رفتار بالمقابل قوت مروڑ۔

- شکل 8.19 میں یہ موٹر دکھائی گئی ہے۔متوازی میدانی لچھے کی برقی رو پر بوجھ لادنے سے کوئی فرق نہیں پڑتا۔لہٰذا میدانی مقناطیسی بہاو بے بوجھ اور بوجھ بردار موٹر میں یکساں ہے۔بے باریک سمتی موٹر کی قوی لچھے کی برقی رو I_q قابل نظر انداز ہوتی ہے۔اس طرح مساوات 8.16 اور مساوات 8.10 سے

$$
\begin{aligned}
E_q &= V - I_q R_q = 415 - 0 \times R_q = 415\,\mathrm{V} \\
I_m &= \frac{V}{R_m} = \frac{415}{60} = 6.916\,\mathrm{A}
\end{aligned}
$$

یعنی 415 وولٹ محرکی برقی دباو پر رفتار 1000 چکر فی منٹ یا 16.66 چکر فی سیکنڈ ہے۔70 ایمپیئر برقی بوجھ پر بھی $I_m = 6.916\,\mathrm{A}$ ہی ہے جبکہ

$$
I_q = I_b - I_m = 70 - 6.916 = 63.086\,\mathrm{A}
$$

لہٰذا مساوات 8.16 سے اس صورت میں

$$
E_q = V - I_q R_q = 415 - 63.086 \times 0.05 = 411.8458\,\mathrm{V}
$$

اور مساوات 8.10 سے رفتار (چکر فی منٹ) یوں حاصل ہوتا ہے

$$
rpm = \frac{e_q}{e_{q0}} rpm_0 = \frac{411.8458}{415} \times 1000 = 991.95
$$

- یہی کچھ دوبارہ کرتے ہیں۔یہاں $I_b = 140\,\mathrm{A}$ ہے۔

$$
\begin{aligned}
I_q &= I_b - I_m = 140 - 6.916 = 133.084\,\mathrm{A} \\
E_q &= 415 - 133.084 \times 0.05 = 408.3458\,\mathrm{V} \\
rpm &= \frac{408.3458}{415} \times 1000 = 983.96
\end{aligned}
$$

- یہاں $I_b = 210\,\mathrm{A}$ ہے۔

$$
\begin{aligned}
I_q &= I_b - I_m = 210 - 6.916 = 203.084\,\mathrm{A} \\
E_q &= 415 - 203.084 \times 0.05 = 404.8458\,\mathrm{V} \\
rpm &= \frac{404.8458}{415} \times 1000 = 975.83
\end{aligned}
$$

- موٹر میں طاقت کے ضیاع کو نظر انداز کرتے ہیں۔ یوں اس کی میکانی طاقت اسے فراہم کی گئی برقی طاقت کے برابر ہو گی یعنی

$$
e_q I_q = T\omega \tag{8.17}
$$

یوں پچھلے جزو سے حاصل جوابات کی مدد سے بے بوجھ موٹر کی قوت مروڑ صفر ہو گی یعنی $T_0 = 0\,\mathrm{N\,m}$ جبکہ 70 ایمپیئر پر قوت مروڑ کی قیمت

$$T_{70} = \frac{e_q I_q}{\omega} = \frac{411.8458 \times 63.086}{2 \times \pi \times 16.5325} = 250\,\mathrm{N\,m}$$

ہو گی۔ یہاں 991.95 چکر فی منٹ کی رفتار کو 16.5325 ہرٹز لکھا گیا ہے۔ اسی طرح

$$T_{140} = \frac{e_q I_q}{\omega} = \frac{408.3458 \times 133.084}{2 \times \pi \times 16.399} = 527\,\mathrm{N\,m}$$
$$T_{210} = \frac{e_q I_q}{\omega} = \frac{404.8458 \times 203.084}{2 \times \pi \times 16.26} = 805\,\mathrm{N\,m}$$

یہ نتائج شکل 8.20 میں ترسیم کئے گئے ہیں۔

فرہنگ

ampere-turn, 32
armature coil, 133, 255
axle, 163

carbon bush, 179
cartesian system, 3
charge, 9, 138
circuit breaker, 180
coercivity, 44
coil
    high voltage, 56
    low voltage, 56
    primary, 55
    secondary, 55
commutator, 167, 245
conductivity, 25
conservative field, 110
core, 55, 128
core loss, 62
core loss component, 64
Coulomb's law, 9
cross product, 13
cross section, 8
current
    transformation, 66
cylindrical coordinates, 5

delta connected, 93
design, 197
differentiation, 18
dot product, 16

E,I, 62
earth, 95
eddy current loss, 62
eddy currents, 62, 128
electric field
    intensity, 10
electrical rating, 59
electromagnet, 132
electromotive force, 61, 139
emf, 139
enamel, 62
energy, 42
Euler, 21
excitation, 61
excitation current, 51, 60, 61
excitation voltage, 61
excited coil, 61

Faraday's law, 37, 127
field coil, 133, 255
flux, 29
Fourier series, 63, 143
frequency, 132
fundamental, 144
fundamental component, 64

generator
    ac, 162
ground current, 95
ground wire, 95

harmonic, 144
harmonic components, 64

parallel connected, 257
permeability, 25
    relative, 26
phase current, 95
phase difference, 23
phase voltage, 95
phasor, 21
pole
    non-salient, 141
    salient, 141
power, 42
power factor, 23
    lagging, 23
    leading, 23
power factor angle, 23
power-angle law, 190
primary
    side, 55

rating, 97, 98
rectifier, 167
relative permeability, 26
relay, 103
reluctance, 26
residual magnetic flux, 44
resistance, 25
rms, 48, 166
rotor coli, 106
rpm, 158

saturation, 45
scalar, 1
self excited, 255
self flux linkage, 41
self inductance, 41
separately excited, 255
side
    secondary, 55
single phase, 23, 59
slip, 211
slip rings, 178, 233
star connected, 93

Henry, 38
hunting, 180
hysteresis loop, 45

impedance transformation, 72
in-phase, 70
induced voltage, 37, 48, 61
inductance, 38

Joule, 42

lagging, 22
laminations, 31, 62, 128
leading, 22
leakage inductance, 79
leakage reactance, 79
line current, 95
line voltage, 95
linear circuit, 228
load, 99
Lorentz law, 138
Lorenz equation, 104

magnetic constant, 25
magnetic core, 31
magnetic field
    intensity, 11, 32
magnetic flux
    density, 32
    leakage, 79
magnetizing current, 64
mmf, 29
model, 82, 209
mutual flux linkage, 41
mutual inductance, 41

name plate, 98
non-salient poles, 179

Ohm's law, 26
open circuit test, 87
orthonormal, 3

stator coil, 106, 129
steady state, 177
step down transformer, 58
step up transformer, 58
surface density, 11
synchronous, 132
synchronous inductance, 186
synchronous speed, 158, 178

Tesla, 32
theorem
    maximum power transfer, 231
Thevenin theorem, 228
three phase, 59, 93
time period, 101, 144
torque, 168, 211
    pull out, 180
transformer
    air core, 59
    communication, 59
    ideal, 65
transient state, 177

unit vector, 2

VA, 75
vector, 2
volt, 139
volt-ampere, 75
voltage, 139
    DC, 167
    transformation, 66

Watt, 42
Weber, 32
winding
    distributed, 142
winding factor, 149

ابتدائی
    جانب، 55
    لچھا، 55
ارتباط بہاو، 37
اضافی
    زاویائی رفتار، 214
اکائی سمتیہ، 2
امالہ، 38
امالی برقی دباؤ، 37، 48،
اوہم میٹر، 240
ایک، تین پتریاں، 62
ایک مرحلہ، 59
ایمپیئر-چکر، 32

بار، 138
برقرار چالو، 101، 177
برقی بار، 9، 138
برقی دباؤ، 28، 139
    تبادلہ، 56، 66
    محرک، 139
    ہیجانی، 187
    یک سمتی، 167
برقی رو، 28
    بھنور نما، 128
    تبادلہ، 66
    ہیجان انگیز، 51
برقی سکت، 59
برقی میدان، 10
    شدت، 10، 27
بش، 179
بناوٹ، 87
بنیادی جزو، 64، 144
بوجھ، 99
بھٹی، 116
بھنور نما
    برقی رو، 62
    ضیاع، 62
بھنور نما برقی رو، 128
بے بوجھ، 60

پتری، 31، 128

پتریاں، 62
پورا بوجھ، 199
پیچھے، 80
پیش زاویہ، 22

تاخیری زاویہ، 22
تار کی برقی دباؤ، 95
تار کی برقی رو، 95
تانبا، 28
تبادلہ
رکاوٹ، 72
تختی، 98
تدریجی تفرق، 115
تعدد، 132
تعقب، 180
تفرق، 18
جزوی، 18
تکمل، 19
تکونی جوڑ، 93
توانائی، 42
تین مرحلہ، 59، 93

ٹرانسفارمر
برقی دباؤ، میٹر، 59
بوجھ بردار، 69
خلائی قالب، 59
دباؤ بڑھاتا، 58
دباؤ گھٹاتا، 58
ذرائع ابلاغ، 59
رو، میٹر، 59
کامل، 65
ٹسلا، 32
ٹھنڈی تار، 95

ثانوی جانب، 55

جاول، 42
جزو
پھیلاو، 149
جزوطاقت، 23
پیش، 23
تاخیری، 23

جنریٹر
بدلتی رو، 162
جوڑ
تکونی، 93
ستارہ نما، 93

چکر فی منٹ، 128
چوٹی، 213

خطی
برقی دور، 228
خودارتباط بہاو، 41
خودامالہ، 41

داخلی ہیجان
سلسلہ وار، 257
متوازی، 257
مرکب، 257
دورجڑی مرکب، 257
دورشکن، 180
دوری عرصہ، 101، 144
دھرا، 163

رستا
امالہ، 79
متعاملہ، 79
رستامتعاملیت، 219
رفتار
اضافی زاویائی، 214
روغن، 62
ریاضی نمونہ، 82، 209
رِیلے، 103

زاویہ جزوطاقت، 23
زمین، 95
زمینی برقی رو، 95
زمینی تار، 95

ساکن لچھا، 106، 129
ستارہ نماجوڑ، 93
سرک، 211
سرک چھلے، 178، 233

سطحی تکمل، 183
سطحی کثافت، 11
سکت، 97، 98
سلسلہ وار، 147
سمت کار، 245
برقیاتی، 167
میکانی، 167
سمتیہ، 2
عمودی اکائی، 3
سمتی رفتار، 104
سیرابیت، 45

ضرب صلیبی، 13
ضرب نقطہ، 16

طاقت، 42
طاقت بالمقابل زاویہ، 190
طول موج، 19

عارضی صورت، 177
عمودی تراش، 8
رقبہ، 8

غیر معاصر، 180

فوریئر، 254
فوریئر تسلسل، 63، 143
فیراڈے
قانون، 37، 127

قالب، 128
قالبی ضیاع، 62
جزو، 64
قانون
اوہم، 26
کولمب، 9
لوریز، 138
قدامت پسند میدان، 110
قریب جڑی مرکب، 257
قطب
ابھرے، 141، 179
ہموار، 141، 179

قوت مروڑ، 168، 211
انتہائی، 180
قوی الیکٹرانکس، 209، 245
قوی لچھے، 255

کاربن بش، 179
کارگزاری، 203
کپیسٹر، 196
کثافت
برقی رو، 27
کثافت مقناطیسی بہاو
بقایا، 44
کسر دور، 38

گرم تار، 95
گھومتا لچھا، 106

لچھا
ابتدائی، 55
چھلے، 142
پیچدار، 39
ثانوی، 55
زیادہ برقی دباؤ، 56
ساکن، 106
سمت، 135
قوی، 133
کم برقی دباؤ، 56
گھومتا، 106
میدانی، 133

محدد
کارتیسی، 3
نلکی، 5
محرک برقی دباؤ، 61
محور، 163
مخلوط عدد، 194
مرحلی سمتیہ، 21، 188
مرحلی فرق، 23
مرکب جنریٹر، 257
مزاحمت، 25
مساوات لوریز، 104

مسئلہ
تھونن،228
زیادہ سے زیادہ طاقت کی منتقلی،
مشترکہ ارتباط امالہ،41
مشترکہ امالہ،41
معاصر،132
معاصر امالہ،186
معاصر رفتار،158،178
معائنہ
کھلے دور،87
مقداری،1
مقناطیس
برقی،132
چال کا دائرہ،45
خاتم شدت،44
مقناطیسی برقی رو،64
مقناطیسی بہاو،29
رستا،79
کثافت،32
مقناطیسی چال،51
مقناطیسی دباؤ،29
سمت،143
مقناطیسی قالب،31،55
مقناطیسی مستقل،25،168
جزو،26،30
مقناطیسی میدان
شدت،11،32
موثر،19،48
موثر قیمت،166
موسیقائی جزو،64،144
موصلیت،25
میدانی لچھے،255

واٹ،42
وولٹ،139
وولٹ-ایمپیئر،75
ویبر،32
ویبر-چکر،37

ہچکچاہٹ،26،29
ہم قدم،70

ہیجان،61
بیرونی،255
خود،255
لچھا،61
ہیجان انگیز
برقی دباؤ،61
برقی رو،61
ہیجان انگیز برقی رو،60
ہیجانی برقی دباؤ،187

یک سمتی رو
مشین،245
یک مرحلہ،23
یک مرحلہ برقی دباؤ،95
یک مرحلہ برقی رو،95
یولر مساوات،21