

برقی آلات

خالد خان یوسفزئی

جامعہ کامیٹ، اسلام آباد

khalidyoufazai@comsats.edu.pk

تاریخ درستی: 12 مئی 2020

عنوان

ix

دیباچہ

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

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

55	3	ٹرانسفارمر
56	3.1	ٹرانسفارمر کی اہمیت
59	3.2	ٹرانسفارمر کے اقسام
59	3.3	امالی برقی دباؤ
61	3.4	ہیجان انگیز برقی رد اور قابلی ضیاع
64	3.5	تبادلہ برقی دباؤ اور تبادلہ برقی رو کے خواص
68	3.6	ثانوی جانب بوجھ کا ابتدائی جانب اثر
69	3.7	ٹرانسفارمر کی علامت پر نقطوں کا مطلب
70	3.8	رکاوٹ کا تبادلہ
75	3.9	ٹرانسفارمر کا وولٹ-کمپیئر
77	3.10	ٹرانسفارمر کے امالہ اور مساوی ادوار
77	3.10.1	لچھے کی مزاحمت اور اس کی متعاملہ علیحدہ کرنا
79	3.10.2	رستا امالہ
80	3.10.3	ثانوی برقی رد اور قالب کے اثرات
81	3.10.4	ثانوی لچھے کا امالی برقی دباؤ
81	3.10.5	ثانوی لچھے کی مزاحمت اور متعاملہ کے اثرات
83	3.10.6	رکاوٹ کا ابتدائی یا ثانوی جانب تبادلہ
85	3.10.7	ٹرانسفارمر کے سادہ ترین مساوی ادوار
86	3.11	کھلے دور معائنہ اور کسر دور معائنہ
87	3.11.1	کھلا دور معائنہ
89	3.11.2	کسر دور معائنہ
93	3.12	تین دوری ٹرانسفارمر
101	3.13	ٹرانسفارمر چالو کرتے لمحہ زیادہ محرکی برقی رو کا گزر

103	4	برقی اور میکانی توانائی کا باہمی تبادلہ
103	4.1	مقناطیسی نظام میں قوت اور قوت مروڑ
109	4.2	تبادلہ توانائی والا ایک لچھے کا نظام
115	4.3	توانائی اور ہم-توانائی
119	4.4	متعدد لچھوں کا مقناطیسی نظام
129	5	گھومتے مشین کے بنیادی اصول
129	5.1	قانون فیئرڈے
130	5.2	معاصر مشین
141	5.3	محرک برقی دباؤ
144	5.4	پھیلے لچھے اور سائن نما مقناطیسی دباؤ
146	5.4.1	بدلتارو مشین
155	5.5	مقناطیسی دباؤ کی گھومتی امواج
155	5.5.1	ایک دور کی لپٹی مشین
156	5.5.2	تین دور کی لپٹی مشین کا تحلیلی تجزیہ
161	5.5.3	تین دور کی لپٹی مشین کا تریسی تجزیہ
164	5.6	محرک برقی دباؤ
165	5.6.1	بدلتارو برقی جزیئر
170	5.6.2	یک سمت رو برقی جزیئر
170	5.7	ہموار قطب مشینوں میں قوت مروڑ
171	5.7.1	میکانی قوت مروڑ بذریعہ ترکیب توانائی
173	5.7.2	میکانی قوت مروڑ بذریعہ مقناطیسی بہاؤ

179	6 یکساں حال، برقرار چالو معاصر مشین
180	6.1 متعدد دوری معاصر مشین
183	6.2 معاصر مشین کے امالہ
184	6.2.1 خود امالہ
185	6.2.2 مشترکہ امالہ
187	6.2.3 معاصر امالہ
189	6.3 معاصر مشین کا مساوی دور یا ریاضی نمونہ
191	6.4 برقی طاقت کی منتقلی
196	6.5 یکساں حال، برقرار چالو مشین کے خواص
196	6.5.1 معاصر جزیر: برقی بوجھ بالقابل I_m کے خط
197	6.5.2 معاصر موٹر: I_a بالقابل I_m کے خط
199	6.6 کھلا دور اور کسر دور معائنہ
199	6.6.1 کھلا دور معائنہ
200	6.6.2 کسر دور معائنہ

- 7.1 ساکن لچھوں کی گھومتی مقناطیسی موج 212
- 7.2 مشین کا سر کا داور گھومتی امواج پر تبصرہ 212
- 7.3 ساکن لچھوں میں امالی برقی دباؤ 215
- 7.4 ساکن لچھوں کی موج کا گھومتے لچھوں کے ساتھ اضافی رفتار اور ان میں پیدا امالی برقی دباؤ 215
- 7.5 گھومتے لچھوں کی گھومتی مقناطیسی دباؤ کی موج 219
- 7.6 گھومتے لچھوں کے مساوی فرضی ساکن لچھے 220
- 7.7 امالی موٹر کا مساوی برقی دور 221
- 7.8 مساوی برقی دور پر غور 226
- 7.9 امالی موٹر کا مساوی تھون دور یا ریاضی نمونہ 230
- 7.10 پنجرہ نما امالی موٹر 236
- 7.11 بے بوجھ موٹر اور جامد موٹر کے معائنہ 237
- 7.11.1 بے بوجھ موٹر کا معائنہ 237
- 7.11.2 جامد موٹر کا معائنہ 239

- 8.1 میکانی سمت کار کی بنیادی کارکردگی 245
- 8.1.1 میکانی سمت کار کی تفصیل 247
- 8.2 یک سمت جزیرہ کار برقی دباؤ 252
- 8.3 قوت مروڑ 254
- 8.4 بیرونی پیمان اور خود پیمان یک سمت جزیرہ 255
- 8.5 یک سمت مشین کی کارکردگی کے خط 260
- 8.5.1 حاصل برقی دباؤ بالمتقابل برقی بوجھ 260
- 8.5.2 رفتار بالمتقابل قوت مروڑ 262

باب 7

امالی مشین

قوی برقیات¹ کی میدان میں ترقی کی بنا امالی موٹروں کی رفتار پر قابو رکھنا ممکن ہوا اور یوں ان موٹروں نے کارخانوں میں ایک سمت رو موٹروں کی جگہ لینا شروع کیا۔ اس سے پہلے جہاں بھی موٹر کی رفتار اہم ہوتی وہاں ایک سمت رو موٹر استعمال ہوتی جن کی رفتار پر قابو رکھنا نہایت آسان ہوتا ہے۔ پچاس سال قبل ترقی یافتہ ممالک میں ایک سمت موٹر کی جگہ امالی موٹر کا استعمال شروع ہوا۔ آج میں بھی تبدیلی پاکستان میں دیکھ رہا ہوں۔ امالی موٹروں کی مضبوطی اور دیر پا کام کرنے کی صلاحیت مثالی ہے۔ قوی الیکٹرانکس نے ان کی رفتار کو قابو کر کے بلا مقابلہ بنا دیا۔

امالی موٹر درحقیقت ٹرانسفارمر کی دوسری صورت ہے یا یوں کہنا بہتر ہو گا کہ یہ ایک ایسا ٹرانسفارمر ہے جس کا ثانوی لچھا حرکت بھی کرتا ہے۔ یوں امالی موٹر کے ساکن لچھے ٹرانسفارمر کے ابتدائی لچھے اور موٹر کے گھومتے لچھے ٹرانسفارمر کے ثانوی لچھے تصور کیے جاسکتے ہیں۔ موٹر کے ساکن لچھوں کو بیرونی برقی طاقت فراہم کی جاتی ہے جبکہ خلاء میں گھومتے مقناطیسی موج سے پیدا گھومتے لچھوں میں امالی برقی دباؤ ان لچھوں کو طاقت فراہم کرتا ہے۔ اسی کی بنا ان کو امالی موٹر² کہتے ہیں

اس باب کا مقصد امالی موٹر کے مساوی دور (ریاضی نمونہ)³ کا حصول اور موٹر کی خواص پر غور کرنا ہے۔ ہم دیکھیں گے کہ ان کا مساوی دور ٹرانسفارمر کے مساوی دور کی طرح ہو گا۔

power electronics¹
induction motor²
mathematical model³

ہم فرض کریں گے کہ موٹر دو قطبی، تین دوری، ستارہ جڑی ہے۔ اس طرح یک دوری لچھوں کا برقی رو، تار برقی رو ہو گا اور یک دوری برقی دباؤ $\frac{\dot{V}_E}{\sqrt{3}}$ ہو گا۔ ایسا کرنے سے مسئلے پر غور کرنا آسان ہو گا جبکہ نتیجہ کسی بھی موٹر کے لئے کارآمد ہو گا۔

7.1 ساکن لچھوں کی گھومتی مقناطیسی موج

امالی مشین کے ساکن لچھے بالکل معاصر مشین کے ساکن لچھوں کی طرح ہوتے ہیں۔ مزید گھومتے حصہ اور ساکن لچھوں کے قطبین کی تعداد ایک جیسی ہو گی۔ ساکن لچھوں کو متوازن تین دوری برقی رو سے پہچان کرنے سے گھومتے مقناطیسی دباؤ کی ایک موج پیدا ہو گی۔ مساوات 5.49 اس موج کو ظاہر کرتی ہے جبکہ مساوات 5.53 اس کی معاصر رفتار دیتی ہے جس کو یہاں f_s لکھا گیا ہے۔ یہ دونوں مساوات یہاں یاد دہانی کے لئے دوبارہ پیش کرتے ہیں۔ یہاں ساکن لچھوں میں برقی رو کا تعدد ω_e لکھا گیا ہے اور α صفر لیا گیا ہے۔

$$\begin{aligned} \tau_s^+(\theta, t) &= \frac{3\tau_0}{2} \cos(\theta - \omega_e t) \\ f_s &= \frac{2}{P} f_e \end{aligned} \quad (7.1)$$

7.2 مشین کا سرکاو اور گھومتی امواج پر تبصرہ

ہم دو قطب کی مشین پر غور کر رہے ہیں جو P قطبی مشین کے لئے بھی درست ہے۔ ساکن لچھوں میں تین دوری برقی رو کا تعدد f_e ہے۔ مساوات 5.53 کہتی ہے کہ دو قطبی مشین میں موج کی معاصر رفتار بھی f_e چکر فی سیکنڈ ہو گی۔ اب تصور کریں مشین کا گھومتا حصہ، f میکانی چکر فی سیکنڈ کی رفتار سے موج کے رخ گھوم رہا ہے جہاں $f < f_s$ ہے۔ یوں ہر سیکنڈ گھومتا حصہ مقناطیسی بہاؤ کی موج سے $f_s - f$ پیچھے سرک جائے گا۔ اس سرکنے کو موج کی معاصر رفتار کی نسبت سے درج ذیل لکھا جاتا ہے۔

$$s = \frac{f_s - f}{f_s} = \frac{f_e - f}{f_e} \quad (7.2)$$

یہاں s مشین کے سرکاو⁴ کی ناپ ہے۔ اس مساوات سے درج ذیل حاصل ہو گا۔

$$(7.3) \quad \begin{aligned} f &= f_s(1-s) = f_e(1-s) \\ \omega &= \omega_s(1-s) = \omega_e(1-s) \quad (2\pi \text{ سے ضرب دیا گیا ہے}) \end{aligned}$$

یہاں غور کیجیے گا۔ مقناطیسی بہاو کی موج f_e تعدد سے گھوم رہی ہے جبکہ گھومتا لچھا f تعدد سے گھوم رہا ہے۔ گھومتے لچھا کے حوالہ سے مقناطیسی بہاو کی موج $(f_e - f)$ رفتار سے گھوم رہی ہے، یعنی، گھومتے لچھے کو ساکن تصور کرنے سے گھومتے مقناطیسی بہاو کی موج $(f_e - f)$ اضافی رفتار سے گھومتی نظر آئے گی۔ یوں گھومتے لچھا میں امالی برقی دباؤ کا تعدد بھی $(f_e - f)$ ہو گا۔ مساوات 7.3 کی مدد سے اس امالی برقی دباؤ کا (اضافی) تعدد f_z درج ذیل لکھا جاسکتا ہے۔

$$(7.4) \quad f_z = f_e - f = f_e - f_e(1-s) = sf_e$$

مشین بطور امالی موٹر استعمال کرنے کے لئے گھومتے لچھے کسر دور کیے جائیں گے۔ ان کسر دور لچھوں میں برقی رو کا تعدد sf_e اور رو کی قیمت لچھوں میں پیدا امالی برقی دباؤ اور لچھوں کی رکاوٹ پر منحصر ہو گی۔ لچھوں کی رکاوٹ برقی رو کے تعدد پر منحصر ہو گی۔

ساکن موٹر جب چالو کی جائے تو اس کا سرکاو s اکائی ($s = 1$) ہو گا لہذا گھومتے لچھوں میں برقی رو کا تعدد f_e ہو گا۔ گھومتے لچھوں میں f_e تعدد کا برقی رو ایک گھومتی مقناطیسی دباؤ کی موج پیدا کرے گا جو معاصر رفتار سے گھومے گی۔ یہ بالکل اسی طرح ہے جیسا ساکن لچھوں میں برقی رو سے گھومتے مقناطیسی دباؤ کی موج وجود میں آتی ہے۔ یوں موٹر چالو کرنے کے لمحہ پر ساکن اور گھومتے لچھوں کے مقناطیسی دباؤ کی امواج ایک جیسی رفتار سے گھومتی ہیں۔ مقناطیسی دباؤ کی یہ امواج دو گھومتے مقناطیسیوں کی طرح کوشش کرتی ہیں کہ ان کے بیچ زاویہ صفر ہو۔ یوں موٹر قوت⁵ مروجہ پیدا کرتی ہے جسے مساوات 5.92 میں پیش کیا گیا ہے۔ اگر موٹر کے دھڑے پر لدے بوجھ کو مشین کی پیدا کردہ قوت مروجہ 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 دباؤ کی موج ساکن ہو گی اور گھومتے لچھوں میں کوئی امالی برقی دباؤ پیدا نہیں ہو گا۔

جب موٹر چل پڑتی ہے تو اس کے گھومتے لچھوں کے برقی رو کا تعدد sf_e ہو گا۔ ان برقی رو سے پیدا مقناطیسی دباؤ کی موج گھومتے لچھے کے حوالہ سے sf_e رفتار سے گھومے گی۔ اب گھومتا لچھا از خود رفتار f سے گھوم رہا ہو گا لہذا

یہ موج درحقیقت خلاء میں $(f + sf_e)$ رفتار سے گھومے گی۔ مساوات 7.4 سے درج ذیل لکھا جاسکتا ہے جو ایک اہم نتیجہ ہے۔

$$(7.5) \quad f + sf_e = f + f_e - f = f_e$$

یہ مساوات کہتی ہے کہ موٹر جس رفتار سے بھی گھوم رہی ہو، گھومتے لچھوں سے پیدا مقناطیسی دباؤ کی موج ساکن لچھوں سے پیدا مقناطیسی دباؤ کی موج کی رفتار سے ہی گھومے گی۔

مثال 7.1: ایک چار قطب، ستارہ، 50 ہرٹز، 415 وولٹ پر چلنے والی امالی موٹر 15 کلو واٹ کی (پوری) بناوٹی بوجھ پر پانچ فی صد سرکاو پر چلتی ہے۔

- اس موٹر کی معاصر رفتار کتنی گی؟
- پورے بوجھ پر اس کی رفتار کتنی ہو گی؟
- پورے بوجھ پر گھومتے لچھے میں برقی تعدد کتنا ہو گا؟
- پورے بوجھ سے لدے موٹر کی دھرے پر قوت مروڑ کتنی ہو گی؟

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 ہو گی۔

• پورے بوجھ سے لدی موٹر پانچ فی صد سرکاو پر چلتی ہے لہذا اس کی رفتار معاصر رفتار سے 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 حاصل ہوتی ہے۔

• گھومتے لچھے کا برقی تعدد $f_r = 0.05 \times 50 = 2.5$ ہرٹز ہو گا۔

• اس کے دھرے پر قوت مروڑ $T_m = \frac{p}{\omega_m} = \frac{15000}{2 \times \pi \times 23.75} = 100.5 \text{ N m}$ ہو گی۔

□

7.3 ساکن لچھوں میں امالی برقی دباؤ

مساوات 7.1 کا پہلا جزو ساکن لچھوں کی پیدا کردہ مقناطیسی دباؤ کی موج کو ظاہر کرتا ہے۔ یہ مقناطیسی دباؤ مشین کی خلائی درز میں مقناطیسی شدت $H^+(\theta)$ پیدا کرے گی جس سے درز میں کثافت مقناطیس بہاؤ $B^+(\theta)$ پیدا ہو گا۔ خلائی درز کی رداسی رخ لمبائی l_g لیتے ہوئے درج ذیل ہو گا

$$\begin{aligned} B^+(\theta) &= \mu_0 H^+(\theta) = \mu_0 \frac{\tau^+(\theta)}{l_g} \\ (7.6) \quad &= \frac{3\mu_0\tau_0}{2l_g} \cos(\theta - \omega_e t) \\ &= B_0 \cos(\theta - \omega_e t) \end{aligned}$$

جو بالکل مساوات 5.4 کی طرح ہے۔ درج بالا میں $B_0 = \frac{3\mu_0\tau_0}{2l_g}$ لیا گیا ہے۔ یوں مساوات 5.74 مقناطیسی موج $B^+(\theta)$ کی ساکن لچھوں میں پیدا کردہ امالی برقی دباؤ کو ظاہر کرے گی۔ اس مساوات کو یہاں دوبارہ پیش کیا جاتا ہے

$$\begin{aligned} e_{as}(t) &= \omega_e N_s \phi_0 \cos(\omega t + 90^\circ) = E_s \cos(\omega t + 90^\circ) \\ (7.7) \quad e_{bs}(t) &= \omega_e N_s \phi_0 \cos(\omega t - 30^\circ) = E_s \cos(\omega t - 30^\circ) \\ e_{cs}(t) &= \omega_e N_s \phi_0 \cos(\omega t + 210^\circ) = E_s \cos(\omega t + 210^\circ) \end{aligned}$$

جہاں N_s ساکن لچھے کے چکر اور E_s درج ذیل ہے۔

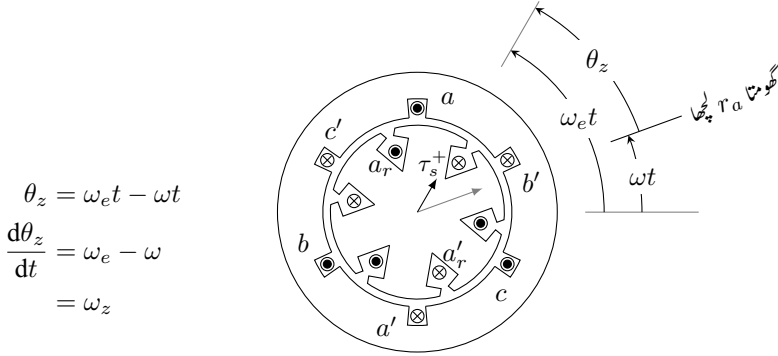
$$(7.8) \quad E_s = \omega_e N_s \phi_0$$

یہاں $e_{as}(t)$ لکھتے ہوئے زیر نوشت میں a ، دور a کو ظاہر کرتا ہے اور s ، ساکن⁶ کو ظاہر کرتا ہے یعنی یہ ساکن a لچھے کا امالی برقی دباؤ ہے۔ امالی موٹر کے دور a کی بات آگے بڑھاتے ہیں۔ گھومتی مقناطیسی دباؤ کی موج اس لچھے میں امالی برقی دباؤ $e_{as}(t)$ پیدا کرتی ہے۔

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

ساکن لچھوں کی پیدا کردہ، گھومتے مقناطیسی دباؤ کی موج (مساوات 7.1) کی چوٹی⁷ اس مقام پر ہو گی جہاں $(\theta - \omega_e t)$ صفر کے برابر ہو۔ یوں لمحہ صفر پر اس کی چوٹی صفر زاویہ $(\theta = 0)$ پر ہو گی اور لمحہ t پر اس موج کی چوٹی زاویہ

⁶ لفظ ساکن میں حرف س کے آواز کو s سے ظاہر کیا گیا ہے۔
⁷ peak



شکل 7.1: امالی موٹر اور اس کے گھومتے مقناطیسی دباؤ کی موجیں۔

$\omega_e t$ پر ہوگی۔ ساکن لچھوں کی مقناطیسی دباؤ کی موج کا زاویہ کسی بھی نقطہ کے حوالے سے ناپا جاسکتا ہے۔ اس کتاب میں ساکن لچھا a کو صفر زاویہ تصور کیا گیا ہے۔ یوں شکل 7.1 میں نقطہ دار افقی لکیر سے زاویہ ناپا جائے گا۔ اس شکل میں ایک امالی موٹر دکھائی گئی ہے جس کے ساکن لچھے تین دوری ہیں۔

مشین f زاویائی رفتار سے گھوم رہی ہے۔ تصور کریں کہ لمحہ صفر یعنی $t = 0$ پر گھومتے حصہ کا a_r لچھا صفر زاویہ پر ہے، یعنی یہ نقطہ دار افقی لکیر پر ہے۔ مزید تصور کریں کہ اس لمحہ ساکن لچھوں کی گھومتی مقناطیسی دباؤ کی موج بھی اسی افقی لکیر پر ہے۔ اب کچھ دیر بعد لمحہ t پر یہ موج زاویہ $\omega_e t$ پر ہوگی۔ اتنی دیر میں گھومتا حصہ گھوم کر زاویہ ωt تک پہنچے گا جہاں $\omega = 2\pi f$ مشین کی زاویائی میکانی رفتار ہے۔ یہ سب شکل 7.1 میں دکھایا گیا ہے۔ لہذا لمحہ t پر موج اور گھومتے لچھے کے بیچ زاویہ θ_z درج ذیل ہوگا۔

$$(7.9) \quad \theta_z = \omega_e t - \omega t$$

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۔ گھومتے لچھے کے حوالے سے موج کی اضافی⁸ زاویائی رفتار⁹ ω_z درج ذیل ہوگی

$$(7.10) \quad \omega_z = \frac{d\theta_z}{dt} = \omega_e - \omega$$

جس کو مساوات 7.4 کی مدد سے درج ذیل لکھا جاسکتا ہے۔

$$(7.11) \quad \omega_z = 2\pi(f_e - f) = 2\pi s f_e = s\omega_e$$

⁸ ω_z لکھتے ہوئے زیر نوشت میں z ، لفظ اضافی کے حرف ض کی آواز کو ظاہر کرتا ہے۔
relative angular speed⁹

یہ مساوات کہتی ہے کہ گھومتے لچھوں کے حوالے سے مقناطیسی موج کی رفتار سرکاو s پر منحصر ہوگی۔ البتہ اس موج کا جیٹ تبدیل نہیں ہوا۔ یوں گھومتے لچھوں کے حوالے سے مساوات 7.6 درج ذیل صورت اختیار کرتی ہے۔

$$(7.12) \quad B_{s,rz}^+(\theta, t) = B_0 \cos(\theta - \omega_z t) = B_0 \cos(\theta - s\omega_e t)$$

میں $B_{s,rz}^+$ کا نشان خلاف گھڑی موج کو ظاہر کرتا ہے جبکہ زیر نوشت میں s, rz اس بات کی یاد دہانی کرتا ہے کہ یہ موج ساکن لچھوں کی وجہ سے وجود میں آئی اور اسے گھومتے یعنی رواں لچھوں کے حوالے سے دیکھا جا رہا ہے۔ مزید، اس مساوات کا تعدد اضافی تعدد $s\omega_e$ کے برابر ہے۔

یوں گھومتے لچھوں میں امالی برقی دباؤ مساوات 7.7 کی طرح ہوں گے لیکن ان میں تعدد $\omega_z = s\omega_e t$ ہوگا:¹¹

$$(7.13) \quad \begin{aligned} e_{arz}(t) &= s\omega_e N_r \phi_0 \cos(s\omega_e t + 90^\circ) = sE_r \cos(s\omega_e t + 90^\circ) \\ e_{brz}(t) &= s\omega_e N_r \phi_0 \cos(s\omega_e t - 30^\circ) = sE_r \cos(s\omega_e t - 30^\circ) \\ e_{crz}(t) &= s\omega_e N_r \phi_0 \cos(s\omega_e t + 210^\circ) = sE_r \cos(s\omega_e t + 210^\circ) \end{aligned}$$

ان مساوات میں N_r گھومتے لچھے کے چکر ہیں اور E_r درج ذیل ہے جو ساکن موٹر ($s = 1$) کے گھومتے لچھے میں برقی دباؤ ہوگا۔

$$(7.14) \quad E_r = \omega_e N_r \phi_0$$

گھومتے لچھوں اور ساکن لچھوں کے امالہ دباؤ کا تناسب مساوات 7.13 اور مساوات 7.7 سے حاصل کرتے ہیں۔

$$(7.15) \quad \frac{\text{گھومتے لچھوں کا امالی دباؤ}}{\text{ساکن لچھوں کا امالی دباؤ}} = \frac{s\omega_e N_r \phi_0}{\omega_e N_s \phi_0} = s \frac{N_r}{N_s}$$

ساکن موٹر کی صورت میں $s = 1$ ہوگا اور یہ مساوات ٹرانسفارمر کی تبادلہ دباؤ کی مساوات دے گی۔

اب تصور کریں گھومتے لچھوں کو کسر دور کر دیا جاتا ہے۔ امالی برقی دباؤ گھومتے لچھوں میں برقی رو i_{arz} ¹²، وغیرہ، پیدا کرے گا جس کا تعدد $s\omega_e$ ہوگا۔ ساکن لچھے کی طرح، گھومتے لچھے کی مزاحمت R_r ¹³ اور امالہ L_r یعنی متعاملیت $j s \omega_e L_r$ ہوگی:

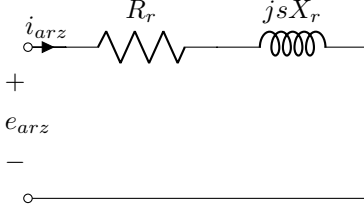
$$(7.16) \quad j s \omega_e L_r = j s X_r$$

¹⁰ 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۔

¹¹ e_{arz} میں دور a ہے۔ گھومتے لچھے کو r اور اضافی کو z ظاہر کرتا ہے۔

¹² یہاں r گھومتے لچھے کو ظاہر کرتا ہے اور z اس بات کی یاد دہانی کرتا ہے کہ اس برقی رو کا تعدد، اضافی تعدد ہے۔

¹³ ٹرانسفارمر کی اصطلاح میں ثانوی لچھے کو زیر نوشت میں 2 سے ظاہر کرتے ہیں۔ یہاں اسے r سے ظاہر کیا جاتا ہے۔



$$Z_r = R_r + j s X_r$$

$$\phi_z = \tan^{-1} \frac{s X_r}{R_r}$$

$$\hat{I}_{arz} = \frac{\hat{E}_{arz}}{Z_r}$$

$$\begin{aligned} i_{arz}(t) &= \frac{s E_r}{|Z|} \cos(s \omega_e t + 90^\circ - \phi_z) \\ &= I_{0r} \cos(s \omega_e t + 90^\circ - \phi_z) \end{aligned}$$

شکل 7.2: گھومتے لچھا کا مساوی دور اور اس میں اضافی تعدد کا رو۔

یہاں $j \omega_e L_r$ کو $j X_r$ لکھا گیا ہے جو گھومتے لچھا کو ساکن ($s = 1$) رکھتے ہوئے گھومتے لچھے کی متعاملیت ہے۔ گھومتے لچھے کا برقی رو i_{arz} شکل 7.2 سے حاصل کیا جاسکتا ہے جہاں گھومتے لچھے کا امالی برقی دباؤ $e_{arz}(t)$ مساوات 7.13 میں پیش کیا گیا ہے۔

شکل 7.2 بالکل شکل 1.15 کی طرح ہے لہذا مساوات 1.50 سے برقی رو حاصل کیے جاسکتے ہیں:

(7.17)

$$i_{arz}(t) = \frac{s E_r}{\sqrt{R_r^2 + s^2 X_r^2}} \cos(s \omega_e t + 90^\circ - \phi_z) = I_{0r} \cos(s \omega_e t + \theta_0)$$

$$i_{brz}(t) = \frac{s E_r}{\sqrt{R_r^2 + s^2 X_r^2}} \cos(s \omega_e t - 30^\circ - \phi_z) = I_{0r} \cos(s \omega_e t - 120^\circ + \theta_0)$$

$$i_{crz}(t) = \frac{s E_r}{\sqrt{R_r^2 + s^2 X_r^2}} \cos(s \omega_e t + 210^\circ - \phi_z) = I_{0r} \cos(s \omega_e t + 120^\circ + \theta_0)$$

یہ تین دوری برقی رو ہیں جو آپس میں 120° زاویہ رکھتے ہیں۔ یہاں ϕ_z رکاوٹ کا زاویہ¹⁴ ہے۔ امید کی جاتی ہے کہ اسے آپ مقناطیسی بہاؤ نہیں سمجھیں گے۔ درج بالا مساوات میں درج ذیل ہوں گے۔

$$\begin{aligned} \theta_0 &= 90 - \phi_z \\ (7.18) \quad I_{0r} &= \frac{s E_r}{\sqrt{R_r^2 + s^2 X_r^2}} \end{aligned}$$

¹⁴ تکنیکی دنیا میں رکاوٹ کے زاویہ کے لئے ϕ_z استعمال ہوتا ہے۔ یہاں یہی کیا گیا ہے۔

فرض کریں شکل 7.2 میں داخلی دباؤ \hat{E}_{arz} برقی دباؤ کی موثر قیمت کو ظاہر کرتی ہے۔ یوں I_{0r} برقی رو کی موثر قیمت ہو گی لہذا ایک گھومتے لچھے کی مزاحمت میں

$$p_r = I_{0r}^2 R_r \quad (7.19)$$

برقی طاقت کا ضیاع ہو گا۔ یہ طاقت حرارت میں تبدیل ہو کر لچھے کو گرم کرے گی۔

7.5 گھومتے لچھوں کی گھومتے مقناطیسی دباؤ کی موج

ہم جانتے ہیں کہ ساکن تین دوری لچھوں میں f_e تعدد کے برقی رو گھومتے مقناطیسی دباؤ کی موج پیدا کرتے ہیں جو ساکن لچھے کے حوالے سے f_e معاصر زاویائی رفتار سے گھومتی ہے۔ اسی طرح گھومتے تین دوری لچھوں میں sf_e تعدد کے برقی رو ایک گھومتے مقناطیسی دباؤ کی موج τ_{rz}^+ پیدا کرتے ہیں جو گھومتے لچھے کے حوالے سے sf_e زاویائی رفتار سے گھومتی ہے۔

$$\tau_{rz}^+(\theta, t) = k_w \frac{4 N_r I_{0r}}{\pi} \cos(\theta - s\omega_e t - \theta_0) \quad (7.20)$$

یہاں I_{0r} اور θ_0 مساوات 7.18 میں دیے گئے ہیں۔ گھومتا لچھا از خود f زاویائی رفتار سے گھوم رہا ہو گا لہذا اس کی پیدا کردہ موج خلائی درز میں $(f + sf_e)$ زاویائی رفتار سے گھومے گی۔ اس رفتار کو مساوات 7.3 کی مدد سے درج ذیل لکھا جا سکتا ہے۔

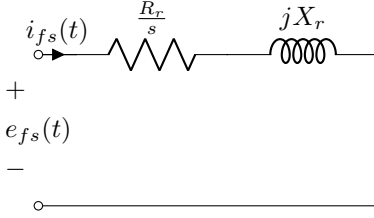
$$f + sf_e = f_e(1 - s) + sf_e = f_e \quad (7.21)$$

یوں گھومتے لچھوں کے مقناطیسی دباؤ کی موج کو ساکن لچھوں کے حوالے درج ذیل لکھا جا سکتا ہے۔

$$\tau_{r,s}^+(\theta, t) = k_w \frac{4 N_r I_{0r}}{\pi} \cos(\theta - \omega_e t - \theta_0) \quad (7.22)$$

میں $\tau_{r,s}^+$ کا نشان گھڑی کے مخالف رخ گھومتی موج کو ظاہر کرتا ہے جبکہ زیر نوشت میں r, s اس بات کی وضاحت کرتا ہے کہ یہ موج گھومتے لچھوں کی وجہ سے وجود میں آیا ہے مگر اسے ساکن لچھوں کے حوالے سے دیکھا جا رہا ہے۔

یہاں ذرا رک کر غور کرتے ہیں۔ مساوات 7.22 کے مطابق گھومتا لچھا خود جس رفتار سے بھی گھوم رہا ہو، اس کی پیدا کردہ موج ساکن لچھے کی پیدا کردہ موج کی رفتار سے ہی گھومے گی۔ یوں مشین میں دو امواج ایک ہی معاصر



$$Z_{fs} = \frac{R_r}{s} + jX_r$$

$$\phi_{fZ} = \tan^{-1} \left(\frac{X_r}{\frac{R_r}{s}} \right)$$

$$= \tan^{-1} \frac{sX_r}{R_r}$$

شکل 7.3: گھومتے لچھوں کی جگہ فرضی ساکن لچھے کا دور۔

رفتار سے گھوم رہی ہوں گی۔ مساوات 5.91 کہتی ہے کہ دو مقناطیسی دباؤ کی موجیں قوت مروڑ پیدا کرتی ہیں جو امواج کی چوٹیوں اور ان کے بیچ زاویہ پر منحصر ہوگی۔ امالی مشین میں موجود دو مقناطیسی امواج قوت مروڑ پیدا کرتی ہیں جس کی قیمت ان امواج کی چوٹیوں اور ان کے بیچ زاویہ پر منحصر ہوگی۔ امالی موٹر، لدے بوجھ کے مطابق امواج کے بیچ زاویہ رکھ کر درکار قوت مروڑ پیدا کرتی ہے۔

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 دوری فرضی ساکن لچھے ہوں تب مساوات 7.7 کی طرح ان میں امالی برقی دباؤ¹⁵

$$(7.23) \quad \begin{aligned} e_{afs}(t) &= \omega_e N_r \phi_0 \cos(\omega_e t + 90^\circ) = E_r \cos(\omega_e t + 90^\circ) \\ e_{bfs}(t) &= \omega_e N_r \phi_0 \cos(\omega_e t - 30^\circ) = E_r \cos(\omega_e t - 30^\circ) \\ e_{cfs}(t) &= \omega_e N_r \phi_0 \cos(\omega_e t + 210^\circ) = E_r \cos(\omega_e t + 210^\circ) \end{aligned}$$

پیدا ہوں گے جہاں $E_r = \omega_e N_r \phi_0$ کے برابر ہے (مساوات 7.14)۔

مزید فرض کریں ان فرضی ساکن لچھوں کی مزاحمت $\frac{R_r}{s}$ اور متعاقبیت jX_r ہے

$$(7.24) \quad Z_{fs} = \frac{R_r}{s} + jX_r$$

¹⁵ ان مساوات میں زیر نوشت میں f لفظ فرضی کے ف کو ظاہر کرتا ہے۔

اور ان فرضی ساکن لچھوں پر مساوات 7.23 کے برقی دباؤ لاگو کیے جاتے ہیں (شکل 7.3)۔ یوں ان میں درج ذیل برقی رو ہوں گے۔

(7.25)

$$\begin{aligned} i_{afs}(t) &= \frac{E_r}{\sqrt{\left(\frac{R_r}{s}\right)^2 + X_r^2}} \cos(\omega_e t + 90^\circ - \phi_Z) = I_{or} \cos(\omega_e t + \theta_0) \\ i_{bfs}(t) &= \frac{E_r}{\sqrt{\left(\frac{R_r}{s}\right)^2 + X_r^2}} \cos(\omega_e t - 30^\circ - \phi_Z) = I_{or} \cos(\omega_e t - 120^\circ + \theta_0) \\ i_{cfs}(t) &= \frac{E_r}{\sqrt{\left(\frac{R_r}{s}\right)^2 + X_r^2}} \cos(\omega_e t + 210^\circ - \phi_Z) = I_{or} \cos(\omega_e t + 120^\circ + \theta_0) \end{aligned}$$

مساوات 7.18 I_{or} اور θ_0 دیتی ہے۔ دھیان رہے کہ ان مساوات میں رکاوٹ کا زاویہ ϕ_{fZ} وہی ہے جو گھومتے لچھے کا تھا:

$$(7.26) \quad \phi_{fZ} = \tan^{-1} \frac{X}{\left(\frac{R}{s}\right)} = \tan^{-1} \frac{sX}{R} = \phi_Z$$

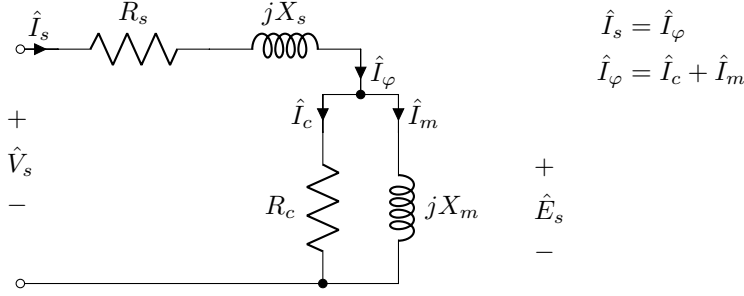
ان رو کا تعدد ω_e اور پیدا کردہ گھومتا مقناطیسی موج درج ذیل ہو گا جو ہو بہو گھومتے لچھے کی موج $\tau_{r,s}^+(\theta, t)$ (مساوات 7.22) ہے۔

$$(7.27) \quad \tau_{f,s}^+(\theta, t) = k_w \frac{4}{\pi} \frac{N_r I_{or}}{2} \cos(\theta - \omega_e t - \theta_0)$$

7.7 امالی موٹر کا مساوی برقی دور

ہم ٹرانسفارمر کے ابتدائی لچھے کا برقی دور پہلے بنا چکے ہیں جہاں لچھے کی مزاحمت R_1 اور رستا متعالیت jX_1 تھی۔ ٹرانسفارمر کے قالب میں وقت کے ساتھ بدلتا مقناطیسی بہاؤ اس لچھے میں امالی برقی دباؤ \hat{E}_1 پیدا کرتا ہے۔ یوں

$$(7.28) \quad \hat{V}_1 = \hat{I}_1 (R_1 + jX_1) + \hat{E}_1$$



شکل 7.4: امالی موٹر کے ساکن لچھوں کا مساوی برقی دور۔

لکھا جاسکتا ہے جہاں \hat{V}_1 ابتدائی لچھے پر لاگو بیرونی برقی دباؤ ہے۔ ہم دیکھیں گے کہ امالی موٹر کے ساکن لچھے کے لئے بھی یہی مساوات حاصل ہوگی۔

تصور کریں کہ مشین کے گھومتے لچھے کھلا دور ہیں اور ساکن لچھوں پر تین دوری برقی دباؤ لاگو ہے۔ ساکن لچھوں کے برقی رو گھومتے مقناطیسی دباؤ کی ایک موج $\tau_s^+(\theta, t)$ پیدا کریں گے جو مساوات 7.1 میں دی گئی ہے۔

اس حصہ میں ہم مشین کے ایک دور، مثلاً دور a ، پر نظر رکھیں گے۔ 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 دباؤ $v_s(t)$ ہو تب کرخوف¹⁷ کے برقی دباؤ کے قانون کے تحت درج ذیل ہوگا

$$(7.29) \quad v_s(t) = i_s R_s + L_s \frac{di_s}{dt} + e_s(t)$$

جہاں $e_s(t)$ ، مساوات 7.7 میں دی گئی، اس موج کی ساکن لچھے میں پیدا امالی برقی دباؤ ہے۔ اسی کو دوری سمتیہ کی صورت میں لکھتے ہیں۔

$$(7.30) \quad \hat{V}_s = \hat{I}_s (R_s + jX_s) + \hat{E}_s$$

ٹرانسفارمر کی مثال آگے بڑھاتے ہیں۔ اگر موٹر کا گھومتا لچھا کھلا دور¹⁸ رکھا جائے تب قالب میں ایک ہی گھومتے مقناطیسی دباؤ کی موج $\tau_s^+(\theta, t)$ ہوگی۔ صرف ساکن لچھے میں برقی رو (\hat{I}_ϕ) ہوگا جو قالب میں مقناطیسی بہاؤ φ_s پیدا کرے گا۔ یہ برقی رو \hat{I}_ϕ غیر سائن نما ہوگا۔ فوریئر تسلسل¹⁹ کی مدد سے اس کے بنیادی اور ہارمونی اجزاء دریافت

¹⁶leakage reactance

¹⁷Kirchoff's voltage law

¹⁸open circuited

¹⁹Fourier series

کئے جاسکتے ہیں۔ اس کے بنیادی جزو کے دو حصے ہوں گے۔ ایک حصہ \hat{I}_c ، لاگو بیرونی برقی دباؤ \hat{V}_s کے ہم قدم اور قالب میں طاقت کے ضیاع کو ظاہر کرے گا جبکہ دوسرا حصہ \hat{V}_s سے نوے درجہ تاخیری زاویہ پر ہو گا۔ \hat{I}_φ میں سے \hat{I}_c منفی کر کے مقناطیسی جزو حاصل ہو گا جس کو \hat{I}_m سے ظاہر کیا جاتا ہے۔ بنیادی جزو کے لحاظ سے مقناطیسی جزو تاخیری اور باقی سارے ہارمونی اجزاء کا مجموعہ ہو گا

$$(7.31) \quad \hat{I}_\varphi = \hat{I}_c + \hat{I}_m$$

جو قالب میں مقناطیسی بہاؤ φ_s پیدا کرتا ہے۔ امالی موٹر کے مساوی دور میں \hat{I}_c کو مزاحمت R_c سے اور \hat{I}_m کو jX_φ سے یوں ظاہر کیا جاتا ہے کہ چلتی موٹر میں، متوقع برقی تعدد اور امالی برقی دباؤ \hat{E}_s پر، R_c میں I_c اور X_m میں I_m برقی رو حاصل ہو۔ یوں درج ذیل ہو گا۔

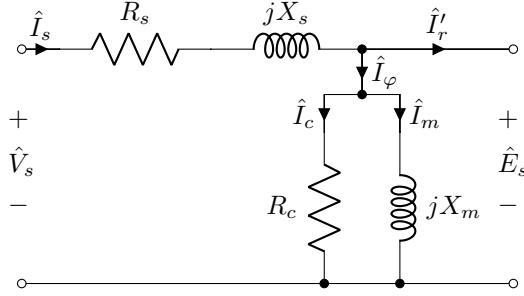
$$(7.32) \quad R_c = \frac{\hat{E}_s}{\hat{I}_c} = \frac{E_s}{I_c}$$

$$X_\varphi = \frac{|\hat{E}_s|}{|\hat{I}_m|} = \frac{E_s}{I_m}$$

مقناطیسی دباؤ کی موج $\tau_s^+(\theta, t)$ گھومتے لچھے میں بھی امالی برقی دباؤ پیدا کرے گی۔ مساوات 7.30 میں اگر رکاوٹ میں برقی دباؤ کے گٹھے کو نظر انداز کیا جائے تب لاگو بیرونی برقی دباؤ اور لچھے کا اندرونی امالی برقی دباؤ ہر حالت میں ایک دوسرے کے برابر ہوں گے۔ اب تصور کریں کہ گھومتے لچھے کسر دور کر دیے جاتے ہیں۔ ایسا کرتے ہی ان میں برقی رو گزرنے لگے گی جو مقناطیسی دباؤ کی موج $\tau_{r,s}^+(\theta, t)$ ، جو مساوات 7.22 میں دی گئی ہے، پیدا کریں گے۔ اس موج سے ساکن لچھے میں امالی برقی دباؤ \hat{E}_s تبدیل ہو گا لہذا امالی برقی دباؤ اور لاگو برقی دباؤ ایک دوسرے کے برابر نہیں رہیں گے۔ یہ ایک نامکنہ صورت حال ہے۔

ساکن لچھے میں امالی برقی دباؤ، لاگو برقی دباؤ کے برابر تب رہے گا جب قالب میں مقناطیسی دباؤ تبدیل نہ ہو۔ مشین کے قالب میں مقناطیسی دباؤ برقرار یوں رہتا ہے کہ ساکن لچھے، مقناطیسی دباؤ $\tau_{r,s}^+(\theta, t)$ کی متضاد، مقناطیسی دباؤ کی ایک موج پیدا کرتے ہیں جو $\tau_{r,s}^+(\theta, t)$ کے اثر کو مکمل طور پر ختم کر دیتی ہے۔ یہ موج پیدا کرنے کے لئے ساکن لچھوں میں برقی رو \hat{I}_φ سے بڑھ کر $(\hat{I}_\varphi + \hat{I}_r)$ ہو جاتے ہیں جہاں اضافی برقی رو درج ذیل ہوں گے۔

$$(7.33) \quad \begin{aligned} i'_{ar}(t) &= I'_{or} \cos(\omega_e t + \theta_0) \\ i'_{br}(t) &= I'_{or} \cos(\omega_e t - 120^\circ + \theta_0) \\ i'_{cr}(t) &= I'_{or} \cos(\omega_e t + 120^\circ + \theta_0) \end{aligned}$$



شکل 7.5: مساوی دوراضانی برقی رو کے ساتھ۔

یہ اضافی برقی رو درج ذیل موج پیدا کرتے ہیں۔

$$(7.34) \quad \tau_{(r)}^+(\theta, t) = k_w \frac{4 N_s I_{0r}}{\pi} \cos(\theta - \omega_e t - \theta_0)$$

ساکن لچھوں میں اضافی برقی رو نے ہر لمحہ گھومتے لچھوں کے برقی رو کے اثر کو ختم کرنا ہے لہذا یہ دونوں برقی رو ہم قدم²⁰ ہوں گے۔ چونکہ مساوات 7.34 اور مساوات 7.22 ہر لمحہ ایک دوسرے کے برابر ہیں لہذا درج ذیل ہو گا۔

$$(7.35) \quad N_s I_{0r}' = N_r I_{0r}$$

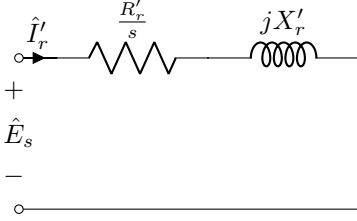
مساوات 7.18 کی استعمال سے درج ذیل ہو گا۔

$$(7.36) \quad I_{0r}' = \left(\frac{N_r}{N_s} \right) I_{0r} = \left(\frac{N_r}{N_s} \right) \frac{s E_r}{\sqrt{R_r^2 + s^2 X_r^2}}$$

آپ نے دیکھا کہ گھومتے لچھے مقناطیسی دباؤ 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 دباؤ سے برقی رو لیتی ہیں۔ یہاں تک امالی موٹر کا مساوی برقی دور شکل 7.5 میں دکھایا گیا ہے۔ یہاں ذرہ شکل 7.6 سے رجوع کریں جہاں

$$(7.37) \quad R_r' = \left(\frac{N_s}{N_r} \right)^2 R_r$$

$$X_r' = \left(\frac{N_s}{N_r} \right)^2 X_r$$



$$i'_a(t) = \frac{E_s}{\sqrt{\left(\frac{R'_r}{s}\right)^2 + X_r'^2}} \cos(\omega_e t - \theta_0 - \phi_z)$$

$$= \frac{sE_s}{\sqrt{R_r'^2 + s^2 X_r'^2}} \cos(\omega_e t - \theta_0 - \phi_z)$$

شکل 7.6: گھومتے لچھے کا ایک مساوی دور۔

پر ساکن لچھوں کا امالی برقی دباؤ \hat{E}_s لاگو ہے لہذا برقی رو درج ذیل ہوں گے۔

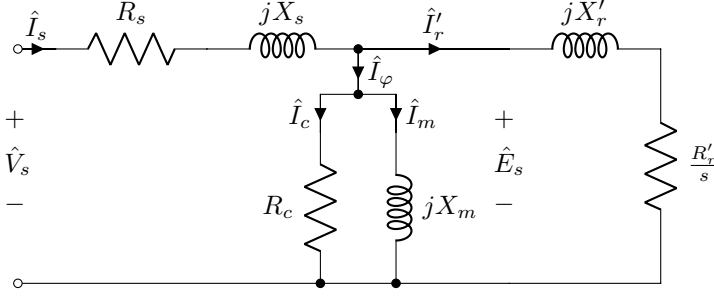
$$(7.38) \quad \begin{aligned} i'_a(t) &= \frac{sE_s}{\sqrt{R_r'^2 + s^2 X_r'^2}} \cos(\omega_e t + 90^\circ - \phi_z) \\ i'_b(t) &= \frac{sE_s}{\sqrt{R_r'^2 + s^2 X_r'^2}} \cos(\omega_e t - 30^\circ - \phi_z) \\ i'_c(t) &= \frac{sE_s}{\sqrt{R_r'^2 + s^2 X_r'^2}} \cos(\omega_e t + 210^\circ - \phi_z) \end{aligned}$$

ان سب کے حیطے ایک دوسرے کے برابر ہیں جنہیں

$$(7.39) \quad \begin{aligned} \frac{sE_s}{\sqrt{R_r'^2 + s^2 X_r'^2}} &= \frac{s\omega_e N_s \phi_0}{\sqrt{\left(\frac{N_s}{N_r}\right)^4 (R_r^2 + s^2 X_r^2)}} \quad (\text{مساوات 7.8، مساوات 7.37}) \\ &= \left(\frac{N_r}{N_s}\right)^2 \frac{s\omega_e N_s \phi_0}{\sqrt{R_r^2 + s^2 X_r^2}} \\ &= \frac{N_r}{N_s} \frac{s\omega_e N_r \phi_0}{\sqrt{R_r^2 + s^2 X_r^2}} \quad (N_s \text{ کاٹا گیا ہے}) \\ &= \frac{N_r}{N_s} \frac{sE_r}{\sqrt{R_r^2 + s^2 X_r^2}} \quad (\text{مساوات 7.14}) \\ &= \left(\frac{N_r}{N_s}\right) I_{0r} = I'_{0r} \quad (\text{مساوات 7.36}) \end{aligned}$$

لکھ کر مساوات 7.38 کو درج ذیل صورت اختیار کرتی ہیں۔

$$(7.40) \quad \begin{aligned} i'_a(t) &= I'_{0r} \cos(\omega_e t + 90^\circ - \phi_z) \\ i'_b(t) &= I'_{0r} \cos(\omega_e t - 30^\circ - \phi_z) \\ i'_c(t) &= I'_{0r} \cos(\omega_e t + 210^\circ - \phi_z) \end{aligned}$$



شکل 7.7: امالی موٹر کا مساوی برقی دور۔

یہ مساوات بالکل مساوات 7.33 کی طرح ہے جہاں $\theta_0 = 90 - \phi_Z$ ہو گا۔ یوں شکل 7.5 میں ساکن لچھوں کے امالی برقی دباؤ \hat{E}_s کے متوازی شکل 7.6 جوڑنے سے ساکن لچھوں میں اضافی برقی رواتنا ہی ہو گا جتنا اصل موٹر میں گھومتے لچھوں کی بنا ہو گا۔ ایسا کرتے ہوئے شکل 7.7 حاصل ہوتی ہے جو امالی موٹر کا مساوی برقی دور ہے اور جو امالی موٹر کی صحیح عکاسی کرتا ہے۔

7.8 مساوی برقی دور پر غور

ہم شکل 7.7 میں برقی دباؤ اور برقی رو کی قیمتوں کو موثر قیمتیں تصور کرتے ہیں۔ ایک گھومتے لچھے میں برقی طاقت کے ضیاع کو مساوات 7.19 ظاہر کرتی ہے۔ مساوات 7.37 اور 7.39 کی مدد سے اسے درج ذیل لکھا جاسکتا ہے۔

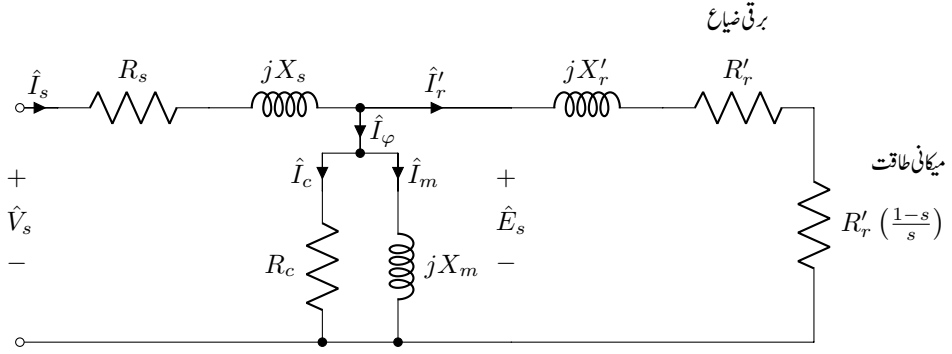
$$(7.41) \quad p_{\text{ضیاع}} = I_{0r}^2 R_r = \left(\frac{N_s^2}{N_r^2} I_{0r}^2 \right) \left(\frac{N_r^2}{N_s^2} R_r' \right) = I_{0r}^2 R_r'$$

شکل 7.7 میں گھومتے لچھے کو کل

$$(7.42) \quad p_r = I_{0r}^2 \frac{R_r'}{s}$$

برقی طاقت فراہم کی جائے گی جس میں سے ضیاع $p_{\text{ضیاع}}$ گھومتے لچھے کی مزاحمت میں ضائع ہو گی اور باقی بطور میکانیکی طاقت مشین کے دھرے پر دستیاب ہو گی:

$$(7.43) \quad p = I_{0r}^2 \frac{R_r'}{s} - I_{0r}^2 R_r' = I_{0r}^2 \frac{R_r'}{s} (1 - s) = p_r (1 - s)$$



شکل 7.8: امالی موٹر کا دوسرا مساوی برقی دور۔

تین دوری مشین جس میں تین لچھے ہوتے ہیں تین گنا میکانی طاقت فراہم کرے گی:

$$(7.44) \quad p_{\text{میکانی}} = 3I_{0r}^2 \frac{R'_r}{s} (1-s) = 3p_r (1-s)$$

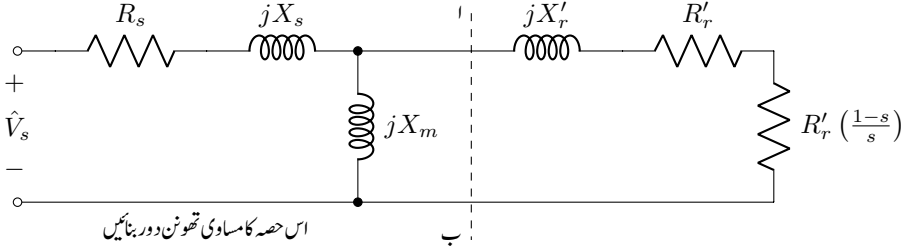
مساوات 7.44 کہتی ہے کہ ساکن موٹر، جس کا سرکاو اکائی ہو گا، کوئی میکانی طاقت فراہم نہیں کرتی ہے بلکہ وہ تمام برقی توانائی جو گھومتے حصہ کو ملتی ہے ضائع ہو کر اس حصہ کو گرم کرتی ہے جس سے موٹر جلنے کا امکان ہوتا ہے۔ آپ اس مساوات سے دیکھ سکتے ہیں کہ امالی موٹر کا سرکاو صفر کے قریب رہنا چاہئے ورنہ یہ ناقابل قبول (اور ناقابل برداشت) حد تک برقی توانائی ضائع کرے گی۔ ہم امالی موٹر کی مساوی برقی دور کو شکل 7.8 کی طرح بھی تشکیل دے سکتے ہیں جس میں شکل 7.7 کی مزاحمت $\frac{R'_r}{s}$ کو دو حصوں میں تقسیم کیا گیا ہے:

$$\frac{R'_r}{s} = R'_r + R'_r \left(\frac{1-s}{s} \right)$$

یوں شکل 7.7 میں مزاحمت R'_r میں برقی طاقت کا ضیاع $I_{0r}^2 R'_r$ گھومتے لچھے کا ضیاع جبکہ مزاحمت $R'_r \left(\frac{1-s}{s} \right)$ میں برقی طاقت کا ضیاع $I_{0r}^2 R'_r \left(\frac{1-s}{s} \right)$ دراصل میکانی طاقت ہو گا۔ یاد رہے کہ تین دوری مشین کے لئے ان نتائج کو تین سے ضرب دینا ہو گا۔

میکانی طاقت سے مراد قوت مروڑ ضرب میکانی زاویائی رفتار ہے۔ امالی موٹر کی میکانی زاویائی رفتار مساوات 7.3 دیتی ہے جبکہ مساوات 5.53 میں میکانی معاصر رفتار ω_{sm} دیتی ہے۔ یوں میکانی طاقت

$$(7.45) \quad p = T_m \omega = T_m \times 2\pi f = T_m \times 2\pi(1-s)f_s = T_m(1-s)\omega_{sm}$$



شکل 7.9: امالی موٹر کا سادہ دور۔ قابلی ضیاع کو نظر انداز کیا گیا ہے۔

اور قوت مروڑ درج ذیل ہو گی۔

$$(7.46) \quad T_m = \frac{p}{(1-s)\omega_{sm}} = \frac{3I_{0r}^2 R'_r}{\omega_{sm} s}$$

اصل موٹر میں رگڑ، قابلی ضیاع، لچھوں میں ضیاع اور دیگر وجوہات کی بنا، دھرے پر طاقت یا قوت مروڑ ان سے کم ہو گی۔

ٹرانسفارمر کے سادہ ترین مساوی دور میں R_c اور X_m کو نظر انداز 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 دباؤ درکار ہوتی ہے۔ بے بوجھ امالی موٹر کو بناوٹی برقی روکاتیس سے پچاس فی صد برقی رو، قالب کو ہیجان کرنے کے لئے درکار ہوتا ہے۔ مزید، خلائی درز کی وجہ سے اس کی رستا امالہ بھی زیادہ ہوتا ہے اور اسے نظر انداز کرنا ممکن نہیں ہوتا۔ البتہ مساوی دور میں R_c کو نظر انداز کیا جاسکتا ہے جیسے شکل 7.9 میں کیا گیا ہے۔ اس شکل میں نقطہ دار لکیر کی بائیں جانب کا مساوی تھونن دور بنایا جاسکتا ہے۔ ایسا کرنے سے امالی موٹر پر غور کرنا آسان ہو جاتا ہے۔ اب ہم ایسا ہی کرتے ہیں۔

مثال 7.2: ستارہ، چھ قطبی، پچاس ہرٹز اور 415 وولٹ پر چلنے والی 15 کلو واٹ امالی موٹر کے مساوی دور کے اجزاء درج ذیل ہیں۔

$$R_s = 0.5 \Omega, \quad R'_r = 0.31 \Omega, \quad X_s = 0.99 \Omega, \quad X'_r = 0.34 \Omega, \quad X_m = 22 \Omega$$

موٹر میں رگڑ سے طاقت کا ضیاع 600 واٹ ہے۔ قابلی ضیاع کو اسی کا حصہ تصور کیا گیا ہے۔ اس کو اٹل تصور کیا جائے۔ یہ موٹر درکار وولٹ اور تعداد پر دو فی صد سرکاو پر چل رہی ہے۔ اس حالت میں موٹر کی رفتار، اس کے دھرے پر پیدا قوت مروڑ اور طاقت، اس کے ساکن لچھے کا 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 ہو گی۔ دو فی صد سرکاو 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 ہو گی۔

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 جن کی مساوی رکاوٹ درج ذیل ہو گی۔

$$\frac{1}{Z} = \frac{1}{15.5 + j0.34} + \frac{1}{j22}$$

$$Z = 10.147 + j7.375 = R + jX$$

موٹر پر لاگو یک دوری برقی دباؤ $\frac{415}{\sqrt{3}} = 239.6$ وولٹ ہے۔ یوں ساکن لچھے کا برقی رو درج ذیل ہو گا۔

$$\begin{aligned} \hat{I}_s &= \frac{\hat{V}_s}{R_s + jX_s + Z} \\ &= \frac{239.6}{0.5 + j0.99 + 10.147 + j7.375} \\ &= 17.6956 / -38.155^\circ \end{aligned}$$

اس موٹر کے گھومتے حصہ کو وہی طاقت منتقل ہو گی جو رکاوٹ Z کو منتقل ہو گی۔ یوں مساوات 7.42 درج ذیل لکھی جاسکتی ہے۔

$$p = I_{or}^2 \frac{R'_r}{s} = I_s^2 R = 17.6956^2 \times 10.147 = 3177.37 \text{ W}$$

تین دور کے لئے $3 \times 3177.37 = 9532$ واٹ ہو گی۔ مساوات 7.44 موٹر کی اندرونی میکانی طاقت دیتی ہے:

$$p_{\text{میکانی}} = 9532 \times (1 - 0.02) = 9341 \text{ W}$$

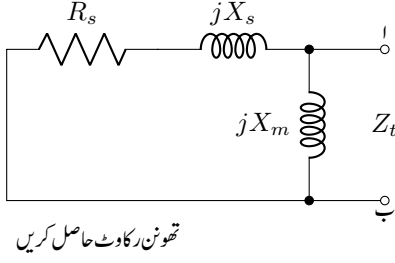
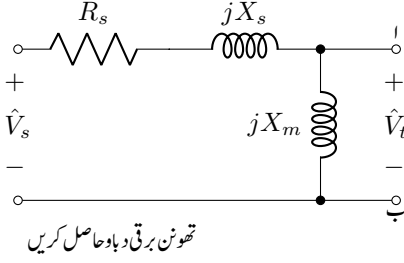
اس سے طاقت کا ضیاع منفی کرنے سے موٹر کے دھرے پر میکانی طاقت $9341 - 600 = 8741$ واٹ حاصل ہوتی ہے لہذا دھرے پر قوت مروڑ درج ذیل ہو گی۔

$$T = \frac{8741}{2 \times \pi \times 16.33} = 85.1 \text{ N m}$$

موٹر کو کل مہیا برقی طاقت $\sqrt{3} \times 415 \times 17.6956 \times \cos(-38.155) = 10001.97$ واٹ ہو گی۔

□

یوں اس موٹر کی کارگزاری $\frac{8741}{10001.97} \times 100 = 87.39\%$ ہو گی۔



شکل 7.10: تھونن رکاوٹ اور تھونن برقی دباو حاصل کرنے کے ادوار۔

7.9 امالی موٹر کا مساوی تھونن دور یا ریاضی نمونہ

مسئلہ تھونن²¹ کے مطابق کسی بھی سادہ خطی برقی دور²² کو اس کے دو برقی سروں کے مابین ایک رکاوٹ اور ایک برقی دباؤ کی مساوی سلسلہ وار دور سے ظاہر کیا جاسکتا ہے۔ اس مساوی دور کو مساوی تھونن دور کہتے ہیں جبکہ اس مساوی تھونن دور کی رکاوٹ کو تھونن رکاوٹ اور برقی دباؤ کو تھونن برقی دباؤ کہتے ہیں۔

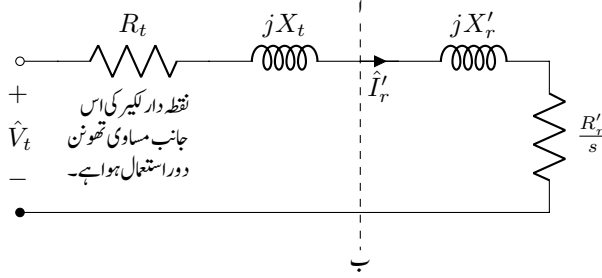
برقی دور کے دو برقی سروں کے بیچ تھونن رکاوٹ حاصل کرنے کے لئے برقی دور کے تمام اندرونی برقی دباؤ کسر دور کر کے ان دو برقی سروں کے بیچ رکاوٹ معلوم کی جاتی ہے۔ یہی رکاوٹ، تھونن رکاوٹ ہوگی۔ انہیں برقی سروں پر تھونن برقی دباؤ حاصل کرنے کے لئے دیے گئے برقی دور کے تمام اندرونی برقی دباؤ برقرار رکھ کر ان دو سروں پر برقی دباؤ معلوم کیا جاتا ہے۔ یہی برقی دباؤ درحقیقت تھونن برقی دباؤ ہوگا۔ بعض اوقات ہم ایک برقی دور کے ایک خاص حصے کا مساوی تھونن دور بنانا چاہتے ہیں۔ ایسا کرتے وقت باقی برقی دور کو اس حصے سے مکمل طور پر منقطع کر کے درکار حصہ کا تھونن مساوی دور حاصل کیا جاتا ہے۔ شکل 7.10 سے ا اور ب کے بیچ مساوی تھونن رکاوٹ Z_t اور تھونن برقی دباؤ V_t درج ذیل حاصل ہوتے ہیں۔

$$Z_t = \frac{(R_s + jX_s) jX_m}{R_s + jX_s + jX_m} = R_t + jX_t \quad (7.47)$$

$$\hat{V}_t = \frac{jX_m \hat{V}_s}{R_s + jX_s + jX_m} = V_t / \theta_t$$

کسی بھی مخلوط عدد²³ کی طرح Z_t کو ایک حقیقی عدد R_t اور ایک فرضی عدد jX_t کا مجموعہ لکھا جاسکتا ہے۔ یہی اس

²¹Thevenin theorem
²²linear circuit



شکل 7.11: تھونن دور استعمال کرنے کے بعد امالی موٹر کا مساوی دور۔

مساوات میں کیا گیا ہے۔

ہم یوں امالی موٹر کے مساوی برقی دور کو شکل 7.11 کی طرح بنا سکتے ہیں جہاں سے دوری سمتیہ کی استعمال سے مندرجہ ذیل برقی رو \hat{I}'_r حاصل ہوتا ہے۔

$$\hat{I}'_r = \frac{\hat{V}_t}{R_t + jX_t + \frac{R'_r}{s} + jX'_r}$$

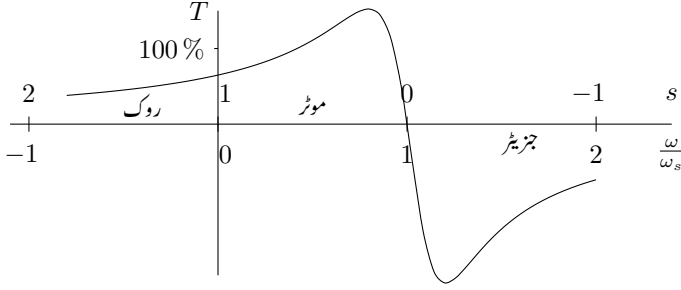
$$(7.48) \quad |\hat{I}'_r| = I'_r = \frac{V_t}{\sqrt{\left(R_t + \frac{R'_r}{s}\right)^2 + (X_t + X'_r)^2}}$$

چونکہ I'_r کی قیمت پر \hat{V}_t کے زاویے کا کوئی اثر نہیں لہذا مساوی تھونن دور میں \hat{V}_t کی جگہ $V/0$ استعمال کیا جاسکتا ہے۔ اس کتاب میں ایسا ہی کیا جائے گا۔

مساوات 7.46 اور مساوات 7.48 سے تین دوری مشین کی قوت مروڑ حاصل کرتے ہیں۔

$$T = \frac{1}{\omega_{sm}} \frac{3V_t^2 \left(\frac{R'_r}{s}\right)}{\left(R_t + \frac{R'_r}{s}\right)^2 + (X_t + X'_r)^2}$$

$$(7.49) \quad = \frac{1}{\omega_{sm}} \frac{3V_t^2 \left(\frac{R'_r}{s}\right)}{\frac{R'^2_r}{s^2} + 2R_t \frac{R'_r}{s} + R_t^2 + (X_t + X'_r)^2}$$



شکل 7.12: امالی موٹر کی قوت مروڑ بالمتقابل سرکاو۔

اس مساوات کو شکل 7.12 میں دکھایا گیا ہے جہاں موٹر کی رفتار کو معاصر رفتار کی نسبت سے دکھایا گیا ہے۔ موٹر از خود گھومتے مقناطیسی موج کے رخ گھومتی ہے اور اس کی رفتار معاصر رفتار سے کم رہتی ہے۔ زیادہ سرکاو پر موٹر کی کارگزاری خراب ہو جاتی ہے۔ اسی لئے لگاتار استعمال میں موٹر تقریباً پانچ فی صد سے کم سرکاو پر چلائی جاتی ہے بلکہ ان کی بناوٹ یوں کی جاتی ہے کہ امالی موٹر اپنی بناوٹی طاقت تقریباً پانچ فی صد سے کم سرکاو پر مہیا کرتی ہو۔

اگر موٹر کو زبردستی ساکن لچھوں کے گھومتے مقناطیسی موج کے رخ معاصر رفتار سے زیادہ رفتار پر گھمایا جائے تو یہ ایک جزیئر کے طور پر کام کرنے شروع ہو جائے گی۔ ایسا کرنے کے لئے بیرونی میکانی طاقت درکار ہوگی۔ اگرچہ امالی مشین عام طور پر بطور جزیئر استعمال نہیں ہوتی البتہ ہوا سے برقی طاقت کی پیداوار میں انہیں بطور جزیئر استعمال کیا جانے لگا ہے۔

شکل 7.12 میں منفی رفتار بھی دکھائی گئی ہے جہاں سرکاو کی قیمت اکائی سے زیادہ ہے۔ موٹر کو ساکن لچھوں کے گھومتے مقناطیسی دباؤ کی موج کے مخالف رخ گھمانے سے ایسا ہو گا۔ چلتی موٹر کو جلد ساکن کرنے کے لئے ایسا کیا جاتا ہے۔ تین دوری موٹر پر لاگو کسی دو برقی دباؤ کو آپس میں تبدیل کرنے سے موٹر کے ساکن لچھوں کے گھومتے مقناطیسی موج یکدم مخالف رخ گھومنا شروع ہو جاتی ہے جبکہ موٹر ابھی پہلے رخ گھوم رہی ہوتی ہے۔ اس طرح موٹر جلد آہستہ ہوتی ہے اور جیسے ہی موٹر رک کر دوسرے رخ گھومنا چاہتی ہے اس پر لاگو برقی دباؤ منقطع کر دیا جاتا ہے۔ امالی موٹر یوں ریل گاڑی میں عموماً بطور روک²⁴ (بریک) استعمال کی جاتی ہے۔

امالی مشین $s < 0$ کی صورت میں بطور جزیئر، $0 < s < 1$ کی صورت میں بطور موٹر اور $s > 1$ کی صورت میں بطور روک کام کرتی ہے۔

امالی موٹر کی زیادہ سے زیادہ قوت مروڑ مساوات 7.49 سے حاصل کی جاسکتی ہے۔ قوت مروڑ اسی لمحہ زیادہ سے زیادہ ہوگی جب گھومتے حصے کو زیادہ سے زیادہ طاقت میسر ہو۔ زیادہ سے زیادہ طاقت منتقل کرنے کے مسئلہ²⁵ کے مطابق مزاحمت $\frac{R'_r}{s}$ میں طاقت کا ضیاع اس صورت زیادہ سے زیادہ ہوگا جب (شکل 7.11 میں) اس کی قیمت باقی سلسلہ وار جڑی اجزاء کی قیمت کے برابر ہو:

$$(7.50) \quad \frac{R'_r}{s} = |R_t + jX_t + jX'_r| = \sqrt{R_t^2 + (X_t + X'_r)^2}$$

اس مساوات سے زیادہ سے زیادہ طاقت پر سرکاو s_z حاصل ہوگا۔

$$(7.51) \quad s_z = \frac{R'_r}{\sqrt{R_t^2 + (X_t + X'_r)^2}}$$

مساوات 7.49 کی نسب نما میں $R_t^2 + (X_t + X'_r)^2$ کی جگہ مساوات 7.50 کا مربع استعمال کرتے ہوئے زیادہ سے زیادہ قوت مروڑ T_z حاصل ہوگی:

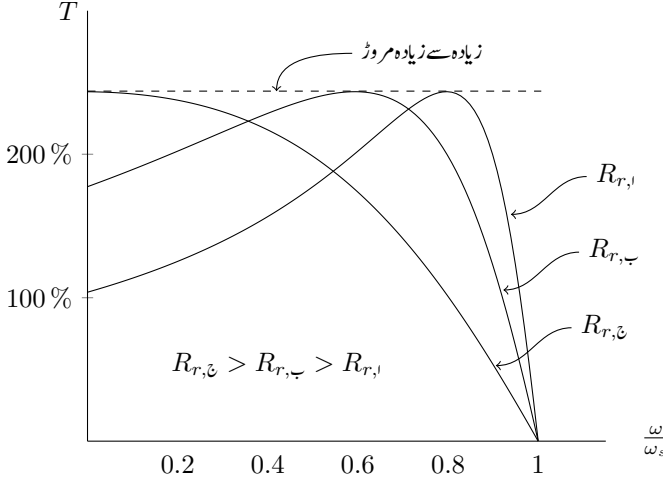
$$(7.52) \quad \begin{aligned} T_z &= \frac{1}{\omega_{sm}} \frac{3V_t^2 \left(\frac{R'_r}{s} \right)}{\frac{R_t'^2}{s^2} + 2R_t \frac{R'_r}{s} + \frac{R_t'^2}{s^2}} \\ &= \frac{1}{\omega_{sm}} \frac{3V_t^2}{2 \left(R_t + \frac{R'_r}{s} \right)} \\ &= \frac{1}{\omega_{sm}} \frac{3V_t^2}{2 \left(R_t + \sqrt{R_t^2 + (X_t + X'_r)^2} \right)} \end{aligned}$$

درج بالا کے حصول میں آخری قدم پر مساوات 7.50 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 ہوگی۔ یہ ایک اہم معلومات ہے جسے استعمال کر کے امالی موٹر کی زیادہ سے زیادہ قوت مروڑ درکار رفتار پر حاصل کی جاسکتی ہے۔ آئیں دیکھتے ہیں کہ ایسا کس طرح کیا جاتا ہے۔

امالی موٹر کے گھومتے لچھوں کے برقی سروں کو سرکے پھلوں²⁶ کے ذریعہ باہر نکالا جاتا ہے²⁷ جہاں ان کے ساتھ سلسلہ وار بیرونی مزاحمت جوڑی جاتی ہے۔ اس طرح گھومتے لچھوں کی کل مزاحمت بڑھ کر $R_r + R_{بیرونی}$ ہو جاتی

maximum power theorem²⁵
slip rings²⁶
شکل کے نمونہ پر۔²⁷



شکل 7.13: بیرونی مزاحمت کا قوت مروڑ بالقابل سرکاو کے خطوط پر اثرات۔

ہے۔ ایسا کرنے سے مساوات 7.50 کے مطابق زیادہ سے زیادہ قوت مروڑ نسبتاً زیادہ سرکاو یعنی کم زاویائی رفتار پر حاصل ہوگی۔ شکل 7.13 کے مطابق مزاحمت $R_{r,c}$ استعمال کرتے ہوئے ساکن موٹر چالو ہوتے وقت زیادہ سے زیادہ قوت مروڑ دے گی۔ اس طرح بوجھ بردار موٹر ساکن حالت سے ہی زیادہ بوجھ اٹھانے کے قابل ہوگی۔ بیرونی مزاحمت استعمال کیے بغیر یا کم بیرونی مزاحمت، مثلاً $R_{r,a}$ ، استعمال کرتے ہوئے ساکن موٹی کی قوت مروڑ نسبتاً بہت کم ہوگی۔ چونکہ زیادہ سرکاو پر موٹر کی کارگزاری خراب ہوتی ہے لہذا اس طرح موٹر کو زیادہ دیر نہیں چلایا جاتا اور جیسے ہی اس کی رفتار بڑھ جاتی ہے، اس سے بیرونی مزاحمتیں منقطع کر کے گھومتے لچھوں کے برقی سرے کسر دور کر دیے جاتے ہیں۔

مثال 7.3: صفحہ 228 پر مثال 7.2 میں دی گئی امالی موٹر استعمال کریں اور رگڑ سے طاقت کے ضیاع کو نظر انداز کریں۔

- اگر موٹر درکار وولٹ اور تعداد پر تین فی صد سرکاو پر چل رہی ہو تب ساکن لچھے میں گھومتے لچھے کے حصہ کا برقی رو I_r' اور مشین کی اندرونی میکانیکی 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 چالو ہونے کے لمحہ پر قوت مروڑ اور اس لمحہ پر I_r' حاصل کریں۔

حل:

- یک دوری برقی دباؤ $\frac{415}{\sqrt{3}} = 239.6$ استعمال کرتے ہوئے مساوات 7.47 کی مدد سے درج ذیل ہو گا۔

$$Z_t = \frac{(0.5 + j0.99) j22}{0.5 + j0.99 + j22} = 0.4576 + j0.9573$$

$$\hat{V}_t = \frac{j22 \times 239.6 \angle 0^\circ}{0.5 + j0.99 + j22} = 229.2 \angle 1.246^\circ$$

- مساوات 7.48 میں تین فی صد سرکاو پر $\frac{R'_s}{s}$ استعمال کرتے ہوئے درج ذیل ہو گا۔

$$\hat{I}'_r = \frac{229.2 \angle 1.246^\circ}{0.4576 + j0.9573 + 10.3333 + j0.34} = 21.1 \angle -5.6^\circ$$

$$I'_r = |\hat{I}'_r| = 21.1 \text{ A}$$

یہاں رک کر تسلی کر لیں کہ مندرجہ بالا مساوات میں $229.2 \angle 1.246^\circ$ کی جگہ $229.2 \angle 0^\circ$ استعمال کرنے سے I'_r کی قیمت تبدیل نہیں ہوتی ہے۔

مساوات 7.44 اور 7.45 کی مدد سے طاقت اور قوت مروڑ حاصل کرتے ہیں۔

$$p_m = \frac{3 \times 21.1^2 \times 0.31}{0.03} \times (1 - 0.03) = 13387.46 \text{ W}$$

$$T = \frac{13387.46}{(1 - 0.03) \times 2 \times \pi \times 16.66} = 131.83 \text{ N m}$$

- مساوات 7.51 زیادہ سے زیادہ طاقت پر سرکاو درج ذیل دیتی ہے۔

$$s_z = \frac{0.31}{\sqrt{0.4576^2 + (0.9573 + 0.34)^2}} = 0.1638$$

یوں موٹر کی رفتار $1000 \times (1 - 0.1638) = 836.2$ چکر فی منٹ ہو گی۔

- چالو کرتے لمحہ پر سرکاو اکائی ہو گا لہذا $\frac{R'_s}{s} = 0.31$ اور یوں درج ذیل ہو گا۔

$$\hat{I}'_r = \frac{229.2 \angle 1.246^\circ}{0.4576 + j0.9573 + 0.31 + j0.34} = 152.07 \angle -58.14^\circ$$

$$I'_r = 152 \text{ A}$$

اس لمحہ قوت مروڑ درج ذیل ہو گی۔

$$T = \frac{3 \times 152.07^2 \times 0.31}{2 \times \pi \times 16.66} = 205 \text{ N m}$$

□

مثال 7.4: دو قطب، ستارہ، پچاس ہرٹز پر چلنے والی تین دوری امالی موٹر 2975 چکر فی منٹ کی رفتار پر بارہ کلوواٹ کی میکانی بوجھ سے لدی ہے۔ موٹر کا سرکاو اور دھرے پر قوت مروڑ حاصل کریں۔

حل: معاصر رفتار $50 = \frac{2}{2} \times 50 = 50$ یا $f_e = \frac{2}{P}$ چکر فی سیکنڈ یا $3000 = 50 \times 60$ چکر فی منٹ ہے۔ یوں سرکاو $s = \frac{3000 - 2975}{3000} = 0.00833$ یا $s = 0.833$ فی صد ہو گا۔ موٹر کی رفتار $\frac{2975}{60} = 49.5833$ چکر فی سیکنڈ ہے لہذا اس کے دھرے پر قوت مروڑ $38 \text{ N m} = \frac{12000}{2 \times \pi \times 49.58}$ ہو گی۔

□

7.10 پنجرہ 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 شکاف بنائے جائیں اور ہر شکاف میں تانبے کی تار کا ایک چکر لپٹا جائے ہم یوں بھی کر سکتے ہیں کہ ہر شکاف 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 کسر دور کر دیں اور اسی طرح دوسری جانب کے تمام سروں کو بھی ایک تانبے کی دائرہ نما سلاخ سے کسر دور کر دیں۔ یوں تانبے کی سلاخوں کا پنجرہ حاصل ہو گا۔ اسی لئے ایسی امالی موٹر کو پنجرہ نما امالی موٹر²⁸ کہتے ہیں۔

حقیقت میں شکافوں میں پگھلا تانبا یا سلور²⁹ ڈالا جاتا ہے جو ٹھنڈا ہو کر ٹھوس ہو جاتا ہے اور قالب کو بھکڑ لیتا ہے۔ دونوں اطراف کے دائرہ نما کسر دور کرنے والے چھلے بھی اسی طرح اور اسی وقت ڈھالے جاتے ہیں۔ یوں ایک مضبوط گھومتا حصہ حاصل ہوتا ہے۔ اسی مضبوطی کی وجہ سے پنجرہ نما امالی موٹر بہت مقبول ہوئی ہے۔ ایسی موٹریں سالوں تک بغیر دیکھ بھال کام کرتی ہیں اور روز مرہ زندگی میں ہر جگہ پائی جاتی ہیں۔ گھروں میں پانی کے پمپ اور پتکھے انہیں سے چلتے ہیں۔

squirrel cage²⁸
copper, aluminium²⁹

7.11 بے بوجھ موٹر اور جامد موٹر کے معائنہ

امالی موٹر کی کارکردگی دو معائنوں سے معلوم کی جاتی ہے جن سے موٹر کے مساوی دور کے اجزاء بھی حاصل کئے جاتے ہیں۔ ہم تین دوری امالی موٹر کی مثال سے ان معائنوں پر بحث کرتے ہیں۔

7.11.1 بے بوجھ موٹر کا معائنہ

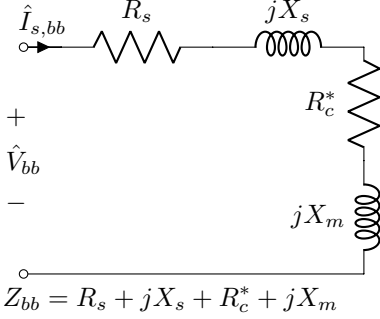
یہ معائنہ بالکل ٹرانسفارمر کے بے بوجھ معائنہ کی طرح ہے۔ اس میں موٹر کے ہیجان انگیز برقی رو اور بے بوجھ موٹر میں طاقت کے ضیاع کی معلومات حاصل ہوتی ہیں۔

اس میں بے بوجھ امالی موٹر پر یکساں تین دوری برقی دباؤ V_{bb}^{30} لاگو کر کے بے بوجھ موٹر کی برقی طاقت کا ضیاع p_{bb} اور اس کے ساکن لچھے کا ہیجان انگیز برقی رو $I_{s,bb}$ ناپا جاتا ہے۔ یہ معائنہ امالی موٹر کے بناؤی برقی دباؤ اور برقی تعدد پر سرانجام دیا جاتا ہے۔

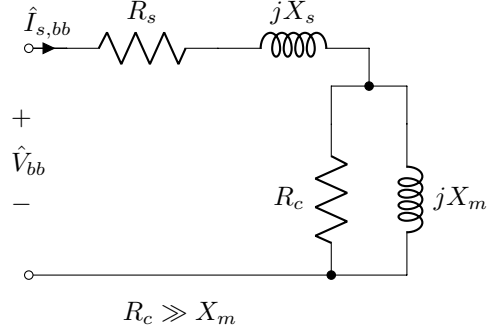
بے بوجھ امالی موٹر صرف اتنی قوت مروڑ پیدا کرتی ہے جتنی رگڑ اور دیگر ضیاع طاقت کی وجہ سے درکار ہو۔ اتنی کم قوت مروڑ بہت کم سرکاوڈ پر حاصل ہوگی۔ مساوات 7.48 سے ظاہر ہے کہ بہت کم سرکاوڈ پر I_r بھی نہایت کم ہو گا اور اس سے گھومتے لچھوں میں برقی طاقت کا ضیاع قابل نظر انداز ہو گا۔ اسی بات کو صفحہ 226 پر شکل 7.7 کی مدد سے بھی سمجھا جاسکتا ہے جہاں واضح ہے کہ بہت کم سرکاوڈ پر مزاحمت $\frac{R'_s}{s}$ کی قیمت بہت زیادہ ہوگی اور اس کو کھلا دور سمجھا جاسکتا ہے۔ ایسا کرنے سے شکل 7.14-ا ملتی ہے۔

شکل 7.14-ا کے متوازی اجزاء R_c اور X_m کی جگہ مساوی سلسلہ وار جڑے اجزاء پر کرنے سے شکل 7.14-ب حاصل ہوگی۔ کسی بھی امالی موٹر کی R_c کی قیمت اس کی X_m کی قیمت سے بہت زیادہ ہوتی ہے۔ متوازی دور کی

³⁰ V_{bb}^{30} لکھتے ہوئے لفظ بے بوجھ کے پہلے حروف ب اور ب کو زیر نوشت میں bb سے ظاہر کیا گیا ہے۔



(ب)



(i)

شکل 7.14: بے بوجھ امالی موٹر کا معائنہ۔

رکاوٹ Z_m سے مساوی سلسلہ وار رکاوٹ Z_s حاصل کرتے ہیں:

$$\begin{aligned}
 Z_m &= \frac{R_c jX_m}{R_c + jX_m} \\
 &= \frac{R_c jX_m}{R_c + jX_m} \frac{R_c - jX_m}{R_c - jX_m} \\
 &= \frac{jR_c^2 X_m + R_c X_m^2}{R_c^2 + X_m^2} \\
 &\approx \frac{jR_c^2 X_m + R_c X_m^2}{R_c^2} \quad \text{چونکہ } R_c \gg X_m \\
 &= jX_m + \frac{X_m^2}{R_c} = jX_m + R_c^* = Z_s
 \end{aligned}
 \tag{7.53}$$

بے بوجھ ٹرانسفارمر میں ابتدائی لچھوں کی برقی طاقت کے ضیاع کو بھی نظر انداز کیا جاتا ہے۔ بے بوجھ امالی موٹروں کا ہیجان انگیز برقی رو کافی زیادہ ہوتا ہے لہذا ان کے ساکن لچھوں کی برقی طاقت کے ضیاع کو نظر انداز نہیں کیا جا سکتا۔ بے بوجھ امالی موٹر کی p_{bb} سے تین ساکن لچھوں کا برقی ضیاع منفی کر کے میکانیکی ضیاع طاقت حاصل ہوگا:

$$p_{\text{نیع}} = p_{bb} - 3I_{s,bb}^2 R_s
 \tag{7.54}$$

میکانیکی طاقت کا ضیاع بے بوجھ اور بوجھ بردار موٹر کے لئے ایک جیسا تصور کیا جاتا ہے۔

میکانی ضیاع p_e کو نظر انداز کرتے ہوئے شکل 7.14-ب سے ہم درج ذیل لکھ سکتے ہیں۔

$$\begin{aligned} R_{bb} &= \frac{p_{bb}}{3I_{s,bb}^2} \\ Z_{bb} &= \frac{V_{bb}}{I_{s,bb}} \\ X_{bb} &= \sqrt{|Z_{bb}|^2 - R_{bb}^2} \\ X_{bb} &= X_s + X_m \end{aligned} \quad (7.55)$$

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 جاسکتی ہے۔ اگلے معائنہ میں ہم X_s کا اندازہ لگا سکیں گے۔

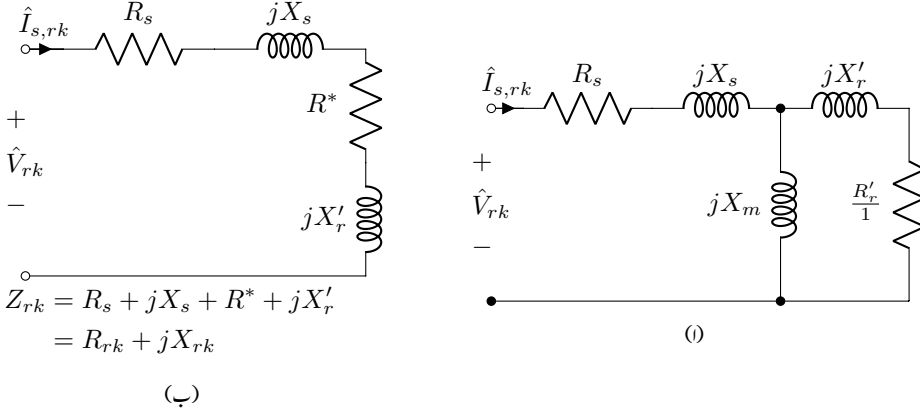
7.11.2 جامد موٹر کا معائنہ

یہ معائنہ ٹرانسفارمر کے کسر دور معائنہ کی طرح ہے۔ اس میں مشین کے رستا مالوں کی معلومات حاصل ہوتی ہے۔ البتہ امالی موٹر کا مسئلہ ذرا زیادہ پیچیدہ ہے۔ امالی موٹر کے رستا مالہ گھومتے لچھوں میں برقی تعدد اور قالب کے سیراب ہونے پر منحصر ہوتے ہیں۔

اس معائنہ میں امالی موٹر کے گھومتے حصہ کو حرکت کرنے سے زبردستی روک دیا جاتا ہے جبکہ ساکن لچھوں پر بیرونی برقی دباؤ V_{rk} لاگو کر کے برقی طاقت p_{rk} اور ساکن لچھوں کے برقی رو $I_{s,rk}$ ناپے جاتے ہیں۔ اصولی طور پر یہ معائنہ ان حالات کو مد نظر رکھ کر کیا جاتا ہے جن پر موٹر کی معلومات درکار ہوں۔

ساکن موٹر چالو کرنے کے لمحہ پر موٹر کا سرکاو اکائی ہوتا ہے اور اس کے گھومتے لچھوں میں روز مرہ تعدد f_e کے برقی رو $I_{t=0}^{31}$ ہوں گے، لہذا اگر اس لمحہ کے نتائج درکار ہوں تب موٹر کے ساکن لچھوں پر روز مرہ تعدد، f_e کا اتنا برقی دباؤ لاگو کیا جائے گا جتنے سے اس کے گھومتے لچھوں میں برقی رو $I_{t=0}$ پیدا ہو۔ اسی طرح اگر برقرار چالو حالت میں بوجھ بردار موٹر کے نتائج درکار ہوں جب موٹر کا سرکاو s اور اس کے گھومتے لچھوں میں برقی رو $I_{t \rightarrow \infty}^{32}$ ہوتے ہیں تب معائنہ میں $s f_e$ تعدد کے برقی دباؤ استعمال کیے جائیں گے اور اس کی قیمت اتنی رکھی جائے گی جتنی سے گھومتے لچھوں میں $I_{t \rightarrow \infty}$ برقی رو وجود میں آئے۔ تقریباً 20 kV A سے چھوٹی موٹروں میں برقی تعدد کے اثرات قابل نظر انداز ہوتے ہیں لہذا ان کا معائنہ f_e تعدد کے برقی دباؤ پر ہی کیا جاتا ہے۔

³¹ اس لمحہ کے برقی رو کو چھوٹی لکھائی میں وقت صفر سے منسلک کیا گیا ہے یعنی $t = 0$
³² زیر نوشت میں $\infty \rightarrow t$ اس بات کو ظاہر کرتی ہے کہ موٹر کا نیا دیر سے چالو ہے اور یہ ایک برقرار رفتار تک پہنچ گئی ہے۔



شکل 7.15: رکے امالی موٹر کا معائنہ۔

یہاں صفحہ 226 کے شکل 7.7 کو رکے (ساکن) موٹر کے معائنہ کے نقطہ نظر سے دوبارہ دیکھتے ہیں۔ رکے (ساکن) موٹر کا سرکاو اکائی ہوتا ہے۔ مزید، اس معائنہ میں لاگو برقی دباو برقرار چالو موٹر پر لاگو برقی دباو سے خاصا کم ہوتا ہے۔ اتنے کم لاگو برقی دباو پر قابلی ضیاع کو نظر انداز کیا جاسکتا ہے۔ شکل میں R_c کو کھلے دور کرنا قابلی ضیاع کو نظر انداز کرنے کے مترادف ہے۔ ایسا کرنے سے شکل 7.15-ا ملتا ہے۔ چونکہ $s = 1$ ہے لہذا اس شکل میں $\frac{R_r'}{s}$ کو R_r' لیا گیا ہے۔

شکل 7.15-ا میں jX_m اور $(R_r' + jX_r')$ متوازی جڑے ہیں جن کی جگہ ان کی مساوی سلسلہ وار رکاوٹ پر کرنے سے شکل 7.15-ب حاصل ہوگی۔ متوازی رکاوٹ Z_m کی مساوی سلسلہ وار رکاوٹ Z_s حاصل کرتے ہیں:

$$\begin{aligned}
 Z_m &= \frac{jX_m(R_r' + jX_r')}{R_r' + j(X_m + X_r')} \\
 &= \left(\frac{jX_m R_r' - X_m X_r'}{R_r' + j(X_m + X_r')} \right) \left(\frac{R_r' - j(X_m + X_r')}{R_r' - j(X_m + X_r')} \right) \\
 (7.56) \quad &= \frac{jX_m R_r'^2 + X_m R_r'(X_m + X_r') - X_m X_r' R_r' + jX_m X_r'(X_m + X_r')}{R_r'^2 + (X_m + X_r')^2} \\
 &= \frac{X_m^2 R_r'}{R_r'^2 + (X_m + X_r')^2} + j \frac{(X_m R_r'^2 + X_m^2 X_r' + X_m X_r'^2)}{R_r'^2 + (X_m + X_r')^2} \\
 &= R_s^* + jX_s^* = Z_s
 \end{aligned}$$

ان مساوات میں $R'_r \gg X_m \gg X'_r$ اور $X_m \gg X'_r$ لینے سے درج ذیل حاصل ہو گا۔

$$(7.57) \quad R_s^* \approx R'_r \left(\frac{X_m}{X_m + X'_r} \right)^2$$

$$(7.58) \quad X_s^* \approx \frac{X_m R_r'^2}{X_m^2} + \frac{X_m^2 X'_r}{X_m^2} + \frac{X_m X_r'^2}{X_m^2} \approx X'_r$$

اس معائنہ میں پیمائش کی گئی قیمتوں اور شکل 7.15-ب سے درج ذیل حاصل ہو گا۔

$$(7.59) \quad \begin{aligned} Z_{rk} &= \frac{V_{rk}}{I_{s,rk}} \\ R_{rk} &= \frac{p_{rk}}{3I_{s,rk}^2} \\ X_{rk} &= \sqrt{|Z_{rk}|^2 - R_{rk}^2} \end{aligned}$$

اس مساوات کے پہلے جزو میں پیمائشی برقی دباؤ اور برقی رو سے رکاوٹ حاصل کی گئی ہے۔ اس طرح دوسرے جزو میں مزاحمت اور تیسرے میں متعاملیت کا حساب لگایا گیا ہے۔

شکل 7.15-ب سے درج ذیل واضح ہے۔

$$(7.60) \quad X_{rk} = X_s + X'_r$$

امالی مشین مختلف خواص کے بنائے جاتے ہیں۔ عام آدمی کی آسانی کے لئے ایسی مشینوں کی درجہ بندی کی جاتی ہے۔ جدول 7.1 میں پنجرہ نما امالی موٹر کی مختلف اقسام A, B, C, D اور ایسی مشین جن کا گھومتا حصہ لچھے پر مشتمل ہو، کی رستا 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 گھومتی متعاملیت ایک دوسرے کے برابر ہوتی ہیں۔ شکل 7.15-ب میں $R_{rk} = R^* + R_s$ ہے لہذا ساکن لچھے کی مزاحمت R_s مزاحمت R^* کی مدد سے ناپ کر درج ذیل حاصل کیا جاسکتا ہے۔

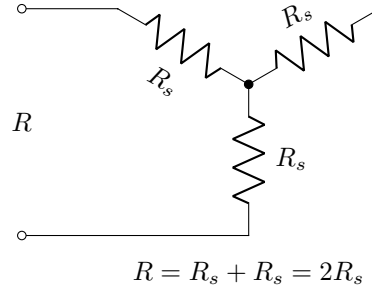
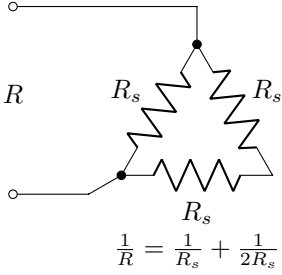
$$(7.61) \quad R^* = R_{rk} - R_s$$

اب R'_r کو مساوات 7.57 سے حاصل کیا جاسکتا ہے جہاں X_m بے بوجھ امالی موٹر کے معائنہ میں حاصل کی جاتی ہے۔

مزاحمت پیمائشی مد سے ساکن لچھے کی مزاحمت ناپتے وقت یہ جاننا ضروری ہے کہ موٹر ستارہ یا ٹکونی جڑی ہے۔ شکل 7.16 میں لچھے کو دونوں طرح جڑا دکھایا گیا ہے۔ اگر یک دوری مزاحمت R_s ہو تب ستارہ جڑی موٹر کے لئے مزاحمت پیمائشی $2R_s$ مزاحمت دے گا جبکہ ٹکونی جڑی موٹر کے لئے یہ $\frac{2}{3}R_s$ مزاحمت دے گا۔

گھومتا حصہ	خاصیت	X_s	X'_r
لپٹا ہوا	کارکردگی گھومتے حصے کی مزاحمت پر منحصر	$0.5X_{rk}$	$0.5X_{rk}$
بناوٹ A	عمومی ابتدائی قوت مروڑ، عمومی ابتدائی رو	$0.5X_{rk}$	$0.5X_{rk}$
بناوٹ B	عمومی 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 سرکاو	$0.5X_{rk}$	$0.5X_{rk}$

جدول 7.1: متعاملیت کی ساکن اور گھومتے حصوں میں تقسیم۔



شکل 7.16: ستارہ اور ٹکونی جڑی موٹروں کی ساکن لچھوں کی مزاحمت کا مزاحمت پیک کی مدد سے حصول۔

مثال 7.5: ستارہ، 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۔ مزاحمت پیکسی بھی دو برقی سروں کے بیچ 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 ناپا جاتا ہے۔ جامد موٹر معائنہ 15 Hz اور 50 V پر کرتے ہوئے برقی رو 13.91 A اور طاقت کا ضیاع 850 W ناپا جاتا ہے۔ اس موٹر کا مساوی برقی دور بنائیں اور پانچ فی صد سرکاو پر اس کی اندرونی میکانی طاقت حاصل کریں۔

حل: مزاحمت پیکسی کے جواب سے ستارہ موٹر کے ساکن لچھے کی مزاحمت $R_s = \frac{0.55}{2} = 0.275 \Omega$ حاصل ہوتی ہے۔ بے بوجھ معائنہ میں یک دوری برقی دباؤ $\frac{415}{\sqrt{3}} = 239.6 \text{ V}$ ہے جس سے درج ذیل حاصل ہوتے ہیں۔

$$R_{bb} = \frac{906}{3 \times 4.1^2} = 17.965 \Omega$$

$$|Z_B| = \frac{239.6}{4.1} = 58.439 \Omega$$

$$X_{bb} = \sqrt{58.439^2 - 17.965^2} = 55.609 \Omega = X_s + X_m$$

رکے موٹر معائنہ کے نتائج سے X_s حاصل کرنے کے بعد X_m حاصل ہو گی۔

ساکن لچھے کی مزاحمت میں اس برقی رو پر کل

$$3I_{bb}^2 R_s = 3 \times 4.1^2 \times 0.275 = 13.87 \text{ W}$$

برقی طاقت کا ضیاع ہو گا لہذا رگڑ اور دیگر ضیاع طاقت $906 - 13.86 = 892$ واٹ ہو گا۔

رکے موٹر معائنہ میں یک دوری برقی دباؤ $\frac{50}{\sqrt{3}} = 28.9$ وولٹ ہیں۔ یوں درج ذیل حاصل ہوں گے۔

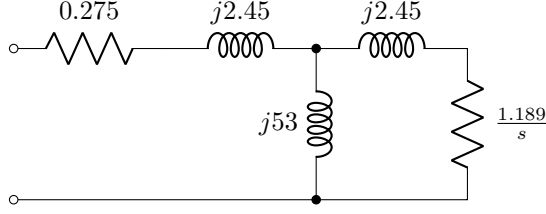
$$R_{rk} = \frac{850}{3 \times 13.91^2} = 1.464 \Omega$$

$$|Z_{rk}| = \frac{28.9}{13.91} = 2.07 \Omega$$

$$X_{rk,15} = \sqrt{2.07^2 - 1.464^2} = 1.46 \Omega$$

اس معائنہ میں برقی تعدد 15 ہرٹز تھا لہذا 50 ہرٹز پر متعاملیت درج ذیل ہو گی۔

$$X_{rk,50} = \frac{50}{15} \times X_{rk,15} \approx 4.9 \Omega$$



شکل 7.17: امالی موٹر کا مساوی برقی دور۔

درجہ بندی A کی امالی موٹر میں یہ متعاملت ساکن اور گھومتے لچھے میں ایک جیسی تقسیم ہو گی (جدول 7.1):

$$X_s = X'_r = \frac{4.9}{2} = 2.45 \Omega$$

یوں درج ذیل ہو گا۔

$$X_m = X_{bb} - X_s = 55.609 - 2.45 = 53 \Omega$$

چونکہ $R_s = 0.275$ اوہم ہے لہذا

$$R'_r = R_{rk} - R_s = 1.464 - 0.275 = 1.189 \Omega$$

ہو گا۔ مساوی برقی دور شکل 7.17 میں دکھایا گیا ہے۔

پانچ فی صد سرکاو پر اندرونی میکانی طاقت کی خاطر بائیں جانب کا تھونن مساوی دور استعمال کرتے ہوئے درج ذیل ہو گا۔

$$V_t = 229 / 0.2833^\circ \quad (\text{مساوات 7.47})$$

$$Z_t = 0.251 + j2.343$$

$$|\hat{I}'_r| = 9.346 \text{ A}$$

$$p_m = \frac{3 \times 9.346^2 \times 1.189 \times (1 - 0.05)}{0.05} = 5919 \text{ W} \quad (\text{مساوات 7.44})$$

□

- earth, 95
- eddy current loss, 62
- eddy currents, 61, 130
- electric field
 - intensity, 10
- electrical rating, 59
- electromagnet, 135
- electromotive force, 61, 142
- electronics
 - power, 211
- emf, 142
- enamel, 62
- energy, 44
 - co, 115
- Euler, 20
- excitation current, 52, 60, 61
- excitation voltage, 61
- excite, 61
- excited coil, 61

- Faraday's law, 38, 129
- field coil, 135, 255
- flux, 30
- Fourier series, 63, 146
- frequency, 134
- fundamental, 147
- fundamental component, 64

- generator
 - ac, 165
- ground current, 95
- ground wire, 95

- ampere-turn, 33
- armature coil, 135, 255

- capacitor, 198
- carbon bush, 181
- cartesian system, 4
- charge, 10, 141
- circuit breaker, 183
- coercivity, 46
- coil
 - high voltage, 56
 - low voltage, 56
 - primary, 55
 - secondary, 55
- commutator, 170, 245
- conductivity, 25
- conservative field, 111
- core, 55, 130
- core loss, 62
- core loss component, 64
- Coulomb's law, 10
- cross product, 13
- cross section, 9
- current
 - transformation, 66
- cylindrical coordinates, 5

- delta connected, 94
- differentiation, 18
- dot product, 15

- E,I, 62

Ohm's law, 26
 open circuit test, 87
 orthonormal, 3

 parallel connected, 258
 permeability, 26
 relative, 26
 phase current, 95
 phase difference, 22
 phase voltage, 95
 phasor, 21
 pole
 non-salient, 144
 salient, 144
 power, 44
 power factor, 22
 lagging, 22
 leading, 22
 power factor angle, 22
 power-angle law, 192
 primary
 side, 55

 rating, 97, 98
 rectifier, 170
 relative permeability, 26
 relay, 103
 reluctance, 25
 residual magnetic flux, 46
 resistance, 25
 rms, 19, 50, 169
 rotor, 37
 rotor coil, 106
 rpm, 161

 saturation, 47
 scalar, 1
 self excited, 255
 self flux linkage, 43
 self inductance, 43
 separately excited, 255
 side

harmonic, 147
 harmonic components, 64
 Henry, 40
 hunting, 182
 hysteresis loop, 47

 impedance transformation, 71
 induced voltage, 38, 50, 61
 inductance, 40
 leakage, 187
 induction
 motor, 211

 Joule, 44

 lagging, 22
 laminations, 31, 62, 130
 leading, 22
 leakage inductance, 79
 leakage reactance, 79
 line current, 95
 line voltage, 95
 linear circuit, 230
 load, 99
 Lorentz law, 141
 Lorenz equation, 104

 magnetic constant, 26
 magnetic core, 31
 magnetic field
 intensity, 11, 33
 magnetic flux
 density, 33
 leakage, 79
 magnetizing current, 64
 mmf, 30
 model, 81, 211
 mutual flux linkage, 43
 mutual inductance, 43

 name plate, 98
 non-salient poles, 181

transformer
 air core, 59
 communication, 59
 ideal, 65
 oil, 77
 transient state, 179
 turbine, 181

unit vector, 2

VA, 76
 vector, 2
 volt, 141
 volt-ampere, 76
 voltage, 141
 DC, 170
 transformation, 65

Watt, 44

Weber, 33

winding
 distributed, 144
 winding factor, 152

 secondary, 55
 single phase, 23, 59
 slip, 213
 slip rings, 181, 233
 squirrel cage, 236
 star connected, 94
 stator, 37
 stator coil, 106, 131
 steady state, 179
 step down transformer, 58
 step up transformer, 58
 surface density, 11
 synchronous, 134
 synchronous inductance, 188
 synchronous speed, 160, 161, 180

Tesla, 33

theorem

 maximum power transfer, 233

Thevenin theorem, 230

three phase, 59, 93

time period, 101, 146

torque, 170, 213

 pull out, 182

بھنور نما برقی رو، 130
بے بوجھ، 60

پتری، 130، 31
پتریاں، 62
پیش زاویہ، 22

تاخیری، 80
تاخیری زاویہ، 22
تار کا برقی دباؤ، 95
تار کا برقی رو، 95
تانا، 28
تبادلہ

رکاوٹ، 71
تختی، 98

تعدد، 134
تعقب، 182
تفرق، 18

جزوی، 18
تکونی جوڑ، 94
توانائی، 44

ہمہ، 115
تین دوری، 93، 59

ٹرانسفارمر

برقی دباؤ والا، 59
بوجھ بردار، 68
تیل، 77

خلائی قالب، 59
دباؤ بڑھاتا، 58
دباؤ گھٹاتا، 58

ذرائع ابلاغ، 59
رو والا، 59
کامل، 65

ٹسلا، 33
ٹھنڈی تار، 95

ثانوی جانب، 55

چاول، 44
جزو

پھیلاؤ، 152

ابتدائی

جانب، 55
لچھا، 55

ارتباط بہاؤ، 39
اضافی

زاویائی رفتار، 216
اکائی سمتیہ، 2
امالی

برقی دباؤ، 50
امالہ، 40

رستا، 187
امالی برقی دباؤ، 61، 38
ایک، تین پتریاں، 62
ایک پیسہ چکر، 33

بار، 141
برقرار چالو، 179، 101

برقی گھیر، 198
برقیات

قوی، 211
برقی بار، 141، 10

برقی دباؤ، 141، 28
تبادلہ، 65، 56

محرک، 142
پہچانی، 189

یک سمت، 170
برقی رو، 28

بھنور نما، 130
تبادلہ، 66

پہچان انگیز، 52
برقی سکت، 59

برقی میدان، 10
شدت، 28، 10

بش، 181
بناوٹ، 87

بنیادی جزو، 147، 64
بوجھ، 99

بھتی، 117
بھنور نما

برقی رو، 61
ضیاع، 62

- جزو طاقت، 22
پیش، 22
تائخیری، 22
جزیر
بدلتارو، 165
جوڑ
تکونی، 94
ستارہ نما، 94
- چرخاب، 181
چکر فی منٹ، 130
چوٹی، 215
- حال
عارضی، 179
یکساں، 179
- خطی
برقی دور، 230
خودار تباط بہاؤ، 43
خودامالہ، 43
- داخلی پیمان
سلسلہ وار، 258
متوازی، 258
مرکب، 258
دور پڑا مرکب، 258
دور شکن، 183
دوری سمتیہ، 190، 21
دوری عرصہ، 146، 101
- رستا
امالہ، 79
متعاملہ، 79
رستائیت، 221
رفقار
- اضافی زاویائی، 216
روغن، 62
روک، 232
ریاضی نمونہ، 81، 211
ریلے، 103
- زاویائی فرق، 22
- زاویہ جزو طاقت، 22
زمین، 95
زمینی برقی رو، 95
زمینی تار، 95
- ساکن حصہ، 37
ساکن لچھا، 106، 131
ستارہ نما جوڑ، 94
سرکاؤ، 213
سرک چھلے، 181، 233
سطحی نکل، 185
سطحی کثافت، 11
سکت، 97، 98
سلسلہ وار، 150
سمت کار، 245
برقیاتی، 170
میکانی، 170
سمتیہ، 2
عمودی اکائی، 3
سمتی رفقار، 104
سیرابیت، 47
- ضرب
نقطہ، 15
ضرب صلیبی، 13
- طاقت، 44
طاقت بالقابل زاویہ، 192
طول موج، 18
- عمودی تراش، 9
رقبہ، 9
- غیر سمتی، 1
غیر معاصر، 182
- فوریز، 254
فوریز سلسل، 63، 146
فیراڈے
قانون، 38، 129
- قالب، 130

- قالبی ضیاع، 62
جزو، 64
قانون
اوہم، 26
کولمب، 10
لورینز، 141
قدامت پسند میدان، 111
قریب بڑا مرکب، 258
قطب
ایہرے، 181، 144
ہموار، 181، 144
قوت مروڑ، 170، 213
انتہائی، 182
قوی برقیات، 245
قوی لچھے، 255
کاربن بش، 181
کارگزاری، 204
کشافت
برقی رو، 28
کشافت مقناطیسی بہاو
بقایا، 46
کسر دور، 39
گرم ہمار، 95
گھومتا حصہ، 37
گھومتا لچھا، 106
لچھا
ابتدائی، 55
پھیلے، 144
پتھچدار، 41
ثانوی، 55
رخ، 137
زیادہ برقی دباؤ، 56
ساکن، 106
قوی، 135
کم برقی دباؤ، 56
گھومتا، 106
میدانی، 135
محدود
کار تیشی، 4
تکلی، 5
محرک برقی دباؤ، 61
مجوری
لمبائی، 166
مخلوط عدد، 196
مرکب جزئیہ، 258
مزاحمت، 25
مزاحمت پتیا، 241
مساوات لورینز، 104
مسئلہ
تھونن، 230
زیادہ سے زیادہ طاقت کی منتقلی، 233
مشیر کہ ارتباط امالہ، 43
مشیر کہ امالہ، 43
معاصر، 134
مشین، 180
معاصر امالہ، 188
معاصر رفتار، 180، 161، 160
معائنہ
کھلا دور، 87
مقناطیس
برقی، 135
چال کا دائرہ، 47
خاتم شدت، 46
مقناطیسی برقی رو، 64
مقناطیسی بہاو، 30
رستا، 79
کشافت، 33
مقناطیسی چال، 52
مقناطیسی دباؤ، 30
رخ، 146
مقناطیسی قالب، 31، 55
مقناطیسی مستقل، 26، 171
جزو، 26، 31
مقناطیسی میدان
شدت، 11، 33
موٹر
امالی، 211

ہیجان انگیز
 برقی دباؤ، 61
 برقی رو، 61
 ہیجان انگیز برقی رو، 60
 ہیجانی برقی دباؤ، 189
 یک دوری، 23، 59
 یک دوری برقی دباؤ، 95
 یک دوری برقی رو، 95
 یک سمت رو
 مشین، 245
 یو لرمساوات، 20

پنجرہ نما، 236
 موثر، 19، 50
 موثر قیمت، 169
 موسیقائی جزو، 64، 147
 موصیلت، 25
 میدانی لچھے، 255
 واٹ، 44
 وولٹ، 141
 وولٹ۔ ایمپیئر، 76
 دبیر، 33
 دبیر۔ پھر، 39
 پنکچا ہٹ، 25، 30
 ہیجان، 61
 بیرونی، 255
 خود، 255
 لچھا، 61