

برقی آلات

خالد خان یوسفزئی

جامعہ کامیٹ، اسلام آباد

khalidyoufazai@comsats.edu.pk

عنوان

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

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

57	3	ٹرانسفارمر
58	3.1	ٹرانسفارمر کی اہمیت
61	3.2	ٹرانسفارمر کے اقسام
61	3.3	امالی برقی دباؤ
63	3.4	ہیجان انگیز برقی رد اور قابلی ضیاع
66	3.5	تبادلہ برقی دباؤ اور تبادلہ برقی رو کے خواص
70	3.6	ثانوی جانب بوجھ کا ابتدائی جانب اثر
71	3.7	ٹرانسفارمر کی علامت پر نقطوں کا مطلب
72	3.8	رکاوٹ کا تبادلہ
77	3.9	ٹرانسفارمر کا وولٹ-کمپیئر
79	3.10	ٹرانسفارمر کے امالہ اور مساوی ادوار
79	3.10.1	لچھے کی مزاحمت اور اس کی متعاملہ علیحدہ کرنا
81	3.10.2	رستا امالہ
82	3.10.3	ثانوی برقی رد اور قالب کے اثرات
83	3.10.4	ثانوی لچھے کا امالی برقی دباؤ
83	3.10.5	ثانوی لچھے کی مزاحمت اور متعاملہ کے اثرات
85	3.10.6	رکاوٹ کا ابتدائی یا ثانوی جانب تبادلہ
87	3.10.7	ٹرانسفارمر کے سادہ ترین مساوی ادوار
88	3.11	کھلے دور معائنہ اور کسر دور معائنہ
89	3.11.1	کھلا دور معائنہ
91	3.11.2	کسر دور معائنہ
95	3.12	تین دوری ٹرانسفارمر
103	3.13	ٹرانسفارمر چالو کرتے لمحہ زیادہ محرکی برقی رو کا گزر

105	4	برقی اور میکانیکی توانائی کا باہمی تبادلہ
105	4.1	مقناطیسی نظام میں قوت اور قوت مروڑ
111	4.2	تبادلہ توانائی والا ایک لچھے کا نظام
117	4.3	توانائی اور ہم-توانائی
121	4.4	متعدد لچھوں کا مقناطیسی نظام
129	5	گھومتے مشین کے بنیادی اصول
129	5.1	قانون فیئرڈے
130	5.2	معاصر مشین
140	5.3	محرک برقی دباؤ
143	5.4	پچیلے لچھے اور سائن نما مقناطیسی دباؤ
145	5.4.1	بدلتا رو والے مشین
153	5.5	مقناطیسی دباؤ کی گھومتی امواج
153	5.5.1	ایک دور کی لپٹی مشین
155	5.5.2	تین دور کی لپٹی مشین کا تحلیلی تجزیہ
159	5.5.3	تین دور کی لپٹی مشین کا ترسیبی تجزیہ
163	5.6	محرک برقی دباؤ
163	5.6.1	بدلتا رو برقی جزیئر
168	5.6.2	ایک سمت رو برقی جزیئر
169	5.7	ہموار قطب مشینوں میں قوت مروڑ
170	5.7.1	میکانیکی قوت مروڑ بذریعہ ترکیب توانائی
172	5.7.2	میکانیکی قوت مروڑ بذریعہ مقناطیسی دباؤ

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
195	6.5 یکساں حال، برقرار چالو مشین کے خواص
195	6.5.1 معاصر جزیر: برقی بوجھ بالقابل I_m کے خط
196	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 سرک اور 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 پنجرانما 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 جزیئر کی برقی دباؤ 251
- 8.3 قوت مروڑ 253
- 8.4 بیرونی پیمان اور خود پیمان یک سمت جزیئر 255
- 8.5 یک سمت مشین کی کارکردگی کے خط 259
- 8.5.1 حاصل برقی دباؤ بالمتقابل برقی بوجھ 259
- 8.5.2 رفتار بالمتقابل قوت مروڑ 261

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 پہلے ترقی یافتہ ممالک میں ایک سمت موٹر کی جگہ امالی موٹروں نے لینا شروع کیا۔ آج میں یہی 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 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 جڑا ہے۔ اس طرح یک دوری لچھوں کا برقی رو، تار برقی رو ہو گا اور ان پر لاگو برقی دباؤ، یک دوری برقی دباؤ 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۔ یہ دونوں مساوات یہاں یاد دہانی کے لئے دوبارہ پیش کرتے ہیں۔ یہاں ساکن لچھوں میں برقی رو کی تعدد ω_e لکھی گئی ہے اور α صفر لیا گیا ہے۔

$$\tau_s^+(\theta, t) = \frac{3\tau_0}{2} \cos(\theta - \omega_e t) \quad (7.1)$$

$$f_m = \frac{2}{P} f_e$$

7.2 مشین کی سرک اور گھومتی امواج پر تبصرہ

ہم دو قطب کے مشین پر غور کر رہے ہیں جو P قطبی مشین کے لئے بھی درست ہے۔ ساکن لچھوں میں تین دوری برقی رو کی 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 $f < f_e$ ہے۔ ایسی صورت میں ہر سیکنڈ گھومتا حصہ مقناطیسی بہاؤ کی موج سے 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 سرک⁴ کی ناپ ہے۔ اس مساوات سے درج ذیل حاصل ہو گا۔

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

یہاں غور کیجیے گا۔ مقناطیسی بہاو کی موج f_e تعدد سے گھوم رہی ہے جبکہ گھومتے لچھے کی تعدد f 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 کی تعدد بھی $(f_e - f)$ ہو گی۔ مساوات 7.3 کی مدد سے اس امالی برقی دباؤ کی تعدد f_r درج ذیل لکھی جاسکتی ہے۔

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

مشین بطور امالی موٹر استعمال کرنے کے لئے گھومتے لچھے کسر دور کیے جائیں گے۔ ان کسر دور لچھوں میں برقی رو کی 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 کی تعدد پر منحصر ہو گی۔

ساکن موٹر جب چالو کی جائے تو اس کی سرک s اکائی ($s = 1$) ہو گی لہذا گھومتے لچھوں میں برقی رو کی تعدد f_e ہو گی۔ 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 مقناطیسوں کی طرح کوشش کرتی ہیں کہ ان کے بیچ زاویہ صفر ہو۔ یوں موٹر قوت سے مروڑ⁵ پیدا کرتی ہے جسے مساوات 5.92 میں پیش کیا گیا ہے۔ اگر موٹر کے دھرے پر لدے بوجھ کو مشین کی پیدا کردہ قوت مروڑ گھا 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 کی تعدد sf_e ہو گی۔ معاصر رفتار، برقی رو کی تعدد کے برابر ہونے کی بنا 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 کسی رفتار f سے گھوم رہا ہو گا لہذا یہ موج در حقیقت 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 سرک 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 تعداد کتنی ہو گی؟
- 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 سرک 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 کی برقی تعداد $f_r = 0.05 \times 50 = 2.5$ ہرٹز ہو گی۔
- 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 کرتی 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۔ 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

$$\begin{aligned} e_{as}(t) &= \omega_e N_s \phi_0 \cos(\omega_t - 90^\circ) = E_s \cos(\omega_t - 90^\circ) \\ (7.7) \quad e_{bs}(t) &= \omega_e N_s \phi_0 \cos(\omega_t + 150^\circ) = E_s \cos(\omega_t + 150^\circ) \\ e_{cs}(t) &= \omega_e N_s \phi_0 \cos(\omega_t + 30^\circ) = E_s \cos(\omega_t + 30^\circ) \end{aligned}$$

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

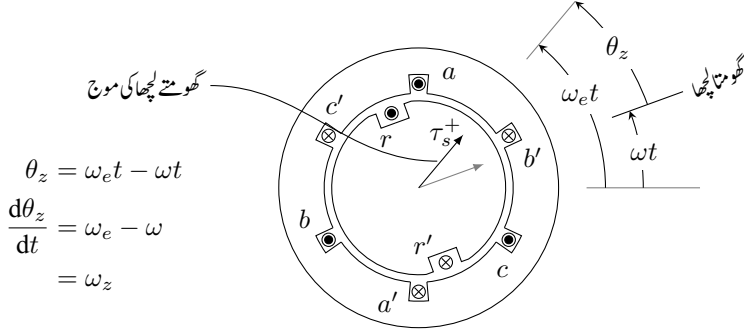
$$(7.8) \quad E_s = \omega_e N_s \phi_0$$

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

مساوات 7.1 کا پہلا جزو، ساکن لچھوں کی پیدا کردہ، گھومتے مقناطیسی دباؤ کی موج کو ظاہر کرتا ہے۔ اس موج 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 پر ہو گی اور لمحہ

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۔

t پر اس موج کی چوٹی زاویہ $\omega_e t$ 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۔

گھومتے لچھے بھی بالکل اسی طرح ہوتے ہیں اگرچہ شکل 7.1 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 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۔
⁹ relative angular speed

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

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

$B_{s,rz}^+$ میں + کا نشان گھڑی کے مخالف رخ گھومتی موج کو ظاہر کرتا ہے جبکہ زیر نوشت میں s, rz اس بات کی یاد دہیانی کرتا ہے کہ یہ موج ساکن لچھوں کی وجہ سے وجود میں آئی اور اسے گھومتے یعنی رواں لچھوں کے حوالے سے دیکھی جا رہی ہے۔ مزید، اس مساوات کی 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 $\omega_z = s\omega_e t$ ہو گا:¹¹

$$(7.13) \quad \begin{aligned} e_{arz}(t) &= s\omega_e N_r \phi_0 \cos(s\omega_e t - 90^\circ) = sE_r \cos(s\omega_e t - 90^\circ) \\ e_{brz}(t) &= s\omega_e N_r \phi_0 \cos(s\omega_e t + 150^\circ) = sE_r \cos(s\omega_e t + 150^\circ) \\ e_{crz}(t) &= s\omega_e N_r \phi_0 \cos(s\omega_e t + 30^\circ) = sE_r \cos(s\omega_e t + 30^\circ) \end{aligned}$$

ان مساوات میں N_r گھومتے لچھے کے چکر ہیں اور E_r درج ذیل ہے۔

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

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 $s\omega_e$ ہو گا۔ بالکل ساکن لچھے کی طرح، گھومتے لچھے کی مزاحمت R_r ¹³ اور اس کا امالہ L_r ہو گا جس کی متعاملیت $j s\omega_e L_r$ درج ذیل ہو گی۔

$$(7.15) \quad j s\omega_e L_r = j sX_r$$

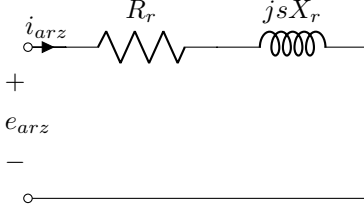
یہاں jX_r کو $j\omega_e L_r$ یعنی jX_r لکھا گیا ہے جو ساکن لچھا (جس کا سرک اکائی ہو گا) کی متعاملیت ہے۔ گھومتے لچھے کا برقی رو i_{arz} شکل 7.2 سے حاصل کیا جا سکتا ہے جہاں گھومتے لچھے کا امالی برقی دباؤ $e_{arz}(t)$ مساوات 7.13 دیتی ہے۔

¹⁰ لفظ ساکن کے س کو ظاہر کرتا ہے، ω_e 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 دہیانی 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۔

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

(7.16)

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

$$i_{brz}(t) = \frac{s E_r}{\sqrt{R_r^2 + s^2 X_r^2}} \cos(s \omega_e t + 150^\circ - \phi_z) = I_{0r} \cos(s \omega_e t - 120^\circ + \theta_0)$$

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

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۔

$$\begin{aligned} \theta_0 &= -90 - \phi_z \\ (7.17) \quad I_{0r} &= \frac{s E_r}{\sqrt{R_r^2 + s^2 X_r^2}} \end{aligned}$$

شکل 7.2 سے واضح ہے کہ ایک گھومتے لچھے کی مزاحمت میں

$$(7.18) \quad p_r = I_{0r}^2 R_r$$

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

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

7.5 گھومتے لچھوں کی گھومتے مقناطیسی دباؤ کی موج

ہم جانتے ہیں کہ ساکن تین دوری لچھوں میں f_e تعداد 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 تعداد 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۔

$$(7.19) \quad \tau_{rz}^+(\theta, t) = k_w \frac{4}{\pi} \frac{N_r I_{0r}}{2} \cos(\theta - s\omega_e t - \theta_0)$$

یہاں I_{0r} اور θ_0 مساوات 7.17 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 جاسکتا ہے۔

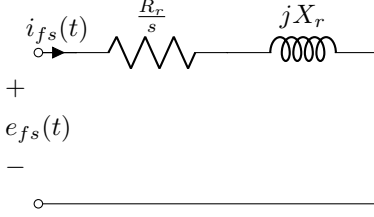
$$(7.20) \quad f + sf_e = f_e(1 - s) + sf_e = f_e$$

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

$$(7.21) \quad \tau_{r,s}^+(\theta, t) = k_w \frac{4}{\pi} \frac{N_r I_{0r}}{2} \cos(\theta - \omega_e t - \theta_0)$$

$\tau_{r,s}^+$ میں + 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 7.21 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 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 ہو گی۔ 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 ہو گی۔ امالی موٹر، لدے بوجھ کے مطابق امواج کے بیچ زاویہ رکھ کر درکار قوت مروڑ پیدا کرتی ہے۔



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

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

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

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

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 دباؤ پیدا ہوں گے:¹⁵

$$(7.22) \quad \begin{aligned} e_{afs}(t) &= \omega_e N_r \phi_0 \cos(\omega_e t - 90^\circ) = E_r \cos(\omega_e t - 90^\circ) \\ e_{bfs}(t) &= \omega_e N_r \phi_0 \cos(\omega_e t + 150^\circ) = E_r \cos(\omega_e t + 150^\circ) \\ e_{cfs}(t) &= \omega_e N_r \phi_0 \cos(\omega_e t + 30^\circ) = E_r \cos(\omega_e t + 30^\circ) \end{aligned}$$

مزید فرض کریں ان فرضی ساکن لچھوں کی مزاحمت $\frac{R_r}{s}$ اور متعاملیت jX_r ہیں:

$$(7.23) \quad Z_{fs} = \frac{R_r}{s} + jX_r$$

اگر ان فرضی ساکن لچھوں پر مساوات 7.22 کے برقی دباؤ لاگو کیے جائیں جیسا شکل 7.3 میں دکھایا گیا ہے تب ان

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

میں درج ذیل برقی رو ہوں گے۔

(7.24)

$$\begin{aligned} i_{afs}(t) &= \frac{E_r}{\sqrt{\left(\frac{R_r}{s}\right)^2 + X_r^2}} \cos(\omega_e t - 90^\circ - \phi_Z) = I_{or} \cos(\omega_e t + \theta_0) \\ i_{bfs}(t) &= \frac{E_r}{\sqrt{\left(\frac{R_r}{s}\right)^2 + X_r^2}} \cos(\omega_e t + 150^\circ - \phi_Z) = I_{or} \cos(\omega_e t - 120^\circ + \theta_0) \\ i_{cfs}(t) &= \frac{E_r}{\sqrt{\left(\frac{R_r}{s}\right)^2 + X_r^2}} \cos(\omega_e t + 300^\circ - \phi_Z) = I_{or} \cos(\omega_e t + 120^\circ + \theta_0) \end{aligned}$$

یہاں مساوات 7.17 استعمال کی گئی ہے۔ دھیان رہے کہ ان مساوات میں رکاوٹ کا زاویہ ϕ_{fZ} وہی ہے جو گھومتے لچھے کا تھا:

$$(7.25) \quad \phi_{fZ} = \tan^{-1} \frac{X}{\left(\frac{R}{s}\right)} = \tan^{-1} \frac{sX}{R} = \phi_Z$$

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

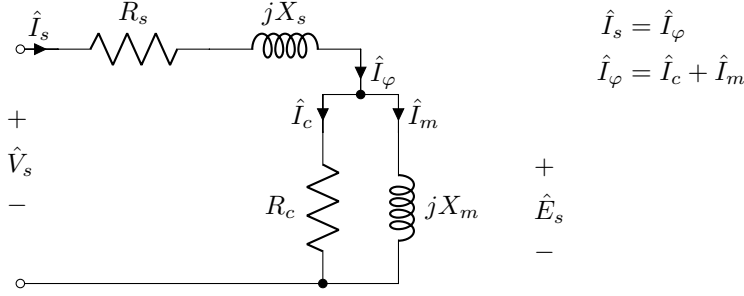
$$(7.26) \quad \tau_{f,s}^+(\theta, t) = k_w \frac{4}{\pi} \frac{N_r I_{or}}{2} \cos(\theta - \omega_e t - \theta_0)$$

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 متعاملیت jX_1 تھی۔ ٹرانسفارمر کے قالب میں وقت کے ساتھ بدلتا مقناطیسی بہا واس لچھے میں امالی برقی دباؤ \hat{E}_1 پیدا کرتا ہے۔ یوں

$$(7.27) \quad \hat{V}_1 = \hat{I}_1 (R_1 + jX_1) + \hat{E}_1$$

لکھا جا سکتا 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 ہو گی۔



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

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 کرنٹ i_s کے برقی دباؤ کے قانون کے تحت درج ذیل ہو گا

$$(7.28) \quad v_s(t) = i_s R_s + L_s \frac{di_s}{dt} + e_s(t)$$

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۔

$$(7.29) \quad \hat{V}_s = \hat{I}_s (R_s + jX_s) + \hat{E}_s$$

ٹرانسفارمر کی مثال آگے بڑھاتے ہیں۔ اگر موٹر کا گھومتا لچھا کھلا دور 18 رکھا جائے تب قالب میں ایک ہی گھومتے مقناطیسی دباؤ کی موج $\tau_s^+(\theta, t)$ ہو گی۔ صرف ساکن لچھے میں برقی رو (\hat{I}_ϕ) ہو گا جو قالب میں مقناطیسی بہاؤ ϕ_s پیدا کرے گا۔ یہ برقی رو \hat{I}_ϕ غیر سائن نما ہو گا۔ فوریر تسلسل 19 کی مدد سے اس کے بنیادی اور ہارمونی اجزاء دریافت 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

¹⁷Kirchoff's voltage law
¹⁸open circuited
¹⁹Fourier series

\hat{I}_c منفی کر کے مقناطیسی جڑو 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۔ یہ قالب میں مقناطیسی بہاؤ φ_s پیدا کرتا ہے۔

$$(7.30) \quad \hat{I}_\varphi = \hat{I}_c + \hat{I}_m$$

امالی موٹر کے مساوی دور میں \hat{I}_c کو مزاحمت R_c سے اور \hat{I}_m کو X_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:

$$(7.31) \quad R_c = \frac{\hat{E}_s}{\hat{I}_c} = \frac{E_s}{I_c}$$

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

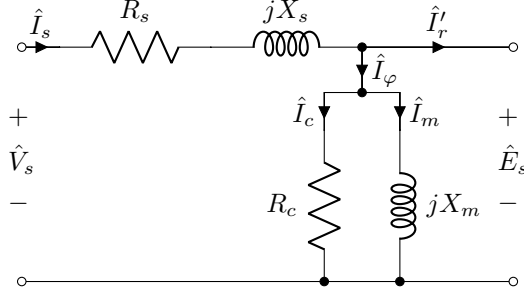
مقناطیسی دباؤ کی موج $\tau_s^+(\theta, t)$ گھومتے لچھے میں بھی امالی برقی دباؤ پیدا کرے گی۔ مساوات 7.29 میں اگر رکاوٹ میں برقی دباؤ کے گٹھنے کو نظر انداز کیا جائے تب لاگو بیرونی برقی دباؤ اور لچھے کا اندرونی امالی برقی دباؤ ہر حالت میں ایک دوسرے کے برابر ہوں گے۔ اب تصور کریں کہ گھومتے لچھے کسر دور کر دیے جاتے ہیں۔ ایسا کرتے ہی ان میں برقی رو گزرنے لگے گئیں جو مقناطیسی دباؤ کی موج $\tau_{r,s}^+(\theta, t)$ جو مساوات 7.21 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 جاتی ہے جہاں اضافی برقی رو درج ذیل ہو گا۔

$$(7.32) \quad \begin{aligned} i'_{ar}(t) &= I'_{or} \cos(\omega_e t + \theta_0) \\ i'_{br}(t) &= I'_{or} \cos(\omega_e t - 120^\circ + \theta_0) \\ i'_{cr}(t) &= I'_{or} \cos(\omega_e t + 120^\circ + \theta_0) \end{aligned}$$

یہ اضافی برقی رو درج ذیل موج پیدا کرتے ہیں۔

$$(7.33) \quad \tau_{(r)}^+(\theta, t) = k_w \frac{4}{\pi} \frac{N_s I'_{or}}{2} \cos(\theta - \omega_e t - \theta_0)$$



شکل 7.5: مساوی دور اضافی برقی رو کے ساتھ۔

ساکن لچھوں میں اضافی برقی رونے ہر لمحہ گھومتے لچھوں کے برقی رو کے اثر کو ختم کرنا ہے لہذا یہ دونوں برقی رو ہم قدم²⁰ ہوں گے۔ چونکہ درج بالا مساوات اور مساوات 7.21 برابر ہیں لہذا درج ذیل ہو گا۔

$$(7.34) \quad N_s I'_{0r} = N_r I_{0r}$$

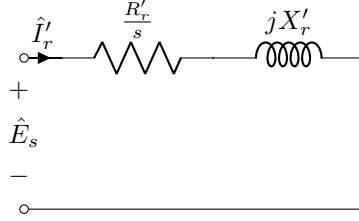
مساوات 7.17 استعمال کرتے ہوئے یوں درج ذیل ہو گا۔

$$(7.35) \quad I'_{0r} = \left(\frac{N_r}{N_s} \right) I_{0r} = \left(\frac{N_r}{N_s} \right) \frac{s E_r}{\sqrt{R_r^2 + s^2 X_r^2}}$$

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

$$(7.36) \quad R'_r = \left(\frac{N_s}{N_r} \right)^2 R_r$$

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



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

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

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

شکل 7.6: گھومتے لچھے کا ایک اور مساوی دور۔

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

$$(7.37) \quad \begin{aligned} i'_a(t) &= \frac{sE_s}{\sqrt{R_r'^2 + s^2 X_r'^2}} \cos(\omega_e t - 90^\circ - \phi_z) \\ i'_b(t) &= \frac{sE_s}{\sqrt{R_r'^2 + s^2 X_r'^2}} \cos(\omega_e t + 150^\circ - \phi_z) \\ i'_c(t) &= \frac{sE_s}{\sqrt{R_r'^2 + s^2 X_r'^2}} \cos(\omega_e t + 30^\circ - \phi_z) \end{aligned}$$

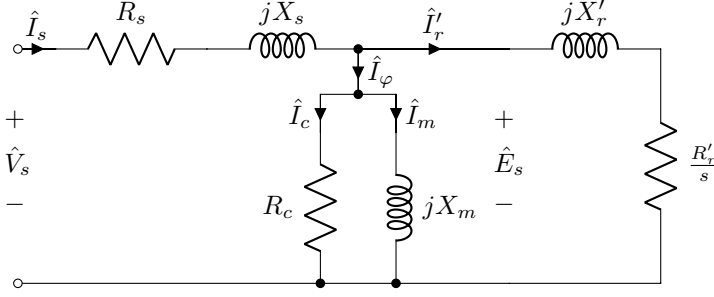
ان سب کے حیطے ایک دوسرے کے برابر ہیں۔ اس حیطہ کو

$$(7.38) \quad \frac{sE_s}{\sqrt{R_r'^2 + s^2 X_r'^2}} = \frac{s\omega_e N_s \phi_0}{\sqrt{\left(\frac{N_s}{N_r}\right)^2 (R_r^2 + s^2 X_r^2)}} = \left(\frac{N_r}{N_s}\right) I_{0r} = I'_{0r}$$

لکھ کر مساوات 7.37 کو درج ذیل صورت میں لکھا جاسکتا ہے۔

$$(7.39) \quad \begin{aligned} i'_a(t) &= I'_{0r} \cos(\omega_e t - 90^\circ - \phi_z) \\ i'_b(t) &= I'_{0r} \cos(\omega_e t + 150^\circ - \phi_z) \\ i'_c(t) &= I'_{0r} \cos(\omega_e t + 30^\circ - \phi_z) \end{aligned}$$

یہ مساوات بالکل مساوات 7.32 کی طرح ہے۔ یوں شکل 7.5 میں سآکن لچھوں کے امالی برقی دباؤ \hat{E}_s کے متوازی شکل 7.6 جوڑنے سے سآکن لچھوں میں اضافی برقی رو اتنا ہی ہوگا جتنا اصل موٹر میں گھومتے لچھوں کی بنا ہوگا۔ شکل 7.7 میں ایسا کرتے ہوئے امالی موٹر کا مساوی برقی دور حاصل کیا گیا ہے جو امالی موٹر کی صحیح عکاسی کرتا 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 جاسکتا ہے۔

$$(7.40) \quad p_{\text{ضیاع}} = I_{0r}^2 R_r = \left(\frac{N_s^2}{N_r^2} I_{0r}^2 \right) \left(\frac{N_r^2}{N_s^2} R_r' \right) = I_{0r}'^2 R_r'$$

شکل 7.7 سے ظاہر ہے کہ ایک گھومتے لچھے کو کل

$$(7.41) \quad p_r = I_{0r}'^2 \frac{R_r'}{s}$$

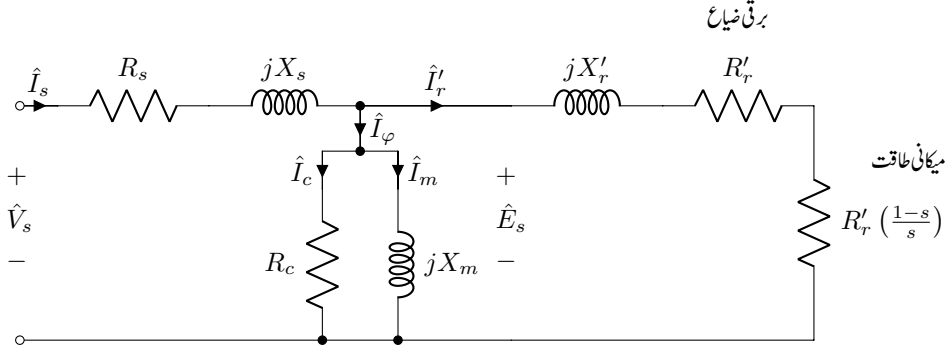
برقی طاقت دی جاتی ہے جس میں سے ضیاع $p_{\text{ضیاع}}$ گھومتے لچھے کی مزاحمت میں ضائع ہو جاتی ہے اور بقیہ بطور میکانیکی طاقت مشین کے دھرے پر پائی جاتی ہے یعنی

$$(7.42) \quad p = I_{0r}'^2 \frac{R_r'}{s} - I_{0r}'^2 R_r' = I_{0r}'^2 \frac{R_r'}{s} (1 - s) = p_r (1 - s)$$

یوں تین دوری مشین جس میں تین لچھے ہوتے ہیں اس کے تین گنا میکانیکی طاقت فراہم کر سکتی ہے یعنی

$$(7.43) \quad p_{\text{میکانی}} = 3 I_{0r}'^2 \frac{R_r'}{s} (1 - s) = 3 p_r (1 - s)$$

اس مساوات سے واضح ہے کہ اگر سرک ایک کے برابر ہو تو موٹر کوئی میکانیکی 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 کا دوسرا 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 ناقابل 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 $I_{0r}^2 R'_r$ گھومتے لچھے کی ضیاع ہے جبکہ مزاحمت $R'_r \left(\frac{1-s}{s} \right)$ میں برقی طاقت کی ضیاع $I_{0r}^2 R'_r \left(\frac{1-s}{s} \right)$ دراصل میکائی طاقت ہے۔ یاد رہے کہ تین دوری مشین کے لئے یہاں سے حاصل نتائج کو تین سے ضرب دینا ہو گا۔

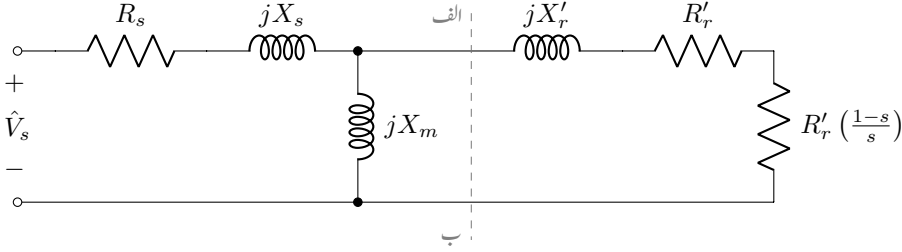
میکائی طاقت، قوت مروڑ ضرب میکائی زاویائی رفتار ہوتی ہے۔ امالی موٹر کی میکائی زاویائی رفتار مساوات 7.3 میں دی گئی ہے جبکہ مساوات 5.53 میں میکائی معاصر رفتار ω_{sm} دی گئی ہے۔ یوں

$$(7.44) \quad p = T_m \omega = T_m \times 2\pi f = T_m \times 2\pi(1-s)f_s = T_m(1-s)\omega_{sm}$$

الہذا

$$(7.45) \quad T_m = \frac{p}{(1-s)\omega_{sm}} = \frac{3I_{0r}^2 R'_r}{\omega_{sm} s}$$

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



اس کا مساوی تھونن دور بنائیں

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

ٹرانسفارمر کے سادہ ترین مساوی دور بناتے وقت 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 بہاؤ پیدا کرنے کے لئے بہت زیادہ مقناطیسی دباؤ درکار ہوتی ہے۔ حقیقت میں بے بوجھ امالی موٹر کو اپنے پورے برقی رو کے تیس سے پچاس فی صد برقی رو قالب کو بیجان کرنے کے لئے درکار ہوتی ہے۔ مزید یہ کہ خلائی درز کی وجہ سے اس کی رستا امالہ بھی زیادہ ہوتی 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 دکھایا 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 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۔ قابلی 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 دوری برقی دباؤ $\frac{415}{\sqrt{3}} = 239.6$ وولٹ ہے۔ یوں ساکن لچھے کی برقی رو

$$\hat{I}_s = \frac{\hat{V}_s}{R_s + jX_s + Z}$$

$$= \frac{239.6}{0.5 + j0.99 + 10.147 + j7.375}$$

$$= 17.6956 \angle -38.155^\circ$$

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۔

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

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

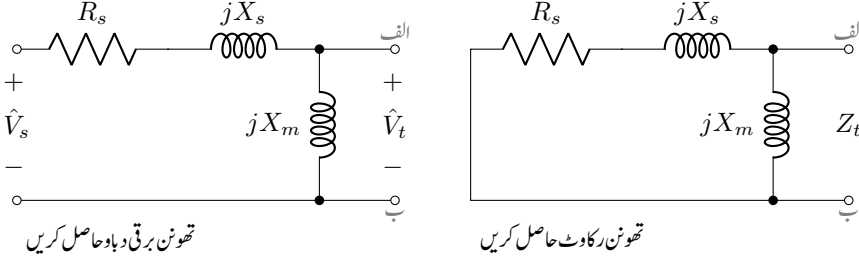
$$p_{\text{میکانی}} = 9532 \times (1 - 0.02) = 9341 \text{ W}$$

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 مردوڑ

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

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 کار گزاری $\% = \frac{8741}{10001.97} \times 100 = 87.39$ ہے۔ □



شکل 7.10: تھونن رکاوٹ اور تھونن برقی دباؤ حاصل کرنے کے دور۔

7.9 امالی موٹر کا مساوی تھونن دور یاریاضی 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 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۔

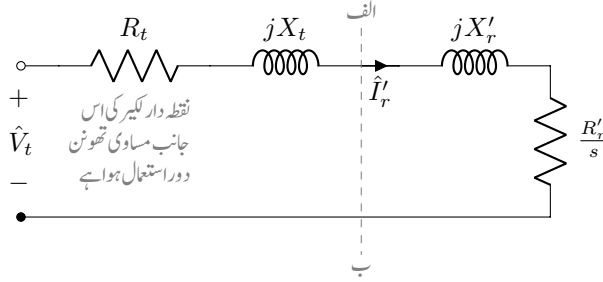
برقی دور کے دو برقی سروں کے مابین تھونن رکاوٹ حاصل کرنے کے لئے اس برقی دور کے اندرونی برقی دباؤ کسر دور کر کے ان دو برقی سروں کے مابین رکاوٹ معلوم کی جاتی ہے۔ یہی رکاوٹ، تھونن رکاوٹ ہے۔ انہیں برقی سروں پر تھونن برقی دباؤ حاصل کرنے کے لئے دیئے گئے برقی دور کے اندرونی برقی دباؤ برقرار رکھ کر ان دو سروں پر برقی دباؤ معلوم کی جاتی ہے۔ یہی برقی دباؤ درحقیقت تھونن برقی دباؤ ہے۔ بعض اوقات ہم ایک برقی دور کے ایک خاص حصے کا مساوی تھونن دور بنانا چاہتے ہیں۔ ایسا کرتے وقت بتایا 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 با کے مابین مساوی تھونن رکاوٹ اور تھونن برقی دباؤ یہ ہیں۔

$$Z_t = \frac{(R_s + jX_s)jX_m}{R_s + jX_s + jX_m} = R_t + jX_t \quad (7.46)$$

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

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 مساوات میں کیا گیا ہے۔

²¹Thevenin theorem
²²linear circuit
²³complex 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 دوری سمتیہ کی استعمال سے مندرجہ ذیل برقی رو \hat{I}_r' حاصل ہوتی ہے۔

$$\hat{I}_r' = \frac{\hat{V}_t}{R_t + jX_t + \frac{R_r'}{s} + jX_r'} \quad (7.47)$$

$$|\hat{I}_r'| = I_r' = \frac{V_t}{\sqrt{\left(R_t + \frac{R_r'}{s}\right)^2 + (X_t + X_r')^2}}$$

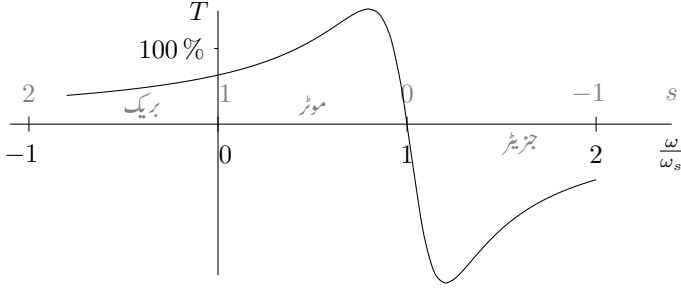
چونکہ I_r' کی قیمت پر \hat{V}_t کے زاویے کا کوئی اثر نہیں لہذا مساوی تھونن دور میں \hat{V}_t کی جگہ $V \angle 0$ استعمال کیا جاسکتا ہے۔ بقایا کتاب میں ایسا ہی کیا جائے گا۔

مساوات 7.45 سے یوں تین دوری مشین کی قوت مروڑ یہ ہوگی

$$T = \frac{1}{\omega_{sm}} \frac{3V_t^2 \left(\frac{R_r'}{s}\right)}{\left(R_t + \frac{R_r'}{s}\right)^2 + (X_t + X_r')^2} \quad (7.48)$$

$$= \frac{1}{\omega_{sm}} \frac{3V_t^2 \left(\frac{R_r'}{s}\right)}{\frac{R_r'^2}{s^2} + 2R_t \frac{R_r'}{s} + R_t^2 + (X_t + X_r')^2}$$

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 از خود گھومتے مقناطیسی موج کی سمت میں گھومتی ہے اور اس کی رفتار معاصر رفتار سے قدر کم رہتی ہے۔ زیادہ سرک پر موٹر کی کارگزاری نہایت خراب ہو جاتی ہے۔ اسی لئے لگانا استعمال کے وقت اسے تقریباً پانچ فی



شکل 7.12: امالی موٹر کی قوت مروڑ بالمقابل سرک۔

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 جزیئر کے طور پر کام کرنے شروع ہو جائے گی۔ ایسا کرنے کے لئے بیرونی میکانیکی طاقت درکار ہوگی۔ اگرچہ امالی مشین عام طور پر جزیئر کے طور پر استعمال نہیں ہوتے البتہ ہوا سے برقی طاقت پیدا کرنے میں یہ جزیئر کے طور پر کارآمد 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 دباؤ کی موج کی الٹ سمت میں گھمایا جائے۔ موٹر کو جلد ساکن حالت میں لانے کے لئے یوں کیا جاتا ہے۔ تین دوری موٹر پر لاگو برقی دباؤ کی کسی دو برقی دباؤ کو آپس میں الٹا دیا جاتا ہے۔ اس طرح موٹر کی ساکن لچھوں کی گھومتی مقناطیسی موج یکدم الٹ 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 دباؤ منقطع کر دی جاتی ہے۔ امالی موٹر یوں ریل گاڑی میں عموماً بطور بریک²⁴ استعمال کی جاتی ہے۔

یوں امالی مشین $s < 0$ کی صورت میں بطور جزیئر، $0 < s < 1$ 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 جاسکتی ہے۔ قوت مروڑ اُسی لمحہ زیادہ سے زیادہ ہوگی جب گھومتے حصے کو زیادہ سے زیادہ طاقت میسر ہو۔ زیادہ سے زیادہ طاقت منتقل کرنے کے مسئلہ²⁵

brake²⁴
maximum power theorem²⁵

کے مطابق مزاحمت $\frac{R'_r}{s}$ میں طاقت کا ضیاع اس وقت زیادہ سے زیادہ ہو گا جب

$$(7.49) \quad \frac{R'_r}{s} = |R_t + jX_t + jX'_r| = \sqrt{R_t^2 + (X_t + X'_r)^2}$$

ہو۔ اس مساوات سے زیادہ سے زیادہ طاقت پر سرک s_z کو یوں لکھ سکتے ہیں۔

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

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 جاسکتی ہے

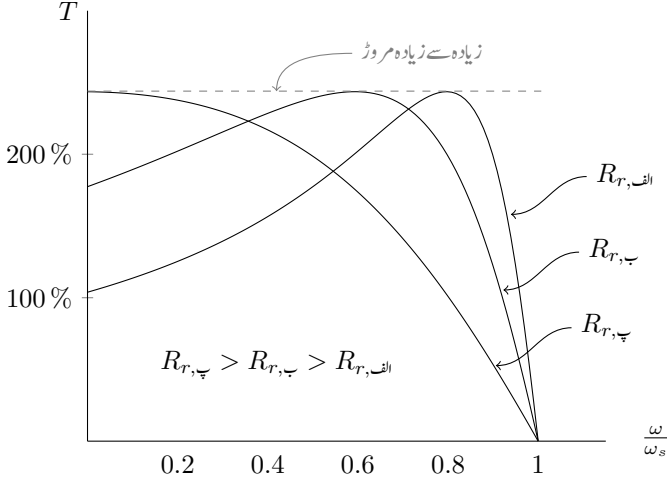
$$(7.51) \quad \begin{aligned} T_z &= \frac{1}{\omega_{sm}} \frac{3V_t^2 \left(\frac{R'_r}{s}\right)}{\frac{R'^2_r}{s^2} + 2R_t \frac{R'_r}{s} + \frac{R'^2_r}{s^2}} \\ &= \frac{1}{\omega_{sm}} \frac{3V_t^2}{2 \left(R_t + \frac{R'_r}{s}\right)} \\ &= \frac{1}{\omega_{sm}} \frac{3V_t^2}{2 \left(R_t + \sqrt{R_t^2 + (X_t + X'_r)^2}\right)} \end{aligned}$$

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 جاسکتی ہے۔ آئیں دیکھیں کہ یہ کیسا کیا جاتا ہے۔

امالی موٹر کے گھومتے لچھوں کے برقی سروں کو سرک چھلوانے²⁶ 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 $R_r + R_{\text{بیرونی}}$ 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 جاسکتی ہے۔ شکل 7.13 میں مزاحمت $R_{r,p}$ کے ساتھ ساکن موٹر کو چالو کرتے وقت زیادہ سے زیادہ

slip rings²⁶
شکل کے نمونے پر۔²⁷



شکل 7.13: بیرونی مزاحمت لگانے کے قوت مروڑ بالمتقابل 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 لہذا اس طرح موٹر کو زیادہ دیر نہیں چلایا جاتا اور جیسے ہی اس کی رفتار بڑھ جاتی ہے، اس سے جڑے بیرونی مزاحمتیں منقطع کر کے گھومتے لچھوں کے برقی سرے کسر دور کر دیئے جاتے ہیں۔

مثال 7.3: صفحہ 228 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 دوری برقی دباؤ $\frac{415}{\sqrt{3}} = 239.6$ استعمال کرتے ہوئے مساوات 7.46 کی مدد سے

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

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

مساوات 7.47 میں تین فی صد سرک پر $\frac{R'_s}{s} = 10.3333$ کے استعمال سے

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

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

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 یہی قیمت حاصل ہوتی۔

مساوات 7.43 اور 7.44 کی مدد سے

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

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

• مساوات 7.50 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 ہوگی۔

• چالو کرتے لمحہ پر سرک ایک ہوگی لہذا $\frac{R'_s}{s} = 0.31$ ہوگا اور یوں

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

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

اس لمحہ قوت مروڑ

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

□

مثال 7.4: دو قطب ستارہ جڑا پچاس ہرٹز پر چلنے والا تین دوری امالی موٹر 2975 چکر فی منٹ کی رفتار پر بارہ کلوواٹ کے میکانیکی بوجھ سے لدا ہے۔ موٹر کی سرک اور دھرے پر قوت مروڑ حاصل کریں۔

حل: معاصر رفتار $50 = \frac{2}{2} \times 50 = \frac{2}{P} f_e$ 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 لہذا اس کے دھرے پر قوت مروڑ 38 N m ہوگی۔

□

7.10 پنجرانما 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 سب سروں کو بھی ایک تانبے کی دائرہ نما سلاخ سے کسر دور کر دیں۔ اس طرح تانبے کی سلاخوں کا پنجرہ بن جاتا ہے۔ اسی لئے ایسے امالی موٹروں کو پنجرانما امالی موٹر کہتے ہیں۔

حقیقت میں شکافوں میں پگھلا تانبا یا سلور²⁸ 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 بنائے جاتے ہیں۔ اس طرح یہ ایک مضبوط گھومتا حصہ بن جاتا ہے۔ اسی مضبوطی کی وجہ سے پنجرانما امالی موٹر نہایت مقبول ہوا ہے۔ ایسے موٹر سالوں تک بغیر دیکھ ہال کے کام کرتے ہیں اور عام زندگی میں ہر جگہ پائے جاتے ہیں۔ گھروں میں پانی کے پمپ اور پتکھے انہیں سے چلتے ہیں۔

²⁸copper, 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 دوری امالی موٹر کی مثال سے ان معائنوں کا تذکرہ کرتے ہیں۔

7.11.1 بے بوجھ موٹر کا معائنہ

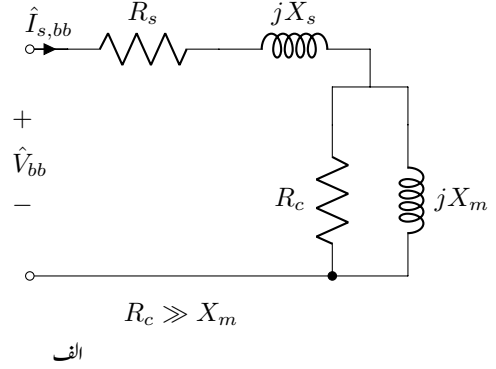
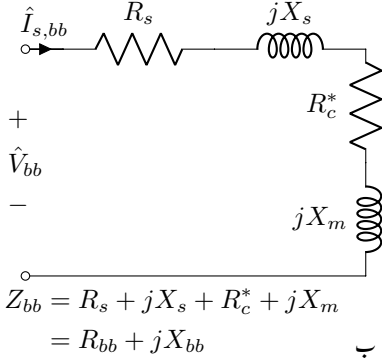
یہ معائنہ بالکل ٹرانسفارمر کے بے بوجھ معائنہ کی طرح ہے۔ اس میں موٹر کی ہیمجان انگیز برقی رو اور بے بوجھ موٹر میں طاقت کے ضیاع کی معلومات حاصل ہوتی ہیں۔

اس میں بے بوجھ امالی موٹر پر تین دوری مساوی برقی دباؤ V_{bb}^{29} لاگو کر کے بے بوجھ موٹر کی برقی طاقت کا ضیاع p_{bb} اور اس کے ساکن لچھے کی ہیمجان انگیز برقی رو $I_{s,bb}$ ناپی جاتی ہے۔ یہ معائنہ امالی موٹر کی پورے برقی دباؤ 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 ہوگی اور اس سے گھومتے لچھوں میں برقی طاقت کے ضیاع کو نظر انداز کیا جاسکتا ہے۔ اسی بات کو صفحہ 226 پر شکل 7.7 کی مدد سے بھی سمجھا جاسکتا 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 جاسکتا ہے۔ ایسا کرنے سے شکل 7.14-الف ملتا ہے۔

شکل 7.14-الف میں R_c اور X_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

²⁹ 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۔

$$\begin{aligned}
 Z_m &= \frac{R_c jX_m}{R_c + jX_m} \\
 &= \frac{R_c jX_m}{R_c + jX_m} \frac{R_c - jX_m}{R_c - jX_m} \\
 &= \frac{jR_c^2 X_m + R_c X_m^2}{R_c^2 + X_m^2} \\
 &\approx \frac{jR_c^2 X_m + R_c X_m^2}{R_c^2} \quad \text{چونکہ } R_c \gg X_m \\
 &= jX_m + \frac{X_m^2}{R_c} = jX_m + R_c^* = Z_s
 \end{aligned}
 \tag{7.52}$$

بے بوجھ ٹرانسفارمرز میں ابتدائی لچھوں کے برقی طاقت کے ضیاع کو بھی نظر انداز کیا جاتا ہے۔ بے بوجھ امالی موٹروں کی چیمبر انگیز برقی رو کافی زیادہ ہوتی 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 اگر تین ساکن لچھوں کی برقی ضیاع منفی کی جائے تو اس میں میکانیکی طاقت کے ضیاع کا حساب لگایا جاسکتا ہے یعنی

$$p_{\text{ضیاع}} = p_{bb} - 3I_{s,bb}^2 R_s \tag{7.53}$$

میکانیکی 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۔

$$\begin{aligned}
 R_{bb} &= \frac{p_{bb}}{3I_{s,bb}^2} \\
 Z_{bb} &= \frac{V_{bb}}{I_{s,bb}} \\
 X_{bb} &= \sqrt{|Z_{bb}|^2 - R_{bb}^2} \\
 X_{bb} &= X_s + X_m
 \end{aligned}
 \tag{7.54}$$

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

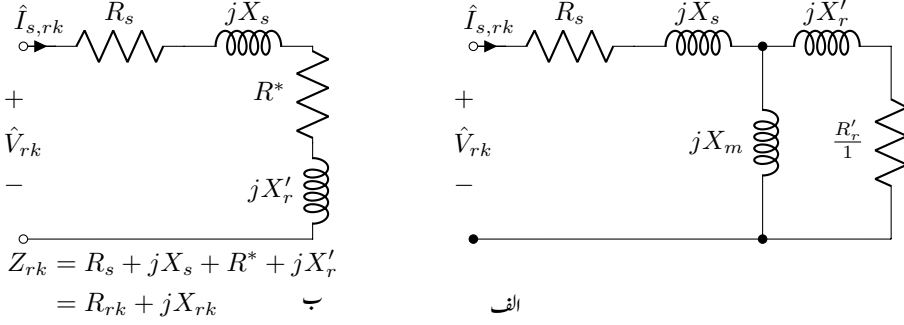
7.11.2 جامد موٹر کا معائنہ

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 کی رستا مالہ گھومتے لچھوں میں برقی تعدد اور قالب کے سیراب 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 دباؤ 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 مد 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 $I_{t=0}^{30}$ ہوتی ہے، لہذا اگر اس لمحہ کے نتائج درکار ہوں تو موٹر کے ساکن لچھوں پر عام تعدد یعنی f_e کی اتنی برقی دباؤ 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 $I_{t \rightarrow \infty}^{31}$ ہوتی ہے تو معائنہ میں $s f_e$ تعدد کی برقی دباؤ استعمال کی جائے گی اور اس کی مقدار اتنی

³⁰ اس لمحہ کے برقی رو کو چھوٹی لکھائی میں وقت صفر سے منسلک کیا گیا ہے یعنی $t = 0$
³¹ زیر نوشت میں $\infty \rightarrow t$ اس بات کو ظاہر کرتی ہے کہ موٹر کافی دیر سے چالو ہے اور یہ ایک برقرار قار تک پہنچ گئی ہے۔



شکل 7.15: ر کے امالی موٹر کا معائنہ۔

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 کی برقی دباؤ پر ہی کیا جاتا ہے۔

یہاں صفحہ 226 پر دکھائے شکل 7.7 کو ر کے موٹر کے معائنہ کی نقطہ نظر سے دوبارہ بناتے ہیں۔ ر کے موٹر کی سرک ایک کے برابر ہوتی ہے۔ مزید یہ کہ اس معائنہ میں لاگو برقی دباؤ عام چالو موٹر پر لاگو برقی دباؤ سے خاصی کم ہوتی ہے۔ اتنی کم لاگو برقی دباؤ 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-الف ملتا ہے۔ چونکہ $s = 1$ ہے لہذا اس شکل میں R'_r کو $\frac{R'_r}{s}$ 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۔

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

اگر ان مساوات میں $X_m \gg X'_r$ اور $X_m \gg R'_r$ لیا جائے تو حاصل ہوتا ہے۔

$$(7.56) \quad R_s^* \approx R'_r \left(\frac{X_m}{X_m + X'_r} \right)^2$$

$$(7.57) \quad X_s^* \approx \frac{X_m R_r'^2}{X_m^2} + \frac{X_m^2 X'_r}{X_m^2} + \frac{X_m X_r'^2}{X_m^2} \approx X'_r$$

اس معائنہ میں ناپے مقداروں اور شکل 7.15-ب سے

$$(7.58) \quad \begin{aligned} Z_{rk} &= \frac{V_{rk}}{I_{s,rk}} \\ R_{rk} &= \frac{p_{rk}}{3I_{s,rk}^2} \\ X_{rk} &= \sqrt{|Z_{rk}|^2 - R_{rk}^2} \end{aligned}$$

حاصل ہوتے ہیں۔ اس مساوات کے پہلے جزو میں ناپے برقی دباؤ 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

$$(7.59) \quad X_{rk} = X_s + X'_r$$

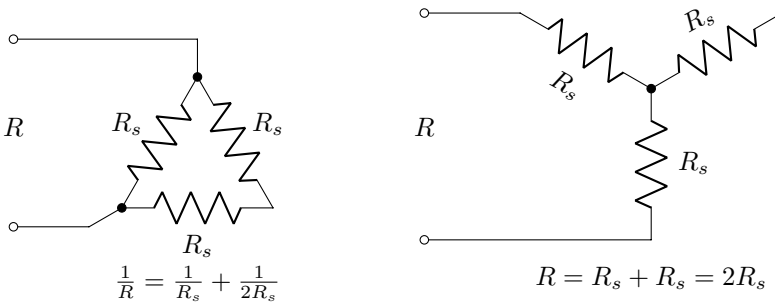
امالی مشین مختلف خصوصیات کو مد نظر رکھ کر بنائے جاتے ہیں۔ عام آدمی کے آسانی کے لئے ایسے مشینوں کی درجہ بندی کی جاتی ہے۔ جدول 7.1 میں پنچرا نما امالی موٹر کے مختلف اقسام A, B, C, D اور ایسی مشین جن کا گھمتا حصہ لچھے پر مشتمل ہو، کے رستا متعاملیت X_{rk} کو ساکن اور گھومتے لچھوں میں تقسیم کرنا دکھایا گیا ہے۔ اس جدول کے مطابق، گھومتے لچھے والی مشین میں ساکن اور گھومتے متعاملیت برابر ہوتے ہیں۔ اسی طرح شکل 7.15-ب سے واضح ہے کہ $R_{rk} = R^* + R_s$ لہذا اگر ساکن لچھے کی مزاحمت R_s براہ راست مزاحمت ناپنے کے آلہ یعنی اوہم میٹر³² سے ناپی جائے تو

$$(7.60) \quad R^* = R_{rk} - R_s$$

ہو گا اور اب R'_r کو مساوات 7.56 سے حاصل کیا جاسکتا ہے جہاں X_m بے بوجھ امالی موٹر کے معائنہ میں حاصل کی جاتی ہے۔

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 ٹکونی 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 ٹکونی جڑی ہے۔ شکل 7.16 میں لچھے کو دونوں طرح جڑا دکھایا گیا ہے۔ اگر ایک دوری مزاحمت R_s ہو تو ستارہ جڑی موٹر میں اوہم میٹر $2R_s$ مزاحمت دے گی جبکہ ٹکونی 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 میکانیکی 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 دوری برقی دباؤ $\frac{415}{\sqrt{3}} = 239.6 \text{ V}$ ہے جس سے

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

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

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

لہذا ر کے 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

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

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

ر کے موٹر کے معائنہ میں یک دوری برقی دباؤ $\frac{50}{\sqrt{3}} = 28.9$ وولٹ ہیں یوں اس معائنہ سے

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

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

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

حاصل ہوتے ہیں۔ اس معائنہ میں برقی تعدد 15 ہرٹز تھی لہذا 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 لہذا

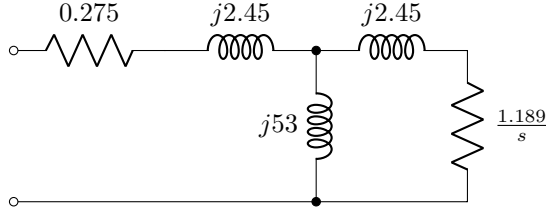
$$X_s = X'_r = \frac{4.9}{2} = 2.45 \Omega$$

یوں

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

چونکہ $R_s = 0.275$ اوہم ہے لہذا

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



شکل 7.17: امالی موٹر کی مساوی برقی دور۔

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 تھوڑن مساوی دور استعمال کرتے ہوئے

$$V_t = 229/0.2833^\circ$$

$$Z_t = 0.251 + j2.343$$

$$|\hat{I}'_r| = 11.8 \text{ A}$$

$$p_m = \frac{3 \times 11.8^2 \times 0.974 \times (1 - 0.05)}{0.05} = 7730 \text{ W}$$

□

- earth, 97
- eddy current loss, 64
- eddy currents, 63, 130
- electric field
 - intensity, 12
- electrical rating, 61
- electromagnet, 135
- electromotive force, 63, 141
- emf, 141
- enamel, 64
- energy, 46
 - co, 117
- Euler, 22
- excitation current, 54, 62, 63
- excitation voltage, 63
- excite, 63
- excited coil, 63

- Faraday's law, 40, 129
- field coil, 135, 255
- flux, 32
- Fourier series, 65, 145
- frequency, 134
- fundamental, 146
- fundamental component, 66

- generator
 - ac, 163
- ground current, 97
- ground wire, 97

- harmonic, 146

- ampere-turn, 35
- armature coil, 135, 255

- carbon bush, 181
- cartesian system, 6
- charge, 12, 140
- circuit breaker, 183
- coercivity, 48
- coil
 - high voltage, 58
 - low voltage, 58
 - primary, 57
 - secondary, 57
- commutator, 168, 245
- conductivity, 27
- conservative field, 113
- core, 57, 130
- core loss, 64
- core loss component, 66
- Coulomb's law, 12
- cross product, 15
- cross section, 11
- current
 - transformation, 68
- cylindrical coordinates, 7

- delta connected, 96
- design, 199
- differentiation, 20
- dot product, 17

- E,I, 64

parallel connected, 257
 permeability, 28
 relative, 28
 phase current, 97
 phase difference, 24
 phase voltage, 97
 phasor, 23
 pole
 non-salient, 143
 salient, 143
 power, 46
 power factor, 24
 lagging, 24
 leading, 24
 power factor angle, 24
 power-angle law, 192
 primary
 side, 57

 rating, 99, 100
 rectifier, 168
 relative permeability, 28
 relay, 105
 reluctance, 27
 residual magnetic flux, 48
 resistance, 27
 rms, 21, 52, 168
 rotor, 39
 rotor coil, 108
 rpm, 159

 saturation, 49
 scalar, 3
 self excited, 255
 self flux linkage, 45
 self inductance, 45
 separately excited, 255
 side
 secondary, 57
 single phase, 25, 61
 slip, 213
 slip rings, 180, 235

harmonic components, 66
 Henry, 41
 hunting, 182
 hysteresis loop, 48

 impedance transformation, 73
 induced voltage, 40, 51, 63
 inductance, 41
 leakage, 187

 Joule, 46

 lagging, 24
 laminations, 33, 64, 130
 leading, 24
 leakage inductance, 81
 leakage reactance, 81
 line current, 97
 line voltage, 97
 linear circuit, 230
 load, 101
 Lorentz law, 140
 Lorenz equation, 106

 magnetic constant, 28
 magnetic core, 33
 magnetic field
 intensity, 13, 35
 magnetic flux
 density, 35
 leakage, 81
 magnetizing current, 66
 mmf, 32
 model, 83, 211
 mutual flux linkage, 45
 mutual inductance, 45

 name plate, 100
 non-salient poles, 181

 Ohm's law, 28
 open circuit test, 89
 orthonormal, 5

unit vector, 4

VA, 78

vector, 4

volt, 140

volt-ampere, 78

voltage, 140

DC, 168

transformation, 67

Watt, 46

Weber, 35

winding

distributed, 143

winding factor, 151

star connected, 96

stator, 39

stator coil, 108, 131

steady state, 179

step down transformer, 60

step up transformer, 60

surface density, 13

synchronous, 134

synchronous inductance, 188

synchronous speed, 159, 180

Tesla, 35

theorem

maximum power transfer, 233

Thevenin theorem, 230

three phase, 61, 95

time period, 103, 145

torque, 169, 213

pull out, 182

transformer

air core, 61

communication, 61

ideal, 67

oil, 79

transient state, 179

- ابتدائی
جانب، 57
لچھا، 57
ارتباط بہاؤ، 41
اضافی
زاویائی رفتار، 216
اکائی سمتیہ، 4
امالہ، 41
رستا، 187
امالی
برقی دباؤ، 51
امالی برقی دباؤ، 63، 40
اوہم میٹر، 242
ایک، تین پتیاں، 64
ایک میٹر چکر، 35
بار، 140
برقرار چالو، 103، 179
برقی بار، 12، 140
برقی دباؤ، 30، 140
تبادلہ، 58، 67
محرك، 141
ہیجانی، 189
ایک سمت، 168
برقی رو، 30
بھنور نما، 130
تبادلہ، 68
ہیجان انگیز، 54
برقی سکت، 61
برقی میدان، 12
شدت، 12، 30
بش، 181
بناوٹ، 89
بنیادی جزو، 66، 146
بوچھ، 101
بھٹی، 119
بھنور نما
برقی رو، 63
ضیاع، 64
بھنور نما برقی رو، 130
بے بوچھ، 62
پتیری، 33، 130
پتیاں، 64
پورا بوچھ، 201
پیش زاویہ، 24
تاخیری، 82
تاخیری زاویہ، 24
تار کا برقی دباؤ، 97
تار کا برقی رو، 97
تانبہ، 30
تبادلہ
رکاوٹ، 73
متنقی، 100
تعدد، 134
تعقب، 182
تفرق، 20
جزوی، 20
تکونی جوڑ، 96
توانائی، 46
ہمہ، 117
تین دوری، 61، 95
ٹرانسفارمر
برقی دباؤ والا، 61
بوچھ بردار، 70
تیل، 79
خلائی قالب، 61
دباؤ بڑھاتا، 60
دباؤ گھٹاتا، 60
ذرائع ابلاغ، 61
رووالا، 61
کامل، 67
ٹسلا، 35
ٹھنڈی تار، 97
ثانوی جانب، 57
چاول، 46
جزو
پھیلاؤ، 151
جزو طاقت، 24
پیش، 24

- تانخیری، 24
 جزیر
 بدلتارو، 163
 جوڑ
 ٹکونی، 96
 ستارہ نما، 96
 چکری منٹ، 130
 چوٹی، 215
 حال
 عارضی، 179
 یکساں، 179
 خطی
 برقی دور، 230
 خودار تہا بہاؤ، 45
 خودامالہ، 45
 داخلی پیمان
 سلسلہ وار، 257
 متوازی، 257
 مرکب، 257
 دور چڑی مرکب، 257
 دور شکن، 183
 دوری سمتیہ، 190، 23
 دوری عرصہ، 145، 103
 رستا
 امالہ، 81
 متعاملہ، 81
 رستا متعاملیت، 221
 رفتار
 اضافی زاویائی، 216
 روغن، 64
 ریاضی نمونہ، 211، 83
 ریلے، 105
 زاویائی فرق، 24
 زاویہ جزو طاقت، 24
 زمین، 97
 زمینی برقی رو، 97
 زمینی تار، 97
 ساکن حصہ، 39
 ساکن لچھا، 108، 131
 ستارہ نما جوڑ، 96
 سرک، 213
 سرک چھلے، 180، 235
 سطحی عمل، 185
 سطحی کشاف، 13
 سکت، 100، 99
 سلسلہ وار، 149
 سمت کار، 245
 برقیاتی، 168
 میکانی، 168
 سمتیہ، 4
 عمودی اکائی، 5
 سمتی رفتار، 106
 سیرابیت، 49
 ضرب
 نقطہ، 17
 ضرب صلیبی، 15
 طاقت، 46
 طاقت بالقابل زاویہ، 192
 طول موج، 20
 عمودی تراش، 11
 رقبہ، 11
 غیر سمتی، 3
 غیر معاصر، 182
 فوریر، 254
 فوریر تسلسل، 145، 65
 فیراڈے
 قانون، 129، 40
 قالب، 130
 قالبی ضیاع، 64
 جزو، 66
 قانون

- 28، اوہم
 12، کولب
 140، لوریز
 113، قدامت پسند میدان
 257، قریب جڑی مرکب
 قطب
 181، 143، ابھرے
 181، 143، ہموار
 213، 169، قوت مروڑ
 182، انتہائی
 245، 211، قوی الیکٹر انکس
 255، قوی لچھے
 181، کاربن بش
 204، کارگزاری
 198، کپیٹر
 کثافت
 30، برقی رو
 کثافت مقناطیسی بہاؤ
 48، بقایا
 40، کسر دور
 97، گرم تار
 39، گھومتا حصہ
 108، گھومتا لچھا
 لچھا
 57، ابتدائی
 143، پھیلے
 43، پیچیدار
 57، ثانوی
 137، رخ
 58، زیادہ برقی دباؤ
 108، سائن
 135، قوی
 58، کم برقی دباؤ
 108، گھومتا
 135، میدانی
 محدود
 6، کار تیلی
- 7، نکلی
 63، محرک برقی دباؤ
 محوری
 165، لمبائی
 196، مخلوط عدد
 257، مرکب جزئیہ
 27، مزاحمت
 106، مساوات لوریز
 مسئلہ
 230، تقوین
 233، زیادہ سے زیادہ طاقت کی منتقلی
 45، مشیر کہ ارتباط امالہ
 45، مشیر کہ امالہ
 134، معاصر
 180، مشین
 188، معاصر امالہ
 180، 159، معاصر رفتار
 معائنہ
 89، کھلا دور
 مقناطیس
 135، برقی
 48، چال کا دائرہ
 48، خاتم شدت
 66، مقناطیسی برقی رو
 32، مقناطیسی بہاؤ
 81، رستا
 35، کثافت
 54، مقناطیسی چال
 32، مقناطیسی دباؤ
 145، رخ
 57، 33، مقناطیسی قالب
 170، 28، مقناطیسی مستقل
 33، 28، جزو
 35، 13، مقناطیسی میدان
 شدت
 52، 21، موثر
 168، موثر قیمت
 146، 66، موسیقائی جزو
 27، موصلیت
 255، میدانی لچھے

ہیجان انگیز	واٹ، 46
برقی دباؤ، 63	دولٹ، 140
برقی رو، 63	دولٹ-ایمپیر، 78
ہیجان انگیز برقی رو، 62	ویپر، 35
ہیجانی برقی دباؤ، 189	ویپر-چکر، 41
یک دوری، 25، 61	پچکا ہٹ، 27، 32
یک دوری برقی دباؤ، 97	ہیجان، 63
یک دوری برقی رو، 97	بیرونی، 255
یک سمت رو	خود، 255
مشین، 245	لچھا، 63
یولر مساوات، 22	