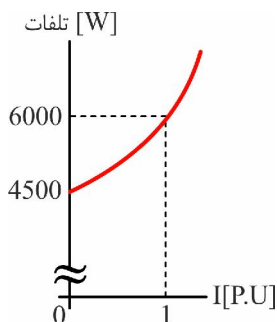


ماشین‌های الکتریکی (۱ و ۲)

۱. در یک ترانسفورماتور تک فاز 100kVA، امپدانس شاخه سری برحسب پریونیت برابر $z = 0.01 + j0.04$ است. ضریب توان بی‌باری این ترانسفورماتور، تحت ولتاژ و فرکانس نامی برابر 0.2 است. راندمان ماکزیمم آن در بار نامی رخ می‌دهد. جریان بی‌بار نامی ترانسفورماتور، چند درصد جریان نامی آن است؟

- (۱) 5 (۲) 10 (۳) 7.5 (۴) 12.5

۲. تغییرات تلفات یک ترانسفورماتور تک فاز به قدرت 300kVA با جریان بار در شکل زیر داده شده است. تنظیم ولتاژ تقریبی این ترانس در یک بار خاص و ضریب قدرت 0.8 برابر صفر است. راکتانس این ترانس، کدام است؟

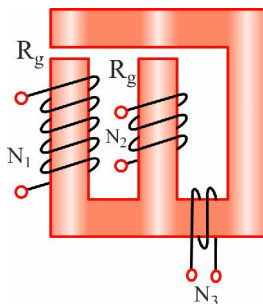


- (۱) 0.0022 pu
(۲) 0.0067 pu
(۳) 0.0050 pu
(۴) 0.00267 pu

۳. ولتاژ اعمال شده به یک ترانسفورماتور تک فاز به صورت: $V = 200 \sin \omega t + 50 \sin 3\omega t$ است. اگر جریان بی‌باری ترانسفورماتور به صورت: $i = 0.4 \sin(\omega t - 60^\circ) + 0.08 \sin(3\omega - 30^\circ)$ باشد، با چشم‌پوشی از مقاومت سیم‌پیچ اولیه، تلفات هسته‌ای ترانسفورماتور چند وات است؟

- (۱) 10.86 (۲) 34.64 (۳) 21.73 (۴) 43.46

۴. در مدار مغناطیسی زیر، هسته ایده آل بوده و مقاومت مغناطیسی هریک از فواصل هوایی R_g فرض می شود. مقادیر L_{12} اندوکتانس متقابل دو سیم پیچی 1 و 2 و نیز L_{13} اندوکتانس متقابل دو سیم پیچی 1 و 3 بر حسب پارامترهای R_g و تعداد دور سیم پیچی ها برابر کدام است؟



$$L_{13} = \frac{N_1 N_3}{2R_g}, L_{12} = \frac{N_1 N_2}{2R_g} \quad (۱)$$

$$L_{13} = \frac{N_1 N_3}{2R_g}, L_{12} = 0 \quad (۲)$$

$$L_{13} = \frac{N_1 N_3}{R_g}, L_{12} = \frac{N_1 N_2}{R_g} \quad (۳)$$

$$L_{13} = \frac{N_1 N_3}{R_g}, L_{12} = 0 \quad (۴)$$

۵. انرژی یک مبدل الکترومکانیکی فرضی بر حسب فلوی پیوندی λ و تغییر مکان x به صورت

$$W_f(\lambda, x) = \frac{\lambda^3}{0.1 - x}$$

است. اندازه های λ و نیرو در حالتی که $i = 3A$ و $x = 0.02m$ باشد، کدام است؟

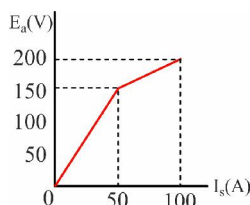
$$(۱) \quad 0.141 \text{ وبر} - \text{دور و } 1.76 \text{ نیوتن} \quad (۲) \quad 1.41 \text{ وبر} - \text{دور و } 3.53 \text{ نیوتن}$$

$$(۳) \quad 0.282 \text{ وبر} - \text{دور و } 1.76 \text{ نیوتن} \quad (۴) \quad 0.282 \text{ وبر} - \text{دور و } 3.53 \text{ نیوتن}$$

۶. یک ژنراتور تحریک جداگانه در حالت بی بار با سرعت n_0 چرخانده می شود و نیروی محرکه ی آن E_0 است. مقاومت میدان طوری تنظیم شده است که جریان میدان 2 آمپر باشد. اگر جریان میدان به 3A و سرعت به $1.5n_0$ افزایش داده شود، نیروی محرکه ی تولید شده چند برابر E_0 می شود؟ نقاطی از مشخصه ی مغناطیسی ماشین در یک سرعت غیر مشخص به صورت جدول مقابل است؟

I_{sh}	E_a	
0	10	(۱) 1.5
1	50	(۲) 2.25
2	90	(۳) 2
3	120	(۴) تغییر نمی کند.
4	140	

۷. یک موتور سری با مشخصه ی مغناطیسی شکل زیر مفروض است. وقتی که موتور در بار کامل کار می کند، جریان آرمیچر 40 آمپر و گشتاور تولید شده 24 نیوتن - متر است. جریان راه اندازی موتور 100 آمپر است. گشتاور راه اندازی موتور چند نیوتن - متر است؟ از عکس العمل آرمیچر چشم پوشی می شود.



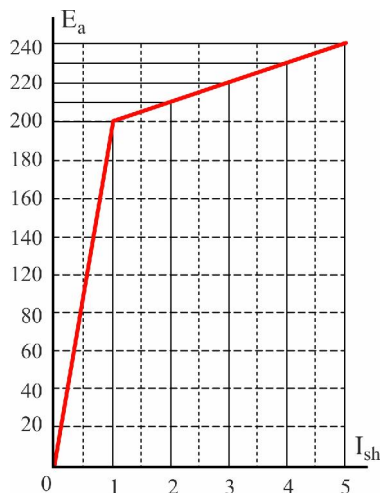
$$(۱) \quad 60$$

$$(۲) \quad 67$$

$$(۳) \quad 100$$

$$(۴) \quad 150$$

۸. مشخصه بی‌باری یک موتور DC شنت در سرعت 1800 rpm داده شده است. این موتور با ولتاژ 120V تغذیه می‌شود. مقاومت میدان شنت چند اهم باشد، تا موتور با جریان آرمیچر 75 A و سرعت 1000 rpm کار کند. مقاومت آرمیچر 0.1 اهم است و عکس‌العمل آرمیچر فلوی میدان را به اندازه ۱۰٪ کاهش می‌دهد.



(۱) 18.46

(۲) 39.23

(۳) 34.28

(۴) 64.28

۹. یک موتور DC شنت 200V، 12A و 1940 rpm دارای مقاومت آرمیچر 0.5 اهم است. اگر ولتاژ اعمال شده به موتور به 150V کاهش داده شود، سرعت چند دو ربر دقیقه خواهد شد؟ گشتاور بار ثابت می‌ماند و مدار مغناطیسی ماشین خطی فرض می‌شود.

(۴) 1065

(۳) 1983.9

(۲) 1940

(۱) 1893.3

۱۰. یک موتور القایی چهار قطبی با روتور سیم‌پیچی شده مفروض است. ولتاژ دو سر هر فاز روتور در حالت سکون برابر 90V است. اگر روتور در جهت عکس میدان دوار با سرعت 720 r.p.m چرخانده شود، ولتاژ القا شده در هر فاز روتور چند ولت خواهد شد؟ فرکانس ولتاژ استاتور 60Hz است.

(۴) 126

(۳) 108

(۲) 72

(۱) 54

۱۱. در یک موتور القایی سه فاز، تلفات اهمی روتور در گشتاور ماکزیمم، 4 برابر تلفات اهمی روتور در گشتاور بار کامل است. در این موتور، گشتاور ماکزیمم چند برابر گشتاور نامی است؟ از امپدانس استاتور صرف‌نظر کنید.

(۴) $\frac{6}{\sqrt{7}}$

(۳) $\frac{2}{\sqrt{7}}$

(۲) $\frac{4}{\sqrt{7}}$

(۱) $\frac{1}{\sqrt{7}}$

۱۲. سه موتور القایی از هر لحاظ مشابه‌اند و فقط مقاومت روتورهای آن‌ها متفاوت است. این سه موتور از یک منبع تغذیه می‌شوند. مشخصه‌های $T(n)$ بارهای هر سه موتور نیز مشابه‌اند. با کاهش ولتاژ تغذیه، سرعت موتورها به تدریج کاسته می‌شود، تا به ازای یک ولتاژ خاص هر سه موتور هم زمان از حالت پایدار خارج شده و به حالت سکون سوق داده می‌شوند. مشخصه‌ی بار این موتورها به کدام صورت است؟ n سرعت چرخش است.

(۴) $T_{load} = an^2 + bn + c$

(۳) $T_{load} = bn + c$

(۲) $T_{load} = c$

(۱) $T_{load} = an^2 + c$

پاسخ تشریحی

۱. گزینه ۱ درست است.

مقاومت شاخه سری بر حسب پریونیت برابر تلفات مسی در بار کامل است بنابراین:

$$P_{cuf} = 0.01pu$$

در حالت راندمان حداکثر داریم:

$$P_{cu} = P_{core}$$

بنابر این چون در حالت بار کامل راندمان حداکثر اتفاق می افتد داریم:

$$P_{core} = P_{cuf} = 0.01pu$$

تلفات هسته برابر با توان بی باری است بنابراین:

$$P_{core} = P_{nl} = 0.01pu$$

در نتیجه جریان بی باری برابر است با:

$$I_{nl} = \frac{P_{nl}}{PF_{nl}} = \frac{0.01}{0.2} = 0.05 pu$$

بنابر این جریان بی باری 5%

جریان نامی است و گزینه ۱ صحیح است.

۲. گزینه ۲ درست است.

مطابق نمودار تلفات اهمی در بار کامل برابر 1500 وات است. بنابراین مقاومت شاخه سری ترانسفورماتور برابر است با:

$$R_{eq} = P_{cuf} = \frac{1500}{300K} = 0.005pu$$

(توجه شود که توان مینا برابر 300 کیلوولت آمپر است)

در حالت تنظیم ولتاژ صفر داریم:

$$\tan \theta = \frac{R_{eq}}{X_{eq}}$$

در نتیجه:

$$\cos \theta = 0.8 \rightarrow \tan \theta = 0.75$$

و داریم:

$$0.75 = \frac{R_{eq}}{X_{eq}} = \frac{0.005}{X_{eq}} \rightarrow X_{eq} = 0.0067 \text{ pu}$$

۳. گزینه ۳ درست است.

نکته: هر هارمونیک جریان تنها با هارمونیک هم مرتبه از ولتاژ توان اکتیو تشکیل می‌دهد.
بر طبق نکته فوق داریم:

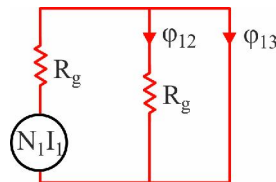
$$P_1 = V_{I_{rms}} I_{I_{rms}} \cos \theta_1 = \frac{200}{\sqrt{2}} \times \frac{0.4}{\sqrt{2}} \times \cos 60 = 20 \text{ W}$$

$$P_3 = V_{3_{rms}} I_{3_{rms}} \cos \theta_3 = \frac{50}{\sqrt{2}} \times \frac{0.08}{\sqrt{2}} \times \cos 30 = 1.73 \text{ W}$$

$$P_{cors} = 21.73$$

۴. گزینه ۴ درست است.

برای به دست آوردن اندوکتانس متقابل سیم پیچ‌ها ۲ و ۳ با سیم پیچ ۱ جریان سیم‌های ۲ و ۳ را صفر قرار می‌دهیم. مدار معادل در این صورت به صورت زیر است:



طبق مدار معادل داریم:

$$\phi_{13} = \frac{N_1 I_1}{R_g}$$

$$\phi_{12} = 0$$

در نتیجه L_{12} برابر با صفر است و

$$L_{13} = \frac{\lambda_{13}}{I_1} = \frac{N_3 \phi_{13}}{I_1} = \frac{N_3 N_1 I_1}{I_1 R_g} = \frac{N_3 N_1}{R_g}$$

۵. گزینه ۴ درست است.

داریم:

$$i = \frac{\partial W_f}{\partial \lambda} = \frac{3\lambda^2}{0.1 - x}$$

برای جریان سه آمپر و فاصله 0.02 متر داریم:

$$3\lambda^2 = 3 \times (0.1 - 0.02) \rightarrow \lambda = 0.282$$

برای به دست آوردن نیرو به دلیل ثابت بودن جریان باید از انرژی همزاد استفاده شود:

$$W'_f = \int \lambda dt = \int \frac{\sqrt{0.1-x}}{\sqrt{3}} i^{0.5} dt = \frac{\sqrt{0.1-x}}{1.5 \times \sqrt{3}} i^{1.5}$$

$$f = \frac{\partial W'_f}{\partial x} = \frac{i^{1.5}}{3\sqrt{3} \times \sqrt{0.1-x}}$$

برای جریان سه آمپر و فاصله 0.02 متر داریم :

$$f = \frac{3^{1.5}}{3\sqrt{3} \times \sqrt{0.1-0.02}} = 3.53$$

ع. گزینه ۳ درست است.

$$\frac{E_2}{E_1} = \frac{n_2 \phi_2}{n_1 \phi_1}$$

طبق جدول منحنی مغناطیسی ماشین داریم:

$$\frac{\phi_2}{\phi_1} = \frac{E_a(3)}{E_a(2)} = \frac{120}{90}$$

$$\frac{E_2}{E_1} = \frac{n_2 \phi_2}{n_1 \phi_1} = 1.5 \times \frac{120}{90} = 2$$

۷. گزینه ۳ درست است.

گشتاور موتور متناسب است با $I_a \phi$

با توجه به منحنی مغناطیسی ماشین در جریان 40 آمپر داریم

$$E_a = 120v$$

در جریان 100 آمپری داریم :

$$E_a = 200v$$

پس گشتاور راه اندازی برابر است با:

$$\frac{T_s}{T_{fl}} = \frac{I_s \phi_s}{I_{fl} \phi_{fl}} = \frac{100 \times 200}{40 \times 120} = 4.17 \rightarrow T_s = 4.17 \times 24 = 100N.m$$

۸. گزینه ۳ درست است.

$$V = RI_a + (E_a - E_{\text{عمل}})$$

بر اساس اطلاعات مسئله داریم:

$$120 = 0.1 \times 75 + 0.9E_a$$

$$E_a = \frac{120 - 7.5}{0.9} = 125$$

چون سرعت 1000 است و مشخصه مغناطیسی در سرعت 1800 داده شده است، این ولتاژ را به معادل آن در سرعت 1800 تبدیل می‌نماییم:

$$E'_a = 125 \times \frac{1800}{1000} = 225v$$

با استفاده از مشخصه مغناطیسی جریان شنت برابر 3.5 آمپر به دست می‌آید.

$$R_{sh} = \frac{120}{3.5} = 34.28$$

۹. گزینه ۱ درست است.

گشتاور موتور متناسب است با $I_a \phi$.

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{I_2 \phi_2}{I_1 \phi_1} = 1$$

به دلیل خطی بودن مشخصه مغناطیسی و با توجه به این که در موتور شنت، شار با ولتاژ ورودی نسبت مستقیم دارد:

$$\frac{I_2 V_2}{I_1 V_1} = 1 \rightarrow I_2 = \frac{200 \times 12}{150} = 16A$$

$$V = RI_a + E_a$$

$$200 = 12 \times 0.5 + E_{a1} \rightarrow E_{a1} = 194$$

$$150 = 16 \times 0.5 + E_{a1} \rightarrow E_{a1} = 142$$

$$\frac{E_2}{E_1} = \frac{n_2 \phi_2}{n_1 \phi_1} \rightarrow \frac{n_2}{n_1} = \frac{E_2 \phi_1}{E_1 \phi_2}$$

برای موتور شنت:

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{E_2 V_1}{E_1 V_2} \rightarrow n_2 = \frac{E_2 V_1}{E_1 V_2} \times n_1$$

$$n_2 = \frac{142 \times 200}{194 \times 150} \times 1940 = 1893.3$$

۱۰. گزینه ۴ درست است.

در حالت سکون لغزش برابر 1 است.

اگر روتور را در جهت عکس میدان دوار با سرعت 720 بچرخانیم داریم:

$$s = \frac{n_s - n_m}{n_s}$$

$$n_s = \frac{120 f_s}{p} = \frac{120 \times 60}{4} = 1800 \text{ rpm}$$

$$s = \frac{1800 - (-720)}{1800} = 1.4$$

در موتور القایی ولتاژ روتور متناسب است با لغزش. بنابر این ولتاژ القایی در روتور 1.4 برابر خواهد شد یعنی

$$V_r = 1.4 \times 90 = 126$$

۱۱. گزینه ۲ درست است.

تلفات اهمی متناسب با توان دوم جریان است. بنابر این چون تلفات اهمی در گشتاور ماکزیمم 4 برابر تلفات اهمی در بار کامل است، جریان در گشتاور ماکزیمم 2 برابر جریان در بار کامل است.

به دلیل صرف نظر از امپدانس استاتور داریم:

$$I = \frac{V}{\sqrt{\left(\frac{R'_r}{s}\right)^2 + (X'_r)^2}}$$

$$\frac{I_{T \max}}{I_{fl}} = \frac{\sqrt{\left(\frac{R'_r}{S_{fl}}\right)^2 + (X'_r)^2}}{\sqrt{\left(\frac{R'_r}{S_{\max}}\right)^2 + (X'_r)^2}} \rightarrow 4 = \frac{\left(\frac{R'_r}{S_{fl}}\right)^2 + (X'_3)^2}{\left(\frac{R'_r}{S_{\max}}\right)^2 + (X'_r)^2}$$

با صرف نظر از امپدانس استاتور داریم:

$$S_{\max} = \frac{R'_r}{X'_r}$$

در نتیجه با جایگذاری داریم:

$$4 = \frac{\left(\frac{R'_r}{S_{fl}}\right)^2 + (X'_r)^2}{2(X'_r)^2} \rightarrow S_{fl} = \frac{R'_r}{\sqrt{7} X'_r}$$

در موتور القایی با صرف نظر از امپدانس استاتور:

$$\frac{T_{fl}}{T_{\max}} = \frac{2}{\frac{S_{\max}}{S_{fl}} + \frac{S_{fl}}{S_{\max}}}$$

در نتیجه داریم:

$$\frac{T_{\max}}{T_{fl}} = \frac{\sqrt{7} + \frac{1}{\sqrt{7}}}{2} = \frac{4}{\sqrt{7}}$$

۱۲. گزینه ۲ درست است.

با تغییر مقاومت روتور تنها لغزش متناظر با گشتاور ماکزیمم تغییر می کند و مقدار گشتاور ماکزیمم ثابت می ماند. همچنین با گشتاور در موتور القایی با مجذور ولتاژ متناسب است. با توجه به اینکه تمام موتورهای در ولتاژ یکسانی به ناپایداری می رسند بنابر این گشتاور بار آنها در لغزش متناظر با گشتاور ماکزیمم برابر است. این یعنی آن که بار در سرعت های مختلف گشتاور یکسانی دارد و گزینه ۲ صحیح است.