

ماشین‌های الکتریکی

۱- در یک ترانسفورماتور تکفاز تلفات آهنی ۵٪ توان نامی است. اگر راندمان حداکثر این ترانسفورماتور در بار اهمی سلفی با ضریب قدرت $\frac{2\sqrt{2}}{5}$ پس فاز برابر ۸۰٪ باشد راندمان آن در تغذیه نصف بار نامی با ضریب قدرت ۰/۸۵ پیش فاز چند درصد

است؟

- (۱) ۸۰٪ (۲) ۸۵٪ (۳) ۹۰٪ (۴) ۹۵٪

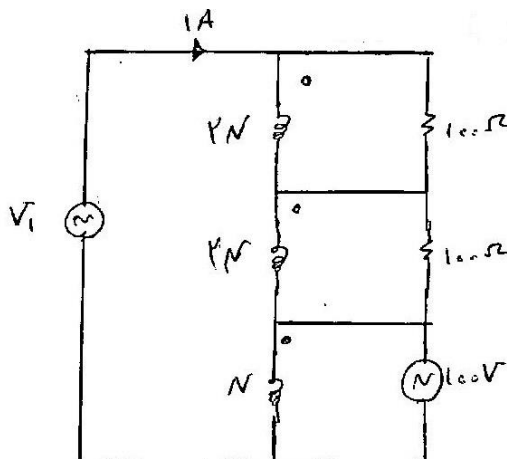
۲- در یک ترانسفورماتور تکفاز درصد تنظیم ولتاژ حداکثر ۱۰٪ و در صد تنظیم ولتاژ حداقل ۶٪- است. ضریب قدرت بار روی ترانسفورما چقدر باشد تا در نصف بار نامی درصد تنظیم ولتاژ صفر شود؟

- (۱) ۰/۸ (۲) $\frac{6}{8}$ (۳) ۰/۶ (۴) ۰/۴۸

۳- دو ترانسفورماتور تکفاز یکی به قدرت ۱۰۰ KVA و امپدانس درصد ۸٪ و دیگری به قدرت ۵۰ KVA و امپدانس درصد ۸٪ با یکدیگر موازی شده و باری را تغذیه می‌کنند اگر در ترانسفورماتور کوچکتر ۱۰٪ اضافه بار مجاز بوده اما در ترانسفورماتور بزرگ‌تر اضافه بار مجاز نباشد مجموعاً چند کیلوولت آمپر از این ترانسفورماتورها اخذ کنیم تا هیچ کدام دچار اضافه بار نشوند؟

- (۱) ۱۶۵ (۲) ۱۶۰ (۳) ۱۵۵ (۴) ۱۵۰

۴- در اتوترانسفورماتور تکفاز شکل زیر چند درصد توان انتقالی به مصرف کنندگان از طریق ارتباط مغناطیسی منتقل می‌گردد؟



(۱) ۲۵٪

(۲) ۷۵٪

(۳) ۵۰٪

(۴) ۱۰۰٪

۵- در یک موتور القایی سه فاز ۴ قطب ۵۰ Hz هنگامی که بار ۲۰۰ N.m را تحت سرعت ۱۳۵۰ rpm می‌چرخاند تلفات مسی استاتور ۱/۷۵ kW و تلفات مکانیکی ۱/۸ kW است. اگر از تلفات آهنی ماشین صرف نظر گردد راندمان آن در این شرایط کاری چند درصد است؟ ($\pi = 3$ فرض شود)

- (۱) ۸۰٪ (۲) ۸۵٪ (۳) ۹۰٪ (۴) ۹۵٪

۶- استاتور یک موتور القایی سه فاز ۴ قطب به شبکه ۵۰ Hz متصل و روتور آن به استاتور یک موتور القایی سه فاز ۲ قطب متصل و روتور موتور دوم نیز مدار باز است. محور این دو موتور به یکدیگر متصل شده و مجموعه توسط یک موتور DC شنت در جهت میدان دوار موتور القایی اول چرخانده می‌شود. اگر با تغییر رئوستای میدان تحریک موتور DC بتوان سرعت گردش مجموعه را بین ۵۰۰ rpm تا ۱۰۰۰ rpm تغییر داد محدوده تغییر فرکانس قابل دریافت از رتور موتور دوم کدام است؟

- (۱) ۲۵-۵۰ Hz (۲) ۳۷/۵-۳۷ Hz (۳) ۲۵-۳۷/۵ Hz (۴) ۲۵-۵۰ Hz

۷- یک موتور سه فاز ۵۰ Hz و ۶ قطب بار گشتاور ثابتی را در سرعت ۹۰۰ rpm می‌چرخاند اگر ولتاژ و فرکانس تغذیه موتور هر یک ۱۰٪ کاهش یافته و در همین حال با افزودن مقاومت خارجی به مدار رتور مجموع مقاومت هر فاز رتور را ۱۰٪ زیاد کنیم سرعت جدید موتور چند rpm می‌گردد؟

- (۱) ۸۸۰ rpm (۲) ۹۰۰ rpm (۳) ۷۹۲ rpm (۴) ۸۱۰ rpm

۸- سه موتور القایی یکسان دارای مشخصات مشابه بوده اما امپدانس رتور آنها متفاوت است. اگر امپدانس رتور هر یک از موتورها به صورت زیر باشد و هر سه موتوری باری را که گشتاور آنها متناسب با مجذور سرعت است تغذیه نمایند با کاهش تدریجی ولتاژ تغذیه موتورها کدام موتور زودتر ناپایدار می‌گردد؟

$$m_1: Z_{ro} = 1 + j 4 \Omega$$

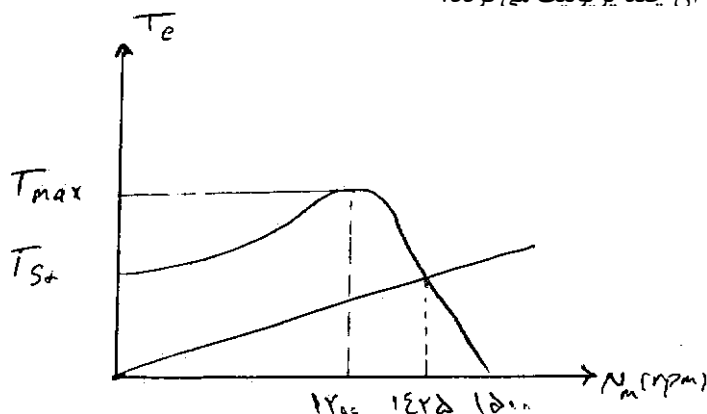
$$m_2: Z_{ro} = 1/5 + j 6 \Omega$$

$$m_3: Z_{ro} = 0/5 + j 2 \Omega$$

- (۱) m_3 (۲) m_2

- (۳) m_1 (۴) هر سه همزمان ناپایدار می‌شوند.

۹- مشخصه گشتاور - سرعت یک موتور القایی ۵۰ Hz به همراه مشخصه بار مکانیکی آن در شکل زیر داده شده است. اگر این موتور به روش مستقیم (D.O.L) راه‌اندازی گردد جریان راه‌اندازی آن چند پیر یونیت می‌گردد؟



- (۱) ۳

- (۲) ۲/۲۵

- (۳) ۱/۵

- (۴) ۴

۱۰- هنگامی که استاتور یک موتور القایی سه فاز با ۳۰٪ ولتاژ نامی خود تغذیه می‌گردد جریان راه‌اندازی آن P.U و گشتاور راه‌اندازی آن P.U است. اگر همین موتور به روش ستاره مثلث راه‌اندازی می‌گردد گشتاور راه‌اندازی چند P.U می‌شود؟

- (۱) ۱/۶۶ P.U (۲) ۰/۱۵ P.U (۳) ۱ P.U (۴) ۰/۴۵ P.U

۱۱- در یک موتور القایی سه فاز ۶ قطب ۵۰ Hz جریان تغذیه موتور کاملاً سینوسی بوده اما توزیع میدان مغناطیسی در آن غیرسینوسی و حاوی هارمونیک‌های ۵ و ۷ است. سرعت نسبی میدان دوار ناشی از این دو هارمونیک چند دور بر دقیقه است؟

- (۱) ۵۷ (۲) ۳۴۳ (۳) ۲۰۰۰ (۴) ۹۰۰۰

۱۲- یک موتور القایی ۶ قطب ۵۰ Hz از طریق یک مبدل الکترونیک قدرت تغذیه می‌گردد. جریان یکی از فازهای این موتور در کار دائمی تحت فرکانس نامی به صورت زیر داده شده است. میدان‌های گردان پدید آمده در این ماشین دارای چه سرعت‌هایی هستند؟

$$i_A(t) = 50 \sin \omega t + 5 \sin 3\omega t + 0.5 \sin 5\omega t$$

(۲) -۲۰۰ rpm, ۳۳۳ rpm, ۱۰۰۰ rpm

(۱) -۵۰۰ rpm, ۳۰۰ rpm, ۱۰۰۰ rpm

(۴) -۵۰۰ rpm, ۱۰۰۰ rpm

(۳) -۲۰۰ rpm, ۱۰۰۰ rpm

ماشین‌های الکتریکی

۱- گزینه «۲» صحیح است.

طبق رابطه η_{\max} می‌توان نوشت:

$$\eta_{\max} = \frac{k_{cm} s_n \cos \varphi}{k_{cm} s_n \cos \varphi + 2P_{fe}} \Rightarrow 0.8 = \frac{k_{cm} \times 1 \times 0.4\sqrt{2}}{k_{cm} \times 1 \times 0.4\sqrt{2} + 2 \times 0.05}$$

$$\Rightarrow k_{cm} = \frac{1}{\sqrt{2}} \Rightarrow \sqrt{\frac{P_{fe}}{P_{cu_n}}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \Rightarrow P_{cu_n} = 0.1 \text{ P.U}$$

یا ۱۰٪

در نصف بار نامی با ضریب قدرت ۰/۸۵ داریم:

$$\eta = \frac{\frac{1}{2} \times 1 \times 0.85}{\frac{1}{2} \times 1 \times 0.85 + \frac{1}{4} \times 0.1 + 0.05} = 0.85 \text{ یا } ۸۵\%$$

۲- گزینه «۳» صحیح است.

چنانچه ضریب قدرت بار روی ترانسفورماتور برابر $\frac{X_{eq}}{Z_{eq}}$ باشد در هر مقدار باری همواره تنظیم ولتاژ صفر می‌گردد لذا:

$$\left. \begin{aligned} \%V.R_{\max} &= \%10 = 0.1 = Z_{eq}(P.U) \\ \%V.R_{\min} &= -\%6 = -0.06 = -X_{eq}(P.U) \end{aligned} \right\} \Rightarrow \cos \varphi_{cr} = \frac{0.06}{0.1} = 0.6$$

۳- گزینه «۴» صحیح است.

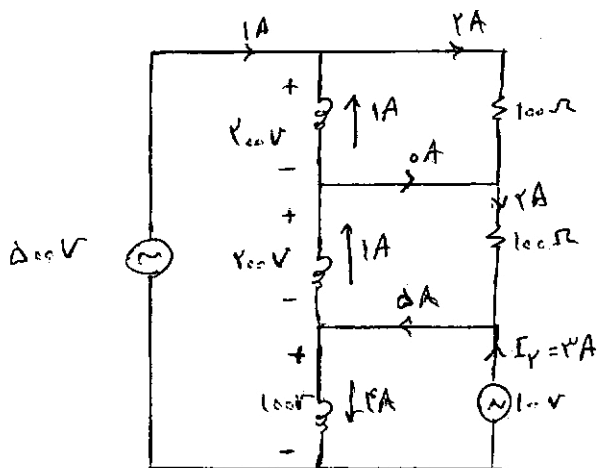
چون امیدانس درصد ترانسفورماتورها یکسان هستند بار به نسبت توان‌های نامی بین آنها تقسیم می‌شود لذا در حالت عادی (بدون اینکه هیچ‌کدام اضافه بار گردند) $S_L = 150 \text{ KVA}$ است. حال اگر هر یک از ترانسفورماتورها بخواهد اضافه بار گردد موجب می‌شود با روی هر دو ترانسفورماتور افزایش یابد لذا با اینکه ترانسفورماتور 50 KVA می‌تواند تا ۱۰٪ بیشتر یعنی تا 55 KVA را تحمل کند اما نمی‌توان از این مجموعه $150 + 55 = 155 \text{ KVA}$ اخذ نمود زیرا در این صورت بار روی ترانسفورماتور بزرگتر برابر $100 \times \frac{155}{150} = 103.33 \text{ KVA}$ بوده و آن را دچار اضافه بار می‌کند. پس حداکثر می‌توان همان 150 KVA را از آنها اخذ نمود.

۴- گزینه «۳» صحیح است.

با توجه به تعداد دور سیم‌بندی‌ها ولتاژ دو سر سیم‌بندی‌های $2N$ دوری برابر 200 V بوده لذا ولتاژ منبع V_1 نیز باید برابر 500 V باشد، با توجه به این موارد داریم:

$$P_r = 2^2 \times 100 + 2^2 \times 100 = 800 \text{ W}$$

این توان باید از طریق دو منبع ورودی تأمین گردد لذا چون جریان منبع V_1 داده شده داریم:



$$V_1 I_1 + V_r I_r = 800 \text{ W} \Rightarrow 500 \times 1 + 100 \times I_r = 800 \text{ W} \Rightarrow I_r = 3 \text{ A}$$

با توجه به جهت جریان‌ها و پلاریته ولتاژها داریم:

$$P_T = 100 \times 4 = 200 \times 1 + 200 \times 1 = 400 \text{ W}$$

چون در تست نسبت توان مغناطیسی به توان کل خواسته شده داریم:

$$\frac{P_T}{P_r} = \frac{400}{800} = 0.5 \quad \text{یا} \quad 50\%$$

۵- گزینه «۱» صحیح است.

با توجه به گشتاور و سرعت محور موتور (که همواره برابر گشتاور و سرعت بار است) داریم:

$$P_r = T_r \cdot \omega_m = 200 \times 135 \times \frac{2\pi}{60} = 27 \text{ kW}$$

با توجه به تلفات مکانیکی داده شده داریم:

$$P_{\text{conv}} = P_r + \Delta P_{\text{mec}} = 27 + 1/8 = 28/8 \text{ kW}$$

لغزش در بار داده شده برابر است با:

$$s = \frac{1500 - 1350}{1500} = 0.1 \quad \text{یا} \quad 10\%$$

با توجه به رابطه بین توان فاصله هوایی و توان تبدیل شده داریم:

$$P_{\text{ag}} = \frac{P_{\text{conv}}}{1-s} = \frac{28/8}{0.9} = 32 \text{ kW}$$

$$P_1 = P_{\text{ag}} + P_{\text{cu}_s} + P_{\text{fe}_s} = 32 + 1/75 + 0 = 33/75 \text{ kW}$$

$$\eta = \frac{P_r}{P_1} = \frac{27}{33/75} = 0.8 \quad \text{یا} \quad 80\%$$

توجه: قسمتی از حل را می‌توان به روش زیر نیز جلو برد.

$$\eta = \frac{P_r}{P_i} = \frac{P_r}{P_r + \Delta P} = \frac{27}{27 + 1/8 + 1/75 + \frac{0/1}{1-0/1} \times 28/8} = 0/8 \quad \text{یا} \quad 80\%$$

۶- گزینه «۱» صحیح است.

با توجه به فرکانس تغذیه موتور اول و سرعت گردش محور آن داریم:

$$\left. \begin{aligned} N_{s_1} &= \frac{120 \times 50}{p} = 1500 \text{ rpm} \\ 500 &< N_{m_1} < 1000 \text{ rpm} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \frac{1500 - 1000}{1500} = \frac{1}{3} < S_1 < \frac{1500 - 500}{1500} = \frac{2}{3}$$

محدوده فرکانس القایی در رتور موتور اول که با فرکانس استاتور موتور دوم برابر است را می‌توان به صورت زیر به دست آورد:

$$\frac{1}{3} \times 50 < f_{r_1} = s_1 f_{s_1} = f_{s_r} < \frac{2}{3} \times 50$$

با توجه به این محدوده سرعت میدان دوار استاتور موتور دوم برابر است با:

$$\frac{120 \times 50 \times \frac{1}{3}}{2} < N_{s_r} < \frac{120 \times 50 \times \frac{2}{3}}{2} \Rightarrow 1000 < N_{s_r} < 2000 \text{ rpm}$$

محدوده سرعت رتور موتور دوم نیز در دسترس است لذا:

$$\frac{1000 - 1000}{1000} < S_r < \frac{2000 - 500}{2000} = 0/75 \Rightarrow 0 < S_r < 0/75$$

در نهایت محدوده فرکانس القایی در رتور موتور دوم برابر است با:

$$0 < f_{r_r} = s_r f_s < 0/75 \times \frac{2}{3} \times 50 \Rightarrow 0 < f_{r_r} < 25 \text{ Hz}$$

۷- گزینه «۳» صحیح است.

با توجه به رابطه گشتاور مکانیکی در موتورهای القایی و ثابت در نظر گرفتن گشتاور بار داریم:

$$\frac{T_{Load_1}}{T_{Load_r}} = \frac{T_{mech_1}}{T_{mech_r}} \Rightarrow 1 = \left(\frac{V_1}{V_r} \right)^2 \left(\frac{f_r}{f_1} \right) \left(\frac{R'_{r_r}}{R'_{r_1}} \right) \left(\frac{s_1}{s_r} \right)$$

$$R'_{r_r} = 1/1 R'_{r_1} \quad , \quad V_r = 0/9 V_1 \quad , \quad f_r = 0/9 f_1 \quad \text{با توجه به اینکه}$$

$$\text{بوده و } S_1 = \frac{1000 - 900}{1000} = 0/1 \text{ است داریم:}$$

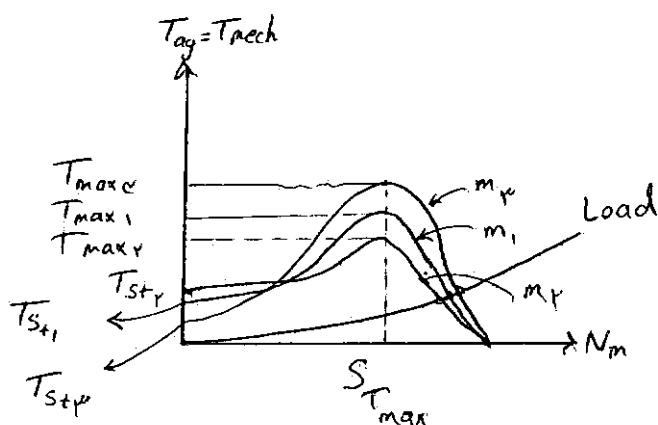
$$1 = \left(\frac{V_1}{0.9 V_1} \right)^2 \left(\frac{0.9 f_1}{f_1} \right) \left(\frac{1/1 R'_f}{R'_f} \right) \left(\frac{0.1}{s_r} \right) \Rightarrow s_r = 0.12$$

با توجه به این لغزش داریم:

$$N_{m_r} = N_{s_r} (1 - s_r) = \frac{120 \times (0.9 \times 50)}{6} (1 - 0.12) = 792 \text{ rpm}$$

۸- گزینه «۲» صحیح است.

با توجه به امپدانس‌های داده شده می‌توان مشخصه گشتاور سرعت این موتورها را به صورت زیر ترسیم نمود:



$$S_{T_{\max}} |_{m_1} = \frac{1}{4} = 0.25$$

$$S_{T_{\max}} |_{m_2} = \frac{1/5}{6} = 0.25$$

$$S_{T_{\max}} |_{m_3} = \frac{0.5}{2} = 0.25$$

طبق این سه منحنی با کاهش ولتاژ تغذیه که هر سه به سمت پایین منتقل می‌شوند موتور m_2 به دلیل اینکه دارای T_{\max} کمتری است زودتر از دو موتور دیگر ناپایدار می‌شود در مرحله‌ی بعدی موتور m_1 و در آخر نیز موتور m_3 ناپایدار خواهند شد. (در رسم منحنی‌ها دقت شود هر موتوری که R_f کمتری دارد T_{st} کمتر و هر موتوری که X_{ro} کمتری دارد T_{\max} بیشتری خواهد داشت). دقت شود که این نتیجه در مورد سایر انواع بارها نیز تقریباً صادق است.

۹- گزینه «۴» صحیح است.

طبق شکل سرعت سنکرون 1500 rpm ، سرعت بار کامل 1425 rpm و سرعت متناظر با گشتاور حداکثر 1200 rpm است لذا:

$$S_{FL} = \frac{1500 - 1425}{1500} = 0.05$$

$$S_{T_{\max}} = \frac{1500 - 1200}{1500} = 0.2$$

با توجه به رابطه بین گشتاورها داریم:

$$\frac{T_{st}}{T_{FL}} = \frac{S_{T_{\max}}^2 + S_{FL}^2}{S_{FL} (S_{T_{\max}}^2 + 1)} = \frac{0.2^2 + 0.05^2}{0.05 (0.2^2 + 1)} = \frac{425}{520} = T_{st} (P.U)$$

حال که نسبت گشتاور راه‌انداز به گشتاور بار کامل به دست آمده داریم:

$$T_{st}(P.U) = k^2 I_{sc}^2 (P.U) S_{FL} \xrightarrow{k=1} \frac{425}{520} = I_{sc}^2 (P.U) \times 0.5$$

$$I_{sc}(P.U) = 4 P.U$$

۱۰- گزینه «۱» صحیح است.

جریان راهاندازی P.U ۱/۵ مربوط به حالتی است که ولتاژ تغذیه ۳۰٪ ولتاژ نامی است (k = ۰/۳) لذا:

$$\frac{I_{st}}{I_n} = 1/5 \Rightarrow \frac{k I_{sc}}{I_n} = 1/5 \Rightarrow \frac{0.3 I_{sc}}{I_n} = 1/5 \Rightarrow \frac{I_{sc}}{I_n} = 5 P.U$$

همین طور با توجه به گشتاور راهاندازی داده شده داریم:

$$\frac{T_{st}}{T_n} = k^2 \left(\frac{I_{sc}}{I_n} \right)^2 S_{FL} \Rightarrow 0.45 = 0.3^2 \times 5^2 \times S_{FL} \Rightarrow S_{FL} = 0.2$$

حال در روش ستاره مثلث چون $k = \frac{1}{\sqrt{3}}$ است لذا:

$$\frac{T_{st}}{T_n} = \frac{1}{3} \times 5^2 \times 0.2 = 1.66 P.U$$

روش دوم: از آنجایی که گشتاور راهاندازی متناسب با مجذور ولتاژ تغذیه است داریم:

$$\frac{T_{st_1}}{T_{st_2}} = \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^2 = \left(\frac{0.3 V_n}{\frac{V_n}{\sqrt{3}}} \right)^2 \Rightarrow T_{st_2} = \frac{1}{0.27} T_{st_1} \Rightarrow \frac{T_{st_2}}{T_n} = \frac{1}{0.27} \frac{T_{st_1}}{T_n}$$

$$\Rightarrow \frac{T_{st_2}}{T_n} = \frac{1}{0.27} \times 0.45 = 1.66 P.U$$

۱۱- گزینه «۲» صحیح است.

چون توزیع میدان مغناطیسی غیرسینوسی است پس هارمونیک‌های مکانی (فضایی) داریم و چون جریان تغذیه سینوسی است پس هارمونیک زمانی نداریم.

$$N_{s_1} = \frac{120 \times 50}{6} = 1000 \text{ rpm}$$

$$\left. \begin{aligned} N_{s_\delta} &= -\frac{N_{s_1}}{5} = -\frac{1000}{5} = -200 \text{ rpm} \\ N_{s_\gamma} &= \frac{N_{s_1}}{7} = \frac{1000}{7} = 143 \text{ rpm} \end{aligned} \right\} \Rightarrow N_{s_\gamma} - N_{s_\delta} = 343 \text{ rpm}$$

۱۲- گزینه «۴» صحیح است.

جریان تغذیه هارمونیک است لذا فقط هارمونیک‌های زمانی داریم ضمناً هارمونیک‌های مضرب ۳ قادر به تولید میدان دوار نبوده و با سرعت میدان دوار تولیدی آنها صفر است.

پس در این ماشین فقط دو میدان دوار موجود است یعنی:

$$N_{s_1} = \frac{120 \cdot f_1}{P} = \frac{120 \times 50}{6} = 1000 \text{ rpm}$$

$$N_{s_5} = -5 N_{s_1} = -5000 \text{ rpm}$$