سایت تخصصی برق

www.power2.ir

reza@power2.ir

ماشین های الکتریکی

طرح 90 درصد پارسه برای کنکور کارشناسی ارشد

www.power2.ir

مقدمه

دشوارترین قدم، همان آخرین قدم است. دوران پایانی مطالعه کنکور به علت پراکندگی مطالب درسی و فاصله بین مطالعه فصول ابتدایی و انتهایی، نیاز به جمع‌بندی و مرور مطالب در زمان کوتاه کنکور دارد. جزوه پیش رو در راستای این هدف، خلاصه‌ای از درس ماشین‌های الکتریکی مشتمل بر چهار فصل می‌باشد که مجموعه‌ای از تست‌های متنوع در پایان هر فصل قرار داده شده است.

امید است با مطالعه این مجموعه، ضمن تثبیت آموخته‌هایتان، توانایی‌های لازم برای روز آزمون را بهبود بخشیده و با کسب یک اعتماد به نفس کاملاً منطقی، ترفیع قابل توجهی را در رتبه خود ایجاد کنید.

همواره به خاطر داشته باشید آخرین کلید باقی‌مانده شاید بازگشاینده‌ی قفل درب باشد.

به امید موفقیت

وحید کریم‌پور

در جدول ذیل دروس به سرفصلهای مهم آن طبقه بندی شده و مشخص شده است که در هر سال از هر مبحث چند تست سوال شده است و دانشجوی محترم می تواند زمان باقیمانده تا کنکور را با توجه به اهمیت مباحث مدیریت نماید.

رشته: مهندسی برق درس:ماشین های الکتریکی								
ردیف	مبحث	۱۳۸۵	۱۳۸۶	۱۳۸۷	۱۳۸۸	۱۳۸۹	مجموع	نسبت
		تعداد تست	تعداد تست	تعداد تست	تعداد تست	تعداد تست	در ۵ سال	از کل
1	تبدیل انرژی الکترومکانیکی	0	0	0	0	0	0	0%
2	پارامترها و مدار معادل مغناطیسی	0	2	3	3	2	10	13%
3	انرژی وشبه انرژی	1	1	1	0	0	3	4%
4	نیرو و گشتاور مکانیکی	2	1	1	0	1	5	7%
5	اصول ماشینهای دوار	0	0	1	0	0	1	1%
6	ماشینهای جریان مستقیم	0	0	0	0	0	0	0%
7	نیرو محرکه ماشین DC	0	0	0	0	0	0	0%
8	عکس العمل و سیم پیچی آرمیچر	0	0	0	0	0	0	0%
9	ماشین تحریک جداگانه	1	0	0	0	0	1	1%
10	سری DC ماشین	0	1	0	0	0	1	1%
11	شنت DC ماشین	0	0	3	0	0	3	4%
12	کمپوند DC ماشین	0	3	0	2	1	6	8%
13	پخش توان و بازده	0	1	0	0	0	1	1%
14	مشخصه گشتاور سرعت	3	0	0	3	2	8	11%
15	کنترل سرعت	0	0	0	0	0	0	0%
16	راه اندازی ماشین DC	0	0	0	1	1	2	3%
17	ترانسفور ماتور	0	0	0	0	0	0	0%
18	مدار معادل	0	1	0	0	1	2	3%
19	تنظیم ولتاژ و بازده	0	0	1	0	0	1	1%
20	اتو ترانسفورماتور	1	0	1	1	1	4	5%
21	ترانس سه فاز و تکفاز	2	0	0	1	0	3	4%
22	هار مونیکهای ترانس	0	0	0	0	0	0	0%
23	تلفات ترانسفور ماتور	0	0	0	0	0	0	0%
24	موازی کردن ترانسفور ماتورها	0	1	1	1	2	5	7%
25	ترانس سه سیم پیچه	0	0	0	0	0	0	0%
26	آزمایشات ترانسفورماتور	1	0	0	0	0	1	1%
27	ماشینهای القایی	0	0	0	0	0	0	0%
28	ساختمان ماشینهای القایی	0	0	0	0	0	0	0%
29	مدار معادل و آزمایشات ماشین القایی	0	0	0	0	0	0	0%
30	آزمایشات ماشین القایی	0	0	0	0	0	0	0%
31	پخش توان و بازده	1	0	0	0	0	1	1%
32	مشخصه گشتاور سرعت	2	1	2	0	2	7	9%
33	کنترل سرعت و مقاومت رو تور	1	2	0	0	0	3	4%
34	راه اندازی	0	1	1	2	1	5	7%
35	گشتاور ماکزیمم	0	0	0	0	1	1	1%
36	هار مونیکهای زمانی و فضایی	0	0	0	1	0	1	1%
جمع		15	15	15	15	15	75	100%

فصل اول

مدارهای مغناطیسی و تبدیل الکترومکانیکی

مدار مغناطیسی و روابط:

$\boxed{\varphi = BA}$

$\boxed{B = \mu_0 \mu_r H}$

$\boxed{F = Ni = HL}$

$$\boxed{R = \frac{L_{av}}{\mu_0 \mu_r A}}$$

φ: شار مغناطیسی

β: چگالی شار مغناطیسی

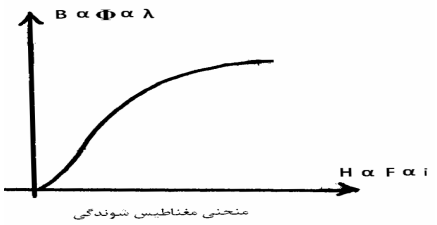
$mmf : F$

R: رلوکتانس یا مقاومت مغناطیسی

L_{av}: طول متوسط عبور شار

A: سطح مقطع عبور شار

μ_0: ضریب نفوذپذیری خلأ



منحنی مغناطیس شوندگی

✓ نقطه‌ای که در آن بیشترین شیب وجوددارد (نقطه زانویی) ، ماکزیمم μ در آن نقطه رخ می‌دهد که سعی می شود ماشین‌های الکتریکی در نقطه زانویی به کار گرفته می‌شوند.

یادداشت:

.....

.....

.....

.....

تلفات هسته:

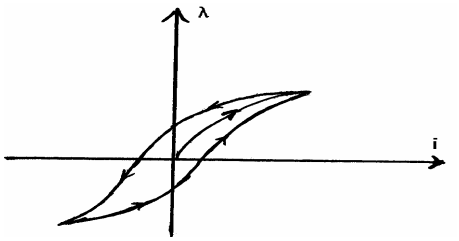
۱ـ تلفات پس ماند (هیسترزیس):

مساحت مساحت منحنی مغناطیس شوندگی $(\varphi - F),(\lambda - i)$ برابر با تلفات هیسترزیس می‌باشد.

$$P_h = k_h . B_{max}^n . f \quad 1.5 \le n \le 2.5$$

k_h: ضریب ثابت تلفات هیسترزیس می‌باشد که به مشخصات هسته بستگی دارد.

نکته: مساحت منحنی $(B - H)$ تلفات واحد حجم هیسترزیس را نشان می‌دهد.



۲-تلفات فوکو (جریان‌های گردابی):

$$P_e = K_e B_m^2 f^2$$

$$P_{core} = P_h + P_f$$ تلفات هسته

نکته: اگر تحریک DC باشد تلفات فوکو و هیسترزیس صفر است.

تلفات هسته با تحریک سینوسی:

$$V_{eff} = 4.44 N f \varphi_m$$

$$P_h = k_h' V^n f^{1-n} \rightarrow \frac{P_{h_1}}{P_{h_2}} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)\left(\frac{f_1}{f_2}\right)^{1-n}$$

$$P_e = K_e' V_{eff}^2 \rightarrow \frac{P_{e_1}}{P_{e_2}} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^2$$

یادداشت:

.....

.....

.....

.....

ضریب خود القایی (اندوکتانس):

الف: اندوکتانس خودی: $$L_{11}=\frac{\lambda_{11}}{i_1}=\frac{N_1\varphi_{11}}{i_1}=\frac{N^2}{R_{eq}}$$

ب: اندوکتانس متقابل: $$L_{12}=\frac{N_1\varphi_{12}}{i_2}$$

φ_{12}: شار عبوری از سیم‌پیچ اول ناشی از منبع دوم

ـ برای بدست آوردن φ_{12} منبع اول را خنثی نموده و منبع دوم را روشن گذاشته و سپس شار عبوری از سیم‌پیچ اول را بدست می‌آوریم.

اصول تبدیل انرژی الکترومکانیکی:

حالت موتوری $$W_e=W_f+W_m$$

حالت ژنراتوری $$W_m=W_f+W_e$$

$$W_e=\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} id\lambda$$

انرژی میدان مغناطیسی:

۱ـ سیستم خطی:

$$W_f=\begin{cases}\frac{1}{2}F\varphi=\frac{1}{2}\frac{F^2}{R}=\frac{1}{2}R\varphi^2\\ \frac{1}{2}\lambda i=\frac{1}{2}\frac{\lambda^2}{L}=\frac{1}{2}Li^2\\ \frac{1}{2}V_{core}B.H=\frac{1}{2}V_{core}\frac{B^2}{\mu}=\frac{1}{2}V_{core}\mu H^2\end{cases}$$

۲ـ سیستم غیرخطی:

$$W_f=\int id\lambda=\int F.d\varphi=V_{core}\int H.dB$$

مفهوم کوانرژی (شبه انرژی):

$$W_f'=\int \lambda di=\int \varphi dF=V_{core}\int B.dH$$

نکته: شبه انرژی همان مساحت زیر نمودار $(\lambda-i)$ می‌باشد. $$W_f'=\lambda i-W_f$$

➳ در سیستم خطی داریم $$W_f=W_f'=\frac{1}{2}\lambda i$$

نکته: در سیستم‌های الکترومکانیکی همواره در جهت کاهش فاصله هوایی و رلوکتانس و افزایش اندوکتانس می‌باشد.

یادداشت:

.....

.....

.....

.....

بررسی حالات مختلف در حرکت:

۱- حرکت بی‌نهایت سریع:

$\lambda = \text{ثابت} \rightarrow dW_e = 0$

$$\boxed{dW_m = -dW_f}$$

$$\boxed{F = \frac{-\partial W_f(\lambda, x)}{\partial x} \quad , \quad i = \frac{\partial W_f(\lambda, x)}{\partial \lambda}}$$

تذکر: در حرکت سریع، W_f باید تابعی از مقدار ثابت x, λ باشد نه i، بنابراین روابط به کار رفته در حرکت سریع باید تابعی از x, λ و یا φ و H باشد نه H, F, i

نیروی مکانیکی $\boxed{F_m = -\frac{1}{2}\varphi^2 \frac{dR}{dx} = \frac{1}{2}\frac{B^2}{\mu}\frac{dV_{core}}{dx} = \frac{1}{2}\frac{\lambda^2}{L^2}\frac{dL}{dx}}$

نکته: مساحت محصور بین دو نقطه کاری در منحنی $\lambda - i$ برابر با کار مکانیکی است.

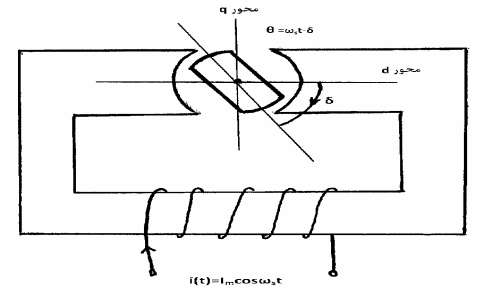
۲: حرکت با سرعت بی‌نهایت آرام:

$I = \text{ثابت}$

نیروی مکانیکی $\boxed{F_m = -\frac{1}{2}\frac{F^2}{R^2}\frac{dR}{dx} = \frac{1}{2}i^2\frac{dL}{dx} = \frac{1}{2}\mu H^2 \frac{dV_{core}}{dx}}$

$$\boxed{F = \frac{\partial W_f'(i, x)}{dx} \ , \ \lambda = \frac{\partial W_f'(i, x)}{\partial i}}$$

ماشین تک تحریکه دورانی (موتور رلوکتانسی):



$\boxed{R_{min} = R_d}$ $\boxed{R_{max} = R_q}$

$\boxed{R_1 = \frac{1}{2}(R_q + R_d)}$ $\boxed{R_2 = -\frac{1}{2}(R_q - R_d)\cos 2\theta_r}$

$\boxed{R_L = R_1 + R_2}$ $\boxed{T_e = -\frac{1}{2}\varphi^2 \frac{dR_L}{d\theta}}$

$$T_e = -\frac{1}{4}\varphi_m^2 (R_q - R_d)[\sin(2\omega_m t - 2\delta) + \frac{1}{2}\sin(2\omega_m t + 2\omega_s t - 2\delta) + \frac{1}{2}\sin(2\omega_m t - 2\omega_s t - 2\delta)]$$

اگر $\omega_s = \omega_m$ باشد $T_{e_{av}} = 0$

اگر $\omega_s \neq \omega_m$ باشد گشتاور متوسط صفر نمی‌شود.

$$\boxed{T_{e_{av}} = \frac{1}{8}\varphi_m^2 (R_q - R_d)\sin 2\delta} \ , \ \boxed{T_{e_{av_{max}}} = \frac{1}{8}\varphi_m^2 (R_q - R_d)}$$

یادداشت:

.....

.....

.....

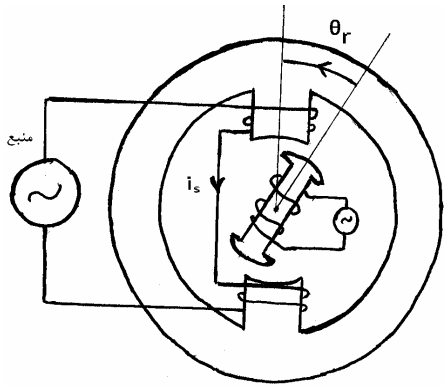
.....

$$L_q = \frac{N^2}{R_q}$$ ضریب القای محور عرضی

$$L_d = \frac{N^2}{R_d}$$ ضریب القای محور مستقیم

$$T_{e_{av}} = \frac{V_t}{4\omega}\left(I_q - I_d\right)\sin 2\delta$$

سیستم‌های مغناطیسی دو تحریکه:



$$\lambda_s = L_s i_s + L_{sr} i_r$$

$$\lambda_r = L_r i_r + L_{sr} i_s$$

$$L_s = \frac{N_s^2}{R_s}$$ ضریب خودالقای سیم‌پیچ استاتور

$$L_r = \frac{N_R^2}{R_r}$$ ضریب خود القای سیم‌پیچ روتور

$$L_{sr} = \frac{N_s N_r}{R_{sr}}$$ ضریب القای متقابل سیم‌پیچ استاتور و روتور

$$T_e = \frac{1}{2} i_s^2 \frac{dL_s}{d\theta_r} + \frac{1}{2} i_r^2 \frac{dL_r}{d\theta_r} + i_s i_r \frac{dL_{sr}}{d\theta_r}$$ گشتاور

عبارت اول: گشتاور رلوکتانسی ناشی از تحریک استاتور یا گشتاور خودی استاتور

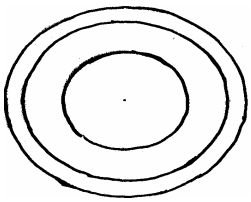
عبارت دوم: گشتاور رلوکتانسی ناشی از تحریک روتور یا گشتاور خودی روتور

عبارت سوم: گشتاور الکترومغناطیسی یا تداخلی یا تقابلی

انواع ماشین:

۱ـ ماشین سنکرون قطب صاف (استوانه‌ای):

در این ساختار R_{ss} و R_{rr} هر دو ثابت است و تنها گشتاور الکترومغناطیسی داریم:



$$T = i_s i_r \frac{dL_{sr}}{d\theta_r}$$

$$\frac{dL_{ss}}{d\theta_r} = 0 \ , \ \frac{dL_{rr}}{d\theta_r} = 0$$

یادداشت:

.....

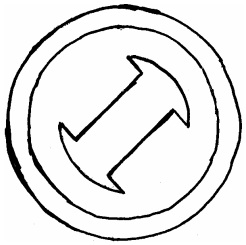
.....

.....

.....

۲ـ ماشین قطب برجسته:

در این ساختار تنها R_{rr} ثابت است.

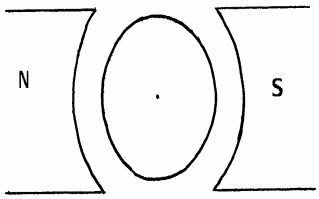


$$\frac{dL_{rr}}{d\theta_r} = 0$$

$$T = \frac{1}{2} i_s^2 \frac{dL_{ss}}{d\theta_r} + i_s i_r \frac{dL_{sr}}{d\theta_r}$$

۳ـ ماشین استاتور برجسته:

در این نوع ماشین تنها R_{ss} ثابت است.



$$\frac{dL_{ss}}{d\theta_r} = 0$$

$$T = \frac{1}{2} i_r \frac{dL_{rr}}{d\theta_r} + i_s i_r \frac{dL_{sr}}{d\theta_r}$$

یادداشت:

.....

.....

.....

.....

مسائل تکمیلی فصل اول

۱ ـ یک مدار مغناطیسی دارای سطح مقطع 12.5cm^2 و طول متوسط 25cm است. اگر تعداد دورهای سیم‌پیچ تحریک مدار 100 دور و جریان گذرنده از آن 10A باشد و شار معادل در مدار برابر 1.83mwb باشد، اگر بتوان رابطه B-H را برای ماده مغناطیسی هسته به صورت $B=\frac{aH}{b+H}$ بیان نمود، آن‌گاه برای هسته این مدار مغناطیسی، a و b برابرند با:

۱) $\begin{matrix}a=1.5\\b=150\end{matrix}$ ۲) $\begin{matrix}a=1.5\\b=100\end{matrix}$ ۳) $\begin{matrix}a=1\\b=150\end{matrix}$ ۴) $\begin{matrix}a=1\\b=100\end{matrix}$

حل: گزینه ۲ درست است.

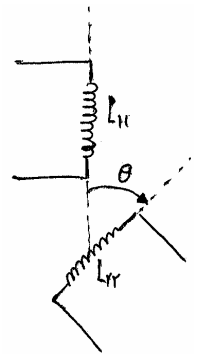
$$NI=H\ell \;\Rightarrow\; 100\times10=H\times25\times10^{-2} \;\Rightarrow\; H=4000\frac{AT}{m}$$

$$\phi=1.83\,\text{mwb}=BA \;\Rightarrow\; B=\frac{1.83\times10^{-3}}{12.5\times10^{-4}}=1.464\,T$$

با استفاده از دو مقدار به‌دست آمده برای B و H تنها گزینه 2 $(a=1.5\;,\;b=100)$ موجب می‌شود رابطه $B-H$ برقرار باشد.

۲ ـ دو سیم‌پیچ نشان داده شده در شکل، دارای ضرایب القایی زیر هستند. اگر گشتاور الکتریکی آن‌ها در حالتی که سیم‌پیچ اتصال کوتاه شده باشد و جریان I_o از سیم‌پیچ دوم بگذرد محاسبه شود، آن‌گاه کدام گزینه در مورد آن صحیح نیست؟

$L_{11}=A\;,\;L_{22}=B\;,\;L_{12}=L_{21}=C\cos\theta$ (A و B و C مقادیر ثابتی هستند)



۱) تابعی از $\sin(2\theta)$ است.

۲) تابعی از A و C است.

۳) تابعی از B و C است.

۴) تابعی از مجذور I_o است.

حل: گزینه ۳ درست است.

اگر سیم‌پیچ اول اتصال کوتاه شود، داریم:

$$\frac{d}{dt}\left(L_{11}i_1+L_{12}i_2\right)=0 \;\Rightarrow\; L_{11}i_1+L_{12}i_2=cte=K$$

$$\Rightarrow\; i_1=\frac{K-L_{12}I_o}{A}$$

یادداشت:

.....

.....

.....

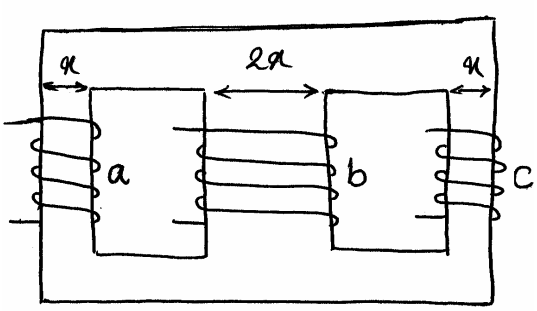
.....

$$W_m=\frac{A}{2}\left[\frac{K-L_{12}I_o}{A}\right]^2+\frac{B}{2}I_o^2+L_{12}I_o\left[\frac{k-L_{12}I_o}{A}\right]$$

$$W_m=\frac{K^2}{2A}-\frac{L_{12}^2I_o^2}{2A}+\frac{B}{2}I_o^2=\frac{K^2}{2A}+\frac{B}{2}I_o^2-\frac{I_o^2}{2A}C^2\cos^2\theta$$

$$T_e=\frac{dW_m}{d\theta}=\frac{I_o^2}{A}C^2\sin\theta\cos\theta=\frac{I_o^2}{2A}C^2\sin 2\theta$$

۳ ـ در شکل مقابل اندوکتانس خودی b نسبت به اندوکتانس خودی a کدام است؟ $N_a=N_c=4N_b$



۱) $\frac{1}{8}$

۲) $\frac{1}{12}$

۳) $\frac{1}{4}$

۴) $\frac{1}{6}$

حل: گزینه ۲ درست است.

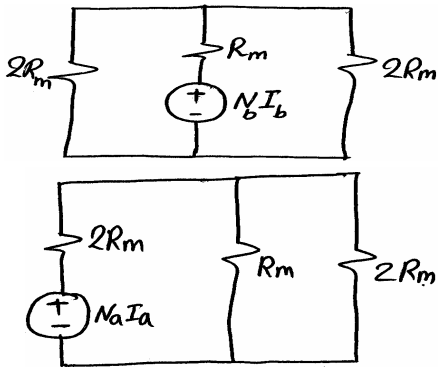
$$R_{eq}=\left(2R_m\|2R_m\right)+R_m=2R_m$$

$$L_{bb}=\frac{N_b^2}{R_{eq}}=\frac{N_b^2}{2R_m}$$

$$R_{eq}=\left(R_m\|2R_m\right)+2R_m=\frac{8}{3}R_m$$

$$L_{aa}=\frac{N_a^2}{R_{eq}}=\frac{N_a^2}{\frac{8}{3}R_m}$$

$$\frac{L_{bb}}{L_{aa}}=\frac{\frac{N_b^2}{2R_m}}{\frac{3N_a^2}{8R_m}}=\frac{\frac{N_b^2}{2}}{\frac{3(4N_b)^2}{8}}=\frac{\frac{Nb^2}{2}}{\frac{48\,Nb^2}{8}}=\frac{1}{12}$$



یادداشت:

.....

.....

.....

.....

۴ ـ در یک سیستم دوتحریکه داریم: $\begin{cases}\lambda_1=\theta i_1^2\\ \lambda_2=\cos\theta i_1 i_2\end{cases}$

کد θ زاویه روتور و λ_1 و λ_2 شار پیوندی سیم‌پیچ‌ها است. گشتاور T_e در وضعیت $i_1=i_2=1A$ $\theta=\frac{\pi}{2}$ کدام است.

۱) $-\frac{1}{3}$ ۲) $-\frac{1}{2}$ ۳) $-\frac{2}{3}$ ۴) $-\frac{1}{6}$

حل: گزینه ۴ درست است.

$$W_{f_1}=\int i_1\frac{\partial\lambda(i_1,\theta)}{\partial i_1}.di_1=\int i_1\left(2\theta i_1\right)di_1=\frac{2i_1^3.\theta}{3}$$

$$W_{f_2}=\int\left(i_1\frac{\partial\lambda_1}{\partial i_2}di_2+i_2\frac{\partial\lambda_2}{\partial i_2}di_2\right)=\int\left(i_1\times0\times di_2+i_2.\cos\theta.i_1\,di_2\right)=\frac{i_1i_2^2\cos\theta}{2}$$

$$W_f=W_{f_1}+W_{f_2}=\frac{2i_1^3\theta}{3}+\frac{i_1i_2^2\cos\theta}{2}$$

$$T_e=i_1\frac{\partial\lambda_1}{\partial\theta}+i_2\frac{\partial\lambda_2}{\partial\theta}-\frac{\partial wf}{\partial\theta}\quad\Rightarrow\quad T_e=i_1\times i_1^2+i_2(-\sin\theta)i_1i_2-\frac{2}{3}i_1^3+\frac{i_1i_2^2\sin\theta}{2}=\frac{i_1^3}{3}-\frac{i_1i_2^2\sin\theta}{2}$$

$$Te\Big|_{\theta=\frac{\pi}{2},i_1=i_2=1}=\frac{1}{3}-\frac{1}{2}=-\frac{1}{6}\text{N.m}$$

۵ ـ سیم‌پیچ استاتور و روتور دارای پارامترهای زیر هستند: $\begin{cases}r_s=2.5\Omega & r_r=3\Omega\\ L_s=0.03H & L_r=0.12H\end{cases}$, $M_{sr}=0.06\cos\theta_r$ **که θ_r**

زاویه فضایی بین محورهای سیم‌پیچ روتور و استاتور است. دو سیم‌پیچ با هم موازی شده‌اند و روتور در وضعیت $\theta_r=90^\circ$ قرار دارد. در زمان $t=0$ سیم‌پیچ‌ها به منبع ولتاژ 30 ولت dc وصل می‌شوند و مقدار جریان اولیه صفر است. گشتاور در حالت ماندگار کدام است؟

۱) $-3.6\,\text{Nm}$ ۲) $-7.2\,\text{Nm}$ ۳) -2.4Nm ۴) -1.8Nm

حل: گزینه ۲ درست است.

$$V_r=r_ri_r+L_r\frac{di_r}{dt}+M_{sr}\frac{di_s}{dt}\quad\Rightarrow\quad 30=3i_r+0.12\frac{di_r}{dt}+0.06\cos\theta_r\frac{di_s}{dt}$$

می‌دانیم

$$\theta_r=90\quad\Rightarrow\quad M_{sr}=0$$

$$V_s=r_si_s+L_s\frac{di_s}{dt}+M_{rs}\frac{di_r}{dt}\quad\Rightarrow\quad 30=2.5i_s+0.03\frac{di_s}{dt}+0.06\cos\theta_r\frac{di_r}{dt}$$

یادداشت:

.....

.....

.....

.....

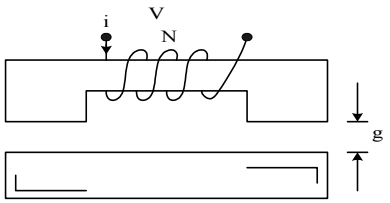
$$\Rightarrow \begin{cases} 3i_r + 0.12\dfrac{di_r}{dt} = 30 \\ 2.5i_s + 0.03\dfrac{di_s}{dt} = 30 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} i_r(\infty) = \dfrac{30}{3} = 10(A) \\ i_s(\infty) = \dfrac{30}{2.5} = 12(A) \end{cases}$$

$$W'_f = \frac{1}{2}L_r i_r^2 + \frac{1}{2}L_s i_s^2 + M_{sr} i_s i_r$$

$$T_e = \frac{\partial W'_f}{\partial \theta} = -0.06\sin\theta_r . i_s . i_r \quad \Rightarrow \quad \theta_r = 90^\circ \quad \Rightarrow \quad T_e = -0.06 i_s . i_r$$

$$T_e(\infty) = -0.06 \times i_s(\infty) \times i_r(\infty) = -0.06 \times 12 \times 10 = -7.2\,N.m$$

۶ـ یک رله الکترومغناطیسی مطابق شکل با فاصله هوایی به طول 1mm وقتی با منبع ولتاژ متناوب با ولتاژ ثابت 220 V تغذیه می‌شود، $1(A)$ جریان می‌کشد. اگر طول فاصله هوائی دو برابر شود و ولتاژ منبع دو برابر شود، جریان گرفته شده توسط پیچک چقدر خواهد شد؟

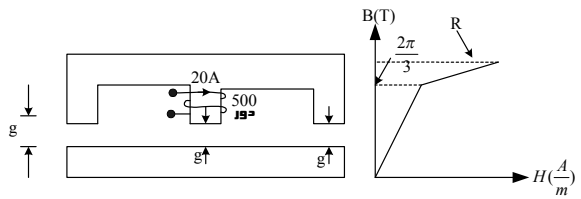


۱) تقریباً نصف می‌شود.
۲) تقریباً ثابت می‌ماند.
۳) تقریباً دو برابر می‌شود.
۴) تقریباً چهار برابر می‌شود.

حل: گزینه ۴ درست است.

$$\left.\begin{aligned} R_1 &= \frac{2g}{\mu . A} \\ R_2 &= \frac{4g}{\mu . A} \end{aligned}\right\} R_2 = 2R_1 \quad \rightarrow \quad \left.\begin{aligned} R_1\phi &= Ni_1 \\ R_2 2\phi &= Ni_2 \end{aligned}\right\} \Rightarrow \frac{R_2 2\phi}{R_1\phi} = \frac{i_2}{i_1} \Rightarrow \frac{i_2}{i_1} = 4$$

۷ـ در سیستم الکترومغناطیسی روبرو از مقاومت مغناطیسی قسمت‌های افقی هسته صرف نظر می‌شود و فرض می‌شود که رابطه B – H ساقه‌ها به صورت زیر می‌باشد. حداکثر فاصله هوائی چقدر باشد تا با جریان 20 A ساق‌های هسته به اشباع نرود؟

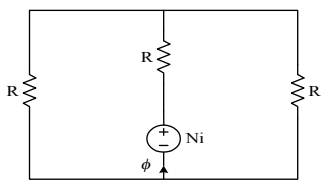


۱) 4 mm
۲) 3 mm
۳) 2 mm
۴) 1 mm

حل: گزینه ۱ درست است.

$$Req = \frac{3}{2}R = \frac{3}{2}\frac{g}{\mu . A} \Rightarrow \frac{3}{2}\frac{Bg}{\mu_0} = Ni$$

$$\frac{3}{2} \times \frac{\frac{2\pi}{3}g}{4\pi \times 10^{-7}} = 500 \times 20 \Rightarrow g = 4\,mm$$



یادداشت:

.....

.....

.....

.....

۸ ـ معادله کوانژری در یک سیستم الکترومکانیکی دو تحریکه به شکل $w' = \frac{x}{x+0.01} i_1^3 i_2^2$ است. مقدار انرژی ذخیره شده در میدان در حالتی که $x = 0.01^m$, $i_1 = 2^A$, $i_2 = 3^A$ باشد چند ژول است؟

۱) 144 ۲) 108 ۳) 72 ۴) 36

حل: گزینه ۱ درست است.

در سیستم دو تحریکه مجموع انرژی و کوانژری عبارت است از:

$$w + w' = \lambda_1 i_1 + \lambda_2 i_2 \quad , \quad w' = \frac{x}{x+0.01} i_1^3 i_2^2$$

$$\rightarrow \lambda = \frac{x}{x+0.01} \times 3 i_1^2 i_2^2 + \frac{x}{x+0.01} i_1^3 \times 2 i_2$$

$$x = 0.01 \text{ به ازای } \rightarrow \lambda = \left[\frac{3}{2} i_1^2 i_2^2 + i_1^3 i_2\right] = \lambda_1 + \lambda_2 \quad , \quad w' = \frac{1}{2} i_1^3 i_2$$

$$w = \left(\lambda_1 i_1 + \lambda_2 i_2\right) - w' = \frac{3}{2} i_1^3 i_2^2 + i_1^3 i_2^2 - \frac{1}{2} i_1^3 i_2 - 2 i_1^3 i_2^2 \quad \rightarrow \rightarrow w = 144$$

۹ ـ در یک ماشین الکتریکی با فاصله هوایی یکنواخت پارامترهای ماشین عبارت است از:

$$L_s = a \quad L_r = b \quad L_{sr} = C \cos\theta_r$$

که θ_r زاویه نسبی بین محورهای روتور و استاتور است. از مقاومت استاتور و روتور صرف‌نظر کنید. استاتور توسط جریان I تحریک می‌شود. در حالی که روتور اتصال کوتاه شده است. آنگاه گشتاور حداکثر در بازه حرکتی $0 < \theta_r < \frac{\pi}{2}$ در چه زاویه‌ای رخ می‌دهد و مقدار گشتاور حداکثر چقدر می‌باشد؟

۱) $\frac{C^2 I^2}{2a}, \frac{\pi}{2}$ ۲) $\frac{C^2 I^2}{a}, \frac{\pi}{2}$ ۳) $\frac{C^2 I^2}{2a}, \frac{\pi}{4}$ ۴) $\frac{C^2 I^2}{a}, \frac{\pi}{4}$

حل: گزینه ۳ درست است.

$$\frac{d}{dt}\left(L_r i_r + L_{sr} i_s\right) = 0 \Rightarrow a i_r + c \cos\theta_r . I = 0 \Rightarrow i_r = -\frac{c}{a} \cos\theta_r . I$$

$$T = i_s i_r \frac{dL_{sr}}{d\theta_r} = -I^2 . \frac{c}{a} \cos\theta_r \times \left(c \sin\theta_r\right) = \frac{1}{2} \frac{c^2}{a} I^2 \sin 2\theta r \Rightarrow \sin 2\theta r = 1 \Rightarrow 2\theta_r = \frac{\pi}{2} \Rightarrow \theta_r = \frac{\pi}{4} , \; T_m = \frac{c^2 I^2}{2a}$$

یادداشت:

.....

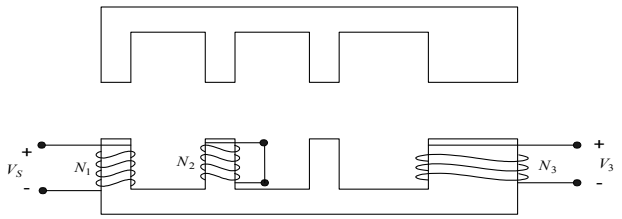
.....

.....

.....

۱۰ ـ در مدار زیر، سطح مقطع در تمام ستون‌ها A و در ستون سمت راست 2A می‌باشد. سیم‌پیچ شماره 1 را به یک منبع سینوسی با فرکانس 50^{Hz} و دامنه 60 ولت وصل می‌کنیم. سیم‌پیچ شماره 2 اتصال کوتاه و سیم‌پیچ شماره 3 باز است. طول فاصله هوایی‌ها در تمام قسمت‌ها یکسان فرض می‌شود. ولتاژ القا شده در سیم‌پیچ N_3 عبارت‌است از:

$N_3 = 100 \qquad N_2 = 40 \qquad N_1 = 50$

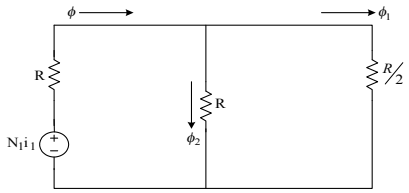


۱) 80 ولت با فرکانس 50^{Hz}
۲) 60 ولت با فرکانس 50^{Hz}
۳) 80 ولت با فرکانس کمتر از 50^{Hz}
۴) 70 ولت با فرکانس 50^{Hz}

حل: گزینه ۱ درست است.

$$V_2 = 0 \rightarrow N_2 \frac{d\varphi_2}{dt} = 0 \begin{cases} \rightarrow \varphi_2 = cte \\ \rightarrow \varphi_2 = 0 \end{cases}$$

غیرقابل قبول چون تغذیه سینوسی است



حل: $\Rightarrow$ مدار معادل با فرض $\varphi_2 = 0$

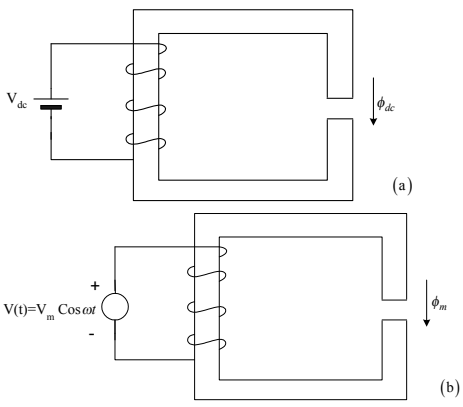
$$\varphi_1 = \frac{R}{\frac{3}{2}R} \times \varphi \quad \rightarrow \quad \varphi_1 = \frac{2}{3}\varphi$$

$$\frac{V_3}{V_1} = \frac{N_3\varphi_1}{N_1\varphi} \quad \rightarrow \quad V_3 = \frac{N_3}{N_1} \times \frac{2}{3} \times 60 \quad \rightarrow \quad V_3 = 40\frac{N_3}{N_1}$$

$$\rightarrow V_3 = 80^{V}$$

فرکانس ولتاژ القایی همان 50^{Hz} خواهد بود.

۱۱ ـ در شکل‌های (a) و (b) اگر طول فاصله هوائی 2 برابر شود، نسبت تغییرات ϕ_m به تغییرات ϕ_{dc} چقدر خواهد شد؟ مقدار حالت دائم شار در هسته در شکل (a)، ϕ_m مقدار پیک شار هسته شکل (b) در حالت ماندگار است از نشت شار و پراکندگی صرف‌نظر می‌شود؟ (در حالت سینوسی می‌توان از مقاومت سیم‌پیچ صرف‌نظر کرد)



۱) نصف خواهد شد.
۲) دو برابر خواهد شد.
۳) بدون تغییر خواهد ماند.
۴) هیچ‌کدام

یادداشت:

.....

.....

.....

.....

حل: گزینه ۲ درست است.

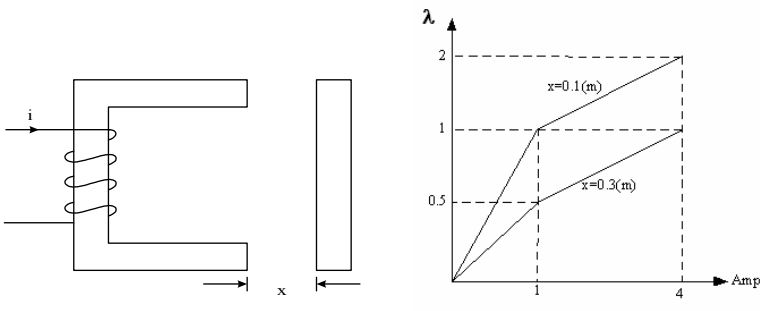
در مدارهای تحریک سینوسی شار داخل هسته تنها متأثر از ولتاژ (دامنه ولتاژ) و فرکانس منبع تغذیه ورودی می‌باشد. مادامی که این دو تغییر نکنند شار داخل هسته تغییر نخواهد کرد. اما در مدارهای تحریک dc داریم:

$$\begin{cases} V_{DC} = r I_{DC} \\ N I_{DC} = R \phi_{dc} \end{cases}$$

هرگاه R دوبرابر شود، ϕ_{dc} نصف خواهد شد و از این رو داریم:

$$\frac{\phi_m}{\phi_{dc}} = \frac{1}{0.5} = 2$$

۱۲ ـ شکل کلی یک رله الکترومغناطیسی به‌همراه مشخصه $\lambda - i$ آن در دو حالت داده شده است. قسمت متحرک از وضعیت $x = 0.3(m)$ به وضعیت $x = 0.1(m)$ حرکت می‌کند. درمورد مقدار متوسط نیروی وارد بر قسمت متحرک کدام گزینه درست است.



۱) $5 \le F \le 12.5$

۲) $5 \le F \le 15$

۳) $0 \le F \le 12.5$

۴) قابل محاسبه نمی‌باشد.

حل: گزینه ۱ درست است.

$$\Delta w_m \text{ (حرکت بی‌نهایت آرام)} \le \Delta w_m \le \Delta w_m \text{ (حرکت بی‌نهایت سریع)}$$

$$\Delta w_m \text{ (حرکت بی‌نهایت سریع)} = 0.5\left(0.5 \times 1 + 0.5 \times 3 + 1 \times 3\right) = 2.5$$

$$\Delta W_m \text{ (حرکت بی‌نهایت آرام)} = \frac{1 \times 0.5}{2} + \frac{3 \times 0.5}{2} = 0.75 + 0.25 = 1 \quad \rightarrow \quad \Delta x = 0.2$$

$$\Rightarrow \frac{\Delta w_m(\min)}{\Delta x} \le \frac{\Delta w_m}{\Delta x} \le \frac{\Delta w_m(\max)}{\Delta x} \Rightarrow F_{min} \le F \le F_{max}$$

$$\frac{1}{0.2} \le F \le \frac{2.5}{0.2} \Rightarrow \boxed{5 \le F \le 12.5(N)}$$

یادداشت:

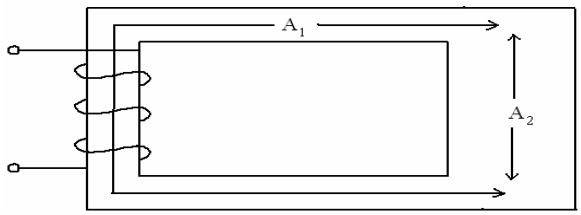
.....

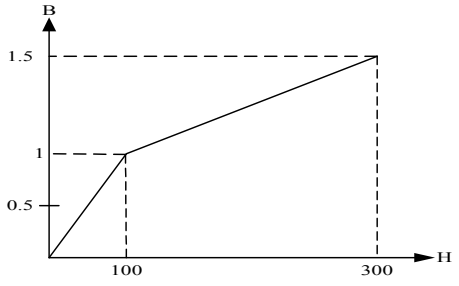
.....

.....

.....

۱۳ ـ مشخصه $B-H$ هسته مدار مغناطیسی شکل داده شده با دو قطعه خط به‌صورت داده شده تقریب زده شده است. هسته دارای دو قسمت است. قسمت اول دارای سطح مقطع A_1 و حجم 100 سانتی‌متر مکعب بوده و چگالی فلو در تمام قسمت‌های آن برابر 1 تسلا است. قسمت دوم دارای سطح مقطع $A_2 \left(A_2 > A_1\right)$ و حجم 200 سانتی‌متر مکعب است که چگالی شار در تمام قسمت‌های آن برابر 1.5 تسلا می‌باشد. درصورتی که مدار مغناطیسی فاقد فاصله هوائی باشد و انرژی ورودی از منبع به مدار مغناطیسی در بازه زمانی تحت مطالعه 100 میلی‌ژول باشد، با فرض چشم‌پوشی از تلفات سیم‌پیچی تحریک، مقدار تلفات انرژی در سیستم چند میلی‌ژول است؟





۱) 60
۲) 45
۳) 35
۴) 50

حل: گزینه ۳ درست است.

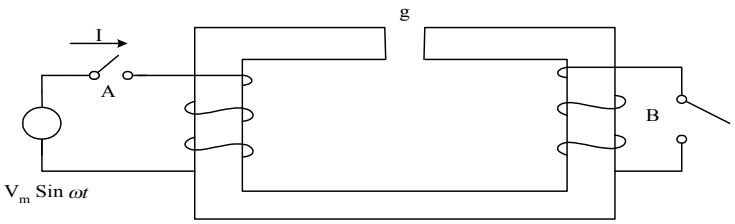
انرژی ذخیره شده ـ انرژی ورودی = تلفات انرژی

$$\text{انرژی ذخیره شده} = 100\times10^{-6}\times\left(\frac{100\times1}{2}\right)+\left(50+\frac{1.5+1}{2}\times200\right)\times200\times10^{-6}$$

$$= 5\times10^{-3} + 60\times10^{-3} = 65\times10^{-3} = 65\,\text{m j}$$

$$\text{تلفات انرژی} = 100 - 65 = 35\,\text{m j}$$

۱۴ ـ مدار مغناطیسی شکل داده شده مفروض است. سطح مقطع هسته در تمام قسمت‌ها یکسان است. از مقاومت سیم‌پیچی‌ها، افت آمپر دور در آهن، پراکندگی و نشت فلو صرف‌نظر می‌شود. منبع ولتاژ نشان داده شده نیز ایده‌آل فرض می‌شود. ابتدای هر آزمایش هر دو کلید مدار باز هستند. در آزمایش اول فقط کلید A بسته می‌شود. در آزمایش دوم ابتدا کلید B بسته شده و سپس کلید A بسته می‌شود. نسبت مقدار موثر جریان در آزمایش دوم $\left(I_2\right)$ به مقدار مشابه در آزمایش اول $\left(I_1\right)$ چند است $\left(\frac{I_2}{I_1}\right)$؟



$$I=\begin{cases} I_1 ; & \text{آزمایش اول} \\ I_2 ; & \text{آزمایش دوم} \end{cases}$$

۱) 0
۲) 3
۳) $\frac{1}{3}$
۴) هیچ‌کدام

یادداشت:

.....

.....

.....

.....

حل: گزینه ۴ درست است.

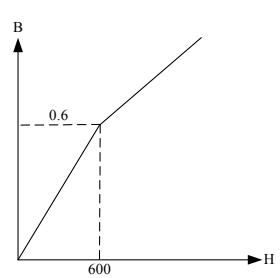
ولتاژ اعمال شده دو سر هر سیم‌پیچ، شار گذرنده از درون آن را به‌طور مطلق و مستقل از سایر عوامل و پارامترها و منابع مدار تعیین می‌کند. به این ترتیب شار گذرنده از هسته در سمت چپ مدار مشابه آزمایش اول است و در بازوی سمت راست به علت صفر بودن ولتاژ اعمالی (اتصال کوتاه بودن سیم‌پیچ هیچ شاری از هسته عبور نمی‌کند، شار ایجاد شده در سمت چپ به این ترتیب که نمی‌تواند از بازوی سمت راست عبور کند، مسیر خود را از مسیرهای هوایی و با رلوکتانس بسیار بالاتر می‌بندند و بنابر رابطه: $Ni = R\phi$

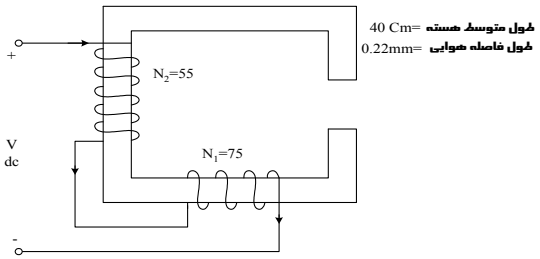
با ثابت بودن ϕ و افزایش R، جریان به همان نسبت زیاد می‌شود. این اتفاق مشابه اتصال کوتاه شدن ثانویه ترانسفورماتور و به وجود آمدن جریان اتصال کوتاه می‌شود) لذا صفر بودن جریان در قسمت دوم آزمایش اشتباه عجیبی است!

۱۵ ـ در مدار مغناطیس شکل زیر منحنی مغناطیسی شوندگی به صورت زیر می‌باشد. اگر سیم‌پیچ های تحریک مطابق شکل زیر با هم سری شده باشند، جریان سیم‌پیچ‌ها چقدر است؟

$\mu_0 \simeq 12\times10^{-7}$

B_g = چگالی شار در فاصله هوایی $= 0.6\ T$





۱) $i = 13(A)$ ۲) $i = 2(A)$ ۳) $i = 5(8)$ ۴) $i = 7.5(A)$

حل: گزینه ۱ درست است.

ϕ_c : شار در هسته ϕ_g : شار در فاصله هوایی

$$\begin{cases}\phi_c = \phi_g \\ A_c = A_g\end{cases} \Rightarrow B_c = B_g = 0.6T \overset{\text{نمودار}}{\Rightarrow} H_c = 400$$

$$B_g = 0.6 \rightarrow H_g = \frac{0.6}{12\times10^{-7}} = 5\times10^5$$

با توجه به جهت سیم‌پیچ‌ها میدان آن‌ها همدیگر را تضعیف می‌کنند

$$\Rightarrow (N_1 - N_2)i = H_c l_c + H_g l_g \Rightarrow 20\times i = 400\times0.4 + 5\times10^5\times2\times10^{-4} \rightarrow 20i = 260 \Rightarrow i = 13$$

یادداشت:

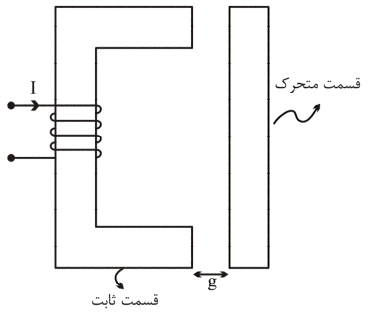
.....

.....

.....

.....

۱۶ ـ یک سیستم تبدیل الکترومکانیکی مطابق شکل زیر مفروض است. μ_r هسته بی‌نهایت فرض می‌شود. وقتی که جریان DC معادل I_0 از سیم پیچ عبور می‌کند، قسمت متحرک با نیروی F جذب می‌شود. اگر فقط جریان گذرنده از سیم پیچ از I_0 به $2I_0 \sin 2\omega t$ تغییر کند، مقدار متوسط نیروی حاصله چقدر خواهد شد؟



۱) $\frac{F}{2}$

۲) F

۳) $2F$

۴) $4F$

حل: گزینه ۳ درست است.

$$F_{dc} = \frac{1}{2} I_0^2 \frac{dL}{dy}$$

$$F_{ac} = \frac{1}{2}\left(2I_0 \sin 2\omega_0 t\right)^2 \frac{dL}{dy} = 2I_0^2 \frac{dL}{dy}\left(\sin 2\omega t\right)^2 = 2I_0^2 \frac{dL}{dy}\left(\frac{1-\cos 4\omega t}{2}\right) \quad \Rightarrow \quad F_{ac_{ave}} = I_0^2 \frac{dL}{dy}$$

$$F_{ac} = 2F_{dc}$$

۱۷ ـ در یک سیستم الکترومغناطیسی تک تحریکه، عبارت انرژی ذخیره شده در سیستم به صورت $W_F(i,x) = (1+x) i^{\frac{3}{2}}$ می‌باشد که در آن i شدت جریان سیم پیچ تحریک بر حسب آمپر و x تغییر مکان بر حسب متر می‌باشد. کار مکانیکی انجام شده در ضمن حرکت سریع از x=1m به x=3m برابر است با ؟ $\left(\lambda_{(x=1)} = 3\right)$

۱) $\frac{3}{16}$J

۲) $\frac{1}{16}$J

۳) $\frac{5}{16}$J

۴) $\frac{3}{28}$J

حل: گزینه ۱ درست است.

$$i = \frac{d\omega_f}{dx} = \frac{\partial w_f}{\partial i}.\frac{\partial i}{\partial \lambda} = \frac{3}{2}(1+x) i^{\frac{1}{2}} \frac{di}{dx} \rightarrow d\lambda = \frac{3}{2}(1+x) i^{-\frac{1}{2}} \quad \rightarrow \quad \lambda = 3(1+x) i^{\frac{1}{2}}$$

در حرکت سریع λ ثابت است.

$$W_f(\lambda, x) = \int i d\lambda = \int \frac{\lambda^2}{9(1+x)^2} d\lambda \quad \rightarrow \quad W_f(\lambda, x) = \frac{\lambda^3}{27(1+x)^2}$$

$$f = -\frac{\partial W_f}{\partial x} = \frac{2\lambda^3}{27(1+x)^3} = \frac{2(3)^3}{27(1+x)^3} = \frac{2}{(1+x)^3}$$

$$\Delta W_m = \int_1^3 \frac{2}{(1+x)^3} dx = -\frac{1}{(1+x)^2}\Big|_{x=1}^{x=3} = \frac{1}{4} - \frac{1}{16} = \frac{3}{16} j$$

یادداشت:

.....

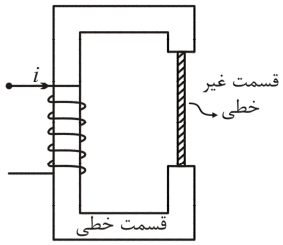
.....

.....

.....

۱۸ ـ مدار مغناطیسی شکل زیر از دو قسمت خطی و غیر خطی تشکیل شده است. سطح مقطع قسمت خطی A و سطح مقطع قسمت غیرخطی $\frac{A}{2}$ می‌باشد. طول قسمت خطی 10 cm و در قسمت خطی B=0.5 است. معادله افت پتانسیل در قسمت غیرخطی به صورت $B = F_m^2 - 99.99F_m$ می‌باشد. برای قسمت خطی $\mu = 5\times10^{-4}$ است. با صرف‌نظر از شکفتگی شار مطلوب است نسبت:

$$\frac{\text{افت پتانسیل در قسمت غیر خطی}}{\text{افت پتانسیل در قسمت خطی}} = ?$$



۱) 2
۲) 0.5
۳) $\frac{3}{2}$
۴) 1

حل: گزینه ۴ درست است.

$$F_m = \begin{cases} -0.01 & \text{غیر قابل قبول} \\ 100 & \end{cases} \rightarrow F_m = 100 \quad \Rightarrow B = 1 \quad \text{در قسمت غیرخطی} \Rightarrow \text{با توجه به سطح مقطع‌ها}$$

$$\Rightarrow \frac{F_m}{F_m} = 1 \qquad F = H.\ell = 10^2 \qquad B = \mu.H \rightarrow H = \frac{0.5}{5\times10^{-4}} = 10^3 \quad \text{در قسمت خطی}$$

یادداشت:

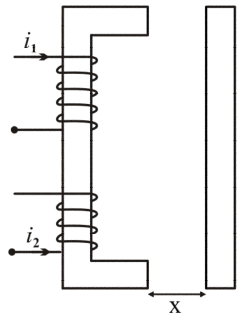
.....

.....

.....

.....

۱۹ ـ شکل زیر را در نظر بگیرید. می‌دانیم $L_{11}=\frac{K_1}{x}$ **و** $L_{22}=\frac{K_2}{x}$ ، $L_{12}=\frac{K_3}{x}$ **است. کدام گزینه می‌تواند بیانگر نیروی وارد بر قسمت متحرک باشد؟** $i_1, i_2 \neq 0$



۱) $F=\frac{1}{2}i_1^2\left[\frac{-k_1}{x^2}\right]+\frac{1}{2}i_2^2\left[\frac{-k_2}{x^2}\right]$

۲) $F=\frac{1}{2}i_1^2\left[\frac{-K_1}{x^2}\right]+\frac{1}{2}i_2^2\left[\frac{-K_2}{x^2}\right]+\left[\frac{-K_3}{x^2}\right]i_1i_2$

۳) $F=\frac{1}{2}i_1^2\left[\frac{-k_1}{x^2}\right]+\frac{1}{2}i_2^2\left[\frac{-k_2}{x^2}\right]-\left[\frac{-k_3}{x^2}\right]i_1i_2$

۴) $F=\frac{1}{2}i_1^2\left[\frac{-k_1}{x^2}\right]+\frac{1}{2}i_2^2\left[\frac{-k_2}{x^2}\right]-[k_3x]i_1i_2$

حل: گزینه ۳ درست است.

به خاطر اینکه شار ایجاد شده توسط سیم‌پیچ‌ها در خلاف جهت همدیگر است

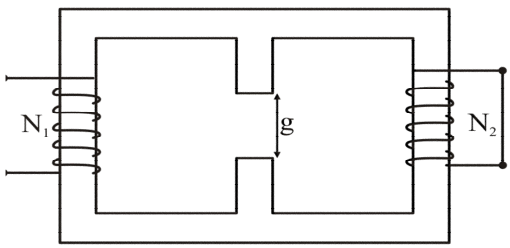
$$F=\frac{1}{2}i_1^2\frac{dL_1}{dx}+\frac{1}{2}i_2^2\frac{dL_2}{dx}\underset{\downarrow}{-}i_1i_2\frac{dM}{dx}$$

گزینه ۱ غلط است چون اثر متقابل را ندیده

گزینه ۲ غلط است چون علامت منفی ناشی از عدم هم جهت بودن شارها را ندیده است.

گزینه ۴ غلط است چون حاکی از این است که اثر متقابل دو سیم پیچ، جمله‌ای به صورت $M=K_4x^2$ بوده است. از آنجا که می‌دانیم اثر متقابل با افزایش x کاهش می‌یابد این گزینه هم نمی‌تواند درست باشد.

۲۰ ـ مدار شکل زیر را در نظر بگیرید. هسته ایده‌آل است. سیم‌پیچ N_2 **اتصال کوتاه است و سیم‌پیچ** N_1 **تغذیه می‌شود. مقاومت دیده شده از دید سیم پیچ** N_1 **در دو حالتی که تغذیه** N_1 ، ac **و** dc **باشد چقدر است؟**



۱) در هر دو حالت مقاومت دیده شده از دید N_1 صفر است.

۲) در هر دو حالت مقاومت دیده شده از دید N_1 ، برابر $\frac{g}{\mu_0 A}$ است.

۳) در حالت تغذیه dc مقاومت دیده شده از دید N_1 برابر صفر و در حالت ac برابر $\frac{g}{\mu_0 A}$ است.

۴) در حالت تغذیه dc مقاومت دیده شده از دید N_1 برابر $\frac{g}{\mu_0 A}$ و در حالت ac برابر صفر است.

یادداشت:

.....

.....

.....

.....

حل: گزینه ۳ درست است.

$$V_2 = 0 \;\rightarrow\; N_2 \frac{d\varphi_2}{dt} = 0 \;\Rightarrow\; \frac{d\varphi_2}{dt} = 0 \begin{cases} \varphi_2 = 0 \\ \varphi_2 = cte \end{cases}$$

φ_2: شار عبوری از سیم‌پیچ N_2

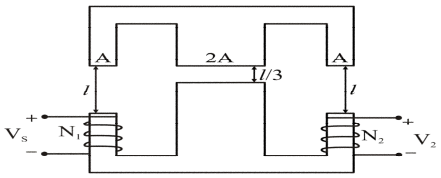
$\varphi = cte$ تنها در حالت تغذیه dc امکان دارد که در این صورت به علت ایده‌آل بودن هسته، تمام شار تولیدی از این شاخه عبور کرده و شاری از فاصله هوایی عبور نمی‌کند $\Leftarrow$ مقاومت دیده شده از دید N_1 برابر صفر است.

$\varphi_2 = 0 \leftarrow$ به علت اینکه در حالت تغذیه AC، شرط $\varphi_2 = cte$ ارضا نمی‌شود، پس حالت $\varphi_2 = 0$ مربوط به تغذیه AC است که در این حالت، شاری از سیم‌پیچ 2 عبور نکرده و تمام شار از فاصله هوایی عبور می‌کند. $\leftarrow$ مقاومت دیده شده از دید $\frac{g}{\mu_0 A} = N_1$

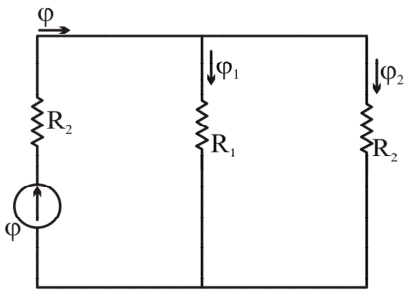
۲۱ ـ در شکل زیر فاصله هوایی در دو طرف ℓ و در شاخه وسطی $\frac{\ell}{3}$ است. سیم‌پیچ شمارهٔ 1 که دارای 50 دور است به ولتاژ $V_S = 30$ ولت متصل شده است. سطح مقطع‌ها در شکل نشان داده شده‌اند. تعداد دور سیم‌پیچ N_2 که باز است را چنان تعیین کنید که ولتاژ القاء شده به آن $V_2 = 6$ ولت شود؟

۱) $N_2 = 100$ ۲) $N_2 = 70$

۳) $N_2 = 10$ ۴) $N_2 = 60$



حل: گزینه ۲ درست است.



$$R_2 = \frac{1}{\mu_0} \times \frac{\ell}{A} \;\rightarrow\; R_2 = \frac{\ell}{\mu_0 A}$$

$$R_1 = \frac{1}{\mu_0} \times \frac{\frac{\ell}{3}}{2A} \;\rightarrow\; R_1 = \frac{\ell}{6\mu_0 A}$$

$$\begin{matrix} V_1 = V_s = N_1 \frac{d\varphi}{dt} \\ V_2 = N_2 \frac{d\varphi_2}{dt} \end{matrix} \;\rightarrow\; \frac{V_s}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} \times \frac{\varphi_1}{\varphi_2} \qquad (I)$$

از شکل $\rightarrow\; R_1\varphi_1 = R_2\varphi_2 \;\Rightarrow\; \varphi_1 = 6\varphi_1$ و $\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 \;\Rightarrow\; \varphi = 7\varphi_2$

با جاگذاری در (I)

$$\frac{V_s}{V_2} = \frac{50}{N_2} \times \frac{7\varphi_2}{\varphi_2} \;\Rightarrow\; 5 = \frac{50}{N_2} \times 7 \;\Rightarrow\; N_2 = 70$$

برای قضاوت در مورد موفقیت خودت ببین چه بدست آورده‌ای و در قبال آن چه از دست داده‌ای

پس موفقیت در کنکور مستلزم پشتکار و تلاش می‌باشد

یادداشت:

.....

.....

.....

.....

فصل دوم

ماشین‌های جریان مستقیم

ماشین‌های جریان مستقیم از دو بخش سیم‌پیچ میدان و سیم‌پیچ آرمیچر تشکیل شده است قسمت ثابت ماشین‌های DC استاتور که همان سیم‌پیچ میدان می‌باشد و قسمت متحرک آن روتور که همان سیم‌پیچ آرمیچر را شامل می‌شود.

نیروی محرکه الکتریکی:

$\boxed{E_a = k\varphi\omega}$ $\boxed{K = \frac{zp}{2\pi a}}$

φ: شار تولیدی توسط سیم‌پیچ تحریک $\omega = \frac{2\pi}{60}n$: سرعت زاویه‌ای آرمیچر

z: تعداد هادی‌های آرمیچر $p = 2c$: تعداد قطبهای ماشین

a: تعداد مسیرهای موازی c: تعداد دور سیم‌پیچ

گشتاور در ماشین‌های DC:

$\boxed{T = k\varphi I_a}$

I_a: جریان آرمیچر

یادداشت:

.....

.....

.....

.....

رابطه برداری ولتاژ القا شده و نیروی وارد به سیم‌پیچ:

$\boxed{e = \vec{V} \times \overrightarrow{BL}}$, $\boxed{F = \vec{i} \times \overrightarrow{LB}}$

که در مورد ولتاژ القایی چهار انگشت در جهت سرعت، جمع شدن آن در جهت میدان، انگشت شست جهت ولتاژ را نشان می‌دهد به همین ترتیب برای نیروی وارد به سیم‌پیچ چهار انگشت در جهت جریان، جمع شدن آن در جهت B، انگشت شست جهت نیرو را نشان می‌دهد.

انواع سیم‌بندی:

۱. سیم‌پیچی ساده ۲. سیم‌پیچی مرکب

۱. سیم‌پیچی ساده: الف) حلقوی ب) موجی ج) پای قورباغه‌ای

الف) سیم‌پیچی حلقوی، رویهم، هم‌پوش:

ویژگی: اگر دو سر سیم‌پیچی طوری باشد که یک سر آن به تیغه کموتاتور a و سر دیگر آن به تیغه کموتاتور مجاور آن متصل باشد سیم‌پیچی از نوع حلقوی می‌باشد.

اگر سیم‌پیچی راستگرد (پیش‌رونده) باشد $y_c = 1$

اگر سیم‌پیچی چپگرد (پس‌رونده) باشد $y_c = -1$

تعداد کموتاتور = تعداد پیچک = C و تعداد جاروبک = تعداد قطب‌های استاتور = تعداد مسیرهای موازی

$\boxed{a = P}$

جریان هر شاخه موازی آرمیچر برابراست با $\boxed{\frac{I_a}{a}}$ **کاربرد**: در ولتاژهای کم و جریانهای بالا

ب) سیم‌پیچی موجی:

در سیم‌پیچی از نوع موجی دو مسیر موازی وجود دارد بدین صورت که ابتدای پیچک اول به کموتاتور a و انتهای پیچک دوم به کموتاتور $a+1$ (مجاور) متصل است طوریکه این دو پیچک با هم سری می‌باشند.

گام کموتاتور $\boxed{y_{cs} = \frac{2(c \pm 1)}{P}}$

\- حالت پس‌رونده

\+ حالت پیش‌رونده، 2= تعداد جاروبک و $a = 2$

کاربرد سیم‌پیچی موجی در ولتاژهای بالا و جریانهای کم می‌باشد.

یادداشت:

.....

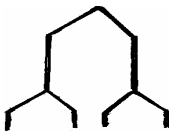
.....

.....

.....

ج) سیم‌بندی پاقورباغه‌ای:

این سیم‌بندی ترکیبی از سیم‌بندی حلقوی و موجی می‌باشد. $a = 2p$



۲. سیم‌پیچی مرکب:

اگر در هر شیار به جای یک هادی m هادی قرار داشته باشد سیم‌پیچی مرکب است که تعداد مسیرها و هادی m برابر می‌شود.

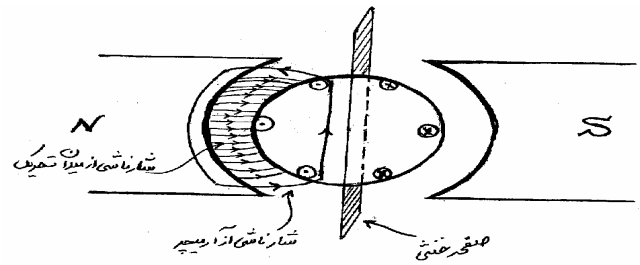
عکس‌العمل آرمیچر:

جریان عبوری از آرمیچر موجب تولید میدان مغناطیسی می‌شود که تغییر شکل میدان مغناطیسی اصلی قطبهای ماشین را همراه دارد.

اثرات عکس‌العمل آرمیچر:

الف: جابه‌جایی صفحه خنثی ب: تضعیف کل شار میدان ج: لگد القایی

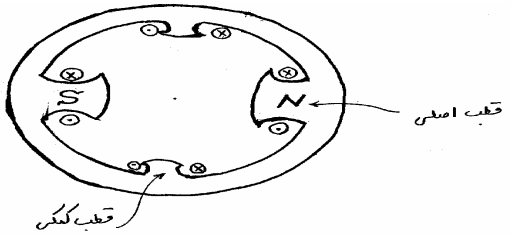
صفحه خنثی: همانطوریکه می‌دانیم بردار سرعت در هر نقطه از آرمیچر مماس بر آن نقطه می‌شود. صفحه خنثی صفحه‌ای است که سرعت موازی با خطوط شار می‌باشد. در شکل مقابل صفحه خنثی را ملاحظه می‌کنید.



همانطوریکه ملاحظه می‌شود شارهای بالایی تضعیف و شارهای پائینی تقویت می‌شود.

۱- استفاده از میان قطب‌ها (قطب‌های کموتاسیون، قطب‌های کمکی):

این قطب‌های کمکی روی صفحهٔ خنثی نصب می‌شود و دو مشکل عکس‌العمل آرمیچر ۱. جابه‌جایی صفحه خنثی ۲. لگد القایی را حل می‌کند ولی مشکل تضعیف شار کلی را حل نمی‌کند



$$\underbrace{N_{cp} I_a}_{mmf} = \underbrace{\frac{Z}{2p}\frac{I_a}{a}}_{F_{ar}} + \underbrace{\frac{\beta_{cp}}{\mu_0} L_{cp}}_{mmf}$$

یادداشت:

.....

.....

.....

.....

۲. جابه‌جا کردن جاروبکها:

اگر جاروبکها در حالت ژنراتوری در جهت گردش ژنراتور و در حالت موتوری در خلاف جهت گردش موتور جابه‌جا شوند کموتاسیون بهبود خواهد یافت.

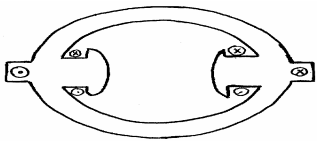
$$F = \frac{\beta_m}{90}\frac{Z}{4a}I_a = \frac{\beta_e}{90}\frac{Z}{2ap}I_a \rightarrow \qquad P\beta_m = 2\beta_e$$

حل: ۳. استفاده از سیم‌پیچ جبران‌گر:

این بار سیم‌پیچ روی استاتور نصب می‌شود بدین صورت با ایجاد شیار در استاتور و قرار دادن سیم‌پیچ جبران‌گر جریان آرمیچر را از آن عبور داده و با شار تضعیف شده مخالفت می‌کند.

$$F_c = N_c I_a = \frac{Z}{2pa} I_a \quad \frac{\text{قوس قطب}}{\text{گام قطب}}$$

$$Z_c = 2N_c = \frac{Z}{Pa} \quad \frac{\text{قوس قطب}}{\text{گام قطب}}$$



انواع ماشین‌های DC:

الف: مشخصه موتور DC:

مشخصه خروجی موتورهای DC، گشتاور و سرعت می‌باشد.

تنظیم سرعت:

$$SR\% = \frac{\omega_{nL} - \omega_{fL}}{\omega_{fL}} \times 100 = \frac{n_{nL} - n_{fL}}{n_{fL}} \times 100$$

نکته: ولتاژ V_t در موتور DC همواره ثابت است.

ب: مشخصه ژنراتور DC:

مشخصه اصلی خروجی ولتاژ خروجی و جریان خروجی و یا ولتاژ خروجی و جریان تحریک می‌باشد.

تنظیم ولتاژ:

$$VR\% = \frac{V_{T_{nL}} - V_{T_{fL}}}{V_{T_{fL}}} \times 100$$

نکته: سرعت در ژنراتور همواره ثابت است.

یادداشت:

.....

.....

.....

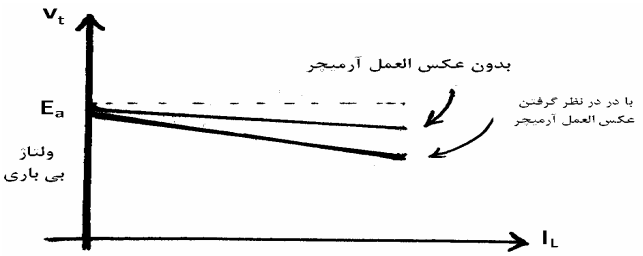
.....

۱) ماشین DC تحریک مستقل:

1-a) ژنراتور تحریک مستقل:

$$V_F = R_f.I_f \ , \ I_L = I_a \ , V_t = E_a + R_{I_a}$$

$$P_{out} = V_t.I_L \qquad , P_{in} = T_{app}.\omega_m$$



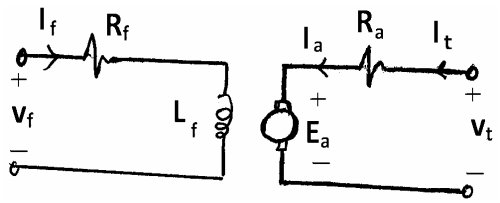
با توجه به نمودار مشخصه خروجی I_L, V_T بخشی از افت ولتاژ به علت عکس‌العمل آرمیچر می‌باشد همانطوریکه می‌دانیم به علت وجود عکس‌العمل آرمیچر، شار کلی تضعیف می‌شود و در نتیجه E_a کاهش می‌یابد.

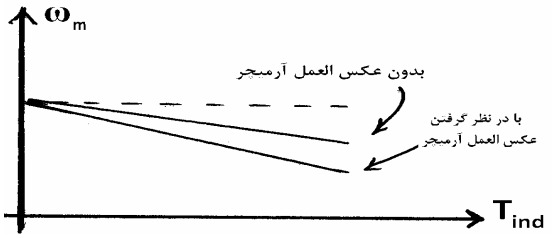
$$I_f^* = I_f - \frac{f_{ar}}{N_f}$$

1-b) موتور تحریک مجزا:

$$V_t = E_a + R_a I_a$$
$$I_L = I_a \ , E_a = k\varphi\omega \ , T = k\varphi I_a$$

$$\rightarrow \omega = \frac{E_a}{k\varphi} = \frac{V_t}{k\varphi} - \frac{R_a I_a}{k\varphi} \Rightarrow \omega = \frac{V_t}{k\varphi} - \frac{R_a}{(k\varphi)^2} T_{ind}$$





۲) ماشین DC شنت:

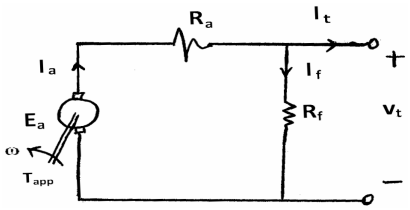
2-a) ژنراتور DC شنت:

$$I_a = I_f + I_L$$

$$E_a = k\varphi w$$

$$E_a = V_t + R_a I_a$$

$$V_t = R_f I_f$$



یادداشت:

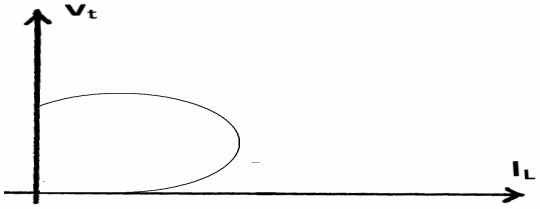
.....

.....

.....

.....

مشکلات عمل ولتاژسازی در ژنراتور DC شنت:



۱. φ_{res} (شار پس‌ماند) در سیم‌پیچ وجود نداشته باشد.

۲. جهت گشتاور محرک T_{app} یا ω در جهتی باشد که شار پسماند را از بین ببرد جهت چرخش ژنراتور به نحوی باشد که پلاریته E_a برعکس شود و φ ایجاد شده توسط I_f معکوس شده، شار پس‌ماند را از بین ببرد.

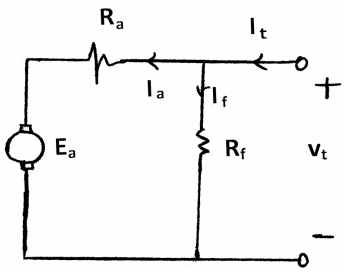
۳. مقاومت میدان R_f از مقدار بحرانی‌اش بیشتر باشد.

روش‌های مقابله با کاهش ولتاژ ترمینال:

۱. تغییر سرعت (غیر مرسوم) ۲. تغییر مقاومت میدان R_f (مرسوم)

$$R_{sh} = \frac{240}{2.6} = 92.3 \rightarrow R_{ex} = 92.3 - 50 = 42.3\Omega \cong 42$$

2-b) موتور dc شنت:



$$\boxed{V_T = R_a I_a + E_a}\ ,\ \boxed{E_a = k\varphi\omega}$$

$$\boxed{I_L = I_f + I_a}\ ,\ \boxed{T = k\varphi I_a}$$

$$\boxed{\omega = \frac{V_T}{k\varphi} - \frac{R_a}{(k\varphi)^2} T_{ind}}$$

جریان تحریک با در نظر گرفتن عکس‌العمل آرمیچر:

$$\boxed{I_f^* = I_f - \frac{f_{at}}{N_f}}$$

I_f: جریان تحریک با شار تحریک ثابت و بدون عکس‌العمل آرمیچر

I_f^*: جریان تحریک با شار تحریک متغیر و با عکس‌العمل آرمیچر

کنترل سرعت در موتور شنت:

۱ـ تغییر مقاومت R_f: با افزایش R_f سرعت به سرعت نامی می‌رسد و از آنجا بیشتر به حالت ژنراتوری می‌رود.

۲ـ تغییر ولتاژ اعمال شده به آرمیچر از طریق تغییر ولتاژ ترمینال:

با افزایش ولتاژ ترمینال می‌توان سرعت را افزایش داد ولی از آنجائیکه ولتاژ موتور دارای محدودیت ±10% کاهش و یا افزایش دارد نمی‌توان از حد مجاز آن تجاوز کرد.

یادداشت:

.....

.....

.....

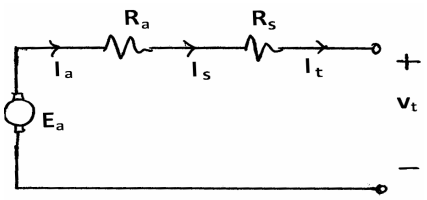
.....

ایرادات موتور شنت:

با توجه به تغییر مقاومت میدان R_f که افزایش R_f موجب افزایش سرعت موتور می‌شود اگر ناگهان میدان موتور شنت در حین کار، ناگهان باز شود یا بسوزد بدین معنی است که $R_f = \infty$ که موجب فرار موتور $(\omega \to \infty)$ می‌شود.

۳) ماشین‌های سری:

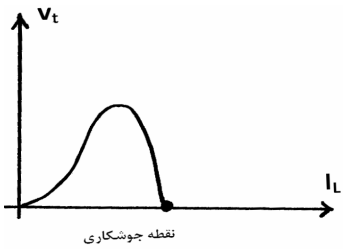
a_۳) ژنراتور سری:



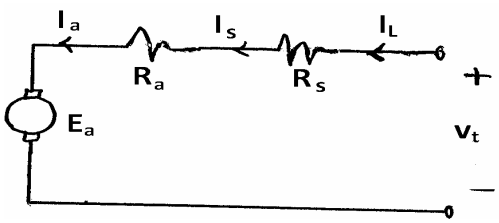
$$I_a = I_s = I_L$$

$$V_T = E_a - (R_a + R_s)I_a$$

ایراد: ژنراتور سری به دلیل عدم تنظیم ولتاژ چندان کاربرد ندارد از جمله کاربردهای آن در صنعت به دلیل مشخصه خروجی آن در جوشکاری (قوس الکتریکی) می‌باشد.



b_۳) موتور سری:



$$I_a = I_L = I_s$$

$$V_T = E_a + (R_a + R_s)I_a$$

$$E_a = k\varphi\omega$$

در موتور DC شار میدان تابعی از جریان آرمیچر می‌باشد $\varphi = kN_S I_a$

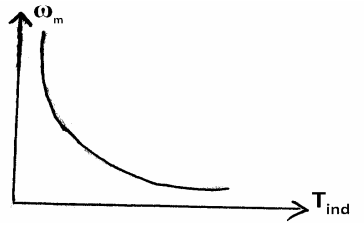
یادداشت:

.....

.....

.....

.....



$$E = K'\omega I_a \quad , \quad T_{ind} = K'I_a^2$$

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{I_{a_2}}{I_{a_1}}\right)^2 \qquad \frac{E_{a_2}}{E_1} = \frac{I_{a_2}}{I_{a_1}} \cdot \frac{\omega_1}{\omega_2}$$

$$\omega = \frac{V_T}{\sqrt{k'}} \frac{1}{\sqrt{T_{ind}}} - \frac{R_a + R_s}{k'}$$

✓ **ایراد**: تنظیم سرعت این موتور توسط افزودن مقاومت به مدار آرمیچر صورت می گیرد که

۱ـ موجب افت ولتاژ در مدار آرمیچر می‌شود. ۲ـ موجب تلفات و کاهش بازده می‌شود.

۴ـ ماشین کمپوند:

a_۴) ژنراتور کمپوند:

ماشین کمپوند به دو صورت است:

۱ـ کمپوند اضافی: هرگاه شار تولیدی توسط میدان سری موجب تقویت شار تولیدی توسط میدان شنت شود کمپوند اضافی است.

۲ـ کمپوند نقصانی: هرگاه شار تولیدی توسط میدان سری موجب تضعیف شار تولیدی توسط میدان شنت شود کمپوند نقصانی است.

✓ ماشین کمپوند به دو صورت دیگر نیز موجود است که مجموعاً ۴ مدل برای ماشین کمپوند می‌توان متصور شد.

$$mmf = N_{sh}I_f \pm N_s I_s - f_{ar} = N_{sh}I_f^* \qquad I_f^* = I_f \pm \frac{N_s}{N_{sh}} I_s - \frac{f_{ar}}{N_{sh}}$$

انواع ژنراتور کمپوند اضافی:

۱ـ فوق کمپوند: اگر تعداد دورهای سیم‌پیچ سری به نحوی باشد که ولتاژ خروجی در حالت بار کامل بزرگتر از ولتاژ خروجی در حالت بی‌باری باشد حالت فوق کمپوند است.

۲ـ کمپوند تخت (مسطح): اگر تعداد دورهای سیم‌پیچ سری به نحوی باشد ولتاژ خروجی در دو حالت بارداری و بی‌باری برابر باشد کمپوند مسطح است.

۳ـ زیر کمپوند: اگر تعداد دورهای سیم‌پیچ سری به نحوی باشد که ولتاژ خروجی در حالت بارداری کمتر از حالت بی‌باری باشد زیر کمپوند است.

یادداشت:

.....

.....

.....

.....

نکته: در ژنراتور کمپوند اضافی با افزایش بار (I_L) ولتاژ V_t افزایش می‌یابد ولی در حالت کمپوند نقصانی با افزایش بار (I_L) ولتاژ V_t کاهش می‌یابد.

b_۴)موتور کمپوند:

+ حالت اضافی - حالت نقصانی

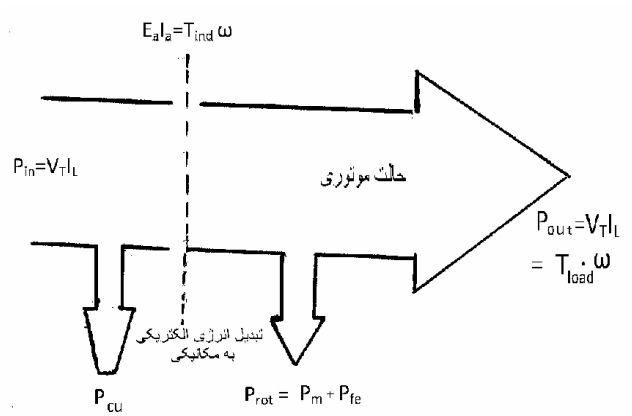
$$T_{ind} = k\varphi_f \pm \varphi_s)I_a \qquad E_a = k(\varphi_f \pm \varphi_s)\omega \qquad V_t = E_a + (R_a + R_s)I_a$$

$$\omega = \frac{V_t}{k(\varphi_f \pm \varphi_s)} - \frac{R_a + R_s}{k^2(\varphi_f \pm \varphi_s)^2} T_{ind}$$

ایراد: در حالت موتوری کمپوند نقصانی اگر در یک لحظه $\varphi_s = \varphi_f$ شود سرعت به بی‌نهایت می‌رسد و به همین علت از حالت کمپوند نقصانی به عنوان موتور استفاده نمی‌کند.

راندمان در ماشین DC :

) حالت موتوری:

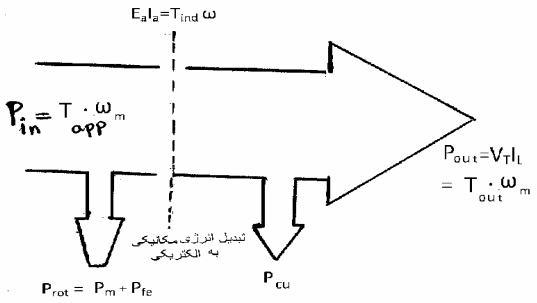


$$E_aI_a = T_{ind}\omega = T_{load}.\omega + P_{rot}$$

در حالت بی‌باری $T_{Laod} = 0$ یا $P_{out} = 0 \leftarrow P_{rot} = E_{anl}.I_{a_{nL}}$

P_{rot} در بارهای مختلف معمولاً ثابت فرض می‌شود.

حالت ژنراتوری:



یادداشت:

.....

.....

.....

.....

بازده ماکزیمم: $\boxed{\frac{\partial \xi}{\partial I_a} = 0 \rightarrow I_a = ?}$

موتور و ژنراتور تحریک مستقل $\boxed{I_a = \sqrt{\frac{P_{rot}}{R_a}}}$

ژنراتور و موتور شنت $\boxed{-R_a I_a^2 \pm 2R_a I_f I_a + V_t I_f + P_{rot} = 0}$

ژنراتور و موتور سری $\boxed{I_a = \sqrt{\frac{P_{rot}}{R_a + R_s}}}$

ژنراتور و موتور کمپوند $\boxed{-(R_a + R_s) I_a^2 \pm 2(R_a + R_s) I_f I_a + V_t I_f + P_{rot} = 0}$

تذکر: در روابط فوق حالت ژنراتوری مثبت و حالت موتوری منفی است.

راه اندازی موتورهای DC با استفاده از مقاومت‌های راه انداز:

در لحظه راه اندازی $\boxed{R_{tot} = R_a + \sum_{i=1}^{n} R_i}$

در لحظه بارداری کامل $\boxed{R_t = R_a}$

$I_{a_{max}}$: حداکثر مقدار جریانی که آرمیچر می‌تواند آنرا تحمل کند.

$I_{a_{min}}$: حداقل مقدار جریان آرمیچری که گشتاور القایی ناشی از آن بتواند بر گشتاور بار غلبه کند.

تعداد مراحل کاهش مقاومت $\boxed{n = \log \frac{\left(\frac{R_a}{R_{tot}}\right)}{\left(\frac{I_{a_{min}}}{I_{a_{max}}}\right)}}$

$\boxed{R_{tot_i} = R_{tot}\left(\frac{I_{a_{min}}}{I_{a_{max}}}\right)^i}$

یادداشت:

.....

.....

.....

.....

مسائل تکمیلی

۱ ـ یک موتور جریان مستقیم شنت به ازای ولتاژ 220 ولت با سرعت 1800 دور در دقیقه با منحنی مغناطیسی مدار باز $E=\frac{240I_f}{I_f+1}$ می‌چرخد که در آن I_f جریان تحریک برحسب آمپر است. سرعت بی‌باری موتور به ازای ولتاژ 110 ولت چقدر است؟ $\left(R_f=110\Omega\right)$

۱) 1650 ۲) 1500 ۳) 1950 ۴) 1450

حل: گزینه ۱ درست است.

$$I_f=\frac{110}{110}=1A$$

$$E=K\phi\omega \quad , \quad \phi\alpha I_f(I_f \text{ متناسب با } \phi) \quad \Rightarrow \quad E=f\left(I_f\right)\omega \text{ یا } E=K'I_f\omega$$

در سرعت 1800rpm داریم:

$$E=\frac{240I_f}{I_f+1}=f\left(I_f\right)\omega=\left(\frac{240I_f}{I_f+1}\times\frac{1}{1800}\right)\times1800$$

$$E\left(\frac{240I_f}{I_f+1}\times\frac{1}{1800}\right)\times\omega_{No\,load} \quad \Leftarrow \quad \text{پس } E \text{ در بی‌باری می‌شود}$$

$$E=V_t=110=\left(\frac{240I_f}{I_f+1}\times\frac{1}{1800}\right)\times\omega_{Noload} \quad \Leftarrow \quad E_a=V_t \quad \Leftarrow \quad \text{از طرف دیگر در بی‌باری}$$

$$\Rightarrow \quad 110=\frac{240(1)}{1+1}\times\frac{1}{1800}\times\omega_{No\,load} \quad \Rightarrow$$

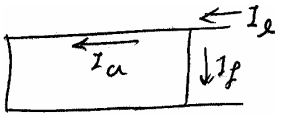
$$\omega_{NL}=\frac{110\times2\times1800}{240}=\frac{30\times110}{2}=1650\,\text{rpm}$$

۲ ـ در یک موتور DC کمپوند (شنت بلند) گشتاور بار 10N.m با جریان آرمیچر 30 آمپر و جریان میدان شنت 4 آمپر تامین می‌گردد. اگر همین موتور گشتاور 20N.m را با جریان آرمیچر 50 آمپر و جریان میدان 2 آمپر بچرخاند، نسبت دور سیم‌پیچی شنت به سری آن را بیابید؟

۱) 4 ۲) 5 ۳) $\frac{1}{5}$ ۴) $\frac{1}{4}$

حل: گزینه ۲ درست است.

مدار معادل ⇐



یادداشت:

.....

.....

.....

.....

$$\text{جریان تحریک} = I'_f = I_f + \frac{N_{\text{سری}}}{N_{\text{شنت}}} I_a$$

از طرفی داریم:

$$T = K\phi I_a \quad ; \quad \phi \propto I_f \quad \Rightarrow \quad T = K' I'_f I_a$$

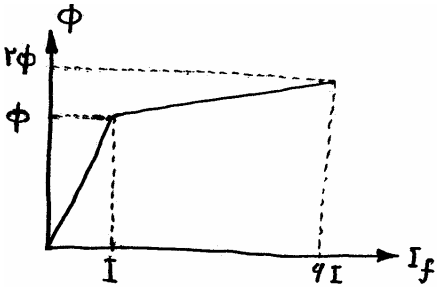
$$\Rightarrow \quad \frac{T_2}{T_1} = \frac{I'_{f_2}}{I'_{f_1}} \times \frac{I_{a_2}}{I_{a_1}} \qquad \frac{N_{\text{سری}}}{N_{\text{شنت}}} = y \quad \Rightarrow$$

$$\begin{matrix} I'_{f_1} = 4 + y(30) \\ I'_{f_2} = 2 + y(50) \end{matrix} \quad \Rightarrow \quad \frac{20}{10} = \left(\frac{2+50y}{4+30y}\right)\left(\frac{50}{30}\right)$$

$$\Rightarrow \quad \frac{6}{5} = \frac{2+50y}{4+30y} \quad \Rightarrow \quad 24+180y = 10+250y$$

$$\Rightarrow \quad 14 = 70y \quad \Rightarrow \quad y = \frac{14}{70} = \frac{2}{10} = \frac{1}{5} \quad \Rightarrow \quad \frac{1}{y} = \frac{N_{\text{شنت}}}{N_{\text{سری}}} = 5$$

۳ـ یک موتور سری DC، V ولت در جریان آرمیچر I دارای سرعت N می‌باشد، از عکس‌العمل آرمیچر و تلفات موتور سری صرف‌نظر می‌شود اگر موتور در بار 2.8 برابر، جریانی معادل 2I بکشد و منحنی مغناطیسی موتور به‌صورت زیر باشد، سرعت موتور در بار جدید چقدر است؟



۱) $\frac{5}{7}N$

۲) $\frac{1}{6}N$

۳) $2N$

۴) $1.5N$

حل: گزینه ۱ درست است.

$$1 = \frac{V}{V} = \frac{E_{a_2}}{E_{a_1}} = \frac{\phi_2}{\phi_1} \cdot \frac{N_2}{N_1} \quad \Rightarrow \quad 1 = \frac{7}{5} \cdot \frac{N_2}{N} \quad \Rightarrow \quad N_2 = \frac{5}{7}N$$

$$\phi_1 = \phi$$

$$\phi_2 = ? \quad \Rightarrow \quad \text{با دست‌آوردن معادله خط قسمت اشباع} \quad \Rightarrow \quad \phi_2 = \frac{7}{5}\phi$$

تذکر: رابطه دوم نیز صادق است: (هر چند به حل مساله کمکی نمی‌کند، اما ممکن است داوطلبی از این معادله استفاده نموده و به حل مسئله از طریق دیگر بپردازد).

$$\frac{T_2}{T_1} = 2.8 = \frac{\phi_2}{\phi_1} \cdot \frac{I_{a_2}}{I_{a_1}} = \frac{7}{5} \times 2 = 2.8$$

یادداشت:

.....

.....

.....

.....

۴ـ یک موتور DC کمپوند شنت بلند گشتاور بار $10\,N.m$ را با جریان آرمیچر 20 آمپر و جریان میدان شنت 4 آمپر تامین می‌کند، اگر همین موتور گشتاور $15N.m$ را با جریان آرمیچر 30 آمپر و جریان میدان شنت 3 آمپر تامین کند نسبت دور سیم‌پیچ تحریک سری به سیم‌پیچ تحریک شنت چقدر است؟ در این موتور کمپوند عکس‌العمل آرمیچر متناسب با $0.1N_{sh}$ برابر جریان آرمیچر می‌باشد. (مدار مغناطیسی را خطی و از تلفات موتور صرف‌نظر کنید)

۱) 0.1 ۲) 0.15 ۳) 0.2 ۴) 0.01

حل: گزینه ۳ درست است.

$$\text{جریان تحریک موثر } I_{feff} = I_{sh} + \frac{N_s}{N_{sh}} I_a - \frac{0.1N_{sh} I_{feff}}{N_{sh}}$$

$$T_e = K_a \phi I_a = K_{a'} I_{feff} I_a \quad \Rightarrow \quad \frac{T_{e_1}}{T_{e_2}} = \frac{I_{feff_1}}{I_{feff_2}} . \frac{I_{a_1}}{I_{a_2}}$$

$$\begin{cases} I_{feff_1} = 4 + \frac{N_s}{N_{sh}} \times 20 - 0.1 \times 20 \\ I_{feff_2} = 3 + \frac{N_s}{N_{sh}} \times 30 - 0.1 \times 30 \end{cases} \Rightarrow \frac{10}{15} = \frac{4 + \frac{N_s}{N_{sh}} \times 20 - 0.1 \times 20}{3 + \frac{N_s}{N_{sh}} \times 30 - 0.1 \times 30} \times \frac{20}{30} \quad \Rightarrow \quad \frac{N_s}{N_{sh}} = 0.2$$

۵ـ یک موتور شنت ده قطبی 50.4 ولت، $35(A)$ با مقاومت آرمیچر $8\times10^{-3}(\Omega)$، دارای جریان مجاز هر پیچک آرمیچر 70 آمپر به صورت روی هم ساده سیم‌پیچی شده است. می‌خواهیم طوری راه‌اندازی کنیم که جریان راه‌اندازی از حد مجاز جریان کلاف‌ها بالاتر نرود، تعداد پله‌های مقاومت راه انداز برابر است با:

۱) 6 ۲) 5 ۳) 3 ۴) 4

حل: گزینه ۳ درست است.

$$R_a + R_{st} = \frac{V_t}{I_{st}} \Rightarrow 8\times10^{-3} + R_{st} = \frac{50.4}{10\times70} = \frac{50.4}{700} \Rightarrow R_{st} = 64\times10^{-3}$$

$$\Rightarrow \frac{I_{a\,min}}{I_{a\,max}} = \frac{350}{700} = \frac{1}{2} = \left(\frac{8\times10^{-3}}{64\times10^{-3}} \right)^{\frac{1}{n}} \Rightarrow n = 3$$

۶ـ یک موتور DC کمپوندشنت بلند گشتاور بار $10\,Nm$ را با جریان آرمیچر 20 آمپر و جریان میدان شنت 4 آمپر تأمین می‌کند. اگر همین موتور گشتاور $15\,Nm$ را با جریان آرمیچر 30 آمپر و جریان میدان شنت 3 آمپر تأمین کند، نسبت دور سیم‌پیچ تحریک سری به سیم‌پیچ تحریک شنت چقدر است؟ (مدار مغناطیسی را خطی و از تلفات موتور و عکس‌العمل آرمیچر صرف‌نظر کنید)

۱) 0.2 ۲) 0.15 ۳) 0.1 ۴) 0.01

حل: گزینه ۳ درست است.

یادداشت:

.....

.....

.....

.....

$$I_{feff} = I_{sh} + \frac{N_s}{N_{sh}} I_a \qquad T_e = k_a \phi I_a = k'_a I_{feff} I_a \Rightarrow \frac{T_{e_1}}{T_{e_2}} = \frac{I_{feff_1}}{I_{feff_2}} . \frac{I_{a_1}}{I_{a_2}}$$ جریان تحریک موثر

$$\begin{cases} I_{feff_1} = 4 + \frac{N_s}{N_{sh}} \times 20 \\ \Rightarrow \frac{10}{15} = \frac{4 + \frac{N_s}{N_{sh}} \times 20}{3 + \frac{N_s}{N_{sh}} \times 30} \times \frac{20}{30} \Rightarrow \frac{N_s}{N_{sh}} = 0.1 \\ I_{feff_2} = 3 + \frac{N_s}{N_{sh}} \times 30 \end{cases}$$

۷ـ یک موتور dc تحریک مستقل در حالت با بار، بار مکانیکی A را با سرعت نامی خود می‌چرخاند، جریان تحریک این موتور از منبع B تأمین می‌شود، حال به یکباره بار مکانیکی A به‌سبب اختلالات در مدار مکانیکی‌اش محور را درخلاف جهت قبلی می‌گرداند در این وضعیت خاص درمورد تلفات آهن ژنراتور می‌توان گفت:

۱) تلفات آهن وجوددارد و تماماً توسط منبع تغذیه تأمین می‌گردد.

۲) تلفات آهن وجوددارد و تماماً توسط منبع تغذیه و منبع الکتریکی B تأمین می‌شود.

۳) تلفات آهن وجود دارد و منابع تغذیه ورودی الکتریکی و منبع مکانیکی A مشترکاً آن را تأمین می‌کنند.

۴) تلفات آهن وجود دارد و منبع مکانیکی A آن را تأمین می‌کند.

حل: گزینه ۳ درست است.

در این وضعیت موتور dc به حالت ترمزی رفته است و تلفات آهن توسط منبع مکانیکی A و منبع تغذیه ورودی مشترکاً تغذیه می‌گردد (تلفات آهن جزئی از تلفات P_{rot} می‌باشد.)

۸ـ یک موتور DC سری 220^{V} چهارقطبی تهویه $25A$ جریان می‌کشد و با سرعت $500rpm$ می‌چرخد. برای به‌دست آوردن سرعت بیشتر کلاف‌های سری آن را مجدداً به‌صورت دو گروه موازی با آرمیچر سری می‌کنیم. گشتاور بار ثابت است و شار متناسب با جریان میدان و از تلفات چشم‌پوشی می‌شود. سرعت موتور و جریان آن برابر کدام است؟ (مدار مغناطیسی خطی فرض می‌شود).

۱) $250 , 50$ ۲) $500\sqrt{2} , 25\sqrt{2}$ ۳) $250\sqrt{2} , 50\sqrt{2}$ ۴) $500 , 25$

حل: گزینه ۲ درست است.

$$\frac{V}{V} = \frac{E_{a_2}}{E_{a_1}} = \frac{\phi_2}{\phi_1} . \frac{N_2}{N_1} \Rightarrow \boxed{\frac{50}{I_{a_2}} = \frac{N_2}{500}} \qquad \rightarrow \qquad 1 = \frac{T_2}{T_1} = \frac{\phi_2}{\phi_1} . \frac{I_{a_2}}{I_{a_1}} \Rightarrow \frac{50}{I_{a_2}} = \frac{I_{a_2}}{25} \Rightarrow \boxed{I_{a_2} = 25\sqrt{2}(A)}$$

$$\frac{\phi_2}{\phi_1} = \frac{F_{d_2}}{F_{d_1}} = \frac{I_{a_2}}{50}$$

$$\boxed{N_2 = 500\sqrt{2}(rpm)}$$

یادداشت:

.....

.....

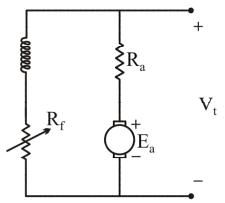
.....

.....

۹ ـ موتور شنت dc، جریان 100A را در بار کامل از یک شبکه 250 ولتی می‌کشد، سرعت آن توسط ضعیف کردن شار میدان 80% افزایش می‌یابد. اگر گشتاور در اثر افزایش سرعت 40% نسبت به مقدار اولیه زیاد شود، درصد تغییرات شار میدان را حساب کنید؟ (مقاومت آرمیچر 0.2 فرض شود.)

۱) 35%　　۲) 37.5%　　۳) 62%　　۴) 54.5%

۱۰ ـ موتور شنت زیر از یک منبع 200 V و 2.4 kW تغذیه می‌شود. در حالت اولیه رئوستای میدان روی $R_f = 100$ اهم تنظیم شده و توان ناخالص مکانیکی موتور 800 W می‌باشد. فرض می‌کنیم موتور در این حالت با سرعت 300 rpm بچرخد. حال رئوستای میدان یعنی R_f را کاهش می‌دهیم. کدام گزینه می‌تواند سرعت جدید ماشین را نشان دهد؟ (منبع توان نامی خود را تحویل می‌دهد)



۱) 350 rpm

۲) 300 rpm

۳) 250 rpm

۴) نمی‌توان اظهار نظر کرد

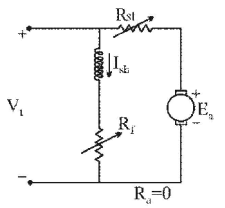
حل: گزینه ۱ درست است.

$$2400 = 200 \times I_t \;\rightarrow\; I_t = 12 \;\rightarrow\; I_a = 10$$

$$E_a I_a = 800 \;\rightarrow\; E_a = 80$$

$$E_a < \frac{1}{2} V_t \longrightarrow \text{افزایش جریان تحریک، برخلاف انتظار، موجب افزایش سرعت می‌شود} \longrightarrow \text{350 rpm تنها گزینه‌ای است که می‌تواند صحیح باشد}$$

۱۱ ـ موتور شنت شکل مقابل را در نظر بگیرید. مشخصه بی‌باری این موتور در سرعت n به صورت $E_a = k\sqrt{I_{Sh}}$ است. اگر مقاومت راه‌انداز $R_{St} = R_{S_1}$ و مقاومت میدان R_{f_1} باشد گشتاور راه‌اندازی T_{S_1} است. اگر مقاومت راه‌انداز به $R_{St} = 0.5R_{S_1}$ کاهش و در همان حال مقاومت کل میدان به $2R_{f_1}$ افزایش یابد، مقدار گشتاور راه‌اندازی T_{S_2} چقدر خواهد شد؟



۱) T_{S_1}　　۲) $\sqrt{2}T_{S_1}$

۳) $2T_{S_1}$　　۴) $\frac{\sqrt{2}}{2}T_{S_1}$

حل: گزینه ۲ درست است.

$$T = K_a \varphi I_a \;\rightarrow\; \frac{T_2}{T_1} = \frac{\varphi_2}{\varphi_1} \times \frac{I_2}{I_1} = \frac{E_2}{E_1} \times \frac{I_{a_2}}{I_{a_1}}$$

یادداشت:

.....

.....

.....

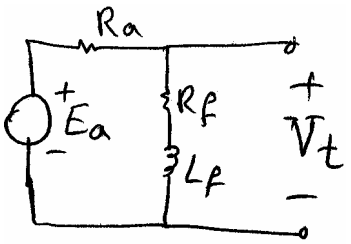
.....

$$= \sqrt{\frac{I_{sh_2}}{I_{sh_1}}} \times \frac{I_{a_2}}{I_{a_1}} = \sqrt{\frac{\frac{V_t}{R_{f_2}}}{\frac{V_t}{R_{f_1}}} \times \frac{\frac{V_t}{R_{s_2}}}{\frac{V_t}{R_{s_1}}}} \quad \Rightarrow \text{ در لحظه راه اندازی}$$

$E_a = 0$

$$\rightarrow \quad \frac{T_2}{T_1} = \sqrt{\frac{R_{f_1}}{2R_{f_1}}} \times \frac{R_{s_1}}{0.5R_{s_1}} = \frac{2}{\sqrt{2}} = \sqrt{2}$$

۱۲ ـ اگر یک موتور DC شنت با یک منبع ولتاژ ثابت V_t تغذیه شود و بار آن یک‌بار ثابتی می‌باشد. اگر شار را افزایش دهیم:



۱) سرعت کاهش می‌یابد.

۲) سرعت افزایش می‌یابد.

۳) اگر $E_a > 0.5V_t$ باشد، سرعت کاهش می‌یابد.

۴) اگر $E_a < 0.5V_t$ باشد، سرعت کاهش می‌یابد.

حل: گزینه ۳ درست است.

$$E_a = V_t - R_a I_a \quad ; \quad E_a = K\phi\omega \rightarrow \quad \Rightarrow \quad V_t - R_a I_a = E_a = K\phi\omega \quad ; \quad T = K\phi I_a$$

$$\Rightarrow \quad K\phi\omega = V_t - R_a \frac{T}{K\phi} \quad \Rightarrow \quad \omega = \frac{V_t}{K\phi} - \frac{R_a T}{K^2\phi^2}$$

طبق صورت مساله T و V_t ثابت هستند. حال تغییرات ω را بر حسب ϕ می‌یابیم:

$$\frac{d\omega}{d\phi} = \frac{-V_t}{K\phi^2} + \frac{2R_a T}{K^2\phi^3}$$

معمولاً با افزایش ϕ سرعت کاهش می‌یابد. اما می‌خواهیم ببینیم با چه شرایطی این اتفاق می‌افتد:

$$\text{if } \frac{d\omega}{d\phi} < 0 \quad \Rightarrow \quad \frac{-V_t}{K\phi^2} + \frac{2R_a T}{K^2\phi^3} < 0 \quad \Rightarrow \quad \frac{-V_t}{K\phi^2} + \frac{2R_a (K\phi I_a)}{K^2\phi^3} < 0$$

$$\Rightarrow \quad \frac{-V_t}{K} + \frac{2R_a I_a}{K} < 0 \quad \Rightarrow \quad -V_t + 2R_a I_a < 0 \quad \Rightarrow$$

$$V_t - 2R_a I_a > 0 \quad \Rightarrow \quad V_t - R_a I_a > R_a I_a \quad \Rightarrow \quad E_a + \left(\underbrace{V_t - R_a I_a}_{E_a} \right) > \underbrace{R_a I_a + E_a}_{V_t} \quad \Rightarrow \quad 2E_a > V_t$$

پس با این شرط سرعت کاهش می‌یابد. $\Rightarrow \quad E_a > \frac{V_t}{2}$

یادداشت:

.....

.....

.....

.....

۱۳ ـ در یک مولد Dc، 6 قطب با سیم‌پیچی حلقوی تعداد هادی‌های آرمیچر 696 عدد است اگر کفش قطب 70% گام قطب باشد تعداد هادی‌های سیم‌پیچ جبرانگر در هر کفش قطب برابر است با:

۱) 7 ۲) 5 ۳) 12 ۴) 14

حل: گزینه ۴ درست است.

$$Z_c = \frac{Z}{P_a}\frac{\text{قوس قطب}}{\text{گام قطب}} = \frac{696}{6\times 6}\times 0.7 \Rightarrow Z_c \cong 14$$

۱۴ ـ هرگاه در یک ماشین Dc، عکس‌العمل آرمیچر با روش‌های سیم‌پیچ جبران‌گر و میان قطب‌ها جبران شود و نسبت قوس قطب به گام قطب برابر 0.8 و طول فاصله هوایی در میان قطب 1 cm، جریان نامی آرمیچر 1000 A، چگالی شار در فاصله هوایی میان قطب‌ها 0.2T، تعداد رساناها 800 و ماشین دارای سیم‌بندی موجی با 4 قطب باشد تعداد دور سیم‌پیچ جبرانگر و میان قطب‌ها چقدر است؟

۱) $N_{cp}=20, N_c=40$ ۲) $N_{cp}=20, N_c=30$

۳) $N_{cp}=10, N_c=40$ ۴) $N_{cp}=15, N_c=45$

حل: گزینه ۳ درست است.

نکته: هرگاه برای حل عکس‌العمل آرمیچر از دو روش استفاده از میان قطب‌ها و سیم‌پیچ جبرانگر به طور همزمان به کار گرفته شود ارجحیت با سیم‌پیچ جبرانگر است چون اثر تضعیف شار بیشتر می‌باشد.

$$F_{ar} = \frac{Z}{2pa}I_a = \frac{800}{2\times 4\times 2}\times 1000 = 50000\ \text{A.T}$$

$$N_c = \frac{F_c}{I_a} = \frac{Z}{2pa}\left(\frac{\text{قوس قطب}}{\text{گام قطب}}\right) = \frac{800}{2\times 4\times 2}\times 0.8 = 40$$

Mmf جبران شده توسط سیم‌پیچ جبرانگر

Mmf لازم برای جبران توسط میان قطبها $F_{cp} = 50000 - 40000 = 10000$

از آنجائیکه $F_{cp} = N_{cp}I_a = \frac{Z}{2pa}(I_a) + \frac{\beta}{\mu_0}L_{cp} \Rightarrow N_{cp} = \frac{10000}{1000} = 10$

۱۵.گزینه ۲ درست است.

از آنجائیکه تلفات اهمی و چرخشی موتور صفر است پس $(R_a = 0)\ E_a, V = E_a$ ثابت است. $E_a = K'\varphi n \rightarrow n = \frac{E_a}{k'}\frac{1}{\varphi}$

وقتی منبع ولتاژ تحریک نصف می‌شود سرعت دو برابر می‌شود.

یادداشت:

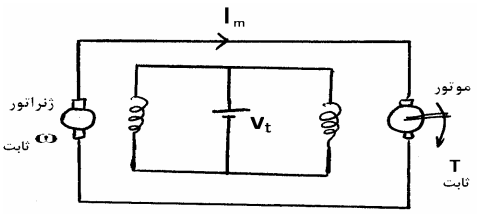
.....

.....

.....

.....

۱۵ ـ در شکل مقابل ژنراتور با سرعت ثابتی یک موتور با بار مکانیکی به گشتاور ثابت را تغذیه می‌کند وقتی میدان تحریک هر دو ماشین از ولتاژ V_1 ولت تغذیه می‌شود ولتاژ موتور 200 ولت جریان 60 آمپر و سرعت موتور 1200rpm است. با ولتاژ تحریک $1.2V_1$ سرعت موتور چقدر می‌شود؟ مقاومت آرمیچر هریک از ماشین‌ها برابر 0.2 اهم بود و مدار مغناطیسی خطی است.



۱) 1246.8 rpm
۲) 1300 rpm
۳) 1795.4 rpm
۴) 1872 rpm

حل: گزینه ۱ درست است.

$$V_t = 200 \rightarrow E_{am} = 200 - 60\times 0.2 = 188 \qquad , E_{ag} = 200 + 60\times 0.2 = 212$$

E_a در حالت جدید به واسطه ولتاژ 1.2 برابر: $E'_{ag} = 1.2E_{ag} = 254.4$

چون گشتاور ثابت است داریم $T = T' \Rightarrow (1.2V_1)I'_a = (V_1)\times 60 \rightarrow I'_a = 50$

$$V'_T = 254.4 - 0.2\times 50 = 244.4 \qquad E'_{am} = 244.4 - 0.2\times 50 = 234.4$$

$$\frac{E'_a}{E_a} = \frac{1.2V_1}{V_1}.\frac{n'}{1200} \Rightarrow \frac{234.4}{254.4} = \frac{1.2V_1}{V_1}.\frac{n'}{1200} \Rightarrow n' = 1246.8$$

۱۶ ـ یک موتور شنت DC از منبع 250 ولتی، $12.5_{k\omega}$ توان می‌کشد مقاومت آرمیچر Ω از و مقاومت میدان 100Ω است این موتور را از طریق یک موتور راه انداز، راه اندازی نموده‌ایم طوریکه جریان راه اندازی از دو برابر جریان نامی موتور تجاوز ننماید تعداد مراحل لازم را بیابید.

$$I_{LFL} = \frac{12.5\times 10^3}{250} = 50 \rightarrow I_{a_{fL}} = I_{L_{fl}} - I_{f_{fl}} = 50 - 2.5 = 47.5 \rightarrow I_{a_{max}} = 2\times I_{a_{min}} = 95$$

$$R_{tot} = \frac{250}{I_{a_{max}}} = \frac{250}{95} = 2.63 \rightarrow \qquad n = \frac{\log\left(\frac{0.1}{2.63}\right)}{\log(0.5)} = 5$$

۱۷ ـ یک روش تغییر سرعت در موتور DC با تحریک سری مطابق شکل تغییر دور تحریک با یک اتصال متحرک است. مدار مغناطیسی خطی فرض می‌شود و مقاومت آرمیچر و سیم‌بندی تحریک ناچیزاند. اگر تعداد دور سیم‌پیچی از 100 دور به 81 دور کاهش یافته و گشتاور بار ثابت بماند دور موتور

۱) حدوداً 10% افزایش می‌یابد.
۲) حدوداً 20% افزایش می‌یابد.
۳) حدوداً 10% کاهش می‌یابد.
۴) حدوداً 20% کاهش می‌یابد.

حل: گزینه ۱ درست است.

از آنجائیکه مقاومت آرمیچر و سیم‌پیچی صفر است و از طرفی ولتاژ اعمالی DC است به همین علت Z_L نیز نداریم بدین ترتیب $V_{DC} = E_a$ و E_a همان مقدار ولتاژ ترمینال را دارا می‌باشد.

یادداشت:

.....

.....

.....

.....

$$\begin{cases}\varphi = k'N_S I_a \\ T_1 = T_2 \end{cases} \Rightarrow k_1 N_{S_1} I_{a_1}^2 = k_2 N_{s_2} I_{a_2}^2 \rightarrow 81 I_{a_1}^2 = 100 I_{a_2}^2$$

$$I_{a_1} = 0.9 I_{a_2}$$

$$E_{a_1} = E_{a_2} \Rightarrow k_1\varphi_1\omega_1 = k_2\varphi_2\omega_2 \Rightarrow (N_{s_1} I_{a_1})\omega_1 = (N_{s_2}.I_{a_2})\omega_2 \longrightarrow 100.0.9\, I_{a_2}\omega_1 = 81 I_{a_2}\omega_2 \rightarrow \boxed{\omega_1 = 1.11\omega_2}$$

11% افزایش می‌یابد.

۱۸ ـ دو موتور سری dc در یک قطار برقی، وقتی به طور مجزا به ولتاژ 400_V وصل شده‌اند جریان‌های یکسان 60_A می‌کشند ولی یکی با سرعت 600_{rpm} و دیگری با سرعت 700_{rpm} می‌چرخد، مقاومت معادل هر کدام از موتورها 0.25Ω است. دو موتور از نظر الکتریکی به صورت سری به هم متصل شده و به طور مکانیکی کوپله می‌شوند و سپس مجموعه به ولتاژ 400V متصل می‌گردند و اگر جریان کشیده شده 60_A باشد سرعت موتورها چقدر خواهد شد؟

۱) 700_{rpm} ۲) 600_{rpm} ۳) 311_{rpm} ۴) 100_{rpm}

حل: گزینه ۳ درست است

$$E_a = 400 - 600\times 0.25 = 385$$

$$E_a = kI_a.n \Rightarrow \begin{cases} 385 = k_A \times 60 \times 600 \Rightarrow k_A = 10.69\times 10^{-3} & \text{موتورA} \\ 385 = k_A \times 60 \times 700 \Rightarrow k_B = 9.17\times 10^{-3} & \text{موتورB} \end{cases}$$

پس از کوپله کردن دو موتور (اتصال مکانیکی) سرعت هر دو یکی می‌شوند.

$$E_a + E_B = 400 - 60\times 0.25\times 2 = 370$$

$$(k_A + k_B)I_a.n' = 370 = (10.96 + 9.17)\times 10^{-3}\times 60\times n' = 370 \longrightarrow n' \cong 311_{rpm}$$

۱۹ ـ در یک ژنراتور $250_V, 10k\omega, dc$ شنت از بی‌باری تا بار کامل جریان تحریک شنت به مقدار $\Delta I_f = 2_A$ کاهش می‌یابد. اگر بخواهیم ژنراتور را با اضافه کردن تحریک سری به صورت کمپوند صاف در بار نامی در می‌آوریم در صورتیکه تعداد دور سیم‌پیچ تحریک شنت $N_f = 100$ باشد تعداد دور سیم‌پیچی تحریک سری چند باید باشد (مدار مغناطیسی خطی فرض شود)

۱) 10 ۲) 5 ۳) 2 ۴) 4

حل: گزینه ۲ درست است.

$$N_{sh}.I_f^* = \underbrace{N_{sh}I_f + N_{sh}\Delta I_f}_{\text{حالت شنت}} = \underbrace{N_{sh}I_f + N_s I_s}_{\text{حالت کمپوند}} \longrightarrow \qquad \boxed{N_{sh}\Delta I_f = N_s I_s}$$

$$I_L = I_s = \frac{10\times 10^3}{250} = 40 \Rightarrow 100\times 2 = N_s \times 40 \rightarrow N_s = 5 \text{ دور}$$

یادداشت:

.....

.....

.....

.....

۲۰ ـ از یک ژنراتور تحریک جداگانه که در حالت مانا کار می‌کند به عنوان تقویت کننده توان استفاده می‌شود اگر این ژنراتور دارای مقاومت آرمیچر 0.2_Ω و مقاومت تحریک 20_Ω بود و با $R_L = 1_\Omega$ را در شرایط دائمی $k\omega_m = 100\frac{V}{A}$ تغذیه کند در صورتیکه ولتاژ اعمالی به مدار تحریک آن 30_V باشد تقویت کننده برابر است با $(E = k\omega_m I_f)$.

۱) 250 ۲) 350 ۳) 450 ۴) 550

حل: گزینه ۲ درست است

P_{in} توان ورودی تحریک در نظر می‌گیریم و P_{out} را توان خروجی ژنراتور را در نظر می‌گیریم.

$$I_f = \frac{30}{20} = 1.5 \qquad P_{in} = 30 \times 1.5 = 45(\omega)$$

با استفاده تقسیم ولتاژ $V_L = E_a(\frac{R_L}{R_L + R_a}) = 150(\frac{1}{1.2}) = \frac{150}{1.2} = 125$

$$I_L = \frac{V_L}{R_L} = \frac{125}{1} = 125 \Rightarrow P_{out} = 125 \times 125 = 15625 \rightarrow G = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{15625}{45} = 350$$

۲۱ ـ یک مولد شنت dc، با خروجی 220_V دارای مقاومت تحریک $R_f = 110_\Omega$ می‌باشد راندمان مولد در این حالت $\frac{5}{6}\times 100\%$ است اگر مقاومت تحریک را نصف نماییم راندمان $\frac{8}{10}\times 100\%$ می‌شود در صورتیکه جریان بار در دو حالت 100_A باشد کدام گزینه تقریباً نشان دهنده مقاومت آرمیچر خواهد بود.

۱) 1.6_Ω ۲) 0.5_Ω ۳) 2.5_Ω ۴) 1_Ω

حل: گزینه ۱ درست است.

حالت اول

$$I_f = \frac{220}{110} = 2 \Rightarrow I_a = 102 \quad \rightarrow \quad \xi = \frac{P_{out}}{P_{out} + P_{rot} + R_a I_a^2 + R_f I_f^2}$$

$$\frac{5}{6} = \frac{220 \times 100}{220 \times 100 + P_{rot} + R_a (102)^2 + 110 \times 4}$$

$$\Rightarrow 220 \times 100 + R_a (102)^2 + 110 \times 4 + P_{rot} = 220 \times 100 \times 1.2 \qquad (1)$$

حالت دوم $I_f = \frac{220}{55} = 4 \Rightarrow I_a = 104$

$$\frac{8}{10} = \frac{220 \times 100}{220 \times 100 + P_{rot} + R_a (104)^2 + 55 \times 16}$$

$$220 \times 100 + R_a (104)^2 + 55 \times 16 + P_{rot} = 220 \times 100 \times 1.25 \qquad (2)$$

(۱) و (۲) $\Rightarrow R_a = 1.6$

تنبلی دزد آرزوهاست

یادداشت:

.....

.....

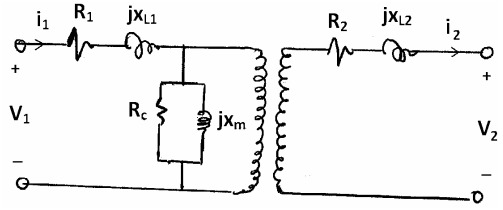
.....

.....

فصل سوم

ترانسفورماتور

مدار معادل ترانسفورماتور:



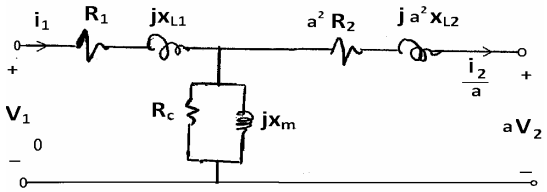
x_{L_1}, x_{L_2}: معادل شار پراکندگی سمت اولیه و ثانویه

R_c: معادل تلفات هسته (هیسترزیس و فوکو)

x_m: معادل اثرات مغناطیس شوندگی هسته

R_1, R_2: معادل تلفات مسی سمت اولیه و ثانویه

مدل ترانس ایده‌آل (ارجاع به سمت اولیه): $\boxed{a = \frac{n_1}{n_2}}$



مدل ترانس ایده‌آل (ارجاع به سمت اولیه): $\boxed{a = \frac{n_1}{n_2}}$

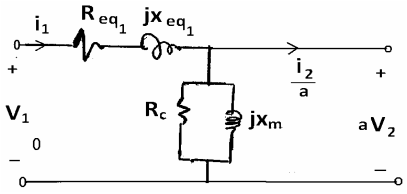
یادداشت:

.....

.....

.....

.....



$$R_{eq_1} = R_1 + a^2 R_2 \qquad x_{eq_1} = x_{L_1} + a^2 x_{L_2}$$

بدست آوردن پارامترهای الکتریکی:

۱ـ آزمایش مدار باز: در این آزمایش یک سمت ترانسفورماتور را باز نموده و به سمت دیگر ولتاژ نامی اعمال می‌کنیم مقادیر محاسبه شده به ترتیب V_{oc} و I_{oc} و P_{oc} می‌باشد.

نکته: در آزمایش مدار باز P_{oc} همان تلفات هسته می‌باشد

$$R_c = \frac{V_{oc}}{I_{oc}.\cos\theta}\ ,\ X_m = \frac{V_{oc}}{I_{oc}\sin\theta}, \cos\theta = \frac{P_{oc}}{V_{oc}.I_{oc}}$$

۲-آزمایش اتصال کوتاه:

مقادیر اندازه‌گیری شده P_{sc}, I_{sc}, V_{sc} می‌باشد.

$$R_{eq} = \frac{V_{sc}}{I_{sc}}\cos\theta, x_{eq} = \frac{V_{sc}}{I_{sc}}\sin\theta, P_{sc} = V_{sc}.I_{sc}.\cos\theta$$

نکته: در این آزمایش P_{sc} همان تلفات مسی ترانسفورماتور است.

۳- آزمایش dc:

این آزمایش برای بدست آوردن مقاومت اولیه یا ثانویه می‌باشد.

اگر به سمت اولیه اعمال شود ← $V_{dc} = R_1 I_{dc}$

سیستم پریونیت:

Z_{b_1} = امپدانس پایه طرف اولیه و Z_{eq_1} : امپدانس معادل دیده شده از طرف اولیه

Z_{b_2} = امپدانس پایه طرف ثانویه Z_{eq_2} : امپدانس معادل دیده شده از طرف ثانویه

$$Z_{b_1} = \frac{V_{b_1}^2}{S_{b_1}}, Z_{b_2} = \frac{V_{b_2}^2}{S_{b_2}}, Z_{b_1} = a^2 Z_{b_2}$$

$$Z_{p_{u1}} = \frac{Z_{eq_1}}{Z_{b_1}}, Z_{p_{u2}} = \frac{Z_{eq_2}}{Z_{b_2}} \Rightarrow Z_{p_{u1}} = Z_{p_{u2}}$$

بازده در ترانسفورماتور:

$$\xi = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{P_{in} - P_{Loss}}{P_{in}} = 1 - \frac{P_{Loss}}{P_{in}} \quad \rightarrow \quad \xi = \frac{V_2 I_2 \cos\varphi}{V_2 I_2 \cos\varphi + R_{eq_2} I_2^2 + P_{core}}$$

یادداشت:

.....

.....

.....

.....

- $\cos\varphi$: ضریب قدرت بارترانس
- φ: اختلاف فاز بین I_2, V_2

➸ برای بار کامل:

$$\xi = \frac{S_n \cos\varphi}{S_n \cos\varphi + P_{cu} + P_{cor}}$$

که در آن S_n توان نامی می باشد

➸ برای x% بار کامل:

$$I_2 = \frac{x}{100} I_{2n}$$

$$\xi = \frac{\frac{x}{100} S_n \cos\varphi}{\frac{x}{100} S_n \cos\varphi + \left(\frac{x}{100}\right)^2 P_{cu_n} + P_{core}}$$

P_{cu_n}: تلفات مسی نامی

$P_{cu} = \left(\frac{x}{100}\right)^2 P_{cu_n}$ در x% بار کامل

➸ راندمان برحسب مقادیر پریونیتی:

$$S_{base} = S_n$$

$$\xi = \frac{\frac{x}{100} \cos\varphi}{\frac{x}{100} \cos\varphi + \left(\frac{x}{100}\right)^2 P_{cu_{nPn}} + P_{core_{Pn}}}$$

نکته: $P_{core_{Pu}} = \frac{1}{R_{C_{Pu}}}, R_{eq_2} = R_{eq_1} = P_{cu_{n_{Pu}}}$

بازده ماکزیمم:

اگر فرض کنیم ضریب توان بار ثابت بماند بازده حداکثر در جریان بار زیر بدست می‌آید.

۱- $P_{core} = P_{cu} = \left(\frac{x}{100}\right)^2 P_{cu_n}$

۲- $I_{2\xi_{max}} = \left(\sqrt{\frac{P_{core}}{P_{cu_n}}}\right) I_{2n} = \left(\frac{x}{100}\right) I_{2n}$

۳- $S_{2_{\xi_{max}}} = \left(\sqrt{\frac{P_{core}}{P_{cu_n}}}\right) S_n$

بازده شبانه روزی:

$$\xi = \frac{\Sigma P_{cout_i} . h_i}{\Sigma P_{out_i} . h_i + P_{core} \times 24 + \Sigma P_{cu_i} \times h_i}$$

که در آن h میزان ساعت مصرف می‌باشد.

یادداشت:

.....

.....

.....

.....

نکته: پیش فاز و یا پس فاز بودن بار هیچ تأثیری روی با زده ترانسفورماتور ندارد.

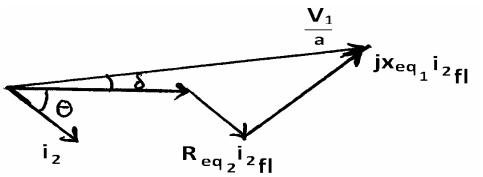
تنظیم ولتاژ در ترانسفورماتور:

$$VR\% = \frac{|V_{nL}| - |V_{fL}|}{[V_{fL}]} \times 100$$

اگر تمامی مقادیر اولیه را به سمت ثانویه ارجاع دهیم داریم:

$$V_{fL} = V_2 = \frac{V_1}{a} - \left(R_{eq_2} + jx_{eq_2}\right) I_{2fL}$$

تذکر: دقت شود حالت فوق حالت پس فازی است و ولتاژ نهایی شکل مقابل $\frac{V_1}{a}$ می‌باشد.



+ بار پس فاز

- بار پیش فاز

تنظیم ولتاژ برحسب مقادیر پریونیتی:

الف: برای بار پس فاز:

$$VR\% = \left(R_{eq_{pu}} \cos\theta + x_{eq_{pu}} . \sin\theta\right) \times 100$$

ب: برای بار پیش فاز:

$$VR\% = \left(R_{eq_{pu2}} \cos\theta - x_{eq_{pu2}} \sin\theta\right) \times 100$$

حالت‌های مختلف تنظیم ولتاژ:

۱ـ تنظیم ولتاژ ماکزیمم (بدترین حالت):

- حالت پیش فاز

+ حالت پس فاز

$$\cos\theta = \frac{R_{eq_2}}{|Z_{eq_2}|} = \frac{R_{eq_2}}{\sqrt{R_{eq_2}^2 + X_{eq_2}^2}} = \frac{R_{eq_{pu2}}}{|Z_{eq_{pu2}}|} = \frac{R_{eq_{pu2}}}{\sqrt{R_{eq_{pu2}}^2 + X_{eq_{pu2}}^2}}$$

$$tag\theta = \frac{x_{eq_2}}{R_{eq_2}} = \frac{\pm X_{eq_{Pn_2}}}{R_{eq_{Pn_2}}}$$

نکته: مقدار تنظیم ولتاژ ماکزیمم برابر است با: $VR_{max}\% = \left|Z_{eq_{2Pu}}\right|$

ب: تنظیم ولتاژ صفر (بهترین حالت):

یادداشت:

.....

.....

.....

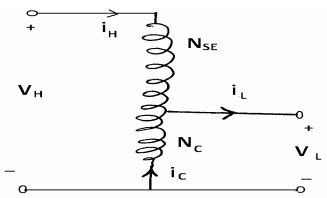
.....

تذکر: تنظیم ولتاژ صفر برای بار پس فاز امکان‌پذیر نیست.

$$\cos\theta = \frac{x_{eq_2}}{|Z_{eq_2}|} = \frac{X_{eq_{2Pu}}}{|Z_{eq_{2Pu}}|}$$

$$\tan\theta = \frac{R_{eq_2}}{X_{eq_2}} = \frac{R_{eq_{Pu_2}}}{X_{eq_{P_{u_2}}}}$$

اتوترانسفورمر:



$$\frac{I_H}{I_L} = \frac{N_C}{N_C + N_{SE}} = \frac{V_L}{V_H}$$

$$\frac{V_{SE}}{V_C} = \frac{N_{SE}}{N_C}$$

$$V_C = V_L$$

نکته:

$$S_{SC} = V_L I_H = \frac{N_C}{N_C + N_{SE}} S_{out}$$

$$\begin{cases} S_{in} = V_H . I_H \\ S_{out} = V_L . I_L \end{cases} \qquad S_{in} = S'_{out}$$

$$S_{in} = S_{out} = V_L I_L = S_{sc} + S_\omega$$

$S_\omega = V_C I_C = V_L I_L - V_L I_H$ توان مغناطیسی عبوری سیم‌بندی مشترک

$$S\omega = \frac{N_{SE}}{N_C + N_{SE}} S_{out}$$

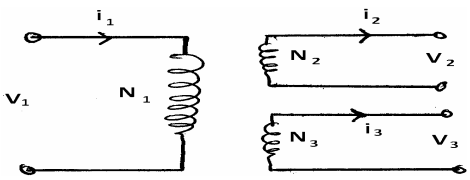
➽ عیب: امپرانس معادل پریونیت یک اتوترانسفورمر در حالت اتصال کوتاه $\frac{N_{SE}}{N_{SE} + N_C}$ به واسطه $N_C >> N_{SE}$ بسیار کم بوده و جریان اتصال بسیار بالایی از خود عبور می‌دهد.

مزیت:

۱ـ دو سیم‌پیچ از یکدیگر ایزوله می‌باشند.

۲ـ این قابلیت را دارد که خیلی بالاتر از ظرفیت نامی خود بارگیری کند.

➽ ترانس سه سیم‌پیچه:



$$P_1 = P_2 + P_3 \qquad Q_1 = Q_2 + Q_3 \qquad S_1 = S_2 + S_3$$

$$N_1 I_1 = N_2 I_2 + N_3 I_3 \qquad \frac{e_1}{e_2} = \frac{N_1}{N_2}, \frac{e_1}{e_3} = \frac{N_1}{N_3}$$

یادداشت:

.....

.....

.....

.....

موازی کردن ترانسفورماتور:

مزایا:

۱ـ برای افزایش توان انتقالی ۲ـ افزایش قابلیت اطمینان

شرط موازی کردن:

۱ـ ولتاژ خروجی دو ترانسفورماتور با هم برابر باشد $E_a = E_b$

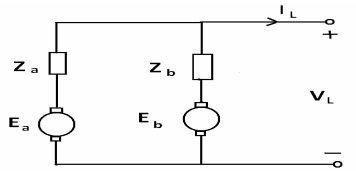
۲ـ امپدانس واقعی دو ترانسفورماتور با هم برابر باشد. $\boxed{Z_{eq_{Pu_1}}.Z_{base_1} = Z_{eq_{Pu_2}}.Z_{base_2}}$ $\boxed{Z_{real_1} = Z_{real_2}}$

۳ـ تساوی زیر برقرار باشد. $\boxed{\frac{x_{eq_a}}{R_{eq_a}} = \frac{x_{eq_b}}{R_{eq_b}}}$

۴ـ پلاریته هم نام به هم متصل شوند.

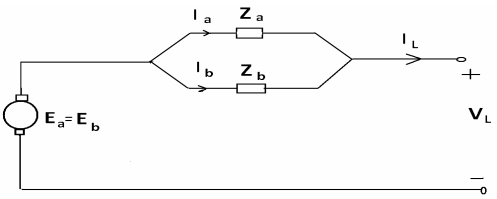
حالات موازی کردن:

$\boxed{I_L = 0}, \boxed{V_L = E_a = E_b}, \boxed{I_C = 0}$



۱ـ حالت بی‌باری ۲ـ حالت بارداری

a ـ۱) حالت بی‌باری و $\boxed{E_a = E_b}$



b ـ ۱) حالت بی‌باری و $\boxed{E_a > E_b}$

$$\boxed{I_C = \frac{\vec{E}a - \vec{E}b}{\vec{Z}a + \vec{Z}b}}, \boxed{\vec{V}L = \vec{E}a - \vec{Z}a\vec{I}c = \vec{E}b + \vec{Z}b\vec{I}c}$$

a ـ ۲) حالت بارداری و $\boxed{E_a = E_b}$

$$\boxed{\vec{I}a = \frac{\vec{Z}b}{\vec{Z}a + \vec{Z}b}\vec{I}L} \rightarrow \boxed{\vec{S}a = \frac{\vec{Z}b}{\vec{Z}a + \vec{Z}b}\vec{S}L}$$

یادداشت:

.....

.....

.....

.....

$$\boxed{I_b = \frac{Z_a}{Z_a + Z_b}\vec{I}_L} \rightarrow \boxed{S_b = \frac{Z_a}{Z_a + Z_b}S_L}$$

$$\boxed{\frac{\vec{S}_a}{\vec{S}_b} = \frac{\vec{Z}_b}{\vec{Z}_a} \Rightarrow \frac{S_a}{S_b} = \frac{|Z_b|}{|Z_a|}}$$

a- ۲) الف: حالت بارداری و $\boxed{E_a = E_b}$ و $\boxed{|Z_a| = |Z_b|}$ و $\boxed{\frac{x_{eq_b}}{R_{eq_b}} \neq \frac{x_{eq_a}}{R_{eq_a}}}$

$$\boxed{\vec{I}_L = \vec{I}_a + \vec{I}_b, |I_a| = |I_b|, \vec{S}_a + \vec{S}_b > \vec{S}_L}$$

a- ۲) ب: حالت بارداری $\boxed{E_a = E_b}$ و $\boxed{|Z_a| \neq |Z_b|}$ و $\boxed{\frac{x_{eq_b}}{R_{eq_b}} = \frac{x_{eq_a}}{R_{eq_a}}}$

$$\boxed{\frac{S_a}{S_b} = \frac{|Z_b|}{|Z_a|}, \frac{I_a}{I_b} = \frac{|Z_b|}{|Z_a|}, \vec{S}_a + \vec{S}_b = \vec{S}_L}$$

a- ۳) حالت بارداری $E_a > E_b$.

$$\boxed{\vec{I}_a = \frac{Z_b}{\vec{Z}_a + \vec{Z}_b}\vec{I}_L + \frac{E_a - E_b}{Z_a + Z_b}} \qquad \boxed{I_b = \frac{\vec{Z}_a}{\vec{Z}_a + \vec{Z}_b}\vec{I}_L + \frac{E_b - E_a}{Z_a + Z_b}}$$

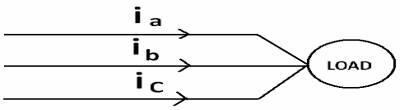
$$\boxed{V_L = \frac{\frac{\vec{E}_a}{Z_a} + \frac{\vec{E}_b}{Z_b}}{\frac{1}{Z_a} + \frac{1}{Z_b} + \frac{1}{Z_L}}, I_C = \frac{Z_L(\vec{E}_a - \vec{E}_b)}{Z_L Z_a + Z_a . Z_b + Z_L . Z_b}}$$

I_C : جریان گردشی

V_L : ولتاژ بار

ترانسفورماتور ۳ فاز:

اگر بار متعادل باشد:

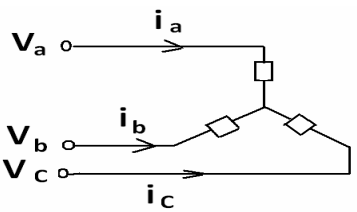


$$\boxed{Q_{Load} = 3Q_a}$$

$$\boxed{P_{Load} = P_a + P_b + P_c = 3P_a}$$

انواع آرایش ترانسفورماتور:

الف: آرایش ستاره:



$$\boxed{V_L = \vec{V}_{ab} = \vec{V}_a - \vec{V}_b = \sqrt{3}V_a \angle +30}$$

$$\boxed{V_a = V_m \angle 0, V_b = V_m \angle -120, V_C = V_m \angle +120}$$

$$\boxed{V_{ab} = \sqrt{3}V_a \angle +30, V_{bc} = \sqrt{3}V_b \angle +30, V_{ca} = \sqrt{3}V_c \angle +30}$$

یادداشت:

.....

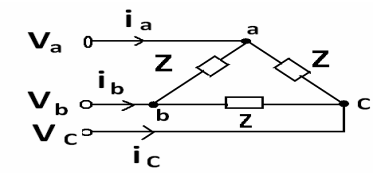
.....

.....

.....

جریان خط متناظر با جریان فاز برابر می‌باشند.

ب: آرایش مثلث Δ:



$$I_a = \sqrt{3} I_{ab} \angle -30$$
$$I_b = \sqrt{3} I_{bc} \angle -30$$
$$I_C = \sqrt{3} I_{ca} \angle -30$$

ولتاژ خط متناظر با ولتاژ فاز برابر می‌باشند.

اتصال ترانسفورماتور:

۱ـ اتصال ستاره ـ ستاره

$\boxed{V_{L_2} = \sqrt{3} V_{pn_2} , I_{L_2} = I_{pn_2}}$ $\boxed{V_{L_1} = \sqrt{3} V_{pn_1} , I_{L_1} = I_{pn_1}}$

نسبت تبدیل فازی $\boxed{a_{PH} = \frac{N_{ph_1}}{N_{ph_2}} = \frac{V_{ph}}{V_{ph_2}}}$

نسبت تبدیل خطی $a_L = \frac{V_{L_1}}{V_{L_2}}$

$\Rightarrow \boxed{a_{PH} = a_L}$

جریان هارمونیکی:

$$I_{an} = I_{m_1} \mathrm{Sin}(\omega_s t - \alpha) + I_{m_3} \mathrm{Sin}(3\omega_s t - 3\alpha) + ...$$
$$I_{bn} = I_{m_1} \sin(\omega_s t - \alpha - 120) + I_{m_3} \sin(3\omega_s t - 3\alpha - 360) + ...$$
$$I_{cn} = I_{m_1} \sin(\omega_s t - \alpha + 120) + I_{m_3} \sin(3\omega_s t - 3\alpha + 360) + ...$$

تذکر: اگر این سه سیگنال جریان را با هم جمع کنیم هارمونیک سوم به دلیل هم بودن صفر نخواهد شد همین استدلال برای هارمونیک مضارب ۳ صدق می‌کند ولی به دلیل کوچک بودن دامنه چندان موثر نیست.

نکته: اگر در این حالت از سیم چهارم در نقطه صفر ترانسفورماتور استفاده کنیم جریان‌های هارمونیک مضارب سوم از عبور خواهند کرد ولی اگر از سیم چهارم استفاده کنیم از آنجائیکه جمع جبری جریان‌های سه فاز باید صفر شود جریان بی‌باری شامل هارمونیک مضارب سوم نخواهد شد ولی به دلیل وجود شاری که شامل هارمونیک سوم و مضارب آن است ولتاژ القایی شامل هارمونیک سوم می‌باشد.

یادداشت:

.....

.....

.....

.....

اتصال ستاره مثلث:

$$\alpha_{ph} = \frac{N_{ph_1}}{N_{ph_2}} = \frac{V_{ph_1}}{V_{ph_2}}, a_L = \frac{V_{L_1}}{V_{L_2}} = \frac{\sqrt{3}V_{ph}}{V_{ph_2}}$$

$$\begin{cases} V_{L_1} = \sqrt{3}V_{ph_1} \\ I_{L_1} = I_{ph_1} \end{cases} \quad \begin{cases} V_{L_2} = V_{ph_2} \\ I_{L_2} = \sqrt{3}I_{ph_2} \end{cases}$$

$$a_L = \sqrt{3}a_{ph}$$

➳ اگر سمت اولیه (ستاره) توسط سیم چهارم به زمین وصل شود جریان اولیه شامل هارمونیک سوم و مضارب آن خواهد بود ولی اگر سیم چهارم حذف شود هارمونیک‌های سوم و مضارب آن حذف می‌شود ولی چون شار درون هسته شامل هارمونیک مضارب سوم خواهد بود ولتاژ القایی شامل هارمونیک سوم و مضارب آن خواهد بود.

➳ در ثانویه که یک اتصال به صورت مثلث است یک مدار بسته خواهیم داشت که جمع جبری ولتاژهای مؤلفه اصلی و هارمونیک‌های پنجم، هفتم و... به جز هارمونیک سوم صفر خواهد شد در نتیجه، ولتاژ هارمونیک سوم تولید یک جریان گردشی می‌کند که دارای هارمونیک سوم می‌باشد.

اتصال مثلث‌ـ ستاره:

$$a_{ph} = \frac{N_{ph_1}}{N_{ph_2}} = \frac{V_{ph_1}}{V_{ph_2}}, a_L = \frac{V_{L_1}}{V_{L_2}} = \frac{V_{ph_1}}{\sqrt{3}V_{ph_2}}$$

$$\begin{cases} V_{L_1} = V_{PH_1} \\ I_{L_1} = \sqrt{3}I_{ph_1} \end{cases} \quad \begin{cases} V_{L_2} = \sqrt{3}V_{ph_2} \\ I_{L_2} = I_{ph_2} \end{cases}$$

در این حالت نیز مانند حالت قبل در اتصال مثلث فقط به وسط شاری که دارای هارمونیک سوم می‌باشد جریان‌های هارمونیک سوم به صورت جریان گردشی در سیم‌پیچ‌ها جاری می‌شود.

اتصال مثلث‌ـ مثلث:

$$\begin{cases} V_{L_1} = V_{ph_1} \\ I_{L_1} = \sqrt{3}I_{ph_1} \end{cases} \quad \begin{cases} V_{L_2} = V_{ph_2} \\ I_{L_2} = \sqrt{3}I_{ph_2} \end{cases}$$

$$a_{ph} = \frac{V_{L_1}}{V_{L_2}} = \frac{V_{ph_1}}{V_{ph_2}} \quad a_L = \frac{N_{ph_1}}{N_{ph_2}} = \frac{V_{ph_1}}{V_{ph_2}}, a_{ph} = a_L$$

یادداشت:

.....

.....

.....

.....

مسائل تکمیلی

۱ ـ ترانسفورماتور A در بارنامی، راندمان 90% را داراست. اگر ابعاد خطی ترانسفورماتور B، 1.5 برابر ترانسفورماتور A باشد، راندمان آن در بار نامی برابر است با:

۱) 90%　　۲) 87%　　۳) 93%　　۴) 95%

حل: گزینه ۳ درست است.

اگر ابعاد خطی ترانسفورماتور B، 1.5 برابر ترانسفورماتور A باشد، توان خروجی آن $(1.5)^4$ برابر و تلفات آن $(1.5)^3$ برابر ترانسفورماتور A می‌باشد. در این صورت داریم:

$$\eta_2=\frac{(1.5)^4 S_1\cos\varphi}{(1.5)^4 S_1\cos\varphi+(1.5)^3 P_{loss_1}}=\frac{S_1\cos\varphi}{S_1\cos\varphi+\frac{P_{loss_1}}{1.5}} \rightarrow \quad \eta_1=0.9=\frac{S_1\cos\varphi}{S_1\cos\varphi+P_{loss_1}} \quad \Rightarrow \quad P_{loss_1}=\frac{1}{9}S_1\cos\varphi$$

$$\eta_2=\frac{S_1\cos\varphi}{S_1\cos\varphi+\frac{1}{9\times1.5}S_1\cos\varphi}\simeq 0.93$$

اگر ابعاد خطی یک ترانسفورماتور K برابر شود، توان خروجی آن K^4 و تلفات آن K^3 برابر خواهد شد.

۲ ـ توان دریافتی توسط ترانسی در آزمایش اتصال کوتاه 400W و در آزمایش بی‌باری 200W است. این ترانس به ازای چه سهمی از بار نامی دارای حداکثر راندمان خواهد شد؟ (از پراکندگی و افت داخلی ترانس صرف‌نظر گردد)

۱) 60%　　۲) 57%　　۳) 70.7%　　۴) 86.2%

حل: گزینه ۳ درست است.

زمانی راندمان ماکزیمم است که تلفات ثابت و متغیر با هم برابر باشد.

$$P'_{sc}=P_{os} \quad \Rightarrow \quad \eta=\eta_{(max)}$$

پس باید کل تلفات مسی معادل 200 وات گردد. $200=P'_{sc}$

$$\frac{P'_{sc}}{P_{sc}}=\left(\frac{S}{S_N}\right)^2 \rightarrow \quad \frac{200}{400}=\left(\frac{S}{S_N}\right)^2 \quad \Rightarrow \quad \frac{S}{S_N}=\sqrt{\frac{1}{2}}=\frac{\sqrt{2}}{2} \rightarrow \quad \%\frac{S}{S_N}=\frac{\sqrt{2}}{2}\times100=70.7\%$$

یادداشت:

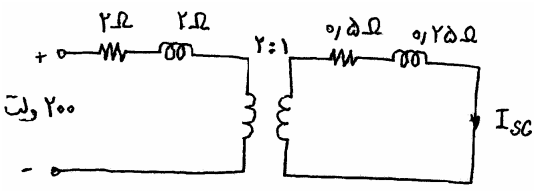
.....

.....

.....

.....

۳ـ مدار Per Phase ترانسفورماتور اتصال کوتاه شده سه‌فازی مطابق شکل زیر داده شده است که در آن اتصال کوتاه در طرف فشار ضعیف انجام گرفته است. توانی که ترانسفورماتور سه فاز از شبکه برای غلبه بر تلفات مسی از طرف فشار قوی دریافت می‌کند چند وات می‌باشد.



۱) 19.2 KW

۲) 15 KW

۳) 6.4 KW

۴) 36 KW

حل: گزینه ۱ درست است.

ابتدا محاسبات را برای Per Phase انجام می‌دهیم:

$$R_1 = 2 + \frac{2}{4} \times 2^2 = 4 \qquad X_1 = 2 + \frac{1}{4} \times 2^2 = 3$$

$$I_{HV} = \frac{200 \angle 0}{\sqrt{3^2 + 4^2}} \angle -\cos^{-1}\frac{4}{5} = 40 \angle -\cos^{-1}\frac{4}{5}$$

$$P_{sc} = 200 \times 40 \times \frac{4}{5} = 6400 = 6.4\,KW \quad \Rightarrow \quad P_{sc}(3\phi) = 3P_{sc} = 3 \times 6.4\,KW = 19.2\,KW$$

۴ـ برای یک ترانسفورماتور تک‌فاز کدام‌یک از عبارات زیر غلط است؟

۱) کاربرد ترانس طراحی شده با $\frac{V}{f} = cte$ و افزایش فرکانس، برای ثابت ماندن تلفات ترانس سبب کاهش توان نامی ترانس می‌شود.

۲) کاربرد ترانس طراحی شده برای فرکانس نامی 50Hz درفرکانس 60Hz به ازای ولتاژهای مشابه ترانس را از نقطه کار ناحیه اشباع دور می‌سازد.

۳) اگر ترانس طراحی شده برای فرکانس نامی 50Hz در فرکانس 60Hz استفاده شود ترانسفورماتور نسبت به حالت قبل خنک‌تر خواهد شد.

۴) تلفات فوکو یا افزایش فرکانس 50 Hz به 60 Hz افزایش می‌یابد.

حل: گزینه ۱ درست است.

۵ـ ترانسفورماتوری با نسبت تبدیل $\frac{300}{100}$ دارای مقاومت 4% و تنظیم ولتاژ حداکثر 5% می‌باشد اگر از این ترانس یک اتو ترانس با نسبت تبدیل $\frac{400}{100}$ بسازیم در این صورت تنظیم ولتاژ اتو ترانس به ازای همان بار چقدر خواهد شد؟ بار ترانس، بار نامی با ضریب توان 0.8 پس فاز می‌باشد.

۱) 2.25%　　۲) 5%　　۳) 5.25%　　۴) 3.75%

یادداشت:

.....

.....

.....

.....

حل: گزینه ۴ درست است.

$$r_e = 0.04(\text{pu}) \qquad X_e = \sqrt{Z_e^2 - r_e^2} = \sqrt{25-16}\times 10^{-2} = 3\times 10^{-2}(\text{pu})$$

$$E_{trans} = 0.04\times 0.8 + 0.03\times 0.6 = 0.05$$

$$K_a = \frac{100}{400} = \frac{1}{4}$$

$$\frac{E_{aut}}{E_{tran}} = 1 - k_a = 1 - \frac{1}{4} = \frac{3}{4} \Rightarrow E_{aut} = \left(\frac{3}{4}\right)\times 0.05 = 0.0375\times 100 = 3.75\%$$

۶ـ دو ترانس تکفاز هر یک با توان نامی $250\,\text{KVA}$ و ولتاژ $\left(\frac{2.4}{0.5}\right)\text{KV}$ به صورت مثلث باز (اتصال V-V) در یک سیستم سه فازه مورد استفاده قرار می‌گیرد. ماکزیمم باری که در حالت کار دائمی بدون افزایش درجه حرارت مجاز می‌توان از این سیستم اخذ نمود برابر است با:

۱) $433\,\text{KVA}$ ۲) $288\,\text{KVA}$ ۳) $500\,\text{KVA}$ ۴) $250\,\text{KVA}$

حل: گزینه ۱ درست است.

$$S_\Delta = 3\times 250\,\text{KVA}$$

$$\frac{S_v}{S_\Delta} = \frac{1}{\sqrt{3}} \Rightarrow \frac{S_v}{3\times 250} = \frac{1}{\sqrt{3}} \Rightarrow S_v = 250\sqrt{3} = 433\,\text{KVA}$$

۷ـ یک ترانسفورماتور 100^{KVA} , $\frac{10}{20}\text{KV}$ موجود است. سیم‌پیچ فشار ضعیف از دو سیم پیچ مشابه و موازی تشکیل شده است. (A,B) تلفات هسته در شرایط بار نامی 2kw و تلفات مسی ترانس در شرایط نامی در فشار ضعیف و قوی به ترتیب 1.6^{kw} , 2.4^{kw} است. اگر در سمت فشار ضعیف سیم‌پیچ A قطع شود و به طور همزمان ولتاژ اعمالی به سیم‌پیچ B و جریان آن به نصف جریان قبلی سیم‌پیچ دوم تقلیل یابد، بازده ترانس در این حالت چقدر خواهد شد؟

۸ـ «تلفات هسته را با توان دوم ولتاژ متناسب بگیرید ـ ضریب توان‌بار = 0.8 پس فاز»

۱) 95% ۲) 92% ۳) 93% ۴) 91%

حل: گزینه ۲ درست است.

تلفات مسی را در دو حالت می‌توان چنین محاسبه کرد: «در فشار ضعیف»

در حالت اول: ← مدل فشار ضعیف چنین است:

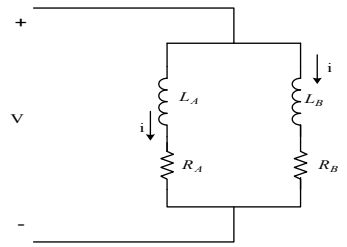
یادداشت:

.....

.....

.....

.....



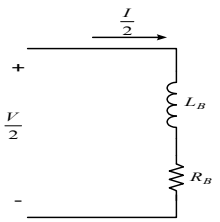
$$\left(p_{cu}\right)_{(1)} = RI^2 + RI^2 = 2RI^2$$

فشار ضعیف

$R_A = R_B = R$

$L_A = L_B$

در حالت دوم مدل فشار ضعیف چنین است:



$$\Rightarrow \left(p_{cu}\right)_{\text{فشار ضعیف}(2)} = R\left(\frac{I}{2}\right)^2 = \frac{RI^2}{4}$$

$$\Rightarrow \left(p_{cu}\right)_{\text{فشار ضعیف}(2)} = \frac{1}{8}\left(p_{cu}\right)_{\text{فشار ضعیف}(1)} = \frac{1}{8}\times 2.4 = 0.3\,\text{kw}$$

چون جریان فشار ضعیف نسبت به حالت اول $\frac{1}{4}$ شده است ← جریان فشار قوی هم $\frac{1}{4}$ حالت اول می‌شود.

$$\rightarrow \left(p_{cu}\right)_{\text{فشارقوی}(2)} = \left(\frac{1}{4}\right)^2 \left(p_{cu}\right)_{\text{فشارقوی}(1)} \Rightarrow \left(p_{cu}\right)_{\text{فشارقوی}(2)} = \frac{1}{16}\times 1.6 = 0.1\,\text{kw}$$

از طرفی تلفات هسته هم متناسب با مجذور ولتاژ اعمالی است:

$$\frac{p_{c_2}}{p_{c_1}} = \left(\frac{1}{2}\right)^2 = \frac{1}{4} \rightarrow p_{c_2} = \frac{p_{c_1}}{4} = 0.5\,\text{kw} \qquad \Rightarrow \eta = \frac{100\times\frac{1}{8}\times 0.8}{100\times\frac{1}{8}\times 0.8 + 0.3 + 0.1 + 0.5} = 91.7\%$$

۹ ـ دو ترانسفورماتور B, A هر کدام با توان‌های نامی $(x > y)$ y, x را با یکدیگر موازی می‌کنیم، ترانسفورماتور A دارای امپدانس پراکندگی $\bar{Z}_{eA} = a + jb$ و ترانسفورماتور B دارای امپدانس پراکندگی $\bar{Z}_{eB} = 2a + j3b$ می‌باشد، چه راکتانسی با امپدانس ترانس A سری شود تا بار به صورت مساوی بین دو ترانس تقسیم گردد؟

۱) $a + j2b$

۲) $j\left[\sqrt{3a^2 + 9b^2} - b\right]$

۳) $j2b$

۴) $j\left[\sqrt{4a^2 + 9b^2 - \frac{x^2a^2}{y^2}} - b\right]$

یادداشت:

.....

.....

.....

.....

حل: گزینه ۲ درست است.

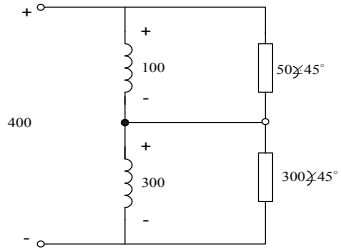
چون مسئله ذکر کرده است که تلفات افزایش پیدا نکند حتماً بایستی امپدانس ما مؤلفه مقاومتی نداشته باشد و لازم است از یک راکتانس استفاده شود.

$$\overline{I}_A\overline{Z}_{eA} = \overline{I}_B\overline{Z}_{eB} \Rightarrow \overline{I}_A = \overline{I}_B \Rightarrow \overline{Z}_{eA} = \overline{Z}_{eB} \Rightarrow$$

$$\left|a + j(b+x)\right| = \left|2a + j3b\right| \Rightarrow a^2 + (b+x)^2 = 4a^2 + 9b^2$$

$$\Rightarrow b + x = \sqrt{3a^2 + 9b^2} \Rightarrow x = \sqrt{3a^2 + 9b^2} - b$$

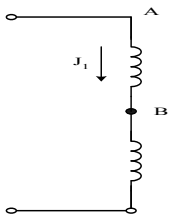
۱۰ ـ اتوترانس ایده‌آل شکل مقابل مفروض است. میزان توان راکتیو انتقال یافته به‌واسطه عمل ترانسفورماتوری برابر است با:



۱) $30(\text{VAR})$
۲) $37.5\sqrt{2}(\text{VAR})$
۳) $36\sqrt{2}(\text{VAR})$
۴) $36(\text{VAR})$

حل: گزینه ۲ درست است.

با حل می‌توان جریان ساقه AB، J_1 را بدست آورد یعنی:



$$\overline{J}_1 = 0.75\angle\ 135^\circ$$

$$Q_T = V_{AB} J_1 \sin\left(\angle V_{AB} - \angle J_1\right)$$

$$= 0.75 \times 100 \times \underbrace{\sin 135}_{\frac{\sqrt{2}}{2}}$$

$$= 37.5\sqrt{2}\,(\text{VAR})$$

۱۱ ـ دو ترانسفورماتور A و B به‌طور موازی بسته شده و از طریق یک شبکه باری را تغذیه می‌کنند. می‌دانیم $\left|\overline{Z}_A\right| = \left|\overline{Z}_B\right|$, $\overline{Z}_A(\text{pu}) = \overline{Z}_B(\text{pu})$ توان‌های اکتیو و راکتیو بار به‌ترتیب $Q_{load} = 1.2\,\text{pu}$, $P_{load} = 1.5\,\text{pu}$ است. توان اکتیو و راکتیو هر ترانس چند pu می‌باشد؟

۱) $0.6\,\text{pu}, 0.75\,\text{pu}$
۲) $0.6\,\text{pu}, 0.8\,\text{pu}$
۳) $1.2\,\text{pu}, 1.5\,\text{pu}$
۴) $(1\,\text{pu}, 0.5\,\text{pu})$ برای اکتیو و $(0.8\,\text{pu}, 10.6\,\text{pu})$ برای راکتیو

حل: گزینه ۱ درست است.

یادداشت:

.....

.....

.....

.....

از آنجایی که بهترین شرایط برای موازی کردن دو ترانس اتفاق افتاده است از این رو:

$$\frac{\bar{S}_{nA}}{\bar{S}_{nB}} = \frac{\bar{Z}_A}{\bar{Z}_B} \Rightarrow \bar{S}_{nA} = \bar{S}_{nB} \Rightarrow P_A + jQ_A = P_B + iQ_B$$

$$\Rightarrow P_A = P_B \Rightarrow P_{loud} = 2P_A = 2P_B = 1.5 \Rightarrow P_A = P_B = 0.75 \text{ pu}$$

$$\Rightarrow Q_A = Q_B \Rightarrow Q_{loud} = 2Q_A = 2Q_B = 1.2 \Rightarrow Q_A = Q_B = 0.6\text{pu}$$

۱۲ ـ در یک ترانسفورماتور تکفاز اگر ولتاژ سمت بار به‌عنوان مرجع فاز در نظر گرفته شود و دارای مقاومت $r(pu)$، راکتانس $x(pu)$ و امپدانس $z(pu)$ باشد آنگاه زاویه بار در چه بازه‌ای تغییر می‌کند درصورتی که تنظیم ولتاژ مقداری منفی شود.

۱) $\cos^{-1}\frac{x(pu)}{z(pu)} \le \theta_2 \le \frac{\pi}{2}$

۲) $\cos^{-1}\frac{r(pu)}{z(pu)} \le \theta_2 \le \frac{\pi}{2}$

۳) $0 \le \theta_2 \le \cos^{-1}\frac{x(pu)}{z(pu)}$

۴) $-\cos^{-1}\frac{x(pu)}{z(pu)} \le \theta_2 \le 0$

حل: گزینه ۱ درست است.

$$\cos^{-1}\frac{x(pu)}{z(pu)} \le \theta_2 \le \frac{\pi}{2}$$

از نمودار کاپ می‌توان به بازه فوق دست یافت.

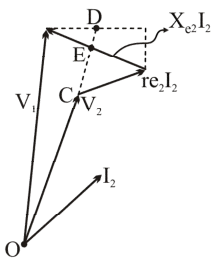
۱۳ ـ یک ترانسفورماتور تک فاز 10 kVA و 2500/250 V دارای مقاومت و راکتانس‌های نشتی به قرار زیر است: (زیرنویس‌های ۱و ۲ به ترتیب دلالت بر سیم‌پیچ‌های فشار قوی و فشار ضعیف دارند.)

$$\left.\begin{array}{l} r_2 = 0.04\Omega \\ X_2 = 0.1\Omega \\ r_1 = 4\Omega \\ X_1 = 10\Omega \end{array}\right\}$$

اگر ولتاژ اولیه در 2500V ثابت نگه داشته شود، ولتاژ ترمینال ثانویه در صورتی که ترانسفورمر جریان نامی‌اش را در ضریب 0.8 پس فاز در طرف فشار ضعیف تحویل دهد چه قدر است؟

۱) 242.64 V ۲) 245.6 V ۳) 240.35 V ۴) 248.12 V

حل: گزینه ۱ درست است.



$$V_2 \simeq OD - CD = 250 - CD$$

$$CD = CE + ED = I_2 re_2 \cos\theta_2 + I_2 Xe_2 \sin\theta_2$$

$$re_2 = 0.04 + 4\times\left(\frac{250}{2500}\right)^2 = 0.08$$

$$Xe_2 = 0.1 + 10\times\left(\frac{250}{2500}\right)^2 = 0.2$$

یادداشت:

.....

.....

.....

.....

$$I_2 = \frac{10\times10^3}{250} = 40\,A \quad , \quad \cos\theta_2 = 0.8 \quad \Rightarrow \quad \sin\theta_2 = \sqrt{1-0.64} = 0.6$$

$$CD = 40\times0.08\times0.8 + 40\times0.2\times0.6 = 7.36$$

$$V_2 = 250 - 7.36 = 242.64\,V$$

۱۴ ـ یک عدد ترانس تکفاز $50\,Hz$ وقتی به یک منبع $15\,V$ و $50\ Hz$ وصل می‌شود، جریان اتصال کوتاه $30\ A$ را در ضریب توان 0.2 پس فاز می‌کشد. هنگامی که همین ترانس، توسط یک منبع $15V$ ، $25\ Hz$ تغذیه شود، جریان اتصال کوتاه و ضریب قدرت آن چقدر خواهد بود؟

۱) $I_{SC} = 48.6$ پس فاز $\cos\varphi = 0.31$

۲) $I_{SC} = 56.8$ پس فاز $\cos\varphi = 0.18$

۳) $I_{SC} = 56.8$ پس فاز $\cos\varphi = 0.37$

۴) $I_{SC} = 52.4$ پس فاز $\cos\varphi = 0.37$

حل: گزینه ۳ درست است.

$$\text{در حالت 1} \quad \rightarrow \cos\varphi_{S.C} = \left|\frac{R_{eq}}{R_{eq}+jx_{eq}}\right| \quad \Rightarrow \quad 24R_{eq}^2 = x_{eq}^2$$

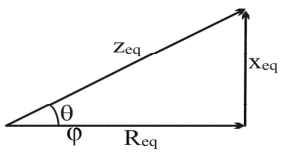
$$\frac{V_{SC}}{I_{SC}} = Z_{eq} \quad \rightarrow \quad \frac{1}{2} = \sqrt{x_{eq}^2 + R_{eq}^2} \quad \Rightarrow \quad \frac{1}{2} = 5R_{eq} \quad \rightarrow \begin{cases} R_{eq} = 0.1 \\ x_{eq} = 0.49 \end{cases}$$

$$\text{در حالت 2} \quad \rightarrow \quad Z_{eq} = 0.1 + j0.49\times\left(\frac{1}{2}\right) \quad \rightarrow Z_{eq_2} = 0.1 + 0.245\,j \ (\text{در فرکانس } 25)$$

$$\Rightarrow \quad I_{SC_2} = \frac{15}{0.1 + j0.245} \quad \Rightarrow \quad I_{SC} = 56.8A$$

نکته مهم اینجاست که برخلاف تصور، با توجه به گزینه‌ها، نیازی به محاسبه زاویه جریان نیست.

با توجه به شکل



افزایش می‌یابد $\cos\varphi \rightarrow$ φ $\rightarrow$ کاهش می‌یابد $\rightarrow$ $\begin{cases} R_{eq} & \text{ثابت مانده} \\ x_{eq} & \text{کاهش یافته} \end{cases}$ $\Rightarrow$ در حالت دوم نسبت به حالت اول

تنها یک گزینه با دانستن $I_{SC} = 56.8A$ ، افزایش $\cos\varphi$ را نشان می‌دهد.

۱۵ ـ ابعاد ترانسفورماتور تک فاز A، K برابر ترانسفورماتور تکفاز B می‌باشد. تعداد دور سیم‌پیچ‌های ترانس A، 2 برابر سیم‌پیچ‌های ترانس B است. هر دو ترانس از یک منبع ولتاژ ac تحت فرکانس معین تغذیه می‌شوند. اگر جنس هسته‌های 2 ترانس یکسان فرض شود، کدام یک از گزینه‌های زیر صحیح نمی‌باشد؟

P_c = تلفات هسته i_e: جریان بی‌باری B: چگالی میدان مغناطیسی φ: شار مغناطیسی هسته

۱) $\varphi_B = 2\varphi_A$

۲) $B_A = \frac{1}{2K^2}B_B$

۳) $\frac{Pc_A}{Pc_B} = \frac{1}{4K}$

۴) $\frac{i_{e_A}}{i_{e_B}} = \frac{1}{4}$

یادداشت:

.....

.....

.....

.....

حل: گزینه ۴ درست است.

$$\left.\begin{matrix} V_A = 4.44 N_A \varphi_A f \\ V_B = 4.44 N_B \varphi_B f \end{matrix}\right\} \Rightarrow V_A = V_B \rightarrow N_{1A}\varphi_A = N_{1B}\varphi_B \rightarrow 2N_{1B}\varphi_A = N_{1B}\varphi_B \Rightarrow \boxed{\varphi_B = 2\varphi_A}$$

$$\Rightarrow B_B A_B = 2 \times B_A A_A \Rightarrow B_B A_B = 2 \times B_A \times k^2 A_B \Rightarrow \boxed{B_A = \frac{1}{2k^2} B_B}$$

اگر ω_A و ω_B حجم ترانس‌های A و B باشند:

$$\left.\begin{matrix} P_{CA} \propto \omega_A B_A^2 \\ P_{CB} \propto \omega_B B_B^2 \end{matrix}\right\} \rightarrow \frac{P_{CA}}{P_{CB}} = \frac{k^3 \omega_B}{\omega_B} \times \frac{1}{4k^4} \rightarrow \boxed{\frac{P_{CA}}{P_{CB}} = \frac{1}{4k}}$$

جریان بی‌باری ترانس متناسب با تلفات هسته است:

$$\frac{i_{eA}}{i_{eB}} \propto \frac{P_{CA}}{P_{CB}} \rightarrow \boxed{\frac{i_{eA}}{i_{eB}} = \frac{1}{4k}}$$

مردان شجاع فرصت می آفرینند و ترسوها و ضعیفان منتظر فرصت می نشینند

یادداشت:

.....

.....

.....

.....

فصل چهارم

ماشین‌های الکتریکی

ماشین القایی از جمله ماشین‌های تک تحریکه است که میدان تحریک آن استاتور و آرمیچر آن روتور می‌باشد.

به علت اتصال کوتاه بودن سیم‌پیچی روتور جریانی در روتور جاری می‌کند که موجب تولید میدان گردان می‌شود که این میدان نسبت به میدان گردان استاتور ثابت و نسبت به استاتور و روتور گردان می‌باشد در اثر تقابل این دو میدان تولید گشتاور می‌کند.

لغزش $\rightarrow$ $\boxed{S = \frac{n_s - n_m}{n_s} = \frac{n_r}{n_s}, f_r = Sf_s}$

سرعت سنکرون $\rightarrow$ $\boxed{n_s = \frac{120 f_s}{P}}$

تعاریف:

۱ـ سرعت نسبی میدان دوار روتور نسبت به سیم‌بندی روتور: n_r

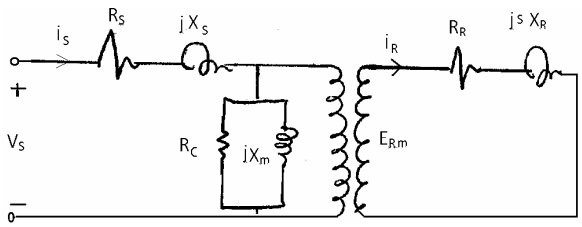
۲ـ سرعت نسبی میدان دوار استاتور نسبت به سیم‌بندی ثابت استاتور: n_s

۳ـ سرعت نسبی سیم‌بندی‌های متحرک روتور نسبت به سیم‌بندی‌های ثابت استاتور: n_m

۴ـ سرعت نسبی میدان دوار روتور نسبت به سیم‌بندی ثابت استاتور: n_s

۵ـ سرعت نسبی میدان دوار روتور نسبت به میدان دوار استاتور: صفر

مدار معادل موتور القایی:



$\boxed{x_R = L_R \omega_R, \omega_R = S\omega_s, f_R = Sf_s}$

$\boxed{\underset{\uparrow s=0}{0 < E_R < \underset{\uparrow s=1}{E_{R_{max}}}, 0 < x_R < x_{R_{max}}}}$

یادداشت:

.....

.....

.....

.....

به علت تغییر بار و به الطبع آن تغییر S ، همواره ω_R متغیر است.

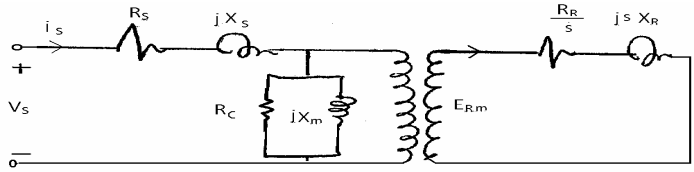
در x_R و E_R به واسطه وجود فرکانس S ظاهر می‌شود. $E_R = SE_{R_m}, x_R = Sx_{R_m}$

مدار معادل سمت روتور:

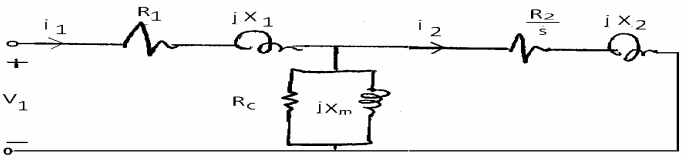
$$I_R = \frac{SE_{R_m}}{jSx_{R_m} + R_R} = \frac{E_{R_m}}{jx_{R_m} + \frac{R_R}{S}} \quad (I)$$

همانطوریکه می‌دانیم انتهای سیم‌پیچ‌های روتور اتصال کوتاه می‌باشد.

با توجه به رابطه (I) می‌توان مدار معادل جدید با در نظر گرفتن سمت استاتور رسم نمود.



اگر این مدار را به سمت اولیه ارجاع دهیم به شکل جدید زیر رسم می‌شود.



که در آن مقادیر به ترتیب می‌باشند. $R_2 = a^2R_R, x_2 = a^2x_{R_m}$ $R_1 = R_s, V_1 = V_s, x_1 = x_s$

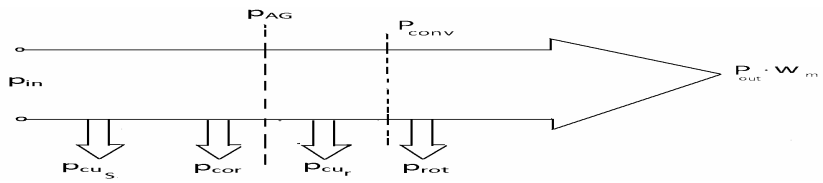
ـ کوپلاژ دو موتور القایی به صورت سری با منبع تغذیه مشترک:

$$n_s = \frac{120 f_s}{P_1 \pm P_2}$$

کوپلاژ دو موتور القایی با دو منبع تغذیه مختلف و تعداد قطب برابر: $n_s = \frac{120(f_1 \pm f_2)}{P}$

+: اگر شار هم جهت باشند. -: اگر شار خلاف جهت هم باشند.

توان در موتور القایی:



$P_{out} = T_{Load}.\omega_m$

یادداشت:

.....

.....

.....

.....

P_{AG} = توان تحویلی سه فاز از فاصله هوایی به روتور = $\boxed{P_{in} - P_{cu_s} - P_{core} = 3I_2^2(\frac{R_2}{s})}$

$\boxed{P_{cu_R} = 3I_2^2R_2}$ تلفات سه فاز روتور $\qquad \boxed{P_{cu_s} = 3I_2^2R_2}$ $\qquad$ توان تحویلی $\boxed{: P_{conv} = P_{AG} - P_{Cu_R} = 3I^2R_2(\frac{1-S}{S}) = T_{ind}.\omega_m}$

$\boxed{T_{ind} = T_{Load} + T_{rot}}$, $\boxed{P_{rot} = (T_{ind} - T_{Load})\omega}$ $\qquad$ $\boxed{P_{conv} = (1-S)P_{AG} = T_{ind}.\omega_m \, , P_{AG} = \frac{T_{ind}.\omega_m}{1-S}}$

بازده:

$$\boxed{\xi = \frac{P_{out}}{P_{out} + P_{cu_R} + P_{core} + P_{cu_s} + P_{rot}} = \frac{P_{out}}{P_{AG} + P_{core} + P_{cu_s}}}$$

نکته: اگر $P_{rot} = P_{core} = 0$ و $R_1 = R_2$ باشد. $\boxed{\xi = \frac{1-S}{1+S}}$

اگر علاوه بر موارد نکته فوق $\boxed{P_{cu_s} = 0}$ باشد. $\boxed{\xi = 1 - S}$

تذکر: با توجه به روابط فوق به پارامترهای R_2 و x_2 و... توجه کنید که در قبل توضیح داده شده است.

گشتاور القایی (T_{ind}):

$\boxed{P_{AG} = T_{ind}.\omega_S = 3I_2^2R_2}$ $\qquad$ $\boxed{T_{ind} = \frac{3R_2I_2^2}{\omega_S} = \frac{3}{\omega_s}\frac{R_R}{S}\frac{V_1^2}{(R_s + \frac{R_R}{S})^2 + (x_s + x_R)^2}}$

$\boxed{T_m = \pm\frac{3}{2\omega_s}\frac{V_1^2}{(\sqrt{R_s^2 + (x_s + x_R)^2}) + R_s}}$ گشتاور ماکزیمم $\qquad$ $\boxed{S_m = \pm\frac{R_R}{\sqrt{R_S^2 + (x_s + x_R)^2}}}$ لغزش ماکزیمم

+ : حالت موتوری $\qquad$ - : حالت ژنراتوری

نکته: اگر از مقاومت استاتور صرفنظر کنیم و در گشتاور T_e، لغزش S و در گشتاور ماکزیمم T_{max} لغزش S_{max} باشد رابطه زیر برقرار است.

$$\boxed{\frac{T_e}{T_{max}} = \frac{2}{\frac{S_{max}}{S} + \frac{S}{S_{max}}}}$$

یادداشت:

.....

.....

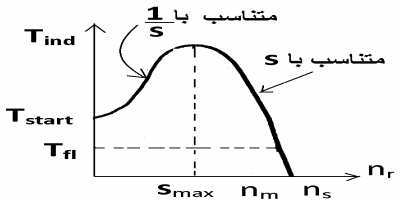
.....

.....

ررسی گشتاور در حالات زیر:

۱ـ در هنگام راه اندازی: $\boxed{T_{ind}\alpha V_1^2\alpha R_2\alpha\frac{1}{S}}$ $\boxed{n_m=0\rightarrow S=1}$

۲ـ در سرعت بار کامل (سرعت سنکرون): $\boxed{T_{ind}\alpha V_1^2\alpha\frac{1}{R_2}\alpha S}$ $\boxed{n_m=n_s\rightarrow S=0}$

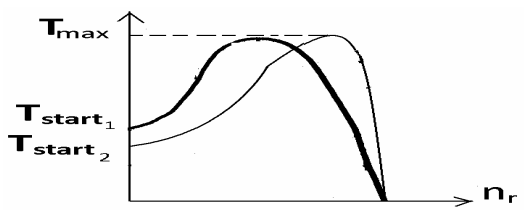


شرط ماکزیمم بودن P_{AG}: $\boxed{S_{max}=\frac{R_2}{\sqrt{R_1^2+(x_2+x_1)^2}}}$

رابطه فوق نشان می‌دهد که S_{max} با مقاومت روتور متناسب است.

اثر مقاومت روتور:

به دلیل جریان راه اندازی بالا به واسطه لغزش $S=1$ مقاومتی به روتور اضافه می‌شود تا جریان راه اندازی کاهش یابد این عمل تبعات زیر را به همراه دارد.



۱ـ گشتاور راه اندازی بیشتر می‌شود.

۲ـ جریان راه اندازی کاهش می‌یابد $\boxed{\frac{S_1}{S_2}=\frac{R_{R_1}}{R_{R_2}}}$

۳ـ توان کمتری از فاصله هوایی به روتور انتقال می‌یابد.

۴ـ ضریب توان افزایش می‌یابد.

یادداشت:

.....

.....

.....

.....

آزمایشات موتور القایی:

۱ـ آزمایش بی‌باری (مدار باز):

در این آزمایش موتور القایی آزادانه می‌چرخد در این حالت سرعت روتور نزدیک به سرعت سنکرون می‌باشد.

$\boxed{P_{rot} = 3(P_{nL} - R_1 I_{nL}^2)}$ تلفات گردشی $\boxed{Z_{nL} = \frac{V_{nL}}{I_{nL}}}, \boxed{R_{nL} = \frac{P_{nL}}{I_{nL}^2}}, \boxed{x_{nL} = \sqrt{Z_{nL}^2 - R_{nL}^2}}$

هدف: با استفاده از آزمایش بی‌باری x_{nL} و P_{rot} بدست می‌آید.

۲ـ آزمایش روتور قفل شده (بلوکه شده):

در این آزمایش محور روتور، قفل شده و مقادیر ولتاژ و جریان و توان اندازه‌گیری می‌شود.

$\boxed{R_{BR} = R_1 + R_2}, \boxed{x_{BR} = x_1 + x_2}$ $\boxed{Z_{BR} = \frac{V_{BR}}{I_{BR}}}, \boxed{R_{BR} = \frac{P_{BR}}{I_{BR}^2}}, \boxed{X_{BR} = \sqrt{Z_{BR}^2 - R_{BR}^2}}$

۳ـ آزمایش DC:

در آزمایش روتور قفل شده $R_1 + R_2$ بدست می‌آید ولی در این آزمایش R_1 بدست می‌آید در آزمایش dc به دو سر از سه اتصال موتور ولتاژ dc اعمال می‌کنیم.

اتصال مثلث $\boxed{\frac{2}{3} R_{l_{dc}} = \frac{V_{dc}}{I_{dc}}}$ اتصال ستاره $\boxed{R_{l_{dc}} = \frac{V_{dc}}{2I_{DC}}}$

راه اندازی موتور القایی:

موتور القایی در زمان راه اندازی جریان بسیار زیادی (بین ۵ تا ۱۰ برابر) جریان نامی از شبکه می‌کشد که این جریان علاوه بر آسیب به سیم‌پیچی موتور برای شبکه نیز نامطلوب است. اگر موتور دارای روتور قفسی اتصال کوتاه باشد وسیله راه انداز در مدار استاتور قرار می‌گیرد و در صورتی که موتور دارای روتور سیم‌پیچی شده وسیله راه انداز در مدار روتور قرار گیرد.

نکته: موتورهای القایی را می‌توان با اعمال ولتاژ کامل و یا ولتاژ کم به سرهای استاتور، آن را راه اندازی کرد. گرچه راه اندازی با ولتاژ کم مزیت کاهش جریان راه اندازی را دارد اما چون گشتاور با مجذور ولتاژ اعمالی متناسب است لذا گشتاور راه اندازی کاهش قابل توجهی خواهد داشت.

یادداشت:

.....

.....

.....

.....

الف) راه اندازی موتورهای روتور قفسی:

۱ـ اتصال مستقیم به شبکه بدون استفاده از راه انداز:

$$\frac{T_S}{T}=\left(\frac{I_{2S}}{I_{2F}}\right)\frac{S}{1}$$

رابطه مقابل در این حالت برقرار است. که در آن I_{2F} جریان بار کامل و I_{2S} جریان راه اندازی روتور می‌باشد.

و برای اتصال مستقیم $I_{St}=I_{Sc}$ و $I_{Sc}=\frac{V_1}{Z_1}$ که Z_1 امپدانس ارجاع شده به سمت استاتور می‌باشد.

۲ـ راه اندازی با مقاومت در استاتور:

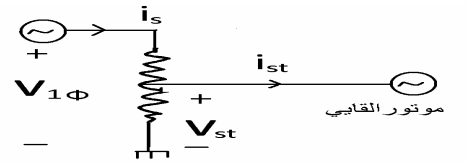
از آنجائیکه جریان با ولتاژ اعمالی به موتور و گشتاور با مجذور ولتاژ نسبت مستقیم دارد می‌توان با کاهش ولتاژ اعمالی، جریان نیز کاهش می‌یابد اما گشتاور آن با نسبت مجذور کاهش می‌یابد.

در این روش با قرار دادن مقاومت، کسر x از ولتاژ اعمالی روی استاتور قرار می‌گیرد و روابط زیر برقرار است.

$$\frac{T_s}{T}=\left(\frac{I_s}{I_f}\right)S=x^2\left(\frac{I_{sc}}{I_f}\right)S$$

$$I_{St}=x\frac{V_1}{Z_1}=xI_{sc}$$

۳ـ راه اندازی با استفاده از اتوترانسفورمر:



$$\frac{V_{start}}{V_{1\varphi}}=x \quad 0<x<1$$

$$I_{start}=\frac{V_{st}}{Z_1}=x\frac{V_{1\varphi}}{Z_1}=x\frac{V_1}{Z_1}$$

$$\frac{T_{start}}{T_{fL}}=\left(\frac{I_{start}}{I_{fL}}\right)^2 S_{fL}=x^2\left(\frac{I_{sc}}{I_{fL}}\right)S_{fL}$$

$$I_{start}=xI_{sc}$$

I_s: جریان کشیده شده از منبع

T_{start_1}: گشتاور راه اندازی با استفاده اتوترانسفورمر

T_{start_2}: گشتاور راه‌اندازی در حالت مستقیم

$$\frac{T_{start_2}}{T_{start_1}}=x^2$$

I_s: جریان کشیده شده از منبع

T_{start_1}: گشتاور راه اندازی با استفاده اتوترانسفورمر

T_{start_2}: گشتاور راه‌اندازی در حالت مستقیم

$$\frac{T_{start_2}}{T_{start_1}}=x^2$$

$$I_s=xI_{start}\ ,I_{start}=xI_{sc}\Rightarrow I_S=x^2I_{sc}$$

یادداشت:

.....

.....

.....

.....

۴ـ استفاده از کلید ستاره مثلث:

این حالت دقیقاً به مانند حالت اتوترانسفورمر با تب $\boxed{x = \frac{1}{\sqrt{3}}}$ می‌باشد.

ژنراتور القایی:

اگر سرعت ماشین القایی بیشتر از سرعت سنکرون باشد ماشین به ژنراتور تبدیل می‌شود.

$0 < S \le 1$ حالت موتوری $T_{ind} > 0$ و $n_m > 0$

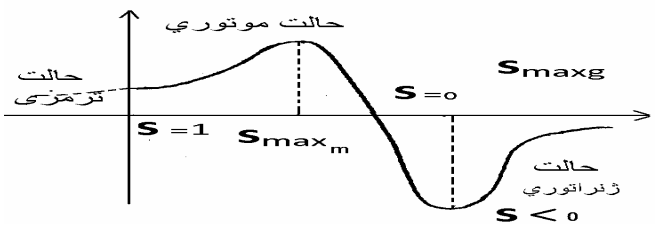
$S < 0$ حالت ژنراتوری $T_{ind} < 0$ و $n_m > 0$

حالت ترمزی $T_{ind} > 0$ و $n_m < 0$

موتور القایی $\boxed{n_m < n_s}$

ژنراتور القایی $\boxed{n_m > n_s}$

درحالت ژنراتوری $\boxed{S = \frac{n_s - n_m}{n_s} = 1 - \frac{n_m}{n_s} < 0}$



شرط بیشینگی گشتاور در ژنراتور القایی:

حالت ماکزیمم گشتاور ماکزیمم در ژنراتور القایی مانند موتور القایی می‌باشد با این تفاوت حالت منفی را باید در نظر گرفت.

$$\boxed{S_{max_g} = -\frac{R_R}{\sqrt{R_s^2 + (x_s + x_R)^2}}}$$

$$\boxed{T_{max_g} = \frac{-3V_1}{2\omega_s\left(R_s + \sqrt{R_s^2 + (x_s + x_R)^2}\right)}}$$

هارمونیک‌ها در ماشین القایی:

۱ـ هارمونیک‌های زمانی: $\boxed{h = 6m \pm 1}$ $\boxed{I_s = I_{1m}\cos(\omega_s t + \theta_1) + I_{m_5}\cos 5(t + \theta_5) + ...}$

- حالت مثبت شار موافق با شار اصلی تولید می‌کند.
- حالت منفی شار مخالف با شار اصلی تولید می‌کند.

لغزش در هارمونیک $\boxed{S_h = \frac{n_s - n_h}{n_s}}$

۲ـ هارمونیک‌های مکانی:

هارمونیک‌های مکانی ناشی از پراکندگی فازهای روتور می‌باشد.

یادداشت:

حالت‌های مثبت و منفی مانند فوق می‌باشد. $\boxed{h = 6m \pm 1}$

.....

.....

.....

.....

مسائل تکمیلی فصل چهارم

۱ـ در یک موتور القایی قفس سنجابی دوبل، امپدانس قفس‌های داخلی و خارجی به‌ترتیب برابر $Z_i = 0.04 + j3\Omega$, $Z_o = 0.1 + j0.5\Omega$ در هر فاز می‌باشد. اندازه گشتاور تولیدی قفس داخلی در لغزش $S = 0.05$ چند برابر گشتاور تولیدی قفس بیرونی است؟

۱) 0.176 ۲) 3.52 ۳) 0.528 ۴) 0.66

حل: گزینه ۱ درست است.

$$Z_i^2 = \left(\frac{0.04}{S}\right)^2 + 3^2 = \frac{1.6\times10^{-3}}{S^2} + 9 \quad , \quad P_i = I_i^2 \frac{R_i}{S}$$

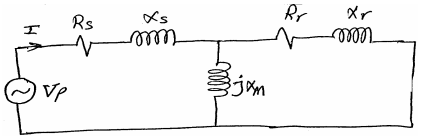
$$Z_o^2 = \left(\frac{0.1}{S}\right)^2 + (0.5)^2 = \frac{0.01}{S^2} + 0.25 \quad , \quad P_0 = I_o^2 \frac{R_o}{S}$$

$$\Rightarrow \quad \frac{T_i}{T_o} = \left(\frac{I_i}{I_o}\right)^2 \frac{R_i}{R_o} = \left(\frac{Z_o}{Z_i}\right)^2 \frac{R_i}{R_o} = \left(\frac{\frac{0.01}{(0.05)^2} + 0.25}{\frac{1.6\times10^{-3}}{(0.05)^2} + 9}\right)\left(\frac{0.04}{0.1}\right) = \frac{4.25}{9.64}\times 0.4 \quad \Rightarrow \quad \frac{T_i}{T_o} \simeq 0.176$$

۲ـ یک ماشین القایی که نسبت تعداد دور استاتور به رتور آن 6 است، دارای پارامترهای رتور معادل $R_2 = 0.2\Omega$, $X_2 = 0.3\Omega$ می‌باشد و پارامترهای استاتور $X_s = 1.2\Omega$ و $R_s = 1.8\Omega$ است. بازای شبکه 400V اگر موتور به فرم ستاره متصل شده باشد، چه جریانی از شبکه دریافت می‌کند؟ $(X_m = \infty)$

۱) $15.39\angle -53^\circ$ ۲) $15.39\angle +53^\circ$ ۳) $12.85\angle -37^\circ$ ۴) $12.85\angle +37^\circ$

حل: گزینه ۱ درست است.



$$R'_r = R_r\left(\frac{N_s}{N_r}\right)^2 = 0.2(6)^2 = 7.2\Omega \qquad X'_r = X_r\left(\frac{N_s}{N_r}\right)^2 = 0.3(6)^2 = 10.8\Omega$$

$$I = \frac{V_p}{R_s + R'_r + X_s + X'_r} = \frac{\frac{400}{\sqrt{3}}}{1.8 + 7.2 + j10.8 + j1.2} = \frac{400}{15\sqrt{3}\angle 53^\circ} = 15.39\angle -53^\circ$$

یادداشت:

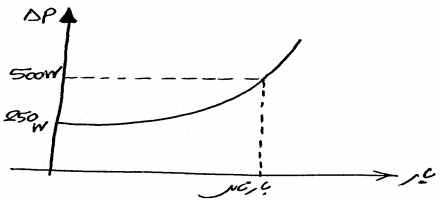
.....

.....

.....

.....

۳ ـ نمودار تغییرات تلفات در یک موتور القایی با توان $8\,kW$ نشان داده شده است. اگر این موتور در ضریب قدرت $\frac{\sqrt{3}}{2}$ و ولتاژ خط $400\,V$ کار کند، چه جریانی در هر فاز آن ایجاد می‌گردد؟ (اتصال مثلث و بار موتور بار نامی است).



۱) $14.16\,A$

۲) $8.18A$

۳) $12.52A$

۴) $10.3A$

حل: گزینه ۲ درست است.

$$\Delta P = 500\,W \qquad P_1 = P_2 + \Delta P = 8500\,W$$

$$I_L = \frac{P_1}{\sqrt{3}\,u_L.\cos\varphi} = \frac{8500}{\sqrt{3}\,(400)\left(\frac{\sqrt{3}}{2}\right)} = \frac{8500}{600} = 14.16A \quad \rightarrow \quad I_p = \frac{I_L}{\sqrt{3}} = \frac{14.16}{\sqrt{3}} = 8.18\,A$$

۴ ـ نسبت گشتاور راه‌اندازی به گشتاور ماکزیمم در یک موتور القایی چقدر است؟ $\begin{cases} X_r = 0.5\Omega \;\; , \;\; R_r = 1\Omega \\ X_s = 1\Omega \;\; , \;\; R_s = 4\Omega \end{cases}$ **و** $n_m = 900\,Rpm$

$n_s = 1000\,Rpm$ است. دور سیم‌پیچی استاتور 2 برابر رتور است.

۱) 0.98 ۲) 0.975 ۳) 0.97 ۴) 0.95

حل: گزینه ۲ درست است.

$$S_{max} = \frac{R'_r}{\sqrt{R_s^2 + \left(X_s + X'_r\right)^2}} = \frac{1\left(\frac{2}{1}\right)^2}{\sqrt{4^2 + \left(1 + 0.5\left(\frac{2}{1}\right)^2\right)^2}} = \frac{4}{\sqrt{16+9}} = \frac{4}{5} = 0.8$$

$$S = \frac{n_s - n_m}{n_s} = \frac{1000-900}{1000} = 0.1 \qquad \frac{T_S}{T_M} = \frac{2S_M}{S_M^2 + 1} = \frac{2(0.8)}{(0.8)^2 + 1} = \frac{1.6}{1.64} = 0.975$$

۵ ـ محور یک موتور القایی 50 هرتز، 8 قطب را به یک موتور شنت dc بدون تلفاتی متصل نموده‌ایم. سرعت محور موتور dc برابر $500rpm$ می‌باشد، اگر به یک‌باره یک مقاومت خارجی را در مدار شنت موتور dc وارد کنیم به‌طوری که شار میدان تحریک نصف حالت قبل گردد، آن‌گاه حالت عملکردی، جهت چرخش محور و مقدار سرعت موتور القایی چقدر خواهند شد؟

۱) حالت ترمزی، هم‌جهت با میدان دوار استاتور، 500 دور در دقیقه

۲) حالت ژنراتوری، خلاف جهت میدان دوار استاتور، 1000 دور بر دقیقه

۳) حالت ترمزی، خلاف جهت میدان دوار استاتور، 1000 دور بر دقیقه

۴) حالت ژنراتوری، هم‌جهت با میدان دوار استاتور، 1000 دور بر دقیقه

یادداشت:

.....

.....

.....

.....

حل: گزینه ۴ درست است.

$$\frac{E_{a_2}}{E_{a_1}}=\frac{V}{V}=\frac{\phi_2}{\phi_1}.\frac{N_2}{N_1} \quad , \quad (N_1=500\,\text{rpm}) \Rightarrow N_2=1000\,\text{rpm} \qquad \phi_2=0.5\phi_1$$

$$S_1=\frac{N_s-N_{m_1}}{N_s} \quad , \quad N_s=\frac{120\times 50}{P}=750\,\text{rpm}=\frac{750-500}{750}=\frac{1}{3}$$

حالت عملکردی ژنراتوری است.

$$S_2=\frac{N_s-N_{m_2}}{N_s}=\frac{750-1000}{750}=-\frac{1}{3}=-0.33<0$$

۶ـ یک موتور القایی وقتی از منبع سه فاز $50\,\text{Hz}/400\,\text{V}$ تغذیه می‌شود در فرکانس لغزش $2\,\text{Hz}$ کار می‌کند. در این وضعیت لغزش گشتاور ماکزیمم برابر 0.1 می‌باشد. برای همان گشتاور تولیدی فرکانس لغزش را وقتی با منبع سه فاز $25\,\text{Hz}/300\,\text{V}$ کار می‌کند پیدا کنید؟ از مقاومت ظاهری استاتور صرف‌نظر کرده و مشخصه گشتاور لغزش را بین گشتاور صفر و حداکثر در منطقه کار خطی فرض کنید.

۱) $\frac{5}{6}$ ۲) $\frac{3}{7}$ ۳) $\frac{7}{9}$ ۴) $\frac{8}{9}$

حل: گزینه ۴ درست است.

$$T_{em}\alpha\frac{V^2}{f^2} \quad , \quad Sm_2=\frac{R_2}{x_2} \qquad \frac{S_{mT_2}}{0.1}=\frac{50}{25} \Rightarrow S_{mT_2}=0.2$$

شیب دو نقطه گشتاور ماکزیمم و بار کامل یکسان است.

$$\frac{T_{f\ell}}{S_{fe}}=\frac{T_m}{S_{mT}} \Rightarrow T_{f\ell}\alpha\frac{V^2}{f^2}.\frac{S_{f\ell}}{S_{mT}} \quad T_{f\ell_1}=T_{f\ell_2} \Rightarrow \frac{V_1^2}{f_1^2}.\frac{S_{f\ell_1}}{S_{mT_1}}=\frac{V_2^2}{f_2^2}.\frac{S_{f\ell_2}}{S_{mT_2}}$$

$$\frac{400^2}{50}\times\frac{0.04}{0.1}=\frac{300^2}{25^2}\times\frac{S_{f\ell_2}}{0.2} \Rightarrow S_{f\ell_2}=\frac{2\times 8^2\times 0.04}{12^2}=\frac{8\times 0.04}{9} \quad \rightarrow f_2=\frac{8\times 0.04}{9}\times 25=\frac{8}{9}$$

۷ـ در یک موتور القایی قفس سنجابی دوبل، امپدانس قفس‌های داخلی و خارجی به ترتیب برابر: $Z_i=0.04+j3$ و $Z_0=0.1+j0.5$ در هر فاز می‌باشد. در چه لغزشی گشتاورهای تولیدی از دو قفس با هم برابر خواهد شد؟

۱) $s=0.016$ ۲) $s=0.32$ ۳) $s=0.048$ ۴) $s=0.082$

حل: گزینه ۱ درست است.

$$Z_i^2=\left(\frac{0.04}{s}\right)^2+3^2=\frac{1.6\times 10^{-3}}{s^2}+9 \quad , \; P_i=I_i^2\frac{R_i}{s} \qquad Z_0^2=\left(\frac{0.1}{s}\right)^2+(0.5)^2=\frac{0.01}{s^2}+0.25 \quad , \; P_o=I_o^2\frac{R_o}{s}$$

$$\Rightarrow\frac{T_i}{T_o}=\left(\frac{I_i}{I_0}\right)^2\frac{R_i}{R_0}=\left(\frac{Z_o}{Z_i}\right)^2\frac{R_i}{R_0}=1 \qquad \Rightarrow\frac{\frac{0.01}{s^2}+0.25}{\frac{1.6\times 10^{-3}}{s^2}+9}\times\frac{0.04}{0.1}=1\Rightarrow\frac{0.01}{s^2}+0.25=2.5\left(\frac{1.6\times 10^{-3}}{s^2}+9\right)$$

یادداشت:

.....

.....

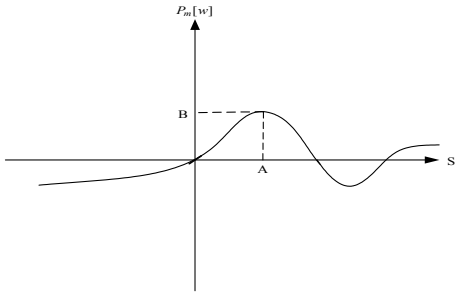
.....

.....

$$\Rightarrow \frac{0.01}{s^2}+0.25=\frac{0.004}{s^2}+22.5 \Rightarrow \frac{0.006}{s^2}=22.25 \Rightarrow s^2=2.7\times10^{-4} \Rightarrow s\cong 0.016$$

لذا گزینه ۱ صحیح است.

۸ـ یک موتور القایی دارای ولتاژ $V_1=220V_2$ می‌باشد که V_1 ولتاژ اعمالی به استاتور و r_2 مقاومت مدار روتور و X_2 راکتانس پراکندگی روتور در حالت سکون می‌باشد. اگر $X_2=2\sqrt{2}\,r_2$ باشد نقاط B,A در شکل زیر کدام است؟



۱) $6.6\,kw\ ,\ \frac{1}{2}$

۲) $6.6\,kw\ ,\ \frac{1}{4}$

۳) $8.8\,kw\ ,\ \frac{1}{6}$

۴) $8.8\,kw\ ,\ \frac{1}{8}$

حل: گزینه ۲ درست است.

$$A=S_{mp}=\frac{r_2}{\sqrt{r_2^2+x_2^2}+r_2}=\frac{r_2}{\sqrt{r_2^2+8r_2^2}+r_2}=\frac{1}{4}$$

$$B=p_m(max)=\frac{3\times22^2100\times r_2^2}{2\left[r_2\sqrt{r_2^2+8r_2^2}+8r_2^2\right]}=\frac{3\times22\times22\times100\times r_2^2}{2\left[3r_2^2+8r_2^2\right]}=3\times22\times100=6.6\,kw$$

۹ـ در یک موتور القایی سه فاز $400\ V$ ، 6 قطب و $60\ Hz$ روتور سیم‌پیچی شده مقاومت و راکتانس هر فاز روتور در حال سکون به ترتیب برابر 0.02Ω و 0.1Ω می‌باشد. جهت این که در لحظه راه‌اندازی ماکزیمم گشتاور را داشته باشیم لازم است مقاومت خارجی در مدار روتور قرار گیرد. اگر این مقاومت از مدار روتور خارج نشود. گشتاور حالت کار نامی ماشین در لغزش 0.04 چقدر می‌باشد؟

۱) $\frac{4\times10^5}{\pi}$ ۲) $\frac{5\times10^5}{\pi}$ ۳) $\frac{10^6}{\pi}$ ۴) $6\pi\times10^4$

حل: گزینه ۳ درست است.

$$S_{max}=1\Rightarrow\frac{R'_r+R_{ex}}{\sqrt{0^2+\left(0+x'_r\right)^2}}=1\Rightarrow\frac{0.2+R_{ex}}{0.1}=1\Rightarrow R_{ex}=0.08\Omega$$

$$\omega_s=\frac{4\pi f}{\rho}=\frac{4\pi\times60}{6}=40\,\pi \quad\rightarrow\quad T_e=\frac{3}{40\pi}\times\frac{\left(\frac{400}{\sqrt{3}}\right)^2}{(0.1)^2}\times\frac{0.1}{0.04} \quad\rightarrow\quad T_e=\frac{10^6}{\pi}$$

یادداشت:

.....

.....

.....

.....

۱۰ ـ یک ماشین القایی سه‌فاز $1000\sqrt{3}, 50\,Hz$ ولت، 4 قطب، با اتصال ستاره به مشخصات زیر مفروض است:

فاز $/0.5\Omega$ = مقاومت روتور **≈ 0 راکتانس نشتی روتور** **$= 2$ نسبت دور استاتور به دور روتور** $\frac{N_s}{N_r} =$

اگر محور این ماشین هنگام ترمز، در خلاف جهت میدان دوار استاتور با سرعت 49π رادیان بر ثانیه چرخیده شود، گشتاور خروجی موتور در حالت کار پایدار چند نیوتن متر است؟ از تلفات مکانیکی ماشین صرف‌نظر می‌شود؟

۱) $\frac{150}{\pi}\,N.m$ ۲) $\frac{300}{\pi}\,N.m$ ۳) $\frac{450}{\pi}\,N.m$ ۴) $\frac{600}{\pi}\,N.m$

حل: گزینه ۴ درست است.

همانطور که در صورت سوال ذکر شده است یک وضعیت ترمزی تشریح شده است به‌عبارت دیگر داریم:

$$\begin{cases} S_b = \dfrac{\omega_s + \omega_m}{\omega_s} = \dfrac{50\pi + 49\pi}{50\pi} = 1.98 \Rightarrow S_b = 2 - S_{f\ell} \Rightarrow S_{f\ell} = 2 - S_b = 0.02 \\ \omega_s = \dfrac{4\pi \times 50}{4} = 50\pi \\ \omega_m = 49\pi \end{cases}$$

از این رو داریم:

$$T_{f\ell} = \frac{3}{\omega_s}\,\frac{V_1^2}{r_2'}.s = \frac{3}{50\pi}.\frac{\left(\frac{1000\sqrt{3}}{\sqrt{3}}\right)^2}{4 \times 0.5} \times 0.02$$

$$= \frac{3}{50\pi} \times \frac{10^6 \times 10^{-2} \times 2}{4 \times 0.5} = \frac{600}{\pi}\,N.m$$

۱۱ ـ یک موتور القایی سه‌فاز $60\,Hz, 440\,v$ را با منبع سه‌فاز $30\,Hz, 220\,V$ تحریک می‌کنیم. نسبت جریان‌های گشتاور ماکزیمم حالت اول به دوم و نسبت گشتاورهای حداکثر حالت اول به دوم چه اعدادی هستند؟ از مقاومت اهمی مدار استاتور چشم‌پوشی کنید.

۱) نسبت جریان‌ها $\frac{1}{2}$ و نسبت گشتاورها 1

۲) نسبت جریان‌ها $\frac{1}{2}$ و نسبت گشتاورها $\frac{1}{2}$

۳) نسبت جریان‌ها 1 و نسبت گشتاورها $\frac{1}{2}$

۴) باتوجه به ثابت‌ماندن نسبت $\frac{v}{f}$ نسبت جریان‌ها و گشتاورهای حداکثر تغییری نمی‌کنند.

یادداشت:

.....

.....

.....

.....

حل: گزینه ۴ درست است.

$$\frac{T_{m_1}}{T_{m_2}} = \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^2 \left(\frac{f_2}{f_1}\right)^2 = \left(\frac{440}{220}\right)^2 \left(\frac{30}{60}\right)^2 = 1$$

$$I = \frac{V}{Z(S_{mT})} = \frac{V}{\frac{r'_2}{S_{mT}} + x_1 + x'_2} = \frac{V}{x'_2 + x_1 + x'_2} \alpha \frac{V}{f} \quad \rightarrow \quad \frac{I_1}{I_2} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)\left(\frac{f_2}{f_1}\right) = \left(\frac{440}{220}\right)\left(\frac{30}{60}\right) = 2 \times \frac{1}{2} = 1$$

۱۲ ـ یک موتور قفس سنجابی سه‌فاز با جریان و ولتاژ نامی 40A و 400V در هنگام راه‌اندازی با ولتاژ اسمی، جریانی برابر $6\sqrt{3}$ برابر جریان نامی از منبع می‌کشد و با گشتاور معادل چهار برابر گشاور نامی راه‌اندازی می‌گردد. توسط یک اتوترانسفورماتور سه‌فاز با اتصال مثلث و ایده‌آل با کاهش ولتاژ، گشتاور راه‌اندازی را برابر گشتاور نامی می‌کنیم. در این حالت جریان خط اتوترانس چقدر می‌باشد؟

۱) 100 ۲) 120 ۳) 150 ۴) 180

حل: گزینه ۴ درست است.

$$T_{st}(pu) = x^2 T_{st_1}(pu) \Rightarrow x^2 = \frac{1}{4}$$

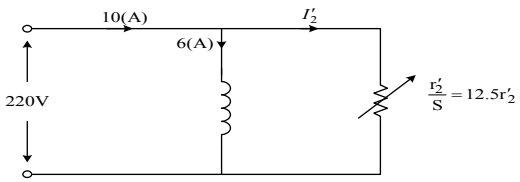
$$\text{جریان در ثانویه اتوترانس} = xI_{sc} = \frac{1}{2} \times 6\sqrt{3} \times 40$$

$$\text{جریان در اولیه اتوترانس} = x^2 I_{Sc}.\sqrt{3} = \frac{1}{4} \times 6\sqrt{3} \times 40 \times \sqrt{3} = 10 \times 6 \times 3 = 180$$

۱۳ ـ یک موتور القایی سه‌فاز 50 هرتز، چهارقطب با ولتاژ فاز ـ فاز $220\sqrt{3}$ ولت دارای جریان بی‌باری 6 آمپر و جریان خط در بار کامل 10 آمپر است. از مقاومت سیم‌پیچی استاتور، راکتانس نشتی (پراکندگی) استاتور و روتور، تلفات هسته و تلفات گردشی چشم‌پوشی می‌گردد. چنانچه عدد لغزش در شرایط نامی معادل 0.08 باشد مطلوبست محاسبه توان اکتیو ورودی به رتور.

۱) 5840 وات ۲) 4390 وات ۳) 5280 وات ۴) 4680 وات

حل: گزینه ۳ درست است.



$$I'_2 = \sqrt{10^2 - 6^2} = 8(A)$$

$$\frac{r'_2}{S} = \frac{r'_2}{0.08} = 12.5r'_2 \Rightarrow r'_2 = \frac{220}{12.5 \times 8} = 2.2\Omega$$

$$P_{ag} = 3r'_2 \frac{I'^2_2}{S} = 3 \times 2.2 \times \frac{8^2}{0.08} = 5280(w)$$

یادداشت:

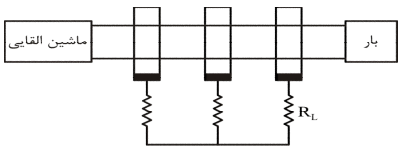
.....

.....

.....

.....

۱۴ ـ در یک ماشین القایی سه فاز 50 Hz چهار قطبی با روتور سیم‌پیچی شده، سر سیم‌پیچ‌های روتور مطابق شکل به سه مقاومت مساوی R_L وصل شده است، بر روی محور یک بار نیز قرار داده شده است. با فرض ناچیز بودن تلفات ماشین در یک وضعیت کاری توان رسیده به بار 1.5 برابر توان جذب شده توسط مقاومت‌های R_L می‌باشد. ماشین در چه ناحیه‌ای کار می‌کند و سرعت روتور در چه جهتی و چقدر است؟



۱) ناحیه ژنراتوری سرعت 1480 (در جهت میدان استاتور)
۲) ناحیه موتوری، سرعت 850 rpm (در جهت میدان استاتور)
۳) ناحیه ترمزی سرعت 750 rpm (در خلاف جهت میدان استاتور)
۴) ناحیه موتوری در سرعت 900 rpm (در جهت میدان استاتور)

حل: گزینه ۴ درست است.

در این مسئله:

$$p_m = p_0 = 1.5 p_2^*$$

در حالت کلی داریم:

$$Sp_m = (1-s)p_2^* \Rightarrow p_m = \frac{1-s}{s} p_2^* \Rightarrow \frac{1-s}{s} = 1.5$$

$$1-s = 1.5s \Rightarrow 1 = 1.25s \Rightarrow s = 0.4 \rightarrow \text{ناحیه موتوری} \longrightarrow N_s = 1500 \Rightarrow N_r = 900\,\text{rpm}$$

۱۵ ـ یک موتور القایی سه فاز 50 هرتز 6 قطب موجود است. اگر توزیع هادی‌های موتور به گونه‌ای باشد که هارمونی 3 و 5 و 7 فضایی نیز در فاصله بین رتور و استاتور موجود باشند. در این صورت سرعت نسبی میدان گردشی هارمونیک پنجم و هارمونیک اصلی برابر است با:

۱) 800 ۲) 1000 ۳) 1200 ۴) 6000

حل: گزینه ۳ درست است.

در موتور القایی سه فاز، چنانچه آرایش فضایی هادی‌ها طوری باشد که هارمونیک‌هایی غیر از هارمونیک اصلی در داخل موتور به وجود آید میدان هارمونیک سوم گردشی نخواهد داشت. میدان هارمونیک پنجم با $\frac{1}{5}$ سرعت سنکرون و خلاف جهت سنکرون و میدان هارمونیک هفتم با $\frac{1}{7}$ سرعت سنکرون هم‌جهت سنکرون می‌چرخد.

یادداشت:

.....

.....

.....

.....

$$\text{سرعت هارمونیک پنجم} = \frac{1000}{5} = 200\,\text{rpm} \quad \rightarrow \quad \text{سرعت هارمونیک اصلی} = \frac{120\times 50}{6} = 1000\,\text{rpm}$$

سرعت نسبی میان میدان هارمونیک اصلی و پنجم = $1200\,\text{rpm}$

۱۶ ـ جریان راه اندازی یک موتور القایی سه فاز هنگام راه اندازی 8 برابر جریان آن در بار نامی است. اگر لغزش بار نامی 0.04 باشد و برای راه اندازی این موتور از یک اتو ترانس با نسبت تبدیل $\frac{3}{4}$ استفاده کنیم. آنگاه نسبت گشتاور راه اندازی موتور به گشتاور بار نامی موتور در لغزش 0.04 کدام است؟

۱) 0.96 ۲) 1.44 ۳) 8 ۴) 2.4

حل: گزینه ۲ درست است.

با استفاده از اتوترانس در راه اندازی، جریان راه اندازی با مجذور نسبت تبدیل اتوترانس کاهش می‌یابد. همچنین:

$$\frac{I_s}{I_{f\ell}} = 8 \quad \rightarrow \left(\frac{I_s}{I_{f\ell}}\right)_{new} = \left(\frac{I_s}{I_{f\ell}}\right)^2 \times k^2 = 64\times\frac{3}{4}\times\frac{3}{4} = 36 \qquad \Rightarrow \frac{I_s}{I_{f\ell}} = 6$$

$$\frac{T_s}{T_{f\ell}} = \left(\frac{I_s}{I_{f\ell}}\right)^2 S_{f\ell} \;,\; S_{f\ell} = 0.04 \qquad \Rightarrow \frac{T_s}{T_{f\ell}} = 6^2\times 0.04 = 36\times 0.04 = 1.44$$

۱۷ ـ یک موتور القایی 3 فاز ، 440^{V} , 50^{Hz} ، 4 قطب در سرعت $\frac{27}{32}$ برابر سرعت سنکرون، نصف گشتاور نامی را تولید می‌کند. با ثابت نگه داشتن ولتاژ اعمال شده در مقدار نامی، اگر موتور همان گشتاور را در سرعت 1800 rpm تولید کند، فرکانس آن چقدر خواهد بود؟ هم چنین در لحظه اولیه که فرکانس تغییر می‌کند وضعیت کار ماشین به چه صورتی خواهد بود؟ (از تلفات آهن و کمیات استاتور صرف نظر کنید).

۱) 80 Hz ، حالت موتوری ۲) 50 Hz ، حالت کار ژنراتوری

۳) 76.3 Hz ، حالت ترمزی ۴) 53.7 Hz حالت موتوری

حل: گزینه ۱ درست است.

$$S_1 = \frac{1500 - \frac{27}{32}\times 1500}{1500} = \frac{5}{32} \qquad T_{en} = \frac{3}{\omega_s}\frac{V^2}{r_2}S \propto \frac{3}{f}\frac{V^2}{r_2}.S$$

$$T_{e_1} = \frac{3}{f_1}\frac{V^2}{r_2}S = \frac{3}{50}\frac{V^2}{r_2}\times\frac{5}{32}\; T_{e_2} = \frac{3}{f_2}\frac{V^2}{r_2}.S_2 \;\Rightarrow\; T_{e_1} = T_{e_2} \;\Rightarrow\; \frac{S_2}{f_2} = \frac{1}{320}$$

از طرفی داریم:

$$S_2 = \frac{N_{S_2} - N_{r_2}}{N_{S_2}} = \frac{\frac{120f_2}{4} - 1800}{\frac{120\,f_2}{4}} = \frac{30f_2 - 1800}{30f_2} \quad \rightarrow \quad \frac{30f_2 - 1800}{30f_2}.\frac{1}{f_2} = \frac{1}{320} \;\Rightarrow\; f_2^2 - 320\,f_2 + 19200 = 0$$

$$\rightarrow \quad f_2 = 80\,\text{Hz}$$

یادداشت:

.....

.....

.....

.....

چون فرکانس زیاد شده، حالت کار ماشین، حالت کار موتوری با فرکانس 80 Hz می‌باشد.

۱۸ ـ در یک موتور القایی 3 فاز آسنکرون قفس سنجابی، 380 V ، 4 قطب و فرکانس 50 Hz نسبت $\frac{T_{Max}}{T_{fL}}$ برابر 2.23 می‌باشد. وقتی این موتور با ولتاژ 360V و فرکانس 40 Hz تغذیه شود، نسبت لغزش موتور در گشتاور ماکزیمم (S_{max}) به لغزش موتور در گشتاور نامی تقریباً برابر است با: (T_{max} گشتاور ماکزیمم و T_{fL} گشتاور بار نامی است)

۱) 6 ۲) 7 ۳) 3 ۴) 4

حل: گزینه ۱ درست است.

با صرف‌نظر از امپدانس استاتور:

$$T_{max} \propto \frac{V_s^2}{2x_2\omega_s} \Rightarrow T_{max} \propto \frac{V_s^2}{(f_s)^2}$$

$$\frac{T_{max_1}}{T_{max_2}} = \left[\frac{Vs_1}{Vs_2}\right]^2 \times \left[\frac{fs_2}{fs_1}\right]^2 \Rightarrow \frac{T\,max_2}{T_{FL}} = \left[\frac{Vs_2}{Vs_1}\right]^2 \left[\frac{fs_1}{fs_2}\right]^2 \times \frac{T\,max_1}{T_{FL}}$$

$$\frac{T_{max_2}}{T_{FL}} = \left[\frac{360}{380}\right]^2 \times \left[\frac{50}{40}\right]^2 \times 2.23 = 3.12 \rightarrow \frac{T_{max_2}}{T_{FL}} = \frac{\frac{S_{max_2}}{SFL} + \frac{S_{FL}}{S_{max_2}}}{2} = 3.12 \Rightarrow \frac{S_{max}}{S_{FL}} = 6$$

۱۹ ـ یک موتور القایی 3 فاز 1455 rpm ، بار با گشتاور ثابت را می‌چرخاند در حالتی که ولتاژ منبع 50% افت پیدا می‌کند تلفات اهمی چند برابر و سرعت روتور چند rpm خواهد شد؟

۱) 4 برابر و 1320 ۲) $\frac{1}{4}$ برابر و 1400 ۳) 2 برابر و 1320 ۴) $\frac{1}{2}$ برابر و 1400

حل: گزینه ۱ درست است.

$$S_1 = \frac{1500-1455}{1500} = 0.03 \rightarrow T_e = \frac{3V^2}{\omega_s} \times \frac{S_1}{r_2} \rightarrow T_e = \frac{3V^2}{\omega_S} \times \frac{0.03}{r_2} = \frac{3(0.5V)^2}{\omega_S} . \frac{S_2}{r_2} \Rightarrow S_2 = \frac{0.03}{0.25} = 0.12$$

$$N_2 = 1500(1-0.12) = 1320\,rpm$$

$$\left.\begin{aligned} I_{21} &= \frac{S_1 V}{r_2} = \frac{0.03V}{r_2} \\ I_{22} &= \frac{S_2(0.5V)}{r_2} = \frac{0.12 \times 0.\bar{5}V}{r_2} \end{aligned}\right\} \Rightarrow \frac{I_{22}}{I_{21}} = 2$$

$$\frac{\text{تلفات اهمی با ولتاژ کاهش یافته}}{\text{تلفات اهمی با ولتاژ نرمال}} = \left(\frac{I_{22}}{I_{21}}\right)^2 = 2^2 = 4$$

یادداشت:

.....

.....

.....

.....

۲۰ ـ در یک موتور القایی سه فاز 4 قطب 50 هرتز در ولتاژ و فرکانس نامی گشتاور راه اندازی 2 برابر گشتاور بار کامل و گشتاور حداکثر 4 برابر گشتاور بار کامل است. سرعت نامی این موتور چند rpm است؟

۱) 1250 rpm ۲) 1380 rpm ۳) 1449 rpm ۴) 1340 rpm

حل: گزینه ۳ درست است.

$$\begin{cases}\frac{T_f}{T_m}=\frac{2S_mS_f}{S_m{}^2+S_f{}^2}\\ \frac{T_s}{T_m}=\frac{2S_m}{S_m{}^2+1}\end{cases}\begin{cases}\frac{T_S}{T_f}=2\\ \frac{T_m}{T_f}=4\end{cases}\rightarrow\ \frac{T_s}{T_m}=0.5\rightarrow\frac{2S_m}{1+S_m^2}=0.5\ \Rightarrow\ 0.5S_m{}^2+0.5-2S_m=0$$

$$\Rightarrow\ S_m^2-4S_m+1=0\ \rightarrow\ S_m=0.268\ \text{ق ق}\ \rightarrow\ \frac{T_m}{T_f}=\frac{S_m^2+S_f^2}{2S_mS_f}=4\ \Rightarrow\ S_f=0.034$$

$$\frac{T_m}{T_f}=\frac{S_m^2+S_f^2}{2S_mS_f}=4\ \Rightarrow\ S_f=0.034\rightarrow\ N_S=\frac{120f}{P}=\frac{120\times50}{4}=1500\,\text{rpm}$$

$$\Rightarrow\ N=1500\times(1-0.034)=1449\ \text{rpm}$$

موفقیت به معنای بدست آوردن آن چیزی است که می خواهید

یادداشت:

.....

.....

.....

.....