بسمه تعالی

نمونه سوالات حل شده درس ماشین ۱

تهیه کننده : غلامعلی حیدری
Email : gheydari@yahoo.com

۱- شکل روبرو یک استوانه توخالی با طول h را نشان میدهد. با فرض μ_r=750 در هسته مغناطیسی و R_o=4cm , R_i=3.4cm , N=65 , g=0.2cm , h=2cm مطلوب است:

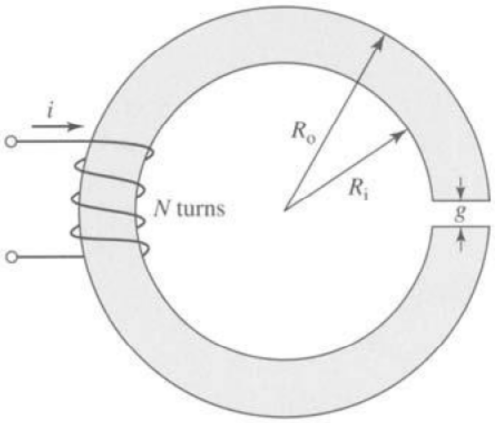
a – طول متوسط و سطح مقطع هسته

b – مقاومت مغناطیسی هسته و فاصله هوا

c – ضریب خود القاء سیم پیچ

d – جریان لازم برای تولید چگالی شار ۱,۳۵ تسلا در فاصله هوا

e – شار پیوند (λ) تولید شده توسط سیم پیچ



$$l_c = (R_o - R_i) - g = 3.57 \quad \text{cm}; \qquad A_c = (R_o - R_i)h = 1.2 \quad \text{cm}^2$$

part (b):

$$\mathcal{R}_g = \frac{g}{\mu_0 A_c} = 1.33 \times 10^7 \quad \text{A/Wb}; \qquad \mathcal{R}_c = \frac{l_c}{\mu A_c} = 3.16 \times 10^5 \quad \text{A/Wb}$$

part (c):

$$L = \frac{N^2}{\mathcal{R}_g + \mathcal{R}_g} = 0.311 \quad \text{mH}$$

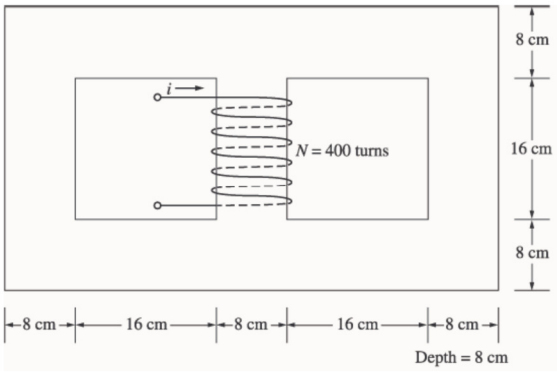
part (d):

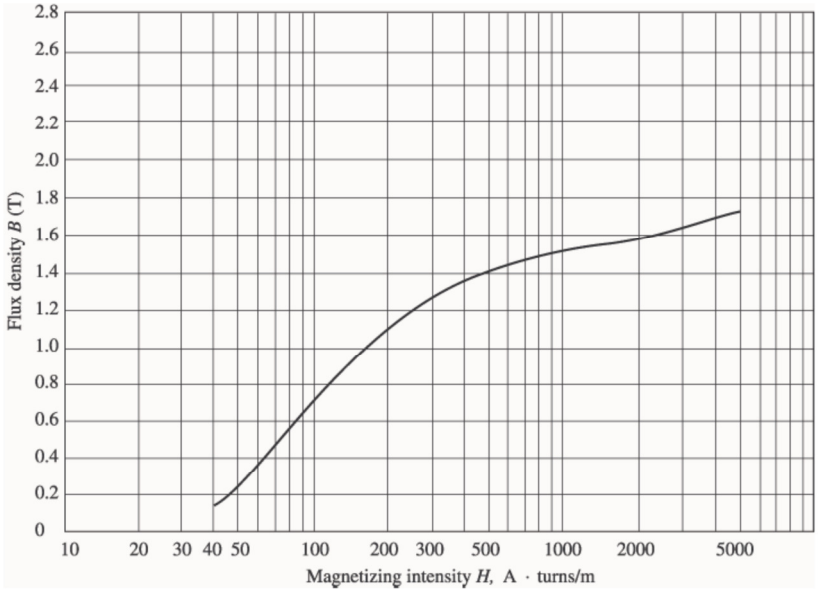
$$I = \frac{B_g(\mathcal{R}_c + \mathcal{R}_g)A_c}{N} = 33.8 \quad \text{A}$$

part (e):

$$\lambda = N B_g A_c = 10.5 \quad \text{mWb}$$

۲- هسته نشان داده شده در شکل زیر دارای مشخصه مغناطیس شوندگی شکل سمت راست است. اگر عمق هسته ۸ cm باشد، جریان لازم برای تولید چگالی شار ۰٫۵ تسلا و ۱ تسلا را بدست آورید.





(a) A flux density of 0.5 T in the central core corresponds to a total flux of

$$\phi_{TOT} = BA = (0.5\ \text{T})(0.08\ \text{m})(0.08\ \text{m}) = 0.0032\ \text{Wb}$$

By symmetry, the flux in each of the two outer legs must be $\phi_1 = \phi_2 = 0.0016\ \text{Wb}$, and the flux density in the other legs must be

$$B_1 = B_2 = \frac{0.0016\ \text{Wb}}{(0.08\ \text{m})(0.08\ \text{m})} = 0.25\ \text{T}$$

The magnetizing intensity H required to produce a flux density of 0.25 T can be found from Figure It is 50 A·t/m. Similarly, the magnetizing intensity H required to produce a flux density of 0.50 T is 70 A·t/m. Therefore, the total MMF needed is

$$\mathcal{F}_{TOT} = H_{center}\ l_{center} + H_{outer}\ l_{outer}$$
$$\mathcal{F}_{TOT} = (70\ \text{A}\cdot\text{t/m})(0.24\ \text{m}) + (50\ \text{A}\cdot\text{t/m})(0.72\ \text{m}) = 52.8\ \text{A}\cdot\text{t}$$

and the required current is

$$i = \frac{\mathcal{F}_{TOT}}{N} = \frac{52.8\ \text{A}\cdot\text{t}}{400\ \text{t}} = 0.13\ \text{A}$$

(b) A flux density of 1.0 T in the central core corresponds to a total flux of

$$\phi_{TOT} = BA = (1.0\ \text{T})(0.08\ \text{m})(0.08\ \text{m}) = 0.0064\ \text{Wb}$$

By symmetry, the flux in each of the two outer legs must be $\phi_1 = \phi_2 = 0.0032\ \text{Wb}$, and the flux density in the other legs must be

$$B_1 = B_2 = \frac{0.0032\ \text{Wb}}{(0.08\ \text{m})(0.08\ \text{m})} = 0.50\ \text{T}$$

The magnetizing intensity H required to produce a flux density of 0.50 T can be found from Figure 1-10*c*. It is 70 A·t/m. Similarly, the magnetizing intensity H required to produce a flux density of 1.00 T is about 160 A·t/m. Therefore, the total MMF needed is

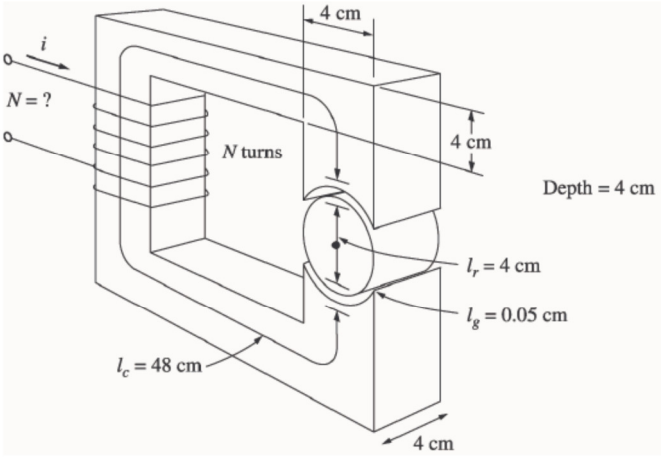
$$\mathcal{F}_{TOT} = H_{center} l_{center} + H_{outer} l_{outer}$$
$$\mathcal{F}_{TOT} = (160 \text{ A} \cdot \text{t/m})(0.24 \text{ m}) + (70 \text{ A} \cdot \text{t/m})(0.72 \text{ m}) = 88.8 \text{ A} \cdot \text{t}$$

and the required current is

$$i = \frac{\phi_{TOT}}{N} = \frac{88.8 \text{ A} \cdot \text{t}}{400 \text{ t}} = 0.22 \text{ A}$$

This current is less *not* twice the current in part *(a)*.

۳- شکل زیر یک موتور الکتریکی ساده را نشان میدهد. فرض کنید سطح مقطع فاصله هوا ۱۸ cm^2 ، عرض هر فاصله هوا mm ۰,۵ ، طول متوسط مسیر شار در روتور ۴ cm ، سطح مقطع روتور ۴ cm^2 و منحنی B-H مانند تمرین ۲ باشد.
سیم پیچ استاتور چند دور داشته باشد تا به ازاء جریانی ۱۰ آمپر چگالی شار استاتور به ۱,۲ تسلا میرسد؟



طول متوسط اجزاء موتور:

$l_{stator} = 0.48m$, $l_{rotor} = 0.04m$, $l_{gap} = 0.0005m$

چون مسیر شار انشعاب ندارد و سطح مقطع روتور و استاتور برابر است، چگالی شار روتور واستاتور برابر میشود:

$\phi = B_{stator}A_{stator} = 1.2 \times 0.04 \times 0.04 = 1.92\ mWb = B_{rotor}A_{rotor} \Rightarrow B_{rotor}=1.2\ T$

طبق منحنی برای روتور و استاتور $\Rightarrow$ 1.2 T $\Rightarrow$ 4560 AT = H_{stator} = H_{rotor}

برای فاصله هوا هم با توجه به سطح مقطع فاصله هوا داریم:

$\phi = B_{stator}A_{stator} = 1.92\ mWb = B_{gap}A_{gap}$, $A_{gap} = 18\ cm^2 \Rightarrow B_{gap} = 1.067T = \mu_0 . H_{gap}$

$\Rightarrow H_{gap}$ = 849092 AT

قانون مداری آمپر $\Rightarrow \Sigma N.I = \Sigma H.l \Rightarrow 10N = H_{stator}.l_{stator} + H_{gap}.l_{gap} + H_{rotor}.l_{rotor} + H_{gap}.l_{gap}$

$\Rightarrow 10.N = 4560 \times 0.48 + 4560 \times 0.04 + 2 \times 849092 \times 0.0005 \Rightarrow N = 322\ Turn$

۴- در شکل رو برو با صرفه نظر از شار پراکندگی:

الف – با فرض بینهایت بودن μ ، چگالی شار در فاصله هوا (B_g) را برحسب I و x محاسبه نمایید.

ب- بند الف ، را با فرض محدود بودن μ تکرار کنید.

ج – با فرض:

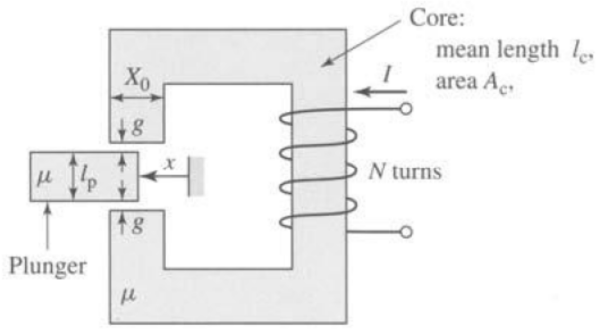
$A_c = 8.2\ cm^2$, $l_c = 23\ cm$, $l_p = 2.8\ cm$,

$g = 0.8\ mm$, $X_0 = 2.5\ cm$, $N = 430$, $\mu = 2800\mu_0$

جریان را در $x=0$ طوری محاسبه کنید که چگالی شار فاصله هوا ۱,۳ تسلا شود.

د – با فرض اینکه ضریب نفوذ پذیری هسته طبق رابطه روبرو با چگالی شار هسته (B_m) رابطه غیر خطی داشته باشد، بند ج را تکرار کنید.

$$\mu = \mu_0 \left(1 + \frac{1199}{\sqrt{1 + 0.05 B_m^8}}\right)$$



قسمت الف و ب:

part (a):

$$H_g = \frac{NI}{2g}; \qquad B_c = \left(\frac{A_g}{A_c}\right) B_g = B_g \left(1 - \frac{x}{X_0}\right)$$

part (b): Equations

$$2gH_g + H_c l_c = NI; \qquad B_g A_g = B_c A_c$$

and

$$B_g = \mu_0 H_g; \qquad B_c = \mu H_c$$

can be combined to give

$$B_g = \left(\frac{NI}{2g + \left(\frac{\mu_0}{\mu}\right)\left(\frac{A_g}{A_c}\right)(l_c + l_p)}\right) = \left(\frac{NI}{2g + \left(\frac{\mu_0}{\mu}\right)\left(1 - \frac{x}{X_0}\right)(l_c + l_p)}\right)$$

قسمت ج :

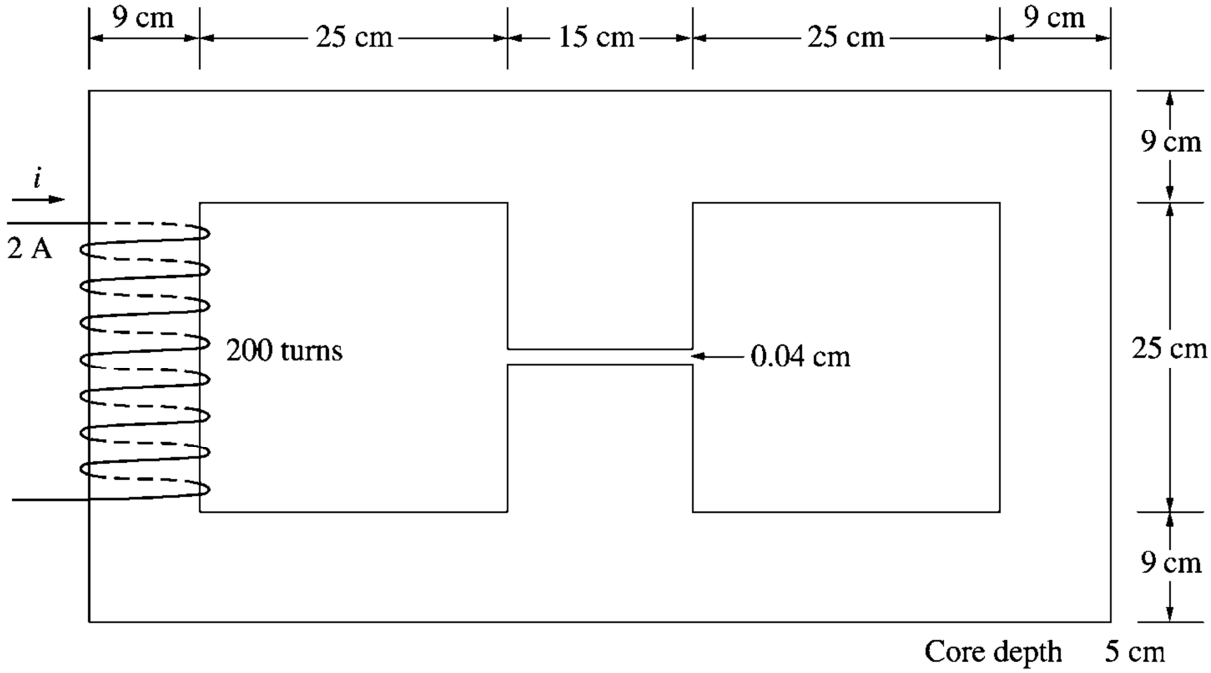
$$I = B\left(\frac{g + \left(\frac{\mu_0}{\mu}\right)(l_c + l_p)}{\mu_0 N}\right) = 2.15 \quad \text{A}$$

قسمت د :

$$\mu = \mu_0 \left(1 + \frac{1199}{\sqrt{1 + 0.05 B^8}}\right) = 1012\,\mu_0$$

$$I = B\left(\frac{g + \left(\frac{\mu_0}{\mu}\right)(l_c + l_p)}{\mu_0 N}\right) = 3.02 \quad \text{A}$$

۵- در شکل روبرو μ_r=1500 و عمق هسته ۵ cm است. چنانچه به خاطر شار پراکندگی در محل فاصله هوا سطح مقطع مؤثر ۴ درصد بیش از سطح مقطع واقعی باشد، شار و چگالی شار را در هر بخش هسته بیابید.



SOLUTION This core can be divided up into four regions. Let $\mathcal{R}_1$ be the reluctance of the left-hand portion of the core, $\mathcal{R}_2$ be the reluctance of the center leg of the core, $\mathcal{R}_3$ be the reluctance of the center air gap, and $\mathcal{R}_4$ be the reluctance of the right-hand portion of the core. Then the total reluctance of the core is

$$\mathcal{R}_{\text{TOT}} = \mathcal{R}_1 + \frac{(\mathcal{R}_2 + \mathcal{R}_3)\mathcal{R}_4}{\mathcal{R}_2 + \mathcal{R}_3 + \mathcal{R}_4}$$

$$\mathcal{R}_1 = \frac{l_1}{\mu_r \mu_0 A_1} = \frac{1.08 \text{ m}}{(1500)(4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m})(0.09 \text{ m})(0.05 \text{ m})} = 127.3 \text{ kA} \cdot \text{t/Wb}$$

$$\mathcal{R}_2 = \frac{l_2}{\mu_r \mu_0 A_2} = \frac{0.34 \text{ m}}{(1500)(4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m})(0.15 \text{ m})(0.05 \text{ m})} = 24.0 \text{ kA} \cdot \text{t/Wb}$$

$$\mathcal{R}_3 = \frac{l_3}{\mu_0 A_3} = \frac{0.0004 \text{ m}}{(4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m})(0.15 \text{ m})(0.05 \text{ m})(1.04)} = 40.8 \text{ kA} \cdot \text{t/Wb}$$

$$\mathcal{R}_4 = \frac{l_4}{\mu_r \mu_0 A_4} = \frac{1.08 \text{ m}}{(1500)(4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m})(0.09 \text{ m})(0.05 \text{ m})} = 127.3 \text{ kA} \cdot \text{t/Wb}$$

The total reluctance is

$$\mathcal{R}_{TOT} = \mathcal{R}_1 + \frac{(\mathcal{R}_2 + \mathcal{R}_3)\mathcal{R}_4}{\mathcal{R}_2 + \mathcal{R}_3 + \mathcal{R}_4} = 127.3 + \frac{(24.0 + 40.8)127.3}{24.0 + 40.8 + 127.3} = 170.2 \text{ kA} \cdot \text{t/Wb}$$

The total flux in the core is equal to the flux in the left leg:

$$\phi_{left} = \phi_{TOT} = \frac{\mathcal{F}}{\mathcal{R}_{TOT}} = \frac{(200 \text{ t})(2.0 \text{ A})}{170.2 \text{ kA} \cdot \text{t/Wb}} = 0.00235 \text{ Wb}$$

The fluxes in the center and right legs can be found by the "flux divider rule", which is analogous to the current divider rule.

$$\phi_{center} = \frac{\mathcal{R}_4}{\mathcal{R}_2 + \mathcal{R}_3 + \mathcal{R}_4}\phi_{TOT} = \frac{127.3}{24.0 + 40.8 + 127.3}(0.00235 \text{ Wb}) = 0.00156 \text{ Wb}$$

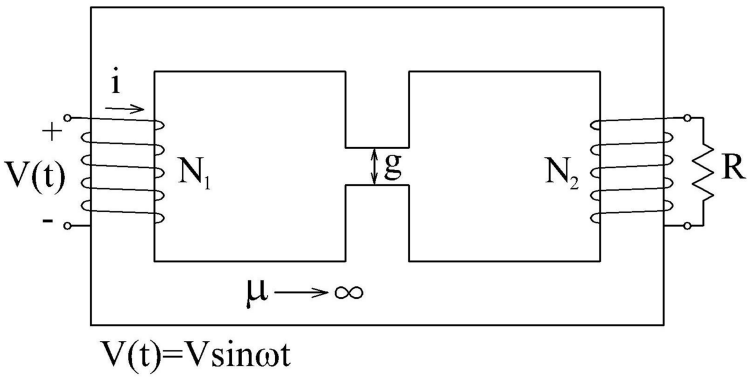
$$\phi_{right} = \frac{\mathcal{R}_2 + \mathcal{R}_3}{\mathcal{R}_2 + \mathcal{R}_3 + \mathcal{R}_4}\phi_{TOT} = \frac{24.0 + 40.8}{24.0 + 40.8 + 127.3}(0.00235 \text{ Wb}) = 0.00079 \text{ Wb}$$

The flux density in the legs can be determined from the equation $\phi = BA$:

$$B_{left} = \frac{\phi_{left}}{A} = \frac{0.00235 \text{ Wb}}{(0.09 \text{ cm})(0.05 \text{ cm})} = 0.522 \text{ T}$$

$$B_{center} = \frac{\phi_{center}}{A} = \frac{0.00156 \text{ Wb}}{(0.15 \text{ cm})(0.05 \text{ cm})} = 0.208 \text{ T}$$

$$B_{right} = \frac{\phi_{left}}{A} = \frac{0.00079 \text{ Wb}}{(0.09 \text{ cm})(0.05 \text{ cm})} = 0.176 \text{ T}$$



۶- دامنه جریان i را در شکل مقابل به صورت پارامتری بیابید. سطح مقطع در همه جا ثابت و برابر A فرض شود.

پاسخ:

اگر شار بازوی سمت چپ را Φ1 و بازوی سمت راست را Φ2 بنامیم (و جهت Φ2 رو به بالا باشد) آنگاه با توجه به KFL شار فاصله هوا برابر مجموع آنها میگردد:

Φg=Φ1+Φ2

از سوی دیگر طبق رابطه تحریک سینوسی داریم:

$$\Phi 1m = \frac{V/\sqrt{2}}{4.44N_1 f}, \Phi 2m = \frac{(i'R)/\sqrt{2}}{4.44N_2 f} \Rightarrow \Phi g = \frac{VN_2 + i'RN_1}{2\pi f N_1 N_2} = \frac{VN_2 + i'RN_1}{\omega N_1 N_2}$$

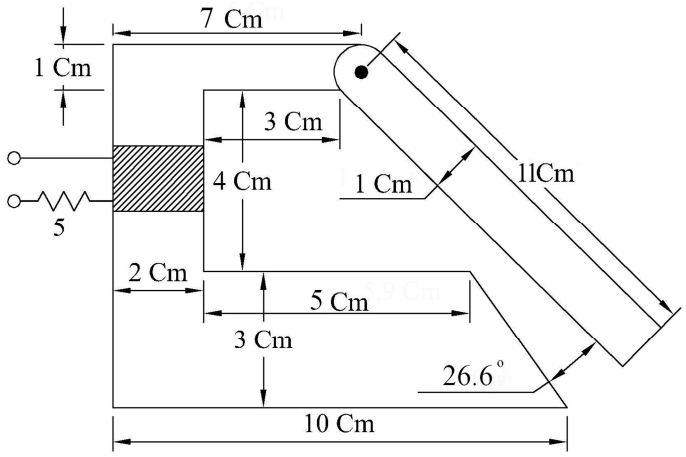
که در آن i' جریان مقاومت R است که جهت آن مطابق به جهت Φ2 انتخاب میشود. و Φ1m و Φ2m مقادیر ماکزیمم هستند.

از سوی دیگر با توجه به KVmL داریم: i.N1= i'.N2 و i'.N2=Φg.Rg که در آنها Rg=g/(A.μ0) مقاومت فاصله هوا است. با توجه به رابطه Φg داریم:

$$\frac{VN_2 + i'RN_1}{\omega N_1 N_2} = \frac{i'N_2}{Rg} \Rightarrow i' = \frac{VRg}{N_1(\omega N_2 - \frac{RRg}{N_2})}$$

با جانشین کردن 'i در رابطه KVmL دامنه جریان i بدست می آید:

$$i = i'\frac{N_2}{N_1} \Rightarrow i = \frac{VRg}{N_1^2(\omega - \frac{RRg}{N_2^2})}, Rg = \frac{g}{\mu_0 A}$$

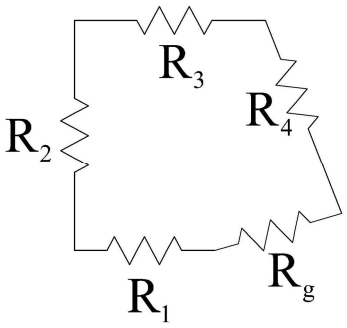


۷- درمدار مقابل اگر ولتاژ اعمال شده ۵۰ ولت DC و تعداد حلقه های سیم پیچ ۲۰۰ دور باشد، گشتاور وارد شده بر قطعه متحرک و اندوکتانس را بیابید. (ضخامت هسته 2cm و $\mu_r=50$ است).

پاسخ:

$\mu_c=\mu_r\mu_0$

چنانچه مقاومت هر قطعه از مدار را به صورت شکل مقابل در نظر بگیریم خواهیم داشت:



R1=L1/(A1. μ_c) L1=.5*(10+5)=7.5 cm A1=3*2 cm^2

R2=L2/(A2. μ_c) L2=.5*(8+4)=6 cm A2=2*2 cm^2

R3=L3/(A3. μ_c) L3=.5*(7+3)= 5 cm A3=1*2 cm^2

R4=L4/(A4. μ_c) L4= (11-y+.5) cm A4=1*2 cm^2

i=50/5=10A , $\alpha=(\pi/180)*26.6=0.46$

برای محاسبه L4 باید y (نصف طول ضلع مورب قطعه ساکن) را بیابیم.

$y=.5((10-5-2)^2+3^2)^{0.5}$ => y=2.2 => L4=8.3 cm

=> $R1=1.989*10^6$, $R2=2.387*10^6$, $R3=3.183*10^6$, $R4=7.03*10^6$

$$Rg=\frac{(11+(11-y))\alpha}{2\mu_0(11-(11-y))}=3.58\times10^6\alpha$$ چون g یک قطاع است اگر زاویه آن α=0.46 rad باشد پس:

با توجه به KVmL داریم:

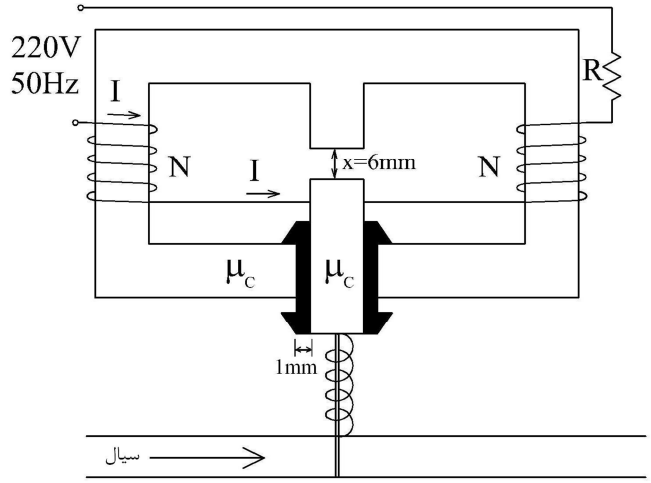
$\Phi.\Sigma R=Ni$, $\Sigma R=(1.989+2.387+3.183+7.03+3.58\alpha)*10^6=(14.6+\alpha)*10^6$, $\lambda=N\Phi$

$$\Rightarrow \lambda=\frac{200^2 i}{(14.6+3.58\alpha)\times10^6}=\frac{0.04i}{14.6+3.58\alpha}, L=i\lambda\big|_{a=0.46}\Rightarrow L=2.46mH$$

$$W_f^{'}=\int\lambda di\Rightarrow W_f^{'}=\frac{0.02i^2}{14.6+3.58\alpha}, T=\left.\frac{\partial W_f^{'}}{\partial\alpha}\right|_{\substack{i=10\\ \alpha=0.46}}=\frac{-3.58\times.02\times10^2}{(14.6+3.58\times.46)^2}$$

$$\Rightarrow T=0.027Nm$$

۸- شکل مقابل یک شیر برقی را نشان میدهد. اگر طول فنر در حال بسته بودن شیر 1cm و هنگام باز بودن آن 1.5cm باشد، مقدار مناسب مقاومت R را جهت باز شدن شیر هنگام اعمال ولتاژ به سیم پیچ بیابید.



معلومات:

طول فنر در حالت آزاد = 0.8cm

سطح مقطع در همه جا $1cm^2$

ثابت فنر $K=200\ Nm^{-1}$

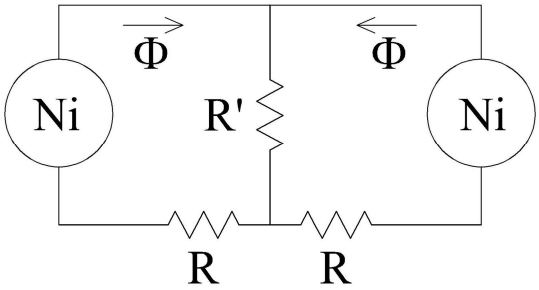
مقاومت سیم پیچ ۲ اهم

تعداد دور سیم پیچ N=200

$\mu_c>>\mu_0$، بخش سیاه رنگ خاصیت مغناطیسی ندارد

پاسخ:

مدار معادل الکتریکی آن به شکل مقابل است:



که در آن:

$R=0.001/(0.0001*\mu_0)=7.958*10^6$

$R'= x/(0.0001*\mu_0) = 7.958*10^9 x$

از KVmL در یکی از حلقه ها داریم:

$Ni=2\Phi R'+\Phi R \Rightarrow \Phi=(Ni)/(2R'+R)$, $\lambda=2N\Phi$

$$\Rightarrow \lambda = \frac{2\times 200^2}{7.958\times 10^6(10^3 x+1)} i \Rightarrow \lambda = \frac{10^{-2}}{10^3 x+1} i$$

$$\lambda = Li \Rightarrow L = \frac{10^{-2}}{10^3 x+1}$$

هنگام بسته بودن برای به حرکت در آمدن قسمت متحرک باید نیروی میدان(f) بیش از نیروی فنر (fs) در حالت بسته باشد:

$fs=K\Delta d$, Δd=تغییر طول = 1-0.8 = 0.2 => $fs=200*.2*.01 \Rightarrow fs=0.4N$

برای یافتن f باید جریان را محاسبه کنیم، امپدانس سیم پیچ به این صورت است:

$L(x)|_{x=6mm}=1.428mH \Rightarrow Z= (2+R)+j\omega L$, $\omega=2\pi f=100\pi=314.15 \Rightarrow Z = (2+R) + j0.45$

$\Rightarrow I = 220/|Z|$, $|Z|= ((2+R)^2 + .45^2)^{0.5}$, I = جریان موثر

$$W_f^{'} = \int \lambda di = \frac{0.5\times 10^{-2}}{10^3 x+1} I^2, |f| = \left|\frac{\partial W_f^{'}}{\partial x}\right|_{x=6mm} = \frac{10^3(0.5\times 10^{-2})}{(7+1)} I^2 \geq f_S$$

$$\Rightarrow \frac{5\times 220^2}{49((2+R)^2+0.201)} \geq 0.4 \Rightarrow R \leq 109.12\Omega$$

با بالا رفتن زبانه نیروی فنر را می افزاید پس باید در آخر مسیر (x =1mm) باز هم شرط f >fs برقرار باشد تا شیرکاملا باز شود پس:

$fs = K\Delta d = 200(1.5-0.8)10^{-2} = 1.4\ N$, $|f| = (5I^2)/(1+1.4)^2$

$$\Rightarrow |f| = \frac{5\times 220^2}{4((2+R)^2+0.201)} \geq 1.4 \Rightarrow R \leq 207.88\Omega$$

پس در مجموع باید $R<109.12\Omega$ باشد. مثلا به ازای $R=100\Omega$ داریم I= 2.16A

۹- یک ژنراتور DC ۲۴۰ ولت ۲۰ کیلووات مفروض است. اگر مقاومت آرمیچر این ماشین ۰,۱ اهم و منحنی Ea برحسب i_f در سرعت ۱۲۰۰ دور بر دقیقه به صورت داده شده باشد،(با صرفه نظر از عکس العمل آرمیچر)

Ea(V)	6	40	80	120	160	190	215	235	250	260	265	270
i_f (A)	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1	1.2	1.4	1.6	1.8	2	اشباع

مطلوب است:

الف) - با فرض تحریک مستقل بودن ، جریان آرمیچر و جریان تحریک را در بار کامل بیابید.

ب) – قسمت الف را برای سرعت ۱۵۰۰ rpm حل کنید.

پ) – اگر تحریک به صورت شنت باشد، مقاومت مدار شنت را برای تولید ۲۴۰ ولت در سرعت ۱۲۰۰ rpm در بی باری بیابید. با وجود این مقاومت در مدار شنت، ولتاژ ترمینال در بار کامل چقدر میگردد؟

ت) – برای تولید ولتاژ ترمینال ۲۴۰ ولت در بار کامل، مقاومت شنت چقدر باید باشد؟

ث) – جریان اتصال کوتاه ژنراتور شنت در ۱۲۰۰ rpm و ۱۵۰۰ rpm چقدر است؟

ج) – با در نظر گرفتن شرایط بند پ و مقاومت بدست آمده در آن برای مدار شنت، اگر با افزودن چهار حلقه سیم پیچ سری به مدار تحریک ژنراتور شنت را به کمپوند تبدیل کنیم (با شنت بلند) ولتاژ بار کامل را برای حالت کمپوند اضافی و نقصانی بدست آورید (از مقاومت سیم پیچ سری صرفه نظر شود و تعداد دورهای سیم پیچ شنت ۹۵۰ دور فرض گردد)

چ) – با فرض شرایط بند ج جریان اتصال کوتاه را برای کمپوند اضافی و نقصانی محاسبه کنید.

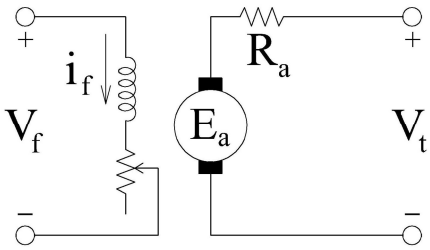
ح) – در حالت کمپوند اضافی (بند ج) چنانچه ژنراتور در بار کامل باشد و سیم پیچ شنت آن قطع گردد، ولتاژ خروجی چقدر میگردد؟

خ) - در حالت کمپوند اضافی (بند ج) برای اینکه ولتاژ ترمینال در بار نامی ۲۴۰ ولت شود سیم پیچ سری باید چند حلقه داشته باشد؟

د) – چنانچه بخواهیم ژنراتور مورد بحث را فقط با سیم پیچ سری تحریک کنیم (ژنراتور سری)، برای داشتن ولتاژ ترمینال ۲۴۰ ولت در بار نامی، سیم پیچ سری باید چند حلقه داشته باشد؟

ذ) – اگر تلفات چرخشی ژنراتور در بند ج برابر ۵ درصد کل توان باشد، بازده آن در بار کامل چقدر است؟

پاسخ:



الف) – مدار ژنراتور تحریک مستقل به صورت مقابل است:

جریان ترمینال با جریان آرمیچر برابر است پس:

$Pout = Vt \cdot Ia = 20000 , Vt = 240V$

$\Rightarrow Ia = 83.3\ A , Ea = Vt + Ra \cdot Ia \Rightarrow Ea = 248.3\ V$

با توجه به منحنی :

$235 < Ea < 250 \Rightarrow$ باید منحنی را بین این دو نقطه خطی کنیم $\Rightarrow \frac{\Delta Ea}{\Delta i_f} = (250 - 235) / (1.6 - 1.4) = 75$

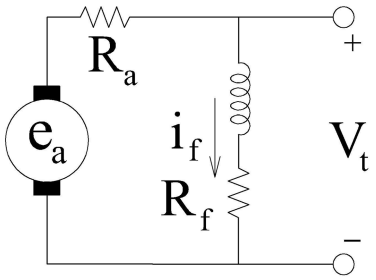
$\Rightarrow (250 - 248.3) / (1.6 - i_f) = 75 \Rightarrow i_f = 1.577\ A$

ب) – در ۱۵۰۰ rpm همه اعداد مقابل Ea در جدول منحنی در عدد $1500/1200$ = (۱,۲۵) ضرب میشوند، چون باقی شرایط فرقی نکرده‌اند پس:

$Ea = 248.3 \Rightarrow 1.25*190 < Ea < 1.25*215 \Rightarrow 237.5 < Ea < 268.75$

خطی سازی $\Rightarrow \frac{\Delta Ea}{\Delta i_f} = (268.75 - 237.5) / (1.2 - 1) = 156.25 = (268.75 - 248.3) / (1.2 - i_f) \Rightarrow i_f = 1.07A$

پ) – مدار ژنراتور شنت به این صورت است:



$i_f = Vt / R_f$

در بی باری:

$RaIa << Vt \Rightarrow Ea \approx Vt = 240V$

$\Rightarrow 235 < Ea < 250 \Rightarrow$ خطی سازی $\Rightarrow \frac{\Delta Ea}{\Delta i_f} = (250 - 235) / (1.6 - 1.4) = 75$

$\Rightarrow (250 - 240) / (1.6 - i_f) = 75 \Rightarrow i_f = 1.47\ A\ ,\ R_f = Vt / i_f \Rightarrow R_f = 163.6\Omega$

$\Rightarrow Ia = i_f \Rightarrow RaIa = 0.147 << 240 \Rightarrow$ فرض ابتدای مساله صحیح است

در بار کامل :

$Ia = 83.3\ A\ ,\ Vt = Ea - RaIa = Ea - 8.33\ ,\ i_f = Vt / R_f \Rightarrow R_f i_f = Ea - 8.33 \Rightarrow Ea = 163.6 i_f + 8.33$

باید محل تقاطع معادله بدست آمده (خط بار) را با منحنی بیابیم. با عددگذاری (i_f=1.2 , i_f=1.4) در معادله میتوان فهمید که:

$215 < Ea < 235 \Rightarrow$ خطی سازی $\Rightarrow \frac{\Delta Ea}{\Delta i_f} = (235 - 215) / (1.4 - 1.2) = 100$

$(235 - Ea) / (1.4 - i_f) = 100 \Rightarrow$ خط بار $\Rightarrow \frac{235 - (163.6 i_f + 8.33)}{1.4 - i_f} = 100 \Rightarrow i_f = 1.36A$

$Vt = R_f i_f \Rightarrow Vt = 222.9\ V$

ت) – در بار کامل:

$Ia = 83.3\ A\ ,\ Vt = 240\ ,\ Ea = Vt + RaIa \Rightarrow Ea = 248.3\ V$

با توجه به خطی سازی انجام شده در پاسخ بند الف میدانیم برای تولید این ولتاژ باید:

$i_f = 1.577\ A\ ,\ Vt = R_f i_f \Rightarrow R_f = 152.19\ \Omega$

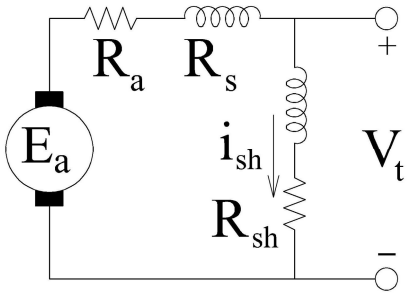
ث) – در حالت اتصال کوتاه، در ۱۲۰۰ rpm :

$Vt = 0 \Rightarrow i_f = 0 \Rightarrow Ea = 6\ V$

$Ea = Vt + RaIa \Rightarrow Ea = RaIa \Rightarrow Ia = 6 / 0.1 \Rightarrow Ia = 60\ A$

در ۱۵۰۰ rpm :

$Ea = 6 * (1500 / 1200) = 7.5 \Rightarrow Ia = 7.5 / 0.1 \Rightarrow Ia = 75\ A$



ج) – مدار ماشین کمپوند با شنت بلند به صورت مقابل است:
در حالت بی باری چون جریان سیم پیچ سری ناچیز است با صرفه نظر از آن میبینیم که در بی باری تحریک ماشین به صورت شنت می باشد. پس طبق پاسخ بند پ برای داشتن ولتاژ ترمینال ۲۴۰ ولت در بی باری باید:

$i_{sh} = 1.47\ A\ ,\ Vt = R_f i_{sh} \Rightarrow R_f = 163.6\ \Omega$

در بار کامل اگر Is جریان سیم پیچ تحریک سری باشد:

$Ia = 83.3\ A\ ,\ Is = Ia = 83.3\ A$

برای ژنراتور کمپوند اضافی Mmf کل میدان به این صورت خواهد باشد:

$NI_{کل} = Nsh\ .\ i_{sh} + Ns\ .\ Is$

که در آن Ns تعداد دورهای سری و Nsh تعداد دورهای شنت میباشد.
برای اینکه بتوان از روی منحنی ولتاژ آرمیچر معادل این mmf را محاسبه کرد باید جریان تحریک معادل (i_f) را محاسبه کنیم:

$$i_f = i_{sh} + \frac{N_S}{N_{Sh}} I_S \quad \Rightarrow \quad i_f = i_{sh} + (4/950)\ .\ 83.3 \Rightarrow i_f = \frac{V_t}{163.6} + 0.35$$

خط بار $Ea = 163.6 i_f - 49.05$ <= با جانشینی رابطه فوق <= $KVL \Rightarrow Vt = Ea - RaIa \Rightarrow Vt = Ea - 8.33$

با عدد گذاری در معادله فوق ($i_f = 1.8\ ,\ i_f = 2$) و مقایسه با منحنی داریم:

$260 < Ea < 265$ => خطی سازی => $\frac{\Delta Ea}{\Delta i_f} = (265 - 260) / (2 - 1.8) = 25$

$(235 - Ea) / (1.4 - i_f) = 100$ => خط بار => $\frac{265 - (163.6 i_f - 49.05)}{2 - i_f} = 25 \Rightarrow i_f = 1.9 A$

$\Rightarrow Ea = 261.79\ V \Rightarrow Vt = 253.46\ V \Rightarrow i_{sh} = 1.55\ A$

برای ژنراتور کمپوند اضافی Mmf کل میدان به این صورت خواهد باشد:

$NI_{کل} = Nsh\ .\ i_{sh} - Ns\ .\ Is$

جریان تحریک معادل (i_f) را محاسبه میکنیم:

$$i_f = i_{sh} - \frac{N_S}{N_{Sh}} I_S \quad \Rightarrow \quad i_f = i_{sh} - (4/950)\ .\ 83.3 \Rightarrow i_f = \frac{V_t}{163.6} - 0.35$$

خط بار $Ea = 163.6 i_f + 65.6$ <= با جانشینی رابطه فوق <= $KVL \Rightarrow Vt = Ea - RaIa \Rightarrow Vt = Ea - 8.33$

با عدد گذاری در خط بار و مقایسه با منحنی میبینیم که خط بار هیچ تقاطعی با منحنی ندارد پس ژنراتور نقصانی نمیتواند تحت بار کامل کارکند و جریان به مقادیر کمتری محدود میگردد.

چ) – برای کمپوند اضافی در اتصال کوتاه داریم:

$Vt = 0 , Is = Ia , Vt = Ea – RaIa \Rightarrow Ea = RaIa , i_{sh} = 0$

جریان تحریک معادل به این صورت میگردد:

$$i_f = \frac{N_S}{N_{Sh}} I_S \Rightarrow \quad Ia = 237.5\ i_f \Rightarrow Ea = 23.75\ i_f$$ خط بار

با عدد گذاری در معادله بالا میبینیم که به ازاء بزرگترین جریان ($i_f = 2$) نیز خط بار زیر منحنی قرار دارد. پس لابد محل تقاطع خط بار و منحنی باید در قسمت اشباع منحنی قرار داشته باشد پس:

$Ea = 270 \Rightarrow Ia = 2700\ A$

برای ژنراتور نقصانی جریان اتصال کوتاه بسیار کم و نزدیک صفر است زیرا در حالت اتصال کوتاه میدان شنت هیچ mmfای تولید نمیکند و تنها میدان سری شار تولید میکند اما جهت شار آن خلاف پسماند و در جهت تضعیف آن می باشد پس هر افزایش در جریان آرمیچر باعث کاهش شار کل و در نتیجه کم شدن Ea میشود که این کاهش باعث کم شدن Ia میگردد.

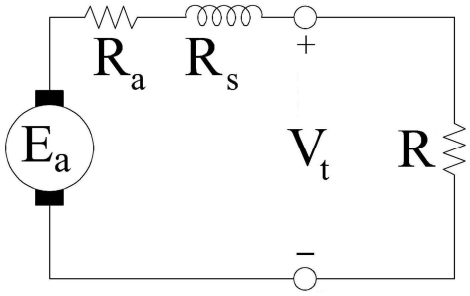
ح) – طبق بند ج در حالت بار کامل:

$Vt = 253.46 , I_t = Ia – i_{sh} = 81.75\ A$

که در آن I_t جریان خروجی ترمینال است. با توجه به این جریان باید مقاومت بار به این صورت باشد:

$Vt = I_t . R \Rightarrow R = 3.1\ \Omega$

چنانچه مدار شنت قطع شود مدار ماشین به صورت مقابل میشود:



$KVL \Rightarrow Ea = RaIa + RsIa + RIa$

با صرفه نظر از Rs و اینکه $Is = Ia$

$\Rightarrow Ea = 3.2\ Ia$

جریان تحریک معادل به این صورت میگردد:

$$i_f = \frac{N_S}{N_{Sh}} I_S \Rightarrow Ea = 760\ i_f$$ خط بار

با عدد گذاری در خط بار و مقایسه با منحنی داریم:

$$0 < Ea < 40 \Rightarrow \text{خطی سازی} \Rightarrow \frac{\Delta Ea}{\Delta i_f} = (40 – 6) / (0.2 – 0) = 170$$

$$(40 – Ea) / (0.2 – i_f) = 170 \Rightarrow \text{خط بار} \Rightarrow \frac{40 - 760 i_f}{0.2 - i_f} = 170 \Rightarrow i_f = 0.01A \Rightarrow Ea = 7.6V , Ia = 2.4A$$

خ) – در بار نامی:

$Ia = Is = 83.3\ A$

جریان تحریک معادل:

$$i_f = i_{sh} + \frac{N_S}{N_{Sh}} I_S , \quad Vt = R_f i_{sh} \Rightarrow i_{sh} = 1.47\ A \Rightarrow i_f = 1.47 + 0.087 . Ns$$

$Ea = RaIa + Vt = 83.3 \times 0.1 + 240 = 248.3\ V$

طبق پاسخ بند الف برای ولتاژ بالا باید $i_f = 1.577\ A$ باشد پس:

$\Rightarrow 1.577 = 1.47 + 0.087 . Ns \Rightarrow Ns = 1.22$

با فرض $Ns = 1$ داریم : $i_f = 1.557A$ که به مقدار مورد نظر نزدیک است.

د) – در بار کامل:

Ia = Is = 83.3 A

با حذف تحریک شنت داریم:

$$i_f = \frac{N_S}{N_{Sh}} I_S \ , \qquad \text{Vt} = 240\text{V} \ , \ \text{Ea} = \text{Vt} + \text{RaIa} = 248.3\text{V}$$

مجددا از بند پاسخ بند الف داریم:

$$i_f = 1.577\text{A} \Rightarrow \ 1.577 = \frac{N_S}{950} 83.3 \Rightarrow N_S \cong 18 \text{ دور}$$

ذ) – معادله تلفات ژنراتور به این صورت است:

تلفات مسی(Pcu) - تلفات چرخشی(Prot) - توان مکانیکی ورودی(Pin) = توان خروجی(Pout)

$\text{Pcu} = \text{RaIa}^2 + \text{RsIs}^2 + R_{sh} i_{sh}^2$, $\text{Ia} = 83.3\text{A}$, $\text{Vt} = R_{sh} i_{sh} \Rightarrow i_{sh} = 1.55\text{A}$

با صرفه نظر از Rs داریم:

Pcu = 1086.57 W

با توجه به صورت سوال:

$\text{Prot} = .05 \times 20000 = 1000$ W

توان خروجی ژنراتور به این صورت است:

$\text{Pout} = \text{Vt} \ . \ I_t = 253.46 \ (83.3 - 1.55) \Rightarrow \text{Pout} = 20720.35$ W

به این ترتیب داریم:

$$\text{Pin} = \text{Pout} + \text{Prot} + \text{Pcu} = 22806.92 \text{ W} \ , \ \eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{20720.35}{22806.92} = 0.908 \Rightarrow \%\eta = 90.8\ \%$$

۱۰- توان مصرفی یک موتور شنت ۲۰۰ ولت در بی باری ۵۰۰ وات است. اگر جریان بار کامل آن ۳۰ آمپر و مقاومت آن ۰٫۲ اهم باشد بازده آن چند درصد است؟

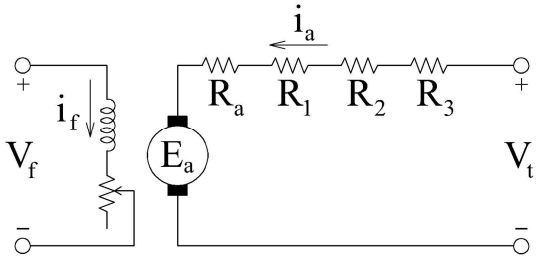
پاسخ:

$\text{Pin} = \text{Vt} \ . \ I_t = 200 \times 30 = 6000$ W , توان بی باری $= R_{sh} i_{sh}^2 + \text{Prot} = 500\text{W}$

$P_{loss} = \text{تلفات} = \text{RaIa}^2 + R_{sh} i_{sh}^2 + \text{Prot} = 0.2(30)^2 + 500 = 680$ W

$$\eta = 1 - \frac{P_{loss}}{P_{in}} = 1 - \frac{680}{6000} = 0.8867 \Rightarrow \%\eta = 88.67\%$$

۱۱- یک موتور DC تحریک مستقل ۱۰ KW ، ۱۸۰V که دارای مقاومت آرمیچر ۰,۲Ω است در اختیار داریم، یک راه انداز مقاومتی برای آن طراحی کنید.



پاسخ:

شکل راه انداز به این صورت است:

(تعداد مقاومتها در انتها مشخص میشود)

با صرفه نظر از جریان تحریک داریم:

جریان نامی $In = (10000) / (180) = 55.55\ A$

در لحظه اول راه اندازی:

$$\omega_m = 0 \Rightarrow Ea = 0\ ,\ I_a = \frac{V_t - E_a}{0.2 + R_1'}$$

$\Rightarrow Ia = 180 / (R_1' + 0.2)$, $Ia = 2\ In = 111.11A \Rightarrow R_1' = 1.42\ \Omega$

در پایان این بخش راه اندازی:

$Ia = In = 55.55A \Rightarrow Ea = Vt - (R_1' + 0.2)Ia = 90\ V$

در ابتدای بخش دوم راه اندازی:

$Ia = (180 - 90) / (R_2' + 0.2)$, $Ia = 2\ In = 111.11A \Rightarrow R_2' = 0.61\ \Omega$

در پایان بخش دوم راه اندازی:

$Ia = In = 55.55A \Rightarrow Ea = Vt - (R_2' + 0.2)Ia = 135\ V$

در ابتدای بخش سوم راه اندازی:

$Ia = (180 - 135) / (R_3' + 0.2)$, $Ia = 2\ In = 111.11A \Rightarrow R_3' = 0.2\ \Omega$

در پایان بخش سوم راه اندازی:

$Ia = In = 55.55A \Rightarrow Ea = Vt - (R_3' + 0.2)Ia = 157.5\ V$

برای مرحله بعد داریم:

$Ia = (180 - 157.5) / (R_4' + 0.2)$, $Ia = 2\ In = 111.11A \Rightarrow R_4' = 0.002\ \Omega$

چون این مقاومت خیلی از Ra کمتر است پس میتوانیم آن را در نظر نگیریم و راه اندازی را در سه مرحله خاتمه دهیم.

حال که مقدار مقاومت در هر مرحله بدست آمد داریم:

$R_1 + R_2 + R_3 = R_1'$ $\quad\Rightarrow\quad$ $R_1 = 0.81\ \Omega$

$R_2 + R_3 = R_2'$ $\quad\Rightarrow\quad$ $R_2 = 0.41\ \Omega$

$R_3 = R_3'$ $\quad\Rightarrow\quad$ $R_3 = 0.2\ \Omega$

توضیح: در شروع راه اندازی هر سه مقاومت R_1 , R_2 , R_3 در مدار قرار دارند. در پایان مرحله اول R_1 اتصال کوتاه میشود و در پایان مرحله دوم R_2 و در پایان مرحله سوم R_3 و به این صورت همه مقاومتها از مدار حذف می شوند.

۱۲- یک موتور DC سری ۲۰۰ ولت ، ۴ KW با سرعت ۷۰۰ rpm در بار کامل میچرخد. اگر مقاومت آرمیچر و میدان این موتور ۰٫۵ اهم و تلفات چرخشی آن در بار نامی ۱۰ درصد کل توان و متناسب با سرعت باشد. با صرفه نظر از اشباع میدان و عکس العمل آرمیچر سرعت بی باری را حساب کنید.

پاسخ:

$Prot = 0.1 \times 4000 = 400\ W$

$Prot = K\ .\ n$ (متناسب با سرعت) $= 700\ .\ K = 400 \Rightarrow K = 0.57 \Rightarrow Prot = 0.57n = 5.46\ \omega_m$

در بار کامل داریم:

$Ia = 4000 / 200 = 20\ A \Rightarrow Ea = Vt - RaIa \Rightarrow Ea = 190V$

با نادیده گرفتن اشباع داریم:

$Ea = K_1.Ia.\omega_m \Rightarrow 190 = K_1\ .\ 20\ .\ 700\ .\ (\pi/30) \Rightarrow K_1 = 0.129$

در بی باری توان مکانیکی تولید شده صرف غلبه بر Prot میشود (چون بار مکانیکی دیگری وجود ندارد):

$T.\ \omega_m = 5.46\ \omega_m \Rightarrow T = 5.46\ ,\ T = K_1\ .\ Ia^2 \Rightarrow 5.46 = 0.129\ Ia^2 \Rightarrow Ia = 6.5A$

$KVL \Rightarrow Ea = Vt - RaIa = 200 - 6.5 \times 0.5 = 196.75\ V\ ,\ Ea = K_1.Ia.\ K_1 \Rightarrow 196.75 = 0.129 \times 6.5\omega_m$

$\Rightarrow \omega_m = 234.64\ rad/s \Rightarrow n = 2240.7\ rpm$

۱۳- یک موتور شنت ۱۵۰ ولت ۱۲ KW در بار کامل دارای سرعت ۱۱۰۰ rpm است. چنانچه $R_{sh} = 100\Omega$ ، $Ra = 0.2\Omega$ ، دور $N_{sh} = 500$ و منحنی شار قطبها بر حسب i_f به صورت داده شده باشد:

Φ (mWb)	1	2.5	5	7.5	9	10	10.5
i_f (A)	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3

مطلوب است :

الف) – محاسبه ثابت آرمیچر (Ka)

ب) – محاسبه سرعت بی باری موتور

پ) – گشتاور خروجی در بار کامل (اگر تلفات چرخشی ۷ درصد کل توان باشد)

ت) – اگر دو حلقه سیم پیچ سری به مدار تحریک اضافه شود، سرعت بار کامل برای حالت کمپوند اضافی را بیابید. (از مقاومت سیم پیچ تحریک سری صرفه نظر شود)

ث) – در حالت کمپوند اضافی در بند ت اگر سیم پیچ شنت قطع شود سرعت بار کامل را بیابید.

ج) – اگر بخواهیم موتور را فقط با سیم پیچ سری تحریک کنیم (موتور سری) تعداد حلقه‌های آن را برای داشتن سرعت ۱۱۰۰rpm در بارکامل بیابید.

پاسخ:

الف) – در بار کامل:

$Vt = i_{sh}\ .\ R_{sh} \Rightarrow\ i_f = i_{sh} = 1.5A \Rightarrow$ منحنی $\Rightarrow \Phi = 7.5\ mWb$

$KVL \Rightarrow Ea = Vt - RaIa\ ,\ I_t = I_a - I_{sh}$ در مدار موتور ، بار کامل $\Rightarrow Vt\ .\ I_t = 12000\ ,\ Vt = 150 \Rightarrow I_t = 80A$

=> Ia = 78.5 A => Ea = 134.3 V = Ka.Φ.ω_m = Ka × 0.0075 × 1100(π/30) => Ka = 155.4

ب) – در بی باری:

Ia ≈ 0 => Ea ≈ Vt = 150V , چون شار میدان ثابت است => $\frac{E_{a1}}{E_{a2}} = \frac{n_1}{n_2}$ => (150 / 134.3) = (n / 1100)

=> n = 1228.6 rpm

پ) – در بار کامل

Ia = 78.5 A , i_{sh} = 1.5A , Pcu = $RaIa^2 + RshIsh^2$ => Pcu = 1232.45 + 225 = 1457.45 W

P_{loss} = 2297.45 W کل تلفات => Prot = 0.07 × 12000 = 840W => بنا به صورت مساله

$$\eta = 1 - \frac{P_{loss}}{P_{in}} = 1 - \frac{2297.45}{12000} = 0.8085 \Rightarrow \%\eta = 80.85\%$$

ت) – برای کمپوند اضافی در بارکامل:

Is جریان تحریک سیم پیچ سری Is = Ia , Ia = $I_t - I_{sh}$ = 80 – 1.5 = 78.5 A

جریان تحریک معادل به این صورت است:

$$i_f = i_{sh} + \frac{N_S}{N_{Sh}} I_S$$ => i_f = 1.5 + (2 / 500)78.5 = 1.81 => 1.5 < i_f < 2

با خطی سازی منحنی در این ناحیه داریم:

$$\frac{\Delta\Phi}{\Delta i_f} = \frac{9 - 7.5}{2 - 1.5} = 3$$ => (9 – Φ) / (2 – 1.8) = 3 => Φ = 8.43 mWb

با صرفه نظر از مقاومت تحریک سری:

Ea = Vt – RaIa = 134.3 = Ka.Φ.ω_m = 155.4 × 0.00843 × ω_m => ω_m = 102.9 rad/s => n = 979 rpm

ث) – با قطع تحریک شنت جریان تحریک معادل به صورت زیر در می آید:

$$i_f = \frac{N_S}{N_{Sh}} I_S$$, Is = Ia , بار کامل => Ia = 78.5A => i_f = (2 / 500)78.5 = 0.314 A

=> 0 < i_f < 0.5 => خطی سازی => $\frac{\Delta\Phi}{\Delta i_f} = \frac{2.5 - 1}{0.5 - 0} = 3$ => (2.5 – Φ) / (0.5 – 0.314) = 3

=> Φ = 1.94 mWb , Ea = Vt – RaIa => Ea = 134.3 => Ea با فرض ثابت بودن => $\frac{n_1}{n_2} = \frac{\Phi_2}{\Phi_1}$

=> (1.94 / 8.43) = (979 / n) => n = 4254.1 rpm

ج)- در این حالت جریان تحریک معادل مانند بند سابق است:

$$i_f = \frac{N_S}{N_{Sh}} I_S$$, Is = Ia , بار کامل => Ia = 78.5A

طبق بند الف در ۱۱۰۰ rpm باید i_f = 1.5A پس:

1.5 = (Ns / 500) 78.5 => Ns = 9.55 دور

۱۴- چرا بهره برداری از ماشین کمپوند نقصانی بعنوان موتور معمولا با مشکل مواجه است؟

زیرا در هنگام راه اندازی که جریان آرمیچر بالا میرود میدان سری بر میدان شنت غلبه کرده و شار منتجه آنها ناچیز میگردد و در نتیجه گشتاور تولید نمیشود.

●●● لطفا هرگونه نظر اصلاحی و غیره را با ایمیل gheydari@yahoo.com درمیان بگذارید. با تشکر

●●● هر نوع کپی برداری با ذکر منبع مجاز است ●●●

●●●
●