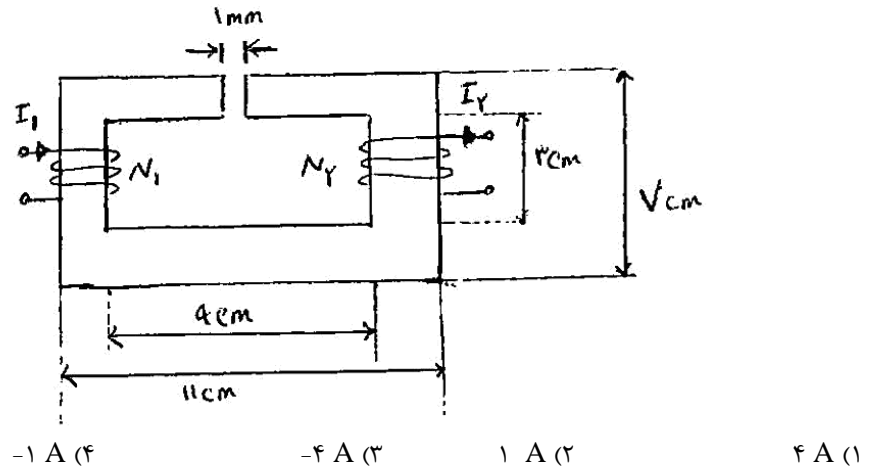


ماشین‌های الکتریکی

۱ - در مدار مغناطیسی شکل زیر عمق هسته در همه جای آن یکسان است. اگر مشخصه مغناطیسی هسته به صورت معادله $B = 0.2\sqrt{H}$ باشد چند آمپر از سیم‌بندی N_2 عبور نماید تا چگالی میدان در فاصله هوایی برابر 1 T گردد؟

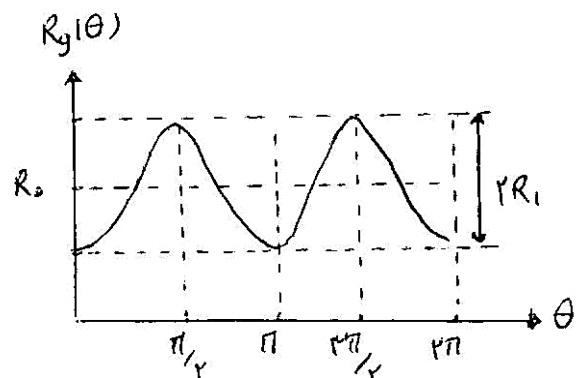
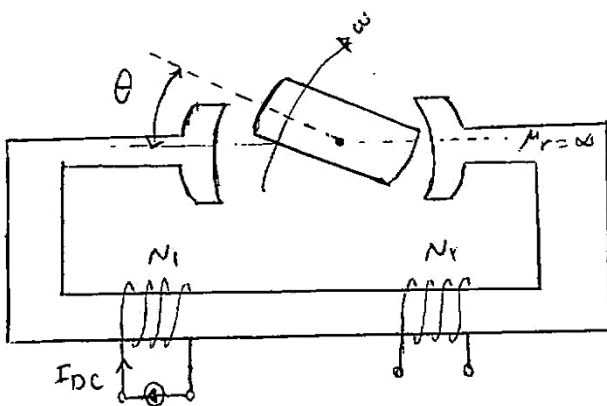
$$\left(\mu_0 = 10^{-6} \frac{\text{H}}{\text{m}} \right)$$

$$\begin{cases} N_1 = 500 \text{ Turn} \\ N_2 = 250 \text{ Turn} \\ I_1 = 3 \text{ A} \end{cases}$$



۲ - شکل زیر یک مبدل ولتاژ مکانیکی را نشان می‌دهد که در آن با چرخش قسمت متحرک ولتاژی در سیم‌بندی N_2 القا می‌گردد. اگر تغییرات رلوکتانس هر فاصله هوایی از این سیستم به صورت شکل داده شده باشد دامنه ولتاژ القایی در سیم‌بندی

N_2 هنگامی که قسمت متحرک در موقعیت زاویه $\theta = \frac{\pi}{4}$ قرار دارد کدام است؟



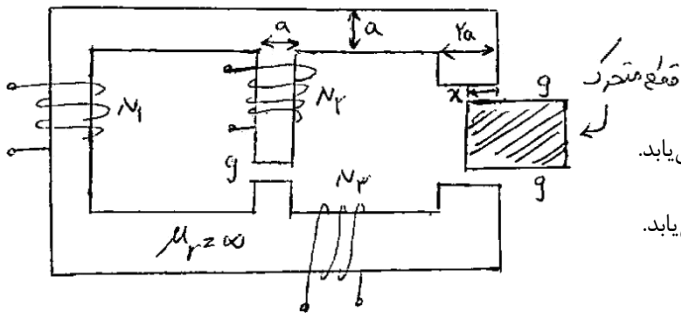
$$\frac{N_1 N_2 I_{dc} R_1}{R_o} \omega \quad (2)$$

$$\frac{2 N_1 N_2 I_{dc} R_1}{R_o} \omega \quad (1)$$

$$\frac{2 N_1 N_2 I_{dc} R_1^2}{R_o} \omega \quad (4)$$

$$\frac{4 N_1 N_2 I_{dc} R_1^2}{R_o} \omega \quad (3)$$

۳- در مدار مغناطیسی شکل زیر چنانچه قطعه متحرک موجود در بازوی سمت راست هسته بتواند حرکت کند به طوری که متغیر x نشان داده شده در مدار را تغییر دهد کدام گزینه زیر در خصوص اندوکتانس متقابل بین سیم‌بندی‌ها صحیح‌تر است؟



(۱) با حرکت قطعه متحرک و در نتیجه افزایش x اندوکتانس L_{13} افزایش می‌یابد.

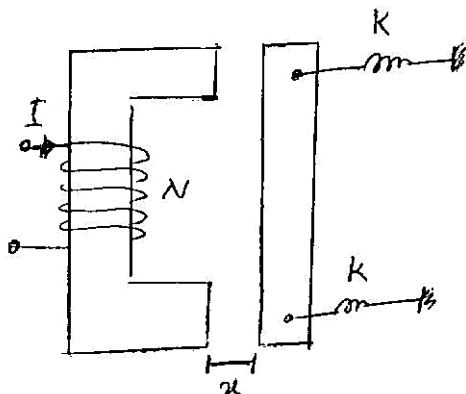
(۲) با حرکت قطعه متحرک و در نتیجه کاهش x اندوکتانس L_{13} افزایش می‌یابد.

(۳) با حرکت قطعه متحرک در هر صورت اندوکتانس L_{12} افزایش می‌یابد.

(۴) با حرکت قطعه متحرک اندوکتانس L_{12} در هر صورت کاهش می‌یابد.

۴- در رله الکترومغناطیسی شکل زیر تعداد دور سیم‌بندی تحریک ۱۰۰۰، سطح مقطع هسته 2 cm^2 و طول اولیه هر یک از

فواصل هابی 5 mm است. اگر ثابت فنرها $\frac{N}{m}$ باشند با اعمال جریان DC با دامنه 5 طول فواصل هوایی چه تغییری



می‌کند؟ $\left(\mu_0 = 10^{-6} \frac{\text{H}}{\text{m}} \right)$

(۱) به صفر می‌رسد.

(۲) به نصف مقدار اولیه می‌رسد.

(۳) هیچ تغییری نمی‌کند.

(۴) به یک سوم مقدار اولیه می‌رسد.

۵- در یک سیستم الکترومکانیکی دو تحریکه ماتریس اندوکتانس به صورت داده شده در زیر است. اگر معادله جریان عبوری از

سیم‌بندی اول و دوم به صورت $i_1(t) = 10 \sin \omega t$ ، $i_2(t) = 5 \cos(\omega t - 30^\circ)$ باشد. مقدار متوسط نیروی جاذبه ایجاد

شده در این مبدل هنگامی که $x = 0/5 \text{ m}$ است چند نیوتن می‌باشد؟

$$L = \begin{bmatrix} 1 + \frac{2}{x} & \frac{2}{x} \\ \frac{2}{x} & 2 + \frac{2}{x} \end{bmatrix}$$

(۴) 100 N

(۳) 250 N

(۲) 350 N

(۱) 150 N

۶- اگر معادله گشتاور ایجاد شده در یک ماشین الکتریکی به فرم $T = i_s^2 \sin \theta$ داده شود در خصوص شکل قطب‌های این ماشین کدام گزینه زیر صحیح‌تر است؟

(۲) استاتور قطب برجسته و رتور قطب صاف دارد.

(۱) استاتور قطب صاف و رتور قطب برجسته دارد.

(۴) رتور قطب برجسته داشته اما در مورد استاتور نمی‌توان نظر داد.

(۳) استاتور و رتور هر دو قطب برجسته هستند.

۷- در یک مولد تحریک مستقل در سرعت ثابت هنگامی که رئوستای میدان برابر مقاومت اهمی تحریک است ولتاژ القایی در آرمیچر E_a است. در این مولد تغییراتی به شرح زیر اعمال می‌نماییم ولتاژ القایی در آرمیچر این مولد پس از این تغییرات چند درصد حالت اول است:

الف) تعداد دور سیم‌پیچ هر قطب نصف می‌شود.

ب) ولتاژ اعمالی به دو سر تحریک $\sqrt{3}$ برابر می‌شود.

ج) مقاومت تنظیم کننده تحریک دو برابر می‌شود.

د) سرعت گردش ۵۰٪ زیاد می‌شود.

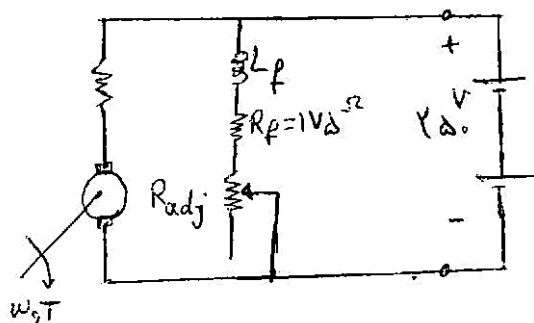
هـ) جاروبک‌ها به طور متقارن هر یک به اندازه‌ی 30° به دیگری نزدیک می‌شود.

- (۱) ۴۵٪ (۲) ۱۸۰٪ (۳) ۷۵٪ (۴) ۹۰٪

۸- در یک مولد تحریک مستقل ۲۵۰ V مقاومت آرمیچر 0.2Ω است. این مولد جهت تغذیه بار ۲۰ kW باید با سرعت ۱۰۰۰ rpm دوران کند. اگر به یکبارہ مولد بی بار گردد به منظور تثبیت ولتاژ ترمینال‌ها در همان مقدار نامی سرعت گردش مولد باید چه تغییری نماید؟

- (۱) ۶٪ افزایش (۲) ۱۱٪ افزایش (۳) ۶٪ کاهش (۴) ۱۱٪ کاهش

۹- شکل زیر یک موتور شنت ۲۵۰ V را نشان می‌دهد. در حالتی که مقاومت تنظیم کننده تحریک روی 75Ω تنظیم شده موتور با اخذ جریان آرمیچر ۱۶ A از شبکه بار گشتاور ثابتی را تحت سرعت ۱۲۱۰ rpm می‌چرخاند. اگر بخواهیم سرعت گردش بار (و موتور) را به ۱۷۸۵ rpm برسانیم چند اهم باید مقاومت تنظیم کننده را تغییر داد. (مدار مغناطیسی موتور را خطی فرض کنید)



(۱) 200Ω افزایش

(۲) 200Ω کاهش

(۳) 125Ω کاهش

(۴) 125Ω افزایش

۱۰- یک موتور شنت ۲۰۰ V دارای مشخصه مغناطیسی به صورت $E_a = \frac{390 \cdot I_f}{I_f + 1}$ در سرعت ۲۶۰۰ rpm است. مقاومت آرمیچر این

موتور 0.5Ω بوده و تعداد دور هر قطب از ماشین ۱۰۰۰ دور است. آرمیچر این ماشین در بی‌باری ۱۰ A از شبکه دریافت می‌کند. اگر در بار کامل عکس‌العمل آرمیچر ۵٪ فوران بی‌باری را بکاهد چند دور سیم‌بندی تحریک سری به هر قطب اضافه کنیم تا در جریان آرمیچر ۹۶ A سرعت موتور ۱۶۰۰ rpm گردد. اتصال موتور را به صورت بلند فرض نموده و از مقاومت اهمی تحریک سری صرف‌نظر کنید.

- (۱) ۸ (۲) ۱۱ (۳) ۱۵ (۴) ۱۹

۱۱- در یک موتور DC دارای تحریک شنت و 200 V مقاومت آرمیچر $1\ \Omega$ است. این موتور با اخذ جریان آرمیچر 20 A از شبکه بار گشتاور ثابتی را با سرعت $100\ \frac{\text{rad}}{\text{s}}$ می چرخاند اگر به منظور ترمز نمودن موتور پلاریته ولتاژ دو سر آرمیچر را معکوس نماییم (ترمز جریان مخالف) گشتاور ترمزی ایجاد شده در موتور چقدر می گردد؟

- (۱) 342 N.m (۲) 513 N.m (۳) 684 N.m (۴) 1026 N.m

۱۲- مشخصه مغناطیسی یک موتور DC دارای تحریک شنت 240 V در یک سرعت نامعلوم به صورت $E_a = 15 + 100\sqrt{I_f}$ داده شده است. این موتور یک بار گشتاور ثابت را با اخذ جریان آرمیچری برابر 30 A تحت سرعت 1000 rpm می چرخاند اگر مقاومت اهمی مدار تحریک $60\ \Omega$ و آرمیچر $0.2\ \Omega$ باشند سرعت موتور پس از قطع شدن مدار تحریک چند rpm می گردد؟

- (۱) 9433 (۲) 14251 (۳) 6190 (۴) 3967

ماشین‌های الکتریکی

۱- گزینه «۳» صحیح است.

هسته داده شده دارای یک شاخه و ۳ قطعه شاخه است. با توجه به جهت جریان‌ها داریم:
ساق بالا و پایین دارای سطح مقطع یکسان بوده لذا یک قطعه شاخه هستند.

$$N_1 I_1 - N_2 I_2 = H_1 L_1 + H_2 L_2 + H_{ag} L_{ag}$$

ساق‌های چپ و راست نیز یک قطعه شاخه را تشکیل می‌دهند که چگالی میدان در آنها دو برابر ساق‌های بالا و پایین است لذا:

$$B_1 = B_{ag} = 1 \text{ T} \Rightarrow H_1 = \left(\frac{B_1}{\mu_0} \right) = 2500 \text{ A.Turn}$$

$$B_2 = 2B_1 = 2 \text{ T} \Rightarrow H_2 = \left(\frac{B_2}{\mu_0} \right) = 10000 \text{ A.Turn}$$

$$B_{ag} = 1 \text{ T} \Rightarrow H_{ag} = \frac{B_{ag}}{\mu_0} = \frac{1}{10^{-6}} = 10^6 \text{ A.Turn}$$

$$L_1 = \left(\frac{9+11}{2} \right) \times 2 = 20 \text{ cm} = 0.2 \text{ m}$$

$$L_2 = \left(\frac{7+3}{2} \right) \times 2 = 10 \text{ cm} = 0.1 \text{ m}$$

$$L_{ag} = 1 \text{ mm} = 1 \times 10^{-3} \text{ m}$$

با جایگذاری در معادله KML داریم:

$$(500 \times 3) - (2500 \times I_2) = (2500 \times 0.2) + (10000 \times 0.1) + (10^6 \times 1 \times 10^{-3}) \Rightarrow I_2 = -4 \text{ A}$$

۲- گزینه «۲» صحیح است.

با توجه به منحنی داده شده معادله تغییرات رلوکتانس هر فاصله هوایی به صورت زیر است:

$$R_g(\theta) = R_o - R_1 \cos 2\theta$$

همین‌طور می‌توان معادله فوران جاری شده در هسته را به صورت زیر نوشت:

$$\phi = \frac{N_1 I_{dc}}{2R_g(\theta)} = \frac{N_1 I_{dc}}{2(R_o - R_1 \cos 2\theta)}$$

با توجه به قانون دوم فاراده داریم:

$$e_2(t) = -N_2 \frac{d\phi}{dt} = -N_2 \frac{d}{dt} \left(\frac{N_1 I_{dc}}{2(R_o - R_1 \cos 2\theta)} \right) \times \omega$$

$$= \frac{-1}{2} N_1 N_2 I_{dc} \omega \left(\frac{2R_1 \sin 2\theta}{(R_o - R_1 \cos 2\theta)^2} \right) \xrightarrow{\theta = \frac{\pi}{4}} e_2 \Big|_{\theta = \frac{\pi}{4}} = \frac{-N_1 N_2 I_{dc} R_1}{R_o^2} \cdot \omega$$

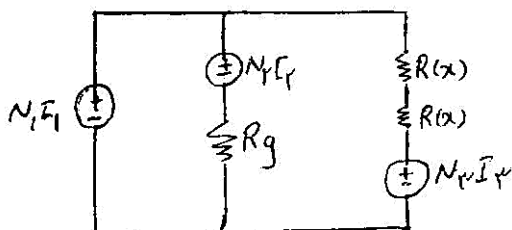
۳- گزینه «۱» صحیح است.

با رسم مدار مشابه الکتریکی داریم:

به دلیل وجود شاخه اتصال کوتاه (شاخه سمت چپ)

اندوکتانس متقابل بین سیم‌بندی‌های N_2 و N_3 دوری صفر است

$(L_{23} = L_{32} = 0)$ لذا با تغییر x این اندوکتانس‌ها تغییری نمی‌کنند. در خصوص L_{12} داریم:



$$\phi_{12} = \frac{N_1 I_1}{R_g} \rightarrow \lambda_r = \frac{N_1 N_r I_1}{R_g} \Rightarrow L_{12} = \frac{N_1 N_r \mu_0 A_r}{g} = L_{21}$$

طبق این رابطه L_{12} مستقل از x بوده لذا با تغییر x ثابت می ماند. در خصوص L_{13} داریم:

$$\phi_{13} = \frac{N_1 I_1}{r R(x)} \rightarrow L_{13} = \frac{N_1 N_r}{\frac{rg}{\mu_0 A_r}} = \frac{N_1 N_r \mu_0 A_r}{rg} = \frac{N_1 N_r \mu_0 x d}{rg}$$

دیده می شود که با افزایش x اندوکتانس متقابل L_{13} افزایش می یابد.

۴- گزینه «۲» صحیح است.

باید شرط تعادل نیروها در قطعه متحرک را بنویسیم:

$$F_l + F_r = F_{k_l} + F_{k_r}$$

$$\begin{cases} F_l + F_r = \frac{1}{r} I^2 \frac{dL}{dx} \\ L = \frac{N^2}{R_{eq}} = \frac{N^2 \mu A}{rx} \end{cases} \Rightarrow F_l + F_r = \frac{1}{r} \times \frac{5^2 \times 1000^2 \times 10^{-6} \times 2 \times 10^{-4}}{2} \times \frac{-1}{(5 \times 10^{-3})^2} = 50 \text{ N}$$

$$F_{k_l} + F_{k_r} = 2k \Delta x = 2 \times 100000 \times \Delta x = 200000 \Delta x$$

$$50 = 200000 \Delta x \Rightarrow \Delta x = \frac{50}{200000} = 0.00025 \text{ m} = 0.25 \text{ mm}$$

یعنی قطعه متحرک 0.25 mm به سمت قطعه ثابت حرکت می کند، لذا طول اولیه فاصله هوایی به نصف می رسد.

۵- گزینه «۲» صحیح است.

$$F_{av} = \frac{1}{r} \times \left(\frac{10}{\sqrt{r}} \right)^2 \times \frac{-2}{x^3} \Big|_{x=0.5 \text{ m}} + \frac{1}{r} \times \left(\frac{5}{\sqrt{r}} \right)^2 \times \frac{-2}{x^3} \Big|_{x=0.5 \text{ m}} + \left(\frac{10}{\sqrt{r}} \right) \times \left(\frac{5}{\sqrt{r}} \right) \times \cos 60^\circ \times \frac{-2}{x^3} \Big|_{x=0.5 \text{ m}}$$

$$F_{av} = 350 \text{ N}$$

۶- گزینه «۴» صحیح است.

با مقایسه رابطه داده شده با فرم کلی معادله گشتاور داریم:

$$T = \frac{1}{r} i_s \frac{dL_{ss}}{d\theta} + \frac{1}{r} i_r \frac{dL_{rr}}{d\theta} + i_s i_r \frac{dL_{sr}}{d\theta} = i_s^2 \sin \theta$$

$$(1) \frac{1}{r} \frac{dL_{ss}}{d\theta} = \sin \theta \Rightarrow \frac{dL_{ss}}{d\theta} \neq 0 \rightarrow$$

رتور دارای قطب برجسته است

$$(2) \begin{cases} i_s i_r \frac{dL_{sr}}{d\theta} = 0 \\ i_s \neq 0 \\ \frac{dL_{sr}}{d\theta} = 0 \end{cases} \Rightarrow i_r = 0$$

$$(3) \frac{1}{r} i_r \frac{dL_{rr}}{d\theta} = 0 \Rightarrow \begin{cases} \frac{dL_{rr}}{d\theta} = 0 \\ \frac{dL_{rr}}{d\theta} \neq 0 \end{cases}$$

با اینکه می‌دانیم $\dot{I}_r = 0$ است اما ممکن است تغییرات اندوکتانس رتور نیز نسبت به زاویه چرخش صفر باشد یا نباشد پس در مورد مشکل قطب‌های استاتور نمی‌توان نظر داد.

۷- گزینه «۴» صحیح است.

طبق رابطه مربوط به ولتاژ القایی در مولد داریم:

$$\begin{cases} E_a \sim \varphi \omega \sin \frac{\theta}{2} \\ \varphi \sim A \cdot T_F = N_F I_F \sim N_f \frac{V_F}{R_F} \end{cases} \Rightarrow E_a \sim \frac{N_F V_F \omega}{R_F} \sin \frac{\theta}{2}$$

از آنجایی که N_F نصف، ولتاژ تحریک $\sqrt{3}$ برابر، سرعت $1/5$ برابر و مجموع مقاومت مدار تحریک $1/25$ برابر شده (چون مقاومت سیم‌بندی به دلیل نصف شدن تعداد دور آن نصف شده و تنظیم کننده نیز طبق گفته صورت تست ۲ برابر شده است) و زاویه بین دو جاروبک نیز از 180° اصلی به 120° کاهش یافته داریم:

$$E_a \sim \frac{1}{2} \times \sqrt{3} \times 1/5 \times \sin \frac{120^\circ}{2} = 0.9 \quad \text{یا} \quad 90\%$$

۸- گزینه «۳» صحیح است.

ابتدا باید ولتاژ القایی در آرمیچر را در بار نامی به دست آورد. لذا:

$$I_a = I_L = \frac{2000}{250} = 8 \text{ A} \Rightarrow E_{a_{FL}} = 250 + (0.2 \times 80) = 266 \text{ V}$$

چنانچه مولد بی‌بار شود می‌خواهیم ولتاژ ترمینال‌ها در 250 V ثابت بماند لذا:

$$E_{a_{NL}} = V_{t_{NL}} = 250 \text{ V}$$

با توجه به نسبت سرعت‌ها داریم:

$$\frac{E_{a_{NL}}}{E_{a_{FL}}} = \frac{N_{NL}}{N_{FL}} \frac{\varphi_{NL}}{\varphi_{FL}} \Rightarrow \frac{250}{266} = \frac{N_{NL}}{N_{FL}} \times 1 \Rightarrow N_{NL} = 0.94 N_{FL}$$

یعنی باید سرعت مولد ۶٪ کاهش یابد.

۹- گزینه «۴» صحیح است.

ابتدا باید جریان آرمیچر را تحت شرایط کاری جدید محاسبه نمود:

$$\frac{T_{e_1}}{T_{e_2}} = \frac{\varphi_1 I_{a_1}}{\varphi_2 I_{a_2}} \Rightarrow 1 = \frac{\varphi_1 \times 16}{\varphi_2 \times I_{a_2}} \Rightarrow I_{a_2} = \frac{\varphi_1}{\varphi_2} \times 16 = 16 \text{ K}$$

با توجه به نسبت سرعت‌ها داریم:

$$\begin{cases} E_{a_1} = 250 - (16 \times 0.2) = 242 \text{ V} \\ E_{a_2} = 250 - (16 \text{ K} \times 0.2) = 250 - 8 \text{ K} \end{cases} \Rightarrow \frac{242}{250 - 8 \text{ K}} = \frac{1210}{1785} \times \frac{\varphi_1}{\varphi_2}$$

$$\Rightarrow \frac{1}{250 - 8 \text{ K}} = \frac{\text{K}}{357} \Rightarrow 250 \cdot \text{K} - 8 \text{ K}^2 - 357 = 0 \Rightarrow \text{K} = 1/5, 29/75$$

از دو مقدار فوق عدد $\text{K} = \frac{\varphi_1}{\varphi_2} = 1/5$ مورد قبول است (؟) لذا:

$$\frac{\phi_1}{\phi_2} = \frac{I_{F_1}}{I_{F_2}} = 1/5 \Rightarrow \frac{250}{175+75} = 1/5 \Rightarrow I_{F_2} = \frac{2}{3} \text{ A}$$

$$I_{F_2} = \frac{V_t}{R_f + R_{adj_2}} \Rightarrow R_{adj_2} = \frac{250}{\frac{2}{3}} - 175 = 200 \text{ } \Omega$$

پس باید R_{adj} به اندازه $200 - 75 = 125 \text{ } \Omega$ افزایش یابد.

۱۰- گزینه «۲» صحیح است.

در حالت بی‌باری داریم:

$$E_{a_{NL}} = 200 - 0.5 \times 10 = 195 \text{ V} \xrightarrow{\text{مشخصه}} I_f = 1 \text{ A}$$

در سرعت ۱۶۰۰ rpm با توجه به جریان ۹۶ A داریم:

$$E_{a_{FL}} = 200 - 0.5 \times 96 = 152 \text{ V} \xrightarrow[\text{AR اعمال, 2600 rpm}]{\text{اصلاح برای سرعت}} E_a = \frac{152}{0.95} \times \frac{2600}{1600} = 260 \text{ V}$$

با اعمال این عدد به مشخصه بی‌باری داریم:

$$E_{a_{FL}} = 260 \text{ V} \rightarrow I_f = 2 \text{ A}$$

یعنی باید جریان تحریک شنت در سرعت موردنظر به ۲ A برسد. حال اگر بخواهیم با همان جریان تحریک شنت ۱ A با اضافه نمودن تحریک سری به سرعت موردنظر برسیم داریم:

$$N_f I_{f_{FL}} = N_f I_{f_{NL}} + N_s I_s - AT_{AR}$$

$$1000 \times 2 = 1000 \times 1 + N_s \times 96 - 0.5(1000 \times 1) \Rightarrow N_s = 11$$

۱۱- گزینه «۳» صحیح است.

ابتدا باید جریان آرمیچر را در حالت ترمزی محاسبه نمود:

$$E_{a_1} = V_t - R_a I_{a_1} = 200 - 1 \times 20 = 180 \text{ V}$$

چون پلاریته ولتاژ دو سر آرمیچر معکوس شده داریم:

$$I_{a_2} = \frac{V_t - (-E_{a_1})}{R_a} = \frac{200 + 180}{1} = 380 \text{ A}$$

با توجه به رابطه بین گشتاورهای تولیدی در حالت مختلف کاری داریم:

$$\frac{T_{e_1}}{T_{e_2}} = \frac{\phi_1 I_{a_1}}{\phi_2 I_{a_2}} \xrightarrow[\phi_1 = \phi_2]{\text{چون تحریک ثابت است}} \frac{T_{e_1}}{T_{e_2}} = 1 \times \frac{20}{380} = \frac{1}{19}$$

یعنی گشتاور ترمزی از نظر اندازه ۱۹ برابر گشتاور کار دائمی است لذا:

$$T_{e_2} = 19 T_{e_1} = 19 \times \frac{E_{a_1} I_{a_1}}{\omega_1} = 19 \times \frac{180 \times 20}{100} = 684 \text{ N.M}$$

۱۲- گزینه «۱» صحیح است.

ابتدا باید نسبت فوران‌ها در دو حالت موردنظر محاسبه گردد لذا:

$$I_{f_1} = \frac{240}{60} = 4 \text{ A} \xrightarrow{\text{مشخصه}} \hat{E}_{a_1} = 215 \text{ V} \Rightarrow \frac{\phi_1}{\phi_2} = \frac{215}{15}$$

$$I_{f_2} = 0 \text{ A} \xrightarrow{\text{مشخصه}} \hat{E}_{a_2} = 15 \text{ V}$$

بار نیز گشتاور ثابت است لذا داریم:

$$\frac{T_{e_1}}{T_{e_2}} = \frac{\phi_1 I_{a_1}}{\phi_2 I_{a_2}} \Rightarrow 1 = \frac{215}{15} \times \frac{30}{I_{a_2}} \Rightarrow I_{a_2} = 430 \text{ A}$$

حال که جریان آرمیچر در حالت قطع شدن تحریک به دست آمده می‌توان نوشت:

$$\begin{aligned} E_{a_1} &= 240 - (0.2 \times 30) = 234 \text{ V} \\ E_{a_2} &= 240 - (0.2 \times 430) = 154 \text{ V} \Rightarrow \frac{234}{154} = \frac{1000}{N_2} \cdot \frac{215}{15} \\ \Rightarrow N_2 &= 9433 \text{ rpm} \end{aligned}$$