فصل هشتم
اصول ماشین‌های DC

(۸-۱) اطلاعات زیر در مورد حلقهٔ دوار ساده شکل ۸-۱ داده شده است.

$B = 0.8\,T$ $\qquad$ $V_B = 24\,V$

$l = 0.5m$ $\qquad$ $R = 0.4\Omega$

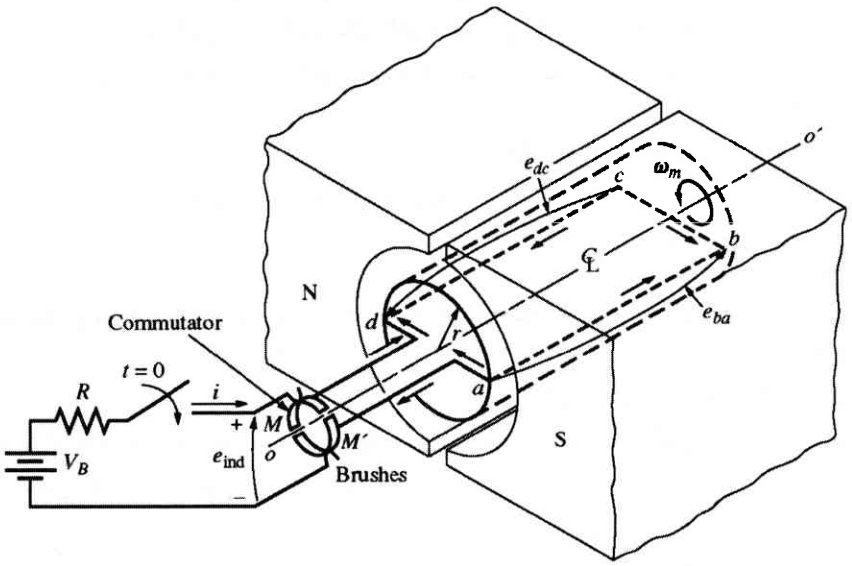
$R = 0.125m$ $\qquad$ $\omega = 250 rad/s$

الف) این ماشین موتور است یا ژنراتور؟ توضیح دهید.

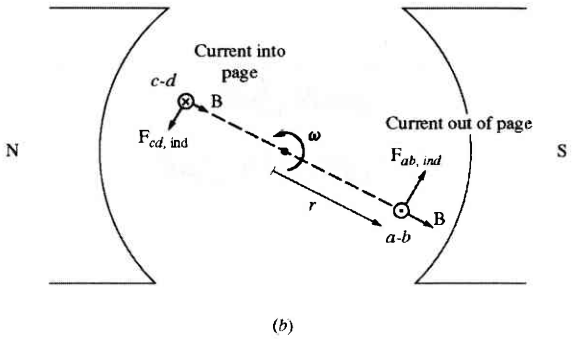
ب) جریان i ورودی یا خروجی به ماشین را بیابید. توان ورودی یا خروجی ماشین را بدست آورید.

ج) اگر سرعت روتور به $575 rad/s$ برسد، جریان ورودی یا خروجی ماشین چه تغییری می‌کند؟

د) اگر سرعت روتور به $225 rad/s$ برسد، جریان ورودی یا خروجی ماشین چه تغییری می‌کند؟



(a)



(b)

شکل ۸-۱ شکل مربوط به مسئلهٔ ۸-۱

الف) اگر سرعت دوران محور $250\,rad/s$ باشد، ولتاژ القایی در حلقهٔ دوار به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$e_{ind} = 2rlB\,\omega$$

$$e_{ind} = 2(0.125)(0.5)(0.8)(250) = 25V$$

چون ولتاژ خروجی باتری فقط $24V$ است، ماشین به‌صورت ژنراتور عمل می‌کند و باتری را شارژ می‌کند.

ب) جریان خروجی ماشین برابر است با:

$$i = \frac{e_{ind} - V_B}{R} = \frac{25-24}{0.4} = 2.5\,A$$

توجه کنید که این مقدار جریان وقتی است که حلقه زیر رخ‌های قطب باشد. زمانی که حلقه مجاور رخ‌های قطب نباشد، e_{ind} به‌طور ناگهانی به $0V$ می‌رسد و جریان به‌طور مشابه برعکس می‌شود. بنابراین جریان جاری میانگین برای یک سیکل کامل، کمتر از $2.5\,A$ خواهد شد.

ج) اگر سرعت روتور به $275\,rad/s$ افزایش یابد، ولتاژ القایی حلقه به مقدار زیر افزایش می‌یابد.

$$e_{ind} = 2rlB\,\omega$$

$$e_{ind} = 2\,(0.125)(0.5)(0.8)(275) = 27.5V$$

و جریان عبوری از ماشین به‌صورت زیر افزایش می‌یابد.

$$i = \frac{e_{ind} - V_B}{R} = \frac{27.5-24}{0.4} = 8.75A$$

د) اگر سرعت روتور به $225\,rad/s$ تقلیل یابد، ولتاژ القایی حلقه به مقدار زیر کاهش می‌یابد.

$$e_{ind} = 2rlB\omega$$

$$e_{ind} = 2(0.125)(0.5)(0.8)(225) = 22.5\,V$$

در اینجا e_{ind} کمتر از V_B است، بنابراین جهت جریان برعکس شده و ماشین به‌صورت موتور عمل می‌کند. جریان جاری در ماشین برابر است با:

$$i = \frac{V_B - e_{ind}}{R} = \frac{24-22.5}{0.4} = 3.75A$$

(۸-۲) اطلاعات ماشین سادهٔ شکل ۸-۲ که دو قطب و هشت پیچک دارد، در زیر آمده است:

در فاصله هوایی	$B = 1.0\,T$
طول ضلع‌های کناری پیچک	$l = 0.3\,m$
شعاع پیچک‌ها	$r = 0.8\,m$
پادساعتگرد	$n = 1700\,r/\min$

مقاومت هر پیچک روتور $0.04\,\Omega$ است.

الف) سیم‌پیچ آرمیچر راست‌گرد است یا چپ‌گرد؟

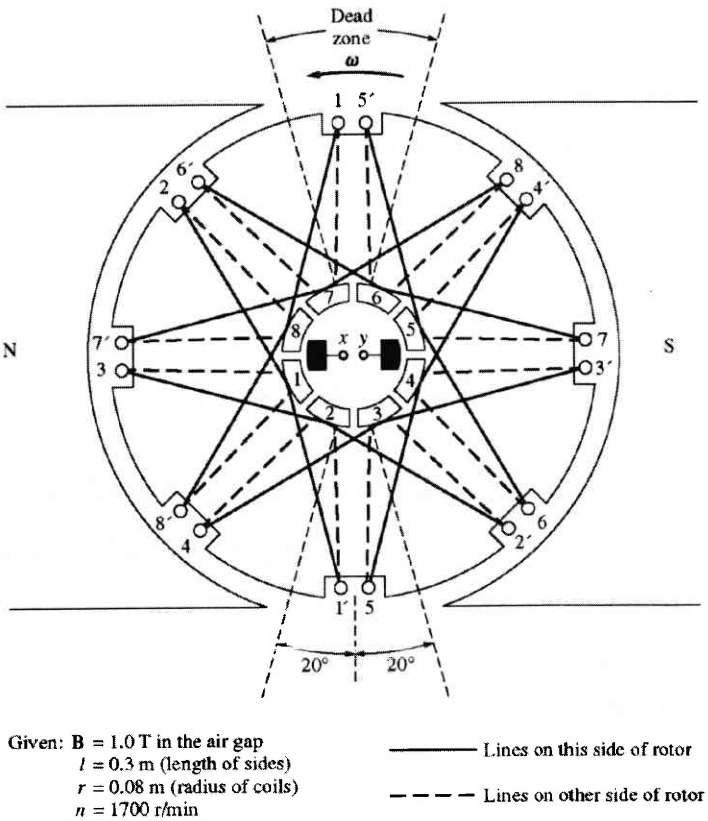
ب) آرمیچر این ماشین چند مسیر جریان دارد؟

ج) اندازه و پلاریتهٔ ولتاژ در جاروبک‌های این ماشین را بدست آورید.

د) مقاومت آرمیچر R_A این ماشین چقدر است؟

ه) اگر یک مقاومت $10\,\Omega$ به پایانه‌های این ماشین متصل شود، چه جریانی از ماشین می‌گذرد؟ مقاومت داخلی را در تعیین این جریان در نظر بگیرید.

و) مقدار و جهت گشتاور القایی حاصل چقدر است؟



شکل ۸-۲ شکل مربوط به مسئلهٔ ۸-۲

حل: الف) از آنجایی که انتهای هر پیچک به قطعه‌هایی از کموتاتور متصل است که ابتدای آن پیچک وصل است، این سیم‌پیچ راست‌گرد است.

ب) دو مسیر موازی جریان در آرمیچر این ماشین وجود دارد.

ج) ولتاژ در جاروبک x نسبت به جاروبک y مثبت است، زیرا ولتاژ سیم‌ها در زیر قطب N مثبت و به سمت بیرون صفحه و در زیر قطب S مثبت و به سمت داخل صفحه است.

د) هشت پیچک در این ماشین در دو مسیر موازی که هر پیچک مقاومت $0.04\,\Omega$ دارد، وجود دارد. بنابراین مقاومت کلی R_A برابر است با:

$$R_A = \frac{(0.04+0.04+0.04+0.04)(0.04+0.04+.04+0.04)}{(0.04+0.04+0.04+0.04+0.04+0.04+.04+0.04)} = 0.08\Omega$$

ه) ولتاژ تولیدی ماشین به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$E_A = \frac{ZvBl}{a} = \frac{Zr\omega Bl}{a}$$

که Z تعداد هادی‌ها در زیر قطب‌هاست، هادی‌های بین قطب‌ها ولتاژی ندارند. 16رسانا در این ماشین وجود دارد و حدود 12 تا در هر لحظه زیر قطب‌ها قرار می‌گیرند. با توجه به اطلاعات ماشین، $n = 1700r/\min$ است، بنابراین داریم:

$$\omega = (1700)\frac{2\pi}{60} = 178\ rad/s$$

$$E_A = \frac{Zr\omega Bl}{a} = \frac{(12)(0.08)(0.3)(178)(1.0)(0.3)}{2} = 25.6\,V$$

و جریان ماشین نیز به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$I_A = \frac{E_A}{R_A + R_{load}} = \frac{25.6}{0.08+10} = 2.54A$$

و) گشتاور القایی حاصل نیز برابر است با:

$$\tau_{ind} = \frac{ZrlBI_A}{a} = \frac{(12)(0.08)(0.3)(1.0)(2.54)}{2} = 0.366N.m$$ خلاف جهت چرخش

(۸-۳) ثابت کنید معادله ولتاژ القایی در یک حلقه ساده دوار، ($e_{ind} = \frac{2}{\pi}\phi\omega$)، حالت خاصی از معادله عمومی ولتاژ القا شده در ماشین dc، یعنی $E_A = K\phi\omega$، است.

حل: با استفاده از معادلهٔ $E_A = K\phi\omega$ که $K = \frac{ZP}{2\pi a}$ است، برای حلقه دوار ساده داریم:

$Z = 2$ (۲ هادی وجود دارد)

$P = 2$ (۲ قطب وجود دارد)

$a = 1$ (یک مسیر جریان در ماشین وجود دارد)

بنابراین داریم:

$$K = \frac{Zp}{2\pi a} = \frac{2\times 2}{2\pi\times 1} = \frac{2}{\pi}$$

بنابراین رابطهٔ $e_{ind}=\frac{2}{\pi}\phi\omega$ حالت خاصی از معادله عمومی ولتاژ القا شده در ماشین dc، یعنی $E_A=K\phi\omega$ است. به عبارتی دیگر، ولتاژ القا شده در حلقهٔ دوار ساده از رابطهٔ $e_{ind}=\frac{2}{\pi}\phi\omega$ بدست می‌آید.

(۸-۴) یک ماشین dc، 8 قطب دارد و جریان نامی آن $100\ A$ است. در شرایط نامی چه جریانی از هر مسیر می‌گذرد؛ اگر سیم‌پیچ آرمیچر آن الف) حلقوی ساده، ب) حلقوی دوتایی و ج) موجی ساده باشد.

حل: الف) در سیم‌پیچی حلقوی ساده داریم:

تعداد مسیرهای موازی $a=mP=(1)(8)=8$

یعنی در سیم‌پیچی حلقوی ساده تعداد مسیرهای جریان با تعداد قطب‌ها برابر است، بنابراین جریان هر مسیر برابر است با:

$$I=\frac{I_A}{a}=\frac{100A}{8}=12.5A$$

ب) در سیم‌پیچی حلقوی دوتایی داریم:

تعداد مسیرهای موازی $a=mP=(2)(8)=16$

بنابراین جریان در هر مسیر برابر است با:

$$I=\frac{I_A}{a}=\frac{100A}{16}=6.25A$$

ج) در سیم‌پیچی موج ساده داریم:

تعداد مسیرهای موازی $a=2m=(2)(1)=2$

یعنی در سیم‌پیچی موجی ساده همواره دو مسیر موازی برای جریان وجود دارد، بنابراین جریان در هر مسیر برابر است با:

$$I=\frac{I_A}{a}=\frac{100A}{2}=50A$$

(۸-۵) چند مسیر موازی جریان در آرمیچر یک ماشین 12 قطبی وجود دارد؛ اگر سیم‌پیچی آن الف) حلقوی ساده، ب) حلقوی موجی، ج) حلقوی سه‌تایی و د) موجی چهارتایی باشد؟

حل: الف) تعداد مسیرهای موازی در سیم‌پیچی حلقوی ساده برابر است با:

$$a=mP=(1)(12)=12$$

ب) تعداد مسیرهای موازی در سیم‌پیچی موجی دوتایی برابر است با:

$$a=2m=(2)(2)=4$$

ج) تعداد مسیرهای موازی در سیم‌پیچی حلقوی سه‌تایی برابر است با:

$$a=mP=(3)(12)=36$$

د) تعداد مسیرهای موازی در سیم‌پیچی موجی چهارتایی برابر است با:

$$a=2m=(2)(4)=8$$

(۸-۶) توانی که در ماشین dc از یک شکل به شکل دیگر تبدیل می‌شود با رابطهٔ زیر بدست می‌آید.

$$P_{conv} = E_A I_A = \tau_{ind}\omega$$

با استفاده از معادلات E_A و τ_{ind} (معادلات ۸-۳۸ و ۸-۴۹) رابطهٔ $E_A I_A = \tau_{ind}\omega_n$ را اصلاح کنید. (یعنی ثابت کنید توان الکتریکی که در نقطه تبدیل توان از بین می‌رود دقیقاً برابر توان مکانیکی‌ای است که در همان نقطه پدیدار می‌شود).

حل: توان تبدیل شده در فاصله هوایی از رابطهٔ زیر بدست می‌آید.

$$P_{conv} = E_A I_A \qquad (۱)$$

با جایگذاری رابطهٔ $E_A = K\phi\omega$ در رابطهٔ (۱) داریم:

$$P_{conv} = (K\phi\omega) I_A \qquad (۲)$$

رابطهٔ (۲) را به‌صورت رابطهٔ (۳) بازنویسی می‌کنیم.

$$P_{conv} = (K\phi I_A)\omega \qquad (۳)$$

با جایگذاری $\tau_{ind} = K\phi I_A$ در رابطهٔ (۳)، رابطهٔ (۴) بدست می‌آید.

$$P_{conv} = \tau_{ind}\omega \qquad (۴)$$

(۸-۷) یک ژنراتور dc هشت قطبی، $120V$ و $25\,kW$ دارای سیم‌پیچی حلقوی دوتایی است. این سیم‌پیچ شامل 64 پیچک است و هر پیچک 16 حلقه دارد. سرعت نامی ماشین $2400\,r/\min$ است.

الف) چه شاری در هر قطب لازم است تا ژنراتور در شرایط بی‌باری ولتاژ نامی خود را تولید کند؟

ب) جریان هر مسیر آرمیچر در بار نامی ژنراتور چقدر است؟

ج) گشتاور القا شده در ماشین در بار نامی چقدر است؟

د) این ژنراتور باید چند جاروبک داشته باشد؟ عرض هرکدام باید چقدر باشد؟

ه) اگر مقاومت این سیم‌پیچ به ازای هر حلقه $0.011\,\Omega$ باشد، مقاومت آرمیچر ماشین چقدر است؟

حل: الف) برای ولتاژ القایی داریم:

$$E_A = K\phi\omega = \frac{ZP}{2\pi a}\phi\omega \qquad (*)$$

در این ماشین سیم‌پیچی از نوع حلقوی دوتایی است، بنابراین تعداد مسیرهای موازی برابر است با:

$$a = mP = 2\times 8 = 16$$

سیم‌پیچی ۶۴ پیچک دارد که هر پیچک ۱۶ حلقه دارد. هر حلقه ۲ هادی است، بنابراین تعداد هادی‌ها برابر است با:

$$Z = 64\times 16\times 2 = 2048$$

با جایگذاری در رابطهٔ (*) داریم:

$$120\,V = \frac{(2048)(8)}{2\pi(16)}\phi(2400)\frac{2\pi}{60}$$

$$120\,V = 40960\,\phi \Rightarrow \phi = 0.00293\,Wb$$

ب) جریان نامی ژنراتور برابر است با:

$$I_A = \frac{25kW}{120} = 208A$$

تعداد 16 ($a = mP = (2)(8)$) مسیر موازی در ماشین وجود دارد، بنابراین جریان در هر مسیر برابر است با:

$$I = \frac{I_A}{a} = \frac{208}{16} = 13A$$

ج) گشتاور القا شده در ماشین در بار نامی برابر است با:

$$\tau_{ind} = \frac{ZP}{2\pi a}\phi I_A$$

$$\tau_{ind} = \frac{(2048)(8)}{2\pi(16)}(0.00293)(208)$$

$$\tau_{ind} = 99.3N.m$$

د) این موتور باید 8 جاروبک داشته باشد. چون سیم‌پیچی آن از نوع حلقوی است و 8 قطب دارد. اگر سیم‌پیچی دوتایی باشد هر جاروبک باید به اندازه کافی عریض باشد و تا امتداد دو قطعه کموتاتور کشیده شود و کموتاتور را به‌طور کامل بپوشاند.

ه) در کل، در آرمیچر 1024 حلقه سیم وجود دارد. بنابراین تعداد حلقه‌ها در هر مسیر برابر است با:

$$N_P = \frac{1024}{16} = 64\ turns\ /\ path$$

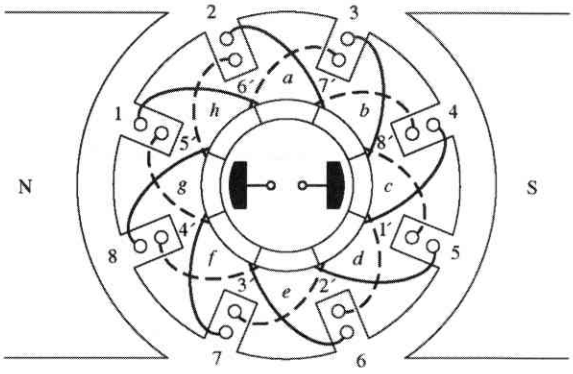
مقاومت کل در هر مسیر برابر $R_P = (64)(0.011\Omega) = 0.704\Omega$ است. از آنجایی که ۱۶ مسیر موازی در ماشین وجود دارد، مقاومت کل آرمیچر ژنراتور برابر است با: $R_A = \frac{0.704}{16} = 0.044\Omega$.

(۸-۸) شکل ۸-۳ موتور dc دوقطبی کوچکی را نشان می‌دهد که در روتور آن هشت پیچک و در هر پیچک چهار حلقه سیم وجود دارد. شار هر قطب این ماشین $0.0125Wb$ است.

الف) اگر موتور به یک باتری 12 ولتی وصل شود، سرعت بی‌باری آن چقدر است؟

ب) اگر سر مثبت باتری به جاروبک سمت راستی موتور وصل شود، موتور در چه جهتی می‌چرخد؟

ج) اگر باری به موتور وصل شود به‌طوری که $50W$ از باتری دریافت کند، گشتاور القا شده در موتور چقدر خواهد بود؟ (از همه مقاومت‌های داخلی موتور صرف‌نظر کنید).



شکل ۸-۳ موتور dc دو قطبی

حل: الف) در حالت بی‌باری $V_T = E_A = K\phi\omega$ است. اگر K معلوم باشد، سرعت موتور بدست می‌آید. برای ثابت K داریم:

$$K = \frac{ZP}{2\pi a}$$

به‌طور میانگین 6 تا از 8 پیچک در هر زمان زیر هر قطب قرار دارند، بنابراین میانگین تعداد هادی‌های مؤثر برابر است با:

$$Z = (\text{۶پیچک})\ (\text{۴حلقه})\ (\text{۲ هادی}) = \text{۴۸ هادی}$$

ماشین دو قطبی است و دو مسیر موازی دارد، بنابراین داریم:

$$K = \frac{ZP}{2\pi a} = \frac{(48)(2)}{2\pi(2)} = 7.64$$

حال سرعت بی‌باری از رابطهٔ زیر بدست می‌آید:

$$\omega = \frac{E_A}{K\phi} = \frac{12}{(7.46)(0.0125)} = 125.6\ rad/s$$

$$n_m = (125.6)\frac{1}{2\pi}\frac{60}{1} = 1200 r/\min$$

ب) اگر پایانهٔ مثبت باتری به جاروبک سمت راست وصل شود، جریان از زیر قطب S وارد صفحه شده و جهت چرخش در جهت عقربه‌های ساعت خواهد بود.

ج) اگر موتور W 50از باتری بگیرد، جریان آن برابر می‌شود با:

$$I = \frac{P}{V_B} = \frac{50}{12} = 4.17A$$

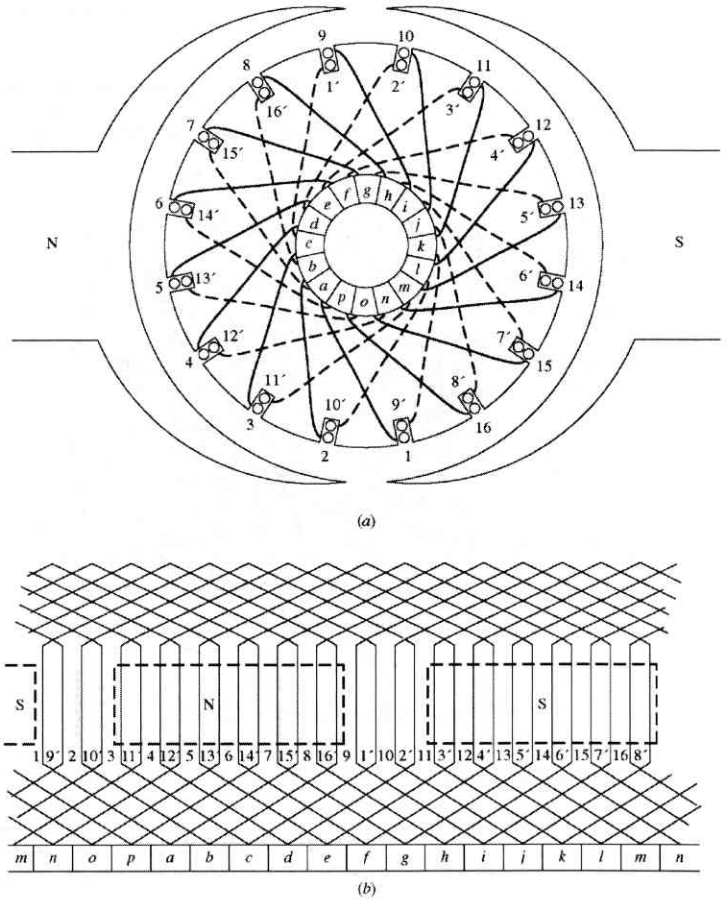
بنابراین گشتاور القاشده خواهد شد:

$$\tau_{ind} = K\phi I_A = (7.64)(0.0125)(4.17) = 0.40 N.m \quad , \quad CW$$

(۸-۹) سیم‌پیچی ماشینی به شکل ۸-۴ را در نظر بگیرید.

الف) در این آرمیچر چند مسیر موازی جریان وجود دارد؟

ب) برای اینکه کموتاسیون مناسب باشد باید جاروبک‌ها کجا قرار گیرند؟ پهنای آنها باید چقدر باشد؟
ج) مرتبهٔ مرکب بودن سیم‌پیچ‌های این ماشین چقدر است؟
د) اگر در این ماشین ولتاژ هر هادی زیر رخ قطب‌ها e باشد، ولتاژ در پایانه‌های ماشین چقدر است؟



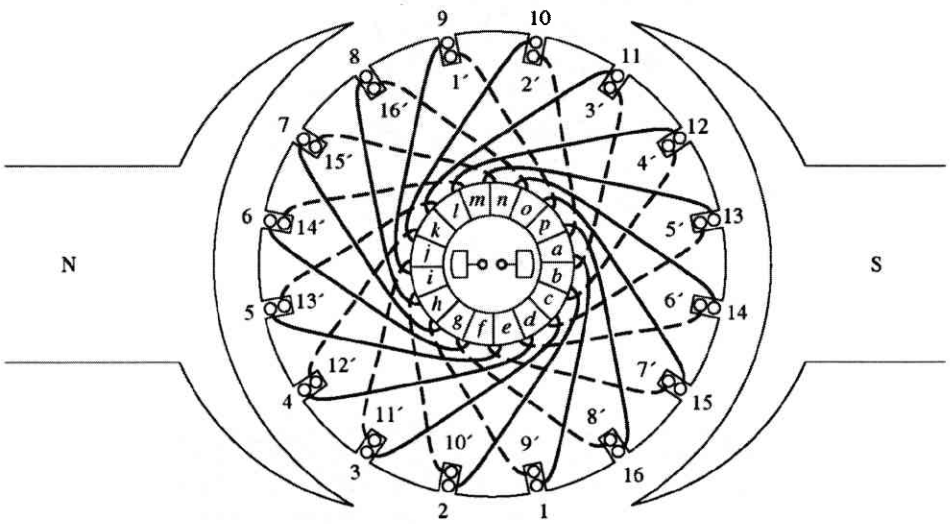
شکل ۸-۴ شکل مربوط به مسئلهٔ ۸-۹

حل: الف) این سیم‌پیچی از نوع حلقوی مرکب دوتایی است و ماشین نیز دو قطب دارد، بنابراین ۴ مسیر موازی در آرمیچر وجود دارد.

ب) جاروبک‌ها باید سیم‌پیچ‌هایی که بین دو قطب گسترده شده‌اند را اتصال کوتاه کنند. در زمان نشان داده شده این سیم‌پیچ‌ها ۱، ۲، ۹ و ۱۰ هستند. بنابراین جاروبک‌ها باید در لحظه‌ای که نشان داده شده به قطعه‌های b-c-d و j-k-l از کموتاتور متصل شوند. چون سیم‌پیچی دوتایی است، هر جاروبک باید به پهنای دو قطعه کموتاتور عریض باشد.

ج) مرتبهٔ مرکب بودن سیم‌پیچ‌های این ماشین دوتایی است (شکل ۸-۴ را ببینید).
د) ۱۶ پیچک در آرمیچر این ماشین وجود دارد. بخاطر این تعداد، در هر زمان به صورت میانگین باید ۱۴تای آنها زیر رخ قطب باشند. بنابراین ۲۸ هادی که به ۴ مسیر موازی تقسیم می‌شوند وجود دارند که ۷ هادی در هر مسیر ایجاد می‌کند. بنابراین برای شرایط بی‌باری $E_A = 7e = V_T$ است.

(۸-۱۰) جزئیات سیم‌پیچی ماشین شکل ۸-۵ را توضیح دهید. اگر ولتاژ مثبتی به جاروبک زیر قطب N اعمال شود، این موتور در چه جهتی می‌چرخد؟



شکل ۸-۵ شکل مربوط به مسئلهٔ ۸-۱۰

این ماشین دارای دو قطبی است و سیم‌پیچی آن از نوع حلقوی مرکب دوتایی است. این سیم‌پیچی پادساعتگرد است یعنی؛ اگر ولتاژ مثبتی به جاروبک‌های زیر قطب N وصل شود، روتور در خلاف جهت عقربه‌های ساعت می‌چرخد.

فصل نهم

موتورها و ژنراتورهای DC

مسائل ۹-۱ تا ۹-۱۲ به یک موتور *dc* با مشخصات زیر مربوط می‌شود:

$P_{rated} = 15\ hp$ $\quad I_{L,rated} = 55\ A$

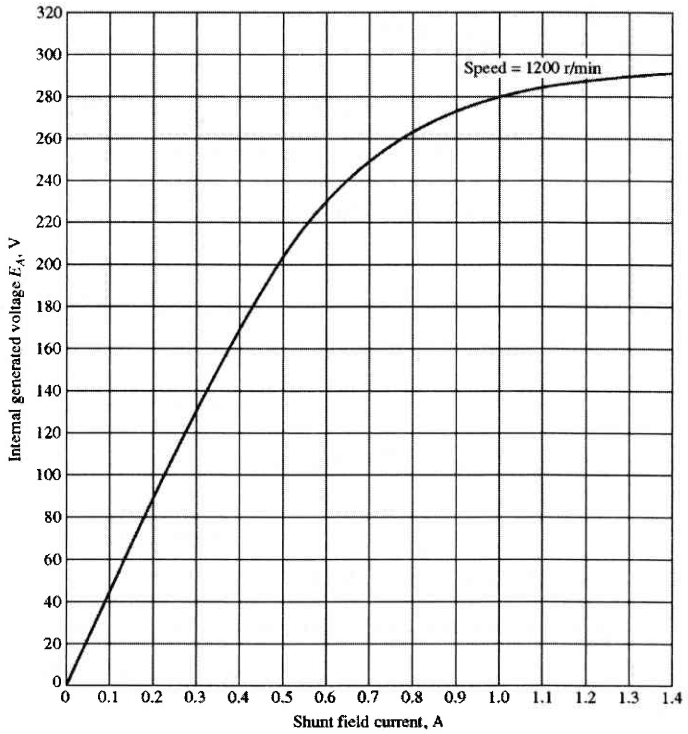
$V_T = 240V$ $\quad N_F = 2700\ turn\ per\ pole$

$n_{rated} = 1200\ r/\min$ $\quad N_{SE} = 27 turn\ per\ pole$

$R_A = 0.40\ \Omega$ $\quad R_F = 100\ \Omega$

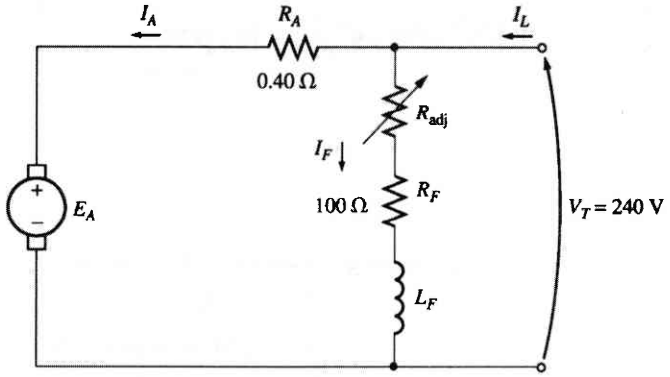
$R_S = 0.40\ \Omega$ $\quad R_{adj} = 100\ to\ 400\ \Omega$

تلفات چرخشی در بار کامل برابر $1800W$ است. منحنی مغناطیسی این موتور در شکل ۹-۱ نشان داده شده است.



شکل ۹-۱ منحنی مغناطیسی موتور

در مسائل ۹-۱ تا ۹-۷ فرض کنید که این موتور می‌تواند به صورت شنت متصل شود. مدار معادل موتور شنت در شکل ۹-۲ نشان داده شده است.



شکل ۹-۲ مدار معادل موتور شنت

(۹-۱) اگر مقاومت R_{adj} در $175\ \Omega$ تنظیم شود، سرعت چرخش موتور در شرایط بی‌باری چقدر است؟

حل: در شرایط بی‌باری $E_A = V_T = 240V$ است. بنابراین جریان میدان برابر است با:

$$I_F = \frac{V_T}{R_{adj} + R_F} = \frac{240}{175 + 100} = \frac{240}{250} = 0.87\ A$$

از نمودار شکل ۹-۱ پیداست که این جریان تحریک یک ولتاژ داخلی به اندازهٔ $271V$ در سرعت $1200\ r/\min$ تولید می‌کند. بنابراین سرعت موتور با ولتاژ $E_A = 240V$ می‌شود:

$$\frac{E_A}{E_{AO}} = \frac{n}{n_o} \Rightarrow n = \frac{E_A}{E_{AO}} n_o = \frac{240}{271}(1200) = 1063\ r/\min$$

(۹-۲) فرض کنید عکس‌العمل آرمیچر وجود ندارد، سرعت موتور را در بار کامل بیابید، تنظیم سرعت موتور چقدر است؟

حل: در بار کامل، جریان آرمیچر برابر است با:

$$I_A = I_L - I_F = I_L - \frac{V_T}{R_{adj} + R_F} = 55 - 0.87 = 54.13\ A$$

ولتاژ داخلی تولید شده E_A برابر است با:

$$E_A = V_T - I_A R_A = 240 - (54.13)(0.40) = 218.3V$$

جریان میدان مساوی مقدار قبل است و عکس‌العمل آرمیچر وجود ندارد، بنابراین E_{AO} برابر $271V$ در سرعت n_o ($1200r/\min$) است، در نتیجه داریم:

$$n = \frac{E_A}{E_{AO}} n_o = \frac{218.3}{271}(1200) = 967\ r/\min$$

و تنظیم سرعت برابر است با:

$$SR = \frac{n_{nl} - n_{fl}}{n_{fl}} \times 100\% = \frac{1063 - 976}{976} \times 100\% = 9.9\%$$

(۹-۱۳) اگر موتور در بار کامل کار کند و مقاومت متغیر آن به $250\,\Omega$ افزایش پیدا کند، سرعت موتور چقدر می‌شود؟ سرعت بار کامل موتور با $R_{adj} = 175\,\Omega$ را با سرعت کامل موتور به ازای $R_{adj} = 250\,\Omega$ مقایسه کنید. (مثل مسئله قبل فرض کنید عکس‌العمل آرمیچر وجود ندارد).

حل: اگر R_{adj} در $250\,\Omega$ تنظیم شود، جریان میدان می‌شود:

$$I_F = \frac{V_T}{R_{adj} + R_F} = \frac{240}{250 + 100} = \frac{240}{325} = 0.686\,A$$

از آنجایی که موتور در بار کامل است، E_{AO} هنوز برابر $218.3V$ می‌باشد. از منحنی مغناطیسی شکل ۹-۱ جریان میدان جدید I_F، ولتاژ E_{AO} برابر $247V$ در سرعت n_o را تولید خواهد کرد. در نتیجه داریم:

$$n = \frac{E_A}{E_{AO}} n_o = \frac{218.3}{247}(1200) = 1061\,r/\min$$

توجه شود که R_{adj} افزایش یافته، در نتیجه سرعت موتور کم شده است.

(۹-۱۴) فرض کنید موتور در بار کامل کار می‌کند و R_{adj} باز همان $175\,\Omega$ است. اگر عکس‌العمل آرمیچر $1200\,A$ آمپردور در بار کامل باشد، سرعت موتور چقدر است؟ این مقدار را با جواب مسألهٔ ۹-۲ مقایسه کنید.

حل: در این صورت جریان میدان $0.87\,A$ است و موتور در بار نامی کار می‌کند، اما این بار عکس‌العمل آرمیچر برابر $1200\,A.t$ است، بنابراین جریان مؤثر میدان برابر است با:

$$I_F^* = I_F - \frac{AR}{N_F} = 0.87 - \frac{1200A\,turns}{2700turns} = 0.426\,A$$

از نمودار شکل ۹-۱ پیداست که این جریان تحریک در ژنراتور ولتاژ داخلی E_{AO} معادل $181V$ در سرعت n_o یعنی $1200\,r/\min$ ایجاد می‌کند. ولتاژ داخلی ژنراتور E_A در شرایط عادی برابر است با:

$$E_A = V_T - I_A R_A = 240 - (54.13)(0.40) = 218.3V$$

در نتیجه، سرعت موتور در ولتاژ $240V$ برابر است با:

$$n = \frac{E_A}{E_{AO}} n_o = \frac{218.3}{181}(1200) = 1447\,r/\min$$

اگر تمام ویژگی‌های دیگر یکسان باشد، موتور با عکس‌العمل آرمیچر در یک سرعت بالاتر نسبت به موتور بدون عکس‌العمل آرمیچر کار می‌کند.

(۹-۵) اگر R_{adj} این موتور را بتوان از 100 به $400\,\Omega$ تنظیم کرد. مینیمم و ماکزیمم سرعت این موتور در حالت بی‌باری چقدر است؟

حل: مینیمم سرعت وقتی که $R_{adj}=100\,\Omega$ است، اتفاق می‌افتد. ماکزیمم سرعت موقعی که $R_{adj}=400\,\Omega$ است اتفاق می‌افتد. جریان تحریک موقعی که $R_{adj}=100\,\Omega$ است، برابر است با:

$$I_F=\frac{V_T}{R_{adj}+R_F}=\frac{240}{100+100}=\frac{240}{200}=1.20\,A$$

از نمودار شکل ۹-۱ پیداست که این جریان تحریک، ولتاژ داخلی $E_{AO}=287V$ را در سرعت $n_o=1200\,r/\min$ تولید می‌کند. در نتیجه سرعت موتور با ولتاژ $240V$ برابر است با:

$$\frac{E_A}{E_{AO}}=\frac{n}{n_o}\Rightarrow n=\frac{E_A}{E_{AO}}n_o=\frac{240}{287}(1200)=1004\,r/\min$$

جریان میدان زمانی که $R_{adj}=400\,\Omega$ است، می‌شود:

$$I_F=\frac{V_T}{R_{adj}+R_F}=\frac{240}{400+100}=\frac{240}{500}=0.480\,A$$

با توجه به نمودار شکل ۹-۱، این جریان تحریک ولتاژ داخلی E_{AO} معادل $199V$ را در سرعت n_o یعنی $1200\,r/\min$ تولید می‌کند. در نتیجه سرعت n در ولتاژ $240V$ خواهد شد:

$$\frac{E_A}{E_{AO}}=\frac{n}{n_o}\Rightarrow n=\frac{E_A}{E_{AO}}n_o=\frac{240}{199}(1200)=1447\,r/\min$$

(۹-۶) اگر این ماشین را مستقیماً به منبع تغذیه V_T وصل کنیم، جریان راه‌اندازی آن چقدر می‌شود؟ این جریان را با جریان موتور در بار کامل مقایسه کنید.

حل: جریان راه‌اندازی این ماشین (با نادیده گرفتن جریان کم میدان) می‌شود:

$$I_{L,start}=\frac{V_T}{R_A}=\frac{240}{0.40}=600\,A$$

جریان نامی موتور $55\,A$ است، بنابرین جریان راه‌اندازی 10.9 برابر جریان بار کامل است. در این جریان احتمال آسیب سیم‌پیچ‌ها و خراب شدن موتور وجود دارد.

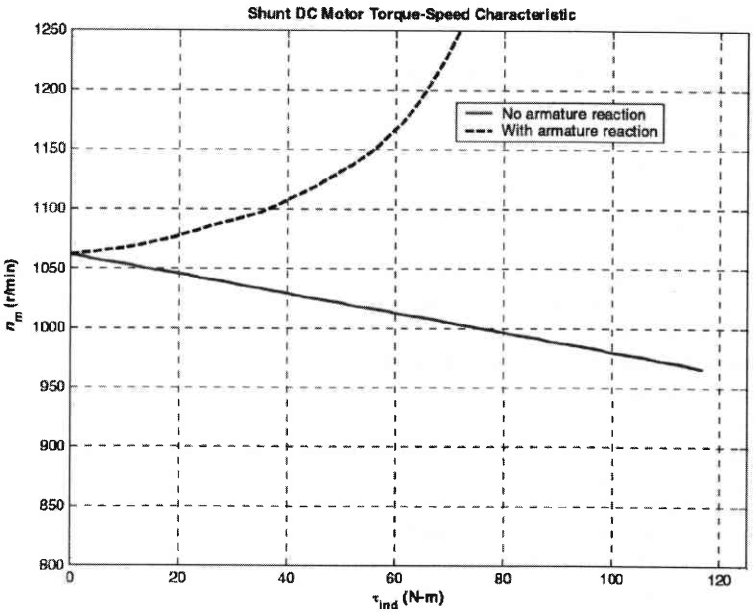
(۹-۷) مشخصهٔ گشتاور- سرعت این موتور را با نادیده گرفتن عکس‌العمل آرمیچر رسم کنید. این کار را با فرض اینکه عکس‌العمل آرمیچر در بار کامل برابر 1200 آمپردور باشد، تکرار کنید؟

حل: این مسئله با برنامه MATLAB بهتر حل می‌شود. بدین منظور برنامهٔ زیر را می‌نویسیم.

```
% M-file: prob9_7.m
% M-file to create a plot of the torque-speed curve of the
% the shunt dc motor with and without armature reaction.
% Get the magnetization curve. Note that this curve is
% defined for a speed of 1200 r/min.
```

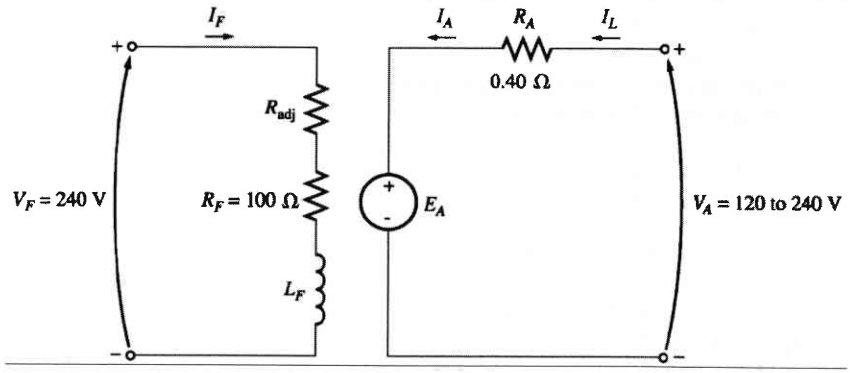
```
load p91_mag.dat
if_values = p91_mag(:,1);
ea_values = p91_mag(:,2);
n_0 = 1200;
% First, initialize the values needed in this program.
v_t = 240; % Terminal voltage (V)
r_f = 100; % Field resistance (ohms)
r_adj = 175; % Adjustable resistance (ohms)
r_a = 0.40; % Armature resistance (ohms)
i_l = 0:1:55; % Line currents (A)
n_f = 2700; % Number of turns on field
f_ar0 = 1200; % Armature reaction @ 55 A (A-t/m)
% Calculate the armature current for each load.
i_a = i_l - v_t / (r_f + r_adj);
% Now calculate the internal generated voltage for
% each armature current.
e_a = v_t - i_a * r_a;
% Calculate the armature reaction MMF for each armature
% current.
f_ar = (i_a / 55) * f_ar0;
% Calculate the effective field current with and without
% armature reaction. Ther term i_f_ar is the field current
% with armature reaction, and the term i_f_noar is the
% field current without armature reaction.
i_f_ar = v_t / (r_f + r_adj) - f_ar / n_f;
i_f_noar = v_t / (r_f + r_adj);
% Calculate the resulting internal generated voltage at
% 1200 r/min by interpolating the motor's magnetization
% curve.
e_a0_ar = interp1(if_values,ea_values,i_f_ar);
e_a0_noar = interp1(if_values,ea_values,i_f_noar);
% Calculate the resulting speed from Equation (9-13).
n_ar = ( e_a ./ e_a0_ar ) * n_0;
n_noar = ( e_a ./ e_a0_noar ) * n_0;
% Calculate the induced torque corresponding to each
% speed from Equations (8-55) and (8-56).
t_ind_ar = e_a .* i_a ./ (n_ar * 2 * pi / 60);
t_ind_noar = e_a .* i_a ./ (n_noar * 2 * pi / 60);
% Plot the torque-speed curves
figure(1);
plot(t_ind_noar,n_noar,'b-','LineWidth',2.0);
hold on;
plot(t_ind_ar,n_ar,'k--','LineWidth',2.0);
xlabel('\bf\tau_{ind} (N-m)');
ylabel('\bf\itn_{m} \rm\bf(r/min)');
title ('\bfShunt DC Motor Torque-Speed Characteristic');
legend('No armature reaction','With armature reaction');
axis([ 0 125 800 1250]);
grid on;
hold off;
```

با اجرای برنامهٔ MATLAB نمودارهای شکل ۹-۳ بدست می‌آید.



شکل ۹-۳ نمودارهای مربوط به مسأله ۹-۷

برای مسأله ۹-۸ و ۹-۹ موتور dc شنت را به‌صورت تحریک مستقل متصل می‌کنیم، این اتصال در شکل ۹-۴ نشان داده شده است. ولتاژ میدان آن مقدار ثابت $240V$ است و ولتاژ آرمیچر (V_A) می‌تواند بین 120 تا $240V$ تغییر کند.



شکل ۹-۴ موتور dc تحریک مستقل

(۹-۸) سرعت بی‌باری این موتور را با $R_{adj} = 175\,\Omega$ به ازای $V_A = 120V$ و $V_A = 180V$ و $V_A = 240V$ بدست آورید؟

حل: در شرایط بی‌باری $E_A = V_A$ است. در این صورت جریان میدان برابر است با:

$$I_F = \frac{V_F}{R_{adj} + R_F} = \frac{240}{175 + 100} = \frac{240}{275} = 0.873\ A$$

با توجه به منحنی شکل ۹-۱ این جریان تحریک، ولتاژ داخلی $271V$ را در سرعت n_o معادل $1200\ r/\min$ تولید می‌کند. در نتیجه سرعت در ولتاژ $240V$ برابر است با:

$$\frac{E_A}{E_{AO}} = \frac{n}{n_o} \Rightarrow n = \frac{E_A}{E_{AO}} n_o$$

$$V_A = 120\ V \Rightarrow E_A = 120\ V \Rightarrow n = \frac{120}{271}(1200) = 531\ r/\min$$

$$V_A = 180\ V \Rightarrow E_A = 180\ V \Rightarrow n = \frac{180}{271}(1200) = 797\ r/\min$$

$$V_A = 240\ V \Rightarrow E_A = 240\ V \Rightarrow n = \frac{240}{271}(1200) = 1063\ r/\min$$

(۹-۹) برای موتور تحریک مستقل مسئله ۹-۸:

الف) ماکزیمم سرعت بی‌باری که با تغییر هر دو کمیت V_A و R_{adj} می‌توان بدست آورد، چقدر است؟

ب) مینیمم سرعت بی‌باری که با تغییر هر دو کمیت V_A و R_{adj} می‌توان بدست آورد، چقدر است؟

حل: الف) ماکزیمم سرعت با ماکزیمم V_A و ماکزیمم R_{adj} رخ خواهد داد. جریان میدان وقتی $R_{adj} = 400\ \Omega$ است، برابر است با:

$$I_F = \frac{V_T}{R_{adj} + R_F} = \frac{240}{400 + 100} = \frac{240}{500} = 0.48\ A$$

از منحنی شکل ۹-۱پیداست که این جریان تحریک، ولتاژ داخلی $E_{AO} = 199V$ را در سرعت n_o تولید خواهد کرد. در شرایط بی‌باری ماکزیمم ولتاژ داخلی $E_A = V_A = 240V$ است. بنابرین سرعت n با ولتاژ $240V$ خواهد شد:

$$\frac{E_A}{E_{AO}} = \frac{n}{n_o} \Rightarrow n = \frac{E_A}{E_{AO}} n_o = \frac{240}{199}(1200) = 1447\ r/\min$$

ب) مینیمم سرعت با مینیمم V_A و مینیمم R_{adj} رخ می‌دهد. جریان میدان وقتی $R_{adj} = 100\ \Omega$ است، برابر است با:

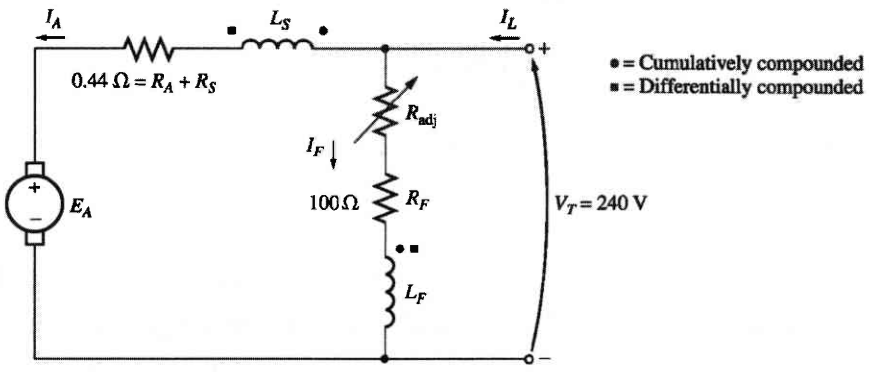
$$I_F = \frac{V_F}{R_{adj} + R_F} = \frac{240}{100 + 100} = \frac{240}{200} = 1.2\ A$$

از منحنی شکل ۹-۱ پیداست که این جریان تحریک، ولتاژ داخلی $E_{AO} = 287V$ را در سرعت n_o تولید می‌کند. در شرایط بی‌باری مینیمم ولتاژ داخلی $E_A = V_A = 120V$ است. بنابرین سرعت در

ولتاژ $120V$ برابر است با:

$$\frac{E_A}{E_{AO}} = \frac{n}{n_o} \Rightarrow n = \frac{E_A}{E_{AO}} n_o = \frac{120}{287}(1200) = 502\ r/\min$$

(۹-۱۰) اگر موتور به صورت نشان داده شده در شکل ۹-۵ به‌صورت کمپوند اضافی وصل شود و $R_{adj} = 175\ \Omega$ باشد، سرعت بی‌باری موتور چقدر خواهد بود؟ سرعت در بار کامل چقدر است؟ تنظیم سرعت این موتور چقدر است؟ مشخصه گشتاور- سرعت این موتور را محاسبه و رسم کنید؟ (عکس‌العمل آرمیچر را نادیده بگیرید).



شکل ۹-۵ موتور dc کمپوند اضافی

حل: در شرایط بی‌باری $E_A = V_T = 240V$ است. در این صورت جریان تحریک می‌شود:

$$I_F = \frac{V_F}{R_{adj} + R_F} = \frac{240}{175 + 100} = \frac{240}{275} = 0.87\ A$$

با توجه به نمودار شکل ۹-۱، این جریان تحریک، ولتاژ داخلی $E_{AO} = 271V$ را در سرعت n_o تولید خواهد کرد. در نتیجه سرعت موتور در ولتاژ $240V$ خواهد شد:

$$\frac{E_A}{E_{AO}} = \frac{n}{n_o} \Rightarrow n = \frac{E_A}{E_{AO}} n_o = \frac{240}{271}(1200) = 1063\ r/\min$$

در شرایط بی‌باری جریان آرمیچر برابر است با:

$$I_A = I_L - I_F = I_L - \frac{V_F}{R_{adj} + R_F} = 55 - 0.87 = 54.13\ A$$

ولتاژ داخلی E_A برابر است با:

$$E_A = V_T - I_A(R_A + R_S) = 240 - (54.13)(0.44) = 216.2V$$

جریان میدان معادل برابر است با:

$$I_F^* = I_F + \frac{N_{SE}}{N_F} I_A = 0.873 + \frac{27}{2700}(54.13) = 1.41\ A$$

با توجه به نمودار شکل ۹-۱، این جریان میدان، ولتاژ داخلی $E_{AO} = 290V$ را در سرعت n_o تولید خواهد کرد. بنابرین داریم:

$$n = \frac{E_A}{E_{AO}} n_o = \frac{216.2}{290}(1200) = 895\ r/\min$$

تنظیم سرعت می‌شود:

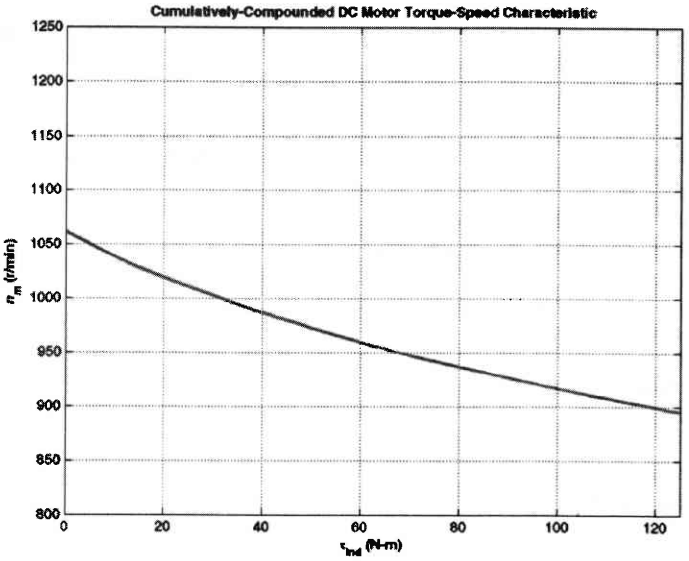
$$SR = \frac{n_{nl} - n_{fl}}{n_{fl}} \times 100\% = \frac{1063 - 895}{895} \times 100\% = 18.8\%$$

منحنی گشتاور- سرعت موتور dc کمپوند اضافی با برنامهٔ MATLAB زیر رسم می‌شود.

```
% M-file: prob9_10.m
% M-file to create a plot of the torque-speed curve of the
% a cumulatively compounded dc motor without
% armature reaction.
% Get the magnetization curve. Note that this curve is
% defined for a speed of 1200 r/min.
load p91_mag.dat
if_values = p91_mag(:,1);
ea_values = p91_mag(:,2);
n_0 = 1200;
% First, initialize the values needed in this program.
v_t = 240; % Terminal voltage (V)
r_f = 100; % Field resistance (ohms)
r_adj = 175; % Adjustable resistance (ohms)
r_a = 0.44; % Armature + series resistance (ohms)
i_l = 0:55; % Line currents (A)
n_f = 2700; % Number of turns on shunt field
n_se = 27; % Number of turns on series field
% Calculate the armature current for each load.
i_a = i_l - v_t / (r_f + r_adj);
% Now calculate the internal generated voltage for
% each armature current.
e_a = v_t - i_a * r_a;
% Calculate the effective field current for each armature
% current.
i_f = v_t / (r_f + r_adj) + (n_se / n_f) * i_a;
% Calculate the resulting internal generated voltage at
% 1200 r/min by interpolating the motor's magnetization
% curve.
e_a0 = interp1(if_values,ea_values,i_f);
% Calculate the resulting speed from Equation (9-13).
n = ( e_a ./ e_a0 ) * n_0;
% Calculate the induced torque corresponding to each
% speed from Equations (8-55) and (8-56).
t_ind = e_a .* i_a ./ (n * 2 * pi / 60);
% Plot the torque-speed curves
figure(1);
plot(t_ind,n,'b-','LineWidth',2.0);
xlabel('\bf\tau_{ind} (N-m)');
ylabel('\bf\itn_{m} \rm\bf(r/min)');
```

```
title ('\bfCumulatively-Compounded DC Motor Torque-Speed
Characteristic');
axis([0 125 800 1250]);
grid on;
```

با اجرای برنامه فوق منحنی شکل ۹-۶ بدست می‌آید.



شکل ۹-۶ منحنی گشتاور- سرعت موتور dc کمپوند اضافی

منحنی گشتاور- سرعت این موتور را با موتور موازی در مسئله ۹-۷ مقایسه کنید.

(۹-۱۱) موتور به‌صورت کمپوند اضافی وصل شده و در بار کامل کار می‌کند. سرعت موتور به ازای $R_{adj} = 250\,\Omega$ چقدر است؟ این سرعت را با سرعت بار کامل بدست آمده در مسئله ۹-۱۰ مقایسه کنید.

حل: اگر R_{adj} برابر $250\,\Omega$ شود، جریان تحریک می‌شود:

$$I_F = \frac{V_T}{R_{adj} + R_F} = \frac{240}{250+100} = \frac{240}{350} = 0.686\,A$$

در شرایط بار کامل جریان آرمیچر برابر است با:

$$I_A = I_L - I_F = 55 - 0.686 = 54.3\,A$$

ولتاژ داخلی E_A می‌شود:

$$E_A = V_T - I_A(R_A + R_S) = 240 - (54.3)(0.44) = 216.1V$$

جریان تحریک معادل برابر است با:

$$I_F^* = I_F + \frac{N_{SE}}{N_F} I_A = 0.686 + \frac{27}{2700}(54.3) = 1.23\,A$$

با توجه به نمودار شکل ۹-۱، این جریان تحریک ولتاژ داخلی $E_{AO}=288V$ را در سرعت n_o تولید می‌کند. بنابراین سرعت جدید برابر است با:

$$n=\frac{E_A}{E_{AO}}n_o=\frac{216.1}{288}(1200)=900\ r/\min$$

سرعت جدید بار کامل بزرگ‌تر از سرعت بار کامل در مسئله ۹-۱۰ است.

(۹-۱۲) اکنون موتور را به‌صورت کمپوند نقصانی وصل می‌کنیم:

الف) اگر $R_{adj}=175\ \Omega$ باشد، سرعت بی‌باری موتور چقدر است؟

ب) هنگامی که جریان آرمیچر به $20\ A$، $40\ A$ و $60\ A$ می‌رسد، سرعت موتور چقدر می‌شود؟

ج) منحنی مشخصهٔ گشتاور- سرعت این موتور را محاسبه و رسم کنید.

حل: الف) در شرایط بی‌باری $E_A=V_T=240V$ است. جریان میدان می‌شود:

$$I_F=\frac{V_T}{R_{adj}+R_F}=\frac{240}{175+100}=\frac{240}{275}=0.873\ A$$

با توجه به نمودار شکل ۹-۱ این جریان تحریک، یک ولتاژ داخلی $E_{AO}=271V$ را در سرعت n_o می‌دهد. بنابراین سرعت در ولتاژ $240V$ خواهد شد:

$$\frac{E_A}{E_{AO}}=\frac{n}{n_o}\Rightarrow n=\frac{E_A}{E_{AO}}n_o=\frac{240}{271}(1200)=1063\ r/\min$$

ب) در جریان $I_A=20\ A$ ولتاژ داخلی E_A می‌شود:

$$E_A=V_T-I_A(R_A+R_S)=240-(20)(0.44)=231.2V$$

جریان تحریک معادل برابر است با:

$$I_F^*=I_F-\frac{N_{SE}}{N_F}I_A=0.873-\frac{27}{2700}(20)=0.673\ A$$

با توجه به نمودار شکل ۹-۱، این جریان تحریک، ولتاژ داخلی $E_{AO}=245V$ را در سرعت n_o تولید خواهد کرد. بنابراین داریم:

$$n=\frac{E_A}{E_{AO}}n_o=\frac{231.2}{245}(1200)=1132\ r/\min$$

در جریان $I_A=40\ A$ ولتاژ داخلی E_A می‌شود:

$$E_A=V_T-I_A(R_A+R_S)=240-(40)(0.44)=222.4V$$

جریان تحریک معادل می‌شود:

$$I_F^*=I_F-\frac{N_{SE}}{N_F}I_A=0.873-\frac{27}{2700}(40)=0.473\ A$$

با توجه به نمودار شکل ۹-۱، این جریان تحریک، ولتاژ داخلی $E_{AO}=197V$ را در سرعت n_o تولید خواهد کرد. بنابراین داریم:

$$n=\frac{E_A}{E_{AO}}n_o=\frac{227.4}{197}(1200)=1385\ r/\min$$

در جریان $I_A = 60\,A$ ولتاژ داخلی E_A می‌شود:

$$E_A = V_T - I_A(R_A + R_S) = 240 - (60)(0.44) = 213.6V$$

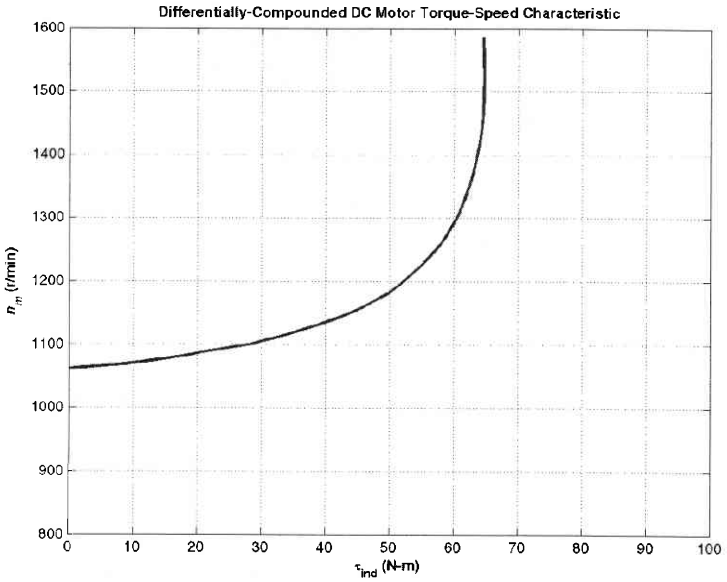
جریان تحریک معادل برابر است با:

$$I_F^* = I_F - \frac{N_{SE}}{N_F} I_A = 0.873 - \frac{27}{2700}(60) = 0.273\ A$$

با توجه به نمودار شکل ۹-۱، این جریان میدان، ولتاژ داخلی $E_{AO} = 121V$ را در سرعت n_o تولید خواهد کرد. بنابراین داریم:

$$n = \frac{E_A}{E_{AO}} n_o = \frac{213.6}{121}(1200) = 2118\ r/\min$$

با نوشتن و اجرای یک برنامه، مشابهٔ برنامهٔ سوال ۹-۱۰، مشخصهٔ گشتاور – سرعت موتور کمپوند نقصانی به‌صورت شکل ۹-۷ بدست می‌آید.



شکل ۹-۷ مشخصهٔ گشتاور – سرعت موتور کمپوند نقصانی

این منحنی گشتاور- سرعت را با موتور شنت در مسئله ۹-۷ و موتور کمپوند اضافی در مسئله ۹-۱۰ مقایسه کنید.

(۹-۱۴) یک موتور سری $20\ hp$، $240V$، $76A$، $900\ r/\min$ دارای پیچک میدانی با ۳۳ دور در هر قطب است. مقاومت آرمیچر موتور 0.09Ω و مقاومت میدان آن 0.06Ω است. منحنی مغناطیسی در جدول زیر به‌صورت نیروی محرکهٔ مغناطیسی بر حسب E_A در سرعت $900\ r/\min$ داده شده است:

$E_A(V)$	95	212	188	212	229	243
$F(A.turns)$	500	1000	1500	2000	2500	3000

در این ماشین عکس‌العمل آرمیچر ناچیز است.

الف) گشتاور، سرعت و توان خروجی ماشین را به ازای جریانی برابر با 33، 67، 100 و 133 درصد جریان آرمیچر در بار کامل بدست آورید.

ب) مشخصهٔ پایانهٔ این ماشین را رسم کنید.

حل: جریان بار کامل 76 آمپر است. لذا این محاسبات باید برای جریان آرمیچر $25.3A$، $50.7A$، $76A$ و $101.3A$ آمپر انجام شود.

برای $I_A = 25.3\,A$ داریم:

$$E_A = V_T - I_A(R_A + R_S) = 240 - (25.3)(0.09 + 0.06) = 236.2V$$

نیروی محرکهٔ مغناطیسی برای این جریان برابر است با:

$$F = NI_A = 33 \times 25.3 = 835 A.turns$$

با توجه به جدول و با درون‌یابی، ولتاژ متناظر با این نیروی محرکهٔ مغناطیسی $134V$ بدست می‌آید. این ولتاژ در سرعت $900r/\min$ است، بنابراین سرعت در شرایط جدید برابر است با:

$$n = \frac{E_A}{E_{AO}} n_o = \frac{236.2}{134}(900) = 1586\, r/\min$$

$$P_{conv} = E_A I_A = (236.2)(25.3) = 5976W$$

$$\tau_{ind} = \frac{P_{conv}}{\omega_m} = \frac{5976}{(1586)\frac{2\pi}{60}} = 36\, N.m$$

برای $I_A = 50.7A$ داریم:

$$E_A = V_T - I_A(R_A + R_S) = 240 - (50.7)(0.09 + 0.06) = 232.4V$$

نیروی محرکهٔ مغناطیسی برای این جریان برابر است با:

$$F = NI_A = 33 \times 50.7 = 1672 A.turns$$

با توجه به جدول و با درون‌یابی، ولتاژ متناظر با این نیروی محرکهٔ مغناطیسی $197V$ بدست می‌آید. این ولتاژ در سرعت $900r/\min$ است، بنابراین سرعت در شرایط جدید برابر است با:

$$n = \frac{E_A}{E_{AO}} n_o = \frac{232.4}{197}(900) = 1062\, r/\min$$

$$P_{conv} = E_A I_A = (232.4)(50.7) = 11780W$$

$$\tau_{ind} = \frac{P_{conv}}{\omega_m} = \frac{11780}{(1062)\frac{2\pi}{60}} = 106\, N.m$$

برای $I_A = 76\,A$ داریم:

$$E_A = V_T - I_A(R_A + R_S) = 240 - (76)(0.09 + 0.06) = 228.6V$$

نیروی محرکهٔ مغناطیسی برای این جریان برابر است با:

$$F = NI_A = 33 \times 76 = 2508 A.turns$$

با توجه به جدول و با درون‌یابی، ولتاژ متناظر با این نیروی محرکهٔ مغناطیسی $229V$ بدست می‌آید. این ولتاژ در سرعت $900r/\min$ است، بنابراین سرعت در شرایط جدید برابر است با:

$$n = \frac{E_A}{E_{AO}} n_o = \frac{228.6}{229}(900) = 899\ r/\min$$

$$P_{conv} = E_A I_A = (228.6)(76) = 17370W$$

$$\tau_{ind} = \frac{P_{conv}}{\omega_m} = \frac{17.370}{(899)\frac{2\pi}{60}} = 185\ N.m$$

برای $I_A = 101.3\ A$ داریم:

$$E_A = V_T - I_A(R_A + R_S) = 240 - (101.3)(0.09 + 0.06) = 224.8V$$

نیروی محرکهٔ مغناطیسی برای این جریان برابر است با:

$$F = NI_A = 33 \times 101.3 = 3343 A.turns$$

با توجه به جدول و با درون‌یابی، ولتاژ متناظر با این نیروی محرکهٔ مغناطیسی $252V$ بدست می‌آید. این ولتاژ در سرعت $900r/\min$ است، بنابراین سرعت در شرایط جدید برابر است با:

$$n = \frac{E_A}{E_{AO}} n_o = \frac{224.8}{252}(900) = 803\ r/\min$$

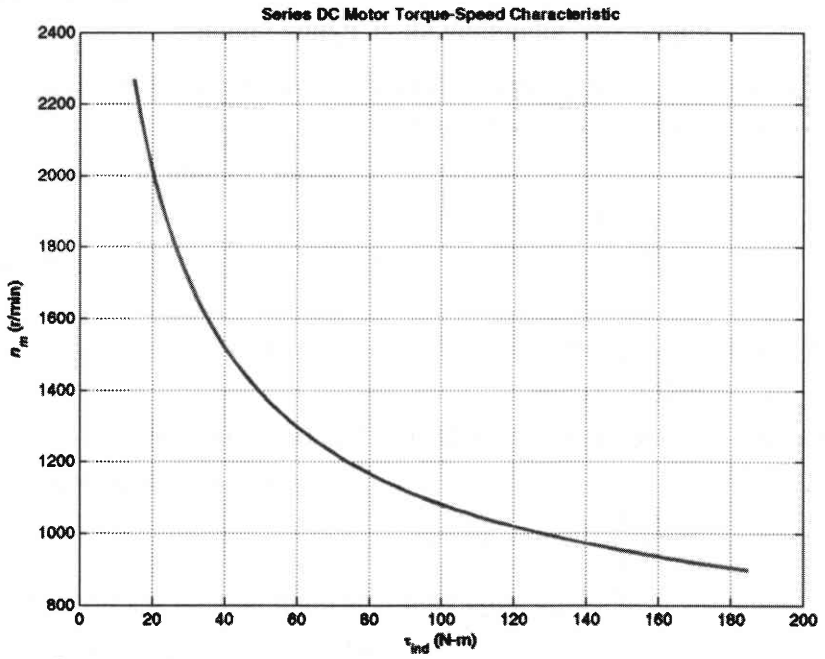
$$P_{conv} = E_A I_A = (224.8)(101.3) = 22770W$$

$$\tau_{ind} = \frac{P_{conv}}{\omega_m} = \frac{22770}{(803)\frac{2\pi}{60}} = 271\ N.m$$

ب) برنامه MATLAB زیر برای رسم مشخصهٔ گشتاور – سرعت موتور سری آمده است. با اجرای برنامه منحنی ۹-۸ بدست می‌آید.

```
% M-file: series_ts_curve.m
% M-file to create a plot of the torque-speed curve of the
% the series dc motor in Problem 9-14.
% Get the magnetization curve. Note that this curve is
% defined for a speed of 900 r/min.
load prob9_14_mag.dat
mmf_values = prob9_14_mag(:,1);
ea_values = prob9_14_mag(:,2);
n_0 = 900;
% First, initialize the values needed in this program.
v_t = 240; % Terminal voltage (V)
r_a = 0.15; % Armature + field resistance (ohms)
i_a = 15:1:76; % Armature (line) currents (A)
n_s = 33; % Number of series turns on field
% Calculate the MMF for each load
f = n_s * i_a;
```

```
% Calculate the internal generate voltage e_a.
e_a = v_t - i_a * r_a;
% Calculate the resulting internal generated voltage at
% 900 r/min by interpolating the motor's magnetization
% curve. Specify cubic spline interpolation to provide
% good results with this sparse magnetization curve.
e_a0 = interp1(mmf_values,ea_values,f,'spline');
% Calculate the motor's speed from Equation (9-13).
n = (e_a ./ e_a0) * n_0;
% Calculate the induced torque corresponding to each
% speed from Equations (8-55) and (8-56).
t_ind = e_a .* i_a ./ (n * 2 * pi / 60);
% Plot the torque-speed curve
figure(1);
plot(t_ind,n,'b-','LineWidth',2.0);
hold on;
xlabel('\bf\tau_{ind} (N-m)');
ylabel('\bf\itn_{m} \rm\bf(r/min)');
title ('\bfSeries DC Motor Torque-Speed Characteristic');
%axis([ 0 700 0 5000]);
grid on;
hold off;
```



شکل ۹-۸ مشخصهٔ گشتاور – سرعت موتور سری ؟؟

(۹-۱۵) یک موتور dc شنت $300\ hp$، $440V$، $560A$ و $863\ r/\min$ آزمایش شده و نتایج زیر بدست آمده است.

آزمایش رتور قفل شده: $V_F = 440V$ $V_A = 16.3V$ بدون افت جاروبک‌ها

$I_F = 8.86\ A$ $I_A = 500\ A$

آزمایش بی‌باری:

$I_F = 8.76\ A$ $V_A = 16.3V$ با افت جاروبک‌ها

$n = 863\ r/\min$ $I_A = 23.1\ A$

بازدهٔ موتور را در شرایط نامی بدست آورید. فرض‌های زیر را در نظر بگیرید.

- افت ولتاژ جاروبک‌ها ۲ ولت است.
- تلفات هسته باید به ازای ولتاژ آرمیچر برابر با ولتاژ آرمیچر در بار کامل حساب شود.
- تلفات پراکنده ۱ درصد بار کامل است.

حل: مقاومت آرمیچر موتور برابر است با:

$$R_A = \frac{V_{A,br}}{I_{A,br}} = \frac{16.3}{500} = 0.0326\ \Omega$$

ولتاژ داخلی برابر است با:

$$E_A = V_A - V_{brush} - I_A R_A = 442 - 2 - (23.1)(0.0326) = 439.2V$$

تلفات چرخشی در حالت بی‌باری محاسبه می‌شود، (توان خروجی در حالت بی‌باری صفر است)، داریم:

$$P_{rot} = P_{conv} = E_A I_A = (439.2)(23.1) = 10.15\ kW$$

توان ورودی موتور در بار کامل برابر است با:

$$P_{in} = V_T I_L = (440)(560) = 246.4\ kW$$

و برای توان خروجی داریم:

$$P_{out} = P_{in} - P_{cu} - P_{rot} - P_{brush} - P_{stray}$$

$$P_{cu} = I_A^2 R_A + V_F I_F = (560)^2 (0.0326) + (440)(8.86) = 14.1\ kW$$

$$P_{brush} = V_{brush} I_A = (2)(560) = 1120W$$

$$P_{out} = 246.4\ kW - 14.1\ kW - 10.15\ kW - 1.12\ kW - 2.46\ kW = 218.6\ kW$$

بازدهٔ این موتور در بار کامل برابر است با:

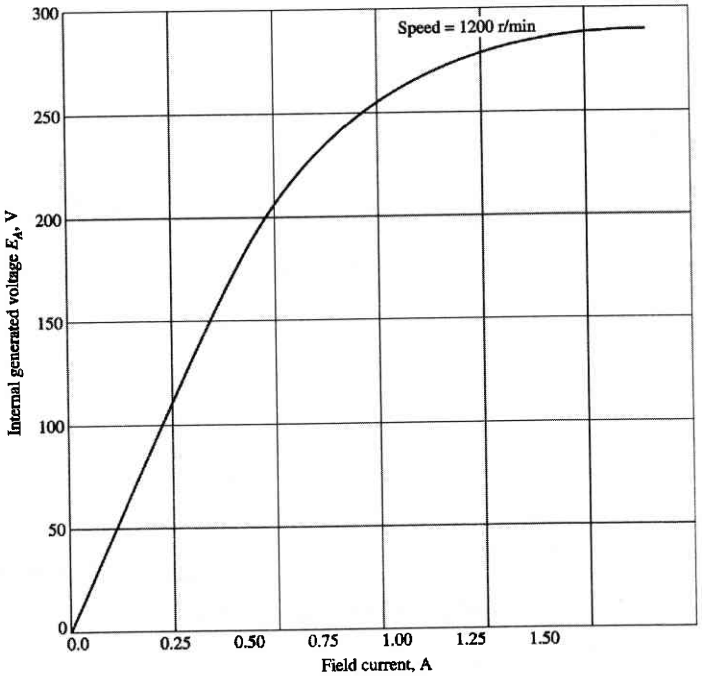
$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% = \frac{218.6kW}{246.4kW} \times 100\% = 88.7\%$$

مسائل ۹-۱۶ تا ۹-۱۹ به یک موتور dc، $240\ V$، $100A$ مربوط می‌شود که دارای سیم‌پیچ‌های موازی و سری است. مشخصات این موتور به قرار زیر است:

$n_m = 1200r/\min$ $R_A = 0.14\Omega$ $R_S = 0.04\Omega$ $R_F = 200\Omega$

$N_F = 1500$ دور $N_{SE} = 12$ دور $R_{adj} = 0 - 300\Omega$ فعلاً $R_{adj} = 120\Omega$

این موتور دارای سیم‌پیچ‌های جبران‌کننده و میان‌قطبی است. منحنی مغناطیسی این موتور در سرعت $1200r/\min$ در شکل ۹-۹ نشان داده شده است.



شکل ۹-۹ منحنی مغناطیسی موتور

(۹-۱۶) موتور توصیف شدهٔ فوق را به‌صورت شنت وصل کرده‌ایم.
الف) سرعت بی‌باری این موتور به ازای $R_{adj} = 120\ \Omega$ چقدر است؟
ب) سرعت این موتور در بار کامل چقدر است؟
ج) تحت شرایط بی‌باری با تنظیم R_{adj} سرعت را در چه محدوده‌ای می‌توان تنظیم کرد؟

حل: الف) اگر $R_{adj} = 120\Omega$ باشد، داریم: (در موتور و ژنراتور شنت $V_F = V_T$ است).

$$I_F = \frac{V_T}{R_F + R_{adj}} = \frac{240}{200+120} = 0.75\ A$$

از منحنی مغناطیسی برای جریان تحریک فوق $E_A = 256\ V$ بدست می‌آید؛ بنابراین داریم:

$$n = \frac{E_A}{E_{AO}} n_o = \frac{240}{256}(1200) = 1125\ r/\min$$

ب) سرعت موتور در بار کامل:

$$I_A = I_L - I_F = 100 - 0.75 = 99.25\ A$$
$$E_A = V_T - I_A R_A = 240 - (99.25)(0.14) = 226.1\ V$$
$$n = \frac{E_A}{E_{AO}} n_o = \frac{226.1}{256}(1200) = 1060\ r/\min$$

ج) اگر $R_{adj} = 300\Omega$ باشد، داریم:

$$I_F = \frac{V_T}{R_F + R_{adj}} = \frac{240}{200+300} = 0.48\,A$$

از منحنی مغناطیسی برای جریان تحریک فوق $E_A = 200\,V$ بدست می‌آید؛ بنابراین داریم:

$$n = \frac{E_A}{E_{AO}} n_o = \frac{240}{200}(1200) = 1440\,r/\min$$

اگر $R_{adj} = 0\Omega$ باشد، داریم: $I_F = \frac{V_T}{R_F + R_{adj}} = \frac{240}{200+0} = 1.2\,A$

از منحنی مغناطیسی برای جریان تحریک فوق $E_A = 287\,V$ بدست می‌آید؛ بنابراین داریم:

$$n = \frac{E_A}{E_{AO}} n_o = \frac{240}{287}(1200) = 1004\,r/\min$$

(۹-۱۷) اکنون این ماشین را به‌صورت یک موتور کمپوند اضافی با $R_{adj} = 120\,\Omega$ وصل می‌کنیم.
الف) سرعت این موتور در بار کامل چقدراست؟ ب) مشخصهٔ سرعت - گشتاور این موتور را رسم کنید؟
ج) تنظیم سرعت این موتور چقدر است؟

حل: الف) سرعت موتور در بار کامل؛ داریم: $I_A = I_L - I_F = 100 - 0.75 = 99.25\,A$

$$E_A = V_T - I_A(R_A + R_S) = 240 - (99.25)(0.14+0.05) = 221.1V$$

$$I_F = \frac{V_T}{R_F + R_{adj}} = \frac{240}{200+120} = 0.75\,A$$

موتور کمپوند اضافی است و برای جریان تحریک مؤثر داریم:

$$I_F^* = I_F + \frac{N_{SE}}{N_F} I_A = 0.75 + \frac{12}{1500}(99.25) = 1.54\,A$$

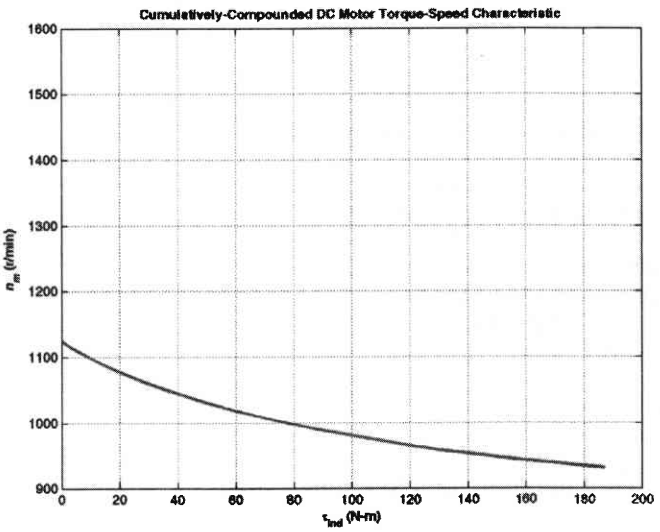
از منحنی مغناطیسی برای جریان تحریک فوق $E_A = 290\,V$ بدست می‌آید؛ بنابراین داریم:

$$n = \frac{E_A}{E_{AO}} n_o = \frac{221.1}{290}(1200) = 915\,r/\min$$

ب) برنامه MATLAB مشخصهٔ گشتاور- سرعت این موتور در زیر آمده است، با اجرای این برنامه منحنی شکل ۹-۱۰ بدست می‌آید.

```
% M-file: prob9_17.m
% M-file to create a plot of the torque-speed curve of the
% a cumulatively compounded dc motor.
% Get the magnetization curve.
load p96_mag.dat;
if_values = p96_mag(:,1);
ea_values = p96_mag(:,2);
n_0 = 1200;
% First, initialize the values needed in this program.
v_t = 240; % Terminal voltage (V)
r_f = 200; % Field resistance (ohms)
```

```
r_adj = 120; % Adjustable resistance (ohms)
r_a = 0.19; % Armature + series resistance (ohms)
i_l = 0:2:100; % Line currents (A)
n_f = 1500; % Number of turns on shunt field
n_se = 12; % Number of turns on series field
% Calculate the armature current for each load.
i_a = i_l - v_t / (r_f + r_adj);
% Now calculate the internal generated voltage for
% each armature current.
e_a = v_t - i_a * r_a;
% Calculate the effective field current for each armature
% current.
i_f = v_t / (r_f + r_adj) + (n_se / n_f) * i_a;
% Calculate the resulting internal generated voltage at
% 1800 r/min by interpolating the motor's magnetization
% curve.
e_a0 = interp1(if_values,ea_values,i_f);
% Calculate the resulting speed from Equation (9-13).
n = ( e_a ./ e_a0 ) * n_0;
% Calculate the induced torque corresponding to each
% speed from Equations (8-55) and (8-56).
t_ind = e_a .* i_a ./ (n * 2 * pi / 60);
% Plot the torque-speed curves
figure(1);
plot(t_ind,n,'b-','LineWidth',2.0);
xlabel('\bf\tau_{ind} (N-m)');
ylabel('\bf\itn_{m} \rm\bf(r/min)');
title ('\bfCumulatively-Compounded DC Motor Torque-Speed
Characteristic');
axis([0 200 900 1600]);
grid on;
```



شکل ۹-۱۰ مشخصهٔ گشتاور- سرعت موتور

ج) تنظیم سرعت این موتور برابر است با:

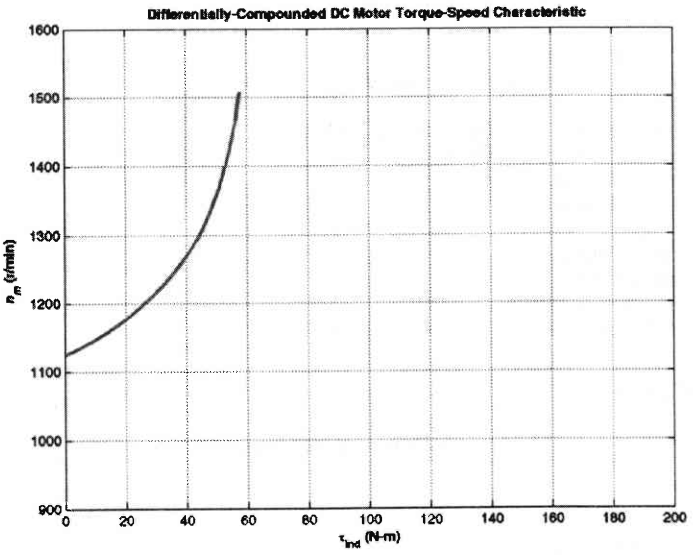
$$SR = \frac{n_{nl} - n_{fl}}{n_{fl}} \times 100\% = \frac{1125 - 915}{915} \times 100\% = 23\%$$

(۹-۱۸) اکنون موتور را به‌صورت کمپوند نقصانی وصل کرده و R_{adj} را روی 120Ω تنظیم می‌کنیم. شکل منحنی مشخصهٔ گشتاور - سرعت را رسم کنید.

حل: برای رسم منحنی، برنامه زیر را در محیط MATLAB می‌نویسیم.

```
% M-file: prob9_18.m
% M-file to create a plot of the torque-speed curve of the
% a differentially compounded dc motor.
% Get the magnetization curve.
load p96_mag.dat;
if_values = p96_mag(:,1);
ea_values = p96_mag(:,2);
n_0 = 1200;
% First, initialize the values needed in this program.
v_t = 240; % Terminal voltage (V)
r_f = 200; % Field resistance (ohms)
r_adj = 120; % Adjustable resistance (ohms)
r_a = 0.19; % Armature + series resistance (ohms)
i_l = 0:2:40; % Line currents (A)
n_f = 1500; % Number of turns on shunt field
n_se = 12; % Number of turns on series field
% Calculate the armature current for each load.
i_a = i_l - v_t / (r_f + r_adj);
% Now calculate the internal generated voltage for
% each armature current.
e_a = v_t - i_a * r_a;
% Calculate the effective field current for each armature
% current.
i_f = v_t / (r_f + r_adj) - (n_se / n_f) * i_a;
% Calculate the resulting internal generated voltage at
% 1800 r/min by interpolating the motor's magnetization
% curve.
e_a0 = interp1(if_values,ea_values,i_f);
% Calculate the resulting speed from Equation (9-13).
n = ( e_a ./ e_a0 ) * n_0;
% Calculate the induced torque corresponding to each
% speed from Equations (8-55) and (8-56).
t_ind = e_a .* i_a ./ (n * 2 * pi / 60);
% Plot the torque-speed curves
figure(1);
plot(t_ind,n,'b-','LineWidth',2.0);
xlabel('\bf\tau_{ind} (N-m)');
ylabel('\bf\itn_{m} \rm\bf(r/min)');
title ('\bfDifferentially-Compounded DC Motor Torque-Speed
Characteristic');
axis([0 200 900 1600]);
grid on;
```

با اجرای برنامه، منحنی گشتاور - سرعت کمپوند نقصانی به‌صورت شکل ۹-۱۱ بدست می‌آید.



شکل ۹-۱۱ منحنی گشتاور - سرعت کمپوند نقصانی

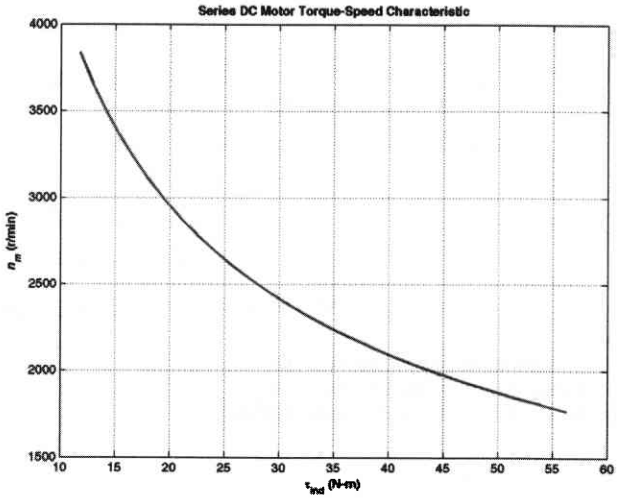
(۹-۱۹) اکنون با خارج کردن میدان موازی این ماشین از آن یک موتور سری می‌سازیم. منحنی گشتاور - سرعت موتور را در این وضعیت رسم کنید.

حل: برای رسم منحنی، برنامه زیر را در محیط MATLAB می‌نویسیم:

```
% M-file: prob9_19.m
% M-file to create a plot of the torque-speed curve of the
% a series dc motor. This motor was formed by removing
% the shunt field from the cumulatively-compounded machine
% if Problem 9-17.
% Get the magnetization curve.
load p96_mag.dat;
if_values = p96_mag(:,1);
ea_values = p96_mag(:,2);
n_0 = 1200;
% First, initialize the values needed in this program.
v_t = 240; % Terminal voltage (V)
r_a = 0.19; % Armature + series resistance (ohms)
i_l = 20:1:45; % Line currents (A)
n_f = 1500; % Number of turns on shunt field
n_se = 12; % Number of turns on series field
% Calculate the armature current for each load.
i_a = i_l;
% Now calculate the internal generated voltage for
% each armature current.
e_a = v_t - i_a * r_a;
% Calculate the effective field current for each armature
% current. (Note that the magnetization curve is defined
% in terms of shunt field current, so we will have to
% translate the series field current into an equivalent
% shunt field current.
```

```
i_f = (n_se / n_f) * i_a;
% Calculate the resulting internal generated voltage at
% 1800 r/min by interpolating the motor's magnetization
% curve.
e_a0 = interp1(if_values,ea_values,i_f);
% Calculate the resulting speed from Equation (9-13).
n = ( e_a ./ e_a0 ) * n_0;
% Calculate the induced torque corresponding to each
% speed from Equations (8-55) and (8-56).
t_ind = e_a .* i_a ./ (n * 2 * pi / 60);
% Plot the torque-speed curves
figure(1);
plot(t_ind,n,'b-','LineWidth',2.0);
xlabel('\bf\tau_{ind} (N-m)');
ylabel('\bf\itn_{m} \rm\bf(r/min)');
title ('\bfSeries DC Motor Torque-Speed Characteristic');
grid on;
```

با اجرای برنامه، منحنی گشتاور - سرعت موتور سری به‌صورت شکل ۹-۱۲ بدست می‌آید.



شکل ۹-۱۲ منحنی گشتاور - سرعت موتور سری

(۹-۲۰) می‌خواهیم برای یک موتور شنت با مقادیر نامی $15\ hp$، $240V$، $60A$ یک مدار راه‌انداز خودکار طراحی کنیم. مقاومت آرمیچر موتور $0.15\ \Omega$ و مقاومت میدان شنت آن $40\ \Omega$ است. می‌خواهیم موتور در هنگام شروع جریانی بیش از 250 درصد جریان نامی‌اش نداشته باشد و به محض اینکه جریان آن به مقدار نامی‌اش می‌رسد یک بخش از مقاومت راه‌انداز از مدار خارج شود. تعداد بخش‌های مقاومت راه‌انداز و اندازه هر بخش را تعیین کنید.

حل: جریان تحریک و جریان آرمیچر در حالت نامی برابر است با:

$$I_F = \frac{V_T}{R_F} = \frac{240}{40} = 6A$$

$$I_A = I_L - I_F = 60 - 6 = 54A$$

می‌خواهیم موتور در هنگام شروع جریانی بیش از 250 درصد جریان نامی‌اش نداشته باشد، بنابراین حداکثر جریان در راه‌اندازی برابر است با: $2.5\times 54A = 135A$. بنابراین مقدار مقاومت در لحظهٔ اول راه‌اندازی برابر است با:

$$R_A + R_{start,1} = \frac{240}{135} = 1.778\,\Omega \xrightarrow{R_A=0.15} R_{start,1} = 1.778 - 0.15 = 1.628\,\Omega$$

حال که $R_{start,1}$ در مدار قرار گرفت ولتاژ القا شده برابر است با:

$$E_A = 240 - (1.778)(54) = 144V$$

وقتی ولتاژ القا شد، بخشی از $R_{start,1}$ از مدار خارج می‌شود، در این صورت داریم:

$$R_A + R_{start,2} = \frac{240-144}{135} = 0.711\,\Omega$$

و روند فوق را تا جایی تکرار می‌کنیم که حداکثر جریان آرمیچر از حد مجاز خود تجاوز نکند، داریم:

$$R_{start,2} = 0.711 - 0.15 = 0.561\,\Omega$$

$$E_A = 240 - (0.711)(54) = 201.6V$$

$$R_A + R_{start,3} = \frac{240-201.6}{135} = 0.284\,\Omega$$

$$R_{start,3} = 0.284 - 0.15 = 0.134\,\Omega$$

$$E_A = 240 - (0.284)(54) = 224.7\,V$$

$$I_A = \frac{240-224.7}{0.15} = 102\,A$$

که این مقدار جریان از حداکثر مجاز جریان آرمیچر کمتر است. بنابراین یک مقاومت راه‌انداز سه مرحله‌ای کفایت می‌کند. مقاومت هر مرحله به‌قرار زیر است:

$$R_{start,1} = R_1 + R_2 + R_3 = 1.628\,\Omega$$

$$R_{start,2} = R_2 + R_3 = 0.561\,\Omega$$

$$R_{start,3} = R_3 = 0.134\,\Omega$$

$$R_1 = 1.067\Omega \quad , \quad R_2 = 0.427\Omega \quad , \quad R_3 = 0.134\Omega$$

(۹-۲۱) جریان آرمیچر یک موتور dc موازی $15\,hp$، $230V$ و $1800\,r/\min$ وقتی در شرایط بار کامل کار می‌کند، $I_A = 60\,A$ است. مقاومت آرمیچر موتور $R_A = 0.15\,\Omega$ و مقاومت میدان آن $R_F = 80\,\Omega$ است. مقاومت قابل تنظیم مدار میدان (R_{adj}) را می‌توان در گسترهٔ 0 تا $200\,\Omega$ تغییر داد و مقدار فعلی آن $90\,\Omega$ است. در این ماشین عکس‌العمل آرمیچر را می‌توان نادیده گرفت. منحنی مغناطیسی این موتور در سرعت $1800\,r/\min$ در جدول زیر داده شده است.

$E_A(V)$	8.5	150	180	215	226	242
$I_F(A)$	0.00	0.80	1.00	1.28	1.44	2.88

الف) سرعت این موتور، هنگامی که در شرایط نامی بیان شده در صورت مسأله کار می‌کند، چقدر است؟

ب) در شرایط نامی توان خروجی موتور $7.5\,hp$ است. گشتاور خروجی موتور، چقدر است؟

ج) تلفات مسی و تلفات چرخشی موتور در بار کامل چقدر است؟
د) بازدهٔ این موتور در بار کامل چقدر است؟
ه) اگر اکنون موتور را بی‌بار کنیم ولی ولتاژ داخلی و R_{adj} را تغییر ندهیم، سرعت بی‌باری آن چقدر می‌شود؟
و) فرض کنید موتور در شرایط بی‌باری توصیف شده در بخش (ه) کار می‌کند، اگر مدار میدان موتور باز شود چه اتفاقی برای آن می‌افتد؟ تحت این شرایط، سرعت ماندگار نهایی موتور را با چشم‌پوشی از عکس‌العمل آرمیچر محاسبه کنید؟
ز) اگر بتوانیم R_{adj} را در محدودهٔ تعیین شده تغییر دهیم، سرعت بی‌باری این موتور را در چه گستره‌ای می‌توانیم تنظیم کنیم؟

حل: الف) اگر R_{adj} برابر $90\ \Omega$ باشد، داریم:

$$I_F = \frac{V_T}{R_F + R_{adj}} = \frac{230}{90+80} = 1.35\ A$$

با توجه به منحنی مغناطیسی داریم: $I_F = 1.35A \Rightarrow E_A = 221V$. از رابطه نیز داریم:

$$E_A = V_T - I_A R_A = 230 - (60)(0.15) = 221V$$

بنابراین سرعت موتور هنگامی که در شرایط نامی کار می‌کند، برابر است با:

$$n = \frac{E_A}{E_{AO}} n_o = \frac{221}{221}(1800) = 1800 r/\min$$

ب) گشتاور خروجی موتور برابر است با:

$$\tau_{out} = \frac{P_{out}}{\omega_m} = \frac{(15)(746)}{(1800)\frac{2\pi}{60}} = 59.4\ N.m$$

ج) تلفات مسی موتور در بار کامل برابر است با:

$$P_{cu} = I_A^2 R_A + V_F I_F = (60)^2(0.15) + (230)(1.35) = 851W$$

و توان تبدیل شده و تلفات چرخشی نیز در بار کامل برابر است با:

$$P_{conv} = E_A I_A = (221)(60) = 13260W$$
$$P_{out} = (15)(746) = 11190W$$
$$P_{rot} = P_{conv} - P_{out} = 13260 - 11190 = 2070W$$

د) توان ورودی و بازدهٔ موتور در بار کامل برابر است با:

$$P_{in} = V_T(I_A + I_F) = (230)(60+1.35) = 14100W$$
$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% = \frac{11190}{14100} \times 100\% = 79.4\%$$

ه) در حالت بی‌باری $E_A = 230\ V$ است، بنابراین سرعت بی‌باری برابر است با:

$$n = \frac{E_A}{E_{AO}} n_o = \frac{230}{221}(1800) = 1873\ r/\min$$

و) اگر سیم‌پیچ میدان مدار باز باشد، $I_F = 0A$ می‌شود، در این صورت طبق جدول مغناطیس‌شوندگی موتور $E_{AO} = 8.5\ V$ در سرعت $1800rpm$ است، بنابراین داریم:

$$n = \frac{E_A}{E_{AO}} n_o = \frac{230}{8.5}(1800) = 48700\ r/\min$$

ز) بیشترین مقدار R_{adj} برابر $200\,\Omega$ است، بنابراین داریم:

$$I_F = \frac{V_T}{R_F + R_{adj}} = \frac{230}{80+200} = 0.821\,A$$

طبق جدول مغناطیس‌شوندگی موتور برای جریان تحریک فوق، $E_{AO} = 153\,V$ در سرعت $1800rpm$ است، بنابراین داریم:

$$n = \frac{E_A}{E_{AO}} n_o = \frac{230}{153}(1800) = 2706\,r/\min$$

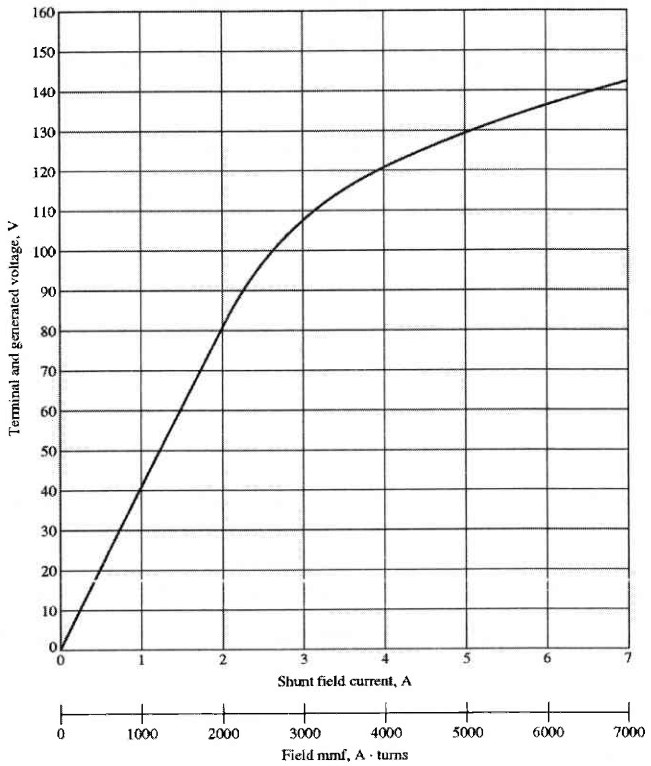
و کمترین مقدار R_{adj} برابر $0\,\Omega$ است، داریم:

$$I_F = \frac{V_T}{R_F + R_{adj}} = \frac{230}{80+0} = 2.875\,A$$

طبق جدول مغناطیس‌شوندگی موتور برای جریان تحریک فوق، $E_{AO} = 242\,V$ در سرعت $1800rpm$ است، بنابراین داریم:

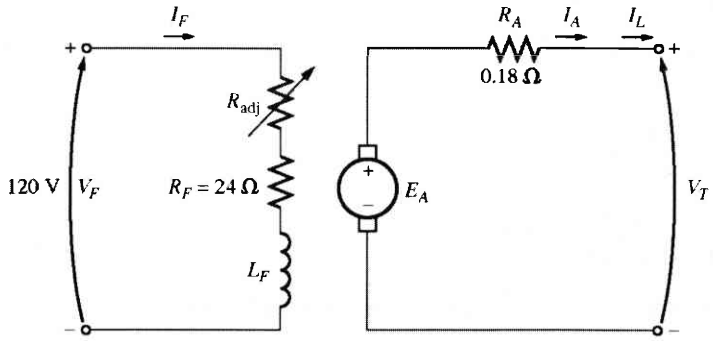
$$n = \frac{E_A}{E_{AO}} n_o = \frac{230}{242}(1800) = 1711\,r/\min$$

(۹-۲۲) شکل ۹-۱۲ منحنی مغناطیسی یک ژنراتور dc تحریک مستقل را نشان می‌دهد.



شکل ۹-۱۲ منحنی مغناطیسی ژنراتور dc تحریک مستقل

مقادیر نامی ژنراتور $6\,kW$، $120V$، $50\,A$ و $1800\,r/\min$ است. مدار معادل ژنراتور در شکل ۹-۱۳ نشان داده شده است. مقدار نامی جریان تحریک $5\,A$ است.



شکل ۹-۱۳ ژنراتور dc تحریک مستقل

اطلاعات زیر برای این ماشین موجود است:

$R_{adj} = 0-30\Omega \quad V_F = 120V \quad R_A = 0.18\Omega \quad R_F = 24\Omega \quad N_F = 1000$ دور بر قطب

در مورد این ماشین به سوالات زیر، با فرض نداشتن عکس‌العمل آرمیچر، پاسخ دهید.

الف) اگر ژنراتور درحالت بی‌باری کارکند، با تغییر R_{adj} ولتاژ خروجی‌اش را در چه گستره‌ای می‌توان تنظیم کرد؟

ب) اگر رئوستای میدان بین 0 تا 30 اهم و سرعت ژنراتور بین 1500 تا 2000 دور بر دقیقه تغییر کند، ماکزیمم و مینیمم ولتاژ بی‌باری این ژنراتور چقدر است؟

حل: الف) اگر R_{adj} برابر $0\,\Omega$ باشد، داریم:

$$I_{F,\max} = \frac{V_F}{R_F + R_{adj}} = \frac{120}{24+0} = 5\,A$$

و اگر R_{adj} برابر $30\,\Omega$باشد، داریم:

$$I_{F,\min} = \frac{V_F}{R_F + R_{adj}} = \frac{120}{24+30} = 2.22\,A$$

با جریان‌های تحریک فوق، از روی منحنی بی‌باری، حداقل و حداکثر ولتاژ به‌ترتیب ۸۷/۴ و ۱۲۹ ولت بدست می‌آید.

ب) حداکثر ولتاژ در بیشترین سرعت و جریان تحریک اتفاق می‌افتد. حداکثر ولتاژ بی‌باری در سرعت $1800r/\min$ برابر $129\,V$ است. در سرعت $2000r/\min$ داریم:

$$\frac{E_A}{E_{AO}} = \frac{n}{n_o}$$

$$E_A = \frac{n}{n_o}E_{AO} = \frac{2000}{1800}(129) = 143V$$

برای حداقل تحریک و سرعت $1500r/\min$، مینیمم ولتاژ بی‌باری بدست می‌آید، داریم:

$$\frac{E_A}{E_{AO}}=\frac{n}{n_o}$$

$$E_A=\frac{n}{n_o}E_{AO}=\frac{1500}{1800}(87.4)=72.8V$$

(۹-۲۳) اگر جریان آرمیچر ژنراتور مسئلهٔ ۹-۲۲ برابر $50A$، سرعت ژنراتور برابر $1700\,r/\min$ و ولتاژ پایانه برابر $106V$ باشد، چه جریانی از سیم‌پیچی میدان آن می‌گذرد؟

حل: ولتاژ داخلی در سرعت $1700\,r/\min$ برابر است با:

$$E_A=V_T+I_AR_A=106+(50)(0.18)=115V$$

ولتاژ داخلی در سرعت $1800\,r/\min$ برابر است با:

$$\frac{E_A}{E_{AO}}=\frac{n}{n_o}$$

$$E_A=\frac{n}{n_o}E_{AO}=\frac{1800}{1700}(115)=121.8V$$

(۹-۲۴) فرض کنید عکس‌العمل آرمیچر ژنراتور مسئله ۹-۲۲ در بار کامل معادل نیروی محرکه مغناطیسی 400 آمپردور باشد. به ازای $I_A=50A$، $I_F=5A$ و $n_m=1700\,r/\min$ ولتاژ پایانهٔ ژنراتور چقدر می‌شود؟

حل: برای جریان تحریک $I_F=5A$ و جریان آرمیچر $I_A=50A$ نیروی محرکه برابر است با:

$$F_{net}=NI_F-F_{AR}=1000\times5-400=4600A.turns$$

$$I_F^*=\frac{F_{net}}{N_F}=\frac{4600}{1000}=4.6A$$

طبق منحنی بی‌باری، برای جریان تحریک فوق در سرعت $n_m=1800\,r/\min$، ولتاژ بی‌باری ۱۲۶ ولت بدست می‌آید. برای سرعت $n_m=1700\,r/\min$ داریم:

$$E_A=\frac{n}{n_o}E_{AO}=\frac{1700}{1800}(126)=119V$$

$$V_T=E_A-I_AR_A=119-(50)(0.18)=110V$$

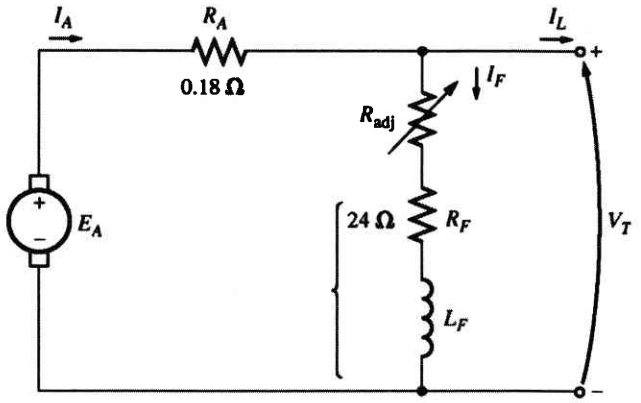
(۹-۲۵) ماشین مسئلهٔ ۹-۲۲ مطابق شکل ۹-۱۴ به‌صورت یک ژنراتور شنت وصل شده است. مقاومت رئوستای میدان، (R_{adj})، برابر $10\,\Omega$ تنظیم شده و سرعت ژنراتور $1800\,r/\min$ است.

الف) ولتاژ خروجی این ژنراتور در حالت بی‌باری چقدر است؟

ب) با فرض نداشتن عکس‌العمل آرمیچر، ولتاژ پایانهٔ ژنراتور به ازای جریان آرمیچر $20\,A$ و $40\,A$ چقدر است؟

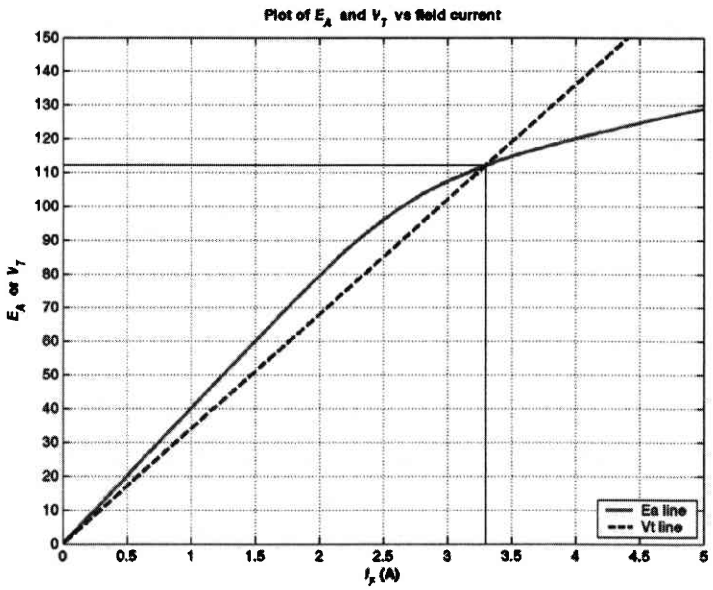
ج) با فرض اینکه عکس‌العمل آرمیچر در بار کامل معادل 200 آمپردور باشد، ولتاژ پایانهٔ ژنراتور به ازای جریان آرمیچر $20\,A$ و $40\,A$ چقدر است؟

د) مشخصات پایانه‌ای این ژنراتور را با عکس‌العمل و بدون عکس‌العمل آرمیچر محاسبه و رسم کنید.



شکل ۹-۱۴ ژنراتور شنت مربوط به مسئله ۹-۲۵

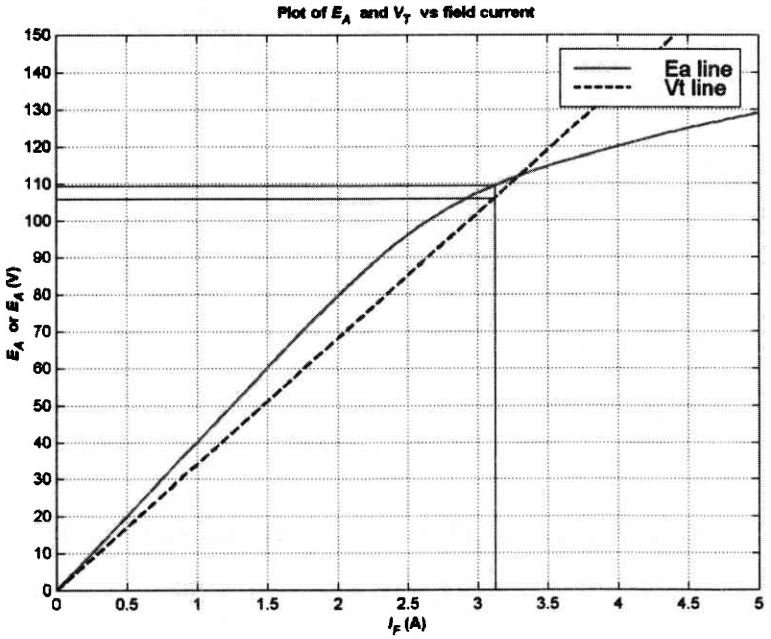
حل: الف) وقتی مقاومت رئوستای میدان، (R_{adj})، بر روی $10\,\Omega$ تنظیم شود، کل مقاومت میدان در این ژنراتور $34\,\Omega$ خواهد شد. در این صورت ولتاژ بی‌باری ترمینال را می‌توان از تلاقی منحنی مغناطیسی با خط مقاومت، (یعنی؛ $V_T = 34\,I_F$)، بدست آورد. این دو منحنی در شکل ۹-۱۵ نشان داده شده است. همان‌طوری که در شکل می‌بینید، دو منحنی در ۱۱۲ ولت یکدیگر را قطع کرده‌اند، بنابراین ولتاژ خروجی این ژنراتور در حالت بی‌باری برابر ۱۱۲ ولت است.



شکل ۹-۱۵ منحنی‌های ولتاژ ترمینال و ولتاژ داخلی بر حسب جریان تحریک

ب) در جریان آرمیچر $20\,A$، ولتاژ داخلی به میزان $R_A I_A$ یعنی $20A \times 0.18\Omega = 3.6V$ افت می‌کند.

همان‌گونه که در شکل ۹-۱۶ نشان داده شده است، یک اختلاف ۳/۶ ولتی بین ولتاژ داخلی و ولتاژ ترمینال که در حدود $106V$ است، وجود دارد.

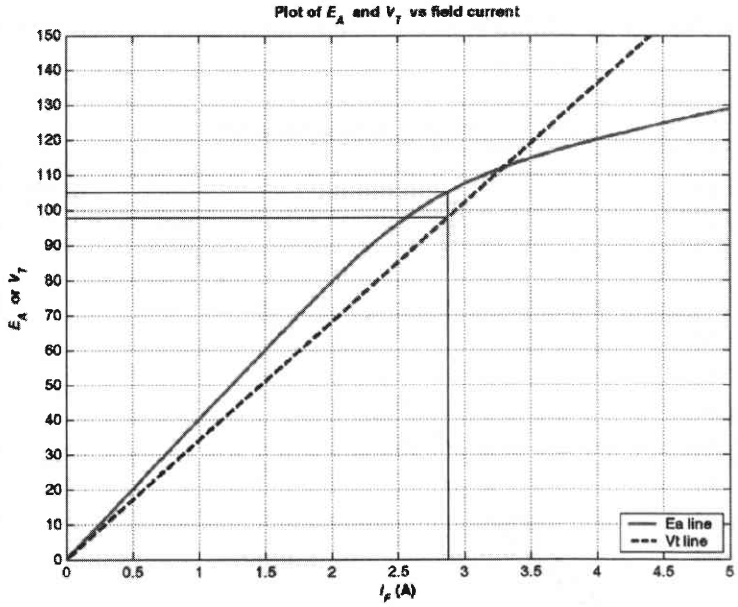


شکل ۹-۱۶ منحنی‌های ولتاژ ترمینال و ولتاژ داخلی بر حسب جریان تحریک

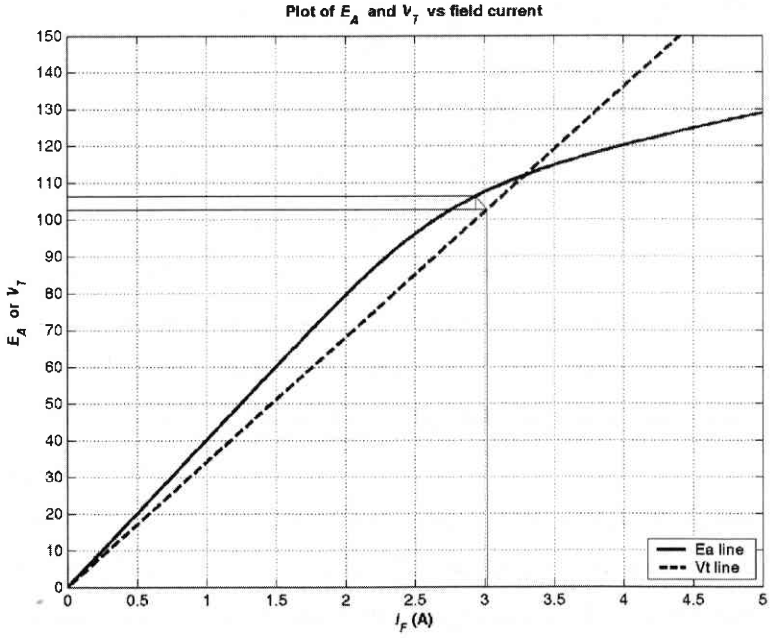
در جریان آرمیچر $40A$، ولتاژ داخلی به میزان $40\times0.8=7.2V$ افت می‌کند. همان‌گونه که از شکل ۹-۱۷ مشاهده می‌شود، یک اختلاف ولتاژ ۷/۲ ولتی بین E_A و V_T (در ولتاژ ترمینال $98V$) وجود دارد.

ج) جریان نامی در این ژنراتور $50A$ است، بنابراین $20A$ معادل 40% بار کامل است. اگر در بار کامل عکس‌العمل آرمیچر برابر 200 آمپردور باشد و اگر عکس‌العمل آرمیچر به‌صورت خطی نسبت به جریان آرمیچر تغییر کند، در جریان آرمیچر $20A$، عکس‌العمل آرمیچر برابر 80 آمپردور خواهد بود. شکل ۹-۱۸ نشان می‌دهد که یک مثلث تشکیل شده از ولتاژ 3.6 ولت و جریان تحریک بین E_A و V_T (در ولتاژ ترمینال $103V$) وجود دارد.

مشابه قسمت قبل، جریان نامی ژنراتور $50A$ است، بنابراین $40A$ معادل 80% بار کامل است. اگر در بار کامل عکس‌العمل آرمیچر 200 آمپردور باشد و اگر عکس‌العمل آرمیچر به‌صورت خطی نسبت به جریان آرمیچر تغییر کند، در جریان آرمیچر $40A$، عکس‌العمل برابر 160آمپردور خواهد بود. چون نقطه‌ای وجود ندارد که مثلث تشکیل شده از 3.6 ولت و جریان تحریک $160A.turns/1000turns=0.16A$ بین E_A و V_T قرار گیرد، این شرایط ناپایدار است.



شکل۹-۱۷ منحنی‌های ولتاژ ترمینال و ولتاژ داخلی بر حسب جریان تحریک

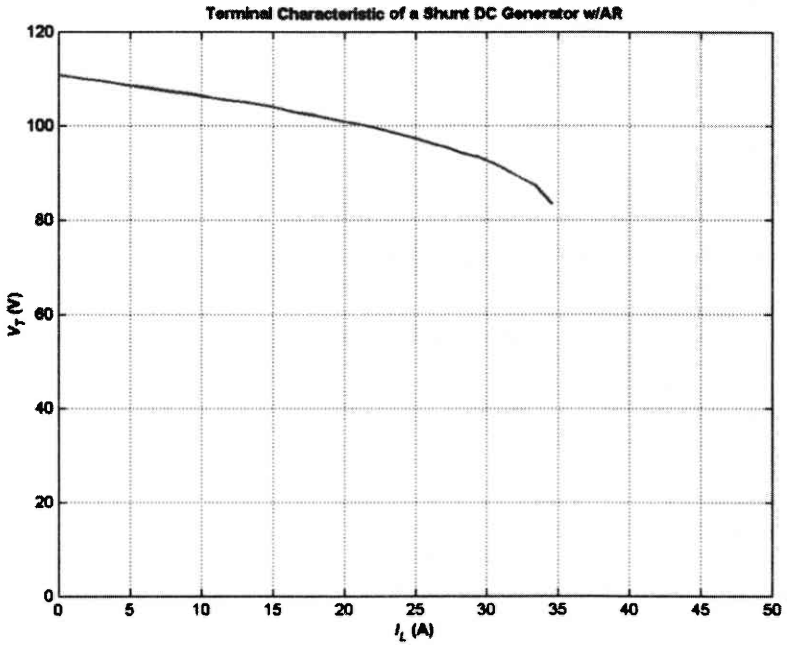


شکل ۹-۱۸ منحنی‌های ولتاژ ترمینال و ولتاژ داخلی بر حسب جریان تحریک

د) ولتاژ پایانه ژنراتور بدون وجود عکس‌العمل آرمیچر را می‌توان با استفاده از برنامهٔ زیر بدست آورد.

```
% M-file: prob9_25d.m
% M-file to calculate the terminal characteristic of a shunt
% dc generator without armature reaction.
% Get the magnetization curve. This file contains the
% three variables if_values, ea_values, and n_0.
load p97_mag.dat;
if_values = p97_mag(:,1);
ea_values = p97_mag(:,2);
n_0 = 1800;
% First, initialize the values needed in this program.
r_f = 24; % Field resistance (ohms)
r_adj = 10; % Adjustable resistance (ohms)
r_a = 0.18; % Armature + series resistance (ohms)
i_f = 0:0.005:6; % Field current (A)
n = 1800; % Generator speed (r/min)
% Calculate Ea versus If
Ea = interp1(if_values,ea_values,i_f);
% Calculate Vt versus If
Vt = (r_f + r_adj) * i_f;
% Find the point where the difference between the two
% lines is exactly equal to i_a*r_a. This will be the
% point where the line line "Ea - Vt - i_a*r_a" goes
% negative.
i_a = 0:1:50;
for jj = 1:length(i_a)
% Get the voltage difference
diff = Ea - Vt - i_a(jj)*r_a;
% This code prevents us from reporting the first (unstable)
% location satisfying the criterion.
was_pos = 0;
for ii = 1:length(i_f);
if diff(ii) > 0
was_pos = 1;
end
if ( diff(ii) < 0 & was_pos == 1 )
break;
end;
end;
% Save terminal voltage at this point
v_t(jj) = Vt(ii);
i_l(jj) = i_a(jj) - v_t(jj) / ( r_f + r_adj);
end;
% Plot the terminal characteristic
figure(1);
plot(i_l,v_t,'b-','LineWidth',2.0);
xlabel('\bf\itI_{L} \rm\bf(A)');
ylabel('\bf\itV_{T} \rm\bf(V)');
title ('\bfTerminal Characteristic of a Shunt DC Generator');
hold off;
axis( [ 0 50 0 120]);
grid on;
```

با اجرای برنامه فوق، مشخصهٔ ترمینال ژنراتور به‌صورت شکل ۹-۱۹ است:



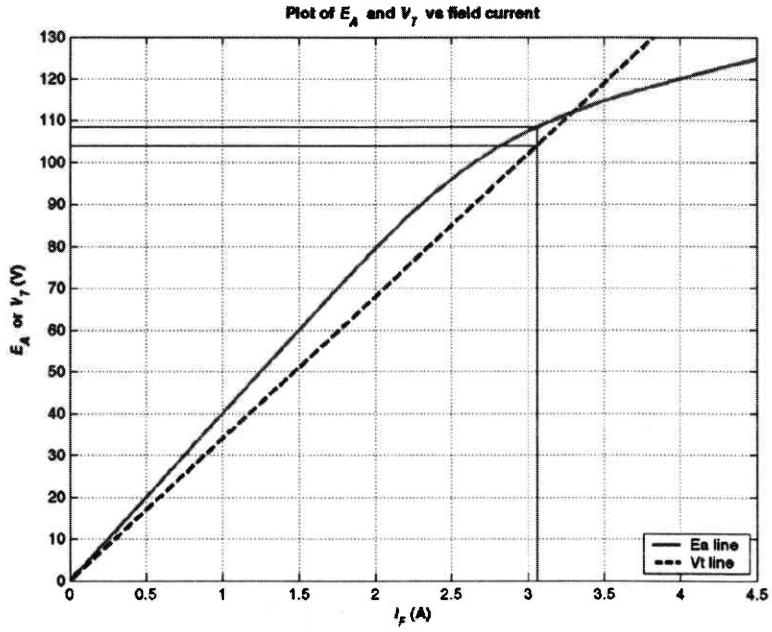
شکل ۹-۱۹ مشخصهٔ ترمینال ژنراتور مسئلهٔ ۹-۲۵

(۹-۲۶) اگر ماشین مسئلهٔ ۹-۲۵ با سرعت $1800\,r/\min$، مقاومت میدان $R_{adj}=10\,\Omega$ و جریان آرمیچر $25\,A$ کار کند، ولتاژ خروجی آن چقدر می‌شود؟ اگر مقاومت خارجی میدان $5\,\Omega$ شود و جریان آرمیچر $25\,A$ بماند، ولتاژ خروجی جدید چقدر است؟ (عکس‌العمل آرمیچر را نادیده بگیرید).

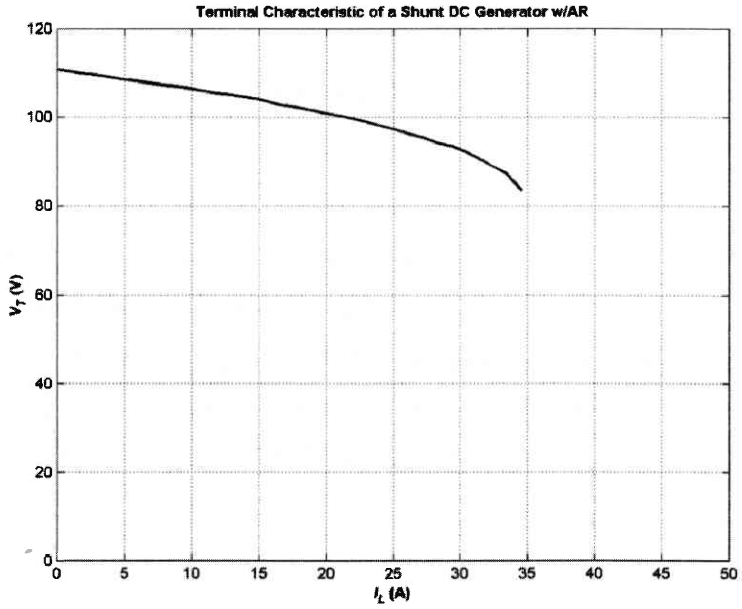
حل: اگر $I_A=25\,A$ باشد، در این صورت $R_A I_A=(25)(0.8)=4.5V$ می‌شود. نقطه‌ای که اختلاف بین E_A و V_T دقیقاً برابر $4.5V$ است، متناظر با ولتاژ $104V$ است. در شکل ۹-۲۰ این موضوع نشان داده شده است.

اگر $R_{adj}=5\Omega$ شود، کل مقاومت میدان برابر است با: $R_{adj}+R_F=5+24=29\Omega$

در این صورت شیب خط ولتاژ ترمینال کمتر می‌شود. نقطهٔ جدیدی که اختلاف بین E_A و V_T دقیقاً برابر $4.5V$ است، همان‌طوری در شکل ۹-۲۱ نشان داده شده است، متناظر با ولتاژ $115\,V$ است.



شکل ۹-۲۰ منحنی‌های ولتاژ ترمینال و ولتاژ داخلی بر حسب جریان تحریک



شکل ۹-۲۱ منحنی ولتاژ ترمینال بر حسب جریان تحریک

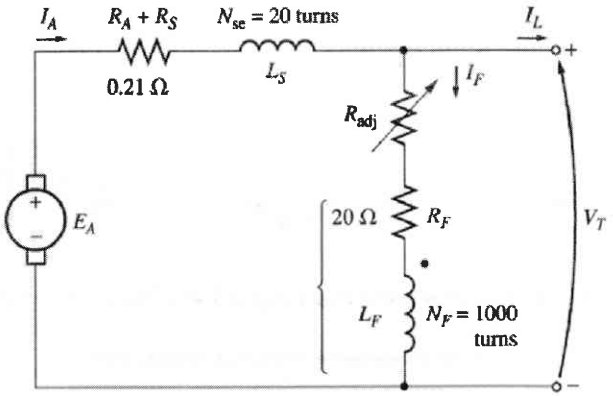
(۹-۲۷) یک ژنراتور dc کمپوند اضافی $120\,V$ و $50\,A$ دارای مشخصات زیر است.

$N_F = 1000 turns$ $\quad R_A + R_S = 0.21\Omega$

$N_{SE} = 20 turns$ $\quad R_F = 20\,\Omega$

$n_m = 1800\,r/\min$ $\quad R_{adj} = 0 - 30\,\Omega$

در حال حاضر $R_{adj} = 10\,\Omega$ است. منحنی مغناطیسی این ماشین به‌صورت شکل ۹-۷ است. مدار معادل ژنراتور در شکل ۹-۲۲ نشان داده شده است. با فرض نداشتن عکس‌العمل آرمیچر، به سوال‌های زیر در مورد این ماشین پاسخ دهید.



شکل ۹-۲۲ مدار معادل ژنراتور مسئلهٔ ۹-۲۷ ؟؟

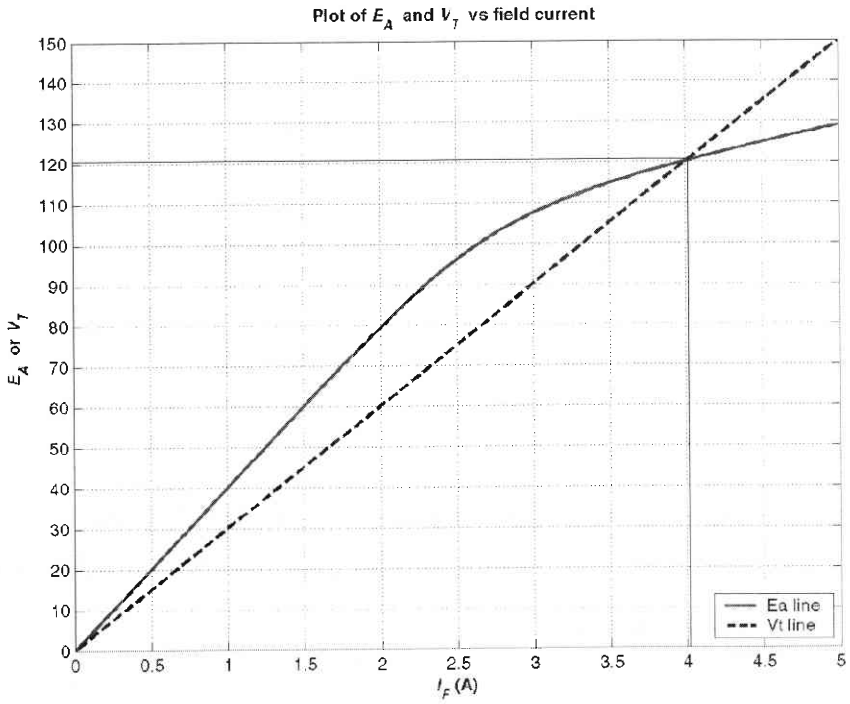
الف) ولتاژ پایانهٔ این ژنراتور در حالت بی‌باری چقدر است؟

ب) اگر جریان آرمیچر $20A$ باشد، ولتاژ پایانه چقدر است؟

ج) ولتاژ پایانه به ازای جریان آرمیچر $40\ A$ چقدر است؟

د) مشخصهٔ پایانه‌ای این ماشین را محاسبه و رسم کنید.

حل: الف) مقاومت کل میدان در این ژنراتور $30\,\Omega$ است و ولتاژ بی‌باری ترمینال را می‌توان از تلاقی منحنی مغناطیسی و خط مقاومت بدست آورد. شکل این منحنی‌ها در شکل ۹ - ۲۳ نشان داده شده است. پیداست که دو منحنی در ولتاژ $121\,V$ یکدیگر را قطع می‌کنند.



شکل ۹ – ۲۳ منحنی‌های ولتاژ ترمینال و ولتاژ داخلی بر حسب جریان تحریک ؟؟

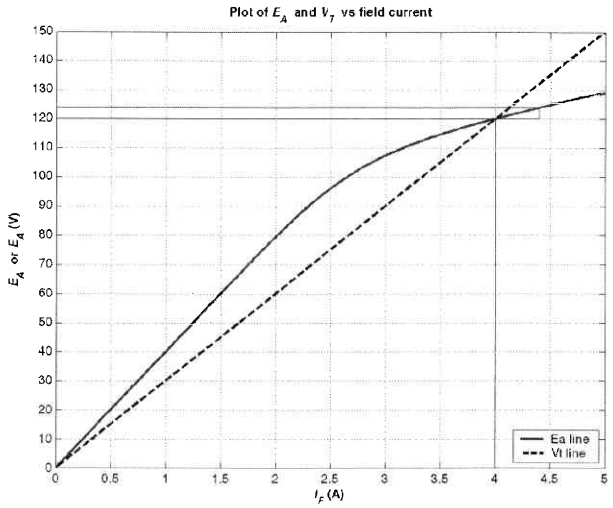
ب) اگر جریان آرمیچر $20A$ باشد، جریان مؤثر میدان خواهد شد:

$$\frac{N_{SE}}{N_F} I_A = \frac{20}{1000}(20) = 0.4\ A$$

و افت ولتاژ برابر است با:

$$I_A(R_A + R_S) = (20)(0.21) = 4.2\ V$$

نقطه‌ای که مثلث تشکیل شده توسط $\frac{N_{SE}}{N_F} I_A$ و $I_A R_A$ دقیقاً بین E_A و V_T واقع می‌شود. همان‌گونه که در شکل ۹-۲۴ نشان داده شده است، نقطه‌ای با ولتاژ ترمینال $120\ V$ است.



شکل ۹-۲۴ منحنی‌های ولتاژ ترمینال و ولتاژ داخلی بر حسب جریان تحریک ؟؟

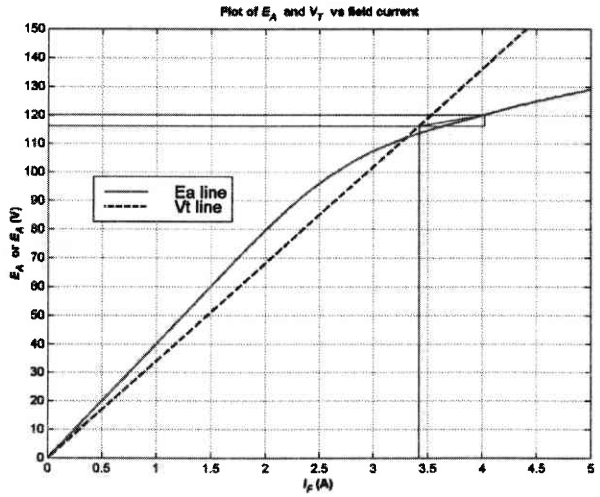
ج) اگر جریان آرمیچر $40A$ باشد، جریان مؤثر میدان خواهد شد:

$$\frac{N_{SE}}{N_F} I_A = \frac{20}{1000}(40) = 0.8\ A$$

و افت ولتاژ برابر است با:

$$I_A(R_A + R_S) = (40)(0.21) = 8.4\ V$$

نقطه‌ای که مثلث تشکیل شده توسط $\frac{N_{SE}}{N_F} I_A$ و $I_A R_A$ دقیقاً بین E_A و V_T واقع می‌شود. همان‌گونه که در شکل ۹-۲۵ نشان داده شده است، نقطه‌ای با ولتاژ ترمینال $116\ V$ است.



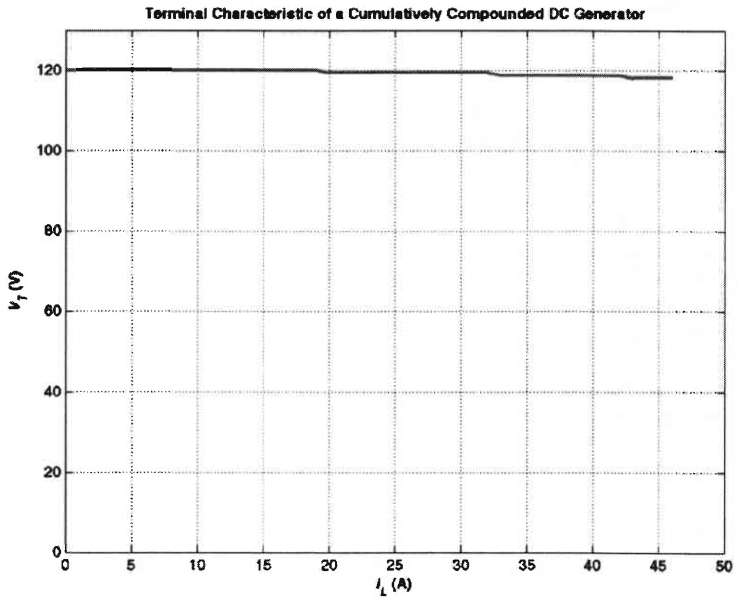
شکل ۹-۲۵ منحنی‌های ولتاژ ترمینال و ولتاژ داخلی بر حسب جریان تحریک ؟؟

د) برنامه زیر برای رسم مشخصهٔ ترمینال ژنراتور در محیط متلب نوشته شده است.

```
% M-file: prob9_27d.m
% M-file to calculate the terminal characteristic of a
% cumulatively compounded dc generator without armature
% reaction.
% Get the magnetization curve. This file contains the
% three variables if_values, ea_values, and n_0.
clear all
load p97_mag.dat;
if_values = p97_mag(:,1);
ea_values = p97_mag(:,2);
n_0 = 1800;
% First, initialize the values needed in this program.
r_f = 20; % Field resistance (ohms)
r_adj = 10; % Adjustable resistance (ohms)
r_a = 0.21; % Armature + series resistance (ohms)
i_f = 0:0.02:6; % Field current (A)
n = 1800; % Generator speed (r/min)
n_f = 1000; % Shunt field turns
n_se = 20; % Series field turns
% Calculate Ea versus If
Ea = interp1(if_values,ea_values,i_f);
% Calculate Vt versus If
Vt = (r_f + r_adj) * i_f;
% Find the point where the difference between the two
% lines is exactly equal to i_a*r_a. This will be the
% point where the line line "Ea - Vt - i_a*r_a" goes
% negative.
i_a = 0:1:50;
for jj = 1:length(i_a)
% Calculate the Ea values modified by mmf due to the
% armature current
Ea_a = interp1(if_values,ea_values,i_f + i_a(jj)*n_se/n_f);
% Get the voltage difference
diff = Ea_a - Vt - i_a(jj)*r_a;
% This code prevents us from reporting the first (unstable)
% location satisfying the criterion.
was_pos = 0;
for ii = 1:length(i_f);
if diff(ii) > 0
was_pos = 1;
end
if ( diff(ii) < 0 & was_pos == 1 )
break;
end;
end;
% Save terminal voltage at this point
v_t(jj) = Vt(ii);
i_l(jj) = i_a(jj) - v_t(jj) / ( r_f + r_adj);
end;
% Plot the terminal characteristic
figure(1);
```

```
plot(i_l,v_t,'b-','LineWidth',2.0);
xlabel('\bf\itI_{L} \rm\bf(A)');
ylabel('\bf\itV_{T} \rm\bf(V)');
string = ['\bfTerminal Characteristic of a Cumulatively ' ...
'Compounded DC Generator'];
title (string);
hold off;
axis([ 0 50 0 130]);
grid on;
```

با اجرای برنامه فوق، مشخصهٔ ترمینال ژنراتور به‌صورت شکل ۹-۲۶ است.



شکل ۹-۲۶ مشخصهٔ ترمینال ژنراتور

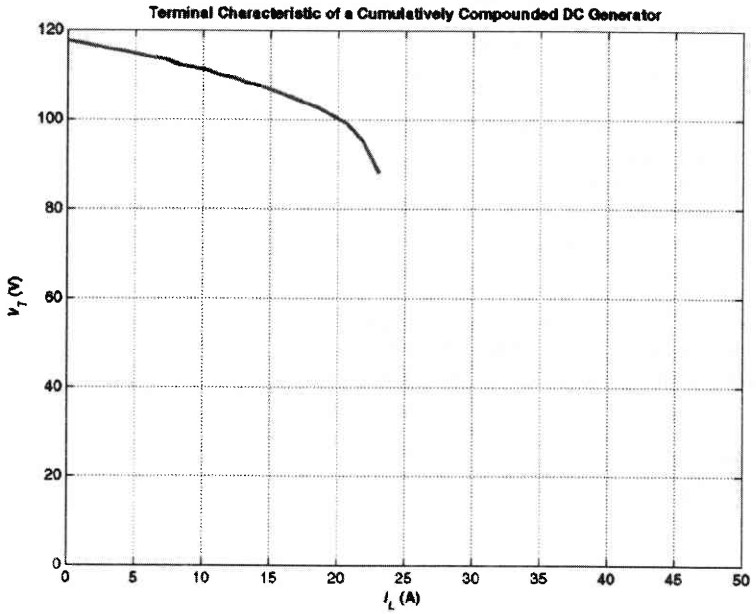
(۹-۲۸) اگر ماشین توصیف شده در مسئلهٔ ۹-۲۷ به‌صورت یک ژنراتور dc کمپوند نقصانی وصل شود، مشخصه پایانه‌اش چه شکلی دارد؟ این مشخصه را با روش مسئلهٔ ۹-۲۷ بدست آورید.

حل: برنامه زیر برای رسم مشخصهٔ ترمینال ژنراتور در محیط MATLAB نوشته شده است.

```
% M-file: prob9_28.m
% M-file to calculate the terminal characteristic of a
% differentially compounded dc generator without armature
% reaction.
% Get the magnetization curve. This file contains the
% three variables if_values, ea_values, and n_0.
clear all
load p97_mag.dat;
if_values = p97_mag(:,1);
ea_values = p97_mag(:,2);
```

```
n_0 = 1800;
% First, initialize the values needed in this program.
r_f = 20; % Field resistance (ohms)
r_adj = 10; % Adjustable resistance (ohms)
r_a = 0.21; % Armature + series resistance (ohms)
i_f = 0:0.02:6; % Field current (A)
n = 1800; % Generator speed (r/min)
n_f = 1000; % Shunt field turns
n_se = 20; % Series field turns
% Calculate Ea versus If
Ea = interp1(if_values,ea_values,i_f);
% Calculate Vt versus If
Vt = (r_f + r_adj) * i_f;
% Find the point where the difference between the two
% lines is exactly equal to i_a*r_a. This will be the
% point where the line line "Ea - Vt - i_a*r_a" goes
% negative.
i_a = 0:1:26;
for jj = 1:length(i_a)
% Calculate the Ea values modified by mmf due to the
% armature current
Ea_a = interp1(if_values,ea_values,i_f - i_a(jj)*n_se/n_f);
% Get the voltage difference
diff = Ea_a - Vt - i_a(jj)*r_a;
% This code prevents us from reporting the first (unstable)
% location satisfying the criterion.
was_pos = 0;
for ii = 1:length(i_f);
if diff(ii) > 0
was_pos = 1;
end
if ( diff(ii) < 0 & was_pos == 1 )
break;
end;
end;
% Save terminal voltage at this point
v_t(jj) = Vt(ii);
i_l(jj) = i_a(jj) - v_t(jj) / ( r_f + r_adj);
end;
% Plot the terminal characteristic
figure(1);
plot(i_l,v_t,'b-','LineWidth',2.0);
xlabel('\bf\itI_{L} \rm\bf(A)');
ylabel('\bf\itV_{T} \rm\bf(V)');
string = ['\bfTerminal Characteristic of a Cumulatively ' ...
'Compounded DC Generator'];
title (string);
hold off;
axis([ 0 50 0 120]);
grid on;
```

خروجی برنامهٔ MATLAB در شکل ۹-۲۷ نشان داده شده است.



شکل ۹-۲۷ مشخصهٔ ترمینال ژنراتور

(۹-۲۹) یک ژنراتور dc کمپوند اضافی به‌صورت کمپوند تخت عمل می‌کند. این ماشین را خاموش کرده، اتصالات میدان موازی آن را معکوس می‌کنیم.

(الف) اگر ژنراتور در همان جهت قبلی چرخانده شود، ولتاژسازی صورت می‌گیرد یا نه؟ چرا؟

(ب) اگر ژنراتور را در جهت عکس بچرخانیم ولتاژسازی صورت می‌گیرد یا نه؟ چرا؟

(ج) به ازای جهت چرخشی که ولتاژسازی صورت می‌گیرد، ژنراتور کمپوند اضافی است یا نقصانی؟

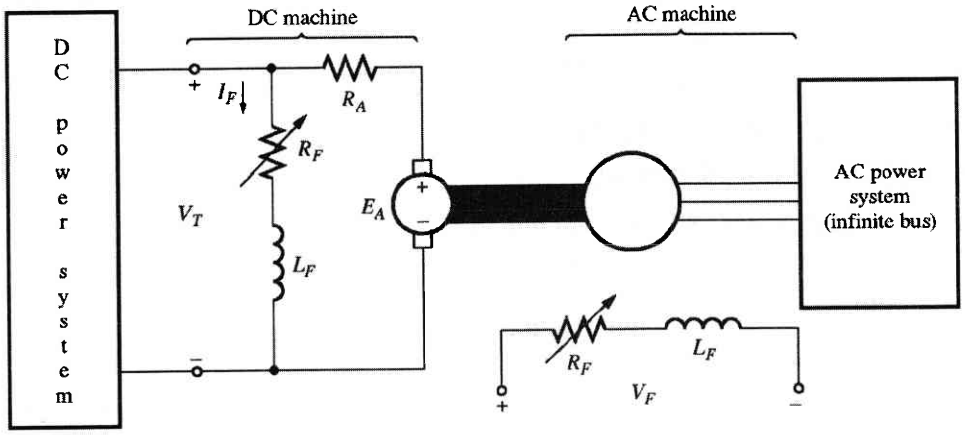
حل: الف) ولتاژ خروجی تولید نمی‌شود؛ زیرا شار پسماند کنونی ولتاژی در جهت مخالف تولید می‌کند که باعث ایجاد جریان تحریکی می‌شود که باعث کاهش شار پسماند می‌شود.

ب) اگر موتور در خلاف جهت بچرخد، ولتاژ خروجی ساخته خواهد شد؛ زیرا تغییر جهت چرخش منجر به تولید ولتاژی خواهد شد که جریان حاصل از آن باعث افزایش شار پسماند شده و ولتاژسازی انجام می‌گیرد.

ج) ژنراتور در این حالت کمپوند نقصانی است.

(۹-۳۰) یک ماشین سنکرون سه‌فاز، مطابق شکل ۹-۲۸، به یک ماشین dc شنت وصل شده، یک مجموعه موتور- ژنراتور بوجود آمده است. ماشین dc به یک سیستم توان dc با ولتاژ ثابت $240\ V$ و ماشین ac به شین بی‌نهایت $480\ V$ و $60Hz$ وصل شده است.

ماشین dc چهار قطب دارد و مقادیر نامی آن $50\ kW$ و $240\ V$ است. مقاومت آرمیچر آن بر حسب پریونیت 0.04 است. ماشین ac چهار قطب دارد و به صورت Y وصل شده است. مقادیر نامی آن $50\ kW$، $480\ V$، $PF = 0.8$ و راکتانس سنکرون اشباع آن $2\ \Omega$ بر فاز است.



شکل ۹-۲۸ ماشین سنکرون سه‌فاز متصل به یک ماشین dc شنت

تمام تلفات، بجز تلفات مقاومت آرمیچر ماشین را می‌توان نادیده گرفت. منحنی‌های مغناطیسی هر دو ماشین را خطی بگیرید.

الف) در ابتدا ماشین ac به سیستم، توان $50\ kVA$ با ضریب توان 0.8 پس‌فاز می‌دهد.

۱. منبع توان ac چقدر توان به موتور dc می‌دهد؟

۲. ولتاژ داخلی E ماشین dc چقدر است؟

۳. ولتاژ داخلی E ماشین ac چقدر است؟

ب) اکنون جریان میدان ماشین ac را ۵ درصد زیاد می‌کنیم. این تغییر چه اثری روی توان حقیقی تولید شده توسط مجموعه موتور - ژنراتور دارد؟ بر توان غیرحقیقی چه اثری دارد؟ توان حقیقی و غیرحقیقی مصرف شده در ماشین ac را در این حالت بدست آورید. نمودار فیزوری ماشین ac را قبل و بعد از این تغییر رسم کنید.

ج) اکنون با شروع از حالت (ب) جریان میدان ماشین dc را ۱ درصد کم می‌کنیم. (ب) را در این حالت تکرار کنید.

د) با توجه به نتایج بالا به سوال‌های زیر پاسخ دهید:

۱. چگونه می‌توان عبور توان حقیقی را در یک مجموعه موتور – ژنراتور $ac - dc$ کنترل نمود؟

۲. چگونه می‌توان تغییر عبور توان غیرحقیقی ماشین ac را کنترل کرد؟

حل: الف) توانی که ماشین ac در ضریب توان 0.8 پس‌فاز به سیستم می‌دهد، برابر است با:

$$P_{AC} = S\cos\theta = (50kVA)(0.8) = 40\ kW$$

$$Q_{AC} = S\sin\theta = (50)\sin\cos^{-1}(0.8) = 30\ kVAR$$

توان تبدیل شده در ماشین dc نیز برابر است با:

$$P_{conv} = E_A I_A = (V_T - I_A R_A) I_A = 40\ kW \quad (*)$$
$$V_T I_A - I_A^2 R_A - 40 = 0$$

امپدانس مبنا در ماشین dc برابر است با:

$$R_{base,dc} = \frac{V_{T,base}^2}{P_{base}} = \frac{(230)^2}{50kW} = 1.058\ \Omega$$
$$R_A = (0.04)(1.058) = 0.0423\ \Omega$$
$$0.0423 I_A^2 - 230 I_A + 40000 = 0$$
$$I_A^2 - 5434.8 I_A + 945180 = 0 \Rightarrow I_A = 179.9 A$$

در نتیجه از رابطهٔ (*) و جریان بدست آمده داریم:

$$E_A = 222.4\ V$$
$$V_T I_A = 41.38\ kW$$

جریان در ماشین ac برابر است با:

$$I_A = \frac{S}{\sqrt{3}\, V_\phi} = \frac{50kVA}{\sqrt{3}(480)} = 60.1\ A$$
$$I_A = 60.1 \angle -36.87^\circ\ A$$

ولتاژ داخلی ماشین ac برابر است با:

$$E_A = V_\phi + jX_S I_A$$
$$E_A = 227\angle 0 + j(2.0)(60.1\angle -36.87^\circ) = 362\angle 15.4^\circ\ A$$

اگر جریان میدان ماشین ac را ۵ درصد زیاد کنیم، E_A نیز ۵ درصد زیاد می‌شود، داریم:

$$E'_A = (1.05)(262) = 380\ V$$

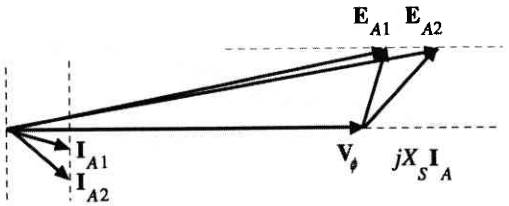
توان حقیقی ثابت است، توان از رابطهٔ $P = \tau\omega$ بدست می‌آید. سرعت بدلیل اتصال سیستم موتور – ژنراتور به شین بی‌نهایت ثابت است، از طرفی با ثابت بودن سرعت، گشتاور ماشین dc نیز ثابت خواهد بود، در نتیجه توان حقیقی ثابت می‌ماند. بنابراین داریم:

$$E_A \sin\delta = E'_A \sin\delta'$$
$$\delta' = \sin^{-1}\frac{E_A}{E'_A}\sin\delta = \sin^{-1}\frac{362}{380}\sin 15.4^\circ = 14.7^\circ$$

بنابراین جریان در این حالت برابر است با:

$$I_A = \frac{E_A - V_\phi}{jX_S} = \frac{380\angle 14.7^\circ - 277\angle 0^\circ}{j2.0}$$
$$Q = \sqrt{3}\, V_T I_L \sin\theta = \sqrt{3}\,(480)(66.1)\sin 43.2^\circ = 37.6\ kVAR$$

توان غیرحقیقی زیاد شده است. نمودار فازوری ماشین در این تغییر به‌صورت شکل ۹-۲۹ است.



شکل ۹-۲۹ نمودار فازوری ماشین

ج) وقتی جریان میدان ماشین dc را ۱ درصد کم کنیم، شار نیز ۱ درصد کاهش می‌یابد. طبق رابطه $E_A = K\phi\omega$ و بخاطر ثابت بودن سرعت (ماشین به شین بی‌نهایت متصل است و فرکانس ثابت است) E_A یک درصد کم می‌شود و داریم:

$$E'_A = (0.99)(222.4V) = 220.2\,V$$

در این صورت جریان آرمیچر برابر است با:

$$I_{A.dc} = \frac{V_T - E_A}{R_A} = \frac{230 - 220.2}{0.0423} = 231.1\,A$$

توان ورودی به موتور dc برابر است با:

$$P_{in,dc} = (230)(231.7) = 53.3\,kW$$

توان تبدیل شده در موتور dc برابر است با:

$$P_{conv,dc}(220.2)(231.7) = 51\,kW$$

برای تعیین زاویهٔ بار ماشین ac داریم:

$$P_{ac} = \frac{3V_\phi E_A}{X_S}\sin\delta$$

$$\delta = \sin^{-1}\frac{P_{ac}X_S}{3V_\phi E_A} = \sin^{-1}\frac{(51)(2.0)}{3(227)(380)} = 18.9^\circ$$

$$E_A = 380\angle 18.9^\circ\ A$$

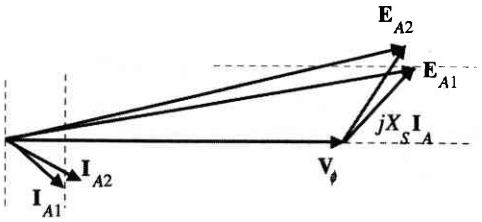
توان ماشین ac برابر است با:

$$I_A = \frac{E_A - V_\phi}{jX_S} = \frac{380\angle 18.9^\circ - 277\angle 0^\circ}{j2.0} = 74.0\angle -33.8^\circ\ A$$

$$P = \sqrt{3}\,V_T I_L \cos\theta = \sqrt{3}\,(480)(74.0)\cos 33.8^\circ = 51\,kW$$

$$Q = \sqrt{3}\,V_T I_L \sin\theta = \sqrt{3}\,(480)(74.0)\sin 33.8^\circ = 34.2\,kW$$

نمودار فازوری ماشین ac قبل و بعد از تغییر جریان تحریک در شکل ۹-۳۰ رسم شده است.



شکل ۹-۳۰ نمودار فازوری ماشین قبل و بعد از تغییر جریان تحریک

د) از محاسبات قسمت‌های قبل نتیجه می‌گیریم که؛ توان حقیقی را می‌توان به وسیلهٔ تنظیم جریان تحریک ماشین dc در یک مجموعه موتور- ژنراتور $ac-dc$ کنترل کرد و نیز توان غیرحقیقی را نیز می‌توان با تنظیم جریان تحریک ماشین ac در یک مجموعه موتور- ژنراتور $ac-dc$ کنترل کرد.

فصل دهم
موتورهای تک‌فاز خاص

(۱۰-۱) یک موتور القایی فاز شکسته، $1.3hp$، $120\,V$، $60Hz$ و ۴ قطبی امپدانس‌های زیر را دارد:

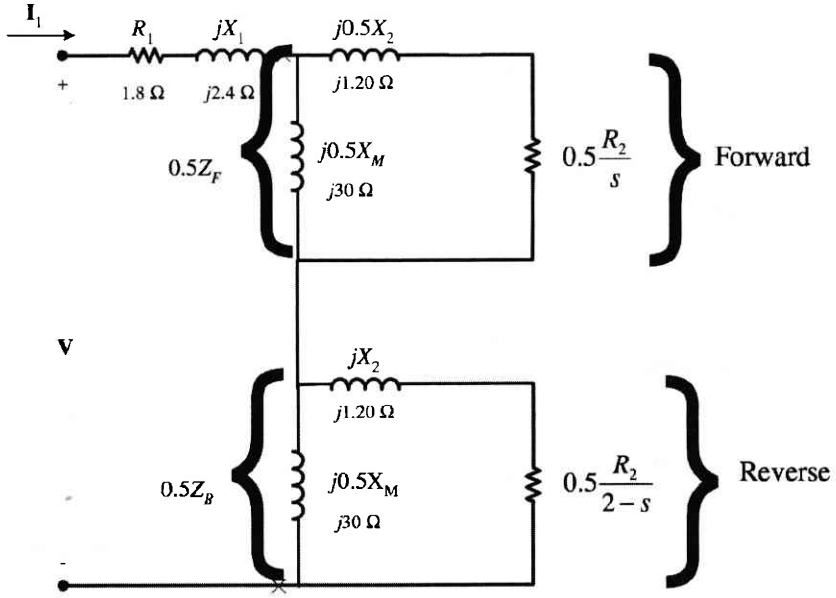
$$R_1 = 1.8\Omega \qquad R_2 = 2.5\Omega \qquad X_M = 60\Omega$$
$$X_1 = 2.4\Omega \qquad X_2 = 2.4\Omega$$

در لغزش 0.05 تلفات چرخشی موتور $51\,W$ است. تلفات چرخشی را در گسترهٔ کار عادی موتور می‌توان ثابت فرض کرد. اگر لغزش 0.05 باشد کمیات زیر را در موتور بیابید؟

الف) توان ورودی ب) توان فاصله هوایی ج) P_{conv} د) P_{out} ه) τ_{ind}

و) τ_{load} ز) بازده کل موتور ح) ضریب توان استاتور

حل: مدار معادل موتور در شکل ۱۰-۱ نشان داده شده است.



شکل ۱۰-۱ مدار معادل موتور مربوط به مسئله ۱۰-۱

$$Z_F = \frac{(R_2/s + jX_2)(jX_M)}{R_2/s + jX_2 + jX_M} = \frac{(50 + j\,2.40)(j\,60)}{50 + j\,2.40 + j\,60} = 28.15 + 624.87\Omega$$

$$Z_B = \frac{(R_2/(2-s) + jX_2)(jX_M)}{R_2/(2-s) + jX_2 + jX_M} = \frac{(1.282 + j\,2.40)(j\,60)}{1.282 + j\,2.40 + j\,60} = 1.185 + j\,2.332\Omega$$

الف) جریان ورودی برابر است با:

$$I_1 = \frac{V}{R_1 + jX_1 + 0.5Z_F + 0.5Z_B}$$

$$I_1 = \frac{120\angle 0^\circ V}{(1.8 + j2.4) + 0.5(28.15 + j24.87) + 0.5(1.185 + j2.332)} = 5.23\angle -44.2^\circ A$$

و توان ورودی برابر است با:

$$P_{in} = VI\cos\theta = (120V)(5.23A)\cos 44.2^\circ = 450\ W$$

ب) توان فاصله هوایی:

$$P_{AG,F} = I_1^2(0.5R_F) = (5.23A)^2(14.1\Omega) = 386\ W$$

$$P_{AG,B} = I_1^2(0.5R_B) = (5.23A)^2(0.592\Omega) = 16.2\ W$$

$$P_{AG} = P_{AG,F} - P_{AG,B} = 386\ W - 16.2\ W = 369.8\ W$$

ج) P_{conv}:

$$P_{conv,F} = (1-s)P_{AG,F} = (1-0.05)(386\ W) = 367\ W$$

$$P_{conv,B} = (1-s)P_{AG,B} = (1-0.05)(16.2\ W) = 15.4\ W$$

$$P_{conv} = P_{conv,F} - P_{conv,B} = 367\ W - 15.4\ W = 352\ W$$

د) P_{out}:

$$P_{out} = P_{conv} - P_{rot} = 352\ W - 51\ W = 301\ W$$

ه) τ_{ind}:

$$\tau_{ind} = \frac{P_{AG}}{\omega_s} = \frac{371\ W}{(1800)\frac{2\pi}{60}} = 1.97\ N.m$$

و) τ_{load}:

$$\tau_{load} = \frac{P_{out}}{\omega_m} = \frac{301\ W}{(0.95)(1800)\frac{2\pi}{60}} = 1.68\ N.m$$

ز) بازده کل موتور:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% = \frac{301\ W}{450\ W} \times 100\% = 66.9\%$$

ح) ضریب توان استاتور:

$PF = \cos 44.2^\circ = 0.713$ پس‌فاز

(۱۰-۲) مسئله (۱۰-۱) برای لغزش 0.025 روتور تکرار کنید:

$$Z_F = \frac{(R_2/s + jX_2)(jX_M)}{R_2/s + jX_2 + jX_M} = \frac{(100 + j\,2.4)(j\,60)}{100 + j\,2.4 + j\,60} = 28.91 + j\,43.83\Omega$$

$$Z_B = \frac{(R_2/(2-s) + jX_2)(jX_M)}{R_2/(2-s) + jX_2 + jX_M} = \frac{(1.282 + j2.40)(j60)}{1.282 + j2.40 + j60} = 1.170 + j2.331\Omega$$

الف) جریان و توان ورودی برابر است با:

$$I_1 = \frac{V}{R_1 + jX_1 + 0.5Z_F + 0.5Z_B}$$

$$I_1 = \frac{120\angle 0^\circ V}{(1.8 + j2.4) + 0.5(25.91 + j43.83) + 0.5(1.170 + j2.331)} = 4.03\angle -59.0^\circ A$$

$$P_{in} = VI\cos\theta = (120V)(4.03A)\cos 59.0^\circ = 249\,W$$

ب) توان فاصله هوایی:

$$P_{AG,F} = I_1^2(0.5R_F) = (4.03A)^2(12.96\Omega) = 210.5\,W$$

$$P_{AG,B} = I_1^2(0.5R_B) = (4.03A)^2(0.585\Omega) = 9.5\,W$$

$$P_{AG} = P_{AG,F} - P_{AG,B} = 210.5\,W - 9.5\,W = 201\,W$$

ج) P_{conv}:

$$P_{conv,F} = (1-s)P_{AG,F} = (1-0.025)(210.5\,W) = 205\,W$$

$$P_{conv,B} = (1-s)P_{AG,B} = (1-0.025)(9.5\,W) = 9.3\,W$$

$$P_{conv} = P_{conv,F} - P_{conv,B} = 205\,W - 9.3\,W = 196\,W$$

د) P_{out}:

$$P_{out} = P_{conv} - P_{rot} = 205\,W - 51\,W = 154\,W$$

هـ) τ_{ind}:

$$\tau_{ind} = \frac{P_{AG}}{\omega_s} = \frac{210.5\,W}{(1800)\frac{2\pi}{60}} = 1.12N.m$$

و) τ_{load}:

$$\tau_{load} = \frac{P_{out}}{\omega_m} = \frac{154\,W}{(0.975)(1800)\frac{2\pi}{60}} = 0.84N.m$$

ز) بازده کل موتور:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% = \frac{154\,W}{249\,W} \times 100\% = 61.8\%$$

ح) ضریب توان استاتور:

$PF = \cos 59.0^\circ = 0.515$ پس‌فاز

(۱۰-۳) فرض کنید که موتور مسئله (۱۰-۱) راه‌اندازی می‌شود. وقتی سرعت روتور به $400r/\min$ می‌رسد سیم‌پیچی کمکی از مدار خارج می‌شود. گشتاوری که تنها با سیم‌پیچی اصلی موتور تولید می‌شود چقدر است؟ با فرض اینکه تلفات چرخشی همان $51\,W$ باشد، آیا موتور می‌تواند به سرعت گرفتن ادامه دهد یا دوباره کند می‌شود؟ جواب خود را ثابت کنید.

حل: داریم:

$$s = \frac{1800r/\min - 400r/\min}{1800r/\min} = 0.778$$

$$Z_F = \frac{(R_2/s + jX_2)(jX_M)}{R_2/s + jX_2 + jX_M} = \frac{(100 + j\,2.4)(j\,60)}{100 + j\,2.4 + j\,60} = 2.96 + j\,2.46\Omega$$

$$Z_B = \frac{(R_2/(2-s) + jX_2)(jX_M)}{R_2/(2-s) + jX_2 + jX_M} = \frac{(1.282 + j\,2.40)(j\,60)}{1.282 + j\,2.40 + j\,60} = 1.90 + j\,2.37\Omega$$

جریان ورودی برابر است با:

$$I_1 = \frac{V}{R_1 + jX_1 + 0.5Z_F + 0.5Z_B}$$

$$I_1 = \frac{120\angle 0^\circ V}{(1.8 + j2.4) + 0.5(2.96 + j2.46) + 0.5(1.90 + j2.37)} = 18.73\angle -48.7^\circ A$$

توان فاصله هوایی برابر است با:

$$P_{AG,F} = I_1^2(0.5R_F) = (18.73A)^2(1.48\Omega) = 519.2\,W$$

$$P_{AG,B} = I_1^2(0.5R_B) = (18.73A)^2(0.945\Omega) = 331.5\,W$$

$$P_{AG} = P_{AG,F} - P_{AG,B} = 519.2\,W - 331.5\,W = 188\,W$$

توان تبدیل شده برابر است با:

$$P_{conv,F} = (1-s)P_{AG,F} = (1-0.778)(519.2\,W) = 115.2\,W$$

$$P_{conv,B} = (1-s)P_{AG,B} = (1-0.0778)(331.5\,W) = 73.6\,W$$

$$P_{conv} = P_{conv,F} - P_{conv,B} = 115.2\,W - 73.6\,W = 41.6\,W$$

گشتاور القایی برابر است با:

$$\tau_{ind} = \frac{P_{AG}}{\omega_s} = \frac{188\,W}{(1800)\frac{2\pi}{60}} = 1.00\,N.m$$

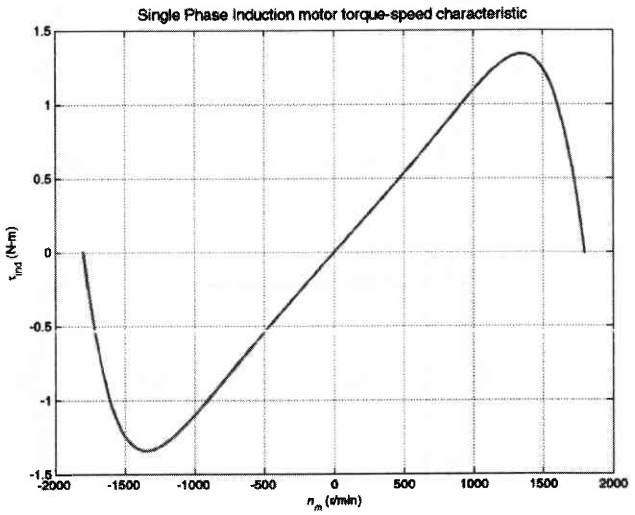
(۱۰-۴) با استفاده از MATLAB مشخصهٔ گشتاور – سرعت موتور مسئله (۱۰-۱) را با صرف‌نظر از سیم‌پیچ راه‌اندازی رسم کنید.

حل: برای رسم مشخصه برنامهٔ زیر را در محیط MATLAB می‌نویسیم:

```
% M-file: torque_speed_curve3.m
% M-file create a plot of the torque-speed curve of the
% single-phase induction motor of Problem 10-4.
% First, initialize the values needed in this program.
r1 = 1.80; % Stator resistance
x1 = 2.40; % Stator reactance
r2 = 2.50; % Rotor resistance
```

```
x2 = 2.40; % Rotor reactance
xm = 60; % Magnetization branch reactance
v = 120; % Single-Phase voltage
n_sync = 1800; % Synchronous speed (r/min)
w_sync = 188.5; % Synchronous speed (rad/s)
% Specify slip ranges to plot
s = 0:0.01:2.0;
% Offset slips at 0 and 2 slightly to avoid divide by zero errors
s(1) = 0.0001;
s(201) = 1.9999;
% Get the corresponding speeds in rpm
nm = ( 1 - s) * n_sync;
% Caclulate Zf and Zb as a function of slip
zf = (r2 ./ s + j*x2) * (j*xm) ./ (r2 ./ s + j*x2 + j*xm);
zb = (r2 ./(2-s) + j*x2) * (j*xm) ./ (r2 ./(2-s) + j*x2 + j*xm);
% Calculate the current flowing at each slip
i1 = v ./ ( r1 + j*x1 + zf + zb);
% Calculate the air-gap power
p_ag_f = abs(i1).^2 .* 0.5 .* real(zf);
p_ag_b = abs(i1).^2 .* 0.5 .* real(zb);
p_ag = p_ag_f - p_ag_b;
% Calculate torque in N-m.
t_ind = p_ag ./ w_sync;
% Plot the torque-speed curve
figure(1)
plot(nm,t_ind,'Color','b','LineWidth',2.0);
xlabel('\itn_{m} \rm(r/min)');
ylabel('\tau_{ind} \rm(N-m)');
title ('Single Phase Induction motor torque-speed
characteristic','FontSize',12);
grid on;
hold off;
```

پس از اجرای برنامه، مشخصهٔ گشتاور – سرعت موتور به‌صورت شکل ۱۰-۲ بدست می‌آید.



شکل ۱۰-۲ مشخصهٔ گشتاور – سرعت موتور مربوط به مسئله (۱۰-۱)

(۱۰-۵) یک موتور القایی $220V$، $1.5hp$، $50Hz$ با راه‌انداز خازنی و شش‌قطبی، امپدانس‌های سیم‌پیچی اصلی زیر را دارد:

$$R_1 = 1.4\Omega \qquad R_2 = 1.5\Omega \qquad X_M = 100\Omega$$
$$X_1 = 1.9\Omega \qquad X_2 = 1.9\Omega$$

در لغزش 0.05 تلفات چرخشی موتور برابر $291W$ است. تلفات چرخشی را در گسترهٔ کار عادی موتور ثابت فرض کرده، کمیات زیر را به ازای لغزش 5% بیابید؟

الف) جریان استاتور ب) ضریب توان استاتور ج) توان ورودی د) P_{AG}

هـ) P_{conv} و) P_{out} ز) τ_{ind} ط) بازده

حل: مدار معادل موتور در شکل ۱۰-۳ نشان داده شده است. با توجه به مدار معادل داریم:

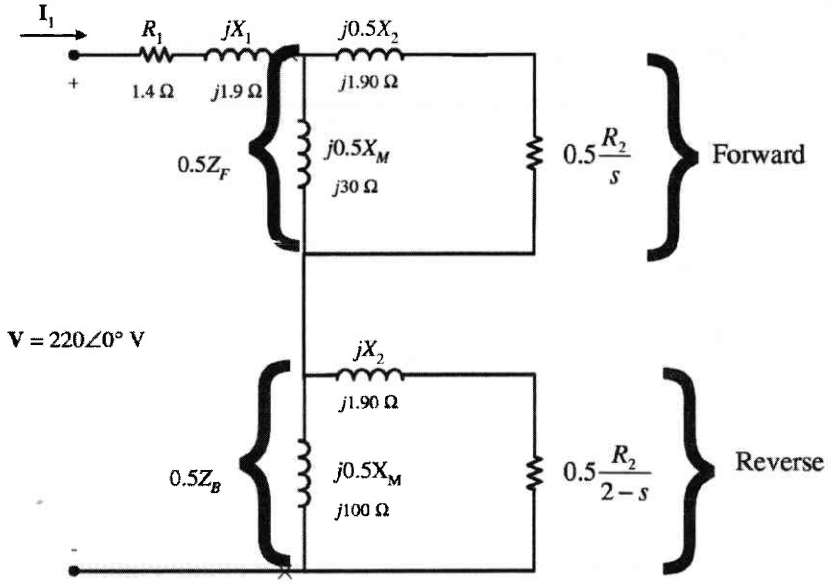
$$Z_F = \frac{(R_2/s + jX_2)(jX_M)}{R_2/s + jX_2 + jX_M} = \frac{(30 + j1.9)(j100)}{30 + j1.9 + j100} = 26.59 + j9.69\Omega$$

$$Z_B = \frac{(R_2/(2-s) + jX_2)(jX_M)}{R_2/(2-s) + jX_2 + jX_M} = \frac{(0.769 + j1.9)(j100)}{0.769 + j1.9 + j100} = 0.741 + j1.87\Omega$$

الف) جریان استاتور برابر است با:

$$I_1 = \frac{V}{R_1 + jX_1 + 0.5Z_F + 0.5Z_B}$$

$$I_1 = \frac{220\angle 0^\circ V}{(1.4 + j1.9) + 0.5(26.59 + j9.69) + 0.5(0.741 + j1.87)} = 13.0\angle -27.0^\circ A$$



شکل ۱۰-۳ مدار معادل موتور مربوط به مسئله (۱۰-۵)

ب) ضریب توان استاتور برابر است با:

$$PF = \cos 27^\circ = 0.891 \quad \text{پس‌فاز}$$

ج) توان ورودی برابر است با:

$$P_{in} = VI\cos\theta = (220\,V)(13.0A)\cos 27^\circ = 2548\,W$$

د) توان فاصله هوایی برابر است با:

$$P_{AG,F} = I_1^2(0.5R_F) = (13.0A)^2(13.29\Omega) = 2246\,W$$
$$P_{AG,B} = I_1^2(0.5R_B) = (13.0A)^2(0.370\Omega) = 62.5\,W$$
$$P_{AG} = P_{AG,F} - P_{AG,B} = 2246\,W - 62.5\,W = 2184\,W$$

هـ) توان تبدیل شده برابر است با:

$$P_{conv,F} = (1-s)P_{AG,F} = (1-0.05)(2246\,W) = 2134\,W$$
$$P_{conv,B} = (1-s)P_{AG,B} = (1-0.05)(62.5\,W) = 59\,W$$
$$P_{conv} = P_{conv,F} - P_{conv,B} = 2134\,W - 59\,W = 2075\,W$$

و) P_{out}:

$$P_{out} = P_{conv} - P_{rot} = 2134\,W - 291\,W = 1843\,W$$

ز) τ_{ind}:

$$\tau_{ind} = \frac{P_{AG}}{\omega_s} = \frac{2184\,W}{(3000)\frac{2\pi}{60}} = 6.95N.m$$

ح) τ_{load}:

$$\tau_{load} = \frac{P_{out}}{\omega_m} = \frac{1843\,W}{(0.95)(3000)\frac{2\pi}{60}} = 6.18N.m$$

ط) بازده:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% = \frac{1843\,W}{2548\,W} \times 100\% = 72.3\%$$

(۱۰-۶) گشتاور القاء شده در موتور مسئله (۱۰-۵) را در صورتی که در لغزش ۵٪ کار کند و ولتاژ پایانهٔ آن : الف) $190\,V$ ب) $208\,V$ ج) $230\,V$ باشد، بدست آورید.

حل: داریم:

$$Z_F = \frac{(R_2/s + jX_2)(jX_M)}{R_2/s + jX_2 + jX_M} = \frac{(30 + j1.9)(j100)}{30 + j1.9 + j100} = 26.59 + j9.69\Omega$$
$$Z_B = \frac{(R_2/(2-s) + jX_2)(jX_M)}{R_2/(2-s) + jX_2 + jX_M} = \frac{(0.769 + j1.9)(j100)}{0.769 + j1.9 + j100} = 0.741 + j1.87\Omega$$

الف) در ولتاژ $190\,V$ داریم:

$$I_1 = \frac{V}{R_1 + jX_1 + 0.5Z_F + 0.5Z_B}$$

$$I_1 = \frac{190\angle 0^\circ V}{(1.4 + j1.9) + 0.5(26.59 + j9.69) + 0.5(0.741 + j1.87)} = 11.2\angle -27.0^\circ A$$

$$P_{AG,F} = I_1^2(0.5R_F) = (11.2A)^2(13.29\Omega) = 1667\,W$$

$$P_{AG,B} = I_1^2(0.5R_B) = (11.2A)^2(0.370\Omega) = 46.4\,W$$

$$P_{AG} = P_{AG,F} - P_{AG,B} = 1667\,W - 46.4\,W = 1621\,W$$

$$\tau_{ind} = \frac{P_{AG}}{\omega_s} = \frac{1621\,W}{(3000)\frac{2\pi}{60}} = 5.16N.m$$

ب) در ولتاژ $208\,V$ داریم:

$$I_1 = \frac{V}{R_1 + jX_1 + 0.5Z_F + 0.5Z_B}$$

$$I_1 = \frac{208\angle 0^\circ V}{(1.4 + j1.9) + 0.5(26.59 + j9.69) + 0.5(0.741 + j1.87)} = 12.3\angle -27.0^\circ A$$

$$P_{AG,F} = I_1^2(0.5R_F) = (12.3A)^2(13.29\Omega) = 2010\,W$$

$$P_{AG,B} = I_1^2(0.5R_B) = (12.3A)^2(0.370\Omega) = 56\,W$$

$$P_{AG} = P_{AG,F} - P_{AG,B} = 2010\,W - 56\,W = 1954\,W$$

$$\tau_{ind} = \frac{P_{AG}}{\omega_s} = \frac{1954\,W}{(3000)\frac{2\pi}{60}} = 6.22N.m$$

ج) در ولتاژ $230\,V$ داریم:

$$I_1 = \frac{V}{R_1 + jX_1 + 0.5Z_F + 0.5Z_B}$$

$$I_1 = \frac{230\angle 0^\circ V}{(1.4 + j1.9) + 0.5(26.59 + j9.69) + 0.5(0.741 + j1.87)} = 13.6\angle -27.0^\circ A$$

$$P_{AG,F} = I_1^2(0.5R_F) = (13.6A)^2(13.29\Omega) = 2458\,W$$

$$P_{AG,B} = I_1^2(0.5R_B) = (13.6A)^2(0.370\Omega) = 68\,W$$

$$P_{AG} = P_{AG,F} - P_{AG,B} = 2458\,W - 68\,W = 2390\,W$$

$$\tau_{ind} = \frac{P_{AG}}{\omega_s} = \frac{2390\,W}{(3000)\frac{2\pi}{60}} = 7.61N.m$$

(۱۰-۷) برای انجام کار دستگاه‌های زیر چه نوع موتوری انتخاب می‌کنید؟ چرا؟

الف) جارو برقی ب) یخچال ج) کمپرسور سیستم تهویه مطبوع د) بادزن تهویه هـ) چرخ خیاطی با سرعت متغیر و) ساعت ز) مته برقی

الف) جارو برقی: موتور یونیورسال بخاطر گشتاور بالا مناسب است.

ب) یخچال: موتور راه‌انداز خازنی یا راه‌انداز و کار خازنی مناسب است. زیرا گشتاور بالا در راه‌اندازی دارد و در گسترهٔ وسیع بار کار می‌کند.

ج) کمپرسور سیستم تهویه مطبوع: موتور قسمت (ب) مناسب است.
د) بادزن تهویه: موتور فاز شکسته بخاطر گشتاور راه‌اندازی کم مناسب است.
هـ) چرخ خیاطی با سرعت متغیر: موتور یونیورسال بخاطر اینکه سرعت و جهت در این موتور به راحتی توسط درایوهای نیمه‌هادی کنترل می‌شود، مناسب است.
و) ساعت: موتور هیسترزیس بخاطر راه‌اندازی آسان و عملکرد در سرعت سنکرون مناسب است. برای این کار موتور رلوکتانسی نیز می‌تواند استفاده شود.
ز) مته برقی: موتور قسمت (هـ) مناسب است.

(۱۰-۸) برای یک کاربرد خاص، یک موتور پله‌ای سه‌فاز باید بتواند تغییر پله‌های ۱۰ درجه‌ای ایجاد کند، این موتور باید چند قطب داشته باشد؟

حل: در یک موتور پله‌ای (استپ موتور) سه‌فاز داریم:

$$\theta_m = \frac{2}{P}\theta_e$$

$$P = 2\frac{\theta_e}{\theta_m} = 2\frac{60^\circ}{10^\circ} = 12 \text{ قطب}$$

(۱۰-۹) چند پالس در ثانیه باید به واحد کنترل موتور مسئله (۱۰-۸) ارسال شود تا سرعت چرخش 600r/min بدست آید.

حل: در این موتور داریم:

$$n_m = \frac{1}{3P} n_{pulses}$$

$$n_{pulses} = 3Pn_m = 3(12\,poles)(600r/\min) = 21600\,pulses/\min = 360\,pulses/\sec$$

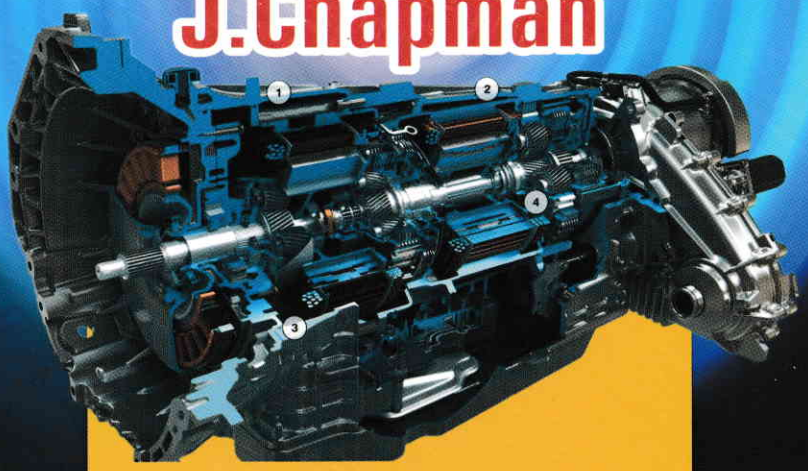
(۱۰-۱۰) جدولی تهیه کنید که اندازهٔ گام‌ها بر حسب تعداد قطب را برای موتورهای پله‌ای سه‌فار و چهارفاز نشان دهد.

حل: در موتور پله‌ای سه‌فاز $\theta_e = 60^\circ$ و در موتور پله‌ای چهارفاز $\theta_e = 45^\circ$ است. بنابراین جدول زیر بدست می‌آید:

تعداد قطب‌ها	اندازهٔ گام‌ها	
	سه‌فاز $(\theta_e = 60^\circ)$	چهار فاز $(\theta_e = 45^\circ)$
2	60°	45°
4	30°	22.5°
6	20°	15°
8	15°	11.25°
10	12°	9°
12	10°	7.5°

Electric Machinery

Stephen J. Chapman



978-600-120-144-8

www.simayedanesh.ir

سیمای دانش