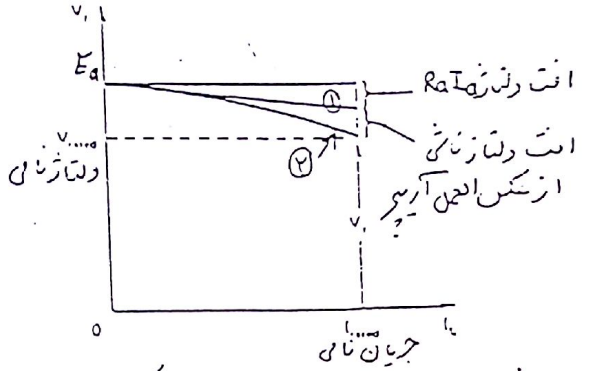
وطبق رابطه ۲-۱۴ ولتاژ خروجی برابر با E_a است و طبق همین رابطه منحنی تغییرات V_t نسبت به I_L باید خطی باشد (۱). لیکن بعلت عکس العمل آرمیچر با افزایش جریان بار یا جریان آرمیچر ولتاژ به مقدار بیشتری کاهش یافته و منحنی واقعی منحنی شماره ۲ خواهد بود.



شکل ۲۱-۲ = منحنی مشخصه بار ژنراتور با تحریک مستقل.

۲-۵-۵ = ژنراتور شنت = این ژنراتور از نوع خود تحریک بوده و سیم پیچ تحریک (قطب) با آرمیچر بصورت موازی قرار می گیرد. شکل ۲۲-۲ مدار معادل این ژنراتور را نشان می دهد. در نتیجه داریم:

$$I_f = \frac{V_f}{R_f} = \frac{V_t}{R_f}$$

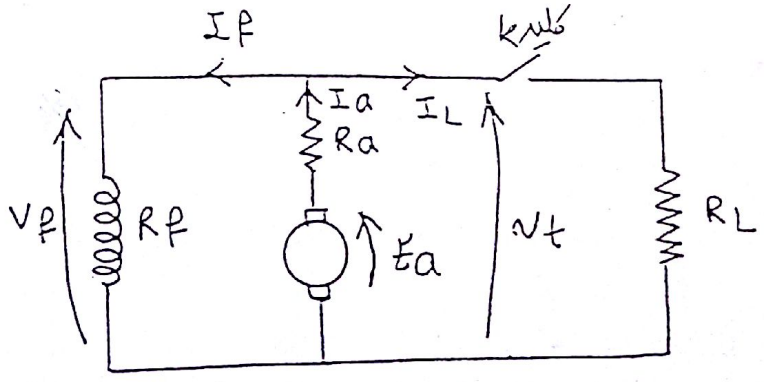
$$I_a = I_f + I_L \qquad (۲-۱۶)$$

$$V_t = E_a - R_a I_a$$

در حالت بی باری یعنی وقتیکه کلید k باز است داریم:

$$I_L = 0 \Rightarrow I_{aNL} = \frac{E_a}{R_a + R_f} \qquad (۲-۱۷)$$

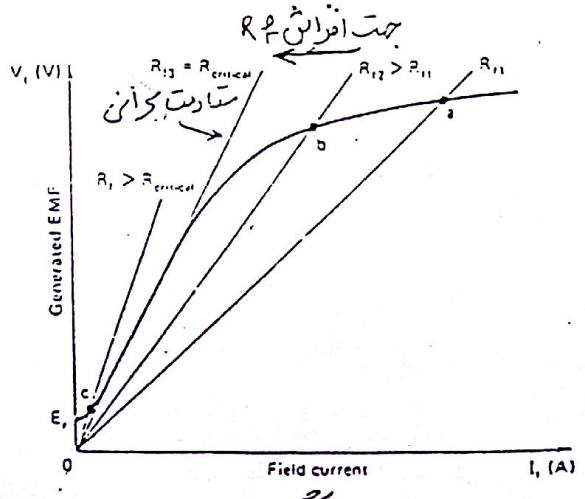
$$V_{tNL} = E_a - R_a I_{aNL} \simeq E_a$$



شکل ۲۲-۲ = مدار معادل ژنراتور DC شنت.

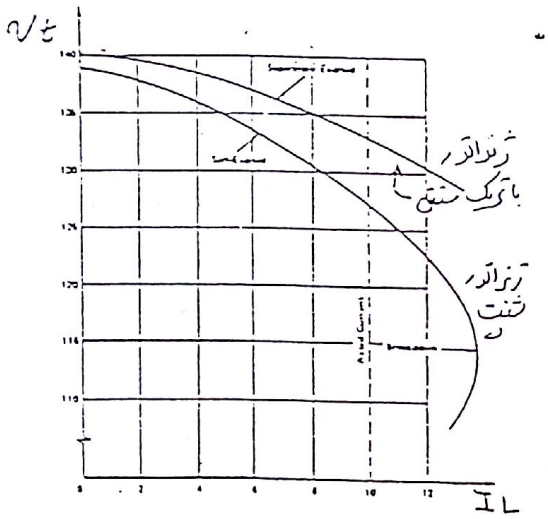
منحنی مغناطیس شوندگی ژنراتور شنت مانند ژنراتور تحریک مستقل بوده که در شکل ۲۳-۲ نشان داده شده است. نحوه تولید ولتاژ بدینگونه است که وقتی ژنراتور با سرعت ثابت می‌گردد بعلت وجود پس ماند (فوران پس ماند در قطبها) مغناطیسی ولتاژ کمی تولید شده و چون کلید k بازاست این ولتاژ کم تبدیل به جریان کم در سیم پیچ تحریک شده و فوران جدیدی را بوجود می‌آورد. این فوران با فوران پس ماند جمع شده و در نتیجه ولتاژ القایی زیادتر شده و جریان تحریک افزایش می‌یابد و این روند ادامه داشته تا ژنراتور به نقطه کار خود در بی باری برسد. نقطه کار ژنراتور شنت در بی باری محل برخورد این منحنی با منحنی $V_t = R_f \cdot I_f$ (نقطه a) است. اگر پس ماند مغناطیسی صفر بوده و یا فوران حاصله از ولتاژ پس ماند دارای جهتی خلاف فوران پس ماند باشد، هیچگونه ولتاژی در ژنراتور شنت تولید نخواهد شد.

معمولاً برای تغییر نقطه کار ژنراتور شنت یک رئوستا با سیم پیچ تحریک (R_f) سری کرده و مقاومت این سیم پیچ را مصنوعاً زیاد می‌کنند، در نتیجه نقطه کار تغییر می‌کند (نقطه b شکل ۲۳-۲). اگر مقاومت کل سیم پیچ تحریک را آنقدر زیاد کرده که از مقاومت بحرانی بزرگتر گردد، در آنصورت ولتاژ القایی ژنراتور شنت (E_{res}) بسیار کوچک خواهد گردید.



شکل ۲۳-۲ = منحنی مغناطیس شوندگی در ژنراتور DC شنت در حالت بی باری.

منحنی مشخصه بار ژنراتور شنت دارای شیب بیشتر نسبت به منحنی مشخصه بار ژنراتور با تحریک مستقل دارد. شکل ۲-۲۴ منحنی های مشخصه بار ژنراتورهای با تحریک مستقل و شنت را نشان می دهد. با شنایه اینکه منحنی مشخص می گردد ولتاژ بی باری ژنراتور شنت اندکی کمتر از ژنراتور با تحریک مستقل (به اندازه $R_a I_a$) بوده و ضمناً شیب منحنی ژنراتور شنت به علت کاهش جریان تحریک (I_f) ناشی از کاهش ولتاژ خروجی (V_t) و در نتیجه کاهش فوران و کاهش E_a نسبت به ژنراتور با تحریک مستقل بیشتر خواهد بود. در حقیقت در ژنراتور شنت ما با کاهش E_a و افزایش $R_a I_a$ و همین عکس العمل آرمیچر مواجه هستیم.



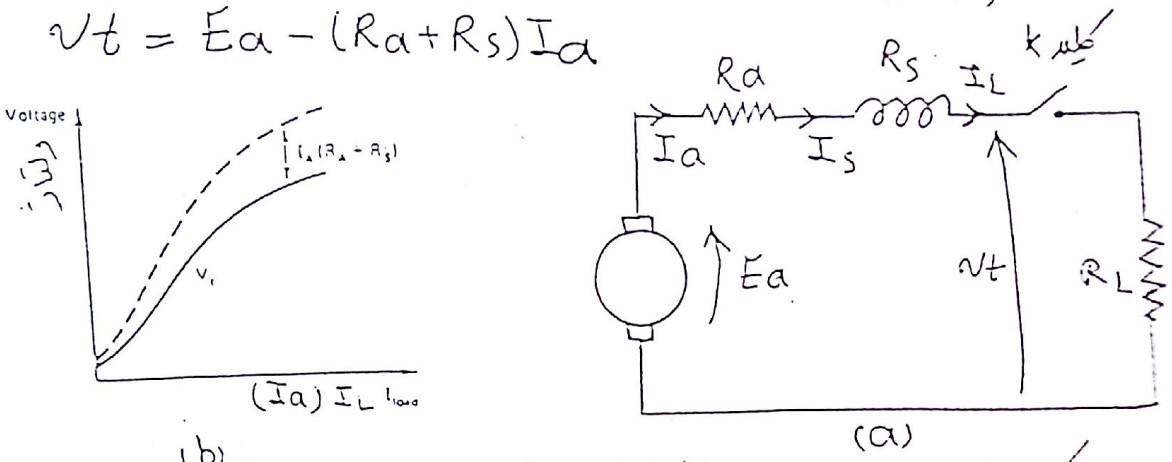
شکل ۲-۲۴ = منحنیهای مشخصه بار ژنراتورهای مستقل و شنت.

۲-۵-۶ = ژنراتور سری = در این ژنراتور سیم پیچ تحریک بصورت سری با آرمیچر قرار می گیرد. چون جریان بار با عبور از داخل این سیم پیچ (تحریک سری) گذرنده لذا این سیم پیچ کلفت بوده و معمولاً تعداد دور آن کم است (سیم پیچ شنت نازک بوده و تعداد دور آن زیاد است، لذا مقاومت آن نسبتاً زیاد است)، از اینرو مقاومت سیم پیچ سری خیلی کم می باشد. شکل ۲-۲۵ مدار معادل ژنراتور dc شنت و منحنی مشخصه بار این ژنراتور را نشان می دهد. چون تغییرات ولتاژ خروجی نسبت به جریان بار (شکل ۲-۲۵-b) بسیار زیاد

است، لذا از این ژنراتور معمولاً استفاده نمی گردد. در این ژنراتور داریم:

$$I_L = I_S = I_a$$

$$Vt = Ea - (Ra + Rs)Ia \qquad (۲-۱۸)$$



شکل ۲-۲۵ = a) مدار معادل ژنراتور DC سری، b) منحنی مشخصه بی باری و مشخصه بار.

۲-۵-۷ = ژنراتور کمپوند = در این ژنراتور هم سیم پیچ تحریک سری و هم سیم پیچ تحریک شنت وجود دارد. این ژنراتور از نظر نحوه اتصال سیم پیچهای شنت و سری با آرمیچر به دو دسته شنت بلند و شنت کوتاه تقسیم می گردد و از نظر وضعیت فوراتهای سیم پیچهای تحریک به دو دسته کمپوند اضافی و کمپوند تفاضلی یا نقصانی تقسیم می گردد. در کمپوند اضافی داریم:

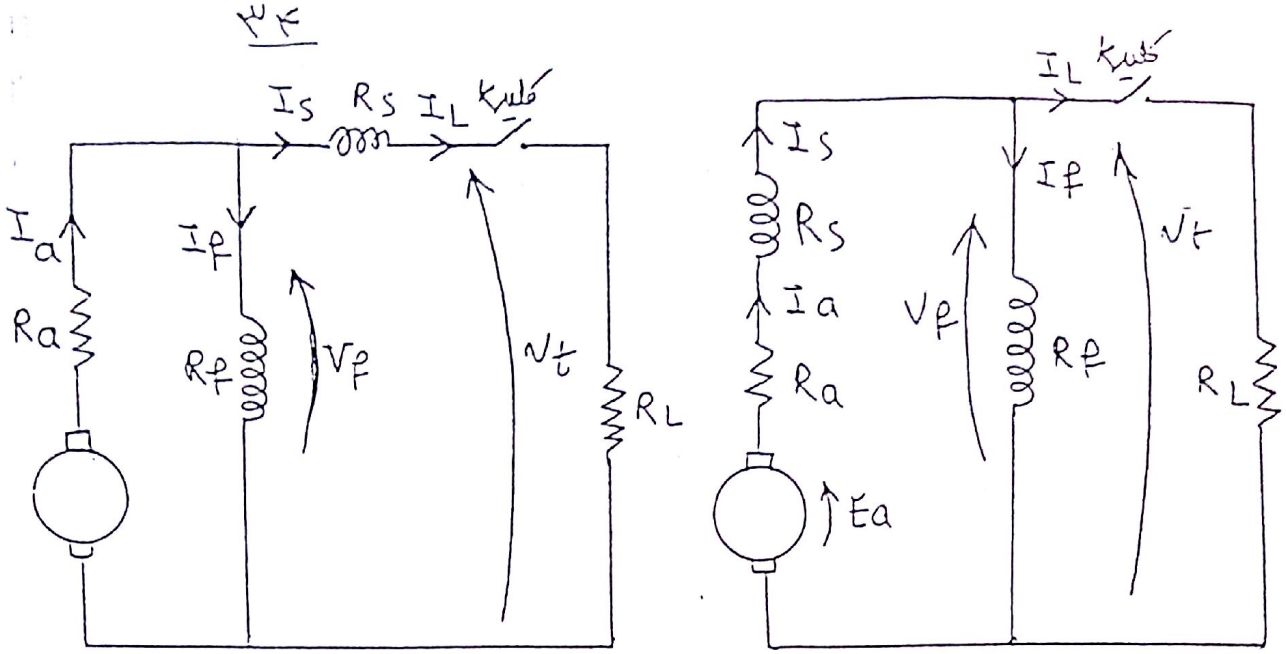
$$\Phi t = \Phi f + \Phi s \qquad (۲-۱۹)$$

در رابطه فوق Φt فوران کل قطبها و Φf فوران سیم پیچ شنت و Φs فوران سیم پیچ تحریک سری است. پس در کمپوند اضافی فورانها هم کمک می کنند. در کمپوند تفاضلی یا نقصانی داریم:

$$\Phi t = \Phi f - \Phi s \qquad (۲-۲۰)$$

پس در کمپوند تفاضلی فوران سیم پیچ سری اثر فوران سیم پیچ شنت را می کاهد.

شکل ۲-۲۶ ژنراتور کمپوند شنت بلند و شنت کوتاه را نشان می دهد. این دو ژنراتور تفاوت چندانی از نظر خصوصیات الکتریکی و ولتاژ خروجی ندارند. در شنت بلند داریم:



(b) (a)

شکل ۲-۲۶ a) ژنراتور کمپوند شنت بلند و b) ژنراتور کمپوند شنت کوتاه.

$$I_a = I_s = I_f + I_L$$

$$I_f = \frac{V_f}{R_f} = \frac{V_t}{R_f} \qquad (۲-۲۱)$$

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

در حالت بی باری داریم: $I_L = 0$

$$I_{aNL} = \frac{E_a}{R_a + R_s + R_f} \qquad (۲-۲۲)$$

$$V_{tNL} = E_a - (R_a + R_s) I_{aNL}$$

در ژنراتور شنت کوتاه داریم:

$$I_a = I_f + I_s = I_f + I_L$$

$$I_L = I_s$$

$$I_f = \frac{V_f}{R_f} = \frac{V_t + R_s I_s}{R_f} = \frac{E_a - R_a I_a}{R_f} \qquad (۲-۲۳)$$

$$V_t = E_a - R_a I_a - R_s I_s$$

در حالت بی باری داریم:

$$I_L = I_s = 0$$

$$I_{aNL} = \frac{E_a}{R_a + R_f} \qquad (۲-۲۴)$$

$$V_{tNL} = E_a - R_a I_{aNL}$$

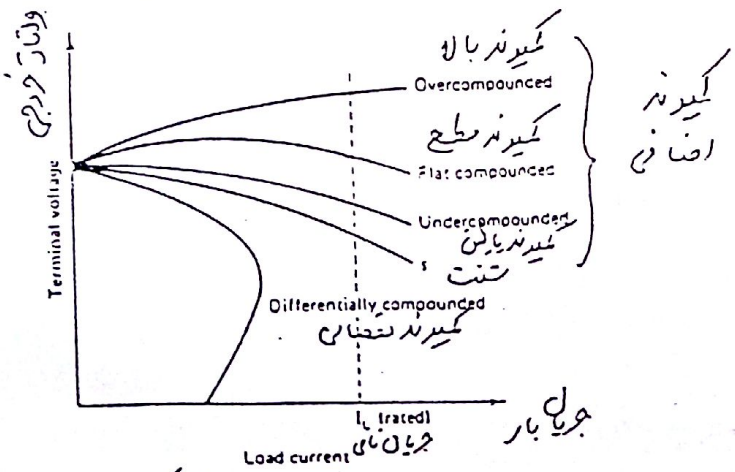
منحنی مشخصه بار ژنراتورهای کمپوند اضافی و تفاضلی (تفاضلی) در شکل ۲۷-۲ آمده است. سه مشخصه بالایی مربوط به ژنراتور کمپوند اضافی است. اگر تعداد دور سیم پیچ تحریک سری زیاد باشد، آنرا کمپوند بالا گویند اگر تعداد دور سیم پیچ سری متوسط باشد، آنرا کمپوند مسطح گویند و اگر تعداد دور سیم پیچ سری کم باشد آنرا کمپوند پائین گویند که در هر صورت از مشخصه ژنراتور شنت بهتر خواهد بود. منحنی آخر مربوط به ژنراتور کمپوند تفاضلی است.

۲-۵-۸ = تنظیم ولتاژ در ژنراتور = اختلاف ولتاژ خروجی ژنراتور در حالت بار کامل و بی باری بسیار با اهمیت است. هرچه این اختلاف ولتاژ زیادتر باشد نشان دهنده کیفیت بد طراحی و ساخت آن ژنراتور است و هرچه این مقدار کمتر باشد بیانگر کیفیت خوب ژنراتور است. درصد تنظیم ولتاژ یا رگولاسیون ولتاژ برابر است با:

$$\%V_R = \frac{V_{NL} - V_{FL}}{V_{FL}} \times 100 \qquad (۲-۲۵)$$

درصد تنظیم ولتاژ =

در رابطه فوق V_{NL} ولتاژ بی باری ژنراتور و V_{FL} ولتاژ بار کامل یا ولتاژ نامی ژنراتور است که این مقدار معمولاً بر روی پلاک ژنراتور (ولتاژ نامی) قید می گردد.

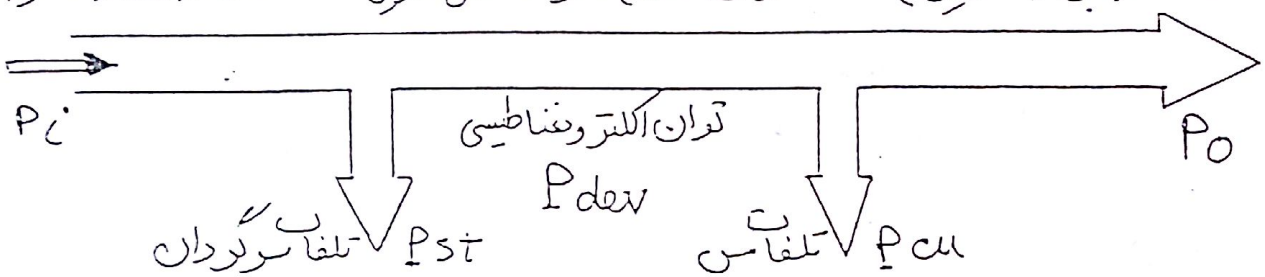


شکل ۲۷-۲ = منحنیهای مشخصه بار ژنراتورهای کمپوند اضافی و تفاضلی.

۹-۵-۲- تلفات دراندمان در ژنراتور DC = تلفات در ژنراتورهای DC معمولاً دو دسته می باشد. تلفات مس که مربوط به سیم پیچی های آرمیچر و تحریک بوده و سایر تلفات که شامل تلفات هسته، اصطکاک، تهویه و سایر تلفات است که به آن تلفات سرگردان (Pst) می گویند. تلفات مس از رابطه زیر بدست می آید.

$$P_{cu} = P_{cua} + P_{cu\,f} + P_{cus} = R_a I_a^2 + R_f I_f^2 + R_s I_s^2 \qquad (۲-۲۶)$$

تلفات سرگردان قابل می سیم نبوده و یا به مقدار آنرا با به ازای برداده های مختلف بدست آورد. نمودار پخش توان در ژنراتورهای DC در شکل ۲-۲۸ آمده است.



شکل ۲-۲۸ = نمودار پخش توان در ژنراتور جریان مستقیم (DC).

طبق نمودار فوق داریم:

$$\text{توان حاصله} = P_{dev} = P_i - P_{st} = P_o + P_{cu} = E_a I_a \qquad (۲-۲۷)$$

$$P_i = P_o + P_{cu} + P_{st} = P_{dev} + P_{st} \qquad (۲-۲۸)$$

راندمان برابر است با:

$$\eta\% = \frac{P_o}{P_i} \times 100 = \frac{P_o}{P_o + P_{cu} + P_{st}} \times 100 = \frac{P_i - P_{st} - P_{cu}}{P_i} \times 100 \qquad (۲-۲۹)$$

با توجه به روابط بالا می توان تلفات مس و توان حاصله و توان خروجی و ورودی را بدست آورده و سپس راندمان ژنراتور را محاسبه نمود. لازم به ذکر است که توان نوشته شده

روی پلاک ژنراتور توان خروجی نامی یا حداکثر توان مجاز خروجی آن ژنراتور می باشد.

مثال ۲-۶ = ژنراتور DC با تک مستقل ۱۰ kW، ۲۰۰ V دارای Ra=۰/۵ Ω است سیم پیچی تک دلران مقاومت ۱۰۰ Ω بوده و از یک منبع DC ۱۰۰ V تغذیه می نماید. مطلوبست ولتاژ القایی در ژنراتور و درصد تنظیم ولتاژ و راندمان ژنراتور (درصورتیکه تلفات گردان ۳۰۰ W باشد) (در شرایط نامی).

راه حل:

$$P_o = V_t \cdot I_L \Rightarrow I_{L_{نامی}} = \frac{P_o}{V_t} = \frac{10\times10^3}{200} = 50\,(A)$$

= ۵۰ حداکثر جریان مجاز ژنراتور است که به آن جریان نامی گوییم.

$$I_a = I_L = 50\,(A)$$

$$E_a = V_t + R_a I_a = 200 + 0/5 \times 50 = 225\,(V)$$

$$\%V_R = \frac{V_{NL} - V_{FL}}{V_{FL}} \times 100 = \frac{E_a - V_t}{V_t} \times 100 = \frac{(225-200)\times100}{200} = 12/5\%$$

$$P_{dev} = E_a I_a = 225 \times 50 = 11250\,(W)$$

$$P_i = P_{dev} + P_{st} = 11250 + 300 = 11550\,(W)$$

$$\%\eta = \frac{P_o}{P_i} \times 100 = \frac{10\times10^3}{11550} \times 100 = 86/6\%$$

لازم به یادآوری است در ژنراتور با تک مستقل چون سیم پیچی تک از منبع جداگانه تغذیه می گردد، تلفات مس آن را نباید در راندمان در نظر گرفت.

مثال ۲-۷ = ژنراتور DC شنت ۲۰ kW، ۲۰۰ V دارای Ra=۰/۱ Ω و R_f=۱۰۰ Ω است. تلفات گردان ژنراتور ۴۰۰ W می باشد مطلوبست: الف = ولتاژ القایی در ژنراتور در شرایط نامی، ب = کل تلفات مس، ج = راندمان در شرایط نامی، د = راندمان در شرایط نصف بار نامی مشروط بر آنکه ولتاژ القایی ژنراتور ماشه حالت نامی باشد.

۲۸

حل:

الف) $I_{L2} = \frac{P_0}{V_t} = \frac{2 \times 10^3}{200} = 100^{(A)}$ جریان نامی

$I_f = \frac{V_t}{R_f} = \frac{200}{100} = 2^{(A)}$

$I_a = I_L + I_f = 100 + 2 = 102^{(A)}$

$E_a = V_t + R_a I_a = 200 + 0/1 \times 102 = 210/2^{(V)}$

ب) $P_{cu} = P_{cuf} + P_{cua} = R_f I_f^2 + R_a I_a^2 = 100 \times 2^2 + 0/1 \times 102^2 =$

$P_{cu} = 400 + 1040/4 = 1440/4^{(W)}$

ج) $P_{dev} = P_0 + P_{cu} = 2 \times 10^3 + 1440/4 = 21440/4^{(W)}$

$P_i = P_{dev} + P_{st} = 21440/4 + 500 = 21940/4^{(W)}$

$\eta = \frac{P_0}{P_i} \times 100 = \frac{2 \times 10^3}{21940/4} \times 100 = 91/4\%$

د) I_L نصف بار نامی $= \frac{I_{L2}}{2} = \frac{100}{2} = 50^{(A)}$

$E_a = 210/2$

$V_t = E_a - R_a I_a = 210/2 - 0/1 I_a$

$I_f = \frac{V_f}{R_f} = \frac{V_t}{100}$

$I_a = I_L + I_f = 50 + I_f = 50 + \frac{V_t}{100}$

$V_t = 210/2 - 0/1 (50 + \frac{V_t}{100}) = 210/2 - 5 - 0/001 V_t$

$V_t = \frac{205/2}{1/001} = 205^{(V)}$

$I_f = \frac{205}{100} = 2/05^{(A)}$

$I_a = 50 + 2/05 = 52/05^{(A)}$

$P_{dev} = E_a I_a = 210/2 \times 52/05 = 10943/1^{(W)}$

$P_i = P_{dev} + P_{st} = 10943/1 + 500 = 11443/1^{(W)}$

$P_0 = V_t \cdot I_L = 205 \times 50 = 10250^{(W)}$

$\eta = \frac{P_0}{P_i} \times 100 = \frac{10250}{11443/1} \times 100 = 89/6\%$

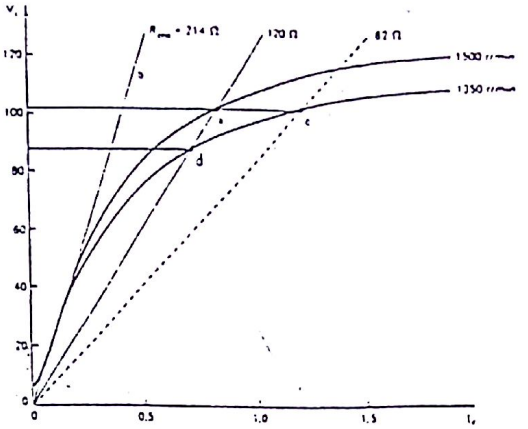
مثال ۸-۲= منحنی مغناطیس شوندگی یک ماشین DC در سرعت ۱۵۰۰ (RPM) دور در دقیقه بصورت شکل ۲-۲۹ می باشد. مطلوبست: a) ولتاژ ماشین هنگامیکه این ماشین بعنوان ژنراتور شنت با مقاومت میدان ۱۲۰Ω کار کند. b) مقدار مقاومت بحرانی میدان. c) اگر این ماشین با سرعت ۱۳۵۰ RPM بچرخد مقدار ولتاژ ماشین چقدر خواهد بود (R_f = 120Ω).

راه حل: a) ابتدا باید منحنی $V_t = R_f I_f$ را رسم نمائیم و محل برخورد آن با منحنی مربوط ولتاژ بی باری ماشین خواهد بود. حال فرض می کنیم $I_f = 1^A$ باشد، پس $V_t = 120 \times 1 = 120^V$ لذا با توجه به اطلاعات بدست آمده خط $V_t = 100 I_f$ را رسم می نمائیم. محل برخورد آن با منحنی مغناطیس شوندگی نقطه a خواهد بود و مقدار ولتاژ ماشین ۱۰۲ ولت است.

b: برای پیدا کردن مقاومت بحرانی از مرکز مختصات خطی مماس بر منحنی مغناطیس کشندگی رسم می نمائیم شیب این خط مقدار مقاومت بحرانی را نشان می دهد که برابر با ۲۱Ω طبق شکل است.

c) ابتدا منحنی مغناطیس شوندگی را در سرعت ۱۳۵۰ RPM با توجه به رابطه $E'_a = E_a \times \frac{1350}{1500}$ بدست می آوریم، یعنی به ازاء جریانهای تحریک ۰٫۵ و ۱ و ۱٫۵ (A) مقدار E_a را بدست آورده و سپس E'_a را بدست می آوریم و منحنی را رسم می نمائیم. محل برخورد خط $V_t = 100 I_f$ با این منحنی جدید نقطه d بوده که ولتاژ ماشین در اینحالت ۸۷ ولت خواهد بود. اگر بخواهیم در حالت جدید (با دور ۱۳۵۰ RPM) ولتاژ ماشین ما در حالت ۱۵۰۰ RPM یعنی ۱۰۲ ولت باشد، مطابق شکل ۲-۲۹ مقدار مقاومت سیم پیچی تحریک (R_f) باید حدود ۸۲Ω باشد. نقطه e نقطه کار منحنی در حالت جدید با ولتاژ ماشین ۱۰۲ ولت است.

مثال ۹-۲= یک ژنراتور شنت با مقاومت تحریک ۶۰Ω هنگامیکه بار ۶۰ kW را تغذیه می کند، ولتاژ خروجی آن ۱۲۰ ولت و ولتاژ القایی در ژنراتور ۱۲۳ ولت می باشد. مطلوبست: a) مقاومت آرمیچر ماشین.



شکل ۲-۲۹ = منحنی مغناطیس شوندگی مربوط به مثال ۲-۸ .

ب) ولتاژ القایی ژنراتور هنگامیکه ژنراتور بار (معرف کننده) 20^{kW} را تغذیه کرده و ولتاژ خروجی 125^{V} ولت باشد.

راه حل:

a) $\Longrightarrow$ $I_L = \frac{P_o}{V_t} = \frac{20 \times 10^3}{120} = 50^{(A)}$

$I_f = \frac{V_t}{R_f} = \frac{120}{60} = 2^{(A)}$

$I_a = I_L + I_f = 50 + 2 = 52^{(A)}$

$V_t = E_a - R_a I_a \Rightarrow R_a = \frac{E_a - V_t}{I_a} = \frac{123 - 120}{52} = .25^{(\Omega)}$

b) $\Longrightarrow$ $I_L = \frac{20000}{125} = 14,9^{(A)}$

$I_f = \frac{V_t}{R_f} = \frac{125}{60} = 2,25^{(A)}$

$I_a = I_L + I_f = 14,9 + 2,25 = 17,15^{(A)}$

$E_a = V_t + R_a I_a = 125 + .25 \times 17,15 = 129,3^{(V)}$

مثال ۲-۱۰ = یک ژنراتور DC سری 2^{kW} و 200^{V} دارای $R_s = .1^{\Omega}$ و $R_a = .4^{\Omega}$ و $P_{st} = 110^{W}$ است. مقادیر جریان بار، جریان سیم پیچ سری و جریان آرمیچر و ولتاژ القایی و توان حاصله و راندمان در شرایط تمام بدست آورید. اگر ژنراتور با ۸۰٪ بار نامی خود کار کرده و ولتاژ خروجی آن

۴۱

ثابت بماند (۲۰۰^{V}) در این حالت ولتاژ القایی در آرمیچر را بدست آورید.

راه حل:

الف ⟹ $P_o = ۲^{kW}$

$$I_a = I_s = I_L = \frac{P_o}{V_t} = \frac{۲۰۰۰}{۲۰۰} = ۱۰^{(A)}$$

$$E_a = V_t + (R_a + R_s) I_a = ۲۰۰ + (۰/۴ + ۰/۱) \times ۱۰ = ۲۰۵^{(V)}$$

توان حاصل $P_{dev} = E_a I_a = ۲۰۵ \times ۱۰ = ۲۰۵۰^{(W)}$

توان ورودی $P_i = P_{dev} + P_{st} = ۲۰۵۰ + ۱۱۰ = ۲۱۶۰^{(W)}$

$$\% \eta = \frac{P_o}{P_i} \times ۱۰۰ = \frac{۲۰۰۰}{۲۱۶۰} \times ۱۰۰ = ۹۲/۶\%$$

ب ⟹ $P_o = ۰/۸ \times ۲۰۰۰ = ۱۶۰۰^{(W)}$

$$I_a = I_s = I_L = \frac{۱۶۰۰}{۲۰۰} = ۸^{(A)}$$

$$E_a = V_t + (R_a + R_s) I_a = ۲۰۰ + ۰/۵ \times ۸ = ۲۰۴^{(V)}$$

$$P_i = P_{dev} + P_{st} = E_a I_a + P_{st} = ۲۰۴ \times ۸ + ۱۱۰ = ۱۷۴۲^{(W)}$$

$$\% \eta = \frac{P_o}{P_i} \times ۱۰۰ = \frac{۱۶۰۰}{۱۷۴۲} \times ۱۰۰ = ۹۱/۸\%$$

مثال ۱۱-۲= ژنراتور DC کمپوند اضافی از نوع شنت بلند $۴۱/۸^{kW}$ و ۲۰۰^{V} دارای $R_a = ۰/۴^{\Omega}$ و $R_s = ۰/۱^{\Omega}$ و $R_f = ۱۲۰^{\Omega}$ و $P_{st} = ۲۰۰^{W}$ است. مطلوبست E_a، P_{dev} و P_{eu} و راندمان و رگولاسیون ولتاژ در شرایط نامی. اگر این ژنراتور باری با مقاومت ۴^{Ω} را تغذیه نماید و ولتاژ خروجی در این حالت ۱۲۶^{V} باشد، ولتاژ القایی در آرمیچر را در این حالت بدست آورید.

راه حل:

الف ⟹ $P_o = ۴۱/۸^{(kW)} \Rightarrow I_L = \frac{P_o}{V_t} = \frac{۴۱/۸ \times ۱۰^{۳}}{۱۲۰} = ۳۴۰^{(A)}$

$$I_f = \frac{V_t}{R_f} = \frac{۱۲۰}{۱۲۰} = ۱^{(A)} \Rightarrow I_a = I_s = I_L + I_f = ۳۴۰ + ۱ = ۳۴۱^{(A)}$$

$$E_a = V_t + (R_a + R_s) I_a = ۱۲۰ + (۰/۴ + ۰/۱) ۳۴۱ = ۱۴۰/۵^{(V)}$$

$$P_{cu} = P_a + P_f + P_s = R_a I_a^2 + R_f I_f^2 + R_s I_s^2 =$$

$$P_{cu} = 0.4 \times 41^2 + 120 \times 1^2 + 0.1 \times 41^2 = 964.5 \ (W)$$

$$P_{dev} = E_a I_a = 140.5 \times 41 = 5764.5 \ (W)$$

$$\eta\% = \frac{P_o}{P_i} \times 100 = \frac{P_o}{P_o + P_{cu} + P_{sh}} \times 100 = \frac{4800}{4800 + 964.5 + 200} \times 100 = 80.5\%$$

$$VR\% = \frac{V_{NL} - V_{FL}}{V_{FL}} \times 100 \quad \Rightarrow V_{NL} \simeq E_a = 140.5 \ (V), \ V_t = 120 \ (V)$$

$$VR\% = \frac{140.5 - 120}{120} \times 100 = 17.1\%$$

ب $\Longrightarrow$ $R_L = 4 \ \Omega \Longrightarrow I_L = \frac{V_t}{R_L} = \frac{124}{4} = 31 \ (A)$

$$I_f = \frac{V_t}{R_f} = \frac{124}{120} = 1.03 \ (A) \Rightarrow I_a = I_s = I_L + I_f = 31 + 1.03 = 32.03 \ (A)$$

$$E_a = V_t + (R_s + R_a) I_a = 124 + (0.1 + 0.3)(32.03) = 140.3 \ (V)$$

$$\eta\% = \frac{P_o}{P_i} \times 100 = \frac{V_t \times I_L}{P_{dev} + P_{sh}} \times 100 = \frac{V_t \times I_L}{E_a I_a + P_{sh}} \times 100 =$$

$$\eta\% = \frac{124 \times 31}{140 \times 32.03 + 200} \times 100 = 82.1\%$$

مثال ۱۲-۲ ـ ژنراتور DC کمپوند تفضانی از نوع شنت کوتاه $10 \ kW$ در ۵۰٪ بارنامی دارای ولتاژ خروجی $200 \ V$ است. مقادیر $R_a = 0.3 \ \Omega$ و $R_s = 0.1 \ \Omega$ و $R_f = 100 \ \Omega$ و $P_{sh} = 400 \ W$ می باشد

مطلوبست: a) E_a و راندمان در گولاسیون ولتاژ در ۵۰٪ بارنامی. b) اگر مقاومت مدار میدان را ثابت در نظر گرفته، مقدار ولتاژ خروجی در گولاسیون را در بارنامی بدست آورید.

راه حل:

a $\Longrightarrow$ $P_o = 0.5 \times 10 \times 10^3 = 5000 \ (W)$

$$I_L = I_s = \frac{P_o}{V_t} = \frac{5000}{200} = 25 \ (A)$$

$$V_f = V_t + R_s I_s = 200 + 0.1 \times 25 = 202.5 \text{ V} \quad (1)$$

$$I_f = \frac{V_f}{R_f} = \frac{202.5}{100} = 2.025 \text{ A} \quad (2)$$

$$I_a = I_f + I_s = 2.025 + 25 = 27.025 \text{ A} \quad (3)$$

$$E_a = V_t + R_s I_s + R_a I_a = 200 + 0.1 \times 25 + 0.08 \times 27.025 = 227.8 \text{ V} \quad (4)$$

$$\eta\% = \frac{P_o}{P_o + P_{cu} + P_{st}} \times 100 = \frac{P_o \times 100}{P_{cu} + P_{st}} = \frac{5000 \times 100}{E_a I_a + 400}$$

$$\eta\% = \frac{5000 \times 100}{227.8 \times 27.025 + 400} = 79.4\%$$

$$VR\% = \frac{V_{NL} - V_{FL}}{V_{FL}} \times 100 \quad \Rightarrow V_{NL} = E_a = 227.8 \text{ V} \quad (5), \quad V_{FL} = 200 \text{ V} \quad (6)$$

$$VR\% = \frac{227.8 - 200}{200} \times 100 = 13.9\%$$

b $\Rightarrow$ $P_o = 10 \text{ kW}$, $E_a = 227.8 \text{ V}$ (7) , $V_t = ?$

$$I_s = I_L = \frac{P_o}{V_t} = \frac{10000}{V_t}$$

$$I_f = \frac{V_f}{R_f} = \frac{E_a - R_a I_a}{R_f} = \frac{227.8 - 0.9 I_a}{100}$$

$$I_a = I_L + I_f = \frac{10000}{V_t} + \frac{227.8 - 0.9 I_a}{100}$$

$$V_t = E_a - R_a I_a - R_s I_s = 227.8 - 0.9 I_a - 0.1 \times \frac{10000}{V_t}$$

$$I_a = 2.3 - 0.009 I_a + \frac{1000}{V_t} \Rightarrow I_a = \frac{\frac{1000}{V_t} + 2.3}{1.009}$$

$$V_t = 227.8 - 0.9 \times \frac{\frac{1000}{V_t} + 2.3}{1.009} - \frac{1000}{V_t} = 227.8 - \frac{891.7}{V_t} - 2 - \frac{1000}{V_t}$$

$$V_t = 223.8 - \frac{9919.7}{V_t} \Rightarrow V_t^2 - 223.8 V_t + 9919.7 = 0$$

$$V_t = 147.5 \text{ V} \quad (8)$$

,

$$VR\% = \frac{V_{NL} - V_{FL}}{V_{FL}} \times 100 = \frac{E_a - V_t}{V_t} \times 100 = \frac{227.8 - 147.5}{147.5} \times 100 =$$

$$54.5\% - 50.1\%$$

۲-۶ = موتورهای جریان مستقیم = وقتیکه یک ماشین DC از یک منبع DC تغذیه گردد، در نتیجه عبور جریان از قطبها فوران بوجود آمده و همچنین با عبور جریان از آرمیچر و وجود فوران، گشتاور تولید شده که باعث چرخش موتور می گردد. لذا در موتورهای DC انرژی الکتریکی به انرژی مکانیکی تبدیل می گردد. همانطوریکه در بخش ۲-۳-۲ بیان گردید، در موتورهای DC با شروع به حرکت هادیهای آرمیچر، ضد قانون القاء فاراده ولتاژ در این هادیها القاء شده، که چون جهت آن عکس جهت ولتاژ منبع است لذا به آن نیروی ضد محرکه گویند. این ولتاژ مانند ژنراتورها از رابطه ۲-۹ ($E_a = k_a \Phi \omega$) بدست می آید.

۲-۶-۱ = رابطه اساسی در موتورهای DC = رابطه اساسی در موتورهای DC، رابطه مربوط به گشتاور است که بصورت زیر می باشد.

$$T = k_a \Phi I_a \qquad (۲-۳۰)$$

در رابطه فوق I_a جریان آرمیچر و Φ فوران قطبها و k_a ثابت عددی و T گشتاور بوده که برحسب نیوتن-متر خواهد بود.

۲-۶-۲ = رابطه گشتاور و توان = رابطه بین گشتاور و توان در موتور DC بصورت زیر است

$$T = \frac{P}{\omega} \qquad (۲-۳۱)$$

در رابطه بالا P توان برحسب وات و ω سرعت زاویه ای (Rad/s) و T گشتاور برحسب $N.m$ می باشد.

۲-۶-۳ = انواع موتورهای DC = موتورهای DC همانند ژنراتورهای DC بسته به نحوه اتصال سیم پیچ یک و آرمیچر بصورت موتور شنت، موتور سری، موتور کمپوند اضافی و موتور کمپوند تفاضلی یا

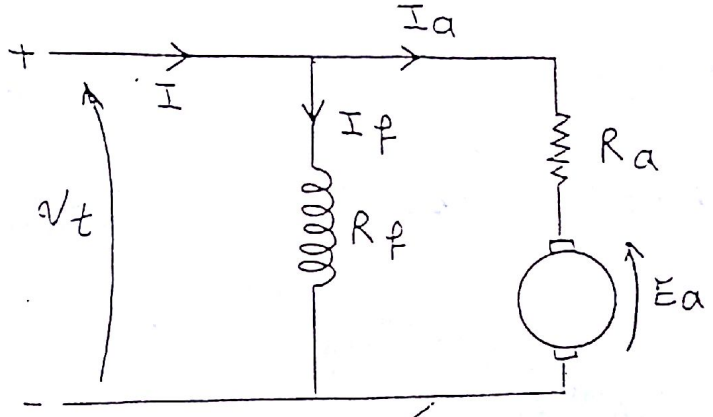
نقصانی بوده که بررسی کاری مرتبک خواهیم پرداخت.

۲-۶-۴ = موتور شنت = در این موتور سیم پیچ تحریک با آرمیچر بصورت موازی می باشد. مدار معادل موتور شنت در شکل ۲-۳۰ آمده است. طبق این شکل داریم:

$$I_a = I_L - I_f$$

$$I_f = \frac{V_f}{R_f} = \frac{V_t}{R_f} \qquad (۲-۳۱)$$

نیروی ضد محرکه $E_a = V_t - R_a I_a$



شکل ۲-۳۰ = مدار معادل یک موتور DC شنت.

لازم به یادآوری است که در ژنراتورهای DC همیشه $E_a > V_t$ بوده و $I_a > I_L$ است. لیکن در موتورهای DC همیشه $V_t > E_a$ و $I_L > I_a$ است.

جهت بررسی و تحلیل کار موتور DC شنت باید گفت که طبق روابط ۲-۳۱ داریم:

$$I_a = \frac{V_t - E_a}{R_a} \qquad (۲-۳۲)$$

در حالت بی باری چون باری روی شفت (محور) موتور وجود ندارد لذا سرعت موتور زیاد بوده و طبق رابطه $E_a = K_a \Phi \omega$ چون I_f تقریباً ثابت است لذا Φ نیز ثابت بوده و چون سرعت موتور زیاد است لذا E_a زیاد بوده و نزدیک به V_t می باشد. لذا صورت رابطه ۲-۳۲ کوچک بوده و جریان I_a خیلی کم است که مربوط به جریان بی باری موتور است. با اعمال بار

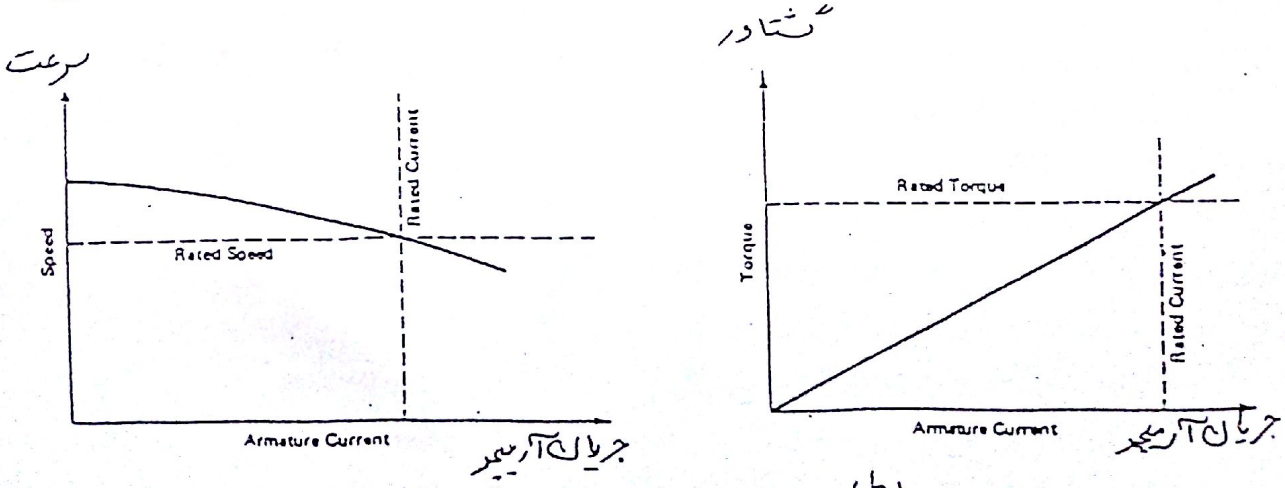
بر محور موتور، سرعت موتور کاهش می‌یابد، با کاهش سرعت موتور، E_a کم شده و صورت رابطه ۲-۳۲ بزرگ شده و در نتیجه I_a بزرگ می‌شود. با افزایش I_a طبق رابطه ۲-۳۰ گشتاور T (گشتاور الکتریکی) زیاد شده تا با گشتاور مکانیکی ناشی از احمال بار برابر گردد. در سرعتی که این دو گشتاور برابر شد آن سرعت، سرعت پایدار آن موتور به ازای آن بار معین است.

اگر بار احمالی بر موتور زیاد گردد، کاهش سرعت بیشتر شده و E_a کوچکتر شده و I_a بزرگتر گردیده و گشتاور T زیادتر می‌گردد. پس مقدار I_a بیانگر وضعیت بار احمالی بر روی موتور است. در حالت بی باری I_a کوچک بوده و هرچه بار زیادتر گردد I_a هم بزرگتر می‌شود.

دو منحنی گشتاور و سرعت نسبت به جریان آرمیچر در تحلیل کار موتورهای DC اهمیت داشته که در اینجا به بررسی این دو منحنی (گشتاور به جریان آرمیچر و سرعت به جریان آرمیچر) در موتور DC شنت می‌پردازیم. باید توجه کنیم که جریان آرمیچر نشان دهنده وضعیت بار موتور می‌باشد.

طبق رابطه ۲-۳۰ چون در موتور شنت Φ ثابت است پس $T = k_a I_a$ بوده و منحنی آن بصورت شکل ۲-۳۱ (بصورت خطی) می‌باشد. جهت بررسی رابطه سرعت به جریان آرمیچر داریم:

$$E_a = V_t - R_a I_a = k_a \Phi \omega$$



شکل ۲-۳۱ a) منحنی گشتاور به جریان آرمیچر، b) منحنی سرعت به جریان آرمیچر موتور شنت.