آمپرمتر A جریان مدار سری شامل سیم‌پیچی آرمیچر، تحریک و بار و ولت‌متر V ولتاژ پایانه‌های ژنراتور V_T را نشان می‌دهند. از لامپ های H_1 تا H_n به‌عنوان بار و از کلیدهای S_1 تا S_n برای اتصال آن‌ها به پایانه‌های ژنراتور استفاده شده است.

۱ ـ ۲۳ ـ ۳ ـ آزمایش بارداری

برای انجام آزمایش بارداری پس از برقراری شرایط راه‌اندازی، رتور ژنراتور توسط محرک با سرعت ثابت گردانده می‌شود. سپس کلیدهای S_1 تا S_n شکل (۳۶ ـ ۳) را به ترتیب می‌بندند و با روشن کردن لامپ‌های H_1 تا H_n جریان بار I_L را طی چند مرحله افزایش می‌دهند و در هر مرحله مقادیر ولتاژ پایانه‌های ژنراتور V_T که توسط ولت‌متر V و جریان بار I_L که توسط آمپرمتر A اندازه‌گیری می‌شوند را در جدولی یادداشت می‌کنند. این کار آن‌قدر ادامه می‌یابد تا جریان بار I_L به مقدار جریان نامی ژنراتور برسد.

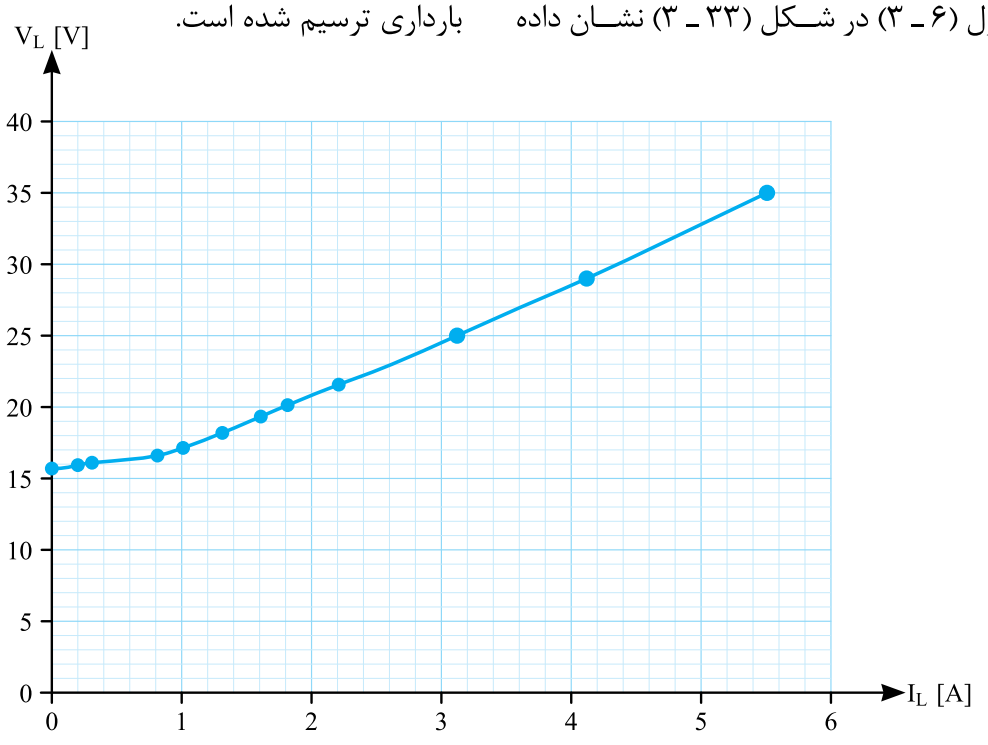
سپس روی یک دستگاه مختصات نقاط نشان دهنده مقدار V_T به ازای هر جریان بار I_L معینی را مشخص می‌کنند؛ این نقاط را به یک‌دیگر وصل می‌کنند تا «منحنی مشخصه بارداری» ژنراتور سری به‌دست آید.

جدول (۶ ـ ۳) نتیجه آزمایش بارداری ژنراتور سری ۱۹۵ W ، ۵/۵ A و ۳۵ V را در سرعت ۱۵۰۰ RPM نشان می‌دهد.

I_L[A]	۰	۰/۲	۰/۳	۰/۸	۱	۱/۳	۱/۶	۱/۸	۲/۲	۳/۱	۴/۱	۵/۲
V_T [v]	۱۵/۶	۱۵/۶	۱۶	۱۶/۵	۱۷/۲	۱۸/۲	۱۹/۳	۲۰/۳	۲۱/۴	۲۵	۲۹	۳۵

جدول ۶ ـ ۳ نتیجه آزمایش بارداری ژنراتور سری

نقاط نشان‌دهنده مقدار هر ولتاژ به ازای جریان بار معین جدول (۶ ـ ۳) در شکل (۳۳ ـ ۳) نشان داده شده است. با اتصال نقاط به یک‌دیگر منحنی مشخصه بارداری ترسیم شده است.



شکل ۳۳ ـ ۳ منحنی مشخصه بارداری ژنراتور تحریک سری

فعالیت ۴ ـ ۳ ـ با استفاده از برنامه *Excel* نمودار مربوط به جدول (۵ ـ ۳) را رسم نمایید.

مثال ۱۲ ـ ۳ ـ جدول (۷ ـ ۳) نتایج آزمایش بی‌باری ژنراتور سری ۱۹۵ W، ۵/۵ A و ۳۵ V را در سرعت ۱۵۰۰ RPM نشان می‌دهد. اگر مقاومت سیم‌پیچی آرمیچر $R_A = ۱/۲۵\ \Omega$ و مقاومت سیم‌پیچی تحریک $R_F = ۰/۳\ \Omega$ باشد، مطلوب است:

الف ـ افت ولتاژ ناشی از اثرات مغناطیسی آرمیچر در بارنامی

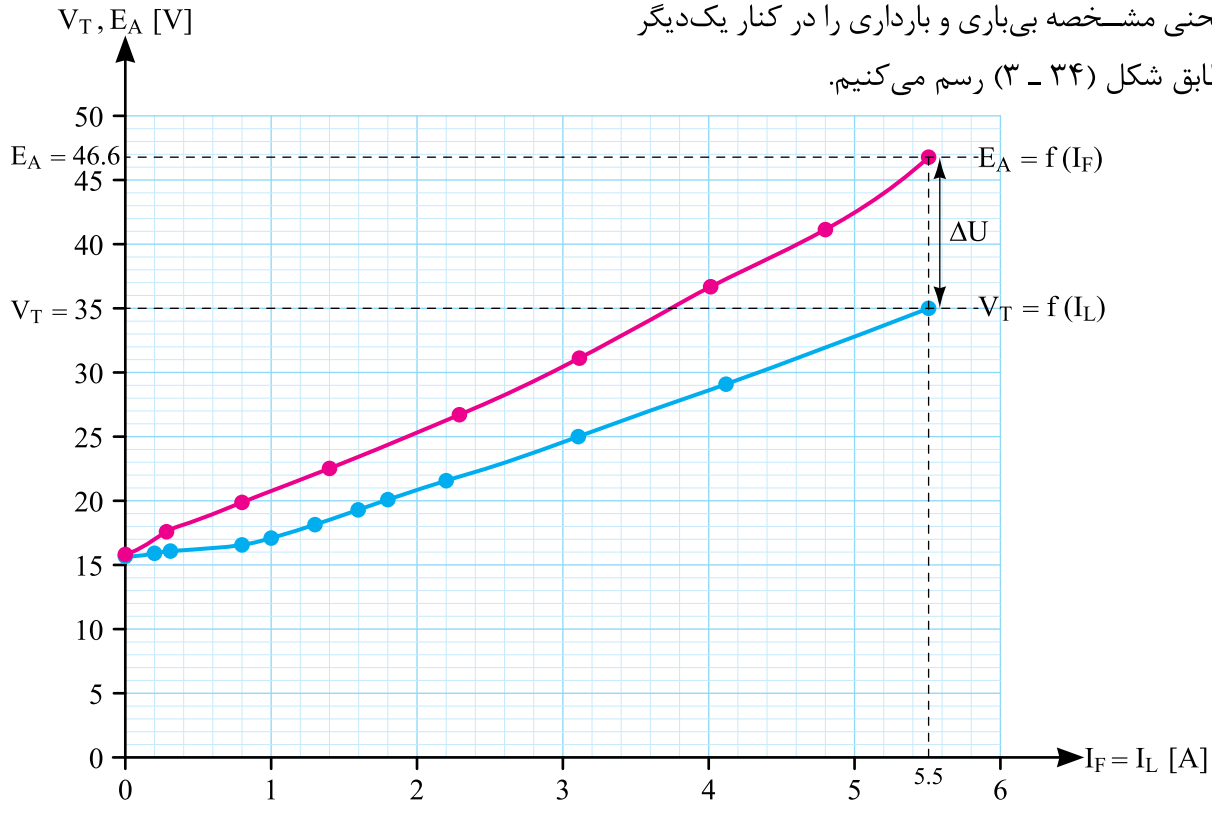
ب ـ درصد تنظیم ولتاژ در بارنامی

$I_F[A]$	۰	۰/۳	۰/۸	۱/۴	۲/۳	۳/۱	۴	۴/۸	۵/۵
E_A [v]	۱۵/۶	۱۷/۵	۱۹/۹	۲۲/۵	۲۶/۷	۳۱	۳۶/۷	۴۱/۱	۴۶/۶

جدول ۷ ـ ۳ نتیجه آزمایش بی‌باری ژنراتور سری

حل:

با توجه به نتایج جدول (۷ ـ ۳) و جدول (۶ ـ ۳) منحنی مشخصه بی‌باری و بارداری را در کنار یک‌دیگر مطابق شکل (۳۴ ـ ۳) رسم می‌کنیم.



شکل ۳۴ ـ ۳

ـ اختلاف میان منحنی مشخصه بی‌باری و بارداری ژنراتور تحریک سری نشان‌دهنده افت ولتاژ آرمیچر ΔU_A است. به ازای جریان نامی ژنراتور $I_L = ۵/۵\,A$ مقدار نیروی محرکه القایی آرمیچر E_A از منحنی مشخصه بی‌باری و مقدار ولتاژ پایانه‌های ژنراتور V_T به‌دست می‌آید.

$$E_A = ۴۶/۶[V]$$
$$V_T = ۳۵[V]$$

ـ از رابطـه (۱۸ ـ ۳) افـت ولتاژ آرمیچر به‌دسـت می‌آید.

$$\Delta U_A = E_A - V_T$$
$$\Delta U_A = ۴۶/۶ - ۳۵ = ۱۱/۶ [V]$$

ـ در ژنراتورهای تحریک سـری افـت ولتاژ آرمیچر شـامل افت ولتاژ ناشـی از مقاومت اهمی سـیم‌پیچی آرمیچـر $R_A I_L$ و افـت ولتـاژ ناشـی از مقاومت اهمی سـیم‌پیچی تحریک $R_F I_L$ و افت ولتاژ ناشـی از اثرات مغناطیسی آرمیچر ε می‌باشد. رابطه (۲۷ ـ ۳)

$$\Delta U_A = R_A I_L + R_F I_L + \varepsilon \qquad (۳-۲۷)$$

$$\Delta U_A = (R_A + R_F) I_L + \varepsilon$$
$$۱۱/۶ = (۱/۲۵ + ۰/۳) \times ۵/۵ + \varepsilon$$
$$۱۱/۶ = ۸/۵۲۵ + \varepsilon$$
$$\varepsilon = ۳/۰۷۵ [V]$$

ـ درصـد تنظیـم ولتـاژ از رابطه (۸ ـ ۳) به‌دسـت می‌آید.

$$\%V_R = \frac{E_A - V_T}{V_T} \times ۱۰۰$$
$$\%V_R = \frac{۴۶/۶ - ۳۵}{۳۵} \times ۱۰۰ = \%۳۳$$

۲۴ ـ ۳ ـ کاربرد ژنراتور سری

منحنی مشخصه بارداری ژنراتور سری عدم پایداری ولتـاژ پایانه‌های آن را به ازای تغییر بار به خوبی نشـان می‌دهد. پرواضح است چنین ژنراتوری منبع ولتاژ ثابت خوبی نیسـت و از درصد تنظیم ولتـاژ بالایی برخوردار اسـت. لذا بـرای ژنراتور تحریک سـری بـه دلیل عدم پایداری ولتاژ، کاربردی تعریف نشده است.

پرسش ۸ ـ ۳

۱ ـ نحـوه انجـام آزمایش بـارداری ژنراتور تحریک سری را با رسم شکل شرح دهید.

۲ ـ هدف از انجام آزمایش بارداری را بنویسید.

۳ ـ آیا استفاده از ژنراتور تحریک سری برای مصارف روشنایی مناسب است؟ چرا؟

۴ ـ آیـا برای ژنراتور سـری کاربـردی وجود دارد؟ چرا؟

۵ ـ با توجه به منحنی مشخصه بارداری ژنراتورهای تحریک موازی و تحریک سـری بین آن‌ها مقایسـه‌ای انجام دهید.

تمرین ۷ ـ ۳

۱ ـ نتایج آزمایش بی‌باری و بارداری ژنراتور تحریک سـری ۶۰ V، ۱۲۰ A بـا مقاومت اهمی سـیم‌پیچی آرمیچر ۰/۷Ω و سـیم‌پیچی تحریک ۰/۵Ω به شـرح زیر است:

$I_F = I_L [A]$	۰	۲۰	۴۰	۶۰	۸۰	۱۰۰	۱۲۰
$E_A [v]$	۴	۱۲	۲۷	۵۰	۷۰	۸۰	۷۹
$V_T [V]$	۴	۱۰	۲۰	۳۸	۵۵	۶۰	۵۹

الف ـ رسم منحنی مشخصه بی‌باری و بارداری

ب ـ افـت ولتاژ ناشـی از اثرات مغناطیسـی در بار نامی

۲۵ ـ ۳ ـ ژنراتورهای جریان مستقیم با تحریک کمپوند

ژنراتور جریان مستقیم با تحریک کمپوند را به اختصار «ژنراتور کمپوند[1]» گویند. طرح ساختمانی ژنراتور کمپوند در شکل (۳۵ ـ ۳) نشان داده شده است.

شکل ۳۵ ـ ۳ طرح ساختمانی ژنراتور کمپوند

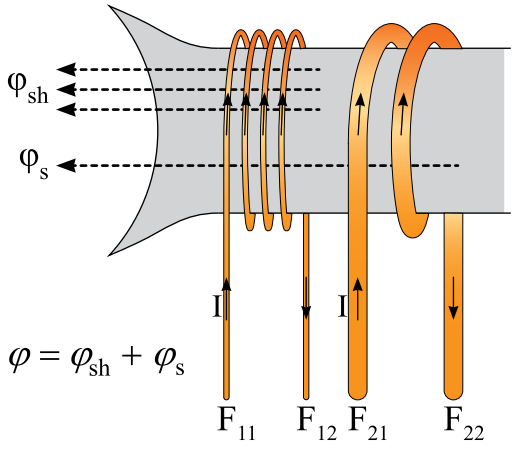
استاتور دارای قطب‌های برجسته می‌باشد. بر روی قطب‌ها دو سیم‌پیچی تحریک قرار داده شده است. فوران قطب‌ها از ترکیب فوران هر دو سیم‌پیچی تحریک به‌دست خواهد آمد.

یکی از سیم‌پیچی‌های تحریک از سیمی با قطر کم و تعداد دور زیاد برای جریان کم طراحی شده است و مناسب موازی شدن با مدار آرمیچر است. این سیم‌پیچی را «تحریک شنت» گویند. سیم‌پیچی تحریک دیگر از سیمی با قطر زیاد و تعداد دور کم برای جریان زیاد طراحی شده است و مناسب سری شدن با مدار آرمیچر است. این سیم‌پیچی را «تحریک سری» گویند.

ژنراتورهای کمپوند با توجه به نحوه اتصال سیم‌پیچی‌های تحریک شنت و سری با مدار سیم‌پیچی آرمیچر در چهار گروه تقسیم‌بندی می‌شوند که در ادامه به آن‌ها پرداخته شده است.

۱ ـ ۲۵ ـ ۳ ـ ژنراتور کمپوند اضافی

اگر سیم‌پیچی‌های تحریک شنت و سری به گونه‌ای با مدار سیم‌پیچی آرمیچر ارتباط داده شوند تا جریان آن‌ها هم جهت باشد به‌طوری که فوران ناشی از سیم‌پیچی تحریک سری φ_s به فوران ناشی از سیم‌پیچی تحریک شنت φ_{sh} اضافه شود در این صورت ژنراتور را «کمپوند اضافی» گویند. شکل (۳۶ ـ ۳)



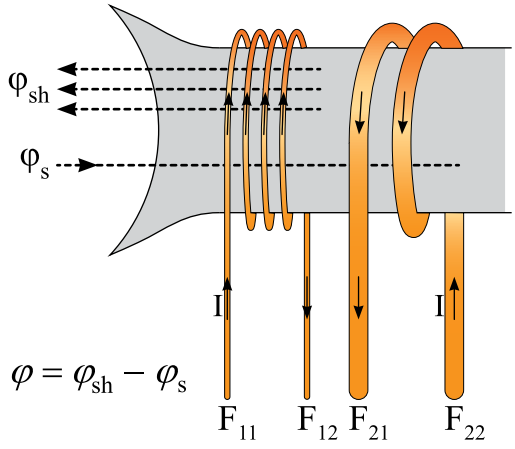
شکل ۳۶ ـ ۳ قطب ژنراتور کمپوند اضافی

۲ ـ ۲۵ ـ ۳ ـ ژنراتور کمپوند نقصانی

اگر سیم‌پیچی تحریک شنت و سری به گونه‌ای با مدار سیم‌پیچی آرمیچر ارتباط داده شوند تا جریان آن‌ها هم جهت نباشد به‌طوری که فوران ناشی از سیم‌پیچی تحریک سری φ_s از فوران ناشی از سیم‌پیچی تحریک شنت φ_{sh} کم شود، در این صورت ژنراتور را «کمپوند

۱. Compound Generator

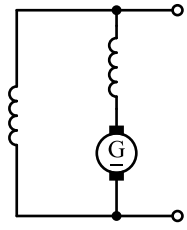
نقصانی» گویند. شکل (۳۷ ـ ۳)



شکل ۳۷ ـ ۳ قطب ژنراتور کمپوند نقصانی

۳ ـ ۲۵ ـ ۳ ـ ژنراتور کمپوند با شنت بلند

اگر سیم‌پیچی آرمیچر ابتدا با سیم‌پیچی تحریک سری و سپس به سیم‌پیچی تحریک شنت مطابق نقشه اختصاری شکل (۳۸ ـ ۳) ارتباط داده شود، ژنراتور را «کمپوند با شنت بلند» می‌نامند.

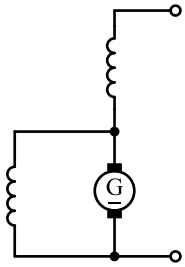


شکل ۳۸ ـ ۳ نقشه اختصاری ژنراتور کمپوند با شنت بلند

ژنراتور کمپوند با شنت بلند با توجه به جهت فوران‌های تحریک شنت و سری می‌تواند از نوع «اضافی» یا «نقصانی» باشد.

۴ ـ ۲۵ ـ ۳ ـ ژنراتور کمپوند با شنت کوتاه

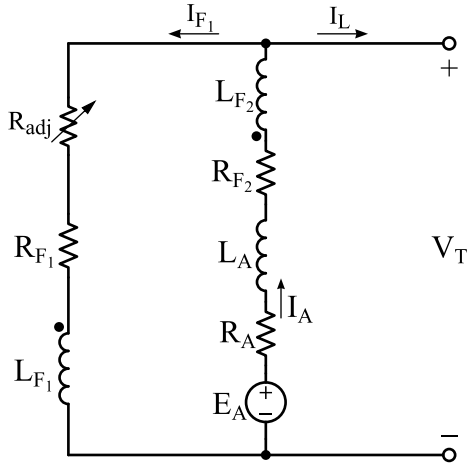
اگر سیم‌پیچی آرمیچر ابتدا با سیم‌پیچی تحریک شنت و سپس به سیم‌پیچی تحریک سری مطابق نقضه اختصاری شکل (۳۹ ـ ۳) ارتباط داده شود ژنراتور را «کمپوند با شنت کوتاه» می‌نامند. ژنراتور کمپوند با شنت کوتاه با توجه به جهت فوران‌های تحریک شنت و کوتاه می‌تواند از نوع «اضافی» یا «نقصانی» باشد.



شکل ۳۹ ـ ۳ نقشه اختصاری ژنراتور کمپوند با شنت کوتاه

۲۶ ـ ۳ ـ مدار الکتریکی معادل ژنراتور کمپوند اضافی با شنت بلند

مدار الکتریکی معادل ژنراتور کمپوند اضافی با شنت بلند در شکل (۴۰ ـ ۳) نشان داده شده است.



شکل ۴۰ ـ ۳ مدار الکتریکی معادل ژنراتور کمپوند اضافی با شنت بلند

سر سیم‌پیچی‌های تحریک سری و شنت با «نقطه» مشخص شده است. «طبق قرارداد جریانی که از سر سیم‌پیچی تحریک وارد شود فوران مغناطیسی مثبت ایجاد می‌کند.» جریان مدارهای تحریک سری و شنت از سرهای نقطه‌دار وارد می‌شوند. بنابراین فوران آن‌ها مثبت و با یک‌دیگر هم جهت هستند و با هم جمع می‌شوند. پس ژنراتور کمپوند اضافی است.

مدار معادل الکتریکی ژنراتور کمپوند با شنت بلند با روش پتانسیل گره یا روش‌های دیگر و صرف‌نظر از اثرات مغناطیسی تحلیل می‌شود.

ـ با نوشتن KCL برای گره مدار تحریک و آرمیچر معادله (۱۹ ـ ۳) به‌دست می‌آید:

$$KCL) \quad -I_A + I_{F۱} + I_L = ۰$$

ـ با به‌کار بردن قوانین اهم مقادیر جریان‌های $I_{F۱}$ و I_A طبق روابط (۲۰ ـ ۳) و (۲۱ ـ ۳) به‌دست خواهد آمد:

$$I_{F۱} = \frac{V_T}{R_A + R_{adj}}$$

$$I_A = \frac{E_A - V_T}{R_A + R_{Fs}}$$

ـ از رابطه (۲۲ ـ ۳) جریان I_L به‌دست می‌آید.

$$I_L = \frac{P_{out}}{V_T}$$

ـ تلفات تحریک موازی از رابطه (۱۳ ـ ۳) و تلفات آرمیچر از رابطه (۱۴ ـ ۳) به‌دست می‌آید.

$$P_{F۱} = (R_{F۱} + R_{adj}) I_F^۲$$

$$P_A = R_A I_A^۲$$

ـ تلفات تحریک سری از رابطه (۲۶ ـ ۳) به‌دست می‌آید.

$$P_{F۲} = R_{F۲} I_A^۲$$

مثال ۱۳ ـ ۳ ـ ژنراتور کمپوند اضافی با شنت بلند ۲۰۰ V، ۱۰ A با مشخصات $R_{F۱} + R_{adj} = ۴۰۰\,\Omega$، $R_{F۲} = ۰/۳[\Omega]$ و $R_A = ۰/۲[\Omega]$ مطابق شکل (۴۱ ـ ۳) مفروض است. مطلوب است محاسبه نیروی محرکه القایی آرمیچر.

حل:

ـ از رابطه (۲۰ ـ ۳) جریان تحریک موازی به‌دست می‌آید.

$$I_{F۱} = \frac{V_T}{R_{F۱} + R_{adj}} = \frac{۲۰۰}{۴۰۰} = ۰/۵\ [A]$$

ـ از رابطه (۱۹ ـ ۳) جریان آرمیچر به‌دست می‌آید.

$$KCL) \quad -I_A + I_{F۱} + I_L = ۰$$
$$-I_A + ۱۰ + ۰/۵ = ۰$$
$$I_A = ۱۰/۵\ [A]$$

ـ از رابطه (۲۱ ـ ۳) نیروی محرکه القایی آرمیچر E_A به‌دست می‌آید.

$$I_A = \frac{E_A - V_T}{R_A + R_{F۲}}$$
$$۱۰/۵ = \frac{E_A - ۲۰۰}{۰/۲ + ۰/۳}$$
$$۱۰/۵(۰/۲ + ۰/۳) = E_A - ۲۰۰$$
$$E_A = ۲۰۰ + ۱۰/۵(۰/۲ + ۰/۳) = ۲۰۵/۲۵[A]$$

مثـال ۱۴ ـ ۳ ـ ژنراتـور کمپوند اضافی با شـنت بلند، ۴ kw، ۱۰۰ V و بازده ۸۰ ٪ مفروض اسـت. اگر $R_{F_1}+R_{adj}=50\Omega$، $R_{F_2}=0/03\Omega$ و $R_A=0/07\Omega$ باشد، مطلوب است:

الف ـ تلفات تحریک سری و شنت و تلفات آرمیچر

ب ـ تلفات مکانیکی و هسته روی هم

حل:

ـ از رابطه (۲۲ ـ ۳) جریان بار I_L به‌دست می‌آید.

$$I_L=\frac{P_{out}}{V_T}=\frac{4\times10^3}{100}=40\,[A]$$

ـ از رابطه (۲۰ ـ ۳) جریان تحریک موازی به‌دسـت می‌آید.

$$I_F=\frac{V_T}{R_{F_1}+R_{adj}}=\frac{100}{50}=2\,[A]$$

ـ از رابطه (۱۹ ـ ۳) جریان آرمیچر به‌دست می‌آید.

$$KCL)\quad -I_A+I_{F_1}+I_L=0$$
$$-I_A+2+40=0$$
$$I_A=42\,[A]$$

ـ از رابطه (۱۳ ـ ۳) تلفات تحریک شـنت و از رابطه (۲۶ ـ ۳) تلفات تحریک سری به‌دست می‌آید.

$$P_{F_1}=(R_{F_1}+R_{adj})I_{F_1}^2=(50)\times2^2=200\,[w]$$
$$P_{F_2}=R_{F_2}I_A^2=0/03\times42^2=52/92\,[w]$$

ـ از رابطه (۱۴ ـ ۳) تلفات آرمیچر به‌دست می‌آید.

$$P_A=R_AI_A^2=0/07\times42^2=123/48\,[w]$$

ـ از رابطه (۵ ـ ۳) توان ورودی P_{in} به‌دست می‌آید.

$$\eta=\frac{P_{out}}{P_{in}}$$
$$P_{in}=\frac{P_{out}}{\eta}=\frac{4}{0/8}=5\,[kw]$$

ـ از رابطه (۴ ـ ۳) تلفات کل به‌دست می‌آید.

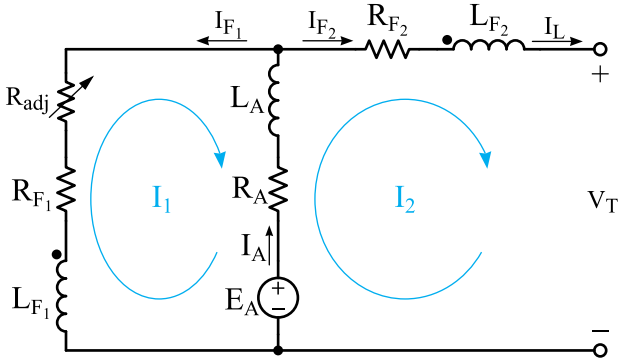
$$\Delta P=P_{in}-P_{out}=5-4=1\,[kw]\ \text{یا}\ 1000\,[w]$$

ـ از رابطه (۳ ـ ۳) تلفات هسـته و مکانیکی به‌دست می‌آید.

$$\Delta P=P_{mec}+P_{core}+P_A+P_{F_2}+P_{F_1}$$
$$1000=(P_{mec}+P_{core})+1234/8+529/2+2$$
$$P_{mec}+P_{core}=1000-123/48-52/92-20$$
$$P_{mec}+P_{core}=623/6\,[w]$$

۲۷ ـ ۳ ـ مدار الکتریکی معادل ژنراتور کمپوند اضافی با شنت کوتاه

مدار الکتریکی معادل ژنراتور کمپوند با شـنت کوتاه در شکل (۴۱ ـ ۳) نشان داده شده است.



شکل ۴۱ ـ ۳ مدار الکتریکی معادل ژنراتور کمپوند اضافی با شنت کوتاه

مدار معادل الکتریکی ژنراتور کمپوند اضافی با شنت بلند با روش جریان حلقه یا روش‌های دیگر و صرف‌نظر از اثرات مغناطیسی تحلیل می‌شود.

با نوشتن KVL برای جریان حلقه‌های I_1 و I_2 معادلات (۲۸ ـ ۳) و (۲۹ ـ ۳) به‌دست می‌آید.

$$KVL1) \quad R_{F1}I_1 + R_A(I_1 - I_2) + E_A = 0 \qquad (3\text{-}28)$$

$$KVL2) \quad -E_A + R_A(I_2 - I_1) + R_{F2}I_2 + V_T = 0 \qquad (3\text{-}29)$$

پس از حل معادلات (۲۸ ـ ۳) و (۲۹ ـ ۳) جریان حلقه‌های I_1 و I_2 به‌دست می‌آید و خواهیم داشت:

$$I_{F1} = -I_1 \qquad (3\text{-}30)$$

$$I_{F2} = I_L = I_2 \qquad (3\text{-}31)$$

$$I_A = -I_1 + I_2 \qquad (3\text{-}32)$$

مثال ۱۵ ـ ۳ ـ یک ژنراتور کمپوند اضافی با شنت کوتاه ۲۰۰ V، ۱۶۰۰ W با $R_A = 1\ \Omega$ ، $R_{F1} + R_{adj} = 108\ \Omega$ و $R_{F2} = 2\ \Omega$ مفروض است. مطلوب است:

الف ـ جریان آرمیچر

ب ـ نیروی محرکه القایی آرمیچر

حل:

ـ از رابطه (۲۲ ـ ۳) جریان بار I_L به‌دست می‌آید:

$$I_L = \frac{P_{out}}{V_T} = \frac{1600}{200} = 8\ [A]$$

ـ از رابطه (۳۱ ـ ۳) در می‌یابیم:

$$I_L = I_{F2} = I_2 = 8\ [A]$$

ـ از رابطه (۲۸ ـ ۳) خواهیم داشت:

$$KVL1) \quad R_{F1}I_1 + R_A(I_1 - I_2) + E_A = 0$$
$$KVL1) \quad 108I_1 + 1(I_1 - 8) + E_A = 0$$
$$KVL1) \quad 109I_1 + E_A = 8$$

ـ از رابطه (۲۹ ـ ۳) خواهیم داشت:

$$KVL2) \quad -E_A + R_A(I_2 - I_1) + R_{F2}I_2 + V_T = 0$$
$$KVL2) \quad -E_A + 1(8 - I_1) + 2 \times 8 + 200 = 0$$
$$KVL2) \quad -I_1 - E_A = -224$$

ـ معادلات KVL۱ و KVL۲ را در یک دستگاه قرار می‌دهیم:

$$KVL1) \quad 109I_1 + E_A = 8$$
$$KVL2) \quad -I_1 - E_A = -224$$
$$108I_1 + 0 = -216$$

$$I_1 = \frac{-216}{108} = -2$$

ـ از رابطه (۳۰ ـ ۳) جریان تحریک شنت به‌دست می‌آید:

$$I_{F1} = -I_1 = -(-2) = 2\ [A]$$

ـ از رابطه (۳۰ ـ ۳) جریان آرمیچر به‌دست می‌آید:

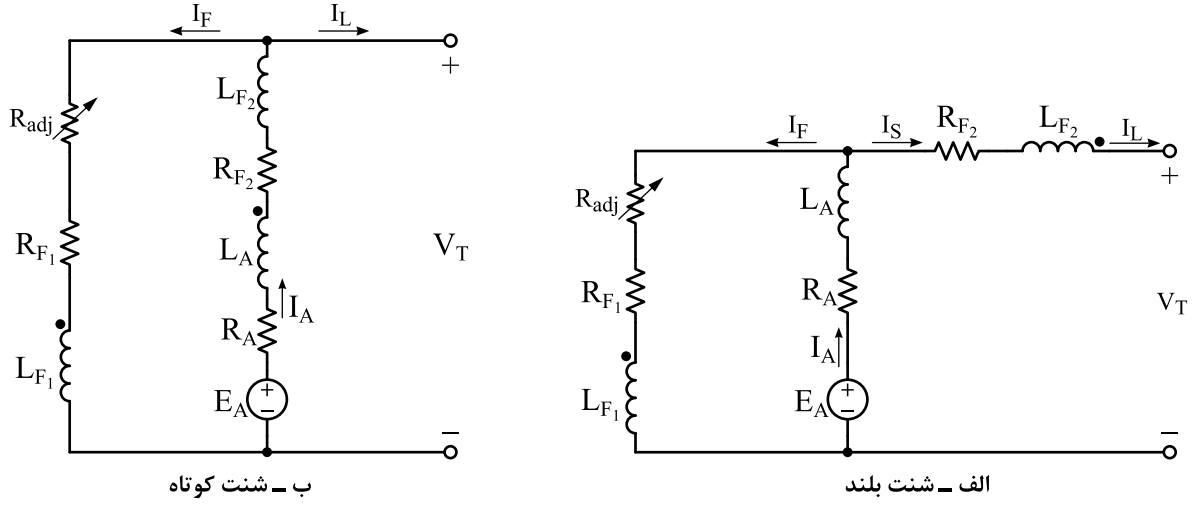
$$I_A = -I_1 + I_2 = -(-2) + 8 = 10\ [A]$$

ـ از رابطه KVL۱ مقدار E_A به‌دست می‌آید:

$$KVL1) \quad 109I_1 + E_A = 8$$
$$109(-2) + E_A = 8$$
$$E_A = 226[V]$$

۲۸ ـ ۳ ـ مدار الکتریکی معادل ژنراتور کمپوند نقصانی

مدار الکتریکی معادل ژنراتور کمپوند نقصانی در شکل (۴۲ ـ ۳) نشان داده شده است. «طبق قرارداد جریانی که از سر نقطه‌دار سیم‌پیچی تحریک وارد شود فوران مغناطیسی مثبت ایجاد می‌کند و جریانی که از سر نقطه‌دار سیم‌پیچی تحریک خارج شود فوران منفی ایجاد می کند». جریان تحریک شنت از سر نقطه‌دار وارد و جریان تحریک سری از سر نقطه دار خارج می‌شوند. بنابراین فوران تحریک موازی مثبت و فوران تحریک سری منفی می‌شوند و فوران قطب‌ها از تفاضل آن‌ها به‌دست می‌آید. پس ژنراتور «کمپوند نقصانی» است.



شکل ۴۲ ـ ۳ مدار الکتریکی معادل ژنراتور کمپوند نقصانی

۱۹ ـ ۳ ـ راه‌اندازی و شرایط راه‌اندازی ژنراتور کمپوند

راه‌اندازی ژنراتور کمپوند مشابه توضیحات بخش ۱۴ ـ ۳ راه‌اندازی ژنراتور تحریک موازی است. شرایط راه‌اندازی آن نیز مطابق توضیحات بخش ۱ ـ ۱۴ ـ ۳ می‌باشد.

۳۰ ـ ۳ ـ بهره‌برداری از ژنراتور کمپوند اضافی

پس از راه‌اندازی ژنراتور کمپوند اضافی و اتصال بار به آن، ژنراتور مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد. ولتاژ پایانه‌های ژنراتور V_T جریان I_L را در بار R_L جاری می‌کند. جریان در سیم‌پیچی آرمیچر افت ولتاژهای ناشی از اثرات مغناطیسی ε و مقاومت اهمی سیم‌پیچی آرمیچر $R_A I_A$ و در سیم‌پیچی تحریک سری افت ولتاژ $R_{F2} I_{F2}$ ایجاد می‌کند. افت ولتاژ باعث کاهش ولتاژ پایانه‌های ژنراتور می‌شود. از طرفی عبور جریان از سیم‌پیچی تحریک سری، فوران در قطب‌ها جاری می‌نماید. فوران سیم‌پیچی تحریک سری به فوران سیم‌پیچی تحریک موازی اضافه می‌شود و فوران قطب‌ها

زیاد خواهد شد. بنابراین نیروی محرکه بیش‌تری در سیم‌پیچی آرمیچر القا می‌شود و ولتاژ پایانه‌های ژنراتور V_T افزایش می‌یابد.

پس از بهره‌برداری از ژنراتور کمپوند اضافی سه حالت پیش خواهد آمد:

۱ ـ اگر نیروی محرکه القایی ناشی از فوران سیم‌پیچی تحریک سری، کم‌تر از افت ولتاژهای ژنراتور باشد ولتاژ پایانه‌های ژنراتور V_T همانند ژنراتور تحریک موازی و با شیب کم‌تری کاهش می‌یابد. در این صورت ژنراتور کمپوند اضافی را «زیر کمپوند[۱]» می‌نامند.

تعداد دور کم سیم‌پیچ تحریک سری باعث کم شدن نیروی محرکه مغناطیسی $(\theta = NI)$ و فوران آن می‌شود. لذا نیروی محرکه القایی آرمیچر ناشی از فوران سیم‌پیچی تحریک سری، کم‌تر از افت ولتاژهای ژنراتور خواهد شد.

۲ ـ با زیاد کردن تعداد دور سیم‌پیچی تحریک سری، نیروی محرکه مغناطیسی $(\theta = NI)$ و فوران آن زیاد می‌شود. حال اگر نیروی محرکه القایی آرمیچر ناشی از فوران سیم‌پیچی تحریک سری، برابر افت ولتاژهای ژنراتور باشد ولتاژ پایانه‌های ژنراتور V_T تقریباً ثابت خواهد ماند. در این صورت ژنراتور کمپوند اضافی را «کمپوند مسطح[۲]» می‌نامند.

۳ ـ با زیادتر کردن تعداد دور سیم‌پیچی تحریک سری، نیروی محرکه مغناطیسی $(\theta = NI)$ و فوران آن زیادتر می‌شود. حال اگر نیروی محرکه القایی آرمیچر ناشی از فوران سیم‌پیچی تحریک سری، بیش از افت ولتاژهای ژنراتور شود ولتاژ پایانه‌های ژنراتور V_T افزایش خواهد یافت. در این صورت ژنراتور کمپوند اضافی را «فوق کمپوند[۳]» می‌نامند.

۳۱ ـ ۳ ـ بهره‌برداری از ژنراتور کمپوند نقصانی

با تعویض محل اتصال سرهای سیم‌پیچی تحریک سری ژنراتور کمپوند اضافی، جهت جریان و فوران سیم‌پیچ تحریک سری معکوس می‌شود و ژنراتور کمپوند نقصانی به‌دست می‌آید.

پس از راه‌اندازی ژنراتور کمپوند نقصانی و اتصال بار به آن، ژنراتور مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد. ولتاژ پایانه‌های ژنراتور V_T جریان I_L را در بار R_L جاری می‌کند. عبور جریان از سیم‌پیچی تحریک سری، فوران در قطب‌ها جاری می‌کند. فوران سیم‌پیچی تحریک سری، مخالف جهت فوران سیم‌پیچی تحریک موازی است.

فوران قطب‌ها که از تفاضل فوران سیم‌پیچی‌های تحریک موازی و سری به‌دست می‌آید، کاهش می‌یابد. بنابراین نیروی محرکه القایی سیم‌پیچی آرمیچر کاهش چشم‌گیری پیدا می‌کند و ولتاژ پایانه‌های ژنراتور V_T سقوط می‌کند.

پرسش ۹ ـ ۳

۱ ـ تفاوت ژنراتور کمپوند اضافی و نقصانی را توضیح دهید.

۲ ـ نحوه راه‌اندازی ژنراتور کمپوند را توضیح دهید.

۳ ـ به هنگام راه‌اندازی ژنراتور کمپوند چه نکاتی باید رعایت شود؟

۴ ـ به هنگام بهره‌برداری از ژنراتور کمپوند اضافی چند حالت پیش می‌آید؟ علت آن را توضیح دهید.

۵ ـ علت کاهش ولتاژ ژنراتور کمپوند نقصانی به

۱. Under Compounded ۲. Flat Compounded ۳. Over Compounded

هنگام بهره‌برداری چیست؟ توضیح دهید.

۶ ـ مدار الکتریکی معادل ژنراتور کمپوند اضافی با شنت بلند را رسم کنید و کمیت‌های الکتریکی آن را تعریف کنید.

۷ ـ مدار الکتریکی معادل ژنراتور کمپوند نقصانی با شنت کوتاه را رسم کنید و کمیت‌های الکتریکی آن را تعریف کنید.

تمرین ۸ ـ ۳

۱ ـ یک ژنراتور کمپوند اضافی با شنت بلند توسط محرکی با توان ۱۰ HP و سرعت ۱۲۰۰ PRM گردانده می‌شود و توان ۶ kw با ولتاژ ۲۰۰ V به بار می‌دهد. اگر $R_S = ۰/۱\ \Omega$ ، $R_F + R_{adi} = ۴۰۰\ \Omega$ و $R_A = ۰/۲\ \Omega$ باشد، مطلوب است:

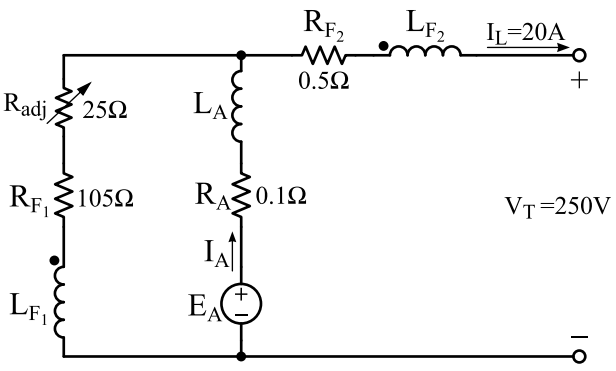
الف ـ نیروی محرکه القایی در آرمیچر

ب ـ تلفات هسته و مکانیکی روی هم

۲ ـ یک ژنراتور کمپوند اضافی با شنت کوتاه مطابق شکل مقابل مفروض است. مطلوب است:

الف ـ نیروی محرکه القایی آرمیچر

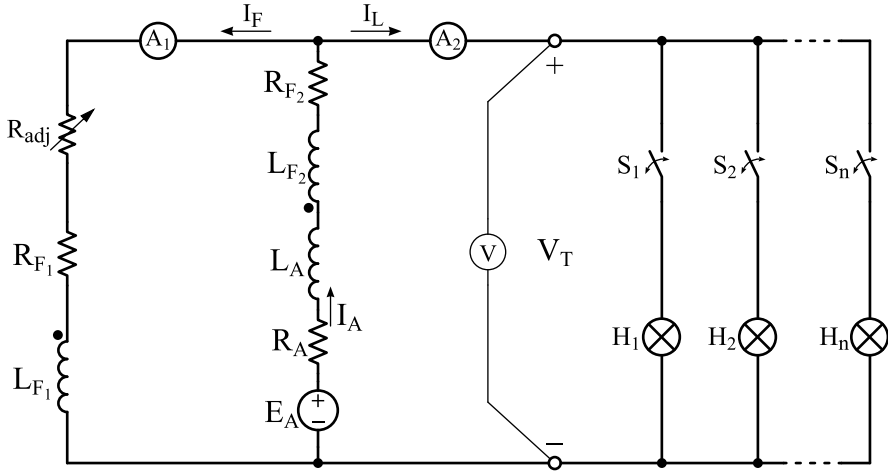
ب ـ بازده در صورتی‌که تلفات هسته ۲۵۰ w و تلفات مکانیکی ۳۰۰ w باشد.



۳۲ ـ ۳ ـ منحنی مشخصه بارداری ژنراتور کمپوند اضافی

منحنی مشخصه بارداری از آزمایش بارداری به‌دست می‌آید و هدف تعیین تاثیر جریان بار بر ولتاژ پایانه‌های ژنراتور V_T در سرعت n ثابت و جریان تحریک موازی ثابت است. در ژنراتور کمپوند جریان تحریک سری تابعی از جریان بار است. پس در آزمایش بارداری مقدار آن ثابت نیست.

نتایج آزمایش بارداری ژنراتور کمپوند اضافی با شنت بلند و کوتاه بسیار نزدیک به یک‌دیگر است و تفاوت قابل ملاحظه‌ای ندارند. لذا برای انجام آزمایش بارداری، ژنراتور کمپوند را به صورت شنت بلند مطابق شکل (۴۳ ـ ۳) اتصال داده‌اند.



شکل ۴۳ ـ ۳ مدار الکتریکی آزمایش بارداری ژنراتور کمپوند اضافی

آمپرمتر A_1 جریان تحریک شنت I_{F1} و آمپرمتر A_2 جریان بـار I_L و ولت‌متر V ولتاژ پایانه‌های ژنراتور V_T را نشان می‌دهند.

در آزمایش بارداری ژنراتور کمپوند، سرعت و جریان تحریک شنت ثابت نگه داشته می‌شوند. جریان آرمیچر و تحریک سری متاثر از جریان بار I_L است.

در شکل (۴۳ ـ ۳) از لامپ‌های H_1 تا H_n به عنوان بار و از کلیدهای S_1 تا S_n برای اتصال آن‌ها به پایانه‌های ژنراتور استفاده شده است.

۱ ـ ۲ ـ ۳ ـ ۳ ـ آزمایش بارداری

آزمایـش بارداری ژنراتور کمپوند مشـابه توضیحات بخش ۱ ـ ۱۷ ـ ۳ ژنراتور شنت انجام خواهد شد.

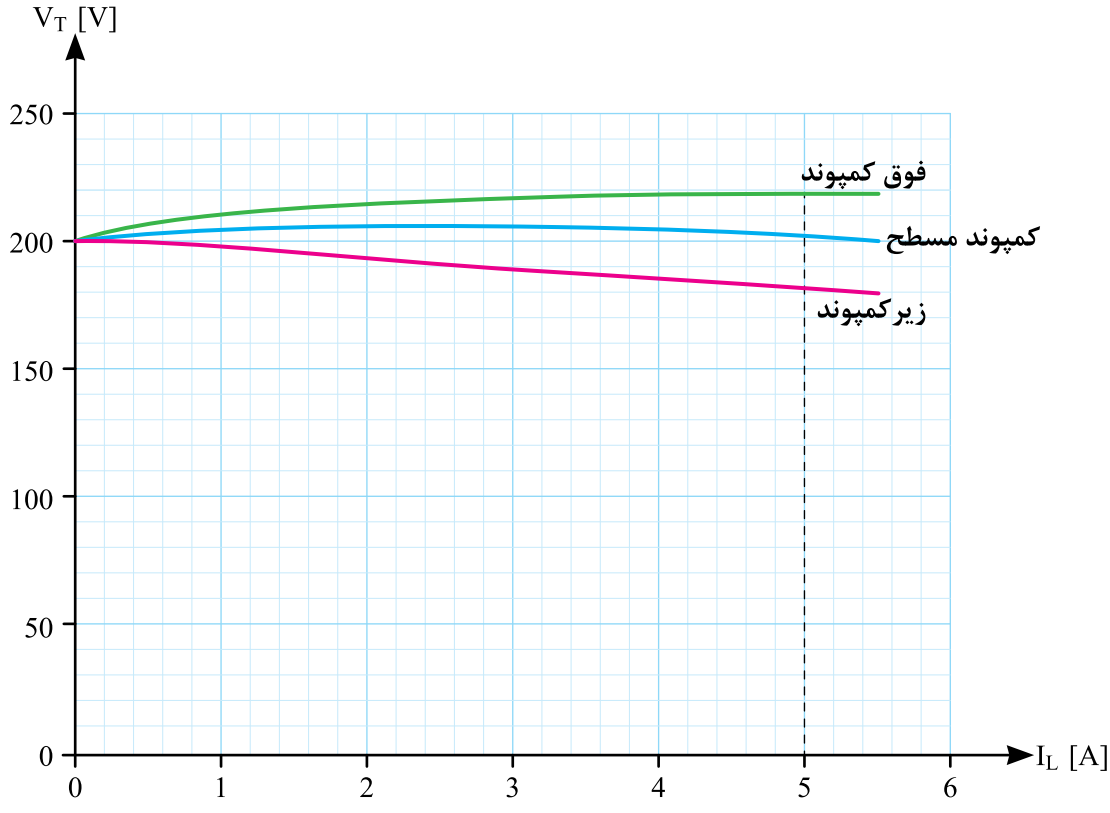
پس از ترسـیم نتایـج آزمایش بارداری بـرای ولتاژ پایانه‌های ژنراتور V_T بر حسب جریان بار I_L سه حالتِ ممکن پیش می‌آید:

۱ ـ با افزایش جریان بـار I_L ولتاژ پایانه‌های ژنراتور تقریباً ثابـت می‌ماند. در این صـورت ژنراتور «کمپوند مسطح» است.

۲ ـ با افزایش جریان بـار I_L ولتاژ پایانه‌های ژنراتور کاهـش می‌یابد. در این صورت ژنراتـور «زیر کمپوند» است.

۳ ـ با افزایش جریان بـار I_L ولتاژ پایانه‌های ژنراتور افزایش می‌یابد. در این صـورت ژنراتور «فوق کمپوند» است.

منحنی مشـخصه بارداری ژنراتور کمپوند اضافی در سه حالت در شکل (۴۴ ـ ۳) نشان داده شده است.



شکل ۴۴ ـ ۳ منحنی مشخصه بارداری ژنراتور کمپوند اضافی

مثال ۱۶ ـ ۳ ـ منحنی مشخصه بارداری شکل (۴۴ ـ ۳) مربوط به ژنراتور کمپوند اضافی ۲۰۰ V، ۵/۵ A است. درصد تنظیم ولتاژ $\%V_R$ به ازای سه حالت زیر کمپوند، کمپوند مسطح و فوق کمپوند را به‌دست آورید.

حل:

ـ با توجه به منحنی مشخصه بارداری به‌دست می‌آوریم.

$$I_L = ۰ \Rightarrow V_T = E_A = ۲۰۰\,[V]$$

$$I_L = ۵/۵[A]\begin{cases} V_T = ۲۱۰\,[V] & \text{فوق کمپوند} \\ V_T = ۱۹۸\,[V] & \text{کمپوندمسطح} \\ V_T = ۱۸۰\,[V] & \text{زیرکمپوند} \end{cases}$$

ـ با توجه به رابطه (۱۸ ـ ۳) درصد تنظیم ولتاژ به‌دست می‌آید.

$$\%V_R = \frac{E_A - V_T}{V_T} \times ۱۰۰$$

ـ در حالت فوق کمپوند

$$\%V_R = \frac{۲۰۰ - ۲۱۰}{۲۱۰} \times ۱۰۰ = -\%۴/۷۶$$

در حالت کمپوند مسطح

$$\%V_R = \frac{۲۰۰ - ۱۹۸}{۱۹۸} \times ۱۰۰ = \%۱$$

در حالت زیر کمپوند

$$\%V_R = \frac{۲۰۰ - ۱۸۰}{۱۸۰} \times ۱۰۰ = \%۱۱$$

۳۳ ـ ۳ ـ کاربرد ژنراتور کمپوند اضافی

ژنراتور کمپوند اضافی در حالت «کمپوند مسطح» دارای کم‌ترین درصد تنظیم ولتاژ می‌باشد و ولتاژ تقریبا ثابتی در اختیار مصرف کننده‌ها قرار می‌دهد. از این ژنراتورها در جاهایی استفاده می‌شود که مصرف‌کننده در نزدیکی ژنراتور قرار دارد و طول کابل‌های ارتباطی آن‌قدر بلند نیست که باعث ایجاد افت ولتاژ قابل ملاحظه‌ای شود.

ژنراتورهای کمپوند اضافی در حالت «فوق کمپوند» دارای درصد تنظیم ولتاژ منفی می‌باشند؛ یعنی ولتاژ پایانه‌های ژنراتور در حالت بارداری بیش‌تر از ولتاژ پایانه‌های ژنراتور به هنگام بی‌باری است. لذا از این ژنراتورها در جاهایی استفاده می‌شود که مصرف‌کننده در فاصله دورتری از ژنراتور قرار دارد و طول کابل‌های ارتباطی آن‌قدر بلند شده است که باعث ایجاد افت ولتاژ می‌شود. از این رو افزایش ولتاژ پایانه‌های ژنراتور در حالت بارداری جبران افت ولتاژ کابل‌ها را می‌نماید تا ولتاژ ثابتی به بار برسد.

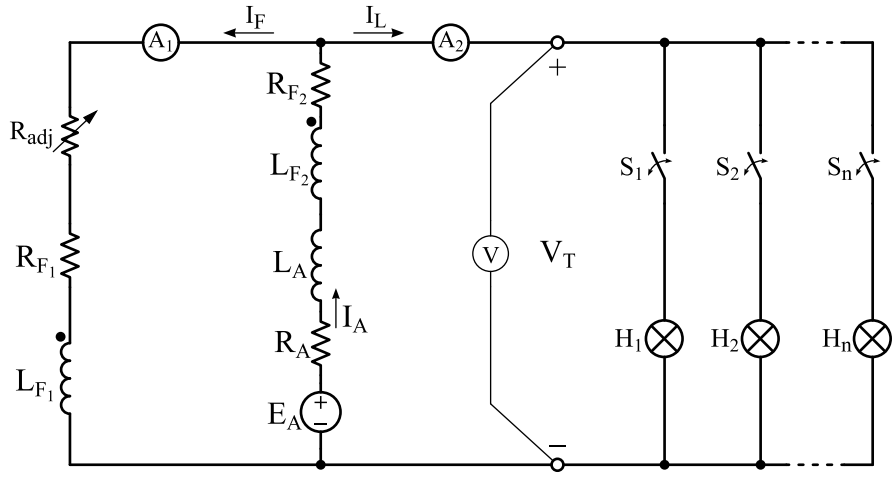
ژنراتور کمپوند اضافی در حالت «زیر کمپوند» در واقع ژنراتور کمپوندی است که به دلایل فنی و تکنولوژی امکان افزایش تعداد دور سیم‌پیچی تحریک سری فراهم نشده است تا آن را به حالت فوق کمپوند یا کمپوند مسطح برساند. ژنراتور کمپوند در حالت زیر کمپوند دارای بیش‌ترین افت ولتاژ نسبت به حالت فوق کمپوند یا کمپوند مسطح است. مثال ۱۶ ـ ۳ را ببینید.

۳۴ ـ ۳ ـ منحنی مشخصه بارداری ژنراتور کمپوند نقصانی

برای انجام آزمایش بارداری ژنراتور کمپوند نقصانی،

سرهای سیم‌پیچی تحریک سری را به گونه‌ای به سرهای سیم‌پیچی آرمیچر اتصال می‌دهند که جهت جریان در سیم‌پیچی تحریک سری نسبت به جهت جریان سیم‌پیچی تحریک سری ژنراتور کمپوند اضافی معکوس شود.

مدار الکتریکی آزمایش بارداری ژنراتور کمپوند نقصانی با شنت بلند در شکل (۴۵ ـ ۳) نشان داده شده است.

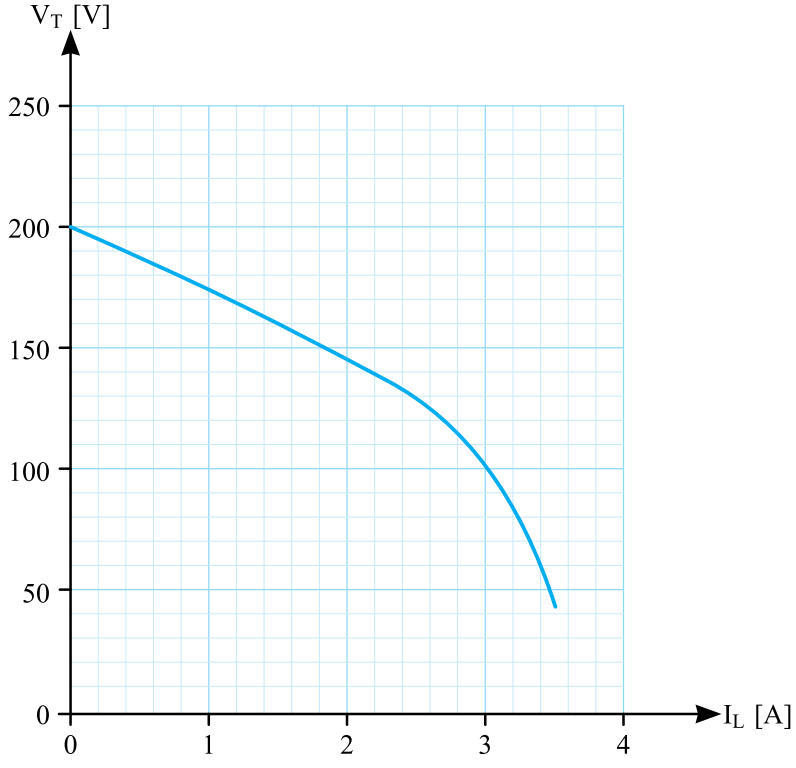


شکل ۴۵ ـ ۳ مدار الکتریکی آزمایش بارداری ژنراتور کمپوند نقصانی

۱ ـ ۳۴ ـ ۳ ـ آزمایش بارداری

آزمایش بارداری ژنراتور کمپوند نقصانی مشابه توضیحات بخش ۱ ـ ۱۷ ـ ۳ ژنراتور شنت انجام خواهد شد.

پس از ترسیم نتایج آزمایش بارداری، منحنی مشخصه بارداری ژنراتور کمپوند نقصانی به صورت شکل (۴۶ ـ ۳) به‌دست می‌آید.



شکل ۴۶ ـ ۳ منحنی مشخصه بارداری ژنراتور کمپوند نقصانی

مثال ۱۷ ـ ۳ ـ منحنی مشخصه بارداری شکل (۴۶ ـ ۳) مربوط به ژنراتور کمپوند نقصانی $۲۰۰\,V$، $۵/۵A$ است. درصد تنظیم ولتاژ $\%V_R$ را به ازای بار چقدر است.

حل:

ـ با توجه به منحنی بارداری به‌دست می‌آوریم:

$$I_L = ۰ \Rightarrow V_T = E_A = ۲۰۰\,[V]$$
$$I_L = ۵/۵\,[A] \Rightarrow V_T = ۴۰\,[V]$$

ـ با توجه به رابطه (۱۸ ـ ۳) درصد تنظیم ولتاژ به‌دست می‌آید.

$$\%V_R = \frac{E_A - V_T}{V_T} \times ۱۰۰$$
$$\%V_R = \frac{۲۰۰ - ۴۰}{۴۰} \times ۱۰۰ = -\%۴۰۰$$

۳۵ ـ ۳ ـ کاربرد ژنراتور کمپوند نقصانی

ژنراتور کمپوند نقصانی دارای بیش‌ترین درصد تنظیم ولتاژ می‌باشد. و در بار کامل ولتاژ پایانه‌های آن به‌شدت کاهش می‌یابد. از این ژنراتور در جوشکاری به روش «قوس الکتریکی» استفاده می‌شود.

پرسش ۱۰ ـ ۳

۱ ـ هدف از انجام آزمایش بارداری را شرح دهید.

۲ ـ نحوه انجام آزمایش بارداری ژنراتور کمپوند اضافی را توضیح دهید.

۳ ـ چگونه ژنراتور کمپوند اضافی را تبدیل به کمپوند نقصانی می‌کنند؟

۴ ـ کاربرد ژنراتور کمپوند اضافی را بنویسید.

۵ ـ چرا ژنراتور کمپوند اضافی به حالت «زیر کمپوند» در می‌آید؟ آیا این حالت مطلوب است؟

۶ ـ کم‌ترین و بیش‌ترین درصد تنظیم ولتاژ مربوط به کدام ژنراتور کمپوند است؟ چرا؟

۵ ـ کاربرد ژنراتور کمپوند نقصانی را بنویسید.

۳۶ ـ ۳ ـ تنظیم ولتاژ ژنراتورهای جریان مستقیم

تامین انرژی الکتریکی مورد نیاز مصرف کننده‌های الکتریکی تحت «ولتاژ معین» به عهده‌ی ژنراتورها می‌باشد.

مصرف‌کننده‌های الکتریکی به عنوان بار به پایانه‌های ژنراتور متصل می‌شوند و جریان I_L را تحت ولتاژ پایانه‌های ژنراتور V_T دریافت می‌کنند. در صورت تغییر ولتاژ پایانه‌های ژنراتور V_T، جریان بار تغییر می‌کند و کیفیت کار مصرف کننده تحت تاثیر قرار می‌گیرد. به‌طور مثال برای روشن کردن لامپ‌های $۲۲۰\ V$ نیاز به ژنراتوری با ولتاژ پایانه‌های $۲۲۰\ V$ می‌باشد. افزایش ولتاژ پایانه‌ها باعث سوختن لامپ‌ها می‌شود و کاهش ولتاژ پایانه‌ها منجر به کم نور شدن لامپ‌ها خواهد شد. بنابراین تنظیم ولتاژ پایانه‌های ژنراتور به منظور جلوگیری از آسیب دیدن مصرف‌کننده‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

ولتاژ پایانه‌های ژنراتور V_T ناشی از نیروی محرکه القایی آرمیچر E_A است. رابطه (۱۶ ـ ۳)

$$V_T = E_A - R_A I_A$$

با تنظیم نیروی محرکه القایی آرمیچر E_A ولتاژ

پایانه‌هـای ژنراتور V_T تنظیم می‌شـود. نیروی محرکه القایی آرمیچر طبق رابطه تابع «سرعت رتور» و «فوران قطب‌ها» اسـت. در ادامه به تنظیم این دو کمیت اشاره شده است.

۱ ـ ۳۶ ـ ۳ ـ سرعت رتور

رتور ژنراتورهای جریان مستقیم توسط محرک‌های مکانیکی یا توربین گردانده می‌شود. منظور از محرک‌های مکانیکـی، موتورهایی هسـتند که انرژی سـوخت‌های فسـیلی از قبیل گازوییل را به انـرژی مکانیکی تبدیل می‌کننـد. توربین‌هـا نیز ماشـین‌هایی هسـتند که در نیروگاه‌هـای بـرق نصب می‌شـوند و انرژی جنبشـی سـیالاتی از قبیل آب، بخار یا بـاد را به انرژی مکانیکی تبدیل می‌کنند.

محرک‌ها برای کار در سرعت ثابت طراحی می‌شوند. افزایش سـرعت محرک باعث بـروز عیب‌های مکانیکی خواهد شـد. کاهش سـرعت بر گشـتاور محرک اثرات نامطلوبی دارد. بنابراین تغییر سـرعت محرک به منظور تنظیم ولتاژ ژنراتور روش مناسبی نیست.

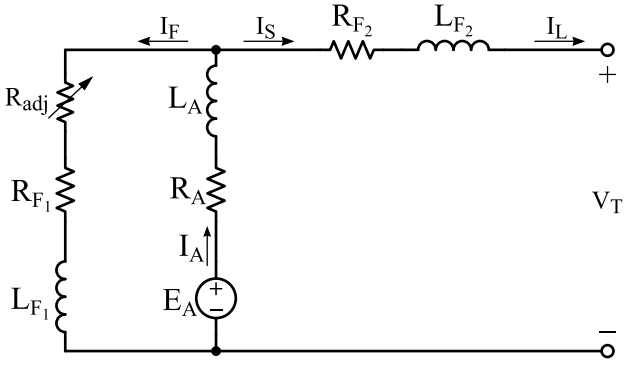
تثبیـت سـرعت محرک‌ها توسـط مکانیزمی به نام «گاورنـر[1]» کـه بر روی آن‌هـا نصب می‌شـود صورت می‌گیرد. گاورنر مانع از تغییر سرعت محرک در محدوده معینی خواهد شـد. گاورنر از سرعت رتور نمونه‌برداری می‌کنـد و آن را با سـرعت نامی مقایسـه می‌نماید. در صورت مشاهده اختلاف در محرک‌های مکانیکی میزان سوخت و در توربین‌ها میزان سیال را تغییر می‌دهد.

۲ ـ ۳۶ ـ ۳ ـ فوران قطب‌ها

فوران قطب‌ها تابع جریان سـیم‌پیچی‌های تحریک است. تنظیم ولتاژ پایانه‌های ژنراتور V_T با تنظیم جریان سـیم‌پیچی تحریک امکان‌پذیر خواهد شد. برای تنظیم جریان سـیم‌پیچی تحریک، مقاومت مدار تحریک را به کمک «مقاومت متغیر[2]» تغییر می‌دهند.

با کاهش مقاومت مدار سـیم‌پیچی تحریک، جریان تحریک زیاد می‌شـود. با زیاد شـدن جریان سیم‌پیچی تحریک، فوران قطب‌ها φ زیاد می‌شـود و باعث افزایش نیروی محرکه القایی آرمیچر E_A خواهد شـد. افزایش E_A باعث افزایش ولتاژ پایانه‌های ژنراتور V_T می‌شـود. این فرآیند با افزایش مقاومت مدار سـیم‌پیچی تحریک معکوس می‌شـود و باعث کاهش ولتاژ پایانه‌های ژنراتور V_T می‌شود.

مدار الکتریکی شـکل (۴۷ ـ ۳) نحـوه قرار گرفتن مقاومت متغیـر در مدار سـیم‌پیچی تحریک موازی را نشان می‌دهد.



شکل ۴۷ ـ ۳ نحوه قرار گرفتن مقاومت متغیر در مدار سیم‌پیچی تحریک سری و موازی

در عمـل تنظیـم جریان تحریک بـه منظور تنظیم ولتاژ پایانه‌های ژنراتور دسـتی انجام نخواهد شـد. بلکه توسـط مدار الکترونیکی به نام «تنظیم کننده خودکار ولتاژ[3]» که آن را «AVR» گویند انجام می‌شود. AVR با نمونه‌گیری ولتاژ و مقایسه آن با ولتاژ نامی در صورت اختلاف میان آن‌ها جریان تحریک را تغییر می‌دهد.

۱. Governor ۲. Variable Resistor or Rheostat ۳. Automatic Voltage Regulator

پرسش ۱۲ ـ ۳

پرسش‌های تشریحی

۱ ـ ضـرورت تنظیـم ولتاژ در ژنراتورهـا را توضیح دهید.

۲ ـ روش‌هـای تنظیم ولتـاژ در ژنراتورهای جریان مستقیم را شرح دهید. کدام روش اجرا می‌شود؟

۳ ـ وظیفه گاورنر را بنویسید.

۴ ـ جریان سیم‌پیچی تحریک در ژنراتورهای کمپوند چگونه تنظیم می‌شود؟

۵ ـ وظیفه AVR را بنویسید.