۱۴ ـ ۳ ـ راه‌اندازی ژنراتور شنت

برای راه‌اندازی ژنراتور شنت کلیدهای S_1 و S_2 شکل (۲۳ ـ ۳) را باز می‌گذارند و مقاومت تنظیم‌کننده جریان تحریک R_{adj} را در حداقل مقدار خود قرار می‌دهند. سپس رتور را با سرعت نامی به گردش در می‌آورند تا فوران ناشی از پس‌ماند مغناطیسی قطب‌ها، نیروی محرکه القایی پس‌ماند در سیم‌پیچی آرمیچر القا کند و ولتاژی در پایانه‌های آرمیچر ایجاد نماید. در این لحظه با بستن کلید S_1 مدار تحریک موازی با مدار آرمیچر می‌شود و ولتاژ آرمیچر جریان ضعیفی از سیم‌پیچی تحریک عبور می‌دهد. در نتیجه فوران قطب‌ها افزایش می‌یابد و نیروی محرکه القایی بیش‌تری در سیم‌پیچی آرمیچر القا می‌کند. در این صورت ولتاژ پایانه‌های آرمیچر بیش‌تر می‌شود و جریان سیم‌پیچی تحریک زیادتر خواهد شد که منجر به افزایش دوباره نیروی محرکه القایی می‌شود. این عمل آنقدر ادامه می‌یابد تا قطب‌ها اشباع شوند. در این لحظه ولتاژ پایانه‌های آرمیچر در حداکثر مقدار خود ثابت خواهد شد. ژنراتور راه‌اندازی شده است و برای تنظیم ولتاژ پایانه‌های ژنراتور V_T به مقدار نامی، مقاومت تنظیم‌کننده جریان تحریک R_{adj} را زیاد می‌کنند تا جریان تحریک کاهش یابد و ولتاژ پایانه‌های ژنراتور V_T در حد نامی ثابت شود.

۱ ـ ۱۴ ـ ۳ ـ شرایط راه‌اندازی

برخی مواقع پس از به گردش در آوردن رتور، ژنراتور شنت راه‌اندازی نمی‌شود و اصطلاحاً «ولتاژگیری» نمی‌نماید. عواملی که سبب عدم راه‌اندازی ژنراتور شنت خواهند شد عبارتند از:

۱ ـ عدم وجود پس‌ماند مغناطیسی در قطب‌های استاتور

در این شرایط ولتاژی در سیم‌پیچی آرمیچر القا نخواهد شد و خود تحریکی انجام نمی‌شود. برای رفع این مشکل، گردش رتور را متوقف می‌کنند. سرهای سیم‌پیچی تحریک را از سرهای سیم‌پیچی آرمیچر جدا می‌نمایند و با اتصال به منبع ولتاژ DC با ولتاژ مناسب، پس‌ماند مغناطیسی قطب‌ها «احیا» خواهد شد. مجدداً سرهای سیم‌پیچی تحریک را به سرهای سیم‌پیچی آرمیچر اتصال می‌دهند و ژنراتور را راه‌اندازی می‌کنند.

۲ ـ جهت جریان در سیم‌پیچی تحریک صحیح نمی‌باشد.

در این شرایط فورانی که در اثر عبور جریان از سیم‌پیچی تحریک ایجاد می‌شود با فوران ناشی از پس از ماند مغناطیسی قطب‌ها هم جهت نیست و پس‌ماند مغناطیسی قطب‌ها را از بین می‌برد. برای رفع این مشکل، گردش رتور را متوقف می‌کنند. سرهای سیم‌پیچی تحریک را از سرهای سیم‌پیچی آرمیچر جدا می‌نمایند و پس‌ماند مغناطیسی قطب را احیا می‌کنند. سپس سرهای سیم تحریک را برعکس حالت قبل به سرهای سیم‌پیچی آرمیچر اتصال می‌دهند و ژنراتور را راه‌اندازی می‌کنند.

۳ ـ جهت گردش رتور صحیح نباشد.

معمولاً بر روی بدنه ماشین‌های جریان مستقیم جهت گردش رتور را مشخص می‌کنند. در صورتی‌که رتور خلاف جهت گرداننده شود پلاریته نیروی محرکه القایی در سیم‌پیچی آرمیچر معکوس می‌شود. در نتیجه جهت جریان سیم‌پیچی تحریک عوض می‌شود و پس‌ماند مغناطیسی قطب را از بین می‌برد در این صورت مطابق بند ۱ باید پس‌ماند مغناطیسی قطب‌ها را

احیـا نمود و پس رتور را در جهت صحیح به گردش در آورد و ژنراتور را راه‌اندازی کرد.

۴ ـ مقدار مقاومت تنظیم‌کننده جریان تحریک R_{adj} زیاد باشد.

در این شـرایط جریان مـدار تحریک کم‌تر از مقدار نامی خود می‌شـود و ولتاژ ژنراتور در کم‌تر از ولتاژ نامی ثابت می‌شـود. بـرای جلوگیری از بروز این مشـکل به هنگام راه‌اندازی مقـدار مقاومت تنظیم جریان تحریک R_{adj} را در حداقل مقدار خود یعنی صفر قرار می‌دهند.

۵ ـ سرعت گردش رتور کم‌تر از سرعت نامی باشد.

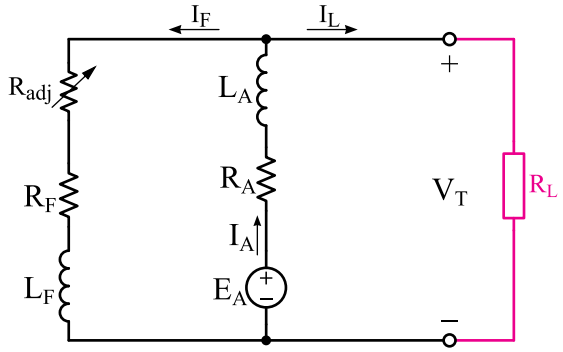
در این شـرایط نیروی محرکه کم‌تری در سیم‌پیچی آرمیچـر القا می‌شـود و ولتاژ ژنراتـور در کم‌تر از ولتاژ نامی ثابت خواهد شد. برای جوگیری از بروز این اشکال سـرعت گردش محرک را افزایش می‌دهند تا به سرعت نامی برسد.

۲ ـ ۱۴ ـ ۳ ـ بهره‌برداری

پـس از راه‌اندازی ژنراتور شـنت با بسـتن کلید S_2 شـکل (۲۳ ـ ۳) بـار بـه ژنراتور متصل خواهد شـد و ژنراتـور مورد بهره‌برداری قـرار می‌گیرد. با اتصال بار به ژنراتور ولتاژ پایانه‌های ژنراتور V_T کاهش می‌یابد. برای تنظیم ولتاژ، مقاومت تنظیم‌کننده جریان تحریک R_{adj} را کـم می‌کنند تا جریان تحریک افزایـش یابد و ولتاژ پایانه‌های ژنراتور V_T به مقدار نامی تثبیت شود. بدیهی است با قطع بار، ولتاژ پایانه‌های ژنراتور افزایش می‌یابد که بـه منظور کاهش آن، مقـدار R_{adj} را زیاد می‌کنند تا در اثـر کاهش جریان تحریک ولتاژ پایانه‌های ژنراتور V_T کاهش بیابد. این تنظیم‌ها در محدوده مقادیر نامی امکان‌پذیر است.

۱۵ ـ ۳ ـ مدار الکتریکی معادل ژنراتور شنت

محاسـبه کمیت‌های الکتریکی ولتاژ، جریان و توان الکتریکی با استفاده از مدار معادل الکتریکی امکان‌پذیر اسـت. در شکل (۲۴ ـ ۳) مدار الکتریکی معادل ژنراتور شنت نشان داده شده است.



شکل ۲۴ ـ ۳ مدار الکتریکی معادل ژنراتور تحریک موازی

مدار معادل الکتریکی نشـان می‌دهد مدار سیم‌پیچ تحریک، موازی با مدار سـیم‌پیچی آرمیچر ارتباط داده شده است.

مدار الکتریکی ژنراتور شنت با روش پتانسیل گره یا روش‌هـای دیگر می‌توان تحلیل کرد. معمولاً در تحلیل مدار الکتریکی اثرات مغناطیسی عکس‌العمل آرمیچر و کموتاسیون به دلیل پیچیدگی محاسبات در نظر گرفته نمی‌شـود. روش متداول اندازه‌گیری اثرات مغناطیسی استفاده از منحنی مشخصه‌های ژنراتور است.

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

$$KCL) \quad -I_A + I_F + I_L = ۰ \qquad (۳-۱۹)$$

با به‌کار بردن قوانین اهم مقادیر جریان‌های I_F و I_A به‌دست خواهد آمد.

$$I_F = \frac{V_T}{R_F + R_{adj}} \qquad (۳-۲۰)$$

جریان مدار آرمیچر I_A از محل E_A بسوی V_T جاری است پس $E_A > V_T$ و خواهیم داشت.

$$I_A = \frac{E_A - V_T}{R_A} \qquad (۳-۲۱)$$

از رابطه $P_{out} = V_T \cdot I_L$ جریان I_L به‌دست می‌آید.

$$I_L = \frac{P_{out}}{V_T} \qquad (۳-۲۲)$$

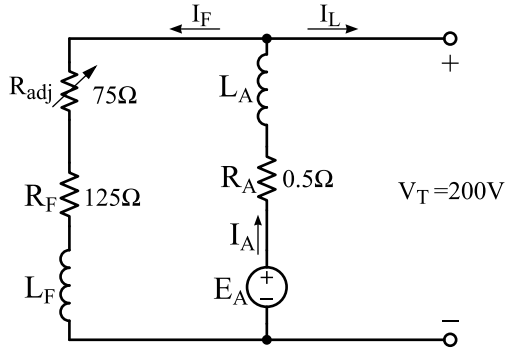
تلفات تحریک از رابطه (۱۳ ـ ۳) و تلفات آرمیچر از رابطه (۱۴ ـ ۳) به‌دست می‌آید.

$$P_F = (R_F + R_{adj})I_F^2$$
$$P_A = R_A I_A^2$$

مثال ۸ ـ ۳ ـ ژنراتور شنت ۵ kw، ۲۰۰ V با مدار معادل الکتریکی مطابق شکل (۲۵ ـ ۳) در نظر است. مطلوب است:

الف ـ جریان آرمیچر I_A

ب ـ نیروی محرکه القایی آرمیچر



شکل ۲۵ ـ ۳

حل:

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

$$I_F = \frac{V_T}{R_F + R_{adj}} = \frac{۲۰۰}{۱۲۵ + ۷۵} = ۱\ [A]$$

ـ و از رابطه (۲۲ ـ ۳) جریان بار I_L به‌دست خواهد آمد.

$$I_L = \frac{P_{out}}{V_T} = \frac{۵ \times ۱۰^۳}{۲۰۰} = ۲۵\ [A]$$

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

$$KCL) \quad -I_A + I_F + I_L = ۰$$
$$-I_A + ۱ + ۲۵ = ۰$$
$$I_A = ۲۶[A]$$

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

$$I_A = \frac{E_A - V_T}{R_A}$$
$$۲۶ = \frac{E_A - ۲۰۰}{۰/۵}$$
$$۲۶ \times ۰/۵ = E_A - ۲۰۰$$
$$E_A = ۲۰۰ + ۲۶ \times ۰/۵ = ۲۱۳\ [V]$$

مثال ۹ ـ ۳ ـ کمیت‌های الکتریکی ژنراتور شنت به‌شرح زیر است:

$$E_A = ۱۴۰\,[A]\ ,\ R_A = ۱\,[\Omega]\ ,\ R_F = ۳۰\,[\Omega]$$
$$I_L = ۱۶[A]\ ,\ R_{adj} = ۰\,[\Omega]$$

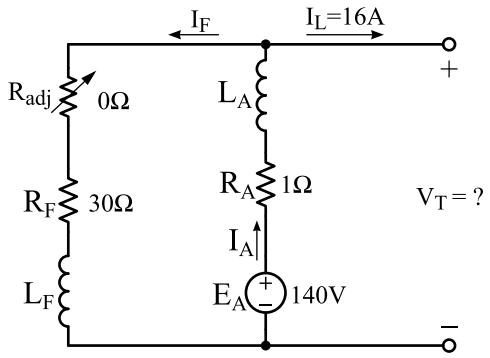
مطلوب است:

الف ـ ولتاژ ترمینال ژنراتور

ب ـ تلفات مسی آرمیچر و تحریک

حل:

ـ مدار معادل الکتریکی ژنراتور تحریک موازی را رسم می‌کنیم و کمیت‌های آن را می‌نویسیم.



ـ رابطه (۲۰ ـ ۳) را برای جریان تحریک می‌نویسیم.

$$I_F = \frac{V_T}{R_F + R_{adj}} = \frac{V_T}{۳۰+۰} = \frac{V_T}{۳۰}$$

ـ رابطه (۲۱ ـ ۳) را برای جریان آرمیچر می‌نویسیم.

$$I_A = \frac{E_A - V_T}{R_A} = \frac{۱۴۰ - V_T}{۱}$$

ـ برای گره مدار تحریک و آرمیچر KCL می‌نویسیم. و مقادیر I_A ، I_F و I_L را جایگزین می‌کنیم.

$$KCL)\quad -I_A + I_F + I_L = ۰$$
$$-\frac{۱۴۰ - V_T}{۱} + \frac{V_T}{۳۰} + ۱۶ = ۰$$

ـ مخرج مشترک می‌گیریم.

$$\frac{-۴۲۰۰ + ۳۰V_T + V_T + ۴۸۰}{۳۰} = ۰$$
$$۳۱V_T - ۳۷۲۰ = ۰$$
$$V_T = \frac{۳۷۲۰}{۳۱} = ۱۲۰\,[V]$$

ـ اکنون با محاسبه V_T مقادیر جریان‌های I_A و I_F را از روابط (۲۰ ـ ۳) و (۲۱ ـ ۳) به‌دست می‌آید.

$$I_A = \frac{E_A - V_T}{R_A} = \frac{۱۴۰ - ۱۲۰}{۱} = ۲۰\,[A]$$
$$I_F = \frac{V_T}{R_F + R_{adj}} = \frac{۱۲۰}{۳۰+۰} = ۴\,[A]$$

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

$$P_F = (R_F + R_{adj})I_F^۲ = (۳۰+۰)\times ۴^۲ = ۴۸۰\,[w]$$
$$P_A = R_A I_A^۲ = ۱\times ۲۰^۲ = ۴۰۰\,[w]$$

پرسش ۵ ـ ۳

پرسش‌های کامل کردنی

۱ ـ در ژنراتور شنت مدار تحریک با مدار آرمیچر به صورت ..... اتصال داده می‌شود و بین آن‌ها ..... برقرار می‌باشد.

۲ ـ سیم‌پیچی تحریک بر روی ..... قرار داده

شده است.

۳ ـ برای اندازه‌گیری جریان تحریک از ..... و برای اندازه‌گیری ولتاژ پایانه‌های ماشین از ..... استفاده می‌شود.

پرسش‌های صحیح غلط

۱ ـ سیم‌پیچی تحریک شنت با تعداد دور کم برای جریان زیاد طراحی شده است.

صحیح ☐ غلط ☐

۲ ـ از مقاومت متغیر R_{adj} برای تنظیم جریان تحریک استفاده می‌شود.

صحیح ☐ غلط ☐

۳ ـ روش متداول اندازه‌گیری اثرات مغناطیسی استفاده از منحنی مشخصه‌های ژنراتور است.

صحیح ☐ غلط ☐

پرسش‌های تشریحی

۱ ـ طرح ساختمانی ژنراتور شنت شکل (۲۷ ـ ۳) را توضیح دهید.

۲ ـ نحوه راه‌اندازی ژنراتور را بنویسید.

۳ ـ برای راه‌اندازی ژنراتور شنت چه نکاتی باید رعایت شود؟

۴ ـ در صورتی‌که پس‌ماند مغناطیس قطب‌های ژنراتور از بین برود چه باید کرد؟

۵ ـ ژنراتور شنت به هنگام راه‌اندازی برعکس گردانده شده است. اکنون برای راه‌اندازی صحیح آن چه باید کرد؟

۶ ـ مدار الکتریکی معادل ژنراتور شنت را رسم کنید و کمیت‌های الکتریکی آن را معرفی کنید.

۷ ـ چرا جهت جریان آرمیچر از سوی نیروی محرکه القایی E_A به سمت ترمینال‌های ژنراتور است؟

تمرین ۴ ـ ۳

۱ ـ ژنراتور شنت با جریان تحریک ۲A و آرمیچر A ۱۲ مفروض است. مقاومت مدار تحریک و تنظیم‌کننده جریان تحریک روی هم ۱۰۰Ω می‌باشد. اگر مقاومت سیم‌پیچی آرمیچر ۰/۵Ω باشد مطلوب است:

الف ـ ولتاژ ترمینال‌های ژنراتور

ب ـ توان خروجی ژنراتور

ج ـ نیروی محرکه القایی آرمیچر

۲ ـ ژنراتور شنت ۴ kw، ۲۰۰ V با راندمان ۸۰ ٪ مفروض است. مقاومت مدار آرمیچر ۰/۲Ω و مدار تحریک ۲۰۰Ω است. مطلوب است:

الف ـ نیروی محرکه القایی آرمیچر

ب ـ توان تبدیل شده

ج ـ تلفات ثابت

۳ ـ ژنراتور شنت توسط محرک با توان ۱۰ اسب بخار گردانده می‌شود و ژنراتور ولتاژ ۵۰۰ V و جریان ۱۲ A به بار می‌دهد، اگر مقاومت مدار تحریک و آرمیچر باشد. مطلوب است:

الف ـ بازده ژنراتور

ب ـ تلفات مسی

پ ـ تلفات ثابت

۳ ـ مقاومت مدار تحریک و آرمیچر یک ژنراتور شنت به ترتیب ۲۰۰Ω و ۰/۱Ω می‌باشد. اگر تلفات سیم‌پیچ تحریک ۸۰۰ w و تلفات سیم‌پیچ آرمیچر ۱۰۰۰ w

باشد مطلوب است:

الف ـ جریان آرمیچر و بار

ب ـ نیروی محرکه القایی آرمیچر

ج ـ بازده ژنراتور در صورتی که تلفات ثابت ۱۵۰۰ w باشد.

۱۶ ـ ۳ ـ منحنی مشخصه بی‌باری ژنراتور شنت

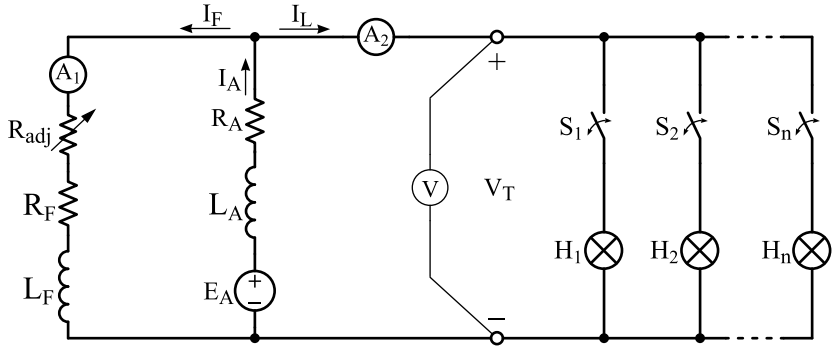
منحنی مشخصه بی‌باری از آزمایش بی‌باری به‌دست می‌آید و هدف تعیین تاثیر جریان تحریک I_F بر نیروی محرکه القایی آرمیچر E_A در سرعت ثابت است. برای انجام آزمایش بی‌باری ژنراتور شنت، ابتدا مدار سیم‌پیچی تحریک را از مدار سیم‌پیچی آرمیچر جدا می‌کنند. سپس مانند یک ژنراتور تحریک مستقل مطابق آن‌چه که در قسمت ۱۰ ـ ۳ توضیح داده شد آزمایش بی‌باری را انجام می‌دهند.

منحنی مشخصه بی‌باری ژنراتور شنت مشابه منحنی مشخصه بی‌باری ژنراتور تحریک مستقل است.

۱۷ ـ ۳ ـ منحنی مشخصه بارداری ژنراتور شنت

منحنی مشخصه بارداری از آزمایش بارداری به‌دست می‌آید و هدف تعیین تاثیر جریان بار I_L بر ولتاژ پایانه‌های ژنراتور V_T در سرعت n ثابت و جریان تحریک I_F ثابت است.

برای انجام آزمایش بارداری، ژنراتور شنت را مطابق مدار الکتریکی شکل (۲۶ ـ ۳) اتصال می‌دهند.



شکل ۲۶ ـ ۳ مدار الکتریکی آزمایش بارداری ژنراتور شنت

آمپرمتر A_1 جریان تحریک I_F و آمپرمتر A_2 جریان بار I_L و ولت‌متر V ولتاژ پایانه‌های ژنراتور V_T را نشان می‌دهند.

ولتاژ پایانه‌های ژنراتور V_T از رابطه (۲۱ ـ ۳) به‌دست می‌آید.

$$I_A = \frac{E_A - V_T}{R_A}$$

$$R_A I_A = E_A - V_T$$

$$V_T = E_A - R_A I_A \qquad (۳-۲۳)$$

در آزمایش بارداری سرعت و جریان تحریک ثابت نگه داشته می‌شوند. لذا نیروی محرکه القایی E_A مقداری ثابت خواهد داشت. جریان آرمیچر I_A متاثر از جریان بار I_L است. پس با توجه به رابطه (۲۳ ـ ۳) ولتاژ پایانه‌های ژنراتور V_T تابعی از جریان بار I_L می‌باشد.

در شکل (۲۶ 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 ۱۷ ـ ۳ ـ آزمایش بارداری

برای انجام آزمایش بارداری ابتدا رتور ژنراتور توسط محرک با سرعت ثابت گردانده می‌شود. سپس با کاهش مقاومت تنظیم‌کننده جریان تحریک R_{adj} جریان تحریک را افزایش می‌دهند تا ولتاژ پایانه‌های ژنراتور V_T به مقدار نامی برسد. اکنون کلیدهای S_1 تا S_n شکل (۲۶ 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_2 اندازه‌گیری می‌شوند را در جدولی یادداشت می‌نمایند. این کار آنقدر ادامه می‌یابد تا جریان بار I_L به مقدار جریان نامی ژنراتور برسد.

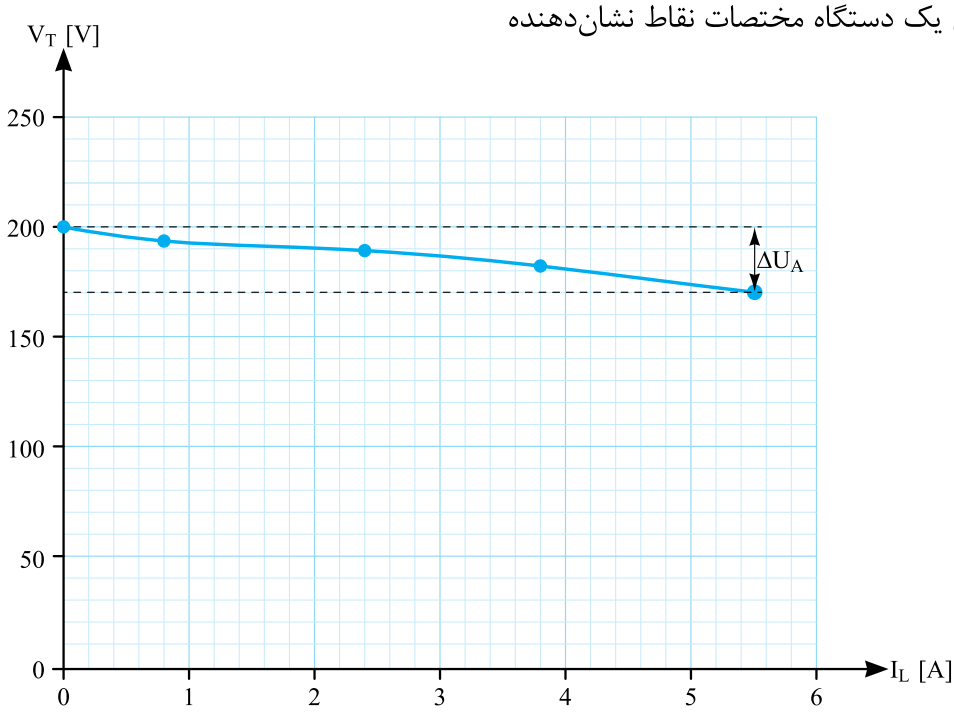
سپس روی یک دستگاه مختصات نقاط نشان‌دهنده مقدار V_T به ازای جریان بار I_L معینی را مشخص می‌نمایند. این نقاط را به یک‌دیگر وصل می‌کنند تا «منحنی مشخصه بارداری» ژنراتور شنت به‌دست آید.

جدول (۵ ـ ۳) نتیجه آزمایش بارداری ژنراتور شنت ۱ kw، ۵/۵ A و ۲۰۰ V را در سرعت ۱۵۰۰ RPM نشان می‌دهد. این همان ماشینی است که بر روی آن آزمایش بی‌باری و بادادی در بخش ۱۱ ـ ۳ انجام شده است.

IL[A]	۰	۰/۸	۲/۴	۳/۸	۵/۵
VT[v]	۲۰۰	۱۹۳/۵	۱۸۹	۱۸۲	۱۷۰

جدول ۵ ـ ۳ نتیجه آزمایش بارداری ژنراتور شنت

نقاط نشان‌دهنده‌ی مقدار هر ولتاژ به ازای جریان بار معین جدول (۵ ـ ۳) در شکل (۲۷ ـ ۳) نشان داده شده است. با اتصال نقاط به یک‌دیگر منحنی مشخصه بارداری ترسیم شده است.



شکل ۲۷ ـ ۳ منحنی مشخصه بارداری ژنراتور شنت

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

مثال ۹ ـ ۴ ـ منحنی مشخصه بارداری شکل (۲۷ ـ ۳) مربوط به ژنراتور شنت با مقاومت اهمی سیم‌پیچی آرمیچر $R_A = ۱/۲۵\Omega$ است. به ازای جریان بار $I_L = ۵/۵A$ درصد تنظیم ولتاژ $\%V_R$ را به‌دست آورید.

حل:

با توجه به منحنی مشخصه بارداری به‌دست می‌آوریم:

$$I_L = ۰ \Rightarrow V_T = E_A = ۲۰۰\,[V]$$
$$I_L = ۵/۵[A] \Rightarrow V_T = ۱۷۰\,[V]$$

با توجه به رابطه (۸ ـ ۳) درصد تنظیم ولتاژ به‌دست می آید.

$$\%V_R = \frac{E_A - V_T}{V_T} \times ۱۰۰$$
$$\%V_R = \frac{۲۰۰ - ۱۷۰}{۱۷۰} \times ۱۰۰ = \%۱۷$$

۱۸ ـ ۳ ـ کاربرد ژنراتور شنت

ژنراتور شنت بیش از ژنراتورهای تحریک مستقل کاربرد پیدا می‌کند زیرا به منبع ولتاژ مستقل برای تحریک احتیاج ندارد.

از طرفی سیم‌پیچی آرمیچر ژنراتورهای شنت، موظف به تامین جریان بار I_L و جریان تحریک I_F است. بنابراین سیم‌پیچی آرمیچر ژنراتور شنت تحت جریان بیش‌تری نسبت به ژنراتور تحریک مستقل قرار می‌گیرد. به همین دلیل افت ولتاژ ناشی از مقاومت اهمی سیم‌پیچی آرمیچر $R_A I_A$ و اثرات مغناطیسی آرمیچر ε بیش‌تر خواهد شد. این موضوع از مقایسه مثال‌های (۷ ـ ۴) و (۹ ـ ۴) کاملاً مشهود است.

ژنراتورهای شنت در شارژ باتری‌ها و تغذیه تحریک ژنراتورهای نیروگاه‌ها کاربرد دارند.

پرسش ۶ ـ ۳

۱ ـ نحوه انجام آزمایش بارداری ژنراتور شنت را شرح دهید.

۲ ـ هدف از انجام آزمایش بارداری را بنویسید.

۳ ـ بین ژنراتورهای شنت با ژنراتورهای تحریک مستقل از دیدگاه کاربرد، مقایسه‌ای انجام دهید.

۴ ـ کاربرد ژنراتور شنت را بنویسید.

تمرین ۵ ـ ۳

۱ ـ نتایج آزمایش بی‌باری و بارداری ژنراتور شنت ۴۰۰ V، ۴۰ kw با مقاومت اهمی سیم‌پیچ آرمیچر $R_A = ۰/۳\Omega$ و سیم‌پیچ تحریک $R_F = ۳۰۰\Omega$ به شرح زیر است:

$I_F[A]$	۰/۲	۰/۴	۰/۶	۰/۸	۱	۱/۲	۱/۴	۱/۵
$E_A[V]$	۱۴۷	۲۷۸	۳۷۴	۴۲۵	۴۵۷	۴۸۵	۵۱۲	۵۲۳

$I_L[A]$	۰	۲۰	۳۰	۵۰	۷۰	۸۰	۱۰۰
$V_T[V]$	۴۵۰	۴۴۰	۴۳۳	۴۱۶	۳۹۳	۳۷۹	۳۴۶

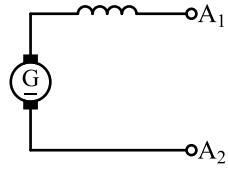
مطلوب است:

الف ـ افت ولتاژ ناشی از اثرات مغناطیسی در بار نامی

ب ـ جریان سیم‌پیچ تحریک و آرمیچر در بار نامی

۱۹ ـ ۳ ـ ژنراتورهای جریان مستقیم با تحریک سری

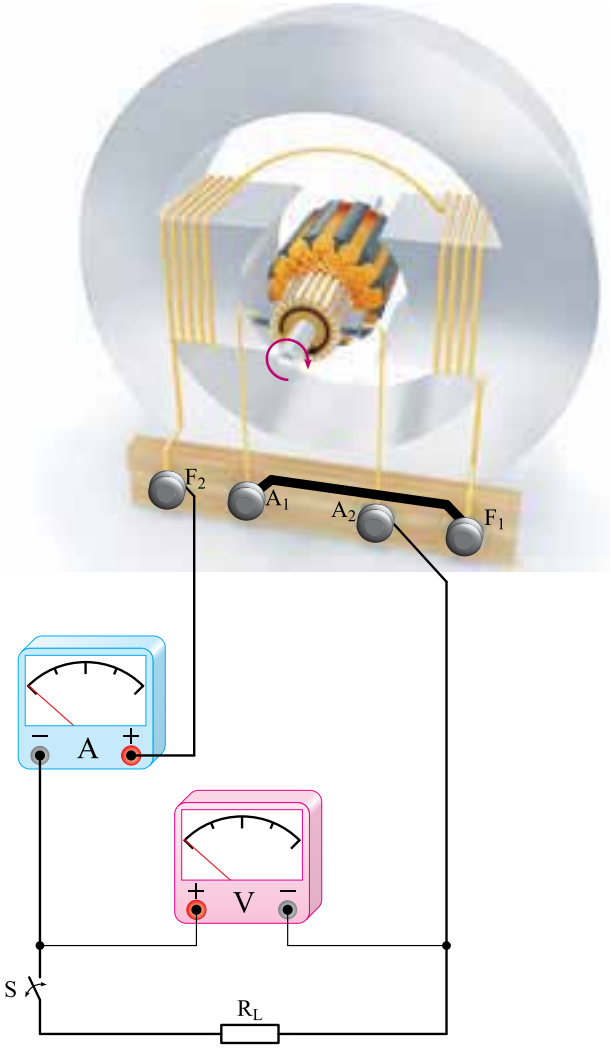
ژنراتور جریان مستقیم با تحریک سری را به اختصار «ژنراتور سری[1]» گویند. در ژنراتور سری مدار تحریک با مدار آرمیچر به صورت سری اتصال داده می‌شود و بین آن‌ها ارتباط الکتریکی برقرار می‌باشد. نقشه اختصاری ژنراتور سری در شکل (۲۸ ـ ۳) نشان داده شده است.



شکل ۲۸ ـ ۳ نقشه اختصاری ژنراتور سری

طرح ساختمانی ژنراتور سری در شکل (۲۹ ـ ۳) نشان داده شده است.

استاتور دارای قطب‌های برجسته می‌باشد. سیم‌پیچی تحریک بر روی قطب‌ها قرار داده شده است. این سیم‌پیچی با تعداد دور کم برای جریان زیاد به گونه‌ای طراحی می‌شود تا نیروی محرکه مغناطیسی $(\theta = NI)$ مورد نیاز را تامین نماید. سیم‌پیچی تحریک، سری با سیم‌پیچی آرمیچر اتصال داده شده است. لذا جریان سیم‌پیچی تحریک برابر جریان آرمیچر می‌باشد و ولتاژ سیم‌پیچی تحریک با عبور جریان آرمیچر از سیم‌پیچ تحریک تامین می‌شود. مصرف کننده R_L توسط کلید S به ترمینال‌های A_1 و A_2 آرمیچر اتصال داده شده است. با بستن کلید S مقاومت بار و سیم‌پیچ تحریک با سیم‌پیچ آرمیچر به صورت سری در می‌آیند و از ولتاژ و جریان آرمیچر تغذیه می‌کنند. جریان این مدار سری توسط آمپرمتر A و ولتاژ پایانه‌های ماشین V_T توسط ولت‌متر V اندازه‌گیری می‌شود.



شکل ۲۹ ـ ۳ طرح ساختمانی ژنراتور سری

۲۰ ـ ۳ ـ راه‌اندازی ژنراتور سری

برای راه‌اندازی ژنراتور سری کلید S شکل (۲۹ ـ ۳) را باز می‌گذارند. سپس رتور را با سرعت نامی به گردش در می‌آورند تا فوران ناشی از پس‌ماند مغناطیسی قطب‌ها، نیروی محرکه القایی پس‌ماند E_o در سیم‌پیچی آرمیچر القا کند. در این لحظه ولتاژ پایانه‌های ژنراتور به حداقل مقدار خود که برابر نیروی محرکه القایی پس‌ماند E_o است می‌رسد. در این حال ژنراتور راه‌اندازی شده است و آماده برای اتصال به بار است.

۱. Series Generator

۱ ـ ۲۰ ـ ۳ ـ بهره‌برداری

پس از راه‌اندازی ژنراتور تحریک سری با بستن کلید S شکل (۲۹ ـ ۳) بار به پایانه‌های ژنراتور متصل خواهد شد و مدار سری شامل بار، سیم‌پیچی تحریک و سیم‌پیچی آرمیچر ایجاد می‌شود. نیروی محرکه القایی پس‌ماند E_o سیم‌پیچی آرمیچر، جریان ضعیفی در مدار سری متشکل از بار، سیم‌پیچی تحریک و سیم‌پیچی آرمیچر جاری می‌نماید. این جریان، فوران مغناطیسی قطب‌ها را افزایش می‌دهد تا نیروی محرکه القایی بیش‌تری در سیم‌پیچی آرمیچر القا شود. لذا ولتاژ پایانه‌های ژنراتور افزایش می‌یابد. با افزایش ولتاژ پایانه‌ها، جریان بار زیاد می‌شود. این جریان هنگام عبور از سیم‌پیچی تحریک فوران قطب‌ها را دوباره افزایش می‌دهد. این عمل آنقدر ادامه می‌یابد تا ولتاژ پایانه‌های ژنراتور ثابت شود.

۲ ـ ۲۰ ـ ۳ ـ شرایط راه‌اندازی

برخی مواقع پس از به گردش در آوردن رتور ژنراتور سری و اتصال به بار، ژنراتور راه‌اندازی نمی‌شود و «ولتاژگیری» نمی‌کند. عواملی که سبب عدم راه‌اندازی ژنراتور تحریک سری خواهند شد عبارت است از:

۱ ـ پس‌ماند مغناطیسی در قطب‌ها وجود ندارد.

۲ ـ جهت جریان سیم‌پیچی تحریک صحیح نیست.

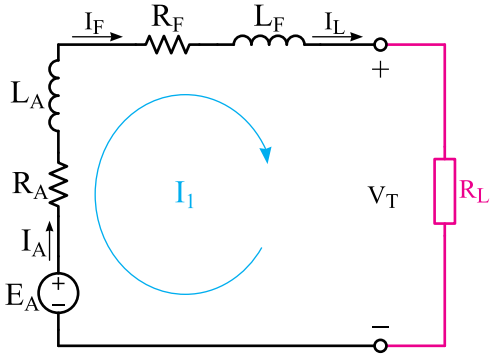
۳ ـ جهت گردش رتور صحیح نیست.

۴ ـ سرعت گردش رتور کم‌تر از سرعت نامی است.

برای رفع اشکال ناشی از عوامل بالا مطابق آن‌چه که در بخش ۱ ـ ۱۴ ـ ۳ توضیح داده شد اقدام می‌شود.

۲۱ ـ ۳ ـ مدار الکتریکی معادل ژنراتور سری

محاسبه کمیت‌های الکتریکی ولتاژ، جریان و توان با استفاده از مدار معادل الکتریکی امکان‌پذیر است. در شکل (۳۰ ـ ۳) مدار الکتریکی معادل ژنراتور سری نشان داده شده است.



شکل ۳۰ ـ ۳ مدار الکتریکی معادل ژنراتور تحریک سری

این مدار معادل نشان می‌دهد مدار سیم‌پیچی تحریک، به صورت سری با مدار سیم‌پیچی آرمیچر ارتباط داده شده است.

مدار الکتریکی ژنراتور سری با روش جریان حلقه یا روش‌های دیگر قابل تحلیل است. معمولاً در تحلیل مدار الکتریکی، اثرات مغناطیسی عکس‌العمل آرمیچر و کموتاسیون به دلیل پیچیدگی محاسبات در نظر گرفته نمی‌شود. روش متداول اندازه‌گیری اثرات مغناطیسی استفاده از منحنی مشخصه‌های ژنراتور است.

با نوشتن KVL برای حلقه مدار الکتریکی معادل سیم‌پیچی‌های آرمیچر و تحریک معادل (۲۳ ـ ۳) به‌دست می‌آید.

$$\text{KVL۱)} \quad -E_A + R_A I_L + R_F I_L + V_T = ۰ \qquad (۳-۲۴)$$

جریان حلقه $I_۱$ از محل جریان‌های I_F، I_A و I_L می‌گذرد و رابطه (۲۵ ـ ۳) به‌دست می‌آید.

$$I_A = I_F = I_L = I_۱ \qquad (۳-۲۵)$$

با توجه به رابطه (۲۵ ـ ۳) جریان I_L را جایگزین $I_۱$ در رابطه (۲۴ ـ ۳) می‌شود.

$$-E_A + R_A I_L + R_F I_L + V_T = ۰$$

از I_L فاکتور گرفته می‌شود و رابطه (۲۶ ـ ۳) به‌دست می‌آید.

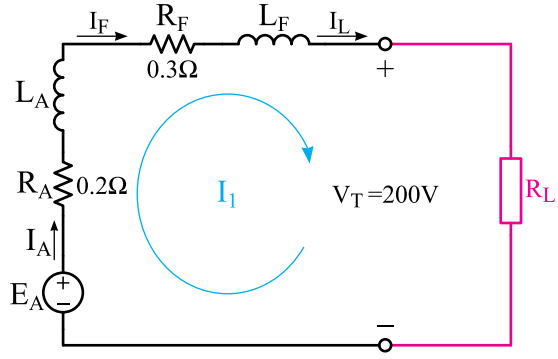
$$-E_A + (R_A + R_F) I_L + V_T = ۰$$

$$V_T = E_A - (R_A + R_F) I_L \qquad (۳\text{-}۲۶)$$

مثال ۱۰ ـ ۳ ـ ژنراتور جریان مستقیم تحریک سری ۱ kw، ۲۰۰ V با مدار معادل الکتریکی مطابق شکل (۳۱ ـ ۳) در نظر است. مطلوب است:

الف ـ جریان بار

ب ـ نیروی محرکه القایی آرمیچر



شکل ۳۱ ـ ۳

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

$$I_L = \frac{P_{out}}{V_T} = \frac{۱ \times ۱۰^{۳}}{۲۰۰} = ۵\ [A]$$

ـ از رابطه (۲۵ ـ ۳) خواهیم داشت:

$$I_A = I_F = I_L = I_۱ = ۵\ [A]$$

ـ KVL را طبق رابطه (۲۴ ـ ۳) برای جریان حلقه $I_۱$ می‌نویسیم:

$$KVL۱) \quad -E_A + R_A I_۱ + R_F I_۱ + V_T = ۰$$
$$-E_A + ۰/۲(۵) + ۰/۳(۵) + ۲۰۰ = ۰$$
$$-E_A + ۱ + ۱/۵ + ۲۰۰ = ۰$$
$$E_A = ۲۰۲/۵\ [V]$$

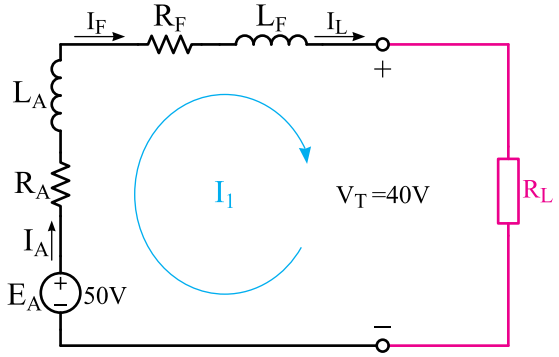
مثال ۱۱ ـ ۳ ـ ژنراتور جریان مستقیم تحریک سری با نیروی محرکه القایی آرمیچر ۵۰ V و ولتاژ ترمینال ۴۰ V مفروض است. مقاومت مدار تحریک و آرمیچر روی هم ۰/۸ Ω است. مطلوب است:

الف ـ توان خروجی

ب ـ بازده در صورتی‌که تلفات ثابت ۷۵ w باشد.

حل:

ـ ابتدا مدار معادل الکتریکی ژنراتور تحریک سری را رسم می‌کنیم و کمیت‌های الکتریکی آن را می‌نویسیم و جریان حلقه $I_۱$ را نشان می‌دهیم.



ـ KVL را طبق رابطه (۲۴ ـ ۳) برای جریان حلقه $I_۱$ می‌نویسیم:

$$KVL۱) \quad -E_A + R_A I_۱ + R_F I_۱ + V_T = ۰$$

ـ مقادیر R_A و R_F به‌صورت $R_A + R_F = ۰/۸$ داده شده است. بنابراین از جریان $I_۱$ در رابطه (۲۴ ـ ۳) فاکتور می‌گیریم.

$$KVL۱) \quad -E_A + (R_A + R_F)I_۱ + V_T = ۰$$

ـ مقادیر را جایگزین و مقدار جریان حلقه $I_۱$ را به‌دست می‌آوریم.

$$-۵۰ + (۰/۸)I_۱ + ۴۰ = ۰$$
$$۰/۸ I_۱ = ۱۰$$
$$I_۱ = ۱۲/۵ \ [A]$$

ـ جریان حلقه $I_۱$ از محل جریان‌های I_F، I_A و I_L می‌گذرد و طبق رابطه (۲۵ ـ ۳) داریم:

$$I_A = I_F = I_L = I_۱ = ۱۲/۵ [A]$$

ـ توان خروجی از رابطه (۲ ـ ۳) به‌دست می‌آید.

$$P_{out} = V_T \cdot I_L$$
$$P_{out} = ۴۰ \times ۱۲/۵ = ۵۰۰ \ [w]$$

ـ تلفات تحریک از رابطه (۲۶ ـ ۳) و تلفات آرمیچر از رابطه (۱۴ ـ ۳) به‌دست می‌آید.

$$P_F = R_F I_F^۲$$
$$P_A = R_A I_A^۲$$

ـ تلفات مسی از حاصل جمع تلفات تحریک و آرمیچر به‌دست می‌آید.

$$P_A + P_F = R_A I_A^۲ + R_F I_F^۲$$

ـ در ژنراتور تحریک سری طبق رابطه (۲۶ ـ ۳)، $I_A = I_F$ است. با جایگزینی I_A به جای I_F خواهیم داشت:

$$P_A + P_F = R_A I_A^۲ + R_F I_F^۲$$
$$P_A + P_F = (R_A + R_F) I_A^۲$$
$$P_A + P_F = (۰/۸)(۱۲/۵)^۲ = ۱۲۵ \ [w]$$

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

$$\Delta P = P_{mec} + P_{core} + P_a + P_F$$
$$\Delta P = ۷۵ + ۱۲۵ = ۲۰۰ \ [w]$$

ـ توان ورودی از رابطه (۴ ـ ۳) به‌دست می‌آید.

$$\Delta P = P_{in} - P_{out}$$
$$P_{in} = P_{out} + \Delta P$$
$$P_{in} = ۵۰۰ + ۲۰۰ = ۷۰۰ \ [w]$$

ـ بازده از رابطه (۵ ـ ۳) به‌دست می‌آید.

$$\%\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times ۱۰۰$$
$$\%\eta = \frac{۵۰۰}{۷۰۰} \times ۱۰۰ = \%۷۱$$

پرسش ۷ ـ ۳

طرح ساختمانی ژنراتور تحریک سری شکل (۲۹ ـ ۳) را توضیح دهید.

۲ ـ نحوه راه‌اندازی ژنراتور تحریک سری را بنویسید.

۳ ـ چه نکاتی را هنگام راه‌اندازی ژنراتور تحریک

سری باید رعایت کرد؟

۴ ـ چـرا به هنـگام راه‌انـدازی ژنراتورهای تحریک سری، قطب‌ها باید پس‌ماند مغناطیسی داشته باشند؟

۵ ـ مدار معادل الکتریکی ژنراتور تحریک سـری را رسم کنید و کمیت‌های الکتریکی آن را معرفی کنید.

۶ ـ در ژنراتور تحریک سـری چرا ولتاژ پایانه‌ها V_T کوچک‌تر از نیروی محرکه القایی آرمیچر E_A است؟

تمرین ۶ ـ ۳

۱ ـ یـک ژنراتور جـریان مسـتقیم تحریک سـری ۱۰ kw کـه جریـان تحریـک آن ۱۰ A اسـت دارای تلفات مکانیکی ۶۵۰ w و تلفات آهنی ۵۰ w و مقاومت سیم‌پیچی آرمیچر ۳Ω و سـیم‌پیچی ۳/۵Ω می‌باشد. مطلوب است:

الف ـ تلفات کل

ب ـ توان ورودی ژنراتور

پ ـ توان الکترومغناطیسی

ت ـ نیروی محرکه القایی آرمیچر

۲ ـ یـک ژنراتور تحریک سـری ۲۰۰V، ۱۲kw با بـازده ۸۰ ٪ دارای مقاومت آرمیچـر ۰/۲Ω و تحریک ۰/۳Ω می‌باشد. مطلوب است:

الف ـ تلفات مسی ژنراتور

ب ـ تلفات ثابت ژنراتور

۳ ـ یـک ژنراتـور سـری ۲۰۰ v، ۱۵۰ A دارای ۶ قطب می‌باشـد. سـیم‌پیچی آرمیچر دارای ۶۰۰ هادی و به‌صورت حلقوی سـاده سـیم‌بندی شـده است. اگر مقاومت آرمیچر و تحریک به ترتیب ۰/۰۲Ω و ۰/۰۴Ω باشد مطلوب است:

الف ـ نیروی محرکه القایی آرمیچر

ب ـ سـرعت ژنراتور در صورتی‌کـه فوران هر قطب ۲۱ mwb باشد.

۲۲ ـ ۳ ـ منحنـی مشـخصه بی‌بـاری ژنراتور سری

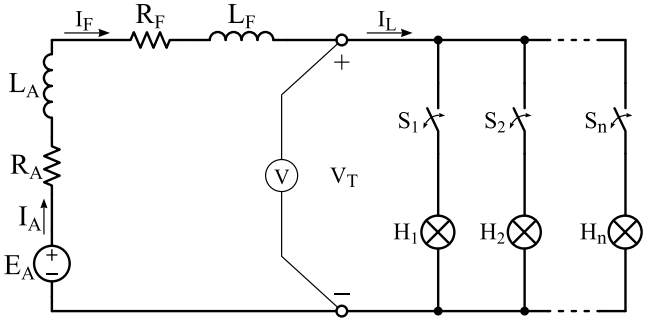
برای انجام آزمایش بی‌باری ژنراتور سـری ابتدا مدار سـیم‌پیچی تحریک را از مدار سـیم‌پیچی آرمیچر جدا می‌کنند؛ سـپس همانند یک ژنراتور تحریک مسـتقل مطابق آنچه در قسمت ۱۰ ـ ۳ توضیح داده شد آزمایش بی‌باری را انجام می‌دهند.

منحنی مشخصه بی‌باری ژنراتور سری مشابه منحنی مشخصه بی‌باری ژنراتور تحریک مستقل است.

۲۳ ـ ۳ ـ منحنـی مشـخصه بـارداری ژنراتور تحریک سری

منحنی مشـخصه بارداری ژنراتور تحریک سـری از آزمایش بارداری به‌دسـت می‌آید و هـدف تعیین تاثیر جریان بار I_L بر ولتاژ پایانه‌های ژنراتور V_T در سـرعت n ثابت است.

برای انجام آزمایش بارداری، ژنراتور تحریک سری را مطابق مدار الکتریکی شکل (۳۲ ـ ۳) اتصال می‌دهند.



شکل ۳۲ ـ ۳ مدار الکتریکی آزمایش بارداری ژنراتور تحریک سری