تغییر و تنظیم جریان تحریک از مقاومت متغیر سری با سیم‌پیچی تحریک استفاده شده است. این مقاومت متغیر را «مقاومت تنظیم‌کننده جریان تحریک» می‌نامند و با R_{adj} نشان می‌دهند. برای قطع و وصل کردن مدار تحریک از کلید S_1 استفاده شده است. مدار تحریک مستقل است و ارتباط الکتریکی با مدار آرمیچر ندارد. مصرف‌کننده R_L توسط کلید S_2 به پایانه‌های A_1 و A_2 آرمیچر اتصال داده شده است. برای اندازه‌گیری جریان تحریک I_F از آمپرمتر A_1 و جریان بار I_L از آمپرمتر A_2 استفاده شده است. ولت‌متر V با اتصال به پایانه‌های ماشین، ولتاژ V_T که همان ولتاژ بار است را اندازه می‌گیرد.

۸ ـ ۳ ـ راه‌اندازی ژنراتور تحریک مستقل

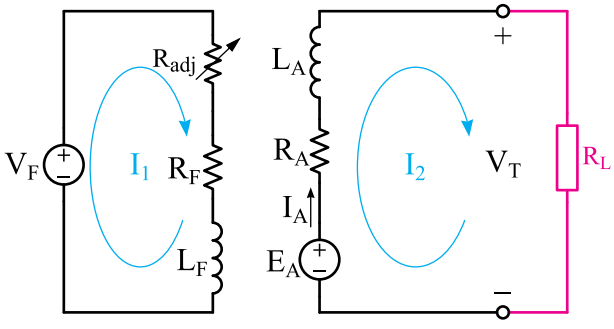
برای راه‌اندازی ژنراتور تحریک مستقل ابتدا کلیدهای S_1 و S_2 شکل (۱۳ ـ ۳) را باز می‌کنند تا مدار الکتریکی آرمیچر و تحریک قطع شود. مقاومت تنظیم‌کننده تحریک را در حداکثر مقدار خود قرار می‌دهند. رتور را توسط محرک با سرعت «نامی» و «ثابت» به گردش در می‌آورند. سپس کلید مدار تحریک S_1 بسته می‌شود و با کم کردن مقاومت تنظیم‌کننده جریان تحریک R_{adj}، جریان سیم‌پیچی تحریک افزایش می‌یابد. فوران قطب‌ها زیاد می‌شود و در سیم‌پیچی آرمیچر نیروی محرکه E_A القا شده و زیاد خواهد شد. افزایش جریان تحریک تا جایی ادامه می‌یابد تا ولتاژ پایانه‌های ژنراتور V_T به مقدار نامی خود برسد. این ولتاژ توسط ولت‌متر V اندازه‌گیری می‌شود. در این لحظه ژنراتور راه‌اندازی شده است و آماده تصال به بار است.

۱ ـ ۸ ـ ۳ ـ بهره‌برداری

«تنظیم» و «ثبت» ولتاژ پایانه‌های ژنراتور در محدوده بار نامی را «بهره‌برداری» گویند. به منظور بهره‌برداری از ژنراتور تحریک مستقل شکل (۱۳ ـ ۳) پس از راه‌اندازی، با بستن کلید S_2 بار به ژنراتور متصل خواهد شد. با اتصال بار به ژنراتور ولتاژ پایانه‌های ژنراتور V_T کاهش می‌یابد. برای تنظیم ولتاژ مقاومت تنظیم‌کننده جریان تحریک R_{adj} را کم می‌کنند تا جریان تحریک افزایش یابد و ولتاژ پایانه‌های ژنراتور V_T دوباره در مقدار نامی تثبیت شود. بدیهی است با کم کردن یا قطع بار، ولتاژ پایانه‌های ژنراتور افزایش می‌یابد که برای کاهش آن جریان تحریک را کم می‌کنند. لازم به ذکر است که این تنظیم‌ها در محدوده مقادیر نامی امکان‌پذیر است.

۹ ـ ۳ ـ مدار الکتریکی معادل ژنراتور تحریک مستقل

محاسبه کمیت‌های الکتریکی ولتاژ ، جریان و توان با استفاده از مدار الکتریکی معادل امکان‌پذیر است. در شکل (۱۴ ـ ۳) مدار الکتریکی معادل سیم‌پیچ تحریک و سیم‌پیچ آرمیچر ژنراتور تحریک مستقل در کنار یک‌دیگر نشان داده شده است.



شکل ۱۴ ـ ۳ مدار الکتریکی معادل ژنراتور تحریک مستقل

مدار معادل الکتریکی نشان می‌دهد بین مدار سیم‌پیچ تحریک و سیم‌پیچ آرمیچر ارتباط الکتریکی وجود ندارد.

مـدار الکتریکی تحریک و آرمیچر را با روش حلقه 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 نوشتن KVL برای حلقه‌های مدار تحریک و مدار آرمیچر معادلات (۹ ـ ۳) و (۱۰ ـ ۳) به‌دست می‌آید.

$$KVL1) \quad -V_F + R_{adj}I_1 + R_F I_1 = 0 \qquad (۳-۹)$$

$$KVL2) \quad -E_F + R_A I_2 + V_T = 0 \qquad (۳-۱۰)$$

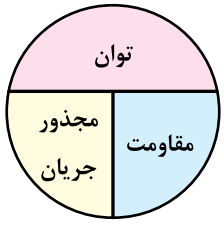
دقـت کنیـد جریان مدارهـای تحریـک و آرمیچر تغییـرات ندارنـد و مدار در حالت «پایدار» می‌باشـد و هم‌چنیـن جریان آن‌ها DC اسـت و فرکانـس ندارد. لذا در سـلف‌های با ضریب خـود القایی L_A و L_F افت ولتاژ ایجاد نمی‌شود و بنابراین در نوشتن KVL لحاظ نخواهد شد.

جریـان حلقه I_1 از محل جریـان I_F و جریان حلقه I_2 از محل جریان‌های I_A و I_L می‌گذرد. بنابراین روابط (۱۱ ـ ۳) و (۱۲ ـ ۳) را می‌توان نوشت.

$$I_F = I_1 \qquad (۳-۱۱)$$

$$I_A = I_L = I_2 \qquad (۳-۱۲)$$

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



$$P_F = (R_F + R_{adj})I_F^2 \qquad (۳-۱۳)$$

$$P_A = R_A I_A^2 \qquad (۳-۱۴)$$

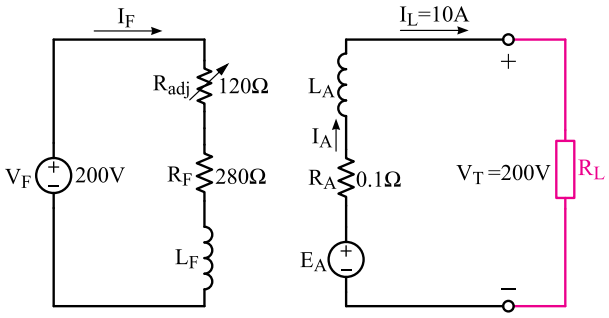
توان خروجی از رابطه (۲ ـ ۳) به‌دست می‌آید.

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

مثال ۵ ـ ۳ ـ ژنراتور جریان مسـتقیمی با تحریک مستقل ۲۰۰ ولتی، ۱۰ آمپری با مدار الکتریکی معادل مطابق شکل (۱۵ ـ ۳) در نظر است. مطلوب است:

الف ـ جریان مدار تحریک I_F

ب ـ نیروی محرکه القایی آرمیچر E_A



شکل ۱۵ ـ ۳

حل:

ـ برای مدار تحریک حلقـه I_1 را انتخاب می‌کنیم و KVL می‌نویسیم.

$$KVL1) \quad -V_F + R_{adj}I_1 + R_F I_1 =$$

$$-۲۰۰ + ۱۲۰I_1 + ۲۸۰I_1 = ۰$$

$$-۲۰۰ + ۴۰۰I_1 = ۰$$

$$۴۰۰I_1 = ۲۰۰$$

$$I_1 = \frac{۲۰۰}{۴۰۰} = ۰/۵ \ [A]$$

ـ حلقه I_1 از محل I_F می‌گذرد.

$$I_F = I_1 = ۰/۵\ [A]$$

ـ برای حلقه مدار آرمیچر حلقه I_2 را انتخاب می‌کنیم و KVL می‌نویسیم.

$$KVL۲)\quad -E_A + R_A I_2 + V_T = ۰$$

ـ حلقه I_2 از محل I_L می‌گذرد.

$$I_2 = I_L = ۱۰\ [A]$$
$$KVL۲)\quad -E_A + ۰/۱\ (۱۰) + ۲۰۰ = ۰$$
$$-E_A + ۱ + ۲۰۰ = ۰$$
$$E_A = ۲۰۱\ [V]$$

مثـال ۶ ـ ۳ ـ کمیت‌های الکتریکـی یک ژنراتور جریان مستقیم با تحریک مستقل به‌شرح زیر است:

$$V_F = ۲۰۰\ [V],\ I_F = ۰/۴\ [A],\ R_F = ۴۵۰\ [\Omega]$$
$$E_A = ۲۶۰\ [V],\ R_A = ۰/۵\ [\Omega],\ V_T = ۲۵۰\ [V]$$

مطلوب است:

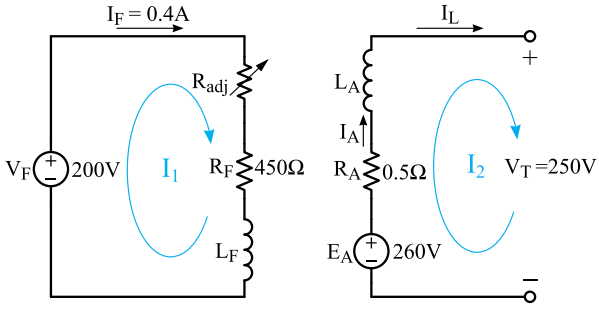
الف ـ مقدار مقاومت تنظیم‌کننده جریان تحریک

ب ـ جریان بار و آرمیچر

ج ـ تلفات مسی و توان خروجی

حل:

ـ مـدار معادل الکتریکی ژنراتور جریان مسـتقیم با تحریک مسـتقل را رسـم می‌کنیم و کمیت‌های آن را می‌نویسیم.



ـ برای مدار تحریک حلقـه I_1 را انتخاب می‌کنیم و KVL می‌نویسیم.

$$KVL۱)\quad -V_F + R_{adj} I_1 + R_F I_1 = ۰$$

ـ از محل I_F حلقه I_1 می‌گذرد، لذا:

$$I_1 = I_F = ۰/۴\ [A]$$
$$-۲۰۰ + R_{adj}(۰/۴) + ۴۵۰\ (۰/۴) = ۰$$
$$-۲۰۰ + ۰/۴R_{adj} + ۱۸۰ = ۰$$
$$۰/۴R_{adj} = ۲۰$$
$$R_{adj} = \frac{۲۰}{۰/۴} = ۵۰\ [\Omega]$$

ـ بـرای مدار آرمیچر حلقـه I_2 را انتخاب می‌کنیم و KVL می‌نویسیم:

$$KVL۲)\quad -E_A + R_A I_2 + V_T = ۰$$
$$-۲۶۰ + ۰/۵I_2 + ۲۵۰ = ۰$$
$$۰/۵I_2 = ۱۰$$
$$I_2 = \frac{۱۰}{۰/۵} = ۲۰\ [A]$$

ـ از محل جریان‌های I_A و I_L حلقه I_2 می‌گذرد:

$$I_A = I_L = I_2 = ۲۰\ [A]$$

ـ تلفات تحریک از رابطه (۱۱ ـ ۳) به‌دست می‌آید.

$$P_F = (R_F + R_{adj})I_F^2$$
$$P_F = (۴۵۰ + ۵۰) \times ۰/۴^2 = ۸۰ \, [w]$$

ـ تلفات آرمیچر از رابطه (۱۲ ـ ۳) به‌دست می‌آید.

$$P_A = R_A I_A^2$$
$$P_A = ۰/۵ \times ۲۰^2 = ۲۰۰ \, [w]$$

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

$$P_A + P_F = ۲۰۰ + ۸۰ = ۲۸۰ \, [w]$$

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

$$P_{out} = V_T \cdot I_L$$
$$P_{out} = ۲۵۰ \times ۲۰ = ۵۰۰۰ \, [w]$$

پرسش ۳ ـ ۳

پرسش‌های کامل کردنی

۱ ـ در ژنراتورهای تحریک مستقل ..... بین مدار آرمیچر با مدار تحریک وجود ندارد.

۲ ـ برای تغییر و تنظیم جریان تحریک از ..... استفاده شده است.

۳ ـ برای راه‌اندازی ژنراتور تحریک مستقل رتور را با سرعت ..... و ..... به گردش درمی‌آورند.

۴ ـ ..... و ..... ولتاژ پایانه‌های ژنراتور در محدوده بار نامی را بهره‌برداری گویند.

۵ ـ محاسبه کمیت‌های الکتریکی ولتاژ، جریان و توان با استفاده از ..... امکان‌پذیر است.

پرسش‌های صحیح غلط

۱ ـ ژنراتورهای جریان مستقیم به ژنراتورهای تحریک مستقل و خود تحریک تقسیم‌بندی شده‌اند.

صحیح ☐ غلط ☐

۲ ـ در ژنراتورهای تحریک مستقل ارتباط الکتریکی بین مدار آرمیچر با مدار تحریک وجود دارد.

صحیح ☐ غلط ☐

۳ ـ استاتور ژنراتور تحریک مستقل دارای قطب برجسته می‌باشد.

صحیح ☐ غلط ☐

۴ ـ سیم‌پیچی تحریک به گونه‌ای طراحی می‌شود تا نیروی محرکه مغناطیسی مورد نیاز را تامین کند.

صحیح ☐ غلط ☐

۵ ـ با زیاد کردن مقاومت تنظیم‌کننده، جریان تحریک افزایش می‌یابد.

صحیح ☐ غلط ☐

پرسش‌های تشریحی

۱ ـ طرح ساختمانی ژنراتور تحریک مستقل شکل (۱۳ ـ ۳) را توضیح دهید.

۲ ـ نحوه راه‌اندازی ژنراتور تحریک مستقل را بیان کنید.

۳ ـ نقشه اختصاری ژنراتور تحریک مستقل را رسم کنید.

۴ ـ مدار الکتریکی معادل ژنراتور تحریک مستقل را

رسم کنید و کمیت‌های الکتریکی آن را معرفی کنید.

۵ ـ چرا در نوشتن KVL برای مدار الکتریکی معادل از محاسبه افت ولتاژها L_F و L_A صرف‌نظر می‌شود؟

تمرین ۲ ـ ۳

۱ ـ کمیت‌های الکتریکی یک ژنراتور جریان مستقیم به شرح زیر است:

$$I_F = ۰/۵[A],\ R_F = ۲۰۰[\Omega],\ R_{adj} = ۳۰[\Omega]$$
$$E_A = ۲۵[V],\ R_A = ۰/۱[\Omega],\ I_L = ۱۰[A]$$

مطلوب است:

الف ـ ولتاژ ترمینال‌های ژنراتور V_T

ب ـ ولتاژ تحریک V_F

ج ـ تلفات مسی آرمیچر و تحریک

۲ ـ یک ژنراتور جریان مستقیم تحریک مستقل ۵kw و ۲۵۰V با مقاومت سیم‌پیچی آرمیچر ۲Ω مفروض است. مطلوب است:

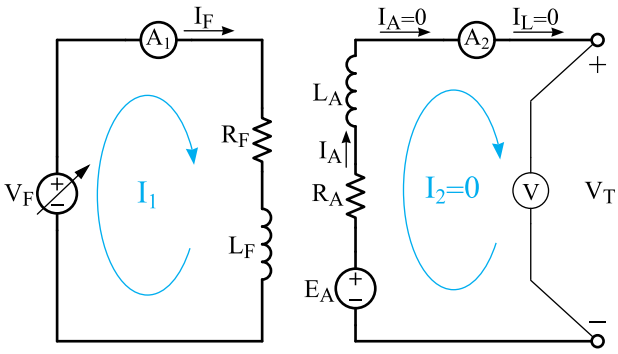
الف ـ جریان مدار آرمیچر

ب ـ توان تبدیل شده

ج ـ تلفات آرمیچر

۱۰ ـ ۳ ـ منحنی مشخصه بی‌باری ژنراتور تحریک مستقل

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 را مطابق مدار الکتریکی شکل (۱۶ ـ ۳) اتصال می‌دهند.



شکل ۱۶ ـ ۳ مدار الکتریکی آزمایش بی‌باری ژنراتور تحریک مستقل

آمپرمتر A_1 جریان تحریک I_F و آمپر متر A_2 جریان آرمیچر I_A و ولت‌متر V ولتاژ پایانه‌های ژنراتور V_T را نشان می‌دهند.

نیروی محرکه القایی بار رابطه (۲۰ ـ ۲) بیان می‌شود.

$$E_A = K \cdot \varphi \cdot \omega$$

با ثابت نگه داشتن سرعت ω، نیروی محرکه القایی E_A تابعی از فوران قطب‌ها خواهد شد. فوران قطب‌ها نیز تابعی از جریان تحریک I_F است. پس نیروی محرکه القایی تابعی از جریان تحریک خواهد شد و آن را به صورت $E_A = F(I_F)$ نشان می‌دهند و می خوانند E_A تابعی از I_F.

در آزمایش بی‌باری، ژنراتور بدون بار می‌باشد و جریان سیم‌پیچی آرمیچر $I_A = ۰$ است. لذا اثرات مغناطیسی ناشی از عکس‌العمل آرمیچر و کموتاسیون به‌وجود نمی‌آید. از طرفی طبق رابطه (۱۰ ـ ۳) خواهیم داشت:

$$KVL۲) \quad -E_A + R_A I_A + V_T = ۰$$

از آنجایی‌که $I_۲ = I_A = ۰$ است. پس:

$$KVL۲) \quad -E_A + R_A(۰) + V_T = ۰$$

$$-E_A + 0 + V_T = 0$$
$$E_A = V_T$$

بنابراین در آزمایش بی‌باری ولت‌متر V با اندازه‌گیری V_T مقدار E_A را نشان می‌دهد.

۱ ـ ۱۰ ـ ۳ ـ آزمایش بی‌باری

در حالی که ژنراتور بدون بار است رتور آن را توسط محرک با سرعت ثابت به گردش در می‌آورند. سپس با افزایش ولتاژ منبع V_F جریان تحریک را طی چند مرحله افزایش می‌دهند و در هر مرحله مقدار نیروی محرکه القایی آرمیچر E_A را که توسط ولت‌متر V اندازه‌گیری می‌شود در جدولی یادداشت می‌نمایند. این کار را آنقدر ادامه می‌دهند تا جریان تحریک به مقدار نامی برسد.

پس روی یک دستگاه مختصات که محور افقی آن جریان تحریک I_F و محور عمودی آن نیروی محرکه القایی آرمیچر E_A است، نقاط نشان‌دهنده مقدار E_A به ازای هر جریان تحریک معینی را مشخص می‌نمایند. این نقاط را به یک‌دیگر وصل می‌کنند. منحنی به‌دست آمده به «منحنی رفت بی‌باری» موسوم است.

در ادامه آزمایش، با کاهش ولتاژ منبع V_F جریان تحریک را طی چند مرحله کاهش می‌دهند و در هر مرحله مقدار نیروی محرکه القایی E_A را که توسط ولت‌متر V اندازه‌گیری می‌شود یادداشت می‌نمایند. این کار را آنقدر ادامه می‌دهند تا جریان تحریک صفر شود. سپس بر روی دستگاه مختصاتی که منحنی رفت بی‌باری را ترسیم کرده بودند نقاط نشان دهنده مقدار E_A به ازای هر جریان تحریک را در این حالت مشخص می‌نمایند. این نقاط را به یک‌دیگر وصل می‌کنند. منحنی به‌دست آمده به «منحنی برگشت بی‌باری» موسوم است.

جداول (۱ ـ ۳) و (۲ ـ ۳) نتایج رفت و برگشت آزمایش بی‌باری ژنراتور ۱ kw، ۲۰۰ V، ۱۵۰۰ RPM را نشان می‌دهند.

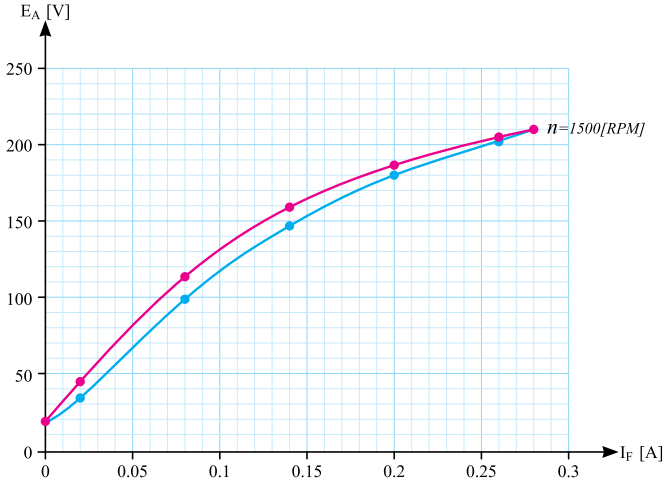
I_F [A]	۰	۰/۰۲	۰/۰۸	۰/۱۴	۰/۲	۰/۲۶	۰/۲۸
E_A [V]	۱۶/۴	۳۴	۹۹	۱۴۸	۱۸۱	۲۰۳	۲۱۰

جدول ۱ ـ ۳ نتیجه رفت آزمایش بی‌باری

I_F [A]	۰/۲۸	۰/۲۶	۰/۲	۰/۱۴	۰/۰۸	۰/۰۲	۰
E_A [V]	۲۱۰	۲۰۶	۱۸۷	۱۵۹	۱۱۵	۴۵	۱۷

جدول ۲ ـ ۳ نتیجه برگشت آزمایش بی‌باری

نقاط نشان‌دهنده مقدار هر ولتاژ به ازای جریان تحریک معین جداول رفت و برگشت آزمایش بی‌باری در شکل (۲۱ ـ ۳) نشان داده شده است. با اتصال نقاط رفت به یک‌دیگر منحنی رفت و با اتصال نقاط برگشت به یک‌دیگر منحنی برگشت ترسیم می‌شود.

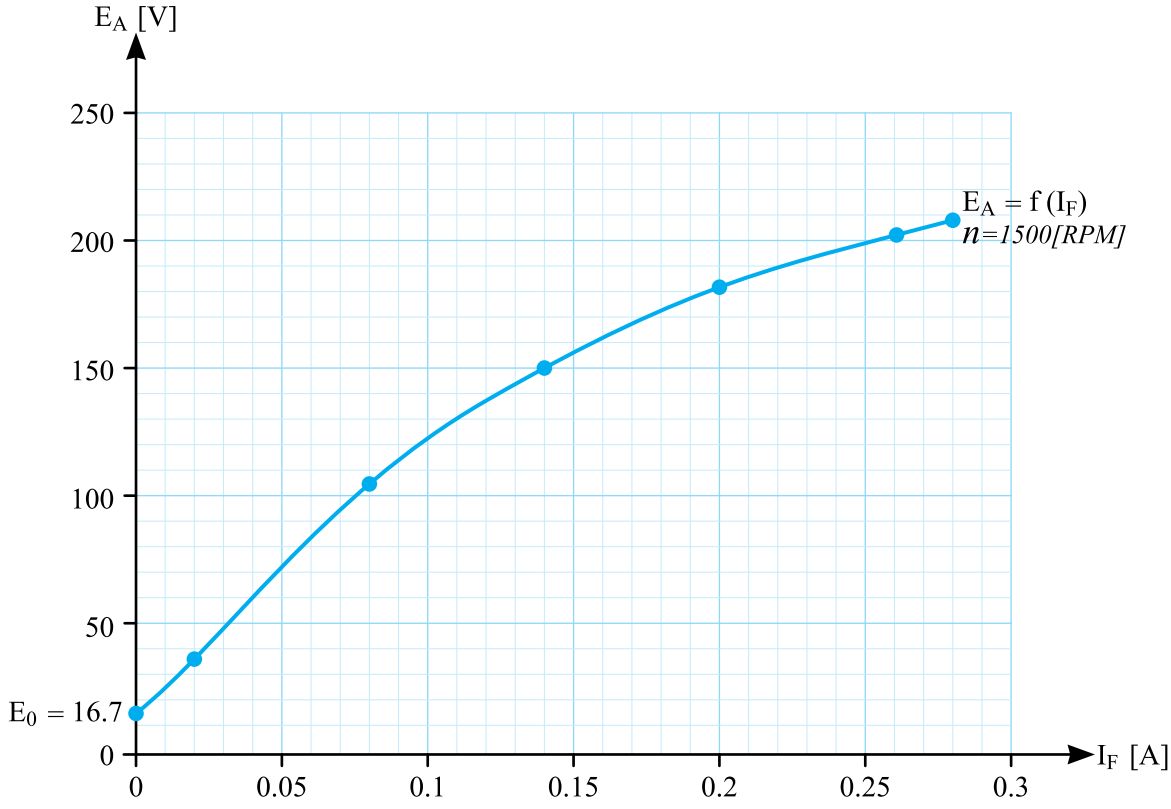


شکل ۱۷ ـ ۳ منحنی رفت و برگشت بی‌باری

در آزمایش بی‌باری جریان تحریک I_F متغیر و نیروی محرکه القایی E_A تابع است. لذا در ترسیم منحنی رفت

و برگشت، جریان تحریک منطبق بر محور x (متغیر) و نیروی محرکه القایی منطبق بر محور y (تابع) انتخاب شده است.

میانگین در منحنی رفت و برگشت شکل (۲۱ ـ ۳) را «منحنی مشخصه بی‌باری» گویند که در شکل (۱۸ ـ ۳) نشان داده شده است.



شکل ۱۸ ـ ۳ منحنی مشخصه بی‌باری در سرعت ۱۵۰۰ RPM

منحنی مشخصه بی‌باری شبیه منحنی مشخصه مغناطیسی مواد فرومغناطیسی است و دارای سه ناحیه «خطی»، «خمیدگی» و «اشباع» است؛ لذا به آن «منحنی مغناطیسی» نیز می‌گویند.

ابتدای منحنی مشخصه بی‌باری تقریباً خطی است. اما با افزایش جریان تحریک I_F، هسته قطب‌ها به اشباع می‌روند و مشخصه بی‌باری به شکل منحنی در می‌آید. پس از اشباع کامل قطب‌ها افزایش جریان تحریک I_F بر نیروی محرکه القایی آرمیچر E_A تقریبا بی‌تاثیر خواهد شد و مقدار E_A را می‌توان ثابت در نظر گرفت.

نیروی محرکه القایی در ابتدای ناحیه خطی منحنی مشخصه بی‌باری به ازای جریان تحریک صفر را «ولتاژ پس‌ماند» می‌نامند و آن را با E_o نشان می‌دهند. در شکل (۲۲ ـ ۳) این مقدار برابر $E_o = ۱۶/۷[V]$ است. ولتاژ پس‌ماند به ازای فوران پس‌ماند مغناطیسی قطب‌ها با گردش رتور در سیم‌پیچی آرمیچر القا می‌شود.

فعالیت ۱ ـ ۳ برنامه صفحه گسترده *Excel xp* یکی از برنامه‌های مجموعه *Microsoft Office* است که جهت انجام عملیاتی نظیر ایجاد نمودار کاربرد دارد. با استفاده از این برنامه نمودار مربوط به جداول آزمایش بی‌باری را رسم کنید.

جریان تحریک مربوط به نقطه کار ژنراتور در انتهای ناحیه خمیدگی و شروع ناحیه اشباع منحنی مشخصه بی‌باری تنظیم خواهد شد. تا ژنراتور «پایدار» بماند و مقدار ولتاژ آن ثابت شود. در صورتی‌که جریان تحریک مربوط به نقطه کار ژنراتور در ناحیه خطی منحنی مشخصه بی‌باری تنظیم شود، به ازای تغییر جزیی جریان تحریک، ولتاژ به شدت تغییر می‌کند و کار ماشین «ناپایدار» می‌شود. و چنان‌چه در ناحیه اشباع منحنی مشخصه بی‌باری تنظیم شود، امکان تنظیم ولتاژ ماشین «محدود» می‌شود.

در صورتی‌که منحنی مشخصه بی‌باری در دور n_1 به‌دست آمده باشد می‌توان آن را بدون تکرار آزمایش بی‌باری در دور n_2 نیز به‌دست آورد. برای این منظور با استفاده از رابطه (۱۵ ـ ۳) در جریان تحریک معین، مقدار نیروی محرکه القایی در سرعت n_1 را به ازای سرعت n_2 به‌دست آورد.

$$\frac{E_{A1}}{E_{A2}} = \frac{n_1}{n_2} \qquad (۳-۱۵)$$

که در این رابطه:

E_{A1} نیروی محرکه القایی آرمیچر در سرعت n_1

E_{A2} نیروی محرکه القایی آرمیچر در سرعت n_2

منحنی مشخصه شکل (۱۸ ـ ۳) به ازای سرعت $n_1 = ۱۵۰۰RPM$ رسم شده است. برای ترسیم این مشخصه در سرعت $n_2 = ۱۰۰۰RPM$ به ازای چند نقطه تحریک I_F، مقادیر نیروی محرکه القایی E_A در سرعت جدید n_2 با استفاده از رابطه (۱۵ ـ ۳) محاسبه و در جدول (۳ ـ ۳) یادداشت شده است.

$I_F[A]$	۰	۰/۰۲	۰/۰۸	۰/۱۴	۰/۲	۰/۲۶	۰/۲۸
$E_{A1}[v]$ $n_1=۱۵۰۰RPM$	۲۶/۷	۳۹/۵	۱۰۷	۱۵۳/۵	۱۸۴	۲۰۴	۲۱۰
$E_{A2}[v]$ $n_2=۱۰۰۰RPM$	۱۱/۱	۲۶/۳	۷۱/۳	۱۰۲/۳	۱۲۲/۶	۱۳۶	۱۴۰

جدول ۳ ـ ۳

نحوه محاسبه E_{A2} به ازای جریان تحریک $I_F = ۰$ در سرعت $n_2 = ۱۰۰۰RPM$ به این صورت است که ابتدا از منحنی مشخصه بی‌باری شکل (۲۰ ـ ۳) به ازای $I_F = ۰$ مقدار نیروی محرکه القایی $E_{A1} = ۲۱$ به‌دست می‌آید. سپس با رابطه (۱۵ ـ ۳) مقدار E_{A2} در سرعت $n_2 = ۱۰۰۰RPM$ محاسبه و در جدول (۳ ـ ۳) یادداشت شده است. بدیهی است به ازای دیگر مقادیر I_F نیز به همین ترتیب عمل می‌شود.

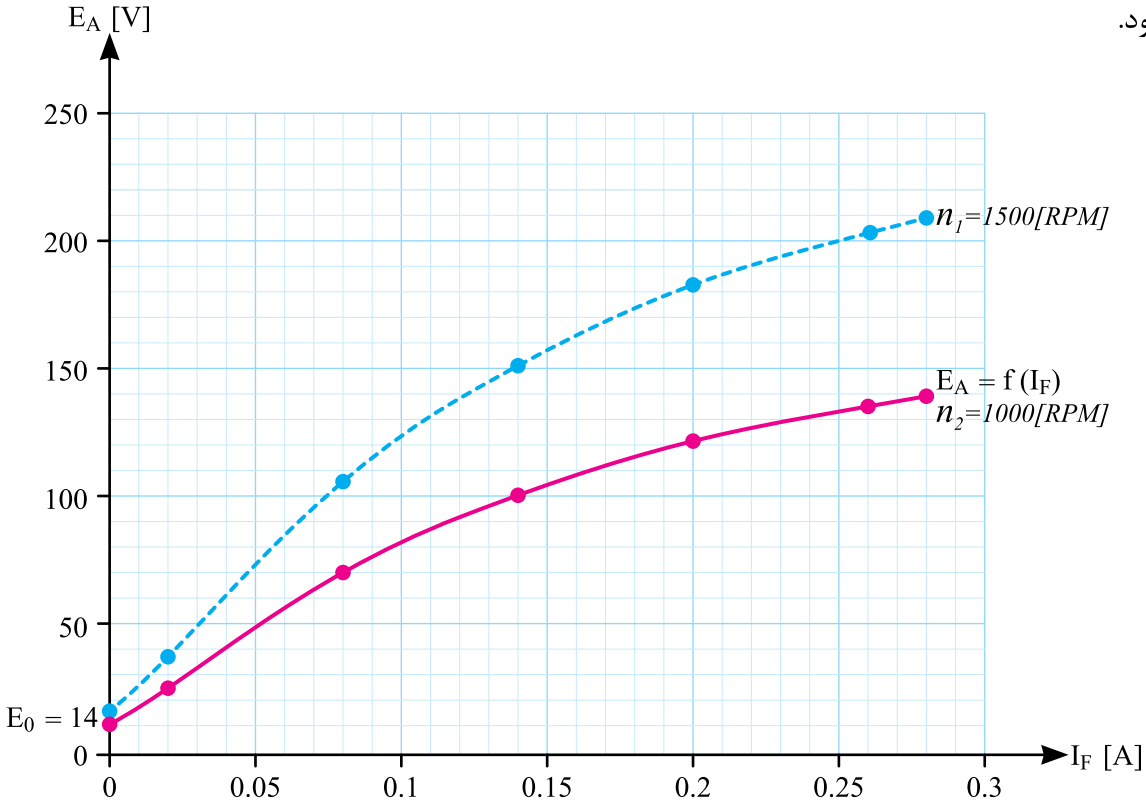
$$\frac{E_{A1}}{E_{A2}} = \frac{n_1}{n_2}$$

$$\frac{۲۱}{E_{A2}} = \frac{۱۵۰۰}{۱۰۰۰}$$

$$E_{A2} = \frac{۱۰۰۰ \times ۱۶/۷}{۱۵۰۰} = ۱۱/۱ \,[V]$$

هر مقدار هر ولتاژ E_{A2} به ازای جریان تحریک I_F جدول (۳ ـ ۳) در شکل (۱۹ ـ ۳) با یک نقطه نشان داده شده است و با اتصال این نقاط به یک‌دیگر منحنی

مشخصه بی‌باری در سرعت $n_2 = 1000RPM$ ترسیم می‌شود.

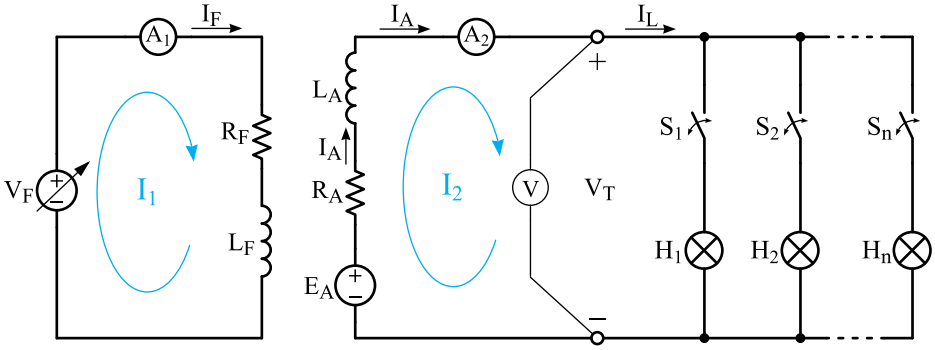


شکل ۱۹ ـ ۳ منحنی مشخصه بی‌باری در سرعت ۱۰۰۰ RPM

۱۱ ـ ۳ ـ منحنی مشخصه بارداری ژنراتور تحریک مستقل

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

برای انجام آزمایش بارداری، ژنراتور تحریک مستقل را مطابق مدار الکتریکی شکل (۲۰ ـ ۳) اتصال می‌دهند.



شکل ۲۰ ـ ۳ مدار الکتریکی آزمایش بارداری ژنراتور تحریک مستقل

آمپرمتر A_1 جریان تحریک I_F و آمپرمتر A_2 جریان بار I_L را که در ژنراتور تحریک مستقل با جریان آرمیچر I_A برابر است را نشان می‌دهند. ولت‌متر V با اتصال به پایانه‌های ژنراتور ولتاژ V_T یا ولتاژ مصرف‌کننده‌ها را نشان می‌دهد. ولتاژ پایانه‌های ژنراتور V_T با نوشتن KVL از رابطه (۱۰ ـ ۳) به‌دست خواهد آمد.

$$KVL2) \quad -E_A + R_A I_2 + V_T = 0$$
$$V_T = E_A - R_A I_2$$

با جایگزینی I_L به جای I_2 رابطه (۱۶ ـ ۳) به‌دست می‌آید:

$$V_T = E_A - R_A I_L \qquad (۳-۱۶)$$

نیروی محرکه القایی آرمیچر $E_A = K \cdot \varphi \cdot \omega$ تابع سرعت و جریان تحریک است. در آزمایش بارداری سرعت و جریان تحریک ثابت نگه داشته می‌شوند؛ لذا نیروی محرکه القایی E_A مقداری ثابت خواهد داشت. پس با توجه به رابطه (۱۶ ـ ۳) در آزمایش بارداری، ولتاژ ژنراتور V_T تابع جریان بار I_L خواهد بود.

در شکل (۲۰ ـ ۳) از لامپ‌های H_1 تا H_n به عنوان بار و از کلیدهای S_1 تا S_n برای اتصال آن‌ها به ژنراتور استفاده شده است.

۱ ـ ۱۱ ـ ۳ ـ آزمایش بارداری

برای انجام آزمایش بارداری ابتدا رتور ژنراتور توسط محرک با سرعت ثابت گرداننده می‌شود. سپس با افزایش ولتاژ منبع مستقل مدار تحریک V_F، جریان تحریک I_F را افزایش می‌دهند تا ولتاژ پایانه‌های ژنراتور V_T به مقدار نامی برسد. اکنون کلیدهای S_1 تا S_n شکل (۲۰ ـ ۳) را به ترتیب می‌بندند و بدین ترتیب 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 یاداشت می‌نمایند. این کار آنقدر ادامه می‌یابد تا جریان بار I_L به مقدار نامی ژنراتور برسد.

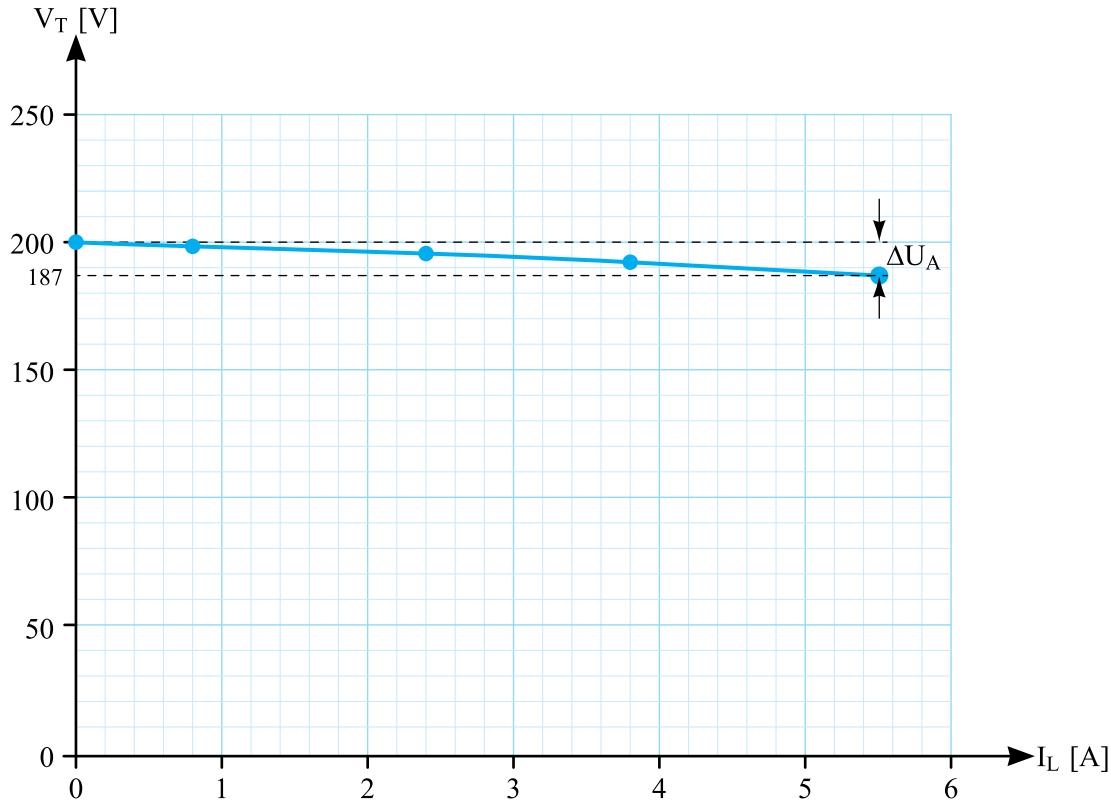
سپس روی یک دستگاه مختصات که محور افقی آن جریان بار I_L و محور عمودی آن ولتاژ پایانه‌های ژنراتور V_T میعنی را مشخص می‌نمایند تا «منحنی مشخصه بارداری» ژنراتور تحریک مستقل به‌دست آید.

جدول (۴ ـ ۳) نتیجه آزمایش بارداری ژنراتور تحریک مستقل ۱ kw، ۵/۵ آمپر ۲۰۰ ولتی را در سرعت ۱۵۰۰ RPM نشان می‌دهد.

I_L [A]	۰	۰/۸	۲/۴	۳/۸	۱۵/۵
V_T [V]	۲۰۰	۱۹۸	۱۹۵	۱۹۲	۱۸۷

جدول ۴ ـ ۳ نتیجه آزمایش بارداری

نقاط نشان‌دهنده مقدار هر ولتاژ به ازای جریان بار معین جدول (۴ ـ ۳) در شکل (۲۱ ـ ۳) نشان داده شده است. با اتصال نقاط به یک‌دیگر منحنی مشخصه بارداری ترسیم شده است.



شکل ۲۱ ـ ۳ منحنی مشخصه بارداری ژنراتور تحریک مستقل

در آزمایش بارداری جریان بار I_L متغیر و ولتاژ پایانه‌های ژنراتور V_T تابع است. لذا جریان بار منطبق بر محور x (متغیر) و ولتاژ V_T منطبق بر محور y (تابع) انتخاب شده است.

فعالیت ۲ ـ ۳ ـ با استفاده از برنامه *Excel* نمودار مربوط به جدول (۴ ـ ۳) را رسم کنید.

منحنی مشخصه بارداری شکل (۲۱ ـ ۳) نشان می‌دهد افزایش جریان بار I_L باعث کاهش ولتاژ ترمینال ژنراتور V_T خواهد شد. این کاهش ولتاژ را «افت ولتاژ آرمیچر» گویند و با ΔU_A نشان می‌دهند.

افت ولتاژ آرمیچر ΔU_A تابع جریان بار I_L است و عواملی که سبب ایجاد آن خواهند شد عبارت است از:

۱ ـ مقاومت اهمی سیم‌پیچی آرمیچر

۲ ـ اثرات مغناطیسی عکس‌العمل آرمیچر و کموتاسیون

افت ولتاژ ناشی از مقاومت اهمی سیم‌پیچی آرمیچر با «$R_A I_A$» و افت ولتاژ ناشی از اثرات مغناطیسی با «ε» نشان داده می شوند. بنابراین برای افت ولتاژ آرمیچر ΔU_A رابطه (۱۷ ـ ۳) نوشته خواهد شد.

$$\Delta U_A = R_A I_A + \varepsilon \qquad (۳-۱۷)$$

منحنی مشخصه بارداری شکل (۱۴ ـ ۳) هم‌چنین نشان می‌دهد، افت ولتاژ آرمیچر ΔU_A همان اختلاف ولتاژ ترمینال ژنراتور به ازای $I_L = ۰$ یعنی ولتاژ بی‌باری یا همان E_A با ولتاژ بارداری V_T است که با رابطه (۱۸ ـ ۳) نشان داده می‌شود.

$$\Delta U_A = E_A - V_T \qquad (۳-۱۸)$$

روش متداول اندازه‌گیری افت ولتاژ ناشی از اثرات مغناطیسی ε استفاده از منحنی مشخصه بارداری و روابط (۱۷ ـ ۳) و (۱۸ ـ ۳) است که در مثال (۷ ـ ۴) آورده شده است.

مثال ۷ ـ ۴ ـ منحنی مشخصه بارداری شکل (۱۶ ـ ۳) مربوط به ژنراتور تحریک مستقل با مقاومت اهمی سیم‌پیچی آرمیچر $R_A = ۱/۲۵\ \Omega$ است. به ازای جریان بار $I_L = ۵/۵\ A$ مطلوب است:

ـ افت ولتاژ ناشی از اثرات مغناطیسی ε

حل:

ـ با توجه به منحنی مشخصه بارداری به‌دست می‌آوریم.

$$I_L = ۰ \Rightarrow V_T = E_A = ۲۰۰\ [V]$$
$$I_L = ۵/۵\ [A] \Rightarrow V_T = ۱۸۷\ [V]$$

ـ با توجه به رابطه (۱۸ ـ ۳) خواهیم داشت.

$$\Delta U_A = E_A - V_T$$
$$\Delta U_A = ۲۰۰ - ۱۸۷ = ۱۳\ [V]$$

ـ و از رابطه (۱۷ ـ ۳) افت ولتاژ ناشی از اثرات مغناطیسی به‌دست می‌آید.

$$\Delta U_A = R_A I_A + \varepsilon$$
$$۱۳ = ۱/۲۵ \times ۵/۵ + \varepsilon$$
$$\varepsilon = ۶/۱۲۵\ [V]$$

ـ درصد تنظیم ولتاژ از رابطه (۸ ـ ۳) به‌دست می‌آید.

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

$$\%V_R = \frac{۲۰۰ - ۱۸۷}{۱۸۷} \times ۱۰۰ = \%۶/۹۵$$

۱۲ ـ ۳ ـ کاربرد ژنراتور تحریک مستقل

پایداری ولتاژ ژنراتور تحریک مستقل بسیار مناسب و با تغییر جریان بار تقریباً ثابت است. از ژنراتور تحریک مستقل برای شارژ باتری‌ها و تغذیه تحریک ژنراتورهای جریان متناوب در نیروگاه‌های برق استفاده شده است. هم‌چنین خودروهای شهری و بین شهری که قبل از سال ۱۹۷۵ میلادی تولید شده‌اند مجهز به ژنراتور مستقل به منظور شارژ باتری و تامین روشنایی بوده‌اند.

پرسش ۴ ـ ۳

پرسش‌های کامل کردنی

۱ ـ منحنی مشخصه بی‌باری از ..... به‌دست می‌آید.

۲ ـ منحنی مشخصه بی‌باری دارای سه ناحیه ..... و ..... و ..... است.

۳ ـ منحنی مشخصه بارداری از ..... به‌دست می‌آید.

پرسش‌های صحیح غلط

۱ ـ هدف از انجام آزمایش بی‌باری تعیین تاثیر جریان تحریک بر نیروی محرکه القایی در سرعت ثابت است.

صحیح ☐ غلط ☐

۲ ـ هدف از انجام آزمایش بارداری تعیین تاثیر ولتاژ ژنراتور بر جریان بار در سرعت ثابت است.

صحیح ☐ غلط ☐

۳ ـ از ژنراتور تحریک مستقل برای تغذیه تحریک ژنراتورهای جریان متناوب در نیروگاه‌های برق استفاده

می‌شود.

صحیح ☐ غلط ☐

پرسش‌های تشریحی

۱ ـ نحوه انجام آزمایش بی‌باری ژنراتور تحریک مستقل را شرح دهید.

۲ ـ چرا در آزمایش بی‌باری سرعت ژنراتور باید ثابت نگه داشته شود؟

۳ ـ هدف از انجام آزمایش بی‌باری را بنویسید.

۴ ـ نحوه انجام آزمایش بارداری ژنراتور تحریک مستقل را شرح دهید.

۵ ـ چرا در آزمایش بارداری سرعت و جریان تحریک باید ثابت نگه داشته شود؟

۶ ـ هدف از انجام آزمایش بارداری را بنویسید.

۷ ـ کاربرد ژنراتور تحریک مستقل را بنویسید.

تمرین ۳ ـ ۳

۱ ـ میانگین نتایج رفت و برگشت آزمایش بی‌باری ژنراتور تحریک مستقل در سرعت ۱۳۰۰ RPM به شرح زیر است.

I_F[A]	۰	۰/۲	۰/۶	۰/۸	۱	۱/۲
E_A [v]	۱۲	۴۴	۹۸	۱۱۳	۱۲۲	۱۲۷

مطلوب است:

الف ـ منحنی مشخصه بی‌باری در سرعت ۱۳۰۰ RPM

ب ـ منحنی مشخصه بی‌باری در سرعت ۱۵۰۰ RPM

۲ ـ نتیجه آزمایش بارداری ژنراتور تحریک مستقل ۴۶۰ v، ۴۰ A با مقاومت اهمی سیم‌پیچ آرمیچر ۰/۳ Ω به شرح زیر است.

I_L[A]	۰	۱۰	۲۰	۳۰	۴۰
V_T[V]	۴۸۰	۴۷۸	۴۷۵	۴۷۱	۴۶۰

مطلوب است:

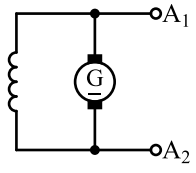
الف ـ منحنی مشخصه بارداری

ب ـ افت ولتاژ آرمیچر در بارنامی

ج ـ افت ولتاژ ناشی از اثرات مغناطیسی در بارنامی

۱۳ ـ ۳ ـ ژنراتور جریان مستقیم با تحریک شنت

ژنراتور جریان مستقیم با تحریک شنت را به اختصار «ژنراتور شنت[۱]» گویند. در ژنراتور شنت مدار تحریک با مدار آرمیچر به صورت موازی اتصال داده می‌شود و بین آن‌ها ارتباط الکتریکی برقرار می‌باشد. علامت اختصاری ژنراتور شنت در شکل (۲۲ ـ ۳) نشان داده شده است.

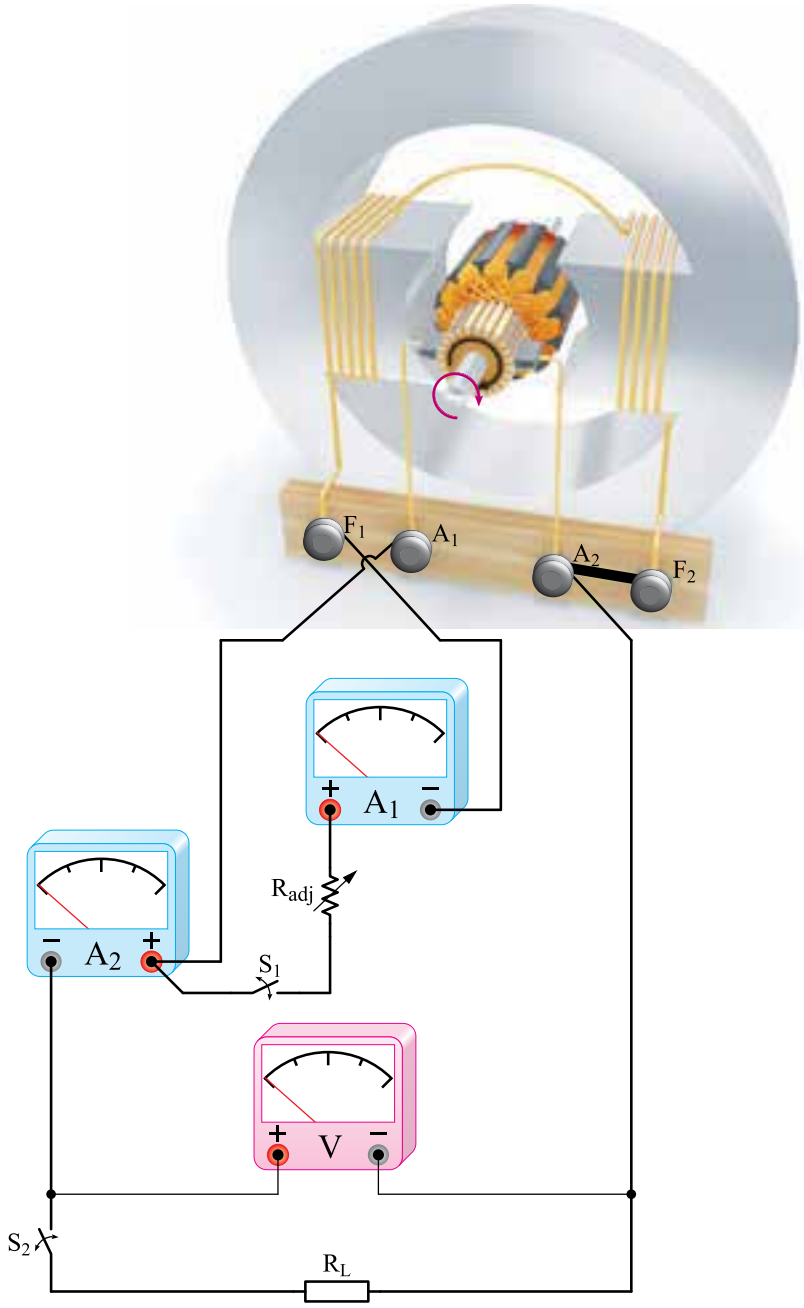


شکل ۲۲ ـ ۳ نقشه اختصاری ژنراتور شنت

طرح ساختمانی ژنراتور شنت در شکل (۲۳ ـ ۳) نشان داده شده است.

در این شکل استاتور دارای قطب‌های برجسته می‌باشد. سیم‌پیچی تحریک بر روی قطب‌ها قرار داده شده است. این سیم‌پیچی با تعداد دور زیاد برای جریان کم به گونه‌ای طراحی می‌شود تا نیروی محرکه مغناطیسی $(\theta=NI)$ مورد نیاز را تامین نماید. سیم‌پیچی تحریک با سیم‌پیچی آرمیچر موازی است.

۱. Shunt Generator



شکل ۲۳ ـ ۳ طرح ساختمانی ژنراتور شنت

لـذا ولتـاژ سـیم‌پیچ تحریک برابـر ولتـاژ آرمیچر می‌باشـد و جریان آن از ولتاژ آرمیچر تامین می‌شـود. برای تغییر و تنظیم جریان تحریک از مقاومت متغیری با سیم‌پیچ تحریک، سـری می‌شود. این مقاومت متغیر را «مقاومت تنظیم‌کننده جریان تحریک» می‌نامند و با R_{adj} نشـان می‌دهند. مصرف‌کننده R_L توسط کلید S به ترمینال‌های A_1 و A_2 آرمیچر اتصال داده شده است تا آن نیز همانند سـیم‌پیچ تحریک با سـیم‌پیچ آرمیچر موازی شـود و از ولتاژ و جریان آرمیچر تغذیه‌کند. برای اندازه‌گیری جریان تحریک I_F، آمپرمتر A_1 و جریان بار I_L، آمپرمتر A_2 و ولتاژ پایانه‌های ماشـین V_T، ولت‌متر V در مدار قرار داده شده‌اند.