فصل سوم

ژنراتورهای جریان مستقیم

هدف‌های رفتاری

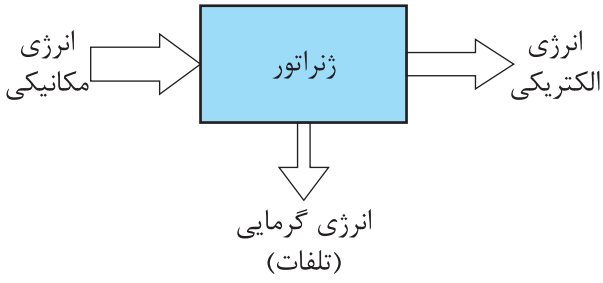
پس از پایان این فصل از فراگیر انتظار می‌رود که:

- ژنراتورهای جریان مستقیم را تعریف کند و آن‌ها را طبقه‌بندی نماید.
- مشخصات اصلی ژنراتورهای جریان مستقیم را تعریف کند و آن‌ها را از یک‌دیگر تمیز دهد.
- توان، راندمان و تلفات ژنراتورهای جریان مستقیم را تعریف کند و روابط حاکم بر آن‌ها را توضیح دهد.
- تقسیم‌بندی تلفات انرژی در ژنراتورهای جریان مستقیم را توضیح دهد.
- بلوک دیاگرام توازن توان در ژنراتورهای جریان مستقیم را رسم کند و آن را تجزیه و تحلیل نماید.
- ژنراتور تحریک مستقل را تعریف کند و ساختمان داخلی آن را از روی شکل توضیح دهد.
- مدار الکتریکی معادل ژنراتور تحریک مستقل را رسم کند و آن را تجزیه و تحلیل نماید.
- منحنی مشخصه‌های ژنراتور تحریک مستقل را از هم تمیز دهد.
- کاربرد ژنراتور تحریک مستقل را توضیح دهد.
- ژنراتور تحریک شنت را تعریف کند و ساختمان داخلی آن را از روی شکل توضیح دهد.
- مدار الکتریکی معادل ژنراتور تحریک شنت را رسم کند و آن را تجزیه و تحلیل نماید.
- منحنی مشخصه‌های ژنراتور تحریک شنت را از هم تمیز دهد.
- کاربرد ژنراتور تحریک شنت را توضیح دهد.
- ژنراتور تحریک سری را تعریف کند و ساختمان داخلی آن را از روی شکل توضیح دهد.
- مدار الکتریکی معادل ژنراتور تحریک سری را رسم کند و آن را تجریه و تحلیل نماید.
- منحنی مشخصه‌های ژنراتور تحریک سری را از هم تمیز دهد.
- کاربرد ژنراتور تحریک سری را توضیح دهد.
- ژنراتور کمپوند را تعریف کند و ساختمان داخلی آن را از روی شکل توضیح دهد.
- مدار الکتریکی معادل ژنراتور کمپوند را رسم کند و آن را تجزیه و تحلیل نماید.
- منحنی مشخصه‌های ژنراتور کمپوند را از هم تمیز دهد.

- کاربرد ژنراتور کمپوند را توضیح دهد.
- ضرورت کنترل ولتاژ در ژنراتورهای جریان مستقیم را توضیح دهد.
- عوامل موثر در مقدار ولتاژ ژنراتورهای جریان مستقیم را توضیح دهد.
- روش‌های تنظیم ولتاژ در ژنراتورهای جریان مستقیم را توضیح دهد.
- به پرسش‌های این فصل پاسخ دهد.
- تمرین‌های این فصل را حل نماید.

مقدمه

ژنراتورهای جریان مستقیم[1] ماشین‌هایی هستند که سیستم الکتریکی آن‌ها جریان مستقیم است و انرژی مکانیکی را به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کنند. بدیهی است در فرآیند این تبدیل، بخشی از انرژی به گرما تبدیل خواهد شد که از آن به عنوان «تلفات» نام برده می‌شود. شکل (۱ ـ ۳)



شکل ۱ ـ ۳

از مزایای برجسته ژنراتورهای جریان مستقیم این است که دارای مشخصه‌های کاری هستند که به سادگی قابل کنترل می‌باشند. ویژگی ژنراتورهای جریان مستقیم این است که با ترکیب‌های متنوع در ارتباط مدار تحریک با مدار آرمیچر می‌توان به ژنراتورهای تحریک مستقل، تحریک موازی، تحریک سری و تحریک ترکیبی دست یافت که هر یک از آن‌ها مشخصه‌های ولت ـ آمپر منحصر به خود را دارند.

در سال‌های اخیر فناوری الکترونیک قدرت، آن‌چنان پیشرفت کرده است که در حوزه‌هایی که در گذشته در انحصار ژنراتورهای جریان مستقیم بود، اکنون از مدارهای الکترونیکی استفاده می‌شود. البته این به آن مفهوم نیست که امروزه دیگر ژنراتورهای جریان مستقیم تولید نمی‌شوند؛ بلکه تنوع و انعطاف و سادگی نسبی سیستم‌های تحریک آن‌ها تداوم حضورشان در حوزه وسیعی از کاربردها را تضمین کرده است. بعضی از کاربردهای ژنراتورهای جریان مستقیم در جوشکاری با کیفیت بالا در اسکلت‌های فلزی و دینامومتر برای اندازه‌گیری گشتاور و تاکومتر برای اندازه‌گیری سرعت و در مدارات کنترل با سیستم‌های حلقه بسته و آبه‌کاری الکتریکی و نظایر آن غیرقابل جایگزین است. وقتی آبه‌کاری در تجهیزات گران قیمت قطعات هواپیما و غیره لازم باشد ولتاژ DC ثابت بدون وقفه به‌وسیله چند ژنراتور جریان مستقیم که به طور موازی با هم کار می‌کنند تامین می‌شود.

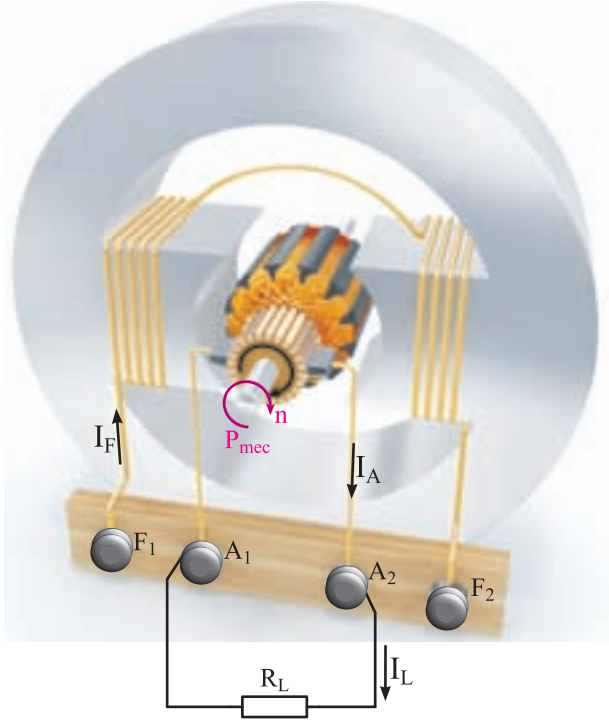
در شکل (۲ ـ ۳) یک ژنراتور جریان مستقیم نشان داده شده است.

۱. Direct Current Generators

شکل ۲ ــ ۳ ژنراتور جریان مستقیم

۱ ــ ۳ ــ پخش توان[1] و تلفات در ژنراتورهای جریان مستقیم

طرح ساختمانی ژنراتور جریان مستقیم در شکل (۳ ـ ۳) نشان داده شده است.



شکل (۳ ــ ۳) طرح ساختمانی ژنراتور جریان مستقیم

قسمت ساکن یا استاتور قطب‌های برجسته دارد. در صورتی‌که سیم‌پیچی قطب‌ها توسط جریان I_F تحریک شوند، فوران ناشی از آن در فاصله هوایی توزیع خواهد شد.

رتور یا قسمت متحرک که سیم‌پیچی آرمیچر در شیارهای آن سیم‌بندی شده است درون میدان مغناطیسی قطب‌های استاتور قرار داده شده است. با گرداندن رتور در سیم‌پیچی آرمیچر نیروی محرکه القایی E_A القا می‌شود و ماشین جریان مستقیم حالت ژنراتوری به خود گرفته و در پایانه‌های A_1 و A_2 ولتاژ V_T ایجاد می‌شود. در صورت اتصال بار R_L به پایانه‌های A_1 و A_2 جریان I_A در سیم‌پیچی آرمیچر و جریان I_L در بار R_L جاری می‌شود.

توان مکانیکی[2] مورد نیاز برای گرداندن محور رتور توسط موتور دیزلی یا بنزینی یا هر محرک دیگری تامین می‌شود.

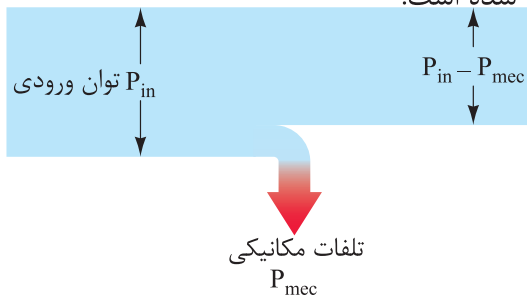
در ژنراتورهایی که توان الکتریکی مورد نیاز تحریک P_F توسط منبع خارجی تامین می‌شود، مجموع توان مکانیکی و توان تحریک P_F به عنوان توان ورودی P_{in} محسوب می‌شود. در صورتی‌که توان الکتریکی مورد نیاز تحریک P_F توسط خودِ ژنراتور تامین شود، توان مکانیکی آن‌ها به عنوان توان ورودی P_{in} محسوب خواهد شد.

با گردش رتور، اصطکاک میان قسمت‌های ساکن و متحرک ایجاد خواهد شد. بخشی از این اصطکاک در یاتاقان‌ها است که ناشی از سایش میان قسمت متحرک با قسمت ساکن و بخش دیگر آن در اثر اصطکاک بین قسمت‌های متحرک فن ماشین با هوا به وجود می‌آید.

مقداری از توان ورودی P_{in} که در اثر اصطکاک به

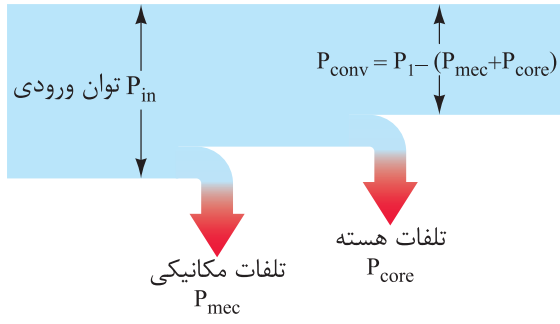
۱. Power Flow ۲. Mechanical Power

گرما تبدیل می‌شود را «تلفات مکانیکی[1]» گویند و با P_{mec} نشان می‌دهند. تلفات مکانیکی P_{mec} از توان ورودی P_{in} می‌کاهد. این فرآیند در شکل (۴ ـ ۳) نشان داده شده است.



شکل ۴ ـ ۳

با جاری شدن فوران در هسته استاتور و رتور و در اثر گرداندن رتور، تلفات فوکو P_F و تلفات هیسترزیس P_H در هسته استاتور و رتور به‌وجود می‌آید. مقداری از توان ورودی P_{in} که در اثر تلفات فوکو و هیسترزیس درون هسته به گرما تبدیل می‌شود را «تلفات هسته[2]» گویند و با P_{core} نشان می‌دهند. تلفات هسته P_{core} همراه با تلفات مکانیکی P_{mec} از توان ورودی P_{in} می‌کاهد و بعد از کم شدن، توان باقی‌مانده را «توان تبدیل شده[3]» یا «توان الکترومغناطیسی» می‌گویند و با P_{conv} نشان می‌دهند. این فرآیند در شکل (۵ ـ ۳) نشان داده شده است.



شکل ۵ ـ ۳

توان تبدیل شده P_{conv} شکل الکتریکی دارد و از رابطه (۱ ـ ۳) نیز قابل محاسبه است.

$$P_{conv} = E_A \cdot I_A \qquad (۳-۱)$$

در این رابطه:

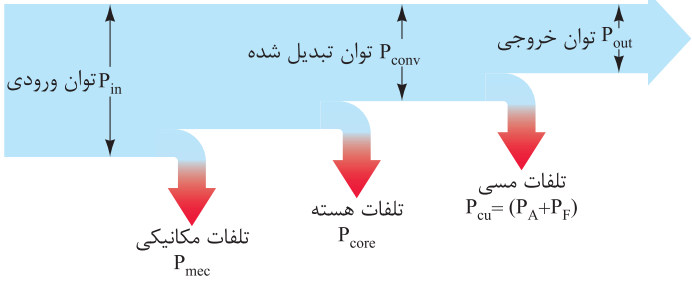
P_{conv} توان تبدیل شده [w]

E_A نیروی محرکه القایی آرمیچر [V]

I_A جریان آرمیچر [A]

می‌باشد.

با جاری شدن جریان در سیم‌پیچی‌های آرمیچر و تحریک آن، این سیم‌پیچی‌ها گرم می‌شوند. مقداری از توان تبدیل شده P_{conv} که در سیم‌پیچی‌ها به گرما تبدیل می‌شود را «تلفات مسی[4]» گویند و با P_{cu} نشان می‌دهند. بخشی از تلفات مسی که در سیم‌پیچی آرمیچر می‌باشد را «تلفات آرمیچر» گویند و با P_A نشان می‌دهند. بخش دیگر تلفات مسی در سیم‌پیچی تحریک بوده و آن را «تلفات تحریک» گویند و با P_F نشان می‌دهند[5]. تلفات مسی (P_A+P_F) از توان تبدیل شده P_{conv} می‌کاهد و بعد از کم شدن، توان باقی‌مانده را «توان خروجی» گویند و با P_{out} نشان می‌دهند. این فرآیند در شکل (۶ ـ ۳) نشان داده شده است. به این شکل «نمودار پخش توان[6]» در ژنراتورهای جریان مستقیم گویند.



شکل ۶ ـ ۳ نمودار پخش توان در ژنراتورهای جریان مستقیم

۱. Mechanical Losses ۲. Core Losses ۳. Converted Power ۴. Copper Losses

۵. معمولاً تلفات جاروبک‌ها در تلفات آرمیچر منظور می‌شود. در صورت وجود سیم‌پیچی جبران‌گر و قطب کمکی، تلفات مسی آن‌ها محاسبه و منظور خواهد شد.

۶. Power Flow Diagram

توان خروجی P_{out} الکتریکی است و از رابطه (۲ ـ ۳) نیز قابل محاسبه است.

$$P_{out} = V_T \cdot I_L \qquad (۳-۲)$$

که در این رابطه:

P_{out} توان خروجی [W]

V_T ولتاژ ترمینال‌های ژنراتور [V]

I_T جریان بار [A]

مثال ۱ ـ ۳ ـ ژنراتور جریان مستقیمی ۴ kw با تلفات مسی ۳۰۰ w و هسته ۵۰۰ w و مکانیکی ۲۰۰ w مفروض است. مطلوب است:

الف ـ توان تبدیل شده P_{conv}

ب ـ توان ورودی P_{in}

حل:

واحد توان خروجی را به وات تبدیل می‌نماییم:

$$P_{out} = ۴_{KW} \times ۱۰۰۰ = ۴۰۰۰ \, [w]$$

با توجه به نمودار پخش توان شکل (۶ ـ ۳) داریم:

$$P_{conv} = P_{out} + (P_A + P_F)$$

$$P_{conv} = ۴۰۰۰ + (۳۰۰) = ۴۳۰۰ \, [w]$$

$$P_{in} = P_{conv} + P_{core} + P_{mec}$$

$$P_{in} = ۴۳۰۰ + ۵۰۰ + ۲۰۰ = ۵۰۰۰ \, [w]$$

۲ ـ ۳ ـ تلفات کل ژنراتورهای جریان مستقیم

حاصل جمع تلفات در ژنراتورهای جریان مستقیم را «تلفات کل» گویند و آن را با ΔP نشان می‌دهند. با توجه به نمودار پخش توان شکل (۶ ـ ۳) تلفات کل برابر است با:

تلفات کل = تلفات مکانیکی + تلفات هسته + تلفات مسی

و به‌صورت رابطه (۳ ـ ۳) نوشته می‌شود:

$$\Delta P = P_{mec} + P_{core} + P_{cu} \qquad (۳-۳)$$

تفاوت بین توان ورودی P_{in} و توان خروجی P_{out}، تلفات کل ΔP است و آن را با رابطه (۴ ـ ۳) نشان می‌دهند:

$$\Delta P = P_{in} - P_{out} \qquad (۳-۴)$$

تلفات مکانیکی P_{mec} و تلفات هسته P_{core} را «تلفات ثابت» گویند.

زیرا تلفات مکانیکی تابع سرعت محور آرمیچر n است و تلفات هسته تابع نیروی محرکه القایی آرمیچر E_A می‌باشد. در ژنراتورهای جریان مستقیم سعی می‌شود کمیت‌های سرعت و نیروی محرکه القایی آرمیچر ثابت نگه داشته شوند. در این صورت تلفات مکانیکی و هسته که تابع این دو کمیت هستند نیز مقداری ثابت خواهند داشت.

تلفات مسی شامل تلفات آرمیچر P_A و تلفات تحریک P_F را «تلفات متغیر» گویند. زیرا تلفات آرمیچر متناسب با مجذور جریان آرمیچر I_A و تلفات تحریک متناسب با مجذور جریان تحریک I_F می‌باشد. مقادیر جریان‌های آرمیچر و تحریک با توجه به نوع ژنراتور به جریان مصرف‌کننده I_L بستگی دارد و جریان مصرف کننده با تغییر مصرف کننده، تغییر می‌کند، لذا تلفات مسی تغییر می‌کند.

مثال ۲ ـ ۳ ـ یک ژنراتور جریان مستقیم توسط موتور دیزلی به قدرت ۱۰HP گردانده می‌شود. اگر

تلفات مکانیکی ۲۵۰ w و تلفات هسته ۱۶۵ w و تلفات مسی ۶۲۵ w باشد مطلوب است:

الف ـ تلفات کل

ب ـ توان خروجی

حل:

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

$$\Delta P=P_{mec}+P_{core}+(P_A+P_F)$$
$$\Delta P=۲۵۰+۱۶۵+۶۲۵=۹۹۰[w]$$

واحد توان ورودی بر حسب اسب بخار HP است؛ آن را به وات تبدیل می‌کنیم:

$$P_{in}=۱۰_{HP}\times ۷۴۶=۷۴۶۰[w]$$

توان خروجی از رابطه (۴ ـ ۳) به‌دست می‌آید:

$$\Delta P=P_{in}-P_{out}$$
$$P_{out}=P_{in}-\Delta P$$
$$P_{out}=۷۴۶۰-۹۹۰=۶۴۷۰[w]$$

۳ ـ ۳ ـ بازده ژنراتورهای جریان مستقیم

در ژنراتورهای جریان مستقیم توان ورودی P_{in} مکانیکی است و توان خروجی P_{out} الکتریکی می‌باشد. نسبت توان خروجی به توان ورودی را «بازده[۱]» یا راندمان گویند و آن را با نشان η می‌دهند و از رابطه (۵ ـ ۳) به‌دست می‌آید:

$$\eta=\frac{P_{out}}{P_{in}} \qquad (۳-۵)$$

بازده را بر حسب درصد بیان می‌کنند و از رابطه (۶ ـ ۳) محاسبه می‌شود:

$$\%\eta=\frac{P_{out}}{P_{in}}\times ۱۰۰ \qquad (۳-۶)$$

بازده بدون واحد است؛ زیرا نسبت دو توان خروجی و ورودی است.

هر چه بازده به ۱۰۰٪ نزدیک شود تلفات ژنراتور کم‌تر خواهد شد.

مثال ۳ ـ ۳ ـ یک ژنراتور جریان مستقیم ۴ kw، ۲۰۰ V با بازده ۸۰٪ مفروض است. مطلوب است:

الف ـ توان ورودی P_{in}

ب ـ جریان بار I_L

حل:

از رابطه (۵ ـ ۳) توان ورودی به‌دست می‌آید:

$$\eta=\frac{P_{out}}{P_{in}}$$
$$P_{in}=\frac{P_{out}}{\eta}$$

بازده ۸۰٪ است؛ یعنی $\frac{۸۰}{۱۰۰}$ که برابر ۰/۸ است.

$$P_{in}=\frac{۴kw}{۰/۸}=۵\ [kw]$$

جریان بار از رابطه (۲ ـ ۳) به‌دست می‌آید:

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

۱. Efficiency

توان خروجی بر حسب kw است آن را به w تبدیل می‌کنیم:

$$P_{out} = ۴_{KW} \times ۱۰۰۰ = ۴۰۰۰ \ [w]$$

$$I_L = \frac{۴۰۰۰}{۲۰۰} = ۲۰ \ [A]$$

پرسش ۱ ـ ۳

پرسش‌های کامل کردنی

۱ ـ فرآیند تبدیل انرژی مکانیکی به الکتریکی توسط ..... صورت می‌گیرد.

۲ ـ توانی که در اثر ..... و ..... در هسته به گرما تبدیل می‌شود را ..... گویند.

۳ ـ تلفات مکانیکی تابع ..... است.

۴ ـ از مزایای ژنراتورهای جریان مستقیم این است که دارای مشخصه‌های کاری هستند که به ..... قابل ..... است.

پرسش‌های صحیح غلط

۱ ـ در ماشین‌های الکتریکی فرآیند تبدیل انرژی برگشت‌پذیر است.

صحیح ☐ غلط ☐

۲ ـ حاصل جمع تلفات در ژنراتورهای جریان مستقیم را تلفات کل گویند.

صحیح ☐ غلط ☐

۳ ـ تلفات آرمیچر و تلفات تحریک را تلفات ثابت گویند.

صحیح ☐ غلط ☐

۴ ـ از ژنراتور جریان مستقیم در جوشکاری و اندازه‌گیری گشتاور استفاده می‌شود.

صحیح ☐ غلط ☐

پرسش‌های تشریحی

۱ ـ ژنراتور الکتریکی را تعریف کنید.

۲ ـ نمودار پخش توان در ژنراتورهای جریان مستقیم را رسم نمایید و کمیت‌های الکتریکی را بر روی آن مشخص کنید.

۳ ـ تلفات مکانیکی را تعریف کنید.

۴ ـ مفهوم توان تبدیل شده در ژنراتورهای جریان مستقیم را بیان کنید.

۵ ـ تلفات تحریک را تعریف کنید.

۶ ـ تلفات ثابت در ژنراتورهای جریان مستقیم کدام‌اند؟ چرا؟

۷ ـ بازده را تعریف کنید.

۸ ـ آیا بازده ژنراتورها به ٪۱۰۰ می‌رسد؟ چرا؟

تمرین ۱ ـ ۳

۱ ـ ژنراتور جریان مستقیمی با توان ۵ HP گردانده می‌شود. در صورتی‌که تلفات هسته ۱۵۰ w و تلفات مسی ۲۲۰ w و تلفات مکانیکی ۱۳۰ w باشد.

مطلوب است:

الف ـ توان تبدیل شده

ب ـ توان خروجی

۲ ـ ژنراتور جریان مستقیم ۱ kw توسط موتور دیزلی به قدرت ۲ HP گردانده می‌شود. اگر تلفات ثابت ۱۰۰ w باشد مطلوب است:

الف ـ تلفات کامل

ب ـ تلفات متغیر

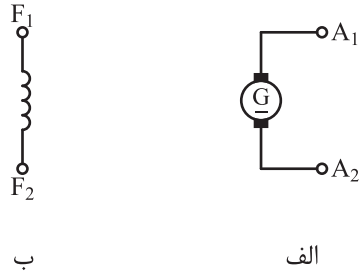
۳ ـ یک ژنراتور جریان مستقیم ۱۲ v، ۱۵ A توسط موتور بنزینی با قدرت ۲۵۰ w گردانده می‌شود. مطلوب است:

الف ـ توان خروجی

ب ـ بازده

۴ ـ ۳ ـ علامت اختصاری و مدار الکتریکی معادل ژنراتور جریان مستقیم

طرح ساختمانی ژنراتور جریان مستقیم شکل (۳ ـ ۳) دو قسمت مجزا از یک‌دیگر را نشان می‌دهد. یکی سیم‌پیچ تحریک درون استاتور و دیگری سیم‌پیچ آرمیچر بر روی رتور می‌باشد. علامت اختصاری این دو قسمت در شکل (۷ ـ ۳) نشان داده شده است. به کمک علامت‌های اختصاری می‌توان نمایش ساده‌ای از ژنراتورهای جریان مستقیم ارایه کرد.



شکل ۷ ـ ۳ الف ـ علامت اختصاری آرمیچر

ب ـ علامت اختصاری سیم‌پیچ تحریک

از علامت اختصاری برای نشان دادن اتصالات الکتریکی در ژنراتورهای جریان مستقیم استفاده می‌شود.

تحلیل الکتریکی ژنراتورهای جریان مستقیم به منظور محاسبه کمیت‌های الکتریکی ولتاژ، جریان و توان با استفاده از مدار الکتریکی معادل امکان‌پذیر است. مدار الکتریکی معادل سیم‌پیچ تحریک یک مدار R_L سری می‌باشد که در شکل (۸ ـ ۳) نشان داده شده است.

شکل ۸ ـ ۳ مدار الکتریکی معادل سیم‌پیچ تحریک

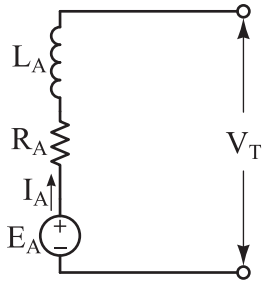
در این شکل:

R_F معادل مقاومت اهمی سیم‌پیچ تحریک

L_F ضریب خود القایی سیم‌پیچ تحریک

I_F جریان سیم‌پیچ تحریک

مدار الکتریکی معادل سیم‌پیچ آرمیچر یک منبع ولتاژ مستقل جریان مستقیم سری با یک مقاومت می‌باشد که در شکل (۹ ـ ۳) نشان داده شده است.



شکل ۹ ـ ۳ مدار الکتریکی معادل سیم‌پیچ آرمیچر

در این شکل:

E_A معادل نیروی محرکه القایی در سیم‌پیچ آرمیچر [V]

R_A معادل مقاومت اهمی سیم‌پیچی آرمیچر [Ω]

L_A ضریب خود القایی سیم‌پیچی آرمیچر [H]

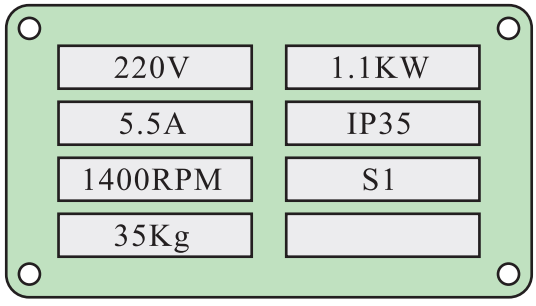
I_A جریان سیم‌پیچی آرمیچر [A]

V_T ولتاژ پایانه‌های ژنراتور [V]

۵ ـ ۳ ـ مشخصات ژنراتورهای جریان مستقیم

ژنراتورهای جریان مستقیم توسط کارخانه سازنده مورد آزمایش‌های متعددی قرار می‌گیرند. نتایجی که از این آزمایش‌ها به‌دست می‌آید به عنوان «مشخصات ژنراتور جریان مستقیم» ارایه می‌شوند. این مشخصات در سه گروه دسته‌بندی می‌شوند. در ادامه به هر یک از این گروه‌ها پرداخته شده است.

۱ ـ گروه اول شامل مشخصاتی است که به روی پلاک ماشین ثبت می‌شود. در شکل (۱۰ ـ ۳) پلاک یک ژنراتور جریان مستقیم نشان داده شده است.



شکل ۱۰ ـ ۳

مشخصاتی که بر روی پلاک ثبت می‌شوند را «مقادیر نامی» می‌نامند. معمولاً ژنراتورها به گونه‌ای طراحی می‌شوند که به ازای مقادیر نامی آسیب نبینند.

مشخصات پلاک شکل (۱۰ ـ ۳) مربوط به ژنراتور جریان مستقیم ۲۲۰ ولتی ۵ آمپری است که با سرعت ۱۴۰۰ دور بر دقیقه باید گردانده شود. توان نامی این ژنراتور ۱/۱ کیلووات است و دارای وزن ۳۵ کیلوگرم و کلاس عایقی IP35 و شرایط کاری S1 می‌باشد.

فعالیت ۱ ـ ۳

درباره کلاس‌های عایقی و شرایط کاری تحقیق کنید.

۲ ـ گروه دوم شامل مشخصاتی است که نتایج آزمایش‌های بی‌باری و بارداری ژنراتور را پس از تنظیم، ترسیم می‌کنند و «منحنی مشخصه[1]» نامیده می‌شوند. در ادامه به این منحنی مشخصه‌ها پرداخته شده است.

۱ ـ ۵ ـ ۳ ـ منحنی مشخصه بی‌باری $E_A=F(I_F)$

منحنی مشخصه بی‌باری تاثیر جریان تحریک I_F بر نیروی محرکه القایی آرمیچر E_A را در سرعت ثابت و بدون بار $I_L=0$ نشان می‌دهد. این مشخصه در بی‌باری به‌دست می‌آید و مشابه منحنی مغناطیسی است؛ لذا آن را «مشخصه مدار باز» یا «مشخصه مغناطیسی» گویند.

۲ ـ ۵ ـ ۳ ـ منحنی مشخصه بارداری $V_T=F(I_L)$

منحنی مشخصه بارداری تاثیر جریان بار I_L بر ولتاژ پایانه‌های ژنراتور V_T در سرعت ثابت و جریان تحریک ثابت را نشان می‌دهد.

۳ ـ ۵ ـ ۳ ـ منحنی مشخصه تنظیم $I_L=F(I_F)$

منحنی مشخصه تنظیم تغییر جریان تحریک I_F را به ازای تغییر جریان بار I_L در سرعت ثابت و ولتاژ ثابت نشان می‌دهد.

۳ ـ گروه سوم شامل مشخصاتی است که از تجزیه و تحلیل اطلاعات مشخصات دسته اول و دوم به‌دست می‌آید محاسبه می‌شوند. یکی از این مشخصات کمیت «تنظیم ولتاژ[2] V_R» است که تغییرات ولتاژ خروجی نسبت به ولتاژ بار را نشان می‌دهد و از رابطه (۷ ـ ۳) به‌دست می‌آید.

۱. Characteristic Curve ۲. Voltage Regulation

$$VR=\frac{E_A-V_T}{V_T} \qquad (۳-۷)$$

تنظیم ولتاژ V_R را به‌صورت درصد بیان می‌کنند و از رابطه (۸ ـ ۳) محاسبه می‌شود.

$$\%VR=\frac{E_A-V_T}{V_T}\times ۱۰۰ \qquad (۳-۸)$$

که در این رابطه:

VR تنظیم ولتاژ

E_A نیروی محرکه القایی آرمیچر

V_T ولتاژ پایانه‌های ژنراتور

هر چه درصد تنظیم ولتاژ کم‌تر باشد، در اثر افزایش جریان بار، ولتاژ پایانه‌های ژنراتور کم‌تر کاهش می‌یابد. بنابراین ولتاژ پایانه‌های ژنراتور V_T از پایداری بیش‌تری برخوردار است.

پرسش ۲ ـ ۳

پرسش‌های کامل کردنی

۱ ـ کمیت‌هایی که بر روی پلاک ثبت می‌شوند را ..... می‌نامند.

۲ ـ منحنی مشخصه باربرداری تاثیر ..... بر ..... در سرعت ثابت و ..... نشان می‌دهد.

۳ ـ منحنی مشخصه بی‌باری تاثیر ..... بر ..... را در ..... و بدون بار نشان می‌دهد.

پرسش‌های صحیح غلط

۱ ـ منحنی مشخصه تنظیم تغییر جریان تحریک را به ازای تغییر جریان بار در سرعت متغیر و ولتاژ ثابت نشان می‌دهد.

صحیح ☐ غلط ☐

۲ ـ نتایجی که از آزمایش‌های ژنراتور به‌دست می‌آید منحنی مشخصه ژنراتور جریان مستقیم نام دارد.

صحیح ☐ غلط ☐

پرسش‌های تشریحی

۱ ـ کاربرد علامت اختصاری در ژنراتورهای جریان مستقیم را بیان کنید.

۲ ـ کاربرد مدار الکتریکی معادل ژنراتورهای جریان مستقیم را توضیح دهید.

۳ ـ اطلاعات پلاک شکل (۱ ـ ۳) را استخراج نمایید و هر یک را توضیح دهید.

۴ ـ منحنی مشخصه بی‌باری را تعریف کنید.

۵ ـ مدار الکتریکی معادل سیم‌پیچ تحریک و آرمیچر را رسم کنید و کمیت آن‌ها را مشخص نمایید.

۶ ـ درصد تنظیم ولتاژ را تعریف کنید و رابطه آن را بنویسید.

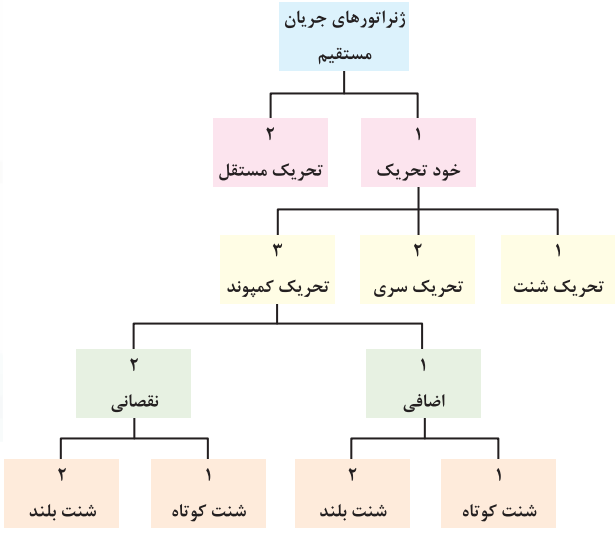
۷ ـ منحنی مشخصه بارداری را تعریف کنید.

۶ ـ ۳ ـ طبقه‌بندی ژنراتورهای جریان مستقیم

ژنراتورهای جریان مستقیم با توجه به نحوه‌ی تامین تغذیه تحریک به ژنراتورهای «تحریک مستقل[۱]» و «خود تحریک[۲]» تقسیم‌بندی شده‌اند. ژنراتورهای خود تحریک نیز بر اساس ارتباط الکتریکی بین مدار آرمیچر با مدار

۱. Separately Excited ۲. Self Excited

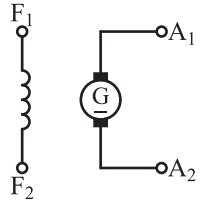
تحریک بـه ژنراتورهای «تحریک شـنت[1]» ، «تحریک سری[2]» و «تحریک کمپوند[3]» تقسیم‌بندی می‌شوند. در شـکل (۱۱ ـ ۳) نحوه تقسـیم‌بندی ژنراتورهای جریان مستقیم نشان داده شده است.



شکل ۱۱ ـ ۳ تقسیم‌بندی ژنراتورهای جریان مستقیم

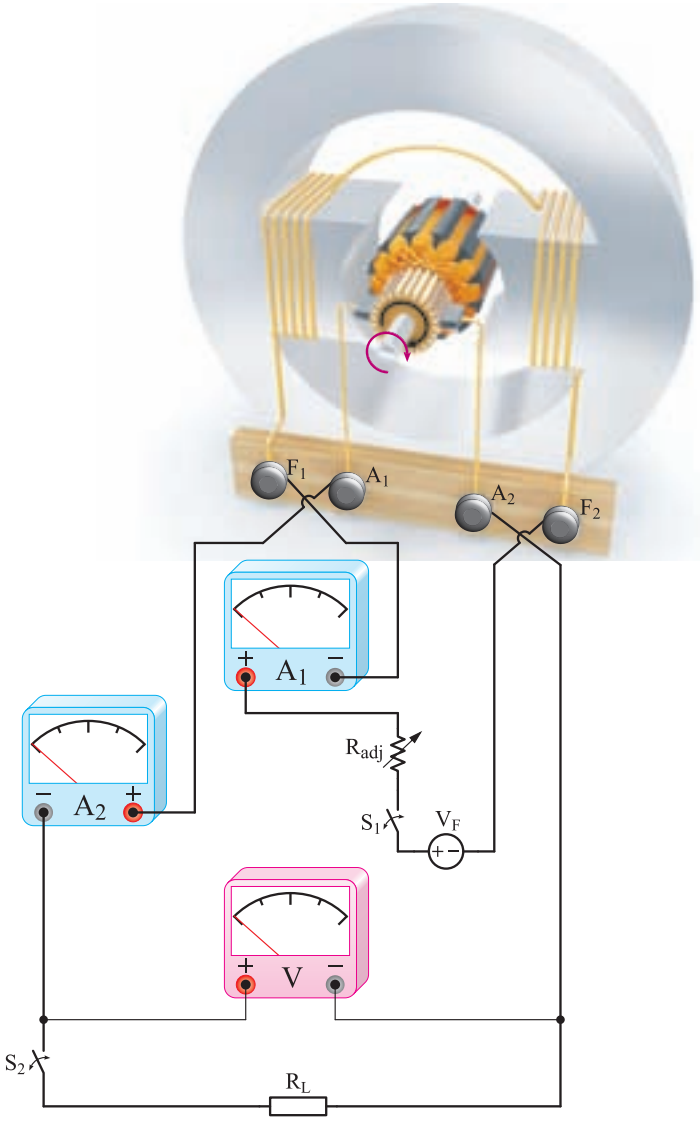
۷ ـ ۳ ـ ژنراتـور جریـان مسـتقیم با تحریک مستقل

ژنراتـور جریان مسـتقیم با تحریک مسـتقل را به اختصار «ژنراتور تحریک مسـتقل» گوینـد. در ژنراتور تحریک مسـتقل ارتبـاط الکتریکی بین مـدار آرمیچر با مدار تحریـک وجود ندارد. علامـت اختصاری موتور تحریک مسـتقل در شـکل (۱۲ ـ ۳) نشـان داده شده است.



شکل ۱۲ ـ ۳ نقشه اختصاری ژنراتور تحریک مستقل

طرح سـاختمانی ژنراتور تحریک مسـتقل در شکل (۱۳ ـ ۳) نشان داده شده است.



شکل ۱۳ ـ ۳ طرح ساختمانی ژنراتور تحریک مستقل

در این شکل استاتور دارای دو قطب برجسته می‌باشد. سـیم‌پیچی تحریک به دور قطب‌ها پیچیده شده است. این سـیم‌پیچی با تعـداد دور زیاد بـرای جریان کم به گونه‌ای طراحی می‌شـود تا نیروی محرکه مغناطیسـی $(\theta=NI)$ مورد نیاز را تامین نماید. سـیم‌پیچی تحریک توسـط منبع ولتاژ مسـتقل V_F تغذیه شده است. برای

۱. Shunt Field ۲. Series Field ۳. Compound Field

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

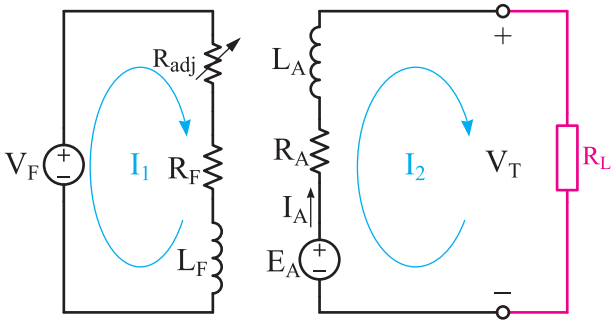
برای راه‌اندازی ژنراتور تحریک مستقل ابتدا کلیدهای S_1 و S_2 شکل (۱۳ ـ ۳) را باز می‌کنند تا مدار الکتریکی آرمیچر و تحریک قطع شود. مقاومت تنظیم‌کننده تحریک را در حداکثر مقدار خود قرار می‌دهند. رتور را توسط محرک با سرعت «نامی» و «ثابت» به گردش در می‌آورند. سپس کلید مدار تحریک S_1 بسته می‌شود و با کم کردن 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.

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

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

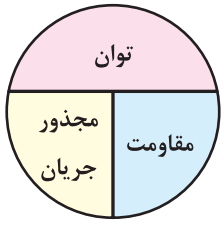
دقـت کنیـد جریان مدارهـای تحریـک و آرمیچر تغییـرات ندارنـد و مدار در حالت «پایدار» می‌باشـد و هم‌چنیـن جریان آن‌ها DC اسـت و فرکانـس ندارد. لذا در سـلف‌های با ضریب خـود القایی L_A و L_F افت ولتاژ ایجاد نمی‌شود و بنابراین در نوشتن KVL لحاظ نخواهد شد.

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.



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

$$P_A = R_A I_A^2 \qquad (۳-۱۴)$$

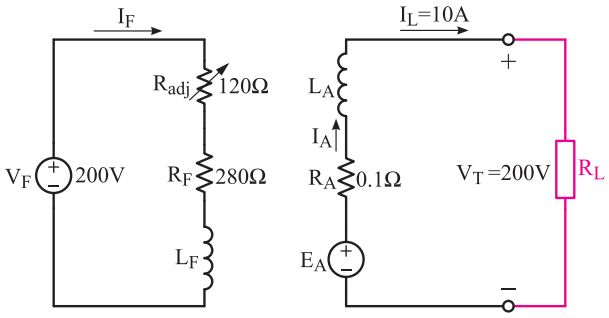
توان خروجی از رابطه (۲ ـ ۳) به‌دست می‌آید.

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

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.

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

مثال ۶ ـ ۳ ـ کمیت‌های الکتریکی 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:

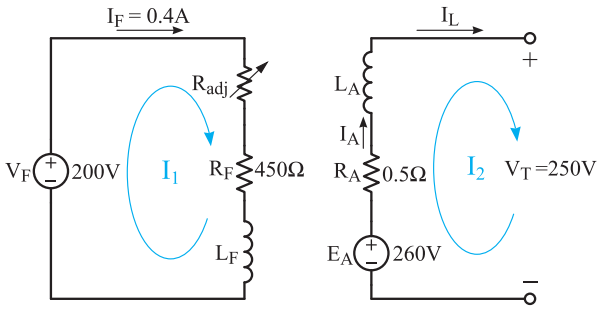
الف ـ مقدار مقاومت تنظیم‌کننده جریان تحریک

ب ـ جریان بار و آرمیچر

ج ـ تلفات مسی و توان خروجی

حل:

ـ مدار معادل الکتریکی ژنراتور جریان مستقیم با تحریک مستقل را رسم می‌کنیم و کمیت‌های آن را می‌نویسیم.



ـ برای مدار تحریک حلقه 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 برای مدار آرمیچر حلقه 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:

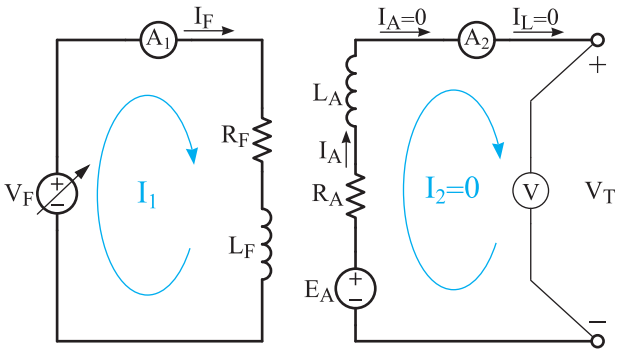
الف ـ جریان مدار آرمیچر

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.

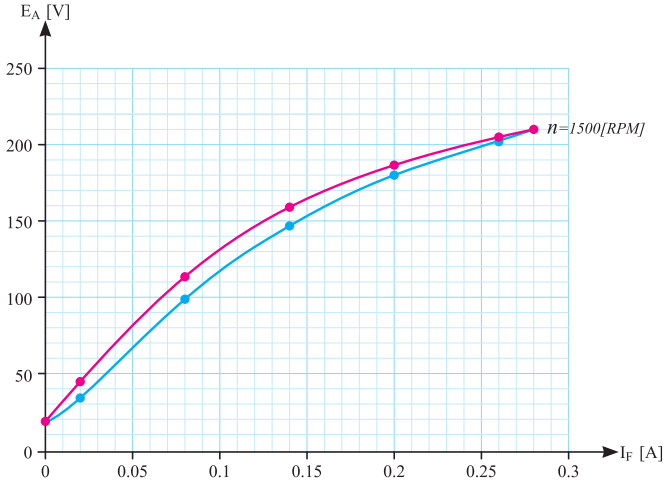
I_F [A]	۰	۰/۰۲	۰/۰۸	۰/۱۴	۰/۲	۰/۲۶	۰/۲۸
E_A [V]	۱۶/۴	۳۴	۹۹	۱۴۸	۱۸۱	۲۰۳	۲۱۰

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.

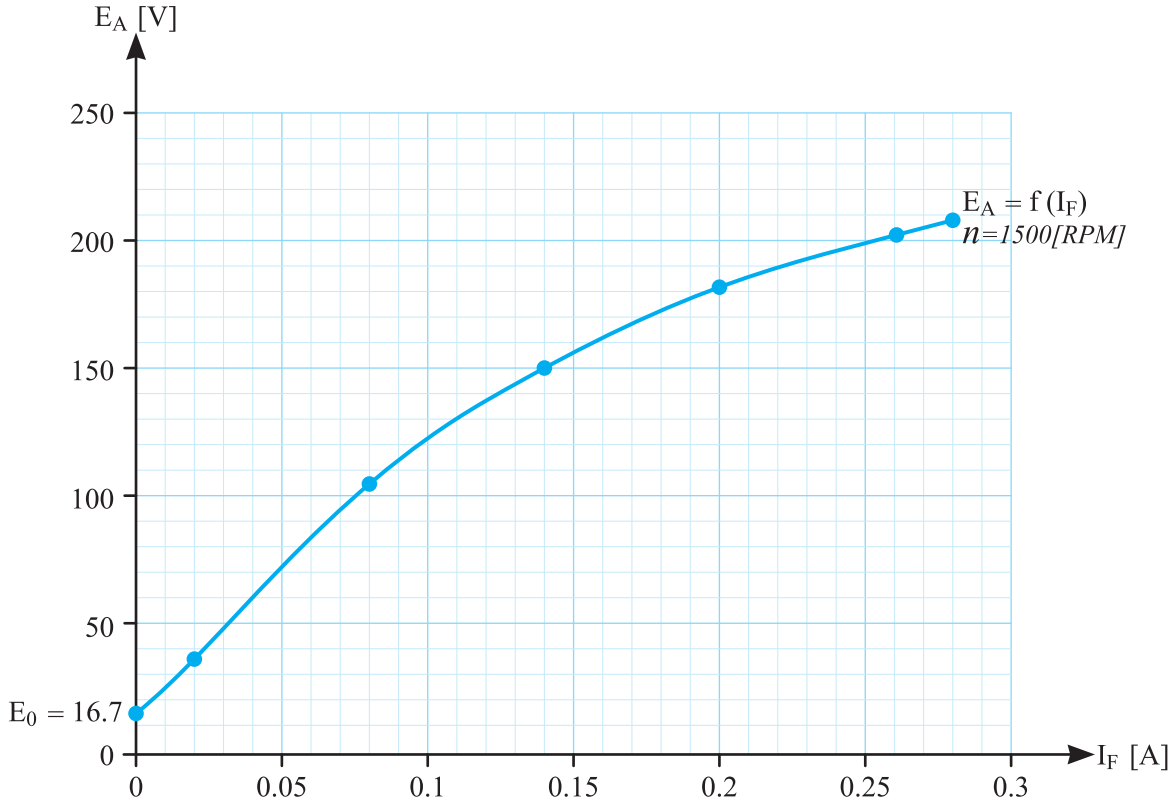


شکل ۱۷ ـ ۳ منحنی رفت و برگشت بی‌باری

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.

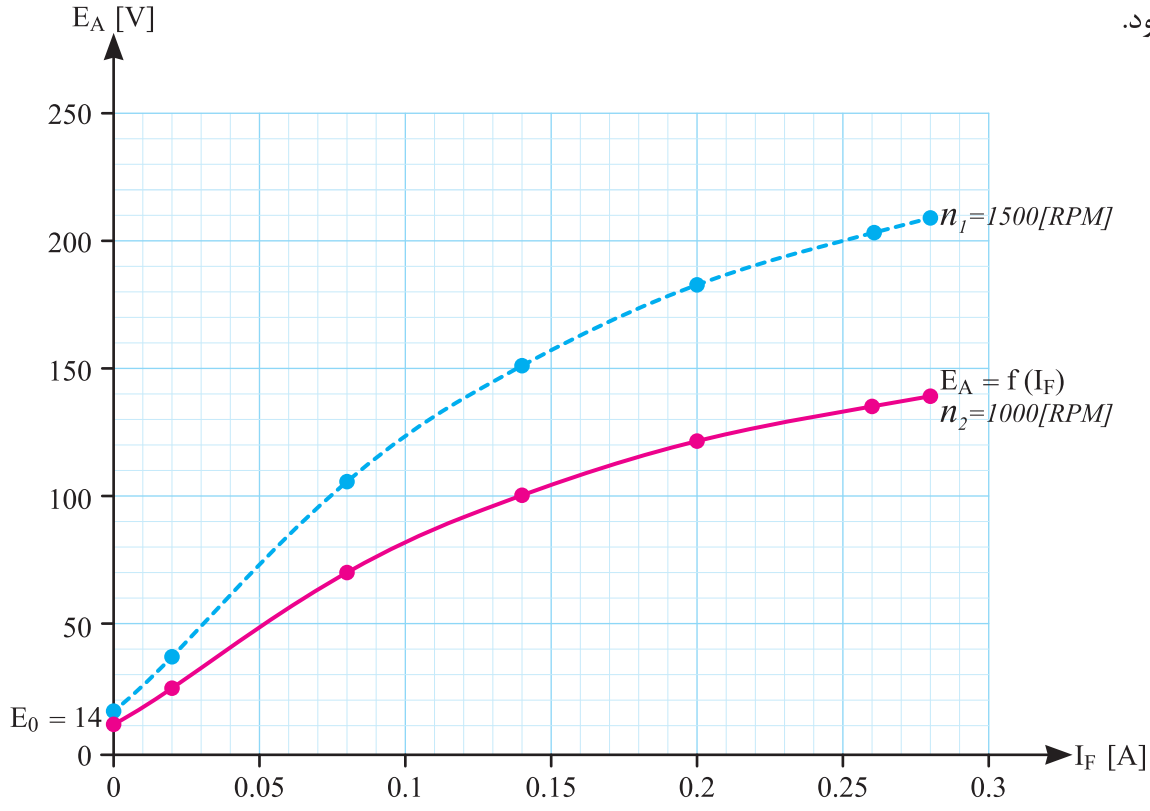
$$\frac{E_{A1}}{E_{A2}} = \frac{n_1}{n_2}$$

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

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

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.

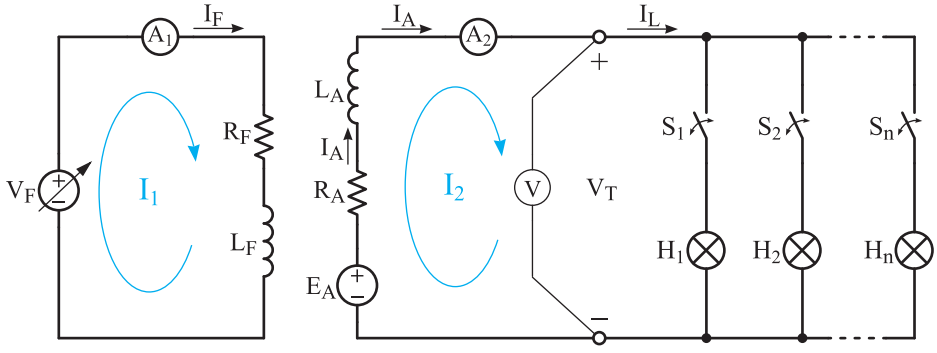


شکل ۱۹ ـ ۳ منحنی مشخصه بی‌باری در سرعت ۱۰۰۰ RPM

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.

$$KVL_2) \quad -E_A + R_A I_2 + V_T = 0$$
$$V_T = E_A - R_A I_2$$

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.

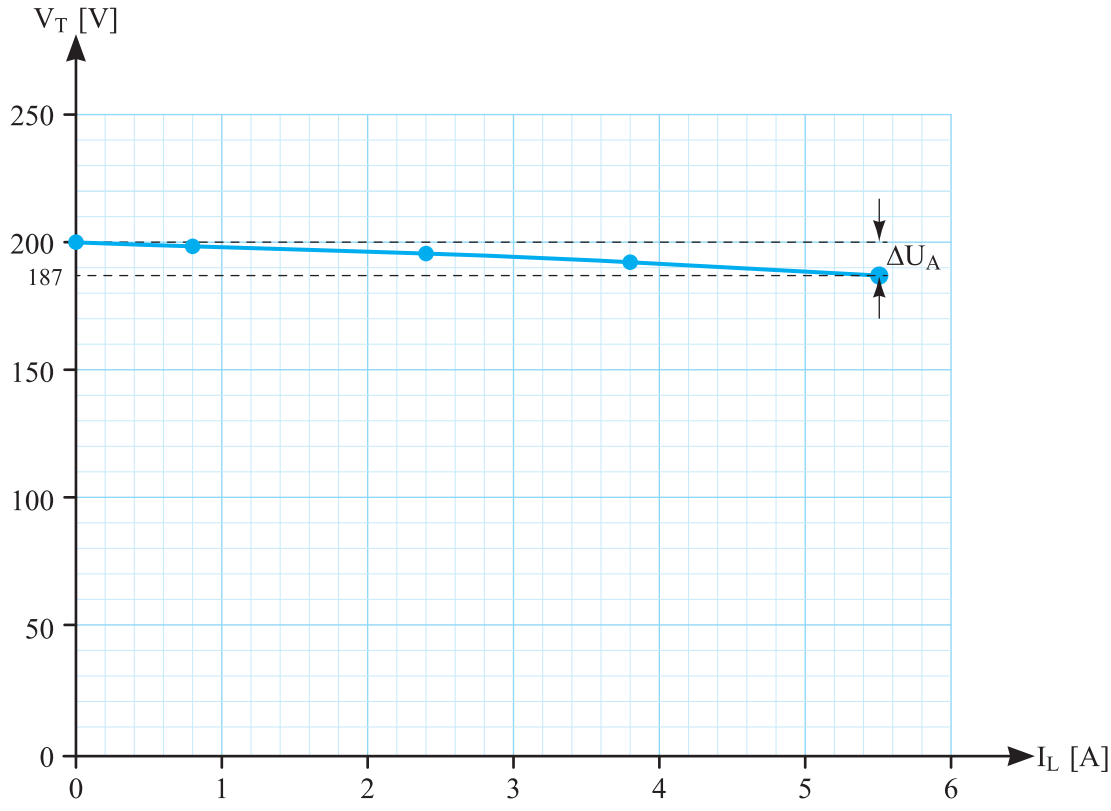
سپس روی یک دستگاه مختصات که محور افقی آن جریان بار I_L و محور عمودی آن ولتاژ پایانه‌های ژنراتور V_T میعنی را مشخص می‌نمایند تا «منحنی مشخصه بارداری» ژنراتور تحریک مستقل به‌دست آید.

جدول (۴ ـ ۳) نتیجه آزمایش بارداری ژنراتور تحریک مستقل ۱ kw، ۵/۵ آمپر ۲۰۰ ولتی را درسرعت 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:

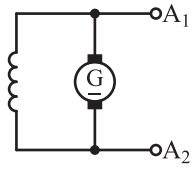
الف ـ منحنی مشخصه بارداری

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.

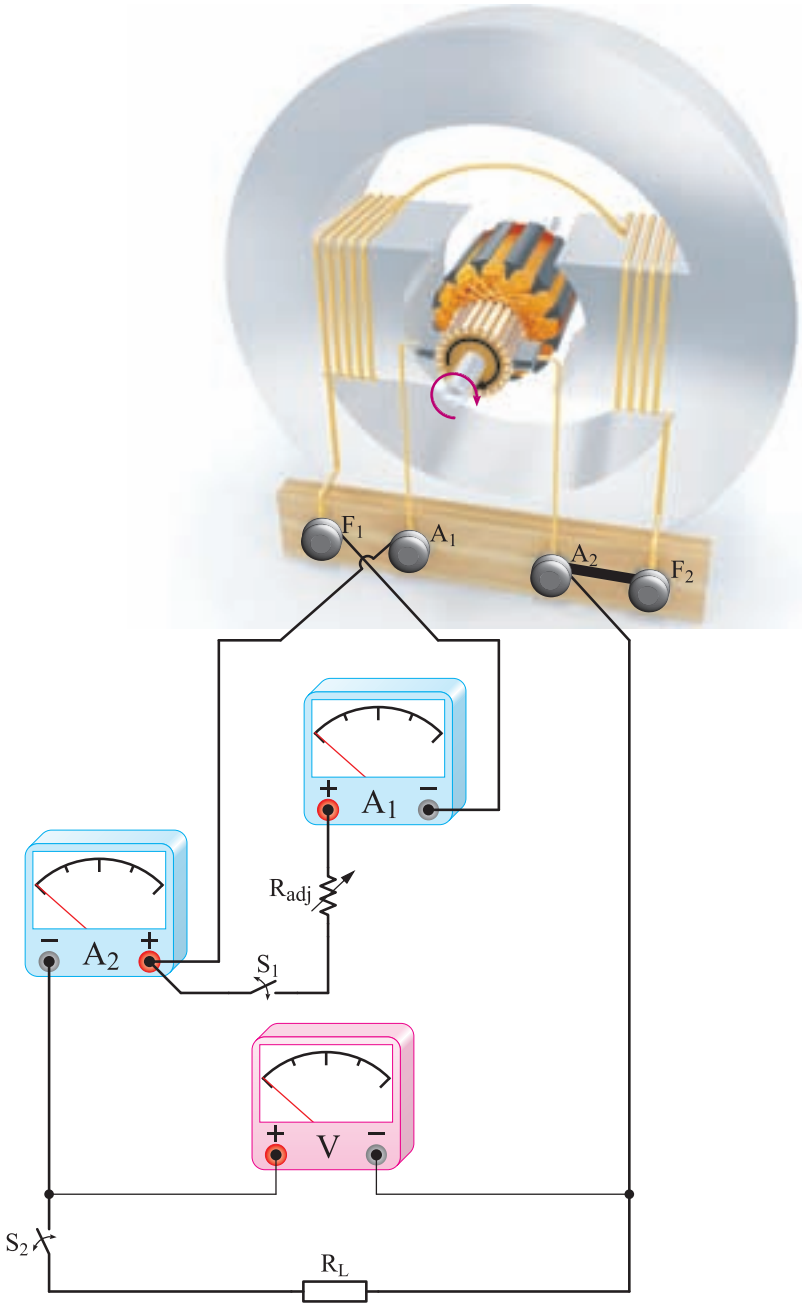


شکل ۲۲ ـ ۳ نقشه اختصاری ژنراتور شنت

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.

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.

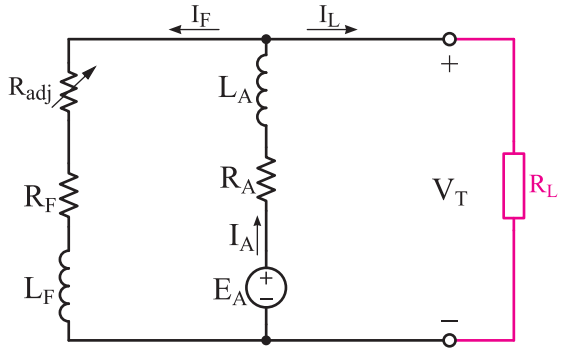
در این شـرایط نیروی محرکه کم‌تری در سیم‌پیچی آرمیچـر القا می‌شـود و ولتاژ ژنراتـور در کم‌تر از ولتاژ نامی ثابت خواهد شد. برای جوگیری از بروز این اشکال سـرعت گردش محرک را افزایش می‌دهند تا به سرعت نامی برسد.

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.

$$KCL) \quad -I_A + I_F + I_L = 0 \qquad (۳-۱۹)$$

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.

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

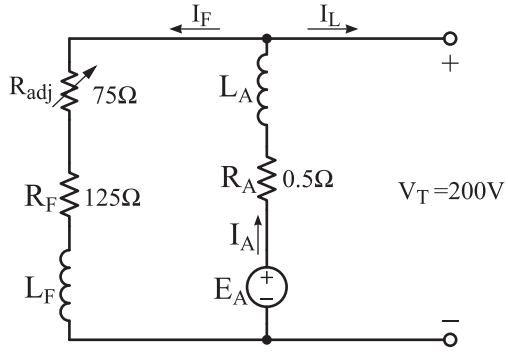
تلفات تحریک از رابطه (۱۳ ـ ۳) و تلفات آرمیچر از رابطه (۱۴ ـ ۳) به‌دست می‌آید.

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

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:

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

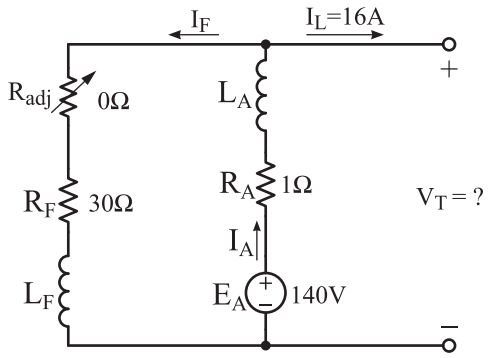
مطلوب است:

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

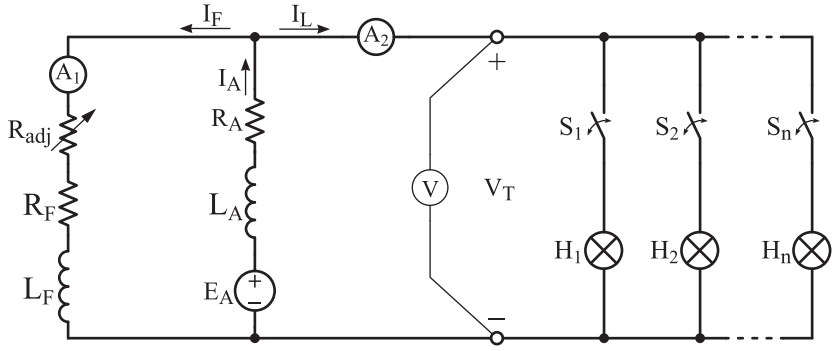
منحنی مشخصه بی‌باری از آزمایش بی‌باری به‌دست می‌آید و هدف تعیین تاثیر جریان تحریک I_F بر نیروی محرکه القایی آرمیچر E_A در سرعت ثابت است. برای انجام آزمایش بی‌باری ژنراتور شنت، ابتدا مدار سیم‌پیچی تحریک را از مدار سیم‌پیچی آرمیچر جدا می‌کنند. سپس مانند یک ژنراتور تحریک مستقل مطابق آن‌چه که در قسمت ۱۰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

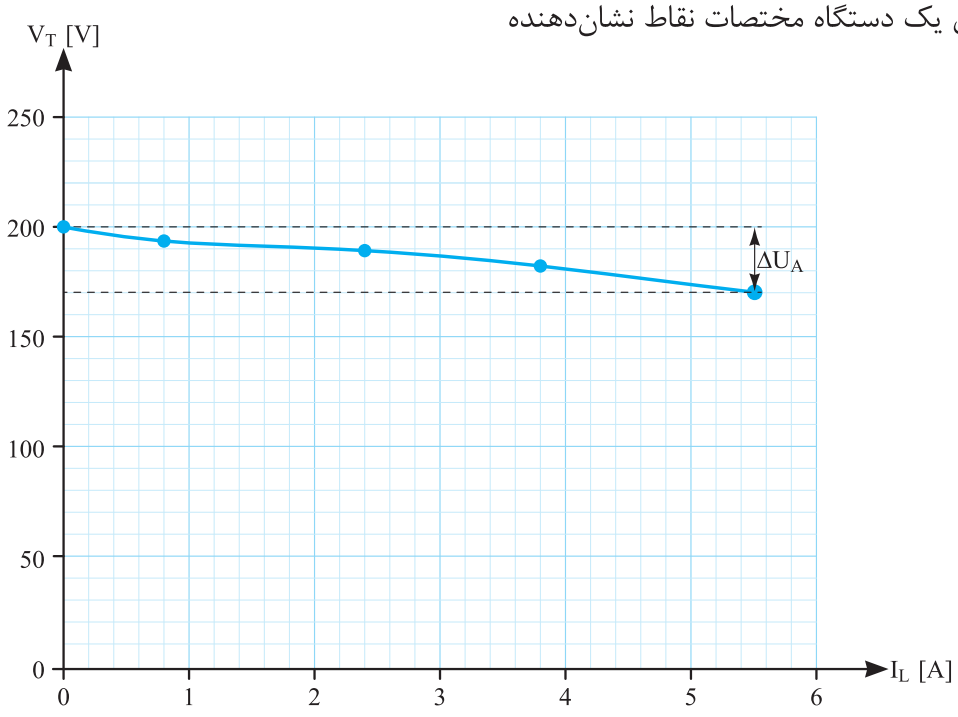
سپس روی یک دستگاه مختصات نقاط نشان‌دهنده مقدار V_T به ازای جریان بار I_L معینی را مشخص می‌نمایند. این نقاط را به یک‌دیگر وصل می‌کنند تا «منحنی مشخصه بارداری» ژنراتور شنت به‌دست آید.

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

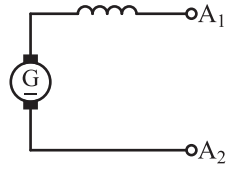
مطلوب است:

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

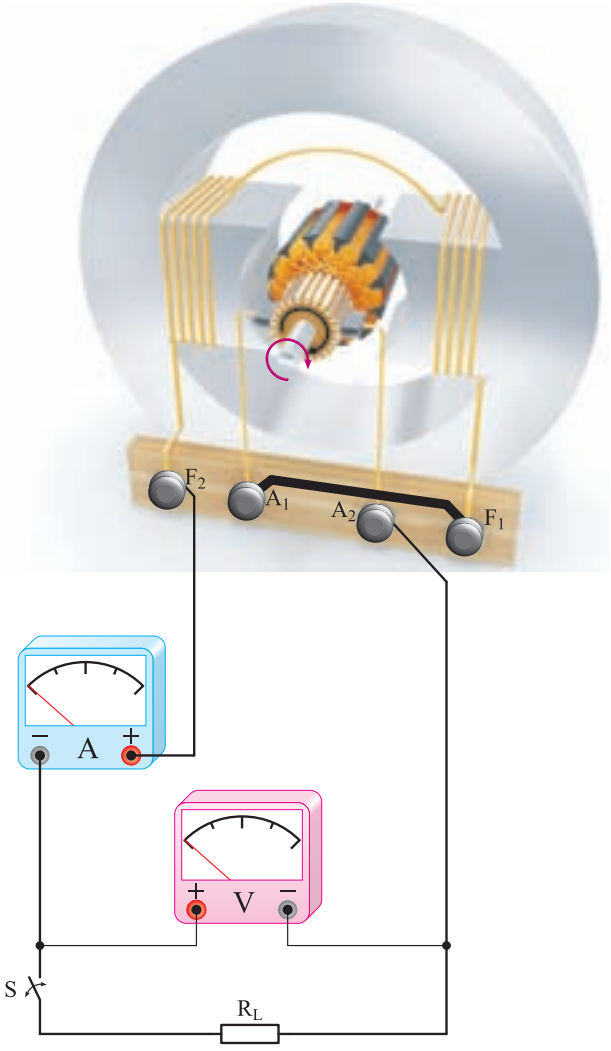
ژنراتور جریان مستقیم با تحریک سری را به اختصار «ژنراتور سری[1]» گویند. در ژنراتور سری مدار تحریک با مدار آرمیچر به صورت سری اتصال داده می‌شود و بین آن‌ها ارتباط الکتریکی برقرار می‌باشد. نقشه اختصاری ژنراتور سری در شکل (۲۸ ـ ۳) نشان داده شده است.



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_0 در سیم‌پیچی آرمیچر القا کند. در این لحظه ولتاژ پایانه‌های ژنراتور به حداقل مقدار خود که برابر نیروی محرکه القایی پس‌ماند E_0 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.

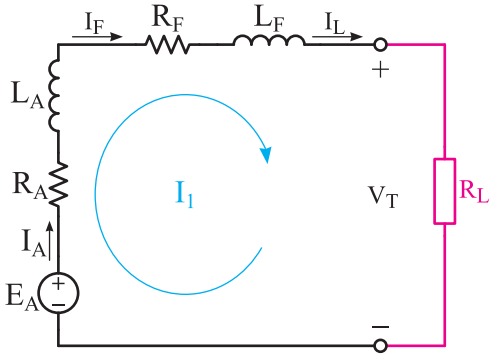
۳ ـ جهت گردش رتور صحیح نیست.

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.

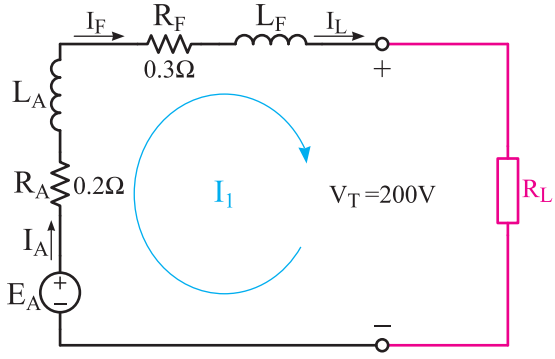
$$-E_A + (R_A + R_F) I_L + V_T = ۰$$

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

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:

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

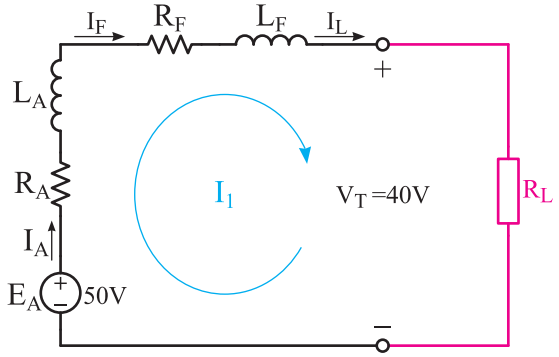
مثال ۱۱ ـ ۳ ـ ژنراتور جریان مستقیم تحریک سری با نیروی محرکه القایی آرمیچر ۵۰ V و ولتاژ ترمینال ۴۰ V مفروض است. مقاومت مدار تحریک و آرمیچر روی هم ۰/۸ Ω است. مطلوب است:

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

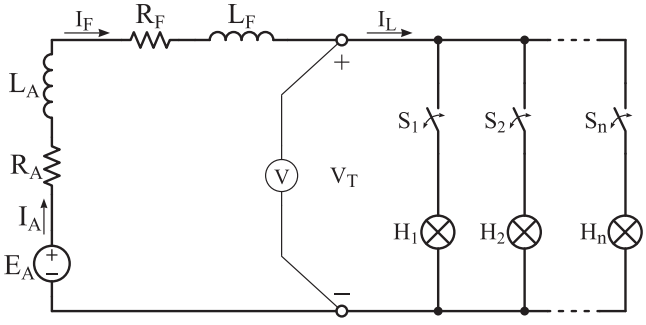
برای انجام آزمایش بی‌باری ژنراتور سـری ابتدا مدار سـیم‌پیچی تحریک را از مدار سـیم‌پیچی آرمیچر جدا می‌کنند؛ سـپس همانند یک ژنراتور تحریک مسـتقل مطابق آنچه در قسمت ۱۰ ـ ۳ توضیح داده شد آزمایش بی‌باری را انجام می‌دهند.

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

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.

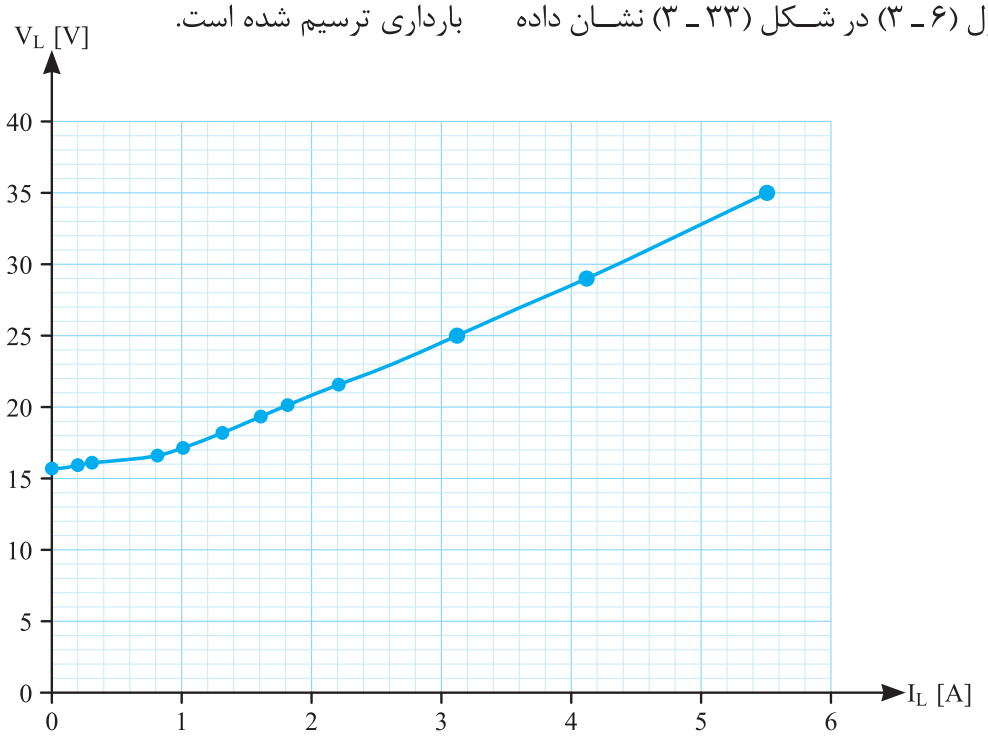
سپس روی یک دستگاه مختصات نقاط نشان دهنده مقدار V_T به ازای هر جریان بار I_L معینی را مشخص می‌کنند؛ این نقاط را به یک‌دیگر وصل می‌کنند تا «منحنی مشخصه بارداری» ژنراتور سری به‌دست آید.

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

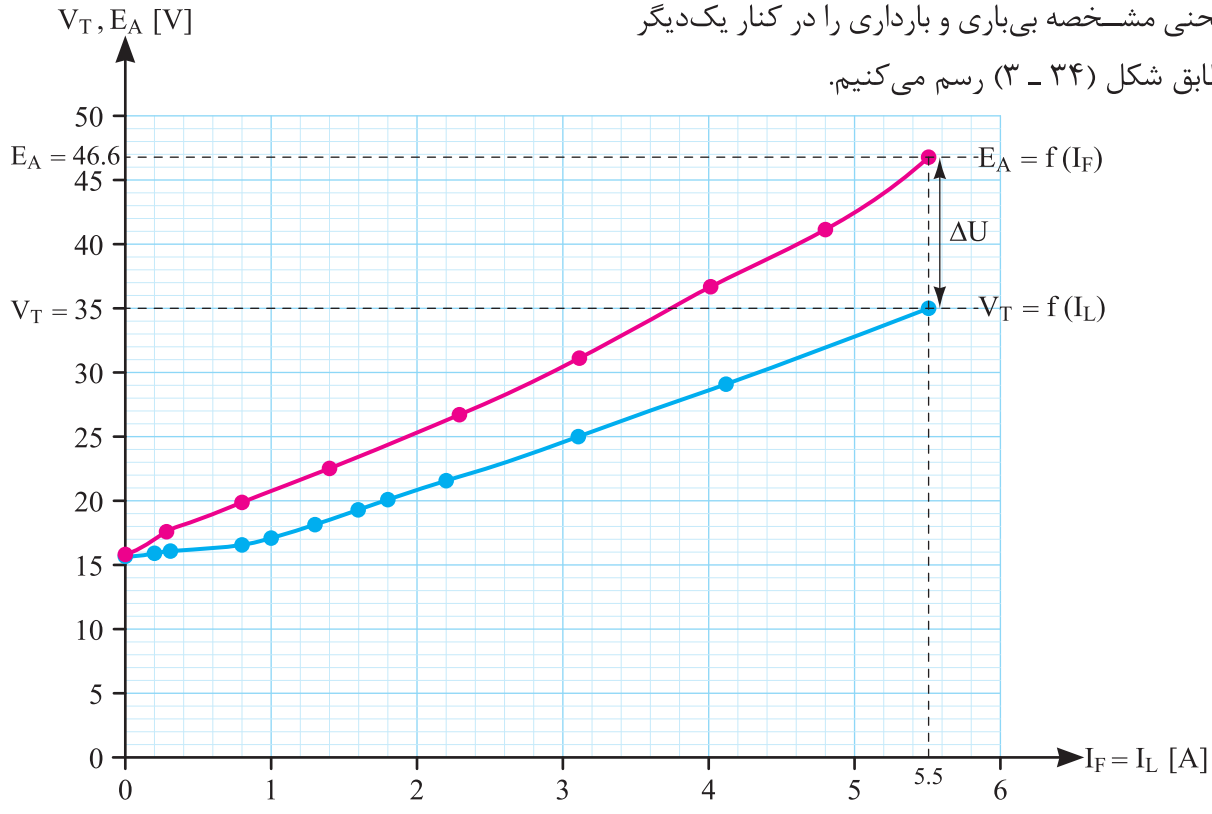
ب ـ درصد تنظیم ولتاژ در بارنامی

$I_F[A]$	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

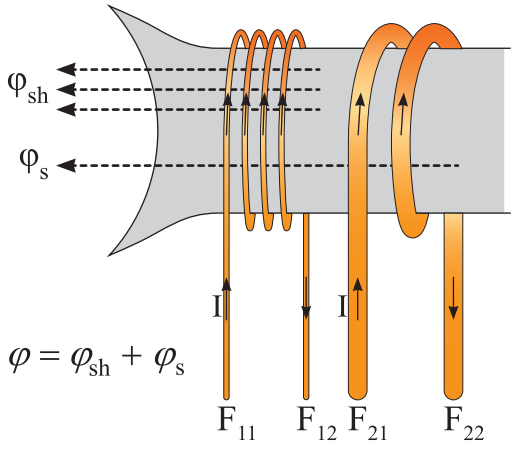
استاتور دارای قطب‌های برجسته می‌باشد. بر روی قطب‌ها دو سیم‌پیچی تحریک قرار داده شده است. فوران قطب‌ها از ترکیب فوران هر دو سیم‌پیچی تحریک به‌دست خواهد آمد.

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)



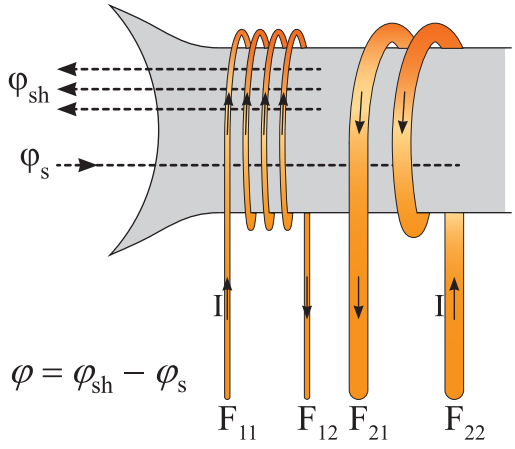
شکل ۳۶ ـ ۳ قطب ژنراتور کمپوند اضافی

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

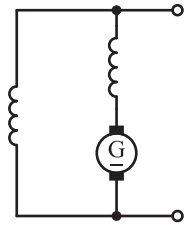
نقصانی» گویند. شکل (۳۷ ـ ۳)



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.

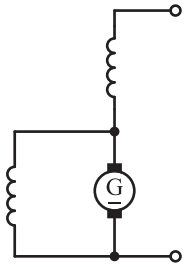


شکل ۳۸ ـ ۳ نقشه اختصاری ژنراتور کمپوند با شنت بلند

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

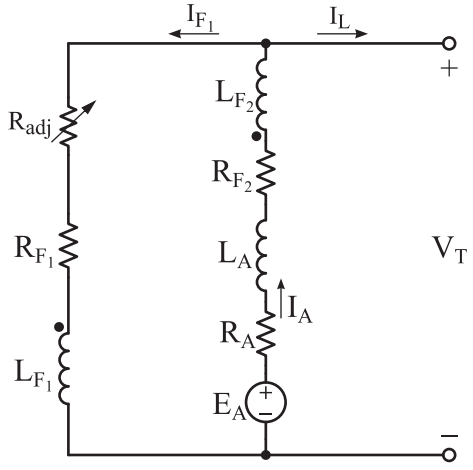
اگر سیم‌پیچی آرمیچر ابتدا با سیم‌پیچی تحریک شنت و سپس به سیم‌پیچی تحریک سری مطابق نقضه اختصاری شکل (۳۹ ـ ۳) ارتباط داده شود ژنراتور را «کمپوند با شنت کوتاه» می‌نامند. ژنراتور کمپوند با شنت کوتاه با توجه به جهت فوران‌های تحریک شنت و کوتاه می‌تواند از نوع «اضافی» یا «نقصانی» باشد.



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.

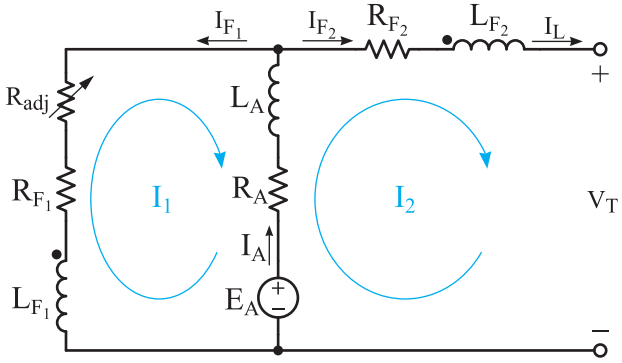
$$\Delta P=P_{in}-P_{out}=5-4=1\,[kw]\ \text{یا}\ 1000\,[w]$$

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:

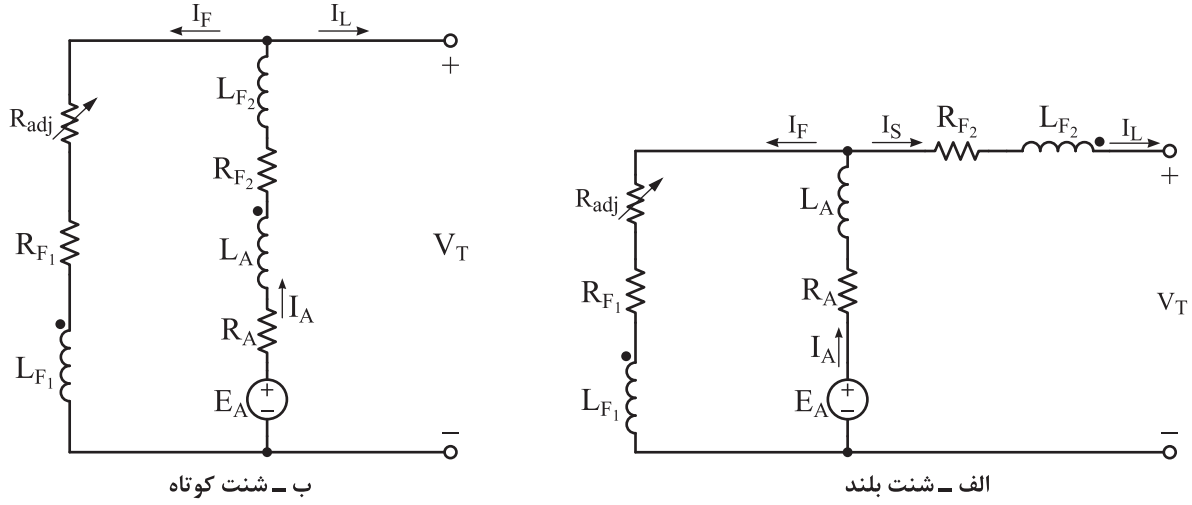
$$I_A = -I_1 + I_2 = -(-2) + 8 = 10\,[A]$$

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:

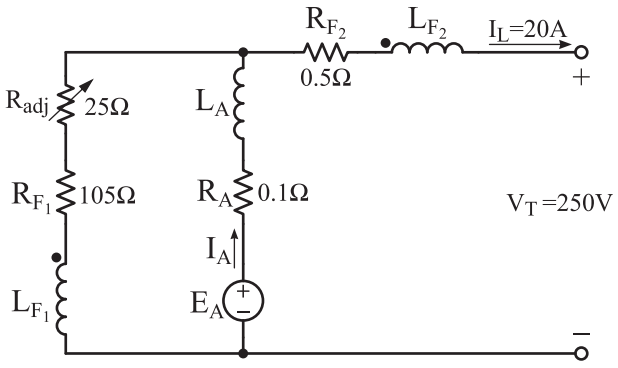
الف ـ نیروی محرکه القایی در آرمیچر

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

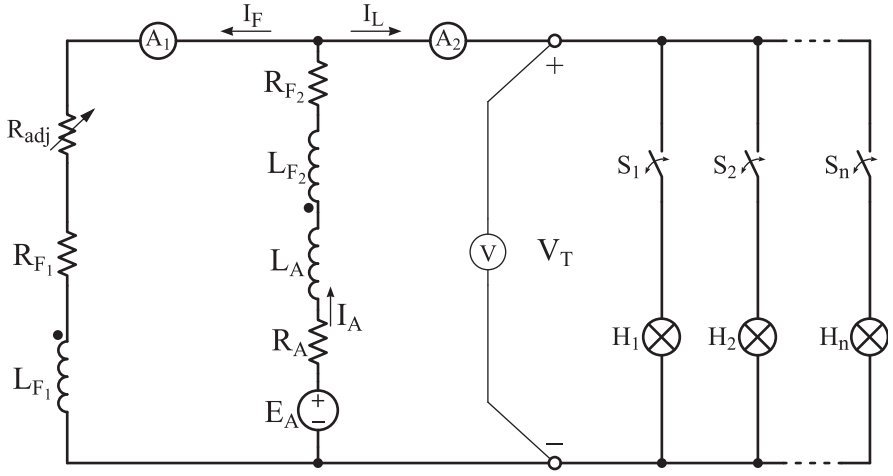
ب ـ بازده در صورتی‌که تلفات هسته ۲۵۰ w و تلفات مکانیکی ۳۰۰ w باشد.



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.

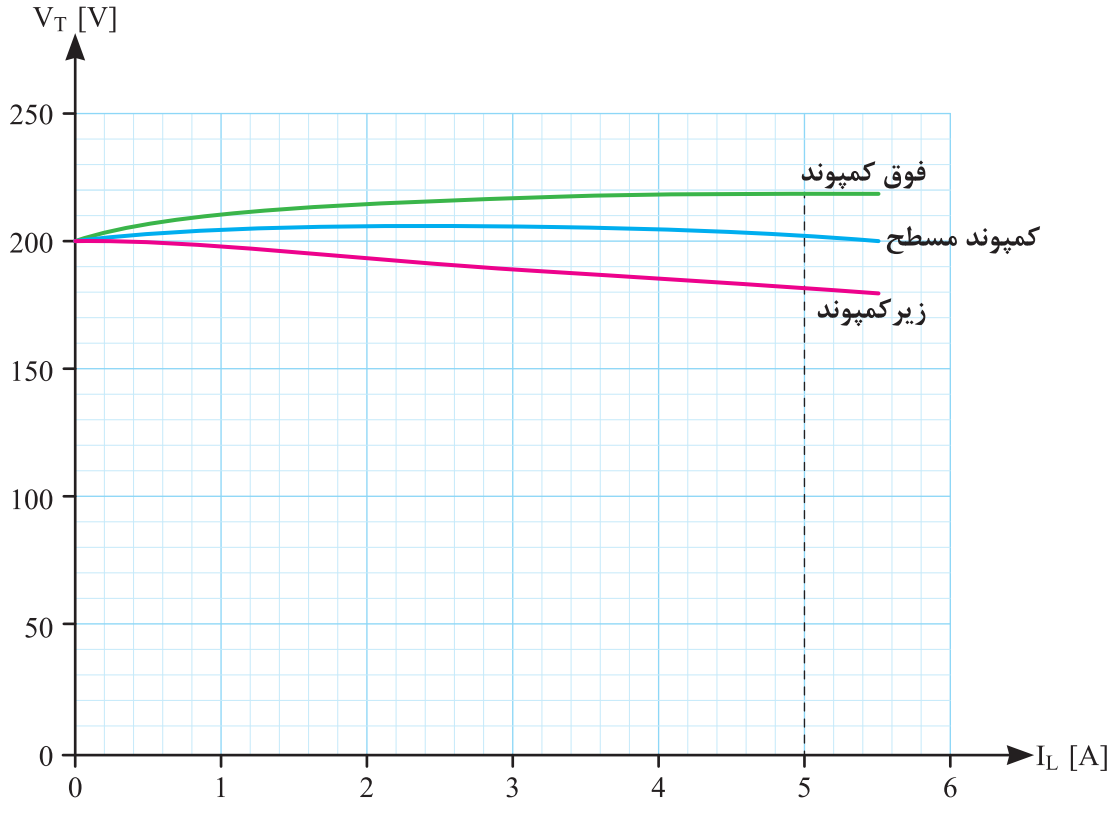
پس از ترسـیم نتایـج آزمایش بارداری بـرای ولتاژ پایانه‌های ژنراتور V_T بر حسب جریان بار I_L سه حالتِ ممکن پیش می‌آید:

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.

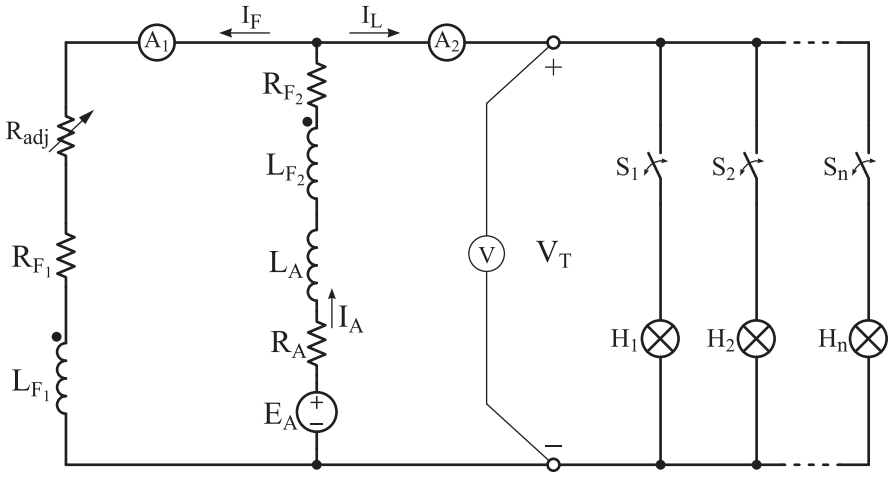
ژنراتور کمپوند اضافی در حالت «زیر کمپوند» در واقع ژنراتور کمپوندی است که به دلایل فنی و تکنولوژی امکان افزایش تعداد دور سیم‌پیچی تحریک سری فراهم نشده است تا آن را به حالت فوق کمپوند یا کمپوند مسطح برساند. ژنراتور کمپوند در حالت زیر کمپوند دارای بیش‌ترین افت ولتاژ نسبت به حالت فوق کمپوند یا کمپوند مسطح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

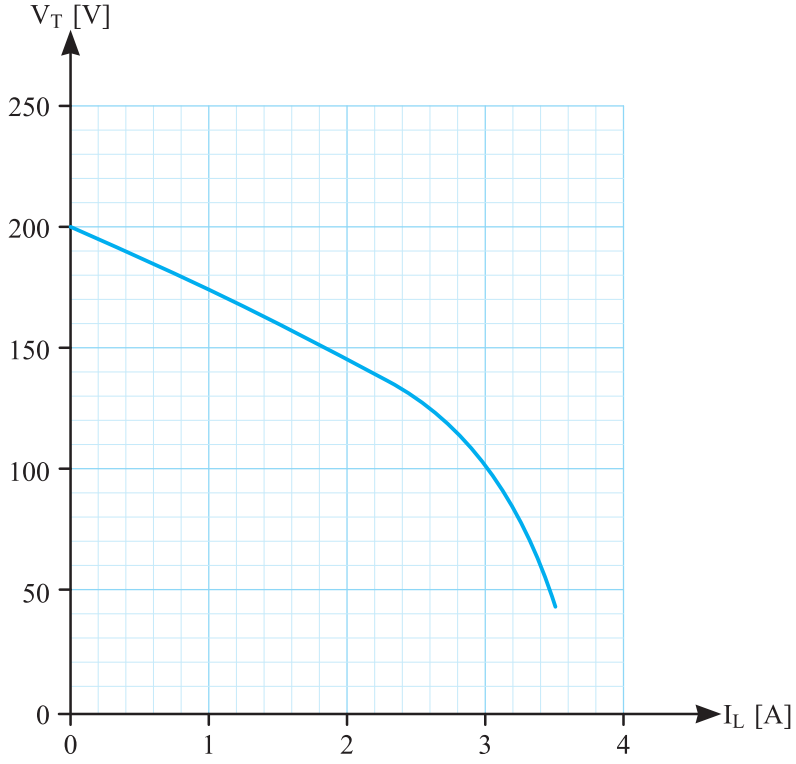


شکل ۴۵ ـ ۳ مدار الکتریکی آزمایش بارداری ژنراتور کمپوند نقصانی

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.

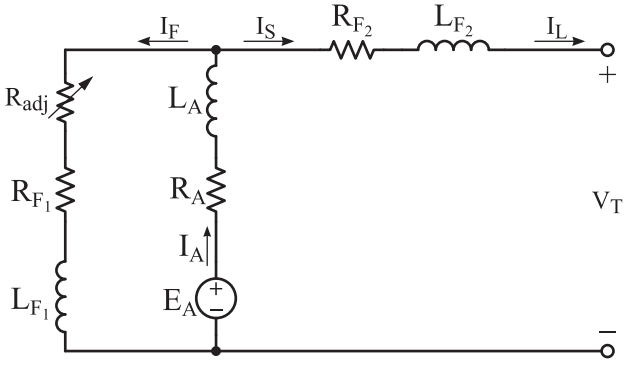
تثبیـت سـرعت محرک‌ها توسـط مکانیزمی به نام «گاورنـر[1]» کـه بر روی آن‌هـا نصب می‌شـود صورت می‌گیرد. گاورنر مانع از تغییر سرعت محرک در محدوده معینی خواهد شـد. گاورنر از سرعت رتور نمونه‌برداری می‌کنـد و آن را با سـرعت نامی مقایسـه می‌نماید. در صورت مشاهده اختلاف در محرک‌های مکانیکی میزان سوخت و در توربین‌ها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