فصل سوم

مولّدهای جریان مستقیم

هدفهای رفتاری: پس از پایان این فصل از دانش‌آموز انتظار می‌رود که :

۱ــ مولّدهای DC را طبقه‌بندی کند.

۲ــ مدار الکتریکی مولّدهای جریان مستقیم را رسم نماید.

۳ــ چگونگی کار مولّد جریان مستقیم با تحریک جداگانه را شرح دهد.

۴ــ دلایل رسم منحنی مشخصه‌های ماشینها را توضیح دهد.

۵ــ چگونگی رسم منحنی بی‌باری را شرح دهد.

۶ــ چگونگی رسم منحنی مشخصه خارجی مولّد تحریک جداگانه را شرح دهد.

۷ــ چگونگی ایجاد ولتاژ القایی در مولّدهای تحریک خودی را شرح دهد.

۸ ــ چگونگی رسم منحنی مشخصه خارجی مولّدهای تحریک خودی را توضیح دهد.

۹ــ چگونگی رسم مشخصه تنظیم در مولّدهای تحریک مستقل را بیان کند.

۱۰ــ مسائل مولّدهای DC برای پیدا کردن جریانها، ولتاژها و توانها در قسمتهای مختلف ماشین را حل کند.

۱۱ــ کاربردهای مولّدهای DC را بیان کند.

مولّدهای جریان مستقیم

۱ــ۳ــ مقدمه

امروزه انرژی الکتریکی تولیدی نیروگاهها به‌صورت جریان متناوب سه‌فاز می‌باشد. قسمت قابل ملاحظه‌ای از این انرژی به همان صورت جریان متناوب در صنایع و برای ایجاد روشنایی به مصرف می‌رسد.

در مواردی که شرایط تولید ایجاب نماید به‌نحوی که از جریان مستقیم استفاده شود یا کاربرد

جریان مستقیم بر استفاده از جریان متناوب رجحان داشته باشد، مثلاً در صنایع شیمیایی و ذوب فلزات و حمل و نقل، جریان متناوب را به‌وسیله یکسوکننده‌ها یا مبدلها به‌جریان مستقیم تبدیل می‌نمایند.

مبدل از یک موتور جریان متناوب و یک مولّد جریان مستقیم تشکیل می‌شود و هردو روی یک محور قرار گرفته‌اند.

از مولّدهای جریان مستقیم بیشتر به‌عنوان منبع انرژی برای تحریک مولّدهای نیروگاهی و ماشینهای خودکار و هواپیماها، جوشکاری با قوس الکتریکی، قطارهای راه‌آهن، اتوبوسهای برقی، زیردریاییها و غیره استفاده می‌نمایند.

بدین ترتیب کاربرد مولّدهای جریان مستقیم زیاد و متنوع است و لذا مولّدهای جریان مستقیم با توانها و دورهای مختلف ساخته می‌شوند.

همانطور که در فصل گذشته ملاحظه کردیم به‌جای یک هادی یا یک کلاف، مجموعه‌ای از کلافها، سیم‌پیچی آرمیچر[1] را تشکیل می‌دهند. از طرف دیگر برای ایجاد میدان مغناطیسی از سیم‌پیچهایی استفاده می‌شود که به آنها سیم‌پیچ تحریک[2] می‌گوییم.

پس ماشینهای DC واقعی دارای دو دسته سیم‌پیچ هستند :

۱ــ سیم‌پیچ آرمیچر

۲ــ سیم‌پیچهای تحریک

۲ــ۳ــ طبقه‌بندی مولّدهای جریان مستقیم

مولّدهای DC را می‌توان با توجه به نحوهٔ ارتباط الکتریکی سیم‌پیچ تحریک و سیم‌پیچ آرمیچر، چنین تقسیم‌بندی نمود :

۱ــ مولّد تحریک مستقل

۲ــ مولّد شنت یا موازی

۳ــ مولّد سری

۴ــ مولّد سری، موازی یا مختلط (کمپوند)

سیم‌پیچ قطبهای مولّد DC از جریانی تغذیه می‌کنند که به آن جریان تحریک می‌گویند. مولّدها را از نظر چگونگی تأمین جریان تحریک می‌توان به دو دستهٔ زیر تقسیم کرد :

ــ مولّدهای تحریک مستقل

ــ مولّدهای خودتحریک

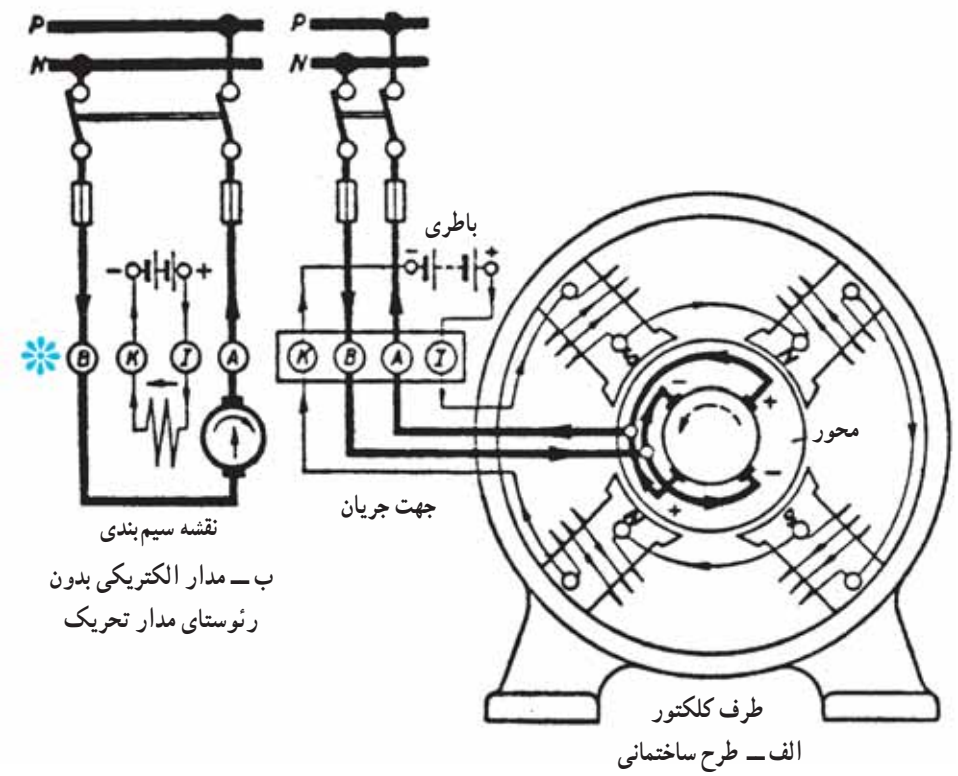
---

۱ ــ Armature Winding ۲ ــ Field Winding

۱ــ۲ــ۳ــ مولّدهای تحریک مستقل: در این مولّد هیچگونه ارتباط الکتریکی بین مدار تحریک و مدار آرمیچر وجود ندارد و مدار تحریک از یک منبع تغذیه جریان مستقیم خارجی یا باطری تغذیه می‌کند. منبعی که جریان تحریک این مولّدها را تأمین می‌کند، اکسایتر[1] نام دارد.

در مدار تحریک این مولّد از یک مقاومت متغیر استفاده می‌شود تا جریان تحریک را کنترل نموده و فوران مغناطیسی قطبها را تغییر دهد. این مقاومت متغیر را رئوستا گویند و آن را با R_F نشان می‌دهند.

شکل ۱ــ۳ طرح ساختمانی و الکتریکی یک مولّد تحریک مستقل را نشان می‌دهد.



شکل ۱ــ۳ــ طرح ساختمانی و الکتریکی مولّد تحریک مستقل

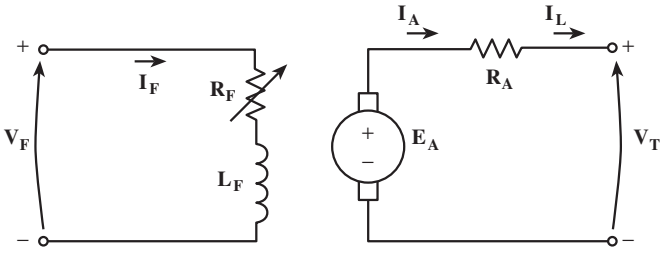
شکل ۲ــ۳ مدار الکتریکی معادل یک مولّد تحریک مستقل را نشان می‌دهد.

همان‌طور که در شکل ملاحظه می‌شود، برای نشان دادن سیم‌پیچ تحریک از علامت اختصاری یک خودالقاء (سلف) استفاده شده است. البته در واقع نیز سیم‌پیچ تحریک یک سلف است. از طرف

---

۱ ــ Exciter

❊ حروف به‌کار برده شده برای نمایش سرهای سیم‌پیچهای آرمیچر و تحریک استاندارد می‌باشد و برای تشخیص نوع ماشین بایستی به آنها توجه شود.



شکل ۲ــ۳ــ مدار الکتریکی معادل یک مولّد تحریک مستقل

دیگر برای نمایش آرمیچر، مقاومت اهمی سیمهای آن را به‌صورت یک مقاومت جدا و خارج از آرمیچر مدل می‌کنند.

درشکل **۲ــ۳**، V_F ولتاژ اعمال شده به سیم‌پیچ تحریک، L_F اندوکتانس سیم‌پیچ تحریک، R_F رئوستای تنظیم جریان تحریک، I_A جریان آرمیچر، R_A مقاومت اهمی آرمیچر، E_A نیروی محرکه القاء شده در آرمیچر و V_T ولتاژ خروجی بر روی ترمینالهای آرمیچر است. مقاومت اهمی سیم‌پیچ تحریک در R_F درنظر گرفته شده است. از این‌رو R_F عملاً نمی‌تواند صفر شود.

با استفاده از مدار معادل الکتریکی شکل **۲ــ۳** برای تحلیل مداری مولّد تحریک مستقل در حالت پایدار می‌توان از روابط زیر استفاده نمود.

در مولّد تحریک مستقل جریان بار و آرمیچر همیشه برابر است. یعنی :

$$I_L = I_A \qquad A \qquad (۳ــ۱)$$

I_A : جریان آرمیچر

I_L : جریان بار

اگر ε افت ولتاژ در اثر عکس‌العمل آرمیچر باشد ولتاژ ترمینالهای خروجی مولّد برابر است با :

$$V_T = E_A - I_A R_A - \varepsilon \qquad V \qquad (۳ــ۲)$$

در صورتی‌که R_F مجموع مقاومتهای سیم‌پیچ تحریک و رئوستا باشد جریان تحریک مولّد برابر است با :

$$I_F = \frac{V_F}{R_F} \qquad A \qquad (۳ــ۳)$$

۲ــ۲ــ۳ــ مولّدهای خودتحریک: مولّدهای خودتحریک به مولّدهایی گفته می‌شود که جریان تحریک آنها از ولتاژ تولیدی خود مولّد تأمین می‌گردد.

مولّدهای خود تحریک نیز برحسب نوع اتصال سیم‌پیچی تحریک آنها به سیم‌پیچ آرمیچر به سه

دسته تقسیم می‌شوند :

۱ــ مولّدهای موازی یا شنت

۲ــ مولّدهای سری

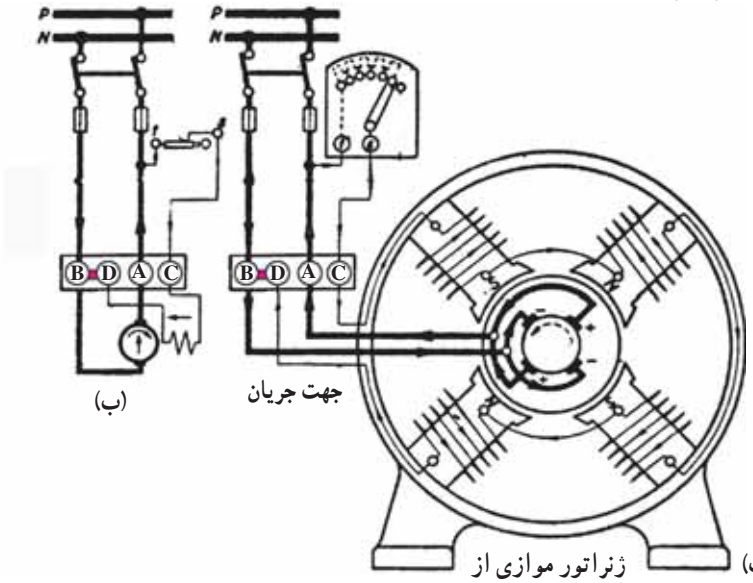
۳ــ مولّدهای مختلط یا کمپوند

الف ــ مولّدهای موازی یا شنت: در این مولّد مدار تحریک با آرمیچر به صورت موازی وصل می‌شود. جریان تحریک تابع ولتاژ خروجی و مقاومت مدار تحریک مولّد است و قسمتی از جریان آرمیچر را تشکیل می‌دهد. قسمت اعظم جریان آرمیچر برای مصرف‌کننده مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد و حدود ۲ تا ۳ درصد مقدار کل جریان آرمیچر به مدار تحریک اعمال می‌شود.

برای اینکه با جریان تحریک کم بتوان آمپر دور زیاد و قابل قبول برای مولّد تأمین نمود بایستی تعداد دور سیم‌پیچی تحریک زیاد باشد. در نتیجه به علت افزایش تعداد دور و کاهش سطح مقطع سیم‌پیچ تحریک، مقاومت الکتریکی مدار تحریک زیاد می‌شود.

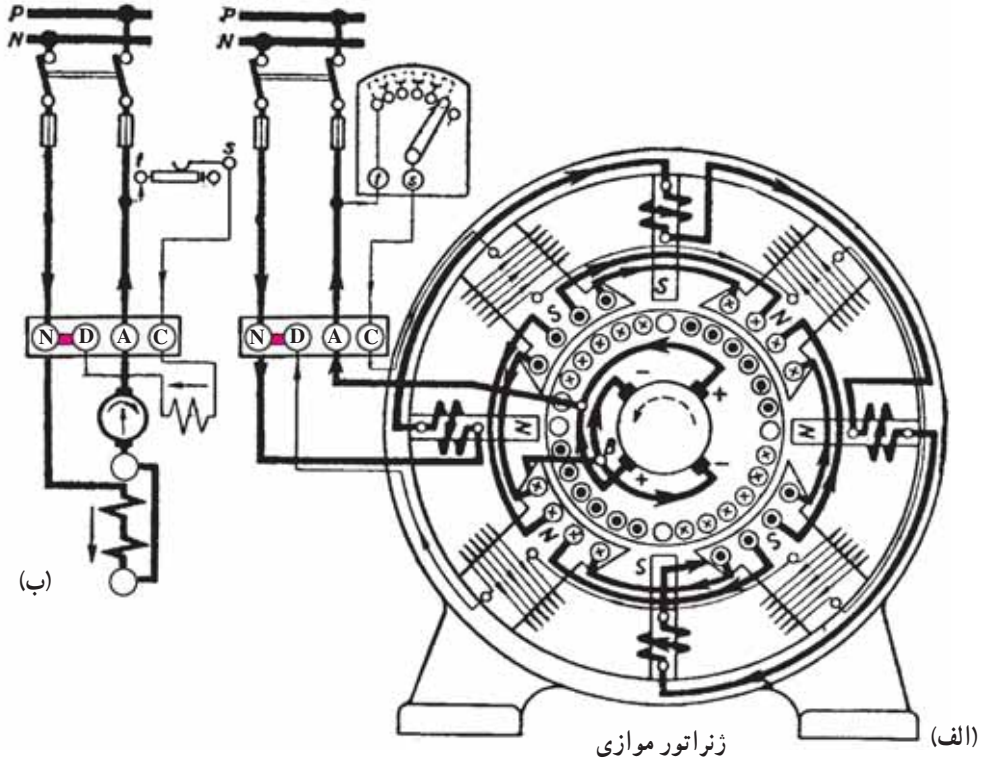
ولتاژ خروجی مولّد توسط یک مقاومت متغیر که با سیم‌پیچ تحریک سری می‌شود تنظیم می‌گردد.

شکل ۳ــ۳ طرح ساختمانی و الکتریکی مولّد شنت را نشان می‌دهد که فاقد قطبهای کمکی و سیم‌پیچهای جبرانگر است.



شکل ۳ــ۳ــ طرح ساختمانی و الکتریکی مولّد شنت چهار قطب بدون قطب کمکی و سیم جبرانگر
الف ــ طرح ساختمانی ب ــ طرح الکتریکی

شکل ۴ــ۳ طرح ساختمانی و مدار الکتریکی یک مدار شنت را نشان می‌دهد که دارای سیم‌پیچهای جبرانگر و قطبهای کمکی است.



شکل ۴ــ۳ــ طرح ساختمانی و مدار الکتریکی مولّد شنت چهار قطب با سیم‌پیچ جبرانگر و قطبهای کمکی
الف ــ طرح ساختمانی ب ــ مدار الکتریکی

مدار الکتریکی مولّد شنت به‌طور خلاصه به‌صورت شکل ۵ــ۳ است.

برای تحلیل مولّد شنت نیز می‌توان به کمک مدار معادل شکل ۵ــ۳ روابط اساسی در حالت پایدار مولّد شنت را چنین نوشت :

$$I_A = I_F + I_L \qquad A \qquad (۳ــ۴)$$

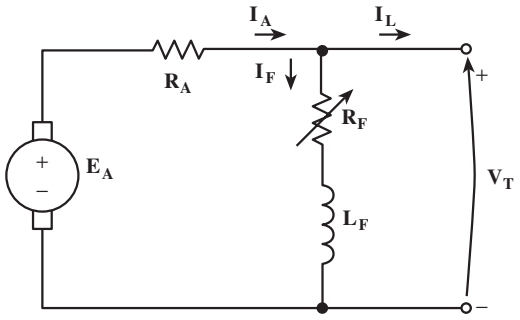
I_L : جریان بار

I_F : جریان تحریک

I_A : جریان آرمیچر

همچنین رابطه ولتاژ خروجی (ولتاژ ترمینال) و نیروی محرکهٔ القایی مولّد برابر است با :

$$V_T = E_A - I_A R_A - \varepsilon \qquad V \qquad (۳ــ۵)$$



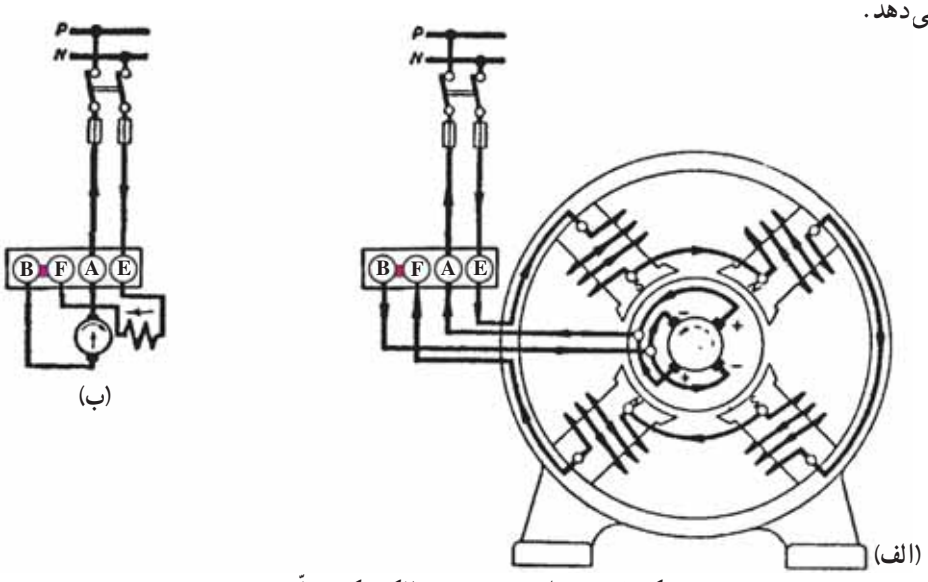
شکل ۵ــ۳ــ مدار الکتریکی مولّد شنت

جریان تحریک مولّد طبق رابطهٔ ۶ــ۳ به‌دست می‌آید :

$$I_F = \frac{V_T}{R_F} \qquad A \qquad (۶ــ۳)$$

ب ــ مولّد سری: در این مولّد آرمیچر با سیم‌پیچ تحریک به‌صورت سری قرار می‌گیرد. چون جریان آرمیچر تماماً از مدار تحریک عبور می‌کند و مقدار آن زیاد است لذا بایستی سطح مقطع هادیهای سیم‌پیچ تحریک زیاد باشد و چون جریان تحریک این مولّد زیاد است پس برای ایجاد آمپر دور مورد نیاز، احتیاج به تعداد دور زیاد برای سیم‌پیچ تحریک نیست. بنابراین مقاومت سیم‌پیچ تحریک سری کم بوده و افت ولتاژ در این سیم‌پیچی ناچیز است.

شکل ۶ــ۳ طرح ساختمانی الکتریکی مولّد سری را بدون قطب کمکی و سیم‌پیچ جبرانگر نشان می‌دهد.



شکل ۶ــ۳ــ طرح ساختمانی و الکتریکی مولّد سری

مدار الکتریکی مولّد سری در شکل ۷ــ۳ نشان داده شده است.

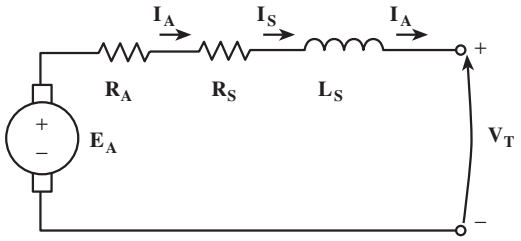
با توجه به مدار شکل (۷ــ۳) داریم :

$$I_A = I_S = I_L \qquad (۷ــ۳)$$

I_A : جریان آرمیچر

I_S : جریان مدار تحریک سری

I_L : جریان بار یا جریان خط مولّد



شکل ۷ــ۳ــ مدار الکتریکی مولّد سری

با توجه به قانون ولتاژ کیرشهف در مدار الکتریکی مولّد سری رابطه زیر برقرار است :

$$V_T = E_A - I_A(R_A + R_S) - \varepsilon \qquad V \qquad (۸ــ۳)$$

ε : عکس‌العمل مغناطیسی آرمیچر

R_S : مقاومت سیم‌پیچ تحریک سری

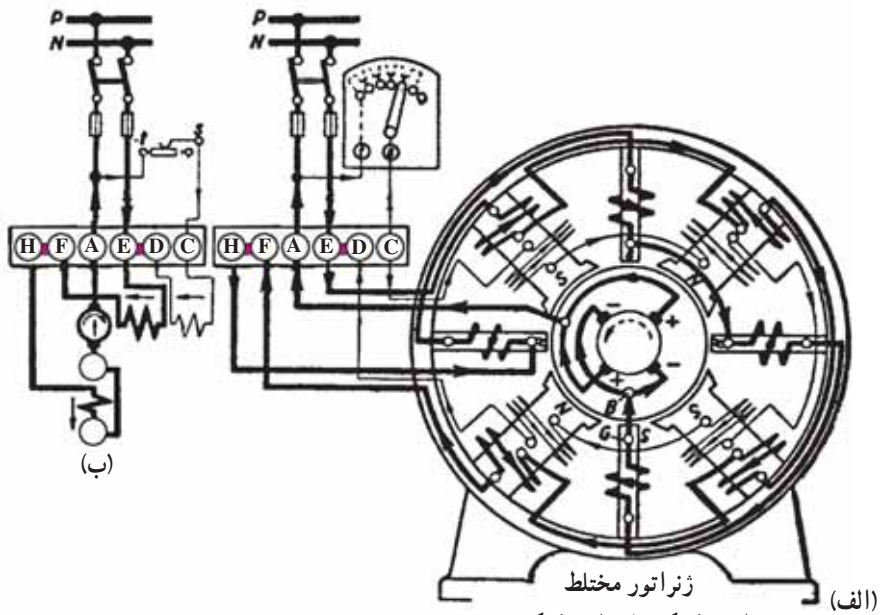
E_A : نیروی محرکه القایی مولّد

V_T : ولتاژ ترمینال مولّد

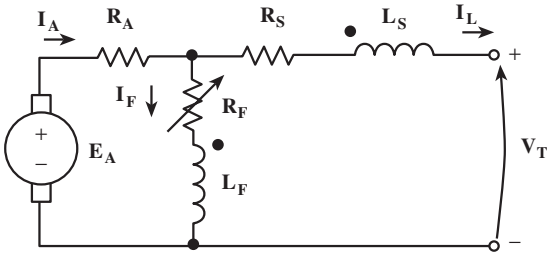
پ ــ مولّد مختلط یا کمپوند: مدار تحریک این مولّد از دو سیم‌پیچی تشکیل شده که یکی به‌طور سری و دیگری به‌طور موازی با آرمیچر قرار می‌گیرد. بنابراین خواص دو مولّد موازی و سری را با هم دارد.

شکل ۸ــ۳ طرح ساختمانی و الکتریکی مولّد کمپوند چهار قطب با قطب کمکی را نشان می‌دهد.

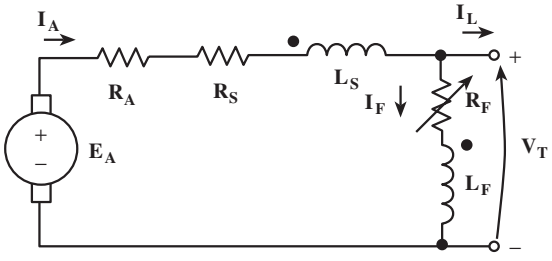
سیم‌پیچیهای مولّد کمپوند یا به‌صورت شکل ۹ــ۳ است که در آن سیم‌پیچ تحریک شنت مستقیماً به‌دو سر آرمیچر وصل می‌شود و آن را کمپوند با انشعاب کوتاه می‌گویند و یا مانند شکل ۱۰ــ۳ سیم‌پیچ تحریک سری با آرمیچر به‌صورت سری قرار گرفته و مجموع آنها با مدار سیم‌پیچ تحریک شنت، موازی می‌گردد و با آن کمپوند با انشعاب بلند گفته می‌شود.



شکل ۸ــ۳ــ طرح ساختمانی و الکتریکی مولّد کمپوند (ترکیبی) چهار قطب



شکل ۹ــ۳ــ مولّد کمپوند با انشعاب کوتاه



شکل ۱۰ــ۳ــ مولّد کمپوند با انشعاب بلند

به دلیل کوچک بودن افت ولتاژ در سیم‌پیچ سری، اختلاف بین این دو نوع اتصال ناچیز است. لذا می‌توان با تقریب مناسب از روابط زیر برای تحلیل مولّد کمپوند با هر دو انشعاب بلند و کوتاه استفاده نمود.

$$I_A = I_F + I_L \qquad A \tag{۳ـ۹}$$

$$V_T = E_A - I_A(R_A + R_S) - \varepsilon \qquad V \tag{۳ـ۱۰}$$

$$I_F = \frac{V_T}{R_F} \qquad A \tag{۳ـ۱۱}$$

۳ـ۳ـ مشخصات اصلی مولّدهای جریان مستقیم

اکنون که شناخت کلی از اصول کار، اجزاء ساختمان، نوع سیم‌پیچی، نحوه محاسبهٔ نیروی محرکه الکتریکی، عکس‌العملهای مختلف آرمیچر، پدیدهٔ کموتاسیون، نوع و طبقه‌بندی تحریک مولّدهای جریان مستقیم به‌دست آورده‌ایم، برای انتخاب مولّد مورد نظر خود باید با کیفیت و خواص آنها آشنایی لازم را داشته باشیم. مثلاً ولتاژ تولیدی آن چقدر است؟ و تغییر ولتاژ خروجی در اثر اعمال بار به مولّد چگونه می‌باشد. چگونگی کنترل ولتاژ خروجی و محدودهٔ کنترل ولتاژ را بدانیم تا از بین آنها مولّد موردنظر و مناسب را انتخاب کنیم.

کیفیت و خواص مولّدهای جریان مستقیم را به کمک مشخصات آنها مورد تحلیل و بررسی قرار می‌دهند. این مشخصات روابط بین مقادیر اصلی زیر را که مبین کار مولّدهاست نشان می‌دهد.

۱ـ نیروی محرکه القایی E_A

۲ـ ولتاژ ترمینال مولّد V_T

۳ـ جریان آرمیچر I_A

۴ـ جریان تحریک I_F

۵ـ سرعت زاویه‌ای ω یا دور محور n

چون مولّدها اغلب با سرعت ثابت کار می‌کنند لذا مشخصات آنها را نیز در سرعت ثابت برمی‌دارند.

برای مولّدها مشخصه‌های متعددی داده می‌شود. ولی در بین آنها سه مشخصه زیر اصلی بوده و ازهمه مهمتر است. ما در این قسمت فقط این سه مشخصه را بررسی می‌کنیم.

۱ـ مشخصه بی‌باری مولد: منحنی مشخصه بی‌باری مولّد در دور ثابت و بدون بار مولّد به‌دست می‌آید. این منحنی تغییرات نیروی محرکه مولّد را به ازاء تغییرات جریان تحریک آن نشان

می‌دهد. از آنجا که شکل این منحنی به وضعیت مغناطیسی هسته آهنی مربوط می‌شود به آن مشخصه مغناطیسی نیز گفته می‌شود.

۲ــ مشخصه خارجی مولّد: این مشخصه ولتاژ خروجی مولّد را به ازای تغییرات بار آن نشان می‌دهد. در رسم مشخصه خارجی دور مولّد همواره ثابت نگه داشته می‌شود.

۳ــ مشخصه تنظیم مولّد: این مشخصه تغییرات جریان تحریک را به ازای تغییرات بار نشان می‌دهد در حالی که دور مولّد ثابت بوده و ولتاژ خروجی نیز ثابت می‌ماند.

در بررسی بارداری مولّدها ملاحظه خواهیم کرد که با تغییر بار ولتاژ خروجی، مولّد تغییر می‌کند. از طرف دیگر برای مصرف‌کننده‌ها وجود یک ولتاژ ثابت مناسبتر است از این‌رو سعی می‌شود با تنظیم مناسب جریان تحریک ولتاژ خروجی مولّد ثابت بماند. برای اطلاع از چگونگی تنظیم ولتاژ مولّد باید بدانیم که ولتاژ مولّد در زیر بار چه مقدار تغییر می‌کند. معمولاً برای نشان دادن مقدار تنظیم، تغییرات ولتاژ را به درصد بیان می‌کنند.

درصد تنظیم ولتاژ عبارتست از تغییرات ولتاژ خروجی نسبت به ولتاژ بار

درصد تنظیم ولتاژ از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$V_R\% = \frac{E_A - V_T}{V_T} \times ۱۰۰ \qquad (۳ــ۱۲)$$

V_R[۱] : درصد تنظیم ولتاژ

در یک مولّد هرقدر درصد تنظیم ولتاژ در بار نامی کوچکتر باشد، امکان تنظیم ولتاژ خروجی ساده‌تر است.

۱ــ۳ــ۳ــ مشخصه مولّد با تحریک مستقل: مشخصه‌های مولّد را می‌توان در آزمایشگاه با فراهم آوردن وسایل و شرایط لازم به‌دست آورد. در اینجا چگونگی پیدا کردن منحنی مشخصه‌های مولّد تحریک مستقل را از طریق انجام آزمایشهای مربوطه توضیح می‌دهیم.

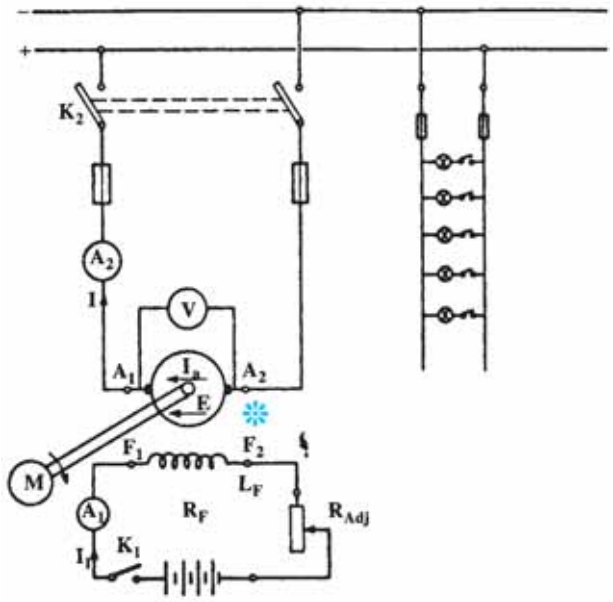
الف ــ مشخصهٔ بی‌باری مولّد تحریک مستقل: این مشخصه به ازای جریان بار صفر ($I_L = ۰$) و دور ثابت $n = const.$[۲] به دست می‌آید. برای به دست آوردن منحنی بی‌باری با توجه به‌صفر بودن جریان بار از رابطه نیروی محرکه استفاده می‌کنیم. زیرا :

$$V_T = E_A - ۰ \times R_A - ۰ \quad \Rightarrow \quad V_T = E_A = K\phi\omega$$

---

۱ ــ Voltage Regulation ۲ ــ Constant

چون در طول آزمایش، ω ثابت است و ϕ تابعی از جریان تحریک است یعنی $\phi = f(I_F)$ لذا نیروی محرکه تولیدی تابع جریان I_F می‌باشد. مدار لازم برای به‌دست آوردن این مشخصه به صورت شکل ۱۱ــ۳ است.



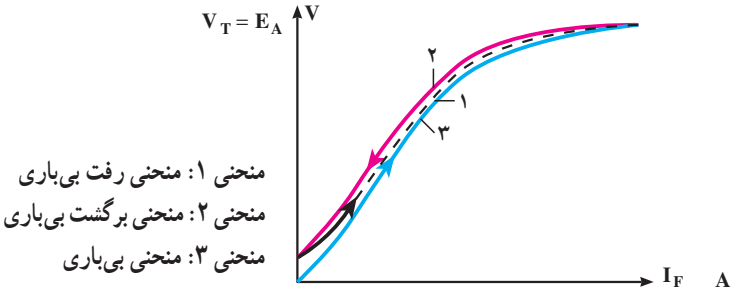
شکل ۱۱ــ۳ــ مدار آزمایش برای رسم مشخصه بی‌باری مولّد تحریک مستقل

ابتدا در حالی که مدار خروجی مولّد باز است ($I_L = 0$) ، مدار تحریک را نیز باز نموده ومقاومت میدان R_{Adj} را روی حداکثر مقدار خود قرار می‌دهیم و سپس مولّد را توسط محرک به‌دور نامی یا (هردور دلخواهی) می‌رسانیم و در تمام مدّت زمان آزمایش سرعت را ثابت نگه می‌داریم. حال ولتاژ ترمینال را اندازه می‌گیریم. چون جریان تحریک صفر است، ولتاژی را که اندازه می‌گیریم ناشی از پس‌ماند مغناطیسی در هسته است. مقدار این ولتاژ حدود ۲ تا ۳ درصد ولتاژ نامی مولّد است. سپس مدار تحریک را می‌بندیم و با کاهش تدریجی مقاومت رئوستای میدان R_{Adj} ، جریان تحریک را افزایش می‌دهیم تا ولتاژ خروجی مولّد افزایش یابد. در این حالت به ازای جریانهای تحریک مختلف، ولتاژ خروجی را می‌خوانیم و این کار را آنقدر ادامه می‌دهیم تا ولتاژ خروجی ۱/۱ تا ۱/۲۵برابر ولتاژ نامی مولّد شود.

سپس روی یک دستگاه مختصات که محور افقی آن جریان I_F و محور عمودی آن E_A است، نقاط نشان‌دهندهٔ مقدار هر ولتاژ به ازای جریان تحریک معینی را مشخص کرده و این نقاط را

❊ حروف نشاندهنده سرهای سیم‌پیچها در این شکل نسبت به شکلهای قبل، از استاندارد جدیدتری استفاده شده است.

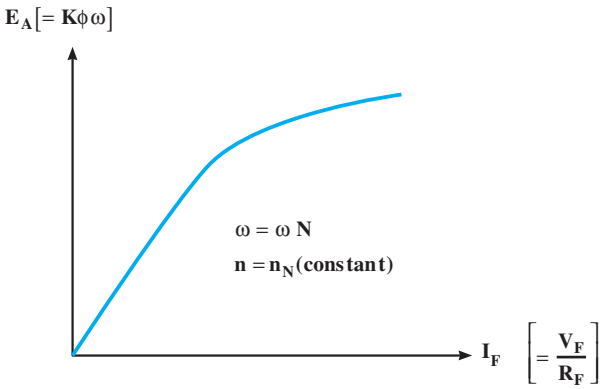
به‌هم وصل می‌کنیم. منحنی به‌دست آمده به منحنی رفت بی‌باری موسوم است. حال اگر مقاومت رئوستا را مجدداً به‌صورت تدریجی افزایش دهیم، جریان تحریک کم شده و با کاهش I_F ، فوران مغناطیسی مولّد هم کاهش یافته و نیروی محرکه کم می‌شود. در نهایت اگر مدار تحریک را باز کنیم، دوباره جریان تحریک صفر شده و ولتاژ پس‌ماند برگشت به دست می‌آید. به این ترتیب درحالت برگشت هم یک منحنی خواهیم داشت. میانگین دو منحنی رفت و برگشت را منحنی بی‌باری می‌نامند. این منحنی شبیه منحنی مغناطیسی هسته ماشین است. لذا به آن منحنی مغناطیسی هم گفته می‌شود. شکل ۱۲ــ۳ منحنی رفت، برگشت و میانگین مولّد را نشان می‌دهد.



شکل ۱۲ــ۳ــ منحنی بی‌باری مولّد تحریک مستقل

شکل ۱۳ــ۳ منحنی بی‌باری مولّد را در دور ثابت n_0 نشان می‌دهد. قسمت اول منحنی بی‌باری تقریباً خط مستقیم است زیرا به ازای جریان تحریک کم، تمام نیروی محرکهٔ مغناطیسی برای ایجاد فوران درفاصله هوایی که قابلیت نفوذ مغناطیسی آن ثابت است به مصرف می‌رسد.

امّا با افزایش جریان تحریک، اشباع ماشین شروع می‌شود و مشخصات بی‌باری به شکل منحنی درمی‌آید و وقتی مدار مغناطیسی اشباع شد، با محور افقی تقریباً موازی می‌شود. نقطهٔ مربوطه

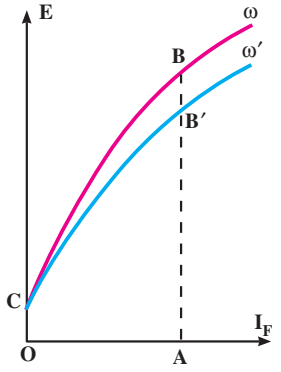


شکل ۱۳ــ۳ــ منحنی بی‌باری مولّد تحریک مستقل

به ولتاژ نامی ماشین باید در قسمت منحنی (شروع اشباع) باشد، زیرا اگر ولتاژ نامی ماشین روی قسمت خطی قرار گیرد به ازاء تغییر جزئی در جریان تحریک، ولتاژ بشدت تغییر می‌کند و کار ماشین ناپایدار می‌شود و چنانچه روی قسمت اشباع شده واقع شود امکان تنظیم ولتاژ ماشین محدود می‌گردد.

نکتهٔ دیگری که باید به آن توجه نمود این است که به ازاء هر دور معین (یا هر سرعت زاویه‌ای معین) یک منحنی بی‌باری به دست می‌آید. یعنی با افزایش دور محور مولّد، نیروی محرکهٔ القایی زیادتر می‌شود و برعکس. با توجه به شکل ۱۴ــ۳، به ازای جریان تحریک معین $I_F = OA$ ، نیروی محرکه در سرعت ω ، برابر $AB = E_A$ و در سرعت ω' ، مساوی $AB' = E'_A$ است. به‌طوری که می‌توان نوشت :

$$\frac{E_A}{E'_A} = \frac{K\phi\omega}{K\phi\omega'} = \frac{\omega}{\omega'} = \frac{n}{n'} \qquad (۳ــ۱۳)$$

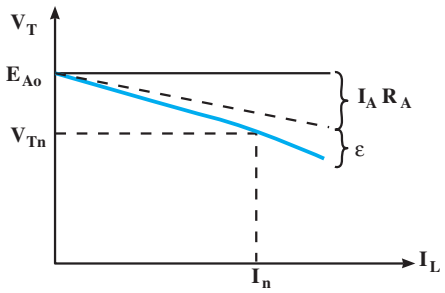


شکل ۱۴ــ۳ــ تغییر نیروی محرکه براثر افزایش دور محور مولّد

اگر منحنی بی‌باری را در دور n داشته باشیم، می‌توانیم مشخصات بی‌باری را در دور n′ به‌دست آوریم.

ب ــ مشخصه خارجی مولّد تحریک مستقل: این مشخصه عبارتست از $V_T = f(I_L)$ به‌ازای $R_F = \text{const}$ و $n = \text{const}$ ابتدا مولّد را با دور نامی توسط محرک به حرکت درمی‌آوریم، سپس مدار تحریک را به منبع DC وصل نموده با تغییر رئوستای میدان، جریان تحریک را به مقدار نامی آن می‌رسانیم سپس با ثابت نگه داشتن دور محور مولّد و جریان تحریک، بار را وصل نموده و آن را به تدریج افزایش می‌دهیم. وقتی جریان بار صفر است، ولتاژ ترمینال مولّد برابر نیروی محرکهٔ القایی E_A است. براثر عبور جریان از آرمیچر، افت اهمی $I_A R_A$ و افت در اثر عکس‌العمل مغناطیسی ε زیاد شده، ولتاژ ترمینال کاهش می‌یابد. افزایش بار را تا نقطه‌ای ادامه می‌دهیم که به‌ازای جریان نامی مولّد ولتاژ ترمینال مقدار نامی خود را به‌دست آورد.

همانطور که از منحنی شکل ۱۵ــ۳ مشخص است، با افزایش مجدد بار، ولتاژ خروجی کاهش یافته اما به دلیل محدودیت جریان سیم‌پیچ و آرمیچر مولّد را طبق مشخصات نامی آن بکار می‌برند که در شکل (۱۵ــ۳) مختصات نقطه کارنامی، I_n و V_{Tn} نشان داده شده است. در شکل ۱۵ــ۳ $I_A R_A$



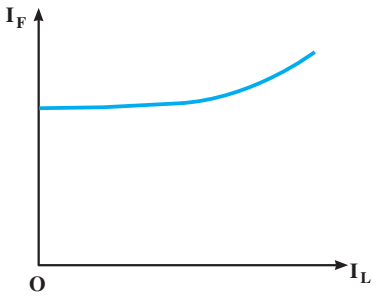
شکل ۱۵ــ۳ــ مشخصه خارجی مولّد تحریک مستقل

افت ولتاژ در اثر مقاومت اهمی آرمیچر و ε افت ولتاژ در اثر عکس‌العمل مغناطیسی آرمیچر است.

پ ــ مشخصه تنظیم مولّد تحریک مستقل: این مشخصه $I_F = f(I_L)$ به ازای $V_T = const$ و $n = const$ می‌باشد. قبلاً در مشخصه خارجی مولّد دیدیم که به ازای جریان تحریک ثابت، ولتاژ مولّد با افزایش جریان بار (I_L) کاهش و با کاهش جریان بار افزایش می‌یابد.

لذا برای ثابت نگه داشتن ولتاژ V_T در ترمینال مولّد باید هنگام زیاد کردن جریان I_L ، جریان تحریک I_F را نیز افزایش داد و هنگام کم کردن جریان بار، جریان تحریک I_F را کاهش داد.

منحنی تغییرات $I_F = f(I_L)$ را مشخصه تنظیم گویند (شکل ۱۶ــ۳).



شکل ۱۶ــ۳ــ مشخصهٔ تنظیم مولّد تحریک مستقل

در واقع مشخصه تنظیم نشان می‌دهد که برای ثابت ماندن ولتاژ خروجی در بارهای مختلف، جریان تحریک چگونه بایستی تغییر کند.

ت ــ کاربرد مولّد تحریک مستقل: به علت درصد تنظیم بالای آن در مولّدهایی که باید ولتاژ آنها در حدود وسیعی تنظیم گردد، مولّد تحریک مستقل مورد استفاده قرار می‌گیرد.

همچنین درتحریک مولّدهای بزرگ در نیروگاهها و تنظیم دور موتورها نیز از این مولّد

استفاده می‌شود.

مثال ۱ــ۳: ولتاژ ترمینال یک مولّد تحریک مستقل در حالی که ۲۰۰۰ دور در دقیقه می‌گردد ۲۴۰ V می‌باشد. اگر عکس‌العمل مغناطیسی آرمیچر ۲ ولت و جریان آرمیچر ۲۰ آمپر و مقاومت آرمیچر ۰/۵ اهم باشد، مقدار نیروی محرکهٔ القایی در آن چند ولت است؟ اگر دور به ۱۵۰۰ دور در دقیقه برسد، نیروی محرکه چند ولت می‌شود؟

حل:

$$E_A = V_T + I_A R_A + \varepsilon$$

ولتاژ مولّد در ۲۰۰۰ دور در دقیقه $E_A = ۲۴۰ + ۲۰ \times ۰/۵ + ۲ \Rightarrow E_A = ۲۵۲V$

ولتاژ مولّد در ۱۵۰۰ دور در دقیقه $\frac{E_A}{E'_A} = \frac{n}{n'} \Rightarrow \frac{۲۵۲}{E'_A} = \frac{۲۰۰۰}{۱۵۰۰} \Rightarrow E'_A = ۱۸۹V$

مثال ۲ــ۳: در مولّد تحریک مستقل شکل ۱۷ــ۳ که مشخصات خروجی آن، ۱۷۲KW، ۴۳۰V ، ۴۰۰A ، ۱۸۰۰R.P.M و منحنی مغناطیسی آن در شکل ۱۸ــ۳ نشان داده شده است، چنانچه افت ولتاژ ناشی از عکس‌العمل مغناطیسی صفر فرض شود، مطلوب است :

۱ــ مقدار ولتاژ بی‌باری مولّد اگر مقاومت رئوستای مدار تحریک در ۶۳ اهم تنظیم شود و مولّد با ۱۶۰۰دور در دقیقه بگردد.

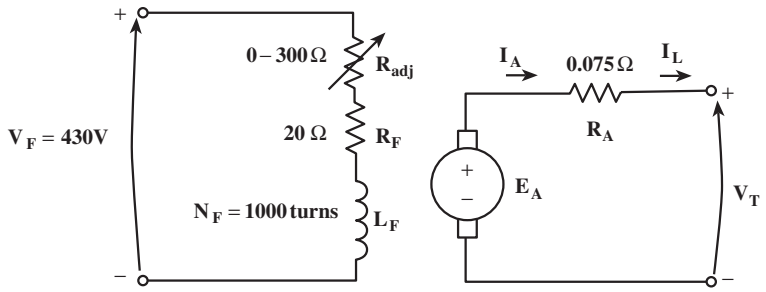
۲ــ مقدار ولتاژ خروجی مولد، اگر مقاومت یک اهمی به ترمینالهای مولّد اتصال یابد و شرایط قسمت ۱، هم برقرار باشد.

حل:

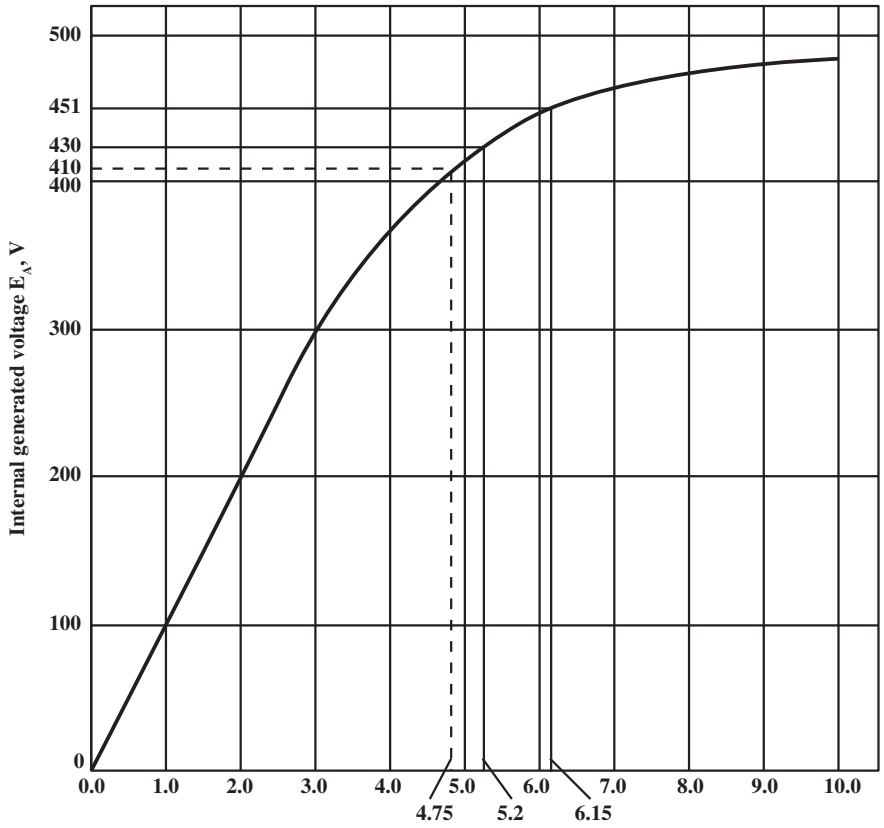
$$R_F = R_f + R_{Adj}$$

مقاومت مدار تحریک برابر است با : $R_F = ۲۰ + ۶۳ = ۸۳\Omega$

جریان تحریک برابر است با : $I_F = \frac{V_F}{R_F} = \frac{۴۳۰}{۸۳} = ۵/۲A$



شکل ۱۷ــ۳ــ مدار الکتریکی مولّد تحریک مستقل



شکل ۱۸ــ۳ــ منحنی بی‌باری مولّد تحریک مستقل مربوط به مثال ۱ــ۳

با استفاده از شکل ۱۸ــ۳ و جریان تحریک ۵/۲ آمپر نیروی محرکه برابر است با $E_{A\circ} = ۴۳\circ V$.

البته این مقدار ولتاژ القایی در دور ۱۸۰۰ دور در دقیقه است که باید تبدیل گردد :

$$\frac{E_A}{E_{A\circ}} = \frac{n_۱}{n_۲}$$

$$\frac{E_A}{۴۳\circ} = \frac{۱۶\circ\circ}{۱۸\circ\circ} \Rightarrow E_A = ۳۸۲ \ V$$

$$I_A = I_L = \frac{E_A}{R_a + R_L} = \frac{۳۸۲}{\circ/\circ۷۵ + ۱} = ۳۵۵/۳ \ A$$

از آنجا که ولتاژ خروجی برابر است با :

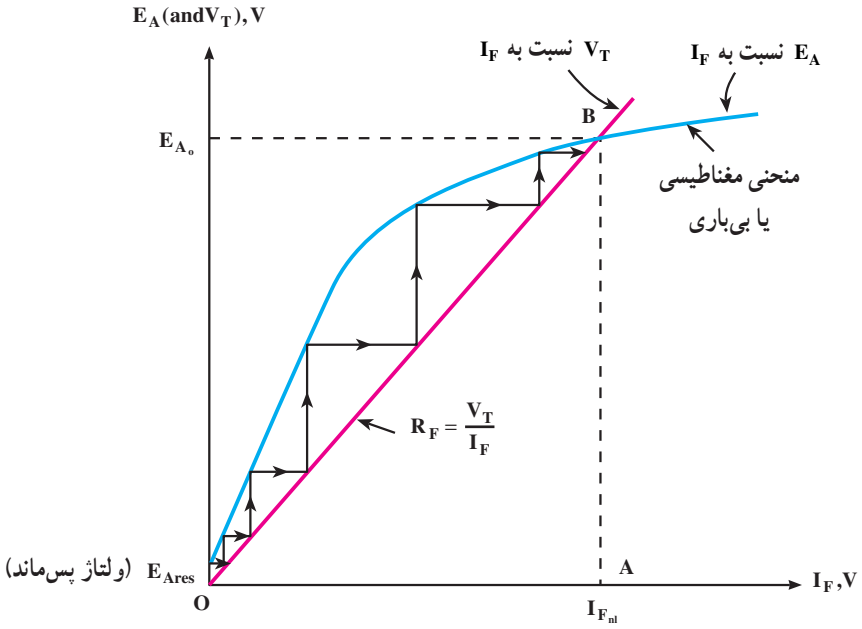
$$V_T = I_L R_L = ۳۵۵/۳ \times ۱ = ۳۵۵/۳ \ V$$

۲ــ۳ــ۳ــ مولّد شنت یا موازی: همانطوری که گفته شد این مولّد به منبع جریان جداگانه برای تحریک احتیاج ندارد. شرط خود تحریکی مولّد موازی آن است که فوران پس‌ماند مغناطیسی

در آن ۲ تا ۳ درصد فوران نامی ماشین باشد. در این صورت اگر ماشین را با دور نامی به گردش درآوریم، ولتاژی درحدود ۲ تا ۳ درصد ولتاژ نامی در سیم‌پیچی آرمیچر آن القاء می‌گردد. این ولتاژ سبب ایجاد جریانی در سیم‌پیچ تحریک می‌شود و فوران ناشی از آن، فوران پس‌ماند را تقویت می‌کند و سبب افزایش ولتاژ القاء شده در آرمیچر می‌گردد. این روند ادامه می‌یابد تا نیروی محرکهٔ القاء شده به مقدار معین برسد. قبل از این‌که منحنی مشخصه‌های این مولّد را بررسی کنیم، لازم است تا در مورد چگونگی راه‌اندازی و تعیین نقطه کار این مولّد بیشتر بحث کنیم.

الف ــ راه‌اندازی مولّد شنت و تعیین نقطه کار آن: شروع کار مولّد شنت براثر وجود پس‌ماند مغناطیسی در قطبها می‌باشد. یعنی وقتی مولّد را به‌وسیلهٔ موتور محرک با دور نامی به گردش درمی‌آوریم، به علت قطع خطوط قوای پس‌ماند توسط هادیهای آرمیچر، ولتاژی در آن القاء می‌شود. این ولتاژ که به دوسر مدار تحریک اعمال می‌گردد، جریان کمی از سیم‌پیچ قطبها عبور می‌دهد و در نتیجه فوران قطبها زیاد شده و نیروی محرکهٔ الکتریکی بیشتری در آرمیچر القاء می‌شود و ولتاژ دوسر مدار تحریک بالا می‌رود و مجدداً جریان تحریک افزایش یافته و ولتاژ القایی بزرگتر می‌شود (شکل ۱۹ــ۳).

اما رفته‌رفته افزایش نیروی محرکه القایی کم می‌شود. در نتیجه تغییرات جریان تحریک نیز کاهش می‌یابد. بالاخره به حالتی می‌رسیم که $V_T = R_F I_F$ می‌شود در این صورت نیروی محرکهٔ القایی ثابت می‌ماند. اگر مشخصه $R_F I_F$ را نیز رسم کنیم، خطی به دست می‌آید که در نقطه‌ای مانند B منحنی بی‌باری را قطع می‌کند. به خط $R_F I_F$ خط القاء می‌گویند. در محل برخورد خط القاء و



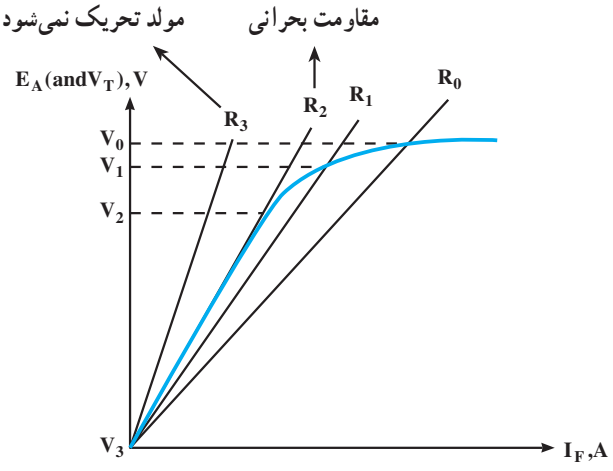
شکل ۱۹ــ۳ــ پدیدهٔ خودتحریکی در مولّد شنت و تعیین نقطه کار

منحنی $E_A = f(I_F)$ عمل افزایش جریان تحریک و نیروی محرکه خاتمه می‌یابد، زیرا از این به بعد اگر نیروی محرکه بخواهد زیاد شود، باید جریان تحریک از مقدار OA بیشتر گردد. امّا برای اینکه جریان تحریک بیش از این مقدار شود، لازم است ولتاژی بیش از حد توان تولید مولّد به دو سر تحریک اعمال گردد. زیرا خط القاء از این نقطه به بعد در بالای منحنی نیروی محرکه قرار می‌گیرد. پس نیروی محرکه در همین نقطه تثبیت خواهد شد.

نقطهٔ تقاطع خط $V_F = R_F I_F$ و منحنی بی‌باری $E_A = f(I_F)$ که در شکل ۱۹ــ۳ با B نشان داده شده و ولتاژ مولّد در آن نقطه تثبیت می‌شود به نقطه کار مولّد شنت موسوم است.

البته در راه‌اندازی مولّد شنت باید دقت کرد که فوران پس‌ماند و فورانی که در اثر عبور جریان تحریک ایجاد می‌گردد هم جهت باشند. زیرا در غیراین‌صورت فوران پس‌ماند ماشین ازبین می‌رود و در سیم‌پیچی آرمیچر، دیگر نیروی محرکه الکتریکی القاء نمی‌گردد. در این صورت بایستی سیم‌پیچ تحریک را توسط یک منبع جریان DC از خارج تحریک نمود.

اگر مقاومت رئوستای تحریک زیاد شود، مقاومت مدار تحریک R_F زیاد می‌شود و خط القاء منحنی بی‌باری را زودتر قطع می‌کند. در نتیجه نقطه کار به سمت مبدأ مختصات حرکت می‌کند. به‌عبارت دیگر، افزایش مقاومت مدار تحریک، سبب تغییر مکان خط القاء می‌شود. اگر مقاومت مدار تحریک آنقدر زیاد شود که خط القاء بر منحنی بی‌باری مماس شود، مولّد حالت ناپایداری خواهد داشت و نیروی محرکه نمی‌تواند مقدار معینی باشد. در این حالت می‌گویند مقاومت مدار تحریک بحرانی است. اگر مقاومت مدار تحریک را بازهم افزایش دهیم، دیگر خط القاء و منحنی بی‌باری یکدیگر را قطع نخواهند کرد و در این صورت، دیگر ولتاژی در آرمیچر القاء نخواهد شد. به عبارت دیگر اگر مقاومت مدار تحریک خیلی زیاد شود، مولّد تحریک نخواهد شد (شکل ۲۰ــ۳).



شکل ۲۰ــ۳ــ تغییر نقطهٔ کار مولّد شنت بر اثر تغییر مقاومت مدار تحریک

عوامل زیر سبب عدم تحریک یا عدم راه‌اندازی مولّد شنت می‌شود :

۱ــ پس‌ماند مغناطیسی ناچیز یا صفر باشد.

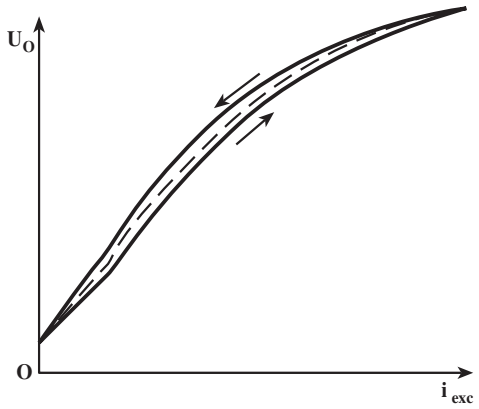
۲ــ جهت جریان تحریک طوری باشد که فوران ناشی از آن، فوران پس‌ماند را خنثی کند.

۳ــ مقاومت مدار تحریک از حد معینی بیشتر باشد.

۴ــ جهت گردش آرمیچر برعکس باشد که سبب عکس شدن جهت جریان تحریک می‌شود.

۵ــ دور محور از حد معین کمتر باشد.

ب ــ مشخصه بی‌باری مولّد: مشخصه بی‌باری مولّد شنت $E_A = f(I_F)$ به ازای $I_L = 0$ و $n = const$ می‌باشد. مشخصه بی‌باری مولّد موازی که در شکل ۲۱ــ۳ نشان داده شده، با مشخصه بی‌باری مولّد تحریک مستقل تفاوتی ندارد. زیرا جریان تحریک مولّد موازی، فقط یک تا سه درصد جریان نامی آن است و نمی‌تواند افت ولتاژ قابل ملاحظه روی سیم‌پیچ آرمیچر ایجاد کند و ولتاژ ترمینال مولّد را تغییر محسوسی بدهد. اصولاً برای رسم منحنی بی‌باری مولّد شنت، آن را به‌صورت تحریک مستقل راه‌اندازی می‌کنند.

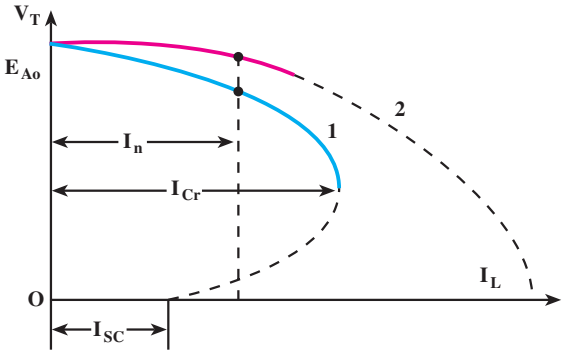


شکل ۲۱ــ۳ــ منحنی بی‌باری مولّد شنت

پ ــ مشخصه خارجی: این مشخصه، تغییرات ولتاژ ترمینال یا خروجی برحسب جریان بار یعنی $V_T = f(I_L)$ به ازای $R_F = const$ و $n = const$ می‌باشد. هنگام برداشتن مشخصه خارجی مولّد موازی باید مقاومت مدار تحریک را ثابت نگه داشت $(R_F = const)$.

به این جهت در مولّد تحریک مستقل $I_F = \frac{V_F}{R_F}$، ولی در مولّد موازی $I_F = \frac{V_T}{R_F}$ است.

هنگام تغییر I_L به علت افزایش مقدار بار، ولتاژ ترمینال مولّد تحریک مستقل در اثر افت ولتاژ $I_A R_A$ و عکس العمل مغناطیسی آرمیچر کاهش پیدا می‌کند. امّا در مولّدهای موازی علاوه بر اینها



شکل ۲۲ــ۳

علت دیگری نیز در کاهش ولتاژ خروجی مؤثر است. این علت کاهش جریان تحریک به دلیل کاهش ولتاژ خروجی (V_T) است. شکل ۲۲ــ۳ کاهش ولتاژ مولّد با تحریک مستقل (منحنی ۲) و مولّد موازی (منحنی ۱) را ضامن افزایش بار آنها نشان می‌دهد.

ملاحظه می‌شود که در مولّد تحریک مستقل، اگر مقاومت بار R_L را بتدریج کم کنیم، جریان مولّد دائماً روبه افزایش است و وقتی $R_L = ۰$ می‌شود، یعنی در اتصال کوتاه، جریان مولّد به حداکثر می‌رسد.

امّا در مولّد موازی جریان I_L فقط تا مقدار معینی (I_{Cr}) که معمولاً از ۲ تا ۲/۵ برابر جریان نامی تجاوز نخواهد کرد، افزایش می‌یابد و سپس روبه کاهش می‌رود (منحنی خط‌چین ۱ در شکل ۲۲ــ۳).

این وضع را به ترتیب زیر می‌توان توضیح داد. هنگام کاهش مقاومت R_L، جریان I_L می‌خواهد روبه افزایش رود. لیکن کاهش ولتاژ مولّد در جهت کاهش جریان اثر می‌کند و در نقطه برگشت منحنی اثر کاهش ولتاژ بیشتر است و در واقع ولتاژ به قدری کم می‌شود که نمی‌تواند جریان زیادی در مدار ایجاد کند.

در حالت I_{sc} که مربوط به اتصال کوتاه دوسر خروجی است، $V_T = ۰$ است لذا جریان تحریک نیز صفر می‌شود. پس جریان اتصال کوتاه فقط ناشی از ولتاژ القایی در اثر پس‌ماند مغناطیسی می‌باشد (منحنی ۱ شکل ۲۲ــ۳).

ت ــ مشخصه تنظیم مولّد شنت: این مشخصه $I_F = f(I_L)$ به ازای $V_T = \text{const}$ و $n = \text{const}$ می‌باشد. مشخصه تنظیم تمام ماشینهای جریان مستقیم خود تحریک مانند مشخصه تنظیم مولد با تحریک مستقل است.

ث ــ کاربرد مولّد شنت: درصد تنظیم ولتاژ مولّد شنت از مولّد تحریک مستقل بیشتر است.

از این مولّد بالا در شارژ باتری‌ها و تأمین برق روشنایی (اضطراری) و تغذیه سیم‌پیچ مولّدهای نیروگاهی استفاده می‌شود.

مثال ۳ــ۳: در یک مولّد شنت، منحنی بی‌باری در دور ۱۵۰۰ دور در دقیقه به‌طور تقریبی از رابطه زیر به‌دست می‌آید.

$$E_A = 6 + 150\sqrt{I_F}$$

مقاومت مدار تحریک ۱۵۶ اهم و مقاومت مدار آرمیچر ۰/۰۵ اهم است.

الف ــ ولتاژ ترمینال مولّد در حالت بی‌باری چند ولت است؟

ب ــ ولتاژ تولید شده و ولتاژ ترمینال را در جریان آرمیچر برابر با ۱۲۰ آمپر حساب کنید.

پ ــ شدت جریان این مولّد در حالت اتصال کوتاه چقدر است؟

ت ــ درصد تنظیم ولتاژ را برای حالت ب به‌دست آورید. $(\varepsilon = 0)$

حل:

الف ــ برای به‌دست آوردن ولتاژ بی‌باری، ابتدا معادله خط القاء را می‌نویسیم.

$$V_T = R_F I_F = 156 I_F$$

برای به‌دست آوردن نقطهٔ بی‌باری، بایستی خط القاء و منحنی بی‌باری همدیگر را قطع کنند. پس معادله خط القاء و معادله منحنی بی‌باری را مساوی هم قرار می‌دهیم و از آنجا I_F را به‌دست می‌آوریم.

$$6 + 150\sqrt{I_F} = 156 I_F \Rightarrow I_F = 1A$$

با قرار دادن مقدار I_F در معادله، نیروی محرکه را حساب می‌کنیم :

$$E_{A_0} = 6 + 150\sqrt{1} = 156V$$

ب ــ چون $\varepsilon = 0$ است پس داریم : $V_T = E_A - I_A R_A - \varepsilon$

$$156 I_F = 6 + 150\sqrt{I_F} - 120 \times 0/05 \Rightarrow I_F = (\frac{25}{26})^2 A$$

$$V_T = 156 I_F = 156 \times (\frac{25}{26})^2 = 144/23V$$

$$E_A = 6 + 150\sqrt{(\frac{25}{26})^2} = 150/23V$$

پ ــ $I_F = 0 \Rightarrow E_A = 6 + 150\sqrt{0} \Rightarrow E_A = 6V$

$$V_T = E_A - I_A R_A - \varepsilon$$

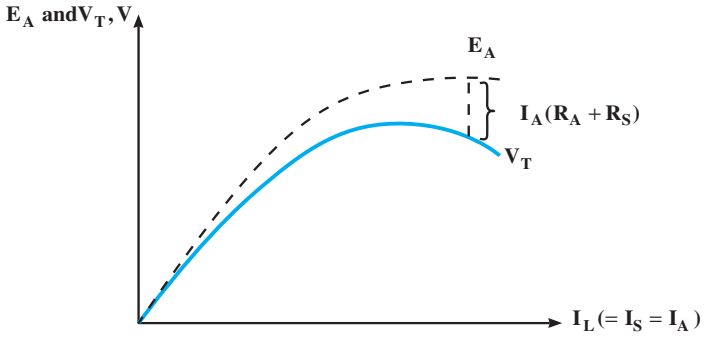
$$۰ = ۶ - ۰/۰۵I_A \Rightarrow I_A = ۱۲۰A$$

ت ــ درصد تنظیم برای حالت (ب) برابر است با :

$$٪V_R = \frac{E_A - V_T}{V_T} \times ۱۰۰ = \frac{۱۵۰/۲۳ - ۱۴۴/۲۳}{۱۴۴/۲۳} \times ۱۰۰ = ٪۴/۱$$

۳ــ۳ــ۳ــ مولّد سری: چون در مولّد سری که با دور ثابت می‌چرخد، فقط دو مقدار متغیر V_T و I_A باقی می‌ماند، لذا این مولّد اصولاً فقط دارای یک مشخصه $V_T = f(I_L)$ به ازای $n = const$ است. امّا می‌توان با تحریک مستقل مشخصه مغناطیسی این ماشین را نیز به دست آورد و ما در این قسمت مشخصه‌های بی‌باری و خارجی این مولّد را نیز بررسی می‌کنیم.

الف ــ مشخصه بی باری مولّد سری: همانطور که توضیح داده شد، با مولّد سری نمی‌توان آزمایش بی‌باری را انجام داد، زیرا در حالت بی‌باری دوسر خروجی باز است. بنابراین، جریان تحریک و فوران ایجاد شده توسط آن، صفر است. در نتیجه نیروی محرکه‌ای در آرمیچر القاء نمی‌شود. در چنین حالتی برای رسم منحنی بی‌باری بایستی مولّد را به صورت تحریک مستقل راه‌اندازی نمود تا بتوان منحنی مغناطیسی ماشین را به‌دست آورد. منحنی خط‌چین شکل ۲۳ــ۳ مشخصه بی‌باری مولّد سری را نشان می‌دهد.



شکل ۲۳ــ۳ــ مشخصه‌های بی‌باری مولّد سری

ب ــ مشخصه خارجی مولّد سری: $n = const. V_T = f(I_L)$. ابتدا مولّد را توسط یک موتور محرک به گردش درمی‌آوریم و وقتی که مولّد به دور نامی رسید، دور آن را ثابت نگه می‌داریم و سپس برای به‌دست آوردن مشخصه با باری، اوّل حداکثر مقاومت بار را در مدار قرار می‌دهیم. در چنین حالتی جریان کمی از آرمیچر و در نتیجه از سیم‌پیچی تحریک عبور نموده و فوران پس‌ماند را تقویت می‌نماید و زمانی که فوران زیاد شد، نیروی محرکهٔ القایی زیاد شده و براثر زیاد شدن نیروی محرکهٔ القایی، ولتاژ خروجی افزایش می‌یابد. با کاهش مقاومت بار، جریان تحریک که برابر جریان بار

و آرمیچر است زیاد شده و قطبها را اشباع می‌نماید و در نتیجه فوران ثابت می‌ماند و چون دور هم ثابت است، نیروی محرکه ثابت می‌شود. اما با افزایش بیشتر بار در حالی که نیروی محرکه تقریباً ثابت است به دلایل زیر ولتاژ خروجی کاهش می‌یابد.

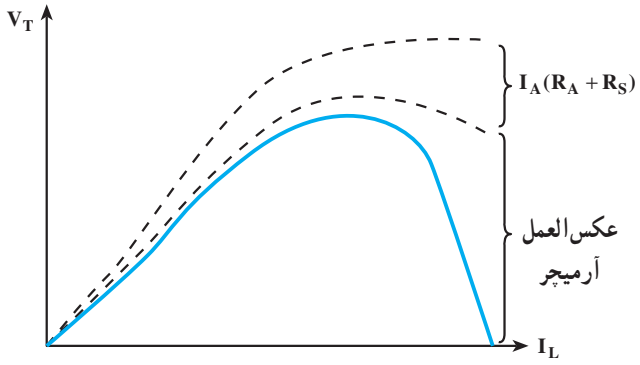
۱ــ افت ولتاژ در هادیهای آرمیچر

۲ــ افت ولتاژ در سیم‌پیچی تحریک

۳ــ افت ولتاژ بر اثر عکس‌العمل مغناطیسی القاء شونده.

شکل ۲۴ــ۳ منحنی مشخصه خارجی و مشخصه نیروی محرکهٔ القایی را نشان می‌دهد.

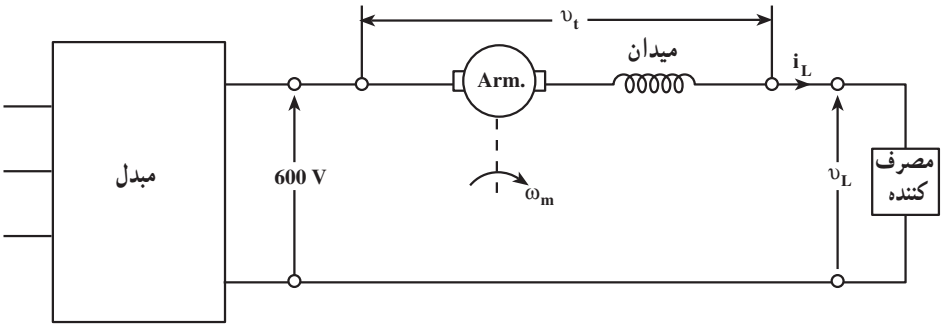
همچنین در این شکل، افت ولتاژ در اثر عکس‌العمل و مقاومتهای اهمی آرمیچر نیز جداگانه نشان داده شده است.



شکل ۲۴ــ۳ــ منحنی مشخصه خارجی و بی‌باری مولّد سری

پ ــ کاربرد مولّد سری: مورد استفاده مولّد سری خیلی کم است، زیرا ولتاژ دوسر آرمیچر براثر تغییر جریان بار به‌طور قابل ملاحظه‌ای تغییر می‌کند.

از این مولّد به‌عنوان جبران‌کننده افت ولتاژ خط استفاده شده است (شکل ۲۵ــ۳).



شکل ۲۵ــ۳ــ مولّد سری جهت تقویت خط قدرت

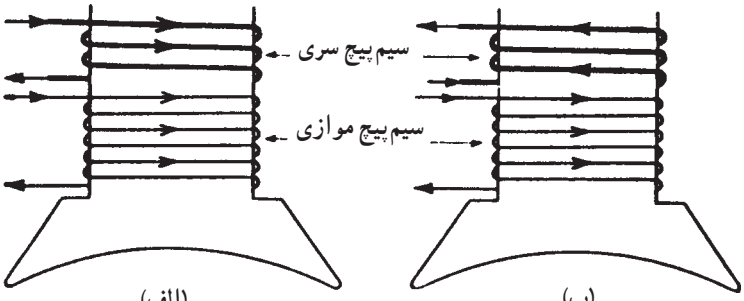
۴ــ۳ــ۳ــ مولّد کمپوند: مولّد کمپوند بر دو نوع است :

۱ــ مولّد کمپوند اضافی.

۲ــ مولّد کمپوند نقصانی.

مولد کمپوند اضافی: در مولّد کمپوند اضافی، فوران ناشی از سیم‌پیچ تحریک سری، فوران سیم‌پیچ تحریک شنت را تقویت می‌نماید (شکل ۲۶ــ۳ ــالف). در این مولّد سیم‌پیچ تحریک شنت نقش اصلی رابه عهده دارد، لذا سیم‌پیچ تحریک سری در یک بار معین برای جبران افت ولتاژ اهمی و عکس‌العمل مغناطیسی آرمیچر به‌کار می‌رود.

مولد کمپوند نقصانی[1]***:*** در این نوع مولّد، فوران ناشی از سیم‌پیچ تحریک سری با فوران ناشی از سیم‌پیچ تحریک شنت مخالفت می‌کند (شکل ۲۶ــ۳ــ ب).



شکل ۲۶ــ۳

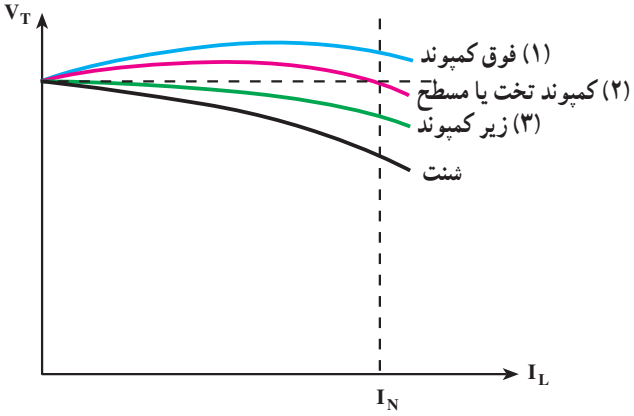
الف ــ مشخصه بی‌باری مولّد کمپوند: منحنی مشخصه بی‌باری مولّد کمپوند فقط با استفاده از سیم‌پیچی تحریک شنت به‌دست می‌آید. چون جریانی که از سیم‌پیچی تحریک سری عبور می‌کند یا صفر است یا بسیار ناچیز و قابل صرفنظر کردن، لذا منحنی بی‌باری این مولد درست مانند منحنی مشخصه مولّد شنت است.

ب ــ مشخصه خارجی مولّد کمپوند اضافی: برای رسم مشخصه خارجی مولّد کمپوند ابتدا مولّد را توسط موتور محرک با دور ثابت به‌گردش درمی‌آوریم. پس از تنظیم ولتاژ خروجی توسط تغییر رئوستای مدار تحریک شنت، کلید بار را بسته و بار آن‌را افزایش می‌دهیم. سپس با اندازه‌گیری ولتاژ خروجی در بارهای مختلف، شاخص $V_T = f(I_L)$ را رسم می‌کنیم. برای مولّد کمپوند اضافی در حالت بارداری ممکن است یکی از سه حالت زیر پیش آید (شکل ۲۷ــ۳).

۱ــ با افزایش بار، ولتاژ خروجی نیز زیاد می‌شود. این حالت را فوق کمپوند می‌گویند. در این حالت، افزایش نیروی محرکه ناشی از سیم‌پیچ سری بزرگتر از افت ولتاژ دراثر مقاومت و

---

۱ ــ Diffrential Compounded



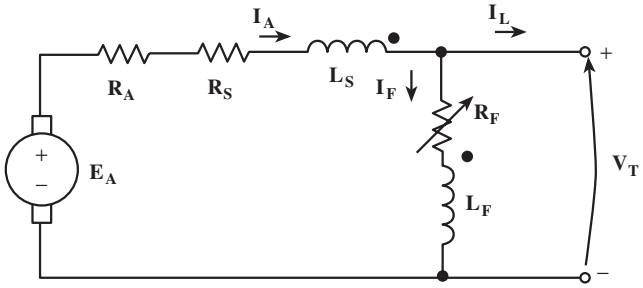
شکل ۲۷ــ۳ــ منحنی مشخصهٔ مولّد کمپوند اضافی

عکس‌العمل آرمیچر است.

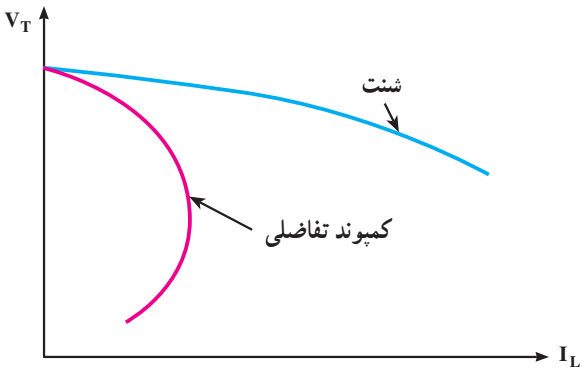
۲ــ با افزایش بار، ولتاژ خروجی ثابت می‌ماند. در این حالت، افت ولتاژ ناشی از مقاومت وعکس‌العمل آرمیچر با افزایش نیروی محرکهٔ ناشی از سیم‌پیچ سری جبران می‌شود. به این حالت کمپوند مسطح گفته می‌شود.

۳ــ با افزایش بار، ولتاژ خروجی کاهش می‌یابد. در این حالت، افزایش نیروی محرکه ناشی از سیم‌پیچ سری نمی‌تواند افت ولتاژها را جبران کند. البته در این حالت افت ولتاژ مولّد کمتر از افت ولتاژ در مولّد شنت است. در مولّدهای کمپوند اضافی می‌توان با موازی بستن یک مقاومت متغیر با سیم‌پیچ تحریک سری جریان آن را تنظیم نمود تا در صورت نیاز، یکی از حالات فوق را برای مولّد کمپوند ایجاد نمود.

پ ــ منحنی مشخصه مولّد کمپوند نقصانی: اگر سیم‌پیچی تحریک سری طوری در مدار قرار گیرد که در حالت دارا بودن بار، باعث تضعیف میدان مغناطیسی شنت شود، (شکل ۲۸ــ۳)، ولتاژ خروجی آن بشدت کاهش یافته منحنی مشخصه چنین مولدی نظیر شکل ۲۹ــ۳ خواهد بود.



شکل ۲۸ــ۳ــ مدار الکتریکی مولّد کمپوند نقصانی



شکل ۲۹ــ۳ــ منحنی بارداری مولّد کمپوند نقصانی

همانطور که شکل مزبور نشان می‌دهد، افت ولتاژ خروجی در این مولّد بسیار شدیدتر از مولّد شنت است. چرا که در این مولّد علاوه بر افت ولتاژهای موجود در مولّد شنت، مخالفت میدان سیم‌پیچ تحریک سری با میدان تحریک شنت، سبب تضعیف شدید میدان مغناطیسی قطبها می‌شود و در نتیجه نیروی محرکه بشدت کاهش می‌یابد.

ت ــ کاربرد مولّد کمپوند: مولّد کمپوند اضافی در تحریک مولّدهای نیروگاهی نقش مؤثری دارد. از مولّدهای کمپوند تخت، جایی استفاده می‌شود که نیاز به ولتاژ ثابتی باشد و فاصله بین مولّد و مصرف‌کننده کم باشد. از مولّدهای کمپوند نقصانی در جوشکاری استفاده می‌شود زیرا در حالتی که بین دو الکترود قوسی برقرار نشده، ولتاژی حدود ۶۰ ولت احتیاج است. امّا وقتی قوس برقرار شد، برای جلوگیری از افزایش شدید جریان، بایستی ولتاژ به حدود ۲۰ ولت کاهش یابد. بنابراین مشخصه کمپوند نقصانی می‌تواند در چنین موردی، نیاز مصرف‌کننده را تأمین نماید.

از مولّد کمپوند اضافی در حالت فوق، در مواردی استفاده می‌شود که بایستی ولتاژ بار ثابت باشد. ولی به علت وجود فاصله بین مولّد و مصرف‌کننده در سیمها افت ولتاژ به‌وجود می‌آید. در این حالت افزایش ولتاژ خروجی مولّد، افت ولتاژ خط را جبران می‌کند و به مصرف‌کننده ولتاژ ثابت می‌رسد.

مثال ۴ــ۳: یک مولّد، با تحریک موازی یا شنت در حالت بی‌باری با جریان تحریک ۴/۱ آمپر، ولتاژ ۴۴۰ ولت تولید می‌کند. همچنین جریان تحریک ۵/۸ آمپر با بار ۲۰۰ آمپر، ولتاژی برابر ۴۴۰ ولت در ترمینال خروجی ماشین تولید می‌کند.

با تبدیل این مولّد به مولّد کمپوند، ترتیبی داده می‌شود که ولتاژ مولّد با تغییر بار ثابت باشد. در صورتی که سیم‌پیچ تحریک شنت ۱۲۰۰ دور در هر قطب داشته باشد، تعداد دورهای لازم، مدار

تحریک سری را برای هر قطب حساب کنید. از مقاومت سیم‌پیچ سری صرفنظر شود.

حل: تعداد آمپر دورهای لازم جهت تحریک در حالت بی‌باری برابر است با :

$$N_{sh}.I_{fsh} = ۱۲۰۰ \times ۴/۱ = ۴۹۲۰A$$

تعداد آمپر دورهای لازم، جهت تحریک با بار ۲۰۰ آمپر عبارت است از :

$$۱۲۰۰ \times ۵/۸ = ۶۹۶۰A$$

تعداد آمپر دورهایی که سیم‌پیچ تحریک سری باید تولید کند برابر است با :

$$۶۹۶۰ - ۴۹۲۰ = ۲۰۴۰A$$

$$N_s I_L = ۲۰۴۰ \Rightarrow N_s \times ۲۰۰ = ۲۰۴۰ \Rightarrow N_s = ۱۰ \quad \text{دور}$$

۴ــ۳ــ پرسش

۱ــ شرایط خودتحریکی در مولّد شنت را نام ببرید.

۲ــ آیا مولّد سری برای بارهای روشنایی مناسب است؟ چرا؟

۳ــ مورد استفاده مولّد شنت و سری را بیان نمایید.

۴ــ چرا مولّد شنت در بارهای زیاد خود را حفاظت می‌کند؟

۵ــ جریان اتصال کوتاه دائم در مولّد تحریک مستقل زیادتر است یا در مولّد شنت؟

۶ــ جریان اتصال کوتاه دائم در مولّد سری بیشتر است یا در مولّد شنت؟ چرا؟

۷ــ چرا برای رسم منحنی بی‌باری مولّدهای جریان مستقیم، دو منحنی رفت و برگشت لازم است؟

۸ــ نقطهٔ کار مولّد شنت چگونه به‌دست می‌آید؟

۹ــ مقاومت بحرانی مدار تحریک مولّد شنت چگونه محاسبه می‌شود؟

۱۰ــ عواملی که سبب عدم تحریک مولّد شنت می‌شوند کدامند؟

۱۱ــ در مولّد تحریک مستقل بایستی به مولّد، انرژی الکتریکی بدهیم تا انرژی الکتریکی تولید کند. فایدهٔ این کار چیست؟

۱۲ــ مولّد کمپوند اضافی دارای کدام حالات است؟

۱۳ــ مورد کاربرد مولّد کمپوند نقصانی را بیان کنید.

۱۴ــ برای تثبیت ولتاژ ترمینال مولّدهای DC چه تدابیری به‌کار می‌برند؟

۱۵ــ در کمپوند تخت چرا بارگیری از مولّد تأثیری در ولتاژ خروجی آن نمی‌گذارد؟

۱۶ــ چرا مولّدهای سری را با خط انتقال DC به‌صورت سری می‌بندند؟

۱۷ــ اگر یک مولّد شنت حین بارداری با ولتاژ نامی اتصال کوتاه شود، جریان اتصال کوتاه چه تغییراتی خواهد داشت؟

۱۸ــ مدار معادل الکتریکی مولد کمپوند نقصانی را با انشعاب کوتاه رسم کنید و معادله‌های I_A ، V_T و I_F را برای آن بنویسید.

۵ــ۳ــ مسائل

۱ــ یک مولّد با تحریک جداگانه و ولتاژ ۱۲۵ ولت و جریان $I_A = 16A$ ، دارای مقاومت آرمیچری برابر ۰/۶ اهم است. نیروی محرکهٔ الکتریکی و توان الکترومغناطیسی این مولّد را به‌دست آورید. عکس‌العمل مغناطیسی آرمیچر را ۳ ولت فرض کنید.

۲ــ یک مولّد جریان مستقیم با مقادیر نامی ۴۰۰ ولت و ۱۰۰ کیلووات، برای راه‌اندازی و گردش، نیاز به توانی برابر ۱۵۰ اسب بخار دارد. معلوم کنید :

الف ــ جریان نامی

ب ــ راندمان مولّد برحسب درصد

پ ــ مقاومت آرمیچر را در صورتی که افت ولتاژ مولّد $I_A R_A$ ، ۴٪ نیروی محرکهٔ الکتریکی باشد $\varepsilon = 0$ می‌باشد.

۳ــ مقاومت آرمیچر و مقاومت تحریک یک مولّد شنت ۴۴۰ V، ۲۰ kW به ترتیب ۰/۵Ω و ۴۰۰Ω است. اگر تلفات آهنی و اصطکاک جمعاً ۳۴۵۹/۸ W و عکس‌العمل مغناطیسی آرمیچر برابر ۴ ولت باشد، مطلوب است :

الف ــ جریان تحریک و آرمیچر

ب ــ تلفات مسی مولّد

پ ــ راندمان مولّد

۴ــ یک مولّد شنت ۴۰ کیلووات ۲۰۰ ولتی دارای چهار قطب می‌باشد. سیم‌پیچی آرمیچر آن موجی ساده است. مقاومت آرمیچر این مولّد ۰/۰۱ اهم و دارای ۱۵۰ دور سیم می‌باشد. در صورتی که فوران مغناطیسی زیر هر قطب ۰/۰۲ وبر و مقاومت مدار تحریک ۵۰ اهم باشد و از عکس‌العمل مغناطیسی آرمیچر صرفنظر شود، سرعت مولّد را برحسب دور در دقیقه به‌دست آورید.

۵ــ در یک مولّد با مدار تحریک مستقل، ولتاژ ماشین در حالت بی‌باری ۳۰۰ ولت است. اگر سرعت ماشین را ۱/۵ برابر کرده و جریان تحریک را به نصف تقلیل دهیم ولتاژ مولّد در حالت بی‌باری چقدر می‌شود؟ (از اشباع مغناطیسی آهن صرفنظر شود).

۶ــ در یک مولّد با مدار تحریک مستقل، مقاومت مدار آرمیچر ۰/۱۵ اهم، سرعت گردش محور مولّد ۱۰۰۰ دور در دقیقه، جریان آرمیچر ۱۰۰ آمپر و ولتاژ ترمینال مولّد ۳۰۰ ولت می‌باشد. اگر از عکس‌العمل مغناطیسی صرفنظر شود مقدار نیروی محرکه و گشتاور الکترومغناطیسی مولّد را به‌دست آورید.

۷ــ منحنی بی‌باری یک مولّد در سرعت ۷۵۰ دور در دقیقه در جدول زیر مشخص شده است.

$E_A(V)$	۱۰	۱۷۲	۳۰۰	۳۶۰	۳۸۵	۳۹۵
$I_F(A)$	۰	۱	۲	۳	۴	۵

الف ــ ولتاژ بی‌باری این مولّد را با تحریک شنت، در سرعت ۷۵۰ دور در دقیقه حساب کنید. مقاومت مدار تحریک ۱۲۵ اهم می‌باشد.

ب ــ اگر سرعت ماشین را به نصف کاهش دهیم، ولتاژ ماشین در حالت بی‌باری چقدر می‌شود؟

۸ــ منحنی بی‌باری یک مولّد در سرعت ۵۰۰ دور در دقیقه در جدول زیر داده شده است :

$E_A(V)$	۷۱	۱۳۵	۱۷۹	۲۰۲	۲۱۴
$I_F(A)$	۲	۴	۶	۸	۱۰

این مولّد را با مدار تحریک شنت در سرعت ۶۰۰ دور در دقیقه می‌گردانیم. اگر مقاومت مدار تحریک ۲۵ اهم باشد، ولتاژ بی‌باری چقدر است؟

مولد را زیر بار می‌گذاریم به‌طوری که ولتاژ خروجی ماشین ۲۳۰ ولت شود. در صورتی که مقاومت اهمی آرمیچر ۱ اهم باشد، جریان بار را محاسبه کنید. از عکس‌العمل مغناطیسی آرمیچر صرفنظر شود.

۹ــ مولّد جریان مستقیمی باتحریک سری ۴ قطب که فوران زیر هر قطب آن ۳×۱۰^{-۲} وبر و تعداد هادیهای آرمیچر ۲۰۰ عدد و سیم‌پیچی آرمیچر به‌طور موجی ساده اتصال داده شده است، دارای مقاومت آرمیچر ۰/۲ اهم و تحریک ۰/۰۵ اهم می‌باشد. اگر محور این مولد با سرعت ۶۰۰ دور در دقیقه بچرخد، جریان ۲۰ آمپری به شبکه می‌دهد. ولتاژ ترمینال مولد را حساب کنید. ε، عکس‌العمل مغناطیسی آرمیچر را ۲ ولت فرض کنید.

۱۰ــ در آزمایش بی‌باری یک مولّد شنت در ۱۰۰۰ دور در دقیقه، نتایج زیر به‌دست آمده است.

$E_A(V)$	۳۰	۵۵	۷۵	۹۰	۱۰۰	۱۱۰	۱۱۵	۱۲۰
$I_F(A)$	۰/۲	۰/۴	۰/۶	۰/۸	۱	۱/۲	۱/۴	۱/۶

اگر این مولّد به مصرف‌کنندهٔ ۱۰۰ اهمی در همان سرعت ۱۰۰۰ دور در دقیقه وصل شود، درصورتی که جریان تحریک نامی یک آمپر باشد، حساب کنید :

۱ــ نیروی محرکه الکتریکی ماشین را در حالت بی‌باری.

۲ــ مقدار مقاومت بحرانی مدار شنت.

۳ــ نیروی محرکه القاء شده در آرمیچر، اگر سرعت محور رابه ۱۱۰۰ دور در دقیقه برسانیم.

۱۱ــ مولّدی با تحریک شنت که جریان نامی آرمیچر آن ۲۰۰ A و ولتاژ ترمینال آن ۴۰۰ ولت می‌باشد، توسط موتور دیزل به قدرت ۱۲۰ اسب بخار به حرکت در می‌آید. در صورتی که مقاومت آرمیچر آن ۰/۰۵اهم باشد، مطلوب است :

الف ــ نیروی محرکه الکتریکی E_A در صورتی که $\varepsilon = 4V$ باشد.

ب ــ راندمان η در صورتی‌که مقاومت مدار تحریک ۴۰۰ اهم باشد.

پ ــ تلفات کل مولد

۱۲ــ مقادیر مجهول را در جدول ۱ــ۳ برای یک مولّد جریان مستقیم با تحریک مستقل پیدا کنید.

جدول ۱ــ ۳

$V_T(V)$	$I_L(A)$	$P_1(H.P.)$	$P_2(kW)$	$\eta(٪)$
۴۰۰	۲۰۰	?	?	٪۹۰
۲۰۰	۴۵	۱۴	?	٪?
?	۳۰	۱۶	?	٪۸۶
۳۰۰	?	۷۵	۵۰	٪?
۴۰۰	?	?	۴۰	٪۸۵
۴۴۰	?	۴۰	?	٪۸۶
?	۲۰	۴۰	?	٪۸۷