فصل هشتم: ماشینهای جریان مستقیم

۸-۱ ژنراتور های جریان مستقیم

در این بخش با بررسی مدار معادل ژنراتور های DC و معادلات مربوط مشخصه های کارکرد آنها را بدست می آوریم. با توجه به معادله زیر در مورد ژنراتور های DC :

$$E_g = \frac{Z\phi P\omega}{2\pi a}$$

می بینیم که در یک ژنراتور ساخته شده که تعداد مسیرهای موازی آن، تعداد قطب های آن و تعداد هادیهای آن ثابت و مشخص است. رابطه فوق را می توان به صورت زیر نوشت:

$$E_g = K\phi\omega \qquad (۸-۱)$$

در این معادله K عبارتست از ثابت ماشین. رابطه۸-۱ نشان می دهد که میزان ولتاژ تولید شده در یک ژنراتور DC با سرعت دورانی آرمیچر و شار تحریک توسط قطبها نسبت مستقیم دارد بطوریکه می توان نوشت:

$$\frac{E_{g1}}{E_{g2}} = \frac{\phi_1\omega_1}{\phi_2\omega_2} \qquad (۸-۲)$$

مثال:

یک ژنراتور DC با سرعت ۲۰۰ رادیان در ثانیه ۲۲۰ ولت تولید می کند. اگر شار قطب ها ثابت بماند و سرعت به ۱۸۵ رادیان بر ثانیه کاهش یابد ولتاژ چه مقدار خواهد بود. اگر بخواهیم ولتاژ را در این سرعت به مقدار ۲۲۰ ولت داشته باشیم شار چه مقدار باید باشد؟

$$\frac{E_{g1}}{E_{g2}} = \frac{\phi_1\omega_1}{\phi_2\omega_2} = \frac{\omega_1}{\omega_2}$$

$$E_{g2} = 200(\frac{185}{200}) = 203.5v$$

$$\phi_2 = \frac{200}{185}(\phi_1) = 1.081\phi_1$$

۸-۲ مدار معادل ژنراتور های DC

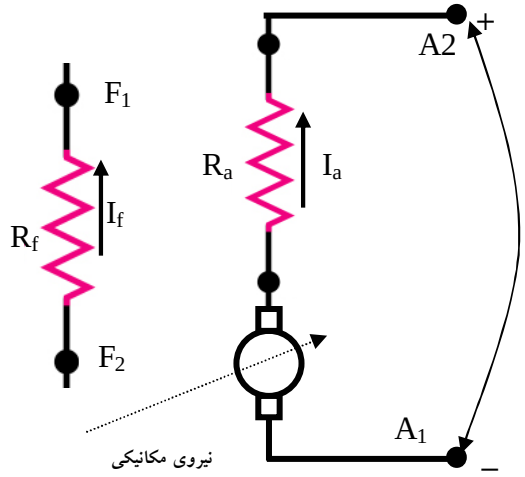
همانطور که در بخش ترانسفورماتورها دیدیم مدار معادل کمک می کند تا تحلیل وسائل و فرایند ها ساده تر انجام گیرد. مدار معادل یک ژنراتور DC از دو قسمت مدار تحریک و مدار آرمیچر تشکیل می گردد. مدار تحریک شامل سیم پیچ تحریک که پارامترهای مقاومت مدار تحریک[1] R_f و جریان مدار تحریک[2] I_f در آن نشان داده می شود. مدار آرمیچر نیز شامل پارامتر های زیر است که در مدار معادل نشان داده می شوند:

- ولتاژ القاء شده در آرمیچر که از رابطه ۱-۸ بدست می آید
- مقاومت کل آرمیچر که از مجموع (معادل) مقاومت کلاف های آن بدست می آید.

---

[1] Field Resistance
[2] Field Current

❖ ژنراتور ها چون از طریق یک محرک مکانیکی مثلاً توربینها بکار می افتند این پارامتر نیـز در مـدار معادل نشان داده می شود.

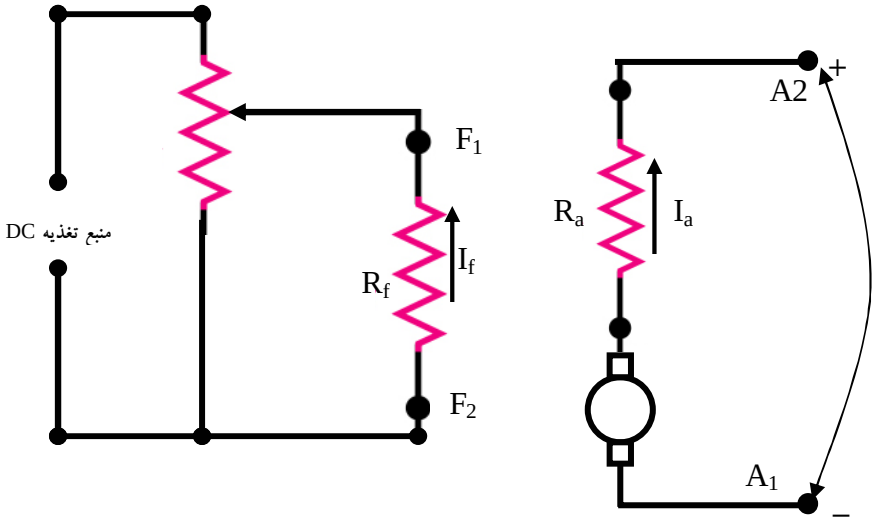


شکل ۱-۸: مدار معادل ژنراتور DC

۸-۳ انواع ژنراتور های DC

۸-۳-۱ ژنراتور های با تحریک جداگانه[1]

این ژنراتور های DC از ساده ترین نوع ژنراتور های DC هستند با این وجود بدلیل اینکه نیاز بـه یـک منبـع تغذیه DC جداگانه جهت تحریک قطب ها دارند کمتر مورد توجه هستند. در این ژنراتور ها مدار تحریـک و آرمیچر کاملاً از هم جدا می باشند. جریان تحریک I_f توسط یک مقاومت متغییر کنترل شده و لذا میـزان شـار قطب ها تغییر می کند. با تغییر شار طبق رابطه ۱-۸ ولتاژ تولیدی تغییر خواهد کرد.



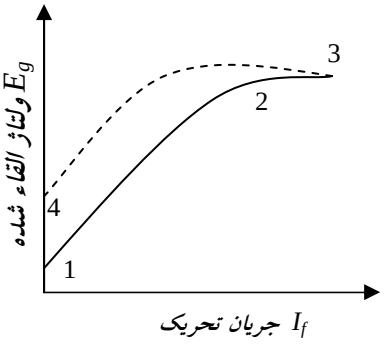
شکل۲-۸: مدار معادل ژنراتور DC با تحریک جداگانه

در این مدار همانطور که مشاهده می شود می توان نوشت:

[1] Separated Excited

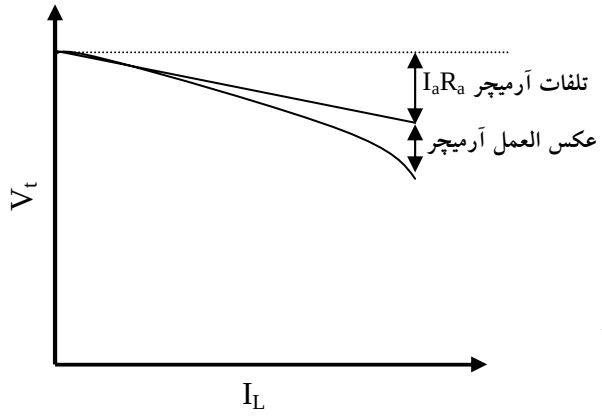
$$I_L = I_a$$
$$V_t = E_g - I_a R_a \qquad (۸-۳)$$
$$I_f = \frac{V_f}{R_f}$$

علاوه بر این با توجه به معادله ۱-۸ به نظر می رسد که رابطه بین جریان تحریک و ولتاژتولید شده در ژنراتور بایستی که خطی باشد ولی به دلیل غیر خطی بودن ایجاد شار در مواد فرو مغناطیس و اشباع شدن آنها این رابطه خطی نخواهد بود (شکل ۳-۸).



شکل ۳-۸: رابطه بین جریان تحریک و ولتاژ القاء شده در ژنراتور با تحریک جداگانه

در حالت بی باری جریان مصرفی بار صفر بوده لذا در آرمیچر افتی وجود نداشته و لذا ولتاژ القاء شده و ولتاژ خروجی با هم برابر خواهد بود. با شروع اعمال بار در ابتدای کار جریان آرمیچر کم بوده که بتدریج افزایش می یابد با افزایش جریان آرمیچر افت آرمیچر افزایش یافته و به همان نسبت تفاوت بین ولتاژ القاء شده و ولتاژ خروجی بیشتر می شود که سبب می گردد تغییرات ولتاژ خروجی نسبت به جریان بار به صورت خطی کاهش یابد ولی بدلیل عکس العمل آرمیچر ولتاژ خروجی باشدت بیشتری کاهش یافته سبب می شود این رابطه به صورت غیر خطی باشد (شکل ۴-۸).



شکل ۴-۸: منحنی مشخصه بار در یک ژنراتور DC با تحریک جداگانه.

۸-۳-۳ تنظیم ولتاژ در ژنراتور

ژنراتور ها معمولاً در بار اسمی خود کار می کنند و یا بهتر است در بار اسمی خود کار نمایند. از طرفی در ژنراتور های مختلف همواره همرا با تغییرات بار تغییراتی در ولتاژ ترمینال خروجی رخ می دهد. در حالت ایده آل خوبست تغییرات ولتاژ ترمینال نسبت به بار ژنراتور نسبتاً پایدار باشد. طبق تعریف تنظیم ولتاژ در هر ژنراتوری عبارتست از میزان تغییرات ولتاژ خروجی در ازاء افزایش جریان بار خروجی از ژنراتور. اگر چه می

توان مقدار تنظیم ولتاژ را برای هر مقدار بار ژنراتور محاسبه نمود ولی چون ژنراتور عموماً در بار اسمی کـار می کند تنظیم ولتاژ برای بار اسمی محاسبه می گردد. تنظیم ولتاژ به صورت درصد و به صورت زیر محاسـبه می شود.

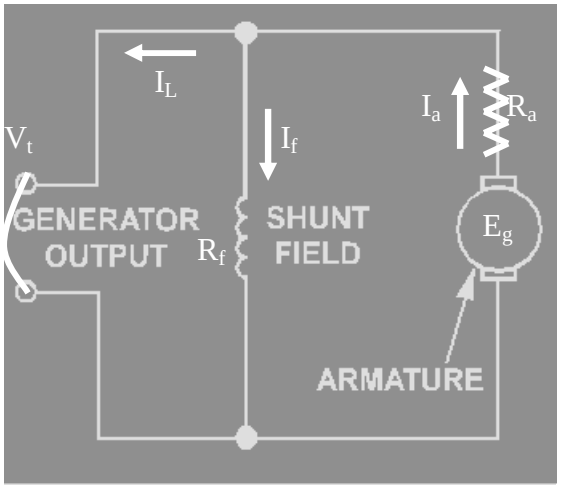
$$\%voltage \cdot \mathrm{Re}\,gulation = \frac{V_{NL} - V_{FL}}{V_{FL}} \times 100 \qquad (۸-۴)$$

در این رابطه V_{NL} و V_{FL} به ترتیب عبارتند از ولتاژ ترمینال در حالت بدون بار و بار کامل (اسمی)

۸-۴ ژنراتور های با تحریک خودی[1] (موازی، سری و کمپوند)

۸-۴-۱ ژنراتورهای موازی[2]

در این ژنراتورها سیم پیچ تحریک، آرمیچر و بارها همه با هم موازی هستند (شکل۵-۸).چون جریان تحریـک موازی با بار خارجی است باید ترتیبی اتخاذ شود تا جریان عبوری از انشعاب مدار تحریک کوچک باشد ولی از طرف دیگر بایستی آمپر دور لازم را جهت تحریک و ایجاد شار لازم داشته باشد. لذا در حالت موازی سیم پیچ تحریک را با تعداد دور زیاد ولی نازک می سازند. بنابراین مقاومت کل مدار تحریک زیاد شده سبب مـی گردد جریان کمی از این مدار عبور نماید (حدود ۱٪).



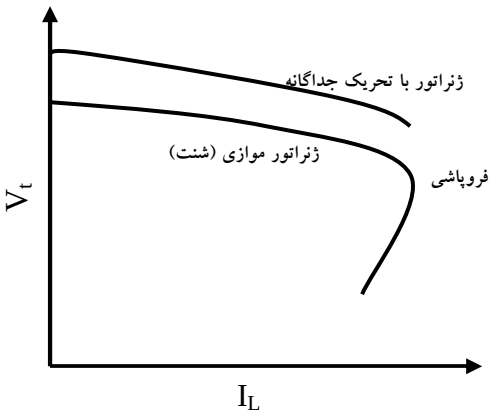
شکل۵-۸: مدار معادل ژنراتور موازی

در این نوع ژنراتور چون سیم پیچ تحریک با بار موازی است در هنگام بی باری ولتاژ اعمـال شـده بـر مـدار تحریک حداکثر بوده لذا در این حالت ژنراتور در حداکثر ولتاژ خروجی خود خواهد بود. به تدریج کـه بـار گرفته شده از ژنراتور افزایش می یابد جریان در مدار تحریک به تدریج کم شده بعلاوه جریان عبور داده شده سبب افت ولتاژی متناسب با مقدار جریان در آرمیچر اتفاق می افتد (I_aR_a) که از مقدار ولتاژ القـاء شـده در آرمیچر (E_g) کاسته می گردد. بنابر این در این نوع ژنراتور می توان نوشت:

[1] Self Excited
[2] Shunt Generator

$$I_a = I_f + I_L$$
$$V_t = E_g - (I_a R_a) \qquad (۸-۵)$$
$$I_f = V_t / R_f$$

با توجه به روابط (۵-۸) به نظر می رسد که V_t نسبت به بار خروجی I_L باید به صورت خطی کاهش یابد ولی در عمل به دلیل پدیده عکس العمل آرمیچر این رابطه غیر خطی می باشد. با ادامه افزایش بارخروجی ولتاژ خروجی بشدت کاهش یافته بطوریکه سبب می گردد هسته قطبها از حالت اشباع خارج شده و ولتاژ بشدت کاهش یابد که این وضعیت را مرحله فرو پاشی می نامند (شکل۶-۸). در عمل در ژنراتورهای موازی با قرار دادن یک مقاومت متغیر در مدار تحریک می توان ولتاژ خروجی در ژنراتور را در هر باری ثابت نگهداشت و آن را مستقل از بار خروجی نمود. بنابراین ولتاژ خروجی ژنراتور های شنت تابع بار خروجی نبوده به همین دلیل کاربرد بیشتری دارند. این ژنراتورها در مصارفی مثل شارژ باتری، آبکاری و دینـاموی خودرو ها بکار می روند.



شکل ۶-۸: منحنی مشخصه ژنراتور شنت.

در ژنراتورهای موازی مکن است به دلایل زیر ولتاژ تولید نشود:

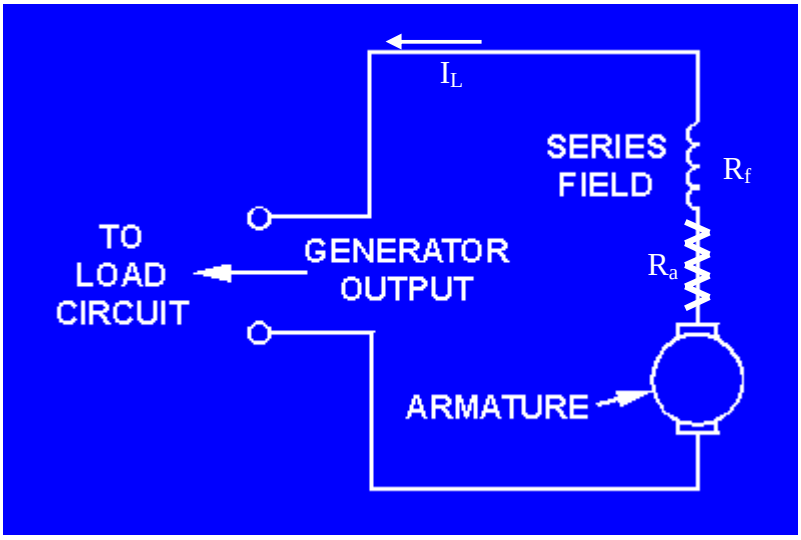
۱- پس ماند مغناطیسی در قطبها نباشد. در این حالت باید قطبها به یک منبع تغذیه مجزا مثل باطری وصل گردد این کار را احیا[1] میدان می نامند
۲- جهت دوران عکس باشد و یا ترمینال ها برعکس بسته شده باشند. در این حالت پس ماند از بین می رود و باید میدان احیا شود
۳- سیم پیچ تحریک قطع باشد.

۸-۴-۲ ژنراتورهای سری DC

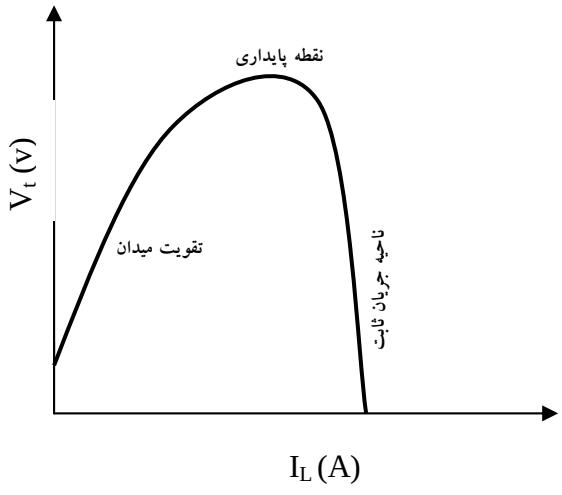
در این ژنراتورها سیم پیچ تحریک با آرمیچر به صورت سری بسته می شود (شکل۷-۸).بدلیل اینکه همزمان جریان بار هم ازآرمیچر و هم از سیم پیچ تحریک می گذرد لازم است سیم پیچ تحریک با تعداددور کم و ضخیم باشد. در این وضعیت با افزایش با ژنراتور مقدار تحریک قطب ها افزایش یافته سبب می گردد ولتاژ خروجی ژنراتور بتدریج افزایش یابد. بنابر این در این نوع ژنراتور ولتاژ خروجی تابع افزایش بار بوده بطوریکه کمترین مقدار ولتاژ ترمینا ل در حالت بی باری ژنراتور خواهد بود. مقدار ولتاژ در این حالت در اثر

[1] Flashing the Field

پسماند موجوددر قطبها ایجاد می شود و چون در این حالت جریان تحریک و جریان بار وجود ندارد Eg بـا V_t برابر است. با شروع گرفتن بار از ژنراتور و افزایش آن جریان تحریک انقدر افزایش خواهد یافت تا هسـته آن به صورت اشباع در اید که حالتی نسبتاً پایدار برای ژنراتور خواهد بود. حال چنانچه مقـدار بـار ژنراتـور ازاین مقدار نیز بیشتر شود در اثر افت ولتاژ زیاد در آرمیچر و افزایش نیافتن میدان در اثر اشباع شـدن هسـته ولتاژ خروجی ترمینال بشدت سقوط خواهد کرد (شکل۸-۸). اگر با افزایش بـار در ترمینـال زنراتـور ولتـاژ حاصل نشود ممکن است نقص در نوع اتصال سیم پیچ تحریک باشد. این وضعیت موقعی بوجود می آید کـه اتصال سرو ته سیم پیچ تحریک بگونه ای باشد که با پس ماند مغناطیسی موجود در آن مخالفت نماید در این وضعیت باید سر و ته سیم پیچ تحریک را جابجا نمود. همچنین اگـر جهـت چـرخش عکـس باشـد در ایـن وضعیت نیز شار بوجود آمده با پس ماند مخالفت خواهد کرد که لازم است جهت دوران اصلاح گردد.



شکل۷-۸: مدار معادل ژنراتور سری DC



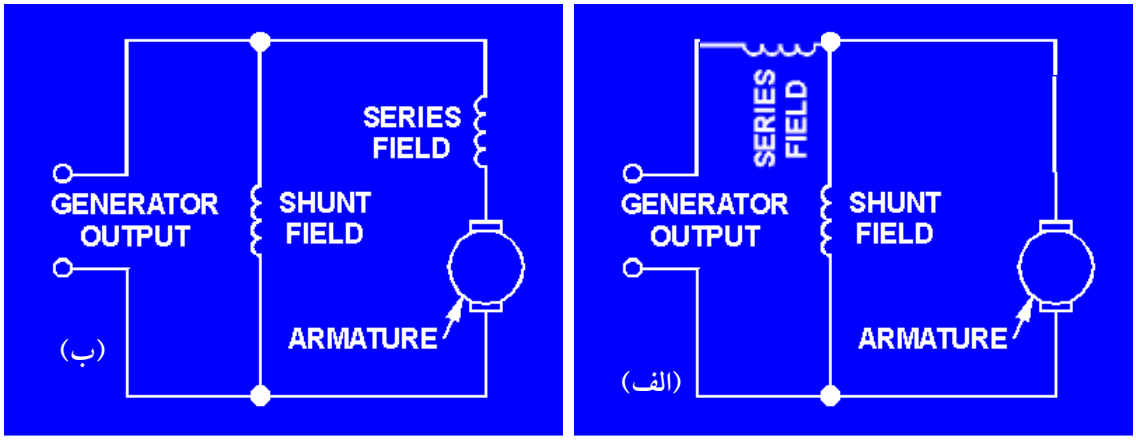
شکل۸-۸: مشخصه با ژنراتور DC سری

همانطور که در شکل ۸-۸ نشان داده شده است تغییرات ولتاژ ترمینال نسبت به جریان بار بسیار شدید اسـت. به عبارت دیگر این ژنراتورها داری تنظیم ولتاژ بسیار ضعیفی هستند و لذا بعنوان یک منبع ولتاژ ثابت مناسب نبوده و کاربرد آنها بصورت یک ژنراتور جریان ثابت می باشد. با توجه به شکل مشخص می گردد که یکی از

ویژگیهای مثبت این ژنراتورها اینست که تغییرات ولتاژ نسبت به بار خروجی قبل از حالت پایداری به صورت افزاینده است. بنابراین از این ژنراتورها می توان برای جبران و یا تقویت ولتاژ استفاده نمود.

۳-۴-۸ ژنراتور های کمپوند[1]

با توجه به اینکه منحنی مشخصه بار در ژنراتورهای سری و موازی بگونه ای هستند که ترکیب انها با هم می تواند سبب بهبود مشخصه بار گردد از این رو ژنراتورهای کمپوند ساخته و مورد استفاده قرار می گیرند. اصولاً این ژنراتورها برای جبران و بهبود بخشیدن به مشخصه بار و اصلاح تنظیم ولتاژ بکار می روند. همانطور که ملاحظه شد مشخصه بار ژنراتورهای شنت بگونه ای بود که با افزایش بار به تدریج ولتاژ ترمینال نزول پیدا می کرد در حالیکه در ژنراتورهای سری افزایش بار قبل ازپایداری سبب تقویت ولتاژ خروجی می گردید. بنابراین ترکیب این دو در ژنراتورهای کمپوند باعث بهبود تنظیم ولتاژ خواهد شد. در این ژنراتورها به سیم پیچ تحریک ژنراتور شنت یک سیم پیچ دیگر به صورت سری با آرمیچر اضافه می شود. بسته به نحوه اتصال و با توجه به مدار معادل انواع مختلف ژنراتورهای کمپوند به صورت زیر بوجود خواهد آمد (شکل ۹-۸).



شکل۹-۸: مدار معادل ژنراتور کمپوند.الف) با شنت کوتاه ب) با شنت بلند

۱- ژنراتور کمپوند با شنت بلند[2]: در این ژنراتور ازسیم پیچ تحریک سری با آرمیچر فقط جریان آرمیچر عبور می کند. بنابر این در حالت بی باری سیم پیچ سری تحریک می گردد

۲-- ژنراتور کمپوند با شنت کوتاه[3]: در این ژنراتور از سیم پیچ تحریک سری شده جریان بار (I_L) عبور می کند لذا در هنگام بی باری این سیم پیچ تحریک نمی شود.

[1] Compound Generator
[2] Long Shunt
[3] Short Shunt

با این وجود مشخصه بار این دو ژنراتور شبیه هم است.از انجائیکه در این ژنراتورها دو سیم پیچ تحریک سری و موازی وجود دارد بسته به اینکه جهت عبور جریان و در نتیجه میدانی که هرکدام بوجود می آورند در چه جهتی باشد انواع دیگری از ژنراتورهای کمپوند به شرح زیر بوجود می اید:

الف) ژنراتورهای کمپوند نقصانی[1]

ب)) ژنراتورهای کمپوند اضافی[2]

در نوع نقصانی جهت جریان در سیم پیچ تحریک سری و موازی بر خلاف جهت هم بوجود آمده لذا با عبور جریان بار میدان برایند سیر نزولی خواهد گرفت و ولتاژ بشدت سقوط خواهد کرد. شکل ۱۰-۸ منحنی مشخصه بار این ژنراتور را نشان می دهد. با توجه به این منحنی می توان مشاهده نمود که شباهت زیادی بین این ژنراتور و ژنراتور سری وجود دارد لذا در جاهایی می توان استفاده نمود که جریان ثابت باشد و اصولاً این ژنراتورها برای تامین منبع ولتاژ DC مطلوب نیستند.

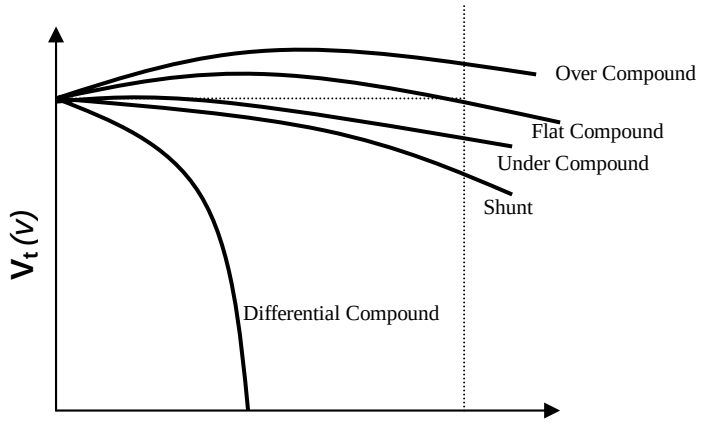
ژنراتور های کمپوند اضافی به گونه ای است که برایند میدان ایجاد شده در سیم پیچ تحریک موازی و سری مجموع دو میدان خواهد بود. بعبارت دیگر هر دو میدان در یک جهت بوجود می ایند. در این حالت منحنی مشخصه بار آنها بهبود یافته و مثل ژنراتورهای موازی در اثر افزایش بار ولتاژ خروجی افت شدید نخواهد داشت.. بسته به مقدار شدت و ضعف (بزرگی) میدان ایجاد شده در سیم پیچ سری نه تنها ولتاژ ترمینال کاهش نخواهد یافت که ممکن است در اثر افزایش جریان بار ولتاژ ترمینال ثابت مانده و یا حتی تغییرات صعودی نسبت به بار داشته باشد. با توجه به نکات فوق ممکن است سه وضعیت زیر برای ژنراتور حاصل شود (شکل ۱۰-۸):

الف) کمپوند مسطح[3] : حالتی است که ولتاژ ترمینال در حالت بدون بار و بار کامل با هم برابر باشند

ب) زیر کمپوند[4] : حالتی است که ولتاژ ترمینال در حالت بار کامل کمتر از ولتاژ ترمینال در وضعیت بدون بار باشند .

ج) فوق کمپوند[5]: حالتی است که ولتاژ ترمینال در حالت بار کامل بیشتر از ولتاژ ترمینال در حالت بدون بار باشند.

با تغییر دور و یا با کمک یک مقاومت متغییر (رئوستا) منحرف کننده (دیورتور[6]) می توان هر یک از حالتهای فوق را بوجود آورد.



شکل ۱۰-۸: مقایسه منحنی مشخصه ژنراتورهای DC

[1] Differentially Compound G.
[2] Cumulatively Compound G.
[3] Flat Compound
[4] Under Compound
[5] Over Compound
[6] Divertor

۵-۸ اتصال ژنراتور ها با هم

ژنراتور های DC را می توان به صورت سری و یا موازی به همدیگر متصل نمود. اتصال سری ژنراتور ها کمتر مورد نیاز ممکن است باشد و آن موقعی است که نیاز به ولتاژ بالاتری باشد. اتصال موازی در کاربرد های مختلف کشاورزی و صنعتی بدلایل زیر بیشتر مورد نیاز است :

۱. موقعی که جریان اسمی یک ژنراتور از بار مورد نیاز برای مصرف کننده یا مجموعه ای از مصرف کننده ها کافی نباشد.
۲. لزوم تعمیرات سالانه و نیاز به ژنراتور جایگزین
۳. استفاده از با اسمی ژنراتورها بسته به میزان بار مورد نیاز مصرف کننده ها. با بکار انداختن و یا از کار انداختن یک یا چند ژنراتور می توان بگونه ای عمل کرد که ژنراتورها همواره در حدود با اسمی خود کار نمایند
۴. مواقعی بدلایل مختلف و محدودیت های خاص نتوان از یک ژنراتور بزرگ جهت نیاز مصرف کننده ها استفاده کرد. در این صورت نیز از چند ژنراتور استفاده خواهد شد.

هنگام استفاده از چند ژنراتور با تصال موازی بایستی به نکات زیر توجه نمود:

الف) ژنراتور ها بایستی همه از یک نوع باشند

ب) ولتاژ اسمی همه آنها یکسان باشد. اختلاف ولتاژ خروجی سبب می گردد ژنراتورهای با ولتاژ کم به صورت مصرف کننده (موتور) عمل خواهند کرد.

ج) ترمینال های هم نام به هم وصل شوند.

در اتصال موازی ژنراتورها ترمینال های مثبت و منفی همه ژنراتورها به دو میله فلزی متصل می گردد. این میله ها شین[1] نامیده می شوند. ولتاژ بین این دو میله درسرتاسر طول آنها یکسان است. اگر مجموع بار اسمی ژنراتورها از بار مورد نیاز مصرف کننده ها بیشتر باشد افت ولتاژ زیادی در انها اتفاق نمی افتد. بعبارت دیگر تنظیم ولتاژ انها مناسب خواهد بود. از نظر تئوری شین بی نهایت شینی است که تنظیم و لتاژ ان صفر باشد وان شینی است که بدون اینکه ولتاژ ان تغییر کند بار نامحدودی را تامین نماید.. حال در یک اتصال موازی یکی از ژنراتورها ولتاژی کمتر از ولتاژ شطن تولید نماید این ژنراتور بار دیگر ژنراتورها رابه صورت یک موتور مصرف خواهد کرد. لذا بایستی ولتاژ ژنراتورها حداقل مساوی و یا کمی بیشتر از والتاژ شین باشد. در حالت پایدار ولتاژ تمام ژنراتورها با هم برابر خواهد بود. بهترین وضعیت حالتی است که منحنی مشخصه ژنراتور ها یکسان باشد در این حالت با بطور مساوی بین آنها تقسیم می گردد در غیر اینصورت تقسیم بار با توجه به مشخصه انها تقسیم خواهد شد.

[1] Bus Bar

۸-۴ موتور های جریان مستقیم

اساس کار موتورهای DC عکس ژنراتورهای DC است بطوریکه اگر به ماشین DC انرژی الکتریکی از نوع جریان مستقیم گشتاور اعمال کنیم (آرمیچر را بچرخانیم) انرژی الکتریکی طبق قانون بیوساوار به انرژی مکانیکی تبدیل می گردد. انرژی الکتریکی از طریق ایجاد پیچک نیز به انرژی مکانیکی قابل تبدیل می باشد. در این حالت برای استحصال نیرو های خطی و یا شبه دورانی استفاده می شود. بر این اساس اگر ماده ای فرو مغناطیس در میدانی مغناطیسی قرار گیرد نیرویی بر آن وارد خواهد شد که می خواهد آن را با میدان هم راستا سازد. این نیرو به نام نیروی ربایش آهن نامیده می شود. می توان نشان داد که در میدانی مطابق شکل (۱۱ -۸) با یک فاصله هوایی مشخص و شرایطی معین نیروی موثر در دو وجه موازی و مسطح آهن به صورت زیر بدست می اید

$$F = \frac{B^2 A}{2\mu_\circ} \qquad (۸-۶)$$

در این رابطه:

B: چگالی شار بر حسب تسلا

A: سطح تماس موثر آهن بر حسب متر مربع

$\mu_\circ$: تراوندگی مغناطیسی هوا (خلاء)

F: نیروی‌ربایش آهن بر حسب نیوتن

درموتورهای DC گشتاور حاصل از دوران یک یا چند سیم حامل جریان مستقیم در یک میدان مغناطیسی ثابت بر اساس قانون بیو ساوار به صورت زیر بدست می آید:

$$T = BI\ell r \qquad (۸-۷)$$

در این رابطه T گشتاور بر حسب نیوتن-متر؛ B: چگالی شار بر حسب تسلا؛ I : جریان عبوری از سیم یا کلاف هادی بر حسب آمپر؛ ℓ: طول موثر کلاف یا سیم هادی بر حسب متر و r: شعاع دوران آرمیچر بر حسب متر. امروزه موتورهای DC بدلیل اینکه در وسایل حمل و نقل وماشینهای کشاورزی جریان DC به صورت امری رایج و معمول می باشد بسیار مورد استفاده و توجه می باشند. علاوه بر این در این موتورها چون کنترل سرعت بسهولت انجام می گیرد در کاربردهایی که سرعتهای متغییر مورد نیاز است مورد استفاده واقع می شوند.

در یک موتور DC ساخته شده تمام پارامترهای رابطه (۸-۷) بجز I که همان جریان آرمیچر است و شار قطبها ثابت بوده و اثرات ترکیبی آنها بر روی کارکرد موتور پارامتری ثابتی خواهد بود که می توان از آن به نام ثابت موتور یاد نمود. لذا رابطه (۸-۷) را می توان به صورت زیر نوشت:

$$T = K\varphi I_a \qquad (۸-۸)$$

این رابطه که رابطه اساسی موتورهای DC می باشد که گشتاور ایجاد شده در موتور تابعی از جریان آرمیچر و شهر قطبها است. چنانچه موتوری با گشتاور معین با سرعتی مشخص بچرخد قدرت مکانیکی خروجی آن

(توان) ترکیبی از گشتاور موجود موتور و سرعت دورانی آن خواهد بود. بعبارت دیگر با ثابت بودن توان خروجی موتور می توان ترکیبهای مختلفی از دور و گشتاور را در آن بوجود آورد. رابطه زیر بیان کننده ارتباط بین گشتاور T بر حسب نیوتن-متر؛ سرعت دورانی ω رادیان بر ثانیه و توان مکانیکی P برحسب kW خروجی از موتور می باشد:

$$T = \frac{1000P}{\omega} \qquad (۸-۹)$$