

جزوه

ماشین های الکتریکی

✓ شامل جزوات آموزشی درس ماشین های الکتریکی

✓ ویژه آزمون های استخدامی و اخذ مدرک

لینک های مفید آزمون های استخدامی

خرید سوالات بانکدار ساختمان (برق) بانک سینا	سوالات رایگان بانک سینا با پاسخنامه
خرید سوالات بانک سینا	خرید درسنامه بانک سینا
منابع آزمون	اخبار آزمون
شبکه های اجتماعی ایران عرضه (فایل های رایگان + تخفیفات هفتگی + اخبار)	

(برای مشاهده هر بخش روی آن بزنید )

فهرست مطالب

- ❖ فصل اول: ماشین های الکتریکی به کوشش ره آوران فنون پتروشیمی - صفحه ۴
- ❖ فصل دوم: ماشین های الکتریکی ۱ به کوشش مجموعه مهندس یار - صفحه ۹۳



فصل اول

اصول اساسی ماشینهای الکتریکی

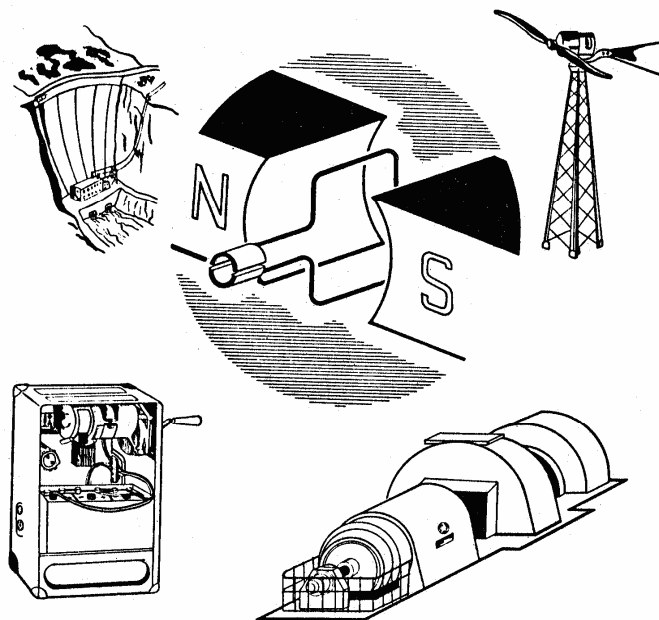
اهداف آموزشی فصل اول :

- ۱- شناخت ساختمان و اصول کار ژنراتورها
- ۲- آشنایی با عملکرد کلکتور
- ۳- شناخت نقش کلکتور در یکسوسازی ولتاژ

۱-۱- اصول کار ژنراتورها

شما بخوبی با چراغ قوه ، رادیوهای جیبی و سیستم برق اتومبیل که در آنها باطری منبع قدرت است ، آشنا هستید . در این موارد جریانی که از باطری کشیده می شود کم است . باید دانست باطری موقعی که جریان کمی مورد نیاز باشد می تواند مدتها بدون شارژ شدن جریان بدهد . باطری ها می توانند بخوبی برق دستگاههای برقی را تأمین کنند . اما عده زیادی از دستگاههای برقی به مقدار زیادی جریان ، با ولتاژ بالا احتیاج دارند تا کار کنند . برای مثال لامپهای برق و موتورهای قوی احتیاج به جریان و ولتاژی دارند که هیچ باطری نمی تواند آن را تأمین کند بنابراین غیر از باطری منابع قدرت دیگری برای تأمین برق اینگونه وسایل مورد نیاز است . این قدرت زیاد در اثر چرخش ماشین الکتریکی بنام ژنراتور تولید می شود . ژنراتورها می توانند جریان مستقیم (D.C) و یا جریان متناوب (A.C) تولید کنند ، که توان آنها می تواند مقدار خیلی کم و یا تا چندین مگاوات باشد .

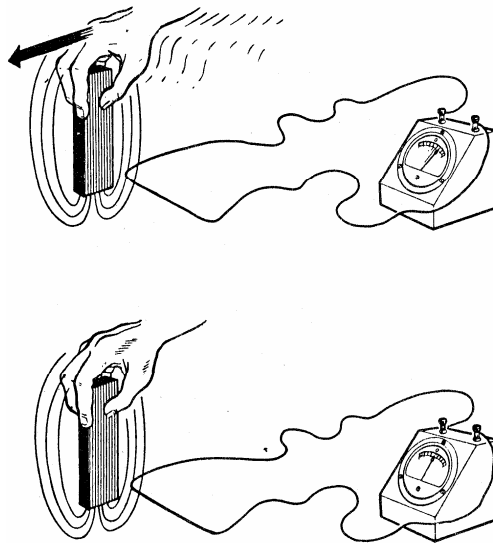
می دانید که ولتاژ القایی (نیروی محرکه الکتریکی) از چرخاندن یک میدان مغناطیسی ایجاد می شود . امروزه در سراسر دنیا تقریباً تمام نیروگاههای برق که برق مصرفی قسمت وسیعی از جهان را تولید می کنند از همین روش برای تبدیل سایر انرژی ها به انرژی الکتریکی استفاده می کنند . امروزه بیشتر نیروگاه های برق از انرژی شیمیائی سوخت ها نظیر سنگ یا نفت و یا آب برای گرداندن توربین ها که ژنراتورها به آنها متصل اند استفاده می کنند. (شکل ۱)



شکل (۱)

در بخشهای قبل گفته شد که جریان برق از حرکت هادی در یک میدان مغناطیسی ایجاد می شود . علت بوجود آمدن جریان برق حرکت نسبی بین هادی و میدان مغناطیسی است اگر این حرکت نسبی وجود نداشته باشد جریان تولید نمی شود . جریان تولید شده یا ولتاژ تولید شده را ولتاژ القائی می گویند و روش تولید این ولتاژ را که بعلت قطع کردن یک میدان مغناطیسی بوسیله یک هادی ایجاد می شود القاء الکتریکی می گویند .

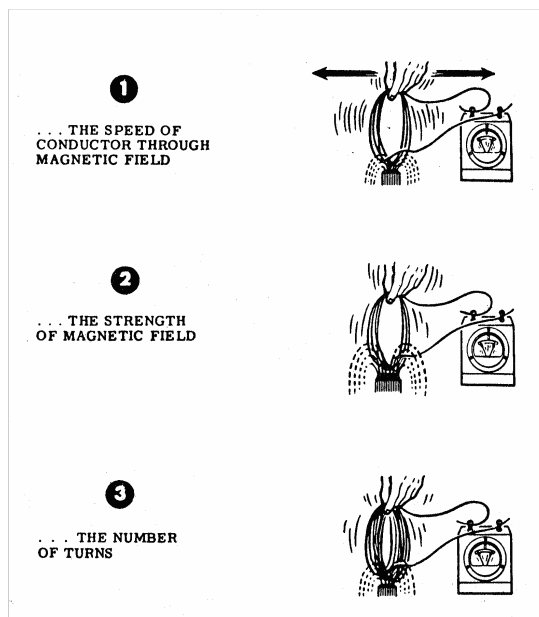
این ولتاژ القاء شده در صورتیکه دو سر هادی به هم متصل باشد جریانی در این مدار بسته ایجاد می کند. آنچه که در شکل (۲) نشان داده شده است گویای همین مطلب است .



شکل (۲)

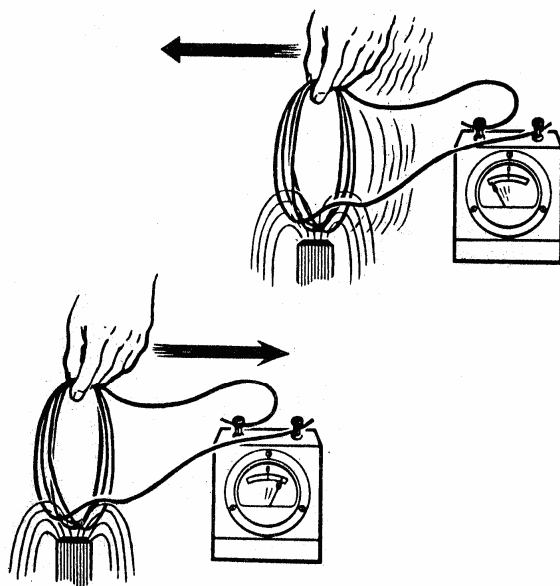
ولتاژ القاء شده در هادی که میدان مغناطیسی را قطع می کند به عوامل زیادی بستگی دارد . اول آنکه اگر سرعت نسبی قطع کردن بین سیم و میدان زیاد شود ولتاژ القاء شده زیاد می شود . دوم اینکه اگر شدت (قدرت) میدان مغناطیسی زیاد شود ولتاژ القاء شده هم زیاد می شود و سوم اینکه اگر تعداد دفعات قطع کردن میدان زیاد شود ولتاژ القاء شده هم زیاد می شود . (شکل ۳)

جهت ولتاژ القاء شده آنچنان خواهد بود که جریان ایجاد شده می تواند میدانی تولید کند که مخالف میدان مغناطیسی اولی بوده (میدان مغناطیسی اصلی را تضعیف می کند) و می خواهد از حرکت هادی جلوگیری کند. این پدیده طبق قانون لنز گویای این مطلب است که در تمام حالات القائی الکترومغناطیسی، جهت ولتاژ القاء شده طوری است که میدان مغناطیسی حاصل از آن با حرکت عاملی که آن را بوجود می آورده مخالفت می کند .



شکل (۳)

پس می توان گفت ولتاژ القایی القاء شده (E) در هر هادی با شار میدان مغناطیسی و سرعت حرکت هادی در میدان متناسب است. همانطور که در شکل (۴) نشان داده شده است جهت جریان تولید شده به جهت حرکت نسبی بین میدان مغناطیسی و جسم هادی که میدان را قطع می کند بستگی دارد.



شکل (۴)

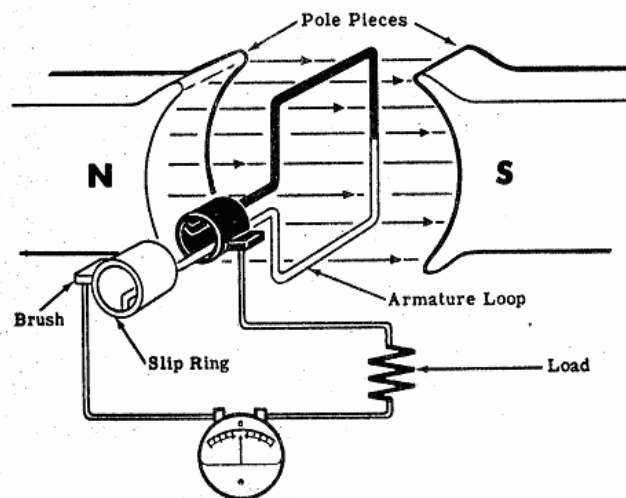
بنابراین بطور خلاصه می توان گفت :

- ۱- حرکت یک هادی درون یک میدان مغناطیسی ولتاژ القایی تولید میکند که این ولتاژ القایی جریانی در مدار ایجاد می کند .
- ۲- هر چه هادی تندتر میدان مغناطیسی را قطع کند و یا هر چه میدان مغناطیسی قویتر باشد ولتاژ القایی بیشتر خواهد شد .
- ۳- با عوض کردن جهت حرکت هادی ، جهت ولتاژ القاء شده هم عوض شده و بنابراین جهت جریان در مدار عوض می شود .

۲-۱- ژنراتورهای ابتدایی

برای فهم بهتر طرز کار یک ژنراتور ابتدا یک ژنراتور ابتدائی را که از یک هادی و یک میدان مغناطیسی تشکیل شده است در نظر می گیریم . دقت کنید که این وسیله چگونه می تواند جریان برق تولید کند . با فهم اینکه یک ژنراتور ابتدائی چطور کار می کند به آسانی می توان فهمید که چگونه می شود یک ژنراتور ابتدائی را تبدیل به ژنراتوری کرد که برای کارهای عملی بکار رود .

یک ژنراتور ابتدائی مطابق شکل (۵) از یک حلقه سیم تشکیل شده است و این حلقه سیم طوری قرار گرفته است که می تواند در یک میدان مغناطیسی یکنواخت دوران کند تا در آن جریان الکتریکی القاء شود . برای اینکه بتوان از این ولتاژ القاء شده استفاده کرد حلقه را بوسیله اتصالیهای متحرکی به مدار خارج وصل می کنند . میدان مغناطیسی نامبرده بوسیله قطب های S , N ایجاد می شود. حلقه سیم را آرمیچر می نامند و انتهای این حلقه سیم به دو رینگ فلزی متصل است که آنها را رینگ های لغزنده نیز می گویند و همراه آرمیچر می چرخند . ذغالها نیز بر روی رینگ ها سوار شده و آرمیچر را به مدار خارج وصل می کنند .



شکل (۵)

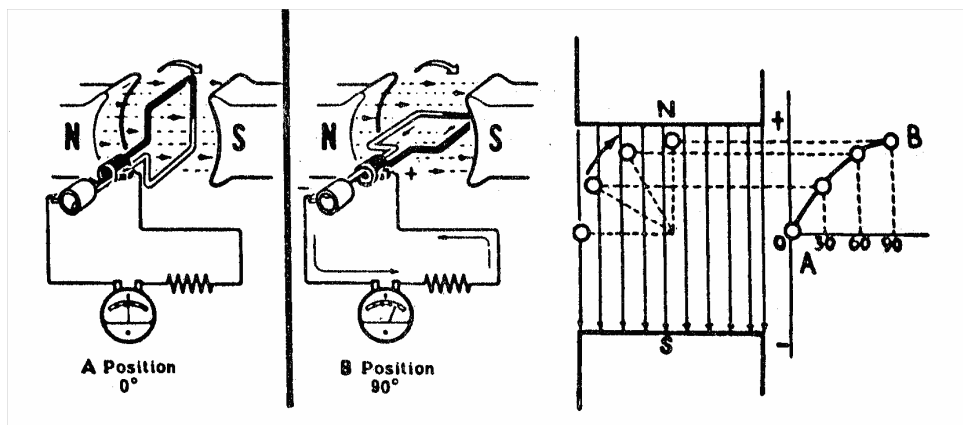
در تشریح کار ژنراتور یک حلقه سیم را مجسم کردید که درون یک میدان مغناطیسی می چرخد که در اثر قطع کردن میدان مغناطیسی یک ولتاژ القایی در آن تولید شده جریانی در حلقه ها ، ذغالها و آمپر متر که با هم سری هستند بوجود می آید . باید دانست جهت ولتاژ القاء شده در آرمیچر و بنابراین جریانی که در مدار تولید می شود به وضعیت آرمیچر نسبت به میدان بستگی دارد .

فرض کنید که آرمیچر مطابق شکل (۶) در جهت عقربه های ساعت دوران کرده و محل اولیه آن در نقطه A قرار دارد (زاویه صفر درجه) . در محل A سیم بر میدان مغناطیسی عمود است و هادی های سیاه و سفید به موازات میدان قرار دارند. می دانیم که اگر یک هادی به موازات میدان مغناطیسی حرکت کند هیچیک از خطوط میدان مغناطیسی را قطع نکرده و بنابراین ولتاژی در آن القاء نخواهد شد. وقتی آرمیچر در محل A قرار دارد همین حالت اتفاق می افتد و هیچ ولتاژی در آن القاء نخواهد شد و بنابراین هیچ جریانی در مدار ایجاد نشده و عقربه آمپر متر صفر را نشان خواهد داد .

همینکه آرمیچر از حالت A به حالت B چرخید ، خطوط بیشتری از میدان مغناطیسی را قطع می کند. در حالت B زاویه بین حلقه و میدان ۹۰ درجه می شود که در این حالت بیشترین مقدار خطوط نیرو را قطع می کند. به عبارت دیگر بین صفر و ۹۰ درجه ولتاژ القاء شده از صفر تا بیشترین مقدار خود خواهد رسید. توجه داشته باشید که بین صفر و ۹۰ درجه هادی سیاه میدان مغناطیسی را در قسمت پائین قطع می کند در حالیکه در همین موقع هادی سفید در قسمت بالا خطوط میدان مغناطیسی را قطع می کند. چون ولتاژهای القایی در هر دو قسمت سری هستند ولتاژ حاصل بین دو سر ذغالها (ولتاژ خروجی) مجموع دو ولتاژ القایی است.

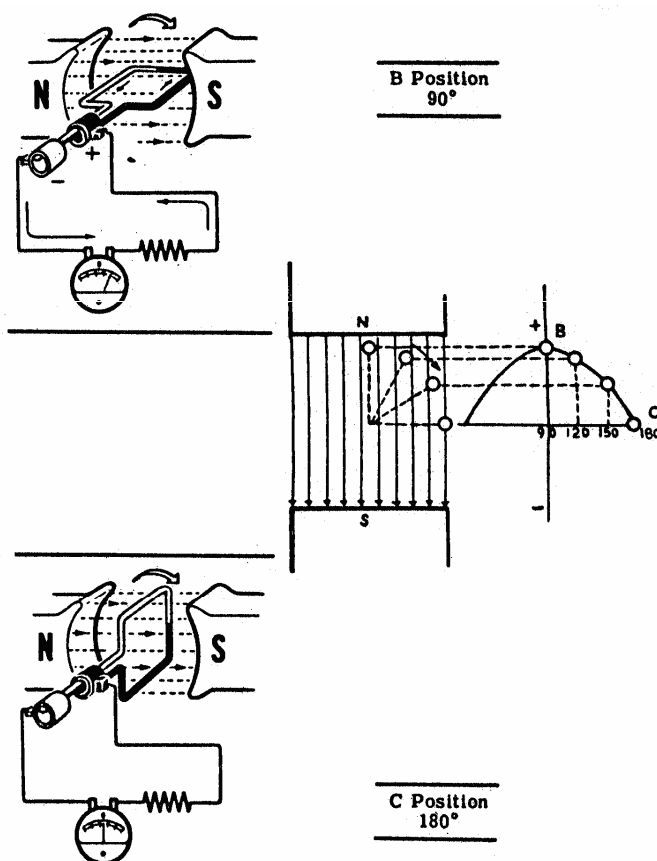
بعلت اینکه جریان حاصل در مدار متناسب با ولتاژ القاء شده است وقتی آرمیچر صفر تا ۹۰ درجه می چرخد جریان هم بین صفر تا مقدار ماکزیمش تغییر خواهد کرد . حال فرض کنید که آمپر متر که صفر آن در وسطش قرار داد بتواند تغییرات جریان را نشان دهد. در اینصورت وقتی آرمیچر از حالت A به حالت B میرسد عقربه آمپر متر بیشتر بسمت راست منحرف خواهد شد (در صورتیکه جریان گذرنده از مدار مطابق جهت نشان داده شده در شکل (۶) باشد)

جهت ولتاژ القاء شده و جهت جریان گذرنده از مدار به جهت میدان مغناطیسی و جهت گردش آرمیچر بستگی دارد . شکل موج نشان داده شده در زیر چگونگی تغییر ولتاژ دو سر (خروجی) ژنراتور ابتدائی را بین حالت A و B نشان می دهد .



شکل (۶)

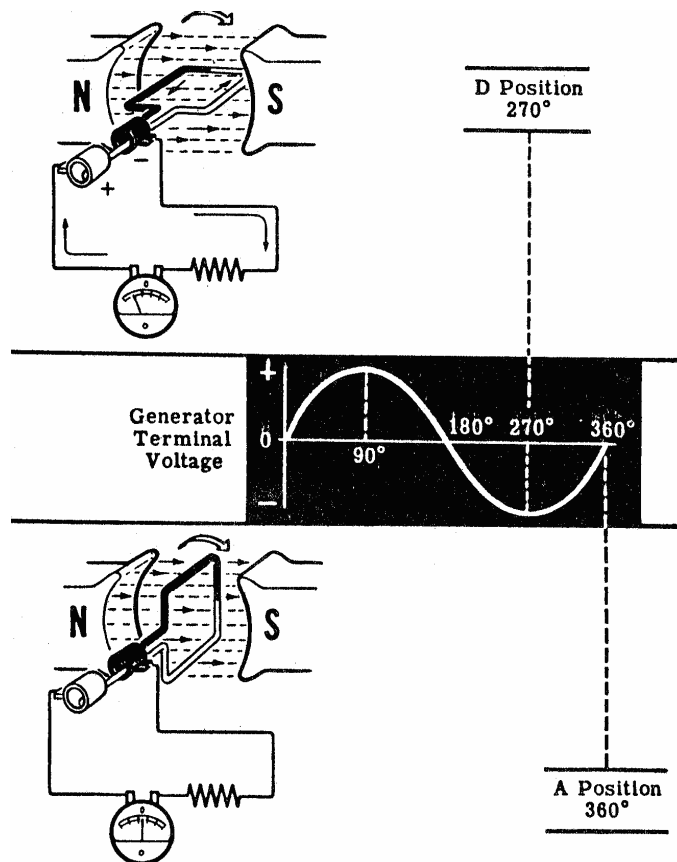
وقتی آرمیچر مانند شکل (۷) بچرخد و از حالت B (زاویه ۹۰ درجه) به حالت C (زاویه ۱۸۰ درجه) برسد، حلقه سیم که در حالت B ماکزیمم خطوط میدان را قطع می کرد در این فاصله تعداد کمتری را قطع خواهد کرد. در حالت C حلقه به موازات خطوط میدان قرار گرفته و هیچیک از خطوط را قطع نخواهد کرد. وقتی آرمیچر از ۹۰ درجه تا ۱۸۰ درجه می گردد ولتاژ القاء شده بتدریج کم شده تا در حالت C صفر می شود به همین ترتیب جریان هم در مدار کم می شود.



شکل (۷)

بین صفر تا 180° درجه، سیم های آرمیچر در یک جهت یکسان درون میدان مغناطیسی حرکت می کنند ولی همینکه آرمیچر بیش از 180° درجه چرخید که دوباره به حالت A برسد، جهت قطع کردن خطوط میدان مغناطیسی برعکس می شود. در این موقع هادی سیاه رنگ در بالا و هادی سفید رنگ در پائین، خطوط میدان مغناطیسی را قطع خواهند کرد. در نتیجه جهت ولتاژ القایی و همچنین جهت جریان در مدار عکس خواهد شد.

شکل موج ولتاژ خروجی برای تمام حالات در شکل (۸) نشان داده شده است. ولتاژ القاء شده، متناوب بوده در نتیجه یک جریان متناوب در مداری که به آن متصل است (مدار خروجی) ایجاد می کند.

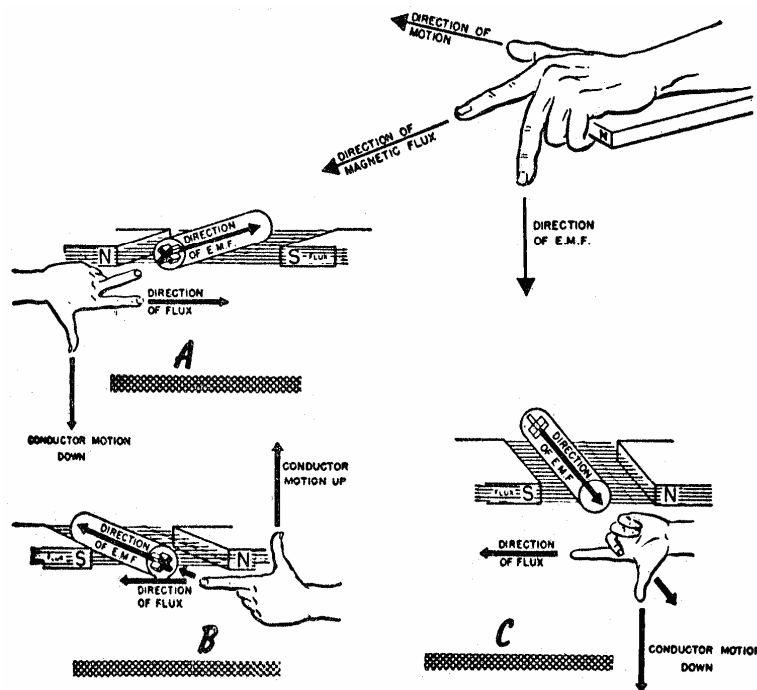


شکل (۸)

۱-۳- قاعده انگشتان دست چپ

روشی که در زیر گفته می شود یک راه ساده برای تعیین جهت جریان القاء شده در یک هادی است که در یک میدان مغناطیسی حرکت میکند. این روش را قاعده انگشتان دست چپ برای ژنراتورها گویند. برطبق این قاعده اگر انگشت شست و نشان دست چپ را مانند شکل (۹)

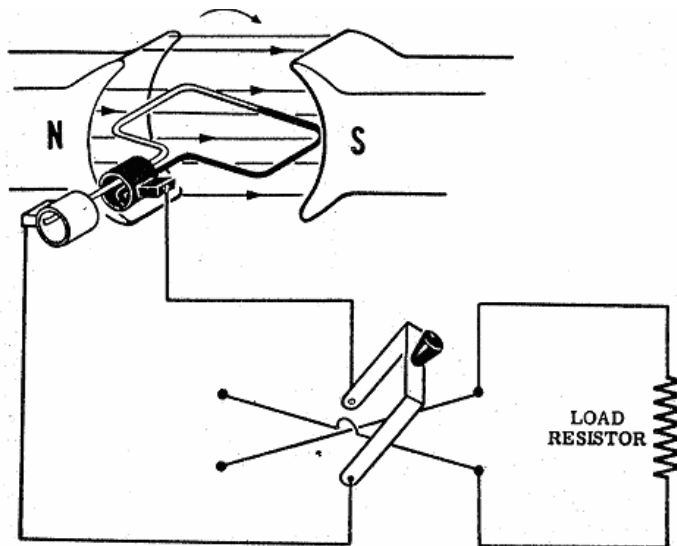
طوری بگیرید که بر هم عمود باشند بطوریکه انگشت نشان در جهت شار مغناطیسی و انگشت شست در جهت حرکت هادی باشد در اینصورت انگشت وسطی جهت ولتاژ القاء شده را نشان خواهد داد. جهت ولتاژ القاء شده یعنی جهت جریانی که در اثر ولتاژ القایی از مدار عبور خواهد کرد.



شکل (۹)

۴-۱- عملکرد کلکتور

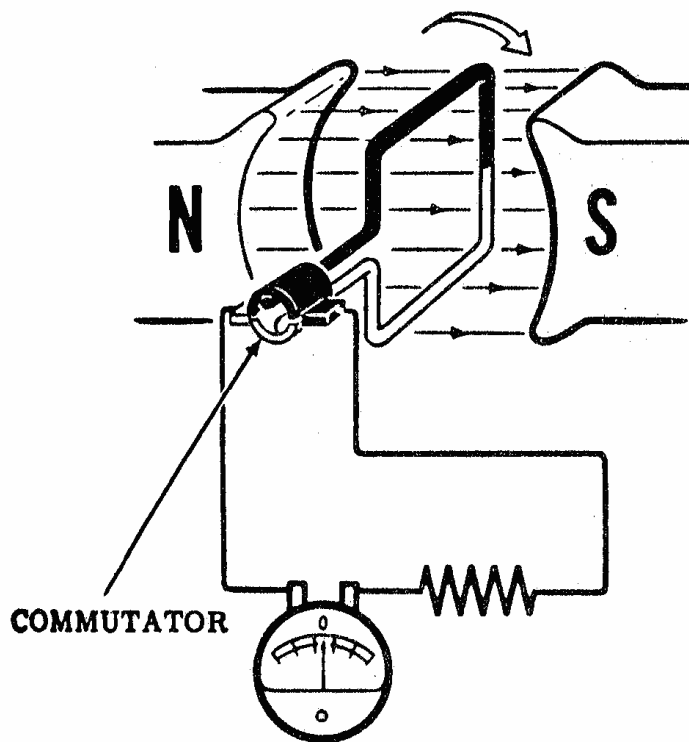
در ژنراتور اولیه، جهت ولتاژ A.C. القاء شده در حلقه وقتی که آرمیچر از صفر تا ۱۸۰ درجه بگردد برعکس می شود. در این موقع هادی حلقه (هادی های سیاه و سفید) نیز جهت حرکتشان در میدان مغناطیسی عوض می شود. چون آرمیچر پیوسته در میدان می چرخد همیشه در حلقه های آرمیچر یک ولتاژ القایی متناوب بوجود می آید. بنابراین تنها راه دریافت جریان D.C. از ژنراتور اینست که جریان A.C. تولید شده را به جریان D.C. تبدیل کنیم. یک راه حل برای انجام اینکار اینست که یک کلید، طوری در سر راه جریان خروجی ژنراتور قرار داده شود که وقتی جریان برعکس می شود اتصال بار با ژنراتور را تغییر دهد تا جهت جریان در بار همیشه در یک جهت بماند. کلیدی که در شکل (۱۰) نشان داده شده است باید هر وقت جهت ولتاژ عوض می شود بوسیله دست حرکت داده شود. اگر اینکار انجام شود ولتاژ بار همیشه یک جهت خواهد داشت و جهت جریان هم در بار ثابت خواهد بود فقط مقدار آن بر اثر چرخش آرمیچر کم و زیاد می شود.



شکل (۱۰)

برای تبدیل کردن ولتاژ متناوب تولید شده به ولتاژ DC کلید مذکور باید برای هر دور آرمیچر دو بار عمل کند. حال اگر جریان خروجی پنجاه بار در ثانیه تغییر کند کلید صد بار در ثانیه باید عمل کند تا جریان A.C را به D.C تبدیل کند و این که کلید مذکور بوسیله دست با یک چنین سرعتی عمل کند غیر ممکن است. همچنین هیچ وسیله مکانیکی هم عملاً نمی تواند این کلید را بکار اندازد اگر چه از نظر تئوری کلید می تواند اینکار را انجام دهد ولی در عمل باید با دستگاه دیگری که بطور واقعی با این سرعت زیاد کار کند عوض شود.

راه حلی دیگری که به توسط آن جریان تولید شده ژنراتور ابتدائی یکسو می گردد آنست که یکی از حلقه های لغزنده را حذف کرده و دیگری را در امتداد محورش دو نیمه می کنیم و دو سر حلقه سیم را به دو نیمه وصل می کنیم. دو نیمه طوری نسبت به هم عایق شده اند که هیچ اتصال الکتریکی بین آنها و محور ژنراتور و یا هر قسمت دیگر آرمیچر وجود ندارد. در این حالت دو نیم حلقه لغزنده مجموعاً کلکتور خوانده می شود و عملکرد آن تبدیل جریان A.C به جریان D.C می باشد. این عمل را کموتاسیون گویند. همانطور که در شکل (۱۱) مشاهده می گردد ذغالها در مقابل یکدیگر قرار گرفته و دو نیمه کلکتور طوری بهم چسبانده شده اند که وقتی حلقه از نقاطی که ولتاژ آنها صفر است عبور می کند بوسیله ذغالها اتصال کوتاه می شوند. توجه داشته باشید که چون حلقه می چرخد هر یک از هادی ها بوسیله کلکتور ابتدا به ذغال مثبت و سپس به ذغال منفی متصل خواهد شد. موقعی که آرمیچر به اندازه ۱۸۰ درجه (نصف دور) چرخید کلکتور بطور اتوماتیک انتهای حلقه را از یکی از ذغالها به دیگری وصل می کند و این عمل درست نظیر همان کلید معکوس کننده است.



شکل (۱۱)

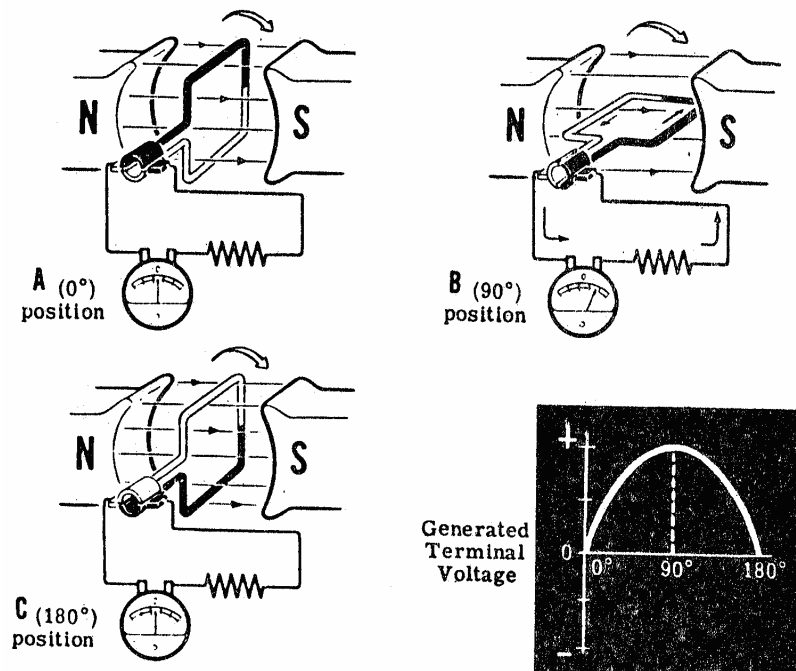
۱-۵- تبدیل جریان A.C به جریان D.C بوسیله کلکتور

حال طرز کار کلکتور در تبدیل جریان متناوب به جریان مستقیم مورد مطالعه قرار می گیرد. در حالت A مطابق شکل (۱۲) حلقه بر میدان عمود است. در این حالت هیچ ولتاژ القایی در حلقه بوجود نخواهد آمد. بنابراین هیچ جریانی در مدار نخواهیم داشت. توجه داشته باشید که در این حالت ذغالها با هر دو نیمه اتصال دارند و حلقه را اتصال کوتاه می کنند. این عمل هیچ اشکالی ایجاد نخواهد کرد چون در این حالت هیچ جریانی در مدار وجود ندارد. در لحظه ای که حلقه آهسته از حالت A (زاویه صفر درجه) میچرخد اتصال کوتاه هم باقی نخواهد ماند. در این موقع ذغال سیاه با نیمه سیاه و ذغال سفید با نیمه سفید حلقه اتصال دارد. موقعی که حلقه در جهت عقربه های ساعت از حالت A به حالت B می چرخد ولتاژ القایی از صفر زیاد شده تا اینکه در حالت B (زاویه ۹۰ درجه) ماکزیمم می شود. از آنجائیکه جریان متناسب با ولتاژ القایی تغییر می کند در این حالت جریان هم ماکزیمم خواهد بود. همینکه حلقه از حالت B به حالت C چرخید ولتاژ القایی کم خواهد شد تا اینکه در حالت C (زاویه ۱۸۰ درجه) دوباره صفر خواهد شد. شکل موج نشان داده شده در شکل (۱۲) نشان می دهد که چطور ولتاژ خروجی ژنراتور بین زاویه صفر و ۱۸۰ درجه تغییر می کند.

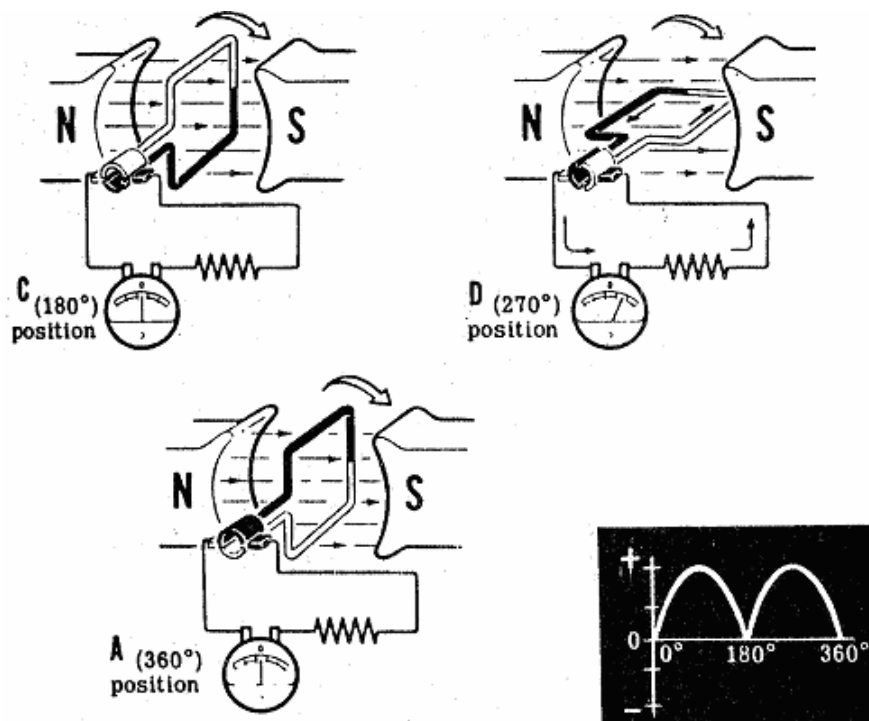
توجه داشته باشید که در حالت C ذغال سیاه از روی نیمه سیاه حلقه لغزیده و به قسمت سفید می‌رود. در همین موقع ذغال سفید هم از روی نیمه سفید لغزیده و به قسمت سیاه متصل می‌شود. در این روش ذغال سیاه به نیمه ای از هادی متصل است که در زیر قرار دارد و ذغال سفید با آن نیمه از هادی اتصال دارد که در بالا قرار گرفته است. از آنجائیکه در نیمه بالای حلقه جهت جریان بطرف ذغال می‌باشد، ذغال سفید قطب منفی و ذغال سیاه قطب مثبت ژنراتور را تشکیل می‌دهد.

با توجه به شکل (۱۳)، وقتی حلقه به چرخش خود ادامه دهد و از حالت C (زاویه 180° درجه) به حالت D (زاویه 270° درجه) و بالاخره به حالت A (برگردد (زاویه 360° درجه) ذغال سیاه به هادی سفید که در قسمت پائین حرکت می‌کند و ذغال سفید به هادی سیاه که در قسمت بالا حرکت می‌کند اتصال پیدا می‌کند. در نتیجه ولتاژ شبیه ولتاژی که بین زاویه صفر و 180° درجه تولید شده بود بین زاویه 180° و 360° درجه نیز تولید خواهد شد. توجه داشته باشید اگر چه جهت جریان در آرمیچر در هر نیم دور عوض می‌شود ولی جریان در آمپر متر در دو حالت در یک جهت خواهد بود.

بنابراین ولتاژ خروجی در تمام لحظات جهت یکسانی خواهد داشت اما مقدارش کم و زیاد می‌شود. بدین ترتیب که در هر دور که حلقه می‌گردد ولتاژ خروجی از صفر زیاد شده تا به مقدار ماکزیمم میرسد و سپس صفر شده و دوباره ماکزیمم می‌شود و باز صفر می‌شود.

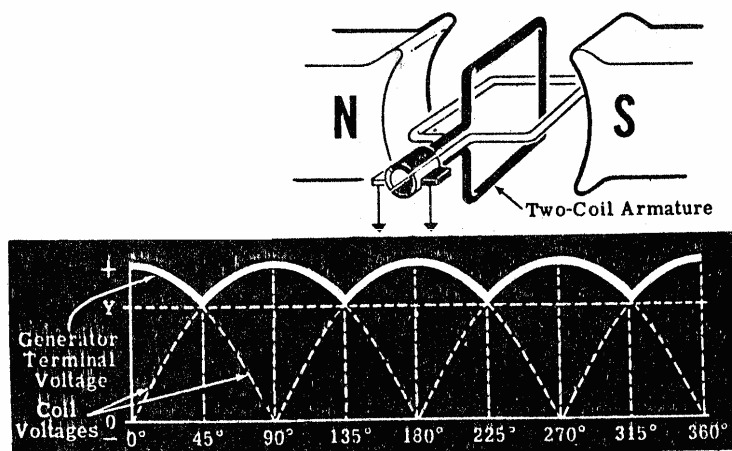


شکل (۱۲)



شکل (۱۳)

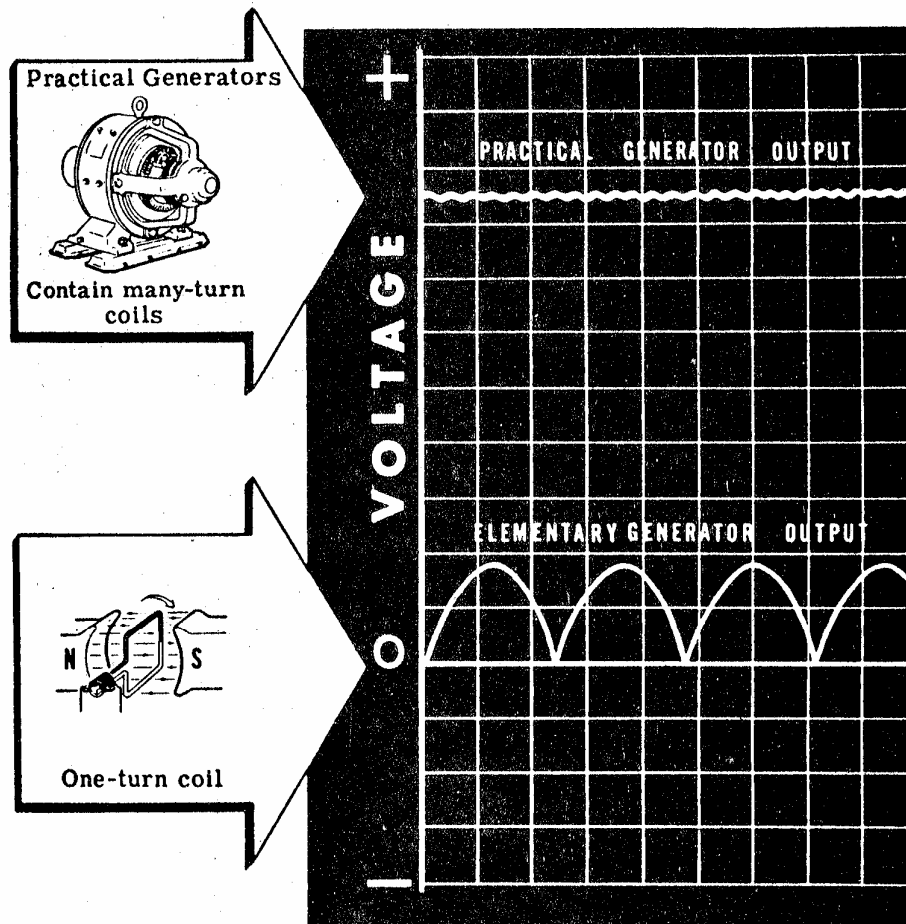
شکل موج ولتاژ خروجی ترکیب دو حلقه برای یک دور کامل در شکل (۱۴) نشان داده شده است. توجه داشته باشید که خروجی هیچگاه از نقطه Y پائین تر نمی آید. بنابراین ولتاژ خروجی بین Y و مقدار ماکزیمم کم و زیاد می شود و این حالت بهتر از حالتی است که ولتاژ خروجی بین صفر و مقدار ماکزیمم تغییر می کرد. در این حالت ولتاژ خروجی ژنراتور D.C را موج دار می گویند. واضح است که خروجی آرمیچر دو حلقه ای صافتر و ثابت تر از خروجی آرمیچر یک حلقه ای است.



شکل (۱۴)

با وجود اینکه ولتاژ خروجی آرمیچر دو حلقه ای صاف تر از خروجی آرمیچر یک حلقه ای است ولی هنوز این ولتاژ به اندازه کافی ثابت و صاف نیست که برای دستگاههای الکتریکی بتوان از آن استفاده نمود. برای اینکه ولتاژ خروجی واقعاً صاف شود آرمیچر را با تعداد زیادی حلقه میسازند و بهمین ترتیب کلکتور هم به تعداد زیادی تیغه تقسیم می شود. حلقه ها طوری در اطراف آرمیچر قرار می گیرند که در هر لحظه میدان مغناطیسی چند بار بوسیله حلقه ها قطع می شود. در نتیجه ولتاژ خروجی آرمیچر مانند شکل (۱۵) تعداد کمی موجک خواهد داشت و می تواند برای تمام منظوره‌های عملی بعنوان ولتاژ ثابت و مستقیم بکار رود. ولتاژ القاء شده در حلقه ای که دارای یک دور سیم است، زیاد نیست. برای افزایش ولتاژ خروجی در ژنراتورهای عملی هر حلقه را با تعداد زیادی دور سیم که بطور سری قرار گرفته اند می سازند. در نتیجه ولتاژ خروجی خیلی زیادی تولید خواهد شد.

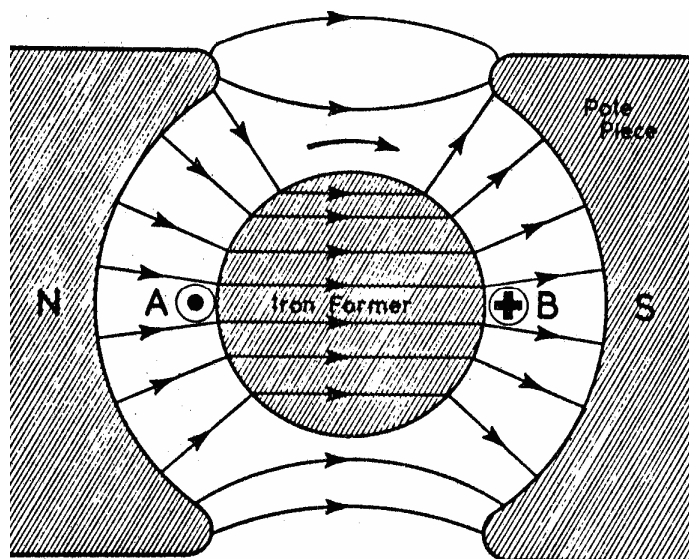
MANY-TURN COILS INCREASE VOLTAGE OUTPUT



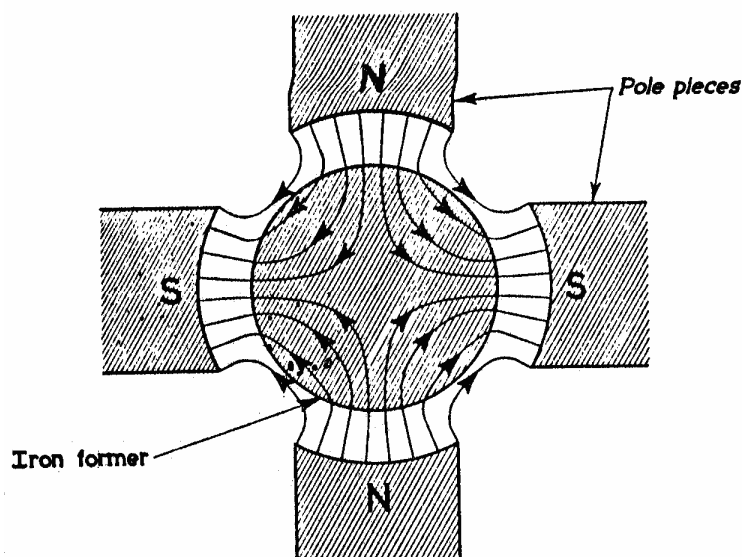
شکل (۱۵)

در ژنراتور ابتدائی حلقه آرمیچر در یک میدان یکنواختی دوران میکند. برای ایجاد این میدان یکنواخت در ژنراتورهای عملی از قطب های مقعر مانند شکل (۱۶) استفاده می شود و حلقه های آرمیچر بوسیله هسته آهنی حمل می شوند.

با بکاربردن بیش از یک جفت قطب مطابق شکل (۱۷)، می توان شار مغناطیسی را بیشتر و خطوط مغناطیسی یکنواخت تری بدست آورد. در عمل معمولاً از دو جفت قطب استفاده می شود ولی در ماشینهای بزرگ از تعداد بیشتری قطب استفاده می شود.



شکل (۱۶)



شکل (۱۷)

پرسشهای فصل اول :

- ۱- مقدار ولتاژ القایی در ژنراتورها به چه عواملی بستگی دارد؟
- ۲- جهت ولتاژ القا شده چگونه تعیین می شود؟
- ۳- کموتاسیون چیست؟
- ۴- نقش کلکتور در ولتاژ تولید شده چیست؟

فصل دوم

ژنراتورهای DC

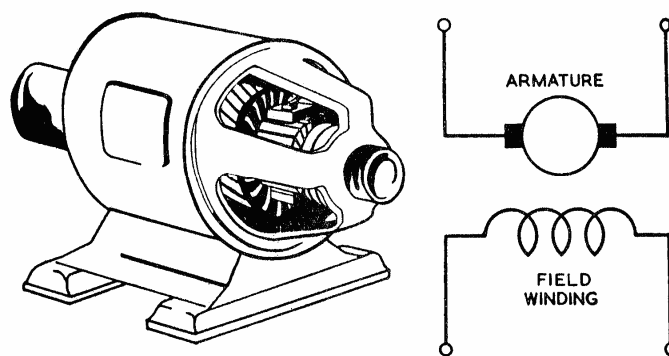
اهداف آموزشی فصل دوم:

- ۱- شناخت ساختمان و اصول کار ژنراتورهای D.C
- ۲- شناخت جریانهای فوکو و روش کاهش آن
- ۳- آشنایی با انواع روشهای سیم بندی
- ۴- شناخت انواع ژنراتورهای DC و مشخصه های آنها

۲-۱- ساختمان ژنراتورهای جریان مستقیم

اساس کار ژنراتورها و تئوری کار ژنراتورهای ابتدائی A.C , D.C در قسمت قبل مورد بحث قرار گرفت. در این قسمت به بحث پیرامون ژنراتورهای حقیقی و ساختمان آنها خواهیم پرداخت.

ژنراتورها دارای اجزاء مختلفی می باشند. وقتی اجزاء اصلی و ساختمان ژنراتور را شناخته شد می توان در موقع لزوم به آسانی عیب های ژنراتور را پیدا کرده و آنرا تعمیر نمود. تمام ژنراتورهای A.C و D.C دارای یک قسمت گردان و یک قسمت ثابت میباشند. در بیشتر ژنراتورهای D.C حلقه های آرمیچر روی قسمت گردان قرار گرفته اند که روی هم رفته به آن آرمیچر گفته می شود و حلقه های تولید کننده میدان در قسمت ثابت قرار دارند. ولی در بیشتر ماشینهای A.C عکس این مطلب وجود دارد یعنی میدان در قسمت گردان (روتور) و سیم بندی آرمیچر در قسمت ثابت (استاتور) قرار گرفته است. شکل (۱۸)

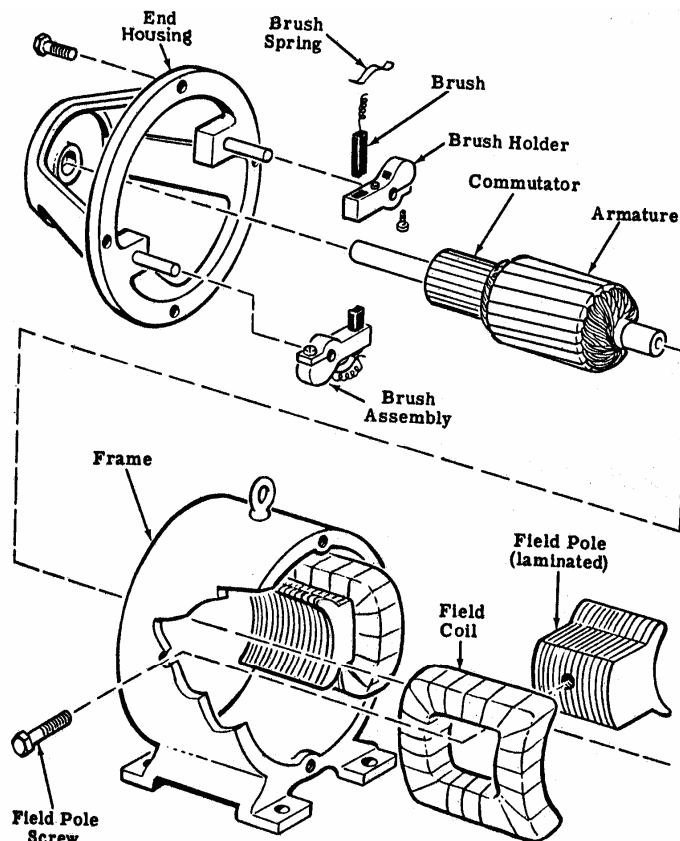


شکل (۱۸)

چون بین آرمیچر و سیم بندی میدان یک حرکت نسبی وجود دارد حلقه های آرمیچر خطوط شار مغناطیسی را قطع می کند و در نتیجه یک نیروی محرکه الکتریکی (نیروی الکتروموتوری) در حلقه های آرمیچر القاء شده و جریانی از مدار خواهد گذشت.

تمام ژنراتورها باید با ماشین های مکانیکی کوپل شوند تا انرژی مکانیکی لازم برای چرخاندن قسمت گردان فراهم گردد. این ماشین ها را محرک اولیه می گویند که ممکن است ماشینهای بخار، موتورهای دیزل یا سیستم توربینی که بوسیله احتراق ذغال سنگ، نفت یا آب کار کند باشد.

رابطه اجزای مختلف ژنراتورهای جریان مستقیم در شکل (۱۹) نشان داده شده است. همانطوریکه می بینید میدان در استاتور قرار گرفته و آرمیچر همراه با ذغالها در فضای بین قطب ها و دو انتهای قاب ژنراتور قرار گرفته است این اجزا در قسمتهای بعد بطور کامل تشریح خواهد شد.



شکل (۱۹)

قسمت های اصلی یک نوع ژنراتور D.C در شکل (۲۰) نشان داده شده است . که در ادامه وظایف هر کدام تشریح خواهد شد:

● قاب اصلی :

این قسمت که بعضی اوقات YOKE هم خوانده می شود مثل ستون ماشین است و سایر قسمت های ماشین را نگهداری میکند. علاوه بر این، قاب اصلی باعث می شود که مدار مغناطیسی قطب ها کامل شود .

● قطب ها :

قطب ها از صفحات نازک آهن یا فولاد تشکیل شده اند. این صفحات به یکدیگر متصل بوده و به داخل قاب ژنراتور پیچ شده اند . سیم پیچهای تولید کننده میدان بر روی قطب ها جای گرفته و قطب ها نگهدارنده آنها می باشند . هدف از مورق ساختن قطب ها کاهش جریانه‌های گردابی است که در اثر قرار گرفتن یک جسم آهنی در میدان مغناطیسی در حجم آن ایجاد می شود .

● سیم بندی میدان :

وقتی سیم بندی میدان روی قطب ها قرار گرفت قطب های مغناطیسی بوجود می آیند که میدان لازم برای کار کردن ژنراتور را تولید می کند . اغلب به مجموع سیم بندی و قطب ها میدان گفته می شود . سیم بندی از سیم های عایق تشکیل شده و بطور یکنواخت اطراف قطب ها پیچیده می شوند . جریانی که از این سیم بندی عبور میکند میدان مغناطیسی را تولید می کند .

ژنراتورها ممکن است دارای دو و یا چند قطب باشند. صرف نظر از تعداد قطب ها ، قطبهای متوالی همیشه مخالف هم هستند . سیم بندی ممکن است با آرمیچر به طور سری یا موازی یا شنت باشد . سیم بندی شنت دارای تعداد دور زیاد بوده و از سیمهای نازک تشکیل شده است. در حالیکه سیم بندی سری از سیمی با تعداد حلقه های کم و ضخیم تر ساخته شده است .

● نگهدارنده های بلبرینگ ها :

این قسمت ها در دو انتهای قاب اصلی قرار گرفته و بلبرینگ های آرمیچر را نگهداری میکند .

● ذغال گیر :

این قسمت، ذغالها و سیم های اتصالشان را نگه میدارد . ذغالها بوسیله بست هایی به نگهدارنده بلبرینگ جلوئی محکم شده اند . در بعضی ژنراتورها ذغال گیرها میتوانند برای تنظیم در اطراف محور ژنراتور بگردند .

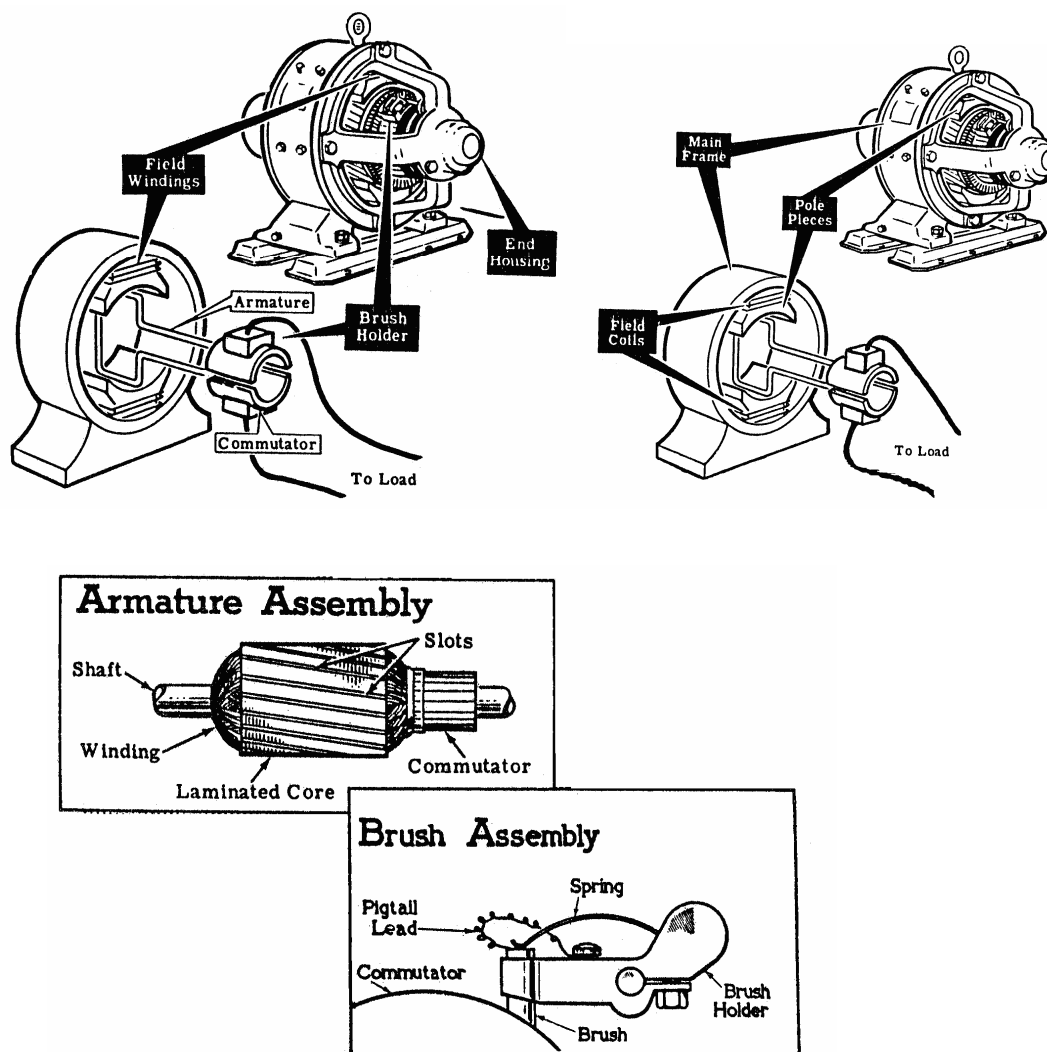
● اجزاء آرمیچر :

آرمیچر از شافت (محور) ، هسته فلزی ، سیم بندی آرمیچر و کلکتور تشکیل شده است . هسته آرمیچر موقر است و دارای شیارهایی است که سیم بندی آرمیچر در آن جای میگیرد . معمولاً سیم بندی آرمیچر را ابتدا به شکل مخصوص پیچیده بعد در شکاف های هسته جای میدهند .

کلکتور از تیغه های مسی که از یکدیگر و از محور بوسیله میکاعایق شده اند تشکیل شده است. تیغه ها بوسیله حلقه های نگهدارنده حفاظت می شوند تا در اثر چرخش کنده نشوند . همچنین شکاف های کوچکی در انتهای تیغه ها تعبیه شده است که سرهای سیم بندی آرمیچر به آن لحیم می شود . محور آرمیچر ، تمام اجزاء آرمیچر را نگهداری کرده و در دو سر آن دو بلبرینگ وجود دارد . بین هسته آرمیچر و قطب ها یک فاصله هوایی ناچیزی برای جلوگیری از اصطکاک موتور و قطعات به یکدیگر وجود دارد . فاصله هوایی باید خیلی کوچک باشد تا شدت میدان مغناطیسی همیشه ماگزیمم مقدار خود را داشته باشد و از قدرت موتور کاسته نشود .

ذغالها :

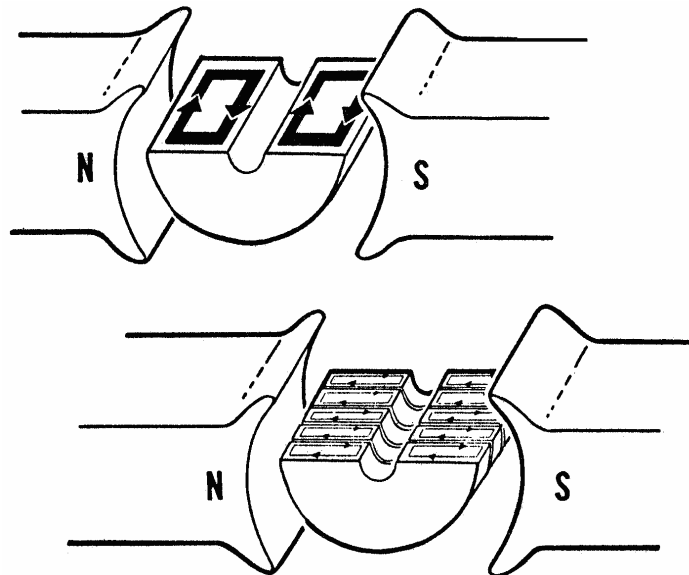
ذغالها بر روی کلکتور سوار بوده و ولتاژ تولید شده را به خارج می‌رساند. ذغالها از نوعی کربن مخصوص همراه با مواد دیگر که سختی لازم را به آن بدهد ساخته می‌شوند و بوسیله ذغال گیرها در جای خود نگهداری می‌شوند. ذغالها می‌توانند در نگهدارنده‌های خود بالا و پائین شوند تا قادر باشند از ناهمواری‌های جزئی سطح کلکتور عبور کنند. یک سیم ضخیم هر یک از ذغالها را به مدار خارج وصل می‌کند.



شکل (۲۰)

گفته شد که اگر یک هادی میدان مغناطیسی را قطع کند در آن جریان القا می شود. اگر به جای سیم هادی یک جسم توپر فلزی میدان مغناطیسی را قطع کند در حجم آن جریان القا خواهد شد که به جریانهای گردابی معروفند و چون سطح مقطع جسم زیاد است بنابراین مقاومت کمی در مقابل عبور جریان نشان میدهد.

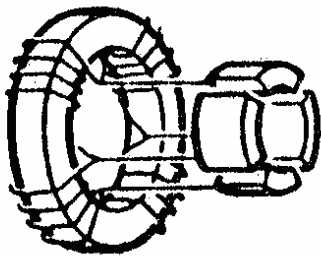
سیم های هادی در ژنراتورها و موتورهای دور هسته فلزی سیم پیچی می شود حال وقتی هسته فلزی شروع به گردش کند جریان های گردابی در آن القاء خواهد شد. این پدیده درست شبیه القاء شدن جریان مفید در سیم های ژنراتور است با این تفاوت که جریانهای گردابی جریانهای تلف شده هستند و هسته آرمیچر را گرم کرده و در نتیجه راندمان ژنراتور را کاهش خواهد داد. جهت کاهش جریانهای گردابی، هسته فلزی ژنراتورها و موتورها را از ورقهای نازک میسازند. این ورقها از یکدیگر عایق بوده و هیچ ارتباط الکتریکی با یکدیگر ندارند. در نتیجه مدار جریانهای گردابی محدود تر شده و از اثر آنها کاسته می شود. شکل (۲۱) اثر موری کردن هسته فلزی در محدود کردن جریانهای گردابی را نشان می دهد.



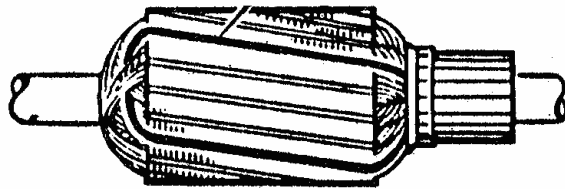
شکل (۲۱)

۲-۲- انواع آرمیچر

آرمیچر هایی که در ژنراتورهای D.C بکار میروند به دو نوع حلقوی و استوانه ای تقسیم می شوند. این دو نوع در شکل (۲۲) نشان داده شده است. در نوع حلقوی کلافهای آرمیچر دور یک هسته فلزی حلقه ای شکل بطور حلزونی پیچیده شده است و دو سر هر کلاف به کلکتور وصل می شود. این نوع آرمیچر در گذشته برای ماشینهای الکتریکی طرح میشد ولی امروزه بندرت مورد استفاده قرار می گیرد.



نوع حلقه ای



نوع استوانه ای

شکل (۲۲)

در داخل شیارهای هسته استوانه ای آرمیچر، عایق قرار دارد. در بیشتر ژنراتورهای جریان مستقیم ابتدا حلقه های آرمیچر بوسیله ماشین مخصوص با تعداد دور صحیح و به شکل مرتب سیم پیچی شده و سپس حلقه را بصورت کلاف در شیارهای آرمیچر جا میدهند. کلاف ها را طوری در شیارها قرار میدهند که دو ساق هر حلقه در زیر قطب های غیر همنام قرار بگیرند. در ماشین های دو قطبی ساق های هر حلقه در زیر قطب های مخالف قرار می گیرد و بنابراین ساقها برای همیشه بطور اتوماتیک در زیر قطب های مختلف خواهند بود. در ماشین چهار قطبی ساق های هر حلقه در یک چهارم محیط آرمیچر قرار می گیرند و دوباره ساق ها در زیر قطب های غیر همنام قرار خواهند گرفت.

۲-۳- انواع سیم بندی آرمیچر

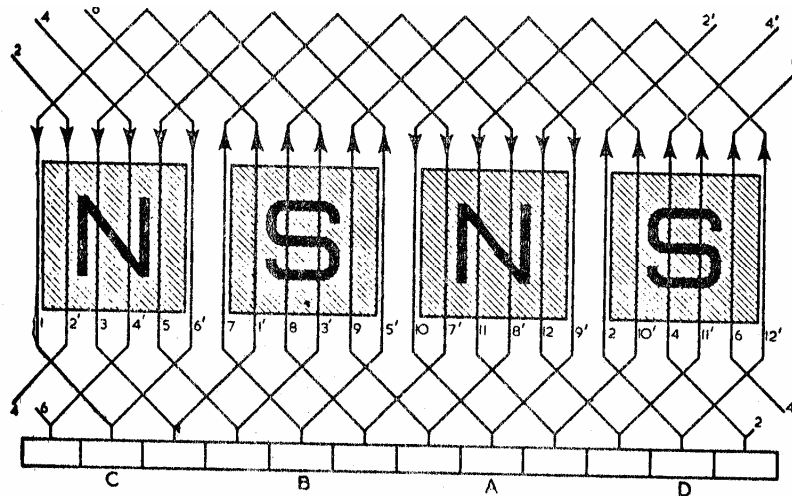
سیم بندی آرمیچر استوانه ای به دو صورت موجی و حلقوی انجام می گردد. در سیم بندی حلقوی دو سر هر حلقه به دو تیغه مجاور هم کلکتور اتصال دارد در شکل (۲۳) این نوع سیم بندی برای یک ژنراتور چهار قطبی نشان داده شده است.

جهت نیروی الکتروموتوری در هر هادی و طریقه اتصال حلقه ها در سیم بندی حلقوی در دیاگرام شکل (۲۴) نشان داده شده است.

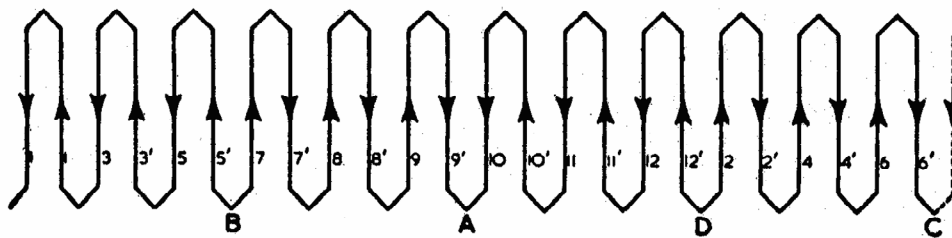
با توجه به این دیاگرام ملاحظه می شود که در دو نقطه یعنی نقطه A و نقطه C نیروی الکتروموتوری در دو هادی مجاور هم به یکدیگر میرسند. همچنین دو نقطه وجود دارد که نیروی الکتروموتوری در دو هادی مجاور هم از یکدیگر دور میشوند (نقاط B و D). حال اگر ذغالها را در این نقاط قرار دهیم جریان آرمیچر از نقاط A, C خارج شده و در نقاط B, D وارد سیم بندی آرمیچر می شود.

می توانیم ذغالهایی را که دارای جهت یکسانی می باشند به یکدیگر وصل نمود. در اینصورت آرمیچر بطور مؤثر دارای چهار مسیر موازی جریان خواهد بود.

معمولاً در سیم بندی حلقوی مسیرهای موازی مساوی تعداد قطب ها می باشد. در نتیجه نیروی الکتروموتوری خروجی برابر نیروی الکتروموتوری خروجی هر یک از مسیرهای جریان می باشد. ولی جریان خروجی مساوی مجموع جریان های هر یک از مسیرهای سیم بندی می باشد. به این دلیل سیم بندی حلقوی در موارد یکه احتیاج به جریان زیاد است مورد استفاده قرار می گیرد.



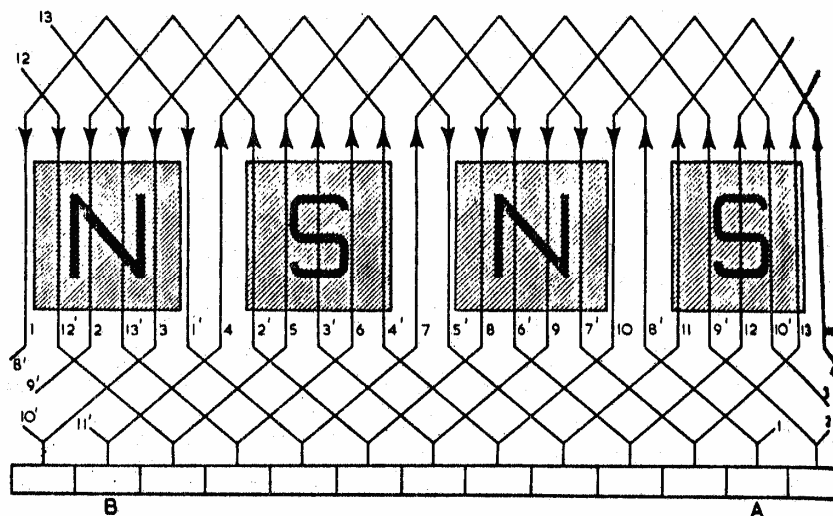
شکل (۲۳)



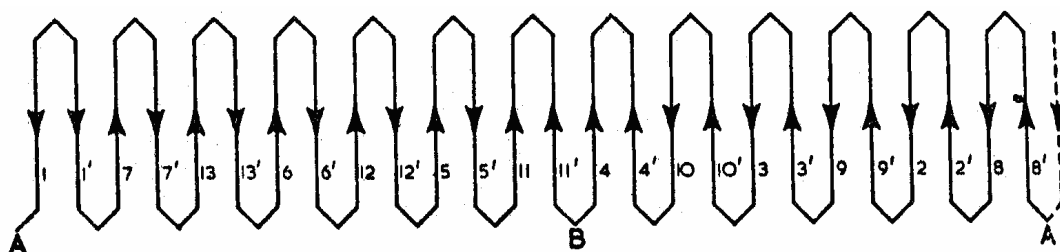
شکل (۲۴)

سیم بندی دیگری که در آرمیچر استوانه ای مورد استفاده قرار می گیرد سیم بندی موجی می باشد که در شکل (۲۵) نشان داده شده است. در این نوع سیم بندی نحوه اتصال سیم بندی طور است که سیم بندی قبل از اینکه به قطبی که از آن شروع به حرکت کرده بود برگردد از زیر تمام قطب ها میگذرد.

طریقه اتصال حلقه ها در سیم بندی موجی در دیاگرام شکل (۲۶) نشان داده شده است. توجه دارید که در این نوع سیم بندی فقط دو مسیر موازی وجود دارد.



شکل (۲۵)



شکل (۲۶)

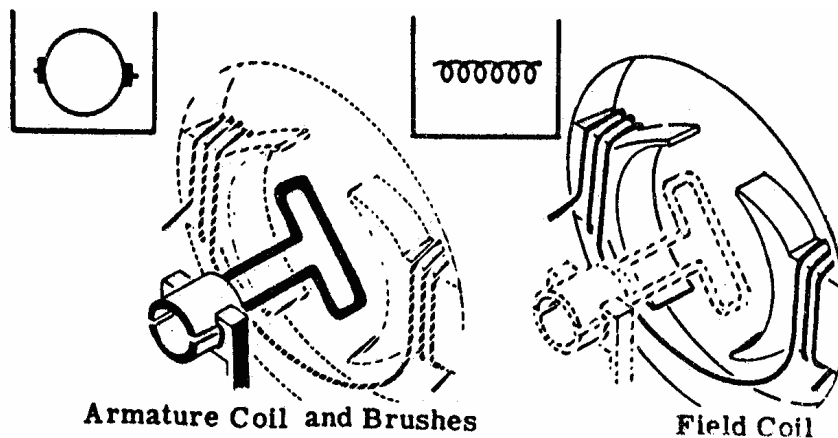
عموماً سیم بندی موجی فقط دارای دو مسیر موازی جریان است و صرف نظر از تعداد قطب ها فقط دو ذغال می تواند داشته باشد. نیروی الکتروموتوری قابل استفاده در یک سیم بندی موجی مساوی نیروی الکتروموتوری القاء شده در نصف تمام هادی های آرمیچر می باشد. به همین جهت سیم بندی موجی در مواردی که احتیاج به ولتاژ زیاد باشد بکار میرود. همچنین جریان داده شده به مدار خارج دو برابر جریان هر یک از هادی های آرمیچر می باشد.

۲-۴- انواع ژنراتورهای جریان مستقیم

برای تولید میدان مغناطیسی ثابت در ژنراتورها باید سیم پیچ های تولید کننده میدان به یک منبع ولتاژ جریان مستقیم (D.C) وصل شوند. جریان مستقیمی که از حلقه های میدان عبور می کند را جریان تحریک می گویند که ممکن است از یک منبع جداگانه D.C تأمین شود و یا از خروجی D.C خود ژنراتور استفاده شود.

اگر میدان توسط جریان منبع خارجی تأمین شود ژنراتور را تحریک جداگانه گویند و اگر قسمتی از خروجی خود ژنراتور برای تحریک میدان مورد استفاده قرار بگیرد آن را تحریک خودی گویند. در ژنراتورهای با تحریک خودی ممکن است سیم بندی میدان بطور سری (ژنراتور سری) یا موازی (ژنراتور شنت) و یا قسمتی سری و قسمتی موازی با آرمیچر قرار بگیرد (ژنراتور کمپوند).

شکل های نشان داده شده در زیر برای نشان دادن مدار آرمیچر و سیم بندی میدان در ژنراتورهای مختلف بکار میرود.

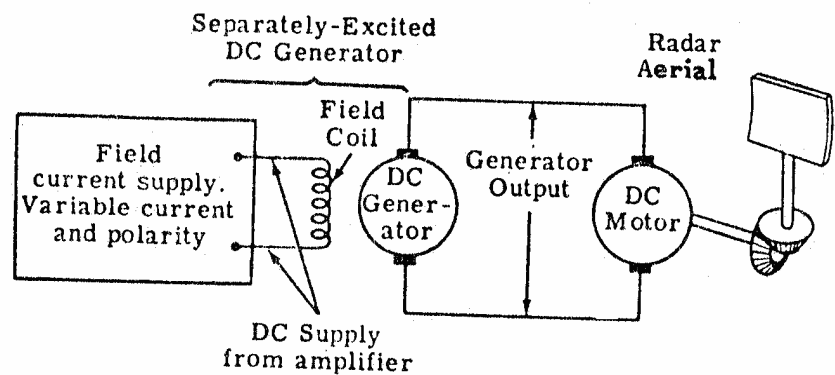


شکل (۲۷)

۲-۴-۱- ژنراتور جریان مستقیم با تحریک جداگانه

در ژنراتور جریان مستقیم با تحریک جداگانه میدان مستقل از آرمیچر است زیرا جریان میدان از یک ژنراتور (تحریک کننده) و یا باتری تأمین می شود. در ژنراتور تحریک جداگانه می توان خروجی ژنراتور را به راحتی کنترل کرد چون بایک تغییر جزئی و ناچیز در جریان تحریک تغییر بزرگی در جریان خروجی ژنراتور بوجود خواهد آمد.

ژنراتورهای تحریک جداگانه غالباً در سیستم های کنترل اتوماتیک موتورهای بکار میرود. در این سیستم ها جریان خروجی تحریک میدان مطابق شکل (۲۸) بوسیله یک آمپلی فایر کنترل می شود و خروجی ژنراتور جریانی را که موتور را به کار میاندازد تأمین می کند.



شکل (۲۸)

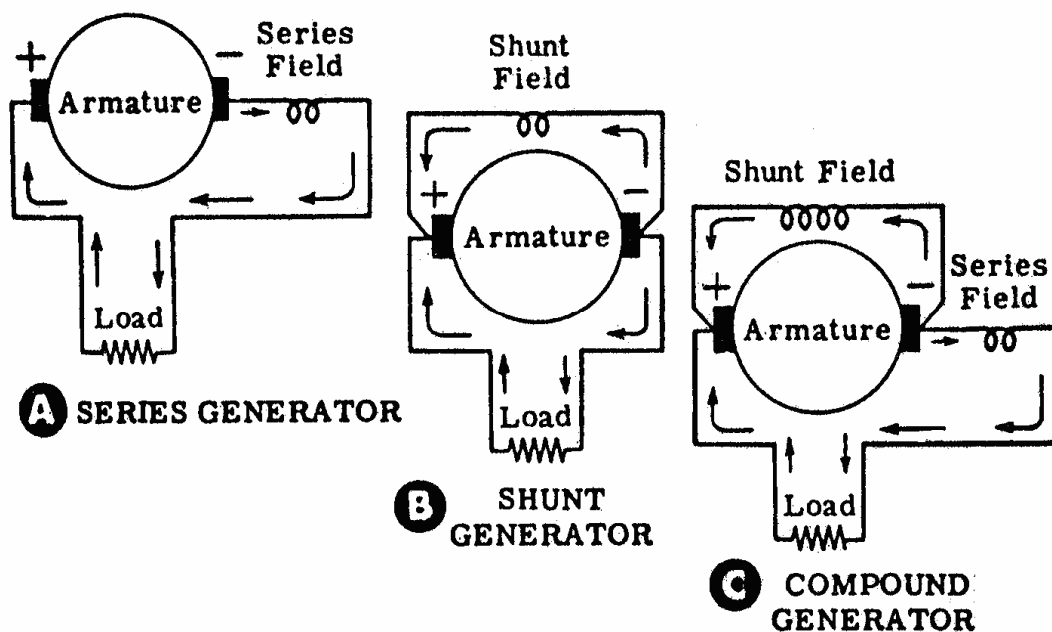
۲-۴-۲- ژنراتورهای جریان مستقیم با تحریک خودی

در ژنراتورهای جریان مستقیم با تحریک خودی از قسمتی از جریان خروجی ژنراتور برای جریان تحریک استفاده می کنند. این ژنراتورها بر حسب نوع اتصال میدانشان تقسیم بندی می شوند.

همانطور که از شکل (۲۹) مشاهده می گردد، در ژنراتورهای سری سیم پیچ میدان با آرمیچر سری می باشد. بنابراین تمام جریان آرمیچر از سیم پیچی میدان و بار میگذرد. اگر ژنراتور به بار وصل نباشد مدار کامل نیست و جریانی برای تولید میدان وجود نخواهد داشت و در نتیجه ژنراتور کار نخواهد کرد. سیم پیچی میدان سری فقط دارای چند دور سیم ضخیم می باشد.

در ژنراتورهای شنت میدان ژنراتور با مدار آرمیچر موازی می باشد و فقط قسمت کوچکی از جریان آرمیچر از سیم پیچی میدان تحریک می گذرد. از آنجائیکه سیم پیچی میدان شنت با آرمیچر مداری را تشکیل می دهد و این مدار مستقل از بار است اگر باری هم در مدار نباشد، باز ژنراتور کار خواهد کرد. سیم پیچی میدان شنت از تعداد زیادی سیم نازک تشکیل شده است. شکل (۲۹)

ژنراتور کمپوند دارای یک سیم پیچ سری و یک سیم پیچ موازی بوده و تشکیل یک میدان سری- موازی میدهند. بنابراین روی هر یک از قطب ها دو سیم پیچی وجود دارد یکی مربوط به میدان سری و دیگری مربوط به میدان شنت. سیم پیچی میدان شنت بوسیله قسمتی از جریان آرمیچر تغذیه می شود در حالیکه تمام جریان بار از سیم پیچی میدان سری عبور می کند. بنابراین هر چه جریان بار اضافه شود شدت میدان سری هم بیشتر می شود.

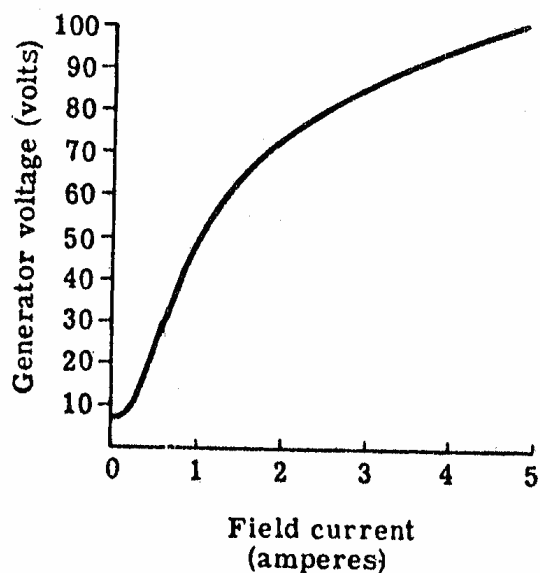


شکل (۲۹)

تقریباً تمام ژنراتورهای جریان مستقیم که برای روشنایی بکار میروند از نوع تحریک خودی می باشند که در آن از جریان آرمیچر برای تولید میدان استفاده می شود. اما تا وقتی آرمیچر در میدان مغناطیسی نچرخد، هیچ جریانی در سیم بندی آن القاء نمی شود. سوال اینست که در موقعیکه ژنراتور می خواهد شروع بکار کند و هیچ جریان تحریکی در مدار نیست خروجی ژنراتور چگونه بوجود می آید ؟

چگونگی بوجود آمدن خروجی ژنراتور به این ترتیب است که بعلت خاصیت مغناطیسی فولادی که در ساختمان قطب های ژنراتور بکار رفته است، قطب ها مقداری خاصیت مغناطیسی در خود ذخیره می کنند که آنرا خاصیت پسماند مغناطیسی می گویند. این پسماند مغناطیسی یک میدان مغناطیسی ضعیف تولید می کند. وقتی آرمیچر شروع به چرخش می کند این میدان اگر چه خیلی کم است ولی باعث القای ولتاژ در سیم بندی آرمیچر می شود. این نیروی الکتروموتوری القاء شده جریانی در سیم پیچی میدان میفرستد که باعث تقویت میدان اصلی شده و میدان کلی را قوی تر می کند. قوی شدن میدان مغناطیسی باعث می شود که نیروی الکتروموتوری بیشتری در ژنراتور تولید شده و جریان گذرنده از سیم پیچی میدان زیاد شود. تا وقتی که ماشین به شدت مغناطیسی میدان نرمال خود برسد.

تمام ژنراتورهای سری تحریک خودی به این روش کار می کنند. زمان رسیدن ژنراتور به حالت دائمی اش بین ۵ تا ۳۰ ثانیه است. منحنی شکل (۳۰) نشان می دهد که چگونه ولتاژ و جریان میدان در ژنراتور شنت به مقدار نرمال خود میرسد.



شکل (۳۰)

بخاطر داشته باشید که خروجی یک ژنراتور، الکتریکی است و ژنراتور همیشه نیاز دارد که بوسیله یک محرک اولیه ای چرخانده شود. با این وجود زمان رسیدن به حالت دائمی در ژنراتورها به چرخش مکانیکی آن مربوط نیست بلکه به خروجی الکتریکی آن مربوط است. بعضی اوقات ژنراتور نمی تواند به حالت دائمی خود برسد. وقتی این امر اتفاق بیافتد یکی از چند عیب زیر ممکن است وجود داشته باشد:

۱- ممکن است میدان مغناطیسی پس ماند خیلی کم و یا صفر باشد. در اینصورت برای تولید میدان اولیه مورد نیاز باید ژنراتور بوسیله یک منبع خارجی جریان مستقیم تحریک شود که این عمل را تقویت میدان پس ماند گویند.

۲- اگر جهت حرکت ژنراتور با جهت پسماند یکسان نباشد میدان اولیه بیشتر ضعیف شده و ژنراتور هیچگاه به حالت دائمی اش نخواهد رسید.

۳- در ژنراتورهای شنت اغلب رئوستایی بطور سری با سیم پیچی میدان قرار می گیرد تا جریان میدان را کنترل کند. اگر این رئوستا در ابتدا مقاومت زیادی را به مدار اضافه کند جریان تحریک میدان خیلی کم خواهد بود و ژنراتور به حالت دائمی اش نخواهد رسید.

۴- بالاخره اگر مدار میدان در جایی قطع شده باشد ژنراتور به حالت دائمی اش نمی رسد که با پیدا کردن محل قطع شدن مدار عیب برطرف می شود.

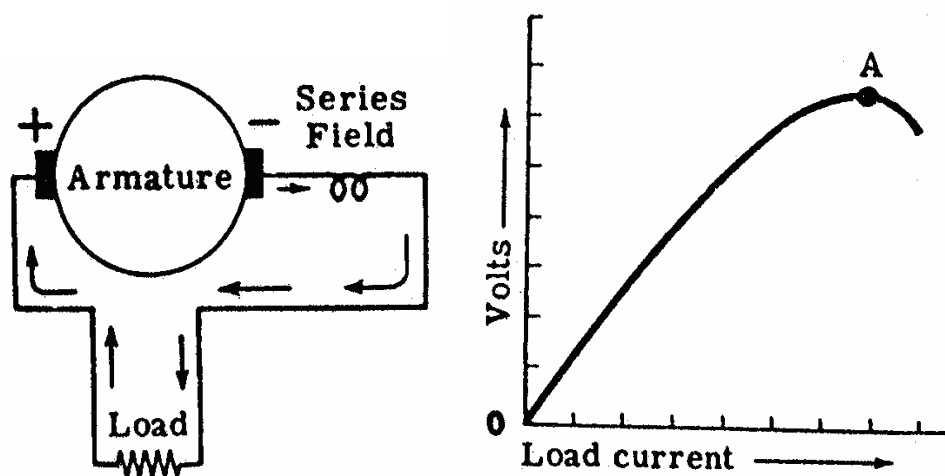
۲-۴-۱- ژنراتورهای سری

در ژنراتور سری سیم پیچی میدان آرمیچر و مدار خارج بطور سری قرار دارند در نتیجه جریانی که از آرمیچر و مدار خارج می گذرد بطور یکسان از سیم پیچی میدان هم خواهد گذشت. چون جریان میدان که جریان بار نیز هست زیاد است. شدت میدان مغناطیسی مورد نیاز بستگی به تعداد دور های سیم پیچی میدان دارد.

شکل (۳۱) مدار یک ژنراتور سری را نشان می دهد. اگر باری در مدار وجود نداشته باشد جریانی هم در مدار نخواهیم داشت و بنابراین نیروی الکتروموتوری خیلی کمی در مدار القاء خواهد شد که مقدار آن بستگی به قدرت مغناطیسی پس ماند دارد. اگر باری در مدار باشد مدار آرمیچر و سیم پیچی میدان بسته خواهد شد و در مدار جریان برقرار خواهد شد و در نتیجه شدت میدان بمقدار اصلی خود خواهد رسید و ولتاژ خروجی زیاد می شود. وقتی مقدار جریان بار زیاد شود شدت میدان مغناطیسی هم زیاد شده و ولتاژ بیشتری در سیم پیچی آرمیچر القا می شود.

با توجه به منحنی مشخصه شکل (۳۱) هر چه جریان بار اضافه شود ولتاژ بیشتری در آرمیچر تولید می شود. ولی وقتی جریان بار به مقدار معینی رسید (نقطه A) دیگر افزایش جریان بار باعث افزایش ولتاژ نمی شود چون در این حالت میدان مغناطیسی به حد اشباع خود رسیده است.

ژنراتورهای سری بعنوان یک ژنراتور معمولی مورد استفاده قرار نمی گیرد و بعلت اینکه ولتاژ خروجی آن به نسبت جریان آرمیچر تغییر می کند (تا قبل از رسیدن میدان به حالت اشباع در موارد بخصوص مورد استفاده قرار می گیرد).

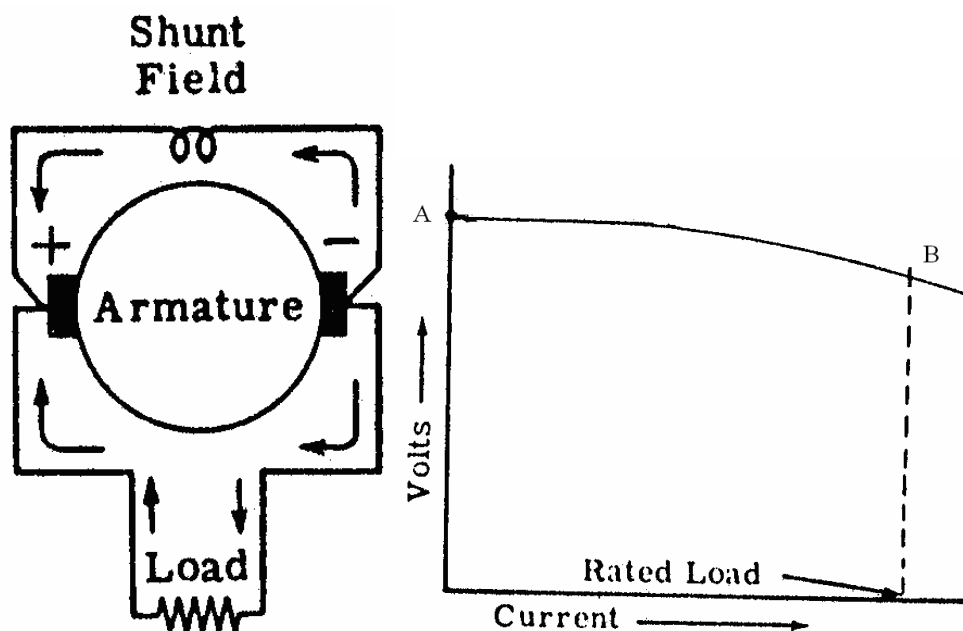


شکل (۳۱)

۲-۲-۴-۲ ژنراتورهای شنت

در ژنراتور شنت، سیم پیچ میدان بطور موازی با آرمیچر قرار دارد. بنابراین جریان گذرنده از سیم پیچی میدان به ولتاژ خروجی و مقاومت سیم پیچی میدان بستگی دارد. چون سیم پیچی میدان شنت دارای تعداد زیادی دور می باشد، نیاز به جریان کمی خواهد داشت تا میدان لازم را تولید کند.

وقتی یک ژنراتور شنت شروع به کار می کند مدت زمان بارگیری (مدت زمانیکه طول میکشد تا ژنراتور به حالت نرمال برسد) برای ولتاژ خروجی آن سریع است و اگر میدان خروجی باز باشد باز هم در سیم پیچی میدان جریان وجود خواهد داشت. وقتی بار و جریان بیشتری از آرمیچر بگذرد ولتاژ خروجی کم می شود. چون زیاد شدن افت ولتاژ آرمیچر، ولتاژ تولید شده را کم می کند. شکل (۳۲) دیاگرام شماتیک ژنراتور شنت و منحنی مشخصه آنرا نشان می دهد. توجه داشته باشید که در آن قسمتی که ژنراتور در حالت بی بار کار می کند یا در آن قسمتی که بار ژنراتور خیلی زیاد است (نقطه A تا B روی منحنی)، وقتی جریان زیاد می شود افت ولتاژ کم است. بنابراین ژنراتور شنت جایی بکار میرود که صرفنظر از تغییرات بار، ولتاژ ثابتی مورد نیاز باشد. اگر جریان کشیده شده از ژنراتور زیاد شود بطوریکه از نقطه B بیشتر شود ولتاژ خروجی شروع به کم شدن می کند تا جائیکه ممکن است صفر شود. ژنراتور شنت را می توان بوسیله رئوستایی که با سیم پیچی میدان بطور سری قرار گرفته است کنترل کرد.

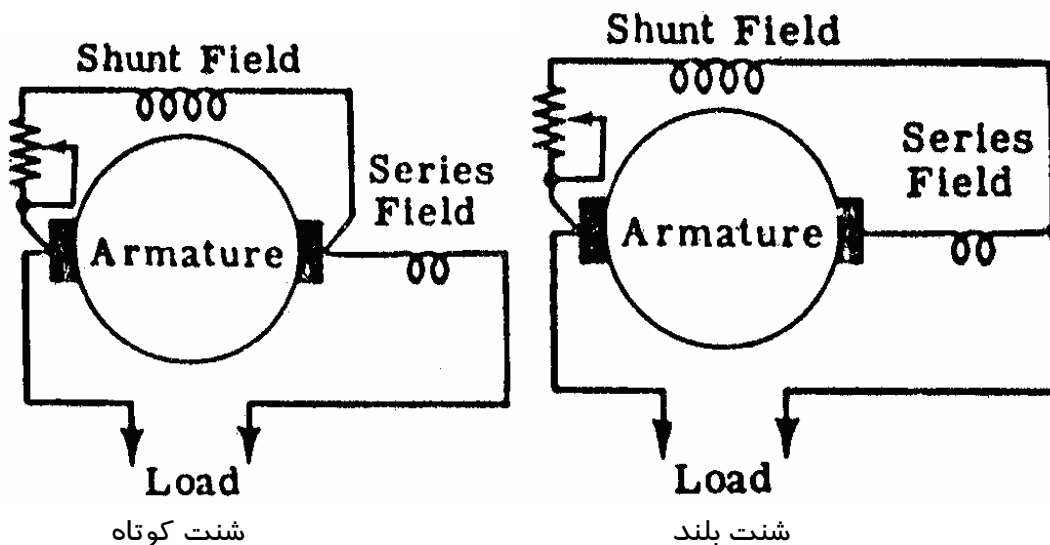


شکل (۳۲)

۲-۴-۲-۳- ژنراتور کمپوند

ژنراتور کمپوند از ترکیب ژنراتور شنت و سری تشکیل شده است و دارای دو نوع سیم پیچی میدان است که یکی بطور سری و دیگری موازی با آرمیچر قرار گرفته است. سیم پیچی شنت و سری روی قطب های ژنراتور اغلب روی هم قرار دارند.

اگر اتصال سیم پیچی میدان سری و شنت طوری باشد که همدیگر را تقویت کنند ژنراتور را کمپوند اضافی و اگر میدان سری مخالف میدان شنت باشد بطوریکه یکدیگر را تضعیف کنند ژنراتور را کمپوند کاهشی یا نقصانی می گویند. برحسب اینکه سیم پیچی میدان شنت با سیم پیچی میدان سری و آرمیچر موازی باشد و یا فقط با آرمیچر موازی باشد ژنراتور شنت بلند یا شنت کوتاه بدست می آید که در شکل (۳۳) نشان داده شده است. دانست که خصوصیات ژنراتور شنت بلند و شنت کوتاه عملاً یکسان است.



شکل (۳۳)

ژنراتورهای کمپوند طوری طرح شده اند که افت ولتاژ خروجی را که در اثر زیاد شدن جریان بار در ژنراتور پیش می آید از بین ببرند. این افت ولتاژ در جائی مثل سیستم روشنایی که ولتاژ ثابت مورد نیاز باشدنا مطلوب است. برای جلوگیری از این افت ولتاژ، سیم پیچی سری را به ژنراتور شنت می افزایند تا میدان مغناطیسی کلی زیاد شود. در این حالت وقتی جریان بار زیاد می شود دیگر ولتاژ افت نخواهد کرد چون جریان بار از سیم پیچی میدان سری هم می گذرد و هر چه جریان کشیده شده از ژنراتور زیاد شود میدان مغناطیسی کلی هم زیاد می شود.

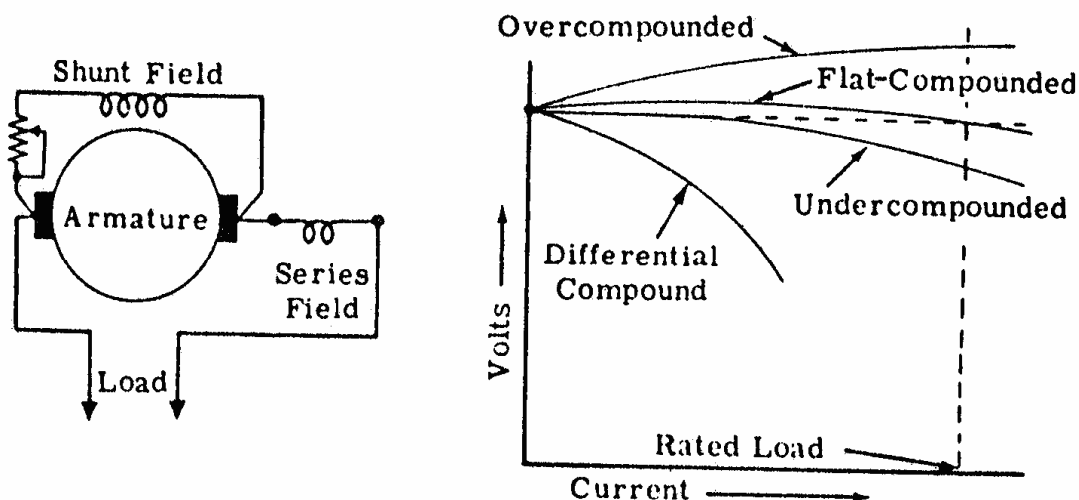
مشخصات ولتاژ خروجی یک ژنراتور کمپوند اضافی بستگی به نسبت دورهای سیم پیچی میدان شنت و سری دارد. اگر تعداد دورهای سیم پیچی میدان سری به اندازه ای باشد که ولتاژ خروجی برای تمام بارها عملاً ثابت باشد ژنراتور را کمپوند صاف می گویند. معمولاً در

این ماشین ها ولتاژ خروجی برای بار ماکزیمم مساوی ولتاژ موقعی است که هیچ باری در مدار نباشد. ولی ولتاژ خروجی برای بارهای متوسط کمی بالاتر از این مقدار است. ژنراتور کمپوند صاف برای ایجاد ولتاژ ثابت در باری که در فاصله کمی از ژنراتور باشد بکار میرود.

اگر تعداد دور سیم پیچ میدان سری طوری انتخاب شود که ولتاژ خروجی ژنراتور برای بار ماکزیمم بیشتر از حالت بی باری باشد ژنراتور را فوق کمپوند می گویند. این نوع ژنراتور مواقعی بکار میرود که بار در فاصله دوری از ژنراتور واقع باشد چون اضافه شدن ولتاژ خروجی، افت ولتاژ در خطوط تغذیه را جبران می کند و بدینوسیله خروجی ثابتی به بار اعمال می شود. اگر تعداد دور سیم پیچی میدان شنت و سری طوری انتخاب شود که ولتاژ حالت بارداری کمتر از ولتاژ حالت بی باری شود ژنراتور را زیر کمپوند گویند. این ژنراتور به ندرت مورد استفاده قرار می گیرند. بیشتر ژنراتورهائیکه در عمل مورد استفاده قرار می گیرند از نوع کمپوند صاف می باشند.

ولتاژ خروجی ژنراتورهای کمپوند را می توان مطابق شکل (۳۳) بوسیله رئوستای متغیری که بطور سری با میدان شنت قرار گرفته است کنترل کرد.

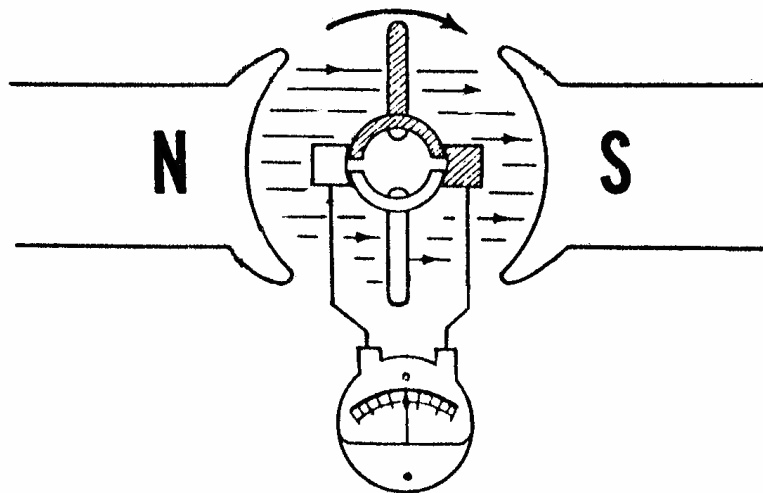
در ژنراتورهای کمپوند نقصانی، میدان شنت و سری بر خلاف یکدیگرند و یکدیگر را تضعیف می کنند در نتیجه میدان کلی ضعیف خواهد شد و با اضافه شدن جریان بار ولتاژ خروجی بسرعت کاهش می یابد. منحنی های مشخصه برای چهار نوع از ژنراتورهای کمپوند ذکر شده در شکل (۳۴) نشان داده شده است.



شکل (۳۴)

۲-۵- کموتاسیون

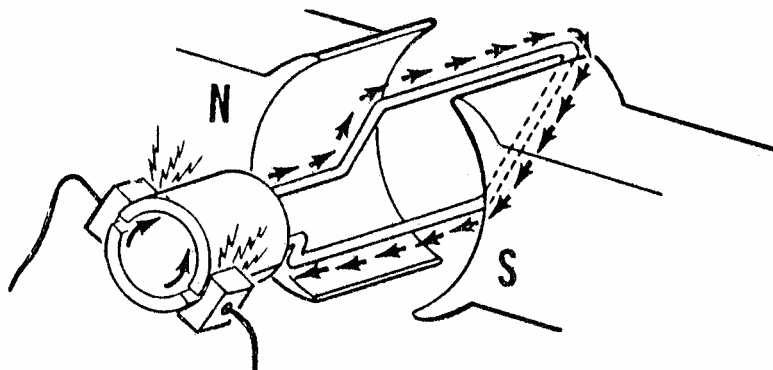
در بحث ژنراتور اولیه گفته شد که ذغالها مانند شکل (۳۵) طوری قرار گرفته اند که حلقه آرمیچر را در هنگامیکه میدان را قطع نمی کنند اتصال کوتاه کنند. در این لحظه هیچ جریانی در آرمیچر وجود ندارد و در نتیجه هیچ جرقه ای در ذغالها که در حال لغزیدن از یک نیمه کلکتور به نیمه دیگر هستند بوجود نمی آید.



شکل (۳۵)

اگر ذغالها مانند شکل (۳۶) از محل صحیح خود به اندازه چند درجه جابجا شوند، آرمیچر را موقعی اتصال کوتاه می کنند که در آن جریان وجود دارد و این جریان در ذغالها ایجاد جرقه می کند. این جریان اتصال کوتاه ممکن است به سیم پیچ زیان برساند و یا کلکتور را بسوزاند. وقتی هنگام کار ژنراتور جرقه تولید شود نشان می دهد عمل کموتاسیون به خوبی انجام نشده است. می توان با حرکت دادن ذغالها و قرار دادن آنها در محل صحیح خود کموتاسیون را بهبود بخشید.

ژنراتورهای جریان مستقیم موقعی با راندمان خوب کار می کنند که در لحظه ای که ذغالها حلقه را اتصال کوتاه می کنند صفحه سیم پیچ بطور قائم نسبت به میدان قرار داشته باشد. این صفحه عمود بر میدان را صفحه کموتاسیون می گویند. وقتی حلقه در این صفحه قرار بگیرد هیچ جریانی در آن وجود نخواهد داشت و ذغالها بدون تولید جرقه آنها را اتصال کوتاه می کند.

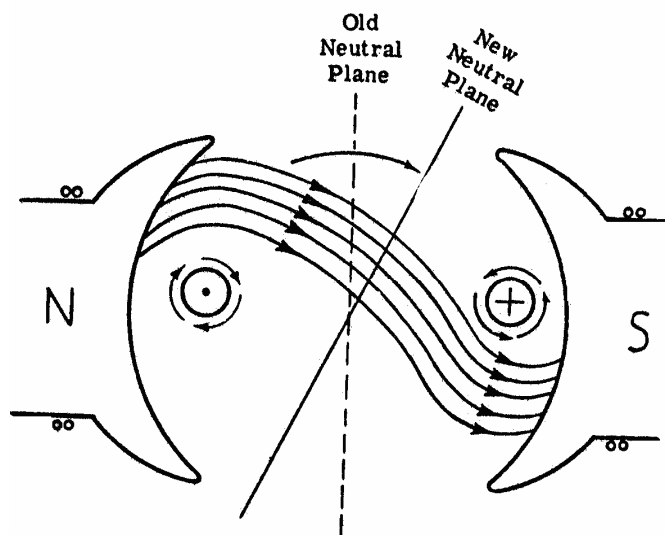


شکل (۳۶)

۲-۶- عکس العمل آرمیچر در ژنراتور

شکل (۳۷) آرمیچر را بصورت ساده با برشی قائم از سیم پیچهایش نشان می دهد. وقتی آرمیچر در جهت عقربه های ساعت میچرخد جهت جریان در سیمهای سمت چپ بطرف خارج از صفحه و جهت جریان در سیم های راست بطرف داخل صفحه خواهد بود که در شکل بصورت نقطه و ضرب در نشان داده شده است. جریان گذرنده از سیم ها در اطراف آن میدانی ایجاد می کند که جهت آن در شکل (۳۷) نشان داده شده است .

مشاهده می گردد که دو میدان وجود دارد . یکی میدان اصلی و دیگری میدان اطراف هر یک از سیم های آرمیچر. با توجه به شکل می بینید که میدان آرمیچر میدان اصلی را از شکل اولیه اش خارج می کند و صفحه کموتاسیون یا خط خنثی در جهت حرکت انتقال پیدا می کند. با توجه به اینکه ذغالها باید موقعیکه حلقه آرمیچر زیر خط خنثی قرار می گیرد آنرا اتصال کوتاه کنند اگر ذغال ها روی خط خنثای قبلی بمانند حلقه دارای ولتاژ را اتصال کوتاه می کنند و در نتیجه یک قوس الکتریکی بین ذغالها و کلکتور بوجود خواهد آمد. برای جلوگیری از این کار ذغالها باید بطرف خط خنثای جدید انتقال داده شوند



شکل (۳۷)

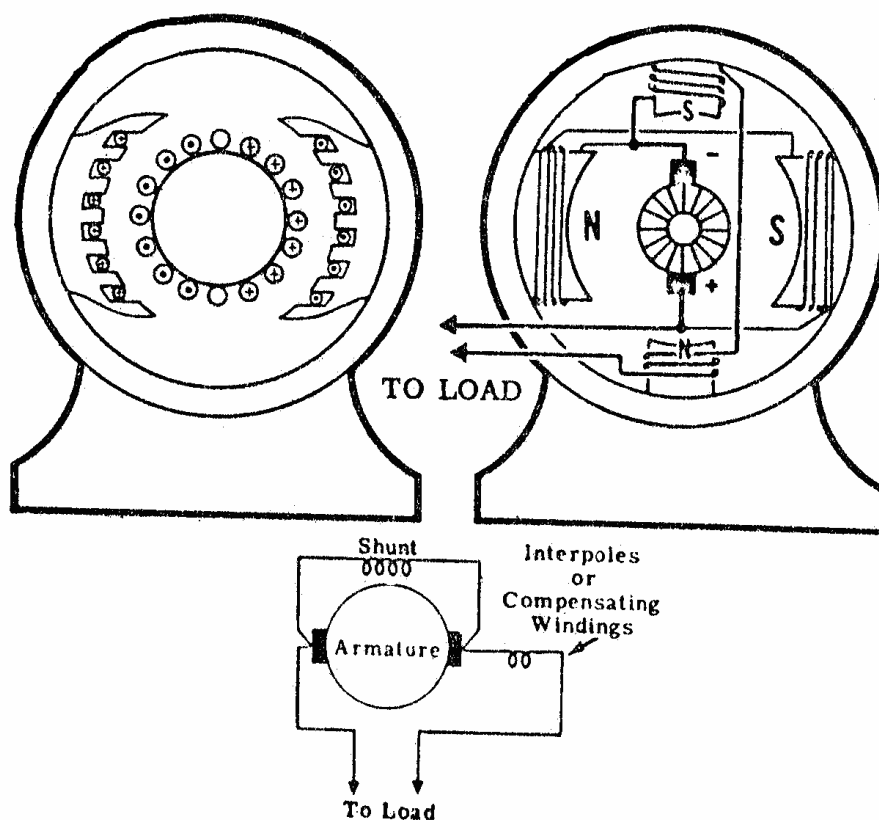
۲-۷- سیم پیچی جبران کننده و قطب های کمکی

عملاً ثابت شده است که تنها انتقال ذغالها بطرف خط خنثای جدید مشکل عکس العمل آرمیچر را بطور کامل حل نمی کند. چون اثر عکس العمل آرمیچر با جریان بار تغییر می کند و هرگاه جریان بار تغییر کند خط خنثی نیز انتقال پیدا کرده و باید محل ذغالها عوض شود.

در ماشینهای کوچک اثر عکس العمل آرمیچر بوسیله انتقال ذغالها کاهش می یابد ولی ماشینهای بزرگ احتیاج به روش بهتری برای خنثی کردن عکس العمل آرمیچر دارند. یکی از این روشها استفاده از سیم پیچی جبران کننده و دیگری استفاده از قطب های کمکی می باشد.

سیم پیچی جبران کننده از تعدادی سیم که مانند شکل (۳۸) درون شکافهای قطب ها قرار گرفته اند تشکیل شده است. این سیم پیچ طوری با آرمیچر سری شده است که میدان حاصل از آن به ازای تمام مقادیر جریان آرمیچر اثر عکس العمل آرمیچر را از بین میبرد. در نتیجه خط خنثی ثابت خواهد ماند و یکبار که ذغالها بطور صحیح قرار گرفتند دیگر لازم نیست که دوباره حرکت داده شود.

روش دیگر برای کاهش اثر عکس العمل آرمیچر مانند شکل (۳۸) قراردادن قطب های کمکی در بین قطب های میدان اصلی می باشد. سیم پیچ قطب های کمکی دارای تعداد دور کم و از سیم ضخیم می باشد و بطور سری با آرمیچر قرار می گیرد. میدان تولید شده بوسیله قطب های کمکی به ازای تمام مقادیر جریان آرمیچر، اثر عکس العمل آرمیچر را حذف می کند. ضمن آنکه قطب های کمکی کموتاسیون را هم بهبود می بخشد.



شکل (۳۸)

پرسشهای فصل دوم :

- ۱- نقش سیم بندی میدان در ژنراتور DC چیست؟
- ۲- وظیفه ذغال گیرها در ژنراتور DC چیست؟
- ۳- جریان فوکو چیست و چگونه می توان مقدار آنرا در ماشینهای الکتریکی کاهش داد؟
- ۴- انواع آرمیچر را نام ببرید؟
- ۵- انواع سیم بندی آرمیچر را نام ببرید؟
- ۶- انواع ژنراتورهای DC را نام ببرید؟
- ۷- ژنراتورهای تحریک مستقل، شنت، سری و کمپوند هر کدام در چه مصارفی کاربرد دارد؟
- ۸- چرا بعضی اوقات ژنراتور نمی تواند به حالت دائمی خود برسد؟
- ۹- مشکل عمده ژنراتورهای سری چیست؟
- ۱۰- نقش سیم بندی جبران کننده در ماشینهای DC چیست؟

فصل سوم

موتورهای DC

اهداف آموزشی فصل سوم :

- ۱- شناخت اصول کار موتورهای الکتریکی
- ۲- آشنایی با روشهای معکوس کردن جهت گردش موتورهای DC
- ۳- شناخت روشهای راه اندازی موتورها
- ۴- آشنایی با انواع موتورهای DC و موارد کاربرد آنها
- ۵- شناخت روشهای کنترل سرعت موتورهای DC

۳-۱- اصول کار موتورهای الکتریکی

در ژنراتورها انرژی مکانیکی آرمیچر را می چرخاند و گردش آرمیچر توان الکتریکی تولید می کند. ولی در موتورهای قدرت الکتریکی ، آرمیچر را وادار به گردش می کند .بنابراین ژنراتورها انرژی مکانیکی را به انرژی الکتریکی تبدیل می کنند ولی موتورهای انرژی الکتریکی را به مکانیکی تبدیل می کنند .

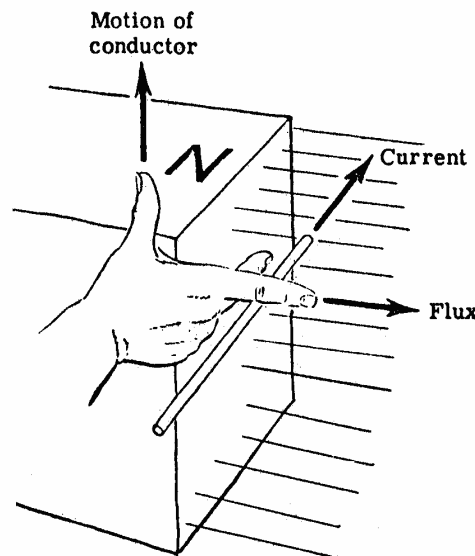
دو دانشمند قرن نوزدهم هنریخ لنز از آلمان و سرجان آمپر وفلمینگ از انگلستان که سالها در مورد موتورهای جریان مستقیم تحقیق کرده اند مطالبی را کشف کرده اند که بیان این مطالب درک اصول اساسی موتورها را تسهیل می بخشد.

وقتی یک هادی در حال حرکت خطوط میدان مغناطیسی را قطع کند یک نیروی الکتروموتوری در آن القاء خواهد شد. جهت این ولتاژ و جهت جریان ناشی از آن اگر هادی جزئی از یک مدار بسته باشد طوری است که با تغییر عامل بوجود آورنده خود مخالفت می کند . قانون فوق برای تمام موارد که جریان القاء شده از مدار بسته ای بگذرد درست است و به آن قانون لنز گفته می شود .

فلمینگ روش مشخص کردن جهت گردش یک موتور را با معلوم بودن جهت جریان گذرنده از موتور کشف کرد. او دریافت که یک رابطه معینی بین جهت میدان مغناطیسی و جهت جریان گذرنده از هادی و جهتی که هادی می خواهد حرکت کند وجود دارد این رابطه توسط قانون دست راست برای موتورها مشخص می گردد که به صورت زیر بیان می شود.

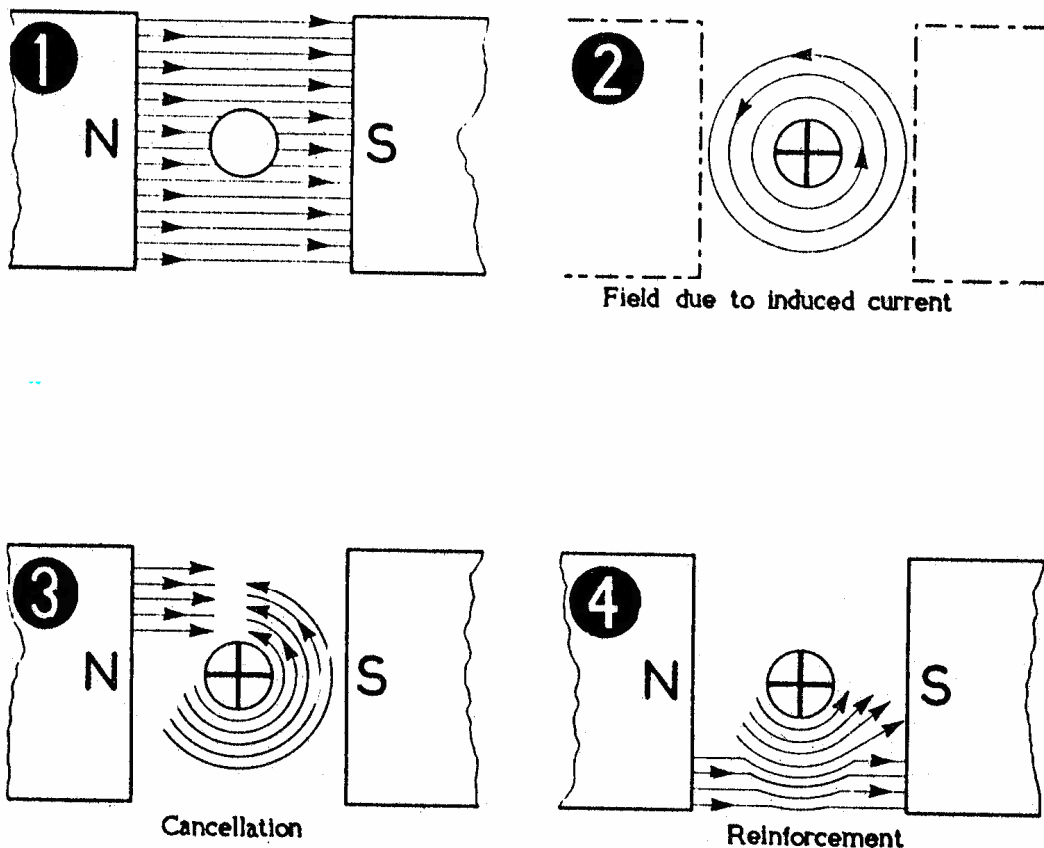
اگر انگشت شست و انگشت نشان و انگشت سوم دست راست مانند شکل (۳۹) نسبت به هم با زاویه ۹۰ درجه قرار بگیرند و انگشت نشان در جهت شار مغناطیسی (جهت میدان مغناطیسی) و انگشت سوم در جهت جریان گذرنده از هادی باشد انگشت شست جهت حرکت هادی را نشان خواهد داد. بدیهی است که اگر جهت میدان مغناطیسی معلوم نباشد ولی جهت حرکت هادی و جهت جریان گذرنده از آن معلوم باشد انگشت نشان جهت میدان مغناطیسی را معین خواهد کرد.

فل밍 اولین کسی بود که برای بخاطر سپردن جهت نیروی الکتروموتوری القاء شده در ژنراتورها این قاعده را کشف کرد.



شکل (۳۹)

عبور جریان از یک هادی باعث می شود که یک میدان مغناطیسی مانند شکل (۲-۴۰) در اطراف آن ایجاد شود. اگر این هادی در میدان قطب های یک مغناطیس قرار بگیرد دو میدان روی هم تاثیر میگذارند. چون میدانهای مغناطیسی هیچگاه همدیگر را قطع نمی کنند یا با هم جمع شده و یا یکدیگر را حذف خواهند کرد (بنابراین میدان متوجه قوی یا ضعیفی تولید می کنند) در شکل (۳-۴۰) دو میدان مغناطیسی مخالف یکدیگرند و یکدیگر را حذف خواهند کرد در نتیجه یک میدان مغناطیسی ضعیف در بالای هادی بوجود خواهد آمد. شکل (۴-۴۰) نشان میدهد که میدان های مغناطیسی در زیر هادی هم جهت بوده و بنابراین به یکدیگر اضافه شده و یک میدان مغناطیسی قوی ایجاد خواهند کرد.



شکل (۴۰)

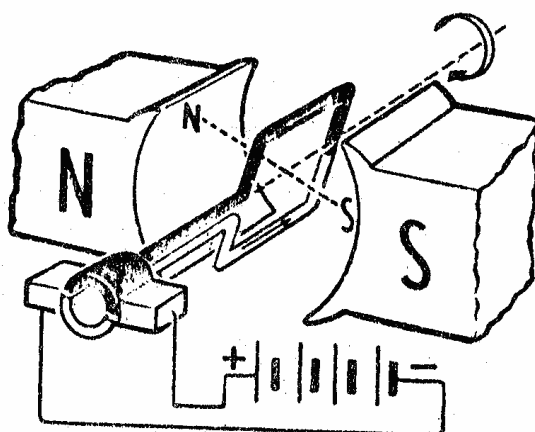
بخاطر داشته باشید که خطوط میدان مغناطیسی مایلند یکدیگر را دفع کنند همچنین خطوط مغناطیسی نشان داده شده در زیر هادی شکل فوق در حالت دفع هادی، میدان مغناطیسی آهنربا را قطع کرده و در نتیجه یک نیروی الکتروموتوری در هادی القاء می شود که جهت این نیروی الکتروموتوری طبق قانون لنز طوری است که با حرکت عامل بوجود آورنده خود مخالفت می کند بنابراین آنرا نیروی ضد الکتروموتوری می گویند.

نیروی ضد الکتروموتوری هیچگاه باندازه نیروی محرکه اعمال شده بزرگ نخواهد شد. اختلاف بین نیروی محرکه اعمال شده و نیروی ضد الکتروموتوری همیشه طوری است که جریانی می تواند از هادی بگذرد و باعث حرکت آن شود.

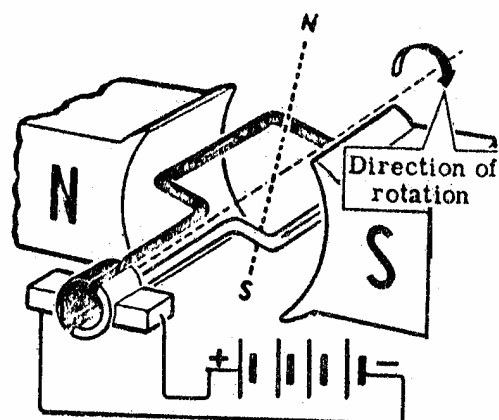
موتور ابتدائی جریان مستقیم مانند شکل (۴۱) شبیه ژنراتور ابتدائی می باشد و شامل یک حلقه سیم است که بین دو قطب یک آهنربا قرار گرفته است. انتهای این حلقه به تیغه ها و کلکتور متصل است و به نوبت با ذغالها اتصال پیدا می کند. ذغالها واسطه اتصال منبع ولتاژ خروجی و هادی می باشند.

با توجه به شکل (۴۱-الف) و بر طبق قاعده دست چپ، جریان گذرنده از حلقه باعث می شود که نیمه بالای حلقه قطب شمال و نیمه پائین حلقه قطب جنوب شود. قطبهای مغناطیسی حلقه بوسیله قطب های غیرهمنام میدان جذب خواهد شد. در نتیجه حلقه در جهت عقربه های ساعت شروع به گردش می کند تا قطب های مخالف روبروی یکدیگر قرار بگیرند. وقتی حلقه باندازه ۹۰ درجه چرخید یعنی حالت شکل (۴۱-ب) کموتاسیون انجام شده، دو جهت جریان در حلقه برعکس می شود و در نتیجه میدان مغناطیسی تولید شده بوسیله حلقه معکوس می شود. دوباره حلقه برای اینکه قطب های مخالف را در مقابل یکدیگر بیاورد به گردش خود ادامه می دهد.

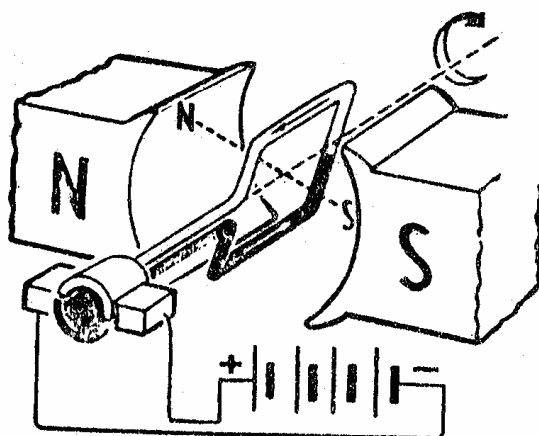
۳۰ درجه بعد از حالت شکل (۴۱-ب) حلقه به حالت شکل (۴۱-ج) می رسد. حالا شرایط نظیر حالت شکل (۴۱-ب) است و دوباره کموتاسیون اتفاق می افتد و حلقه به حرکت خود ادامه می دهد.



ب



الف



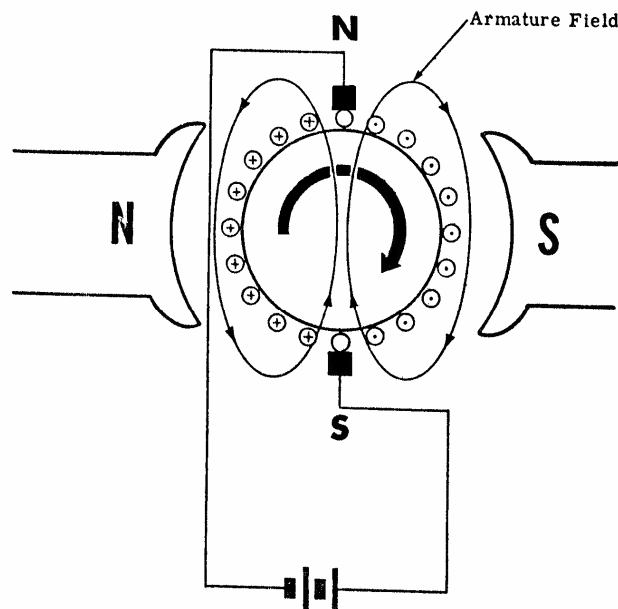
ج

شکل (۴۱)

۳-۲- عملکرد کلکتور در موتورهای جریان مستقیم

در موتورهای مستقیم نیز کلکتور نقش مهمی دارد. کلکتور باعث می شود در لحظاتی که قطبهای همنام مقابل یکدیگرند جهت جریان گذرنده از حلقه معکوس شود. این عمل باعث می شود که جهت میدان مغناطیسی حلقه هم برعکس شود. در نتیجه قطبها به عوض اینکه یکدیگر را جذب کنند، یکدیگر دفع خواهند کرد و حلقه به گردش خود ادامه خواهد داد.

در آرمیچر یک تعداد حلقه های آن زیاد باشد، سیم پیچی آرمیچر مانند حلقه ای عمل خواهد کرد که محور آن عمود بر میدان مغناطیسی اصلی باشد و دارای جفتی است که در شکل (۴۲) نشان داده شده است. قطب شمال میدان آرمیچر بوسیله قطب جنوب میدان اصلی جذب می شود. این جذب شدن یک نیروی چرخش روی آرمیچر اعمال می کند که آرمیچر را در جهت عقربه های ساعت میچرخاند. به این ترتیب زیاد بودن تعداد حلقه ها، یک گشتاور با نیروی چرخشی ثابت روی آرمیچر برقرار می کند.

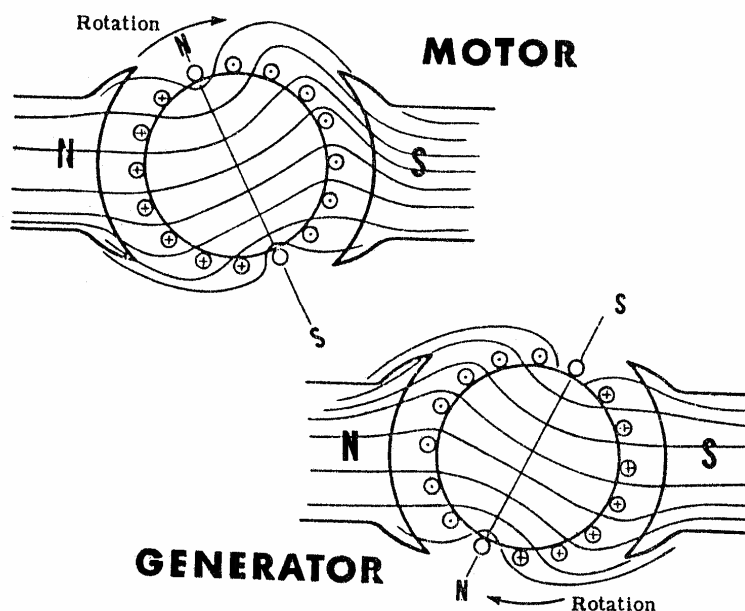


شکل (۴۲)

۳-۳- عکس العمل آرمیچر در موتور

بعلت عبور جریان از آرمیچر موتور، یک میدان مغناطیسی در اطراف حلقه های آرمیچر تولید خواهد شد. این میدان مغناطیسی باعث انحراف میدان مغناطیسی اصلی می شود. به عبارت دیگر در موتور نیز درست نظیر آنچه در ژنراتورها وجود داشت، عکس العمل آرمیچر وجود خواهد داشت با این تفاوت که جهت انحراف میدان مغناطیسی اصلی مربوط به عکس

العمل آرمیچر مانند شکل (۴۳) برعکس ژنراتورهاست. در موتورهای عکس العمل آرمیچر خط خنثی را در خلاف گردش آرمیچر انتقال می دهد. برای جبران عکس العمل آرمیچر در یک موتور باید جاروها را بطرف عقب انتقال داد تا میزان جرقه مینیمم شود. در این حالت حلقه ها موقعی بوسیله ذغالها اتصال کوتاه می شوند که در زیر خط خنثی قرار گرفته و هیچ نیروی الکتروموتوری در آنها وجود نداشته باشد. همچنین نظیر آنچه در مورد ژنراتورها گفته شد میتوان با استفاده از سیم پیچی جبران کننده و قطب های کمکی عکس العمل آرمیچر را از بین برد.



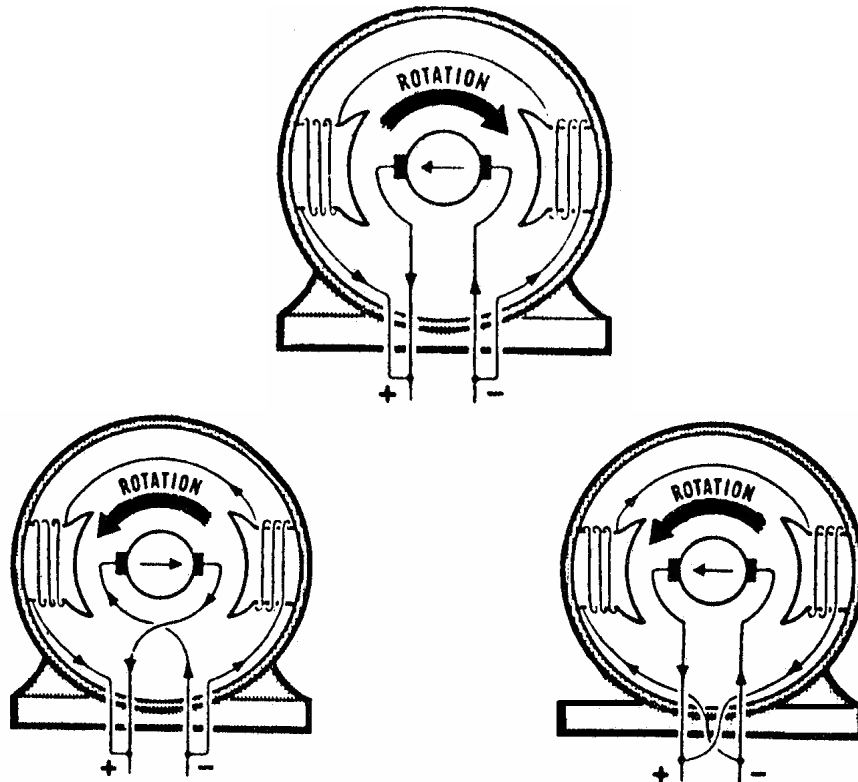
شکل (۴۳)

۳-۴- معکوس کردن جهت گردش موتور

جهت گردش موتور بستگی به جهت میدان و جهت جریانی که از آن می گذرد دارد. میدانیم، اگر جریانی از یک هادی بگذرد در اطراف آن یک میدان مغناطیسی ایجاد میکند. جهت این میدان بستگی به جهت جریانی که از آن می گذرد دارد. اگر این هادی در یک میدان مغناطیسی قرار گیرد، بعلاوه اثر متقابلی که دو میدان رویهم دارند، نیرویی به هادی اعمال خواهد شد که این نیرو باعث حرکت هادی می شود. در مورد آرمیچر هم وضع به همین ترتیب است. حال اگر جهت میدان و یا جهت جریان گذرنده از آرمیچر معکوس شود، جهت گردش آرمیچر هم عکس خواهد شد. اما اگر دو عامل فوق در یک زمان با هم عوض شوند جهت گردش آرمیچر تغییر نخواهد کرد.

معمولاً موتورهاییکه در عمل مورد استفاده قرار می گیرند طوری طراحی می شوند که در جهت ثابتی بچرخند. ولی بعضی اوقات لازم است جهت گردش موتور عوض شود. بخاطر بسپارید که برای انجام این کار باید اتصال آرمیچر و یا میدان را برعکس کنید نه اینکه هر دو را عوض کنید .

در کارخانه ها برای معکوس کردن جهت گردش ماشین های بزرگ از وسایل مخصوصی استفاده می کنند که به سادگی این کار را انجام می دهد .



معکوس کردن اتصال آرمیچر

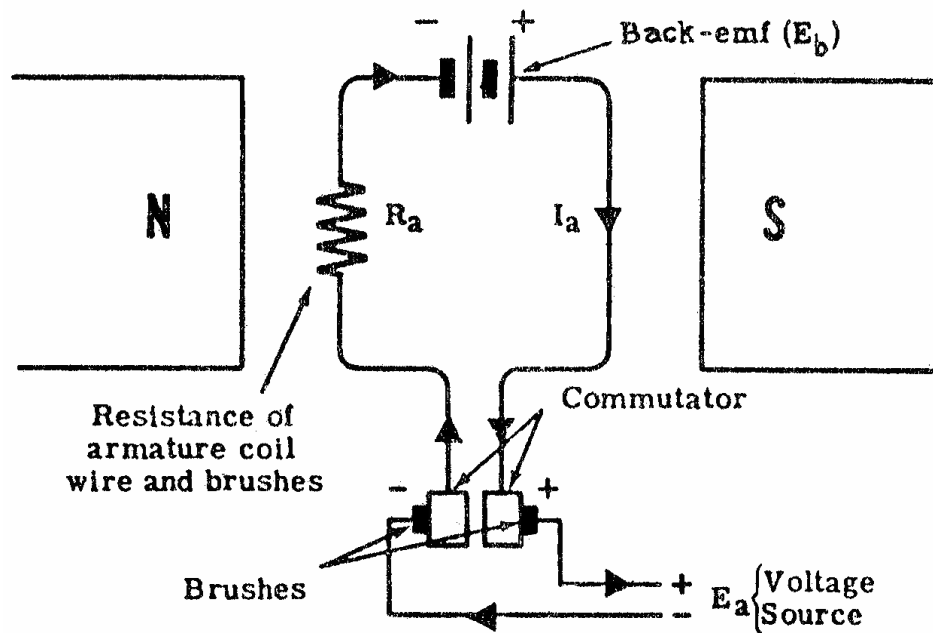
معکوس کردن اتصال میدان

شکل (۴۴)

۳-۵- نیروی ضد الکتروموتوری

بیاد داشته باشید که در یک موتور جریان مستقیم چون آرمیچر میگردد حلقه های آرمیچر، میدان مغناطیسی را قطع می کنند و بدینوسیله نیروی الکتروموتوری یا ولتاژ در این حلقه ها القاء می شود . چون این ولتاژ القاء شده با ولتاژ اعمال شده با موتور مخالفت می کند آنرا نیروی ضد الکتروموتوری می گویند . نیروی ضد الکتروموتوری به همان عوامل بستگی دارد که نیروی الکتروموتوری القاء شده در ژنراتور بستگی دارد. یعنی سرعت، جهت گردش و شدت میدان مغناطیسی،

هر چه میدان قوی تر و سرعت گردش بیشتر شود نیروی ضد الکتروموتوری بیشتر خواهد شد. اما نیروی ضد الکتروموتوری بعلت افت ولتاژ درونی که در اثر مقاومت سیم پیچهای آرمیچر ایجاد می شود، کمتر از ولتاژ اعمال شده به موتور است. در شکل (۴۵) نیروی ضد الکتروموتوری بصورت یک باطری فرضی که با ولتاژ اعمال شده مخالفت می کند نشان داده شده است.



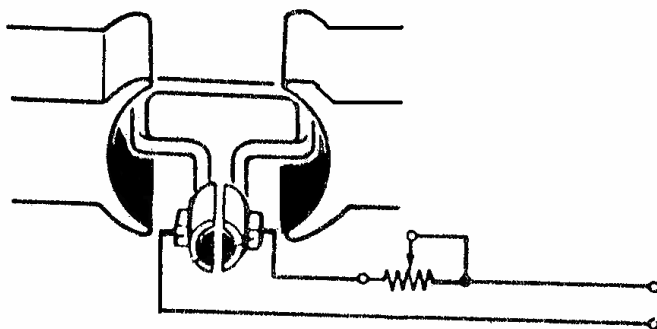
شکل (۴۵)

آنچه حقیقتاً باعث عبور جریان از حلقه های آرمیچر می شود اختلاف بین ولتاژ اعمال شده (E_a) و نیروی ضد الکتروموتوری (E_b) است بنابراین ولتاژ $E_a - E_b$ ولتاژ واقعی مؤثر روی آرمیچر است و این ولتاژ مؤثر است که مقدار جریان گذرنده از آرمیچر را تعیین می کند. مقاومت آرمیچر موتورهای جریان مستقیم خیلی کم است (معمولاً کمتر از یک اهم) بنابراین اگر این مقاومت به تنهایی سر راه جریان آرمیچر باشد جریان گذرنده از آرمیچر خیلی زیاد می شود. بعنوان مثال اگر مقاومت آرمیچر یک اهم باشد و ولتاژ اعمال شده ۲۳۰ ولت باشد بر طبق قانون اهم جریان گذرنده از آرمیچر برابر ۲۳۰ آمپر خواهد شد. این جریان خیلی زیاد است و در صورت عبور از آرمیچر آنرا خواهد سوخت.

اما نیروی ضد الکتروموتوری در جهت مخالف ولتاژ اعمال شده است و بنابراین مقدار جریانی را که می خواهد از آرمیچر بگذرد محدود می کند. مثلاً اگر نیروی ضد الکتروموتوری ۲۲۰ ولت باشد ولتاژ مؤثری که روی آرمیچر اعمال می شود اختلاف بین ولتاژ

ورودی و نیروی ضد الکتروموتوری یعنی ۱۰ ولت است و در نتیجه جریان آرمیچر فقط ۱۰ آمپر می شود.

در موقع راه اندازی، نیروی ضد الکتروموتوری ناچیز بوده و نمی تواند جریان آرمیچر را محدود کند. برای جلوگیری از سوختن آرمیچر در این حالت یک مقاومت موقت که مقاومت راه انداز خوانده می شود مانند شکل (۴۶) بطور سری با آرمیچر قرار می گیرد تا جریان آرمیچر را محدود نماید. وقتی موتور سرعت گرفت نیروی الکتروموتوری نیز زیاد شده و باید مقاومت راه انداز را بطور پله ای از مدار خارج کرد.



شکل (۴۶)

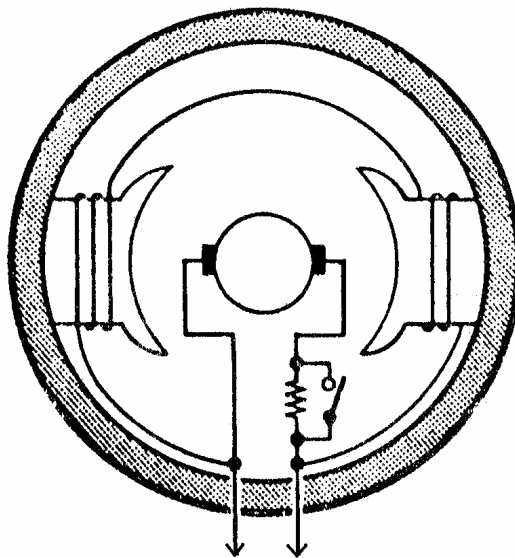
۳-۶- موتورهای شنت

گشتاور قابل استفاده در یک موتور، به علت نیرویی است که از اثر متقابل میدان مغناطیسی اطراف حلقه های آرمیچر و میدان اصلی می باشد. بنابراین مقدار آن بستگی به شدت میدان مغناطیسی اصلی و میدان ناشی از جریان آرمیچر دارد و با تغییر آنها گشتاور هم تغییر خواهد کرد. همانطور که در شکل (۴۷) نشان داده شده است در موتورهای شنت، میدان اصلی بطور موازی با منبع ولتاژ خروجی قرار دارد و بنابراین مستقل از تغییرات جریان آرمیچر است. در نتیجه گشتاور موتور، مستقیماً با جریان آرمیچر تغییر می کند. اگر بار موتور زیاد شود، سرعت موتور کم شده و نیروی ضد الکتروموتوری کاهش می یابد. وقتی این نیرو کم شد جریان آرمیچر زیاد می شود. همچنین اگر بار موتور کم شود سرعت موتور زیاد شده و نیروی ضد الکتروموتوری نیز افزایش می یابد، بنابراین جریان آرمیچر کم شده و در نتیجه گشتاور موتور کاهش می یابد.

بنابراین هر گاه که بار تغییر کند سرعت موتور نیز تغییر می کند تا وقتی که موتور

دوباره در تعادل الکتریکی قرار بگیرد یعنی دوباره رابطه $E_a = E_b + I_a R_a$ برقرار شود. در موتورهای شنت از حالت بی باری تا حالت نرمال یا بار ماکزیمم تغییرات

سرعت فقط در حدود ۱۰ درصد سرعت حالت بی باری است. به این جهت موتورهای شنت بعنوان موتورهای با سرعت ثابت در نظر گرفته می شوند.



شکل (۴۷)

۳-۷- موتورهای سری

در موتورهای سری همانطور که در شکل (۴۸) نشان داده شده است میدان اصلی بطور سری با آرمیچر و بار قرار دارد. تعداد دور سیم پیچی میدان کم و با سیم ضخیم است و چون تمام جریان آرمیچر از آن می گذرد شدت میدان با جریان آرمیچر تغییر می کند. اگر بار موتور زیاد شود سرعت موتور کم شده و نیروی ضد الکتروموتوری هم کاهش می یابد که باعث می شود جریان آرمیچر زیاد شود و گشتاور بزرگتری که مورد نیاز است تأمین گردد.

موتورهای سری با بارهای سنگین خیلی آهسته و با بار کم خیلی به سرعت کار می کنند و اگر بار بطور کامل از مدار خارج شود سرعت موتور به مرحله خطرناک می رسد و ممکن است موتور از هم پاشیده شود. دلیل این امر آنست که چون موتور در حالت بی باری به جریان کم و میدان خیلی ضعیف نیاز دارد، برای تأمین این جریان کم آنقدر سریع میگردد تا نیروی ضد الکتروموتوری لازم برای کم کردن جریان را تأمین کند. ولی چون نمی تواند به سرعت مورد نیاز برسد از هم متلاشی می شود. بنابراین موتورهای سری نباید بی بار کار کنند و به همین دلیل در وسایل حرکتی بکار برده می شوند که بار نتواند از مدار خارج شود. همچنین موتورهای سری موتورهایی با سرعت متغیر می باشند به این معنی که با

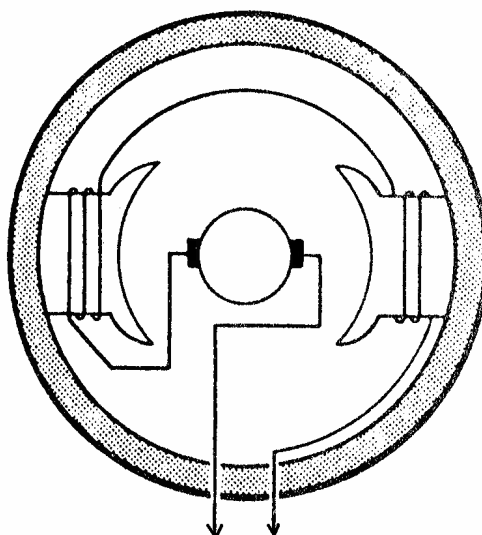
تغییر بار سرعت آنها به مقدار زیاد تغییر می کند. به همین علت در جاهائی که بار متناوب باشد بندرت بکار میرود .

گشتاور بار در هر نوع موتور جریان مستقیم به جریان آرمیچر و شدت میدان بستگی دارد. در موتورهای سری، شدت میدان بستگی به میدان جریان آرمیچر دارد. بنابراین مقدار گشتاور به مجذور شدت جریان آرمیچر بستگی پیدا می کند.

وقتی سرعت موتور کم است نیروی ضد الکتروموتوری نیز کم و جریان آرمیچر زیاد است. بنابراین گشتاور موتور زیاد است. در نتیجه وقتی سرعت موتور صفر و یا کم است گشتاور خیلی بزرگ خواهد بود .

به این ترتیب موتورهای سری در موقع راه اندازی دارای گشتاور بزرگی هستند . به همین علت موتورهای سری جریان مستقیم هرگز نباید بدون بار شروع بکار کنند چون اگر در لحظه شروع بکار هیچ گشتاور مخالفی در مدار نباشد موتور شتاب خواهد گرفت و همانطور که گفته شد سرعت آن به مرحله خطرناکی خواهد رسید که باعث متلاشی شدن موتور می شود .

در عمل موارد بخصوصی مانند کرن ها ، جراثقال های الکتریکی، ترن های برقی وجود دارند که در ابتدای کار احتیاج به گشتاور بزرگی دارند. موتورهاییکه در این ماشین ها مورد استفاده قرار می گیرند معمولاً موتور سری هستند .



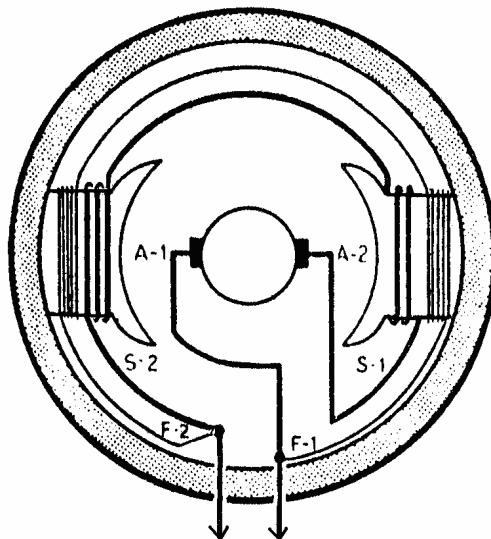
شکل (۴۸)

۳-۸- موتورهای کمپوند

موتورهای کمپوند از ترکیب موتورهای سری و شنت تشکیل شده است. در این موتورها میدان اصلی مانند شکل (۴۹) دارای دو سیم پیچ جداگانه است. سیم پیچ اولی که دارای تعداد دور زیاد و سیم نازک می باشد با آرمیچر بطور موازی و دومی که سیم پیچی آن از چند دور سیم کلفت ساخته شده است با آرمیچر بطور سری قرار می گیرد.

خصوصیات موتور کمپوند ترکیبی از موتورهای سری و شنت است. در عمل معمولاً از موتور کمپوند اضافی استفاده می شود که میدان سری و شنت آن طوری وصل شده است که یکدیگر را تقویت می کنند. در این موتورها اضافه شدن بار سرعت را کاهش می دهد و در نتیجه گشتاور موتور بمقدار زیاد کاهش می یابد. همچنین گشتاور موتور در موقع راه اندازی زیاد است. بنابراین موتور کمپوند اضافی موتوری است با سرعت ثابت که قدرت کشش آن در بارهای سنگین عالی است و گشتاور آن در موقع راه اندازی بسیار خوب است.

در موتور کمپوند نقصانی میدان سری مخالف میدان شنت است و وقتی بار افزایش پیدا کند میدان موتور ضعیف می شود. ضعیف شدن میدان باعث می شود که وقتی بار اضافه شد سرعت زیاد شود. علاوه بر این گشتاور موتور در راه اندازی خیلی کوچک است و به همین علت بندرت در عمل از موتورهای کمپوند نقصانی استفاده می شود.



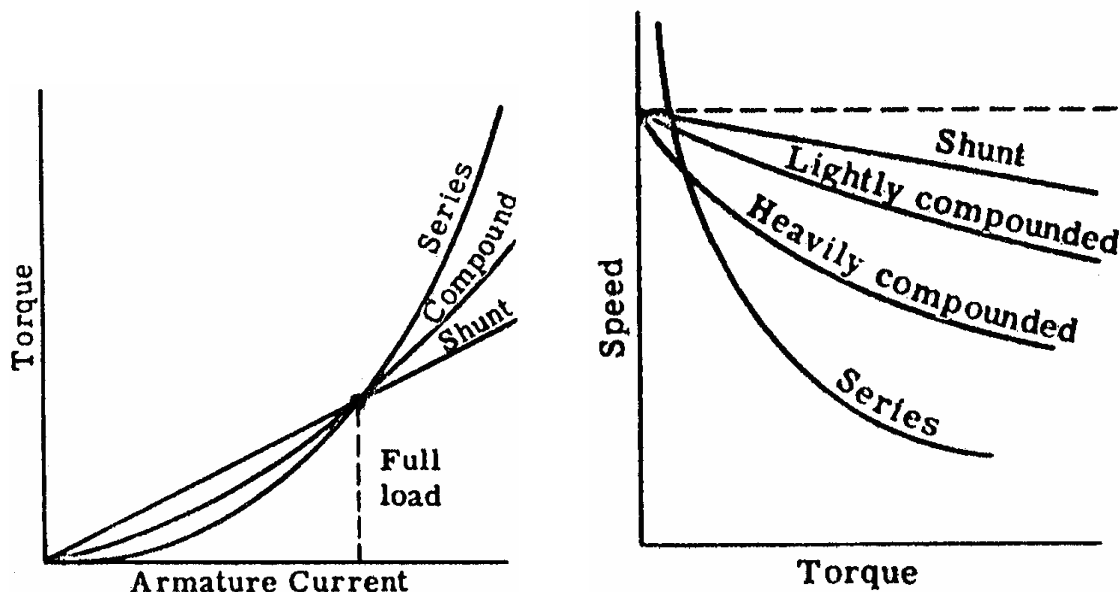
شکل (۴۹)

۳-۹- مقایسه خصوصیات موتورهای جریان مستقیم

خصوصیات و طرز کار انواع مختلف موتورهای جریان مستقیم را می توان بوسیله منحنی تغییرات سرعت بر حسب گشتاور یا منحنی تغییرات سرعت بر حسب بار مقایسه نمود. منحنی نشان داده شده در شکل (۵۰-الف) دارای چهار قوس است که هر کدام مربوط به یک نوع موتور است. مشاهده می شود که در موتور شنت وقتی گشتاور بار اضافه شود سرعت موتور بمقدار کم تغییر می کند در حالیکه با زیاد شدن گشتاور بار در موتور سری، سرعت موتور سری به مقدار زیاد افت می کند.

نکته دیگر آنکه منحنی سرعت موتورهای کمپوند اضافی در ناحیه بین موتورهای سری و شنت قرار دارد. توجه داشته باشید که هر چه تعداد دورهای سیم پیچی میدان سری بیشتر باشد موتور کمپوند بیشتر مانند موتور سری عمل می کند.

منحنی شکل (۵۰-ب) نشان می دهد که در دو موتور با قدرت یکسان چگونه گشتاور موتور بر حسب جریان آرمیچر تغییر می کند. این منحنی برای موتور شنت یک خط مستقیم است چون میدان آن ثابت است و گشتاور آن فقط با جریان آرمیچر تغییر می کند. منحنی موتورهای سری و کمپوند نشان می دهد که بالاتر از شدت جریان بار ماگزیمم یا بار نرمال، گشتاور موتور خیلی بیشتر از موتورهای شنت است و پائین تر از آن شدت جریان موتورهای سری و کمپوند به مقدار ماگزیمم خود نرسیده و در نتیجه گشتاور، کمتر از موتور شنت است.



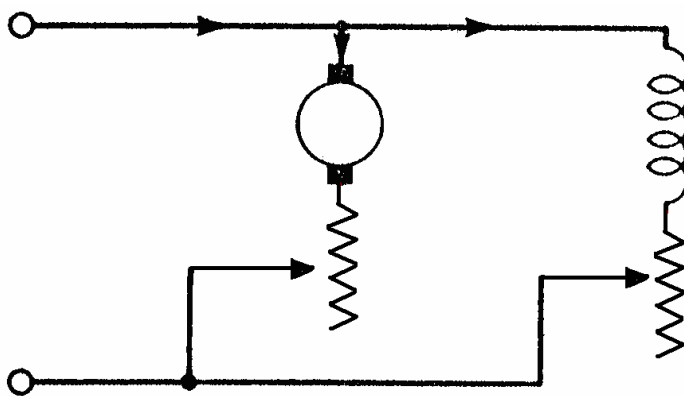
(ب)

(الف)

۳-۱۰- کنترل سرعت موتورهای جریان مستقیم

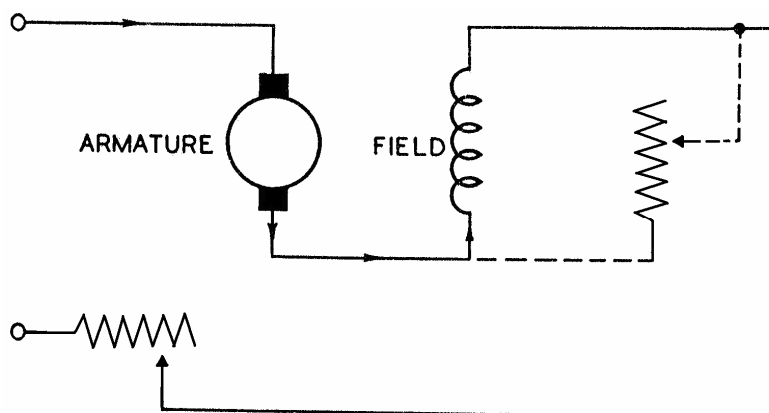
سرعت یک موتور جریان مستقیم به شدت میدان مغناطیسی، ولتاژ اعمال شده به آرمیچر و بار موتور بستگی دارد. بنابراین یکی از روشهای کنترل سرعت بوسیله تغییر ولتاژ اعمال شده به آرمیچر است. برای اینکار می توان ولتاژ اعمال شده به آرمیچر را مانند شکل (۵۱) بوسیله افزایش مقاومت مدار آرمیچر کاهش داد تا سرعت موتور کاهش یابد. اما این روش به ندرت مورد استفاده قرار می گیرد چون این کار احتیاج به یک رئوستای بزرگ دارد و علاوه بر این گشتاور موتور را در موقع راه اندازی کاهش می دهد.

اما در موتورهای شنت می توان بوسیله اتصال یک رئوستا با سیم پیچی میدان سرعت را کنترل نمود. چون با اضافه کردن مقاومت رئوستا، جریان میدان کاهش یافته و در نتیجه میدان مغناطیسی موتور ضعیف می شود. ضعیف شدن میدان موتور باعث می شود موتور سریعتر بگردد تا نیروی ضد الکتروموتوری لازم را تأمین نموده و موتور در موازنه الکتریکی باقی بماند.



شکل (۵۱)

در موتورهای سری با موازی کردن یک رئوستا مطابق شکل (۵۲) با سیم پیچی سری می توان سرعت موتور را کنترل کرد. چون وقتی مقاومت رئوستا زیاد شود جریان گذرنده از سیم پیچی میدان و در نتیجه شدت میدان زیاد می شود. در نتیجه برای اینکه موتور در موازنه الکتریکی باقی بماند باید آهسته تر بگردد تا نیروی ضد الکتروموتوری مورد نیاز را تأمین کند.

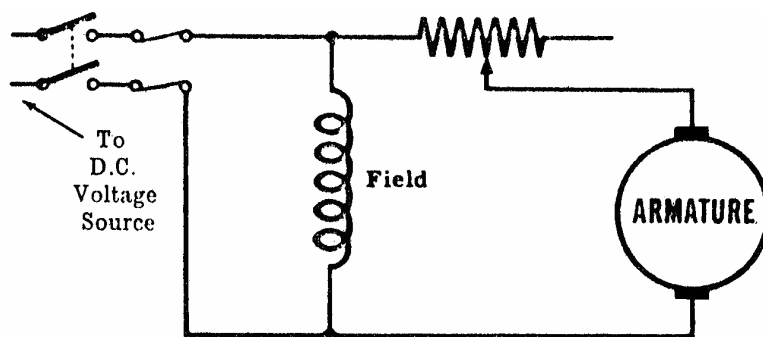


شکل (۵۲)

۳-۱۱- راه اندازی موتورهای جریان مستقیم

در قسمت‌های قبل گفته شد که مقدار مقاومت آرمیچر در ماشینهای DC خیلی کم و در حدود یک اهم است. حال اگر فقط این مقاومت بر سر راه ولتاژ ورودی باشد، جریان گذرنده از آرمیچر به مقدار زیاد بالا خواهد رفت و ممکن است به کلکتور و سیم پیچها آسیب برساند. در حالت کار عادی ماشین این مسئله مطرح نیست چون وقتی موتور در حال کار کردن است نیروی ضد الکتروموتوری که همیشه مخالف ولتاژ اعمال شده است جریان آرمیچر را محدود می کند. اما وقتی موتور تازه شروع بکار کرده است نیروی ضد الکتروموتوری صفر و یا خیلی کم است و نمی تواند جریان گذرنده از آرمیچر را کنترل کند. در نتیجه اگر به طریقی محدودیتی برای جریان ایجاد نکنیم جریان آرمیچر بالا خواهد رفت و به موتور آسیب می رسد. برای جلوگیری از بالا رفتن جریان آرمیچر در موقع راه اندازی موتور، مقاومتی بنام مقاومت راه اندازی، مانند شکل (۵۳) بطور سری با آرمیچر قرار گرفته و همینه سرعت و نیروی ضد الکتروموتوری زیاد شد مقاومت راه اندازی از مدار خارج می شود.

راه اندازهای جریان مستقیم علاوه بر محدود کردن مقدار جریان آرمیچر معمولاً دارای وسایلی هستند که در صورت قطع شدن میدان و یا کم شدن ولتاژ اعمال شده، موتور را حفاظت می کنند. توجه داشته باشید که وقتی موتوری خاموش می شود باید مطمئن شد که دوباره مقاومت راه انداز به مدار وصل است تا در موقع روشن کردن موتور اشکالی ایجاد نشود. اگر راه انداز طوری طراحی شود که بتواند سرعت موتور را هم کنترل کند به آن کنترل کننده هم گفته می شود. راه اندازها انواع مختلفی دارند. بعضی ها با دست و بعضی ها بطور اتوماتیک کار می کنند، معمولاً جریان راه اندازی تا $1/5$ برابر جریان موتور در بار ماکزیمم نیز می رسد.

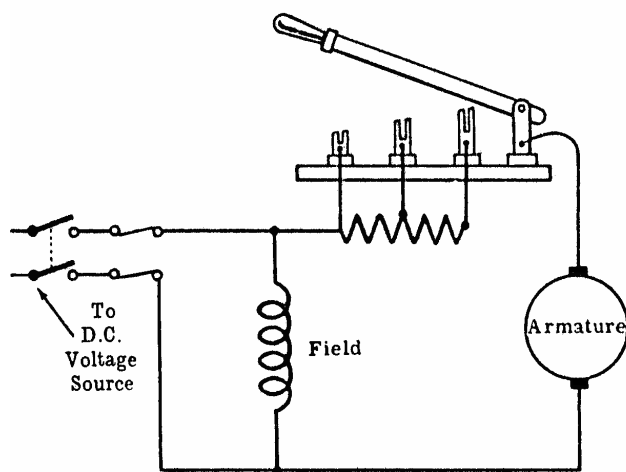


شکل (۵۳)

یک نمونه از راه اندازه‌های ابتدایی در شکل (۵۴) نشان داده شده است. این نوع راه اندازه دارای یک مقاومت است که روی آن شیارهایی وجود دارد. این مقاومت می‌تواند بتدریج بوسیله یک کلید چاقوئی که به شیارهای روی مقاومت اتصال پیدا می‌کند از مدار خارج شود و در نهایت وقتی موتور می‌خواهد راه اندازی شود، کلید به انتهای مقاومت اتصال پیدا کرده و در نتیجه تمام مقاومت راه اندازی با آرمیچر بطور سری قرار می‌گیرد.

هنگامیکه سرعت موتور بالا رفت، تیغه بطور آهسته بسته شده و مقاومت بتدریج از مدار خارج می‌شود تا وقتی که تیغه کاملاً بسته شده و تمام مقاومت از مدار خارج گردد. عیب این نوع راه اندازه اینست که بعد از خاموش کردن و ایستادن موتور اگر اپراتور فراموش کند که کلید راه اندازی را باز کند وقتی موتور دوباره شروع بکار کند دیگر مقاومتی با آرمیچر بطور سری نخواهد بود و فقط مقاومت آرمیچر سر راه جریان قرار گرفته و ممکن است به موتور آسیب وارد شود.

بدلیل فوق و بدلیل اینکه این نوع راه اندازه در صورتیکه سرعت ماشین خیلی زیاد شود و یا مدار میدان قطع شود، موتور را حفاظت نمی‌کند، این نوع راه اندازه هیچ استفاده عملی نخواهد داشت.



شکل (۵۴)

در موتورهای سری معمولاً راه انداز با وسیله تنظیم سرعت ترکیب شده و کنترل کننده نامیده می شود. کنترل کننده در ساده ترین نوع خود دارای یک رئوستای بزرگ است که بطور سری با میدان و آرمیچر قرار دارد و با تغییر درجه رئوستا سرعت موتور تنظیم می شود. اما این کنترل کننده باعث کاهش راندمان ماشین می شود چون تمام جریان آرمیچر از آن می گذرد و مقدار زیادی قدرت تلف می شود.

یک نوع از راه اندازهای موتور شنت از مقاومتی تشکیل شده است که دارای سه سر می باشد. همانطور که در شکل (۵۵) نشان داده شده است، نقطه L به یک طرف منبع تغذیه، نقطه A به آرمیچر و نقطه F به میدان وصل می شود. در موقع راه اندازی بازوی راه انداز بطرف اولین اتصال حرکت کرده و تمام مقاومت راه انداز بطور سری با آرمیچر قرار می گیرد. سیم پیچ میدان با یک آهنربای الکتریکی بطور سری وصل می شود. وقتی سرعت موتور بالا رفت و نیروی ضد الکتروموتوری زیاد شد، بازو به ترتیب بطرف سایر اتصالات حرکت کرده و بتدریج مقاومت راه انداز را کاهش می دهد. در این حالت در اثر حرکت بازو بتدریج چند مقاومت هم بطور سری با سیم پیچی میدان و آهنربای الکتریکی قرار می گیرد. وقتی بازو تماماً در سمت راست و در نقطه راه اندازی قرار گرفت آرمیچر بطور مستقیم به منبع وصل شده و با سرعت ماکزیمم کار خواهد کرد.

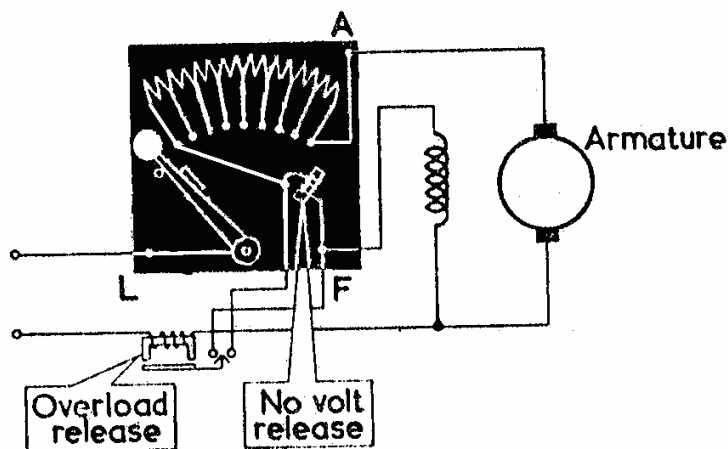
روی بازوی راه انداز یک قطعه آهن کوچک چسبانده شده است که بوسیله یک آهنربای الکتریکی که جریان میدان از داخل سیم پیچ آن می گذرد، جذب شده و در نتیجه بازو در نقطه راه اندازی نگهداشته می شود. اگر ولتاژ منبع کم و یا صفر شود و یا اگر میدان در جایی قطع شود آهنربا دیگر آهن را جذب نکرده و یک فنر برگرداننده بازو را به عقب فشار داده تا در حالت OFF قرار بگیرد. به این ترتیب موتور از منبع جدا شده و موتور در برابر اینکه موقع روشن شدن مجدد در اثر نبودن مقاومت راه انداز در مدار آسیب ببیند حفاظت می شود.

فنری که بازو را به عقب برمی گرداند، می تواند به گونه ای تنظیم شود که در صورتیکه ولتاژ به مقدار معینی افت کند بازو را برگرداند. اینکار را حفاظت ولتاژ پائین یا (Low-VOLTAGE PROTECTION) می گویند.

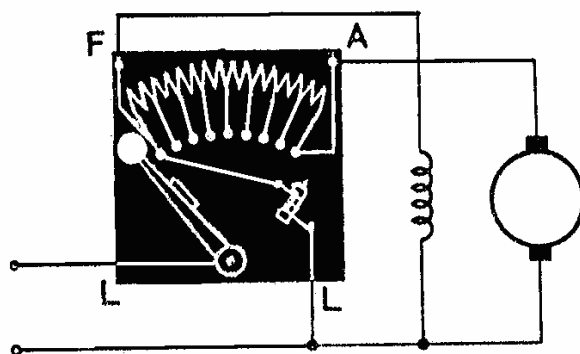
برای حفاظت موتور در برابر جریان زیاد یا (Over Load) از یک آهنربای الکتریکی دیگر که جریان آرمیچر از سیم پیچ آن می گذرد استفاده می شود. این آهنربا طوری تنظیم شده است که وقتی جریان گذرنده از آرمیچر خیلی زیاد شود، قطعه آهنی که روی فنر بازوی راه انداز متصل است بوسیله آن جذب می شود. در انتهای بازو یک حلقه ای قرار دارد که در اثر

جذب شدن فنر دو سر سیم پیچ آهنربای اول را اتصال کوتاه می کند و بدینوسیله بازو آزاد شده و موتور را از منبع جدا می کند .

وقتی بخواهیم کنترل سرعت بر اساس تغییرات میدان باشد، باید آهنربایی که بازوی راه انداز را در نقطه راه اندازی نگه می دارد مانند شکل (۵۶) بطور مستقیم به منبع وصل شود تا جریان گذرنده از سیم پیچ آهنربا مستقل از تغییرات جریان میدان باشد. در این صورت نیروی وارد شده از طرف آهنربا ثابت میماند. ولی اگر مدار میدان در جایی قطع شود راه انداز موتور را حفاظت نمی کند .



شکل (۵۵)



شکل (۵۶)

پرسشهای فصل سوم :

- ۱- نیروی ضد الکتروموتوری چیست؟
- ۲- عملکرد کلکتور را در موتورهای DC بیان کنید؟
- ۳- عکس العمل آرمیچر در موتور چگونه است؟
- ۴- به چه روشهایی می توان جهت گردش موتور را عکس نمود؟
- ۵- مقاومت راه انداز به چه منظور در موتورها استفاده می شود؟
- ۶- موتورهای شنت در چه مواردی کاربرد دارد؟
- ۷- عیب و مزیت موتورهای سری را بیان کنید؟
- ۸- سرعت موتورهای DC توسط چه روشهایی کنترل می شود؟

فصل چهارم

عیب یابی و تعمیر ماشینهای DC

اهداف آموزشی فصل چهارم:

۱- آشنایی با تعمیرات ماشینهای DC

۲- آشنایی با دستگاه میگر

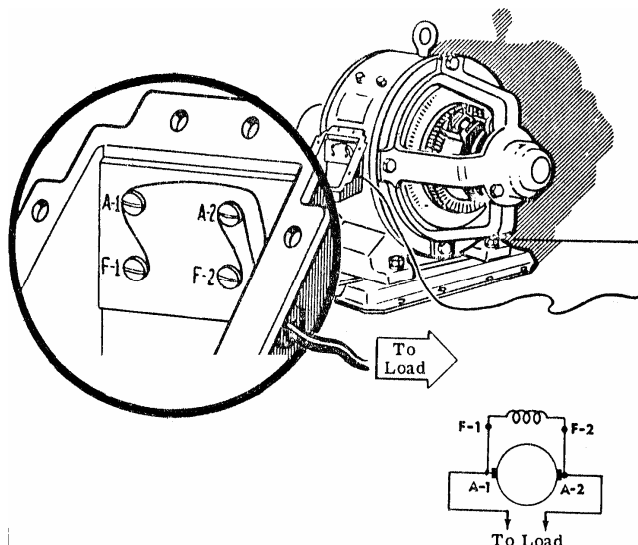
۳- شناخت عیبهای عایق بندی

۴-۱- تعمیرات ژنراتور

وقتی که محرک اولیه (موتور دیزل و یا محور توربین) به محور ژنراتور وصل شد، تنها کار عمده ای که لازم است انجام شود روغن کاری بلبرینگ ها و بازرسی اتصال بین ذغالها و کلکتور است. بندرت خواسته می شود که سیم های ورودی ژنراتور جابجا و یا عوض شود. چون اگر آنها به طرز غلطی متصل شوند جهت میدان را معکوس می کند. در صورتیکه ژنراتور تحریک سرخود باشد، این معکوس شدن، خاصیت پس ماند موجود در قطبها را از بین برده و ژنراتور حتی اگر دوباره سیم ها بطرز صحیح نیز متصل شوند قادر به بارگیری نخواهد بود.

برای تولید پس ماند (با جهت معین) و یا در صورتیکه پس ماند ضعیف باشد، می توان سیم پیچی میدان را به یک منبع ولتاژ جریان مستقیم مثلاً باتری وصل کرد. فقط باید دقت کرد که مغناطیس پس ماند تولید شده در جهت مغناطیس پس ماند قبلی باشد.

ممکن است بطور اتفاقی خواسته شود که جهت جریان تولید شده توسط ژنراتور عوض شود. برای این کار فقط باید سیم های خروجی ژنراتور را برعکس نمود و اتصال میدان هرگز نباید عوض شود. معمولاً سیم پیچی میدان مانند شکل (۵۷) به تخته کلم موتور متصل می شود تا در مواقع ضروری بسادگی جابجا شوند. در این صورت یکبار که سیم های میدان در محل مذکور بدرستی متصل شدند هرگز نباید آنها را جابجا کرد.



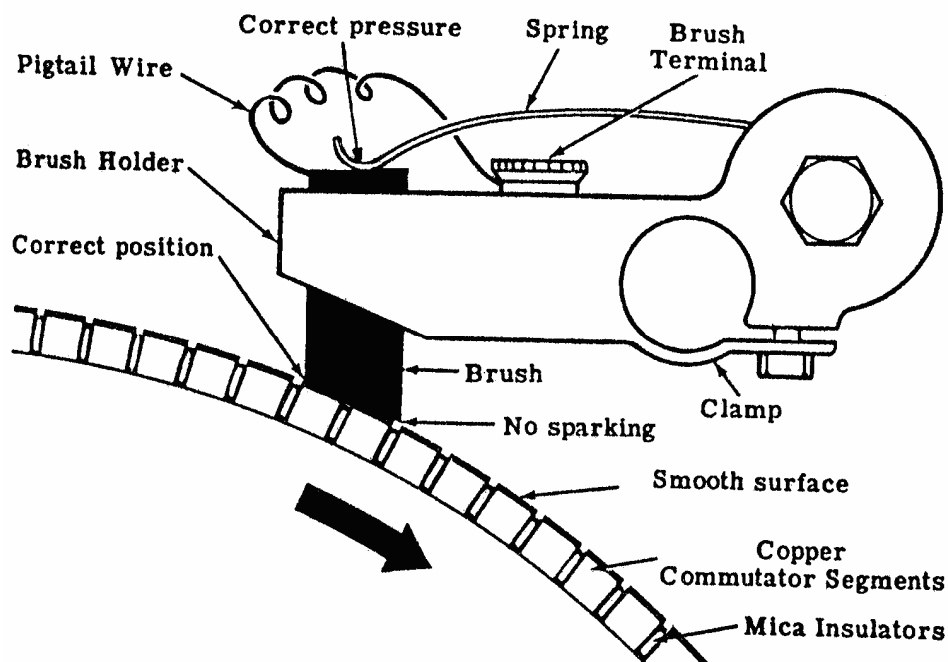
شکل (۵۷)

۲-۴- روغنکاری بلبرینگ

اگر چه روغنکاری زیاد می تواند اشکالاتی در کار ژنراتور یا موتور بوجود بیاورد، اما کمبود و یا عدم روغنکاری مشکلات بیشتری تولید می کند. بلبرینگی که بدرستی روغنکاری نشده باشد ناگهان بشدت گرم شده و باعث انبساط اجزا و خود محور می شود و ممکن است گردش محور را متوقف کند. بعلت وجود تماس مستقیم بین محور و بلبرینگها، کمبود و یا عدم روغنکاری باعث ایجاد گرمای زیاد می شود بنابراین باید محل قرار گرفتن بلبرینگ ها بدقت بازرسی شود. درجه حرارت ژنراتور و یا موتور در حالت عادی و در اثر کارکردن افزایش می یابد. در نتیجه بلبرینگ ها نیز به اندازه معینی گرم خواهند شد. ولی اگر بلبرینگ ها خیلی زیاد گرم شدند قبل از اینکه مطمئن شوید عدم روغنکاری باعث گرم شدن آنها شده است روغنکاری را تغییر ندهید. چون ممکن است داغ شدن بلبرینگها در اثر خارج شدن محور از حالت راست باشد و یا روغنکاری به تمام قسمت های بلبرینگ نرسیده باشد.

۳-۴- کلکتور و ذغالها

مجموعه کلکتور و ذغالها یکی دیگر از قسمتهایی است که باید مورد نظارت و بازرسی قرار گیرد. لغزش مداوم ذغالها روی کلکتور باعث می شود که ذغالها از پائین سائیده شده و بطرف بیرون پرتاب شوند. معمولاً وقتی اشکالی در کموتاسیون ایجاد گردد جرقه زیادی در کلکتور تولید می شود. شکل (۵۸)



شکل (۵۸)

برای بهبود کموتاسیون در ماشینهای جریان مستقیم باید تماس بین ذغالها و کلکتور به طور صحیح وجود داشته باشد. همچنین کلکتور باید از نظر مکانیکی درست ساخته شده باشد و تیغه ها بطور یکنواخت در اطراف آن قرار گرفته باشند. ذغالها نیز باید از نظر شکل ظاهری خوب و بطور صحیح روی کلکتور تنظیم شده باشند. این ذغالها باید بتوانند در ذغال گیرها به سادگی بالا و پائین شوند. در پشت ذغالها فنری قرار دارد که باید فشاری به اندازه ۱/۵ تا ۲ پوند بر اینچ مربع بر سطح ذغالها وارد کند تا بطور صحیح روی کلکتور باقی بماند.

یکی از دیگر از مشکلاتی که باعث اتصال تیغه ها و ایجاد اشکال در کموتاسیون می شود سائیدگی عایق میکا در بین تیغه های کلکتور می باشد.

وقتی هنگام کار با ماشین جریان مستقیم جرقه زیادی در کلکتور تولید شود نشان می دهد کموتاسیون بدرستی انجام نمی گیرد و باید مجموعه کلکتور و ذغالها بازرسی شود. مراحل بازرسی و برطرف کردن عیب بقرار زیر است :

۱- به طرز کار ماشین توجه کنید و ببینید که آیا ایجاد قوس و یا جرقه در اثر شل بودن بعضی از اتصال هاست .

۲- قبل از اقدام به بازرسی دقیق، ماشین را خاموش کنید تا مطمئن شوید که ماشین از منبع تغذیه جدا شده است .

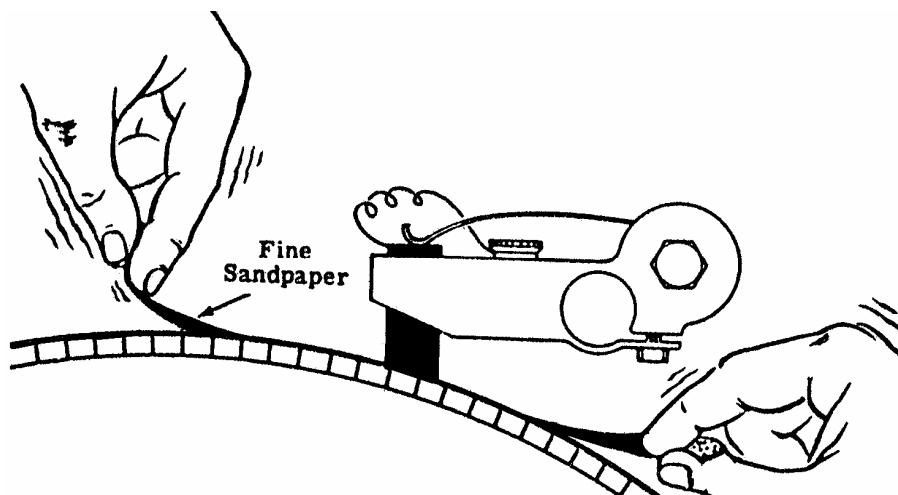
۳- تمام اتصالها را با دقت بازرسی کنید تا مطمئن شوید هیچکدام از آنها شل نیستند .

۴- محل قرار گرفتن ذغالها روی کلکتور را بازرسی کنید. اگر ذغالها بطور یکسان قرار نگرفته باشند ذغالگیرهای کج شده را عوض نمایید .

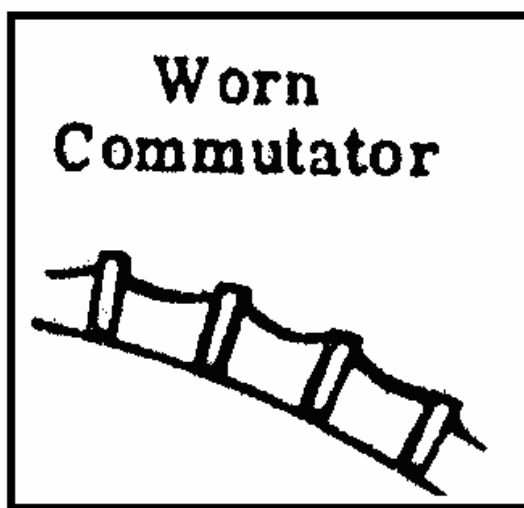
۵- طرز قرار گرفتن ذغالها را روی کلکتور مورد بررسی قرار دهید. اگر ذغالها زیاد سائیده شده اند آنها را تعویض نمایید. ذغال جدید باید بتواند به آزادی در ذغال گیر بالا و پائین بشود. سپس همانطور که در شکل (۵۹) نشان داده شده است با سائیدن انتهای ذغال، آنرا را روی کلکتور تنظیم و میزان فشار فنر ذغال را تنظیم کنید. توجه داشته باشید که سیم بافته شده که به ذغال وصل است به هیچیک از قسمتهای فلزی تماس نداشته باشد تا باعث ایجاد اشکال در کموتاسیون نشود .

۶- اگر کلکتور کثیف باشد یا حفره و پستی و بلندی داشته باشد با استفاده از یک قطعه پارچه نازک آنرا تمیز کنید و یا ناهمواری های جزئی آنرا بوسیله کاغذ سنباده نرم برطرف کنید. توجه داشته باشید که هرگز نباید از کاغذ سنباده های خشن استفاده کرد .

۷- در صورتیکه ناهمواری و پستی و بلندی سطح کلکتور مانند شکل (۶۰) زیاد باشد باید با استفاده از ماشین تراش آنرا تراشیده و ناهمواریهای سطح آنرا از بین برد .



شکل (۵۹)



شکل (۶۰)

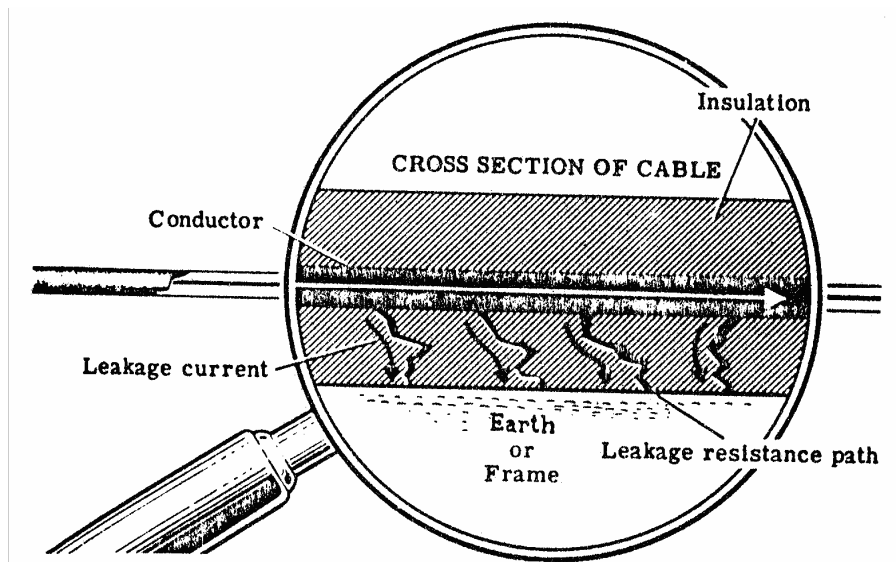
۴-۴- شکست عایق

در شرایط عادی، سیم پیچی میدان و آرمیچر ماشینهای الکتریکی نسبت به بدنه ماشین که با زمین تماس دارد، بطور کامل عایق هستند. مقدار مقاومت بین بدنه و آرمیچر و یا بدنه و میدان باید بی نهایت و یا چند مگا اهم باشد.

اغلب مقدار این مقاومت بعلت گرمای زیادی که در حالت اضافه بار (over load) در ماشین تولید می شود و یا بعلت زیاد بودن درصد رطوبت هوا کاهش یافته و مقدار کمی جریان به بدنه نشت می کند. این جریان نشتی به خراب شدن عایق بین بدنه و سیم پیچی های آرمیچر میدان کمک میکند و اگر بموقع از نشت جریان جلوگیری نشود عایق بطور کامل خراب شده و سیم پیچی به بدنه اتصال پیدا خواهد کرد.

بنابراین سیم پیچی آرمیچر و میدان باید در زمانهای معین بازرسی شوند تا از ایجاد نشتی جلوگیری شود. برای آزمایش مقاومت عایقی بین بدنه و سیم پیچ های آرمیچر و میدان، نمی توان از یک اهم متر معمولی استفاده نمود چون جریان های نشتی ممکن است فقط موقعی ایجاد شوند که ولتاژ زیادی به دستگاه اعمال شود و یک اهم متر معمولی نمی تواند چنین ولتاژی را تولید کند. برای اینکار بجای اهم متر معمولی از دستگاهی بنام میگر استفاده می شود. این وسیله می تواند ولتاژ لازم برای آزمایش مقاومت عایقی ماشینهای مختلف را تولید کند و طوری تنظیم شده است که می تواند مقاومت های خیلی زیاد را هم اندازه گیری کند .

شکل (۶۱) نشان می دهد که وقتی یک عایق خراب می شود و یا شکسته، سائیده و یا ضعیف می شود، چگونه مقاومت اهمی آن پائین می آید. هر کدام از راههای نشت نشان داده شده در این شکل می تواند یک حلقه موازی کم مقاومت باشد که از آن جریانی بطرف زمین میگذارد .



شکل (۶۱)

۴-۵- دستگاه میگر

میگر دستگاهی است که برای اندازه گیری مقاومت اهمی عایق ها مانند مقاومت بین سیم پیچها و بدنه ماشین و یا مقاومت عایق بین غلاف سربی کابل ها و سیم های فاز آن بکار میرود. میگرها دارای دو قسمت هستند:

- ۱- ژنراتور جریان مستقیم دستی (دینامو) با یک باتری با ولتاژ زیادی برای تهیه ولتاژ لازم جهت اندازه گیری
- ۲- یک دستگاه اندازه گیری مخصوص برای سنجش مقاومت های زیاد.

همانطور که گفته شد در میگر یک نوع دستگاه مخصوص اندازه گیری مقاومت بکار رفته است که مانند یک اهم متر است با این تفاوت که درجه بندی آن طوری است که بجای اهم برحسب مگا اهم درجه بندی شده است.

مقاومت معمولی یک مدار عایق شده نسبت به زمین چند صد مگا اهم است. اگر میگر مقداری پائین تر از این را نشان دهد، یک اتصال به زمین وجود دارد. در مدارهای برقی زمین، نقطه بازگشت برای اندازه گیری ولتاژ مقاومت است. تمام قسمتهای فلزی دستگاهها مانند موتورها، ژنراتورها، جعبه کلیدها و ترانسفورماتورها مستقیماً به زمین وصل می شوند. اگر سیمی از سیم های داخل این تجهیزات به بدنه اتصال پیدا کند می توان آنرا بوسیله میگر مشخص و رفع عیب کرد.

بعضی اوقات رطوبت موجود در یک عایق باعث می شود که مقاومت اهمی آن تا حد یک مگا اهم پائین بیاید. برای از بین بردن رطوبت عایق ها معمولاً از هیتر، لامپ و یا هوای گرم استفاده می شود.

برای پیدا کردن جریانهای نشتی و یا اتصال زمین در ماشینهای الکتریکی، سیم های میگر بین بدنه و یکی از سیمهای خروجی ماشین وصل می شود. اگر میگر چند مگا اهم و یا بیشتر از آن را نشان دهد عایق بندی ماشین سالم است ولی اگر میگر کمتر از یک مگا اهم را نشان دهد قسمتهایی از عایق بندی معیوب است.

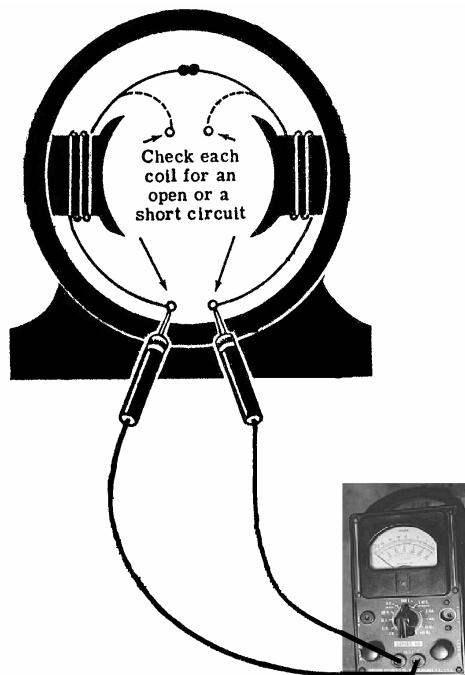
در ماشینهای DC برای آزمایش سیم پیچی میدان، باید میگر را بین یک سر میدان و بدنه و برای آزمایش آرمیچر باید بین محور و تیغه های کلکتور وصل شود. اگر میگر چند مگا اهم را نشان داد عایق بندی ماشین سالم است. ولی اگر کمتر از این مقدار را نشان دهد، نشت جریان زیاد بوده و عایق بزودی خراب خواهد شد. در صورتی که میگر صفر را نشان دهد عایق بندی ماشین خراب شده و سیم پیچی ها به بدنه ماشین اتصالی شده اند.

آزمایش سیم پیچی میدان

جهت پیدا کردن اتصالی سیم ها و یا قطع شدن آنها در سیم پیچ میدان از اهم متر استفاده می شود. برای اینکار ابتدا سیم پیچی میدان را مانند شکل (۶۲) از آرمیچر جدا نموده تا از ایجاد مدار موازی جلوگیری شود. سپس اهم متر به دو سر سیم پیچی میدان وصل می شود. اگر اهم متر بی نهایت را نشان دهد، سیم پیچی میدان در جایی قطع شده است. برای پیدا کردن حلقه ای که قطع شده است باید حلقه ها را به تنهایی بوسیله اهم متر آزمایش نمود.

نکته قابل ذکر آنکه مقاومت آرمیچر ماشین آنقدر کوچک است که یک اهم متر معمولی نمی تواند آنرا اندازه گیری کند. حتی اگر چند دور سیم پیچی آرمیچر بهم اتصالی شده باشد اهم متر صفر را نشان خواهد داد.

اگر یک حلقه سیم پیچی آرمیچر قطع شده باشد بعلت زیاد بودن مسیرهای جریان باز هم اهم متر صفر را نشان خواهد داد. در این قبیل موارد نمی توان از اهم متر استفاده کرد و باید از وسیله مخصوص دیگری استفاده نمود .



شکل (۶۲)

پرسشهای فصل چهارم :

- ۱- اجزایی از ماشین که باید مورد نظارت قرار گیرد کدام است؟
- ۲- جرقه زیاد در کلکتور نشان گر چیست؟
- ۳- آزمایش مقاومت عایقی در ماشینهای الکتریکی به چه منظور انجام می شود؟
- ۴- دستگاه میگر چیست؟
- ۵- آزمایش سیم پیچی میدان را توضیح دهید.

فصل پنجم

ژنراتورهای AC

اهداف آموزشی فصل پنجم:

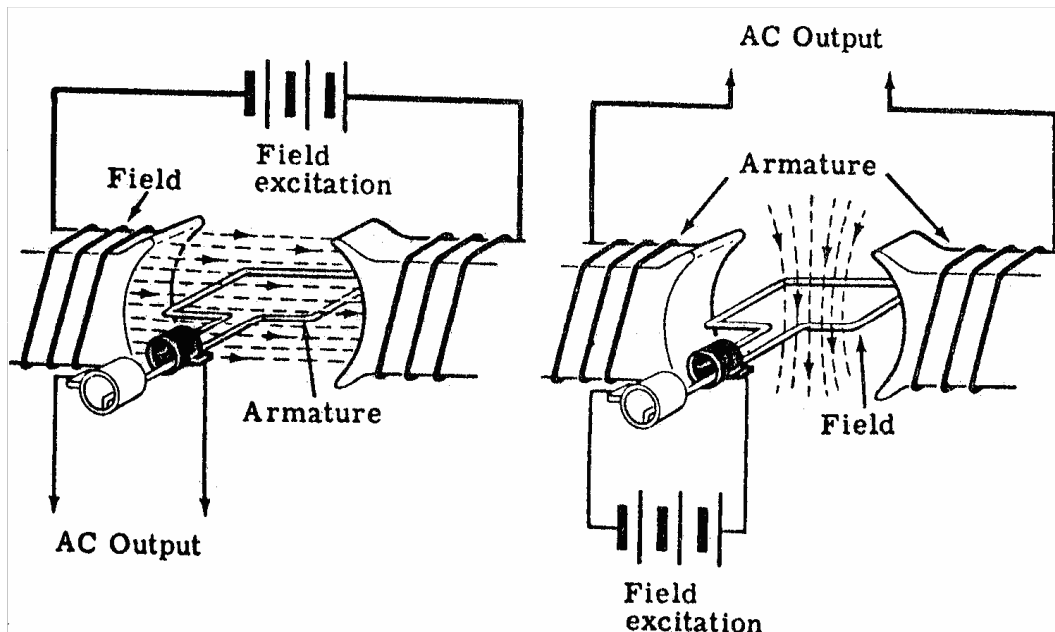
- ۱- شناخت انواع ژنراتورهای جریان متناوب
- ۲- آشنایی با تولید ولتاژ در ژنراتورهای جریان متناوب
- ۳- شناخت انواع اتصالات در ژنراتورهای جریان متناوب

۵-۱- آشنایی با ژنراتورهای جریان متناوب

ژنراتورهای جریان متناوب وسایل بسیار مهمی هستند که برای تولید توان الکتریکی مورد استفاده قرار می گیرند. ژنراتورهای جریان متناوب یا ژنراتور ها بسته به قدرتی که تولید می کنند در اندازه های مختلف وجود دارند. برای مثال ژنراتورهای ac که در نیروگاه های اتمی بکار می روند بزرگ هستند و صدها کیلووات توان با ولتاژ بالا تولید می کنند. صرف نظر از اندازه، تمام ژنراتورهای الکتریکی چه جریان مستقیم و چه جریان متناوب اساس کارشان بر اساس حلقه ای است که یک میدان مغناطیسی را قطع کرده و یا یک میدان مغناطیسی که حلقه را قطع می کند. چون بین حلقه و میدان مغناطیسی حرکت نسبی وجود دارد در آن ولتاژ تولید خواهد شد. بنابراین ژنراتورها را طوری میسازند که دارای دو قسمت یعنی روتور و استاتور باشند.

۵-۲- انواع ژنراتورهای ac

میدانید که در یک ژنراتور جریان مستقیم قسمت چرخنده اغلب آرمیچر است اما در یک ژنراتور جریان متناوب همیشه این موضوع صادق نیست به طور کلی دو نوع ژنراتور ac وجود دارد. نوعی که آرمیچر آن می گردد و نوعی که میدان آن می گردد. ساختمان ژنراتورهای ac شبیه ژنراتورهای جریان مستقیم است و در آنها آرمیچر درون یک میدان مغناطیسی ثابت می چرخد ولی در ژنراتور مذکور نیروی الکتروموتوری تولید شده بدون کلکتور به جریان مستقیم تبدیل می شود در حالیکه در ژنراتورهای ac مانند شکل (۶۳) نیروی الکتروموتوری متناوب تولید شده بدون تغییر بوسیله رینگ های متحرک به بار وصل می شود. اما نوع آرمیچر گردان فقط در ژنراتورهای ac که قدرت الکتریکی کمی تولید می کنند بکار می رود و همه جا از آنها استفاده نمی شود. در ژنراتورهای ac که میدان آن گردان است، سیم پیچی آرمیچر ثابت و سیم پیچی میدان متحرک است. فایده ثابت بودن سیم پیچی آرمیچر اینست که ولتاژ تولید شده را می توان مستقیماً بدون استفاده از اتصال های متحرک (ذغالهای و کلکتور) به بار وصل نمود و دیگر با مشکل ایجاد جرقه و قوس در رینگ های متحرک مواجه نخواهیم شد.



(ب) آرمیچر گردان است.

(الف) میدان گردان است.

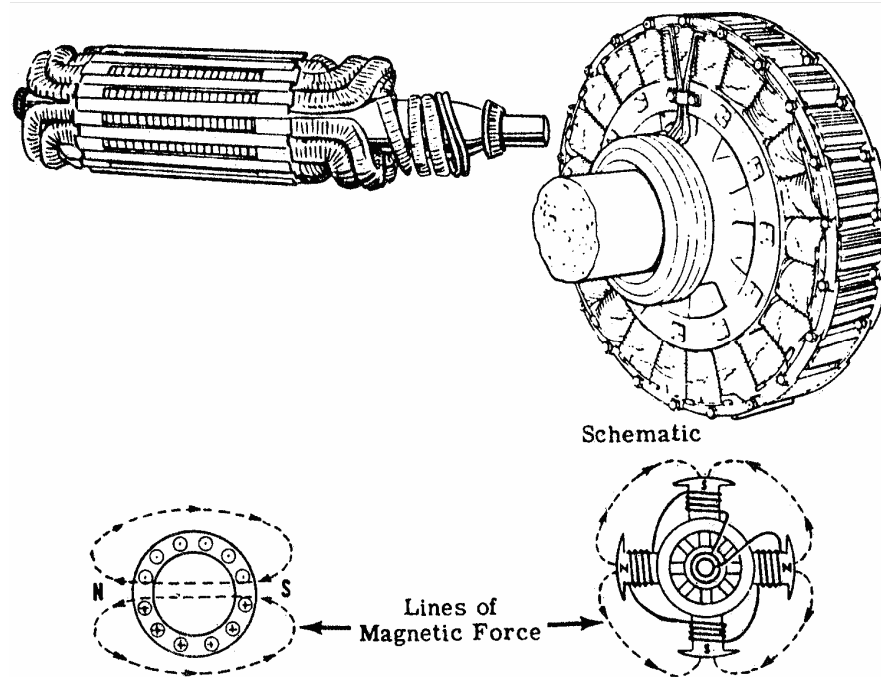
شکل (۶۳)

۵-۳- ساختمان ژنراتورهای ac

ژنراتورهای ac که قدرت خروجی آنها زیاد باشد بوسیله توربین هایی با سرعت زیاد گردانده می شوند توربین های مذکور معمولاً از نوع توربین بخار هستند که بوسیله بخار آب تحت فشار زیاد کار می کنند. روتور ژنراتورهای ac که بوسیله این توربین ها گردانده می شود مانند شکل (۶۴) استوانه ای شکل با قطر کوچک است که سیم پیچی های ظریفی در شکافهای روی آن جا داده شده است. این سیم پیچی ها طوری قرار گرفته اند که ۲ و یا ۴ قطب برای میدان ایجاد می کنند. فقط با این ترکیب است که روتور می تواند نیروی زیاد گریز از مرکز را که در سرعتهای بالا ایجاد می شود بدون پرتاب شدن اجزای آن به اطراف تحمل کند.

در سرعتهای پایینتر که ژنراتور بوسیله موتور دیزل، توربین های آبی و یا موتورهای الکتریکی گردانده می شود روتور با قطب های برجسته بکار می رود.

صرفنظر از نوع میدانی که برای روتور بکار رفته است معمولاً سیم پیچی آن بوسیله یک ژنراتور جریان مستقیم که تحریک کننده نامیده می شود بطور جداگانه تحریک می شود در ژنراتورهای ac جریان خروجی در سیم پیچی قسمت ثابت (سیم پیچی که در استاتور ثابت یا آرمیچر ثابت قرار دارد) تولید می شود که این سیم پیچی بوسیله میدان گردان ژنراتورهای ac قطع می شود سپس جریان تولید شده به بار متصل می شود.



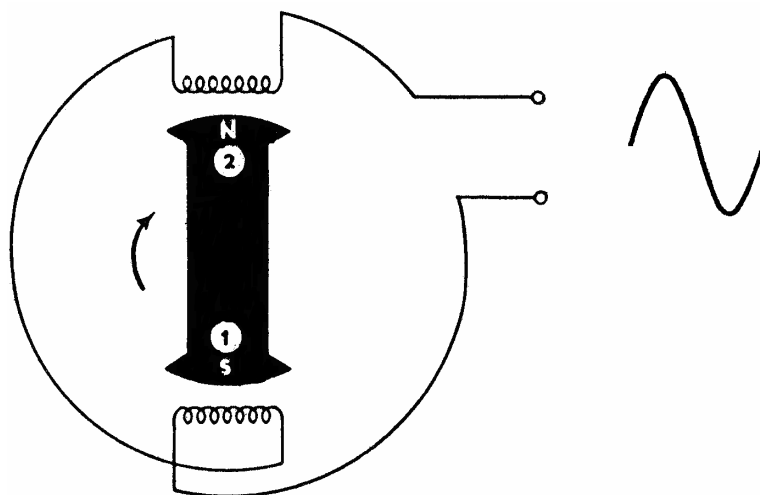
شکل (۶۴)

۵-۴- ژنراتورهای تکفاز

در ژنراتورهای تکفاز تمام هادی های آرمیچر بطور سری به یکدیگر وصل شده و تشکیل سیم پیچ واحدی را میدهند که ولتاژ خروجی در دو سر آن تولید می شود. برای درک طرز کار ژنراتور های سه فاز باید اصول ژنراتور تکفاز را به خوبی یاد گرفت .

شکل (۶۵) یک ژنراتور تکفاز دو قطبی را نشان می دهد. سیم پیچی استاتور دارای دو کلاف جداگانه می باشد که هر دو در یک جهت به دور بدنه استاتور پیچیده شده اند. در ژنراتور تکفاز، روتور دارای دو قطب مغناطیسی غیر همنام می باشد .

در اثر گردش روتور، میدان مغناطیسی آن سیم پیچهای استاتور را قطع نموده و ولتاژ متناوبی در آنها القاء خواهد کرد. سیم پیچ های استاتور طوری به یکدیگر وصل شده اند که ولتاژ تولید شده در آنها همفاز بوده و یا به یکدیگر اضافه می شوند .

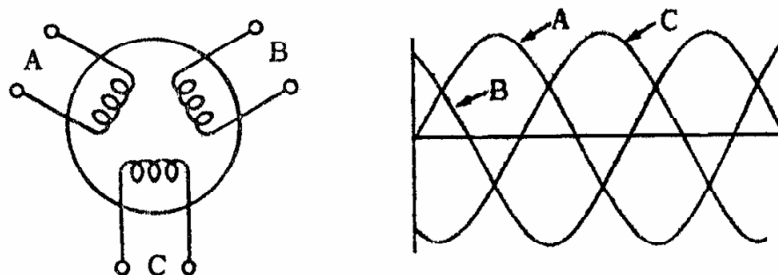


شکل (۶۵)

۵-۵- ژنراتورهای سه فاز

ژنراتور سه فاز همانطور که از نامش پیداست دارای سه سیم پیچ می باشد. این سیم پیچها طوری قرار گرفته اند که ولتاژ القاء شده در هر یک ۱۲۰ درجه با ولتاژ القاء شده در دو سیم پیچ دیگر اختلاف فاز داشته باشد.

سه سیم پیچ استاتور یک ژنراتور سه فاز بصورت ساده در شکل (۶۶) نشان داده شده است. شکل موج ولتاژ تولید شده در هر یک از سیم پیچها بصورت منحنی هایی است که ۱۲۰ درجه با هم اختلاف فاز دارند. ژنراتور سه فاز نشان داده شده در این شکل ترکیبی از سه ژنراتور یک فاز می باشد که ولتاژهای تولید شده در هر یک ۱۲۰ درجه با دو ولتاژ دیگر اختلاف فاز داشته و سیم پیچی فازها کاملاً از یکدیگر مستقل هستند.



شکل (۶۶)

مشاهده می شود که از هر ژنراتور ۶ سیم بیرون می آید. در حالیکه برای استفاده از خروجی ژنراتور به سه سیم نیاز می باشد. می توان از هر یک از فازها یک سیم را انتخاب کرده

و سه سیم دیگر را به یکدیگر وصل نمود. به این اتصال، اتصال ستاره گفته می شود. در این حالت نقطه اتصال سه سیم را نقطه خنثی گویند.

ولتاژ بین نقطه خنثی و هر یک از سیم های خط را ولتاژ فاز و ولتاژ بین دو سیم خط را ولتاژ خطی گویند. ولتاژ خط $\sqrt{3}$ برابر ولتاژ فاز است و چون فقط یک راه برای عبور جریان وجود دارد جریان فاز و جریان خط یکی هستند.

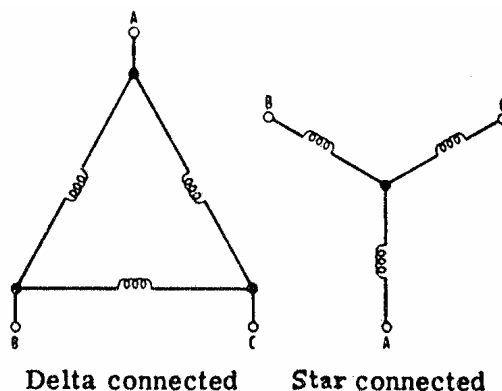
سیم های خروجی استاتور سه فاز را می توان به روش دیگری هم وصل کرد که انتهای فازها به یکدیگر متصل شود. این نوع اتصال را دلتا یا مثلث می گویند. در اتصال مثلث، ولتاژ خط برابر ولتاژ فاز بوده ولی جریان خط جمع برداری جریان های فازها می باشد. و چون فازها 120° درجه با یکدیگر اختلاف فاز دارند، جریان خط $\sqrt{3}$ برابر جریان فاز می باشد.

در ژنراتورها بسته به نیاز، هم از اتصال ستاره و هم از اتصال دلتا استفاده می شود. این اتصالات در شکل (۶۷) و (۶۸) نشان داده شده است.

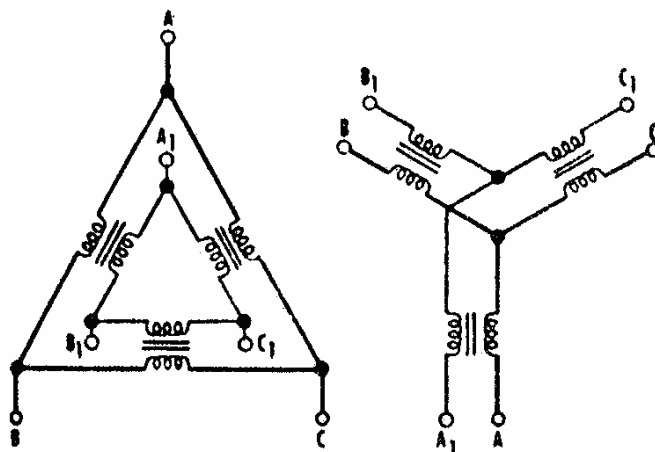
بسیار ژنراتور هائیکه امروزه از آنها استفاده می شود ماشینهای سیم پیچی شده سه فاز می باشند. علت اینست که بهره برداری از ژنراتور های سه فاز بسیار بیشتر از ژنراتور های تکفاز است. بکار بردن ترانسفورماتور سه فاز با ژنراتور های سه فاز بسیار معمول است. اگر هر دو سیم پیچی اولیه و ثانویه بصورت ستاره وصل شوند ترانسفورماتور را ستاره-ستاره گویند و اگر اولیه و ثانویه بصورت مثلث وصل شوند ترانسفورماتور را مثلث - مثلث گویند. این اتصالات برای ترانسفورماتور در شکل (۶۹) نشان داده شده است.



شکل (۶۷)



شکل (۶۸)



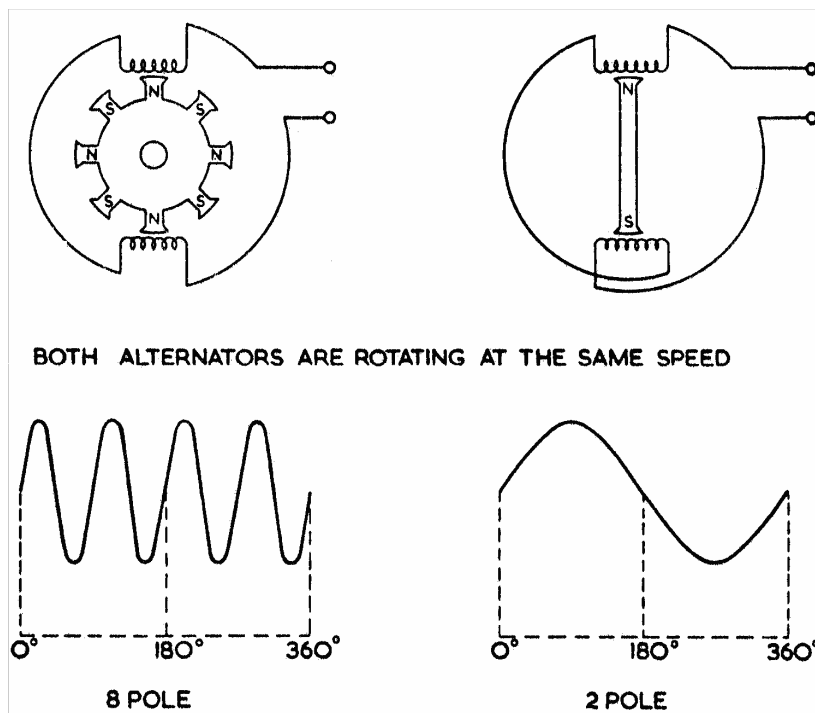
شکل (۶۹)

۵-۵-۱- فرکانس خروجی ژنراتور

فرکانس جریان متناوب تولید شده در یک ژنراتور بستگی به تعداد قطب ها و سرعت روتور دارد. وقتی روتور باندازه کافی چرخید تا دو قطب غیر همنام آن از مقابل یکی از سیم پیچ های استاتور گذشت، ولتاژ القاء شده در سیم پیچی باندازه ۳۶۰ درجه الکتریکی یا یک دور تغییر خواهد کرد. بنابراین یک ژنراتور تکفاز دو قطبی که با سرعت ۳۰۰۰ دور در دقیقه می چرخد، ولتاژی با فرکانس ۵۰ دور در ثانیه تولید خواهد کرد. هر چه تعداد قطب های میدان مغناطیسی ژنراتور بیشتر باشد سرعت گردش کمتری مورد نیاز است تا ژنراتور جریانی با فرکانس معین بدهد .

برای مثال یک ژنراتور ۸ قطبی مانند شکل (۷۰) فقط به سرعتی برابر ۷۵۰ دور در دقیقه احتیاج دارد تا خروجی ۵۰ سیکل بدهد. رابطه بین فرکانس تولید شده بر حسب دور در ثانیه (f) و سرعت روتور بر حسب دور در دقیقه (N) و تعداد قطبها (P) بوسیله فرمول زیر بیان می شود:

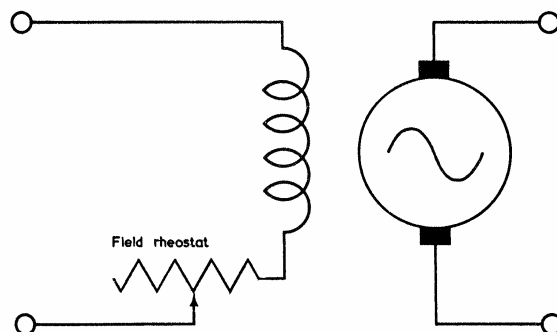
$$f = \frac{PN}{120}$$



شکل (۷۰)

۵-۲-۵- تنظیم کننده ولتاژ

دامنه ولتاژ تولید شده بوسیله ژنراتور به شدت میدان مغناطیسی یا به عبارت دیگر جریان میدان بستگی دارد. در یک ژنراتور ac درست مانند ژنراتورهای جریان مستقیم ولتاژ خروجی با بار تغییر می کند. همچنین علاوه بر افت IR که مربوط به مقاومت اهمی سیم پیچهاست افت دیگری بنام افت IX نیز وجود دارد که به خود القائی سیم پیچ بستگی دارد. وقتی بار اضافه شود، هر دو نوع افت باعث کاهش ولتاژ خروجی می شوند. به منظور جبران این افت ولتاژها، یک رئوستای دستی مطابق شکل (۷۱) در مدار میدان قرار می دهند تا شدت میدان را تغییر دهند. اما چون در بیشتر ژنراتورها بار بطور مداوم کم و زیاد می شود لازم است که شدت میدان مرتب تنظیم شود. این کار توسط وسائل اتوماتیک تنظیم ولتاژ انجام می شود که در آنها از جریان متغیر بار برای ایجاد تغییرات لازم در جریان میدان استفاده می شود.



شکل (۷۱)

پرسشهای فصل پنجم :

- ۱- انواع ژنراتورهای ac را نام ببرید.
- ۲- فرکانس خروجی ژنراتور سه فاز به چه عواملی بستگی دارد؟
- ۳- انواع اتصالات در ژنراتورهای سه فاز را نام ببرید.

فصل ششم

موتورهای الکتریکی AC

اهداف آموزشی فصل ششم :

- ۱- شناخت انواع موتورهای ac
- ۲- شناخت ساختمان موتورهای سنکرون
- ۳- آشنایی با ویژگیها و موارد کاربرد موتورهای سنکرون
- ۴- شناخت انواع ماشینهای آسنکرون

۶-۱- انواع موتورهای جریان متناوب

چون مقدار زیادی از قدرت الکتریکی تولید شده بصورت متناوب می باشد بیشتر موتورهای طوری طرح شده اند که با جریان متناوب کار کنند. این موتورها در بیشتر موارد می توانند دو برابر موتورهای جریان مستقیم کار کنند و زحمت آنها در موقع کار کردن کمتر است چون در موتورهای جریان مستقیم همیشه اشکالاتی در کموتاسیون آنها ایجاد می شود که مستلزم عوض کردن ذغالها یا ذغالگیرها و یا تراشیدن کلکتور است. بعضی موتورهای جریان متناوب با موتورهای جریان مستقیم کاملاً فرق دارند بطوریکه حتی در آنها از رینگ های لغزنده هم استفاده نمی شود و برای مدت طولانی بدون ایجاد دردسر کار می کنند.

موتورهای جریان متناوب عملاً برای کارهایی که احتیاج به سرعت ثابت دارند مناسب هستند چون سرعت آنها به فرکانس جریان متناوب اعمال شده به سرهای موتور بستگی دارد. اما بعضی از آنها طوری طراحی شده اند که در حدود معین دارای سرعت متغیر باشد.

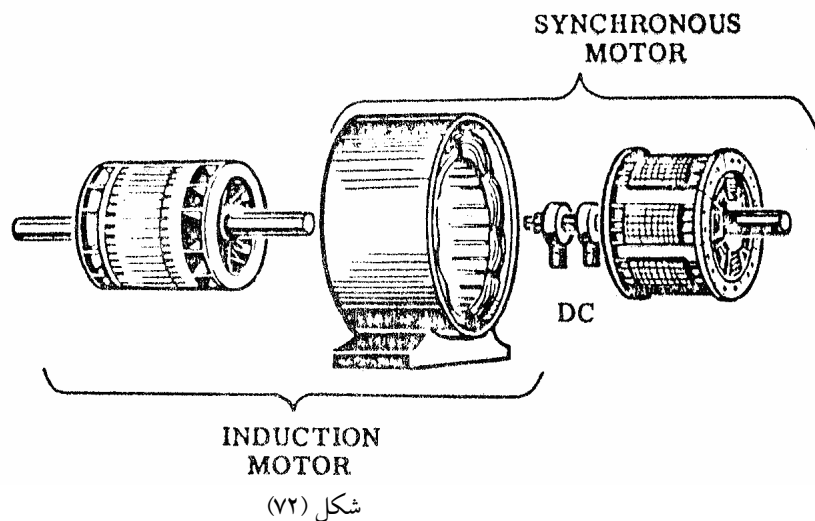
موتورهای جریان متناوب می توانند طوری طراحی شوند که با منبع جریان متناوب تکفاز و یا چند فاز کار کنند. ولی چه موتور تکفاز باشد و یا چند فاز اصول کار آنها یکسان است. اصول مزبور عبارتست از این که جریان متناوب اعمال شده به موتور، میدان مغناطیسی گردانی تولید می کند که باعث چرخش روتور می شود.

موتورهای جریان متناوب عموماً به دو نوع تقسیم می شوند :

- ۱- موتورهای سنکرون
- ۲- موتورهای القایی

موتور سنکرون در واقع ژنراتور است که بعنوان موتور کار می کند و در آن جریان متناوب به استاتور و جریان مستقیم مطابق شکل (۷۲) به روتور اعمال می شود. موتورهای القایی شبیه به موتورهای سنکرون هستند با این تفاوت که در آنها روتور به منبع قدرت وصل نمی شود.

از دو نوع موتورهای جریان متناوب ذکر شده موتورهای القائی به مراتب خیلی بیشتر از موتورهای سنکرون مورد استفاده قرار می گیرند .

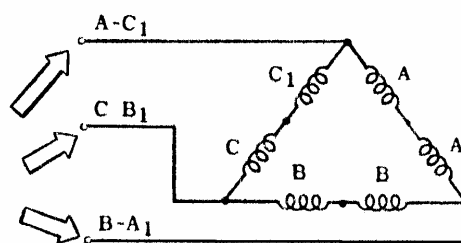
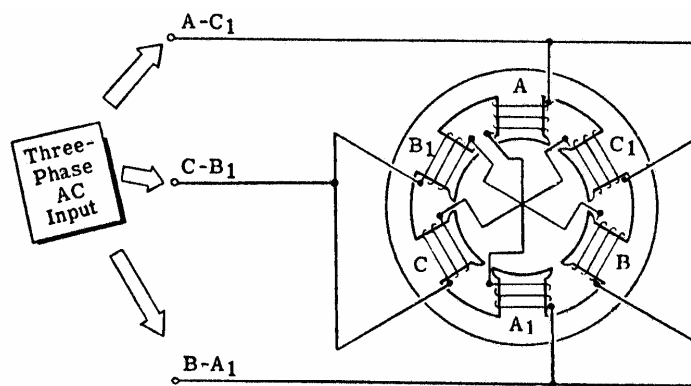


۲-۶- میدان گردان

همانطور که گفته شد میدان گردانی که از اعمال جریان متناوب به موتور تولید می گردد باعث گردش روتور می شود. قبل از آنکه به بحث درمورد چگونگی ایجاد حرکت روتور توسط میدان گردان پرداخته شود به بحث پیرامون این مطلب پرداخته می شود که چگونه می توان یک میدان مغناطیسی گردان تولید نمود. شکل (۷۳) استاتور سه فازی را نشان می دهد که جریان متناوب سه فاز به آن اعمال شده است. همانطور که نشان داده شده است سیم پیچها بصورت مثلث به یکدیگر اتصال دارند .

میدان مغناطیسی تولید شده بوسیله هر یک از سیم پیچ ها در هر لحظه به جریانی که از آن می گذرد بستگی دارد. اگر جریان صفر باشد میدان مغناطیسی هم صفر خواهد بود. اگر جریان ماکزیمم باشد میدان مغناطیسی نیز ماکزیمم خواهد بود و چون جریان فازها ۱۲۰ درجه با هم اختلاف فاز دارند میدان های مغناطیسی تولید شده هم ۱۲۰ درجه با هم اختلاف فاز خواهند داشت. با ترکیب سه میدان مغناطیسی مزبور که در هر لحظه وجود دارند یک میدان منتهجه تولید می شود که روی روتور عمل می کند. این میدان مغناطیسی منتهجه پیوسته در حال حرکت است و بعد از هر سیکل کامل جریان متناوب، میدان مغناطیسی مزبور هم به اندازه ۳۶۰ درجه یا یک دور دوران می کند .

شکل (۷۴) شکل موج جریانهای اعمال شده به استاتور سه فاز مزبور را نشان می دهد این شکل موج ها ۱۲۰ درجه با هم اختلاف فاز دارند. شکل موجهای مزبور می تواند نشان دهنده سه میدان مغناطیسی باشد که بوسیله هر یک از سیم پیچها تولید می شود .

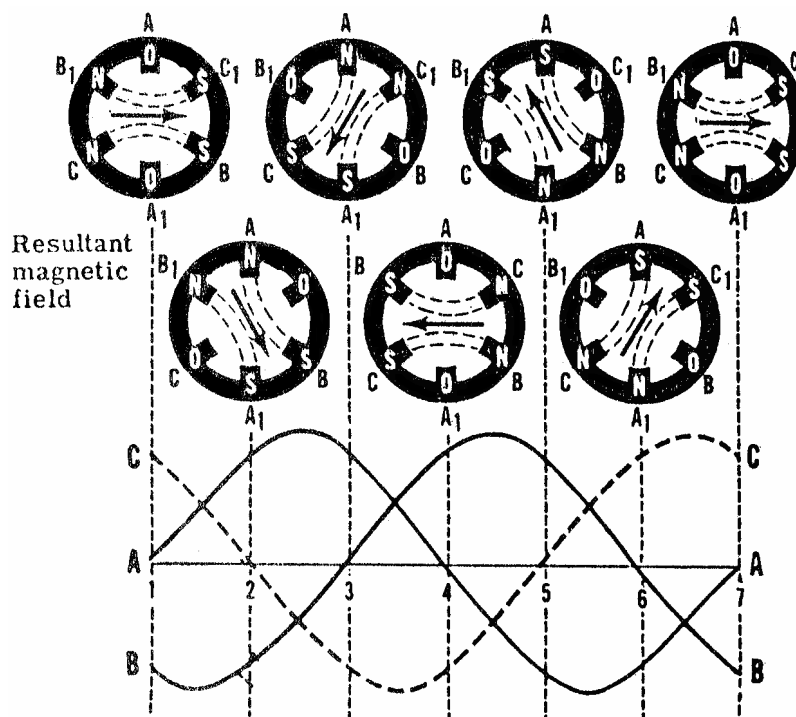


شکل (۷۳)

با استفاده از شکل موجهای نشان داده شده در شکل (۷۴) می توان در هر $\frac{1}{6}$ دور (معادل ۶۰ درجه) میدانهای مغناطیسی تولید شده را با هم ترکیب نمود تا جهت میدان مغناطیسی منتجه پیدا شود. در نقطه ۱ شکل موج C مثبت و شکل موج B منفی است. به عبارت دیگر جریانهای گذرنده از سیم پیچ های فاز B و C غیر هم جهت هستند و بنابراین جهت میدانهای مغناطیسی ناشی از B و C نیز غیر هم جهت هستند. در بالای نقطه ۱ جهت میدان به طرز ساده ای نشان داده شده است. توجه داشته باشید که B۱ قطب شمال و B قطب جنوب است و بهمین ترتیب C قطب شمال و C۱ قطب جنوب است؛ چون در نقطه ۱ هیچ جریانی از سیم پیچ فاز A نمی گذرد و میدان مغناطیسی آن صفر است .

در نقطه ۲ یعنی ۶۰ درجه بعد شکل موج جریانهای فازهای A و B مساوی و مخالف یکدیگرند و شکل موج C صفر است. بنابراین میدان مغناطیسی منتجه به اندازه ۶۰ درجه دیگر چرخیده است . در نقطه ۳ شکل موج B صفر است و میدان مغناطیسی منتجه باندازه ۶۰ درجه

دیگر می چرخد و بهمین ترتیب از نقطه ۱ تا نقطه ۷ مشابه یک سیکل جریان متناوب، میدان مغناطیسی منتهی باندازه یک دور کامل می چرخد .
بنابراین می توان گفت که اعمال جریان متناوب سه فاز به سه سیم پیچ که بطور قرینه در اطراف استاتور جای گرفته باشند یک میدان مغناطیسی گردان ایجاد می شود که این میدان باعث دوران روتور می شود .



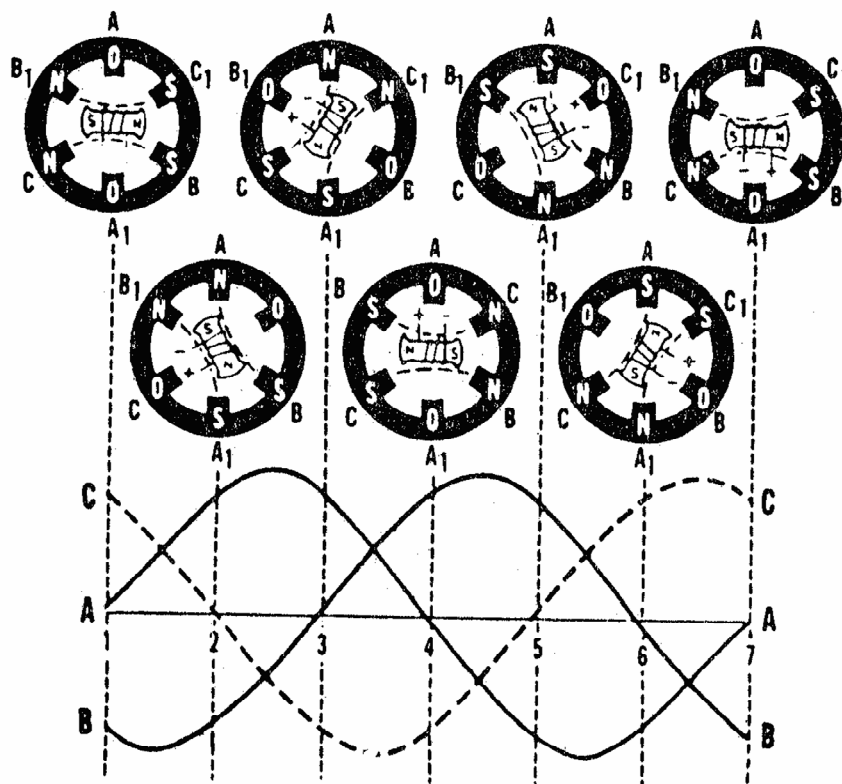
شکل (۷۴)

۶-۳- موتورهای سنکرون

علت اینکه به این نوع موتورهای سنکرون می گویند این است که روتور آن مانند شکل (۷۵) با میدان مغناطیسی گردان تولید شده در استاتور همگام است. ساختمان این موتورها اساساً شبیه به ژنراتورهای قطب برجسته است. همانطور که گفته شد اعمال جریان سه فاز به استاتور، یک میدان مغناطیسی گردان در اطراف روتور تولید می کند اما چون روتور به یک منبع جریان مستقیم وصل است مانند یک آهنربای میله ای عمل خواهد کرد. بنابراین موتور سنکرون مانند یک آهنربای میله ای عمل کرده و در امتداد میدان مغناطیسی تولید شده در استاتور قرار خواهد گرفت. در این حالت اگر میدان مغناطیسی دوران کند روتور هم همراه آن دوران خواهد کرد.

سرعت گردش میدان مغناطیسی به فرکانس جریان سه فاز اعمال شده به استاتور بستگی دارد چون فرکانس جریان ثابت است موتورهای سنکرون نیز با یک سرعت معین کار

می کنند. در نتیجه برای مواردی مورد استفاده قرار می گیرند که از حالت بی باری تا حالتی که بار موتور ماکزیمم است سرعت ثابتی مورد نیاز باشد.

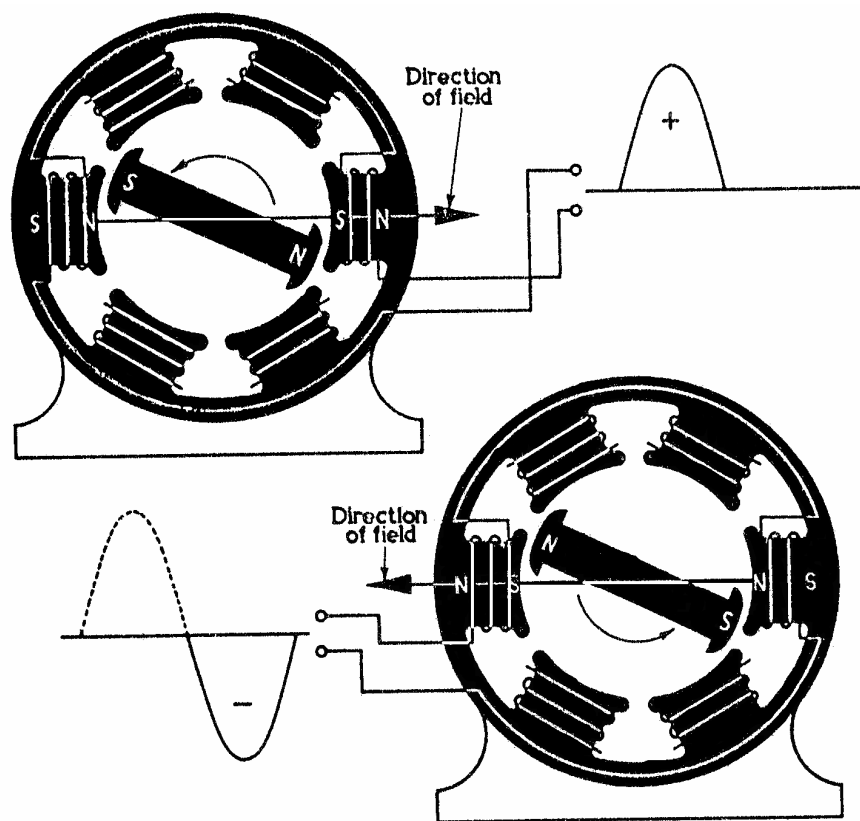


شکل (۷۵)

یکی از عیبهای موتور سنکرون این است که نمی تواند از حالت سکون و با اعمال جریان متناوب سه فاز شروع بکار کند. دلیل این امر آنست که جریان متناوب اعمال شده به استاتور یک میدان گردانی با سرعت زیاد تولید می کند. این میدان گردان، قطبهای روتور را آنقدر سریع عقب میزنند که موتور فرصت پیدا نخواهد کرد راه اندازی شود.

به عبارت دیگر موتور سنکرون در موقع راه اندازی هیچ کوپلی نخواهد داشت و بنابراین همیشه بوسیله یک موتور القائی کوچک و یا بوسیله سیم پیچ هائیکه معادل ترکیب فوق باشند راه اندازی می شود. سپس وقتی سرعت موتور به سرعتی نزدیک به سرعت سنکرون رسید به یک منبع جریان مستقیم وصل می شود و روتور با میدان گردان به گردش ادامه می دهد. در ادامه خواهید دید که چگونه جریان متناوب سه فاز اعمال شده به سیم پیچی استاتور می تواند یک میدان مغناطیسی پالسی شکل که لازمه راندن موتور است تولید کند.

هر لحظه که قطب های روتور به سیم پیچی استاتور نزدیک می شود جهت میدان استاتور باید طوری در هر لحظه عوض شود که آنرا جذب کند و به آن گشتاوری در جهت حرکتش اعمال نماید. بنابراین جریان میدان در سیم پیچی استاتور باید در فاصله ای که قطب های غیر همنام روتور به سیم پیچی استاتور نزدیک می شود باندازه نصف سیکل تغییر کند. شکل (۷۶) جهت میدان استاتور را که بوسیله اعمال یک جریان متناوب تکفاز ایجاد می شود نشان می دهد. شکل اول نصف سیکل جریان متناوب را نشان می دهد. مشاهده می شود که وقتی روتور با میدان استاتور همگام گردید، قطبهای روتور بوسیله سیم پیچ های استاتور جذب می شود. برای نصف دیگر سیکل جریان متناوب مشابه شکل دوم، جهت میدان استاتور برعکس شده و کوپل لازم برای حرکت روتور را فراهم می کند. بخاطر داشته باشید که مانند موتورهای سنکرون سه فاز، موتور تکفاز هم به یک وسیله راه اندازی احتیاج دارد.



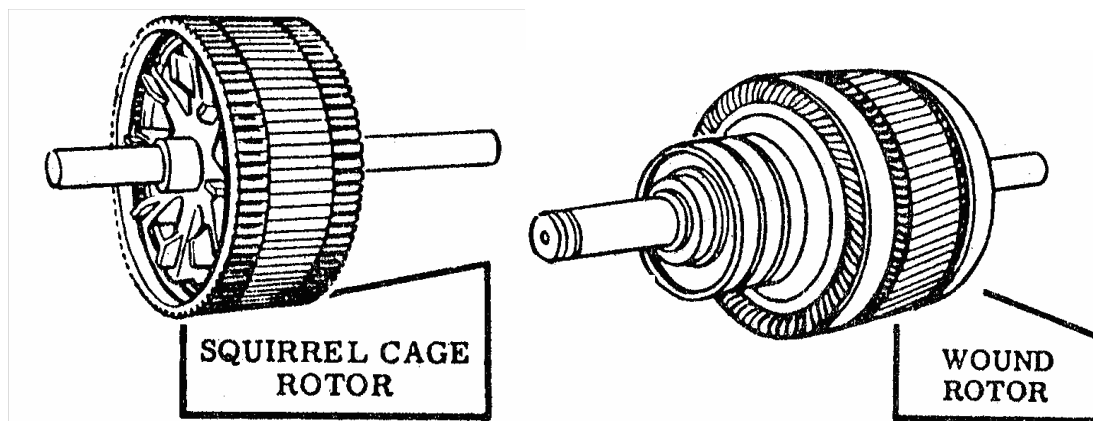
شکل (۷۶)

۶-۴- موتورهای آسنکرون یا القائی

موتور القائی از انواع موتورهای جریان متناوب است که بعلت سادگی، محکم بودن، قیمت ارزان و ساختمان آن بیش از هر موتوری مورد استفاده قرار می گیرد. این خصوصیات موتور القائی به این علت است که روتور آن به هیچ منبع ولتاژ خارجی وصل نمی شود. دلیل اینکه به این نوع موتور، موتور القائی گفته می شود اینست که در اثر دوران میدان مغناطیسی استاتور جریانهای متناوبی در مدار روتور القاء می شود. ساختمان استاتور موتور القائی و موتور سنکرون تقریباً یکسان است اما روتورهای آنها کاملاً با هم فرق می کنند. روتور موتورهای القائی از یک استوانه م ورق ساخته شده است که در روی آن شیارهایی وجود دارد و سیم پیچهایی در این شیارها قرار می گیرد. این سیم پیچها دو نوع هستند که نوع معمولی آن از سیم های ضخیم مسی یا آلومینیومی تشکیل شده است که سرهای آن بوسیله دو حلقه فلزی به یکدیگر متصل است و شکلی میسازند که شبیه قفس سنجاب می باشد. بعلت ولتاژ خیلی ضعیفی که در سیم های روتور تولید می شود هیچ عایقی بین هسته روتور و سیم ها وجود ندارد. ضمناً فاصله هوایی بین روتور و استاتور خیلی کوچک در نظر گرفته شده است تا ماگزیم شدت میدان روی روتور عمل کند.

نوع دیگر سیم پیچی روتور در موتورهای القائی که در شکل (۷۷) نشان داده شده است دارای کلافهایی است که در شیارهای روتور قرار می گیرند. به این نوع موتورها، موتور با روتور سیم پیچی شده می گویند.

صرفنظر از نوع روتوری که در موتورهای القائی مورد استفاده قرار می گیرد اساس کارشان یکی است یعنی در هر دو حالت وقتی جریان متناوب به سیم پیچهای استاتور اعمال می شود میدان مغناطیسی گردانی تولید می شود. این میدان مغناطیسی سیم های روتور را قطع کرده جریانی در آنها القاء می کند. این جریان القاء شده یک میدان مغناطیسی در اطراف هادی های روتور ایجاد می کند که میدان مزبور کوشش می کند با میدان استاتور همگام شود اما چون میدان استاتور دائماً در حال گردش است روتور نخواهد توانست به آن برسد ولی همیشه میدان مزبور را تعقیب می کند.



شکل (۷۷)

همانطور که از قانون لنز می دانید هر جریان القائی کوشش می کند که با تغییر میدانی که آنرا القاء کرده است مخالفت کند. در مورد موتور القائی عامل تغییر حرکت، میدان استاتور است. بنابراین در اثر عکس العمل بین میدان روتور و استاتور نیرویی به روتور وارد می شود که حرکت دائم میدان استاتور را از بین ببرد. به عبارت دیگر روتور در همان جهتی خواهد چرخید که میدان استاتور می گردد و کوشش خواهد کرد که به آن برسد. در عمل سرعت روتور تا آنجا که وزن و مقدار باری که روی موتور است اجازه بدهد تا نزدیکی های سرعت میدان استاتور خواهد رسید.

۶-۵- لغزش در موتورهای القائی

در یک موتور القائی امکان اینکه روتور بتواند با سرعت میدان مغناطیسی استاتور بچرخد وجود ندارد. از طرف دیگر اگر سرعت ها یکسان باشند هیچ حرکت نسبی بین روتور و میدان گردان وجود نخواهد داشت و در نتیجه هیچ جریانی در روتور القاء نمی شود. در اینصورت هیچ نیروی گرداننده ای هم بر روتور وارد نخواهد شد. بنابراین برای وجود حرکت نسبی باید روتور با سرعتی کمتر از سرعت میدان مغناطیسی بگردد.

تفاوت سرعت روتور و میدان مغناطیسی که معمولاً بصورت درصد بیان می شود را لغزش می گویند. هر چه مقدار این لغزش کمتر باشد سرعت روتور به سرعت میدان استاتور نزدیکتر می شود.

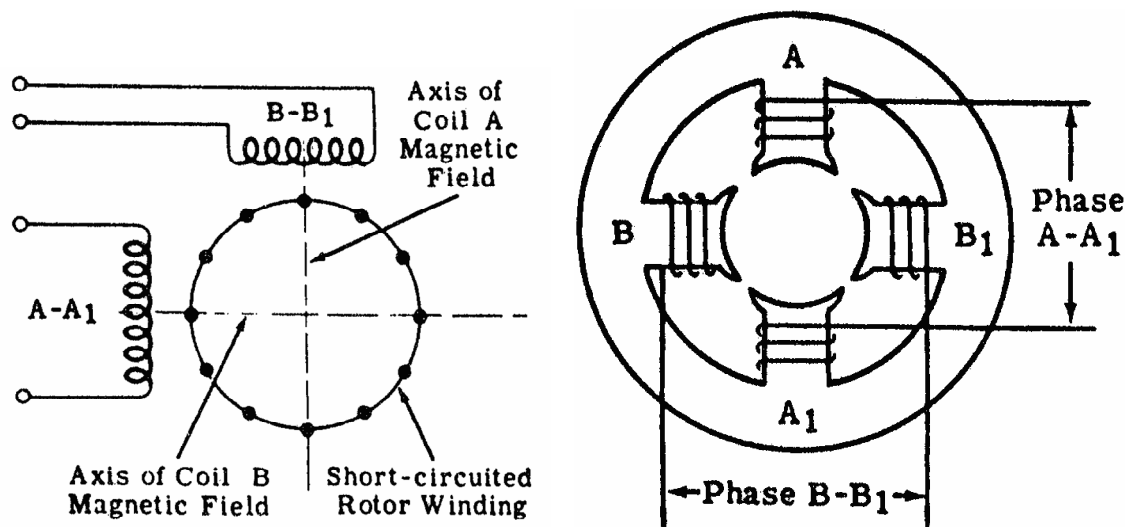
سرعت موتور بستگی به گشتاور بار دارد و هر چه بار موتور بیشتر باشد نیروی گرداننده قوی تری لازم است تا روتور را بگرداند. این نیروی گرداننده موقعی زیاد می شود که نیروی الکتروموتوری القاء شده در روتور زیاد شود و نیروی الکتروموتوری فقط موقعی زیاد

می شود که میدان مغناطیسی، روتور را با سرعت بیشتری قطع کند. یعنی باید سرعت نسبی بین میدان مغناطیسی و روتور زیاد شود بنابراین باید روتور آهسته تر بگردد. با توجه به این مطلب می توان گفت که موتور القائی برای بارهای سنگین تر آهسته تر از بارهای سبک خواهد چرخید. موتورهای القائی برای تمام مقصودهای عملی موتورهایی با سرعت ثابت هستند.

۶-۶- موتورهای القائی دو فازه

موتورهای القائی برای کار کردن بصورت موتورهای سه فاز و دو فاز طراحی شده اند اما در تمام موارد باید جریان متناوب اعمال شده به استاتور یک میدان گردان تولید کند تا روتور را همراه خود بکشد.

قبلاً مشاهده شد که چگونه وقتی جریان متناوب سه فاز به یک سیم پیچ سه فاز متقارن اعمال شود یک میدان مغناطیسی گردان تولید می کند. استاتور موتورهای القائی دو فازه دارای دو سیم پیچی است که نسبت بهم با زاویه نود درجه قرار گرفته اند. شکل (۷۸) یک استاتور دو فاز را به همراه نقشه شماتیک آن نشان می دهد.



شکل (۷۸)

اگر ولتاژهای اعمال شده به فازهای $A-A_1$ و $B-B_1$ نود درجه اختلاف فاز داشته باشند جریانهای گذرنده از آنها نیز ۹۰ درجه اختلاف فاز خواهند داشت و چون میدانهای مغناطیسی تولید شده در سیم پیچ ها با جریان مربوط بخود هم فاز خواهند بود بنابراین میدانهای مغناطیسی نیز ۹۰ درجه با هم اختلاف فاز خواهند داشت. این دو میدان مغناطیسی غیرهمنام که

محورهای سیم پیچی آنها هم ۹۰ درجه با هم زاویه دارند در هر لحظه به یکدیگر اضافه شده و میدان منتجه ای تولید می کنند که به ازای هر سیکل جریان متناوب یک دوران خواهد کرد. دیاگرام شکل (۷۹) منحنی های مربوط به میدانهای مغناطیسی مزبور را نشان می دهد حروفی که برای مشخص کردن شکل موجها بکار رفته است مشابه فاز مربوطه می باشد.

در نقطه ۱ جریان از سیم پیچی $A - A_1$ می گذرد و میدان مغناطیسی آن ماگزیمم است در این حالت جریان گذرنده از سیم پیچی $B - B_1$ صفر و در نتیجه میدان مغناطیسی آن هم صفر است در نتیجه میدان مغناطیسی کل در امتداد محور سیم پیچی $A - A_1$ خواهد بود.

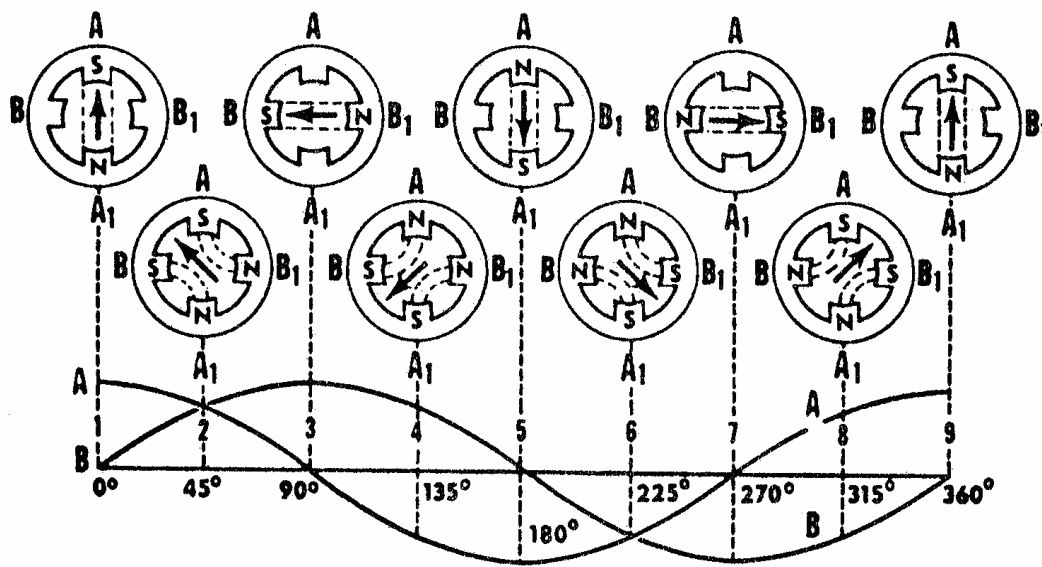
در نقطه ۲، (۴۵ درجه بعد) میدان مغناطیسی سیم پیچهای $A - A_1$ و $B - B_1$ بطور مشترک میدان مغناطیسی کلی را نشان می دهد چون جریانهای کلاف ها و شدت میدان مغناطیسی آنها مساوی است.

در نقطه ۳، (زاویه ۹۰ درجه) میدان مغناطیسی در سیم پیچی $A - A_1$ صفر و در $B - B_1$ ماگزیمم است. بنابراین میدان منتجه همانطور که در شکل (۷۹) نشان داده شده است در امتداد محور $B - B_1$ قرار خواهد گرفت. بنابراین از نقطه ۱ تا ۳ میدان مغناطیسی ۹۰ درجه دوران کرده است .

در نقطه ۴ (زاویه ۱۳۵ درجه) دوباره شدت میدانهای مغناطیسی با هم برابر می شود ولی جهت میدان مغناطیسی در سیم پیچی میدان مغناطیسی در سیم پیچی $A - A_1$ برعکس شده است. دوباره سیم پیچی ها $A - A_1$ و $B - B_1$ میدان کلی را مشترکاً برقرار کرده که جهت آن در شکل نشان داده شده است.

در نقطه ۵ (زاویه ۳۰ درجه) میدان مغناطیسی در سیم پیچی $B - B_1$ صفر است و در سیم پیچی $A - A_1$ ماگزیمم است بنابراین میدان منتجه نیم دور دیگر دوران کرده و یک دور را کامل می کند .

بدین ترتیب با گذاشتن دو سیم پیچی که نسبت بهم با زاویه نود درجه قرار گرفته باشد و با تحریک کردن آنها با ولتاژهاییکه ۹۰ درجه با یکدیگر اختلاف فاز داشته باشند یک میدان مغناطیسی گردان می توان بوجود آورد .



شکل (۷۹)

پرسشهای فصل ششم :

- ۱- انواع موتورهای ac را نام ببرید.
- ۲- ساختمان موتورهای سنکرون را توضیح دهید.
- ۳- میدان گردان چگونه بوجود می آید؟
- ۴- موتورهای سنکرون در چه مواردی به کار برده می شود؟
- ۵- موتورهای آسنکرون دارای چه ویژگیهایی است؟
- ۶- انواع موتورهای آسنکرون را نام ببرید؟
- ۷- لغزش در موتورهای القایی چیست؟

مراجع

- ۱- اصول مقدماتی الکتریسته (قسمت چهارم) . ج. فلاحتی مرکز آموزش و آزمون مهارت های فنی مناطق نفت خیز.
- ۲- ماشینهای الکتریکی تألیف Bim Bhara ترجمه مسعود لسانی . جعفر سلطانی

مهندس یار، یار مهندسان ایرانی!

جزوه درس ماشین های الکتریکی ۱

لطفاً نواقص احتمالی این جزوه را جهت اصلاح در ویرایش های بعدی به نشانی
bazyar@mohandesyar.com ارسال فرمایید.

فهرست مطالب

۱- مدارهای مغناطیسی

مدارهای مغناطیسی هیستریزیس (پس ماند) - تحریک سینوسی - آهنربای دائم

۲- تبدیل انرژی الکترو مکانیکی

فرایند تبدیل انرژی - انرژی میدان مغناطیسی - نیروی مکانیکی در سیستمهای الکترو مغناطیسی - ماشینهای الکتریکی دوار

۳- اصول ماشینهای جریان مستقیم DC

ماشینهای خطی - کموتاسیون و مسائل مربوط - ساختمان ماشینهای DC - توان و تلفات در ماشینهای DC

۴- ژنراتورهای DC

مدار معادل ژنراتورهای DC - ولتاژ سازی - انواع ژنراتورهای DC عکس العمل آرمیچر

۵- موتورهای DC

مدار معادل موتورهای DC - انواع موتورهای DC - راه اندازی موتورهای DC - محاسبات راندمان - کنترل سرعت

۶- ماشینهای جریان مستقیم خاص

موتور یونیورسال و مشخصه های آن - موتورهای پله ای - موتورهای DC با مغناطیسی دائم

مراجع:

1-Electric Machinery Fundamentals

By: Stephen J.Chapman – Mc Graw Hill, 1999

2-Electric Machinery

By: Fitzgerald – Mc Graw Hill, 1985

3-Principles of Electric Machinery And Power Electronics

By: P.C Sen. – John Wiley, 1985

فصل اول – مدارهای مغناطیسی

مقدمه :

هر دستگاهی که انرژی الکتریکی را به انرژی مکانیکی و یا بالعکس تبدیل کند یک ماشین الکتریکی نامیده میشود. ماشینهای الکتریکی دوار مانند ماشینهای جریان مستقیم ، ماشینهای القائی یا اسنکرون ، ماشینهای سنکرون. ترانسفورماتور اگرچه مبدل انرژی الکترو مکانیکی نیست ، اما نقشی مهمی را در فرایند تبدیل انرژی ایفا می کند و باید گفت که ترانسفورماتور انرژی الکتریکی را به همان صورت دریافت شده تحویل مصرف کننده می دهد و فقط سطوح ولتاژ یا جریان را تغییر می دهد.

قوانین میدان مغناطیسی :

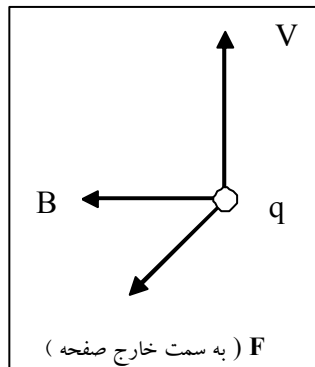
میدان الکتریکی از بارهای الکتریکی ساکن نشأت می گیرد. اگر بارهای الکتریکی با سرعتی یکنواخت به حرکت در آیند اثر ثانویه یعنی اثر مغناطیسی شکل می گیرد . نتیجه آنکه میدان مغناطیسی از بارهای الکتریکی متحرک حاصل میشود. میدان مغناطیسی توسط بردار B به نام چگالی شار مغناطیسی مشخص می گردد. واحد B بر حسب وبر بر متر مربع یا تسلا بیان می گردد . شار مغناطیسی نیز به قرار زیر است:

$$\phi = B.A$$

$$1(\text{wb}) = 1(\text{T}) * 1(\text{m}^2)$$

قانون نیروی لورنتس:

اگر بار الکتریکی q با سرعت V در میدان مغناطیسی با چگالی شار B حرکت کند ، به بار نیرویی بصورت زیر اعمال می گردد که به قانون نیروی لورنتس معروف است .



$$F = qv \times B$$

اگر توزیع بار الکتریکی داشته باشیم بر هر عنصر جزئی از کل بار متحرک ، (dq) ، نیروی جزئی dF اعمال

$$dF = dq(v \times B) \quad \text{می گردد :}$$

اگر بار متحرک داشته باشیم :

$$dq = I \cdot dt$$

$$dF = I (v dt \times B) = (I \times B) dl$$

$$F = \oint Idl \times B$$

قانون بیوساوار:

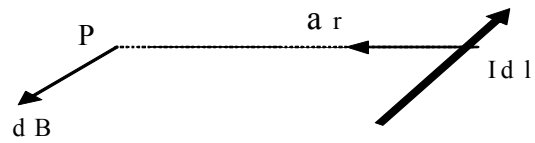
میدان مغناطیسی از حرکت بار الکتریکی q تحت سرعت V نشأت میگیرد . باید دانست چگالی شار B در نقطه P

بفاصله r از بار q در فضای آزاد توسط قانون بیوساوار مشخص می شود و در قالب ریاضی این قانون بقرار زیر است :

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi} q \frac{v \times a_r}{r^2} \quad (T)$$

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \quad \text{نفوذپذیری مغناطیسی (پرمابیلیته)}$$

a_r : برداریکه از بار q سرچشمه گرفته و جهت آن بطرف نقطه P است. درحالتیکه توزیع بار وجود داشته باشد.



$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} dq \frac{\mathbf{v} \times \mathbf{a}_r}{r^2}$$

$$(dq)v = Idl \Rightarrow dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{Idl \times \mathbf{a}_r}{r^2} \Rightarrow \mathbf{B} = \oint \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{Idl \times \mathbf{a}_r}{r^2}$$

نفوذ پذیری مغناطیسی و شدت میدان مغناطیسی :

بحثهای قبلی در فضای آزاد معتبر است. در فضای آزاد تغییرات $\mathbf{B}$ برحسب $\mathbf{I}$ خطی است و لذا μ_0 در فضای آزاد

عددی است ثابت. در محیطهای خطی ($\mathbf{B}$ برحسب $\mathbf{I}$) می توان به جای μ_0 از μ استفاده کرد.

مواد از نقطه نظر تغییرات $\mathbf{B}$ برحسب $\mathbf{I}$ به دو دسته تقسیم می شوند:

۱- مواد غیر فرو مغناطیسی مثل عایقها : μ ثابت می باشد.

۲- مواد فرو مغناطیسی : μ ثابت نیست.

مواد فرو مغناطیسی خود به دو دسته تقسیم میشوند:

۱- مواد فرو مغناطیسی نرم : تغییرات $\mathbf{B}$ برحسب $\mathbf{I}$ می باشد.

۲- مواد فرو مغناطیسی سخت : تغییرات $\mathbf{B}$ برحسب دو عامل جریان ($\mathbf{I}$) و خاصیت مغناطیسی شوندگی ماده

($\mathbf{M}$) بروز می نماید.

شدت میدان مغناطیسی :

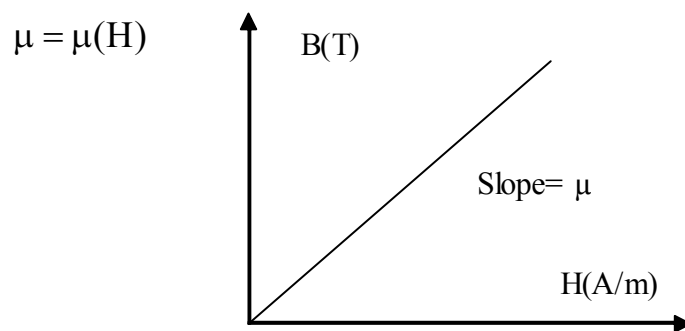
بردار شدت میدان مغناطیسی یا $\mathbf{H}$ بصورت زیر تعریف می شود :

$$\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu}$$

برای محیطهای همگن یا ایزوتروپیک که دارای خاصیت یکنواخت و در تمامی جهات هستند ، μ یک کمیت اسکالر بوده و B, H نیز هم جهت می باشند . با استفاده از قانون بیوساوار داریم :

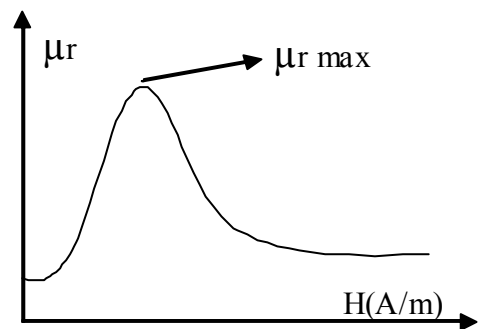
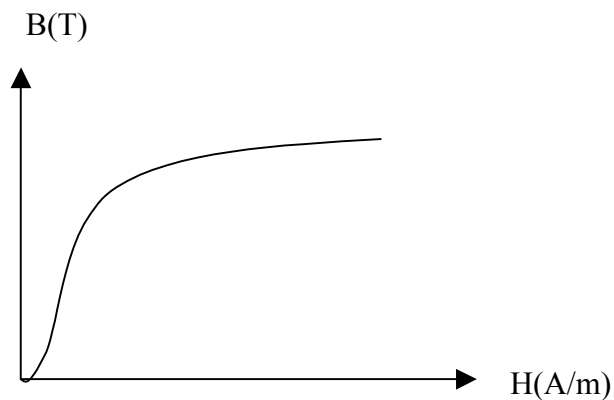
$$dH = \frac{1}{4\pi} \frac{Id\ell \times a_r}{r^2} \Rightarrow H = \frac{1}{4\pi} \oint \frac{Id\ell \times a_r}{r^2}$$

μ عموماً "ثابت نبوده و به H بستگی دارد :



در مواد غیر فرو مغناطیسی μ عددیست ثابت :

در مواد فرو مغناطیسی رابطه بین H, B بصورت زیر می باشد:



$\mu = \mu_0 \mu_r$ (نفوذ پذیری مغناطیسی نسبی)

مدارهای مغناطیسی خطی :

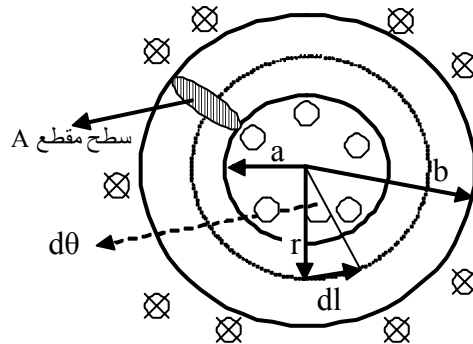
$\oint H \cdot d\ell = I$ یا $\oint B \cdot d\ell = \mu_0 I$: طبق قانون آمپر

اگر مسیر N بار جریان I را دور بزند داریم :

$$NI = \oint H \cdot d\ell$$

$NI = F$: نیروی محرکه مغناطیسی (MMF)

یک چنبره را در نظر میگیریم :



هیچ جریانی را در بر نمی گیرد.

$$r < a \quad \Rightarrow \quad H=0$$

$$r > b \quad \Rightarrow \quad H=0$$

$$a < r < b \quad \Rightarrow$$

$$\oint H \cdot dl = NI \Rightarrow \int_0^{2\pi} H \cdot r \cdot d\theta = NI \Rightarrow 2\pi r H = NI \Rightarrow H = \frac{NI}{2\pi r} \Rightarrow B = \mu \frac{NI}{2\pi r}$$

برای محاسبه شار داریم (با فرض یکنواخت بودن A)

$$\phi = \int B \cdot dA = \int \frac{\mu NI}{2\pi r_{ar}} dA = \frac{\mu NI}{2\pi r_{ar}} A \Rightarrow r_{ar} = a + \frac{b-a}{2}$$

از طرفی داریم :

$$F = NI \Rightarrow \phi = F \frac{\mu A}{2\pi r_{ar}} = F \frac{\mu A}{\ell_{ar}}$$

$$\phi = \frac{F}{R}$$

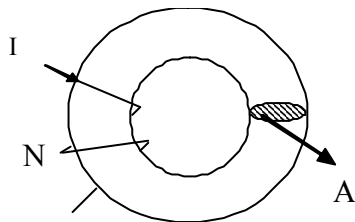
$$R = \frac{\ell \ell}{A \sigma A} = \frac{\ell}{\sigma A} \quad \text{for Electrical Circuit}$$

$$R = \frac{\ell}{\mu A} \quad \text{for Magnetic Circuit}$$

V(EMF)		F(MMF)
I	$\leftrightarrow$	Φ
R	$\leftrightarrow$	R

مثال (۱)

یک مدار مغناطیسی چنبره ای شکل مفروض است شعاع متوسط ۲۵ سانتی متر و سطح مقطع 3cm^2 می باشد تعداد دور سیم پیچ ۶۰۰ دور و جریان مستقیم عبوری از آن ۱٫۵ A می باشد. ضریب نفوذ پذیری مغناطیسی نسبی هسته ۱۵۰۰ است مطلوب است :



الف- مقاومت مغناطیسی هسته

ب - MMF و H در این مدار مغناطیسی

ج- شار و چگالی شار در هسته چنبره

حل:

$$R = \frac{\ell_{av}}{\mu A} = \frac{2\pi r_{av}}{\mu A} = \frac{2\pi(0.25)}{1500 \times 40 \times 10^{-7} \times 3 \times 10^{-4}} = 2.78 \times 10^6 \quad (At / wb)$$

$$F = NI = 600(1.5) = 900 At$$

$$H = \frac{NI}{\ell_{av}} = \frac{900}{2\pi(0.25)} = 572.96 \quad (At / wb)$$

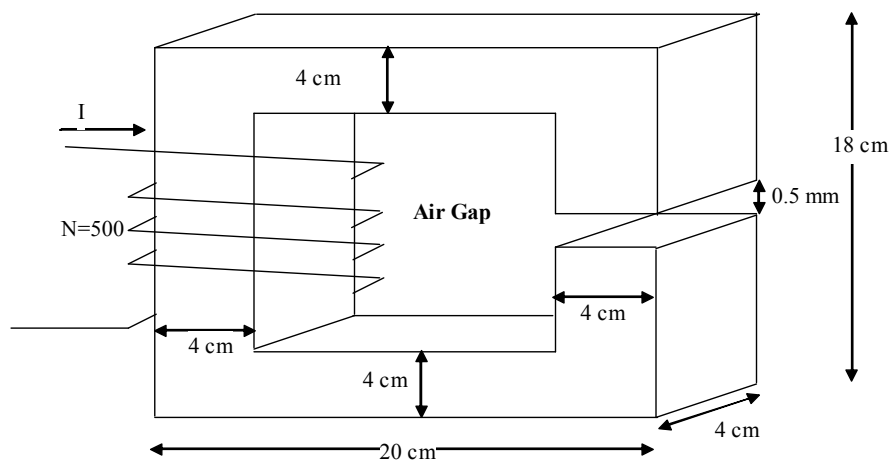
$$\phi = \frac{F}{R} = \frac{900}{2.78 \times 10^6} = 3.24 \times 10^{-4} \quad (wb)$$

$$B = \frac{\phi}{A} = \frac{3.24 \times 10^{-4}}{3 \times 10^{-4}} = 1.08 \quad (T)$$

مثال (۲)

در شکل روبرو اگر بخواهیم چگالی شاری معادل یک شاری در این سازه شکل بگیرد جریان سیم پیچی را حساب کنید.

نفوذپذیری مغناطیسی نسبی ۳۹۸۰ می باشد.



حل:

$$\ell_i = 2(16+14) + 60 \text{ cm} = 0.6 \text{ m}$$

$$\ell_g = 0.5 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$A_i = A_g = 16 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$R_g = \frac{\ell_g}{\mu_0 A_g} = \frac{0.5 \times 10^{-3}}{(4\pi \times 10^{-7})(16 \times 10^{-4})} = 248.68 \times 10^3 \text{ (At/wb)}$$

$$R_i = \frac{\ell_i}{\mu_0 \mu_r A_i} = \frac{0.6}{(4\pi \times 10^{-7})(3980)(16 \times 10^{-4})} = 74.979 \times 10^3 \text{ At/wb}$$

$$\phi = BA = (1)(16 \times 10^4) = 1.6 \times 10^{-3} \text{ wb}$$

$$F = (R_g + R_i)\phi = 5/7.85 \text{ At}$$

$$F = NI \Rightarrow I = \frac{5/7.85}{500} = 1.0357 \text{ A}$$

اثر فاصله هوایی :

دو نکته در فواصل هوایی حائز اهمیت است:

۱- مقاومت مغناطیسی (رلوکتانس) فاصله هوایی بمراتب بیشتر از مقاومت مغناطیسی در هسته آهنی می باشد.

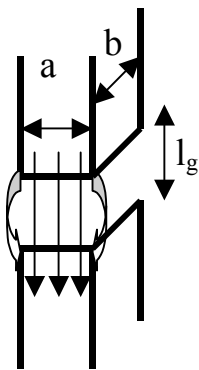
$$R_i = \frac{\ell_i}{\mu_0 \mu_r A}$$

$$R_g = \frac{\ell_g}{\mu_0 A}$$

$$R_g = R_i \frac{\mu_r}{\ell_i / \ell_g}$$

$$iF \frac{\ell_i}{\ell_g} \ll \mu_r \Rightarrow R_g / R_i \gg 1$$

۲- خطوط میدان در هنگام عبور از فواصل هوایی قدری به سمت بیرون متمایل میشوند. به این پدیده ، پدیده پراکندگی شار (Fringing Effect) گویند. برای محاسبه سطح مقطع فواصل هوایی معمولاً از رابطه زیر استفاده میشود:



$$A_g = (a + l_g) (b + l_g)$$

مدارهای مغناطیسی غیر خطی :

در صورتیکه منحنی B-H غیر خطی باشد می توان از مدار معادل برای حل مدارهای مغناطیسی استفاده کرد. با در نظر گرفتن این نکته که مقاومت ها را باید غیر خطی در نظر گرفت . در اینجا با دو نوع مسئله برخورد داریم:

- ϕ معلوم است MMF باید محاسبه گردد.
- MMF معلوم است شار یا ϕ باید محاسبه شود.

مسائل نوع اول :

در اینجا باید ۴ گام زیر را انجام دهیم.

۱- با توجه به شار ϕ و سطح مقطع هسته ، چگالی C و B را محاسبه می کنیم.

$$B = \frac{\phi}{A}$$

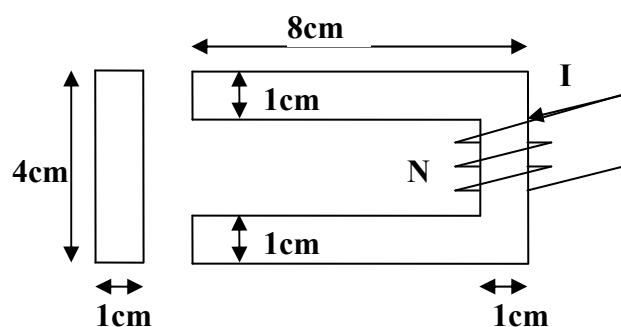
۲- از روی B بدست آمده از روی منحنی اشباع H را بدست می آوریم.

۳- MMF موردنیاز هر قسمت را بدست می آوریم

$$F_i = H_i \ell_i$$

۴- کل MMF موردنیاز را بدست می آوریم:

$$F_{total} = \sum F_i = \sum H_i \ell_i$$



مثال: مدار مغناطیسی یک رله الکترو مغناطیسی :

اگر بخواهیم شاری معادل $5C=WB$ در سازه شکل

بگیرد MMF موردنیاز را حساب کنید. جنس هسته

را فولاد ریخته گری در نظر بگیرید .

اثر پراکندگی شار را در نظر بگیرید.

$$\ell_g = 0.5mm$$

$$1Cm = \text{عمق هسته}$$

$$\ell_i = 2(3 + 7.5) + 2(0.5) = 22cm$$

$$A_i = 10^{-4} m^2$$

$$A_g = (a + \ell_q)(b + \ell_q) = (0.01 + 0.5 \times 10^{-3})^2 = 110.25 \times 10^{-6} m^2$$

$$B_g = \frac{\phi}{A_g} = \frac{50 \times 10^{-6}}{110.25 \times 10^{-6}} = 0.4535 T$$

$$H_g = \frac{B_g}{\phi \mu_0} = \frac{0.4535}{4\pi \times 10^{-7}} = 360.9 \times 10^3 \text{ At/m}$$

$$F_g = H_g \ell_g = 360.9 (At)$$

$$B_i = \frac{\phi}{A_i} = \frac{50 \times 10^{-6}}{10^{-4}} = 0.5 T \Rightarrow H_i = 350 \frac{At}{m}$$

$$F_i = H_i \ell_i = 350 (0.22) = 77 (At)$$

$$F_t = F_g + F_i = 360.9 + 77 = 437.9 (At)$$

مسائل نوع دوم:

در این حال MMF معلوم است و باید شار محاسبه گردد. شکل اصلی در اینجا آنستکه MMF را باید به m مولفه F1 - Fm طوری تقسیم کرد که شار حاصله در هر قسمت یکسان باشد. از دو روش می توان استفاده کرد.

الف- روش سعی و خطا (Trial & Error)

۱- شار مفروضی را برای هسته حدس می زنیم . در اینصورت مساله به نوع اول تبدیل می شود.

۲- MMF کل را حساب می کنیم.

۳- اگر MMF کل با MMF واقعی مطابقت داشت در اینصورت مساله به جواب رسیده در غیر اینصورت به مرحله

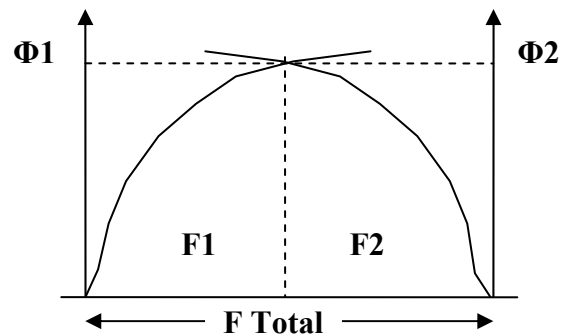
۱ می رویم و مراحل را تکرار می کنیم.

ب : روش ترسیمی : (برای سیستمهای با ۲ ماده مغناطیسی)

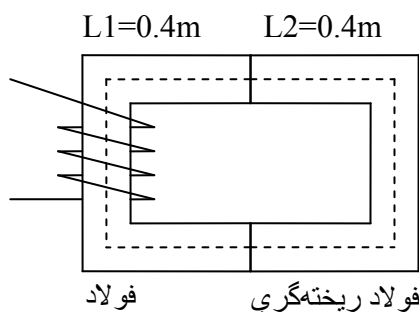
۱- ابتدا منحنیهای BH هر دوماده را به منحنیهای F- ϕ تبدیل می کنیم.

$$\phi = BA, F = H \ell$$

- اگر سطح مقطع ها یکسان بود محور B لازم نیست به محور ϕ تبدیل گردد.
 - اگر طول متوسط هسته در هر دو قسمت یکسان بود لازم نیست محور H به محور F تبدیل گردد.
 - اگر هر دو مورد برقرار بود از همان منحنی B-H استفاده کرد.
- ۲- منحنی $\phi - F$ هسته دوم را بصورت وارونه طوری کنار منحنی $\phi - F$ هسته اول قرار می دهیم که فاصله بین دو مبدا مختصات روی محور افقی به اندازه MMF کل باشد.



- ۳- محل تلاقی دو منحنی شار منتجه در مدار و MMF هر قسمت را به ما میدهد.



مثال : یک سازه مغناطیسی به صورت روبرو مفروض است :

$$\ell_1 = \ell_2 = 0.4m$$

$$A_1 = A_2 = 8 \times 10^{-4} m^2$$

چگالی شار و شدت میدان مغناطیسی را طوری بدست آورید که MMF اعمال شده به هسته 800AT شود.

$$F_{total} = F_1 + F_2 = H_1 \ell_1 + H_2 \ell_2 = (H_1 + H_2) \ell$$

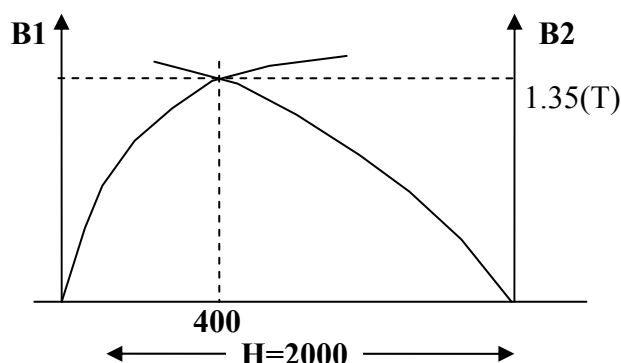
$$800 = (H_1 + H_2) 0.4 \Rightarrow H_1 + H_2 = 2000 \text{ At/m}$$

$$H_1=400$$

$$H_2=2000-400=1600$$

$$B_1=B_2=B=1.35T$$

$$\phi=B.A=10.8 \times 10^{-4}(\text{Wb})$$



شار دور و ولتاژ القاء شده :

در بخشهای قبل متغیرهای مورد نظر (جریان و شار) تغییر ناپذیر با زمان بودند. حال ببینیم اگر این متغیرها تغییر پذیر با زمان باشند چه تاثیری بر میدانهای مغناطیسی می گذارد.

بااستفاده از قانون فاراده :

تغییر میدان مغناطیسی باعث پدید آمدن ولتاژ القائی میشود. یک چنبره را در نظر می گیریم که یک سیم پیچ N دوری به دور آن پیچیده شده باشد و جریان I از آن بگذرد و شار (ϕ) حاصل گردد. هر دور از سیم پیچ کل شار را در بر می گیرد . حاصل ضرب تعداد دور سیم (N) و شار حاصل (ϕ) شار دور می شود.

یعنی :

$$\lambda = N\phi$$

$$e = \frac{d\lambda}{dt} = N \frac{d\phi}{dt} (EMF)$$

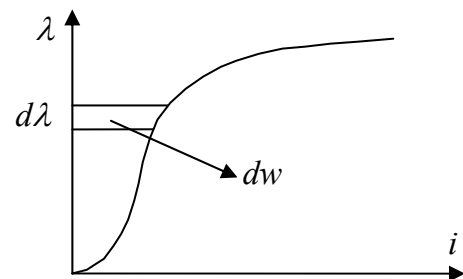
اندوکتانس :

بنا به تعریف اندوکتانس معادل یک سیم پیچ برابر است با نسبت کل شار دور به جریان یعنی :

$$L = \frac{\lambda}{i}$$

$$L = \frac{\lambda}{i} = \frac{N\phi}{i} \quad \Rightarrow L = \frac{NAB}{H\ell/N} = \frac{N^2 A B}{\ell H}$$

$$\phi = AB, H\ell = Ni$$



درسازه های مغناطیسی تک حلقه ای داریم :

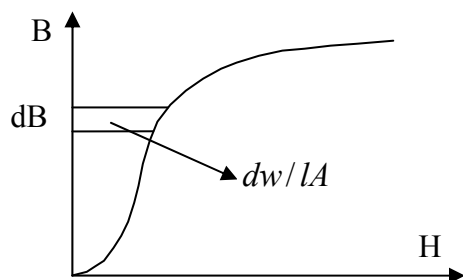
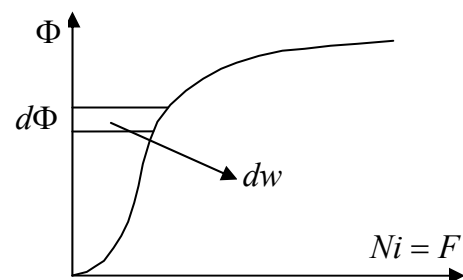
$$L = \frac{N\phi}{i} = \frac{N}{i} \cdot \frac{F}{R} = \frac{N}{i} \cdot \frac{Ni}{R} \Rightarrow L = \frac{N^2}{R}$$

$$e = \frac{d\lambda}{dt} = \frac{d}{dt}(L_i) = L \frac{di}{dt} + i \frac{dL}{dt}$$

$$p(t) = e(t)i(t) = i(t) \frac{d\lambda}{dt} \Rightarrow dw = id\lambda = Nid\phi \Rightarrow$$

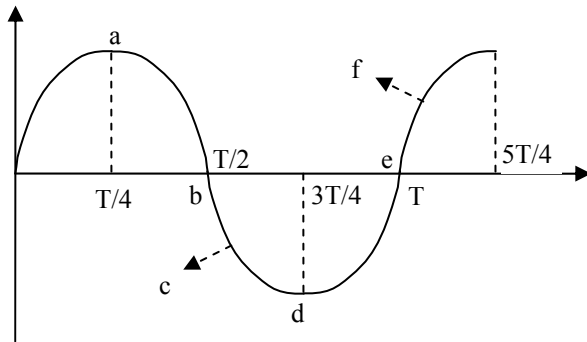
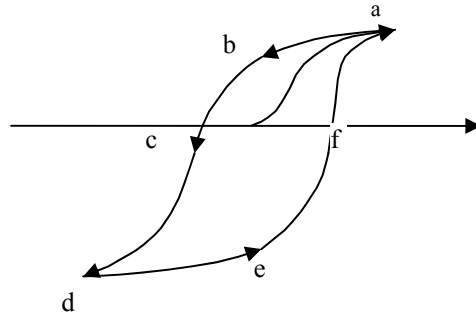
$$p(t) = \frac{dw}{dt}$$

$$\left[\begin{array}{l} Ni = H\ell \\ d\phi = AdB \end{array} \right] \Rightarrow dw = (\ell A)HdB$$



هیستریزی یا پس ماند :

فرض می کنیم به دور هسته فرو مغناطیسی سیم پیچ بسته شده باشد و از آن جریان عبور می کند . با افزایش MMF نقطه شار و B افزایش می یابد تا اینکه هسته به اشباع برود. حال اگر جریان سیم پیچی را کاهش دهیم و آنرا به صفر برسانیم در اینصورت MMF و H صفر می شوند ، ولی B صفر نخواهد شد. به عبارت ساده تر هسته خاصیت مغناطیسی خود را حفظ می کند. این خاصیت مغناطیسی را پس ماند مغناطیسی نامند .



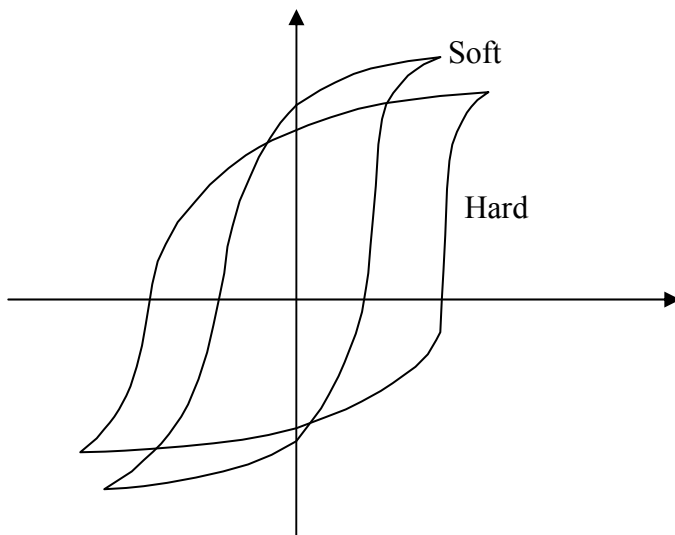
$$0 < t < \frac{T}{4} \Rightarrow 0a, i > 0, H > 0$$

$$\frac{T}{4} < t < \frac{T}{2} \Rightarrow ab, i > 0, H > 0$$

$$\frac{T}{2} < t < \frac{3T}{4} \Rightarrow bd, i < 0, H < 0$$

$$\frac{3T}{4} < t < T \Rightarrow de, i < 0, H < 0$$

$$T < t < \frac{5T}{4} \Rightarrow ea, i > 0, H > 0$$



اگر هسته را با جریان سینوس با دامنه های گوناگون تحریک کنیم به حلقه های هیستریزیس مختلفی

می رسمیم که مکان هندسی نوک این منحنی ها همان منحنی اشباع می باشد :

در مواد فرو مغناطیسی نرم نیروی ضد مغناطیسی (HC) به مراتب کمتر از این نیرو در مواد فرومغناطیسی سخت می باشد.

انرژی تلفاتی در حلقه هیستریزی :

$$dw = \nu_{core} H dB$$

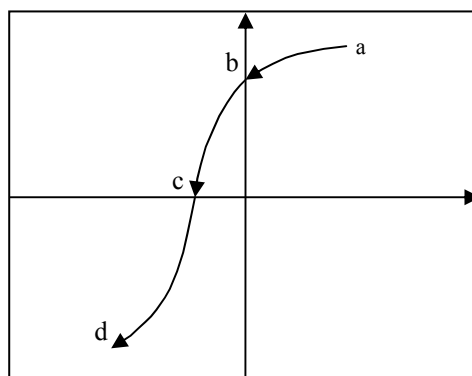
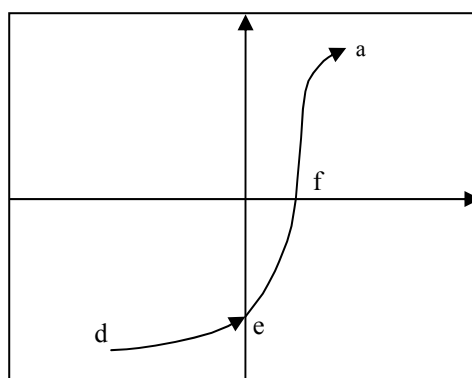
$$\frac{w}{\nu_{core}} = \int H dB$$

$$H > 0, dB < 0 \Rightarrow dw < 0$$

$$H < 0, dB < 0 \Rightarrow dw > 0$$

$$H < 0, dB > 0 \Rightarrow dw < 0$$

$$H > 0, dB > 0 \Rightarrow dw > 0$$



از جمع دو شکل فوق داریم :

$$\frac{w_{total}}{\nu_{core}} = \int H \cdot dB =$$

$$K_h (B_m)^n = \text{سطح محصور در حلقه هیستریزیس} = \text{رابطه تجربی}$$

$$1.5 < n < 2.5$$

$$P_h = K_h f (B_m)^n \left(\frac{W}{m^3} \right) = \text{توان تلفاتی}$$

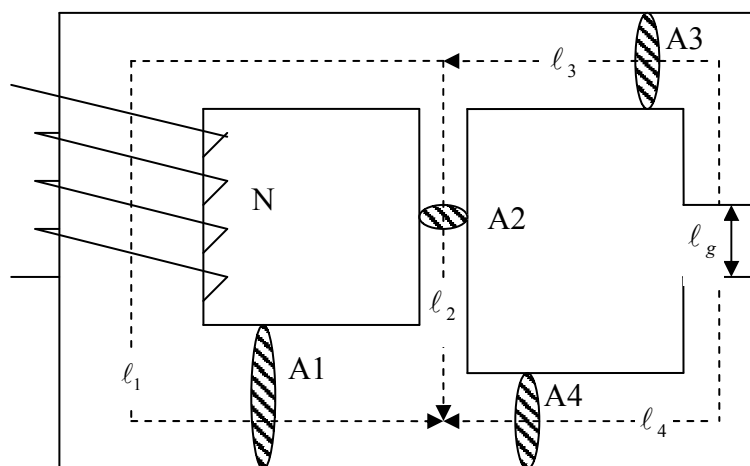
جریان های گردابی (Eddy Current) :

تغییر شار در هسته باعث ایجاد ولتاژ القایی می شود و این ولتاژ القایی شده باعث ایجاد جریان گردابی در هسته میشود که باعث توان تلفاتی و در نتیجه گرم شدن هسته می شود. برای کاهش این توان تلفاتی هسته را به ورق می سازند.

$$P_e = k_e (f B_m \cdot t)^2 \quad \frac{w}{m^2}$$

تلفات هسته :

$$P_{core} = P_h + P_e$$



۳- شار در فاصله هوایی 0.002 وبر

می باشد. اگر $N=500$ دور باشد ،

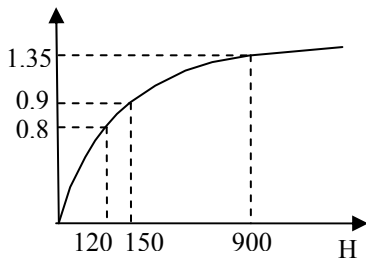
جریان I را حساب کنید.

مشروط بر آنکه :

$$l_1 = 40cm \quad l_2 = 24cm \quad l_3 = l_4 = 26cm \quad l_g = 25 \times 10^{-3}cm$$

$$A1=40cm^2 \quad A2=12cm^2 \quad A3=A4=25cm^2 \quad A_g=26cm^2$$

جنس هسته از ورق فولادی سیلیکون با منحنی مغناطیسی شونده زیر می باشد.



حل :

$$B_g = \frac{\phi_g}{A_g} = 0.769(T) \Rightarrow H_g = \frac{B_g}{\mu_0} = 612.13 \times 10^3 (At/m)$$

$$F_g = H_g \ell_g = 153.03(At)$$

$$B_3 = B_4 = \frac{\phi_3}{A_3} = \frac{\phi_g}{A_3} = 0.8T \Rightarrow H_3 = H_4 = 120(At/m)$$

$$F_3 = F_4 = H_3 \ell_3 = H_4 \ell_4 = 31.2(At)$$

$$F_2 = F_3 + F_4 + F_g = 215.43(At) \Rightarrow H_2 = \frac{F_2}{\ell_2} = 897.63(At/m)$$

$$\Rightarrow B_2 = 1.34(T) \Rightarrow \phi_2 = A_2 B_2 = 1.608 \times 10^{-3}(Wb)$$

$$\phi_1 = \phi_2 + \phi_3 = 3.608 \times 10^{-3}(Wb)$$

$$B_1 = \frac{\phi_1}{A_1} = 0.902T \Rightarrow H_1 = 150(At/m)$$

$$F_1 = H_1 \ell_1 = 60(At) \Rightarrow F_{total} = F_1 + F_2 = 275.43(Pt) \Rightarrow I = \frac{F_{total}}{N} = 0.55$$

مسائل فرعی ماشین :

۱- رابطه شار دور در یک سیم پیچ با جریان عبوری از آن به قرار زیر است :

$$\lambda = 1 - 0.5e^{-1.25i}$$

اگر جریان ۸,۰ آمپر باشد . انرژی ذخیره شده را حساب کنید :

$$dw = id\lambda = i(-0.5 \times 1.25e^{-1.25i})di$$

$$W = -0.5 \times 1.25 \int i e^{-1.25i} di$$

$$\int x e^{ax} dx = \frac{x}{a} e^{ax} - \frac{1}{a^2} e^{ax}$$

۲- در یک ترانسفورماتور داریم :

$$500W = \text{تلفات جریان گردابی در هسته}$$

$$600W = \text{تلفات هیستریزس در هسته}$$

این تلفات تحت فرکانس 60Hz رخ داده است . اگر این ترانس به شبکه ای با فرکانس 50Hz وصل گردد و بدانیم که چگالی شار ۱۰٪ افزایش یافته تلفات هسته را حساب کنید؟

$$P_e = K_e f^2 B_m^2 (W/m^2)$$

$$\frac{P_{e1}}{P_{e2}} = \frac{F_1^2}{F_2^2} \frac{B_{m1}^2}{B_{m2}^2} \Rightarrow \frac{500}{P_{e2}} = \frac{60^2}{50^2} \cdot \frac{B_{m1}^2}{(1.1)^2 B_{m1}^2} \Rightarrow P_{e2} = 504$$

$$P_h = K_h f B_m^2 (W/m^3)$$

$$\frac{P_{h1}}{P_{h2}} = \frac{f_1}{f_2} \frac{B_{m1}^2}{(1.1)^2 B_{m1}^2} \Rightarrow \frac{600}{P_{h2}} = \frac{60^2}{50^2} \cdot \frac{1}{(1.1)^2} \Rightarrow P_{h2} = 504$$

$$P_{core} = P_{e2} + P_{h2}$$

فصل دوم تبدیل انرژی الکترومکانیکی

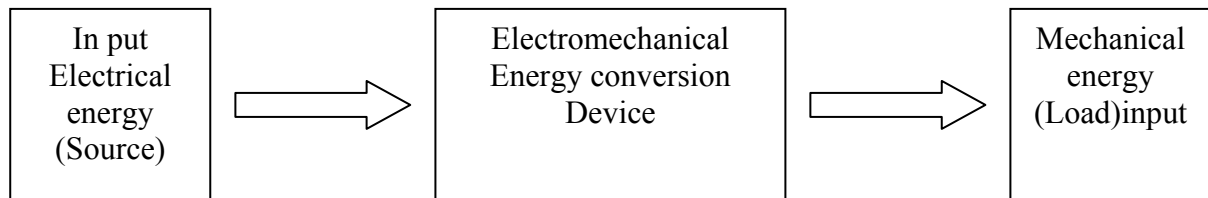
مبدل‌های انرژی الکترومکانیکی :

موتورها : انرژی الکتریکی ← انرژی مکانیکی (قسمت متحرک ، حرکت دورانی)

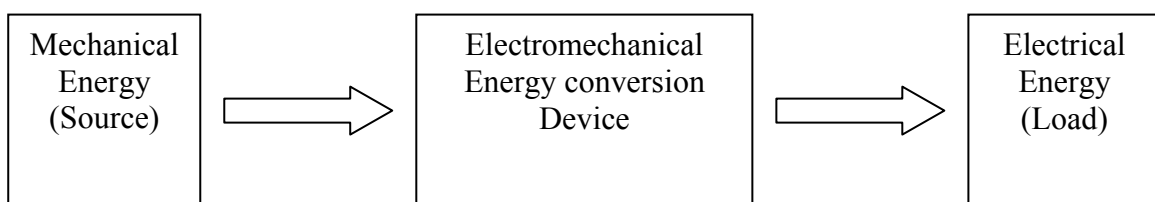
ژنراتورها : انرژی مکانیکی ← انرژی الکتریکی (قسمت متحرک ، حرکت دورانی)

رله ها : انرژی الکتریکی ← انرژی مکانیکی (قسمت متحرک، انتقالی یا خطی)

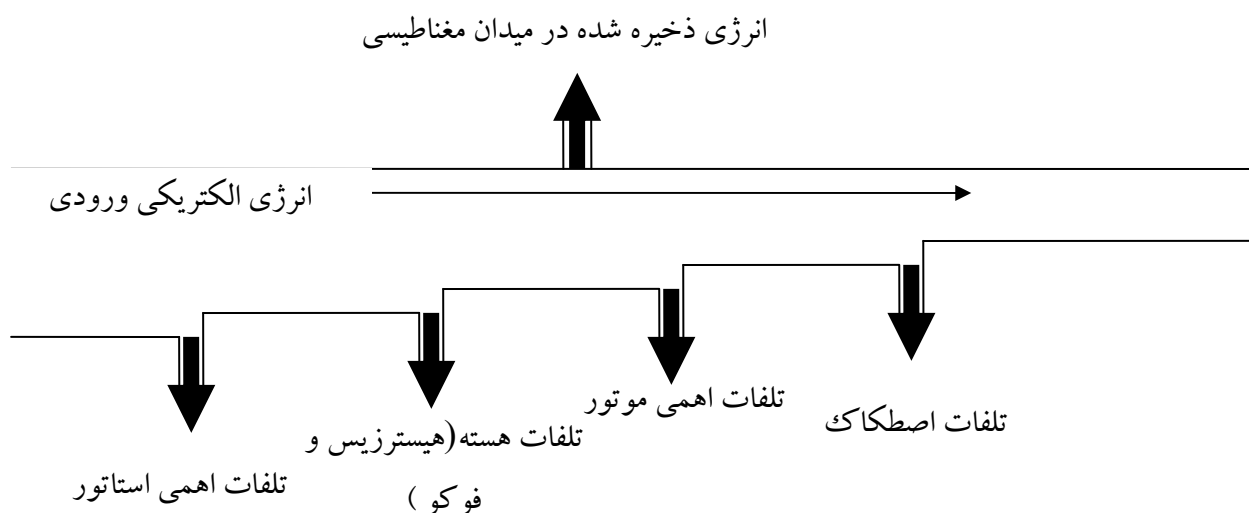
بلوک دیاگرام موتور :



بلوک دیاگرام ژنراتور :



پخش انرژی:



فرض می کنیم در انرژی الکتریکی ورودی به موتور افزایش جزئی dwe حاصل گردد.

بنابراین سه مولفه زیر در رابطه با آن شکل می گیرند :

۱- dw_{fld} که همان تغییر جزئی انرژی ذخیره شده در میدان مغناطیسی است.

۲- dw_{loss} نشان دهنده افزایش جزئی تلفات درون دستگاه است.

۳- dw_{mech} سومین مولفه بوده که نشان دهنده افزایش جزئی انرژی مکانیکی می باشد.

تلفات مکانیکی + تلفات هسته + تلفات اهمی موتور + تلفات اهمی استاتور = کل تلفات

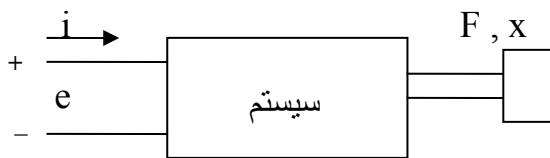
$$Dwe = dw_{fld} + dw_{loss} + dw_{mech}$$

دو دستگاه مبدل انرژی الکتریکی به مکانیکی را در نظر می گیریم (یکی حرکت دورانی و دیگری حرکت خطی)

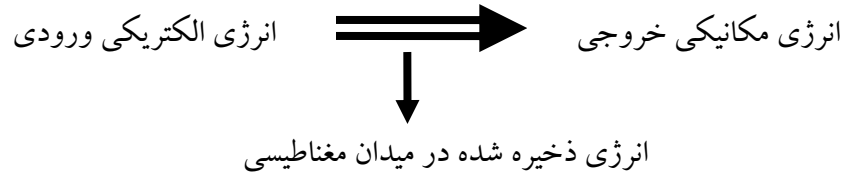


در حرکت دورانی: سرعت دوران (W) و گشتاور (T)

در حرکت خطی: تغییر مکان (X) و نیرو (F)



هر دوسیستم را برای سادگی کار بدون تلفات در نظر می گیریم.



$$dwe = dw_{fld} + dw_{mech}$$

در هر دستگاه داریم :

$$Pe(t) = e(t)i(t)$$

طبق قانون فاراده :

$$e(t) = \frac{d\lambda}{dt}$$

$$Pe(t)dt = i(t)d\lambda \Rightarrow dwe = id\lambda$$

$$dwe = dw_{fld} + dw_{mech}$$

$$dw_{mech} = F_{fld} dx$$

در سیستم حرکت انتقالی یا خطی :

$$w_{mech} = T_{fld} d\theta$$

در سیستم حرکت دورانی :

$$dw_{fld} = dwe - dw_{mech} = id\lambda - F_{fld} dx$$

در سیستم حرکت خطی :

$$dw_{fld} = id\lambda - T_{fld} d\theta$$

در سیستم حرکت دورانی :

از روابط فوق در می یابیم که انرژی ذخیره شده در میدان مغناطیسی (W_{fld}) تابع x, i, λ یا θ, i, λ می باشد اما i, λ خود دارای (رابطه منحنی مشخصه $\lambda - i$) می باشد ، پس W_{fld} تابع x, λ یا x, i یا θ, λ یا θ, i می باشد.

$$W_{fld} = wf(\lambda, x)$$

$$dwf(\lambda, x) = \frac{\partial wf}{\partial \lambda} d\lambda + \frac{\partial wf}{\partial x} dx$$

$$i = \frac{\partial wf(\lambda, x)}{\partial \lambda}$$

$$F_{fld} = - \frac{\partial wf(\lambda, x)}{\partial x}$$

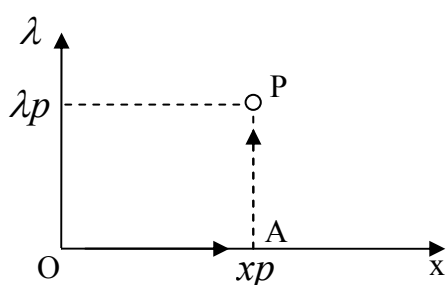
$$T_{fld} = \frac{-\partial wf(\lambda, \theta)}{\partial \theta}$$

به همین ترتیب برای حرکت دورانی .

انرژی میدان مغناطیسی:

$$dw_f = id\lambda - F_{fld} dx$$

چون سیستم را بدون تلفات در نظر گرفته ایم مسیر انتگرال گیری تاثیری بر جواب نهائی ندارد.



$$Wf(\lambda_p, xp) = \int_O^A dwf + \int_A^P dwf$$

در مسیر OA تعداد λ صفر بوده و همچنین $d\lambda = 0$. همچنین چون $\lambda = 0$ پس $F_{fld} = 0$

$$wf(\lambda_p, \lambda_p) = \int_A^P dwf = \int_A^P (id\lambda - F_{fld} dx) = \int_A^P id\lambda$$

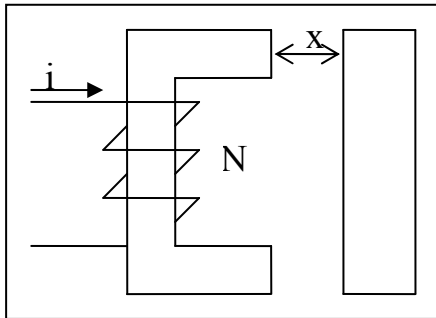
$$wf(\lambda_p, xp) = \int_0^{\lambda_p} i(\lambda, xp) d\lambda$$

اگر مشخصه $i - \lambda$ خطی باشد داریم :

$$\lambda = Li$$

$$Wf(\lambda_p, xp) \int_0^{\lambda_p} i(\lambda, xp) d\lambda = \frac{1}{L} \int_0^{\lambda_p} \lambda d\lambda = \frac{\lambda_p^2}{2L}$$

مبدل الکترو مکانیکی :



مثال (۱)

انرژی الکتریکی ← انرژی مکانیکی

اگر ولتاژ اعمال شده به سیم پیچ به قرار زیر باشد ،

رابطه ای برای نیروی حاصله توسط میدان بدست آورید.

حل :

$$E(t) = E_m \cos \omega t$$

$$R = R_c + 2R_g = R_c + \frac{2x}{\mu_0 A}$$

$$L = \frac{N^2}{R} \quad \text{بنا به تعریف داریم}$$

$$wf(\lambda, x) = \frac{\lambda^2}{2L} = \frac{\lambda^2 R}{2N^2} = \frac{\lambda^2}{2N^2} \left(R_c + \frac{2x}{\mu_0 A} \right)$$

$$F_{fld} = \frac{-\partial wf}{\partial x} = \frac{-\lambda^2}{N^2 \mu_0 A}$$

$$e(t) = \frac{d\lambda}{dt} \Rightarrow \lambda = \int e(t) dt$$

$$\lambda = \int E_m \cos \omega t dt = \frac{E_m}{\omega} \sin \omega t$$

$$\Rightarrow F_{fld} = \frac{-E_m^2}{\omega^2} \sin^2 \omega t \times \frac{1}{N^2 \mu_0 A}$$

شبه انرژی : در مباحث قبل x, λ را متغیرهای اصلی در نظر گرفتیم . حال اگر x, i را متغیرهای اصلی قراردهیم

روابط به چه صورت درمی آید؟

$$\lambda = \lambda(i, x)$$

$$d\lambda(i, x) = \frac{\partial \lambda}{\partial i} di + \frac{\partial \lambda}{\partial x} dx$$

$$dw_{fld} = i d\lambda - F_{fld} dx$$

$$dw_{fld} = i \left(\frac{\partial \lambda}{\partial i} di + \frac{\partial \lambda}{\partial x} dx \right) - F_{fld} dx$$

$$= i \frac{\partial \lambda}{\partial i} di + \left(i \frac{\partial \lambda}{\partial x} - F_{fld} \right) dx$$

از طرفی داریم:

$$dw_{fld} = \frac{\partial wf}{\partial i} di + \frac{\partial wf}{\partial x} dx$$

با مقایسه در رابطه فوق داریم:

$$\frac{\partial wf}{\partial i} = i \frac{\partial \lambda}{\partial i}$$

$$\frac{\partial wf}{\partial x} = i \frac{\partial \lambda}{\partial x} - F_{fld} = i \frac{\partial \lambda}{\partial x} - \frac{\partial wf}{\partial x}$$

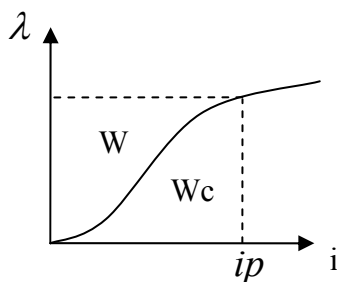
$$F_{fld} = \frac{\partial}{\partial x} (i\lambda - wf)$$

$$Wc(i, x) = i\lambda(i, x) - wf(i, \lambda)$$

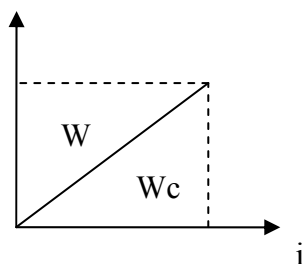
$$\Rightarrow F_{fld} = \frac{\partial Wc}{\partial x}(i, x)$$

$$Tfld = \frac{\partial Wc(i, \theta)}{\partial \theta}$$

$$Wc(i_p, x_p) = \int_0^{i_p} \lambda(i, x_p) di$$



برای سیستمهای دوار داریم :



اگر مشخصه خطی باشد داریم :

$$Wc(i_p, x_p) \int_0^{i_p} L_i di = \frac{1}{2} Li_p^2$$

مثال ۲)

سازه مغناطیسی مثال ۱ را در نظر بگیرید. نیروی حاصله توسط میدان را برحسب جریان بدست آورید.

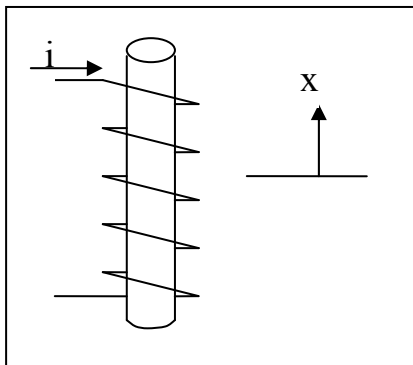
$$wc = \frac{1}{2} L(x) i^2$$

$$L = \frac{N^2}{R} = \frac{N^2}{Rc + \frac{2x}{\mu_0 A}}$$

$$W_c = \frac{N^2 i^2}{2} \cdot \frac{1}{Rc + \frac{2x}{\mu_0 A}} \Rightarrow N i = \phi R$$

$$F_{fld} = \frac{\partial wc}{\partial x} = -\frac{N^2 i^2}{\mu_0 A} \left(\frac{1}{Rc + \frac{2x}{\mu_0 A}} \right)^2 = \frac{\phi^2 R^2}{\mu_0 A R^2} = \frac{-\phi^2}{\mu_0 A}$$

$$\lambda = N\phi \Rightarrow \phi = \frac{\lambda}{N} \Rightarrow F_{fld} = \frac{-\lambda^2}{N^2 \mu_0 A}$$



مثال ۳)

در شکل روبرو اندکتانس از رابطه زیر بدست می آید :

$$L(x) = \frac{L_0}{1 + \alpha x^2}$$

L_0 و d اعداد ثابت . وضعیت $X=0$ مربوط به حالتی است که سیم

پیچ در وسط هسته قرارداشته باشد. رابطه ای برای نیرو برحسب جریان I و جابجائی X بدست آورید مشروط بر

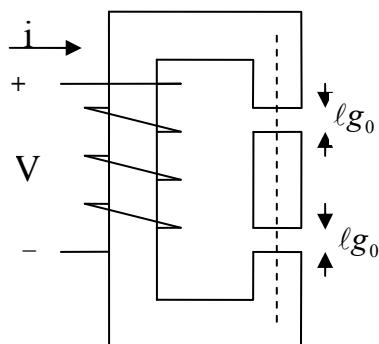
$$\text{آنکه } e(t) = Em \cos \omega_s t$$

حل :

$$W_c = \frac{1}{2} Li^2$$

$$F_{fld} = \frac{\partial wc}{\partial x} = \frac{1}{2} i^2 \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{L_0}{1 + \alpha x^2} \right) = \frac{-L_0}{2} i^2 \frac{2\alpha x}{(1 + \alpha x^2)^2}$$

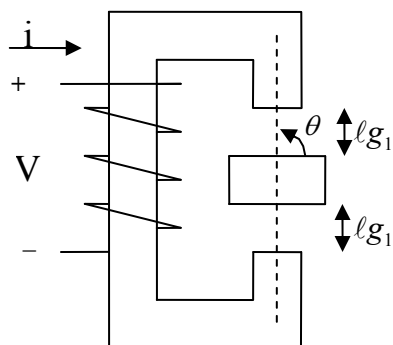
$$= \frac{-L_0 i^2 \alpha x}{(1 + \alpha x^2)^2}$$



موتورهای رلوكتانسى :

$$R_0 = \frac{2\ell g_0}{\mu_0 A_0}$$

داريم : $\theta = 0$



$$R_1 = \frac{2\ell g_1}{\mu_0 A_1}$$

داريم : $\theta = \frac{\pi}{2}$

$$\frac{\ell g_1}{A_1} > \frac{\ell g_0}{A_0} \Rightarrow R_1 > R_0$$

$$L = \frac{N^2}{R}$$

چون R تابعى از θ مى باشد پس L نيز تابعى از θ خواهد بود.

$$\theta = 0, \pi, 2\pi, \dots \Rightarrow R = \min \Rightarrow L = \max$$

$$\theta = \pi/2, 3\pi/2, \dots \Rightarrow R = \max \Rightarrow L = \min$$

$$L(0) = L(\pi) = L_{\max}$$

$$L(\frac{\pi}{2}) = L(\frac{3\pi}{2}) = L_{\min}$$

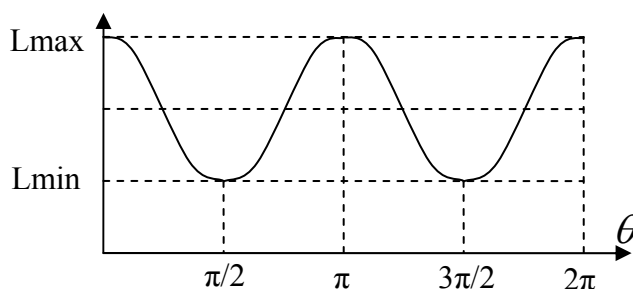
فرض می کنیم تغییرات اندوکتانس L بقرار زیر باشد :

$$L(\theta) = a + b \cos 2\theta$$

$$\theta = 0 \Rightarrow L = a + b = L_{\max}$$

$$\theta = \frac{\pi}{2} \Rightarrow L = a - b = L_{\min}$$

$$\Rightarrow L = \frac{1}{2}[(L_{\max} + L_{\min}) + (L_{\max} - L_{\min}) \cos 2\theta]$$



البته تغییرات سینوسی تقریبی از تغییرات واقعی است و طراحی شکل قطبها براساس آن است که هرچه بیشتر به تغییرات سینوسی نزدیک می شویم شبه انرژی در این سیستم بصورت زیر است :

$$wc = \frac{1}{2} Li^2$$

$$T_{fld} = \frac{\partial wc}{\partial \theta} = \frac{1}{2} i^2 \frac{\partial L}{\partial \theta} = i^2 (L_{\min} - L_{\max}) \sin 2\theta$$

$$\Delta L = L_{\max} - L_{\min}$$

$$T_{fld} = -i^2 \Delta L \sin 2\theta$$

پس اگر $\Delta L = 0$ گشتاوری حاصل نمیشود و این مربوط به حالتی است که روتور استوانه یا گرد باشد و فاصله هوایی یکنواخت باشد در صورتیکه روتور گرد نباشد دیگر $L_{\max} \neq L_{\min}$ و گشتاور حاصل میشود که به آن گشتاور رلوکتانس گویند.

گیریم روتور با سرعت زاویه ای ω_r بچرخد پس :

$$\theta = \omega_r t + \theta_0 \quad \text{وضعیت روتر در لحظه } t = 0$$

اگر جریان سیم پیچ را بصورت سینوسی در نظر گیریم:

$$i(t) = I_m \cos \omega_s t$$

گشتاور حاصله توسط میدان به قرار زیر می باشد :

$$\begin{aligned}
T_{fld} &= \frac{1}{2} \Delta L I_m^2 \cos^2 \omega_s t \sin[2(\omega_r t + \theta_0)] \\
&= \frac{-\Delta L I_m^2}{2} (1 + \cos 2\omega_s t) \sin[2(\omega_r t + \theta_0)] \\
2 \cos \alpha \cos \beta &= \sin(\alpha + \beta) - \sin(\alpha - \beta) \\
\Rightarrow T_{fld} &= \frac{-\Delta L I_m^2}{2} (\sin[2(\omega_r t + \theta_0)] + \frac{1}{2} \sin\{2[(\omega_r + \omega_s)t + \theta_0]\} \\
&\quad - \frac{1}{2} \sin\{2[(\omega_s - \omega_r)t + \theta_0]\})
\end{aligned}$$

رابطه فوق از سه جمله سینوسی تشکیل شده که متوسط آنها صفر است. اما اگر $|\omega_s| = |\omega_r|$ باشد، جمله دوم یا جمله سوم باقی می ماند :

$$T_{ar} = \frac{-\Delta L I_m^2}{4} \sin 2\theta_0$$

پس اگر شرط $|\omega_s| = |\omega_r|$ برقرار باشد گشتاور در هر دو جهت چرخشی (CW) یا (ecw) شود و این اساس کار موتورهای پله ای (Stepper Motor) می باشد.

موتورهای پله ای :

وسیله ای است که می تواند محور را تحت یک زاویه به چرخش در آورد و وضعیت محور را در قبال گشتاور اعمال شده ثابت نگه دارد. موتور پله ای توسط سیگنالهای دیجیتالی کنترل می شوند و این سیگنالها پالسهای جریان را به سیم پیچ استاتور موتور اعمال میکنند. استاتور اینگونه موتورها سه تکه ای است که قطبهای هر قسمت نسبت به یکدیگر ۱۵ درجه اختلاف زاویه ای دارند. اگر قسمت a را تحریک کنیم :

$$T_a = \frac{1}{2} i_a^2 \frac{dL_a}{d\theta}$$

L_a موقعی ماکزیمم است که قطبهای روتور در امتداد قطبهای استاتور قرارگیرد. با فرض

$$L_a = L_0 + L_m \cos 8\theta$$

$$T_a = -4i_a^2 L_m \sin 8\theta$$

داریم :

به همین ترتیب برای قسمت های B و C داریم :

$$L_b = L_0 + L_m \cos 8(\theta - 15)$$

$$L_c = L_0 + L_m \cos 8(\theta - 30)$$

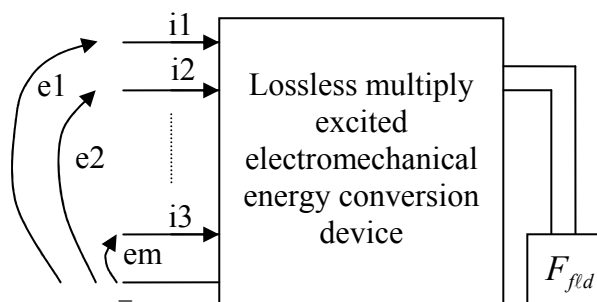
$$T_b = -4i_b^2 L_m \sin 8(\theta - 15^\circ)$$

$$T_c = -4i_b^2 L_m \sin 8(\theta - 30^\circ)$$

پس اگر I تکه A را برق دار کنیم گشتاور باعث چرخش روتور بمیزان θ در جهت خلاف عقربه ساعت می گردد .
اگر i_a را صفر کنیم و i_b را در تکه B برقرار کنیم ، روتور در خلاف عقربه ساعت ۱۵ درجه می چرخد . اگر این عملیات را تکرار کنیم و پالسهای جریان را با توالی A-B-C برقرار سازیم، چرخشهای دیگری در جهت خلاف عقربه های ساعت خواهیم داشت. اگر دو تکه را با هم برق دار کنیم گشتاور تولید شده بزرگتر خواهد شد :

$$\begin{aligned} \tau_{ab} &= \tau_a + \tau_b = -4i^2 - L_m [\sin 8\theta + \sin 8(\theta - 15)] \\ &= -8i^2 L_m \sin 8(\theta - 7.5) \cos 60 \\ &= -4\sqrt{3}i^2 L_m \sin 8(\theta - 7.5^\circ) \end{aligned}$$

پس مقدار گردش در این حالت 7.5° میشود . امروزه موتورهای پله ای ۱۵ و ۷٫۵ و ۵ و ۲٫۵ و ۲ درجه ای ساخته شده اند.



سیستمهای چند تحریکه :

اگر سیستمی حاوی بیش از یک سیم پیچ تحریک باشد به آن سیستم چند تحریکه گفته میشود.

$$dwe = i_1 d\lambda_1 + i_2 d\lambda_2 + \dots + i_m d\lambda_m = \sum_{j=1}^m i_j d\lambda_j$$

$$dw_{mech} = F_{fld} . dx$$

$$dwF_{fld} = dwe - dw_{mech} = \sum_{j=1}^m i_j d\lambda_j - F_{fld} dx$$

$$w_f = w_f(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m, x)$$

W_F تابعی از $\lambda_1, \dots, \lambda_m$ و x می باشد :

$$dwf = \frac{\partial wf}{\partial \lambda_1} d\lambda_1 + \frac{\partial wf}{\partial \lambda_2} d\lambda_2 + \dots + \frac{\partial wf}{\partial \lambda_m} d\lambda_m + \frac{\partial wf}{\partial x} dx$$

با مقایسه در رابطه فوق داریم :

$$F_{fld} = \frac{-\partial w_f(\lambda_1, \dots, \lambda_m, x)}{\partial x}$$

$$i_j = \frac{\partial w_f(\lambda_1, \dots, \lambda_m, x)}{\partial \lambda_j} \quad \text{for } j = 1 \dots m$$

با استفاده از کوانرژی نیز داریم :

$$F_{fld} = \frac{+\partial w_c(i_1, i_2, \dots, i_m, x)}{\partial x}$$

در سیستمهای دوار نیز داریم :

$$T_{fld} = \frac{-\partial wf(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m, \theta)}{\partial \theta}$$

$$T_{fld} = \frac{+\partial wc(i_1, i_2, \dots, i_m, \theta)}{\partial \theta}$$

حال رابطه انرژی ذخیره شده در میدان را برای یک وضعیت مشخص P در نظر می گیریم :

$$w_f(\lambda_{1p}, \lambda_{2p}, \dots, \lambda_{mp}, x_p) = \int_0^{\lambda_{1p}} i_1 d\lambda_1 + \int_0^{\lambda_{2p}} i_2 d\lambda_2 + \dots + \int_0^{\lambda_{mp}} i_m d\lambda_m$$

$$w_c(i_{1p}, i_{2p}, \dots, i_{mp}, x_p) = \int_0^{i_{1p}} \lambda_1 di_1 + \int_0^{i_{2p}} \lambda_2 di_2 + \dots + \int_0^{i_{mp}} \lambda_m di_m$$

فرض می کنیم سیستم m تحرکه باشد :

روابط زیر را بر حسب اندوکتانس می نویسیم :

$$\begin{aligned}\lambda_1 &= L_{11}i_1 + L_{12}i_2 + L_{13}i_3 + \dots + L_{1m}i_m \\ \lambda_2 &= L_{21}i_1 + L_{22}i_2 + L_{23}i_3 + \dots + L_{2m}i_m \\ \lambda_3 &= L_{31}i_1 + L_{32}i_2 + L_{33}i_3 + \dots + L_{3m}i_m \\ \lambda_p &= \begin{pmatrix} \lambda_{1p} \\ \lambda_{2p} \\ \vdots \\ \lambda_{mp} \end{pmatrix} I_p = \begin{pmatrix} i_{1p} \\ i_{2p} \\ \vdots \\ i_{mp} \end{pmatrix}\end{aligned}$$

$$L = \begin{pmatrix} L_{11}; L_{12}; L_{13}; \dots \\ L_{21}; L_{22}; L_{23}; \dots \\ L_{31}; L_{32}; L_{33}; \dots \\ \vdots \\ \dots L_{mm} \end{pmatrix}$$

$$w_c(I_p, x_p) = \frac{1}{2} I_p^t L I_p$$

$$w_f(\lambda_p, x_p) = \frac{1}{2} I_p^t L I_p$$

$$T = \frac{1}{2} i^t \frac{\partial L}{\partial \theta} i$$

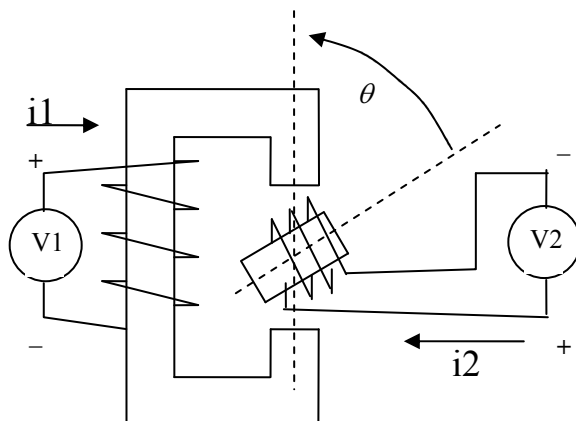
$$F = \frac{1}{2} i^t \frac{\partial L}{\partial x} i$$

$$v = \frac{d}{dt}(Li) = \frac{dL}{dt}i + L \frac{di}{dt}$$

سیستمهای دو تحرکه :

L11 و L22 : اندوکتانسهای خودی

M : اندوکتانس متقابل



$$\lambda_1 = L_{11}(\theta)i_1 + M(\theta)i_2$$

$$\lambda_2 = M(\theta)i_1 + L_{22}(\theta)i_2$$

$$L_{11}(\theta) = \left. \frac{\lambda_1}{i_1} \right|_{i_2=0}$$

$$L_{22}(\theta) = \left. \frac{\lambda_2}{i_2} \right|_{i_1=0}$$

$$L_1 = \frac{1}{2}(L_{\max} + L_{\min})$$

$$\Delta L_1 = \frac{1}{2}(L_{\max} - L_{\min})$$

$$M(\theta) \left. \frac{\lambda_1}{i_2} \right|_{i_1=0} = \left. \frac{\lambda_2}{i_1} \right|_{i_2=0}$$

$$L_{11}(\theta) = L_1 + \Delta L_1 \cos 2\theta$$

$$L_{22}(\theta) = L_2 + \Delta L_2 \cos 2\theta$$

$$M(\theta) = M_0 \cos \theta$$

$$wc = \frac{1}{2}L_{11}i_1^2 + mi_1i_2 + \frac{1}{2}L_{22}i_2^2$$

$$T_{fld} = \frac{\partial wc}{\partial \theta} = \frac{1}{2}i_1^2 \frac{\partial L_{11}}{\partial \theta} + i_1i_2 \frac{\partial M}{\partial \theta} + \frac{1}{2}i_2^2 \frac{\partial L_{22}}{\partial \theta}$$

مثال : در شکل قبل فرض می کنیم روتور سیم بندی ندارد . به عبارت دیگر یک موتور رلوکتانسی داریم.

در این سیستم داریم :

$$L_{ss} = L_0 + L_2 \cos 2\theta$$

جریان استاتور نیز بصورت زیر است :

$$I_s = I_{sm} \sin \omega t$$

الف) گشتاور اعمال شده بر روتور را بیابید.

ب) گیریم $\theta = \omega_m t + \delta$ شرایطی را بیابید که گشتاور متوسط صفر نباشد و آن را مشخص کنید.

حل :

(الف)

$$\begin{aligned}
 i_r = 0 &\Rightarrow T = \frac{1}{2} i_s^2 \frac{\partial L_{ss}}{\partial \theta} \\
 T &= \frac{1}{2} I_s m^2 \sin^2 \omega t \frac{d}{d\theta} (L_0 + L_2 \cos 2\theta) \\
 &= -I_s m^2 L_2 \sin 2\theta \sin^2 \omega t (Nm) \\
 T &= -I_s m^2 L_2 \sin 2(\omega_m t + \delta) \left(\frac{1 - \cos 2\omega t}{2} \right) \\
 &= \frac{-1}{2} I_s^2 m L_2 \left[\sin 2(\omega m t + \delta) + \frac{1}{2} \sin 2\{(\omega m + \omega)t + \delta\} - \frac{1}{2} \sin 2\{(\omega m - \omega)t + \delta\} \right]
 \end{aligned}$$

(ب)

در عبارت فوق با سه جمله سینوسی مواجه هستیم و متوسط هر کدام از آنها صفر است. برای آنکه متوسط گشتاور صفر نباشد، باید ضریب t در یکی از جملات سینوسی صفر باشد پس:

$$1) \omega_m = 0 \Rightarrow T_{avg} = -\frac{1}{2} I_s^2 m L_2 \sin 2\delta$$

$$2) \omega_m = \pm \omega \Rightarrow T_{avg} = \frac{1}{4} I_s^2 m L_2 \sin 2\delta$$

ماشینهای الکتریکی دوار با روتور استوانه ای :

در این ماشینها مقاومت مغناطیسی مسیر به وضعیت مکانی روتور θ بستگی ندارد. در اینجا L_{sr} و L_{ss} ثابت بوده و تابعی از θ میباشد.

$$\begin{aligned}
 T &= i_s i_r \frac{dL_{sr}}{d\theta} \\
 L_{sr} &= M \cos \theta \\
 i_s &= I_{sm} \cos \omega_s t \\
 i_r &= I_{rm} \cos(\omega_r t + \alpha)
 \end{aligned}$$

وضعیت روتور در هر لحظه به قرار زیر است :

$$\begin{aligned}
\theta &= \omega_m t + \delta \\
T &= -I_{sm} I_{rm} M \cos \omega_s t \cos(\omega_r t + \alpha) \sin(\omega_m t + \delta) \\
&= \frac{-I_{sm} I_{rm} M}{4} [\sin\{(\omega_m + (\omega_s + \omega_r))t + \alpha + \delta\} \\
&\quad + \sin\{(\omega_m - (\omega_s + \omega_r))t - \alpha + \delta\} \\
&\quad + \sin\{(\omega_m + (\omega_s - \omega_r))t - \alpha + \delta\} \\
&\quad + \sin\{(\omega_m - (\omega_s - \omega_r))t + \alpha + \delta\}]
\end{aligned}$$

شرط برقراری گشتاور متوسط :

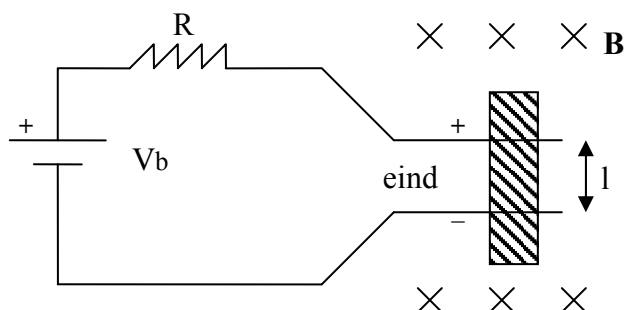
$$\omega_m = \pm(\omega_s \pm \omega_r)$$

فصل سوم : اصول ماشینهای جریان مستقیم DC

ماشینهای DC شبیه ماشینهای AC می باشند ، بدین صورت که در داخل هادیهای آنها ولتاژ و جریان AC تولید میشود و بخاطر عمل کموتاسیون این ولتاژ و جریان در خروجی بصورت DC ظاهر می شوند.

ماشینهای خطی :

یک ماشین خطی DC ساده ترین و راحتترین مدل یک ماشین dc برای فهم می باشد . یک نمونه از ماشین خطی dc در زیر نمایش داده شده است :



اگر از سیم جریان I عبور کند نیرویی بر آن وارد می شود : (موتوری)

۱- نیروی وارده بر میله در حضور میدان مغناطیسی B بصورت زیر است :

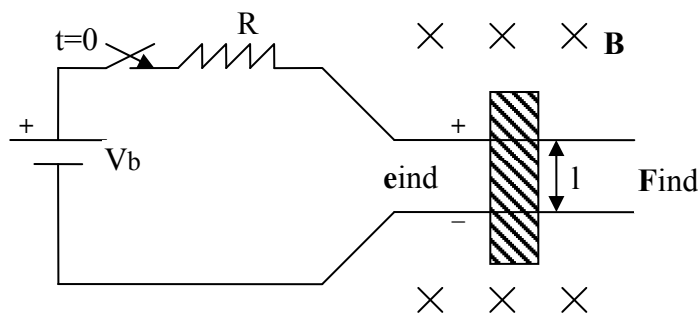
$$\vec{F} = i(\vec{\ell} \times \vec{B}) = i\ell B$$

اگر سیم را از داخل میدان B حرکت دهیم ولتاژی در آن القا میشود : (ژنراتوری)

۲- ولتاژ القاء شده در یک سیم متحرک در میدان مغناطیسی بصورت زیر است :

$$eind = (v \times B)\ell = vB\ell$$

راه اندازی ماشین DC خطی :



با بسته شدن مدار جریان در مدار جاری میشود.

$$i = \frac{v_B - eind}{R}$$

در لحظه اول که میله حرکت ندارد $eind = 0$ پس $i = \frac{v_B}{R}$. این جریان در میله جاری میشود و در حضور میدان

B نیرویی بر آن وارد شده و شروع به حرکت می کند. با حرکت میله $eind$ شروع به افزایش کرده پس جریان i شروع به کاهش می کند.

$$Find = i\ell B$$

$$eind = v_B \ell$$

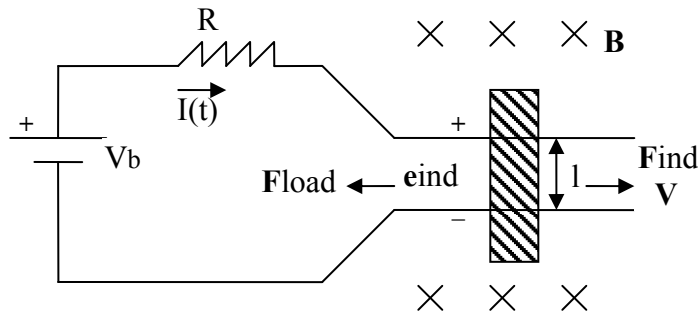
$$i \downarrow = \frac{v_B - eind \uparrow}{R}$$

این روند ادامه می یابد تا اینکه $v_B = eind$ در نتیجه $I = 0$ پس هیچ نیرویی بر میله وارد نمیشود پس حرکت میله یکنواخت میگردد.

$$v_B = eind \Rightarrow i = 0 \Rightarrow F = 0 \Rightarrow a = 0 \Rightarrow v = v_{ss}$$

$$v_{ss} = \frac{v_B}{B\ell}$$

حالت موتوری ماشین DC خطی :



فرض ابتدا بدون بار ماشین راه اندازی شده .

حال باری را به آن اعمال می کنیم.

$$F_{net} = F_{load} - F_{ind}$$

با اعمال بار سرعت موتور پائین می آید . در

این حال e_{ind} نیز کاهش می یابد و در نتیجه جریان بالا می رود :

$$e_{ind} \downarrow = v \downarrow B \ell \Rightarrow i \uparrow = \frac{v_B - e_{ind} \downarrow}{R}$$

$$\Rightarrow F_{ind} \uparrow = i \uparrow \ell B$$

F_{ind} آنقدر بالا می رود تا مساوی F_{load} گردد. در نتیجه $F_{net} = 0$ و سرعت موتور یکنواخت می گردد.

خلاصه :

$F_{load} =$ خلاف جهت حرکت $\Rightarrow F_{net} =$ خلاف جهت حرکت

$$\Rightarrow a = \frac{F_{net}}{m} < 0 \Rightarrow v \downarrow \Rightarrow e_{ind} \downarrow = vB\ell$$

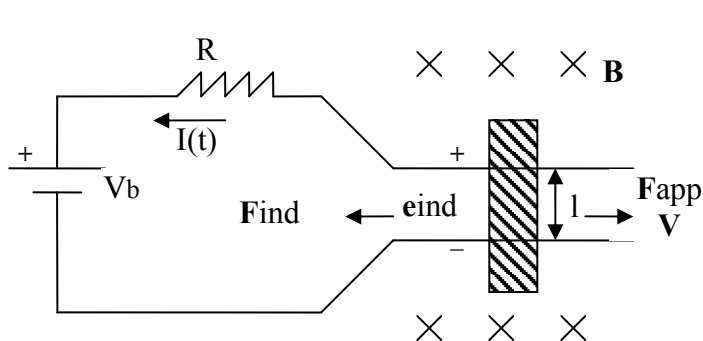
$$\Rightarrow i \uparrow = \frac{vB - e_{ind}}{R} \Rightarrow F_{ind} \uparrow = i\ell B \Rightarrow F_{ind} = F_{load}$$

$$\Rightarrow F_{net} = 0 \Rightarrow v = etc$$

$$P_{conr} = e_{ind}i = F_{ind}v$$

حالت ژنراتوری ماشین DC خطی :

در این حالت یک نیروی F_{app} در جهت حرکت به سیم وارد می کنیم . با افزایش سرعت e_{ind} بالا می رود تا از ولتاژ باتری (V_B) بیشتر گردد. در اینصورت جهت جریان معکوس میشود :



$$F_{app} \Rightarrow v \uparrow \Rightarrow e_{ind} \uparrow = v_B \ell \Rightarrow i = \frac{e_{ind} - v_B}{R}$$

$$\Rightarrow F_{ind} \uparrow = i \ell B \Rightarrow F_{ind} = F_{app} \Rightarrow F_{net} = 0$$

مثال ۱: مثال ۴-۱ کتاب chapman صفحه ۱۶۸

مثال ۱-۴ صفحه ۱۶۸

$$v_B = 120V$$

$$B = 0.1(T)$$

$$r = 0.3\Omega$$

$$\ell = 10m$$

(a) جریان راه اندازی چقدر است ؟ سرعت ماندگار چقدر است؟

$$i = \frac{v_B - e_{ind}}{R} = \frac{120}{0.3} = ? A$$

(b) اگر نیروی 30N بطرف راست وارد شود سرعت ماندگار چقدر میشود؟

$$F_{app} = F_{ind} = i\ell B \Rightarrow i = \frac{F_{ind}}{\ell B} = \frac{30}{10 \times 0.1} = 30 A$$

$$e_{ind} = v_B + R_i = 129 v$$

$$v = \frac{e_{ind}}{B\ell} = 129 m/s$$

$$= 129 \times 30 = 3870 W \text{ توان تولیدی توسط هادی}$$

$$120 \times 30 = 3600 W \text{ توان مصرفی توسط باتری}$$

$$0 - 3600 = 270 W \text{ توان تلفاتی متوسط مقاومت}$$

ماشین مانند ژنراتور کار می کنند

(c) اگر نیروی 30N بطرف چپ وارد شود سرعت ماندگار چقدر است؟

مثال ۲-۴ صفحه ۱۸۰

(a) وقتی کلید بسته میشود :

$$i = \frac{v_B - e_{ind}}{R} = \frac{v_B}{R} \Rightarrow Z_{ind} = \frac{2}{\pi} \phi i (c_{cw}) \Rightarrow w \uparrow$$

$$\Rightarrow e_{ind} \uparrow = \frac{2}{\pi} \phi w \uparrow \Rightarrow i \downarrow = \frac{v_B - e_{ind}}{R} \Rightarrow Z_{ind} \downarrow = \frac{2}{\pi} \phi i \downarrow \Rightarrow z_{ind} = 0$$

$$\Rightarrow v_B = e_{ind}$$

(b) جریان راه اندازی چقدر است ؟ سرعت زاویه ای حالت ماندگار چقدر است؟

لحظه راه اندازی :

$$e_{ind} = 0 \Rightarrow i = \frac{v_B}{R} = 400 A$$

در حالت ماندگار:

$$Z_{ind} = 0, v_B = e_{ind}, i = 0 \Rightarrow v_B = e_{ind} = \frac{2}{\pi} \phi \omega$$

$$\Rightarrow W_{ss} = \frac{N_B}{(\frac{2}{\pi} \phi)} = \frac{v_B}{(\frac{2}{\pi}) \pi r \ell B} = 480 (\text{rad/s})$$

(c) اگر بار $T_{load} = 10 \text{ N.m}$ به ماشین وصل شود سرعت ماندگار چقدر میشود؟

$$F_{load} \Rightarrow v \downarrow \Rightarrow e_{ind} = \frac{2}{\pi} \phi \omega \downarrow \Rightarrow i \uparrow = \frac{v_B - e_{ind} \downarrow}{R} \Rightarrow Z_{ind} \uparrow$$

$$\Rightarrow Z_{ind} = Z_{load}$$

$$\text{در حالت ماندگار: } |Z_{load}| = |Z_{ind}| = (\frac{2}{\pi}) \phi i \Rightarrow i = \frac{Z_{ind}}{(\frac{2}{\pi}) 4} = \frac{Z_{ind}}{2r \ell B} = 40 \text{ A}$$

$$e_{ind} = v_B - R_i = 108 \text{ V}$$

$$W_{ss} = \frac{e_{ind}}{(\frac{2}{\pi}) \phi} = \frac{e_{ind}}{(\frac{2}{\pi}) \pi r \ell B} = 432 (\text{rad/s})$$

$$p_{out} = Z w = 4320 \text{ W}$$

$$p_{in} = v_B i = 4800 \text{ W}$$

(d) اگر گشتاور 7.5 Nm در جهت حرکت ماشین به آن اعمال شود سرعت ماشین چقدر است؟

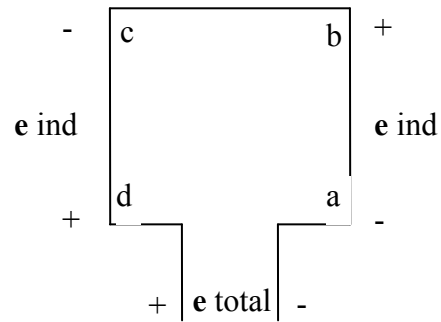
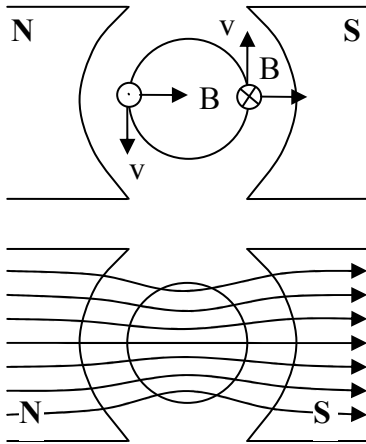
$$Z_{ind} \uparrow \Rightarrow w \uparrow \Rightarrow e_{ind} \uparrow \Rightarrow e_{ind} > v_B \Rightarrow$$

$$i = \frac{Z_{ind}}{(\frac{2}{\pi}) \phi} = 30 \text{ A}$$

$$e_{ind} = v_B + R_i = 129 \text{ V}$$

$$w = \frac{e_{ind}}{(\frac{2}{\pi}) \phi} = 516 (\text{rad/s})$$

ماشینهای DC دوار :



الف- ژنراتوری

ولتاژ القا شده در یک کلاف دوار :

میدان مغناطیسی در زیر قطبها ثابت می باشد و در گوشه های قطب به صفر میرسد.

با چرخش روتور در بین قطبها ولتاژ هادی دوسر القاء میشود که برابر است با :

$$e_{ind} = (v \times B)\ell$$

$$e_{dc} = v_B \ell \quad e_{ba} = v_B \ell$$

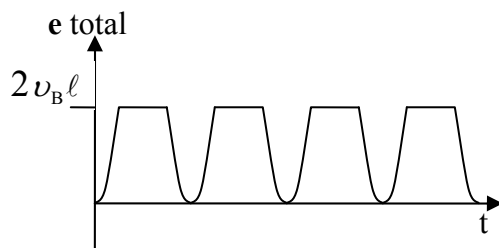
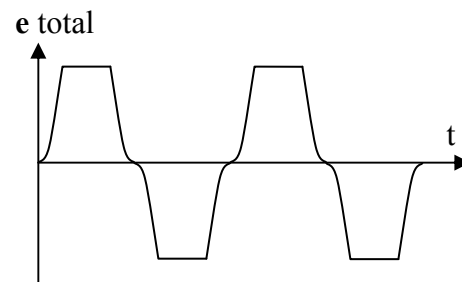
$$e_{cd} = 0 \quad e_{ad} = 0$$

$$e_{total} = e_{ba} + e_{cb} + e_{dc} + e_{ad} = \begin{cases} 2v_B \ell \\ 0 \end{cases}$$

$$v = r\omega \Rightarrow e_{ind} = \begin{cases} 2r\omega B \ell \\ 0 \end{cases}$$

$$A_p = \pi r \ell \Rightarrow e_{ind} = \begin{cases} \frac{2}{\pi} A_p B \omega \\ 0 \end{cases}$$

$$\phi = A_p B \Rightarrow e_{ind} = \begin{cases} \frac{2}{\pi} \phi \omega \\ 0 \end{cases}$$



همانطور که مشاهده میشود ولتاژ تولید شده دارای پلاریته

مثبت و می باشد با استفاده از عمل کموتاسیون می توان

این ولتاژ را بصورت DC یکسو کرد :

ب - موتوری : گشتاور ایجاد شده در یک کلاف دوار

حال فرض می کنیم به کلاف شکل فوق یک باتری وصل می کنیم . در اینصورت جریانی از هادیهای کلاف عبور کرده در حضور میدان مغناطیسی B به هر کدام از آنها نیرویی وارد میشود.

$$F = i(\ell \times B)$$

$$\tau = rF \sin \theta$$

$$F_{ab} = i\ell B \Rightarrow \tau_{ab} = rF \sin 0 = r i \ell B$$

$$F_{bc}=0 \quad (B \text{ موازی } \ell \Rightarrow \tau_{bc}=0)$$

$$F_{cd}=i\ell B \Rightarrow \tau_{cd} = r i \ell B$$

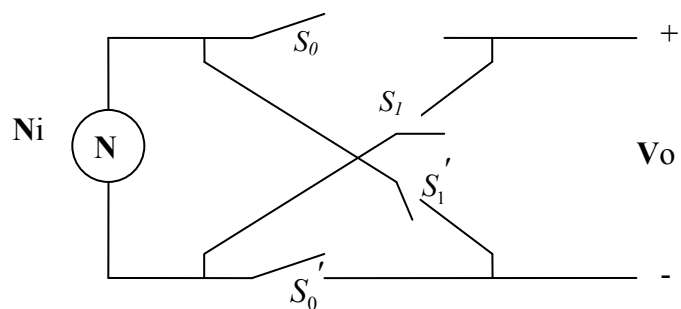
$$F_{da}=0 \quad (B \text{ موازی } \ell) \Rightarrow \tau_{da}=0$$

$$\pi r d = A_p, A_p B = \phi$$

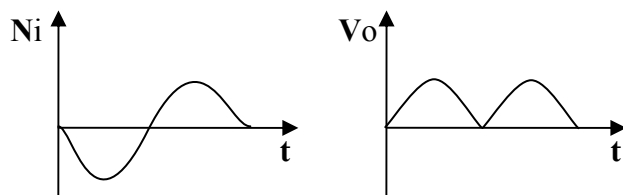
$$\tau_{ind} = \tau_{ab} + \tau_{bc} + \tau_{cd} + \tau_{da} = \begin{cases} 2ri\ell B \\ 0 \end{cases} = \begin{cases} \frac{2}{\pi} \phi i \\ 0 \end{cases}$$

مکانیزم کموتاسیون :

$$\begin{aligned} & \text{باز } 0 - \frac{T}{2} \\ & S_1, S_1' : \\ & \text{بسته } \frac{T}{2} - T \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} & \text{باز } 0 - \frac{T}{2} \\ & S_0, S_0' : \\ & \text{بسته } \frac{T}{2} - T \end{aligned}$$



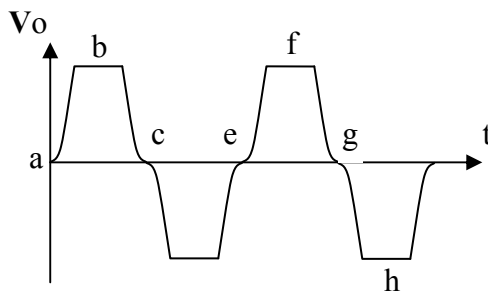
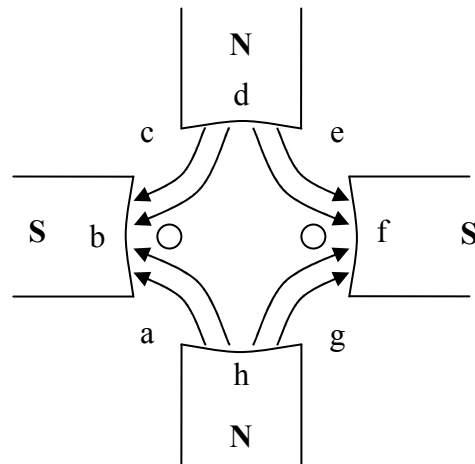
ماشینهای P قطبی :

در قدم اول فرض می کنیم بجای ۲ قطب چهار قطب داشته باشیم :

با دوران ۳۶۰ درجه هادی ۲ سیکل کامل از ولتاژ القائی بوجود می آید یعنی :

$$\theta_e = 2\theta_m$$

$$\theta_e = \frac{p}{2} \theta_m$$



در حالت کلی اگر ماشین P قطبی باشد داریم :

ساختمان آرمیچر:

کلافهای روتور: هر کلاف شامل تعدادی دور از سیم می باشد که از یکدیگر عایق بندی شده اند .

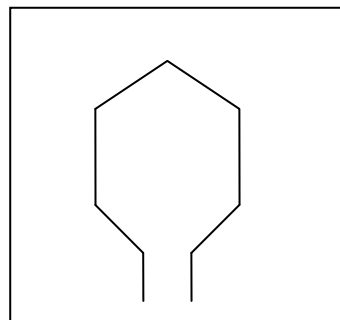
تعداد هادیهای آرمیچر یک ماشین عبارت است از :

$$Z = 2cNc$$

Z = تعداد هادیهای روتور

C = تعداد کلافهای روتور

Nc = تعداد دور در هر کلاف



اگر یک کلاف بصورت ۱۸۰ درجه بین دو قطب قرار گرفته باشد به آن گام کامل گویند .

(full-pitch coil)

اگر کمتر از ۱۸۰ درجه باشد به آن گام کسری گویند. (fractional pitch coil)

$$\text{Pitch factor} = P = \frac{\text{درجه الکتریکی کلاف}}{180^\circ} \times 100\%$$

اتصال به تیغه های کموتاتور: وقتی سیم بندیها در شیارهای روتور قرار داده شد ، باید به تیغه های کموتاتور متصل گردند . نحوه اتصال این سیم بندیها متفاوت است و روشهای مختلفی برای آنها وجود دارد که هریک دارای مزایا و معایبی است :

گام کموتاتور (Y_c) : فاصله بین در انتهای هر کلاف که به کموتاتور متصل میشود گام کموتاتور نام دارد که بر دو نوع می باشد :

✍ تقسیم بندی از نظر گام کموتاسیون :

Progressive (پیشرو) انتهای کلاف به تیغه های بعدی کموتاتور وصل می شود. $Y_c > 0$

Retrogressive (پیشرو) انتهای کلاف به تیغه های قبلی کموتاتور وصل می گردد. $Y_c < 0$

تقسیم بندی از نظر مرکب بودن :

✳ از نظر مرکب بودن سیم بندی ها نیز می توان آنها را تقسیم بندی کرد.

Simplex Rotor Winding : به یک سیم بندی بسته و کامل در روتور گویند.

Duplex Rotor Winding : سیم بندی با دوسری کلاف مستقل از یکدیگر . یک سیم بندی به تیغه های

1 - 3 - 5 وصل میشود و سیم بندی دیگر به تیغه های 2-4-6-....

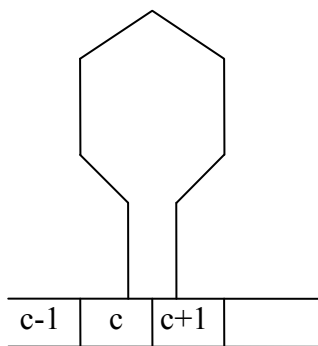
تقسیم بندی از نظر ترتیب اتصالات به تیغه های کموتاتور :

بر سه نوع می باشد :

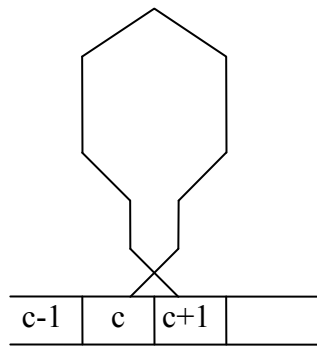
۱- حلقوی یا مجاور Lap Winding

۲- موجی Wave Winding

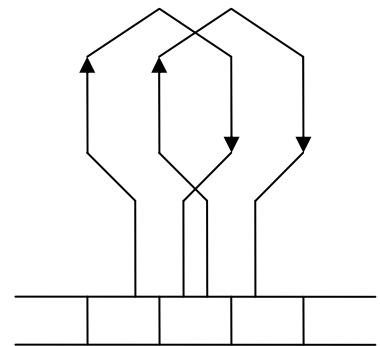
۳- ترکیب دو حالت فوق Frog Leg Winding



Progressive
 $Y_c=1$



Retrogressive
 $Y_c=-1$



M-plex

سیم بندی حلقوی :

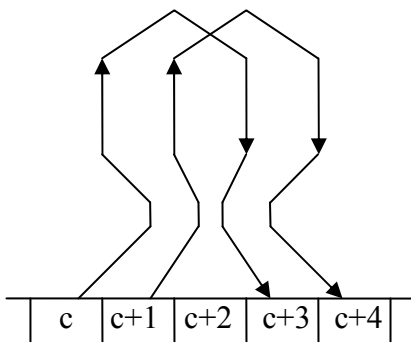
اگر سیم بندی M-Plex باشد :

$$y_c = \pm m$$

تعداد قطبها

$$a = mp$$

سیم بندی موجی :



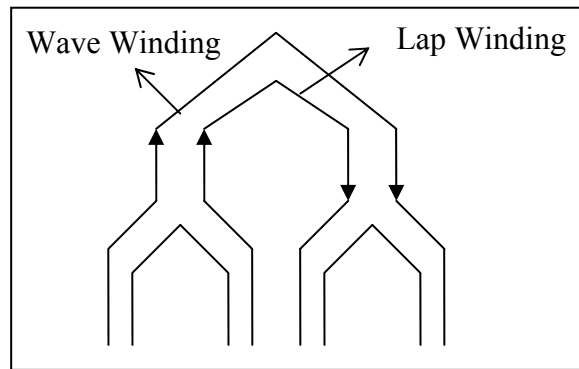
$$y_c = \frac{2(c \pm 1)}{p}$$

تعداد قطبها , تعداد کلافهای موتور

$$a = Zm$$

سیم بندی Frog-Leg

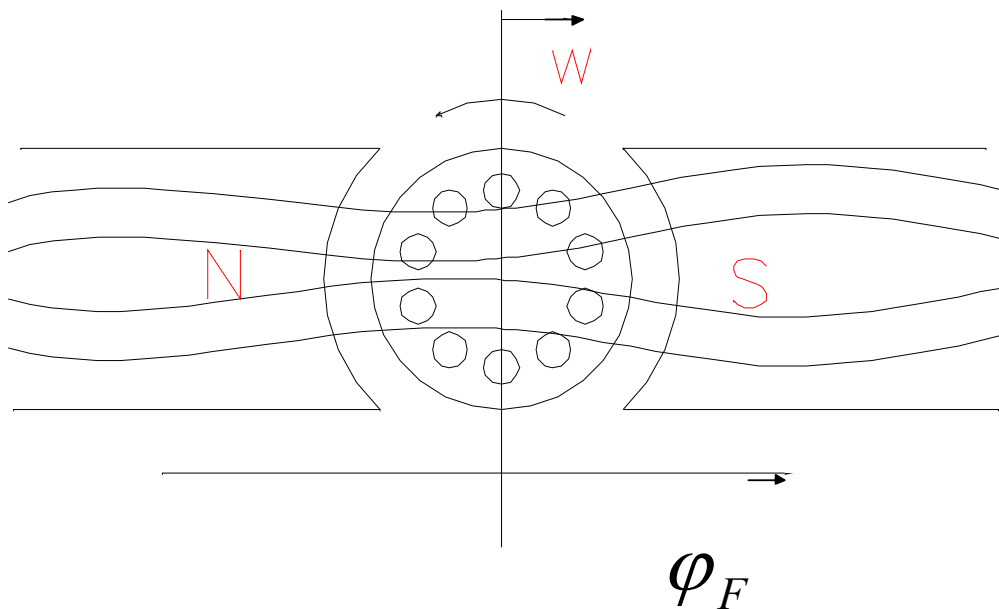
$$a = 2pm_{lap}$$



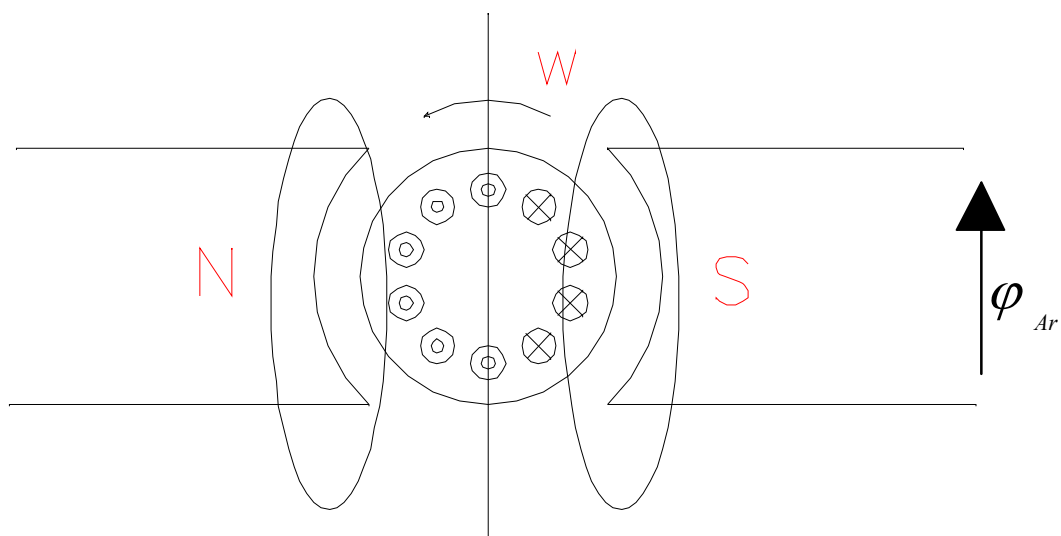
مسائلی در ماشینهای حقیقی با کموتاسیون :

عکس العمل آرمیچر:

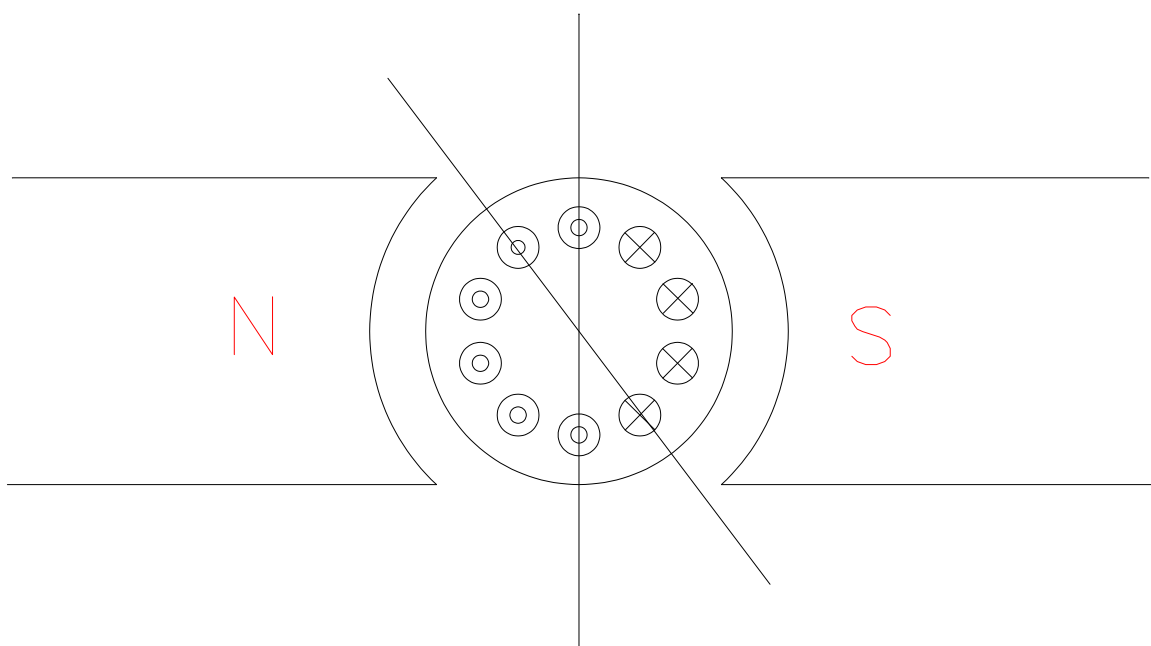
اگر ماشین DC با سرعت W در میدان B حاصله از قطبها به دوران در بیاید درون هادیهای روتور آن ولتاژی القاء میشود . حال اگر ترمینال این ماشین را به باری متصل کنیم جریانی از سیم پیچهای آرمیچر عبور می کند. با عبور این جریان، میدان مغناطیسی ثانویه ای تولید میشود. که باعث اعوجاج در میدان مغناطیسی اصلی میگردد. به این اعوجاج شار عکس العمل آرمیچر گویند.



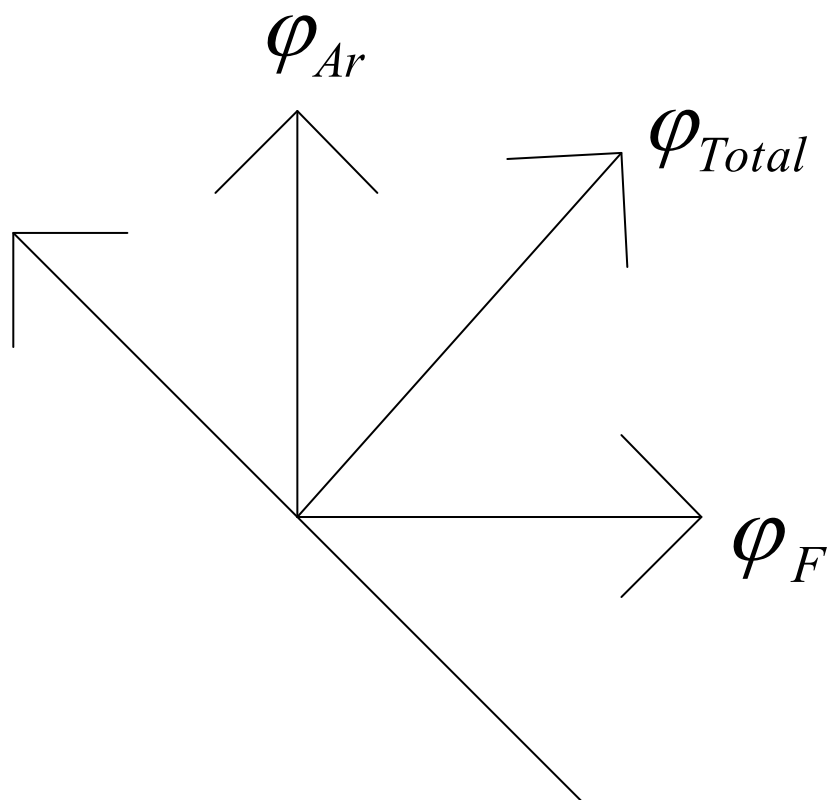
قبل از اعمال بار



با اعمال بار - فقط شار آرمیچر

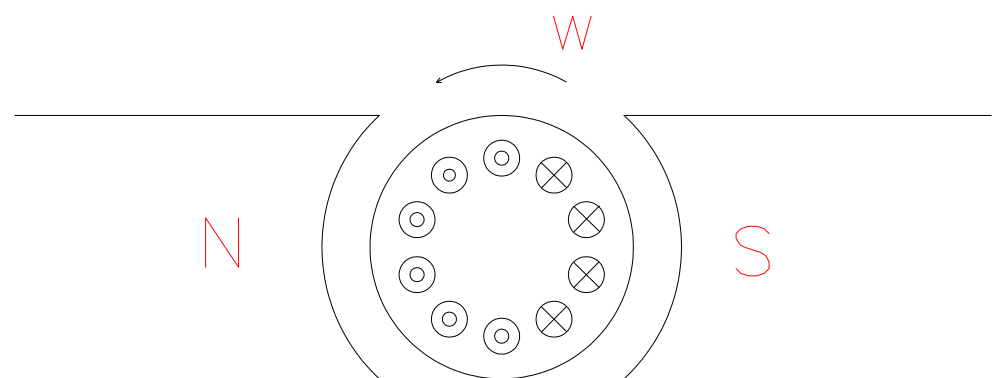


با اعمال بار

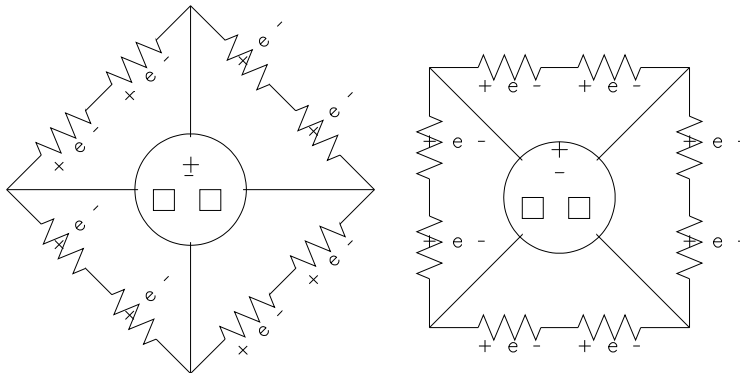


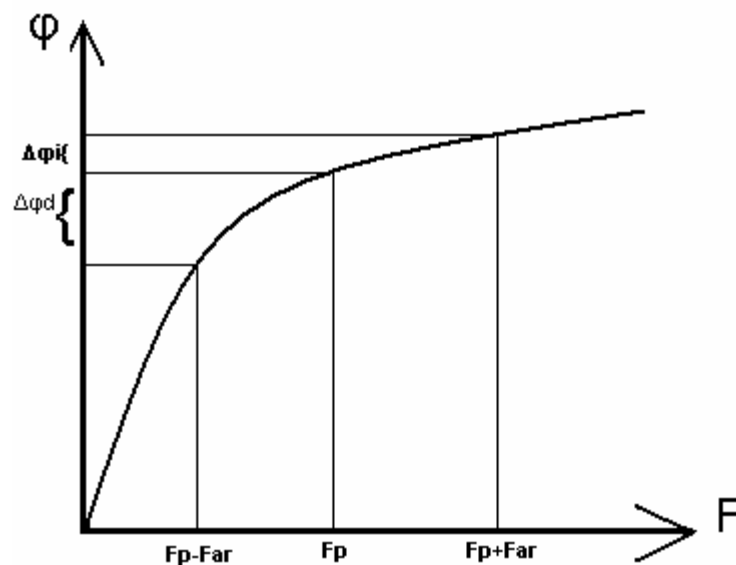
محور خنثی

در حالت کلی محور خنثی مغناطیسی در ژنراتور به سمت حرکت روتور منحرف میشود و در موتور در خلاف جهت حرکت روتور منحرف میشود.



در لحظه تعویض جای تیغه های کموتاتور ، دو تیغه توسط جاروبک اتصال کوتاه میشوند . بنابراین در این لحظه ولتاژ بین دو تیغه باید صفر باشد. هنگامیکه ماشین زیر بار می رود محور خنثی مغناطیسی جابجا می شود در نتیجه در لحظه اتصال کوتاه تیغه ها ولتاژ محدودی بین آنها وجود دارد که باعث ایجاد گردش جریان در آنها میشود و در نتیجه باعث ایجاد جرقه الکتریکی می گردد و این باعث کاهش طول عمر جاروبکها میشود. این مسئله با جابجا کردن جاروبکها در عمل محور خنثی مغناطیسی در هنگام بارداری ، حل نمیشود چرا که در اینحالت در بی باری جرقه ایجاد میشود.





دومین مسئله ای که در اثر عکس العمل آرمیچر اتفاق می افتد تضعیف شار می باشد.

برای درک مسئله به منحنی مغناطیسی شونده توجه کنید.

بیشتر ماشینها نزدیک به منطقه اشباع کار میکنند.

بنابراین با توجه به شکل فوق در جاهائی از سطح قطب که Far با F_p جمع می شود ، افزایش شار خیلی کم است و در جاهائیکه Far از F_p کم میشود کاهش شار بیشتر است . بنابراین شار در کل کاهش می یابد که به این اثر تضعیف شار گویند.

فرض می کنیم ماشین ۱۲ شیار داشته باشد.

آمپر دور ناشی از آرمیچر منحنی پله ای شکلی میشود که میتوان آن را بصورت یک مثلث تقریب زد.

از جمع دو آمپر در فوق خواهیم داشت :

تضعیف شار باعث ایجاد مشکلاتی در ژنراتور و موتور میشود.

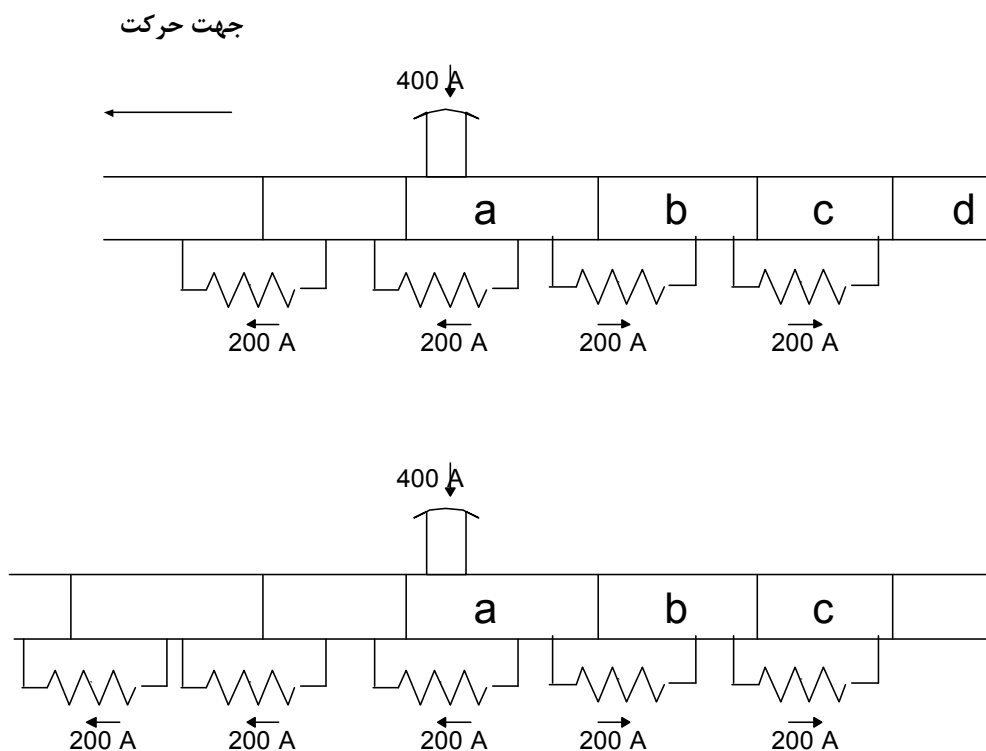
در ژنراتور باعث ولتاژ القاء شده میشود و شکل خاصی بوجود نمی آورد . در موتور مسئله فوق جدی تر است .

تضعیف شار باعث افزایش سرعت موتور می گردد. اما افزایش سرعت موتور می تواند باعث افزایش بار شود که

این خود باعث تضعیف بیشتر شار می گردد و در نتیجه سرعت موتور بالاتر میرود تا اینکه موتور از کار می افتد.

ولتاژها $L \frac{di}{dt}$:

برای فهم مسئله به شکل زیر توجه کنید :



موقعی که یک تیغه کموتاتور اتصال کوتاه می‌گردد جریان در آن قسمت باید معکوس گردد ، اما این تغییر جهت جریان با چه سرعتی انجام می گیرد ؟ اگر روتور با سرعت 800RPM به دوران درآید و ۵۰ تیغه در کموتاتور

وجود داشته باشد بنابراین هر تیغه کموتاتور در زمان $t = \frac{60}{800} \div 50 = 0.0015(s)$ جاروبک را لمس می کند.

بنابراین :

$$\frac{di}{dt} = \frac{400}{0.0015} = 266.667 \text{ A/Sec}$$

این مقدار بزرگ حتی با مقدار کوچکی سلف ولتاژ بزرگی تولید می کند.

$$v = L \left(\frac{di}{dt} \right)$$

این ولتاژ بالا باعث ایجاد قوی الکتریکی در جاروبکهای تامین می گردد.

راه حل هائی برای مقابله با مشکلات فوق :

سه راه حل برای مقابله با دو شکل فوق وجود دارد.

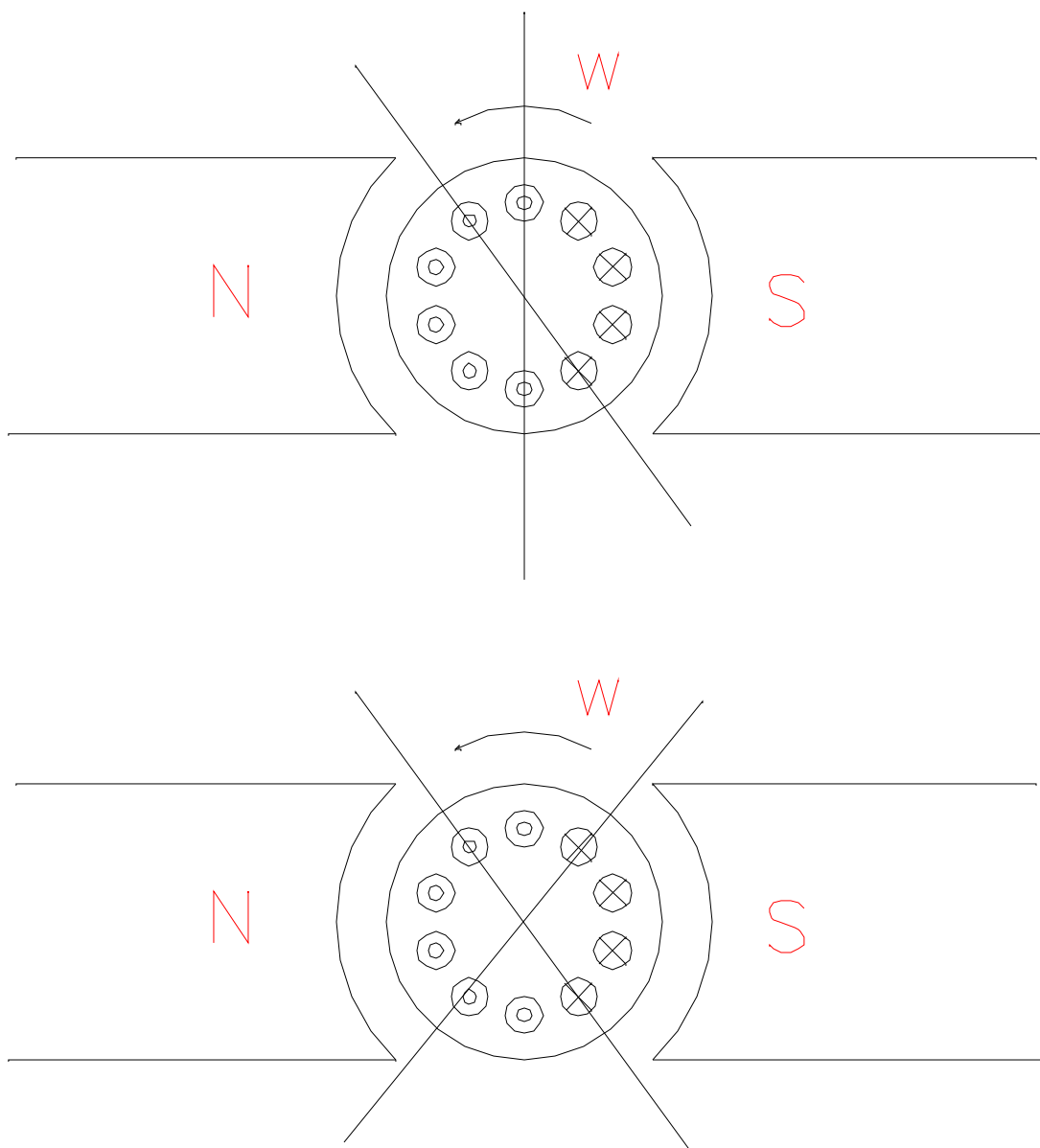
۱- تغییر مکان جاروبکها

۲- استفاده از قطبهای کمکی

۳- استفاده از سیم پیچهای جبران کننده

۱- تغییر مکان جاروبکها :

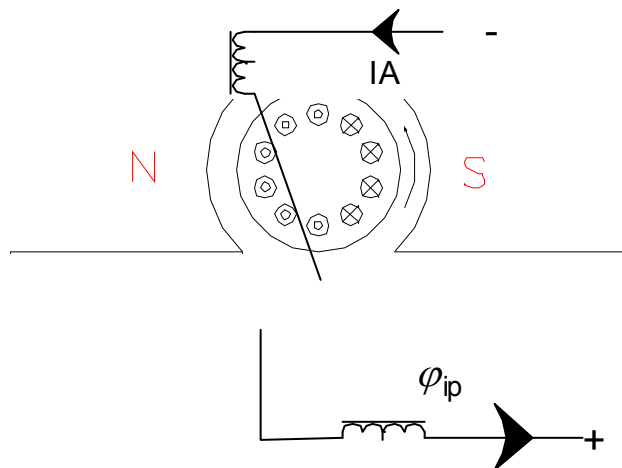
از نقطه نظر تاریخی اولین راه حل برای از بین بردن عکس العمل آرمیچر تغییر مکان جاروبکها می باشد. این راه به نظر ساده می رسد. اما چند مسئله وجود دارد اول اینکه محور خنثی با تغییر بار تغییر مکان میدهد بنابراین باید با هر باری ، جاروبکها را جابجا می کنیم که این کار ساده نیست دوم اینکه با اینکار فقط حرفه ها وقوی های الکتریکی حذف می شوند ولی تضعیف شار باقی می ماند.



محور خنثی جدید

۲- استفاده از قطبهای کمکی (Interpoles)

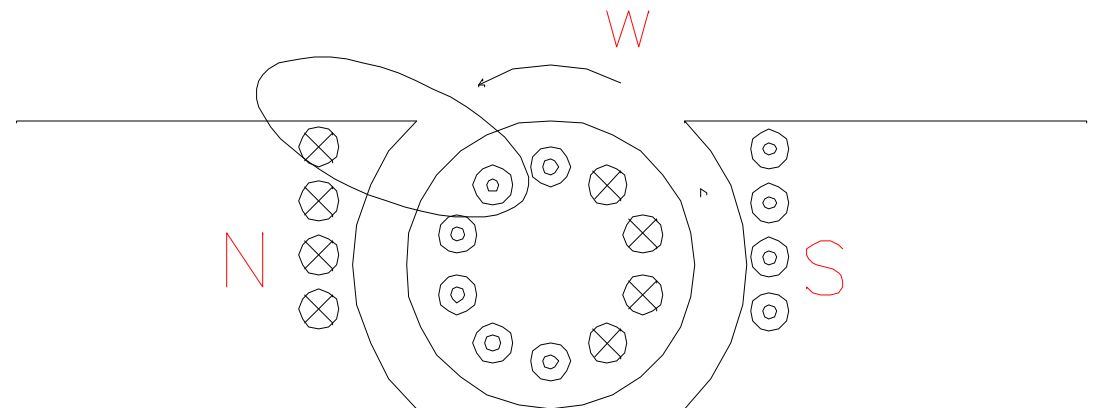
باید شاری در خلاف جهت با شار آرمیچر تولید کنیم برای اینکار از قطبهای کمکی بصورت مقابل استفاده میشود .
 بنابراین شار ϕ_{ip} (قطبهای کمکی) در خلاف جهت ϕ_{Ar} می باشد . برای اینکه برای تمام بارها این شارها اثر یکدیگر را خنثی کنند سیم پیچ آرمیچر را با سیم پیچ قطبهای کمکی سری می بندند.



این قطبها فقط $L \frac{di}{dt}$ را حذف می کنند و تضعیف C را حذف نمی کنند.

۳- استفاده از سیم پیچ های جبران کننده

این سیم پیچها سری با سیم پیچ آرمیچر بسته می شوند و شاری در خلاف جهت شار آرمیچر تولید می کند این سیم پیچها فقط اثر تضعیف شار را حذف می کنند و اثر $L \frac{di}{dt}$ را حذف نمی کنند.



ولتاژ القائی تولید شده در یک ژنراتور:

ولتاژ القاء شده در یک هادی که در میدان مغناطیسی حرکت می کند برابر است با: $e_{ind} = e = vBl$

اگر Z هادی داشته باشیم و A مسیر جریان :

$$E_A = \frac{Z}{a} v B \ell$$

$$v = r\omega \Rightarrow EA = \frac{Zr\omega B \ell}{a}$$

$$\phi = BAP$$

$$A = 2\pi r \ell$$

$$AP = \frac{2\pi r \ell}{P}$$

$$\Rightarrow \phi = \frac{B 2\pi r \ell}{P} \Rightarrow B = \frac{P \phi}{2\pi r \ell}$$

$$\Rightarrow E_A = \frac{Zr\omega B \ell}{a} = \frac{Zr\omega \ell}{a} \times \frac{P \phi}{2\pi r \ell} = \frac{Zp}{2\pi a} \phi \omega$$

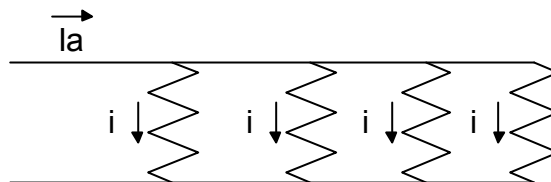
$$\Rightarrow E_A = k \phi \omega, k = \frac{Zp}{2\pi a}$$

گشتاور ایجاد شده در یک موتور:

گشتاور ایجاد شده در یک هادی حامل جریان در میدان مغناطیسی برابر است با : $\tau_{cond} = r i_{cond} \ell B$

اگر a مسیر موازی جریان داشته باشیم :

$$i_{lond} = \frac{Ia}{a}$$



اگر Z هادی در آرمیچر وجود داشته باشد :

$$Z_{ind} = Z\tau_{cond} = \frac{Zr\ell B I a}{a}$$

$$\phi = BAp = \frac{B(2\pi r\ell)}{p}$$

از طرفی:

$$\Rightarrow Z_{ind} = \frac{Zp}{2\pi a} \phi I_a$$

$$k = \frac{Zp}{2\pi a}$$

توان جاری شده و تلف شده در ماشینهای DC :

$$\mu = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% = \frac{P_{in} - P_{loss}}{P_{in}} \times 100\% \quad \text{راندمان}$$

تلفات در ماشین های DC :

تلفات در ماشینهای DC به ۵ دسته اساسی تقسیم می شوند:

۱- تلفات مسی P_{cu}

۲- تلفات جاروبکها PBD (brash drop)

۳- تلفات هسته (آهن) P_{fe} یا P_c

۴- تلفات مکانیکی P_m

۵- تلفات بار سرگردان P_{Stray}

تلفات مسی :

$$P_A = R_A I_A^2 \quad \text{تلفات آرمچر}$$

$$P_F = R_F I_F^2 \quad \text{تلفات میدان تحریک}$$

تلفات جاروبکها :

$$P_{BD} = v_{BD} I_A$$

تلفات هسته یا آهن :

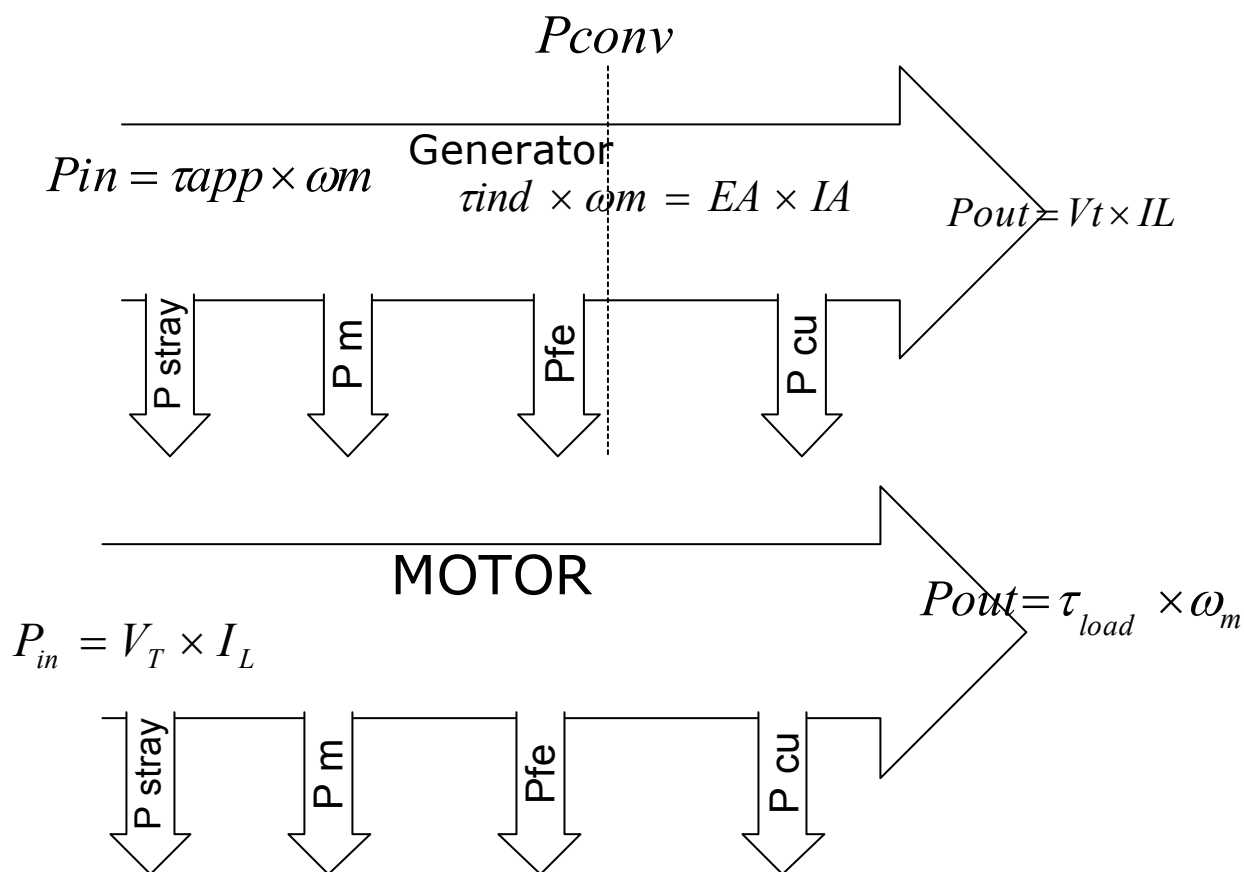
$$P_C = P_{Fe} = P_n + P_e$$

تلفات مکانیکی = تلفات اصطکاک + تلفات تهویه

تلفات بار سرگردان : کلیه تلفاتی که در ۴ دسته فوق جای ندارند . بطور معمول :

$$P_{stray} = 0.01 \times P_{full\ load}$$

نمودار پخش توان :



$$p_{conv} = \tau_{ind} \omega_m$$

$$p_{conv} = E_A I_A$$

ژنراتورهای DC به پنج گروه تقسیم می شوند :

۱- تحریک مستقل ۲- شنت ۳- سری ۴- کمپوند اضافی ۵- کمپوند نقصانی

اختلاف این ژنراتورها در مشخصه ترمینال آنها یعنی (ولتاژ - جریان) می باشد.

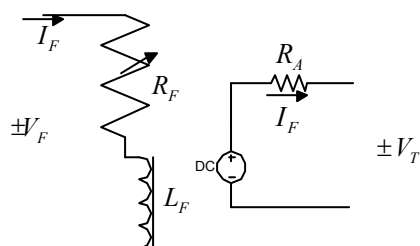
ژنراتورهای DC بوسیله ولتاژ - توان مالی - راندمان و تنظیم ولتاژ با هم مقایسه می شوند.

$$\nu R = \frac{v_n \ell - v_f \ell}{v_f \ell} \times 100\%$$

if $\nu R < 0 \Rightarrow$ مشخصه صعودی

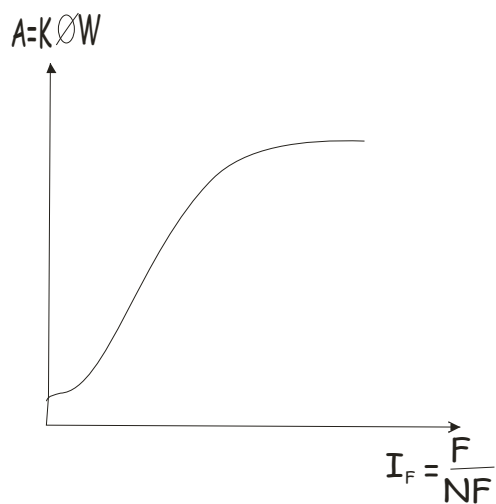
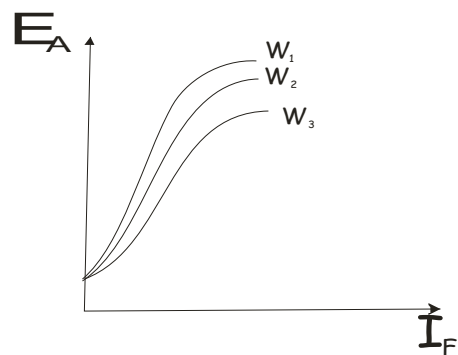
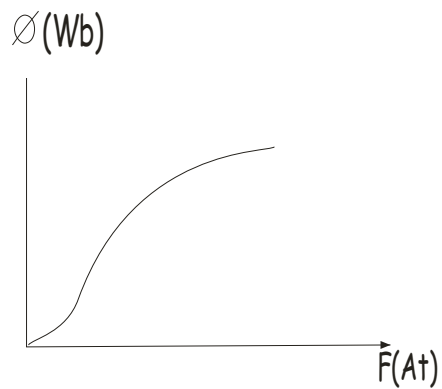
if $\nu R > 0 \Rightarrow$ مشخصه نزولی

مدار معادل ژنراتور DC :



منحنی مغناطیسی یک ژنراتور DC :

$$W_1 > W_2 > W_3$$



برای گرفتن حداکثر توان ممکن از ماشین ، بیشتر موتورها و ژنراتورها طوری طراحی میشوند تا ترکیب منطقه

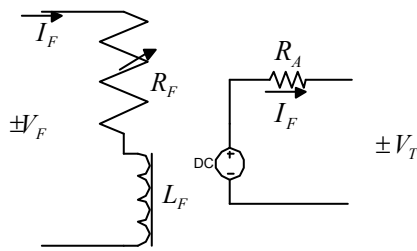
اشباع کارکنند (زانوی منحنی)

ژنراتور DC تحریک مستقل :

$$I_A = I_L$$

$$v_T = E_A - R_A I_A$$

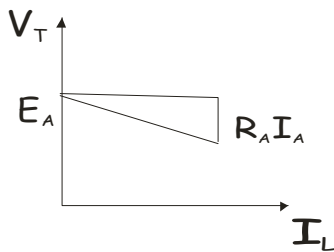
$$I_F = \frac{v_F}{R_F}$$



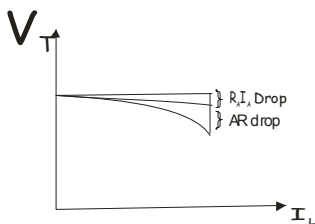
مشخصه ترمینال : $V_T - I_L$

در حالتی که عکس العمل آرمیچر را در نظر نگیریم E_A ثابت بوده پس :

$$V_T = E_A - R_A I_A \quad I_F = \text{ثابت} \Rightarrow E_A = \text{ثابت}$$



اگر ماشین سیم پیچ جبران کننده نداشته باشد با افزایش جریان بار (I_A) ، عکس العمل آرمیچر افزایش می یابد و در نتیجه شار ϕ ضعیف میشود پس $E_A \downarrow = K\phi\omega$ کاهش می یابد. در نتیجه V_T نسبت به حالت قبل افت بیشتری پیدا می کند.

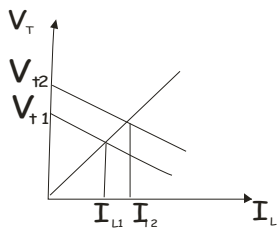


کنترل ولتاژ ترمینال :

ولتاژ ترمینال V_T را میتوان با تغییر E_A تغییر داد .

$$V_T = E_A - R_A I_A$$

کنترل E_A توسط I_f یا W صورت می پذیرد پس با تغییر R_f می توان I_f و در نتیجه E_A و در نتیجه V_T را کنترل کرد.



$$E_A = k\phi\omega$$

$$\omega \uparrow \Rightarrow E_A \uparrow \Rightarrow v_T \uparrow$$

$$* I_F \uparrow \Rightarrow \phi \uparrow \Rightarrow E_A \uparrow \Rightarrow v_T \uparrow$$

آنالیز گرافیکی ژنراتور DC تحریک مستقل :

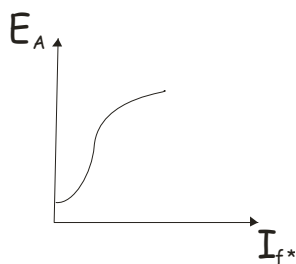
چون ولتاژ تولید شده داخلی EA یک رابطه غیر خطی با نیروی محرکه F دارد پس تنها راه برای محاسبه ولتاژ خروجی ماشین با عکس العمل آرمیچر آنالیز گرافیکی می باشد.

$$F_{net} = N_F I_F - F_{ar}$$

۱- اثر عکس العمل آرمیچر:

$$\frac{F_{net}}{N_F} = I_F - \frac{F_{ar}}{N_F}$$

$$I_F^* = I_F - \frac{F_{ar}}{N_F}$$



۲- اثر تغییر سرعت :

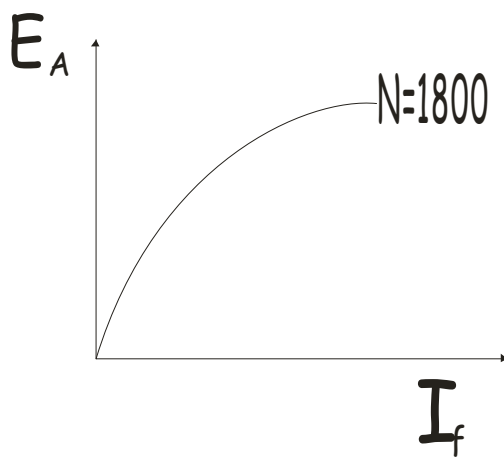
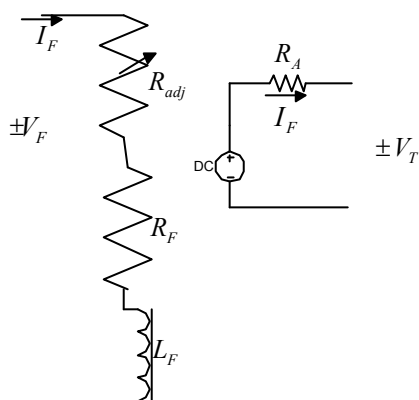
با تغییر سرعت E_A تغییر می کند.

$$E_A = K\phi W = K'\phi n$$

$$\frac{E_A}{E_{A0}} = \frac{n}{n_0}$$

مثال ۱- ژنراتور DC تحریک مستقل با سیم پیچ جبران کننده و مشخصات زیر :

Prated=172kw, 430v , 400A , 1800RPM



$$R_A = 0.05 \, \Omega \quad V_F = 430 \, \text{V}$$

$$R_F = 20 \, \Omega \quad N_F = 1000$$

$$R_{adj} = 0-300 \, \Omega$$

$$1) R_{adj} = 63 \, \Omega, n = 1600 \text{ RPM} \Rightarrow V_{T\text{load}} = ?, E_A = ?$$

حل :

$$I_F = \frac{430}{63 + 20} = 5.2 A \Rightarrow E_{A0} = 430V$$

$$\frac{E_A}{E_{A0}} = \frac{n}{n_0} \Rightarrow \frac{E_A}{430} = \frac{1600}{1800} \Rightarrow E_A = 382V \quad \text{برای } n = 1800$$

$$2) R_L = 1 \Omega \Rightarrow v_T = ?$$

$$I_A = I_L = \frac{E_A}{R_A + R_L} = \frac{382}{1.05} = 364 A$$

$$v_T = R_L I_L = 364V$$

$$3) R_{adj} = ? \quad \text{If } v_t = 382$$

$$v_T 364 \rightarrow 382 \Rightarrow \text{If باید افزایش یابد} \Rightarrow R_{adj} \text{ باید کاهش یابد}$$

$$v_T = 382V \Rightarrow I_L = 382A$$

$$E'_A = v'_t + R_A I_A = 382 + (382)(0.05) = 401V$$

$$\frac{E_A}{E_{A0}} = \frac{n}{n_0} \Rightarrow \frac{401}{E_{A0}} = \frac{1600}{1800} \Rightarrow E_{A0} = 451V$$

$$\Rightarrow I_F = 6.15 A \Rightarrow R_F + R_{adj} = \frac{430}{6.15} = 70 \Omega$$

$$\Rightarrow R_{adj} = 50 \Omega$$

مثال ۲- همان ژنراتور مسئله ۱ بدون سیم پیچ جبران کننده . ($Far_{fl} = 500 At$)

$$1) R_{adj} = 63 \Omega, n = 1600 \Rightarrow v_{Tnoload} = ?$$

$$Noload \Rightarrow \text{عکس العمل آرمیچر} = 0 \Rightarrow v_{Tnt} = 382V$$

$$2) I_L = 364A \Rightarrow v_T = ?$$

در اینجا فرض می کنیم $I_{ar} \propto F_{ar}$

$$F_{ar} = \frac{364}{400} \times 500 = 455 (At)$$

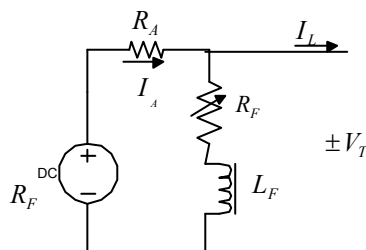
$$I_F^* = I_F - \frac{F_{ar}}{N_F} = 5.2 - \frac{455}{1000} = 4.75 A \Rightarrow E_{A0} = 410 V$$

$$\frac{E_A}{E_{A0}} = \frac{n}{n_0} \Rightarrow \frac{1600}{1800} \Rightarrow E_A = 364 V$$

$$V_T = 364 - (0.05)(364) = 346 V$$

ژنراتور DC شنت :

سیم پیچ تحریک موازی آرمیچر قرار می گیرد.



$$I_A = I_F + I_L$$

$$V_T = E_A + R_A I_A$$

$$I_F = \frac{V_T}{R_F}$$

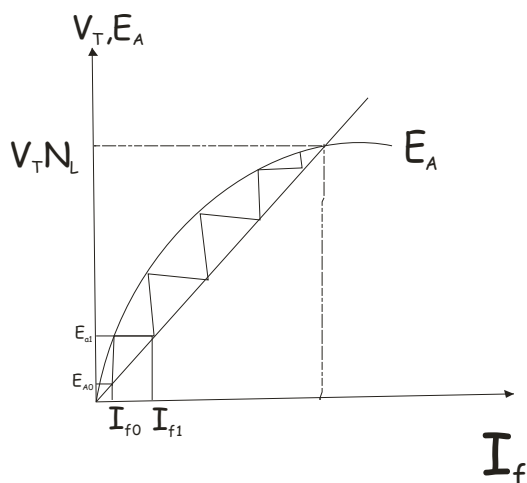
این نوع ژنراتور از نظر اینکه به منبع اضافی دیگری برای تولید شار ϕ نیازی ندارد نسبت به نوع قبل ارجحیت دارد .

اما چگونه عمل ولتاژ سازی انجام می گیرد ؟

$$E_{A0} = K \phi_{res} W$$

$$I_{F0} = \frac{E_{A0}}{R_F} \Rightarrow E_{A1}$$

$$I_{F1} = \frac{E_{A1}}{R_F} \Rightarrow E_{A2}$$



در سه حالت ولتاژسازی انجام نمی گیرد :

۱- اگر شار پس ماند وجود نداشته باشد.

$$\phi_{res} = 0 \Rightarrow E_{A0} = 0$$

در چنین حالتی دو سر مدار تحریک را از آرمیچر جدا کرده و به یک باطری وصل می کنیم (تحریک مستقل)

در این زمان مقداری شار پس ماند در قطبها باقی می ماند.

۲- جهت دوران ژنراتور ممکن است معکوس باشد. در اینصورت پلاریته E_A معکوس شده و شاری که توسط E_A

تولید می شود خلاف شار پس ماند است و ϕ_{res} شروع به کاهش می یابد .

۳- مقاومت R_F بزرگتر از مقاومت بحرانی باشد.

کنترل ولتاژ ژنراتور DC شنت :

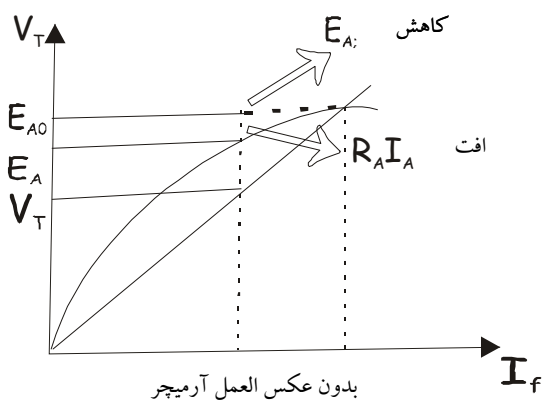
۱- با تغییر W

۲- با متغیر مقاومت R_F

آنالیز گرافیکی ژنراتور DC شنت :

$$V_T = E_A - R_A I_A$$

$$E_A - V_T = R_A I_A$$



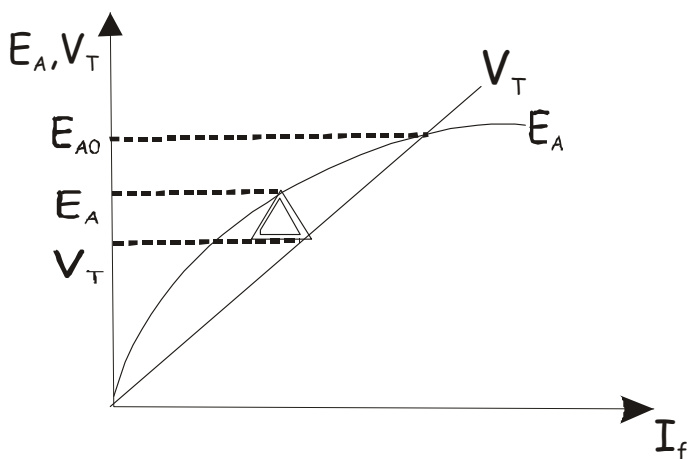
در این حالت فقط افت RAIA داریم و پاره خط RAIA را باید بین دو منحنی E_A و V_T فیت کنیم اگر عکس

العمل آرمیچر نیز داشته باشیم :

$$R_A I_A$$

$$I_{ar} = \frac{E_{ar}}{NF}$$

در این حالت مثلث با ابعاد مقابل را بین دو منحنی E_A و V_T فیت می کنیم.



مثال ۳-۵ صفحه ۲۵۰

مثال ۴-۵ صفحه ۲۵۳

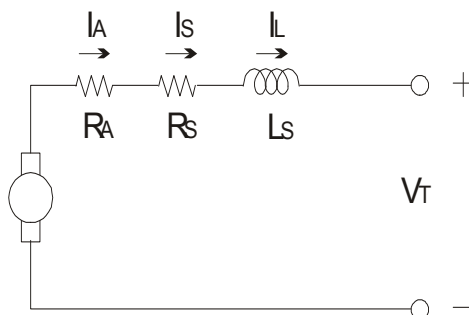
$$V_T = E_A - R_A I_A$$

$$V_T = K I_f W - R_A I_A$$

$$V_T = K' W \frac{V_T}{R_F} - R_A I_A$$

ژنراتور DC سری:

سیم پیچ میدان با سیم پیچ آرمیچر سری می شود. در این حالت جریان بار یا جریان آرمیچر از آن می گذرد پس دارای مقاومت کم و تعداد دور کمی است.



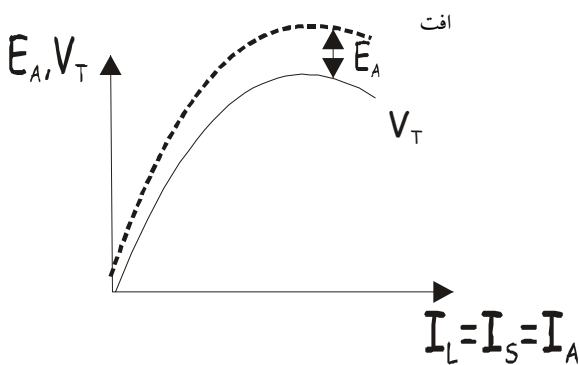
$$I_A = I_S = I_L$$

$$V_T = E_A - (R_A + R_S) I_A$$

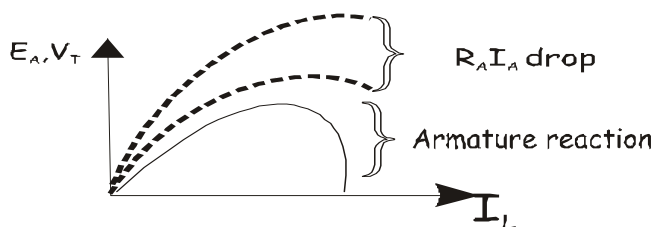
این ژنراتور در حالت بی باری ولتاژ سازی نمی کند.

مشخصه ترمینال :

در بی باری جریان میدان نداریم . پس V_T همان ولتاژ پس ماند است . با افزایش جریان بار ، جریان میدان افزایش می یابد بنابراین E_A به سرعت بالا می رود . همچنین افت $(R_A + R_S) I_A$ را نیز داریم . بنابراین V_T افزایش می یابد اما در ابتدا افزایش E_A سرعت بیشتری نسبت به کاهش $(R_A + R_S) I_A$ دارد . بعد از مدتی با افزایش I_A ماشین به اشباع می افتد پس E_A ثابت می ماند در حالیکه افت $(R_A + R_S) I_A$ همچنان باقی می ماند پس V_T شروع به کاهش می یابد. $(R_A + R_S) I_A$



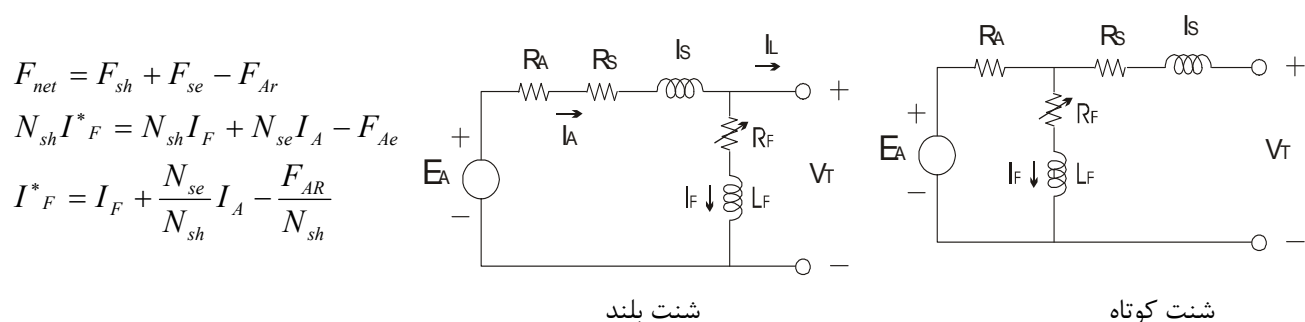
از این نوع ژنراتور در دستگاههای جوشکاری استفاده می کنند و طوری طراحی میشوند که دارای عکس العمل آرمیچر شدید می باشد و مشخصه آن بصورت زیر در می آید :



موقعی که الکتروود جوشکاری به قطعه وصل میشود جریان شدیدی جاری می گردد. موقعی که این الکتروود را از قطعه جدا کنیم ولتاژ بصورت شدید افزایش می یابد همچنانکه جریان نیز بالا است و این باعث ایجاد جرقه میشود.

ژنراتور کمپوند اضافی DC:

در این ژنراتور دوسیم پیچ موازی و سری وجود دارد که شار حاصل از سیم پیچ سری شار حاصل از سیم پیچ موازی را تقویت می کند. بردو نوع می باشد . شنت بلند و شنت کوتاه .



روابط ولتاژ و جریان را برای شنت بلند می نویسیم :

$$I_A = I_L + I_F$$

$$V_T = E_A - I_A(R_A + R_S)$$

$$I_F = \frac{V_T}{R_F}$$

مشخصه ترمینال ژنراتور DC کمپوند اضافی :

$$(R_A + R_S) I_A \uparrow \Rightarrow V_t \downarrow = E_A - (R) I_A$$

$$I_L \uparrow \Rightarrow I_A \uparrow = I_F + I_L \Rightarrow$$

$$F_{net} \uparrow = N_F I_F + N_S I_A$$

$$\Rightarrow \phi \uparrow \Rightarrow E_A \uparrow = K \phi \omega$$

$$\Rightarrow V_t \uparrow = E_A - R I_A$$

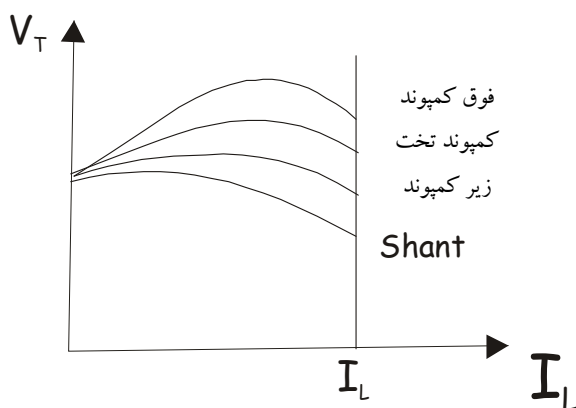
بنابراین با افزایش جریان بار از یکطرف ولتاژ v_T کاهش و از طرفی v_T افزایش می یابد چند حالت وجود دارد:

1- N_{SE} کوچک $\Rightarrow v_T$ کاهش می یابد $\Rightarrow$ کاهش $v_T < v_T$ افزایش v_T

2- N_{SE} بزرگ $\Rightarrow v_T$ افزایش $v_T > v_T$ کاهش v_T می یابد $\Rightarrow$ افزایش v_T

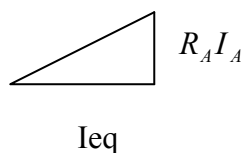
$\Rightarrow$ کاهش v_T می یابد $\Rightarrow 0 =$ افزایش $v_T \Rightarrow N_{SE}$ به اشباع میرود $\Rightarrow$

3- N_{SE} بزرگ خیلی $\Rightarrow v_T$ افزایش $v_T > v_T$ کاهش v_T



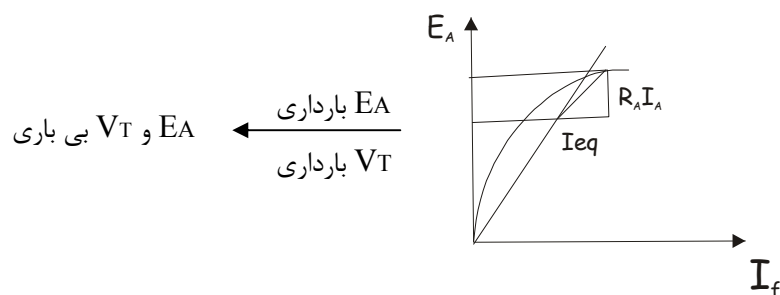
آنالیز گرافیکی ژنراتور DC کمپوند اضافی :

$$I_F^* = I_F + \frac{N_{SE}}{N_F} I_A - \frac{F_{Ae}}{N_F}$$



مثلی به ابعاد $R_A I_A$ و I_{eq} می سازیم :

این مثلث را بین دو خط v_T و منحنی E_A و در خارج خط v_T فیکس می کنیم :



ژنراتور DC کمپوند تقصانی :

در این ژنراتور شار حاصل از سیم پیچ سری شار حاصل از سیم پیچ شفت را تضعیف میکند.

$$F_{net} = F_{SH} - F_{SE} - F_{AR}$$

$$N_F I_F^* = N_F I_F - N_{SE} I_A - F_{AR}$$

$$I_F^* = I_F - \underbrace{\frac{N_{SE}}{N_F} I_A - \frac{F_{AR}}{N_F}}_{I_{eq}}$$

$$I_F^* = I_F + I_{eq}$$

مشخصه ترمینال ژنراتور DC کمپوند تقصانی :

$$(R_A + R_S) I_A \uparrow \Rightarrow V_T \downarrow = E_A - R_t I_A$$

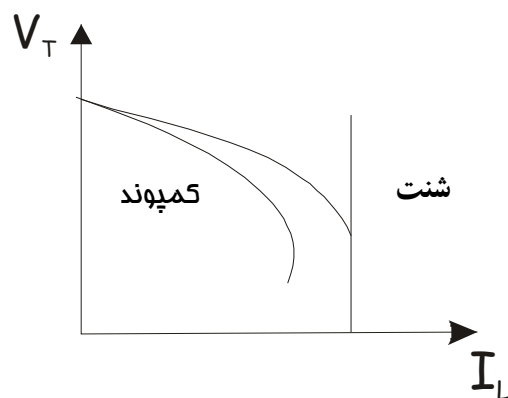
$$F_{net} \downarrow = N_f I_f - N_s E I_A$$

$$I_L \uparrow \Rightarrow I_A \uparrow = I_F + I_L \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \phi \downarrow \Rightarrow E_A \downarrow$$

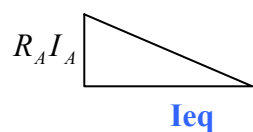
$$\Rightarrow V_t \downarrow = E_A - R_t I_A$$

ولی در دو حالت V_T کاهش یافت . یعنی افت V_T بسیار شدید است.



آنالیز گرافیکی ژنراتور کمپوند نقصانی DC :

$$I^* f = I_f - I_{eq}$$



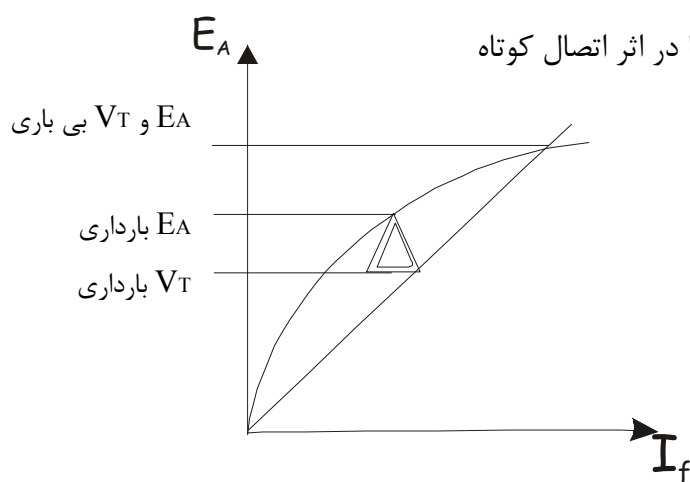
عملکرد موازی ژنراتور های DC :

به چند علت ژنراتور ها را موازی می بندیم :

۱- رساندن توان بیشتر به بار

۲- خارج کردن یکی از ژنراتورها به منظور تغییرات

۳- خارج شدن یکی از ژنراتورها در اثر اتصال کوتاه



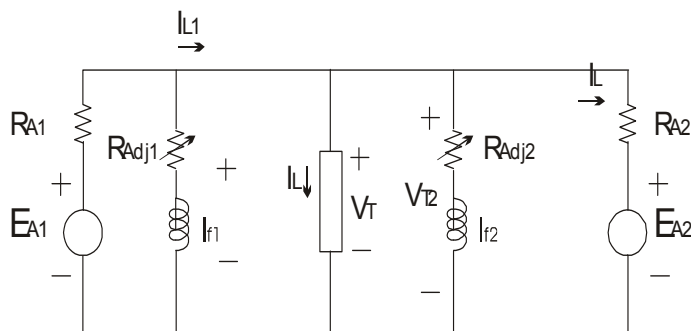
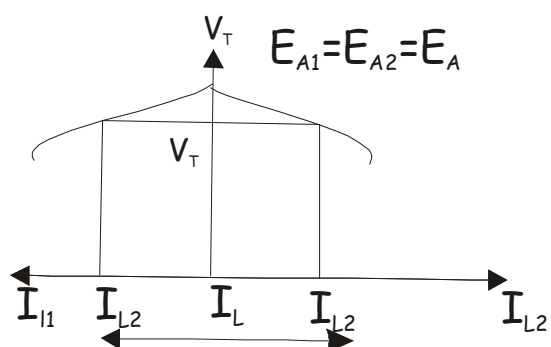
شرایط موازی بستن :

۱- ولتاژها مشابه باشند .

۲- ولتاژ ترمینالها مساوی باشد.

$$V_{T1} = V_{T2} = V_T$$

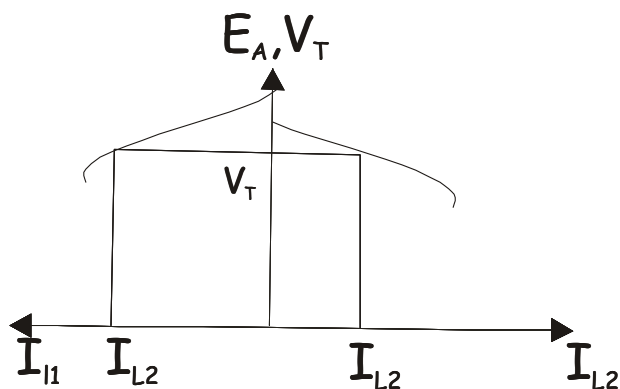
$$I_{L1} + I_{L2} = I_L$$



اگر در یکی از ژنراتورها دور یا جریان تحریک بالا برود در نتیجه E_A مربوطه نیز افزایش می یابد.

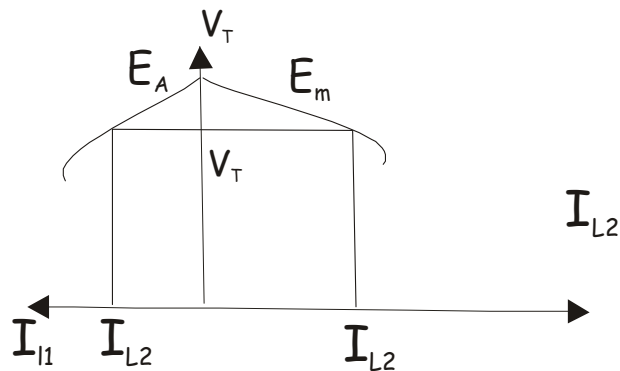
$$E_{A2} > E_{A1} \Rightarrow I_{L2} > I_{L1}$$

پس سهم ژنراتور دوم در تغذیه جریان بار بیشتر است .



اگر مشخصه یکی از ژنراتور تحت تر از دیگری باشد سهم آن در تغذیه جریان بار بیشتر است.

$$I_{L1} > I_{L2}$$



۵- موتورهای DC :

موتورهای DC از نظر ساختمان شبیه ژنراتورهای DC می باشند. با اینکه سیستمهای AC روز به روز بر سیستمهای DC ترجیح داده میشوند ولی باز هم از موتورهای DC استفاده های زیادی میشود. نظیر موارد استفاده در اتومبیل ، هواپیما همچنین به علت تغییرات زیاد در سرعت ، می توان از آنها در کارها استفاده کرد. موتورهای DC از نظر تنظیم سرعت با یکدیگر مقایسه میشوند :

ضریب تنظیم سرعت :

$$SR = \frac{Wn\ell - Wf\ell}{Wf\ell} \times 100\%$$

$$SR = \frac{\mu n\ell - \mu f\ell}{\mu f\ell} \times 100\% \quad \text{یا} \quad \text{و}$$

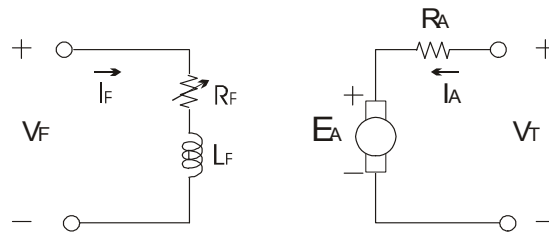
پنج دسته اصلی برای موتورها وجود دارد :

۱- تحریک مستقل ۲- شنت ۳- سری ۴- کمپوند ۵- مغناطیس دائم

مدار معادل یک موتور DC :

ولتاژ داخلی تولید شده نیروی ضد محرکه

$$E_A = k\phi\omega$$



گشتاور ایجاد شده :

$$Z_{ind} = K\phi I_A$$

موتور DC تحریک مستقل و شنت :

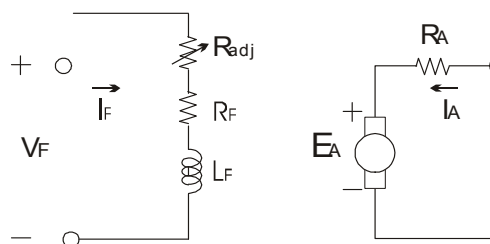
$$I_F = \frac{I_F}{R_F} \quad \text{تحریک مستقل}$$

$$V_T = E_A + R_A I_A$$

$$I_F = \frac{V_T}{R_F}$$

$$V_T = E_A + I_A R_A$$

$$I_L = I_A + I_F$$



اگر ولتاژ ترمینال موتور ثابت فرض شود هیچ تفاوتی بین دو موتور فوق وجود ندارد.

مشخصه ترمینال یک موتور DC شنت :

در موتور ، تصاویر خروجی گشتاور محور و سرعت آن می باشد . بنابراین مشخصه ترمینال یعنی منحنی گشتاور خروجی نسبت به سرعت آن.

فرض می کنیم بار اعمالی روی محور موتور افزایش یابد . بنابراین $T_{load} > T_{ind}$ پس سرعت موتور کاهش می یابد .

با کاهش سرعت $E_A \downarrow = K\phi W \downarrow$ کاهش می یابد. بنابراین $I_A \uparrow = \frac{V_T - E_A}{K_A}$ افزایش می یابد.

پس $Z_{ind} \uparrow = k\phi I_A$ تا به T_{load} برسد و سرعت موتور در سرعت کمتری قرار می گیرد.

$$V_t = E_A + R_A I_A$$

$$E_A = k\phi W$$

$$V_T = E_A + R_A I_A$$

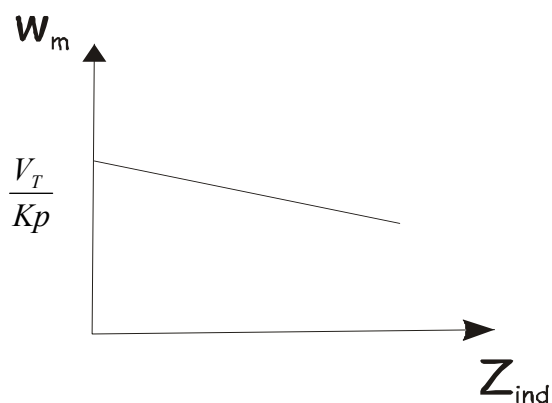
$$E_A = K\phi W$$

$$V_T = K\phi W + R_A I_A$$

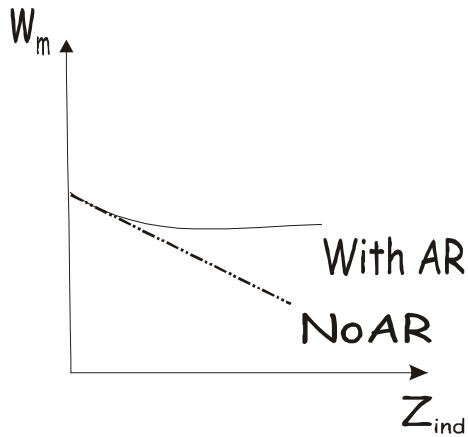
$$Z_{ind} = k\phi I_A \Rightarrow I_A = \frac{\tau_{ind}}{k\phi}$$

$$V_t = k\phi W + \frac{\tau_{ind}}{k\phi} R_A$$

$$W = \frac{V_T}{K\phi} - \frac{R_A}{(K\phi)^2} \tau_{ind} \quad \text{یا } W$$



در موتور های عملی عکس العمل آرمیچر نیز داریم . با افزایش بار ، این اثر باعث کاهش شار می شود. و با استفاده از معادله فوق سرعت موتور افزایش می یابد.



کنترل سرعت در موتورهای DC شنت :

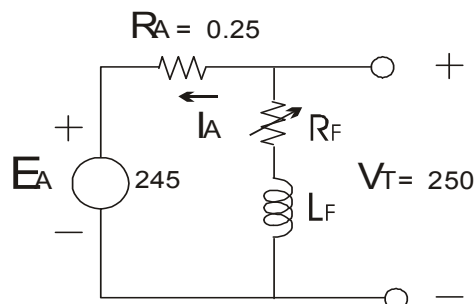
۱- تغییر دادن مقاومت میدان (R_F) :

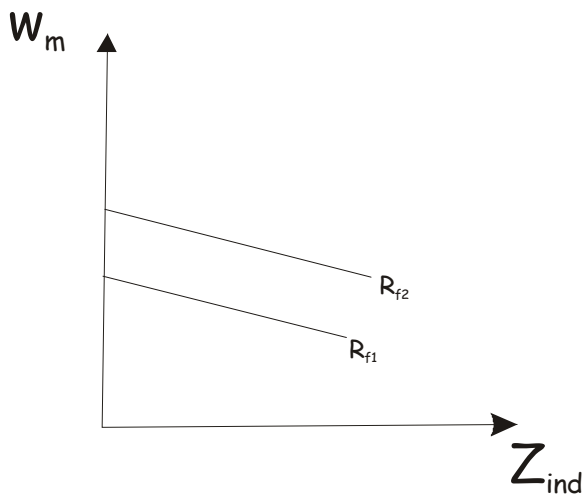
$$R_F \uparrow \Rightarrow I_F \downarrow \Rightarrow \frac{V_T}{R_F} \Rightarrow \phi \downarrow \Rightarrow E_A \downarrow = k\phi\omega \Rightarrow I_A \uparrow = \frac{V_T - E_A}{R_A} \Rightarrow Z_{ind} \uparrow = k\phi \downarrow I_A \uparrow$$

افزایش I_A بیشتر از کاهش ϕ می باشد. به مثال عددی زیر دقت کنید :

$$I_A = \frac{250 - 245}{0.25} = 20A$$

$$R_{F2} > R_{F1}$$





حال فرض می کنیم شار ϕ ، ۱٪ کاهش یابد. در اینصورت E_A نیز باید ۱٪ کاهش یابد.

$$E'_A = E_A - 0.01E_A = 0.99 \times 245 = 242.55 \text{ V}$$

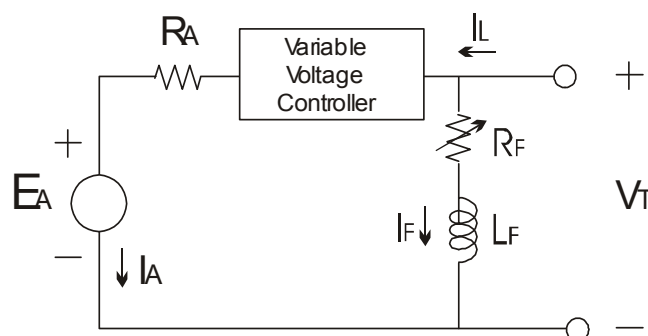
$$\Rightarrow I'A = \frac{250 - 242.55}{0.25} = 29.8 \text{ A}$$

$$I_A = (29.8 - 20) \times \frac{100}{20} = 49\%$$

بنابراین افزایش I_A بر کاهش ϕ غلبه دارد و در نتیجه Z_{ind} نهایتاً بالا می‌رود.

۲- تغییر ولتاژ آرمیچر :

روش دیگر تغییر ولتاژ آرمیچر است بدون اینکه ولتاژ مدار تحریک را تغییر دهیم .

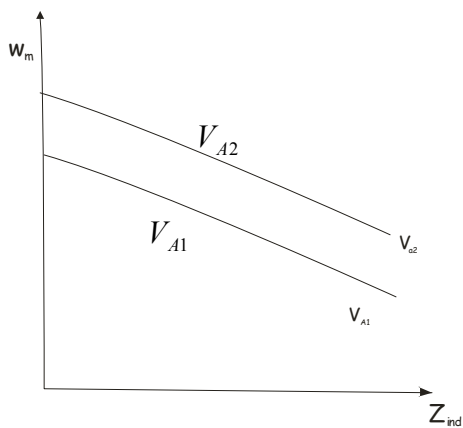


در اصل موتور باید تحریک مستقل باشد.

اگر به ولتاژ V_A افزوده شود، پس جریان آرمیچر بالا می رود.

$$I_A \uparrow = \frac{(V_A - E_A)}{R_A} \Rightarrow Z_{ind} \uparrow = K\phi I_A \Rightarrow w \uparrow$$

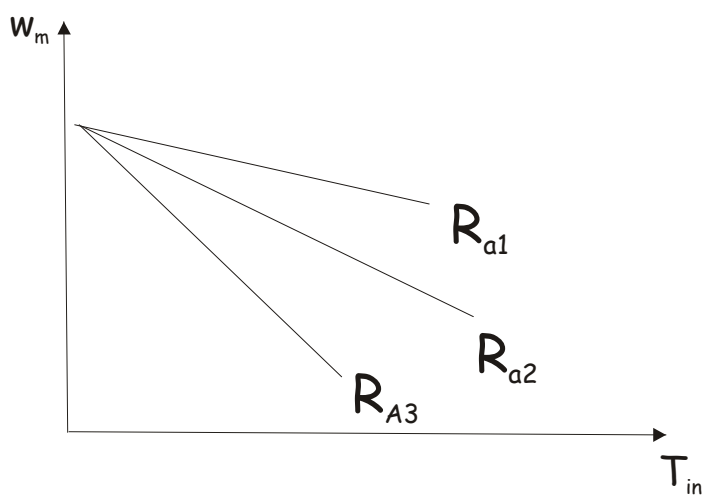
$$V_{A2} > V_{A1}$$



۳- تزریق مقاومت سری با مدار آمیچر :

با افزایش مقاومت آرمیچر شیب مشخصه $W_m - \tau_{ind}$ را بیشتر می کنیم.

$$R_{A1} < R_{A2} < R_{A3}$$



از آنجا که افزایش مقاومت اضافی در آرمیچر باعث ایجاد تلفات بیشتری در ماشین می گردد از این روش بندرت استفاده میشود.

در دو روش اول هر کدام دارای رنج تغییرات سرعتی متفاوتی می باشند.

در کنترل سرعت به روش مقاومت میدان با کوچک کردن جریان میدان ، سرعت بیشتر می گیریم و بالعکس . از آنجا که افزایش جریان میدان باعث کاهش سرعت می گردد ، این افزایش جریان میدان دارای محدودیت می باشد پس کاهش سرعت موتور نیز دارای محدودیت می باشد.

اگر موتور در مقادیر نامی خود کار کند جریان میدان نیز در مقدار نامی می باشد. پس نمی توان جریان را از آن بیشتر کرد. بنابراین سرعت را نمی توان از سرعت نامی کمتر کرد. پس در این روش کنترلی سرعت بیشتر از سرعت نامی میباشد.

در کنترل ولتاژ آرمیچر، با کاهش ولتاژ آرمیچر ، سرعت پائین می آید و بالعکس. از آنجا که برای افزودن ولتاژ آرمیچر محدودیت داریم پس در بالا بردن سرعت نیز محدودیت داریم.

بنابراین به بیشتر از سرعت نامی نیز نمی توان رسید . پس در این روش برای سرعت های کمتر از سرعت نامی استفاده میشود.

تفاوت عمده ای بین حد توان و گشتاور در این نوع روش کنترلی وجود دارد.

عامل محدود کننده در هر دو روش حرارت بیش از حد هادیهای آرمیچر می باشد.

در روش کنترل ولتاژ آرمیچر ، شار ثابت است بنابراین :

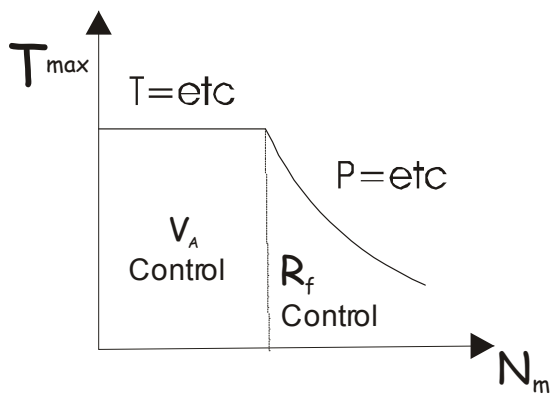
همچنین :

$$T_{\max} = k\phi I_{A\max}$$

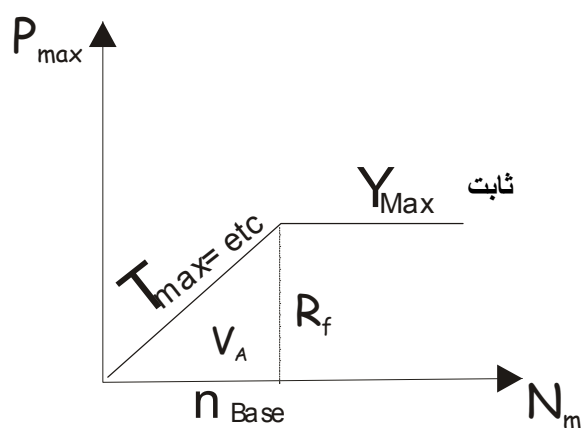
$$P_{\max} = \tau_{\max} \cdot \omega$$

از طرفی دیگر در روش کنترل سرعت ، با استفاده از RF شار تغییر می کند. بخاطر محدودیت در افزایش جریان آرمیچر، گشتاور تولید شده در موتور با افزایش سرعت ، کاهش می یابد. بنابراین $p = Tw$ نیز در حدی ثابت می ماند.

V_A controller : n_{base} زیر سرعت های



R_f controller : n_{base} بالا سرعت های



تازمانیکه v_A را تغییر می دهیم P تغییر می کند وقتی v_A را ثابت کردیم ($n = n_{base}$) P ثابت می ماند در

$$P = T\omega \quad \text{نتیجه با افزایش } n_m, T \text{ کاهش می یابد.}$$

اثر تضعیف شار در موتورهای DC:

دیدیم که با افزایش R_F ، ϕ کاهش یافته و در نتیجه E_A کاهش یافته پس سرعت موتور بالا می رود اگر R_F خیلی بزرگ شود و یا قطع شود (مدارباز) شار به مقدار ϕ_{res} می رسد.

$$\phi \rightarrow \phi_{res} \Rightarrow E_A \downarrow = K\phi_{res}\omega \Rightarrow I_A \uparrow \Rightarrow \tau_{ind} \uparrow \Rightarrow \omega \uparrow$$

برای رفع این مشکل از سیم پیچ های جبران کننده و یا کلیدهای گریز از مرکز استفاده می کنند.

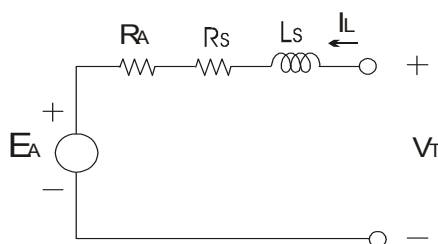
موتورهای DC با مغناطیسی دائم:

معمولاً این موتورها در اندازه های کوچک ساخته می شوند. قطبهای این موتورها از آهن ربای طبیعی ساخته شده بنابراین شار در آنها ثابت است. بنابراین تنها روش برای کنترل سرعت آنها استفاده از تغییر ولتاژ آرمیچر می باشد.

موتورهای DC سری:

$$v_t = E_A I_A (R_A + R_s)$$

$$\tau_{ind} = k\phi I_f = k'T_A^2$$



مشخصه گشتاور سرعت :

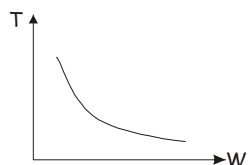
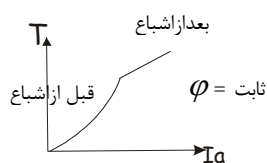
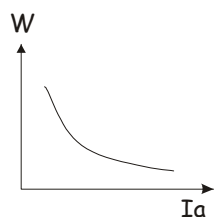
$$T = k_1 \phi I_a = k_1 k_2 I_a^2$$

$$v_t = k_1 \phi \omega + (R_a + R_s) I_a = k_1 k_2 I_a \omega + (R_a + R_s) I_a$$

$$\omega = \frac{v_t}{k_1 k_2 I_a} - \frac{R_a + R_s}{k_1 k_2}$$

$$I_a = \frac{v_t}{k_1 k_2 \omega + (R_a + R_s)}$$

$$T = k_1 k_2 I_a^2 = \frac{k_1 k_2 v_t^2}{[k_1 k_2 \omega + (R_a + R_s)]^2}$$



در اینجا مشاهده میشود که اگر موتور بی بار باشد . سرعت به طور وحشتناکی بالا میرود. بنابراین موتور DC سری را هیچگاه نباید بی بار راه اندازی کرد.

کنترل سرعت :

در اینجا فقط به روش تغییر ولتاژ آرمیچر می توان سرعت را کنترل کرد.

موتور DC کمپوند :

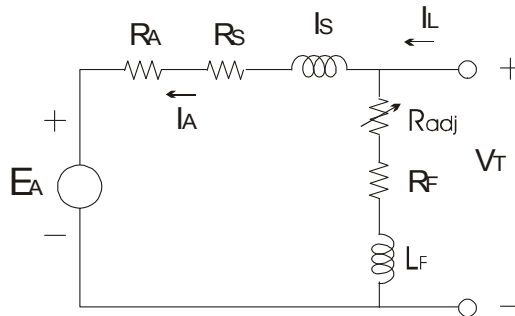
$$v_T = E_A + (R_A + R_s)I_A$$

$$I_A = I_L - I_F$$

$$I_F = \frac{v_t}{R_F}$$

$$F_{net} = F_{sh} \pm F_{se} - F_{Ar}$$

$$I^*_F = I_F \pm \frac{NsF}{NF} I_A - \frac{FAR}{NF}$$



توجه کنید که جهت توان عوض شود یعنی موتور به ژنراتور تبدیل شود.

یک موتور DC کمپوند اضافی به ژنراتور DC کمپوند نقصانی و بالعکس تبدیل میشود

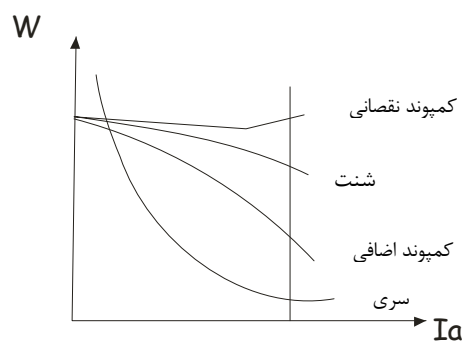
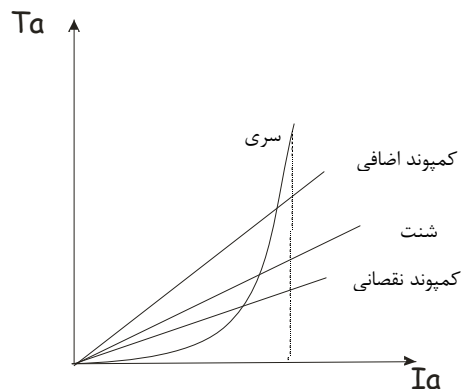
مشخصه های گشتاور سرعت :

$$T_a = k_1 \phi_{net} I_a = k_1 (k_3 I_{sh} \pm k_4 I_s) I_a$$

$$v_t = E_a + I_a (R_a + R_s)$$

$$E_a = k_1 \phi_{net} \omega = k_1 (k_3 I_{sh} \pm k_4 I_a) \omega$$

$$\omega = \frac{v_t - (R_a + R_s) I_a}{k_1 (k_3 I_{sh} \pm k_4 I_a)}$$



کنترل سرعت در موتورهای DC کمپوند :

$$۱- \text{تغییر } R_F \quad ۲- \text{تغییر } T_A \quad ۳- \text{تغییر } R_A$$

تطبیق بار و موتور

بارهای مکانیکی دارای مشخصه های گشتاور و سرعت خاص می باشند منجمله :

۱- بارهای با گشتاور ثابت

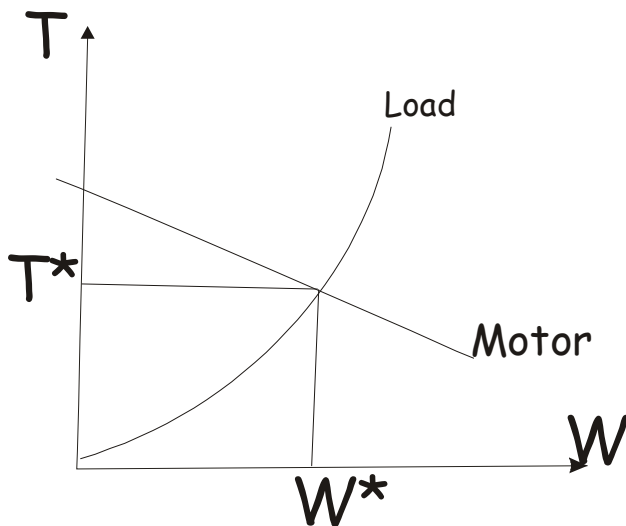
۲- گشتاور برقی بارها با سرعت متناسب است.

۳- گشتاور برخی از بارها با مجذور سرعت متناسب است.

۴- بارها با توان ثابت.

$$T_{load} = f(w) \quad \text{بطور کلی}$$

هرگاه باری به موتوری وصل شود نقطه تعادل محل تلاقی مشخصه های بار و موتور می باشد.



راه اندازی موتورهای DC :

به منظور بهره برداری بهتر و عملکرد صحیح موتور DC باید از کنترلرهای سرعت و وسایل حفاظتی استفاده کرد .

هدف از این تجهیزات عبارت است :

۱- محافظت موتور در برابر اتصال کوتاه

۲- محافظت موتور در برابر اضافه بار

۳- محافظت موتور در برابر جریان راه اندازی

۴- فراهم آوردن روش عام به منظور کنترل سرعت موتور

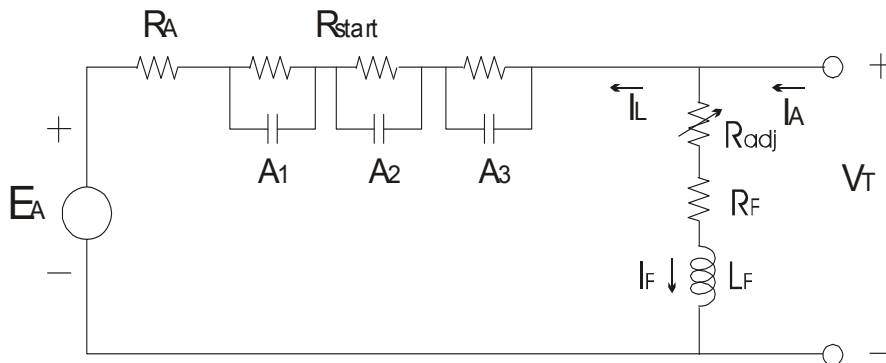
مسائلی درباره موتورهای DC در موقع راه اندازی :

$$\text{خیلی بزرگ} = I_A = \frac{V_t - E_A}{R_A} \Rightarrow E_A SK \phi W = 0 \Rightarrow w = 0 = \text{در موقع راه اندازی}$$

یکی از روشهای راه اندازی استفاده از مقاومت راه انداز می باشد این مقاومت بصورت سری با مقاومت آرمیچر قرار

می گیرد و در طول مدت راه اندازی مرحله به مرحله از مدار خارج می شود.

زمانی که موتور به دور نامی خود برسد کل مقاومت راه انداز از مدار خارج میشود.



کنتاکتهای A_1 و A_2 و A_3 توسط رله های حساس با جریان آرمیچر و یا ولتاژ به ترتیب اتصال کوتاه شده و در هر مرحله یک تعداد از مقاومت استارتر را حذف می کنند.

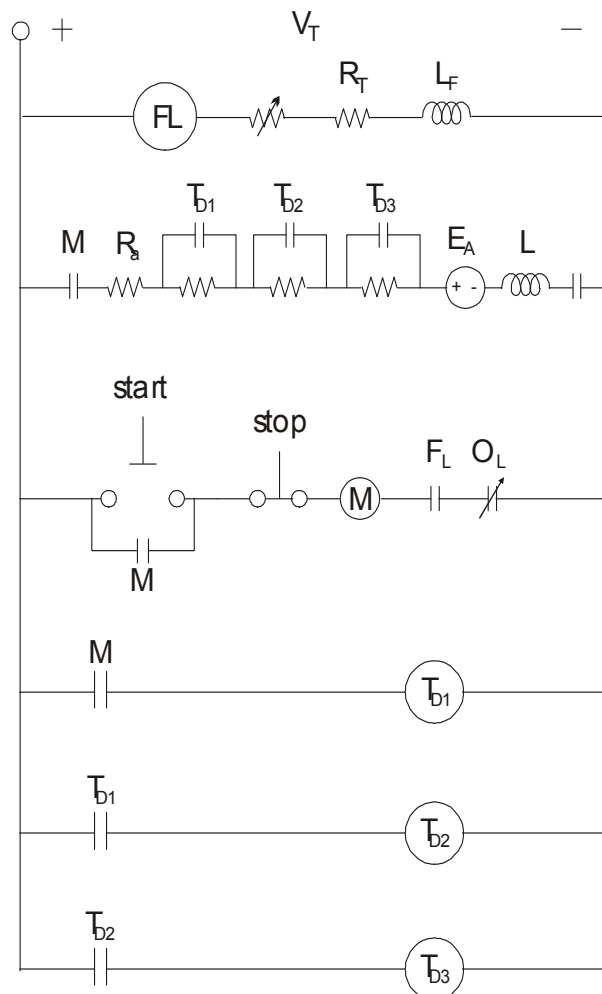
در زیر دو نوع مدار استارتر رسم شده است.

M = Relay Coil

TD = Time Delay Relay

FL = field circuit labeled

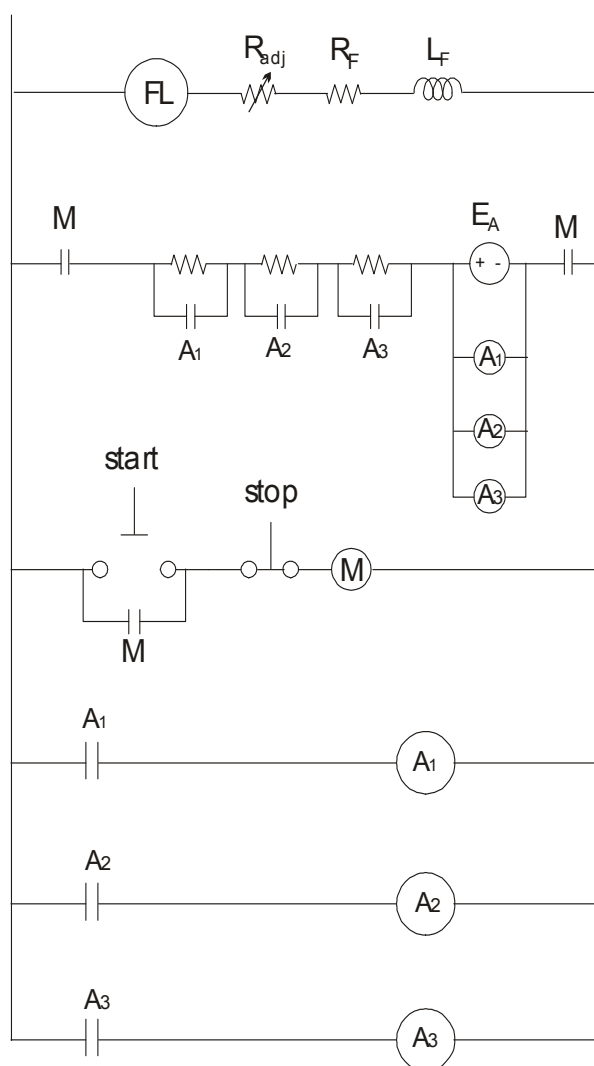
OL = over load



استارتر با رله های زمانی

با فشار دادن دکمه ، استارت رله M تحریک شده و عمل می کند . پس کنتاکتهای M وصل میشود. در این زمان رله T_{D1} تحریک می شود و L پس از مدت زمان t_1 عمل می کند و کنتاکتهای T_{D1} را وصل میکند پس هم رله T_{D2} تحریک می شود و هم یک قسمت از R start حذف میشود . با تحریک T_{D2} بعد از مدت t_2 کنتاکتهای T_{D2} وصل می شود و مانند قسمت قبل رله T_{D3} تحریک میشود و کنتاکتهای T_{D3} را وصل می کند و کل R start را حذف می کند.

با زدن دکمه استارت ، رله M تحریک شده و کنتاکتهای M را وصل می کند و موتور شروع به حرکت می کند و ولتاژ E_A بالا میرود تا به E_{A1} برسد . در اینصورت رله A_1 تحریک شده و کنتاکتهای A_1 را وصل می کند به همین ترتیب برای بقیه .



رله حساس با ولتاژ آرمیچر

مدار استارتر نوع دوم از نوع قبل بهتر میباشد. چون موتور در بارهای مختلف ، شرایط مختلفی دارد و جریان با زمان تغییر می کند . ولی رله های T_{D1} و T_{D2} و.... دارای زمان ثابتی هستند.

حال به نحوه خارج کردن مقاومتها و محاسبه مقدار جریانها می پردازیم :

$$R_1 = r_1 + r_2 + \dots + r_n + R_a$$

$$R_2 = r_2 + r_3 + \dots + r_n + R_a$$

.

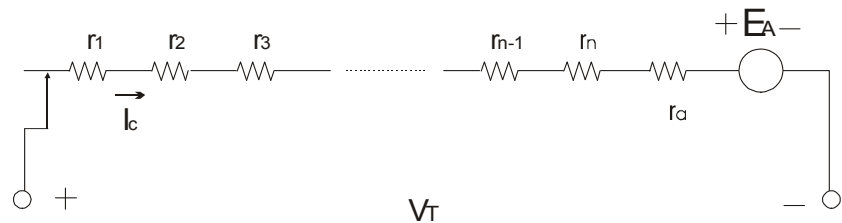
.

.

$$R_{n-1} = r_{n-1} + r_n + R_a$$

$$R_n = r_n + R_a$$

$$R_{n+1} = R_a$$



R_1 را طوری محاسبه می کنیم که $I_{a \max}$ از موتور بگذرد.

$$\left\{ \begin{array}{l} t = 0 \Rightarrow E_A = 0, R_{start} = R_1 \Rightarrow I_{a \max} = \frac{V_t}{R_1} \quad 1 \\ t = t_1^- \Rightarrow E_A = E_{A1}, R_{start} = R_1 \Rightarrow I_{a \min} = \frac{V_t - E_{A1}}{R_1} \quad 1' \\ t = t_1^+ \Rightarrow E_A = E_{A1}, R_{start} = R_2 \Rightarrow I_{a \max} = \frac{V_t - E_{A1}}{R_2} \quad 2 \\ t = t_2^- \Rightarrow E_A = E_{A2}, R_{start} = R_2 \Rightarrow I_{a \min} = \frac{V_t - E_{A2}}{R_2} \quad 2' \\ \vdots \\ t = t_n^+ \Rightarrow E_A = E_{An}, R_{start} = R_{n+1} \Rightarrow I_{amax} = \frac{V_t - E_{An}}{R_{n+1}} \quad n+1 \\ t = t_{n+1}^- \Rightarrow E_A = E_{An+1}, R_{start} = R_{n+1} \Rightarrow I_{a \min} = \frac{V_t + E_{An+1}}{R_{n+1}} \quad n'+1 \end{array} \right.$$

با تقسیم روابط اول بر روابط دوم متناظر و ضرب همگی داریم :

$$\left(\frac{I_{a \max}}{I_{a \min}} \right)^{n+1} = \frac{V_t}{V_t - E_{An+1}} = \frac{R_1 I_{a \max}}{R_a I_{a \min}}$$

$$\left(\frac{I_{a \max}}{I_{a \min}} \right)^n = \frac{R_1}{R_a}$$

مثال : یک موتور DC شنت 100hp و 250v و 350A با مقاومت آرمیچر $R_a = 0.05 \Omega$ مفروض است .

می خواهیم یک مدار راه انداز برای این موتور طوری طراحی کنیم که ماکزیمم جریان راه اندازی ۲ برابر جریان

نامی موتور باشد. و مینیمم جریان راه اندازی همان جریان نامی باشد.

در این طراحی به چند مرحله مقاومت احتیاج می باشد و مقاومت هر مرحله را حساب کنید.

$$1) \quad R_{tot} = R_A + R_{start} = \frac{v_t}{I_{max}} = \frac{250}{700} = 0.357$$

$$2) \quad SRR = \frac{R_{tot}}{R_A} = 7.14 (\text{starting Resistance Ratio})$$

$$3) \quad CR = \frac{I_{max}}{I_{min}} = \frac{700}{350} = 2 (\text{current Ratio})$$

$$4) \quad n = \frac{SRR}{CR} = \frac{7.14}{2} = 3.57 \Rightarrow \text{۳ مرحله}$$

$$t = 0 \Rightarrow E_A = 0, I_A = 700A$$

$$I_{Amax} = \frac{v_t}{R_A + R_1 + R_2 + R_3} = 700 \Rightarrow R_{total} = 0.357$$

$$t = t_1^- \Rightarrow E_{A1} = v_t - I_{Amin} R_{total} = 250 - (350)(0.357) = 125V$$

$$t = t_1^+ \Rightarrow I_{Amax} = \frac{v_t - E_{A1}}{R_A + R_2 + R_3 + \dots} \Rightarrow R_A + R_2 + R_3 = \frac{250 - 125}{700} = 0.1786 \Omega$$

$$t = t_2^- \Rightarrow E_{A2} = v_t - I_{Amin} R'_{total} = 250 - (350)(0.1786) = 187.5V$$

$$t = t_2^+ \Rightarrow I_{Amax} = \frac{v_t - E_{A2}}{R_A + R_3} \Rightarrow R_A + R_3 = \frac{250 - 187.5}{700} = 0.0893$$

$$t = t_3^- \Rightarrow E_{A3} = v_t - I_{Amin} R''_{total} = 250 - (0.0893)(350) = 2/8.75V$$

$$I_A = \frac{250 - 2/8.75}{0.05} = 625A < I_{Amax}$$

$$R_3 = 0.0893 - 0.05 = 0.0393 \Omega$$

$$R_2 = 0.1786 - 0.0393 - 0.05 = 0.0893 \Omega$$

$$R_1 = 0.357 - 0.0793 - 0.0393 - 0.05 = 0.178 \Omega$$

