شماره هفته آموزشی	مبحث	توضیحات
۱	مقدمه-یادآوری برخی از مفاهیم اساسی و پایه در ماشین های الکتریکی میدان های دوار و اساس کارکرد موتور های القایی سه فاز	
۲	ماشین های القایی دو فاز-مفهوم تعادل و تقارن در ماشین های الکتریکی-بررسی میدان های تولیدی در ماشین های القایی دو فاز	
۳	اصول کارکردموتورهای القایی تک فاز- میدان گردان در موتورهای القایی تک فاز- بررسی مدل دو طبقه در موتورهای القایی تک فاز	
٤	معرفی روشهای راه اندازی موتورهای القایی تک فاز-اصلاح مدار الکتریکی-اصلاح مدارمغناطیسی-موتور القایی فاز شکسته- موتورالقایی تک فاز با خازن راه انداز	
٥	-موتورالقایی تک فاز با خازن دایم کار - موتورالقایی تک فاز با خازن راه انداز و دایم کار -حل مساله در مورد راه اندازی موتورهای القایی تک فاز	
٦	-موتورالقایی قطب چاکدار -موتور القایی با راه انداز رلوکتانسی	
۷	-موتورهای یونیورسال -بررسی عملکرد موتور شنت DC در تغذیه متناوب	
۸	-بررسی عملکرد موتور سری DC در تغذیه متناوب	
۹	-معرفی انواع آهنرباهای دایم و موارد استفاده از آنها -بررسی کامل موتورهای PMDC	
۱۰	-بررسی کامل موتورهای PMAC معرفی موتورهای BLDC و PMSM -کموتاسیون الکترونیکی	
۱۱	معرفی کامل موتورهای سوییچ رلوکتانس (SRM)	
۱۲	کاهش ریپل گشتاور در موتورهای سوییچ رلوکتانس	
۱۳	انواع مدل های مداری معمول در تحریک موتورهای سوییچ رلوکتانس	
۱٤	تقویت کننده های گردان	
۱٥	سروموتورها و انواع آنها	
۱٦	سینکروها	

مقدمه :

همانطور که در درس ماشین ۱ و دیگر دروس ماشین دیدیم هر ماشین دو مدار دارد یک مدار الکتریکی که سیم پیچی های ماشین آن را شکل می دهد و جریان الکتریکی در آنها جاری است و مدار مغناطیسی ماشین که همان هسته ماشین می باشد و از جنس آهن است و شار مغناطیسی در آن جاری است.

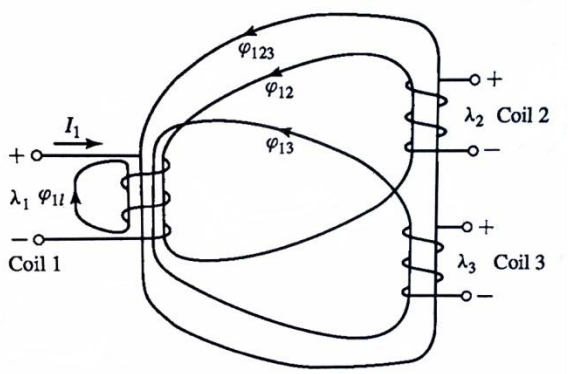
به صورت کلی دو نوع شار وجود دارد :
۱ – شار مشترک یا پیوندی
۲ – شار نشتی:

شارپیوندی:

شار مشترک یا پیوندی شاری است که از سیم پیچ های، استاتور و شکاف هوایی عبور می نماید این شار با شار متقابل یا مغناطیسی کننده ترانسفورماتور متناظر است و در ایجاد گشتاور دخالت مستقیم دارد. مسیر این شار آهن استاتور، فاصله هوایی و روتور است پس از طعبیت مغناطیسی خودش یعنی آهن بعلاوه هوا پیروی می کند و دارای منحنی مغناطیسی ($B-H$) غیر خطی می باشد . این شار دارای قالب مشخصی در فضای ماشین است.

شار نشتی :

بخشی از شار ناشی از سیم پیچ‌های روتور و استاتور که از شکاف هوایی نمی‌گذرند شار نشتی تشکیل میدهند. این شار از مولفه‌های نشت شیار و دندانه، نشت دور آخر و هارمونیک های فضایی میدان شکاف هوایی تشکیل شده است. این شار ها به دلیل ولتاژهایی که در سیم پیچ های متناظر شان ایجاد می کنند در عملکرد ماشین موثراند. این شار وارد آهن نمی شود پس از طبیعت مغناطیسی خودش یعنی هوا پیروی نموده و دارای منحنی مغناطیسی ($B-H$) خطی می باشد، باید توجه داشت هر سیم پیچ دارای مسیر نشتی منحصر به خود می باشد .



شکل۱- سیستمی با سه کلاف که مولفه های شار پیوندی و نشتی تولید شده توسط جریان در کلاف ۱ را نشان می دهد

شار پیوندی و شار نشتی مفهومی نسبی دارند. مفهوم شار نشتی و شار پیوندی فقط در متن یک سیستم چند سیم پیچه معنی دارد. مثلا درسیستم سه سیم پیچه شکل ۱، شار $\varphi 123$ که هر سه سیم پیچ را پیوند می دهد شار پیوندی می باشد و $\varphi 1l$ شار نشتی است زیرا فقط از سیم پیچ یک عبور می کند. در این سیستم شار $\varphi 12$ که از دو سیم پیچ یک و دو عبور می کند ولی از سیم پیچ سوم عبور نمی کند، هنوز نسبت به سیم پیچ سوم شار نشتی محسوب می شود. یک ماشین الکتریکی اغلب شامل سیستمهای مرکب از چندین سیم پیچ است که فاصله هوایی نیز درسیستم وجود دارد.

موتور القایی سه فاز

اساس کار موتور القایی سه فاز : در درس ماشین ۲ اساس کار موتور القایی سه فاز به صورت کامل تشریح شد. یاد آوری : در یک موتور سه فاز ۳ سیم پیچ داریم که با هم $120°$ در مکان اختلاف فاز دارند. اگر به این سه سیم پیچ سه جریان بدهیم که جریان ها نیز $120°$ از نظر زمانی اختلاف فاز داشته باشند آنگاه یک میدان دوار با دامنه ثابت $\frac{3}{2} B_{max}$ ایجاد می شود. این میدان دوار با چرخش در فضای داخلی استاتور بر روی هادی های روتور ولتاژ القا میکند. از طرف دیگر همانطور که میدانیم هادی های روتور اتصال کوتاه هستند. بنابر این جریانی در آن ها شکل می گیرد، این جریان میدان دیگری به نام B_r بوجود می آورد. حال دو میدان داریم، از واکنش این دو میدان گشتاور در موتور ایجاد و موتور به کار می افتد.

قابل ذکر که میدان حاصل از هر فاز نوسانی (ضربانی) است یعنی در مکان تغییرات ندارد.

نتیجه : یک موتور القایی سه فاز خود راه انداز است کافی است سه فاز موتور را به برق وصل کنیم. حال سوال این است که موتور القایی تکفاز چگونه کار می کند؟ همانطور که می دانیم میدان حاصل از یک فاز ضربانی است یعنی در مکان تغییرات ندارد، پس موتور القایی تک فاز چگونه کار می کند؟

موتور القایی تک فاز-مقدمه

اغلب محرکه های تجهیزات موجود در بخش های تجا ری ، اداری، کشاورزی و خانه ها موتورهای القایی تکفاز می باشند . بدلایل تکنیکی و اقتصادی انرژی الکتریکی این بخشها از یک فاز تامین می گردد وموتورهای القایی تکفاز نیز انرژی الکتریکی مورد نیاز خود را ازیک فازمی گیرند. گذشته از این موتورهای القایی تکفاز از ساختمان بسیارساده ای برخوردارند و روتور این موتورها قفسی می باشد این امر انتخاب این موتورها را به عنوان محرکه ای مناسب ارزان قیمت و صلب از بین انواع دیگر موتورهای الکتریکی توجیه می کند .

استحکام بالای موتورهای القایی تکفاز موجب کاهش هزینه تعمیر و نگهداری این موتورها درمقایسه با دیگر موتور های الکتریکی شده است -این ویژگی موتورهای القایی تک فاز را بی رقیب ساخته است . تعداد زیادی از موتورهای القایی تکفاز بعنوا ن محرکه لوازم آشپزخانه و سیستم های سرمایشی و گرمایشی وتهویه به کار گرفته می شود. در تجهیزات دیگر بخشهای اداری، تجاری و کشاورزی نیز در صد بالایی ازمحرکه های الکتریکی از نوع موتورهای القایی تکفاز می باشند . کاربرد موتورهای القایی تکفاز دراین حجم بالا موجب رقابت شدید بین سازندگان موتورهای القایی در هر دو جنبه اقتصادی و تکنیکی شده است بنابراین مطالعه و بررسی رفتار موتور القایی تکفاز برای دانشجویان و مهندسین برق ضروری می باشد.

برای مطالعه و بررسی رفتار موتور القایی تکفاز ابتدا باید اصولی را در مورد موتورهای دوفاز مطرح نماییم.

در ماشین دو فاز نیز میدان دوار داریم ولی با دامنه کمتر نسبت به سه فاز.

مفهوم تعادل و تقارن در ماشین های دو فاز

مفهوم تعادل : در یک سیستم متعادل دو فاز مولفه های قدرت الکتریکی (ولتاژ یا جر یان)
۱- از دامنه های برابر برخوردارند.
۲- از اختلاف فاز $90°$ درجه الکتریکی نسبت به هم برخوردارند.

$$|S_1| = |S_2| \qquad \theta_1 - \theta_2 = 90$$

در صورت نقض هر یک از دو شرط بالا و یا نقض هر دو، از یک سیستم تغذیه نا متعادل برخوردارند.

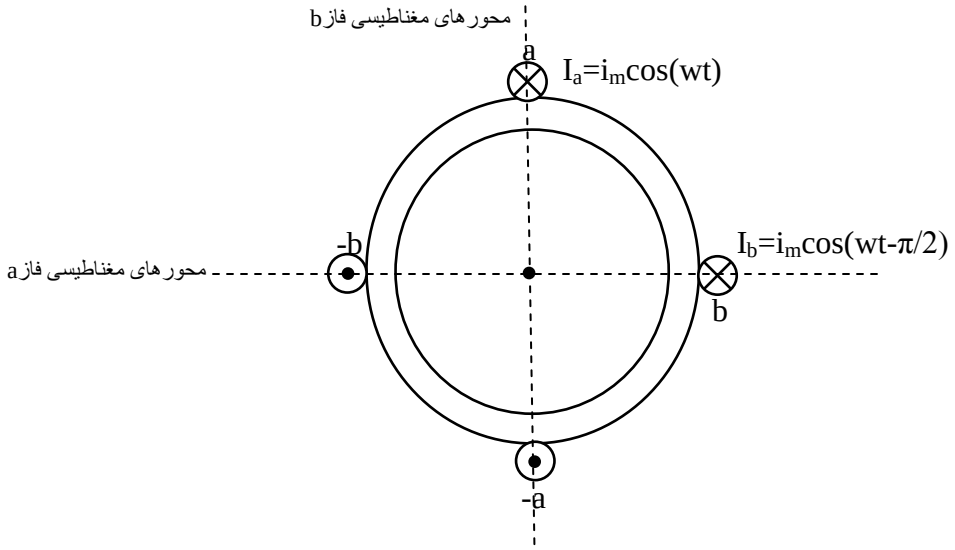
مفهوم تقارن : تقارن به ساختار هندسی استوانه ای ماشین مربوط می شود.در ماشین دو فاز متقارن علاوه بر :

۱- تقارن موجود در مدار استوانه ای دو فاز

۲- اندازه ی سیم پیچ های فاز ها نیز از هر نظر همسان می باشند.

۳- محور های مغناطیسی فاز ها نیز بر هم عمودند.

شکل زیر یک ماشین متقارن دو قطب دوفاز را نشان می دهد.



نابرابری دراندازه سیم پیچی ها می تواند نتیجه:

۱) نابرابری تعداد دورسیم پیچی فازها

۲) نابرابری مقطع هادیهای سیم پیچی های فازها

۳)یکسان نبودن جنس هادی های فازها

باشد که به نابرابری امپدانس فازها ازهردو جنبه مقدار و زاویه فاز می انجامد.

هرگونه عاملی که شرط تعادل و تقارن را بر هم بریزد، بسته به شدت تخریب باعث می شود مکان هندسی انتهای بردار منتجه از دایره به بیضی تبدیل شود. حرکت یک چرخ به صورت دایره یا بیضی را در نظر بگیرید، مشخص است که حرکت دایره ای بهتر است. مکان هندسی بردار به صورت بیضی باعث می شود که موتور دارای سر و صدا و ریپل در گشتاور شود. هر چقدر دایره بیشتر تخریب شود، سر و صدا و ریپل بیشتر می شود.

چگونگی تولید میدان در ماشین القایی دو فاز متقارن با تغذیه نا متعادل:

چناچه جریان های فازها بصورت زیرباشند :

الف) $I_1 \neq I_2$ $\quad i_b = I_2 \cos(\omega_s t - \pi/2)$ $\quad i_a = I_1 \cos(\omega_s t)$

ب) $I_1 = I_2$ $\quad i_b = I_2 \cos(\omega_s t - \pi/3)$ $\quad i_a = I_1 \cos(\omega_s t)$

ج) $I_1 \neq I_2$ $\quad i_b = I_2 \cos(\omega_s t - \pi/3)$ $\quad i_a = I_1 \cos(\omega_s t)$

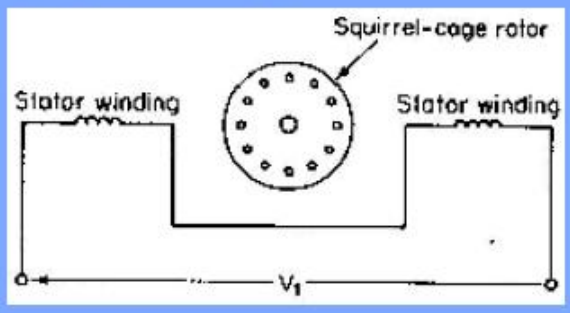
دراینصورت تغذیه نامتعادل است.

بااستفاده ازمو لفه های متقارن درهرفاز وجمع لحضه ای میدان ها درمی یابیم که مکان هندسی انتهای بردار میدان نتیجه نه بر روی یک خط بوده ونه بر روی یک دایره بلکه مکان هندسی انتهای بردار میدان نتیجه بر روی یک بیضی است. یاد آوری می شود که در صورت عدم وجود تقارن هندسی ماشین و یا عدم وجود تعادل در مولفه های الکتریکی فازها مکان هندسی انتهای بردارچگالی شارنتیجه دیگر برروی یک دایره قرار نمی گیرد.

موتورهای القائی تکفاز

در موتور تکفاز یک سیم‌پیچی داریم و روتور از نوع قفس سنجابی است و استاتور فقط شامل یک سیم‌پیچ اصلی است.

ساختمان موتور تکفاز
- رتور (هسته، قفس سنجابی)
- استاتور (هسته، یک سیم پیچ اصلی)

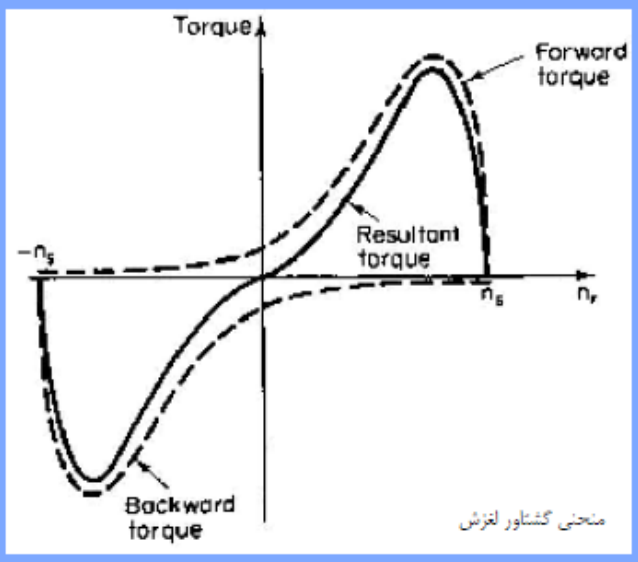


با فرض اینکه توزیع mmf مربوط به سیم‌پیچی‌ها سینوسی است

$$\begin{cases} F_a = k\, i_a \cos\theta \\ i_a = I_m \cos\omega t \end{cases} \rightarrow F = k\, I_m \cos\theta \cos\omega t$$

$$\rightarrow F = 0.5\, k\, I_m \left[\cos(\theta - \omega t) + \cos(\theta + \omega t)\right]$$

موج ضربانی متشکل از دو میدان مولفه جلوگرد و عقب گرد است (F_+، F_-) که دامنه‌شان ثابت است



مولفه برآیند گشتاور، مجموع دو حالت جلوگرد و عقب گرد است و در حالت راه‌اندازی چون گشتاور + و – مساویند لذا مقدار برآیند صفر است و این برخلاف موتورهای معمول دیگر است.

شکل بالا نشان می دهد که موتور القایی تک فاز در زمان صفر گشتاور راه اندازی ندارد. حال چگونه باید مشکل آن را برطرف کنیم. اما این کار با استفاده از مفاهیم ماشین دوفاز انجام می شود قبلاً در بحث تقارن و تعادل برای یک ماشین دوفاز گفتیم میدان حاصل از دوفاز یک میدان دوار است به شرطی که تقارن و تعادل بر قرار باشد.

اگر بتوانیم به نوعی یکی از میدان‌ها را تقویت کنیم و یا اینکه اگر روتور را در یک جهت کمی بچرخانیم گشتاوری خواهیم داشت و روتور در همان جهت شروع به چرخیدن خواهد کرد.

بنابراین مهمترین مسئله در موتورهای تکفاز، راه‌اندازی می‌باشد که دسته بندی موتورهای تکفاز نیز بر اساس نوع راه اندازی می باشد.

روشهای راه اندازی موتورهای القایی تکفاز:

لذا برای رفع مشکل راه اندازی در ماشین های تک فاز به دو روش کلی زیر عمل می کنیم.

۱) درج فاز دوم (فاز فرعی)

۲) شکاف دار کردن قطب های استاتور

----------**راه حل کلی ۱**----------

۱- راه اندازی موتورالقایی فازشکسته

۲- راه اندازی القایی فازشکسته خازن دار

الف) خازن راه انداز

ب)خازن دائمی

ج) دو خازنی

----------راه حل کلی ۲----------

علاوه براین روشها دو روش دیگر نیزبه شرح زیر برای راه اندازی وجود آورد:

۳- موتورهای القایی تک فاز قطب چاکدار

۴- موتورهای القایی تک فازرلوکتانسی راه انداز

۱-۶-۵-۱ موتور القایی فاز شکسته

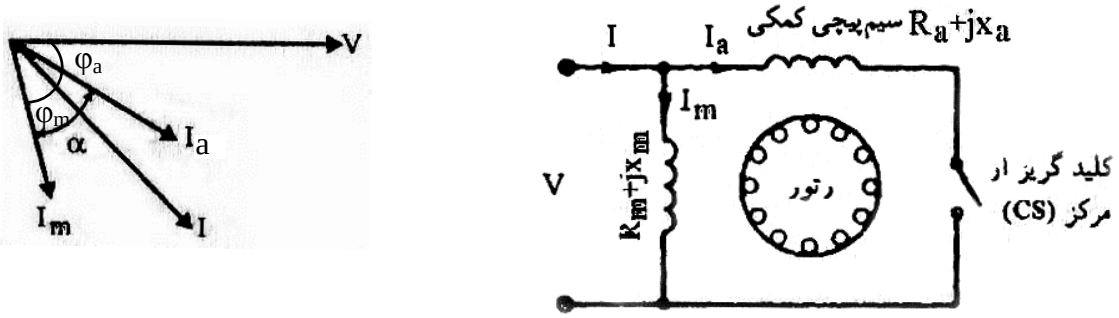
موتور القایی فاز شکسته یا کمکی همانطوری که قبلا اشاره شد مجهز به یک سیم پیچ کمکی است. اغلب سیم پیچ کمکی به نام سیم پیچ راه انداز نیز نامیده می شود . این سیم پیچ با یک کلید گریز ازمرکز سری می باشد که در سرعت نزدیک به سرعت سنکرون ازمدارتغذیه جدا می شود .سیم پیچ ها ی اصلی و کمکی باتعداد قطب های برابر پیچیده می شوند ومحور مغناطیسی آنها برهم عمود می باشند وهردو ازیک منبع ولتاژ بطورموازی تغذیه می شوند.

سیم پیچی کمکی درمقایسه با سیم پیچ اصلی با سیم های نازکتری پیچیده می شود وتعداد کمتری از شیارهای استاتور را درمقایسه با سیم پیچی فاز اصلی اشغال می کنند.چون موتور القایی تک فاز در حالت ماندگار تنها با سیم پیچی اصلی

کار می کند ضرورت دارد طراحی سیم پیچی اصلی به گونه ای باشد که مولفه اصلی موج میدان گردان آن نسبت به هارمونی سوم مضر حداکثر مقدار را داشته باشد بدین منظور توزیع سیم پیچی ها به گونه ای است که معمولا(۱/۳)شیارهای استاتوربه سیم پیچی فرعی اختصاص می یابد و(۲/۳)شیارهای باقیمانده استاتوربا سیم پیچی اصلی پرمی شود.

با توجه به مقادیر اهمی وراکتانسی امپدانس فازهای فرعی واصلی جریان سیم پیچی فاز فرعی درراه اندازی نسبت به فاز اصلی بطورقابل ملاحظه ای پیش تر است. دیاگرام ترسیمی موتور و روابط تعادل

ولت آمپری و دیاگرام فازوری مولفه های ولت آمپری را درشکل های (۱-۳۶) می بینیم.



(**b**) (**a**)

شکل(۱-۳۶) (**a**) دیاگرام مداری موتور القایی تک فاز با فاز شکسته (**b**) دیاگرام ولت آمپری در راه اندازی

روابط تعادل ولت آمپری به شرح زیر است:

$$V = (R_m I_m + jI_m X_m) + \overline{E}_m \qquad V = (R_m I_a + jX_a I_a) + \overline{E}_a$$

$$(R_m/X_m < R_a/X_a)$$

که در آن

و

$$\varphi_m \rangle \varphi_a \Rightarrow \begin{cases} i_m = I_m \cos(\omega t - \varphi_m) \\ i_a = I_a \cos(\omega t - \varphi_a) \end{cases}$$

که تشکیل مولفه های دو فاز نامتعادلی را می دهد و می تواند میدان گردانی را با مکان هندسی انتهای بردار بیضی شکل ایجاد نماید.

دراین شکل می بینیم که اختلاف فازبین مولفه های جریان درفازهای اصلی و فرعی کمتر ا ز۹۰ درجه می باشند اما به هرحال یک سیستم نا متعادل دو فازی را به نمایش می گذارند و این سیستم دو فازمیدان دواربیضی گونه راتولید می کند.این میدان بیضی گونه مبنای تولید گشتاور راه اندازی می باشند.

با افزایش سرعت موتور گشتاورتولیدی آن نیز فزونی می گیرد وتقریبا پس ازاینکه موتوربه بیش از ۷۵ درصد سرعت سنکرون خود رسید گشتاورتولید شده توسط سیم پیچ اصلی ازگشتاور تولید ی توسط هردو سیم پیچ بیشترمی شود وبه این علت بالای ۷۵ درصد سرعت سنکرون سیم پیچ کمکی به وسیله کلید گریز ازمرکز از مدار خارج می شود.

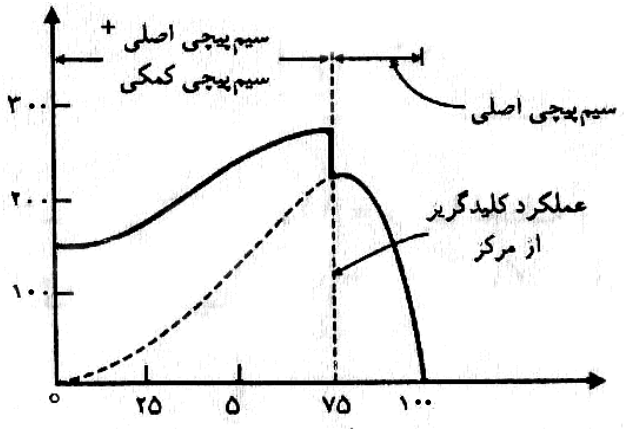
چنانچه خطایی در مدارراه اندازی رخ بدهد و یا به علت کثیف بودن کنتاکت ها در مدار کمکی اتصال برقرار نگردد موتور به راه نمی افتد. همچنین چنانچه در زمان لازم کنتاکت ها باز نشوند سیم پیچ کمکی در مدار باقی مانده ومی سوزد.(در این شرایط احتمال آسیب دیدن سیم پیچ اصلی در اثر گرمای ایجاد شده نیز افزایش می یابد.)

لذا درصورت بروز عیب درکلید راه انداز حتماً باید آن را تعویض نمود . برای معکوس کردن جهت چرخش موتور نیزمی توان از عوض کردن جهت ترمینال های ورودی سیم پیچ اصلی و فرعی سود جست البته انجام این کا ر در زمانی که موتور در شرایط کارنرمال قرار دارد و سیم پیچ فرعی خارج از مدار است مفید نمی باشد.

زیرا در این شرایط موتور فقط با یک فاز عمل می کند . بنابراین در صورت نیاز به تعویض جهت چرخش در حین کار عادی باید سیم پیچ فرعی بنحو صحیحی وارد مدار شود.

مشخصات موتور القایی با فاز کمکی تقریبا مشابه با موتور القایی چند فازاست که البته مقادیر به کار رفته در نمودارها مسلما با هم متفاوت خواهند بود .در یک نگاه مقایسه گرانه می توان گفت که در موتور القایی با فاز کمکی تلفات بی باری و همچنین تلفات در بار کامل بیشتر ازموتور القایی چند فاز هم ارزش می باشد.لذا موتور های القایی چند فاز راندمان بیشتری دارند .

در موتور القایی با فاز کمکی گشتاور راه اندازی بین ۱۵۰ تا ۲۰۰ درصد گشتاور نامی تغییر می کند و جریان راه اندازی حدود ۶ تا ۸ برابر جریان بار کامل می باشد.



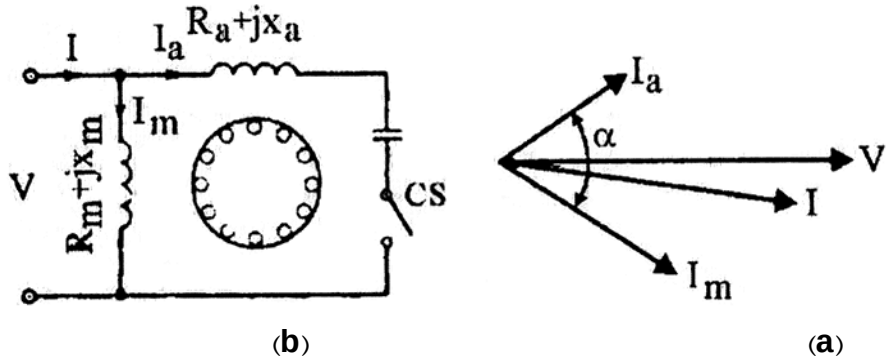
شکل(۱-۳۸) مشخصه گشتاور – لغزش موتور القایی تک فاز با فاز شکسته

همچنین این موتورها به عنوان موتور سرعت ثابت در نظر گرفته می شوند . به این ترتیب موتورالقایی با فازکمکی درمواردی که به سرعت ثابت و گشتاور راه اندازی مناسب نیاز باشد کاربرد ویژه ای پیدا

می کند. همان طور که بیان شد میدان دوارایجاد شده در اثر تغذیه فازهای اصلی و کمکی درموتور فازشکسته بیضی گونه است در نتیجه این موتورها پر سرو صدا می باشند. زیرا میدان بیضی گونه ایجاد گشتاور نوسانی می کند.

۶-۵-۲ موتور خازن راه انداز

با افزودن یک خازن الکترولیتی بطور سری در مدارسیم پیچی فرعی می توان بطور محسوسی کیفیت کار راه اندازی موتور القایی تک فاز را ارتقا داد موتورهایی با این ویژگی را خازن راه انداز می نامند یاد آوری می شود که کلید گریز از مرکز همچنان در مدارسیم پیچی فرعی نقش خود را ایفا می کند. در شکل های (۱-۳۹) دیاگرام مداری ودیاگرام فازوری ولت آمپری موتور القایی تک فاز خازن راه انداز را می بینیم.همانطور که از دیاگرام فازوری ولت آمپری پیدا است اختلاف فاز بین مولفه های جریان فاز اصلی و فاز کمکی در مقایسه با موتور القایی فاز شکسته بیشترشده و افزایش این زاویه متناسب با افزایش ظرفیت خازن می باشد.

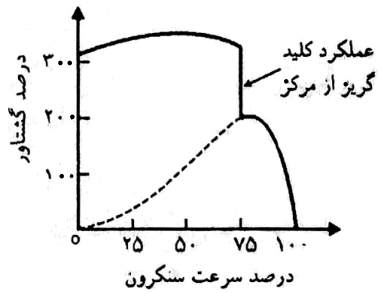


(**b**) (**a**)

شکل(۱-۳۹) (**a**) دیاگرام مداری موتور القایی تک فاز خازن راه انداز (**b**) دیاگرام ولت آمپری

بنابراین می توان با تنظیم ظرفیت خازن اختلاف فازی درحدود ۹۰ درجه بین مولفه های جریان سیم پیچ فرعی و اصلی ایجاد نمود. بعبارت دیگر مولفه های جریان را به سمت تعادل زاویه ای در این سیستم دوفاز برد و در نتیجه مکان هندسی انتهای بردار میدان برآیند به سمت دایره میل کند. واین به معنای کیفیت عمل راه اندازی بهتر موتور می باشد. بنابراین موتور خازن راه انداز از گشتاور راه اندازی بالایی نسبت به مو تور فاز شکسته برخوردار است و این به معنی توانایی بالای موتور در راه اندازی بارهایی با ویژگی گشتاور بالا است.

نکته ی دیگر اینکه درموتور فازشکسته تعداد دورهای سیم پیچ فرعی کم انتخاب می شد تا اختلاف فازمورد نظربرای ایجاد گشتاور راه اندازی حاصل شود امّا در موتور خازن راه انداز از آنجا که می توان اختلاف فاز دلخواه را از طریق انتخاب مناسب خازن ایجاد کرد لذا در تعیین تعداد دورهای سیم پیچ فرعی محدودیت وجود ندارد به همین لحاظ در این موتور تعداد دورهای سیم پیچی فرعی نسبت به موتور فاز شکسته بیشتر است این موضوع باعث می شود که سیم پیچ فرعی آمپر دور بیشتری تولید کند که خود باعث افزایش سطح گشتاور می شود. شکل (۱-۴۰) مشخصه گشتاور – لغزش این نوع موتوررا نشان می دهد.



شکل(۱-۴۰)

ویژگی برجسته موتور های خازن راه انداز وجود گشتاور راه اندازی بزرگ درآن هاست به طوریکه گشتاور راه اندازی این نوع موتورها درحدود **3** تا 4.5 برابر گشتاور بار کامل است .

خازنی که در این نوع موتورها با سیم پیچ فرعی سری می شود خازن الکترولیتی خشک می باشد که فقط برای جریان متناوب به کار می رود. به دلیل ارزانی وکارمطمئن خازن های الکترولیتی خشک در هر کجا که نیاز به گشتاور راه اندازی بالا باشد از موتورهای خازن راه انداز استفاده می شود.البته باید توجه داشت این موتورها برای یک سیکل کاری محدود طراحی شده ومورد استفاده قرارمی گیرند.

وجود خازن درمدارسیم پیچ فرعی موجب افزایش ضریب قدرت موتور دراین نوع موتورها در راه اندازی می شود.

در مقایسه با موتور فاز شکسته کلید راه انداز در این نوع موتورها ازاهمیت دو چندان برخورداراست زیرا عمل نامناسب این کلید علاوه بر آسیب هایی که بر سیم پیچ های فرعی و اصلی وارد می کند باعث کوتاه شدن عمرخازن به کاررفته درموتور خواهد شد .

موتورهای خازن راه انداز نیز به عنوان موتورهای معکوس شونده شناخته می شوند امّا همچنان مشکلات تغییر جهت گردش بیان شده در موتورفازشکسته در اینجا نیز مطرح است.

۱-۶-۵-۳ موتور با خازن دائم کار:

۱-۶-۳-۵ موتور با خازن دایم کار

موتور با خازن دائم کارموتوری است که درآن یک خازن با سیم پیچی کمکی به طور سری قرار گرفته که درهنگام راه اندازی و کار دائم در مدار باقی می ماند. به این موتور موتور تک خازنه نیزگفته می شود.

چون خازن همواره درمدار قرار دارد لذا احتیاجی به کلید راه انداز نمی باشد و سیم پیچی کمکی همواره درمدار قرارمی گیرد. بنابراین این موتورچه به هنگام راه اندازی وچه به هنگام کار یک موتور دوفاز نامتعادل و نامتقارن محسوب می شود.

وجود دوسیم پیچی بطوردایم در مدارفرعی ومداراصلی به معنای وجود میدان گردان یکنواخت تربوده واین ویژگی موجب کارنرمترو کم سروصدا تراین موتورها درمقایسه با موتور های داری کلید گریزازمرکز می باشد. یادآور می شود که این موتورها هرگز کیفیت کاری موتورهای دو فازمتقارن با تغذیه متعادل را ندارند.

اثرات دیگر سیم پیچی کمکی که به صورت دائم در مدارقرارمی گیرد به شرح زیر می باشد:

۱- ضریب بهره بالاتر در بارکامل

۲- ضریب قدرت بالاتر دربارکامل

۳- جریان خط کمتر در بارکامل

۴- افزایش گشتاورخروجی

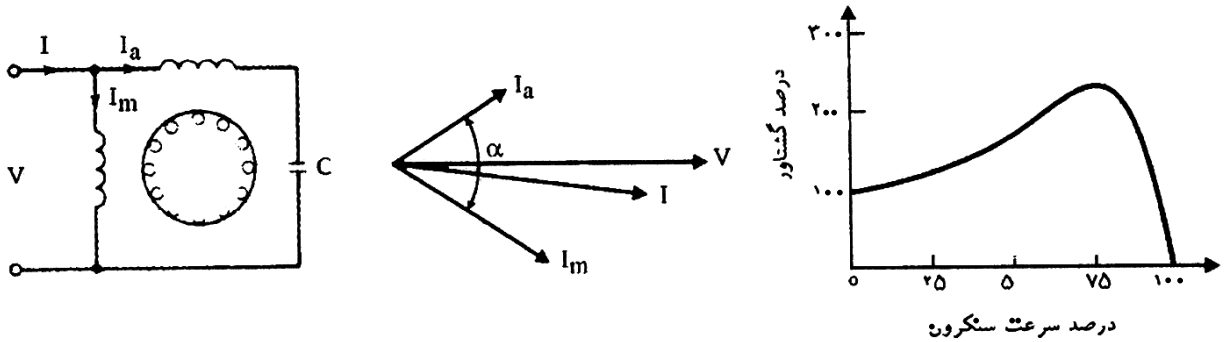
علیرغم بهبود عملکرد موتور با خازن دائم کار این روش دارای معایبی نیزمی باشد مثلا استفاده از خازن الکترولیت برای یک کار ثابت و مداوم صحیح نیست و لذاخازن های به کاربرده شده از نوع کاتدی بوده و با روغن پرمی شوند ونوع روغن معمولا پیرانول یا دیکانول می باشد .

برای به دست آوردن ظرفیتی معادل با ظرفیت خازن الکترولیتی حجم خازن کاغذی وهمچنین قیمت آن زیاد می شود به علاوه خازنی که برای بهترین شرایط کار دائم به کار می رود نمی تواند بهترین شرایط راه اندازی را پدید آورد از آنجایی که خازنی که به طور دائم در مدار فاز کمکی قرار می گیرد و طوری انتخاب می شود که بهترین شرایط کار را در

۷۵ تا **۱۰۰** درصد بار نامی فراهم کند اینچنین خازنی اختلاف فاز کمی را درهنگام راه اندازی ایجاد می کند لذا گشتاور راه اندازی چنین موتوری پایین تر از گشتاور راه اندازی موتور القایی خازن راه انداز می باشد که این باعث پایین آمدن گشتاورقفل موتورمی شود و گشتاور راه اندازی چنین موتوری تقریبا **۵۰** تا **۸۰** در صد گشتاور بار کامل است وموتور با خازن دایم کارگرانتر ازموتوربا فاز کمکی معادل یا موتور با خازن راه انداز معادل می باشد .

چون سیم پیچی کمکی در هنگام کار دائم نیز در مدار است اینچنین موتوری دارای مقادیر نامی مشخص برای کار پیوسته خواهد بود که اگر زمان کار کوتاه شود مقادیر نامی نیز بیشتر می شود دراین نوع موتور برای معکوس کردن دو روش وجود دا ردو موتور درسرعت نامی نیز قادربه تغییرجهت است و به خاطر عدم وجود کلید راه انداز در مدارسیم پیچی کمکی می توان ترمینال های ورودی هرفاز را ضمن آنکه موتور درحرکت است تعویض نمود و در نتیجه گشتاوردرجهت عکس تولید نمود بطوریکه موتور ابتدا می ایستد و سپس درجهت عکس می چرخد.

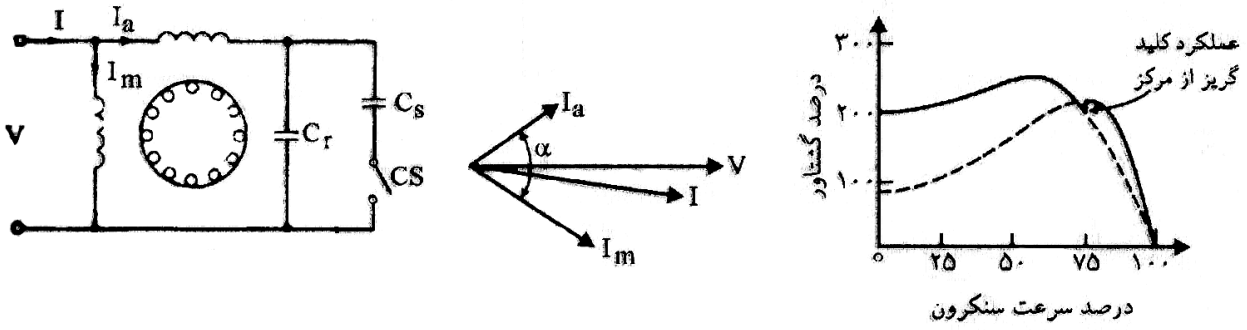
اگراستاتور دارای دو سیم پیچی مشابه باشد خازن می تواند با هرکدام ازدو سیم پیچی به طور سری قراربگیرد که این باعث به وجود آمدن حالات ویژه ای می شودکه یک سیم پیچی می تواند در یک زمان به عنوان سیم پیچی کمکی و درزمان دیگربه عنوان سیم پیچی اصلی به کار رود . و اغلب به عنوان موتور معکوس شونده خوانده می شود. مدار چنین موتوری در شکل زیر می بینید.



شکل(۱-۴۱)

۱-۶-۵-۴ موتور خازن راه انداز و دائم کار

در موتور های دو خازنه مشخصات خوب راه اندازی با خازن راه انداز و مشخصات خوب کار دائم با خازن دائم در هم آمیخته است.



این موتور ازنوع موتورخازنی می باشد امّا هنگام راه اندازی از یک خازن که با سیم پیچ کمکی سری شده نیز استفاده می شود و درموقع کار دائم ازخازنی با ظرفیت کمتراستفاده می شود واضح است که برای انجام این تغییرات نیازبه کلید راه انداز می باشد این کلید معمولا ازنوع سانتریفوژ(گریز از مرکز) می باشد.

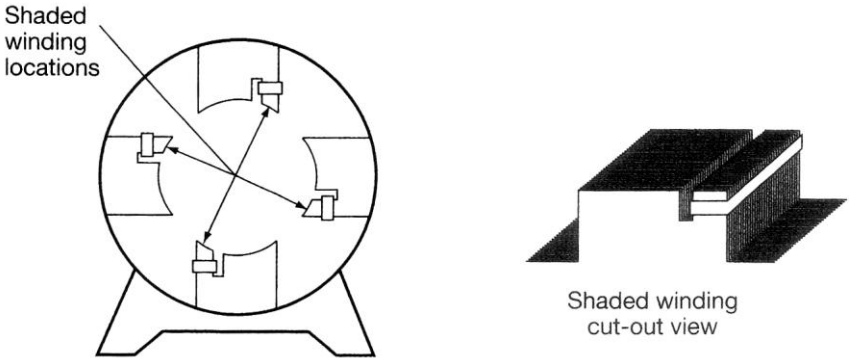
دراین نوع موتورمی توان با سری نمودن اتصال موازی دو خازن با سیم پیچ کمکی به ظرفیت جدیدی از خازن در زمان راه اندازی نیز دست یافت.

هنگامی که موتوربه یک سرعت مشخص رسید کلید سانتریفوژ که با یکی از خازن ها سری می باشد عمل کرده و آن خازن را از مدار فرعی قطع می کند و موتور با یک خازن به کار دائم خودش ادامه می دهد. ظرفیت خازن راه انداز از خازن دائمی موتور بزرگتر است. خازن در نظر گرفته شده برای راه اندازی از نوع الکترولیتی است که با کلید راه انداز سری می باشد و خازن کار دائم از نوع خازن روغنی می باشد.

۶-۷ موتور القایی قطب چاکدار

در کاربردهایی که نیاز به توان $1/20$ اسب بخار یا کمتر است از موتور القایی قطب چاکدار استفاده می کنند . گرچه بعضا این موتورها در اندازه بزرگتر از $1/20$ تا $1/4$ اسب بخار ساخته می شوند ولی موارد کاربرد زیادی ندارند . گرچه این موتور از نوع القایی تک فاز است اما هیچ نوع کنتاکت یا خازنی ندارد ، همچنین در این نوع موتور بجز در موارد خاص از سیم پیچی کمکی استفاده می شود . این موتور تک فاز خود راه انداز است بعلاوه به علت عدم استفاده از خازن و سوئیچ سانتریفوژ گران نیست . این موتور دارای ضریب بهره خیلی پایینی می باشد به طوری که در موتورهای خیلی کوچک راندمان به ۵ درصد می رسد و در موتورهای $1/20$ اسب بخار فقط ۳۵ درصد می باشد . ضریب قدرت نیز خیلی کم است ولی باید متذکر شد که به علت اینکه توان ورودی کم است هیچکدام از معایب فوق مشکل مهمی را ایجاد نمی کند .قیمت اولیه کم ، ساختمان ساده و نگهداری آسان تر از دیگر مواردی هستند که استفاده این نوع موتور را مطرح می کند .

موتور قطب چاکدار در حقیقت یک موتور با فاز کمکی می باشد . تفاوتی که این موتور با موتورهای مشابه تک فاز دارد ایجاد اختلاف فاز به وسیله عمل القا در استاتور است . نمونه ی ساده ای از این موتور را در شکل (۱-۵۰) می بینید . استاتور این نوع موتور در اکثر مواقع قطب برجسته می باشد . هر سطح یک قطب به دو قسمت مجزا تقسیم شده است . قسمت کوچکتر دارای تسمه یا حلقه مسی می باشد که بر روی خودش اتصال کوتاه شده است. سیم پیچی اتصال کوتاه شده به نام کلاف سایه بان نامیده می شود و اغلب فقط دارای یک دور می باشد هرچند ممکن است تعداد دورها بیشتر باشد .

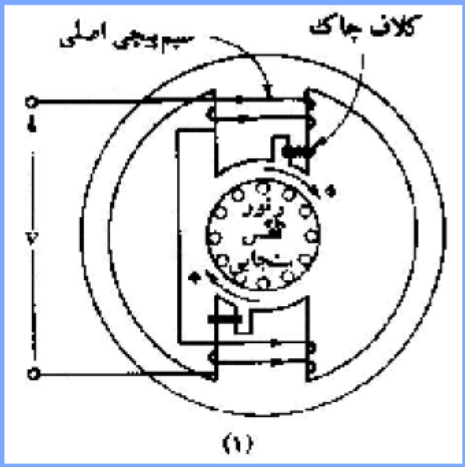


شکل(۱-۵۰)

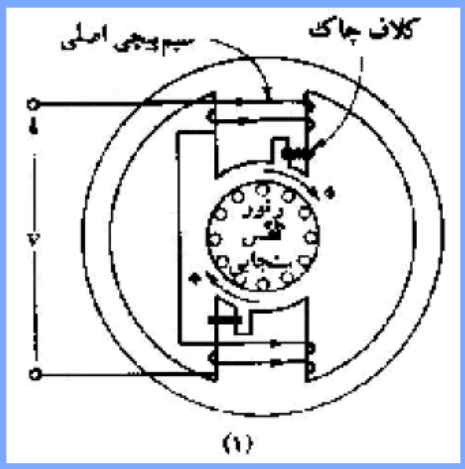
هنگامی که جریان متناوب به سیم پیچی میدان اعمال می گردد تغییر شار در هسته رخ می دهد . این شار متغیر باعث ایجاد ولتاژ القایی در کلاف های سایه بان در جهتی که با شار هسته مخالفت کند ، می شود . بنابراین شار در قسمتی از قطب که کلاف سایه بان بر روی آن پیچیده شده است از شار درقسمت بدون کلاف سایه بان عقب می ماند در ضمن شار منتجه اصلی و شار قسمت سایه بان پیرامون شکاف هوایی جابجا می شود . اگرچه زاویه بین این دو شار کمتر از ۹۰ درجه باشد چون هردو شار هم در زمان و هم در مکان تغییر می کنند لذا شرایطی برای تولید یک میدان گردان فراهم می کنند . برای ما زیاد مهم نیست که زاویه بین این دو کمتر از ۹۰ درجه است ، با توجه به شرایط فوق گشتاور در رتور قفس سنجابی تولید می شود . با توضیحات لازم و شرح دیاگرام ها حرکت شار در حول استاتور روشنتر می شود . در این شکل ها برای روشنتر شدن بحث فقط یک قطب برجسته کشیده شده و کلاف سایه بان فقط دارای دو دور می باشد .

اگر جریان را در ربع اول که در حال افزایش است در نظر بگیریم (۱-۵۱) جریان ناشی از ولتاژ القایی در کلاف سایه بان باعث ایجاد شاری می شود که با شار میدان اصلی مخالفت می کند.

5- موتور قطب چاک دار
Shaded Pole Motor



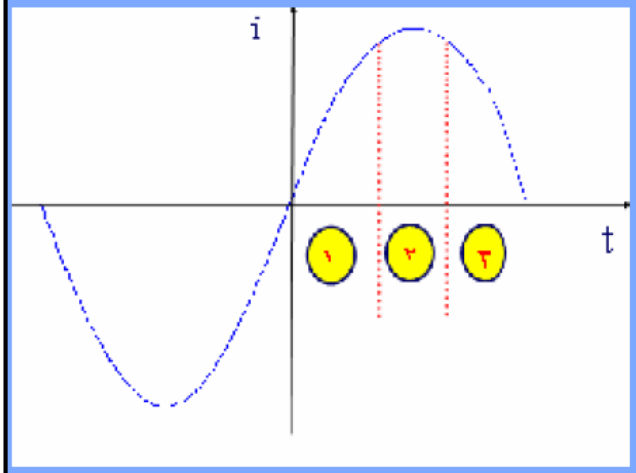
به لحاظ ساختمانی شامل استاتور و روتور است که روتور آن به لحاظ ساختمان شبیه سایر موتورهای تکفاز است اما استاتور آن برخلاف سایر موتورهای تکفاز از نوع قطب برجسته است. شکافی روی قطب آن هست که قطب را به دو قسمت نامساوی تقسیم می‌کند و روی قسمت کوچکتر یک حلقه مسی اتصال کوتاه شده قرار دارد.



این موتورها فقط در یک جهت می‌چرخند:

از سمت قطب چاک نخورده به سمت قطب چاک خورده.

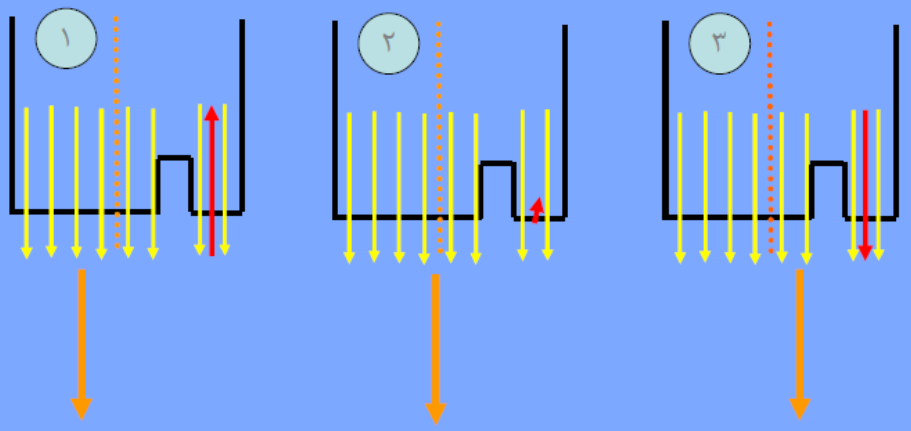
نحوه عملکرد موتور قطب چاکدار را میتوان با توجه به توزیع زمانی شار در زیر قطب تحلیل کرد.



برای بررسی نحوه عملکرد موتور قطب چاکدار، جریان تغذیه موتور را در سه بازه زمانی متفاوت در نظر میگیریم :

۱- تغییرات جریان مثبت است
۲- تغییرات جریان صفر است
۳- تغییرات جریان منفی است

حال برای این سه حالت وضعیت شار را بررسی میکنیم :



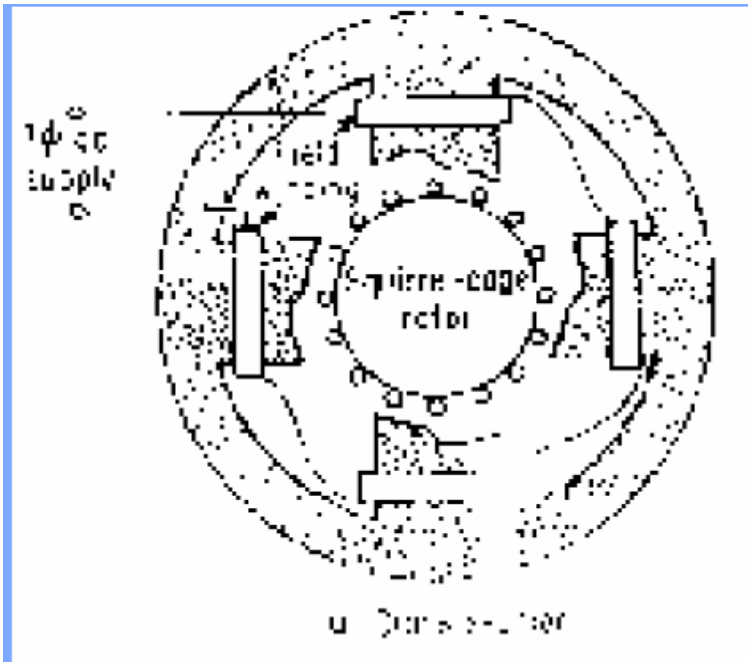
مرکز ثقل
شار برآیند

مرکز ثقل
شار برآیند

مرکز ثقل
شار برآیند

۱-۶-۸ موتور با راه اندازی رلوکتانسی

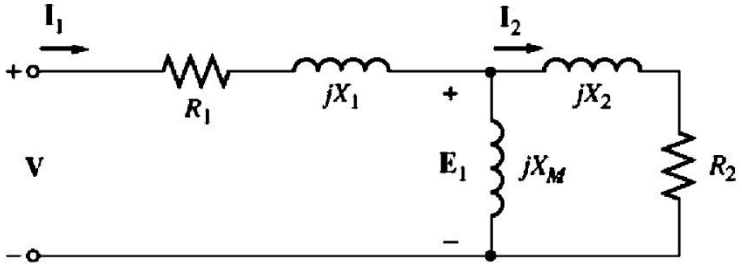
موتور دیگری که مشخصات آن شبیه به مشخصات موتور قطب چاکدار است ، موتور با راه اندازی رلوکتانسی است که در شکل زیر نشان داده شده است . در این نوع موتورها با غیر یکنواخت کردن فاصله هوایی ، میدان مغناطیسی غیر یکنواختی در سطح قطب ایجاد می شود . در جایی که فاصله هوایی بزرگتر است ، شار با جریان هم فازتر می باشد . در جایی که فاصله هوایی کوچکتر باشد ، رلوکتانس کمتر بوده و شار از جریان بیشتر تغییر فاز دارد . چون شار در دو قسمت توسط یک جریان تولید می شوند لذا شار در قسمتی که فاصله هوایی بیشتر است ، نسبت به شار در قسمتی که فاصله هوایی کمتر است تقدم فاز دارد و نیز چون دو شار نسبت به زمان متغیر هستند لذا میدان مغناطیسی در سطح قاب از قسمتی که فاصله هوایی در آن زیادتر است به قسمتی که فاصله هوایی در آن کمتر است جابجا می شود ، در این نوع موتورها جهت چرخش به ساختمان فیزیکی موتور بستگی دارد. لذا به هیچ وجه نمی توان جهت حرکت این موتورها را معکوس کرد .



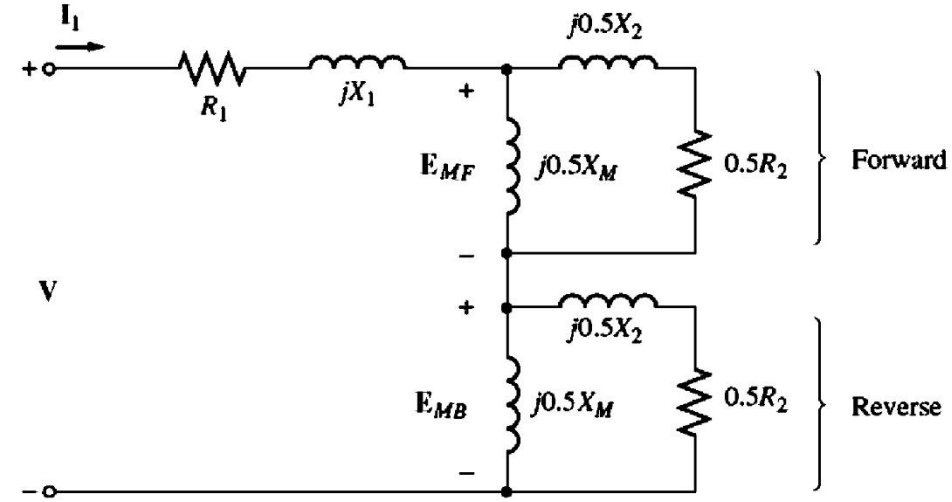
مدار معادل ماشین القایی تکفاز

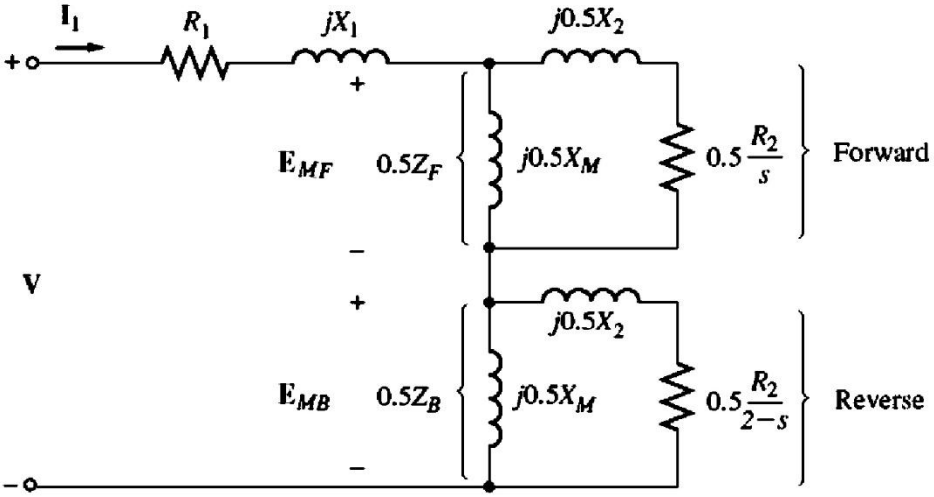
شکل الف : مدار معادل یک فاز از موتور القایی سه فاز را نمایش می دهد. شکل ب و پ مدار معادل یک موتور القایی تکفاز را نمایش می دهد. شکل ب مدار معادل در حالت سکون را نمایش می دهد، شکل پ مدار معادل کلی را نمایش می دهد.

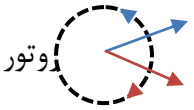
الف)



ب)







$$n_m = (1-S)n_s$$

$$\omega_r \text{ یا } \omega_m = (1-S)\omega_s$$

$$\omega_m = (1-S^+)\omega_s = (1-S^-)(-\omega_s)$$

$$\Rightarrow 1 - S^+ = -1 + S^- \quad \Rightarrow S^+ = 2 - S^-$$

اگر $if\ :\ S^+ = S \quad \Rightarrow\ S = 2 - S^- \quad \Rightarrow S^- = 2 - S$

$$\frac{R_2}{S^+} = \frac{R_2}{S} \qquad \frac{R_2}{S^-} = \frac{R_2}{2-S}$$

حرکت روتور عمل تعادل امپدانسی دو طبقه را در طرف روتور به ویژه در لغزش های کوچک بر هم می زند و در تحلیل کمی توان های تولید شده در طبقات بالا و پایین به این واقعیت پی می بریم که هر دو بخش اکتیو و راکتیو توان های تولید شده در دو طبقه کاملا توجیه پذیرند و جزء توان های جذب شده در طبقه بالا به مراتب از توان های جذب شده طبقه پایین بیشتر می باشد.

مسائل مربوط به فصل ۱ :

مثال ۱ :

یک موتور القایی تکفاز، فاز شکسته، $\frac{1}{3}hp, 60Hz, 120V$ اسب بخار، چهار قطب، دارای مشخصات سیم پیچی زیر است :

$$\begin{Bmatrix} R_1 = 1.8\ \Omega & , & R_2 = 2.5\ \Omega \\ X_1 = 2.4\ \Omega & , & X_2 = 2.4\ \Omega \\ X_m = 60\ \Omega & , & \rho = 4 \end{Bmatrix}$$

در لغزش ۵% تلفات چرخش موتور ۵۱ W است. این تلفات چرخشی ثابت فرض می شود. در لغزش ۵% مقادیر زیر را بیابید.

الف) توان ورودی P_{in}

ب) توان فاصله هوایی P_{ag}

پ) توان تبدیل P_{Conv}

ت) توان خروجی P_{out}

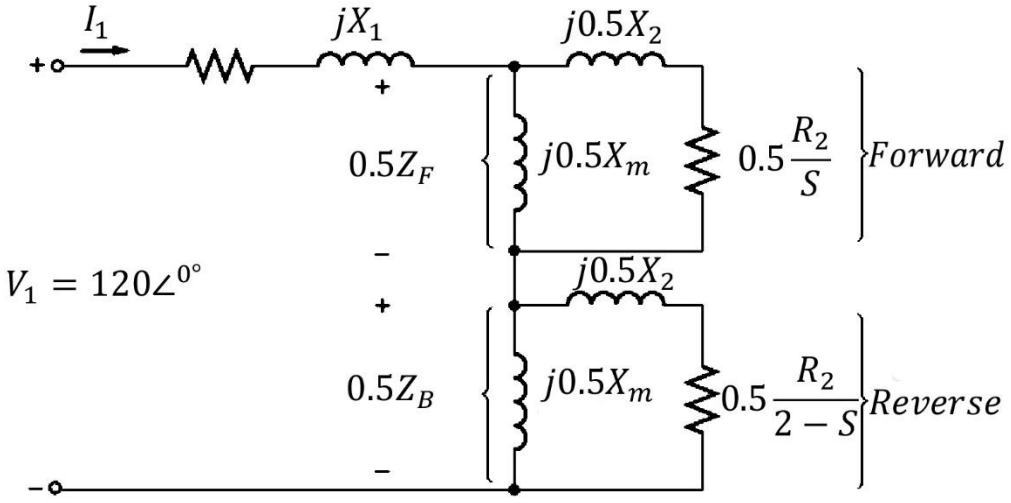
ج) گشتاور القا شده $T_{ind} = ?$

ح) گشتاور بار $T_{Load} = ?$

خ) راندمان موتور η

چ) ضریب قدرت استاتور PF_{stator}

حل :



$$Z_{F_{(Forward)}} = \frac{\left(\frac{R_2}{S} + jX_2\right)(jX_m)}{\left(\frac{R_2}{S} + jX_2 + jX_m\right)} = \frac{\left(\frac{2.5}{0.05} + j2.4\right)(j60)}{\left(\frac{2.5}{0.05} + j2.4 + j60\right)} = 28.15 + j24.8$$

$$Z_{B_{(Backward)}} = \frac{\left(\frac{R_2}{2-S} + jX_2\right)(jX_m)}{\left(\frac{R_2}{2-S} + jX_2 + jX_m\right)} = \frac{\left(\frac{2.5}{2-0.05} + j2.4\right)(j60)}{\left(\frac{2.5}{2-0.05} + j2.4 + j60\right)} = 1.185 + j2.332$$

الف)

$$I_1 = \frac{120\angle^{0^\circ}}{R_1 + jX_1 + 0.5Z_F + 0.5Z_B} = \frac{120\angle^{0^\circ}}{1.8 + j2.4 + 0.5(28.15 + j24.87) + 0.5(1.180 + j2.332)} =$$

$$I_1 = 5.23\angle^{-44.2^\circ}$$

$$P_{in} = V_1 I_1 \cos\theta \rightarrow \quad P_{in} = (120)(5.23)\cos(-44.2) = 450\ W$$

ب) $Air - gappower$

$$P_{AG,F} = I_1^2(0.5R_F) = (5.23)^2(0.5)(28.15) = 386\ W$$

$$P_{AG,B} = I_1^2(0.5R_B) = (5.23)^2(0.5)(1.185) = 16.2\ W$$

$$P_{AG} = P_{AG,F} - P_{AG,B} = 386 - 16.2 = 370\ W$$

پ) توان تبدیل شده از فرم الکتریکی به مکانیکی P_{Conv}

$$P_{Conv,F} = (1-S)P_{AG,F} = (1-0.05)(386) = 367\ W$$

$$P_{Conv,B} = (1-S)P_{AG,B} = (1-0.05)(16.2) = 15.4\ W$$

$$P_{Conv} = P_{Conv,F} - P_{Conv,B} = 367 - 15.4 = 352\ W$$

ت)

$$P_{Out} = P_{Conv} - P_{rot} = 352 - 51 = 301\ W$$

ج)

$$T_{ind} = \frac{P_{AG}}{\omega_S} = \frac{370}{2\pi \cdot \frac{1800}{60}} = 1.97\ N.m$$

$$\omega_S = 2\pi\frac{n_s}{60} = 2\pi\frac{1800}{60} = 188$$

$$n_s = \frac{120fe}{\rho} = \frac{120 \cdot 60}{4} = 1800$$

ح)

$$T_{Load} = \frac{P_{Out}}{\omega_m} = \frac{301}{(0.95) \cdot 2\pi \cdot \frac{1800}{60}} = 1.68\ N.m$$

$$\omega_m = (1-S)\omega_S$$

خ)

$$\text{راندمان } \eta = \frac{P_{Out}}{P_{In}} = \frac{301}{450} \cdot 100 = 66.9\ \%$$

ج)

$P.F. = \cos(-44.2) = 0.713\ Lag$ ضریب قدرت استاتور پس فاز

Lag پس فاز: چون زاویه منفی است، یعنی موتور توان راکتیو مصرف می کند.

تمرین : مسئله قبلی برای لغزش 2.5% (0.025) تکرار گردد.

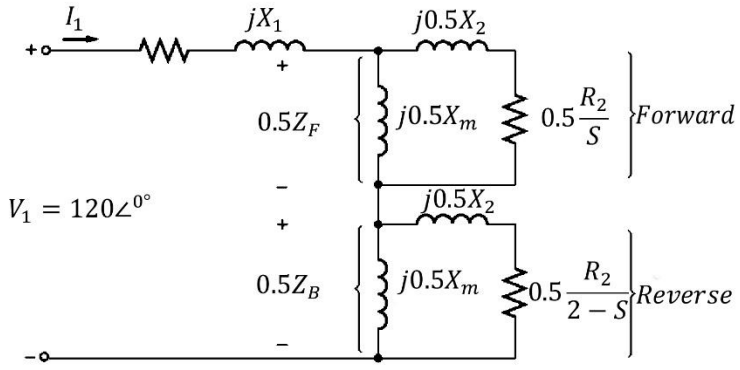
مثال ۲)

در مساله اول فرض کنید موتور شروع به کار کرده باشد و سیم پیچی کمکی دچار خطا شود و هنگامی که موتور سرعت $400\ rpm$را دارد سیم پیچ کمکی از مدار خارج گردد. فرض کنید تلفات چرخش همان $51\ W$ ثابت بماند. آیا موتور به کار خویش ادامه می دهد یا متوقف می شود؟

راه حل تقریبی :

در این موتور همانطور که دیدیم $1800n_s$ دور در دقیقه بود (rpm) و سیم پیچ کمکی در $400\ rpm$ از مدار خارج می گردد. $\frac{400}{1800} \cdot 100 = 23\ \%$ در حالی که در این موتور سیم پیچ کمکی در $23\ \%$ سرعت نامی از مدار خارج شده است در حالیکه قبلاً مطرح شده است که این سیم پیچ کمکی باید در حول و حوش $70\ \%$ الی $75\ \%$ سرعت نامی، از مدار خارج شود. بنابراین با توجه به این مفهوم و بدون حل کردن معادلات، می توان حدس زد که این موتور به سمت توقف پیش می رود.

راه حل دقیق :



$$S = \frac{n_s - n_m}{n_s} = \frac{1800 - 400}{1800} = 0.778$$

$$Z_{F_{(Forward)}} = \frac{\left(\frac{R_2}{S} + jX_2\right)(jX_m)}{\left(\frac{R_2}{S} + jX_2 + jX_m\right)} = \frac{\left(\frac{2.5}{0.778} + j2.4\right)(j60)}{\left(\frac{2.5}{0.778} + j2.4 + j60\right)} = 2.96 + j2.46\ \Omega$$

$$Z_{B_{(Backward)}} = \frac{\left(\frac{R_2}{2-S} + jX_2\right)(jX_m)}{\left(\frac{R_2}{2-S} + jX_2 + jX_m\right)} = \frac{\left(\frac{2.5}{2-0.778} + j2.4\right)(j60)}{\left(\frac{2.5}{2-0.778} + j2.4 + j60\right)} = 1.9 + j2.37$$

الف)

$$I_1 = \frac{120\angle^{0^\circ}}{R_1 + jX_1 + 0.5Z_F + 0.5Z_B} = \frac{120\angle^{0^\circ}}{1.8 + j2.4 + 0.5(2.96 + j2.46) + 0.5(1.9 + j2.37)} =$$

$$I_1 = 18.73\angle^{-48.7^\circ}$$

$$P_{in} = V_1 I_1 \cos\theta \rightarrow \ \ P_{in} = (18.73)(120)\cos(-48.7) = 450\ W$$

ب) $Air - gappower$

$$P_{AG,F} = I_1^2(0.5R_F) = (18.73)^2(0.5)(2.96) = 386\ W$$

$$P_{AG,B} = I_1^2(0.5R_B) = (18.73)^2(0.5)(1.9) = 331.5\ W$$

$$P_{AG} = P_{AG,F} - P_{AG,B} = 519.2 - 331.5 = 188\ W$$

پ) توان تبدیل شده از فرم الکتریکی به مکانیکی P_{Conv}

$$P_{Conv,F} = (1-S)P_{AG,F} = (1-0.778)(519.2) = 115.2\ W$$

$$P_{Conv,B} = (1-S)P_{AG,B} = (1-0.778)(331.5) = 73.6\ W$$

$$P_{Conv} = P_{Conv,F} - P_{Conv,B} = 115.2 - 73.6 = 41.6\ W$$

ت)

$P_{Out} = P_{Conv} - P_{rot} = 41.6 - 51 = -9.4\ W < 0$ پس موتور نمی تواند به کار خود ادامه دهد .

ج)

$$T_{ind} = \frac{P_{AG}}{\omega_S} = \frac{188}{2\pi \cdot \frac{1800}{60}} = 1\ \ N.m$$

$$\omega_S = 2\pi\frac{n_s}{60} = 2\pi\frac{1800}{60} = 188$$

$$n_s = \frac{120fe}{\rho} = \frac{120 \cdot 60}{4} = 1800\ rpm$$

نکته:

در این مسئله فرض شده است تلفات چرخشی ثابت است یعنی $51\ W$ ولی در عمل اینطور نیست چرا که تلفات چرخشی با سرعت شفت موتور تغییر می کند. هر چقدر سرعت شفت کمتر باشد، اصطکاک با هوا نیز کمتر است، بنابراین در این موتور تلفات چرخشی کمتر از $51\ W$ است بنابراین با توضیحات داده شده امکان دارد که موتور به کار خویش ادامه دهد که می گویند موتور به صورت خزنده در حال کار در است . که کار مفیدی محسوب نمی شود. به تعبیری با حالت توقف هیچ فرقی ندارد. (پدیده کرولنیگ)

مثال ۳)

یک موتور القایی تکفاز، $50Hz, 1.5Hp, 220\ V$ دو قطب، با راه انداز خازنی دارای مشخصات زیر است.

$$\begin{Bmatrix} R_1 = 1.4\ \Omega & , & R_2 = 1.5\ \Omega \\ X_1 = 1.9\ \Omega & , & X_2 = 1.9\ \Omega \\ X_m = 100\ \Omega & , & \rho = 2 \end{Bmatrix}$$

اگر در لغزش ٪ ۵ تلفات چرخشی موتور ۲۹۱ باشد، مطلوب است :

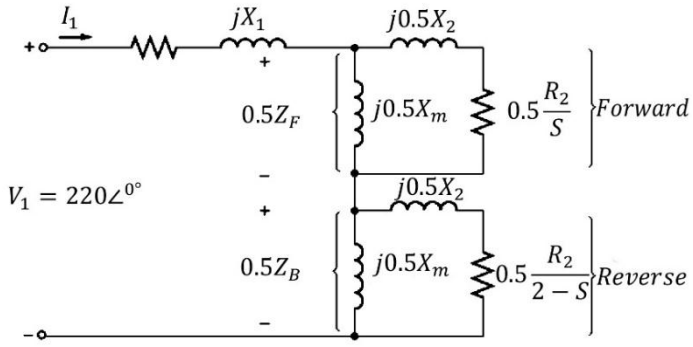
الف) توان ورودی P_{in} ج) گشتاور القا شده $T_{ind} = ?$

ب) توان فاصله هوایی P_{ag} ح) گشتاور بار $T_{Load} = ?$

پ) توان تبدیل P_{Conv} خ) راندمان موتور η

ت) توان خروجی P_{out} چ) ضریب قدرت استاتور PF_{stator}

حل :



$$Z_{F_{(Forward)}} = \frac{\left(\frac{R_2}{S} + jX_2\right)(jX_m)}{\left(\frac{R_2}{S} + jX_2 + jX_m\right)} = \frac{(30 + j1.9)(j100)}{(30 + j1.9 + j100)} = 26.59 + j9.69\ \ \Omega$$

$$Z_{B_{(Backward)}} = \frac{\left(\frac{R_2}{2-S} + jX_2\right)(jX_m)}{\left(\frac{R_2}{2-S} + jX_2 + jX_m\right)} = \frac{(0.769 + j1.9)(j60)}{(0.769 + j1.9 + j100)} = 0.741 + j1.87\ \Omega$$

الف)

$$I_1 = \frac{220\angle 0^\circ}{R_1 + jX_1 + 0.5Z_F + 0.5Z_B} = \frac{220\angle 0^\circ}{(2.4 + j1.9) + 0.5(26.59 + j9.69) + 0.5(0.741 + j1.87)}$$

$$I_1 = 13\angle -27^\circ$$

$$P_{in} = V_1 I_1 \cos\theta \rightarrow \ \ P_{in} = (220)(13)\cos(-27) = 2548\ W$$

ب) $Air - gappower$

$$P_{AG,F} = I_1^2(0.5R_F) = (13)^2(0.5)(26.59) = 2246\ W$$

$$P_{AG,B} = I_1^2(0.5R_B) = (13)^2(0.5)(0.741) = 62.5\ W$$

$$P_{AG} = P_{AG,F} - P_{AG,B} = 2246 - 62.5 = 2184\ W$$

پ) توان تبدیل شده از فرم الکتریکی به مکانیکی P_{Conv}

$$P_{Conv,F} = (1-S)P_{AG,F} = (1-0.05)(2246) = 2134\ W$$
$$P_{Conv,B} = (1-S)P_{AG,B} = (1-0.05)(62.5) = 59\ W$$
$$P_{Conv} = P_{Conv,F} - P_{Conv,B} = 2134 - 59 = 2075\ W$$

ت)

$$P_{Out} = P_{Conv} - P_{rot} = 2075 - 291 = 1784\ W$$

ج)

$$T_{ind} = \frac{P_{AG}}{\omega_S} = \frac{2184}{2\pi \cdot \frac{3000}{60}} = 6.95\ N.m$$

$$\omega_S = 2\pi \frac{n_s}{60} = 2\pi \frac{3000}{60} = 314$$
$$n_s = \frac{120fe}{\rho} = \frac{120 \cdot 50}{2} = 3000\ rpm$$

ح)

$$T_{Load} = \frac{P_{Out}}{\omega_m} = \frac{1784}{(1-S)\omega_S} = \frac{1784}{(0.95) \cdot 2\pi \cdot \frac{3000}{60}} = 5.97\ N.m$$

$$\omega_m = (1-S)\omega_S$$

خ)

راندمان $\eta = \frac{P_{Out}}{P_{In}} = \frac{1784}{2548} \cdot 100 = 70\ \%$

ج)

ضریب قدرت استاتور $P.F. = \cos(-27) = 0.891$ (پس فاز Lag)

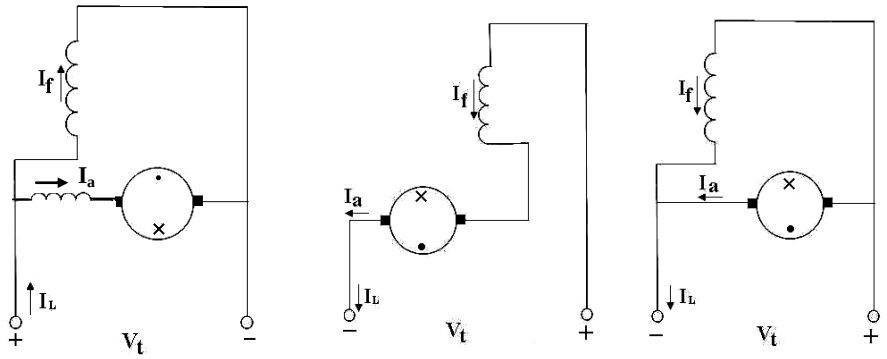
موتورهای سری متناوب (یونیورسال)

۲-۱ آیا موتورهای dc با ولتاژ متناوب کار می کنند؟

این سوالی است که دراین فصل بدان می پردازیم ونشان می دهیم که موتورهای سری جریان مستقیم می تواند در تغذیه متناوب به شکل قابل قبول بکار خود ادامه دهد و در صورت انجام اصلاحاتی تقریبا در هر دو نوع تغذیه کار یکسانی را ارایه می دهدو به همین دلیل انها را موتور سری ac و یا یونیورسال می نامند.

موتورهای سری متناوب یا یونیورسال با توجه به ویژگی مشخصه مکانیکی منحصربه فردشان یکی از مناسب ترین محرکه های بارهای پر سرعت می باشند.

می دانیم که درصورت تعویض پلاریته ولتاژ تغذیه ورودی در موتور های شنت ، سری وکمپوند به طور همزمان جهت بردارهای فشار مغناطیسی رتور و استاتور نیزعوض می شود و در نتیجه جهت گشتاور و جهت چرخش موتور بدون تغییر باقی می ماند. با این توضیح در تغذیه متناوب موتورهای شنت وسری، جهت بردارهای میدان و آرمیچردرهردو نیم سیکل تغذیه متناوب مطابق شکل (۲-۱) عو ض شده و جهت گشتاور موتوری بدون تغییر می ماند. یاد آور می شود که گشتاور همواره از میل به همراستایی میدان واکنشی آرمیچر به میدان استاتور حاصل می شود.



الف) موتور شنت موتور سری موتور کمپوند

با اتکا به مشاهدات میدانی فوق به نظر میرسدکه اصولا این موتورها قابلیت کار با منابع AC را دارند. البته این شرطی لازم برای کار موتورهای جریان مستقیم در تغذیه جریان متناوب می باشد و کافی نیست . میزان گشتاور تو لید ی نیز برای غلبه بر گشتاور بار باید مورد توجه قرار گیرد.از این رو در ادامه این مبحث میزان گشتاور تولید شده را در هر دو نوع موتور شنت و سری از دید گاه کمی به تحلیل می کشیم.

۲-۲ تولید گشتاور در موتور های شنت با تغذیه متناوب

۲-۲-۱ موتور شنت : این موتوردرتغذیه **ac** با مسایل زیر مواجه است :

۲-۲-۱-۱ میدان شنت : می دانیم که در موتورهای شنت سیم پیچی میدان پردور ونازک است در نتیجه این سیم پیچی از مقدارمقاومت بالایی بر خور دارمی باشد و جریان میدان از ۱۰ درصد جریان نامی موتور فرا تر نمی رود.با این وصف آمپر دور کافی از حاصلضرب دور زیاد سیم پیچی میدان در جریان کم میدان موجب تولید شارمغناطیسی کافی برای تولید گشتاور در ماشین شنت می شود. این سیم پیچی نازک و پر دور میدان علاوه برمقاومت اهمی دارای ویژگی اندوکتیو بالایی نیز درتغذیه متناوب مطابق رابطه زیرمی باشد:

$$\mathbf{L_f} = \frac{\mathbf{N_f}^2}{\mathbf{R_d}} \quad [\mathrm{H}]$$

در رابطه فوق $\mathbf{R_d}$ و $\mathbf{N_f}$ به ترتیب مقاومت مغناطیسی محور طولی موتور شنت و تعداد دورهای موثر سیم پیچی میدان شنت می باشد. با توجه به فرکانس تغذیه مقدار راکتانس $\mathbf{X_f}$ سیم پیچی میدان بسیار بالا می باشدو در نتیجه امپدانس بالای سیم پیچی میدان $\mathbf{Z_f}$ را در تغذیه **ac** مطابق روابط زیر رقم می زند :

$$\mathbf{Z_f} = \mathbf{R_f} + \mathbf{X_f} \quad [\Omega]$$

که :

$$\mathbf{X_f} = \boldsymbol{\omega} \,.\, \mathbf{L_f} \quad [\Omega]$$

به طور خلاصه:

$$\mathbf{N_f} \uparrow \Rightarrow \mathbf{L_f} \uparrow \Rightarrow \mathbf{X_f} \uparrow$$

و$\boldsymbol{Z_f} = (\mathbf{R_f}^2 + \mathbf{X_f}^2)^{0.5} \geq \mathbf{R_f}$

که R'_f و X_f و Z_f به ترتیب مقاومت و راکتانس و امپدانس سیم پیچی میدان شنت بوده و به دلیل اثر پوستی مقدار مقاومت R'_f از مقاومت R_f بزرگتر است .

به این ترتیب اگر یک منبع ولتاژ **ac** با مقدار موثری برابر با ولتاژ نامی موتور **dc** بدان اعمال شود ، جریان میدان در این حالت خیلی کمتر از جریان میدان در حالت **dc** می شود . زیرا تعداد دور زیاد در سیم پیچی میدان خاصیت سلفی را به مقدار قابل توجهی افزایش میدهد که باعث ایجاد راکتانس زیاد و در نهایت منجر به افزایش امپدانس و کاهش جریان در سیم پیچ میدان می شود.روابط زیرگویای این واقعیت است که فشار مغناطیسی میدان در موتورشنت در تغذیه متناوب به شدت کاهش می یابد به طوریکه کارایی موتور را از بین می برد.

در روابط زیر مقایسه ای بین جریان های تحریک و آمپردورهای تحریک در هر دو تغذیه dc وac بعمل آمده است :

$$\frac{V_f}{R_f} = I_{fdc} \quad , \quad \frac{V_f}{Z_f} = I_{fac} \quad \Rightarrow \quad I_{fdc} \rangle\rangle I_{fac}$$
$$N_f . I_{fdc} \rangle\rangle N_f . I_{fac}$$

۲-۲-۱-۲ میدان واکنشی آرمیچر:

علاوه بر امپدانس بزرگ میدان شنت امپدانس آرمیچر نیزبه همان دلایل گفته شده در خصوص میدان بزرگ می باشد که حاصل آن کاهش قابل ملاحظه جریان آرمیچر درتغذیه متناوب نسبت به تغذیه جریان مستقیم در شرایط برابرولتاژ می باشد.رابطه امپدانس آرمیچر به شرح زیر است.

$$Z_a = R'_a + jX_a$$
$$L_a = \frac{N_a{}^2}{\Re_q}$$

در روابط بالا R_q مقاومت مغناطیسی محور عرضی ماشین بوده و $\mathbf{Z_a}$ امپدانس مدار آرمیچر ، $\mathbf{X_a}$ راکتانس مدار آرمیچر و $\mathbf{R'_a}$ مقاومت ac مدار آرمیچر می باشد.

$\boldsymbol{\omega}$ فرکانس عامل بر روی مدار آرمیچر بوده که با توجه به مکانیزم کموتاسیون بیش از فرکانس تغذیه میباشد. $\mathbf{N_a}$ تعداد دورهای موثر سیم پیچی آرمیچرR_q و مقاومت مغناطیسی محور عرضی موتور شنت است.

فراموش نشود که مقادیر مقاومت های قید شده $\mathbf{R'_f}$ و $\mathbf{R'_a}$ در تغذیه **ac** بدلیل اثر پوستی از مقادیرآنها در تغذیه **dc** بزرگتر می باشد .

با توجه به تاثیرعواملی چون شارقطب φ_p وجریان I_a آرمیچر در رابطه گشتاورالکترومغناطیسی موتور شنت در تغذیه ac به شدت با کاهش گشتاور مواجه می شود یعنی :

$$T_e = K_a.\varphi_p.I_a$$
$$I_f \downarrow \Rightarrow \varphi_p \downarrow, I_a \downarrow \Rightarrow F_a \downarrow \Rightarrow T_e \downarrow, P_e \downarrow$$

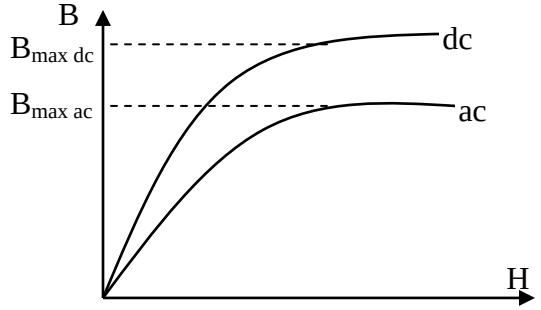
که در روابط فوق T_e گشتاور و P_e توان الکترومغناطیسی تولیدی می باشد.

۲-۲-۱-۳ تلفات هسته:

می دانیم که در ماشین های جریان مستقیم تنها بر روی بخش گردان ماشین یعنی آرمیچر تلفات هسته داریم و بخش ساکن ماشین به دلیل تغذیه با برق **dc** تلفات هسته ندارد. اما در تغذیهٔ **ac** بر روی هر دو بخش میدان وآرمیچر تلفات هسته ظاهر می شود و بعبارت دیگر در تغذیه متناوب علاوه برتلفات هسته آرمیچر تلفات هسته میدان نیز داریم که در مقایسه باتغذیه **dc** تلفات بیشتری را نشان می دهد در نتیجه ضریب بهره موتور در تغذیه **ac** کاهش می یابد.

درضمن یاد آوری می شود که تلفات هسته آرمیچردر تغذیه **ac** به دلیل افزایش فرکانس بیشتر از تلفات مذکور در تغذیه **dc** می باشد

همچنین با توجه به مشخصه مغناطیسی مواد یعنی چگالی شار برحسب شدت میدان در فرکانس های مختلف به این موضوع پی می بریم که در صورت کارماده مغناطیسی در تغذیه متناوب، چگالی شار نقطه کار ماده مغناطیسی نسبت به کاردر حالت تغذیه جریان مستقیم کمتر می باشد.بعبارت دیگر ماده مغناطیسی در تغذیه متناوب زود تر به اشباع می رسد.



شکل(۲-۳) مشخصه (B-H) ماده مغناطیسی در جریان dc و ac

همانطور که ملاحظه می شود حداکثر چگالی شار در تغذیه ac کمتر از dc است لذا به سبب این نقطه ضعف، موتور شنت در تغذیه متناوب با تلفات هسته بالایی روبرو است.

۲-۲-۲ گشتاورتولیدی موتور شنت:

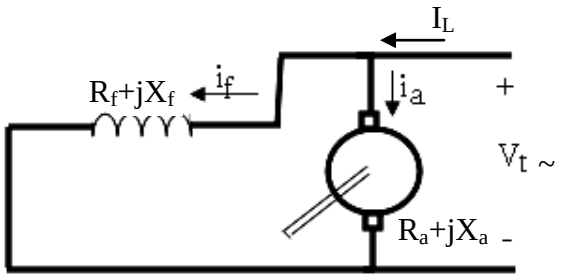
بزرگ بودن امپدانس شاخه شنت اثر سوء دیگری نیز دارد که کار موتور شنت با تحریک **ac** را منتفی می کند . با توجه به اجزاء مدار موتور شنت در تغذیه **ac** روابط ولت آمپری و توان ظاهری و توان حقیقی به شرح زیر می باشد:

$$\overline{\mathbf{E_c}} = \overline{\mathbf{V_{ta}}} - \mathbf{R_a}\overline{\mathbf{I_a}} - \mathbf{jX_a}\overline{\mathbf{I_a}}$$

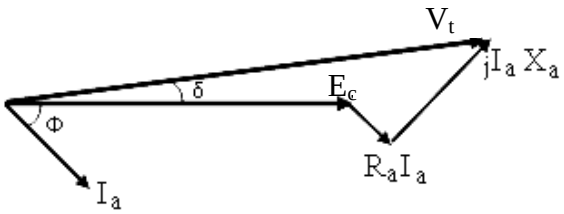
$$\mathbf{S} = |\overline{\mathbf{E_c}}|.|\overline{\mathbf{I_a}}|$$

$$\mathbf{P_e} = \mathbf{S}\,.\,\mathbf{cos}(\overline{\mathbf{E_c}}\,\hat{,}\,\overline{\mathbf{I_a}})$$

به وضوح مشاهده میکنیم مقدار $\mathbf{E_c}$ در تغذیه **ac** به مراتب از مقدار متناظر خود در تغذیه **dc** کوچکتر است و از طرفی زاویه $\mathbf{E_c}$ با $\mathbf{I_a}$ بر خلاف تغذیه **dc** موتور شنت صفر نمی باشد که این خود باعث تقلیل قابل ملاحظه توان الکترومغناطیسی موتور می شود. دیاگرام های فازوری ولت آمپری شکل زیر به خوبی این موضوع را روشن می کند.

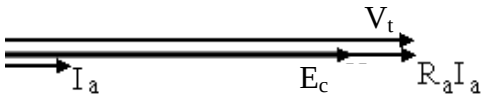


(الف)



فازورهای ولت آمپری موتور یونیورسال
در تغذیه متناوب

(ب)



دیاگرام فازوری موتور یونورسال
در تغذیه Dc

(ج)

شکل (۲-۴)

a) دیاگرام مدار موتور شنت در تغذیه ac

b) دیاگرام فازوری ولت آمپری موتور شنت در تغذیه dc

c) دیاگرام فازوری ولت آمپری موتور شنت در تغذیه ac

۲-۳ موتور های سری در جریان متناوب :

۲-۳-۱ میدان سری:

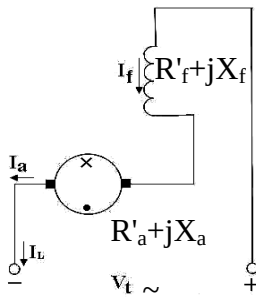
در مقایسه با موتور شنت ، سیم پیچی میدان موتور سری دارای تعداد دور کم و قطر زیاد می باشد . بنابراین اثر سلفی این سیم پیچ کم بوده و دامنه شار مغناطیسی تقریبا با حالتی که موتور توسط جریان مستقیم تغذیه می شود یکی است .با این حال می توان دور های سیم پیچی میدان را تا حدودی کاهش داده و سطح مقطع آنها رابیشتر نمود.این اصلاحات تقریبا موجب برابری امپدانس میدان سری در تغذیه متناوب با مقاومت میدان سری در تغذیه جریان مستقیم می شود.

$$\mathbf{Z_f = R_f + jx_f}$$

$$\mathbf{X_f = \omega . L_f}$$

$$\mathbf{Z_f = R_f}$$

که R'_f مقاومت سیم پیچی میدان در تغذیه ac می باشد و Z_f وX_f به ترتیب امپدانس و راکتانس سیم پیچی میدان در تغذیه ac است و R_f مقاومت میدان سری در تغذیه dc می باشد.



شکل(۲-۵)

با این وجود یک موتور سری که برای کار با جریان **dc** طراحی شده است ، هنگامی که با یک منبع ولتاژ **ac** که ولتاژ موثری برابر با ولتاژ نامی موتور **dc** سری داردتغذیه شود عملکرد ضعیف تری خواهد داشت و کموتاسیون نامطلوب در تغذیه ac در محل جاروبک ها جرقه را تشدید می کند .

۳-۳- تلفات هسته

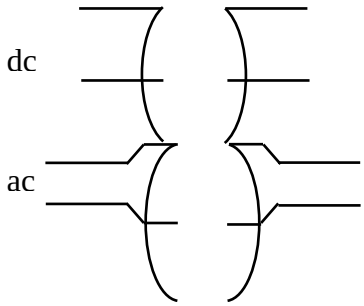
برای غلبه بر مشکل تلفات هسته در میدان موتور سری ***AC*** هسته استاتور را مورق ساخته می شود و سیم پیچی میدان دارای تعداد دورکمتری نسبت به موتور سری ***DC*** می باشد. ضمنا بنا برآنچه که در رابطه با تاثیر گذاری فرکانس بر روی مشخصه مغناطیسی آهن قید گردید برای مقابله با اشباع مغناطیسی سطح قطب های میدان را بزرگترمی سازند به گونه ای که موتور در چگالی شار نسبتا کمی کار می کند .این امر باعث کاهش تلفات آهنی می شود . گرچه با بکار گیری این تکنیک سطح شار مغناطیسی میدان تقریباً ثابت می ماند اما در عین حال برای بدست آوردن گشتاور مورد نیاز با دامنه شار مغناطیسی محدود میدان ، تعداد هادی های بکار رفته در آرمیچر را باید افزایش داد.روابط وشکلهای زیر بخوبی شرایط احراز شده را نشان می دهند:

$$\varphi_f = B_m.A_c$$

$$\varphi_f = B'_m.A'_c \qquad A'_c \rangle A_c \quad , \quad B'_m \langle B_m$$

$$P_{core} = K_h.f.B_m + K_f.f^2.B_m{}^2.t^2$$

$$P_{core} \equiv cte$$

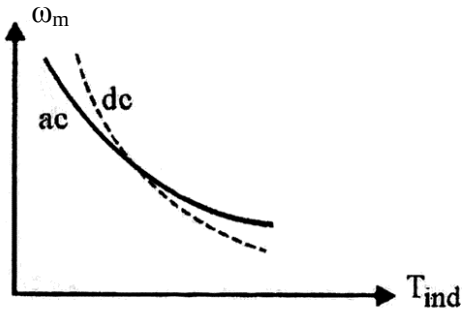


شکل (۲-۶) کفشک قطبهای موتور سری درتغذیه dc و ac و روابط مربوط به شار و تلفات هسته

نکته: مانند موتور ***DC*** سری ، سرعت بی باری در موتور یونیورسال خیلی بیشتر از سرعت در بار کامل است . از نقطه نظر کاربرد سرعت بی باری موتور یونیورسال خطر چندانی در پی نخواهد داشت ، زیرا برای موارد کاربردی مانند : جارو

برقی ، مخلوط کن ، ماشین ریش تراش ، دریل های قابل حمل ، چرخ خیاطی ، ماشین های اداری و خیلی موارد مشابه دیگر ، موتور هرگز بطور کامل بی بار نمی شود ، چون اجزایی مانند چرخ دنده و فن خنک کننده همواره با محور موتور درگیر بوده و بار هرگز بطور کامل برداشته

نمی شود . در نتیجه سرعت در هنگام بی باری به حد خطرناک بالا نخواهد رفت . در شکل(۲-۹) مشخصه گشتاور بر حسب سرعت موتور سری dc و یونیورسال سری را مشاهده می کنید.



شکل(۲-۹) نمونه ای از مشخصه سرعت – گشتاور موتور سری dc و یونیورسال سری را نشان می دهد

۲-۴-۲ معکوس کردن دور موتور های سریAc (یونیورسال):

برای معکوس کردن دور موتورهای یونیورسال می توان جهت گشتاور موتور را با تغییر جهت جریان در آرمیچر یا تغییر جهت جریان درمیدان (البته نه با هم) عوض نمود . در مورد موتورهای بزرگ در اکثر موارد برای معکوس کردن دور از معکوس کردن جهت جریان در آرمیچر استفاده می کنند . زیرا در موتور های بزرگ شار میدان زیاد است و بخاطر اندوکتانس میدان مطلوب نیست که مدار القایی را قطع کنیم . در موتور های یونیورسال که در اندازه های کوچک تهیه می شوند بخاطر این که اندوکتانس میدان به اندازه قابل ملاحظه ای کم می شود ، قطع میدان مشکل جدی را ایجاد نمی کند . بنابراین معکوس کردن میدان تنها در مورد معکوس کردن دور موتور های یونیورسال بکار می رود.

۲-۴-۳ کنترل سرعت موتور اونیورسال :

با توجه به نمودار گشتاور سرعت موتور سری و بدون استفاده از هیچ مدار اضافی می توان سرعت های ممکن را در موتور یونیورسال بدست آورد .

این چنین ویژگی موجب افزایش کاربرد موتور های یونیورسال شده است . بعنوان نمونه می توان از کاربرد این موتورها در ابزاری چون مخلوط کن ، اسیاب برقی و چرخ خیاطی نام برد.

همان عواملی که در موتور سری ***DC*** سرعت را تغییر می دهد، یعنی تغییر شار، تغییر مقاومت و تغییر ولتاژ در موتور سری ***AC*** نیز، از جمله راه های مناسب برای تقییر سرعت می باشند . تا سال های اخیر بندرت برای تغییر سرعت از تغییر ولتاژ استفاده می شد و بجای آن ولتاژ خط را تغییر می دادند ، که این کار به کمک یک رئوستا و یا مقاومتی که با خط سری می شد انجام می گرفت که با تلفات همراه بود. همچنین در بعضی از موارد از اتوترانسفورمر با خروجی متغییر استفاده می شد . در این دو روش تغییر سرعت دلخواه بدست می آمد ، اما اغلب سبب می شد که گشتاور کم در سرعت کم بدست آید .

روش دیگر برای تغییر سرعت ، تغییر میدان می باشد . می دانیم اگر شار کم شود ، سرعت افزایش می یابد و در عین حال بخاطر مقاومت کم میدان ، ولتاژ کمتری بر روی میدان افت می کند ، در نتیجه ولتاژ بیشتری به دو سر آرمیچر اعمال می شود که این خود به افزایش سرعت کمک می کند .در اینجا نیز مانند روش بالا تغییر سرعت به قیمت کم شدن گشتاور تمام می شود .

علاوه بر روش های فوق که اکنون نیز از آن ها استفاده می شود ، از کنترل کننده های حالت جامد که بسیار دقیق و حساس هستند در کنترل سرعت موتور های یونیورسال استفاده می شود.

ماشین های آهن ربای دائم:

این گونه از ماشین ها، ماشین های نو ظهور می باشند، به طوری که می توان گفت قرن ۲۱، قرن ظهور و رشد این ماشین ها خواهد بود. قبل از این که این ماشین ها را بررسی می کنیم، ابتدا باید آهن رباها را به خوبی بشناسیم.

عوامل موثر در انتخاب نوع مواد مغناطیس:

انتخاب نوع مغناطیسی براساس کاربرد مورد نظر و با توجه به مطالب زیر صورت می گیرد.

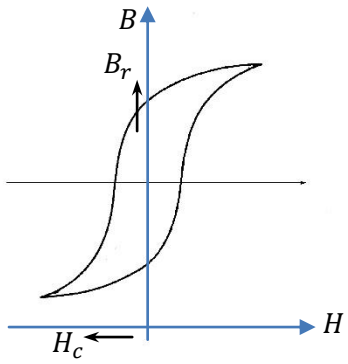
۱- چگالی شار پسماند B_r بزرگ، سبب ایجاد نیرو و گشتاور زیاد می گردد.

۲- نیرو بازدارنده H_c بزرگ، مقاومت مغناطیسی را در برابر نیروهای مغناطیسی زدا زیاد می کند.

۳- مشخصه خطی منحنی مغناطیسی زدایی عاملی است که باعث کاهش تلفات می گردد.

۴- مقدار بزرگتر $(BH)_{max}$ در توان مشخص، باعث کوچک شدن حجم ماده مغناطیسی می شود.

علاوه بر پارامترهای فوق قیمت نیز در انتخاب نوع ماده مغناطیس نقش بسزایی دارد. عامل تعیین کننده دیگر دمای شرایط کاری می باشد.



مواد:

۱- مواد مغناطیسی نرم مثل هسته ماشین ها (ورق هسته)

۲- مواد مغناطیسی سخت (آهن ربا)

نکته:

سه عامل باعث از بین رفتن آهن ربا می شود.

۱- ضربه زدن
۲- حرارت
۳- میدان مغناطیسی در عکس جهت آن

دمای کوری در آهن ربا :
دمایی که در آن قدرت آهن ربایی یک آهن ربا به طور کلی از بین می رود، دمای کوری آهن ربا نام دارد.

دسته بندی مواد مغناطیسی دائم:
به طور کلی سه دسته از مواد مغناطیسی دائم در موتور های الکتریکی مورد استفاده قرار می گیرد:

نسل اول: آلنیکو
نسل دوم: فریتها (سرامیک ها)
نسل سوم: مواد مغناطیسی دائم کمیاب زمینی

نسل اول: آلنیکو: $(ALNICO)$ $Aluminum + Nickel + Cobalt$
اولین ماده‌ای که به صورت تجاری مورد استفاده قرار گرفت آلنیکو بود. آلومینیم، نیکل، کبالت عناصر اصلی این آلیاژ را تشکیل می دهند. مهمترین مزایای آلنیکو را می توان در چگالی شار پسماند B_r بالای آن و همچنین ضریب حساسیت پایین آن دانست. از دیگر مشخصات مغناطیسی آلنیکو می توان به عملکرد بهتر آن در دماهای بالا اشاره کرد. آلنیکو به علت نوع ترکیباتش هادی الکتریکی خوبی می باشد متاسفانه نقطه ی ضعف این ماده کوچک بودن نیروی بازدارنده آن H_c می باشد که باعث می گردد در برابر میدان های خارجی بسیار حساس باشد. کاربرد عمده آلنیکو در صنعت در حدود سال های ۱۹۴۰ تا ۱۹۷۰ بود.

نسل دوم-فریت یا سرامیک ها
این مواد از ترکیب اکسید آهن و کربنات باریم یا استرنتیم به دست می آیند که اولین بار در سال ۱۹۵۰ کشف شد. این مواد بسیار سخت و شکننده می باشند به همین دلیل به آن ها سرامیک هم گفته می شود. مهمترین مزایای فریتها قیمت پایین آنها و مقاومت الکتریکی و حرارتی بسیار بالای آنها می باشد که به معنای عدم وجود تلفات جریان های اِدی (فوکو) است حداکثر دمای کار فریت ها برابر $400°c$ است. این مواد نسبت به آلنیکو ها نیروی باز دارنده H_c بالاتری دارند اما نقطه ضعف این مواد کوچک بودن چگالی شار پسماند B_r می باشد.

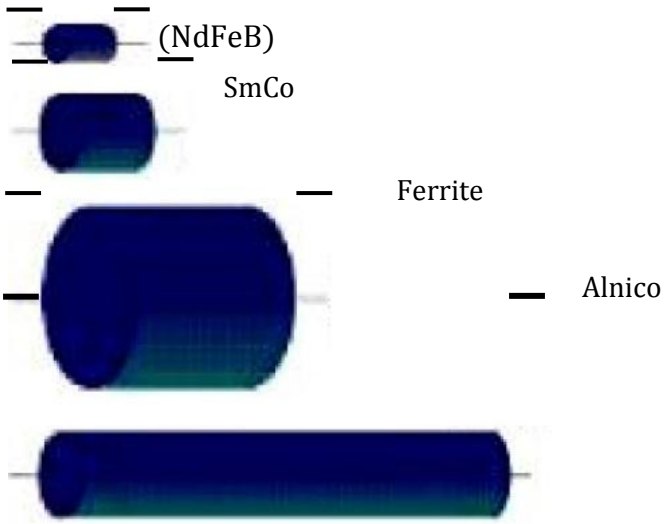
نسل سوم: مواد مغناطیسی دائم کمیاب زمینی:$(SmCo)$ $Samarium + Cobalt$

درسال ۱۹۶۰ آهن ربایی دائم از آلیاژ کبالت وساماریم کشف شد $(SmCo)$ این ماده یک مغناطیس دائم قوی با منحنی مغناطیسی خطی است که این مشخصه سبب ناچیز بودن تلفات میدان می گردد. (شیبی در حدود $1.06\ \mu$ دارد).

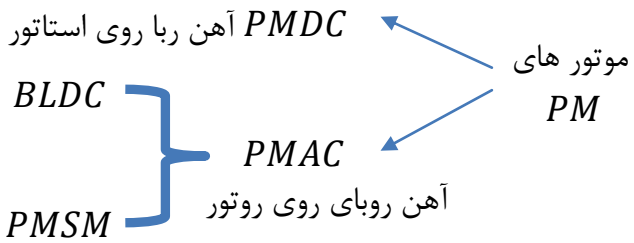
از مزایای این مواد می توان به چگالی شار پسماند B_rبالا،نیرو بازدارنده H_Cبالا و انرژی دریافتی زیاد اشاره کرد. نقطه ضعف این مواد خصوصیات ضعیف مکانیکی و شکننده بودن آن هاست.

نسل بعدی مواد مغناطیسی دائم کمیاب خاک در سال ۱۹۸۳ معرفی گردید.که از ترکیبات نئودیمیوم،آهن و بور یا بورن می باشد(NdFeB).اینمواد علاوه بر مزایای قبلی از نظر مکانیکی نیز قوی است و هزینه کمتری نسبت به SmCo دارند.در مقابل نقطه ضعف این مواد وابستگی شدید رفتار آن ها به دما می باشد.

مقایسه اندازه انواع آهنربا ها با محتوای انرژی یکسان :



انواع ماشین های مغناطیس دایم:



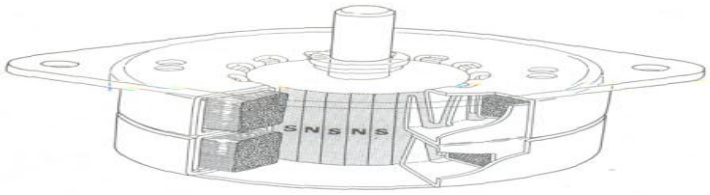
ماشین های مغناطیس دائم:

اولین بار مغناطیس های دائم در استاتور ماشین های DC استفاده شد.یعنی PM ها جایگزین سیم پیچ های میدان شد که این امر سبب کمتر شدن وزن و حجم ماشین های DC و حذف تلفات مسی (ناشی از جریان سیم پیچ میدان) شد. این ماشین های جدید را PMDC(Permanent Magnet Direct Current) می نامند و در ماشین های PMDC کموتاسیون مانند ماشین های DC معمولی انجام می شود. کموتاتورها و جاروبک ها شکننده ترین بخش ماشین های DC است.این اجزا باعث محدودیت سرعت می شود وکموتاسیون جریان های بالا با اشکال صورت می گیرد و ماشین به نگهداری و تعمیرات منظم نیاز پیدا می کند. به منظور غلبه بر این مشکلات، PM ها از استاتور به روتور منتقل شدند، به این ترتیب ماشین های PMAC مطرح شدند. در ماشینهای PMAC (Permanent Magnetic Alternative Current) عمل کموتاسیون به صورت الکترونیکی روی سیم پیچ های استاتور اعمال می شود، لذا برای تعیین زمان کموتاسیون هر کلاف لازم است از حسگر تشخیص وضعیت جهت شناسایی موقعیت مکانی قطب های روتور استفاده شود. به این ترتیب در مقابل حذف جاروبک و کموتاتور باید از حسگر و سیستم کنترل جهت فرمان کموتاسیون استفاده کرد. مزیت دیگر حذف جاروبک و کموتاتور در ماشین های PMAC از بین رفتن تداخل امواج رادیویی می باشد. B_r گشتاور را زیاد می کند و H_c مقاومت در برابر مغناطیس زدایی را افزایش می دهد.

موتور PMDC :

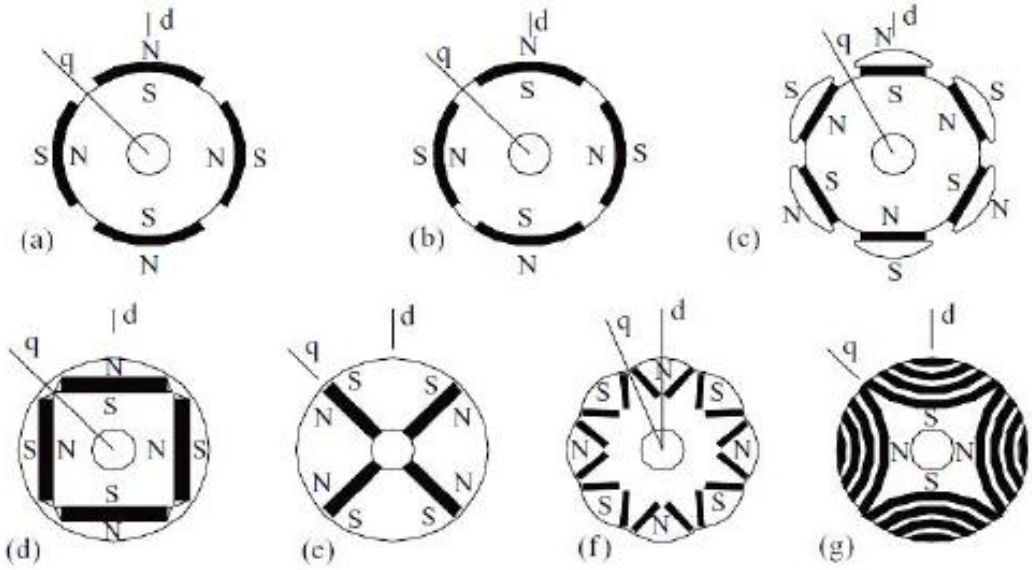
در مقایسه، موتور PMDC مشابه موتور DC معمولی تحریک مستقلی می باشد که جریان تحریک ثابتی دارد. وارد کردن سیستم میدان PM در ماشین های DC امکان صرفه جویی در حجم و وزن و اقتصادی تر شدن فرآیند ساخت و عملکرد ماشین را فراهم می سازد.
در واقع مشهورترین مزیت موتورهای PMDC عدم نیاز به توان الکتریکی، جهت تولید شار مغناطیسی می باشد. با وجود این، عدم کنترل پذیری مستقیم چگالی شار در فاصله هوایی، عمده ترین ضعف این موتورها می باشد. البته فقدان کنترل پذیری چگالی شار، در کاربردهایی که تغذیه آرمیچر قابل کنترل است، اهمیتی ندارد. راندمان این موتور ها بالاست و دلیل اصلی آن حذف تلفات ناشی از سیم پیچ میدان می باشد. علاوه بر این به حذف این تلفات، موتورهای PMDC نیاز کمتری به خنک شدن دارند. البته چگونگی رفتار موتور در درجه حرارت های مختلف، بستگی به مگنت استفاده شده دارد. به خاطر کم شدن فضای مورد نیاز به دلیل حذف کلاف های میدان، موتور PMDC به اندازه قابل توجهی کوچکتر از موتور DC (دارای سیم پیچ میدان) می باشد همچنین با استفاده از PM ها به جای سیم پیچ تحریک می توان وزن موتور را تقریباً 30 % کاهش داد. یکی از مشکلات عمده این ماشین ها، امکان وقوع مغناطیس زدایی به علت سرویس دهی و یا پیاده سازی قطعات در دوره تعمیر و نگهداری می باشد. اگر چنین واقعه ای رخ دهد، شار زیر هر قطب کاهش می یابد و سرعت بی

باری موتور افزایش می یابد. در چنین شرایطی برای باز گشتن به مشخصه کاری اولیه، باید مگنت ها را مجدداً مغناطیس کرد. که این کار مستلزم پیاده سازی کامل موتور می باشد و هزینه زیادی در بر دارد.

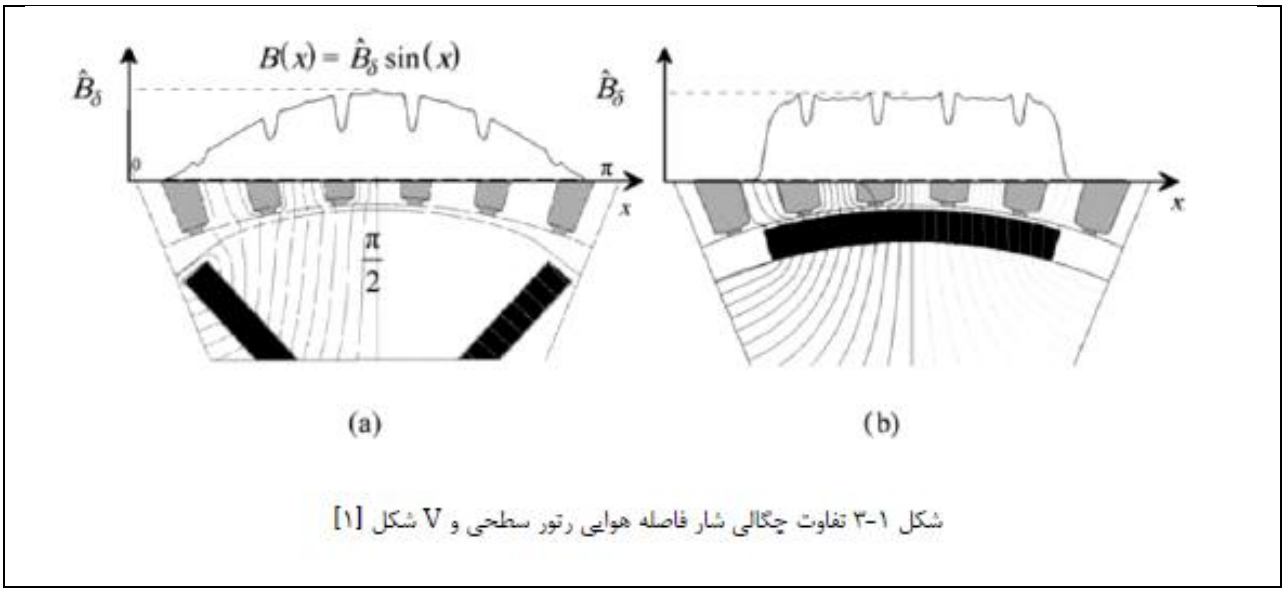


ماشین های PMAC موتورهای PMAC

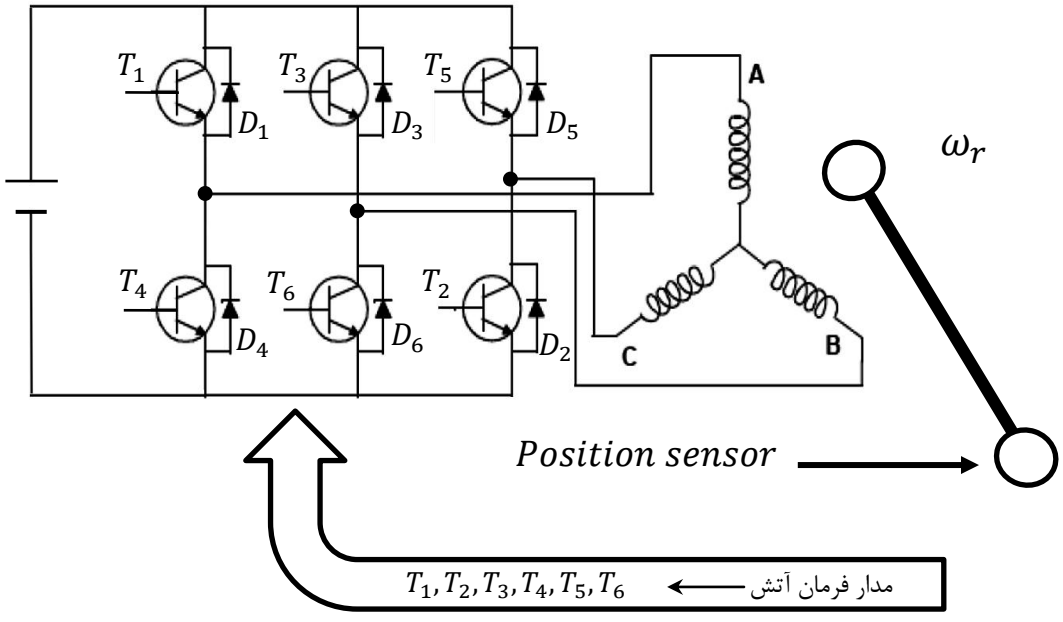
موتورهای PMACموتورهایی هستند که آهن رباها روی روتور قرار میگیرند ودارای انواع مختلفی هستند



شکل ۱-۲ انواع ساختار رتور ماشین‌های مغناطیس دائم. (a) مغناطیس دائم سطحی (Surface-mounted)، (b) مغناطیس دائم زیر سطحی (Embedded in surface)، (c) رتور کفش قطبی (Pole shoe rotor)، (d) مغناطیس دائم درونی مماسی (Tangentially embedded magnets)، (e) مغناطیس دائم درونی شعاعی (Radially embedded magnets)، (f) مغناطیس دائم درونی Vشکل (two magnets per pole in the V position)، (g) رتور رلوکتانس سنکرون مجهز به مغناطیس‌های دائم (Synchronous reluctance rotor equipped with permanent magnets) [۱]



شکل ۱-۳ تفاوت چگالی شار فاصله هوایی رتور سطحی و V شکل [۱]



موتور $PLAC$ سه فاز با مدار محرکه و کنترل

همانطور که میدانیم در یک موتور DC اگر جهت جریان با جهت میدان در دو سیم پیچ استاتور و روتور باهم عوض شود جهت گردش موتور عوض نخواهد شد ولی اگر در یکی از این دو عوض شود جهت گردش موتور عوض می شود،در موتور $PMAC$ آهنربا بر روی موتور رسم شده است بنابراین با گردش روتور جهت میدان

آهن ربا مرتب تغییر جهت می دهد و جهت گردش روتور عوض می شود یعنی لحظه ای راست گرد و لحظه ای چپ گرد می شود،برای آنکه از این وضعیت جلوگیری نماییم باید جهت جریان در استاتور را مرتبا متناسب با گردش آهن ربا بر روی رتور تغییر دهیم تا جهت گردش موتور عوض نشود به این کار کموتاسیون الکتریکی می گوییم.

تولید گشتاور در $PMAC$

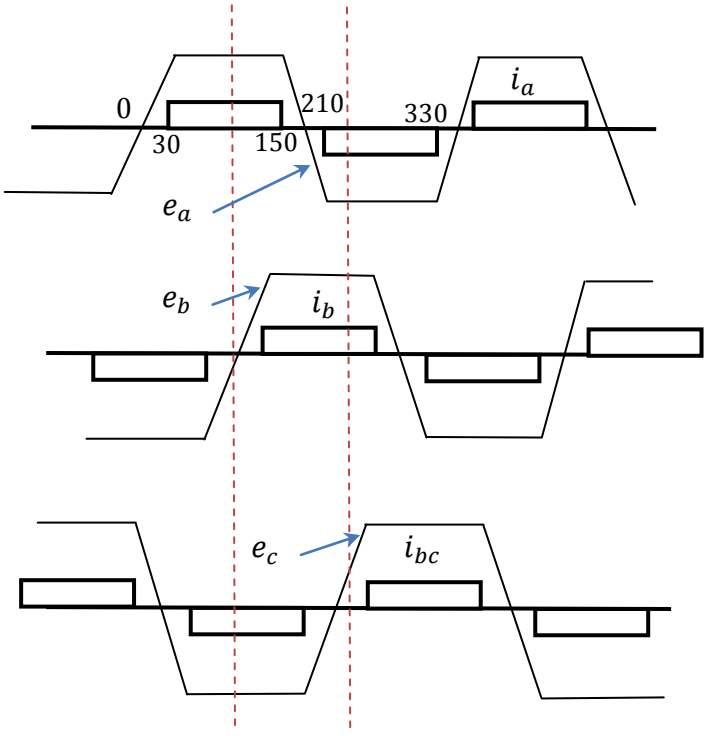
در موتور $PMAC$ شرایط تقریبا مانند موتور DC است، با این تفاوت که میدان مغناطیسی روی روتور قرار می گیرد و سیم پیچی آرمیچر به استاتور منتقل می‌شود. بدین ترتیب به جای آنکه هادی ها در برابر میدان حرکت کنند تا رابطه القایی ولتاژ $(E = BVL)$ تحقق یابد، این میدان است که با سرعت V از مقابل هادی ها عبور می‌کند البته نباید فراموش کرد که همچنان به کموتاسون جهت تغییر علامت جریان نسبت به میدان نیازمندیم. این کار به کمک سوئیچ های الکترونیک قدرت انجام می شود.برای توصیف بهتر عملکرد موتور از بیان زیر استفاده می کنیم.

بر هر هادی روی استاتور گشتاور $T = B.1.L.R$ اعمال می شود.

اگر چه این نیرو نمی تواند موجب حرکت شود اما عکس العمل آن بر روتور وارد گشته و در صورتیکه مقدار متوسط مثبت باشد می تواند هدف ماشین را برآورده کند.لیکن بعد از گذشت یک نیم دور هادی مزبور با یک تغییر جهت، در میدان مواجه می شود.و این به معنی تغییر جهت گشتاور است.به همین دلیل لازم است که جهت جریان نیز تعویض گردد.تا همچنان علامت گشتاور بدون تغییر بماند.بنابراین اگر میدان را در هر ۱۸۰ درجه ثابت فرض کنیم،برای یک گشتاور ثابت استراتژی هدایت جریان در سیم پیچ های استاتور را بدرستی باید دنبال کرد، بگونه ای که این استراتژی بتواند ایجاد یک گشتاور ثابت با حداقل نوسانات را تضمین نماید.

موتور $BLDC$: یک نمونه خاص از $PMAC$

در ادامه شکل موج های این موتور نمایش داده شده است،در این شکل شکل های ذوزنقه میدان آهنربا است که مرتبا با گردش روتور تغییر جهت می دهند(در اختیار ما نیست).در حالی که شکل های مستطیل مبین جریان استاتور می باشد که تحت کنترل ما



شکل موجهای مربوط به موتور $BLDC$

است و باید آنها را متناسب با تغییر میدان آهنربا تغییر دهیم تا جهت گردش موتور عوض نگردد.این کار در عمل توسط سوئیچ الکترونیک قدرت انجام می گیرد و کموتاسیون الکترونیکی نام دارد. در واقع کموتاتور و جاروبک حذف می شود ولی نیاز به سنسور موقعیت و مدار الکترونیکی قدرت دارد.

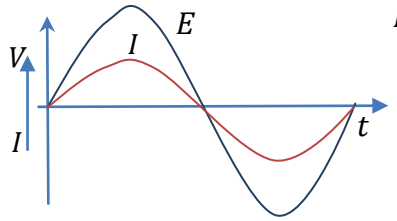
دیدیم که در موتور $BLDC$ جهت جریان هر هادی تا زمانی که بایک میدان ثابت با پلاریته مشخص مواجه است نباید تغییر کند، و در هنگام مواجه با یک میدان متغیر مقدار آن صفر می باشد. بدین ترتیب تقریبا اهداف ما در ایجاد یک گشتاور ثابت تامین می شود. اما در فواصلی که جریان صفر می‌شود گشتاور صفر است و پیوستگی آن از بین می رود، برای حل این مشکل از دسته هادی ها یا به تعبیری از فازهای متعدد می توان استفاده کرد. هر کدام از این فاز ها در فواصلی دارای سکوت گشتاوری هستند، اما این سکوت را فازهای دیگر پوشش می دهند.

همانطور که گفته شد اساس کار دو ماشین $BLDC$ و $PMSM$ مشابه است ولی در دو مورد اختلاف اساسی دارند:

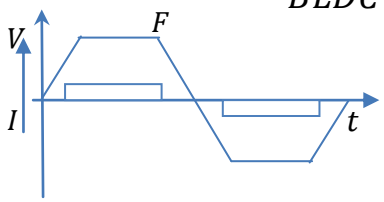
- شکل موج ولتاژ ضد محرکه در ماشین $PMSM$ سینوسی است،در حالی که در ماشین $BLDC$ ذوزنقه ای می باشد.
- شکل موج جریان تغذیه در ماشین $PMSM$ سینوسی است اما در ماشین $BLDC$ مستطیل است.

ماشین $BLDC$ نسبت به $PMSM$ از دقت و ظرافت کمتری برخوردار است،زیرا در ماشین های BLDC برای هر فاز و در مدت یک سیکل گردش رتور ، به علت مربعی بودن شکل موج جریان ، تنها در چهار نقطه تغییر جریان لازم است در حالی که در $PMSM$ به علت سینوسی بودن شکل جریان، مقدار جریان به صورت دائم درحال تغییر است.(شکل و مقدار جریان،تابع وضعیت مکانی رتور است) بنابراین حسگرهای به کار رفته در سیستم درایو $PMSM$ باشد از دقت بالاتری نسبت به $BLDC$ برخوردار باشند.

الف) $PMSM$



ب) $BLDC$



این امر سبب می شود نوسانات گشتاور در $BLDC$ نسبت به $PMSM$ بیشتر باشد.البته این مطلب بدین معنی نیست که ماشین های $BLDC$ دقیق نیستند.ماشین های $BLDC$ اغلب در سیستم ها با کاربرد صنعتی و در سطح تجاری مورد استفاده قرار می گیرند،اما ماشین های PMSM با کاربرد های خاص و درسیستم هایی به کار مرود که باید مشخصه های کنترلی بسیار دقیق و مطلوبی عرضه کنند.به همین دلیل قیمت سیستم های شامل $PMSM$ بیشتر از $BLDC$ است.

تعیین موقعیت رتور در موتور های $PMAC$:

موقعیت رتور را در موتور های $PMAC$ به کمک روش های زیر می توان مشخص کرد :

a) عناصر اثر هال

b) انکدر های نوری

c) کلاف های جستجو (موقعیت یاب)

d) نیروی ضد محرکه

مناسب ترین روش، استفاده از سنسور های اثر هال می باشد.این روش ساده و نسبتا ارزان بوده و بسیار موثر می باشد.این المان ۴ سره یا دو مداره هنگامی در میدان مغناطیسی ساکن قرار می گیرد.و یکی از مدار های آن با جریان DC ،تغذیه شود، مدار دیگر آن ولتاژ تولید می کند.قطبیت ولتاژ القایی به جهت عبور از قطب شمال یا جنوب بستگی دارد.از این نیرو و از آن می توان به عنوان ردیاب شار مغناطیسی استفاده کرد.شکل زیر المان هال را نشان می دهد.

تفاوت دو ماشین $PMSM$ و $BLDC$: