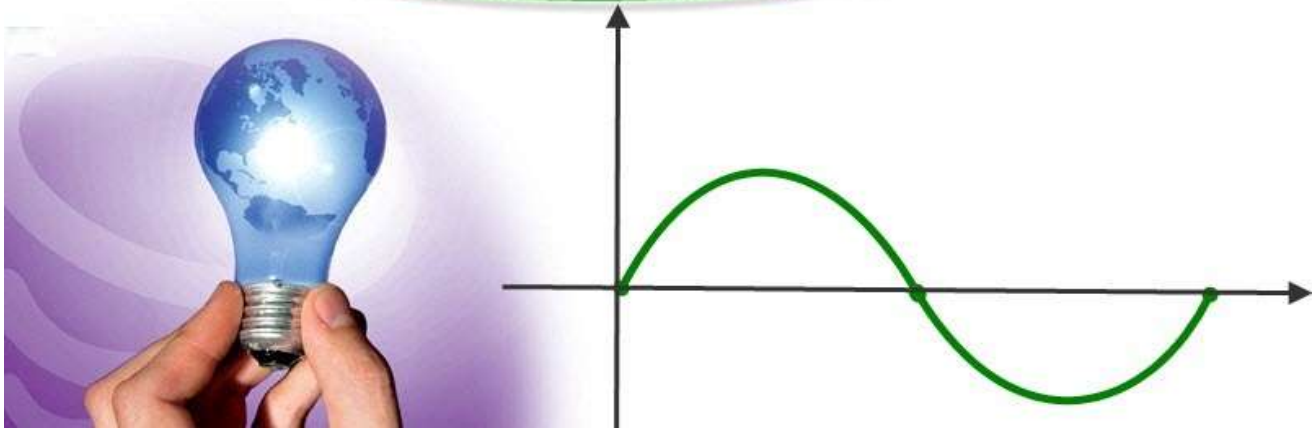
برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

بسم الله الرحمن الرحیم



برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

موضوع پروژه:

بررسی ساختار داخلی موتورهای Servo و موتورهای خطی Linear

WikiPower.ir

برای خرید فایل wordاین پروژه اینجا کلیک کنید.

(شماره پروژه = ۲۴۰)

پشتیبانی: ۰۹۳۵۵۴۰۵۹۸۶

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

فهرست

عنوان صفحه

چکیده ۱
فصل اول: موتورهای AC ۲
فصل دوم: موتورهای DC ۱۶
فصل سوم: موتورهای brushless DC (BLDC) ۲۹
فصل چهارم: موتورهای پله ای ۴۴
فصل پنجم: موتورهای خطی ۸۸
منابع ۹۵

WikiPower.ir

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

چکیده

بررسی موتورهای خطی و Servo را در این پروژه با مروری بر موتورهای Ac و Dc و معادلات آن شروع و در سنایع بزرگ با بررسی موتورهای اینورسال، دو خازنی، خازن دائمی، سنکرون، و بررسی گشتاور و سرعت هر کدام شروع می کنیم.

سپس به بررسی کنترل توان مصرفی موتور- نرخ مصرف ولتاژ صحیح آن، سنسور «هال» و مقایسه ی موتورهای BLDC با دیگ انواع موتور و در نهایت انتخاب موتور مناسب برای کاربرد خاص آن، محدوده ی سرعت هر کدام و البته انواع کاربردهایی که BLDC دارد می پردازیم در ادامه به بررسی موتورهای پله ای و تاریخچه آن و انواع و طرح کلی و طبقه بندی آن و در اواخر فصل ۳ هم به روشهای تحریک با بیان چند اصلاح توضیح داده شده.

در اوایل فصل ۴ به ساخت موتورهای پله ای «طراحی؛ فرآیند ساخت، مدیریت تولید و کیفیت» و «کاربرد آن» در ماشین های فرز و در اواخر فصل ۴ به آن می پردازیم بیان شده.

فصل پنجم را به موتورهای خطی اختصاص داده و انواع و کاربرد آن توضیح داده شده.

این پروژه اختصاص به جزئیات و نحوه ی ساخت و در نهایت کاربردهای این نوع موتورها در صنعت و ماشین سازی دارد، که با مطالعه ی آن امید است استفاده ی مناسبی از اطلاعات اراه شده در اختیار خواننده قرار گیرد.

WikiPower.ir

با تشکر محمدمهدی مسائلی

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

فصل اول

موتورهای AC

موتورهای AC در ماشینهای محرک

WikiPower.ir

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

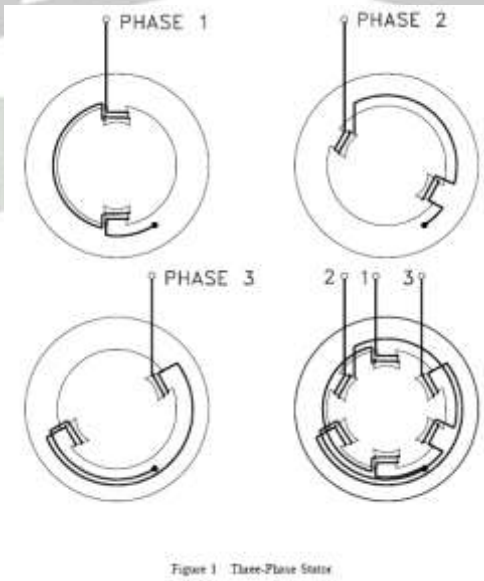
موتورهای AC در ماشینهای محرک به خصوص هنگامیکه رنج وسیعی از عملکرد مورد نظر است استفاده می شوند. دانستن نحوه عملکرد موتور و تئوری های اساسی عملکرد ضروری به نظر می رسد.

اصول عملکرد

اصل عملکرد همه موتورهای AC بر اثر تقابل بین یک میدان مغناطیسی چرخان که در استاتور بوسیله یک جریان AC ایجاد شده با یک میدان مغناطیسی دیگر که روی روتور القاء شده یا بوسیله یک منبع جریان DC مجزا بوجود آمده است. نتیجه این تقابل بوجود آمدن یک گشتاور قابل استفاده است که خواسته های LOAD را براحتی برآورده می کند قبل از بحث در مورد انواع موتورهای AC با تعدادی از اصول معمول آشنا می شویم.

میدان چرخشی

قبل از توضیح اینکه چطور میدان مغناطیسی می چرخد و باعث چرخش روتور موتور می شود. ابتدا می بینیم که در چطور میدان مغناطیسی چرخان ایجاد می شود.



شکل ۱-۱- استاتور سه فاز که با جریان سه فاز AC تغذیه می شود را مشاهده می کنیم.

دو سیم پیچ در هر فاز پیچیده شده است. در هر لحظه میدان مغناطیسی تولید شده بوسیله یکی از فازها به جریان وصل می شود. اگر جریان در فاز صفر باشد میدان مغناطیسی نیز صفر است. اگر مقدار جریان به ماکزیمم برسد نتیجه می دهد که میدان در آن دارای یک ماکزیمم است. در زمانیکه جریان سه سیم پیچ دارای زاویه ۱۲۰ درجه در فازها میشود میدان نیز تحت تاثیر جریان با زاویه ۱۲۰درجه تولید

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

می شود. سه میدان تولید مغناطیسی ترکیب شده یک میدان مغناطیسی تولید می کنند که باعث تاثیر بر روتور می شود . در یک موتور القایی AC میدان مغناطیسی القاء شده در روتور از نظر قطبیت مخالف میدان در استاتور است . بنابراین میدان مغناطیسی روتور در استاتور تاثیر می گذارد . روتور همچنین چرخش خود را تا پایداری میدان مغناطیسی استاتور ادامه می دهد . از یک لحظه به بعد میدان مغناطیسی هر فاز ترکیب یک میدان مغناطیسی تولید می کند که زاویه مخالف دارد در پایان هر سیکل جریان متناوب ،میدان مغناطیسی 360 درجه تغییر میکند یا دور کامل می زند.

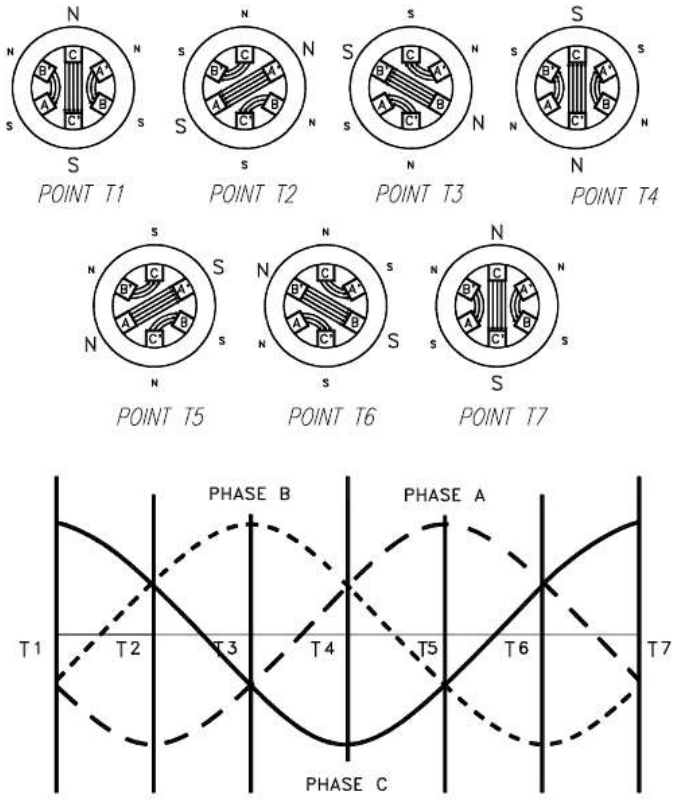


Figure 2 Rotating Magnetic Field

شکل ۱-۲

هنگامیکه در روتور یک میدان مغناطیسی مخالف القاء می شود روتور می چرخد .برای توضیح بیشتر چرخش میدان مغناطیسی در شکل ۲ نشان داده شده است. این موارد با زاویه ۶۰درجه از هم جدا شده اند که هر کدام فازهای A,B,Cتشکیل می دهند. موقعی که جریان در فاز مثبت باشد میدان مغناطیسی قطب N را به A,B,C نسبت می دهد و موقعی که جریان در یک فاز منفی باشد میدان مغناطیسی قطب N را به A`,B`,C`نسبت می دهد.

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

در نقطه T1 جریان در فاز C حداکثر مقدار مثبت خود را دارد در همین لحظه جریان در فاز A,B نصف حداکثر مقدار خود با علامت منفی را دارد. در نتیجه میدان مغناطیسی به طرف پایین تمایل می یابد.

در نقطه T2 زاویه جریان در حال چرخش ۶۰ درجه است. در این نقطه جریان در فاز A حداکثر مقدار خود با علامت منفی را دارد. در این لحظه جریان در B معکوس شده و به مقدار مثبت نصف ماکزیمم می رسد. به علاوه جریان در C هم به نصف مقدار حداکثر خود کاهش می یابد. در نتیجه میدان ۶۰ درجه می چرخد.

در نقطه T3 موج جریان نسبت به حالت قبل ۶۰ درجه دیگر می چرخد که مجموعاً ۱۲۰ درجه می شود. در این نقطه جریان در فاز B حداکثر مقدار مثبت خود را دارد . جریا ن درA به نصف مقدار ماکزیمم منفی کاهش می یابد و در C جریان معکوس می شود و به نصف مقدار ماکزیمم منفی می رسد. در نتیجه میدان به طرف چپ تمایل می یابد. بنابراین میدان مغناطیسی روی روتور استاتور ۶۰ درجه دیگر می چرخد که در مجموع ۱۲۰درجه می شود.

در نقطه T4 میدان ۱۸۰ درجه نسبت به حالت T1 می چرخد .میدان در C ایجاد می شود و همانند قبل عمل می کند.

در نقطه T5 فاز A به مقدار حداکثر مثبت خود می رسد و میدان ۶۰ درجه دیگر می چرخد که در مجموع ۲۴۰ درجه می شود.

در نقطه T6 فاز B دارای مقدار حداکثر منفی خود می شود و میدان به طرف راست تمایل می یابد. در این نقطه زاویه چرخش میدان ۳۰۰ درجه نسبت به حالت T1 می رسد.

در پایان در نقطه T7 میدان به مکان خود در T1 می رسد . استمرار این روند باعث چرخش دایمی میدان

می گردد و به این ترتیب میدان چرخشی ایجاد می شود.

دوران روتور قفسه سنجابی در اثر میدان مغناطیسی چرخان

روتور قفسه سنجابی شامل میله های فولادی جهت عبور شار مغناطیسی است که هادیهای منفرد روتور را نگهداری می کند این هادیها عمود بر سطح روتور است انتهای کلیه این هادیها توسط حلقه هایی اتصال کوتاه شده اند فرض کنید که کلافهای میدان توسط جریان DC تحریک گردند شار مغناطیسی برقرار

می شود حال فرض می شود که میدان تحریک طوری ترتیب داده شده است که بتواند بطور مکانیکی دوران نماید این چرخش میدان مغناطیسی سبب حرکت دورانی شار مغناطیسی هم می گردد با حرکت دورانی شار روتور شروع به دوران کرده و شار مغناطیسی را دنبال می کند با تکرار این عمل شار

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

مغناطیسی ناشی از میدان تحریک توسط چرخش مکانیکی این میدان شروع به حرکت در اطراف روتور می کند در نتیجه هادیهای روتور قفسه سنجابی را قطع کرده و در آنها جریان القایی ایجاد می کند این جریانهای القایی عکس العملی با میدان مغناطیسی چرخان به وجود آورده در نتیجه روتور قفسه سنجابی این میدان را با سرعتی کمتر از سرعت میدان تحریک دنبال می نماید

تولید گشتاور

موقعی که جریان متناوب AC در سیم پیچ استاتور یک موتور القایی AC بکار میرود یک میدان چرخشی بوجود می آید میدان مغناطیسی چرخشی میله روتور را قطع می کند (با میله روتور برخورد میکند) و جریان در آن القا می شود جهت این جریان با قانون دست چپ به دست می آید این جریان القایی یک میدان مغناطیسی تولید می کند که مخالف قطبیت میدان استاتور است وباعث چرخش روتور می شود از زمانیکه میدان استاتور بطور پیوسته می چرخد روتور نمی تواند با میدان استاتور همخط شود بنابراین روتور باید آنرا دنبال کند.

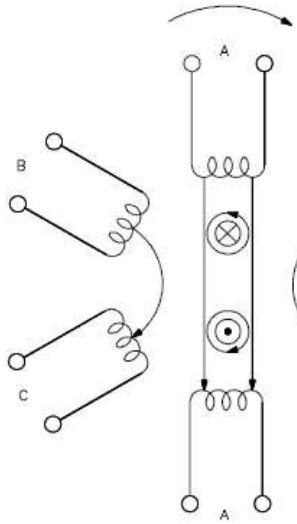


Figure 3 Induction Motor

شکل ۱-۳

لغزش

در واقعیت برای روتور یک موتور القایی AC غیرممکن است که با سرعت یکسان در میدان مغناطیسی چرخشی حرکت کند اگر سرعت روتور با میدان استاتور یکسان باشد حرکتی بین آنها بوجود نمی آید و القایی EMF در روتور ایجاد نمی شود بدون این EMF القایی حرکتی تولید نمی شود روتور باید بچرخد باسرعتی کمتر از میدان استاتور تا حرکت بین آن دو ایجاد شود درصد مختلف بین سرعت روتور و سرعت میدان چرخشی لغزش (Slip) نامیده می شود درصد کمتر ،نزدیکتر بودن سرعت روتور به سرعت

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

میدان چرخشی را نشان می دهد سرعت میدان چرخشی سرعت سنکرون هم نامیده می شود درصد لغزش از معادله زیر به دست می آید

$$SLIP = \frac{N_S - N_R}{N_S} \times 100\%$$

N_S: سرعت سنکرون N_R:(rpm) سرعت روتور (rpm)

سرعت چرخش میدان یا سرعت سنکرون بوسیله معادله زیر بدست می آید

$$N_S = \frac{120\ f}{P}$$

N_S: سرعت چرخشی میدان (rpm) f: فرکانس جریان روتور (Hz) P: تعداد کل قطبها

در زیر یک مثال در این رابطه می آوریم.

Example: A two pole, 60 Hz AC induction motor has a full load speed of 3554 rpm. What is the percent slip at full load?

Solution:

Synchronous speed:

$$N_S = \frac{120\ f}{P}$$

$$N_S = \frac{120\ (60\ Hz)}{2}$$

$$N_S = 3600\ rpm$$

Slip:

$$SLIP = \frac{N_S - N_R}{N_S} \times 100\%$$

$$SLIP = \frac{3600 - 3554\ rpm}{3600\ rpm} \times 100\% = 1.3\%$$

گشتاور

گشتاور یک موتور القایی AC ارتباط مستقیم با تقابل روتور با میدان استاتور و ارتباط فازهای بین آنها دارد گشتاور بوسیله معادله زیر محاسبه می شود.

$$T = K\ \Phi\ I_R \cos\theta_R$$

در مدت عملکرد نرمال θ_R cos، φ و K برای همه اهدافمان ثابت هستند تا گشتاور متناسب با جریان روتور شود جریان روتور این تناسب لغزش را افزایش می دهد تغییر در گشتاور با SLIP متناسب است شکل ۴نشان می دهد که لغزش از صفر تا ۱۰٪ افزایش می یابد که گشتاور هم به همین صورت افزایش

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

دارد همچنین بار و لغزش بیشتر از گشتاور افزایش می یابد گشتاور به یک مقدار ماکزیمم در حدود SLIP ۲۵٪ می رسد مقدار ماکزیمم گشتاور، گشتاور breakdown (از کار افتادگی) موتور نامیده می شود اگر بار به این نقطه افزایش یابد نوعی از موتور القایی دارای گشتاور breakdown از ۲۰۰ تا ۳۰۰٪ گشتاور بار کل دارد شروع گشتاور در مقدار گشتاور slip ۱۰۰٪ و به طور نرمال بین ۱۵۰تا ۲۰۰ درصد می باشد همچنین شتاب روتور گشتاور افزایش خواهد یافت وسپس کاهش مقدار مورد نیاز بار روی موتور در سرعت ثابت معمولاً بین ۱۰٪-۰ است

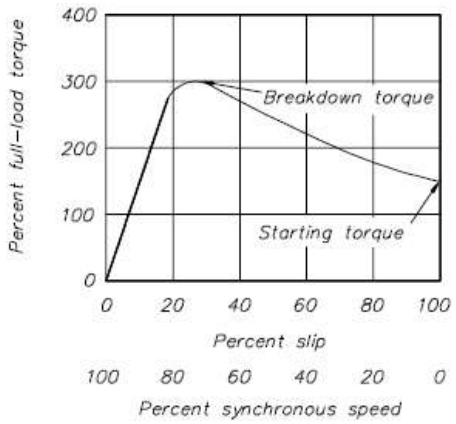


Figure 4 Torque vs Slip

نمودار ۱-۴

WikiPower.ir

انواع موتورهای AC

انواع مختلف موتور ACاستفاده شده برای کاربردهای خاص استفاده می شود.

موتور القایی

طبق توضیح قبل کاربرد یک موتور AC با لغت موتور القایی است موتور القایی بیشتر مواقع استفاده شده است موتور AC در صنعت به خاطر سادگی ساختمان محکم وهزینه ساخت کم کاربرد دارد دلیل آنکه موتور القایی این خصوصیات را دارد این است که روتور جامع دارد این نوع موتور به خاطر حرکت با جریان ACموتور AC نامیده شده که این جریان میدان چرخان را ایجاد می کند روتور موتور القایی. (شکل ۵)

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

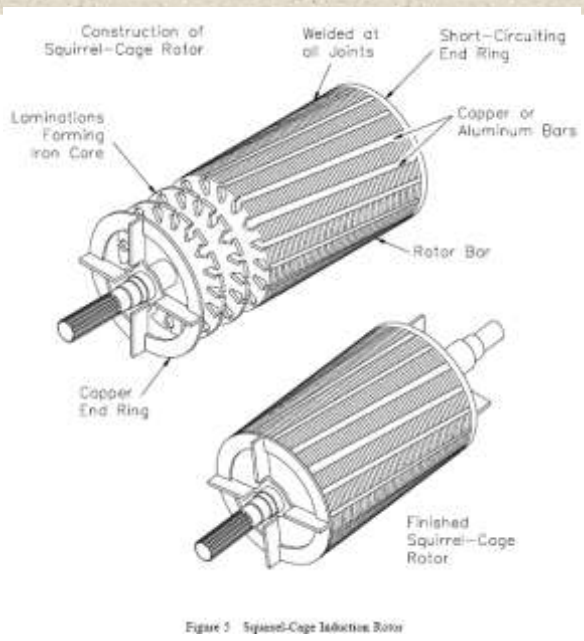


Figure 5 Squirrel-Cage Induction Rotor

شکل ۱-۵

از یک ورق استوانه ای که شیارهایی برروی سطح دارد ساخته شده است این روتور از یک میله مسی سنگین ساخته شده که در دو طرفش با یک رینگ فلزی از جنس مس یا برنج مرتبط است اندازه فاصله هوایی بین میله روتور و سیم پیچ استاتور برای بدست آوردن بزرگترین میدان اهمیت ویژه ای دارد

موتور القایی AC تک فاز

اگر دوسیم پیچ استاتور دارای امپدانس نامساوی و زاویه ۹۰درجه باشند و بطور موازی با یک منبع تغذیه تک فاز مرتبط باشند میدان تولید شده ای در روتور ظاهر می شود که فاز دوبخشی نامیده می شود در یک موتور فاز دو بخشی یک سیم پیچ راه انداز استفاده می شود این سیم پیچ یک مقاومت بالاتری مقاومت القایی پایین تری نسبت به سیم پیچ اصلی دارد. (شکل ۶)

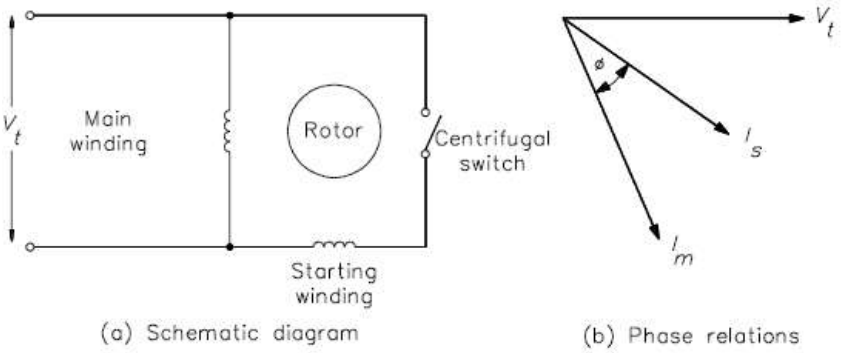


Figure 6 Split-Phase Motor

شکل ۱-۶

موقعی که ولتاژ یکسان V_T در سیم پیچ راه انداز واصلی به کار برود جریان در سیم پیچ اصلی (I_m) با تاخیر پشت سر جریان سیم پیچ راه انداز I_s قرار می گیرد شکل ۶ زاویه بین دوسیم پیچ باید به حد کافی باشد تا میدان مغناطیسی چرخشی تولید شده یک گشتاور راه انداز تولید کند موقعی که سرعت موتور به ۷۰تا ۸۰ درصد سرعت سنکرون برسد یک سوئیچ گریز از مرکز که روی شافت موتور قرار دارد باز می شود و سیم پیچ راه انداز قطع می شود موتور تک فاز برای کارهای خیلی کوچک به عنوان مثال مصارف خانگی و
واسطه ای بکار می رود.

موتور سنکرون

موتورهای سنکرون شبیه موتورهای القایی دارای دو سیم پیچ در استاتور هستند که یک میدان مغناطیسی چرخشی ایجاد می کند. بر عکس یک موتور القایی ، موتور سنکرون بوسیله یک منبع DC خارجی تحریک می شود. بنابراین ، نیاز به رینگ Slip و زغال برای ایجاد جریان در روتور دارد . در موتور سنکرون ،روتور داخل قفل می شود که این عمل بوسیله میدان مغناطیسی چرخشی و چرخش سرعت سنکرون ایجاد
می شود. اگر موتور سنکرون بارگذاری شود جائیکه روتور تحت کشش است باعث توقف موتور می شود. موتور سنکرون یک روتور سیم پیچی شده استفاده می کند. رینگ Slip و زغال نیز برای جریان در روتور استفاده می شود.

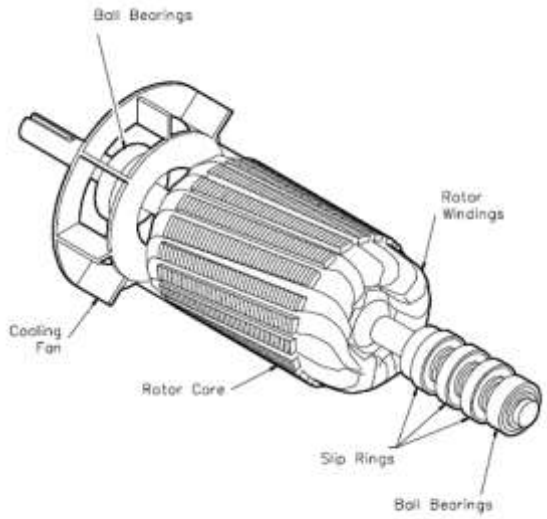


Figure 7 Wound Rotor

شکل ۱-۷

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

راه اندازی موتور سنکرون

یک موتور سنکرون بوسیله یک موتور DC که برروی شافت قرار دارد راه اندازی می شود موقعی که سرعت سنکرون را بدست می آورد جریان AC برروی سیم پیچ ثانویه اعمال می شود موتور DC همانند یک ژنراتور DC عمل می کند و تحریک میدان DC را روی موتور سنکرون مقدور می سازد موتور سنکرون اغلب به نام قفسه سنجابی شناخته می شود موتور راه انداز سرعت را تا ٪۹۵ سرعت سنکرون می رساند گشتاور لازم برای کشاندن موتور داخل سنکرونیزه شدن را pull-in-torque می نامند از قبل می دانستیم که روتور موتور سنکرون در داخل میدان مغناطیسی چرخشی قفل شده است و باید به طور پیوسته همراه سرعت سنکرون برای رنجی از بارها عمل کند . در طول شرایط بی باری خط مرکزی قطب در میدان مغناطیسی چرخان منطبق بر قطب میدان DC است شکل ۸a .
موقع بارگذاری موتور یک تمایل به طرف پایین در قطب روتور ایجاد می شود شکل ۸b . تغییر در سرعت بوجود نمی آید بلکه زاویه بین روتور واستاتور تغییر می کند که زاویه گشتاور نامیده می شود

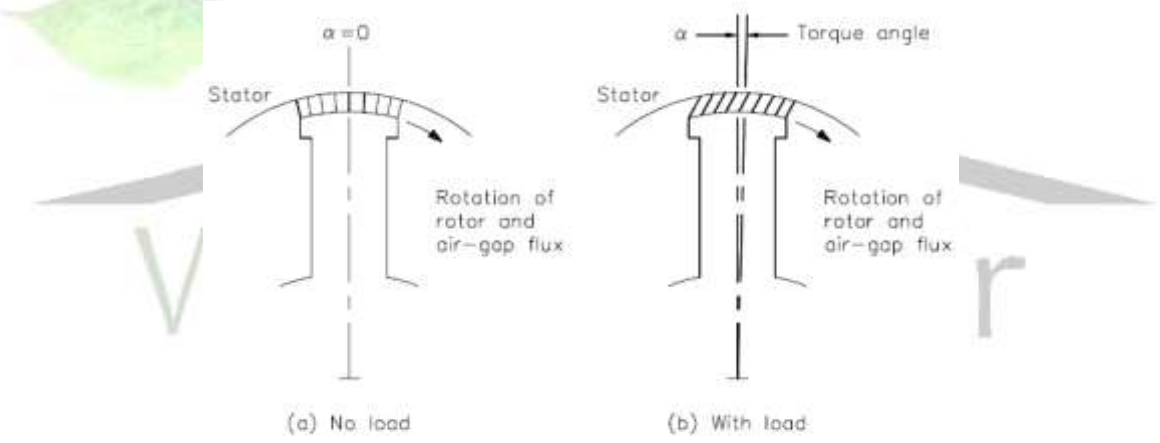


Figure 8 Torque Angle

شکل ۱-۸

القا میدان

برای یک بار ثابت :فاکتور قدرت یک موتور سنکرون می تواند به صورت مختلف از یک مقدار پیشرو تا یک مقدار پسرو برای تحریک میدان DC قابل تنظیم باشد. شکل ۹

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

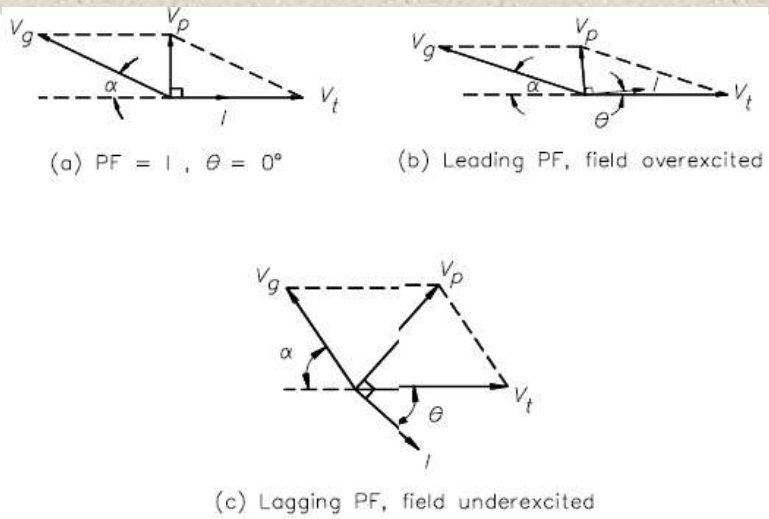


Figure 9 Synchronous Motor Field Excitation

شکل ۱-۹

القا میدان تا PF=1 تنظیم شده است(در شکل ۹a).با یک بار ثابت روی موتور موقعی که میدان القایی افزایش یابد EMF افزایش می یابد نتیجه اینکه یک تغییر فاز بین جریان استاتور و ولتاژ نهایی بوجود می آید تا اینکه موتور در فاکتور قدرت پیشرو عمل کند (شکل ۹b)در شکل ۹ افت ولتاژ در سیم پیچ استاتور در فاکتور قدرت پسرو اتفاق می افتد (شکل ۹c) نکته قابل توجه اینکه زاویه گشتاور (α) در میدانهای القایی مختلف برای فاکتورهای قدرت مختلف قابل تنظیم است موتورهای سنکرون در همساز کننده های بزرگ بار استفاده شده اند و باعث بهبود فاکتور قدرت در صنایع پیچیده بزرگ شده اند موتورهای سنکرون پرکاربردترین موتورها از نوع AC می باشند در ادامه به معرفی انواعی از موتورهای AC می پردازیم

موتورهای انیورسال

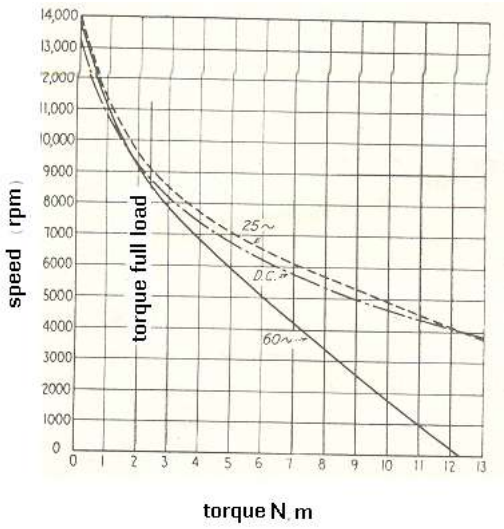
موتور انیورسال ، موتوری با سیم پیچی سری یا سیم پیچی سری تعدیلی است ،و به گونه ای طراحی شده است که سرعت و توان خروجی آن تقریبا در جریان مستقیم و جریان متناوب تک فاز یکسان است به شرط آنکه جریان متناوب بزرگتر از ۶۰ هرتز نبوده و ولتاژ موثر آن برابر ولتاژ مستقیم باشد.

مشخصه های گشتاور و کاربرد

موارد استعمال بسیار معمول موتورهای انیورسال در مته ها ،اره ها، رنده های دستی جاروبرقی ماشینهای دوزندگی و لوازم خانگی است.دونوع عمده موتور های انیورسال یکی بدون سیم پیچی تعدیل و دیگری با

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

سیم پیچی تعدیل وجود دارد. در شکل زیر منحنی سرعت بر حسب گشتاور یک موتور انیورسال با قطب متمرکز و بدون سیم پیچی داده شده است.



شکل ۱-۱۰

قابل تذکر است که در هر دو نوع با افزایش بار سرعت سریعاً کاه ش می یابد و با کاهش بار سرعت افزایش می یابد. زمانیکه از شبکه های برق DC استفاده می شد موتورهای انیورسال به خاطر بکار انداختن انواع ماشینهای تجارتی کاربرد وسیعی داشت زیرا قابلیت کاربرد در جریان متناوب و مستقیم را دارا بود. اما در حال حاضر موتورهای القایی جای موتورهای انیورسال را گرفته است.

در صنایع بزرگ قدرت و سرعت نامی موتورهای انیورسال به دلایل زیر به صورت استاندارد در نیامده است:

۱-این موتورها غالباً به صورت مجموعه قطعات فروخته می شوند.

۲-سرعت کار در بار انتخابی محدود است

۳-کاربرد این موتورها خاص است.

انواع دیگر تقسیم بندی برحسب نحوه راه اندازی عبارت است از:

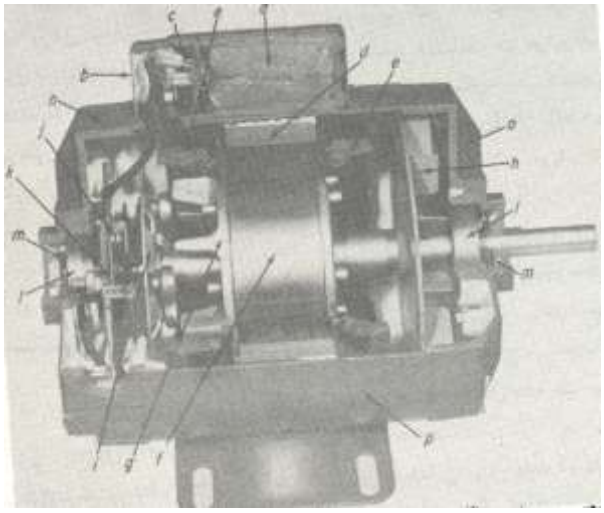
۱. موتور القایی با فاز شکسته:

موتور القایی با فاز شکسته یک موتور القایی تک فاز است که دارای دو سیم پیچ می باشد. یکی سیم پیچ اصلی و دیگری سیم پیچ کمکی یا راه انداز می باشد. هر کدام به خودی خود مدار کاملی هستند .این موتورها در ماشینهای لباسشویی استفاده می شوند.

۲. موتور با راه انداز خازنی:

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

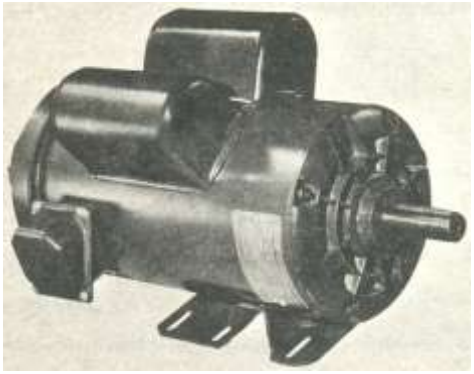
یک موتور خازنی دارای دو سیم پیچ است یکی سیم پیچ اصلی و دیگری سیم پیچ کمکی می باشد سیم پیچ کمکی و سیم پیچ اصلی به اندازه ۹۰درجه الکتریکی با هم اختلاف دارند و بصورت سری به یک خازن متصل شده اند در شکل زیر مدلی از آن را می بینیم.



شکل ۱-۱۱

۱. موتور دو خازنی :

موتور دو خازنی همانند موتور تک خازنی است با این تفاوت که موتور بوسیله یک خازن سری و یک سیم پیچ کمکی راه اندازی شده و با خازن دیگر به حرکت خود دوام می بخشد در شکل زیر یک موتور دو خازنی را می بینیم.



شکل ۱-۱۲

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

۲. موتور خازن دایمی:

این موتور یک نوع موتور خازنی است که یک خازن پیوسته و ثابت در سیم پیچ کمکی آن وجود دارد و به همین خاطر نیاز به کلید راه انداز یا رله ندارد.

۳. موتور القایی با راه انداز ریپالسیونی:

موتور تک فازی است که سیم پیچی شبیه موتور ریپالسیون دارد و در یک سرعت مشخص شده سیم پیچ از مدار خارج شده و موتور شبیه یک موتور قفسه سنجابی می گردد شکل زیر.

شکل ۱-۱۳

مشخصات و موارد کاربرد موتورهای سنکرون

همانطور که اشاره شد موتورهای سنکرون بیشترین کاربرد را در موتورهای AC دارند موتورهای القا کننده اغلب به طور لحظه ای راه اندازی می شوند آنها در یک چهارم تا نصف سیکل یا در چهار تا هشت هزارم ثانیه به سرعت سنکرون می رسد اگر این کار در فاصله زمانی مذکور عملی نشود هرگز به سرعت سنکرون

نمی رسند .این موتورها به خاطر آنکه روتو ر مغناطیسی عمل ترمز را ایفا می کند سریعاً متوقف می شود سرو موتورها و موتورهای پله ای بعنوان قطع و وصل کننده های خودکار بسیار مناسبند توضیحات بیشتر در قسمت سرو موتور آورده شده است.

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

موتورهای القا کننده دارای مشخصاتی همچون راه اندازی سریع ، توقف سریع ، نگهداری اتوماتیک و غیره هستند به همین خاطر این موتورها بیشتر بعنوان موتور زمان سنج بکار می رود با آنکه این موتورها در ماشینهای ابزار معمولی و سبک همچون دریل بکار می روند اما بعلت دقت کم آنها نمی توان در ماشینهای NC و همچنین CNC از این نوع موتورها استفاده بهینه نمود.

شکل ۱-۱۴

WikiPower.ir

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

فصل دوم

موتورهای DC

توضیح موتورهای DC

WikiPower.ir

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

موتورهای DC به طور گسترده در تجهیزات مختلف استفاده می شوند .

سرعت وگشتاور ایجاد سده در موتورهای DC به فاکتور های زیادی بستگی دارد .

القا کردن جریان بر روی کنداکتور:

دو شرط زیر برای القا کردن نیرو بر روی کنداکتور لازم است

۱-کنداکتور بایستی حمل کننده جریان باشد

۲-کنداکتور بایستی در درون میدان مغناطسیس باشد

هنگامی که دو شرط وجود داشت نیرو بر روی کنداکتور اعمال شده و باعث می شود تا کنداکتور در جهت عمود بر میدان مغناطیسی حرکت کند .این تئوری اساس عملکرد موتورهایDC می باشد.

تئوری عملکرد موتورهای DC :

هر کنداکتور حمل کننده جریان دارای یک میدان مغناطیسی در اطراف خود است .جهت این میدان مغناطیسی با استفاده از قانون دست چپ برای کنداکتور حمل کننده جریان بدست می اید..هنگامیکه شست در جهت جریان باشد جهت حرکت انگشتان،جهت حرکت میدان مغناطیسی را نشان می دهد.

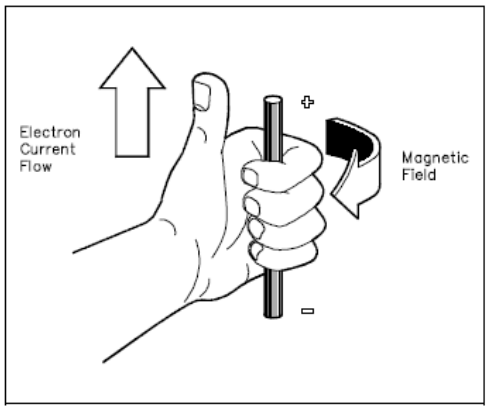


Figure 1 Left-Hand Rule for
Current-Carrying Conductors

شکل ۲-۱

اگر کنداکتور حمل کننده جریان درون یک میدان مغناطیسی واقع شده باشد میدان مغناطیسی میدان مغناطیسی همانند شکل نشان داده شده در زیر می باشد .

جهت جریان الکتریکی که از کنداکتور می گذرد با علامت (x) یا (.) نشان داده شده است.

علامت (X) بیانگر ان است که جهت جریان الکتریکی به سمت داخل صفحه است .

علامت (.) بیانگر ان است که جهت جریان الکتریکی به سمت خارج صفحه است .

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

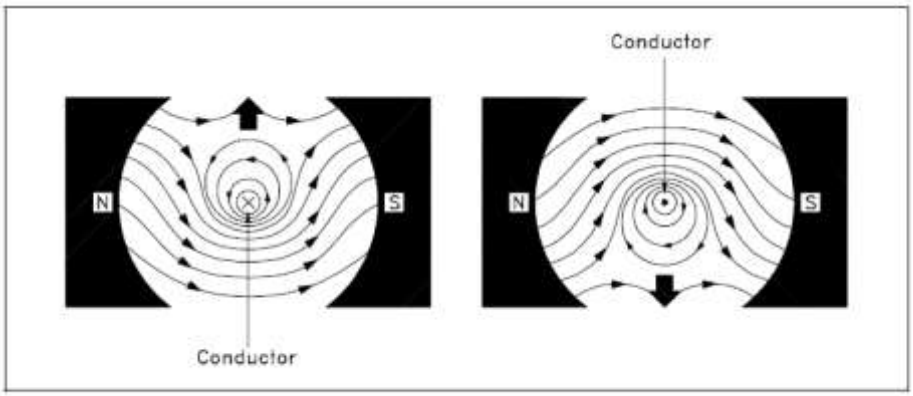


Figure 2 Current-Carrying Conductor in a Magnetic Field

شکل ۲-۲

اگر جهت میدان در بالای کنداکتور در سمت چپ باشد میدان ایجاد شده توسط کنداکتور در جهت عکس میدان مغناطیسی اصلی عمل کرده و در نتیجه در برابر ان مقاومت می کند . اگر جهت میدان در پایین کنداکتور به سمت چپ باشد میدان ایجاد شده توسط کنداکتور هم جهت با میدان مغناطیسی اصلی
می باشد. و به ان کمک می کند.
نتیجه اصلی ان است که در بالای کنداکتور میدان اصلی ضعیف تر عمل می کند یا در واقع چگالی جریان کاهش یافته است.و در پایین کنداکتور میدان قویتر است یا چگالی جریان بیشتر است .
نیروی گسترش یافته بر روی کنداکتور باعث حرکت کنداکتور در جهت میدان مغناطیسی ضعیف تر می شود یعنی کنداکتور به سمت بالا می چرخد.
اگر جهت میدان در بالای کنداکتور در سمت راست باشد میدان ایجاد شده توسط کنداکتور در جهت میدان مغناطیسی اصلی عمل کرده و در نتیجه به ان کمک می کند . اگر جهت میدان در پایین کنداکتور به سمت راست باشد میدان ایجاد شده توسط کنداکتور در جهت عکس با میدان مغناطیسی اصلی می باشد. و در برابر ان مقاومت می کند.
نتیجه اصلی ان است که در بالای کنداکتور میدان اصلی قویتر عمل می کند یا در واقع چگالی جریان افزایش یافته است.و در پایین کنداکتور میدان ضعیف تر است یا چگالی جریان کمتر است .
نیروی گسترش یافته بر روی کنداکتور باعث حرکت کنداکتور در جهت میدان مغناطیسی ضعیف تر می شود یعنی کنداکتور به سمت پایین می چرخد.

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

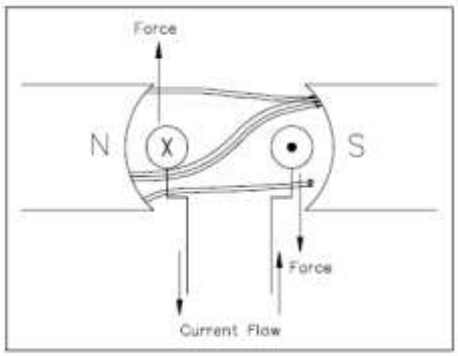


Figure 3 Motor Action

شکل ۲-۳

در موتورهای DC کنداکتور به صورت حلقه ای شکل داده می شود تا دو قطعه از کنداکتور همزمان در میدان مغناطیسی قرار بگیرند.

همانطور که در شکل ۳ می بینید این ترکیب کنداکتورها باعث می شود که میدان مغناطیسی اصلی منحرف شده و بر روی هر دو کنداکتور عمل کند .هنگامیکه این کنداکتورها بر روی روتور قرار می گیرند نیروی ایجاد شده بر روی کنداکتور باعث حرکت روتور در جهت ساعتگرد می شود .همانطور که در شکل ۳ مشخص شده است.

شما می توانید اینگونه تصور کنید که خطوط میدان مغناطیسی همانند باندهایی از جنس لاستیک عمل می کنند که همواره سعی دارند کوتاه شوند .خطوط میدان مغناطیسی در بالای کنداکتور باعث یک نیروی به سمت پایین می شود که ناشی از خطوط میدان مغناطیسی است که می خواهند طویلتر شوند.توضیحات داده شده در بالا درباره چگونگی ایجاد نیرو عمومیت دارد اگرچه در بعضی موارد به طرق دیگر ایجاد

می شود ولی همواره از قانون زیر تبعیت می کند.

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

کنداکتور حمل کننده جریان در درون یک میدان مغناطیسی تمایل به حرکت راست گرد دارد.

یک روش مهم دیگر برای نشان دادن ارتباط بین کنداکتور حمل کننده جریان و میدان مغناطیسی و حرکت ،قانون دست راست است که در شکل ۴ می بینید.

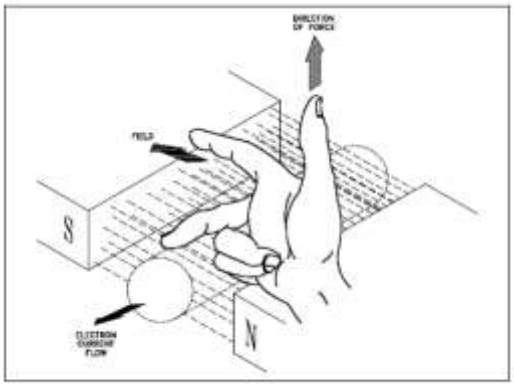


Figure 4 Right-Hand Rule for Motors

شکل ۲-۴

WikiPower.ir

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

قانون دست راست برای موتورها بیانگر جهت حرکت کنداکتور در درون میدان مغناطیسی است.

هنگامیکه انگشت اشاره در جهت میدان مغناطیسی باشد و انگشت میانی در جهت حرکت جریان ،انگشت شست در جهت نیرو یا در جهت حرکت کنداکتور خواهد بود.

گشتاور (torque):

گشتاور به صورت نیرویی که تمایل به تولید یا نگهداری حرکت دارد تعریف می شود.

عملکرد گشتاور در موتورهای DC همان تامین کردن خروجی مکانیکی یا راندن قطعه ای از تجهیزات است که به ان متصل است.

هنگامیکه ولتاژ به موتور داده می شود جریان در درون سیم پیچها حرکت می کند و باعث ایجاد میدان مغناطیسی می شود . جریان همچنین از درون سیم پیچ ارمیچر عبور کرده و از ذغال مثبت به درون ذغال منفی می رود.این عمل را می توانید در شکل ۵ مشاهده کنید.

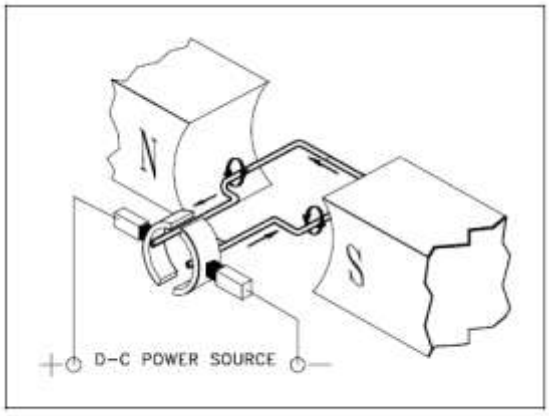


Figure 5 Armature Current in a Basic DC Motor

شکل ۲-۵

هنگامیکه کموتاتور دارای یک کنداکتور حمل کننده جریان در یک میدان مغناطیسی باشد کنداکتور یک نیرویی بر روی ان ایجاد می کند که باعث حرکت راست گرد ان نسبت به میدان مغناطیسی می شود اگر از قانون دست چپ استفاده کنید خواهید دید که میدان مغناطیسی در یک طرف قویتر و در یک طرف ضعیف تر است. و اگر از قانون دست راست استفاده کنید خواهید دید که نیروی ایجاد شده بر روی ارمیچر باعث حرکت ارمیچر در جهت پادساعتگرد خواهد شد.

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

مجموع نیروها (lb) ضربدر شعاع ارمیچر (ft) برابر مقدار گشتاور ایجاد شده در موتور با دیمانسیون (lb-ft) خواهد شد.در شکل ۵ مشخص است که اگر جهت جریان در ارمیچر برعکس شود ولی جهت میدان عوض نشود جهت گشتاور ایجاد شده در موتور هم بر عکس می شود.

همچنین مشخص است که اگر جهت میدان عوض شود ولی جهت جریان عوض نشود باز هم جهت گشتاور اعمالی عوض خواهد شد.

نیروی ایجاد شده بر روی کنتاکتور ارمیچر موتور ناشی از ترکیب عکس العملهای مغناطیسی خواهد بود.

نیروی گسترش یافته به طور مستقیم متناسب است با چگالی جریان مغنا طیسی و قدرت میدان مغناطیسی در اطراف کنداکتور ارمیچر بستگی به جریان گذرنده از کنداکتور ارمیچر دارد .

بنابراین گشتاور ایجاد شده توسط موتور توسط رابطه زیر بدست می اید.

$$T = K\Phi I_a$$

where

T = torque, lb-ft
K = a constant depending on physical size of motor
Φ = field flux, number of lines of force per pole
I_a = armature current

WikiPower.ir

عمل ژنراتور در موتورهای DC :

عمل ژنراتور در همه انواع موتور ایجاد می شود. هنگامیکه کنداکتور خطوط نیرو را قطع می کند EMF یا electromotive force در درون کنداکتور القا می شود.

جریانی که باعث حرکت چرخشی ارمیچر می شود در مسیری که توسط تغذیه کننده موتور DC معین می شود حرکت می کند. بعد از اینکه چرخش شروع شد کنداکتور خطوط نیرو را قطع می کند .

با استفاده از قانون دست چپ برای ژنراتور، EMF که بر روی ارمیچر القا می شود باعث ایجاد جریانی در جهت عکس می شود .این نیروی القایی EMF که در نتیجه عملکرد موتور است به صورت CEMF یا counter electromotive force نامگذاری می شود.

مقدار CEMF ایجاد شده در نتیجه قطع شدن خطوط نیرو توسط ارمیچر از رابطه زیر بدست می اید.

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

$$E_{CEMF} = K\Phi N$$

where

E_{CEMF} = counter EMF
K = constant
Φ = field flux strength
N = speed of the armature

CEMF در برابر ولتاژ بکار رفته مقاومت کرده و مقدار جریان تولیدی توسط منبع را کاهش می دهد .
مقدار ولتاژ موثر عمل کرده بر روی ارمیچر موتور برابراست با ولتاژاصلی منهای ولتاژ EMF .
مقدار جریان ارمیچر نیز از رابطه زیر توسط قانون اهم بدست می اید:

$$I_a = \frac{E_t - E_{CEMF}}{R_a}$$

where

I_a = armature current
E_t = terminal voltage
E_{CEMF} = counter EMF
R_a = armature resistance

سرعت موتورهای DC :

میدان مغناطیسی موتورهای DC با استفاده از قطعات خارجی نظیر مقاومت های میدانی تغییر می کند.با یک ولتاژ اعمالی ثابت (E) در صورتیکه مقاومت میدان مغناطیسی (RF) کاهش یابد مقدار جریان عبوری از میدان مغناطیسی (IF) افزایش یافته و طبق رابطه اهم داریم:

$$\uparrow I_f = \frac{\overleftrightarrow{E}}{\downarrow R_f}$$

افزایش جریان میدان باعث افزایش چگالی میدانی(شار) یا ΦF می شود.و برعکس ان افزایش مقاومت میدان باعث کاهش شار مغناطیسی خواهد شد.در صورتیکه شار یک موتور DC کاهش یابد.
سرعت موتور افزایش یافته و کاهش قدرت میدان مغناطیسی باعث کاهش CEMF موتور خواهد شد.در نتیجه خطوط کمتری از میدان مغناطیسی توسط کنداکتور ارمیچر قطع خواهد شد.که در معادله زیر بیان شده است:

$$\downarrow E_{CEMF} = \overrightarrow{K}\overrightarrow{\downarrow \Phi_F}\overrightarrow{N}$$

کاهش مقدار EMF باعث افزایش جریان ارمیچر بنابر رابطه زیر می شود :

برای دریافت فایل wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

$$\uparrow I_a = \frac{\overrightarrow{E_t} - \downarrow E_{CEMF}}{\overrightarrow{R_a}}$$

این افزایش مقدار جریان ارمیچر باعث افزایش گشتاور گسترش یافته خواهد شد .افزایش در جریان ارمیچر به مقداریکه باعث جبران مقدار کاهش یافته گی شار مغناطیسی شود باعث افزایش گشتاور می شود.

$$\uparrow T = \overrightarrow{K} \downarrow \Phi_F \uparrow I_a$$

و افزایش گشتاور موتور باعث افزایش سرعت موتور می شود.

$$\uparrow T \propto N \uparrow$$

افزایش سرعت به طور مستقیم باعث افزایش CEMF خواهد شد.در حقیقت سرعت و CEMF افزایش می یابند تا جریان ارمیچر و گشتاور به مقدار مناسب برای تامین بار برسد.

اتصالات موتور DC :

شکل ۷ به صورت شماتیکی نشان می دهد که روشهای مختلف اتصال مدار field و ارمیچر به یکدیگر چگونه است.علامت o بیانگر مدار ارمیچر و بیانگر ذغال کموتاتور است.
جهت پیکان بیانگر جهت میدان مغناطیسی است.

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

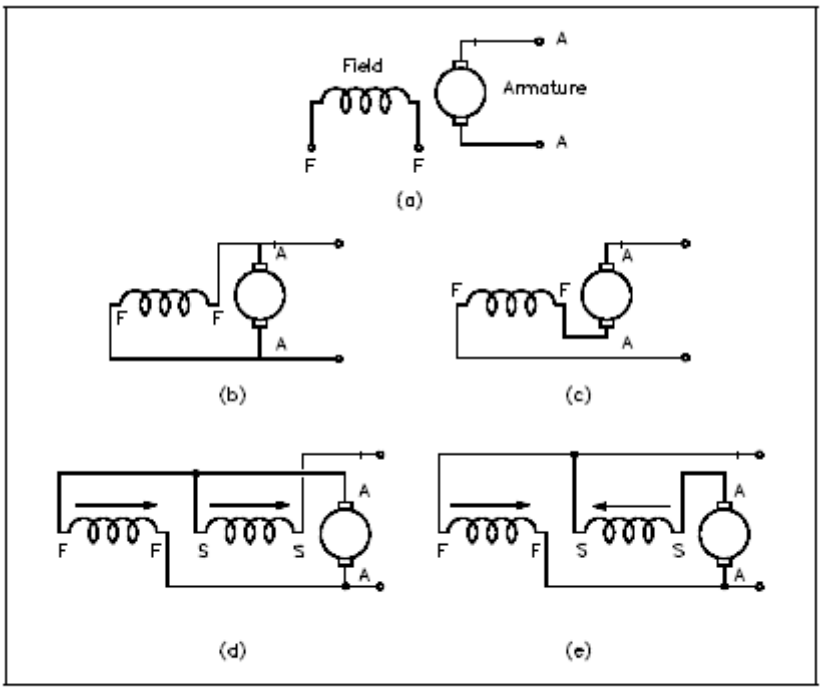


Figure 7 DC Motor Connections

شکل ۲-۶

شکل ۷a نشان دهنده موتورDC تحریک خارجی است این نوع موتور DC به صورتی است که field و ارمیچر در تماس نیستند.این نوع موتور DC به صورت همزمان استفاده نمی شوند

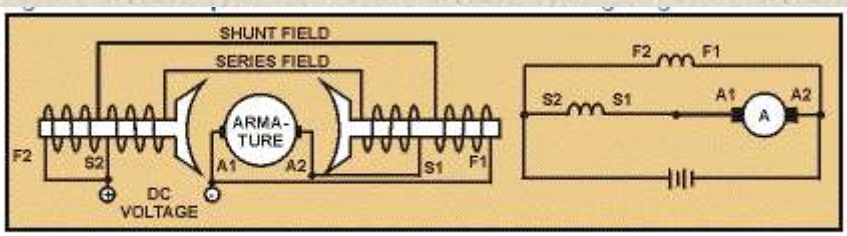
شکل۷b نشان دهنده یک نوع موتور DC موازی است.این نوع موتور به این علت موازی گفته می شود که مدار field با ارمیچر به صورت موازی قرار گرفته است.

شکل۷c نشان دهنده یک نوع موتور DC سری است.این نوع موتور به این علت سری گفته می شود که مدار field با ارمیچر به صورت سری قرار گرفته است.

شکل 7e و 7d نشان دهنده یک نوی موتور DC مرکب است. در موتور مرکب هم از سیستم سری و هم از سیستم موازی استفاده می شود. شکل 7d به صورت موتور مرکب انباشته نامگذاری می شود زیرا در ان مدار موازی و سری همدیگر را کمک می کنند.شکل 7e به صورت مرکب تفاضلی نامیده می شود زیرا مدار سری وموازی برخلاف یکدیگر عمل می کنند.

عملکرد سیستم موتور ترکیبی:

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه



شکل ۲-۷

بعضی از انواع موتور ترکیب انباشته به این علت ساخته می شود که خصوصیات گشتاور زیاد موتور سری را داشته باشند .موتورهایی از این نوع معمولا موتورهای سری با چند دور شانت هستند تا در حالت بی باری مانع از گریز از مرکز موتور شوند .بعضی اوقات این نوع موتور را موتور سری – موازی گویند.

از طرف دیگر در موتور ترکیب انباشته در هنگام شروع حرکت گشتاور زیاد وجود دارد و وقتی سرعت به سرعت نامی رسید کلید سیم پیچ سری را قطع کرده و موتور با سرعت قابل تنظیم ویژه یک موتور شانت عمل می کند.

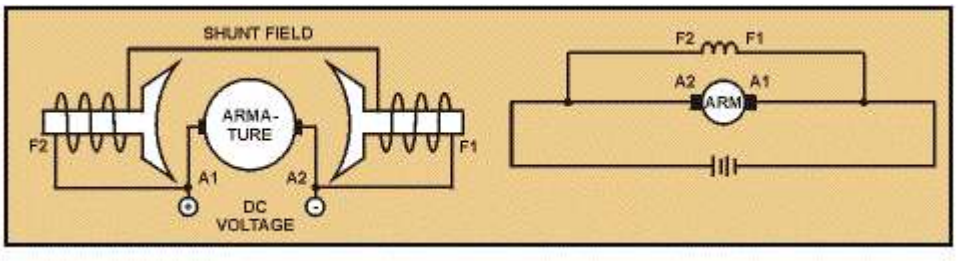
در موتورهای مرکب تفاضلی میدان موازی بر میدان سری برتری دارد .این نوع موتور خصوصیت گشتاور شروع خوبی مانند موتور سری ندارد . میدان سری در اینجا این خاصیت را دارد که موتور را در برابر تغییرات بار حساس می کند.تا تنظیم سرعت بهتری از موتور شانت داشته باشیم.

تنظیم سرعت ثابت از این جهت بهتر است که وقتی ازدیاد بار سرعت را کم می کند بتوانیم سرعت را به میزان مطلوب تنظیم کنیم.

علاوه بر روند طبیعی که کاهش CEMF موجب افزایش جریان ارمیچر می گردد ،افزایش در جریان سیم پیچ سری باعث افزایش شار شده و با شار شانت مخالفت کرده و انرا کاهش می دهد .این کاهش شدت میدان موجب افزایش سرعت و افزایش CEMF می گردد و در نتیجه عکس العمل موتور برای ثابت کردن سرعتش سریعتر است در نتیجه موتور مرکب تفاضلی بیشتر از یک تنظیم کننده سرعت ثابت حساس است.

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

عملکرد موتورهای DC موازی :



شکل ۲-۸

رابطه سرعت _ گشتاور برای یک نوع موتور موازی به صورت زیر است:

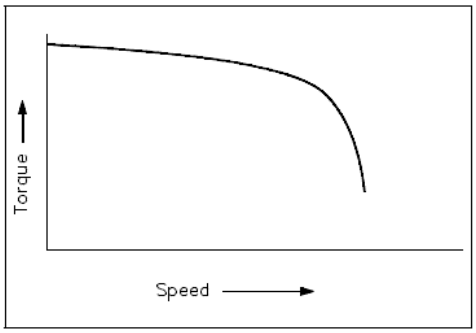


Figure 8 Torque-vs-Speed for a Shunt-Wound DC Motor

شکل ۲-۹

در موتور موازی با افزایش سرعت ، گشتاورکم کاهش می یابد.
کاهش کم گشتاور در برابر سرعت به علت مقاومت ارمیچر در برابر کاهش ولتاژ و عکس العمل ارمیچر است.در سرعتهای بالاتر از۲.۵ برابر speed rate عکس العمل ارمیچر بیش از اندازه شده و باعث کاهش شار مغناطیسی شده و گشتاور اعمالی کاهش می یابد.

برای انتخاب یک موتور موازی موارد زیر بایستی مشخص باشد:

برای دریافت فایل word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

```
DESIGN VOLTAGE
MAXIMUM RPM
MAXIMUM TORQUE
MAXIMUM OUTPUT POWER
MAXIMUM CONTINUOUS OUTPUT POWER
MAXIMUM ARMATURE CURRENT
MAXIMUM CONTINUOUS ARMATURE CURRENT
MAXIMUM FIELD CURRENT
MAXIMUM CONTINUOUS FIELD CURRENT
BACK EMF PER RPM AT VARIOUS FIELD CURRENTS:
     (Including maximum and max continuous)
TORQUE AS A FUNCTION OF BOTH
     FIELD & ARMATURE CURRENTS
EFFICIENCY AS A FUNCTION OF SPEED AND TORQUE
```

برای یک موتور موازی تعاریف زیر را به خاطر داشته باشید:

۱ -جریان field بیانگر قدرت مغناطیسی موتور است.

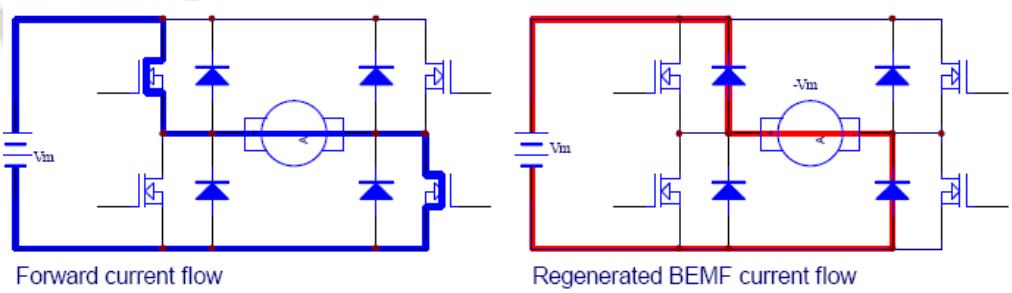
۲ -قدرت میدان مغناطیسی ضربدر سرعت بیانگر EMF برگشتی خواهد بود.

۳ -قدرت میدان مغناطیسی ضربدر جربان ارمیچر برابر گشتاور خروجی است.

۴ -ترک خروجی ضربدر سرعت موتور برابر توان خروجی

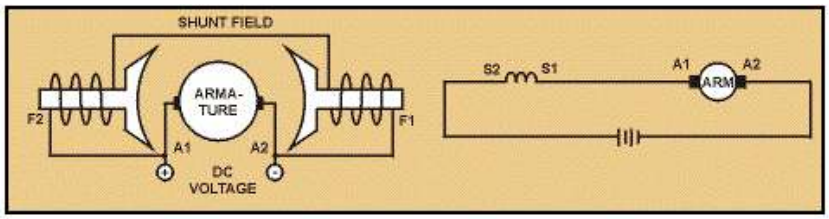
۵ -تفاوت بین ولتاژ موتور و EMF برگشتی تقسیم بر مقاومت ارمیچر برابر جریان ارمیچر است.

در شکل زیر چگونگی ایجاد EMF برگشتی مشخص شده است:



شکل ۲-۱۰

عملکرد موتورهای DC سری:



شکل ۲-۱۱

برای دریافت فایل wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

منحنی گشتاور سرعت به صورت زیر خواهد بود.

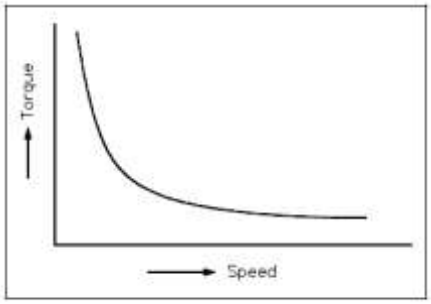


Figure 9 Torque-vs-Speed for a Series-Wound Motor

شکل ۲-۱۲

معادله ان به صورت زیر است:

$$T = KI_a^2$$

با کاهش سرعت این نوع موتورها افزایش سریع در گشتاور خواهیم داشت و هنگامیکه گشتاور از روی موتور برداشته شود سرعت موتور سریعا زیاد خواهد شد.

مقایسه موتورهای DC:

موازی:

۱- گشتاور راه اندازی متوسط

۲- سرعت نسبتا ثابت

۳- سرعت قابل کنترل

۴- تنظیم خودکار

در مواردی که سرعت نسبتا ثابتی مورد لزوم باشد بسیار رایج است

سری:

۱-گشتاور راه اندازی زیاد

۲-سرعت با بار تغییر می کند

۳-در حالت بی باری پدیده گریز رخ می دهد

در مواردی که بار همیشه ثابت بوده ولی در محدوده وسیعی تغییر می کند استفاده می شود

ترکیبی اضافی:

گشتاور راه اندازی عالی

خصوصیت سرعت _ثابت بهتر از موتور موازی

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

در شرایط بی باری موتور گریز رخ نمی دهد

در مواردی که به گشتاور بالایی جهت راه اندازی نیاز بوده ولی از خصوصیت گریز موتورهای سری بایستی اجتناب نمود استفاده می شود

ترکیبی تفاضلی:

گشتاور راه اندازی بسیار ضعیف

سرعت کاملا ثابت در محدوده کوچک

کاربرد بسیار کمی دارد زیرا نظیر خصوصیات این موتور وحتی بهتر را می توان در موتورهای ac یافت

WikiPower.ir

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

راه اندازی موتورهای DC :

در لحظه ایکه موتور DC می خواهد شروع به کار کند ارمیچر ایستاده و هیچگونه EMF تولید نمی شودوتنها عضوی که در برابر جریان راه اندازی محدودیت ایجاد می کند همان مقاومت ارمیچر است که در موتورهای DC خیلی کم است (در حدود ۱ اهم است) و توسط رابطه زیر بدست می اید.

$$I_a = \frac{E_t - E_{CEMF}}{R_a}$$

به منظور کاهش جریان راه اندازی بالا ،یک مقاومت خارجی به صورت سری با ارمیچر در طول مدت راه اندازی قرار می گیرد به علت الزام این کار اجازه بدهید تصور کنیم که موتور ۱۰hp با یک ارمیچر با مقاومت ۰/۴ داریم اگر موتور با یک منبع 260vDC تغذیه شود.جریان حاصله از رابطه زیر بدست می اید.

$$I_a = \frac{E_t - E_{CEMF}}{R_a}$$

$$I_a = \frac{260\,VDC - 0}{0.4\,\Omega}$$

$$I_a = 650\ amps$$

این مقدار جریان زیاد تقریبا ۱۲ برابر بیشتر از جریان واقعی تحمل بار این موتور است.

این مقدار جریان احتمالا باعث ایجاد خسارت به ذغالها ،کموتاتور و یا سیم پیچ می شود.

مقاومتهای راه اندازی معمولا برای کاهش مقدار جریان راه اندازی در حدود ۱۲۵ تا ۲۰۰ درصد جریان بارکامل خواهد بود.

برای دریافت فایل wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

فصل سوم

موتورهای BLDC (brushless DC)

توضیح موتورهای BLDC (brushless DC)

WikiPower.ir

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

موتورهای BLDC یکی از انواع موتور است که به سرعت محبوبیت خود را بدست اورد موتورهای BLDC امروزه در مواردی نظیر وسایل خانگی ،فضاپیماها ،وسایل نقلیه،صنایع دارو سازی ،اتوماسیون صنعتی کاربرد پیدا کرده است.همانطور که از نام این موتورها مشخص است موتورهای BLDC از هیچ گونه ذغالی برای کموتاسیون استفاده نمی کنند.

موتورهای BLDC مزایای زیادی نسبت به موتورهای DC ذغالی و موتورهای القایی دارندکه تعدادی از انها برابر است با

۱ -سرعت بهتر در برابر گشتاور مشخص
۲ -پاسخ دینامیکی بهتر
۳ -بازدهی بالاتر
۴ -عمر طولانی تر
۵ -عملیات بدون سرو صدا
۶ -محدوده سرعت وسیعتر

علاوه براین نرخ گشتاور متعلق به سایز موتور نسبت به موتورهای دیگر بزرگتر است واین مزیت هنگامی خود را نشان می دهد که فضا و وزن دو عامل بحرانی در طراحی باشند

نحوه عملکرد وساختمان:

موتورهای BLDC یک نوع موتور سنکرون هستند این به این معنی است که میدان مغناطیسی تولید شده توسط استاتور و میدان مغناطیسی تولید شده توسط روتور در یک فرکانس عمل می کنند موتورهای BLDC هیچ گونه لغزشی که در موتورهای القایی وجود دارد را ندارند.

موتورهای BLDC در انواع تک فاز و دو فاز وسه فاز وجود دارد. در واقع این شماره ها بیانگر تعداد سیم پیچ موجود بر روی استاتور خواهد بود .

موتورهای ۳ فاز محبوبیت و کاربرد بیشتری دارد.

استاتور:

لستاتور موتور BLDC شامل یک قفسه فلزی است که با استفاده از یکسری سیم پیچ که در درون شیاری محوری قفسه قرار گرفته است پوشیده شده است.

بیشتر موتورهای BLDC دارای ۳ سیم پیچ استاتور هستند که به صورت ستاره قرار گرفته اند. هرکدام از این سیم پیچ ها با کویلهای زیادی که به صورت داخلی تماس دارند تشکیل سیم پیچ داده اند تعداد ۱ یا بیشتر از کویلها در درون شیارها قرار گرفته و به صورت داخلی سیم پیچ را تشگیل می دهد .هرکدام از این سیم پیچها بر روی محیط استاتور توزیع شده و تعدادی از قطبها را درست می کند.

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

دو نوع مختلف از سیم پیچ موتور وجود دارد.

۱-مدل ذوزنقه ای

۲-مدل سینوسی

این تفاوت به خاطر نحوه تماس داخلی کویلها در سیم پیچ استاتور است که انواع مختلفی از EMF برگشتی را ناشی می شود .همانطور که از نام این ۲ روش مشخص است موتور ذوزنقه ای EMF برگشتی ذوزنقه ای را ناشی می شود و موتور سینوسی EMF برگشتی سینوسی را نتیجه می دهد.این موضوع در شکلهای ۱ و ۲ نشان داده شده است.

علاوه بر EMF برگشتی نوع جریان فازی هم در دو نوع مختلف با توجه به نامشان با هم فرق دارد.که این باعث میشود که گشتاور خروجی از موتور سینوسی روانتر از نوع ذوزنقه ای شود .

به علت اینکه موتور سینوسی تماس داخلی کویلهایش در مقایسه با ذوزنقه ای بیشتر است هزینه سیم مصرفی در ان بیشتر خواهد شد.

FIGURE 1: TRAPEZOIDAL BACK EMF

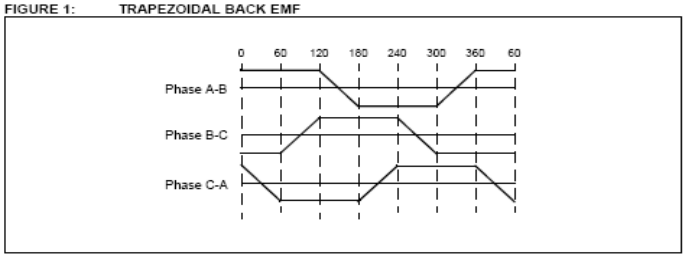
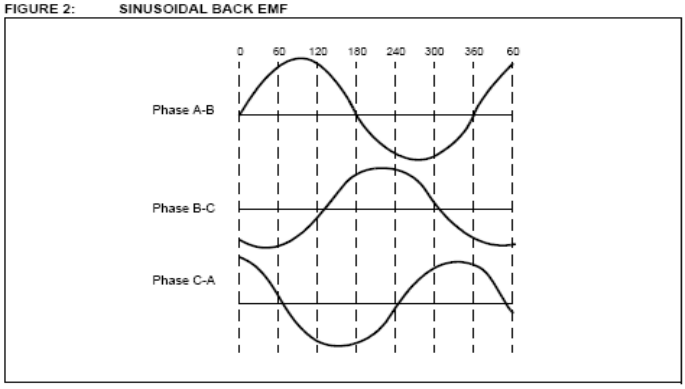
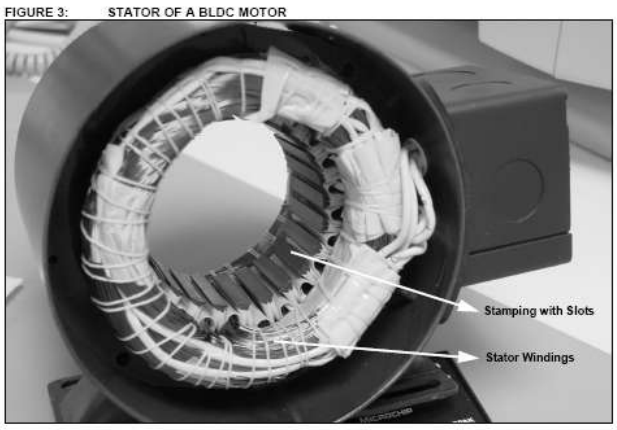


FIGURE 2: SINUSOIDAL BACK EMF



شکل ۳-۱ و ۲-۳

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه



شکل ۳-۳

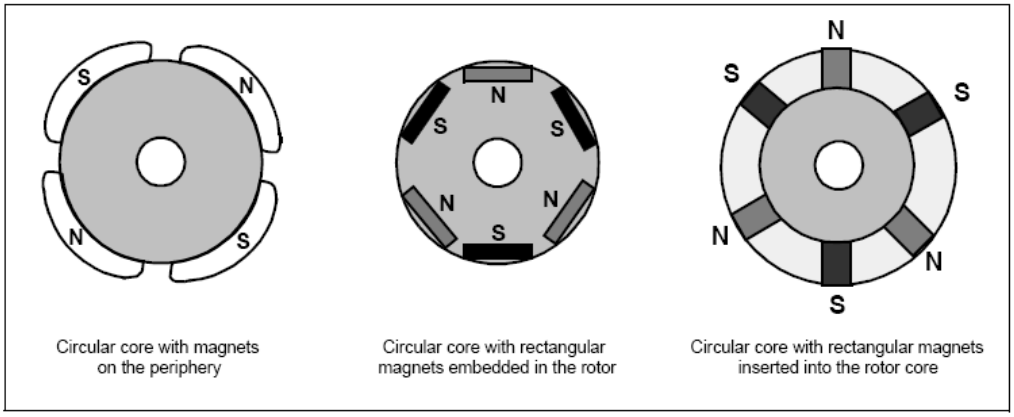
با توجه به کنترل توان مصرفی موتور ، موتور با نرخ مصرف ولتاژصحیح انتخاب می شود.
۴۸ ولت یا ولتاژکمتر معمولا در وسایل نقلیه ،رباتها،بازوهای کوچک استفاده می شود.
موتورها با ولتاژ۱۰۰ یا بیشتر معمولا در اتوماسیون و کاربرد های صنعتی استفاده می شود.

روتور:

روتور استفاده شده دارای یک مغناطیس دائم است و می‌تواند از دو جفت قطب تا هشت جفت قطب را در برگیرد. با توجه به میدان مغناطیسی لازم در روتور بایستی ماده مغناطیس دائم مناسب برای روتور استفاده شود. ماده فریت مگنت به طور معمولی برای اینکار استفاده می‌شود با توجه به پیشرفت تکنولوژی ماده مغناطیسی rare earth alley استفاده می‌شود. ماده فریت هزینه کمتری دارد ولی معایب نظیر چگالی جریان کمتر در یک حجم مشخص دارد. برعکس ماده آلیاژی دارای چگالی مغناطیس بیشتر در یک حجم ثابت است و موتور را قادر می‌سازد تا با یک گشتاور ثابت قدرت بیشتری را داشته باشد. همچنین این ماده آلیاژی باعث بهبود نسبت سایز به وزن و ایجاد گشتاور بهتر در یک سایز مشخص می‌شود. نئورینم (Nd) و سایریم کبالت (Sm Co) و آلیاژ نئورینم، فریت، بورن (Nd Fe B) مثالهایی از آلیاژهای rare earth خواهد بود.
شکل ۴ نشان دهنده یک برش عرضی از ترتیب مختلف ماده مغنطیس در روتور خواهد بود.

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

FIGURE 4: ROTOR MAGNET CROSS SECTIONS

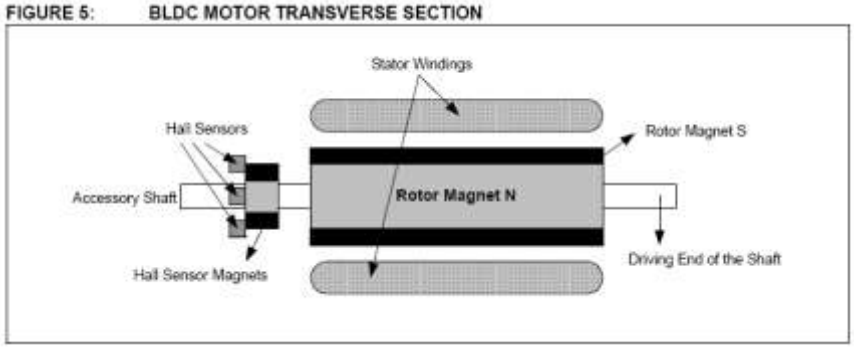


شکل ۳-۴

Hall Sensor : سنسور هال

برعکس موتورهای DC زغالی کموتاسیون، موتورهای BLDC به وسیله الکترونیکی کنترل می‌شود. برای چرخش موتور BLDC سیم‌پیچ‌های استاتور بایستی به ترتیب تحریک شود مهم است موقعیت روتور را به منظور تحریک کردن متوالی سیم‌پیچ‌ها بدانید موقعیت روتور بوسیله سنسورهایی که با اثر هال کار می‌کنند شناسایی می‌شود. بیشتر موتورهای BLDC دارای سه سنسور هال بوده که در درون استاتور و بر روی قسمت غیر متحرک موتور نصب می‌شود هر موقع که قطبهای مغناطیس روتور در نزدیک سنسورهال قرار گرفتند این سنسورها یک سیگنال کم یا زیاد می‌دهند که بیانگر این است که یک قطب N یا S از آنها عبور کرده‌اند با توجه به موقعیت این سه سنسور هال ترتیب کموتاسیون مشخص می‌شود. شکل ۵ نمایش دهنده یک برش طولی از یک موتور BLDC با یک روتور که دارای یک قطب N و یک قطب S با مغناطیس دائم است می‌باشد. سنسورهای هال در درون قسمت ثابت موتور قرار گرفته‌اند قرار گرفتن سنسورهای هال در درون استاتور یک فرایند کاملاً پیچیده می‌باشد زیرا هر گونه غیر امتداد بودن در سنسور هال با توجه به مغناطیس بودن در روتور باعث ایجاد خطا در موقعیت روتور خواهد شد.

FIGURE 5: BLDC MOTOR TRANSVERSE SECTION



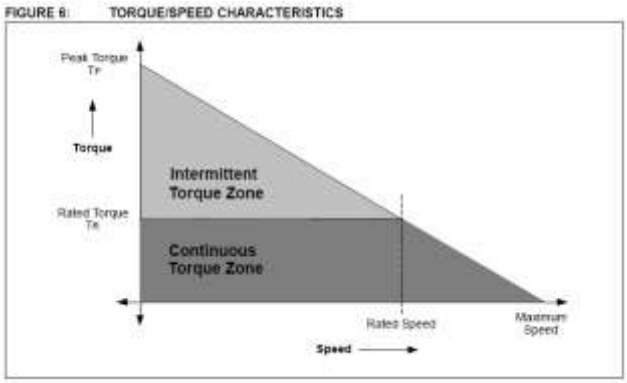
شکل ۳-۵

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

برای ساده‌سازی فرایند نصب کردن سنسورهای هال بر روی استاتور بعضی از موتورها سنسورهای هال خود را بر روی روتور نصب کرده‌اند. با توجه به موقعیت فیزیکی سنسور هال دو نوع مختلف از خروجی وجود دارد. سنسور هال می‌تواند در موقعیت ۶۰، ۱۲۰ نسبت به یکدیگر قرار بگیرند. با توجه به این ترتیب سازنده‌های موتور یک توالی کموتاسیون تعریف می‌کنند.

خصوصیات گشتاور- سرعت:

شکل ۶ بیانگر خصوصیات گشتاور- سرعت موتورهای BLDC می‌باشد. دو نوع مختلف گشتاور برای موتورهای BLDC تعریف می‌شود. Peak Torque و Rated Torque (TR) در طول عملکرد مداوم یک نوع موتور ممکن است تا TR بارگذاری می‌شود همانطور که گفته شده در موتورهای BLDC میزان گشتاور در محدوده سرعت تا Rated Speed ثابت می‌ماند. یک موتور ممکن است تا ماکزیمم سرعت که می‌تواند تا ۱۵۰ درصد Rated Speed باشد سرعتش بالا رود و سپس گشتاور شروع به افت می‌کند.



شکل ۳-۶

مقایسه موتور BLDC با دیگر انواع موتور:

در هنگام مقایسه موتور BLDC با موتور اتصالی،موتور BLDC دارای یکسری مزایا و معایب خواهد بود موتور BLDC نیازمند نگهداری کمتر و در نتیجه عمر طولانی‌تر نسبت به موتور زغالی DC خواهد بود. موتور BLDC میزان قدرت خروجیش نسبت به سایزش در مقایسه با موتور زغالی و موتور القائی بیشتر است. زیرا موتور BLDC دارای یک روتور با مغناطیس دائم است. اینرسی این نوع موتورها در مقابل دیگر موتورها کمتر بوده که این باعث می‌شود تا شتاب‌گیری و ترمزگیری بهتر، سیکل زمانی کوتاه‌تر، تنظیم سرعت بهتر را در بر داشته باشد.

برای دریافت فایل wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

هنگام استفاده از موتورهای BLDC بازرسی زغالی حذف می‌شود و جائیکه سرویس‌دهی به موتور با شکل روبه رو است استفاده از موتور BLDC پیشنهاد می‌شود. کاهش تداخل الکترومغناطیس (EMI) یکی دیگر از مزایای موتورهای BLDC خوهد بود.

جدول زیر یک موتور BLDC را با موتور زغالی مقایسه می‌کند.

جدول ۳-۱

TABLE 1: COMPARING A BLDC MOTOR TO A BRUSHED DC MOTOR

Feature	BLDC Motor	Brushed DC Motor
Commutation	Electronic commutation based on Hall position sensors.	Brushed commutation.
Maintenance	Less required due to absence of brushes.	Periodic maintenance is required.
Life	Longer.	Shorter.
Speed/Torque Characteristics	Flat – Enables operation at all speeds with rated load.	Moderately flat – At higher speeds, brush friction increases, thus reducing useful torque.
Efficiency	High – No voltage drop across brushes.	Moderate.
Output Power/ Frame Size	High – Reduced size due to superior thermal characteristics. Because BLDC has the windings on the stator, which is connected to the case, the heat dissipation is better.	Moderate/Low – The heat produced by the armature is dissipated in the air gap, thus increasing the temperature in the air gap and limiting specs on the output power/frame size.
Rotor Inertia	Low, because it has permanent magnets on the rotor. This improves the dynamic response.	Higher rotor inertia which limits the dynamic characteristics.
Speed Range	Higher – No mechanical limitation imposed by brushes/commutator.	Lower – Mechanical limitations by the brushes.
Electric Noise Generation	Low.	Arcs in the brushes will generate noise causing EMI in the equipment nearby.
Cost of Building	Higher – Since it has permanent magnets, building costs are higher.	Low.
Control	Complex and expensive.	Simple and inexpensive.
Control Requirements	A controller is always required to keep the motor running. The same controller can be used for variable speed control.	No controller is required for fixed speed; a controller is required only if variable speed is desired.

جدول زیر یک موتور BLDC را با یک موتور القائی مقایسه می‌کند.

جدول ۳-۲

TABLE 2: COMPARING A BLDC MOTOR TO AN INDUCTION MOTOR

Features	BLDC Motors	AC Induction Motors
Speed/Torque Characteristics	Flat – Enables operation at all speeds with rated load.	Nonlinear – Lower torque at lower speeds.
Output Power/ Frame Size	High – Since it has permanent magnets on the rotor, smaller size can be achieved for a given output power.	Moderate – Since both stator and rotor have windings, the output power to size is lower than BLDC.
Rotor Inertia	Low – Better dynamic characteristics.	High – Poor dynamic characteristics.
Starting Current	Rated – No special starter circuit required.	Approximately up to seven times of rated – Starter circuit rating should be carefully selected. Normally uses a Star-Delta starter.
Control Requirements	A controller is always required to keep the motor running. The same controller can be used for variable speed control.	No controller is required for fixed speed; a controller is required only if variable speed is desired.
Slip	No slip is experienced between stator and rotor frequencies.	The rotor runs at a lower frequency than stator by slip frequency and slip increases with load on the motor.

ترتیب عملیات کموتاسیون:

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

شکل ۷ نشان دهنده مثالی از سیگنال سنسورهای هال با توجه به EMF برگشتی و جریان فازی است.

شکل ۸ نشان دهنده ترتیب سوئیچ کردن با توجه به نقش سنسور هال است. تعداد توالی بر روی شکل ۷ مربوط به تعداد نشان داده شده در شکل ۸ است. در هر ۶۰ درجه الکتریکی چرخش یکی از سنسورهای هال باعث تغییر در وضعیت می‌شود به این ترتیب ۶ مرحله طول می‌کشد تا یک سیکل الکتریکی کامل شود. اگر چه یک سیکل الکتریکی ممکن است به یک سیکل مکانیک چرخش روتور مرتبط نشود.

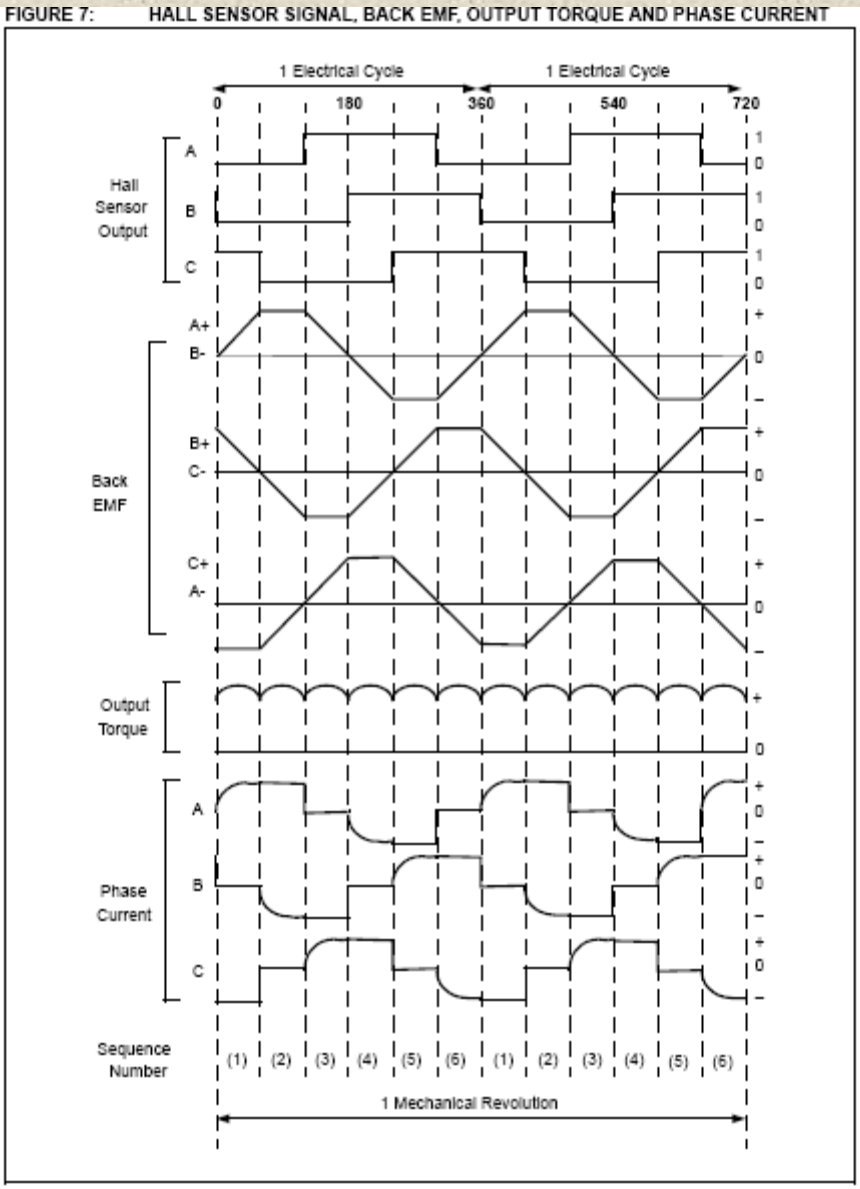
تعدادی از سیکلهای الکتریکی بایستی تکرار شود تا یک چرخش مکانیکی توسط جفت قطبهای روتور کامل شود.

برای دو جفت قطب روتور یک سیکل الکتریکی کامل می‌شود در نتیجه تعداد سیکل الکتریکی برابر است با تعداد جفت قطب‌های روتور

WikiPower.ir

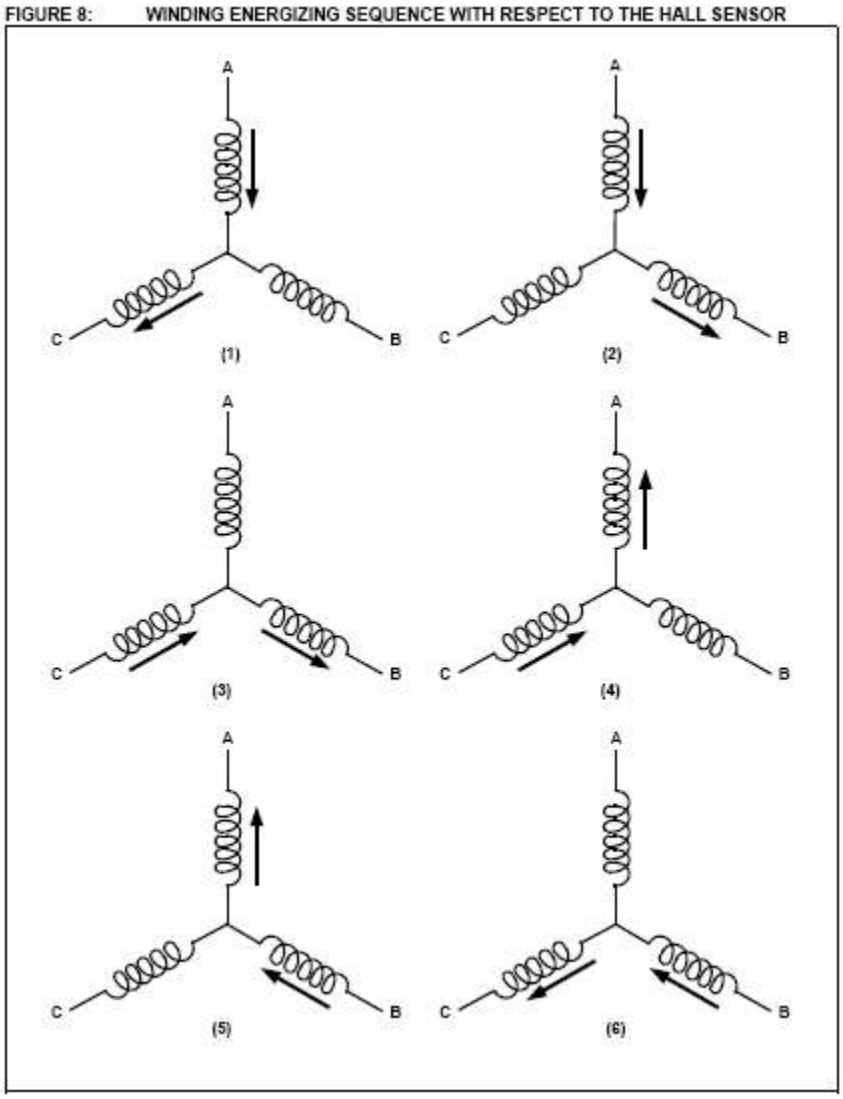
برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

FIGURE 7: HALL SENSOR SIGNAL, BACK EMF, OUTPUT TORQUE AND PHASE CURRENT



شکل ۳-۷

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

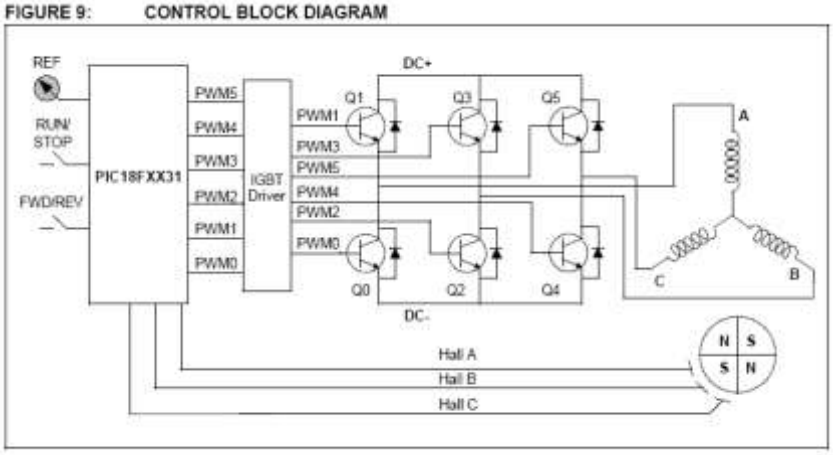


شکل ۳-۸

شکل ۹ نشان دهنده یک دیاگرام از یک کنترل کننده استفاده شده برای یک موتور BLDC خواهد بود. φ_0 تا φ_s همان سوئیچ‌های قدرتی کنترل شده بوسیله میکروکنترلر PIC/8FXX31 هستند. با توجه به ولتاژ موتور و نرخ جریان این سوئیچ‌ها می‌تواند IGBT, MOSFET یا ترانزیستورهای دو قطبی باشند. جدول‌های ۳ و ۴ نشان دهنده ترتیبی هستند که سوئیچ‌های قدرتی بایستی توسط ورودی سنسور هال روشن شوند.

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

FIGURE 9: CONTROL BLOCK DIAGRAM



شکل ۳-۹

جدول ۳ برای چرخش ساعتگرد موتور و جدول ۴ برای چرخش پاد ساعتگرد موتور استفاده می‌شود. این یک مثال از سیگنال سنسور هال با ۶۰ درجه اختلاف نسبت به یکدیگر است. با مراجعه به شکل ۹ در صورتیکه سیگنال مشخص شده توسط PWMX با توجه به ترتیب خاموش یا روشن شود موتور با سرعت مشخص حرکت می‌کند.

جدول ۳-۳ و ۳-۴

TABLE 3: SEQUENCE FOR ROTATING THE MOTOR IN CLOCKWISE DIRECTION WHEN VIEWED FROM NON-DRIVING END

Sequence #	Hall Sensor Input			Active PWMs		Phase Current		
	A	B	C			A	B	C
1	0	0	1	PWM1(Q1)	PWM4(Q4)	DC+	Off	DC-
2	0	0	0	PWM1(Q1)	PWM2(Q2)	DC+	DC-	Off
3	1	0	0	PWM5(Q5)	PWM2(Q2)	Off	DC-	DC+
4	1	1	0	PWM5(Q5)	PWM0(Q0)	DC-	Off	DC+
5	1	1	1	PWM3(Q3)	PWM0(Q0)	DC-	DC+	Off
6	0	1	1	PWM3(Q3)	PWM4(Q4)	Off	DC+	DC-

TABLE 4: SEQUENCE FOR ROTATING THE MOTOR IN COUNTER-CLOCKWISE DIRECTION WHEN VIEWED FROM NON-DRIVING END

Sequence #	Hall Sensor Input			Active PWMs		Phase Current		
	A	B	C			A	B	C
1	0	1	1	PWM5(Q5)	PWM2(Q2)	Off	DC-	DC+
2	1	1	1	PWM1(Q1)	PWM2(Q2)	DC+	DC-	Off
3	1	1	0	PWM1(Q1)	PWM4(Q4)	DC+	Off	DC-
4	1	0	0	PWM3(Q3)	PWM4(Q4)	Off	DC+	DC-
5	0	0	0	PWM3(Q3)	PWM0(Q0)	DC-	DC+	Off
6	0	0	1	PWM5(Q5)	PWM0(Q0)	DC-	Off	DC+

برای تنوع دادن به سرعت این سیگنال بایستی به صورت پالسی با عرض مدول شده (PWM) با فرکانس خیلی بیشتر از فرکانس موتور درآید. با توجه به قانون شست، فرکانس PWM بایستی حداقل ۱۰ برابر

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

ماکزیمم فرکانس موتور باشد. روشهای زیادی برای کنترل وجود دارد اگر سیگنال PWM در میکروکنترلر محدود شود سوئیچ بالایی می‌تواند برای کل زمان در طول عملیات روشن بماند و سوئیچ پایینی توسط PWM کنترل شود.

کنترل بدون سنسور موتورهای BLDC :

هنگامیکه یک موتور BLDC چرخش می‌کند هر کدام از سیم‌پیچ‌ها یک ولتاژ به نام electromotive force برگشتی یا EMF برگشتی در خلاف ولتاژ اصلی ایجاد می‌کنند.

مقدار EMF برگشتی به عوامل زیر بستگی دارد.

۱ -سرعت زاویه‌ای موتور

۲ -میدان مغناطیسی ایجاد شده توسط میدان روتور

۳ -تعداد چرخش سیم‌پیچ‌ها روی روتور

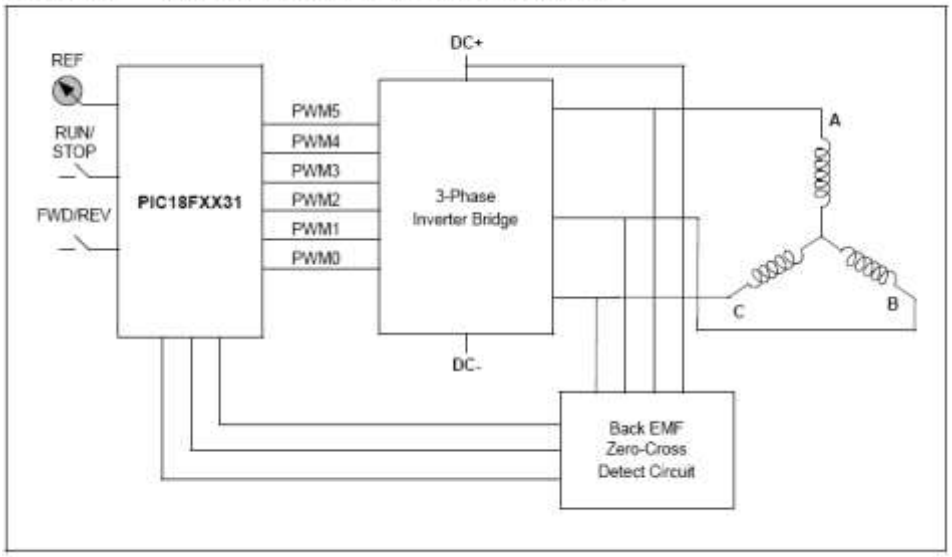
موتورهای BLDC می‌توانند عملیات کموتاسیون را بوسیله مونیتور کردن سیگنال EMF برگشتی به جای سنسور هال انجام دهند. ارتباط بین سنسور هال و EMF برگشتی و با توجه به ولتاژ فاز در شکل ۷ نشان داده شده است. همانطور که مشخص شد هر ترتیب کموتاسیون یک سیم پیچ را دارای قطب مثبت و سیم‌پیچ بعدی را دارای قطب منفی و سومی را بازی می‌کند. همانطور که در شکل ۷ مشخص است سیگنال سنسور هال باعث تغییر وضعیت در هنگام عبور EMF برگشتی از قطب مثبت به منفی و برعکس می‌شود. در حالت ایده‌آل این اتفاق بایستی در هنگامی که EMD برگشتی نداریم رخ می‌دهد ولی در حالت عملی همواره یک اختلاف زمانی ناشی از خصوصیات سیم پیچ وجود دارد.

این اختلاف زمانی بایستی توسط میکروکنترلر جبران شود

شکل ۱۰ نشان دهنده یک دیاگرام برای کنترل بدون سنسور یک موتور BLDC می‌باشد.

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

FIGURE 10: BLOCK DIAGRAM OF SENSORLESS CONTROL



شکل ۳-۱۰

نکته قابل توجه در سرعتهای پایین است زیرا EMF برگشتی متناسب است با سرعت چرخش روتور کمترین سرعتی که در آن EMF برگشتی قابل شناسایی و حس شدن است بوسیله ثابت EMF موتور محاسبه می‌شود. با حذف اثر هال موتور ساده‌تر شده و هزینه آن کمتر می‌شود.

انتخاب موتور مناسب برای کاربرد خاص:

انتخاب موتور مناسب برای کاربرد خاص بسیار مهم است با توجه به خصوصیات بار، موتور مناسب بایستی انتخاب شود.

سه عامل مهم در انتخاب موتور تاثیر گذارند.

۱- Peak Torque لازم برای کاربرد

۲- RMS Torque لازم

۳- رنج سرعت لازم

Peak Torque :

پیک یا ماکزیمم گشتاور لازمه برای کاربرد با جمع کردن گشتاور بار (TL) و گشتاور ناشی از اینرسی (TJ) و گشتاور لازم برای غلبه کردن بر اصطکاک بدست می‌آید. البته عوامل دیگری نیز در محاسبه پیک گشتاور دخیلند. بطور مثال مزاحمت هوا در برابر حرکت روتور و غیره. تاثیر این عوامل در پیک گشتاور مشکل است در نتیجه ۲۰٪ ضریب ایمنی در نظر گرفته می‌شود.

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

$$\therefore T_P = (T_L + T_J + T_F) * 1.2$$

گشتاور ناشی از اینرسی همان گشتاور لازم برای شتاب دادن بار از موقعیت ایستایی یا سرعت پایین به سرعت بالا خواهد بود. این گشتاور اینرسی با محاسبه اینرسی بار که شامل اینرسی روتور و شتاب بار است محاسبه می‌شود.

RMS Torque :

همان گشتاور جذر میانگین مربعات گشتاورهاست (Root Mean Square) که میانگین گشتاورها هم نامیده می‌شود. این گشتاورها به عوامل زیادی بستگی دارد به پیک گشتاور، گشتاور اینرسی، گشتاور اصطکاک و شتاب و عدم شتاب‌گیری بستگی دارد. معادله زیر نحوه محاسبه RMS را نشان می‌دهد.

$$T_J = J_{L+M} * \alpha$$

where:
J_{L+M} is the sum of the load and rotor inertia and
α is the required acceleration

$$T_{RMS} = \sqrt{[\{T_P^2 T_A + (T_L + T_F)^2 T_R + (T_J - T_L - T_F)^2 T_D\}/(T_A + T_R + T_D)]}$$

WWW.WIKIPOWER.IR

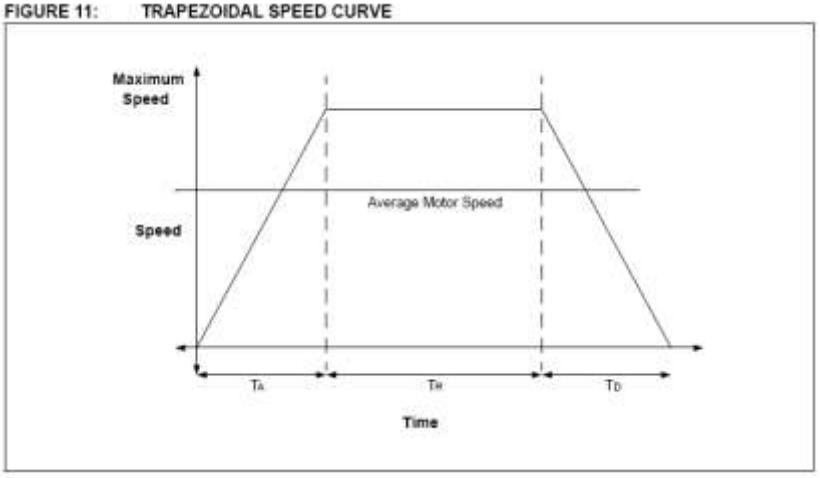
محدوده سرعت:

این محدوده سرعت توسط نوع کاربری موتور مشخص می‌شود. به طور مثال اگر موتور برای عمل دمیدن به کار رود تا تنوع سرعت زیاد نیست و ماکزیمم سرعت دمیدن می‌تواند میانگین سرعت موتور باشد. و اگر در جائی موقعیت دهی نقطه به نقطه نظیر نقاله‌ها داشته باشیم و دقت کاری زیاد باشد نیازمند موتور با نرخ سرعت بیشتر نسبت به سرعت میانگین خواهیم بود.

ماکزیمم سرعت محاسبه شده برای اعضا توسط منحنی ذوزنقه‌ای سرعت محاسبه می‌شود.

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

FIGURE 11: TRAPEZOIDAL SPEED CURVE



شکل ۳-۱۱

انواع کاربرد موتورهای BLDC:

موتورهای BLDC در قسمتهای مختلف کاربرد دارند در اتومبیل‌ها در وسایل خانگی، کنترل‌های صنعتی و اتوماسیون هوانوردی و غیره ...

می‌توان کاربرد موتورهای BLDC را به سه دسته زیر تقسیم نمود.

۱ -بار ثابت

۲ -بار متغیر

۳ -کاربرد موقعیت‌دهی

WikiPower.ir

۱- کاربرد ثابت:

این نوع کاربرد در جاهائی مطرح است که تغییر سرعت مهمتر از دقت سرعت و تنظیم سرعت باشد. بعلاوه نرخ شتاب‌گیری و ترمزگیری به صورت دینامیکی تغییر نمی‌کند. در این نوع کاربرد بار بطور مستقیم به سر شافت موتور کوپل شده است. به عنوان مثال از فن‌ها و پمپ‌ها و دمنده‌ها می‌توان نام برد این نوع موتورها نیازمند کنترلر با هزینه پایین و بیشتر در مدار باز استفاده می‌شود.

۲- کاربرد متغیر:

این نوع کاربرد در جاهائی است که بار بر روی موتور در محدوده سرعتهای متفاوت کار می‌کند این نوع کاربرد نیازمند کمتر با دقت بالا و با پاسخ دینامیکی بالاست. وسایل خانگی و شوینده‌ها، خشک کننده‌ها

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

و کمپراسورها مثالهای خوبی از این نوع موتورها هستند. در فضاپیماها در سانتریفیوژها، پمپ‌ها و بازدهای ربات از این نوع موتور استفاده می‌شود. این نوع کاربرد از الگوریتم کنترل پیشرفته استفاده می‌کند و همچنین از سیستم‌های Feed back و مدارهای نیمه بسته استفاده می‌شود.

۳-کاربرد موقعیت‌دهی:

بیشترین کاربرد صنعتی و اتوماسیون در این شاخه قرار می‌گیرد. مکانیزم‌های انتقال قدرت که دارای چرخ دنده و تسمه هستند از این نوع موتور استفاده می‌کنند. در این روش پاسخ دینامیکی سرعت و گشتاور بسیار مهم است. این نوع سیکل دارای فاز شتاب و سرعت شتاب و فازهای موقعیت‌دهی و فاز ترمزگیری خواهد بود. همانطور که در شکل ۱۱ نشان داده شده است.

بار برسر موتور در طول تمامی این فازها می‌تواند متغیر باشد و در نتیجه کنترل بسیار قوی می‌خواهد این سیستم بیشتر در مدارهای بسته استفاده می‌شود و در آن واحد سه مدار کنترل بایستی عمل کنند.

۱- مدار کنترل سرعت ۲- مدار کنترل گشتاور ۳- مدار کنترل موقعیت

انکودرهای اپتیکی و رزلورهای سنکرونی برای تخمین سرعت واقعی موتور استفاده می‌شوند ماشین‌های CNC مثال خوبی ازکاربرد این نوع موتور هستند.

WikiPower.ir

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

جدول زیر نشان دهنده تعدادی از پارامترهایی است که در مورد خصوصیات موتور بیان می‌شود و چگونگی تاثیر پارامترها بر روی رفتار موتور را نشان می‌دهد.

جدول ۳-۵

TABLE A-1: TYPICAL MOTOR TECHNICAL SPECIFICATION PARAMETERS

Electrical Parameter	Typical Symbol	Unit	Definition
Reference Voltage	V	Volts	This is the rated terminal voltage.
Rated Current	Ir	Amps	Current drawn by the motor when it delivers the rated torque.
Peak Current (stall)	Ipk	Amps	This is the maximum current allowed to be drawn by the motor.
No Load Current	INL	Amps	Current drawn by the motor when there is no load on the motor shaft.
Back EMF Constant	KE	V/RPM or V/rad/s	Using this parameter, back EMF can be estimated for a given speed.
Resistance	R	Ohms	Resistance of each stator winding.
Inductance	L	mH	Winding inductance. This, along with resistance, can be used to determine the total impedance of the winding to calculate the electrical time constant of the motor.
Motor Constant	KM	Oz-in/√W or NM/√W	This gives the ratio of torque to the power.
Electrical Time Constant	τE	ms	Calculated based on the R and L of the windings.

Mechanical Parameter	Typical Symbol	Unit	Definition
Speed	N	RPM or rad/s	Rated speed of the motor.
Continuous Torque	TC	Oz-in or N-M	This is the torque available on the shaft for the given speed range.
Peak Torque or Stall Torque	Tpk	Oz-in or N-M	This is the maximum torque that motor can deliver for a short duration of time. This torque may not be available for all the speed ranges.
Torque Constant	Kt	Oz-in/A or N-M/A	This is the torque produced for every ampere of current drawn by the motor. Since the torque varies linear with current, this parameter can be used to interpolate the torque delivered for a given current and vice versa.
Friction Torque	TF	Oz-in or N-M	This is the torque loss due to friction which includes mainly the bearing friction.
Rotor Inertia	JM	Oz-in-s^2/N-M-s^2	Rotor moment of inertia. This is useful to determine the acceleration and deceleration rates, the dynamic response of the system and to calculate the mechanical time constant of the rotor.
Viscous Damping	D	Oz-in/RPM or N-M-s	
Damping Constant	KD	Oz-in/RPM or N-M-s	
Temperature	T	°F or °C	Operating ambient temperature.
Maximum Winding Temperature	θmax	°F or °C	Maximum allowed winding temperature. If the winding temperature exceeds this limit, winding leakage current may increase or there are chances of winding breakdown.
Thermal Impedance	RTH	°F/W or °C/W	This is the thermal impedance posed by the motor to the ambient.
Thermal Time Constant	τTH	min	Time constant based on the thermal impedance. A motor with a heat sink will have a higher time constant than a motor without a heat sink.

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

فصل چهارم

موتورهای پله ای

موتورهای پله ای چیست

WikiPower.ir

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

۱-موتورهای پله ای چیست

موتور پله ای به نام موتور رلوکتانس متغیر تک پشته ای (Single Stack Variable Reluctance motor) خوانده می شود.

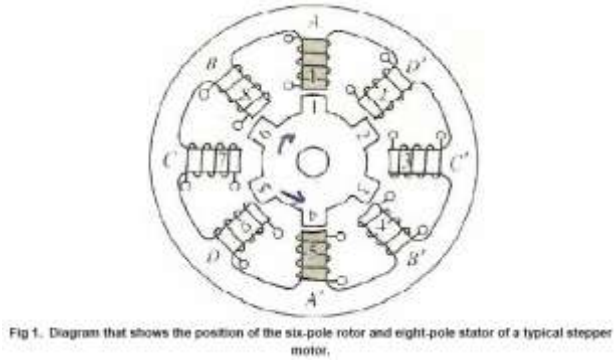


Fig 1. Diagram that shows the position of the six-pole rotor and eight-pole stator of a typical stepper motor.

شکل ۴-۱

در شکل ۱ هسته استاتور ۸قطبی وروتور ۶ قطبی دیده می شود. هر دو هسته استاتور وروتور از جنس فولاد نرم هستند.۴ دسته سیم پیچی همانطور که در شکل می بینیم آرایش داده شده اند. یک دسته از سیم پیچها فاز نامیده می شود بنابراین ۴ فاز است.

۲-تاریخچه موتورهای پله ای

در مجله JIEEچاپ ۱۹۲۷مقاله ای با عنوان کاربرد الکتریسیته در ناوهای جنگی منتشر شد که در بخشی از آن یک موتور پله ای رلوکتانس متغیر سه فاز که برای کنترل از راه دور نشانگر جهت تفنگها و لوله های اژدر افکن در ناوهای جنگی انگلیسی بکار رفته بود تشریح داده شده بود(شکل ۲).

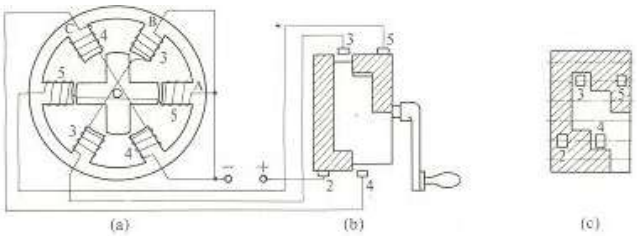


FIG. 2. A stepping motor used in British warships in the 1920s. (a) Motor; (b) rotary switch; (c) stretched model of rotary switch.

شکل ۴-۲

یک کلید گردان مکانیکی برای سوئیچینگ جریان تحریک بکار رفته بود.یک دور چرخش هندل شش پالس پله ای تولید می کرد که باعث ۹۰درجه حرکت روتور می شود. حرکت روتور در پله های ۱۵ درجه به منظور رسیدن به دقت موقعیتی لازم کاهش می یافت.

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

در این مقاله اشاره شده بود که در طراحی این موتور پله ای فاکتورهای بسیاری می بایست مورد توجه قرار گیرد و احتیاطهای بسیاری به منظور عملکرد مطلوب ومطمئن لحاظ شود .موتورهای پله ای بعدها در نیروی دریایی ایالات متحده آمریکا با هدفی مشابه بکارگرفته شدند.

در مجله control engineering در ژانویه ۱۹۵۷ گزارشی تاریخی در مورد کاربردهای مدرن موتورهای پله ای تحت عنوان موتور پله ای قدرت محرک دیجیتال نوین به چاپ رسید این گزارش به سیستمی از سه موتور پله ای می پرداخت که در برجسته کاری سه محوری عددی در یک ماشین فرزکاری بکار رفته بود نوع موتور رلوکتانس متغیر چند پشته ای بود. روتور وسیستم درایو آن در شکلهای ۳و۴ نشان داده شده است.

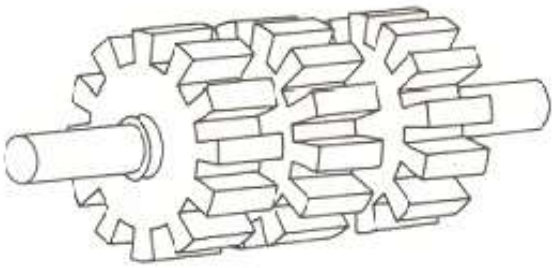


FIG.3. Rotor of a multi-stack variable-reluctance stepping motor.

WikiPower.ir

شکل ۴-۳

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

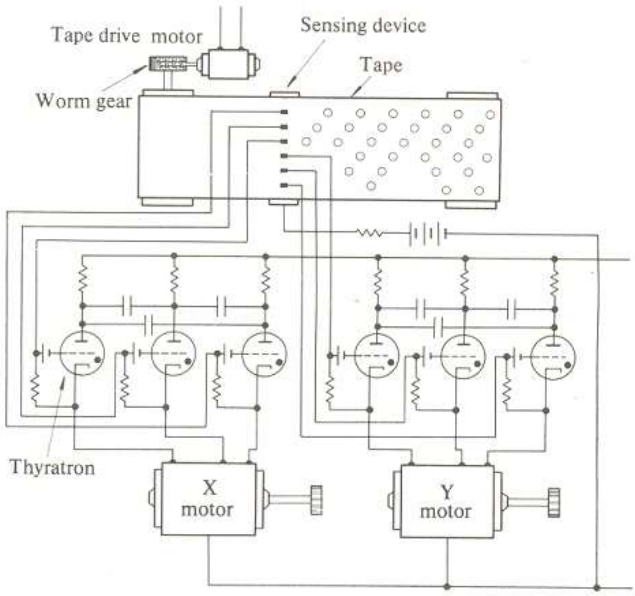


FIG. 4 Three-dimensional numerical control of a workpiece by means of variable-reluctance stepping motors driven by thyratrons. (After ref. [6].)

شکل ۴-۴

حرکات سه موتور بطریقه دستی یا به صورت ضبط شده روی نوارهای پانچ شده برنامه ریزی شده بودند حرکات توسط یک هد خواندن فتوالکتریک که سیگنالهای کنترلی به تیراترونها را تامین می کند خوانده می شد سه موتور پله ای به منظور حرکت میز در فضایی سه محوری به صورت برنامه ریزی شده عمل می کنند واز این رو ماشینکاری خودکار انجام می گرفت .

همزمان کار تحقیقاتی زیادی به منظور بهبود عملکرد موتورهای پله ای در کشورهای پیشرفته صنعتی آغاز شد بخاطر اینکه گشتاور وتوان خروجی بزرگی برای تحریک یک دستگاه NC لازم است موتورهای پله ای الکتروهیدرولیک با ترکیب موتورهای پله ای معمولی ویک مکانیزم فشار روغنی به طور گسترده در سالهای ۱۹۶۰ تا ۱۹۷۴ در ژاپن بکار گرفته شدند(شکل ۵و۶).

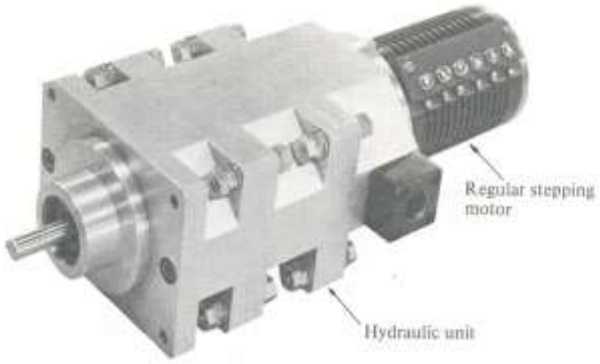


FIG. 5. Electrohydraulic stepping motor. (Courtesy of Fanuc Ltd.)

شکل ۴-۵

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

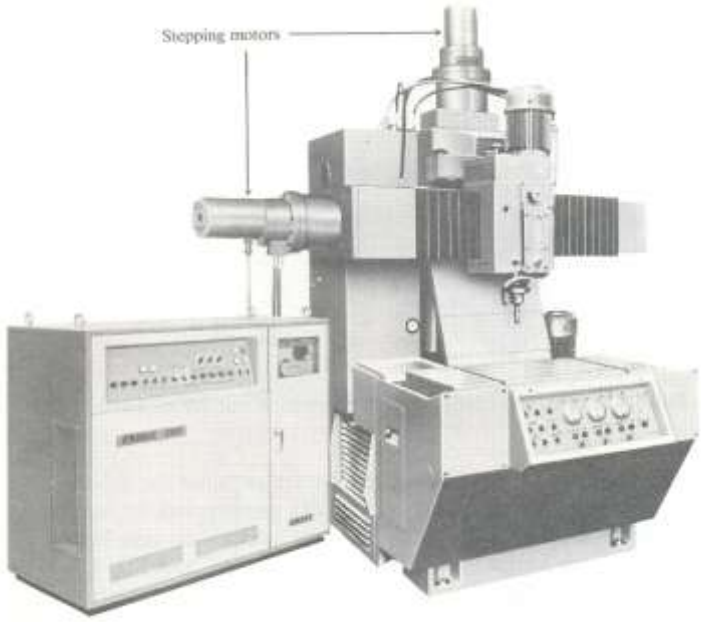


FIG. 6 A numerically controlled milling machine using electrohydraulic stepping motors (Courtesy of Fanuc Ltd.)

شکل ۵-۶

سه نوع موتور پله ای الکترومغناطیسی که از آهن ربای دایمی بهره می برند در کنار موتور های رلوکتانس متغیر به تازگی ظهور کرده بودند ساده ترین آنها موتور PM خوانده می شود استاتور این موتور دارای قطبهای برجسته می باشد.VR وهیبرید دونوع دیگر می باشند اندازه موتورهای پله ای از آن زمان تا کنون به روش مشابه در سروموتورها بیان شده است

به طور مثال انواع ۰۸ و۱۱ و۱۵و۱۸و۲۰و۲۳و۳۴می باشند که نوع ۰۸موتوری با قطر ۱۰/۸اینچ می باشد.پیش از آغاز دهه ۱۹۷۰موتورهای پله ای با عملکرد دینامیک بسیار خوب در دسترس بودندپس از ورود به دهه ۱۹۷۰رشد سریعی در تعداد موتور پله ای بکاررفته در صنعت کامپیوتر مشاهده شد این نوع موتورها در چاپگرها نیز استفاده شدند.در سالهای نخستین دهه ۱۹۷۰ماشینهای نقشه کشی خودکار با بهره گیری از موتورهای پله ای سطحی از نوع هیبرید ظاهر شدند.در موتور پله ای بکاررفته در ماشینهای NC نیز پیشرفت حاصل شد. در سال ۱۹۷۳ Fanuc Ltd به ساخت یک موتور پله ای توان بالای منحصر بفرد نائل شد.این موتور یک موتور رلوکتانس متغیر چند پشته ای است اما از ساختار ساندویچی بهره می برد.از این موتور در ماشینهای CNCاستفاده شده است.بهر حال بزودی این موتور با یک Servo Motor DC جایگزین شد.یک دلیل برای این کار محدودیتی است که موتور پله ای در دستیابی به حرکت پایانی آرام هستند دلیل دیگر نیز پیشرفتهای حاصل شده در سیستم درایو برای موتورهای DC هستند.در همین راستا ادوات نیمه هادی و ترانزیستورها نیز پیشرفت نمودند.تولید موفقیت آمیز آهنربای از نوع کمیاب در زمین طراحی مینیاتوری موتور پله ای را به پیش برد. هنگامی که آلینکو در آهنربای اصلی

موتور پله ای هیبرید بکار می رفت.کوتاهترین طول آهنربا می بایست 10mm باشد.در موتورهای بکار رفته در تعیین موقعیت هد مغناطیسی یک درایو دیسک سخت آهنربا دیسکی به ضخامت تنها 1mm یا در حدود آن می باشد.به علاوه روش المان محدود در انالیز مدارهای مغناطیسی منجر به کاهش اندازه ماشین شد..ژاپن تولید کننده اصلی موتور پله ای می باشد به طور کلی ۴ فاکتور اقتصادی برای حیات صنعت دقیق لازم می باشد:

۱-نیاز به بازار مصرف با تکنولوژی پیشرفته

۲-تجربه در ساخت موادوقطعات

۳-دسترسی به ماشینهای با عملکرد بسیار خوب وماشینهای تولید مخصوص

۴-تامین منابع انسانی

ژاپن این ۴ فاکتور را در تولید موتور پله ای رعایت می کند.اینکه این صنعت در مناطق دیگر آسیا موفقیت آمیز باشد به این بستگی خواهد داشت که این موارد در آنجا چگونه رعایت می شوند.

۳-طرح کلی موتورپله ای مدرن

بطور کلی موتورهای پله ای توسط مدارات الکترونیک اکثرا با منبع تغذیه DC کار می کنند. موتور پله ای در مقایسه با موتورهای معمولی AC,DCکه معمولابطور مستقیم از یک منبع تغذیه درایو می شوند یک موتور منحصر بفرد می باشد.بعلاوه موتور پله ای در کنترل سرعت و موقعیت بدون فیدبک پر هزینه کاربرد پیدا می کنند.این روش به نام حلقه باز (close loop) خوانده می شود.با وجود آنکه این روش از نظر اقتصادی مقرون به صرفه است اما دارای محدودیت است. بطور مثال چرخش روتور در محدوده-های سرعت مشخصی به شکل نوسانی وناپایدار در می آید و بخاطر این مشخصه رفتاری سرعت وشتاب یک موتور پله ای کنترل شده یک طرح close loop نمی تواند به سرعت یک موتور DC درایو شده توسط یک طرح کنترل فیدبک باشد.از اینرو در تلاش برای گسترش محدوده های کاربردی توقف نوسان مساله ای اساسی است که بایستی حل شود.برای درک ترکیب اساسی سیستم موتور پله ای درایو یک نوار پانچ را که در ماشینهای NC بکاررفته بررسی می کنیم یک پانچ کننده نوار از یک موتور پله ای برای فرستادن نوار کاغذ استفاده می کند دستور العملهای کاری ماشینهای NC به شکل سوراخهای ایجاد شده توسط این وسیله ذخیره شده اند موتور پله ای بکاررفته برای این منظور معمولاً یک موتور دو،سه یا چهار فاز می باشد.

۴-ویژگیهای موتورهای پله ای از نظر کار برد

۱-زاویه پله کوچک وچگونگی دستیابی به آن

یک موتور پله ای با زاویه ثابت به ازای هر پالس می چرخد که مقدار آن زاویه پله(Step Angle) نامیده می شود وبرحسب درجه بیان می شود کاهش زاویه پله دقت تعیین موقعیت را افزایش می دهد.یک

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

ویژگی موتورهای پله ای این است که می توانند یک زاویه پله کوچک را تحقق بخشند.مهندسین به تعدادپله بردور توجه دارند که باS نشان می دهیم:

$\theta=360/S$

S به تعداد دندانه های روی روتورN وتعدادفازهاmطبق روابط زیر مرتبط است:

برای موتورهای رلوکتانس متغیر(VR):

$S=mN$

برای موتورهای آهنربای دایمی وهیبرید:

$S=2mN$

تعدادمعمول فازهای موتورهای رلوکتانس متغیر(VR) سه چهار پنج می باشد ومعمول ترین موتور هیبرید دو فاز دارد ولی انواع سه وپنج فاز هم موجودند .بطور مثال تعدادزیاد دندانه های روتور، ۵۰Nیا ۱۰۰می باشد. موتورهای طراحی شده به منظور استفاده در درایو گردونه های کاراکتر در یک چاپگر یا ماشین تایپ دارای ۹۶و۱۲۸یا۱۳۲پله بردور می باشند .یک موتور دویا چهار فاز استاندارد ۲۰۰پله دارد برخی موتورهای دقیق برای دستیابی به یک دور با ۵۰۰یا۱۰۰۰پله طراحی شده اند به هرحال زوایای پله در برخی موتورهای ساده به بزرگی ۵/۷و۱۵درجه هستند ویک موتور مخصوص بکاررفته در ساعت مچی دارای یک زاویه پله ۱۸۰درجه می باشد.

۲-گشتاور بازیابی ونگهدارنده بالا(restoring and holding torque)

موتورهای پله ای طوری طراحی شده اند که گشتاور استاتیک بزرگی دارند این امر موتور را قادر به راه اندازی وتوقف سریع ونشان دادن یک گشتاور بازیابی قوی به هنگام جابجایی از حالت سکون ناشی از گشتاور بار

می کند فاصله هوایی بین دندانه های روتور واستاتور تا حد امکان برای این منظور کوچک طراحی شده است ما اغلب از اصطلاح detent torqueدررابطه با گشتاور استاتیک استفاده می کنیم به طور کلی هرچه گشتاور نگهدارنده بزرگتر باشدخطای ناشی از بار کوچکتر است.

۳-خطای تعیین موقعیت جمع ناپذیر

دقت در تعیین موقعیت عامل مهمی است که کیفیت یک موتور پله ای را مشخص می کند. موتورهای پله ای طوری طراحی شده اندکه با یک زاویه پله از پیش تعیین شده در پاسخ به یک سیگنال پالس می چرخند ودر یک موقعیت مشخص توقف می کنند. چون دقت در حالت بی باری به دقت فیزیکی روتور واستاتور بستگی دارد خطای تعیین موقعیت جمع پذیرنیست .باتوجه به موقعیتهایی که در آنها روتور از حرکت می ایستد دو مفهوم را در نظر داریم :

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

۱-**موقعیت سکون یا تعادل** .به عنوان موقعیتی که در آن یک موتور تحریک شده در حالت بی باری از حرکت باز می ایستد

۲-**موقعیت گیره**.به عنوان موقعیتی که در آن یک موتور دارای آهنربای دایمی در روتور خود بدون تحریک در حالت بی باری از حرکت می ایستد.

ما دو مفهوم از خطای تعیین موقعیت به صورت زیر داریم :

۱-**خطای موقعیت پله**.به عنوان بزرگترین خطای موقعیت زاویه ای استاتیک منفی یا مثبت که هنگام حرکت روتور از یک موقعیت سکون به موقعیت سکون دیگر اتفاق می افتد

۲-**خطای دقت موقعیتی**.به عنوان بزرگترین خطای موقعیت زاویه ای در موقعیت سکون با توجه به زاویه پله جمع پذیر نامی تعریف شده است که می تواند در یک دور کامل روتور به هنگام حرکت از یک موقعیت سکون مرجع واقع شود

رابطه بین این دو نوع خطای تعیین موقعیت را با مدلی نمونه از یک موتور ۲۴پله دوفاز بررسی می کنیم موقعیتهای تعادل ابتدا با موقعیت شروع بعنوان مرجع اندازه گیری می شوند (شکل ۷ a)طبق شکل انحراف از زوایای پله جمع پذیر نامی که با oرسم شده اند توسط خطوط مستقیم متصل شده اند تا گرافی مقطع ترسیم شود پراکندگی دقت موقعیتی ۰/۱۵درجه می باشد اختلافهای پله به پله از زاویه پله نامی با● شده اند اینها اختلافات بین مقادیر دوهمسایگی نقاط می باشند خطای موقعیت پله در این حالت ۰/۱۱درجه

می باشدپراکندگی دقت موقعیتی معمولاًبزرگتر از خطای موقعیت پله می باشد.طبق شکل ۷b هنگامی این دو مشابه هم می باشند که انحراف ماکزیمم مثبت وانحراف ماکزیمم منفی در موقعیت مجاور واقع می شوند. همانطور که دیدیم خطای موقعیتی در هر چهار پله دارای مقادیری نزدیک به هم بودند.اگر روتور با توجه به مرکز کاملاًمتقارن باشد وگام دندانه هیچ تغییراتی نداشته باشد آنگاه الگوی خطای موقعیتی در هر چهار پله تکرار خواهد شد.

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

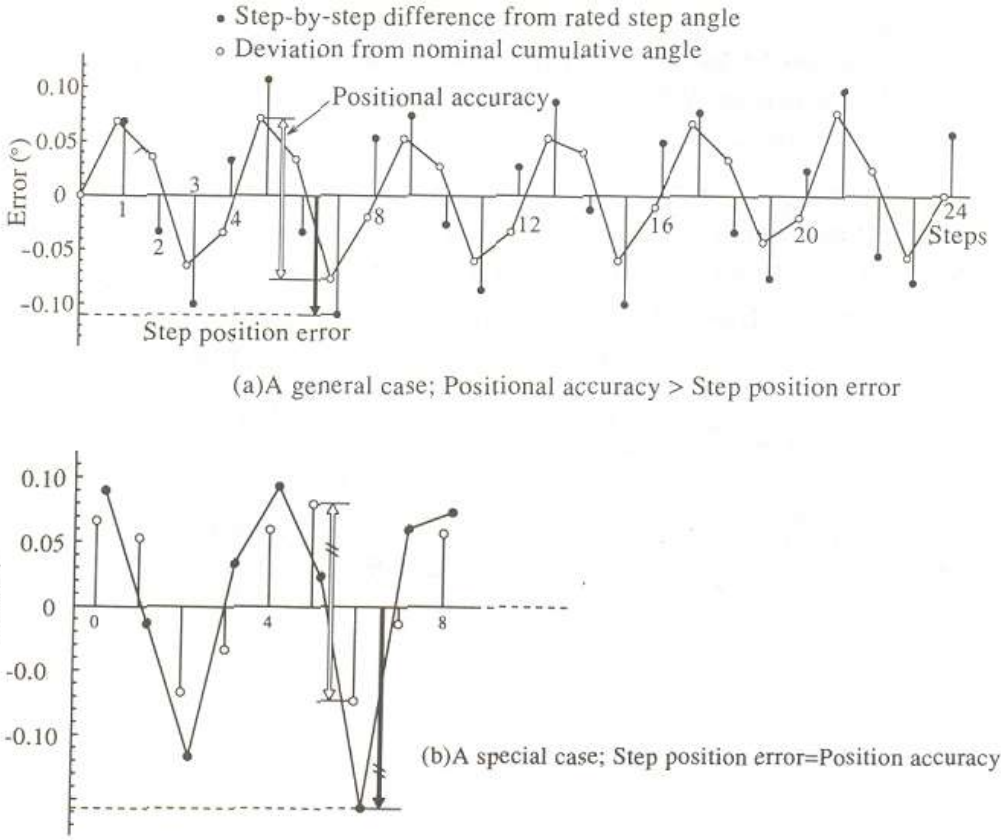


FIG.7. Examples of positional accuracy and step position error.

شکل ۴-۷

WikiPower.ir

۴-رفتار دینامیک بسیار خوب ناشی از نسبتهای گشتاور به اینرسی بالا

مطلوب است که موتورهای پله ای تا حد ممکن در پاسخ به یک پالس ورودی سریع حرکت کنند برای موتورهای پله ای نه تنها راه اندازی سریع بلکه توقف سریع نیز ضروری می باشد اگر در قطار پالس به هنگام کار موتور وقفه ای ایجاد شود موتور بایستی قادر به توقف در موقعیتی که توسط آخرین پالس مشخص شده باشد این مشخصه های دینامیک بسیار خوب ناشی از نسبت گشتاور به اینرسی بالا در موتورهای پله ای در مقایسه با موتورهای AC معمول می باشند. سرعت چرخش یک موتور پله ای برحسب تعداد پله ها در هر ثانیه داده می شود که به آن stepping rate می گویند به علت اینکه در اکثر موارد تعداد پالسهای اعمال شده با تعداد پله ها برابر است سرعت ممکن است برحسب فرکانس پالس بیان شود نرخ پله سرعت مطلق را مشخص نمی کند سرعت گردش موتورهای ACیا DCمرسوم معمولاً برحسب دور بردقیقه rpm بیان می شود

$n=60f/S$

n=سرعت چرخشrpm

f=نرخ پله Hz

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

S=پله بردور

۵-طبقه بندی موتورهای پله ای

۱-موتورهای رلوکتانس متغیر(VR)

موتورهای رلوکتانس متغیر(VR) ممکن است به عنوان ابتدای ترین نوع موتور پله ای مطرح شود.ساختار داخلی یک موتور VRدر شکل۸نشان داده شده است.

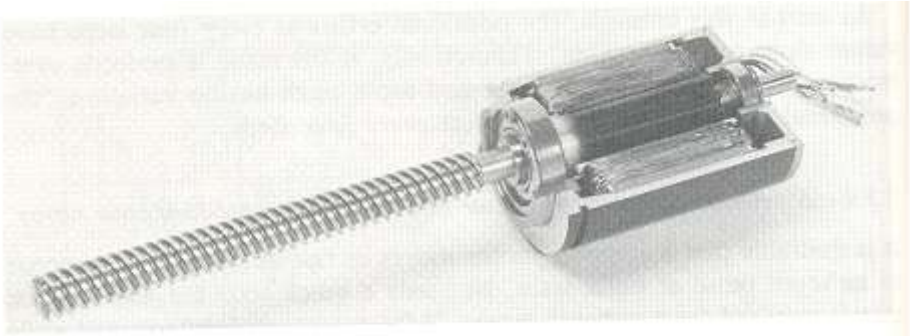


FIG. 8. Cutaway view of a single-stack VR motor. (Courtesy of MINEBEA Co. Ltd.)

شکل ۴-۸

این موتور سه فاز دارای شش دندانه استاتور است هر دو دندانه متقابل استاتور که از یکدیگر ۱۸۰درجه فاصله دارند دارای یک فاز می باشند به این معنی که کلاف های هر دندانه متقابل بصورت سری یا موازی متصل شده اند روتور دارای چهار دندانه است هسته روتور واستاتور معمولاًاز فولاد سیلکون متورق ساخته شده اند اما از روتورهای فولاد سیلکون توپر بسیار زیاد استفاده می شود هر دومواد استاتور وروتور بایستی قابلیت نفوذ پذیری بالایی داشته باشند وقادر به عبور شر مغناطیسی زیادی حتی در صورت اعمال نیروی محرکه مغناطیسی کم باشند باید ببینیم که آیا دو دندانه استاتور در یک فاصله در یک فاز باید دارای پلاریته مغناطیسی یکسان باشند یا پلاریته های مخالف هم. جریان هر فاز در مد ON/OFF توسط کلیدهای متناظر آن کنترل می شود هنگامیکه دندانه های روتور ودندانه های استاتور همردیف هستند رلوکتانس مغناطیسی به حداقل می رسد واین حالت یک موقعیت تعادل یا سکون را ایجاد می کند اگر روتور بخاطر برخی گشتاورهای خارجی اعمال شده به محور روتور تمایل به خارج شدن از حالت تعادل داشته باشد یک گشتاور بازیابی تولید خواهد شد در پدیده موسوم به استرس ماکسول خطوط مغناطیسی شدت میدان قدرت کشش زیادی دارند یا بعبارت دیگر تا حد امکان تمایل به کوتاه ومستقیم شدن (مانند فنرهای الاستیک) دارند.

حال چندین ویژگی ساختاری واساسی موتورهای VRرابیان خواهیم کرد:

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

a) فاصله هوایی تاحد امکان باید کوچک باشد.فاصله هوایی بین دندانه های روتور ودندانه های استاتور در یک موتور پله ای باید تا حد امکان کوچک باشد تا گشتاور بزرگی از یک حجم کوچک روتور تولید کند و به دقت بالایی در تعیین موقعیت دست یابد با نیروی محرکه مغناطیسی یکسان یک فاصله کوچک شار مغناطیسی بیشتری خواهد شد که گشتاور بزرگتری تولید می کند روشن است که جابجایی از موقعیت تعادل به هنگام اعمال یک گشتاور خارجی به روتور با کوچک بودن فاصله کمتر است در موتورهای مدرن اندازه فاصله هوایی از ۳۰تا µm ۱۰۰است

b) دندانه ها در یک قطب برای زاویه پله کوچکتر.یکی از ویژگیهای منحصر بفرد موتور پله ای امکان تحقق یک زاویه پله کوچک می باشد.شکل ۹aیک موتور سه فاز با دوازده دندانه استاتور وهشت دندانه روتور را نشان می دهدزاویه پله ۱۵درجه می باشد شکل ۱۰یک موتور ۷/۵درجه چهار فاز را نشان می دهد که ۱۶دندانه استاتور و۱۲دندانه روتور دارد همانطور که در این تصویر دیده می شود روتور یک موتور پله ای برای به حداقل رساندن ممان اینرسی آن بسیار نازک است.

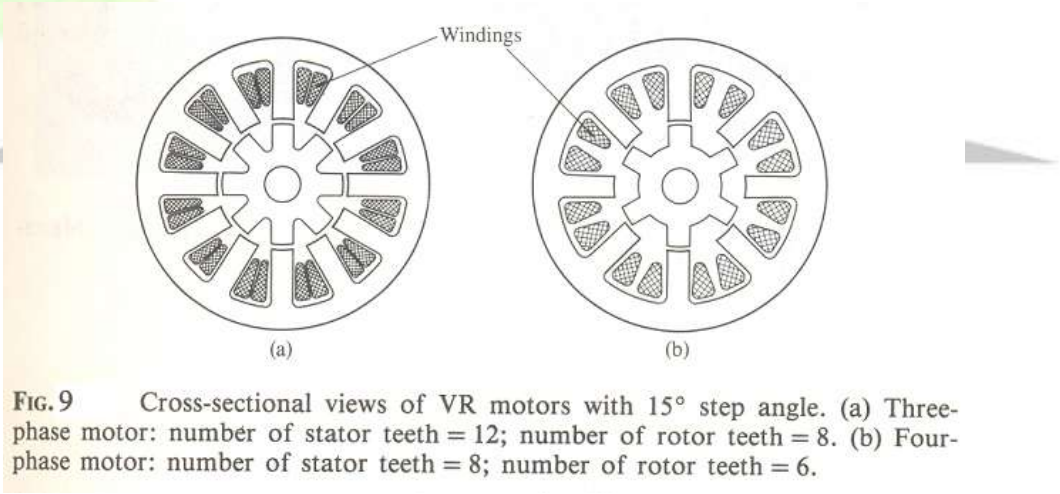


FIG. 9 Cross-sectional views of VR motors with 15° step angle. (a) Three-phase motor: number of stator teeth = 12; number of rotor teeth = 8. (b) Four-phase motor: number of stator teeth = 8; number of rotor teeth = 6.

شکل ۴-۹

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

FIG.10 Stator and rotor of a four-phase VR motor of 7.5° step angle. (Manufactured by Sanyo Denki Co. Ltd.)

شکل ۴-۱۰

همانطور که قبلاً بیان شد بمنظور کاهش زاویه پله θs تعداددندانه های روتور N بایستی افزایش یابد ممکن است اینطور فرض کنیم که تعداددندانه های استاتور باید همچون تعداد دندانه های روتور افزایش کند در واقع دیاگرام مقطع عرضی موتور پله ای VR با زاویه پله کوچک می باشد .قسمت های برجسته بزرگ که سیم پیچی ها در اطراف آنها قرار دارند بطور قراردادی قطب نامیده می شوند باید گفته شود که آنها از قطب مغناطیسی در یک موتور جریان متناوب متفاوت هستند در یک موتور پله ای یک قطب دارای دو دندانه استاتور یا بیشتر می باشد وتمامی دندانه های قطب در هر لحظه پلاریته مغناطیسی یکسانی دارند چون تعداد دندانه های روتورN۲۰می باشد وضریبm تعدادفازها ۳می باشد موتور یک دور را با۶۰=۲۰×۳ پله کامل می کند زاویه پله در این مدل برابر ۶درجه می باشد

c) نوع چند پشته ای (multi stack)ونوع تک پشته ای (single stack). موتورهای پله ای موتورهای تک پشته ای می باشند یک ویژگی برجسته این نوع از موتور این است که سه یا چهار فاز در یک پشته واحد قرار داده شده اند یعنی در یک صفحه نوع دیگر موتورهای پله ای VR نوع چند پشته ای می باشد این نوع همچنین بعنوان نوع کاسکاد شناخته می شود. یک نمای مقطعه ای از یک موتور سه پشته ای در شکل ۱۱نشان داده شده است . در این مدل هر پشته متناظر با یک فاز است واستاتور و روتور دارای گام دندانه یکسانی می باشند حال فرض می کنیم که فاز سوم تحریک شده است و دندانه های روتور واستاتور در این فاز هستند در فازها یا پشته های دیگر در این لحظه دندانه های هر دو عضو به اندازه ۱/۳ گام دندانه ناهمردیف شده اند جهت ناهمردیفی در پشته اول و دوم مخالف هم می باشند اگر تحریک از فاز سوم به فاز اول سوئیچ شود روتور از دید چپ یک پله در جهت CW حرکت خواهد کرد اما اگر تحریک به فاز دوم سوئیچ شود به اندازه یک زاویه پله در جهت CCW حرکت خواهد کرد. شکل ۱۲روتور و

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

استاتور یک موتور پنج پشته ای را نشان می دهد شکل ۱۳aدیاگرام محوری یک موتور VR پنج فاز که برای استفاده در ماشینهای کنترل عددی ساخته می شد را نشان می دهد. شکل ۱۳bاساس این ماشین را نشان می دهد.

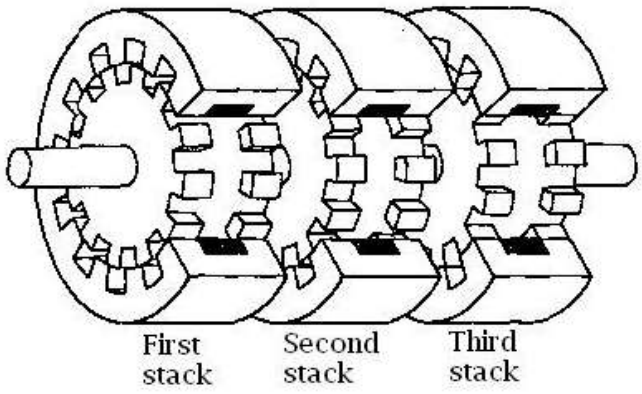


Fig11. construction of multi stack VR motor

شکل ۴-۱۱

FIG. 12.. Stator and rotor of a five-stack VR motor. (Courtesy of MINEBEA Co. Ltd.)

شکل ۴-۱۲

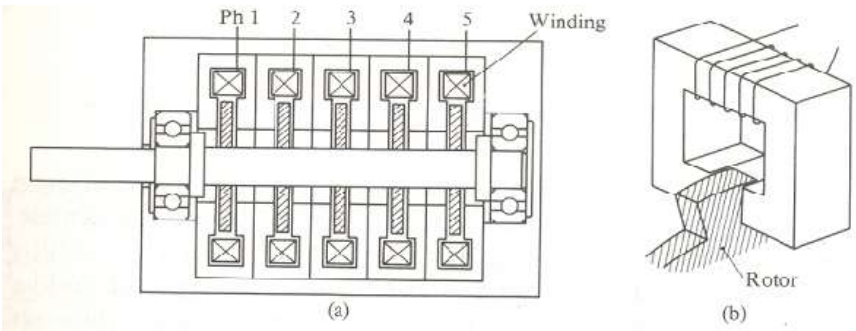


FIG.13. Axial diagram of five-stack VR motor of sandwich type.

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

شکل ۴-۱۳

۲- موتور پله ای PM

یک موتور پله ای با بهره گیری از آهنربای دایمی در روتور بنام موتور آهنربای دایمی PM خوانده می شود یک موتور PMدرشکل ۱۴نشان داده شده است .

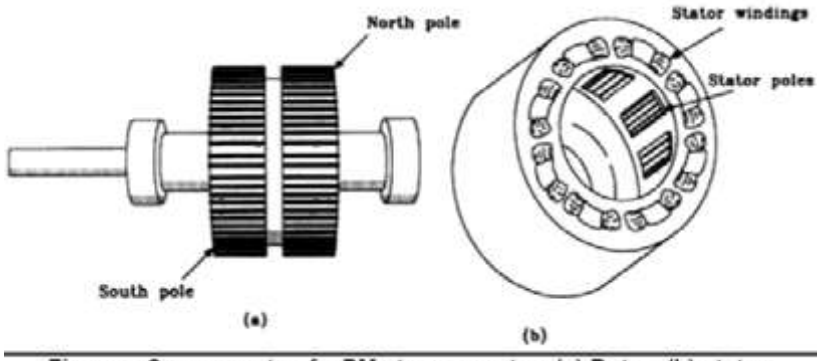


Figure14 Components of a PM stepper motor: (a) Rotor; (b) stator

شکل ۴-۱۴

WikiPower.ir

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

شکل ۱۵مدار اساسی درایو برای موتور دو فاز را نشان می دهد.

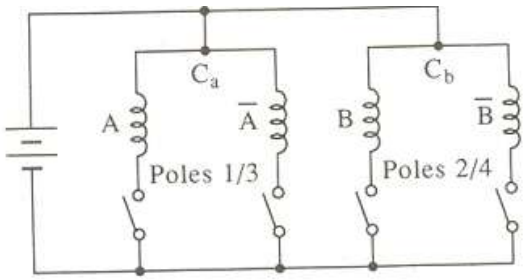


FIG.15 Basic drive circuit for a two-phase motor.

شکل ۴-۱۵

۳-موتور پله ای هیبرید

نوع دیگر موتور پله ای که دارای آهنربای دایمی در روتور خود می باشد موتور هیبرید است. اصطلاح هیبرید از این موضوع که موتور با ترکیبی از اساس موتورهای PMوVRگرفته شده است ساختار هسته استاتور مشابه یا خیلی نزدیک به استاتور موتور VRمی باشد.ویژگی مهم موتور هیبرید ساختار روتور آن می باشد. یک آهنربای استوانه ای یا دیسک مانند در هسته های روتور مطابق با شکل ۱۶قراردارد در جهت طولی مغناطیسی می شود هر یک از قطبهای آهنربا با سرپوشهای دندانه دار متحد الشکل از جنس فولاد نرم پوشیده شده است دندانه های روی دو سرپوش نسبت به یکدیگر به اندازه گام نیم دندانه ناهمردیف هستند.

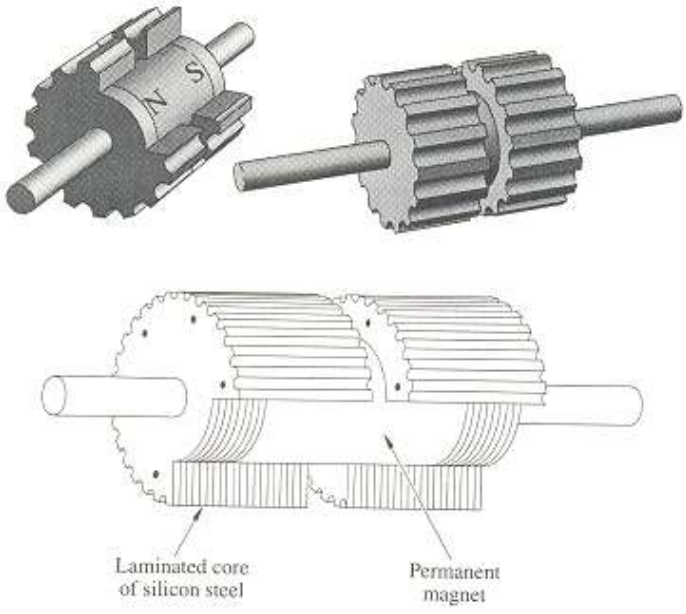


FIG. 16 Rotor structure of a hybrid motor.

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

شکل ۴-۱۶

a)موتورهای دوفاز وچهارفاز

از آنجا که پرکاربرد ترین موتور هیبرید از نوع دوفاز می باشد نگاهی به اساس این موتور می اندازیم این موتور دارای چهار قطب است کلاف قطب یک و قطب سه بصورت سری متصل شده اند و شامل فاز ۱می شوند قطبهای دو و چهار مربوط به فاز دو می شوند. شکل ۱۷مقطعی از یک موتور هیبرید که به عنوان یک موتور سنکرون در کاربردهای با سرعت کم طراحی شده بود و یک موتور سلفی سنکرون نامیده می شد را می بینیم در واقع برخی از موتورهای هیبرید امروزی را می توان به عنوان موتورهای سنکرون تک فاز با راه انداز خازنی به کار گرفت یک موتور ۱/۸ درجه در ۶۰rpm با یک منبع تغذیه ۵۰ Hzکار می کند یک موتور چهار فاز را می توان با استفاده از این هسته طراحی کرد اگر که هر جفت از دوقطب مخالف شامل یک فاز باشند به هر حال یک طرح چهارفاز به خاطر مدار الکترونی پرهزینه آن مناسب نیست.

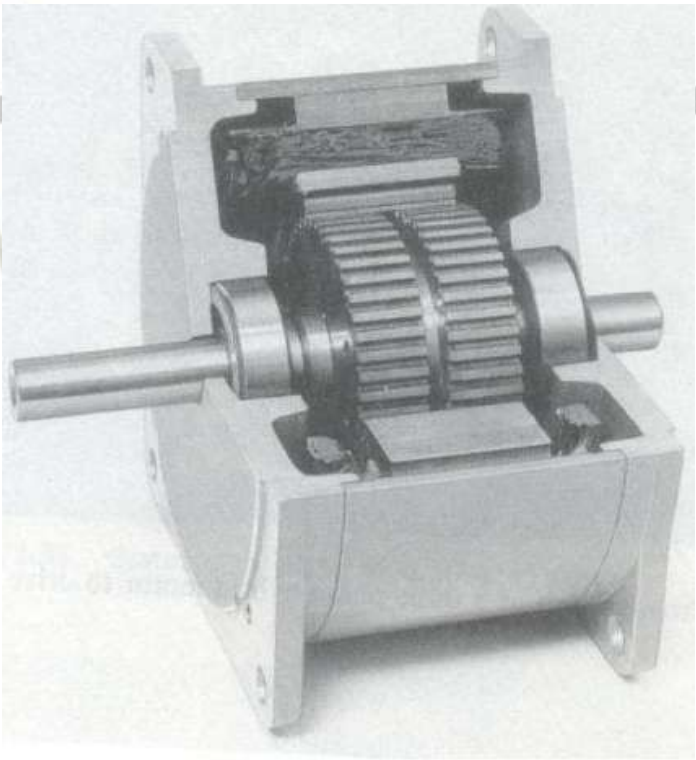


Fig 17. cutaway view of a hybrid motor

شکل ۴-۱۷

b) موتور هیبرید سه فاز وپنج فاز

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

نوع سه فاز یا پنج فاز از طرح هیبرید هم به کار می رودبه هرحال موتور پله ای هیبرید سه فاز مانند موتور سه فاز AC یا بدون زغال رایج نیست از طرفی تولید موتورهای پله ای هیبرید پنج فاز در حال رشد است در حالیکه رشد موتورهای AC یا بدون زغال اندک است یک ساختار مقطعی نمونه از موتور سه فاز ومسیر شارهای مغناطیسی هنگامی که تنها یک فاز تحریک شده است در شکل ۱۸ نشان داده شده اند شکل ۱۹ تصویر مشابهی از یک موتور هیبرید پنج فاز شامل سی وشش دندانه روی روتور رانشان می دهد.در این مثالها قطبها در فواصل مساوی قرار گرفته اند. شکل ۲۰ هسته استاتور یک موتور ۵ فاز را نشان می دهد که یک روتور ۵۰دندانه ای را درایو می کند.همانطور که مشخص است شکل دندانه قطب برای ده قطب یکسان نیست،یا اینکه اگر از شکل مشابهی استفاده شود گام قطبها دارای فاصله یکسانی نخواهد بود. مفهوم ترتیب قطب ودندانه برای موتور هیبرید ۵ فاز توسط Heine مورد بحث قرار گرفت. توجه کنید که هیچ تفاوت اساسی در ساختار روتور نسبت به تعداد فازها وجود ندارد موتورهای ۵ فاز از ۲ فاز ها گرانتر هستند اما از نظر عملکرد دینامیک برتری دارند.به منظور بالا بردن گشتاور موتورهای هیبریدی چند پشته ای بکار گرفته می شود.

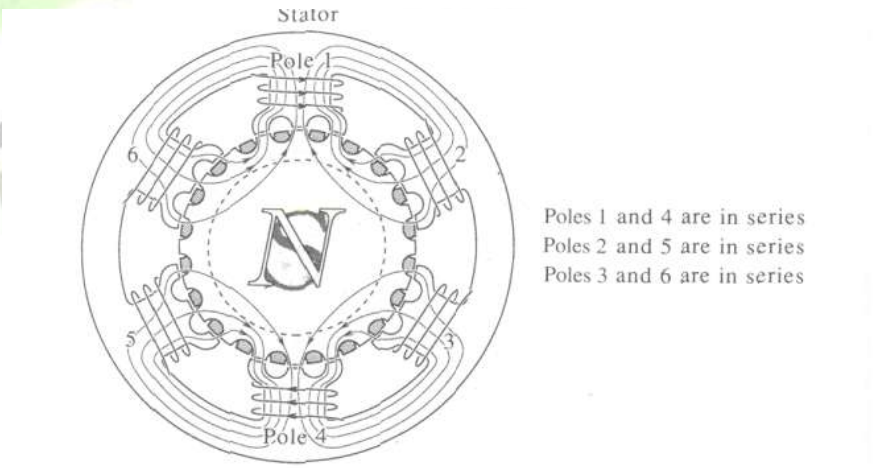


FIG.18. Cross-section of a three-phase hybrid motor to drive a 20-tooth rotor.

شکل ۴-۱۸

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

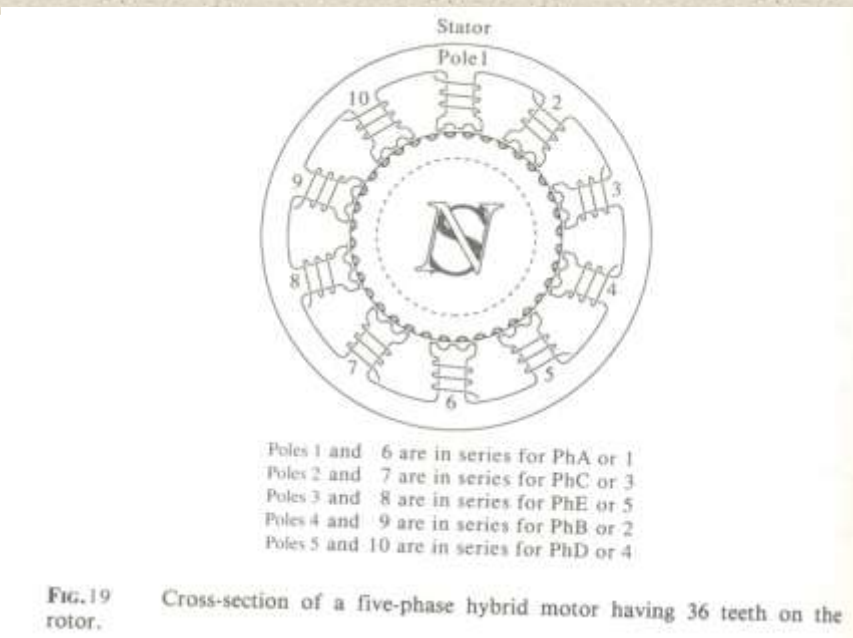


FIG. 19 Cross-section of a five-phase hybrid motor having 36 teeth on the rotor.

شکل ۴-۱۹

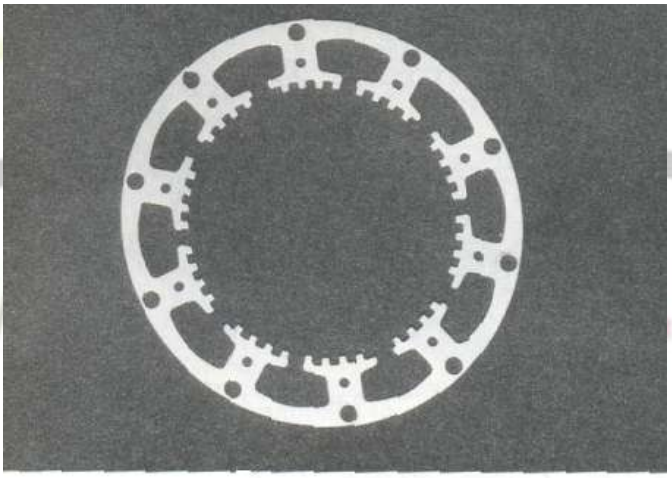


FIG. 20 Stator core shape of a 500-step motor.

شکل ۴-۲۰

۴-موتور آهنربای دایمی با دندانه های پنجه ای ش

موتورPM دندانه پنجه ای نوع دیگری از موتور پله ای است چون استاتور این موتور از نوع قوطی فلزی تشکیل شده است این موتور همچنین به نام موتور پله ای قوطی شکل نیز شناخته می شود دندانه ها از یک صفحه فلزی گرد برآمده اند وسپس دایره به شکل توپی درآمده است سپس دندانه ها به داخل فرو برده

شده اند تا به شکل دندانه های پنجه ای در آیند یک پشته از استاتور با اتصال دو قفسه توپی شکل

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

تشکیل می شود به طوری که دندانه های هر دو بر هم گیر می کنندو کلاف حلقوی درون آنها قرارمی گیرد ویژگی این موتور این است که دندانه های استاتور یک میدان غیر هم قطب را از جریان گذرنده از کلاف حلقوی استاتور بوجود می آورند همانطور که در شکل ۲۱ نشان داده شده است آهنربای سرامیک استوانه ای روتور هم به منظور تولید یک میدان غیر هم قطب مغناطیس شده است.

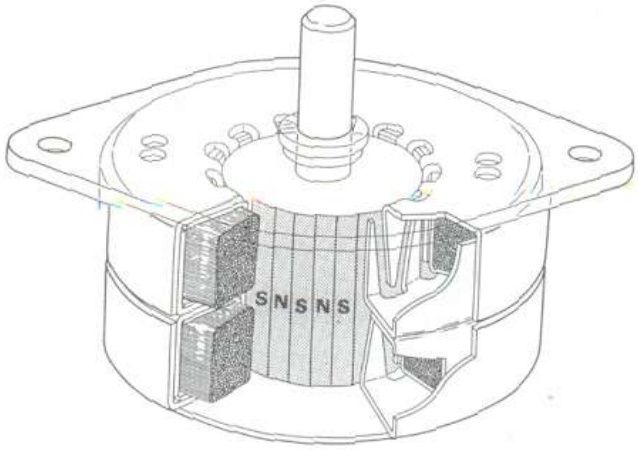


FIG. 21 Cutaway diagram of a claw-tooth PM motor.

شکل ۴-۲۱

۵- موتور آهنربای دیسکی

این موتور از روی یک میکرو موتور بکاررفته در ساعت مچی اختراع شد قسمت اصلی روتور یک دیسک نازک از جنس آهنربای کمیاب مغناطیسی با بیست وپنج جفت قطب می باشد ویژگی این موتور اینرسی روتور کم وگشتاور بزرگ می باشد در حالی که ساخت آن با فاصله هوایی محوری کوچک آسان نمی باشد. (شکل ۲۲)

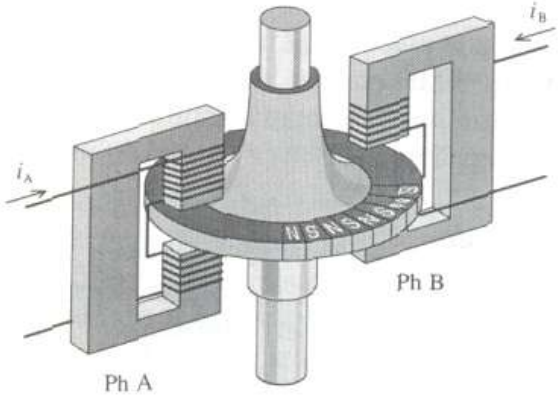


FIG. 22 The principle of a disk-magnet motor.

شکل ۴-۲۲

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

۶-موتور پله ای با روتور بیرونی

موتورهای چرخان را می توان به دو نوع روتور بیرونی وروتور درونی طبقه بندی کرد تمامی موتورهای پله ای که تاکنون توصیف شده اند از نوع روتور درونی می باشند در موتور با روتور بیرونی روتور در خارج از استاتور قرار دارد این موتورها بسیار کم هستند (شکل ۲۳)

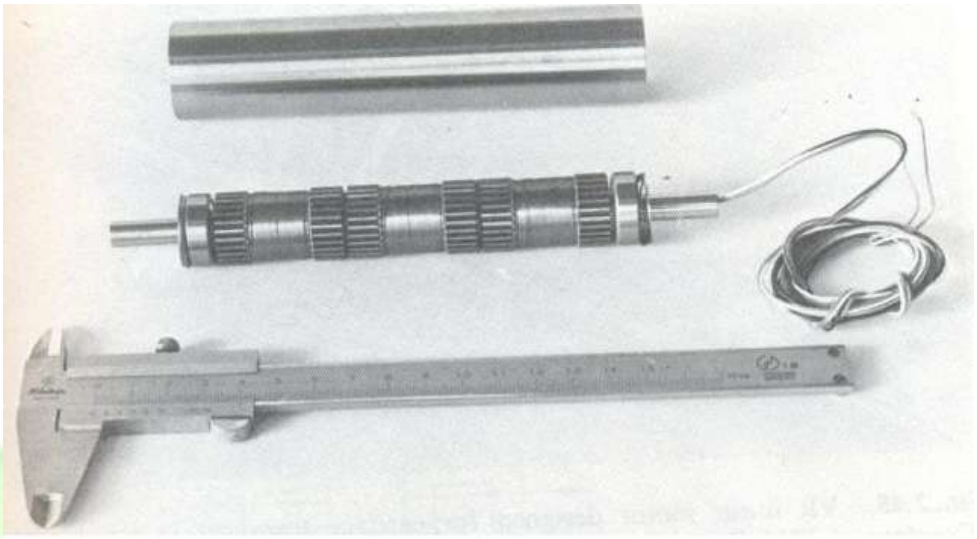


Fig23. An outer rotor VR motor (manufactured by sanyo denki co.Ltd)

شکل ۴-۲۳

۷-موتورهای پله ای خطی

تمامی موتورهایی که تاکنون تشریح شده اند ماشینهای چرخان می باشند که در دوجهت CCWوCW نسبت به استاتور می چرخند برخی موتورها هم وجود دارند که برای انجام حرکت خطی طراحی شده اندکه موتورهای خطی (linear motors) نامیده می شوند.شکل ۲۴ سه سری از این نوع موتورها ر ا نشان میدهد.

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

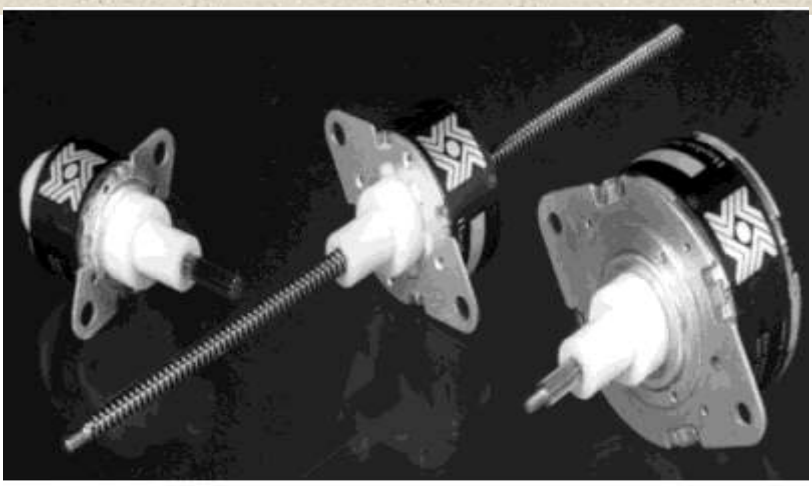


Figure 24 HSI Linear Actuators Series 20000, left to right, (3/4" Ø), captive shaft, Series 26000 (1" Ø) non-captive, and Series 36000 (1.4" Ø) captive.

شکل ۴-۲۴

این موتورها دارای انواع مختلفی شامل موتورهای DC، سنکرون ،القایی وبدون زغال می باشند اما موتورهای پله ای خطی را می توان به موتورهای VR وPM طبقه بندی کرد که PM که متناظر با موتور هیبرید از نوع چرخان است در شکل۲۵ساختمان داخلی یک موتور خطی پله ای را می بینیم.

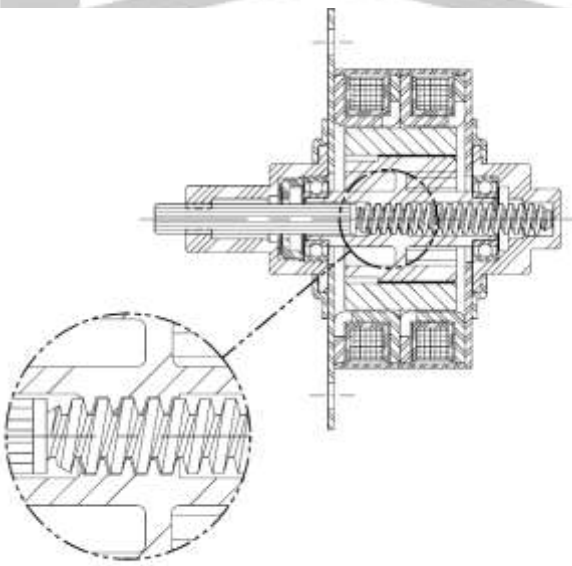


Figure 25 Linear actuator cut away showing threaded rotor to leadscrew interface.

شکل ۴-۲۵

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

۱-موتورپله ای خطی VR

یک نمونه از ساختار VR سه فاز در شکل ۲۶نشان داده شده است که توسط شرکت IBM طراحی شده ودر چاپگر سریال بکار می رود.

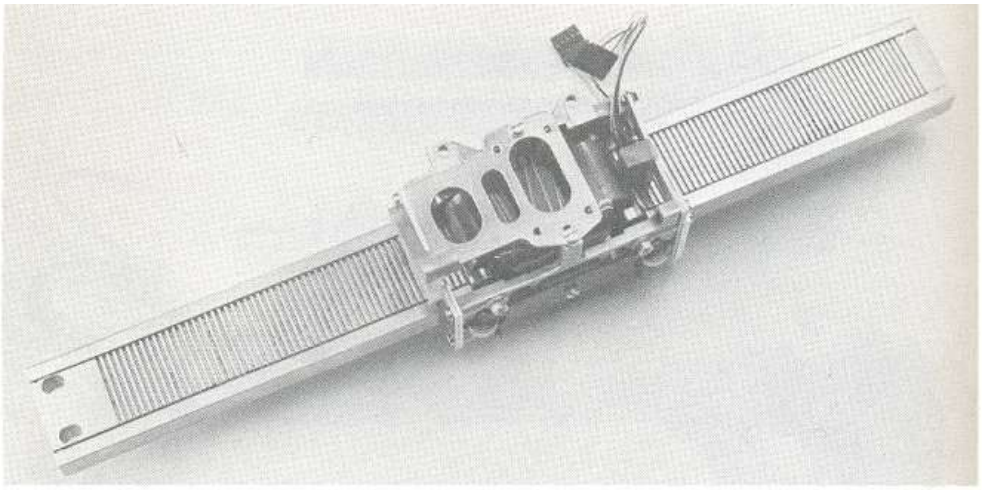


Fig 26. VR linear motor designed for carriage transport in serial printer.(courtesy of IBM corp.)

شکل ۴-۲۶

۲-موتور پله ای خطی PM

اساس این موتور در شکل ۲۷ نشان داده شده است موتور که در اینجا به اصطلاح لغزنده خوانده می شود شامل یک آهنربای دایمی ودو آهنربای الکتریکی AوB می باشد شار ناشی از آهنربای دایمی مسیر بسته ای را از میان هسته آهنربای الکتریکی فاصله هوایی بین هسته واستاتور تشکیل می دهد در غیاب جریان در کلاف شار آهنربا از هر دو دندانه هسته می گذرد هنگامی که کلاف تحریک می شود شار در یک دندانه طبق ۲۷a متمرکز می شود این امر باعث ماکسیمم شدن چگالی شار در این دندانه می شود. هنگامی که جریان به کلاف B سوئیچ می شود لغزنده به اندازه یک چهارم گام دندانه به راست رانده خواهد شد تا دندانه چهار با دندانه مجاور استاتور همردیف شود در کنفرانس موتورها و سیستمهای پله ای در سال۱۹۷۹ یک موتور خطی ارایه شد که روی یک استاتور میله ای حرکت می کرد اساس این ماشین مشابه با موتور نشان داده شده در شکل ۲۷ بود.

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

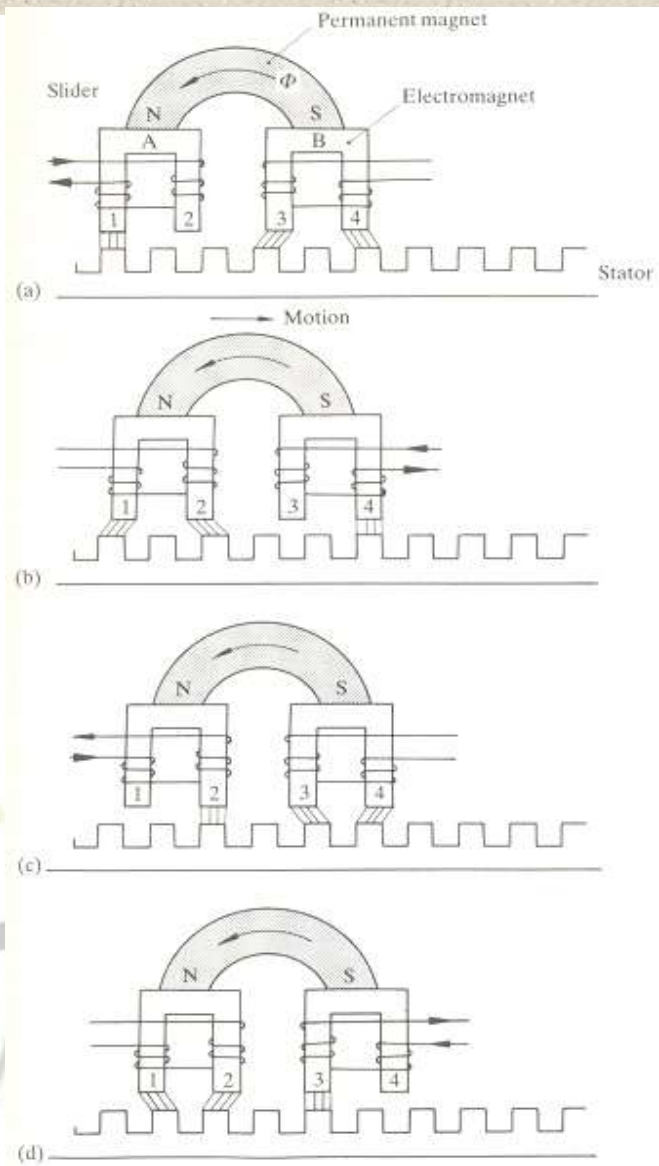


FIG. 27 The principle of the Sawyer linear motor.

شکل ۴-۲۷

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

۶-روشهای تحریک

قبل از توضیح در مورد چند نوع اصلی تحریکها چند اصطلاح را بیان می نماییم:

Detent or residual torque:

گشتاور مورد نیازبرای چرخش شافت خروجی موتور بدون اینکه سیم پیچ آن دارای جریان باشد.

Drives:

یک قسمت الکتریکی خارجی برای کنترل موتورهای پله ای می باشدکه شامل منبع تامین کننده قدرت،ترتیبهای منطقی،انواع سوئیچهاو....می باشد.

WikiPower.ir

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

Dynamic torque:

گشتاور تولید شده توسط موتور درهر پله(مرحله)که حدود نصف مسیر خود را طی کرده باشد.

Holding torque:

گشتاوری که برای راه اندازی موتور نیاز داریم.

Inertia:

مقاومت بدنه موتور به شتاب مثبت ومنفی تولید شده می باشد.

Linear step increment:

مقدار حرکت خطی که گام پیچ در هر پله طی می کند.

Maximum temperature rise:

این دما توسط افزایش مقاومت بر روی موتور نصب نشده اندازهگیری وتعیین می شود.

Pull in torque:

ماکزیمم گشتاوری که درشروع حرکت و در حالتی که بار برروی موتور است بوجود می آید بدون اینکه پله ای از دست برود

Pull out torque:

ماکزیمم گشتاوری که درحین حرکت و در حالتی که بار برروی موتور است بوجود می آید بدون اینکه پله ای از دست برود

Pulse rate:

تعداد پالسها بر ثانیه که در موتور بکار میرود وبرابر پله موتور می باشد.

Pulses per second (PPS):

تعداد پله که در یک ثانیه طی می شود.

Single step response:

مقدار زمانی که مورد نیاز است تا موتور یک پله راکامل نماید.

Step:

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

زاویه چرخش که توسط روتوربوجود آمده و با هر پالس که به آن می رسد مقدور می گردد

Step angle:

زاویه چرخش موتور با هر پالس

Steps per revolution:

تعداد کل پله های مورد نیاز برای طی کردن ۳۶۰درجه ای روتور

Torque to inertia ratio:

گشتاور راه اندازی تقسیم براینرسی روتور

WikiPower.ir

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

۱-تحریک تک فاز

جدول۱ ترتیب روش تحریک تکفاز را برای موتورهای VR سه و چهار فاز نشان می دهد. قسمتهای هاشور زده جدول حالت تحریک شده را نشان می دهد، و خانه های سفید فازهایی که جریان به آنها تغذیه نشده واز اینروتحریک نشده اند را نشان می دهد. هنگامیکه یک موتور در جهت ساعتگرد با ترتیب تحریک...Ph1,Ph2, Ph3 می چرخد، به سادگی با عکس کردن ترتیب در جهت پاد ساعتگرد می چرخد. عملکرد با تحریک تکفاز ، یک فاز در تحریک نیز نامیده می شود.

جدول ۴-۱

Table1. Excitation sequnce in the single phase on operation

(1) three-phase VR motor

Clock state	R	1	2	3	4	5	6	7	8
Phase 1	▨			▨			▨		
Phase 2		▨			▨			▨	
Phase 3			▨			▨			▨

(2) four-phase VR motor

Clock state	R	1	2	3	4	5	6	7	8
Phase 1	▨				▨				▨
Phase 2		▨				▨			
Phase 3			▨				▨		
Phase 4				▨				▨	
Pulses									

Note: symbol R indicates reset

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

جدول ۲-۴

Table2. Excitation sequence in the two-phase on operation

(1) Three-phase VR motor

Clock state	R	1	2	3	4	5	6	7	8
Phase 1			→						
Phase 2			→						
Phase 3									

(2) Four-phase VR motor

Clock state	R	1	2	3	4	5	6	7	8
Phase 1									
Phase 2									
Phase 3									
Phase 4									

۲-تحریک دوفاز

عملکرد یک موتور که در آن دو فاز همواره تحریک شده است عملکرد دوفاز در تحریک نامیده می شود قبل از بحث درباره مزایای این روش ترتیب تحریک ورابطه بین دندانه های روتور واستاتور را در موقعیت تعادل بررسی می کنیم ترتیبها در جدول ۲ داده شده اند.در این جدولها دیده می شود هنگامی که جریان تحریکی از یک فاز به فاز دیگر سوئیچ می شود فاز سوم تحریک شده باقی میماند رابطه موقعیتی بین دندانه های روتور واستاتور در یک حالت تعادل همانند شکل ۲۸ می باشد.

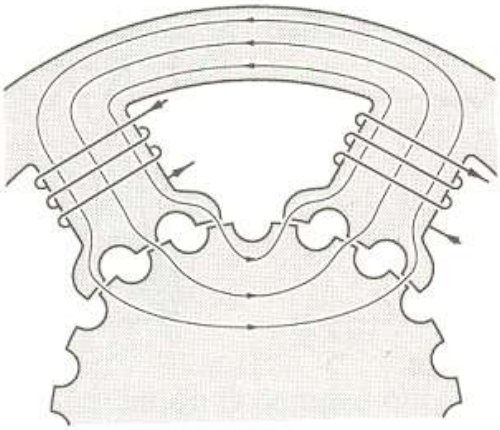


Fig28. positional relation of rotor and stetor teeth in the two-phase excitation

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

شکل ۴-۲۸

یک تفاوت بزرگ بین مشخصه های عملکرد یک فاز در تحریک و دو فاز در تحریک در پاسخ گذرا می باشد شکل ۲۹ در درایو دوفاز در تحریک نوسان خیلی سریعتر از حالت روش یک فاز در تحریک میرا می شود این مورد را می توان از نظر کیفی با استفاده از شکلهای ۳۰و۳۱ بصورتی که در زیر می آید توضیح داد.دوفاز همواره در این روش عملکرد تحریک شده اند و مدار دو فاز یک حلقه بسته ناشی از القای الکترومغناطیسی به هنگام وقوع نوسان را تشکیل می دهد از این روحرکت نوسانی روتور باعث جریان نوسانی اضافه شده به جریان پایدار در هر فاز می شود.

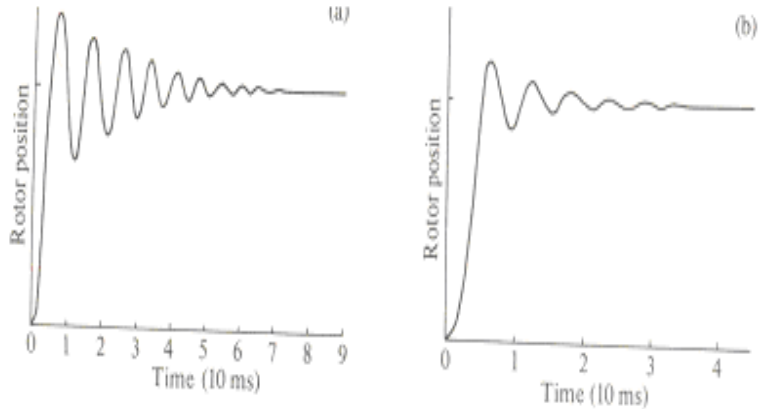


Fig29. difference in single-step response between the single-phase(a) and two-phase(b) excitation.

شکل ۴-۲۹

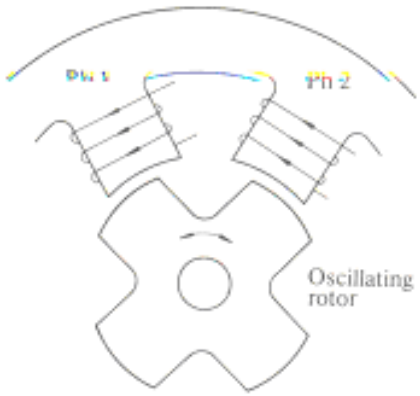


Fig30. Rotor oscillation in the two-phase excitation

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

شکل ۴-۳۰

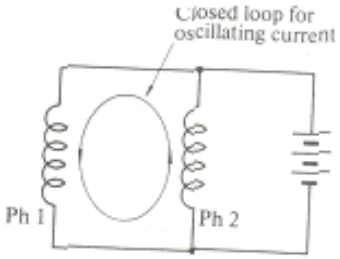


Fig 31. closed loop for the oscillating current.

شکل ۴-۳۱

۳-تحریک نیم پله

طرح تحریکی که ترکیبی از تحریک تک فاز ودو فاز است عملکرد به اصطلاح نیم پله می باشد.این طرح زاویه پله را به نصف کاهش می دهد.(شکل۳۲)

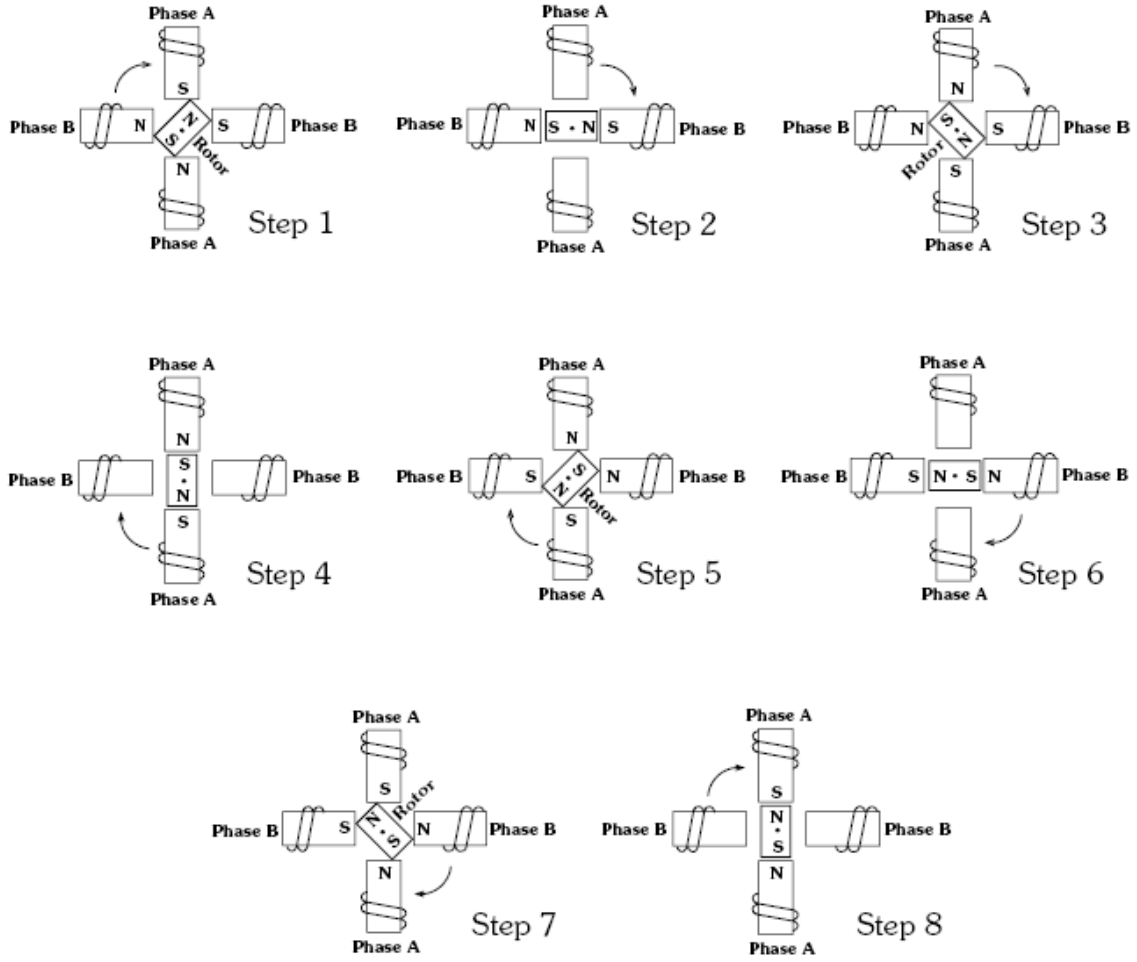


Figure32. Half-stepping – 90° step angle is reduced to 45° with half-stepping.

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

شکل ۴-۳۲

WikiPower.ir

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

۴-تحریک موتور VR سه فاز

یکی از مهمترین ملزومات در طراحی موتور کوچک کردن اندازه ماشین تا حد ممکن برای مشخصات کاری خواسته شده است باید توجه کرد که در این حالت کلافهای قطبهای مخالف طوری متصل شده اند که شارها در دو قطب در زمان واحد هم به سمت بیرون وهم به سمت داخل جهت دار شده اند.

۵- تحریک موتور هیبرید دوفاز

در یک موتور VR همیشه لازم نیست تا پلاریته مغناطیسی تغییر کند برای یک موتور آهنربای دایمی ویا یک موتور هیبرید معکوس کردن قطب مغناطیسی ضروری است واساساً دو روش وجود دارد.

۱- اگر سیم پیچیها به شکل دورشته ای باشند شرایط مشابه یک موتور VR چهار فاز است وسه روش تحریک قبلی اعمال شده است.

۲- اگر هر یک از فازهای AوB دارای یک کلاف تک رشته ای در هر قطب باشد یک طرح درایو مناسب برای روش دوقطبی می باشد

۶-تحریک درایو microstep

تقسیم یک پله به پله های بسیار کوچک با بهره گیری از الکترونیک امکان پذیر می باشد. این روش به نام ریز پله یاministep شناخته می شود واغلب در موتورهای هیبرید بکارمی رود.ایده ریز پله کردن از درایو دو قطبی سینوسی یک موتور هیبرید به عنوان یک موتور سنکرون که با سرعت کم وبا فرکانس اصلی ۵۰تا۶۰ هرتز کار می کند ناشی می شود.اگر یک موتور هیبرید توسط یک منبع سینوسی دو فاز درایو شود انتظار می رود که حرکت روتور بدون پله وروان باشد اما به خاطر اثر گیره ای،اثر رلوکتانس متغیر،و هارمونیکهای القایی در ولتاژتوسط آهنربا محقق نمی شود.برای تقسیم یک پله طبیعی جریان منبع به صورت شکل ۳۳ درمی آیدوبرخی روشهای جبران سازی هارمونیکهای گشتاور بکار گرفته می شود.

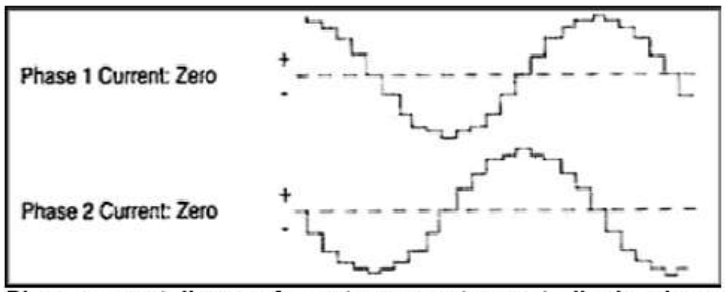


FIGURE 33. Phase-current diagram for a stepper motor controller in micro step mode.

شکل ۴-۳۳

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

در یک موتور با روتور دیسکی طراحی شده برای عملکرد microstep آرایش دندانه های استاتور مطابق شکل ۳۴ تنظیم شده است.تا هارمونیک چهارم در گشتاور گیره و همچنین مولفه های هارمونیک سوم وپنجم ناشی از تعامل بین جریانهای سیم پیچی ومیدان مغناطیسی را حذف کند.هدف دیگر درایو microstep کاهش نوسانات ناشی از ارتعاش در تقسیم فرعی می باشد.

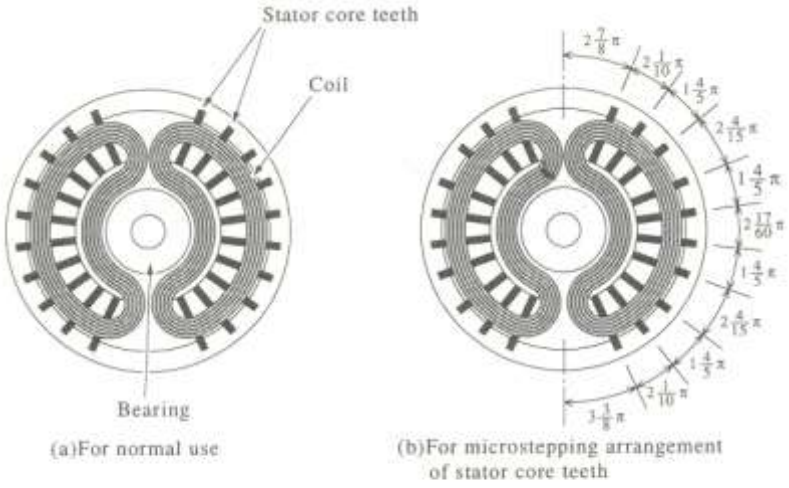


Fig 34. Tooth arrangement of a disk-magnet motor. (a) For normal type and (b)for micropstepping use.

شکل ۴-۳۴

۷-ویژگی مشخصه های موتور پله ای

۱-مشخصه های استاتیک

مشخصه های مربوط به موتورهای ساکن مشخصه های استاتیک خوانده می شود

a) مشخصه های T/θ. موتور پله ای ابتدا با تغذیه جریان در یک روش تحریک مشخص مثلاً تحریک تکفاز یا دوفاز در یک موقعیت سکون(تعادل) باقی می ماند اگر گشتاوری خارجی به محور اعمال شود یک جابجایی زاویه ای انجام می گیرد.رابطه بین گشتاور خارجی وجابجایی را می توان به شکل ۳۵ رسم کرد این منحنی معمولاًمنحنی مشخصه T/θ نامیده میشود.و ماکزیمم گشتاور نگهدارنده خوانده می شود.

b)مشخصه های T/I.گشتاور نگهدارنده جریان را افزایش می دهد واین رابطه معمولاًمشخصه T/Iخوانده می شود.

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

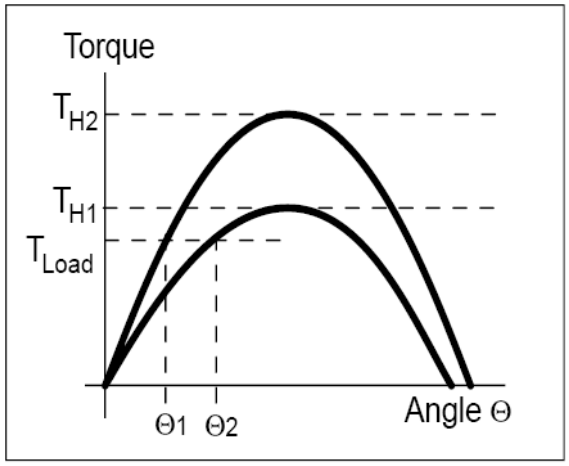


Figure35.Torque vs. rotor angle position at different holding torque.

شکل ۴-۳۵

۲-مشخصه های دینامیکی

مشخصه های مربوط به موتورهایی که در آستانه حرکت یا در حال حرکتند مشخصه های دینامیکی نامیده میشود.

a)مشخصه های گشتاور توقف(pull-in):

این مشخصه ها به نام مشخصه های راه اندازی نیز خوانده می شوندو به محدودهای از گشتاور بار اصطکاکی اشاره دارندکه در آن موتور می تواند بدون از دست دادن پله ها به ازای فرکانسهای مختلف در یک قطار پله راه اندازی ومتوقف شود.تعداد پالسها در قطار پله مورد استفاده در آزمایش ۱۰۰ یا بیشتر است.دلیل استفاده از کلمه محدوده به جای ماکزیمم این است که موتور قادر به شروع یا حفظ یک چرخش نرمال در بارهای اصطکاکی کوچک در محدوده های فرکانس خاصی نمی باشد.همانطور که در شکل ۳۶ نشان داده شده است . هنگامیکه گشتاور توقف اندازه گیری یا مطالعه شود،همچنین لازم است، مداردرایو،روش اندازه گیری،روش تزویج،اینرسی تزویج شونده با محور به دقت مشخص شوند.

b)مشخصه های گشتاور pull-out:

این مشخصه ها به نام مشخصه های چرخشی نیز خوانده می شوند. بعداز اینکه موتور تست توسط یک درایو مشخص با روش تحریک مشخص در محدوده خود راه اندازی به راه انداخته شد فرکانس پالس به تدریج افزایش می یابد.موتور نهایتاًاز حالت سنکرون در می آید. رابطه بین گشتاور بار اصطکاکی وفرکانس پالس ماکزیمم که موتور می تواند با آن سنکرون شود و مشخصه pull-outنامیده می شود. شکل ۳۶.

c)فرکانس راه اندازی ماکزیمم:

این فرکانس به صورت فرکانس کنترل ماکزیمم که در آن موتور بدون از دست دادن پله ها راه اندازی ومتوقف شود تعریف می شود.

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

d) pull out rate:

این نرخ به صورت فرکانس ماکزیمم که در آن موتور بدون بار می تواند بدون از دست دادن پله ها کار کند تعریف میشود،فرکانس چرخشی ماکزیممslewing frequency هم خوانده می شود.

e)گشتاور راه اندازی ماکزیمم:

گشتاور توقف ماکزیمم هم نامیده می شود و بصورت گشتاور بار اصطکاکی ماکزیمم که در آن موتور می تواند شروع به کار کرده وبا یک قطار پله فرکانس پایین 10Hz سنکرون شود تعریف می شود.

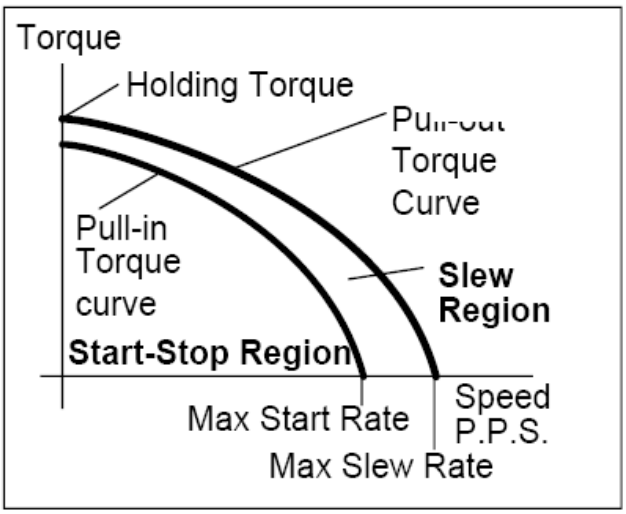


Figure 36. Torque vs. speed characteristics of a stepper motor.

شکل ۴-۳۶

WIKIPOWER.ir

۸-ساخت موتورهای پله ای

اکثر موتورهای پله ای ساخت شده از سال ۱۹۸۰تا کنون از نوع موتورهای هیبریدی یا دندانه پنجه ای می باشند هر دو نوع از آهنرباهای دایمی استفاده می کنند موتور پله ای هیبرید بطور ویژه دارای درجه آزادی بالایی در طراحی می باشد و به دقت تعیین موقعیت بالایی دست می یابد

۱-طراحی

در کارخانه های ساخت این موتورها مدلهای استاندارد وسفارشی طراحی وتولید می شود در اینجا چگونگی طراحی موتورهای سفارشی را توصیف خواهیم کرد.

a) تعیین مشخصات نهایی

هنگامی که باید براساس مشخصات جدید تصمیم گیری شود در مرحله پیش ساخت سه فرایند زیر وجود دارد:

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

اول: مشتری تمامی مشخصات را ارایه می کند سپس سازنده جزییات ساخت را از قبیل جزییات استاتور، روتور، آهنرباها و... تعیین میکند.

دوم: مشتری گشتاور pull out را از بارگذاری وشرایط کار محاسبه کرده و روی مشخصات ظاهری، ابعاد و گشتاور pull out تصمیم گیری می شود مشخصات دیگر بعد از ارزیابی مدل نمونه تعیین می شوند

سوم: مشتری بارگذاری وشرایط کار مشخص شده وسپس سازنده انتخاب اساسی موتور را انجام می دهد که بعد از آن مشخصات دقیق تعیین می شود.

WikiPower.ir

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

در بیشتر اوقات سفارشات به حالت دوم وسوم هستند در زیر عناوین معمول مشخصات را فهرست می کنیم مشخصات الکتریکی شامل:

تعداد فازها ،ولتاژ سیم پیچی ،مقاومت سیم پیچی ،گشتاور نگهدارنده ،گشتاور pull out سنکرون ،نرخ چرخش ماکسیمم ،دقت موقعیت ،افزایش دما ،ولتاژ منبع تغذیه و مدار درایور

مشخصات مکانیکی شامل :

طول و شکل محور ،طول موتور، شکل صفحه اتصال (flange face) ،طول سیم هدایت (lead wire) ،نوع اتصال دهنده (connector)

b) اهمیت مشخصات گشتاور نگهدارنده

تلرانس هر یک از مشخصات الکتریکی ومکانیکی مذکور بایستی معین باشد در میان آنها گشتاور نگهدارنده از همه مهم تر است در حالیکه گشتاورهای pull out برای سرعت های مختلف پارامترهایی هستند که در واقع می خواهیم کنترل کنیم تا وقتی که ساختار اساسی موتور یکسان است بسیار به گشتاور نگهدارنده همبسته هستند پس اندازه گیری گشتاور نگهدارنده را اغلب می توان جایگزین اندازه گیری های گشتاور pull out کرد از این رو در آزمایش های نمونه با ارایه موتورهایی به مشتری که دارای گشتاورهای نگهدارنده برابر با مقدارx ومقادیر ماکزیمم ومینیمم (یعنی تلرانس)معلوم هستند تخمین پراکندگی عملکرد یک وسیله کاربردی ممکن است گشتاور نگهدارنده با ۱- ساختار موتور (ترکیب مقطعی هسته های روتور واستاتور ،عرض پشته ،ونوع آهنربا)و ۲- نیرو محرکه مغناطیسی (آمپر – دور)وطول فاصله هوایی معین

می شود مشکل جدی در مورد عرض پشته نشان داده شده در شکل ۳۷وجود دارد در یک موتور تک آهنربایی عرض پشته روتور وگشتاور همانطور که در شکل۳۷a نشان داده شده به هم مربوط هستند.

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

گشتاور به پایداری می رسدو در عرض پشته مشخصی ثابت باقی می ماند برای مورد ۲ در بالا ،آمپر دورها از روی تعداد دورها وجریان نامی تعیین می شود پس عرض فاصله هوایی را می توان بعنوان مهم ترین موضوع در تولید موتور پله ای در نظر گرفت.

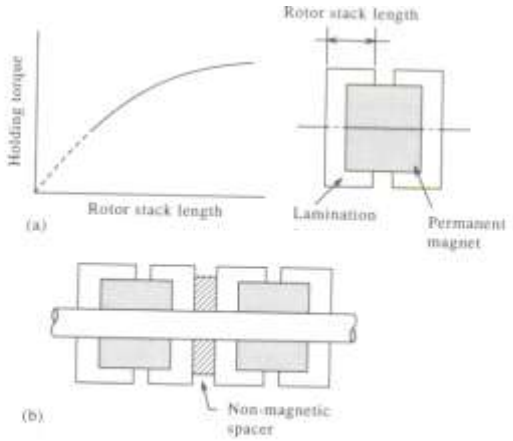


FIG.37 Rotor stack width and holding torque characteristics. (a) Holding torque vs. stack width. (b) Two-stack structure.

شکل ۴-۳۷

WikiPower.ir

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

c).اهمیت دقت تعیین موقعیت

دقت تعیین موقعیت و قابلیت اطمینان بالایی برای موتورهای پله ای ضروری است. برای حصول به این امر هسته های استاتور وروتور طوری طراحی شده اند که منحنی T/θبررسی شده در شکل ۳۵ تا حد امکان به منحنی سینوسی کامل نزدیک باشند.قالبهای بکار رفته در ساخت این هسته ها باید دقت بسیار بالایی داشته باشندوبه دقت ماشینکاری شوند.بعلاوه سطح داخلی استاتور باید برای رسیدن به انحنای گرد کامل(roundness) ماشینکاری شودوسوراخکاری در دندانه های روتور واستاتور باید کمترین باشد.بعلاوه نیاز به معیارهایی برای اجتناب از جابجایی های مکانیکی غیر قابل بازگشت ناشی از تغییرات دما

می باشد.کاربردهای زیادی که به دقت تعیین موقعیت بالایی نیازمند باشند وجود دارد.با رسیدن به تعیین موقعیت دقیق در هر کاربردی می توان تغییرات گشتاور نگهدارنده بین فازها را در حداقل نگه داشت که منجر به عملکرد پایدار وسیله بکار گیرنده موتورهای پله ای میشود.

d)نمونه سازی prototyping

موتور نمونه ساخته شده برای پی بردن به رضایتبخش بودن مشخصه های الکتریکی ومکانیکی و جمع آوری داده های لازم برای تولید مورد آزمایش قرار می گیرد.این داده ها برای طراحی خط تولید بسیار مهم می باشند.معمولاً کوتاهترین زمان از مرحله طراحی تا تولید انبوه در حدود ۳ماه و طولانی ترین آن در حدود ۱ سال می باشد.

e).طراحی جدید قالب

علاوه بر تغییرات ابعادی ،کوچک سازی موتورها هم به بهبود در ته بندی سیم پیچی کلاف نیازمند است. از اینرو یک طراحی کاملاً جدید نه تنها به قالبهای جدید برای هسته های روتور واستاتور بلکه به قالب جدیدی برای محافظ پلاستیکی عایق وتجهیزاتی از قبیل ماشین ته بندی نیازمند می باشد.

۲-فرایند ساخت

قبل از ورود به مرحله ساخت مشخصات ساخت وبازرسی آماده می شوند. در زیر برخی از مراحل ساخت موتورهای پله ای هیبرید را ارائه می کنیم:

a).استاتور وروتور

دو روش برای ساخت هسته وجود دارد. در روش اول یک ماشین stamping برای جدا کردن ورقه اصلی هسته از یک نوار فولاد سیلیکون مورد استفاده قرار می گیرد سپس ورقه های جدا شده روی هم انباشته می شوند و به طور دستی به یکدیگر پرچ می شوند.شکل ۳۸ هسته استاتور سرهم بندی شده را برای یک موتور پله ای نسبتاً بزرگ نشان می دهد هنگامی که میله راهنمایی برای قراردادن ورقه ها روی هم با ۱۲ پیچ مورد استفاده قرار می گیردنیمی از ورقه ها ۱۸۰درجه برگردانده می شود این امر تغییرات اندک در

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

ضخامت ورقه های هم جهت ومتقاطع را با جهت گردانده شده به هم تراز می کند ودقت ابعاد استاتور را بهبود بخشد.گاهی اوقات به جای پرچ کردن به همدیگر جوش داده می شوند.در روش دوم که در تولید انبوه مورد استفاده قرار می گیرد قرار دادن ورقه ها روی هم وسرهم بندی هسته بصورت اتوماتیک انجام می گیرد با وجود اینکه سرمایه گزاری اولیه بسیار بالا است هزینه تولید هر واحد به علت کاهش نیاز به نیروی ماهر وکاهش زمان انجام کار به طور قابل توجهی کاهش می یابد شکل ۳۹ یک نوار فولادی از هسته را نشان می دهد همانطور که در شکل می بینیم هر ورقه هسته در چندین نتقطه که به اندازه نصف ضخامت ورقه در زیر برآمدگی دارند مهرزنی شده است میله هسته از انطباق برآمدگی یک صفحه با تورفتگی صفحه بعدی تشکیل می شود.

FIG. 38. Riveted stator core for batch-production.

شکل ۴-۳۸

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

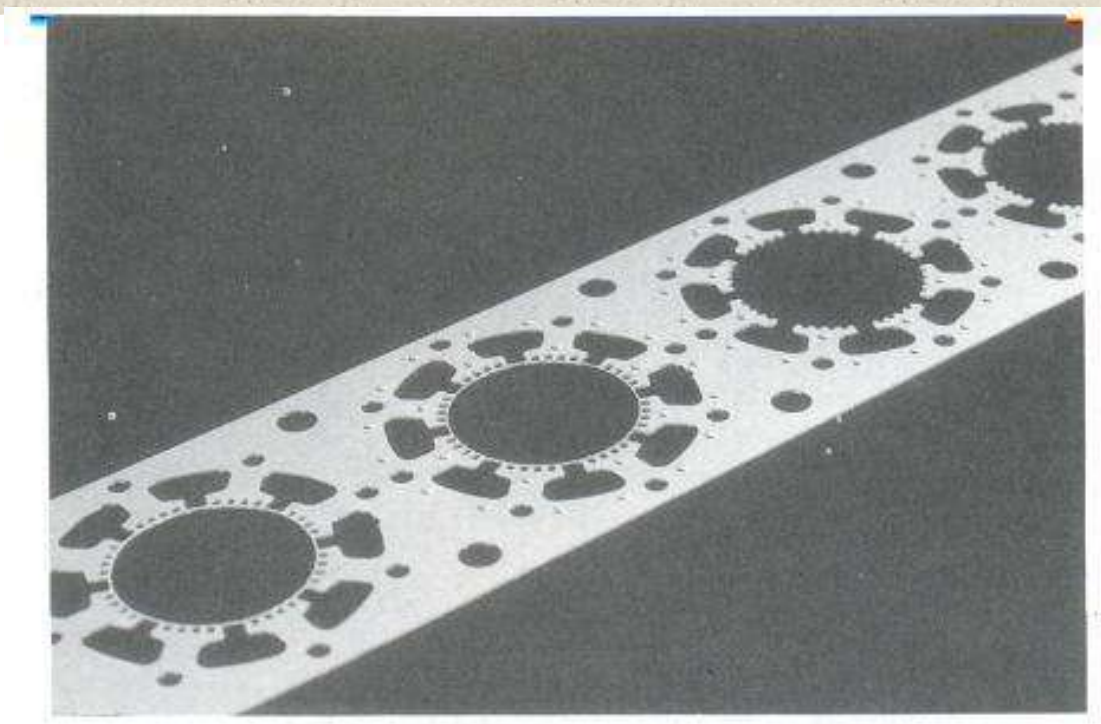


FIG. 39. Stamped steel strip for mass-production (two-phase motor).

شکل ۴-۳۹

WikiPower.ir

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

b) محور

پیوستگی مکانیکی بین روتور ومحور باید قوی باشد برای دستیابی به این پیوستگی چهار شیار مستقیم در جهت طولی با اعمال ابزاری با فشار قوی ایجاد شده اند این کار شیار سازی نامیده می شود بطور کلی چند روش برای رسیدن به این پیوستگی بین روتور ومحور وجود دارد

۱ -استفاده از چسب که پیوستگی حاصل ضعیف است

۲ -کنگره دار کردن سطح محور که وقتگیر وپر هزینه است

۳ -شیار سازی بعلاوه استفاده از چسب که از نظر قدرت ،هزینه وزمان بهینه است

c) محفظه و براکت

براکت که صفحه اتصال هم خوانده می شود یاتاقان را پشتیبانی می کند و هسته استاتور نگه می دارد مواد بکاررفته برای ساخت آن آلومینیوم و پودر آهن سخت شده است با اینکه پودر آهن سخت شده قابلیت ماشینکاری پایینی دارد مزایایی مانند شار نشتی کم و دقت ابعادی پایدار در طول زمان دارد. از طرف دیگر استفاده از آلومینیوم بخاطر ضریب انبساط گرمایی بالاتری که نسبت به صفحات فولادی سیلیکون استاتور دارد با احتیاط استفاده می شود در برخی موتورها براکت ومحفظه به عنوان یک واحد تنها ماشینکاری می شود این مورد به همراه سه روش دیگر ساخت محفظه وبراکت در شکل ۴۰ نشان داده شده است شکل ۴۰a یک ترکیب براکت آلومینیومی ومحفظه فولادی را نشان می دهدچون آلومینیوم به هنگام گرم شده بیشتر منبسط می شود اتصال محکم باقی می ماند. درشکل ۴۰b محفظه برای کم شدن هزینه ها حذف شده است یک پیچ سرتاسری از شل شدن براکت به هسته به علت انبساط حرارتی جلوگیری می کند شکل ۴۰c ترکیب پودر آهن سخت شده و ایجاد صفحه اتصال و محفظه یکپارچه را نشان می دهد که ایده آل است موتور شکل ۴۰d برای هارد دیسک بکار می رود برای اینکه اتصال با گرما شل نشود صفحه اتصال از آلومینیوم ساخته شده تا با پایه دایکاست آلومینیومی منطبق باشد

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

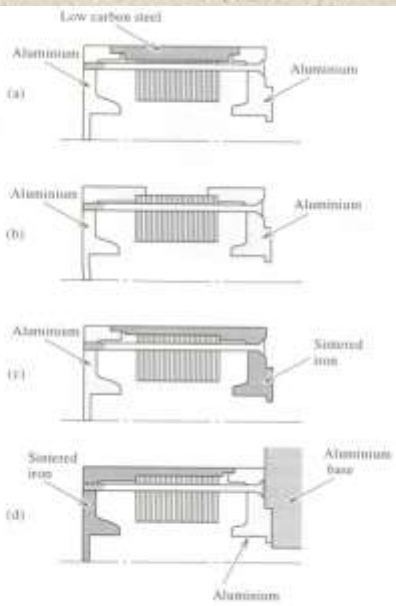


FIG. 40 Brackets (flange and end bell) and housing. Rotor and bearings are not shown.

شکل ۴-۴۰

d) دقت ماشینکاری

چون فاصله بین استاتور وروتور موتورهای پله ای از دیگر انواع موتورها باریکتر است و تغییرات در فاصله هوایی به شدت روی گشتاور اثر می گذارند باید دقت ماشینکاری بالایی وجود داشته باشد در این بخش اصطلاحات فنی ومسایل اصلی مربوطه را بررسی خواهیم کرد

۱- هم مرکزیت و ماشینکاری اتصال توپی .در حالت ایده آل محورهای مرکزی شافت روتور و سطح داخلی استاتور بایستی کاملاً هم مرکز باشند در عمل معیارهایی برای اطمینان از دستیابی به درجه بالایی از هم مرکزیت ضروری می باشند یک روش برای اطمینان از هم مرکزیت محور روتور ومحیط بیرونی روتور ساییدن همزمان هر دو آنها هنگام قرار گیری آنها از طریق سوراخهای مرکزی برروی محور می باشد.احتمالاً نامحوری هنگامی روی می دهد که براکت وهسته استاتور بهم متصل می شود در این حالت بعد از اینکه قطر درونی استاتور تا پرداخت بسیار خوب ساییده شد یک میله هسته وارد وبا گیره ای محکم می شود سرها وسطح داخلی محفظه هر دو در یک زمان با استفاده از این میله هسته بعنوان مرجع ماشینکاری می شوند از این رو هم مرکزیت بالایی حاصل می شود برای کاهش هزینه در موتورهای کوچک محفظه وجود ندارد اگر دقتهای بالایی لازم باشد سطح بیرونی وسرهای میله هسته با استفاده از سطح درونی به عنوان مرجع مشترک ماشینکاری می شوند.

۲- تعامد .تعامد موضوع مهمی است که مربوط به دقت ساختار موتور می شود عملکرد موتورهای پله ای به شدت از یکپارچگی فاصله هوایی اثر می پذیرد که در عوض نه تنها به روتور بلکه به درجه تعامد استاتور وبراکت وابسته می باشد.

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

۳- گردی . قطر درونی استاتور وقطر بیرونی روتور باید در پیرامون آن ثابت باشد یعنی کاملاً گرد باشد با اینکه بدون مشکلات زیاد می توان به گردی روتور دست یافت رسیدن به گردی سطح درونی استاتور دقت زیادی لازم دارداز این رو حتی اگر استاتور تا گردی کامل ساییده شود هنگامی که از گیره باز می شود با از بین رفتن کشش الاستیک سطح گردی را کاهش خواهد داد.

۴- دندانه زدایی. سایش برای شکل دادن دندانه های روتور واستاتور برآمدگیهایی را در لبه های دندانه ایجاد می کند چنین برآمدگیهایی هنگام حرکت موتور خرد می شوند و می توانند با گیر کردن بین فاصله هوایی استاتور وروتور باعث قفل شدن موتور شوند برداشتن این برآمدگیها مرحله مهمی است و معمولاً با یک ابزار پرداخت نایلونی یا فولاد ضد زنگ ایجاد می شود

e) تمیز کاری

مقدار قابل توجهی از مایع ماشینکاری در فرایندهای پایانی که برای استاتور و روتور مورد استفاده قرار می گیرد بایستی شسته شود رها کردن بعضی از این مایعات مانند هیدروکربنهای فلور در اتمسفر باعث تخریب لایه اوزن می شود که مساله بزرگ زیست محیطی می باشد وتوافقات بین المللی در ممنوعیت استفاده از آنهابعد از سال ۱۹۹۵بوجود آمده است.

f) پوشش دهی وجلوگیری از زنگ زدگی

بخاطر اینکه فولاد سیلیکونی به آسانی زنگ می زند روکش ضد زنگ ضروری می باشد

g) سیم پیچی و ته بندی کلاف

در حالی که قسمت زیادی از فرایند ساخت به مهندسی مکانیک مربوط است سیم پیچی کلاف و مغناطیسی کردن آهنربا مهمترین فرایندهای الکتریکی می باشد سیم پیچی کلاف شامل نکات زیر می شود:

۱- کلافها باید در ردیفهای موازی تمیز سیم پیچی شوند.

۲- آنها باید دور قطبها متراکم باشند.

۳- سیمها باید از نظر الکتریکی از هم واز قطبها عایق بندی شده باشند.

نکته ۲ تضمین می کند که گرمای تولید شده در کلاف ها در هسته تلف می شود.دماهای بالای کلاف باعث می شود ماده عایق به سرعت خراب شود.در حالیکه فرایند سیم پیچی کلاف مکانیزه می باشد درجه اتوماسیون بسته به خروجی تولید متفاوت است.

h) اندود کردن با لعاب وخشک کردن

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

در برخی مدلها کلافها بعد از سیم پیچی وته بندی کلاف با لعاب اندود می شود. لعاب به بهبود عایق الکتریکی وهدایت گرمایی از کلاف به هسته کمک می کند بعد از اینکه لعاب با چسبناکی کم برای اندود سازی به صورت قطره ای به کلاف خورانده شدمجاز به جامد سازی آن از طریق خشک کردن هستیم.

i).سرهم بندی ومغناطیده کردن.

هنگامیکه تمام قسمتها آماده شدند سر هم بندی می شوند.سپس آهنربای روتور مغناطیده می شود که این کار با عبور دادن ناگهانی جریان زیادی از کلاف مغناطیده کننده با استفاده از یک خازن شارژ شده انجام

می گیرد

۳-مدیریت تولید وکیفیت

این مرحله شامل مدیریت قالب ،مدیریت تجهیزات اندازه گیری و مدیریت قدرت مکانیکی موتور می باشد بازرسی ها بصورت نمونه برداری قبل از خروج از کارخانه انجام می گیرد

۹-کاربرد موتورهای پله ای

کاربرد موتورهای پله ای با ماشینهای کنترل عددی CNC آغاز شد وبعدها به لوازم جانبی کامپیوتر وتجهیزات اداری انتقال یافت و موتورهای سرو جایگزین موتورهای پله ای در ماشینهای CNC شدند برخی از کاربردهای مختلف موتورهای پله ای را با تمرکز بر کاربرد در CNC بررسی می کنیم.

۱- ماشینهای کنترل عددی CNC

قبلاً ابزارهای ماشین با کنترل عددی زمینه کاربردی مهمی برای موتورهای پله ای بودند امروزه سروموتورها که موتور DC وDC بدون زغال با کنترل فیدبکی می باشند هم مورد استفاده قرار می گیرند با اینکه یک سروموتور بدون زغال به کنترل موقعیت نقطه به نقطه بهتری در فاصله طولانی دست می یابد مزیت یک موتور پله ای در کنترل حلقه –باز آن نهفته است

۱- میزهای X-Y و میزهای راهنما .وسیله کنترل کننده موقعیتهای X وY روی یک صفحه با استفاده از دو موتور یک میز XY نامیده می شود موتورهای پله ای همانطور که در شکل ۴۱a نشان داده شده بکار می روند ترکیبی از یک میز XY و یک راهنما در۴۱bدیده می شود در اینجا میز راهنما توسط درایو مستقیم حلقه –بسته یک موتور هیبرید سه فاز درایو می شود.

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

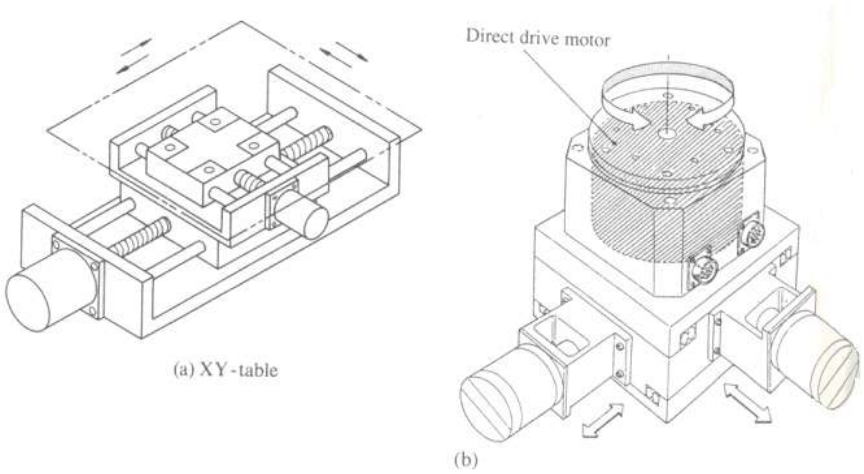


Fig 41. (a) numerically controlled XY-table and(b) index table

شکل ۴-۴۱

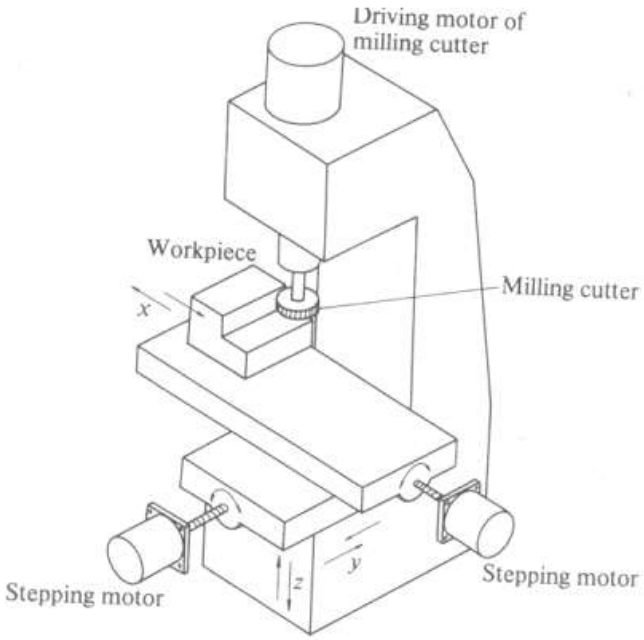


Fig 42. principle of numerically controlled milling machine using three stepping motors

شکل ۴-۴۲

۲-ماشین های فرزکاری .حرکت سه محوری قطعه کار را می توان با سه موتور پله ای کنترل کرد در شکل ۴۲ سومین موتور کنترل کننده محور Z- زیر میز پنهان است تیغه فرزکاری توسط یک موتور القایی درایو می شود شکلهای ۴۳a و۴۳b و۴۳cنمایش واقعی از سه موتور در سه محور می باشد.

www.wikipower.ir
برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

کاربردموتور پله ای در محورX فرز شکلa-۴۲

شکل ۴-۴۳

کاربردموتور پله ای در محورY فرز شکلb-۴۲

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

کاربرد موتور پله ای در محورZ فرز شکلc-۴۲

شکل ۳-۴۳

۲-دیگر موارد استفاده

این زمینه بعنوان حوزه اصلی کاربردهای موتور پله ای می باشد چندین نوع از چاپگرها وجود دارند که در آنها موتورهای پله ای به منظورهای مختلفی بکار رفته اند موتورهای پله ای در انتقال هد ومکانیزم کاغذ رسانی در چاپگر ها مورد استفاده قرار می گیرد.این موتور ها در پلاتها نیز بکار می رود. صنعت ریسندگی از دیگر زمینه های کاربرد موتورهای پله ای می باشد

ماشین های دوزندگی . موتورهای پله ای بطور گسترده در هر دو ماشین دوزندگی صنعتی و خانگی مورد استفاده قرار می گیرند که مزیت ویژگی های خاص موتور پله ای همچون گشتاور بالا پاسخ سریع در فاصله ای کوتاه و تعیین موقعیت دقیق با کنترل حلقه –باز ساده را در خود دارند و نمونه مطرح شده در اینجا یک ماشین قلابدوزی صنعتی است که در آن دو موتور پله ای حرکتهای X وY چارچوب نگهدارنده لباس را برای قلابدوزی کنترل می کنند شکل۴۳چگونگی کنترل چارچوب را نشان می دهد.

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

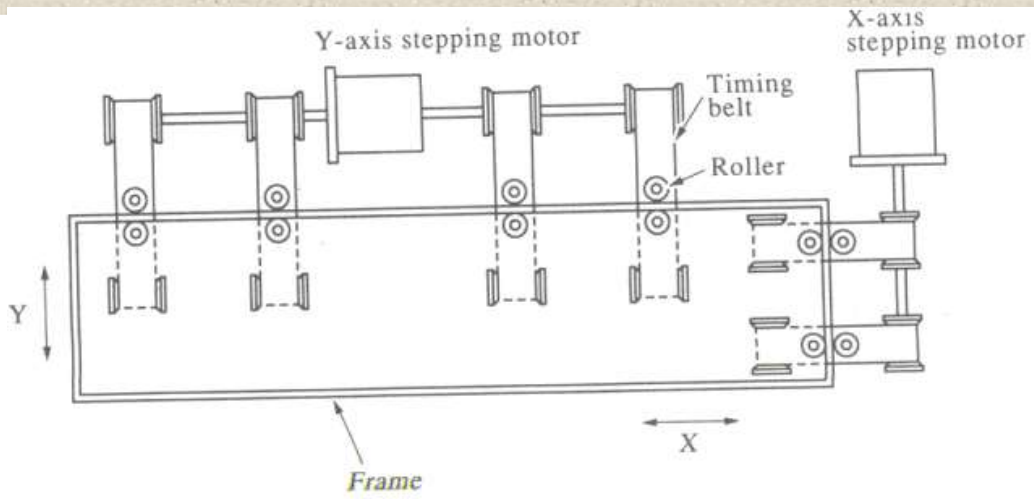


Fig 43. Driving the frame for an automated embroidery sewing machine

شکل ۴-۴۴

محور اصلی توسط یک موتور القایی درایو می شود و سوزن ها یانتوگراف ها (اهرم هایی برای تنظیم کشش نخ بالایی)،لفافه ای پارچه و هدایتگرهای حلقه ساز نخ را از طریق برخی تزویج های مکانیکی کنترل

می کند یک موتور قابل برگشت نوعی از موتور القایی با گشتاور راه اندازی بالا و کلید برگشت ساده با ویژگی راه اندازی / توقف سریع برای انتخاب سوزن مناسب برای هر هد مورد استفاده قرار می گیرد.از دیگر موارد استفاده هارد دیسکهای کامپیوتری دستگاههای کپی ،فاکس می باشد.امروزه از این موتور ها در موارد خاص مانند خلاء شدید ،زاویه یاب برای تعیین زاویه جهات کریستالی،ریز ساختارهای اشعه الکترونی و همچنین تجهیزات هوا فضا استفاده می شود.در شکل ۱-۴۳یک زاویه یاب با سه موتور پله ای برای کنترل حرکت نشان داده شده است. در شکل ۲-۴۳ یک ریز سازنده اشعه ا لکترونی نشان داده شده است که دارای دو موتور پله ای برای درایو یک میز XY دقیق است.

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

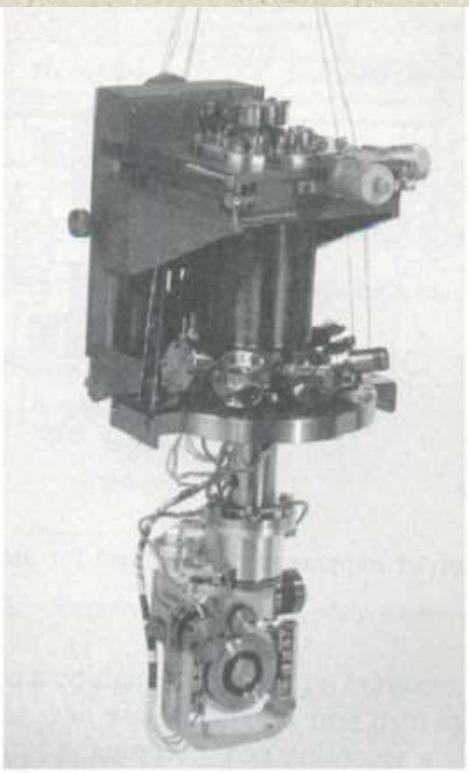


FIG 43-1. A goniometer using three stepping motors.

شکل ۴-۴۵

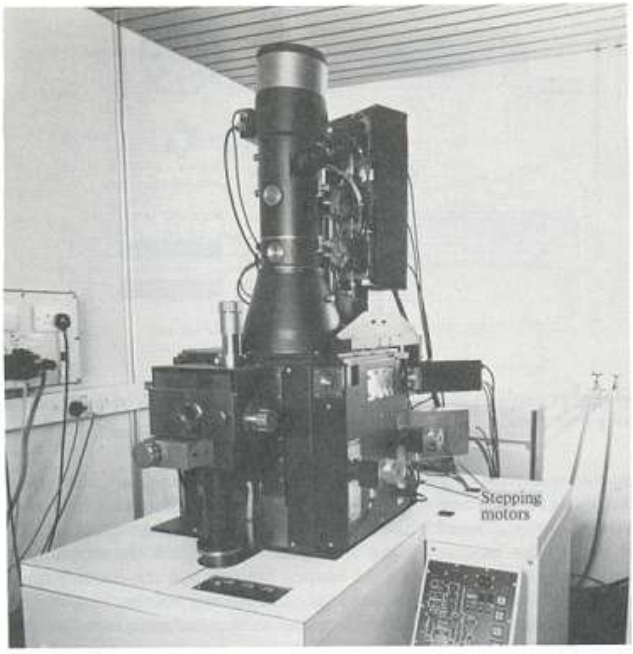


FIG. 43-2 Electron-beam microfabricator (Courtesy of Cambridge Instruments.)

شکل ۴-۴۶

برای دریافت فایل wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

در جدول ۳ فهرستی از کاربردهای موتورهای پله ای را در صنعت مشاهده می کنیم:

جدول ۳-۴

Machine Tool

Application	Use
Milling Machines	X-Y-Z table positioning
Drilling Machines	X-Y table positioning
Grinding Machines	downfeed grinding wheel
Grinding Machines	automatic wheel dressing
Electron Beam Welder	X-Y-Z positioning
Laser Cutting	X-Y-Z positioning
Lathes	X-Y positioning
Sewing	X-Y table positioning

Business Machines

Application	Use
Card Reader	position cards
Copy Machine	paper feed
Banking Systems	credit card positioning
Banking Systems	paper feed
Typewriters (automatic)	head positioning
Typewriters (automatic)	paper feed
Copy Machine	lens positioning
Card Sorter	route card flow

Process Control

Application	Use
Carburetor Adjusting	air-fuel mixture adjust
Valve Control	fluid gas metering
Conveyor	main drive
In-Process Gaging	parts positioning
Assembly Lines	parts positioning
Silicon Processing	I. C. wafer slicing
I. C. Bonding	chip positioning
Laser Trimming	X-Y positioning
Liquid Gasket Dispensing	valve cover positioning
Mail Handling Systems	feeding and positioning

Computer Peripherals

Application	Use
Floppy Disc	position magnetic pickup
Printer	carriage drive
Printer	rotate character wheel
Printer	paper feed
Printer	ribbon wind/rewind
Printer	position matrix print head
Tape Reader	index tape
Plotter	X-Y-Z positioning
Plotter	paper feed

Table 3.stepper motor applications

۱۰-یک مثال عملی در مورد نصب موتور پله ای از شرکتsherline

در اینجا مراحل نصب موتورهای پله ای بر روی دستگاهای cnc شرکتsherlineسازنده انواع فرزو تراش cncرا بررسی می کنیم:

در مرحله اول باید بلوک را بر روی بستر به دقت نصب نمود در شکلهای ۴۴و۴۵ طریقه نصب بلوکهای مستطیلی وگرد را مشاهده می کنیم.

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

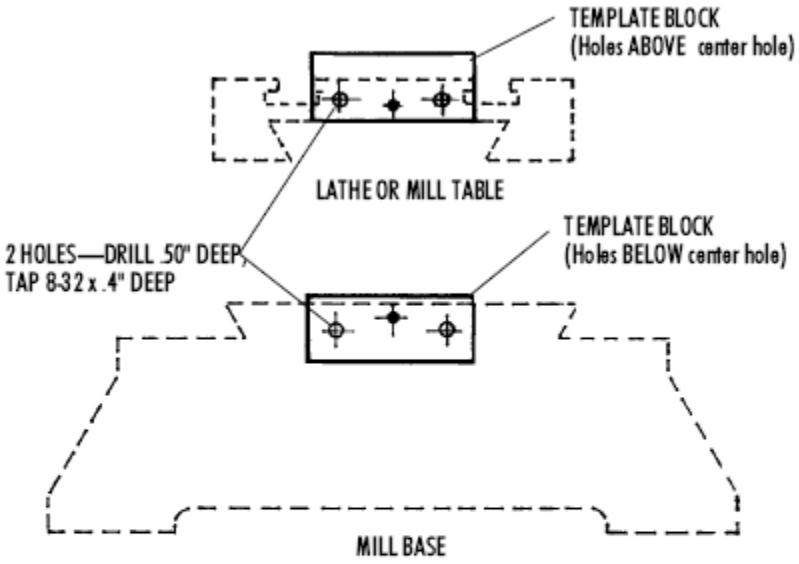


FIGURE 44. The rectangular block is used for the lathe and mill tables as well as the mill base. On the tables, the two new drilled holes are ABOVE the existing center hole, while on the mill base, the two new holes go BELOW the center hole as shown in the drawings above. Note that on mills made after 2002 these holes may already be in place.

شکل ۴-۴۷

WikiPower.ir

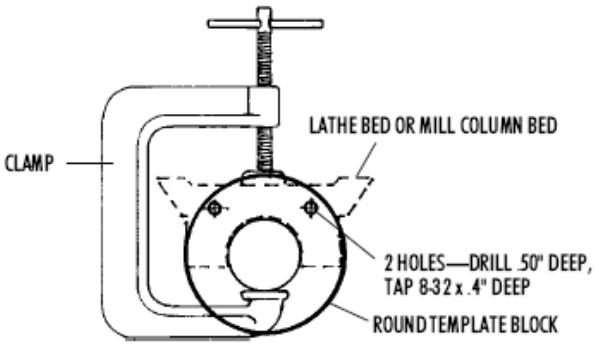


FIGURE 45. The round center of the template block registers in the center portion of the column bed. Rotate the template until the holes are level and clamp in place while starting holes.

شکل ۴-۴۸

برای دریافت فایل wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

مرحله بعد نصب وسوار کردن موتور پله ای بر روی دستگاه می باشد.در این مرحله بایدپیش بار وارده بر مهره وپیچ ball screwبه دقت مد نظر باشد.سپس موتور را بر روی محور ها می لغزانند ودر محل مورد نظر در جای خود بر روی کوپل قرار می دهند که معمولاً با یک فشار بر روی موتور ،موتور جا می رود. این کار برای سه محور X,Y,Z انجام می گیرد.مرحله بعد محکم کردن وآچار کشی می باشد.شکلهای ۴۶و۴۷ موتورمونتاژ شده را برروی میز نشان می دهد.

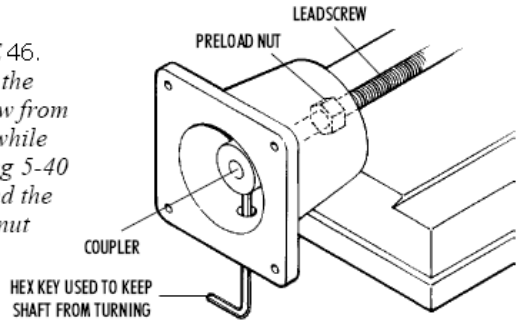


FIGURE 46. Keeping the leadscrew from turning while tightening 5-40 screw and the preload nut

شکل ۴-۴۹

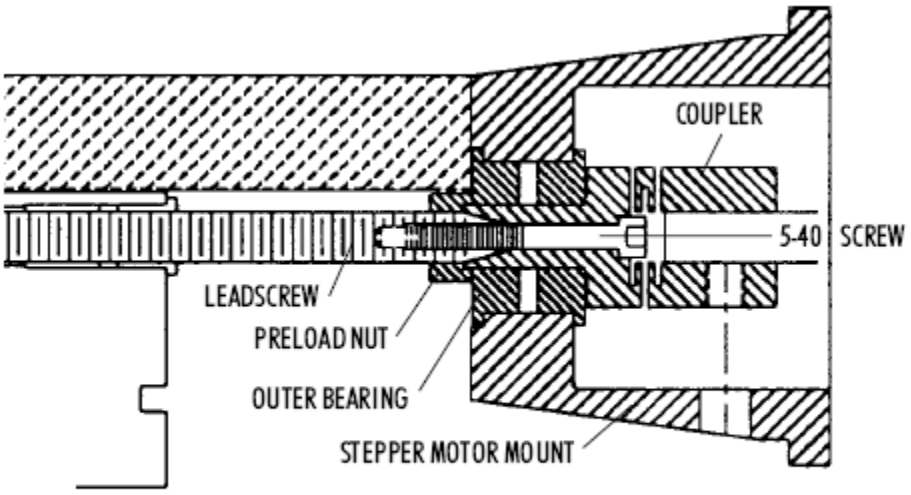
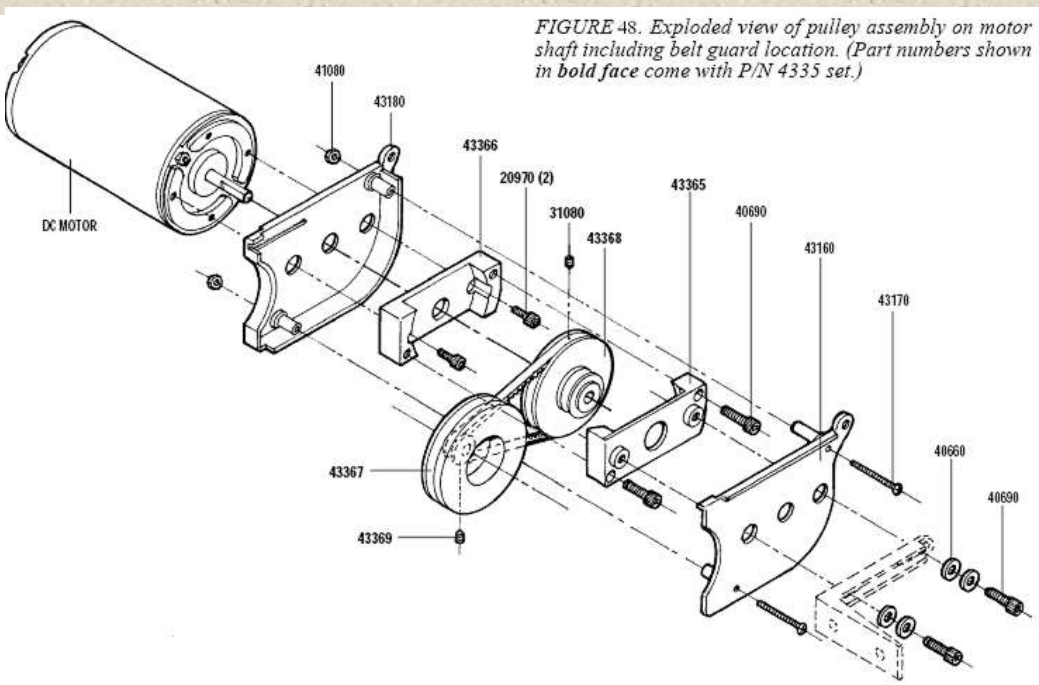


FIGURE47. A cross-section of the stepper motor mount shows how the coupler is attached to the leadscrew.

شکل ۴-۵۰

مرحله آخر قابل ذکر مرحله تنظیم وتعدیل می باشد.لازم به ذکر است منبع این مطالب سایت شرکت مذکور به نشانی www.sherline.comمی باشدونویسنده مطالب joe martin می باشد. در پایان نمونه دمونتاژ از موتور پله ای را بر روی شافت اصلی مشاهده می کنیم.

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه



شکل ۴-۵۱

WikiPower.ir

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

فصل پنجم

موتورهای خطی

توضیح موتورهای خطی

WikiPower.ir

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

در دوره ماشین کاری اتوماتیک امروز تمایلات زیادی برای کنترل حرکت خطی و کاربردهای زیادی از حرکت بوجود امده است . از حرکات ساده رفت وبرگشتی گرفته تا حرکات پیچیده مستقیم الخط ماشین های چند محوره در دو بعد یا سه بعد.

طراحان سیستمها انتخابات زیادی در بکار بردن محرکهای خطی مستقل در محورهای حرکتی دارند.

در بعضی اوقات موتورهای دورانی معمولی برای تبدیل حرکت دورانی به خطی در مکانیزمها استفاده می شود.

ارزیابی زیادی در این زمینه انجام شده است که تبدیل حرکت دورانی به خطی باعث افزایش اینرسی ،اصطکاک وایجاد لقی و سایش می شود .

به عبارت دیگر موتورهای خطی این امکان را می دهد که علاوه بر افزایش زیبایی طرح ،حرکت خطی را به طور مستقیم و با حذف کردن نیاز به تبدیل حرکت دورانی به خطی نظیر lead screw ، Belt screw، rack and pinion انجام دهد.

در این قسمت یکی از انواع پر کاربرد موتورهای خطی نظیر PM synchronous brushless servo را مورد بحث قرار می دهیم.

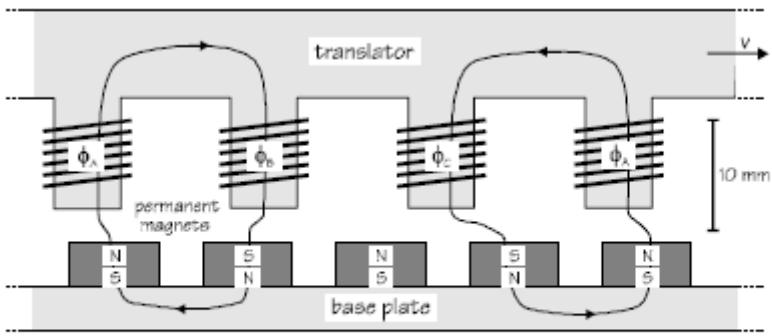


Fig. 1. Working principle of a (three-phase) synchronous permanent-magnet linear motor.

شکل ۵-۱

در این موتورها با استفاده از یک جریان سه فاز که بر سر سه سیم پیچ TRANSLATOR متصل است یکسری عملیات جذب و دفع بین قطبها و مغناطیس دائم انجام می شودکه در نتیجه باعث ایجاد یک حرکت خطی در TRANSLATOR می شود.

علاوه بر نیروی محوری دیگر نیروهای ایجاد شده در موتور PM سنکرونی توسط دو پدیده فیزیکی زیر انجام می شود.

۱- نیروی ترمز(DETENT) :

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

در حقیقت TRNSLATOR موتور از یک سیم پیچ با هسته اهنی تشگیل شده است .نیروی جاذبه بین مغنایس دائم و هسته اهنی باعث ایجاد نیرو در جهت حرکت خواهد شد .این نیرو به موقعیت نسبی سیم پیچ موتور با مغناطیس دائم بستگی دارد و هنگامیکه هیچ جریانی در سیم پچها وجود نداشته باشد همواره وجود دارد.

۲-نیروی مقاومت مغناطیسی (RELUCTANCE):

هنگامیکه موقعیت TRANSLATOR تغییر می کند نیروی القایی درون سیم پیچ تغییر می کند و هنگامیکه جریان در درون سیم پیچ ها ایجاد می شود باعث ایجاد نیروی وابسته به موقعیت در مسیر حرکت می شود.

در واقع تمام این نیروها از ساختار مغناطیسی موتور تاثیر می پذیرند . و در حقیقت و به صورت ایده ال نیروی محوری مستقل از موقعیت خواهد بود .

نیروی ترمز و نیروی مقاومت مغناطیسی با همدیگر باعث یک موقعیت گیری نامطلوب در سیستم می شود و نیروی نامطلوب RIPPLE را ایجاد میکند.

از بین بردن نیروی RIPPLE:

با یک طراحی مناسب و شناخت چیدمان فاصله ای در مغناطیس دائم و نحوه چیدمان مناسب سیم پیچها و با نحوه صحیح توزیع جریان در موتور می توانیم نیروی RIPPLE را کاهش دهیم .

اگرچه برای کاهش قیمت تمام شده نمی توان تلرانس مغناطیس دائم را بسته و کوچک در نظر گرفت ولی با استفاده از روشهای زیر می توان به جبران نیروی RIPPLE امید داشت

۱- استفاده از هسته غیر اهنی به جای هسته اهنی در سیم پیچ TRANSLATOR

۲- منحرف کردن مغناطیس استاتور نسبت به مسیر حرکت TRANSLATOR

ولی متاسفانه با استفاده از این دو روش بازدهی موتور و نیروی ماکزیمم خروجی کاهش خواهد یافت.

البته میتوان نیروی RIPPLE را در قسمت FEED BACK با اصلاح جریان FEED با ارزیابی روی خطEMF برگشتی کنترل کرد . مزیت این نوع کنترل ان است که دقت موقعیت یابی بهتری خواهیم داشت و هیچ گونه تلفاتی در ماکزیمم نیرو و بازدهی موتور نداریم .

یکی از روشهای دیگر برای از بین بردن نیروی RIPPLE استفاده از کنترل FEED FORWARD یا سازگار خواهد بود . در این روش دیگر نیازی به اندازه گیری EMF برگشتی نخواهیم داشت و می توانیم اثرات نا مطلوبی را که بر موتور در هنگام کنترل داریم از بین ببریم.

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

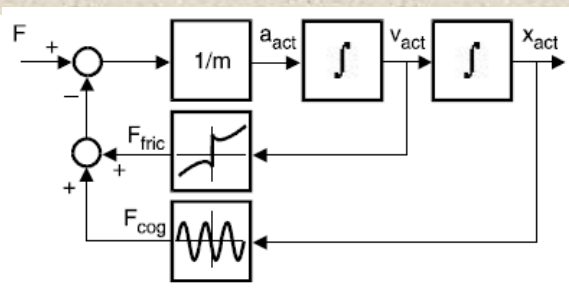


Fig. 2. Nonlinear block diagram model of the linear motor.

شکل ۵-۲

شکل ۲ نشان دهنده یک مدل دیاگرامی غیر خطی برای یک موتور خطی می باشد این مدل غیر خطی برای شروع طراحی کنترلر مناسب خواهد بود که شامل دو بلوک غیر خطی زیر خواهد بود

۱- اصطکاک که توسط ترکیب اصطکاک کلمب و اصطکاک ویسکوز و اثر STRIBECK ایجاد شده است.

۲- نیروی RIPPLE که توسط فرایند سینوسی در نقطه اعمال بار توصیف شده است.

طراحی کنترلر:

سیستمهای سرو مکاترونیک صنعتی در بیشتر موارد توسط کنترلرهای نوع PD (PROPORTIONAL –PLUS-DERIVATIVE) که با کنترلهای FEED FORWARD ترکیب می شوند کنترل می شوند .برای عملکرد بهتر سیستم ،کنترلر FEED FORWARD با یک مدل کننده فرایند تجهیز می شود این مساله بیانگر این است که مدلسازی و شناسایی فرایند برای کنترل کردن مناسب ضروری خواهد بود . به عبارت دیگر شناسایی فرایند پیش نیازی برای کنترل مناسب خواهد بود در بعضی موارد دانش مربوط به فرایند کنترل شونده برای طراحی کنترل کافی نیست در چنین مواردی به طور مثال اغتشاشات اصلی ،نیروی اصطکاک ،نیروی RIPPLE از لحاظ کمی شناخته شده نیست و به همین دلیل جبران ان بسیار سخت خواهد بود به همین علت از کنترلهای LEARNING مطابق شکل زیر استفاده می شود.

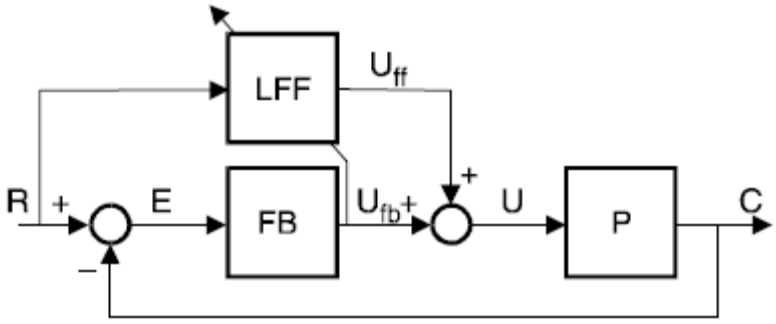


Fig. 3. Learning feedforward controller.

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

شکل ۵-۳

که شامل قسمتهای زیر می باشد

۱-اجزائ FEED BACK: که بر اساس مدلسازی فرایند موجود طراحی شده و هدف ان ایجاد یک سیستم کنترلی با پایداری بالاست.

۲-اجزائ LEARNING مجزا که برای بدست اوردن دانش فرایند که به طور کمی در قسمت طراحی FEED BACK حساب نشده تجهیز شده است.

لغات فنی موجود در موتورهای خطی به صورت زیر می باشد:

۱- شتاب: برابر است با تغییرات سرعت در واحد زمان

۲- زمان شتاب: به زمانی اطلاق می شود که درایو نیاز دارد تا از سرعت اولیه به سرعت ماکزیمم در خواستی برسد.

۳- عدم دقت: به انحراف بین نقطه هدف و نقطه واقعی گویند . این انحرافات خطی و سیستماتیکی بوسیله خطای کسینوسی و انحرافات زاویه ای و خطای انبساط حرارتی ایجاد می شود.

۴- نیروی جاذبه (Fa) :این نیرو بین قطعات اولیه و ثانویه در موتورهای خطی هسته اهنی بوجود می اید که توسط راهنما کنترل می شود.

۵- EMF برگشتی: در واقع نسبت بین ولتاژ EMF برگشتی به سرعت دورانی موتور خواهد بود در حقیقت EMF برگشتی یک نیروی الکترومعناطیس است که در حرکت سیم پیچ ها در درون میدان مغناطیسی در یک میدان مغناطیسی ثابت ایجاد می شود مثلا در سرو موتورها

۶- گشتاور پیوسته - نیروی پیوسته: در واقع همان گشتاور و نیروی نامی خواهد بود که در یک عملیات پیوسته و در یک سیکل کامل ایجاد خواهد شد

۷- جریان پیوسته: این جریان ،جریانی است که در بیشتر زمانها بر روی موتور ایجاد خواهد شد .ماکزیمم جریان مجاز برای هر سیم پیچ به جریان نامی شناخته می شود . این مشخصه هنگامی خود را نشان می دهد که مقدار حرارت به حدود ۸۰ درجه سانتیگراد برسد.

۸- گریز از مرکزی: به انحراف بین نقطه مرکز دوران میز دوار از نقطه واقعی در طول چرخش گویند که در واقع به سنتر بودن وتلرانس یاناقانها بستگی دارد.

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

۹- نیرو-گشتاور : نیرو در حرکت خطی یا گشتاور در حرکت دورانی برای یک شرایط تعریف شده مشخص می شود به طور مثال نیرو و گشتاور پیوسته در دمای ۲۰ درجه یا نیرو و گشتاور پیوسته در دمای ۸۰ درجه یا به صورت پیک گشتاور یا پیک نیرو تعریف می شود.

۱۰-ثابت نیرو (kf) : یکی از خصوصیت سیم پیچهاست و نیروی خارجی موتور را با ضرب کردن ثابت نیرو در جریان ورودی موتورهای خطی بدست می اورند

۱۱-انحراف راهنماها: این انحرافات به عدم مستقیم بودن افقی و قائم راهنماها بستگی دارد

۱۲-ثابت موتور(km) :در واقع همان نسبت نیروی خارجی موتور به نیروی ورودی ان است که تحت نام بازدهی موتور خطی هم شناخته می شود.

۱۳-پیک جریان (IP): همان جریانی است که در سیم پیچها برای مدت کوتاهی ایجاد می شود و باعث پیک گشتاور می شود برای موتورهای هسته اهنی این مقدار ۲ برابر مقدار مجاز جریان پیوسته و برای نوع بدون هسته این مقدار ۳ برابر جریان پیوسته خواهد بود ماکزیمم زمان برای پیک جریان ۱ ثانیه خواهد بود و بعد از ان موتور تا رسیدن به دمای نامی خنک می شود تا پیک جریان بعدی دوباره اتفاق بیفتد

۱۴-RESOLUTION:کمترین مسافتی است که سیستم موقعیت یاب می تواند ردیابی کند در موتور های خطی مقدار STEP SIZE بزرگتر از RESOLUTION خواهد بود

۱۵-STEP SIZE:کمترین مسافت طی شده در سیستم خطی است که به انکودر و امپیلی فایر و ساختار مکانیکی سیستم بستگی دارد.

۱۶-سفتی: مقاومت مکانیکی در برابر تغییر شکل قطعات در برابر نیروی استاتیکی خارجی (سفتی استاتیکی) ویا مقاومت الاستیکی در برابر تغییر شکل قطعات در برابر بار دینامیکی خارجی است(سفتی دینامیکی)

۱۷-مقاومت سیم پیچ(R25): یکی از خصوصیات کویلهاست که در دمای ۲۰ درجه و ۸۰ درجه تعریف می شود.

۱۸-دمای سیم پیچ(TMAX): دمای واقعی سیم پیچ خواهد بود که به نوع نصب و نحوه شرایط خنک سازی و شرایط کارکرد موتور بستگی دارد.

۱۹-لنگی موتور: این اصطلاح برای موتورهای دورانی استفاده می شود و برابر مقدار انحراف زاویه ای محور دوران از مقدار تئوری ان خواهد بود و به تلرانس یاتاقان بستگی دارد.

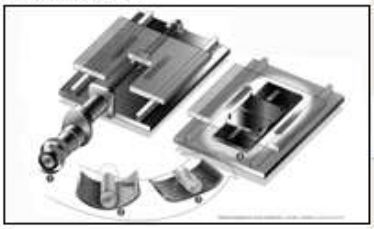
یک موتور خطی می تواند به صورت ذهنی یک موتور دورانی باشد که به صورت flat درا مده است. همان تکنولوژی اساسی که در موتورهای دورانی برای تولید گشتاور استفاده شده است در موتورهای خطی برای تولید نیرو استفاده می شود.

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

به طور مثال انوای موتورهای خطی عبارتست از موتورهای خطی dc ذغالی ،موتورهای خطی القایی،موتورهای خطی PM بدون ذغال،موتورهای خطی استپر PM

در صنعت واژه موتورهای خطی به قسمت الکترو مغناطیس اولیه وثانویه اطلاق می شود نه الزاما به اعضا یک سیستم نظیر یاتاقان خطی و فیدبکها

Figure 1
Linear Motor



شکل ۵-۴

انتخاب تکنولوژی موتورهای خطی:

جدول ۱ انواع مختلف موتورهای خطی را با هم مقایسه می کند.

جدول ۵-۱

Type	Force Density	Response	Speed	Magnets	Other
Induction	moderate	moderate	high	none	heat generation in platen
Stepper	low	resonance prone	low	none exposed	open loop capability
PMDC Brush	good	excellent	moderate	none exposed	brush wear
PM Brushless	excellent	excellent	high	exposed	

موتورهای خطی القایی بیشتر در سرعتهای بالا وجاهاییکه نیرو به طور متوسط مورد نیاز است استفاده می شود .

این واقعیت که این نوع موتورها از یک مغناطیس دائمی استفاده نمی کنند باعث می شود که در جاهاییکه نیروی ماکزیممی نیاز نیست استفاده شود و به این گونه در هزینه موتور صرفه جویی می شود عدم وجود مغناطیس دارای یکسری مزایا می باشد از قبیل اینکه میدان مغناطیس قوی در بعضی جاها باعث بروز اشکال می شود به طور مثال موتورهای القایی علاوه بر استاتور در روتور ایجاد حرارت می کنند که باعث اشکال در پایداری حرارتی ابعادی ماشین کاری میشود.

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

در نقطه مقابل ،موتورهای استپر PM خطی بدون feed back عمل کرده و در هزینه ها صرفه جویی می شود .اگرچه در این موتورها از یک مغناطیس دائم استفاده می شود ولی چون دارای حفاظ هستند می توانند مزایایی برای کار داشته باشند .

استپر موتورهای خطی تمایل به حالت تشدید دارند و در سرعتهای بالا نیروی گشتاور در انها افت می کند.

موتورهای خطی ذغالی PM عملکرد servo خوبی دارند و نیروی بالایی ایجاد می کنند و دارای دو نوع اتصال سیمی ساده هستند.. مغناطیس ها بدون حفاظ نیستند ولی ذغالهای استفاده شده برای کموتاسیون یکسری محدودیت برای سرعتهای موتور ایجاد کرده و باعث سایش موتور و همچنین باعث الودگی می شود.

با کموتاسیون موتورهای سینوسی ،موتورهای بدون ذغال PM خطی روانی بیشتری از لحاظ کارکرد دارند.

WikiPower.ir

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

منابع:

[1] T. Sashida, T. Kenjo,” **An Introduction to Ultrasonic Motors”**, Clarendon Press, Oxford, UK, 1993, pp. 17–24.

[2] K. Uchino, **“Piezoelectric Actuators and Ultrasonic Motors”**, Kluwer Academic Publishers, Boston, USA, 1997, pp. 265–273.

[3] T. Hemsel, M. Mracek, J. Twiefel, P. Vasiljev, **“Piezoelectric linear motor concepts based on coupling of longitudinal vibrations”**, Ultrasonics 44 (2006) e591–e596.

[4] H.V. Barth, **“Ultrasonic drivenmotor, IBM Techn”**. Disclosure Bull. 16 (1973) 2263.

[5] K. Uchino, S. Cagatay, B. Koc, S. Dong, P. Bouchilloux, M. Strauss, **“Micro piezoelectric ultrasonic motors”**, J. Electroceram. 13 (2004) 393–401.

[6] Hor PJ, Zhu ZQ, Howe D, **“Rees-Jones J. Minimization of cogging force in a linear permanent-magnet motor”**. IEEE Trans Magn 1998;34(5): 3544–7.

[7] Jeans CG, Cruise RJ, Landy CF. **“Methods of detent force reduction in linear synchronous motors”**. In: Proceedings of electric machines and drives. Washington, USA; 1999. p. 437–9

[8] Leonnard W**. “Microcomputer control of high dynamic performance ac drivesÐa survey”**. Automatica 1986;22:1Ð19.

[9] Utkin VI**.” Sliding mode in control and optimization”**. Berlin: Springer, 1992.

[10] Utkin VI. **“Sliding mode control design principles and applications to electric drives”.** IEEE Transactions on Industry Electronics 1993;40:23Ð36.

[11] Wang L. **“Adaptive fuzzy systems and control: design and stability analysis”**. Englewood Cliffs, NJ:Prentice-Hall; 1994.

[12] Galvan E, Torralba A, Franquelo LG. **“ASIC implementation of a digital tachometer with high precision in a wide speed range”**. IEEE Trans Ind Electron 1996;43(6):655–61.

[13] Lorenz R, Van Patten K**.”High-resolution velocity estimation for all digital, ac servo drives”**. IEEE Trans Ind Appl 1991;27(4):701–5.

[14] Bodson M, Chiasson J, Novotnak R. **“Nonlinear speed observer for high-performance induction motor control”**. IEEE Trans Ind Electron 1995;44(4):337–43.

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

[15] Brown R, Schneider S, Mulligan M.” **Analysis of algorithms for velocity estimation from discrete position versus time data”.** IEEE Trans Ind Electron 1992;39(1):11–9.

[16] Belanger PR, Dobrovolny P, Helmy A, Zhang X. **“Estimation of angular velocity and acceleration from shaft-encoder measurements”**. Int J Robotics Res 1998;17(11):1225–33.

WikiPower.ir