موتورهای پله ای

مقدمه :

کنترل موقعیت و کنترل سرعت دو خواسته مهم در استفاده از موتورهای الکتریکی در سیستم‌های کنترل است. موتورهای جریان مستقیم (DC) و تا حدی موتورهای القائی دو نوع موتور معمول برای دستیابی به کنترل سرعت و موقعیت هستند.
اما در موقعیت‌هایی که کنترل مکان با دقت بسیار بالا و یا کنترل موتور از طریق رایانه و میکروکنترلرها مدنظر می‌باشد، انتخاب موتور پله‌ای تنها انتخاب بهینه است. به همین دلیل است که موتورهای پله‌ای در سیستم‌های خودکار صنعتی نظیر ماشین‌های CNC، پردازش‌های لیزری یا کارخانه‌جات سازنده نیمه هادی برای پردازش و تولید ویفر، انتقال و برش آنها، اتصالات آی‌سی‌ها (IC) و در تجهیزات پزشکی مثل پمپ‌های خون، سانتریفیوژها، اسپکتوگراف‌ها و در تجهیزات اداری شامل فتوکپی‌ها، دورنگارها، چاپگرها و در تجهیزات اندازه‌گیری مثل دستگاه‌های CMM و اندازه‌گیری‌های میکرونی به کار گرفته می‌شوند، که در قسمت کاربردهای موتورهای پله‌ای شرح مفصلی از موارد استفاده این موتورها در صنعت داده خواهد شد.
علی رغم کاربردهای فراوان این نوع از موتورها که نمونه‌هایی از آنها در بالا بیان شد، این موتورها معایبی نیز دارند که از آن جمله می توان به سرعت پایین آنها اشاره کرد. سرعت این نوع از موتورها نمی‌تواند از فرکانس مشخصی که توسط سازندگان موتور برای هر موتور تعیین می‌گردد بیشتر شود. عیب دیگر این نوع موتورها لرزش ناشی از حرکت منقطع موتور است که در برخی سیستم‌های مکانیکی ایجاد اشکال می‌کند.

بخش اول : مفاهیم و ویژگی‌ها

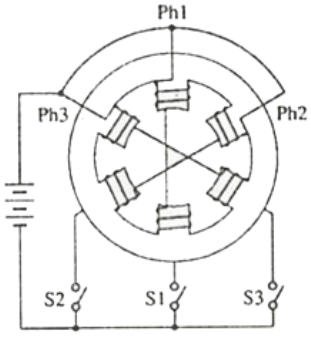
۱-۱) مفاهیم و اصطلاحات

قطب: به هر یک از برجستگی های استاتور یک قطب گفته می‌شود.

فاز : روی قطب های استاتور سیم پیچی وجود دارد که به هر دسته از سیم پیچ هایی که با هم سری یا موازی شده اند, یک فاز می گویند. تعداد معمول فازهای موتورهای رلوکتانس متغیر۳ ،٤ و۵ فاز می باشد ، وتعداد فازهای معمول موتور هیبرید، دو فاز است ولی انواع ۳و۵ فاز نیز وجود دارد .

زاویه پله: یک زاویه ثابت که به ازای هر پالس اعمالی به استاتور، روتور به اندازه آن زاویه‌ی ثابت می‌چرخد که به آن زاویه پله گویند. اگر تعداد پله بر دور را s و زاویه پله را θ_s بنامیم، آنگاه داریم:

$$\theta_s = \frac{360}{s}$$



در شکل بالا یک برش مقطعی از یک موتور رلوکتانس متغیر ٦ قطب که سیم پیچی های قطب های روبرو با هم سری شده اند و تشکیل یک فاز را داده اند می بینیم.

۱-۲) ویژگی‌های موتورهای پله‌ای

۱ـ زاویه پله کوچک و چگونگی دستیابی به آن:

یک موتور پله‌ای با یک زاویه ثابت به ازای هر پالس می‌چرخد. همانطور که در بخش قبل توضیح داده شد، مقدار نامی آنرا زاویه پله یا طول پله گویند و بر حسب درجه بیان می شود. کاهش زاویه پله دقت تعیین موقعیت[۱] را افزایش می‌دهد. یک ویژگی موتور پله آن است که می‌تواند یک زاویه پله کوچک را تحقق بخشد. این کار با استفاده از فرمولی که قبلا بیان شد، با افزایش پله بر دور s امکان پذیر است.

۲- گشتاور بازیابی و نگه دارنده بالا[۲] :

موتورهای پله ای به گونه ای طراحی شده اند که گشتاور استاتیکی بزرگی را تولید می کنند. این امر موجب می شود که موتور قادر به راه ندازی و توقف سریع و گشتاور بازیابی قوی به هنگام جابه جایی از موقعیت سکون ناشی از گشتاور بار باشد. برای این منظور باید تا حد امکان فاصله دندانه های روتور و استاتور کوچک طراحی شود.

۳- خطای موقعیت، جمع ناپذیر است:

در این موتورها حرکت موتور در هر لحظه به اینکه آیا در گذشته خطایی اتفاق افتاده ارتباطی ندارد و مقدار حرکت، تنها به میزان زاویه پله بستگی دارد. با توجه به مطالب گفته شده اگر در این موتورها خطایی نیز رخ دهد گشتاور نگهدارنده بالا باعث می‌شود در حالت دائمی موتور به حالت پایدار برسد. بنابراین خطا در این موتورها جمع ناپذیراست.

۴- عدم نیاز به فیدبک برای کنترل موقعیت یا سرعت:

در این موتورها برای کنترل سرعت و یا موقعیت نیاز به فیدبک نمی‌باشد. ما می‌توانیم با کنترل فرکانس سوئیچینگ یک کنترل سرعت و کنترل موقعیت دقیق داشته باشیم. بنابراین از این موتورها در سیستم‌هایی که فیدبک پیچیده‌ای دارند استفاده می‌کنیم.

۵- سازگاری با تجهیزات دیجیتال مدرن:

از دیگر ویژگی‌های این موتورها می‌توانیم به استفاده‌ی فراوان در تجهیزات مدرن امروزی اشاره کنیم. از دلایلی که می‌توانیم ذکر کنیم این است که در این موتورها به راحتی می‌توانیم حالت ۰ و ۱ که در تجهیزات دیجیتالی استفاده می‌شود را ایجاد کنیم. ما در این موتورها می‌توانیم حالتی را که به استاتور جریان می‌دهیم و روتور به اندازه‌ی زا ویه‌ی پله می‌چرخد را حالت ۱ در نظر بگیریم و حالتی که به استاتور جریان نمی‌دهیم را حالت ۰ در نظر بگیریم.

---

۱. resoiution of positioning

۲. restoring and holding torque

۶- ساختار ساده آن و قابلیت اعتماد بالای آن:

این موتورها دارای ساختار ساده ای هستند که باعث شده تجزیه و تحلیل آنها راحت باشد. با توجه به ویژگی هایی کـه بـرای این موتورها ذکر کردیم قابلیت اعتماد بالایی دارند و ما می توانیم در کارهایی که نیـاز بـه دقـت بـالا دارنـد از ایـن موتورهـا استفاده کنیم.

۱-۳) معایب موتورهای پله‌ای:

از معایب موتورهای پله‌ای می‌توانیم به کارایی نامناسب در سرعت‌های پایین، جریان مصرفی بالا، ایجاد لرزش در سرعت‌های پایین و تلفات کارایی حرارتی زیاد در سرعت‌های بالا و ایجاد تداخل در کارایی موتور، اشاره کنیم.

بخش دوم: انواع ساختارهای موتور پله‌ای

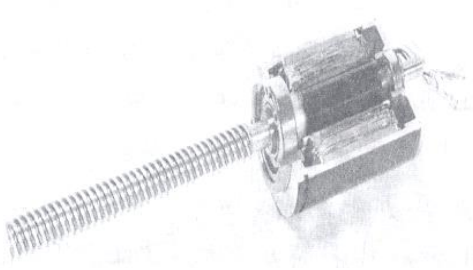
۲-۱) طبقه‌بندی موتورهای پله‌ای

در این بخش ما ساختار مختلف موتورهای پله‌ای را توضیح می‌دهیم. لازم به توضیح است که هریک از این ساختارها بر اساس نحوه‌ی کار این موتورها طبقه‌بندی شده‌اند.

- ✓ موتور پله‌ای رلوکتانس متغیر(Variable Reluctance)
- ✓ موتور پله‌ای مغناطیس دائم (Permanent magnet)
- ✓ موتور پله‌ای هیبرید **(**Hybrid**)**

۲-۲) موتور رلوکتانس متغیر:

موتور پله‌ای رلوکتانس متغیر[۱] یا به طور اختصار (VR) به عنوان ابتدایی‌ترین نوع موتور پله‌ای مطرح می‌شود. ساختار داخلی یک موتور VR در شکل۲,۹ آمده است و مقطع عرضی آن در شکل ۲,۱۰ آمده است. این موتور سه فاز دارای ۶ قطب استاتور است. هر دو دندانه متقابل استاتور، از یکدیگر ۱۸۰ درجه فاصله دارند دارای یک فاز می‌باشد، به این معنی که کلاف‌های هر دندانه متقابل به صورت سری یا موازی متصل شده‌اند که در این مورد به صورت سری متصل شده‌اند.

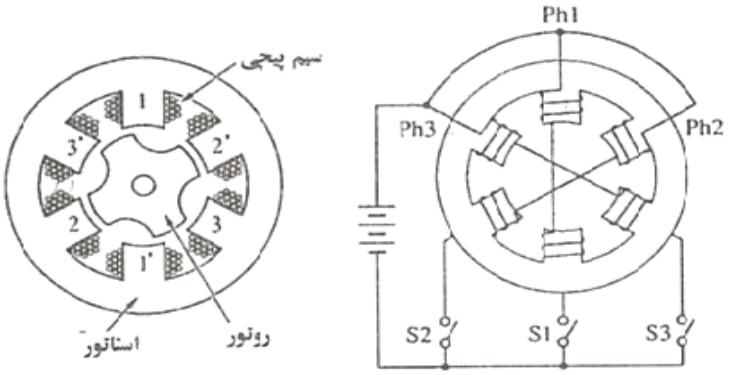


شکل ۱-۱- مقطع عرضی یک موتور VR تک پشته‌ای

هسته روتور و استاتور معمولاً از فولاد سیلیکون مورق ساخته شده‌اند اما از روتورهای فولاد سیلیکونی توپر نیز زیاد استفاده می‌شود.ود.

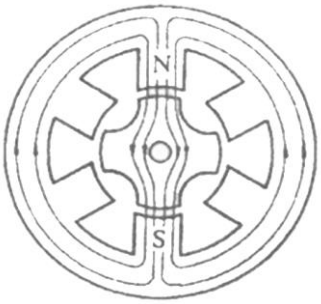
۱. Variable-Reluctance

هر دو مواد استاتور و روتور بایستی قابلیت نفوذپذیری بالایی داشته باشند و قادر به عبور شار مغناطیسی زیادی حتی در صورت اعمال نیروی محرکه مغناطیسی کم باشند.



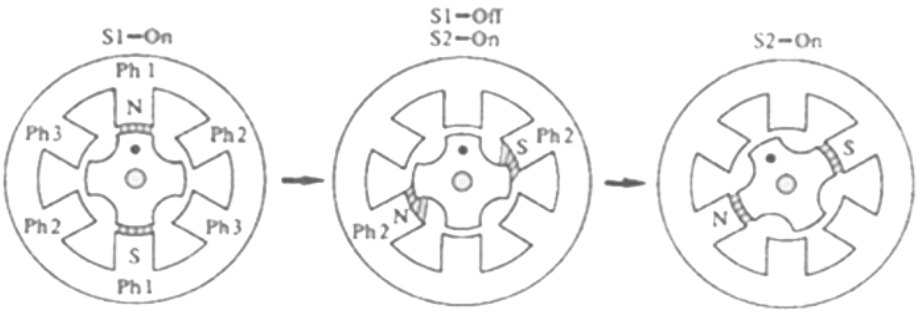
شکل ۱- ۲- مقطع عرضی مدل موتور پله‌ای VR سه فاز و ترتیب سیم‌پیچی

همانطوری که در شکل نیز مشخص است جریان هر فاز توسط کلیدها کنترل می‌شود. حال اگر به فاز ۱، جریان اعمال شود شاری به وجود می‌آید که این شار تمایل به عبور از کمترین فاصله هوایی دارد بنابراین یک گشتاور به وجود می‌آورد. این گشتاور روتور را در جهتی به حرکت در می‌آورد که شار از کمترین فاصله‌ی هوایی عبور کند و موجب همردیف شدن دندانه‌ی روتور و استاتور می‌شود.



شکل ۱- ۳- شار بوجود آمده ناشی از جریان فاز یک

حال اگر فاز ۱ خاموش و جریان به فاز ۲ اعمال شود دوباره گشتاور جدید وجود می‌آید و منجر به حرکت مجدد روتور می‌شود و میزان چرخش روتور به اندازه‌ی زاویه‌ی پله می‌باشد.



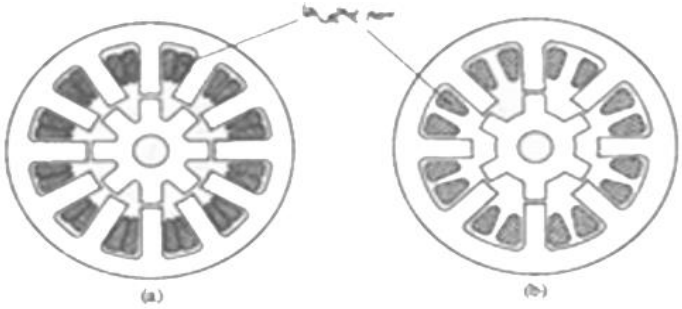
شکل ۱- ۴- اعمال جریان به فازهای ۱ و ۲

دقت کنید که اگر جهت سوئیچ کردن عوض شود جهت حرکت روتور نیز عوض خواهد شد.

۲-۳) ویژگی ساختاری موتورهای پله‌ای

فاصله هوایی تا حد امکان کوچک باشد: فاصله هوایی بین دندانه‌های روتور و دندانه‌های استاتور در یک موتور پله‌ای 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.

افزایش دندانه‌های روتور به منظور کاهش زاویه پله : یکی دیگر از ویژگی‌های منحصر به فرد موتور پله‌ای امکان تحقق یک زاویه پله کوچک است. همانطور که در شکل زیر مشخص است به منظور کاهش زاویه پله بایستی تعداد دندانه‌های روتور(Nr) را افزایش داد که با کاهش زاویه‌ی پله دقت موتور بالا خواهد رفت.



نمای مقطع عرضی موتور VR با زاویه°۱۵ نمای مقطع عرضی موتور VR با زاویه°۷,۵

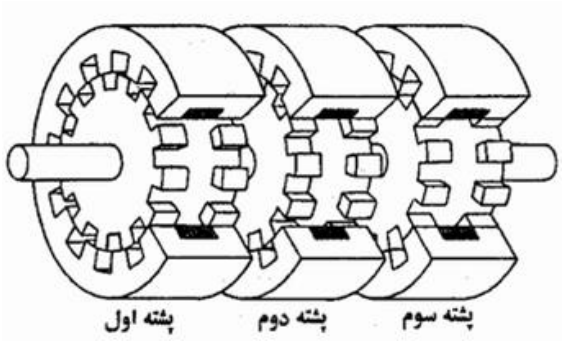
شکل ۱- ۵- نمای مقطع عرضی موتور VR با زوایای مختلف

۲-۴) انواع موتور VR (پشته‌ای)

۱- تک پشته‌ای [۱]

۲- چند پشته‌ای [۲]

موتورهایی که تا این جا معرفی شد از نوع تک پشته‌ای بودند، یکی از ویژگی‌های این نوع موتور آن است که ۳ یا ۴ فاز در یک پشته واحد قرار داده شده است (یعنی در صفحه واحد). نوع دیگر موتور پله VR نوع چند پشته‌ای[۳] یک نمای مقطعی از یک موتور سه پشته‌ای در شکل زیر نشان داده شده است. در این مدل هر پشته متناظر با یک فاز است و استاتور و رتو دارای گام دندانه یکسانی می‌باشند.

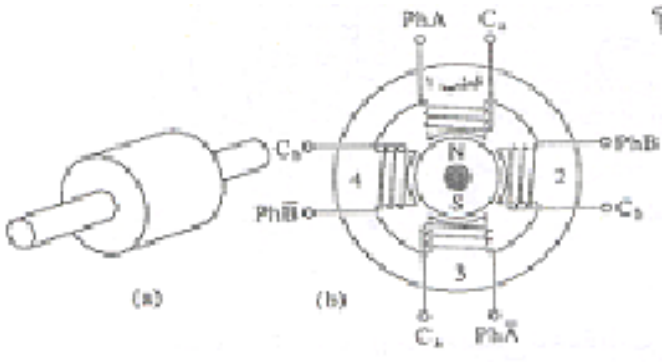


شکل ۱- ۶-نمایی از یک موتور چند پشته‌ای

فرض کنیم که فاز (پشته) سوم تحریک شده است و دندانه‌های روتور و استاتور در این فاز همردیف هستند. در فازها یا پشته-های دیگر در این لحظه، دندانه‌ها به اندازه ۱/۳ گام دندانه ناهمریف شده‌اند. جهت ناهمردیفی در پشته اول و دوم مخالف هم می‌باشد. اگر تحریک از فاز سوم به فاز اول سوئیچ شود روتور (از دید چپ) یک پله در جهت cw[۴] حرکت خواهد کرد. اما اگر تحریک به فاز دوم سوئیچ شود به اندازه یک زاویه در جهت ccw[۵] حرکت خواهد کرد.

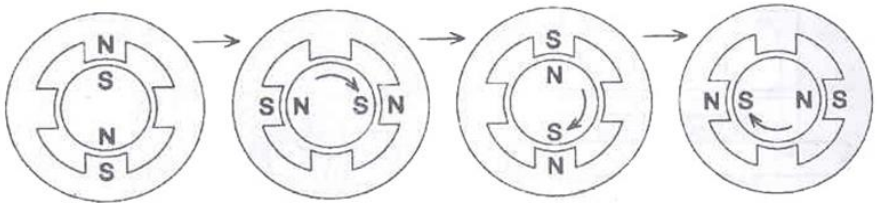
۲-۵)موتور پله ای PM

یک موتور پله‌ای با بهره‌گیری از یک آهنربای دائمی در روتور به نام موتور آهنربای دائمی PM [۱]خوانده می‌شود. استاتور این نوع از موتورها دارای قطب برجسته می‌باشد و روتور یک آهنربای دائمی استوانه‌ای شکل مشابه یک موتور سنکرون معمولی است. شکل زیر یک موتور PM که دارای چهار دندانه قطب در استاتور است را نشان می‌دهد این موتور از یک آهنربای دائمی استوانه‌ای شکل در روتور خود بهره می‌برد.



شکل ۱- ۷- یک موتور PM که دارای چهار دندانه قطب در استاتور a- روتور سیلندری b- هسته استاتور و سیم‌پیچی نمادین

نحوه‌ی کار موتور مغناطیس دائم به این صورت است که اگر ابتدا به فاز یک از سر A جریان بدهیم. قطب ۱ با توجه به عبور شار تبدیل به N و قطب ۳ تبدیل به S آهنربای مغناطیسی خواهد شد. بنابراین قطب ۱، قطب S روتور را جذب و قطب ۳، قطب N را جذب خواهد کرد. حال اگر به فاز ۲ از سر B جریان بدهیم، قطب۲ به N و قطب ۴ تبدیل به S خواهد شد. قطب ۲، قطب S روتور را جذب و قطب ۴، قطب N را جذب خواهد کرد و روتور به اندازه ی۹۰ درجه خواهد چرخید. در تکرار بعدی اگر دوباره به فاز یک، این بار از سر $\bar{A}$ جریان بدهیم قطب ۱ با توجه به عبور شار تبدیل به S و قطب ۳ تبدیل به N خواهد شد و قطب‌های مخالف آهنربا را جذب می‌کند. در این مرحله نیز روتور ۹۰ درجه دیگر می‌چرخد و این سیکل ادامه پیدا می-کند.



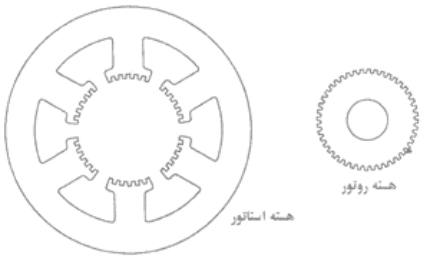
شکل ۱- ۸-نحوه چرخش موتور پله ای PM

۲-۶) موتور پله ای هیبرید [۲]

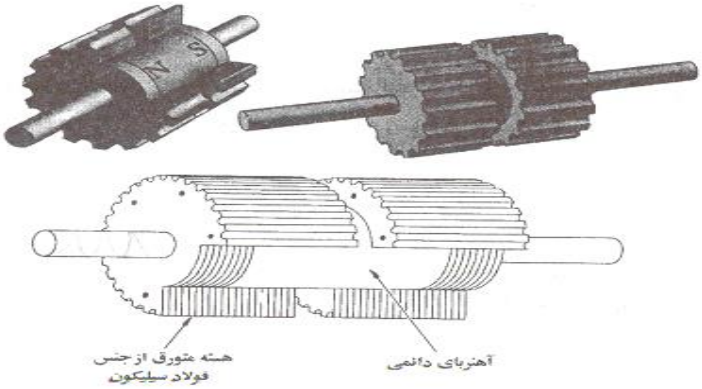
نوع دیگر موتور پله ای که از آهنربای دائمی در روتور خود بهره می برد موتور هیبرید است. هیبرید از این موضوع نشأت گرفته است که این موتور ترکیبی از اساس موتورهای آهنربای دائمی و رلوکتانس متغیر است. ساختار استاتور این موتورها مشابه استاتور موتورهای VR و موتورهای MP است.

---

۲ . Hybrid

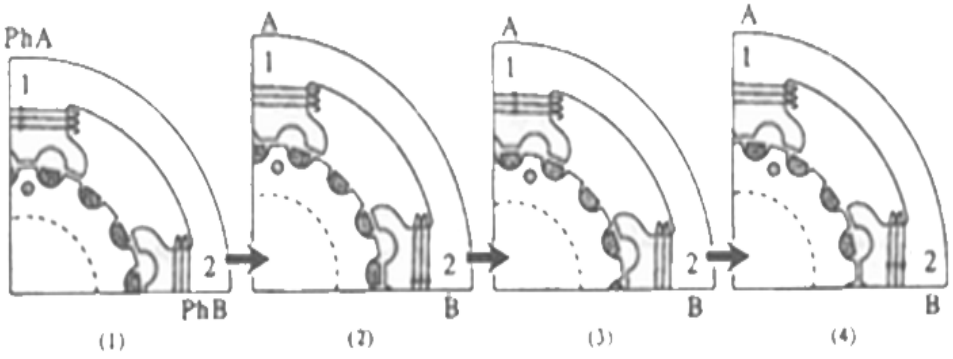


ویژگی مهم موتور هیبرید ساختار روتور آن می باشد . یک آهنربای استوانه ای در هسته ی روتور مطابق با شکل زیر قرار دارد که درجهت طولی مغناطیس شده است. هر یک از قطب های آهنربا با سرپوش های دندانه دار متحدالشکل از جنس فولاد نرم پوشیده شده است .سرپوش دندانه ها معمولاً از فولاد سیلیکون مورق ساخته می شود. دندانه های روی دو سرپوش نسبت به یکدیگر به اندازه گام نیم دندانه نا همردیف هستند.این نوع از موتورها بیشتر در دو نوع دو فاز وچهار فاز ساخته می شود. اصول کار این نوع از موتور ها ترکیبی از موتور اهنربای دائمی و رلوکتانس متغیر است.

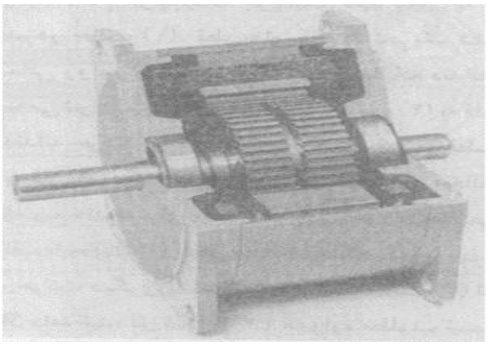


فرآیند گردش روتور به هنگام سوئیچینگ جریانهای سیم پیچی به این صورت است که اگر جریان به فاز یک از سر ورودی قطب۱ سوئیچ شود در این صورت شار ناشی از آهنربا و سوئیچ جریان ها در قطب ۱ هم را تقویت می کنند و دندانه ی روتور در مقابل قطب ۱ استاتور خواهد ایستاد. حال اگرجریان به فاز ۲ از سر

ورودی قطب۲ سوئیچ شود در این صورت شار ناشی از آهنربا و سوئیچ جریان ها در قطب ۲ هم را تقویت می کنند و دندانه ی روتور در مقابل قطب ۱ استاتور خواهد ایستاد به همین ترتیب سیکل ادامه می یابد. در این موتورها مانند موتورهای MP جهت جریان ورودی به فاز برای ما مهم است.



در شکل زیر پرکاربردترین موتور هیبرید که دارای ۲۰۰ پله بر دور ودارای ۸ قطب در استاتور است, نشان داده شده است. اگر هر جفت از قطب های روبروشامل یکفاز باشند, یک موتور چهار فاز را تشکیل می دهد.



۲-۷)چگونگی تشخیص نوع موتور بدون اعمال تغذیه:

با به حرکت در آوردن روتور به وسیله دست در صورت تولید صدا موتور ما از نوع مغناطیس دائم می‌باشد که علت آن وجود گشتاور نگه دارنده دائمی است که توسط آهنربای دائمی ایجاد می‌گردد و اگر حرکت روتور به نرمی و بدون صدا انجام پذیرفت موتور ما از نوع رلوکتانس متغیر است.

بخش سوم : موتورهای پله‌ای خاص

٤-۳) موتور پله ای خطی[1] :

موتور پله ای خطی به دو دسته طبقه بندی می شود :

(۱) موتور خطی PM **(۲) موتور خطی VR**

۵-۳) موتور پله‌ای تکفاز :

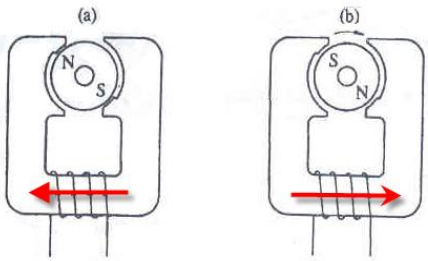
تا کنون تمامی موتورهایی که تشریح شدند موتورهای پله ای چند فازه بودند اما برخی از موتورهای پله ای برای کار با منابع تکفاز طراحی شده اند و به طور گسترده در ساعتهای مچی و رومیزی ، تایمرها و شمارنده ها به کار می رود. موتورهای پله ای تکفاز موجود از یک یا دو آهنربای دائمی استفاده می کنند. چون آهنربای ها دائمی واقعاً برای بالا بردن نسبت گشتاور به توان ورودی در یک موتور کوچک ضروری می باشند.در بحث موتورهای پله ای تکفاز باید دو چیز را مورد توجه قرار دهیم:

(۱)چگونه روتور را در موقعیت ثابتی به هنگام عدم تحریک کلاف متوقف کنیم.

(۲)چگونه روتور را در جهتی مطلوب با سوئیچینگ پلاریته مغناطیسی تنها یک کلاف بچرخانیم.

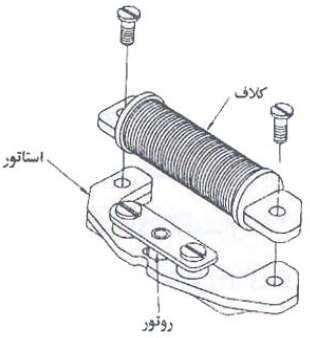
موتور نشان داده شده در شکل زیر یک موتور تکفاز پله ای است که درنوعی ابزار زمان سنجی به کار می رودو دارای یک آهنربای استوانه ای به عنوان روتور می باشد و این در حالی است که‌فاصله‌های هوایی در یک جهت باریکتر می شوند. روتور در شکل زیر چه در حالت(a)یا در حالت(b)به حالت سکون یا گیره می رسد.

[1] . linear [2] . rotating

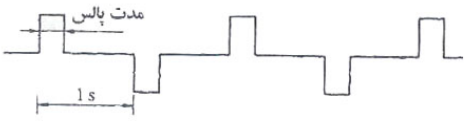


موقعیت‌های گیره و پلاریتهٔ کلاف برای چرخاندن موتور

در شکل زیر یک موتور به کار رفته در یک ساعت مچی نشان داده است.روتور یک دیسک آهنربایی از جنس کمیاب در زمین با قطر حدوداً ۱,۵ mm می باشد. همانطور که در شکل دیده می شود پهنای پالس به اندازه کوچک هشت میلی ثانیه می باشد, تا انرژی الکتریکی باتری کوچک داخل ساعت حفظ شود.



یک مونور پله‌ای تکفاز بکار رفته در یک ساعت مچی.

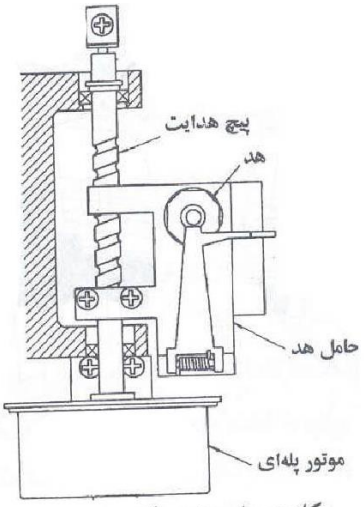


شکل موج ولتاژ اعمال شده به یک موتور پله‌ای ساعت.

کاربردهای موتورهای پله‌ای

۱-۷) لوازم جانبی کامپیوتر:

(۱)**درایوهای دیسک سخت و فلاپی**: درایوهای دیسک سخت وفلاپی دیسکت به عنوان یک قطعه حافظه کمکی برای تمام انواع کامپیوتر بکار میروند. در فلاپی درایو دو موتور پله ای که یکی برای جابجایی خطی هد ودیگری برای چرخاندن صفحه فلاپی دیسکت است، وجود دارد.موتور نوع اول از نوع موتور پله ای دندانه پنجه ای می باشد، که روتور آن برای تبدیل حرکت چرخشی به حرکت خطی به صورت پیچ مانند شکل زیر در آمده است.

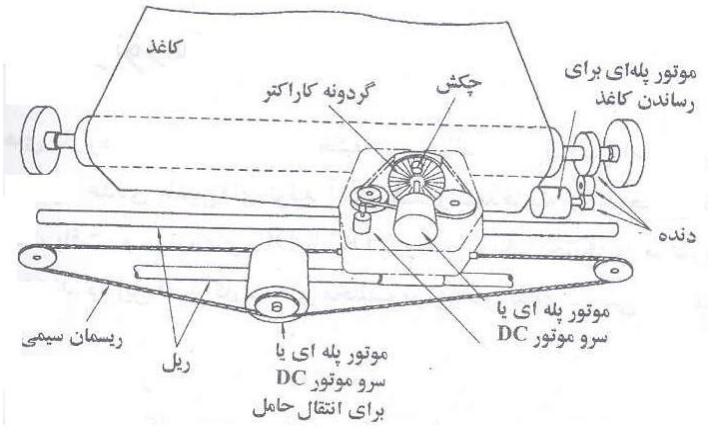


مکانیزم درایو هد در یک درایو فلاپی دیسک

موتور دیگر که برای چرخاندن دیسکت استفاده می شود از نوع PM می باشد. این موتور دارای پانزده قطب وسه فاز می باشد،برای طراحی فشرده تر، موتور(استاتور)درون توپی قرار دارد.روتور این موتور پله ای از آهنربای دائم تشکیل شده است که به صورت خاصی مغناطیده شده و قطبهای ناهمنام یک در میان کنار یکدیگر قرار گرفته اند.شکل زیر این نوع موتور را نشان می دهد.

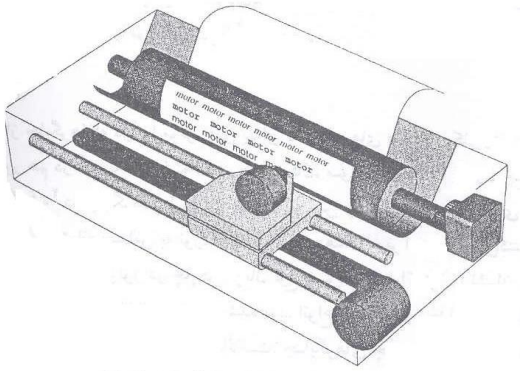
در هارد دیسک به جای موتور پله ای دندانه پنجه ای از موتور پله ای هیبرید استفاده می شود و آن به علت بدست آوردن یک زاویه پله بسیار کوچک است.

(۲) چاپگرها : در چاپگرهای ضربه – کاراکتر همانطور که در شکل زیر دیده می شود از سه موتور پله ای استفاده می شود.یک موتور که برای چرخش گردونه کاراکتر ،یکی برای چرخش کاغذ رسان و دیگری برای انتقال حامل به کار می رود.



ساختار اساسی یک چاپگر سریال نوع ضربه-کاراکتر

در چاپگرهای جوهر افشان از دو موتور پله ای، که یکی برای انتقال هد ودیگری برای مکانیزم کاغذ رسان مورد استفاده قرار می گیرد.شکل زیر نمونه ای از یک چاپگر جوهر افشان می باشد.



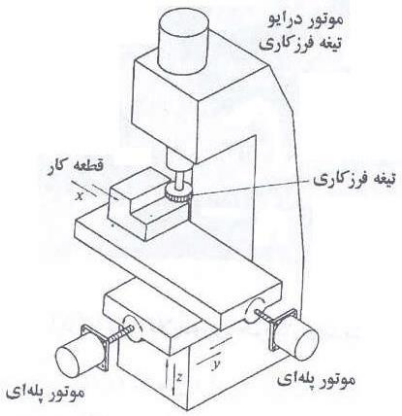
ساختار اساسی یک چاپگر جوهرافشان.

(۳)رسام‌های گراف: این وسیله که برای چاپ نقشه های معماری، نقشه های مدارات مجتمع، پوستر هاوغیره در اندازه بزرگ مورد استفاده قرار می گیرد ،شامل سه موتور پله ای می باشد. همانطور که در شکل دیده می شود، یک موتور برای حرکت کاغذ در جهت Y(جلو و عقب)، دیگری برای حرکت قلم در جهت X ودیگری نیز برای حرکت مکانیزم جابجایی محفظه جوهر مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۲-۷) کاربرد در کنترل عددی (ماشین های صنعتی):

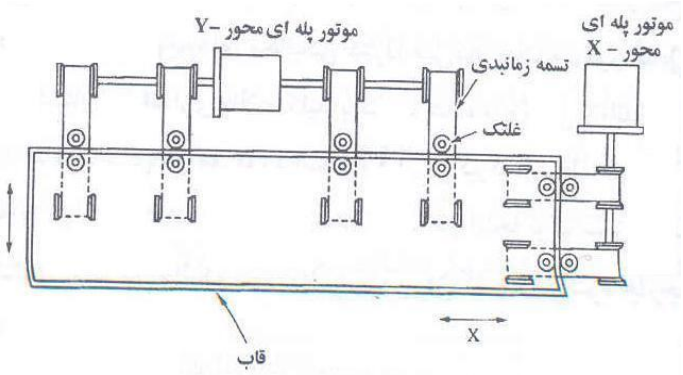
(۱) میزهای X –Y و میزهای راهنما : وسیله کنترل کننده موقعیت های X و Y روی یک صفحه بـا اسـتفاده از دو موتور یک میز X–Y نامیده می شود. موتور های بکار رفته در این نوع میزها بیشتر از نوع هیبرید می باشند.

(۲) ماشین‌های فرزکاری: حرکت سه محوری قطعه کار را می‌توان با سه موتور پله‌ای کنترل کرد. در شکل زیر سومین موتـور کنترل کننده محور Z زیر میز پنهان است. تیغه فرزکاری توسط یک موتور القایی حرکت می‌کند.



اساس ماشین فرزکاری با کنترل عددی با استفاده از سه موتور پله‌ای.

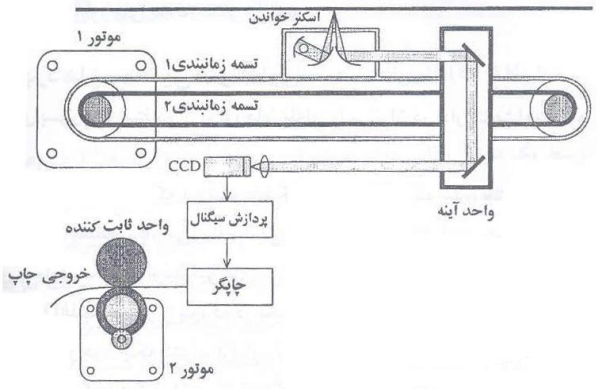
(۳) ماشین‌های دوزندگی: موتورهای پله‌ای بطور گسترده در هر دو ماشین دوزندگی صنعتی و خانگی مورد اسـتفاده قـرار می‌گیرند که مزیت ویژگی‌های خاص موتور پله‌ای همچون گشتاور بالا، پاسـخ سـریع در فاصـله‌ای کوتـاه و تعیـین موقعییـت دقیق با کنترل حلقه باز را در خود دارند. در شکل زیر که یک ماشین قلابدوزی صنعتی است از دو موتور پله‌ای برای حرکـت در جهت X و Y استفاده می‌شود.



درایو چارچوب در یک ماشین دوزندگی قلابدوزی خودکار.

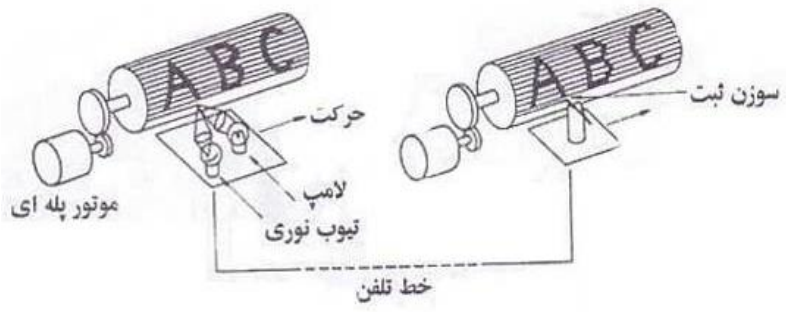
۷,۳) کاربردها در ماشین های اداری

(۱) کپی کننده ها: همانطور که در شکل زیر دیده می‌شود در این نوع دستگاه‌ها حداقل از دو موتور پله‌ای استفاده می‌شود. یک موتور برای به حرکت در آوردن واحد آینه و اسکنر و دیگری برای سیستم کاغذ رسان مورد استفاده قرار می‌گیرد.



موتورهای پله‌ای در کپی کننده صفحه مسطح.

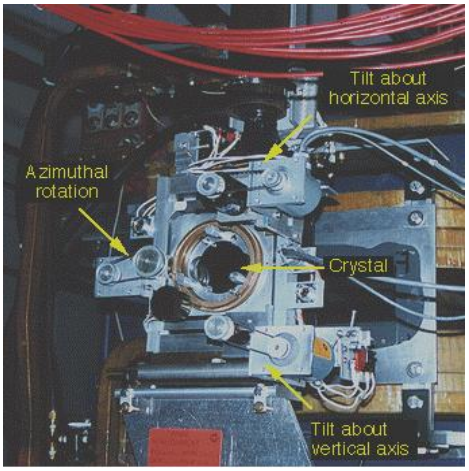
(۲)ماشین‌های فکس: این ماشین وسیله‌ای است که برای انتقال اسناد یا نقشه‌ها به مکان‌های دور از طریق خطوط تلفن طراحی شده است. اصول اساسی این دستگاه در شکل زیر نشان داده شده است. موتورهای پله‌ای برای حرکت استوانه و قلم بکار می‌روند.



٤-٧) کار بردها در تکنولوژی نیمه هادی

(۱) موتورهای پله ای بکار رفته در خلاء شدید : برای رسیدن به تعیین موقعیت دقیق در خلاء شدید (به شدت 10^{-10} پاسکال که در صنعت نیمه هادی مورد نیاز است) یک موتور پله ای مخصوص مورد استفاده قرار می گیرد.

(۲) زاویه یاب : زاویه یاب ابزاری برای تعیین ساختار کریستالی می باشد. این ابزار می تواند جهت یابی کریستال را در سه صفحه در محیط خلاء به اندازه 10^{-4} پاسکال بررسی کند. شکل زیر نمونه از این ابزار می باشد.



سروو موتور

مقدمه:

کلمه سروو از کلمه یونانی سروووس که به معنی پیشخدمت است، مشتق شده و سروو موتور به موتوری گفته می‌شود که فرامین را دقیقا اجرا می‌کند. سروو موتورها که گاهی آنها را **موتورهای کنترل** می‌نامند، موتورهایی هستند که به طور خاصی طراحی شده‌اند و همگی سرعت پاسخ‌دهی سریعی دارند و لذا اینرسی آنها باید کم باشد. قطر این موتورها کم ولی طول آنها نسبتا زیاد است. سروو موتورها برای کار در جریان مستقیم و متناوب ساخته شده‌اند و اغلب از ساختمان خاص و غیر معمول برخوردارند و ابزار دیگری برای تکمیل آنها به کار می‌رود. چنین ابزاری ممکن است شامل انواع مختلف دورسنج، دمپر، ترمز کننده‌ها و چرخ دنده‌های کاهنده سرعت باشد. هر چند که اساس کار و عملکرد سروو موتورها همانند موتورهای القایی معمولی است، اما این نوع موتورها بدلیل ویژگی‌هایی همچون دقت بالا، فرکانس زیاد تغییر وضعیت رتور و کنترل سرعت مکانیکی آسان مورد توجه هستند. بنابراین می‌توان گفت که سروو موتورها ماشین‌هایی متفاوت با سایر موارد نیستند و فقط نوع خصوصیات فیزیکی آنها این ماشین‌ها را از سایرین متمایز ساخته است. توان اسمی این موتورها بین چند دهم وات تا چند صد وات می‌باشد.

انواع سروو موتور:

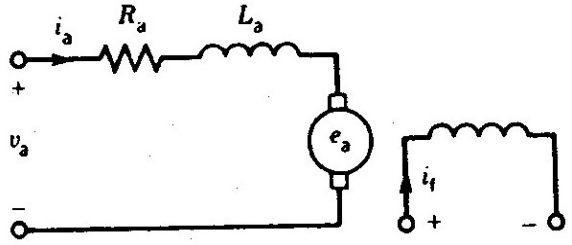
۱- جریان مستقیم (DC)

۲- جریان متناوب (AC)

که در ادامه به بررسی هر یک از این ساختارها می‌پردازیم.

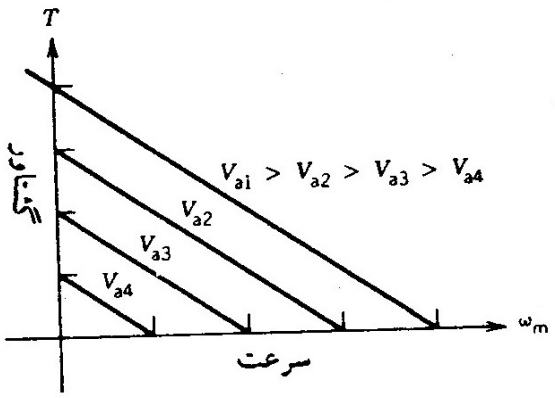
۱- سروو موتورهای جریان مستقیم DC:

این نوع سروو موتور در حقیقت یک موتورDC با تحریک جداگانه یا موتور DC با قطب‌هایی از آهنربای دائم است. شکل زیر شمای یک سروو موتورDC از نوع تحریک جداگانه را نشان می‌دهد. اصول اصلی عملکرد این سروو موتور شبیه موتورهای DC معمولی است.



مدار معادل یک سروو موتور DC

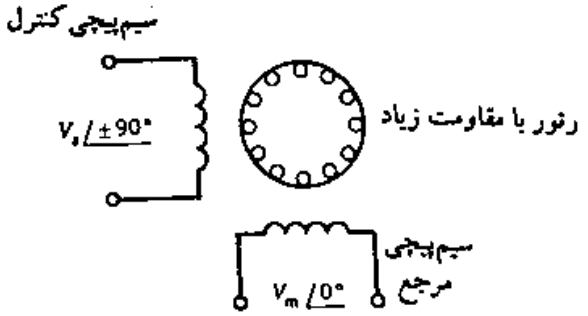
سروو موتورهای DC عمدتا توسط ولتاژ آرمیچر کنترل می‌شوند. تغییرات پله‌ای در ولتاژ آرمیچر (یا جریان) باعث می‌شود که موقعیت یا سرعت رتور تغییر کند. آرمیچر در این موتورها طوری طراحی می‌شود که دارای مقاومت زیاد باشد. لذا مشخصه گشتاور- سرعت این موتورها خطی بوده و شیب منفی نسبتا زیادی دارد. معمولا سروو موتورهای با توان بالا از نوع DC هستند.



مشخصه گشتاور – سرعت سروو موتور DC به ازای ولتاژهای مختلف

۲- سروو موتور جریان متناوب(AC):

امروزه در توان‌های کم از سروو موتورهای AC استفاده می‌شود. باید متذکر شد که سروو موتورهای AC غیر خطی می-باشند و مشخصه گشتاور - سرعت آنها به خوبی سروو موتورهای DC نمی‌باشد. اکثر سروو موتورهای AC که در سیستم‌های کنترل بکار می‌روند از نوع دو فاز با روتور قفس سنجابی می‌باشند. شکل زیر شمای کلی یک سروو موتور AC دو فاز را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود سروو موتور AC در واقع یک موتور القایی با دو سیم پیچی اولیه است که این دو سیم پیچی از لحاظ وضعیت مغناطیسی به اندازه ۹۰ درجه الکتریکی با هم اختلاف دارند و دارای یک رتور با مقاومت زیاد و اینرسی کم است. این دو سیم پیچی در طول محیط استاتور درون شیارها توزیع شده‌اند. سیم پیچی اول به **سیم پیچی مرجع یا سیم پیچی فاز ثابت** معروف است و به منبع ولتاژ ثابت $V_m\angle 0^\circ$ متصل می‌باشد. سیم پیچی دوم به **سیم پیچی کنترل فاز** معروف است و به منبع ولتاژ متغیر $V_a\angle \pm 90^\circ$ متصل می‌باشد. به عبارت دیگر برای اینکه موتور بچرخد باید ولتاژ ثابت $V_m\angle 0^\circ$ را به سیم پیچی "فاز ثابت" اعمال کرد، در همین حال باید ولتاژ قابل تنظیم $V_a\angle \pm 90^\circ$ به سیم پیچ " کنترل فاز " اعمال گردد. برای اینکه موتور در مدارهای تکفاز کارکند، معمولا خازنی به فاز ثابت متصل می‌کنند.



شمای کلی سروو موتورهای AC دو فاز

همانطور که بیان شد در این موتورها:

الف) محورهای مغناطیسی دو سیم پیچی فوق الذکر بر هم عمودند.

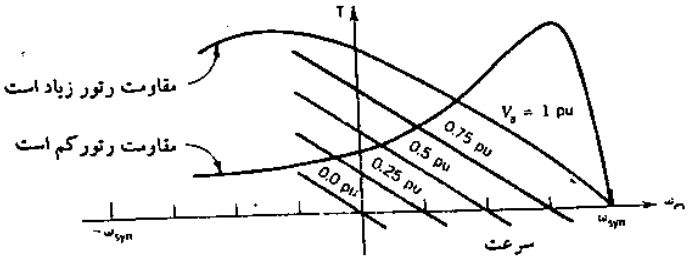
ب) زاویه ولتاژ متغیر V_a همواره ۹۰+ یا ۹۰- درجه است.

ج) ولتاژ سیم پیچ کنترل فاز (V_a) عمدتا توسط خروجی یک تقویت کننده به نام تقویت کننده سرو مهیا شده و به موتور اعمال می‌شود.

د)جهت چرخش موتور به اختلاف فاز V_m و V_a بستگی دارد به عبارت دیگر ۹۰+ یا ۹۰- بودن زاویه V_a جهت چرخش موتور را تعیین می‌کند.

در شرایط دو فاز متعادل داریم: $|V_a|=|V_m|$

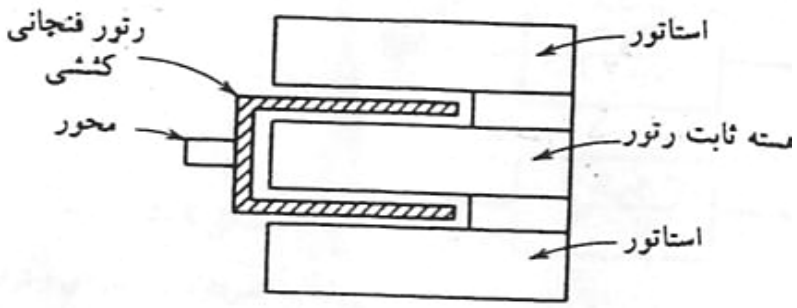
در اینصورت مشخصه گشتاور- سرعت موتور شبیه موتورهای القایی سه فاز بوده و در مواقعی که مقاومت رتور کم است، این مشخصه غیر خطی می‌شود. چنین مشخصه‌ای جایگاهی در سیستم‌های کنترل ندارد. اما اگر مقاومت رتور زیاد باشد، مشخصه گشتاور- سرعت در محدوده وسیعی از تغییرات سرعت تقریبا خطی می‌شود. در شکل زیر مشخصه گشتاور- سرعت موتور در محدوده وسیعی از تغییرات سرعت نشان داده شده است.



مشخصه گشتاور-سرعت موتور

سروو موتور با رتور فنجانی شکل:

اگر توان مورد نیاز پایین باشد روتور را طوری می‌سازند که اینرسی آن کم باشد. این نوع سروو موتور AC در شکل زیر نشان داده شده است. در این موتورها برای ساخت قسمت دوار از یک هادی غیرمغناطیسی فنجانی شکل نازک استفاده می-شود (قسمت هاشورخورده). از آنجا که این هادی نازک است، مقاومت روتور بشدت افزایش می‌یابد و لذا گشتاور راه‌انداز مناسبی بدست می‌آید. در این نوع موتورها، روتور حاوی یک هسته آهنی ثابت در وسط قسمت فنجانی شکل می‌باشد و در نتیجه مدار مغناطیسی کامل می‌شود. به این نوع روتورها، روتور فنجانی شکل کششی نیز گفته می‌شود.



ساختمان روتور فنجانی شکل کششی

برخی از کاربردهای سروو موتورها :

۱- ابزارهای کنترل از راه دور

۲- سیستم‌های ردگیری

۳- ربات‌های صنعتی

۴- رادارها

۵- موتورهای چاپی

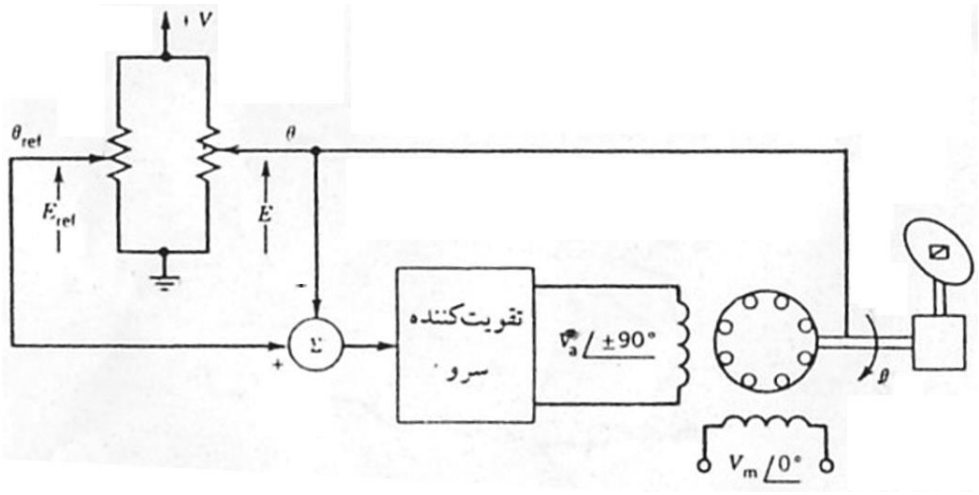
۶- به علت شکل تخت این نوع موتورها و قیمت ارزان آنها، می‌توان در باز و بستن شیشه پنجره اتومبیل‌ها از آنها استفاده کرد.

کاربرد کنترل وضعیت یا موقعیت رادار :

یکی از مهمترین کاربردهای سروو موتورها استفاده از آنها در کنترل رادار می‌باشد. شکل زیر یک سیستم کنترلی را نشان می-دهد که در آن از سروو موتور AC دو فاز برای کنترل موقعیت رادار استفاده شده است. در این سیستم کنترل دو پتانسیومتر وجود دارد :

۱- پتانسیومتر مرجع، ولتاژ E_{ref} را متناسب با سیگنال موقعیت مطلوب (θ_{ref}) تولید می‌کند.

۲-پتانسیومتر دوم از محور سروو موتور فرمان می‌گیرد و ولتاژ E را متناسب با وضعیت محور (θ) ایجاد می‌کند.



سیستم کنترل وضعیت رادار

تفاوت دو ولتاژ فوق سیگنال خطا را ایجاد می‌کند:

$$E_{error} = E_{ref} - E$$

باید دانست که E_{error} متناسب با θ_{error} است و داریم:

$$\theta_{error} = \theta_{ref} - \theta$$

سیگنال خطا به تقویت کننده اعمال می‌شود. این تقویت کننده ولتاژ مورد نیاز V_a را جهت صفر کردن خطا مهیا می‌کند.