

سید علی اصغر هاشمی



موتور پله ای

گردآورنده: سید علی اصغر هاشمی

استاد: ناصر هاشمی نیا

پیشگفتار

مقدمه:

موتور dcs یا موتور پله ای ابزاری است که در هنگام اعمال تغذیه به طور پیوسته می چرخد کنترل این موتور به on , off محدود میشود و اگر جهت شار در آرمیچر معکوس شود جهت چرخش عکس می شود. این موتور عموماً دارای چهار قطب میباشد که سیم پیچها بر روی این چهار قطب قرار می گیرند و شما با ارسال یتهای ۰ و ۱ به این سیم پیچها در واقع میدان مغناطیسی ایجاد می کنید که این میدان باعث حرکت روتور مغناطیسی موجود در داخل موتور پله ای می شود

پیشگفتار

اما ساخت استپ موتور با امکاناتی که به طراحان و سازندگان ماشین آلات میدهد ، به گونه ای برجسته سبب کاهش هزینه ها در همه زمینه ها می شود. یکی از چندین مزایای بسیار زیاد این نوع الکتروموتورها تبدیل مکانیزم های بسیار پیچیده مکانیکی ، به تنها یک محرک استپی می باشد. در ادامه با این پدیده جالب آشنا تر خواهیم شد.

معرفی کوتاه

استپر موتور چیست؟

استپر موتور نوعی موتور مثل موتورهای DC است که حرکت دورانی تولید می کند. با این تفاوت که استپر موتورها دارای حرکت دقیق و حساب شده تری هستند. این موتورها به صورت درجه ای دوران می کنند و با درجه های مختلف در بازار موجود هستند. موتورهای پله ای موجود در بازار معمولاً در دو نوع ۵ یا ۶ سیم یافت می شود



اصول کار

واژه پله به معنی چرخش به اندازه درجه تعریف شده موتور است. مثلاً موتور پله‌ای با درجه ۱,۸ باید ۲۰۰ پله حرکت کند تا ۳۶۰ درجه یا یک دور کامل بچرخد

$$[360/1.8]=200$$

یک استپ موتور با درجه ۱,۵ فقط باید ۲۴ پله برای یک دور کامل انجام دهد

به این ترتیب هرچه تعداد پله‌های یک موتور بیشتر باشد دقت چرخش آن افزایش می‌یابد. مکانیسم کنترلی موتور پله ای طوریست که امکان کنترل سرعت به سادگی میسر می‌شود.

اصول کار

در حالت عادی میزان چرخش موتور به تعداد پالسهای اعمالی و گام موتور بستگی دارد. هر پالس یک پله موتور را می چرخاند و با تحریک دو فاز مجاور در موتور می توان موتور را به اندازه نیم پله حرکت داد. به این ترتیب تعداد پله های موتور دو برابر می شود و در نتیجه دقت چرخش موتور هم دو برابر می گردد.

یک استپ موتور وسیله ای الکتریکی است چرخش زاویه ای گسسته یا پله ای دارد و با اتصال به ضربان هایی در فرکانسی خاص کار می کند. هر ضربان فرستاده شده به موتور سبب حرکت محور موتور تا زاویه ای معین می شود که این زاویه ، زاویه استپینگ (Stepping Angle) نامیده می شود.

اصول کار

شکل ۱ ساختمان ساده شده یک استپ موتور "Bifilar" مگنت دائمی را نشان می دهد. روتور از جنس آهنربای دائمی است و شش دندانه دارد که با فاصله های مساوی و یک در میان در قطب های N و S اطراف روتور قرار دارند. استاتور چهار قطب دارد که هر قطب دارای پیچه ای است که این پیچه از مرکز خروجی V را داراست. پیچه های روی قطب های مختلف به هم وصلند بطوری که فقط پنج سیم A, B, C, D و V از موتور خارج می شوند. پیچه با ارسال جریان به سیم V^+ و خروج آن از یکی از سیمهای دیگر فعال می شود.

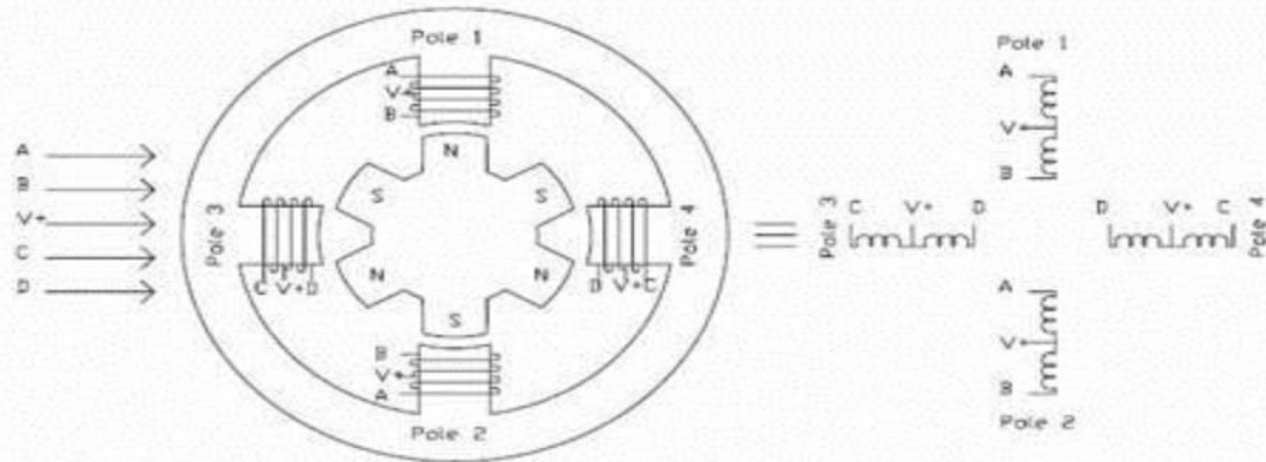


Figure 1 Construction of a bifilar PM stepper motor

اصول کار

سیم پیچ ها در دندانه های استاتور به روشی پیچیده می شوند به طوریکه نتایج زیر حاصل می شود:
اگر سیم B فعال باشد ، قطب ۱ شمال و قطب ۲ جنوب خواهند بود و اگر سیم A فعال باشد قطب ۱ جنوب و قطب ۲ شمال می شود.

اگر سیم C فعال باشد قطب ۳ شمال و قطب ۴ جنوب و اگر سیم D فعال باشد قطب ۳ جنوب و در عوض قطب ۴ شمال خواهند بود.

عملکرد **استپ موتورها** براساس این قانون است که وقتی قطبهای مشابه دفع می شوند ، قطبهای مخالف جذب می شوند. اگر سیم پیچ ها در توالی صحیح فعال باشند روتور در مسیر و جهتی معین خواهد چرخید.

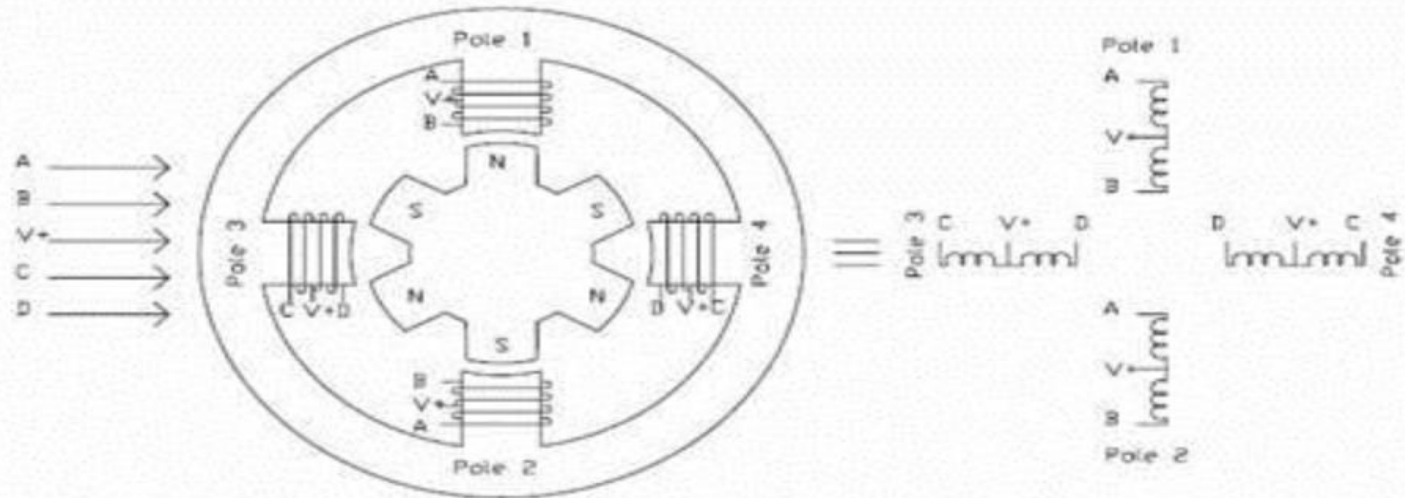


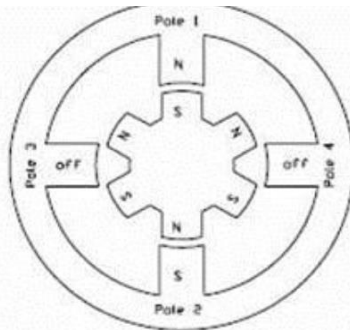
Figure 1 Construction of a bifilar PM stepper motor

اصول کار

شکل ۲ نشان می دهد که روتور هنگامی که پیچه ها با توالی داده شده در جدول ۱ فعال اند چگونه می گردد.

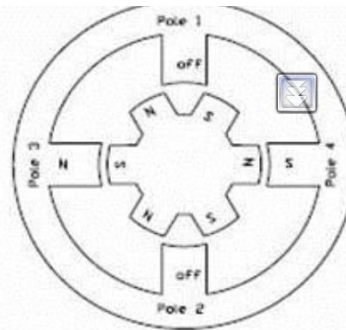
همانطور که در شکل ۲ مشاهده می شود ، ترتیب القاها داده شده در در جدول ۱ سبب چرخش روتور در جهت عقربه های ساعت می شود.

اگر توالی این القا ها معکوس شود ، جهت حرکت نیز معکوس می شود.



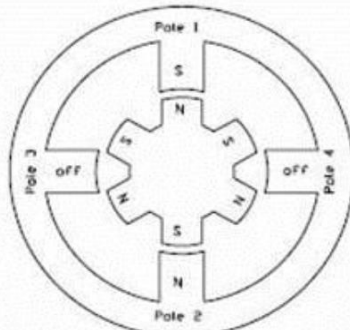
Position 1

Position 1. Winding B is excited



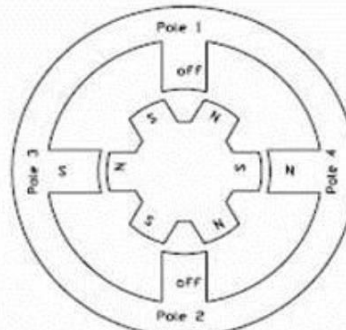
Position 2

Position 2. Winding C is excited



Position 3

Position 3. Winding A is excited



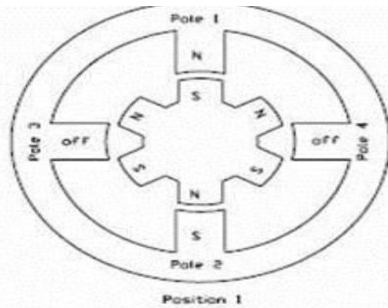
Position 4

Position 4 : Winding D is excited

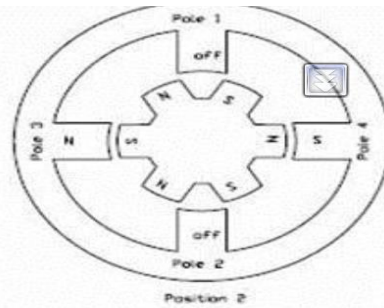
	Winding A	Winding B	Winding C	Winding D
Position 1	Off	On	Off	Off
Position 2	Off	Off	On	Off
Position 3	On	Off	Off	Off
Position 4	Off	Off	Off	On

Table 1. Winding excitation sequence for Figure 2

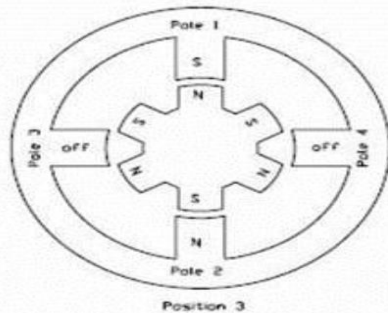
اصول کار



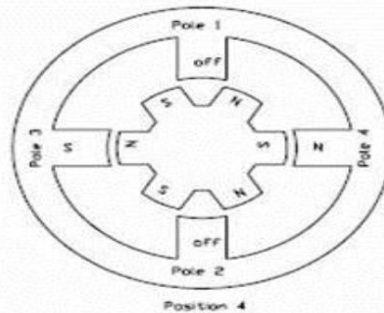
Position 1. Winding B is excited



Position 2. Winding C is excited



Position 3. Winding A is excited



Position 4 : Winding D is excited

	Winding A	Winding B	Winding C	Winding D
Position 1	Off	On	Off	Off
Position 2	Off	Off	On	Off
Position 3	On	Off	Off	Off
Position 4	Off	Off	Off	On

Table 1. Winding excitation sequence for Figure 2

استپ موتوری که در بالا شرح داده شد از دو پیچه با در مقابل هم قرار دادن مگنت های همنام در هر قطب استفاده می کند. به این دلیل است که این نوع ، **استپ موتور "Bifilar"** نامیده می شود.

Rotor position	Winding A	Winding B	Winding C	Winding D
0	Off	On	Off	Off
θ	Off	Off	On	Off
2θ	On	Off	Off	Off
3θ	Off	Off	Off	On

Two-Phase Excitation

Rotor position	Winding A	Winding B	Winding C	Winding D
$\theta/2$	Off	On	On	Off
$3\theta/2$	On	Off	On	Off
$5\theta/2$	On	Off	Off	On
$7\theta/2$	Off	On	Off	On

Table 2. Full step actuation mode: single-phase and two-phase excitation

اصول کار

اگر حتی همه القاها متوقف شده و هیچ جریانی به موتور وارد نشود، به علت وجود آهنرباهای دائمی در روتور بازهم مقداری جاذبه میان قطبها و دندانهها وجود دارد. از این رو حتی هنگامی هم که هیچ تغذیه ای به موتور متصل نیست، بازهم قدری ((گشتاور نگه دارنده)) در موتور باقی می ماند.

از شکل ۲ می توان مشاهده نمود که موتور زاویه استپینگ یا زاویه مرحله ۳۰ درجه دارد و برای کامل کردن یک چرخه به ۱۲ استپ یا مرحله نیاز دارد. تعداد مرحله ها در هر دور در یک موتور استپی با اضافه کردن دندانه های بیشتر روی روتور می تواند افزایش یابد و با اضافه کردن دندانه هایی به دندانه های استاتور، زاویه استپینگ یا زاویه طی مرحله یک موتور استپی را می توان تا حد ۱.۸ درجه کوچک کرد به طوری که برای طی یک چرخه دویست مرحله نیاز باشد.

اصول کار

Rotor position	Winding A	Winding B	Winding C	Winding D
0	Off	On	Off	Off
θ	Off	Off	On	Off
2θ	On	Off	Off	Off
3θ	Off	Off	Off	On

Two-Phase Excitation

Rotor position	Winding A	Winding B	Winding C	Winding D
$\theta/2$	Off	On	On	Off
$3\theta/2$	On	Off	On	Off
$5\theta/2$	On	Off	Off	On
$7\theta/2$	Off	On	Off	On

Table 2. Full step actuation mode: single-phase and two-phase excitation

برنامه القای پیچه ها در شکل ۲ به القای تک فاز معروف است ; از آنجا که در هر زمان فقط یکی از چهار پیچه فعال است.

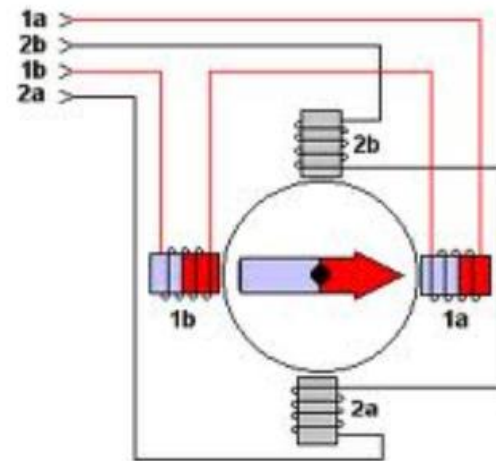
در هر مرحله دندانه های روتور دقیقا رد مقابل دندانه های فعال استاتور قرار می گیرند. با این حال راه اندازی **موتور** با دو پیچه حامل جریان در یک زمان امری ممکن است (القای دو فازی). در این حالت دندانه های روتور خود را در میان دوتا از دندانه های فعال استاتور قرار می دهند. جدول ۲ برنامه کاری و موقعیت روتور را برای القای دو فاز و تک فاز نشان می دهد. توجه داشته باشید که زاویه مرحله یا همان Stepping Angle برای دو نوع القا یکی است بجز اینکه موقعیت های روتور با نصف زاویه مرحله تعیین می شوند.

ساختار موتور پله ای

این موتور عموماً دارای چهار قطب میباشد که سیم پیچها بر روی این چهار قطب قرار می گیرند و شما با ارسال بیت های ۰ و ۱ به این سیم پیچها در واقع میدان مغناطیسی ایجاد می کنید که این میدان باعث حرکت روتور مغناطیسی موجود در داخل موتور پله ای می شود البته میبایست این سیم پیچها را به توالی ۰ و ۱ کرد و گرنه موتور مطابق میل شما نخواهد چرخید یکی از مشخصه های این موتور زاویه حرکت آن می باشد و هر موتوری زاویه حرکتی مخصوص به خودش را دارد مثلاً اگر موتوری زاویه حرکتش ۷ درجه باشد این موتور در هر باری که سیم پیچهایش حاوی ولتاژ می شوند ۷ درجه در سمت حرکت عقربه های ساعت یا خلاف جهت آن بسته به اینکه سیم پیچها با چه ترتیبی ولتاژ دار می شوند خواهد چرخید این ۷ درجه چرخش برای این موتور پله ای نمونه یک پله یا یک step محسوب می شود با این تعریف متوجه شدید که یک موتور پله ای در یک دور کامل ممکن است ۱۰۰ تا ۲۰۰ پله کمتر یا بیشتر بسته به نوع موتور خواهد داشت

شما حتی می توانید یک موتور پله ای را به صورت نیم پله یعنی با نصف زاویه حرکت راه اندازی کنید این موتورها به صورت میکرو پله نیز حرکت می کنند در واقع منظور حرکت خیلی ریز و دقیق است. وقتی که شما یک موتور پله ای را از نزدیک می بینید متوجه تعدادی سیم رنگی می شوید که از موتور پله ای بیرون آمده در واقع این سیم ها هر کدام به سر یک سیم پیچ متصل هستند و یک سیم بین تمام سیم ها مشترک است.

ساختار موتور پله ای



Conceptual Model of Bipolar Stepper Motor

نحوه کنترل

این موتور به صورت یک بیتی یا دو بیتی حرکت میکند در حالت یک بیتی در هر لحظه تنها یک سیم پیچ پالس ۱ را دریافت می کند و در حالت دو بیتی دو سیم پیچ در هر لحظه پالس ۱ را دریافت می کنند اگر این دریافت پالس به صورت منظم و پشت سر هم انجام شود موتور نیز به صورت صحیح به سمت جهت حرکت عقربه های ساعت یا خلاف جهت آن حرکت خواهد کرد

نوع خروجی Step Mode هر موتوری بستگی به طراحی Driver آن دارد.

نحوه کنترل

کنترل یک ییتی: Full Step

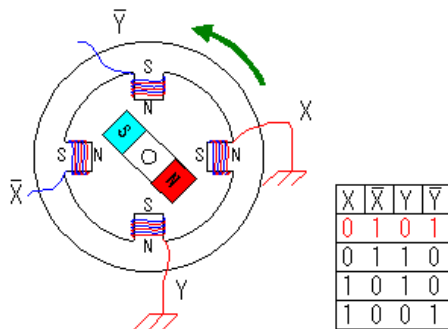
در حالت یک ییتی اگر اول سیم پیچ ۱ را تحریک کنیم ، باید سیم پیچ ۲ و ۳ و ۴ بدون تحریک باشند . جهت حرکت موتور پله ای در جهت حرکت عقربه های ساعت است . بعد از سیم پیچ ۱ نوبت سیم پیچ ۲ است که تحریک شود. و در این حالت نیز بقیه سیم پیچ ها بدون تحریک هستند. بعد از آن نوبت سیم پیچ ۳ و سپس نوبت سیم پیچ شماره ۴ است . دقت کنید که در هر لحظه یک سیم پیچ تحریک شود ، اگر بعد از سیم پیچ ۱ سیم پیچ ۴ را تحریک کنیم و سپس به سراغ ۲ و ۳ برویم موتور در جهت عکس عقربه های ساعت خواهد چرخید.

● با تقسیم 360 درجه چرخش بر 200 پله مقدار 1.8 زاویه پله کامل بدست می آید.

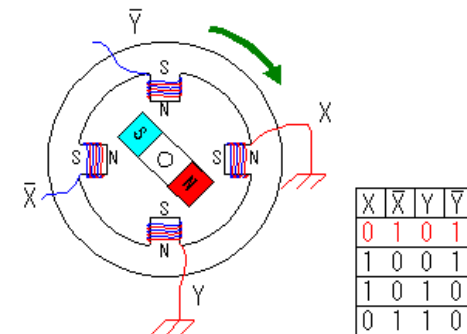
نحوه کنترل

کنترل دو بیتی:

در حالت دو بیتی در لحظه دو سیم پیچ باردار می شوند . مثلاً اگر اول سیم پیچ ۱ و ۲ تحریک شوند ، بعد سیم پیچ ۳ و ۲ ، سپس ۴ و ۳ و در نهایت ۴ و ۱ . برای حرکت **موتور پله ای** بایست همین ترتیب را تا وقتی که می خواهید موتور حرکت داشته باشد ادامه دهید . حال اگر این ترتیب را عوض کنید **موتور** در خلاف جهت فعلی حرکت می کند .



حرکت در خلاف جهت عقربه های ساعت (تحریک 2 بیتی)



حرکت در جهت عقربه های ساعت (تحریک 2 بیتی)

نحوه کنترل

کنترل نیم پله

اگر القای تک فاز و دو فاز با هم ترکیب شوند ، یک حالت نیم مرحله (Half Step mode) حاصل می شود. در این حالت تعداد مراحل یا استپ ها در هر چرخه دو برابر است ؛ به طوری که اگر **موتوری** در حالت مرحله کامل یا Step-Full برای کامل کردن چرخه به دویست دور نیاز داشته باشد ، در حالت نیم مرحله یا Step-Half به چهارصد دور برای تکمیل آن نیاز دارد. جدول ۳ توالی کارکرد برای حالت نیم مرحله نشان می دهد.

لازم به ذکر است اگر بیت های جدول زیر را از بالا به پایین اجرا کنیم ساعت گرد واگر از پایین به بالا اجرا کنیم جهت حرکت موتور پاد ساعت گرد خواهد بود Half Step

- به طور ساده به این معناست که موتور در هر دوران ۴۰۰ پله چرخش می کند.
- در این مد ابتدا یکی از سیم پیچ ها تحریک می شود و سپس به طور متناوب هر دو سیم پیچ تحریک می شوند و این باعث می شود تا موتور نصف فاصله چرخش کند. (یا همان ۰.۹ درجه زاویه پله)
- در حالت Full Step نیز با ۴۰۰ پله در هر دوران موتور نیز می توان حالت Half Step را به دست آورد.
- Half Step بیشتر برای کاربردهای صنعتی مورد استفاده قرار می گیرد.
- در این مد گشتاور کمتر است. حساسیت کمتر از حالت Full Step است.

سیم پیچ 4	سیم پیچ 3	سیم پیچ 2	سیم پیچ 1	شماره پله
1	0	0	0	1
1	1	0	0	2
0	1	0	0	3
0	1	1	0	4
0	0	1	0	5
0	0	1	1	6
0	0	0	1	7
1	0	0	1	8

نحوه کنترل

Micro Step

Micro Step در تکنولوژی موتور های پله ای جدید استفاده می شوند، که می تواند جریان را در سیم پیچ موتور تا درجه ای کنترل کند که فاصله بین هر دو پل را به زیر فواصل دلخواه تقسیم کند.

AMS Micro Step قابلیت چرخش تا $1/256$ هر پله را دارد

این مد در کاربردهایی که به موقعیت یابی های دقیق و درجه وضوح بالا در بازه های مختلفی از سرعت نیاز دارند استفاده می شود.



انواع موتور های پله ای

اساسا سه نوع موتور پله ای وجود دارد:

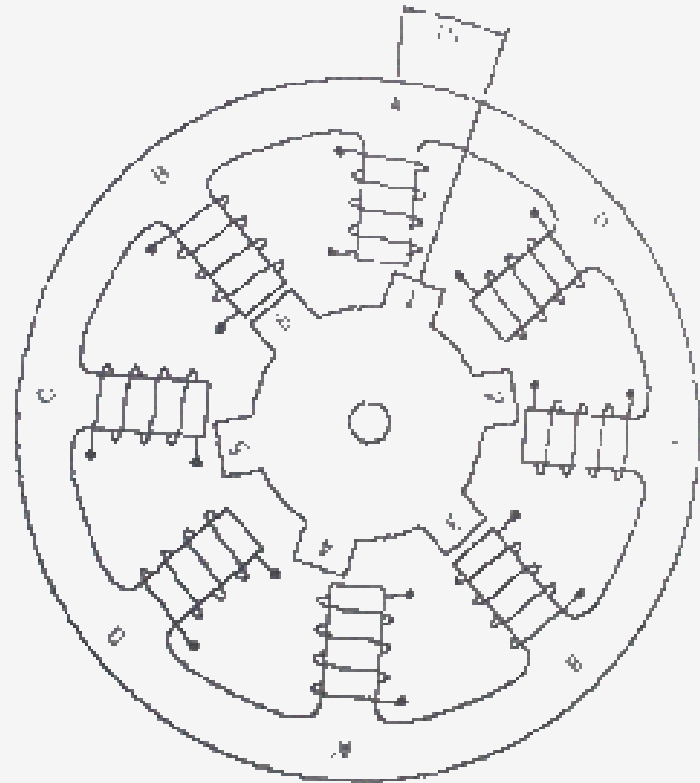
رلوکتانس متغیر VARIABLE RELUCTANCE

آهنربای دائمی PERMANENT MAGNET

هیبرید HYBRID

تفاوت آنها بر حسب آنست که در ساختارشان از “آهنربای دائمی” یا “روتور آهنی با استاتور فولاد نرم لایه لایه” استفاده کرده باشند.

انواع موتور های پله ای

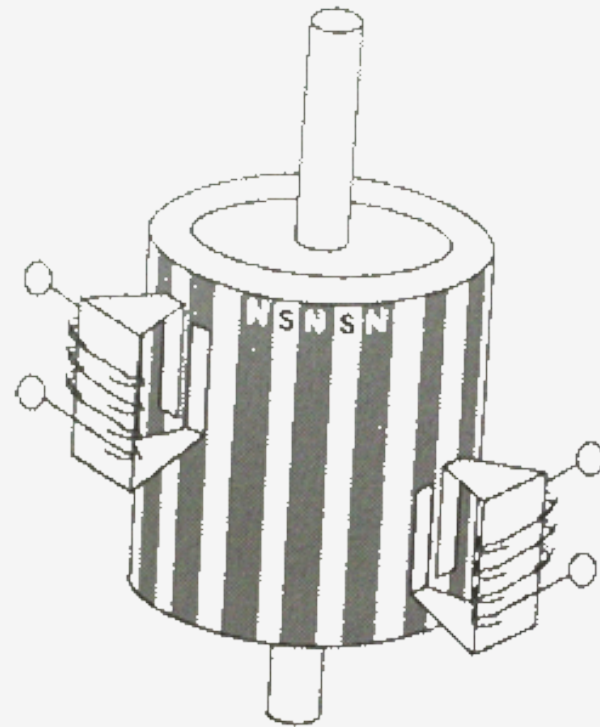


رلوکتانس متغیر

VARIABLE RELUCTANCE

- این موتور از موتورهای در مقایسه با دو نوع دیگر، از ساختار داخلی ساده تری برخوردارند. از آنجا که روتور این موتور از ماده ای مغناطیس شونده ساخته شده است، با اعمال یک ولتاژ DC به سیم پیچ های استاتور، دندانه های روتور به سمت قطب الکترومغناطیس ایجاد شده جهت گیری می کنند و این جهت گیری باعث چرخش محور موتور می شود. شکل ۲ ساختار داخلی این موتور پله ای را نشان می دهد.
- موتور V.R. از آهنربای دائمی استفاده نمی کند.
- موتور می تواند بدون محدودیت گشتاور حرکت کند.
- این نوع ساختار برای کاربردهای غیر صنعتی که نیاز به گشتاور موتور با درجه بالا ندارند مناسب است.

انواع موتور های پله ای

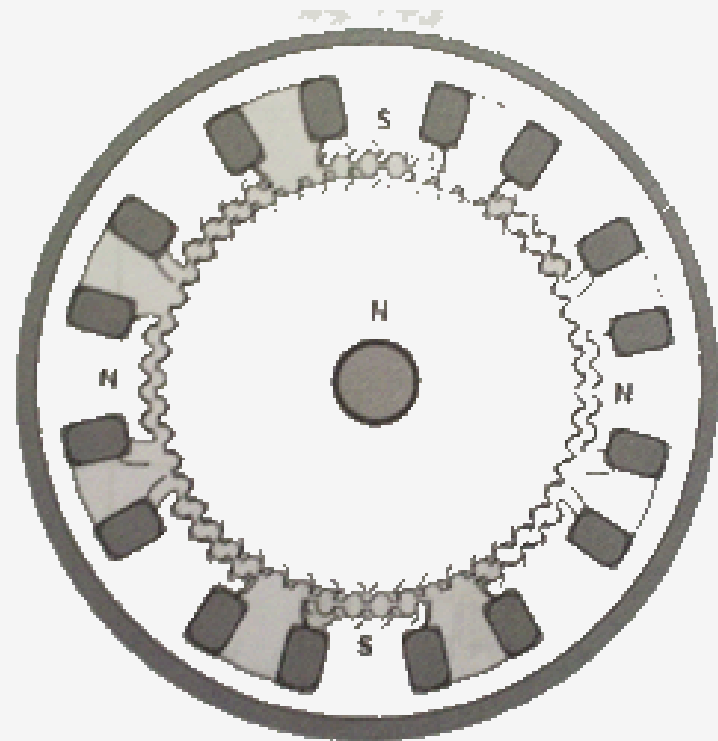


آهنربای دائمی

PERMANENTMAGNET

- موتور P.M. که یک روتور با آهنربای دائمی است.
- این نوع موتورها برای وسایلی با سرعت پایین، گشتاور بالا و زاویه پله بالا مانند ۴۵ یا ۹۰ درجه مناسب است.
- ساختار ساده و هزینه کم این نوع موتور ها آنها را برای کاربردهای غیر صنعتی به یک انتخاب ایده آل تبدیل کرده است. مانند پرینتر خطی
- بر خلاف بقیه موتور های پله ای روتور موتور های P.M. دندانه ندارند. و برای مغناطیس شدن در جهت راست محور قطب خود طراحی شده اند. اگر چه این موتور دارای سرعت نسبتا کمی است ولی گشتاور بالایی دارد.

انواع موتور های پله ای



هیبرید HYBRID

- موتورهای پله ای هیبرید ((Hybrid، در حقیقت، ترکیبی از ساختار موتورهای پله ای با روتور مغناطیس شونده و مغناطیس دائم می باشند. همان طور که در شکل ۴ نشان داده شده است، مرکز روتور در این نوع موتورها دارای قطبهای S است و دندانه های روتور، قطبهای N می باشند.
 - آنها از پل های استاتور چند دندانه ای و یک روتور آهنربای دایمی ساخته شده اند.
 - موتور هیبرید استاندارد دارای ۲۰۰ دندانه است که تحت زاویه ۱.۸ درجه می چرخد.
 - سایر موتورهای هیبرید تحت زاویه پله ۰.۹ و ۳.۶ ساخته شده اند.
- این موتورها دارای
- گشتاور استاتیک و دینامیکی بالایی هستند
 - و سرعت پله بالایی دارند.
 - موتورهای هیبرید به صورت گسترده در کاربردهای صنعتی مختلفی استفاده می شوند.

کاربرد موتورهای پله ای

- کاربردهای موتورهای پله ای با کنترل عددی ماشین های تولید آغاز شد و بعد ها به لوازم جانبی کامپیوتر و تجهیزات اداری انتقال یافت.
- مهم ترین لوازم جانبی کامپیوتر که در آنها موتور پله ای به کار رفته است عبارتند از:
 - چاپگرها
 - رسام های گراف
 - درایو های دیسک سخت
 - ماشین های فاکس
 - در اتومبیل هم کاربرد دارد

سیم پیچی موتور

به طور کلی دو نوع سیم پیچی موتور های پله ای وجود دارد:



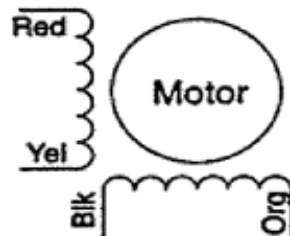
○ سیم پیچی تک رشته ای UNIFILAR

○ سیم پیچی دو رشته ای BIFILAR

سیم پیچی موتور

سیم پیچی تک رشته ای UNIFILAR

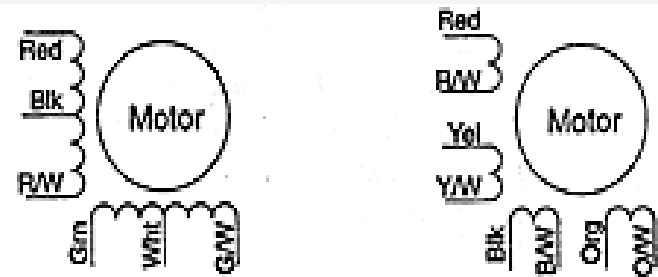
- سیم پیچی تک رشته ای ، همانطور که از نامش پیداست ، در هر پل استاتور فقط دارای یک رشته سیم است.
- موتورهای پله ای با سیم پیچی UNIFILAR دارای چهار رشته سیم است.



4 Lead Unifilar Motor

سیم پیچی موتور

- **BIFILAR** سیم پیچی دو رشته ای
- موتورهای با سیم پیچی دو رشته ای به این معنا هستند که هر پل استاتور آنها بوسیله دو رشته سیم کاملاً یکسان پیچیده شده اند.
- این شکل از سیم پیچی عملیات انتقال جریان از یک سیم پیچ به دیگری را ساده می کند.
- سیم پیچی در جهت مخالف، جهت چرخش محور موتور را معکوس می کند، در حالیکه در موتورهای UNIFILAR برای تغییر جهت چرخش باید جهت جریان را تغییر دهیم.
- معمول ترین شکل سیم پیچی برای موتورهای با سیم پیچی **BIFILAR** استفاده از ۸ رشته سیم است، زیرا این روش برای ارتباط های سری و موازی انعطاف پذیر و مناسب است.
- به هر حال موتور های پله ای **BIFILAR** که حاوی شش رشته می باشد نیز وجود دارد که برای ارتباط های سری استفاده می شود.



d and B Lead Bifilar Round Motors

منابع

○ دانشنامه رشد

○ <http://PowerEn.ir>

○ <http://www.parsautomation.com>

○ <http://iranelectromotor.com>

○ پروژه موتور پله ای دانشگاه کاشان

END

اللَّهُمَّ صَلِّ عَلَى مُحَمَّدٍ وَآلِ مُحَمَّدٍ وَ عَجِّلْ
فَرَجَهُمْ

یا حق