

PowerEn.ir

موتورهای پله ای

مریم ممقانی زاده
نوید حبیبی

استاد:

مهندس صباغیان

دانشگاه کاشان

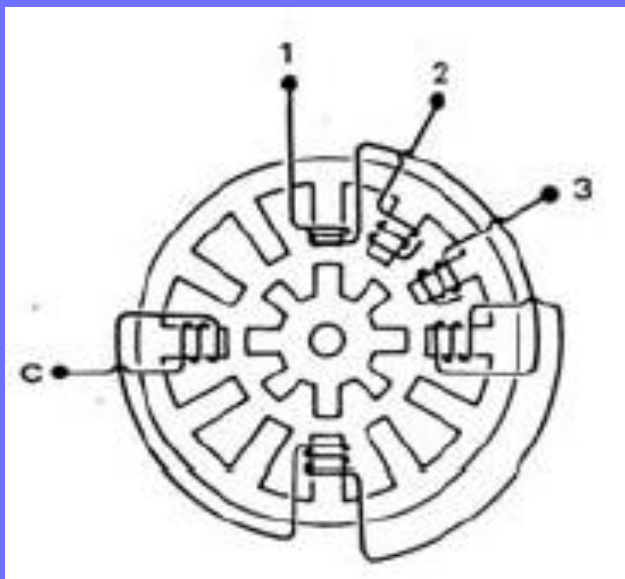
دانشکده مهندسی



PowerEn.ir

موتور پله ای چیست و مشخصه های اساسی آن کدامند؟

- موتور پله ای یک موتور الکتریکی هست که ورودی الکتریکی دیجیتال را به یک حرکت مکانیکی تبدیل می کند.
- شکل زیر مقطع عرضی سا ختار یک موتور پله ای مدرن نمونه را نشان می دهد:



PowerEn.ir

شکل 1

- پله بر ثانيه :

$$SPS = (RPM * SPR) / 60$$

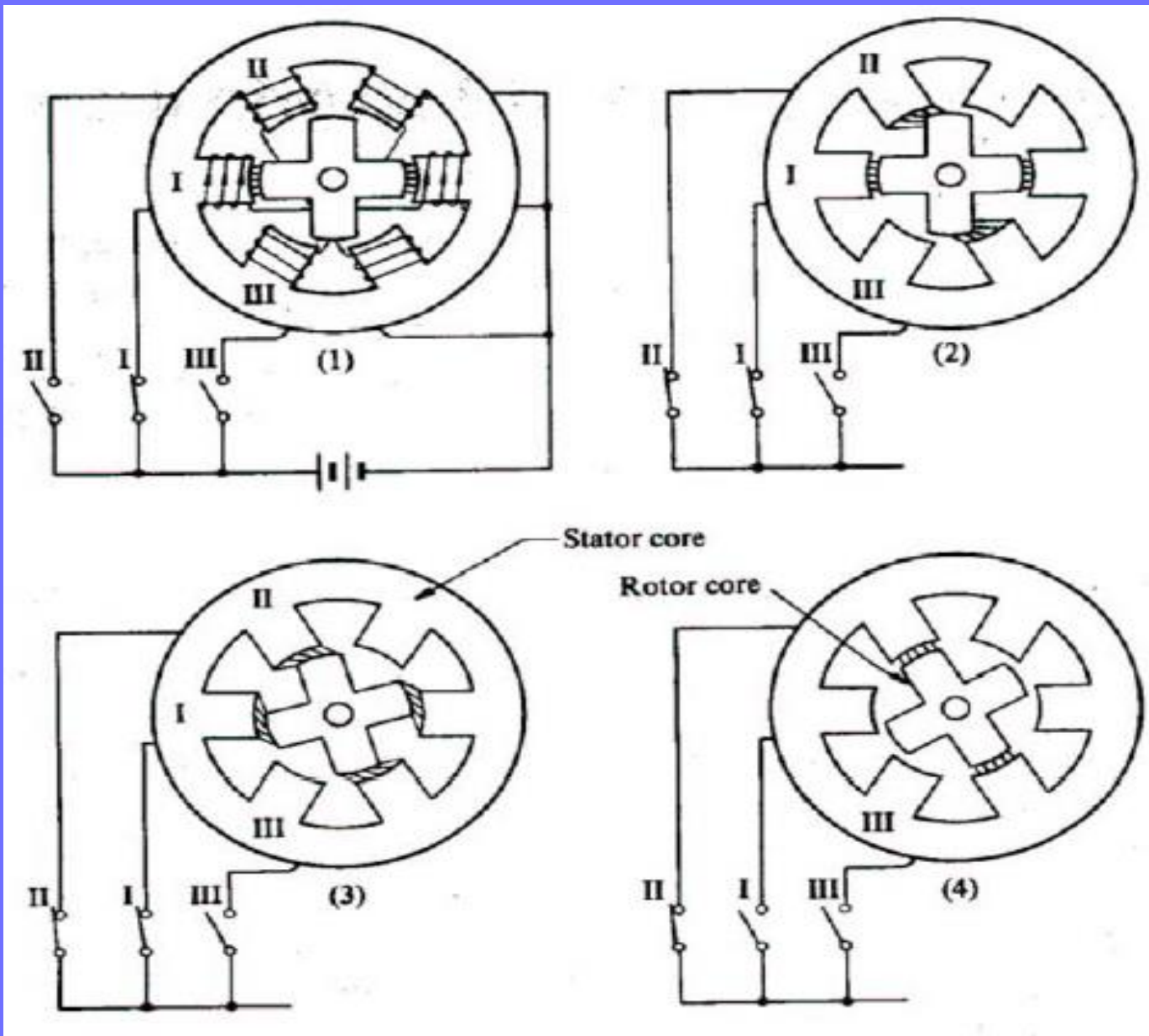
- تعداد پله ها

- سرعت موتور

- گشتاور



- این موتور به نام موتور "رلوکتانس متغیر تک پشته ای" خوانده می شود.
- هسته استاتور در شکل 2 دارای 6 قطب یا دندانه 60 درجه می باشد.
- روتور هم دارای 4 قطب 90 درجه می باشد.
- هر دو هسته روتور و استاتور از جنس فولاد نرم هستند.
- سه دسته سیم پیچی همان طور که در شکل نشان داده شده است،
آرایش داده شده اند.
- هر دسته دارای دو کلاف است که به صورت سری متصل شده اند.
- به هر یک از این دسته سیم پیچ ها فاز می گویند. در نتیجه این ماشین یک موتور سه فاز است.
- جریان از یک منبع تغذیه DC از طریق کلید های I, II, III تامین می شود.



- در وضعیت 1 سیم پیچی فاز 1 از طریق جریان کلید 1 تغذیه می شود. یا به اصطلاح فنی فاز 1 تحریک می شود.

- دو قطب برجسته استاتور که تحریک شده اند با دو دندانه از چهار دندانه روتور هم ردیف هستند.

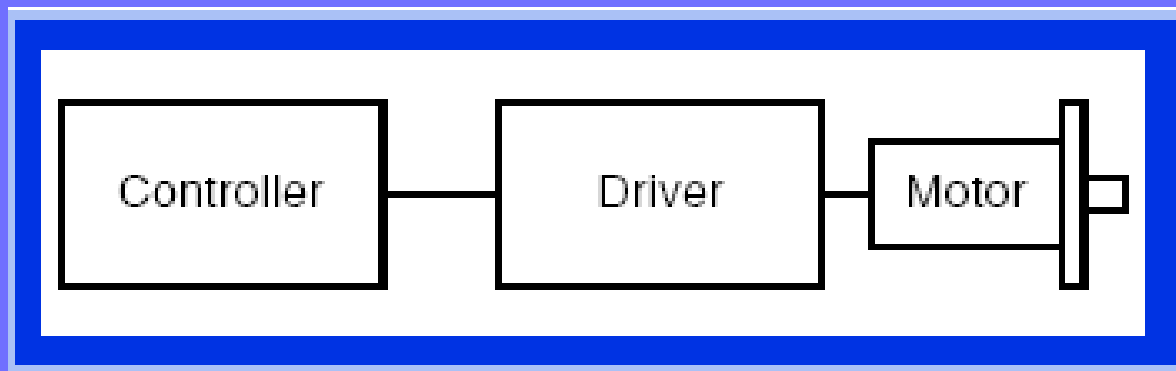
- این حالت از نظر دینامیکی یک حالت تعادل است.

- هنگامیکه کلید 2 برای تحریک فاز 2 علاوه بر فاز 1 بسته می شود، شار مغناطیسی در قطب های استاتور فاز 2 به حالت نشان

داده شده در وضعیت 2 به وجود می آید و گشتاوری در جهت عکس ساعتگرد به وجود می آید، از اینرو روتور سر انجام به وضعیت 3 خواهد رسید.

- روتور با یک زاویه ثابت می چرخد که زاویه پله خوانده می شود.

- سویچ های الکترونیکی در درایو یک موتور پله ای به کار می رود و سیگنال های سویچینگ توسط IC های دیجیتال یا ریز پردازنده ها تولید می شود.



شکل 3

مزایای موتور پله ای:

- کم هزینه بودن آن
- ساختار ساده آن
- قابلیت اعتماد بالای آن
- عدم نیاز به نگهداری
- عدم نیاز به فید بک برای کنترل موقعیت یا سرعت
- سازگاری با تجهیزات دیجیتال مدرن



معایب موتور پله ای:

- نیاز به زمان نسبتاً زیاد برای راه اندازی
- کارایی نامناسب در سرعت های پایین، مگر آنکه از درایو MicroStep استفاده شود.
- جریان مصرفی بالا
- تلفات حرارتی زیاد در سرعت های بالا و ایجاد تداخل در کارایی موتور

انواع موتور های پله ای

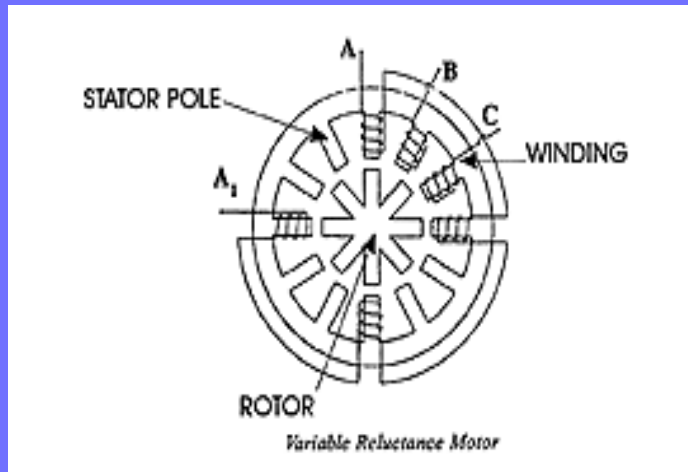
اساسا سه نوع موتور پله ای وجود دارد:

- 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.

رلوکتانس متغیر VARIABLE RELUCTANCE

- موتور V.R. از آهنربای دائمی استفاده نمی کند.
- روتور 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.



شکل 4

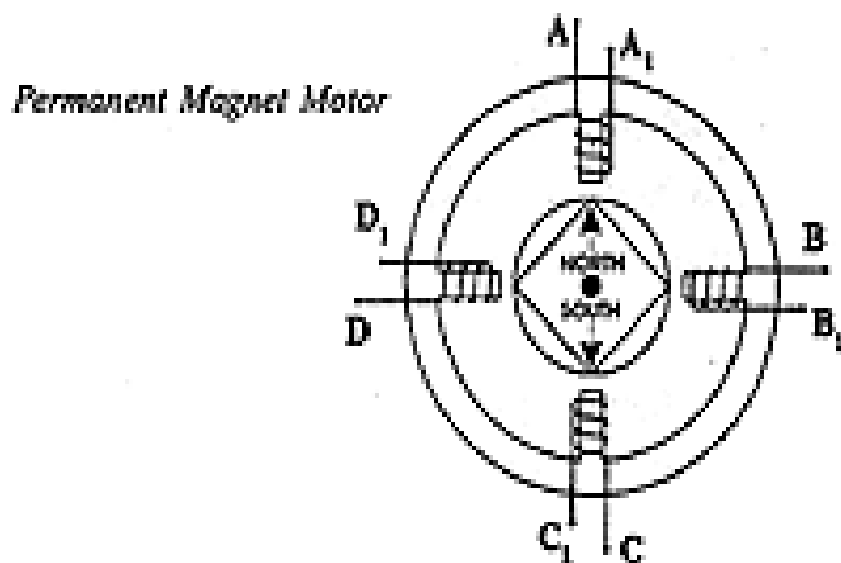
- موتور نشان داده شده دارای چهار مجموعه استاتور پل (A,B,C) با زاویه 30 درجه می باشد.
- جریان وارد شده به پل A از طریق رشته موتور، یک جاذبه مغناطیسی ایجاد می کند که دندانه های روتور را با پل A همردیف می کند.
- نیروی استاتور پل B باعث می شود تا روتور به اندازه 30 درجه چرخش کند و همردیف با پل B شود.
- این رویه ادامه خواهد داشت تا پل C هم همردیف شود و دوباره در جهت عقربه های ساعت به پل A برگردد.
- این رویه را می توان به صورت معکوس و در جهت پاد ساعتگرد هم انجام داد.



آهنربای دائمی PERMANENT MAGNET

- به موتور P.M. که CanStack هم گفته می شود، دارای یک روتور با آهنربای دائمی است.
- این نوع موتورها برای وسایلی با سرعت پایین، گشتاور پایین و زاویه پله بالا مانند 45 یا 90 درجه مناسب است.
- ساختار ساده و هزینه کم این نوع موتور ها آنها را برای کاربرد های غیر صنعتی به یک انتخاب ایده آل تبدیل کرده است.

مانند پرینتر خطی



شکل 5

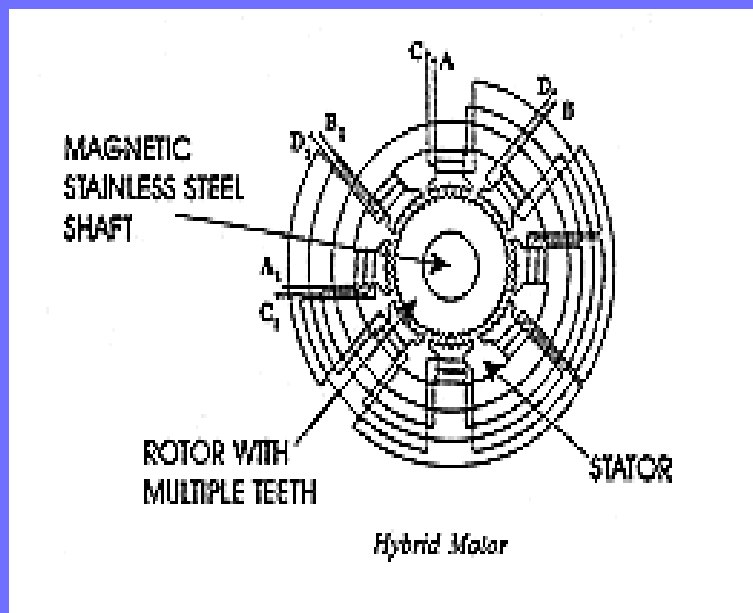
• برخلاف بقیه موتورهای پله ای روتور موتورهای P.M. دندانه

ندارند. و برای مغناطیس شدن در جهت راست محور قطب خود طراحی شده اند

- شکل 5 یک موتور P.M. ساده با زاویه 90 درجه که دارای 4 فاز A,B,C,D را نشان می دهد.
- جریان وارد شده به هر فاز باعث می شود که روتور مغناطیس شده و بچرخد.
- اگر چه این موتور دارای سرعت نسبتا کمی است ولی گشتاور بالایی دارد.

هیبرید HYBRID

- موتور های هیبرید از بهترین ویژگی های V.R. و P.M. تشکیل شده اند.
- آنها از پل های استاتور چند دندانه ای و یک روتور آهنربای دایمی ساخته شده اند.



شکل 6

- موتور هیبرید استاندارد دارای 200 دندانه است که تحت زاویه 1.8 درجه می چرخد.
- سایر موتورهای هیبرید تحت زاویه پله 0.9 و 3.6 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.

سیم پیچی موتور MOTOR WINDINGS

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

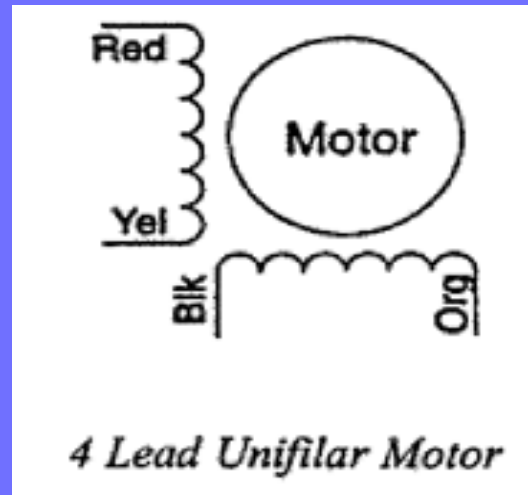
- سیم پیچی تک رشته ای UNIFILAR

- سیم پیچی دو رشته ای BIFILAR



سیم پیچی تک رشته ای UNIFILAR

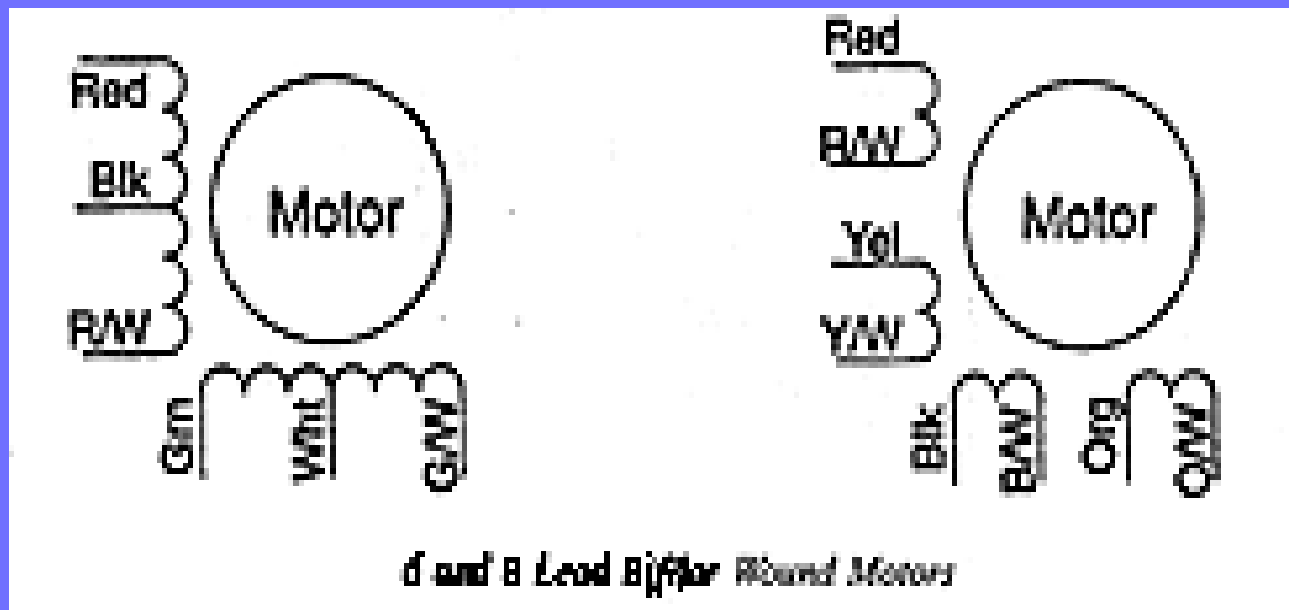
- سیم پیچی تک رشته ای ، همانطور که از نامش پیداست ، در هر پل استاتور فقط دارای یک رشته سیم است.
- موتورهای پله ای با سیم پیچی UNIFILAR دارای چهار رشته سیم است.
- شکل زیر نوعی از سیم پیچی UNIFILAR را نشان می دهد:



شکل 7

سیم پیچی دو رشته ای BIFILAR

- 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.



شکل 8

• معمول ترین شکل سیم پیچی برای موتور های با سیم پیچی **BIFILAR** استفاده از 8 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.

مد های پله STEP MODES

انواع مدهای پله عبارتند از:

Full Step •

Half Step •

Micro Step •

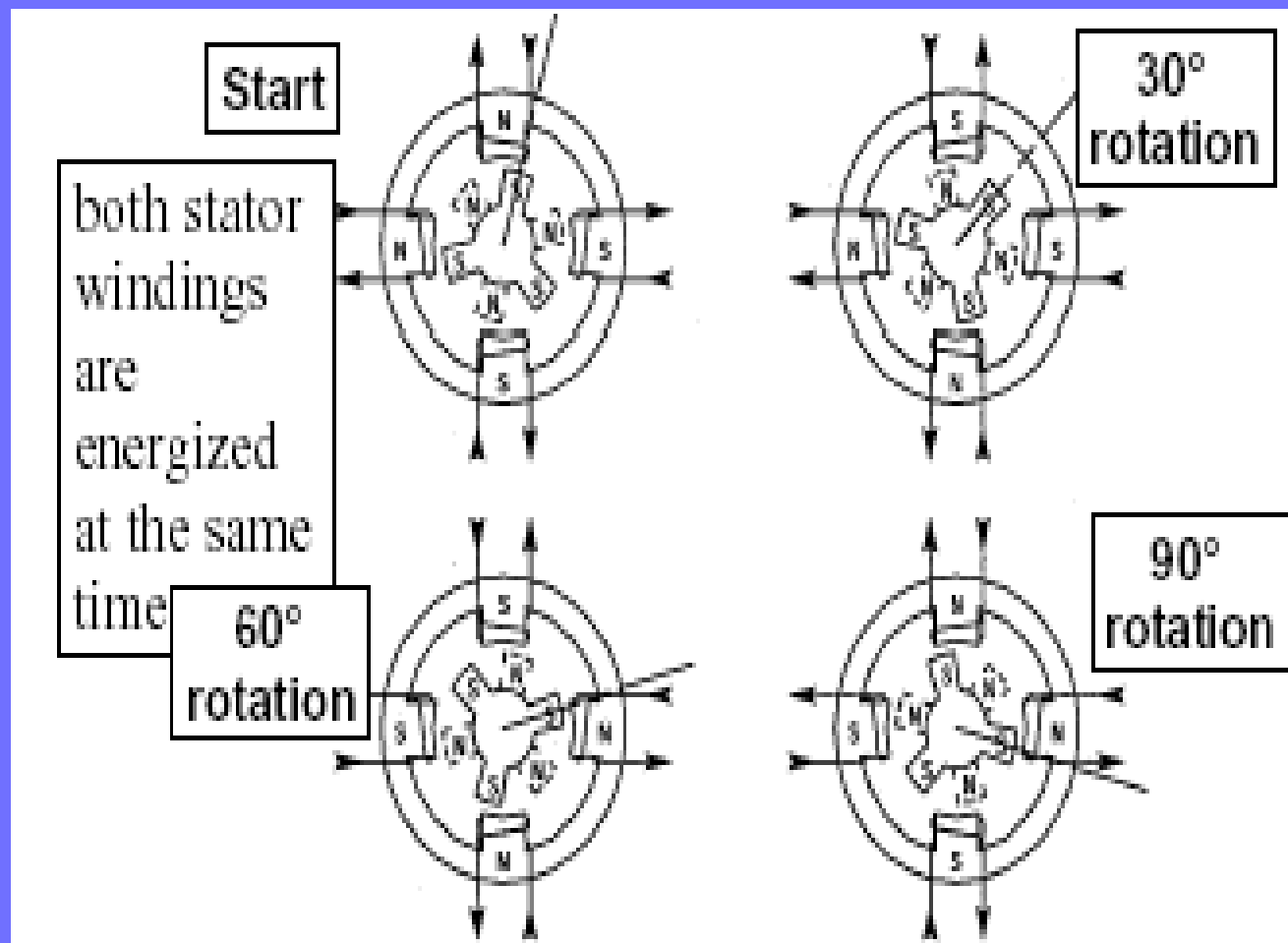
نوع خروجی Step Mode هر موتور بستگی به طراحی Driver

آن دارد.



Full Step

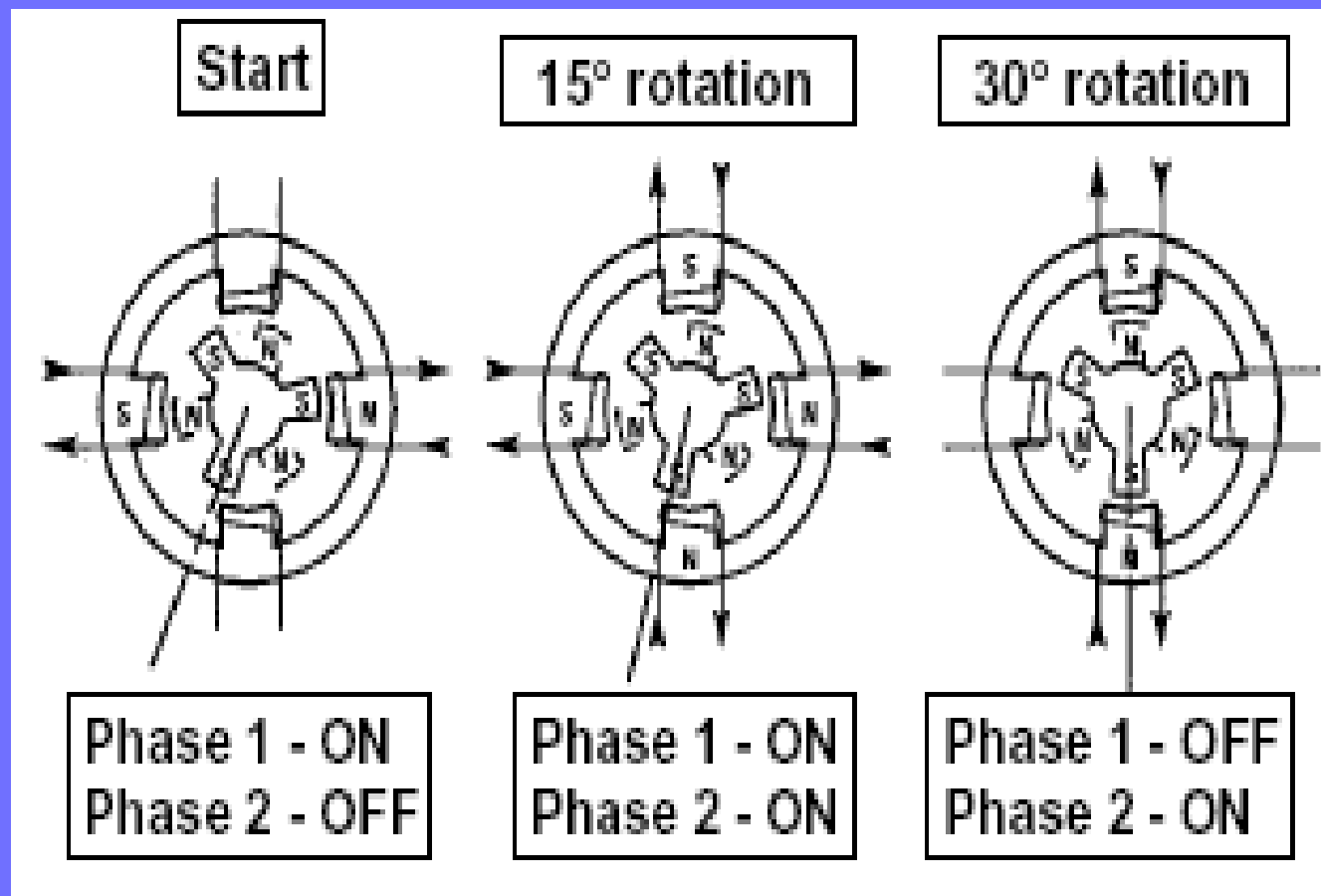
- موتور پله ای هیبرید استاندارد شامل یک روتور 200 دندانه ای و یا به بیان دیگر 200 پله کامل در هر دوران محور موتور است.
- با تقسیم 360 درجه چرخش بر 200 پله مقدار 1.8 زاویه پله کامل بدست می آید.
- در حالت کلی در این مد باید همه سیم پیچ های استاتور همزمان با هم تحریک شوند.



شکل 9

Half Step

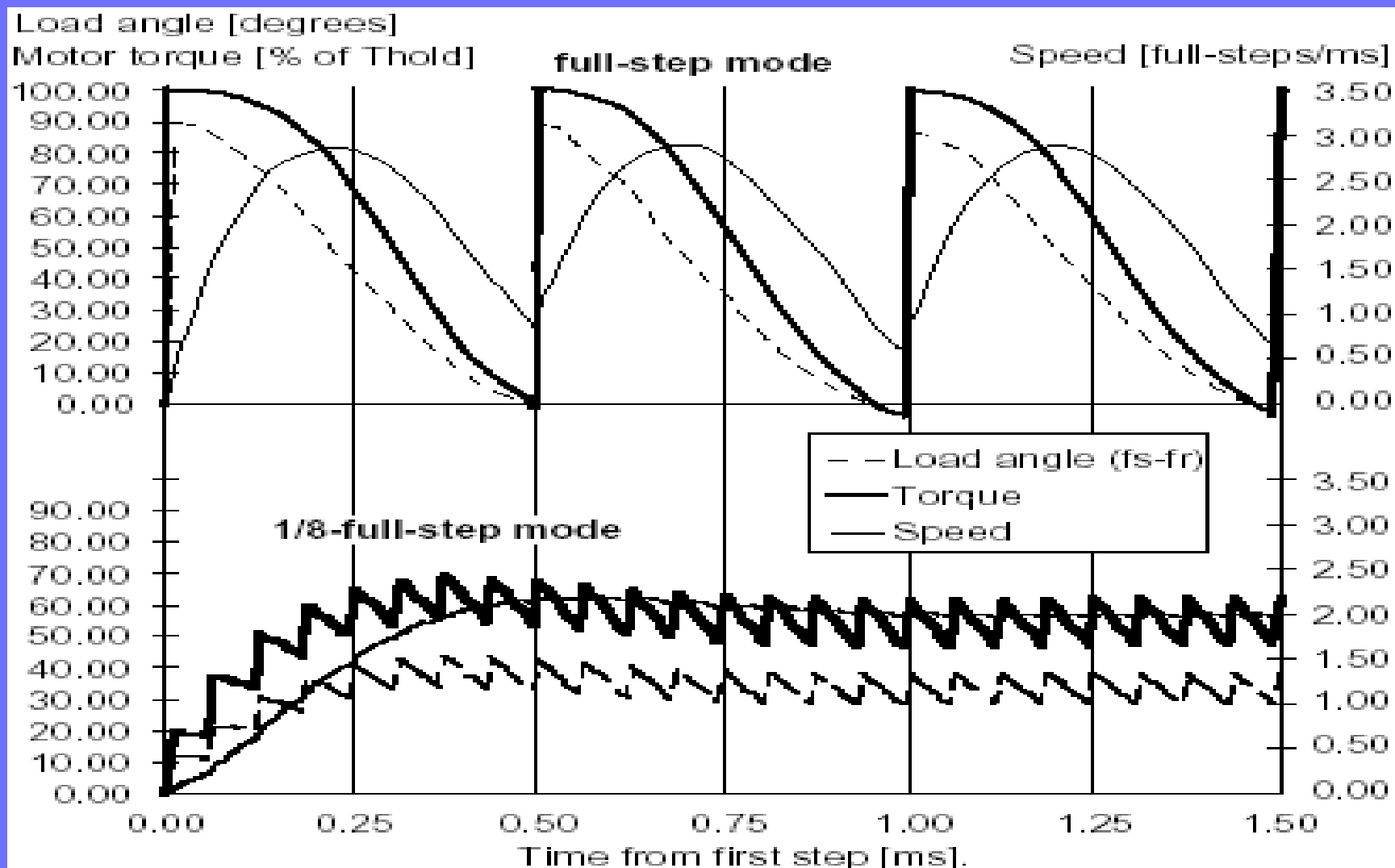
- Half Step به طور ساده به این معناست که موتور در هر دوران 400 پله چرخش می کند.
- در این مد ابتدا یکی از سیم پیچ ها تحریک می شود و سپس به طور متناوب هر دو سیم پیچ تحریک می شوند و این باعث می شود تا موتور نصف فاصله چرخش کند. (یا همان 0.9 ذره زاویه پله)
- در حالت Full Step نیز با 400 پله در هر دوران موتور 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.



شکل 10

Micro Step

- Micro Step در تکنولوژی موتورهای 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، بنابراین می توان تا $51'000$ پله را در هر دوران ایجاد کرد.
- 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.



شکل 11. a) گشتاور، سرعت و زاویه پله در حالت Full Step

b) گشتاور، سرعت و زاویه پله در حالت Micro Stepping 1/8

ملاحظات طراحی design consideration

- مطابقت الکتریکی موتور و درایور مهم ترین فاکتور در طراحی سیستم موتور پله ای است.
- برخی از معیارهای اصلی در انتخاب این اجزا عبارتند از:

- اندوکتانس موتور
- ارتباط سری و موازی
- ولتاژ درایور
- سختی موتور
- گرمای موتور

اندوکتانس Inductance

- موتورهای پله ای با درجات متفاوتی از اندوکتانس وجود دارد.
- یک موتور با اندوکتانس بالا گشتاور زیادی را تحت سرعت پایین ، و بالعکس سرعت بالایی را تحت گشتاوری پایین تامین می کند.

ارتباطات سری و موازی

- دو روش برای ارتباط موتور پله ای وجود دارد:

- سری

- موازی

- یک ارتباط سری شامل یک اندوکتانس بالا

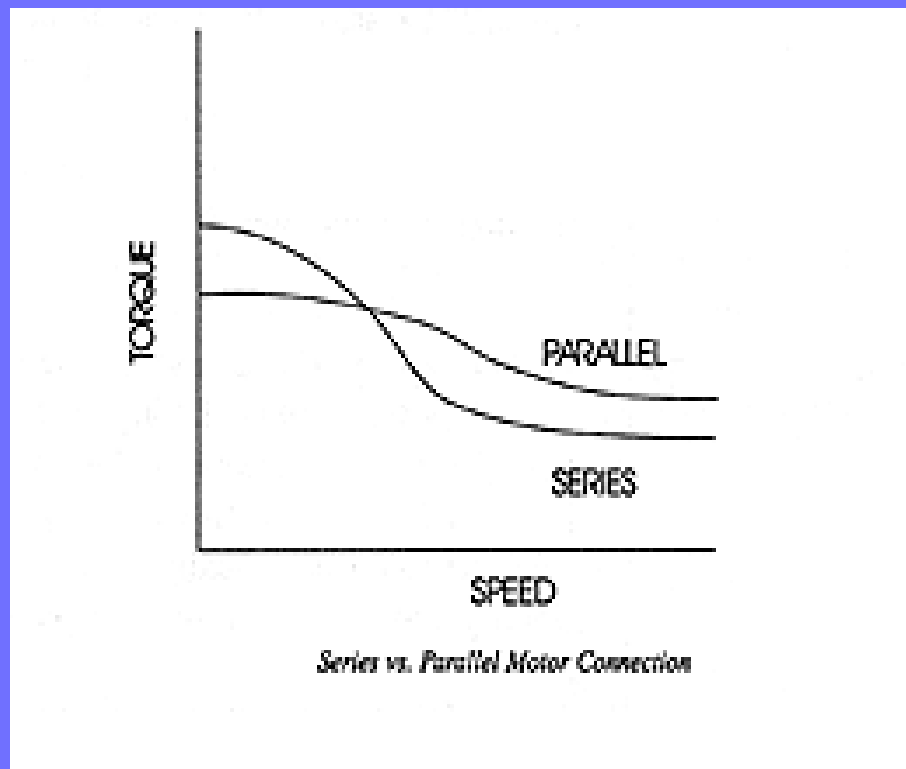
- است، بنابراین

- کارایی بالایی را با سرعت کم تامین می کند.

- یک ارتباط موازی مقدار اندوکتانس را کاهش می دهد

- ولی گشتاور را همراه با سرعت افزایش می دهد.

- شکل زیر نمونه ای از منحنی سرعت/گشتاور برای یک درایور AMS و ارتباط سرعت و گشتاور را به صورت سری و موازی نشان می دهد.



شکل 12

ولتاژ درایور

- هر چه ولتاژ خروجی درایور بیشتر باشد، گشتاور و سرعت بیشتر می شود.
- عموماً خروجی ولتاژ درایور باید از مقدار ولتاژ موتور بیشتر باشد.

سختی موتور

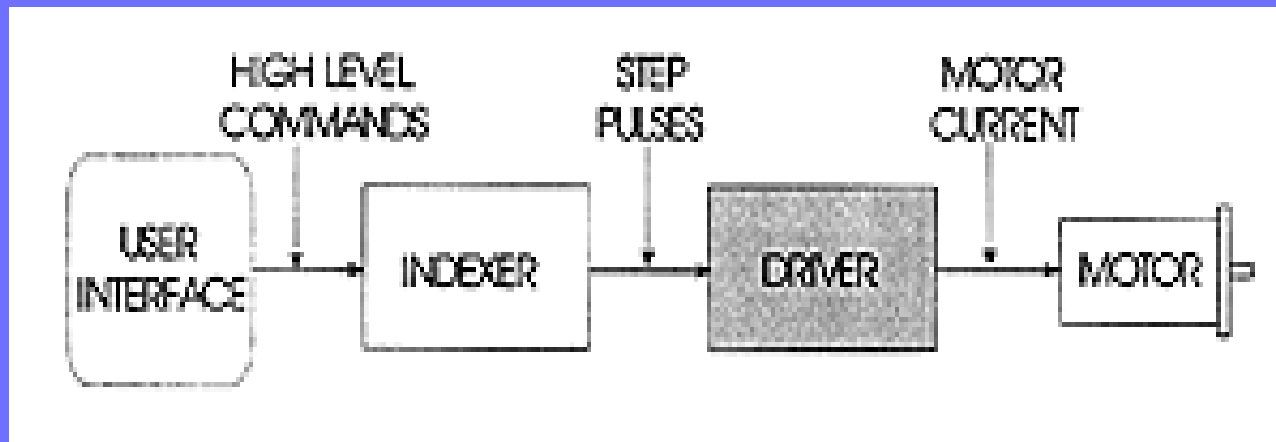
- طراحی نامناسب موتورهای پله ای آنها را به سمت سختی گرایش می دهد.
- کاهش درصد کمی از جریان به سمت موتور می تواند چرخش موتور را راحت تر کند.
- افزایش جریان موتور باعث سختی موتور می شود.
- تبدلات بین سرعت، گشتاور و رزولوشن از ملاحظات اصلی در طراحی یک موتور پله ای است.

گرمای موتور

- موتورهای پله ای برای کار در حرارت های بالا طراحی شده اند.
- اما جریان بسیار زیاد باعث گرمای بیش از اندازه و در نتیجه آسیب دیدن ایزولاسیون و سیم پیچی موتور می شود.
- محصولات موتورهای پله ای AMS ریسک گرم شدن بیش از حد موتور را با تهیه یک خصیصه قابل برنامه ریزی Run/Hold جریان کاهش می دهد.

سیستم درایو

- یک سیستم درایو ساده برای یک موتور پله ای با بلوک دیاگرام در شکل نشان داده شده است:



شکل 13

- بلوک دیاگرام برای راحتی در تشریح به دو بخش تقسیم شده است:

– توالی ساز منطقی

– کنترلر ورودی



توالی ساز منطقی

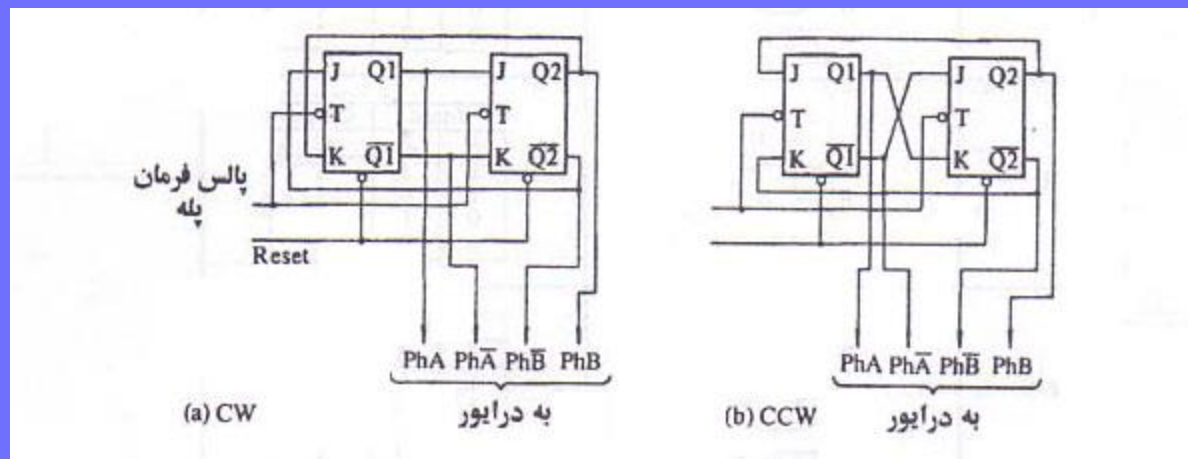
- هنگامیکه یک پالس فرمان پله به توالی ساز منطقی اعمال می شود، حالات ترمینال های خروجی تغییر می کند تا درایور، موتور را طوری کنترل کند که موتور به اندازه یک زاویه پله در جهت فرمان داده شده بچرخد.
- جهت چرخش از حالت منطقی در ورودی direction مشخص می شود.
- به طور مثال سطح H برای جهت ساعتگرد و سطح L برای جهت پاد ساعتگرد می باشد.
- در برخی کاربردها توالی ساز منطقی تک جهته می باشد و هیچ ترمینال سیگنال جهتی ندارد.

کنترلر ورودی

- وقتی حرکت با دو یا چند پله انجام می شود، یک قطار پالس مناسب لازم است تا قبل از توالی ساز منطقی قرار گیرد.
- این مدار منطقی که قطار پالس را ایجاد می کند کنترلر ورودی نامیده می شود.
- در کاربردهای پیچیده، کار کنترلر ورودی توسط یک ریزپردازنده انجام می شود که قطار پالسی را برای افزایش سرعت، کاهش سرعت، چرخش در موتور به صورت کارا و قابل اطمینان تولید می کند.

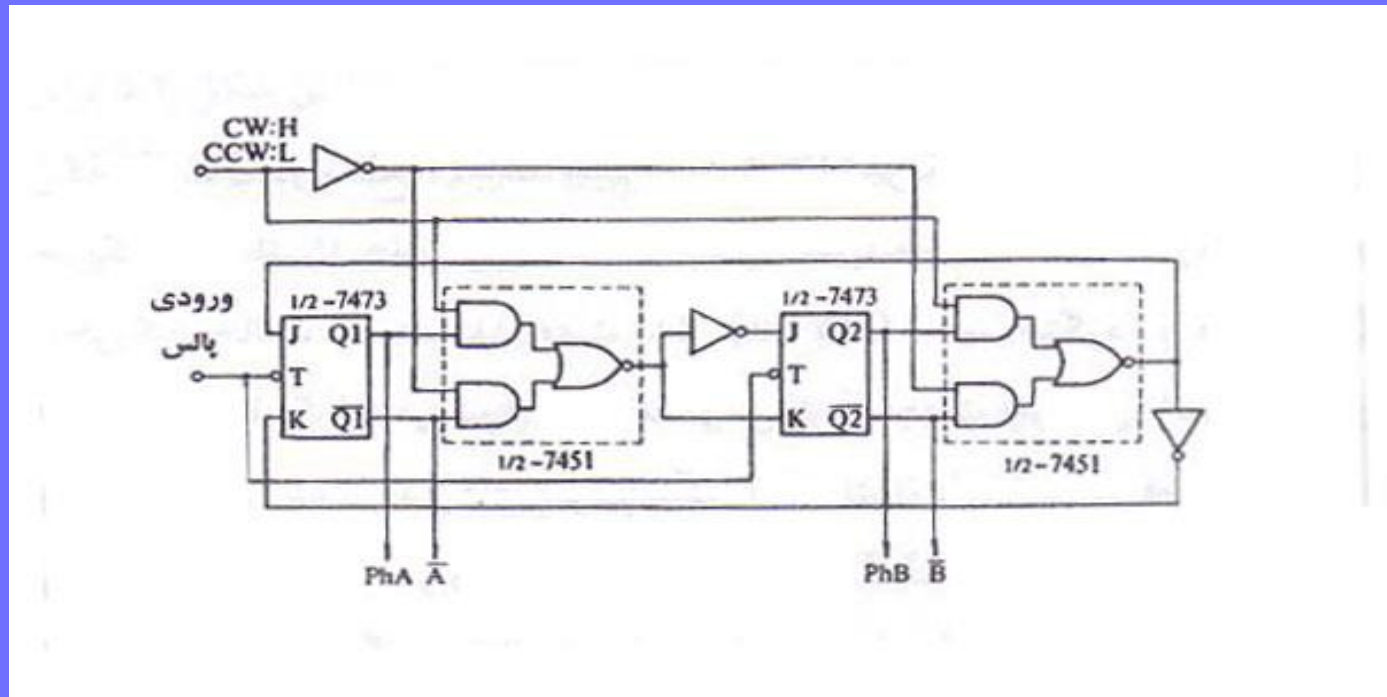
انواع توالی سازها

- دو نوع ساده از این توالی ساز را می توان تنها با دو JK-FF برای حالت تک جهته ساخت.



شکل 14

- اگر $Q1$ در سطح H باشد، سیم پیچی $Ph A$ تحریک شده است.
- اگر $Q1$ در سطح L باشد، سیم پیچی $Ph A$ تحریک نشده است.
- مدارهای a, b از جهت ترتیب تحریک مخالف هم هستند.
- جهت مدار a ساعتگرد و مدار b پادساعتگرد.

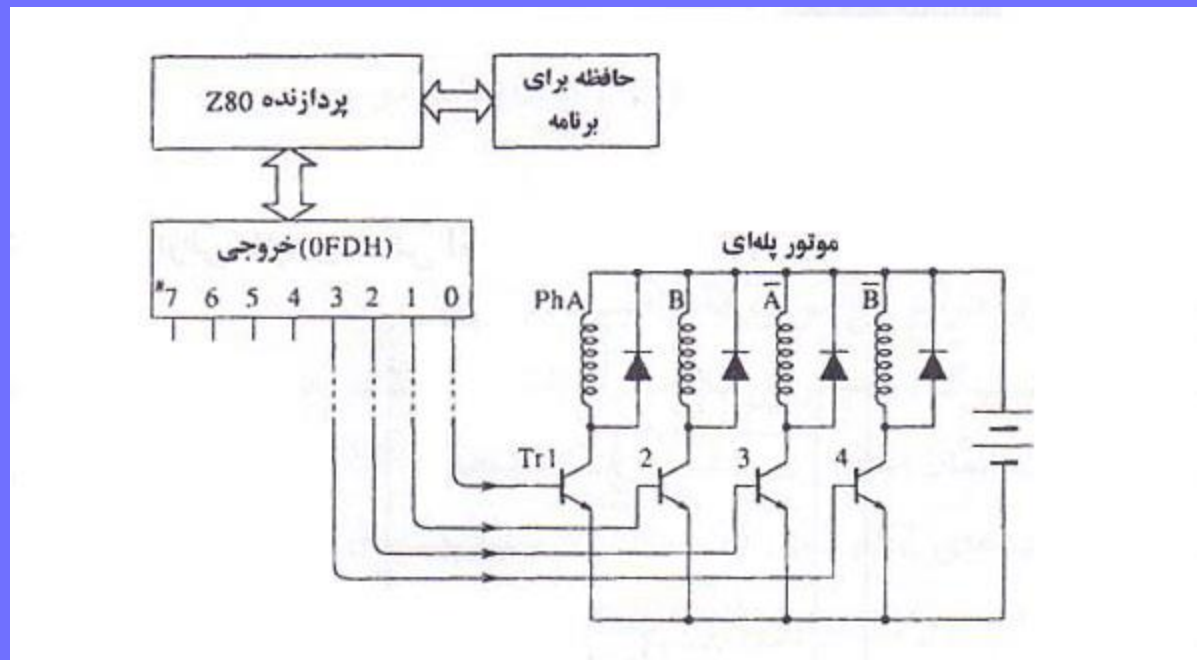


شکل 15

- شکل 15 یک توالی ساز دو جهته را برای روش دو فاز در تحریک نشان می دهد. و شامل دو بخش سوئیچینگ و جهت است.
- به ازای فرمان جهت سطح H ، $C=Ph A$ و به ازای فرمان جهت سطح L ، $C=Ph \text{ not} A$ می شود.

استفاده از یک ریزپردازنده

- از یک ریزپردازنده می توان برای تولید هر نوع از توالی با استفاده از نرم افزار استفاده کرد.
- شکل شماره 16 سیستمی است که از یک ریزپردازنده Z80 استفاده می کند.
- در این سیستم دستورات پله و جهت به جای اعمال یک قطار پالس، در برنامه ای در حافظه ثبت شده اند.
- یک پورت خروجی که آدرس آن در اینجا 0FDH می باشد، برای فرستادن سیگنال های سوئیچینگ مورد استفاده قرار گرفته است.



شکل 16

- استفاده از یک ریزپردازنده به عنوان توالی ساز منطقی و اتصال بین بیت های پورت خروجی و ترانزیستورها
- استفاده از 4 بیت کم ارزش تر برای درایو 4 ترانزیستور در یک موتور هیبرید دو فاز

برنامه ای برای درایو با استفاده از Z80

*****Initialization*****

ORG 8000H ; برنامه را از آدرس 8000h شروع می کند
LD B,01H ; اولین داده تحریک را B بار می کند
در
LD C,0FDH ; پورت خروجی را در C بار می کند
OUT (C),B ; موتور را با خروجی قرار دادن پورت
0FD تحریک می کند
LD E,200 ; داده زمان 200
CALL TIMER
LD E,1 ; نرخ پله 100 Hz

;****Continuous Drive of Motor****

LOOP1: CALL STP4L ; کارکرد را فرا می خواند. 4 فاز تمام پله
OUT (C),B ; موتور را با دادن فرمان جدید حالت تحریک می
چرخاند
CALL TIMER ; زیر برنامه تایمر را فرا می خواند;
JP LOOP1

;****TIMER Subroutine****

TIMER: PUSH BC
PUSH DE
LOOP2: LD D,60
LOOP3: LD B,46
LOOP4: DEC B
JP NZ,LOOP4
DEC D
JP NZ,LOOP3
DEC E
JP NZ,LOOP5

```

        POP    DE
        POP    BC
        RET
LOOP5:LD    D,4
        NOP
        NOP
LOOP6:DEC    D
        JP     NZ,LOOP6
        JP     LOOP2

```

;****Function Subroutine****

```

STP4L:RLC    B           چهار فاز چپ;
        RET
STP4R:RRC    B           چهار فاز راست;
        RET

```

0	0	1	1	0	0	1	1
0	1	1	0	0	1	1	0
1	1	0	0	1	1	0	0
0	0	0	1	0	0	0	1
0	0	1	1	0	0	1	1
0	1	1	0	0	1	1	0
1	1	0	0	1	1	0	0
1	0	0	1	1	0	0	1

1- تحریک دو
فاز

0	0	0	1	0	0	0	1
0	0	1	0	0	0	1	0
0	1	0	0	0	1	0	0
1	0	0	0	1	0	0	0
0	0	0	1	0	0	0	1
0	0	1	0	0	0	1	0
0	1	0	0	0	1	0	0
1	0	0	0	1	0	0	0

2- تحریک تک
فاز

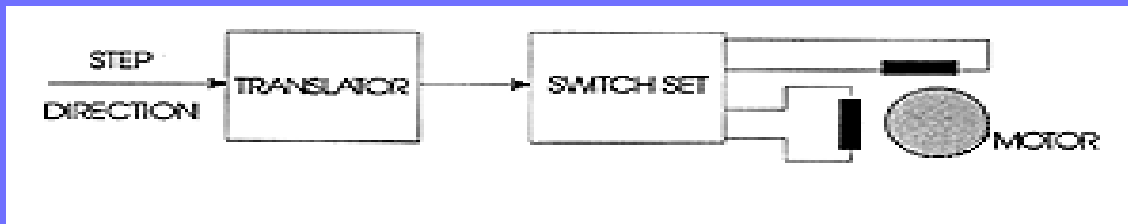
0	0	0	0	0	1	1	1
0	0	0	0	1	1	1	0
0	0	0	1	1	1	0	0
0	0	1	1	1	0	0	0
0	1	1	1	0	0	0	0
1	1	1	0	0	0	0	0
1	1	0	0	0	0	0	1
1	0	0	0	0	0	1	1

3- تحریک نیم
پله

جدول 1- تغییر داده 8 بیتی در ترتیب تحریکه در برنامه، در رجیستر b انجام میگیرد.

انواع درایور

- برای کاربرد های صنعتی اساسا سه نوع تکنولوژی درایور وجود دارد.
- همه درایورها برای تبدیل پله و سیگنال جهت که از Indexer می آید به یک پالس الکتریکی به موتور از یک Translator استفاده می کنند.
- اختلاف اساسی در روش تحریک سیم پیچ موتور است.
- مداری که سیم پیچ موتور را تحریک می کند Switch Set نامیده میشود.



شکل
17

• انواع درایور های موتور عبارتند از:

Unipolar –

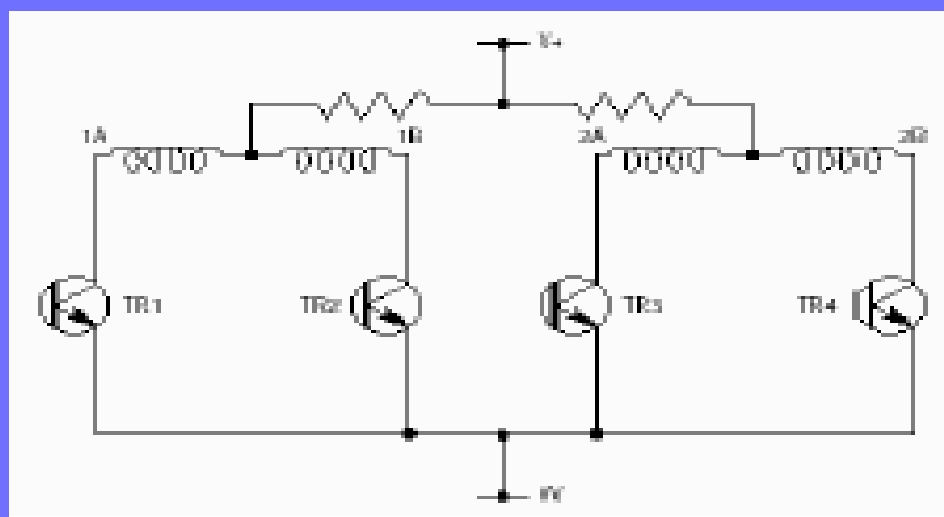
Bipolar –

R/L –



درایور Unipolar

- نام Unipolar از این واقعیت سرچشمه می گیرد که جریان، محدود به حرکت در یک جهت است.
- مدار Switch Set درایور Unipolar ، ساده و کم هزینه است.
- مشکل استفاده از مدار Unipolar قابلیت محدود برای تحریک تمامی سیم پیچ ها در یک زمان است. در نتیجه مقدار گشتاور تا حدود 40% در مقایسه با دیگر تکنولوژی های درایور کاهش می یابد.
- این درایور ها برای کاربردهایی که سرعت پله پائینی دارند مناسب است.

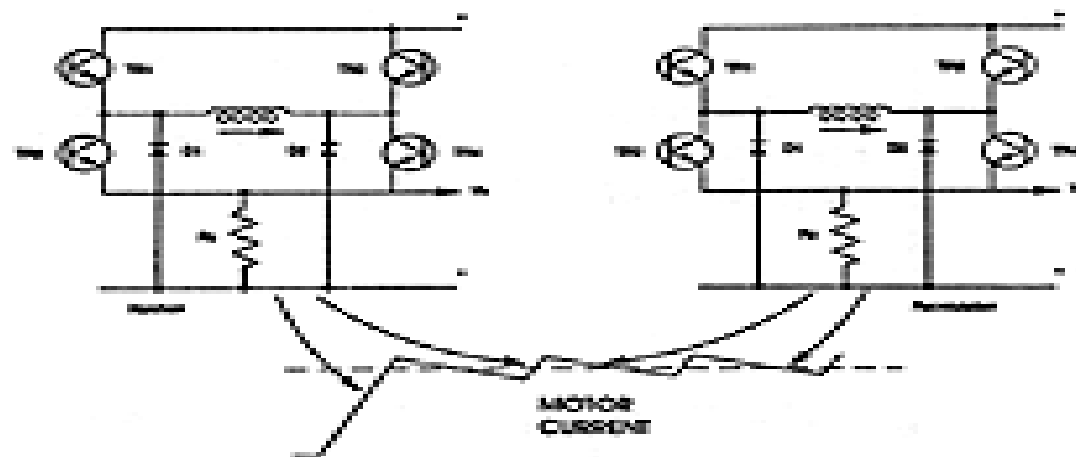


شکل 18

دراپور Bipolar Chopper

- این مدار پرمصرف ترین دراپور در کاربردهای صنعتی است.
- با اینکه طراحی سیستم های موتور پله ای با دراپور Bipolar Chopper بسیار پرهزینه می باشد اما باعث می شوند این سیستم ها کارایی و راندمان بسیار بالایی دارند.
- به جای استفاده از دو منبع تغذیه، دراپور Bipolar Chopper از یک مجموعه Switching Transistor اضافی استفاده می کند.
- این دراپورها از یک پل 4 ترانزیستوری به همراه دیود و یک مقاومت ساخته شده اند که از آنها برای نگهداری ولتاژ فیدبک متناسب با جریان موتور استفاده می شود.

- سیم پیچ موتورهای که از درایور Bipolar Chopper استفاده می کنند با روشن شدن یک مجموعه از Switching Transistor ها به طور کامل تحریک می شوند.
- مقاومت، افزایش جریان را تا جایی کنترل می کند که به سطح مورد نیاز برسد.
- در این لحظه Switching Transistor های بالایی باز می شوند و جریان در سیم پیچ موتور توسط سوئیچ ترانزیستورهای پایین و دیود حفظ می شود.
- با گذشت زمان ، مادامیکه موتور به وضعیت از پیش تعیین شده برسد، جریان کاهش می یابد و در این زمان پروسه پایان می یابد.
- این اثر جدا کردن منبع باعث می شود که همواره مقدار صحیحی از جریان و ولتاژ در موتور باشد.



Bipolar Chopper Driver Switch Circuit

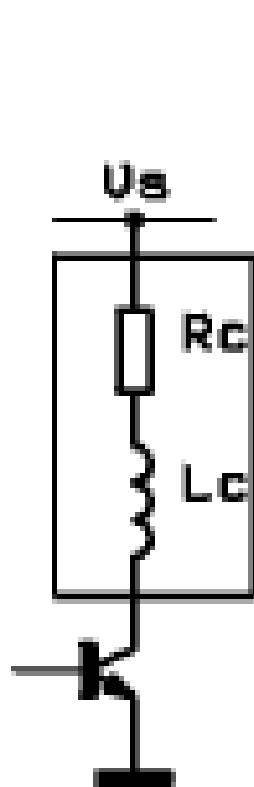
شکل 19

دراپور R/L

- این نوع دراپور با توجه به استاندارد های امروزه یک تکنولوژی قدیمی است. اما هنوز در بعضی کاربردهای با توان پایین وجود دارد. زیرا بسیار ساده و کم هزینه هستند.
- اشکال این دراپور آنست که تقریبا 10 برابر مقدار جریانی که موتور برای داشتن سرعت مناسب و فعالیت مفید نیاز دارد ، مصرف می کند.
- این مساله باعث می شود که مقدار گرمای زیادی تولید شود.
- برای راه اندازی مدار از منبع تغذیه DC استفاده میشود.

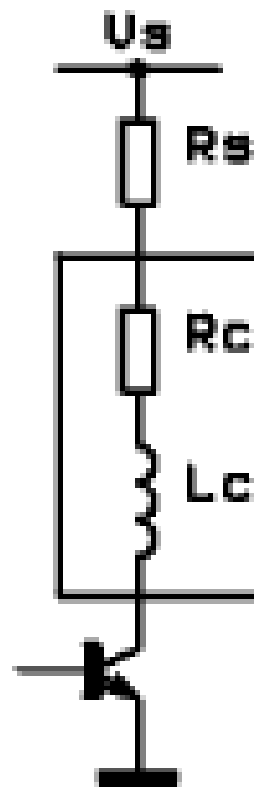
A: L/R DRIVE

B: L/nR DRIVE



$$I_c = U_s / R_c$$
$$t = L_c / R_c$$

ن92ل6281-39

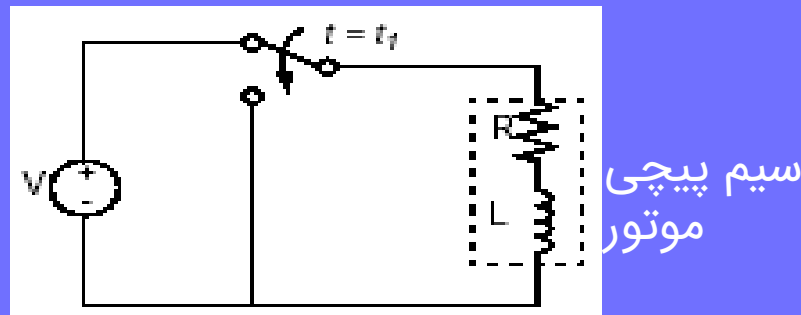


$$I_c = U_s / (R_c + R_s)$$
$$t = L_c / (R_c + R_s)$$

شکل 20

حذف کننده ها

- سیگنال های خروجی یک توالی ساز منطقی به ترمیتال های ورودی این درایور منتقل می شود که بوسیله آن on/off بودن سیم پیچی های موتور کنترل می شود.

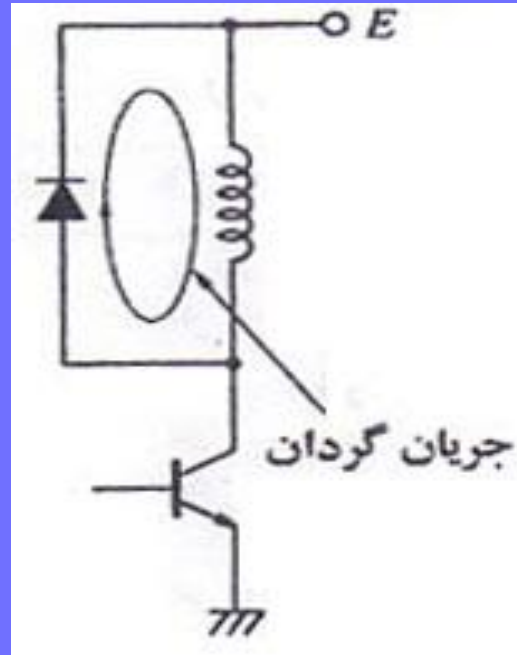


شکل 21

- هنگامیکه ترانزیستور شکل 21 قطع می شود، یک ولتاژ بالا ناشی از $L(di/dt)$ بوجود می آید و این ولتاژ به ترانزیستور آسیب می رساند.
- روش های مختلفی برای جلوگیری از این ولتاژ ضربه ای و محافظت از مدار وجود دارد:
 - حذف کننده های دیودی
 - حذف کننده دیود - مقاومتی
 - حذف کننده دیود زنر
 - حذف کننده خازنی

حذف کننده دیودی

- اگر دیودی به صورت موازی با سیم پیچی قرار داده شود، جریان بعد از خاموش شدن ترانزیستور جاری می شود و جریان به مرور زمان از بین خواهد رفت.
- در این طرح به هنگام خاموش شدن ترانزیستور تغییر بزرگی در جریان بوجود نمی آید.
- این روش ساده است اما مشکل این است که جریان مدت زمان قابل توجهی باقی میماند و یک گشتاور ترمز کننده بوجود می آورد.

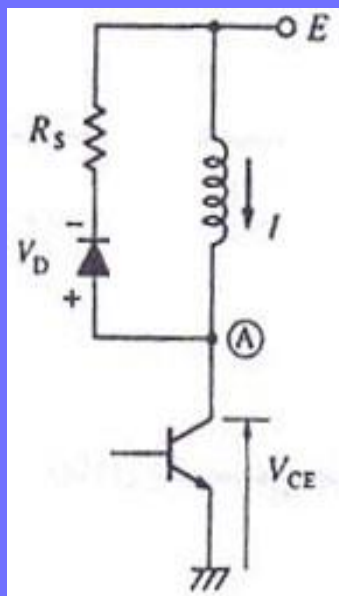


شکل 22



حذف کننده دیود - مقاومت

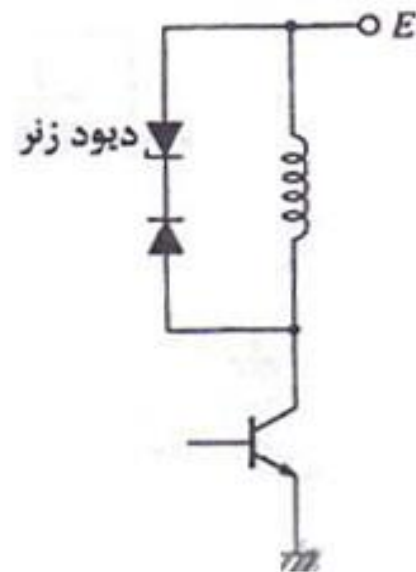
- یک مقاومت با دیود سری شده است تا جریان را به سرعت میرا کند.
- یک مقاومت بزرگ R_S برای از بین رفتن سریع جریان مورد نیاز است. اما این موضوع باعث پتانسیل کلکتور V_{CE} بزرگتر میشود.
- از اینرو به یک ترانزیستور ولتاژ بالا نیاز می باشد.



شکل 23

حذف کننده دیود زener

- دیودهای زener اغلب به صورت سری با دیودهای معمولی به کار می روند.
- در مقایسه با دو مورد قبلی در این طرح جریان بعد از خاموش شدن ترانزیستور سریع تر از بین می رود.
- بعلاوه مزیت این روش آنست که پتانسیل اعمال شده به کلکتور برابر با پتانسیل منبع به اضافه پتانسیل زener و مستقل از جریان می باشد. این امر تعیین محدوده پتانسیل ماکزیمم کلکتور را آسان می کند.



شکل 24

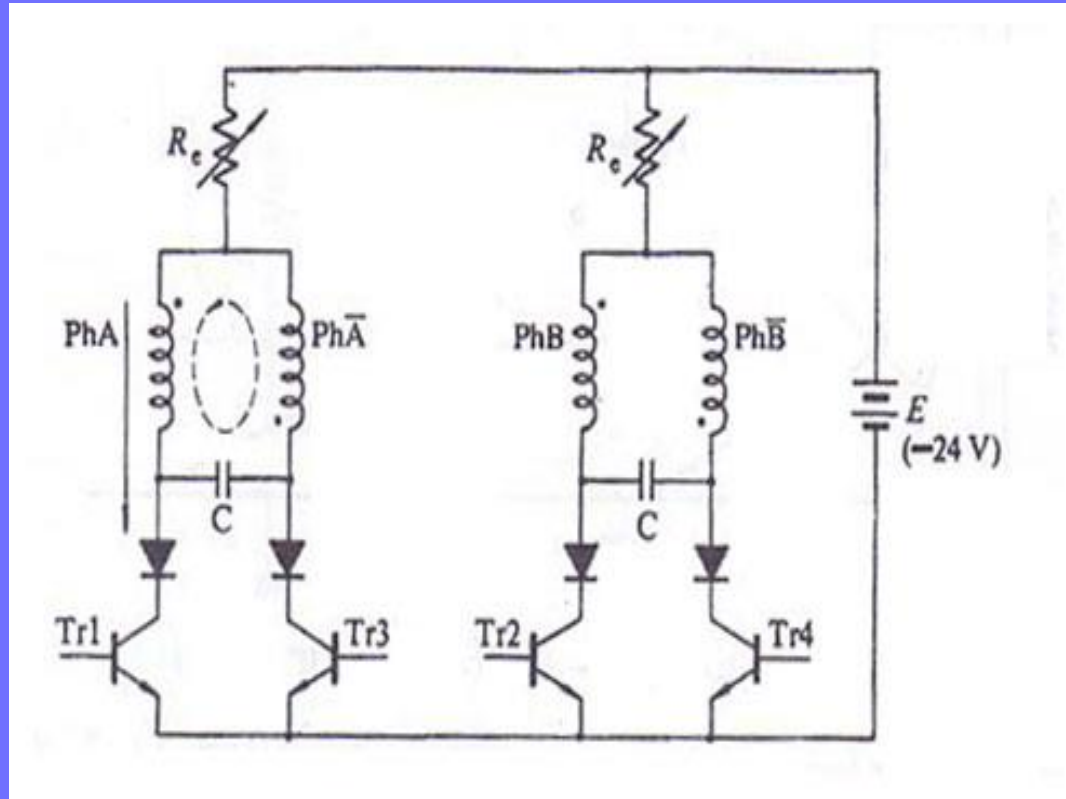
حذف کننده خازنی

- این طرح اغلب در موتورهای هیبرید استفاده می شود.

- این خازن ها دو هدف را میسر می کند:

1. هنگامیکه ترانزیستوری خاموش می شود خازنی که به آن از طریق دیود متصل شده اند، جریان میرا شونده را از سیم پیچی جذب می کند تا از ترانزیستور محافظت کند.

2. کاربرد دیگر خازن به عنوان یک میرا کننده الکتریکی است. عمل میرا کردن نوسانات روتور برای ایجاد مکانیزمی است که انرژی جنبشی به گرمای ژول تبدیل شود.



شکل 25

کاربرد موتورهای پله ای

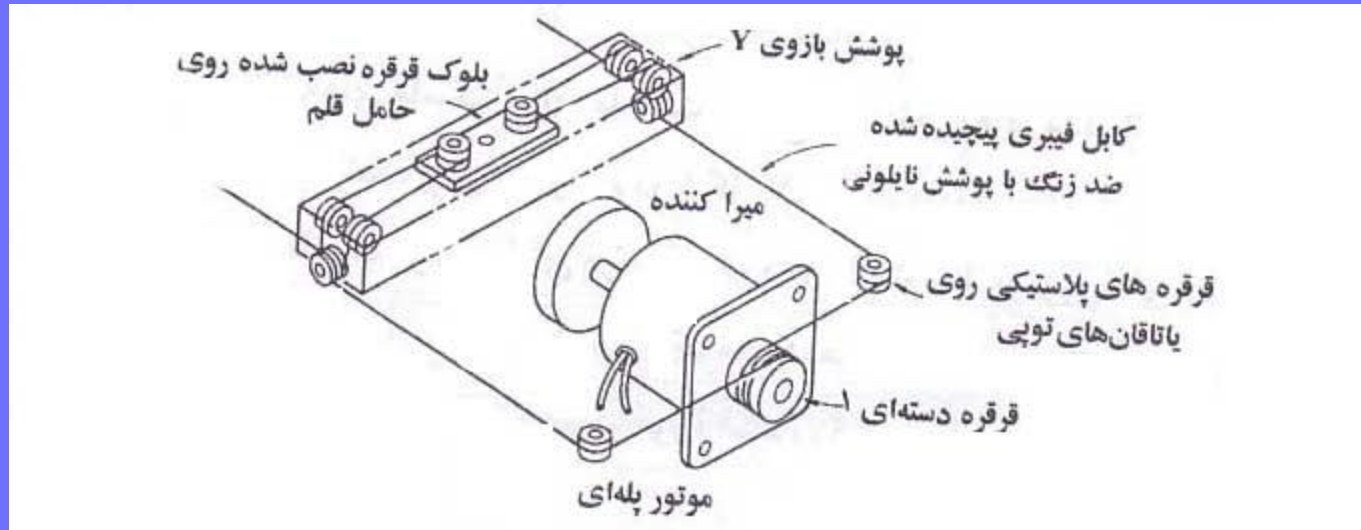
- کاربردهای موتورهای پله ای با کنترل عددی ماشین های تولید آغاز شد و بعد ها به لوازم جانبی کامپیوتر و تجهیزات اداری انتقال یافت.
- مهم ترین لوازم جانبی کامپیوتر که در آنها موتور پله ای به کار رفته است عبارتند از:
 - چاپگرها
 - رسام های گراف
 - درایو های دیسک سخت
 - ماشین های فاکس

چاپگر

- چندین نوع از چاپگرها که در آنها موتورهای پله ای به منظوره‌ای مختلفی به کار رفته اند، وجود دارد.
- به طور مثال موتور های DC برای اسکنر های چند گوشه در چاپگر های لیزری



رسام های گراف

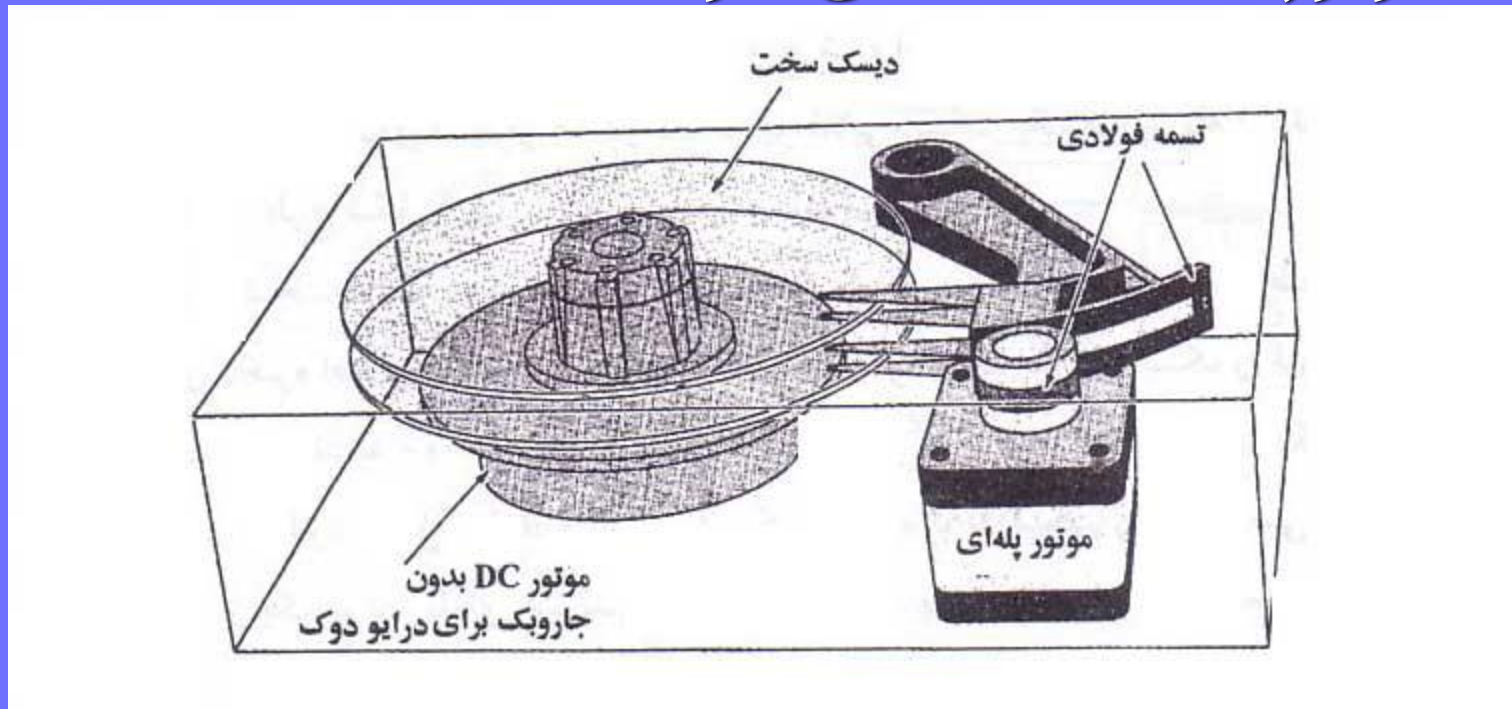


شکل 26

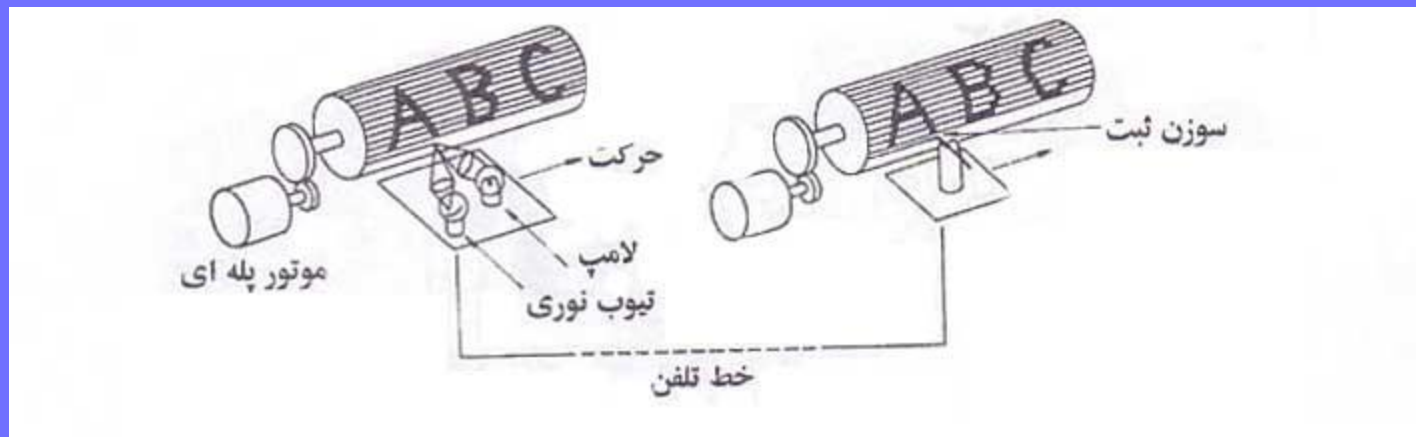
- یک رسام گراف فشرده به نام X-Y ساخت دهه 80 است که سیستم درایو قلم به کار رفته در این رسام در شکل 26 نشان داده شده است.

درایو های دیسک سخت

- در کامپیوترهای بزرگ انواع مختلفی از موتورها برای درایو دیسک به کار میرود
- اما برای کامپیوترهای شخصی برای طراحی فشرده تر از یک موتور DC استفاده می شود.



ماشین های فاکس



شکل 28

- اصول اساسی یک ماشین فاکس در شکل 28 نشان داده شده است.
- طرح قرار داده شده روی استوانه در جهت های عمودی و چرخش اسکن می شود.
- موتورهای پله ای برای درایو استوانه و قلم به کار می رود.