

## فهرست مطالب

5	مقدمه
	فصل اول: درایور موتور DC
6	1-1 کنترل دور موتور
7	1-2 کنترل دور با یک رنوستا
8	1-3 کنترل دور با پالس PWM
10	1-4 کنترل دور جهت موتور توسط پل H
11	1-5 پل H با ترانزیستورهای BJT
12	1-6 پل H با MOSFET
16	1-7 استفاده از MOSFET های مکمل
17	1-8 استفاده از تغذیه اضافی
18	1-9 استفاده از IGBT
19	1-10 بررسی IC های درایور موتور DC
19	1-10-1 درایور موتور L298 و L293
22	1-10-2 کنترل موتور DC با آی سی 4093
26	1-11 استفاده از درایور MOSFET
26	1-11-1 استفاده از IC 7667 جهت راه اندازی MOSFET ها
26	1-11-2 استفاده از IC ir2113
31	1-12 اتمز الکترونیکی برای موتور ها
	فصل دوم: مدولاسیون عرض پالس PWM
32	بیشگفتار
33	2-1 روش های تولید pwm
37	2-2 تولید PWM با IC 555
	فصل سوم: Shaft Encoder
39	Shaft Encoder
	فصل چهارم: ایزولاسیون و تغذیه سونیچینگ
45	انواع ایزولاسیون:
47	انواع ایتوکویلر ها:
49	تغذیه سونیچینگ
	فصل پنجم: PID
55	PID
63	کنترل تناسبی
64	PIDکنترلر
65	تنظیم ضرایب

نتیجه .....	69
فصل ششم: طراحی و ساخت پروژه	
درایور موتور .....	71
کنترل جریان موتور .....	71
موتور .....	73
قسمت کنترلر .....	76
برنامه میکرو کنترلر به زبان C .....	78
شماتیک و PCB پروژه .....	84
منابع .....	87

## مقدمه :

امروزه در صنعت و در بسیاری از وسایل خانگی کنترل دور موتور مورد استفاده قرار می گیرد. از جمله می توان به کاربرد های کنترل گره های دور موتور، به موارد زیر اشاره کرد.

### 1) وسایل خانگی :

کنترل گر های دور موتور در وسایل شخصی خانگی، در کاربرد های کوچک و بزرگ مورد استفاده قرار می گیرند. به عنوان مثال، پنکه های دیواری یا پنکه تهویه حمام که توسط کلیدی کنترل می شوند.

### 2) در وسایل اداری و درمانی:

در این دسته دستگاه های بسیاری را می توان نام برد.

مداد تراش های برقی در ادارات، دستگاه های فکس، کامپیوتر ها یا دستگاه های کپی و ... . سیستم کاری این کنترل گر ها بسیار پیچیده بوده و حتی در مورد وسایل درمانی پیچیده تر نیز می شوند. یکی از این موارد کنترل دور موتور داخل هارد دیسک کامپیوتر می باشد که سیستم پیچیده تری دارد.

### 3) در کاربرد های تجاری :

ساختمان های تجاری دارای سیستم تهویه بزرگتر و مجهز تری نسبت به موارد مشابه در منازل شخصی دارند. همچنین می توان در این دسته موتور ها، پله های برقی و موارد مشابه را نام برد.

### 4) کاربرد های صنعتی :

بسیاری از صنایع وابسته به موتور ها و کنترل دور آن ها می باشند. موتور های DC کوچک تا موتور های بزرگ صنعتی ، یا موتور های استفاده شده در خطوط مترو. همچنین در صنعت ممکن است یک کنترل گر عمل کنترل بیش از موتور را به طور همزمان بر عهده داشته باشد.

### 5) در وسایل نقلیه:

تمام وسایل نقلیه از جمله، خودروها، هواپیما ها، دستگاه الات کشاورزی، همه و همه ممکن است دارای موتور برای انجام کار های گوناگونی باشند.

### 6) ابزار قدرت:

وسایل قدرتی همانند دریل ها، اره ها، چرخ سمباده ها که توسط کاربر خانگی استفاده می شوند. تمام وسایل قدرتی قابل حمل یا ثابت معمولاً همراه با کنترل گر های سرعت این موتور ها نیز می باشند.

## فصل اول : درایور موتور DC

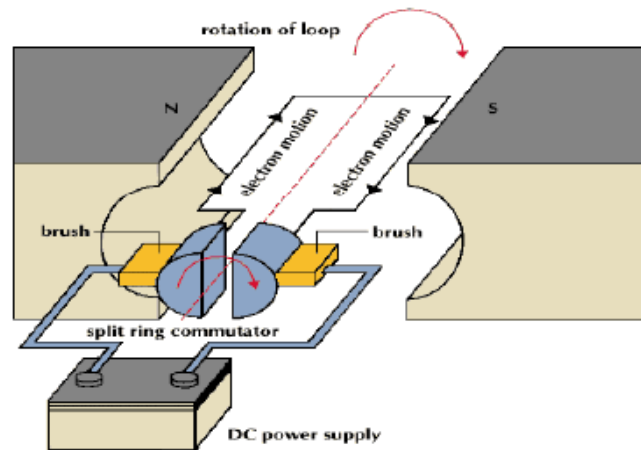
### پیشگفتار

بحث کنترل موتورهای dc یک مسئله ی مهم است که درصنعت به آن بهای زیادی داده می شود، برای این منظور باید انرژی الکتریکی آرمیچر را برای کنترل گشتاور موتور کنترل کرد. برای تحقق این امر مهندسين و تكنسین های برق والكترونیک روش های مختلفی به کار برده اند و در هر مرحله بر کیفیت طرح خودافزوده اند. امروزه ICهای متنوعی به عنوان درایور موتور موجود می باشند که راه را برای طراحان ساده تر کرده اند.

### 1-1 کنترل دور موتور

## ● موتور:

یک موتور الکتریکی، الکتریسیته را به حرکت مکانیکی تبدیل می‌کند. وقتی که یک ماده حامل جریان الکتریسیته تحت اثر یک میدان مغناطیسی قرار می‌گیرد، نیرویی بر روی آن ماده از سوی میدان اعمال می‌شود. در یک موتور استوانه‌ای، روتور به علت گشتاوری که ناشی از نیرویی است که به فاصله‌ای معین از محور روتور به روتور اعمال می‌شود، می‌گردد.



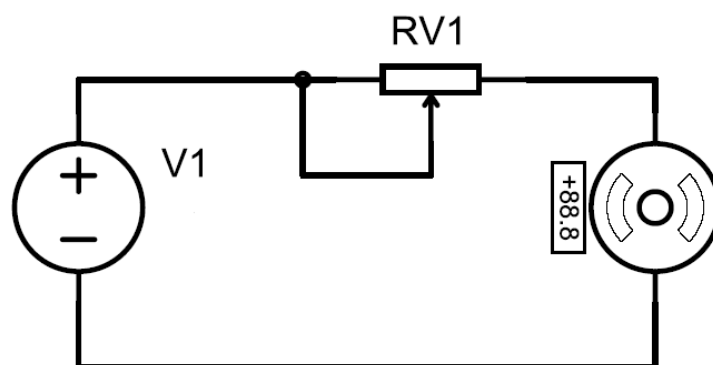
موتور کلاسیک DC دارای آرمیچری از آهنربای الکتریکی است. یک سویچ گردشی به نام کموتاتور جهت جریان الکتریکی را در هر سیکل دو بار برعکس می کند تا در آرمیچر جریان یابد و آهنرباهای الکتریکی، آهنربای دائمی را در بیرون موتور جذب و دفع کنند. سرعت موتور DC به مجموعه ای از ولتاژ و جریان عبوری از سیم پیچهای موتور و بار موتور یا گشتاور ترمزی، بستگی دارد.

سرعت موتور DC وابسته به ولتاژ و گشتاور آن وابسته به جریان است. معمولاً سرعت توسط ولتاژ متغیر یا عبور جریان و با استفاده از تپها (نوعی کلید تغییر دهنده وضعیت سیم پیچ) در سیم پیچی موتور یا با داشتن یک منبع ولتاژ متغیر، کنترل می شود. بدلیل اینکه این نوع از موتور می تواند در سرعتهای پایین گشتاوری زیاد ایجاد کند، معمولاً از آن در کاربردهای ترکشن (کششی) نظیر لکوموتیوها استفاده می کنند.

اما به هر حال در طراحی کلاسیک محدودیتهای متعددی وجود دارد که بسیاری از این محدودیتهای ناشی از نیاز به جاروبکهایی برای اتصال به کموتاتور است. سایش جاروبکها و کموتاتور، ایجاد اصطکاک می کند و هر چه که سرعت موتور بالاتر باشد، جاروبکها می بایست محکمتر فشار داده شوند تا اتصال خوبی را برقرار کنند. نه تنها این اصطکاک منجر به سر و صدای موتور می شود بلکه این امر یک محدودیت بالاتری را روی سرعت ایجاد می کند و به این معنی است که جاروبکها نهایتاً از بین رفته نیاز به تعویض پیدا می کنند.

## 1-2 کنترل دور با یک رئوستا

ساده ترین روش برای کنترل یک موتور dc قرار دادن یک مقاومت متغیر سر راه تغذیه (سری) جهت کنترل جریان آرمیچر می باشد (شکل 1-1)، این روش برای موتورهای کوچک و جریان پایین عملی است ولی در جریانهای بالا دو عیب اساسی آن بروز می کند:



شکل 1-1

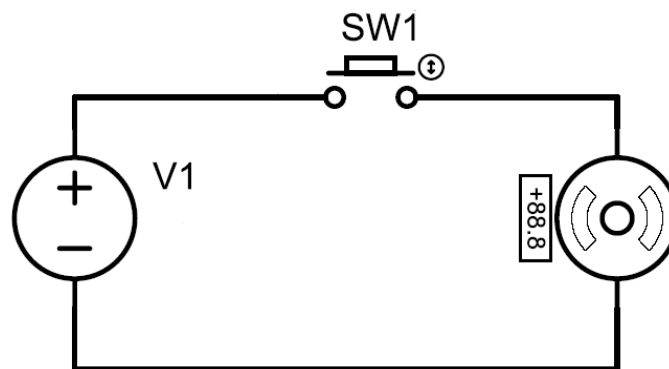
1- جاری شدن جریان در رئوستا و تولید گرما به علت اتلاف توان در رئوستا. چون رئوستا های موجود از توان پایینی برخوردارند و در صورت امکان ابعاد آن بزرگ می شود، از این روش در جریان های بالا استفاده نمی شود.

2- چون موتور (بار سلفی) به عنوان بار متغیر عمل می کند، مدار ناپایدار است پس روش بالا نمی تواند برای موتور های بزرگ (جریان بالا) مفید باشد.

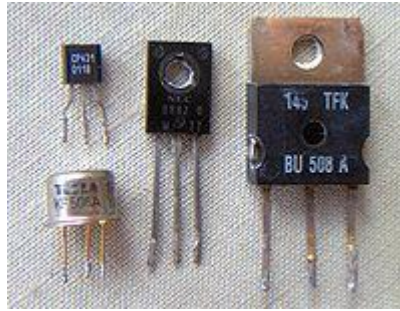
### 3- 1 کنترل دور با پالس PWM

یک روش مفید برای کنترل دور موتورها قطع و وصل سریع تغذیه ی آن است که در این روش متناسب با زمان وصل تغذیه به زمان قطع آن، توانی به موتور اعمال می شود که باعث چرخش موتور می گردد. در واقع با این ترفند یک پالس  $duty\ cycle$  تولید می شود که پس از اعمال آن به موتور؛ که دارای یک مقاومت داخلی و یک خود القا است که نقش یک فیلتر پایین گذر را دارند، بعد یکسو سازی پالس متوسط آن را به موتور می دهد، موتور نیز متناسب با آن با سرعتی ثابت می چرخد.

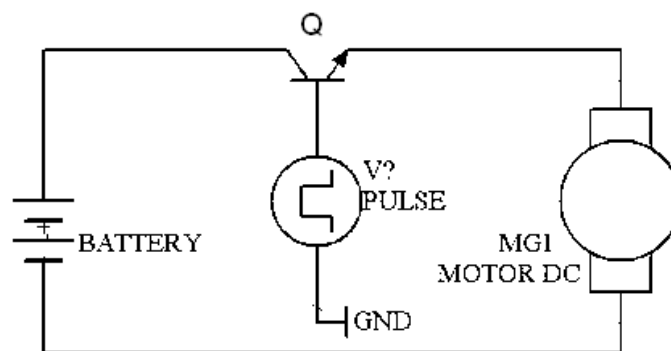
برای عملی ساختن روش مذکور یک روش مفید قراردادن یک کلید تک پل سرراه تغذیه و قطع و وصل سریع آن است (شکل 2-1). در صورتی که سرعت قطع و وصل کلید زیاد باشد در چرخیدن موتور احساس نمی شود اما این روش عملاً بعید به نظر می رسد و باید به دنبال روشی الکترونیکی برای حل این مسئله گشت.



شکل 2-1



توسط یک ترانزیستور به عنوان یک کلید الکترونیکی و یک قطار پالس این مسئله به راحتی حل می شود. این روش در شکل شکل 3-1 نشان داده شده است که در آن به ازای سطح 1 پالس ترانزیستور به اشباع رفته و کل تغذیه روی موتور افت می کند و در سطح 0 ترانزیستور قطع و جریانی از موتور نمی گذرد.



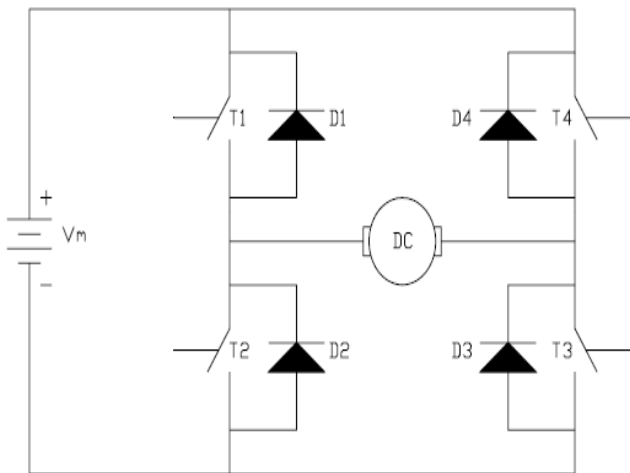
شکل 3-1

در صورتی که بتوان نسبت 1 بودن به 0 بودن پالس را کنترل کرد می توان سرعت موتور را نیز کنترل کرد که به پالس pwm و کنترل موتور به این روش را، کنترل دور موتور dc با پالس pwm گویند. در این مورد لازم است ترانزیستور از نوع سرعت بالا باشد، همچنین با توجه به جریانی که موتور، از تغذیه می گیرد توان ترانزیستور تعیین می شود. برای جریان کمتر از 400ma ترانزیستور 2N2219 و برای جریان های تا حدود 3A (در صورتی Heat sinck) که از نوع NPN می باشند، مفید می باشند.

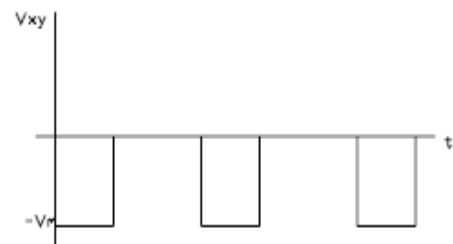
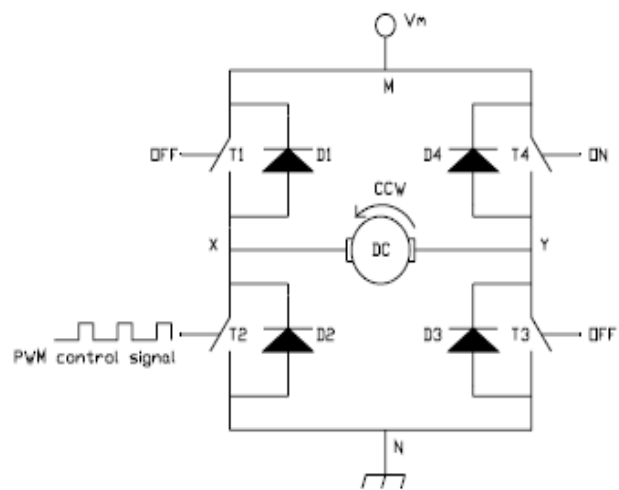
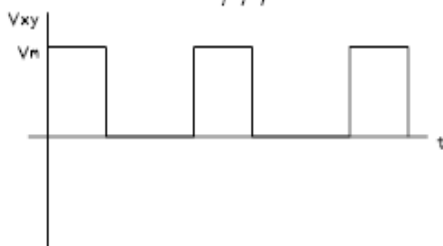
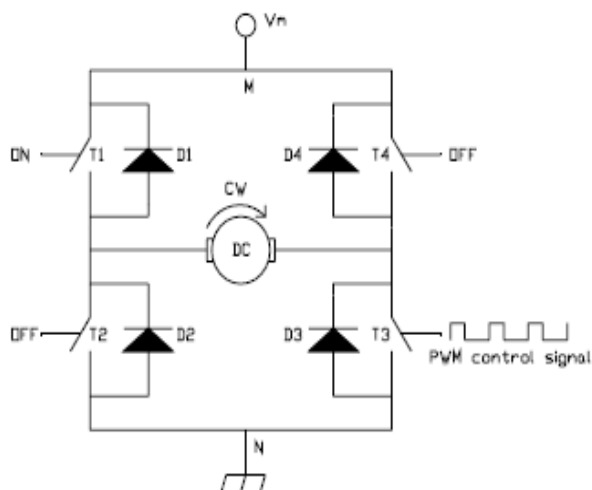
### 4-1 کنترل دور جهت موتور توسط پل H

کنترل جهت موتور DC :

مهمترین ویژگی موتور های DC این است که جهت چرخش آنها با تغییر جهت جریان عبوری از موتور تغییر می کند. به عبارتی اگر پلاریته ولتاژ اعمالی به موتور تغییر کند جهت چرخش موتور نیز تغییر پیدا می کند. شکل زیر این مطلب را به خوبی نشان می دهد.



موتور	T1	T2	T3	T4
راستگرد	وصل	قطع	وصل	قطع
چپگرد	قطع	وصل	قطع	وصل
ترمز	قطع	وصل	وصل	قطع
ترمز	وصل	قطع	قطع	وصل

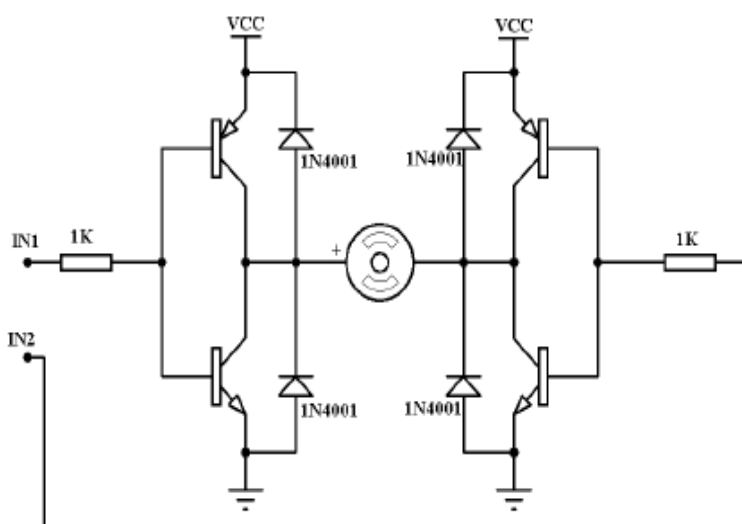




همان طور که در شکل فوق مشاهده می کنید اگر پلاریته ولتاژ دو سر موتور تعویض شود جهت موتور تغییر می کند. در ضمن برای ترمز کردن موتور در هنگام حرکت کافی است که دو سر موتور هم پتانسیل شود.

### 1-5 پل H با ترانزیستورهای BJT

مدار شکل زیر یک نمونه مدار معروف به پل H است که از چهار ترانزیستور برای راه اندازی، کنترل جهت و ترمز کردن موتور استفاده شده است.



شکل 4-1

in1	in2	عملکرد موتور
0	0	ترمز
0	1	مستقیم
1	0	معکوس
1	1	ترمز

دیود های استفاده شده در بر روی ترانزیستور ها دیود های هرزگرد می باشند که برای محافظت ترانزیستور در برابر خاصیت القایی موتور بکار می روند.

می توان برای کنترل دور موتور ها در این مدار به جای اعمال 1 منطقی (حداکثر سرعت)، به ورودی مورد نظر پالس pwm اعمال کرد و سرعت موتور رانیز کنترل کرد.

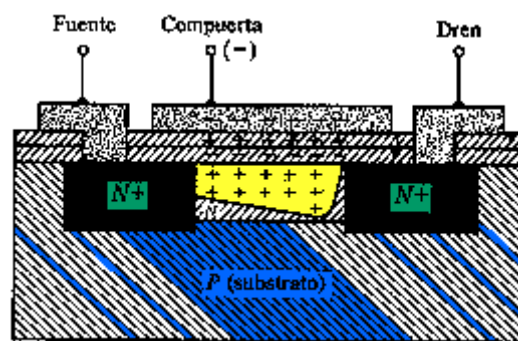
در مدار فوق به دلیل اینکه از ترانزیستور های BJT استفاده شده است که اغلب از توان بالایی برخوردار نمی باشند در جریان های بالا باعث داغ شدن ترانزیستورها و در دراز مدت باعث سوختن ترانزیستورها می شود. در صورت استفاده از Heat sinck برای انتقال حرارت به محیط یا

استفاده از زوج دارلینگتون که از توان بالاتری برخوردارند می توان این مشکل را تا حدودی حل کرد، اما در صنعت که از موتور های با توان بالا استفاده می شود مدارهای فوق در اغلب موارد بامشکل برمی خورند.

## 1-6 پل H با MOSFET

حالت های سه گانه FET

فست دارای سه پایه با نام های درین D، سورس S و گیت G است که پایه گیت، جریان عبوری از درین به سورس را کنترل می کند. فست ها دارای دو نوع N کانال و P کانال هستند. در فست نوع N کانال زمانی که گیت نسبت به سورس مثبت باشد جریان از درین به سورس عبور می کند. FET ها معمولاً بسیار حساس بوده و حتی با الکتریسیته ساکن بدن نیز تحریک می گردند. به همین دلیل نسبت به نویز بسیار حساس هستند. نوع دیگر ترانزیستورهای اثر میدانی MOSFET ها هستند (ترانزیستور اثر میدانی نیمه رسانای اکسید فلز) یکی از اساسی ترین مزیت های ماسفت ها نویز کمتر آن ها در مدار است.



ترانزیستور اثر میدانی (MOSFET)

این ترانزیستورها نیز مانند Jfet ها عمل می کنند با این تفاوت که جریان ورودی گیت آنها صفر است. همچنین رابطه جریان با ولتاژ نیز متفاوت است. این ترانزیستورها دارای دو نوع PMOS و NMOS هستند که تکنولوژی استفاده از دو نوع آن در یک مدار تکنولوژی CMOS نام دارد. این ترانزیستورها امروزه بسیار کاربرد دارند زیرا بر راحتی مجتمع می شوند و فضای کمتری اشغال می کنند. همچنین مصرف توان بسیار ناچیزی دارند.

Mosfet ها از خانواده ی ترانزیستور های اثر میدان (fet) می باشند که در آنها جریان درین - سورس توسط ولتاژ روی گیت کنترل می شود، در Mosfet ها گیت توسط یک لایه ی عایق اکسید سیلیکون از دو لایه ی دیگر جدا شده است به همین دلیل در این ناحیه دارای امپدانس بالایی می باشند. Mosfet ها در دو نوع اند :

تهی شونده که در آن دو ناحیه ی درین و سورس توسط یک کانال با ناخالصی کمتر به هم وصل شده اند ، در این صورت با اعمال ولتاژ درین - سورس می توان در کانال جریان جاری کرد و این جریان را توسط ولتاژ روی گیت کنترل کرد.

تشکیل شونده که در آن کانال مذکور وجود ندارد، جریانی بین پایه های درین - سورس جاری نمی شود و با اعمال ولتاژ به گیت آن، این کانال تشکیل می شود که توسط آن کنترل می شود

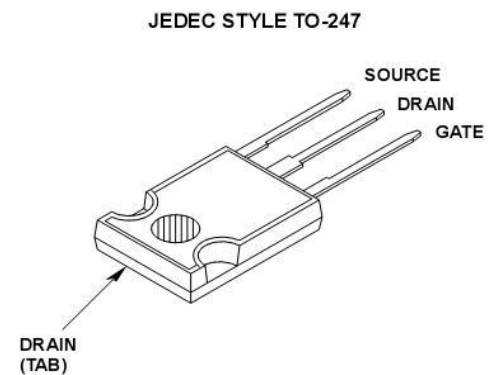
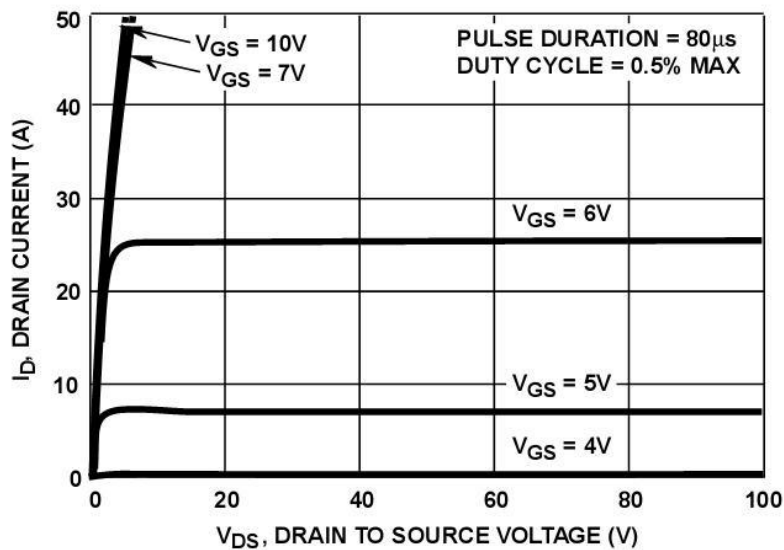
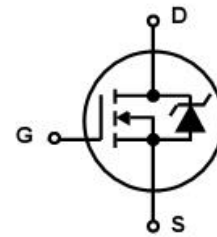
خصوصیات Mosfet:

- توان بالا : چون موتور ها جریان نسبتاً زیادی از تغذیه می کشند  $PD=I_{ds} \cdot V_{ds}$
  - سرعت بالا : به علت قطع و وصل سریع جهت کنترل دور موتور
  - ولتاژ DS بالا: چون موتور تغذیه ی بالا نیاز دارد در زمان قطع mos کل تغذیه روی DS افت می کند
  - VGS کافی: جهت کنترل جریان های مورد نیاز برای موتور
  - تحمل حرارت زیاد به علت داغ شدن قطعه در اثر تلف شدن توان در آنها
- با توجه به نیازهای مذکور ، IRFP250 راکه از نوع قدرت می باشد را انتخاب کردیم که برخی از خصوصیات مداری، شکل ظاهری ، نمودار عملکرد و.... برای آشنایی شما با این MOSFET آمده است:

## Features

- 33A, 200V
- $r_{DS(ON)} = 0.085\Omega$
- Single Pulse Avalanche Energy Rated
- SOA is Power Dissipation Limited
- Nanosecond Switching Speeds
- Linear Transfer Characteristics
- High Input Impedance
- Related Literature
  - TB334 "Guidelines for Soldering Surface Mount Components to PC Boards"

## Symbol



## Absolute Maximum Ratings $T_C = 25^\circ\text{C}$ , Unless Otherwise Specified

	IRFP250
Drain to Source Voltage (Note 1) . . . . .	$V_{DS}$ 200
Drain to Gate Voltage ( $R_{GS} = 20k\Omega$ ) (Note 1) . . . . .	$V_{DGR}$ 200
Continuous Drain Current . . . . .	$I_D$ 33
$T_C = 100^\circ\text{C}$ . . . . .	$I_D$ 21
Pulsed Drain Current (Note 3) . . . . .	$I_{DM}$ 130
Gate to Source Voltage . . . . .	$V_{GS}$ $\pm 20$
Maximum Power Dissipation . . . . .	$P_D$ 180
Linear Derating Factor . . . . .	1.44
Single Pulse Avalanche Energy Rating (Note 4) . . . . .	$E_{AS}$ 810
Operating and Storage Temperature . . . . .	$T_J, T_{STG}$ -55 to 150
Maximum Temperature for Soldering	
Leads at 0.063in (1.6mm) from Case for 10s . . . . .	$T_L$ 300
Package Body for 10s, See Techbrief 334 . . . . .	$T_{pkg}$ 260

نواحی کاری MOSFET های تشکیل شونده :

در سه ناحیه می توان mosfet ها را تعریف کرد:

قطع: هیچ جریانی در درین - سورس جاری نمی شود، افت ولتاژ  $V_{GS}$  به اندازه ی کافی نمی باشد

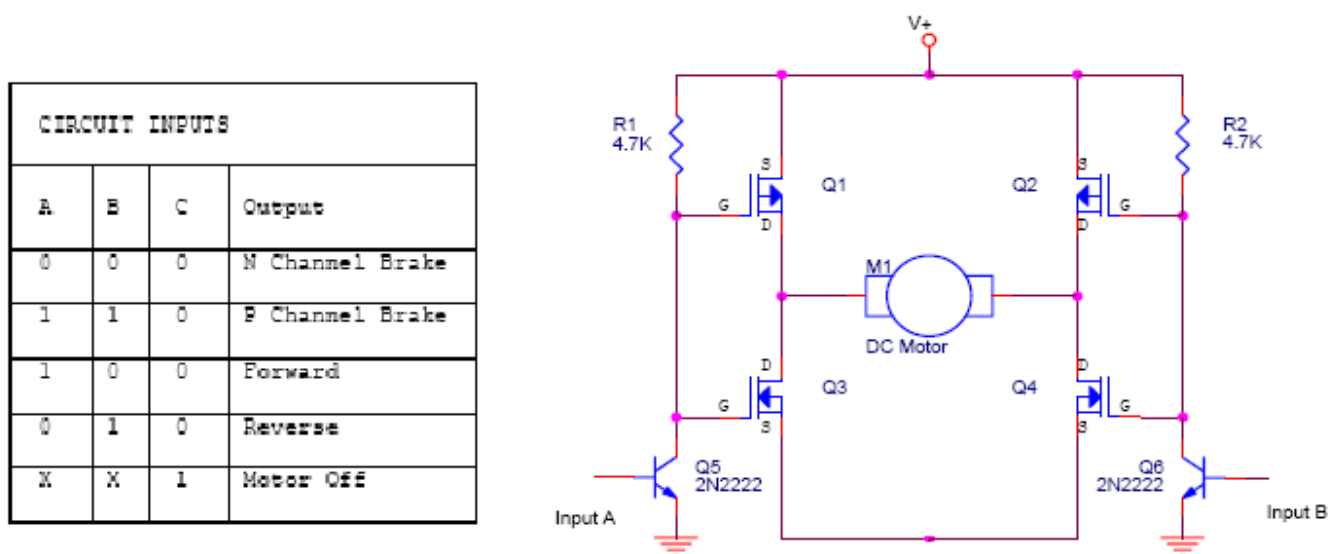
تریودی: به ازای  $V_{GS}$  ثابت با افزایش  $V_{DS}$ ، جریان درین به صورت محسوس افزایش میابد

اشباع: به ازای  $V_{GS}$  ثابت با افزایش  $V_{DS}$ ، جریان درین تقریباً ثابت است و افت ولتاژ روی  $V_{DS}$  داریم چیزی که مورد نیاز ماست کار کردن mos بین دو ناحیه ی قطع و تریودی به عنوان کلید های الکترونیکی است، در زیر خصوصیت نواحی مختلف mos های تشکیل بررسی شده است:

نوع	ناحیه ی اشباع	ناحیه ی تریودی
NMOS	$V_{GS} > V_T$	$V_{GS} > V_T$
$V_T > 0$ $K > 0$	$V_{GD} < V_T$	$V_{GD} > V_T$
PMOS	$V_{GS} < V_T$	$V_{GS} < V_T$
$V_T < 0$ $K > 0$	$V_{GD} > V_T$	$V_{GD} < V_T$

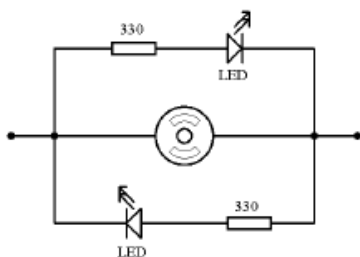
### 7-1 استفاده از MOSFET های مکمل

با توجه به مشخصات ناحیه ی تریودی pmos برای به حالت تریودی بردن آنها،  $V_{GS} < V_{TH}$  و یک کمیت منفی می باشد به این معنی که ولتاژ پایه ی گیت از سورس کمتر باشد، به همین جهت از تغذیه ی درین MOS ها، با یک تقسیم ولتاژ مقاومتی می توان ولتاژ تحریک گیت را برای به تریودی بردن mosها، تأمین کرد. نکته ای که در این روش باید به آن توجه کرد جلوگیری از سوختن pmos ها در اثر افت ولتاژ بیشتر از حد مجاز  $V_{GS}$  است. در شکل 6-1 مدار مربوط به این روش آمده است PMOSFET هایی که ما برای کار خود انتخاب کردیم مکمل NMOS هاست و شماره ی آن IRFP240 بودند.



شکل 6-1

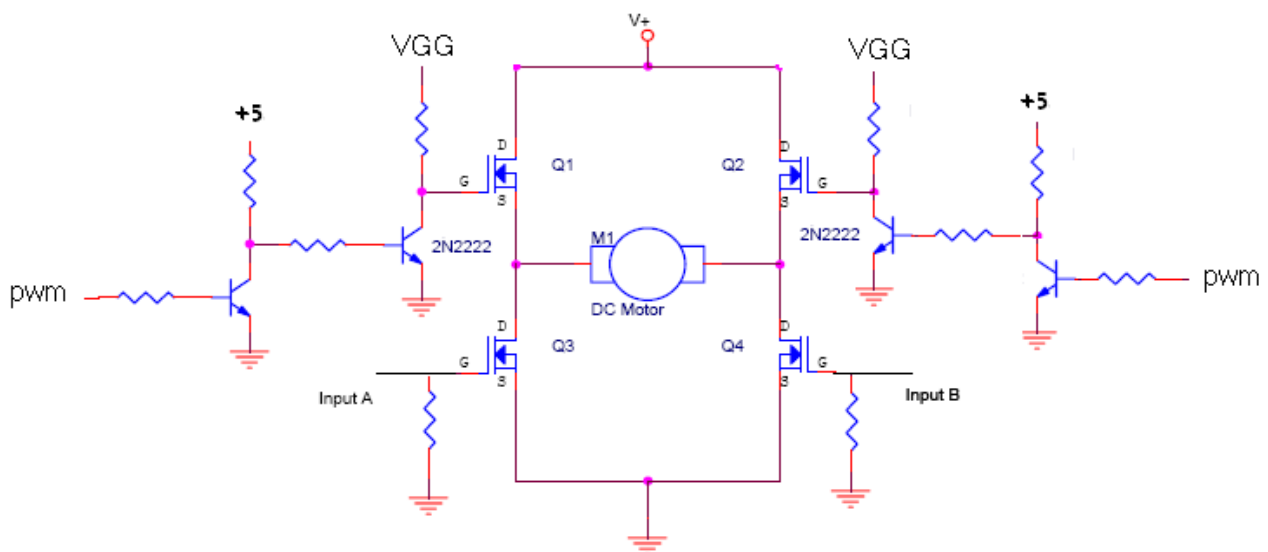
برای نشان دادن جهت چرخش موتور می توان دو عدد LED را به صورت عکس هم در دو سر موتور به صورت موازی قرار داد.



شکل 7-1 نمایش جهت موتور با استفاده از LED

### 8-1 استفاده از تغذیه ی اضافی

برای تحریک گیت به منظور به تریودی بردن mos ها و تحقق  $V_{GS} > V_{TH}$  نیاز به یک ولتاژ بیشتر از VDD می باشد که در شکل 8-1 به صورت VGG آمده است.



شکل 8-1

به نظر می رسد که مدار فوق کار می کند ولی در عمل اینگونه نیست و خالی از عیب نیست، که عیوب آن به صورت زیر می باشند:

به نظر می رسد که از گیت mos ها جریان عبور می کند، چون با اعمال سیگنال pwm، میکرو به صورت لحظه ای shutdown شده و تا زمانی که reset نشود پالسی تولید نمی کند و در دراز مدت می تواند به میکرو آسیب برساند. البته این امر ممکن است به علت عدم تطبیق امپدانس نیز باشد.

Mos های پایینی همواره با mos متقابل خود (یکی از بالایی ها) روشن می باشند یا به عبارتی موج pwm به آن ها اعمال نمی شود و این امر موجب افت اختلاف پتانسیلی روی DS، mos های پایینی در سطح صفر pwm می گردد؛ حال اگر جریانی در این mos ها جاری شود به علت توان تلف شده در آن، شدیداً داغ شده که در دراز مدت باعث سوختن mos می شود.

توسط اپتوکوپلر که نقش ایزوله دارد و دادن پالس pwm به تمام گیت ها میتوان مشکلات بیان شده را حل کرد

## 1-9 استفاده از IGBT

در ترانزیستورهای bjt جریان عبوری از کلکتور - امیتر تابع جریان بیس می باشد و  $\beta$  برابر جریان بیس در کلکتور جاری می شود در نتیجه برای عبور یک جریان مثلا 10A از ترانزیستور جریان بیس باید حداقل 100ma باشد.

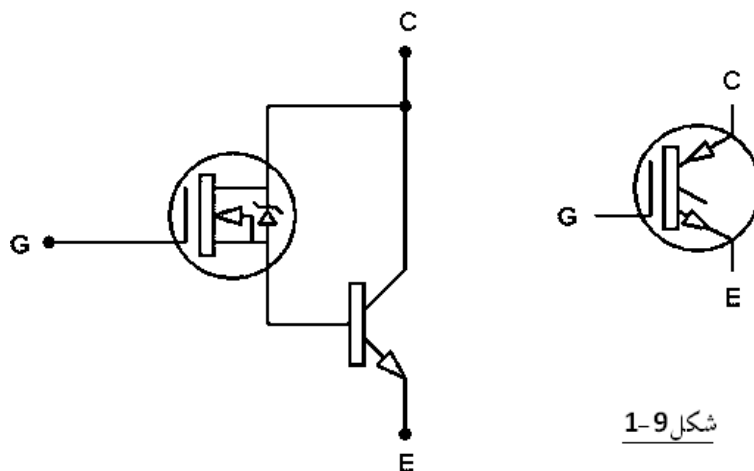
توسط ترانزیستورهای دارلینگتون تا حدودی می توان مسئله ی فوق را حل کرد چون  $\beta$  در این ترانزیستورها بزرگ می باشد، مثلاً برای عبور  $I_C=10A$  به  $I_B=1mA$  نیاز است. (با فرض  $\beta=10000$ )

Mosfetها المان هایی هستند که در آنها  $I_d$  توسط VGS کنترل می شود، این ترانزیستورها از نوع اثر میدان می باشند و در مدارهای قدرت به وفور از آنها استفاده می شود.

از ترکیب دو ترانزیستور فوق یک المان با ویژگی های منحصر به فردی به دست می آید که مزایای هر دو ترانزیستور را داراست که به آن IGBT می گویند، از جمله می توان موارد زیر را نام برد:

- سرعت بالا
- توان بالا
- حساسیت کم به گرما
- کنترل جریان با ولتاژ
- مقاومت خروجی کم

در شکل 9-1 نمای مداری و معادل IGBT (insulated gate bipolar transistor) آمده است.



شکل 9-1

10-1 بررسی IC های درایور موتور DC

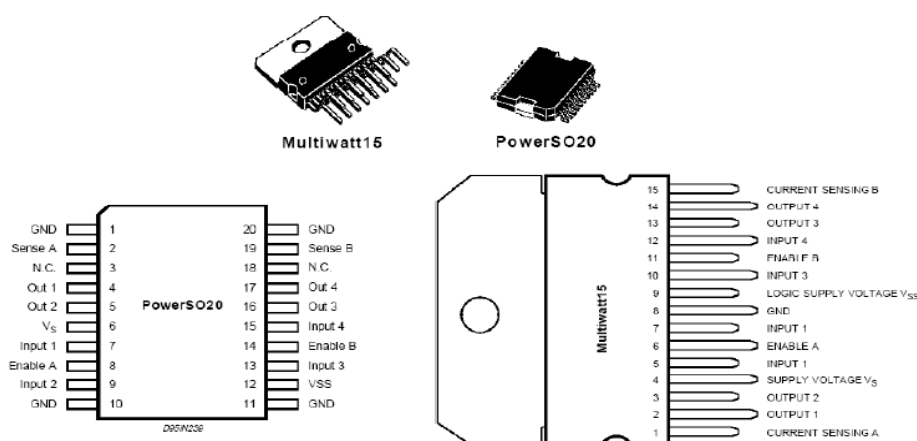


### 1-10-1 درایور موتور L298 و L293

برای کنترل موتورهای سی‌های مختلفی به بازار عرضه شده است که می‌توان به درایورهای L298N و L293D و SN154410 و LMD18201 و ... اشاره کرد.

#### درایور L298:

این درایور برای راه‌اندازی دو موتور بکار می‌رود. این درایور در دو نوع بسته بندی Multiwatt15 و PowerSo20 به بازار عرضه شده است. شکل 1-10 شمای ظاهری و ترتیب پایه‌های این درایور را نشان می‌دهد.



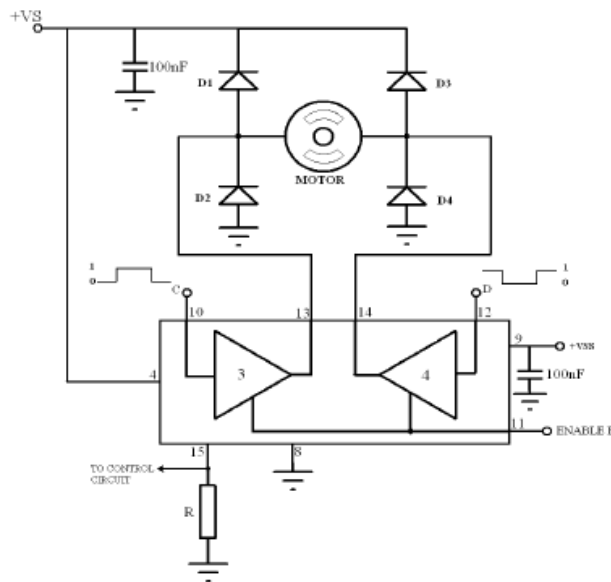
شکل 1-10 پایه‌های L298

پایه	عملکرد
1 و 15	این پایه‌ها باید به وسیله یک مقاومت به زمین متصل شوند.
2 و 3	خروجی‌های موتور A
4	ولتاژ تغذیه موتور می‌باشد که باید به وسیله یک خازن 100 nf به زمین متصل شود.
5 و 7	ورودی‌های موتور A
6 و 11	پایه‌های فعال‌سازی برای خروجی‌های A و B
8	زمین
9	ولتاژ +7 ولت برای تغذیه است که باید به وسیله یک خازن 100nf به زمین متصل شود.
10 و 12	ورودی‌های موتور B
16 و 17	خروجی‌های موتور B

Symbol	Parameter	Value	Unit
$V_S$	Power Supply	50	V
$V_{SS}$	Logic Supply Voltage	7	V
$V_i, V_{en}$	Input and Enable Voltage	-0.3 to 7	V
$I_o$	Peak Output Current (each Channel)		
	- Non Repetitive ( $t = 100\mu s$ )	3	A
	- Repetitive (80% on -20% off, $t_{on} = 10ms$ )	2.5	A
	-DC Operation	2	A
$V_{sens}$	Sensing Voltage	-1 to 2.3	V
$P_{tot}$	Total Power Dissipation ( $T_{case} = 75^\circ C$ )	25	W
$T_{stg}, T_j$	Storage and Junction Temperature	-40 to 150	$^\circ C$

### مشخصات درایور L298

شکل 1-11 نحوه اتصال یک موتور را از طریق درایور L298 را نشان می دهد.

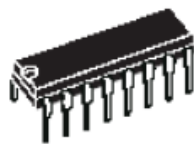


عملکرد	ورودی	
	Eable	C D
ترمز	0	0
راستگرد	0	1
چپگرد	1	0
ترمز	1	1
چرخ ها آزاد	0	C=X , D=X

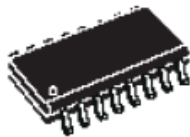
شکل 1-11 نحوه اتصال موتور به L298

## دراپور L293:

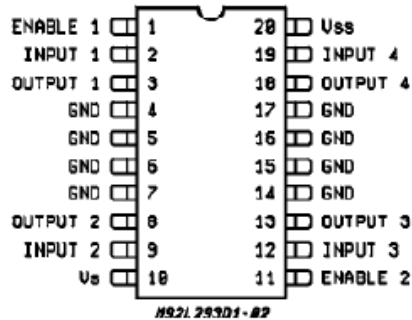
آی سی L293 نیز همانند آی سی L298 یک مدار راه انداز برای دو موتور می باشد. درایور L293D می تواند جریان ۰/۶ آمپر را به صورت پیوسته و ۱/۲ آمپر را به صورت لحظه ای از خود عبور دهد و درایور L298N نیز قادر به عبور جریان ۲A به صورت پیوسته و ۴ آمپر به صورت لحظه ای می باشد. شکل 1-12 شمای کلی و ترتیب پایه های درایور L293D را نشان می دهد.



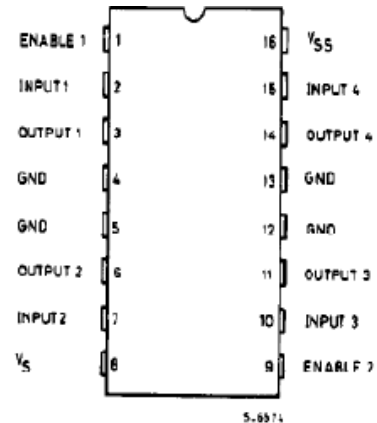
DIP-16



SO-16  
(Narrow)



SO(12+4+4)



Powerclip(12+2+2)

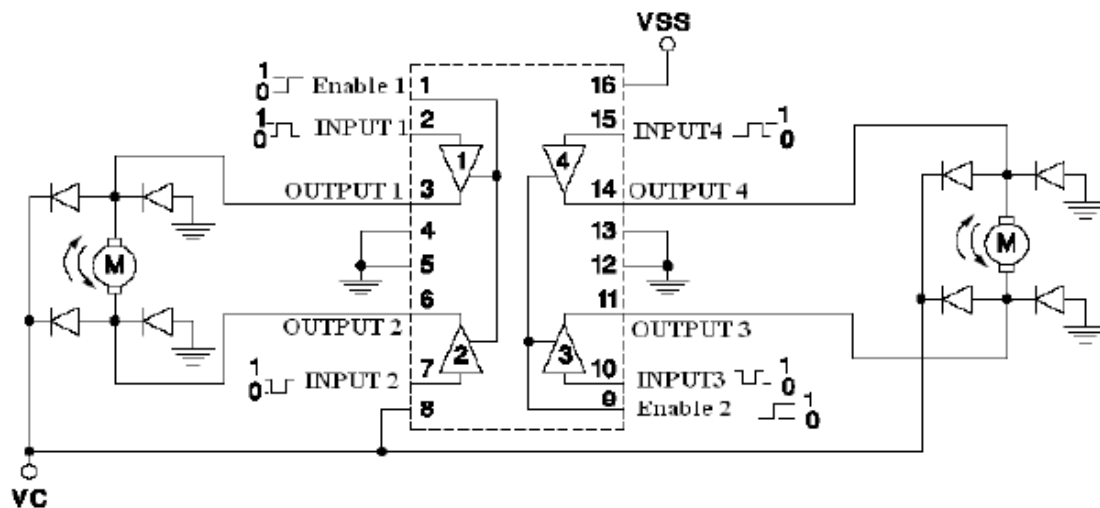
شکل 1-12 پایه های درایور L293D

### مشخصات این درایور:

Symbol	Parameter	Value	Unit
V <sub>S</sub>	Supply Voltage	36	V
V <sub>DD</sub>	Logic Supply Voltage	36	V
V <sub>I</sub>	Input Voltage	7	V
V <sub>en</sub>	Enable Voltage	7	V
I <sub>o</sub>	Peak Output Current (100 μs non repetitive)	1.2	A
P <sub>tot</sub>	Total Power Dissipation at T <sub>pins</sub> = 90 °C	4	W
T <sub>stg</sub> , T <sub>j</sub>	Storage and Junction Temperature	- 40 to 150	°C

### مشخصات درایور L293D

شکل 1-13 نحوه اتصال دو موتور را به درایور LM293 را نشان می دهد.



شکل 1-13 اتصال دو موتور به L293D

1-10-2 کنترل موتور DC با آی سی 4093

### PWM چیست

PWM مخفف کلمه لاتین pulse width modulation است. در این روش هدف کنترل سرعت موتور با استفاده از دریافت پالس یا سیگنال است. در این روش سرعت موتور در هنگام حرکت را می شود کم یا زیاد کرد. موتورها در اشکال و اندازه و مشخصات مختلفی در بازار یافت می شوند که به تبع آن درایور مربوط به سرعت آن ها نیز متفاوت می باشد. سرعت دور یا چرخش یک موتور DC وابسته به تغذیه آن می باشد. به طور مثال اگر یک موتوری که بتواند ولتاژ 12 ولت را تحمل کند به تغذیه 12 ولت متصل کنید و سپس ولتاژ تغذیه آنرا تا مقدار 6 ولت پایین بیاورید. سرعت چرخش آن نصف حالتی خواهد بود. که شما به آن ولتاژ 12 ولت را می دادید. در حالت PWM کنترل موتور به صورت دستی انجام نمی شود. در این حالت شما موتور را به صورت دستی کنترل نمی کنید بلکه این میانگین ولتاژهای فرستاده شده توسط مدار درایور موتور است که سرعت موتور را کم و زیاد می کند.

هنگامیکه یک فیلم را مشاهده می کنید در واقع شاهد هزاران عکس ثابت هستید، که با یک فرکانس بالا آن را مشاهده می کنید سرعت پخش شدن عکس ها آن قدر زیاد است که مغز شما فواصل زمانی بین پخش شدن و عدم پخش شدن را نمی تواند تشخیص دهد .

در واقع مغز شما میانگین این عکس ها را مشاهده می کند. در کنترل PWM نیز همین وضعیت وجود دارد. آنقدر سرعت روشن و خاموش شدن زیاد است. که شما متوجه آن نمی شوید. هر چه فرکانس کاری بالاتر باشد موتور سریعتر روشن و خاموش می شود. و در واقع میانگین، چیزی که شما مشاهده می کنید سرعت بیشتر موتور و زمانیکه فرکانس پایین باشد. فواصل زمانی روشن و خاموش شدن موتور کمتر می شود که شما میانگین آنرا با سرعت کمتر موتور مشاهده خواهید کرد. در واقع مانند یک فیلم شما نیز میانگین روشن و خاموش شدن را می بینید. در این حالت مغز شما سرعت این روشن و خاموش را به صورت سرعت کم و زیاد مشاهده خواهید کرد. در زیر نمونه عملی و ساده یک مدار کنترل دور موتور با استفاده از پهنای پالس را مشاهده می کنید .

نقشه مدار به همراه توضیحات

قبل از هر چیز می بایست بگویم، دیود موجود در ماسفت یک دیود داخلی است، آن را به عنوان یک المان مجزا در نظر نگیرید

آی سی 4093 دارای 4 عدد گیت NAND با ورودی هایی است، که به صورت اشمیت تریگر عمل می کند. ورودی های آن هم می توانند ولتاژ های مثبت و هم ولتاژ های منفی باشند. و میزان ولتاژ های ورودی آن دارای محدوده بیشتری از لحاظ حداقل و حداکثر نسبت به 4011 می باشد .

برای تجسم بهتر عملکرد مدار در کنار نقشه مدار، ساختمان داخلی آی سی 4093 را نیز مشاهده می کنید. همانطور که در نقشه مشاهده می کنید تمامی ورودی های آی سی 4093 بجز پایه های 2 و 1 به یکدیگر متصل شده اند. و تمامی این ورودی ها به پایه خروجی 3 که نتیجه ورودی 1 و 2 آی سی 4093 است. به صورت مشترک وصل شده اند .

مقاومت 1 کیلو اهم به همراه پتانسیومتر 100 کیلو اهم و خازن 103 کار تولید پالس ر ادر اولین گیت آی سی 4093 به عهده دارد. این گیت با توجه به سیم بندی مدار گیت های دیگر را نیز تحت تاثیر قرار می دهد .

با پیچاندن پتانسیومتر نیز می توانید سرعت موتور را کم یا زیاد کنید. در واقع با پیچاندن پتانسیومتر مدار RC را که از حاصلضرب مقاومت 1 کیلو اهم به همراه پتانسیومتر 100 کیلو اهم

در خازن 10 نانو فاراد ایجاد می شود، را کم و زیاد می کنید. با پیچاندن پتانسیومتر تا انتهای یک سمت سرعت موتور حداکثر و با پیچاندن پتانسیومتر تا انتهای سمت دیگر سرعت آن حداقل می شود تا اینکه به صفر می رسد. البته با وجود مقاومت 1 کیلو اهم در مدار حتی اگر با پیچاندن پتانسیو متر مقاومت ایجاد شده را به صفر برسانید. مقاومتی که در پایه 2 موجود است به مقدار حداقل یک کیلو اهم خواهد رسید. حالتی را در نظر بگیرید که پتانسیومتر مقاومت 100 کیلو اهم را داشته باشد در این حالت مجموع دو مقاومت 101 کیلو اهم می شود. که حاصل ضرب مقاومت 101 کیلو اهمی در خازن 10 نانو فارادی معادل 10 به توان منفی 3 می شود. برای بدست آوردن فرکانس بایست این حاصل ضرب را برعکس کنید که نتیجه معادل یک کیلو هرتز خواهد شد. در حالتی که پتانسیومتر مقدار 0 را داشته باشد. فرکانس کاری مدار از حاصل ضرب، مقاومت 1 کیلو اهم در خازن 10 نانو فاراد بدست می آید. که این مقدار معادل 100 کیلو هرتز می شود. با تعویض جای دیود های متصل به پایه های پتانسیومتر می توانید جهت حداکثر و حداقل شدن سرعت را با انتهای پتانسیومتر تنظیم کنید. یعنی اینکه در چه سمت که پتانسیومتر را می پیچانید سرعت زیاد یا کم شود. این دیودها همچنین مکان ورود پالس های مثبت و منفی از پایه 3 نیز می باشند. تمامی خروجی های 4، 10 و 11 از آی سی 4093 به یکدیگر مشترک شده. و به گیت مسفت BUZ80 متصل می شوند. زمانیکه در مسفت ولتاژ در گیت از ولتاژ آستانه هدایت که در اینجا  $V_{th}$  نام دارد بیشتر شود. جریانی از سورس به سمت درین خواهیم داشت .

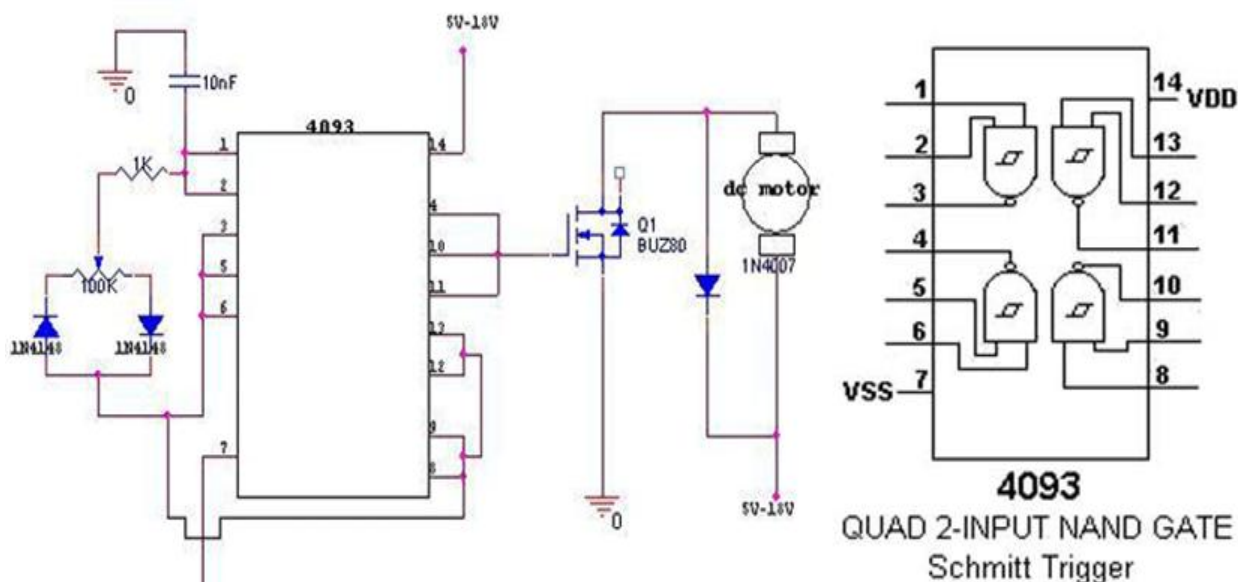
در واقع در این وضعیت ماسفت روشن می شود. در ترانزیستورهای اثر میدان ماسفت درین دارای قطبیت مثبت و سورس دارای قطبیت منفی است. به طوریکه اگر ولتمتر در اختیار داشته باشد. می توانید این پایه ها راحتی اگر به اطلاعات مربوط به پایه های ترانزیستورهای اثر میدان دسترسی نداشته باشید بر راحتی پیدا کنید. ولتمتر را در حالت تست دیود قرار دهید. در ترانزیستورهای اثر میدان این درین است که به سورس راه می دهد. و سورس به درین راه نمی دهد. اگر به این ماسفت و سمت نوشته های روی آن نیز دقت کنید. اولین پایه از سمت چپ گیت، دومین پایه درین و پایه سوم سورس خواهد بود .

همانطور که در نقشه مشاهده می کنید. یک سمت موتور به صورت مستقیم به مثبت ولتاژ متصل است. بنابراین موتور برای حرکت احتیاج به زمین دارد. که این زمین، توسط سورس ماسفت بر روی درین و از آنجا بر روی یک سمت موتور ایجاد می شود .

در واقع موتور برای حرکت احتیاج به اختلاف پتانسیل دارد. که این اختلاف پتانسیل توسط آی سی 4093 به همراه ماسفت BUZ80 در موتور ایجاد می شود. ایجاد این زمین در یک سمت موتور بستگی به فرکانس ایجاد شده در پایه های 1 و 2 متاثر از خازن و مقاومت خواهد داشت. که این مسئله را نیز به راحتی با قرار دادن مقادیر متفاوتی از خازن و مقاومت بر راحتی می توانید تجربه کنید .

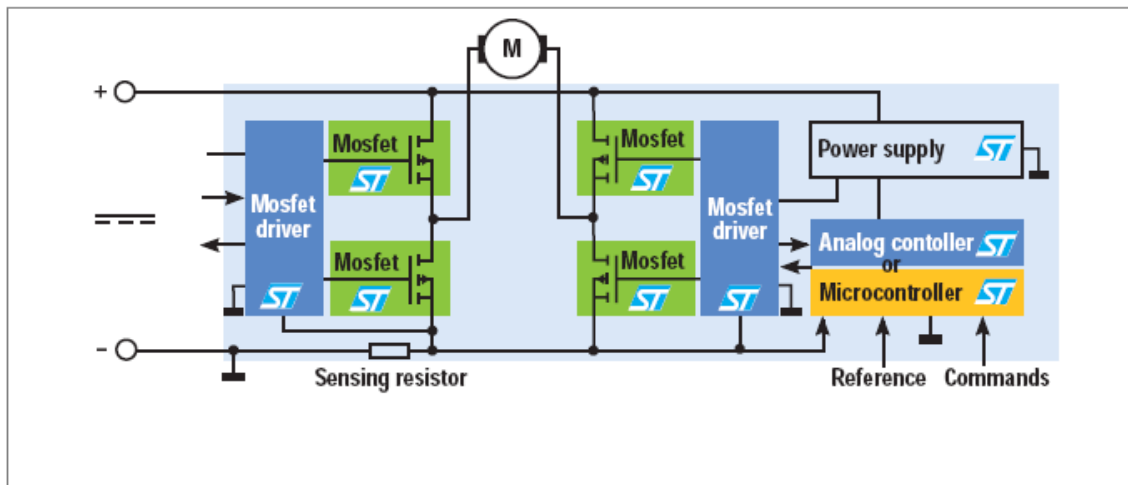
در ماسفت مقدار جریان ایجاد شده با توجه به رابطه ای که در آن نیز حاکم است به سطح ولتاژ ورودی در گیت کاملا وابسته است. هر چه قدر این ولتاژ بیشتر باشد. شدت جریان ایجاد شده نیز بیشتر خواهد بود. در این وضعیت اگر ولت متر در اختیار داشته باشد. و یک سر سیم آنرا به زمین این مدار و سر دیگر آنرا به پایه گیت مسفت متصل کنید. مشاهده می کنید که با پیچاندن پتانسیومتر سطح ولتاژ در این پایه ممکن است. کم یا زیاد شود. در سمتی که پتانسیومتر را می پیچانید. و میزان ولتاژ دیده شده در ولت متر شروع به افزایش می کند. در این وضعیت موتور نیز سرعتش زیاد می شود. همین مطلب را نیز به صورت برعکس می توانید تجربه کنید. در این حالت سرعت موتور رو به کاهش می رود .

برای افزایش جریان، پایه های خروجی 10، 4 و 11 با یکدیگر مشترک شده اند. تا برای تقویت جریان به گیت مسفت احتیاجی به تقویت کننده ای مثل ترانزیستور ها نباشد .  
در ماسفت ها با توجه به کم بودن مقاومت Rds تلفات حرارتی کمتری را نسبت به ترانزیستورهای BJT خواهیم داشت .



## 1-11 استفاده از درایور MOSFET

### 1-11-1 استفاده از IC 7667 جهت راه اندازی MOSFET ها:

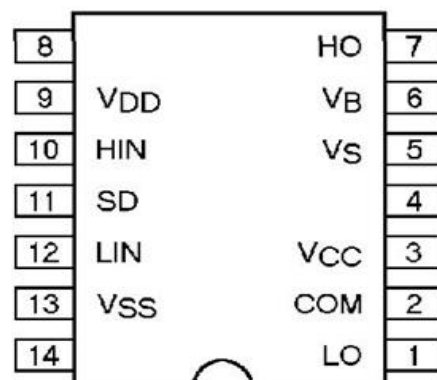
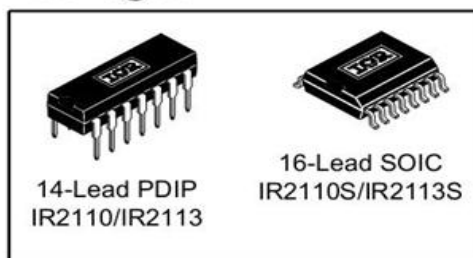


این IC در واقع به جای مدارات ترانزیستوری و مقاومتی که برای قرار دادن MOS ها در نواحی می خواستیم استفاده می شوند و به صورت پک آماده می باشند.

### 1-11-2 استفاده از IC ir2113

هر یک از این IC قادر به درایو کردن 2 عدد NMOS می باشند که یکی به عنوان بالایی و دیگری در طبقه ی پایینی جای می گیرند. نمای مداری و شکل ظاهری این IC در شکل 1-14 نشان داده شده است.

#### Packages



14 Lead PDIP  
IR2110/IR2113

شکل 1-14

حال

به تشریح هر کدام از پایه ها می پردازیم



LO: خروجی طبقه ی پایین..... جهت تحریک گیت NMOS پایینی

HO: خروجی طبقه ی بالا..... جهت تحریک گیت NMOS بالایی

COM: پایه ی مشترک ..... معمولاً به زمین قدرت

VCC : تغذیه ی IC برای راه اندازی..... بین 12 تا 15

ولت

VS: ولتاژ پایه ی سورس NMOS بالایی..... به سورس NMOS بالایی

VB: تغذیه ی IC..... همراه با یک دیود به تغذیه

VSS : زمین دیجیتال ..... به پایه ی COM

VDD : تغذیه ی دیجیتال..... تعیین کننده سطح ورودی های LIN ,SD,HIN برای تحریک

LIN: ورودی برای تحریک گیت..... NMOS پایینی

HIN : ورودی برای تحریک گیت..... NMOS بالایی

SD: برای Shot down کردن IC ..... در حالت کار معمولی باید صفر باشد

در زیر خصوصیات مداری، ضرایب MAXIMOM، ضرایب پیشنهادی آمده است .

### Lead Definitions

Symbol	Description
VDD	Logic supply
HIN	Logic input for high side gate driver output (HO), in phase
SD	Logic input for shutdown
LIN	Logic input for low side gate driver output (LO), in phase
VSS	Logic ground
VB	High side floating supply
HO	High side gate drive output
VS	High side floating supply return
VCC	Low side supply
LO	Low side gate drive output
COM	Low side return

## ضرائب Maximom و پیشنهادی :

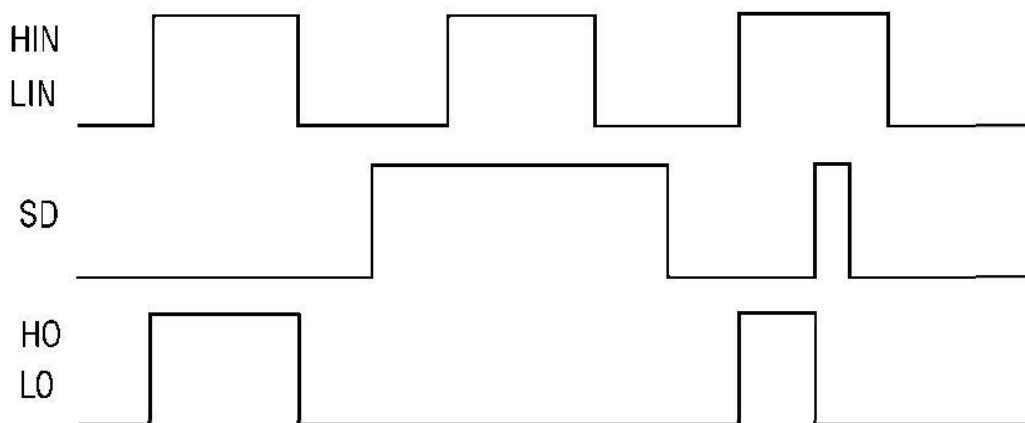
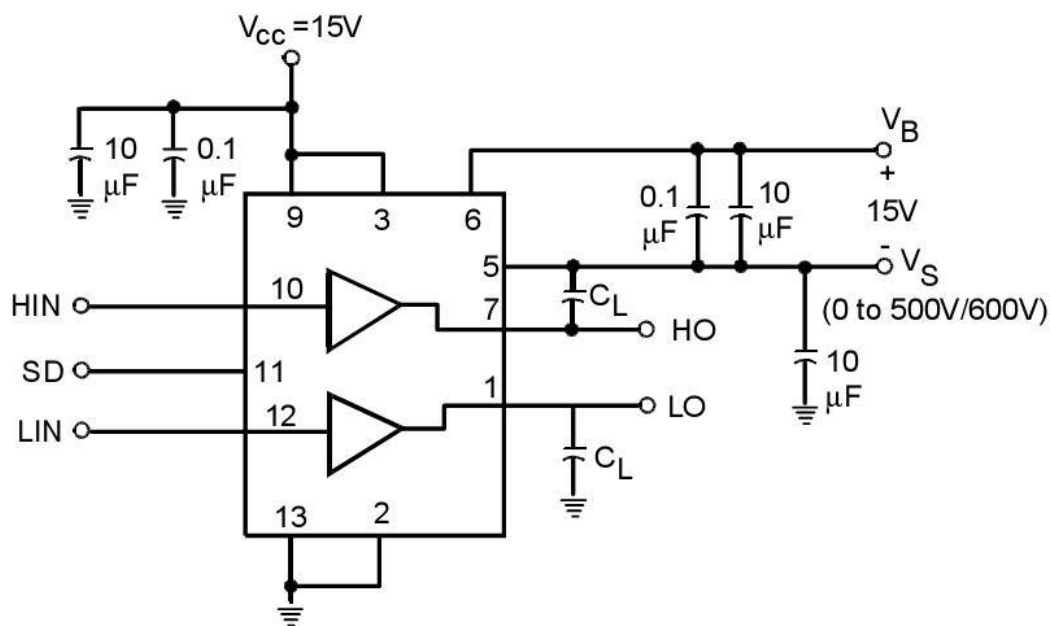
Symbol	Definition	Min.	Max.	Units
V <sub>B</sub>	High side floating supply voltage (IR2110)	-0.3	525	V
	(IR2113)	-0.3	625	
V <sub>S</sub>	High side floating supply offset voltage	V <sub>B</sub> - 25	V <sub>B</sub> + 0.3	
V <sub>HO</sub>	High side floating output voltage	V <sub>S</sub> - 0.3	V <sub>B</sub> + 0.3	
V <sub>CC</sub>	Low side fixed supply voltage	-0.3	25	
V <sub>LO</sub>	Low side output voltage	-0.3	V <sub>CC</sub> + 0.3	
V <sub>DD</sub>	Logic supply voltage	-0.3	V <sub>SS</sub> + 25	
V <sub>SS</sub>	Logic supply offset voltage	V <sub>CC</sub> - 25	V <sub>CC</sub> + 0.3	
V <sub>IN</sub>	Logic input voltage (HIN, LIN & SD)	V <sub>SS</sub> - 0.3	V <sub>DD</sub> + 0.3	
dV <sub>S</sub> /dt	Allowable offset supply voltage transient (figure 2)	—	50	
P <sub>D</sub>	Package power dissipation @ T <sub>A</sub> ≤ +25°C (14 lead DIP)	—	1.6	W
	(16 lead SOIC)	—	1.25	
R <sub>THJA</sub>	Thermal resistance, junction to ambient (14 lead DIP)	—	75	°C/W
	(16 lead SOIC)	—	100	
T <sub>J</sub>	Junction temperature	—	150	°C
T <sub>S</sub>	Storage temperature	-55	150	
T <sub>L</sub>	Lead temperature (soldering, 10 seconds)	—	300	

**Recommended Operating Conditions**

The input/output logic timing diagram is shown in figure 1. For proper operation the device should be used within the recommended conditions. The V<sub>S</sub> and V<sub>SS</sub> offset ratings are tested with all supplies biased at 15V differential. Typical ratings at other bias conditions are shown in figures 36 and 37.

Symbol	Definition	Min.	Max.	Units
V <sub>B</sub>	High side floating supply absolute voltage	V <sub>S</sub> + 10	V <sub>S</sub> + 20	V
V <sub>S</sub>	High side floating supply offset voltage (IR2110)	Note 1	500	
	(IR2113)	Note 1	600	
V <sub>HO</sub>	High side floating output voltage	V <sub>S</sub>	V <sub>B</sub>	
V <sub>CC</sub>	Low side fixed supply voltage	10	20	
V <sub>LO</sub>	Low side output voltage	0	V <sub>CC</sub>	
V <sub>DD</sub>	Logic supply voltage	V <sub>SS</sub> + 3	V <sub>SS</sub> + 20	
V <sub>SS</sub>	Logic supply offset voltage	-5 (Note 2)	5	
V <sub>IN</sub>	Logic input voltage (HIN, LIN & SD)	V <sub>SS</sub>	V <sub>DD</sub>	
T <sub>A</sub>	Ambient temperature	-40	125	

در شکل زیر یک مدار برای تست IC با پالس های ورودی ، خروجی مورد انتظار آمده است.



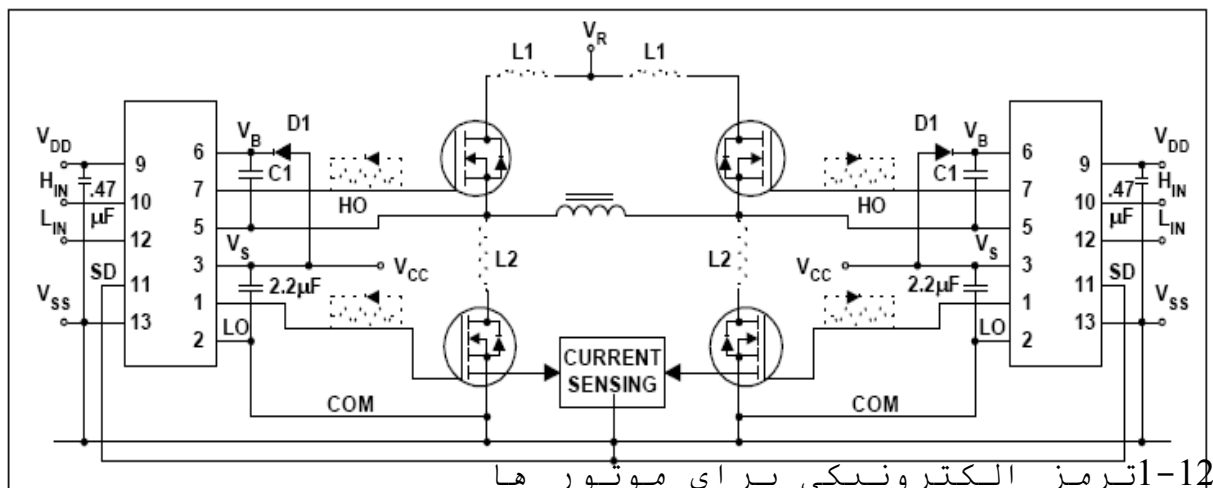
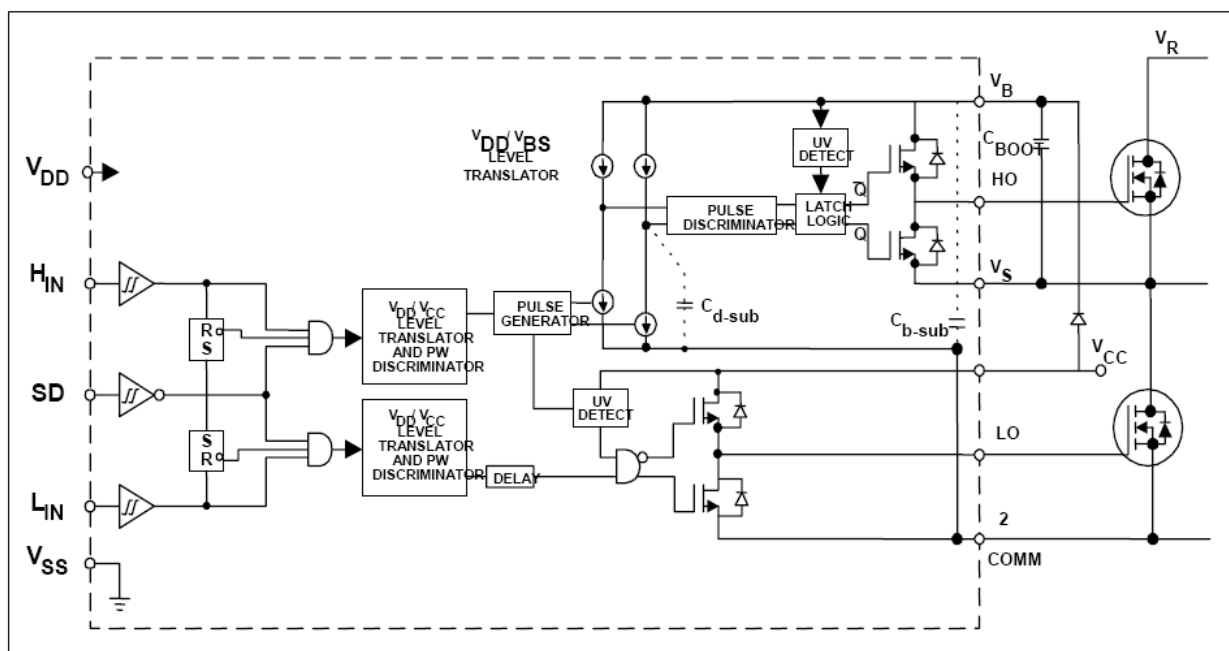
شکل 1-15

در استفاده از این IC ، باید توجه داشت که در اعمال پالس ها به صورت زیر، جهت چرخش در جهت چپ عمل کرد به این صورت که در هنگام اعمال PWM در زمان های خاموش بودن ماسفت بالایی، یک پالس جهت روشن شدن ماسفت پایینی و زمین شدن خازن موجود و به دنبال آن شارژ شدنش و تامین تغذیه ی گیت بالایی، باید به ماسفت پایینی اعمال شود. برای چرخش در جهت راست باید به صورتی مشابه عمل کرد.

همچنین چون MOSFET قدرت دارای یک دیود داخلی می باشد نیاز به دیود حفاظت خارجی را از بین برده است.

در داخل این آی سی ها از مدارات که سرعت سوئیچینگ ترانزیستور mosfet را بالا می برد استفاده شده است که معمولا آی سی های op-amp می باشد. در اینجا نیز ما برای درایو موتور های dc از این آی سی های درایور استفاده می کنیم. در زیر یک نمونه آی سی درایور mosfet قدرت (ir power) و ترانزیستور های igtb با نام IR 2113 با تمام مشخصات نشان داده شده است.

IRS2113 Block Diagram



12-1 اترمز الکترونیکی برای موتور ها

در صورتی که یک موتور در حال چرخش است بعد از قطع تغذیه به علت اینرسی موتور در اثر چرخیدن موتور یک ولتاژ القایی تولید می شود (موتور به عنوان مولد) که باعث چرخش موتور می گردد، البته این ولتاژ به علت عدم تداوم چرخش به تدریج کم شده و قطع می شود. این فرایند باعث می شود که بعد از قطع تغذیه ی موتور چند لحظه ای به چرخیدن ادامه دهد. برای از بین بردن این اثر ما چند روش را به شما معرفی می کنیم:

### 1-12-1 جریان مخالف:

در صورتی که بعد از قطع تغذیه ی موتور، بلافاصله یک جریان لحظه ای در جهت عکس از موتور عبور دهیم، موتور می خواهد که در جهت خلاف جهت قبلی بچرخد ولی چون این جریان ادامه ندارد، موتور بدون هیچ حرکتی سر جای خود می ماند و به نظر می رسد که موتور ترمز کرده است.

### 2-12-1 ترمز ژنراتوری :

در این روش با اتصال کوتاه کردن دو سر موتور با یک سیم در حالت قطع تغذیه، در اثر چرخش موتور ولتاژی در آن القا می شود که یک جریان لحظه ای مخالف با جریان قبلی در این سیم جاری می شود که باعث توقف موتور می گردد

### 3-12-1 تغییر متناوب جهت جریان موتور:

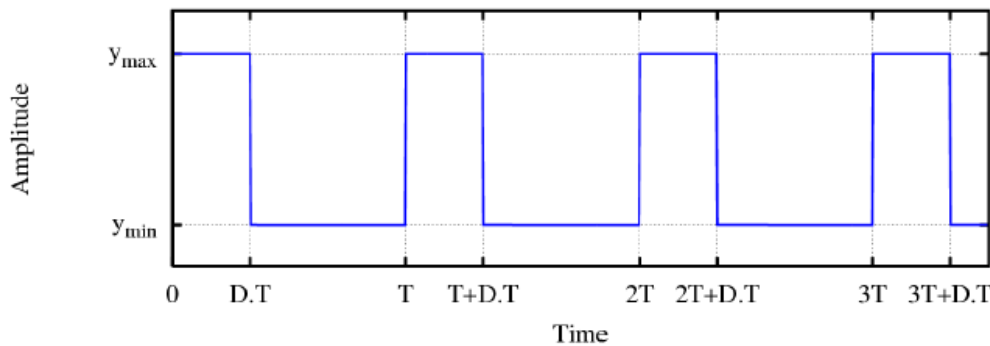
در حالت تعادل، مدت جاری شدن جریان در دو جهت با هم برابر بوده که چون این تغییر جهت جریان خیلی سریع اتفاق می افتد، در موتور احساس نمی شود و موتور می ایستد و به اصطلاح موتور قفل می شود. حال با برهم زدن این تعادل موتور در جهتی که جریان در آن در یک سیکل بیشتر جاری شود می چرخد، در این روش سرعت موتور را نیز از طریق زمان جاری شدن جریان در یک سیکل برای یک جهت خاص، می توان کنترل کرد.

## فصل دوم: مدولاسیون عرض پالس PWM

## :PWM

این کلمه مخفف Pulse Width Modulation به معنای مدولاسیون پهنای پالس می باشد. یا به عبارتی دیگر یعنی با تغییراتی در پهنای پالس، توان (قدرت) الکتریکی انتقالی به موتور را کاهش یا افزایش می دهیم. وقتی می گوئیم موتور DC با ولتاژ DC دارای دور نامی مشخصی می باشد، یعنی اگر ولتاژی با مقدار معین را در سر موتور قرار دهیم، در این صورت قدرت انتقالی به موتور ثابت بوده و در نتیجه موتور با دور نامی خود، کار خواهد کرد. ولتاژ DC یعنی ولتاژ ثابت. میدانیم که یک ولتاژ ثابت همان پالس با پهنای دلخواه است. یعنی به ازای این مقادیر زمانی ولتاژ دو سر بار مقداری مستقیم است. حال اگر ما به هر نحوی این ولتاژ مستقیم روی دو سر موتور را کاهش دهیم، نتیجتاً قدرت انتقالی به موتور و در نتیجه دور موتور کمتر خواهد بود. با ادامه بحث هر چه بیشتر متوجه منظورم خواهید شد.

اصل و مبنای PWM تغییر (مدوله کردن) پهنای پالس و در نتیجه تغییر مقدار متوسط ولتاژ موج است. در صورتی که یک موج مربعی را در نظر بگیریم، در این صورت خواهیم داشت:



$$\bar{y} = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) dt \quad \text{می دانیم:}$$

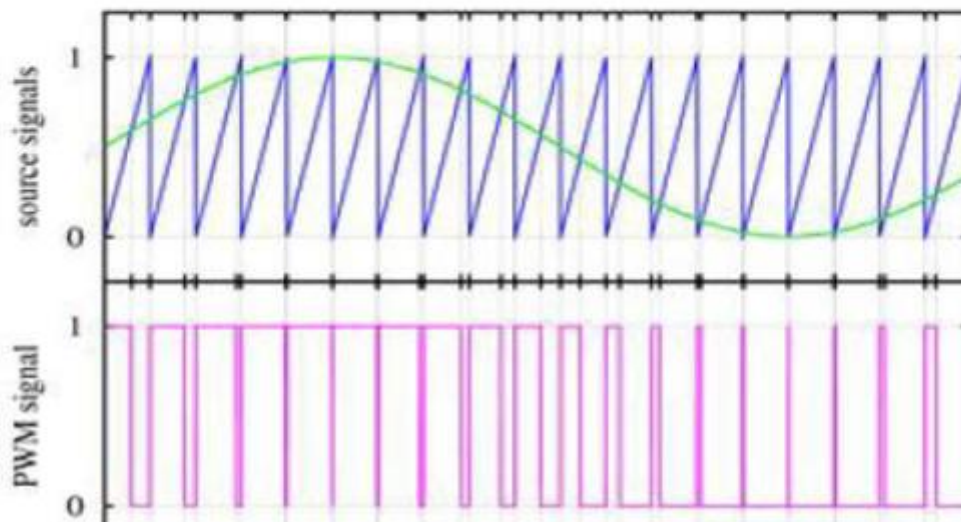
در شکل موج فوق،

$$\begin{aligned} \bar{y} &= \frac{1}{T} \left( \int_0^{D.T} y_{max} dt + \int_{D.T}^T y_{min} dt \right) \\ &= \frac{D \cdot T \cdot y_{max} + T(1-D)y_{min}}{T} \\ &= D \cdot y_{max} + (1 - D) y_{min} \end{aligned}$$

که در آن  $y$  مقدار ولتاژ یکسو شده میباشد.

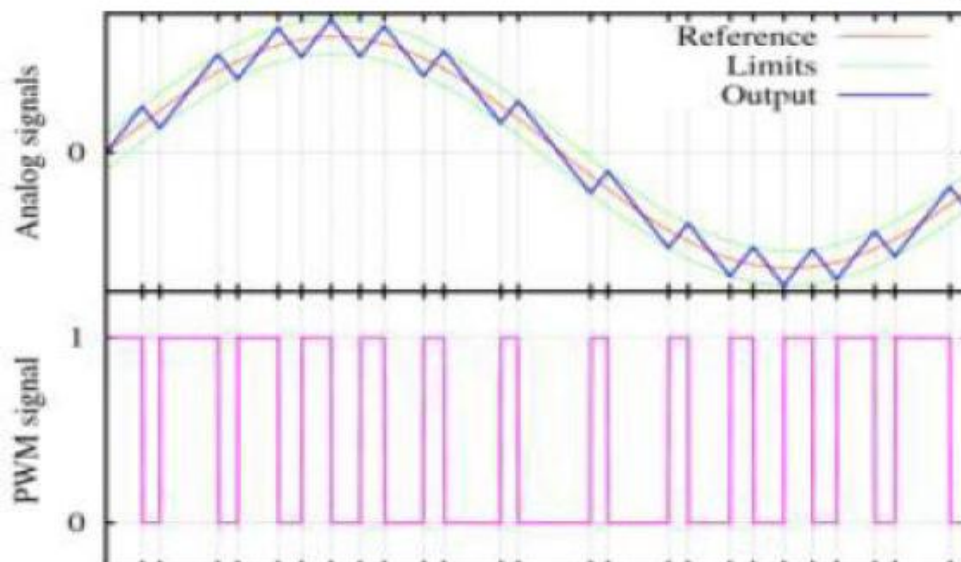
## ۱-۲ روش های تولید pwm

(۱) ساده ترین راه ایجاد PWM استفاده از یک موج اریه ای و یک موج سینوسی ایجاد ده توسط اسیلاتور می باشد. حال کافی است تا با استفاده از یک OpAmp این دو ولتاژ را با یکدیگر مقایسه شوند. در صورتی که ولتاژ سبز رنگ در شکل زیر بیشتر از ولتاژ آبی رنگ باشد، سطح ولتاژ بالا و در صورتی که منحنی سبز رنگ از منحنی آبی رنگ پائین تر باشد، سطح ولتاژ پائین خواهد بود.



## (۲) روش DELTA:

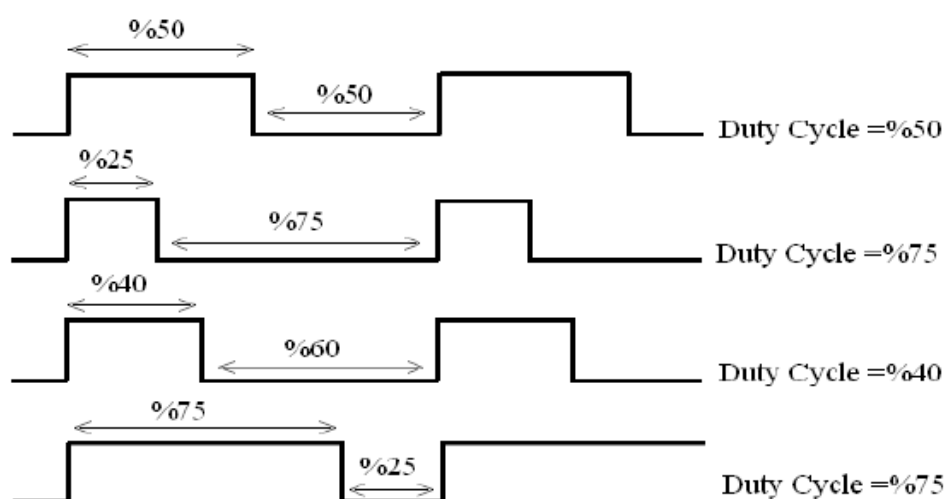
در این روش ولتاژ خروجی با دو سطح ولتاژ معین که یکی از آنها همان مقدار ولتاژ اول با مقداری Offset می باشد، مقایسه میشود. در صورتی که ولتاژ خروجی از یکی از این دو محدودیت افزایش یا کاهش یابد، در این صورت سطح ولتاژ پالس نیز تغییر خواهد کرد. شکل زیر بیان گر این موضوع می باشد.



روش ۳) در این روش ولتاژ خروجی از یک ولتاژ مرجع کمتر میشود، در صورتی که مجموع این ولتاژ خطا (تفاضل ولتاژ خروجی از ولتاژ مرجع) از مقدار معینی بیشتر شود، سطح ولتاژ خروجی عوض میشود.

روش ۴) بسیاری از مدارات دیجیتال می توانند PWM تولید کنند. برای مثال بسیاری از میکروپروسسور ها دارای خروجی PWM می باشند. معمولاً این میکروپروسسور ها دارای شمارنده ای می باشند که پس از زمان معینی سطح ولتاژ خروجی را تغییر می دهند.

نحوه کنترل موتور به وسیله مدولاسیون عرض پالس بدین گونه است که ابتدا یک فرکانس ثابت را انتخاب کرده و سپس برای افزایش سرعت موتور Duty Cycle را افزایش و برای کاهش سرعت Duty Cycle را کاهش می دهیم.



با کنترل عرض پالسها، توان اعمال شده به بار را می توان کنترل کرد. همانطور که می دانید توان بار مجذوری از ولتاژ اعمال شده به بار است با استفاده از رابطه زیر ولتاژ متوسط اعمالی به بار در Duty Cycle های مختلف بدست می آید.

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T V(t)^2 dt}$$

همانطور که ملاحظه شد به سادگی با تغییر زمان وظیفه یک پالس سرعت موتور کنترل شد.



## تولید پالس PWM از طریق میکروکنترلر:

ما به سادگی از طریق میکروکنترلر قادر هستیم پالسهای PWM را با زمان وظیفه و فرکانسهای دلخواه تولید کنیم. همانطور که میدانید تایمرها دارای چندین مد تولید PWM می باشند که با مقداردهی رجیسترها و تنظیماتی در ابزار Code Wizard ما قادر به تولید PWM هستیم.

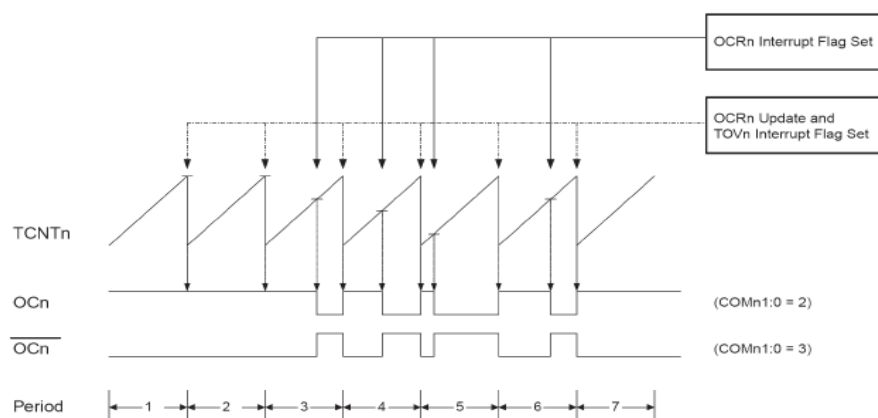
### 1) تولید PWM از طریق تایمر صفر:

ما در اینجا قصد داریم نحوه تولید یک PWM متغیر را به شما آموزش دهیم. به همین خاطر وارد مبحث تایمرها نمی شویم و به طور کلی مد PWM سریع در تایمر صفر را مورد بررسی قرار می دهیم.

#### مد Fast PWM:

تایمر از مقدار صفر شروع به شمردن می کند و با رسیدن به مقدار قرارداده شده در رجیستر OCR0 (یا در قسمت Compare) پایه OC0 (یا همان پایه 4 در ATmega16) را not کرده و به شمارش خود ادامه می دهد تا به مقدار 0xff برسد و با رسیدن به این مقدار پایه مذکور را دوباره not کرده و تایمر را پاک می کند. بدین ترتیب ما قادر هستیم با تغییر محتوای رجیستر OCR0 پهنای PWM را تغییر دهیم.

پس از انتخاب مد مورد نظر در قسمت تنظیمات تایمر صفر باید نوع خروجی را نیز از قسمت output در زیر منوی Mode انتخاب کنید. گزینه Disconnected باعث غیرفعال شدن تولید PWM شده و گزینه های inverted و non-inverted به ترتیب خروجی های معکوس و غیر معکوس PWM را مشخص می کنند. شکل زیر دیاگرام زمانی مد Fast PWM را نمایش می دهد.



دیاگرام زمانی مد Fast PWM

فرکانس موج PWM از رابطه زیر بدست می آید:

$$FOC0 = \frac{f_{clk-I/O}}{N \cdot (256 - TCNT0)}$$

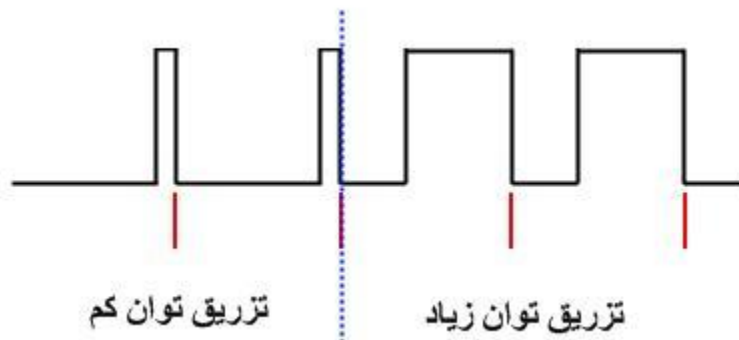
در رابطه بالا N ضریب تقسیم فرکانس پالس ساعت سیستم بوده و یکی از مقادیر ۱، ۸، ۶۴، ۲۵۶، ۱۰۲۴ را به خود اختصاص می دهد (این ضریب در قسمت Clock Value مشخص می شود) و fclk-I/O کلاک تایمر می باشد.

مثال : یک فرکانس یک کیلو هرتز با زمان وظیفه متغیر (مقدار اولیه 20%).

$$\text{DutyCycle} = \frac{OCR0}{250} \times 100\% \Rightarrow 20\% = \frac{OCR0}{250} \times 100\% \Rightarrow OCR0 = 50$$

$$FOC0 = \frac{f_{clk-I/O}}{N \cdot (256 - TCNT0)} = \frac{16000000}{64 \cdot (256 - TCNT0)} = 1000 \Rightarrow TCNT0 = 6$$

PWM مدولاسیونی است که در آن با کاهش و افزایش عرض پالس ها می توان خروجی را تغییر داد.



یکی از مزایای این روش این است که به توان تلفاتی در عنصر سوئیچ به حداقل ممکن می رسد. به این دلیل که این عنصر یا خاموش است و جریاد عبوری صفر است و یا روشن است و ولتاژ بسیار کمی روی آن قرار دارد.

یکی از مشخصات موج PWM نسبت زمان 1 بودن به کل زمان موج است. به این نسبت

Duty Cycle می گویند

## 2- 2 تولید PWM با IC 555

در زیر نقشه لازم جهت کنترل سرعت یک موتور را مشاهده می کنید. که می بایست برای laser show همین نقشه را برای یک موتور دیگر نیز تکرار کنید. از این مدار جهت کنترل فن نیز می توانید استفاده کنید. اگر می خواهید از این مدار در یک فاصله زمانی طولانی و مداوم استفاده کنید برای ترانزیستور های قدرت BD 140 از خنک کننده یا heat sink برای هر دو ترانزیستور استفاده کنید .

نحوه چیدمان قطعات در نقشه مشخص است. و نیازی به توضیح ندارد .

ترانزیستور BD140 یک ترانزیستور قدرت PNP یا مثبت است. که با توجه به ساختار آن زمانی این ترانزیستور فعال می شود که بیس آن زمین یا دارای ولتاژ صفر شود. برای روشن شدن تکلیف این ترانزیستور در زمانی که بیس آن با زمین تحریک نشده است. بیس آن را با یک مقاومت 47 کیلو اهم به مثبت ولتاژ متصل نمایید .

در نقشه اگر به سرهای موتور دقت کنید می بینید که یک سمت آن دارای ولتاژ زمین یا صفر است. و سمت دیگر آن از کلکتور ترانزیستور تغذیه می شود. که کلکتور وظیفه اش در این حالت ارسال ولتاژ 5 تا 12 ولت بر روی سمت دیگر موتور است. که با ایجاد این اختلاف پتانسیل موتور شروع به حرکت کند. البته در اعمال ولتاژ تغذیه 5 تا 12 ولت به ولتاژ قابل تحمل موتور نیز توجه کنید .

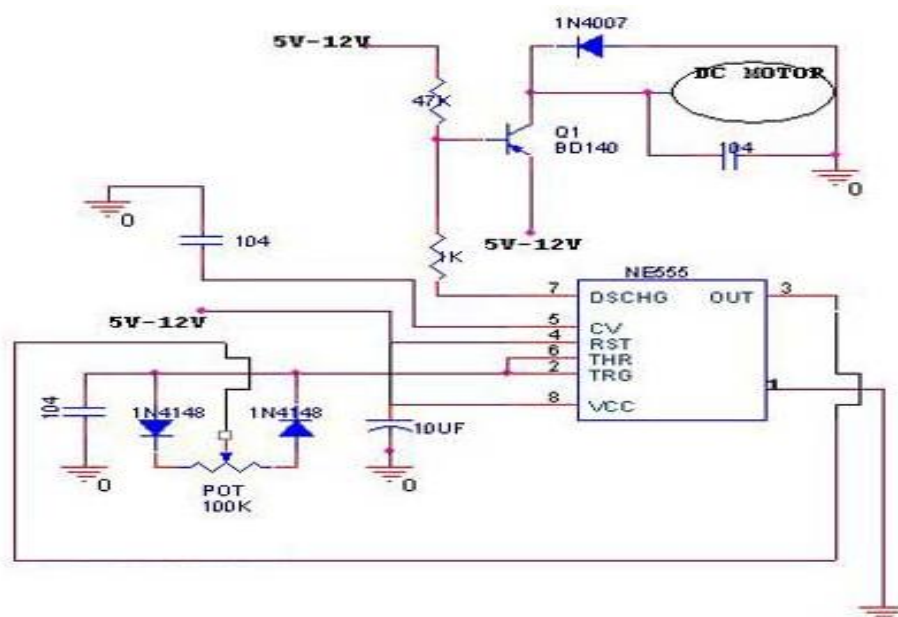
در داخل آی سی 555 ترانزیستوری از نوع NPN موجود است. که امیترش زمین شده است. و کلکتور آن به پایه 7 آی سی 555 متصل است. پایه 7 نیز با شارژ کامل خازن متصل به پایه های 2 و 6 فعال می شود. و زمین را بر روی سر بیس ترانزیستور قدرت bd140 می اندازد. این ترانزیستور نیز با دریافت ولتاژ زمین در روی بیس آن فعال می شود. و ولتاژ 5 تا 12 ولت را بسته به نوع موتور از امیتر بر روی کلکتورش می اندازد و موتور روشن می شود .

با پیچاندن پتانسیومتر توسط پیچ گوشتی ساعتی متوجه می شوید که سرعت موتر تغییر می کند. سر وسط این پتانسیومتر به پایه 3 که در واقع پایه خروجی آی سی 555 است. متصل می باشد. و پایه های کناری این پتانسیومتر با دو عدد دیود به پایه 2 و 6 که با یک سیم به هم متصل شده اند. می رود. با پیچاندن پتانسیومتر فواصل زمانی تولید پالس در خروجی و فیدبک آن از پایه 3 به پایه های 2 و 6 را تغییر می دهید. در جایی با پیچاندن پتانسیومتر متوجه می شوید سرعت موتور کم شده است. در واقع در اینجا پتانسیومتر را به سمتی می برید که مقاومت آن زیاد می

شود. و در این حالت زمان که از حاصلضرب مقاومت ایجاد شده در خازن 103 بوجود می آید کمتر خواهد بود. و در جای دیگر این مقاومت زیاد می شود. و فواصل زمانی تولید پالس نیز زیاد می شود.

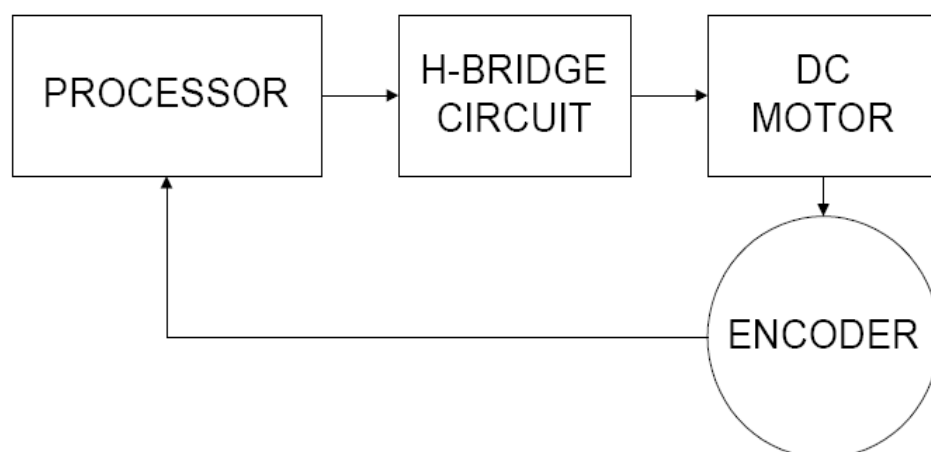
دیودهای متصل به پایه های پتانسیومتر نیز جهت تفکیک پایه های کناری پتانسیومتر و تاثیر عملکرد مجزای آن ها بر روی پایه های مشترک شده 2 و 6 است. اگر با جاگذاری فعلی دیودها موتور را روشن کنید. می بینید در جایی که با پیچ گوشتی پتانسیومتر را در یک سمت به انتها می برید. سرعت موتور حداکثر و در سمت دیگر سرعت موتور حداقل و در نهایت صفر می شود. حال اگر ترتیب چیدمان دیودها را عوض کنید در واقع سمت حداکثر و حداقل پتانسیومتر نیز عوض می شود این مورد را نیز براحتی می توانید تجربه کنید.

خازن های متصل به پایه 8 نیز خازن های تغذیه جهت عملکرد بهتر مدار است. خازن های دو سر موتور نیز به این علت است که موتور یک مصرف کنند سلفی است. که جریان در آن از ولتاژ جلوتر است برای هماهنگ شدن ولتاژ با جریان از یک خازن استفاده می کنیم. چرا که در خازن این ولتاژ است که از جریان جلوتر است که استفاده از این دو المان در کنار یکدیگر باعث حرکت و عملکرد موتور خواهد شد. البته در این حالت به خاطر اتصال ثابت یک سمت موتور به زمین و سبک بودن باری که موتور تحمل می کند مشکل چندانی ایجاد نمی شود که شما نیز می توانید آن را به راحتی یک بار با وجود خازن و بار دیگر بدون خازن تجربه کنید.



فصل سوم : Shaft Encoder

# Motor control diagram



## ● Shaft Encoder

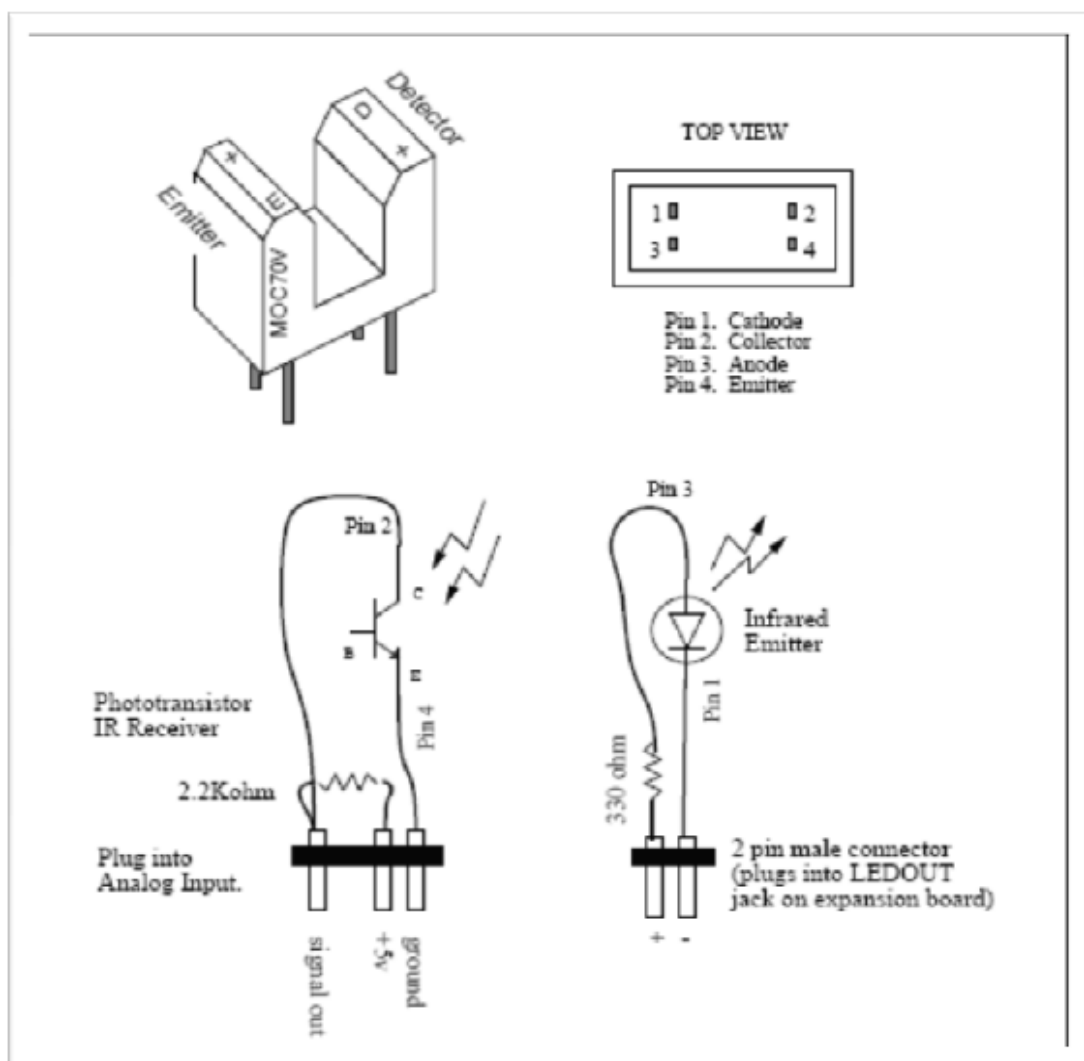
می توان این انکودر را بطور حاضری خریداری کرد و یا با هزینه ای کمتر، آن را ساخت. در این قسمت به توضیح نحوه ساخت انکودر مکانیکی خواهیم پرداخت یعنی سیستم داخلی انکودر الکترومکانیکی است.

سیستم داخلی این نوع انکودر متشکل از یک سنسور نوری می باشد که موج ( سیگنال نور با فرکانس معین) از فرستنده این سنسور صادر شده و در طرف گیرنده دریافت می شود. این سنسور انواع گوناگونی دارد. چند نمونه از انواع آن در شکل های زیر نشان داده شده اند.

EE-SX1109	EE-SX198	EE-SX398/498	EE-SV3	EE-SX1071	EE-SX1096
Transmissive slot width 3mm - < 5mm					
6 x 4 x 5	12.2 x 5 x 10	12.2 x 5 x 10	19 x 15.1 x 10.2	13.6 x 6.2 x 10.2	25 x 6 x 10
Transmissive	Transmissive	Transmissive	Transmissive	Transmissive	Transmissive
3mm	3mm	3mm	3.4mm	3.4mm	3.4mm
0.5mm	0.5mm	0.5mm	0.2/0.5/1.0mm	0.5mm	0.5mm
940nm	940nm	940nm	940nm	940nm	940nm
Surface Mount	Through-hole	Through-hole	Through-hole	Through-hole	Lead Wires

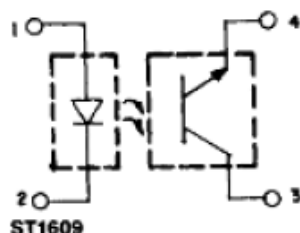
EE-SX1008	EE-SM3	EE-SX3090/4090	EE-SG3/SG3B	EE-SX1057	EE-SX1129	EE-SX1011	EE-SX1042	EE-SX1081	EE-SX125A-P2	EE-SX3090-P1 /4090-P1	EE-SX4019-P4
Transmissive slot width 3mm - < 5mm							Transmissive slot width 5				
25 x 6 x 10	25.4 x 6.2 x 10.2	25 x 6 x 10	25.4 x 6.3 x 11.5	13 x 6.3 x 0.6	13.5 x 5.2 x 9.3	14 x 6 x 10	14 x 5 x 14.5	13.7 x 5 x 10	27 x 0 x 15.9	34 x 11 x 21	38 x 11 x 21
Transmissive	Transmissive	Transmissive	Transmissive	Transmissive	Transmissive	Transmissive	Transmissive	Transmissive	Transmissive	Transmissive	Transmissive
3.4mm	3.4mm	3.4mm	3.6mm	3.6mm	4.2mm	5mm	5mm	5mm	5mm	5mm	5mm
0.5mm	0.2/0.5/1.0mm	0.5mm	2.0mm	2.0mm	0.5mm	0.5mm	0.5mm	0.5mm	0.5mm	0.5mm	0.5mm
940nm	940nm	940nm	940nm	940nm	940nm	940nm	940nm	940nm	940nm	940nm	940nm
Through-hole	Through-hole	Through-hole	Through-hole	Through-hole	Through-hole	Through-hole	Through-hole	Through-hole	Snaps-In	Score Marking	Score Marking

مدار داخلی این سنسورها تقریباً یکسان و بفرم زیر است:



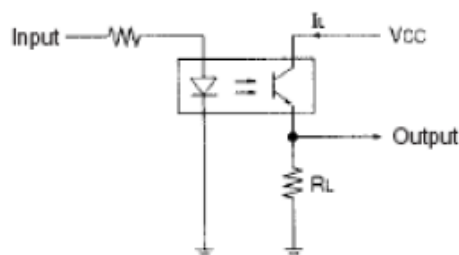
همان طور که مشاهده می شود، سنسور ها متشکل از دو قسمت فرستنده و گیرنده هستند. در صورتی که مانعی در بین فرستنده و گیرنده موجود نباشد، سیگنال فرستاده شده توسط گیرنده دریافت شده و فوتو ترانزیستور مربوطه شروع به هدایت می کند. در این صورت ولتاژ ۵ ولت ورودی که به پایه این سنسور وصل شده است، در خروجی ظاهر خواهد شد.

### PACKAGE OUTLINE



آنچه که باید توجه کنید، مقادیر ماکزیمم این IC در دو طرف فرستنده (Emitter) و گیرنده (Detector) می باشد.

مدار معادلی که می توان برای IC در نظر گرفت طبق شکل زیر است:

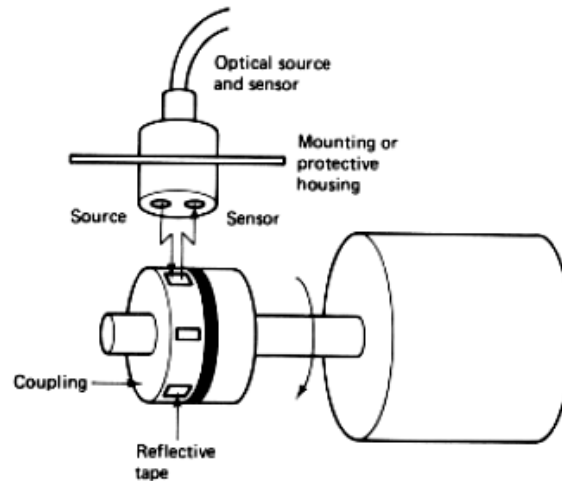


با توجه به اطلاعات داده شده در قسمت های بالا، مقدار جریان حداکثر در سمت فرستنده (Emitter) 20mA می باشد. در نتیجه باید جریان گذرنده از فرستنده محدود گردد که برای این کار مطابق مدار معادل، مقاومتی در مسیر فرستنده باید قرار گیرد (۳۳۰ اهم).  
 حال در صورتی که مانعی بین فرستنده و گیرنده قرار گیرد ولتاژ خروجی برابر ۵ ولت (سطح منطق ۱) و در صورتی که مانعی بین فرستنده و گیرنده موجود نباشد، ولتاژ خروجی برابر صفر ولت (منطق صفر) خواهد بود. حال کافی است تا با اتصال یک چرخ دنده یا شیئی مشابه که با چرخش موتور در ارتباط بین گیرنده و فرستنده؛ قطع و وصل ایجاد کند، سیگنال Digital مورد نظر را بدست آورد.

متناسب با خروجی این Opto Counter میتوان از پایه های interrupt میکرو و یا با استفاده از Timer های داخلی میکرو مقدار دور موتور در ثانیه (RPS) یا دور موتور در دقیقه (RPM) را محاسبه کرد که در ادامه توضیح داده خواهد شد.

### اندازه گیری سرعت موتور به وسیله انکودر نوری

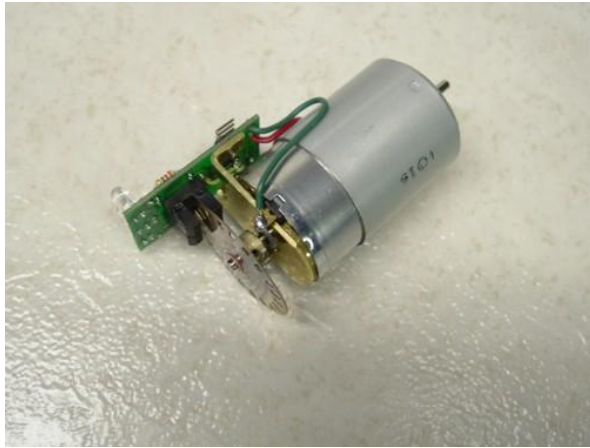
یکی از روشهای مستقیم اندازه گیری سرعت موتور، استفاده از گیرنده و فرستنده مادون قرمز است. از مزایای این روش این است که سنسور بر روی سیستم تأثیر نمی گذارد (اندازه گیری غیر مخرب). برای این منظور می توان از یک سنسور نوری انعکاسی استفاده کرد. تکه های باریک نوار منعکس کننده (معمولاً شش عدد) بر روی محوری که منعکس کننده نیست، نصب می شوند. یک سنسور و منتشر کننده نوری در محل مناسبی قرار داده می شوند به ترتیبی که وقتی نوار منعکس کننده از زیر نور رد می شود، نور ماوراء قرمز منتشر کننده روی محور متحرک بیافتد. وقتی نوار منعکس ساز از زیر نور بگذرد، نور منعکس شده به سنسور بر می گردد. در نتیجه پالسی (معمولاً یک ترانزیستور اشباع شده کلکتور باز) در خروجی به وجود خواهد آمد. نور را می توان بوسیله کابل فیبر نوری به محور برد و برگرداند.



یک را دیگر استفاده از یک صفحه سوراخدار متصل به شفت موتور است که گیرنده و فرستنده مادون قرمز را در طرفین این صفحه سوراخدار قرار می دهیم. با چرخش موتور هرگاه سوراخی از روبه روی گیرنده و فرستنده عبور کند نور فرستنده به گیرنده می رسد و در نتیجه ولتاژ بیشتری در گیرنده به وجود می آید، و در هنگامی که صفحه این ارتباط را قطع می کند این ولتاژ افت می کند.



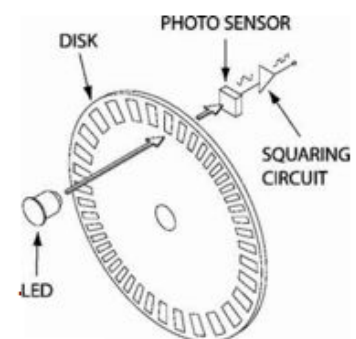
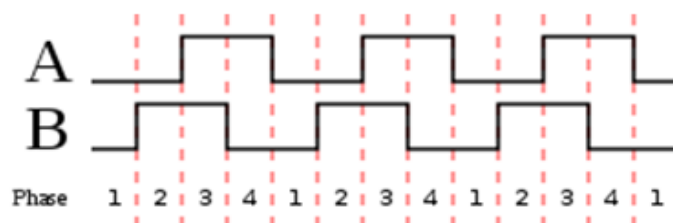




در صنعت از دو عدد سنسور مادون قرمز برای تشخیص جهت گردش استفاده می شود که دوسنسور با هم  $90^\circ$  مکانیکی اختلاف دارند که باعث تولید دو پالس با  $90^\circ$  اختلاف الکتریکی می شود که با تغییر جهت دور موتور یکی از پالس ها از دیگری پیشی می گیرد که می توان توسط یک عدد فیلپ فلاپ D جهت دور موتور را تعیین کرد

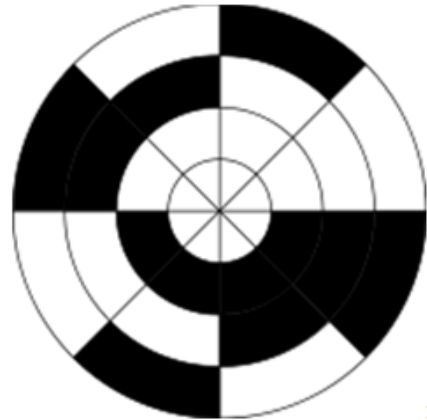
Gray coding for clockwise rotation		
Phase	A	B
1	0	0
2	0	1
3	1	1
4	1	0

Gray coding for counter-clockwise rotation		
Phase	A	B
1	1	0
2	1	1
3	0	1
4	0	0



نوع دیگری از انکودرها به نام Standard binary encoding به شکل زیر وجود دارد.

Standard Binary Encoding				
Sector	Contact 1	Contact 2	Contact 3	Angle
1	off	off	off	0° to 45°
2	off	off	on	45° to 90°
3	off	on	off	90° to 135°
4	off	on	on	135° to 180°
5	on	off	off	180° to 225°
6	on	off	on	225° to 270°
7	on	on	off	270° to 315°
8	on	on	on	315° to 360°



نوع دیگری از انکودرها به نام Gray encoding به شکل زیر وجود دارد.

Gray Coding				
Sector	Contact 1	Contact 2	Contact 3	Angle
1	off	off	off	0° to 45°
2	off	off	on	45° to 90°
3	off	on	on	90° to 135°
4	off	on	off	135° to 180°
5	on	on	off	180° to 225°
6	on	on	on	225° to 270°
7	on	off	on	270° to 315°
8	on	off	off	315° to 360°

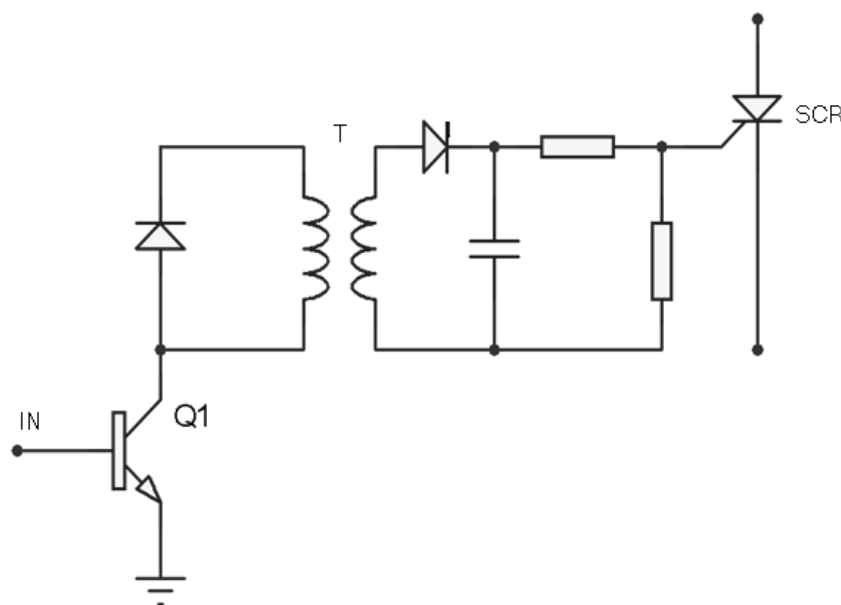


## فصل چهارم: ایزولاسیون و تغذیه سوئیچینگ

برای جدا کردن دو طبقه ی قدرت و کنترل در الکترونیک از بعضی قطعات خاص استفاده می شود. که در زیر به چند نمونه اشاره شده است.

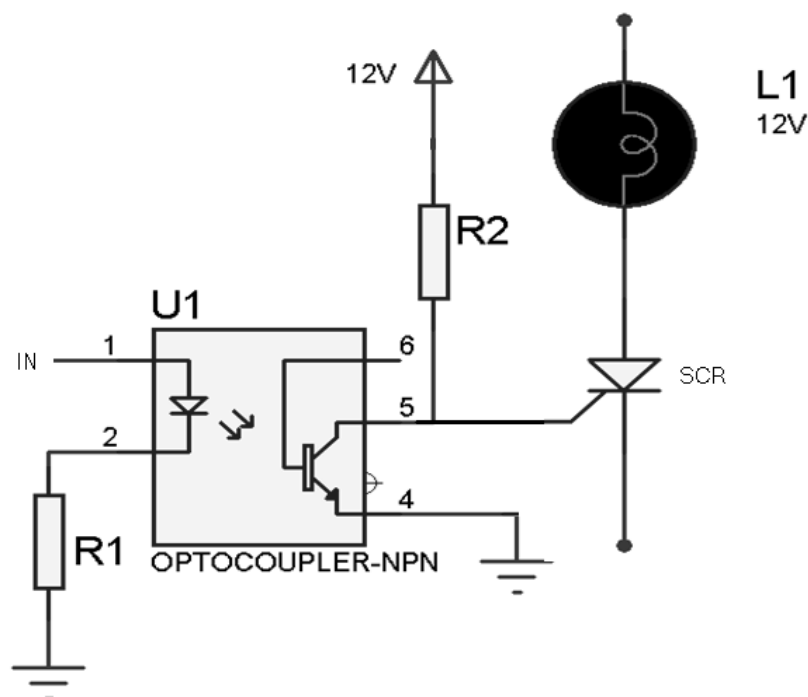
انواع ایزولاسیون:

1- ایزولاسیون ترانسفورماتوری: در مدار شکل زیر یک نمونه ایزولاسیون ترانسفورماتوری نشان داده شده است. در این مدار برای ارتباط بین ورودی و خروجی ترانسفورماتور باید از ترانزیستور یک پالس های متوالی عبور کند و یا اینکه از ترانس ولتاژ یا جریان AC عبور کند. این مدار دارای دو عیب بزرگ است. یکی این که چون در این مدار از ترانس استفاده شده است مدار دارای حجم بزرگی می شود. عیب بزرگتر این مدار که دلیل عدم استفاده از آن میشود این است که اگر در خروجی ترانس ولتاژی عبور کند و از SCR هیچ جریانی عبور نکند ولتاژ القائی در ترانس به طرف دیگر منتقل شده و بلافاصله قسمت کنترل مدار که دارای اهمیت بسیار خاصی میباشد از بین خواهد رفت پس به همین دلایل باید به سمت بهینه کردن مدار پیش رفت.



2- ایزولاسیون اپتوکوپلری: اپتوکوپلر یک قطه در یک پکیج می باشد. که از دو قطعه ی دیود نورانی و یک ترانزیستور نوع NPN و PNP تشکیل شده است. در این قطعات هنگامی از دیود نوری جریانی عبور کند روی ترانزیستور تأثیر گذاشته و جریانی از آن عبور میکند. شکل زیر یک نمونه مدار ایزولاسیون اپتوکوپلری را نشان میدهد.

در شکل زیر اگر ولتاژ ورودی برابر صفر باشد جریان عبوری از دیود اپتو برابر صفر میشود که این جریان ترایستور را فعل میکند که در نتیجه بار خروجی اکتیو میشود. اگر به دیود اپتو جریانی داده شود ترانزیستور اپتو به حالت اشباع رفته و ترایستور را غیر فعال نگه میدارد. این مدار دارای چند حسن می باشد. یک این که دارای حجم بسیار کوچکی می باشد. دیگر اینکه در این مدار اگر در طرف قدرت یک قطعه آسیب ببیند و یا اینکه بسوزد ولتاژ در طرف قدرت به هیچ عنوان در طرف کنترل القا نمیشود که در نتیجه میکروکنترلر سالم می ماند زیرا در اپتوکوپلر دیود نوری و ترانزیستور هیچ ارتباطی بجز نور با یکدیگر ندارند. یک حسن دیگر مدار نسبت به روش ترانسفورماتوری ارزانتر بودن آن نسبت به ترانسفورماتور است.



3- اپتوکوپلر ها به دسته های متفاوتی بر اساس فرکانس کار، ولتاژ و غیره تقسیم بندی میشوند.

1- فرکانس کار 10KHZ- ولتاژ کار 10 تا 15 ولت - نوع اپتوکوپلر PC817

2- فرکانس کار 1MHZ - ولتاژ 15 تا 16 ولت - نوع اپتوکوپلر PC8136

3- فرکانس کار 10MHZ - ولتاژ 0 تا 5 ولت - نوع اپتوکوپلر 6N137 (دیجیتالی 0-1)

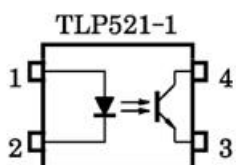
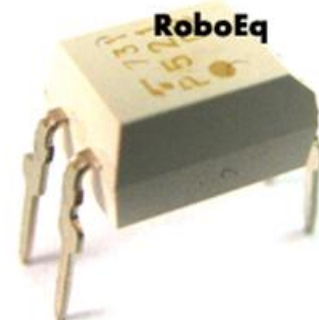
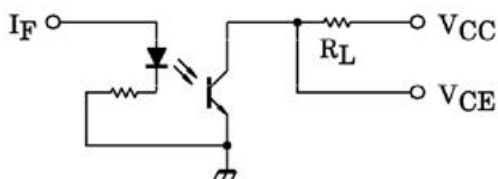
یکی از بزرگترین مزایای استفاده از اپتوکوپلر ها این است که با استفاده از آن ها می توان یک ولتاژ زیاد را با استفاده از یک کنترلر کم ولتاژ کنترل کرد.

انواع اپتوکوپلر ها :

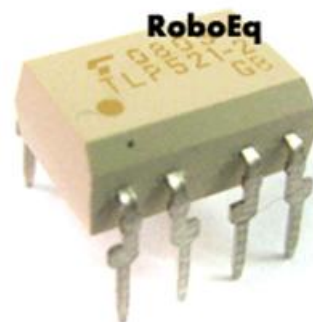
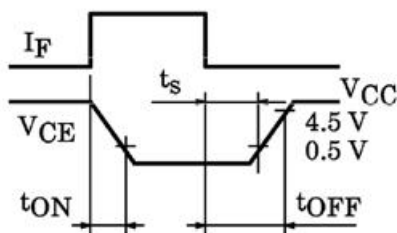
اپتوکوپلر TLP521

یک پکیج از این قطعه تحت عنوان آی سی TLP521 در زیر آورده شده است مدار شماتیک و مشخصات این قطعه در زیر آورده شده است.

SWITCHING TIME TEST CIRCUIT



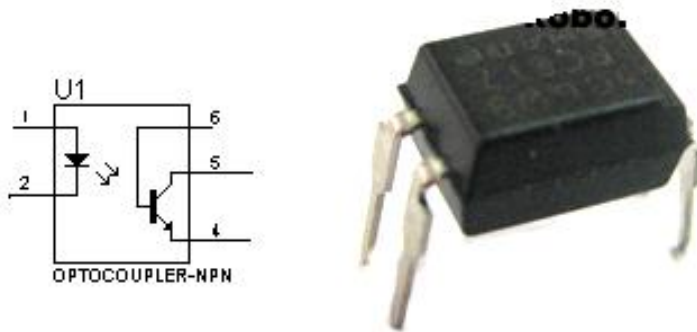
- 1 : ANODE
- 2 : CATHODE
- 3 : EMITTER
- 4 : COLLECTOR



MAXIMUM RATINGS (Ta = 25°C)

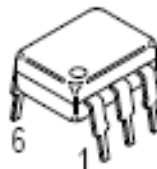
	CHARACTERISTIC	SYMBOL	RATING		UNIT
			TLP521-1	TLP521-2 TLP521-4	
LED	Forward Current	$I_F$	70	50	mA
	Forward Current Derating	$\Delta I_F / ^\circ C$	-0.93 (Ta $\geq$ 50°C)	-0.5 (Ta $\geq$ 25°C)	mA / °C
	Pulse Forward Current	$I_{FP}$	1 (100 $\mu$ pulse, 100 pps)		A
	Reverse Voltage	$V_R$	5		V
	Junction Temperature	$T_j$	125		°C
DETECTOR	Collector-Emitter Voltage	$V_{CEO}$	55		V
	Emitter-Collector Voltage	$V_{ECO}$	7		V
	Collector Current	$I_C$	50		mA
	Collector Power Dissipation (1 Circuit)	$P_C$	150	100	mW
	Collector Power Dissipation Derating (1 Circuit, Ta $\geq$ 25°C)	$\Delta P_C / ^\circ C$	-1.5	-1.0	mW / °C
	Junction Temperature	$T_j$	125		°C
	Storage Temperature Range	$T_{stg}$	-55~125		°C
Operating Temperature Range	$T_{opr}$	-55~100		°C	
Lead Soldering Temperature	$T_{sol}$	260 (10 s)		°C	
Total Package Power Dissipation	$P_T$	250	150	mW	
Total Package Power Dissipation Derating (Ta $\geq$ 25°C)	$\Delta P_T / ^\circ C$	-2.5	-1.5	mW / °C	
Isolation Voltage	$BV_S$	2500 (AC, 1 min., R.H. $\leq$ 60%) (Note 1)		Vrms	

اپتوکوپلر PC817

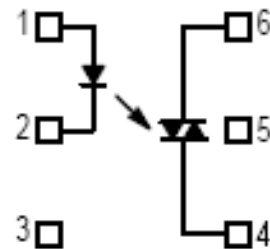


اپتوتریاک MOC3021

**MOC3021**  
**MOC3022**  
**MOC3023**

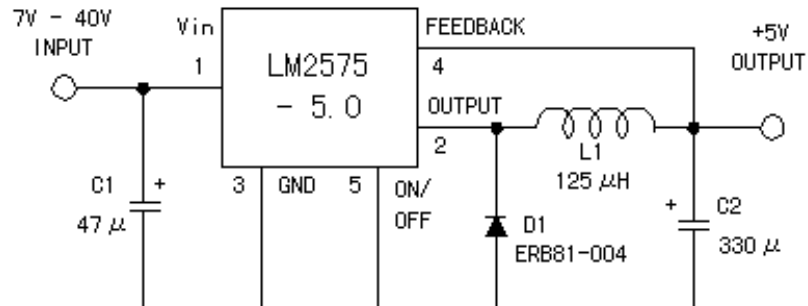


STANDARD THRU HOLE

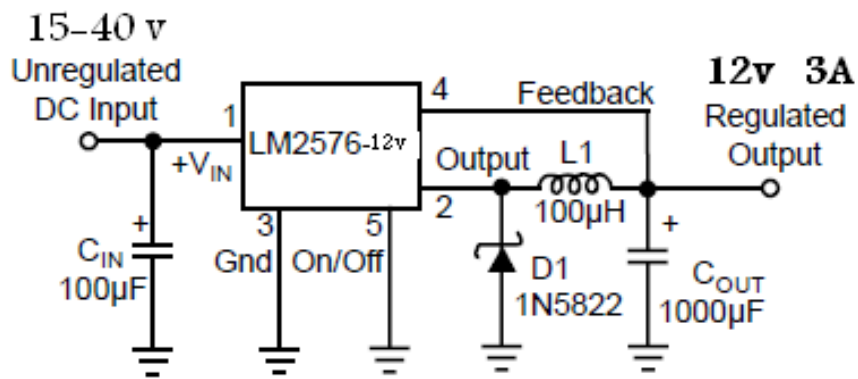


## تغذیه سوئیچینگ

طراحی مدار رگولاتور +5 ولت بر اساس مدل سوئیچینگ

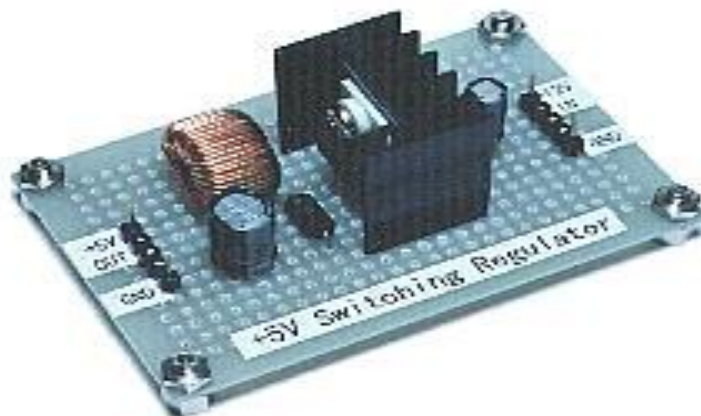


مدار  
+12  
اساس



طراحی  
رگولاتور  
ولت بر  
مدل

سوئیچینگ

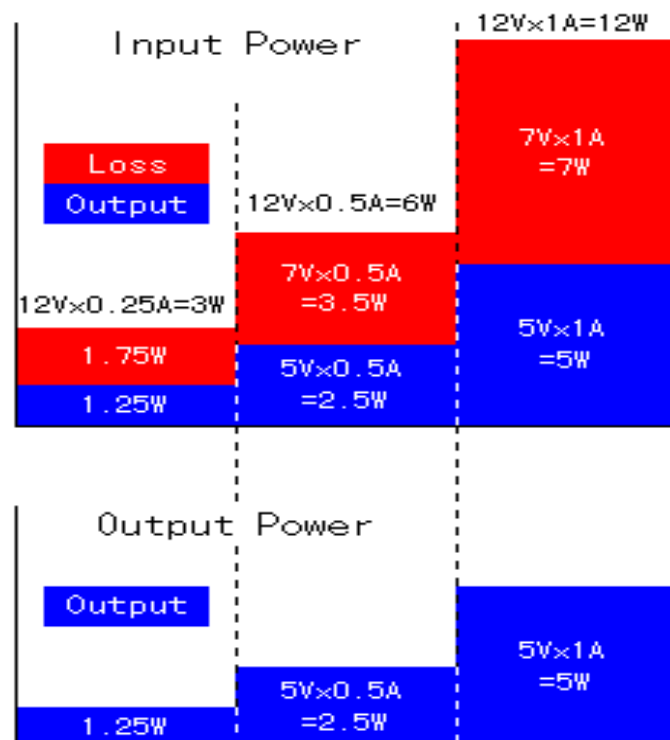


رگولاتور خطی :

رگولاتوری با 3 خروجی نظیر LM317 در اصطلاح رگولاتور خطی یا رگولاتور سری نامیده میشود .

برای چنین رگولاتوری ، جریان الکتریکی ورودی با جریان خروجی تقریباً برابرند. با توجه به این موضوع تفاوت ما بین توان ورودی که حاصلضرب ولتاژ ورودی در جریان ورودی است و توان خروجی که حاصلضرب ولتاژ خروجی در جریان خروجی است ، در رگولاتور به عنوان حرارت مصرف می گردد .

نموداری که در زیر مشاهده می کنید نرخ خروجی و تلفات آن را در وضعیتی که ولتاژ ورودی 12 ولت میباشد نمایش میدهد . در این حالت ولتاژ خروجی 5 ولت ، جریان خروجی 0.25 آمپر ، 0.5 آمپر و 1 آمپر میباشد تقریباً 58 درصد توان ورودی بصورت حرارت در سیستم مصرف میگردد که ما را ملزم به بستن heatsink بزرگی روی رگولاتور میکند .



رگولاتور سو

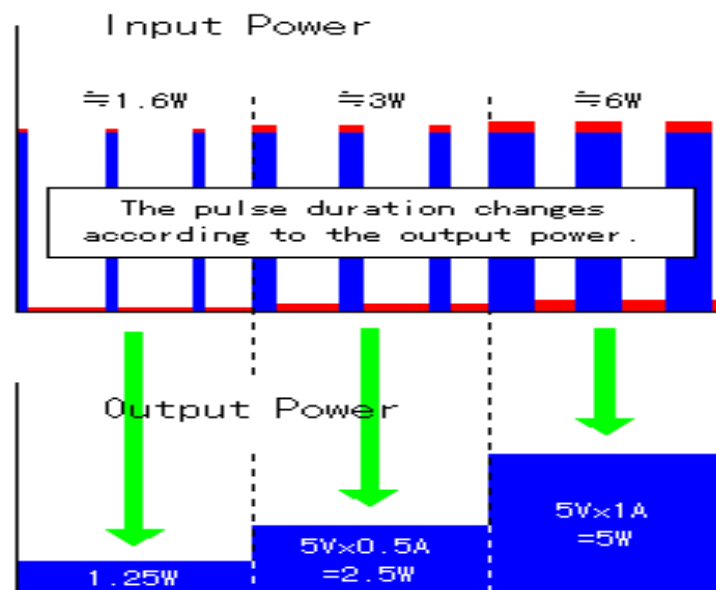


یک رگولاتور سوئیچینگ توان ورودی را به صورت پالس هایی در خروجی تولید میکند که به این عمل، عملیات سوئیچینگ میگویند. عرض این پالس ها با توانی که در خروجی نیاز داریم تغییر میکند. زمانیکه در خروجی توان کمی نیاز است عرض پالس ها باریک هستند و زمانیکه در خروجی به توان بالایی نیاز داریم پالس ها عریضتر میشوند. در حقیقت مدار در حال تشخیص توان خروجی نیست. بلکه زمان پالس ها را برای ثابت نگه داشتن ولتاژ خروجی کنترل میکند.

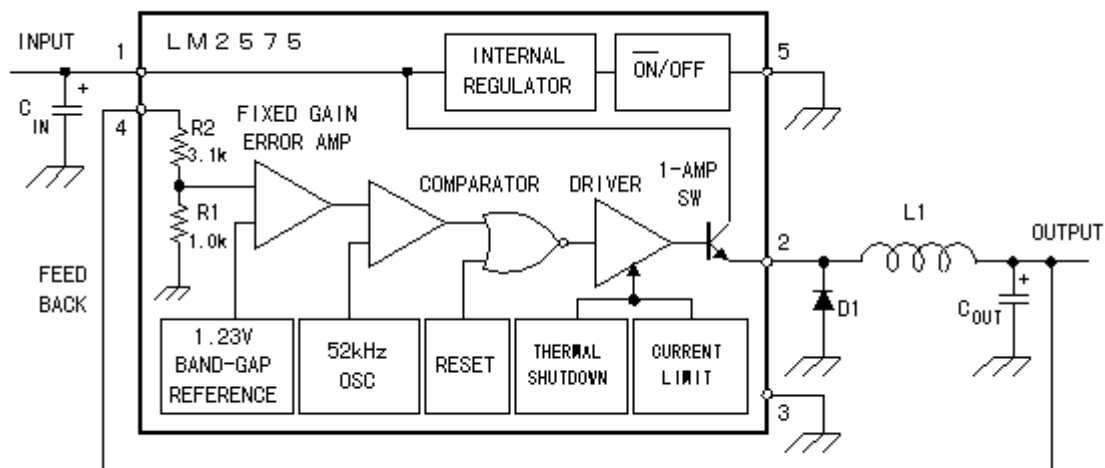
رگولاتور سوئیچینگ توانی را که نمی تواند در خروجی ظاهر کند را به صورت گرما مصرف نمیکند برخلاف یک رگولاتور خطی که مشاهده کردیم. بنابراین دیگر نیازی به یک heatsink بزرگ وجود ندارد.

اگر بخواهیم یک مثال خاص بزنیم، با عبور جریان 1 آمپری در ولتاژ 12 ولت راندمان ما 77 درصد خواهد شد که تنها 1/5 وات توسط رگولاتور مصرف میگردد.

از آنجا که توان ورودی وقتی که ما محاسبه نمودیم 6 وات است تنها 1 وات در رگولاتور تلف میگردد. در این صورت راندمان ما 83 درصد میشود. در حالی که رگولاتور خطی در همین شرایط 7 وات را مصرف میکند.

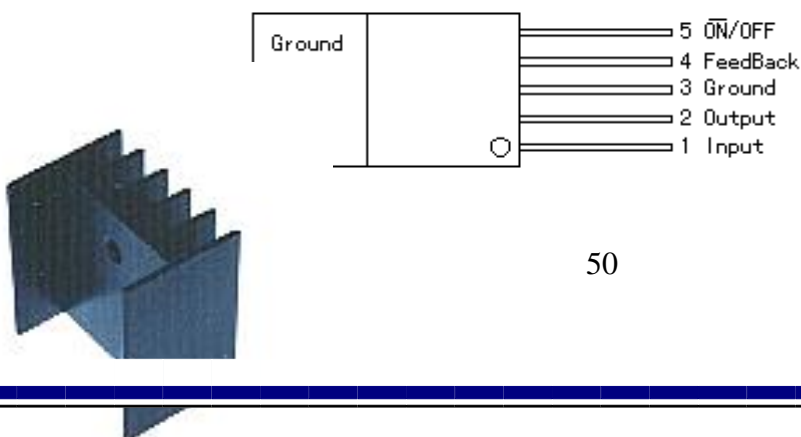


نحوه عملکرد رگولاتور سوئیچینگ :



نمودار بالا ترکیب ساختمان داخلی LM2575-5.0 را نمایش میدهد. این ترکیب دارای یک مدار نوسان ساز برای سوئیچینگ 52 کیلو هرتز میباشد. برای ایجاد یک ولتاژ مرجع برای ثابت نگه داشتن ولتاژ، از ولتاژ  $1/23$  ولت استفاده کرده ایم. این ولتاژ عرض پالس ها را با توجه به ولتاژ مرجع و ولتاژ خروجی کنترل می کند. و در کنار همه اینها مدار تشخیص حرارت و محدود کننده جریان خروجی و غیره در آن وجود دارند. در صورتی که به پنجمین بین آن ولتاژ  $+5$  بدهیم خروجی ما به حالت standby (حالتی که خروجی متوقف میشود) میرود. در این صورت جریان ورودی ما به 50 میکرو آمپر و ما کمترین توان مصرفی را خواهیم داشت.

یک رگولاتور کاهش دهنده ولتاژ (LM2575): این شکل رگولاتور مبدل 12 ولت به 5 ولت را نمایش می دهد. که برای تدارک توان مثبت استفاده شده است. توجه کنید که از این سری رگولاتور ها، مدل های دیگری از رنج  $1/3$  ولت تا 37 ولت وجود دارند که ما از نوع 12 ولتی آن استفاده نمودیم.



HeatSink : (گرما گیر)

در مورد یک رگولاتور سوئیچینگ میدانید که بطور نسبی اتلاف توان آن کم است. بطور تقریبی توان اتلاف آن زمانیکه 1 آمپر در خروجی جریان میدهد.  $1/5$  وات است. در نمونه ای که ساخته ایم این اتلاف 1 وات است که میبینید به همین خاطر هیچ مشکلی پیش نمی آید اگر از heatsink استفاده نکنیم اما برای اطمینان ما از یک heatsink کوچک در مدارمان استفاده نموده ایم. سایز آن دارای 25 mm طول، 23 mm عرض و 10 mm عمق هر پره آن میباشد.

لاستیک سیلیکون :



برای ایزوله کردن قسمت پشتی رگولاتور با heatsink

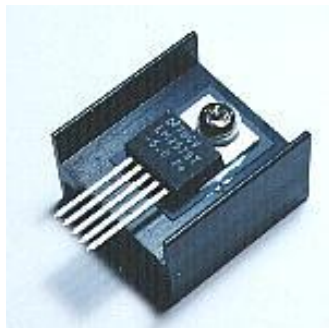
برای جلوگیری از اتصال الکتریکی آن با رگولاتور، ما از یک

ایزوله کننده در میان آنها استفاده کردیم. که نیاز به یک پیچ

3 mm برای اتصال heatsink به رگولاتور دارد. اما در رگولاتور یک سوراخ 4 mm ایجاد

کردیم. برای اینکه پیچ نباید با رگولاتور تماسی نداشته باشد، ما از یک بخش دایرها شکل برای

نصب، در سوراخ رگولاتور قرار دادیم.



گریس سیلیکون:

از این خمیر برای بهبود بخشیدن هدایت گرمایی بهتر میان heatsink و رگولاتور استفاده می کنیم. این گریس ترکیبی از گریس سفید است. که اکسید فلزی با آن ترکیب شده تا هدایت گرمایی را بهبود بخشد.



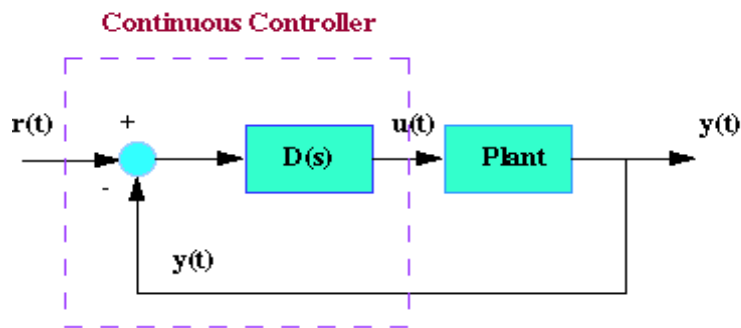
که باید به هر دو طرف لاستیک سیلیکون مالیده شود. البته نیاز به استفاده زیاد از آن نیست. تاثیر چندانی هم در بخشی که بیرون از لاستیک است ندارد.

## فصل پنجم : PID

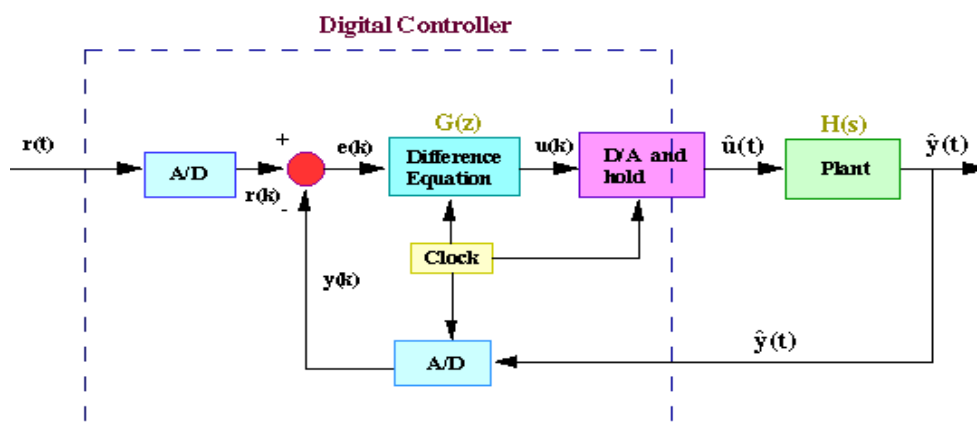
در کنترل دور موتور نیاز به یک سیستمی می باشد که بتواند دور موتور را در بارهای مختلف ثابت نگه دارد این کار را با تغییر DUTY CYCLE موج PWM می توان انجام داد

این تغییر باید به صورت هوشمند باشد که بتواند با تغییر ولتاژ ورودی هم دور موتور را ثابت نگه دارد این کار باید با استفاده از فیدبک PID و با بهره گیری از کنترلر قابل انجام می باشد.

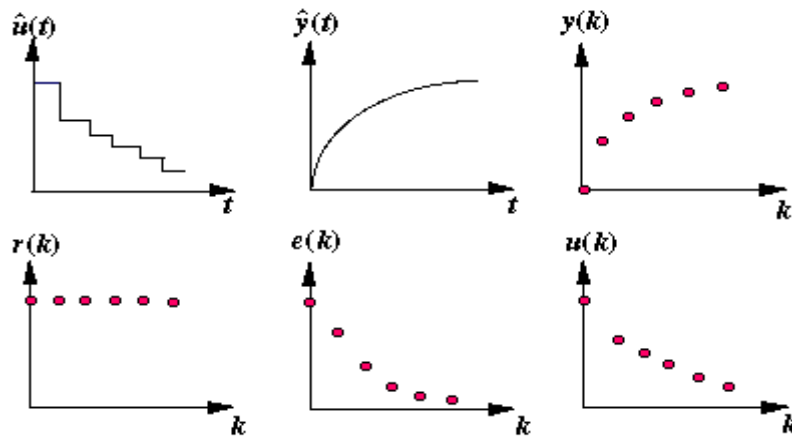
شکل زیر شمای یک سیستم حلقه بسته را نشان میدهد. تقریباً در تمام کنترلرهای پیوسته با سیستمهای الکترونیکی قابل پیاده سازی هستند.



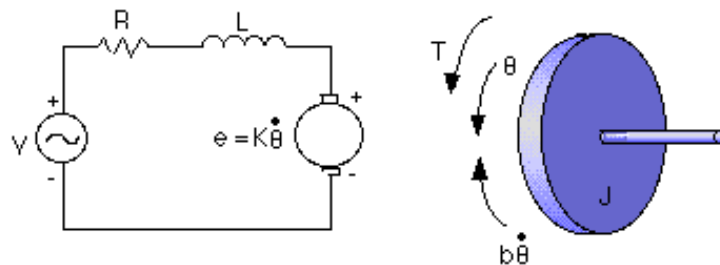
کنترلرهای دیجیتال همانطور که در شکل نشان داده شده است می توانند جایگزین سیستمهای پیوسته شوند و وظایف کنترلی مشابهی را اجرا کنند. تنها تفاوت این سیستمها نوع سیگنال و یا نمونه برداری آنها است.



انواع مختلف سیگنالهای مورد استفاده در شماتیک دیجیتال فوق در منحنیهای زیر نشان داده شده است.



یکی از عملگرهای مرسوم در سیستم های کنترلی موتور جریان مستقیم است. که حرکت های دورانی را برای ما ایجاد می کند. مدار معادل الکتریکی و دیاگرام آزاد مدار به صورت زیر است:



مقادیر زیر را برای پارامترهای فیزیکی در نظر بگیرید:

- \* moment of inertia of the rotor ( $J$ ) = 0.01 kg.m<sup>2</sup>/s<sup>2</sup>
- \* damping ratio of the mechanical system ( $b$ ) = 0.1 Nms
- \* electromotive force constant ( $K=K_e=K_t$ ) = 0.01 Nm/Amp
- \* electric resistance ( $R$ ) = 1 ohm
- \* electric inductance ( $L$ ) = 0.5 H
- \* input ( $V$ ): Source Voltage
- \* output ( $\theta$ ): position of shaft
- \* The rotor and shaft are assumed to be rigid

گشتاور موتور  $T$  با جریان آر میچر  $I$  با ضریب ثابت  $K_t$  متناسب است. Emf نیز با سرعت به صورت زیر رابطه دارد:

$$T = K_i i$$

$$e = K_e \dot{\theta}$$

بر اساس شکل نشان داده شده در بالا روابط زیر را بر پایه قوانین نیوتن و کیرشهف می توان نوشت.

$$J \ddot{\theta} + b \dot{\theta} = K_i i$$

$$L \frac{di}{dt} + Ri = V - K_e \dot{\theta}$$

تابع تبدیل

با استفاده از تبدیل لاپلاس داریم:

$$s(Js + b)\Theta(s) = K_i I(s)$$

$$(Ls + R)I(s) = V - K_e s\Theta(s)$$

با حذف  $I(s)$  از دو رابطه تابع تبدیل حلقه باز برقرار داریم.

$$\frac{\Theta}{V} = \frac{K_i}{(Js + b)(Ls + R) + K_e^2}$$

پس از مدل سازی موتور DC تابع تبدیل حلقه باز زیر برای مشتق سرعت بدست خواهد آمد.

$$\frac{\Theta}{V} = \frac{K_i}{(Js + b)(Ls + R) + K_e^2}$$

که:

\*electrical resistance (R) = 1 ohm

\*electrical inductance (L) = 0.5 H

\*electromotive force constant (Ke=Kt) = 0.01 Nm/Amp

\*moment of inertia of the rotor (J) = 0.01 kg\*m<sup>2</sup>/s<sup>2</sup>

\*damping ratio of the mechanical system (b) = 0.1 Nms

\*input (V): Source Voltage

\*output (theta dot): Rotating speed

\*The rotor and shaft are assumed to be rigid

در اینجا به کنترل دیجیتال سرعت موتور می پردازیم. می توان یک مدل دیجیتال از موتور DC از تبدیل مدل آنالوگ بدست آورد. سپس در ادامه یک کنترلر PID برای آن طراحی خواهد شد.

نیازهای طراحی برای یک ورودی پله 1 rad/sec به صورت زیر می باشد:

- Settling time: Less than 2 seconds
- Overshoot: Less than 5%
- Steady-state error: Less than 1%

تبدیل پیوسته به گسسته

اولین قدم در طراحی سیستم کنترلی گسسته تبدیل تابع تبدیل پیوسته به گسسته می باشد. فرمان **c2dm** در نرم افزار Matlab این عمل را انجام می دهد. فرمان **c2dm** پارامترهای زیر نیاز دارد:

1-درجه چندجمله ایها (den), (num)

2-زمان نمونه برداری (Ts)

3-نوع مدار نگهدار

```
[numDz, denDz] = c2dm (num, den, Ts, 'zoh')
[F, G, H, J] = c2dm (A, B, C, D, Ts, 'zoh')
```



در این مدار ما از مدار نگهدار ('zoh') استفاده میکنیم.

از نیازهای طراحی زمان نمونه برداری که  $1/10$  ثابت زمانی در نظر گرفته میشود.

حال M فایل مربوطه رامی نویسیم.

```
R=1;
L=0.5;
Kt=0.01;
J=0.01;
b=0.1;
```

```
num = Kt;
den = [(J*L) (J*R) + (L*b) (R*b) + (Kt^2)];
```

```
Ts = 0.12;
```

```
[numz, denz] = c2dm(num, den, Ts, 'zoh')
```

با اجرای این برنامه خروجیهای زیر بدست می آید.

```
numz =
```

```
0 0.0092 0.0057
```

```
denz =
```

```
1.0000 -1.0877 0.2369
```

که میتوان به کمک این ماتریسها تابع تبدیل گسسته رابه صورت زیر نوشت

$$\frac{\Theta(z)}{V(z)} = \frac{0.0092z + 0.0057}{z^2 - 1.0877z - 0.2369}$$

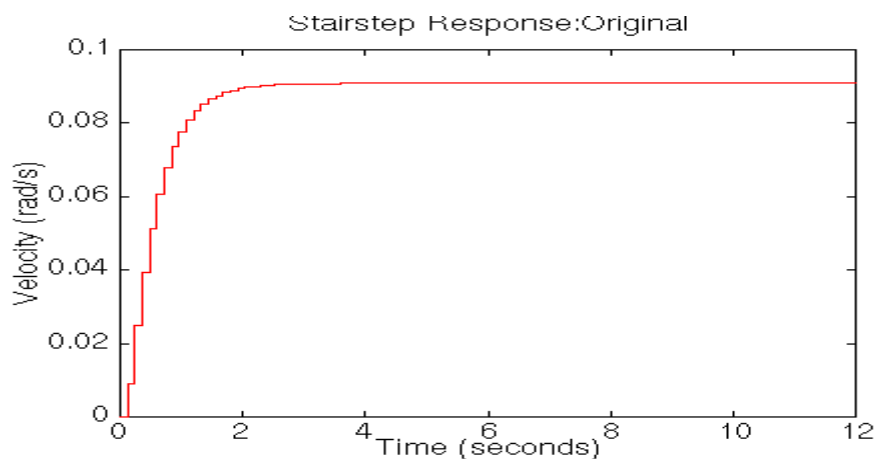
اگر دقت کنید یک صفر اضافی در مقابل وجود دارد که باید آنرا قبل از بستن حلقه حذف کنیم. این عمل با فرمان **loop** صورت میگیرد. با اضافه کردن این فرمانها به برنامه این عمل صورت میپذیرد.

```
numz = [numz(2) numz(3)];
[numz_cl, denz_cl] = cloop(numz, denz);
```

حال که این کار صورت پذیرفت حال اجازه دهید ببینیم که شکل پاسخ پله حلقه بسته سیستم به چه شکلی در می آید.

فرمان `dstep` مقادیر سیگنالهای خروجی را تولید میکند و فرمان `stairs` سیگنالها را به هم مرتبط میکند. با اضافه کردن کدهای زیر به برنامه مطلب شکل زیر بدست خواهد آمد.

```
[x1] = dstep(numz_cl, denz_cl, 101);
t=0:0.12:12;
stairs(t, x1)
xlabel('Time (seconds)')
ylabel('Velocity (rad/s)')
title('Stairstep Response:Original')
```



### کنترلر PID

می دانیم که تابع تبدیل زمان پیوسته کنترلر PID به صورت زیر است:

$$K_P + \frac{K_I}{s} + K_D s$$

چندین روش برای mapping صفحه s-plane به صفحه z-plane وجود دارد. دقیق ترین روش استفاده از تبدیل  $z = e^{Ts}$  است. ما باین روش نمیتوانیم به تابع تبدیل PID دست یابیم. چون تعداد

صفرهای تابع تبدیل زمان گسسته از صفرهای بیشتر خواهد بود که غیرممکن است. به جای آن از روش bilinear transformation استفاده میکنیم که در زیر نشان داده شده است.

$$s = \frac{2}{T_s} \cdot \frac{z-1}{z+1}$$

به این ترتیب میتوان به PID گسسته دست یافت

$$K_P + K_I \cdot \frac{T_s}{2} \cdot \frac{z+1}{z-1} + K_D \cdot \frac{2}{T_s} \cdot \frac{z-1}{z+1}$$

$$\frac{\left(K_P + \frac{K_I T_s}{2} + \frac{2K_D}{T_s}\right)z^2 + \left(K_I T_s - \frac{4K_D}{T_s}\right)z + \left(-K_P + \frac{K_I T_s}{2} + \frac{2K_D}{T_s}\right)}{z^2 - 1}$$

فرمان **c2dm** کمک میکند تا جبران ساز PID پیوسته را به گسسته تبدیل کنیم.

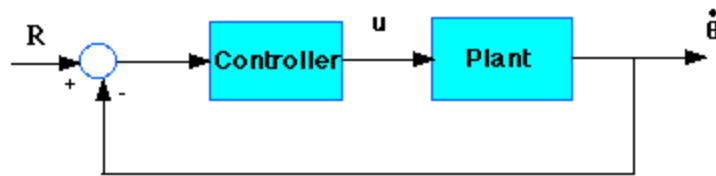
مطابق صورت مساله اصلی معادلات به صورت زیر است.

$$s(Js + b)\Theta(s) = KI(s)$$

$$(Ls + R)I(s) = V - Ks\Theta(s)$$

$$\frac{\Theta}{V} = \frac{K}{(Js + b)(Ls + R) + K^2}$$

شماتیک سیستم به صورت زیر است:



برای یک ورودی پله 1 rad/sec نقاط حساس سیستم به صورت زیر است:

- Settling time less than 2 seconds
- Overshoot less than 5%
- Steady-state error less than 1%

حال اجازه دهید کنترلر PID را طراحی کنیم. فرامین زیر را برای مدل سازی سیستم در مطلب

مینویسیم.

```
J=0.01;
b=0.1;
K=0.01;
R=1;
L=0.5;
num=K;
den=[(J*L) ((J*R)+(L*b)) ((b*R)+K^2)];
```

تابع تبدیل کنترلر PID را نیز داریم.

$$K_p + \frac{K_I}{s} + K_D s = \frac{K_D s^2 + K_p s + K_I}{s}$$

کنترل تناسبی

ابتدا بایک کنترل تناسبی با گین 100 سعی میکنیم کدهای زیر را به برنامه اضافه میکنیم.

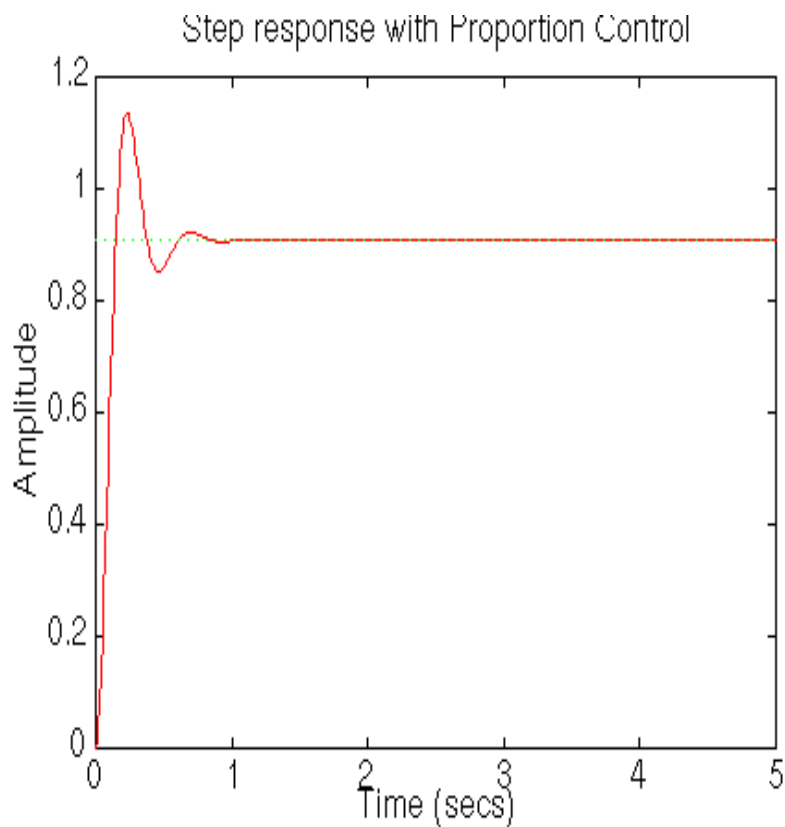
```
Kp=100;
numa=Kp*num;
dena=den;
```

برای تعیین تابع تبدیل حلقه بسته از فرمان `cloop` استفاده میکنیم.

```
[numac,denac]=cloop(numa,dena);
```

حالا اجازه دهید شکل پاسخ پله را با اضافه کردن کدهای زیر بررسی کنیم.

```
t=0:0.01:5;
(numac,denac,t) step
title('Step response with Proportion Control')
```

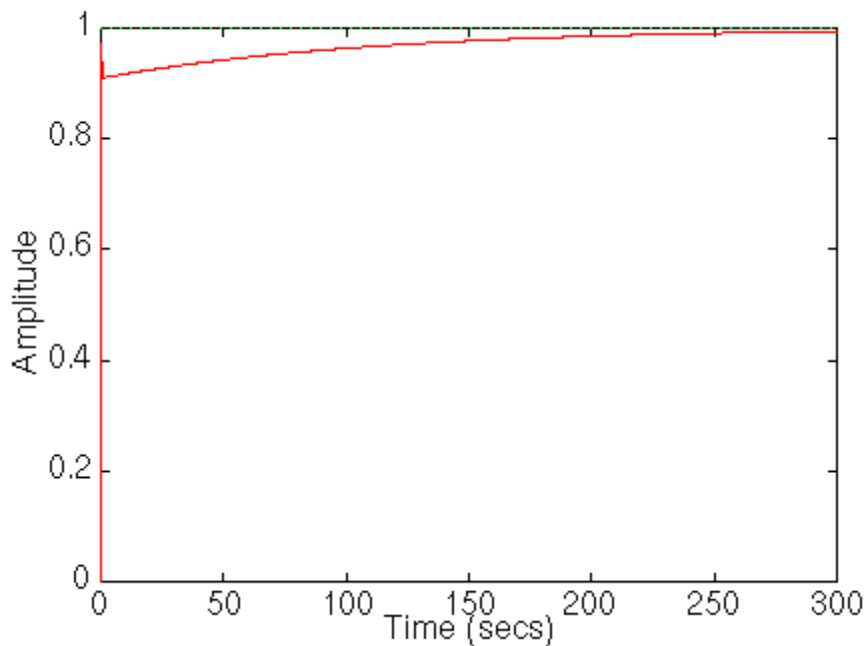


کنترلر PID

در شکل بالا می بینیم که خطای ماندگار و overshoot بسیار زیاد است. برای کاهش خطای ماندگار از یک انتگرال گیر و برای کاهش overshoot از یک مشتق گیر استفاده می نمایم. برای آغاز از ضرایب کوچک استفاده مینماییم. کدهای زیر را نوشته و پاسخ را مشاهده میکنیم.

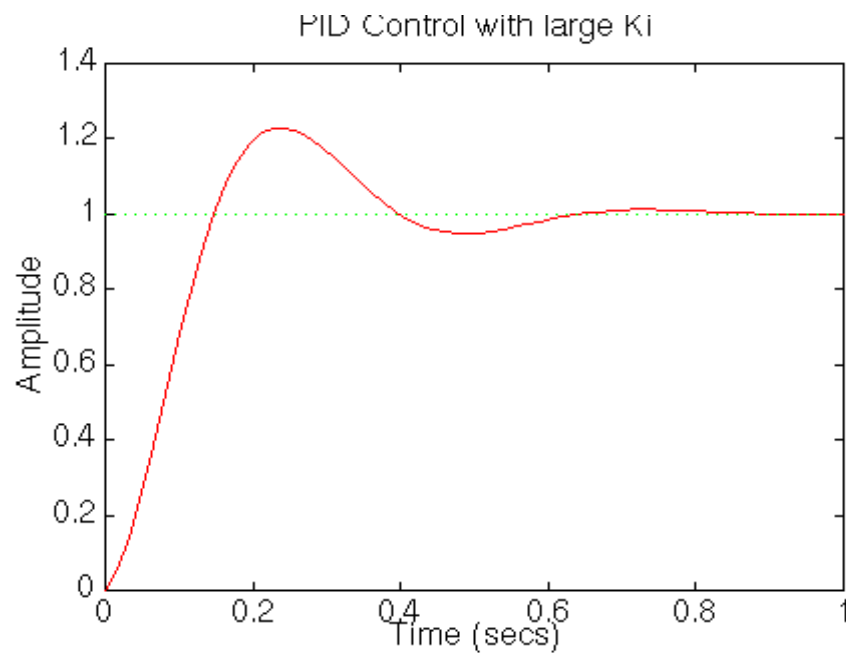
```
J=0.01;
b=0.1;
K=0.01;
R=1;
L=0.5;
num=K;
den=[(J*L) ((J*R)+(L*b)) ((b*R)+K^2)];

Kp=100;
Ki=1;
Kd=1;
numc=[Kd, Kp, Ki];
denc=[1 0];
numa=conv(num,numc);
dena=conv(den,denc);
[numac,denac]=cloop(numa,dena);
step(numac,denac)
title('PID Control with small Ki and Kd')
PID Control with small Ki and Kd
```

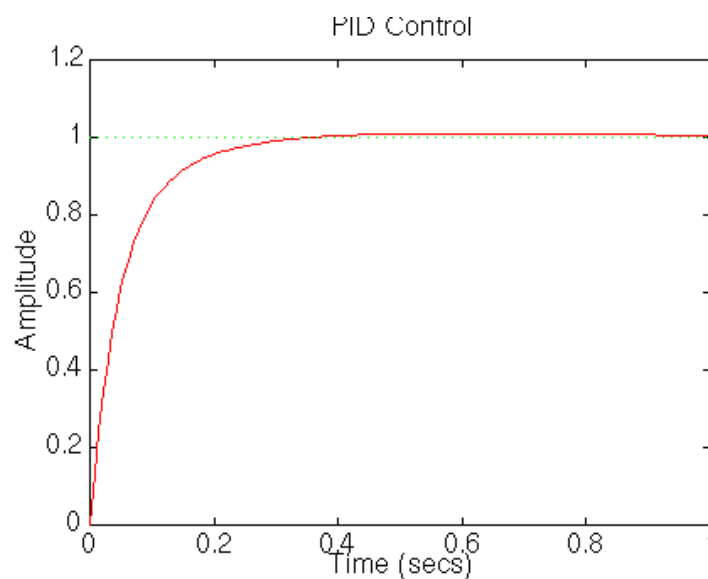


تنظیم ضرایب

حال میبینیم که settling time بسیار افزایش می یابد  $K_i$ ، افزایش می دهیم تا settling time کاهش یابد.  $K_i$  را به 200 تغییر می دهیم. این فایل منحنی زیر را بر میگرداند.



حالا میبینیم که پاسخ بسیار سریع شده است ولی overshoot زیاد شده است. حال  $K_d$  را برای کاهش overshoot زیاد می کنیم.  $K_d$  را 10 می کنیم خروجی به صورت زیر خواهد شد.



خوب حالا ما میدانیم که اگر یک PID کنترلر با ویژگیهای زیر داشته باشیم همه نیازهای طراحی ارضا خواهد گردید.

Kp=100,  
Ki=200,  
Kd=10,

حالا خطوط زیر را به برنامه اضافه میکنیم.

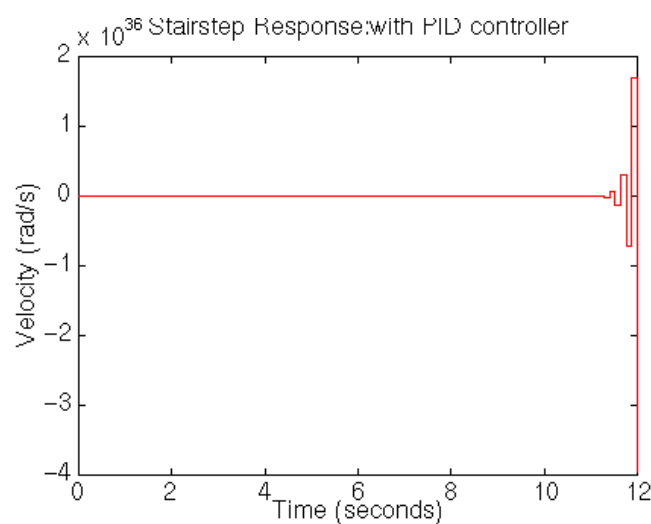
```
% Discrete PID controller with bilinear
approximation
Kp = 100;
Ki = 200;
Kd = 10;
```

```
[dencz, numcz]=c2dm([1 0],[Kd Kp Ki],Ts,'tustin');
```

حال اجازه دهید پاسخ حلقه بسته سیستم را با جبران سازها مشاهده کنیم. با اضافه کردن کدهای زیر پاسخ در خروجی نمایش داده خواهد شد.

```
numaz = conv(numz, numcz);
denaz = conv(denz, dencz);
[numaz_cl, denaz_cl] = cloop(numaz, denaz);

[x2] = dstep(numaz_cl, denaz_cl, 101);
t=0:0.12:12;
stairs(t, x2)
xlabel('Time (seconds)')
ylabel('Velocity (rad/s)')
title('Stairstep Response:with PID controller')
```

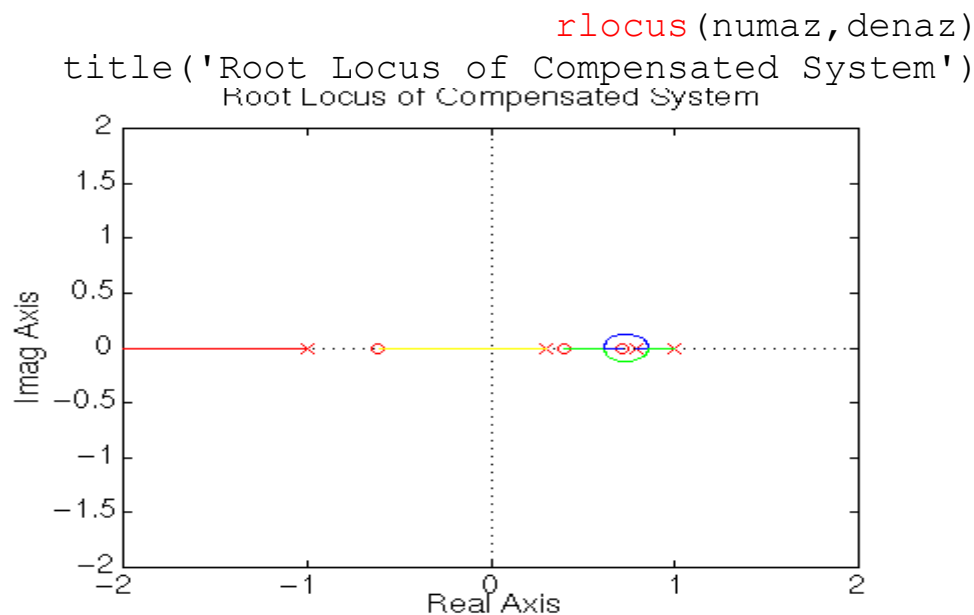


شکل دیده میشود  
بسته ناپایدار

همانطور که در  
پاسخ حلقه



میشود. پس یک چیزی در جبران ساز اشتباه شده است. پس باید به پاسخ root locus سیستم نگاهی بیاندازیم. با اضافه کردن فرمانهای زیر به برنامه پاسخ root locus بدست می آید.



میبینیم که تابع تبدیل PID کنترلر یک قطب در  $-1$  در صفحه  $z$ -plane دارد. میدانیم که اگر قطب در خارج از دایره واحد باشد سیستم ناپایدار است پس این سیستم جبرانسازی ناپایدار است. مایک صفر در  $-0.62$  قرار می دهیم که این موجب میگردد سیستم برای حداقل برخی گین ها پایدار شود. علاوه بر این ما یک گین مناسب برای ارضای نیازهای طراحی با استفاده از **rlocfind** پیدا میکنیم. کدهای زیر را برای اجرای این برنامه به سیستم اضافه میکنیم:

```

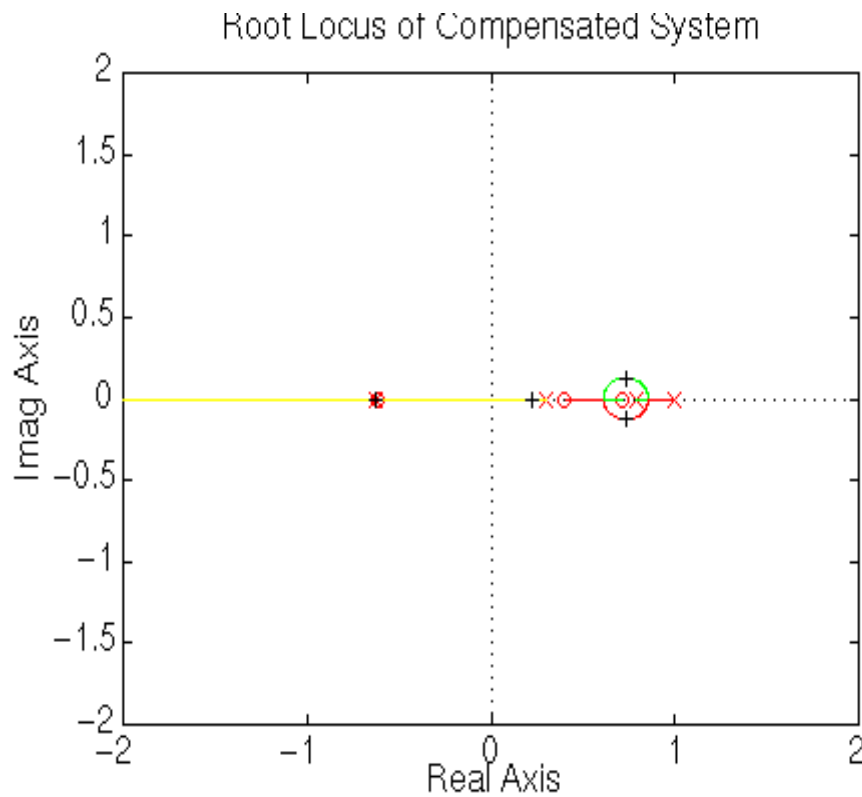
dencz = conv([1 -1],[1.6 1])
numaz = conv(numz,numcz);
denaz = conv(denz,dencz);

rlocus(numaz,denaz)
title('Root Locus of Compensated System');
[K,poles] = rlocfind(numaz,denaz)
[numaz_cl,denaz_cl] = cloop(K*numaz,denaz);

[x3] = dstep(numaz_cl,denaz_cl,101);
t=0:0.12:12;
stairs(t,x3)
xlabel('Time (seconds)')
ylabel('Velocity (rad/s)')
title('Stairstep Response:with PID controller')

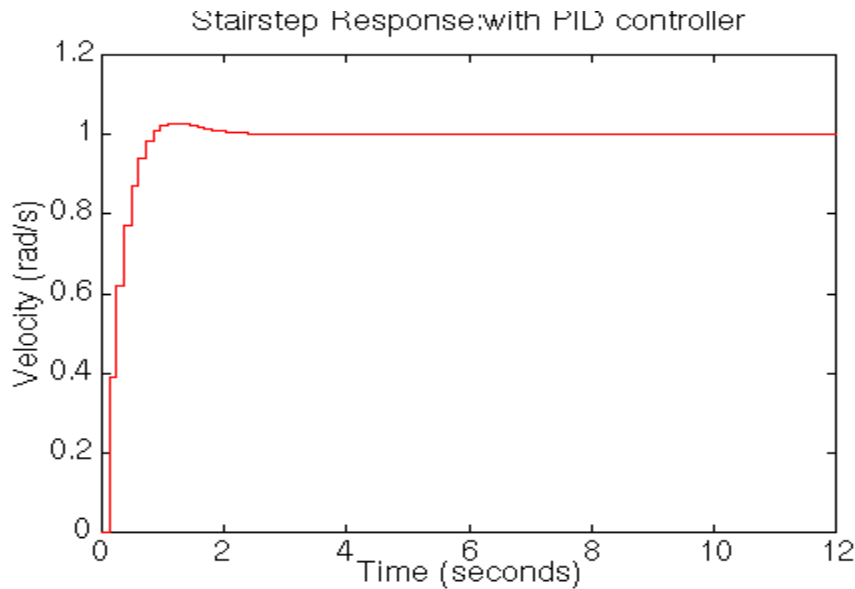
```

مایک قطب در 625- قرار میدهم که تقریبا اثر صفرهای جبران نشده سیستم را جبران میکند. در پنجره مطلب شما باید فرمان انتخاب نقاط در منحنی root-locus را ببینید. باید بر روی آن مطابق شکل زیر کلیک کنید.



سپس نرم افزار مطلب گین مناسب و قطب جبران سازی شده مناسب را به شما برمیگرداند. و پاسخ حلقه بسته سیستم جبران سازی شده را مطابق شکل زیر نمایش میدهد.

نتیجه



منحنی نشان میدهد که settling time کمتر از 2 ثانیه و overshoot حدود 3% است و علاوه بر این خطای ماندگار صفر است. همچنین بهره مطابق منحنی 2425 است که منطقی بوده و بنابراین پاسخ نیازهای طراحی را ارضا میکند.

الگوریتم پی‌آی‌دی از رایج‌ترین نمونه‌های الگوریتم کنترل بازخوردی است که در بسیاری از فرایندهای کنترلی نظیر کنترل سرعت موتور DC، کنترل فشار، کنترل دما و ... کاربرد دارد. هدف از به کار بردن الگوریتم PID در کنترل حلقه بسته، کنترل دقیق و سریع خروجی سیستم تحت شرایط متفاوت و بدون دانستن دقیق رفتار سیستم در پاسخ به ورودی است.

PID از سه قسمت :

1- Proportional تناسب

2- Integral انتگرال

3- Drivative مشتق

تشکیل شده که هر کدام از آنها سیگنال error را به عنوان ورودی گرفته و عملیاتی را روی آن انجام می‌دهند و در نهایت خروجی شان با هم جمع می‌شود. خروجی این مجموعه که همان خروجی PID است برای اصلاح خطا (error) به سیستم فرستاده می‌شود. فرمول استاندارد PID به فرم زیر است:

$$\text{Output}(t) = K_p \left( e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau + T_d \frac{de}{dt} \right)$$

اگرچه در بسیاری از کنترلرها به علت حساسیت عبارت مشتق نسبت به نویز و اجرای دشوار آن، از آن صرف نظر و کنترل را به صورت PI پیاده سازی می کنند. سیگنال  $U(t)$  خروجی PID بر اساس نسبتی از خطای کنونی سیستم (عملکرد حاضر)، به اضافه مجموع خطاهای سیستم (رفتار گذشته)، به اضافه مشتق خطای کنونی (تخمین خطی رفتار آینده (محاسبه می شود و برای اصلاح خطا به سیستم اعمال میگردد. ضرایب  $k$ ،  $T_i$  و  $T_d$  نیز میتوانند با تکنیک های شناخته شده ای مانند تابع انتقال به صورت بهینه محاسبه شوند، اگرچه در کاربردهای عملی، بطور رضایت بخش میتوانند با آزمون و خطا و مشاهده رفتار سیستم بطور تقریبی تعیین گردند

کنترل کننده های PID دارای سه پارامتر است

- 1- کنترل کننده ی تناسبی  $K_P$
- 2- کنترل کننده ی انتگرالی  $K_I$
- 3- کنترل کننده ی مشتق گیر  $K_D$

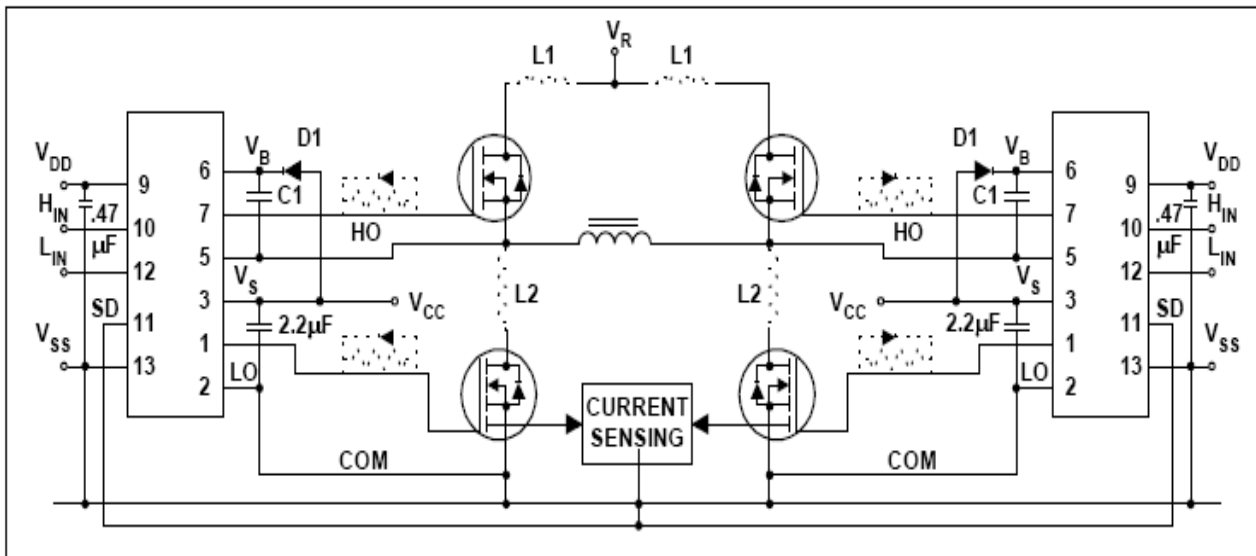
در کنترل PID یک مکان شاخص وجود دارد. ما با استفاده از آن خطا را می سنجیم یعنی ما می خواهیم به مکانی برسیم به میزان فاصله و انحراف از آن مکان، خطا می گوئیم که در کنترل PID هر چه خطا بیشتر سرعت عکس العمل نیز بیشتر و چون این روش روش حلقه بسته است و مداوم خطا را بررسی می کند و سرعت عکس العمل را تنظیم می کند ما یک حرکت ملایم داریم به طوری که از سرعت زیاد به کم در حال تغییر است و زمانی که به مکان شاخص رسید متوقف می شود.

CL RESPONSE	RISE TIME	OVERSHOOT	SETTLING TIME	S-S ERROR
$K_p$	Decrease	Increase	Small Change	Decrease
$K_i$	Decrease	Increase	Increase	Eliminate
$K_d$	Small Change	Decrease	Decrease	Small Change

فصل ششم: طراحی و ساخت پروژه

## درایور موتور:

با توجه به مطالب بیان شده در فصل اول ما به این نتیجه رسیدیم که برای راه اندازی موتور از پل H با N MosFet استفاده کنیم و برای راه اندازی mosfet ها از آی سی ir2113 استفاده کنیم که مدار قسمت قدرت پروژ، در شکل زیر نشان داده شده است



## کنترل جریان موتور

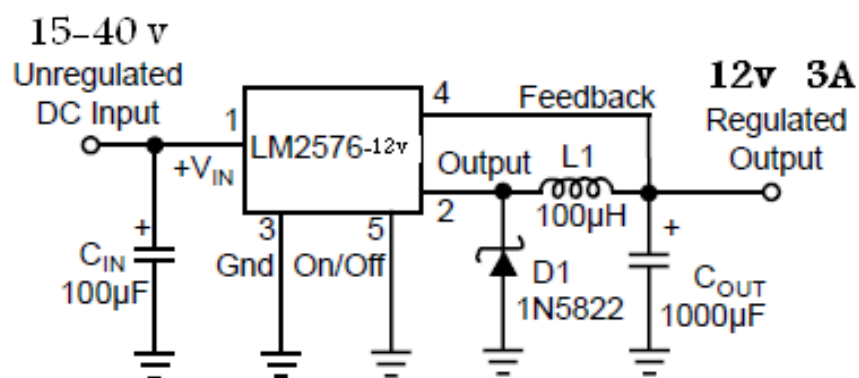
در مواقعی که بار بیش از حد باشد یا در مدار اتصال کوتاهی بوجود آید جریان بیش از حدی از مدار عبور می کند که باعث آسیب رساندن به مدار می شود که برای جلوگیری از این کار از مدار کنترل جریان (Current Sensing) استفاده می کنیم .

یکی از روش های انجام این کار سری کردن یک مقاومت کم اهم وات بالا با زمین مدار قدرت می باشد که با عبور جریان از آن یک افت ولتاژ متناسب با جریان روی آن داریم که این ولتاژ را با یک ولتاژ مرجع توسط op amp مقایسه می کنیم که در صورت افزایش بیش از حد جریان، جریان مدار را محدود می کنیم .

ما در پروژه مان از مقاومت  $0.33\Omega$  استفاده کرده ایم و ولتاژ مرجع را توسط افت ولتاژ دو سر یک دیود که  $0.6\text{V}$  می باشد تهیه کرده ایم که ولتاژ مقاومت را به پایه مثبت op amp داده ایم و ولتاژ دیود را به پایه منفی op amp داده ایم که برای مثال اگر جریان  $2\text{A}$  از مدار عبور کند ولتاژ پایه

مثبت از opamp منفی بیشتر می شود و op amp به اشباع مثبت می رود که خروجی op amp را به پایه SD (SHOT DOWN) IR2113 می دهیم که این پایه اگر صفر نباشد IR2113 خاموش می باشد.

برای این که ولتاژ 12 v مدارمان را از همان منبع تغذیه موتور بگیریم از رگولاتور 2576 استفاده می کنیم که درباره آن بحث شده است.



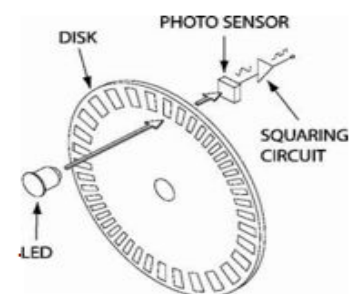
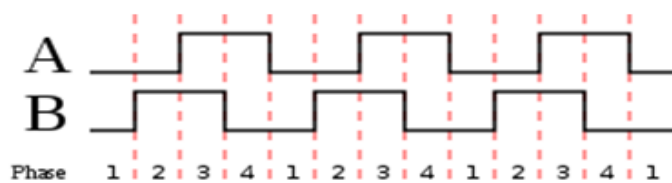
موتور:

ما در این پروژه از یک موتور 40V DC 5700RPM استفاده کرده ایم که دارای Shaft Encoder با تعداد 100 پالس در هر دور می باشد

این موتور دارای دو عدد سنسور مادون قرمز می باشد که با هم 90 درجه ی مکانیکی اختلاف دارند که پالس خروجی این موتور به شکل زیر می باشد

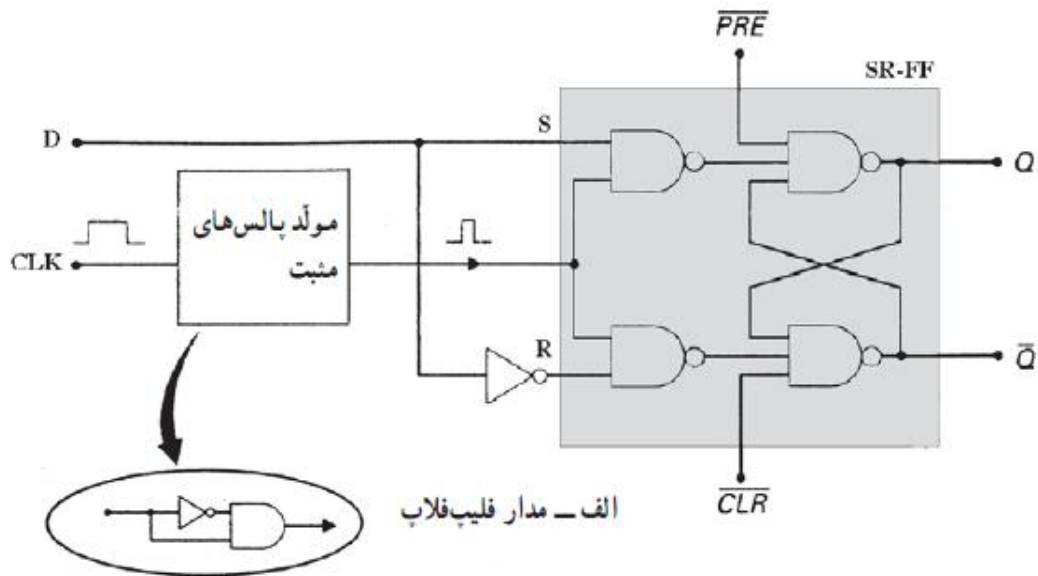
Gray coding for clockwise rotation		
Phase	A	B
1	0	0
2	0	1
3	1	1
4	1	0

Gray coding for counter-clockwise rotation		
Phase	A	B
1	1	0
2	1	1
3	0	1
4	0	0



دو پالس نشان داده شده در بالا به گونه ای می باشد که اگر موتور در جهت راست و یا در جهت دیگر بچرخد یکی از پالس ها از دیگری پیشه می گیرد که ما با استفاده از یک ای سی 4013 که یک فلیپ فلاپ D می باشد توانستیم جهت گردش موتور را تشخیص دهیم.

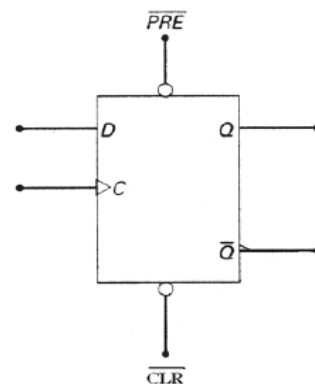
**فلیپ فلاپ D:** این فلیپ فلاپ تنها دارای یک ورودی است و از آن به عنوان یک سلول ثبات استفاده می کنند؛ زیرا اطلاعات رسیده به ورودی آن پس از عمل هر پالس ساعت وارد فلیپ فلاپ شده و تا پالس ساعت بعدی حفظ می شود. این فلیپ فلاپ را می توان به کمک هر یک از انواع فلیپ فلاپ های SR، JK یا JK-MS ساخت. بدین منظور، باید



$P_r$	$C_r$	Clock	D	$Q(t)$	
0	0	*	*	*	حالت غیرمجاز
0	1	*	*	1	Preset
1	0	*	*	0	clear
1	1	-	*	$Q(t-1)$	Latch
1	1	$\uparrow$	0	0	} $Q(t) = D_{in}$
1	1	$\downarrow$	1	1	

ب - جدول صحت فلیپ‌فلاپ

مشخصات D-FF



دو سطر آخر جدول صحت مدار بیانگر آن است که اطلاعات ورودی عیناً وارد فلیپ‌فلاپ می‌شود. فلیپ‌فلاپ D حالت ذخیره‌ی فعال ندارد؛ یعنی، اگر وضعیت ورودی D تغییر کند، با رسیدن اولین پالس ساعت این تغییر وضعیت به خروجی مدار می‌رسد.

اگر یکی از پالس‌های خروجی انکودر را به ورودی کلاک فلیپ‌فلاپ و یکی دیگر از پالس‌ها را به ورودی D فلیپ‌فلاپ وصل کنیم چون با لبه‌های بالا رونده کلاک، فلیپ‌فلاپ فعال می‌شود پس در هنگام مقایسه یا ورودی D سطح صفر می‌باشد و یا یک، که خروجی همیشه در یک جهت صفر و در جهت دیگر یک می‌باشد.

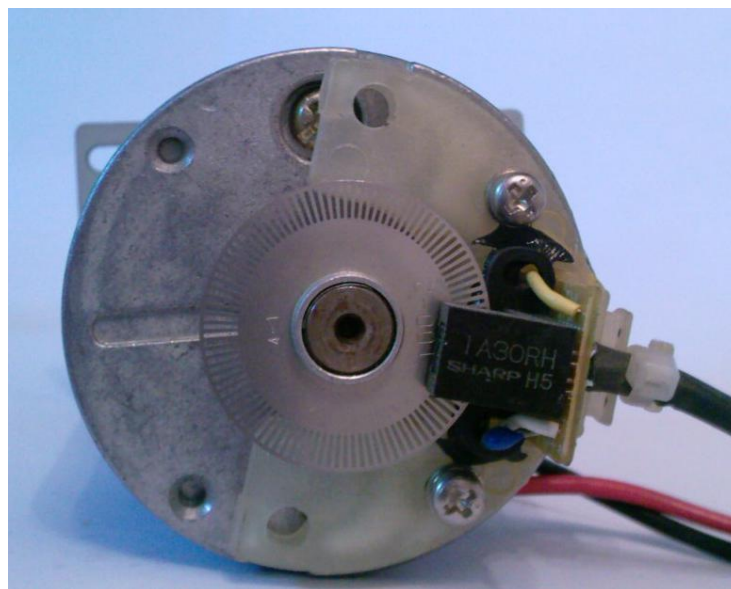
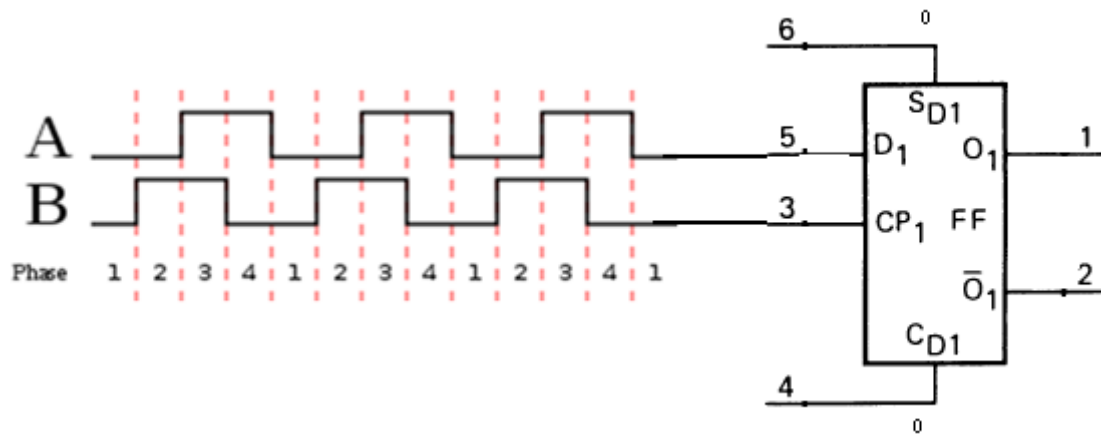
خروجی فلیپ‌فلاپ را به یکی از پایه‌های ورودی میکرو وصل می‌کنیم و با توجه به صفر یا یک بودن آن چپ یا راست گرد بودن موتور را تشخیص می‌دهیم.



INPUTS				OUTPUTS	
S <sub>D</sub>	C <sub>D</sub>	CP	D	O <sub>n+1</sub>	$\bar{O}_{n+1}$
L	L		L	L	H
L	L		H	H	L

FUNCTION TABLES

INPUTS				OUTPUTS	
S <sub>D</sub>	C <sub>D</sub>	CP	D	O	$\bar{O}$
H	L	X	X	H	L
L	H	X	X	L	H
H	H	X	X	H	H



## قسمت کنترلر:

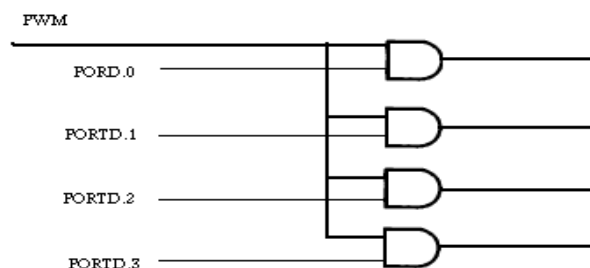
ما برای پروژه از میکرو کنترلر AT MEGA 16 AVR استفاده کرده ایم که از پورت C آن برای LCD و از پورت A آن برای KEY BORD و از تایمر صفر آن هم برای شمارش پالس های ENCODER که هر 100 پالس یک سرریز دارد استفاده کرده ایم.

از تایمر دو برای مشخص کردن تعداد دور موتور (با توجه به کانتر) و فراخوانی تابع PID استفاده کرده ایم که مدت زمان آن 250ms می باشد.

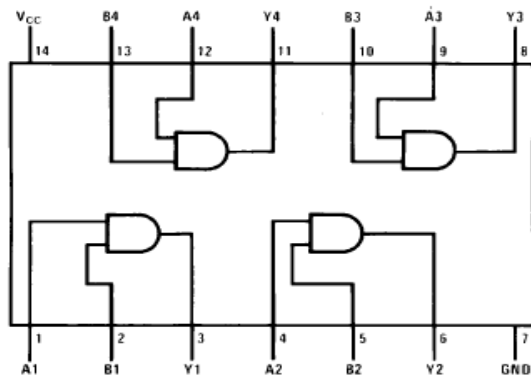
از تایمر یک هم برای تولید پالس PWM استفاده کرده ایم که فرکانس آن 1KHz می باشد. برای اینکه موتور به چپ یا راست بچرخد حد اقل به دو پالس PWM نیاز داریم به اینصورت که مثلا در یک جهت یکی از MOSFET ها را اشباع می کنیم و MOSFET بعدی را توسط پالس PWM خاموش - روشن می کنیم

اگر ما بخواهیم برای مدارمان ترمز هم بگذاریم نیاز به چهار پالس PWM داریم که ما برای حل این مشکل از یک آی سی AND (7408) که شامل چهار گیت می باشد استفاده می کنیم به اینصورت که به یکی از ورودی های هر چهار گیت پالس PWM می دهیم (PWM تایمر 1) و ورودی های دیگر گیت ها را به چهار تا از پایه های میکرو می دهیم و توسط آن با صفر و یا یک کردن مشخص می کنیم که کدام گیت ها روشن شوند (هر گیتی که روشن شود در خروجی آن PWM داریم) و به طریق موتور را چپ گرد، راست گرد و ترمز می کنیم.

حال سطح ولتاژ 5v است در صورتی که سطح ولتاژ مورد نیاز برای ورودی IR1213، 12v می باشد برای تغییر سطح ولتاژ از 5 به 12 و همچنین ایزوله کردن قسمت قدرت نسبت به میکرو از اپتوکوپلر TLP521 استفاده می کنیم.



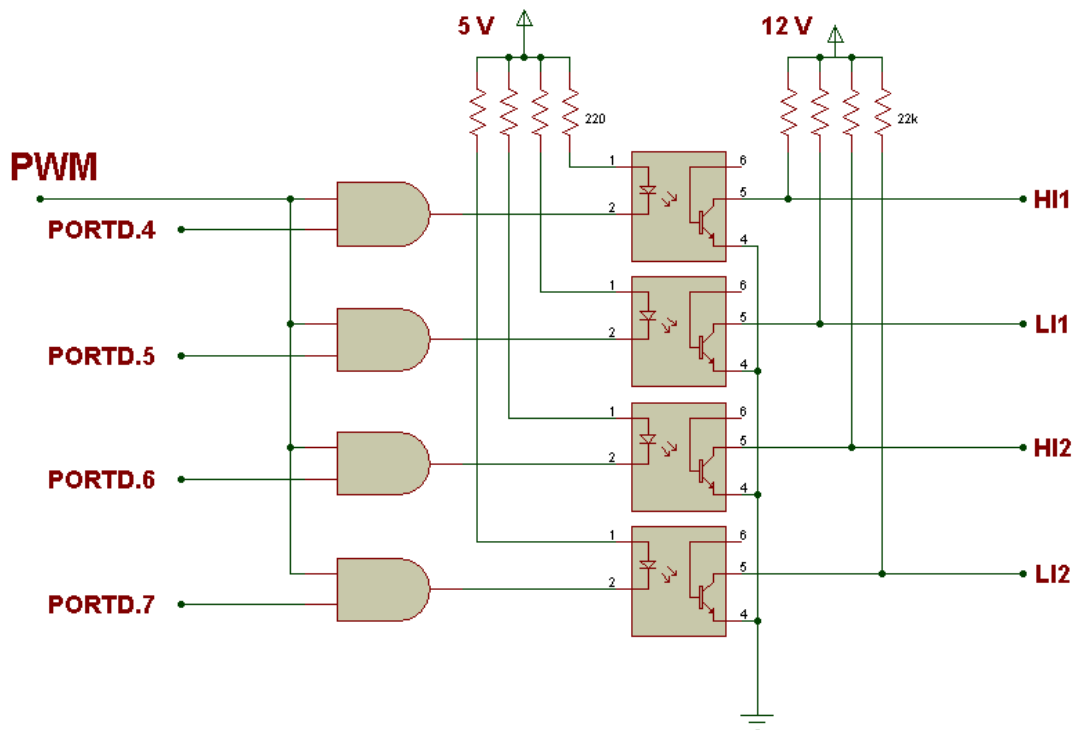
Connection Diagram



Function Table

$Y = AB$

Inputs		Output
A	B	Y
L	L	L
L	H	L
H	L	L
H	H	H



# برنامه میکرو کنترلر به زبان C:

```

22 *****/
23 #include <megal6.h>
24 #include <stdio.h>
25 #include <delay.h>
26 // Alphanumeric LCD Module functions
27 #asm
28     .equ __lcd_port=0x15 ;PORTC
29 #endasm
30 #include <lcd.h>
31 unsigned char str[40];
32 long int y,rpm,v,j,p,b,z,key=255,q=0,ki=4,kd=2,kp=4,pwm,scal=450,u,irpm=3500,CurSpd;
33 unsigned char code[4][4]={{0,4,8,12},{1,5,9,13},{2,6,10,14},{3,7,11,15}};
34 ///////////////////////////////////////////////////////////////////
35 void PID(void);
36 // Timer 0 output compare interrupt service routine
37 ///////////////////////////////////////////////////////////////////counter timer 000
38 interrupt [TIMO_COMP] void timer0_comp_isr(void)
39 {
40     y++;
41 }
42
43 // Timer 1 overflow interrupt service routine
44 ///////////////////////////////////////////////////////////////////pwm timer 1111
45 interrupt [TIM1_OVF] void timer1_ovf_isr(void)
46 {
47     TCNT1H=0x00;
48     TCNT1L=0x82;
49 }
50 ///////////////////////////////////////////////////////////////////timer 2222
51 // Timer 2 overflow interrupt service routine
52 interrupt [TIM2_OVF] void timer2_ovf_isr(void)
53 {
54     static unsigned char rr;
55     rr=TCNT0;
56     TCNT2=0x0A;
57     TCCRO=0x00;
58     rpm=(y*100+TCNT0)*24/10;
59     y=0;
60     TCNT0=0;
61     rr=0;
62     TCCRO=0x0E;
63     PID();
64 }
65
66 ///////////////////////////////////////////////////////////////////pid
67
68 void PID(void)
69 {
70     static long jahat=0,e0=0,e1=0,e2=0,e3=0;
71     long k=0;
72     CurSpd =rpm;
73     e3=e2;
74     e2=e1;
75     e1=e0;
76     e0 =irpm-CurSpd;
77     k=(kp*(e0+e1)+ki*(e0-e1)+(3*(e0-e2)+(e1-e3)*kd))/scal;
78     pwm = pwm + k;
79     if (pwm>0)
80     {
81         if (pwm>254)pwm=253;
82         OCRL1A=pwm;
83     }
84     if (pwm<0)
85     {
86         if (pwm<-254)pwm=-253;
87         jahat=~jahat;
88         if (jahat==0)PORTD=0X09;
89         if (jahat==1)PORTD=0X06;
90         OCRL1A=-pwm;

```

```

90         OCRA1A1L=-pwm;
91     )
92 }
93
94 ////////////////////////////////////////////////////////////////////key pad//////////////////////////////////////////////////////////////////
95
96 unsigned char scan_key(void)
97 {
98     unsigned char i,data,num_key,temp,p;
99     num_key=0xff;
100    temp=0x70;
101    for(i=0;i<4;i++)
102    {
103        PORTA=temp;
104        delay_ms(2);
105        data=PINA&0X0F;
106        delay_ms(10);
107        data=PINA&0X0F;
108        if(data==0x07)num_key=code[0][i];
109        if(data==0x0b)num_key=code[1][i];
110        if(data==0x0d)num_key=code[2][i];
111        if(data==0x0e)num_key=code[3][i];
112        temp=(temp>>1)|0x80&0xf0;
113    }
114    return num_key;
115 }
116 ////////////////////////////////////////////////////////////////////
117 void keyin (void)
118 {
119     if(z>=0 && z<=9)
120     {
121         delay_ms(100);
122         b=z+b*10;
123     }
124 }
125
126 void main(void)
127 {
128
129 // Declare your local variables here
130 // Input/Output Ports initialization
131 // Port A initialization
132 // Func7=In Func6=In Func5=In Func4=In Func3=In Func2=In Func1=In Func0=In
133 // State7=T State6=T State5=T State4=T State3=T State2=T State1=T State0=T
134 PORTA=0x00;
135 DDRA=0xf0;
136 // Port B initialization
137 // Func7=In Func6=In Func5=In Func4=In Func3=In Func2=In Func1=In Func0=In
138 // State7=P State6=P State5=P State4=P State3=T State2=T State1=T State0=T
139 PORTB=0xF0;
140 DDRB=0x00;
141 // Port C initialization
142 // Func7=In Func6=In Func5=In Func4=In Func3=In Func2=In Func1=In Func0=In
143 // State7=T State6=T State5=T State4=T State3=T State2=T State1=T State0=T
144 PORTC=0x00;
145 DDRC=0x00;
146 // Port D initialization
147 // Func7=Out Func6=Out Func5=Out Func4=In Func3=Out Func2=Out Func1=Out Func0=Out
148 // State7=0 State6=0 State5=0 State4=T State3=0 State2=0 State1=0 State0=0
149 PORTD=0x09;
150 DDRD=0xEF;
151 // Timer/Counter 0 initialization
152 // Clock source: T0 pin Rising Edge
153 // Mode: CTC top=OCRO
154 // OCO output: Disconnected
155 TCCR0=0x0F;
156 TCNT0=0x00;
157 OCR0=0x63;
158 // Timer/Counter 1 initialization
159 // Clock source: System Clock
160 // Clock value: 1000.000 kHz
161 // Mode: Fast PWM top=00FFh

```

```

159 // Clock source: System Clock
160 // Clock value: 1000.000 kHz
161 // Mode: Fast PWM top=00FFh
162 // OC1A output: Non-Inv.
163 // OC1B output: Discon.
164 // Noise Canceler: Off
165 // Input Capture on Falling Edge
166 // Timer 1 Overflow Interrupt: On
167 // Input Capture Interrupt: Off
168 // Compare A Match Interrupt: Off
169 // Compare B Match Interrupt: Off
170 /*TCCR1A=0x81;
171 TCCR1B=0x09;
172 TCNT1H=0x00;
173 TCNT1L=0x37;
174 ICR1H=0x00;
175 ICR1L=0x00;
176 OCR1AH=0x00;
177 OCR1AL=0x3b;
178 OCR1BH=0x00;
179 OCR1BL=0x00;*/
180 ///////////////////////////////////////////////////
181 TCCR1A=0x81;
182 TCCR1B=0x0A;
183 TCNT1H=0x00;
184 TCNT1L=0x82;
185 ICR1H=0x00;
186 ICR1L=0x00;
187 OCR1AH=0x00;
188 OCR1AL=0xC8;
189 OCR1BH=0x00;
190 OCR1BL=0x00;
191 // Timer/Counter 2 initialization
192 // Clock source: System Clock
193 // Clock value: 0.977 kHz
194 //
195 // OC2 output: Disconnected
196 ASSR=0x00;
197 TCCR2=0x07;
198 TCNT2=0x0A;
199 OCR2=0x00;
200 // External Interrupt(s) initialization
201 // INTO: Off
202 // INT1: Off
203 // INT2: On
204 // INT2 Mode: Rising Edge
205 //GICR|=0x20;
206 MCUCR=0x00;
207 MCUCSR=0x00;
208 //GIFR=0x20;
209 // Timer(s)/Counter(s) Interrupt(s) initialization
210 TIMSK=0x46;
211 // Analog Comparator initialization
212 // Analog Comparator: Off
213 // Analog Comparator Input Capture by Timer/Counter 1: Off
214 ACSR=0x80;
215 SFIOR=0x00;
216 // LCD module initialization
217 lcd_init(16);
218 // Global enable interrupts
219 #asm("sei")
220 PORTD=0X09;

```

```

221 while (1)
222     {
223         key=scan_key();
224
225         switch(key)
226         {
227             case 0 :z=16;
228             break;
229             case 1 :z=15;
230             break;
231             case 2 : z=12;
232             break;
233             case 3 : z=14;
234             break;
235             case 4 : z=13;
236             break;
237             case 5 :z=9;
238             break;
239             case 6 : z=6;
240             break;
241             case 7 : z=3;
242             break;
243             case 8 : z=0;
244             break;
245             case 9 : z=8;
246             break;
247             case 10 : z=5;
248             break;
249             case 11 : z=2;
250             break;
251             case 12 : z=11;
252             break;
253             case 13 : z=7;
254             break;
255             case 14 :z=4;
256             break;
257             case 15 :z=1;
258             break;
259         }
260
261         delay_ms(5);
262         if(key!=0xff)
263         {
264             delay_ms(200);
265             if(key!=0xff)keyin();
266         }
267
268         //////////////////////////////////////
269         if(key==4)q++;
270         if(q==4)q=0;
271
272         if(q==0)
273         {
274             lcd_gotoxy(0,0);
275             sprintf(str,"pwm=%03d      rpm=%04d      ",OCR1AL,rpm,);
276             lcd_puts(str);
277         }
278         ////////////
279         if(q==1)
280         {
281             if(key==2) PORTD=0X09;
282             if(key==1) PORTD=0X06;
283             if(key==3) PORTD=0X05;
284             if(PORTD==0X09)
285                 {

```

```

286         lcd_gotoxy(0,0);
287         lcd_putsf("chap          ");
288     )
289
290     if(PORTD==0X06)
291     {
292         lcd_gotoxy(0,0);
293         lcd_putsf("rast          ");
294     }
295     if(PORTD==0X05)
296     {
297         lcd_gotoxy(0,0);
298         lcd_putsf("stop          ");
299     }
300
301     if(PINB.1==1)
302     {
303         lcd_gotoxy(0,1);
304         lcd_putsf("ENCOD=rast          ");
305     }
306
307     if(PINB.1==0)
308     {
309         lcd_gotoxy(0,1);
310         lcd_putsf("ENCOD=chap          ");
311     }
312 )
313 ///////////////////////////////////////////////////////////////////
314 if(q==2)
315 {
316     static unsigned char c=0;
317     if(c==0 && z>=0 && z<=9)scal=b;
318     ///////////////////////////////////////////////////////////////////
319     if(c==1)
320     {
321         if(key==1)
322         {
323             delay_ms(10);
324             if(key==1) kp=kp+1;
325         }
326         ///////////////////////////////////////////////////////////////////
327         if(key==2)
328         {
329             delay_ms(10);
330             if(key==2) kp=kp-1;
331         }
332         if( z>=0 && z<=9) kp=b;
333     }
334
335     ///////////////////////////////////////////////////////////////////
336     if(c==2)
337     {
338         if(key==1)
339         {
340             delay_ms(10);
341             if(key==1) ki=ki+1;
342         }
343         ///////////////////////////////////////////////////////////////////
344         if(key==2)
345         {
346             delay_ms(10);
347             if(key==2)ki=ki-1;
348         }
349         if(& z>=0 && z<=9)ki=b;
350     }
351     ///////////////////////////////////////////////////////////////////

```



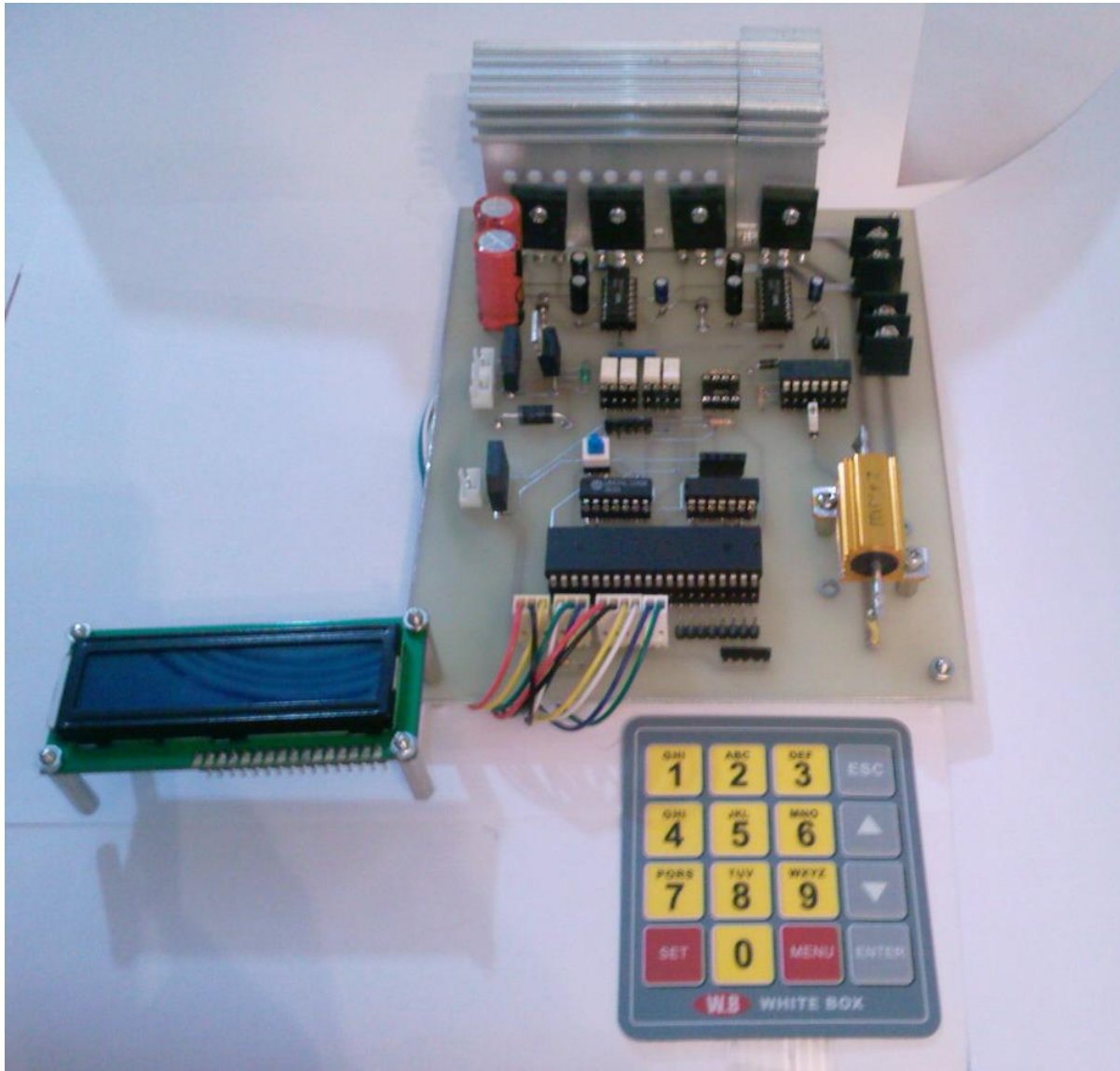
```

352         if(c==3)
353         {
354             if(key==1)
355             {
356                 delay_ms(10);
357                 if(key==1) kd=kd+1;
358             }
359             //////////////////////////////////
360             if(key==2)
361             {
362                 delay_ms(10);
363                 if(key==2)kd=kd-1;
364             }
365             if(z>=0 && z<=9)kd=b;
366         }
367         //////////////////////////////////
368         if(key==0)c++,b=0;
369         if(c==4)c=0;
370         lcd_gotoxy(0,0);
371         sprintf(str,"scal=%04d p=%03d i=%03d d=%03d",scal,kp,ki,kd);
372         lcd_puts(str);
373     }
374     //////////////////////////////////
375     if(q==3)
376     {
377         if(key==0)b=0;
378         if(z>=0 && z<=9)irpm=b;
379         lcd_gotoxy(0,0);
380         sprintf(str,"irpm=%04d",irpm);
381         lcd_puts(str);
382     }
383 }
384
385
386 };
387 }

```







اساتید محترم

DATASHEET LM2576

DATASHEET ir2113

DATASHEET irfp 250

an978.pdf

سایت [www.ir-micro.com](http://www.ir-micro.com)

سایت [www.eca.ir](http://www.eca.ir)

و سایر منابع و سایت های اینترنتی