

5 جلسه پنجم

آشنایی با راه اندازی موتور DC و استپر موتور

5.1 هدف

در این جلسه نحوه راه اندازی برخی از موتورهای از جمله موتورهای DC و موتور پله‌ای بررسی می‌شود. هم چنین ادوات جانبی مورد نیاز برای کار با موتورهای از جمله رله‌ها و انکودر نیز معرفی می‌گردند.

5.2 مقدمه

برای ارتباط با محیط پیرامون لازم است که سیستم دیجیتال مبتنی بر ریزپردازنده بتواند با سیستم‌های غیردیجیتال تعامل داشته باشد. موتورهای با دریافت فرمان‌های الکتریکی و تبدیل آن‌ها به نیروی مکانیکی و ایجاد حرکت یکی از مهم‌ترین المان‌هایی هستند که در سیستم‌های مختلف توسط ریزپردازنده کنترل می‌گردند. اما با توجه به این که جریان خروجی ریزپردازنده بسیار کم هست و از سوی دیگر برای راه اندازی موتورهای نیاز به جریان زیادی داریم، نمی‌توان به صورت مستقیم موتور را به خروجی ریزپردازنده متصل نمود. بنابراین می‌توان از رله‌ها استفاده کرد به این صورت که با تعبیه یک منبع جریان مناسب برای راه اندازی موتور و قطع یا وصل این منبع توسط رله و بر اساس فرمان ریزپردازنده، موتور کنترل می‌گردد. همچنین برای راه اندازی موتورهای می‌توان از مدارهای راه انداز از پیش طراحی شده استفاده نمود.

5.3 آشنایی با رله

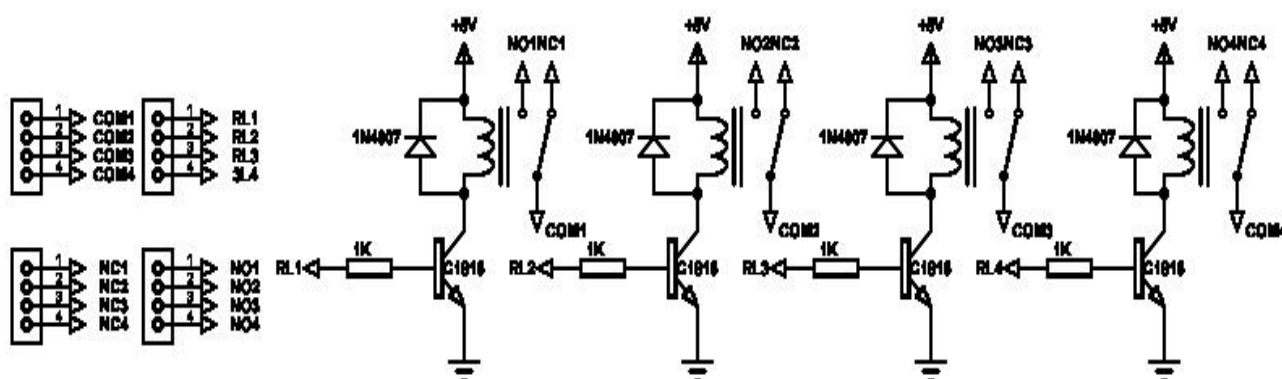
رله یک سویچ کنترلی الکتریکی است که با هدایت یک مدار الکتریکی قطع و وصل می‌شود و امکان ایزوله‌ی دو بخش مجزا از یک سیستم با دو منبع ولتاژ متفاوت را فراهم می‌نماید. این سویچ در کنترل صنعتی، سیستم‌های الکتریکی و الکترونیکی خودرو و بسیاری از وسایل دیگر به طور گسترده استفاده می‌شود. یک مدل از انواع رله مدل الکترومغناطیسی (EMR)¹ است که در شکل 5-1 نشان داده شده است.

¹ ElectroMagnetic Relay



شکل 5-1: رله

در مجموعه برد آموزشی چهار عدد رله‌ی تک‌کنتاکت به منظور قطع و وصل کردن خطوط مختلف در بلوکی با عنوان Relay مطابق با شماتیک شکل 5-2 قرار داده شده است. هر بلوک رله متشکل از ترانزیستور، رله و دیود می‌باشد. با اعمال ولتاژ 5 ولت به RLx، سیم‌پیچ درون رله فعال شده و مسیر عبور جریان را به سمت NOx تغییر می‌دهد. به عنوان مثال برای کنترل موتور می‌توان پایه‌ی COMx را به منبع ولتاژ 5 ولت و یکی از پایه‌های NOx یا NCx را به پایه CW موتور وصل کرد. در نهایت با متصل کردن پایه‌ی RLx به یکی از پایه‌های ریزپردازنده می‌توان موتور را روشن یا خاموش نمود. نحوه رفتار هر یک از رله‌ها در جدول 5-1 نمایش داده شده است.



شکل 5-2: مدار 4 عدد رله تعبیه شده بر روی برد آموزشی

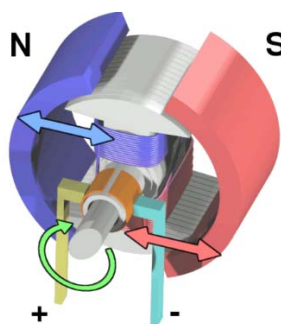
جدول 5-1: وضعیت کنتاکت‌های رله

RL	COM	NO (Normal Open)	NC (Normal Close)
LOW	H	مدار باز	H
	L	مدار باز	L
HIGH	H	H	مدار باز
	L	L	مدار باز

5.4 آشنایی با موتور DC

موتور DC با ساختاری مطابق شکل 3-5 قادر است ولتاژ الکتریکی را به حرکت مکانیکی تبدیل نماید. یک موتور الکتریکی DC از یک جاروبک، روتور دو قطبی و استاتور با آهنربای دائمی تشکیل شده است. حروف N و S نشان دهنده جهت میدان نیروی مغناطیسی حاصل از آهنرباهای دائمی است. علائم + و - نشانگر جریانی است که به کموتاتور اعمال می‌شود و وظیفه تغذیه سیم‌پیچ‌های روتور را بر عهده دارد. فلش سبز رنگ هم جهت چرخش روتور را نمایش می‌دهد.

با اتصال سرهای + و - به یک منبع ولتاژ DC، موتور در یک جهت و با معکوس کردن اتصال سیم‌ها، موتور در جهت مخالف خواهد چرخید.



شکل 3-5: نمایی از موتور DC

موتورهای DC دو ویژگی بسیار مهم دارند:

- 1- سرعت موتور به وسیله ولتاژ اعمالی به دو سر آن تعیین می‌شود. حداکثر سرعت یک موتور DC در datasheet مربوط به آن برحسب rpm (دور بر دقیقه) نشان داده شده است و در محدوده‌ی ولتاژ کاری موتور، هرچه ولتاژ اعمال شده به موتور را افزایش دهیم rpm نیز بیشتر می‌شود.
- 2- گشتاور موتور به وسیله جریانی که می‌کشد تعیین می‌شود و مقدار جریان عبوری به میزان بار بستگی دارد. وجود بار باعث کاهش سرعت موتور می‌شود. با یک ولتاژ ثابت، هنگامی که بار افزایش می‌یابد، جریان مصرفی موتور افزایش خواهد یافت. اگر به موتور بیش از حد بار اعمال کنیم، موتور متوقف شده و ممکن است به علت گرمای تولید شده به دلیل مصرف جریان بالا، به موتور آسیب وارد شود.

لذا برای این که دور موتور DC را با دقت بیشتری کنترل کنیم می‌توان از سیگنال PWM استفاده کرد. در این حالت فرکانس موج مورد نظر با توجه به محدودیت‌های مشخص شده در دیتاشیت تعیین می‌شود و با تغییر عرض پالس می‌توان دور موتور را کنترل کرد.

5.5 آشنایی با انکودر

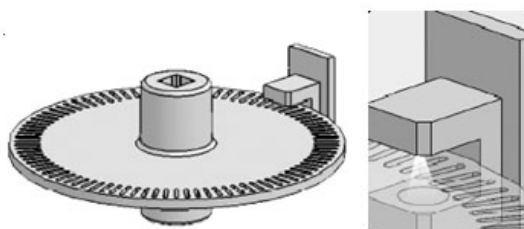
برای اندازه گیری میزان چرخش موتور DC از انکودر استفاده می‌شود. انکودر حسگری است که به محور چرخ، چرخ دنده یا موتور وصل می‌شود و می‌تواند میزان چرخش را اندازه‌گیری کند. با اندازه‌گیری میزان چرخش، می‌توان میزان جابه‌جایی، سرعت، شتاب یا زاویه چرخش را تعیین نمود.

انکودرها عموماً از نوع نوری یا لیزری می‌باشند که در آن‌ها یک فرستنده و یک گیرنده امواج در دو سمت یک جسم مکانیکی چرخنده (دیسک شیاردار) قرار می‌گیرند. اگر نور ارسالی توسط فرستنده از شیارهای چرخنده عبور کند توسط گیرنده دریافت می‌شود و مقدار ولتاژ خروجی یک می‌شود و زمانی که نور ارسالی به پره‌ها برخورد کند توسط گیرنده دریافت نمی‌شود و مقدار ولتاژ خروجی از گیرنده صفر می‌گردد. به این ترتیب پالس‌های الکتریکی تولید می‌شود.

یک عدد موتور DC به همراه یک عدد انکودر لیزری در بلوکی با عنوان DC Motor + Encoder Rotation در مجموعه آموزشی قرار داده شده است. کاربر با فعال کردن پایه CW می‌تواند موتور را در جهت عقربه‌های ساعت و با فعال‌سازی پایه CCW، آن را در جهت خلاف عقربه‌های ساعت به گردش در آورد.

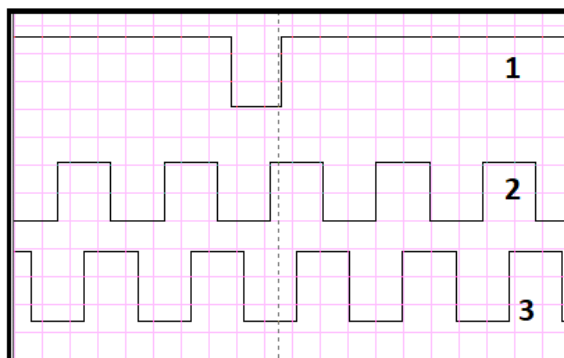
اگرچه با اعمال ولتاژ 5 ولت به پایه‌ی CW موتور شروع به چرخش می‌کند، اما برای کنترل موتور با استفاده از ریزپردازنده، به دلیل عدم تامین جریان کافی، نیاز به یک سیستم تقویت جریان خواهیم داشت. برای تقویت این جریان از رله‌های تعبیه شده در این برد آموزشی که در بخش قبلی توضیح داده شد استفاده خواهیم نمود.

به منظور موقعیت‌سنجی شفت موتور مانند شکل 4-5، یک انکودر لیزری 360 پالسی روی شفت موتور بسته شده است. در واقع روی صفحه‌ی لغزان 360 شیار ایجاد شده است. برای کار با این انکودر ابتدا پایه‌ی Enable مربوط به Encoder با اعمال یک منطقی فعال می‌گردد تا فرستنده روشن و گیرنده آماده دریافت پالس‌های دریافتی شود. در ادامه با چرخش موتور و در اثر عبور نور لیزر از شیارها، پالس‌هایی متناظر با موقعیت شفت بر روی پین Pulse Out تولید می‌گردد.



شکل 4-5: نمای از انکودر متصل به موتور DC (صفحه‌ی لغزان قرار داده شده روی شفت به دقت تنظیم گردیده است. از این روال تغییر مکان صفحه روی شفت اکیداً خودداری نمایید.)

در خروجی انکودر دو سری پالس با دوره تناوب مشابه و اختلاف فاز ایجاد می‌شود. با توجه به اختلاف فاز این سیگنال‌ها می‌توان جهت چرخش را مشخص کرد. همچنین بر اساس دوره تناوب هر یک از این پالس‌ها و گام موتور، دور موتور محاسبه می‌شود.



1: شکل موج PWM، 2: خروجی اول انکودر و 3: خروجی دوم انکودر
شکل 5-5: خروجی انکودر متصل به موتور DC

5.6 اندازه گیری دور موتور DC

همان‌طور که در بخش قبل اشاره شد، انکودر دو پالس تولید می‌کند که با یکدیگر دارای اختلاف فاز هستند. اگر فرض کنید که سیگنال اول زودتر از سیگنال دوم دریافت شود، به این معنی است که موتور به حالت ساعتگرد حرکت می‌کند و چنانچه سیگنال دوم پیش از سیگنال اول دریافت شد، یعنی موتور به صورت پادساعتگرد حرکت می‌کند. با اتصال این سیگنال‌ها به وقفه‌های خارجی ریزپردازنده می‌توان جهت چرخش موتور DC را تعیین نمود.

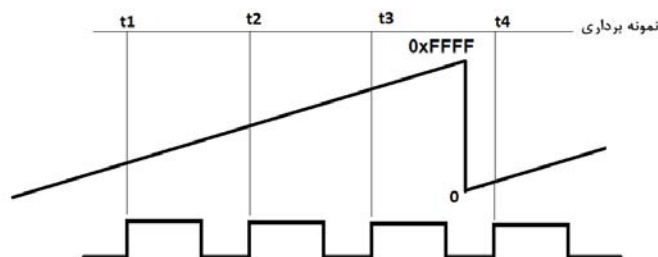
برای تعیین میزان چرخش موتور DC می‌توان از وقفه‌های تایمر یک استفاده کرد. لذا برای محاسبه دوره تناوب پالس‌های دریافتی انکودر، بایستی وقفه INPUT Capture فعال گردیده و حساسیت آن بر روی لبه‌ی بالا رونده یا پایین رونده تنظیم شود تا هنگامی که سطح منطقی رویداد در پایه ورودی (ICP1) تغییر کرد، فرمان ضبط صادر و محتوای شمارنده TCNT1 در ثبات ICR ذخیره شود. در روال زیر برنامه وقفه نیز بلافاصله داده‌ها در یک متغیر ذخیره می‌شوند تا مشکل نوشتن مجدد رخ ندهد. سپس با توجه به اختلاف زمانی بین نمونه‌های ثبت شده می‌توان دوره تناوب را محاسبه کرد.

در هنگام نمونه‌برداری وضعیت سرریز شدن تایمر هم بررسی می‌گردد. اگر فاصله بین دو نمونه‌برداری با سرریز شدن تایمر همراه باشد، داده‌های به دست آمده برای زمان رویداد معتبر نیستند. لذا بایستی فرکانس کار تایمر به گونه‌ای انتخاب شود که در فاصله شمارش از صفر تا max بتوان حداقل دو بار عملیات نمونه‌برداری را انجام داد. به عبارت دیگر دوره تناوب پدیده‌های رخ داده باید از دوره تناوب تایمر کمتر باشد.

فرکانس تایمر می‌تواند با توجه به اطلاع قبلی از محدوده دوره تناوب رویداد و یا به طور خودکار تنظیم گردد تا بتوان چندین نمونه‌برداری را در یک بازه شمارش از صفر تا مقدار بیشینه تایمر انجام داد. بر اساس شکل 5-6 می‌توان دوره تناوب لحظه‌ای را از طریق رابطه زیر به دست آورد. بر اساس مقادیر به دست آمده امکان محاسبه میانگین دوره تناوب هم وجود خواهد داشت.

$$T_i = t_{i+1} - t_i \quad i = 1, 2, \dots, n$$

در شکل 5-6 زمان t_4 در لحظه بعد از سرریز تایمر ثبت شده است و نمی‌توان از اختلاف آن با t_3 دوره تناوب را اندازه‌گیری نمود.



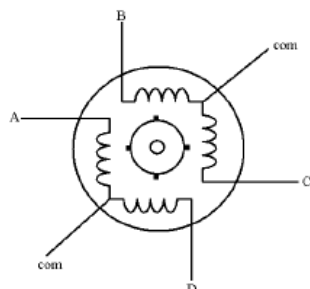
شکل 5-6: نمایی از نمونه‌برداری از رخداد‌های متناوب خارجی با استفاده از تایمر یک

به همین صورت می‌توان عرض پالس را هم اندازه گرفت. برای این منظور بایستی پس از نمونه‌برداری در لبه بالارونده، حساسیت input capture به لبه پایین‌رونده تغییر نماید و مجدداً پس از نمونه‌برداری، حساسیت به لبه بالا رونده برگردد. این روند ادامه می‌یابد تا تمام لبه‌های پالس دارای برچسب زمانی شده و امکان محاسبه‌ی عرض پالس فراهم گردد.

5.7 موتور پله‌ای

موتور پله‌ای موتوری است که به ازای پالس‌های الکتریکی حرکت دورانی ایجاد می‌کند. در واقع یک موتور پله‌ای ترکیبی از یک موتور الکتریکی DC و یک سیم‌پیچ است که حرکت دورانی آن دارای زاویه چرخش معینی است. از آن جایی که این موتورها می‌توانند در یک زاویه خاص قفل شوند، کاربردهای گوناگونی برای آن‌ها وجود دارد. از موتورهای پله‌ای می‌توان برای کاربردهایی که در آن‌ها کنترل دقیق موقعیت یک محور، اهرم و .. مورد نیاز باشد استفاده کرد.

هر موتور پله‌ای دارای یک هسته متحرک مغناطیسی دائمی است که روتور یا شفت نام دارد و به وسیله یک بخش ثابت به نام استاتور احاطه شده است. در شکل زیر ساختار یکی از متداول‌ترین انواع موتور پله‌ای را مشاهده می‌کنید.



شکل 5-7: ساختار موتور پله‌ای با چهار سیم پیچ

این نوع موتورها دارای 5 یا 6 سیم می‌باشند که 4 سیم برای استاتور و 2 سیم آن پایه مشترک بوده و باید به VCC وصل شوند (در اکثر موتورها این دو سر وسط از داخل به هم وصل می‌شوند در نتیجه موتور دارای 5 سیم می‌شود). نحوه‌ی عملکرد یک موتور پله‌ای تفاوت زیادی با یک موتور DC ندارد و تنها تفاوت در نحوه حرکت موتور است.

برای حرکت دادن موتورهای پله‌ای، پالس‌هایی با فواصل زمانی مختلف به پایه‌های چهارگانه سیم‌پیچ‌ها اعمال می‌گردد. ترتیب اعمال این پالس‌ها از نظم مشخصی پیروی می‌نماید. به عنوان مثال اگر پالس‌هایی مانند جدول 5-2 با فاصله زمانی مشخص به هریک از سیم‌پیچ‌ها اعمال شود، موتور در جهت ساعتگرد یا پادساعتگرد می‌چرخد.

جدول 5-2: ورودی سیم پیچ‌های موتور پله‌ای برای چرخش ساعتگرد و پادساعتگرد

A	B	C	D	جهت موتور
1	0	0	0	در جهت
0	1	0	0	عقربه‌های
0	0	1	0	ساعت
0	0	0	1	

A	B	C	D	جهت موتور
0	0	0	1	خلاف جهت
0	0	1	0	عقربه‌های
0	1	0	0	ساعت
1	0	0	0	

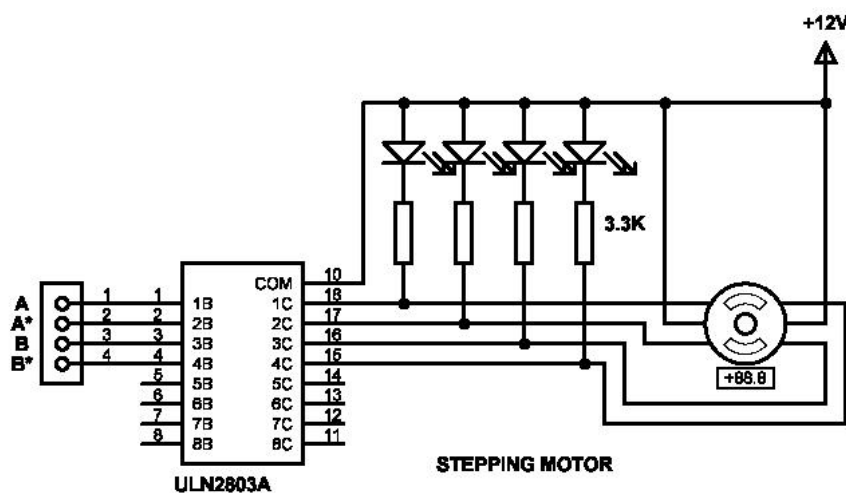
هنگامی که یک پالس به یکی از سیم‌پیچ‌ها اعمال شود، موتور به اندازه یک پله حرکت می‌کند. زاویه پله حداقل زاویه چرخش موتور می‌باشد و گام موتور نیز نامیده می‌شود. این زاویه در موتورهای مختلف بین محدوده 0.72 تا 90 درجه متفاوت می‌باشد که متداول‌ترین میزان زاویه پله، 1.8 درجه است. براساس زاویه پله باید تعداد پالس‌های مشخصی به موتور داده شود تا یک دور کامل بچرخد. تعداد پالس‌های مورد نیاز برای یک چرخش کامل در گام‌های مختلف، در جدول 5-3 مشاهده می‌شود.

جدول 5-3: تعداد پالس‌ها برای یک چرخش کامل در گام‌های متفاوت

تعداد پله در یک دور	زاویه پله
500	0.72
200	1.8
48	7.5
24	15
4	90

برای راه اندازی موتور پله‌ای توسط ریزپردازنده هم به جریان‌دهی مناسب نیاز داریم. پس باید از ترانزیستور یا ICهای مخصوص استفاده کنیم. یک عدد موتور پله‌ای 6 سیمه با زاویه چرخش پله 1.8 درجه به همراه یک عدد درایور ULN2803A در بلوکی با عنوان Stepping Motor در مجموعه‌ی آموزشی قرار داده شده است. این موتور با ولتاژ 12 ولت تغذیه شده است.

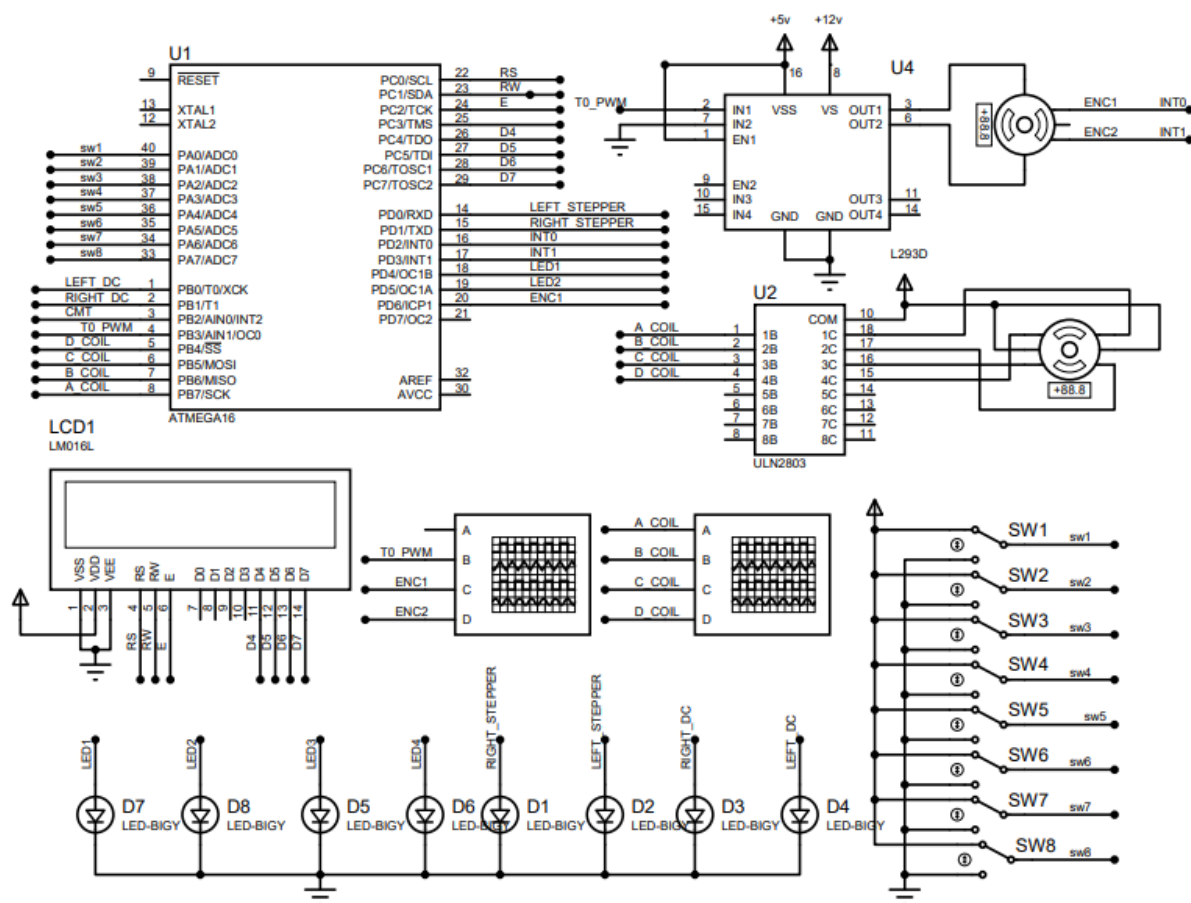
پالس‌های تولید شده توسط ریزپردازنده در ابتدا وارد درایور شده و پس از تقویت جریان به اندازه مطلوب، خروجی به سیم‌پیچ‌های استاتور موتور اعمال می‌شود. 4 عدد LED به منظور نمایش اطلاعات تولید شده توسط ریزپردازنده و همچنین درک بهتر توالی سیگنال‌ها در این بلوک تعبیه شده است. کاربر با معکوس نمودن اطلاعات ارسالی توسط ریزپردازنده می‌تواند جهت چرخش موتور را نیز کنترل نماید. شماتیک مربوط به این بلوک در شکل 5-8 نشان داده شده است.



شکل 5-8: شماتیک بخش موتور پله‌ای

5.8 برنامه‌های اجرایی مبحث موتورها

در سخت‌افزار نشان داده شده در شکل 5-9 از برخی المان‌ها از جمله مقاومت‌های سری با LED، به دلیل محدودیت کیفیت تصویر صرفه نظر شده است که ایرادی به اجرای برنامه‌ها وارد نمی‌کند و برای موتور DC از درایور L293D و برای موتور پله‌ای از ULN2803 استفاده شده است.



شکل 5-9: نمایی از سخت‌افزار بخش موتورها

1. در مورد ساختار و نحوه عملکرد سروو موتورها تحقیق نمایید و گزارش آن را در حد یک صفحه بنویسید.
2. زیربرنامه‌ای بنویسید که با استفاده از تایمر صفر، یک موج PWM با دوره تناوب دلخواه و با چرخه‌های کار نشان داده شده در جدول، در خروجی PB3 ایجاد نماید. پس از اجرای برنامه، جدول زیر را کامل نمایید. (در هر بار اجرا دور موتور DC را با استفاده از نمایشگر نشان داده شده در محیط پروتئوس بخوانید. مقدار OCR را می‌توان از تنظیمات قابل دسترس در محیط CodeWizard استخراج نمود. سپس مجدداً چرخه‌ی کار را تنظیم نموده و روال قبل را تکرار نمایید.)

PWM_duty_cycle%	10	30	50	70	90
Speed(rpm)					
Compare register(OCR0)					

3. در بند 1، رابطه خطی بین OCR0 و PWM_duty_cycle را به دست آورید.

4. با استفاده از کدهای توسعه داده شده در بندهای 1 و 2، زیربرنامه‌ای بنویسید که با استفاده از تایمر صفر، یک موج PWM با دوره تناوب دلخواه را در خروجی PB3 ایجاد نماید. چرخه کار این موج از طریق سوئیچ‌های متصل به درگاه A به عنوان آرگومان ورودی و در محدوده 0 تا 100 درصد، دریافت شود. (صفر ورودی را به عنوان 0 و 255 ورودی را به عنوان 100 درصد در نظر بگیرید).
5. زیربرنامه‌ای بنویسید که با استفاده از تایمر دو، موتور پله‌ای را با سرعت دلخواه به حرکت درآورد و سرعت آن نیز روی LCD نمایش داده شود (سرعت موتور پله‌ای را با توجه به تنظیمات تایمر و گام‌های موتور محاسبه نموده و روی LCD نمایش دهید). در این حرکت موتور باید به ترتیب به مدت چند ثانیه راست‌گرد و سپس چند ثانیه چپ‌گرد چرخش نماید. در زمان تغییر جهت چرخش نیز به موتور پله‌ای چند ثانیه استراحت دهید.
- نکته: چنانچه سرعت از حداکثر سرعت مجاز موتور پله‌ای که در برگه‌های راهنما و بر اساس پارامترهای مکانیکی مشخص می‌شود، بیشتر باشد صدای زنگ ماندنی به گوش می‌رسد که بیانگر سرعت بیش از حد توان موتور است. در این حالت موتور به دلیل اینرسی، اصطکاک و ... نمی‌تواند تغییر ایجاد شده روی سیم‌پیچ‌ها را دنبال و در نتیجه حرکت نماید.
6. یکی از خروجی‌های انکودر موتور DC به پایه PD6 متصل شده است. تایمر یک را در حالت input capture راه اندازی نمایید و دورموتور DC را محاسبه نمایید. سپس دور موتور را با دقت 5 دور در دقیقه، روی LCD نمایش دهید.
7. بندهای 4، 5 و 6 را در قالب یک پروژه با فایل‌های جانبی در آورید.