



دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

گروه کنترل و سیستم

آزمایشگاه ابزار دقیق

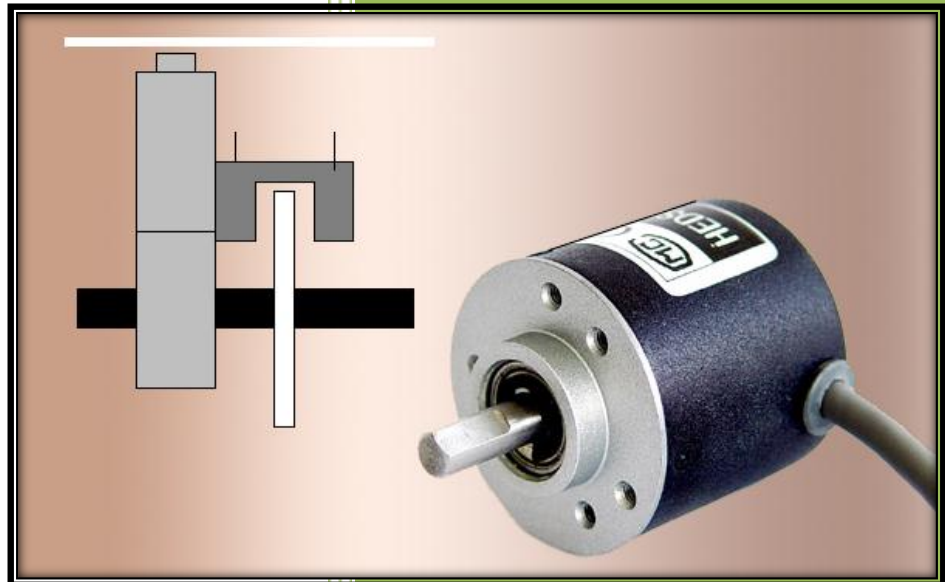
لطفاً برای صرفه‌جویی در مصرف کاغذ، این دستور کار را به صورت دو رو چاپ کنید.

شفت انکودر

تعداد جلسات: ۲

پیشنیاز:

- ✓ تایمر AVR
- ✓ نمایشگر AVR
- ✓ وقفه خارجی AVR



امروزه موتورهای و محرکه‌های دورانی به طور گسترده‌ای در صنایع مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرند و در بسیاری از کاربردها اندازه‌گیری سرعت دورانی و یا موقعیت محور دوران مورد نظر می‌باشد، همین نیاز سبب شده است که حسگر اندازه‌گیری موقعیت و سرعت زاویه‌ای بیش از گذشته مورد استفاده قرار گیرند. این دسته از سنسورها را به طور کلی می‌توان به دو دسته دیجیتال و آنالوگ تقسیم کرد. شفت انکودرها که جز دسته اول می‌باشند به دلیل دقت بالا بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند. در این آزمایش نیز به بررسی دو نوع از انکودرها (نسبی، افزایشی) خواهیم پرداخت.

آخرین به روز رسانی: ۱۴ مهر ۱۳۹۱

K. N. Toosi University of Technology
Instrumentation Lab

<http://saba.kntu.ac.ir/eecd/instlab>

فهرست مطالب

بخش ۱- مختصری از تئوری	۲
۱-۱- شمارنده نوری	۲
۱-۲- انکودر افزایشی	۳
۱-۳- انکودر مطلق	۵
بخش ۲- اندازه گیری سرعت فن CPU با شمارنده نوری	۸
بخش ۳- اندازه گیری موقعیت و جهت چرخش موتور DC با انکودر افزایشی	۱۰

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

بخش ۱ - مختصری از تئوری

شفث انکودر یا در اصطلاح انکودر، حسگری است که به یک محور گردنده (محور چرخ، چرخ دنده یا موتور) وصل می‌شود و می‌تواند میزان چرخش محور را اندازه‌گیری کند. با اندازه‌گیری میزان چرخش می‌توان جابجایی دورانی، سرعت و شتاب زاویه‌ای را تعیین کرد. معمولاً انکودرها از نوع نوری می‌باشند و عملکرد آنها به این صورت است که یک صفحه دایره‌ای شیاردار به محور گردنده متصل شده و در یک سمت آن یک فرستنده نوری و در طرف دیگر یک گیرنده نوری قرار داده شده است. با چرخش صفحه و عبور شیارها از مقابل فرستنده نوری، در سمت گیرنده پالس‌های الکتریکی تولید می‌شود. به عبارت دیگر می‌توان گفت زمانی که نور ارسالی توسط فرستنده از شیارهای چرخنده عبور می‌کند توسط گیرنده دریافت می‌گردد و مقدار ولتاژ خروجی یک می‌شود و زمانی که نور ارسالی به پره‌ها برخورد می‌کند توسط گیرنده دریافت نمی‌شود و مقدار ولتاژ خروجی از گیرنده صفر می‌گردد به این ترتیب پالسهای الکتریکی تولید می‌شود.

پرسش ۱- به نظر شما چرا در بیشتر انکودرها از نور به عنوان واسط برای تولید پالس استفاده می‌شود؟

در یک تقسیم بندی کلی می‌توان انکودرها را به دو دسته مختلف تقسیم کرد که در ادامه به شرح هر کدام از آنها خواهیم پرداخت ولی پیش از آن لازم است تا با شمارنده نوری آشنا شویم.

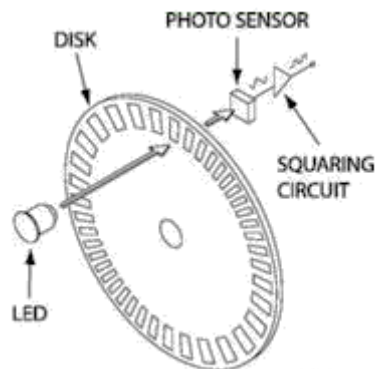
۱-۱ - شمارنده نوری

ساختار داخلی یک شمارنده نوری^۱ (شکل ۱) شامل یک فرستنده و یک گیرنده مادون قرمز است که در دو طرف یک صفحه شیار دار (شکل ۲) قرار می‌گیرند. با چرخش این صفحه و عبور شیارهای آن از مسیر دید فرستنده و گیرنده مادون قرمز، در قسمت گیرنده پالسی تولید خواهد شد که با شمارش آنها در یک زمان معین می‌توان سرعت را اندازه‌گیری کرد. در شمارنده نوری صرفاً مسافت طی شده توسط چرخنده نسبت به موقعیت اولیه و مقدار سرعت چرخش شفث قابل اندازه‌گیری می‌باشد و نمی‌توان جهت چرخش را مشخص کرد.



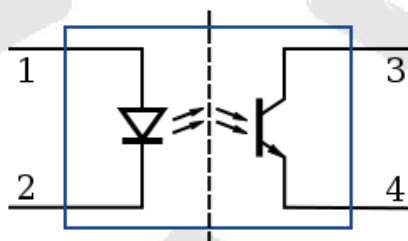
شکل ۱ - شمارنده نوری

¹ Optical Counter



شکل ۲- چرخ شیار دار

ساختار داخلی فرستنده و گیرنده شمارنده نوری به صورت شکل ۳ می‌باشد. پایه‌های یک و دو به یک فرستنده مادون قرمز متصل شده‌اند. گیرنده مادون قرمز سمت دیگر (پایه‌های ۳ و ۴) یک ترانزیستور حساس به اشعه مادون قرمز می‌باشد. اشعه ارسالی از فرستنده در صورت برخورد به گیرنده باعث تحریک پایه بیس گیرنده شده و جریان از پایه ۳ به سمت پایه ۴ برقرار خواهد شد.



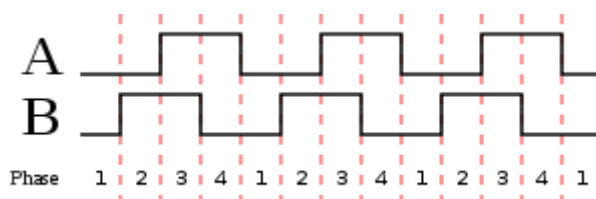
شکل ۳- مدار شماتیک فرستنده و گیرنده شمارنده نوری

۱-۲- انکودر افزایشی

در انکودرهای افزایشی^۱ از دو جفت فرستنده و گیرنده مادون قرمز در دو طرف چرخ شیاردار با فاصله مشخص استفاده می‌شود، نحوه قرار گیری این دو جفت به گونه‌ای است که با چرخش صفحه چرخنده دو پالس خروجی داریم که با یکدیگر اختلاف فاز ۹۰ درجه دارند و براساس آن می‌توان جهت چرخش را نیز مشخص نمود. این نوع از انکودرها پر کاربردترین نوع انکودر می‌باشند، چرا که علاوه بر قیمت مناسب قابلیت تشخیص جهت چرخش را دارند. درست است که در این نوع از انکودرها تنها از دو سنسور استفاده شده است، ولی با این حال دقت بسیار بالایی دارند و می‌توانند تا چندین هزار پالس در یک دور کامل را تولید کنند.

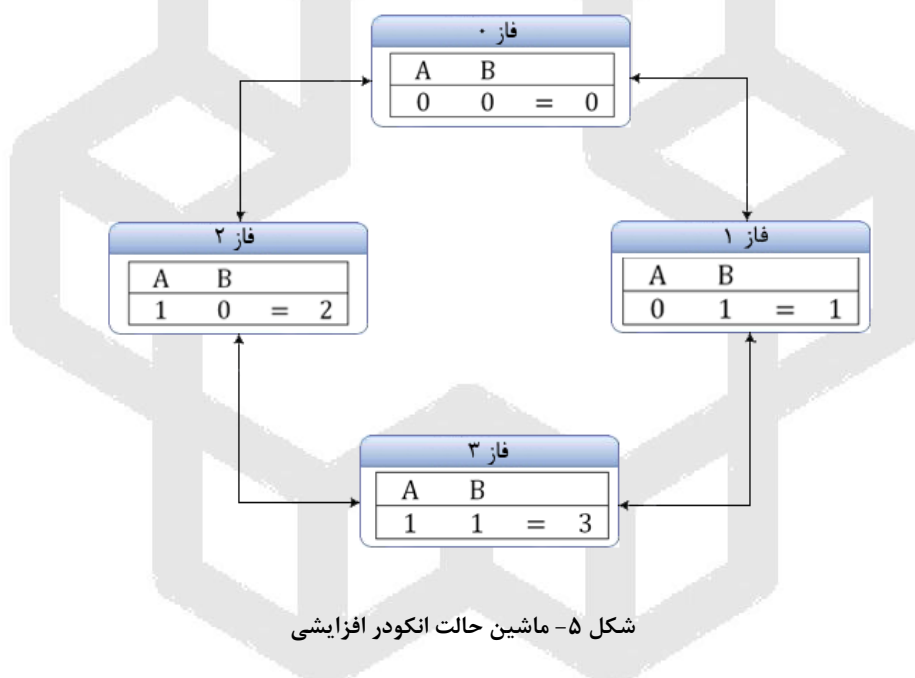
¹ Incremental Encoder

در انکودرهای افزایشی دو پالس با نام‌های A و B وجود دارد. این دو پالس دارای ۹۰ درجه اختلاف فاز هستند. در شکل ۴ نمونه‌ای از این پالس‌ها را مشاهده می‌کنید.



شکل ۴ - نمونه‌ای از پالس‌های A و B برای حرکت ساعتگرد

برای بدست آوردن جهت چرخش معمولاً از ماشین حالتی^۱ که در شکل ۵ آمده است، استفاده می‌شود. اگر پالس‌های A و B این ماشین حالت را در جهت ساعتگرد بپیماید حرکت موتور ساعتگرد و در غیر این صورت پادساعتگرد خواهد بود.



پس اگر در یک میکرو کنترلر وضعیت قبلی انکودر ذخیره شده باشد، با داشتن وضعیت فعلی و به کمک یک الگوریتم ساده می‌توان جهت چرخش را محاسبه کرد. البته برای تعیین جهت چرخش در انکودرهای افزایشی الگوریتم‌های ساده‌تری نیز وجود دارد که تفکر در مورد این الگوریتم‌ها به دانشجویان توصیه می‌شود.

اما با همه مزایایی که این دسته از انکودرها نسبت به نوع نسبی دارند ولی دارای یک نقص نسبتاً بزرگ نیز می‌باشند و آن امکان عدم تشخیص پالس در سرعت‌های بالا توسط میکروکنترلرها می‌باشد. مثلاً در حرکت ساعتگرد از فاز صفر (00) اگر تغییر پالس B که در فاز ۱ (01) اتفاق می‌افتد توسط پردازنده تشخیص داده نشود وضعیت بعدی فاز ۳ (11) تشخیص

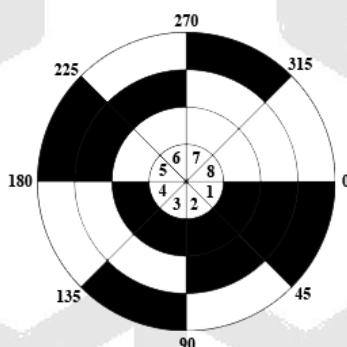
¹ State Machine

داده می‌شود که در صورت بروز چنین اتفاقی، دیگر قادر به تشخیص جهت چرخش نخواهیم بود. اگر سرعت را باز هم بیشتر کنیم اوضاع وخیم تر خواهد شد. مثلاً اگر میکرو کنترلر دو تغییر وضعیت را تشخیص ندهد، از فاز صفر (00) به فاز ۲ (10) خواهیم رفت و با منطق تعریف شده این حالت به معنای حرکت پاد ساعتگرد خواهد بود.

۱-۳- انکودر مطلق

ویژگی اساسی انکودرهای مطلق^۱ در این است که موقعیت را به صورت مطلق و بدون وابستگی به نقطه شروع حرکت در اختیار ما قرار می‌دهند. در انکودرهای مطلق از یک صفحه شفاف پلاستیکی یا شیشه‌ای استفاده می‌شود که بخش‌های خاصی از آن سیاه شده‌اند و از چندین فرستنده و گیرنده نوری (تعداد این فرستنده‌ها و گیرنده‌ها همان پارامتر تعداد پالس در برگه اطلاعات انکودر است) استفاده می‌شود. در هر لحظه تعدادی از این گیرنده‌ها صفر و برخی یک را نشان می‌دهند، بدین ترتیب یک عدد باینری تولید می‌شود که زاویه بین صفر تا ۳۶۰ درجه را می‌توان محاسبه کرد.

حال فرض کنید می‌خواهیم روند اندازه‌گیری پالس در یک انکودر مطلق سه پالس را بررسی کنیم. برای این منظور صفحه‌ای به صورت شکل ۶ در نظر بگیرید.



شکل ۶- نمای فرضی از صفحه انکودر سه پالس

چون این صفحه دارای ۳ گیرنده در راستای شعاعی می‌باشد، بنابراین می‌توان دایره ۳۶۰ درجه را به ۸ قطاع تقسیم کرد. در همین جا می‌توان به این نکته توجه داشت که یک انکودر n پالس 2^n قطاع و به تبع آن دقتی برابر با $\frac{360}{2^n}$ درجه را داراست.

اکنون با توجه به جدول زیر می‌توان زاویه شفث را محاسبه کرد (صفر به معنای عدم دریافت سیگنال نوری در گیرنده و یک به معنای دریافت پالس نوری در گیرنده یا همان روشن بودن آن است).

¹ Absolute Encoder

شماره قطاع	گیرنده ۳	گیرنده ۲	گیرنده ۱	زاویه
1	0	0	0	0-45 °
2	0	0	1	45-90 °
3	0	1	0	90-135 °
4	0	1	1	135-180 °
5	1	0	0	180-225 °
6	1	0	1	225-270 °
7	1	1	0	270-315 °
8	1	1	1	315-360 °

به این ترتیب مشاهده می‌کنید که با سه جفت فرستنده و گیرنده می‌توان با دقت ۴۵ درجه زاویه شفت را به دست آورد؛ اما مشکلی که در این روش وجود دارد این است که همواره شرایط به صورت ایده‌آل بالا نیست، یعنی زمانی که در حال چرخش می‌خواهیم از یک سکتور به سکتور دیگر برویم تمام حلقه‌ها همزمان تغییر وضعیت نمی‌دهند. به عنوان مثال فرض کنید که می‌خواهیم از سکتور ۴ به سکتور ۵ برویم؛ یعنی از حالت 011 به 100 تغییر وضعیت داشته باشیم. برای این هدف باید هر سه حلقه تغییر فاز داشته باشند. حال فرض را بر این قرار می‌دهیم که در ابتدا حلقه سه و سپس حلقه یک و در نهایت حلقه دو تغییر فاز خواهند داد. بنابراین حرکت به صورت زیر می‌شود:

$$011 \rightarrow 010 \rightarrow 110 \rightarrow 100$$

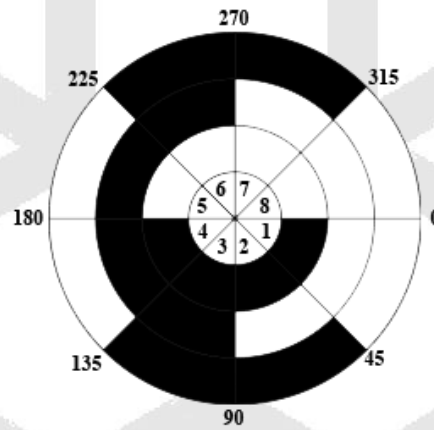
یعنی از سکتور ۴ به سکتور ۳ و سپس به سکتور ۷ و سرانجام به سکتور ۵. پر واضح است که طی شدن چنین روندی یک ضعف بزرگ برای هر انکودر به حساب می‌آید. به همین علت است که در انکودرهای مطلق از کدهای باینری معمولی استفاده نمی‌کنند و به جای آن از کدهای گری^۱ (خاکستری) بهره می‌برند. ویژگی بارز کدهای گری در این است که هر کد با کد بعدی تنها در یک بیت اختلاف دارد و این همان چیزی است که در کاربرد انکودر بسیار مطلوب است. به عنوان نمونه برای یک انکودر ۳ پالس با کد گری جدول زیر را خواهیم داشت.

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

¹ Gray Code

شماره سکتور	گیرنده ۳	گیرنده ۲	گیرنده ۱	زاویه
۱	0	0	0	0-45 °
۲	0	0	1	45-90 °
۳	0	1	1	90-135 °
۴	0	1	0	135-180 °
۵	1	1	0	180-225 °
۶	1	1	1	225-270 °
۷	1	0	1	270-315 °
۸	1	0	0	315-360 °

نمونه‌ای از صفحه انکودر مطلق با این نوع کد را می‌توانید در شکل ۷ ببینید.



شکل ۷ - یک نمونه صفحه انکودر سه پالس با کد گری

اگر به این عکس با دقت نگاه کنید مشاهده می‌کنید که برای عبور از قطاع ۱ به قطاع ۲ فقط یک تغییر رنگ داریم. این روند برای سایر قطاع‌ها نیز به همین منوال خواهد بود.

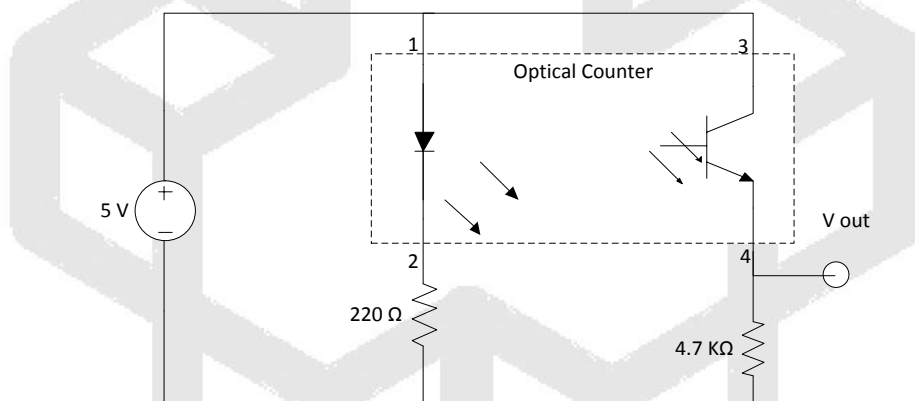
دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

بخش ۲- اندازه گیری سرعت فن CPU با شمارنده نوری

همانطور که در قسمت تئوری مشاهده کردید از شمارنده‌های نوری جهت اندازه گیری موقعیت و سرعت موتورهایی که تنها در یک جهت دارای چرخش هستند یا در مواردی که جهت حرکت اهمیت نداشته باشد، استفاده می‌شود. به همین دلیل در این بخش از آزمایش قصد داریم به اندازه گیری سرعت زاویه‌ای فن CPU که تنها در یک جهت دارای چرخش می‌باشد، پردازیم.

با استفاده از علائم نوشته شده بر روی شمارنده نوری سعی کنید شماره پایه‌های آن را مطابق آنچه در شکل ۳ آمده است، پیدا کنید. سپس مدار شکل ۸ را ببندید.

نکته: از آنجایی که دوربین‌های دیجیتال موجود در تلفن‌های همراه تا حدودی به نور مادون قرمز حساس هستند، می‌توانید با نگاه کردن به فرستنده مدار از طریق لنز دوربین دیجیتال صحت قسمت فرستنده را بررسی کنید. بعد از آن با عبور دست خود از بین فرستنده و گیرنده بایستی خروجی مدار (V_{out}) تغییر کند.



شکل ۸- مدار شمارنده نوری

اکنون مدار را روشن نمایید و پایه خروجی را به اسیلوسکوپ وصل کنید. با چرخش فن می‌بایست پالس‌های تولیدی روی اسیلوسکوپ قابل مشاهده باشد.

توجه داشته باشید که هدف ما در این آزمایش اندازه‌گیری سرعت زاویه‌های است. اگر هدف تعیین زاویه بود تنها شمارش تعداد پالس‌ها کافی می‌بود ولی زمانی که بحث سرعت به میان می‌آید به ناچار عامل زمان نیز پا به میدان می‌گذارد. از این منظر دو روش متفاوت برای اندازه گیری سرعت مطرح می‌شود:

روش اول: شمارش تعداد پالس‌ها در یک زمان ثابت

در این روش ابتدا با یک تایمر یک زمان ثابت را تولید می‌کنیم. سپس در این زمان ثابت به شمارش تعداد پالس‌ها می‌پردازیم. بنابراین با داشتن تعداد پالس در زمان معین قادر به اندازه‌گیری سرعت زاویه‌ای خواهیم بود.

پرسش ۲- برای فن موجود در آزمایشگاه رابطه‌ای پارامتری جهت تولید سرعت زاویه‌ای با این روش (بر حسب RPM) پیدا کنید.

روش دوم: اندازه‌گیری فاصله زمانی بین دو پالس

در این شیوه بایستی با یک تایمر دقیق فاصله زمانی بین دوپالس را محاسبه کرد و سپس با استفاده از زمان اندازه‌گیری شده سرعت را به دست آورد.

پرسش ۳- برای فن موجود در آزمایشگاه رابطه‌ای پارامتری جهت تولید سرعت زاویه‌ای با این روش (بر حسب RPM) پیدا کنید.

اکنون می‌خواهیم برنامه‌ای را برای میکروکنترلر بنویسیم که سرعت را با هر دو روش فوق به دست آورد و روی LCD نمایش دهد. برای این کار به دو تایمر، یک کانتر و یک وقفه خارجی نیاز دارید. یک تایمر و یک کانتر برای روش اول و یک تایمر و یک وقفه خارجی برای روش دوم.

پرسش ۴- از کدامیک از تایمرها و کانترها برای هر کدام از دو روش فوق استفاده می‌کنید؟ علت انتخاب خود را توضیح دهید.

پس از تکمیل برنامه و برنامه‌ریزی میکروکنترلر ولتاژهای گوناگون را به فن اعمال کنید و نتایج نشان داده شده روی LCD را در جدول زیر بیاورید. در هر مرحله سعی کنید با خواندن فرکانس پالس‌ها که روی اسیلوسکوپ نمایش داده می‌شود از صحت اعداد نمایش داده شده توسط ریزپردازنده به طور تقریبی مطمئن شوید.

ولتاژ اعمالی به فن CPU	سرعت فن از روش اول (RPM)	سرعت فن از روش دوم (RPM)
۴		
۸		
۱۲		
۱۶		
۲۰		

پرسش ۵- با بررسی نتایج و تئوری‌های ذکر شده، دو روش اندازه‌گیری سرعت را با هم مقایسه کرده و مزایا و معایب هر یک را بنویسید.

بخش ۳ - اندازه گیری موقعیت و جهت چرخش موتور DC با انکودر افزایشی

در بخش قبل دیدید که چگونه با یک شمارنده نوری ساده می توان سرعت زاویه ای را محاسبه کرد. اکنون می خواهیم با یک انکودر افزایشی به اندازه گیری موقعیت و جهت چرخش یک موتور DC تحریک مستقل بپردازیم. انکودر مورد استفاده در این آزمایش مدل E50S8-1000-3-T-24 ساخت شرکت Autonics می باشد که در هر دور چرخش ۱۰۰۰ پالس تولید می کند. توصیه می شود که برای آشنایی بیشتر با پارامترهای این انکودر برگه اطلاعات آن را مطالعه نمایید.



سیم های تغذیه انکودر را با توجه به جدول زیر به منبع تغذیه وصل کنید (این جدول روی بدنه انکودر نیز نصب شده است). خروجی A و B را به کانال های ۱ و ۲ اسیلوسکوپ متصل کنید.

سیاه	پالس A
سفید	پالس B
نارنجی	پالس Z
قهوه ای	+Vcc=12-24
آبی	GND

نکته: حتما قبل از وصل کردن تغذیه انکودر سیم های خروجی انکودر را به محل مورد نظر در مدار وصل کنید؛ زیرا اگر بعد از وصل کردن تغذیه، خروجی پالس ها به هم اتصال پیدا کنند ممکن است مدار داخلی انکودر آسیب ببیند.

موتور را روشن کنید و رفتار پالس های خروجی را با شکل ۴ مقایسه کنید. با تغییر سرعت موتور و همچنین تغییر ولتاژ تغذیه انکودر، تغییر رفتار مشاهده شده را بررسی نمایید. برای اینکه دامنه پالس ها برای اتصال به میکروکنترلر مناسب باشد، با تغییر ولتاژ تغذیه انکودر شرایطی را فراهم کنید که خروجی پالس ها به بازه ۰ تا ۵ ولت برسد. ولتاژ تغذیه را در این حالت یادداشت نمایید.

ت) اکنون مداری را برای استفاده از میکروکنترلر ببندید و برنامه ای را بنویسید که با توجه به پالس های خروجی A و B، موقعیت موتور را روی LCD نمایش دهد.

راهنمایی: بهتر است خروجی های A و B را به پایه های وقفه خارجی ۰ و ۱ میکرو متصل کنید و وقفه را برای لبه پایین رونده و بالا رونده فعال کنید. در روتین وقفه نیز با توجه به وضعیت دو پالس در نمونه کنونی و یک نمونه قبل جهت حرکت را تشخیص دهید (به شکل ۴ و شکل ۵ رجوع کنید).

ث) در انکودرهای افزایشی پالس سومی با نام Z وجود دارد که در هر دور چرخش انکودر تنها یک بار فعال می‌شود. کاربرد این پالس برای این است که بتوانیم به نوعی زاویه را به صورت مطلق به دست آوریم. برای درک بهتر مطلب این پایه را به وقفه خارجی شماره ۲ متصل کرده و روتین وقفه آن را برای لبه بالا رونده فعال کنید. در روتین مربوط به آن، متغیری را که مقدار زاویه در آن ذخیره شده است صفر کنید. اکنون مدار را راه اندازی کرده و نتیجه را یادداشت نمایید.



دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی