شفت انکودر؛ مبانی و آزمایش اندازه‌گیری سرعت و موقعیت



شمارنده نوری، انکودر افزایشی و مطلق، کد گری، سنجش سرعت فن و آزمایش موقعیت و جهت موتور DC با انکودر Autonics.

هدف و پیش‌نیاز آزمایش

این جزوه آزمایشگاه ابزار دقیق، گروه کنترل و سیستم دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، برای دو جلسه تنظیم شده است. آخرین به‌روزرسانی درج‌شده در سند، ۱۴ مهر ۱۳۹۱ است. آشنایی با تایمر AVR، نمایشگر AVR و وقفه خارجی پیش‌نیاز انجام آزمایش است AVR.

موتورها و محرک‌های دورانی در صنایع کاربرد گسترده دارند. در بسیاری از کاربردها، سرعت دورانی یا موقعیت محور باید اندازه‌گیری شود؛ ازاین‌رو حسگرهای موقعیت و سرعت زاویه‌ای بیشتر استفاده می‌شوند. این حسگرها به‌طور کلی دیجیتال و آنالوگ‌اند. شفت انکودرها از گروه دیجیتال‌اند و به دلیل دقت بالا کاربرد دارند. در این آزمایش، شمارنده نوری و انکودر افزایشی بررسی می‌شوند.

بخش نخست، تئوری شمارنده نوری، انکودر افزایشی و مطلق را توضیح می‌دهد؛ بخش دوم سنجش سرعت فن CPU و بخش سوم سنجش موقعیت و جهت موتور DC است. برای کاهش مصرف کاغذ، می‌توان دستور کار را دورو چاپ کرد.

مبانی شفت انکودر و شمارنده نوری

شفت انکودر حسگری است که به محور گردنده، مانند چرخ، چرخ‌دنده یا موتور متصل می‌شود و میزان چرخش را اندازه می‌گیرد. از میزان چرخش می‌توان جابه‌جایی دورانی، سرعت و شتاب زاویه‌ای را تعیین کرد. انکودر معمولا نوری است: صفحه دایره‌ای شیاردار به محور وصل می‌شود و فرستنده و گیرنده نور دو طرف آن قرار می‌گیرند.

با عبور شیار از مقابل فرستنده، نور به گیرنده می‌رسد و خروجی یک می‌شود؛ با قرارگرفتن بخش بسته چرخ میان آن‌ها، نور قطع و خروجی صفر می‌شود. به این ترتیب پالس الکتریکی تولید می‌شود.

پرسش ۱

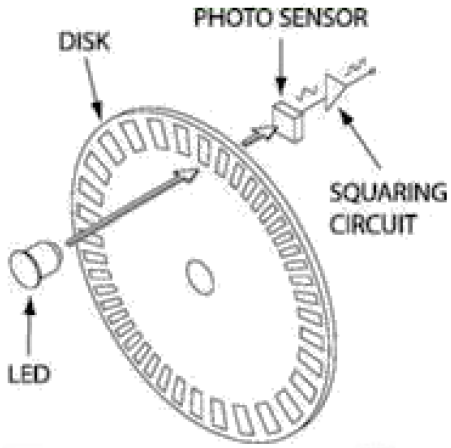
چرا در بیشتر انکودرها از نور به‌عنوان واسط تولید پالس استفاده می‌شود؟

ساختار شمارنده نوری یا Optical Counter از یک فرستنده و یک گیرنده مادون قرمز در دو طرف چرخ شیاردار تشکیل می‌شود. با چرخش صفحه و عبور شیارها، در خروجی پالس ایجاد می‌شود؛ شمارش پالس‌ها در زمان معین، اندازه‌گیری سرعت را ممکن می‌کند. با این شمارنده فقط جابه‌جایی نسبت به موقعیت اولیه و سرعت قابل اندازه‌گیری‌اند و جهت چرخش مشخص نمی‌شود.

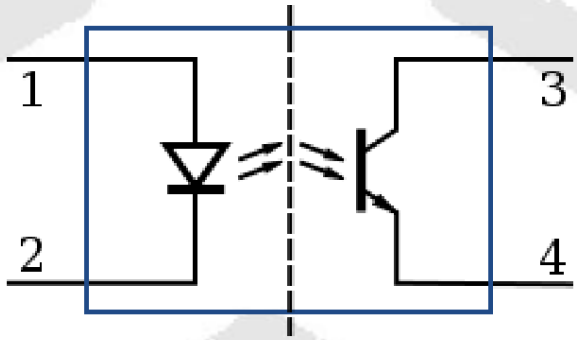
مبانی شفت انکودر و شمارنده نوری



شکل ۱: شمارنده نوری



شکل ۲: چرخ شیاردار و فرستنده و گیرنده نوری

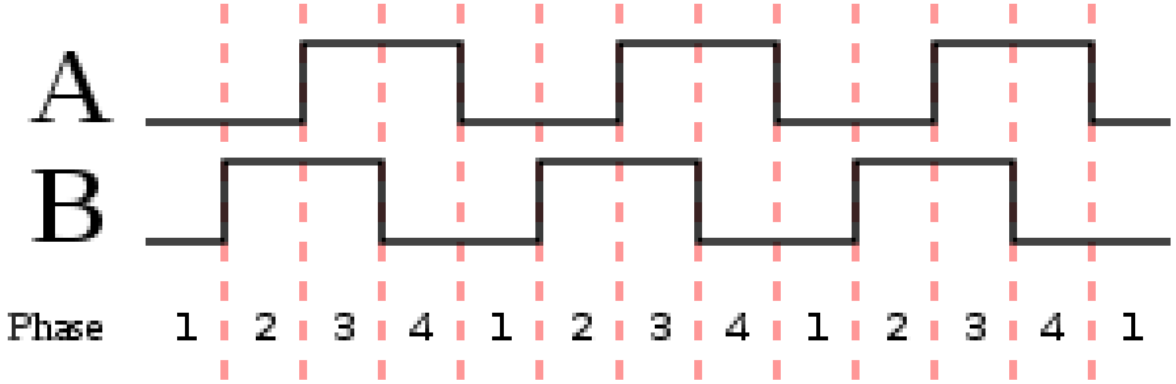


شکل ۳: مدار فرستنده و گیرنده شمارنده نوری

پایه‌های ۱ و ۲ به فرستنده مادون قرمز و پایه‌های ۳ و ۴ به ترانزیستور حساس به مادون قرمز مربوط‌اند. رسیدن نور، پایه بیس گیرنده را تحریک و جریان را از پایه ۳ به ۴ برقرار می‌کند.

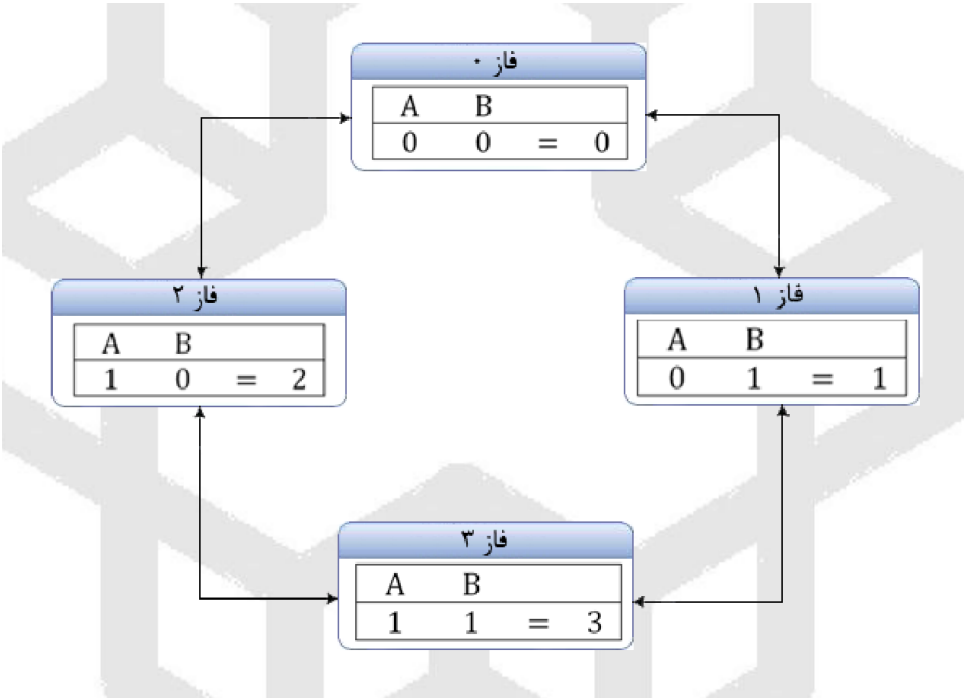
انکودر افزایشی و تشخیص جهت

در انکودر افزایشی یا Incremental Encoder از دو جفت فرستنده و گیرنده با فاصله مشخص در دو طرف چرخ استفاده می‌شود. جانمایی آن‌ها طوری است که دو پالس خروجی A و B با اختلاف فاز ۹۰ درجه تولید می‌کنند. این اختلاف، علاوه بر اندازه‌گیری حرکت، تشخیص جهت را ممکن می‌کند. این نوع با قیمت مناسب و دقت بالا، تا چندین هزار پالس در هر دور تولید می‌کند.



شکل ۴: پالس‌های A و B در حرکت ساعت‌گرد

برای تعیین جهت می‌توان از ماشین حالت استفاده کرد. اگر وضعیت‌های A و B ماشین حالت شکل ۵ را ساعت‌گرد طی کنند، حرکت موتور ساعت‌گرد و در جهت عکس، پادساعت‌گرد است. ذخیره وضعیت قبلی در میکروکنترلر و مقایسه آن با وضعیت فعلی، تعیین جهت با یک الگوریتم ساده را ممکن می‌کند. درباره الگوریتم‌های ساده‌تر تعیین جهت نیز فکر کنید.



شکل ۵: ماشین حالت انکودر افزایشی

ترتیب ساعت‌گرد بیان‌شده در مثال، از 00 به 01 ، سپس 11 و 10 و دوباره 00 است. با وجود مزایای این روش، در سرعت زیاد ممکن است پردازنده برخی لبه‌ها را نبیند. اگر تغییر B در گذار 01 -> 00 ثبت نشود، وضعیت بعدی 11 دیده

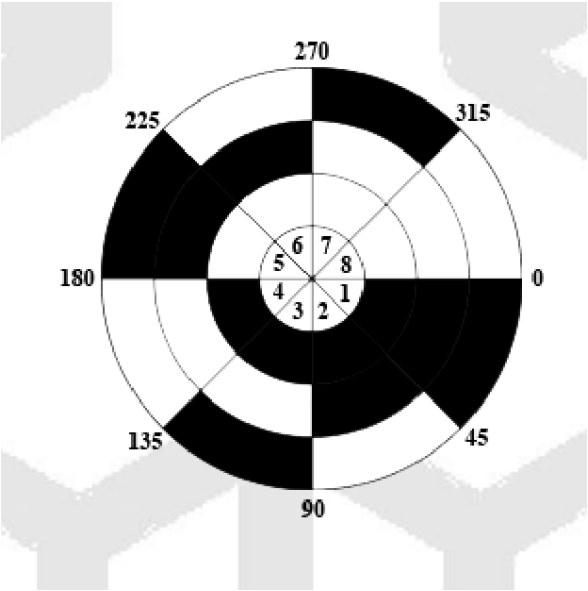
انکودر افزایشی و تشخیص جهت

می‌شود و جهت قابل تشخیص نیست.

اگر دو تغییر وضعیت از دست بروند، گذار ظاهری 10 <- 00 دیده می‌شود که با منطق تعریف‌شده، حرکت پادساعت‌گرد تعبیر خواهد شد؛ بنابراین از دست‌رفتن پالس‌ها می‌تواند جهت اندازه‌گیری‌شده را نیز نادرست کند.

انکودر مطلق و کد باینری

انکودر مطلق یا Absolute Encoder موقعیت را بدون وابستگی به نقطه شروع حرکت می‌دهد. صفحه‌ای شفاف از پلاستیک یا شیشه با بخش‌های تیره و چند فرستنده و گیرنده نوری به کار می‌رود. ترکیب صفر و یک گیرنده‌ها در هر لحظه یک عدد باینری می‌سازد که موقعیت زاویه‌ای در بازه صفر تا ۳۶۰ درجه از آن به دست می‌آید.



شکل ۶: صفحه انکودر مطلق سه‌کاناله با کد باینری

در مثال سه‌کاناله سند، سه گیرنده در راستای شعاعی وجود دارند و دایره به هشت قطاع تقسیم می‌شود. با n مسیر یا بیت، تعداد قطاع‌ها 2^n و تفکیک زاویه‌ای 360 / 2^n درجه است. در مثال سه‌بیتی، تفکیک ۴۵ درجه به دست می‌آید. صفر یعنی نرسیدن نور و یک یعنی دریافت نور توسط گیرنده.

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°

انکودر مطلق و کد باینری

قطاع	گیرنده ۳	گیرنده ۲	گیرنده ۱	زاویه
6	1	0	1	225-270°
7	1	1	0	270-315°
8	1	1	1	315-360°

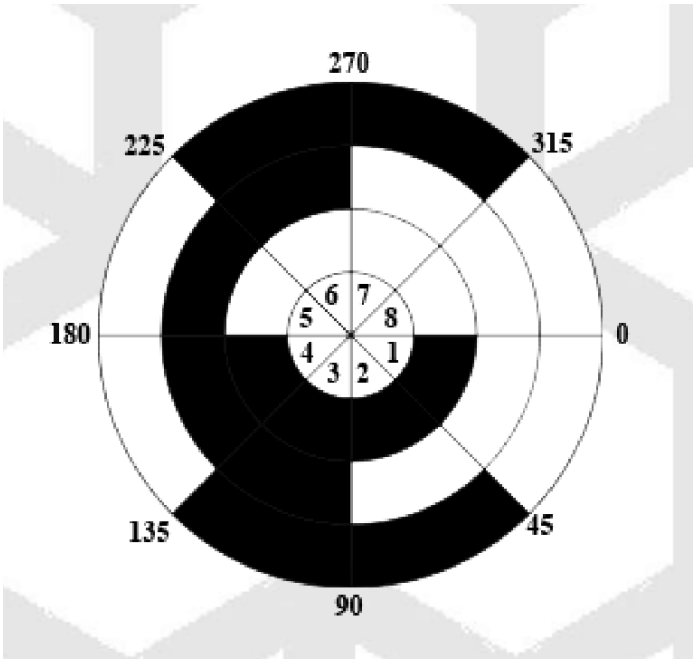
در گذار از قطاع ۴ به ۵، کد از 011 به 100 می‌رود؛ هر سه بیت باید عوض شوند، اما حلقه‌ها دقیقا همزمان تغییر نمی‌کنند. اگر ابتدا حلقه سوم، سپس اول و در پایان دوم عوض شوند، ممکن است توالی 100 -> 110 -> 010 -> 011 دیده شود؛ یعنی به‌جای حرکت مستقیم از قطاع ۴ به ۵، قطاع‌های ۳ و ۷ نیز موقتا خوانده شوند. این خطای گذار، ضعف استفاده از باینری معمولی در انکودر مطلق است.

کد گری در انکودر مطلق

برای کم‌کردن خطای تغییر چند بیت، از کد گری یا Gray Code استفاده می‌شود. ویژگی اصلی این کد آن است که هر کد با کد بعدی فقط در یک بیت اختلاف دارد. جدول سه‌بیتی زیر، ترتیب کدهای خاکستری را نشان می‌دهد.

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

کد گری در انکودر مطلق



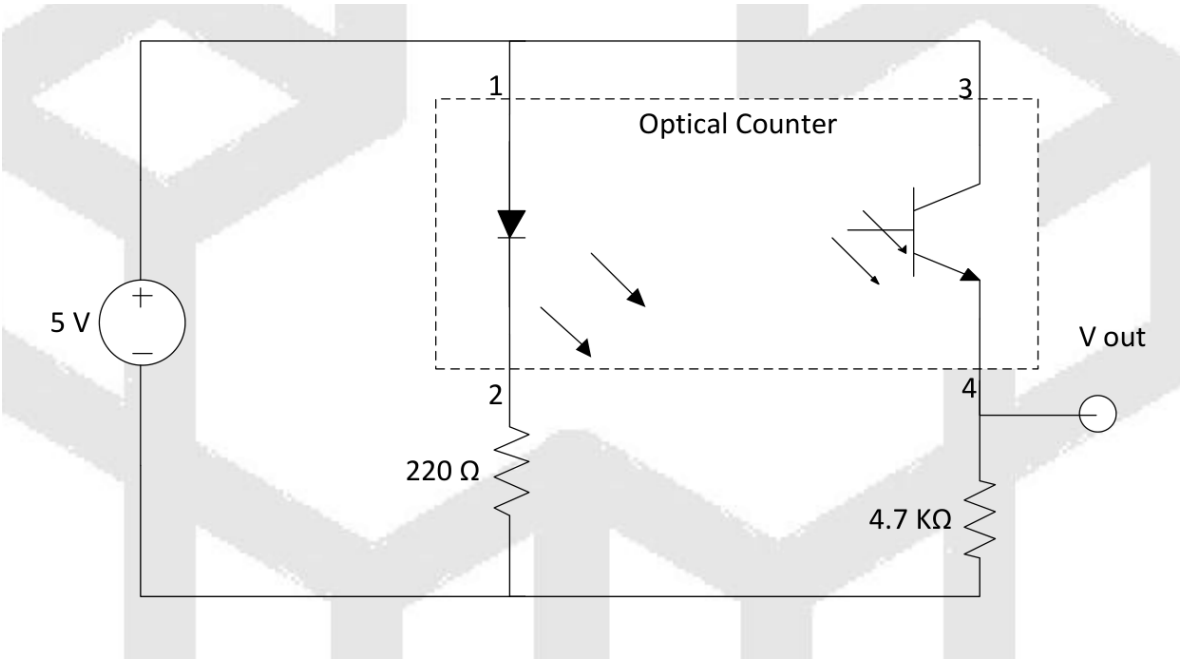
شکل ۷: صفحه انکودر سه‌کاناله با کد گری

در گذار از قطاع ۱ به ۲ فقط یک تغییر رنگ وجود دارد؛ همین ویژگی در سایر مرزهای مجاور نیز برقرار است. بنابراین تغییر هم‌زمان چند حلقه، مانند مثال باینری، لازم نیست.

آزمایش سرعت فن CPU؛ آماده‌کردن مدار

شمارنده نوری برای اندازه‌گیری موقعیت و سرعت محور یک‌جهته یا جایی که جهت اهمیت ندارد مناسب است. در این بخش، سرعت زاویه‌ای فن CPU که در یک جهت می‌چرخد اندازه‌گیری می‌شود. ابتدا شماره پایه‌های حسگر را از نشانه بدنه و شکل ۳ پیدا و مدار شکل ۸ را ببندید.

آزمایش سرعت فن CPU؛ آماده‌کردن مدار



شکل ۸: مدار پنج‌ولتی شمارنده نوری؛ مقاومت‌های ۲۲۰ اهم و ۴/۷ کیلواهم

فرستنده مادون قرمز را می‌توان در صورت حساس‌بودن دوربین دیجیتال به آن نور، از تصویر دوربین بررسی کرد. با عبور دست میان فرستنده و گیرنده باید Vout تغییر کند. مدار را روشن و خروجی را به اسیلوسکوپ وصل کنید؛ با چرخش فن، پالس‌ها باید دیده شوند.

برای تعیین زاویه، شمار پالس‌ها کافی است؛ اما در سنجش سرعت، زمان نیز باید اندازه‌گیری شود. دو روش زیر برای این منظور مطرح‌اند.

دو روش اندازه‌گیری سرعت و پرسش‌های آزمایش

روش اول، شمارش پالس در یک بازه ثابت است: با تایمر، زمان ثابتی بسازید و تعداد پالس‌ها در آن را بشمارید. از تعداد پالس و مدت زمان، سرعت زاویه‌ای محاسبه می‌شود.

پرسش ۲

برای فن موجود در آزمایشگاه، رابطه‌ای پارامتری برای سرعت برحسب RPM با روش شمارش پالس در زمان ثابت به دست آورید.

روش دوم، اندازه‌گیری فاصله زمانی میان دو پالس است: با تایمر دقیق، فاصله دو پالس اندازه‌گیری و سرعت از آن محاسبه می‌شود.

پرسش ۳

برای همان فن، رابطه‌ای پارامتری برای سرعت برحسب RPM با روش اندازه‌گیری فاصله زمانی دو پالس به دست آورید.

برنامه‌ای برای میکروکنترلر بنویسید که سرعت را با هر دو روش محاسبه و روی LCD نشان دهد. دو تایمر، یک کانتر و

دو روش اندازه‌گیری سرعت و پرسش‌های آزمایش

یک وقفه خارجی لازم‌اند؛ یک تایمر و کانتر برای روش اول و یک تایمر و وقفه خارجی برای روش دوم به کار می‌روند.

پرسش ۴

برای هر روش، کدام تایمرها و کانترها را انتخاب می‌کنید؟ دلیل انتخاب را توضیح دهید.

پس از تکمیل و بارگذاری برنامه، ولتاژهای جدول را به فن مورد آزمایش اعمال و دو سرعت نمایش‌داده‌شده روی LCD را ثبت کنید. در هر مرحله با خواندن فرکانس پالس روی اسیلوسکوپ، درستی تقریبی نتایج میکروکنترلر را بررسی کنید. سطوح جدول مربوط به تجهیز آزمایشگاه‌اند؛ پیش از اعمال ولتاژ، محدوده مجاز همان فن بررسی شود.

ولتاژ فن CPU	روش اول؛ RPM	روش دوم؛ RPM
4 ولت	...	...
8 ولت	...	...
12 ولت	...	...
16 ولت	...	...
20 ولت	...	...

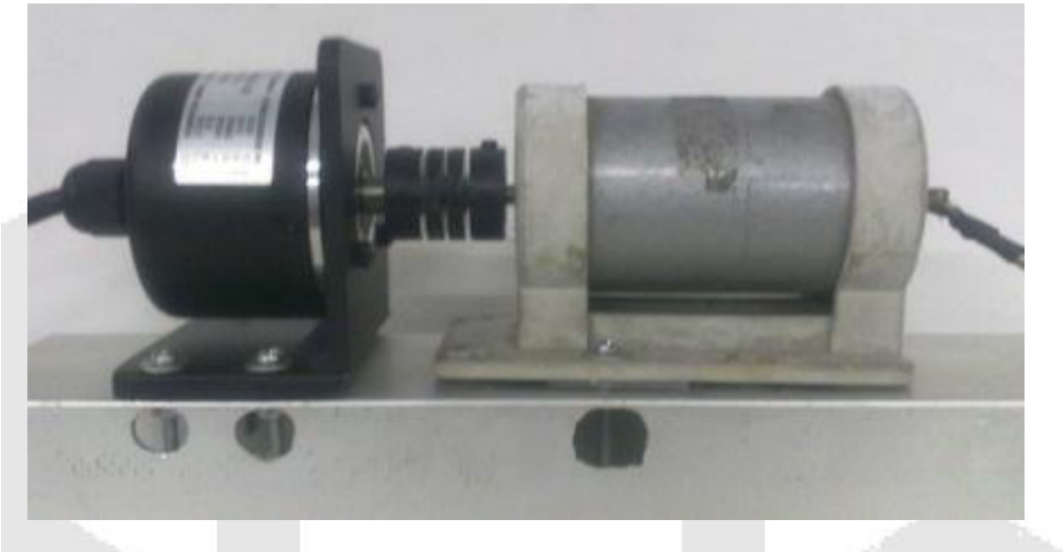
پرسش ۵

با بررسی نتایج و تئوری، دو روش سنجش سرعت را مقایسه و مزایا و معایب هرکدام را بنویسید.

اندازه‌گیری موقعیت و جهت موتور DC

اکنون با انکودر افزایشی، موقعیت و جهت موتور DC تحریک مستقل اندازه‌گیری می‌شود. انکودر آزمایش، Autonics مدل E50S8-1000-3-T-24 است و در هر دور ۱۰۰۰ پالس تولید می‌کند. برای شناخت پارامترهای کامل، برگه مشخصات همان مدل مطالعه شود.

اندازه‌گیری موقعیت و جهت موتور DC



موتور DC و انکودر مورد استفاده در آزمایش

سیم‌های تغذیه مطابق جدول زیر، که روی بدنه نیز درج شده، وصل شوند. A و B به کانال‌های ۱ و ۲ اسیلوسکوپ متصل شوند.

رنگ	کارکرد
سیاه	پالس A
سفید	پالس B
نارنجی	پالس Z
قهوه‌ای	+Vcc = 12-24 V
آبی	GND

توجه

سیم‌های خروجی انکودر پیش از وصل تغذیه به محل تعیین‌شده در مدار متصل شوند؛ اتصال اتفاقی خروجی‌ها به هم پس از روشن‌کردن می‌تواند مدار داخلی انکودر را آسیب بزند.

موتور را روشن و شکل پالس‌ها را با شکل ۴ مقایسه کنید. با تغییر سرعت موتور و ولتاژ تغذیه انکودر، تغییر رفتار خروجی را بررسی کنید. برای اتصال به میکروکنترلر، دامنه خروجی باید در بازه صفر تا پنج ولت قرار گیرد؛ سازگاری سطح سیگنال با ورودی مدار بررسی و ولتاژ تغذیه در وضعیت آزمایش یادداشت شود.

برنامه موقعیت و پالس مرجع Z

الف: مدار میکروکنترلر را ببندید و برنامه‌ای بنویسید که موقعیت موتور را از پالس‌های A و B محاسبه و روی LCD نمایش دهد. راهنمای سند، اتصال A و B به وقفه‌های خارجی ۰ و ۱ و فعال‌کردن وقفه در هر دو لبه بالارونده و پایین‌رونده است. در روال وقفه، با مقایسه وضعیت کنونی و قبلی دو پالس، جهت را از شکل‌های ۴ و ۵ تعیین کنید.

ب: پالس سوم Z در هر دور چرخش فقط یک بار فعال می‌شود و می‌تواند مرجع زاویه باشد. Z را به وقفه خارجی شماره ۲ متصل و وقفه را برای لبه بالارونده فعال کنید. در روال آن، متغیر زاویه را صفر کنید. مدار را راه‌اندازی و نتیجه را ثبت کنید.