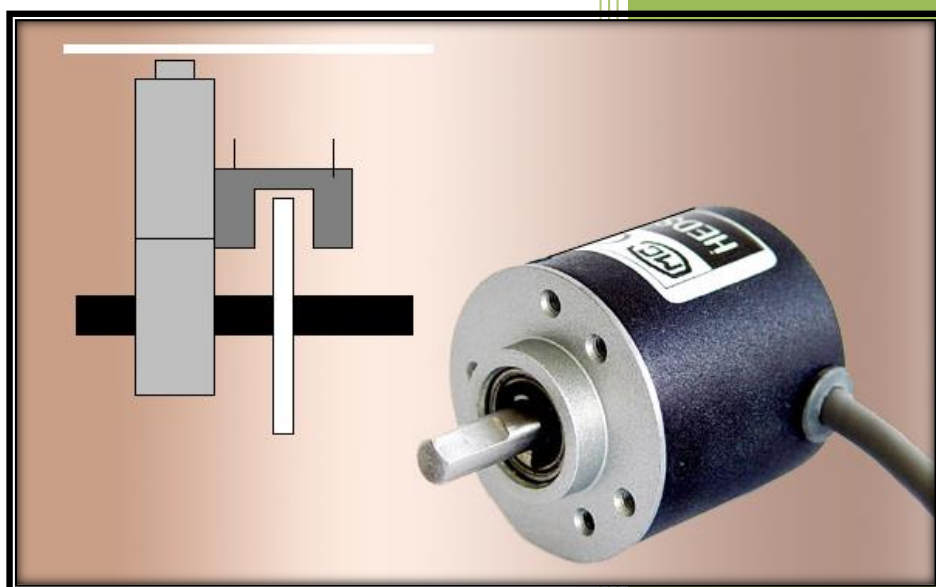


اندازه گیری سرعت و موقعیت دورانی



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 توجه قرار گیرند. این دسته از حسگرها 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.

فهرست مطالب

بخش 1 مختصری از تئوری.....	۲
۱-۱- شمارنده نوری.....	۲
۱-۲- انکودر افزایشی.....	۳
۱-۳- انکودر مطلق.....	۵
بخش ۲- آزمایش اول: محاسبه سرعت دورانی با استفاده از انکودر.....	۹
بخش ۳- آزمایش دوم: اندازه گیری موقعیت و جهت چرخش موتور DC با انکودر افزایشی.....	۱۱
بخش ۴- آزمایش سوم: بررسی رفتار و سیگنال خروجی تاکومتر و نمایش سرعت با استفاده از این حسگر.....	۱۳
بخش ۵- آزمایش چهارم: بررسی رفتار و سیگنال خروجی پتانسیومتر.....	۱۴
بخش ۶- آزمایش ششم: بدست آوردن سرعت و موقعیت صفحه دوار با استفاده از انکودر متصل به موتور.....	۱۵

بخش ۱- مختصری از تئوری

شفافیت انکودر^۱ یا در اصطلاح انکودر، حسگری است که به یک محور گردنده 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 گیرنده صفر می‌گردد به این ترتیب پالس‌های الکتریکی تولید می‌شود.

در یک تقسیم‌بندی 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

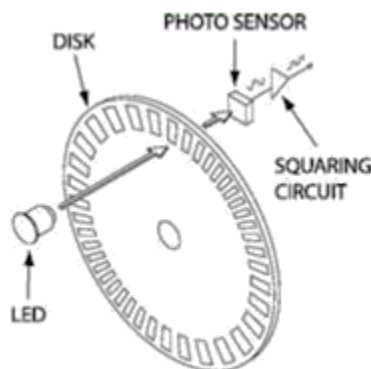
ساختار داخلی یک شمارنده نوری^۲ (شکل ۱) شامل یک فرستنده و یک گیرنده مادون قرمز است که در دو طرف یک صفحه شیاردار (شکل ۲) قرار می‌گیرند. با چرخش این صفحه و عبور شیارهای آن از مسیر دید فرستنده و گیرنده مادون قرمز، در قسمت گیرنده پالسی تولید خواهد شد که با شمارش آنها در یک زمان معین می‌توان سرعت را اندازه‌گیری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



شکل ۱ - شمارنده نوری

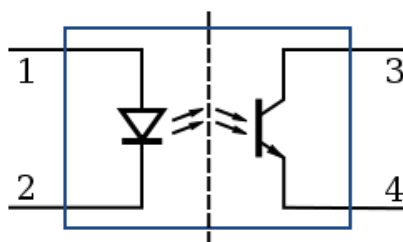
^۱ Shaft Encoder

^۲ Optical Counter



شکل ۲- صفحه شیاردار

ساختار داخلی فرستنده و گیرنده شمارنده نوری به صورت شکل ۳ می باشد. پایه های یک و دو به یک فرستنده مادون قرمز متصل شده اند. گیرنده مادون قرمز سمت دیگر (پایه های ۳ و ۴) یک ترانزیستور حساس به اشعه مادون قرمز می باشد. 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.



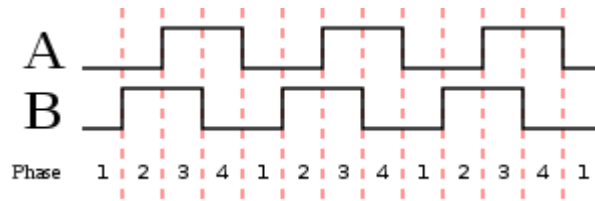
شکل ۳- مدار شماتیک فرستنده و گیرنده شمارنده نوری

۲-۱- انکودر افزایشی

در انکودرهای افزایشی^۱ از یک جفت شمارنده نوری در دو طرف چرخ شیاردار با فاصله مشخص استفاده می شود، نحوه قرارگیری این جفت به گونه ای است که با چرخش صفحه چرخنده دو پالس خروجی داریم که با یکدیگر اختلاف فاز ۹۰ درجه دارند و براساس آن می توان جهت چرخش را نیز مشخص نمود. این نوع از انکودرها پر کاربردترین نوع انکودر می باشند، چرا که علاوه بر قیمت مناسب قابلیت تشخیص جهت چرخش را نیز دارند. این نوع انکودرها دقت بسیار بالایی دارند و می توانند تا چندین هزار پالس در یک دور کامل را تولید کنند.

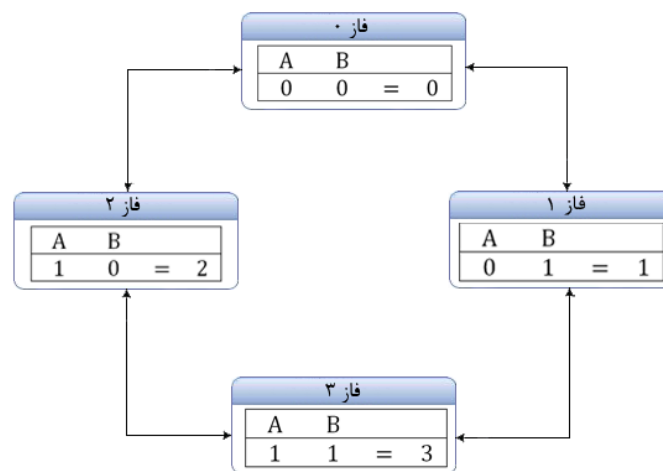
در انکودرهای افزایشی دو پالس با نام های A و B وجود دارد. این دو پالس دارای ۹۰ درجه اختلاف فاز هستند. در شکل ۴ نمونه ای از این پالس ها در یک حرکت ساعتگرد را مشاهده می کنید. در این شکل، پالس A از پالس B نود درجه عقب تر است. بدیهی است که در صورت تغییر جهت حرکت، پالس B از پالس A نود درجه عقب تر خواهد بود.

¹ Incremental Encoder



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

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



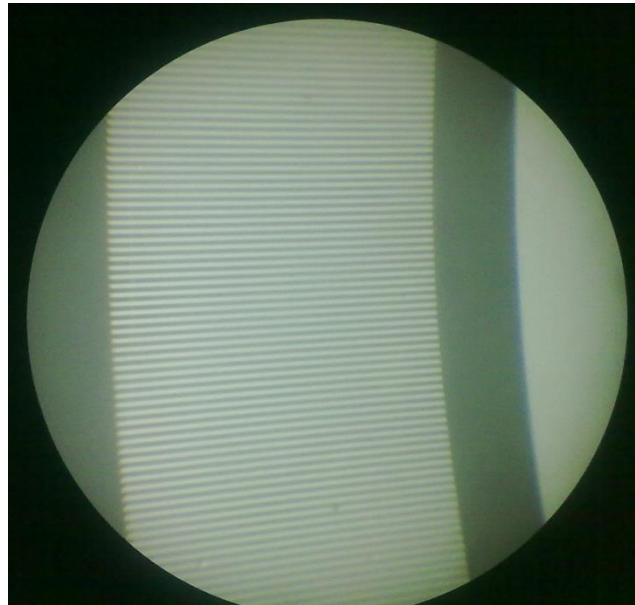
شکل ۵ - ماشین حالت انکودر افزایشی

بنابراین اگر در یک میکروکنترلر وضعیت قبلی انکودر ذخیره شده باشد، با داشتن وضعیت فعلی و به کمک یک الگوریتم ساده می‌توان جهت چرخش را محاسبه کرد.

پرسش - برای تعیین جهت چرخش در انکودرهای افزایشی الگوریتم بسیار ساده‌تری نیز وجود، به نظر شما چگونه می‌توان این کار را انجام داد؟

اما با همه مزایایی که این دسته از انکودرها نسبت به نوع نسبی دارند، 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 داده می‌شود که در صورت بروز چنین اتفاقی، دیگر قادر به تشخیص جهت چرخش نخواهیم بود. اگر سرعت را باز هم بیشتر کنیم اوضاع وخیم‌تر خواهد شد. مثلاً اگر میکروکنترلر 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.

¹ State Machine

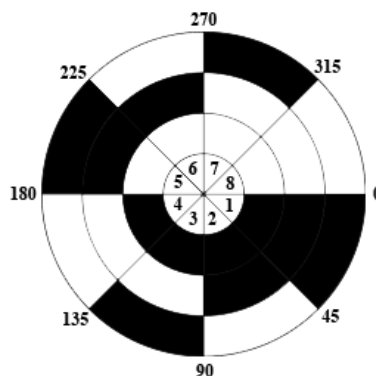


شکل ۶- تصویر واقعی از صفحه یک انکودر افزایشی

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 می دهند. در انکودرهای مطلق از یک صفحه شفاف پلاستیکی یا شیشه‌ای استفاده می شود که بخش‌های خاصی از آن سیاه شده‌اند و از چندین فرستنده و گیرنده نوری (تعداد این فرستنده و گیرنده‌ها همان پارامتر تعداد پالس در برگه اطلاعات انکودر است) استفاده می شود. در هر لحظه تعدادی از این گیرنده‌ها صفر و برخی یک را نشان می دهند، بدین ترتیب یک عدد باینری تولید می شود که زاویه بین صفر تا ۳۶۰ درجه را می توان محاسبه کرد.

حال فرض کنید می خواهیم روند اندازه گیری پالس در یک انکودر مطلق سه پالس را بررسی کنیم. برای این منظور صفحه‌ای به صورت شکل ۷ را در نظر بگیرید.



شکل ۷- نمای فرضی از صفحه انکودر مطلق سه پالس

¹ Absolute Encoder

چون این صفحه دارای ۳ گیرنده در راستای شعاعی می‌باشد، بنابراین می‌توان دایره ۳۶۰ درجه را به ۸ قطاع تقسیم کرد. با این تفاسیر، 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 شفت 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):

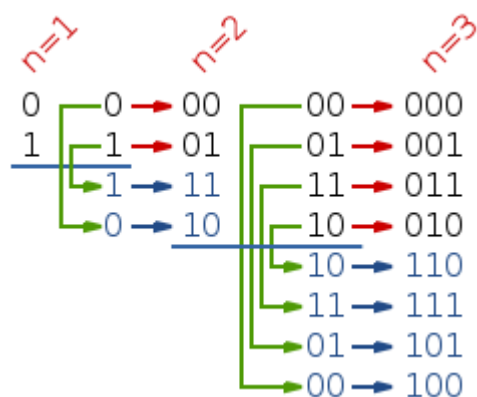
شماره قطاع	گیرنده ۳	گیرنده ۲	گیرنده ۱	زاویه
1	0	0	0	0-45 °
2	0	0	1	45-90 °
3	0	1	0	90-135 °
4	0	1	1	135-180 °
5	1	0	0	180-225 °
6	1	0	1	225-270 °
7	1	1	0	270-315 °
8	1	1	1	315-360 °

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 قطاع به قطاع دیگر برویم تمام حلقه‌ها همزمان تغییر وضعیت نمی‌دهند. به عنوان مثال فرض کنید که می‌خواهیم از قطاع ۴ به قطاع ۵ برویم؛ یعنی از حالت 011 به 100 تغییر وضعیت داشته باشیم. در این صورت هر سه حلقه تغییر فاز خواهند داشت. 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:

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

این یعنی از قطاع ۴ به قطاع ۳ و سپس به قطاع ۷ و سرانجام به قطاع ۵ رفته‌ایم. 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 بهره می‌برند. نحوه تولید کد گری ۳ بیتی در شکل ۸ نشان داده شده است.

¹ Gray Code

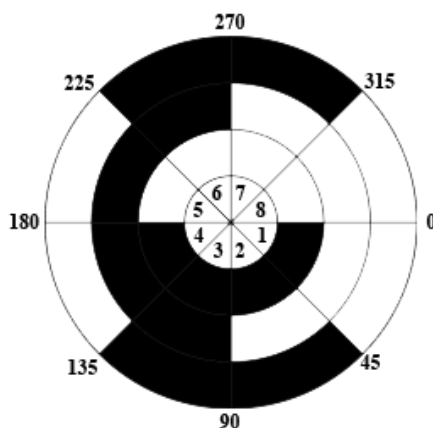


شکل ۸- تولید کد گری ۳ بیتی

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.

شماره قطاع	گیرنده ۳	گیرنده ۲	گیرنده ۱	زاویه
۱	۰	۰	۰	0-45 °
۲	۰	۰	۱	45-90 °
۳	۰	۱	۱	90-135 °
۴	۰	۱	۰	135-180 °
۵	۱	۱	۰	180-225 °
۶	۱	۱	۱	225-270 °
۷	۱	۰	۱	270-315 °
۸	۱	۰	۰	315-360 °

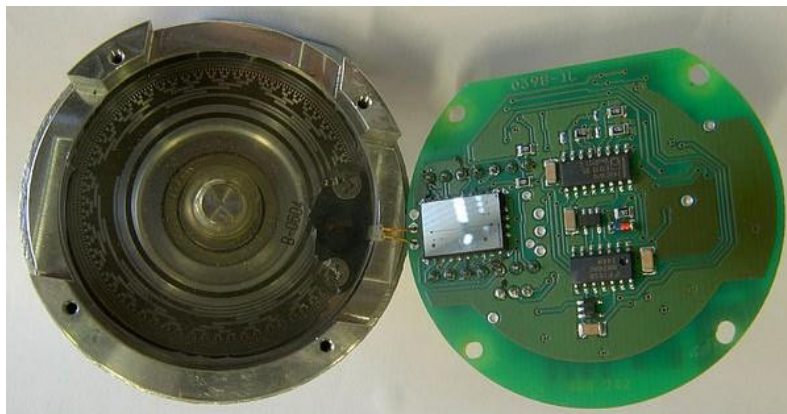
نمونه‌ای از صفحه انکودر مطلق با این نوع کد را می‌توانید در شکل ۹ ببینید.



شکل ۹- 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.

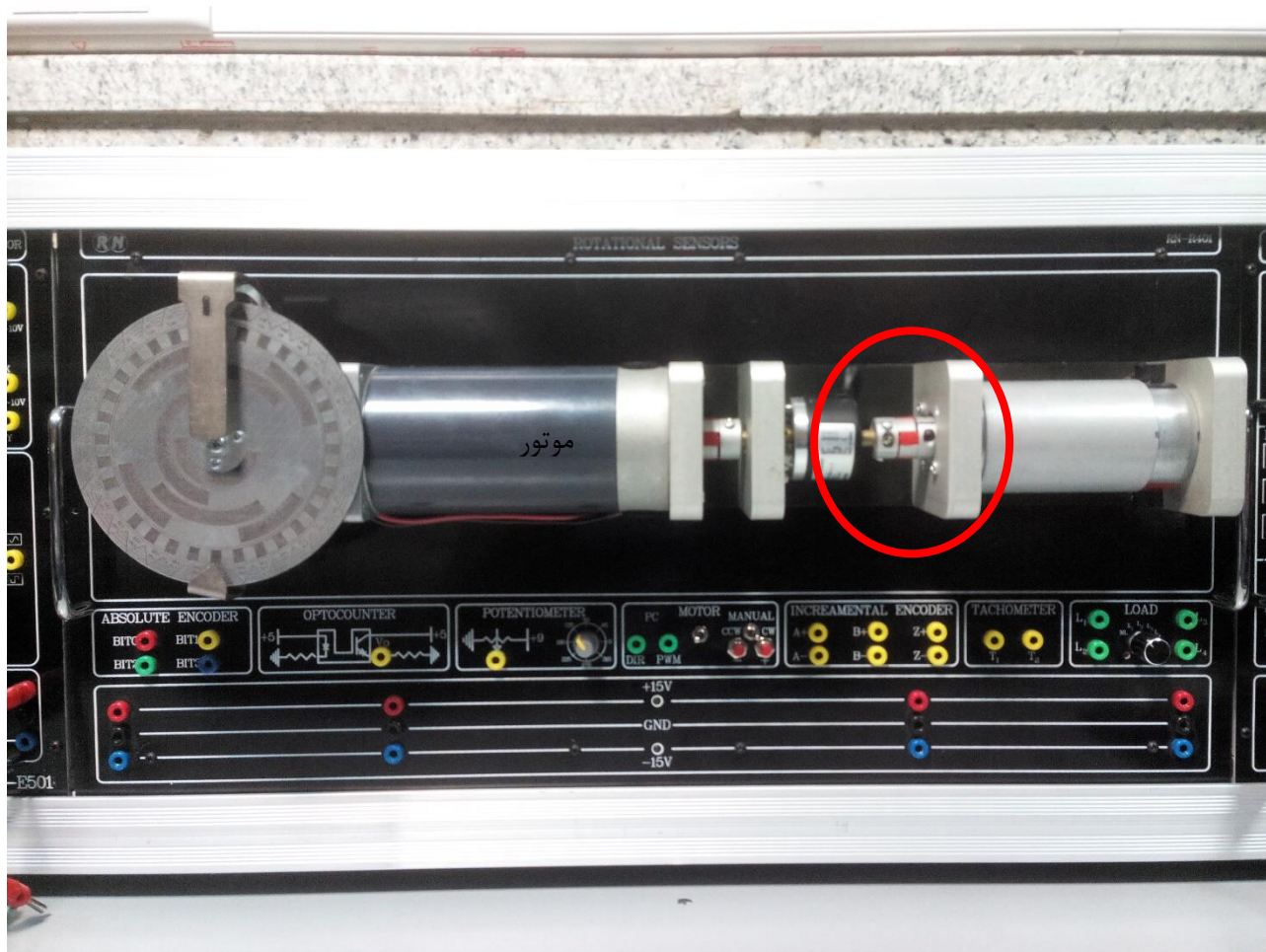
در شکل ۱۰ تصویر واقعی از مدار داخلی یک انکودر مطلق آورده شده است.



شکل ۱۰- تصویر واقعی از مدار داخلی یک انکودر مطلق

بخش ۲- آزمایش اول: محاسبه سرعت دورانی با استفاده از انکودر

می‌خواهیم با یک انکودر افزایشی به اندازه‌گیری سرعت دورانی یک موتور DC تحریک مستقل بپردازیم. انکودر مورد استفاده در این آزمایش مدل E50S8-1024-6-T-5 ساخت شرکت Autonics می‌باشد که در هر دور چرخش ۱۰۲۴ پالس تولید می‌کند. توصیه می‌شود که برای آشنایی بیشتر با پارامترهای این انکودر برگه اطلاعات آن را مطالعه نمایید.



پرسش- هر کدام از اعداد و حروف موجود در نام مدل شفت انکودر E50S8-1024-6-T-5 به چه معناست؟

مطابق شکل زیر به ازای هر دور موتور ۱۰۲۴ پالس ایجاد می‌شود. برای این که بتوانیم سرعت دورانی موتور را محاسبه نماییم با استفاده از یک اسیلوسکوپ فرکانس خروجی انکودر را مطابق جدول زیر در سرعت‌های مختلف محاسبه می‌کنیم.

رابطه‌ی سرعت بر حسب RPM با فرکانس به صورت زیر است:

$$\omega(RPM) = \frac{f}{1024} \times 60$$

ولتاژ موتور (ولت)	فرکانس پالس A (Hz)	سرعت موتور (RPM)
۱۰		
۱۴		
۱۸		
۲۲		

حال با استفاده از ماژول میکروکنترلر می‌خواهیم فرکانس پالس A را اندازه‌گیری کنیم. برای این منظور مراحل زیر را دنبال کنید:

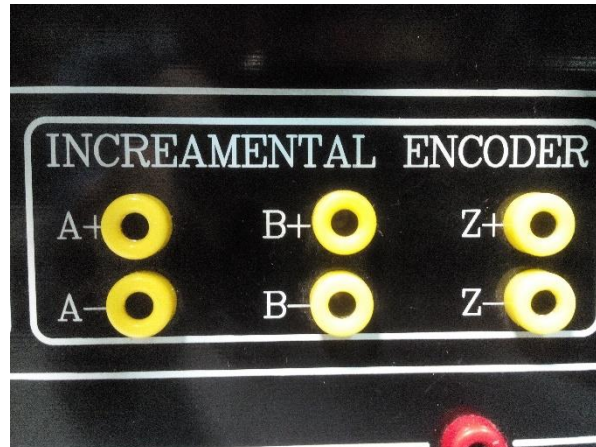
- ۱- خروجی پالس A را به INTO متصل کنید.
- ۲- با استفاده از یک تایمر فاصله‌ی بین دو لبه‌ی بالارونده را اندازه‌گیری کنید تا دوره‌ی تناوب به دست آید.
- ۳- با داشتن دوره‌ی تناوب فرکانس با معکوس کردن به دست می‌آید. حال با داشتن فرکانس و رابطه‌ی تبدیل فرکانس به RPM سرعت را بر روی نمایشگر نمایش دهید.

بخش ۳- آزمایش دوم: اندازه‌گیری موقعیت و جهت چرخش موتور DC با انکودر افزایشی

در بخش قبل دیدید که چگونه با پالس A می‌توان سرعت زاویه‌ای را محاسبه کرد. اکنون می‌خواهیم جهت چرخش موتور و زاویه دورانی آن را محاسبه کنیم

برای این منظور مراحل زیر را دنبال کنید:

۱- با توجه به شکل زیر خروجی‌های A+ و B+ را به کانال‌های ۱ و ۲ اسیلوسکوپ متصل کنید.



۲- موتور را روشن کنید و رفتار پالس‌های خروجی را با شکل ۴ مقایسه کنید. با تغییر سرعت موتور و همچنین تغییر ولتاژ تغذیه موتور (حداکثر ۲۲ ولت)، تغییر رفتار مشاهده شده را بررسی نمایید.

۳- خروجی‌های A و B را به پایه‌های وقفه خارجی ۰ و ۱ میکرو متصل کنید و در ویزارد کدویژن وقفه‌های ۰، ۱ و ۲ را برای لبه بالارونده فعال کنید.

۴- در زیربرنامه وقفه ۰ به وضعیت پالس B توجه کنید و با توجه به شکل ۴ جهت حرکت را تشخیص دهید. در تابع main و در خط اول LCD جهت حرکت موتور را نمایش دهید.

۵- با توجه به اینکه در هر دور کامل، ۱۰۲۴ پالس A و B خواهیم داشت، برنامه را به گونه‌ای تغییر دهید که زاویه نسبی تغییر داده شده توسط حرکت دادن شفت موتور بر روی خط دوم LCD نمایش داده شود.

پرسش- به نظر شما با انکودر ۱۰۲۴ پالس موجود در آزمایشگاه، بهترین دقتی که در اندازه‌گیری زاویه می‌توان داشت چقدر است؟

۶- 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، این پایه را به وقفه خارجی شماره ۲ متصل کنید و در زیربرنامه مربوط به آن، متغیری که مقدار زاویه در آن ذخیره شده است را صفر کنید. اکنون مدار را راه اندازی کرده و نتیجه را یادداشت نمایید.

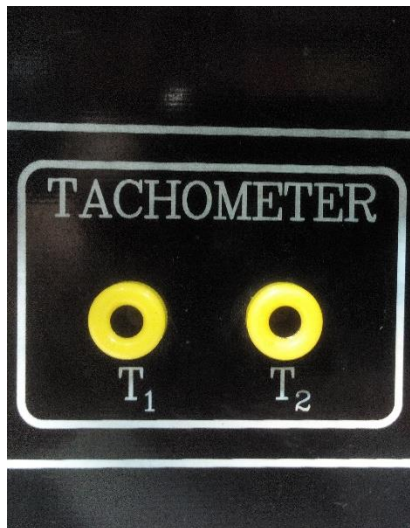
پرسش- آیا با ریست کردن میکرو کنترلر، مقدار زاویه حفظ می‌شود؟

پرسش- آیا همواره در یک جای مشخص، پالس Z فعال می‌شود یا با ریست کردن سیستم محل آن جابه‌جا می‌شود؟

۷- با این شرایط، به نظر شما شفت انکودر افزایشی می‌تواند جایگزین نوع مطلق آن شود؟

بخش ۴- آزمایش سوم: بررسی رفتار و سیگنال خروجی تاکومتر و نمایش سرعت با استفاده از این حسگر

مطابق شکل خروجی های تاکومتر را به زمین و ورودی ولت متر متصل کنید و جدول مربوطه را تکمیل نمایید.

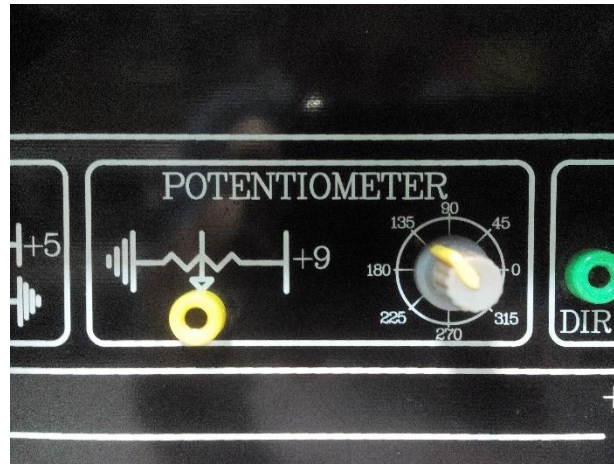


ولتاژ موتور (ولت)	ولتاژ خروجی تاکوژنراتور
۱۰	
۱۴	
۱۸	
۲۲	

با استفاده از جعبه ابزار cftool مطلب یک نمودار سرعت بر حسب ولتاژ برآش کنید. چه نتیجه ای می گیرید

بخش ۵- آزمایش چهارم: بررسی رفتار و سیگنال خروجی پتانسیومتر

مطابق شکل ولتاژ خروجی پتانسیومتر را به ولت متر متصل کرده و جدول زیر را تکمیل کنید.

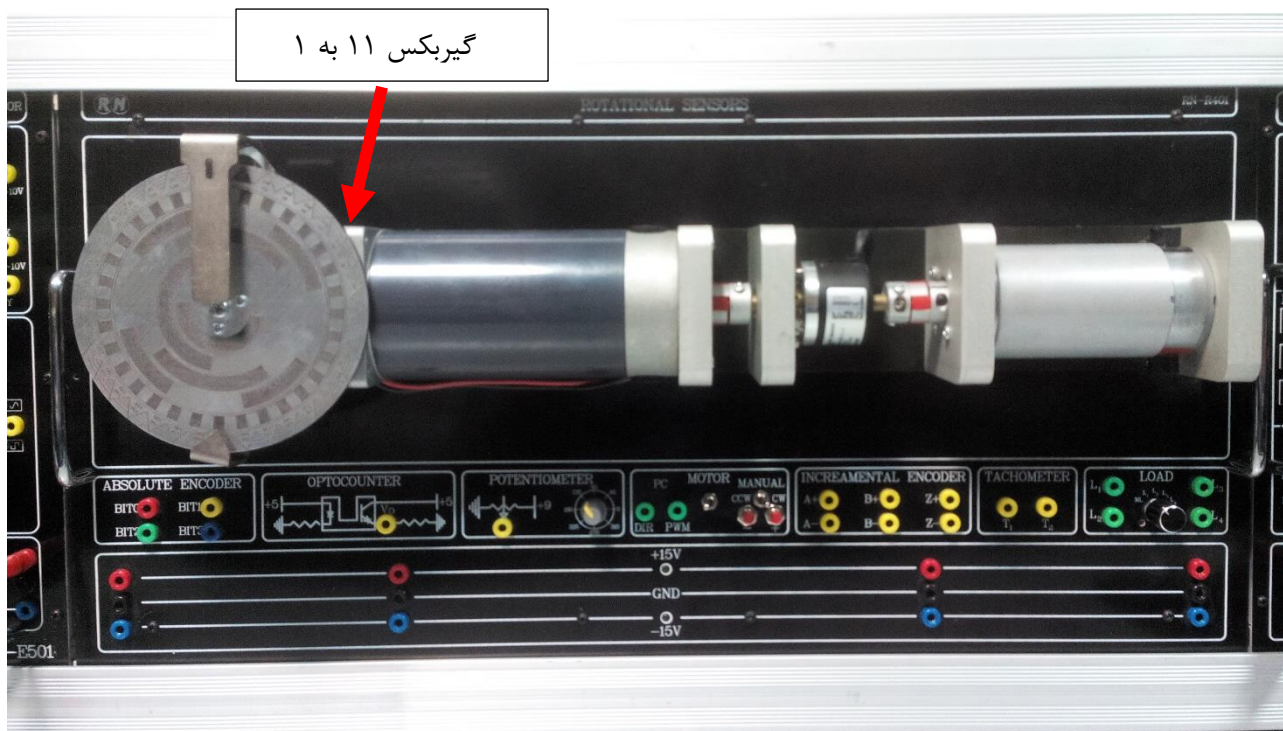


ولتاژ خروجی	زاویه
	۰
	۴۵
	۹۰
	۱۳۵
	۱۸۰
	۲۲۵
	۲۷۰

با استفاده از جعبه ابزار cftool مطلب یک نمودار زاویه بر حسب ولتاژ برآزش کنید. چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟

بخش ۶- آزمایش ششم: بدست آوردن سرعت و موقعیت صفحه دوار با استفاده از انکودر متصل به موتور

با توجه به شکل زیر موتور با استفاده از یک گیربکس ۱۱ به ۱ به صفحه دوار متصل شده است



با توجه به آنچه در آزمایش ۱ و ۲ آموختید برنامه ای بنویسید که بر روی نمایشگر ماژول میکروکنترلر سرعت و موقعیت صفحه دوار را با استفاده از انکودر افزایشی نشان دهد.