▣ دید کلی:

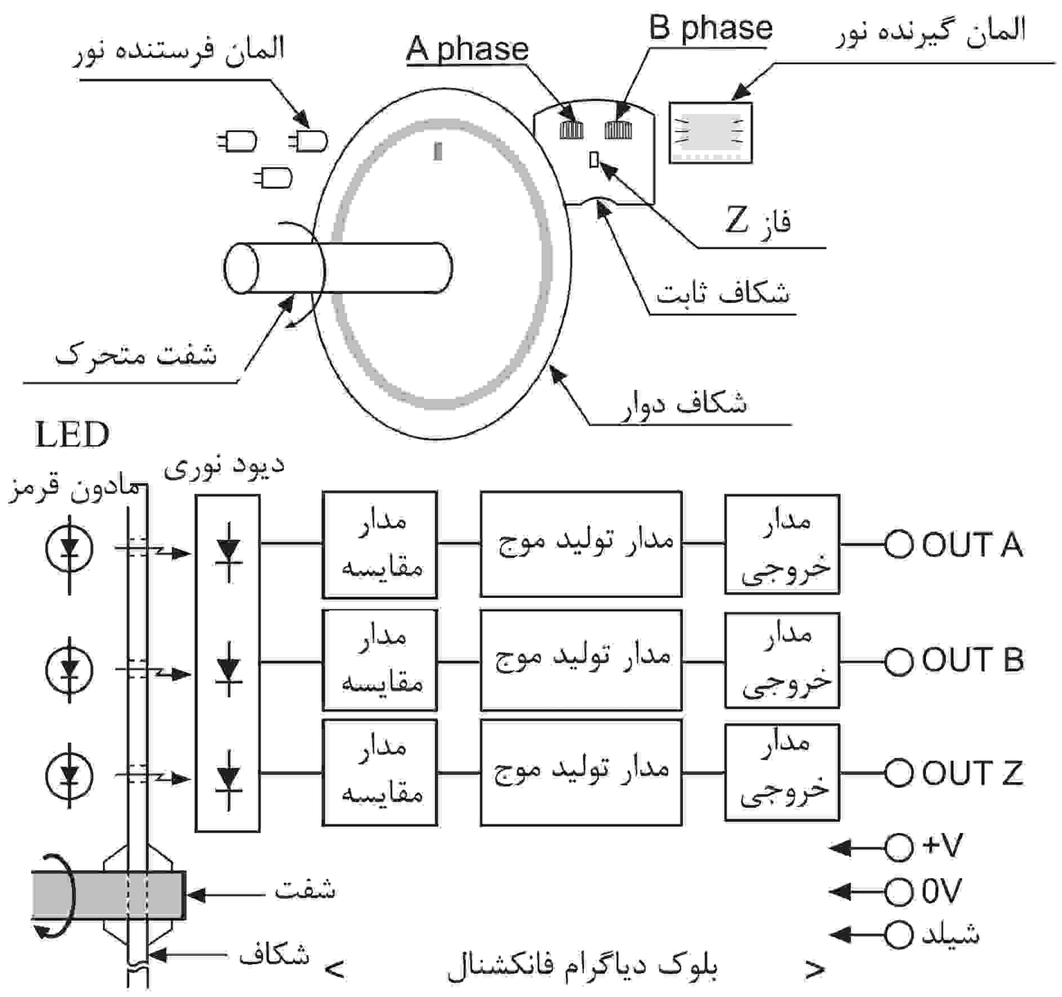
دیجیتالیزه شدن انکودر و استفاده از میکروپروسسورها در آن به واسطه پیشرفت کامپیوتر، در حال سرعت گرفتن می باشد. انکودر به طور گسترده ای در ماشینهای NC، روبات، سروموتور ها به منظور تشخصیص صحیح موقعیت و سرعت عملکرد و ارائه فیدبک به کار می روند.
انکودر چرخشی دستگاهی است که زاویه چرخش شفت را به سیگنالهای الکتریکی (پالس) تبدیل می کند و به خروجی تحویل می دهد. در نوع اینکریمنتال(افزایشی) جهت چرخش به وسیله زمان بندی خروجی فازهای A,B تشخیص داده می شود. در نوع ابسولوت جهت چرخش به وسیله کاهش یا افزایش کد خروجی تشخیص داده می شود. در نوع ابسولوت به دلیل وجود کد برای خروجی زاویه چرخش، نیازی به بازگشت به نقطه صفر وجود ندارد.

▣ اصول عملکرد:

◎انکودر چرخشی نوری

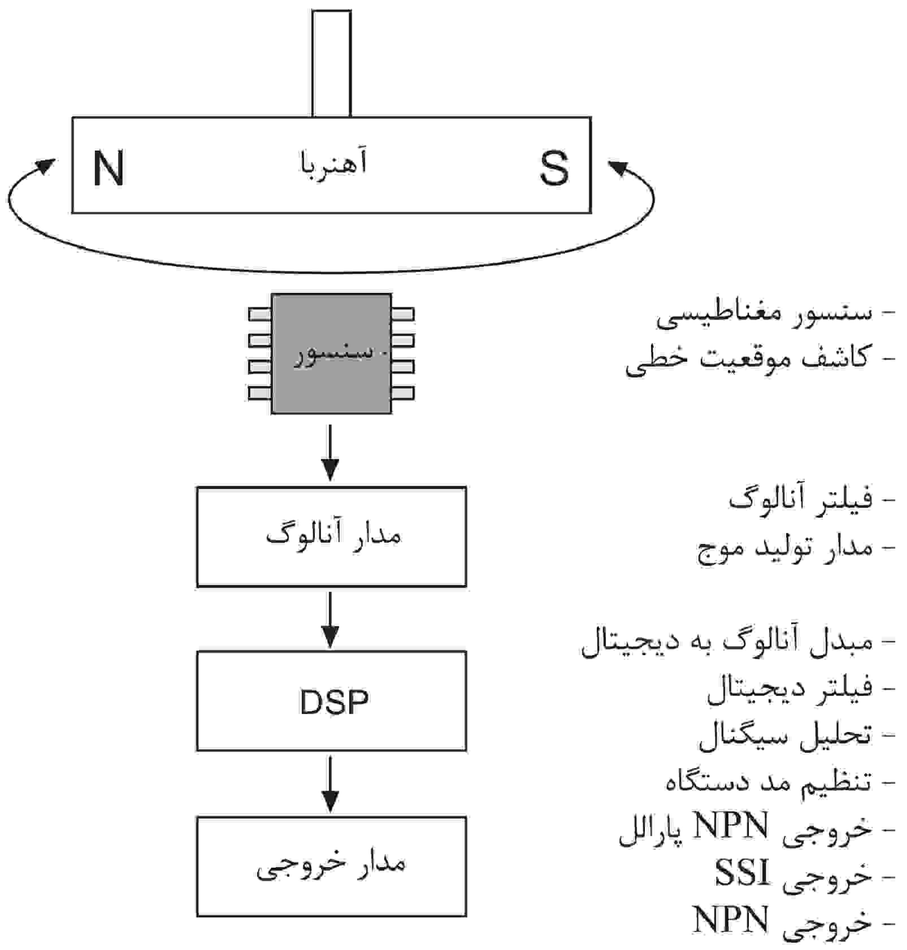
*** انکودر چرخشی اینکریمنتال**

انکودر چرخشی اینکریمنتال از یک شکاف دوار که به رنگ مشکی رنگ شده است و یک شکاف ثابت که بین المان فرستنده نور و المان گیرنده نور قرار گرفته است، تشکیل می شود. با چرخش شفت انکودر، نور منتشر شده از فرستنده از این شکافها عبور می کند. نور عبور کرده از شکاف ها توسط المان گیرنده نور به سیگنال جریانی تبدیل می شود. این سیگنال جریانی در خروجی یک پالس موج مربعی به واسطه یک مدار موج ساز و یک مدار خروجی، ایجاد می کند. فازهای خروجی اینکریمنتال، فازهای A,B که نسبت به یکدیگر ۹۰ درجه اختلاف دارند و فاز Z که فاز صفر مرجع است، می باشند.



◎ انکودر چرخشی مغناطیسی

انکودر چرخشی مغناطیسی بر اساس تحلیل سیگنال حاصل از تغییرات میدان مغناطیسی یک آهنربای متحرک کار می کند. انکودر چرخشی مغناطیسی آتونیکس از نوع ابسولوت می باشد. انکودر چرخشی ابسولوت یک دور را به ۰ تا ۳۶۰ درجه با یک نرخ مشخص تقسیم بندی کرده و به هر قسمت از زاویه تقسیم شده یک کد الکتریکی دیجیتال اختصاص می دهد. (کد BCD، باینری، گری). انکودر چرخشی ابسولوت به عنوان سنسور زاویه مطلق، کد دیجیتال مشخصی بر مبنای موقعیت چرخش شفت در خروجی ایجاد می کند.
انکودر چرخشی مغناطیسی فاقد شکاف می باشد، به همین دلیل استقامت بیشتر در برابر لرزش و شوک و عمر کارکرد طولانی تری نسبت به انکودرهای نوری دارد.

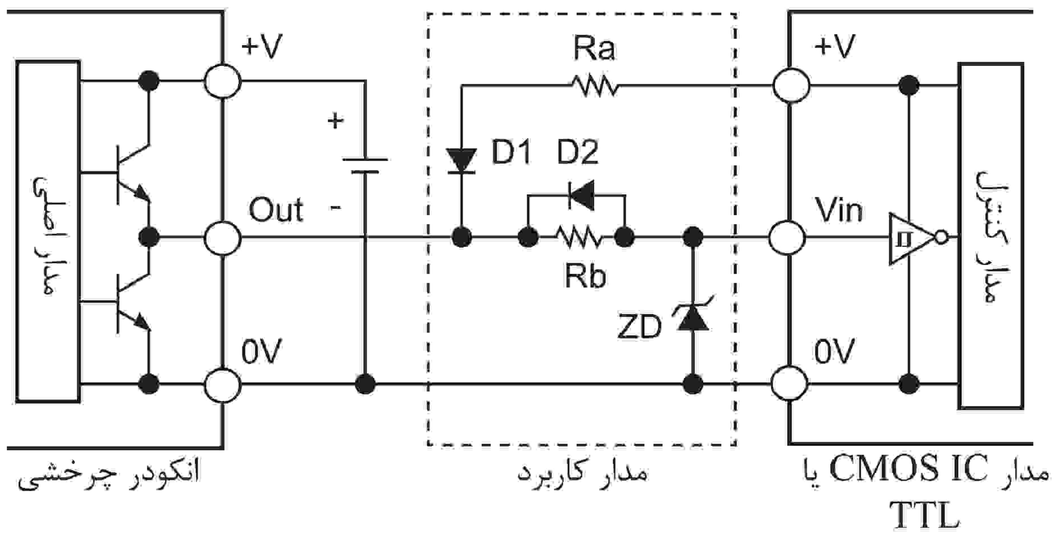


▣ مشخصات با توجه به اصول عملکرد:

مغناطیسی	نوری	
قوی تر از نوع نوری(بدون شکاف)	ضعیف	لرزش، شوک
طولانی تر از نوع نوری	کوتاه	عمر کارکرد
کمتر از نوع نوری	زیاد	دقت

*** مثال اتصال خروجی توتم پل و مدار IC**

اگر بین مقدار حداکثر سیگنال خروجی ولتاژی (Vout) و حداکثر ولتاژ ورودی منطقی مجاز IC انحراف معینی رخ دهد، لازم است تا سطح ولتاژ مدار مطابق شکل زیر تنظیم شود.



* اگر ولتاژ ورودی مدار کنترل کمتر از ولتاژ اعمال شده به انکودر بود:

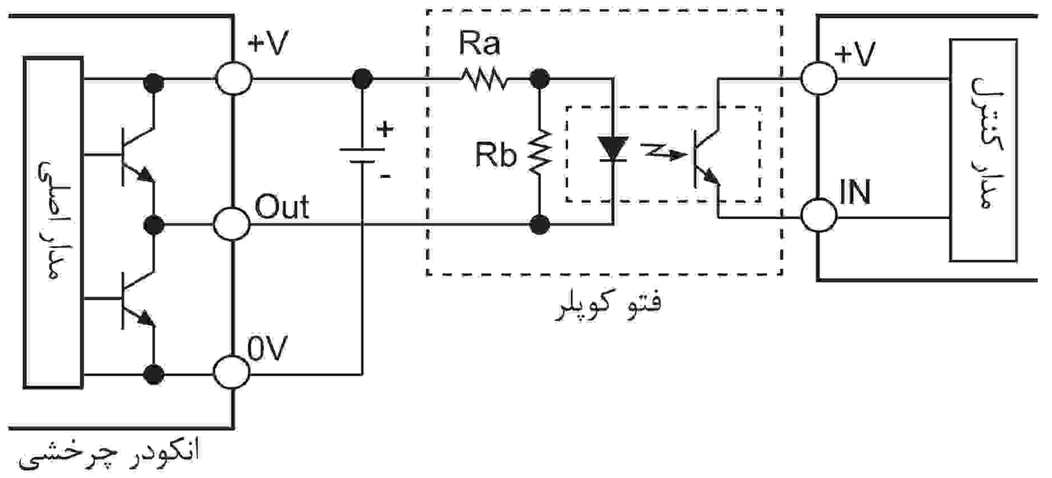
۱- اطمینان حاصل کنید که ولتاژ زنر روی ZD باید برابر با حداکثر ولتاژ مجاز ورودی منطقی(Vin) مدار IC باشد.

۲- هنگام طراحی مدار کاربردی در نظر داشته باشید که Ra و Rb باید در سطح پایدار سیگنال ورودی تنظیم شوند.

۳- در صورتی که طول کابل بین انکودر و مدار کنترل کوتاه بود، بهتر است مدار بدون Ra و D1 طراحی شود.

*** مثال اتصال خروجی توتم پل و کوپلر**

مدار خروجی انکودر می تواند با استفاده فتوکوپلر مطابق شکل زیر ایزوله شود.



نکته ۱: تمام قطعات به کار رفته در مدار کاربرد باید همجوار فتوکوپلر نصب شوند.

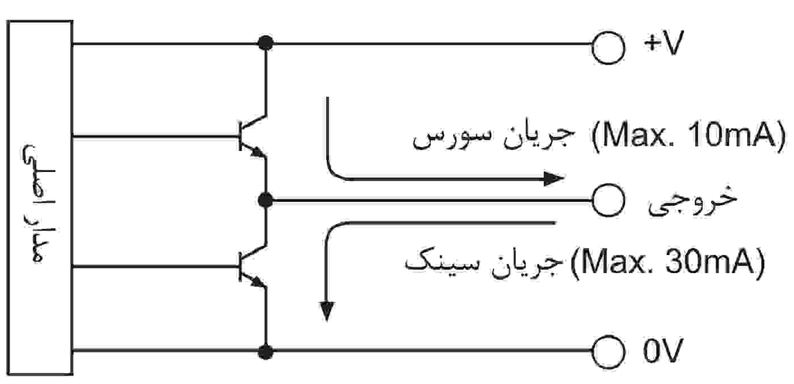
نکته ۲: توجه داشته باشید که هنگام انتخاب فتوکوپلر سرعت پاسخ آن بیشتر از حداکثر پاسخ فرکانسی انکودر باشد.

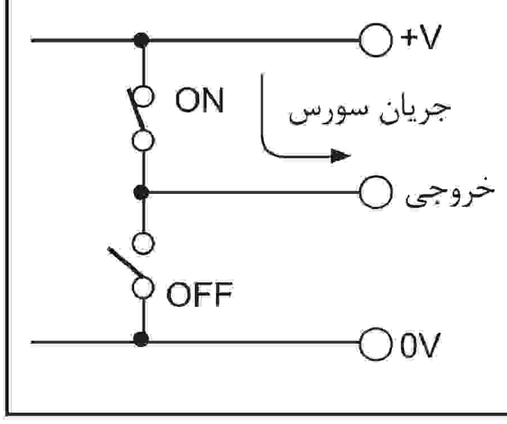
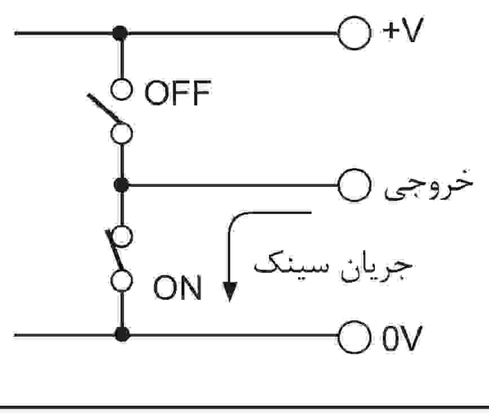
▣مثال برای اتصالات و انواع خروجی انکودرهای چرخشی:

◎خروجی توتم پل

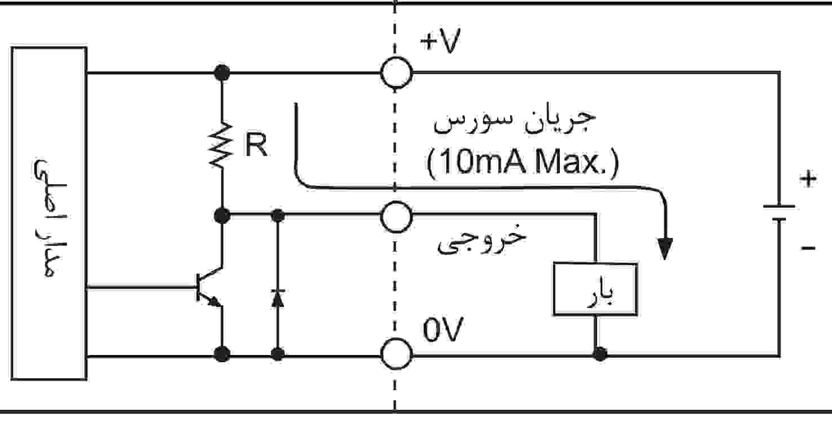
خروجی توتم پل یک نوع مدار الکترونیک است که شامل ۲ ترانزیستور بین +V و 0V مطابق شکل زیر می باشد. هنگامی که سیگنال خروجی H می باشد، ترانزیستور بالایی وصل و ترانزیستور پایینی قطع خواهند بود. هنگامی که سیگنال خروجی L باشد، ترانزیستور بالایی قطع و ترانزیستور پایینی وصل خواهند شد.

خروجی توتم پل دارای امپدانس خروجی کم می باشد زیرا مدار به گونه ای طراحی شده است که تحمل عبور جریان در هر دو جهت را داشته باشد. به علاوه، تاثیر کمی روی اعوجاج موج و نویز دارد و در خطوط انکودر طولانی استفاده می شود.

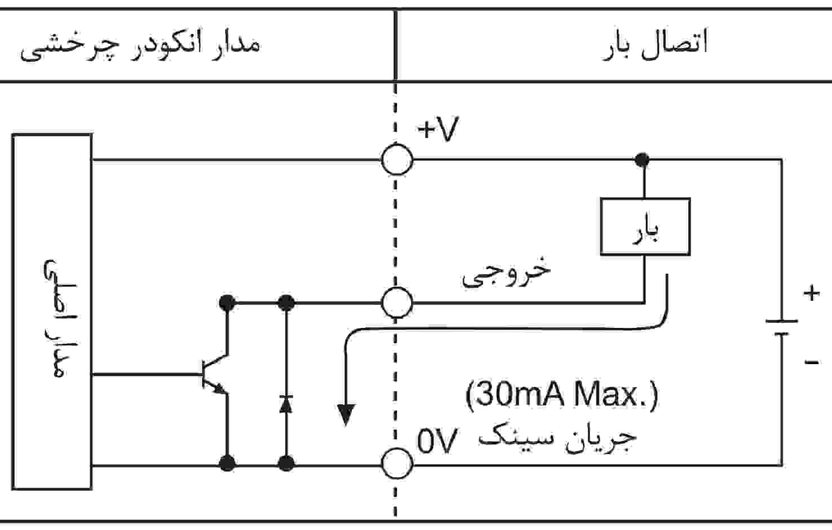
مدار خروجی توتم پل


مدار معادل	
	

*** در صورت استفاده از خروجی ولتاژی**

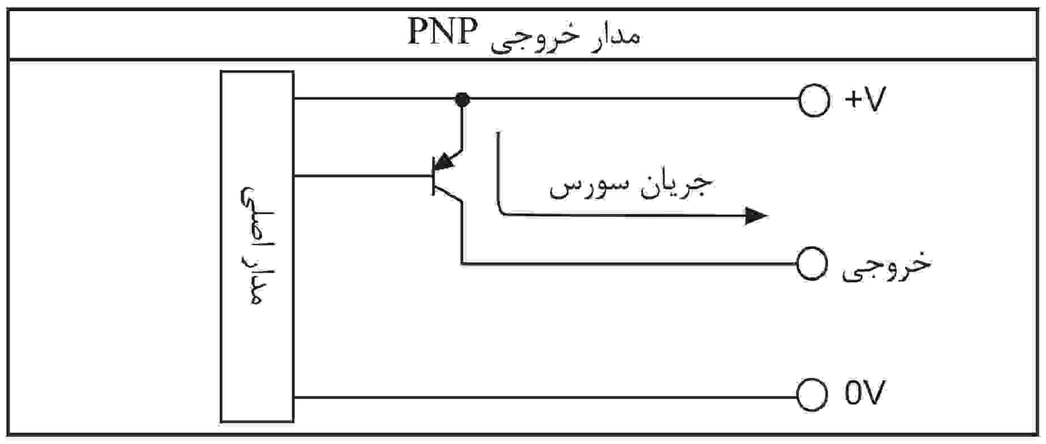
مدار انکودر چرخشی	اتصال بار
	

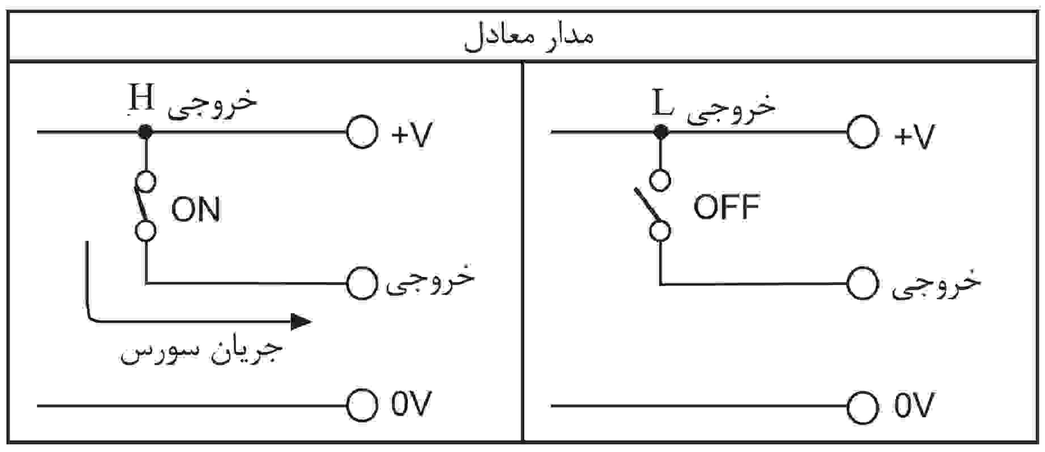
*** در صورت استفاده از خروجی NPN**

مدار انکودر چرخشی	اتصال بار
	

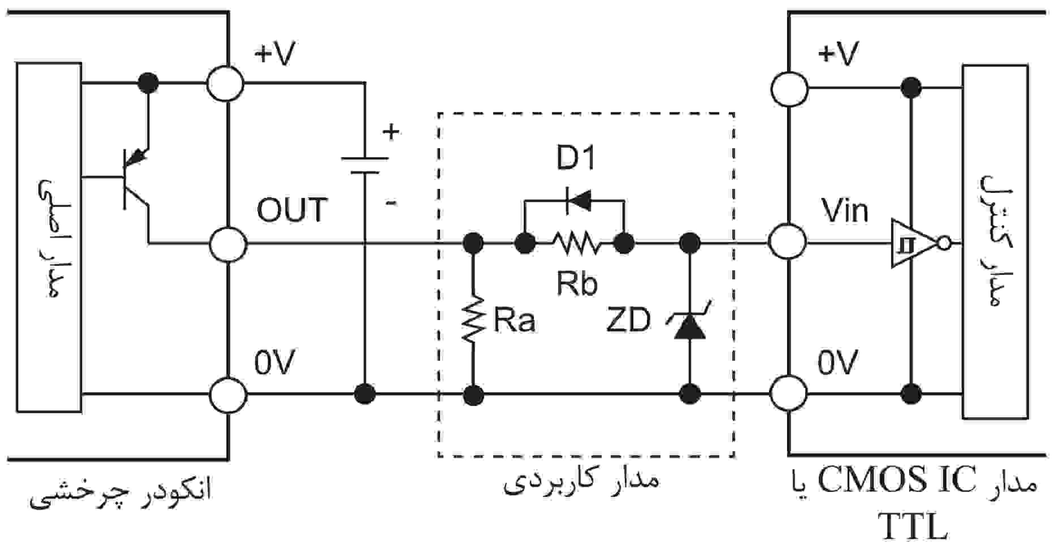
◎خروجی PNP (فقط در نوع ابسولوت)

مطابق شکل زیر، یکی از انواع مختلف خروجی می باشد که با استفاده از ترانزیستور PNP پایه امیتر را به ترمینال V+ وصل می کند و با باز گذاشتن ترمینال 0V با پایه کلکتور می توان از ترمینال کلکتور به عنوان یک ترمینال خروجی استفاده نمود.
این گزینه زمانی مفید است که ولتاژ تغذیه انکودر و ولتاژ تغذیه کنترلر یکسان نباشند.



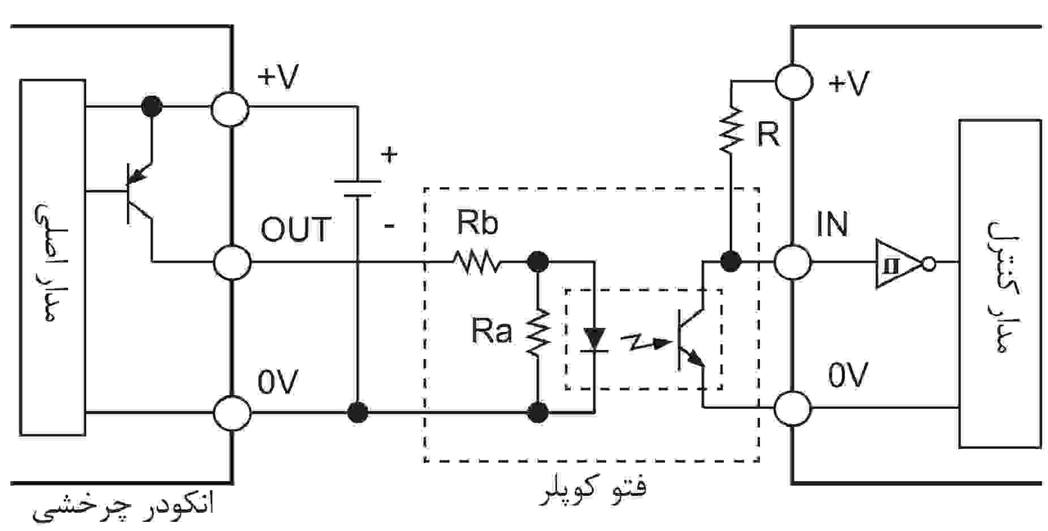


*** مثال اتصال پایه کلکتور خروجی PNP و مدار کاربردی خارجی**



نکته ۱: لطفا از یک مقاومت با مقدار کم استفاده کنید که از جریان بار نامی انکودر چرخشی تجاوز نکند.
نکته ۲: لطفا قطعاتی را انتخاب کنید که بتواند ولتاژ زنر ZD را به عنوان حداکثر ولتاژ ورودی منطقی IC تحمل کند.

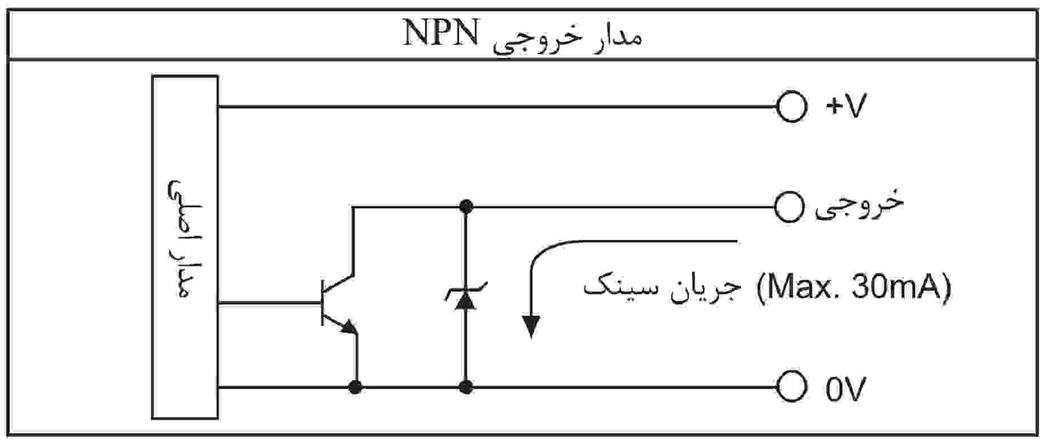
*** مثال اتصال خروجی PNP و فتوکوپلر**

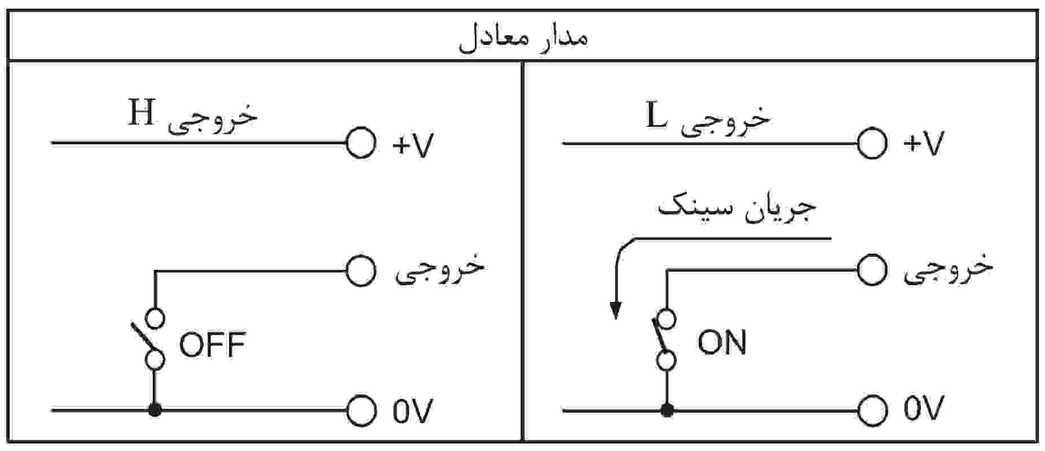


نکته: مقادیر Ra و Rb باید داخل رنج عملکرد پایدار فتو کوپلر باشند. این مقادیر از مقدار جریان بار نامی انکودر چرخشی تجاوز نمی کنند.
* فقط انکودر نوع ابسولوت دارای خروجی نوع pnp می باشد.

◎خروجی NPN

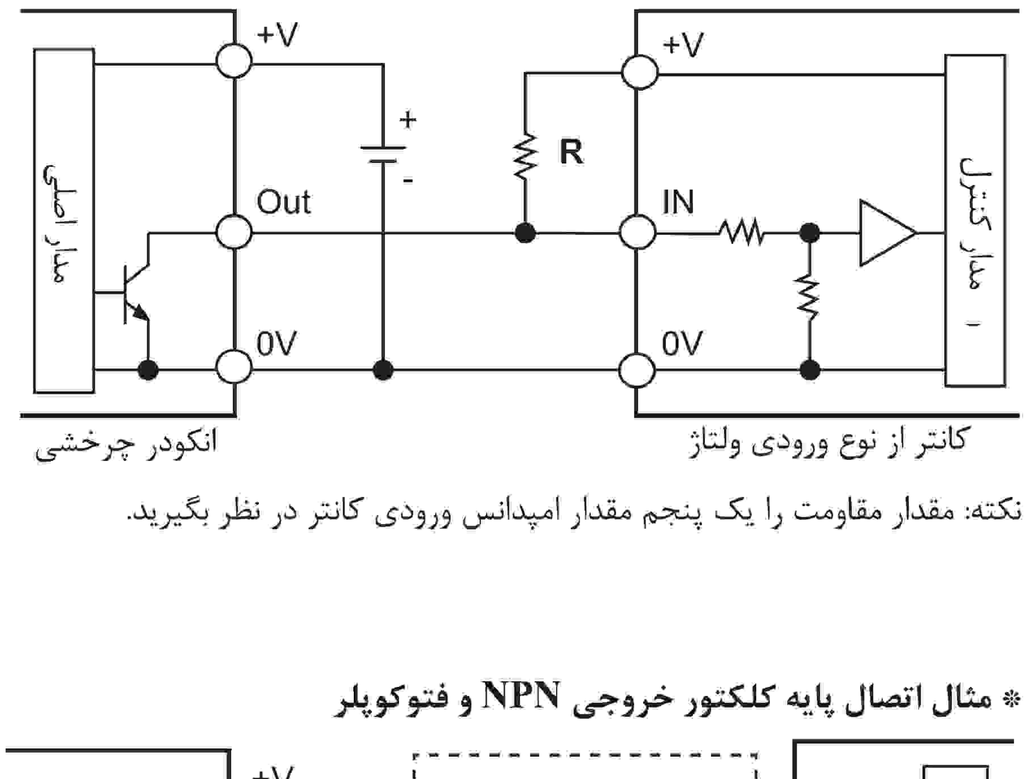
مطابق شکل زیر، یکی از انواع مختلف خروجی می باشد که با استفاده از ترانزیستور NPN پایه امیتر را به ترمینال 0V وصل می کند و با باز گذاشتن ترمینال V+ با پایه کلکتور می توان از ترمینال کلکتور به عنوان یک ترمینال خروجی استفاده نمود.
این گزینه زمانی مفید است که ولتاژ تغذیه انکودر و ولتاژ تغذیه کنترلر یکسان نباشند.





*** مثال اتصال پایه کلکتور خروجی NPN و کانتر**

هنگام اتصال به یک کانتر از نوع ورودی ولتاژ، لطفا از مقاومت بین V+ و خروجی اکسترنال(پایه کلکتور ترانزیستور) استفاده کنید.



نکته: مقدار مقاومت را یک پنجم مقدار امپدانس ورودی کانتر در نظر بگیرید.

*** مثال اتصال پایه کلکتور خروجی NPN و فتوکوپلر**

نکته ۱: مقدار Ra باید یک مقاومت مقدار بالا داخل رنج عملکرد پایدار فتوکوپلر باشد.
نکته ۲: مقدار Rb باید داخل رنج عملکرد پایدار فتوکوپلر باشد. این مقدار از جریان بار نامی انکودر چرخشی تجاوز نمی کند.

▣ واژه نامه:

*** رزولوشن**
به تعداد پالس های خروجی هنگامی که شفت انکودر یک دور کامل میزند را رزولوشن می گویند. در انکودرهای اینکریمنتال، رزولوشن به معنی تعداد درجه بندی های روی یک شکاف می گویند و در انکودرهای ابسولوت به معنی تعداد تقسیم بندی می باشد.

*** گشتاور راه اندازی**
گشتاور مورد نیاز برای چرخاندن شفت انکودر چرخشی هنگام شروع به کار می باشد.
گشتاور حین چرخش معمولا کمتر از گشتاور راه اندازی می باشد.

*** حداکثر پاسخ فرکانسی**
حداکثر تعداد پالس هایی که انکودر در مدت یک ثانیه به صورت الکترونیکی می تواند تولید کند. همچنین می تواند سرعت شفت دستگاهی باشد که انکودر روی آن نصب می باشد.

$$\text{حداکثر پاسخ فرکانسی} = \frac{\text{تعداد چرخش ها}}{۶۰} \times \text{رزولوشن}$$

نکته: حداکثر تعداد چرخش باید داخل محدوده حداکثر چرخش مجاز باشد. رزولوشن نیز نباید از حداکثر پاسخ فرکانسی تجاوز کند.

*** مشخصات مکانیکی - حداکثر چرخش مجاز(rpm)**
به معنی حداکثر چرخش مجاز مکانیکی انکودر چرخشی می باشد و تاثیر زیادی روی عمر کارکرد انکودر دارد.
بنابراین، تعداد دور چرخش نباید از مقدار مشخص شده تجاوز کند.

*** مشخصات الکترونیکی - حداکثر پاسخ چرخشی (rpm)**
حداکثر سرعت چرخش انکودر که می تواند در خروجی سیگنال الکتریکی تولید کند.
این مشخصه به وسیله حداکثر پاسخ فرکانسی و رزولوشن به دست می آید.

$$\text{حداکثر پاسخ چرخشی(rpm)} = \frac{\text{حداکثر پاسخ فرکانسی}}{\text{رزولوشن}} \times ۶۰$$

رزولوشن را به گونه ای تنظیم کنید که حداکثر پاسخ چرخشی بیشتر از حداکثر چرخش مجاز نشود.

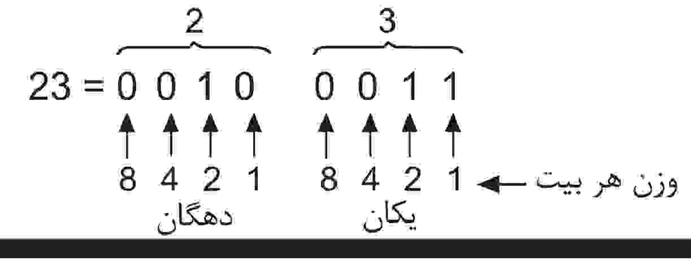
*** در جهت ساعتگرد (Clock wise)**
به معنی چرخش شفت انکودر در جهت چرخش عقربه ساعت می باشد.(فاز **A** به اندازه ۹۰ درجه از فاز **B** مقدم تر است).

*** در جهت پادساعتگرد (Counter clock wise)**
به معنی چرخش شفت انکودر در خلاف جهت چرخش عقربه ساعت می باشد.(فاز **B** به اندازه ۹۰ درجه از فاز **A** مقدم تر است).

*** فاز A,B**
سیگنال های دیجیتال با اختلاف فاز ۹۰ درجه که جهت چرخش شفت را تعیین می کنند.

*** فاز Z**
سیگنالی که هر دور یکبار تولید می شود و فاز مرجع صفر نامیده می شود.

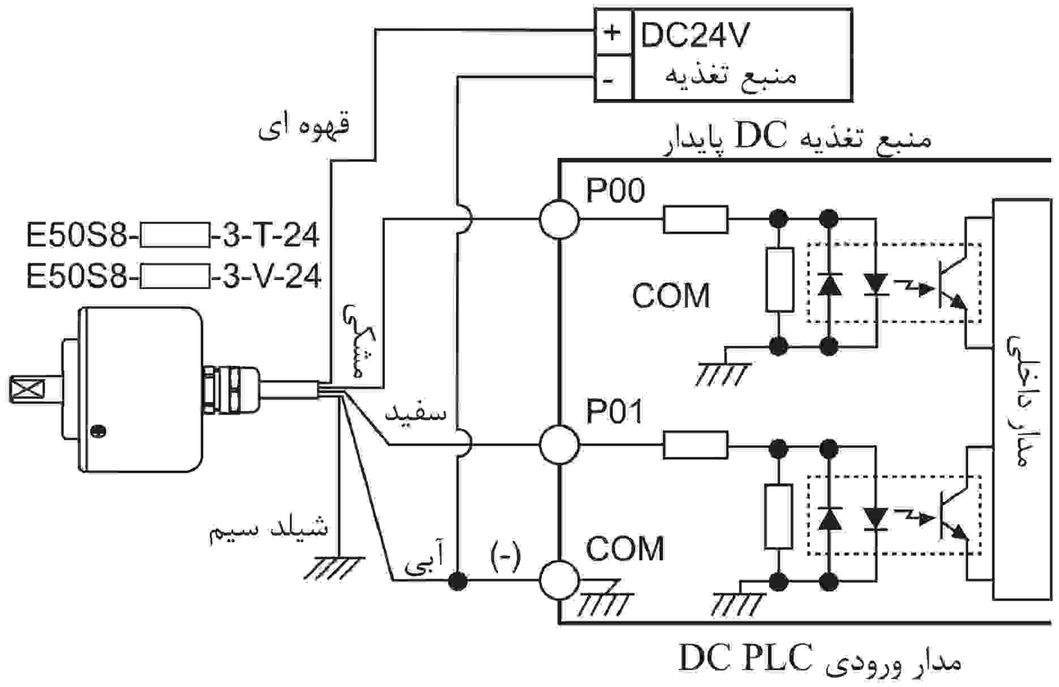
*** کد BCD: Binary-coded Decimal code**
یک سیستم دسیمال با کد دودویی می باشد. به دلیل تغییر آسان کد دسیمال به کد باینری با ۱ ۲ ۴ ۸ که نشان دهنده وزن هر بیت می باشند، استفاده گسترده ای از این نوع کد در کنترلرها و کانترها می شود.
(مثال) در صورت تبدیل رقم دسیمال ۲۳ به کد باینری دسیمال:



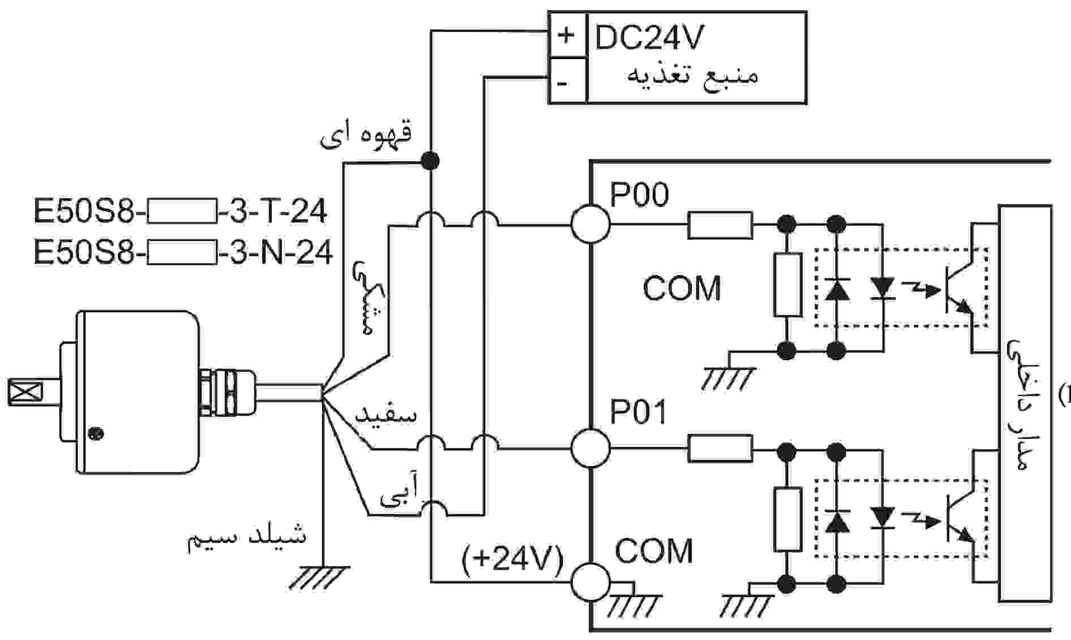
◎ مثال اتصال انکودر چرخشی و PLC

خروجی انکودر چرخشی قابلیت اتصال به PLC که یک نوع ماژول ورودی DC می باشد را داراست. دقت کنید که پالس خروجی انکودر را به میزان کافی طولانی تر (بیش از ۱۰ برابر) از زمان اسکن PLC تنظیم کنید. (یا دور بر دقیقه را کم کنید یا از انکودر با پالس کمتر استفاده کنید.)
به دلیل اینکه توان DC خروجی PLC پایدار نیست، لطفا از منبع تغذیه پایدار به منظور تغذیه انکودر استفاده کنید.

*** ترمینال مشترک 0V باشد**

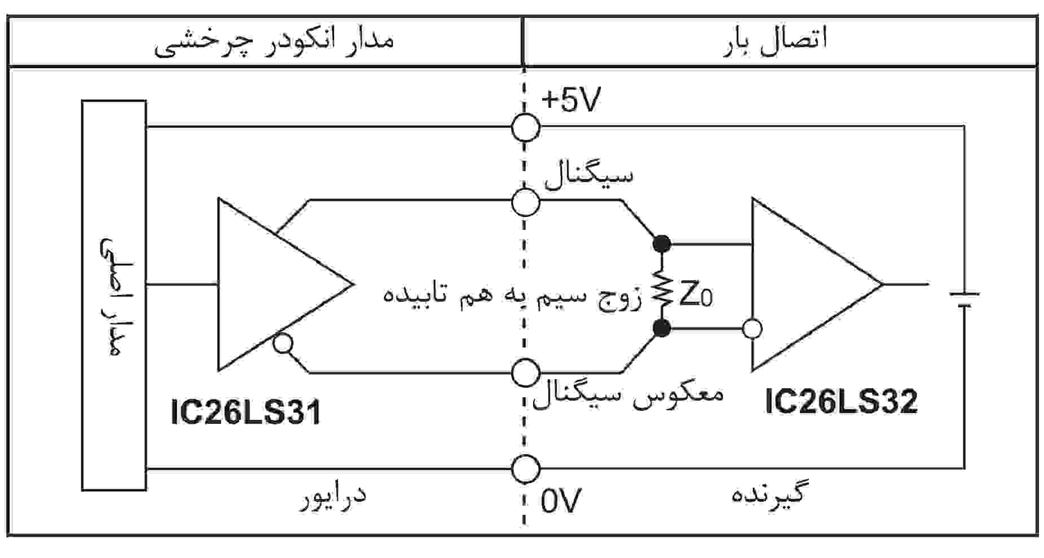


*** ترمینال مشترک +24V باشد**



◎ خروجی درایور خطی

خروجی درایور خطی از IC مخصوص درایو خطی (26LS31) در مدار خروجی مطابق شکل زیر استفاده می کند. این IC مخصوص سرعت پاسخ بالایی دارد.
بنابراین مناسب انتقال فواصل طولانی می باشد و در برابر نویز مقاوم است.
همچنین استفاده از IC 26LS32 در قسمت پاسخ با RS422A همپوشانی دارد.
در صورت نیاز به اضافه کردن طول سیم از زوج سیم به هم تابیده شده استفاده کنید. اگر در خط خروجی استفاده شود، با استفاده از آفستینگ نیرو محرکه ایجاد شده در خط می تواند نویزهای معمولی را حذف کند.
(مقاومت حذف کننده گیرنده Zo: تقریبا ۲۰۰ اهم)

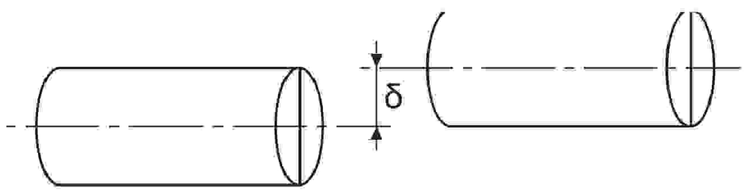


▣ واژه نامه (کوپلینگ):

◎ نامیزانی

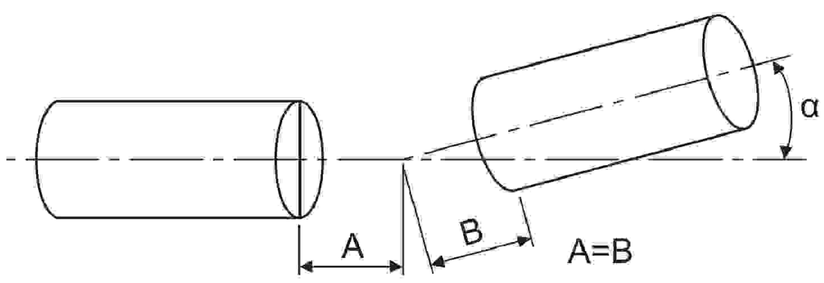
*** نامیزانی موازی(پارالل)**

زمانی که ۲ محور که به وسیله کوپلینگ به هم متصل شده اند، متقارن نباشند، این دو شفت در حال چرخش با نامیزانی موازی تحت زاویه تتا می باشند.



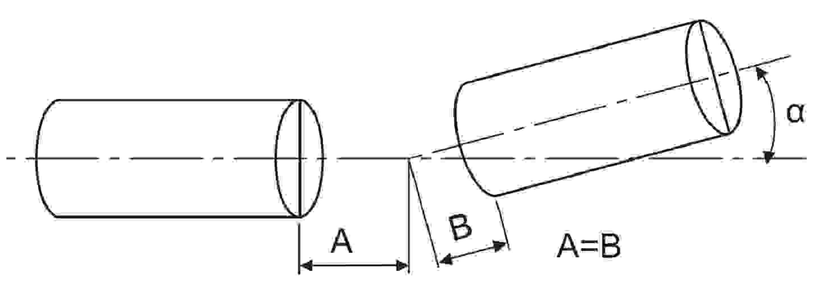
*** نامیزانی زاویه ای (متقارن)**

زمانی که فاصله مرکز ۲ محور متصل شده با کوپلینگ با یکدیگر برابر باشد، شفت در حال چرخش با نامیزانی زاویه ای تحت زاویه a می باشد.



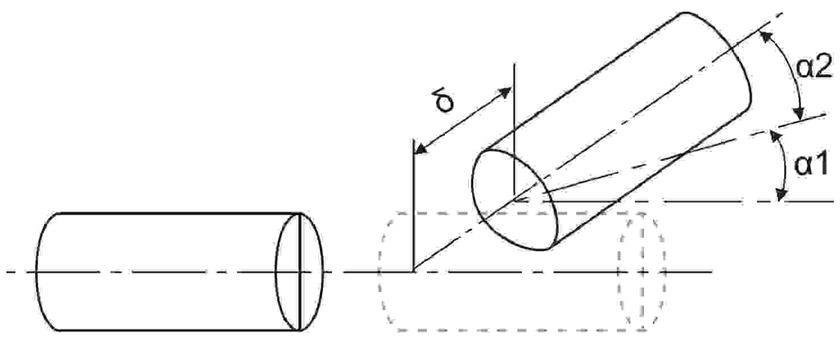
*** نامیزانی زاویه ای (نامتقارن)**

زمانی که فاصله مرکز ۲ محور متصل شده به هم توسط کوپلینگ برابر نباشند، شفت با نامیزانی زاویه ای تحت زاویه a می چرخد.



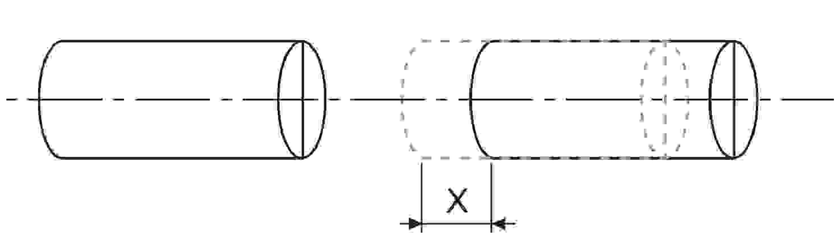
*** نامیزانی ترکیبی موازی و زاویه ای**

زمانی که مرکز های ۲ محور متصل شده توسط کوپلینگ با هم موازی نباشند، شفت با نامیزانی موازی تحت زاویه تتا و نامیزانی زاویه ای تحت زاویه a می چرخد.



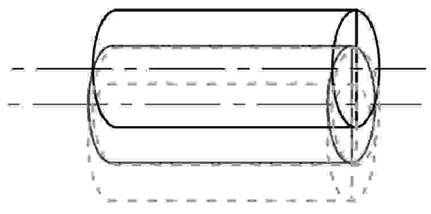
*** خلاصی**

اگر یکی از دو شفت متصل به هم توسط کوپلینگ با فاصله x از دیگری بچرخد، آن دو شفت در حال چرخش خلاصی دارند.



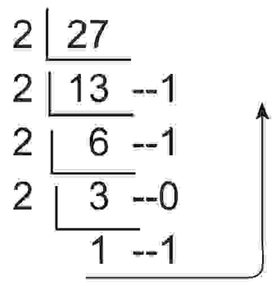
*** ران اوت**

همراه با لرزش در جهات شعاعی می چرخد.



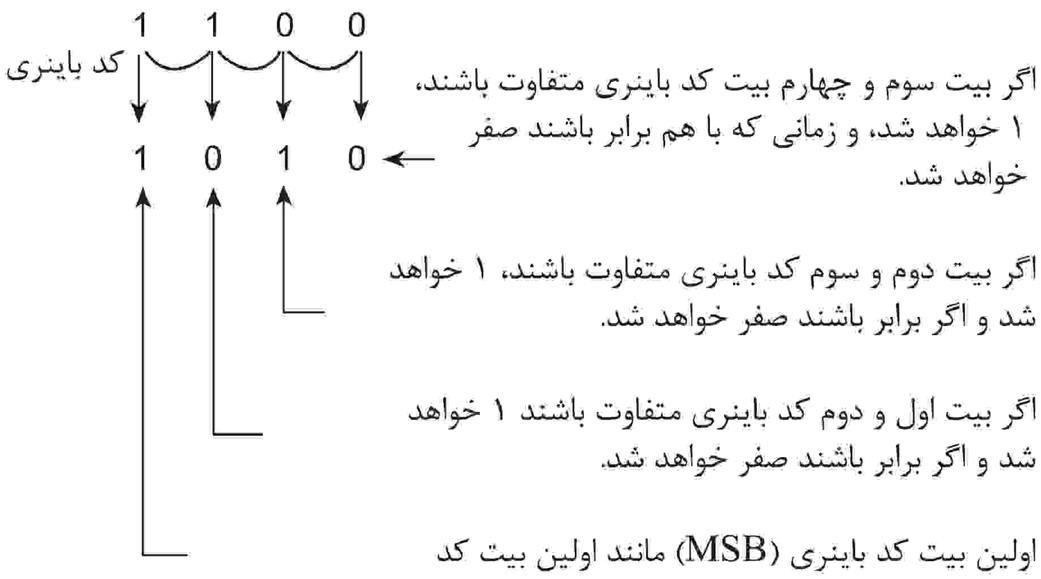
*** کد باینری**

پایه ای ترین که از ترکیب صفر و یک تولید می شود.
(مثال) در صورت تبدیل رقم دسیمال ۲۷ به کد باینری، نتیجه ۱۱۰۱۱ خواهد بود.



*** کد گری**

هدف از ایجاد کد گری برطرف کردن کاستی های کد باینری بود. فقط یک بیت از یک موقعیت به موقعیت دیگر تغییر وضعیت می دهد تا از بروز خطا جلوگیری کند.
(مثال) در صورت تبدیل کد دسیمال ۱۲ (۱۱۰۰ در کد باینری) به کد باینری، نتیجه ۱۰۱۰ خواهد بود.

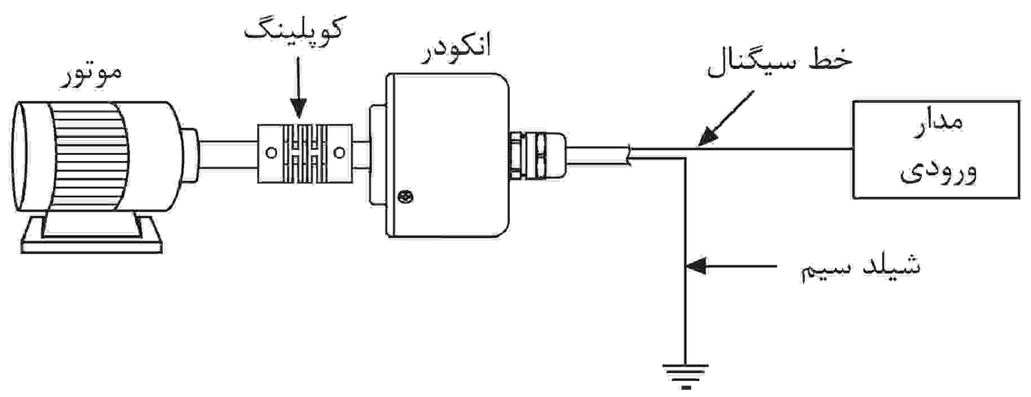


جدول کد مستقل

دسیمال	کد گری					کد باینری					کد BCD							
											×10				×1			
	2^4	2^3	2^2	2^1	2^0	2^4	2^3	2^2	2^1	2^0	2^3	2^2	2^1	2^0	2^3	2^2	2^1	2^0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
2	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0
3	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1
4	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
5	0	0	1	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1
6	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0
7	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1
8	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
9	0	1	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1
10	0	1	1	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0
11	0	1	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1
12	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0
13	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	1
14	0	1	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0
15	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	1	0	1	0	1
16	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0
17	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1	1
18	1	1	0	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0
19	1	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	1
20	1	1	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
21	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1
22	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0
23	1	1	1	0	0	1	0	1	1	1	0	0	1	0	0	0	1	1
24	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0
25	1	0	1	0	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1

◎احتیاط هنگام سیم بندی

* شلید کابل انکودر مستقیما به بدنه متصل می شود، بنابراین قسمتهای فلزی انکودر را به منظور جلوگیری از اشکالات ناشی از نویزهای خارجی، زمین کنید. همچنین از زمین شدن شیلد کابل انکودر و باز نماندن آن اطمینان حاصل نمایید.



* هنگام کار بروی سیم بندی تغذیه را قطع کنید و سیم سیگنال را توسط لوله از دیگر خطوط نظیر خط قدرت جدا کنید. در غیر اینصورت می تواند باعث اشکال و خرابی در مدار داخلی انکودر شود.

* بهتر است طول سیم ها کوتاه باشند در غیر اینصورت زمان خیز و نشست موج با افزایش طول سیم بیشتر می شود. این باعث می شود تا دریافت موج خروجی موردنظر غیر ممکن شود. لطفا پس از استفاده از مدار اشمیت تریگر برای استانداردسازی شکل موج، نسبت به استفاده از آن اقدام نمایید.

◎لرزش

* اگر لرزش به انکودر چرخشی نیرو وارد کند، ممکن است اشتباها پالس تولید شود. لذا آن را در جای نصب کنید که لرزش کم باشد.

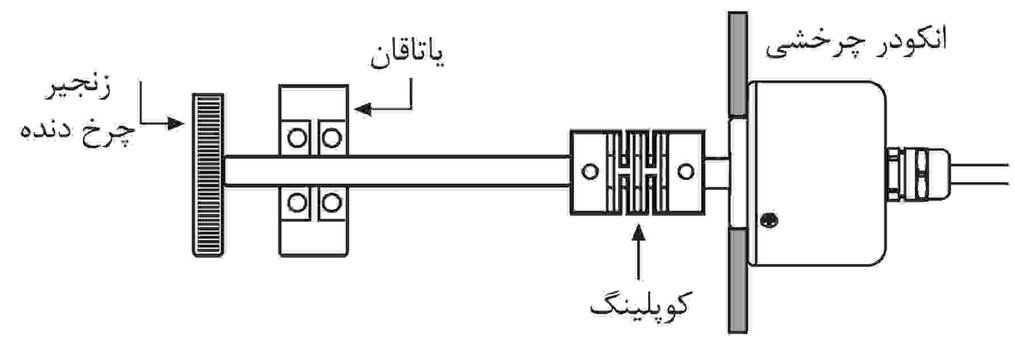
* پالس بیشتر در یک دور چرخش، به معنی درجه بندی باریک تر روی منحنی رزولوشن می باشد و در شرایطی که لرزش حین عملکرد وجود دارد، می تواند این لرزش را به پالس ناخواسته تبدیل کند.

■ استفاده صحیح:

◎احتیاط هنگام استفاده

به دلیل اینکه انکودر چرخشی دارای قطعات حساس و دقیق است، نیروی زیاد می تواند باعث آسیب به شکاف داخل آن شود.
بنابراین، لطفا هنگام استفاده از آن احتیاط کنید.

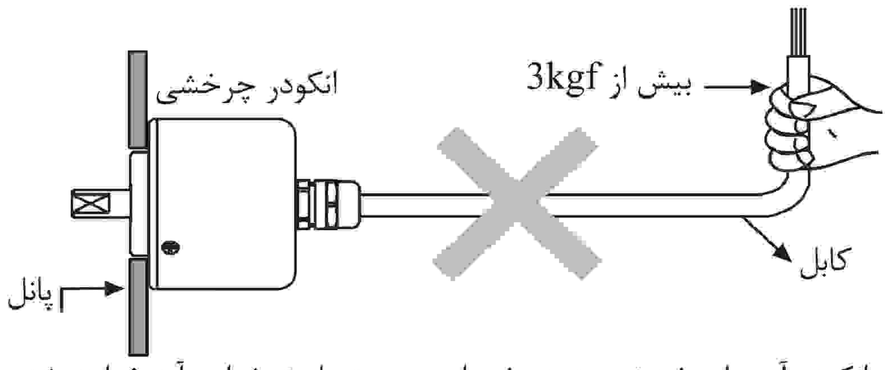
* هنگام اتصال به زنجیر، تسمه تایم، چرخ دنده از کوپلینگ استفاده کنید تا شفت انکودر آسیبی از جانب وارد شدن بیش از حد نیرو نبیند.



* بار بیش از حد روی شفت انکودر اعمال نکنید.

* لطفا به قسمت مشخصات مکانیکی مراجعه کنید.

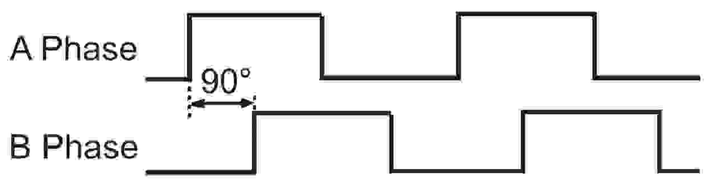
* توجه کنید که به سیم انکودر کشش بیش از 3kgf وارد نشود.



* روی انکودر آب یا روغن نریزید. در غیر این صورت باعث خرابی آن خواهد شد.

* هنگام اتصال انکودر چرخشی از نوع توخالی به محور متحرک دیگر از چکش استفاده نکنید. مخصوصا هنگام استفاده از انکودر های با تعداد پالس بالا بیشتر دقت کنید زیرا دارای شکاف شیشه ای شکستنی می باشد.

* فاز پالس انکودر بسته به جهت چرخش آن متغییر است. اگر به شفت از روبرو نگاه کردید و در جهت راست می چرخید، جهت چرخش آن ساعتگرد (CW) می باشد و اگر به سمت چپ می چرخید، جهت چرخش آن پادساعتگرد (CCW) خواهد بود.
هنگام چرخش ساعتگرد فاز A از B مقدم تر است.

ساعتگرد (CW)	فاز A نود درجه تقدم دارد. 
پادساعتگرد (CCW)	فاز B نود درجه تقدم دارد.