



آزمایشگاه ابزار دقیق

• دستور کار آزمایش ها •



نسخه پاییز ۱۳۹۸ ویرایش اول
دانشکده مهندسی برق - گروه کنترل

فهرست آزمایش‌ها

آزمایش ۱ : سنسورهای صنعتی	۱
آزمایش ۲: ماژول PLC	۴
آزمایش ۳: شبیه‌ساز فرآیند	۹
آزمایش ۴ : اینورتر	۱۲
آزمایش ۵ : پنوماتیک	۱۵
آزمایش ۶ : الکتروپنوماتیک	۲۰
آزمایش ۷ : کنترل مدارهای الکتروپنوماتیک با PLC	۲۷
آزمایش ۸ : سنسور مقاومت متغیر	۳۴
آزمایش ۹ : سنسور ترموکوپل	۳۶
آزمایش ۱۰ : سنسور خازنی	۳۸
آزمایش ۱۱ : سنسور ترمیستور	۴۱
آزمایش ۱۲ : سنسور RTD	۴۲
آزمایش ۱۳ : سنسور کرنش سنج	۴۴
آزمایش ۱۴ : سنسور القایی	۴۷
آزمایش ۱۵ : سنسور LVDT	۴۸
آزمایش ۱۶ : کالیبراسیون شتاب‌سنج	۴۹
آزمایش ۱۷ : کالیبراسیون ژيروسکوپ	۵۳

دستور کار مجموعه AT-CA303

آزمایش ۱: سنسورهای صنعتی

قسمت‌های مربوط به ماژول‌های منبع تغذیه، سنسورهای سلفی، خازنی، مغناطیسی، نوری و فیبر نوری از جزوه «آشنایی با تجهیزات» را مطالعه نمایید.

پیش‌گزارش:

- ساختار سنسورها را از لحاظ خروجی PNP و NPN بررسی و مقایسه کرده و مدار هریک را رسم کنید.
- در مورد موارد استفاده و اجسام حساس یک نمونه از سنسورهای مجاورتی (سلفی، خازنی یا مغناطیسی) گزارشی تهیه کنید.

۱-۱- سنسور مجاورتی سلفی

به‌منظور استفاده از این ماژول ابتدا از +24VDC ماژول تغذیه یک انشعاب بگیرید و به پایه Brown سنسور و همچنین سر مثبت بار که در اینجا همان پایه مثبت بوبین رله است، متصل نمایید؛ سپس پایه Black سنسور را به منفی بوبین رله و پایه Blue سنسور را نیز به منفی ماژول منبع تغذیه DC متصل کنید.

۱-۱-۱) دست خود را مقابل آن قرار دهید؛ چه اتفاقی می‌افتد؟ چرا؟

۱-۱-۲) یک قطعه فلز مقابل آن قرار دهید؛ چه اتفاقی می‌افتد؟ علت را توضیح دهید؟

۱-۱-۳) قطعه فلزی را تا حدی پایین بیاورید که سنسور قطع کند؛ حد فاصله سوئیچ کردن سنسور را اندازه بگیرید.

۱-۱-۴) خروجی سنسور از چه نوعی است؟ (PNP, NPN)

۲-۱- سنسور مجاورتی خازنی

به‌منظور استفاده از این ماژول ابتدا از +24VDC ماژول تغذیه یک انشعاب گرفته و به پایه Brown سنسور و همچنین سر مثبت بار (پایه مثبت بوبین رله) متصل نمایید. سپس پایه Black سنسور را به منفی بوبین رله و پایه Blue سنسور را نیز به منفی ماژول منبع تغذیه DC متصل کنید.

۱-۲-۱) قطعاتی از جنس‌های مختلف مانند پارچه، شیشه، کاغذ و ... را مقابل آن قرار داده و حساسیت آن را بررسی کنید.

۱-۲-۲) حد فاصله سوئیچ کردن آن را به دست آورید.

۱-۲-۳) خروجی سنسور از چه نوعی است؟

۳-۱- سنسور مجاورتی مغناطیسی

به منظور استفاده از این ماژول ابتدا از +24VDC ماژول تغذیه یک انشعاب گرفته و به پایه Brown سنسور متصل نمایید؛ سپس پایه Black سنسور را به مثبت بوبین رله و پایه Blue سنسور و پایه منفی بوبین رله را نیز به منفی ماژول منبع تغذیه DC متصل کنید.

۱-۳-۱) این سنسور چه اجسامی را حس می کند؟

۱-۳-۲) حد فاصله سوئیچ کردن آن را اندازه بگیرید.

۱-۳-۳) خروجی این سنسور از چه نوعی است؟

۴-۱- سنسور مجاورتی نوری

به منظور استفاده از این ماژول ابتدا از +24VDC ماژول تغذیه یک انشعاب گرفته و به پایه Brown سنسور و همچنین سر مثبت بار که در اینجا همان پایه مثبت بوبین رله است، متصل نمایید. سپس پایه Black سنسور را به منفی بوبین رله و پایه Blue سنسور را نیز به منفی ماژول منبع تغذیه DC متصل کنید.

۱-۴-۱) این سنسور نسبت به چه اجسامی حساس است؟

۱-۴-۲) حد فاصله سوئیچ کردن آن را به دست آورید.

۱-۴-۳) خروجی سنسور از چه نوعی است؟

۱-۴-۴) نحوه عملکرد آن را توضیح دهید.

۵-۱- سنسور فیبر نوری

به منظور استفاده از این ماژول ابتدا از ماژول منبع تغذیه DC یک ولتاژ ۲۴ ولت (L+) به پایه Brown و (M) به پایه Blue متصل نمایید.

۱-۵-۱) بار را به پایه black وصل نمایید؛ نحوه عملکرد چگونه است؟

۱-۵-۲) حال بار را به پایه white وصل کنید؛ خروجی چه تغییری می کند؟

۱-۵-۳) این سنسور به چه اجسامی حساس است؟

۱-۵-۴) حد فاصله سوئیچ کردن سنسور را به دست آورید.

۶-۱- خط کش اهمی

قسمت مربوط به خط کش اهمی از جزوه «آشنایی با تجهیزات» و دیتاشیت خط کش اهمی را مطالعه نمایید.

برای استفاده از این ماژول ابتدا کلید صفر و یک را فعال کنید. تغذیه ۲۴ ولت آن را وصل کنید. از خروجی خط کش اهمی به ورودی کانورتور جامپر بزنید. خط کش را جابجا کرده و خروجی کانورتور را با مولتی متر چک کنید.

۱-۶-۱) به ازای چه مقدار جابجایی مولتی متر ۷ ولت را نشان می دهد؟

حال از خروجی خط کش اهمی به ورودی کنترلر دیجیتال جامپر بزنید.

۱-۶-۲) دقت اندازه گیری نمایشگر چقدر است؟

۱-۶-۳) رنج اندازه‌گیری چقدر است؟

رله‌های خروجی کنترلر دیجیتال را به بارهای محلی نصب‌شده جامپر بزنید.

۱-۶-۴) حال با جابجایی خط‌کش تعیین کنید خروجی‌های ۱ و ۲ و ۳ به ازای چه مقدار جابجایی فعال می‌شوند.

۱-۶-۵) کنترلر را طوری تنظیم کنید که خروجی‌های ۱ و ۲ و ۳ به ترتیب در ۱ و ۵ و ۸ ولت فعال شوند. نحوه تنظیم را توضیح

دهید.

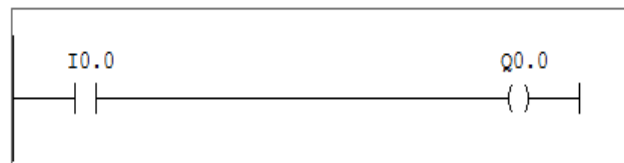
آزمایش ۲: مازول PLC

ابتدا قسمت مربوط به مازول استپر موتور و رله از جزوه آموزشی را مطالعه نمائید.

۲-۱- مفاهیم اولیه

ابتدا تنظیمات نرم‌افزاری و سخت‌افزاری PLC را انجام دهید.

الف) برنامه شکل (۱) را بنویسید.



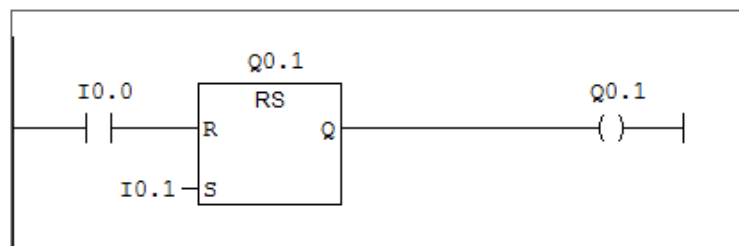
شکل (۱) برنامه (۲-۱-الف)

توسط سوئیچ‌های محلی یا صنعتی ورودی اول را تحریک نمایید و تأثیر آن را در خروجی مشاهده نمایید.

۲-۱-۱) به جای کنتاکت normally open به ترتیب از کنتاکت‌های normally close, not, استفاده کنید و نحوه عملکرد

هریک را توضیح دهید.

ب) برنامه شکل (۲) را بنویسید.

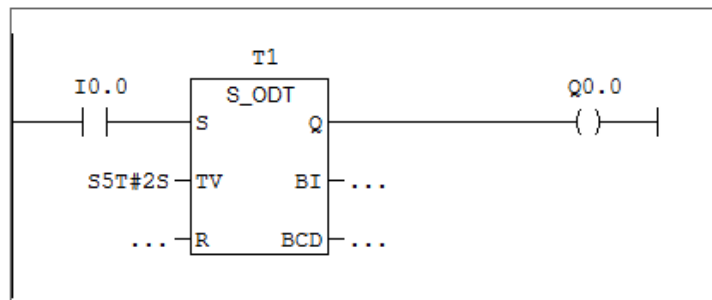


شکل (۲) برنامه (۲-۱-ب)

۲-۱-۲) به ورودی‌های ۱ و ۲ سیگنال دهید و حالت خروجی ۱ را بررسی نمایید. نحوه عملکرد برنامه را توضیح دهید.

۲-۱-۳) به جای فلیپ فلاپ RS از فلیپ فلاپ SR استفاده کنید و تفاوت را بررسی نمایید.

ج) برنامه شکل (۳) را بنویسید و اجرا کنید.



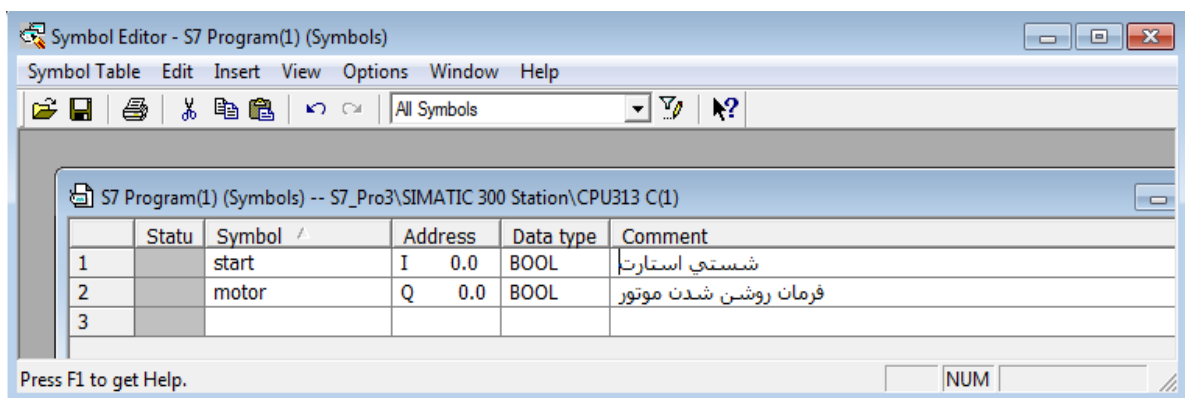
شکل (۳) برنامه (۲-۱-ج)

۲-۱-۴) نحوه عملکرد برنامه را توضیح دهید.

۲-۲- موتور سه فاز

۲-۲-۱- راه اندازی موتور سه فاز به صورت لحظه‌ای

ابتدا پیکربندی اولیه لازم را انجام دهید. سپس وارد محیط OB1 شوید. از گزینه option در نوار ابزار گزینه symbol table را انتخاب نمایید. سمبل‌ها را طبق شکل زیر تعریف نمایید و آن را save نمایید.



برنامه زیر را در OB1 پیاده سازی نمایید.



برای برقراری ارتباطات سخت افزاری، ورودی ۱ دیجیتال PLC را به شستی استارت و خروجی ۱ دیجیتال را به بوبین رله وصل کنید و از سه فاز کنتاکت‌های رله به موتور وصل نمایید.

۲-۲-۱) شستی استارت را بفشارید و نحوه عملکرد برنامه را توضیح دهید.

۲-۲-۲- راه اندازی موتور سه فاز به صورت دائم

حال جدول سمبل‌ها را طبق شکل زیر تعریف نمایید.

Symbol Editor - S7 Program(1) (Symbols)

Symbol Table Edit Insert View Options Window Help

Print

S7 Program(1) (Symbols) -- S7_Pro3\SIMATIC 300 Station\CPU313 C(1)

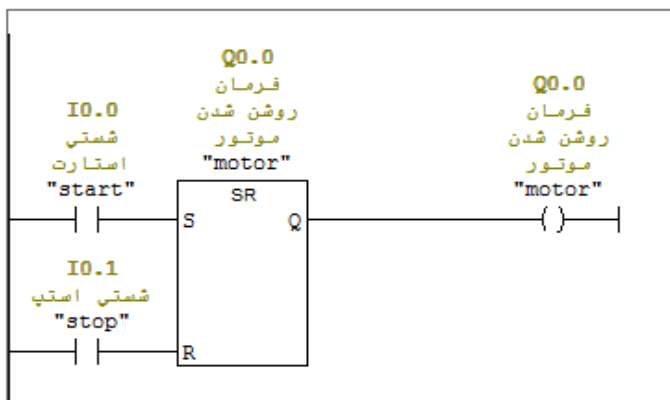
	Statu	Symbol	Address	Data type	Comment
1		start	I 0.0	BOOL	شمستی استارت
2		motor	Q 0.0	BOOL	فرمان روشن شدن موتور
3		stop	I 0.1	BOOL	شمستی استپ
4		lamp	Q 0.1	BOOL	فرمان روشن شدن لامپ
5					

Prints the current symbol table or parts of it. NUM

برنامه زیر را پیاده سازی نمایید.

Network 1: فرمان روشن شدن موتور

Comment:



Network 2: فرمان روشن شدن لامپ

Comment:



شمستی استارت را به ورودی ۱ و یکی از سویچ‌های محلی را به عنوان شمستی استاپ به ورودی ۲ و خروجی ۱ را به رله و خروجی ۲ را به فیش مقابل خود جامپر بزنید.

۲-۲-۲) کلید استارت را یک لحظه فشار داده و قطع کنید. چه اتفاقی می‌افتد؟

۲-۲-۳) سویچ مربوط به استاپ را فشار دهید. نحوه عملکرد را توضیح دهید.

۲-۲-۴) لامپ خروجی ۲ نشان دهنده چه چیزی است؟

۲-۲-۳) راه اندازی موتور سه فاز به صورت چپگرد/راستگرد

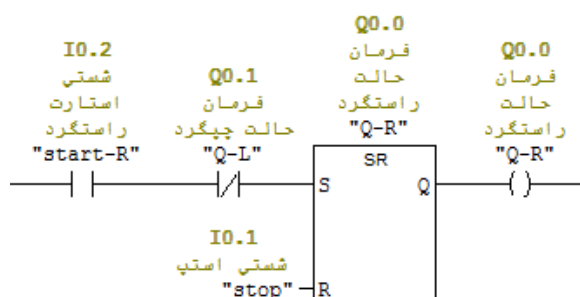
یک پروژه جدید ایجاد نموده و جدول سمبل‌ها را طبق شکل زیر تعریف نمایید.

Symbol Editor - S7 Program(1) (Symbols)					
Symbol Table Edit Insert View Options Window Help					
S7 Program(1) (Symbols) -- S7_Pro3\SIMATIC 300 Station\CPU313 C(1)					
	Statu	Symbol	Address	Data type	Comment
1		start-L	I 0.0	BOOL	شمس‌تی استارت چپگرد
2		Q-R	Q 0.0	BOOL	فرمان حالت راستگرد
3		stop	I 0.1	BOOL	شمس‌تی استپ
4		start-R	I 0.2	BOOL	شمس‌تی استارت راستگرد
5		Q-L	Q 0.1	BOOL	فرمان حالت چپگرد
6					

برنامه زیر را پیاده سازی نمایید.

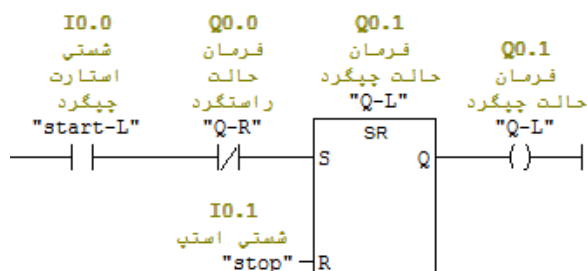
Network 1: فرمان روشن شدن موتور

Comment:

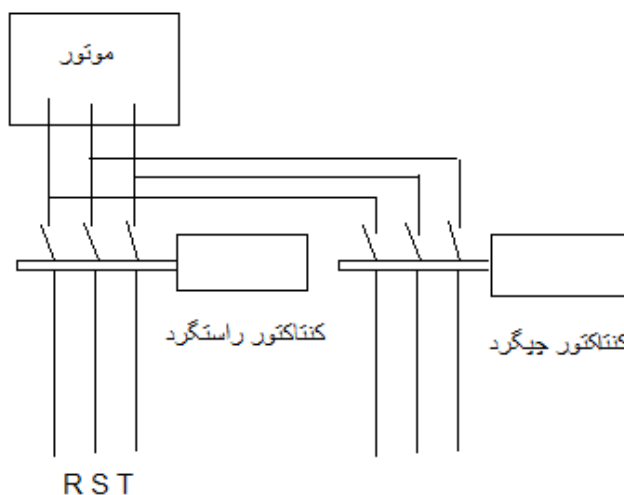


Network 2: فرمان حالت چپگرد

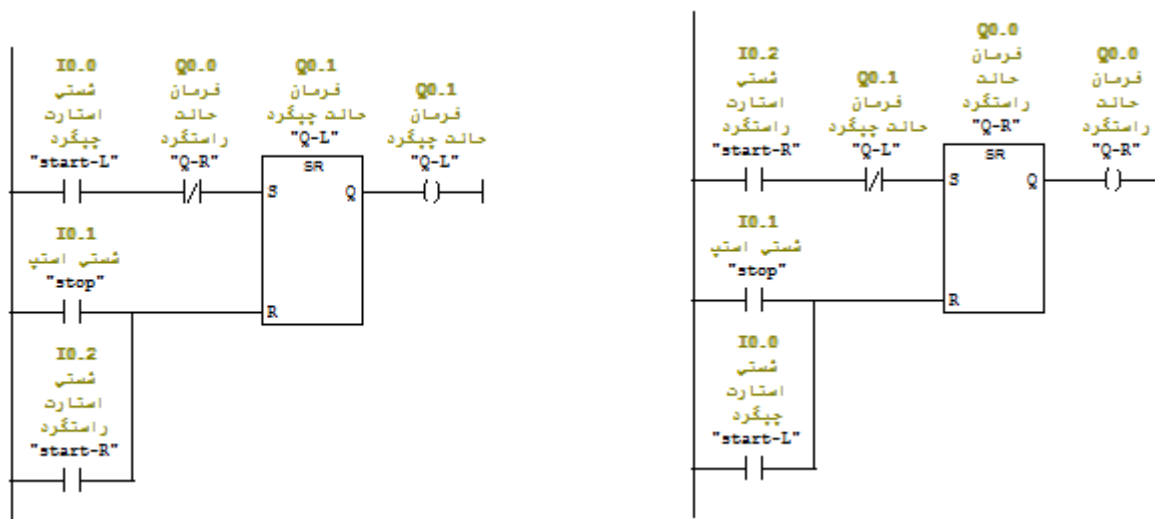
Comment:



ورودی‌های ۱ و ۲ و ۳ را به سوییچ‌های دلخواه و خروجی ۱ و ۲ را به رله ۱ و ۲ وصل نمایید. دقت نمایید که در اتصال سه فاز کنتاکتور رله‌ها به موتور در یکی از رله‌ها جای دو فاز را جابجا وصل کنید. (به صورت زیر)



۵-۲-۲) با فشردن شستی استارت راستگرد و چپگرد به طور جداگانه نحوه عملکرد را توضیح دهید. (توجه شود که هیچ گاه دو خروجی چپگرد و راستگرد با هم روشن نشوند!) برنامه فوق را به صورت زیر تغییر دهید.

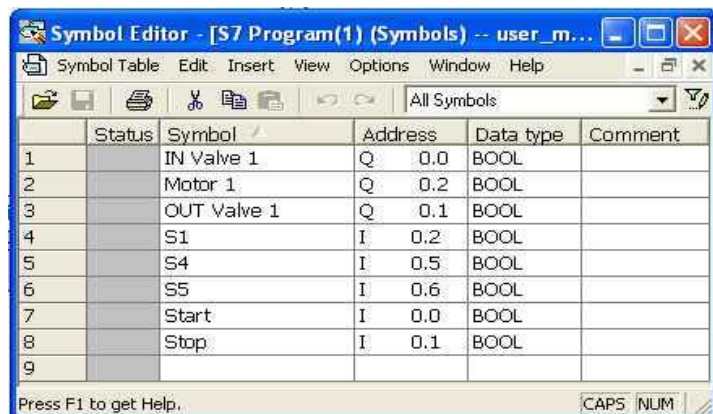


۶-۲-۲) نحوه عملکرد برنامه را توضیح دهید و با برنامه قبل مقایسه نمایید.

آزمایش ۳: شبیه‌ساز فرآیند

۳-۱- فرآیند کنترل سطح

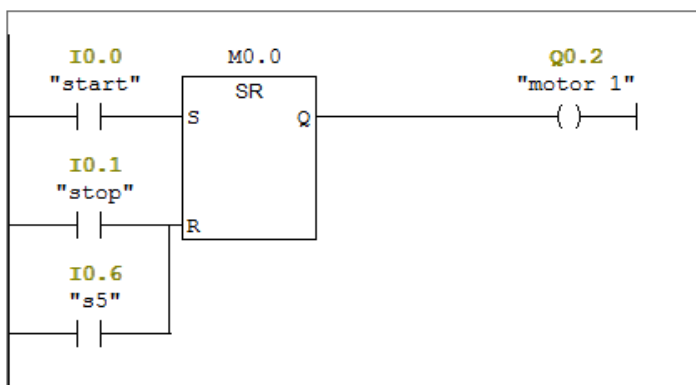
یک پروژه جدید ایجاد نموده و سمبل‌ها را طبق شکل زیر تعریف نمایید



	Status	Symbol	Address	Data type	Comment
1		IN Valve 1	Q 0.0	BOOL	
2		Motor 1	Q 0.2	BOOL	
3		OUT Valve 1	Q 0.1	BOOL	
4		S1	I 0.2	BOOL	
5		S4	I 0.5	BOOL	
6		S5	I 0.6	BOOL	
7		Start	I 0.0	BOOL	
8		Stop	I 0.1	BOOL	
9					

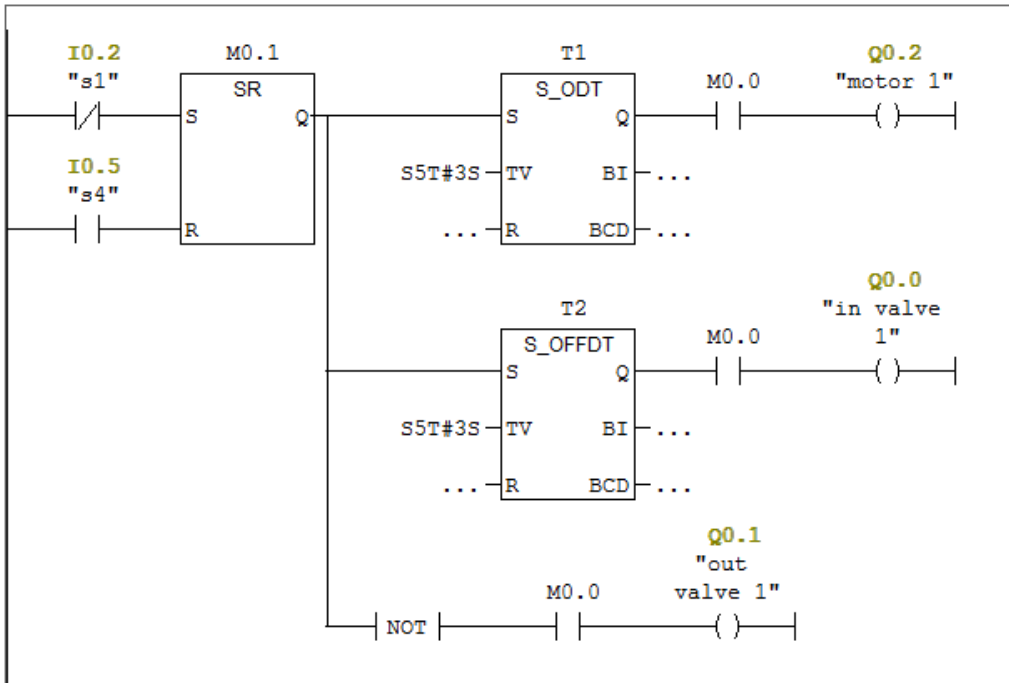
برنامه زیر را وارد نمایید.

Comment:



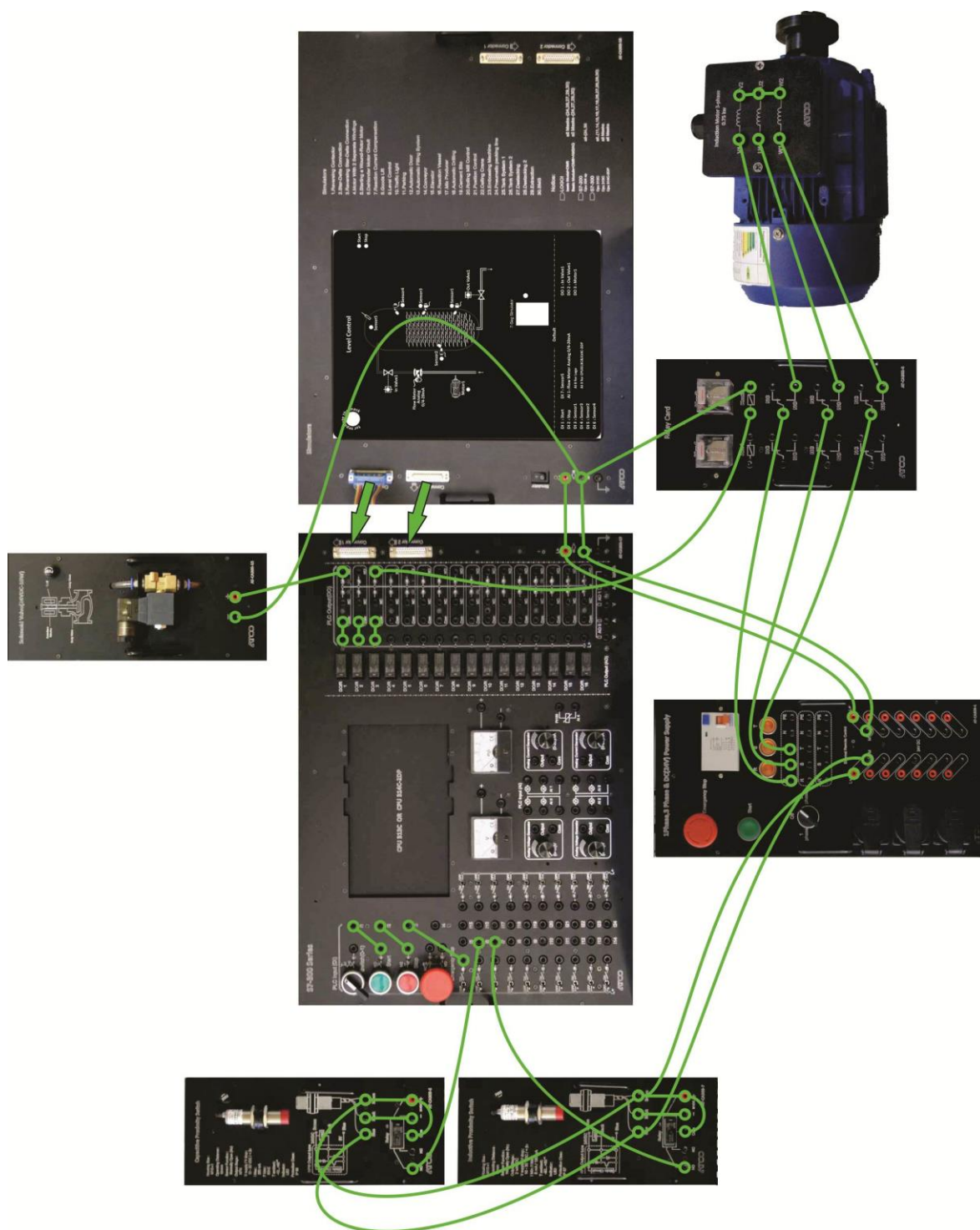
Network 2: Title:

Comment:



از یک ورودی محلی (یکی از کلیدهای چکشی نصب شده روی ماژول PLC) به عنوان سنسور S1، از ماژول سنسور خازنی به جای S4، از ماژول سنسور القایی به عنوان S5، از ماژول شیر برقی به عنوان IN Valve 1، از خروجی دیجیتال محلی (رله نصب شده در خروجی روی ماژول PLC) به عنوان OUT Valve 1 و از موتور سه فاز به همراه ماژول رله که سر راه موتور قرار می‌دهیم، به عنوان Motor 1 استفاده نمائید و از کلیدهای صنعتی استارت و استپ نیز به عنوان ورودی برای استارت و استپ برنامه استفاده کنید. نحوه اتصال سخت افزار به صورت زیر می‌باشد.

۳-۱-۱) نحوه عملکرد برنامه را توضیح دهید.



آزمایش ۴: اینورتر

قسمت مربوط به مازول اینورتر از جزوه آموزشی و دیتاشیت مربوط به اینورتر را مطالعه نمایید.

پیش‌گزارش:

- تنظیمات گروه ۰۰-۰۹ به چه منظور تعبیه شده‌اند؟ روش کنترل در هر یک را توضیح دهید.

۴-۱- اینورتر

برای استفاده از این مازول ابتدا فیوز مربوط به تغذیه را فعال کنید. کلید صفر و یک مربوط به power را روشن نمایید و تغذیه ۲۴ ولت آن را نیز وصل نمایید.

۴-۱-۱) فیش‌های u,v,w روی اینورتر را به u1, v1, w1 روی موتور وصل کنید و v2 را به u2 و u2 را به w2 وصل کنید. حال دکمه RUN را فشار دهید. چه اتفاقی می‌افتد؟

۴-۱-۲) دو اتصال موتور را با هم جابجا کنید. چه اتفاقی می‌افتد؟

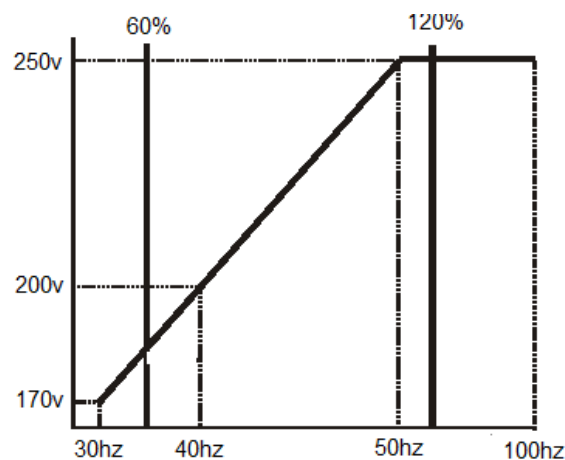
۴-۱-۳) تنظیمات پارامترهای اینورتر را به حالت تنظیم کارخانه در فرکانس ۵۰ هرتز قرار دهید. نحوه کار را شرح دهید.

۴-۱-۴) با استفاده از انکودر روی موتور و پالس‌متر سرعت و دور موتور را در فرکانس‌های ۵ هرتز، ۱۵ هرتز و ۲۵ هرتز اندازه‌گیری نمایید.

۴-۱-۵) با استفاده از تنظیمات گروه ۰۰-۰۴، جریان خروجی، ولتاژ خروجی، ضریب توان، توان خروجی و گشتاور خروجی موتور را در دو فرکانس متفاوت اندازه‌گیری نمایید.

۴-۱-۶) تنظیمات گروه ۰۰-۰۶ را طوری انجام دهید که مقادیر U و H، ۱۰۰ برابر مقدار اصلی‌شان نمایش داده شوند؟ کاربرد آن را توضیح دهید.

۴-۱-۷) تنظیمات ۰۱-۰۰ تا ۰۱-۰۸ را طوری انجام دهید که منحنی V/F زیر به دست آید. نحوه عملکرد را توضیح دهید.



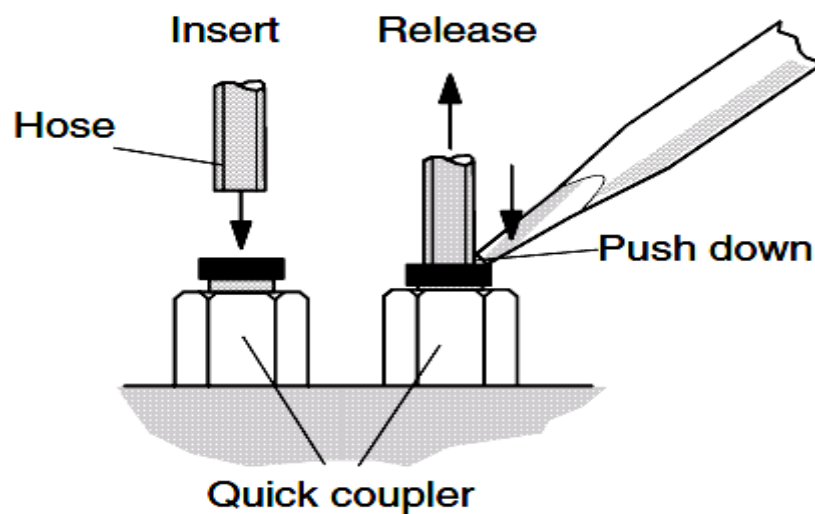
با تنظیم ۰۱-۰۹ و ۰۱-۱۰ زمان شتاب‌گیری و کاهش شتاب موتور را به ترتیب روی ۵ و ۳۰ ثانیه قرار دهید.

- ۸-۱-۴) در تنظیمات ۰۱-۱۵ شتابگیری و کاهش شتاب را به صورت خطی و اتوماتیک نمایید و تفاوت را بررسی کنید.
- ۹-۱-۴) تنظیمات ۰۱-۱۶ و ۰۱-۱۷ شتاب گیری و کاهش شتاب را به چه صورتی تغییر می‌دهد؟ نمودار آن را رسم کنید.
- با تنظیم ۰۲-۰۰ فرکانس موتور را اول به وسیله صفحه کلید و بعد توسط ورودی آنالوگ ولتاژ تغییر دهید.
- با تنظیم ۰۲-۰۱ فرمان راستگرد و چپگرد را با استفاده از صفحه کلید و ورودی‌های دیجیتال به موتور دهید.
- ۱۰-۱-۴) با تنظیم ۰۲-۰۵ مود کاری موتور را اول به صورت ۲ سیمه و سپس به صورت ۳ سیمه قرار دهید و نحوه عملکرد هریک را توضیح دهید. (نحوه سیم‌بندی در پیوست آمده است.) برای کار در این مد حتماً باید مد ۰۲-۰۱ روی ۰۱ یا ۰۲ تنظیم گردد. چرا؟
- ۱۱-۱-۴) فرمان jog به چه منظوری تعبیه شده است؟ با استفاده از صفحه کلید و ورودی‌های دیجیتال به موتور فرمان jog دهید.

دستور کار مجموعه RT770

قبل از انجام آزمایش‌ها به نکات زیر توجه فرمایید:

- ۱- تمامی اتصالات پنوماتیکی از طریق لوله‌هایی به قطر ۴mm صورت می‌گیرد. برای متصل کردن لوله‌ها به قطعات، سر لوله را در محل اتصالات محکم فرو برده و از محکم شدن آن اطمینان حاصل فرمایید؛ زیرا در اثر اعمال کردن فشارهای بالا به لوله‌ها امکان پرت شدن آن‌ها و آسیب زدن به کاربران وجود دارد. در هنگام باز کردن لوله‌ها نیز مطابق شکل (۴)، محل اتصال را به پایین فشار دهید و لوله را آزاد کنید.



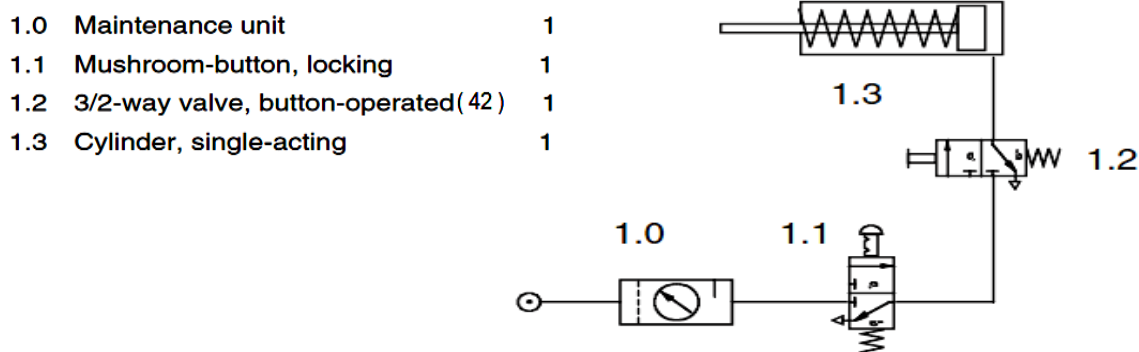
شکل (۴) نحوه باز و بسته کردن لوله‌ها

- ۲- فشار هوای کاربردی در این آزمایش‌ها می‌تواند در بازه ۳-۸bar باشد.
- ۳- دقت کنید قطعات بر روی صفحه، محکم بسته شده باشند. در غیر این صورت در اثر اعمال فشار ممکن است قطعات از صفحه جدا شده و آسیب ببینند.
- ۴- قبل از اجرای آزمایش‌ها مطمئن شوید جسم اضافی در مسیر حرکت سیلندر قرار نگیرد؛ زیرا ممکن است در اثر سرعت بالای سیلندر آسیب ببیند.

آزمایش ۵: پنوماتیک

۵-۱- کنترل مستقیم و غیرمستقیم Single-acting cylinder از طریق شیرهای فنردار

الف) کنترل مستقیم: مدار شکل (۵) را ببندید. از این مدار برای کنترل مستقیم Single-acting cylinder استفاده می‌شود.



شکل (۵) دیاگرام مداری آزمایش (۵-۱-الف)

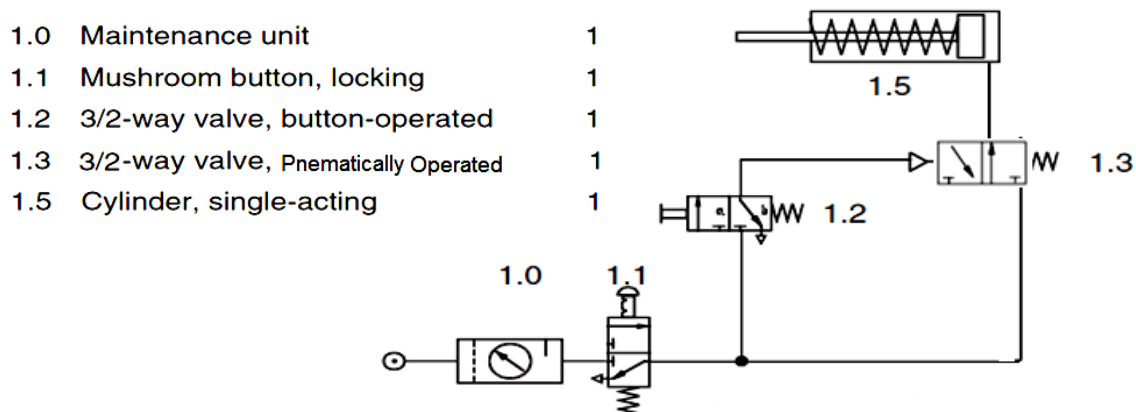
۵-۱-۱) کلید Mushroom را وصل کرده و شیر ۳/۲ را فشار دهید. پس از چند ثانیه شیر ۳/۲ را آزاد کنید. نحوه عملکرد مدار را توضیح دهید.

۵-۱-۲) سیلندر در ابتدا چه حالتی دارد؟

۵-۱-۳) با تغییر فشار هوا تغییرات سرعت حرکت پیستون را هنگام رفت و برگشت بررسی نمایید.

۵-۱-۴) آیا با تغییر دادن اتصالات پنوماتیکی می‌توان مدار را به گونه‌ای طراحی نمود که در ابتدا با فشردن کلید Mushroom سیلندر باز شده و با فشار دادن شیر ۳/۲ سیلندر بسته شود؟ (به عبارت دیگر آیا می‌توان شیر ۳/۲ را به صورت NC در مدار استفاده کرد؟)

ب) کنترل غیرمستقیم: مدار شکل (۶) را ببندید. از این مدار برای کنترل غیرمستقیم Single-acting cylinder استفاده می‌شود.



شکل (۶) دیاگرام مداری آزمایش (۵-۱-ب)

۵-۱-۵) کلید Mushroom را وصل کرده و شیر $3/2$ را فشار دهید. پس از چند ثانیه شیر $3/2$ را آزاد کنید؛ نحوه عملکرد مدار را توضیح دهید.

۵-۱-۶) سیلندر در ابتدا چه حالتی دارد؟

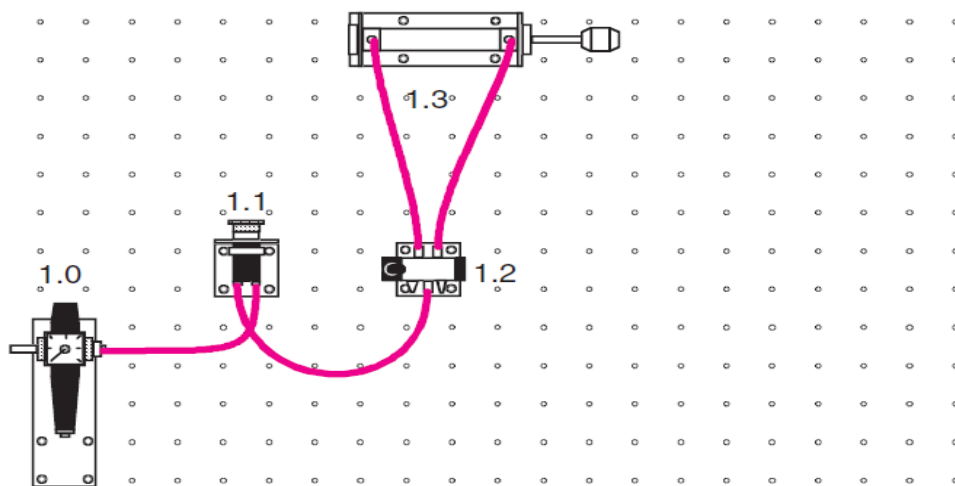
۵-۱-۷) هنگام بسته شدن سیلندر، هوای بازگشتی از کجا خارج می‌شود؟

۵-۱-۸) آیا می‌توان اتصالات مدار را به گونه‌ای تغییر داد که در ابتدا با فشردن کلید Mushroom سیلندر باز شده و با فشار دادن شیر $3/2$ سیلندر بسته شود؟

۵-۱-۹) چه زمانی از کنترل غیرمستقیم استفاده می‌شود؟

۵-۲- کنترل غیرمستقیم Double-acting cylinder با استفاده از شیرهای فنردار

مدار شکل (۷) را ببندید. از این مدار برای کنترل غیرمستقیم Double-acting cylinder استفاده می‌شود.



شکل (۷) دیاگرام اتصالات پنوماتیکی آزمایش (۵-۳)

۵-۲-۱) تفاوت‌های Double-acting cylinder با Single-acting cylinder در چیست؟

۵-۲-۲) آیا با تغییر دادن اتصالات پنوماتیکی می‌توان مدار را به گونه‌ای طراحی نمود که در ابتدا با فشردن کلید Mushroom سیلندر باز شده و با فشار دادن شیر $5/2$ سیلندر بسته شود؟ (به عبارت دیگر آیا می‌توان شیر $5/2$ را به صورت NC در مدار استفاده کرد؟)

۵-۳- بررسی عملکرد Non-return throttle valve

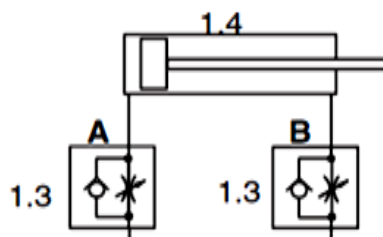
به مدار کنترل غیرمستقیم Double-acting cylinder، دو Non-return throttle valve را مطابق شکل (۸) اضافه کنید.

1.3 Non-return throttle valve

2

1.4 Cylinder, double-acting

1



شکل (۸) دیاگرام مداری آزمایش (۳-۵)

۳-۵-۱) پیچ تنظیم هرکدام از Non-return throttle valve را روی مقادیر مختلف تنظیم کنید و تأثیر هرکدام از آن‌ها بر روی سرعت باز و بسته شدن سیلندرها بررسی نمایید.

۳-۵-۲) جهت آشنایی با عملکرد Non-return throttle valve در هر دو جهت اتصال مستقیم و اتصال معکوس، هر یک از حالت‌های زیر را بسته و عملکرد آن را بررسی نمایید.
 الف) شیر A را حذف کرده و شیر B را معکوس کنید.
 ب) شیر B را حذف کرده و شیر A را معکوس کنید.
 ج) شیرهای A و B را معکوس کنید.

۳-۵-۳) مداری برای تنظیم سرعت Single-acting cylinder با استفاده از Non-return throttle valve طراحی کنید. آیا با استفاده از Non-return throttle valve می‌توان سرعت Single-acting cylinder را در دو جهت کنترل کرد؟

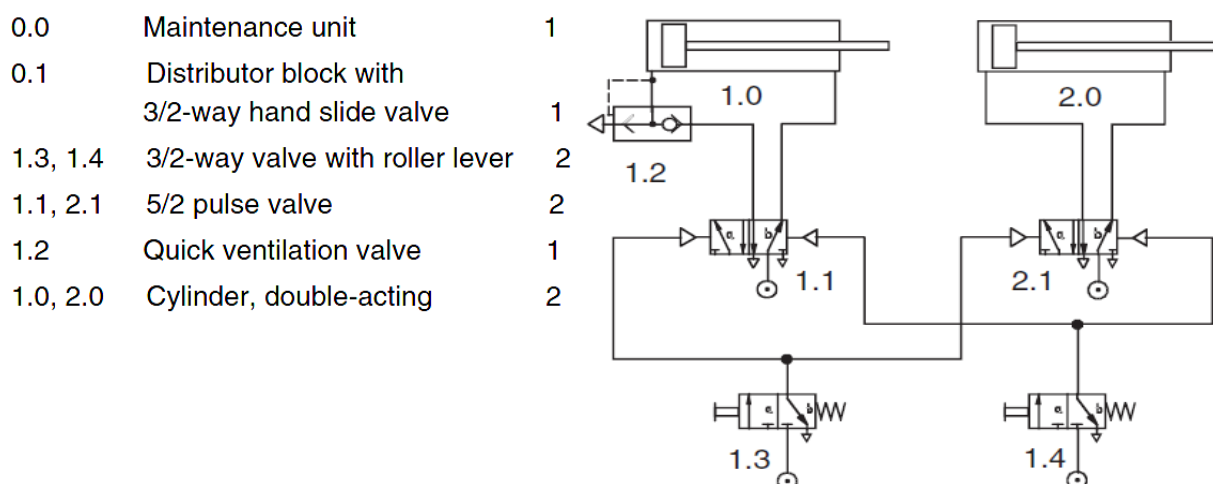
۴-۵- بررسی نحوه عملکرد Quick ventilation valve

گاهی اوقات نیاز است که سیلندر سریع باز و بسته شود؛ اما مقاومت‌های موجود در خطوط خروجی و شیرهای توزیع این امر را با مشکل روبه‌رو می‌سازد. معمولاً برای غلبه بر این مشکل و باز و بسته شدن سریع سیلندر از این شیر استفاده می‌شود. این شیرها هوای خروجی را از سطح تقاطع بزرگشان عبور می‌دهند و در نتیجه میزان جریان عبوری را افزایش می‌دهند. وقتی که سیلندر عمل می‌کند شیر به‌صورت خودکار بسته می‌شود.

یکی دیگر از کاربردهای Quick ventilation valve ها به‌عنوان ساکت کننده (silencer) در جاهایی است که نیاز داریم جریان هوا را تخلیه کنیم. برای بررسی نحوه عملکرد Quick ventilation valve مدار شکل (۹) را ببینید.

۴-۵-۱) با فشار دادن ترتیبی شیرهای ۳/۲ سمت چپ و سمت راست، سرعت باز و بسته شدن دو سیلندر را با یکدیگر مقایسه کنید.

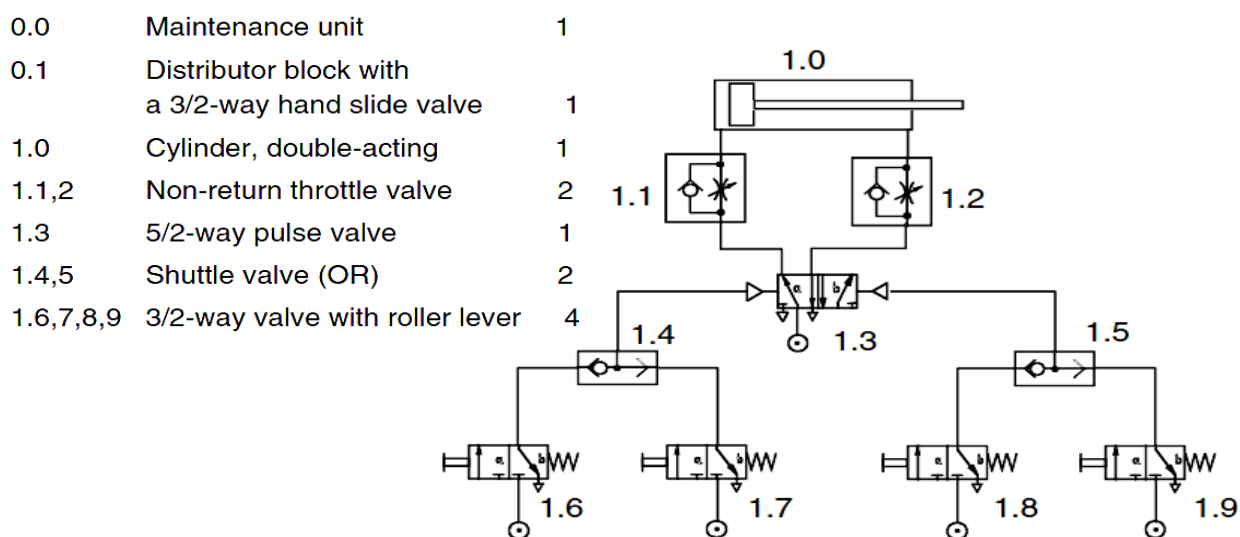
۴-۵-۲) Quick ventilation valve را به لوله سمت راست متصل به سیلندر ۱،۰ وصل کنید و سرعت باز و بسته شدن دو سیلندر را با یکدیگر مقایسه کنید.



شکل (۹) دیاگرام مداری آزمایش (۵-۵)

۵-۵- بررسی نحوه عملکرد twin-pressure valve و shuttle valve

مدار شکل (۱۰) را ببندید.

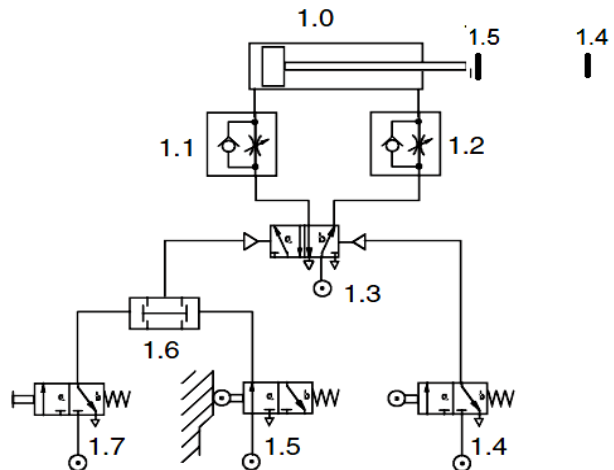


شکل (۱۰) دیاگرام مداری آزمایش (۵-۵-الف)

۵-۵-۱) با قطع و وصل کردن شیرهای ۳/۲ موجود نحوه عملکرد مدار را توضیح دهید.

مدار شکل (۱۱) را ببندید.

0.0	Maintenance unit	1
0.1	Distributor block with a 3/2-way hand slide valve	1
1.0	Cylinder, double-acting	1
1.1,2	Non-return throttle valve	2
1.3	5/2-way pulse valve	1
1.4,5	3/2-way valve with a roller lever	2
1.6	Twin-pressure valve (AND)	1
1.7	Key	1



شکل (۱۱) دیاگرام مداری آزمایش (۵-۵-ب)

۵-۵-۲) کلید ۱,۷ را وصل کنید و نحوه عملکرد مدار را توضیح دهید.

۵-۵-۳) کلید ۱,۵ چه نقشی در مدار دارد؟

۵-۵-۴) کلید ۱,۴ چه نقشی در مدار دارد؟

۵-۵-۵) در صورتی که کلید ۱,۵ را کمی عقب‌تر از حالت نهایی پیستون ببریم، چه اتفاقی می‌افتد؟

۵-۵-۶) اتصالات مدار را به گونه‌ای تغییر دهید که عملکرد مدار تغییر نکند ولی نیازی به استفاده از گیت AND در مدار نباشد.

آزمایش ۶: الکتروپنوماتیک

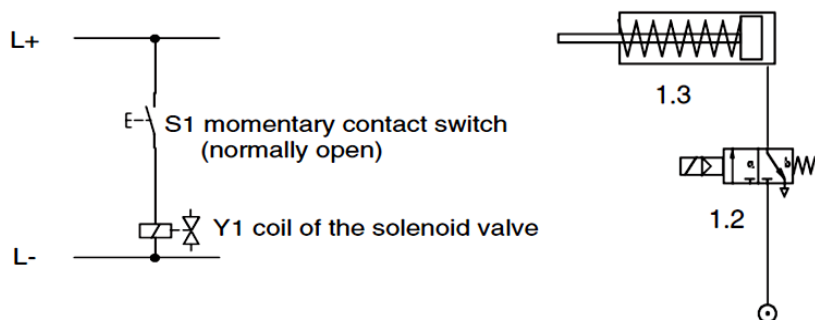
قبل از انجام آزمایش‌ها به نکات زیر توجه فرمایید:

- ۱- منبع تغذیه الکتریکی موجود در این دستگاه یک منبع $V 24$ است. این منبع دارای دو پایانه $L^+ = 24V$ و $L^- = 0V$. همه قطعات الکترو پنوماتیکی این دستگاه با ولتاژ $V 24$ کار می‌کنند. بنابراین برای تولید جریان از این منبع استفاده کنید.
- ۲- تمامی اتصالات الکتریکی از طریق سیم‌هایی به قطر 4 mm و به رنگ‌های قرمز و سیاه صورت می‌گیرد. به عنوان قرارداد، برای اتصالات $V 24$ از سیم‌های قرمز و برای اتصالات صفر ولت از سیم‌های سیاه استفاده کنید.
- ۳- قبل از انجام آزمایش اتصالات را به دقت بررسی کنید تا اتصال کوتاه در مدار صورت نگیرد.
- ۴- اتصالات را در هنگام قطع بودن منبع تغذیه برقرار کنید.

۱-۶- کنترل سیلندرها با استفاده از Solenoid valve

Solenoid valve ها شیرهایی هستند که ارتباط میان اجزای الکتریکی و پنوماتیکی را برقرار می‌کنند.

الف) برای انجام بخش نخست آزمایش، مدار شکل (۱۲) را ببندید.



1.0	Maintenance unit	1
1.1	Distributor block with 3/2-way hand slide valve	1
1.2/Y1	3/2-way solenoid distributor valve, with spring return	1
1.3	Cylinder, single-acting	1
S1	Momentary-contact (limit) switch	1

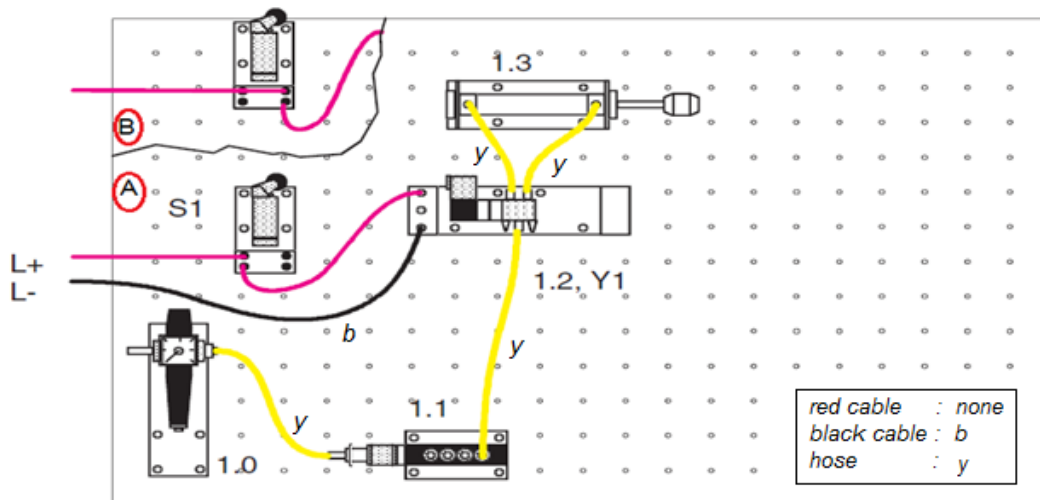
شکل (۱۲) دیاگرام مداری آزمایش (۱-۶-الف)

۱-۶-۱) کلید S1 را فشار دهید و بعد از چند ثانیه آن را رها کنید. نحوه عملکرد مدار را توضیح دهید.

۱-۶-۲) کدامیک از اجزای مدار ارتباط میان اجرای الکتریکی و پنوماتیکی را برقرار می‌کند؟

۱-۶-۳) کلید S1 را به صورت NC به کار برده و نحوه عملکرد مدار را توضیح دهید.

ب) حال مدار A شکل (۱۳) را ببندید.



1.0	Maintenance unit	1
1.1	Distributor block with 3/2-way handslide valve	1
1.2/Y1	5/2-way solenoid valve, with spring return	1
1.3	Cylinder, double-acting	1
S1	Momentary-contact (limit) switch	1

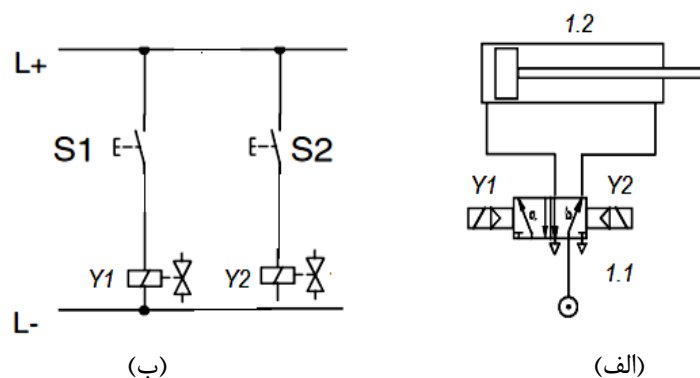
شکل (۱۳) دیاگرام اتصالات الکتریکی و پنوماتیکی مدار آزمایش (۱-۶-ب)

۴-۱-۶) کلید S1 را فشار دهید و بعد از چند ثانیه آن را رها کنید. نحوه عملکرد مدار را توضیح دهید.

۵-۱-۶) کلید S1 را به صورت NC به کار برده و نحوه عملکرد مدار را توضیح دهید. (شکل (۱۳) مدار ۱-۲-ب-B)

۶-۱-۶) آیا می‌توان 5/2-way solenoid valve, spring return را به صورت NC در مدار به کار برد؟ (به عبارت دیگر آیا می‌توان اتصالات مدار ۱-۲-ب-A را بدون تغییر دادن کلید NO به گونه‌ای تغییر داد که سیلندر در حالت ابتدایی بدون فشار کلید باز شود؟)

ج) مدار شکل (۱۴) را ببندید.



شکل (۱۴) دیاگرام مداری آزمایش (۱-۶-ج؛ الف) اتصالات پنوماتیکی ب) اتصالات الکتریکی

توجه: در مدار بالا شیر ۱،۱ از نوع 5/2-way solenoid valve, pulse-actuated می‌باشد.

۶-۱-۷) ابتدا کلید S1 را فشار دهید و بعد از چند ثانیه آن را رها کنید. اکنون کلید S2 را فشار دهید و بعد از چند ثانیه آن را رها کنید. این عمل را متناوباً تکرار کنید. نحوه عملکرد مدار را توضیح دهید.

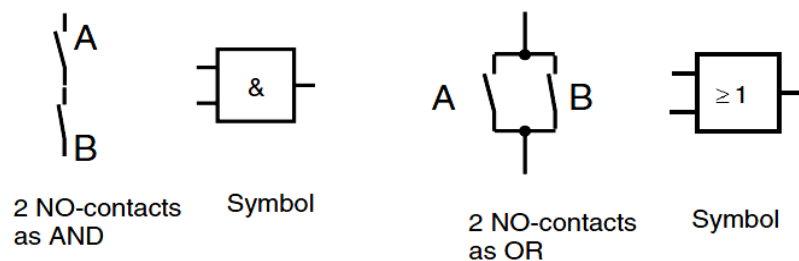
۶-۱-۸) کلید S1 را فشار دهید و بدون رها کردن آن کلید S2 را نیز فشار دهید. چه اتفاقی می‌افتد؟

توجه: به جای Limit switch ها می‌توان از کنتاکت NO یا NC موجود بر روی Signal board به عنوان کلید الکتریکی استفاده نمود.

۶-۱-۹) فرق شیرهای پالسی پنوماتیکی با شیرهای سلنویید پالسی در چیست؟

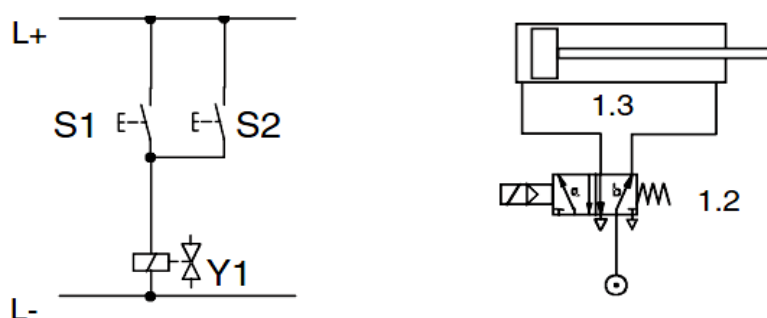
۶-۲- ساختن گیت‌های AND و OR با استفاده از قطعات الکتروپنوماتیکی

برای ساختن گیت‌های AND و OR می‌توان از دیاگرام‌های شکل (۱۵) استفاده نمود.



شکل (۱۵) نمونه‌ای از چند گیت ساده

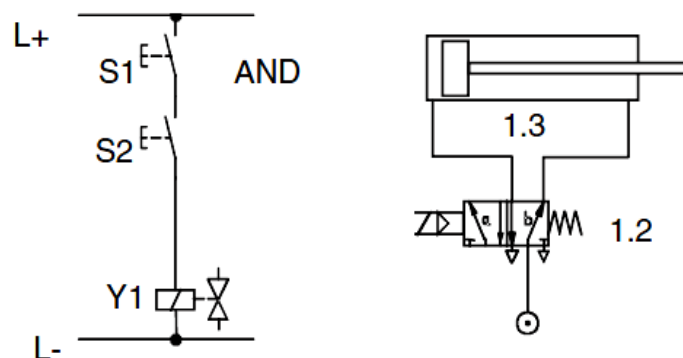
الف) مدار شکل (۱۶) را ببندید.



1.0	Maintenance unit	1
1.1	Distributor block with 3/2-way hand slide valve	1
1.2/Y1	5/2-way solenoid distributor valve, with spring return	1
1.3	Cylinder, double-acting	1
S1,2	Momentary-contact (limit) switch	1

شکل (۱۶) دیاگرام مداری آزمایش (۶-۲-الف)

- ۶-۲-۱) با قطع و وصل کردن کلیدهای S1 و S2 نحوه عملکرد مدار را توضیح دهید.
- ۶-۲-۲) با تشکیل یک جدول منطقی، بیان کنید عملکرد کلیدهای S1 و S2 مشابه کدامیک از گیت‌های منطقی می‌باشد؟
- ب) حال مدار شکل (۱۷) را ببینید.

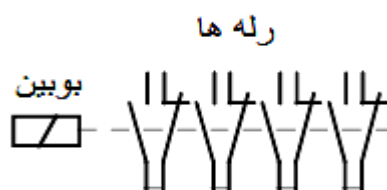


شکل (۱۷) دیاگرام مداری آزمایش (۶-۲-ب)

- ۶-۲-۳) با قطع و وصل کردن کلیدهای S1 و S2 نحوه عملکرد مدار را توضیح دهید.
- ۶-۲-۴) با تشکیل یک جدول منطقی، بیان کنید عملکرد کلیدهای S1 و S2 مشابه کدامیک از گیت‌های منطقی می‌باشد؟

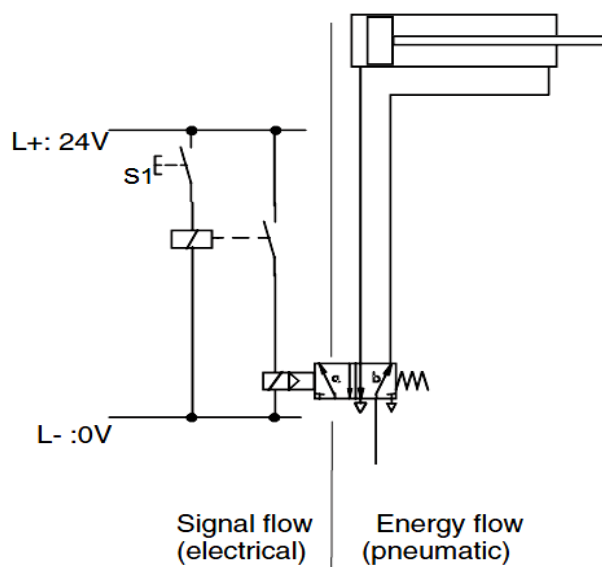
۶-۳- بررسی نحوه عملکرد Relay board

هر Relay board مطابق شکل (۱۸)، از یک بوبین کنتاکتور و چند رله تشکیل شده است که می‌توانند NO یا NC باشند. نحوه عملکرد این برد به این صورت است که وقتی جریان الکتریکی به بوبین کنتاکتور می‌رسد رله‌های NO بسته می‌شوند و رله‌های NC باز می‌گردند. Relay board ها معمولاً دارای کنتاکت‌هایی هستند که امکان جرقه زدن در آن‌ها بسیار کم است و در نتیجه دارای ایمنی بیشتری نسبت به کلیدهای دیگر هستند.



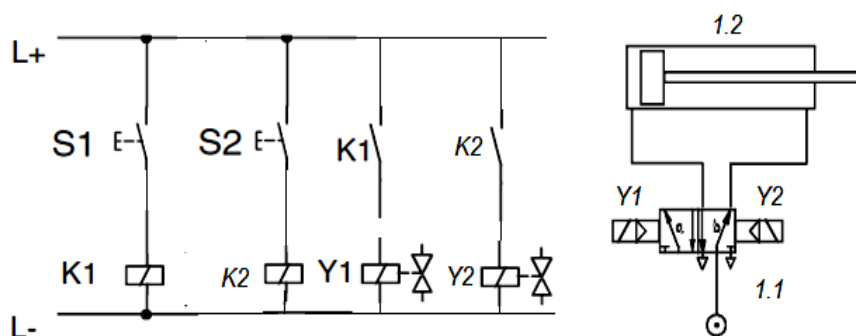
شکل (۱۸) نماد مداری Relay board

مدار شکل (۱۹) را در نظر بگیرید؛ در این مدار با فشردن کلید S1 جریان الکتریکی به بوبین کنتاکتور می‌رسد و در نتیجه کنتاکت NO مربوطه بسته می‌شود و این بار جریان الکتریکی به شیر سلنویید رسیده و سیلندر باز می‌شود. به محض قطع کردن کلید S1 جریان بوبین قطع می‌گردد و کنتاکت مربوطه باز می‌گردد و سیلندر بسته می‌شود.



شکل (۱۹) مدار نمونه کنترل سیلندر با Relay board

مدار شکل (۲۰) را ببندید.



شکل (۲۰) دیاگرام مداری آزمایش (۳-۶)

۳-۶-۱) با فشردن کلیدهای S1 و S2 نحوه عملکرد مدار را توضیح دهید.

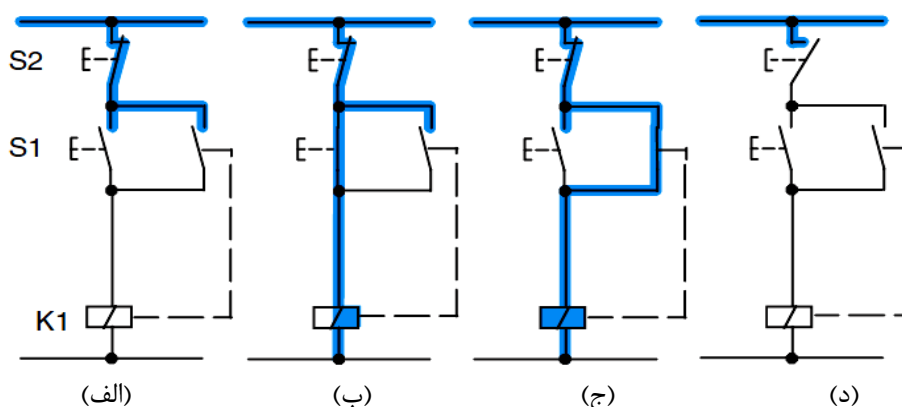
۳-۶-۲) با استفاده از دو Limit switch و Relay board و Double-acting cylinder یک گیت AND طراحی کنید به نحوی که با فشار هر دو Limit switch سیلندر باز شود و تا زمانی که هر دو Limit switch وصل می‌باشد، سیلندر نیز باز بماند.

۳-۶-۳) با استفاده از دو Limit switch و Relay board و Double-acting cylinder یک گیت OR طراحی کنید به نحوی که با فشار حداقل یکی از Limit switch ها سیلندر باز شود و تا زمانی که هر دو Limit switch رها نشده، سیلندر باز بماند.

۶-۴- چگونگی ساختن مدارات Self-holding

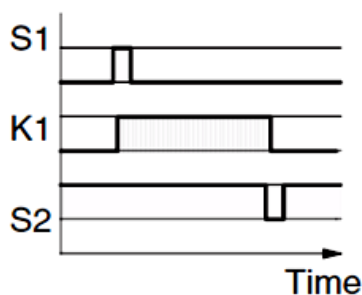
گاهی اوقات نیاز است که با دادن پالس کوتاهی به یک کلید، یک شیر سلنوئید را به نحوی باز و بسته کنیم که سیلندر به صورت پیوسته باز و بسته شود و تا زمانی که پالس مخالف به کلید نرسیده، سیلندر در همان حالت باقی بماند. مداری که چنین کاری

را انجام می‌دهد مدار Self-holding نام دارد. برای ساختن چنین مداراتی می‌توان از دو روش استفاده کرد؛ اول استفاده از شیرهای پالسی که این روش را در آزمایش‌های قبل بررسی نموده‌ایم. روش دوم استفاده از Relay board ها است. برای ساختن مدارات Self-holding با استفاده از Relay board ها می‌توان از مدار نمونه شکل (۲۱) استفاده کرد.



شکل (۲۱) ساختن Self-holding و Relay board

در این مدار، کلید S1 به صورت NO و کلید S2 به صورت NC بسته شده است و جریانی در مدار برقرار نمی‌باشد. (حالت الف). حال با دادن پالس کوتاهی به کلید S1 و با توجه به NC بودن کلید S2 جریان الکتریکی به بوبین کنتاکتور K1 می‌رسد (حالت ب) و در نتیجه کنتاکت NO مربوط به آن بسته می‌شود تا زمانی که کلید S2 فشرده نشده، جریان در شاخه‌ی سمت راست برقرار می‌ماند (حالت ج). با فشردن کلید S2 جریان بوبین قطع شده و کنتاکت ها بار دیگر باز می‌گردند (حالت د). بنا براین با استفاده از این مدار می‌توان با دادن پالس کوتاهی به کلید S1 کنتاکتور K1 را برای انجام کامل یک عمل مثلاً باز شدن یک سیلندر استفاده کرد و با دادن پالس کوتاهی به کلید S2 می‌توان عملی مانند بسته شدن کامل یک سیلندر را انجام داد. دیاگرام فازی مربوط به کلیدهای S1 و S2 و کنتاکتور K1 در شکل (۲۲) آمده است.

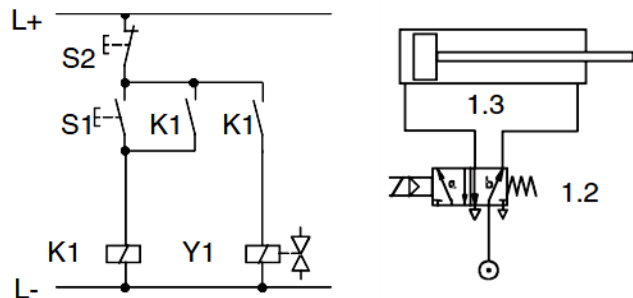


شکل (۲۲) دیاگرام فازی مربوط به اجزای مدار Self-holding

مدارات Self-holding ساخته شده با استفاده از Relay board در جاهایی استفاده می‌شود که Actuator موجود در مدار، شیر سلنویید فنردار باشد. به عبارت دیگر در مدارهایی که از شیرهای پالسی استفاده شده است نیازی به استفاده از مدارات Self-holding ساخته شده با استفاده از Relay board ها نیست. چرا که شیرهای پالسی، خودشان دارای خاصیت نگهدارندگی می‌باشند.

الف) مدار شکل (۲۳) را ببینید.

1.0	Maintenance unit	1
1.1	Distributor block with 3/2-way hand slide valve	1
1.2/Y1	5/2-way solenoid distributor valve, with spring return	1
1.3	Cylinder, double-acting	1
S1,2	Momentary-contact (limit) switch	2
K1	Relay board	1



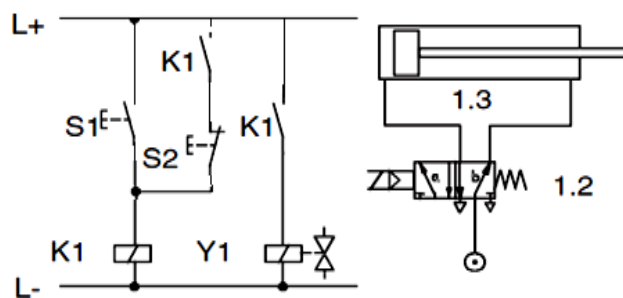
شکل (۲۳) دیاگرام مداری آزمایش (۴-۶-الف)

۴-۶-۱) کلید S1 را برای لحظه‌ای فشرده و سپس آن را رها کنید. عملکرد مدار را توضیح دهید.

۴-۶-۲) حال کلید S2 را برای لحظه‌ای فشار داده و سپس آن را رها کنید. عملکرد مدار را توضیح دهید.

۴-۶-۳) حال دو کلید را با هم فشار دهید؛ چه اتفاقی می‌افتد؟

ب) اتصالات الکتریکی مدار را به صورت شکل (۲۴) تغییر دهید.



شکل (۲۴) دیاگرام مداری آزمایش (۴-۶-ب)

۴-۶-۴) کلید S1 را برای لحظه‌ای فشرده و سپس آن را رها کنید. عملکرد مدار را توضیح دهید.

۴-۶-۵) حال کلید S2 را برای لحظه‌ای فشرده و سپس آن را رها کنید. عملکرد مدار را توضیح دهید.

۴-۶-۶) حال دو کلید را با هم فشار دهید. چه اتفاقی می‌افتد؟

۴-۶-۷) اتصالات مدار شکل (۲۴) را به نحوی تغییر دهید که هر دو کلید S1 و S2 را به صورت NO باشند ولی عملکرد مدار

تغییر نکند. (یعنی با دادن پالس کوتاهی به کلید S1 سیلندر باز شود و با دادن پالس کوتاهی به کلید S2 سیلندر بسته شود)

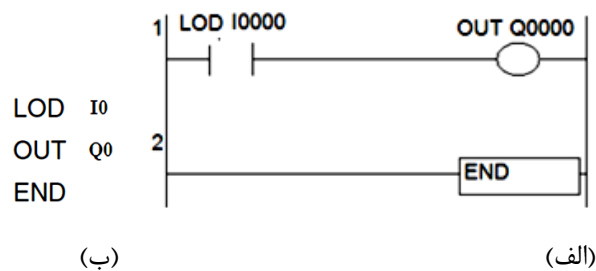
۴-۶-۸) مدار را به گونه‌ای تغییر دهید که با دادن پالس کوتاهی به کلید S1 سیلندر باز شود و وقتی که سیلندر به حالت نهایی

خود می‌رسد به صورت اتوماتیک بسته شود.

آزمایش ۷: کنترل مدارهای الکتروپنوماتیک با PLC

۷-۱- کنترل سیلندر با استفاده از PLC

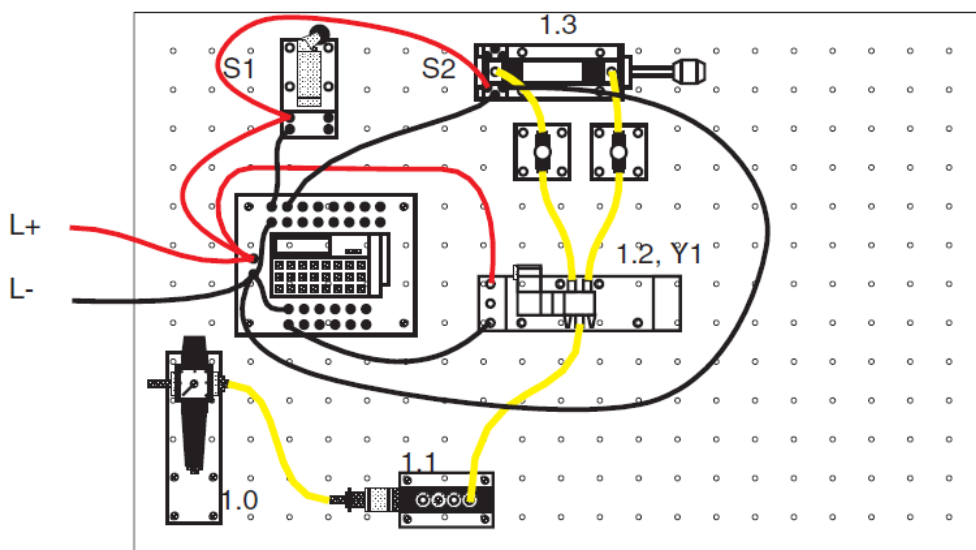
الف) برنامه شکل (۲۵) را در محیط نرم افزار Ladder بنویسید و آن را به PLC انتقال دهید.



(ب)

شکل (۲۵) برنامه (۷-۱-الف): الف) Ladder Diagram، ب) Program List

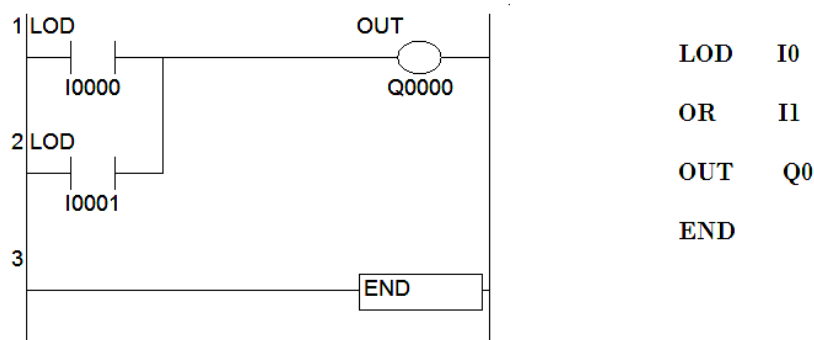
مدار شکل (۲۶) را ببندید (بستن سنسور S2 ضروری نیست).



شکل (۲۶) دیاگرام اتصالات الکتریکی و پنوماتیکی مدار آزمایش (۷-۱)

۷-۱-۱) کلید S1 را فشار دهید و بعد از چند ثانیه آن را رها کنید. نحوه عملکرد مدار را توضیح دهید.

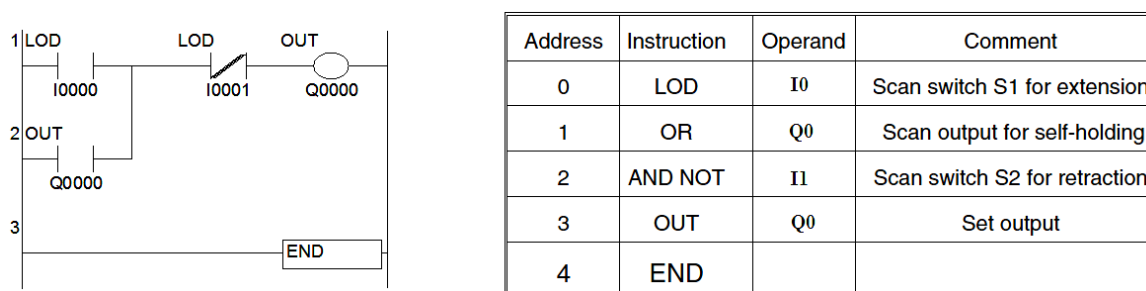
۷-۱-۲) نحوه عملکرد برنامه شکل (۲۷) را توضیح دهید.



شکل (۲۷) برنامه (۷-۱-الف-قسمت دوم)

۷-۱-۳) برنامه‌ای بنویسید که با فشردن یک کلید، دو سیلندر باز شود و با رها کردن آن دو سیلندر بسته شود. اتصالات الکتریکی و پنوماتیکی لازم را برقرار کنید.

ب) برنامه شکل (۲۸) را در محیط نرم‌افزار Ladder بنویسید و آن را به PLC انتقال دهید.



شکل (۲۸) برنامه (۷-۱-ب)

مدار شکل (۲۶) را کامل ببندید.

۷-۱-۴) با فشردن کلید S1 و رها کردن آن نحوه عملکرد مدار را توضیح دهید.

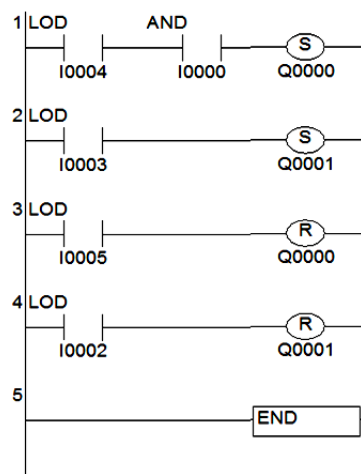
۷-۱-۵) کلید S2 (سیگنال ژنراتور B2) چه نقشی در مدار دارد؟

۷-۱-۶) نقش کنتاکت NO مربوط به Q0 در مدار چیست؟

۷-۱-۷) با اضافه کردن یک کلید دیگر به مدار شکل (۲۶) کاری کنید که با فشردن همزمان دو کلید، سیلندر باز شود و با رها کردن آن‌ها سیلندر همچنان باز بماند و سیلندر بلافاصله بعد از باز شدن کامل، بسته شود؟

۷-۲- آشنایی با Sequence control طراحی شده با PLC

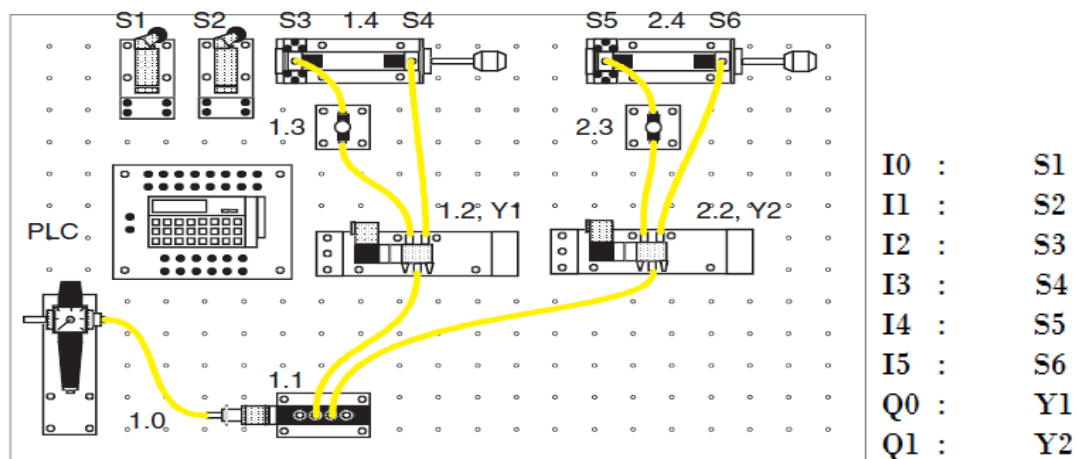
الف) برنامه شکل (۲۹) را در محیط نرم‌افزار Ladder بنویسید و آن را به PLC انتقال دهید.



Address	Instruction	Operand	Comment
0	LOD	I4	If cylinder B is retracted AND switch S1 is actuated, then start
1	AND	I0	
2	SET	Q0	Extend cylinder A
3	LOD	I3	If cylinder A is extended, then
4	SET	Q1	Extend cylinder B
5	LOD	I5	If cylinder B is extended, then
6	RST	Q0	Retract cylinder A
7	LOD	I2	If cylinder A is retracted, then
8	RST	Q1	Retract cylinder B
9	END		

شکل (۲۹) برنامه (۷-۲-الف)

مدار شکل (۳۰) را ببندید. در شکل اتصالات پنوماتیکی مشخص شده‌اند. برای برقراری اتصالات الکتریکی طبق جدول کنار شکل عمل کنید.



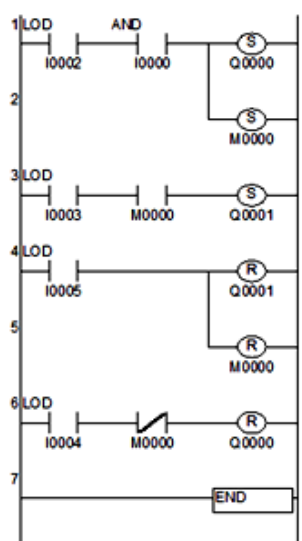
شکل (۳۰) دیاگرام اتصالات پنوماتیکی مدار آزمایش (۷-۲)

- ۷-۲-۱) اگر پالس کوتاهی به کلید S1 وارد شود نحوه عملکرد مدار چگونه خواهد بود؟
- ۷-۲-۲) با تغییرات نرم افزاری یا سخت افزاری، مدار و برنامه ای طراحی کنید که با تجهیزات موجود در آزمایشگاه بتوان عملکرد مشابهی را مشاهده نمود.
- ۷-۲-۳) کنتاکت I4 چه نقشی دارد؟
- ۷-۲-۴) چرا در برنامه بالا به جای استفاده از دستور OUT از دستور set و reset برای خروجی‌های Q0 و Q1 استفاده شده است؟

۷-۲-۵) دیاگرام فازی مربوط به کلیدها، شیرهای پالسی و سیلندرها را با رعایت همزمانی روی یک نمودار رسم کنید.

۷-۲-۶) با توجه به دیاگرام فازی آیا در این مدار مشکل overlap مشاهده می‌شود؟

ب) برنامه شکل (۳۱) را در محیط نرم افزار Ladder بنویسید و آن را به PLC انتقال دهید.



Address	Instruction	Operand	Comment
0	LOD	I2	If cylinder B is retracted AND switch S1, then start
1	AND	I0	
2	SET	Q0	Extend cylinder A
3	SET	M0	Set flag for group 1
4	LOD	I3	If cylinder A is extended AND group 1, then
5	AND	M0	
6	SET	Q1	Extend cylinder B
7	LOD	I5	If cylinder B is extended, then
8	RST	M0	Clear flag for group 1
9	RST	Q1	Retract cylinder B
10	LOD	I4	If cylinder B is retracted AND NOT group 1 (AND group 2), then
11	AND NOT	M0	
12	RST	Q0	Retract cylinder A
13	END		

شکل (۳۱) برنامه (۷-۲-ب)

۷-۲-۷) با همان مدار قبلی، پالس کوتاهی به کلید S1 وارد نموده و نحوه عملکرد مدار را توضیح دهید.

۷-۲-۸) نقش M0 در مدار بالا چیست؟

۷-۲-۹) دیاگرام فازی مربوط به کلیدها، شیرهای پالسی و سیلندرها و M0 را با رعایت همزمانی روی یک نمودار رسم کنید.

۷-۲-۱۰) با توجه به دیاگرام فازی آیا در این مدار مشکل overlap مشاهده می شود؟

ج) برنامه شکل (۳۲) را در محیط نرم افزار Ladder بنویسید و آن را به PLC انتقال دهید.

۷-۲-۱۱) حال پالس کوتاهی به کلید S1 وارد نموده و سپس پالسی را به کلید S2 وارد کنید. نحوه عملکرد مدار را توضیح دهید.

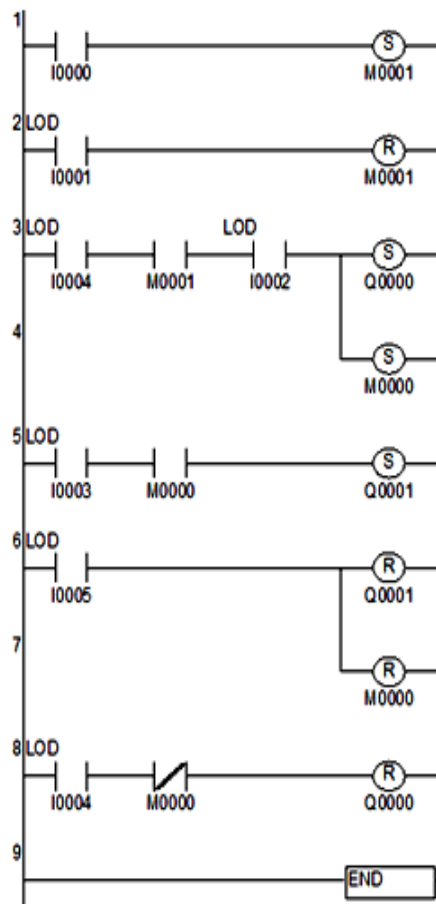
۷-۲-۱۲) نقش M0 و M1 در مدار بالا چیست؟

۷-۲-۱۳) در صورتی که کلیدهای S1 و S2 با هم فشرده شوند، چه اتفاقی می افتد؟

۷-۲-۱۴) چه فرقی در عملکرد برنامه های (۳-۲-ب) و (۳-۲-ج) وجود دارد؟

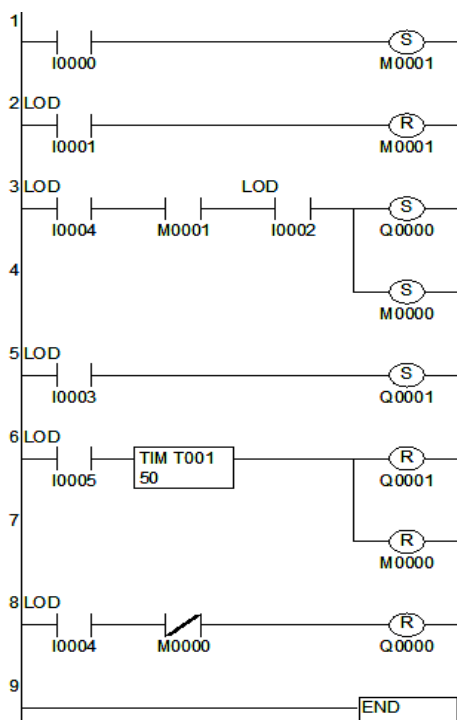
د) برنامه شکل (۳۳) را در محیط نرم افزار Ladder بنویسید و آن را به PLC انتقال دهید.

۷-۲-۱۵) پالس کوتاهی به کلید S1 وارد نموده و بعد از یک دقیقه پالسی را به کلید S2 وارد کنید. نحوه عملکرد مدار را توضیح دهید.



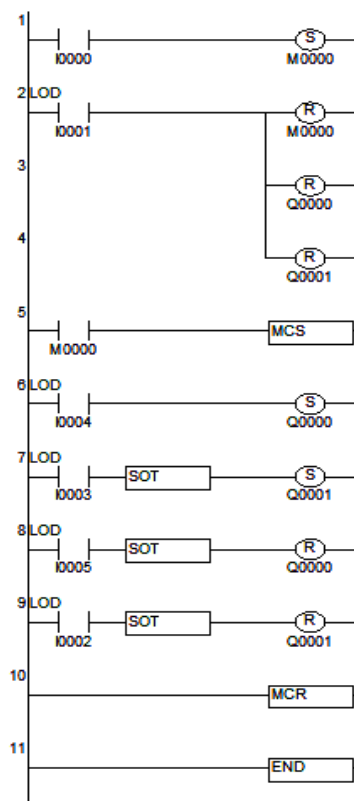
Address	Instruction	Operand	Comment
0	LOD	I0	If start key S1, then set 'start' flag
1	SET	M1	
2	LOD	I1	If stop key S2, then reset 'start' flag
3	RST	M1	
4	LOD	I4	If cylinder B is retracted AND 'start' flag AND cylinder A is retracted, then start
5	AND	M1	
6	AND	I2	
7	SET	Q0	Extend cylinder A
8	SET	M0	Set flag for group 1
9	LOD	I3	If cylinder A is extended AND group 1, then
10	AND	M0	
11	SET	Q1	Extend cylinder B
12	LOD	I5	If cylinder B is extended, then
13	RST	M0	Reset flag for group 1
14	RST	Q1	Retract cylinder B
15	LOD	I4	If cylinder B is retracted AND NOT group 1 (AND group 2), then
16	AND NOT	M0	
17	RST	Q0	Retract cylinder A
18	END		

شکل (۳۲) برنامه (۷-۲-ج)



Address	Instruction	Operand	Comment
0	LOD	I0	If start key S1, then set 'start' flag
1	SET	M1	
2	LOD	I1	If stop key S2, then reset 'start' flag
3	RST	M1	
4	LOD	I4	If cylinder B is retracted AND flag 'start' AND cylinder A is retracted, then start
5	AND	M1	
6	AND	I2	
7	SET	Q0	Extend cylinder A
8	SET	M0	Set flag for group 1
9	LOD	I3	If cylinder A is extended AND group 1, then
10	AND	M0	
11	SET	Q1	Extend cylinder B
12	LOD	I5	If cylinder B is extended, then
13	TIM	1	Wait 5 seconds using timer 1 and
14		50	
15	RST	M0	Reset flag for group 1
16	RST	Q1	Retract cylinder B
17	LOD	I4	If cylinder B is retracted AND NOT group 1 (AND group 2), then
18	AND NOT	M0	
19	RST	Q0	Retract cylinder A
20	END		

شکل (۳۳) برنامه (۷-۲-د)



Ad-dre-ss	Instruc-tion	Oper-and	Comment
0	LOD	I0	If start key S1, then set 'start' flag
1	SET	M0	
2	LOD	I1	If stop key S2 then reset 'start' flag retract cylinder A retract cylinder B
3	RST	M0	
4	RST	Q0	
5	RST	Q1	
6	LOD	M0	if 'start' flag, then process program section un-til MCR
7	MCS		
8	LOD	I4	If cylinder B is retracted, then
9	SET	Q0	Extend cylinder A
10	LOD	I3	If cylinder A is extended, then
11	SOT	1	
12	SET	Q1	Extend cylinder B
13	LOD	I5	If cylinder B is extended, then
14	SOT	2	
15	RST	Q0	Retract cylinder A
16	LOD	I2	If cylinder A is retracted, then
17	SOT	3	
18	RST	Q1	Retract cylinder B
19	MCR		End of master control
20	END		

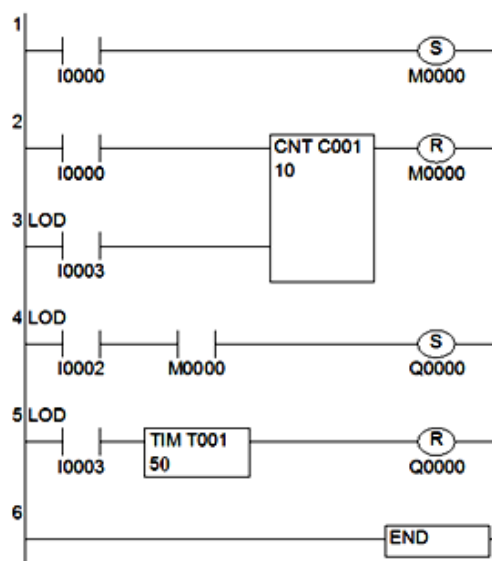
شکل (۳۴) برنامه (۷-۲-هـ)

هـ) برنامه شکل (۳۴) را در محیط نرم افزار Ladder بنویسید و آن را به PLC انتقال دهید. (به جای بلوک SOT، از بلوک SOTU استفاده شود)

۷-۲-۱۶) پالس کوتاهی به کلید S1 وارد نموده و بعد از یک دقیقه پالسی را به کلید S2 وارد کنید. نحوه عملکرد مدار را توضیح دهید.

۷-۲-۱۷) اگر در هنگام اجرا شدن سیکل، کلید S2 فشرده شود، چه اتفاقی می افتد؟

و) برنامه شکل (۳۵) را در محیط نرم افزار Ladder بنویسید و آن را به PLC انتقال دهید.



Address	Instruction	Operand	Comment
0	LOD	I0	If start key S1, then set 'start' flag
1	SET	M0	
2	LOD	I0	If start key S1, then reset counter to zero
3	LOD	I3	Counting pulse, final position of cylinder A
4	CNT	1	Count to 10 with counter 1, then
5		10	
6	RST	M0	Reset 'start' flag
7	LOD	I2	If cylinder A is retracted AND 'start' flag, then
8	AND	M0	
9	SET	Q0	Extend cylinder A
10	LOD	I3	If cylinder A is extended, then
11	TIM	1	Wait 0.5 seconds with timer 1 and
12		50	
13	RST	Q0	Retract cylinder A
14	END		

شکل (۳۵) برنامه (۷-۲-و)

۷-۲-۱۸) پالس کوتاهی را به کلید S1 وارد نموده و نحوه عملکرد مدار را توضیح دهید.

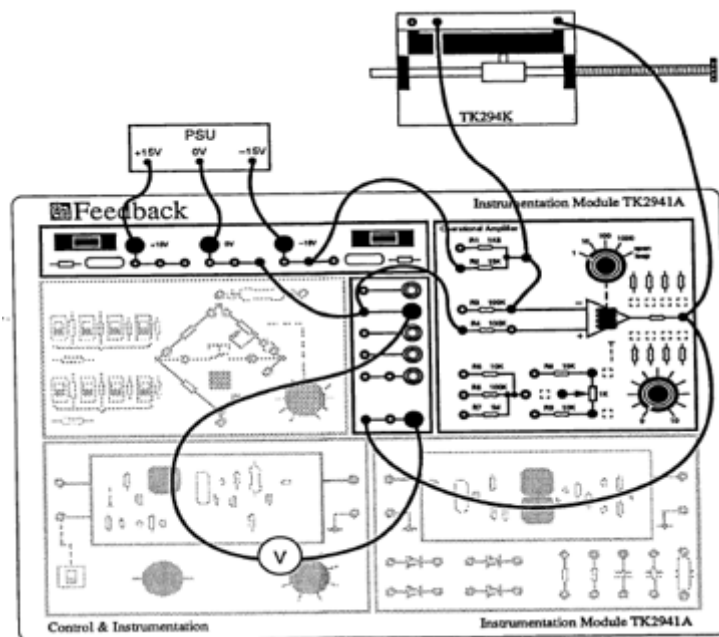
۷-۲-۱۹) اگر کلید S1 به صورت پیوسته فشرده شود، چه اتفاقی می افتد؟

دستور کار مجموعه TK2942

آزمایش ۸ : سنسور مقاومت متغیر

قسمت مربوط به سنسور مقاومت متغیر از جزوه «آشنایی با تجهیزات» را مطالعه نمایید.

طبق توضیحات داده شده، مدار شکل (۳۶) را ببندید و جدول (۱) را تکمیل نمایید. پس از کامل کردن جدول، نتایج را رسم نمایید.



شکل (۳۶) مدار عملیاتی آزمایشگاهی

جدول (۱) نتایج آزمایش مقاومت متغیر

جابجایی [mm]	۰	۵	۱۰	۱۵	۲۰	۲۵	۳۰	۳۵	۴۰	۴۵	۵۰	۵۵
ولتاژ [V]												

۸-۱) با توجه به نمودار میزان خطی بودن خروجی سنسور را مشخص نمایید.

۸-۲) نتیجه پرسش فوق را با توجه به تئوری آزمایش تحلیل نمایید.

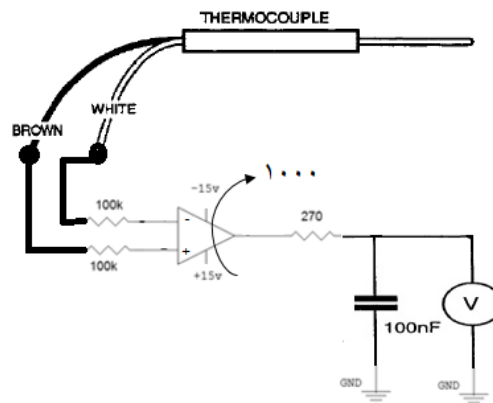
۸-۳) با استفاده از ابزار برازش در نرم افزار متلب، چندجمله‌ای مناسب را روی نمودار حاصل برازش کرده و ضرایب چندجمله‌ای را به دست آورید. (در نرم افزار متلب این ابزار با دستور "cftool" فراخوانی می‌شود).

۴-۸) حساسیت اندازه‌گیری این مجموعه را به دست آورید. (یعنی تعیین کنید که به ازای هر میلی‌متر جابجایی سر سنسور، چه مقدار در ولتاژ خروجی تغییر ایجاد می‌شود، این کار را در حداقل سه نقطه خطی نمودار خروجی انجام دهید و میانگین حاصل را به‌عنوان جواب معرفی کنید.)

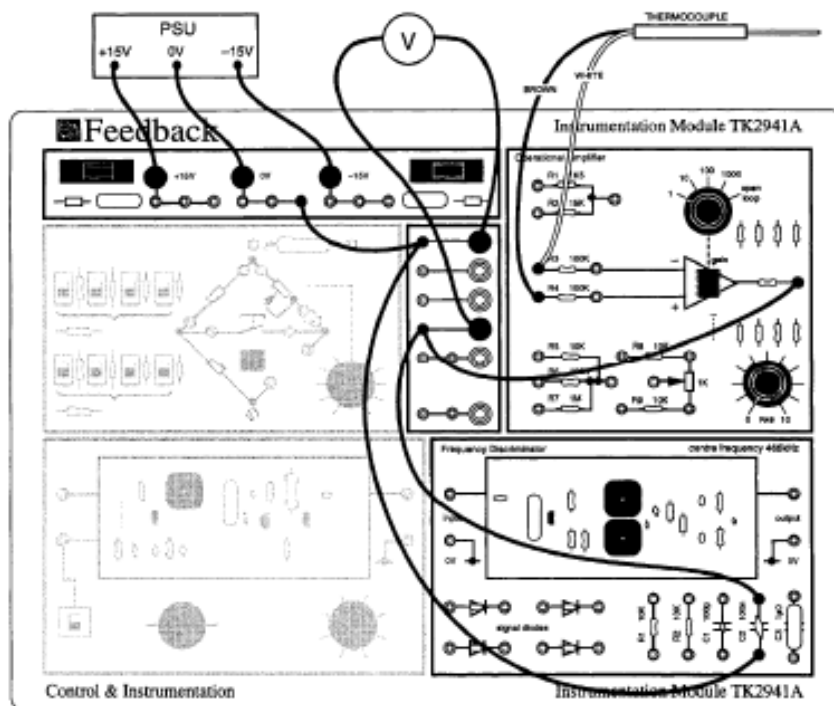
آزمایش ۹: سنسور ترموکوپل

قسمت مربوط به سنسور ترموکوپل از جزوه «آشنایی با تجهیزات» را مطالعه نمایید.

مدار شکل (۳۷) را بسته و بهره تقویت کننده را روی ۱۰۰۰ تنظیم کنید و ترموکوپل را در شیار ۲۰ ام قرار دهید.



شکل (۳۷) الف- مدار ترموکوپل



شکل (۳۸) ب- شماتیک مدار ترموکوپل

آزمایش را هر بار پس از رسیدن دما به آرامش برای شیارهای دیگر تکرار کرده و نتایج را در جدول (۲) گزارش دهید و نمودار ولتاژ خروجی برحسب اختلاف دما را رسم نمایید.

جدول (۲) نتایج آزمایش ترموکوپل

شماره شیار	ولت متر [V]	دمای تانک [°C]	دمای اتاق [°C]	اختلاف دما [°C]
بدون اتصال پراب				
۲۰				
۱۸				
۱۶				
۱۴				
۱۲				
۱۰				
۸				
۶				
۴				

برای دسترسی به دماهای مختلف از پایین‌ترین دما (شیار ۲۲ و چسبیده به گرماگیر) شروع کرده و ضمن مشاهده دما توسط دماسنج الکلی، تانک حاوی سنسور و دماسنج را آرام‌آرام به قسمت تولیدکننده حرارت در گرم‌کن نزدیک کنید تا دما بالا رود. انتظار می‌رود پاسخ با تقریب خوبی خطی باشد. (آیا این‌طور است؟)

۹-۱) میزان خطی بودن خروجی سنسور را مشخص نمایید.

۹-۲) نتیجه پرسش فوق را با توجه به تئوری آزمایش تحلیل نمایید.

۹-۳) با استفاده از ابزار برازش در نرم‌افزار متلب، چندجمله‌ای مناسب را روی نمودار حاصل برازش کرده و ضرایب چندجمله‌ای را به دست آورید.

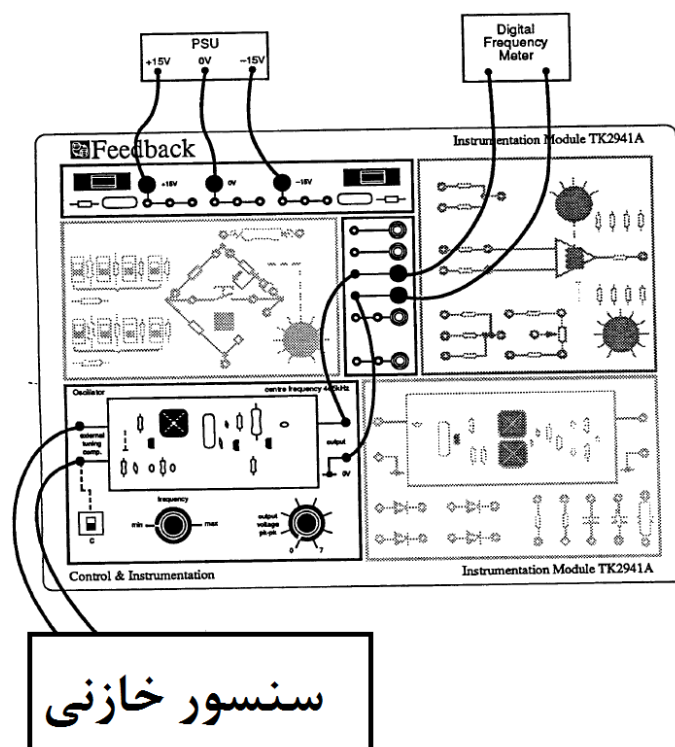
۹-۴) حساسیت اندازه‌گیری این مجموعه را به دست آورید.

۹-۵) اهمیت جنس سیم ترموکوپل را با توجه به دو اثر ذکرشده در متن بیان کنید.

آزمایش ۱۰: سنسور خازنی

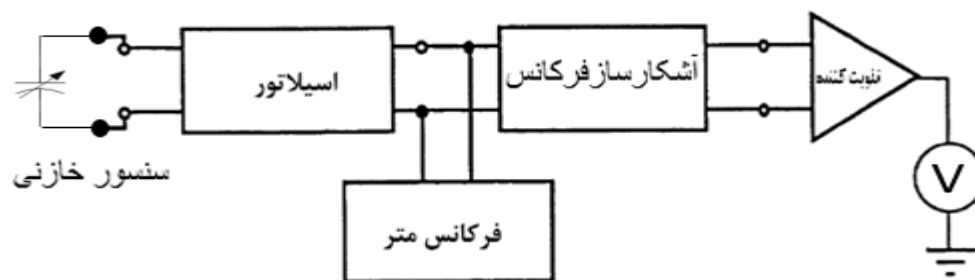
قسمت مربوط به سنسور مقاومت متغیر از جزوه «آشنایی با تجهیزات» را مطالعه نمایید.

طبق توضیحات داده شده در جزوه آشنایی با تجهیزات، برای مشاهده تغییرات فرکانس رزونانس مدار اسیلاتور در اثر تغییرات سر سنسور، لازم است مدار زیر را ببندیم. دقت شود که ابتدا سوئیچ کوچکی که در سمت چپ برد اصلی قرار دارد را روی "C" قرار دهید. با قرائت فرکانس از روی حالت فرکانس متر مولتی متر، جدول های زیر را که یکی برای سنسور سطح متغیر و دیگری برای سنسور طول متغیر می باشد را کامل نمایید.



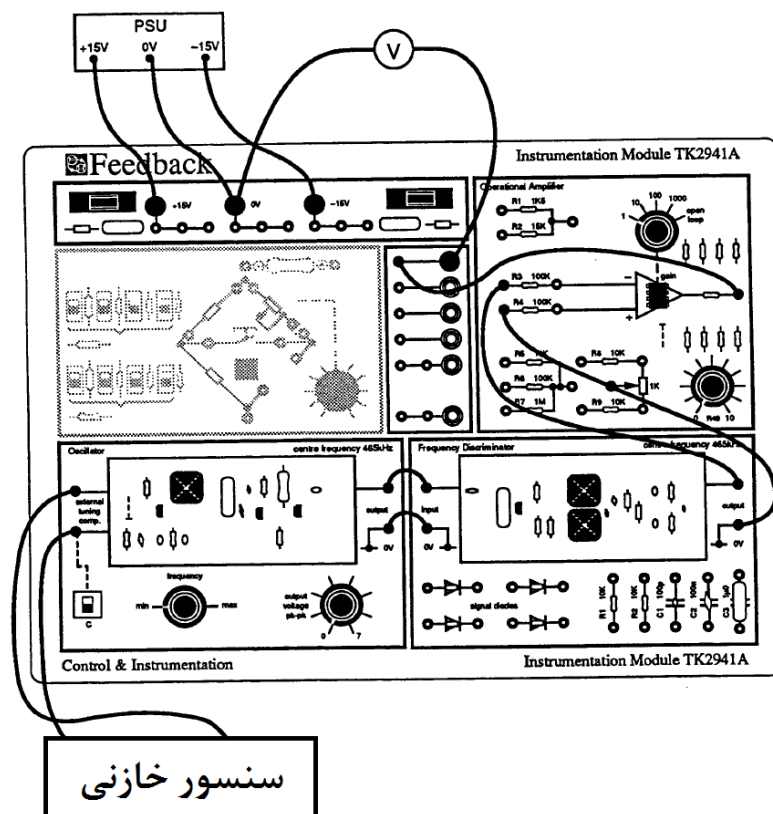
شکل (۳۹) مدار عملیاتی مقدماتی بسته شده در آزمایشگاه برای سنسور خازنی

اما برای استفاده از سنسور در سیستم های کنترلی حلقه بسته و گرفتن فیدبک، باید خروجی را ترجیحاً به ولتاژ تبدیل نماییم (در اینجا خروجی در ابتدا متغیری از نوع فرکانس است). برای این کار، خروجی فرکانس مدار اسیلاتور را به مدار آشکارساز فرکانس می دهیم تا متناسب با تغییرات فرکانس، تغییرات ولتاژ به ما دهد. حالت کلی این مدار به صورت زیر می باشد.



شکل (۴۰) شمای کلی مدار واسط پیشرفته برای سنسور خازنی

در نهایت مدار معادلی که در آزمایشگاه بسته خواهد شد به صورت زیر می باشد.



شکل (۴۱) مدار عملیاتی پیشرفته‌ی بسته شده در آزمایشگاه برای سنسور خازنی

در این حالت، فرکانس خروجی اسیلاتور را به مدار آشکار ساز فرکانس داده و بعد از تقویت ولتاژ خروجی توسط تقویت کننده آن را اندازه گیری می کنیم.

ابتدا کلید کوچکی که در سمت چپ برد اصلی قرار دارد را روی "C" قرار داده و بهره تقویت کننده را روی یک تنظیم نمایید. پس از نصب مدار بالا و رعایت نکات ایمنی شروع به انجام آزمایش می کنیم.

الف) سنسور سطح

سر سنسور حدوداً به میزان ۵۰ میلی‌متر می‌تواند جابه‌جا شود، ابتدا به اندازه نصف این مقدار یعنی ۲۵ میلی‌متر سر آن را به داخل می‌بریم و ولوم voltage output pk-pk را در میانه رنج حرکتی آن می‌گذاریم و با تغییر دادن ولوم frequency، کاری می‌کنیم که خروجی ولتاژ در حدود صفر ولت شود (این حالت را با ولت‌متر انجام دهید). آنگاه سر سنسور را به ابتدای حرکتش بر می‌گردانید و مجموعه خروجی را توسط ولت‌متر اندازه‌گیری و جدول زیر را کامل کنید.

جدول (۳) نتایج آزمایش سنسور خازنی سطح متغیر

جایابی [mm]	۰	۵	۱۰	۱۵	۲۰	۲۵	۳۰	۳۵	۴۰	۴۵	۵۰
ولتاژ [V]											

سپس نتایج جدول فوق را در نمودار رسم کنید.

ب) سنسور طول

سر سنسور حدوداً به میزان ۴ میلی‌متر می‌تواند جابه‌جا شود، ابتدا به اندازه‌ی نصف این مقدار یعنی ۲ میلی‌متر سر آن را به داخل می‌بریم و پیچ voltage output pk-pk را در میانه‌ی رنج حرکتی آن می‌گذاریم و با تغییر دادن پیچ فرکانس، کاری می‌کنیم که خروجی ولتاژ در حدود صفر ولت شود (این حالت را با ولت‌متر انجام دهید). آنگاه سر سنسور را به ابتدای حرکتش بر می‌گردانید و مجموعه خروجی را توسط ولت‌متر اندازه‌گیری و جدول زیر را کامل کنید سپس نمودار آن را رسم کنید.

جدول (۴) نتایج آزمایش سنسور خازنی طول متغیر

جایابی [mm]	۰	۰/۵	۱	۱/۵	۲	۲/۵	۳	۳/۵	۴	۴/۵
ولتاژ [V]										

۱۰-۱) با توجه به نمودار میزان خطی بودن خروجی سنسورها را مشخص نمایید.

۱۰-۲) کدام یک از سنسورها خطی‌تر می‌باشد؟ دلیل آن را با توجه به مقدمه و ساختار سنسورها توجیه نمایید.

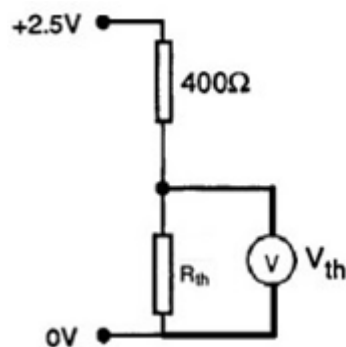
۱۰-۳) با استفاده از نرم افزار متلب، چند جمله‌ای مناسب را روی نمودارهای حاصل چسبانده و ضرائب چند جمله‌ای را بدست آورید.

۱۰-۴) حساسیت اندازه‌گیری این دو مجموعه را به دست آورید.

آزمایش ۱۱: سنسور ترمیستور

قسمت مربوط به سنسور ترمیستور از جزوه «آشنایی با تجهیزات» را مطالعه نمایید.

هدف در این مرحله آن است که بتوانیم سنسور را طوری در یک مدار الکتریکی به کار بندیم که بتوانیم به شکل خطی و مطلوب تغییرات مقاومت سنسور را به واسطه تغییرات دما به ولتاژ تبدیل کنیم. آزمایش‌ها و محاسباتی که در ضمیمه این بخش آورده شده است، ما را به سمت مدار زیر سوق داد.



شکل (۴۲) مدار راهانداز ترمیستور

مدار بالا را بسته و نتایج را در جدول (۵) یادداشت نمایید. برای تأمین منبع ولتاژ ثابت ۲٫۵ ولت (در صورت عدم وجود منبع تغذیه در آزمایشگاه) به واسطه بردهای اصلی موجود، مداری را طراحی کنید تا بدون افت ولتاژ ترمیستور راهاندازی شود.

جدول (۵) نتایج ولتاژ ترمیستور بر حسب دما

دما [°C]	۳۰	۴۰	۵۰	۶۰	۷۰	۸۰	۹۰	۱۰۰
$V_{th} = \frac{V_s}{R_c} \left(\frac{R_c R_{th}}{R_c + R_{th}} \right)$								

۱۱-۱) با توجه به نمودار، میزان خطی بودن خروجی سنسور را مشخص نمایید.

۱۱-۲) حساسیت اندازه‌گیری این سنسور را به دست آورید.

۱۱-۳) با استفاده نرم‌افزار متلب، چندجمله‌ای مناسب را روی نمودارهای حاصل چسبانده و ضرایب چندجمله‌ای را به دست آورید.

۱۱-۴) خطی بودن پاسخ چه اهمیتی دارد که پیوسته بر آن تأکید می‌شود؟

آزمایش ۱۲: سنسور RTD

قسمت مربوط به سنسور RTD از جزوه «آشنایی با تجهیزات» را مطالعه نمایید.

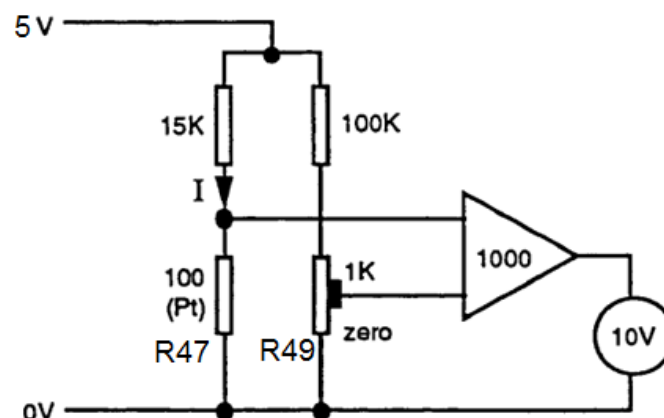
پیش‌گزارش:

- درمورد کاربردها و تفاوت‌های سه سنسور ترموکوپل، ترمیستور و RTD گزارشی تهیه کنید.

هدف در این مرحله آن است که بتوانیم سنسور را طوری در یک مدار الکتریکی به کار بندیم که بتوانیم به شکل خطی و مطلوب تغییرات مقاومت سنسور را به واسطه تغییرات دما به ولتاژ تبدیل کنیم.

مدار شکل زیر چگونگی راه‌اندازی این سنسور را نشان می‌دهد. مدار طوری طراحی شده است که بتوان به صورت مستقیم دمای بین صفر تا ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد را به ولتاژی بین صفر تا ۱۰ ولت تبدیل کرد.

ولتاژ ورودی را روی ۵ ولت تنظیم نمایید. R_{F7} را روی ۱۰۰ اهم تنظیم کنید. آن قدر R_{F9} را بچرخانید تا ولت‌متر خروجی صفر ولت را نشان دهد. این بار R_{F7} را از ۱۰۰ اهم (معادل مقاومت RTD در دمای صفر) به ۱۳۸ اهم (معادل RTD در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد) تغییر دهید و با چرخاندن مقاومت ورودی ولتاژ ورودی را طوری تغییر دهید تا خروجی ۱۰ ولت را ببینیم.



شکل (۴۳) مدار راه‌انداز RTD

حال دقیقاً مراحل واسنجی به طور کامل انجام شده و کافی است RTD را جایش قرار دهیم. در این مرحله حسگر به طور کامل آماده است تا دمای بین صفر تا ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد رو به ولتاژی بین صفر و ۱۰ ولت و با خطای ۰.۵ درجه سانتی‌گراد (چرا؟) نمایش دهد.

مدار بالا را بسته و پس از اجرای مراحل زیر نتایج را وارد نمایید و نمودار ولتاژ خروجی RTD بر حسب دما را رسم کنید.

برای دسترسی به دماهای مختلف از پایین‌ترین دما (شمار ۲۲ و چسبیده به گرماگیر) شروع کرده (چرا؟) و ضمن مشاهده دما توسط دماسنج الکلی، تانک حاوی سنسور و دماسنج را آرام‌آرام به قسمت تولیدکننده حرارت در گرم‌کن نزدیک کنید تا دما بالا رود.

جدول (۶) ولتاژ خروجی مدار RTD

دما [°C]	۳۰	۴۰	۵۰	۶۰	۷۰	۸۰	۹۰	۱۰۰
ولتاژ [V]								

۱۲-۱) با توجه به نمودار میزان خطی بودن خروجی سنسورها را مشخص نمایید.

۱۲-۲) حساسیت اندازه‌گیری این سنسور را به‌دست آورید.

۱۲-۳) با استفاده از دستور "cftool" نرم افزار متلب، چند جمله‌ای مناسب را روی نمودارهای حاصل چسبانده و ضرائب چند-جمله‌ای را به‌دست آورید.

۱۲-۴) چه عاملی باعث می‌شود RTD به صورت مدار مذکور به کار گرفته شود؟

آزمایش ۱۳: سنسور کرنش سنج

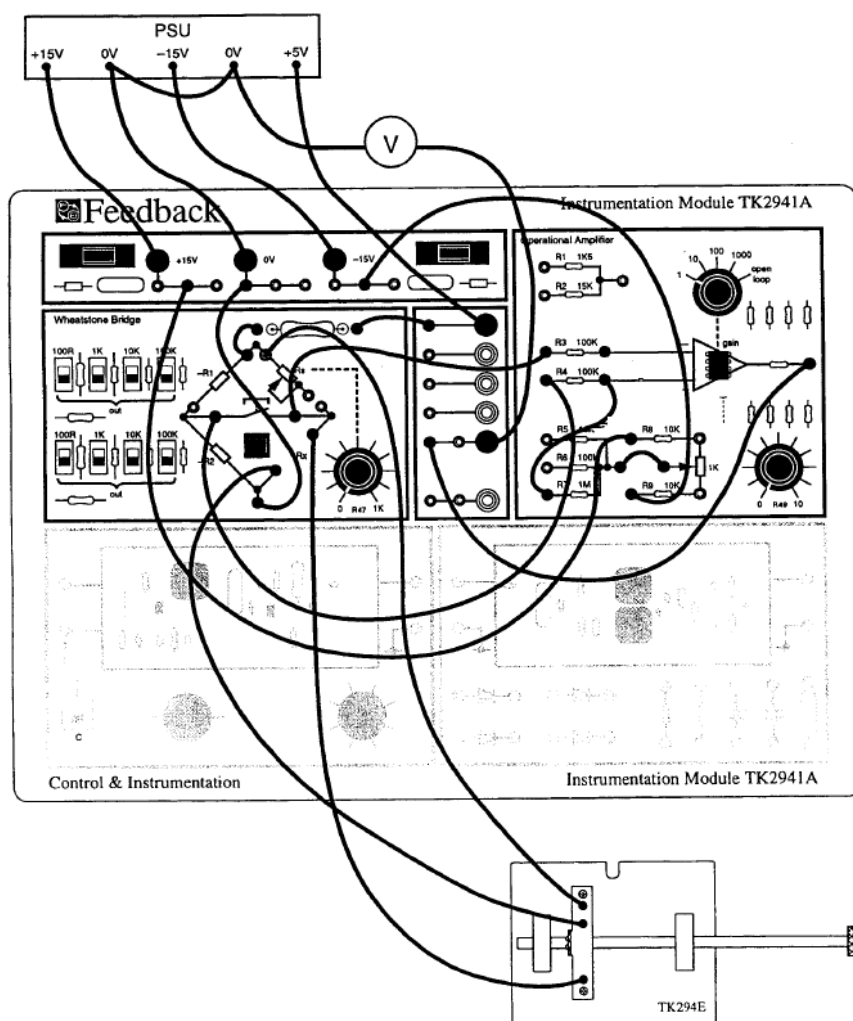
قسمت مربوط به سنسور کرنش سنج از جزوه «آشنایی با تجهیزات» را مطالعه نمایید.

پیش‌گزارش:

- درمورد آرایش‌های مختلف استفاده از کرنش سنج گزارشی تهیه کنید.

طبق توضیحات داده شده مدار زیر را بسته که دو سنسور S.G. با هم در مدار قرار می‌گیرند که فایده این کار در این است که اولاً حساسیت مجموعه بالا رفته و ثانیاً چون دو سنسور مشابه هم بوده و ضریب تغییر مقاومتی در آن‌ها در اثر تغییرات دما یکسان می‌باشد، اثرات دمایی یکدیگر را خنثی کرده و خطای خروجی به میزان قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد.

بهره تقویت‌کننده را روی ۱۰۰ تنظیم کنید. چون محدوده‌ی تغییرات سر سنسور در حدود ۵ میلی‌متر می‌باشد، سر سنسور را در نقطه‌ی وسط قرار داده (یعنی ۲٫۵ میلی‌متر به داخل ببرید) و سپس با پیچاندن ولوم $R_{۴۹}$ مقدار خروجی ولت‌متر را در محدوده‌ی صفر تنظیم نمایید. (دقت شود که تغییرات ولتاژ در محدوده‌ی خط نهم از $R_{۴۹}$ بسیار شدید می‌باشد و باید در این حدود تنظیم گردد و کمترین مقدار خروجی در مقدار تقریبی ۰٫۱- ولت می‌باشد) پس از انجام این کار، بهره تقویت‌کننده را روی ۱۰۰۰ قرار دهید تا تغییرات ولتاژ خروجی قابل رویت باشد.



شکل (۴۴) مدار عملیاتی بسته شده در آزمایشگاه برای سنسور کرنش سنج

جدول (۷) نتایج گرفته شده از آزمایش سنسور کرنش سنج

۳	۳,۵	۴	۴,۵	۵	۴,۵	۴	۳,۵	۳	۲,۵	جابجایی [mm]
										ولتاژ [V]
۲	۱,۵	۱	۰,۵	۰	۰,۵	۱	۱,۵	۲	۲,۵	جابجایی [mm]
										ولتاژ [V]

پس از کامل کردن جدول فوق، نتایج را رسم نمایید.

۱-۱۳) با توجه به نمودار، میزان خطی بودن خروجی سنسور را مشخص نمایید.

۲-۱۳) نمودار در کدام نقاط خطی تر است؟ دلیل آن را بیان کنید.

۳-۱۳) در باره هیستریزیس موجود در نمودار بحث نمایید. در کدام نقاط میزان هیستریزیس بیشتر است؟ دلیل آن را توجیه نمایید.

۴-۱۳) با استفاده از نرم‌افزار متلب، چند جمله‌ای مناسب را روی میانگین نمودارهای حاصل (نقطه وسط دو مقدار اندازه‌گیری شده) چسبانده و ضرائب چند جمله‌ای را به دست آورید.

۵-۱۳) حساسیت اندازه‌گیری این مجموعه را به دست آورید.

آزمایش ۱۴: سنسور القایی

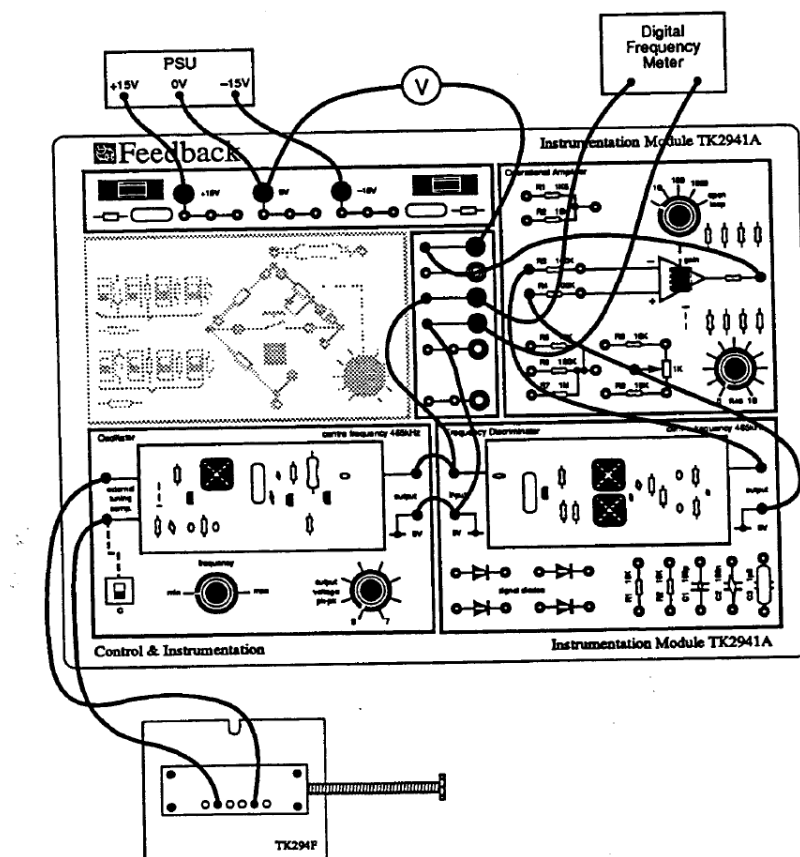
قسمت مربوط به سنسور القایی از جزوه «آشنایی با تجهیزات» را مطالعه نمایید.

طبق توضیحات داده شده مدار شکل (۴۵) را ببندید. کلید کوچکی که در سمت چپ برد اصلی قرار دارد را روی "L" قرار داده و بهره تقویت کننده را روی ۱۰ تنظیم نمایید. پس از نصب مدار و رعایت نکات ایمنی جدول زیر را کامل نمایید.

جدول (۸) نتایج آزمایش سنسور القایی

جابجایی [mm]	۰	۵	۱۰	۱۵	۲۰	۲۵	۳۰	۳۵	۴۰	۴۵	۵۰
ولتاژ [V]											

پس از کامل کردن جدول فوق، نتایج را در نمودار رسم نمایید.



شکل (۴۵) مدار عملیاتی آزمایشگاهی برای سنسور القایی

۱۴-۱) با توجه به نمودار میزان خطی بودن خروجی سنسور را مشخص نمایید.

۱۴-۲) نحوه رفتار سنسور فوق را با توجه به تئوری آزمایش و عملکرد سنسور تحلیل نمایید.

۱۴-۳) با استفاده از متلب، چند جمله‌ای مناسب را روی نمودارهای حاصل چسبانده و ضرائب چند جمله‌ای را به دست آورید.

۱۴-۴) حساسیت اندازه‌گیری این مجموعه را به دست آورید.

۱۵-۵) حساسیت اندازه‌گیری این مجموعه را به دست آورید.

دستور کار آزمایش‌های میز سه درجه آزادی

آزمایش ۱۶: کالیبراسیون شتاب‌سنج

پیش‌گزارش:

- درمورد انواع و کاربردهای سنسور شتاب‌سنج گزارشی تهیه کنید.
- کالیبراسیون را با ذکر مثال تعریف کنید.

۱-۱۶- دو وضعیتی

خروجی یک شتاب‌سنج تک‌محوره، به صورت زیر مدل می‌شود.

$$\tilde{a} = (1 + S)a + b + n \quad (۱)$$

در این رابطه \tilde{a} مقدار اندازه‌گیری شده، S خطای ضریب مقیاس، a مقدار حقیقی شتاب، b بایاس اندازه‌گیری و n نویز اندازه‌گیری است که معمولاً گاوسی با میانگین صفر فرض می‌شود. برای حذف نویز می‌توان از اندازه‌گیری‌ها میانگین گرفت؛ بدین ترتیب رابطه زیر حاصل می‌شود.

$$E[\tilde{a}] = (1 + S)a + b \quad (۲)$$

اگر شتاب‌سنج را به نحوی قرار دهیم که محور حساس آن در راستای بردار جاذبه زمین (یعنی به سمت پایین) قرار گیرد، می‌بایست مقدار -1 یا $-g$ ($g \approx 9.8 \text{ m/s}^2$) را نشان دهد و اگر در راستای خلاف جاذبه زمین قرار گیرد، می‌بایست مقدار $+1$ یا $+g$ را نشان دهد؛ اما بر طبق مدل (۱) اندازه‌گیری‌ها خطا داشته و به صورت زیر خواهند بود.

$$\begin{aligned} \tilde{a}^{down} &= (1 + S)(-1) + b + n \\ \tilde{a}^{up} &= (1 + S)(+1) + b + n \end{aligned} \quad (۳)$$

۱-۱۶-۱) چرا با قرارگیری محور حساس شتاب‌سنج در راستای بردار جاذبه زمین، مقدار -1 یا $-g$ (مقدار منفی) را نشان می‌دهد؟ اگر دقت شود با عمل میانگین‌گیری و حذف نویز از رابطه (۳)، می‌توان با حل دو معادله دو مجهول به دست آمده، مقادیر S و b را مطابق زیر حساب کرد.

$$\begin{aligned} \hat{b} &= \frac{1}{2} \left(E[\tilde{a}^{down}] + E[\tilde{a}^{up}] \right) \\ \hat{S} &= \frac{1}{2} \left(E[\tilde{a}^{up}] - E[\tilde{a}^{down}] \right) - 1 \end{aligned} \quad (۴)$$

بدین ترتیب می‌توان مقدار حقیقی شتاب را از روی رابطه زیر به دست آورد.

$$\hat{a} = \frac{1}{1 + \hat{S}} (\tilde{a} - \hat{b}) \quad (۵)$$

۱۶-۱-۲) در شرایطی که نتوان سنسور را ۱۸۰ درجه دوران داد و در دو وضعیت پیشنهاد شده قرار داد، چه می‌توان کرد؟ ابتدا میز سه درجه آزادی را در حالت تراز قرار داده سپس محور x شتاب‌سنج موجود را در دو وضعیت پیشنهادی خودتان قرار دهید و به مدت یک دقیقه با نرخ ۱۰۰ هرتز داده‌برداری کنید.

۱۶-۱-۳) ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)^۱ اندازه‌گیری‌های سنسور را با استفاده از رابطه زیر به دست آورید.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\tilde{a}_i - E[\tilde{a}])^2} \quad (۶)$$

۱۶-۱-۴) ضرایب کالیبراسیون (ضریب مقیاس و بایاس) را برای اندازه‌گیری‌های انجام گرفته به دست آورید.

۱۶-۱-۵) اندازه‌گیری‌های سنسور را با استفاده از ضرایب به دست آورده کالیبره کرده و RMSE آن را با حالت قبل از کالیبراسیون مقایسه کنید.

۱۶-۲- برازش داده‌ها

IMU را چنان بر روی میز سه درجه آزادی نصب کنید که محور x آن در راستای محور چرخش (Roll) و z عمود بر صفحه به سمت بالا (محور Yaw) باشد. مطابق جدول (۱۰) میز را در زوایای مختلف قرار داده و در هر وضعیت به مدت ۳۰ ثانیه داده‌برداری کرده و سپس جدول را کامل کنید.

جدول (۱۰) مقادیر حقیقی و اندازه‌گیری‌شده شتاب‌سنج در آزمایش (۱۶-۲)

زاویه فراز (θ)	-۷۰	-۵۰	-۳۰	-۱۵	-۵	۰	۵	۱۵	۳۰	۵۰	۷۰
$\sin(\theta)$											
$E[\tilde{a}_x]$											

۱۶-۲-۱) نمودار میانگین اندازه‌گیری‌ها را نسبت به مقادیر حقیقی رسم کنید.

۱۶-۲-۲) خطی بر نمودار برازش کنید؛ معادله خط و خطای برازش را به دست آورید.

۱۶-۲-۳) با استفاده از خط برازش شده، ضرایب کالیبراسیون را بنویسید.

۱۶-۲-۴) RMSE قبل و بعد از کالیبراسیون را برای این آزمایش برای هر یک از وضعیت‌ها به‌طور جداگانه محاسبه و جدول (۱۱) را کامل کنید؛ سپس نمودار RMSE قبل و بعد از کالیبراسیون را برحسب زاویه فراز روی یک نمودار رسم کنید.

جدول (۱۱) ریشه میانگین مربعات خطای آزمایش (۱۶-۲)

زاویه فراز (θ)	-۷۰	-۵۰	-۳۰	-۱۵	-۵	۰	۵	۱۵	۳۰	۵۰	۷۰	میانگین RMSE
RMSE قبل از کالیبراسیون												
RMSE بعد از کالیبراسیون												

^۱ Root Mean Square Error

۱۶-۳- شش وضعیتی

برای یک شتاب‌سنج سه محوره رابطه (۲) به صورت زیر تغییر می‌کند.

$$E[\tilde{a}_x] = (1 + s_{xx})a_x + s_{xy}a_y + s_{xz}a_z + b_x \quad (۷)$$

شکل کلی رابطه فوق برای هر سه محور شتاب‌سنج مطابق رابطه زیر است.

$$\begin{bmatrix} E[\tilde{a}_x] \\ E[\tilde{a}_y] \\ E[\tilde{a}_z] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1+s_{xx} & s_{xy} & s_{xz} \\ s_{yx} & 1+s_{yy} & s_{yz} \\ s_{zx} & s_{zy} & 1+s_{zz} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_x \\ a_y \\ a_z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} b_x \\ b_y \\ b_z \end{bmatrix} \quad (۸)$$

رابطه فوق را به صورت رابطه زیر نیز می‌توان بازنویسی کرد.

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} E[\tilde{a}_x] \\ E[\tilde{a}_y] \\ E[\tilde{a}_z] \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} a_x \\ a_y \\ a_z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} s_{xx} & s_{xy} & s_{xz} \\ s_{yx} & s_{yy} & s_{yz} \\ s_{zx} & s_{zy} & s_{zz} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_x \\ a_y \\ a_z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} b_x \\ b_y \\ b_z \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} a_x \\ a_y \\ a_z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} s_{xx} & s_{xy} & s_{xz} & b_x \\ s_{yx} & s_{yy} & s_{yz} & b_y \\ s_{zx} & s_{zy} & s_{zz} & b_z \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_x \\ a_y \\ a_z \\ 1 \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (۹)$$

حال با قرار دادن شتاب‌سنج به نحوی که محور x آن در راستای جاذبه زمین (به سمت پایین) قرار داشته باشد، خواهیم داشت:

$$\begin{bmatrix} E[\tilde{a}_x^{xd}] \\ E[\tilde{a}_y^{xd}] \\ E[\tilde{a}_z^{xd}] \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} -1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} s_{xx} & s_{xy} & s_{xz} & b_x \\ s_{yx} & s_{yy} & s_{yz} & b_y \\ s_{zx} & s_{zy} & s_{zz} & b_z \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -1 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (۱۰)$$

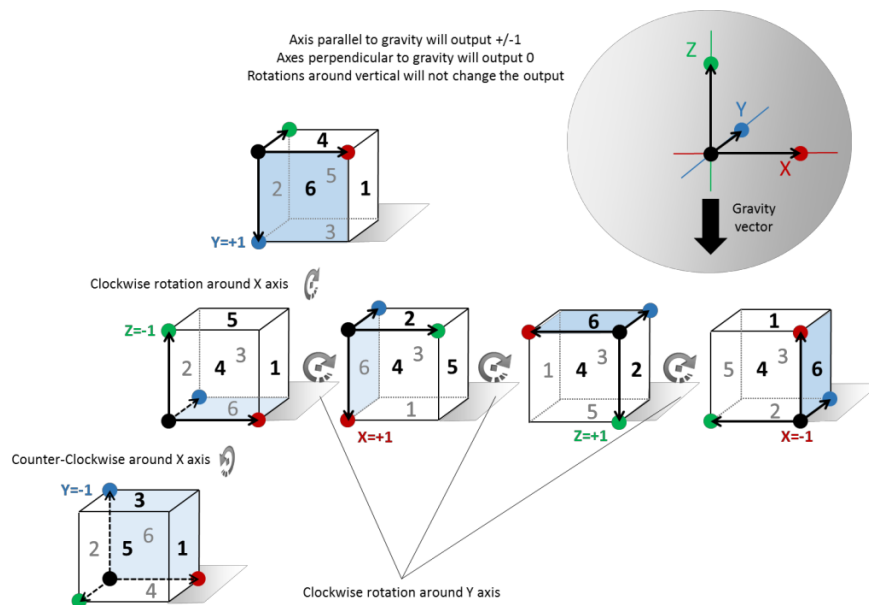
با تکرار رابطه (۱۰) برای عکس جهت قبل (محور x به سمت بالا- xu) و همچنین برای محوره‌های y و z و از کنار هم قرار دادن روابط به دست آمده، به سادگی می‌توان به رابطه (۱۱) رسید. شکل (۴۷) شش وضعیت مختلف قرارگیری IMU را نشان می‌دهد.

$$M = X.A \quad (۱۱)$$

که در آن:

$$M = \begin{bmatrix} E[\tilde{a}_x^{xu}] - 1 & E[\tilde{a}_x^{xd}] + 1 & E[\tilde{a}_x^{yu}] & E[\tilde{a}_x^{yd}] & E[\tilde{a}_x^{zu}] & E[\tilde{a}_x^{zd}] \\ E[\tilde{a}_y^{xu}] & E[\tilde{a}_y^{xd}] & E[\tilde{a}_y^{yu}] - 1 & E[\tilde{a}_y^{yd}] + 1 & E[\tilde{a}_y^{zu}] & E[\tilde{a}_y^{zd}] \\ E[\tilde{a}_z^{xu}] & E[\tilde{a}_z^{xd}] & E[\tilde{a}_z^{yu}] & E[\tilde{a}_z^{yd}] & E[\tilde{a}_z^{zu}] - 1 & E[\tilde{a}_z^{zd}] + 1 \end{bmatrix}$$

$$X = \begin{bmatrix} s_{xx} & s_{xy} & s_{xz} & b_x \\ s_{yx} & s_{yy} & s_{yz} & b_y \\ s_{zx} & s_{zy} & s_{zz} & b_z \end{bmatrix}, \quad A = \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$



شکل (۴۷) شش وضعیت مختلف قرارگیری IMU در کالیبراسیون به روش حداقل مربعات شش وضعیتی

به راحتی ماتریس مجهولات طبق رابطه زیر به دست می‌آید.

$$\hat{X} = MA^T (AA^T)^{-1} \quad (۱۲)$$

به روش فوق، کالیبراسیون به روش حداقل مربعات شش وضعیتی گفته می‌شود.

۱۶-۳-۱) برای انجام کالیبراسیون به روش حداقل مربعات، حداقل به چند وضعیت نیاز است؟
 ۱۶-۳-۲) برای وضعیت‌های داده شده در جدول (۱۲)، ماتریس‌های M و A را تشکیل داده و شتاب‌سنج موجود در آزمایشگاه را به روش حداقل مربعات با این وضعیت‌ها کالیبره کنید. (علت جایگزینی این وضعیت‌ها، محدودیت دوران میز در محورهای چرخش و فراز است).

جدول (۱۲) وضعیت‌های آزمایش (۱-۳) برای کالیبراسیون شتاب‌سنج به روش حداقل مربعات شش وضعیتی

۶	۵	۴	۳	۲	۱	زاویه / وضعیت
۶۰	۰	۰	-۶۰	۶۰	۰	زاویه چرخش (ϕ)
۶۰	-۶۰	۶۰	۰	۰	۰	زاویه فراز (θ)

۱۶-۳-۳) RMSE قبل و بعد کالیبراسیون را باهم مقایسه کنید.

آزمایش ۱۷: کالیبراسیون ژيروسکوپ

پیش‌گزارش:

- درمورد انواع و کاربردهای سنسور ژيروسکوپ گزارشی تهیه کنید.

۱۷-۱- تک‌محوره

رابطه زیر یک مدل بسیار ساده برای خروجی یک ژيروسکوپ تک‌محوره است.

$$E[\tilde{\omega}] = (1+s)\omega + b \quad (۱۳)$$

در بعضی مدل‌ها علاوه بر خطای بایاس و ضریب مقیاس، بایاس وابسته به شتاب را نیز لحاظ می‌کنند. رابطه زیر این مدل را نشان می‌دهد.

$$E[\tilde{\omega}] = (1+s)\omega + b_g a + b_f \quad (۱۴)$$

در رابطه فوق، b_f بایاس ثابت و b_g ضریب بایاس وابسته به شتاب است.

IMU را به نحوی بر روی میز سه درجه نصب کنید که محور z آن عمود بر صفحه میز به سمت بالا قرار گیرد. با راهنمایی و نظارت مسئول آزمایشگاه، میز را با سرعت‌های مختلف (هرکدام به مدت ۳۰ ثانیه) حول محور سمت چرخانده و جدول زیر را تکمیل کنید.

جدول (۱۳) نتایج آزمایش (۱۷-۱)

سرعت [rpm]	-۵۰	-۴۰	-۳۰	-۲۰	-۱۰	۰	۱۰	۲۰	۳۰	۴۰	۵۰
$E[\tilde{\omega}_z^{zu}]$											

۱۷-۱-۱) منحنی میانگین $E[\tilde{\omega}_z^{zu}]$ را برحسب سرعت دوران رسم کنید؛ سپس خطی بر داده‌ها برازش کرده و پارامترهای مدل (۱۳) را برای این سنسور محاسبه کنید.

۱۷-۱-۲) برای استخراج پارامترهای مدل (۱۴) چه می‌توان کرد؟

۱۷-۱-۳) اگر در حین دوران میز، IMU با فاصله d از مرکز دوران قرار گرفته باشد، چه تأثیری بر اندازه‌گیری سنسورها (ژيروسکوپ و شتاب‌سنج) دارد؟

۱۷-۲- شش وضعیتی

روش کالیبراسیون حداقل مربعات شش وضعیتی برای ژيروسکوپ، بسیار شبیه شتاب‌سنج است با این تفاوت که به جای ساکن قرار دادن سنسور، آن را به کمک میز با سرعت ثابت مشخصی می‌چرخانیم.

۱۷-۲-۱) روابط کالیبراسیون شش وضعیتی را برای ژيروسکوپ بازنویسی کنید.

۱۷-۲-۲) ژيروسکوپ موجود در آزمایشگاه را به روش حداقل مربعات شش وضعیتی با سرعت ۶۰ rpm و زوایای مذکور در جدول (۱۴) کالیبره کنید.

جدول (۱۴) وضعیت‌های آزمایش (۲-۱۷) برای کالیبراسیون ژيروسکوپ به روش حداقل مربعات شش وضعیتی

زاویه / وضعیت	۱	۲	۳	۴	۵	۶
زاویه چرخش (ϕ)	۰	۶۰	-۶۰	۰	۰	۶۰
زاویه فراز (θ)	۰	۰	۰	۶۰	-۶۰	۶۰

۲-۱۷-۳ RMSE قبل و بعد کالیبراسیون را باهم مقایسه کنید.