



دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

گروه کنترل و سیستم

آزمایشگاه ابزار دقیق

لطفاً برای صرفه‌جویی در مصرف کاغذ، این دستور کار را به صورت دورو چاپ کنید

## سامانه هیدرولیکی

تعداد جلسات: ۲

پیش‌نیاز:

- ✓ مدار فرمان
- ✓ سیمولینک
- ✓ جعبه ابزار Real Time
- ✓ ارتباط با کارت I/O



سامانه‌های هیدرولیکی از موارد پر استفاده در صنعت برای کنترل و اعمال فرمان به فرآیندهای گوناگون می‌باشند. عناصر اصلی در این سیستم‌ها شامل پمپ هیدرولیکی، شیرهای کنترل جریان سیال، حسگرهای فشار و دبی سیال می‌باشند. در این آزمایش ابتدا توضیحات مختصری در مورد سیستم‌های هیدرولیکی و مدارات فرمان آنها ارائه شده، سپس کارت I/O و نحوه ارتباط و تنظیم آن در نرم‌افزار متلب معرفی می‌شود. کارت I/O برای انتقال سیگنال‌های اندازه‌گیری شده فرایند به نرم‌افزار و اعمال فرمان‌ها از نرم‌افزار به محرکه‌های الکتریکی موجود در فرآیند استفاده خواهد شد. در انتها کنترل‌کننده‌ای برای کنترل سرعت هیدروموتور طراحی می‌شود و توسط نرم‌افزار متلب و از طریق کارت I/O و مدارات جانبی به فرآیند به اعمال می‌شود.

K. N. Toosi University of Technology  
Instrumentation Lab

Last update: 3/Sep/2023

E. Amini

H.R. Chavoshi

A. Khoshlahjeh

Website:

[instlab.kntu.ac.ir](http://instlab.kntu.ac.ir)

Email:

[instlab@saba.kntu.ac.ir](mailto:instlab@saba.kntu.ac.ir)

## فهرست مطالب

۱	.....فهرست مطالب
۲	.....بخش ۱- آشنایی با سامانه هیدرولیکی
۲	.....۱-۱- قسمت هیدرولیکی
۲	.....۱-۱-۱- شیر سرو
۳	.....۱-۱-۲- هیدروموتور
۴	.....۲-۱- قسمت مدار فرمان (الکتریکی)
۴	.....۱-۲-۱- مدار چپرو و راسترو با کلید
۴	.....۱-۲-۲- مدار چپرو و راسترو با رله
۵	.....۱-۲-۳- مدار چپرو و راسترو خودکار با رله و Limit Switch
۶	.....بخش ۲- کنترل سرعت هیدروموتور از طریق کارت I/O
۶	.....۲-۱-۱- کارت I/O مدل PCI 1711
۷	.....۲-۱-۲- تنظیم سرعت هیدروموتور با کنترل کننده و مدار راه انداز مناسب

## بخش ۱ - آشنایی با سامانه هیدرولیکی

در این آزمایش ابتدا قسمت‌هایی از یک سامانه هیدرولیکی معرفی می‌شود، سپس با استفاده از کارت I/O و سیمولینک نرم افزار متلب یک کنترل کننده سرعت برای هیدروموتور طراحی و پیاده‌سازی می‌شود.

سامانه هیدرولیکی موجود در آزمایشگاه دارای قسمت‌های زیر می‌باشد:

۱. قسمت هیدرولیکی: شامل پمپ روغن، شیر سرو، هیدروموتور<sup>۲</sup>، سیلندر هیدرولیکی<sup>۳</sup>، دبی‌سنج<sup>۴</sup> و فشارسنج<sup>۵</sup>.

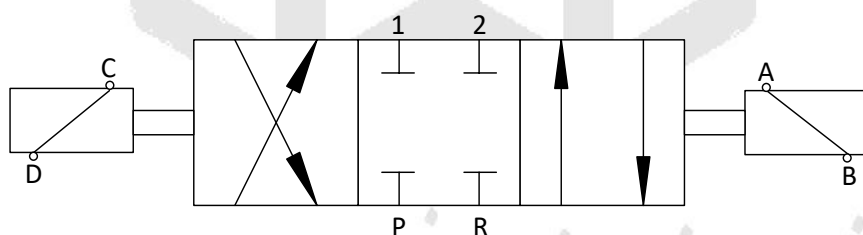
۲. قسمت مدار فرمان (الکتریکی): شامل کلید<sup>۶</sup> و شاسی<sup>۷</sup> دو وضعیت، رله<sup>۸</sup>، تایمر، حسگر و نمایشگر LVDT<sup>۹</sup>، حسگر و نمایشگر تاکومتر<sup>۱۰</sup> و کارت I/O.

### ۱-۱- قسمت هیدرولیکی

پمپ موجود در این سیستم توانایی پمپاژ روغن تا  $1000 \text{ PSI}^{11}$  را دارد که در این آزمایش با فشار  $600 \text{ PSI}$  سر و کار خواهیم داشت. خروجی پمپ ابتدا به یک شیر سرو متصل می‌شود که توسط آن بتوان جهت حرکت هیدروموتور و سیلندر هیدرولیکی را عوض کرد. هیدروموتور و یا سیلندر هیدرولیکی بعد از شیر سرو قرار می‌گیرند و در نهایت روغن از یک دبی‌سنج عبور کرده و بار دیگر به مخزن می‌ریزد.

#### ۱-۱-۱- شیر سرو

نماد یک شیر سرو به صورت شکل ۱ می‌باشد. در شکل ۲ نیز یک شیر سرو که به یک هیدروموتور متصل می‌باشد، نشان داده شده است.



وضعیت ۱      وضعیت ۲      وضعیت ۳

شکل ۱- نماد یک شیر سرو

1 (Electro-hydraulic) Servo Valve

2 Hydro Motor

3 Hydraulic Cylinder

4 Flow meter

5 Pressure Gauge

6 Switch

7 Button

8 Relay

9 Linear Variable Differential Transformer

10 Tachometer

11 Pound-force per Square Inch

با توجه به شکل ۱، وضعیت شیر سرو توسط دو زوج سیگنال تعیین می‌شود که به صورت زیر قابل بیان می‌باشند:

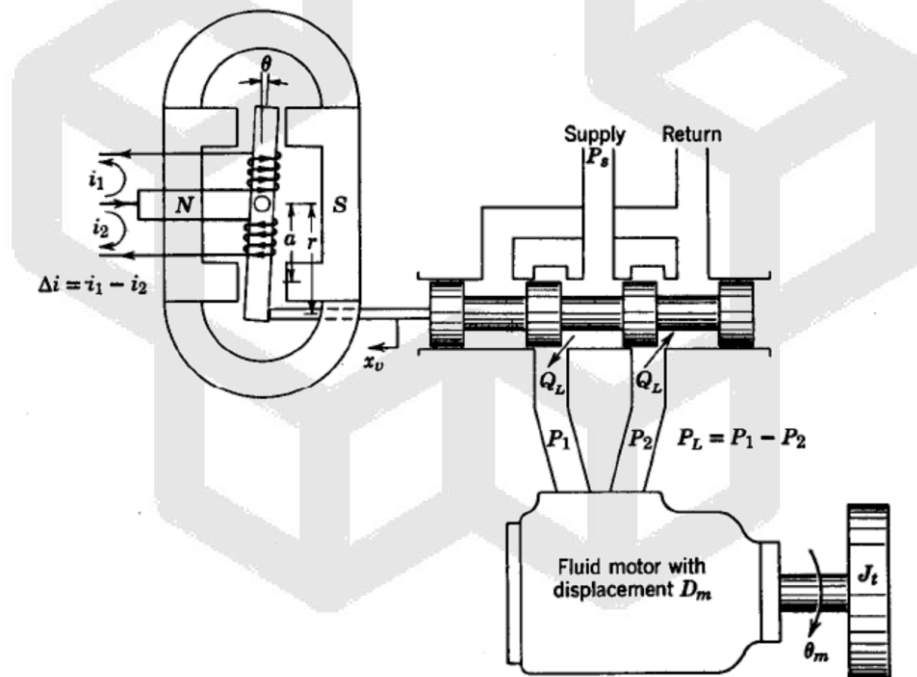
**وضعیت ۱:** با اعمال ولتاژ به زوج سیگنال  $A^+, B^-$  (از ۰ تا ۱۰ ولت) انتخاب می‌شود. به ازای صفر ولت شیر کاملاً بسته بوده و به ازای ۱۰ ولت کاملاً باز می‌شود.

**وضعیت ۲:** با اعمال ولتاژ به زوج سیگنال  $C^-, D^+$  (از ۰ تا ۱۰ ولت) انتخاب می‌شود. به ازای صفر ولت شیر کاملاً بسته بوده و به ازای ۱۰ ولت کاملاً باز می‌شود.

**وضعیت ۳:** اگر به هیچ یک از زوج سیگنال‌ها ولتاژی اعمال نشود و یا به هر دوی آنها به یک اندازه ولتاژ وارد شود، هر دو مسیر بسته می‌شوند.

## ۲-۱-۱-۲- هیدروموتور

در شکل ۲ نحوه تغییر جهت چرخش یک هیدروموتور توسط یک شیر سرو نشان داده شده است.



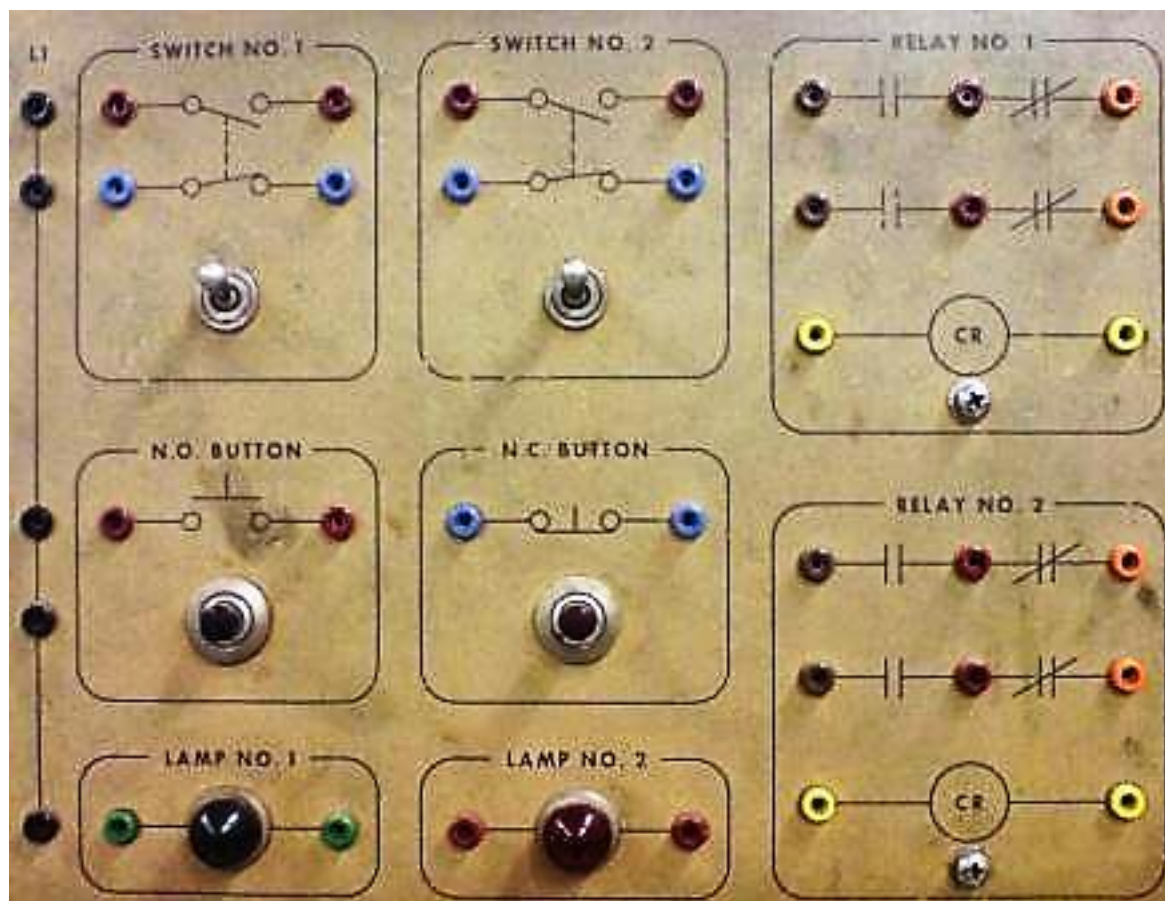
شکل ۲- نحوه کارکرد یک شیر سرو

**پرسش ۱-** ولتاژ زوج سیگنال  $A^+, B^-$  را طوری تنظیم کنید که سرعت موتور به  $200 \text{ RPM}$  برسد و جریان مصرفی توسط این سیم پیچ را یادداشت کنید. ولتاژ زوج سیگنال  $A^+, B^-$  را قطع کنید و با یک منبع دیگر، ولتاژ زوج سیگنال  $C^-, D^+$  را طوری تنظیم کنید که سرعت موتور بار دیگر به  $200 \text{ RPM}$  برسد. اگر همزمان هر دو زوج سیگنال را به منابع ولتاژ وصل کنید (اتصال موازی) چه تغییری در سرعت رخ خواهد داد؟

**پرسش ۲-** چرا با قطع ولتاژ شیر سرو، هیدروموتور به یکباره متوقف می‌شود و هیچگونه حالت گذاری در متوقف شدن آن دیده نمی‌شود؟

## ۱-۲- قسمت مدار فرمان (الکتریکی)

این قسمت شامل دو کلید دو وضعیت، دو شاسی NO و NC و دو رله به همراه تیغه‌های باز و بسته می‌باشد. نمایی از این قسمت در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۳- قسمت مدار فرمان

### ۱-۲-۱- مدار چپرو و راسترو با کلید

ابتدا با استفاده از کلیدهای  $S_1$  و  $S_2$  مدار فرمانی طراحی کنید که اهداف زیر حاصل شود:

۱- با استفاده از کلید  $S_1$  حرکت پیستون متوقف شود.

۲- با استفاده از کلید  $S_2$  جهت حرکت پیستون عوض شود.

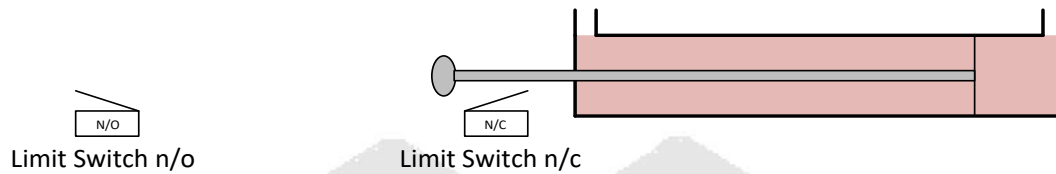
### ۱-۲-۲- مدار چپرو و راسترو با رله

مدار این قسمت همانند مرحله قبل می‌باشد، فقط به جای کلید  $S_2$  از تیغه‌های NO و NC رله استفاده خواهد شد. سعی

کنید در مدار فرمان رله تنها از شاسی‌های NO و NC استفاده نمائید.

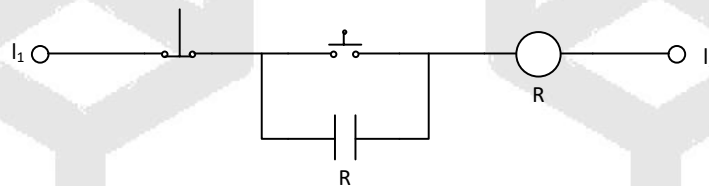
### ۳-۲-۱- مدار چپرو و راسترو خودکار با رله و Limit Switch

در این قسمت مطابق شکل ۴ از دو Limit Switch که یکی NO و دیگری NC می‌باشد استفاده خواهد شد تا بتوان امکانی به وجود آورد که حرکت چپ و راست پیستون به صورت خودکار انجام گیرد.



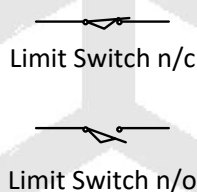
شکل ۴- سیلندر هیدرولیکی به همراه Limit Switch

با استفاده از تیغه‌های باز و بسته دو Limit Switch که در ابتدا و انتهای مسیر حرکت پیستون واقع شده‌اند، مدار فرمان شکل ۵ را طوری تغییر دهید که پیستون به طور مرتب به سمت چپ و راست حرکت کند.



شکل ۵- مدار فرمان

**توجه-** تیغه‌های باز و بسته Limit Switch به صورت زیر می‌باشند:



شکل ۶: تیغه‌های باز و بسته Limit Switch

**توجه-** به جهت حرکت پیستون در حالت روشن بودن رله، دقت کنید. در این مرحله شاید لازم باشد که جای شلنگ‌های ورودی و خروجی سیلندر هیدرولیکی را عوض کنید.

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

## بخش ۲ - کنترل سرعت هیدروموتور از طریق کارت I/O

در این قسمت از آزمایش با استفاده از سیگنال دریافتی از تاکومتر، قصد کنترل سرعت هیدروموتور را داریم. خروجی تاکومتر توسط ورودی آنالوگ کارت I/O به نرم‌افزار منتقل شده و سیگنال کنترلی نیز به وسیله خروجی آنالوگ کارت I/O و از طریق مدار راه‌انداز به هیدروموتور اعمال می‌شود.

### ۱-۱-۲ - کارت I/O مدل PCI 1711

کارت I/O مورد استفاده در این آزمایش مدل PCI-1711U ساخت شرکت Advantech می‌باشد که دارای کانال‌های ورودی و خروجی برای سیگنال‌های دیجیتال و آنالوگ می‌باشد. مشخصات دقیق این کارت در دفترچه راهنمای آن موجود است، در جدول ۱ به طور خلاصه بعضی از مشخصات این کارت آورده شده است.

جدول ۱ - مشخصات کارت I/O مدل PCI-1711U

توضیحات	تعداد	-
5 V/TTL	۱۶	ورودی دیجیتال
Sink: 8 mA @ 0.8 V Source: - 0.4 mA @ 2 V 5 V/TTL	۱۶	خروجی دیجیتال
تفکیک‌پذیری <sup>۱</sup> : ۱۲ بیت نرخ نمونه‌برداری: 100 kS/s گستره <sup>۲</sup> ورودی: $\pm 10, \pm 5, \pm 2.5, \pm 1.25, \pm 0.625$	۱۶	ورودی آنالوگ
تفکیک‌پذیری: ۱۲ بیت گستره خروجی: 0~5, 0~10 جریان‌دهی: 3 mA	۲	خروجی آنالوگ

**پرسش ۳ -** با مقایسه جریان گذرنده از سیم‌پیچ‌های شیر سرو<sup>۱</sup> (که در پرسش ۱ یادداشت کردید) و اطلاعات کانال خروجی کارت I/O در جدول ۱، چه نیازی به استفاده از مدار راه‌انداز برای راه‌اندازی شیر سرو می‌باشد؟

این کارت در رایانه موجود در آزمایشگاه نصب شده است. حال برای کنترل هیدروموتور از طریق کارت I/O بایستی یک بار مراحل زیر را در محیط سیمولینک طی کرد:

<sup>1</sup> Resolution

<sup>2</sup> Range

### ۱- باز کردن کتابخانه **Real-Time Windows Target**:

- a. اضافه کردن یک بلوک ورودی آنالوگ به محیط سیمولینک
- b. اضافه کردن دو بلوک خروجی آنالوگ به محیط سیمولینک

### ۲- تنظیمات بلوک ورودی آنالوگ با دوبار کلیک بر روی آن:

- a. انتخاب مدل PCI-1711
- b. تنظیم گستره خروجی: 10~ -10
- c. انتخاب کانال ۱ با زمان نمونه برداری ۰.۰۰۱ ثانیه

### ۳- تنظیمات بلوک های خروجی آنالوگ با دوبار کلیک بر روی آن:

- a. انتخاب مدل PCI-1711
- b. تنظیم گستره خروجی: 0~10
- c. انتخاب کانال های ۱ و ۲ با زمان نمونه برداری 0.001 ثانیه

### ۴- تنظیمات نوار ابزار **Simulation**:

- a. انتخاب گزینه Configuration Parameters... (یا فشردن Ctrl+E)
- b. تغییر Solver options از Variable-step به Fixed-step
- c. تغییر زمان نمونه برداری از حالت auto به ۰.۰۰۱ ثانیه
- d. تغییر Stop time از ۱۰ ثانیه به inf
- e. انتخاب گزینه Code Generation
- f. انتخاب rtwin.tlc در قسمت System target file و فشردن OK

### ۵- تغییر مد **Normal** به مد **External**

### ۶- تنظیمات نوار ابزار **Code**:

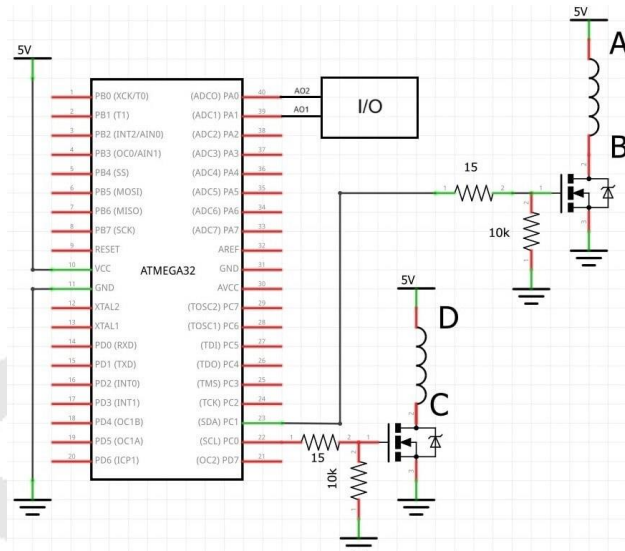
- a. انتخاب گزینه External Mode Control Panel...
- b. انتخاب گزینه Signal & Triggering ...
- c. قرار دادن مقدار قسمت Duration برابر با ۱۰۰۰۰۰۱

## ۲-۱-۲- تنظیم سرعت هیدروموتور با کنترل کننده و مدار راه انداز مناسب

با توجه به تفاوت جریان خروجی های کارت I/O و جریان مصرفی بالای سیم پیچ های شیر سرو، نمی توان ولتاژ خروجی کارت I/O را مستقیماً به سیم پیچ شیر برقی اعمال کرد و نیاز به مداری واسط جهت راه اندازی شیر سرو می باشد. مدار راه اندازی که برای اعمال ولتاژ خروجی کارت I/O به شیر سرو طراحی شده است شامل یک میکروکنترلر و دو عدد ترانزیستور می باشد. مطابق شکل ۷ ولتاژ های مربوط به فرمان سیم پیچ های شیر سرو را از روی کارت I/O توسط ADC های یک



میکروکنترلر دریافت و ثبت می شود و متناسب با دامنه ولتاژ ورودی، عرض پالس PWM در برنامه میکروکنترلر تنظیم می شود. سیگنال PWM یک پالس دیجیتال با عرض متغیر می باشد که به ترانزیستورهای MOSFET توان بالای خروجی وارد می شود و جریان لازم برای تحریک سیم پیچ های شیر سرو را تنظیم می کند. در روش PWM با تغییر عرض پالس (Duty Cycle) مقدار موثر ولتاژ اعمال شده به شیر سرو قابل تعیین می باشد. در این حالت سر مثبت سیم پیچ های شیر سرو (A و D) مستقیماً به خروجی مثبت منبع تغذیه متصل می باشد و سر منفی آنها (B و C) توسط ترانزیستورهای ماسفت تعبیه شده در مدار راه اندازی به زمین منبع تغذیه ارتباط دارند و توسط آنها قطع و وصل می شوند (به روش PWM).



شکل ۷: مدار راه انداز

هدف از این بخش کنترل حلقه بسته هیدروموتور بر روی سرعت  $\pm 300 \text{ RPM}$  با فاصله زمانی ۱۰ ثانیه می باشد، برای نیل به این مقصود مراحل زیر را به ترتیب انجام دهید:

۱- یک نمایشگر<sup>۱</sup> به خروجی بلوک ورودی آنالوگ متصل کنید. تیک محدودیت داده های ذخیره شده در نمایشگر را برداشته و اطلاعات آن را در workspace به صورت Structure with time ذخیره کنید.

۲- کلیدهای Ctrl+B را فشار دهید و چند لحظه (تقریباً ۲۰ الی ۳۰ ثانیه) صبر کنید تا برنامه کامپایل شود. برای اطمینان از صحت کامپایل شدن به محیط Command Window نگاه کنید.

۳- کلیدهای Ctrl+T را فشار دهید، سامانه هیدرولیکی را روشن کنید. با شروع شبیه سازی جریان گذرنده از منبع تغذیه برای راه اندازی شیر سرو را به ازای سرعت  $400 \text{ RPM}$  یادداشت نمایید.

**پرسش ۴-** با استفاده از خروجی نمایشگر استفاده شده در این شبیه سازی و با توجه به اینکه تاکومتر استفاده شده در این آزمایش رفتار تقریباً خطی دارد، چه راهکاری برای تبدیل خروجی تاکومتر (از جنس ولتاژ) به RPM پیشنهاد می کنید؟

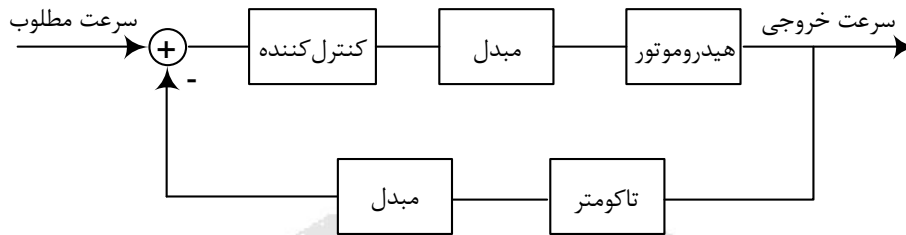
**پرسش ۵-** با توجه به اینکه خروجی تاکومتر بسیار نویزی می باشد، چه راهکاری برای کاهش نویز و نمایش بهتر سیگنال سرعت در محیط سیمولینک ارائه می دهید؟

۴- یک پالس مربعی با دامنه  $\pm 300$ ، تناوب 10 s و دوره کاری<sup>۲</sup> 50% تولید کنید.

<sup>1</sup> Scope

<sup>2</sup> Duty Cycle

۵- با تبدیل سیگنال خروجی تاکومتر به RPM، حلقه کنترلی را بسته و مقدار سرعت واقعی موتور را با سرعت مطلوب مقایسه نموده و نتیجه را از یک کنترل کننده مناسب عبور دهید و نهایتاً به هیدروموتور اعمال کنید. سیستم کنترلی حلقه بسته حاصل در شکل ۸ نشان داده شده است.



شکل ۸- حلقه کنترلی

- پرسش ۶-** با توجه به اینکه هیدروموتور به صورت یک سیستم مرتبه اول مدل می شود، برای اینکه هیدروموتور در کنترل حلقه بسته ورودی پله را بدون خطا ردیابی کند از چه نوع کنترل کننده ای باید استفاده کرد؟
- پرسش ۷-** با توجه به اینکه خروجی آنالوگ کارت I/O حداکثر می تواند در محدوده 0~10 باشد و از طرفی ورودی شیر سرو در محدوده 10~10- می باشد، چه راهکاری برای رفع این مشکل پیشنهاد می دهید؟
- پرسش ۸-** ممکن است در این قسمت حلقه کنترلی ناپایدار گردد و نتوان به سرعت مطلوب دست یافت. به نظر شما علت چه می تواند باشد؟ چگونه این مورد را بر طرف می کنید؟
- توجه-** سرعت خروجی هیدروموتور و مقدار خروجی کنترل کننده را با استفاده از دو نمایشگر، مشاهده و تحلیل نمایید.