

شرکت دانش بنیان



تجهیزات

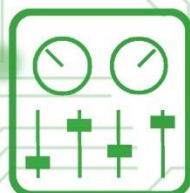
ابزار آزما

نوآوری و فناوری برای توسعه



دستور کار جامع آزمایشگاه کنترل پیشرفته

دستور کار ویژه دانشجو

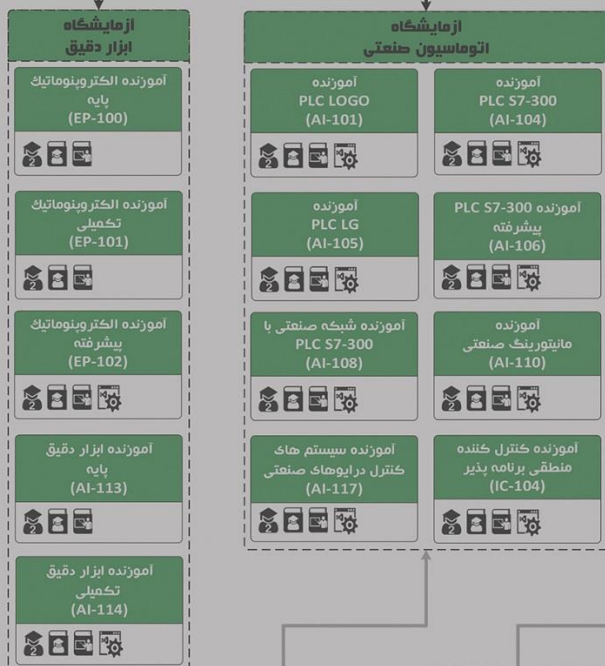






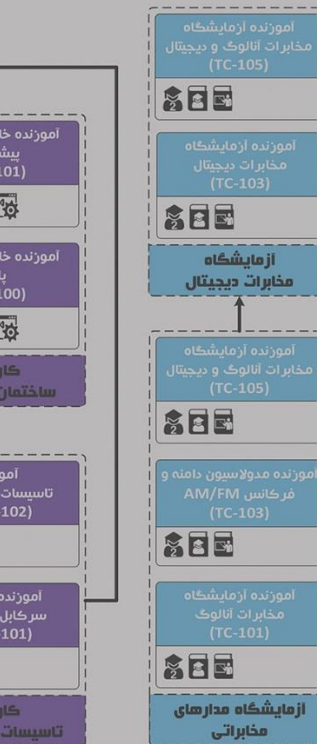
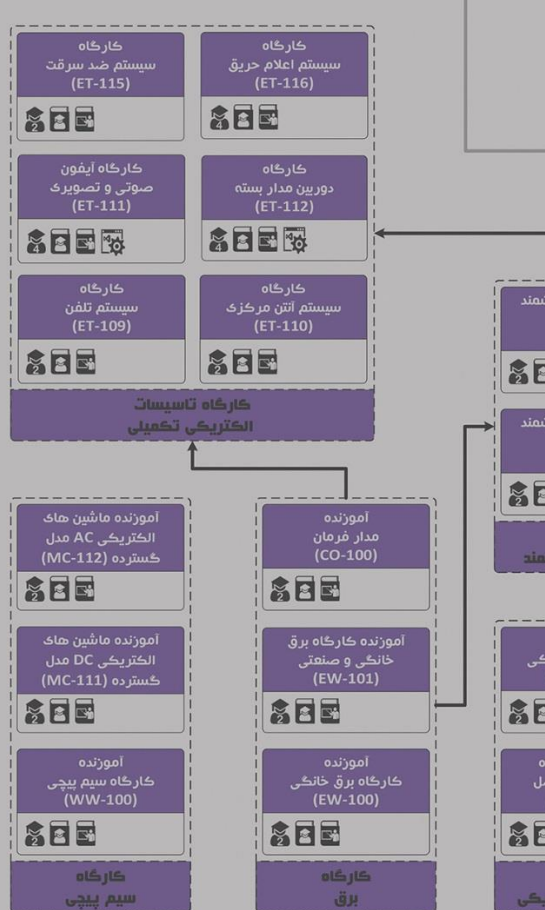
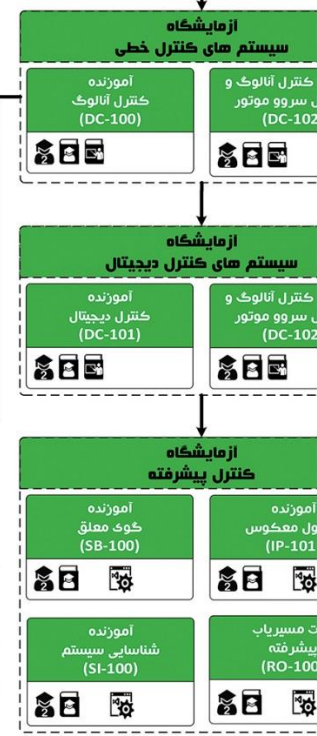
## آزمایشگاه های اتوماسیون صنعتی و ابزار دقیق

Industrial Automation and Instrumentation Labs



## آزمایشگاه های سیستم های کنترل

Control Systems Labs



## تجهیزات صنعتی


Industrial Instrument


## آزمایشگاه های تاسیسات الکتریکی


Electrical Installations Labs





## نکات مهم:

در هنگام انجام سیم بندی و یا قبل از هرگونه تغییری در مدار، دقت کنید که برق دستگاه قطع باشد. هشدار ۱ (اقدامات احتیاطی) 


برای تعمیر تجهیزات از افراد واجد شرایط و با هماهنگی شرکت سازنده استفاده نمایید. هشدار ۲ (خطر آ سیب به دستگاه و شوک الکتریکی) 

هیچ گونه اصلاح و یا تغییری در وضعیت فعلی تجهیزات مجاز نیست. هشدار ۳ (خطر آ سیب به دستگاه و شوک الکتریکی) 

به محدوده مجاز ورودی و خروجی های تجهیزات توجه شود و از اعمال ورودی خارج از محدوده مجاز به تجهیز خودداری شود. هشدار ۴ (خطر آ سیب به تجهیزات) 


به منظور حفظ جان کاربران، آموزنده‌ها به سیم ارت مجهز می باشد لذا از صحت اتصال سیم ارت ساختمان محل آزمایشگاه، مطمئن باشید هشدار ۵ (شوک الکتریکی) 

اتصالات را به طور کامل بررسی کنید تا سیم‌ها اتصال کوتاه و یا رها شده نباشند.


هر اتصالی که ممکن است دو سطح ولتاژ مختلف را به هم اتصال کوتاه کند؛ بررسی گردد. هشدار ۶ (اقدامات احتیاطی) 

پیش از وصل کردن برق دستگاه، سیم‌بندی با حضور مدرس بررسی گردد.

در هنگام کار با اسیلوسکوپ متوجه باشید که زمین همه پروب‌ها به هم متصل هستند.

هنگامی که چند اندازه گیری مختلف انجام می دهید از ایزوله بودن پروب‌ها اطمینان حاصل نمایید. هشدار ۷ (اقدامات احتیاطی) 

دقت کنید که مد اندازه گیری مولتی متر را به درستی انتخاب کرده باشید. هرگز از مد جریان برای سایر اندازه گیری ها استفاده نکنید

کلیه حقوق این اثر متعلق به شرکت دانش بنیان ابزار آزما می‌باشد. هرگونه کپی برداری از این اثر، غیرقانونی بوده و پیگرد قانونی دارد. 

## فهرست مطالب

نکات مهم:	۳
فهرست مطالب	۵
مشخصات و آزمایش‌ها	۶
۱ آشنایی با اجزای مجموعه آزمایشگاهی شناسایی سیستم	۷
۲ آزمایش اول شناسایی سیستم: مشخصه الکتریکی موتور القایی سه فاز	۳۰
۳ آزمایش دوم شناسایی: مشخصه مکانیکی موتور القایی سه فاز	۴۰
۴ مشخصات آموزنده پاندول معکوس	۴۴
۵ آموزنده گوی معلق SB-100	۵۱
۶ آموزنده ربات مسیر یاب پیشرفته RO-100	۵۳

# مشخصات و آزمایش‌ها

## ۱ آشنایی با اجزای مجموعه آزمایشگاهی شناسایی سیستم

هدف: آشنایی با تمامی اجزای سخت افزاری و نرم افزاری مجموعه

### ۱.۱ مقدمه

یکی از مباحث اساسی در یادگیری آزمایشگاه استفاده صحیح و بهینه از تجهیزات آزمایشگاهی می‌باشد. به منظور استفاده هر چه بهتر از سیستم آزمایشگاهی لازم است تا اطلاعات کافی از تمامی اجزا داشته باشیم. بنابراین در ابتدا بخش‌های سخت افزاری مجموعه توضیح داده می‌شوند.

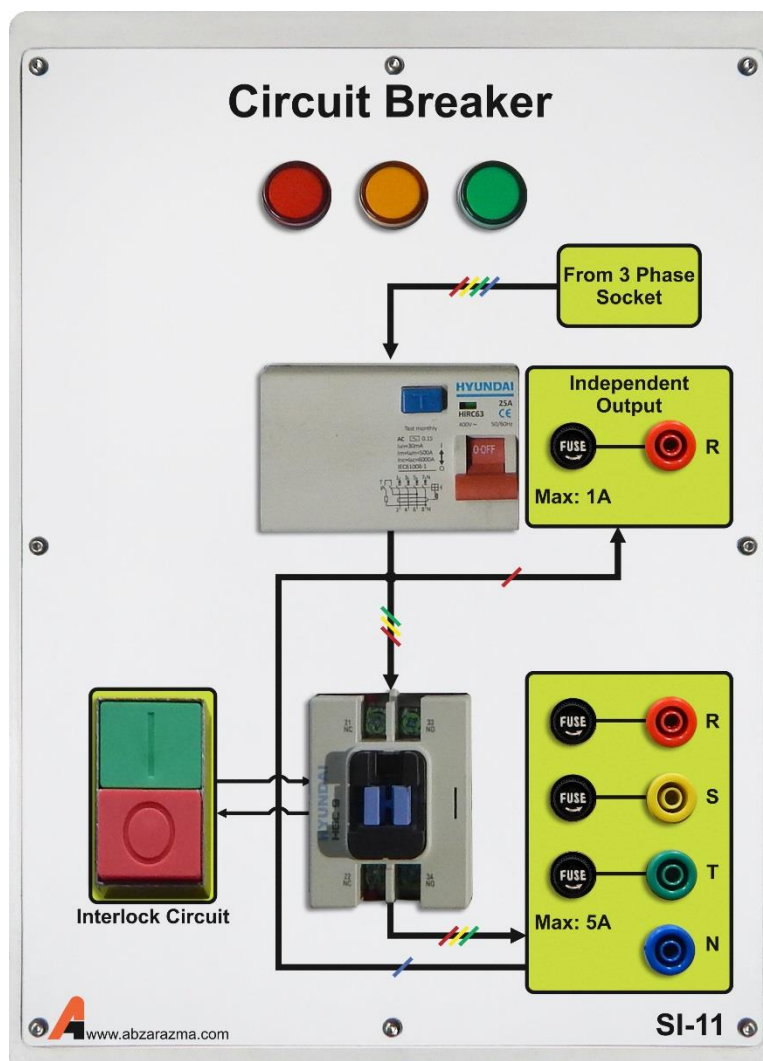
## ۲.۱ اجزای سخت افزاری مجموعه آزمایشگاهی شناسایی سیستم

مجموعه آزمایشگاهی شناسایی سیستم شامل بخش‌های کلی زیر می‌باشد:

### ۱.۲.۱ بخش‌های سخت افزاری (بلوک‌ها)

این بخش شامل تمامی بلوک‌هایی است که بر روی این مجموعه نصب شده است. این بلوک‌ها در ادامه معرفی خواهند شد.

#### ۱.۱.۲.۱ مدار قطع خودکار (Circuit Breaker)

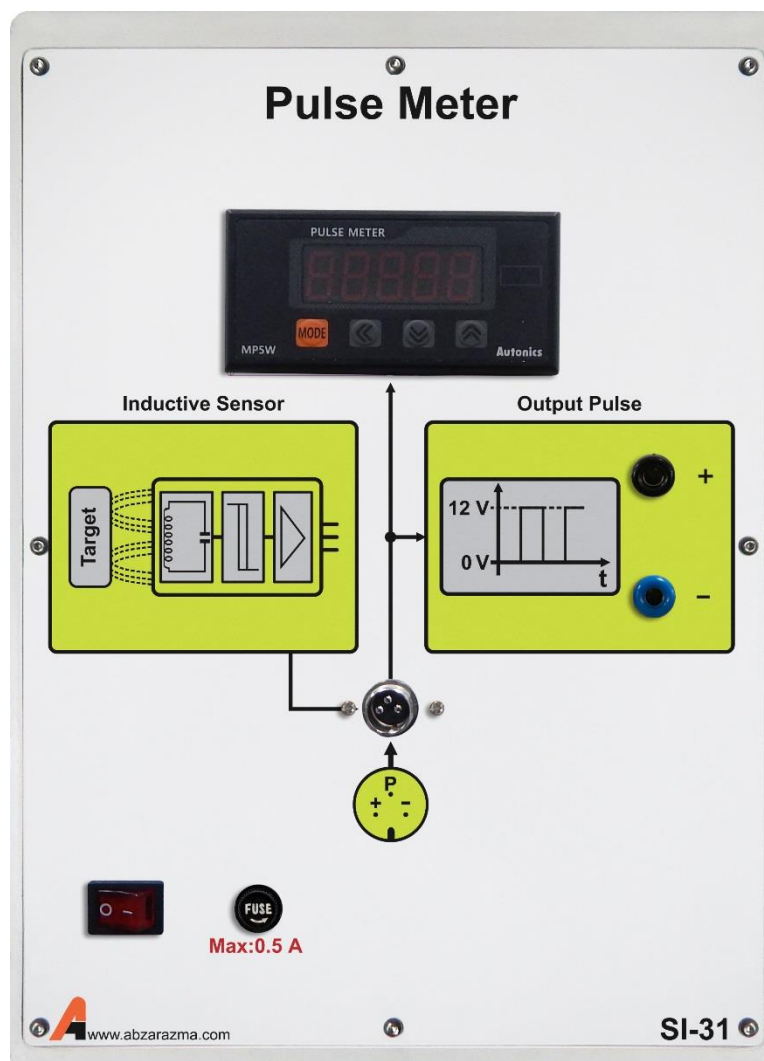


شکل ۱-۱ نمای بلوک مدار قطع خودکار

وظیفه این بلوک تأمین ولتاژ سه فاز برای تجهیزات موجود بر روی آموزنده و نیز حفاظت جان کاربران از خطرات احتمالی می‌باشد. این بلوک دارای یک کلید Stop-Start می‌باشد که هنگام آغاز هر آزمایش باید Start شود و با پایان یافتن آزمایش باید در وضعیت Stop قرار گیرد. با فشردن کلید Stop-Start هر ۳ چراغ سیگنال که هر یک متناسب با یک فاز می‌باشد، روشن می‌شوند. برای حفاظت کاربران یک کلید محافظ جان بر روی Circuit Breaker قرار گرفته است تا از هر گونه حادثه ناگوار جلوگیری به عمل آید.

۲.۱.۲.۱ شمارنده (Counter)

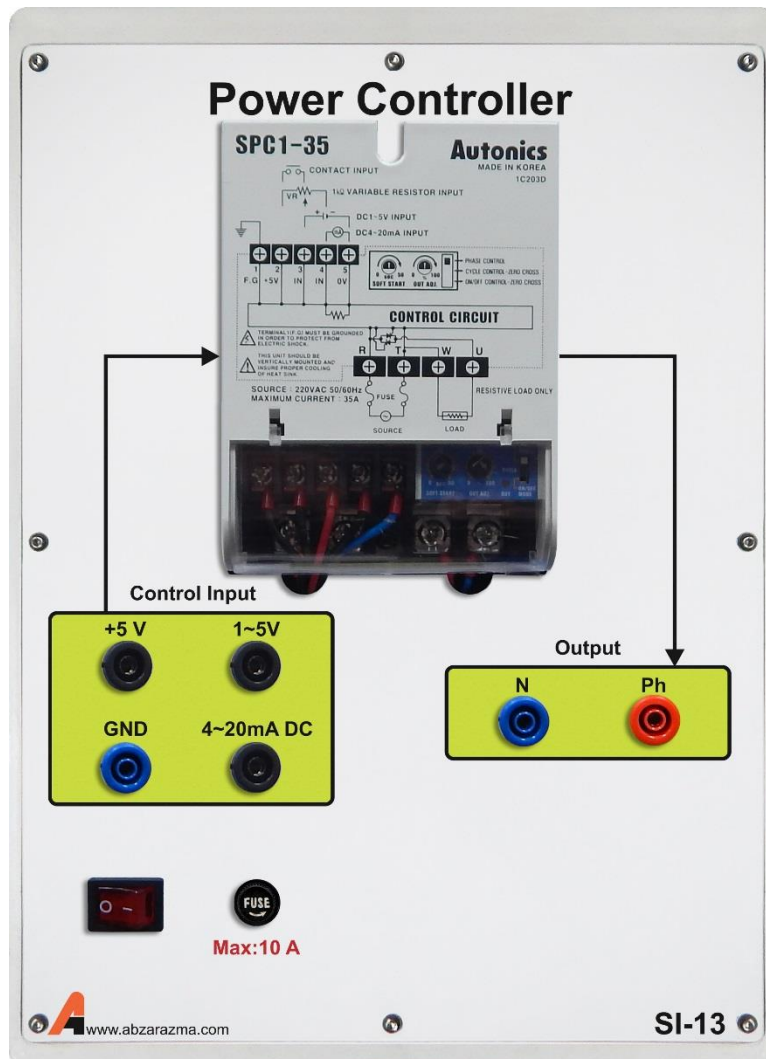




شکل ۱-۲ نمای بلوک شمارنده

وظیفه این بلوک شمارش پالس‌های ارسالی از سنسور القایی که همان تعداد دور موتور است، می‌باشد. این بلوک دارای ورودی‌های INA، INB، 12V و GND می‌باشد. از آنجایی که سنسور القایی دارای سه سر شامل خروجی، تغذیه 12 ولت و زمین می‌باشد، این بلوک به گونه‌ای تهیه شده است که تغذیه مورد نیاز برای این سنسور را نیز فراهم نماید. برای مشاهده تعداد دور موتور بر روی نمایشگر کافیست خروجی سیاه رنگ سنسور القایی به ورودی INA، خروجی قهوه‌ای رنگ به ورودی 12V و خروجی قهوه‌ای رنگ نیز به ورودی GND متصل گردد. در این صورت تعداد دور موتور بر روی نمایشگر نمایش داده خواهد شد.

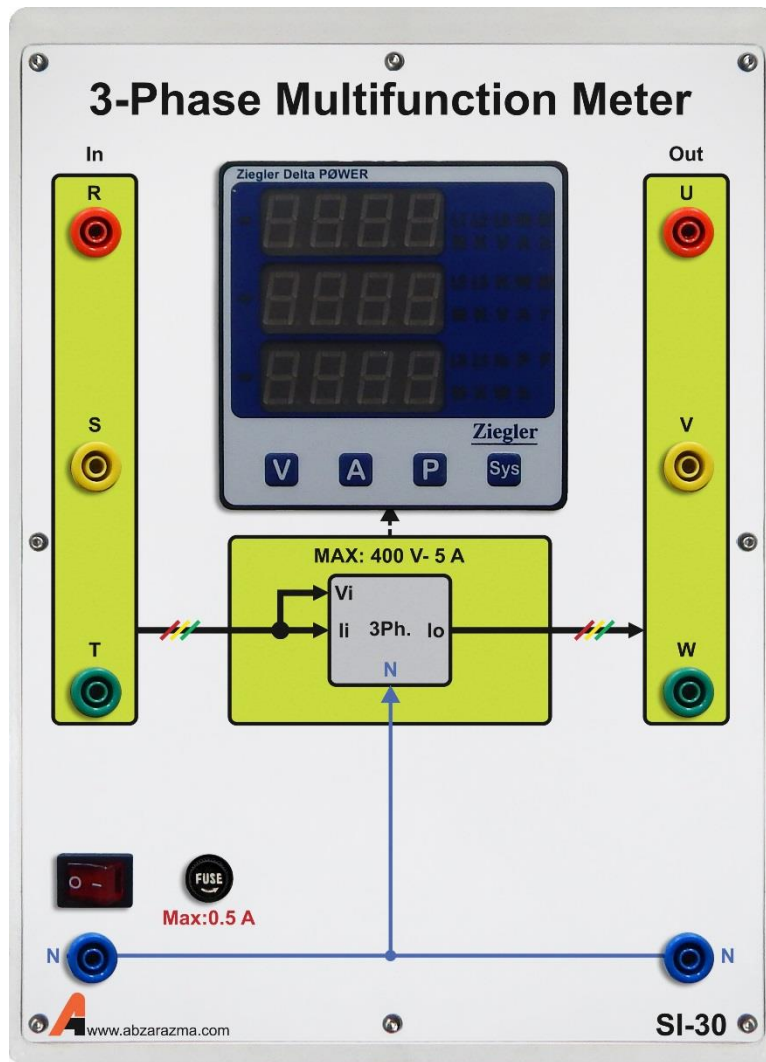
۳.۱.۲.۱ کنترل کننده توان (Power Controller)



شکل ۳-۱ نمای بلوک کنترل کننده توان

وظیفه این بلوک تولید یک ولتاژ متناوب بین ۰ تا ۲۲۰ ولت متناسب با ولتاژ مستقیم اعمال شده به ورودی کنترل آن می‌باشد. این بلوک دارای یک ورودی متناوب AC Input، یک ورودی مستقیم بین ۱ تا ۵ ولت DC 1-5 Control Input و یک خروجی متناوب AC Input می‌باشد. ورودی AC Input مستقیماً به برق تکفاز متصل می‌شود. این برق تکفاز می‌تواند از بلوک Circuit Breaker گرفته شود. ورودی ۱ تا ۵ ولت مستقیم از طریق کابل مخصوص به خروجی آنالوگ کارت Data Acquisition متصل می‌شود. لذا برای اعمال فرمان به کنترل کننده توان لازم است که کابل مربوطه از خروجی کارت Data Acquisition به این ورودی از بلوک متصل گردد. فرمان برای تغییر خروجی این بلوک از طریق نرم افزار انجام می‌گیرد.

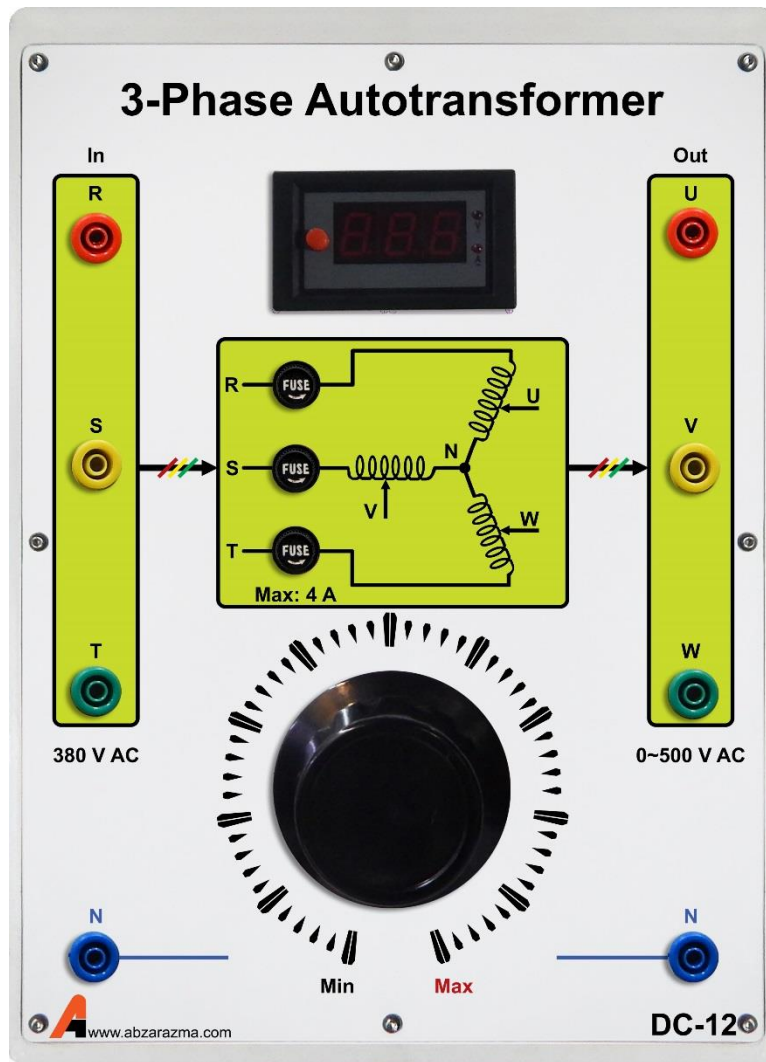
۴.۱.۲.۱ مولتی متر سه فاز (Multifunction Meter 3-phase)



شکل ۱-۴ نمای بلوک مولتی متر سه فاز

این بلوک برای اندازه‌گیری انواع پارامترها مانند ولتاژ یک فاز، ولتاژ خط، جریان یک فاز، جریان خط، توان اکتیو یک فاز و سه فاز (Watt)، توان راکتیو یک فاز و سه فاز (Var)، توان ظاهری یک فاز و سه فاز، اختلاف فاز و  $\cos\Phi$  در نظر گرفته شده است. برای استفاده از این بلوک لازمست که کابل پاور آن که در پشت بلوک قرار دارد به برق متصل گردد. این نکته قابل ذکر است که برای اندازه‌گیری ولتاژ خروجی‌های موتور به صورت موازی به ورودی‌های  $V_t$  و  $V_s$  متصل می‌شوند و برای اندازه‌گیری جریان خروجی‌های موتور به ورودی‌های IN وارد شده و خروجی‌های جریان OUT ادامه مدار را تشکیل می‌دهند. به عبارت دیگر دستگاه باید به صورت سری در مدار اصلی قرار گیرد. با فشردن دکمه‌های I، V و P می‌توان به ترتیب جریان، ولتاژ و توان را برای یک فاز و یا سه فاز مشاهده نمود. نکته مهم دیگر این است که برای اطمینان از عملکرد صحیح این بلوک حتماً ورودی نول این بلوک به نول بلوک Circuit Breaker متصل باشد.

۵.۱.۲.۱ اتوترانسفورماتور سه فاز (Auto Transformer 3-phase)

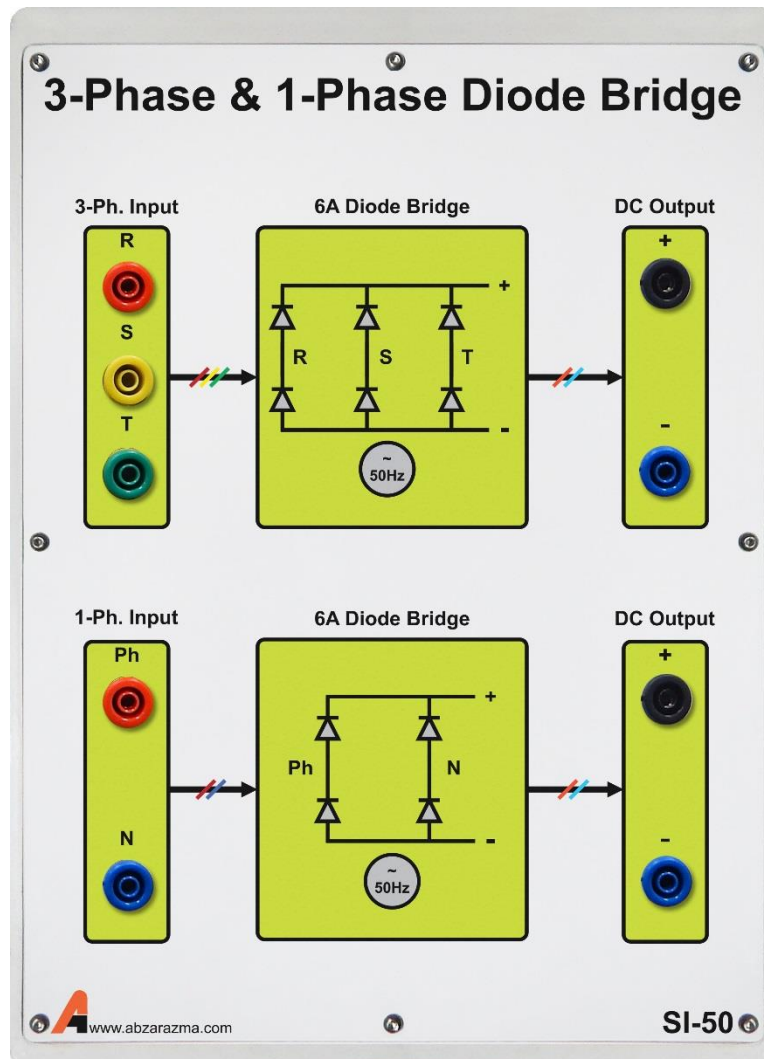


شکل ۱-۵ نمای بلوک اتوترانسفورماتور سه فاز

ممکن است در یک آزمایش نیاز باشد تا ولتاژ به تدریج افزایش یابد و به مقدار مورد نظر کاربر برسد. برای تحقق این موضوع از اتوترانسفورماتور سه فاز استفاده می‌کنیم. وظیفه این بلوک ساخت ولتاژهای سه فاز متغیر می‌باشد. اتوترانسفورماتور مورد استفاده در این مجموعه دارای توان ظاهری ۱۵۰۰ ولت آمپر می‌باشد که با یک ولوم مقدار ولتاژ خروجی قابل تغییر است. قابل ذکر است که نمایشگر موجود بر روی این بلوک ولتاژ خط را نشان می‌دهد.

۶.۱.۲.۱ یکسوساز پل (Diode Bridge)





شکل ۱-۶ نمای بلوک یکسوساز پل

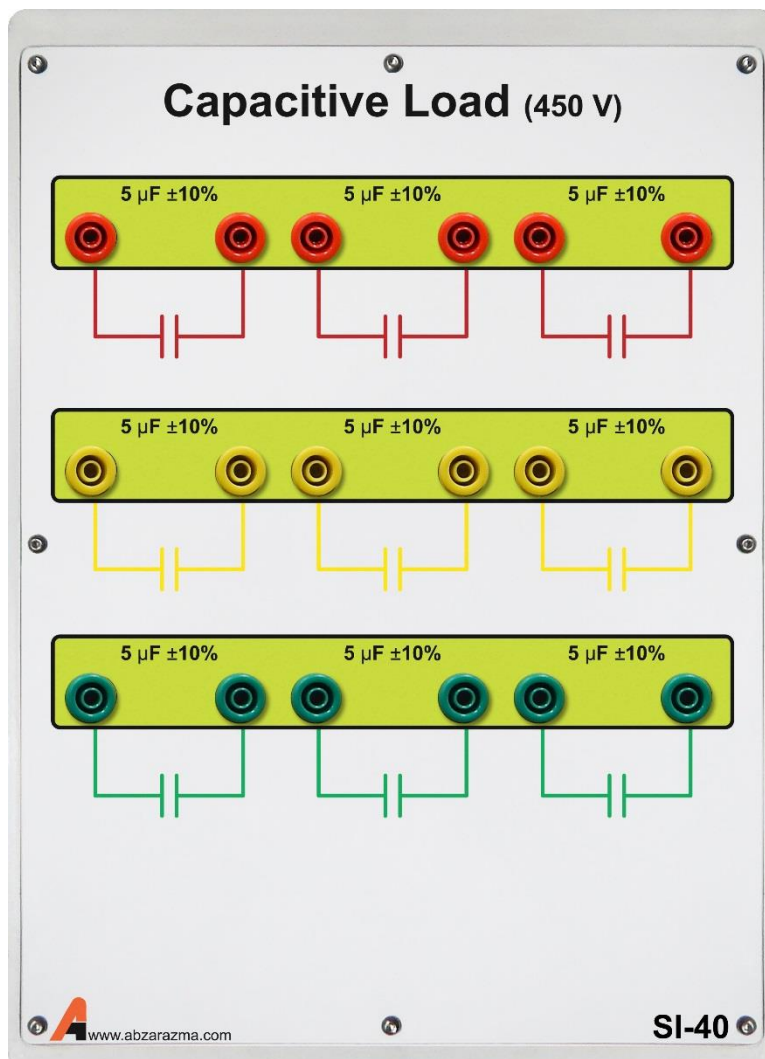
این بلوک برای ساختن ولتاژ یکسو شده از ولتاژ متناوب در نظر گرفته شده است. در این بلوک برای ورودی‌های تکفاز و سه‌فاز امکان یکسوسازی در نظر گرفته شده است. برای ساختن ولتاژ مستقیم از ورودی تکفاز کافیه یک فاز و یک نول را به ورودی یکسوساز تکفاز داده و از خروجی آن ولتاژ یکسو شده را دریافت کرد. برای ساخت ولتاژ یکسو از ولتاژ سه فاز نیز به همین ترتیب عمل می‌کنیم.

۱.۲.۱ مقاومت‌های موازی (Parallel Resistor)



شکل ۱-۷ نمای بلوک مقاومت‌های موازی

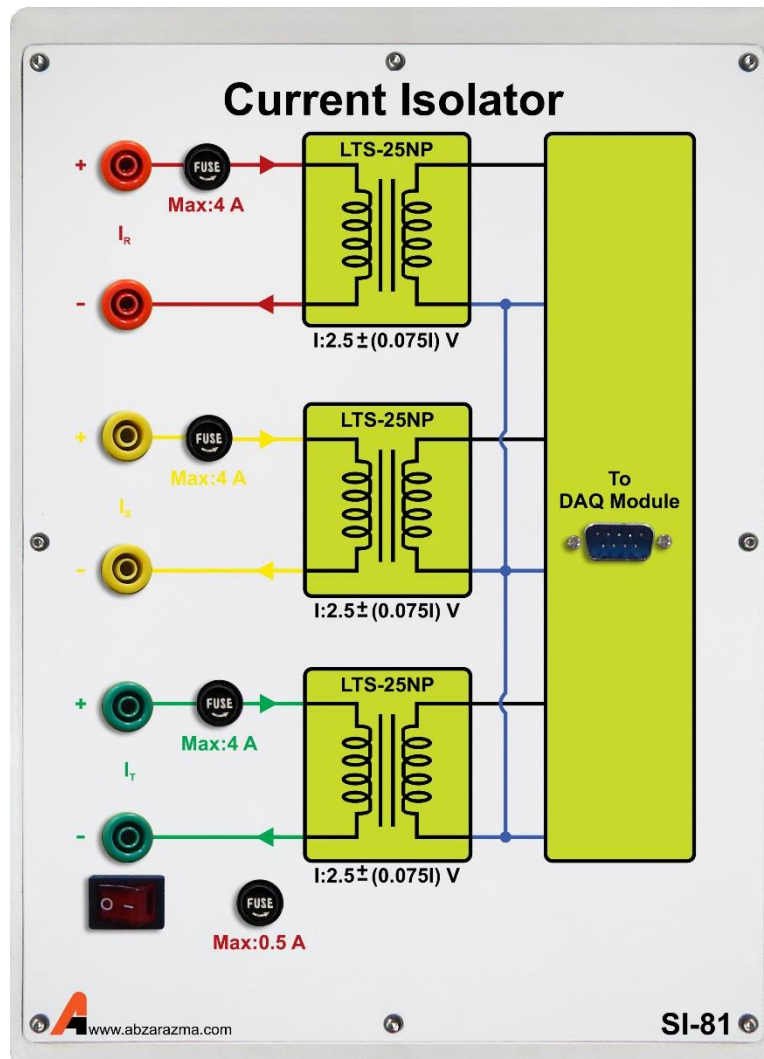
این بلوک دارای شش مقاومت ۱۱۰۰ اهم، ۴۰ وات می‌باشد. در صورت نیاز به وجود مقاومت در یک تست می‌توان هر تعداد از این مقاومت را در مدار قرار داد.



شکل ۸-۱ نمای بلوک خازن

بلوک AC Capacitors دارای ۳ عدد خازن  $1\mu F$  و ۳ عدد خازن  $5\mu F$  می‌باشد. کاربرد این بلوک حذف هارمونیک‌های مزاحم در هنگام راه‌اندازی برای موتور می‌باشد. اتصال این خازن‌ها به صورت ستاره به محل اتصال ولتاژ به موتورهای می‌باشد.

## ۹.۱.۲.۱ ایزولاتور جریان (Current Isolator)

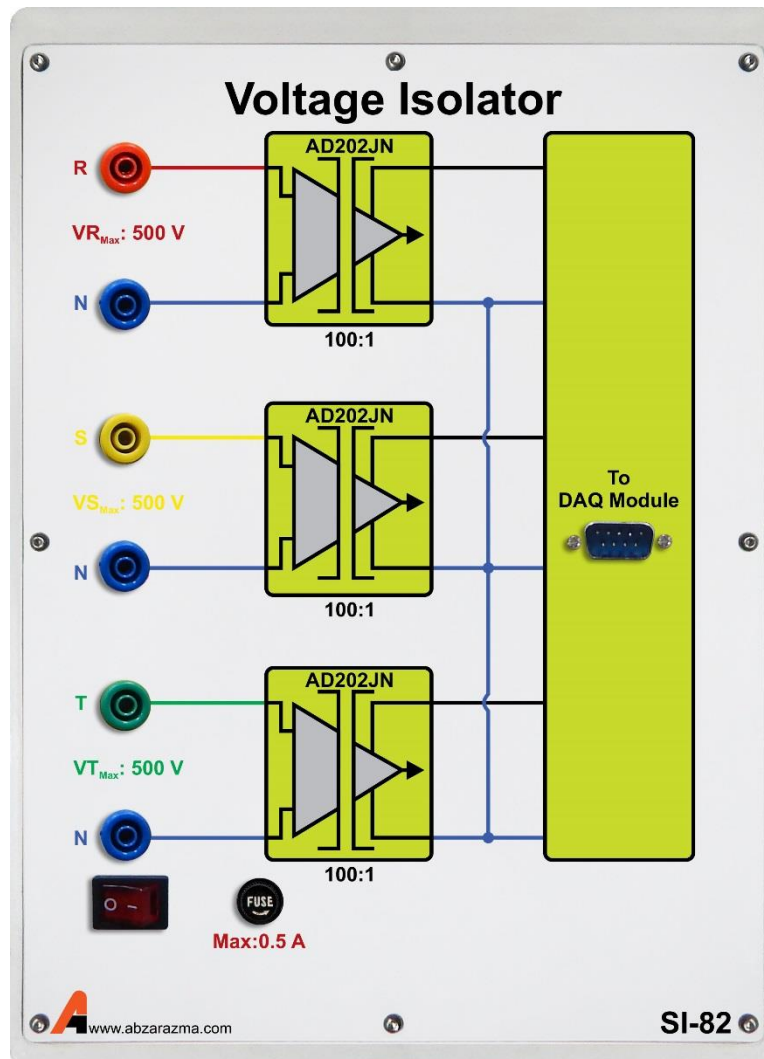


شکل ۹-۱ نمای بلوک ایزولاتور جریان

وظیفه این بلوک ایزوله کردن جریان ورودی به کارت Data Acquisition برای جلوگیری احتمالی از آسیب دیدن کارت و کامپیوتر می‌باشد. سنسور مورد استفاده در ساخت این ایزولاتور LTS 25-NP محصول شرکت LEM می‌باشد که این قابلیت را دارا می‌باشد که هم جریان مستقیم و هم جریان متناوب را ایزوله کرده و به خروجی بفرستد. از دیگر مشخصه‌های این سنسور قابلیت اندازه‌گیری جریان‌های تا ۸ آمپر می‌باشد. برای استفاده از این بلوک لازمست که کابل پاور آن که در پشت بلوک قرار دارد به برق متصل گردد. نحوه قرار گرفتن این بلوک در مدار مشابه با آمپر متر می‌باشد. یعنی این بلوک باید به صورت سری در مدار قرار گیرد. خروجی این بلوک برای مشاهده و لاگ برداری به ورودی Input Current از بلوک Data Acquisition وارد می‌شود. منحنی جریان در نرم‌افزار ارائه شده قابل مشاهده می‌باشد. برای مشاهده جریان هر فاز باید کابل مربوطه را از خروجی Isolated Outputs به ورودی Input Current از بلوک Data Acquisition متصل گردد.

## ۱۰.۱.۲.۱ ایزولاتور ولتاژ (Voltage Isolator)

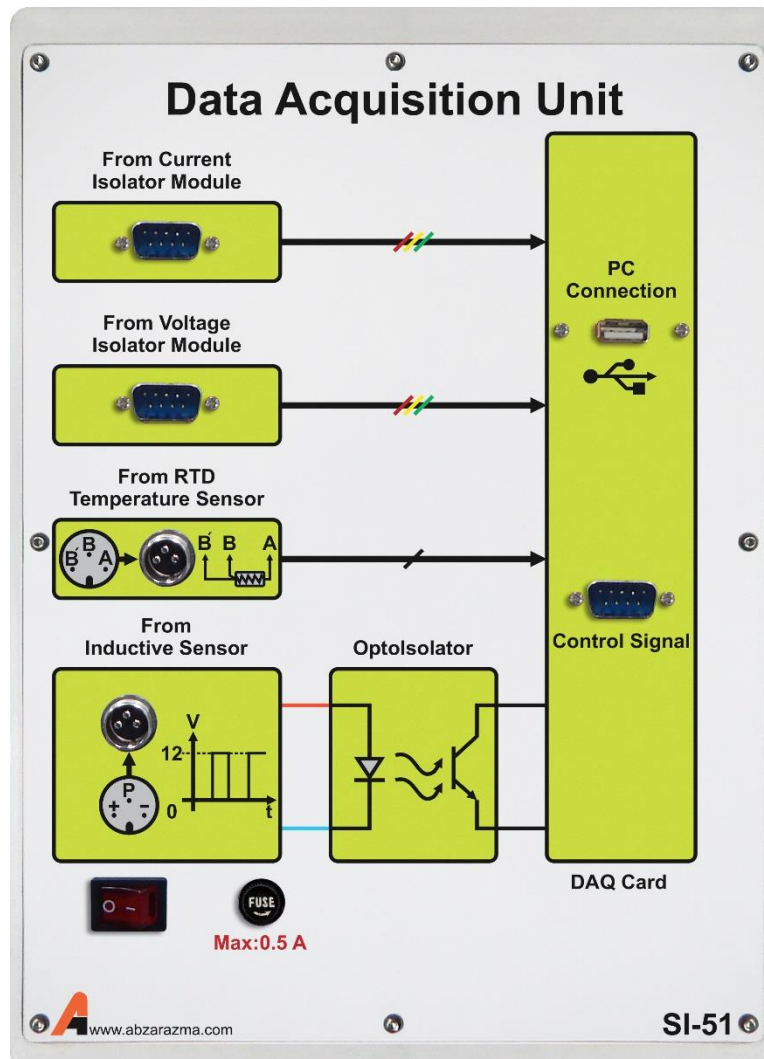




شکل ۱-۱۰ نمای بلوک ایزولاتور ولتاژ

وظیفه بلوک ایزولاتور ولتاژ ایزوله کردن ولتاژ ورودی به کارت Data Acquisition و نیز Scale کردن مناسب ولتاژ به منظور جلوگیری احتمالی از آسیب دیدن کارت و کامپیوتر می‌باشد. سنسور مورد استفاده در ساخت این ایزولاتور AD202JN محصول شرکت Analog Devices می‌باشد که این قابلیت را دارا می‌باشد که هم ولتاژ مستقیم و هم ولتاژ متناوب را ایزوله کرده و به خروجی بفرستد. نکته قابل توجه در استفاده از خروجی این کارت این است که ولتاژ ورودی بر عدد ۱۰۰ تقسیم شده و در خروجی ظاهر می‌گردد. برای استفاده از این بلوک لازمست که کابل پاور آن که در پشت بلوک قرار دارد به برق متصل گردد. نحوه قرار گرفتن این بلوک در مدار مشابه با ولتمتر می‌باشد. یعنی این بلوک باید به صورت موازی در مدار قرار گیرد. خروجی این بلوک برای مشاهده و لاگ برداری به ورودی Voltage Current کارت Data Acquisition وارد می‌شود. منحنی ولتاژ در نرم‌افزار ارائه شده قابل مشاهده می‌باشد. برای مشاهده ولتاژ هر فاز باید کابل مربوطه را از خروجی Isolated Outputs به ورودی Voltage Current از بلوک Data Acquisition متصل گردد.

۱.۱.۲.۱ بلوک واسط انتقال داده (Data Acquisition Interface)



شکل ۱-۱۱ نمای بلوک واسط انتقال داده

این بلوک وظیفه دریافت داده‌های مربوط به ولتاژ و جریان و انتقال آن‌ها به کامپیوتر به منظور نمایش و پردازش و اعمال فرمان خروجی آنالوگ از طریق کامپیوتر به بلوک‌های اینورتر و کنترل توان دارا می‌باشد. کارت مورد استفاده در این بلوک مدل USB 4704 محصول شرکت Advantech می‌باشد. از مشخصه‌های این کارت می‌توان به ۸ کانال ورودی آنالوگ با رزولوشن ۱۴ بیت، نرخ انتقال داده 48 KSPS، ۲ خروجی آنالوگ و یک تایمر کانتر ۱۶ بیتی اشاره کرد. ورودی‌های این بلوک شامل ۳ بخش می‌باشد.

ورودی پ Input Voltage داده‌های مربوط به ولتاژ را از خروجی بلوک ایزولاتور ولتاژ (Voltage Isolator) دریافت کرده و به کامپیوتر منتقل می‌کند.

ورودی Input Current داده‌های مربوط به جریان را از خروجی بلوک ایزولاتور جریان (Current Isolator) دریافت و به کامپیوتر منتقل می‌کند.

ورودی C/T برای شمارش پالس‌های مربوط به دور موتور مورد استفاده قرار می‌گیرد. به این صورت که خروجی سنسور القایی به ورودی T/C و زمین آن نیز به ورودی GND متصل می‌گردد.

خروجی‌های این کارت نیز به دو بخش تقسیم می‌شود. خروجی 1 Analog Output و 2 Analog Output که از طریق این خروجی‌ها می‌توان برای بلوک‌های اینورتر و کنترل توان فرمان آنالوگ بین ۰ تا ۵ ولت صادر کرد. برای اعمال فرمان از نرم افزار تهیه شده استفاده می‌شود.

#### ۱۲.۱.۲.۱ سنسور القایی

به منظور شمارش دور موتور از سنسور القایی استفاده شده است. این سنسور دارای سه سیم به رنگ‌های سیاه، قهوه‌ای و آبی می‌باشد که سیم قهوه‌ای مربوط به تغذیه ۱۲ ولت، سیم آبی رنگ مربوط به زمین و سیم سیاه رنگ مربوط به خروجی سنسور می‌باشد. برای مشاهده دور موتور بر حسب RPM خروجی‌های این سنسور را به بلوک شمارنده متصل می‌کنیم. علاوه بر این می‌توان با اتصال خروجی‌های این سنسور به ورودی T/C از بلوک Data Acquisition مقدار دور را در نرم افزار مشاهده نمود. لازم به ذکر است که برای مشاهده منحنی مربوط به گشتاور اتصال این خروجی به بلوک Data Acquisition الزامی است.

#### ۱۳.۱.۲.۱ موتور القایی سه فاز

سیستم در نظر گرفته شده برای آموزنده شناسایی سیستم یک موتور القایی سه فاز می‌باشد. این موتور ۳۷۰ وات با یک موتور القایی مشابه دیگر کوپل شده است. موتور دوم به عنوان بار برای موتور اول در نظر گرفته شده است.

اکنون با اطلاع از عملکرد و نحوه هر یک از بلوک‌های مجموعه آزمایشگاهی شناسایی سیستم، می‌توان به انجام آزمایش‌ها پرداخت.

#### ۲.۲.۱ بخش نرم افزار

این بخش شامل برنامه کاربردی این مجموعه است که در ادامه به تشریح کامل آن پرداخته شده است.

#### ۱.۲.۲.۱ معرفی نرم افزار شناسایی سیستم و نحوه نصب و استفاده از آن:

##### نحوه نصب نرم افزار:

به همراه این جزوه راهنمای نصب، یک عدد CD شامل فایل نصب نرم افزار شناسایی سیستم و فایل مربوط به درایورهای کارت Advantech USB 4704 ارائه شده است. اجرای این نرم افزار نیازمند وجود نرم افزار Microsoft .Net Framework 4 می‌باشد. این ورژن از Microsoft .Net Framework در فایل exe ارائه شده در CD گنجانده شده است و در هنگام نصب چنانچه در سیستم مورد نظر موجود نباشد نصب خواهد گردید.

برای استفاده از کارت و نرم افزار مربوط به آن به ترتیب زیر عمل می‌کنیم:

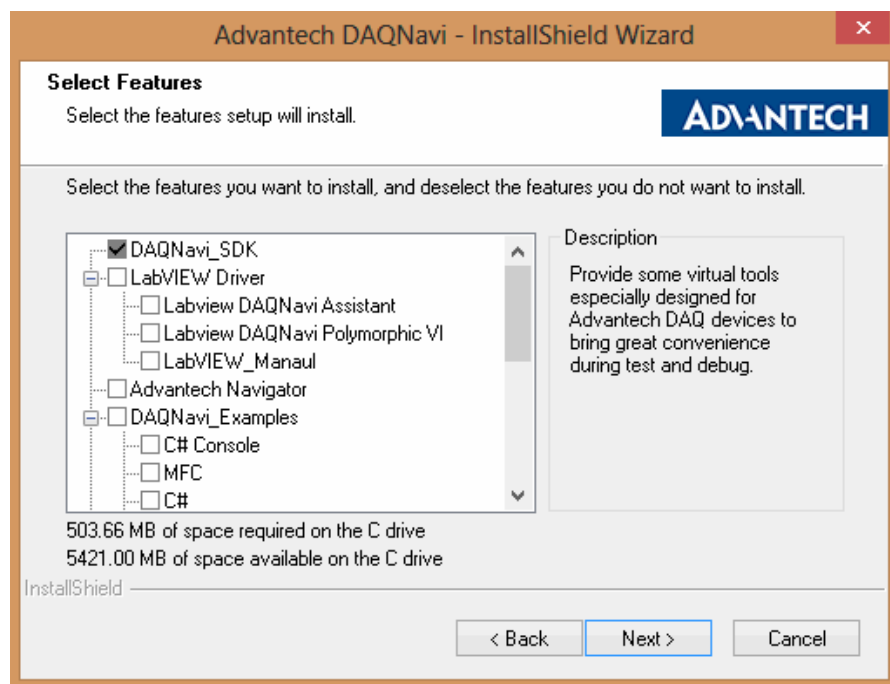
ابتدا کابل مربوط به کارت دیتا اکوژیشن را به کامپیوتر متصل می‌نماییم.

بر روی فایل Advantech Driver کلیک کرده و آن را اجرا می‌کنیم تا درایور کارت Advantech USB 4704 نصب گردد. با اجرای این فایل پنجره زیر ظاهر می‌شود:

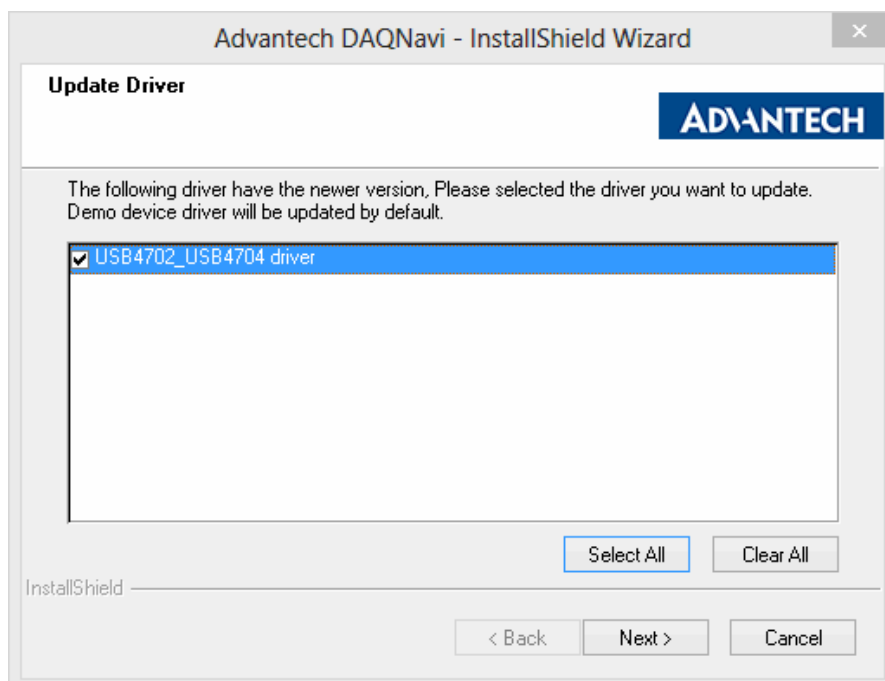
با فشردن کلید Next پنجره زیر ظاهر می‌شود:

از آنجایی که نرم‌افزار شناسایی سیستم با زبان Visual Studio C# نوشته شده است و احتیاج به نصب درایور برای برخی زبان‌های دیگر وجود ندارد، می‌توانید با انتخاب گزینه Custom می‌توانید پنجره زیر را مشاهده نمایید:

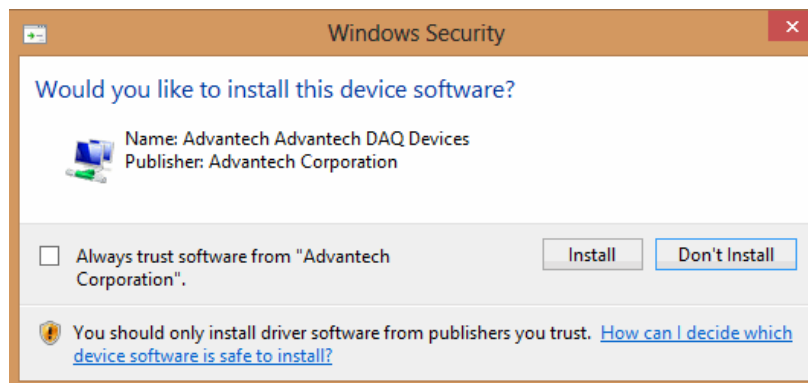




حذف تمامی گزینه‌های فوق مانند LabVIEW Driver، Advantech Navigator و ... نیز مانع از نصب درایور مربوط به کارت نخواهد شد. با حذف تمامی گزینه‌های فوق درایور کارت شروع به نصب نموده و پنجره زیر ظاهر خواهد شد:



با فشردن دکمه Next و مشاهده پنجره زیر و فشردن دکمه Install درایور بر روی کامپیوتر نصب خواهد شد.



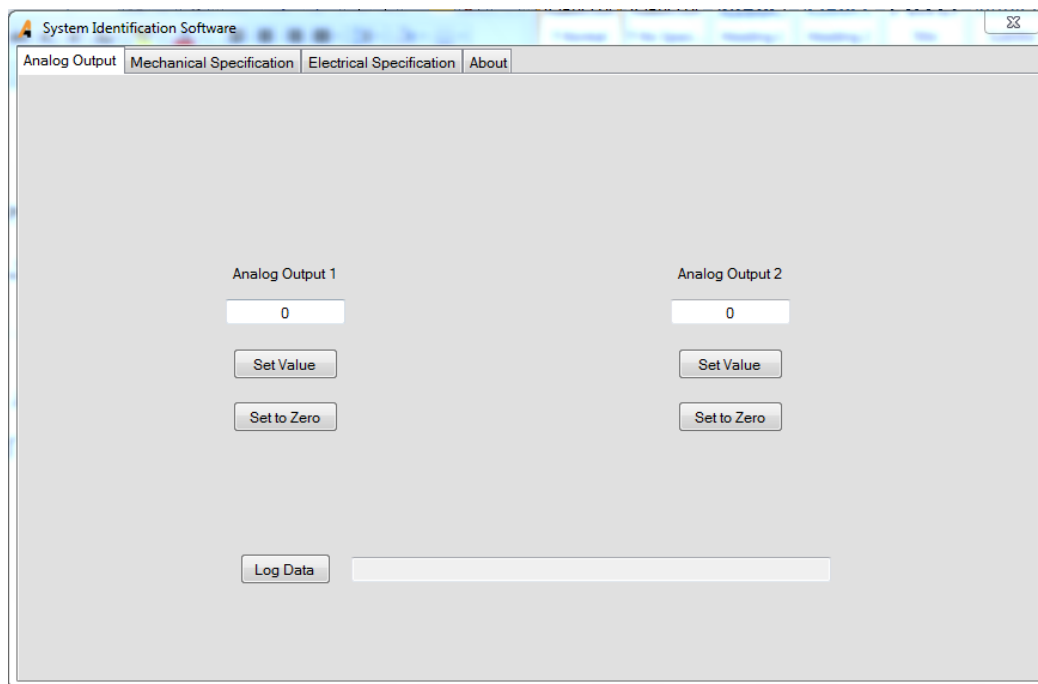
چنانچه درایور به طور صحیح نصب گردد پیغامی در گوشه سمت راست مبنی بر شناخت کارت ظاهر خواهد شد.

پس از نصب درایور کارت فایل setup مربوط به نرم افزار شناسایی سیستم را اجرا نمایید. با نصب این نرم افزار آیکن آن بر روی Desktop ظاهر خواهد شد. اکنون این نرم افزار قابل استفاده می باشد.

### نحوه استفاده از نرم افزار:

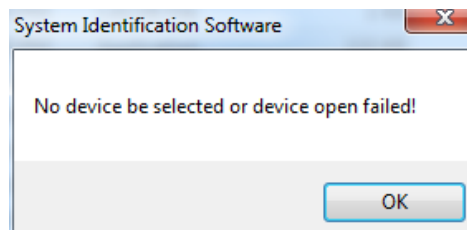
از قابلیت های نرم افزار شناسایی سیستم می توان به خواندن ۳ کانال ورودی ولتاژ و ۳ کانال ورودی جریان و نمایش هر کدام از این کانال ها بسته به انتخاب کاربر بر حسب زمان، نمایش همزمان ولتاژ و جریان یک فاز بر حسب زمان، نمایش توان لحظه ای هر فاز بر حسب زمان، نمایش منحنی دور موتور بر حسب زمان، نمایش گشتاور بر حسب زمان، قابلیت لاگ برداری همزمان از ۳ کانال ولتاژ، ۳ کانال جریان، توان هر فاز، دور موتور، گشتاور و زمان و ذخیره آن در یک فایل اکسل و اعمال فرمان آنالوگ از طریق خروجی آنالوگ اشاره کرد. در ادامه در مورد هر کدام از قابلیت های فوق مختصر توضیحی ارائه خواهد شد.

چنانچه از اتصال کابل USB مربوط به کارت دیتا اکوزیشن به کامپیوتر مطمئن هستید با دوبر کلیک بر روی نرم افزار System Identification Software فرمی به صورت زیر باز می شود:

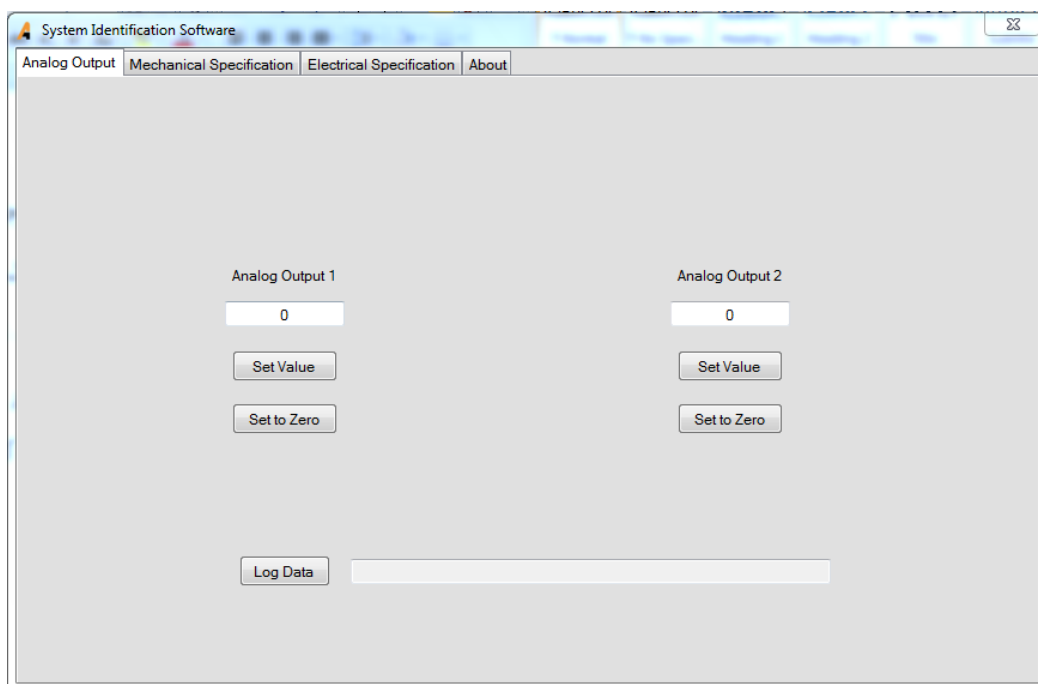


این فرم دارای ۴ سربرگ می‌باشد که عبارتند از Analog Output، Mechanical Specification، Electrical Specification و سربرگ About.

لازم به توضیح است چنانچه کابل به کارت متصل نباشد و یا دچار مشکل شده باشد با پیغام زیر روبرو خواهیم شد:



در سربرگ Analog Output که در زیر مشاهده می‌شود کارهای زیر قابل اجراست:



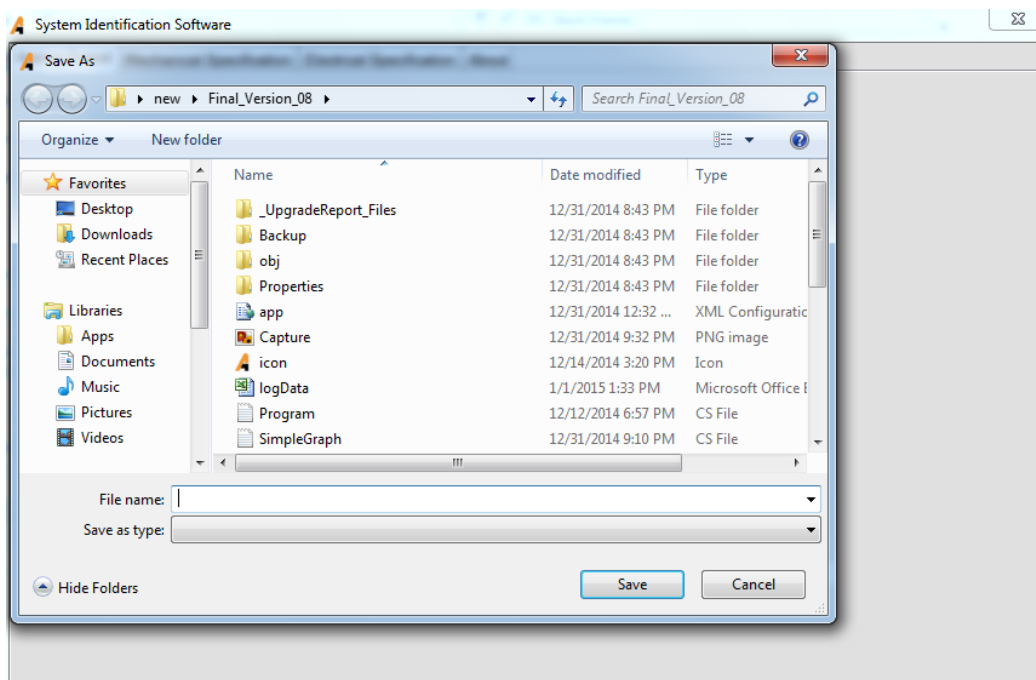
۱- اعمال فرمان از طریق خروجی آنالوگ برای ۲ کانال مجزا

۲- لاگ برداری از داده‌ها

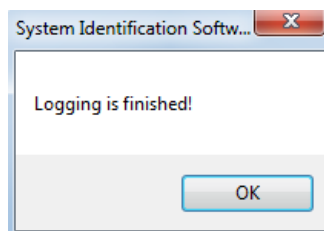
برای اعمال ولتاژ دلخواه به یکی از ۲ خروجی آنالوگ که برای کارت مدل USB 4704 مورد استفاده در این پروژه حداکثر برابر با ۵ ولت است، می‌توان مقدار مورد نظر را در Textbox مربوط به هر کانال نوشت و سپس دکمه Set Value را فشار داد. با فشردن این دکمه ولتاژ مورد نظر در خروجی ظاهر می‌گردد. با فشردن دکمه Set to Zero مقدار خروجی آنالوگ برابر با صفر خواهد شد.

برای عمل لاگ برداری به صورت زیر باید عمل نمود. با فشردن دکمه Log Data پنجره‌ای مطابق شکل زیر باز می‌شود تا کاربر محل ذخیره شدن فایل اکسل خروجی را مشخص نماید:





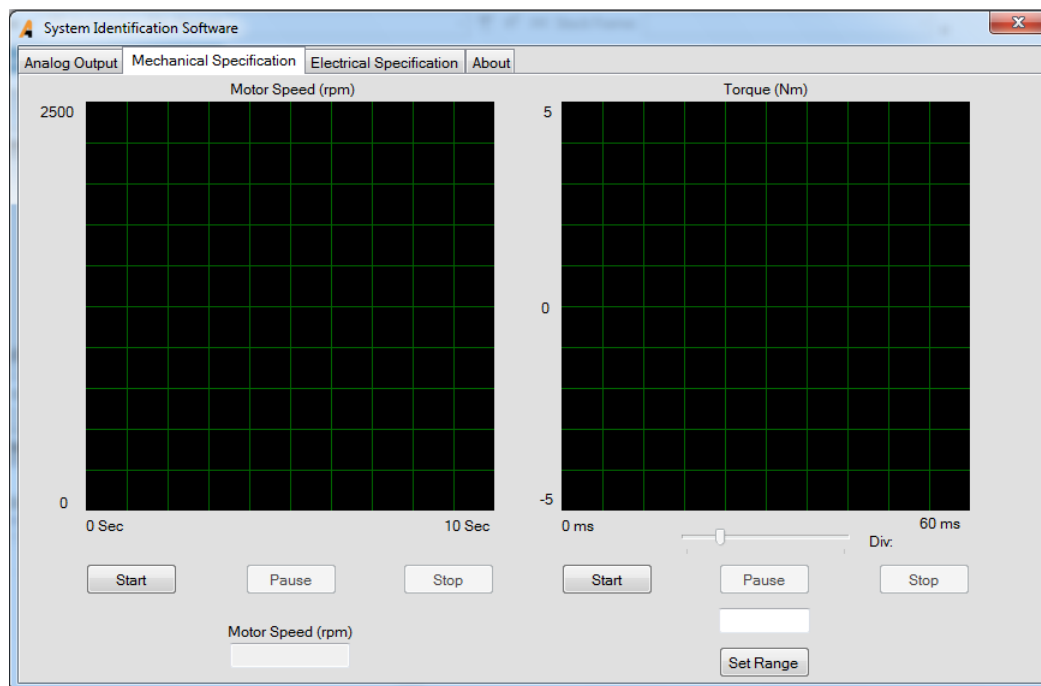
فایل خروجی یک فایل اکسل می‌باشد و تنها کافیست که کاربر نام و محل فایل را مشخص نماید و دکمه Save را فشار دهد. با فشردن دکمه Save عمل لاگ برداری آغاز می‌شود و تا مدت زمانی برابر با ۱۰ ثانیه ادامه پیدا می‌کند. با پایان یافتن عمل لاگ برداری پیغام زیر ظاهر خواهد شد:



**نکته مهم:** در هنگام عمل لاگ برداری، نرخ نمونه برداری از هر کانال برابر 5000 SPS ( ۵۰۰۰ نمونه در ثانیه) می‌باشد.

یکی از نکاتی که باید به آن توجه داشت این است که در هنگام خواندن داده‌های آنالوگ و نمونه برداری از آن امکان استفاده از دیگر امکانات آن وجود ندارد. یعنی در هنگام عمل لاگ برداری امکان مشاهده سیگنال مربوط به ولتاژ، جریان، توان، اعمال خروجی آنالوگ و ... میسر نخواهد بود. اما در نوشتن این نرم افزار تدابیری اندیشیده شده است که در هنگام لاگ برداری بتوان از امکان خروجی آنالوگ استفاده کرده و اثر آن را بر روی مقادیر ثبت شده مشاهده نمود. به عنوان مثال اگر بخواهید اثر تغییر بار مکانیکی بر روی جریان موتور را مشاهده کنید کافیست ابتدا عمل لاگ برداری را آغاز نموده و در حین عمل لاگ برداری مقدار خروجی آنالوگ را برای بلوک Power Control ارسال نمایید تا اثر این تغییر بار مکانیکی بر جریان موتور مشاهده گردد.

سربرگ دوم از فرم این نرم افزار، سربرگ Mechanical Specification می‌باشد. چنانچه بر روی این سربرگ کلیک نمایید تصویری مطابق زیر مشاهده خواهید کرد:



در این سربرگ دو پنجره موجود است که در آن‌ها می‌توان منحنی مشخصات مکانیکی موتور شامل گشتاور و دور موتور را بر حسب زمان مشاهده نمود. بالای هر پنجره درج شده است که این پنجره مربوط به چه پارامتری از موتور است.

برای مشاهده دور موتور بر حسب زمان کافیست دکمه Start را که در زیر پنجره مربوط به نمایش دور قرار دارد، فشرد. با فشردن کلید Start مقدار دور موتور بر حسب RPM در حوزه زمان و در پنجره مربوطه نمایش داده خواهد شد. علاوه بر نمایش دور به صورت منحنی، مقدار عددی آن در Textbox موجود در زیر عبارت Motor Speed (rpm) نیز نمایش داده خواهد شد. با فشردن دکمه Pause نمایش متوقف شده و با فشردن کلید Stop نمایش پایان می‌پذیرد.

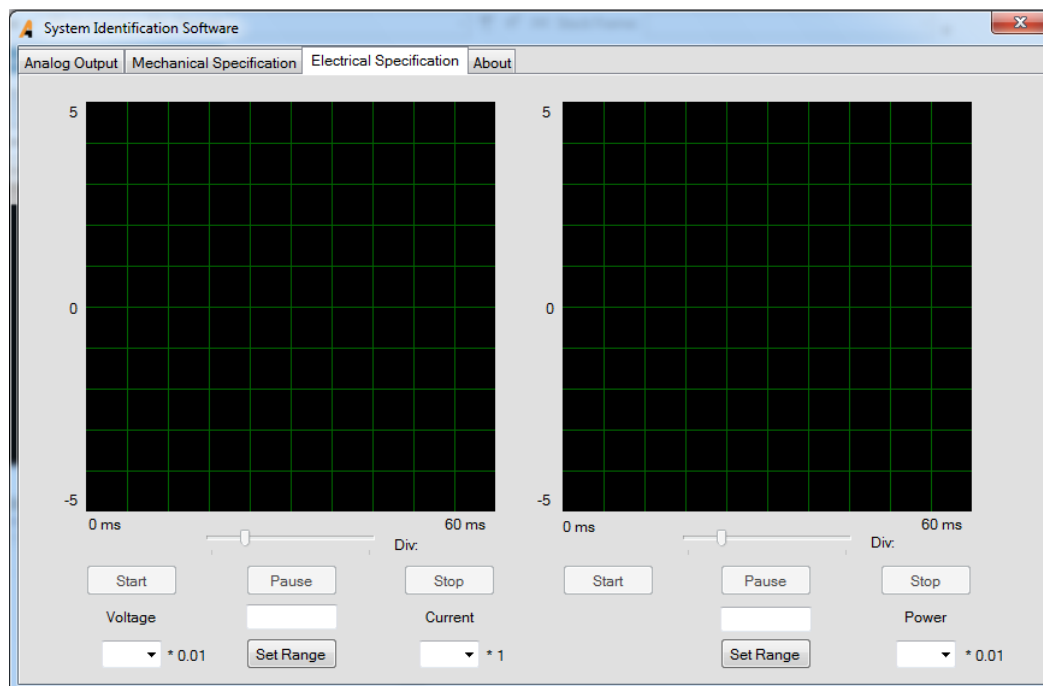
در پنجره دوم منحنی گشتاور بر حسب زمان را می‌توان مشاهده نمود. با فشردن کلید Start نمایش گشتاور بر حسب زمان آغاز خواهد شد. با فشردن کلید Pause نمایش متوقف شده و با فشردن دکمه Stop نمایش پایان می‌یابد.

در زیر پنجره مربوط به نمایش گشتاور یک Track Bar وجود دارد که تغییر آن معادل با تغییر Time Division در اسکوپ می‌باشد.

چنانچه بخواهیم محدوده نمایش بر روی محور عمودی را تغییر بدهیم از دکمه Set Range استفاده می‌کنیم. به این صورت که مقدار مد نظر خود را که یک عدد صحیح و مثبت است در Textbox بالای دکمه مربوطه نوشته و دکمه Set Range را فشار می‌دهیم. مقدار پیش‌فرض برابر ۵ در نظر گرفته شده است.

**نکته مهم:** هنگام مشاهده منحنی گشتاور بر حسب زمان به علت درگیر بودن کارت به نمونه‌برداری از جریان ورودی و دور موتور امکان مشاهده ولتاژ و جریان و توان لحظه‌ای میسر نمی‌باشد.

سربرگ سوم از فرم این نرم‌افزار، سربرگ Electrical Specification می‌باشد. چنانچه بر روی این سربرگ کلیک نمایید تصویری مطابق زیر مشاهده خواهید کرد:



در این سربرگ دو پنجره موجود است که در آن‌ها می‌توان منحنی مشخصات الکتریکی موتور شامل ولتاژ هر فاز، جریان هر فاز و توان مربوط به هر فاز را بر حسب زمان مشاهده نمود. پنجره سمت چپ برای نمایش ولتاژ و جریان و پنجره سمت راست برای نمایش توان لحظه‌ای در نظر گرفته شده است.

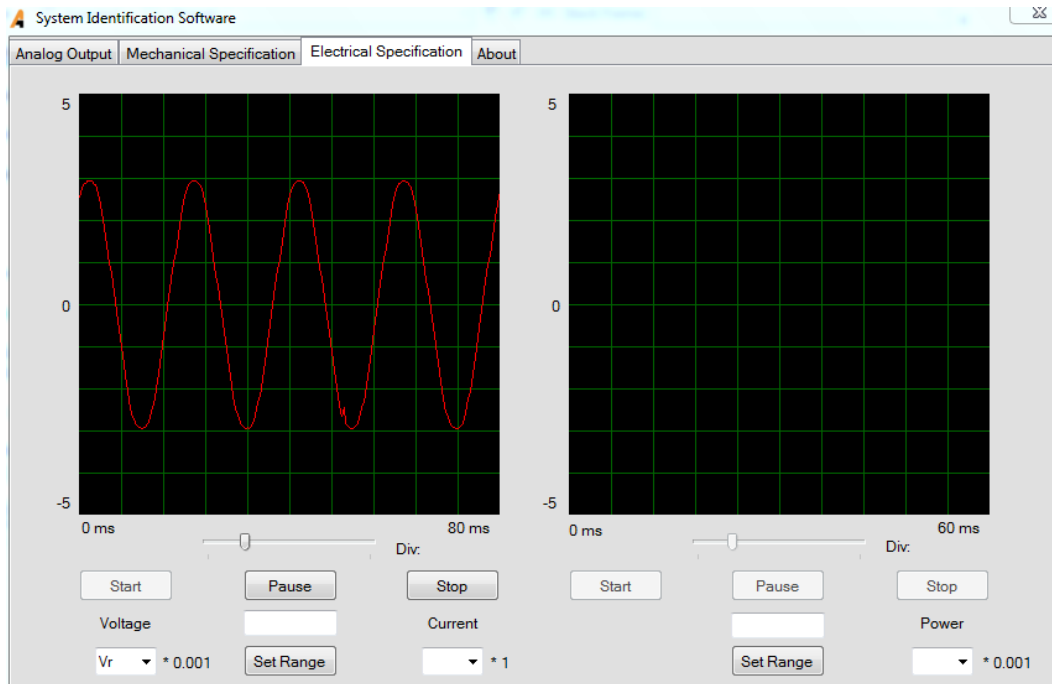
برای مشاهده ولتاژ و یا جریان مربوط به یک کانال خاص به صورت زیر عمل می‌کنیم. چنانچه بخواهیم به عنوان مثال منحنی ولتاژ فاز R را بر حسب زمان در پنجره مربوطه مشاهده نماییم به Combo box مربوط به ولتاژ که در بالای آن کلمه Voltage نوشته شده است رفته و از منوی باز شده Vr را انتخاب می‌کنیم. پس از انتخاب Vr با فشردن دکمه Start نمایش ولتاژ مربوط به فاز R آغاز می‌شود. با فشردن کلید Pause نمایش متوقف شده و با فشردن دکمه Stop نمایش پایان می‌یابد.

در زیر پنجره مربوط به نمایش ولتاژ و جریان یک Track Bar وجود دارد که تغییر آن معادل با تغییر Time Division در اسکوپ می‌باشد.

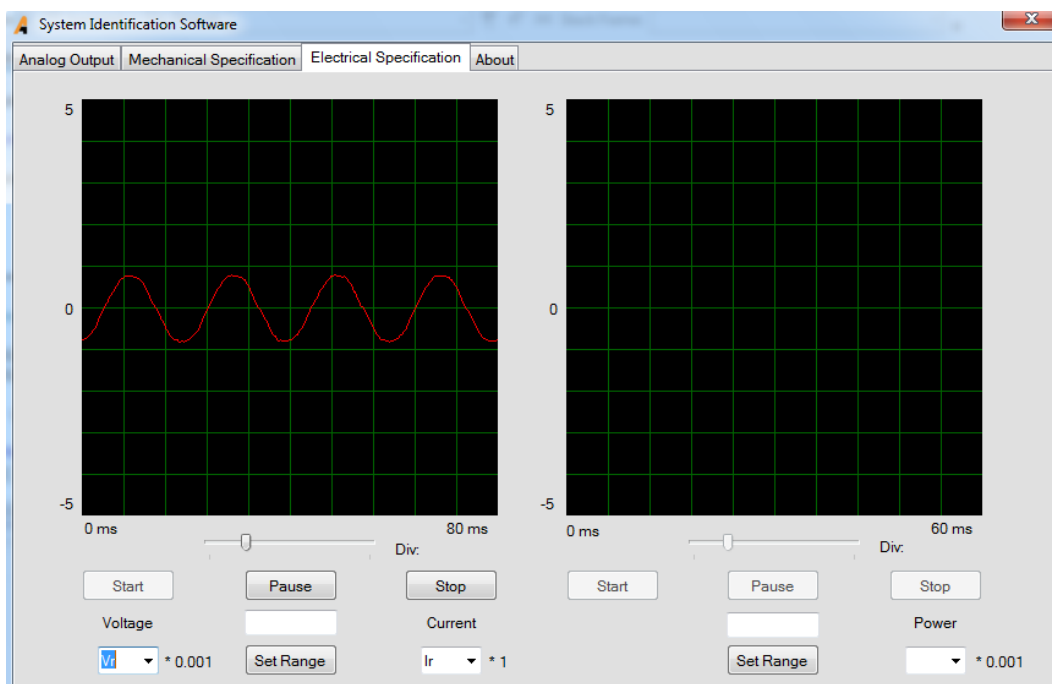
چنانچه بخواهیم محدوده نمایش بر روی محور عمودی را تغییر بدهیم نیز از دکمه Set Range استفاده می‌کنیم. به این صورت که مقدار مد نظر خود را که یک عدد صحیح و مثبت است در Textbox بالای دکمه مربوطه نوشته و دکمه Set Range را فشار می‌دهیم. مقدار پیش‌فرض برابر ۵ در نظر گرفته شده است.

**نکته مهم:** درج عبارت  $0.01^*$  در کنار Combo box ولتاژ به این معنی است که ولتاژ نشان داده شده 0.01 ولتاژ واقعی می‌باشد.

**نکته مهم:** هنگام مشاهده منحنی ولتاژ به علت درگیر بودن کارت به نمونه‌برداری از سیگنال‌های ورودی امکان مشاهده گشتاور و توان لحظه‌ای میسر نمی‌باشد.



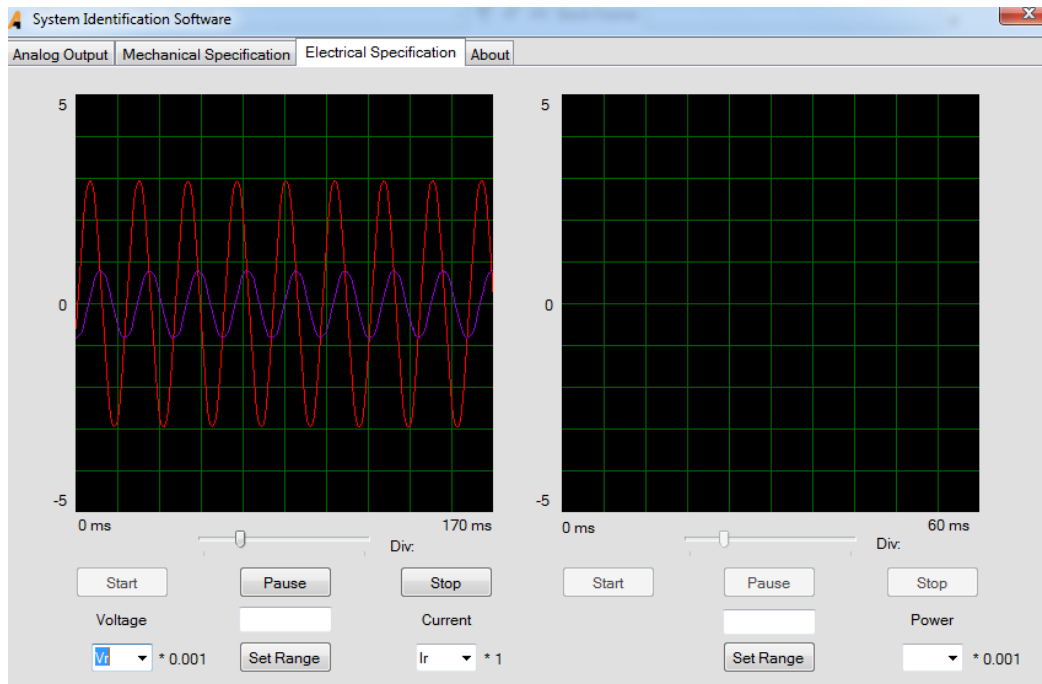
برای مشاهده منحنی جریان فاز R را بر حسب زمان به Combo box مربوط به جریان که در بالای آن کلمه Current نوشته شده است رفته و از منوی باز شده Ir را انتخاب می‌کنیم. پس از انتخاب Ir با فشردن دکمه Start نمایش جریان مربوط به فاز R آغاز می‌شود.



**نکته مهم:** درج عبارت  $*1$  که در کنار Combo box جریان به این معنی است که جریان نشان داده شده همان جریان واقعی می‌باشد که در هیچ ضربی ضرب نشده است.

**نکته مهم:** هنگام مشاهده منحنی جریان به علت درگیر بودن کارت به نمونه‌برداری از سیگنال‌های ورودی امکان مشاهده گشتاور و توان لحظه‌ای میسر نمی‌باشد.

اگر بخواهیم ولتاژ و جریان مربوط به یک فاز خاص مثلاً فاز T را در یک پنجره و به صورت همزمان مشاهده کنیم به این صورت عمل می‌کنیم که ابتدا از Combo box مربوط به ولتاژ (جریان) عبارت  $V_t$  (It) را انتخاب می‌کنیم و **بدون فشردن کلید Start** به Combo box مربوط به جریان (ولتاژ) رفته و عبارت  $I_r$  ( $V_t$ ) را انتخاب می‌کنیم. حال با فشردن کلید Start منحنی ولتاژ و جریان به صورت همزمان قابل مشاهده می‌باشند.



برای مشاهده منحنی توان لحظه‌ای فاز R را بر حسب زمان به Combo box مربوط به توان که در بالای آن کلمه Power نوشته شده است رفته و از منوی باز شده Pr را انتخاب می‌کنیم. پس از انتخاب Pr با فشردن دکمه Start نمایش توان لحظه‌ای مربوط به فاز R آغاز می‌شود. با فشردن کلید Pause نمایش متوقف شده و با فشردن دکمه Stop نمایش پایان می‌یابد.

در زیر پنجره مربوط به نمایش توان لحظه‌ای یک Track Bar وجود دارد که تغییر آن معادل با تغییر Time Division در اسکوپ می‌باشد.

چنانچه بخواهیم محدوده نمایش بر روی محور عمودی را تغییر بدهیم نیز از دکمه Set Range استفاده می‌کنیم. به این صورت که مقدار مد نظر خود را که یک عدد صحیح است در Textbox بالای دکمه مربوطه نوشته و دکمه Set Range را فشار می‌دهیم. مقدار پیش‌فرض برابر ۵ در نظر گرفته شده است.

**نکته مهم:** درج عبارت  $0.01^*$  که در کنار Combo box توان آورده شده است به این معنی است که مقدار توان نشان داده شده 0.01 توان واقعی می‌باشد.

**نکته مهم:** هنگام مشاهده منحنی توان لحظه‌ای بر حسب زمان به علت درگیر بودن کارت به نمونه‌برداری از سیگنال‌های ورودی امکان مشاهده گشتاور، ولتاژ و جریان میسر نمی‌باشد.

## ۲ آزمایش اول شناسایی سیستم: مشخصه الکتریکی موتور القایی سه فاز

در این آزمایش مشخصه ترمینال الکتریکی موتور بر حسب ولتاژ و جریان ترمینال به دست می‌آید. در مدل استخراج شده ولتاژ ترمینال موتور به عنوان ورودی و جریان ترمینال موتور به عنوان خروجی در نظر گرفته شده است. در این آزمایش با ثابت نگه داشتن بار مکانیکی موتور تنها رفتار الکتریکی موتور مورد بررسی قرار می‌گیرد.

### ۳.۲.۱ شرح آزمایش:

مطابق جدول زیر اجزای مورد استفاده در آزمایش پیکربندی می‌شوند :

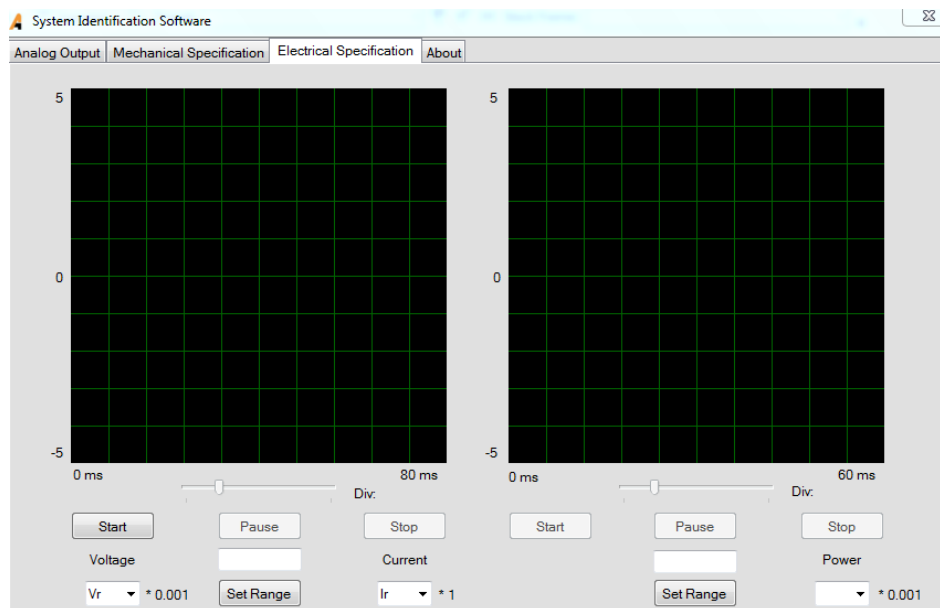
نام بلوک	عملکرد	کد بلوک
3-Phase Auto Transformer	تغذیه متغیر جهت ترمینال ورودی موتور	SI-105
Voltage Isolator	اندازه‌گیری، ایزولاسیون و مقیاس‌بندی ولتاژ ترمینال ورودی جهت ورود به کارت ارتباط داده	SI-110
Current Isolator	اندازه‌گیری، ایزولاسیون و مقیاس‌بندی ولتاژ جریان ورودی جهت ورود به کارت ارتباط داده	SI-109
Power Controller	کنترل کننده بار مکانیکی	SI-108
Diode Bridge	یکسوکننده ولتاژ جهت اعمال بار مکانیکی به موتور	SI-102
Data Acquisition Interface	انتقال داده های ولتاژ و جریان ترمینال به کامپیوتر	SI-111

جهت انجام آزمایش بلوک‌های جدول فوق مورد استفاده قرار می‌گیرند.

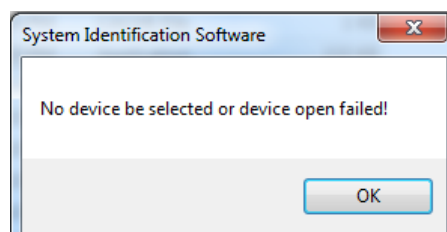
### ۴.۲.۱ مشاهده داده ها در نرم افزار:

پس از اطمینان از متصل بودن کابل USB به کامپیوتر و بلوک دیتا اکویژیشن، نرم افزار را اجرا کرده تا فرم نرم افزار ظاهر شود.

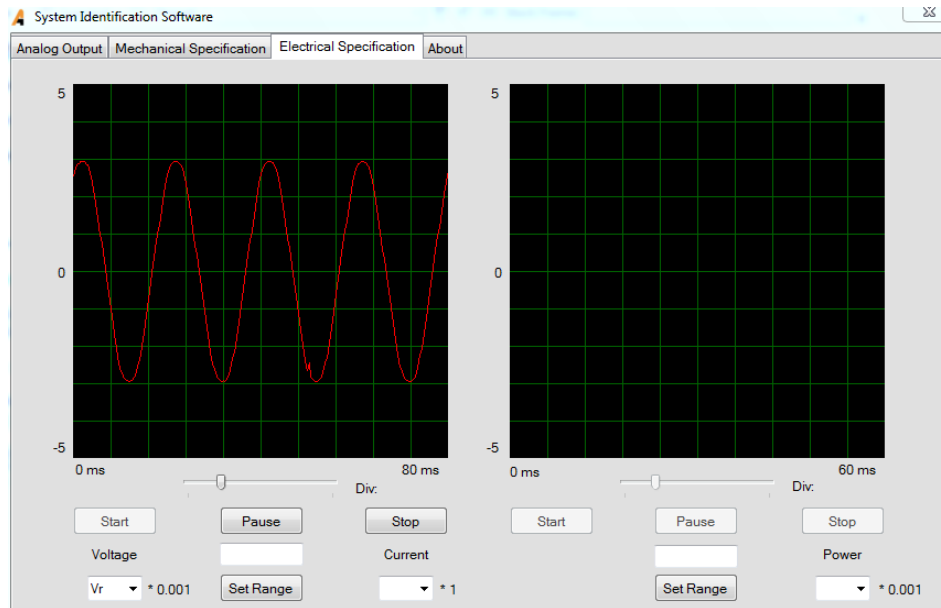




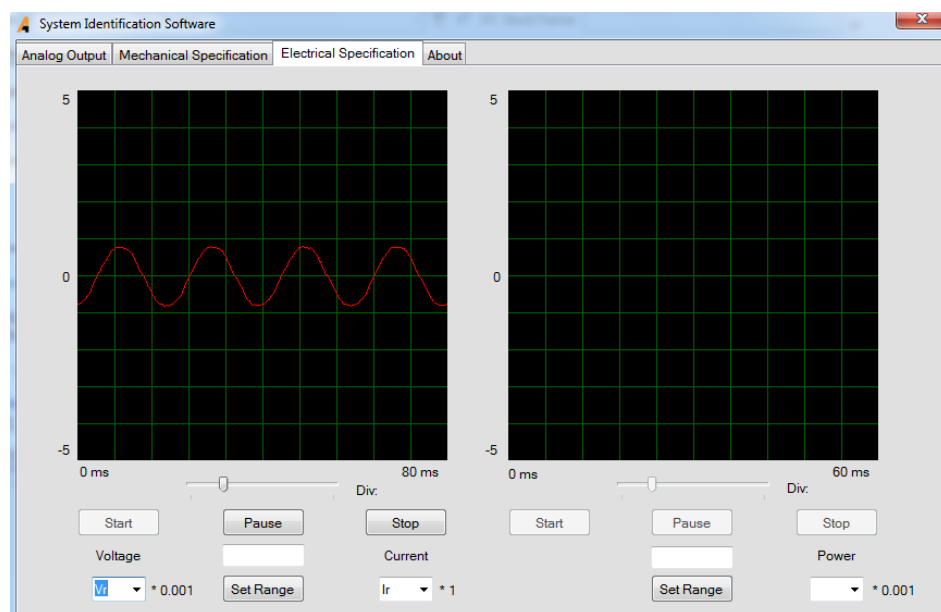
در صورت عدم اتصال کارت به کامپیوتر با پیغام زیر مواجه خواهیم شد:



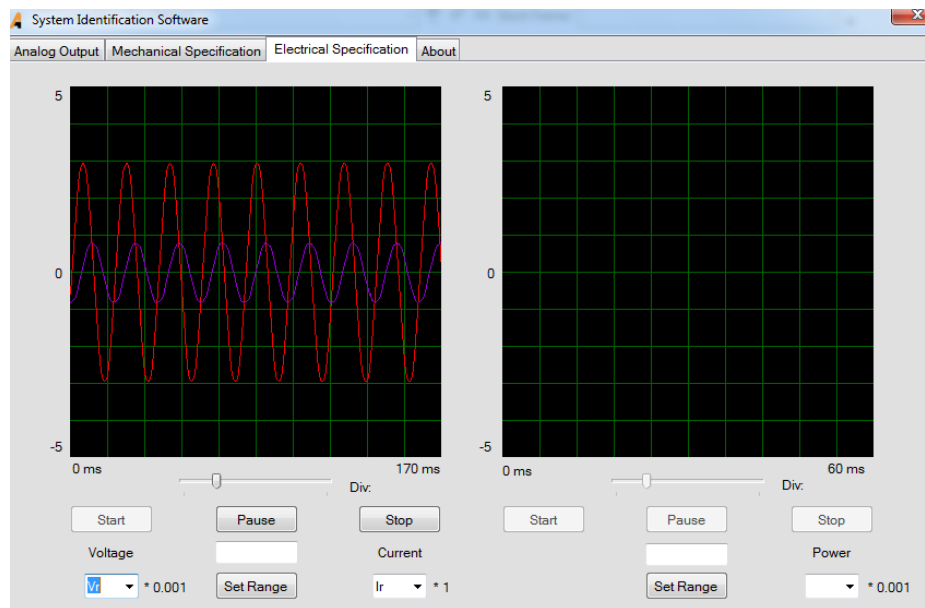
برای مشاهده ولتاژ، جریان و توان هر فاز به سربرگ Electrical Specification رفته و با انتخاب گزینه مورد نظر از combo box مربوطه و فشردن کلید Start سیگنال مربوطه را مشاهده خواهیم کرد. برای تغییر محدوده نمایش می‌توان از دکمه Set Range استفاده نمود. به این ترتیب که مقدار مورد نظر را در Textbox بالای دکمه Set Range نوشته و کلید Set Range را فشار دهیم. مثلاً در شکل زیر ولتاژ  $V_r$  مشاهده می‌شود:



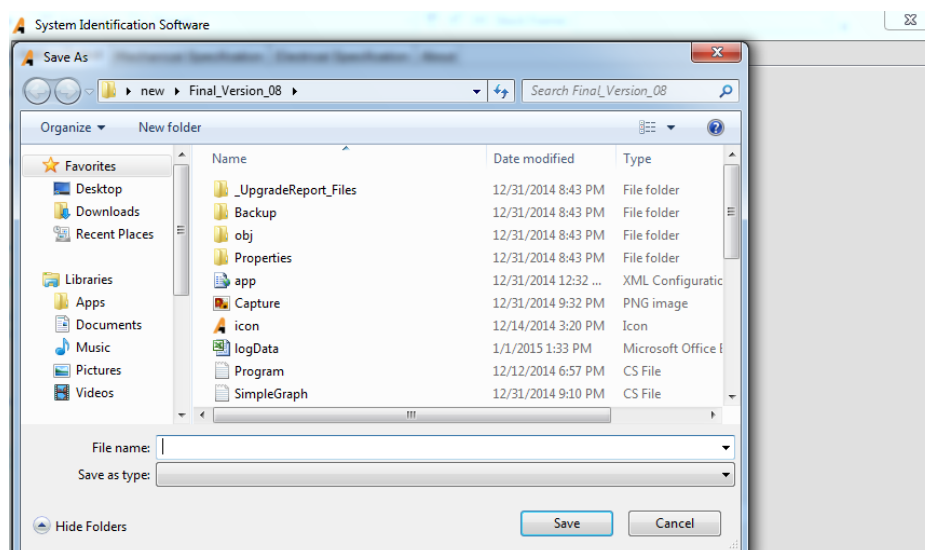
و با انتخاب جریان مورد نظر از Combo Box مربوط به جریان، جریان مورد نظر بر حسب زمان به نمایش در خواهد آمد. به عنوان مثال در شکل زیر جریان  $I_r$  مشاهده می‌شود:



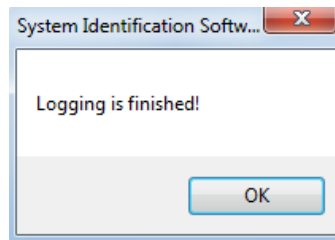
چنانچه بخواهیم ولتاژ و جریان یک فاز را به صورت همزمان مشاهده کنیم ابتدا ولتاژ (جریان) فاز مورد نظر را انتخاب کرده و سپس جریان (ولتاژ) همان فاز را انتخاب می‌کنیم. در این صورت با فشردن کلید Start می‌توان همزمان هر دو سیگنال را مشاهده نمود.



برای لاگ برداری از داده‌ها و ذخیره آن در فایل اکسل به این صورت عمل می‌کنیم که ابتدا به سربرگ Analog Output رفته و با فشردن دکمه Log Data پنجره ای باز می‌شود که از طریق آن می‌توان نام فایل و محل ذخیره فایل را مشخص نمود.



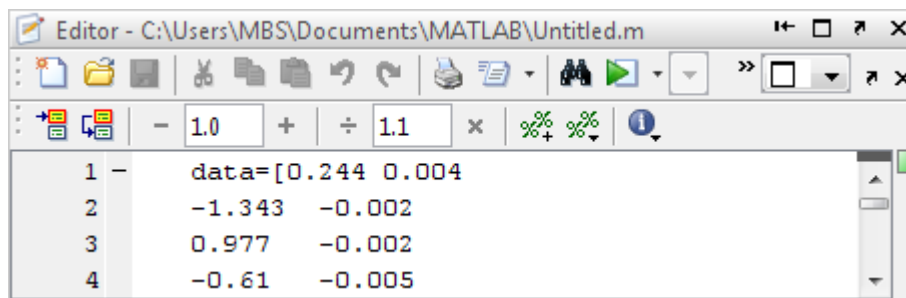
برای انجام این تست به این صورت عمل می‌کنیم. ابتدا به سربرگ Analog Output رفته و ولتاژی برابر با ۴ ولت را از طریق خروجی آنالوگ به بلوک کنترل کننده بار مکانیکی اعمال می‌کنیم. اعمال این ولتاژ به بلوک کنترل بار مکانیکی که یک خروجی متناوب در خروجی این بلوک ظاهر شود. این خروجی را برای تبدیل شدن به ولتاژ مستقیم به بلوک یکسوساز اعمال می‌کنیم. ولتاژ مستقیم خروجی یکسوساز پل را به موتور شماره ۲ (موتوری که نقش بار مکانیکی دارد) اعمال می‌کنیم. سپس عمل لاگ برداری را به روشی که پیش‌تر توضیح داده شد آغاز می‌کنیم و در حین عمل لاگ برداری به یکباره ولتاژ ۳۸۰ ولت را با فشردن کلید Stop-Start به موتور اعمال می‌کنیم. با پایان یافتن عمل لاگ برداری پیغام زیر نمایش داده می‌شود:



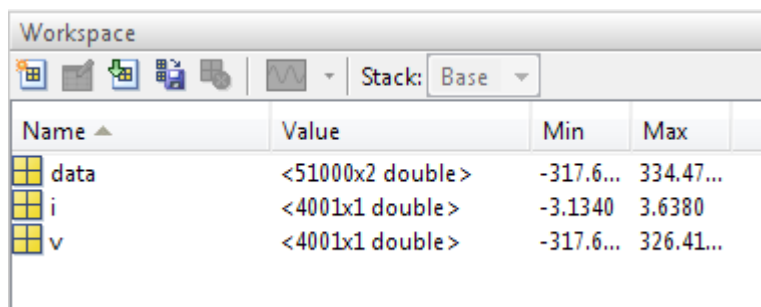
پس از مشاهده پیغام فوق می‌توان به محل ذخیره فایل که در مقابل دکمه Log Data آورده شده است رفت و فایل اکسل ایجاد شده را مشاهده نمود. با انتقال داده‌ها به نرم افزار Matlab و جعبه ابزار System Identification می‌توان به تجزیه و تحلیل داده‌ها پرداخت.

### ۵.۲.۱ بارگذاری داده‌ها در متلب

حال برای تجزیه و تحلیل مدل و شناسایی سیستم در آزمایش اول ابتدا باید داده‌های جمع‌آوری شده را با استفاده از هر روش ممکن، در نرم افزار متلب و در جعبه ابزار شناسایی سیستم بارگذاری نمود. در این آزمایشات ما ستون‌های مورد نیاز از نتایج کسب شده توسط کارت دیتا را که در فایل اکسل ذخیره شده است، بصورت دستی انتخاب نموده و در یک M فایل جدید از متلب جایگذاری نموده و ورودی و خروجی را بر اساس تعداد قابل قبولی از دیتا که مناسب شناسایی باشد، تعریف می‌نماییم.

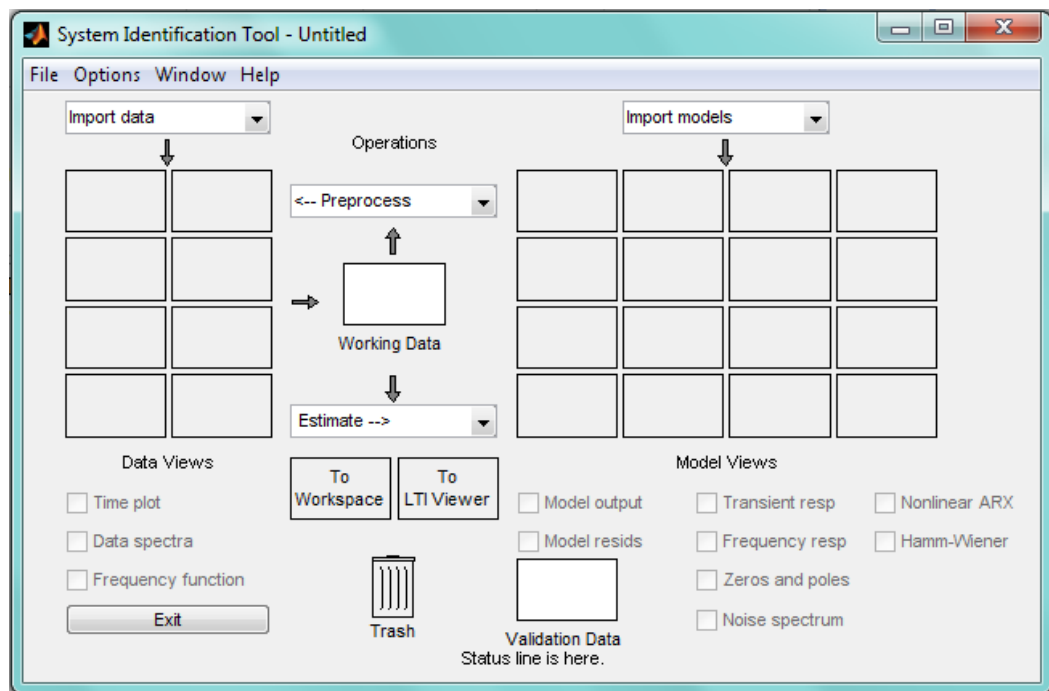


با اجرای فایل متلب بالا دو ستون مورد نیاز ما از داده‌ها، که ستون‌های مربوط به یکی از ولتاژها و یکی از جریان‌های متناظر می‌باشد، درون Workspace بارگذاری می‌شود.

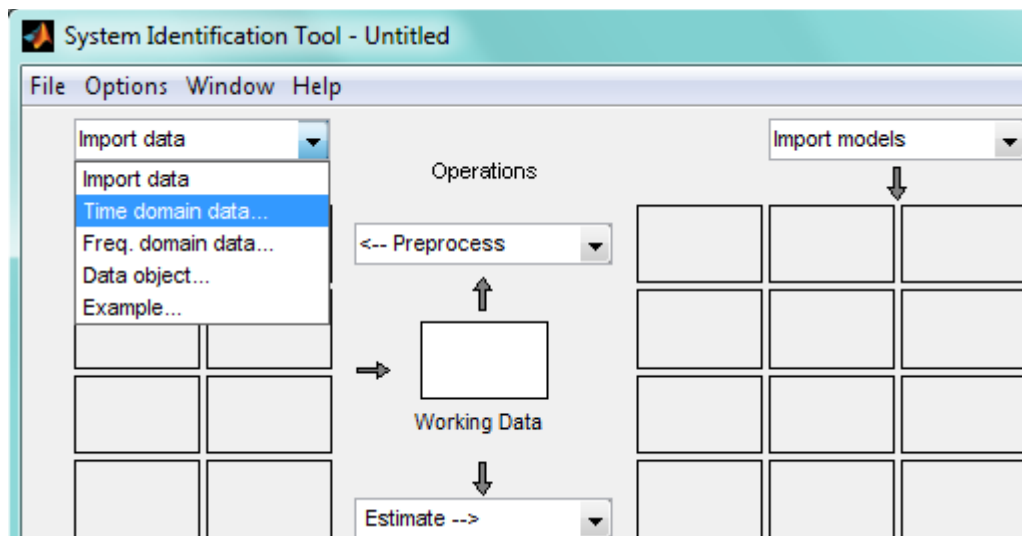


پس از بارگذاری داده‌ها و ورودی و خروجی سیستم که بترتیب ولتاژ و جریان نمونه برداری شده می‌باشد در متغیرهایی به صورت مخفف ذخیره شده است. بدلیل اینکه تنها بخش کوچکی از داده‌ها مورد نیاز بوده است، ما آن بخش را درون متغیرها بارگذاری نموده ایم. حال کفایت تا با استفاده از دستور ident جعبه ابزار شناسایی سیستم را اجرا نماییم و ادامه مراحل را دنبال کنیم.

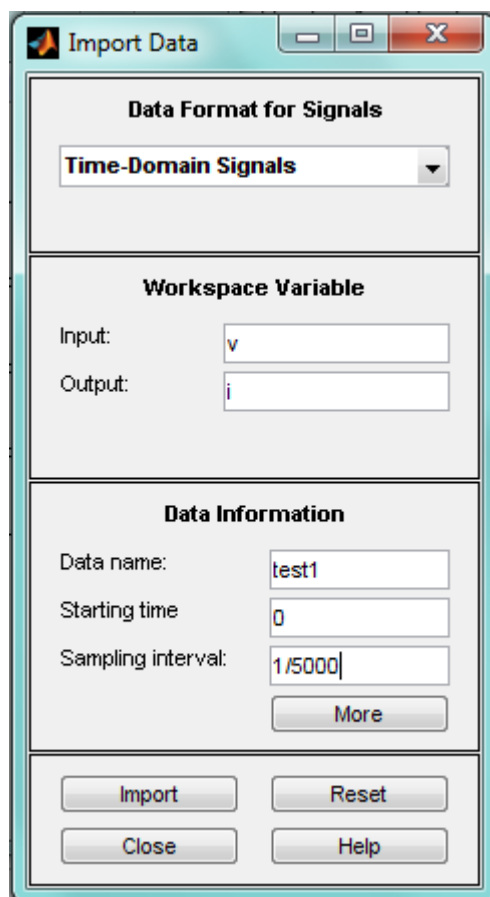
پس از ورود دستور ident جعبه ابزار مربوطه بصورت زیر باز می‌گردد.



حال با استفاده از بخش Import Data داده‌ها را در جعبه ابزار بارگذاری می‌کنیم. تمامی مراحل بصورت عکس نمایش داده شده است.

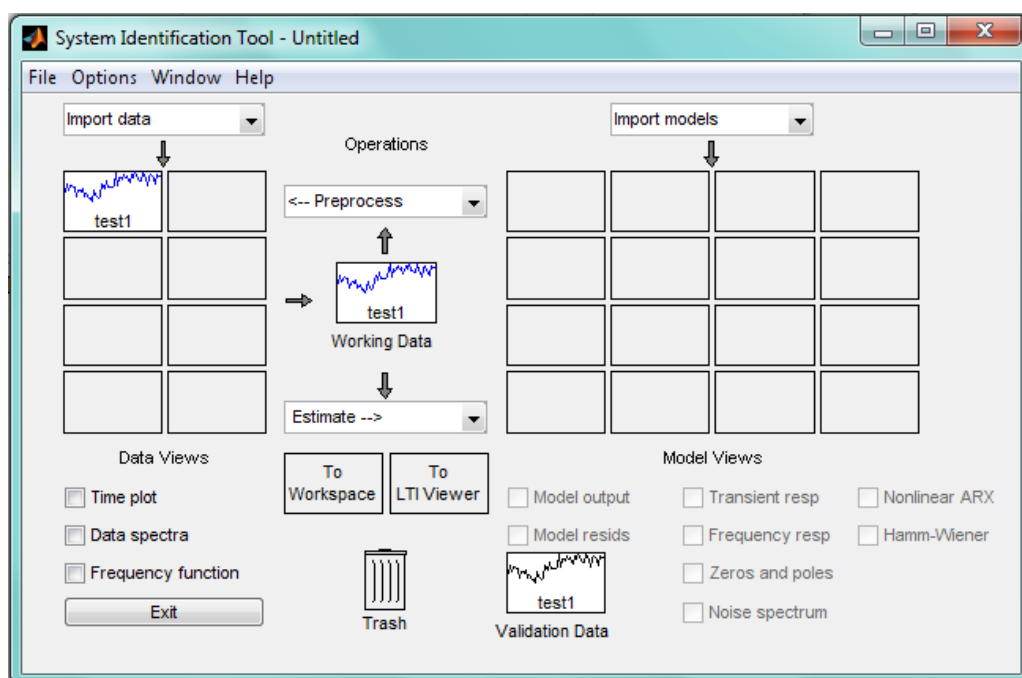


سپس صفحه‌ای مشابه شکل زیر باز می‌گردد.



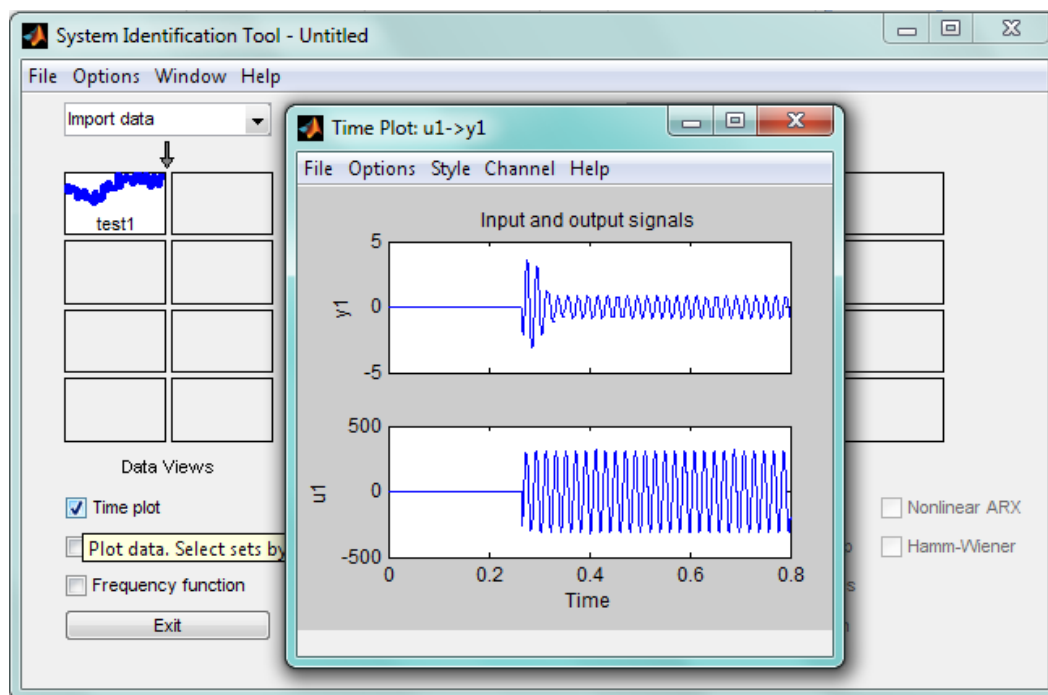
در صفحه‌ی باز شده متغیرهای مورد نظر ورودی و خروجی، که به ترتیب ولتاژ و جریان هستند، و همچنین لحظه شروع و فاصله بین نمونه ها که به ترتیب صفر و ۲۰۰ میکروثانیه می باشند را، مشابه شکل مشخص می کنیم و بر روی دکمه Import کلیک می نماییم.

سپس شکل زیر را مشاهده خواهیم کرد.

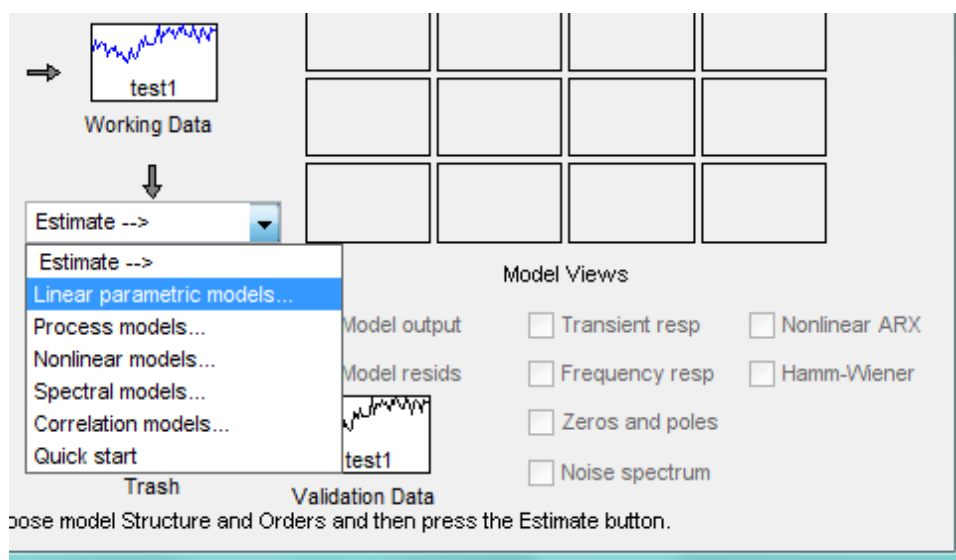




با کلیک بر روی گزینه Time Plot می‌توان داده‌های ورودی و خروجی را در حوزه زمان رسم نمود.

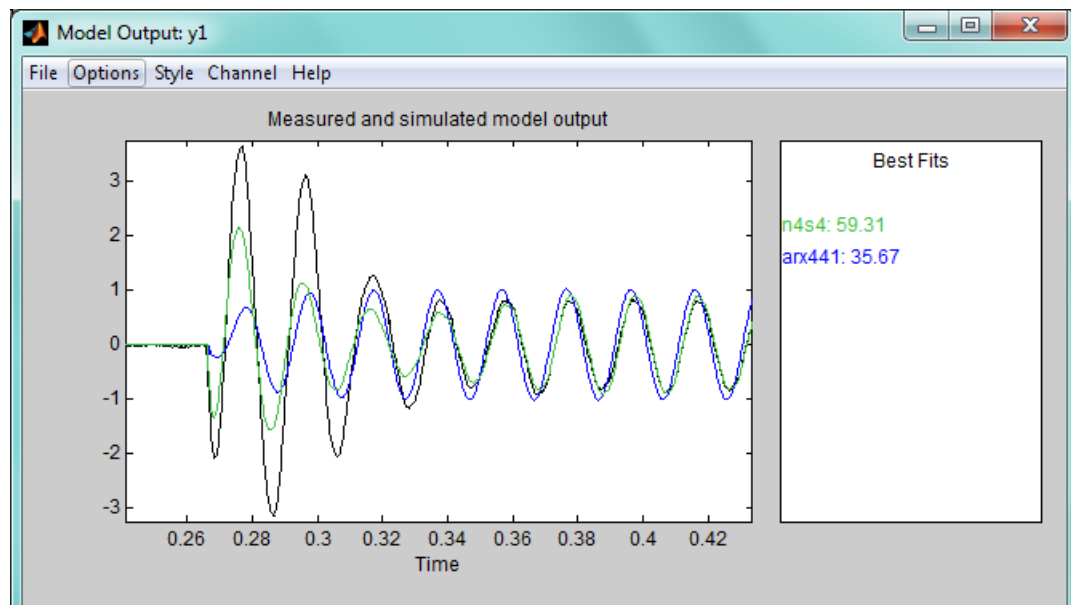


حال با استفاده از گزینه اول در منوی Estimate همانند شکل زیر مدل‌های پارامتری خطی سیستم را در این آزمایش تخمین می‌زنیم.



## ۶.۲.۱ نتایج

در ادامه نتایج حاصل از تخمین با ساختارهای ARX و State Space به ترتیب نمایش داده شده است.



در شکل نشان داده شده نتایج حاصل از تخمین با ساختار ARX برنگ آبی، تخمین با ساختار فضای حالت برنگ سبز و خود سیستم برنگ مشکی نمایش داده شده است.

تخمین سیستم با استفاده از دو ساختار در شده بصورت زیر است:

:ARX

$$A(q)y(t) = B(q)u(t) + e(t)$$

$$A(q) = 1 - 0.955(\pm 0.0154)q^{-1} - 0.6958(\pm 0.02113)q^{-2} + 0.3586(\pm 0.02103)q^{-3} + 0.3014(\pm 0.01529)q^{-4}$$

$$B(q) = 0.0005558(\pm 0.00003564)q^{-1} - 0.0008089(\pm 0.00005815)q^{-2} + 0.0001346(\pm 0.00005954)q^{-3} + 0.0001347(\pm 0.00003636)q^{-4}$$

:State Space

$$x(t + Ts) = Ax(t) + Bu(t) + Ke(t)$$

$$y(t) = Cx(t) + Du(t) + e(t)$$

$$A = \begin{bmatrix} 0.99759 & -0.067021 & 0.02099 & -0.00019655 \\ 0.052542 & 0.99299 & 0.14307 & 0.032452 \\ 0.007343 & -0.007857 & 0.083816 & -0.45294 \\ -0.0015659 & 0.02782 & -0.18926 & -0.84053 \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} 0.000044768 \\ 0.000090699 \\ -0.00032051 \\ -0.0010199 \end{bmatrix}$$

$$C = [25.812 \quad -0.69219 \quad -0.39916 \quad -0.2595]$$

$$D = 0$$

$$K = \begin{bmatrix} 0.024521 \\ -0.13942 \\ -0.012541 \\ 0.19576 \end{bmatrix}$$

$$x(0) = \begin{bmatrix} -0.0011291 \\ 0.00019412 \\ 0.0049664 \\ 0.010611 \end{bmatrix}$$

### ۳ آزمایش دوم شناسایی: مشخصه مکانیکی موتور القایی سه فاز

در این آزمایش مشخصه دور بر حسب جریان ورودی موتور به دست می‌آید. در مدل استخراج شده جریان ترمینال موتور به عنوان ورودی و دور موتور به عنوان خروجی در نظر گرفته شده است. در این آزمایش ولتاژ ورودی ثابت نگه داشته می‌شود و بار مکانیکی به صورت متغیر در نظر گرفته می‌شود.

#### ۷.۲.۱ شرح آزمایش:

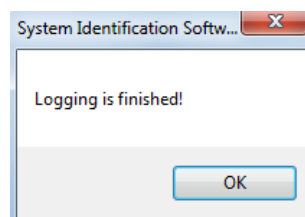
مطابق جدول زیر اجزای مورد استفاده در آزمایش پیکربندی می‌شوند :

نام بلوک	عملکرد	کد بلوک
3-Phase Auto Transformer	تغذیه متغیر جهت ترمینال ورودی موتور	SI-105
Voltage Isolator	اندازه‌گیری، ایزولاسیون و مقیاس‌بندی ولتاژ ترمینال ورودی جهت ورود به کارت ارتباط داده	SI-110
Current Isolator	اندازه‌گیری، ایزولاسیون و مقیاس‌بندی ولتاژ جریان ورودی جهت ورود به کارت ارتباط داده	SI-109
Power Controller	کنترل کننده بار مکانیکی	SI-108
Diode Bridge	یکسوکنده ولتاژ جهت اعمال بار مکانیکی به موتور	SI-102
Data Acquisition Interface	انتقال داده های ولتاژ و جریان ترمینال به کامپیوتر	SI-111
Counter	شمارش تعداد دور موتور	SI-107

برای انجام این تست به این صورت عمل می‌کنیم که ابتدا موتور را با ولتاژی مشخص و از طریق اتوترانسفورمر راه‌اندازی می‌کنیم. سپس به سربرگ Analog Output رفته و شروع به عمل لاگ‌برداری می‌کنیم. در حین لاگ برداری از طریق اعمال ولتاژ به بلوک کنترل توان بار مکانیکی را تغییر می‌دهیم.

#### ۸.۲.۱ مشاهده داده ها در نرم افزار:

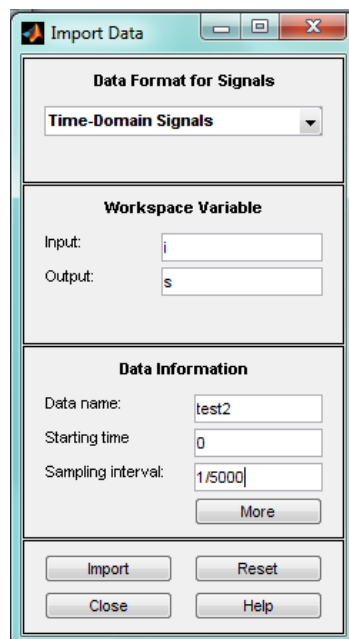
در این آزمایش نیز تمامی مراحل همانند آزمایش قبل است. پس از مشاهده نمودارهای مربوطه و با پایان یافتن عمل لاگ‌برداری، پیغام زیر مشاهده خواهد شد.



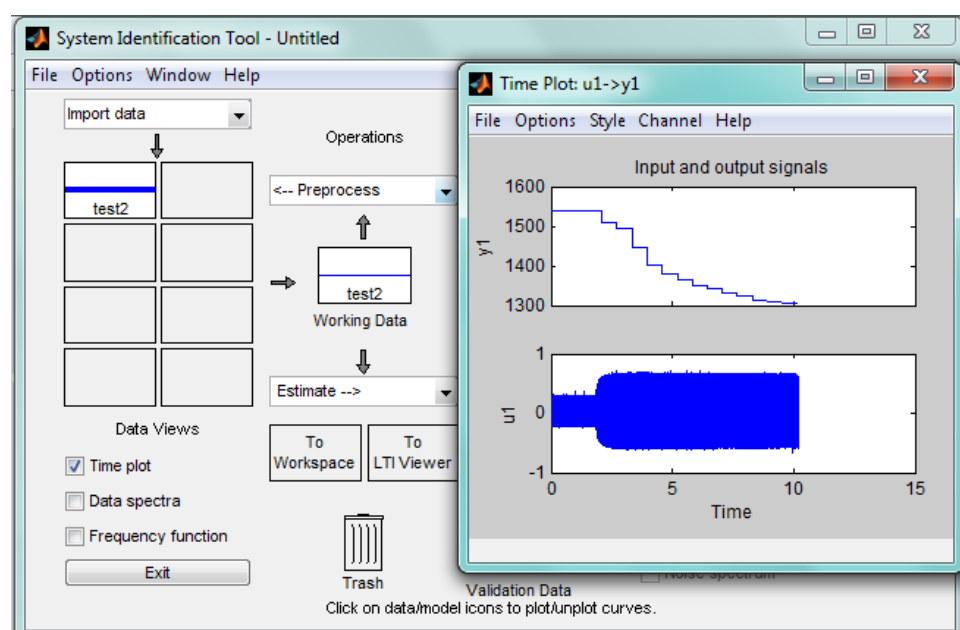
حال به محل ذخیره فایل اکسل می‌رویم. شبیه آزمایش قبل داده‌های مورد نیاز را از درون فایل اکسل انتخاب نموده و در نرم افزار متلب بارگذاری می‌نماییم.

### ۹.۲.۱ بارگذاری داده‌ها در متلب

در این آزمایش نیز همانند آزمایش قبل عمل بارگذاری داده‌ها را در نرم افزار متلب انجام می‌دهیم. پس از بارگذاری جعبه ابزار شناسایی سیستم نرم افزار متلب را اجرا کرده و داده‌ها را داخل آن Import می‌کنیم. در ادامه نحوه نامگذاری و Import داده در این بخش با تصویر نشان داده شده است.

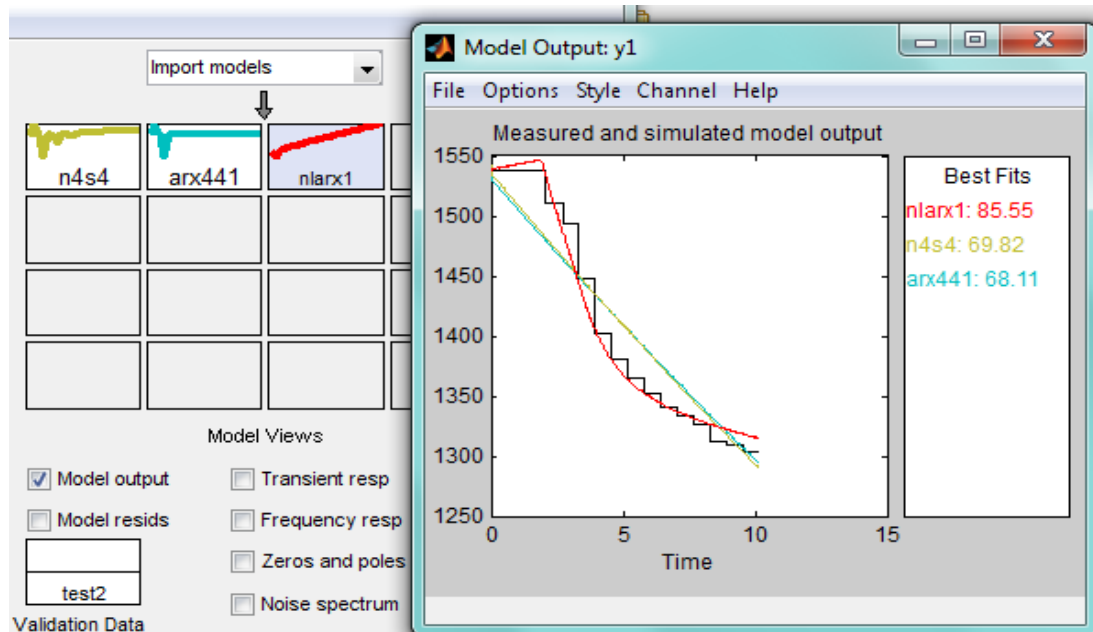


حال با کلیک بر روی گزینه Time Plot می‌توان داده‌های Import شده در جعبه ابزار را در حوزه زمان رسم نمود. این عمل در شکل زیر نشان داده شده است.



## ۱۰.۲.۱ نتایج:

با انجام همان روال ذکر شده در بخش قبل، می‌توان تخمینی از سیستم با مشخصات زیر بدست آورد.



در تصویر نمایش داده شده، نمودار قرمز رنگ نشان دهنده تخمین با ساختار Nonlinear ARX، نمودار سبز رنگ نشان دهنده تخمین سیستم با استفاده از ساختار State Space، و نمودار آبی رنگ نیز نشان دهنده تخمین سیستم با استفاده از ساختار ARX می‌باشد. همانطور که مشاهده شد در این بخش از آزمایش تخمین سیستم با استفاده از ساختار Nonlinear ARX بهترین نتیجه را به ما می‌دهد.

جزئیات تخمین ها در ادامه آمده است.

:ARX

$$A(q)y(t) = B(q)u(t) + e(t)$$

$$A(q) = 1 - q^{-1} + 0.000001963(\pm 0.006262)q^{-2} - 0.000002804(\pm 0.006262)q^{-3} - 0.0002739(\pm 0.004429)q^{-4}$$

$$B(q) = 0.09336(\pm 0.1046)q^{-1} - 0.09403(\pm 0.1374)q^{-2} + 0.1889(\pm 0.1374)q^{-3} + 0.1823(\pm 0.1046)q^{-4}$$

:State Space

$$\begin{aligned} x(t + Ts) &= Ax(t) + Bu(t) + Ke(t) \\ y(t) &= Cx(t) + Du(t) + e(t) \end{aligned}$$



$$A = \begin{bmatrix} 1 & 0.000088354 & -0.0001752 & 0.000077509 \\ -0.00066712 & -0.59967 & -0.6799 & -0.049127 \\ -0.00039933 & 0.74327 & -0.053922 & -0.33521 \\ -0.0001857 & -0.018067 & 0.13921 & 0.98248 \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} 0.00000036004 \\ 0.0021999 \\ 0.0023283 \\ -0.00030725 \end{bmatrix}$$

$$C = [0.000031638 \quad -0.0037701 \quad 0.013252 \quad -0.049669]$$

$$D = 0$$

$$K = \begin{bmatrix} 0.0000031599 \\ -0.0000012121 \\ 0.0000014937 \\ -0.0000075179 \end{bmatrix}$$

$$x(0) = \begin{bmatrix} 0.0048627 \\ 0.00011385 \\ 0.00064918 \\ 0.00025426 \end{bmatrix}$$

:Nonlinear ARX

*IDNLARX model with 1 output and 1 input*

*Input name: u1*

*Output name: y1*

*Standard regressors corresponding to the orders*

$$na = 2, nb = 2, nk = 1$$

*No custom regressor*

*Nonlinear regressors:*

$$y1(t-1)$$

$$y1(t-2)$$

$$u1(t-1)$$

$$u1(t-2)$$

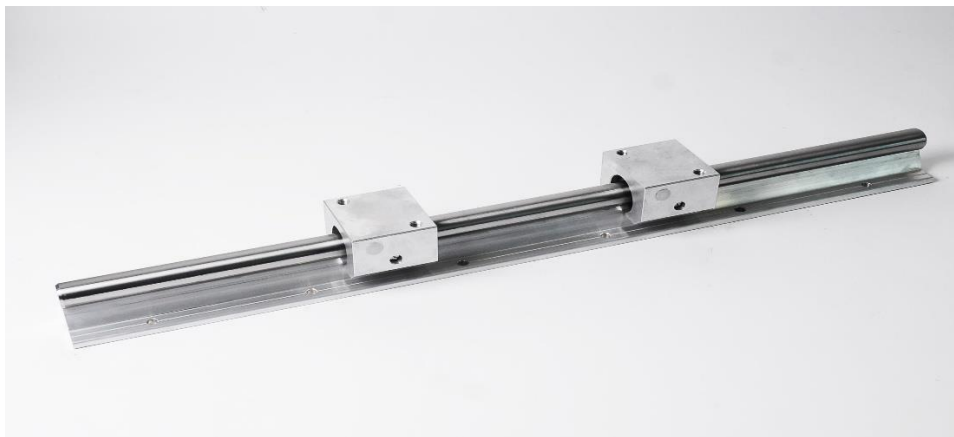
## ۴ مشخصات آموزنده پاندول معکوس

سازه این آموزنده در دو بخش مکانیکی و الکتریکی طراحی شده است. بخش مکانیکی آن شامل (۱) ریل و واگن (۲) سیستم انتقال نیرو (۳) پاندول می شود و بخش الکتریکی آن شامل موتور و انکودرورانی می باشد.

### بخش مکانیکی

#### ریل و واگن

به جهت بخش ریل و واگن از شفت های پایه دار از جنس کروم استفاده شده است که از استحکام بالایی برخوردار می باشند. به جهت واگن یا همان بخش محرک سیستم نیز از بلبرینگ های خطی شیاردار که در حرکت خطی از اصطکاک بسیار پایینی برخوردار هستند استفاده شده است. از این بلبرینگ ها در ساخت پرینتر های سه بعدی، دستگاه های CNC و همچنین سیستم های ابزار دقیق استفاده می شود.



شکل ۱: تصویر ریل و واگن تشکیل شده از شفت پایه دار کروم و بلبرینگ خطی شیاردار

#### سیستم انتقال نیرو

در ساخت آموزنده پاندول معکوس از سیستم انتقال نیرو تسمه و پولی استفاده شده است. سیستم انتقال حرکتی تسمه و پولی همانطور که از نام آن مشخص است از یک تسمه انعطاف پذیر به همراه پولی برای انتقال نیرو استفاده می کند. در شکل زیر یک نمونه از پولی و تسمه را مشاهده می کنید.



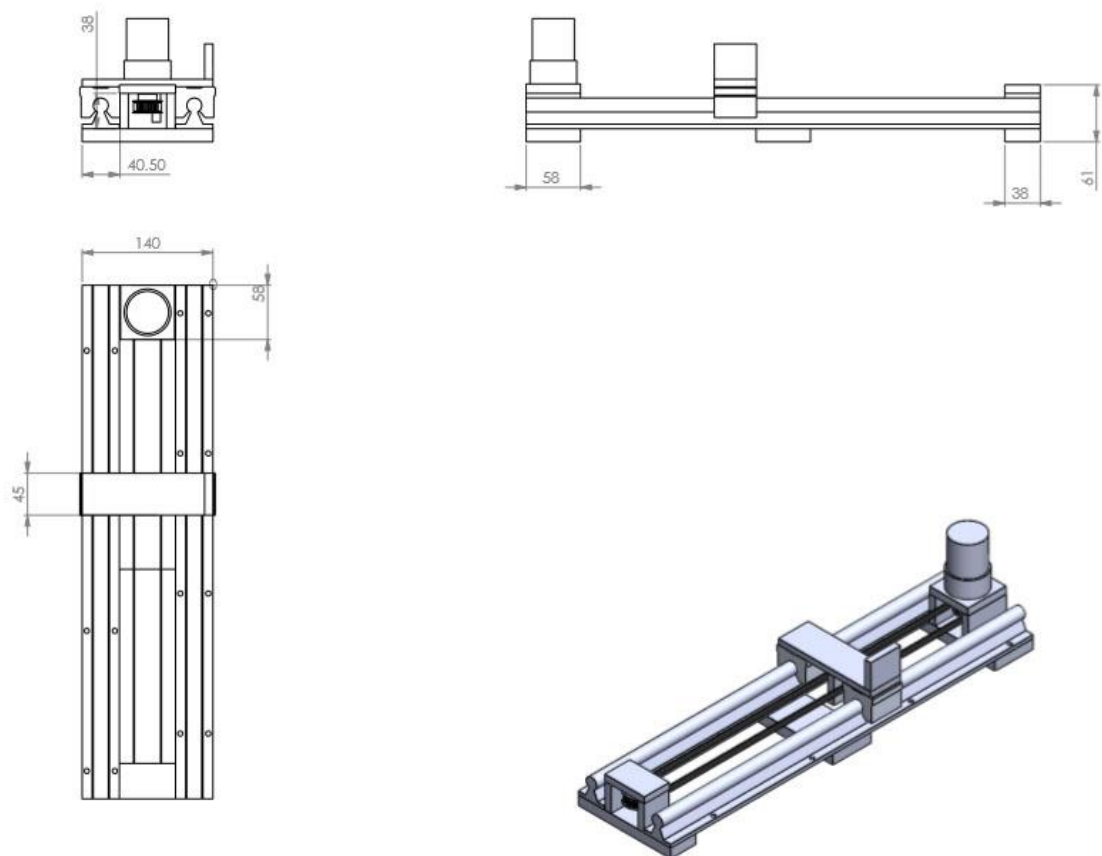
شکل ۲: سیستم انتقال نیرو تسمه و پولی

این مکانیزم به جهت سرعت بالای انتقال نیرو برای آموزنده پاندول معکوس استفاده شده است. بایستی دقت شود استفاده از این مکانیزم ها و بهره وری بالا از آن مشابه با هر سیستم انتقال نیروی دیگری مستلزم نگهداری مناسب و بازدید های دوره ای منظم می باشد.

## پاندول

بخش سوم این سازه پاندول یا همان بخش هدف این سازه می باشد. از این جهت این قسمت از سازه را بخش هدف می نامیم که هدف در ساخت این سازه پایداری پاندول در زاویه قائم (نقطه تعادل ناپایدار) می باشد. پاندول از دو بخش میله و وزنه تشکیل شده است که در این سازه دو پاندول یکی با میله آلومینیومی (جرم میله خیلی کمتر از وزنه است) و دیگری با میله آهنی (جرم میله نزدیک به وزن وزنه است) ساخته شده است.

سازه آموزنده پاندول معکوس ساخته شده با ویژگی های بیان شده در بالا به جهت بهره وری از یک سیستم سریع و دقیق طراحی شده است. در ساخت این مجموعه سعی شده تا تمامی ویژگی های مورد انتظار بیان شده در کتب و مقالات علمی معتبر رعایت شود. در زیر تصویر سازه طراحی شده با جزئیات دقیق ابعاد قطعات آورده شده است.



شکل ۳: تصویر سازه طراحی شده با جزئیات دقیق قطعات

## بخش الکتریکی

### موتور

موتور در این سازه به عنوان محرکه اصلی نقش بسیار مهمی را در کارکرد هرچه بهتر آموزنده پاندول معکوس دارا می باشد. دقت در انتخاب نوع موتور می تواند بسیاری از مشکلات پیش رو در کار با این سیستم را مرتفع سازد. در انتخاب نوع موتور برای این سیستم ملاحظاتی چون سرعت بالا، قدرت کافی، عملکرد مناسب در تغییر وضعیت ها (چپگرد و راستگرد) و همچنین ایجاد نویز محیطی و الکتریکی بسیار پایین مد نظر قرار گرفته شده است. به جهت تحقق این اهداف و همچنین ایجاد چالش در کنترل سیستم، در این مجموعه از سروو موتور DC انکودردار در مقابل استپر موتور استفاده شده است. در زیر مشخصات موتور انتخابی برای این آموزنده نشان داده شده است.

#### DCM50207D-1000 DC servo motor 120W



DCM50207D-1000 is a permanent magnet DC brushed motor with attached incremental encoder which provides position feedback to the controller.

The incremental encoder has differential outputs and resolution of 1000 PPR, i.e. 4000 PPR with x4 encoder resolution multiplication.

Applications: CNC, measurement devices, inkjet printers.

Features: smooth operation, super-low noise, high precision and high reliability.

#### ELECTRICAL SPECIFICATIONS

Parameter	Unit	Value
Continuous torque (max)	Nm	0.35
Peak torque (stall)	Nm	2.90
No load speed	RPM	3600 $\pm$ 10%
Rated speed	RPM	2900
Rotor inertia	kgm <sup>2</sup>	4.73x10 <sup>-4</sup>
Winding temperature (max)	°C	155
Thermal impedance	°C/W	4.98
Weight	kg	1.34
Rated voltage	V	30.3
Rated current	A	3.94
Rated power	W	120
Torque constant	Nm/A	80x10 <sup>-3</sup>
Resistance	$\Omega$	0.90
No load current	A	0.45
Peak current (stall)	A	32.6
Resolution of Incremental encoder	PPR	1000

#### ENCODER WIRING

Color	Description
Black	A+
Blue	A-
Yellow	B+
Green	B-
Red	+5V
White	GND

شکل ۴: تصویر و مشخصات سروو موتور انتخابی

## انکودر دورانی

همانطور که می‌دانیم در این آموزنده هدف اصلی کنترل زاویه پاندول در زاویه قائم می‌باشد. به همین منظور نیاز به قراردادن انکودر دورانی به جهت اطلاع از زاویه پاندول در هر لحظه وجود خواهد داشت. در این مجموعه از انکودر دورانی مطلق استفاده شده است. تصویر و ویژگی‌های این انکودر در زیر آورده شده است.



### MRV 50A

انکودر مطلق

50 mm قطر بدنه

خروجی ولتاژ

رزولوشن انتخابی

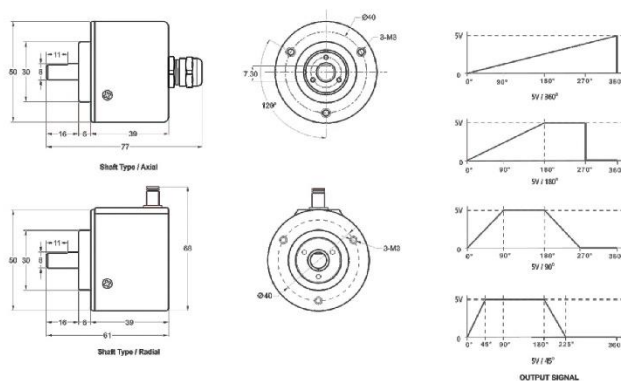
درجه حفاظت IP54

می‌توان به عنوان ولوم دوار استفاده کرد

رزولوشن انتخابی 5V/45°, 90°, 180°, 10bit (انتخابی) 5V/360° (استاندارد)

MAGNETIC ROTARY ENCODERS

مشخصات فنی
نوع اندازه گیری
مگنتیک مطلق
رزولوشن
5V/45°, 90°, 180°, 10bit (استاندارد) 5V/360°
سیگنال خروجی
آنالوگ
نوع خروجی
0-5V DC ولتاژ خروجی
ولتاژ تغذیه
8-24V DC (Standard) or 5V DC (Optional)
مصرف برق (بدون بار)
<40 mA (24 VDC)
اتصال الکتریکی
2.5 m cable (Standard)
حداکثر سرعت
1000 RPM.
درجه حفاظت
IP54
قطر شافت
Ø8 mm
جنس شافت
فولاد ضد زنگ
قطر بدنه
Ø50 mm
جنس بدنه
آلومینیوم استیل
دمای کارکرد
-20°C...+80°C
دمای نگهداری
-30°C...+90°C



مدل	قطر بدنه	رزولوشن	ولتاژ تغذیه	کانکتور / کابل	کابل خروجی
نمونه MRV	50A	5V/360°	V2	2M5	R
MRV	50A: Standard case 50AW: Water proof	5V/360° 5V/180° 5V/90° 5V/45° 10 bit	V1: 5V DC V2: 8-24V DC	2M5: 2,5 meter cable 5M: 5 meter cable 8M: 8 meter cable 10M: 10 meter cable	R.Radial شعاعی A.Axial محوری

13

شکل ۵: تصویر و مشخصات انکودر دورانی مطلق انتخابی

## ماژول‌های آموزنده پاندول معکوس

ماژولار بودن این مجموعه این قابلیت را به کاربر می‌دهد تا سیستم را به صورت دیجیتال، آنالوگ و یا ترکیبی از کنترل کننده های آنالوگ و دیجیتال مورد آزمایش قرار دهد. در ادامه به بیان ویژگی ها و نحوه کار با ماژول های این آموزنده پرداخته شده است.

ردیف	نام ماژول	ویژگی ماژول	تصویر ماژول
۱	Embedded Microcontroller	این ماژول تشکیل شده از یک پردازنده LPC1788 و مدارات واسط که این امکان را به کاربر می‌دهد تا از ورودی و خروجی های آنالوگ و دیجیتال با سطح ولتاژهای 0-3.3V برای دیجیتال و -10~+10 برای آنالوگ استفاده کند.	
۲	Interface Unit	این ماژول به جهت در دسترس قراردادن سیگنال های مربوط به انکودر زاویه و موقعیت و همچنین پورت های کنترلی درایور سرووموتور DC طراحی و ساخته شده است.	
۳	Data Acquisition Unit	این ماژول با نام واحد ارتباط داده تشکیل شده از یک کارت Advantech usb4704، با هدف ایجاد قابلیت ثبت و نمایش سیگنال ها توسط رایانه طراحی و ساخته شده است.	

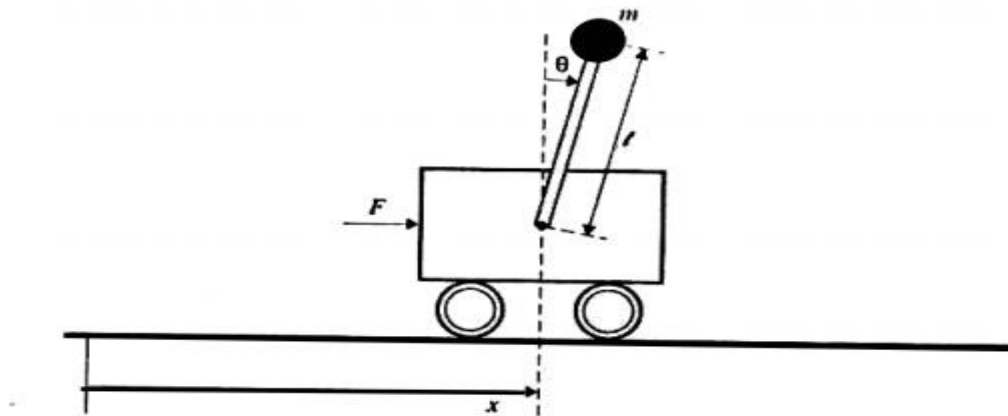


## معرفی سیستم پاندول معکوس

پاندول معکوس بر روی گاری مثالی کلاسیک از سیستم‌های کم عملگر مکانیکی است. کم عملگر به این معنا که تعداد خروجی‌های سیستم بیشتر از تعداد عملگرهای آن است. از منظر کنترل پذیری سیستم‌هایی که تعداد خروجی آنها از تعداد ورودی‌هایشان بیشتر است اگرچه ممکن است کنترل پذیر خروجی باشند ولی این سیستم‌ها کنترل پذیر عملکردی نیستند.

سیستم پاندول معکوس دارای دو نقطه تعادل است که یکی پایدار ( $\theta = \pi$ ) و دیگری نقطه تعادل ناپایدار ( $\theta = 0$ ) است. هدف پایداری سیستم حول نقطه تعادل ناپایدار آن است.

مطابق شکل زیر یک پاندول معکوس به جرم  $m$  و به طول  $l$  را در نظر بگیرید که بر روی گاری به جرم  $M$  که حرکت افقی دارد نصب شده است. نیروی کنترل  $F$  باعث حرکت  $M$  و متعاقباً تعادل پاندول معکوس می‌گردد. فرض کنید میله پاندول دارای جرم قابل صرف نظر بوده و هیچگونه اصطکاکی در سیستم وجود نداشته باشد. ورودی سیستم نیروی  $F$  و خروجیهای آن زاویه پاندول  $\theta$  و میزان جابجایی گاری  $x$  می‌باشد.



با در نظر گرفتن متغیرهای حالت به فرم  $\begin{bmatrix} x & \theta & \dot{x} & \dot{\theta} \end{bmatrix}^T$ ، معادلات حالت به فرم معادلات زیر خواهد بود:

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{\theta} \\ \ddot{x} \\ \ddot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ \theta \\ \dot{x} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ f_1(\theta, \dot{\theta}) \\ f_2(\theta, \dot{\theta}) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ f_3(\theta, \dot{\theta}) \\ f_4(\theta, \dot{\theta}) \end{bmatrix} F$$

$$f_1(\theta, \dot{\theta}) = \frac{ml\dot{\theta}^2 \sin\theta - mg \sin\theta \cos\theta}{M + m(1 - \cos^2\theta)}$$

$$f_2(\theta, \dot{\theta}) = \frac{-ml\dot{\theta}^2 \sin\theta \cos\theta + (M + m)g \sin\theta}{l[M + m(1 - \cos^2\theta)]}$$

$$f_3(\theta, \dot{\theta}) = \frac{1}{M + m(1 - \cos^2\theta)}$$

$$f_4(\theta, \dot{\theta}) = \frac{-\cos\theta}{l[M + m(1 - \cos^2\theta)]}$$

## طراحی کنترل کننده

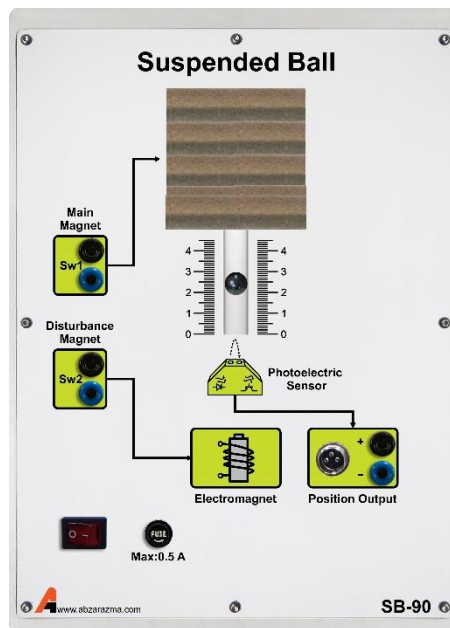
همانطور که در بخش قبل گفته شده هدف در کنترل سیستم پاندول معکوس پایداری سیستم حول نقطه تعادل ناپایدار ( $\theta = 0$ ) می باشد. در آموزنده پاندول معکوس طراحی شده یک قید به این پایداری اضافه شده که آن پایداری سیستم در زاویه گفته شده در کورس محدود حرکت گاری می باشد. کنترل کننده طراحی شده بایستی این قابلیت را داشته باشد تا علاوه بر  $\theta = 0$ ،  $x = 0$  را نیز در پایداری سیستم در نظر بگیرد.

طراحی کنترل کننده برای سیستم پاندول معکوس به جهت پایداری آن حول نقطه تعادل ناپایدار به دو روش امکان پذیر است، روش اول روش سعی و خطا می باشد. در این روش با جهت اعمال نیرو به گاری و همچنین مشاهده نتایج در هر بار تست می توان با تغییر پارامترهای کنترل کننده متناسب با رفتار سیستم سعی در پایداری سیستم حلقه بسته نمود. این روش نیازمند تجربه کافی و تلاش بسیار می باشد.

روش دیگر استفاده از چندین روش طراحی کنترل کننده یادشده در کتب مهندسی کنترل می باشد روش هایی چون زیگلر نیکولز، روش IMC و ... که نیازمند کسب اطلاعاتی از سیستم می باشد. در طراحی کنترل کننده به روش های مرسوم شما نیاز دارید تا دینامیک سیستم را در اختیار داشته باشید. این اطلاعات نیازمند شناسایی سیستم حلقه باز یا حلقه بسته می باشد. همانطور که در معادلات بخش قبل نشان داده شده است بدست آوردن ضرایب  $\theta$  و  $\dot{\theta}$  در توابع  $f1$  تا  $f4$  به روش های مختلف شناسایی سیستم می تواند کمک بسیاری به طراحی کنترل کننده پایدار ساز برای سیستم پاندول معکوس داشته باشد.

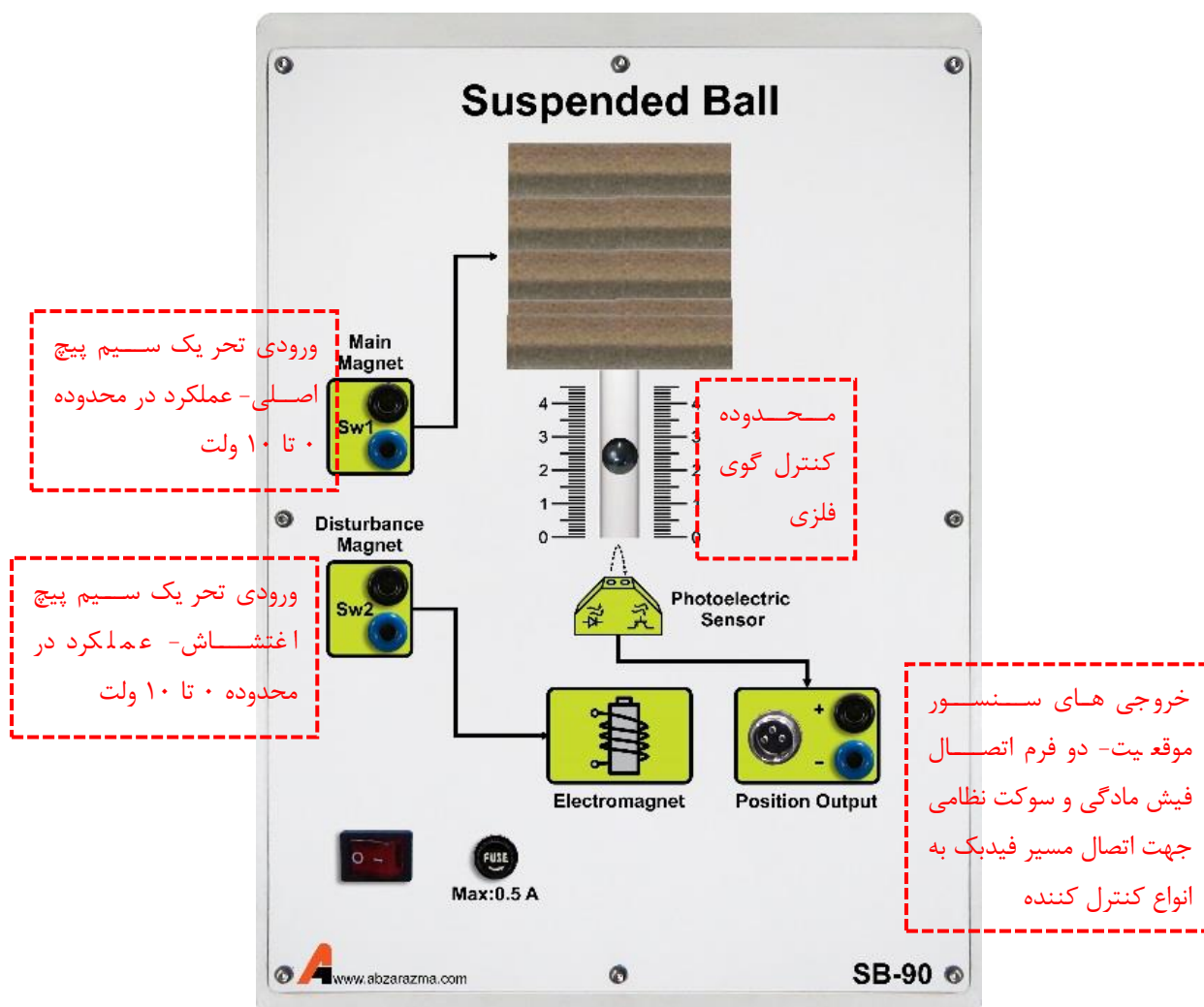
آموزنده پاندول معکوس طراحی شده این امکان را به کاربر می دهد تا سیستم را به صورت حلقه باز و یا حلقه بسته مورد آزمایش قرار داده تا بتواند تخمین درستی از پارامترهای سیستم داشته باشد. همچنین این امکان برای کاربر ایجاد شده تا بتواند کنترل کننده های کلاسیک و هوشمند را به صورت آنالوگ و دیجیتال بر روی این سیستم پیاده سازی نماید.

## ۵ آموزنده گوی معلق SB-100



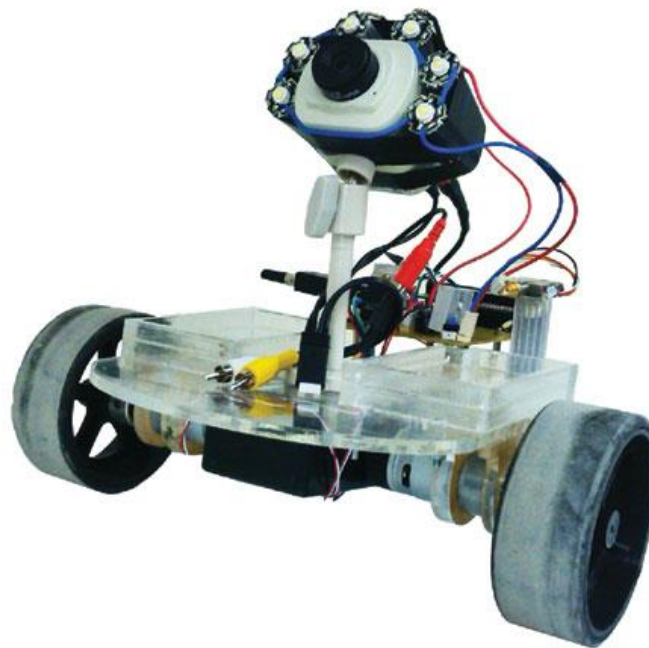
شکل ۶: ماژول گوی معلق مغناطیسی

- ۱- این فرآیند از یک سیم پیچ مغناطیسی اصلی که نقش محرک را ایفا می کند تشکیل شده است.
- ۲- سیم پیچ مغناطیسی اغتشاش نیز جهت اعمال اغتشاش فراهم شده است. هر دو سیم پیچ توسط ماژول واسط که نقش تولید پالس تحریک را بر عهده دارد، تولید می شود.
- ۳- جهت اندازه گیری موقعیت گوی نیز از سنسورهای نوری استفاده شده است. خروجی موقعیت سیگنال آنالوگ پیوسته در محدوده استاندارد ۰ تا ۱۰ ولت می باشد.
- ۴- قابل اتصال به کنترل کننده های آنالوگ و دیجیتال می باشد.
- ۵- در شکل زیر نامگذاری اجزای مهم نشان داده شده است.



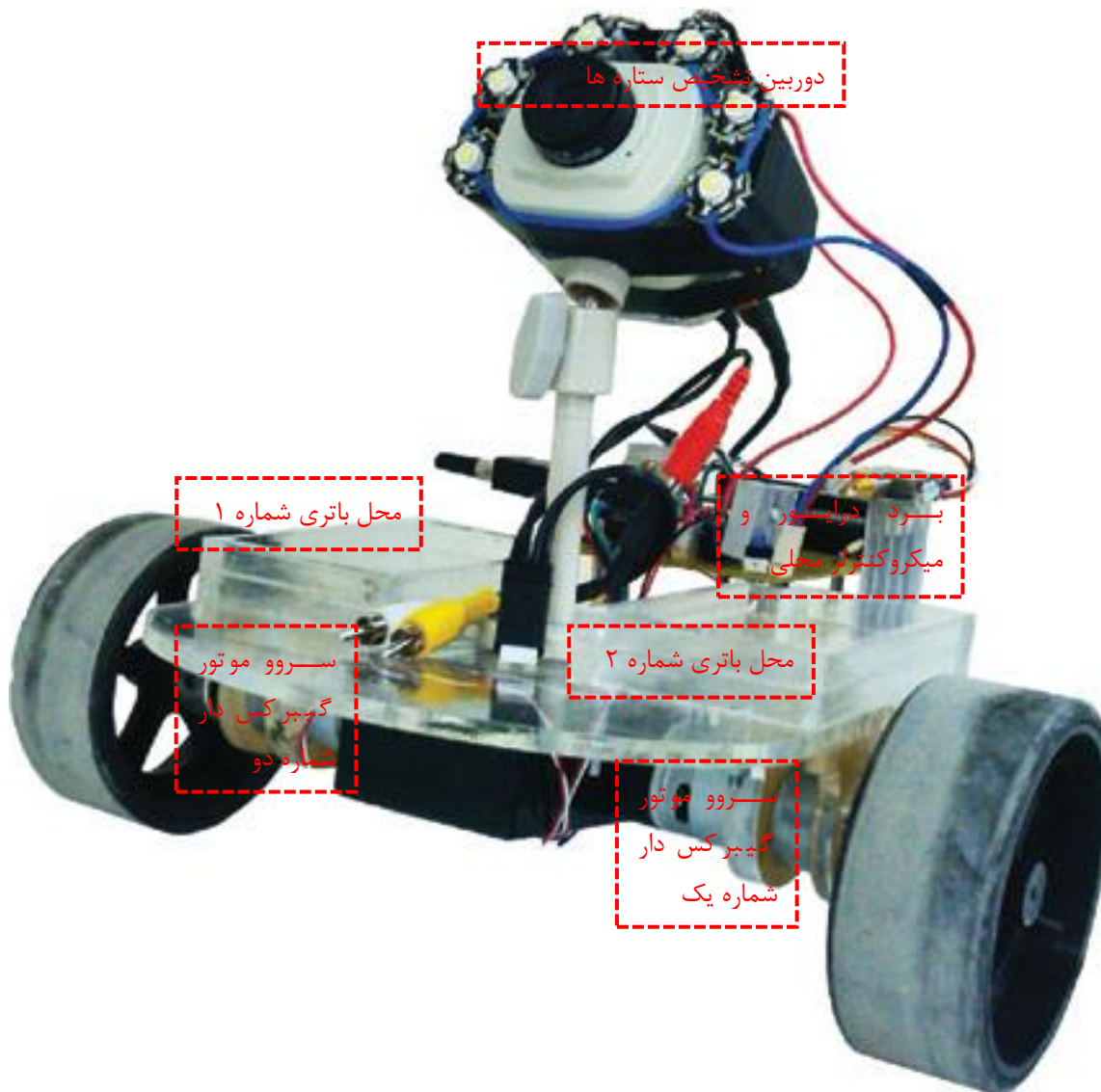
شکل ۷: نامگذاری اجزای گوی معلق مغناطیسی

## ۶ آموزنده ربات مسیریاب پیشرفته RO-100



شکل ۸: ربات مسیریاب پیشرفته

- ۱- جهت پیاده سازی مفاهیم ردیابی و tracking در دوره های تحصیلات تکمیلی استفاده می گردد.
- ۲- جهت مسیریابی از موقعیت ستاره های آسمان استفاده می نماید. جهت شبیه سازی ستاره ها نیز از ترکیب صفحات MDF مشکی رنگ و توپ تنیس روی میز استفاده می شود.
- ۳- تصویر دریافتی از طریق، ارتباط بیسیم به کامپیوتر ارسال می شود و در نهایت، پس از پردازش عملیات ردیابی صورت می گیرد.
- ۴- کنترل کننده محلی نیز بر روی میکروکنترلر واقع بر روی ربات، عملیات کنترل موقعیت چرخ ها را انجام می دهد. این کنترل کننده از نوع PID می باشد.
- ۵- پیاده سازی الگوریتم های ردیابی در محیط برنامه نویسی Visual c# بوده و نمونه برنامه مربوطه به کاربر تحویل می گردد.
- ۶- دارای دو عدد باتری قابل شارژ که بر روی ربات قرار می گیرند و پس از یک ساعت استفاده مداوم می بایست مجددا شارژ شوند.
- ۷- نامگذاری اجزای مهم ربات بر روی شکل زیر نشان داده شده است.



شکل ۹: نامگذاری اجزای ربات مسیر یاب