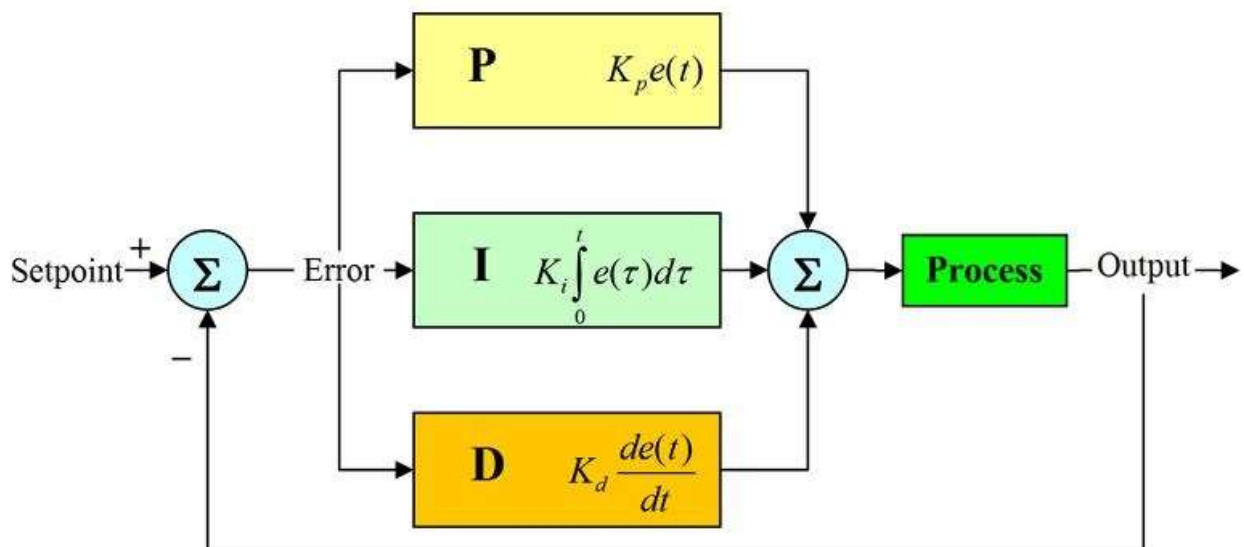


دانشگاه زنجان

دانشکده فنی مهندسی - گروه برق

راهنمای دستگاه های

«آزمایشگاه سیستمهای کنترل خطی»



ویرایش:

دکتر مهرداد بابازاده

زمستان 1396

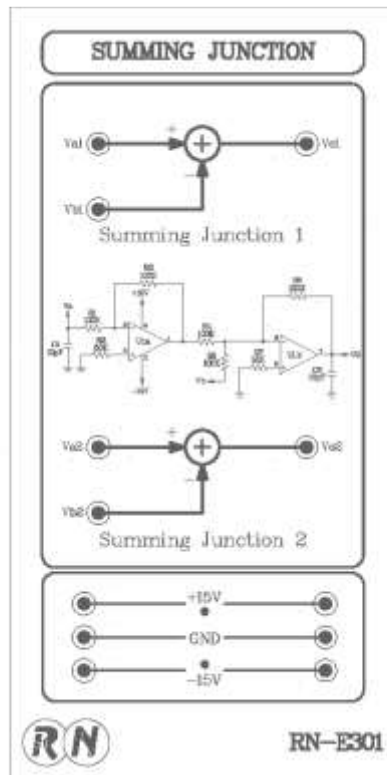
فهرست

Contents

معرفی مازول‌های دستگاه	4
1) نقطه جمع ((SUMMING JUNCTION (RN-E301))	4
2) کنترل‌کننده انتگرالی ((I_CONTROLLER (RN-E303))	7
3) کنترل‌کننده مشتقی ((D-CONTROLLER (RN-E304))	8
4) جمع‌کننده و تفریق‌کننده ((SUM/DIF AMPLIFIER (RN-E305))	9
5) معکوس‌کننده با امکان تنظیم بهره ((INVERTING AMPLIFIER (RN-E306))	10
6) سیستم مرتبه اول و مرتبه دوم ((SECOND ORDER PLANT (RN-E307))	11
7) جبران‌ساز پیش‌فاز/پس‌فاز ((LEAD/LAG COMPENSATOR (RN-E308))	13
8) انتگرالگیر ((INTEGRATOR (RN-E309))	15
9) منبع تولید توابع پله واحد، شیب و نمایی ((SIGNAL GENERATOR (RN-E311))	16
10) فانکشن ژنراتور ((FUNCTION GENERATOR (RN-E312))	19
11) منبع تغذیه و مولتی متر ((POWER SUPPLY (RN-E313))	21
12) سروو موتور به همراه نمایشگر سرعت و موقعیت	22
13) مازول کنترل سطح مایع (این مازول در حال حاضر بر روی مجموعه آموزشی وجود ندارد)	23

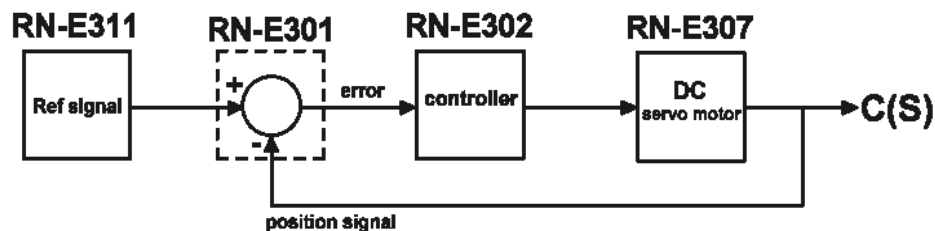
معرفی ماژول‌های دستگاه

(1) نقطه جمع (SUMMING JUNCTION (RN-E301))



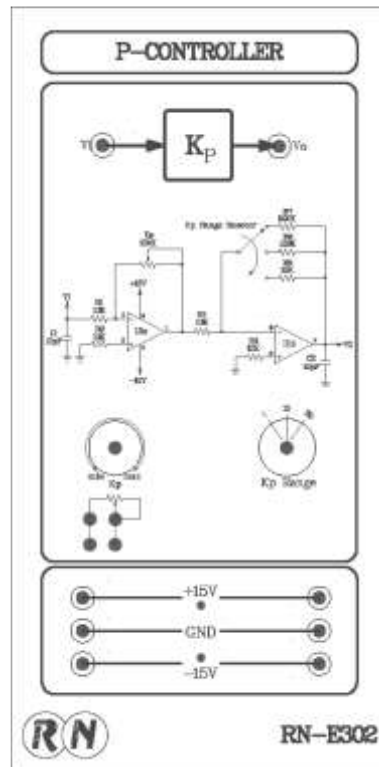
شکل 1

این ماژول عموماً در سیستم‌های فیدبک دار استفاده می‌شود. برای مثال شکل 2، سیستم کنترلی سروو موتور dc را نشان می‌دهد، سیگنال مرجع و سیگنال فیدبک position به عنوان ورودی summing junction به هم متصل می‌شوند. در خروجی ماژول یک سیگنال خطا به منظور کنترل موتور در وضعیت مطلوب تولید می‌شود. این سیگنال در واقع اختلاف دو سیگنال اعمال شده به ورودی‌ها می‌باشد.



شکل 2- دیاگرام کنترل سروو موتور

کنترل کننده تناسبی ((P-CONTROLLER (RN-E302))

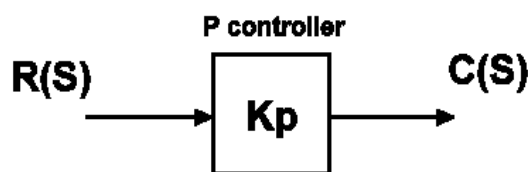


شکل 3

کنترل کننده PID یکی از مهمترین کنترل کننده های آنالوگ در صنعت می باشد. این کنترل کننده ترکیبی است از کنترل کننده های تناسبی (P) انتگرالی (I) و مشتقی (D). در این مجموعه آموزشی هر یک از این سه کنترل کننده بصورت جداگانه در اختیار کاربر قرار گرفته است.

این ماژول کنترل کننده تناسبی می باشد که می تواند به صورت کنترل کننده های PD,PI,P و یا PID در سیستم به کار گرفته شود. در شکل 4 بلوک دیاگرام کنترلر تناسبی نشان داده شده است.

$$\frac{V_0}{V_i} = K_p$$

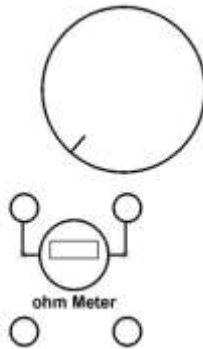


شکل 4- P controller

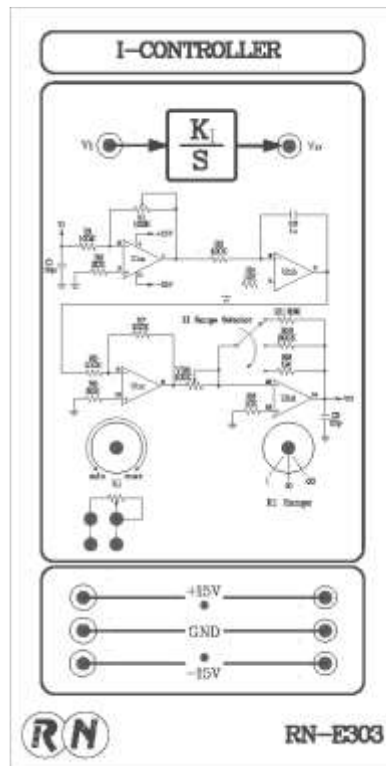
در این ماژول مقدار متغیر K_p برابر است با مقدار مقاومت ولوم K_p (بر حسب کیلو اهم) ضرب در موقعیت سلکتور K_p Range.

برای مثال اگر اهم متر مقاومت 2 کیلو اهم را نشان دهد و سلکتور در موقعیت $\times 10$ قرار داشته باشد مقدار متغیر K_p در تابع تبدیل برابر با عدد 20 می باشد.

نحوه تنظیم ولوم K_p به این ترتیب است. در ابتدای کار ولوم در مدار قرار ندارد. اهم متر را در موقعیت نشان داده شده قرار داده و ولوم را روی مقدار لازم تنظیم کنید. سپس اهم متر را جدا کنید و با 2 عدد جامپر ولوم را وارد مدار نمایید.



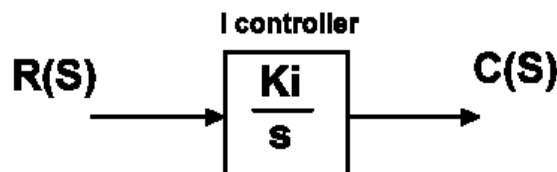
2) کنترل کننده انتگرالی ((I_CONTROLLER (RN-E303))



شکل 5

این ماژول در حقیقت عمل انتگرال گیری کنترلر PID را انجام می دهد. شکل 6 بلوک دیگران و رابطه مربوط به این ماژول را نشان می دهد. در واقع در این ماژول، فاز خروجی 90 درجه نسبت به ورودی به تاخیر می افتد.

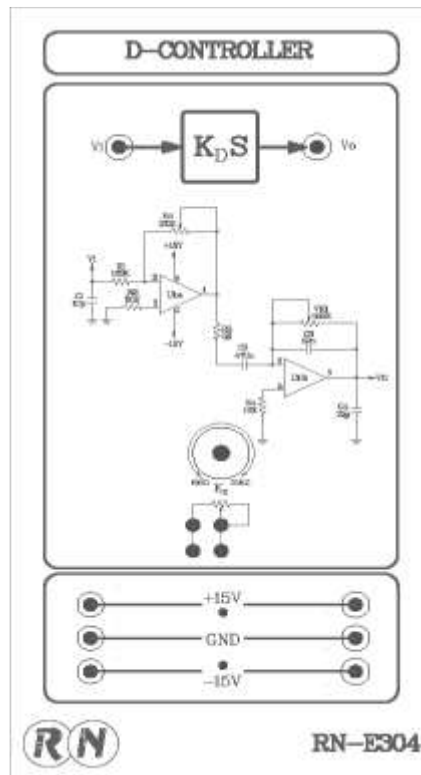
$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{K_i}{s}$$



شکل 6

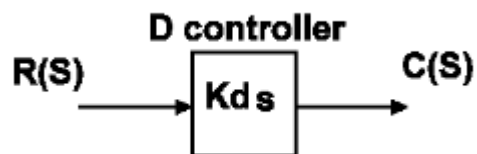
در این ماژول مقدار متغیر K_i برابر است با مقدار مقاومت ولوم K_i (بر حسب کیلو اهم) ضرب در موقعیت سلکتور K_i Range. برای مثال اگر اهم متر مقاومت 2 کیلو اهم را نشان دهد و سلکتور در موقعیت $\times 10$ قرار داشته باشد، مقدار متغیر K_i در تابع تبدیل برابر با عدد 20 می باشد. نحوه تنظیم ولوم K_i نیز مشابه K_p می باشد.

3) کنترل کننده مشتقی (D-CONTROLLER (RN-E304))



شکل 7

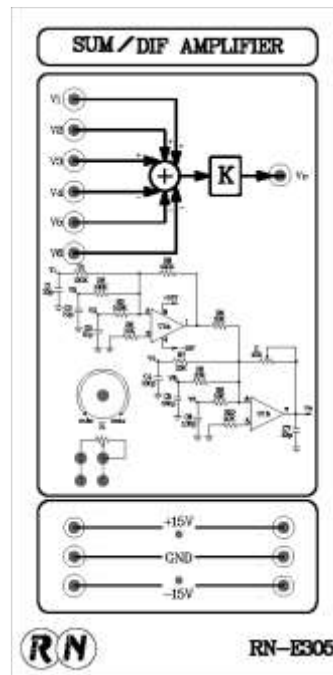
این ماژول در حقیقت عمل مشتق‌گیری کنترلر PID را انجام می‌دهد. شکل 8 بلوک دیگر و رابطه مربوط به این ماژول را نشان می‌دهد. در این ماژول، فاز خروجی 90 درجه نسبت به ورودی جلو می‌افتد.



شکل 8

در این ماژول مقدار متغیر K_d برابر است با مقدار مقاومت ولوم K_d (بر حسب کیلو اهم). برای مثال اگر اهم متر مقاومت 2 کیلو اهم را نشان دهد، مقدار متغیر K_d در تابع تبدیل برابر با عدد 2 می‌باشد.

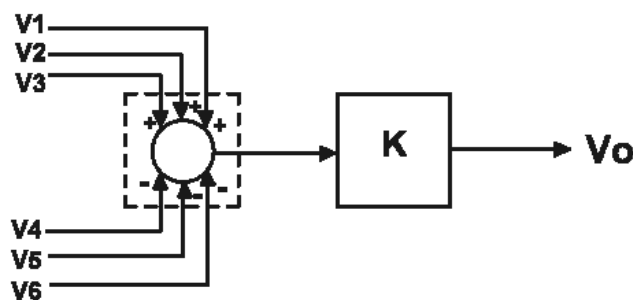
4) جمع کننده و تفریق کننده (SUM/DIF AMPLIFIER (RN-E305))



شکل 9

جمع کننده ها و تفریق کننده ها یکی از پر کاربردترین اجزای سیستم کنترل محسوب می شوند. این ماژول عمل جمع و تفریق برای چندسیگنال را فراهم می نماید. همچنین یک تقویت کننده با بهره قابل تنظیم K در داخل این ماژول تعبیه شده است. شکل 10 نشان دهنده بلوک دیاگرام و معادله ریاضی این تقویت کننده می باشد.

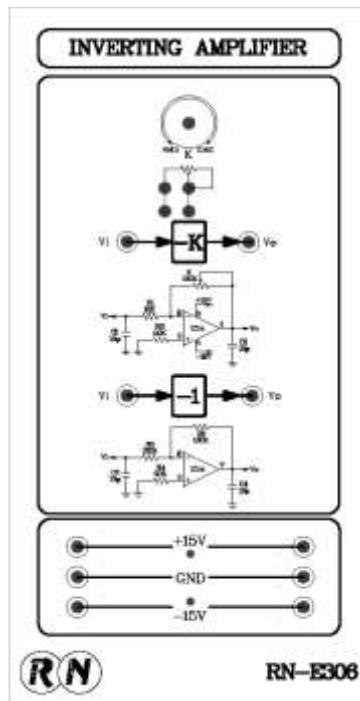
$$V_o = K(V_1 + V_2 + V_3 - V_4 - V_5 - V_6)$$



شکل 10

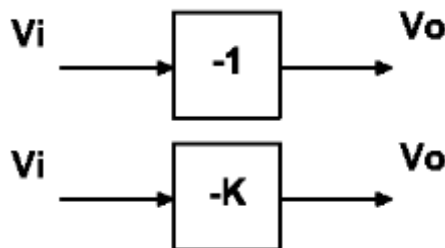
در این ماژول مقدار متغیر K برابر است با مقدار مقاومت ولوم K (بر حسب کیلو اهم). برای مثال اگر اهم متر مقاومت 2 کیلو اهم را نشان دهد مقدار متغیر K در تابع تبدیل برابر با عدد 2 می باشد.

5) معکوس کننده با امکان تنظیم بهره (INVERTING AMPLIFIER (RN-E306))



شکل 11

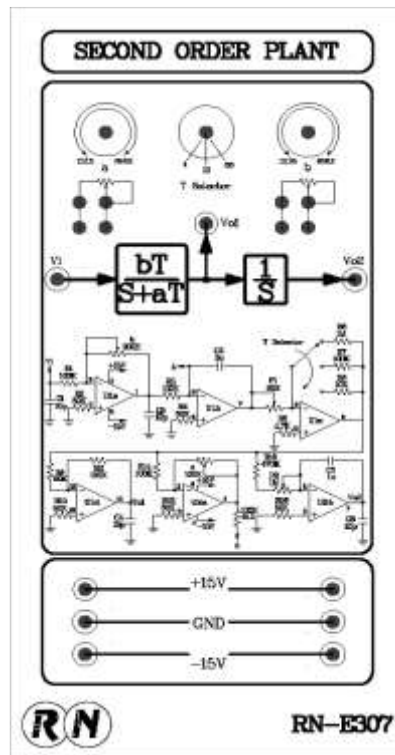
این ماژول شامل دو تقویت کننده معکوس کننده می باشد. یک تقویت کننده بهره 1- و تقویت کننده دیگر به وسیله ولوم K بهره دلخواه را تولید می کنند. شکل 12 نشان دهنده بلوک دیاگرام می باشد.



شکل 12

در این ماژول مقدار متغیر K برابر است با مقدار مقاومت ولوم K (بر حسب کیلو اهم). نحوه تنظیم مشابه ماژول جمع کننده و تفریق کننده می باشد.

6) سیستم مرتبه اول و مرتبه دوم (SECOND ORDER PLANT (RN-E307))

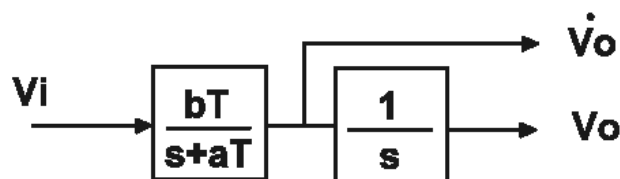


شکل 13

از آنجایی که FIRST ORDER PLANT و SECOND ORDER PLANT اغلب در شبیه سازی کنترل آنالوگ بکار می‌رود، سیستم آموزشی کنترل آنالوگ RN-LCT ماژول SECOND ORDER PLANT را برای شبیه سازی هر دو فراهم کرده است. شکل 14 نشان دهنده بلوک دیاگرام و بیان ریاضی این ماژول می‌باشد.

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{bT}{S(S + aT)}$$

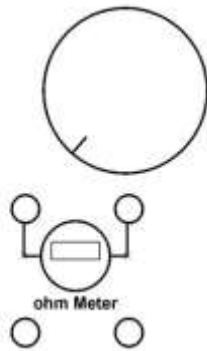
$$\frac{\dot{V}_o}{V_i} = \frac{bT}{S + aT}$$



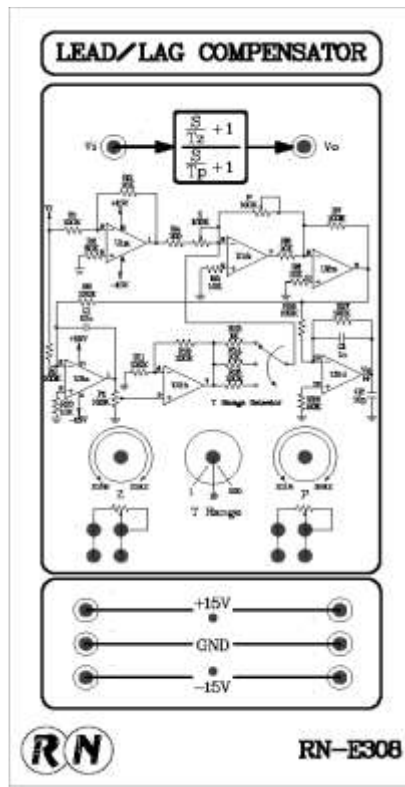
شکل 14

در این ماژول مقدار متغیر a , b برابر است با مقدار مقاومت ولوم a , b (بر حسب کیلو اهم) ضرب در موقعیت سلکتور T .
 برای مثال اگر اهم متر مقاومت 2 کیلو اهم را نشان دهد و سلکتور در موقعیت $10 \times$ قرار داشته باشد، مقدار متغیر a در تابع تبدیل برابر با عدد 20 می باشد.

نحوه تنظیم ولوم a , b نیز در شکل زیر مشخص شده است. بدین گونه که در ابتدا اهم متر را در موقعیت نشان داده شده در شکل قرار داده و بعد از تنظیم ولوم، اهم متر را برداشته و با 2 عدد جامپر ولوم را وارد مدار می نماییم.

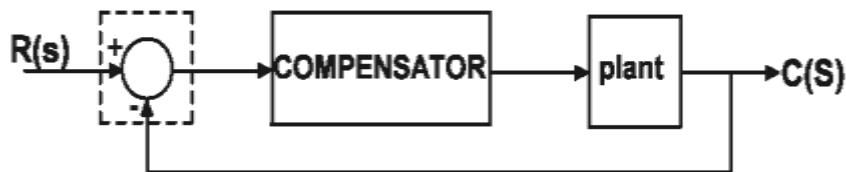


7) جبران‌ساز پیش‌فاز/پس‌فاز (LEAD/LAG COMPENSATOR (RN-E308))



شکل 15

در طراحی سیستم های حلقه بسته، طراحان همیشه قصد دارند که خروجی سیستم منطبق بر ورودی آن باشد. متأسفانه همیشه سیگنال خطا بین سیگنال های ورودی و خروجی (به خاطر محدودیت در مشخصات دستگاه) وجود دارد. اغلب از متصل کردن یک جبران کننده به سیستم کنترل حلقه بسته برای تکمیل طراحی کنترلر استفاده می شود. در شکل 16 یک سیستم کنترل حلقه بسته با جبران ساز نشان داده شده است. این جبران ساز می تواند پیش فاز و یا پس فاز باشد.



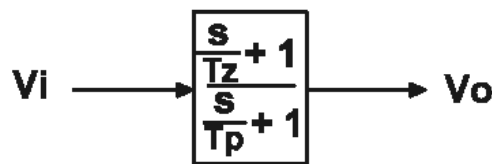
شکل 1

جبران ساز پیش فاز می تواند به منظور بهبود پاسخ گذرای سیستم کنترل حلقه بسته و کاهش خطای حالت ماندگار بکار رود.

همچنین جبران ساز پس فاز باعث بهبود خطای حالت ماندگار یک سیستم کنترل حلقه بسته می‌شود. اما این امر باعث کاهش سرعت در پاسخ خروجی می‌شود.

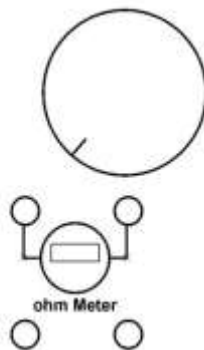
ماژول LEAD / LAG COMPENSATOR ترکیبی از جبران سازهای پیش فاز و پس فاز می‌باشد. شکل 17 نشان دهنده بلوک دیاگرام و بیان ریاضی این سیستم کنترلی می‌باشد.

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{\frac{s}{T_z} + 1}{\frac{s}{T_p} + 1}$$

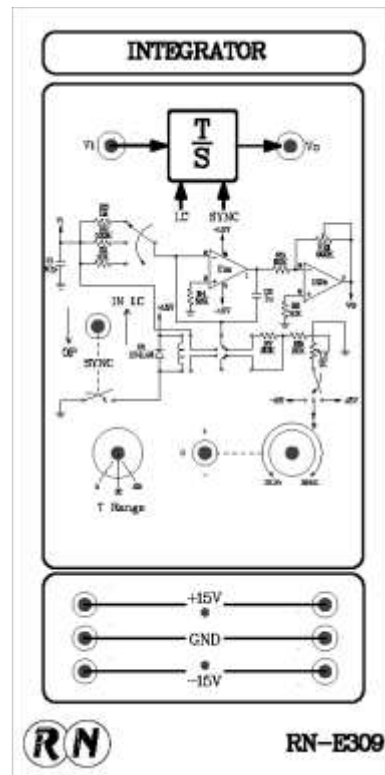


شکل 17

در این ماژول مقدار متغیر p, Z برابر است با مقدار مقاومت ولوم p, Z (بر حسب کیلو اهم) ضرب در موقعیت سلکتور T . برای مثال اگر اهم متر مقاومت 2 کیلو اهم را نشان دهد و سلکتور در موقعیت $10 \times$ قرار داشته باشد، مقدار متغیر p در تابع تبدیل برابر با عدد 20 می‌باشد. نحوه تنظیم ولوم p, Z به این صورت است که در ابتدا اهم متر را در موقعیت نشان داده شده در شکل قرار داده و ولوم را تنظیم می‌کنیم، سپس اهم متر را برداشته و با 2 عدد جامپر ولوم را وارد مدار می‌نماییم.



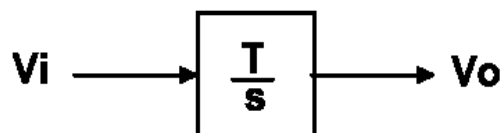
(8) انتگرالگیر ((INTEGRATOR (RN-E309))



شکل 18

اگر چه معمولاً از معادله دیفرانسیلی برای مدل کردن یک سیستم فیزیکی استفاده می‌شود، اما در عمل نمی‌توان از یک بلوک دیفرانسیلی در شبیه سازی سیستم های کنترلی استفاده نمود. دلیل این است که بهره‌بلوک دیفرانسیلی با افزایش فرکانس، افزایش می‌یابد. بطور کلی نویز یک سیگنال فرکانس بالا است و اگر همراه سیگنال (یا سوار بر سیگنال اصلی) به یک بلوک دیفرانسیلی وارد شود، کیفیت سیگنال به شدت افت میکند و انجام آزمایش عملی نخواهد بود. به این ترتیب، انتگرالگیر المان مهمی در شبیه سازی سیستم های آنالوگ محسوب می‌شود. شکل 19 نشان دهنده بلوک دیاگرام و بیان ریاضی انتگرال گیر می‌باشد.

$$\frac{v_o}{v_i} = \frac{T}{s}$$



شکل 19

الف) در حالتی که کلید sync در حالت IN I.C قرار گرفته است، مقدار شارژ اولیه¹ IC را می توان روی مقداری مثبت، منفی یا روی صفر تنظیم کرد. برای این کار کافی است خروجی را به اسیلوسکوپ یا مالتی متر متصل کنید. سپس:

برای شارژ اولیه مثبت: ابتدا سوئیچ را در حالت + قرار داده و با مشاهده خروجی، ولوم را روی مقداری بین صفر تا 5 ولت تنظیم کنید.

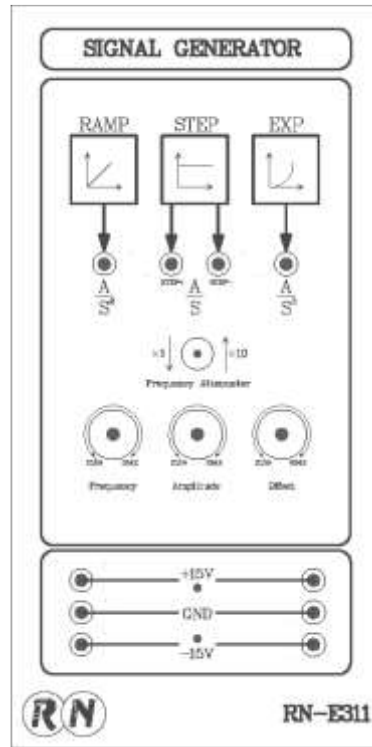
برای شارژ اولیه منفی: ابتدا سوئیچ را در حالت - قرار داده و با مشاهده خروجی، ولوم را روی مقداری بین صفر تا 5- ولت تنظیم کنید.

برای شارژ اولیه صفر: سوئیچ را در حالت وسط (صفر) قرار دهید. خروجی مستقل از ولوم و صفر است.

ب) حالت دیگر برای کلید sync، حالت OP است. در این حالت مقدار $\frac{T}{s}$ طبق جدول زیر خواهد بود.

T	$\left\ \frac{Vo}{Vi} \right\ = \left\ \frac{T}{s} \right\ $	فاز $\frac{Vo}{Vi}$
$\times 10$	$\left\ \frac{10}{j\omega} \right\ = \left\ \frac{10}{10j} \right\ = 1$	-90°
$\times 1$	$\left\ \frac{1}{j\omega} \right\ = \left\ \frac{1}{10j} \right\ = 0.1$	-90°
$\times 100$	$\left\ \frac{100}{j\omega} \right\ = \left\ \frac{100}{10j} \right\ = 10$	-90°

9) منبع تولید توابع پله واحد، شیب و نمایی ((SIGNAL GENERATOR (RN-E311))



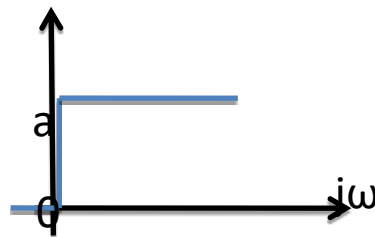
شکل 20

ماژول تست سیگنال ژنراتور، سه سیگنال کاربردی که در برخی از کنترلرها بکار می‌رود را فراهم می‌نماید که عبارتند از سیگنال پله، سیگنال شیب و سیگنال سهمی که در ادامه هر کدام بطور جداگانه و مختصر توضیح داده شده است.

الف) سیگنال پله :

$$r(t) = \begin{cases} a & \text{if } t \geq 0 \\ 0 & \text{if } t < 0 \end{cases} \quad \text{or} \quad r(t) = au(t)$$

تبدیل لاپلاس تابع پله : $R(s) = \frac{a}{s}$

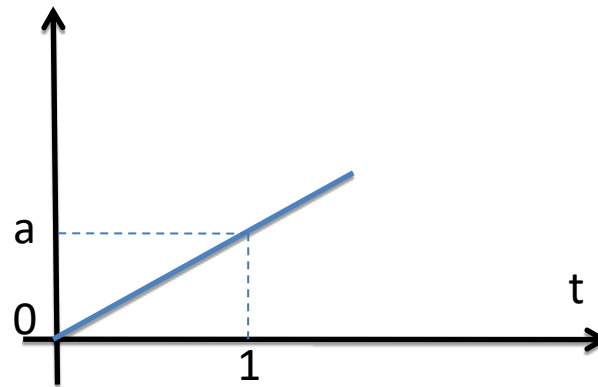


شکل 21

ب) سیگنال شیب :

$$r(t) = \begin{cases} at & \text{if } t \geq 0 \\ 0 & \text{if } t < 0 \end{cases} \quad \text{or} \quad r(t) = atu(t)$$

تبدیل لاپلاس تابع شیب : $R(s) = \frac{a}{s^2}$



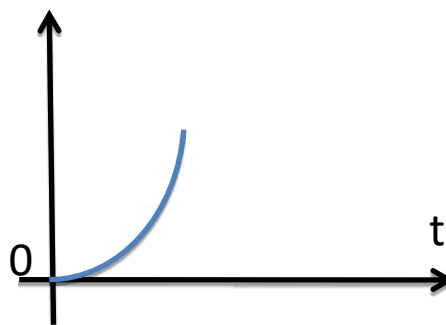
شکل 22

ج) سیگنال سهمی :

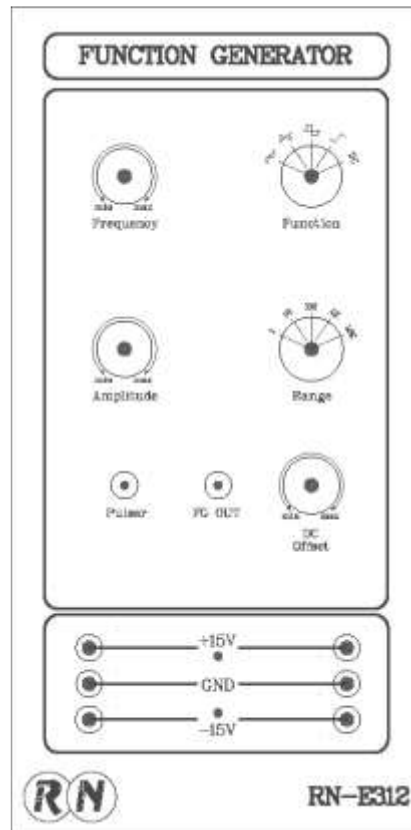
$$r(t) = \begin{cases} \frac{a}{2}t^2 & \text{if } t \geq 0 \\ 0 & \text{if } t < 0 \end{cases} \quad \text{or} \quad r(t) = \frac{a}{2}t^2 u(t)$$

تبدیل لاپلاس تابع سهمی

$$R(s) = \frac{a}{s^3}$$



شکل 23

(10) فانکشن ژنراتور (RN-E312) (FUNCTION GENERATOR)

شکل 24

ماژول فانکشن ژنراتور، سیگنال های مورد نیاز برای تست و آزمایشات این سیستم را فراهم می کند.

سیگنال های تولیدی این ماژول عبارتند از :

- سینوسی
- مثلثی
- مربعی
- پالس
- DC

همچنین قابل تنظیم بودن دامنه، آفست و فرکانس نیز از قابلیت های این ماژول می باشد:

- تنظیم دامنه توسط ولوم AMP بین 0 تا 10 +/- ولت
- تنظیم آفست DC توسط ولوم DC OFFSET بین 0 تا 10 +/- ولت
- تنظیم فرکانس توسط سلکتور RANGE به ترتیب موقعیت هایی که در زیر بیان شده است :

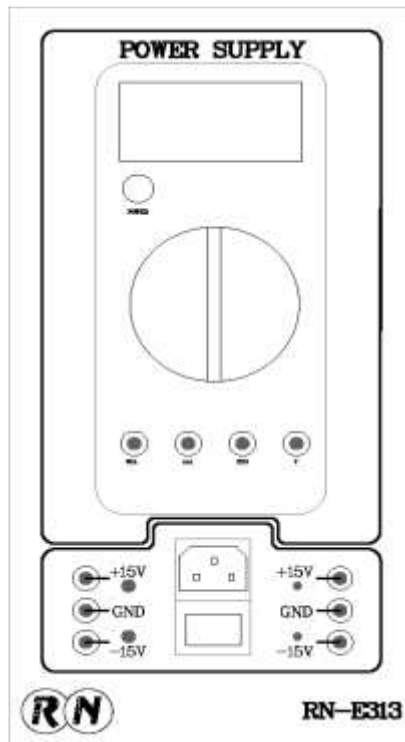
▪ موقعیت 1 : 0 تا 1 هرتر

▪ موقعیت 10 : 1 تا 10 هرتر

- موقعیت 100 : 10 تا 100 هرتز
- موقعیت 1K : 100 تا 1K هرتز
- موقعیت 10K : 1K تا 10K هرتز

قابل ذکر است که امپدانس خروجی این سیگنال ژنراتور 1 کیلو اهم می باشد.

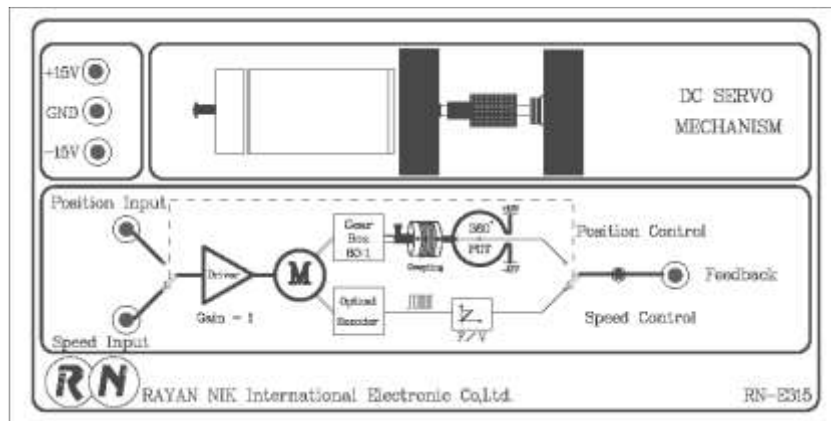
- در ماژول RN-E312 پین سمت چپ out، زمین و پین سمت راست out خروجی فانکشن ژنراتور می باشد.
- به دلیل اینکه این فانکشن ژنراتور با هدف تامین فرکانس های پایین (در حد هرتز و میلی هرتز) طراحی گردیده است، ممکن است سیگنالهای خروجی فانکشن در فرکانس های بالا دارای اعوجاج باشند.
- برای مشاهده سیگنال خروجی فانکشن ژنراتور ابتدا اسیلوسکوپ را در حالت کوپلاژ DC قرار دهید و سلکتور Function را در موقعیت DC قرار دهید. سپس سطح DC offset را روی صفر تنظیم کنید.
- توجه داشته باشید سیگنال خروجی فانکشن ژنراتور برای دامنه های 20V به بالا ممکن است به حالت اشباع برود که البته در آزمایشها مورد استفاده قرار نمی گیرد.
- در مرحله سیم بندی و اتصال تغذیه دوبل 15 به هر یک از ماژول ها ابتدا حتما از قطع بودن کلید تغذیه اطمینان حاصل کنید. زیرا ممکن است در حین اتصال سیم ها به طور ناگهانی ولتاژ 30V به دو سر ماژول اعمال شود و باعث سوختن برخی از المان های مدار گردد. همچنین در همان ابتدای آزمایش برای جلوگیری از لطمه های احتمالی به مدارات داخلی دستگاه از درستی مقادیر ولتاژ تغذیه اطمینان حاصل کنید.

(11) منبع تغذیه و مولتی متر ((POWER SUPPLY (RN-E313)

شکل 25

ماژول RN-E313 منبع تغذیه آزمایشگاهی RN-LCT می باشد. این منبع تغذیه ولتاژهای ± 15 را در اختیار کاربر قرار می دهد. قابل ذکر است که تمامی ماژول های این سیستم آموزشی فاقد تغذیه می باشند و تنها در صورت اتصال ترمینال های موجود در قسمت پائینی هر ماژول با ماژول منبع تغذیه (RN-E313) آماده به کار خواهند شد.

در ماژول RN-E313 یک عدد مولتی متر دیجیتال نیز تعبیه شده است. از این مولتی متر می توان برای اندازه گیری نقاط تست مشخص شده بر روی ماژول ها استفاده نمود. همچنین به منظور تنظیم ولوم های قرار داده شده بر روی ماژول های مختلف دستگاه، به مراتب از اهم متر استفاده خواهد شد.

(12) سروو موتور به همراه نمایشگر سرعت و موقعیت

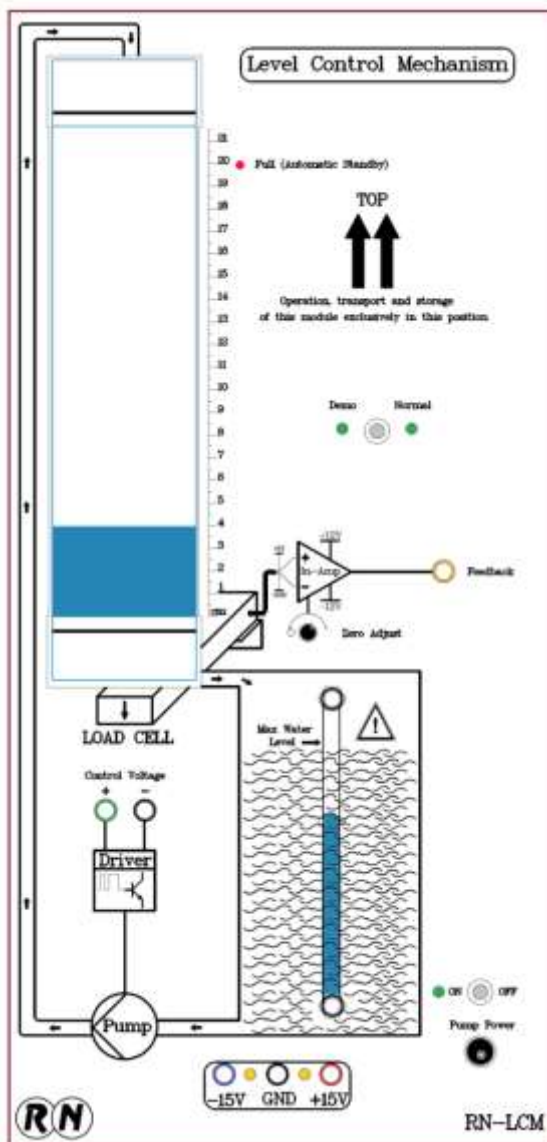
شکل 26

به منظور تمرین بیشتر مباحث تئوری و نشان دادن عملکرد آن با جذابیت بیشتر، ماژول سروو مکانیزم که به وفور در صنعت کاربرد دارد، طراحی شده است. از این ماژول جهت انجام آزمایش های کنترل موقعیت و یا کنترل سرعت سروو موتور استفاده می گردد. **یک نمایشگر کاراکتری** پارامترهای مختلف کار ماژول را نمایش می دهد.

ماژول دو ترمینال ورودی برای اعمال سیگنال کنترلی به موتور (M) دارد. خروجی های ماژول در واقع دو نوع فیدبک است که در آزمایش های مختلف باید با ترکیب های مختلف به بقیه ماژول ها متصل شود تا حلقه کنترل بسته شود. اولین فیدبک (T) سیگنالی است که دامنه آن مقدار سرعت را گزارش می دهد و جهت انجام آزمایش های کنترل سرعت مورد استفاده قرار می گیرد.

فیدبک دوم یک سیگنال DC در خروجی DAC است که موقعیت را گزارش می دهد. برای ساختن این فیدبک یک پردازش گر پالس های انکدر را می خواند و خروجی متناسب با موقعیت تولید می کند.

جهت افزایش طول عمر پتانسیومتر 360 درجه، یک مکانیزم جداشونده طراحی شده است تا بتوان در موقع انجام آزمایش های کنترل سرعت، فیدبک موقعیت را جدا کرد. با شل کردن پیچ روی کوپلینگ و پیچ بزرگ در سمت پتانسیومتر، می توان پتانسیومتر را جدا کرد. به همین ترتیب در موقع انجام آزمایش های کنترل موقعیت باید ابتدا پیچ بزرگ سمت پتانسیومتر را محکم کنیم تا محور گیربکس در محور پتانسیومتر داخل شود. سپس پیچ روی کوپلینگ را محکم می کنیم تا پتانسیومتر وارد مدار شود و همراه با چرخش موتور، بچرخد.

13) مازول کنترل سطح مایع (این مازول در حال حاضر بر روی مجموعه آموزشی وجود ندارد)

به منظور آشنایی بیشتر با فرآیندهای صنعتی، مازول کنترل سطح طراحی و ساخته شد. این مازول نمونه کوچکی از فرآیند صنعتی کنترل سطح مایع در تانک ها که در صنایع شیمیایی، پتروشیمی، دارویی و غذایی کاربرد دارد را شبیه سازی می کند.

سطح مایع درون مخزن استوانه ای (که کاملاً قابل مشاهده است) به عنوان یک متغیر کنترل شونده توسط کنترل کننده های مختلف کنترل می شود. Control Voltage ورودی (صفر تا 5 ولت) از طرف کنترلر است. این سیگنال پس از عبور از یک مدار درایور، پمپ را بکار می اندازد. مایع از مخزن اصلی به مخزن استوانه ای در بالا که کاملاً قابل مشاهده است پمپ می شود.

ترمینال فیدبک، خروجی مازول است. این فیدبک یک سیگنال آنالوگ صفر تا پنج ولت است که متناسب با ارتفاع مایع تغییر می کند. $H(s)=1$ این مازول بصورت اختیاری قابل سفارش می باشد. آزمایش های مخصوص این مازول، در دستور کار جدا گانه در اختیار کاربر قرار می گیرد.

1- نکات مهم قبل از انجام آزمایش

- کلید ATT در ماژول RN-E311، عمل تضعیف فرکانس خروجی را انجام می‌دهد. بطوریکه اگر در وضعیت $10 \times$ قرار گیرد، فرکانس خروجی 10 برابر تضعیف می‌شود.
- در فرکانس‌های پایین برای مشاهده خروجی بهتر است از اسیلوسکوپ دیجیتال در حالت کاری ROLL Mode استفاده نمود در غیر اینصورت در مشاهده و اندازه‌گیری خروجی دچار مشکل خواهید شد.
- در اغلب آزمایش‌های طراحی شده فرکانس کاری در فرکانس‌های بسیار پایین در حد 50 و 100 میلی‌هرتز تنظیم می‌شود، در نتیجه کلید ATT در تمامی آزمایشات می‌بایست در حالت $10 \times$ قرار داده شود.
- همچنین تنظیم ولوم offset برای حصول خروجی مناسب بسیار حائز اهمیت است. به عنوان مثال برای خروجی‌های step می‌بایست در حالت وسط قرار داده شود ولی برای خروجی‌های شیب و نمایی نسبت به دامنه و فرکانس می‌بایست تغییر داده شود تا خروجی مورد نیاز حاصل شود.
- کوپلاژ اسیلوسکوپ باید روی حالت DC باشد.
- در خروجی‌های شیب و سهمی با افزایش فرکانس، دامنه کاهش پیدا می‌کند. در نتیجه بایستی در فرکانس مورد نظر مجدداً دامنه را تنظیم کرد.
- به دلیل طراحی این سیستم برای فرکانس‌های بسیار پایین، خروجی‌های شیب و سهمی تنها در حالت $ATT \times 10$ و در فرکانس‌های 50 الی 100 میلی‌هرتز قابل حصول هستند.