

به نام خدا



دانشگاه صنعتی شریف

بررسی نحوه عملکرد سیستم کنترل سرعت ماشین

دکتر محسن اصغری

فراز عطاردی

زمستان 96

فهرست مطالب

5	مقدمه
6	چکیده
7	اجزای سیستم کروز کنترل
10	چگونگی کار با سیستم کروز کنترل
14	مکانیزم های فعال سازی سیستم کروز کنترل
15	عملکرد سیستم
18	نحوه سیم کشی اجزای مختلف سیستم
19	واحد کنترل اتوماتیک (ECU)
26	سیستم کروز کنترل تطبیق پذیر
27	نحوه ی استفاده ی صحیح از سیستم
28	مزایای استفاده از سیستم کروز کنترل
29	معایب استفاده از سیستم کروز کنترل
31	تاریخچه
34	نصب کروز کنترل بر روی خودرو ها ی داخلی
35	نکات ایمنی در استفاده از کروز کنترل
36	سرویس و نگهداری سیستم
38	تحلیل سیستم کروز کنترل
47	طراحی کنترلر PID
52	طراحی کنترلر PI

55	طراحی کنترلر ROOT LOCUS
60	طراحی کنترلر Lag
64	مدل شبیه ساز سیستم کروز کنترل
85	منابع و مراجع
86	تشکر و قدردانی.....

مقدمه

با پیشرفت تکنولوژی و تاثیر روز افزون آن در مسائل روزمره ی زندگی، می توان شاهد تغییرات و امکاناتی بود که این امر برای راحتی عموم فراهم کرده است. یکی از زمینه هایی که پیشرفت هنگفتی طی سال های اخیر کرده است، صنعت خودرو و حمل و نقل است. با ورود علم الکترونیک به صنعت خودروسازی، علاوه بر تغییرات اساسی ای که در طراحی اجزای اصلی خودرو ها به وجود آمد، زمینه برای طراحی و نصب سیستم های ایمنی و رفاهی پیشرفته آماده گردید. از اواخر دهه 80، تعدادی از خودروسازان بزرگ جهان خودرو های خود را مجهز به سیستمی به نام کروز کنترل (Cruise Control) یا کنترل کننده سرعت نمودند.

این سیستم وظیفه ی اعمال محدودیت بر سرعت وسیله ی نقلیه را داراست. با فعال سازی این سیستم توسط راننده و تنظیم آن بر روی سرعت دلخواه، واحد پردازشی این سیستم شروع به کار کرده و با تنظیم اتوماتیک گاز و ترمز سرعت وسیله نقلیه را روی سرعت تنظیم شده حفظ می کند. این مساله به راحتی و عدم خستگی راننده در مسافت های طولانی کمک می کند و راننده می تواند در مسیر های خلوت پای خود را از روی گاز بردارد. البته که نسخه های جدیدتر و پیشرفته تری نیز طراحی شده اند که به کمک سنسور های اطراف خودرو، می توانند فاصله را از موانع پیش رو تشخیص دهند و در صورت نیاز سیستم ترمز را فعال کنند.

نحوه کار

هنگامی که راننده سیستم کروز کنترل را فعال می کند ، یک عملگر الکتریکی وظیفه تنظیم دقیق دریچه گاز را به عهده می گیرد. در صورتی که راننده پدال ترمز و یا کلاچ را فشار دهد ، سیستم کروز کنترل غیر فعال شده و بلافاصله کنترل سرعت خودرو در اختیار راننده قرار می گیرد. در این سیستم آخرین سرعت تثبیت شده در حافظه ذخیره شده و راننده می تواند با فشار دادن یک کلید به طور اتوماتیک سرعت خودرو را روی این سرعت تنظیم کند.

اساس این ابزار به گونه ای است که خودرو به صورت اتوماتیک می تواند سرعت خودرو را تحت هر شرایطی از رانندگی ثابت نگه دارد. لازم به یادآوری است، زمانی که این ابزار را فعال می کنید و سرعت خودرو روی عدد خاصی ثابت شده است، این سرعت، در مسیرهای سربالایی، سرازیری، یا هنگام وزش باد مخالف، تغییر نخواهد کرد.

اجزای سیستم کروز کنترل
سیستم کروز کنترل از سه قسمت اصلی تشکیل شده است:

- واحد کنترل الکترونیکی (ECU)

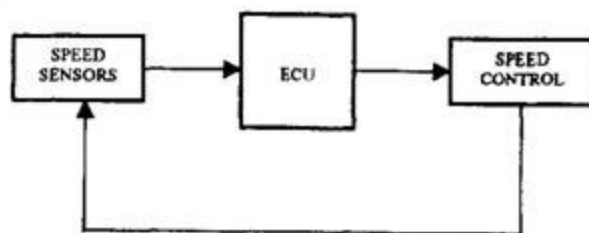
در واقع قلب سیستم را تشکیل می دهد و با پردازش اطلاعات ورودی، سیگنال های خروجی مناسب را ایجاد می کند. این قطعه تشکیل شده است از یک برد الکترونیک که درون جعبه قرار داده شده و در محفظه سر نشین خودرو نصب می گردد. این قطعه از طریق دسته سیم ارتباطی با خودرو و عملگر دریچه گاز ارتباط دارد.

- واحد فرمان (Command Module)

به راننده این امکان را می دهد که فرمان های لازم جهت تثبیت سرعت، افزایش یا کاهش سرعت و ... را به سیستم وارد کند.

- عملگر (Actuator)

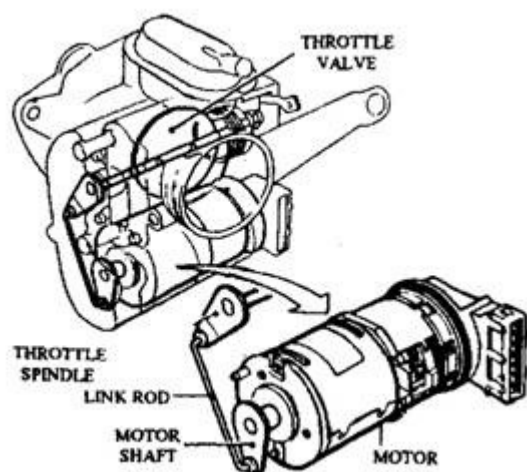
به عنوان خروجی اصلی، میزان باز و بسته شدن دریچه گاز را کنترل می کند. به طوری که عمل کشیدن و رهاسازی دریچه گاز موتور خودرو را انجام می دهد. این قطعه با سیم گاز اصلی خودرو موازی است و به صورت مستقل عمل می کند. (تنها خودروهای تراتل سیمی به این قطعه نیاز دارند.)



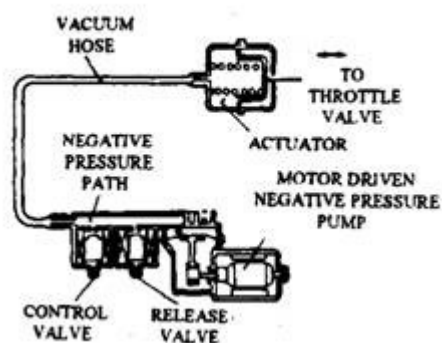
شکل 1- ارتباط اجزای سیستم

روش های متفاوتی برای کنترل کردن وضعیت دریچه گاز استفاده می شود. معمولاً تمام دستگاه هایی که از درایو سیمی استفاده میکنند شامل **actuator** مشابه سیستم های کروزر کنترل هستند. این قطعه به دریچه ی گاز متصل می شود و از این طریق وضعیت قرار گیری دریچه را تحت کنترل ECU قرار می دهد.

مکانیزم **actuator** به این صورت است که از یک موتور dc مغناطیس دائم (شکل 2) یا دیافراگم خلا که توسط شیر سولنویید کنترل می شود (شکل 3)، تشکیل شده است.



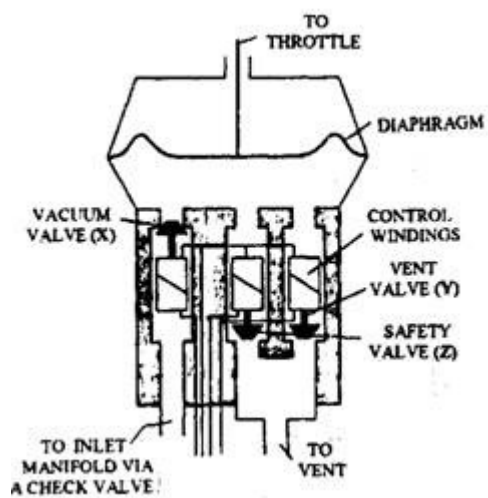
شکل 2- Throttle position control through a motor



شکل 3- Vacuum type throttle actuator

برای افزایش سرعت شیر X باز می شود تا فشار کم ورودی با یک سمت دیافراگم تماس پیدا کند. فشار اتمسفر به سمت دیگر دیافراگم وارد می شود و سبب حرکت دریچه ی گاز می شود.

برای حرکت دریچه ی گاز در جهت عکس , لازم است شیر X بسته و شیر y باز شود و در نتیجه فشار اتمسفر وارد محفظه می شود. فنر، دیافراگم را به عقب بر می گرداند. وقتی هر 2 شیر بسته باشد دریچه گاز بسته خواهد بود. معمولا شیر X بسته و شیر y باز است.



شکل 4 Vacuum operated diaphragm controlled by two simple valves

مکانیسم های فعال سازی سیستم کنترل سرعت 1- فعال سازی از طریق مکانیسم خلا: (Vacuum)

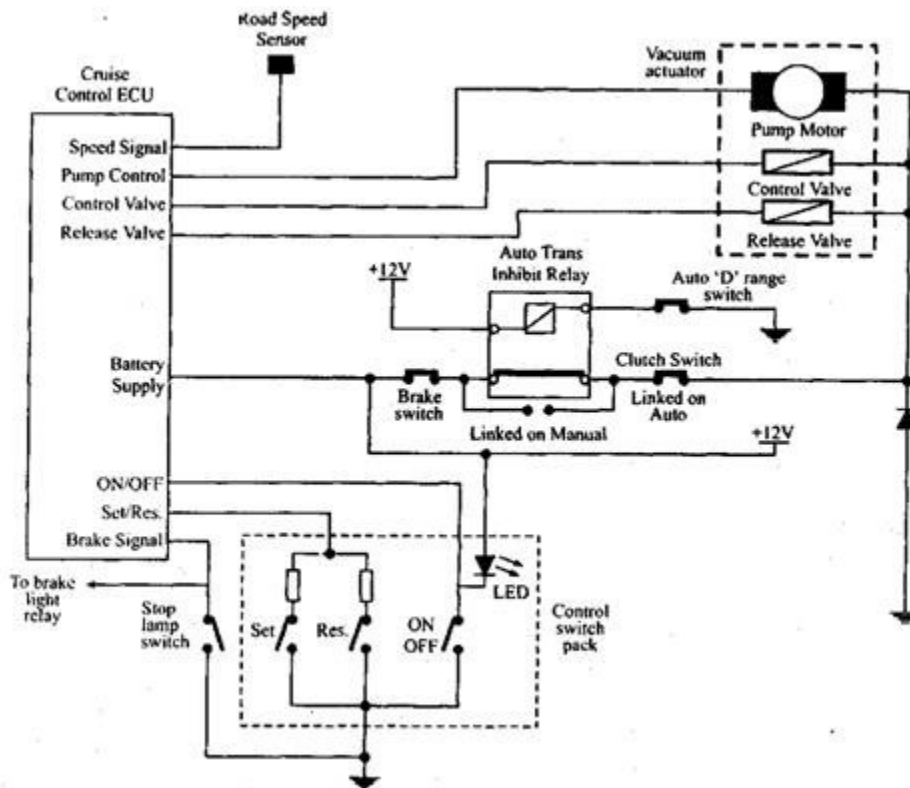
فعال سازی از طریق مکانیسم نوع وکیوم شباهت بسیار زیادی به عملکرد بوستر ترمز دارد و مانند پدال گاز، با سیم به دریچه گاز وصل می شود.

2- فعال سازی از طریق مکانیسم الکتریکی: (Electrical)

فعال سازی از طریق مکانیسم الکتریکی نیز شباهت زیادی به سیستم استپر (Stepper) موتور دارد و دریچه گاز خودرو را به طور الکتریکی کنترل می کند.

عملکرد سیستم

دیاگرام مدار الکتریکی یک سیستم کروز کنترل که از روش دیافراگم خلا، شیر گاز را کنترل می کند در شکل 5 نشان داده شده است.



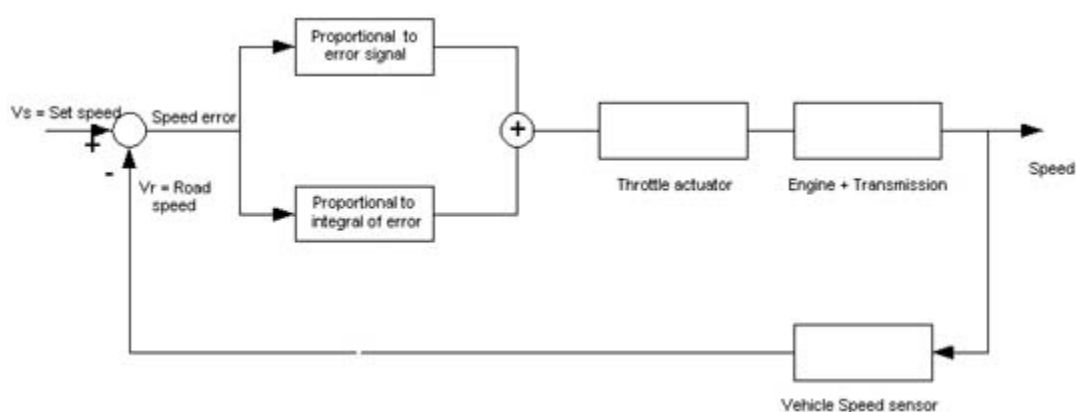
شکل 5- مدار الکتریکی سیستم خلا

در یک خودرو که در حال حرکت با پایینترین سرعت (معمولا 40 کیلومتر بر ساعت) می باشد، کلید on فشرده می شود و سپس سیستم شروع به انجام عملیات می کند.

زمانی که خودرو به سرعت مورد نظر راننده می رسد، دکمه ی set فشرده می شود. میکروپروسسور کنترل سرعتی که در ECU وجود دارد، وضعیت پمپ خلا را بررسی کرده. پمپ خلا تا زمانی که دکمه ی set فشرده نشده باشد دیافراگم شیر گاز را تغییر می دهد. زمانی که سرعت set می شود، راننده می تواند پایش را از روی پدال برداشته و عمل شتاب گیری متوقف می شود. میکروپروسسور مرتبا سیگنال سرعت ماشین را کنترل می کند و وضعیت شیر گاز را متناسب با شرایط مسیر مانند شیب جاده، اصطکاک هوا و... تغییر می دهد اما سرعت set شده در آخر تغییری نمی کند. اگر بخواهیم سرعت ماشین افزایش یابد، پمپ به کار می افتد و خلا را بیشتر میکند. در حالی که برای کاهش سرعت، خلا پمپ کاهش می یابد.

برای افزایش سرعت, دکمه ی **set** را پایین نگه می داریم. در نتیجه ی این کار ECU به خودرو فرمان میدهد تا زمان رها شدن دکمه , به آرامی شتاب بگیرد. به محض رها شدن دکمه , سرعت **set** شده جدید در حافظه میکروپروسسور ذخیره می شود. اگر راننده بخواهد از ماشینی سبقت بگیرد , پدال گاز را فشار می دهد و خودرو شتاب میگیرد. وقتی پدال رها شود سیستم کروز کنترل باز فعال شده و سیستم به سرعت ذخیره شده باز میگردد.

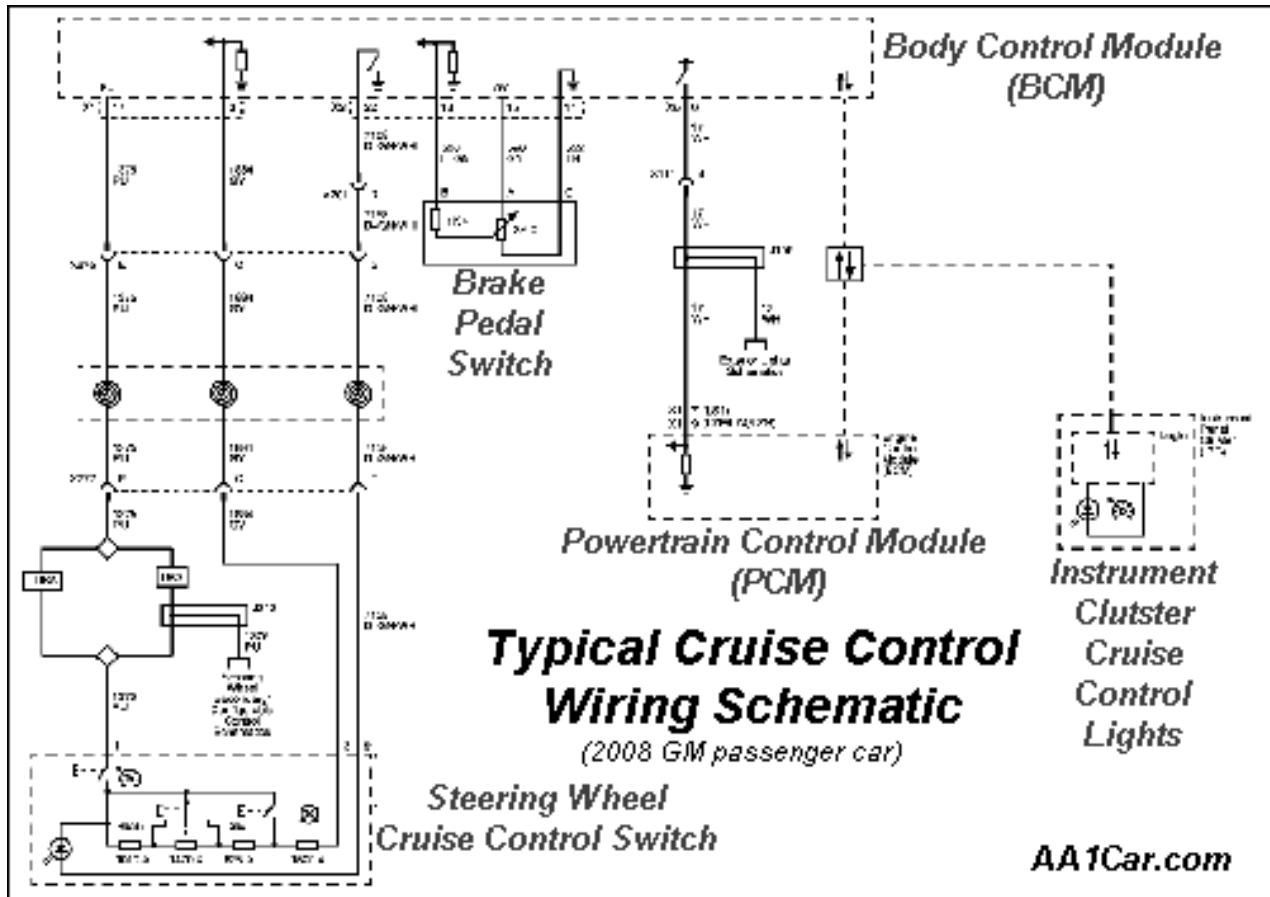
زمانی که پدال ترمز فشرده می شود , میکروپروسسور , بسته شدن چراغ **stop** را شناسایی میکند و بلا فاصله شیر آزاد شدن فشار را باز می کند تا به سرعت خلا سیستم را کاهش دهد.



بلوک دیاگرام بالا نشانگر المان های اصلی کروز کنترل ساده می باشد.

همان طور که گفته شد برای شیر دستی این سیستم توسط یک امپلیفایر و یک موتور سرو شیر اصلی را کنترل می کند اما برای شیر های الکترونیکی , کنترل عملکرد بر عهده ی ECU خواهد بود.

ارتباط منطقی بین اجزای مختلف سامانه تثبیت سرعت خودرو در شکل زیر بیان شده است :

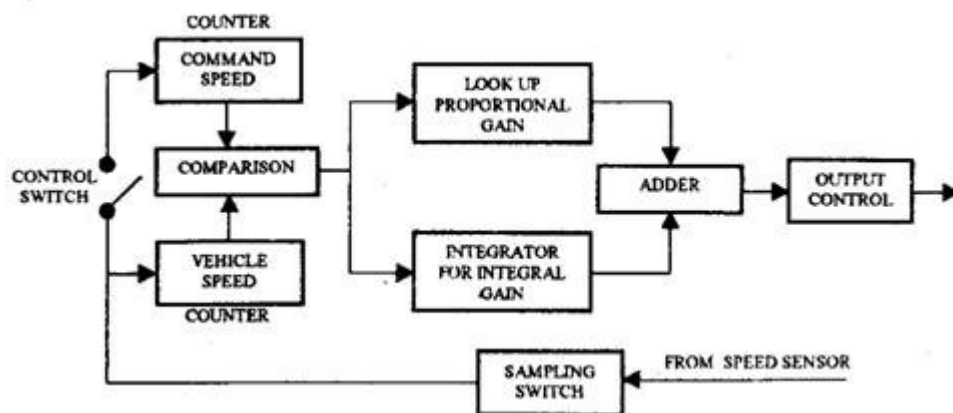


واحد كـنـتـرل الـكـتـرونيـك (ecu)

میکروپروسسور موجود در ECU کروز کنترل ها مقادیر ورودی را از سنسور های متفاوت موجود دریافت می کند تا بتواند پارامتر های تاثیر گذار را بیابد. سپس با فرستادن سیگنالهایی به actuator وضعیت شیر گاز را برای رسیدن به سرعت set شده , تنظیم میکند.

بلوک دیاگرام سیستم ECU کروز کنترل در شکل 5 نشان داده شده است. معمولاً سیستم کروز کنترل با روشی به نام proportional-integral control technique کار می کند. در این روش سیگنال error در feedback loop تولید می شود. این سیگنال متناسب است با تفاضل مقدار لازم و موجود خروجی ها. خروجی نهایی سیستم کروز کنترل , سرعت سیستم است اما این امر به وضعیت شیر گاز دارد که توسط actuator کنترل می شود. بخش الکترونیکی سیستم وظیفه ی کنترل میزان تاخیر میان دریچه ی گاز و تغییرات مورد نیاز سرعت دستگاه را بر عهده دارد.

در کروز کنترل های اولیه, ECU از مدار های آنالوگ بهره می گرفت اما مدل های به روز تر کاملاً دیجیتال هستند و حداقل از یک میکروپروسسور 8 بیتی استفاده می کنند. میکرو پروسور سیگنال سرعت را در هر لحظه اسکن کرده و با سرعت set شده مقایسه می کند. زمانی که میزان اختلاف پیدا می شود کنترلر PI , الگوریتمی تولید می کند که پالسی را به شیر می فرستد و در نتیجه سرعت set شده بدون هیچ گونه خطا یا نوسان باز خوانی می شود.



شکل 5. Block diagram of a cruise control ECU.

زمانی که در عملکرد سیستم در هر حالتی ، اشتباهی رخ دهد ، سرعت خودرو افزایش یا کاهش می یابد. به عبارتی سیستم به درستی میرا نشده است و نوسان دارد . برای حل این مشکل کنترلر انتگرال گیر به سیستم اضافه میگردد. لذا سیگنال نهایی جمع سیگنال های ایجاد شده و حاصل از انتگرال گیر خواهد بود.

کنترلر انتگرال گیر سیگنالی تولید می کند که نمودارش به صورت سطح شیب دار خواهد بود. این سیگنال چه افزایشی باشد چه کاهشی، متناسب با سیگنال error اولیه است. کنترلر انتگرال گیر کمک می کند سیگنال error نهایی به سمت 0 میل کند. پس ادغام این 2 روش ، ضریب میرایی کنترلر الکترونیک را به ما می دهد.

شکل 6 تاثیر ضریب میرایی های مختلف را بر سرعت ماشین نشان می دهد. این چهار پاسخ را می توان به کمک روش های ریاضی ، جهت محاسبه ی پاسخ سیستم ، مدل کرد.

تکنیک بالا می تواند بر مبنای هم دیجیتال هم آنالوگ باشد و الگوی کار تقریباً مشابه است . که مانند زیر انجام می شود.

$$G_i = \omega_n^2 M \text{ and } G_p = (2d\omega_n M) - C$$

where, G_i = integral gain

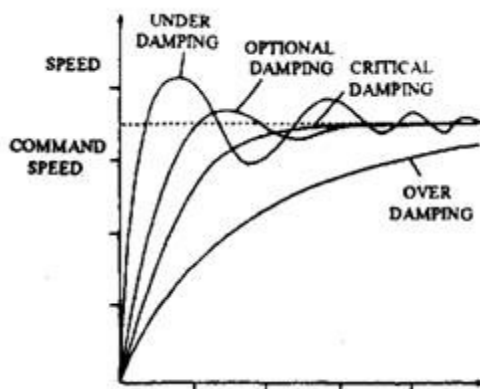
G_p = proportional gain

ω_n = natural frequency of the system

M = mass of the vehicle

C = experimentally determined frictional factor (mechanical)

and d = damping coefficient.



شکل 6. Effect on vehicle speed control of different damping factors.

سنسورهای سرعت چرخ

واحدکنترل الکترونیک (ECU) از سیگنالهای ارسالی (فرکانس چرخ) از سنسورهای چرخ بعنوان مبنای تشخیص سرعت دورانی چرخ استفاده میکند.

پین سیم پیچی شده سنسور چرخ که مستقیماً بالای رینگ حلقه ای دورانی قرار داشته و به تویی چرخ متصل است (در برخی خودروهای سنسور بر روی دیفرانسیل قرار دارد) این پین به یک مغنت مغناطیسی که میدان الکتریکی در حول آن و به سمت بیرونی رینگ ایجاد میکند متصل شده است. هنگامی که رینگ شروع به دوران میکند پین در معرض عبور دندانها و فاصله ایجاد شده پین در معرض عبور دندانها و فاصله ایجاد شده بین دندانها قرار دارد. این عامل باعث تغییر مداوم حوزه مغناطیسی شده که در نتیجه ولتاژی در سیم پیچی سنسورهای ایجاد شده که فرکانس هر کدام به عنوان مرجع دقیقی از سرعت چرخ به کار میرود

ترکیب بندیهای مختلفی از پینها جهت نصب در شرایط مختلف توییها چرخ مود استفاده قرار میگیرد که از طراحیهای مختلف نوع chisel میباشد که به صورت عمود بر چرخ دندانها دار (رینگ) قرار میگیرد و پرکار بردترین نوع آن میباشد.

نوع دیگر از طراحی سنسورها نوع RHOMBUS میباشد که بصورت محوری (شعاعی) با چرخ دندانها دار نصب می شود در هر دو این نوع طراحیها موقعیت نصب سنسور ضروری است که سنسور بدقت و با فاصله مناسب و دقیق با چرخ دندانها دار قرار گیرد. بهر حال تنظیمات خاصی در خصوص قرار گیری پین وجود ندارد ولی چرخ دندانها دار بایستی دارای دارای قطر مناسبی بوده دارای حداقل دندانها باشد. فاصله مابین سنسور و چرخ دندانها دار در حدود 1م.م میباشد و در این فاصله بایستی به جهت ارسال سیگنالی دقیق از سنسور بدقت رعایت گردد. سنسورهای که بدقت و به صورت محکم نصب میگردند در مقابل نوسانات شدید خودرو نیز بدون کوچکترین اشکالی جهت ارسال سیگنال مقاومت خواهند کرد هم چنین این سنسورها در مقابل آب و الودگیهای مختلف نیز مقاوم بوده و قبل از نصب با لایه های از گریس و مواد روغنی محافظت می گردند .

سنسور سرعت چرخ نوع df2

سنسور سرعت چرخ df2 دارای مدولهای مختلفی می باشد که امکان تست مجزایی را مهیا میکند . این سنسور از جنس استیل بوده و پایه های نگهدارنده آن جوشکاری شده اند نوک این سنسور از پلاستیک پوشانده و یک عایق محافظ آن را از پوسته محافظت میکند.

سنسور سرعت چرخ نوع df3

این نوع سنسور نوع ساده ای از سنسور بلایی است که ساختمان و عملکرد آن یکسان می باشد. المنت سنسور با محافظ پلاستیکی آن به طور کامل با رزین محافظت گردیده است تا از تاثیرات خارجی در امان باشد مجموعه توسط یک مسیر برنجی در قاب مربوط قرار دارد.

گرمکن هوزینگ دریچه گاز : Throttle Housing Heater Resistor

این المنت گرم کننده که یک مقاومت حرارتی از نوع PTC است در هوزینگ هوای ورودی و در کنار دریچه گاز نصب شده است. و بلافاصله پس از باز کردن سوئیچ شروع به کار میکند. این المنت برای گرم نمودن نسبی دریچه گاز و جلوگیری از یخ زدگی این دریچه در روزهای سرد و مرطوب بکار رفته و نهایتاً باعث جلوگیری از یخ زدگی دریچه گاز و منافذ هوای دور آرام میشود. در ابتدا، جریان عبوری از المنت زیاد است اما با افزایش دما مقاومت این المنت افزایش یافته و جریان کمی از آن عبور میکند. اما قطع نمی شود. لذا همواره این دریچه و این مسیر گرم می ماند. اهم گرمکن هوزینگ دریچه گاز در دمای معمولی حدود 12 اهم است. محل قرارگیری فیوز گرمکن در جعبه سیاه رنگ داخل اتاق موتور سمت کمک فنر شاگرد است. فرق گرمکن کاربراتور با گرمکن سیستم انژکتوری این است که گرمکن کاربراتور برای گرم کردن نسبی مسیر سوخت و هوای دور آرام به کار رفته اما گرمکن سیستم انژکتوری برای گرم کردن هوزینگ دریچه گاز به کار میرود.

سنسور دمای آب رادیاتور: Colant Termistor

سنسور دمای آب دارای ویژگی خاصی است که بر مبنای آن میتواند اطلاعات دمای آب رادیاتور را به ECU برساند. وظیفه این سنسور رسانیدن اطلاعات دمای آب رادیاتور به ECU است. لذا زمان تحریک رله قطع کن کولر و متعاقب آن قطع کلاچ کولر در دمای 107 درجه سانتیگراد را این سنسور به ECU خبر میدهد.

سنسور دمای هوای ورودی: Inlet Air Termistor

سنسور دمای هوای دارای ویژگی خاصی است که بر مبنای آن میتواند اطلاعات دمای هوای ورودی را به ECU برساند. این سنسور در ابتدای دریچه هوای ورودی قرار دارد و با هوای ورودی این دریچه در تماس مستقیم است. نقش این سنسور از بعضی جهات بسیار مهم است زیرا در شرایط مختلف دمایی، وزن هوای موجود در یک حجم بخصوص، ثابت نیست. در دمای پایین چگالی هوا افزایش یافته و در دمای بالا کاهش می یابد. پس اگر این سنسور درست کار نکند ECU دیگر قادر نخواهد بود که میزان هوای ورودی را به درستی تعیین نماید. گستره تغییرات مقاومت این سنسور حدود 150 اهم تا 4 کیلو اهم است.

سنسور فشار هوای ورودی: Inlet Manifold Pressure Sensor (MAP Sensor)

این سنسور که محل اصلی آن بر روی سینی فن است با یک شیلنگ به ابتدای دریچه هوای ورودی ارتباط دارد. و با هوای ورودی به این دریچه در تماس مستقیم است. این سنسور که از نوع پیزوالکتریک است در واقع یک پتانسیومتر ساده است که سر وسط آن با فشار هوا لغزیده، عقب و جلو رفته و کار میکند. نقش این سنسور از بعضی جهات بسیار مهم است. زیرا در شرایط مختلف فشار هوا (سطح دریا و یا کوهستان) متغیر خواهد بود. اگر این سنسور درست کار نکند ECU دیگر قادر نخواهد بود که میزان هوای ورودی را به درستی تعیین نماید.

سنسور موقعیت دریچه گاز: Throttle Potentiometer

این سنسور که در انتهای دریچه گاز قرار دارد با این دریچه کوپل شده است. این سنسور شامل یک پتانسیومتر ساده است که سر وسط آن با حرکت دریچه گاز، می لغزد.

استپ موتور: Idling Regulation Step Motor

وظیفه اصلی این قطعه، روشن نگه داشتن خودرو در حالت دور آرام است. این قطعه وظیفه بسیار مهمتری نیز دارد. هنگامی که کولر را روشن میکنیم، کمپرسور بار خود را روی موتور وارد میکند. برای جبران آن، استپ موتور ژینگلور مربوطه را کمی به عقب تر می کشد. تا خود به خود گاز کمی زیاد شود. اگر سنسور ضربه نیز نصب شده بود استپ وظیفه گسترده تری داشت. در این حالت استپ موتور باید در هر لحظه سوزن ژینگلور مربوطه را طوری عقب و جلو می کرد تا ضربه حس شده توسط سنسور ضربه، ناشی از احتراق ناقص سوخت، به گونه مناسبی جبران شده و یا بهبود یابد. استپ موتور کار ساسات را نیز انجام میدهد. در هنگامی که خودرو سرد است سوزن آن طوری تنظیم میشود که خودرو با اولین استارت روشن شود. کار دیگر استپ موتور، تنظیم هوای مورد مصرف سیلندر ها در زمان رها کردن گاز است. در خودرو هایی که فاقد این سیستم هستند با رها کردن گاز، تنظیم سوخت و هوا به علت بسته شدن دریچه گاز به هم میخورد و دیده میشود که به هنگام رها کردن گاز، خودرو به طور لحظه ای دود میکند. اما در این سیستم با وجود استپ موتور دیگر این مشکل وجود ندارد. محل قرارگیری استپ موتور، روی هوزینگ هوای ورودی است.

سنسور دور موتور: Engine Speed Sensor

این سنسور با داشتن دو پایه ارتباطی به ECU میتواند بصورت امواج سینوسی، اطلاعات مربوطه به دور لحظه ای موتور را به ECU ارسال کند. این سنسور که وظیفه بسیار مهمی را بازی می کند. انتهای این سنسور که دارای یک آهنربای دائم و یک سیم پیچ است با چرخ دنده های فلایویل دور موتور که کمی جلوتر از فلایویل اصلی موتور است چند میلیمتر فاصله دارد. این فلایویل میتواند شامل 60 دنده منظم باشد که دو دندانه آن را برداشته اند. حین چرخش فلایویل هنگامی که محل دو دندانه پاک شده به سر انتهایی سنسور رسید، دو پیستون هم کورس دقیقاً در نقطه مرگ بالا قرار دارند. 180 درجه پس از این، دو پیستون هم کورس دیگر هم به نقطه مرگ بالا میرسند. نحوه عملکرد این سنسور بدین صورت است که با عبور هر دندانه از جلوی سنسور، یک پالس به ECU فرستاده میشود. هنگامی که دندانه های پاک شده به سر انتهایی سنسور رسید دیگر پالسی ارسال نشده و ECU متوجه میشود که نقطه مرگ بالا فرا رسیده و باید دستور پاشش سوخت و جرقه زنی را صادر کند. دو دندانه پاک شده با احتساب 60 دندانه در 360 درجه، گستره 12 درجه را شامل میشوند. این بدین معناست که حداکثر آوانس استاتیکی دلکو 12 درجه میتواند باشد.

سنسور سرعت خودرو: Vehicle Speed Sensor

این سنسور با داشتن یک پایه خروجی میتواند بصورت پالس، اطلاعات مربوط به سرعت لحظه ای خودرو را به ECU ارسال کند. محل قرارگیری این سنسور روی دیاق دیفرانسیل است. داخل این سنسور یک آهنربای دائم و یک سیم پیچ وجود دارد و با سیم کیلومتر در ارتباط است. نحوه عملکرد این سنسور بدین ترتیب است که با چرخش سیم کیلومتر، پالس هایی به ECU می فرستد. به کمک این پالس ها ECU سرعت خودرو را محاسبه میکند. لازم به ذکر است که درجه کیلومتر و سرعت سنج در پژو همچنان با سیم کیلومتر کار میکند.

سیستم کروز کنترل هوش مستقل (AICC) یا کروز کنترل تطبیق پذیر:

امروزه سیستم های کروز کنترل مرسوم , پیشرفت های بسیاری داشته است. به طوری که در ترافیک های شهری به خوبی کار می کند و سرعت ثابتی را نگه می دارد. در شرایطی که سرعت کلی حرکت سایر خودرو ها مرتباً در حال تغییر باشد , استفاده از این سیستم کاربردی نخواهد بود. در این شرایط , راننده باید برای بالا بردن یا کاهش سرعت , در عملکرد سیستم تداخل بوجود آورد. AICC فرضیه ای است که این تأثیرات را از بین برده و باعث میشود سرعت خودرو متناسب با وضعیت ترافیک تغییر کند. در نتیجه فاصله ی مناسبی با خودرو ی جلویی خواهد داشت.

این سیستم 3 وظیفه ی اصلی بر عهده دارد

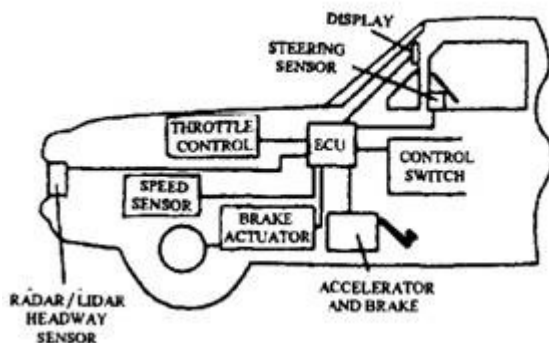
1- ثابت نگه داشتن سرعت SET شده

2- نگه داشتن سرعت و رعایت فاصله ی مناسب از خودرو ی جلو

3- فراهم کردن سیستم هشدار در شرایطی که امکان تصادف وجود دارد.

سیستم AICC به اطلاعاتی مانند فاصله و سرعت خودرو احتیاج دارد. اجزای اصلی یک سیستم کروز کنترل ساده در

شکل زیر نشان داده شده است.



شکل 7. Main components of adaptive cruise system.

نحوه استفاده صحیح از کروز کنترل

✓ مرحله اول

وارد جاده بشوید و سرعتتان را به حدود ۶۵ کیلومتر بر ساعت برسانید .

✓ مرحله دوم

روی غریبلیک فرمان و یا بر روی دسته‌هایی که اطراف آن قرار دارد، دکمه یا اهرمی وجود دارد که کروز کنترل را فعال می‌کند. پایتان را همچنان روی پدال گاز نگه دارید تا سرعت افت پیدا نکند .

✓ مرحله سوم

در حالی که همچنان گاز را می‌فشارید، دکمه on/off مربوط به کروز کنترل را فشار بدهید. کروز کنترل‌هایی که برای فعال کردن‌شان باید از یک دسته استفاده کنید، به فلشی توجه کنید که جهت فعال کردن آن را نشان می‌دهد و معمولاً با علامت Set Coast یا فقط Coast مشخص شده است .

✓ مرحله چهارم

توجه داشته باشید وقتی پدال گاز را رها می‌کنید، دور موتور پایین می‌آید. این امر عادی است و معنایی جز این ندارد که کروز کنترل فعال شده است. چراغ کوچکی که روی پدل کنترل قرار دارد نیز این موضوع را به شما اطلاع خواهد داد .

✓ مرحله پنجم

برای غیر فعال کردن کروز کنترل، پدال ترمز را بفشارید و یا دکمه on/off را دوباره فشار بدهید تا بتوانید از طریق پدال گاز کنترل خودرو را در دست بگیرید. علت این که گفته می‌شود پیش از فعال کردن کروز کنترل سرعت را به حدود ۶۵ کیلومتر بر ساعت برسانید این است که بیشتر خودروها باید به یک سرعت معین برسند، در غیر این صورت کروز کنترل فعال نخواهد شد.

مزایای استفاده از کروزر کنترل

- امکان تثبیت سرعت خودرو در شرایط مختلف بدون استفاده از پدال گاز
- جلوگیری از تجاوز ناخواسته سرعت از محدوده سرعت مجاز
- امکان افزایش و یا کاهش دقیق سرعت خودرو تنها با استفاده از کلیدهای واسط
- کاهش نوسانات دریچه گاز و در نتیجه کاهش مصرف سوخت
- آسایش و راحتی به هنگام رانندگی به ویژه در مسیرهای طولانی
- جلوگیری از خستگی راننده ناشی از تمرکز برای ثابت نگهداشتن سرعت، و در نتیجه افزایش امنیت
- امکان استفاده از کروزر کنترل و تثبیت دقیق سرعت حتی در سرعت های پایین (از 35 km/h به بالا)
- امکان استفاده از پدال گاز برای افزایش مقطعی سرعت خودرو در مواردی نظیر سبقت گرفتن
- قابلیت نصب بدون نیاز به هرگونه تغییر در سیستم برق و مکانیک خودرو
- بدون هرگونه برشکاری یا سوراخکاری در مدت زمان بسیار کوتاه

معایب سیستم کروز کنترل

باتوجه به محاسن و کارایی این سامانه، شاید این تصور به وجود آید که شما می‌توانید در هر سرعتی کروزکنترل اتومبیل خود را فعال کنید. حقیقت این است که این سامانه در سرعت‌های زیر 40 تا 50 کیلومتر در ساعت غیرقابل فعال است؛ یعنی راننده نمی‌تواند در خیابان‌های شهری از این سیستم استفاده کند. اما این امکان در اتوبان‌ها و بزرگراه‌هایی که محدودیت سرعت در آنها 80 کیلومتر یا فراتر از آن است، وجود دارد. معایب این سیستم شامل موارد دیگری هم می‌شود. برای نمونه اگر شیب مسیر تردد زیاد باشد، این سامانه به طور خودکار از مدار خارج می‌شود. در سربالایی‌ها هم این موضوع تکرار می‌شود چرا که به خصوص در اتومبیل‌های گیربکس دستی، کروزکنترل تا میزان مشخصی می‌تواند به پیشران فشار وارد کند.

البته این معایب تنها برای کروزکنترل‌های غیرهوشمند وارد است؛ چراکه در کروزکنترل‌های هوشمند، این سامانه با تشخیص فاصله بین دو اتومبیل نمتنها سرعت اتومبیل را در مقدار مشخص‌شده نگه می‌دارد، بلکه در مواقع اضطراری، حتی به کاهش سرعت اتومبیل هم خواهد پرداخت. ذکر این نکته هم لازم است که اگر قرار است این سامانه را روی اتومبیل خود فعال کنید، می‌بایست ابتدا تغییراتی در برنامه ECU موتور بدهید.

ضمن اینکه بسیاری از اتومبیل‌های تولید داخل در پشت‌آمبر (صفحه کیلومتر) امکان نمایش اطلاعات این سامانه را ندارند و باید با نمونه به‌روزتر تعویض شوند.

سیستم کروز کنترل در نسخه عادی فقط کنترل گاز را در اختیار می‌گیرد، اما نسخه تطبیق پذیر با استفاده از مجموعه از سنسورها و رادارها هم به گاز و هم به سیستم ترمز دسترسی دارد که ممکن است برای برخی کمی نگران‌کننده باشد. از آنجایی که خودروسازان مختلف از تنظیمات متفاوتی برای کروز کنترل تطبیق پذیر استفاده می‌کنند، عملکرد آن نیز می‌تواند برای برخی آزاردهنده به نظر برسد.

برای مثال میزان فاصله ای که این سیستم از خودروی جلویی تنظیم می‌کند، گهگاه بیشتر از حد لازم بوده و باعث می‌شود که رانندگان دیگر وارد این شکاف شوند.

این موضوع علاوه بر تشدید ترافیک مشکلاتی را برای رانندگانی که در پشت خودروی مورد نظر در حال حرکت هستند، بوجود می آورد؛ زیرا سیستم های تطبیق پذیر فاصله نسبتاً بلند خود را با خودروی جلویی حفظ کرده و با ترمزهای ناگهانی سایر رانندگان را نیز به ترمزگیری مجبور می کنند.

همانطور که در ابتدا اشاره شد، کارکرد سیستم کروز کنترل تطبیق پذیر بصورت مستقیم به سنسورها و رادارهای مختلف وابسته است. به همین جهت هر گونه کثیفی سنسورها و مواد زاید مثل گرد و غبار، گل و لای و یخ زدگی عملکرد آنها را تحت تاثیر قرار داده و به عبارت بهتر این سیستم کارایی خود را از دست می دهد .

بدتر اینکه در این حالت کروز کنترل عادی نیز کار نکرده و راننده مجبور می شود خود سرعت اتومبیل را ثابت نگه دارد.

برای حل مشکل مورد نظر، سازندگانی مثل جیپ سیستم کروز کنترل را طوری طراحی کرده اند که هم عملکردی عادی و هم عملکردی تطبیق پذیر دارد .

برای مثال گرند چروکی 2017 در تمامی مدل ها بصورت استاندارد به کروز کنترل عادی مجهز شده است. چنانچه شخصی کروز کنترل تطبیق پذیر را برای این خودرو سفارش دهد، این سیستم هوشمند جایگزین نسخه عادی نشده و کنترل کننده های جداگانه ای برای فعال کردن آن بر روی فرمان اضافه می شوند .

بنابراین در مواقعی که خودرو کثیف شده و سنسورها کارایی خود را از دست داده باشند، برای استفاده از کروز کنترل عادی راننده دیگر مجبور نیست که در کنار جاده توقف کرده و به پاکسازی سنسورها مشغول شود.

تاریخچه

اولین سیستم‌های نصب شده در خودروها از سال 1900 وجود داشته و از تکنولوژی مکانیکی شبیه به سیستم‌های جلوگیری کننده که از سرعت بیش از حد خودروها بهره می‌بردند.

کمی بعدتر سیستم‌های کروزر کنترل می‌توانستند سرعت خودرو را از روی کابل سرعت‌سنج یا حرکت میل‌لنگ تشخیص دهند. امروزه البته سیستم‌های کروزر کنترل استاندارد کاملاً الکترونیکی هستند اما اصول سیستم‌ها همان شکل باقی مانده است.

راننده به سرعت معینی می‌رسد و کروزر کنترل را تنظیم می‌کند و سپس پای خود را از روی پدال گاز برمی‌دارد. این سیستم هم به آرامش و راحتی راننده کمک می‌کند و به خاطر حذف انرژی اضافی مصرف شده توسط راننده به واسطه افزایش و کاهش سرعت باعث کاهش مصرف سوخت نیز می‌شود.

عموماً لمس پدال ترمز کروزر کنترل را از مدار خارج می‌کند درحالی‌که سوئیچ resume باعث خواهد شد که سرعت خودرو به همان سرعت انتخاب شده بازگردد. سوئیچ‌های الکترونیکی یا اهرم‌ها نیز برای افزایش یا کاهش سرعت بکار می‌روند و عملکرد محدودکننده‌ی سرعت نیز در این سیستم‌ها وجود دارد.

این سیستم اولین بار در ایالات متحده محبوب شد، جایی که رانندگان اغلب در جاده‌های طولانی و مستقیم و باز رانندگی می‌کردند. در اروپا که جاده‌های پیچ‌دار و پرترافیک بیشتری دارد کروزر کنترل به‌صورت نمادین در خودروهای لوکس نصب گردید. اگرچه که با ارزان‌تر شدن تکنولوژی و سیستم‌های الکترونیکی، این سیستم هم اکنون جزو تجهیزات استاندارد اکثر خودروهای معمولی است.

اولین ACC راداری در مرسدس بنز S کلاس 1999 معرفی شد اما از آن زمان ورود تکنولوژی‌های پیشرفته‌تری چون ترمز اضطراری خودکار و دستیار حفظ خودرو در بین خطوط به این معنی بوده که ACC نیز جزئی از بسته‌ی تکنولوژی‌های رانندگی پیشرفته بوده است. جدیدترین سیستم‌ها از سیستم GPS برای هوشمندی بیشتر استفاده می‌کنند. در

سیستم‌های آینده شاهد ارتباط خودروها با یکدیگر از طریق سیگنال‌های رادیویی خواهیم بود که ایمنی را بسیار بهبود خواهد بخشید.

اما در حال حاضر پورشه در حال کار بر روی کروز کنترل تطبیقی است که ویژگی‌هایی دارد که تاکنون هیچ شرکتی به فکر دستیابی به آن نیافته است. سیستم بروز شده InnoDrive می‌تواند در همه حال شتاب جانبی $0.70g$ را حفظ کند، شتابی که بسیاری از رانندگان کمتر آن را تجربه می‌کنند.

در حال حاضر این فناوری توسط پورشه در پیچ و خم جاده‌های Weissach منطقه‌ای در شهر بادن-وورتمبرگ که در آن مرکز تحقیقاتی پورشه واقع شده است) در حال توسعه است. این سامانه برای شناسایی پیچ‌ها از اطلاعات ذخیره شده در پایگاه داده‌های سیستم ناوبری بهره می‌برد. این اطلاعات کمک می‌کنند تا رایانه‌ها یک عکس سمبندی از جاده تهیه و اقدام به تنظیم سرعت کروز کنترل کنند تا به سرعت لازم برای دریافت شتاب کمتر از $0.50g$ دست یابند) حد شتاب جانبی در سه حالت قابل انتخاب است؛ کارآمدترین آن $0.70g$ است، در این صورت نیازی نیست راننده در پیچ‌ها هدایت خودرو را مجدد به دست گیرد.

هدف فناوری جدید InnoDrive رساندن راننده به مقصد با بیشترین سرعت ممکن آن‌هم با مصرف حداقل سوخت است. پورشه می‌گوید InnoDrive می‌تواند مصرف سوخت را در دنیای واقعی تا 10 درصد کاهش دهد در حالی که زمان رانندگی هم 2 درصد کاهش می‌یابد. در این سیستم، گذشته از کاهش ترمزگیری، کامپیوتر برای بهینه‌سازی و کنترل جریان مصرفی بنزین در هنگام شتاب گرفتن مجدد و کاهش مصرف سوخت برنامه‌ریزی شده است.

فناوری پورشه احتمالاً جریان بنزین را تحت کنترل قرار می‌دهد و با معکوس دادن سرعت را کنترل می‌کند تا حداقل مقدار مصرفی سوخت حاصل گردد.

هر فردی که با خودروی مجهز به کروز کنترل استاندارد در جاده‌های شلوغ رانندگی کرده باشد به سرعت یک مشکل ساختاری را تشخیص می‌دهد. این سیستم شاید در ساعت 3 صبح زمانی که خودروی دیگری در جاده وجود ندارد عالی باشد اما در اکثر مواقع به دلیل ترافیک موجود مجبورید که سرعت خود را کاهش یا افزایش دهید و به همین دلیل کروز کنترل سیستمی زائد جلوه می‌کند. اینجا همان جایی است که کروز کنترل تطبیقی وارد بازی می‌شود.

ACC از تکنولوژی رادار یا لیزر استفاده کرده و با اسکن جاده و تشخیص تغییرات سرعت خودروی جلویی و تنظیم سرعت خودروی شما با استفاده از پدال گاز و ترمز، فاصله‌ی مناسب با خودروی جلویی را حفظ می‌کند. شما از این سیستم همانند کروزر کنترل معمولی استفاده می‌کنید اما کنترلی اضافی وجود دارد که به شما اجازه می‌دهد تا فاصله را با خودروی جلویی تنظیم نمایید.

خودرو های داخلی(سمند)

مجموعه کروژ کنترل این خودرو شامل یک کلید کنترل، دسته سیم با سوکت های فابریک و ضد آب خودرو، کامپیوتر یا همان ecu کروژ و عملگر سرو موتور (تنها در خودروهای دارای دریچه گاز سیمی) می باشد. کلید کروژ کنترل این خودرو همانند سایر خودروهای خانواده سمند در دو مدل عرضه می گردد :

- 1 -کلید کنترل سردنده: این نوع کلید که از نوع سردنده فابریک سمند است به جای سردنده خودرو نصب می شود و دارای یک آلام صوتی به منظور آگاهی راننده از وضعیت کروژ بدون نیاز به نگاه کردن به سردنده می باشد. سردنده کروژ سمند EF7 به رنگ بژ است، اما در صورت تمایل مشتری امکان نصب سردنده مشکی نیز وجود دارد .
 - 2 -کلید کنترل بیسیم: این نوع کلید بصورت ریموت کنترل روی فرمان نصب می شود. در خودروهای گیربکس اتوماتیک که امکان تعویض سردنده نباشد اختصاصا از این نوع کلید استفاده می شود .
- این مجموعه دارای تأییدیه ایران خودرو برای نصب روی تمامی محصولات این شرکت بوده و دو سال گارانتی تعویض تمامی قطعات را دارد. این دستگاه در حال حاضر توسط شرکت ایران خودرو بر روی خودروهای سفارشی نصب می گردد .
- سیستم کروژ کنترل این خودرو همراه با لیمیتر می باشد .

خودروی سمند با موتور EF7 دارای دو نوع دریچه گاز برقی و دریچه گاز سیمی است.

نکات ایمنی

هنگام استفاده از سیستم کروز کنترل، عملکرد کلی خودرو را تحت کنترل داشته باشید. سیستم کروز کنترل برای استفاده در بزرگراه‌ها و اتوبان‌های باز، مستقیم و کم تراکم طراحی شده است. از سیستم کروز کنترل در موارد زیر استفاده نکنید

1. جاده‌های با ترافیک سنگین

2. جاده‌های پر پیچ و خم

3. جاده‌های لغزنده یا خاکی

4. مسیرهای با شیب زیاد

از آنجا که سیستم کروز، کنترلی روی ترمز ندارد، در شیب زیاد ممکن است سرعت خودرو از میزان تنظیم شده فراتر رود. بنابراین نیاز است در این شرایط راننده به کمک پدال ترمز از افزایش سرعت جلوگیری کند. با توجه به ایمنی بودن سیستم از دستکاری و تعمیر آن توسط تعمیرکاران غیر مجاز خودداری نمایید.

سرویس و نگهداری

جهت اطمینان از صحت عملکرد کروز کنترل روال زیر را انجام دهید

1 -کلید cruise را فشرده نگه دارید و سوئیچ خودرو را باز کنید .

2 -بعد از 7 ثانیه بوق ممتد به گوش می رسد .

3 -حال کلید را رها کنید و همه ورودی های کروز را کنترل کنید .

a. با فشردن هر کلید سردنده (و یا ریموت) بوق ممتد به گوش می رسد .

b. با فشردن پدال ترمز بوق ممتد به گوش می رسد .

c. با فشردن پدال کلاچ علاوه بر بوق ممتد لامپ سردنده روشن می شود.(بعضی خودروها سنسور کلاچ ندارند).

d. با فشردن پدال گاز بوق ممتد به گوش می رسد و اگر تا انتها فشرده شود لامپ سردنده (و یا لامپ سبز رنگ)

هم روشن می شود .

4 -کلید cruise را فشرده نگه دارید و موتور خود را روشن کنید .

5 -بعد از 7 ثانیه بوق ممتد به گوش می رسد .

a. ابتدا پدال ترمز را فشرده و نگه دارید .

b. با هر بار فشردن کلید SET دور موتور افزایش می یابد .

c. با هر بار فشردن کلید RES دور موتور کاهش می یابد .

d. با رها کردن پدال ترمز دور موتور به حالت عادی بر می گردد .

e. در کروز کنترل بدون یونیت ، فشردن کلید CRUISE و همزمان کلیدهای RES یا SET باعث زیاد و کم شدن نور LED می شود

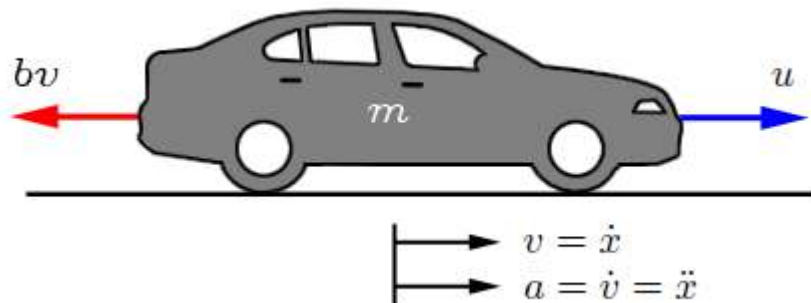
"تحلیل کنترلر های مختلف بر روی عملکرد سیستم های کروز کنترل"

System Modeling

Key MATLAB commands used in this tutorial are: `ss` , `tf`

Physical setup

سیستم کروز کنترل اتوماتیک یکی از بهترین مثال ها برای سیستم کنترل فیدبک در ابزار آلات جدید است. کروز کنترل جهت ثابت نگه داشتن سرعت خودرو استفاده می شود حتی اگر اختلالاتی در جهت وزش بادو شیب جاده بوجود آید. برای این کار سرعت ماشین در هر لظه اندازه گیری شده و با مقدار مطلوب مقایسه می شود سپس به صورت خودکار با استفاده از قوانین کنترل اتوماتیک سرعت تنظیم میشود.



در اینجا یه بررسی مدل ساده ای از دینامیک ماشین می پردازیم. همانطور که در دیاگرام ازاد جسم بالا ملاحظه می کنیم, جسم ما دارا جرم m می باشد و نیروی u به ان وارد می شود. این نیرو در واقعیت نشانگر نیروی وارد شده از جاده و چرخ ها و عوامل دیگر می باشد. در این مدل ما فرض کرده ایم که این نیرو به طور مستقیم قابل اندازه گیری و کنترل است.

نیروی وارد شده ی bv نشانگر اصطکاک ناشی از حرکت چرخ ها و وجود جریان باد (درگی که ایجاد میکند)

در این جا فرض شده که این مقدار به صورت خطی با سرعت خودرو میزانش افزایش می یابد و در جهت عکس حرکت خودرو عمل می کند.

معادلات سیستم

با این فرضیات و استفاده از قانون دوم نیوتن داریمدر جهت x داریم:

$$m\ddot{v} + b\dot{v} = u \quad (1)$$

از انجایی که هدف ما کنترل سرعت خودرو است ، خروجی باید سرعت انتخاب شود.

$$y = v \quad (2)$$

پارامتر های سیستم

برای مثال فرض می کنیم:

(m) جرم خودرو 1000 kg

(b) damping coefficient 50 N.s/m

State-space model

از آنجا که این یک سیستم درجه اول میباشد لذا انرژی جنبشی خودرو به این شکل خواهد بود.

(3)

$$\dot{\mathbf{x}} = [\dot{v}] = \left[\frac{-b}{m} \right] [v] + \left[\frac{1}{m} \right] [u]$$

$$y = [1][v] \quad (4)$$

با وارد کردن این پارامتر ها در برنامه مطلب به شکل زیر خواهیم داشت

m = 1000;

```
A = -b/m;
```

```
B = 1/m;
```

```
C = 1;
```

```
D = 0;
```

```
cruise_ss = ss(A,B,C,D);
```

Transfer function model

با گرفتن تبدیل لاپلاس از معادله دیفرانسیل بدست آمده معادله تبدیل سیستم کروز کنترل را خواهیم داشت.

$$(5) \quad P(s) = \frac{V(s)}{U(s)} = \frac{1}{ms + b} \quad \left[\frac{m/s}{N} \right]$$

با استفاده از کامنت های زیر از معادله تبدیل در برنامه تبدیل استفاده میکنیم.

```
s = tf('s');
```

```
P_cruise = 1/(m*s+b);
```

System Analysis

Key MATLAB commands used in this tutorial are: [ss](#) , [step](#)

System model and parameters

معادله تبدیل برای سیستم های کروز کنترل به صورت زیر است.

$$(1) \quad P(s) = \frac{V(s)}{U(s)} = \frac{1}{ms + b} \quad \left[\frac{m/s}{N} \right]$$

برای مثال داریم:

(m) vehicle mass 1000 kg

(b) damping coefficient 50 N.s/m

(u) nominal control force 500 N

Performance specifications

در این مرحله باید معیار هایی برای طراحی بیابیم تا کمک سیستم به خروجی مورد نظر برسد. برای مثال اگر موتور نیرویی معادل 500 نیوتن بدهد , خودرو با سرعت ماکزیمم 10 متر بر ثانیه حرکت می کند(با توجه به پاسخ مدار باز در پایین).

یک خودرو باید بتواند در کمتر از 5 ثانیه با شتاب گرفتن به آن سرعت برسد. که در این صورت باید شرط های زیر برقرار باشد.

▪ Rise time < 5 s

- $\text{Overshoot} < 10\%$
- $\text{Steady-state error} < 2\%$

Open-loop step response

در زیر پاسخ مدار باز سیستم به ورودی پله (500 نیوتن) در برنامه مطلب آورده شده.

```
m = 1000;

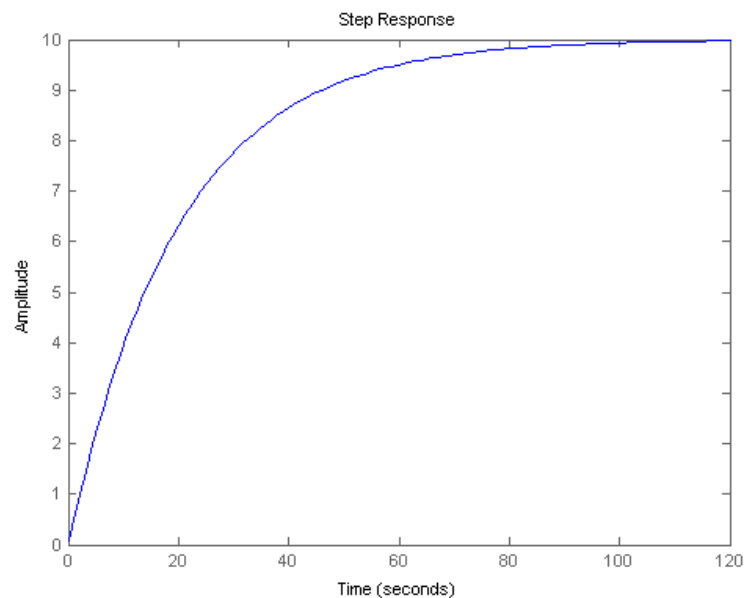
b = 50;

u = 500;

s = tf('s');

P_cruise = 1/(m*s+b);

step(u*P_cruise)
```



همانطور که می بینیم سیستم به میزان سرعت مورد نیاز 10 متر بر ثانیه میرسد اما نمودار قادر به نشان دادن میزان overshoot نمیباشد.

Rise time تقریبا 60 ثانیه است که مدت بسیار طولانی است.

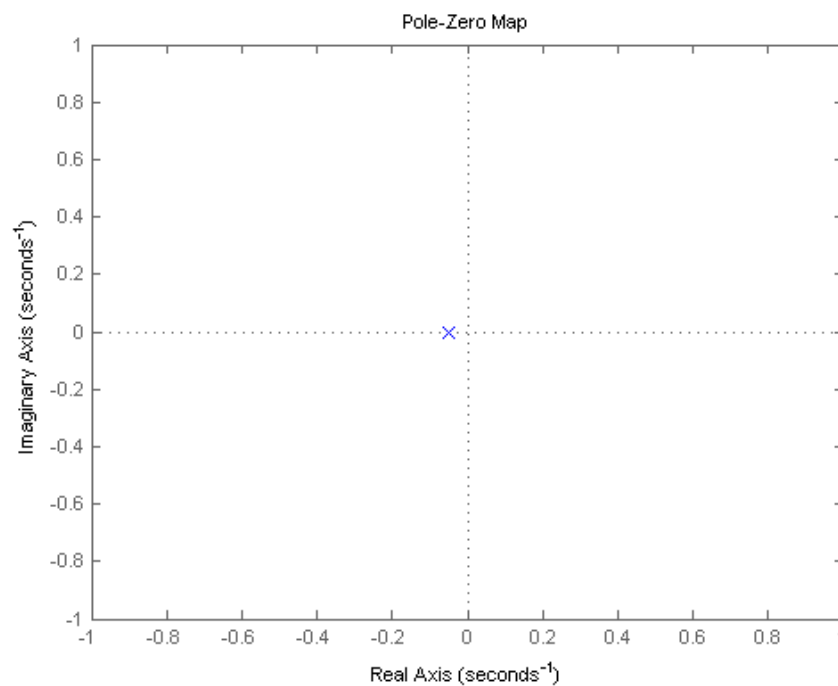
لذا لازم است کنترلی طراحی کنیم که به این امر سرعت ببخشد بدون آنکه تاثیر مخربی روی سیستم داشته باشد.

Open-loop poles/zeros

در معادلات سیستم کروز دیدیم که یک قطب در $s = -b/m$ دارد که با استفاده از مطلب در زیر نشان داده شده است.

```
pzmap(P_cruise)
```

```
axis([-1 1 -1 1])
```



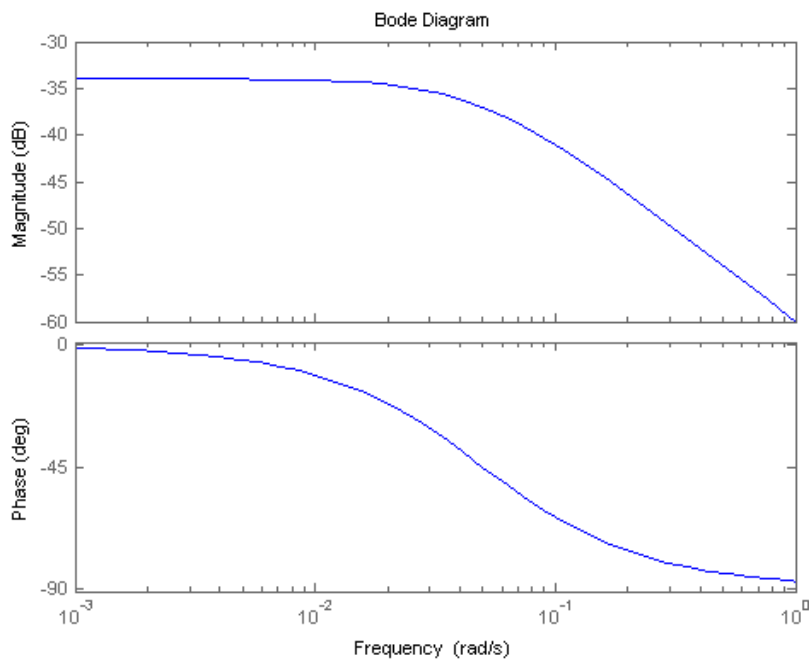
همانطور میبینیم که سیستم مدار باز در حالت تعادل است و از آنجا که قطب حقیقی و منفی داریم، نوسان نمیکند پس سرعت پاسخ به اندازه ی بزرگی قطب (b/m) خواهد بود. هرچه بزرگی این مقدار بیشتر باشد، سیستم سریع تر به حالت steady state می رسد.

از آنجا که معمولاً ما قادر به تغییر پارامترها برای تغییر پاسخ‌های دینامیکی نیستیم لذا باید کنترلرهایی طراحی کنیم تا با جابجایی صفرها و قطب‌های سیستم مدار بسته ما را به خواسته‌یمان برساند.

Open-loop Bode plot

از آنجا که پاسخ فرکانسی مدار باز سیستم برای ما اهمیت دارد می‌توانیم با استفاده از کد مطلب زیر آنرا نمایش دهیم.

```
bode(P_cruise)
```



همانطور که انتظار میرفت نمودار دیاگرام بود نشانگر ویژگی‌های سیستم مرتبه اول، از جمله مقدار -3db، شیب 45 درجه در فرکانس گوشه و شیب -20 در پایین آمدن نمودار.

PID Controller Design

Key MATLAB commands used in this tutorial are: `tf` , `step` , `feedback`

System model and parameters

همانطور که گفته شد معادله تبدیل برای سیستم کروز کنترل به شکل زیر است.

$$(1) \quad P(s) = \frac{V(s)}{U(s)} = \frac{1}{ms + b} \quad \left[\frac{m/s}{N} \right]$$

پارامتر های استفاده شده در این بخش عبارتند از:

(m) vehicle mass 1000 kg

(b) damping coefficient 50 N.s/m

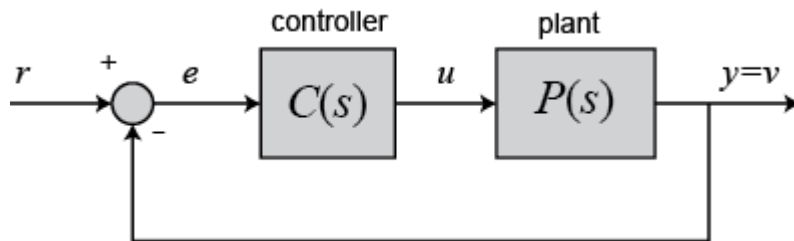
(r) reference speed 10 m/s

Performance specifications

- Rise time < 5 s
- Overshoot < 10%
- Steady-state error < 2%

PID overview

شکل کلی بلوک دیاگرام واحد کنترل فیدبک در زیر نشان داده شده است.



معادله تبدیل کنترلر PID به این شکل است.

$$(2) C(s) = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s = \frac{K_d s^2 + K_p s + K_i}{s}$$

می توان کنترلر PID را در مطلب این گونه تعریف کرد.

```
Kp = 1;
```

```
Ki = 1;
```

```
Kd = 1;
```

```
s = tf('s');
```

```
C = Kp + Ki/s + Kd*s
```

```
/ s)^2 + s + 1(C =
```

Continuous-time transfer function.

Proportional control

اولین قدم برای حل این مساله , پیدا کردن معادله مدار بسته متناسب با شرط $c=kp$ است.

بلوک دیاگرام با توجه به معادله تبدیل مدار بسته متناسب با شرط کنترلر به شکل زیر در می آید.

$$(3) \quad T(s) = \frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{P(s)C(s)}{1 + P(s)C(s)} = \frac{K_p}{ms + b + K_p}$$

همان طور که میدانیم ، وجود k_p باعث کاهش rise time در سیستم می شود که در این جا مطلوب مساله است.

حال در برنامه متلب مقدار k_p را 100 و سرعت حرکت را 10 متر بر ثانیه قرار می دهیم.

```

m = 1000;

b = 50;

r = 10;

s = tf('s');
P_cruise = 1/(m*s + b);

Kp = 100;
C = pid(Kp);

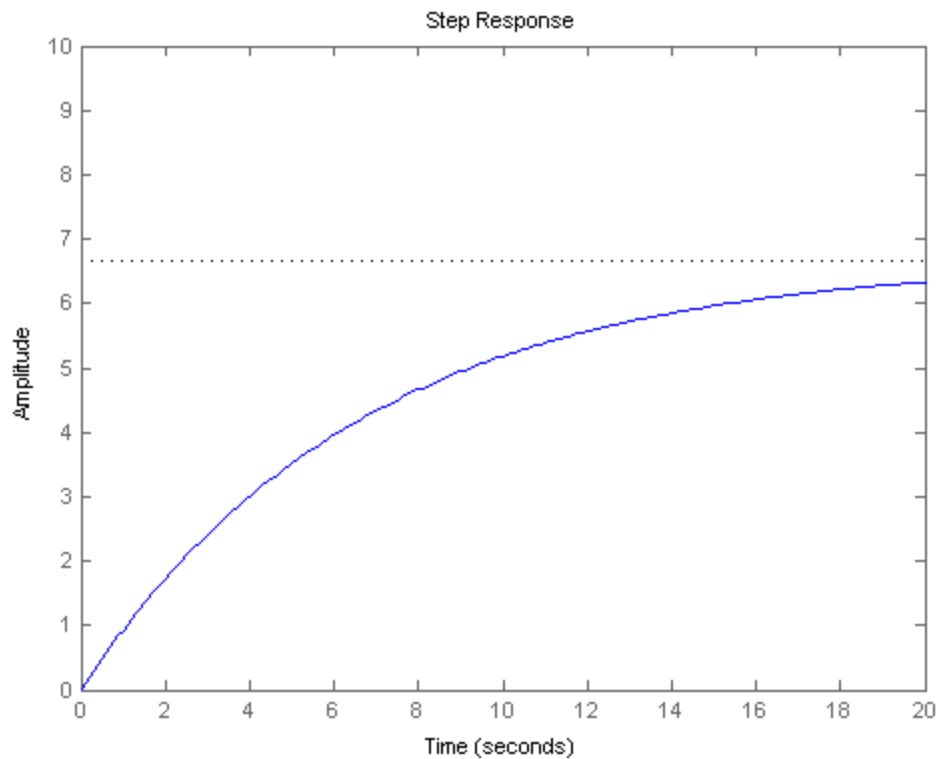
T = feedback(C*P_cruise,1)

t = 0:0.1:20;
step(r*T,t)
axis([0 20 0 10])

```

$(1000s+150)/100=T$

Continuous-time transfer function.



زمان t بدست آمده از برنامه بیانگر پاسخ پله می باشد. همانطور که میبینیم ، هیچ یک از risetime یا $\text{steady state error}$ شرط ما را ارضا نمیکند.

لذا باید با افزایش مقدار k_p ، زمان و $\text{steady state error}$ را کاهش دهیم. مقدار k_p را 5000 قرار می دهیم و بار دیگر برنامه را اجرا می کنیم.

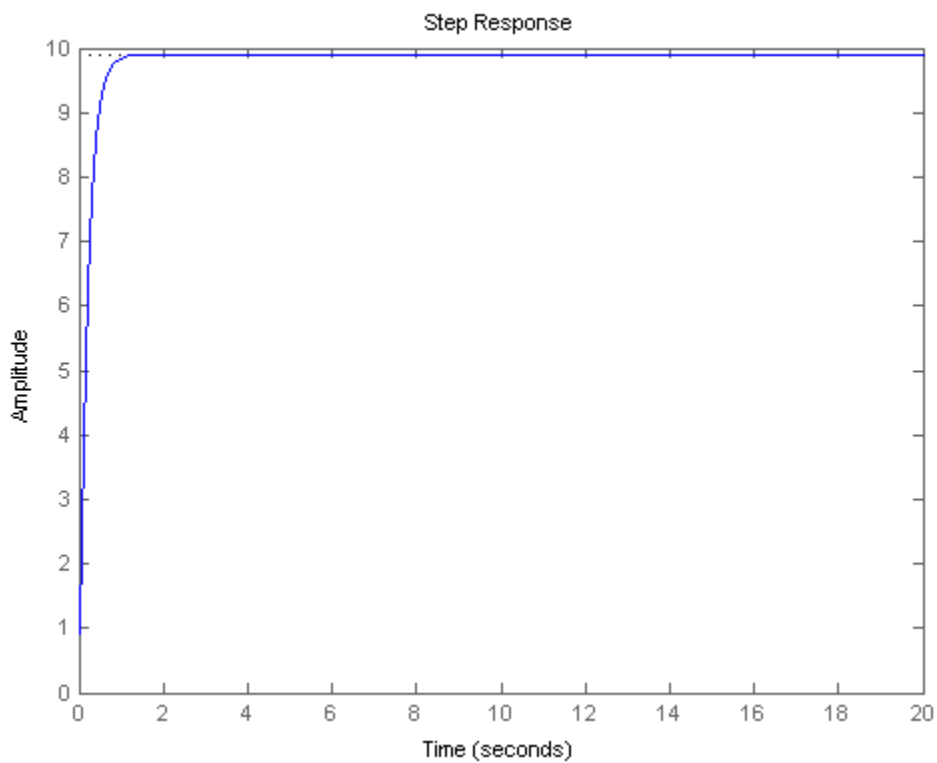
```
Kp = 5000;

C = pid(Kp);

T = feedback(C*P_cruise,1);

step(r*T,t)
```

```
axis([0 20 0 10])
```



Steady state error در این حالت به صفر رسیده و rise time به میزان قابل توجهی کاهش یافته.

این جواب در دنیای واقعی غیر قابل دستیابی است , زیرا کروز کنتر ها نمیتوانند سرعت خودرو را در کمتر از 0.5 ثانیه , از 0 به 10 متر بر ثانیه برسانند.

PI control

معادله تبدیل مدار بسته برای کروز کنترل و کنترلر PI ($C = K_p + K_i/s$) به شکل زیر است:

$$(4) \quad T(s) = \frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{P(s)C(s)}{1 + P(s)C(s)} = \frac{K_p s + K_i}{ms^2 + (b + K_p)s + K_i}$$

می دانیم اضافه کردن کنترلر انتگرال گیر به سیستم , steady state error را محدود میکند.

در این جا k_p را 600 و k_i را 1 قرار می دهیم تا ببینیم خروجی در این حالت به چه شکل خواهد بود.

```
Kp = 600;
```

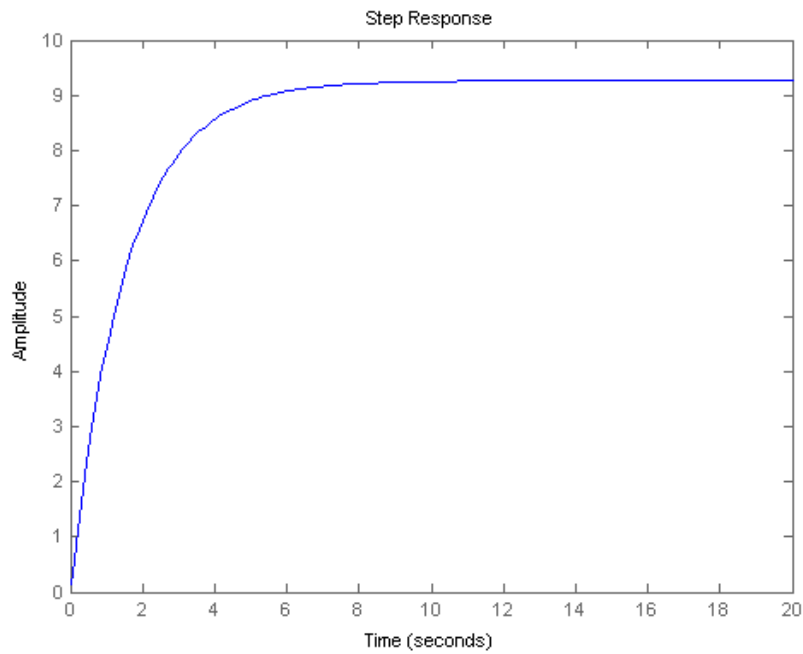
```
Ki = 1;
```

```
C = pi(Kp,Ki);
```

```
T = feedback(C*P_cruise,1);
```

```
step(r*T,t)
```

```
axis([0 20 0 10])
```



حال باید با تغییر دادن این 2 مقدار به مقدار دلخواه خود برسیم.

برای تعیین مقدار k_i بهتر است از مقدار های کوچک شروع کنیم زیرا مقدار زیاد این متغییر باعث بی ثبات شدن پاسخ می شود.

برای مقدار $k_p=800$ و $k_i=40$ پاسخ پله را مشاهده می کنیم.

```
Kp = 800;
```

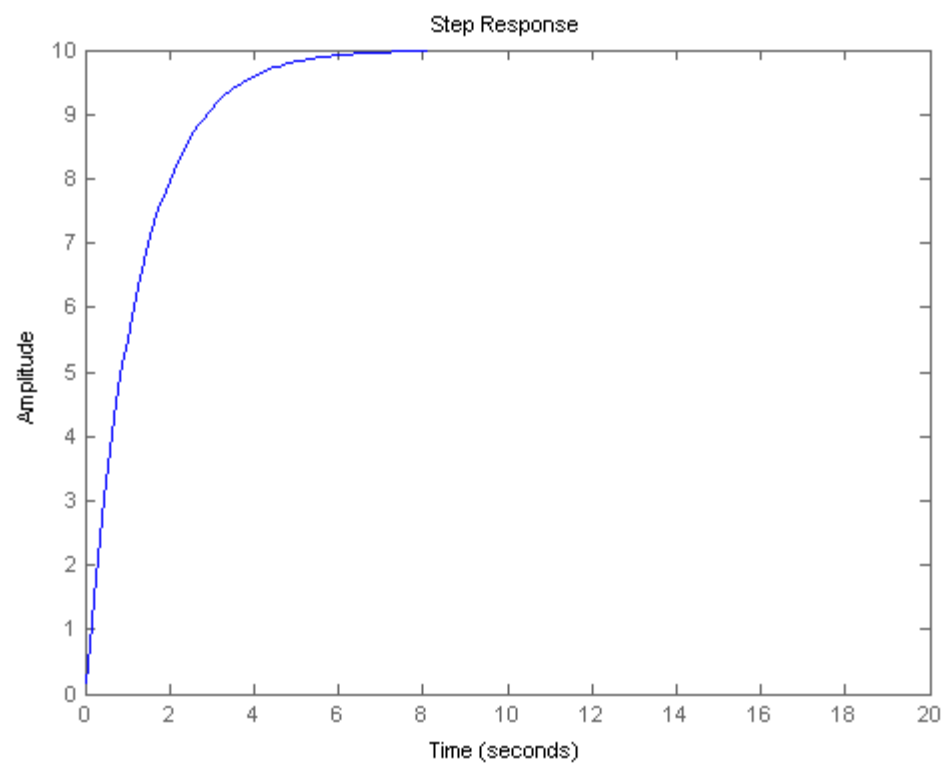
```
Ki = 40;
```

```
C = pi(Kp,Ki);
```

```
T = feedback(C*P_cruise,1);
```

```
sep(r*T,t)
```

```
axi([0 20 0 10])
```

Root Locus Controller Design

Key MATLAB commands used in this tutorial are: `tf` , `locus` , `feedback` , `step`

System model

همان طور که دیدیم معادله ی تبدیل کلی کروز کنترل ها به شکل زیر بود:

$$(1) \quad P(s) = \frac{V(s)}{U(s)} = \frac{1}{ms + b} \quad \left[\frac{m/s}{N} \right]$$

System parameters

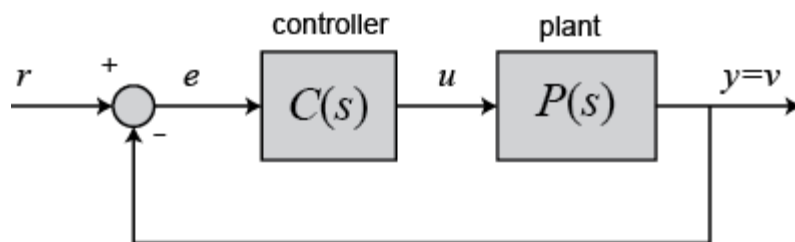
در این مثال فرض می کنیم مقادیر پارامتر ها به شکل زیر باشد

(m) vehicle mass 1000 kg

(b) damping coefficient 50 N.s/m

(r) reference speed 10 m/s

شکل کلی بلوک دیاگرام به همراه کنترلر فرضی در زیر نمایش داده شده است



Performance specifications

-
- Rise time < 5 sec
- Overshoot < 10%
- Steady-state error < 2%

Proportional control

نمودار root locus , زمانی که گین از 0 تا بی نهایت باشد , نشانگر موقعیت و مکان تمامی قطب های مدار بسته ی سیستم است. لذا تنها یک کنترلر می تواند این مشکل را حل کند.

معادله تبدیل مدار بسته به شکل زیر خواهد شد:

$$(2) \frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{K_p}{ms + (b + K_p)}$$

همچنین میدانیم , برای نشان دادن نواحی قابل قبول باید از قطعه کد sgrid در برنامه مطلب استفاده شود. برای استفاده از این کد ابتدا باید مقادیر زیر را داشته باشیم.

$$(3) \omega_n \geq \frac{1.8}{T_r}$$

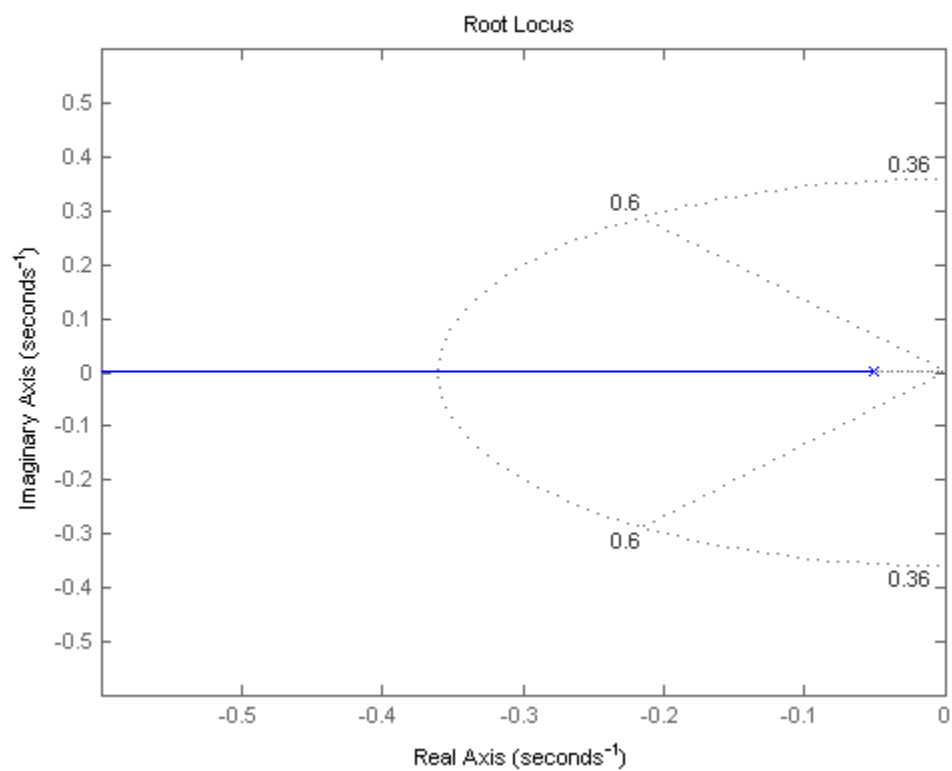
$$(4) \zeta \geq \sqrt{\frac{\ln^2(M_p)}{\pi^2 + \ln^2(M_p)}}$$

- ω_n = Natural Frequency [rad/s]
- zeta = Damping Ratio
- T_r = Rise time [s]
- M_p = Maximum Overshoot

یکی از معیار های ما هنگام طراحی این است که rise time از 5 ثانیه کمتر باشد. همچنین از معادله اول میدانیم که فرکانس طبیعی سیستم باید بزرگتر از 0.36 و از معادله دوم zeta باید بزرگتر از 0.6 باشد زیرا مقدار ماکزیمم overshoot نباید از 10 درصد بالا تر رود.

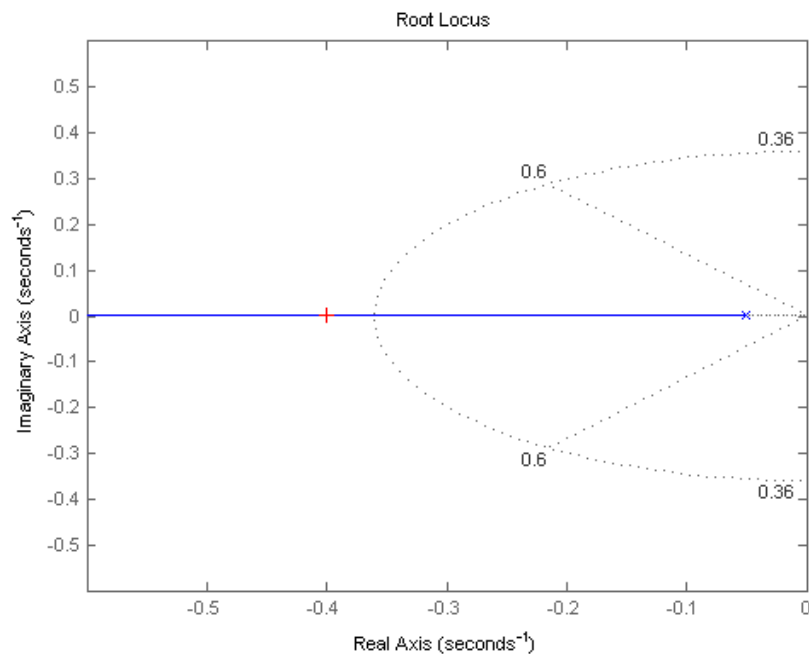
حال با دانستن این شروط می توانیم از دستور `sgrid` استفاده کنیم و نواحی مورد نظر را بیابیم.

```
m = 1000;  
  
b = 50;  
  
r = 10;  
  
s = tf('s');  
  
P_cruise = 1/(m*s+b);  
  
rlocus(P_cruise)  
  
axis([-0.6 0 -0.6 0.6]);  
sgrid(0.6, 0.36)
```



محل تلاقی دو خط نشان دهنده ζ که برابر 0.6 است میباشد. در بین این 2 خط ζ از 0.6 بزرگتر و خارج این 2 خط از 0.6 کوچکتر است. نیم بیضی موجود بیانگر محل فرکانس طبیعی ثابت است ($\omega_n=0.36$) در خارج از بیضی این مقدار بیشتر و در داخل کمتر از 0.36 است.

حال با اضافه کردن قطعه کد `rlocfind` میتوانیم گین مورد نظر برای انتخاب جای مناسب قطب ها را پیدا کنیم. در هنگام اجرای کد روی بردار خارج از بیضی کلیک میکنیم تا $\zeta > 0.6$ و $\omega_n > 0.36$ داشته باشیم.



سپس با پیغام زیر رو برو شدیم

Select a point in the graphics window

selected_point =

-0.4002 + 0.0019i

Kp =

350.2419

```
poles =
```

```
-0.4002
```

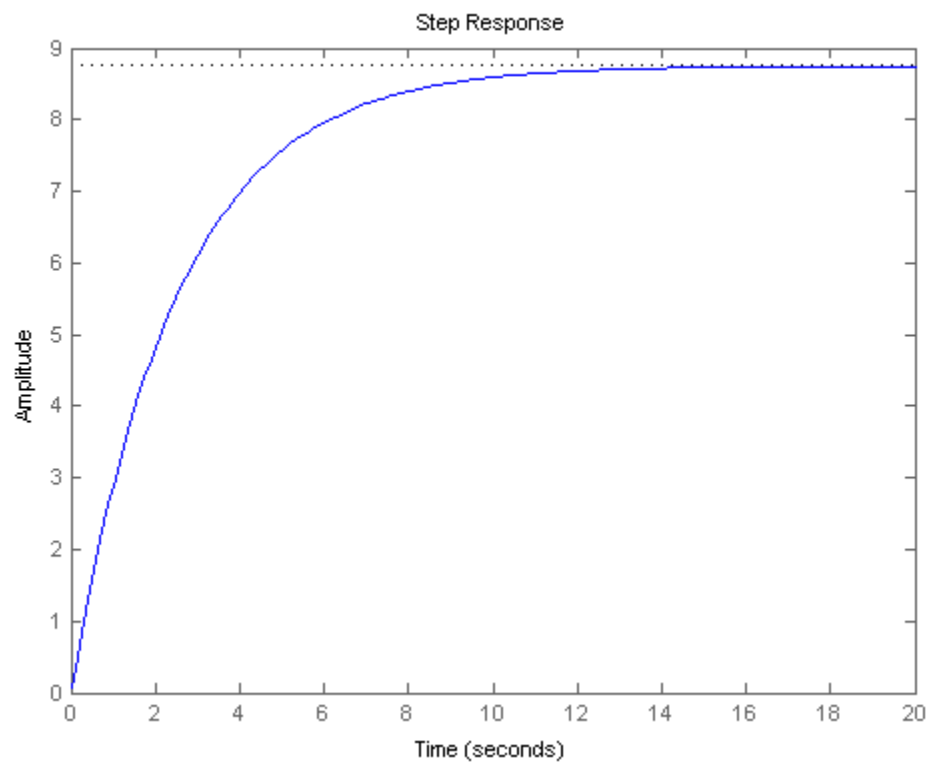
```
Kp = 350.2419;
```

```
sys_cl = feedback(Kp*P_cruise,1);
```

```
t = 0:0.1:20;
```

```
step(r*sys_cl,t)
```

با مقداری که به k_p دادیم rise time و overshoot شرط ما را برآورده کرد گرچه $\text{steady state error}$ همچنان بیشتر از 10 درصد بود.



Lag controller

برای کم کردن تاثیر steady state error , کنترلر lag به سیستم اضافه میکنیم. معادله تبدیل به همراه این کنترلر به شکل زیر می شود:

$$(5) \quad C(s) = \frac{s + z_0}{s + p_0}$$

معادله تبدیل مدار بسته مطابق زیر می شود:

$$(6) \quad \frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{s + z_0}{ms^2 + (b + mp_0)s + bp_0}$$

و در نهایت داریم:

$$(7) \quad \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{K_p s + K_p z_0}{ms^2 + (b + mp_0 + K_p)s + (bp_0 + K_p z_0)}$$

در طراحی این کنترلر باید قطب ها و صفر های کنترلر نزدیک هم قرار گیرند . همچنین می دانیم مقدار steady state error توسط فاکتور z_0/p_0 کاهش می یابد به همین خاطر $z_0=0.3$ و $p_0=0.3$ قرار میدهیم

```
zo = 0.3;
```

```
po = 0.03;
```

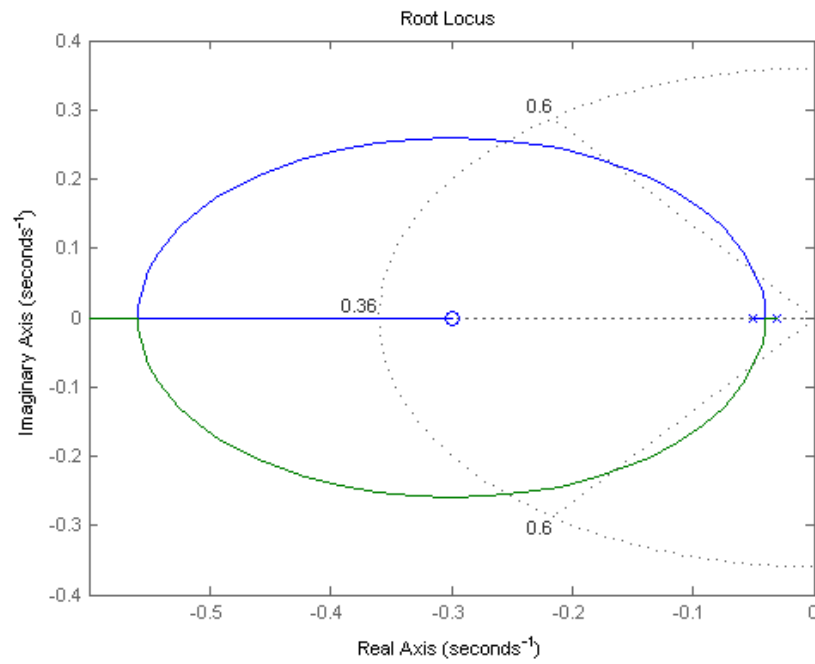
```
s = tf('s');
```

```
C_lag = (s+zo)/(s+po);
```

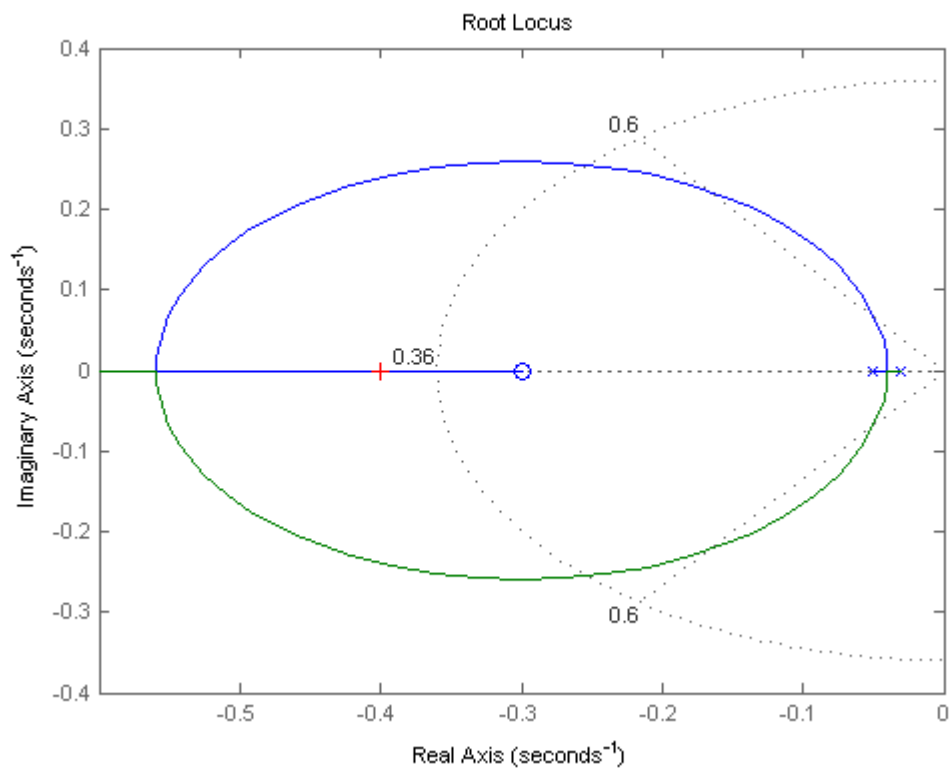
```
rlocus(C_lag*P_cruise);
```

```
axis([-0.6 0 -0.4 0.4])
```

```
sgrid(0.6,0.36);
```



بار دیگر با استفاده از دستور rlockfind می توانیم برای k_p مقدار تعیین کنیم



در برنامه با پیغام زیر مواجه می شویم.

Select a point in the graphics window

selected_point =

-0.4002 - 0.0012i

Kp =

1.2936e+03

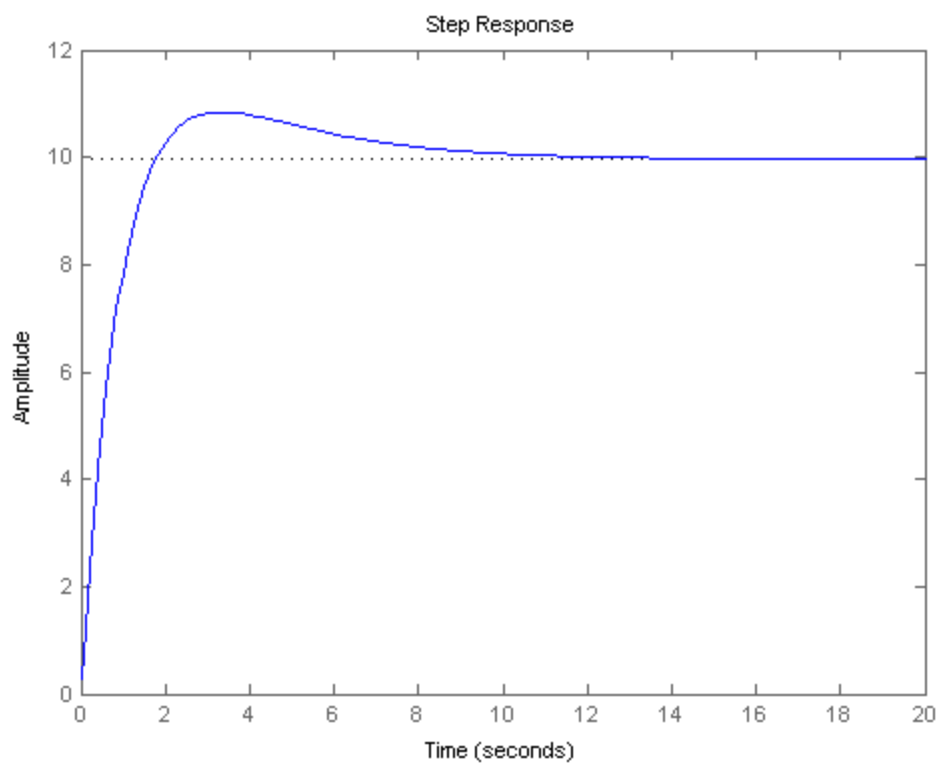
poles =

-0.9733

-0.4003

حال میتوان پاسخ مدار بسته مطابق زیر داشته باشیم

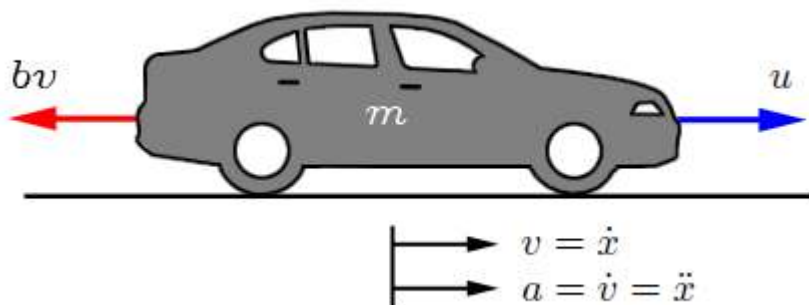
```
Kp = 1293.6;  
  
sys_cl = feedback(Kp*C_lag*P_cruise,1);  
  
t = 0:0.1:20;  
  
step(r*sys_cl,t)  
  
axis([0 20 0 12])
```



همان طور که میبینیم **steady state error** تقریباً به صفر رسیده است و حالا تمام شرط های مورد نظر ارضا شده اند.

Physical setup and system equations

اگر فرض کنیم که نیروی اصطکاک چرخ ها و درگ ایجاد شده به خاطر هوا با سرعت خودرو رابطه مستقیم داشته باشد , مدل سیستم های کروز کنترل مدلی به نسبت ساده است زیرا حل مساله به المان های زیر محدود می شود.



با توجه به شکل بالا و استفاده از قانون دوم نیوتن معادله حاکم بر حرکت به شکل زیر خواهد بود.

$$(1) m\dot{v} = u - bv$$

در این جا u نیروی تولید شده برای حرکت چرخ ها می باشد و به طور مستقیم میتوان انرا کنترل کرد. در این مثال فرض میکنیم:

$$m = 1000 \text{ kg}$$

$$b = 50 \text{ N}\cdot\text{sec}/\text{m}$$

$$u = 500 \text{ N}$$

Building the model

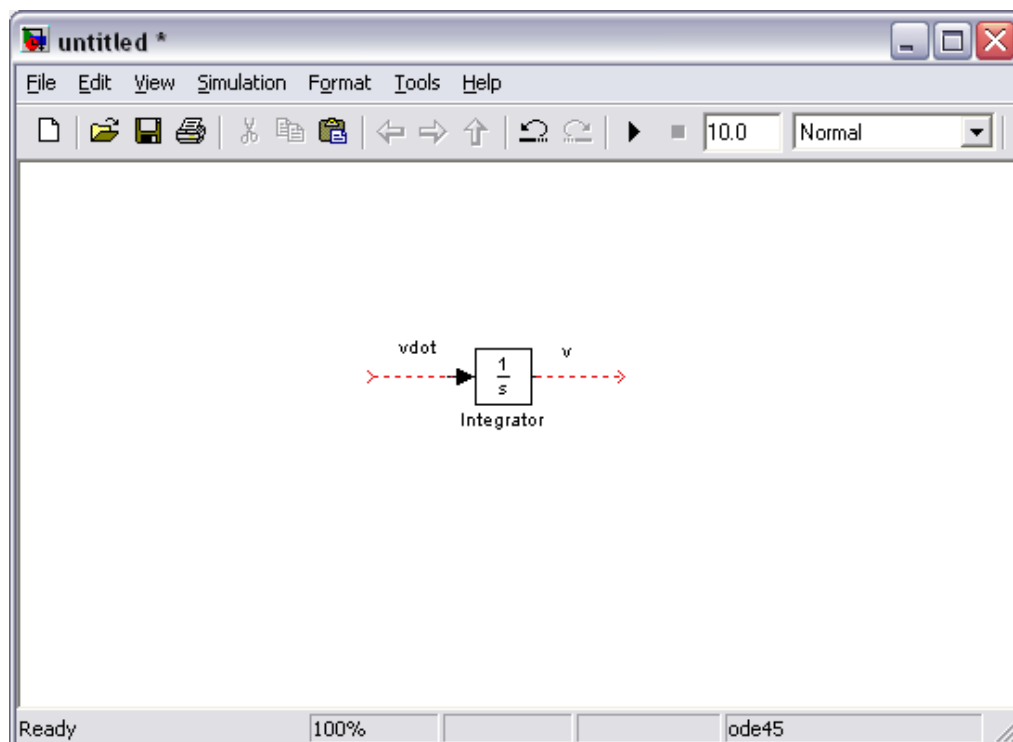
این سیستم را می توان با جمع کردن نیرو های موثر بر جرم خودرو و انتگرال گیری از شتاب برای بدست آوردن سرعت , مدل سازی کرد.

برای این کار یک فایل Simulink باز میکنیم.

در ابتدا به مدل سازی بخش انتگرال گیر برای بدست آوردن سرعت می پردازیم.

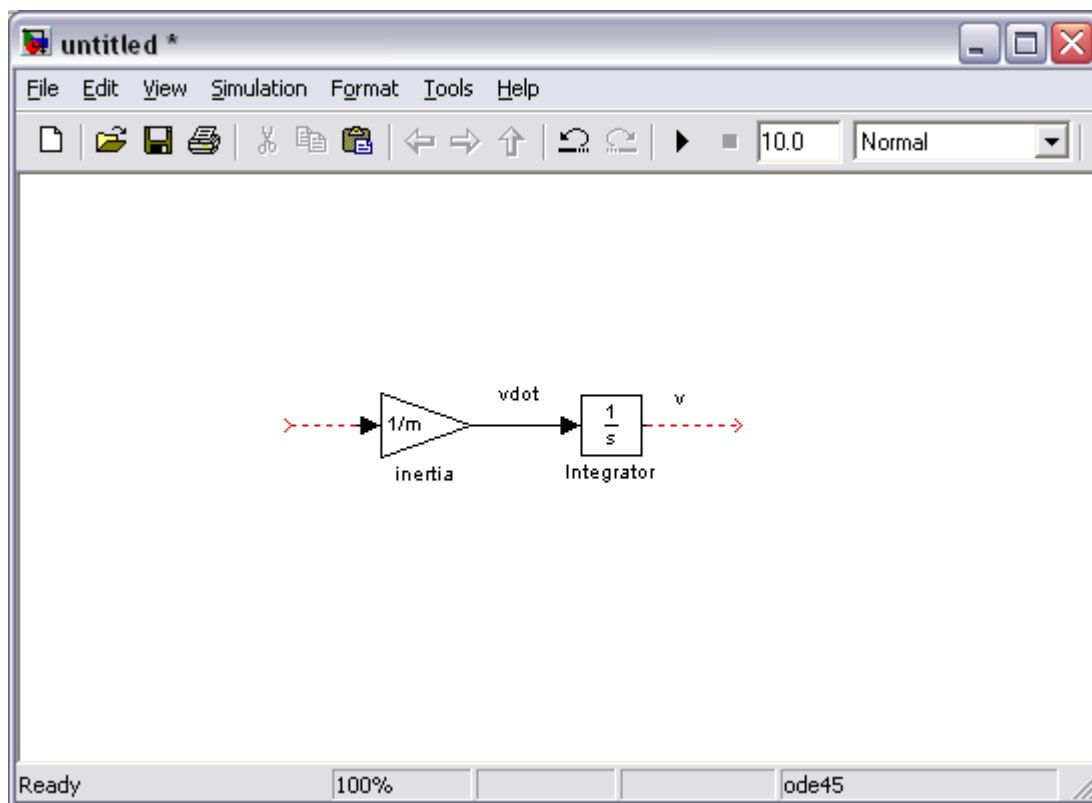
$$(2) \int \frac{dv}{dt} dt = v$$

- از قسمت continuous library یک بلوک انتگرال گیر قرار می دهیم , با کشیدن خطوط ترمینال های ورودی و خروجی را ایجاد میکنیم.
- بردار ورودی را vdot و بردار خروجی را v نام گذاری میکنیم.



از آنجا که شتاب (dv/dt) برابر با جمع نیرو ها تقسیم بر جرم است , لذا سیگنال های ورودی را بر جرم تقسیم میکنیم.

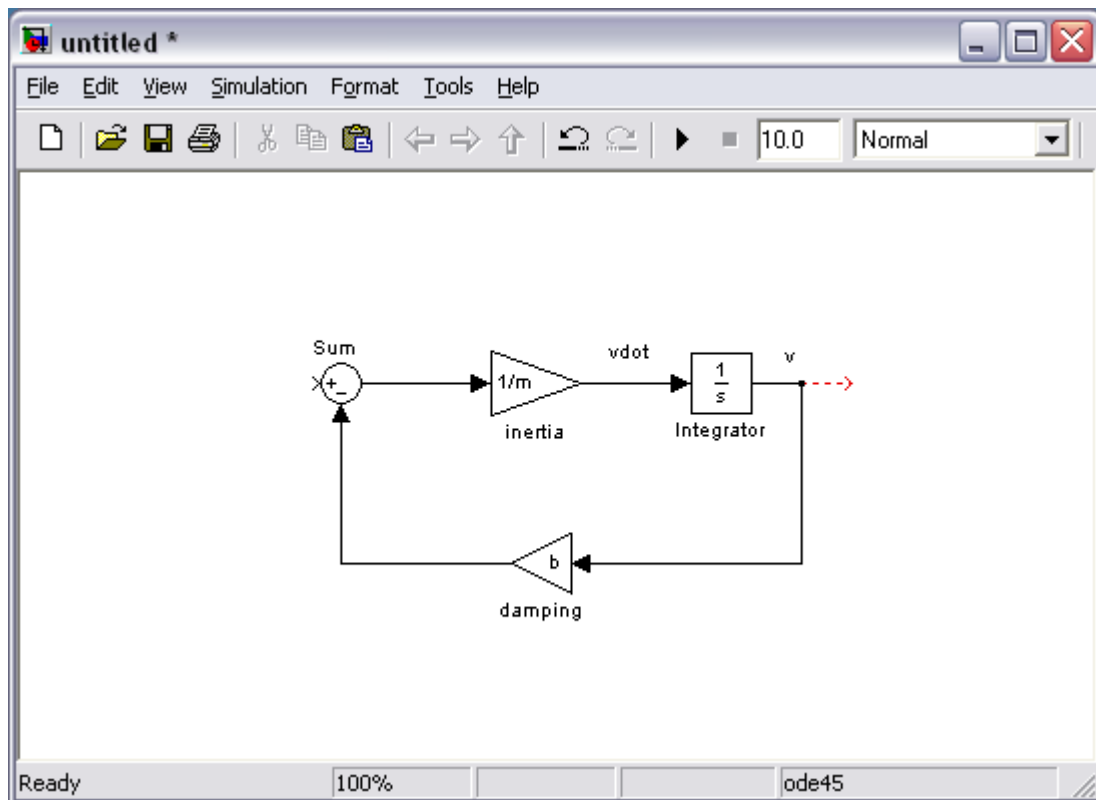
- از قسمت math operation library یک بلوک گین انتخاب میکنیم و به عنوان ورودی بلوک انتگرال گیر به آن وصل می کنیم و خطی را برای ورودی بوک گین رسم میکنیم.
- با دو بار کلیک کردن روی بلوک گین مقدار آنرا $1/m$ انتخاب میکنیم .
- نام این بلوک را inertia در نظر گرفته ایم.



حال نیرو هایی را که در معدله (1) آمده است را اضافه می کنیم.

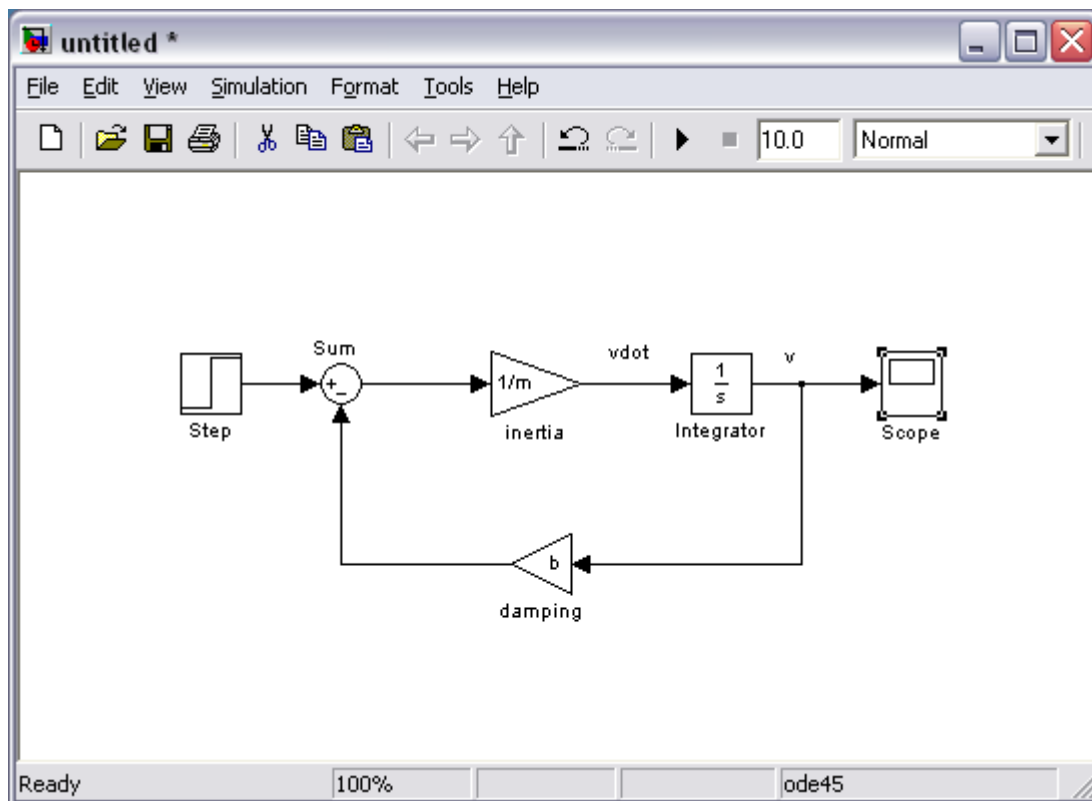
- از قسمت math operation library یک بلوک sum به عنوان ورودی بلوک گین (inertia) وصل میکنیم.
- علامت های بلوک sum را به + - تغییر میدهیم.
- یک بلوک گین دیگر در زیر بلوک inertia اضافه میکنیم و با یک کلیک بر روی آن و flip کردن آن را از چپ به راست میکنیم.

- مقدار بلوک را b و نامش را به $damping$ تغییر می‌دهیم.
- در حالی که کلید کنترل را گرفته ایم، یک خط از خروجی بلوک $integrator$ به ورودی بلوک $damping$ وصل می‌کنیم.
- از خروجی بلوک $damping$ نیز، به ورودی منفی بلوک sum متصل می‌کنیم.

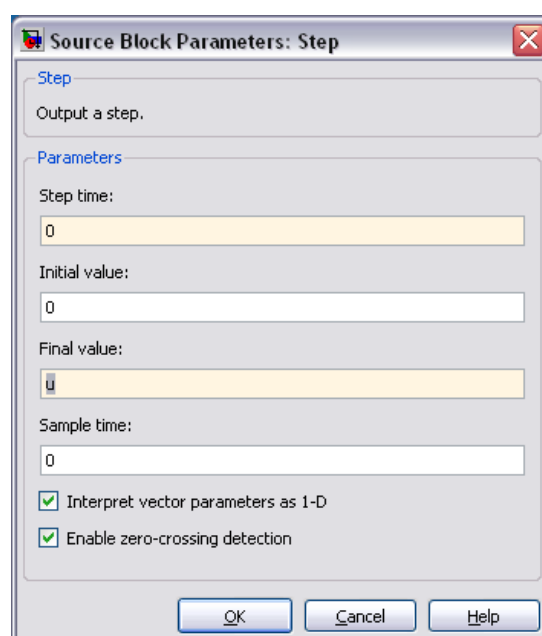


نیروی دومی که بر روی جرم تاثیر دارد، ورودی کنترل کننده است. ما در اینجا برای این عامل یک ورودی پله اعمال کرده ایم.

- از قسمت $source\ library$ یک بلوک پله انتخاب کرده و آنرا به ورودی مثبت بلوک sum متصل می‌کنیم.
- برای مشاهده ی سرعت در خروجی، از قسمت $sink\ library$ یک بلوک $scope$ انتخاب می‌کنیم و به خروجی بلوک $integrator$ وصل می‌کنیم.



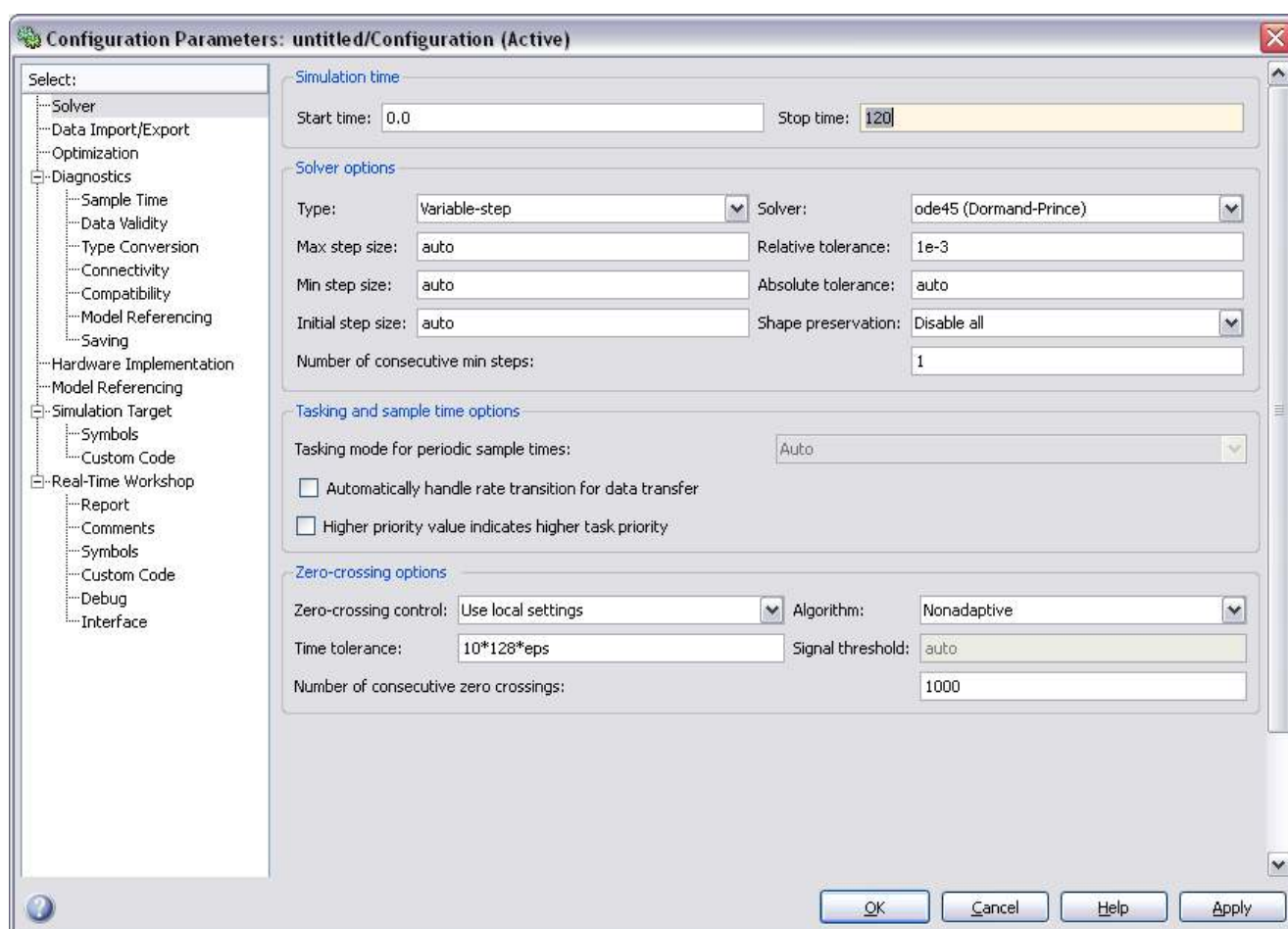
- برای ایجاد ورودی پله مناسب 500 در زمان 0 ، 2 بار بر روی بلوک پله کلیک میکنیم و مقدار step time را 0 و final value را u قرار می دهیم.



Open-loop response

برای شبیه سازی این سیستم , ابتدا باید زمانی مناسب برای انجام شبیه سازی تعیین شود

- از منوی simulation , پارامتر ها را انتخاب میکنیم و در زمان 120 ثانیه را برای پایان شبیه سازی انتخاب می کنیم. 120 ثانیه زمان مناسبی برای دیدن پاسخ مدار باز سیستم است.



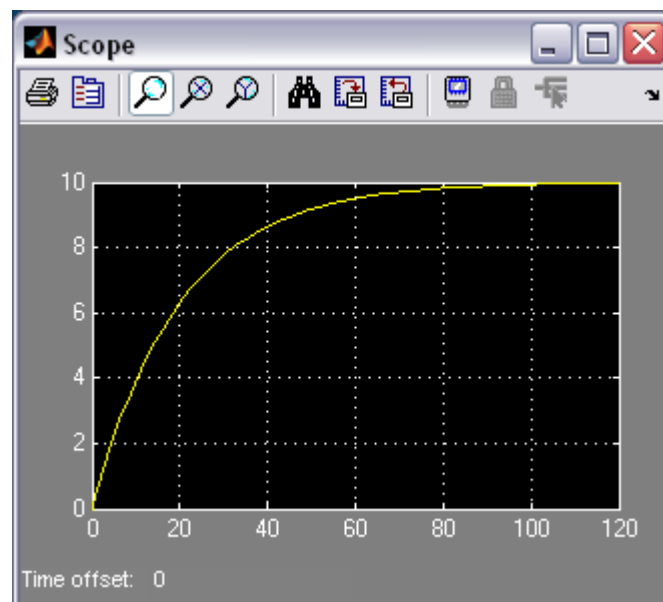
حال باید پارامتر های فیزیکی را تعیین کنیم.

```
m = 1000;
```

```
b = 50;
```

```
u = 500;
```

با run کردن برنامه و کلیک روی scope خروجی زیر را مشاهده میکنیم.



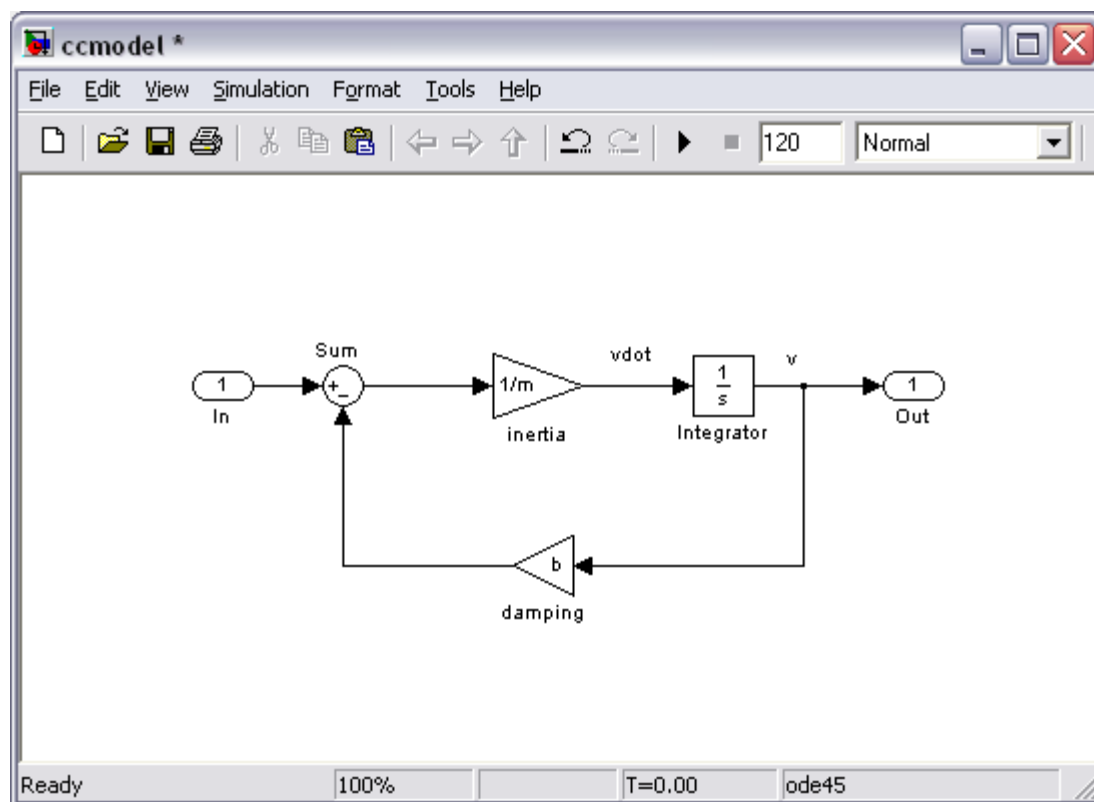
Simulink Controller Design

در این بخش می بینیم که feedback controller را چگونه اعمال کنیم تا به مطلوب سیستم برسیم.

Extracting a linear model into MATLAB

مدل خطی سیستم کروز کنترل را می توانیم در مطلب با استفاده از بلوک های In1 و Out1 و تابع linmod مشاهده کرد.

- با جایگزین کردن بلوک In1 به جای بلوک step و Out1 به جای بلوک scope , میتوانیم خروجی مورد نظر را در این قسمت مشاهده کنیم.



حال مقادیر متغیر را مطابق زیر در برنامه وارد می کنیم.

```
m = 1000;  
  
b = 50;  
  
u = 500;  
  
[A,B,C,D] = linmod('ccmodel')  
cruise_ss = ss(A,B,C,D);
```

A =

-0.0500

B =

1.0000e-03

C =

1

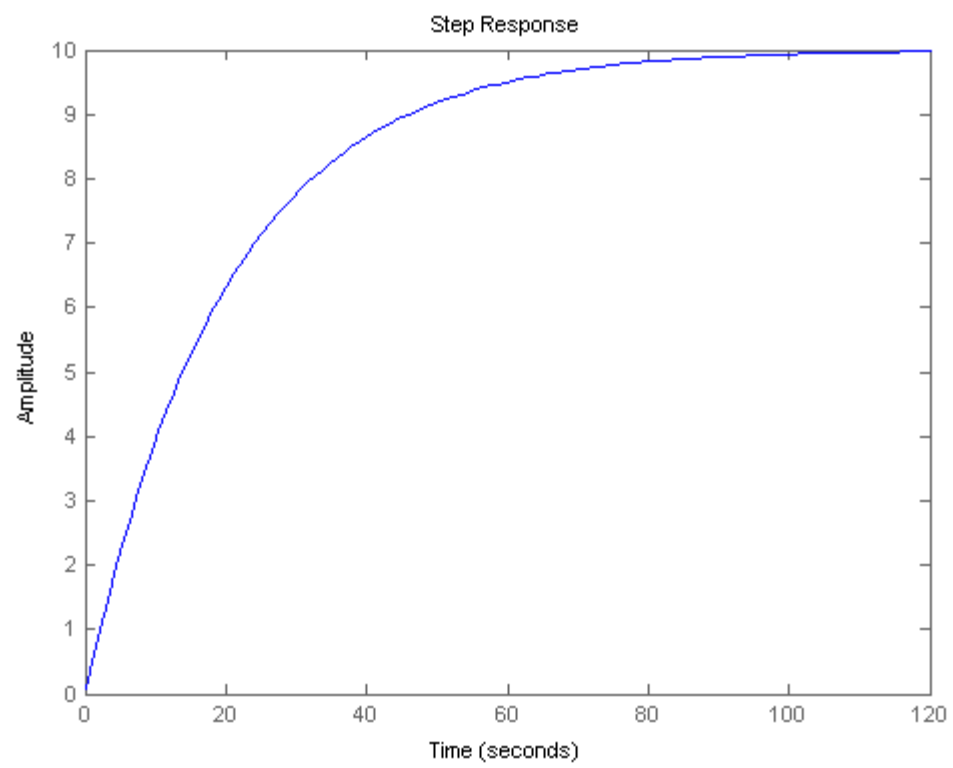
D =

0

با وارد کردن دستور زیر در مطلب , پاسخ پله ی مدار باز سیستم را شاهد هستیم.

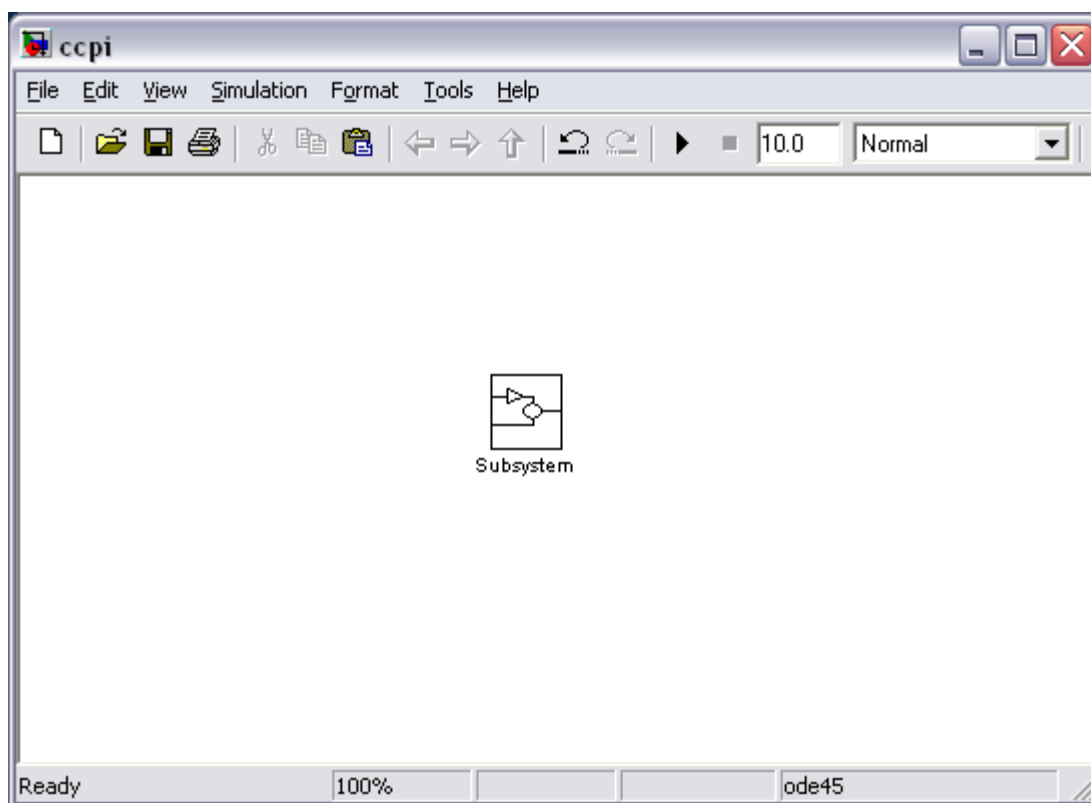
برای شبیه سازی ورودی پله ی 500 N , صورت کسر را در 500 ضرب می کنیم .

```
step(u*cruise_ss)
```

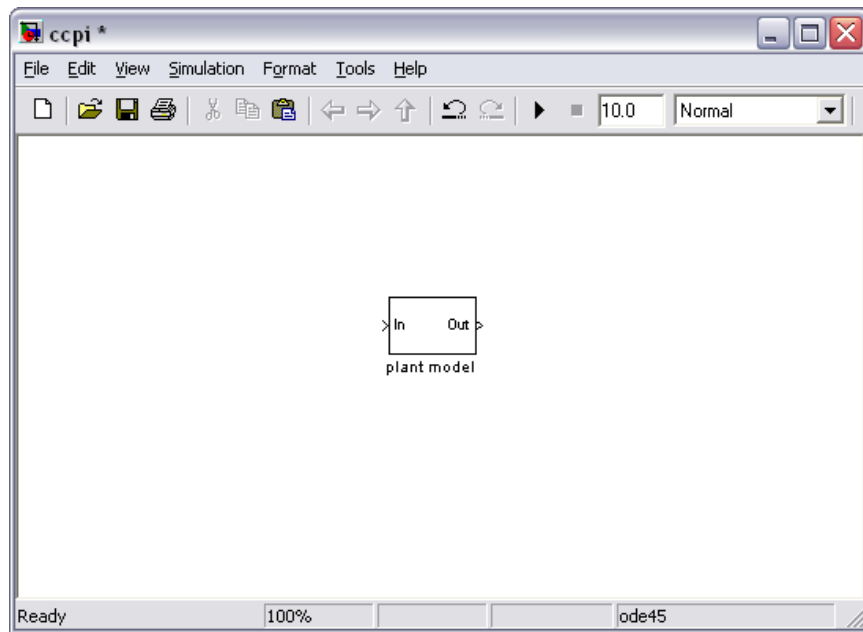


Implementing PI control

- قبل تر با کمک کنترلر PI برای رسیدن به پاسخ مطلوب ، k_p را 800 و k_i را 40 در نظر گرفتیم.
- برای شبیه سازی این بخش لازم است کنترلر را به سیستم مدار باز که پیش از این شبیه سازی کردیم ، اضافه کنیم.
- از قسمت ports & subsystem library بلوک subsystem را انتخاب میکنیم.

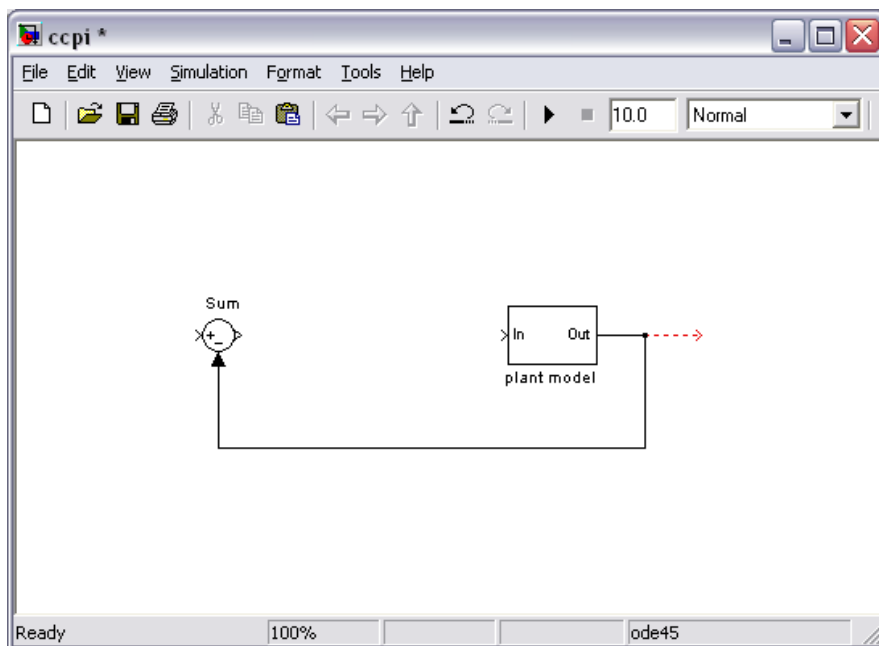


- با دو بار کلیک کردن روی این بلوک صفحه خالی باز می شود که نشان گر محتویات این بلوک است که در حال حاضر خالی است.
- برنامه ی ذخیره شده ی قبل را باز می کنیم و تمامی انرا در صفحه ی مربوط به subsystem ، paste میکنیم.
- حال ترمینال های ورودی و خروجی را روی بلوک subsystem میبینیم. نام این بلوک را به plant mode تغییر میدهیم.



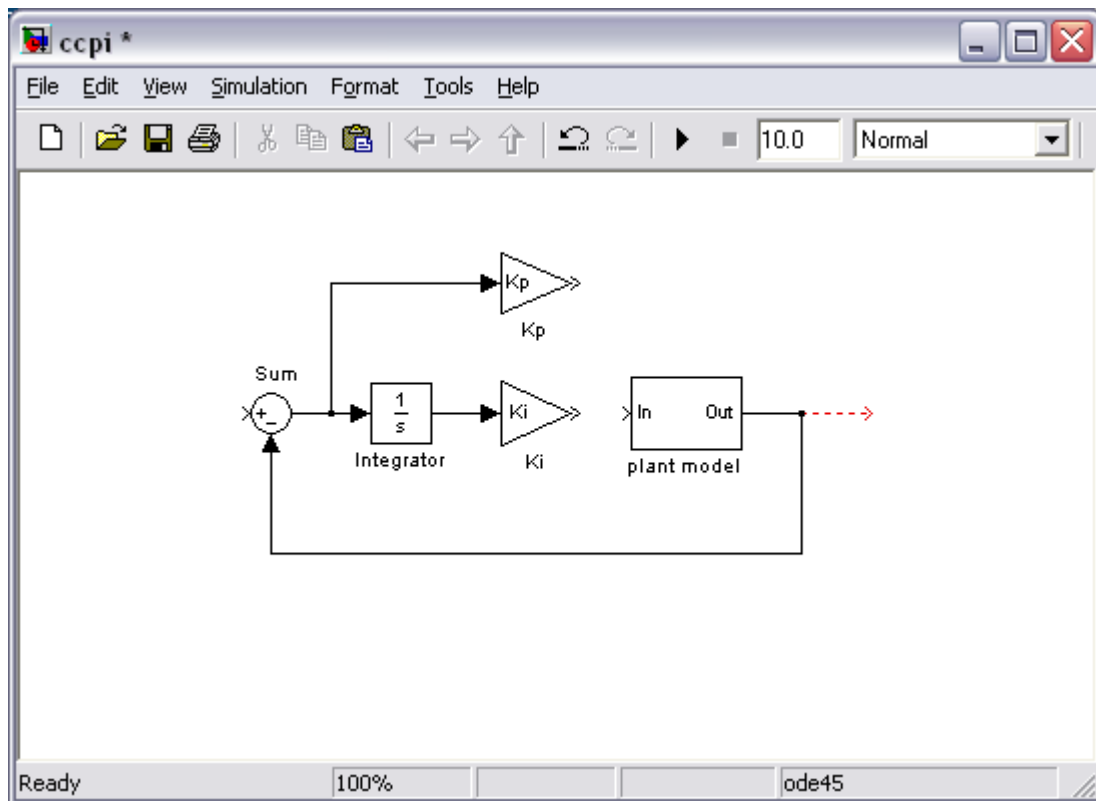
حال می توانیم یک PI کنترلر برای این plant mode بسازیم.

- یک خط از قسمت خروجی بلوک plant mode رسم میکنیم.
- یک بلوک sum قرار می دهیم و علامت هایش را به + و - تغییر میدهیم.
- خط متصل به خروجی را به ورودی منفی بلوک sum وصل میکنیم.

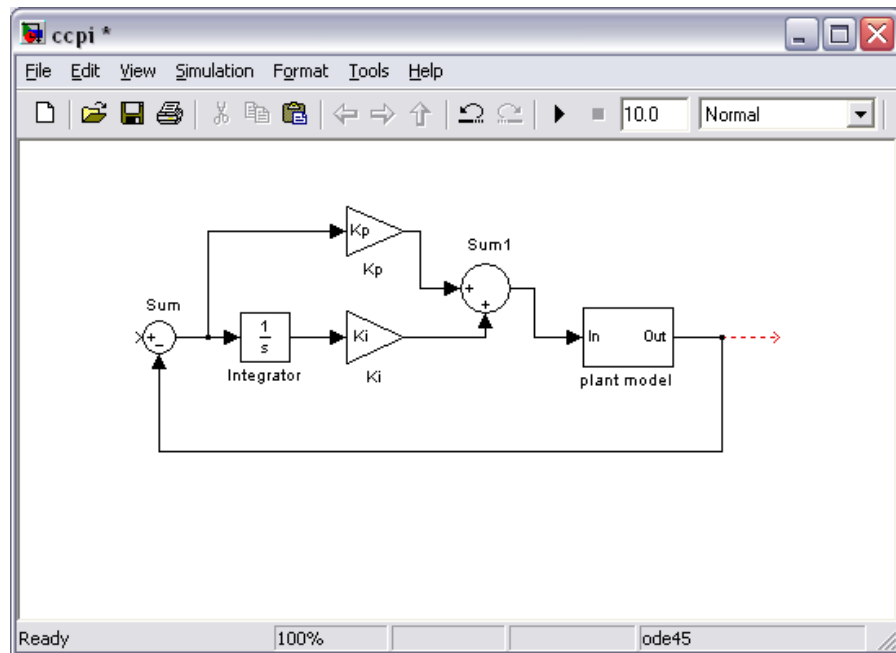


خروجی بلوک sum باعث به وجود آمدن سیگنال error می شود.

- یک بلوک انتگرال گیر بعد از بلوک sum قرار می دهیم و آنها را به هم وصل می کنیم.
- بعد از بلوک انتگرال گیر , بلوک گین قرار می دهیم و آنها را به هم وصل می کنیم .
- نام بلوک انتگرال گیر را Ki و مقدارش را 40 قرار می دهیم.
- نام بلوک گین را Kp و مقدارش را 800 قرار می دهیم.

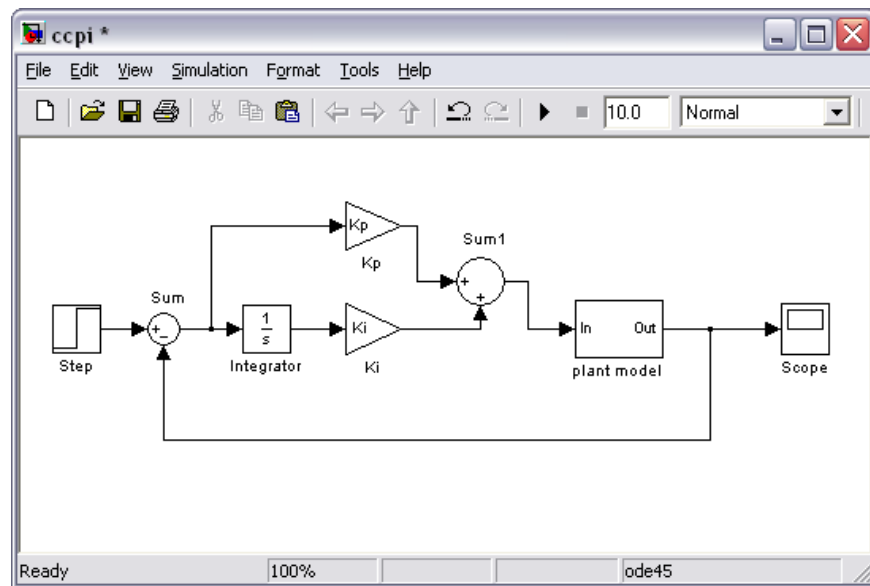


- یک بلوک sum بین بلوک Ki و plant mode قرار می دهیم و خروجی بلوک های گین را به ورودی مثبت sum وصل می کنیم.
- خروجی بلوک sum را به ورودی plant mode وصل می کنیم.



در نهایت ورودی پله را اعمال می کنیم تا بتوانیم خروجی را از روی scope مشاهده کنیم.

- بلوک step را به سمت ازاد ورودی بلوک sum وصل می کنیم.
- بلوک scope را به خروجی plant mode متصل می کنیم.
- با 2 بار کلیک کردن روی بلوک پله , step time را از 0 و final value را u تعیین می کنیم.



Closed-loop response

برای شبیه سازی این سیستم زمان مناسب 10 را به `stop time field` می دهیم. زیرا از مطلوبات مساله داشتن `rise time` کمتر از 5 ثانیه بود , لذا در 10 ثانیه می توانیم شاهد خروجی سیستم باشیم.

حال به تعیین پارامتر های فیزیکی در مطلب می پردازیم.

```
m = 1000;
```

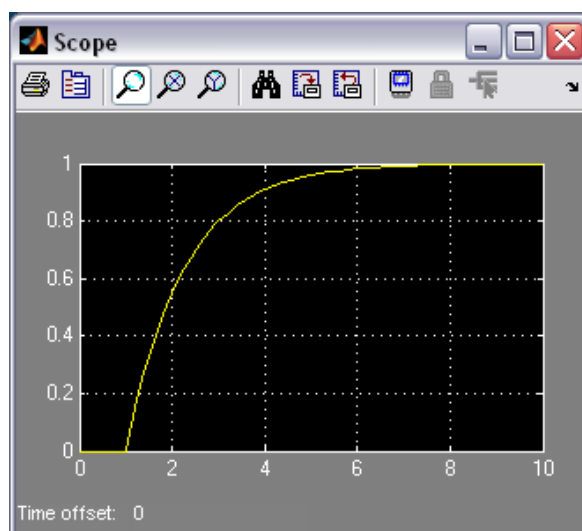
```
b = 50;
```

```
u = 10;
```

```
Kp = 800;
```

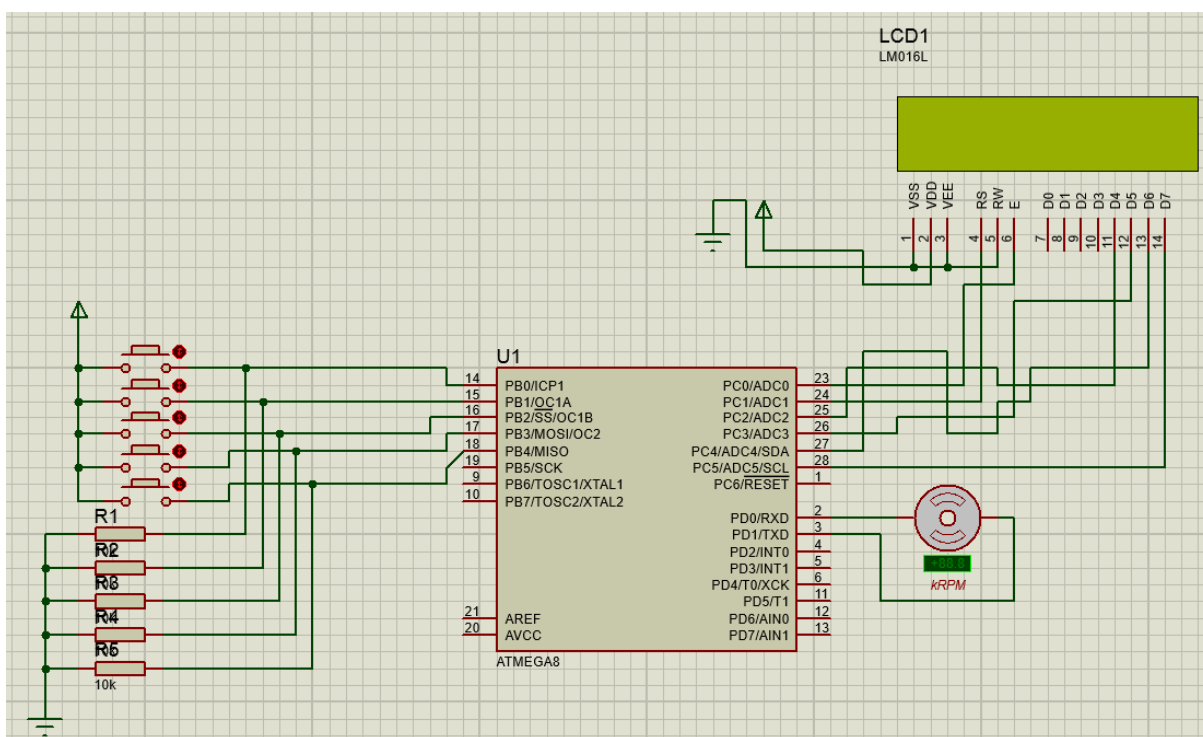
```
Ki = 40;
```

با اجرای برنامه و اتمام شبیه سازی , با کلیک کردن بر روی `scope` شاهد خروجی زیر خواهیم بود.



نمونه ای ساده از شبیه سازی سامانه کروز کنترل در محیط پروتئوس و کد های آن

شکل زیر اجزای مختلف و نحوه ارتباط آنها با یکدیگر را در این پروژه نمایش می دهد .



کد به کار گرفته شده در این پروژه:

```
regfile = "m8def.dat"$
```

```
crystal = 1000000$
```

```
Config Lcd = 16 * 2
```

```
Config Lcdpin = Pin , E = Portc.0 , Rs = Portc.1 , Db4 = Portc.2 , Db5 = Portc.3 , Db6 = Portc.4 , Db7 = Portc.5
```

```
Config Portb = Input
```

Config Portd.0 = Output

Config Portd.1 = Output

Dim A As Byte

A = 30

Dim B As Byte

Dim C As Byte

Dim H As Byte

B = 0

C = 100

Cursor Off

Cls

X:

Do

If Pinb.3 = 1 Then

Incr C

Waitms 250

End If

If Pinb.4 = 1 Then

Decr C

Waitms 250

End If

If Pinb.0 = 1 Then

```
Incr A  
Waitms 250  
End If
```

```
If Pinb.1 = 1 Then  
    Decr A  
    Waitms 250  
End If
```

```
If Pinb.2 = 1 Then  
    Cls  
    Goto Y  
End If
```

```
Locate 1 , 1  
    Lcd A  
    Lcd " :Base"
```

```
Locate 2 , 1  
    Lcd C  
    Lcd " :Si "  
    Lcd B  
    Lcd " :Sp"
```

```
Loop
```

Y:

Do

If $C > 0$ Then

$H = C \bmod 4$

If $H = 0$ Then

$B = C / 4$

End If

End If

If $B < A$ Then

Portd.0 = 1

Waitms 250

End If

If $B > A$ Then

Portd.1 = 1

Waitms 250

End If

If $A = B$ Then

Lcd "-----"

Portd = 0

End If

Locate 1 , 1

Lcd B

Lcd " b"

Locate 2 , 1

Lcd C

Lcd " c"

If Pinb.0 = 1 Then

Portd = 0

Goto X

End If

If Pinb.1 = 1 Then

Portd = 0

Goto X

End If

If Pinb.3 = 1 Then

Portd = 0

Goto X

End If

If Pinb.4 = 1 Then

Portd = 0

Goto X

End If

Loop

منابع و مراجع

<http://www.antony-anderson.com/cruise/3-oper.htm>

<http://what-when-how.com/automobile/cruise-control-systems-automobile/>

<http://www.cruise-control.ir/cc.aspx>

<http://websavar.ir/fa/news/2136>

<http://www.asrekhodro.com/News/63928/%DA>

<http://mihanmag.com/post/fLvH1mQRcX>

<https://www.pedal.ir>

<http://www.car.ir/articles/how-to-use-cruise-control>

<http://pksharif.ir/index.php/cruisecontrol/usefull>

تشکر و قدردانی

با سپاس فراوان از راهنمایی ها و زحمات استاد محترم جناب آقای دکتر اصغری که ما را در طی انجام این تحقیق یاری نمودند.