



به نام خدا

دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)

دانشکده مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات



پروژه پایانی درس سیستم های کنترل خطی

سیستم تثبیت کننده سرعت خودرو (Cruise Control)

## مقدمه

سیستم کروز کنترل (Cruise Control) یا به عبارتی سیستم تثبیت کننده سرعت خودرو ابزاری برای ثابت نگه داشتن سرعت خودرو حین رانندگی در سطح جاده‌ها، بزرگراه‌ها، یا اتوبان‌هاست. به طور مثال، اگر راننده بخواهد سرعت را روی ۱۲۰ کیلومتر بر ساعت ثابت نگه دارد، با فعال سازی کروز کنترل به راحتی می تواند این کار را انجام دهد.

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، سراسیمی، یا هنگام وزش باد مخالف، تغییر نخواهد کرد. گفتنی است، کروز کنترل این امکان را نیز در اختیار راننده قرار می دهد تا بی آن که نیازی به فشردن پدال های ترمز و گاز باشد، سرعت خودرو را با هر بار فشردن دکمه کنار فرمان، به میزان یک کیلومتر بر ساعت، افزایش یا کاهش دهد.

اتومبیلی در اختیار داریم که سیستم کروز کنترل روی آن پیاده شده است. می خواهیم ضمن تحلیل سیستم، کنترل کننده ای مناسب برای آن طراحی نماییم و عملکرد کنترل کننده طراحی شده را در شرایط مختلف بررسی نماییم.



## خواسته های مسئله

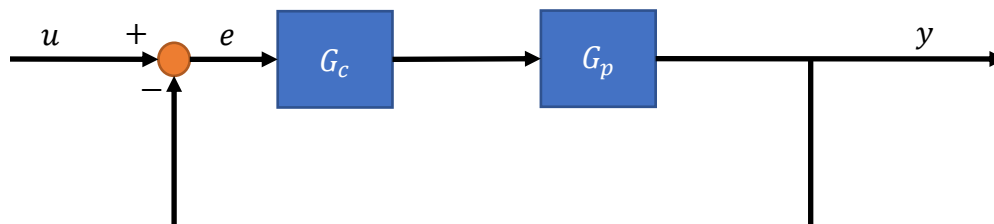
(۱) اگر در حین تنظیم سرعت خودرو نوسان زیادی در سرعت داشته باشیم کیفیت رانندگی نامطلوب می شود و حتی ممکن است جان سرنشینان را به مخاطره اندازد. در این مسئله درصد فراجاهش کمتر از ۱۲ درصد مدنظر است. ( $OS < 12\%$ )

(۲) واضح است که سرعت اتومبیل باید در زمان کوتاهی در محدوده سرعت مطلوب قرار گیرد. در اینجا زمان نشست کمتر از ۷ ثانیه قابل قبول است. ( $T_s < 7s$ )

(۳) پس از سپری شدن حالت گذرا سرعت اتومبیل نباید فاصله زیادی با سرعت مطلوب داشته باشد. می خواهیم در سیستمی که در اختیار داریم در حالت ماندگار خطا به ورودی پله کمتر از ۵ درصد ورودی مرجع داشته باشیم. ( $e_{ss} < 0.05R$ )

## مراحل انجام پروژه

(۱) برای بررسی خطای حالت ماندگار، نوع (Type) سیستم را بررسی می کنیم. با توجه به نوع سیستم انتظار دارید خطای حالت ماندگار به ورودی های پله و شیب چگونه باشد؟



$$\text{Plant TF: } G_p(s) = \frac{1}{(s + 0.1)(s + 4)(s + 10)}$$

$$\text{Controller TF: } G_c(s) = k$$

(۲) با توجه به تابع تبدیل حلقه باز  $(G_p(s))$ ، درجه سیستم و تعداد و مکان صفر ها و قطب ها را مشخص نمایید. آیا سیستم حلقه باز پایدار است؟

(۳) به کمک متلب نمودار مکان ریشه  $G_p(s)$  را رسم کنید. سیستم به ازای چه محدوده ای از بهره پایدار است؟

(۴) با فرض بهره  $k = 100$ ، به کمک متلب نمودار بودی  $G_c(s)G_p(s)$  را ترسیم کرده و مقادیر فرکانس گذر بهره، حاشیه فاز، فرکانس گذر فاز و حاشیه بهره را به دست آورید. مفهوم کنترلی این مقادیر را بیان کنید.

(۵) در ابتدا می خواهیم سیستم را با یک کنترل کننده تناسبی کنترل نماییم.

با آزمون و خطا یا هر روش دیگری که می شناسید، مقدار بهره  $k$  را طوری اختیار کنید که خواسته های مسئله را فراهم نماید. سپس سیستم را با این کنترل کننده شبیه سازی نمایید و خروجی سیستم را مشاهده نمایید.

خطای حالت ماندگار به ورودی پله با دامنه زیر را به دست آورید و با نتایج شبیه سازی مقایسه کنید. آیا می توان با یک کنترل کننده تناسبی این خطا را صفر نمود؟

$$\text{Reference input: } u(t) = 100 \left( \frac{km}{h} \right)$$

در بقیه ی مراحل پروژه نیز از همین ورودی مرجع استفاده کنید.

۶) برای این که همزمان پاسخ گذرا و ماندگار سیستم را بهبود ببخشیم از یک کنترل کننده PID (تناسبی-مشتق گیر-انتگرالی) استفاده می نماییم.

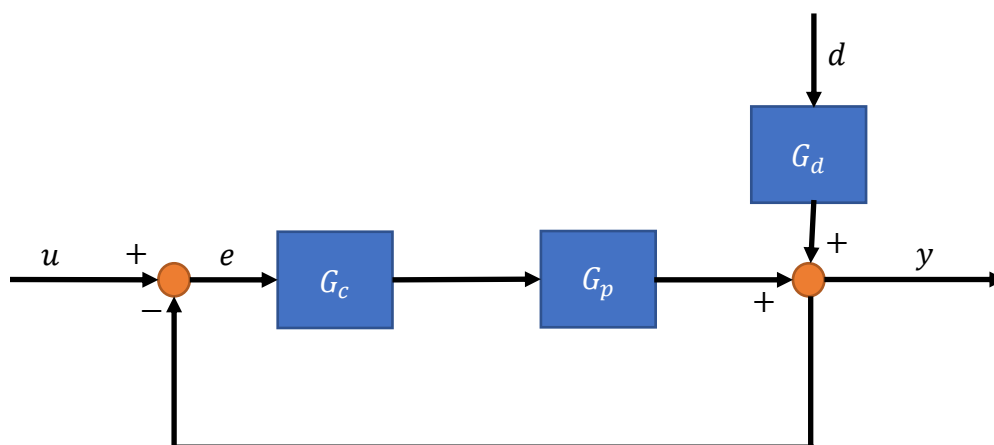
$$PID \text{ controller TF: } G_c(s) = k_p + \frac{k_I}{s} + k_d s$$

با آزمون و خطا یا هر روش دیگری که می شناسید (مثلا PID Tuner متلب)، سعی کنید ضرایب کنترل کننده را برای فراهم شدن خواسته های مسئله تنظیم کنید و با شبیه سازی، عملکرد پاسخ گذرا و ماندگار را تحلیل نمایید. خطای حالت ماندگار در این حالت چقدر است؟ آیا این کنترل کننده نیازمان را رفع می نماید؟

در مراحل بعدی پروژه می توانید از همین کنترل کننده استفاده نمایید.

۷) در عمل هیچ سیستمی از تاثیر اغتشاشات داخلی و خارجی مصون نیست. یکی از اغتشاشات خارجی که سرعت خودرو را تغییر می دهد شیب جاده است. اگر این شیب رو به پایین (منفی) باشد سرعت اتومبیل افزایش می یابد و اگر رو به بالا (مثبت) باشد از سرعتش کاسته می شود.

می خواهیم اثر شیب جاده را بر سرعت اتومبیل مدل نماییم. فرض کنید  $d$  زاویه جاده بر حسب درجه است و تابع تبدیل  $G_d$  این زاویه را به تغییر سرعت متناظر با آن تبدیل می نماید و این تغییر سرعت بر حسب کیلومتر بر ساعت به خروجی سیستم اثر می کند.



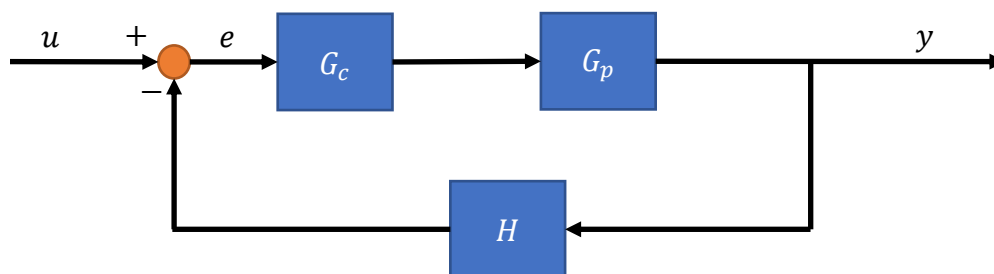
$$Disturbance \text{ TF: } G_d(s) = \frac{-8}{s + 0.5}$$

$$Disturbance \text{ input: } d = 10^\circ$$

این ورودی را به سیستم اضافه کنید و اثر آن را روی عملکرد گذرا و ماندگار سیستم مشاهده نمایید.

راهنمایی: در این حالت سیستم دو ورودی (ورودی مرجع و اغتشاش) دارد. طبق اصل جمع آثار (superposition)، خروجی سیستم برابر جمع پاسخ به هر یک از ورودی ها در نبود ورودی دیگر است. در تحلیل خود می توانید از این نکته استفاده کنید.

۸) فرض کنید سنسوری که سرعت خودرو را اندازه می گیرد به مقدار  $T_d = 0.2s$  تاخیر زمانی دارد. این تاخیر تابع تبدیل سنسور را از حالت ایده آل ( $H(s) = 1$ ) خارج می نماید.



Sensor with time delay TF:  $H(s) = e^{-0.2s}$

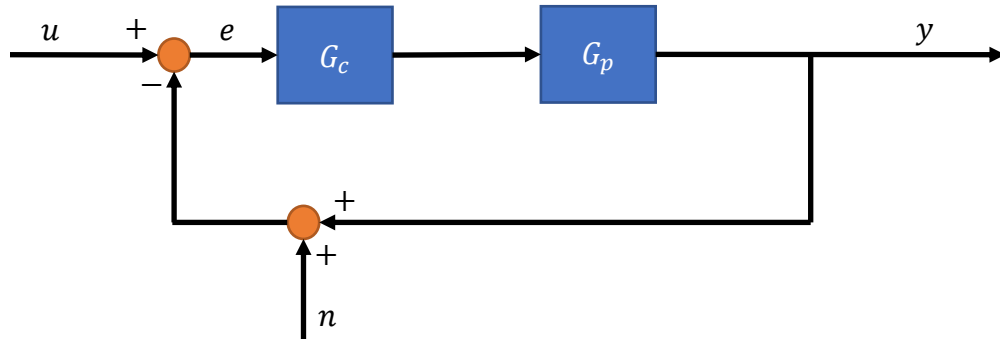
این تابع تبدیل را در مسیر فیدبک اضافه نمایید و اثر آن را روی پاسخ سیستم مشاهده و تحلیل نمایید.

راهنمایی: برای اضافه کردن این تابع تبدیل در محیط سیمولینک، می توانید آن را به کمک تساوی زیر که تقریب *Padé* نام دارد، تقریب بزنید.

$$\text{Padé approximation: } e^{-T_d s} \simeq \frac{1 - \frac{T_d}{2}s}{1 + \frac{T_d}{2}s}$$

۹) در بسیاری از موارد خروجی سنسور های الکتریکی با نویز همراه است که عملکرد سیستم را مختل می نماید.

فرض کنید نویز الکتریکی  $n$  که یک سیگنال تصادفی با توزیع گوسی است، به سیستم وارد می شود. اثر این نویز را به مسیر فیدبک اضافه نمایید و تاثیر آن را روی پاسخ سیستم مشاهده و بررسی نمایید.



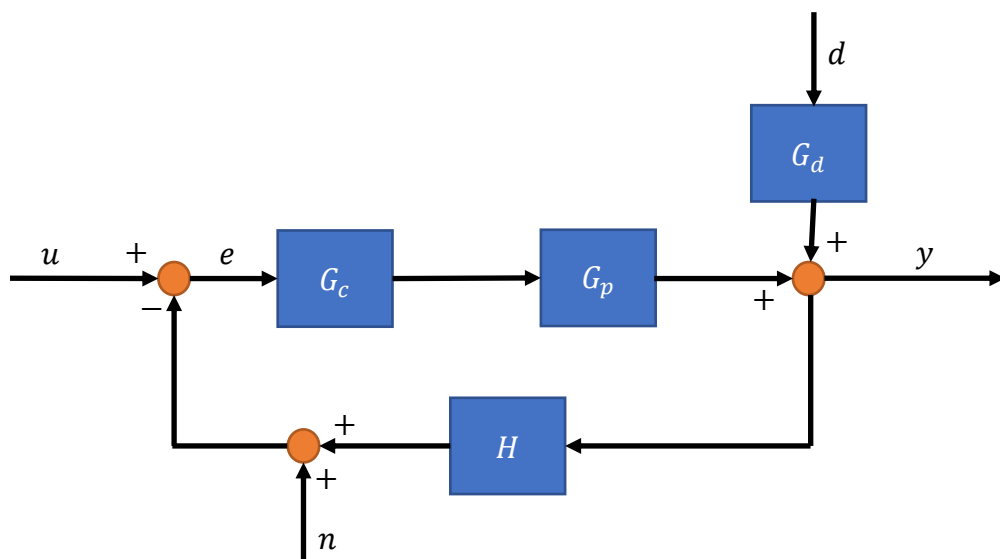
Noise input:  $n(t) = \text{Guassian}(0,36)$

راهنمایی: برای ایجاد این نویز در محیط سیمولینک می توانید از بلوک *Random Number* با مشخصات زیر استفاده کنید.

$\text{Mean} = 0$  ,  $\text{Variance} = 36$  ,  $\text{Seed} = 0$  ,  $\text{Sample time} = 0.1$

راهنمایی: برای تحلیل پاسخ می توانید همانند مرحله (۷) از اصل جمع آثار استفاده کنید.

۱۰) حال تمام موارد غیر ایده آلی که بررسی نمودیم (شیب جاده، تاخیر سنسور و نویز سنسور) را با هم به سیستم اعمال کنید و پاسخ را مشاهده نمایید. آیا در این حالت کنترلر شما می تواند به خوبی سرعت اتومبیل را کنترل نماید؟



### نکاتی در مورد تحویل پروژه

- فایلی که برای پروژه ارسال می کنید باید شامل کدها و شبیه سازی ها و گزارش باشد.
- برای تمامی مراحل این پروژه باید گزارشی کامل و تحلیلی بنویسید. بخشی از نمره پروژه شما مربوط به گزارشتان میباشد.
- تحویل این پروژه همراه با ارائه حضوری خواهد بود. دانشجویان باید درک صحیحی از مراحل که در پروژه خود انجام داده اند، داشته باشند.
- تمامی مراحل پروژه باید شخصا توسط هر فرد انجام شود.
- مهلت و نحوه ارسال پروژه و زمان ارائه متعاقبا اعلام خواهد شد.