



## آزمایشگاه کنترل خطی

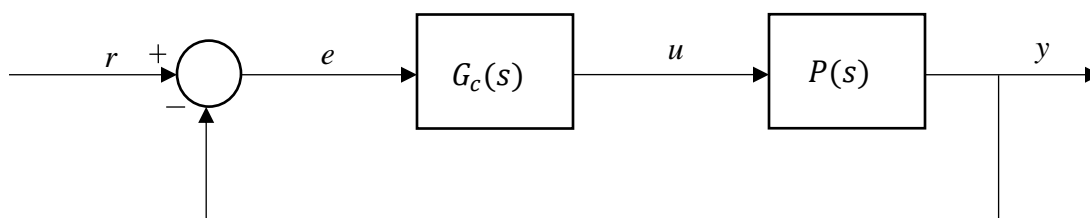
### آزمایش چهارم: کنترل سرعت

**هدف:** در این آزمایش می‌خواهیم تابع تبدیل ولتاژ ورودی آرمیچر به سرعت موتور  $P(s) = \frac{1.3}{0.15s+1}$  را در محیط نرم‌افزار MATLAB شبیه‌سازی نموده و اثر جبران‌کننده‌های تناسبی، تناسبی-انتگرال‌گیر و پس‌فاز را در تنظیم سرعت موتور مشاهده کنیم. بدین منظور در ابتدا به معرفی اجمالی از این کنترل‌کننده‌ها می‌پردازیم و در ادامه به شبیه‌سازی و مقایسه این کنترل‌کننده‌ها در نرم‌افزار MATLAB خواهیم پرداخت.

#### بخش ۱- مفاهیم نظری کنترل‌کننده PID

سیستم حلقه بسته شکل زیر با فیدبک واحد را در نظر بگیرید. در کنترل‌کننده PID، خروجی کنترل‌کننده، که ورودی پلنت می‌باشد، در حوزه زمان با استفاده از خطای فیدبک به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (1)$$



شکل (۱): سیستم حلقه بسته فیدبک واحد

ابتدا با بررسی شکل (۱)، عملکرد کنترل‌کننده PID را بر روی سیستم حلقه بسته بررسی می‌کنیم. در شکل بالا  $e$  خطای ردیابی، تفاوت خروجی مطلوب  $r$  و خروجی واقعی  $y$  را نشان می‌دهد. در کنترل‌کننده PID، سیگنال خطا به عنوان ورودی به کنترل‌کننده اعمال و کنترل‌کننده مشتق و انتگرال آن را نسبت به زمان محاسبه می‌کند. ورودی پلنت  $u$  از مجموع حاصلضرب بهره تناسبی  $K_p$  در سیگنال خطا، حاصلضرب بهره انتگرالی  $K_i$  در انتگرال خطای ردیابی و حاصلضرب بهره مشتق‌گیر  $K_d$  در مشتق سیگنال خطا محاسبه می‌شود.

## ۱-۱- تأثیر گذاری پارامترهای سه گانه کنترل کننده PID

جدول زیر تأثیر تغییر پارامتر های کنترلر PID بر روی برخی از پارامتر های خروجی را نشان میدهد.

جدول را کامل کنید و برای هر مورد دلیل خود را ذکر کنید:

جدول (۱): نحوه اثر گذاری پارامترهای کنترل کننده PID

پاسخ سیستم حلقه بسته	زمان خیز	فراجهش	زمان نشست	خطای حالت دائم
$K_p$			تغییرات کوچک	
$K_i$			افزایش	
$K_d$	تغییرات کوچک			بدون تغییر

تابع تبدیل کنترل کننده PID با لاپلاس گرفتن از رابطه (۱) به صورت زیر محاسبه می شود:

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p + K_i \frac{1}{s} + K_d s \quad (2)$$

می توان رابطه (۲) را به صورت زیر نیز نوشت:

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p \left( 1 + \frac{1}{T_i} \frac{1}{s} + T_d s \right) \quad (3)$$

در رابطه (۳)،  $\frac{K_p}{T_i} = K_i$  و  $K_p T_d = K_d$  می باشد.  $T_d$  و  $T_i$  نیز به ترتیب ثابت زمانی انتگرال گیر و مشتق گیر

می باشد. با توجه به رابطه (۳)، قسمت مشتق گیر کنترل کننده PID در حالت ایده آل علی نیست و پیاده سازی آن با استفاده از آپ-امپ موجب تقویت نویز می شود. با اضافه کردن فیلتر پایین گذر با قطب دور به قسمت مشتق گیر کنترل کننده PID، می توان رابطه (۳) را به صورت زیر نوشت:

$$G_c(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = K_p \left( 1 + \frac{1}{T_i} \frac{1}{s} + \frac{T_d s}{1 + \frac{T_d s}{\beta}} \right) \quad (4)$$

که در آن  $\beta \gg 1$  می باشد.

## بخش ۲: تحلیل رفتار سیستم حلقه بسته در حضور کنترل کننده های متفاوت

۱. در شکل (۱) از کنترل کننده تناسبی با بهره  $K = 4.7$  استفاده کنید و شکل موج های ورودی، خروجی، خطا و کنترلی سیستم را رسم کنید. با توجه به شکل موج های ترسیم شده در MATLAB، خطای حالت دائم، زمان نشست خروجی را اندازه گیری کنید.

۲. با توجه به شکل (۱)، کنترل کننده پس فاز  $G_c(s) = \frac{s+4.7}{s+1}$  را در حلقه قرار داده و خروجی آن را به تابع تبدیل موتور اعمال کنید. شکل موج سیگنال های ورودی، خروجی، خطا و کنترلی سیستم را رسم کنید. با توجه به شکل موج های ترسیم شده در MATLAB، خطای حالت دائم، درصد فراجهدش خروجی و زمان نشست آن را اندازه گیری کنید. بهره کنترل کننده و محل صفر و قطب این کنترل کننده چگونه در خطای حالت دائم پاسخ پله سیستم اثر می گذارد؟ لطفا توضیح دهید.

۳. در شکل (۱) از کنترل کننده تناسبی - انتگرالی  $G_c(s) = 1 + \frac{4.7}{s}$  برای کنترل سرعت موتور استفاده کنید. شکل موج سیگنال های ورودی، خروجی، خطا و کنترلی سیستم را رسم کنید. با توجه به شکل موج های ترسیم شده در MATLAB، خطای حالت دائم و مقدار بالازدگی در پاسخ پله سیستم (اگر بالازدگی وجود دارد) و زمان نشست پاسخ پله سیستم را اندازه گیری کنید.

۴. در هر یک از سه حالت بندهای ۱ تا ۳ محل قطب های تابع تبدیل سیستم حلقه بسته را بدست آورید. چه نتیجه ای می گیرید؟ لطفا توضیح دهید.

۵. با توجه به نتایج قسمت های ۱ تا ۴ تفاوت عملکرد سه کنترل کننده تناسبی و تناسبی-انتگرال گیر و پس فاز در تنظیم سرعت موتور را توضیح دهید.

موفق باشید.