

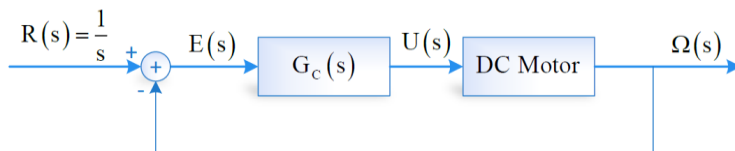


## آزمایشگاه کنترل خطی

### پیش‌گزارش آزمایش پنجم

**هدف:** در این آزمایش هدف تنظیم سرعت موتور DC با استفاده از کنترل‌کننده‌های تناسبی، تناسبی-انتگرال‌گیر و پس‌فاز می‌باشد. به منظور آشنایی بیشتر شما کنترل‌کننده‌های دیگری نیز در پیش‌گزارش مورد بررسی قرار خواهد گرفت. در آزمایش دوم با پیاده‌سازی مدارهای آنالوگ آشنا شدیم. در این آزمایش، برای پیاده‌سازی کنترل‌کننده‌ها باید مدارهای نسبتاً پیچیده‌تری را پیاده‌سازی کنیم.

توپولوژی سیستم برای این آزمایش در شکل ۱ نشان داده شده است. در این شکل،  $R(s)$  ولتاژ مرجع متناظر با سرعت مرجع،  $E(s)$  سیگنال خطا و  $U(s)$  ورودی سیستم می‌باشد. دقت داشته باشید که تابع تبدیل موتور DC (در شکل ۱) که همان تابع تبدیل ولتاژ ورودی آرمیچر به سرعت موتور است را در آزمایش قبل از دو روش پاسخ زمانی و پاسخ فرکانسی به دست آوردید.



شکل ۱: سیستم حلقه بسته با کنترل‌کننده  $G_C(s)$

#### پرسش‌ها:

#### ۱. کنترل‌کننده تناسبی (K)

کنترل‌کننده تناسبی همان‌گونه که از نامش پیدا است بر اساس ضربی از خطا ورودی سیستم را تنظیم می‌کند. در این بخش اثر کنترل‌کننده تناسبی بر روی تابع تبدیل موتور DC بررسی می‌شود.

- مقدار خطای تنظیم سرعت موتور وقتی که ورودی پله واحد باشد چقدر است؟ این خطا چه ارتباطی با بهره سیستم دارد؟
- نکته: معمولاً برای کاستن خطای حالت دائم و افزایش سرعت پاسخ‌دهی سیستم بایستی  $K$  افزایش یابد، در حالی که افزایش بیش از حد  $K$  ممکن است با محدودیت همراه باشد. از جمله این محدودیت‌ها در حالت کلی می‌تواند پاسخ گذرای نامطلوب، ناپایدار شدن سیستم و اشباع شدن محرک باشد، که دغدغه اصلی در سیستم مرتبه اول اشباع شدن محرک سیستم است.

- یک تحقق پس‌یو ساده برای کنترل‌کننده تناسبی ارائه دهید.
- نمودار بُد سیستم با بهره ثابت را رسم کنید.

#### ۲. کنترل‌کننده تناسبی - مشتق‌گیر (PD)

تابع تبدیل کنترل‌کننده تناسبی - مشتق‌گیر را به صورت زیر تعریف می‌کنیم:

$$G_C(s) = K_P(1 + T_D s) = K_P + K_D s \quad (1)$$

که در رابطه ۱،  $K_D$  و  $T_D$  به ترتیب بهره تناسبی کنترل کننده و ثابت زمانی مشتق گیر می باشد. همچنان که از نام این کنترل کننده پیداست در اینجا نیز از ضریبی از خطا برای تنظیم ورودی سیستم استفاده می کنیم با این تفاوت که همراه این جمله، ضریبی از مشتق خطا را نیز مورد نظر قرار می دهیم.

- با توجه به شکل ۱، چنانچه به جای کنترل کننده تناسبی از کنترل کننده تناسبی - مشتق گیر استفاده کنیم، مقدار خطای تنظیم سرعت موتور وقتی که ورودی پله واحد باشد چقدر خواهد بود؟ پارامترهای بهره تناسبی کنترل کننده و ثابت زمانی مشتق گیر چه تاثیری بر مقدار خطای ماندگار و پاسخ گذرای سیستم خواهند داشت؟
- یک تحقق پسو ساده برای کنترل کننده تناسبی - مشتق گیر ارائه دهید.
- نمودار بُد کنترل کننده تناسبی - مشتق گیر را رسم کنید.

### ۳. کنترل کننده تناسبی - انتگرال گیر (PI)

تابع تبدیل کنترل کننده تناسبی - انتگرالی را به صورت زیر تعریف می کنیم:

$$G_C(s) = K_p \left( 1 + \frac{1}{T_I s} \right) = K_p + \frac{K_I}{s} \quad (2)$$

که در رابطه ۲،  $K_p$  و  $T_I$  به ترتیب بهره تناسبی کنترل کننده و ثابت زمانی انتگرال گیر می باشد. همچنان که از نام این کنترل کننده پیداست در اینجا نیز از ضریبی از خطا برای تنظیم ورودی سیستم استفاده می کنیم با این تفاوت که همراه این جمله، ضریبی از انتگرال خطا را نیز مورد نظر قرار می دهیم.

- با توجه به شکل ۱، چنانچه به جای کنترل کننده تناسبی از کنترل کننده تناسبی - انتگرالی استفاده کنیم، مقدار خطای تنظیم سرعت موتور وقتی که ورودی پله واحد باشد چقدر خواهد بود؟ پارامترهای بهره تناسبی کنترل کننده و ثابت زمانی انتگرال گیر چه تاثیری بر مقدار خطای ماندگار و پاسخ گذرای سیستم خواهند داشت؟
- یک تحقق پسو ساده برای کنترل کننده تناسبی - انتگرال گیر ارائه دهید.
- نمودار بُد کنترل کننده تناسبی - انتگرال گیر را رسم کنید.

### ۴. کنترل کننده تناسبی - انتگرال گیر - مشتق گیر (PID)

تابع تبدیل کنترل کننده تناسبی - انتگرال گیر - مشتق گیر را به صورت زیر تعریف می کنیم:

$$G_C(s) = K_p \left( 1 + \frac{1}{T_I s} + T_D s \right) = K_p + \frac{K_I}{s} + K_D s \quad (3)$$

که در رابطه ۳،  $K_p$  و  $T_I$  و  $T_D$  به ترتیب بهره تناسبی کنترل کننده و ثابت زمانی انتگرال گیر و ثابت زمانی مشتق گیر می باشد. همچنان که از نام این کنترل کننده پیداست در اینجا نیز از ضریبی از خطا برای تنظیم ورودی سیستم استفاده می کنیم با این تفاوت که همراه این جمله، ضریبی از انتگرال و مشتق خطا را نیز مورد نظر قرار می دهیم.

- با توجه به شکل ۱، چنانچه به جای کنترل کننده تناسبی از کنترل کننده تناسبی - انتگرال گیر - مشتق گیر استفاده کنیم، مقدار خطای تنظیم سرعت موتور وقتی که ورودی پله واحد باشد چقدر خواهد بود؟ پارامترهای بهره تناسبی کنترل کننده و ثابت زمانی انتگرال گیر و ثابت زمانی مشتق گیر چه تاثیری بر مقدار خطای ماندگار و پاسخ گذرای سیستم خواهند داشت؟

- یک تحقق پس‌یو ساده برای کنترل‌کننده تناسبی – انتگرال‌گیر – مشتق‌گیر ارائه دهید.
- نمودار بُد کنترل‌کننده PID را رسم کنید.

#### ۵. کنترل‌کننده پس‌فاز (lag)

اگر ورودی سینوسی به سیستمی اعمال شود و خروجی حالت دائم سیستم (که یک سینوسی می‌باشد) دارای زاویه پس‌فاز نسبت به ورودی سینوسی باشد، آن سیستم را یک سیستم پس‌فاز می‌گویند. تابع تبدیل جبران‌کننده پس‌فاز را به صورت زیر تعریف می‌کنیم:

$$G_c(s) = \frac{s+z}{s+p} \quad (4)$$

- به طوری که با توجه به رابطه ۴، اگر  $|z| > |p|$  باشد، شبکه جبران‌کننده مورد نظر یک شبکه پس‌فاز می‌باشد. در حالت کلی برای ورودی  $\sin(\omega t), \omega \in [0, 2\pi]$  پاسخ سیستم ۴ را به دست آورید. پس‌فاز بودن سیستم را چگونه تحقیق می‌کنید؟
- با توجه به شکل ۱، چنانچه به جای کنترل‌کننده تناسبی از کنترل‌کننده پس‌فاز استفاده کنیم، مقدار خطای تنظیم سرعت موتور وقتی که ورودی پله واحد باشد چقدر خواهد بود؟ محل صفر و قطب کنترل‌کننده چه تاثیری بر مقدار خطای ماندگار سیستم دارد؟
- یک تحقق پس‌یو ساده برای کنترل‌کننده پس‌فاز ارائه دهید.
- نمودار بُد کنترل‌کننده پس‌فاز را رسم کنید.

#### ۶. کنترل‌کننده پیش‌فاز (lead)

اگر ورودی سینوسی به سیستمی اعمال شود و خروجی حالت دائم سیستم (که یک سینوسی می‌باشد) دارای زاویه پیش‌فاز نسبت به ورودی سینوسی باشد، آن سیستم را یک سیستم پیش‌فاز می‌گویند. تابع تبدیل جبران‌کننده پیش‌فاز را به صورت زیر تعریف می‌کنیم:

$$G_c(s) = \frac{s+z}{s+p} \quad (5)$$

- به طوری که با توجه به رابطه ۵، اگر  $|z| < |p|$  باشد، شبکه جبران‌کننده مورد نظر یک شبکه پیش‌فاز می‌باشد. در حالت کلی برای ورودی  $\sin(\omega t), \omega \in [0, 2\pi]$  پاسخ سیستم ۵ را به دست آورید. پیش‌فاز بودن سیستم را چگونه تحقیق می‌کنید؟
- با توجه به شکل ۱، چنانچه به جای کنترل‌کننده تناسبی از کنترل‌کننده پیش‌فاز استفاده کنیم، مقدار خطای تنظیم سرعت موتور وقتی که ورودی پله واحد باشد چقدر خواهد بود؟ محل صفر و قطب کنترل‌کننده چه تاثیری بر مقدار خطای ماندگار سیستم دارد؟
- یک تحقق پس‌یو ساده برای کنترل‌کننده پیش‌فاز ارائه دهید.
- نمودار بُد کنترل‌کننده پیش‌فاز را رسم کنید.