



آزمایشگاه کنترل خطی

کنترل موقعیت سروموتورهای DC

مقدمه

در این آزمایش، هدف بررسی شناسایی حسگر موقعیت و در ادامه تحلیل عملکرد سروموتور DC در حضور کنترل کننده موقعیت و در نهایت پیاده سازی عملی این کنترل کننده است. با پیاده سازی عملی دو کنترل کننده اثر پدیده غیرخطی ناحیه مرده موجود در سیستم های فیزیکی را در حضور پسخور در رفتار سیستم مشاهده خواهیم کرد. در نهایت اثر حضور یک تاخیر مرتبه یک را در پایداری سیستم بررسی می کنیم.

بخش اول) شناسایی حسگر موقعیت

- هدف از شناسایی حسگر موقعیت موتور، محاسبه رابطه تبدیل موقعیت موتور به ولتاژ خروجی حسگر موقعیت می باشد. برای شناسایی این حسگر، ابتدا از منوی مجموعه آموزشی موتور DC، مد EXTERNAL را انتخاب کنید. با توجه به صفحه مدرج نشان دهنده موقعیت موتور، موقعیت موتور را از -180° تا 180° با فاصله 45° درجه تغییر دهید. زاویه 180° درجه را متناظر با ولتاژ 5 ولت حسگر و زاویه 180° درجه موتور را متناظر با ولتاژ 5 ولت حسگر موقعیت در نظر بگیرید. ولتاژ خروجی حسگر موقعیت و موقعیت موتور را یادداشت کرده و با استفاده از جعبه افزار cftool در MATLAB، خطی را برای تبدیل موقعیت موتور به ولتاژ حسگر برازش کنید.

بخش دوم) مفاهیم نظری مربوط به آزمایش

در این بخش ابتدا به تحلیل مدل سیستم می پردازیم. با توجه به مساله کنترلی پیش رو، کنترل کننده مناسب را جهت بهبود عملکرد سیستم انتخاب می کنیم. عملکرد سیستم کنترلی را در محیط MATLAB شبیه سازی و در نهایت به صورت عملی آن را پیاده سازی می کنیم.

۱-۲- تحلیل تابع تبدیل سیستم

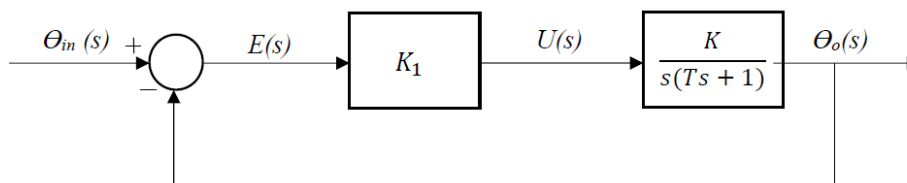
چنانچه خروجی را موقعیت موتور (θ_o) و ورودی را ولتاژ آرمیچر (V_a) در نظر بگیریم، می توانیم رفتار موتور DC کنترل آرمیچر را به کمک تابع زیر مدل کنیم:

$$\frac{\theta_o(s)}{V_a(s)} = \frac{K}{s(Ts+1)} \quad (1)$$

در سیستم کنترل موقعیت یک سروموتور DC، هدف طراحی سیستمی است که محور موتور را به موقعیت مشخص شده توسط ورودی مرجع بچرخاند. کنترل موقعیت موتور باید سریع، بدون خطا و با حداقل فراجهدش باشد. با توجه به رابطه ۱، تابع تبدیل مورد نظر نوع یک می باشد. برای سیستم نوع یک، خطای حالت دائم سیستم به ورودی پله صفر می باشد. بنابراین با توجه به رابطه ۱، با بستن حلقه فیدبک (واحد منفی)، خطای تنظیم موقعیت سیستم صفر می شود.

۲-۲- کنترل کننده تناسبی

در این بخش اثر کنترل کننده تناسبی را بر روی تنظیم موقعیت موتور بررسی می کنیم. در قسمت قبل مشاهده کردیم با حلقه بسته کردن سیستم می توان خطای تنظیم موقعیت را صفر کرد اما کنترلی بر روی پاسخ گذرای سیستم نداریم. بلوک دیاگرام شکل ۱ سیستم حلقه بسته موقعیت موتور را با جبران کننده تناسبی نشان می دهد. در این شکل، $\theta_{in}(s)$ موقعیت مرجع و $\theta_o(s)$ موقعیت خروجی می باشد.



شکل ۱: سیستم حلقه بسته موقعیت موتور با کنترل کننده تناسبی

با توجه به شکل ۱ تابع تبدیل موقعیت خروجی به موقعیت ورودی موتور برابر است با:

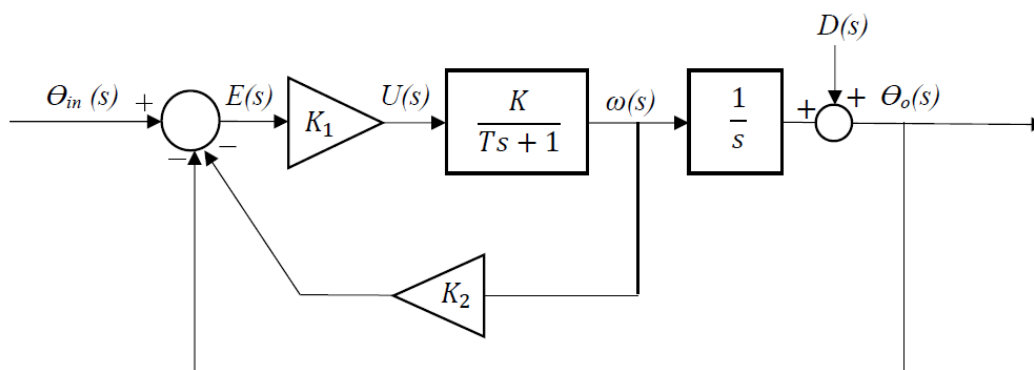
$$\frac{\theta_o(s)}{\theta_{in}(s)} = \frac{KK_1}{Ts^2 + s + KK_1} \quad (2)$$

با توجه به رابطه ۲، تابع تبدیل سیستم حلقه بسته تنظیم موقعیت، مرتبه ۲ می باشد و با تنظیم پارامتر کنترلی K_1 تنها می توانیم فرکانس طبیعی سیستم (ω_n) و یا نسبت میرایی سیستم (ζ) را تنظیم کنیم. به عبارت دیگر، با فیدبک موقعیت به تنهایی نمی توانیم جابجایی قطب ها را به صورت دلخواه انجام دهیم.

- خطای دائم این سیستم برای ورودی شیب چگونه با تغییرات بهره کنترل کننده تغییر می کند؟ لطفاً توضیح دهید.

۲-۲- کنترل کننده فیدبک موقعیت-سرعت

در این قسمت اثر اعمال فیدبک موقعیت-سرعت در تنظیم موقعیت خروجی سیستم را بررسی می کنیم. شکل ۲ بلوک دیاگرام کنترل کننده فیدبک موقعیت-سرعت موتور را نشان می دهد.



شکل ۲: سیستم حلقه بسته موقعیت موتور با کنترل کننده فیدبک موقعیت-سرعت

با توجه به شکل ۲ تابع تبدیل موقعیت خروجی به موقعیت ورودی موتور برابر است با:

$$\frac{\theta_o(s)}{\theta_{in}(s)} = \frac{KK_1}{Ts^2 + (1 + KK_1K_2)s + KK_1} \quad (3)$$

- با توجه به رابطه ۳، ساختار این کنترل کننده چه تفاوتی با ساختار کنترل کننده تناسبی تنها دارد؟ آیا پاسخ گذاری این سیستم را می توان به نحو مطلوب تنظیم کرد؟ آیا خطای دائم این سیستم برای ورودی شیب با خطای دائم سیستم شکل ۱ تفاوتی دارد؟

بخش سوم) کنترل موقعیت سروموتور DC

- در این بخش می خواهیم نحوه اثربخشی کنترل کننده تناسبی و کنترل کننده فیدبک موقعیت-سرعت را بر عملکرد تنظیم موقعیت موتور DC بررسی کنیم. ابتدا در Simulink یک سیگنال مربعی متقارن با دامنه پیک تا پیک حدود ۳ ولت حول صفر و فرکانس حدود ۱۰۰ میلی هرتز تولید کنید و سپس آن را به عنوان ولتاژ مرجع متناظر با موقعیت مرجع موتور در نظر بگیرید. با توجه به بخش ۱ آزمایش، این ولتاژ مرجع متناظر با چه مقدار تغییر موقعیت موتور می باشد؟
- پیاده سازی عملی:** کنترل کننده های ارائه شده در جدول ۱ را بر روی مجموعه آموزشی موتور DC پیاده سازی کنید و برای ورودی تعریف شده فوق جدول ۱ را کامل کنید. پس از پیاده سازی هر کنترل کننده، با اعمال اغتشاش (تغییر موقعیت موتور به صورت دستی) در هر دو جهت به موتور، عملکرد کنترل کننده را در حذف اغتشاش بررسی کنید و نتایج را ثبت کنید. آیا اثر اغتشاش در

پاسخ حالت گذرا حذف شده است؟ در حالت ماندگار شرایط چگونه است؟ تغییرات خروجی سیستم با استفاده از کنترل کننده موقعیت-سرعت بررسی نمایید. آیا خطای حالت ماندگار سیستم صفر شده است؟ لطفاً تحلیل خود را با در نظر گرفتن وجود ناحیه مرده در سیستم بیان کنید.

جدول ۱: نحوه اثرگذاری جبران کننده تناسبی و فیدبک موقعیت-سرعت بر تنظیم موقعیت سروموتور DC

جبران کننده	شکل موج سیگنال ورودی و خروجی	خطای حالت ماندگار	درصد فراجهدش خروجی	زمان صعود خروجی
$K_1 = 2.2$ و $K_2 = 0$				
$K_1 = 5.6$ و $K_2 = 0$				
$K_1 = 5.6$ و $K_2 = 1$				
$K_1 = 1 + \frac{4.7}{s}$ و $K_2 = 0$				

بخش چهارم) اثر تاخیر بر پایداری و پایدارسازی سیستم توسط فیدبک سرعت

- در برخی سیستم‌های عملی کنترل موقعیت، ممکن است تاخیر غیر قابل اجتنابی در مسیر مستقیم وجود داشته باشد. این تاخیر ممکن است از داخل کانال خطا ناشی شود یا در اثر فیلترهایی ظاهر شود که جهت حذف برخی سیگنال‌های نامطلوب و نویز در مدار قرار داده می‌شوند. در این آزمایش مشاهده می‌کنیم که حضور تاخیر مرتبه یک چگونه ممکن است باعث ناپایداری سیستم شود. جهت ایجاد یک تاخیر مرتبه یک در سیستم، سیگنال کنترل را قبل از اعمال به موتور از فیلتر $\frac{1}{s+1}$ عبور دهید. بهره‌های کنترلی سیستم را $K_1 = 1$ و $K_2 = 0$ قرار دهید. مشابه قبل به سیستم ورودی پله با دامنه ۳ ولت پیک تا پیک با فرکانس ۱۰۰ میلی‌هرتز اعمال کنید. بهره کنترلی K_1 را افزایش دهید تا سیستم ناپایدار شود. با ناپایدار شدن سیستم، بهره کنترلی فیدبک سرعت K_2 را افزایش داده تا سیستم پایدار شود و نتایج را ثبت کنید.
- به کمک رسم مکان هندسی قطب‌های سیستم توضیح دهید که چرا با صفر بودن بهره کنترلی سرعت و افزایش بهره کنترلی K_1 سیستم تنظیم موقعیت موتور ناپایدار می‌شود؟ چرا افزایش بهره فیدبک سرعت، سیستم ناپایدار شده با تاخیر مرتبه یک را پایدار می‌سازد؟