



شناسایی سیستم، طراحی و پیاده‌سازی کنترل کننده PID برای کنترل سرعت موتور

فریده حیدری^{۱*}، مهدی رحمانی^۱

^۱گروه مهندسی برق - کنترل، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین المللی امام خمینی^(ع)، قزوین، ایران

mrahmani@eng.ikiu.ac.ir

Fa.heidari@org.ikiu.ac.ir

چکیده: با توجه به کاربرد وسیع موتورهای DC در صنایع مختلف و انعطاف پذیری و بی‌خطر بودن آن‌ها، کنترل سرعت این موتورها از اهمیت بسزایی برخوردار است. در این پژوهش ابتدا یک نمونه آزمایشگاهی موتور DC (با تغذیه ۱۲ ولت) توسط جعبه ابزار شناسایی سیستم در نرم افزار متلب، مورد شناسایی قرار می‌گیرد و مدل معادل آن به روش تخمین تابع تبدیل در حوزه پیوسته در زمان استخراج می‌شود. سپس با طراحی کنترل کننده PID بر اساس روش زیگلر-نیکولز برای مدل استخراج شده و اعمال ضرایب تناسبی، مشتقگیر و انتگرال گیر این کنترل کننده به سیستم واقعی، عملکرد بهینه سیستم کنترل سرعت با حداقل خطا به دست می‌آید.

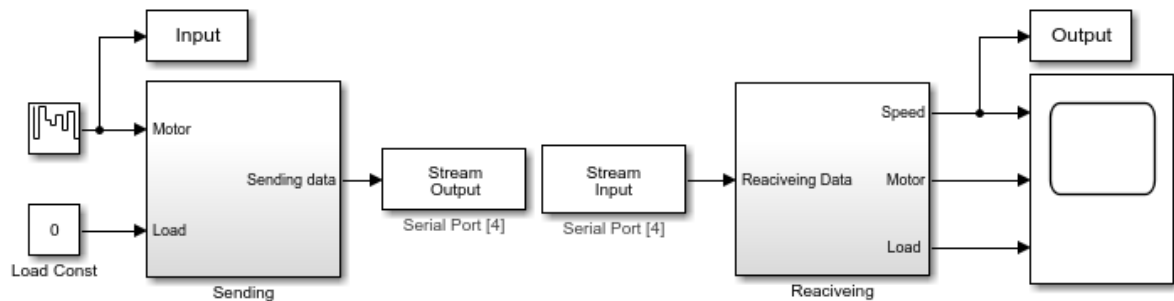
۱. پیش‌گفتار

با توجه به کاربردهای وسیع موتورهای DC، کنترل سرعت یا وضعیت این موتورها از اهمیت بالایی برخوردار هستند [۱]. موتورهای DC، انعطاف زیادی دارند و به علت بی‌خطر بودن این موتور نسبت به دیگر موتورها، در صنایع مختلف به کار گرفته می‌شوند. از کاربردهای موتور DC می‌توان به صنایع خودروسازی، کشاورزی، ساختمان، نساجی، درب‌های اتوماتیک و ... اشاره نمود. در این پژوهش، کنترل سرعت یک نمونه‌ی آزمایشگاهی موتور DC مورد بررسی قرار گرفته است. سیستم کنترل به صورت حلقه بسته در نظر گرفته می‌شود یعنی با استفاده از شفت انگدر از خروجی موتور، فیدبک گرفته شده و به ورودی مقایسه کننده اعمال می‌شود. شفت انگدر یا انگدر حسگری است که به یک محور گردان وصل می‌شود و می‌تواند میزان چرخش محور را اندازه‌گیری کند. با اندازه‌گیری میزان چرخش محور می‌توان سرعت حرکت را تعیین نمود. نیروی محرکه دستگاه مورد آزمایش از یک موتور جریان مستقیم ۱۲ ولت بدون گیربکس تأمین می‌گردد. موتور مجهز به سنسور شفت انگدر است و سرعت دستگاه از طریق همین سنسور اندازه‌گیری می‌شود [۲].

۲. دست‌آوردهای پژوهش

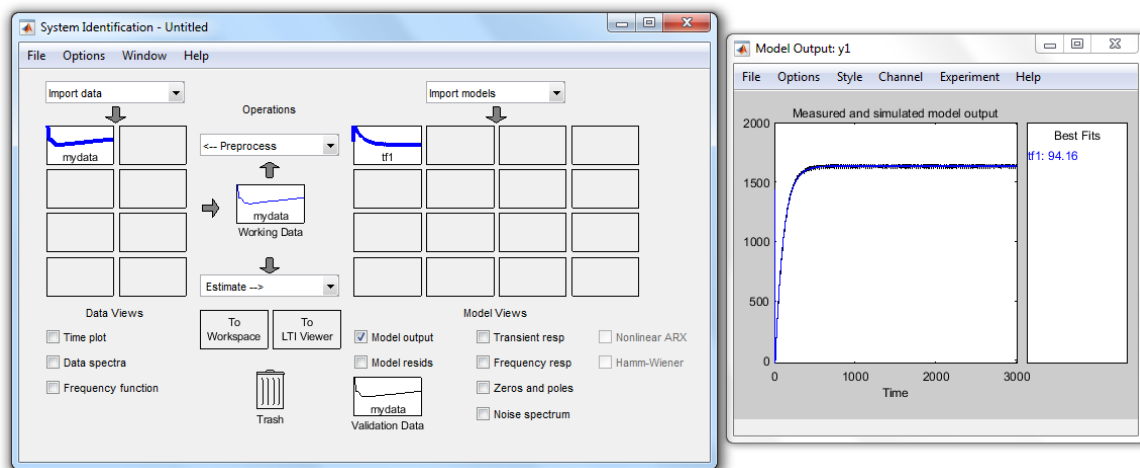
در ابتدا برای تعیین مدل دستگاه، از جعبه ابزار شناسایی سیستم در نرم افزار متلب استفاده کرده و تابع تبدیل معادل دستگاه را به روش تخمین تابع تبدیل در حوزه پیوسته در زمان استخراج می‌نماییم. سپس برای کنترل سرعت موتور، یک کنترل کننده PID بر اساس روش زیگلر-نیکولز برای آن طراحی می‌شود [۳] و [۴]. در متن مقاله تصاویر متعددی برای درک بهتر خواننده از روند انجام کار، در نظر گرفته شده است.

برای استفاده از جعبه ابزار شناسایی سیستم، در نرم افزار متلب؛ دستگاه مورد آزمایش به سیستم کامپیوتر متصل شده و تنظیمات مورد نیاز انجام می‌گیرد. شکل ۱ سیستم کنترل حلقه باز برای جمع آوری داده‌ها از ورودی و خروجی دستگاه جهت معرفی به جعبه ابزار شناسایی سیستم را نشان می‌دهد. زمان نمونه برداری فاکتور بسیار مهمی در جمع آوری اطلاعات سیستم به شمار میرود، در این پژوهش زمان نمونه برداری ۱٪ ثانیه در نظر گرفته شده است.



شکل ۱: سیستم کنترل حلقه باز دستگاه برای جمع آوری اطلاعات ورودی و خروجی

اکنون داده‌هایی که از ورودی و خروجی دستگاه دریافت گردید، مطابق شکل زیر به جعبه ابزار شناسایی سیستم وارد می‌گردد تا سیستم مورد نظر شناسایی گردد.



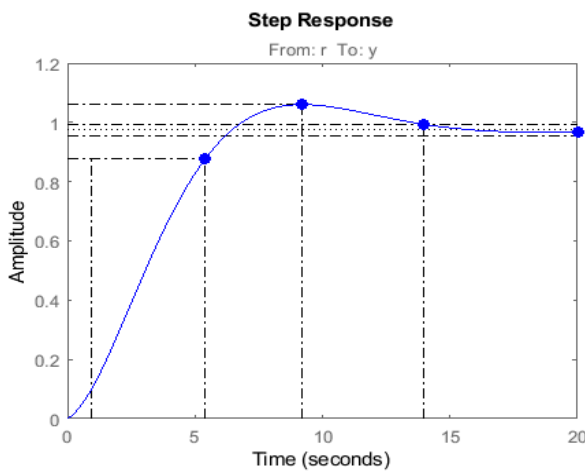
شکل ۲: استفاده از جعبه ابزار شناسایی سیستم

نتیجه شناسایی سیستم، به دست آوردن مدل دستگاه به صورت یک تابع تبدیل (با ۲ قطب و ۱ صفر) می‌باشد. همانطور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود مدل بدست آمده ۹۴/۱۸٪ با مدل واقعی تطابق دارد. تابع تبدیل معادل دستگاه به صورت زیر رابطه شماره ۱ می‌باشد.

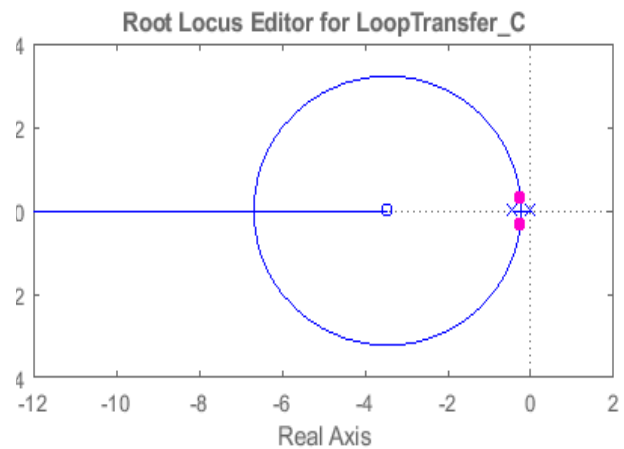
$$G(s) = \frac{0.04898s + 0.1696}{s^2 + 0.4619s + 0.004543} \quad (1)$$

مکان هندسی تابع تبدیل بدست آمده معادل برای دستگاه مطابق شکل شماره ۳ است و همانطور که مشاهده می‌شود مکان دارای یک صفر و دو قطب سمت چپ محور موهومی است [۵].

پاسخ پله تابع تبدیل مورد نظر در شکل شماره ۴ آورده شده است.

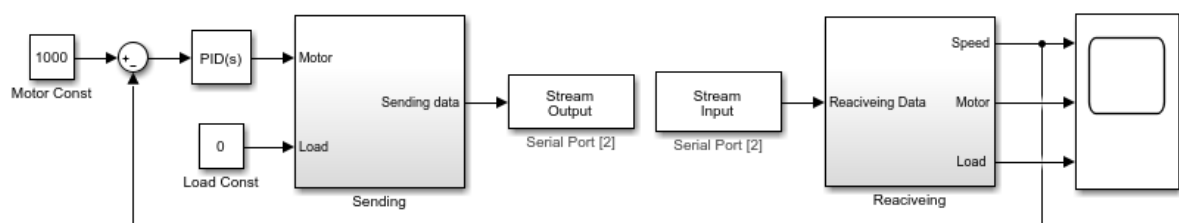


شکل ۴: پاسخ پله تابع تبدیل معادل دستگاه



شکل ۳: مکان هندسی تابع تبدیل معادل دستگاه

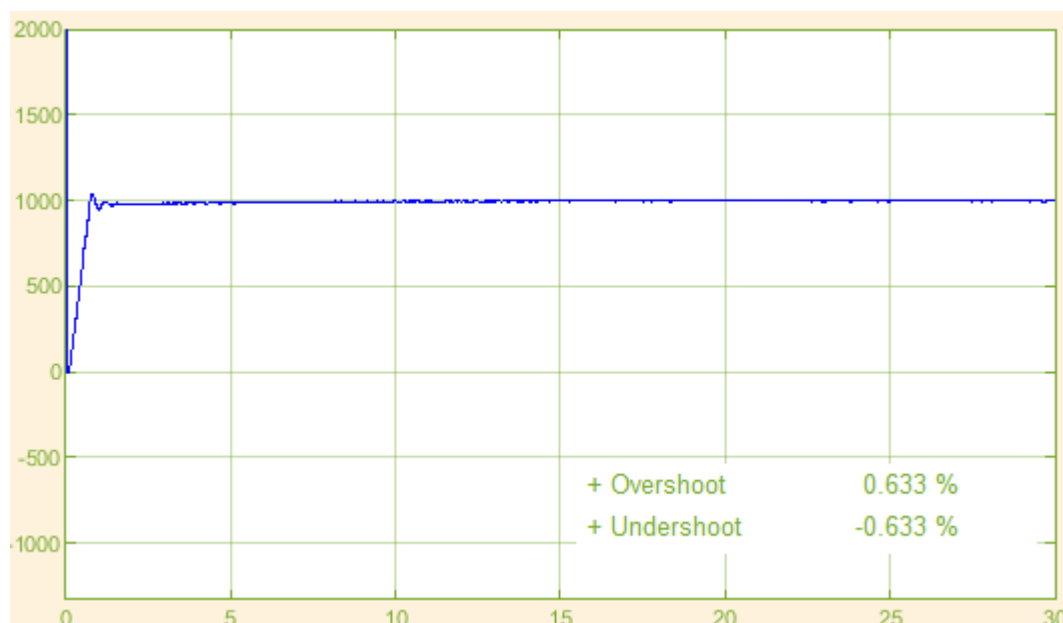
مشخصات پاسخ پله عبارتند از: حداکثر فراجهش: ۸۶٪ در زمان ۹/۱۹ ثانیه، دامنه فراجهش: ۱/۰۶، زمان نشست ۱۴ ثانیه و مقدار نهایی ۰/۹۷۴. از مشخصات ذکر شده نتیجه می‌گیریم سیستم فعلی علاوه بر این که مشخصات گذرای مطلوبی ندارد، دارای خطای حالت ماندگار نیز هست. از این رو اکنون برای مدل شناسایی شده یک کنترل کننده PID طراحی می‌نماییم تا مشکلات پاسخ گذرا و پاسخ ماندگار مرتفع شود. پس از طراحی، ضرایب کنترل کننده را در بلوک PID در فایل سیمولینک مربوطه (برای سیستم واقعی) وارد می‌نماییم تا عملکرد موتور همراه با این کنترل کننده ارزیابی گردد.



شکل ۵: اعمال کنترل کننده PID به مدار مورد آزمایش

ضرایب کنترل کننده PID طراحی شده عبارت است از: $k_p = 0.29, k_I = 0.053, k_D = 2.9$.

پاسخ به دست آمده پس از اعمال کنترل کننده به دستگاه برای ورودی سرعت 1000 rpm مطابق شکل ۶ است و همانطور که ملاحظه می‌گردد، پس از اعمال کنترل کننده PID به سیستم مذکور، حداکثر فراجهش به کمتر از یک درصد و زمان نشست به کمتر از ۵ ثانیه کاهش یافته و پاسخ فاقد خطای حالت ماندگار می‌باشد.



شکل ۶: پاسخ نهایی دستگاه پس از اعمال کنترل کننده

در مهندسی کنترل، اطلاع از ساختار پلنت یا مدل دستگاه مورد استفاده، کشف قوانین حاکم بر آن و طراحی یک کنترل کننده جهت بهره مندی بهینه از دستگاه، امری مهم به شمار می‌رود. لذا می‌توان بر اساس داده‌های آزمایشگاهی که از پلنت استخراج می‌شود مدلی مناسب برای آن در نظر گرفت. همان طور که در بالا نیز اشاره شد این مقوله در بحث شناسایی سیستم مطرح می‌شود. در این پژوهش سعی شد، شناسایی برای یک دستگاه کنترل سرعت انجام شود و همان گونه که در تمام تجهیزات فیزیکی کنترل بهینه دستگاه مطلوب است، تلاش شد با طراحی یک کنترل کننده PID برای مدل شناسایی شده، بتوان دستگاه را به صورت بهینه کنترل کرد.

مراجع

1. T. Kara, I. Eker, *Nonlinear modeling and identification of a DC motor for bidirectional operation with real time experiments*, Energy Conversion and Management 45, (2004) 1087–1106.
2. م. زنگونی و م. ا. احمدپور کاخک، کنترل سرعت موتور DC با استفاده از رگولاتور خود تنظیم غیر مستقیم مرتبه کسری بدون حذف صفر و قطب، چهارمین کنفرانس ملی و دومین کنفرانس بین المللی پژوهش های کاربردی در برق، مکانیک، مکترونیک، بهمن ماه ۹۵، تهران، ایران.
3. D.Smwanshi, M.Bundele, G.Kumar, G.Parashar, *Comparison of Fuzzy-PID and PID Controller for Speed Control of DC Motor using LabVIEW*, Procedia Computer Science, Volume 152, (2019), pages 252-260.
4. H. Delavari, R. Ghaderi, N. A. Ranjbar, S. H. HosseinNia, and S. Momani, *Adaptive fractional PID controller for robot manipulator*, Proceedings of FDA'10. The 4th IFAC Workshop Fractional Differentiation and its Applications, (2012) Bodajoz, Spain.
5. ک.هیگو اوگاتا، مهندسی کنترل، انتشارات نص، ۱۳۹۵.