

## چکیده

در این آزمایش به پیاده‌سازی مرحله به مرحله سیستم شناسایی خودکار موتور دی‌سی می‌پردازیم.

### ۱ مقدمه

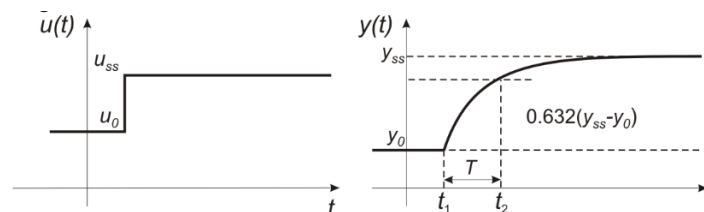
موتور دی‌سی نمونه‌ای از یک سیستم با مدل خطی مرتبه دو است، که دو قطب مکانیکی و الکتریکی دارد:

$$H(s) = \frac{\omega}{V} = \frac{K}{(Js + B)(Ls + R) + K^2} \quad (1)$$

K	R	L	B	J
ثابت فیزیکی	مقاومت سیم‌پیچ روتور	اندوکتانس روتور	ضریب اصطکاک	ممان اینرسی روتور

قطب الکتریکی به دلیل ماهیت فیزیکی خود بسیار سریع‌تر از قطب مکانیکی است؛ ثابت زمانی مکانیکی در حد چند ده تا چند صد میلی‌ثانیه و الکتریکی در مقیاس چند میلی‌ثانیه است. به همین علت پاسخ پله‌ی سرعت موتور دی‌سی (به ولتاژ ورودی) بسیار شبیه پاسخ سیستم مرتبه یک است. در نتیجه در شناسایی (با صرف نظر از کردن از تاخیر ناچیز سیستم) از مدل مرتبه یک زیر استفاده می‌کنیم<sup>۱</sup>:

$$H(s) = \frac{K}{\tau s + 1} \quad (2)$$



شکل ۱: پاسخ پله‌ی سیستم مرتبه یک

$$\begin{cases} K = \frac{y_{ss} - y_0}{u_{ss} - u_0} \\ \tau = t_2 - t_1 \end{cases} \quad (3)$$

### ۱.۱ ناحیه‌ی مرده

هنگام راه‌اندازی موتور دی‌سی، اگر ولتاژ اعمالی به آرامی‌چر از حدی کمتر باشد، موتور حرکت نخواهد کرد، زیرا برای غلبه بر اصطکاک ایستایی روتور به یک حداقل توان نیاز است. به این پدیده‌ی غیرخطی ناحیه‌ی مرده<sup>۲</sup> می‌گویند. ناحیه‌ی مرده در کاربردهایی مانند کنترل در سرعت‌های پایین یا کنترل موقعیت مشکلاتی به وجود می‌آورد. در این آزمایشگاه قصد کنترل یا جبران این اثر را نداریم، اما باید حداقل ولتاژ مورد نیاز را برای راه‌اندازی موتور پیدا کنیم تا فرایند کنترل را تنها در ناحیه‌ی خطی انجام دهیم.

<sup>۱</sup> توجه دارید که ضریب ثابت این مدل با ضریب ثابت مدل مرتبه دوم متفاوت است.

<sup>۲</sup>Dead Band

## ۲.۱ بهره (K)

بهره‌ی سیستم خطی، به زبان ساده بیان می‌کند که سیستم، ورودی را - در حالت ماندگار - چند برابر می‌کند. یک سیستم خطی ممکن است سیگنال ورودی را تقویت یا تضعیف کند.

برای محاسبه‌ی بهره، فرض می‌کنیم که موتور به حالت ماندگار رسیده است، یعنی با ولتاژ آرمیچر  $V_1$  و در سرعت ثابت  $\omega_1$  می‌چرخد. حال یک ورودی پله از  $V_1$  به  $V_2$  اعمال می‌کنیم. تا رسیدن موتور به حالت ماندگار بعدی، یعنی  $\omega_2$  صبر می‌کنیم. بعد از رابطه‌ی زیر برای محاسبه‌ی بهره استفاده می‌کنیم:

$$K = \frac{\omega_2 - \omega_1}{V_2 - V_1} \quad (4)$$

توجه داشته باشید که بهره‌ی سیستم بُعد دارد؛ مثلاً در این سیستم بُعد بهره  $\frac{RPM}{Volt}$  است.

## ۳.۱ ثابت زمانی $\tau$

ثابت زمانی مشخص می‌کند که سیستم با چه سرعتی به ورودی پله پاسخ می‌دهد. مثلاً سیستم‌های دمایی ثابت زمانی بالایی دارند، در نتیجه «کُند» اند، یعنی مدت زمان قابل توجهی طول می‌کشد تا در پاسخ به یک ورودی پله به حالت ماندگار برسند. در عوض سیستم موتور دی‌سی ثابت زمانی پایینی دارد و به ورودی پله سریعاً واکنش نشان می‌دهد.

به بیان علمی، ثابت زمانی مدت زمانی است که یک سیستم خطی مرتبه یک نیاز دارد تا به ۶۳٪ مقدار نهایی یا ماندگار برسد.

اکنون می‌خواهیم ثابت زمانی موتور دی‌سی را محاسبه کنیم. این محاسبه به مقدار نهایی وابسته است: چون باید مدت زمان رسیدن سرعت به ۶۳٪ آن را حساب کنیم. پس برای به دست آوردن ثابت زمانی ساده‌تر است که اول بهره را به دست بیاوریم. فرض می‌کنیم که یک بار پله‌ی ولتاژ  $V_1$  به  $V_2$  را اعمال کرده و خروجی را در اختیار داریم. حال دوباره به ولتاژ  $V_1$  برمی‌گردیم و پس از اطمینان از ماندگار شدن سرعت، دوباره همان پله را اعمال می‌کنیم. برای محاسبه‌ی ثابت زمانی باید بلافاصله بعد از اعمال مجدد پله، اندازه‌گیری زمان را آغاز کنیم. با رسیدن ولتاژ به ۶۳٪ خروجی، زمان‌شماری را متوقف می‌کنیم. زمان به دست آمده همان ثابت زمانی خواهد بود.

الگوریتم شناسایی مرحله به مرحله‌ی موتور دی‌سی:

۱. حداقل ولتاژ مورد نیاز را برای راه‌اندازی موتور اندازه‌گیری کنید و مطمئن شوید که پله‌های اعمالی برای شناسایی از این مقدار بیشترند.

۲. بهره را با یک پله‌ی مشخص حساب کنید و سپس سرعت موتور را به مقدار اولیه‌ی آن برگردانید. صبر کنید تا موتور در حالت ماندگار قرار گیرد.

۳. دوباره همان پله را اعمال کنید، اما این بار بلافاصله زمان‌شماری را هم شروع کنید. مدام خروجی را پایش کنید و زمان‌شماری را تا رسیدن سرعت به ۶۳٪ سرعت ماندگار ادامه دهید. توجه داشته باشید که مقدار اولیه‌ی سرعت صفر نیست، چون پله را از  $V_1$  (و  $\omega_1$ ) آغاز کرده‌ایم، پس باید سرعت لحظه‌ای موتور را با

$$\omega_1 + 0.63 \times (\omega_2 - \omega_1)$$

مقایسه کنیم. زمان به دست آمده همان ثابت زمانی ( $\tau$ ) است.

۴. این فرآیند را با چند پله‌ی مختلف بالا رونده و پایین رونده تکرار کنید.

## ۲ روش پیاده‌سازی

۱. هدف پیاده‌سازی یک سیستم شناسایی خودکار موتور دی‌سی است. این سیستم باید بتواند هر موتور با هر پارامتری را شناسایی کند. تنها دانسته‌ی ما این است که مدل موتور دی‌سی خطی و از نوع مرتبه یک است، با اعمال ولتاژ حرکت می‌کند و سرعت چرخش آن از طریق انکودر در دسترس است. سیستم شناسایی به جز موارد فوق هیچ اطلاعات پیشینی دیگری در مورد موتور ندارد. پس مثلاً نمی‌داند چه قدر طول می‌کشد که موتور به حالت ماندگار برسد یا ... . مساله را بدون چنین فرض‌هایی حل کنید.

۲. تجربه‌ی کاربر به این شکل است: اتصالات ورودی و خروجی را به سیستم شناسایی وصل می‌کند و دکمه‌ی شروع را فشار می‌دهد. مراحل شناسایی یکی پس از دیگری انجام می‌شود و در نهایت پارامترهای شناسایی شده نمایش داده می‌شوند. در این آزمایش برای مشاهده‌ی پارامترها از حالت اشکال‌زدا استفاده می‌کنیم.
۳. برای پیاده‌سازی صحیح از یک ماشین حالت استفاده می‌کنیم. در یک ویدئوی مجزا این ابزار مهم در سیستم‌های نهفته را معرفی خواهیم کرد.
۴. ورودی-خروجی‌های سیستم کمابیش مطابق همان چیزی است که در آزمایش یک راه‌اندازی کردید. یک ورودی وقفه‌ی خارجی و ورودی دیجیتال برای خواندن انکودر، یک خروجی دیجیتال برای تغییر جهت، یک خروجی PWM برای فرمان دادن به موتور و یک کلید برای شروع کار.
۵. در این آزمایش باید «رسیدن به حالت ماندگار»، «حد ولتاژ برای راه‌اندازی موتور» و «مدت زمان رسیدن به ۶۳٪ خروجی» را اندازه‌گیری کنید. الگوریتمی مناسب برای یافتن این مقادیر یا حالت‌ها به کمک تایمرها و دیگر ادوات جانبی طراحی کنید.
۶. آیا می‌توان دو مرحله‌ی شناسایی بهره و ثابت زمانی را ترکیب و با یک بار اعمال پله هر دو را حساب کرد؟