

((بسم الله الرحمن الرحيم))

کنترل یادگیری تکرارشونده مقاوم برای ردیابی خروجی توسط تکنیک مد لغزشی مرتبه  
دوم

در این مقاله از یک روش قدرتمند حوزه کنترل مقاوم، موسوم به کنترل یادگیری (ILC) تکرار شونده به منظور ردیابی خروجی، توسط راهبرد مدل لغزشی مرتبه دوم استفاده شده است. مزیت اصلی این روش طراحی، پیوسته بودن سیگنال کنترل و همچنین حذف چترینگ آن است.

### شبیه سازی:

در شبیه سازی، تکنیک ذکر شده بر روی سیستم مرتبه دوم زیر برای ردیابی سیگنال فرمان استفاده شده است.

$$\begin{aligned} \dot{x}_1(t) &= x_2(t) \\ \dot{x}_2(t) &= \frac{1}{ml^2 + I} (u - gl \cos(x_1) + d(t)) \\ y(t) &= x_1(t) \end{aligned} \quad (26)$$

که با جایگذاری پارامترهای سیستم به صورت  $L = 1\text{m}$ ،  $m = 3\text{kg}$ ،  $I = 0.5\text{kgm}^2$  معادلات سیستم به صورت زیر در می آید.

$$\begin{aligned} \dot{x}_1(t) &= x_2(t) \\ \dot{x}_2(t) &= -2.8 \cos(x_1) + 0.2857u(t) + 0.2 \sin(x_1 x_2) \\ y(t) &= x_1(t) \end{aligned} \quad (27)$$

حال با اعمال روش فوق، سیگنال کنترل به صورت زیر به دست می آید.

$$\begin{aligned} u_k(t) &= b^{-1}(x, t) \{ 2c_1 \sin(t) \cos(t) - c_1 x_2(t) \\ &\quad + 2[\cos(t) \cos(t) - \sin(t) \sin(t)] \\ &\quad + 2.8 \hat{\theta}(t) - v(t) + \alpha_1 |\sigma_k|^{2/3} \text{sgn}(\sigma_k) \\ &\quad + \alpha_3 \sigma_k(t) \} \end{aligned} \quad (30)$$

که پارامترهای کنترل کننده را به صورت زیر در نظر می‌گیریم :

$$\gamma = \beta_1, q = 0.1, \beta_2 = \eta \times \frac{4}{3}, \eta = 0.1, \beta_1 = 0.1, \alpha_3 = 1, \alpha_1 = 0.15$$

و همچنین داشتیم:

$$\dot{v}_k(t) = -\beta_1 \sigma_k(t) - \beta_2 |\sigma_k|^{\frac{1}{3}} \text{sgn}(\sigma_k) \quad (7)$$

لذا میتوان نوشت:

$$v(t) = \int -\beta_1 \sigma(t) - \beta_2 |\sigma(t)|^{\frac{1}{3}} \text{sgn}(\sigma(t))$$

که در آن منظور از  $\sigma(t)$  سطح اسلاید است که به صورت زیر تعریف می‌شود.

$$\sigma(t) = c_1 e(t) + \dot{e}(t) \quad (28)$$

و همچنین ترم  $\overline{\theta(t)}$  موجود در سیگنال کنترل از رابطه بازگشتی زیر به روز رسانی می‌شود:

$$\hat{\theta}_k(t) = \hat{\theta}_{k-1}(t) - q\xi(x_k, t) \left( \frac{4\eta}{3} |\sigma_k|^{\frac{1}{3}} \text{sgn}(\sigma_k) + \gamma \sigma_k(t) \right) \quad (6)$$

که در آن  $\xi(x)$  برابر با 2.8- در نظر گرفته شده است و همچنین

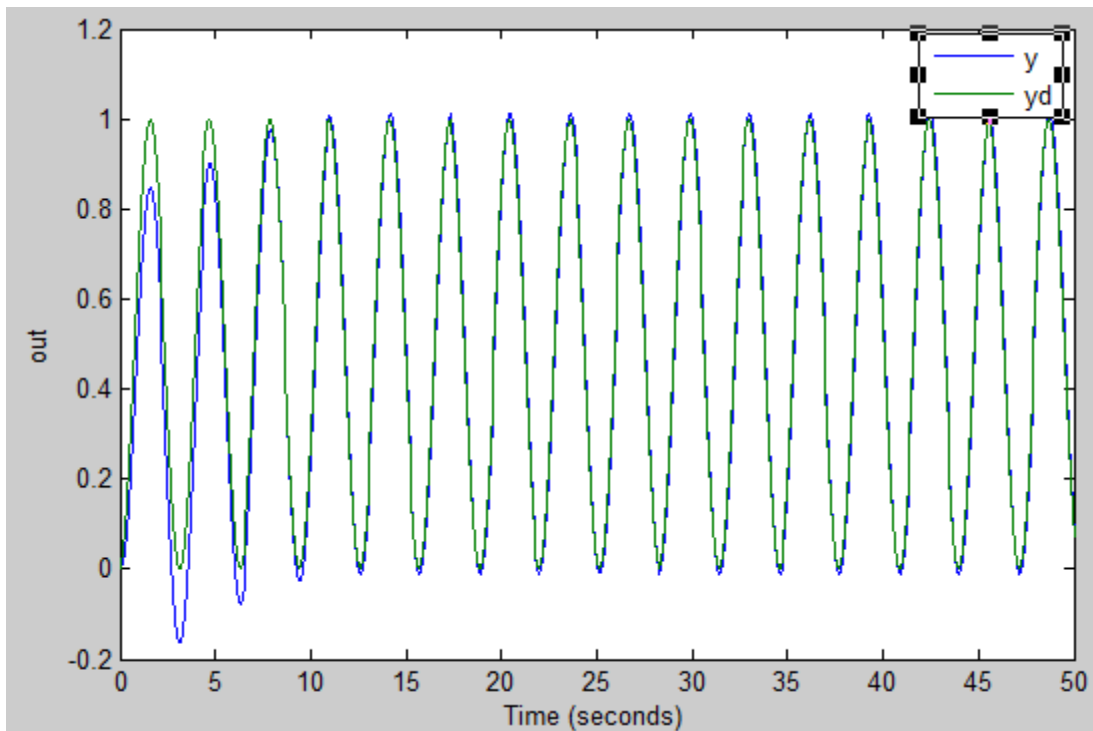
$$\theta(x, t) = \cos(x_1)$$

که فرض براین است نامعلوم است.

لازم به ذکر است که شبیه سازی با نرم افزار مطلب با تنظیمات *fixed step-ode4* انجام شده است گام شبیه سازی 0,01 در نظر گرفته شده است و همچنین به دلیل وجود بلوکهای *matlab* *fanction* در شبیه سازی، برای اجرای فایل شبیه سازی حتما از ورژن ۳۲ بیتی نرم افزار استفاده شود.

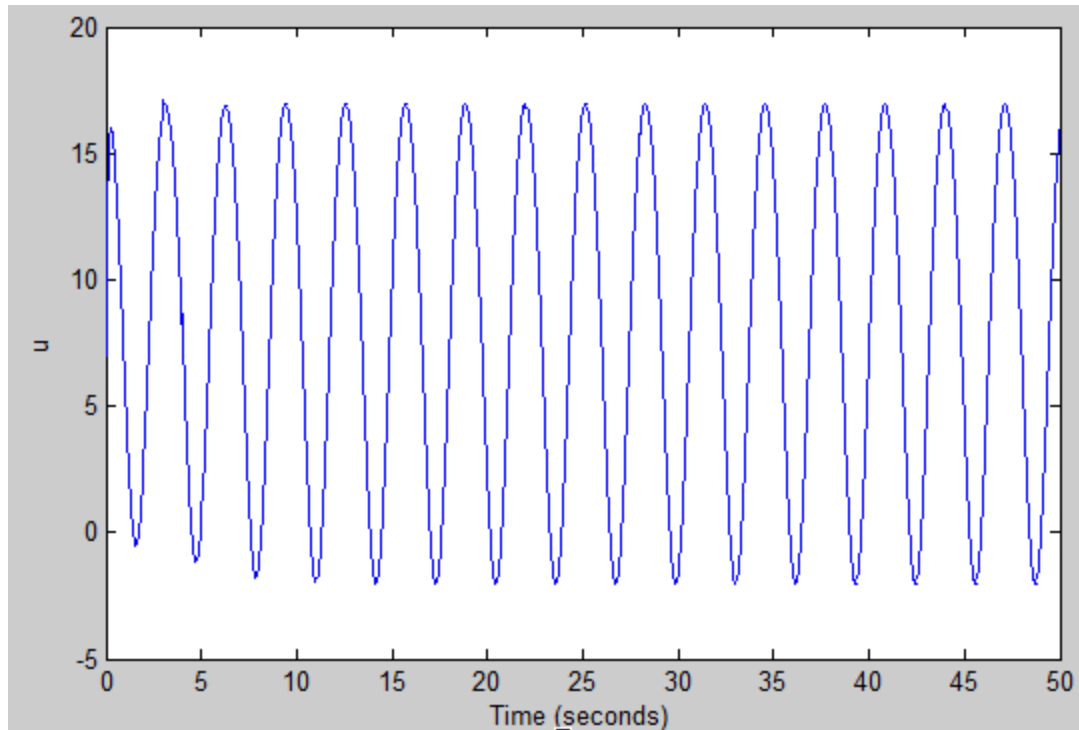
## نتایج شبیه سازی:

در شکل زیر خروجی سیستم و خروجی مطلوب به ازای ۵۰ بار تکرار نشان داده شده است.



سمپل تایم بلوک تاخیر برابر بایک است و سیستم کنترل ۵۰ ثانیه اجرا شده است لذا تعداد تکرار برابر ۵۰ می شود. برای تعیین مرتبه تکرار ، می توان سمپل تایم بلوک تاخیر را تغییر داد.

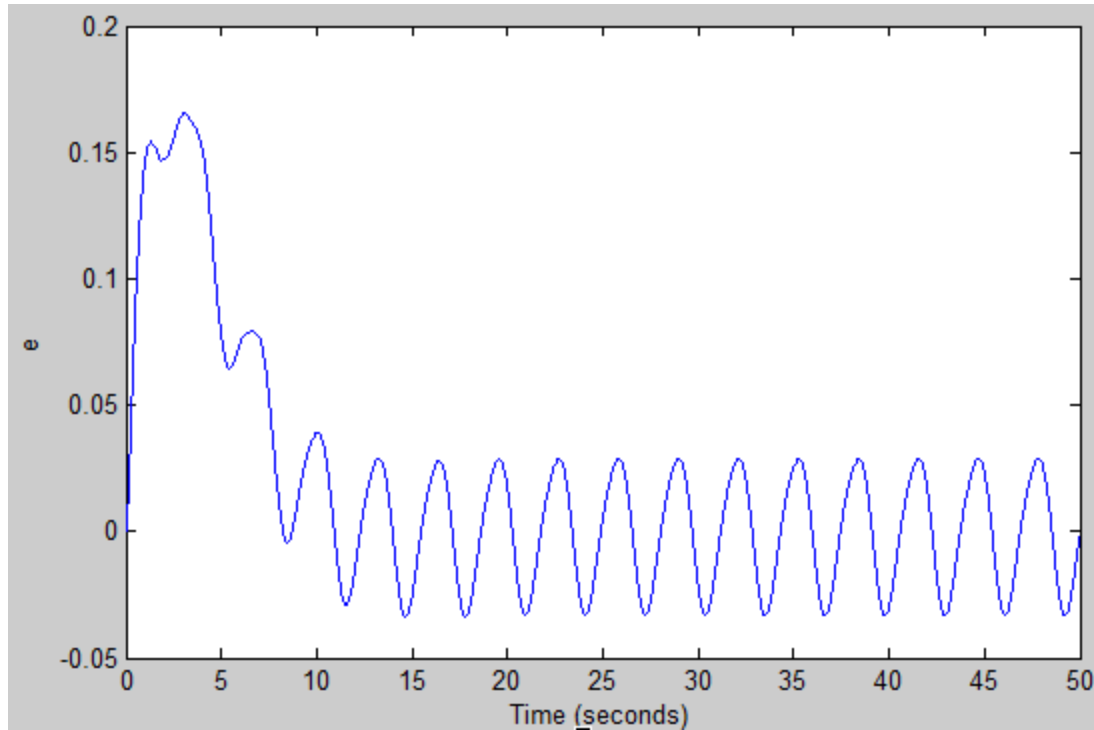
در شکل زیر سیگنال کنترل پیوسته سیستم نشان داده شده است:



از مزیت‌های این روش طراحی، پیوسته بودن سیگنال کنترل اعمالی به سیستم است.

همانگونه که از شکل فوق مشخص است سیگنال کنترل پیوسته اعمالی به سیستم شکل منظم و مطلوبی دارد.

در شکل زیر خطای ردیابی سیستم نشان داده شده است:



همانگونه که از شکل فوق مشخص است ماکسیمم خطای ردگیری سیستم ۰,۱۵ است و پس از رسیدن به حالت مانا خطای سیستم به ۳٪ رسیده است که عملکرد مطلوب کنترل کننده را نشان می‌دهد.

برای کاهش هرچه بیشتر خطای سیستم میتوان ثابت  $c_1$  موجود در سیگنال کنترل را تغییر داد اما باید شرط هرویتز بودن آن در نظر گرفته شود.