دانشگاه آزاد اسلامی ـ واحد علوم تحقیقات
دانشکده‌ی مهندسی برق کنترل

گزارش شبیه سازی تمرین ۲ کنترل مد لغزشی
درس تشخیص و شناسایی عیب

عنوان:

تمرین ۲ کنترل مد لغزشی ـ اعمال کنترل مد لغزشی کلاسیک بر روی یک سیستم درجه سه با سه پارامتر نامعین

نگارش:

کیان خانقاهی

استاد راهنما:

دکتر مهدی سیاهی

مرداد ۱۴۰۰

بسم الله الرحمن الرحیم

فهرست مطالب

فهرست شکل‌ها

فهرست جدول‌ها

فصل ۱

طراحی

در این فصل به حل مثال زیر با طراحی کنترل مد لغزشی کلاسیک می پردازیم.

مثال ۱ـ۱ *برای سیستم زیر، بردار کنترل u را طوری طراحی کنید که خروجی $y = x$، ورودی مطلوب $x_d(t) = \sin(\pi.t/۲)$ را دنبال کند.*

$$\begin{aligned} &\dddot{x}(t) + \alpha_۱(t) \cdot (\dot{x}(t))^۲ + \alpha_۲(t) \cdot (\dot{x}(t))^۵ \cdot \sin(۴x) = b(t) \cdot u \\ &-۱ \leqslant \alpha_۱(t) \leqslant ۱ \\ &-۲ \leqslant \alpha_۲(t) \leqslant ۲ \\ &۱ \leqslant b(t) \leqslant ۴ \end{aligned} \tag{۱ـ۱}$$

۱ـ۱ طراحی کنترل مد لغزشی کلاسیک

در این قسمت برای مثال با روش کنترل مد لغزشی کلاسیک طراحی می کنیم. ابتدا فرم استاندارد معادله سیستم را به صورت زیر بدست می آوریم.

$$\dddot{x}(t) = \underbrace{-\alpha_۱(t) \cdot (\ddot{x}(t))^۲ - \alpha_۲(t) \cdot (\dot{x}(t))^۵ \cdot \sin(۴x)}_{f} + b(t) \cdot u \tag{۲ـ۱}$$

مقادیر نامی و حدی f را به صورت زیر به دست می آوریم.

$$\hat{f} = ۰ \quad , \quad |\hat{f} - f| \leqslant F = \ddot{x}^۲(t) + ۲\left|(\dot{x}(t))^۵ \cdot \sin(۴x)\right| \tag{۳ـ۱}$$

سیگنال خطا به صورت زیر تعریف می شود.

$$e = y - y_d = x - x_d \qquad (۱ـ۴)$$

حال سطح لغزش را به صورت زیر تعریف می کنیم.

$$S = \ddot{e} + 2\lambda\dot{e} + \lambda^2 e \qquad (۱ـ۵)$$

اگر از سطح لغزش نسبت به زمان یکبار مشتق بگیریم به صورت زیر می شود.

$$\dot{S} = \dddot{e} + 2\lambda\ddot{e} + \lambda^2\dot{e} = \dddot{x} - \dddot{x}_d + 2\lambda\ddot{e} + \lambda^2\dot{e} \qquad (۱ـ۶)$$

حال به جای $\dddot{x}$ مقدارش را از روی معادله ی سیستم می گذاریم.

$$\dot{S} = f + b \cdot u - \dddot{x}_d + 2\lambda\ddot{e} + \lambda^2\dot{e} \qquad (۱ـ۷)$$

سپس با فرض معلوم بودن $b(t)$ اگر $\dot{s} = 0$ و به جای u، u_{eq} و به جای f ، $\hat{f}$ قرار دهیم، $b.u_{eq}$ به صورت زیر حاصل می شود.

$$\hat{f} + b \cdot u_{eq} - \dddot{x}_d + 2\lambda\ddot{e} + \lambda^2\dot{e} = 0 \quad \Rightarrow \qquad (۱ـ۸)$$

$$b.u_{eq} = \dddot{x}_d - 2\lambda\ddot{e} - \lambda^2\dot{e} - \hat{f} \qquad (۱ـ۹)$$

خروجی کنترلر به صورت زیر بدست می آید.

$$b.u = b.u_{eq} - K.sign(S) \qquad (۱ـ۱۰)$$

سپس شرط مجانبی بودن پایداری را چک می کنیم.

$$S.\dot{S} \leqslant -\eta.\|S\| \quad \Rightarrow \qquad (۱ـ۱۱)$$

$$S.\dot{S} = S.[f + b.u - \dddot{x}_d + 2\lambda\ddot{e} + \lambda^2\dot{e}] \leqslant -\eta.\|S\| \quad \Rightarrow \qquad (۱ـ۱۲)$$

$$S.\dot{S} = S.[f + b.u_{eq} - K.sign(S) - \dddot{x}_d + 2\lambda\ddot{e} + \lambda^2\dot{e}] \leqslant -\eta.\|S\| \quad \Rightarrow \qquad (۱ـ۱۳)$$

$$S.\dot{S} = S.[f + \dddot{x}_d - 2\lambda\ddot{e} - \lambda^2\dot{e} - \hat{f} - K.sign(S) - \dddot{x}_d + 2\lambda\ddot{e} + \lambda^2\dot{e}] \leqslant -\eta.\|S\| \quad \Rightarrow \qquad (۱ـ۱۴)$$

$$S.\dot{S} = S.[f - \hat{f} - K.sign(S)] \leqslant \|S\|.F - K.\|S\| \leqslant -\eta.\|S\| \quad \Rightarrow \tag{۱ـ۱۵}$$

$$K \geqslant \eta + F \tag{۱ـ۱۶}$$

حال که پایداری مجانبی اثبات شده است، خروجی کنترلر را به صورت زیر بدست میاوریم.

$$b \cdot u = -\hat{f} + \dddot{x}_d - ۲\lambda^۲\ddot{e} - \lambda\dot{e} - K \cdot sign(S) \quad \Rightarrow \tag{۱ـ۱۷}$$

$$\frac{b}{|b|}.u = \frac{-\hat{f} + \dddot{x}_{\mathrm{d}} - ۲\lambda\ddot{e} - \lambda^۲\dot{e} - (F+\eta)\, sign(S)}{|b|} \quad \Rightarrow \tag{۱ـ۱۸}$$

$$u = \frac{-\hat{f} + \dddot{x}_{\mathrm{d}} - ۲\lambda\ddot{e} - \lambda^۲\dot{e} - (F+\eta)\, sign(S)}{b_{\min}}.sign(b) \quad , \quad b > ۰ \quad \Rightarrow \tag{۱ـ۱۹}$$

$$u = \frac{-\hat{f} + \dddot{x}_{\mathrm{d}} - ۲\lambda\ddot{e} - \lambda^۲\dot{e} - (F+\eta)\, sign(S)}{b_{\min}} \tag{۱ـ۲۰}$$

فصل ۲

شبیه سازی

در این فصل طراحی روش در فصل قبل، شبیه سازی می شود و در آخر نتایج تحلیل می شود.

۲ـ۱ شبیه سازی با روش کنترل مد لغزشی کلاسیک

پیاده سازی سیستم با روش کنترل مد لغزشی کلاسیک در سیمولینک به صورت شکل ۲ـ۱ می باشد.

همان طور که دیده می شود، $\eta = ۰/۱, \lambda = ۲۰$ در نظر گرفته شده است تا تقریباً زمان رسیدن کم شود و در عین حال چترینگ هم خیلی زیاد نشود. نامعینی های $\alpha_۲(t)$ ، $\alpha_۱(t)$ و $b(t)$ هم در اینجا هر یک با جمع یک موج سینوسی و یک عدد ثابت درست شده اند، به طوری که محدوده ی آن یکی باشد. حال شبیه سازی را در زمان ۱۰ ثانیه و شرایط اولیه ی $x(۰) = ۰, \dot{x}(۰) = ۰, \ddot{x}(۰) = ۰$ انجام می دهیم.

نمودار x به صورت شکل ۲ـ۲ می باشد.

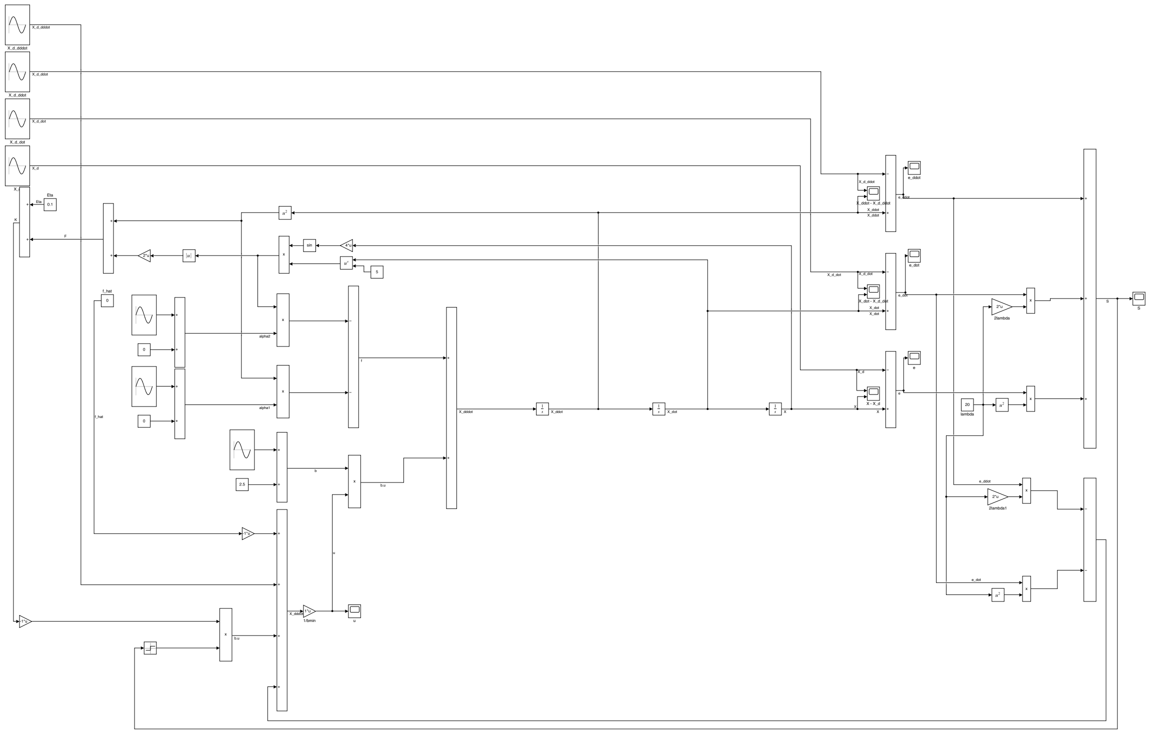
نمودار e به صورت شکل ۲ـ۳ می باشد.

نمودار $\dot{x}$ به صورت شکل ۲ـ۴ می باشد.

نمودار $\dot{e}$ به صورت شکل ۲ـ۵ می باشد.

نمودار $\ddot{x}$ به صورت شکل ۲ـ۶ می باشد.

نمودار $\ddot{e}$ به صورت شکل ۲ـ۷ می باشد.



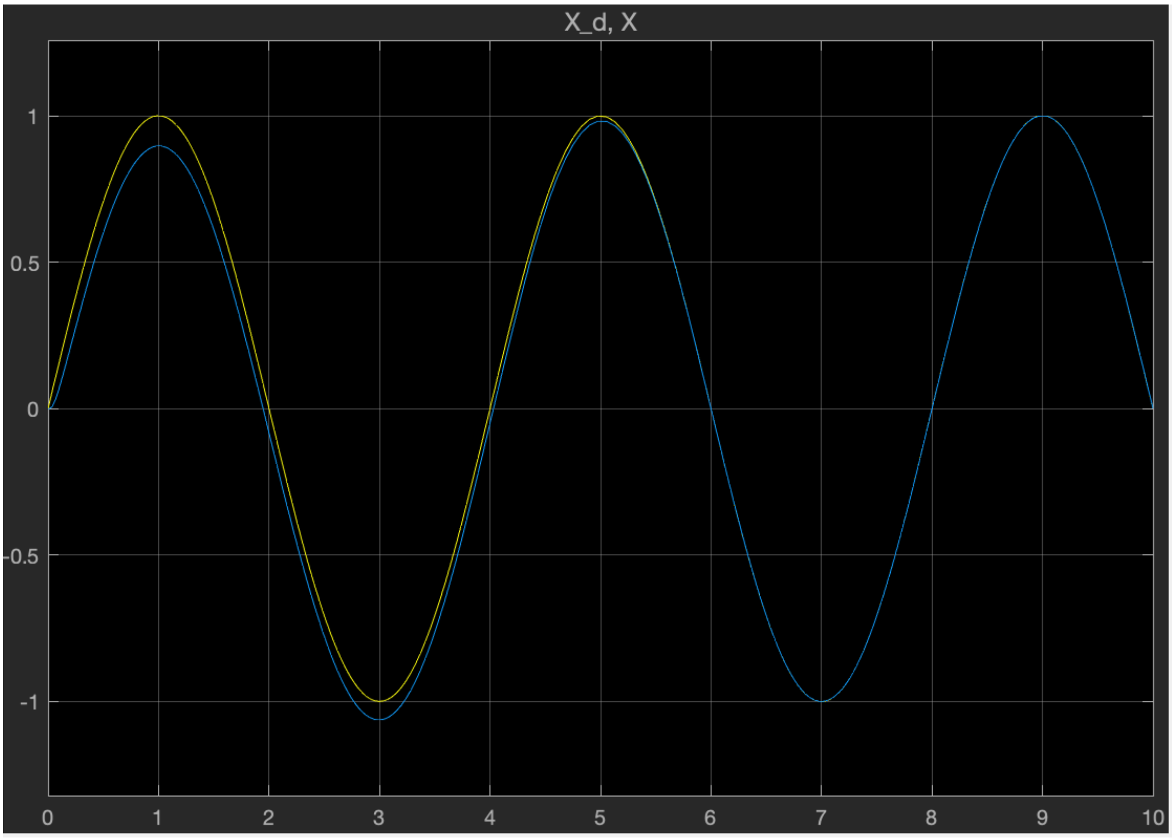
شکل ۲ـ۱: پیاده سازی سیستم با روش کنترل مد لغزشی کلاسیک در سیمولینک

نمودار S یا سطح لغزش به صورت شکل ۲ـ۸ می باشد.

نمودار u یا خروجی کنترلر به صورت شکل ۲ـ۹ می باشد.

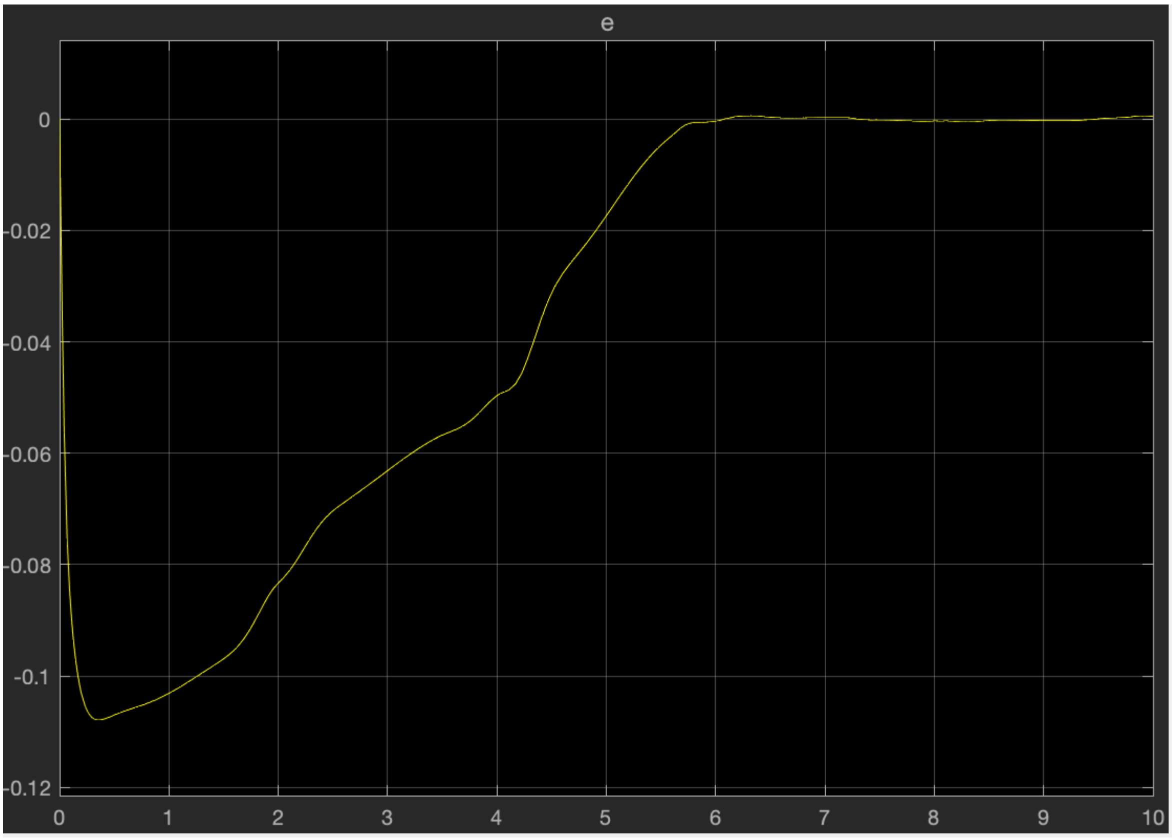
۲ـ۲ تحلیل نتایج

با توجه به نمودار ها، معلوم است که ردیابی درست انجام گرفته است. همچنین، در نمودار های خطا، سطح لغزش و خروجی کنترلر، پدیده ی چترینگ به وضوح قابل مشاهده است. در اینجا، این پدیده چون دارای دامنه ی زیادی است می تواند مشکل ساز باشد و این را هم در نظر بگیرید که به علت فراجهش بزرگ در لحظات اول مقیاس نمودار تغییر کرده است و مقدار دامنه ی چترینگ کوچک نشان داده می

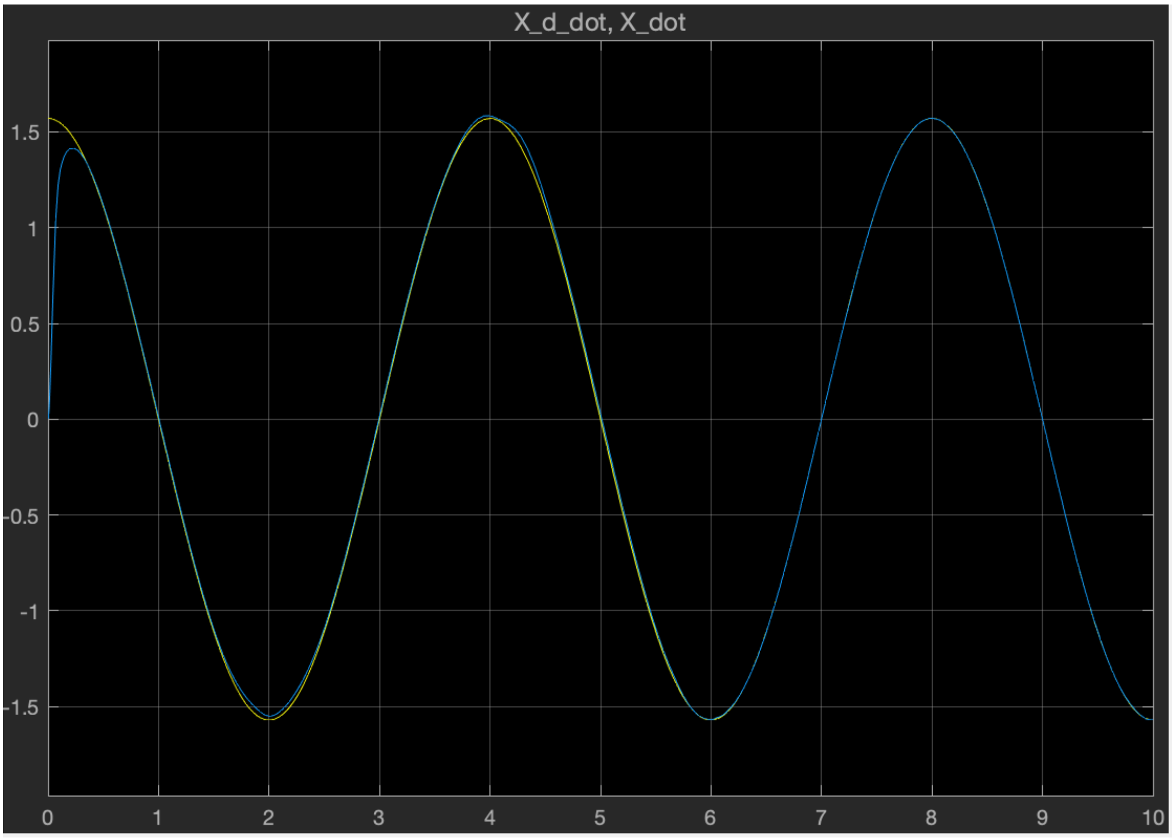


شکل ۲ـ۲: نمودار x با روش کنترل مد لغزشی کلاسیک

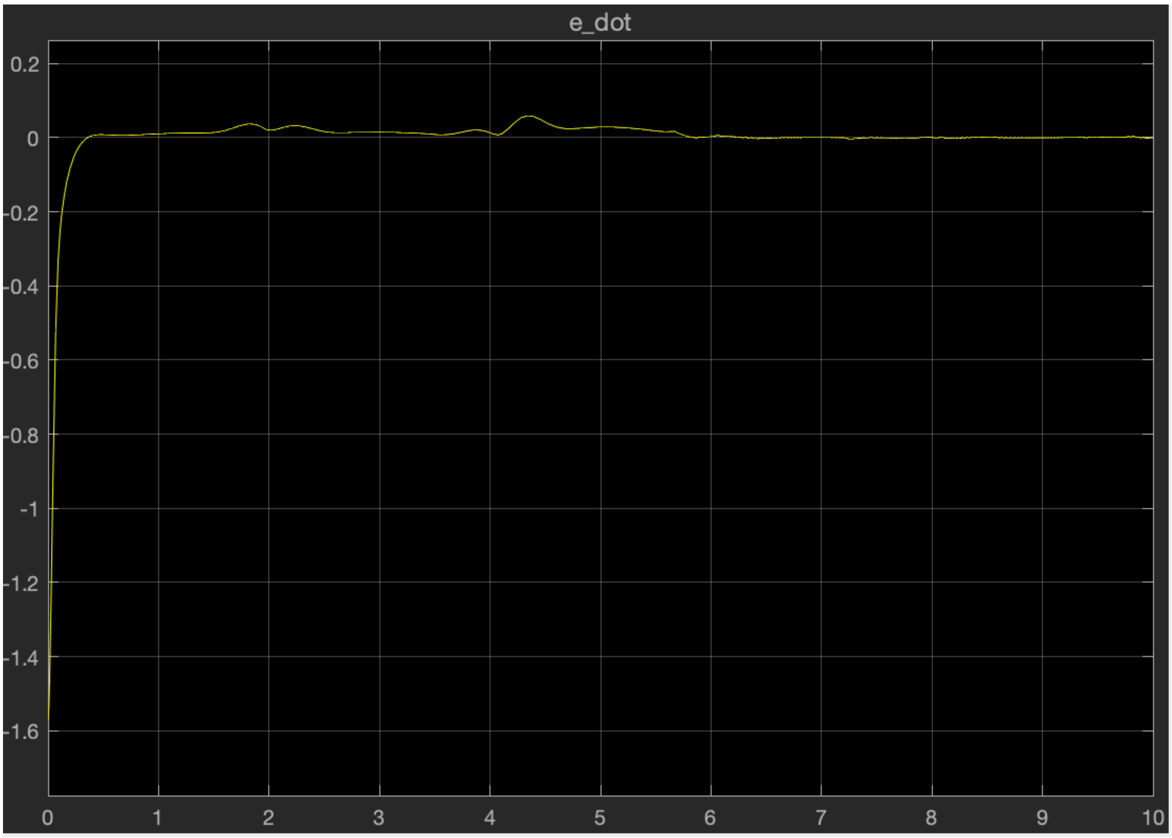
شود ولی در واقع بزرگ می باشد.



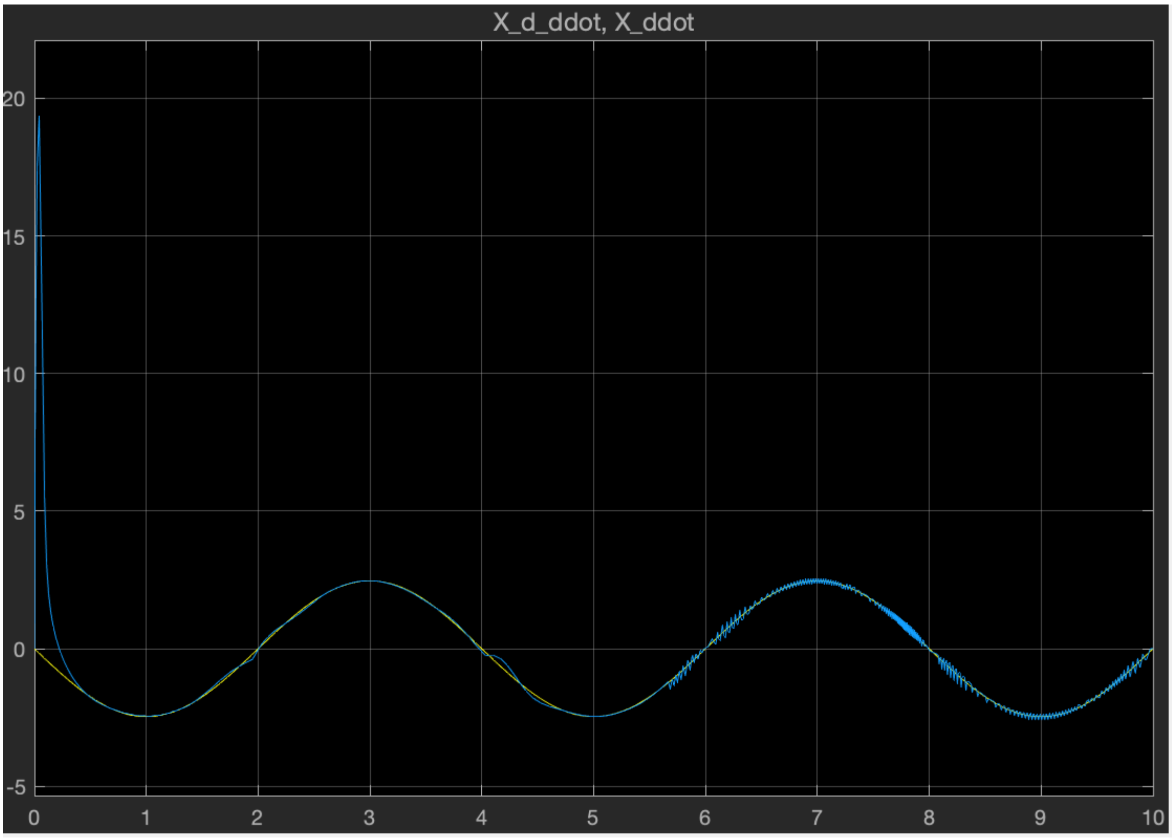
شکل ۲ـ۳: نمودار e با روش کنترل مد لغزشی کلاسیک



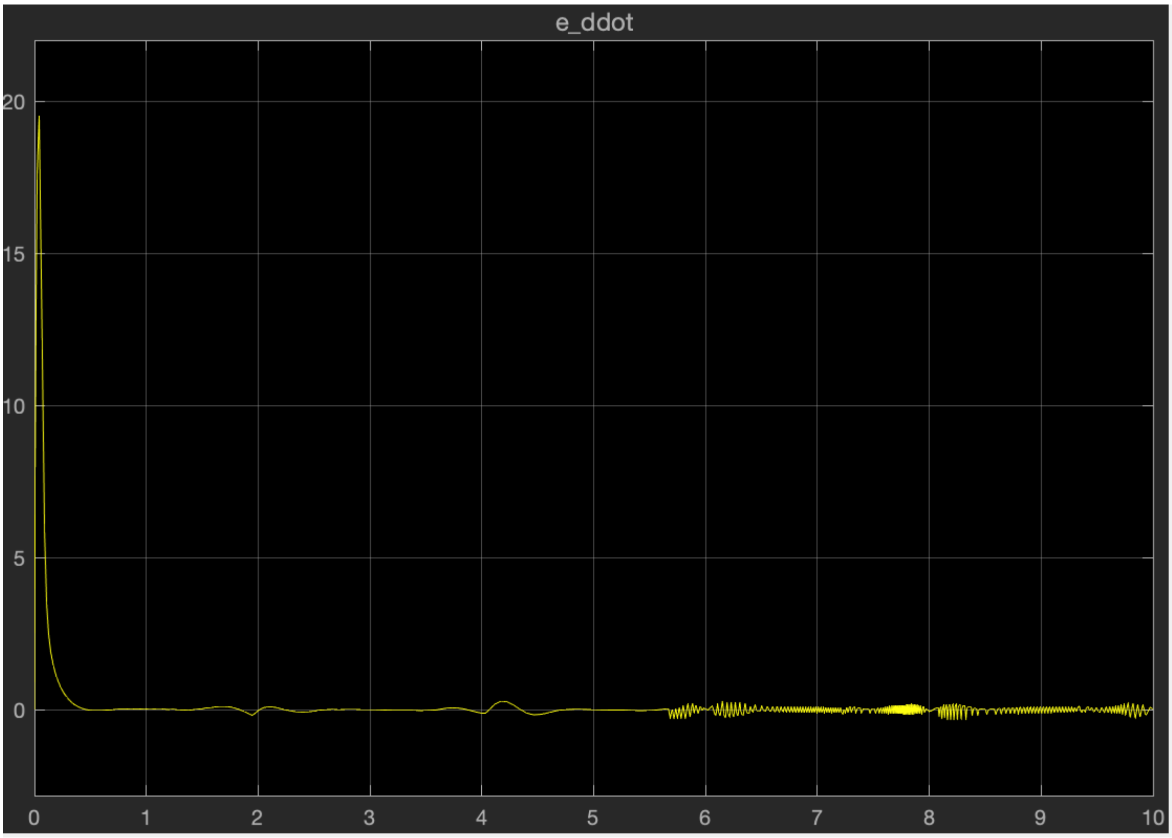
شکل ۲ـ۴: نمودار $\dot{x}$ با روش کنترل مد لغزشی کلاسیک



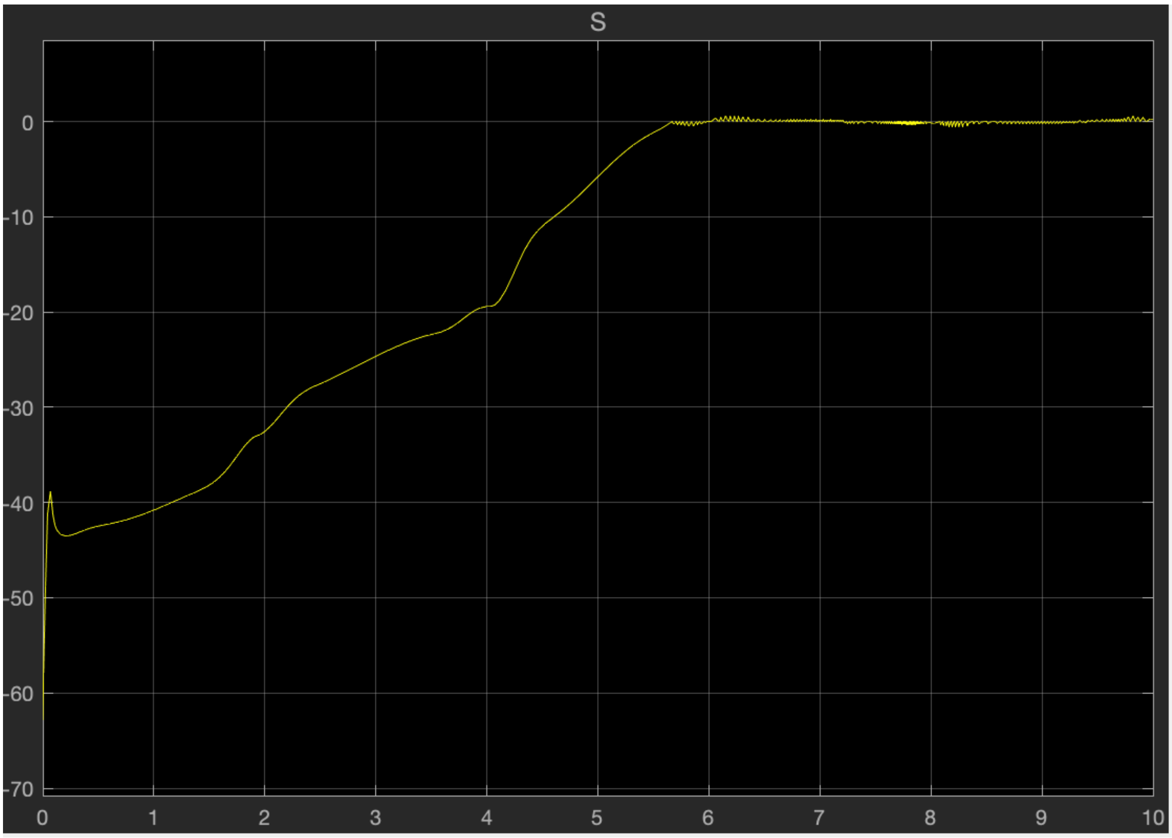
شکل ۲ـ۵: نمودار $\dot{e}$ با روش کنترل مد لغزشی کلاسیک



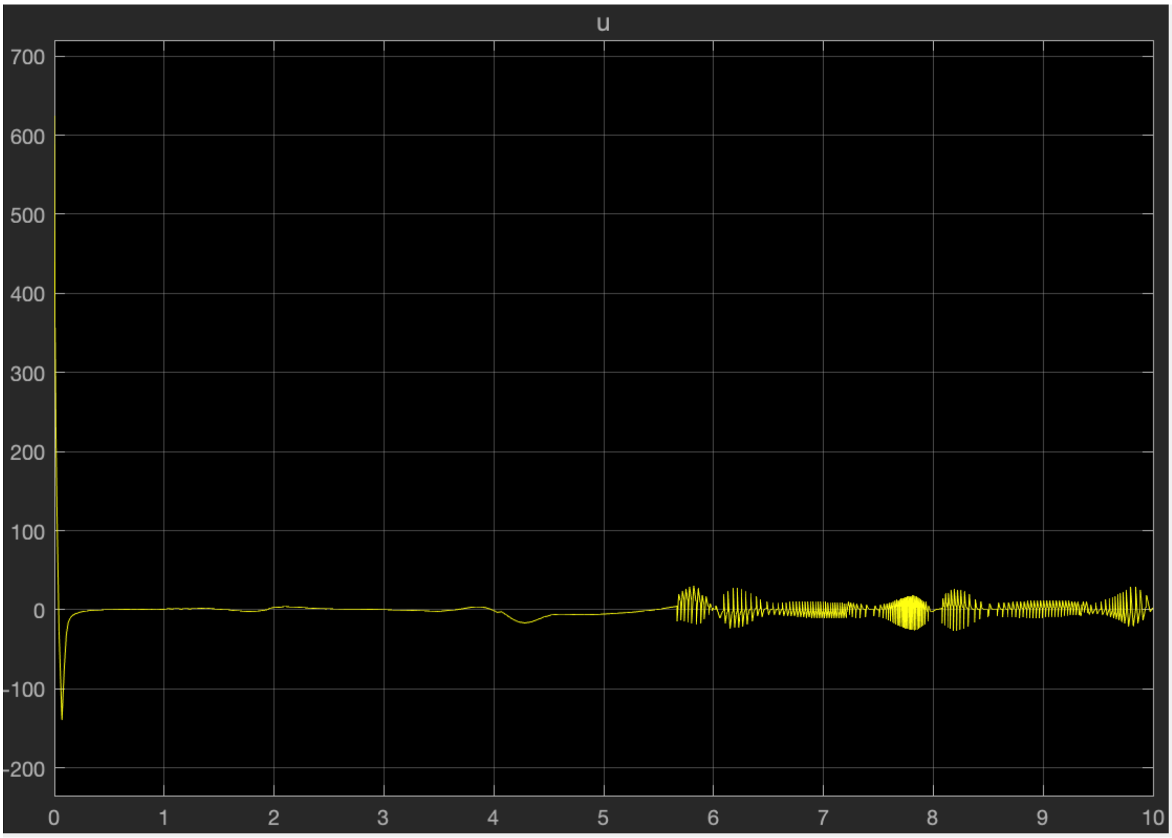
شکل ۲ ـ ۶: نمودار $\ddot{x}$ با روش کنترل مد لغزشی کلاسیک



شکل ۲ـ۷: نمودار $\ddot{e}$ با روش کنترل مد لغزشی کلاسیک



شکل ۲ـ۸: نمودار S با روش کنترل مد لغزشی کلاسیک



شکل ۲ـ۹: نمودار u با روش کنترل مد لغزشی کلاسیک

فصل ۳

نتیجه‌گیری

در این تمرین یک سیستم درجه ۳ را با روش کنترل مد لغزشی کلاسیک طراحی کردیم و سپس شبیه سازی کردیم. نتیجه ی این شبیه سازی، یک ردیابی خوب بود ولی به قیمت ایجاد پدیده ی چترینگ و یک فراجهش بزرگ در لحظات ابتدایی در بردار کنترل و خطا تمام شد.