

دانشگاه آزاد اسلامی - واحد علوم تحقیقات
دانشکده‌ی مهندسی برق کنترل

گزارش شبیه سازی تمرین ۳ کنترل مد لغزشی
درس تشخیص و شناسایی عیب

عنوان:

**تمرین ۳ کنترل مد لغزشی - اعمال کنترل مد لغزشی
دینامیک بر روی یک سیستم درجه دو و مقایسه با روش
کلاسیک کنترل مد لغزشی**

نگارش:

کیان خانقاهی

استاد راهنما:

دکتر مهدی سیاهی

مرداد ۱۴۰۰

سلام افلا

فهرست مطالب

۶	۱ طراحی
۶	۱-۱ طراحی کنترل مد لغزشی کلاسیک
۸	۱-۲ طراحی کنترل مد لغزشی دینامیک
۱۰	۲ شبیه سازی
۱۰	۲-۱ شبیه سازی با روش کنترل مد لغزشی کلاسیک
۱۱	۲-۲ شبیه سازی با روش کنترل مد لغزشی دینامیک
۱۲	۲-۳ بحث در مورد نتایج و مقایسه
۲۱	۳ نتیجه گیری
۲۲	آ مطالب تکمیلی

فهرست شکل‌ها

- ۱-۲ پیاده سازی سیستم با روش کنترل مد لغزشی کلاسیک در سیمولینک ۱۱
- ۲-۲ نمودار x با روش کنترل مد لغزشی کلاسیک ۱۲
- ۳-۲ نمودار \dot{x} با روش کنترل مد لغزشی کلاسیک ۱۳
- ۴-۲ نمودار S با روش کنترل مد لغزشی کلاسیک ۱۴
- ۵-۲ نمودار u با روش کنترل مد لغزشی کلاسیک ۱۵
- ۶-۲ پیاده سازی سیستم با روش کنترل مد لغزشی دینامیک در سیمولینک ۱۶
- ۷-۲ نمودار x با روش کنترل مد لغزشی دینامیک ۱۷
- ۸-۲ نمودار \dot{x} با روش کنترل مد لغزشی دینامیک ۱۸
- ۹-۲ نمودار S با روش کنترل مد لغزشی دینامیک ۱۹
- ۱۰-۲ نمودار u با روش کنترل مد لغزشی دینامیک ۲۰
- آ-۱ شرح ۲۴

فهرست جدول‌ها

فصل ۱

طراحی

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

مثال ۱-۱ بردار کنترل u را به روش معادل سازی طوری طراحی کنید که پایداری مجانبی نقطه تعادل تضمین گردد و در نهایت پاسخ را با روش کنترل کلاسیک مقایسه نمایید.

$$\ddot{x} = f(x) + u$$

$$f(x) = \alpha(t) \cdot \dot{x}^2 \quad (1-1)$$

$$1 < \alpha(t) < 4$$

۱-۱ طراحی کنترل مد لغزشی کلاسیک

در این قسمت برای مثال با روش کنترل مد لغزشی کلاسیک طراحی می کنیم. ابتدا مقادیر نامی و حدی f را به دست می آوریم.

$$\hat{f} = 2/5 \dot{x}^2 \quad \|f - \hat{f}\| \leq F = 1/5 \dot{x}^2 \quad (2-1)$$

حال سطح لغزش را به صورت زیر تعریف می کنیم.

$$S = \dot{x} + \lambda \cdot x \quad (3-1)$$

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

$$\dot{S} = \ddot{x} + \lambda.\dot{x} \quad (۴-۱)$$

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

$$\dot{S} = f + u + \lambda.\dot{x} \quad (۵-۱)$$

سپس اگر $\dot{s} = 0$ و به جای u ، u_{eq} و به جای f ، \hat{f} قرار دهیم، به صورت زیر حاصل می شود.

$$u_{eq} = -\hat{f} - \lambda.\dot{x} \quad (۶-۱)$$

خروجی کنترلر به صورت زیر بدست می آید.

$$u = u_{eq} - K.sign(S) \quad (۷-۱)$$

سپس شرط مجانبی بودن پایداری را چک می کنیم.

$$\dot{S} \leq -\eta.\|S\| \Rightarrow \quad (۸-۱)$$

$$S.\dot{S} = S.[f + u + \lambda.\dot{x}] \leq -\eta.\|S\| \Rightarrow \quad (۹-۱)$$

$$S.\dot{S} = S.[f + u_{eq} - K.sign(S) + \lambda.\dot{x}] \leq -\eta.\|S\| \Rightarrow \quad (۱۰-۱)$$

$$S.\dot{S} = S.[f - \hat{f} - \lambda.\dot{x} - K.sign(S) + \lambda.\dot{x}] \leq -\eta.\|S\| \Rightarrow \quad (۱۱-۱)$$

$$S.\dot{S} = S.[f - \hat{f} - K.sign(s)] \leq \|S\|.F - K.\|S\| \leq -\eta.\|S\| \Rightarrow \quad (۱۲-۱)$$

$$K \geq \eta + F \quad (۱۳-۱)$$

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

$$u = -\hat{f} - \lambda.\dot{x} - [\eta + F].sign(S) \quad (۱۴-۱)$$

۲-۱ طراحی کنترل مد لغزشی دینامیک

در این قسمت برای مثال با روش کنترل مد لغزشی دینامیک طراحی می کنیم. ابتدا مقادیر نامی و حدی f را به دست می آوریم.

$$\hat{f} = 2/5\dot{x}^2 \quad \|f - \hat{f}\| \leq F = 1/5\dot{x}^2 \quad (15-1)$$

مشتق \hat{f} هم به صورت زیر است.

$$\dot{\hat{f}} = 5\dot{x}\ddot{x} \quad (16-1)$$

اگر از روش خطی سازی فیدبک استفاده کنیم و بخواهیم عبارات غیر خطی در معادله ی سیستم را حذف کنیم و در عین حال سیستمی خطی پایدار به جای آن بگذاریم، u_{eq} به صورت زیر بدست می آید.

$$u_{eq} = -\hat{f} - k_1.\dot{x} - k_2.x \quad , \quad k_1 > 0, k_2 > 0 \quad (17-1)$$

حال سطح لغزش را به صورت زیر انتخاب می کنیم.

$$S = u - u_{eq} \Rightarrow \quad (18-1)$$

$$S = u + \hat{f} + k_1.\dot{x} + k_2.x \quad (19-1)$$

اگر از سطح لغزش نسبت به زمان یکبار مشتق بگیریم، رابطه ی زیر بدست می آید.

$$\dot{S} = \dot{u} + \dot{\hat{f}} + k_1.\ddot{x} + k_2.\dot{x} \Rightarrow \quad (20-1)$$

$$\dot{S} = \dot{u} + 5\dot{x}\ddot{x} + k_1.\ddot{x} + k_2.\dot{x} \quad (21-1)$$

حال تابع علامت را در مشتق سطح لغزش قرار می دهیم.

$$\dot{S} = -K.sign(S) \quad , \quad K > 0 \quad (22-1)$$

با جایگذاری رابطه ی بالا در رابطه ی ۲۱-۱ و جایگذاری مقدار \ddot{x} از معادله ی سیستم، \dot{u} به صورت زیر بدست می آید.

$$\dot{u} = (-5\dot{x} - k_1).(\alpha(t).\dot{x}^2 + u) - k_2.\dot{x} - K.sign(S) \Rightarrow \quad (23-1)$$

$$\dot{u} = -5\alpha(t).\ddot{x} - 5\dot{x}.u - k_1.\alpha(t).\dot{x}^2 - k_1.u - k_2.\dot{x} - K.sign(S) \quad (24-1)$$

حال به ازای بزرگ ترین مقدار $\alpha(t)$ ، بدترین حالت \dot{u} به صورت زیر محاسبه می شود که معادله ی دینامیک خروجی کنترل می باشد.

$$\dot{u} = -20.\ddot{x} - 5\dot{x}.u - 4k_1.\dot{x}^2 - k_1.u - k_2.\dot{x} - K.sign(S) \quad (25-1)$$

فصل ۲

شبیه سازی

در این فصل طراحی های دو روش در فصل قبل، شبیه سازی می شوند و در آخر نتایج با هم مقایسه می شوند.

۲-۱ شبیه سازی با روش کنترل مد لغزشی کلاسیک

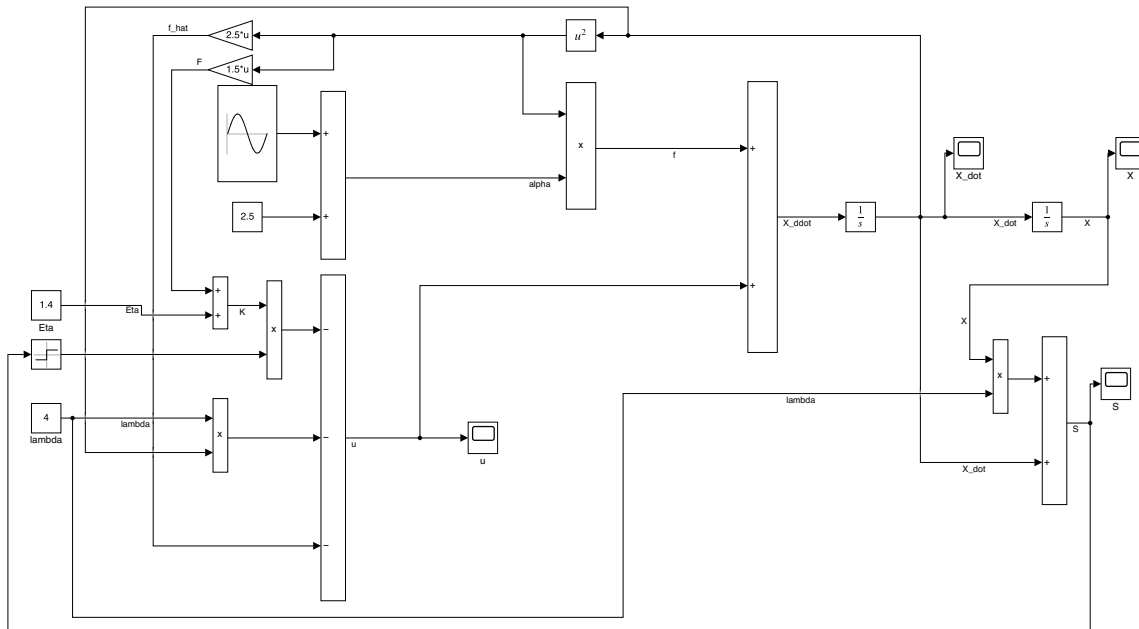
پیاده سازی سیستم با روش کنترل مد لغزشی کلاسیک در سیمولینک به صورت شکل ۲-۱ می باشد. همان طور که دیده می شود، $\lambda = 4$, $\eta = 1/4$ در نظر گرفته شده است تا تقریباً زمان رسیدن کم شود و در عین حال چترینگ هم خیلی زیاد نشود. نامعینی $\alpha(t)$ هم در اینجا با جمع یک موج سینوسی و یک عدد ثابت درست شده است به طوری که محدوده ی آن یکی باشد. حال شبیه سازی را در زمان ۱۰ ثانیه و شرایط اولیه ی $x(0) = 2$, $\dot{x}(0) = 1$ انجام می دهیم.

نمودار x به صورت شکل ۲-۲ می باشد.

نمودار \dot{x} به صورت شکل ۲-۳ می باشد.

نمودار S یا سطح لغزش به صورت شکل ۲-۴ می باشد.

نمودار u یا خروجی کنترلر به صورت شکل ۲-۵ می باشد.



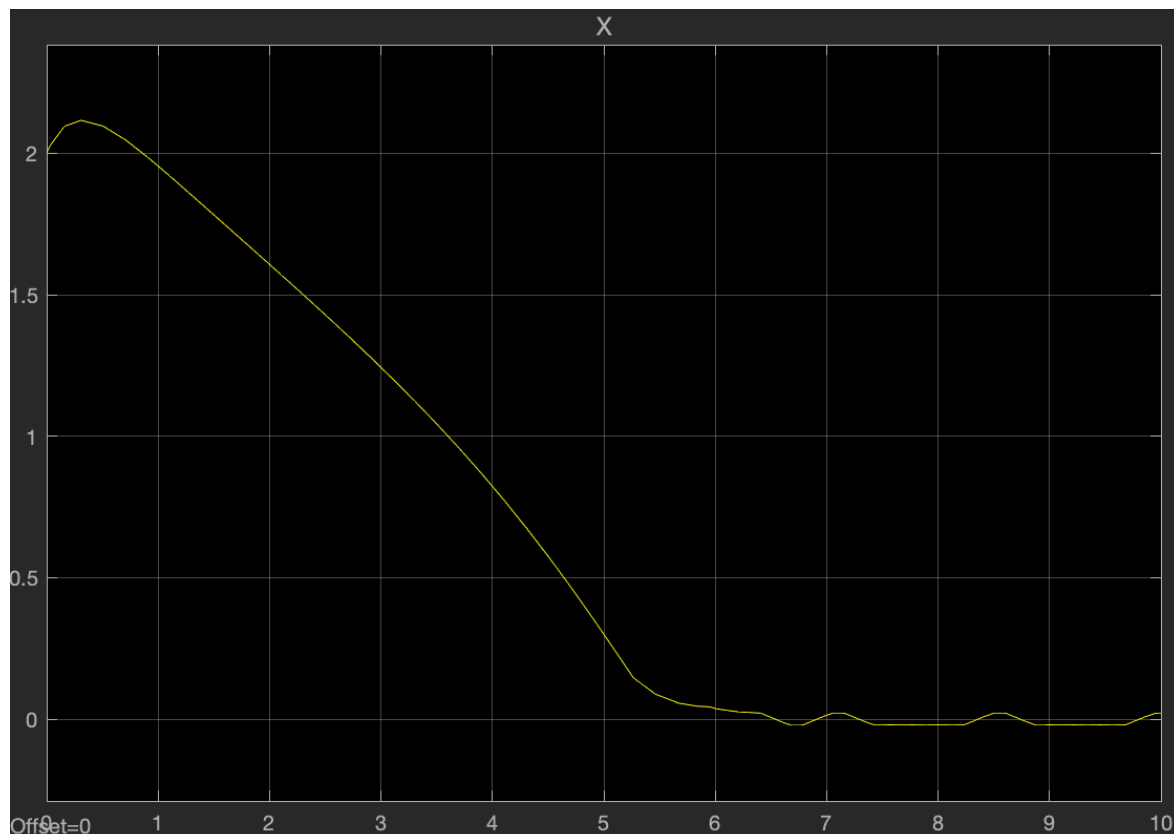
شکل ۲-۱: پیاده سازی سیستم با روش کنترل مد لغزشی کلاسیک در سیمولینک

۲-۲ شبیه سازی با روش کنترل مد لغزشی دینامیک

پیاده سازی سیستم با روش کنترل مد لغزشی دینامیک در سیمولینک به صورت شکل ۲-۶ می باشد. همان طور که دیده می شود، $k_1 = 3$, $k_2 = 2$, $K = 1/4$ در نظر گرفته شده است تا تقریباً زمان رسیدن کم شود و در عین حال چترینگ هم خیلی زیاد نشود. نامعینی $\alpha(t)$ هم در اینجا با جمع یک موج سینوسی و یک عدد ثابت درست شده است به طوری که محدوده ی آن یکی باشد. حال شبیه سازی را در زمان ۱۰ ثانیه و شرایط اولیه ی $x(0) = 2$, $\dot{x}(0) = 1$ انجام می دهیم.

نمودار x به صورت شکل ۲-۷ می باشد.

نمودار \dot{x} به صورت شکل ۲-۸ می باشد.



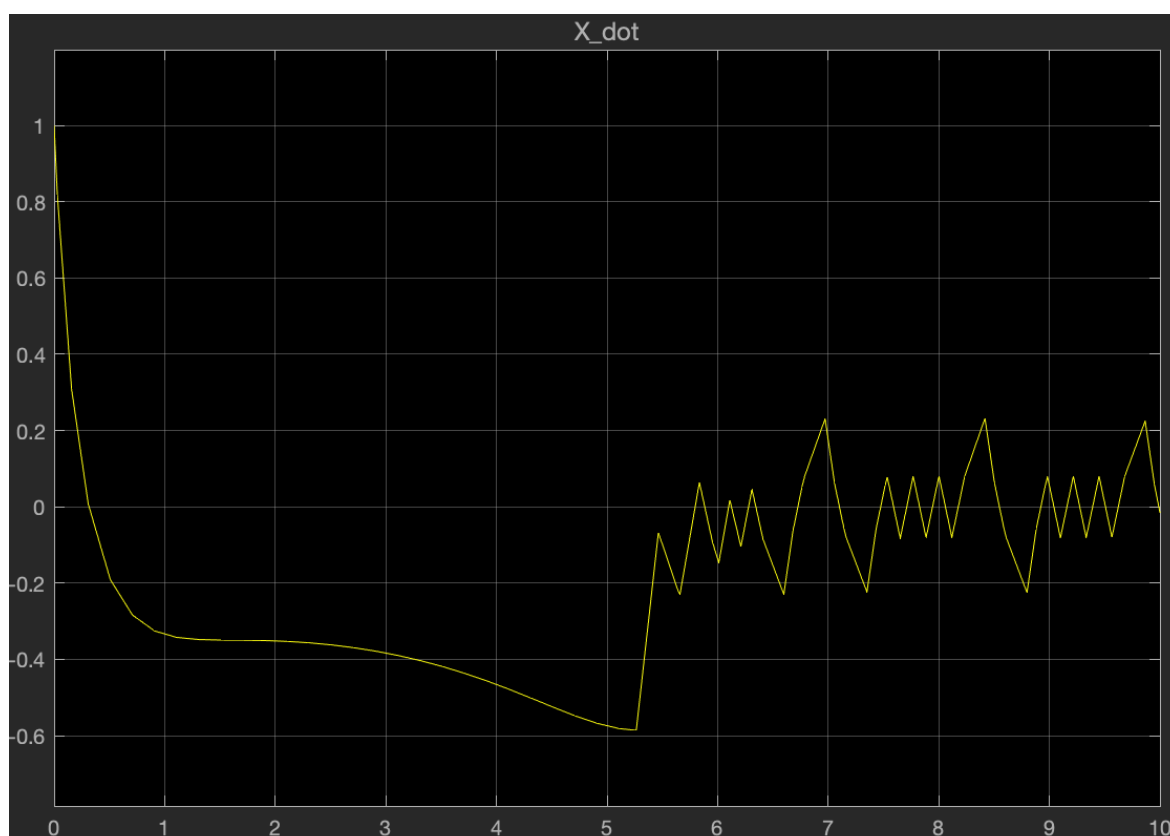
شکل ۲-۲: نمودار x با روش کنترل مد لغزشی کلاسیک

نمودار S یا سطح لغزش به صورت شکل ۲-۹ می باشد.

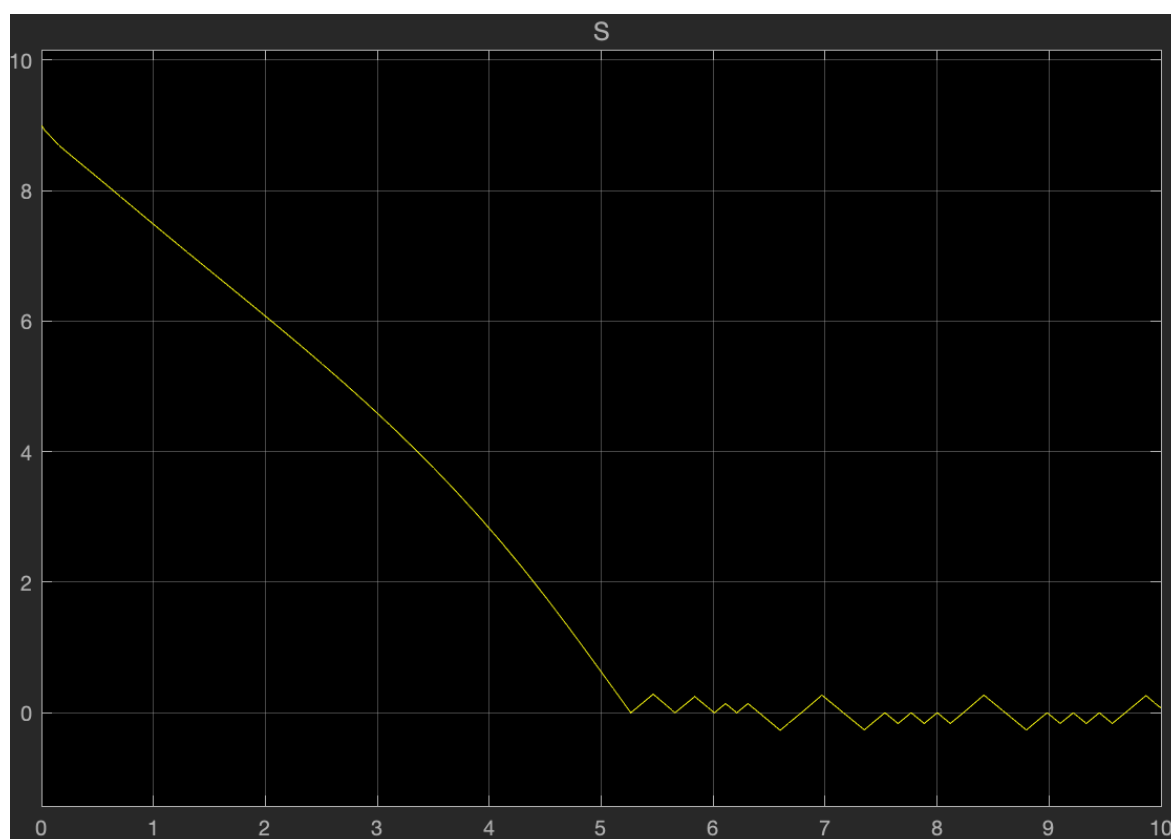
نمودار u یا خروجی کنترلر به صورت شکل ۲-۱۰ می باشد.

۲-۳ بحث در مورد نتایج و مقایسه

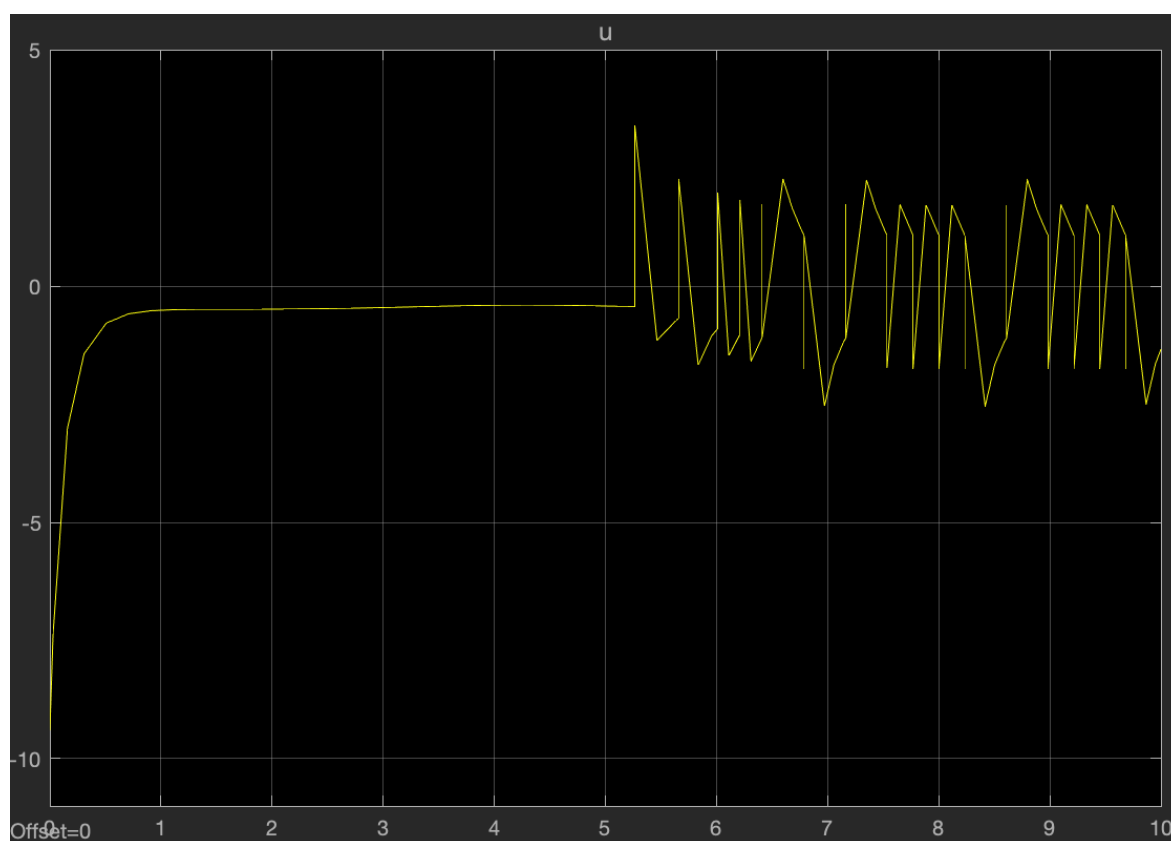
با توجه به نمودارها، کاملاً معلوم است که در یک زمان رسیدن تقریباً مساوی، روش کنترل مد لغزشی دینامیک چترینگ بسیار کمتری دارد. دلیل این پدیده هم این است که تابع علامت به جای خود خروجی کنترلر، در مشتق آن ظاهر شده است. هر چند به علت ماهیت روش مد لغزشی در هر دو روش خطای حالت ماندگار دیده می شود که این خطا در حالت دینامیک بیشتر است.



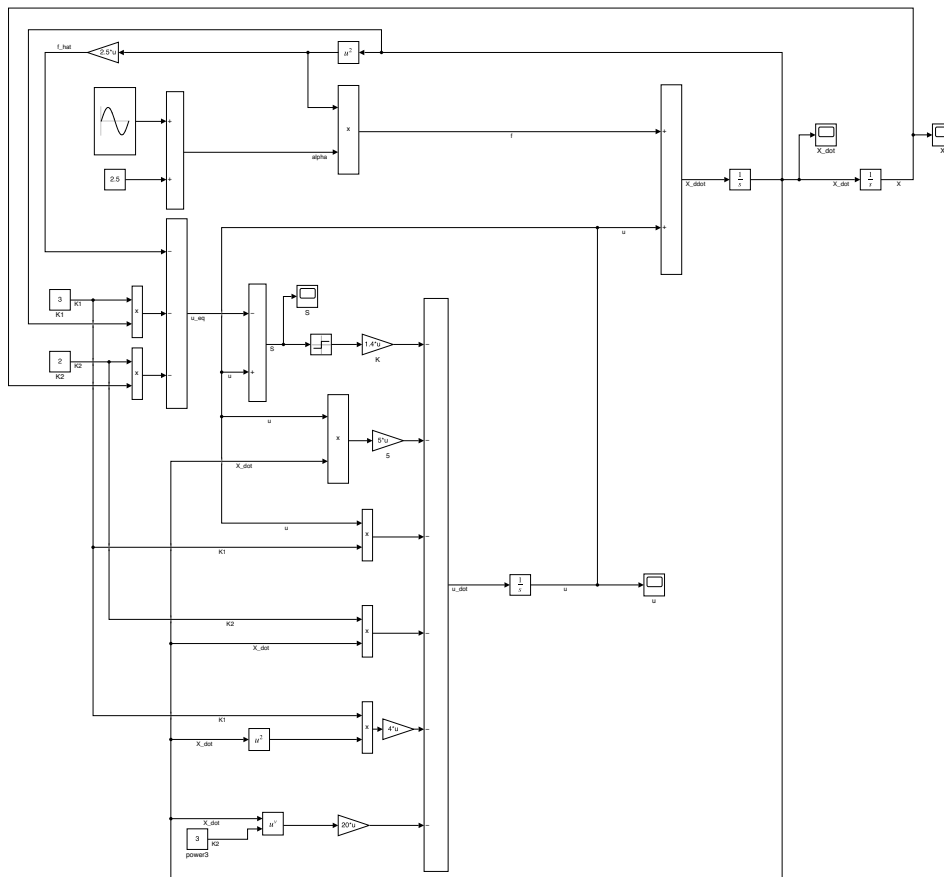
شکل ۲-۳: نمودار \dot{x} با روش کنترل مد لغزشی کلاسیک



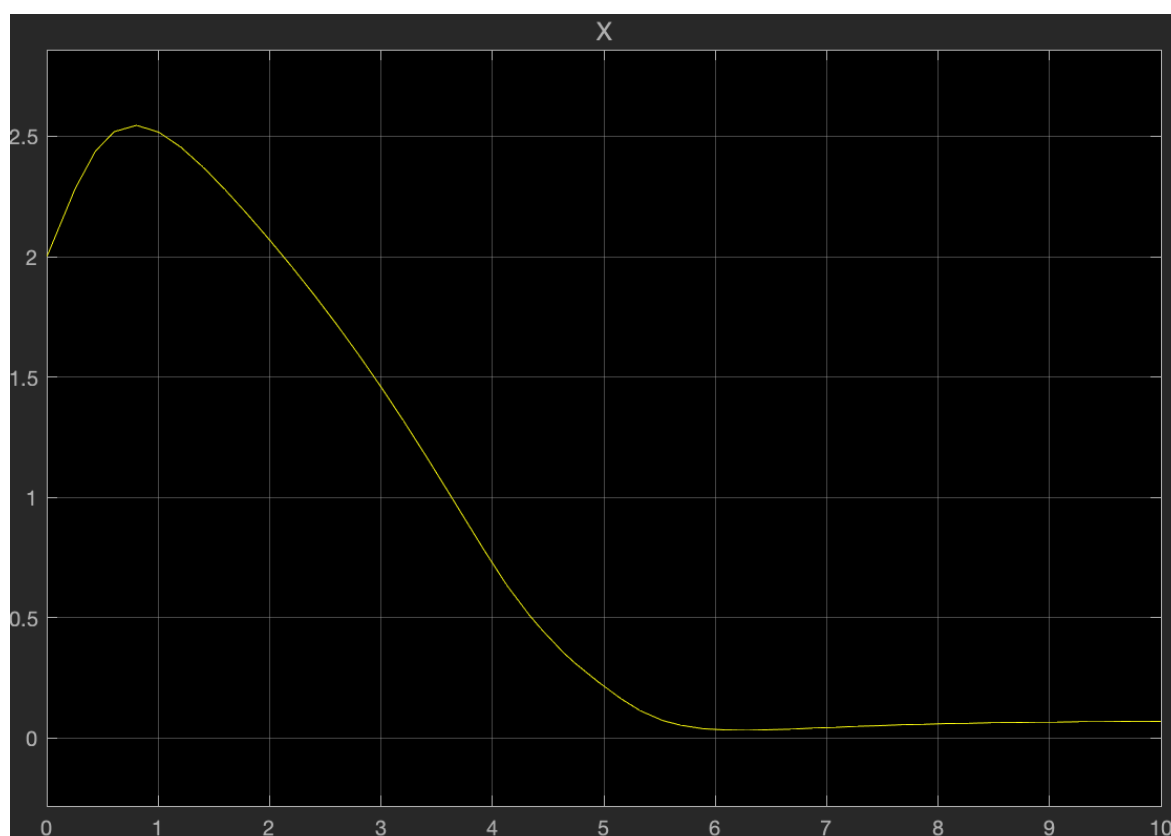
شکل ۲-۴: نمودار S با روش کنترل مد لغزشی کلاسیک



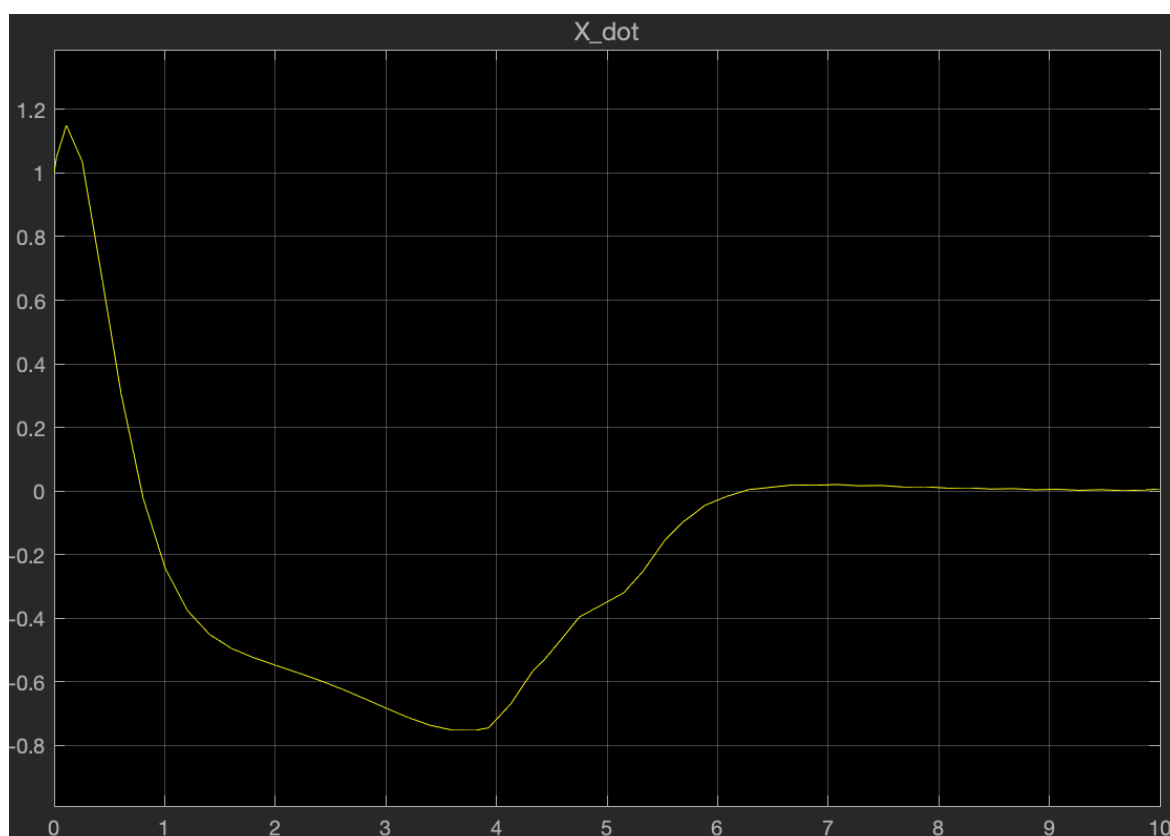
شکل ۲-۵: نمودار u با روش کنترل مد لغزشی کلاسیک



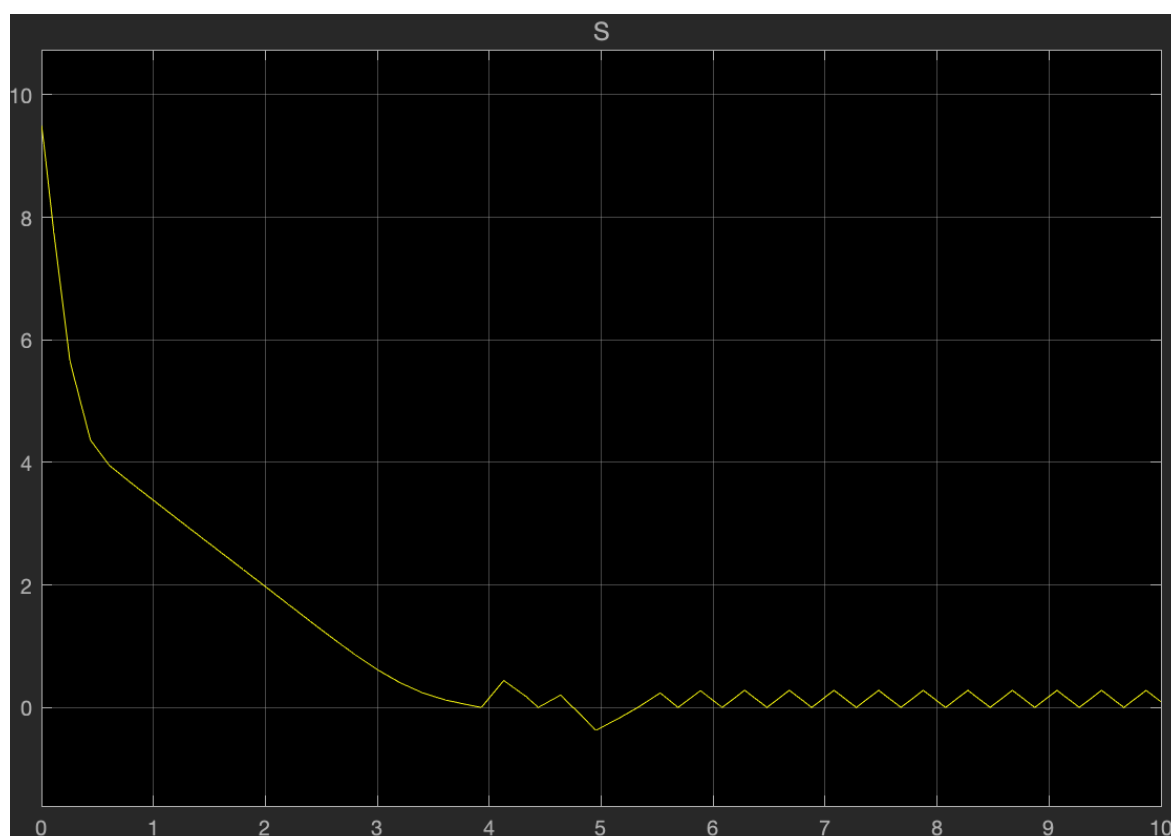
شکل ۲-۶: پیاده سازی سیستم با روش کنترل مد لغزشی دینامیک در سیمولینک



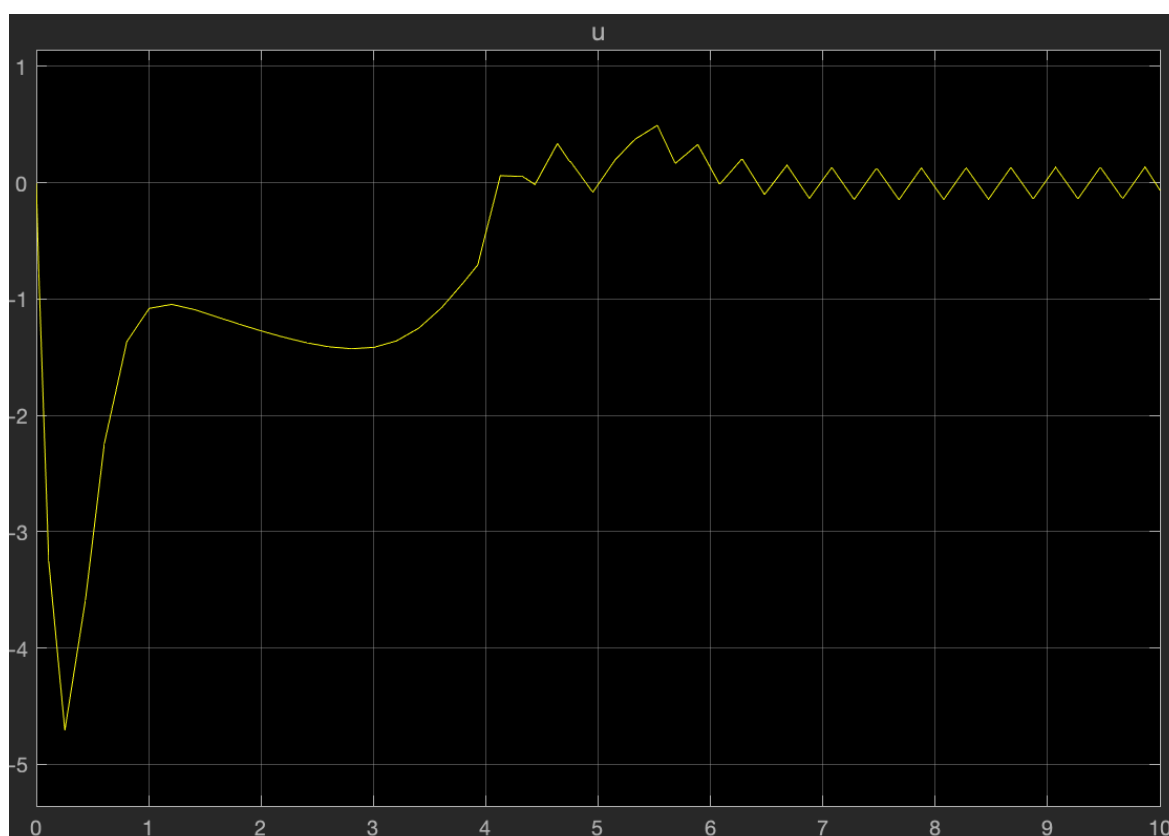
شکل ۲-۷: نمودار x با روش کنترل مد لغزشی دینامیک



شکل ۲-۸: نمودار \dot{x} با روش کنترل مد لغزشی دینامیک



شکل ۲-۹: نمودار S با روش کنترل مد لغزشی دینامیک

شکل ۲-۱۰: نمودار u با روش کنترل مد لغزشی دینامیک

فصل ۳

نتیجه‌گیری

در این تمرین یک سیستم درجه ۲ را با روش کنترل مد لغزشی کلاسیک و روش کنترل مد لغزشی دینامیک طراحی کردیم و سپس شبیه سازی کردیم. همان طور که حدس زده بودیم روش مد لغزشی دینامیک نسبت به روش کلاسیک چترینگ بسیار کمتری دارد هر چند خطای حالت ماندگار روش دینامیک بیشتر است.