

بسمه تعالی

تمرین ۷ کنترل پیشرفته

"طراحی کنترلر و مشاهده گر برای دیسک غلتان روی میله"

(دیجیتال)

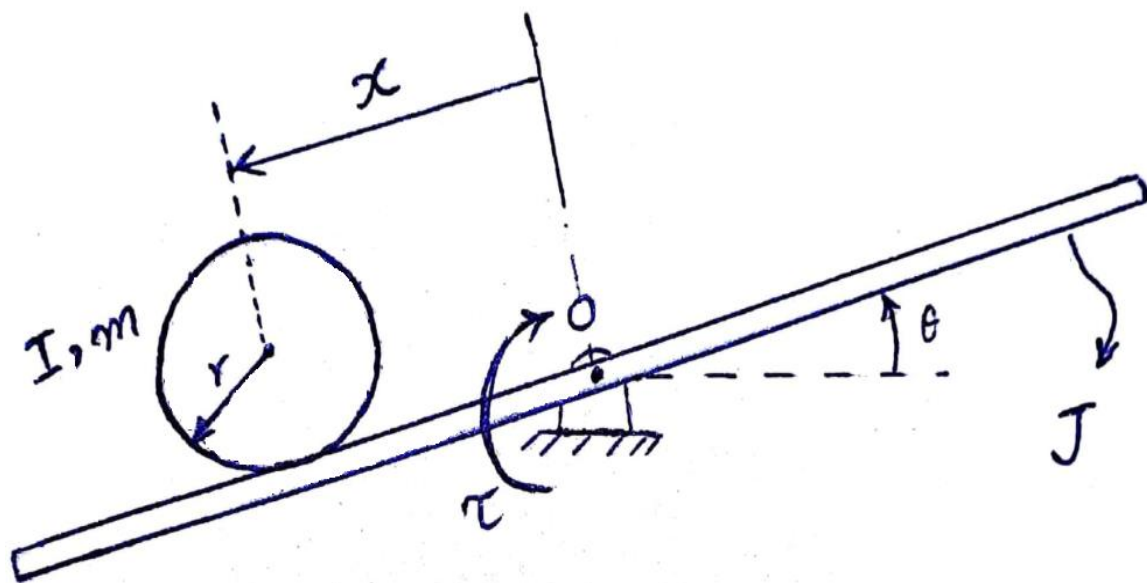
نام و نام خانوادگی:

ایمان شریفی

۹۸۲۱۰۱۸۴

استاد درس:

دکتر سالاریه



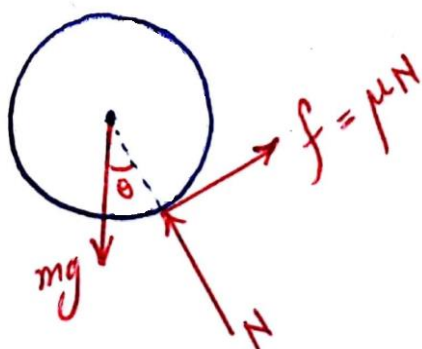
شکل ۱: شماتیک کلی پاندول معکوس

۱- معادلات حاکم را استخراج کنید و حول نقطه تعادل خطی سازی کنید.

معادلات غیر خطی:

معادله حاکم بر کل سیستم:

$$\sum M_o = I_t \ddot{\theta}$$



$$mg \cos(\theta) x - \tau = (J + I + m(x^2 + r^2)) \ddot{\theta}$$

معادلات حاکم بر دیسک:

$$\sum F_x = m a_x$$

$$mg \sin(\theta) - \mu N = m(\ddot{x} - x \dot{\theta}^2)$$

$$\sum F_\theta = m a_\theta$$

$$mg \cos(\theta) - N = m(x \ddot{\theta} + r \dot{\theta}^2)$$

در نتیجه مشتقات مرتبه دوم به صورت زیر بدست می آیند:

$$\ddot{\theta} = \frac{mg\cos(\theta)x - \tau}{(J + I + m(x^2 + r^2))} = f_1$$

$$N = mg\cos(\theta) - m(x\ddot{\theta} + 2\dot{x}\dot{\theta}) = f_2$$

$$\ddot{x} = g\sin(\theta) - \frac{\mu f_2}{m} + x\dot{\theta}^2$$

متغیر های حالت:

$$x_1 = x$$

$$x_2 = \dot{x}$$

$$x_3 = \theta$$

$$x_4 = \dot{\theta}$$

معادلات حاکم:

$$\dot{x}_1 = x_2$$

$$\dot{x}_2 = \frac{1}{m + M - m\cos\theta} \{u - ml\dot{\theta}^2 \sin\theta - mg\sin\theta\}$$

$$\dot{x}_3 = x_4$$

$$\dot{x}_4 = \frac{1}{l} (g\sin\theta - \frac{1}{m + M - m\cos\theta} \{u - ml\dot{\theta}^2 \sin\theta - mg\sin\theta\} \cos\theta)$$

خطی سازی معادلات:

برای خطی سازی از دستور "jacobian" در نرم افزار MATLAB استفاده می کنیم.

$$\dot{X} = AX + Bu$$

$$y = CX + Du$$

$$x = \begin{bmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix} \text{ و } A = \begin{bmatrix} \frac{\partial \dot{x}_1}{\partial x_1} & \dots & \frac{\partial \dot{x}_1}{\partial x_n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial \dot{x}_n}{\partial x_1} & \dots & \frac{\partial \dot{x}_n}{\partial x_n} \end{bmatrix} \text{ و } B = \begin{bmatrix} \frac{\partial \dot{x}_1}{\partial u_1} \\ \vdots \\ \frac{\partial \dot{x}_n}{\partial u_1} \end{bmatrix}$$

$$G = e^{Ah}, H = \int_0^h GBdt = (e^{Ah} - I)A^{-1}B$$

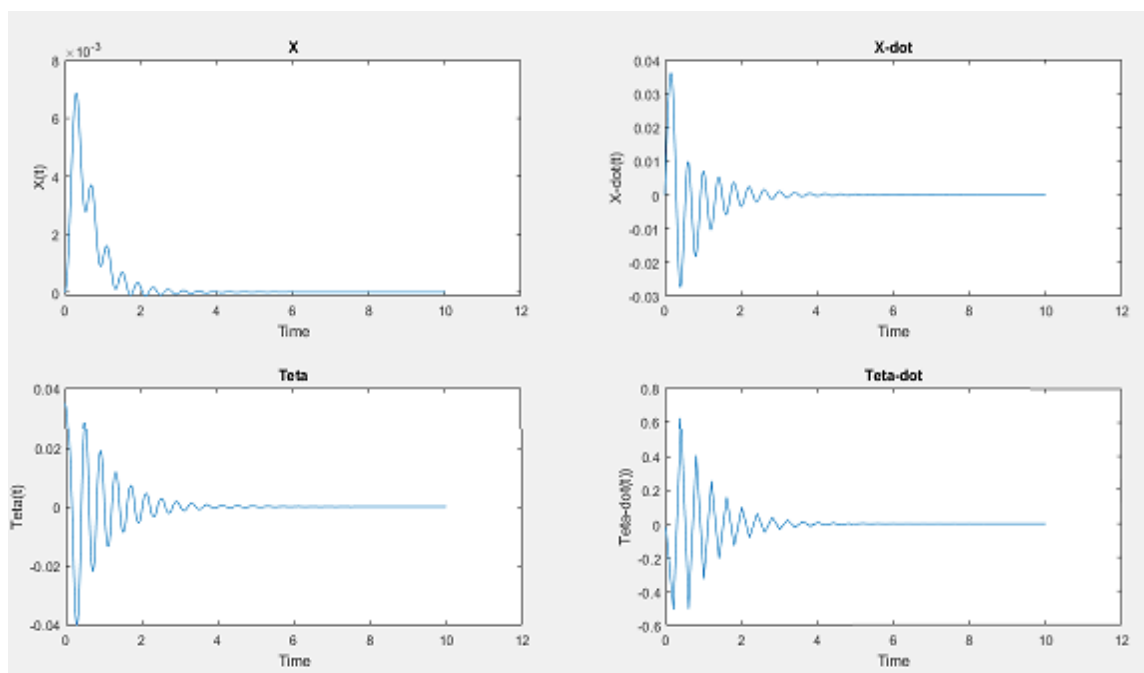
۲- اگر مقادیر ویژه سیستم مدار بسته خطی سازی شده به صورت زیر باشد.

$$desired\ poles = [0.5 \quad 0.5 \quad -0.5 \quad -0.5]$$

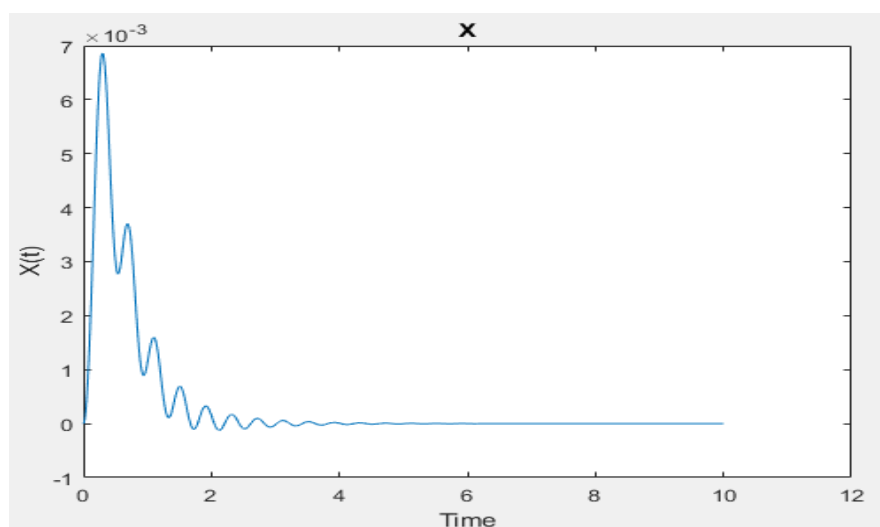
یک رگولاتور خطی طراحی کنید و عملکرد آنرا با اعمال به سیستم غیرخطی چک کنید با دو شرط اولیه زیر:

۱-۲ سیستم خطی

$$h = 0.2 \text{ الف}$$

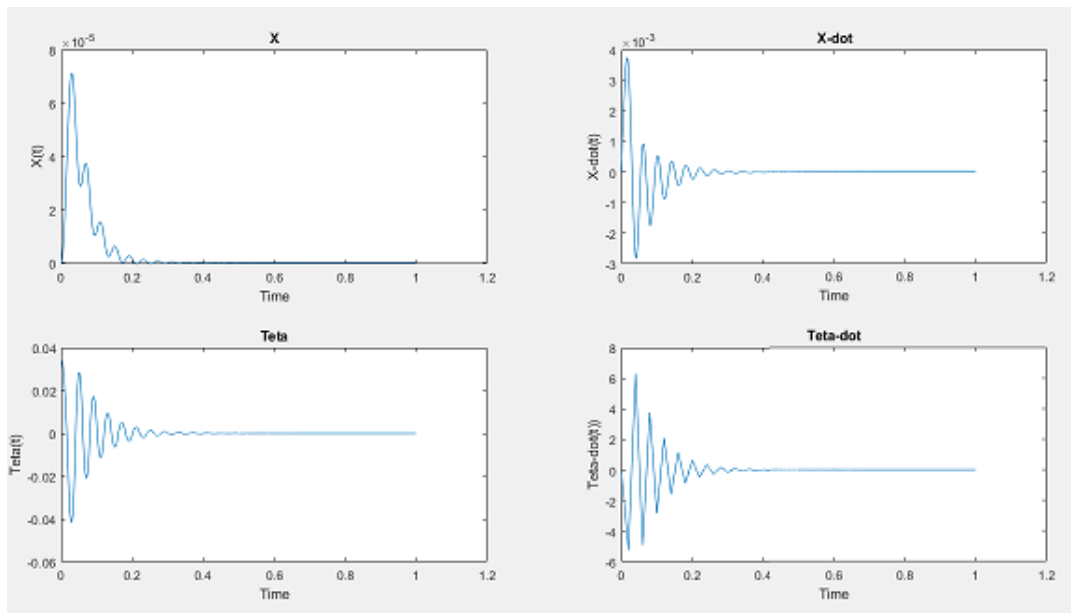


شکل ۲: پاسخ سیستم خطی به ازای $h = 0.2$

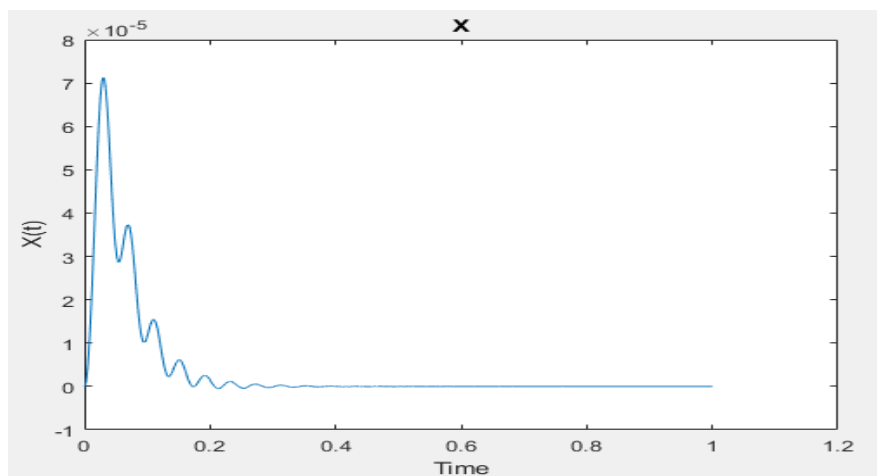


شکل ۳: جابجایی پاندول در سیستم خطی به ازای $h = 0.2$

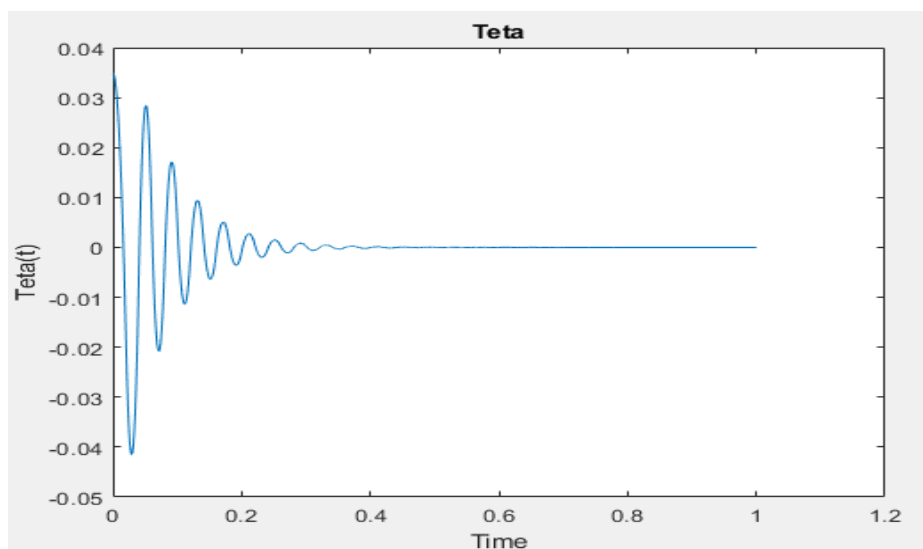
ب- $h = 0.02$



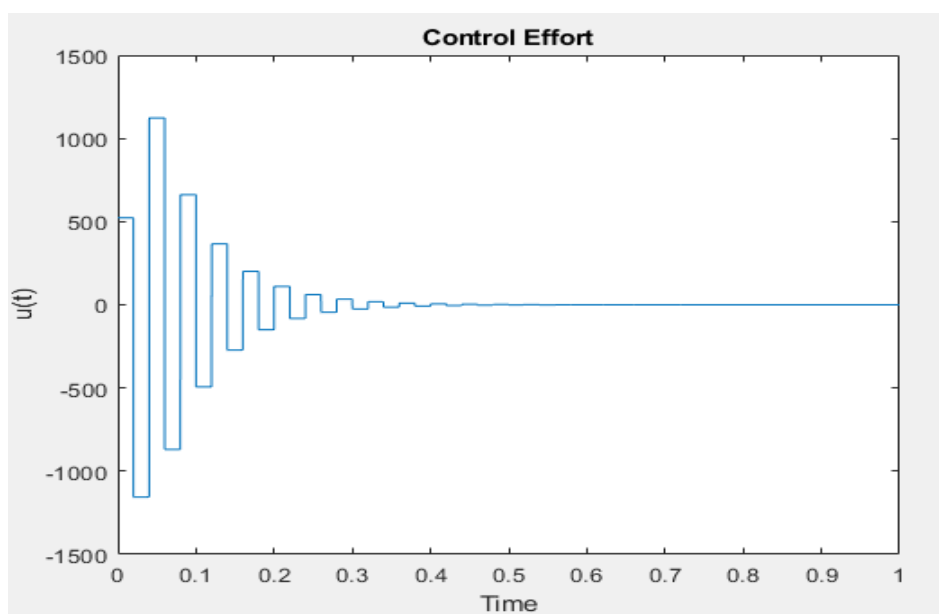
شکل ۷: پاسخ سیستم خطی به ازای $h = 0.02$



شکل ۶: جابجایی پاندول در سیستم خطی به ازای $h = 0.02$



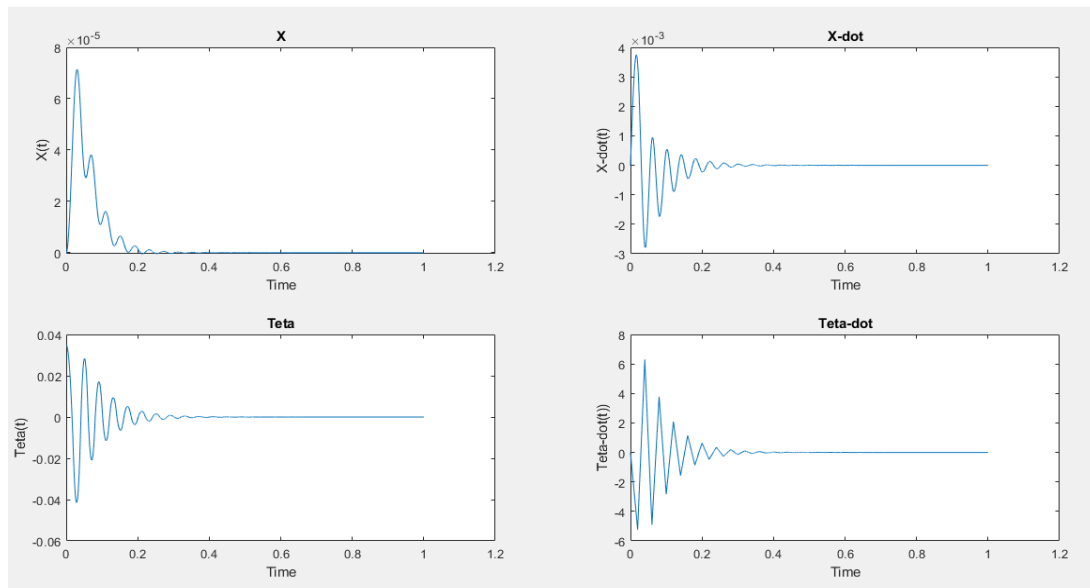
شکل ۸: زاویه پاندول در سیستم خطی به ازای $h = 0.02$



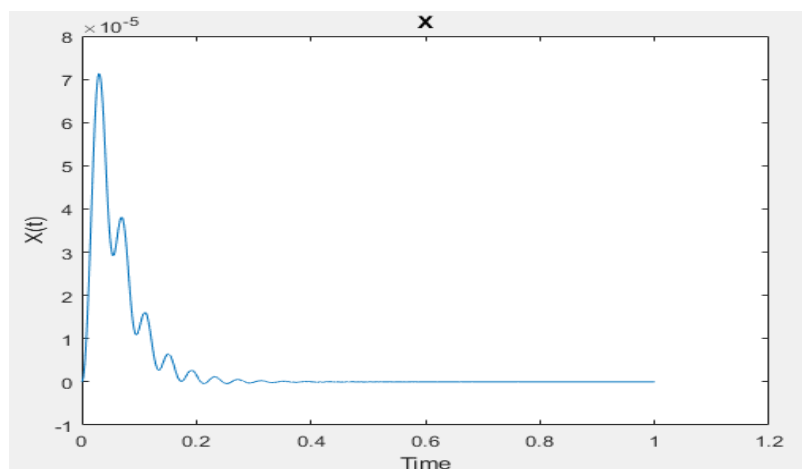
شکل ۹: سیگنال کنترلی در سیستم خطی

۲-۲ سیستم غیر خطی

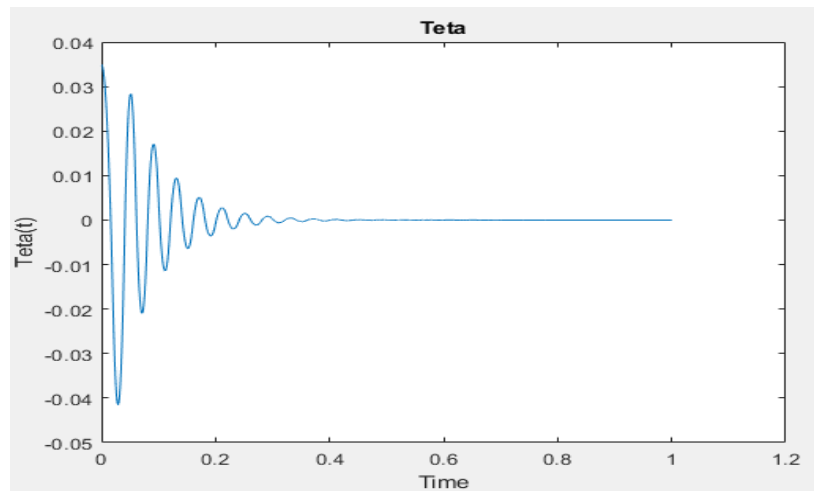
$$h = ۰.۰۲ \text{ الف}$$



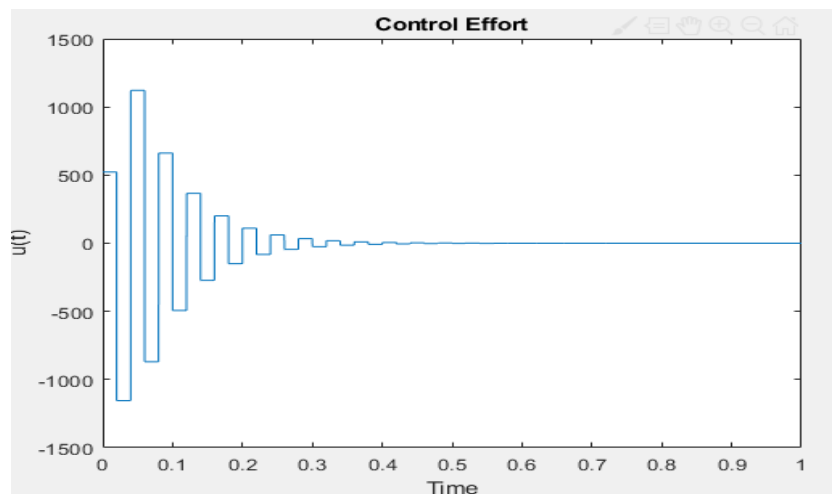
شکل ۱۰: پاسخ سیستم غیر خطی به ازای $h = ۰.۰۲$



شکل ۱۱: جابجایی پاندول در سیستم غیر خطی به ازای $h = ۰.۰۲$

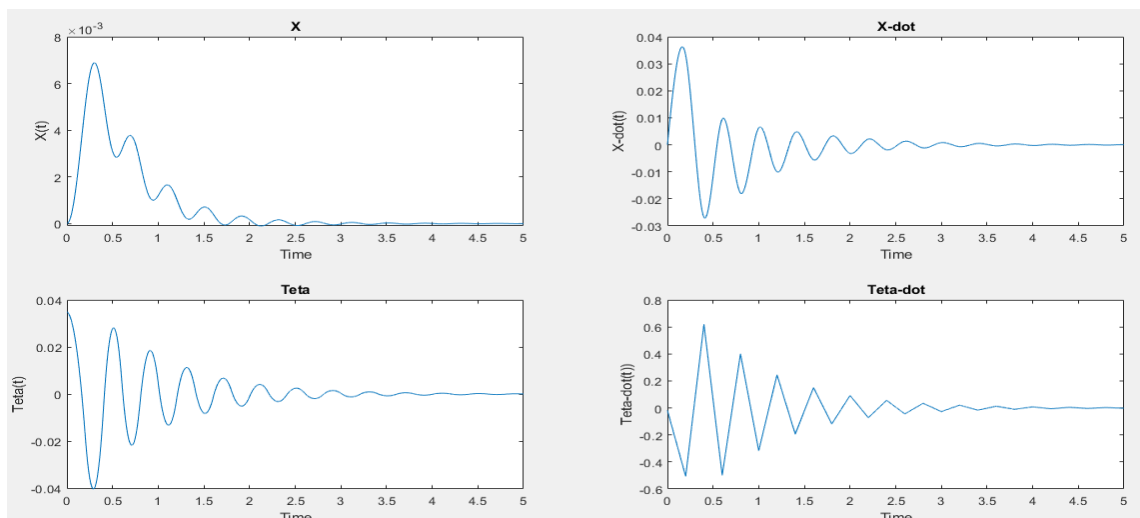


شکل ۱۲: زاویه پاندول در سیستم غیرخطی به ازای $h = 0.02$

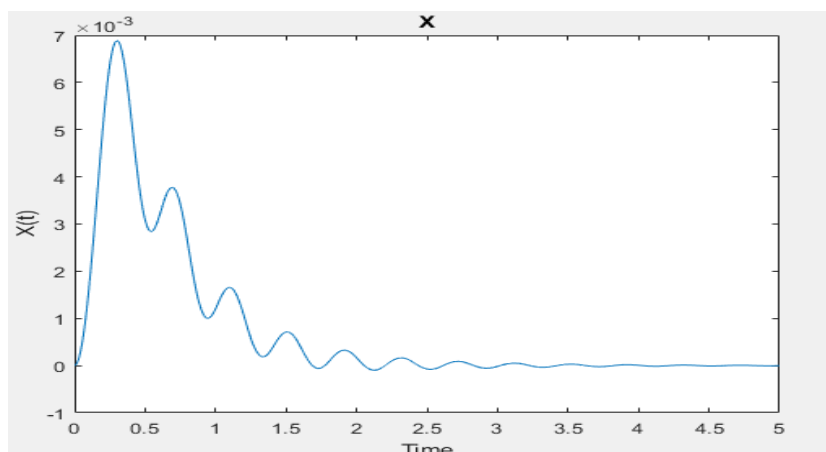


شکل ۱۳: سیگنال کنترلی در سیستم غیر خطی

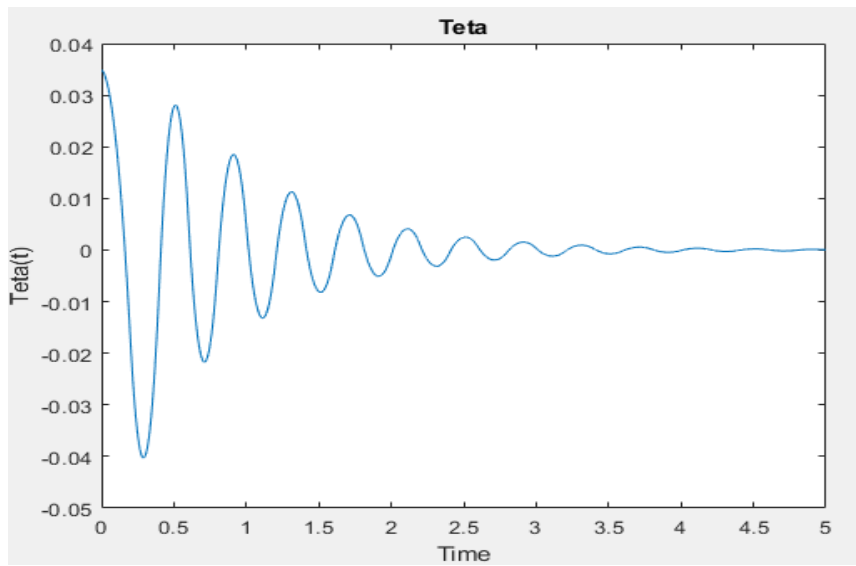
ب- $h = 0.2$



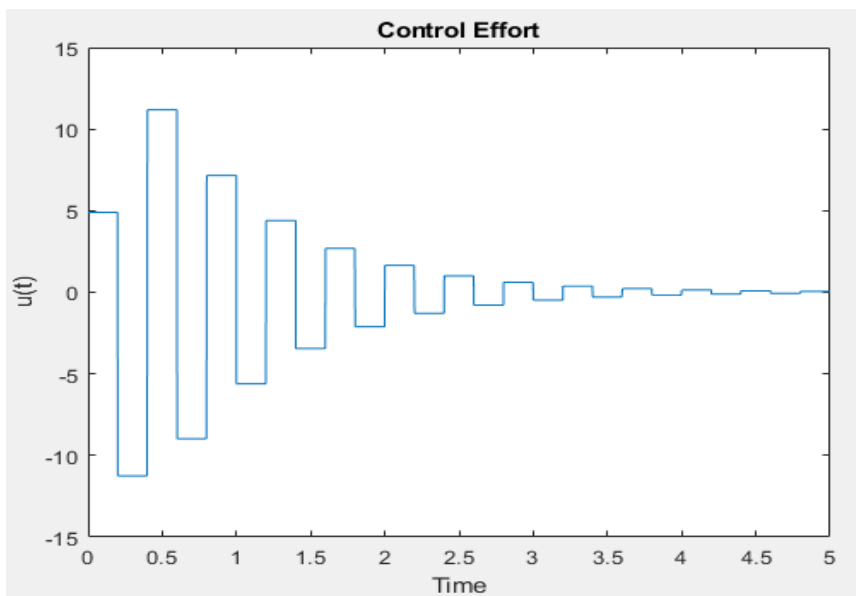
شکل ۱۴: پاسخ سیستم غیرخطی به ازای $h = 0.2$



شکل ۱۵: جابجایی پاندول در سیستم غیر خطی به ازای $h = 0.2$



شکل ۱۶: زاویه پاندول در سیستم غیر خطی به ازای $h = 0.2$

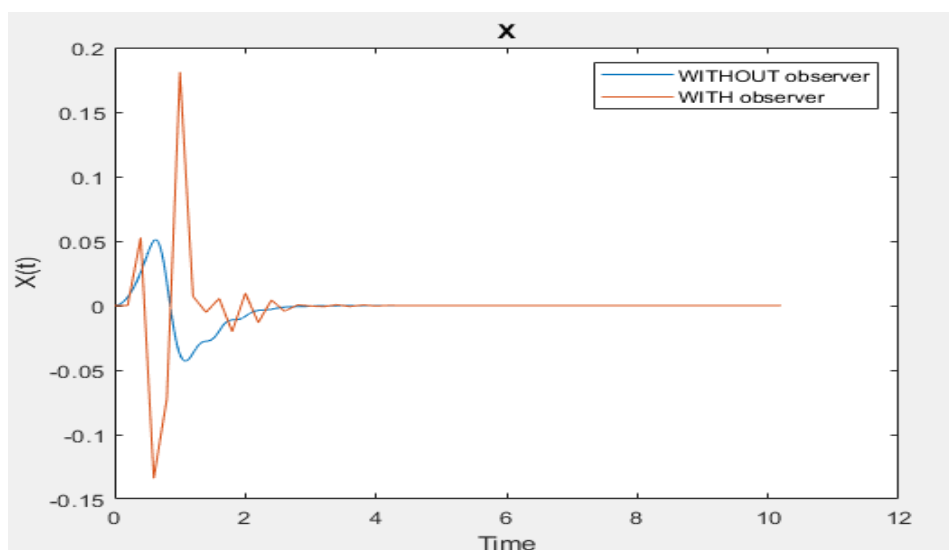


شکل ۱۷: سیگنال کنترلی در سیستم غیر خطی

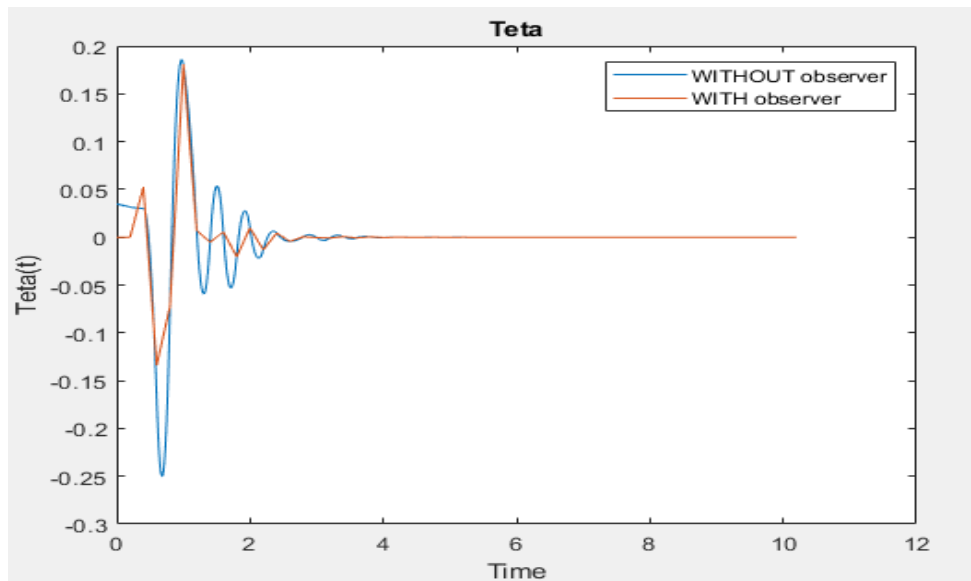
۳- فرض کنید فقط x قابل اندازه گیری باشد یک مشاهده گر حالت با مقادیر ویژه $[0.1 \ 0.1 \ -0.1 \ -0.1]$ برای سیستم خطی سازی شده طراحی کنید طوری که \hat{x} بتواند x را تخمین بزند و نتیجه را نشان دهید.

۱-۳ سیستم خطی

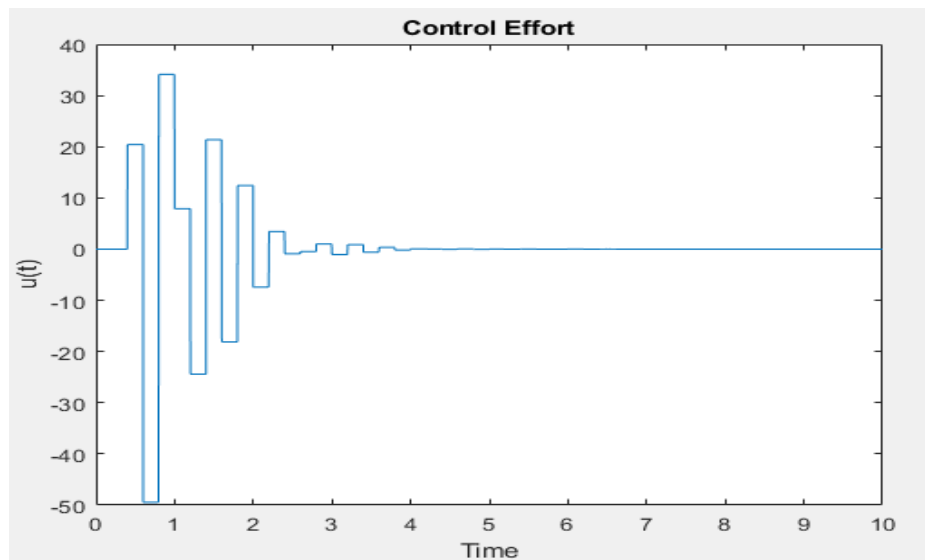
الف-۲. $h = 0.2$



شکل ۱۹: مقایسه جابجایی دیسک در حالت با مشاهده گر و بدون مشاهده گر بر حسب زمان

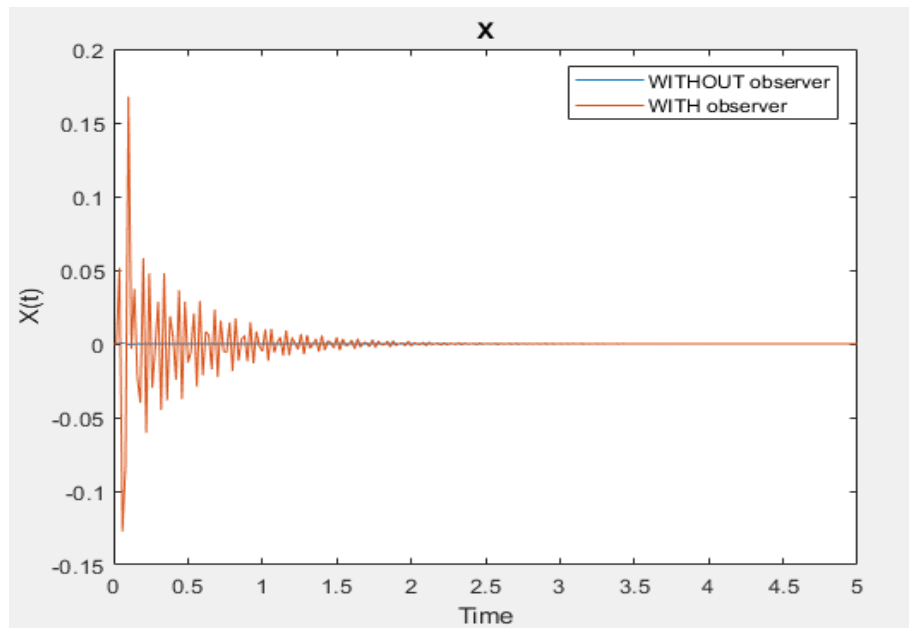


شکل ۲۰: مقایسه زاویه میله با مشاهده گر و بدون مشاهده گر بر حسب زمان

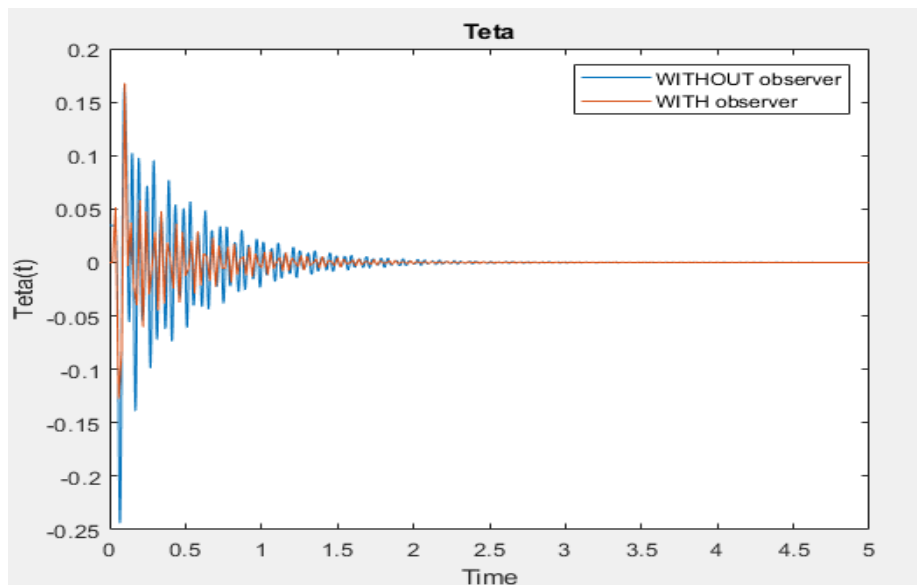


شکل ۲۱: سیگنال کنترلی

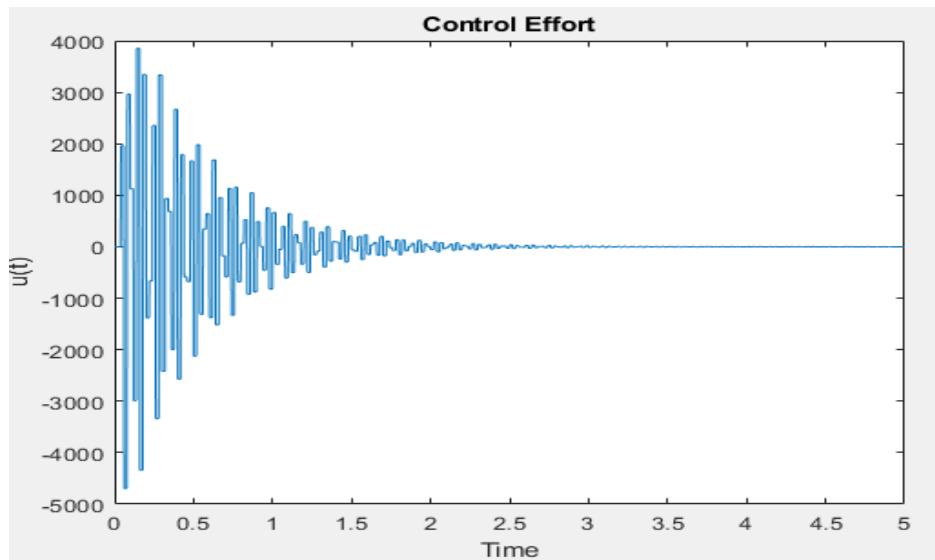
ب- ۰.۰۲ = h



شکل ۲۲: مقایسه جابجایی دیسک در حالت با مشاهده گر و بدون مشاهده گر بر حسب زمان



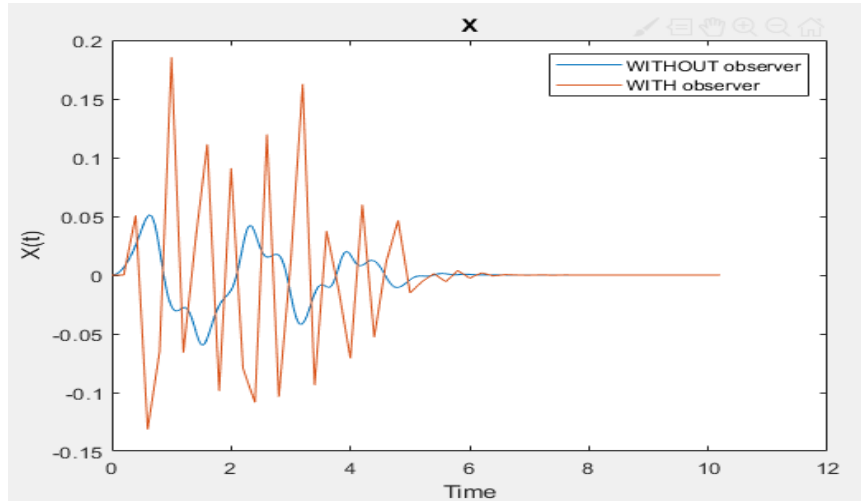
شکل ۲۳: مقایسه زاویه میله با مشاهده گر و بدون مشاهده گر بر حسب زمان



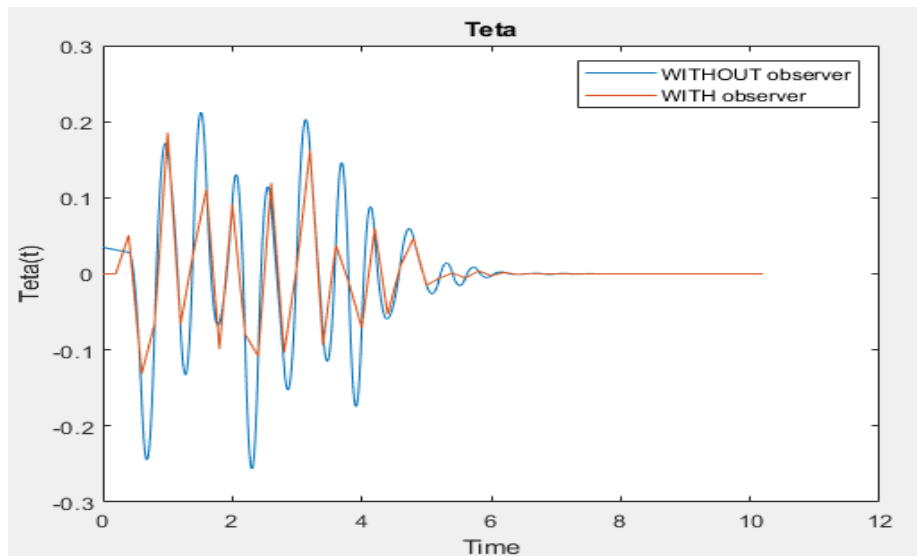
شکل ۲۵: سیگنال کنترلی

۳-۲ سیستم غیر خطی

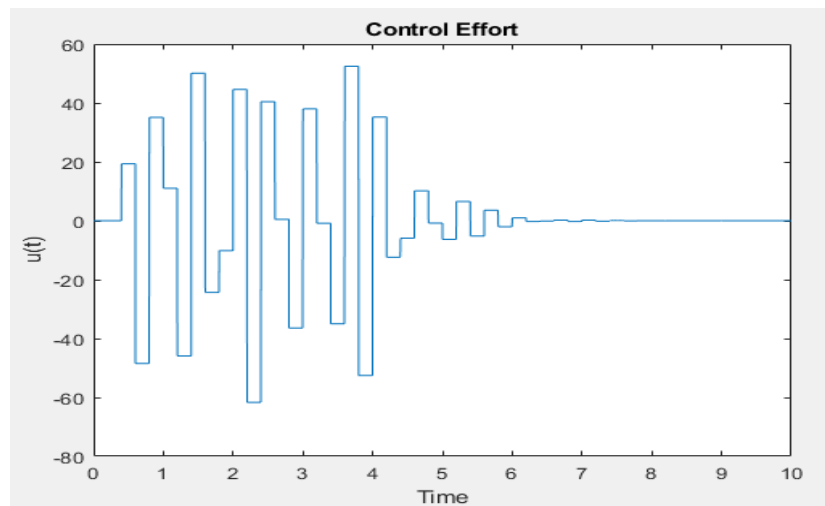
الف-۰.۲ $h =$



شکل ۲۶: مقایسه جابجایی دیسک در حالت با مشاهده گر و بدون مشاهده گر بر حسب زمان



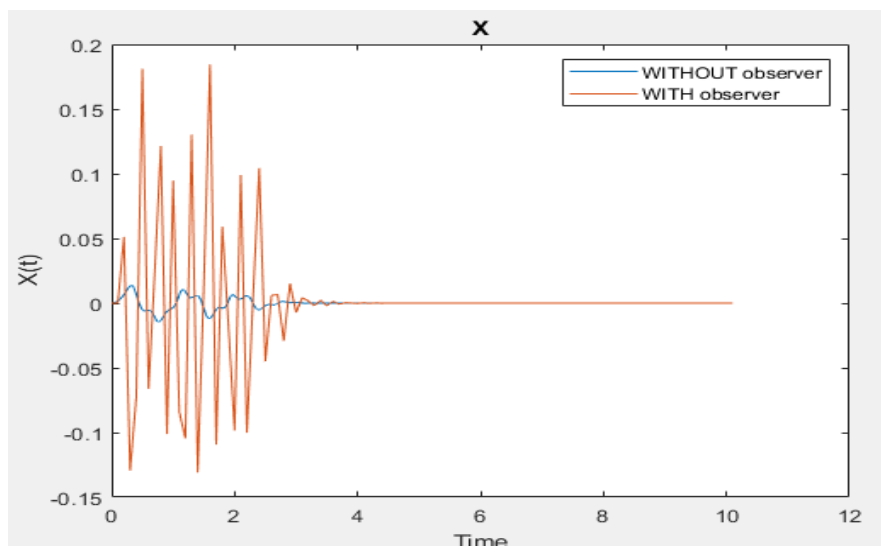
شکل ۲۷: مقایسه زاویه میله با مشاهده گر و بدون مشاهده گر بر حسب زمان



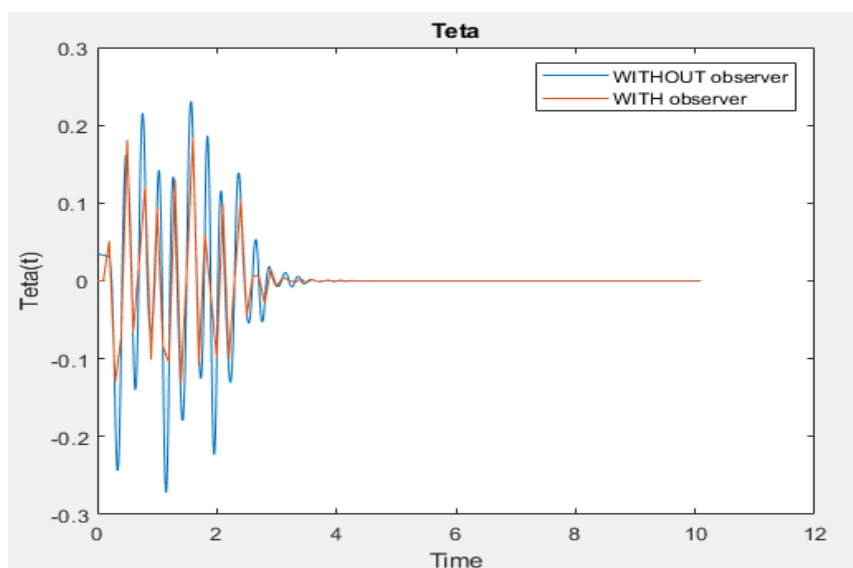
شکل ۲۸: سیگنال کنترلی در سیستم غیر خطی

ب- $h = 0.1$

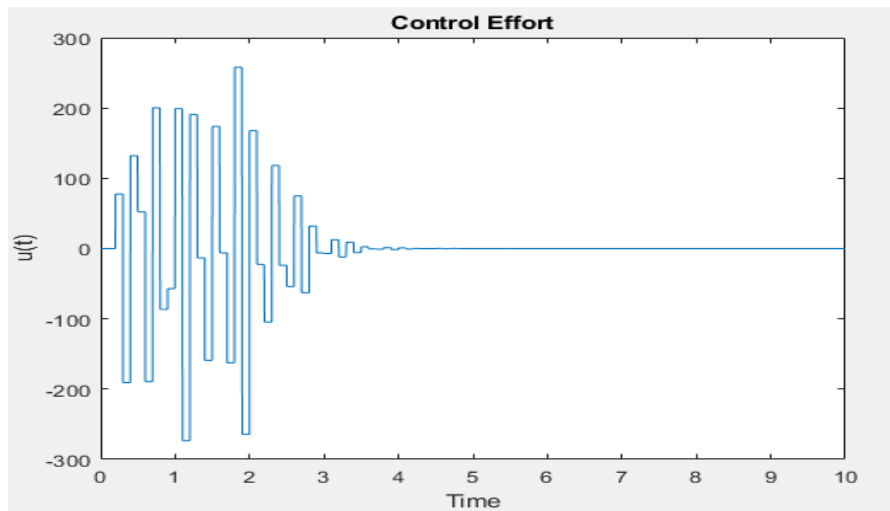
دلیل اینکه مقدار $h = 0.1$ انتخاب شده این است که این سیستم به ازای h های کمتر از 0.1 رفتار کاملاً ناپایدار دارد.



شکل ۲۹: مقایسه جابجایی دیسک در حالت با مشاهده گر و بدون مشاهده گر بر حسب زمان



شکل ۳۰: مقایسه زاویه میله با مشاهده گر و بدون مشاهده گر بر حسب زمان



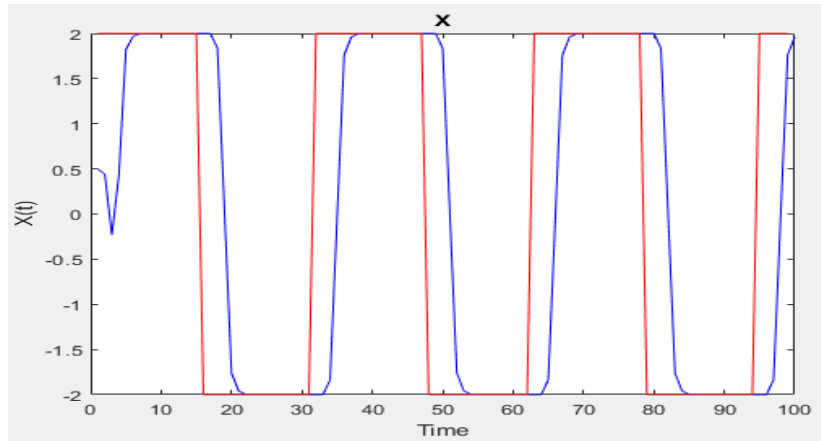
شکل ۳۱: سیگنال کنترلی در سیستم غیرخطی

۴- با همان خروجی x با فرض اینکه همه حالات قابل اندازه گیری باشند می خواهیم یک کنترلر سروو طراحی کنیم طوری که $y_{ref} = 2\text{sign}(\sin(0.5t))$ ثابت را تعقیب کند. (این قسمت را هم برای وقتی که انتگرالگیر بگذاریم و هم برای وقتی که از سیگنال پیشخور استفاده شود تکرار کنید)

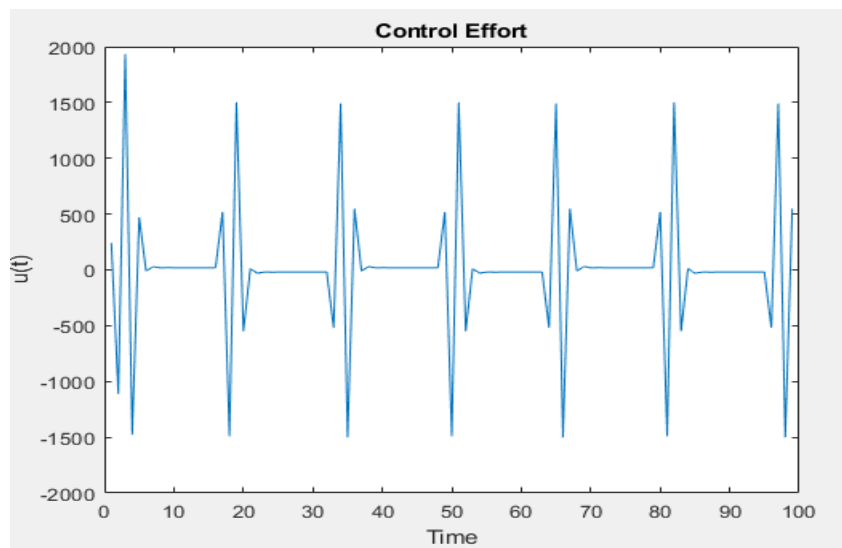
۴-۱ انتگرالگیر:

۴-۱-۱ سیستم دیجیتال

به دلیل اینکه سیستم به ازای $h = 0.02$ رفتار کاملاً ناپایدار دارد مقدار h برابر 0.2 انتخاب شده است.



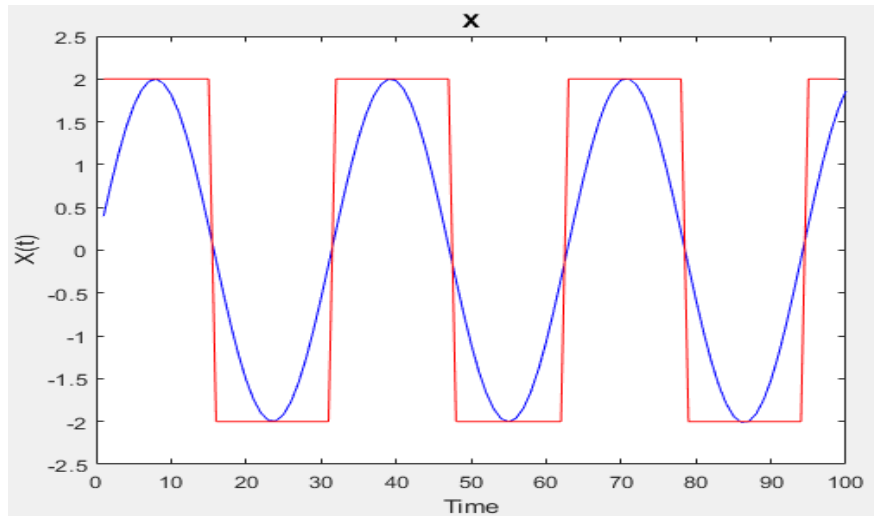
شکل ۳۲: جابجایی دیسک با کنترلر انتگرالگیر در سیستم خطی



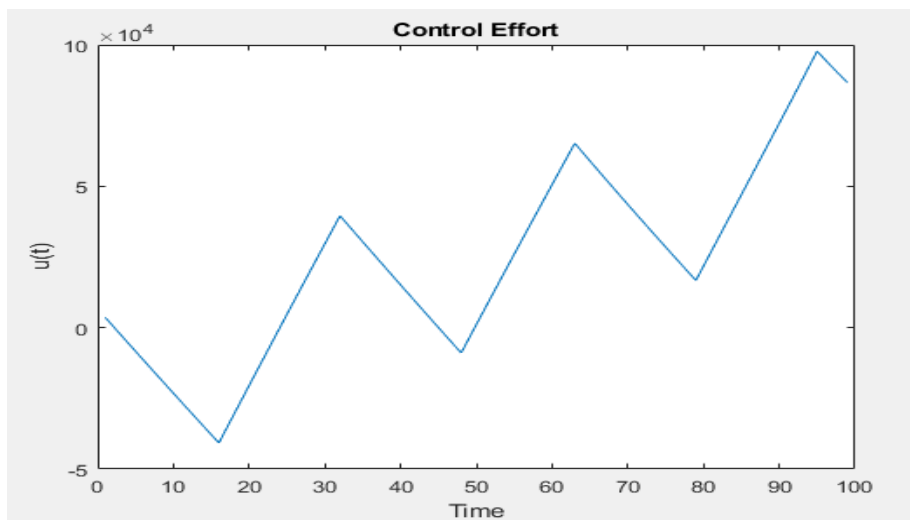
شکل ۳۳: سیگنال کنترلی در سیستم خطی

۲-۱-۴ سیستم خطی و غیر خطی

هر دو سیستم رفتار مشابهی دارند.



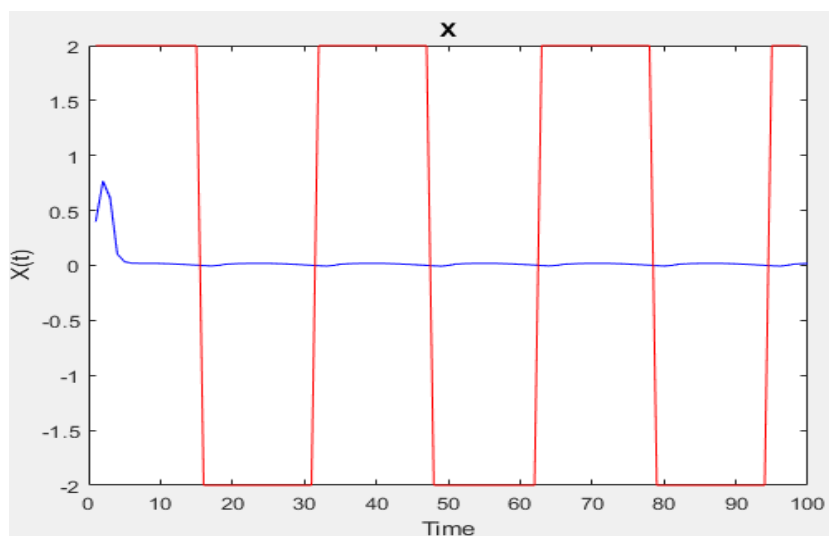
شکل ۳۴: جابجایی دیسک با کنترلر انتگرالگیر در سیستم غیر خطی



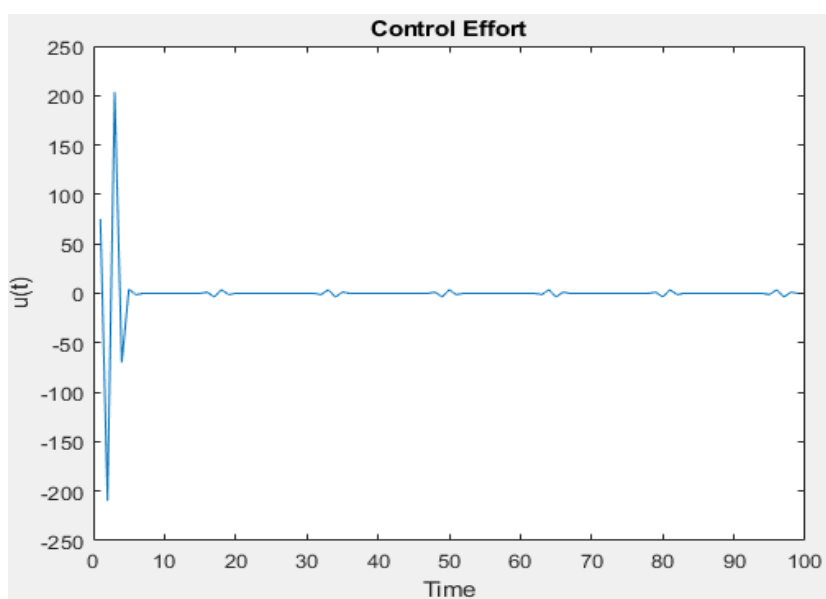
شکل ۳۵: سیگنال کنترلی در سیستم غیر خطی

۴-۲ پیشخور استاتیکی:

۴-۲-۱ سیستم دیجیتال



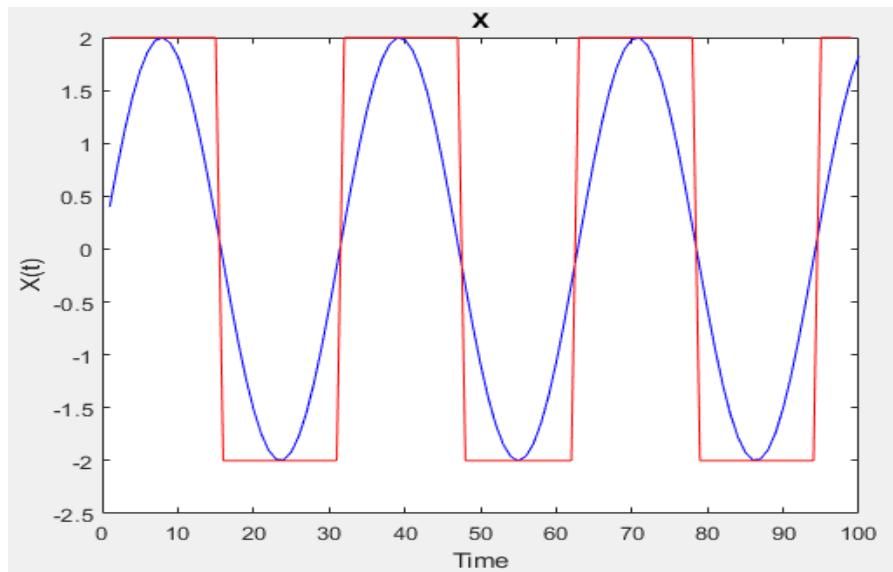
شکل ۳۶: جابجایی دیسک با کنترلر پیشخور استاتیکی در سیستم خطی



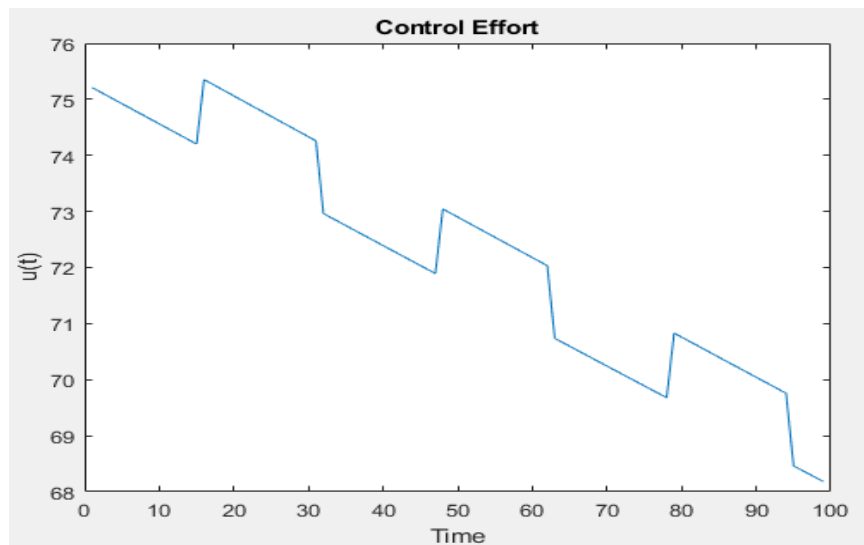
شکل ۳۷: سیگنال کنترلی در سیستم خطی

۴-۲-۲ سیستم خطی و غیر خطی

هر دو سیستم رفتار مشابهی دارند.



شکل ۳۸: جابجایی دیسک با کنترلر پیش خور استاتیکی در سیستم غیر خطی



شکل ۳۹: سیگنال کنترلی در سیستم غیر خطی