بسمه تعالی

تمرین ۶ کنترل پیشرفته

پاندول معکوس

(دیجیتال)

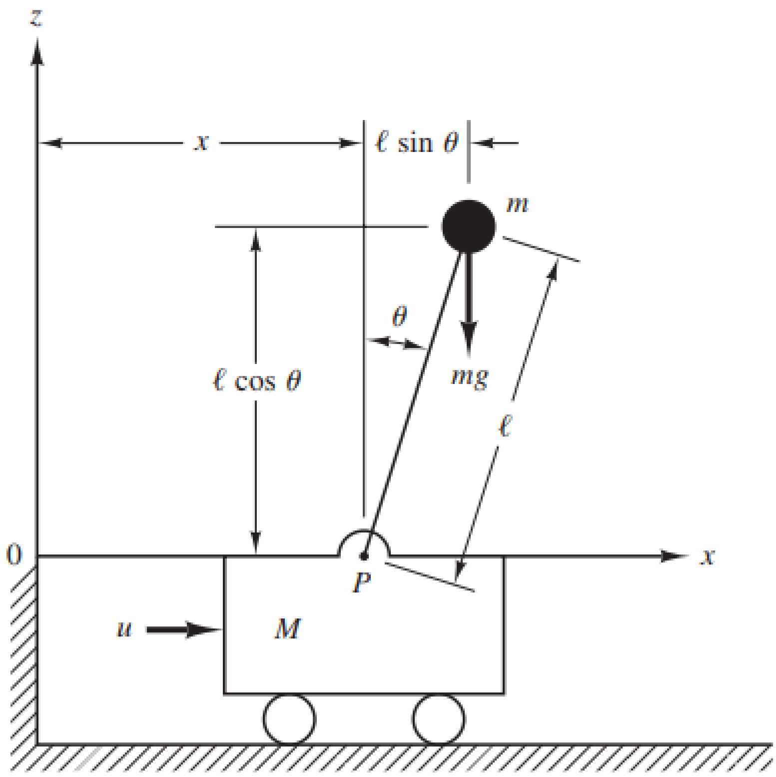
نام و نام خانوادگی:

ایمان شریفی

۹۸۲۱۰۱۸۴

استاد درس:

دکتر سالاریه



شکل ۱ : شماتیک کلی پاندول معکوس

۱-معادلات حاکم را استخراج کنید.

معادلات غیرخطی:

$$(m+M)\ddot{x} + ml\ddot{\theta}cos\theta - ml\dot{\theta}^{۲}sin\theta = u$$

$$\ddot{x}cos\theta + l\ddot{\theta} = gsin\theta$$

متغیر های حالت:

$$x_{۱} = x$$

$$x_{۲} = \dot{x}$$

$$x_{۳} = \theta$$

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

معادلات حاکم:

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

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

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

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

۲- سیستم را حول نقطه تعادل خطی سازی کنید.

خطی سازی معادلات:

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

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

$$y = CX + Du$$

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

در نهایت معادلات خطی سازی شده به فرم زیر در می آیند:

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

$$\dot{x}_2 = -\frac{m}{M} g x_3 + \frac{1}{M} u$$

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

$$\dot{x}_۴ = \frac{M+m}{Ml} g x_۳ - \frac{۱}{Ml} u$$

$$G = e^{Ah}, H = \int_{۰}^{h} GBdt = (e^{Ah} - I)A^{-۱}B$$

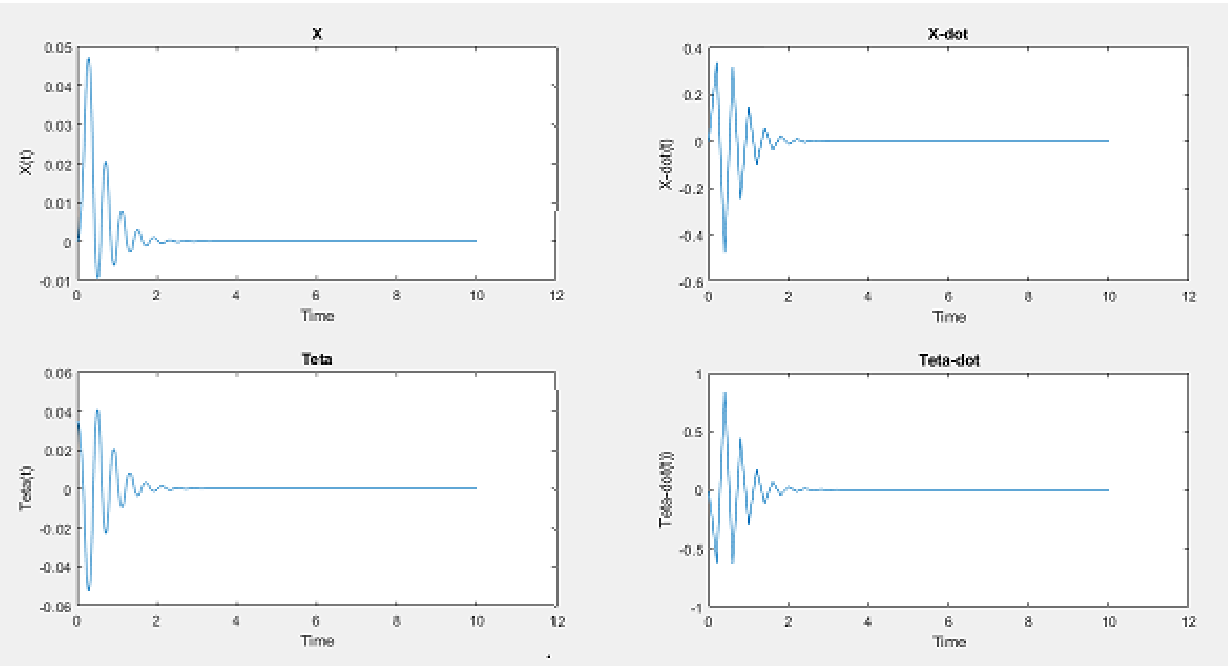
۱-اگر مقادیر ویژه سیستم مدار بسته خطی سازی شده به صورت زیر باشد.

$$desired\ poles = [۰.۵ \quad ۰.۵ \quad -۰.۵ \quad -۰.۵]$$

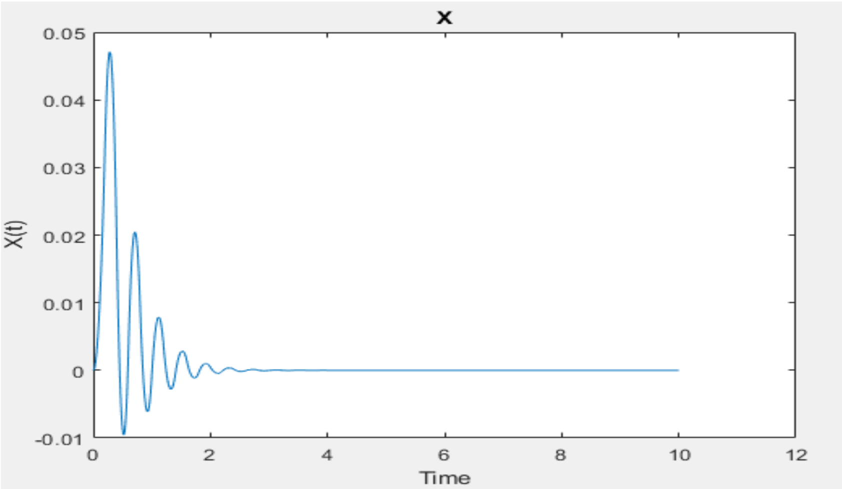
یک رگولاتور خطی طراحی کنید و عملکرد آنرا با اعمال به سیستم غیرخطی چک کنید با دو شرط اولیه زیر:

۱-۱ سیستم خطی

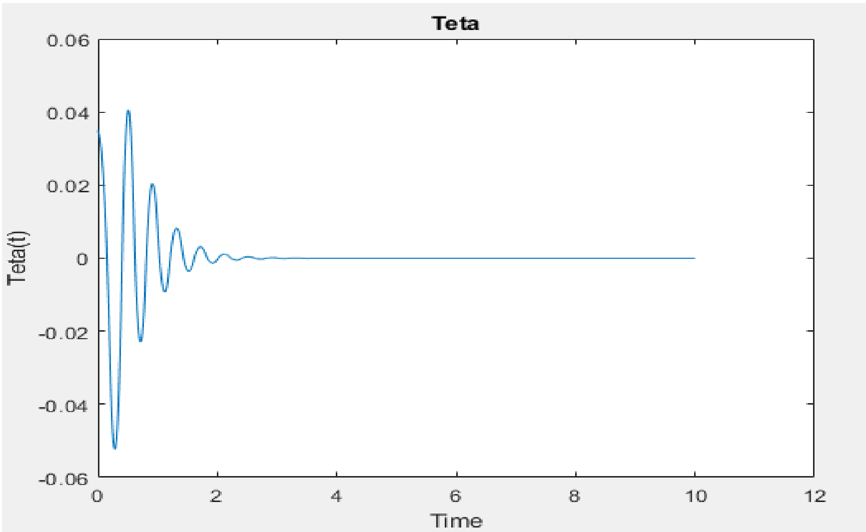
الف- $h = ۰.۲$



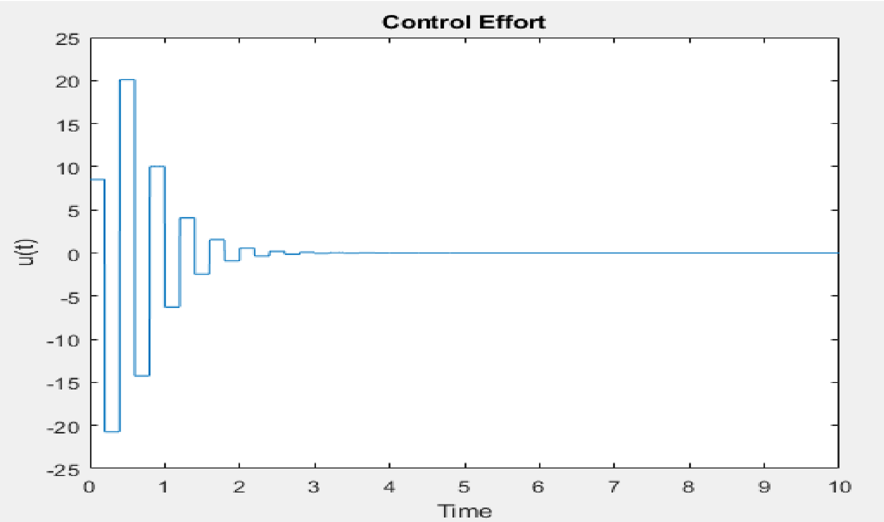
شکل ۲: پاسخ سیستم خطی به ازای $h = ۰.۲$



شکل ۳: جابجایی پاندول در سیستم خطی به ازای $h = ۰.۲$

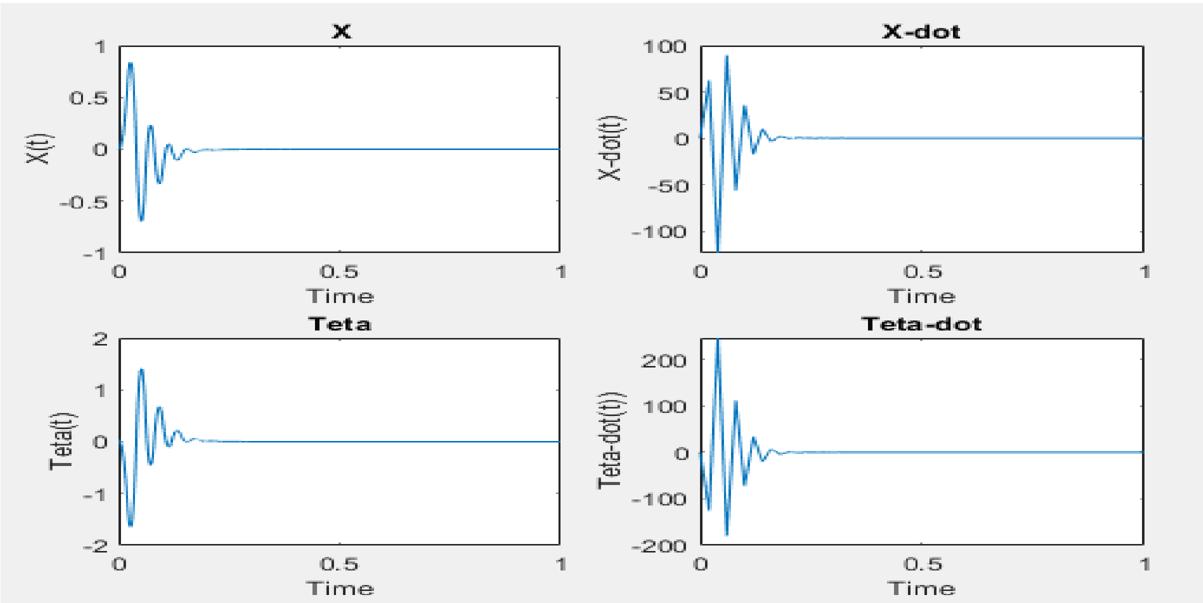


شکل ۴: زاویه پاندول در سیستم خطی به ازای $h = ۰.۲$

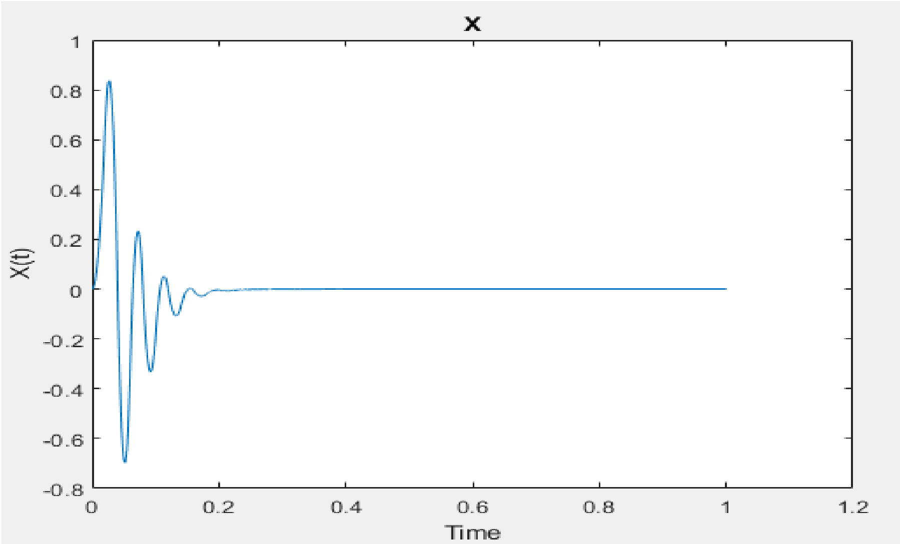


شکل ۵: سیگنال کنترلی در سیستم خطی با $h = ۰.۲$

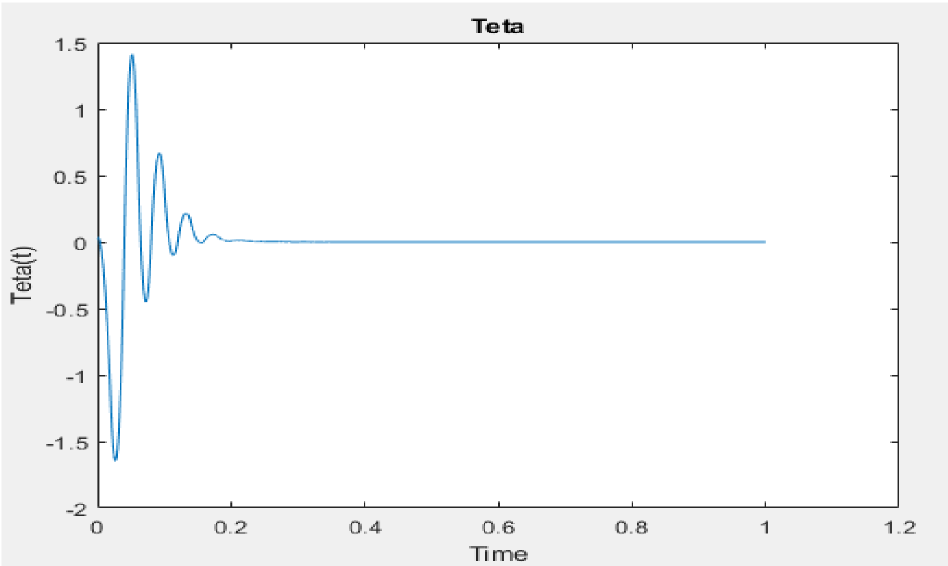
ب-$h = ۰.۰۲$



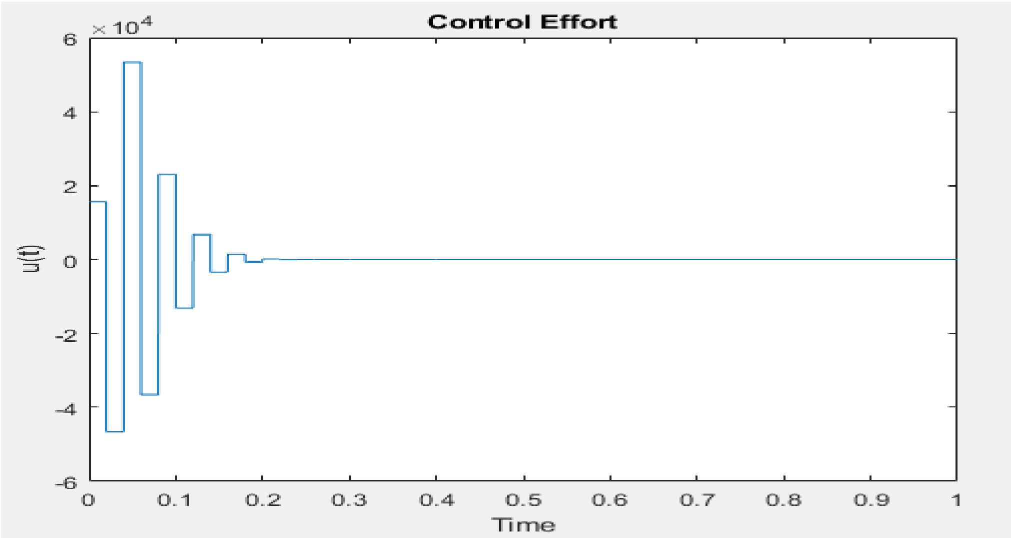
شکل ۶: پاسخ سیستم خطی به ازای $h = ۰.۰۲$



شکل ۷: جابجایی پاندول در سیستم خطی به ازای $h = ۰.۰۲$



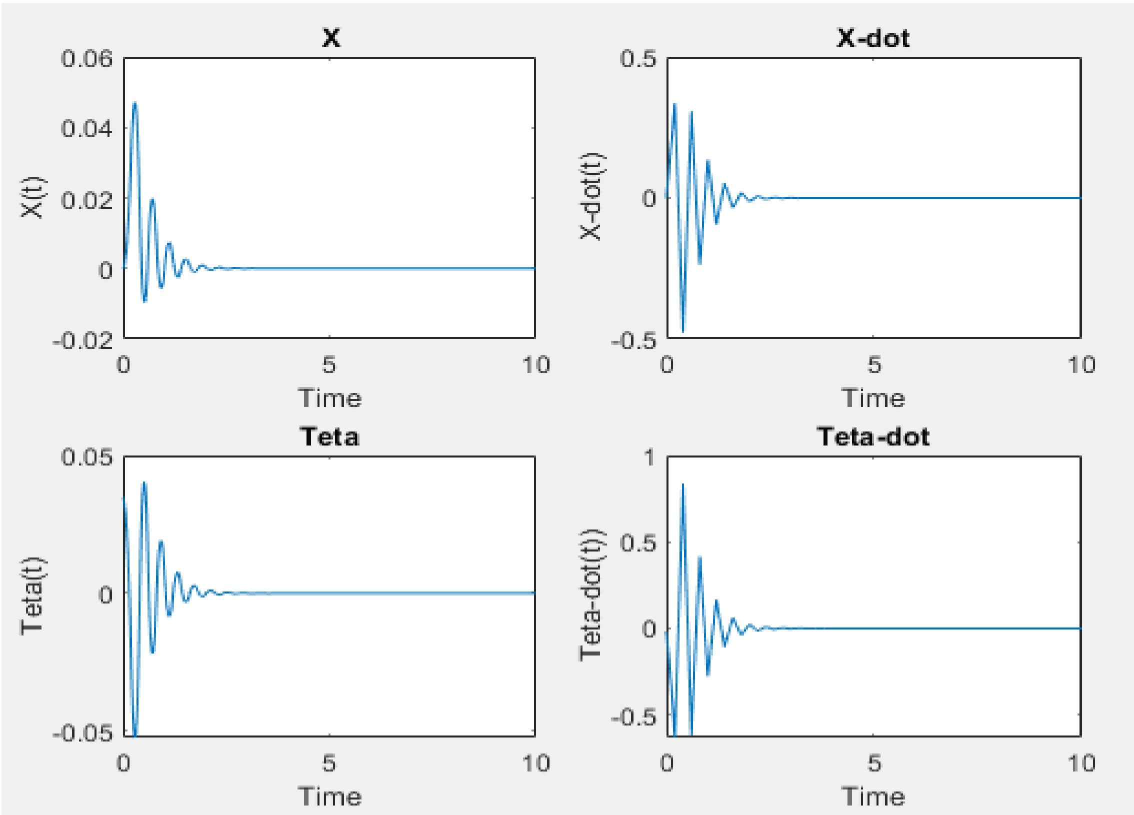
شکل ۸: زاویه پاندول در سیستم خطی به ازای $h = ۰.۰۲$



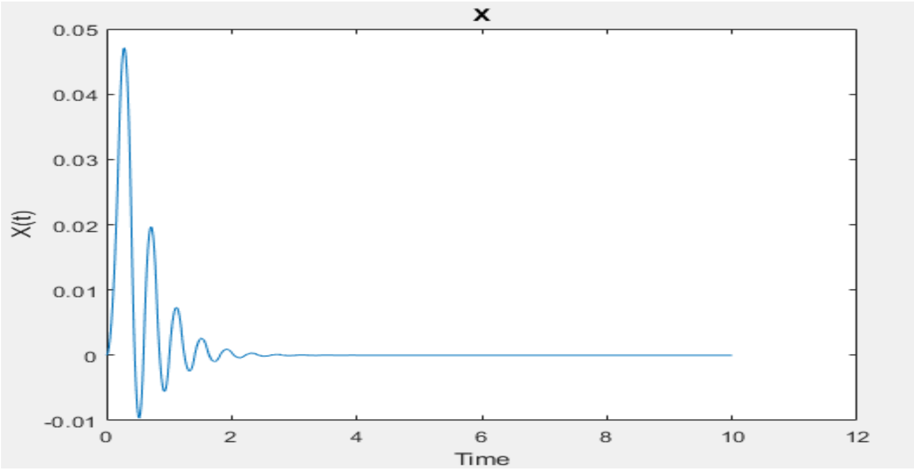
شکل ۹:سیگنال کنترلی در سیستم خطی به ازای $h = ۰.۰۲$

۲-۱ سیستم غیر خطی

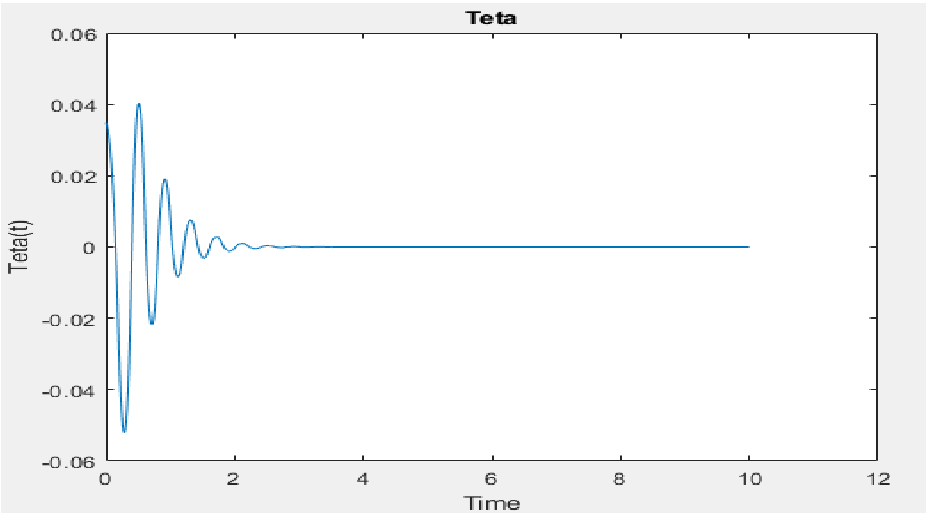
الف-$h = ۰.۲$



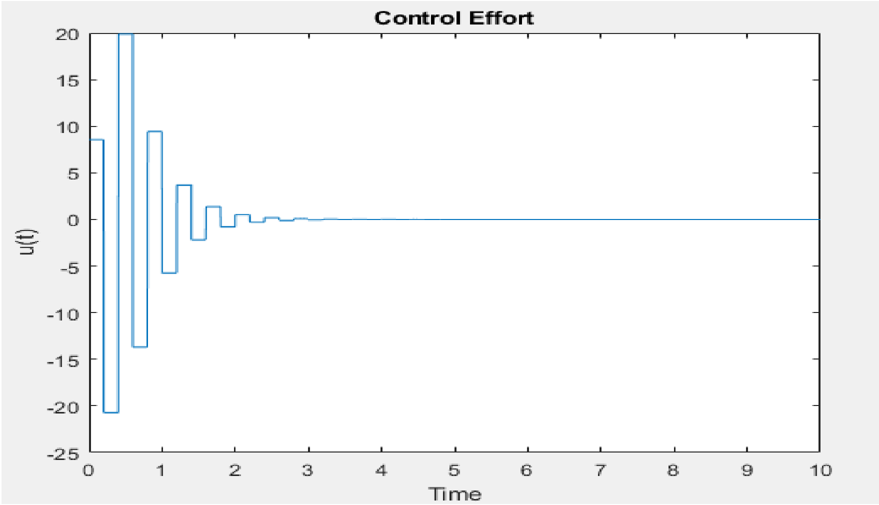
شکل ۱۰ : پاسخ سیستم غیر خطی به ازای $h = ۰.۲$



شکل ۱۱: جابجایی پاندول در سیستم غیر خطی به ازای $h = ۰.۲$

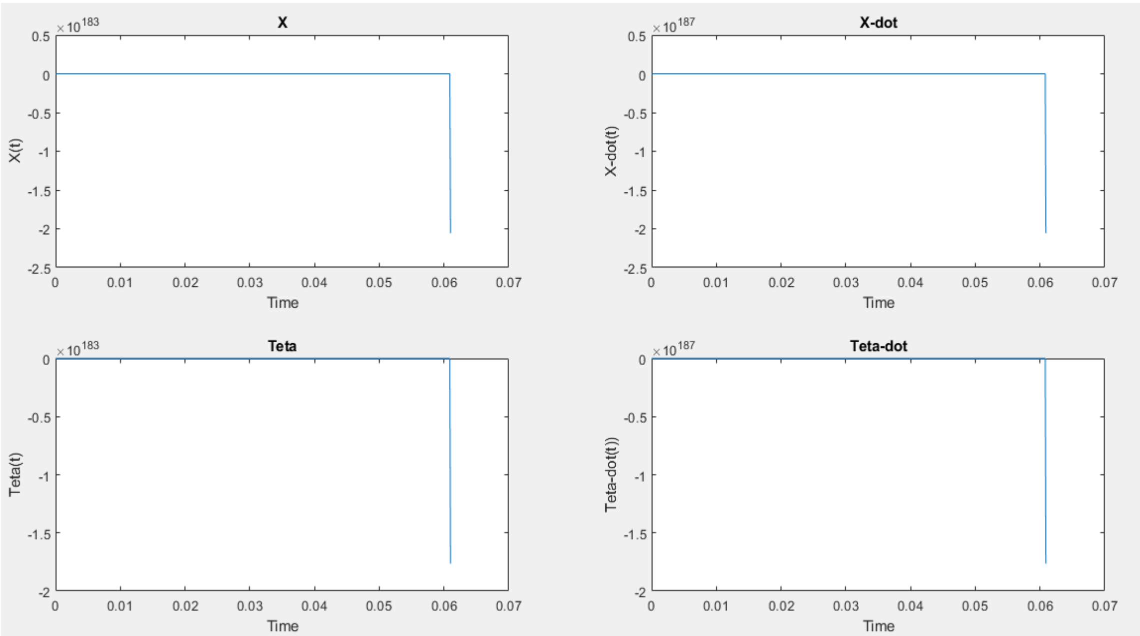


شکل ۱۲: زاویه پاندول در سیستم غیر خطی به ازای $h = ۰.۲$



شکل ۱۳: سیگنال کنترلی در سیستم غیر خطی با $h = ۰.۲$

ب- $h = ۰.۰۲$



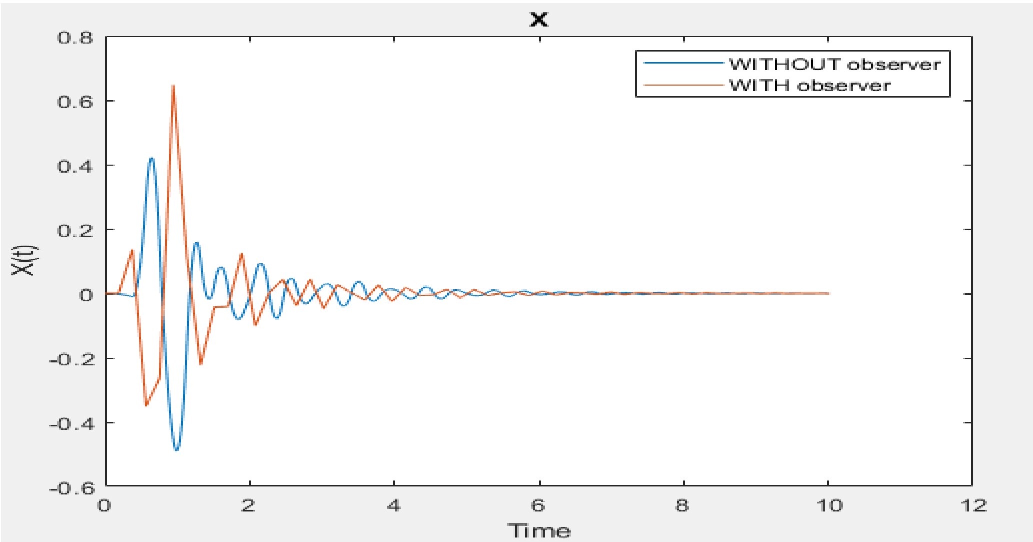
شکل ۱٤: پاسخ سیستم غیر خطی به ازای $h = ۰.۰۲$

همان طور که ملاحظه می کنید به ازای $h = ۰.۰۲$ سیستم غیر خطی دارای جواب کاملا ناپایدار است.

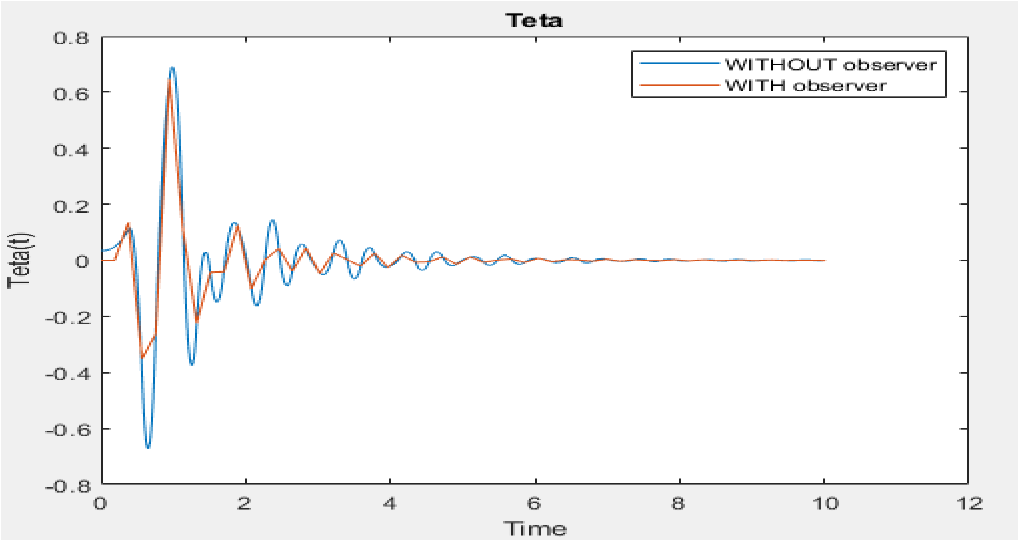
۲- فرض کنید فقط x قابل اندازه گیری باشد یک مشاهده گر حالت با مقادیر ویژه $[-0.1 \quad -0.1 \quad 0.1 \quad 0.1]$ برای سیستم خطی سازی شده طراحی کنید طوری که $\hat{x}$ بتواند x را تخمین بزند و نتیجه را نشان دهید.

۲-۱ سیستم خطی

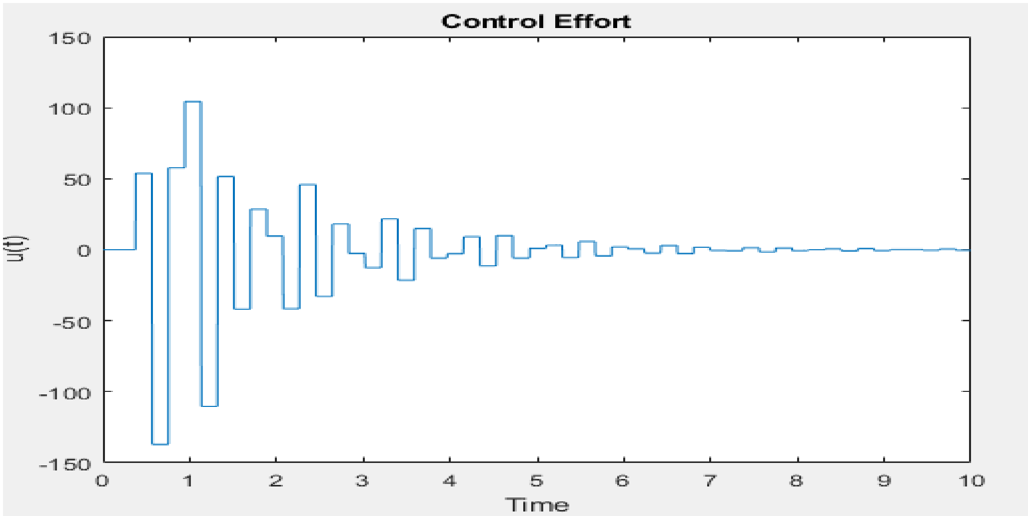
الف- $h = 0.2$



شکل ۱۵:مقایسه جابجایی cart در حالت با مشاهده گر و بدون مشاهده گر بر حسب زمان



شکل ۱۶:مقایسه زاویه میله با مشاهده گر و بدون مشاهده گر برحسب زمان



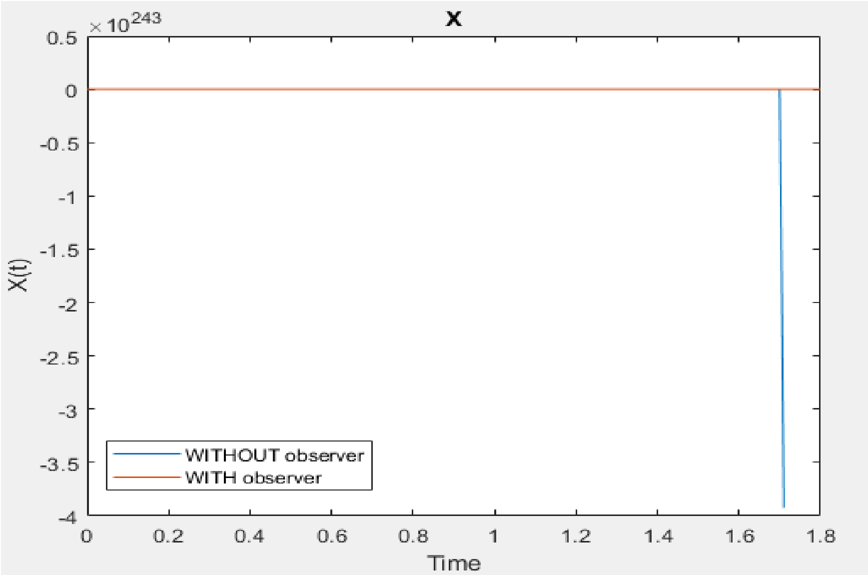
شکل ۱۷:سیگنال کنترلی در سیستم خطی

ب- $h = ۰.۰۲$

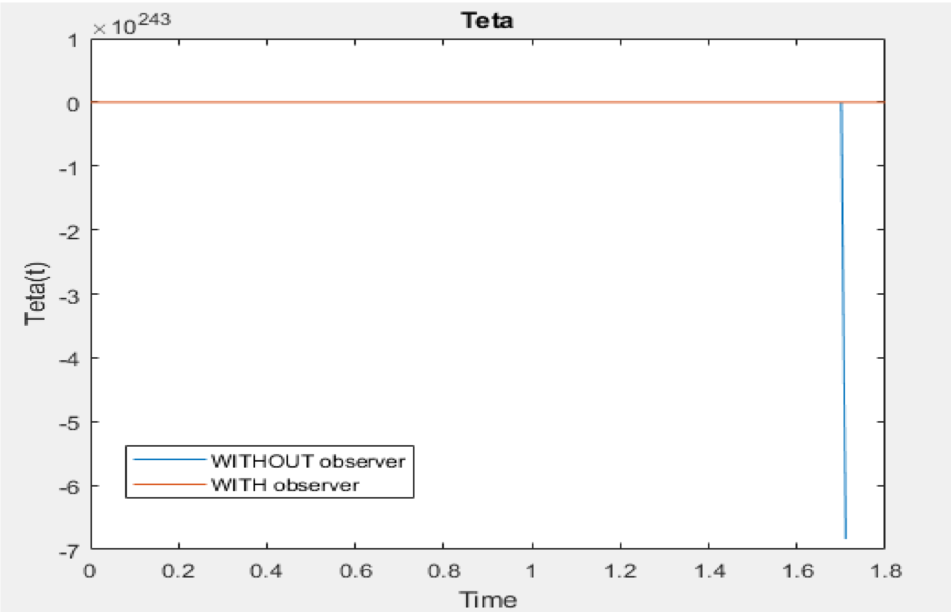
به دلیل حساسیت بالای سیستم پاندول معکوس این سیستم در فرکانس نمونه برداری خاصی پایدار است و در این h رفتار ناپایدار از خود نشان می دهد.

۲-۲ سیستم غیرخطی

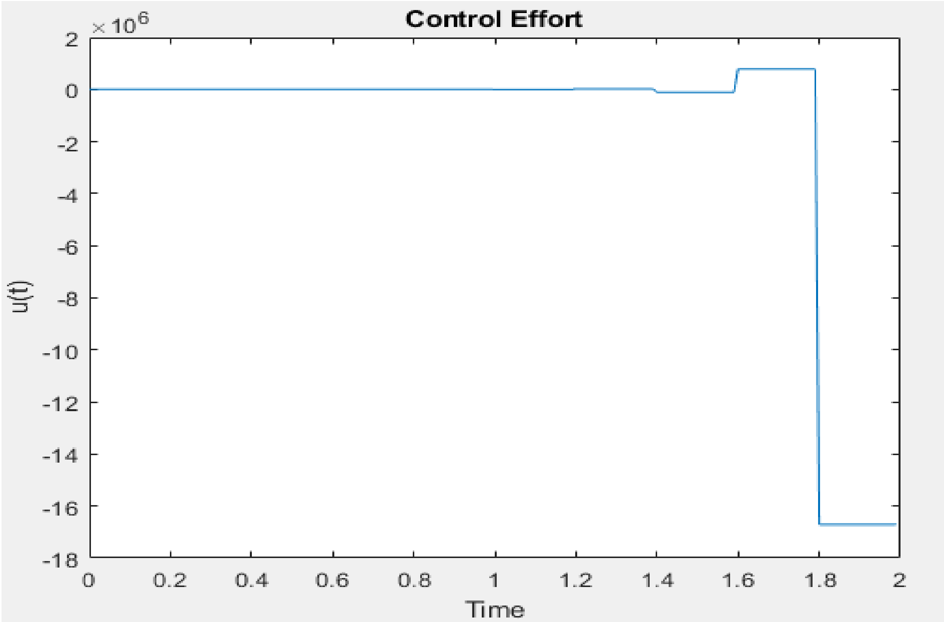
الف-$h = ۰.۲$



شکل ۱۸:مقایسه جابجایی cart در حالت با مشاهده گر و بدون مشاهده گر بر حسب زمان



شکل ۱۹:مقایسه زاویه میله با مشاهده گر و بدون مشاهده گر برحسب زمان



شکل ۲۰:سیگنال کنترلی در سیستم غیر خطی

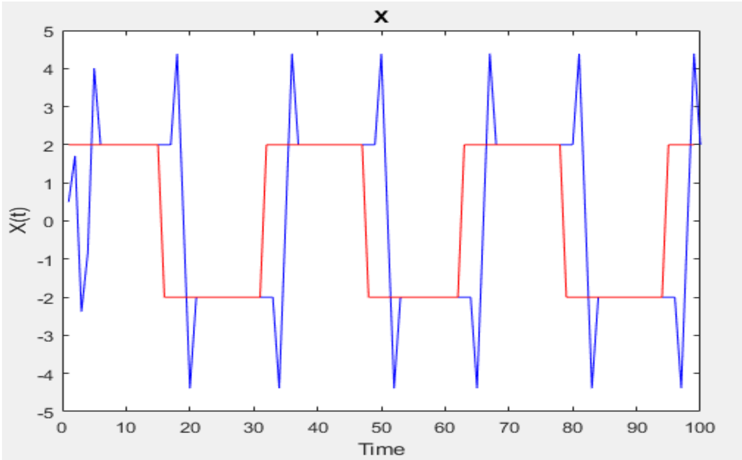
ب- $h = ۰.۰۲$

به دلیل حساسیت بالای سیستم پاندول معکوس این سیستم در فرکانس نمونه برداری خاصی پایدار است و در این h رفتار ناپایدار از خود نشان می دهد.

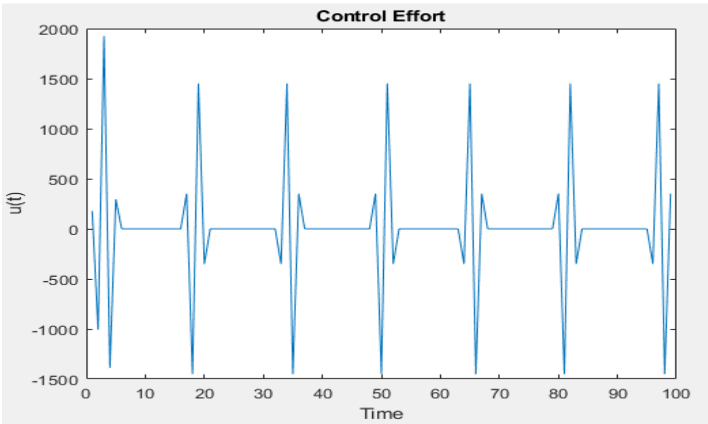
۳- با همان خروجی x با فرض اینکه همه حالات قابل اندازه گیری باشند می خواهیم یک کنترلر سروو طراحی کنیم طوری که $y_{ref} = ۰.۳sign(\sin(۰.۵t))$ ثابت را تعقیب کند.(این قسمت را هم برای وقتی که انتگرالگیر بگذاریم و هم برای وقتی که از سیگنال پیشخور استفاده شود تکرار کنید)

۱-۳ انتگرالگیر:

۱-۱-۳ سیستم گسسته:

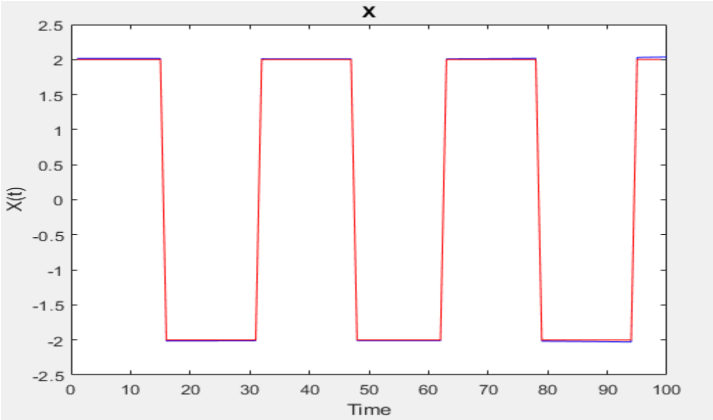


شکل ۲۱:جابجایی دیسک با کنترلرانتگرالگیر

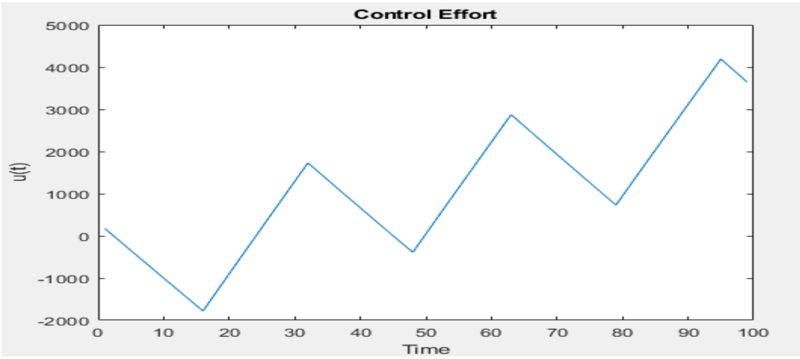


شکل ۲۲: سیگنال کنترلی

۲-۱-۳ سیستم خطی



شکل ۲۰:جابجایی دیسک با کنترلرانتگرالگیر



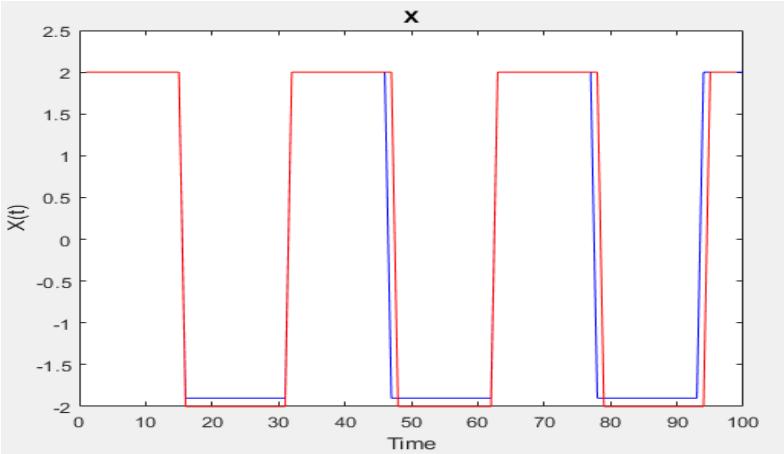
شکل ۲۱: سیگنال کنترلی در سیستم خطی

۳-۱-۳ سیستم غیر خطی

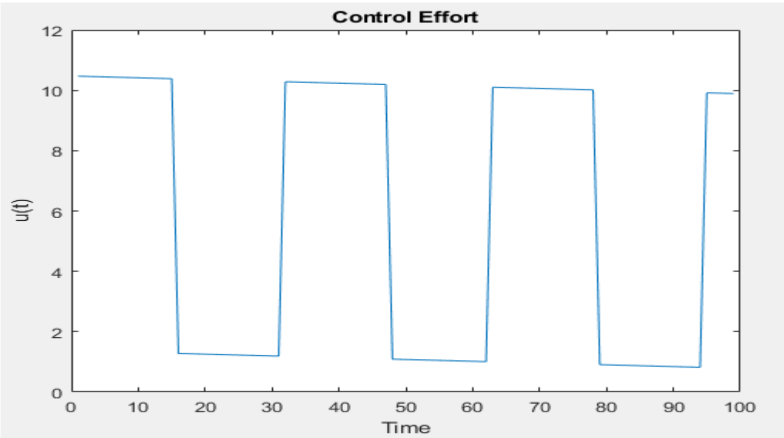
به دلیل حساسیت بالای سیستم غیرخطی و ترم های غیر خطی زیاد در سیستم که به دلیل خطی سازی حذف شده اند کنترلر طراحی شده در سیستم گسسته سازی شده قادر به کنترل و پایدار سازی سیستم نخواهد بود.

۲-۳ پیشخور استاتیکی

۱-۲-۳ سیستم خطی:

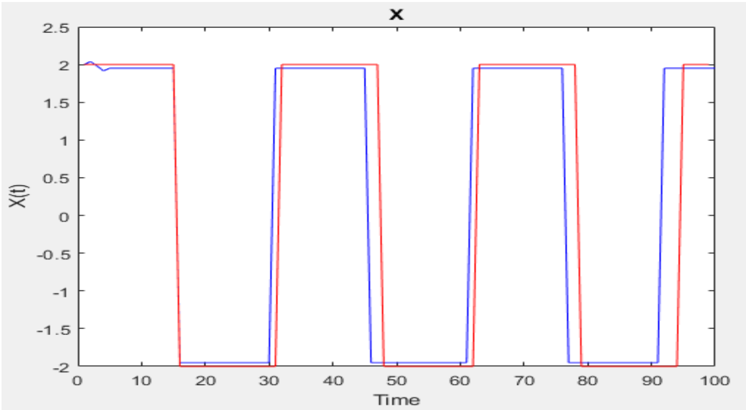


شکل ۲۳:جابجایی دیسک با کنترلرانتگرالگیر

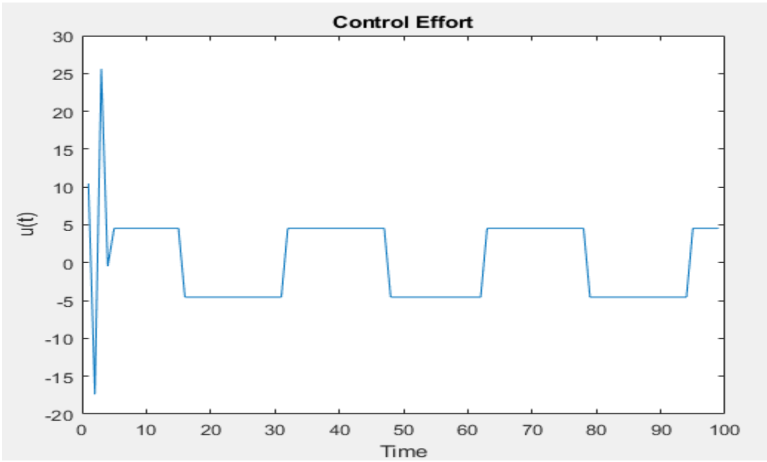


شکل ۲۳: سیگنال کنترلی

۳-۲-۲ سیستم دیجیتال

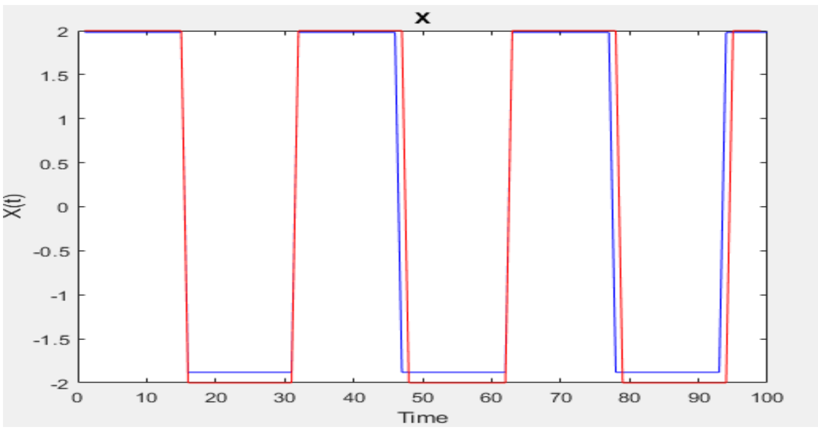


شکل۲۴:جابجایی دیسک با کنترلرانتگرالگیر

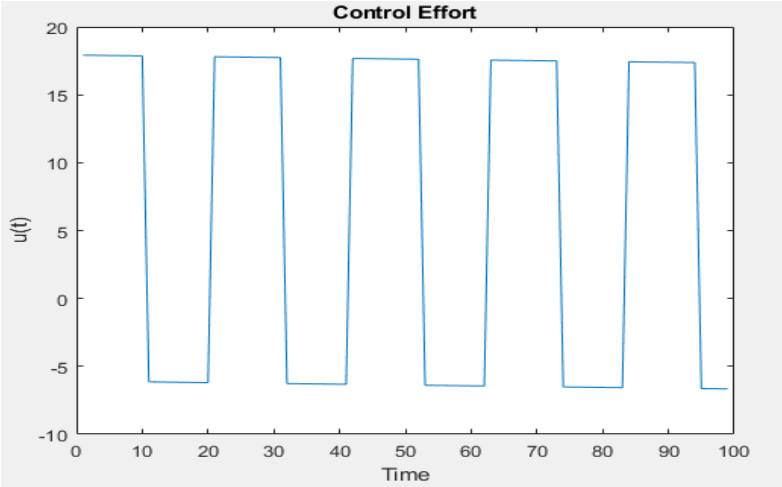


شکل۲۵: سیگنال کنترلی در سیستم خطی

۳-۲-۳ سیستم غیر خطی



شکل۲۶:جابجایی دیسک با کنترلرانتگرالگیر



شکل۲۷: سیگنال کنترلی در سیستم خطی