



به نام خدا

استاد درس: دکتر آیتی

شبیه‌سازی پنجم درس کنترل تطبیقی

دانشجو: یاسین ریاضی

۸۱۰۶۰۰۲۰۳

۱۴۰۱ تیر

## فهرست

۱	روش گرادیان MIT را بر روی سیستم انتخاب شده پیاده سازی کنید.	۳
۲	از روش گرادیان نرمالیزه شده Normalized MIT در بند قبل استفاده کنید.	۶
۳	یک MRAS وای ار بر اساس پایداری لیپانوف برای سیستم طراحی کنید.	۸
۴	..... تأثیر $\gamma$ و دامنه $UC$ بر پایداری در بندهای قبل (نوع $UC$ را مربعی سینوسی انتخاب کنید) تحلیل کنید نتایج آنها را با معیارهای مناسب مقایسه کنید.	۱۱
۱ - ۴	..... تأثیر پارامترهای $\gamma$ و دامنه $UC$ بر خروجی سیستم در روش گرادیان	۱۱
۲ - ۴	..... تأثیر پارامترهای $\gamma$ و دامنه $UC$ بر خروجی سیستم در روش گرادیان نرمالیزه شده	۱۶
۳ - ۴	..... تأثیر پارامترهای $\gamma$ و دامنه $UC$ بر خروجی سیستم در روش لیپانوف	۲۲
۵	..... سیگنال کنترلی و سرعت همگرایی پارامترها و سیگنال خروجی را در روش‌های مختلف با استفاده از معیارهای مناسب بررسی کنید.	۲۷
۶	..... تأثیر $\alpha$ را در پایداری و همگرایی پارامترها در روش گرادیان نرمالیزه شده بررسی کنید.	۳۰

شكل ۱۴—۴ دامنه پله ۵۰ و طول هر پله ۱۰۰ ثانیه می باشد.  
 ضریب گاما ۱۵۰۰۰ و ضریب آلفا ۰۰۰ ۱ ..... ۱۸

شكل ۱۵—۴ ورودی سینوسی با دامنه ۱۰ و فرکانس ۰۰۰ ۱ ..... ۱۸  
 رادیان بر ثانیه و گاما ۱۵۰۰۰ و ضریب آلفا ۰۰۰ ۱ ..... ۱۸

شكل ۱۶—۴ دامنه پله ۱۰ و طول هر پله ۱۰۰ ثانیه می باشد.  
 ضریب گاما ۱۵۰ و ضریب آلفا ۰۰۰ ۱ ..... ۱۹

شكل ۱۷—۴ دامنه پله ۵۰ و طول هر پله ۱۰۰ ثانیه می باشد.  
 ضریب گاما ۱۵۰ و ضریب آلفا ۰۰۰ ۱ ..... ۱۹

شكل ۱۸—۴ ورودی سینوسی با دامنه ۱۰ و فرکانس ۰۰۰ ۱ ..... ۲۰  
 رادیان بر ثانیه و گاما ۱۵۰ و ضریب آلفا ۰۰۰ ۱ ..... ۲۰

شكل ۱۹—۴ دامنه پله ۵۰ و طول هر پله ۱۰۰ ثانیه می باشد.  
 ضریب گاما ۱۰ و ضریب آلفا ۰۰۰ ۱ ..... ۲۰

شكل ۲۰—۴ ورودی سینوسی با دامنه ۱۰ و فرکانس ۰۰۰ ۱ ..... ۲۱  
 رادیان بر ثانیه و گاما ۱۰ و ضریب آلفا ۰۰۰ ۱ ..... ۲۱

شكل ۲۱—۴ دامنه پله ۱۰ و طول هر پله ۱۰۰ ثانیه می باشد.  
 ضریب گاما ۱۰۰۰ ..... ۲۲

شكل ۲۲—۴ دامنه پله ۵۰ و طول هر پله ۱۰۰ ثانیه می باشد.  
 ضریب گاما ۱۰۰۰ ..... ۲۲

شكل ۲۳—۴ ورودی سینوسی با دامنه ۱۰ و فرکانس ۰۰۰ ۱ ..... ۲۳  
 رادیان بر ثانیه و گاما ۱۰۰۰ ..... ۲۳

شكل ۲۴—۴ دامنه پله ۱۰ و طول هر پله ۱۰۰ ثانیه می باشد.  
 ضریب گاما ۱۰۰ ..... ۲۴

شكل ۲۵—۴ دامنه پله ۵۰ و طول هر پله ۱۰۰ ثانیه می باشد.  
 ضریب گاما ۱۰۰ ..... ۲۴

شكل ۲۶—۴ ورودی سینوسی با دامنه ۱۰ و فرکانس ۰۰۰ ۱ ..... ۲۴  
 رادیان بر ثانیه و گاما ۱۰۰ ..... ۲۴

شكل ۲۷—۴ دامنه پله ۱۰ و طول هر پله ۱۰۰ ثانیه می باشد.  
 ضریب گاما ۱ ..... ۲۵

شكل ۲۸—۴ دامنه پله ۵۰ و طول هر پله ۱۰۰ ثانیه می باشد.  
 ضریب گاما ۱ ..... ۲۵

شكل ۲۹—۴ ورودی سینوسی با دامنه ۱۰ و فرکانس ۰۰۰ ۱ ..... ۲۶  
 رادیان بر ثانیه و گاما ۱ ..... ۲۶

شكل ۳۰—۵ معیار RMSE برای سه کنترل کننده استفاده شده در شرایط ورودی پله دامنه ۱۰ و طول پله ۱۰۰ ثانیه ..... ۲۷

شكل ۱۰—۱ مخزن کروی صورت سوال ..... ۱

شكل ۱—۱ مدل سیمولینک ..... ۴

شكل ۲—۱ ساب سیستم کنترل کننده ..... ۴

شكل ۳—۱ خروجی کنترل کننده و سیستم ..... ۵

شكل ۴—۱ کنترل کننده نرم افزاری شده ..... ۶

شكل ۵—۲ کنترل کننده نرم افزاری شده (ساب سیستم) ..... ۶

شكل ۶—۲ کنترل کننده MIT نرم افزاری شده ..... ۷

شكل ۷—۳ شماتیک کنترل کننده لیاپانوف ..... ۹

شكل ۸—۳ شماتیک کنترل کننده لیاپانوف (ساب سیستم) ..... ۹

شكل ۹—۳ خروجی کنترل کننده لیاپانوف ..... ۱۰

شكل ۱۰—۴ دامنه پله ۱۰ و طول هر پله ۱۰۰ ثانیه می باشد.  
 ضریب گاما ۳۰۰۰ ..... ۱۱

شكل ۱۱—۴ دامنه پله ۱۰ و طول هر پله ۱۰۰ ثانیه می باشد.  
 ضریب گاما ۳۰۰۰ ..... ۱۲

شكل ۱۲—۴ دامنه پله ۵۰ و طول هر پله ۱۰۰ ثانیه می باشد.  
 ضریب گاما ۳۰۰۰ ..... ۱۲

شكل ۱۳—۴ ورودی سینوسی با دامنه ۱۰ و فرکانس ۰۰۰ رادیان بر ثانیه و گاما ۳۰۰۰ ..... ۱۳

شكل ۱۴—۴ دامنه پله ۵۰ و طول هر پله ۱۰۰ ثانیه می باشد.  
 ضریب گاما ۳۰۰۰ ..... ۱۴

شكل ۱۵—۴ ورودی سینوسی با دامنه ۱۰ و فرکانس ۰۰۰ رادیان بر ثانیه و گاما ۳۰۰۰ ..... ۱۵

شكل ۱۶—۴ دامنه پله ۵۰ و طول هر پله ۱۰۰ ثانیه می باشد.  
 ضریب گاما ۳۰۰۰ ..... ۱۶

شكل ۱۷—۴ دامنه پله ۱۰ و طول هر پله ۱۰۰ ثانیه می باشد.  
 ضریب گاما ۱ ..... ۱۷

شكل ۱۸—۴ ورودی سینوسی با دامنه ۱۰ و فرکانس ۰۰۰ ۱ ..... ۱۸

شكل ۱۹—۴ ورودی سینوسی با دامنه ۱۰ و فرکانس ۰۰۰ ۱ ..... ۱۹

شكل ۲۰—۴ دامنه پله ۱۰ و طول هر پله ۱۰۰ ثانیه می باشد.  
 ضریب گاما ۱۵۰۰۰ و ضریب آلفا ۰۰۰ ۱ ..... ۲۰

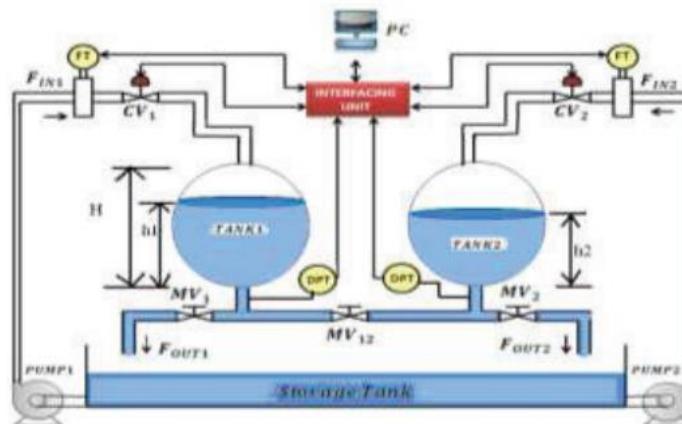
شكل ۲۱—۴ دامنه پله ۵۰ و طول هر پله ۱۰۰ ثانیه می باشد.  
 ضریب گاما ۱۵۰۰۰ و ضریب آلفا ۰۰۰ ۱ ..... ۲۱

شكل ۲۲—۴ ورودی سینوسی با دامنه ۱۰ و فرکانس ۰۰۰ ۱ ..... ۲۲

شكل ۲۳—۴ دامنه پله ۱۰ و طول هر پله ۱۰۰ ثانیه می باشد.  
 ضریب گاما ۱۵۰۰۰ و ضریب آلفا ۰۰۰ ۱ ..... ۲۳

شکل ۵—۲ معیار RSME برای سه کنترل کننده استفاده شده در شرایط ورودی سینوسی با دامنه ۱۰ و فرکانس ۱۰۰ رادیان بر ثانیه ..... ۲۷
شکل ۵—۳ اندازه‌پارامترهای کنترل کننده‌های متفاوت برای در شرایط ورودی پله دامنه ۱۰ و طول پله ۱۰۰ ثانیه ..... ۲۸
شکل ۵—۴ اندازه‌پارامترهای کنترل کننده‌های متفاوت برای در شرایط ورودی سینوسی با دامنه ۱۰ و فرکانس ۱۰۰ رادیان بر ثانیه ..... ۲۸
شکل ۵—۵ اندازه سیگنال کنترلی کننده‌های متفاوت برای در شرایط ورودی پله دامنه ۱۰ و طول پله ۱۰۰ ثانیه ..... ۲۹
شکل ۵—۶ اندازه سیگنال کنترلی کننده‌های متفاوت برای در شرایط ورودی سینوسی با دامنه ۱۰ و فرکانس ۱۰۰ رادیان بر ثانیه ..... ۲۹
شکل ۶—۱ دامنه پله ۱۰ و طول هر پله ۱۰۰ ثانیه می‌باشد. ضریب گاما ۱۵۰۰۰۰ و ضریب آلفا ۰۰۰۱ ..... ۳۰
شکل ۶—۲ دامنه پله ۱۰ و طول هر پله ۱۰۰ ثانیه می‌باشد. ضریب گاما ۱۵۰۰۰۰ و ضریب آلفا ۰۰۱ ..... ۳۰
شکل ۶—۳ دامنه پله ۱۰ و طول هر پله ۱۰۰ ثانیه می‌باشد. ضریب گاما ۱۵۰۰۰۰ و ضریب آلفا ۰۱ ..... ۳۱
شکل ۶—۴ دامنه پله ۱۰ و طول هر پله ۱۰۰ ثانیه می‌باشد. ضریب گاما ۱۵۰۰۰۰ و ضریب آلفا ۱ ..... ۳۱

سیستم مورد نظر برای کنترل سیستم تنظیم سطح مایع است که شکل آن در زیر نشان داده شده است. در این پژوهه هدف بررسی روش‌های گرadiان تئوری لیپاونوف در تطبیق بهره می‌باشد.



شکل ۱- مخزن کروی صورت سوال<sup>۱</sup>

مدل ریاضی سیستم

$$\frac{dh_1}{dt} = \frac{F_{in} - \beta_{12}(\sqrt{h_1} - h_r) - 1.33h_1 \frac{dA}{dt}}{A}$$

$$\frac{dh_r}{dt} = \frac{\beta_{12}(\sqrt{h_1} - h_r) - \beta_{21}\sqrt{h_r} - 1.33h_r \frac{dA}{dt}}{A}$$

که

$\rho$  = density

$F_{in}$  = Volumetric flow rate for inlet stream

$F_{out}$  = Volumetric flow rate for outlet stream

$A$  = Area of the spherical tank with respect to change in flow

$h_1, h_2$  = Height of spherical tank ۱ and ۲

$\frac{dh}{dt}$  = Change in height of liquid level

تابع تبدیل از ورودی جریان اول  $F_{in}$  خروجی ارتفاع تانک دوم  $h_2$  به صورت زیر است.

<sup>۱</sup> Kumar, D.D. and B. Meenakshipriya. ۲۰۱۲. Design and Implementation of Non Linear System Using Gain Scheduled PI Controller. Procediaengineering ۳۸:۳۱۰۵-۳۱۱۲

$$\frac{\partial h_r}{\partial F_{in_1}} = \frac{R_r}{(\tau_1 \tau_r) s^r + (\tau_1 + \tau_r + A(h_1) R_r) s + 1}, A(h_1) = 1$$

پارامترهای مدل

Parameters	Value
Fin	107.85
$\beta_1$	78.28
$\beta_2$	19.69
$h_1$	31.9
$h_2$	30
$\Theta$	0.2
C1	0.3627
R1	0.03522
C2	0.09128
R2	0.5564
$\tau_1$	63.85
$\tau_2$	1048.2575

جدول بالا مقادیر پارامترهای استفاده شده در مقاله را نشان میدهد. شما بر اساس شماره دانشجویی، پارامترهای زیر را در نظر بگیرید. (با در نظرگیری دو رقم آخر شماره دانشجویی:  $ab = 0.3$ )

$$\begin{aligned} C_1 &= \frac{b+2}{10} = 0.5 \\ C_r &= \frac{a+2}{10} = 0.2 \\ R_1 &= 0.01ab = 0.003 \\ R_r &= 0.01(ab+20) = 0.2 \end{aligned}$$

# ۱ روش گرادیان MIT را بر روی سیستم انتخاب شده پیاده سازی کنید.

با جایگزینی پارامترهای موجود در مقاله،تابع تبدیل سیستم به صورت زیر در می‌آید

پارامترهای مدل

Parameters	Value
Fin	107.85
β1	78.28
β2	19.69
h1	31.9
h2	30
Θ	0.2
C1	0.3627
R1	0.03522
C2	0.09128
R2	0.5564
τ1	63.85
τ2	1048.2575

استخراج قوانین کنترل کننده به روش MIT

$$\begin{aligned}
 y(t) &= \frac{R_\gamma}{(\tau_1\tau_\gamma)s^\gamma + (\tau_1 + \tau_\gamma + A(h_1)R_\gamma)s + 1} u(t) \xrightarrow{u(t)=\theta_1 u_c - \theta_\gamma y - \theta_\gamma \dot{y}} \\
 y(t) &= \frac{R_\gamma(\theta_1 u_c) - R_\gamma(\theta_\gamma + \theta_\gamma p)y}{(\tau_1\tau_\gamma)s^\gamma + (\tau_1 + \tau_\gamma + A(h_1)R_\gamma)s + 1} \xrightarrow{\text{yields}} \\
 ((\tau_1\tau_\gamma)p^\gamma + (\tau_1 + \tau_\gamma + A(h_1)R_\gamma + R_\gamma\theta_\gamma)p + (1 + R_\gamma\theta_\gamma))y(t) &= R_\gamma\theta_1 u_c \xrightarrow{\text{yields}} \\
 y(t) &= \frac{R_\gamma\theta_1 u_c}{(\tau_1\tau_\gamma)p^\gamma + (\tau_1 + \tau_\gamma + A(h_1)R_\gamma + R_\gamma\theta_\gamma)p + (1 + R_\gamma\theta_\gamma)} \\
 y_m &= \frac{a_{m2}}{s^\gamma + a_{m1}s + a_{m2}} \\
 e &= y - y_m \\
 \frac{\partial}{\partial \theta_1} e &= \frac{R_\gamma u_c}{(\tau_1\tau_\gamma)p^\gamma + (\tau_1 + \tau_\gamma + A(h_1)R_\gamma + R_\gamma\theta_\gamma)p + (1 + R_\gamma\theta_\gamma)} \\
 \frac{\partial}{\partial \theta_\gamma} e &= \frac{-R_\gamma\theta_1 u_c}{((\tau_1\tau_\gamma)p^\gamma + (\tau_1 + \tau_\gamma + A(h_1)R_\gamma + R_\gamma\theta_\gamma)p + (1 + R_\gamma\theta_\gamma))^\gamma} \xrightarrow{y(t)=\frac{R_\gamma\theta_1 u_c}{(\tau_1\tau_\gamma)p^\gamma + (\tau_1 + \tau_\gamma + A(h_1)R_\gamma + R_\gamma\theta_\gamma)p + (1 + R_\gamma\theta_\gamma)}}
 \end{aligned}$$

$$\frac{\partial}{\partial \theta_r} e = \frac{-R_r}{(\tau_1 \tau_r) p^r + (\tau_1 + \tau_r + A(h_1) R_r + R_r \theta_r) p + (1 + R_r \theta_r)} y(t)$$

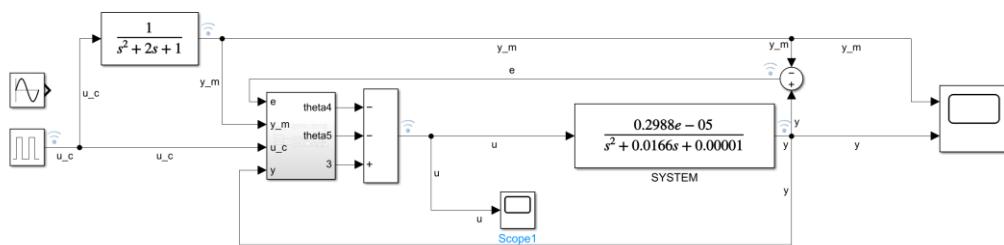
$$\frac{\partial}{\partial \theta_v} e = \frac{-R_v p}{((\tau_1 \tau_r) p^r + (\tau_1 + \tau_r + A(h_1) R_r + R_r \theta_r) p + (1 + R_r \theta_r))^r} y(t)$$

معادلات پس از جایگذاری عددی

$$\frac{\partial h_r}{\partial F_{in_1}} = \frac{..2}{(66931.241375)s^r + (1112.3075)s + 1} \xrightarrow{\text{yields}}$$

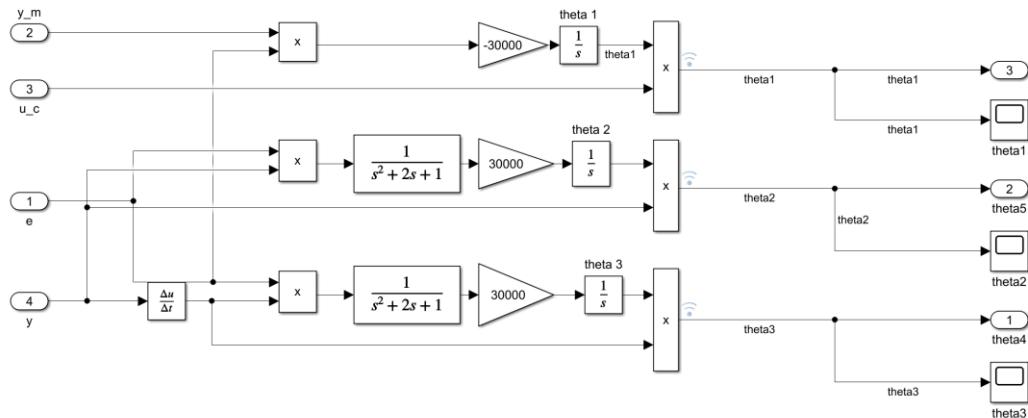
$$G(s) = \frac{2.98811412e - 6}{s^r + (..1661865934576)s + (1.494706e - 5)}$$

مدل سیمولینک

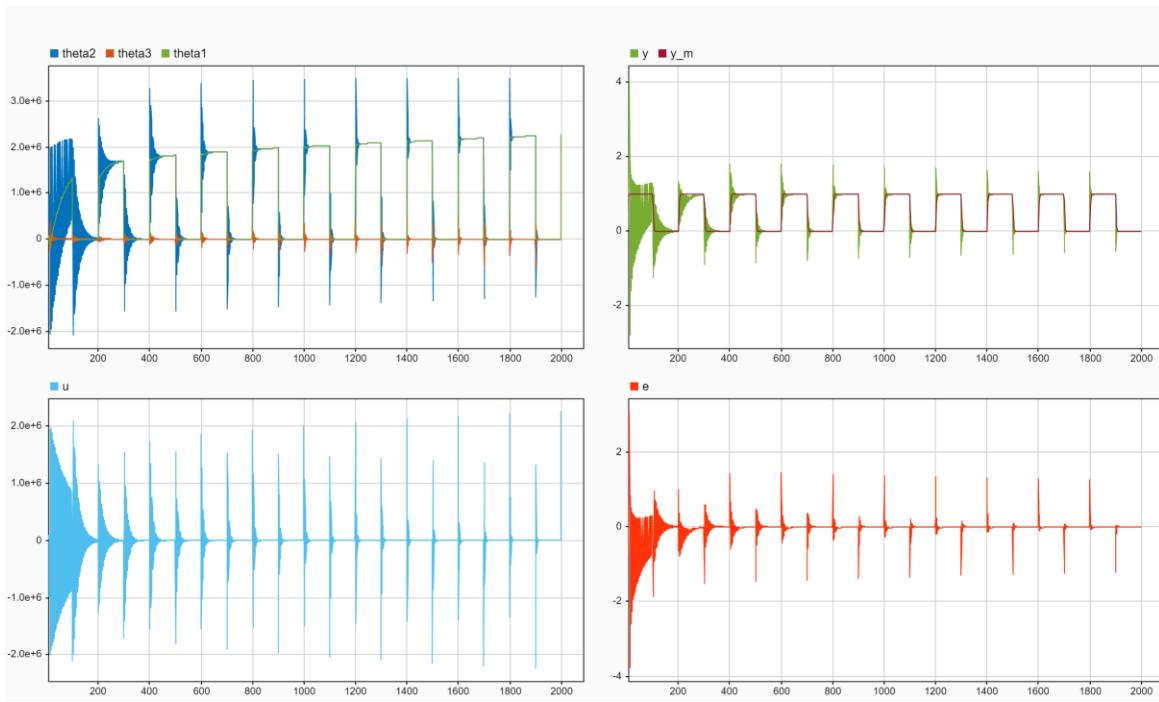


شکل ۱—۱ مدل سیمولینک

ساب سیستم کنترل کننده



شکل ۱—۲ ساب سیستم کنترل کننده

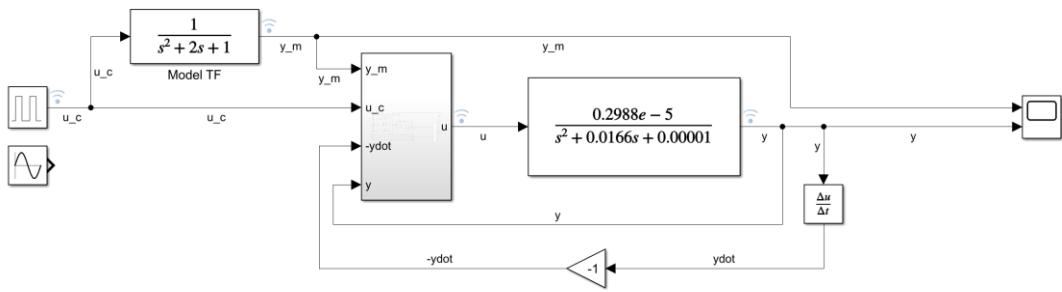


شکل ۱—۳ خروجی کنترل کننده و سیستم

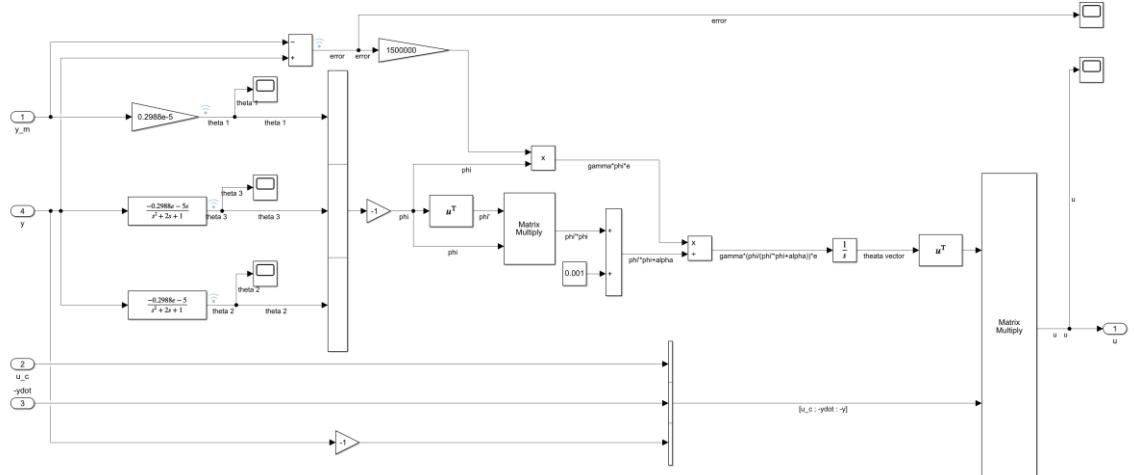
۲ از روش گرادیان نرمالیزه شده Normalized MIT در بند قبل استفاده کنید.

الگوریتم اصلی کنترل کننده نرمالیزه شده  $\frac{d\theta}{dt} = \gamma \frac{\phi}{\alpha + \phi^T \phi} e$  به جای آن از الگوریتم نرمالیزه شده  $\frac{d\theta}{dt} = \gamma \phi e$  استفاده می‌شود.

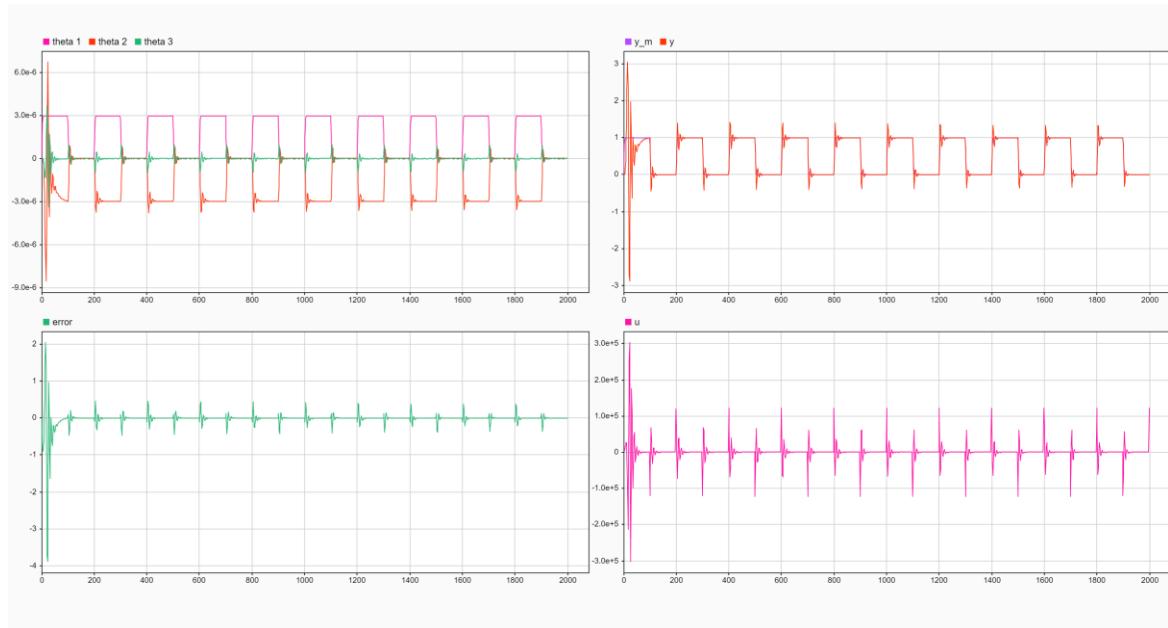
مقدار الفا برابر ۰.۰۰۱ و گاما ۱۵۰۰۰۰۰ می‌باشد.



شکل ۲—۱ کنترل کننده نرمالیزه شده



شکل ۲—۲ کنترل کننده نرمالیزه شده (ساب سیستم)



شکل ۲—۳ کنترل کننده MIT نرم‌الیزه شده

۳ یک MRAS وای ار بر اساس پایداری لیاپانوف برای سیستم طراحی کنید.

مشتق دوم تابع خطا

$$\frac{d^r}{dt^r} e = \frac{d^r}{dt^r} (y - y_m)$$

$$\ddot{y} = -a_1 \dot{y} - a_2 y + bu$$

$$\ddot{y}_m = -a_{m1} \dot{y}_m - a_{m2} y_m + b_m u_c$$

$$u = \theta_1 u_c - \theta_2 y - \theta_3 \dot{y}$$

بنابراین

$$\ddot{e} = -a_{m1} \dot{e} - a_{m2} e - (b\theta_3 + a_1 - a_{m1}) \dot{y} - (b\theta_2 + a_2 - a_{m2}) y + (b\theta_1 - b_m) u_c$$

تابع لیاپانوف

$$V(e \quad \dot{e} \quad \theta_1 \quad \theta_2 \quad \theta_3)$$

$$= \frac{1}{\gamma} \left[ \dot{e} + a_{m2} e^r + \frac{1}{b\gamma} (b\theta_3 + a_1 - a_{m1})^r + \frac{1}{b\gamma} (b\theta_2 + a_2 - a_{m2})^r + \frac{1}{b\gamma} (b\theta_1 - b_m)^r \right]$$

مشتق تابع

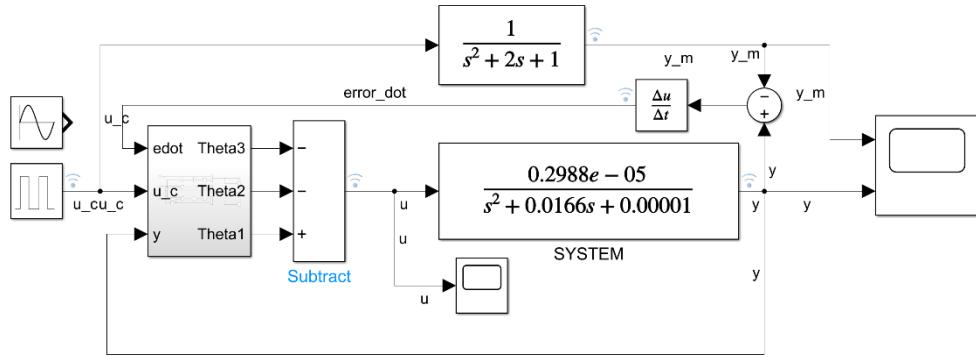
$$\frac{dV}{dt} =$$

$$\begin{aligned} &= \dot{e} \dot{e} + a_{m2} \dot{e} e + \frac{(b\theta_3 + a_1 - a_{m1})}{\gamma} \frac{d\theta_3}{dt} + \frac{(b\theta_2 + a_2 - a_{m2})}{\gamma} \frac{d\theta_2}{dt} + \frac{(b\theta_1 - b_m)}{\gamma} \frac{d\theta_1}{dt} \\ &= -a_{m1} \dot{e} + \frac{b\theta_3 + a_1 - a_{m1}}{\gamma} \left( \frac{d\theta_3}{dt} - \gamma \dot{y} e \right) + \frac{b\theta_2 + a_2 - a_{m2}}{\gamma} \left( \frac{d\theta_2}{dt} - \gamma y e \right) \\ &\quad + \frac{b\theta_1 - b_m}{\gamma} \left( \frac{d\theta_1}{dt} + \gamma u_c \dot{e} \right) \end{aligned}$$

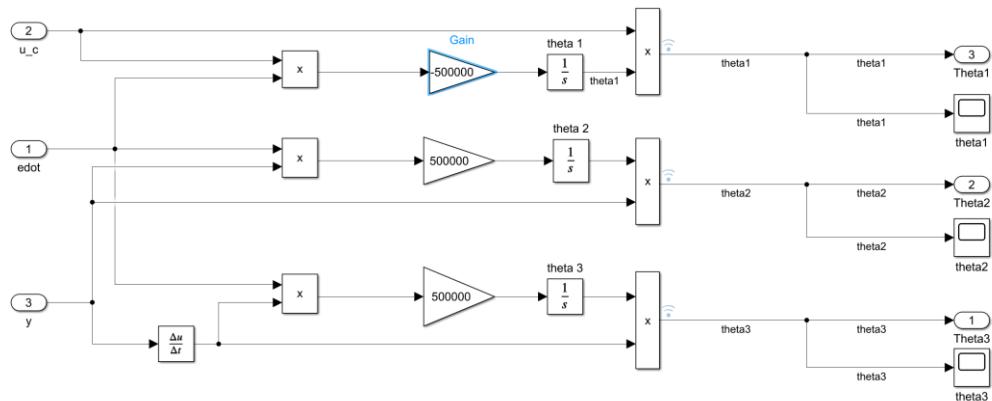
$$\begin{aligned} \frac{d\theta_1}{dt} &= -\gamma u_c \dot{e} \\ \frac{d\theta_2}{dt} &= \gamma y \dot{e} \\ \frac{d\theta_3}{dt} &= \gamma \dot{y} \dot{e} \end{aligned}$$

و مشتق تابع لیاپانوف نیز منفی است.

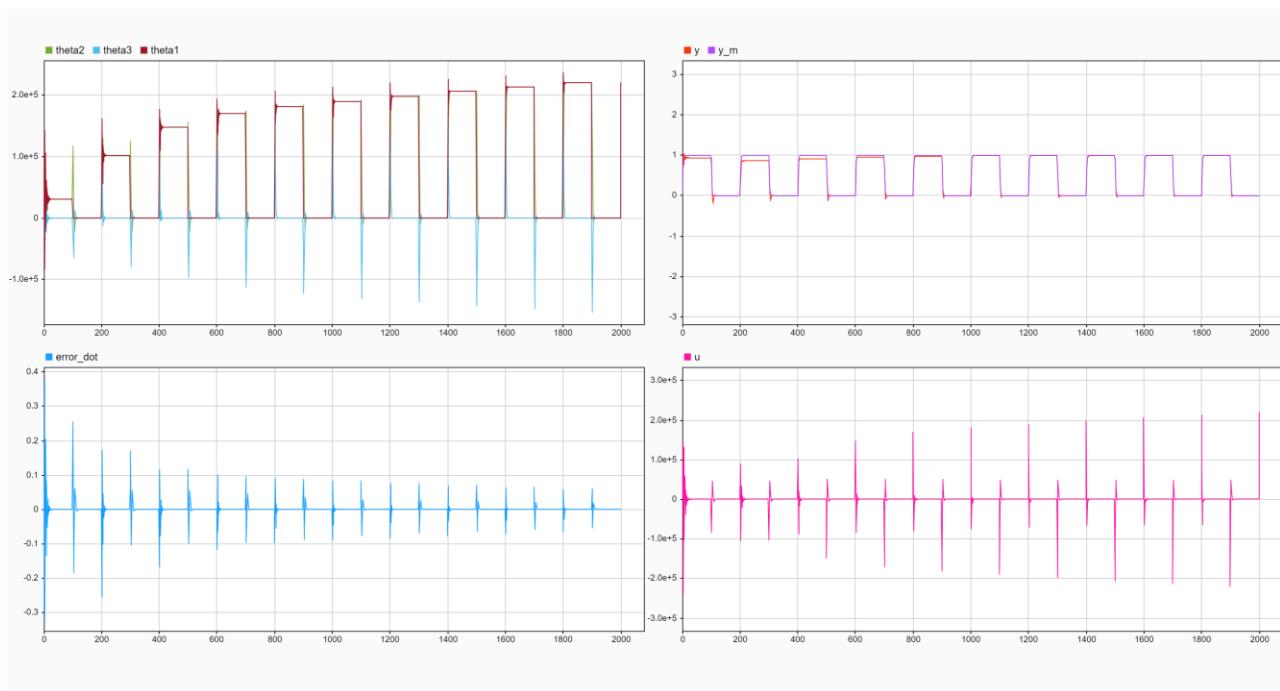
$$\frac{dV}{dT} = -a_{m1}\dot{e} \leq 0$$



شکل ۳—۱ شمای کنترل کننده لیاپانوف



شکل ۳—۲ شمای کنترل کننده لیاپانوف (ساب سیستم)

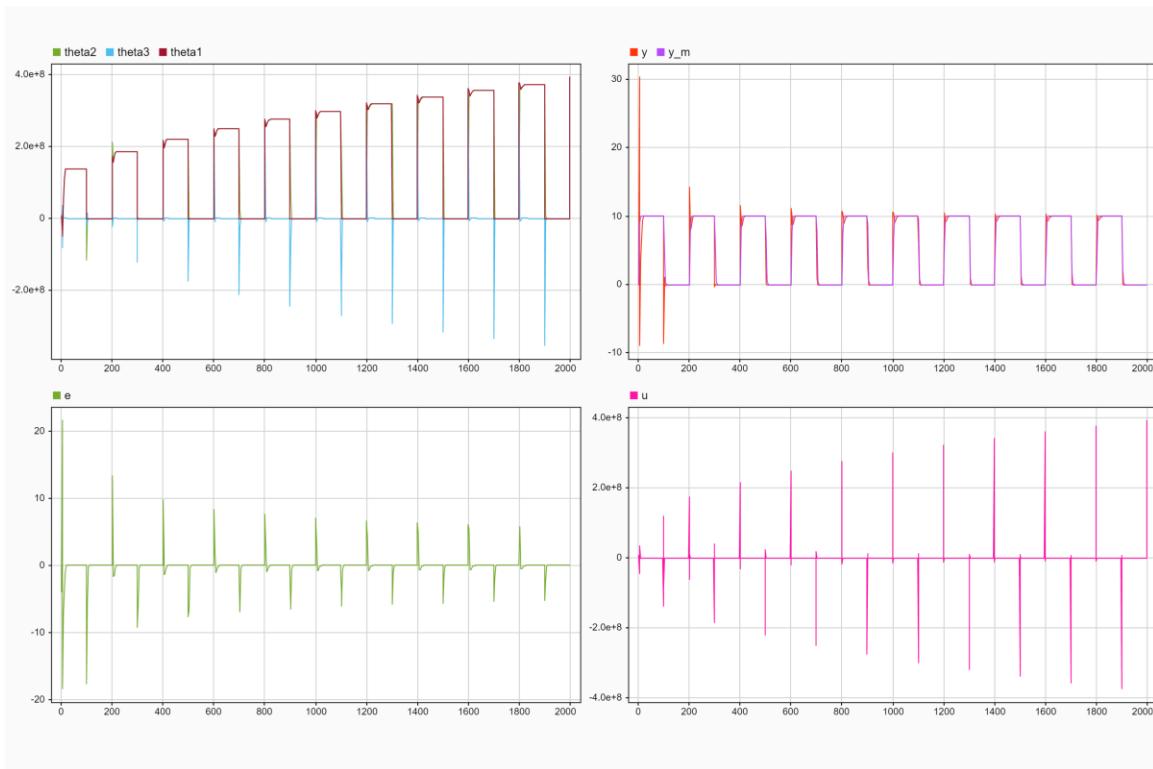


شکل ۳—۳ خروجی کنترل کننده لیاپانوف

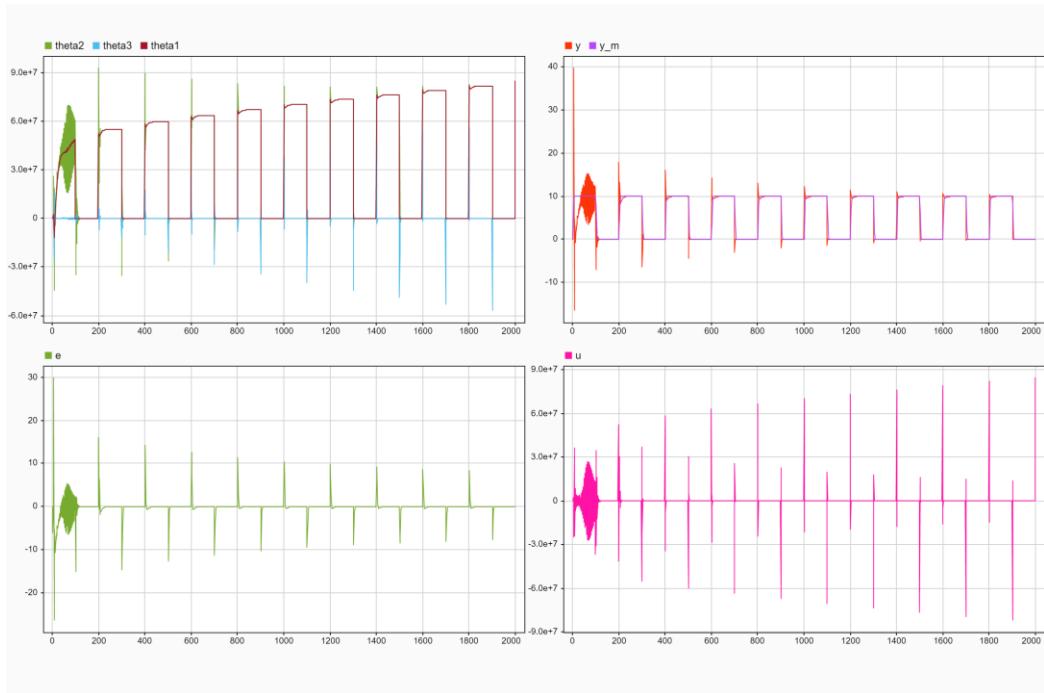
۴ تاثیر  $\gamma$  و دامنه  $U_C$  بر پایداری در بندهای قبل (نوع  $UC$  را مربعی سینوسی انتخاب کنید) تحلیل کنید نتایج آن‌ها را با معیارهای مناسب مقایسه کنید.

۴ - ۱ تأثیر پارامترهای  $\gamma$  و دامنه  $U_C$  بر خروجی سیستم در روش گرادیان

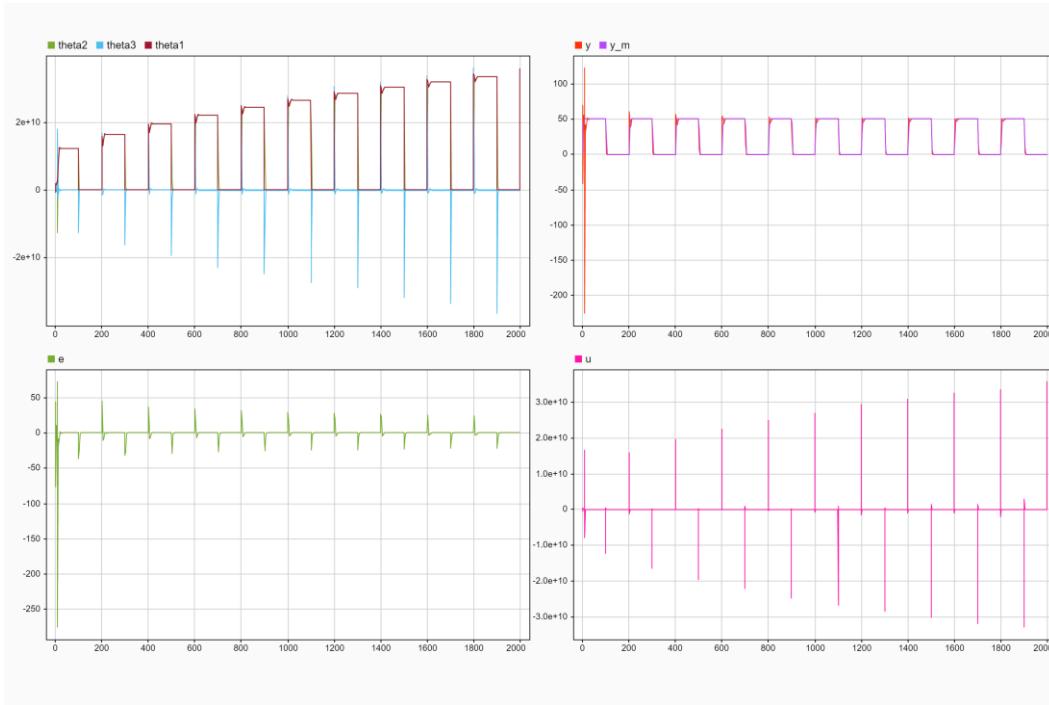
برای روش گرادیان نتایج حاصل از تغییر پارامترها به صورت زیر خواهد بود



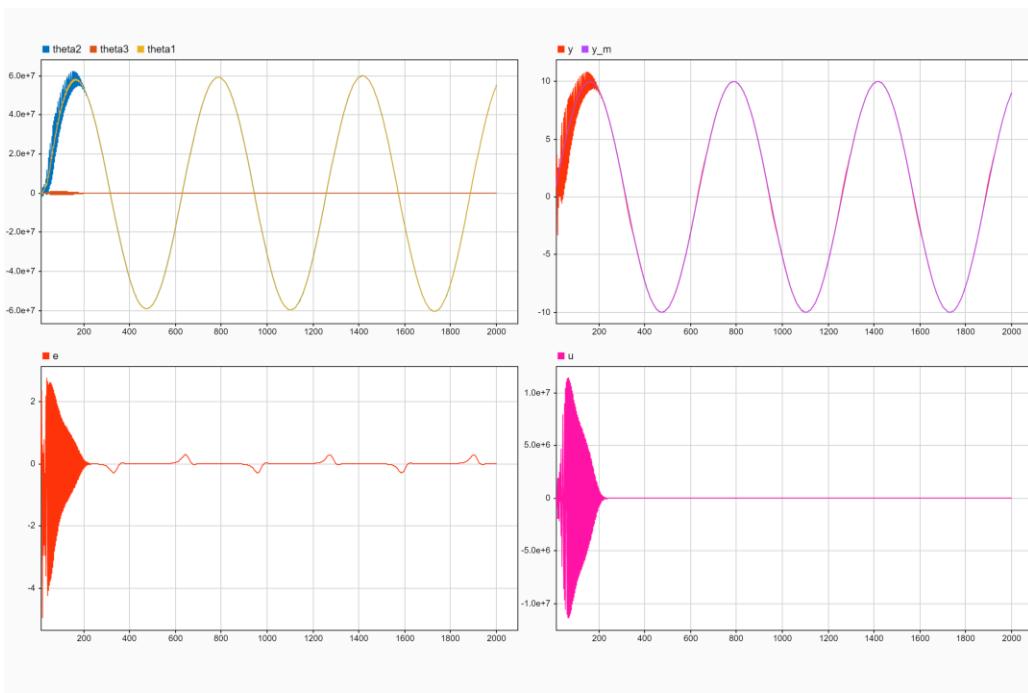
شکل ۴—۱ دامنه پله ۱۰ و طول هر پله ۱۰۰ ثانیه می‌باشد. ضریب گاما ۳۰۰۰۰



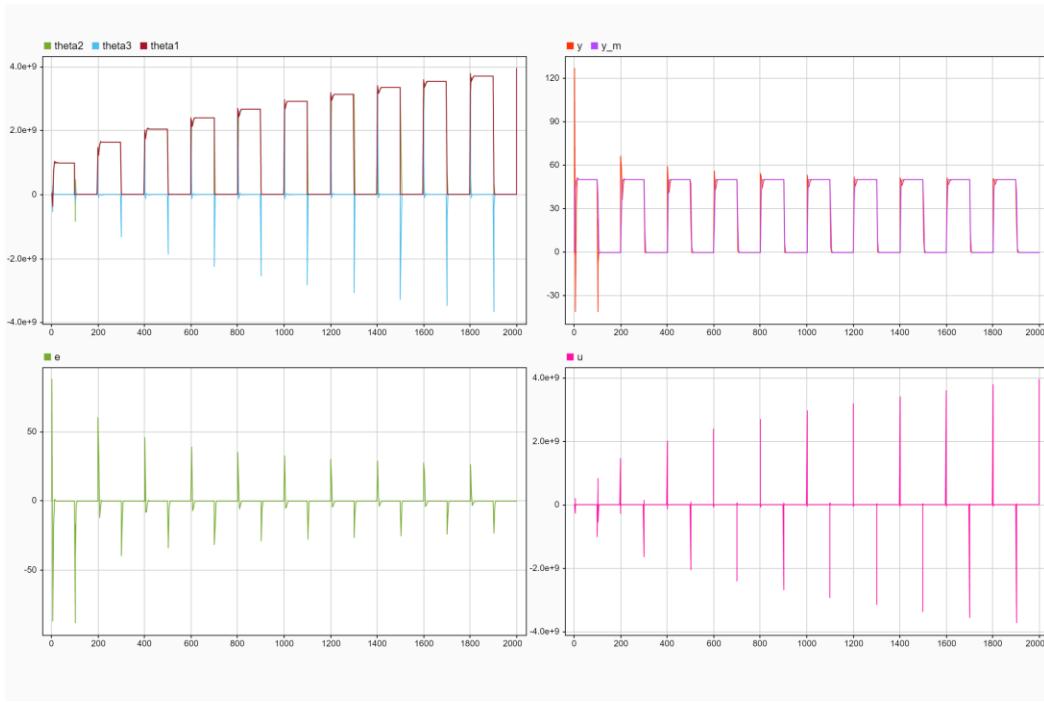
شکل ۳—۲ دامنه پله ۱۰ و طول هر پله ۱۰۰ ثانیه می‌باشد. ضریب گاما ۳۰۰۰



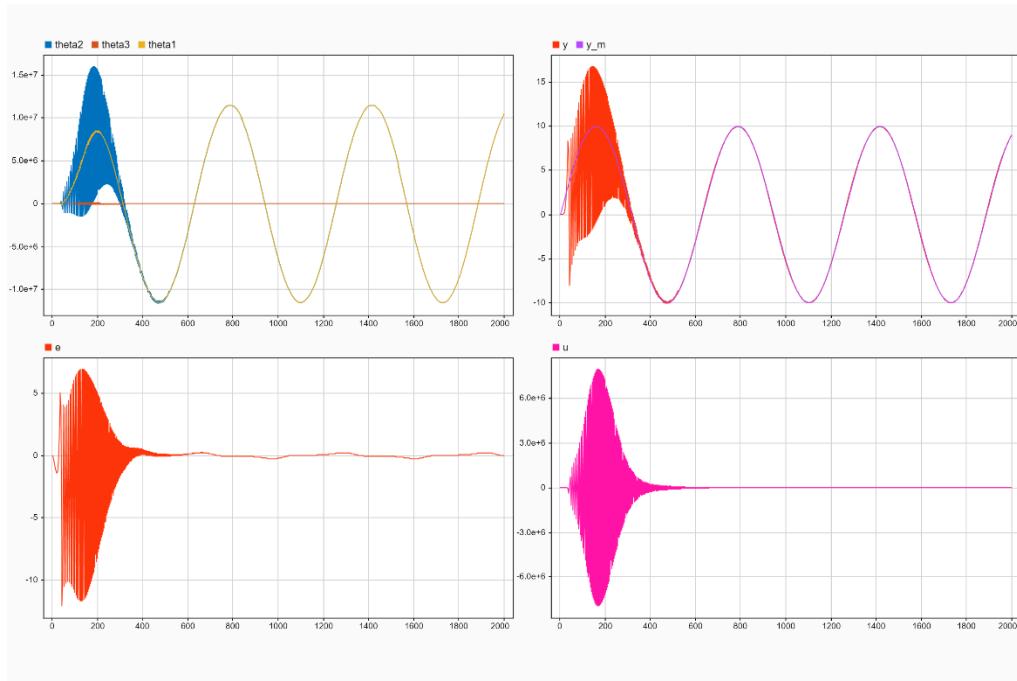
شکل ۴—۳ دامنه پله ۵۰ و طول هر پله ۱۰۰ ثانیه می‌باشد. ضریب گاما ۳۰۰۰۰



شکل ۴—۴ ورودی سینوسی با دامنه ۱۰ رادیان بر ثانیه و گاما ۳۰۰۰۰۱ و فرکانس ۱۰۰۰ رادیان بر ثانیه و گاما



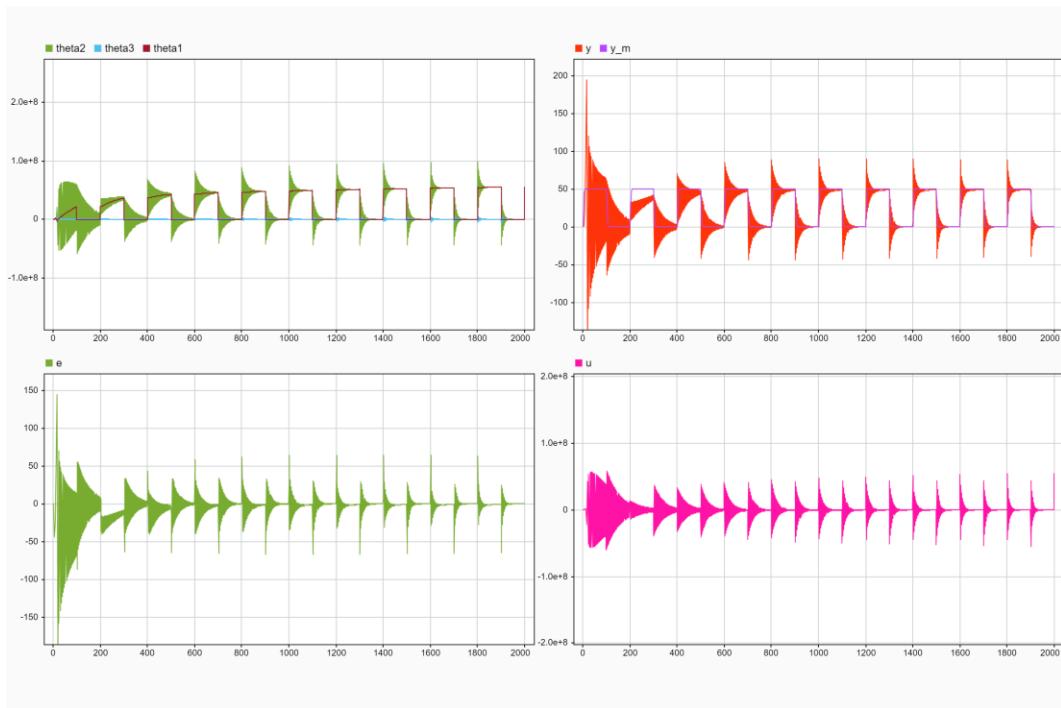
شکل ۴—۵ دامنه پله ۵۰ و طول هر پله ۱۰۰ ثانیه می‌باشد. ضریب گاما ۳۰۰۰۰



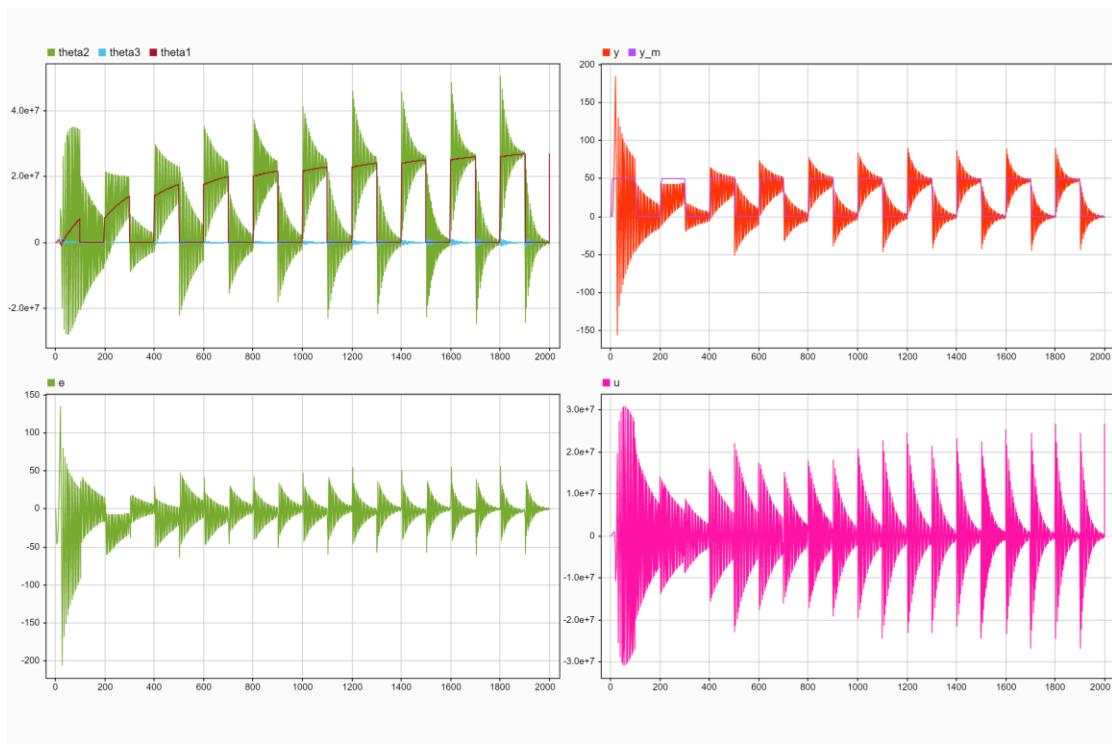
شکل ۴—۶ ورودی سینوسی با دامنه ۱۰ و فرکانس ۱۰۰ رادیان بر ثانیه و گاما ۳۰۰

با افزایش دامنه درصد خطای کنترل کننده کاهش می‌یابد.

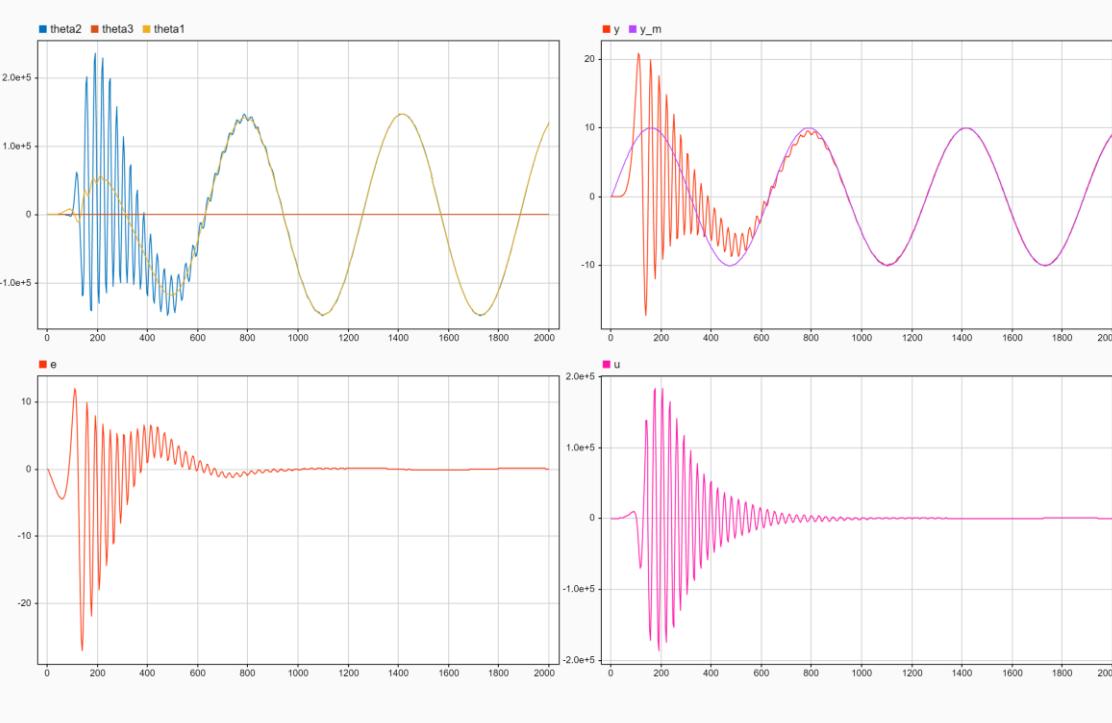
با کاهش گین‌ها رهگیری به خوبی صورت نخواهد گرفت.



شکل ۵—۶ دامنه پله ۵۰ و طول هر پله ۱۰۰ ثانیه می‌باشد. ضریب گاما ۳

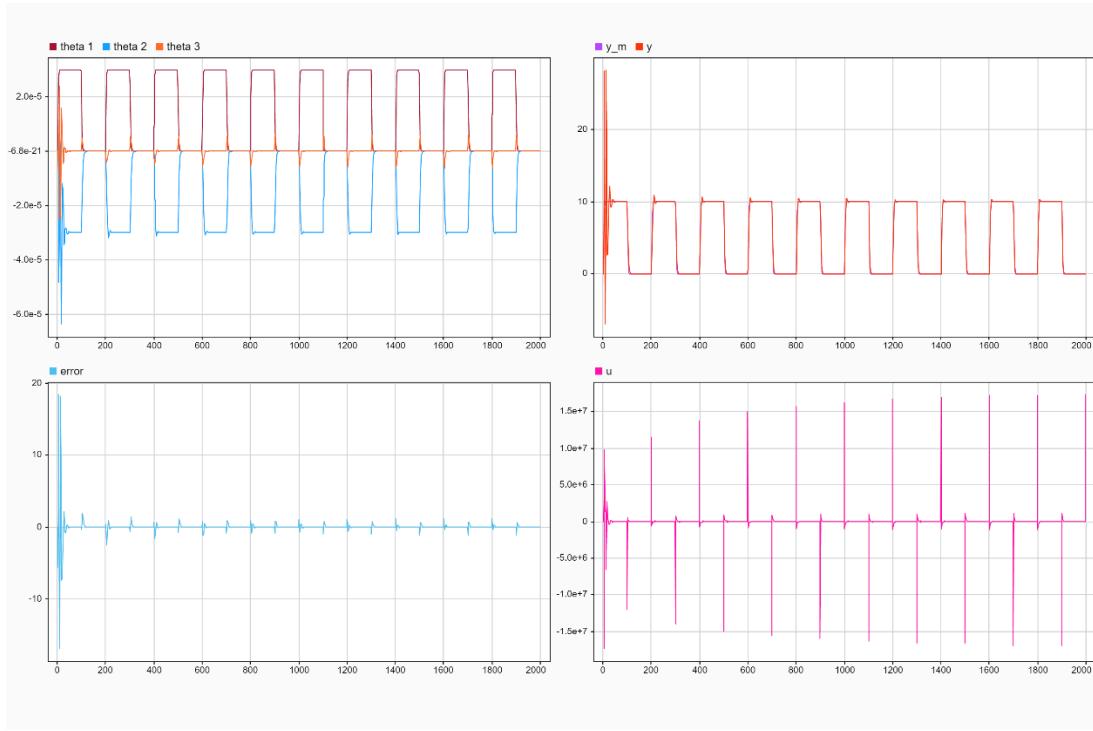


شکل ۴—۱—دامنه پله ۵۰ و طول هر پله ۱۰۰ ثانیه می‌باشد. ضربی گاما ۱

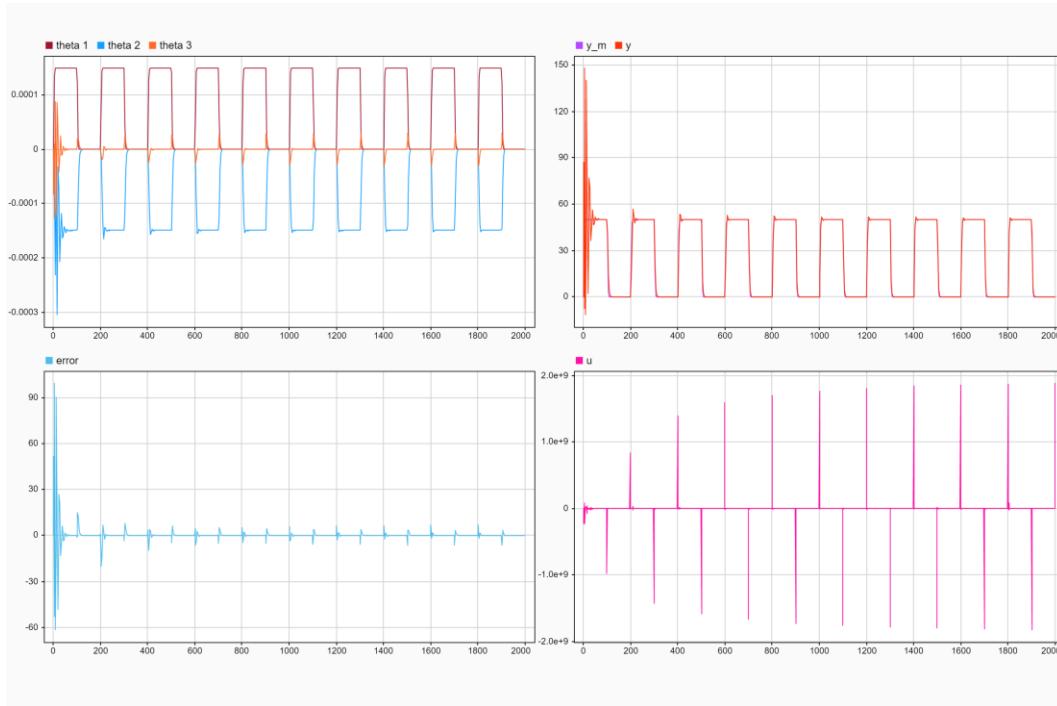


شکل ۴—۹—ورودی سینوسی با دامنه ۱۰ و فرکانس ۱۰۰ رادیان بر ثانیه و گاما ۱

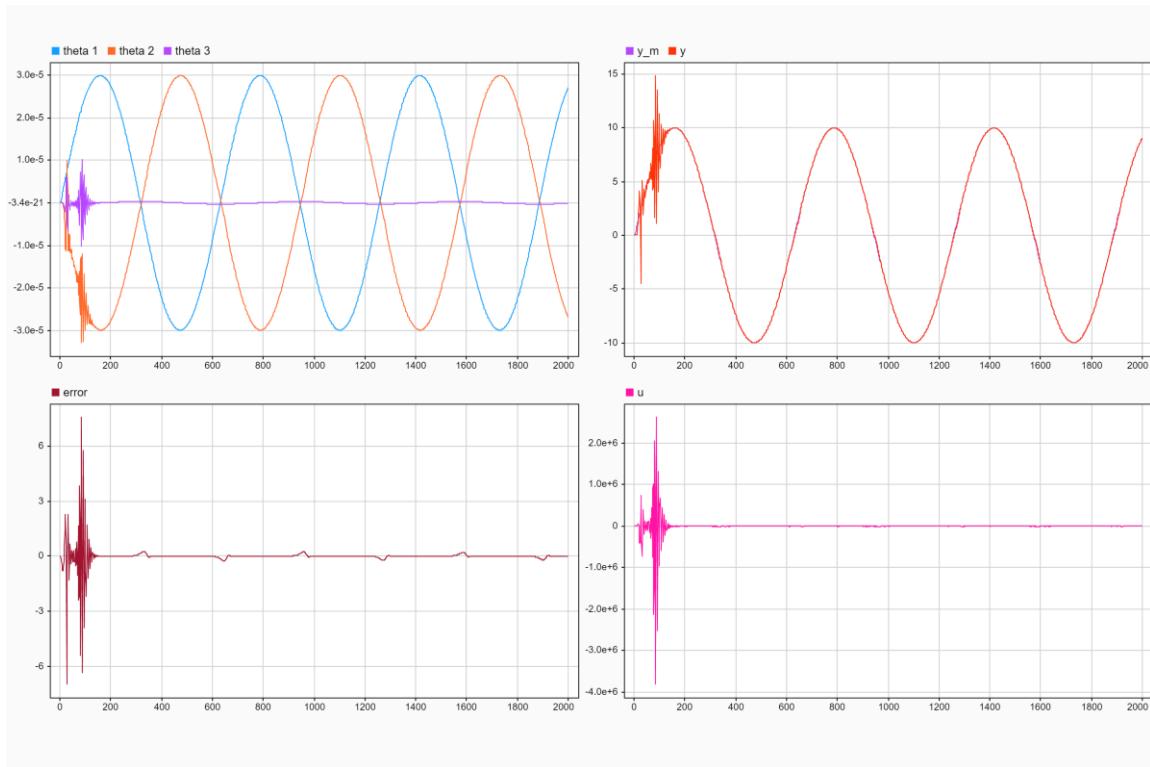
۴ - ۲ - تأثیر پارامترهای  $\gamma$  و دامنه  $U$  بر خروجی سیستم در روش گرادیان نرمالیزه شده  
برای روش گرادیان نرمالیزه شده نتایج حاصل از تغییر پارامترها به صورت زیر خواهد بود



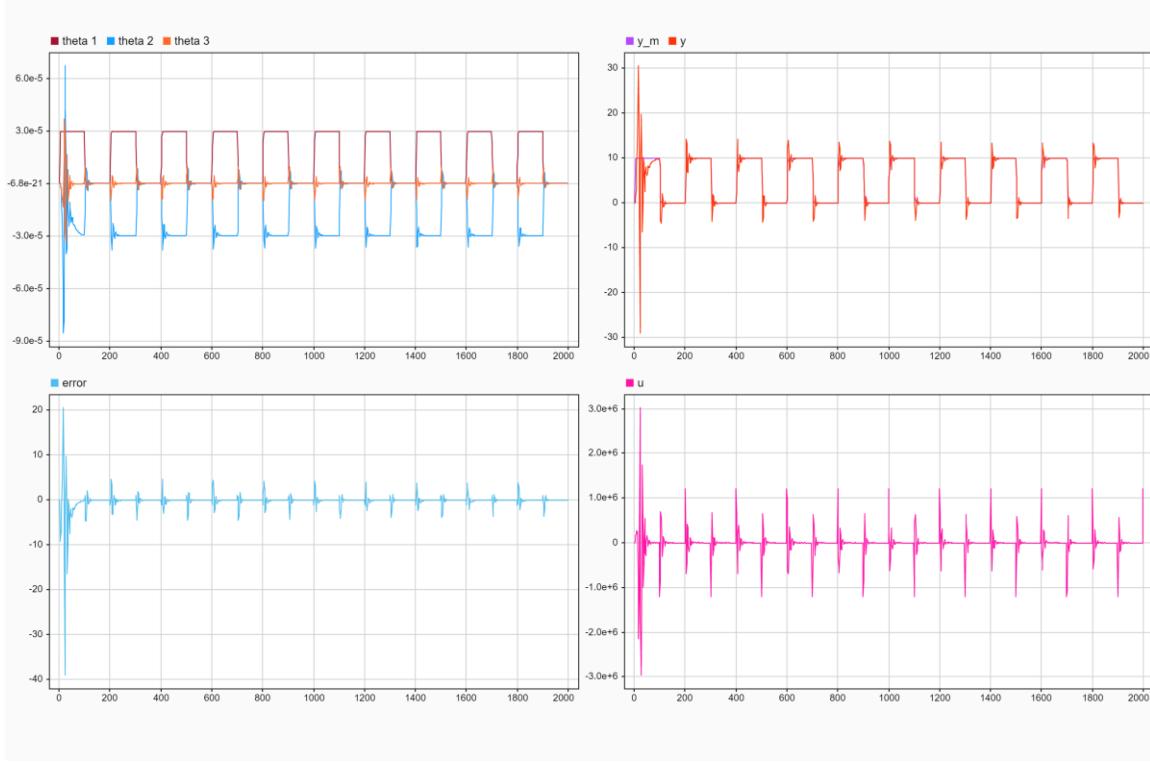
شکل ۴-۲— ۱۰ دامنه پله ۱۰ و طول هر پله ۱۰۰ ثانیه می‌باشد. ضریب گاما ۱۵۰۰۰۰۰ و ضریب آلفا ۱۰۰۰۰۰



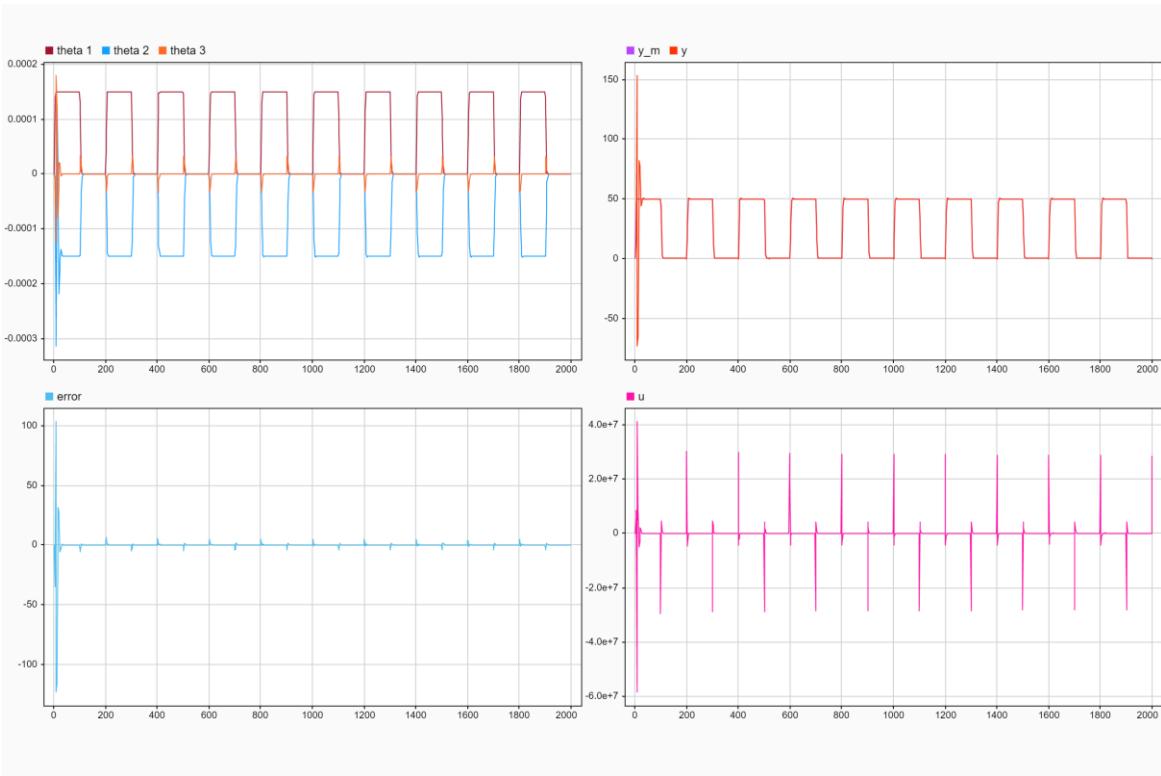
شکل ۴-۱۱— ۱۰ دامنه پله ۵۰ و طول هر پله ۱۰۰ ثانیه می‌باشد. ضریب گاما ۱۵۰۰۰۰۰ و ضریب آلفا ۱۰۰۰۰۰



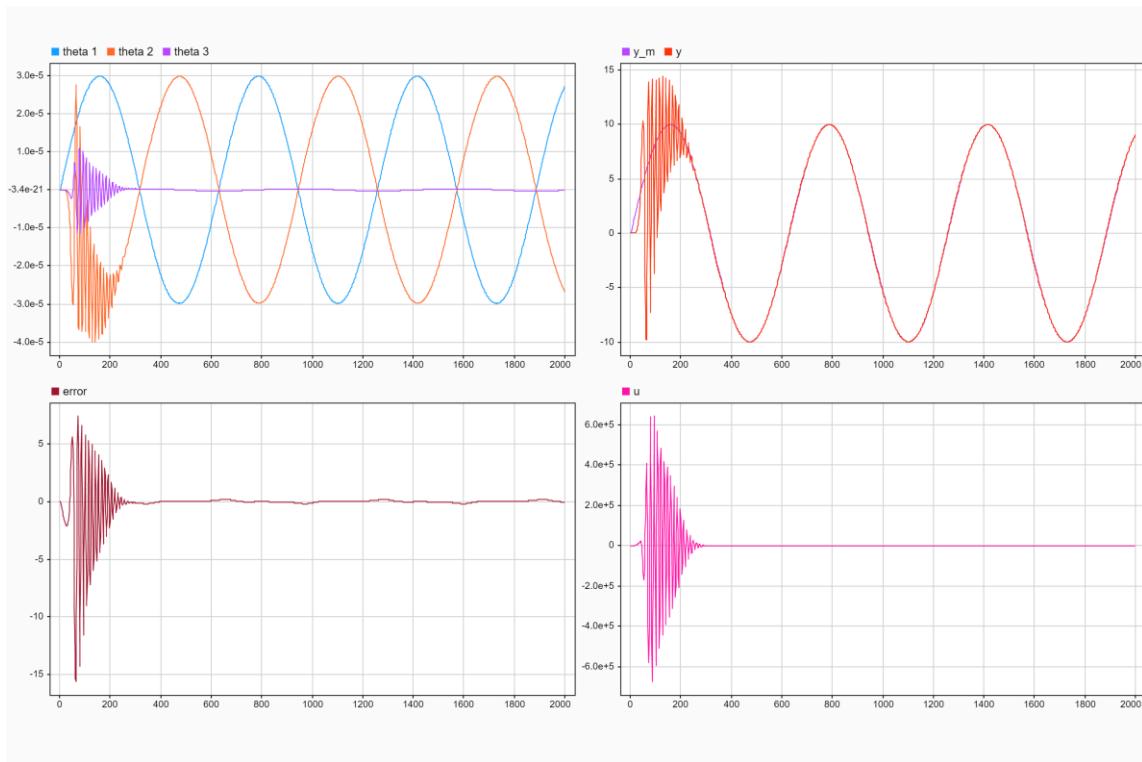
شکل ۱۲—۴ ورودی سینوسی با دامنه ۰.۰۰۱ و فرکانس ۱۰ رادیان بر ثانیه و گاما ۱۵۰۰۰۰ و ضریب آلفا ۰.۰۰۰۱



شکل ۱۳—۴ دامنه پله ۱۰ و طول هر پله ۱۰۰ ثانیه می‌باشد. ضریب گاما ۱۵۰۰۰ و ضریب آلفا ۰.۰۰۰۱

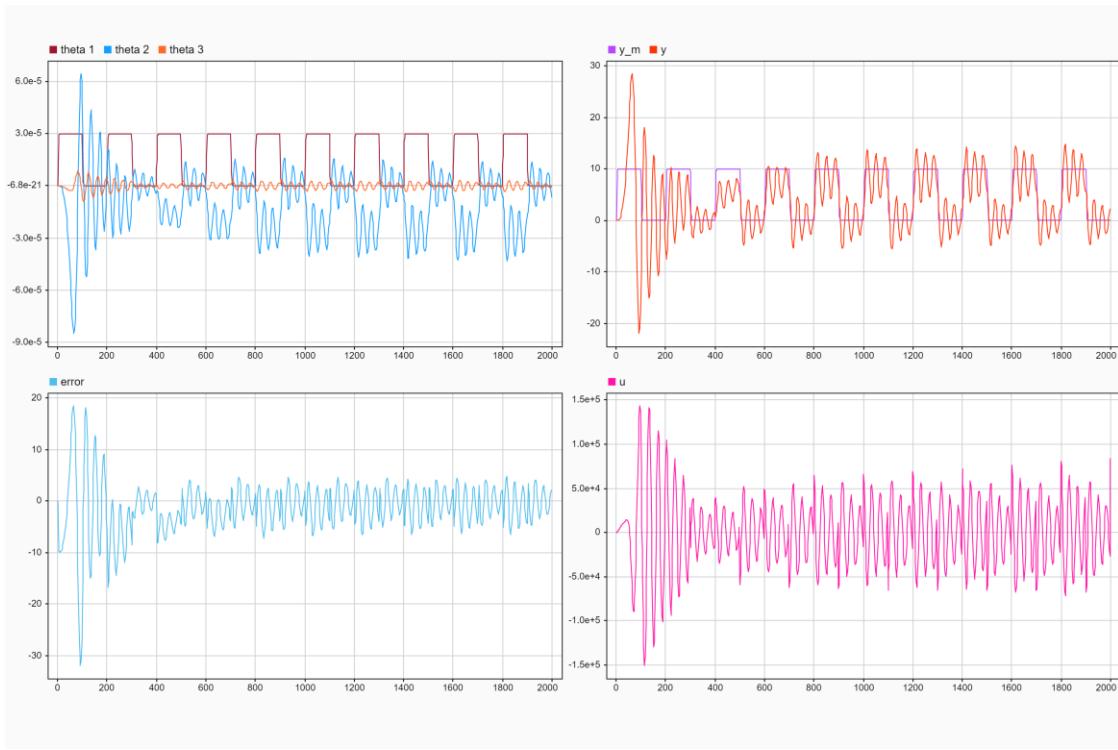


شکل ۴—۱۴ دامنه پله ۵۰ و طول هر پله ۱۰۰ ثانیه می‌باشد. ضریب گاما ۱۵۰۰۰ و ضریب آلفا ۱۰۰۰.

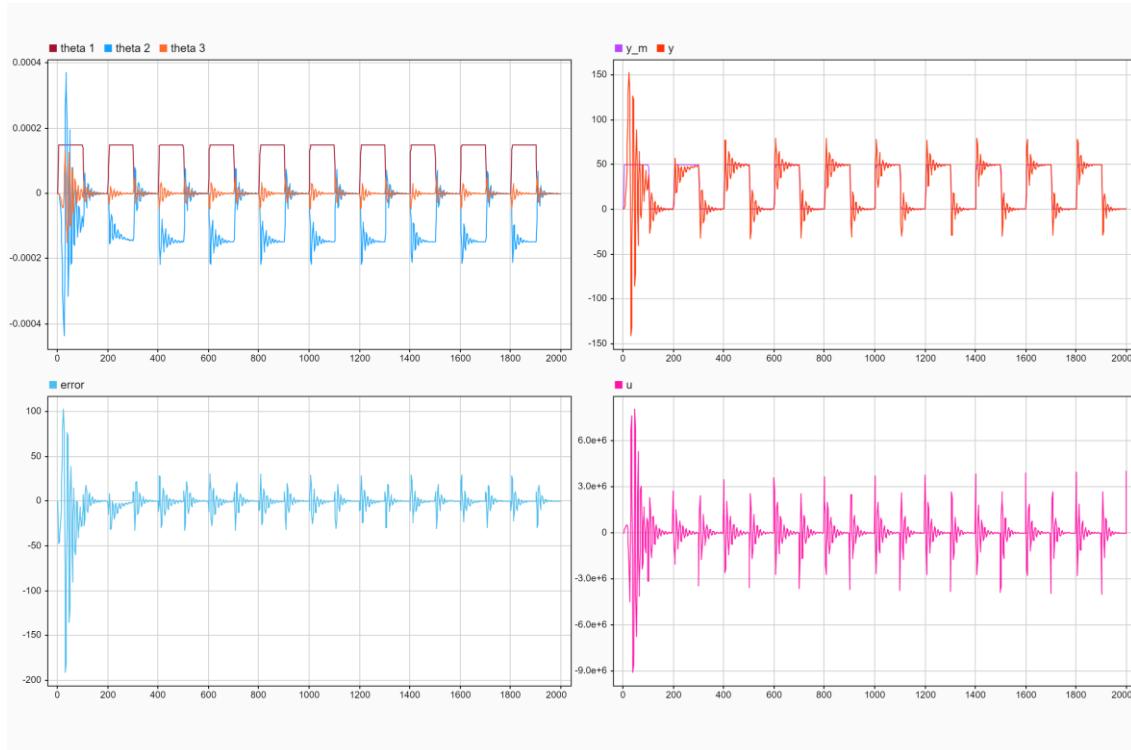


شکل ۴—۱۵ ورودی سینوسی با دامنه ۱۰ و فرکانس ۰.۰۱ رادیان بر ثانیه و گاما ۱۵۰۰۰ و ضریب آلفا ۱۰۰۰.

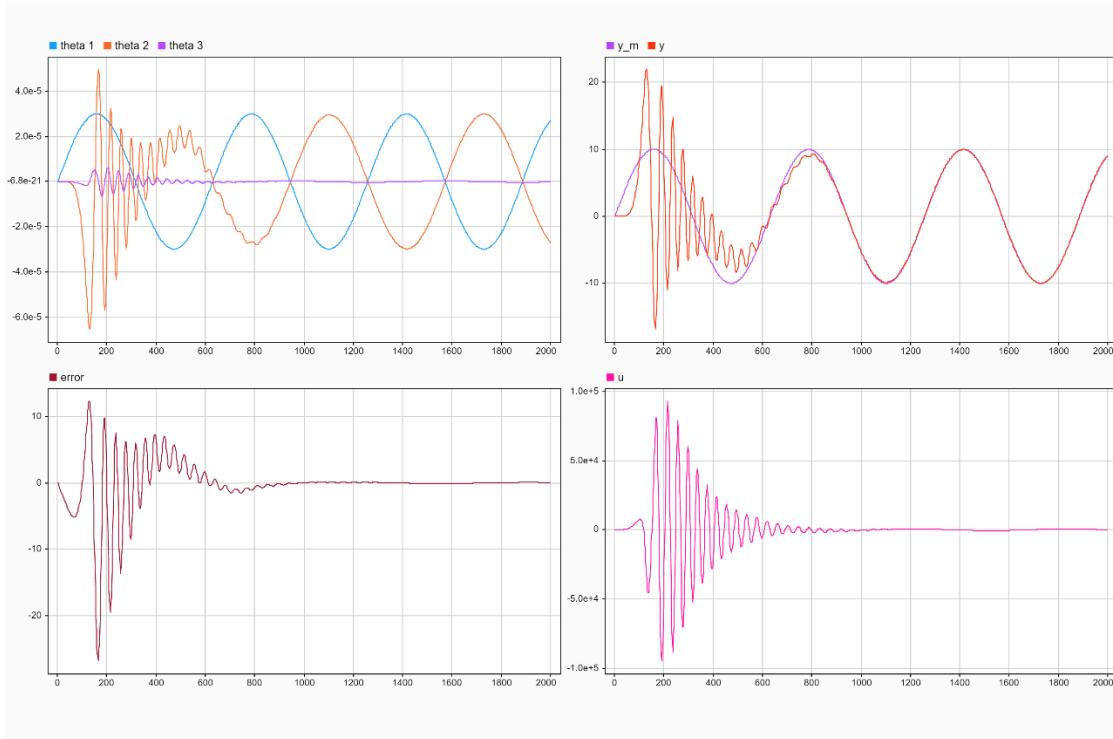
با کاهش ضریب گاما ردیابی به سختی صورت می‌گیرد



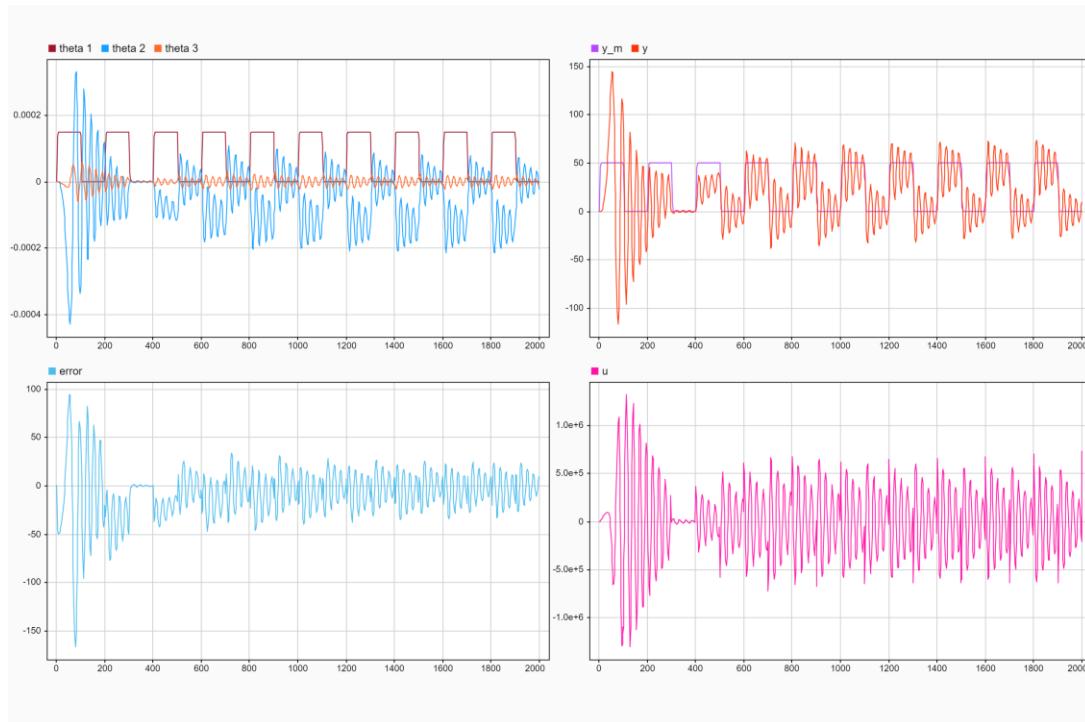
شکل ۴—۱۶ دامنه پله ۱۰ و طول هر پله ۱۰۰ ثانیه می‌پاشد. ضریب گاما ۱۵۰ و ضریب آلفا ۰۰۰۱



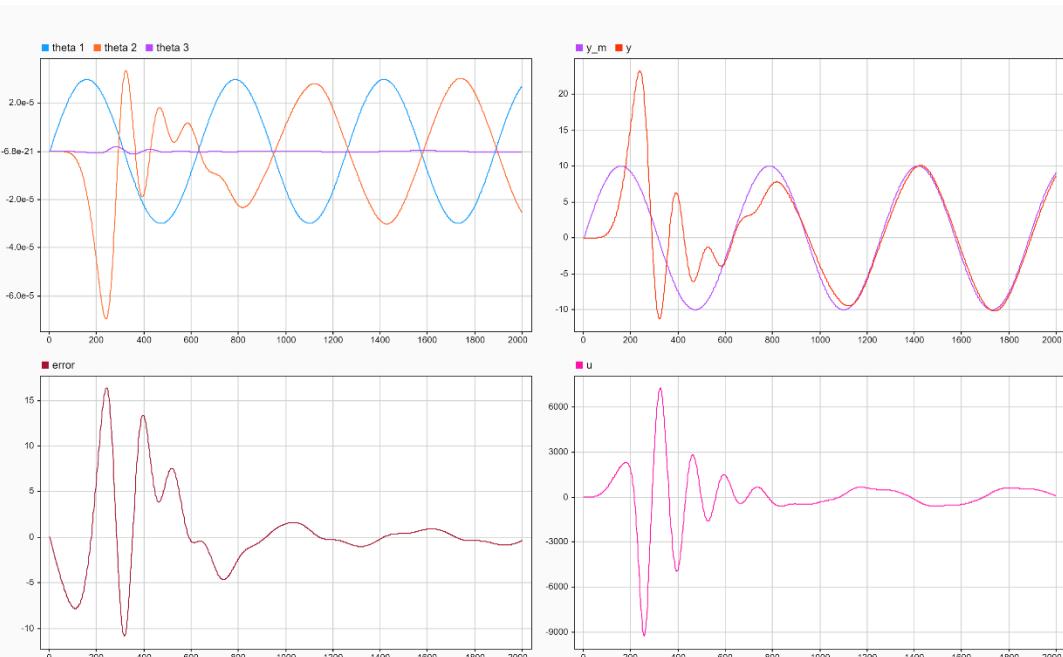
شکل ۴—۱۷ دامنه پله ۵۰ و طول هر پله ۱۰۰ ثانیه می‌پاشد. ضریب گاما ۱۵۰ و ضریب آلفا ۰۰۰۱



شکل ۴—۱۱ ورودی سینوسی با دامنه ۰۰۱ رادیان بر ثانیه و گاما ۱۵۰ و ضریب آلفا ۰۰۰۱



شکل ۴-۱۹ دامنه پله ۵۰ و طول هر پله ۱۰۰ ثانیه می‌باشد. ضریب گاما ۱۰ و ضریب آلفا ۰۰۰۱

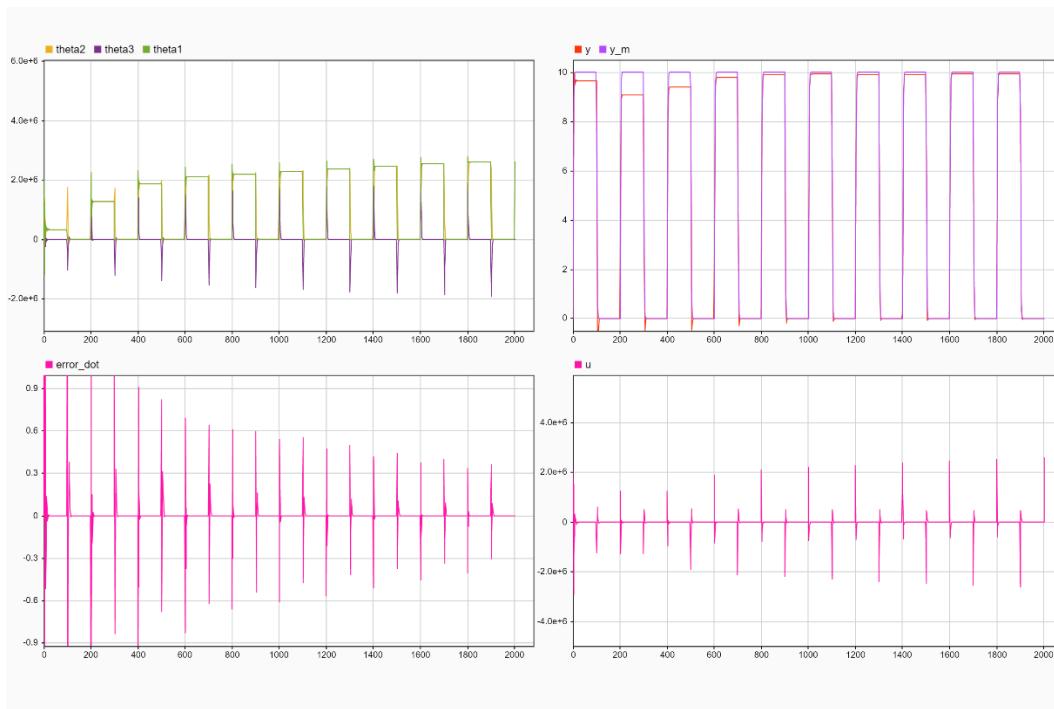


شکل ۴—۲۰— ورودی سینوسی با دامنه ۱۰ رادیان بر ثانیه و گاما ۱۰ و ضریب آلفا ۰۰۰۱

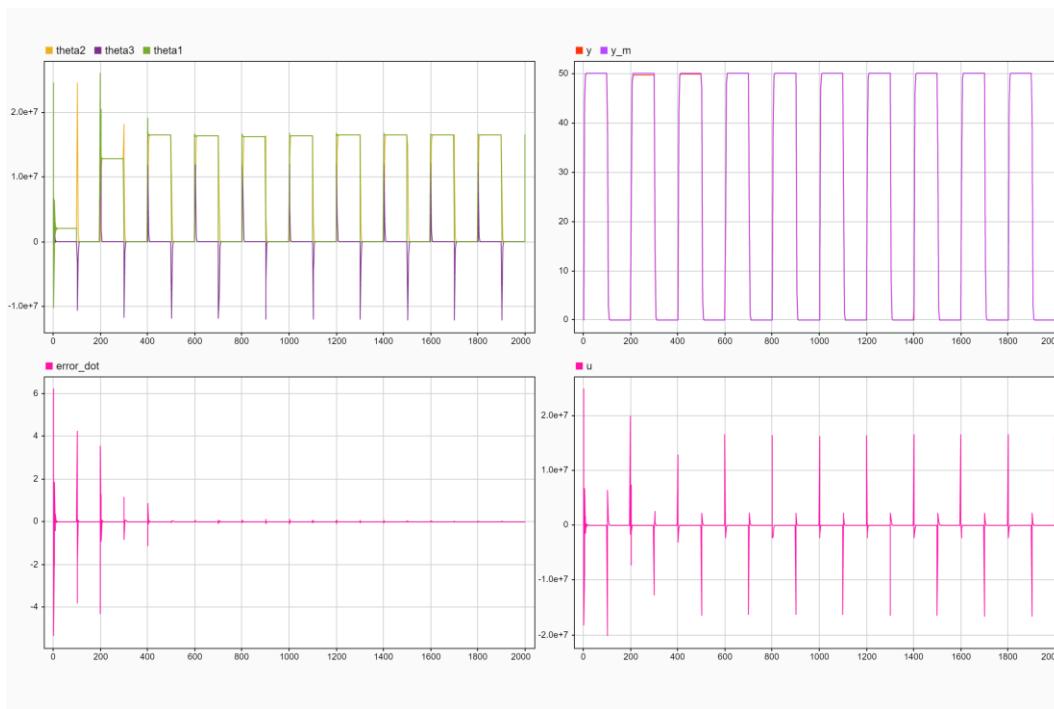
برای داشتن ردیابی مناسب در دامنه ۱ به ضریب گاما می بسیار بزرگی در حدود ۱۵۰۰۰۰۰ نیاز است.

### ۴-۳ تأثیر پارامترهای $\gamma$ و دامنه $U_c$ بر خروجی سیستم در روش لیاپانوف

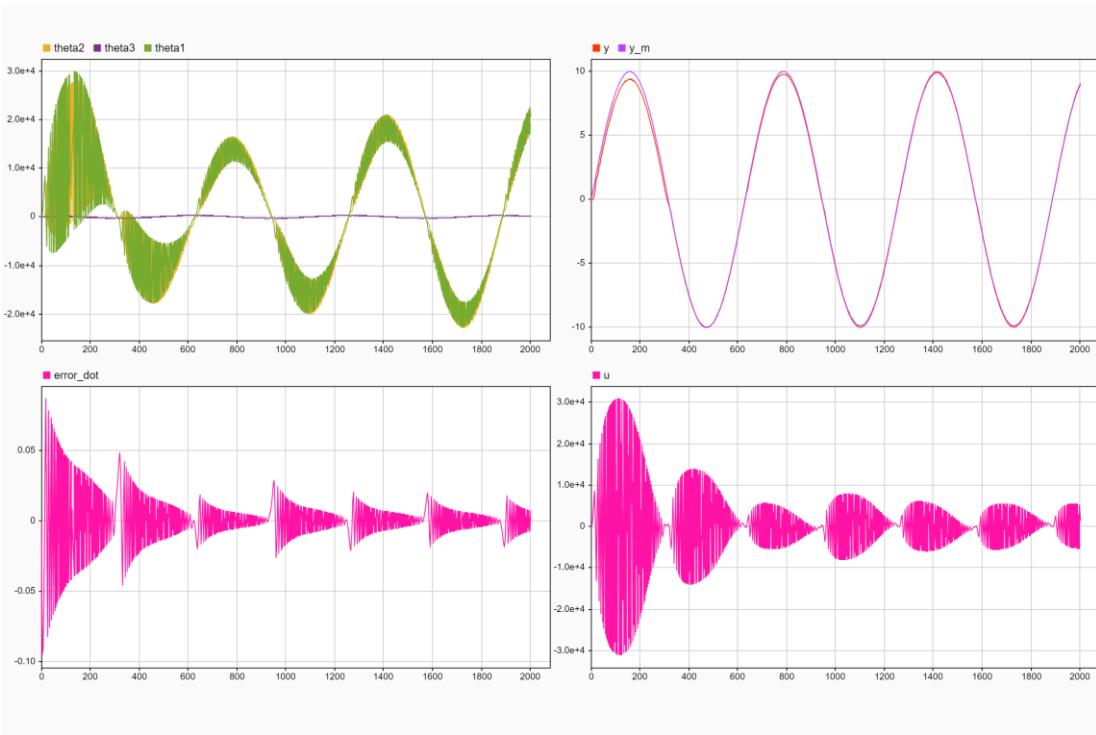
برای روش لیاپانوف نتایج حاصل از تغییر پارامترها به صورت زیر خواهد بود



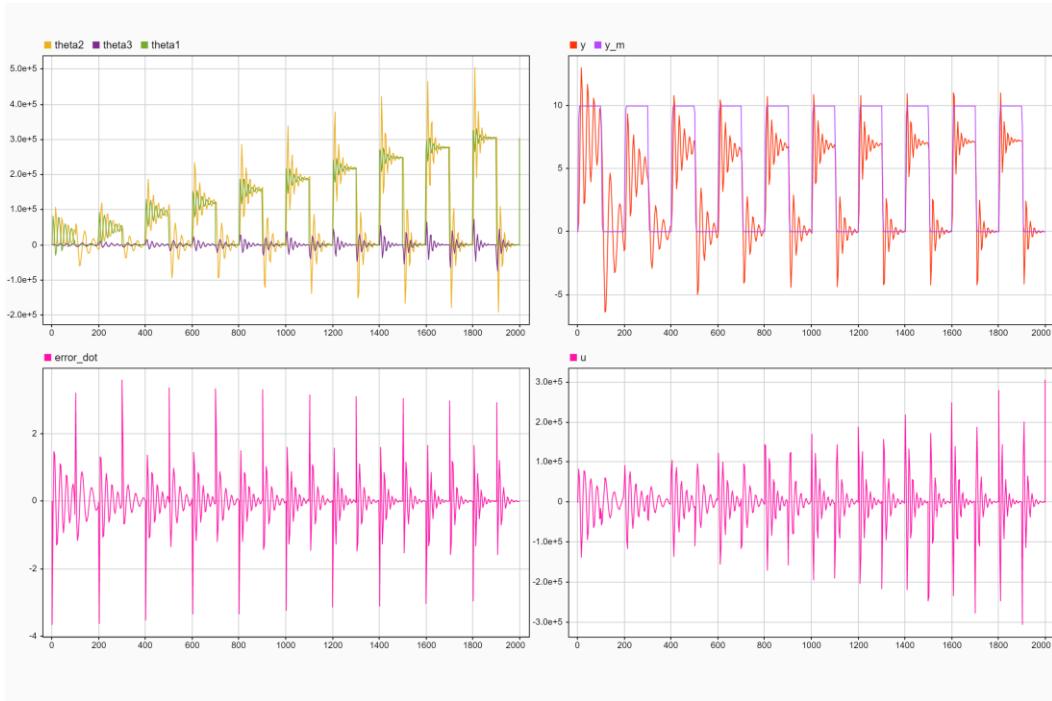
شکل ۲۱—۳ دامنه پله ۱۰ و طول هر پله ۱۰۰ ثانیه می‌باشد. ضریب گاما ۱۰۰۰۰



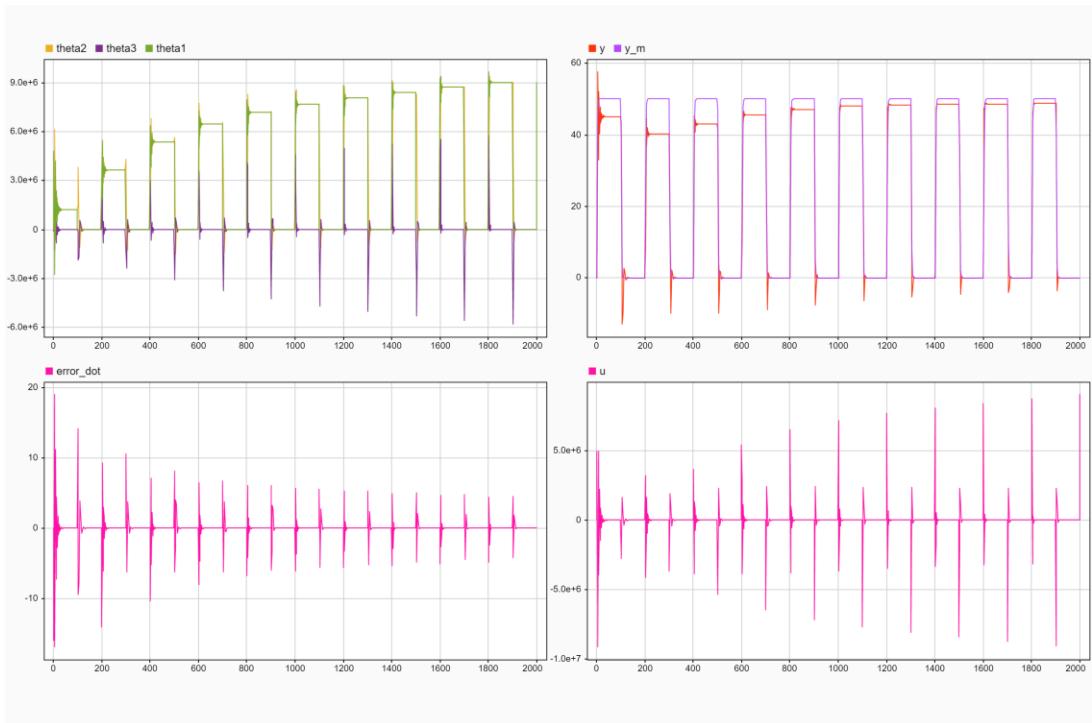
شکل ۲۲—۳ دامنه پله ۵۰ و طول هر پله ۱۰۰ ثانیه می‌باشد. ضریب گاما ۱۰۰۰۰



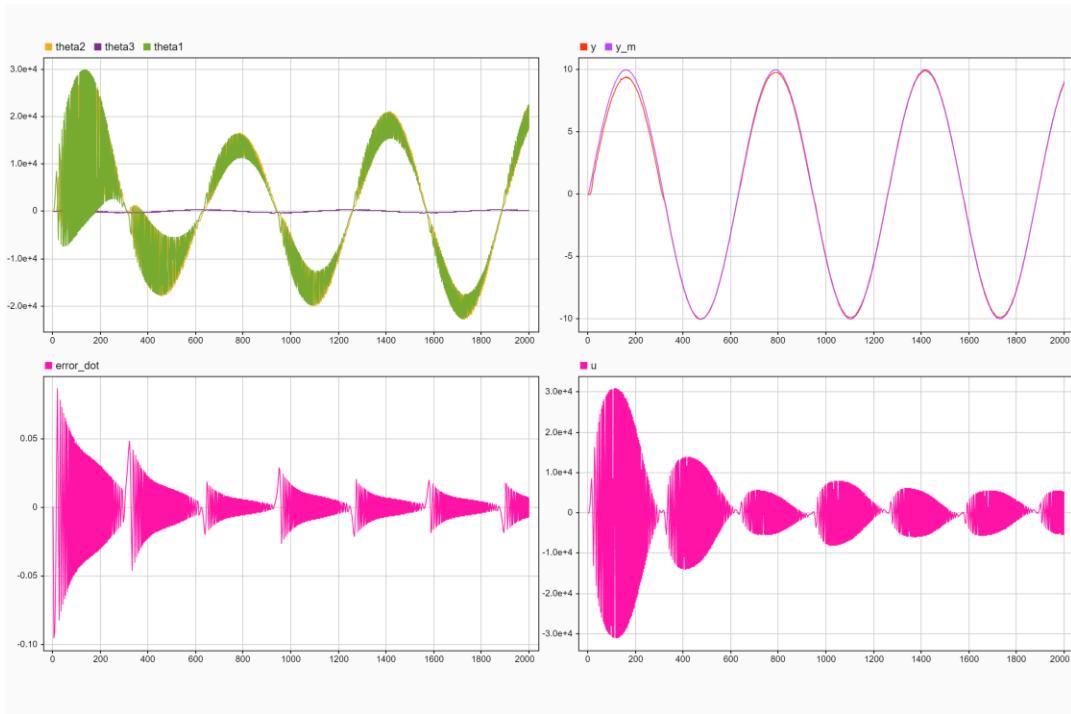
شکل ۴—۲۳ ورودی سینوسی با دامنه ۱۰ رادیان بر ثانیه و گاما ۱۰۰۰۰۰ فرکانس ۱۰۰۰۰۰ رادیان بر ثانیه و گاما ۱۰۰۰



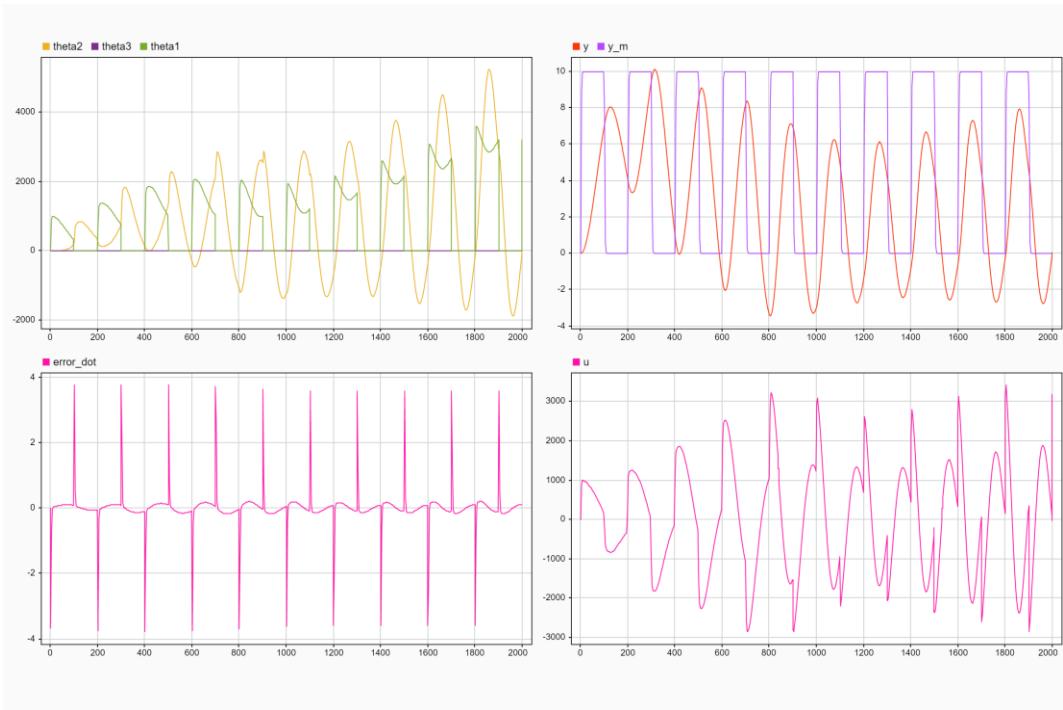
شکل ۴—۲۴ دامنه پله ۱۰ و طول هر پله ۱۰۰ ثانیه می‌باشد. ضریب گاما ۱۰۰



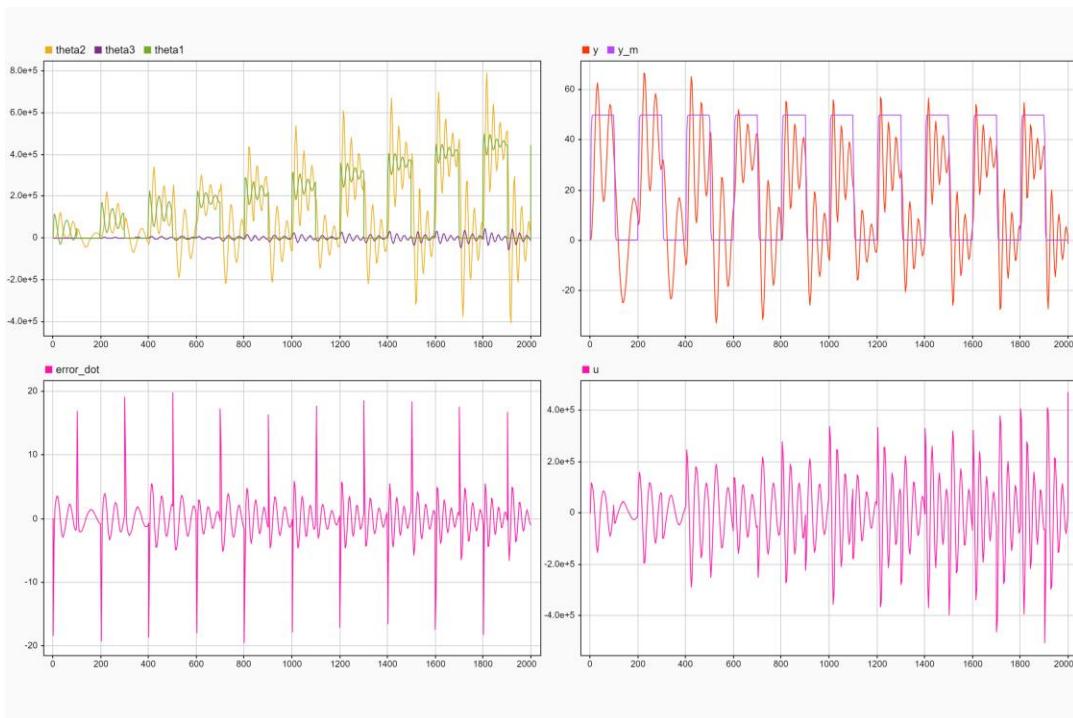
شکل ۴—۲۵ دامنه په ۵۰ و طول هر په ۱۰۰ ۱ ثانیه می باشد. ضریب گاما ۱۰۰



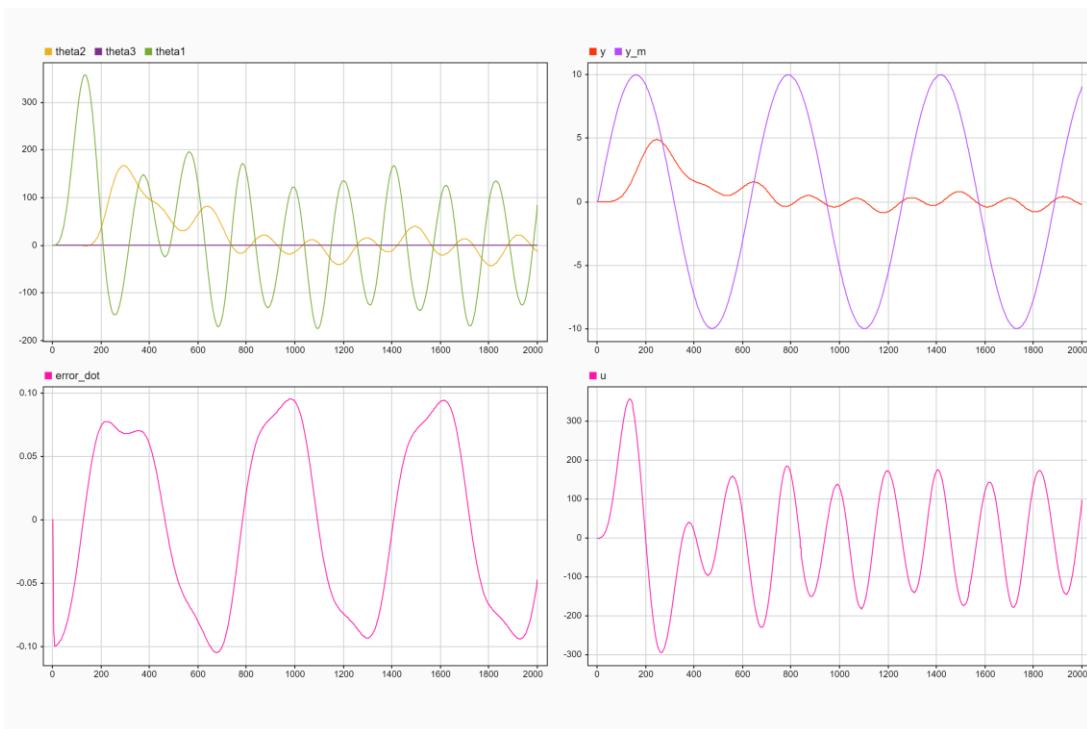
شکل ۴—۲۶ ورودی سینوسی با دامنه ۱۰ و فرکانس ۱۰۰ رادیان بر ثانیه و گاما ۱۰۰



شکل ۴—۳۷ دامنه پله ۱۰ و طول هر پله ۱۰۰ ثانیه می‌پاشد. ضریب گاما ۱



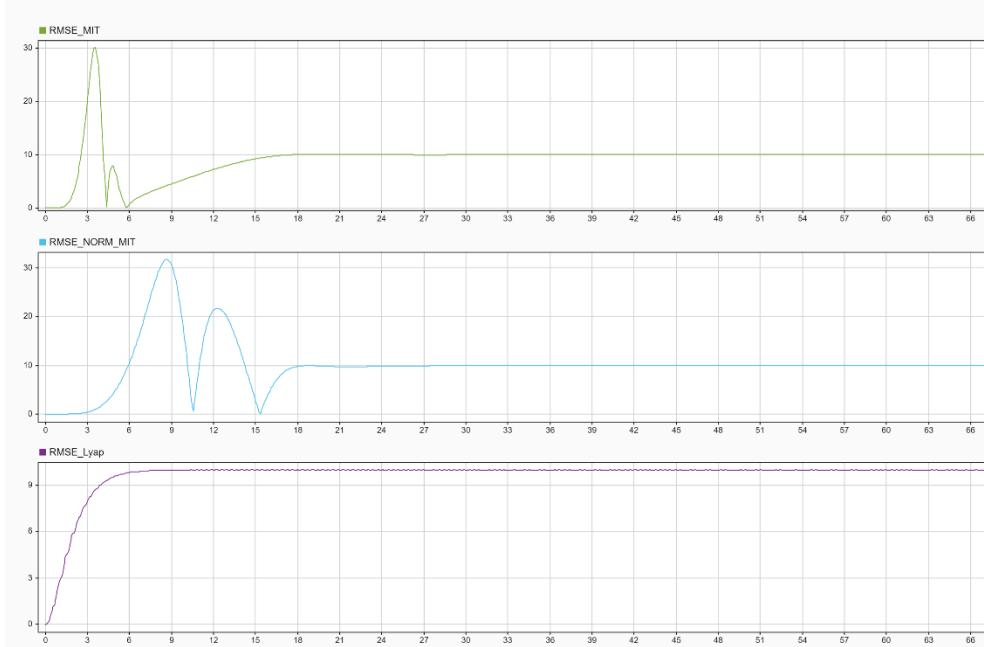
شکل ۴—۳۸ دامنه پله ۵۰ و طول هر پله ۱۰۰ ثانیه می‌پاشد. ضریب گاما ۱



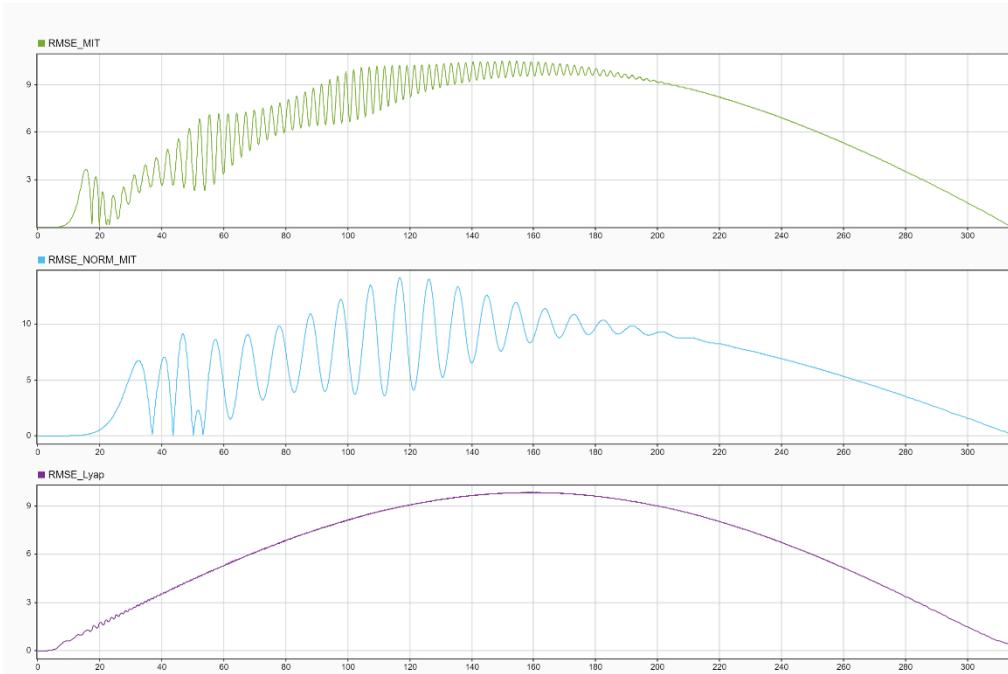
شکل ۴— ورودی سینوسی با دامنه ۱۰۰ رادیان بر ثانیه و گاما ۱ و فرکانس ۱۰۰۰

در مجموع ورودی سینوسی نسبت به تغییرات گاما مقاوم تر نسبت به ورودی مربعی بوده است

۵ سیگنال کنترلی و سرعت همگرایی پارامترها و سیگنال خروجی را در روش‌های مختلف با استفاده از معیارهای مناسب بررسی کنید.

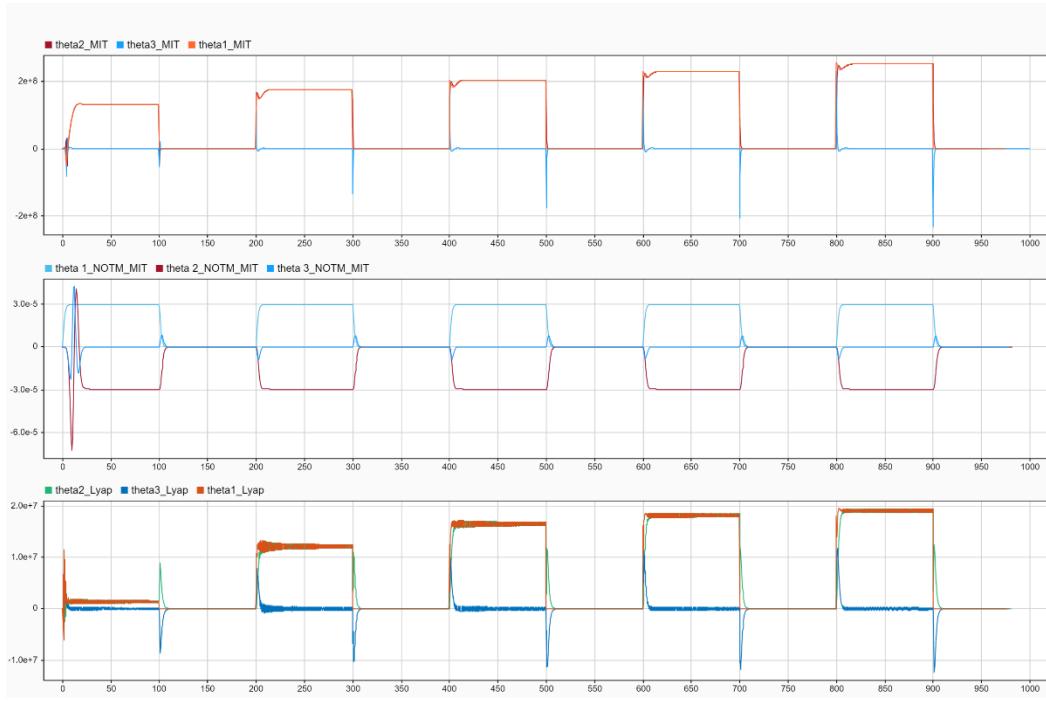


شکل ۵—۱ معیار  $RMSE$  برای سه کنترل‌کننده استفاده شده در شرایط ورودی پله دامنه ۱۰ و طول پله ۱۰۰ ثانیه

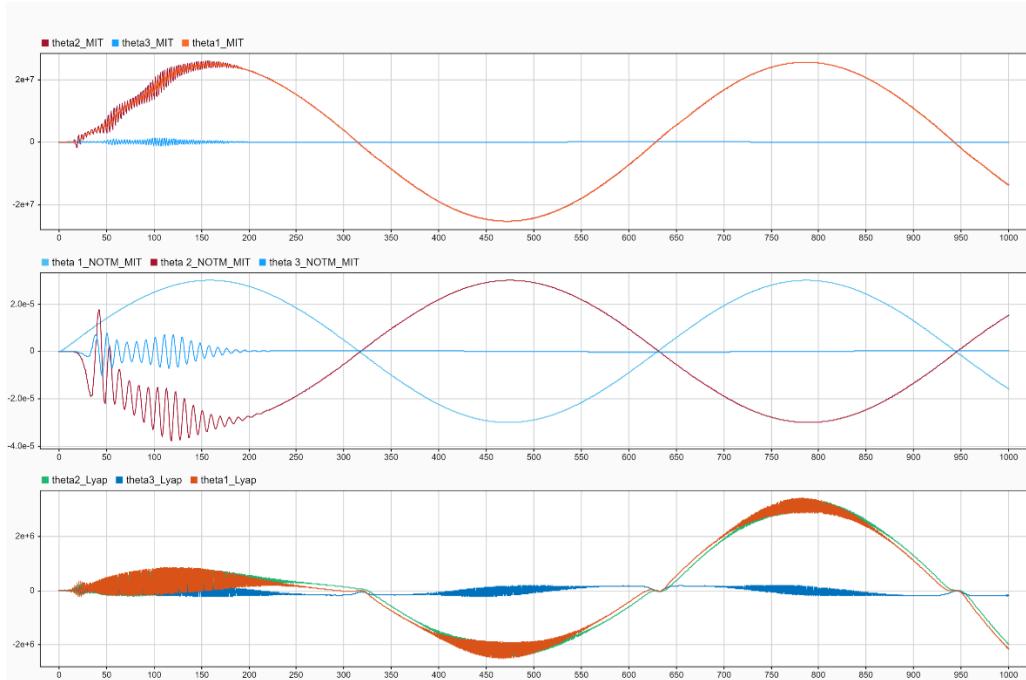


شکل ۶—۲ معیار  $RMSE$  برای سه کنترل‌کننده استفاده شده در شرایط ورودی سینوسی با دامنه ۱۰ و فرکانس ۰.۰۱ رادیان بر ثانیه

در کنترل کننده‌های بر مبنای قانون MIT میزان خطا کمتر و لی روند افزایشی دارد ولی در همان زمان کنترل کننده لیاپانوف خطای ثابتی را به وجود آورده است که به بیان دیگر مقاومت‌تر از MIT نسبت به ورودی است.

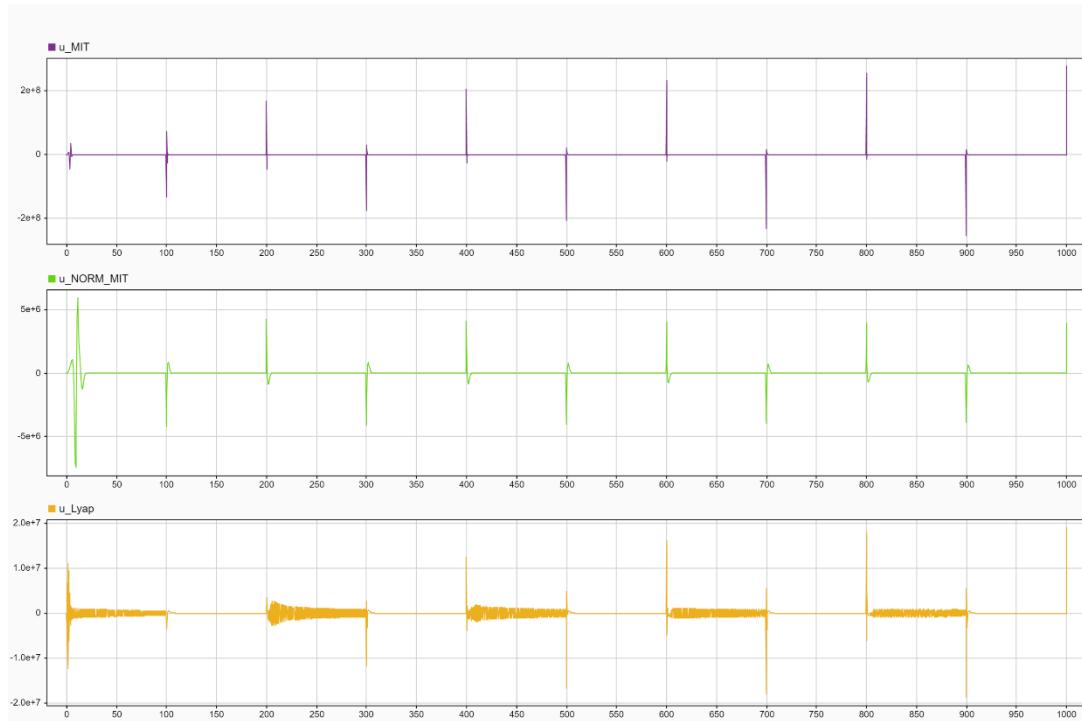


شکل ۵—۳ اندازه‌پارامترهای کنترل کننده‌های متفاوت برای در شرایط ورودی پله دامنه ۱۰ و طول پله ۱۰۰ ثانیه

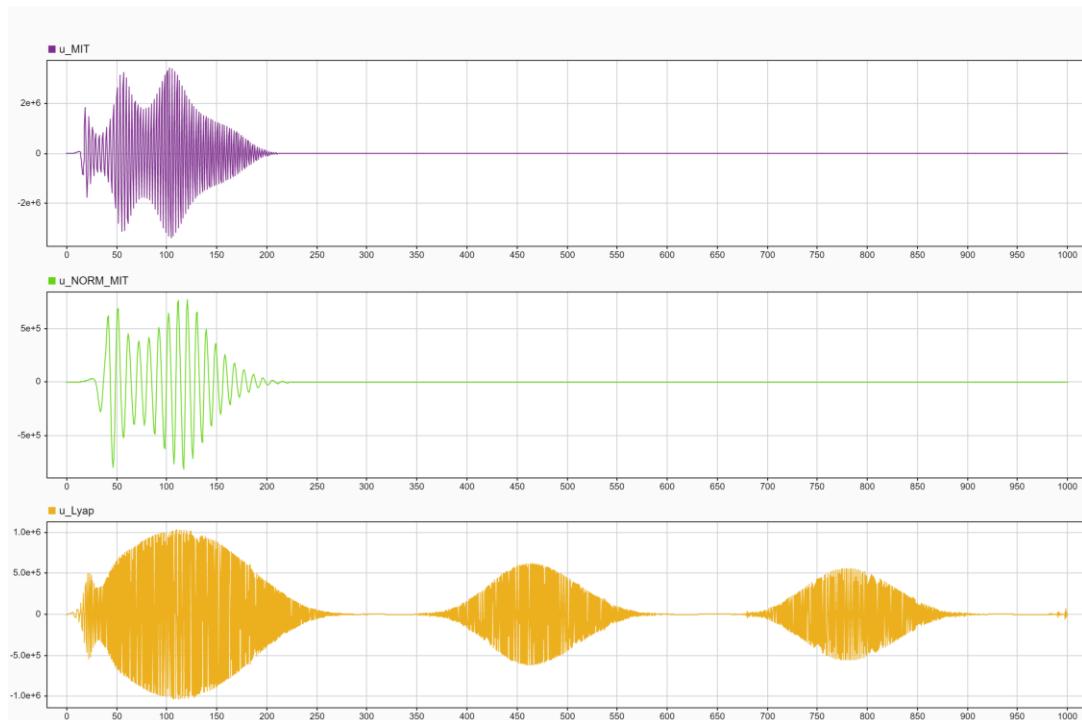


شکل ۵—۴ اندازه‌پارامترهای کنترل کننده‌های متفاوت برای در شرایط ورودی سینوسی با دامنه ۱۰ و فرکانس ۱۰۰ رادیان بر ثانیه

اندازه‌سیگнал کنترلی MIT و لیاپانوف در یک متریه است ولی کنترل کننده MIT نرمالیزه شده بسیار بسیار کوچک تر می‌باشد.



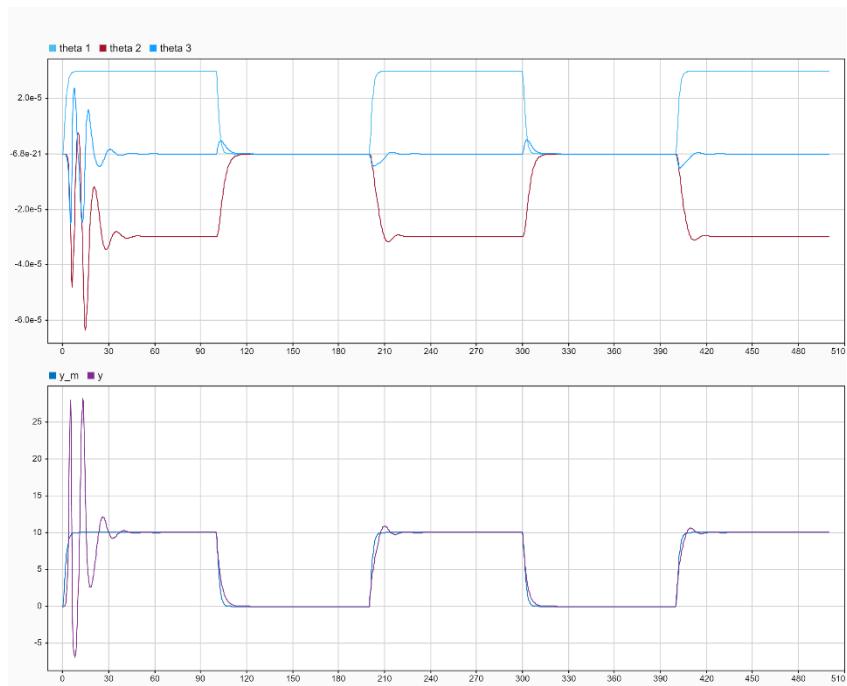
شکل ۵—۵ اندازه سیگنال کنترلی کننده‌های متفاوت برای در شرایط ورودی پله دامنه ۱۰ و طول پله ۱۰۰ ثانیه



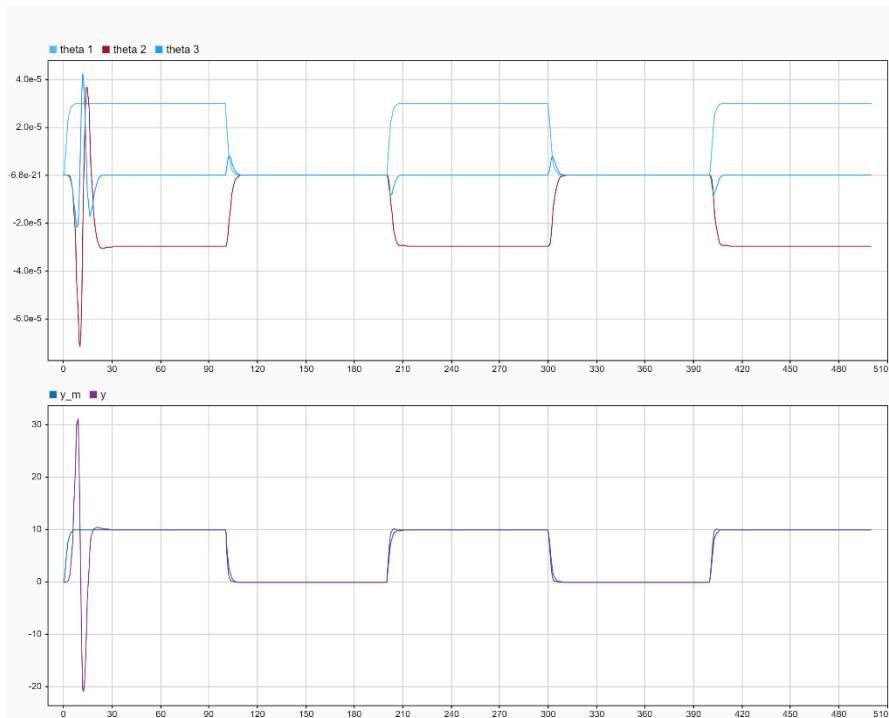
شکل ۵—۶ اندازه سیگنال کنترلی کننده‌های متفاوت برای در شرایط ورودی سینوسی با دامنه ۱۰ و فرکانس ۱۰۰ رادیان بر ثانیه

سیگنال ورودی در MIT نرمالیزه شده نسبت به دیگر کنترل کننده‌های ۱۰ برابر کوچک‌تر است و با فرکانس کمتری هم تکرار شده به عبارت دیگر فرمان کننده کوچک‌تری را صادر می‌کند.

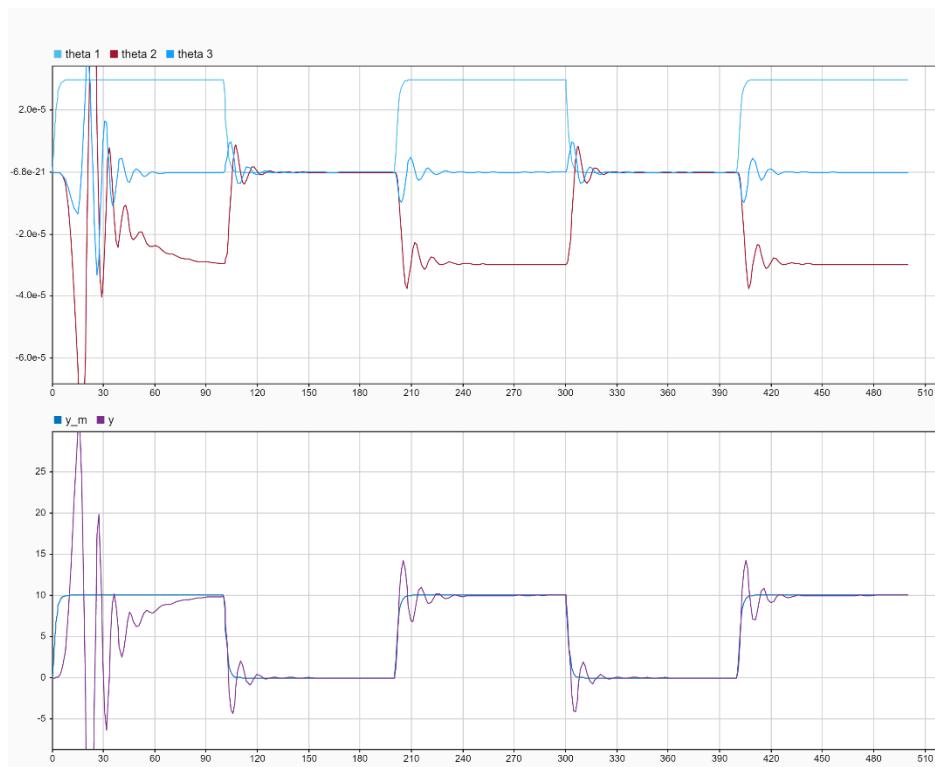
۶ تاثیر  $\alpha$  را در پایداری و همگرایی پارامترها در روش گرادیان نرمالیزه شده بررسی کنید.



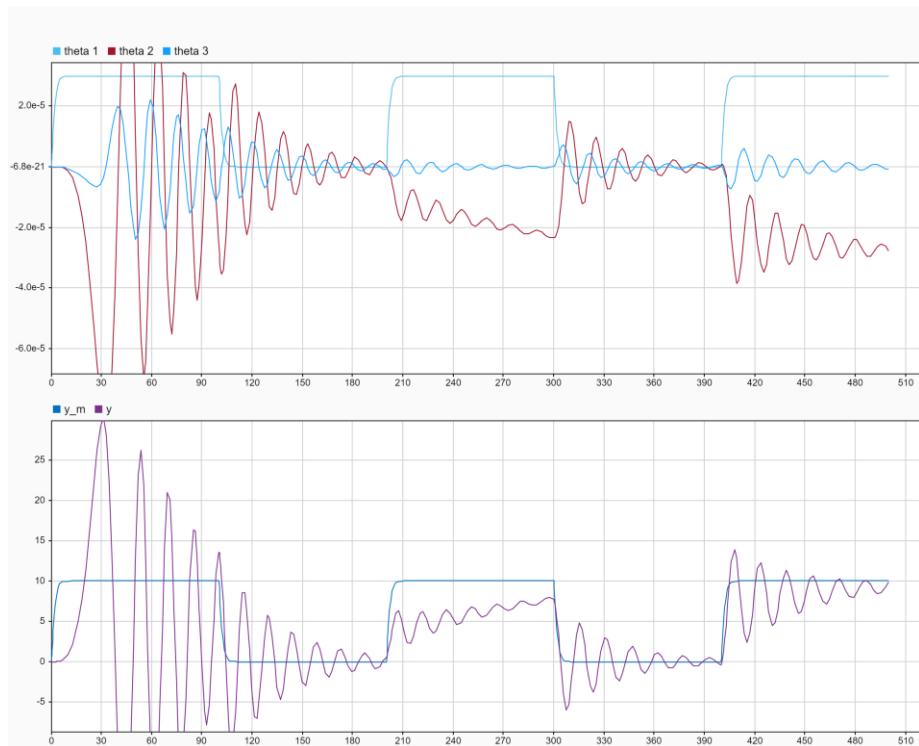
شکل ۶-۱ دامنه پله ۱۰ و طول هر پله ۱۰۰ ثانیه می‌باشد. ضریب گاما ۱۵۰۰۰۰۰ و ضریب آلفا ۱۰۰۰۱



شکل ۶-۲ دامنه پله ۱۰ و طول هر پله ۱۰۰ ثانیه می‌باشد. ضریب گاما ۱۵۰۰۰۰۰ و ضریب آلفا ۱۰۰۱



شکل ۶—۳ دامنه پله ۱۰ و طول هر پله ۱۰۰ ثانیه می‌باشد. ضریب گاما ۱۵۰۰۰۰۰ و ضریب آلفا ۰.۱



شکل ۶—۴ دامنه پله ۱۰ و طول هر پله ۱۰۰ ثانیه می‌باشد. ضریب گاما ۱۵۰۰۰۰۰ و ضریب آلفا ۱

با افزایش ضریب آلفا مقدار همگرایی پارامترها کند می‌شود و مدل رفتاری نرم‌تر دارد ولی امکان واگرایش نیز وجود دارد.  
در مجموع با افزایش مقدار آلفا همگرایی پارامترهای کنترلی نیز کندتر صورت می‌گیرد.