

MRAS_91

درس کنترل تطبیقی

استاد درس:

جناب آقای دکتر حسینی

دانشجو:

مرتضی بیگدلی

شماره دانشجویی:

۹۰۲۳۴۰۵۰۶۴

۱. سیستم مدل مرجع زیر را در نظر بگیرید:

$$\dot{x} = -x + bu \quad ,$$

$$\dot{x}_m = -x_m + r$$

برای طراحی کنترلر تطبیقی با توجه به ورودی مرجع کراندار r ، x مجبور به ردیابی x_m می شود:

کنترلر را با استفاده از قانون MIT و از آن جایی که سیستم از مرتبه ۱ است، کنترلر به صورت زیر در نظر گرفته شده است:

$$u = \theta_1 r - \theta_2 x$$

با استفاده از مدل و u با جایگزینی داریم:

$$\dot{x} = -x + bu \rightarrow \dot{x} = -x + b(\theta_1 r - \theta_2 x) = (-1 - b\theta_2)x + b\theta_1 r$$

با توجه به اینکه نوع حل به گونه‌ای است که خطا صفر گردد، که به صورت ایده‌آل می توان نوشت:

$$\begin{cases} \dot{x}_m = -x_m + r \\ \dot{x} = (-1 - b\theta_2)x + b\theta_1 r \end{cases} \text{ پس } \hat{\theta}_1 = \frac{1}{b} \quad , \quad \hat{\theta}_2 = 0$$

با استفاده از قانون MIT برای تنظیم پارامترها می توان نوشت:

$$x = \frac{b\theta_1}{p + (1 + b\theta_2)} r \quad , \quad p = \frac{d}{dt}$$

خطا نیز به صورت زیر است:

$$e = x - x_m$$

با مشتق گیری جزئی با توجه به رابطه کنترلر، مشتق های حساسیت به صورت زیر به دست می آید:

$$\begin{aligned} \frac{\partial e}{\partial \theta_1} &= \frac{b}{p + (1 + b\theta_2)} r \\ \frac{\partial e}{\partial \theta_2} &= \frac{-b^2 \theta_1}{(p + (1 + b\theta_2))^2} r = \frac{-b}{p + (1 + b\theta_2)} x \end{aligned}$$

از آن جایی که پارامتر b نامعلوم می باشد و هدف ردیابی کامل می باشد با استفاده از تخمین زیر مشتق پارامترها به صورت زیر به دست می آید:

$$p + (1 + b\theta_2) \approx p + 1 \quad , \quad \begin{cases} \frac{d\theta_1}{dt} = -\gamma e \left(\frac{1}{p+1} r \right) \\ \frac{d\theta_2}{dt} = \gamma e \left(\frac{x}{p+1} \right) \end{cases} \quad , \quad \gamma = b\gamma'$$

دقت- سوال ۱ را می توان با استفاده از طراحی به روش لیاپانوف نیز حل کرد.

۲. سیستم مرتبه ۳ به صورت زیر است:

$$y_p = \frac{1}{s^4 + a_2 s^3 + a_1 s + a_0} u_p \quad a_1, a_2, a_0 = \text{unknown} = \text{cte}$$

$$y_m = \frac{2}{s^3 + 5.5s^2 + 9.5s + 5} r$$

هدف طراحی یک *MRAC* مستقیم است که با به بی نهایت میل کردن t ، y_p به y_m میل کند. ساختار کنترلی به صورت زیر است:

$$Ru_p = -Sy + Tr$$

با توجه به معادله دیوفانتین و سیستم حلقه بسته و روابط موجود در کتاب می توان نوشت:

$$R = R_1 B, B = 1 \rightarrow R = R_1$$

$$(AR_1 + S)y = Tr \quad ; \quad T = t_0 A_0 \quad ; \quad AR_1 + S = A_0 A_m$$

$$(s^3 + a_2 s^2 + a_3 s + a_4)R_1 + S = A_0 (s^3 + 5.5s^2 + 9.5s + 5)$$

با توجه به اینکه مدل فرآیند از مرتبه ۳ می باشد، مرتبه کنترلر و *observer* به صورت زیر می باشد:

$$R = s^2 + r_1 s + r_2 \quad ; \quad S = s_0 s^2 + s_1 s + s_2$$

$$T = t_0 s^2 + t_1 s + t_2 \quad ; \quad A_0 = s^2 + a_1' s + a_2'$$

رابطه خطا نیز به صورت زیر است:

$$e = y - y_m \rightarrow e = \frac{1}{A_0 A_m} (Ru_p + Sy - Tr), P = A_0 A_m$$

در ابتدا حالتی را در نظر بگیرید $1/p$ ، *SPR* باشد. با استفاده از روابط زیر به طراحی مستقیم پرداخته شده است:

$$\varphi^T = \left[\frac{p}{P(p)} u_p \frac{1}{P(p)} u_p \frac{p^2}{P(p)} y \frac{p}{P(p)} y \frac{1}{P(p)} y - \frac{p^2}{P(p)} r - \frac{p}{P(p)} r - \frac{1}{P(p)} r \right]$$

با توجه به تعاریف فوق و فرضیات در نظر گرفته شده، خطای فیلتر شده به صورت زیر قابل بیان است:

$$e_f = \varphi^T \theta^o - \frac{1}{A_m} \theta^T (A_m \varphi) \rightarrow e_f = \varphi^T \theta^o - \varphi^T \theta - \frac{1}{A_m} \theta^T (A_m \varphi) + \varphi^T \theta$$

$$\eta = \frac{1}{A_m} \theta^T (A_m \varphi) - \varphi^T \theta = -\left(\frac{1}{A_m} u_p + \varphi^T \theta\right);$$

$$\varepsilon = e_f + \rho = \varphi^T (\theta^o - \theta)$$

سیگنال η افزایش خطا و ε خطای افزوده است.

در صورتی که مشتقات را محاسبه کرده و کنترلر را طراحی کنیم، مشخص می‌گردد با یک کنترلر مرتبه ۱ سیستم ردیابی را صورت می‌دهد.

$$y_p = \frac{1}{s^3 + a_2 s^2 + a_1 s + a_0} u_p \quad , \quad y_m = \frac{2}{s^3 + 5.5s^2 + 9.5s + 5} r$$

$$\text{Controller:} \quad u_p = t_0 r - s_0 y_p$$

$$y_{cl} = \frac{t_0}{s^3 + a_2 s^2 + a_1 s + a_0 + s_0} r$$

$$e = y_{cl} - y_m = \frac{t_0}{s^3 + a_2 s^2 + a_1 s + a_0 + s_0} r - \frac{2}{s^3 + 5.5s^2 + 9.5s + 5} r$$

$$\frac{\partial e}{\partial t_0} = \frac{1}{s^3 + a_2 s^2 + a_1 s + a_0 + s_0} r = \frac{y_m}{2}, \quad \frac{dt_0}{dt} = -\gamma_1 e y_m$$

$$\frac{\partial e}{\partial s_0} = \frac{-t_0}{(s^3 + a_2 s^2 + a_1 s + a_0 + s_0)^2} r = \frac{-y_{cl}}{s^3 + a_2 s^2 + a_1 s + a_0 + s_0}$$

$$\frac{ds_0}{dt} = \gamma_2 e \frac{y_{cl}}{s^3 + a_2 s^2 + a_1 s + a_0 + s_0} = \gamma_2 e \frac{-y_{cl}}{s^3 + 5.5s^2 + 9.5s + 5}$$

۳. شبیه سازی

مدل معرفی شده در مقاله و مدل مرجع به صورت زیر است:

$$\frac{dy_d}{dt} = -2y_d + 2u_c, \quad \frac{y_d(s)}{u_c(s)} = \frac{2}{s+2}$$

$$\frac{dy}{dt} = -0.625y + 1u, \quad \frac{y(s)}{u(s)} = \frac{1}{s+0.625}$$

پارامترهای کنترلگر در صورت تعقیب کامل مدل به صورت زیر بدست می آید:

$$\dot{y} = -0.625y + u = -0.625y + \theta_1 \omega - \theta_2 y = -(0.625 + \theta_2)y + \theta_1 \omega$$

$$\hat{\theta}_1 = 2, \quad \hat{\theta}_2 = 1.375$$

۱. پیاده سازی روش گرادیان

$$e = y - y_d$$

$$u(t) = t_0 r(t) - s_0 y(t)$$

$$y_{cl} = \frac{t_0}{s + 0.625 + 1s_0} r$$

با استفاده از قاعده MIT داریم:

$$\frac{d\theta}{dt} = -\gamma e \frac{\partial e}{\partial \theta}$$

$$\frac{\partial e}{\partial t_0} = \frac{1}{s + 0.625 + s_0} r = \frac{y_d}{2} \Rightarrow \frac{dt_0}{dt} = -\gamma_1 e y_m$$

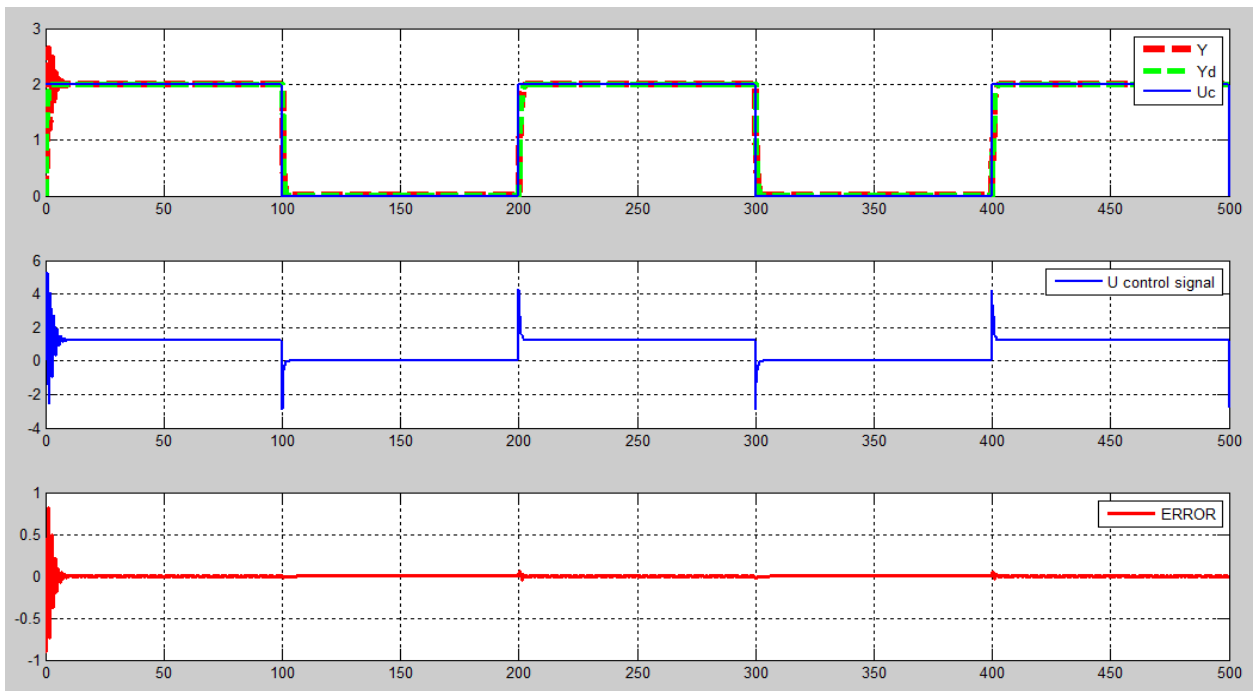
$$\frac{\partial e}{\partial s_0} = \frac{-t_0}{(s + 0.625 + s_0)^2} r = \frac{-y_{cl}}{s + 0.625 + s_0}$$

$$\frac{ds_0}{dt} = \gamma_2 e \frac{y_{cl}}{s + 0.625 + s_0} = \gamma_2 e \frac{-y_{cl}}{s + 2}$$

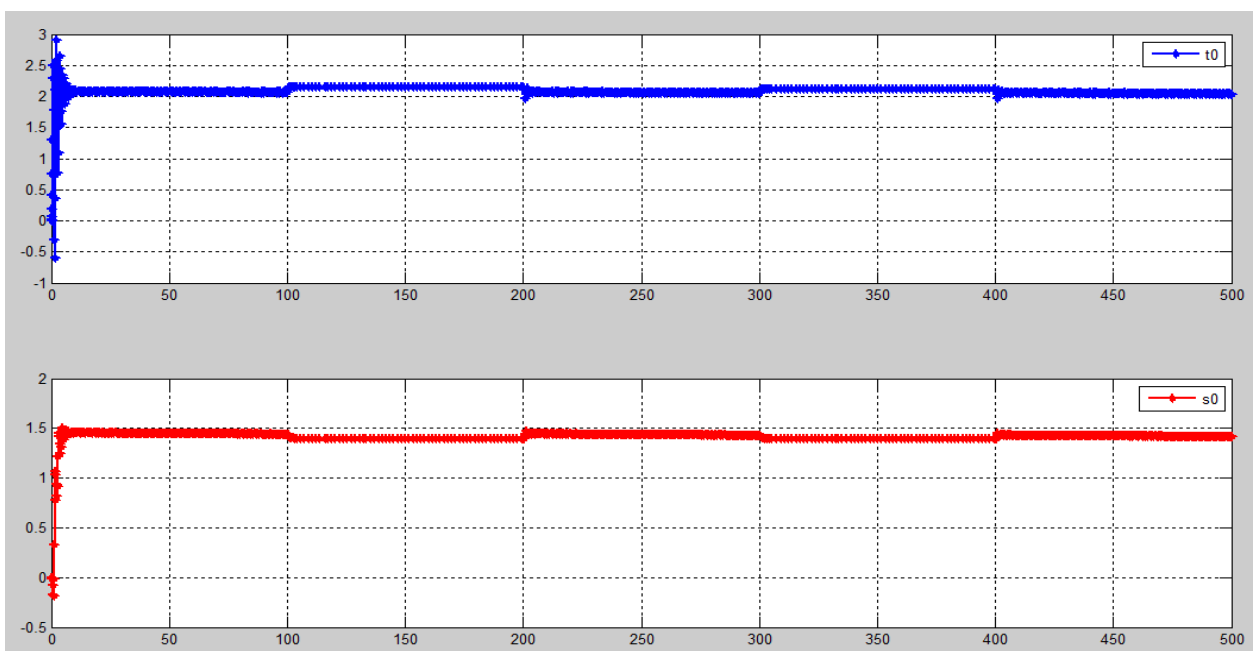
ورودی پالس

$$\gamma_1 = \gamma_2 = 5, \quad U_c = 2$$

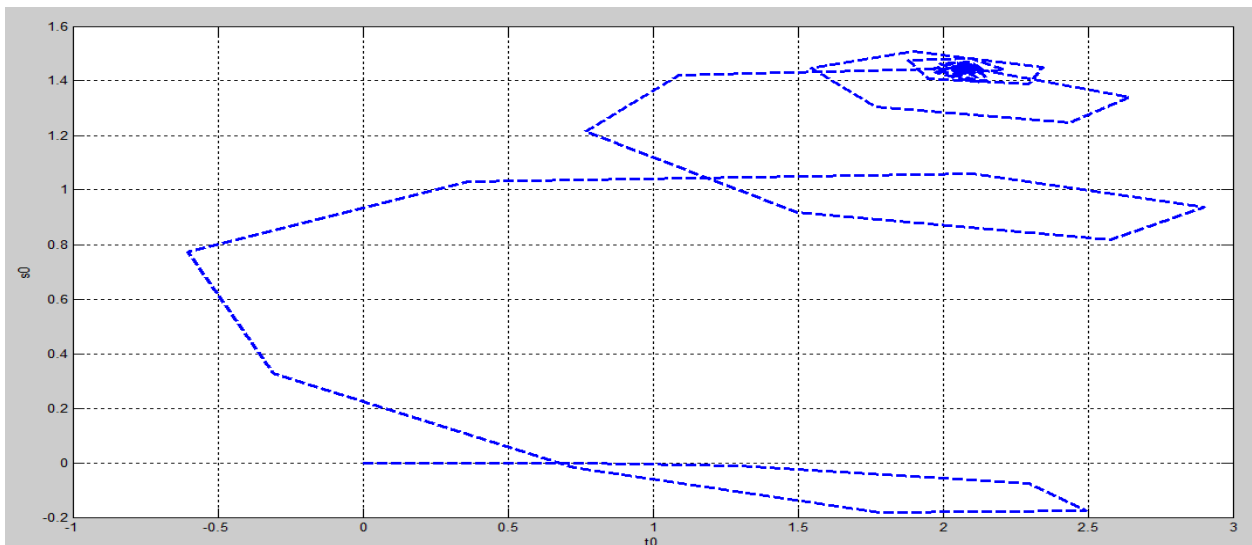
شکل (۱) خروجی سیستم کنترل شده، سیستم مطلوب و ورودی، سیگنال کنترلی و خطای به دست آمده را نمایش می دهد. شکل (۲) تغییرات پارامترهای کنترلر را نمایش می دهد. شکل (۳) نیز رابطه بین پارامترهای کنترلر را نمایش می دهد.



شکل ۱



شکل ۲



شکل ۳

با توجه به شکل (۱) واضح است ردیابی به ورودی پالس به صورت مطلوبی صورت گرفته است، پارامترهای کنترلر و رابطه بین آن ها به مقدار نسبتاً مطلوبی همگرا می شوند. باید در نظر داشت با افزایش مقدار γ این نتایج به دست آمده است که ردیابی و همگرایی مطلوب صورت گرفته است، اما با کاهش مقدار γ همگرایی پارامترهای کنترلر به مقدار مطلوب نمی‌رسد

۲. استفاده از روش نرمالیزه:

$$\frac{d\theta}{dt} = \frac{\gamma\theta}{\alpha + \phi^T\phi} e, \quad \phi = -\frac{\partial e}{\partial \theta}, \quad \alpha = 0.04$$

$$\frac{\partial e}{\partial t_0} = \frac{1}{s + 0.625 + s_0} r = \frac{y_m}{2} = -\phi, \quad \frac{dt_0}{dt} = \frac{-\gamma_1 \phi e}{\alpha + \phi^2}$$

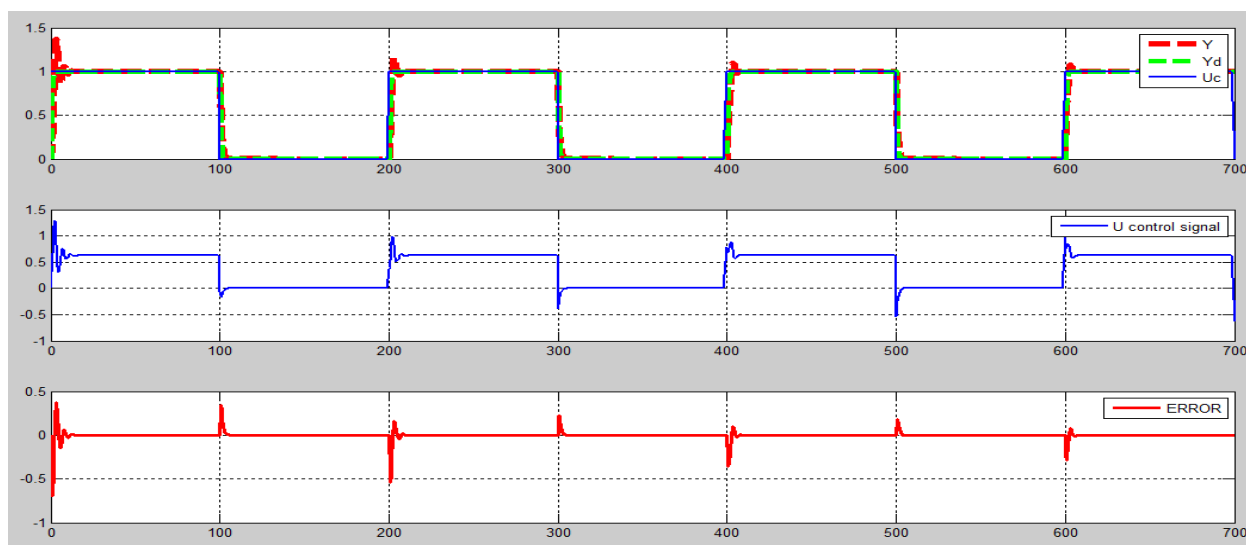
$$\frac{\partial e}{\partial s_0} = \frac{-t_0}{(s + 0.625 + s_0)^2} r = \frac{-y_{cl}}{s + 2} = -\phi$$

$$\Rightarrow \frac{ds_0}{dt} = \frac{-\gamma_2 \phi e}{\alpha + \phi^2}$$

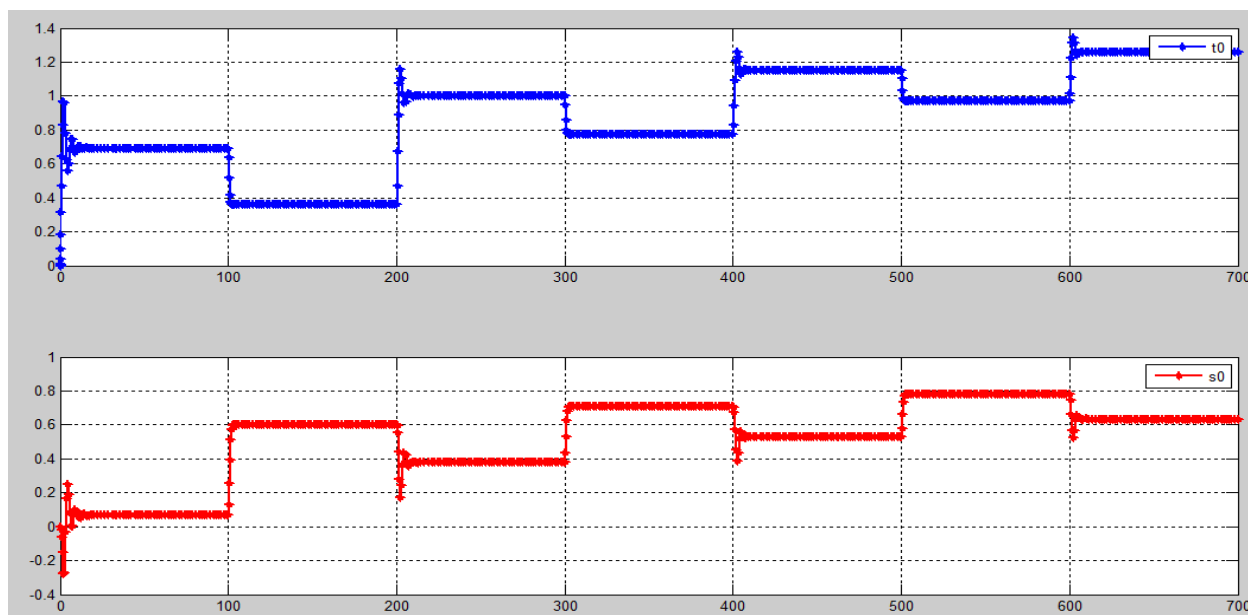
ورودی پالس

$$\gamma_1 = \gamma_2 = 1, U_c = 1$$

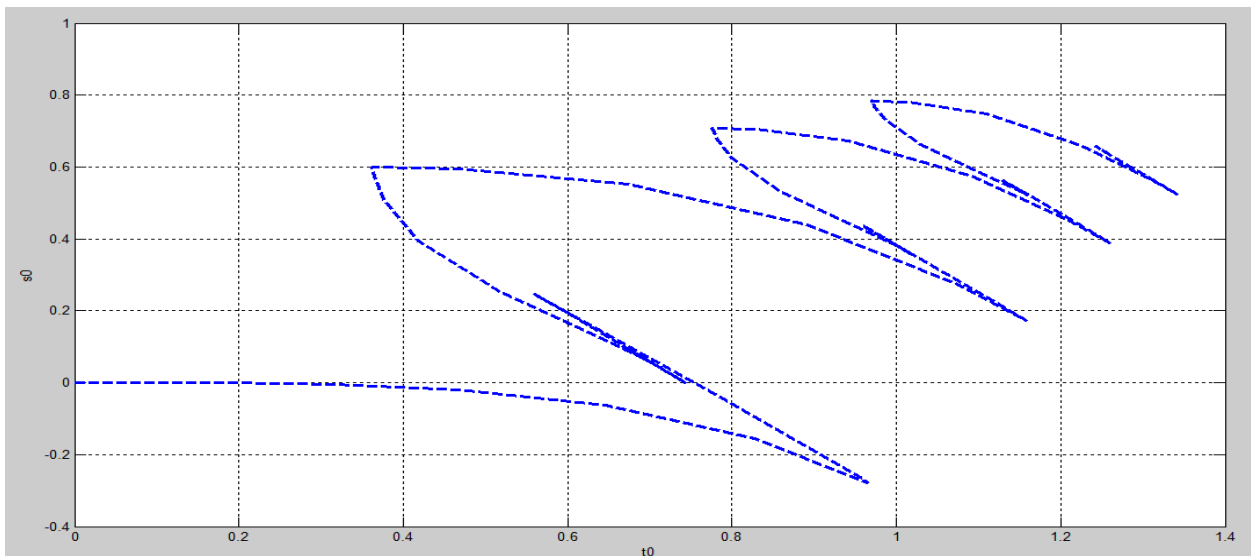
شکل (۴) خروجی سیستم کنترل شده، سیستم مطلوب و ورودی، سیگنال کنترلی و خطای به دست آمده را نمایش می دهد. شکل (۵) تغییرات پارامترهای کنترلر را نمایش می دهد. شکل (۶) نیز رابطه بین پارامترهای کنترلر را نمایش می دهد.



شکل ۴



شکل ۵



شکل ۶

با توجه به شکل (۴) واضح است ردیابی مطلوبی صورت گرفته است، اما با توجه به شکل (۵) و شکل (۶) پارامترهای سیستم نسبتاً به طور مطلوبی همگرا می شوند. نتیجه تغییرات UC و γ در قسمت های بعدی آورده شده است.

۳. طراحی یک **MRAS** پایدار بر اساس پایداری لیپانوف

$$e = y_d - y, \quad \dot{e} = \dot{y}_d - \dot{y} = -a_m e - (b\theta_2 + a - a_m)y + (b\theta_1 - b_m)u_c$$

تابع لیپانوف به صورت زیر است:

$$V(e, \theta_1, \theta_2) = \frac{1}{2}[e^2 + \frac{1}{b\gamma}(b\theta_2 + a - a_m)^2 + \frac{1}{b\gamma}(b\theta_1 - b_m)^2]$$

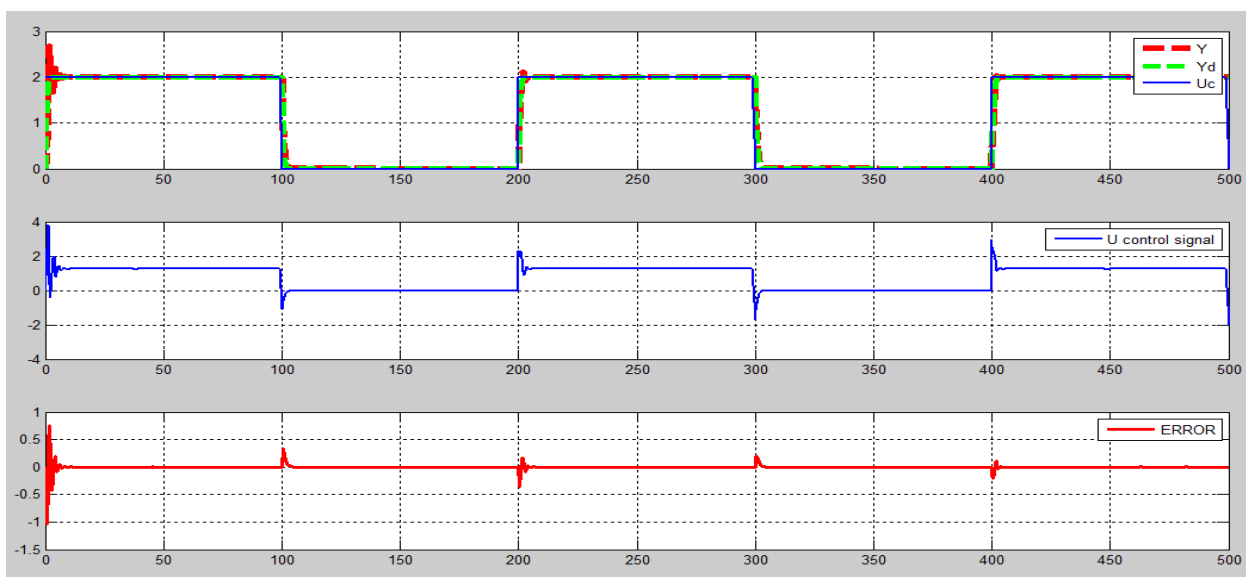
$$\frac{dV}{dt} = -a_m e^2 + \frac{1}{\gamma}(b\theta_2 + a - a_m)\left(\frac{d\theta_2}{dt} - \gamma y e\right) + \frac{1}{\gamma}(b\theta_1 - b_m)\left(\frac{d\theta_1}{dt} - \gamma u_c e\right)$$

$$\left.\frac{dV}{dt}\right|_0 \Rightarrow \frac{d\theta_1}{dt} = -\gamma u_c e, \frac{d\theta_2}{dt} = -\gamma y e \rightarrow \frac{dV}{dt} = -a_m e^2$$

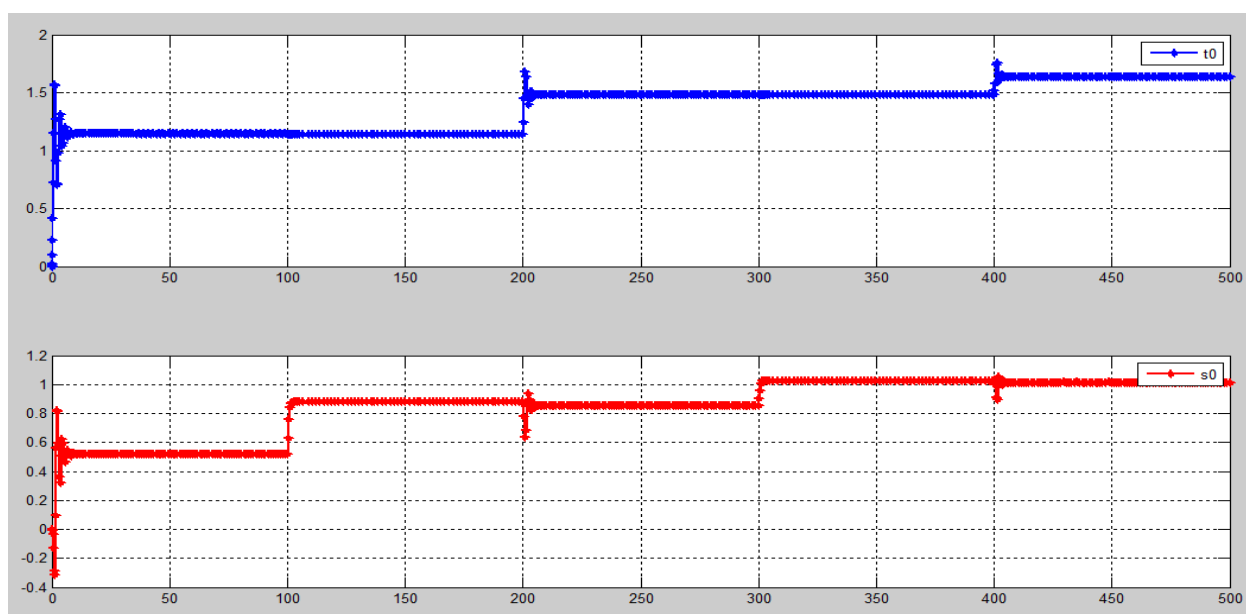
ورودی پالس

$$\gamma_1 = \gamma_2 = 1, U_c = 2$$

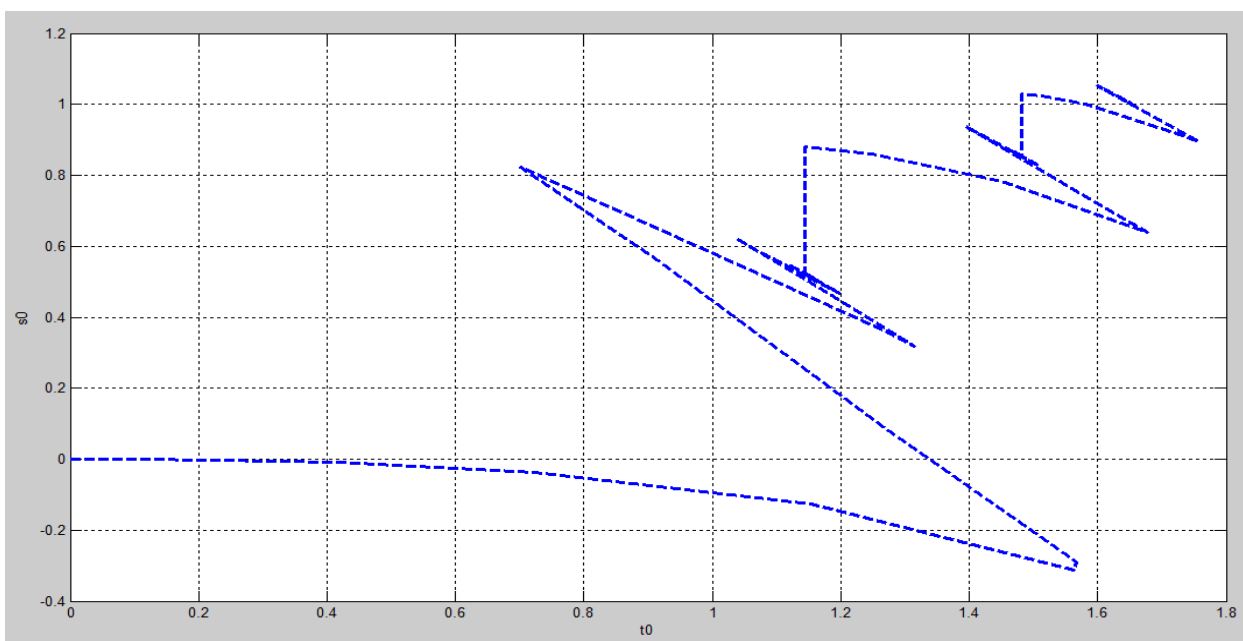
شکل (۷) خروجی سیستم کنترل شده، سیستم مطلوب و ورودی، سیگنال کنترلی و خطای به دست آمده را نمایش می دهد. شکل (۸) تغییرات پارامترهای کنترلر را نمایش می دهد. شکل (۹) نیز رابطه بین پارامترهای کنترلر را نمایش می دهد.



شکل ۷



شکل ۸



شکل ۹

۴. تحلیل تاثیر γ و دامنه U_c بر پایداری در بندهای قبل:

در این قسمت طراحی های در بخش های قبل را در نظر گرفته و با اعمال ورودی پله و سینوسی با تغییرات γ و U_c به تحلیل ردیابی و همگرایی پارامترها و پایداری می پردازیم:

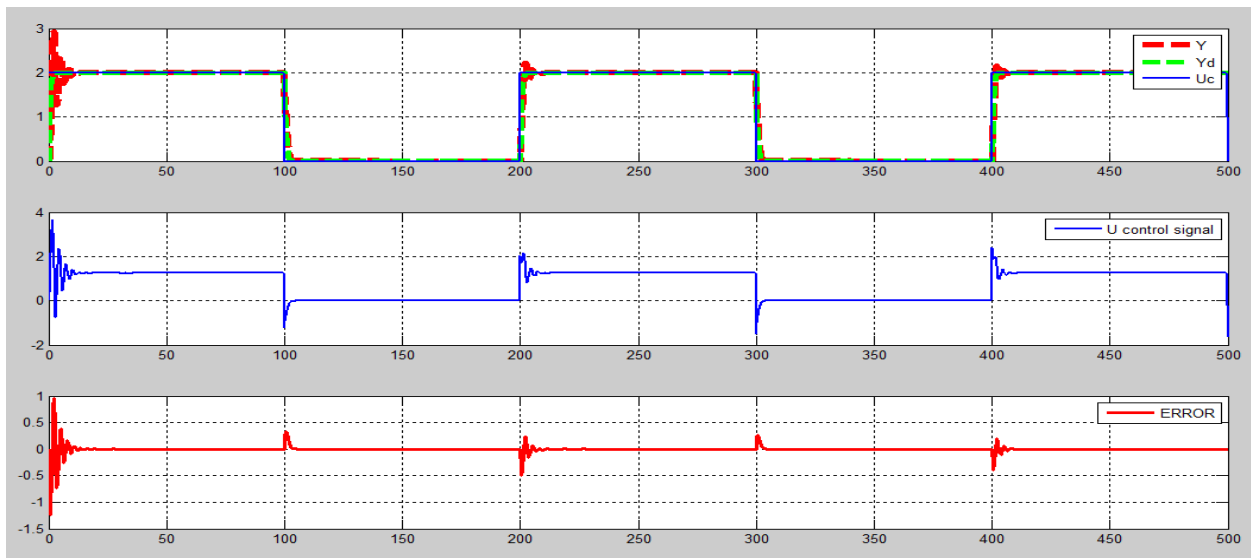
الف- روش گرادیان:

تغییرات U_c و γ ثابت

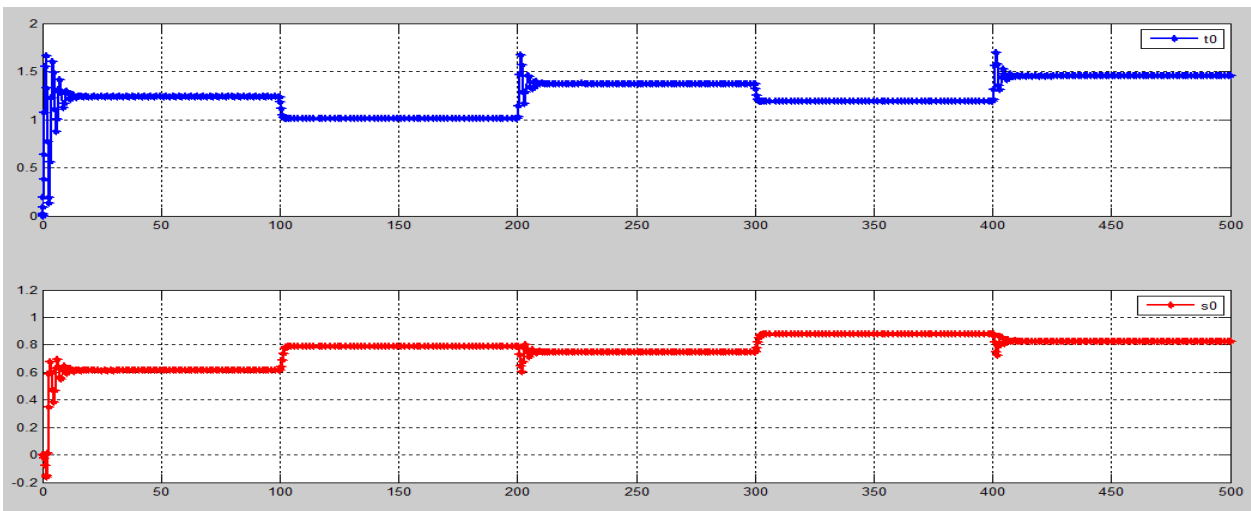
ورودی پالس

$$\gamma_1 = \gamma_2 = 1, U_c = 2$$

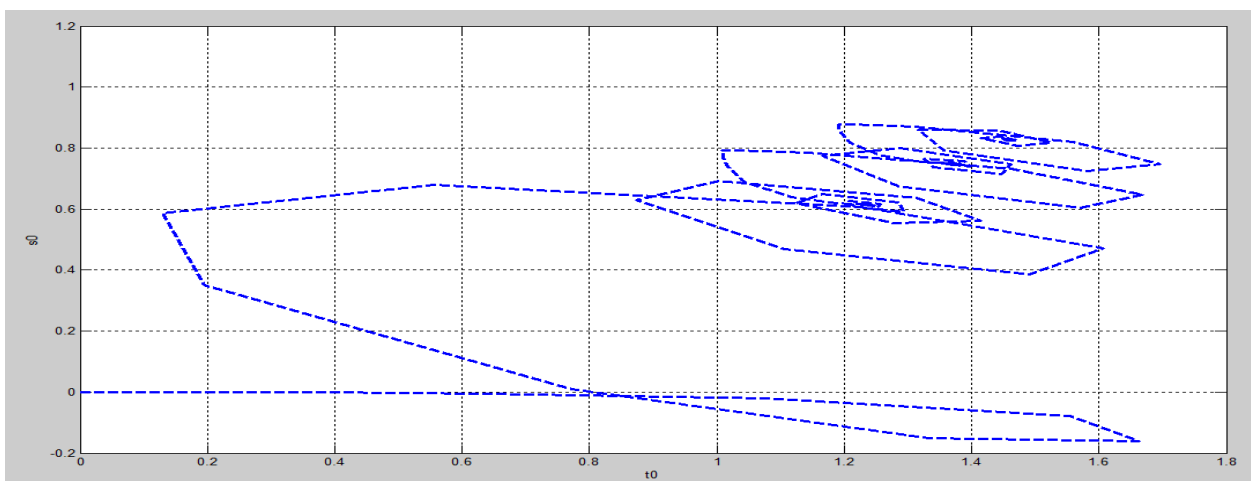
شکل (۱۰) خروجی سیستم کنترل شده، سیستم مطلوب و ورودی، سیگنال کنترلی و خطای به دست آمده را نمایش می دهد. شکل (۱۱) تغییرات پارامترهای کنترلر را نمایش می دهد. شکل (۱۲) نیز رابطه بین پارامترهای کنترلر را نمایش می دهد.



شکل ۱۰



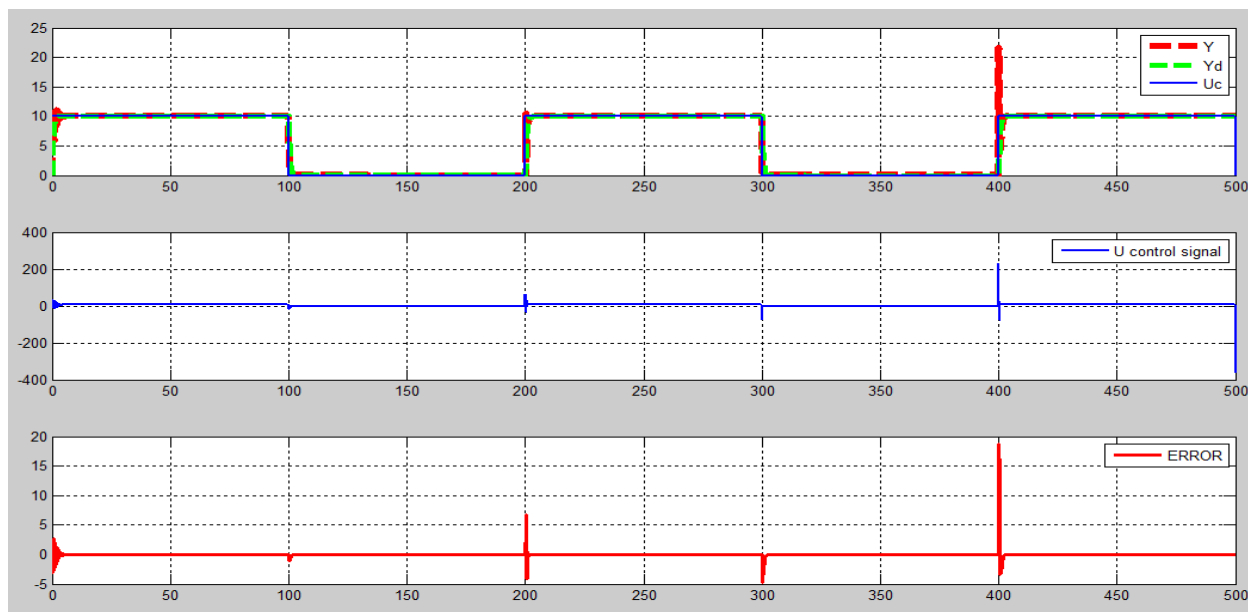
شکل ۱۱



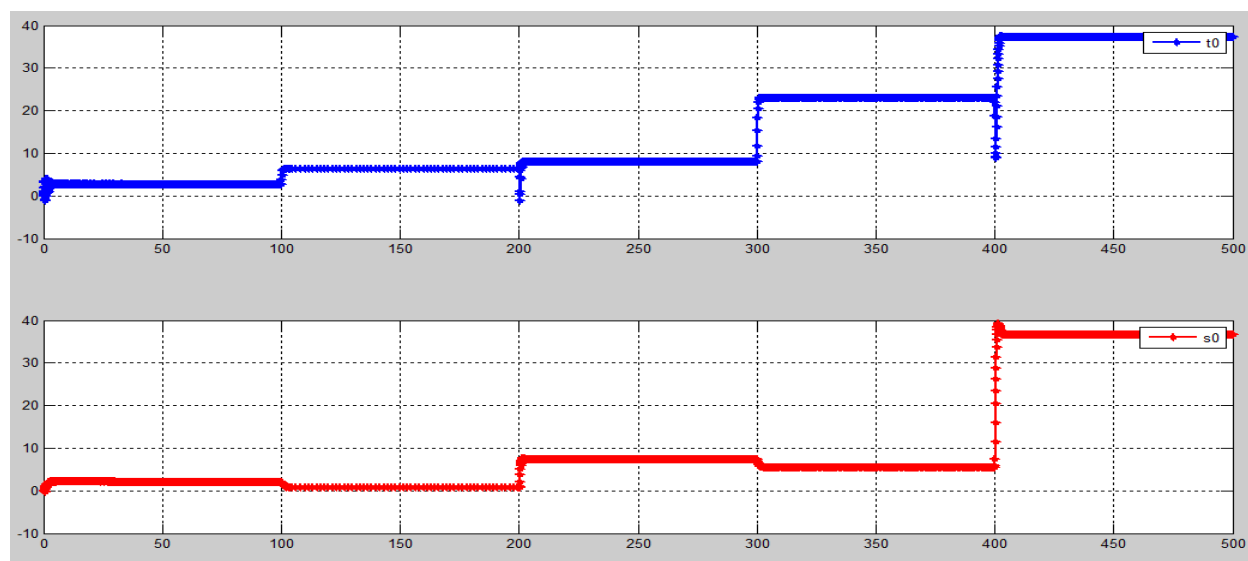
شکل ۱۲

$$\gamma_1 = \gamma_2 = 1, U_c = 10$$

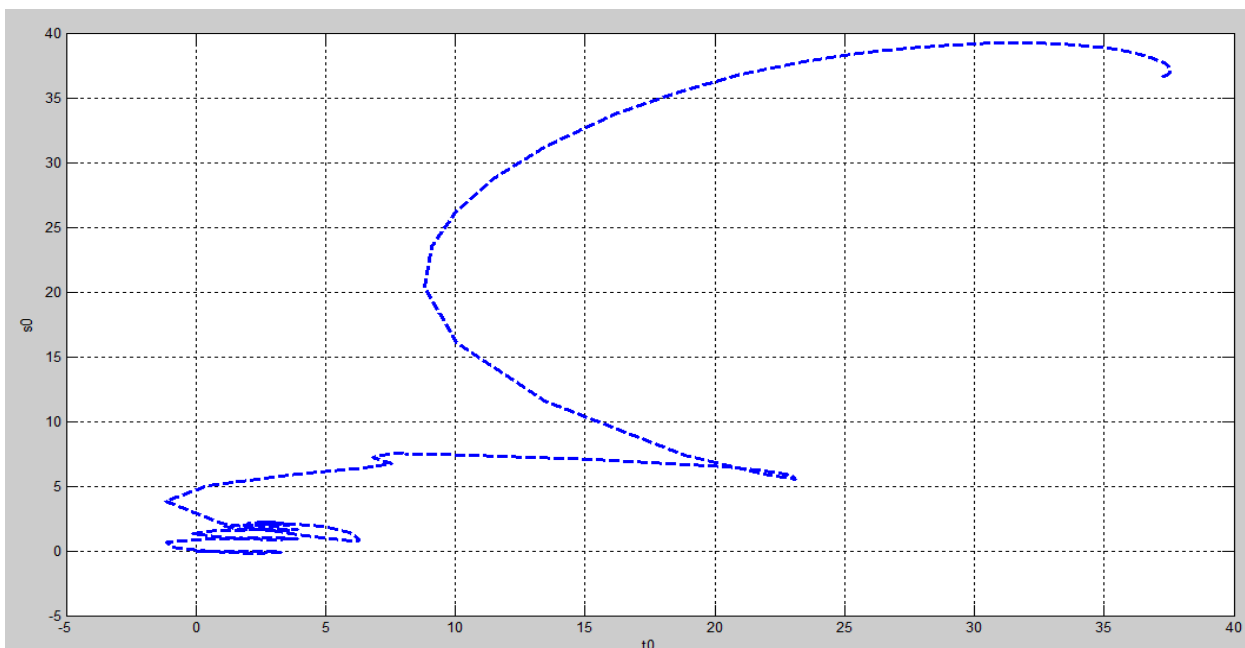
شکل (۱۳) خروجی سیستم کنترل شده، سیستم مطلوب و ورودی، سیگنال کنترلی و خطای به دست آمده را نمایش می دهد. شکل (۱۴) تغییرات پارامترهای کنترلر را نمایش می دهد. شکل (۱۵) نیز رابطه بین پارامترهای کنترلر را نمایش می دهد.



شکل ۱۳



شکل ۱۴



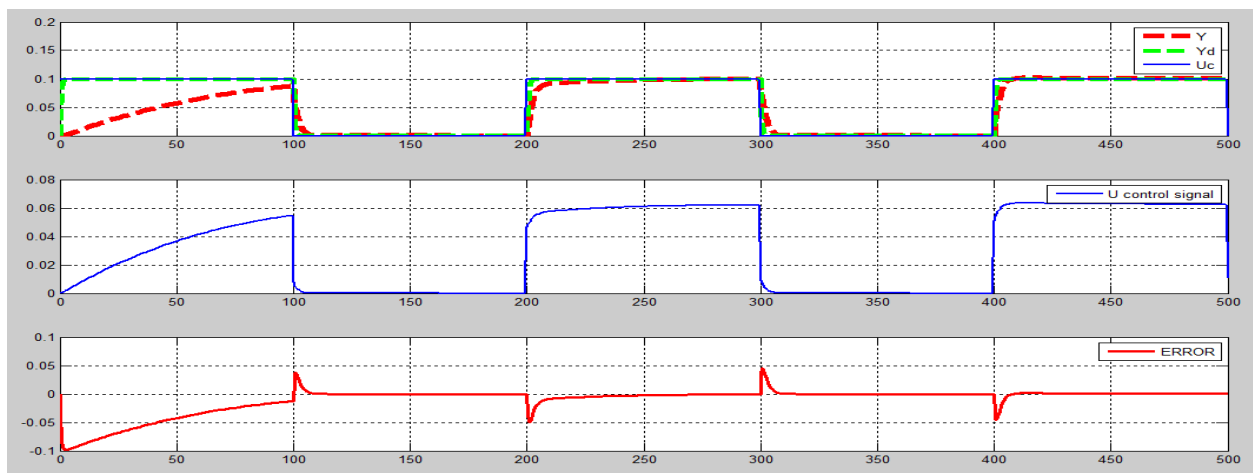
شکل ۱۵

با توجه به شکل (۱۳) واضح است با افزایش U_c و γ ثابت، در انتها اندکی ردیابی بدتر شده و مقدار کنترلر زیادتیر می گردد. هم چنین شکل (۱۴) نشان می دهد مقادیر پارامترها کنترلر به مقدار مطلوب نهایی همگرا نگشته اند.

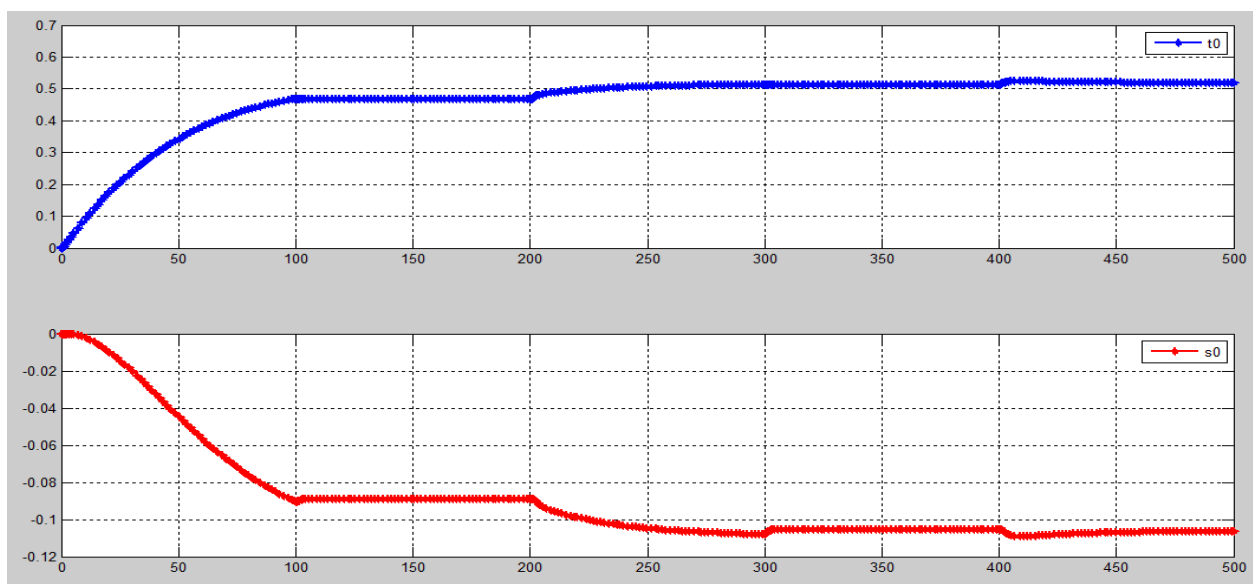
ورودی پالس

$$\gamma_1 = \gamma_2 = 1, U_c = 0.1$$

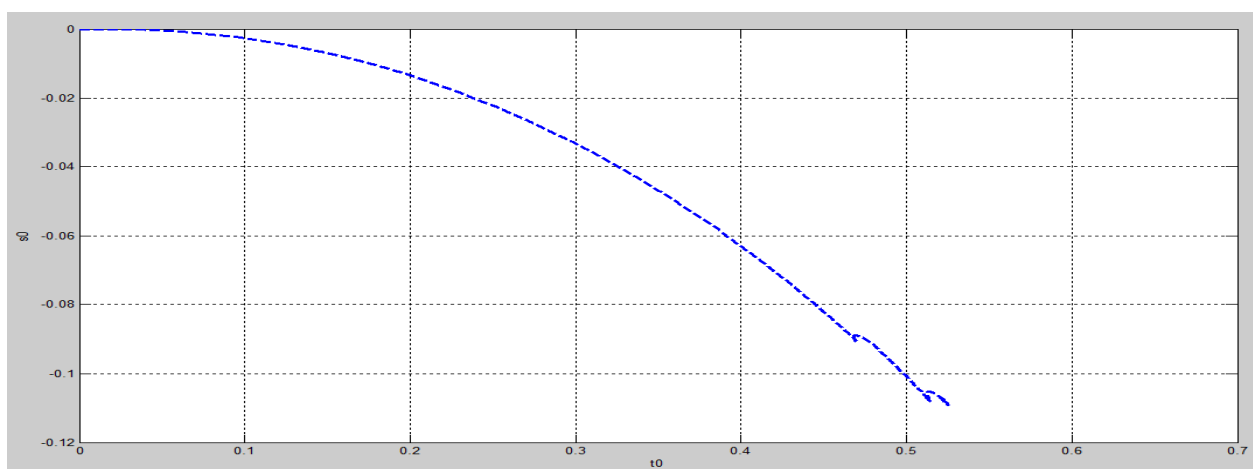
شکل (۱۶) خروجی سیستم کنترل شده، سیستم مطلوب و ورودی، سیگنال کنترلی و خطای به دست آمده را نمایش می دهد. شکل (۱۷) تغییرات پارامترهای کنترلر را نمایش می دهد. شکل (۱۸) نیز رابطه بین پارامترهای کنترلر را نمایش می دهد.



شکل ۱۶



شکل ۱۷



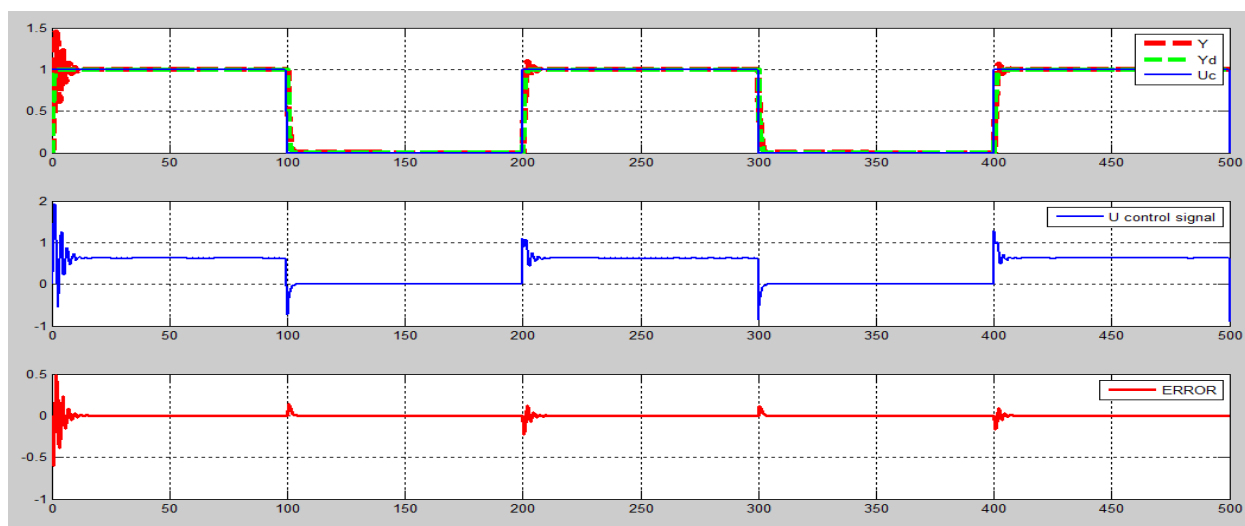
شکل ۱۸

شکل های (۱۶-۱۸) نشان می‌دهد با کاهش U_C ردیابی بدتر شده و همگرایی پارامترها به مقدار مطلوب صورت نمی‌گیرد، علت این امر آن است که با کاهش دامنه ورودی و از آن جایی که مشتقات حساسیت به طور مستقیم به سیگنال ورودی وابسته هستند ردیابی و همگرایی مطلوبی صورت نمی‌پذیرد.

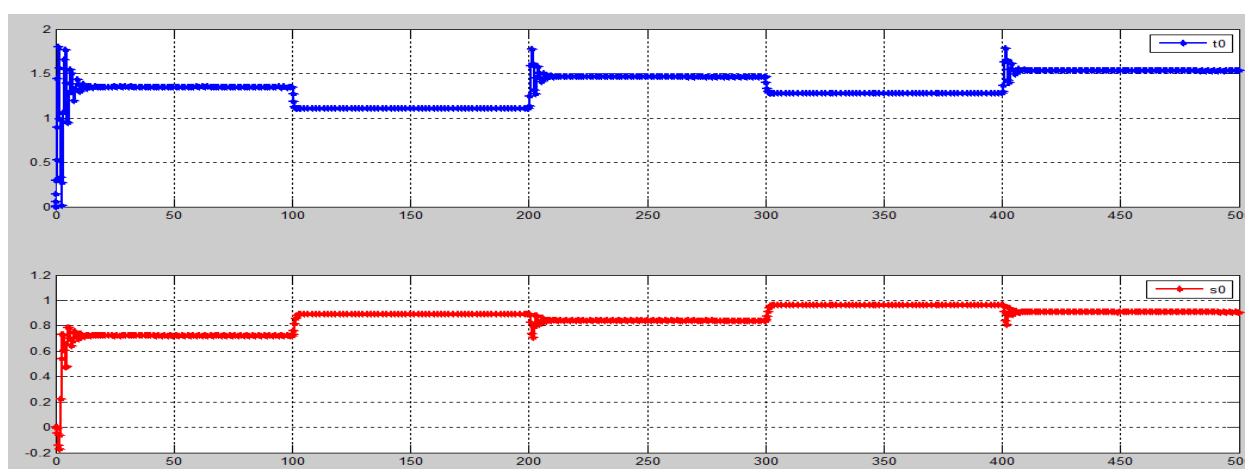
ورودی پالس

$$\gamma_1 = \gamma_2 = 5, U_C = 1$$

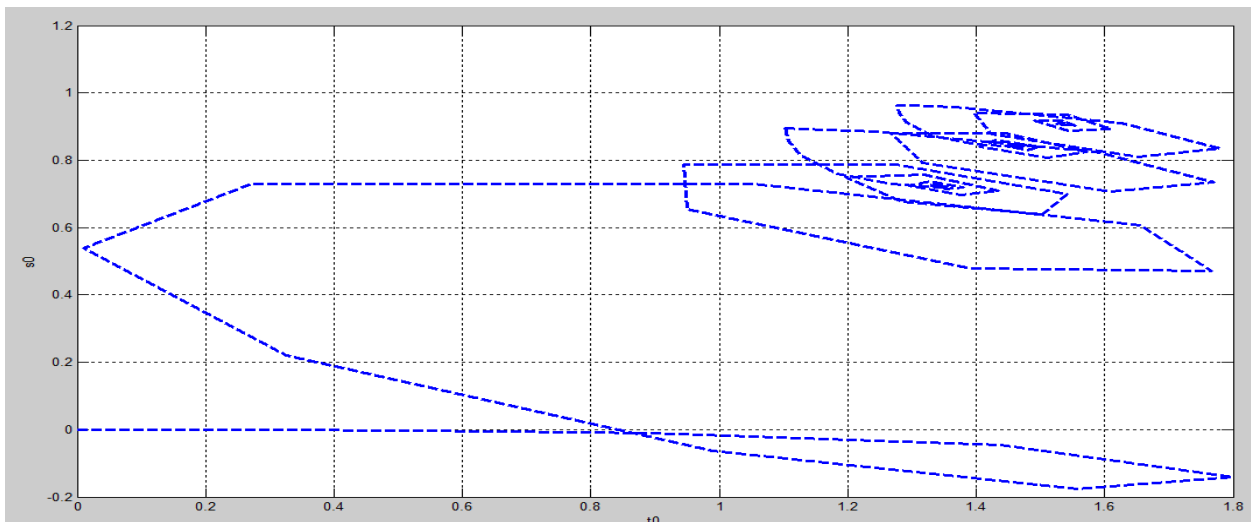
شکل (۱۹) خروجی سیستم کنترل شده، سیستم مطلوب و ورودی، سیگنال کنترلی و خطای به دست آمده را نمایش می‌دهد. شکل (۲۰) تغییرات پارامترهای کنترل را نمایش می‌دهد. شکل (۲۱) نیز رابطه بین پارامترهای کنترل را نمایش می‌دهد.



شکل ۱۹



شکل ۲۰



شکل ۲۱

شکل (۱۹) نشان می‌دهد که ردیابی به صورت مطلوبی صورت گرفته است و هم چنین میزان خطا و سیگنال کنترلی نیز مطلوب است، هم چنین همگرایی پارامترها با توجه به شکل های (۲۰-۲۱) تقریباً به طور مطلوبی شکل گرفته است.

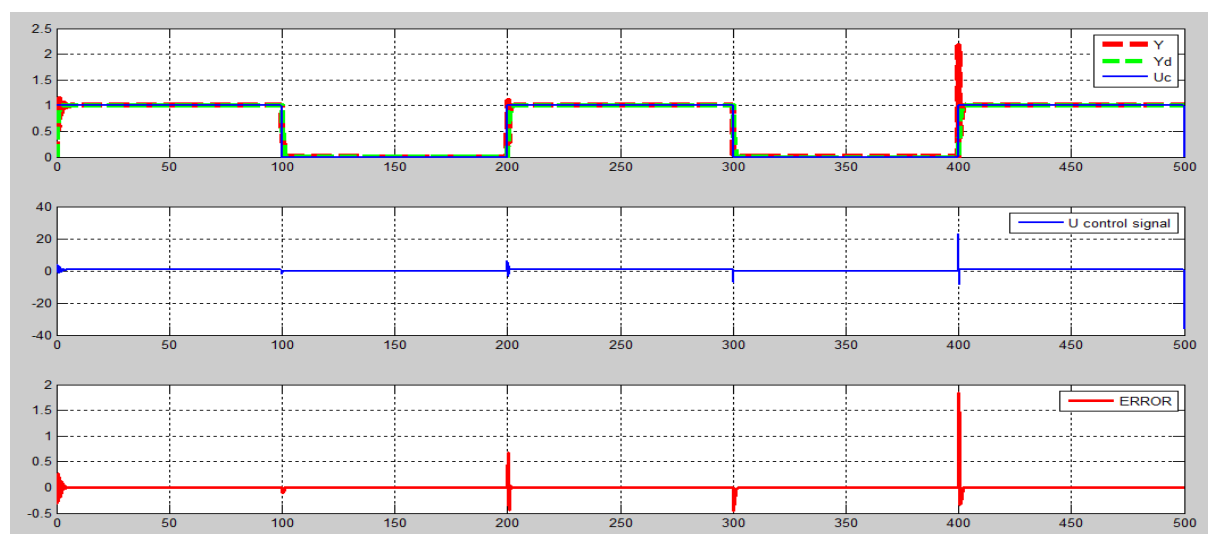
ورودی پالس

$$\gamma_1 = \gamma_2 = 100, U_c = 1$$

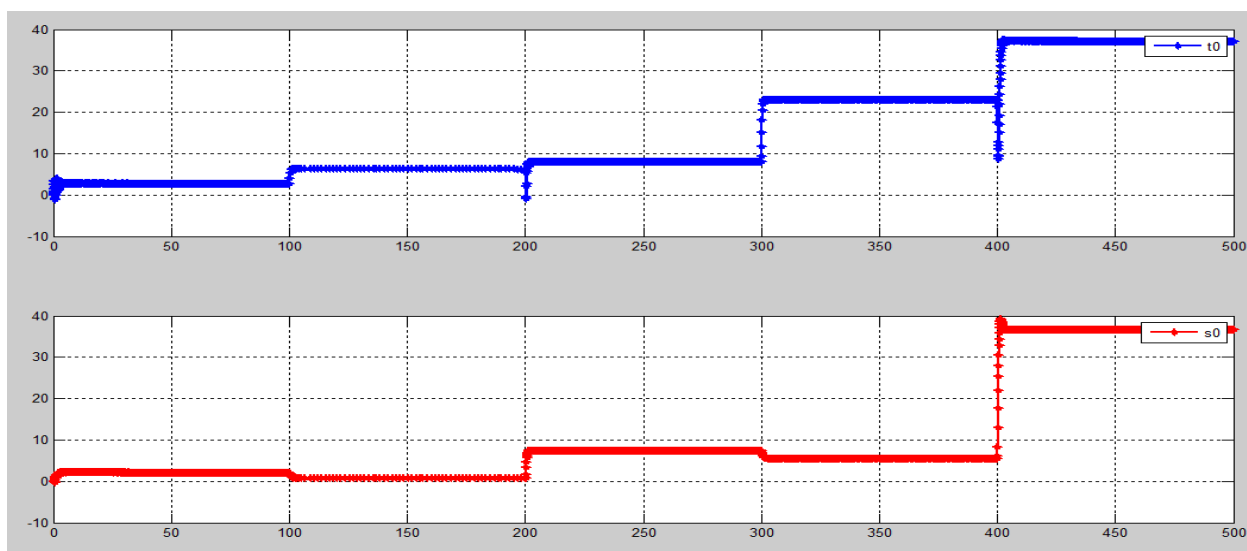
شکل (۲۲) خروجی سیستم کنترل شده، سیستم مطلوب و ورودی، سیگنال کنترلی و خطای به دست آمده را نمایش می‌دهد. شکل (۲۳) تغییرات پارامترهای کنترلر را نمایش می‌دهد. شکل (۲۴) نیز رابطه بین پارامترهای کنترلر را

نمایش می‌دهد.

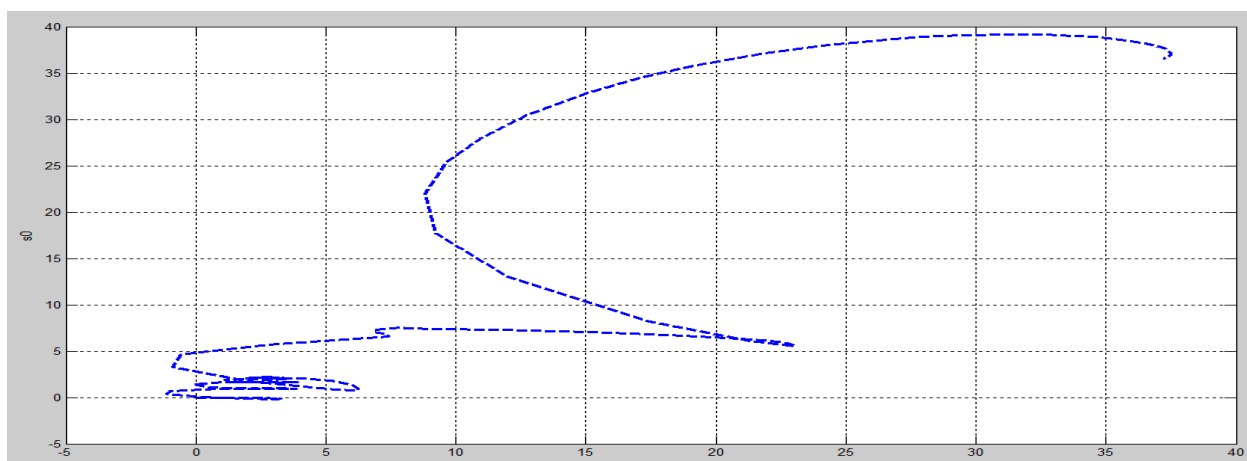
نمایش



شکل ۲۲



شکل ۲۳



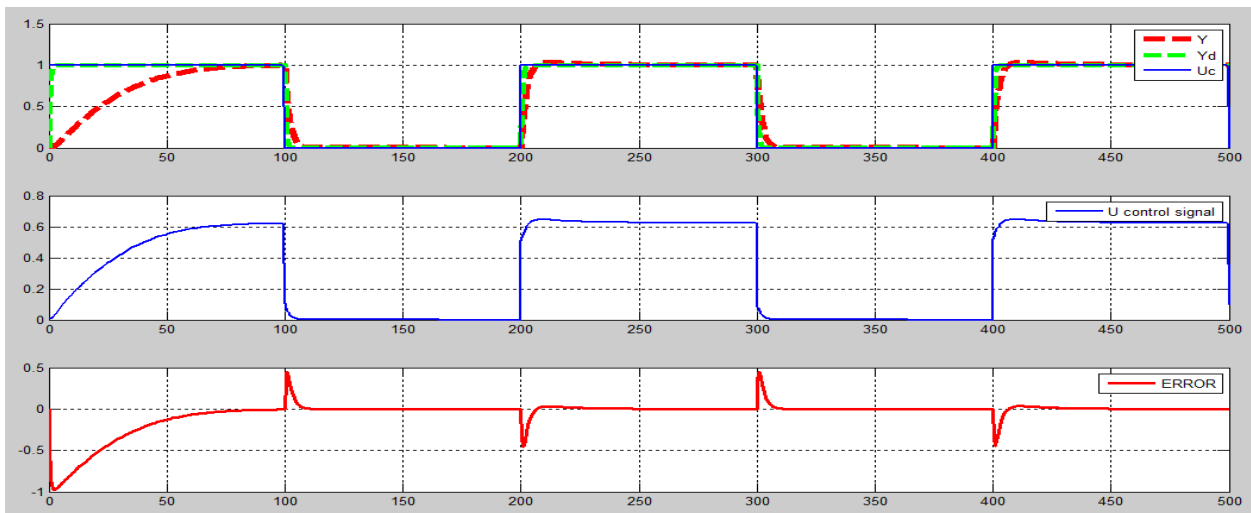
شکل ۲۴

شکل (۲۲) نشان می‌دهد با افزایش بیش از حد γ ردیابی بدتر شده و مقادیر سیگنال کنترلی به یکباره نیز بسیار زیاد می‌گردد. هم چنین شکل (۲۳-۲۴) نشان دهنده نامطلوب بودن همگرایی پارامترها می‌باشد. در این نوع از طراحی از آن جایی که مشتقات نسبت به γ حساسیت دارند وضعیت فوق پدید می‌آید.

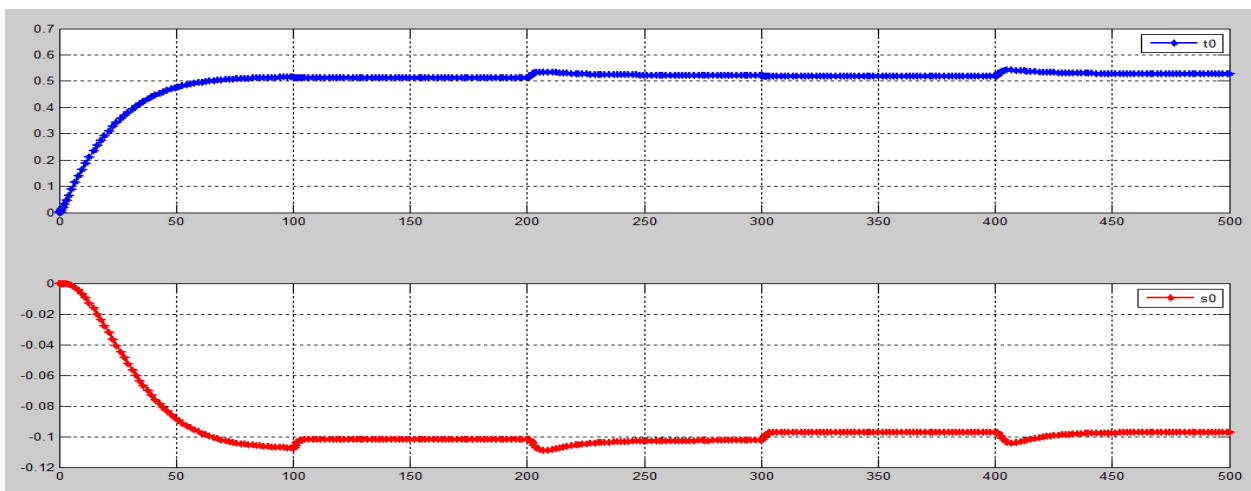
ورودی پالس

$$\gamma_1 = \gamma_2 = 0.02, Uc=1$$

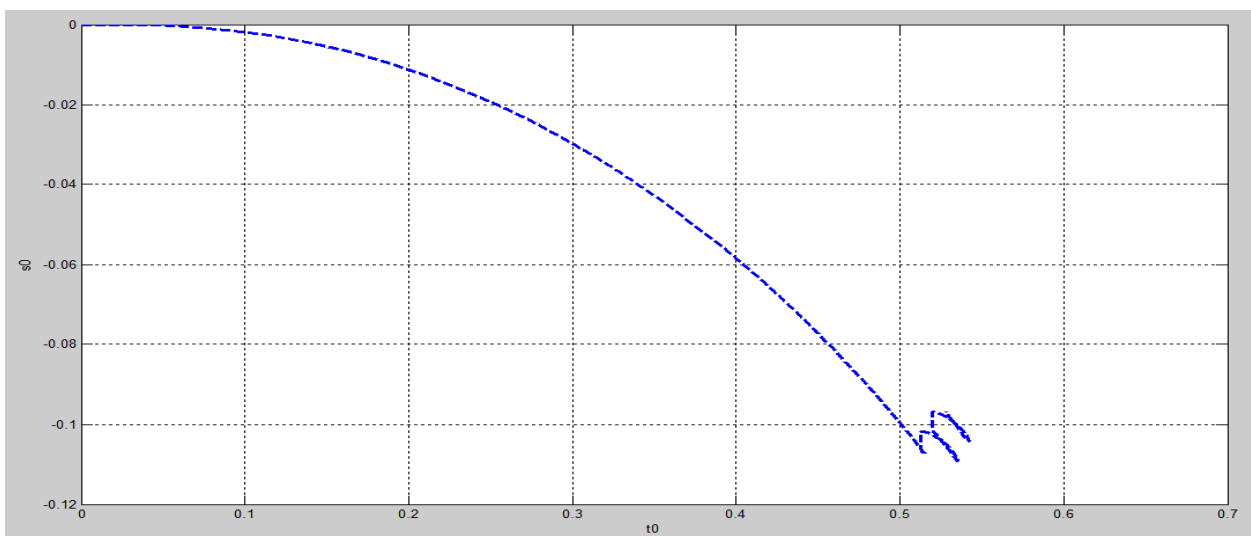
شکل (۲۵) خروجی سیستم کنترل شده، سیستم مطلوب و ورودی، سیگنال کنترلی و خطای به دست آمده را نمایش می‌دهد. شکل (۲۶) تغییرات پارامترهای کنترلر را نمایش می‌دهد. شکل (۲۷) نیز رابطه بین پارامترهای کنترلر را نمایش می‌دهد.



شکل ۲۵



شکل ۲۶



شکل ۲۷

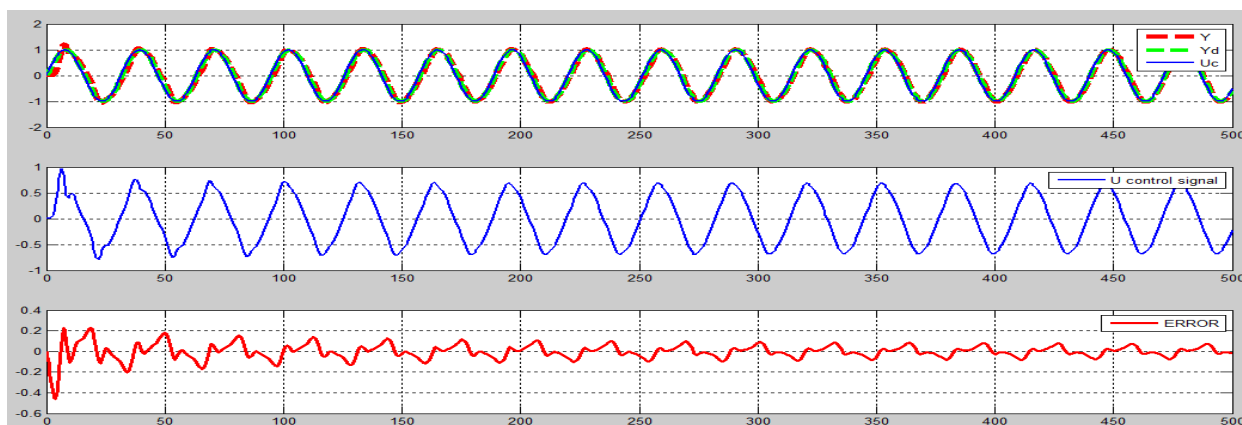
با توجه به اشکال (۲۵-۲۷) واضح است با کاهش γ اندکی ردیابی در آینده به هم ریخته و همگرایی پارامترهای کنترلر به طرز مطلوبی صورت نمی‌پذیرد.

به طور کلی با ورودی مربعی یا همان پالس همگرایی پارامترهای کنترلر به مقدار مطلوب پدید نیامده است، در بخش بعد در طراحی به روش گرادیان ورودی سینوسی در نظر گرفته شده و به ازای تغییرات فرکانس و γ پایداری و همگرایی بررسی گشته است.

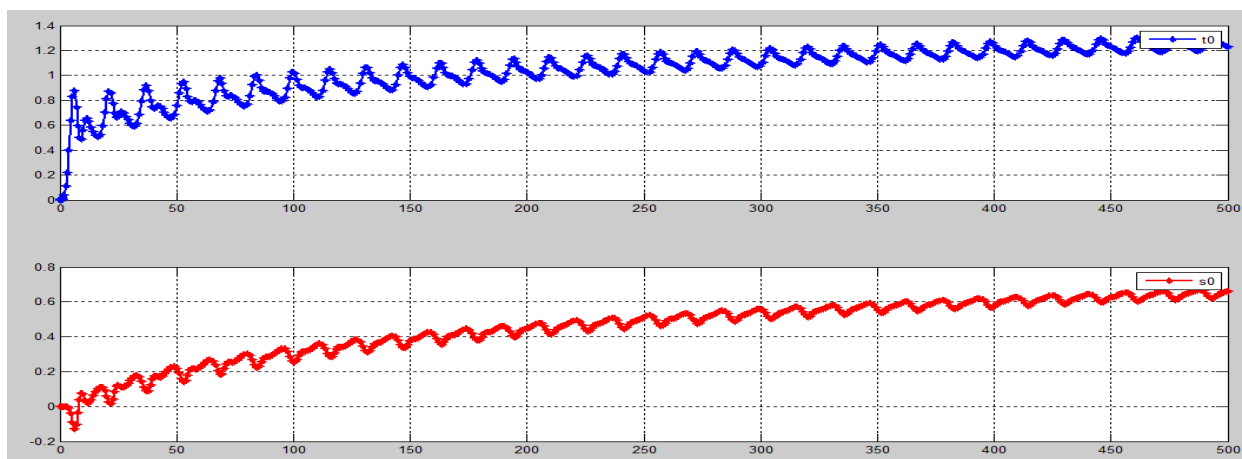
ورودی سینوسی

$$\gamma_1 = \gamma_2 = 1, U_c = \text{frequency} = 0.2$$

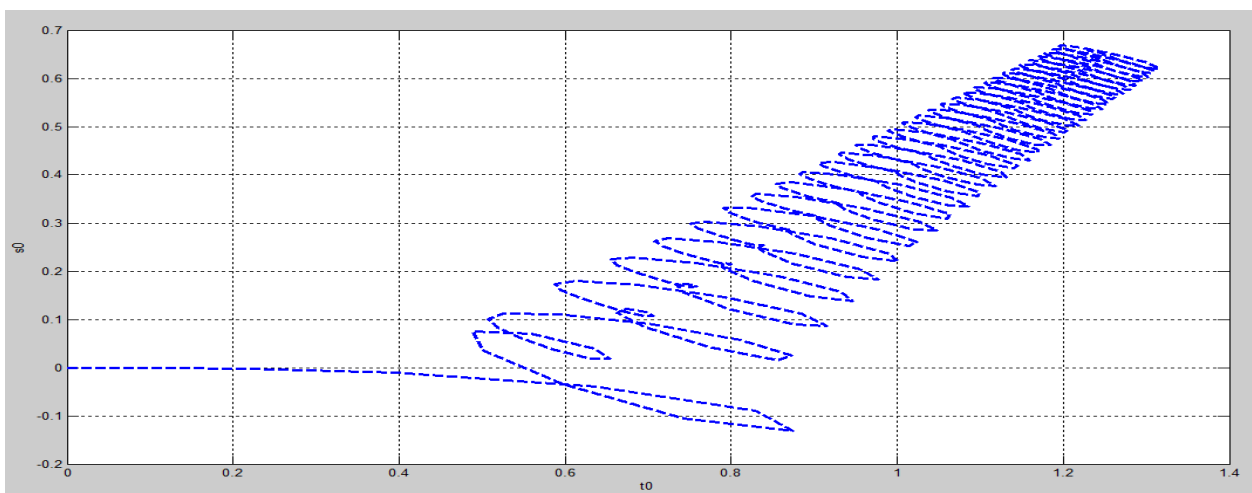
شکل (۲۸) خروجی سیستم کنترل شده، سیستم مطلوب و ورودی، سیگنال کنترلی و خطای به دست آمده را نمایش می‌دهد. شکل (۲۹) تغییرات پارامترهای کنترلر را نمایش می‌دهد. شکل (۳۰) نیز رابطه بین پارامترهای کنترلر را نمایش می‌دهد.



شکل ۲۸



شکل ۲۹

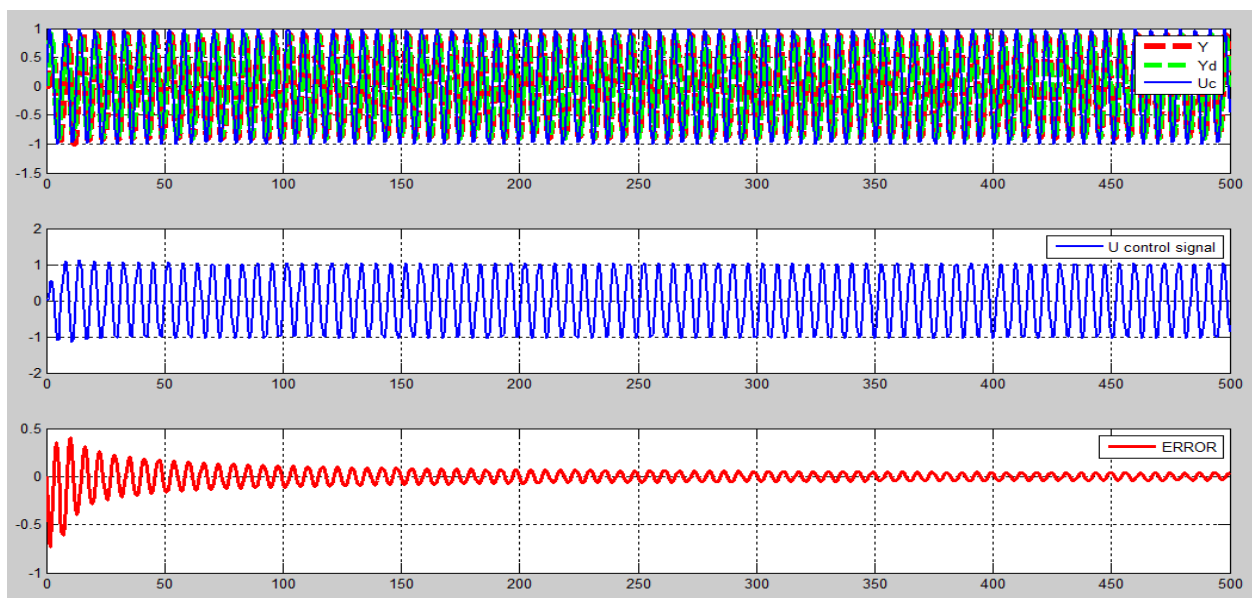


شکل-30

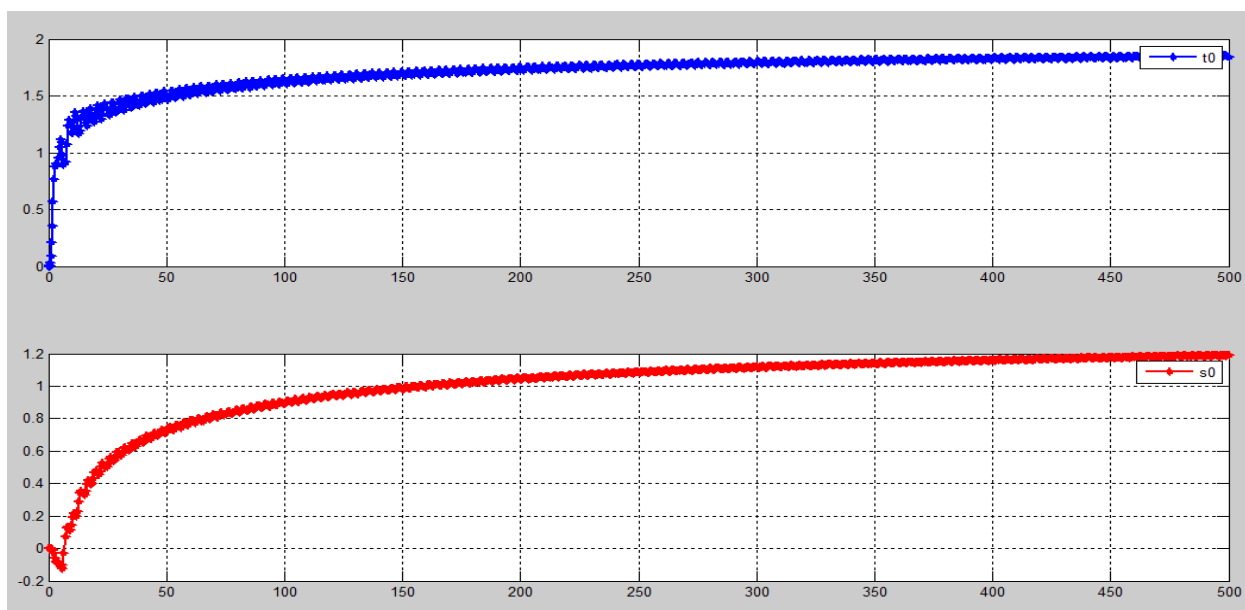
ورودی سینوسی

$$\gamma_1 = \gamma_2 = 1, U_c = \text{frequency} = 1$$

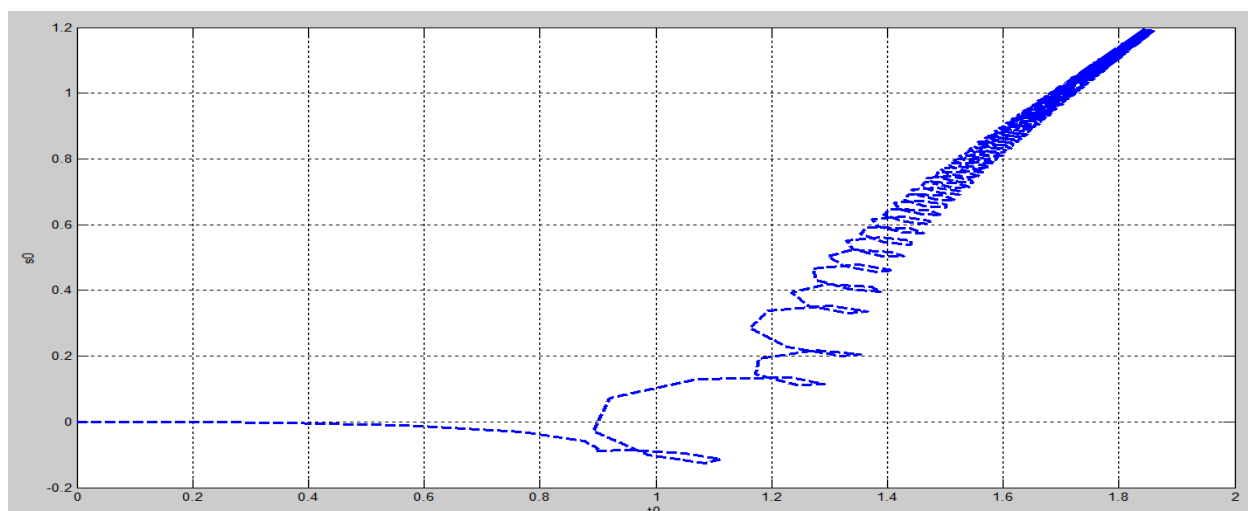
شکل (31) خروجی سیستم کنترل شده، سیستم مطلوب و ورودی، سیگنال کنترلی و خطای به دست آمده را نمایش می دهد. شکل (32) تغییرات پارامترهای کنترلر را نمایش می دهد. شکل (33) نیز رابطه بین پارامترهای کنترلر را نمایش می دهد.



شکل ۳۱



شکل ۳۲



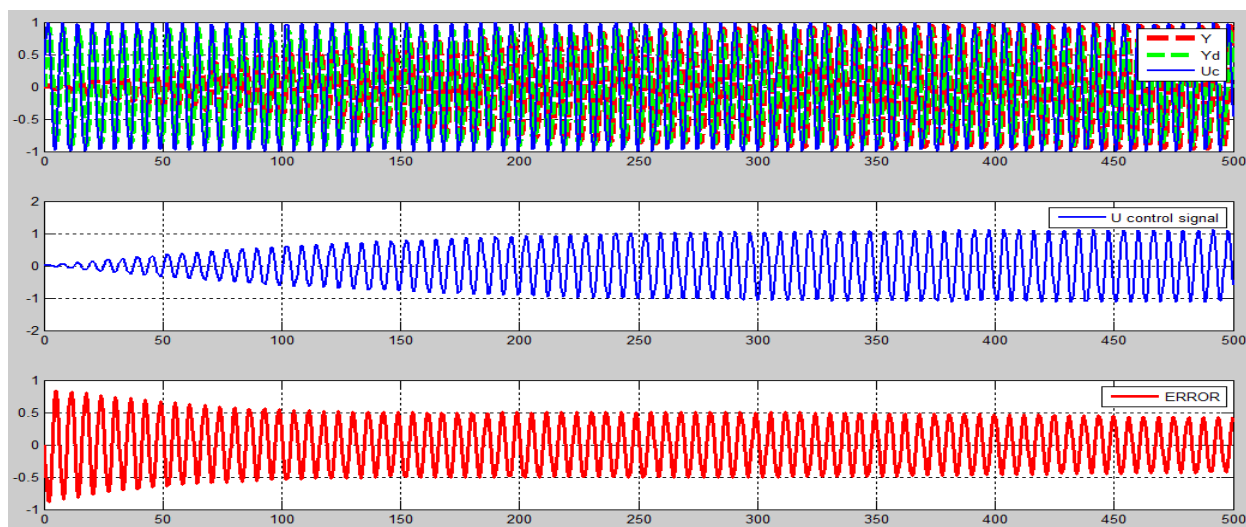
شکل ۳۳

با توجه به شکل‌های (۲۸-۳۳) واضح است با ثابت در نظر گرفتن γ و کاهش فرکانس همگرایی پارامترها و خطا اندکی بدتر می‌گردد، که علت این امر تاثیر مستقیم از ورودی است که در قسمت های قبلی نیز ذکر شد.

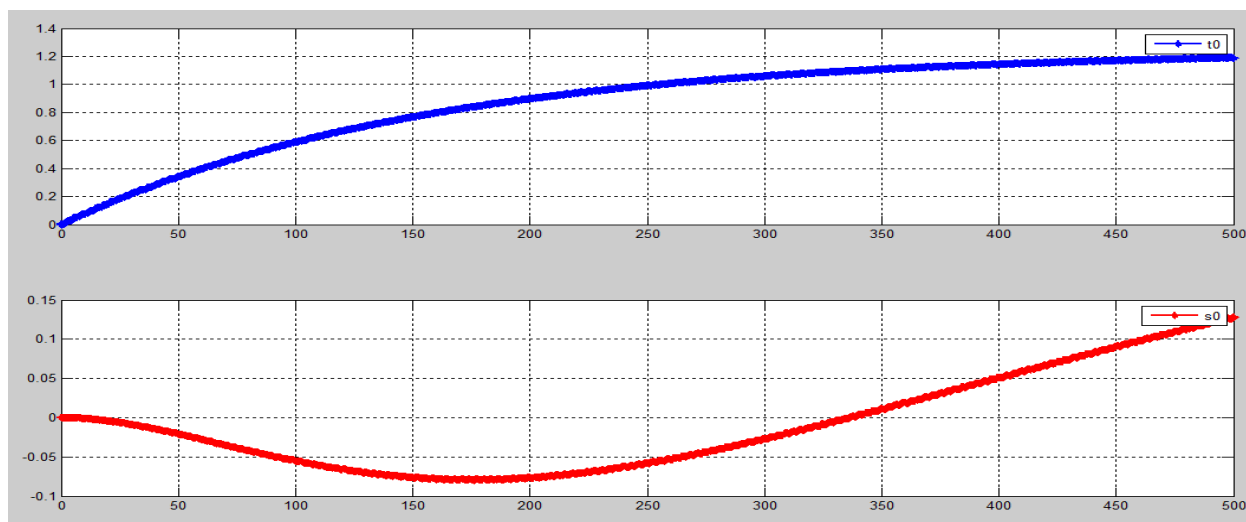
با افزایش فرکانس این ردیابی و همگرایی مناسب تر می‌گردد، اما با افزایش بیش از حد فرکانس بدون تغییرات γ این همگرایی مطلوب از بین می‌رود.

$$\gamma_1 = \gamma_2 = 0.02, U_c = \text{frequency} = 1$$

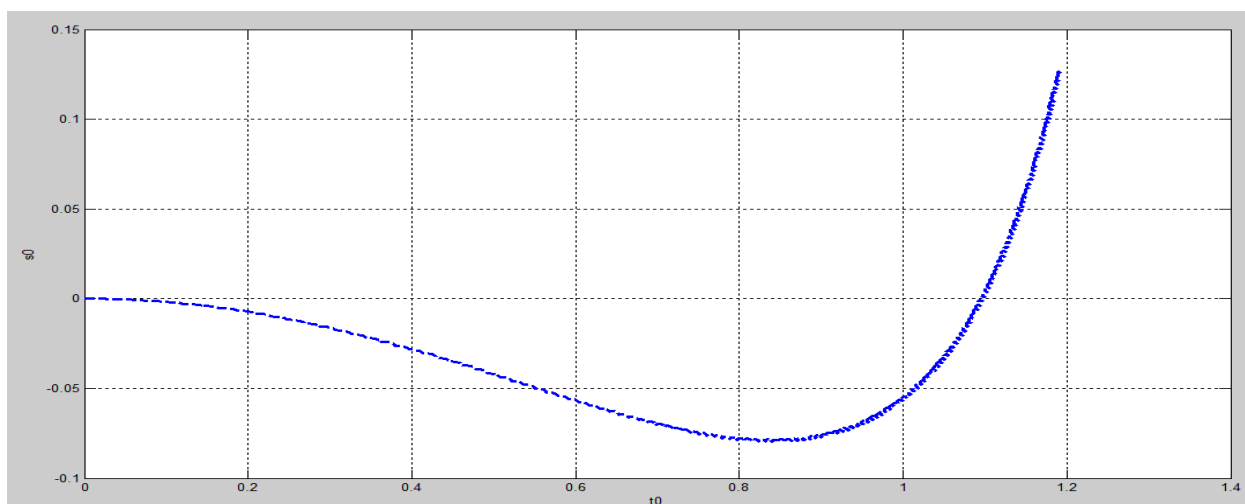
شکل (۳۴) خروجی سیستم کنترل شده، سیستم مطلوب و ورودی، سیگنال کنترلی و خطای به دست آمده را نمایش می دهد. شکل (۳۵) تغییرات پارامترهای کنترلر را نمایش می دهد. شکل (۳۶) نیز رابطه بین پارامترهای کنترلر را نمایش می دهد.



شکل ۳۴



شکل ۳۵

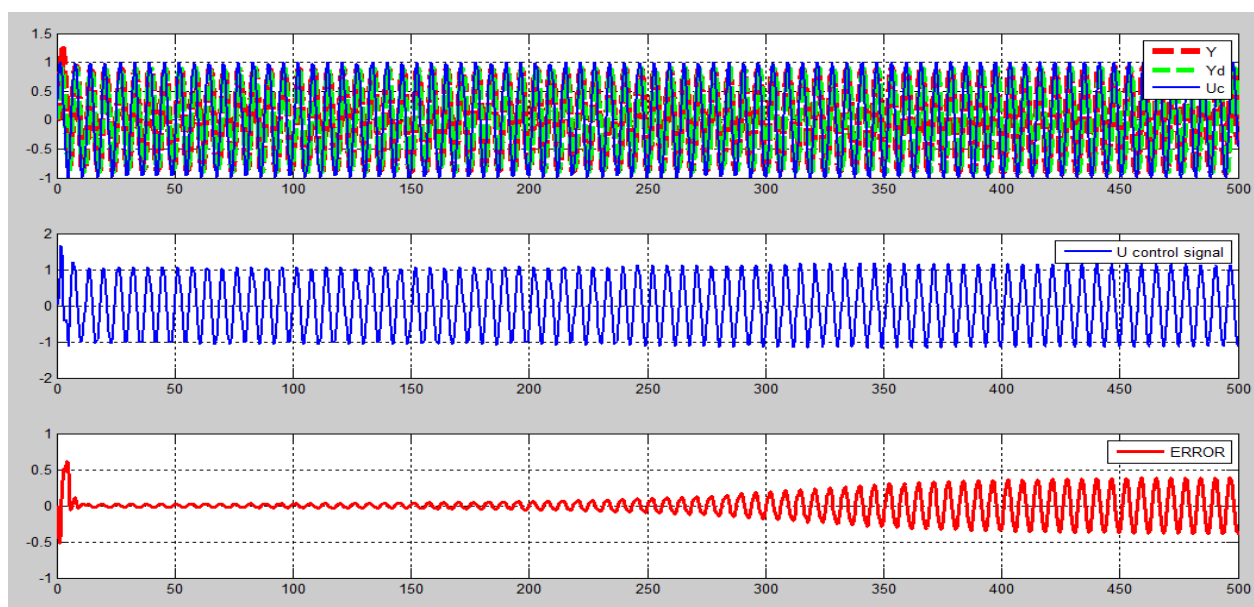


شکل ۳۶

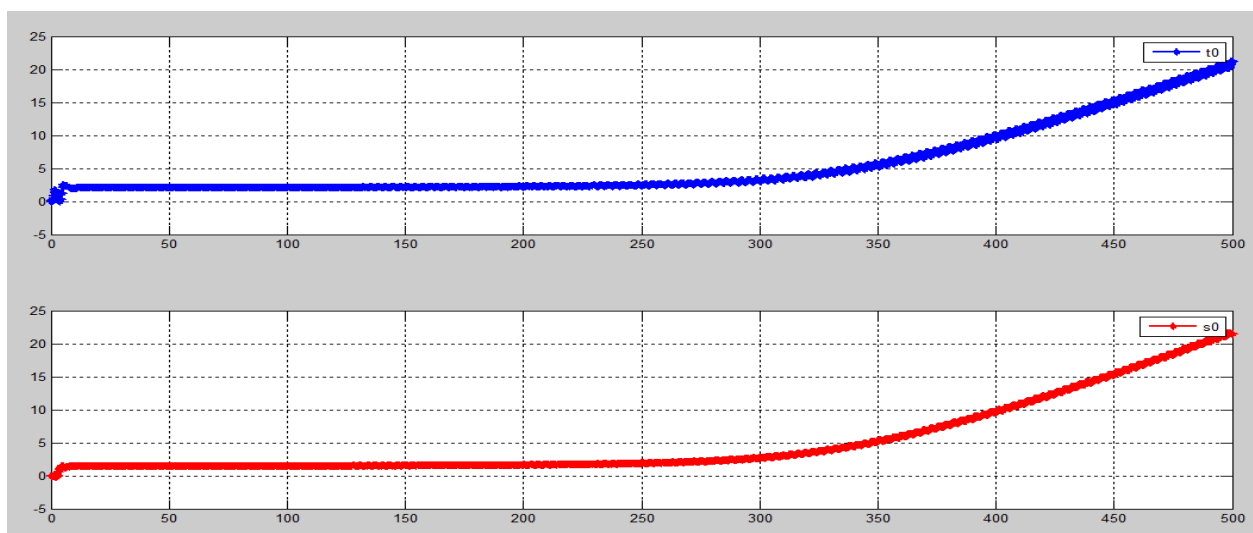
ورودی سینوسی

$$\gamma_1 = \gamma_2 = 5, U_c = \text{frequency} = 1$$

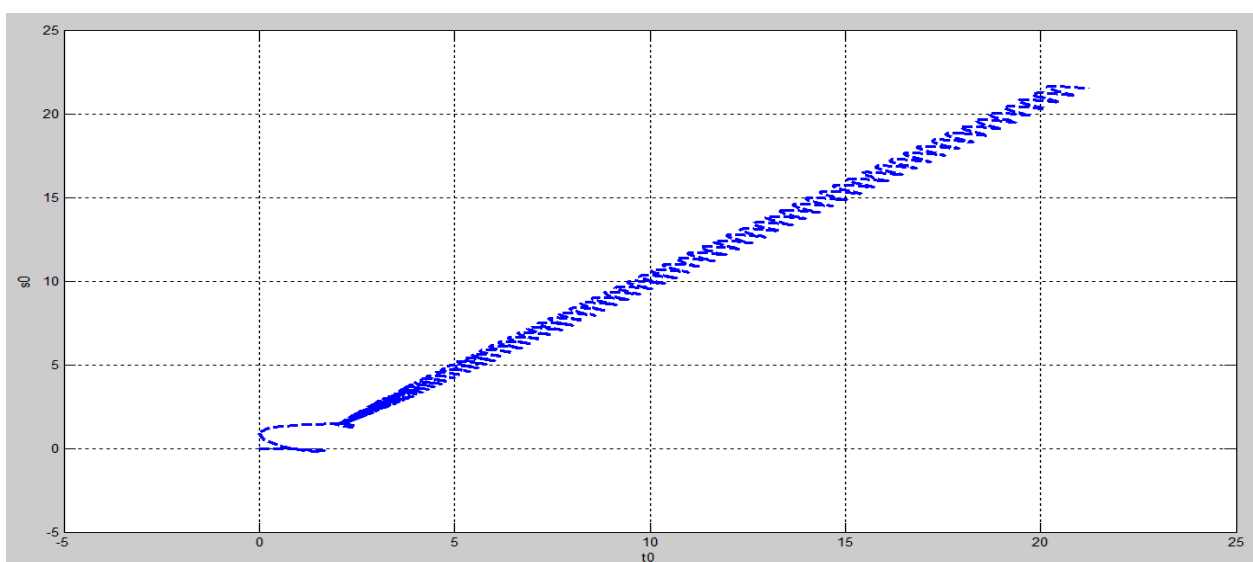
شکل (۳۷) خروجی سیستم کنترل شده، سیستم مطلوب و ورودی، سیگنال کنترلی و خطای به دست آمده را نمایش می دهد. شکل (۳۸) تغییرات پارامترهای کنترلر را نمایش می دهد. شکل (۳۹) نیز رابطه بین پارامترهای کنترلر را نمایش می دهد.



شکل ۳۷



شکل ۳۸



شکل ۳۹

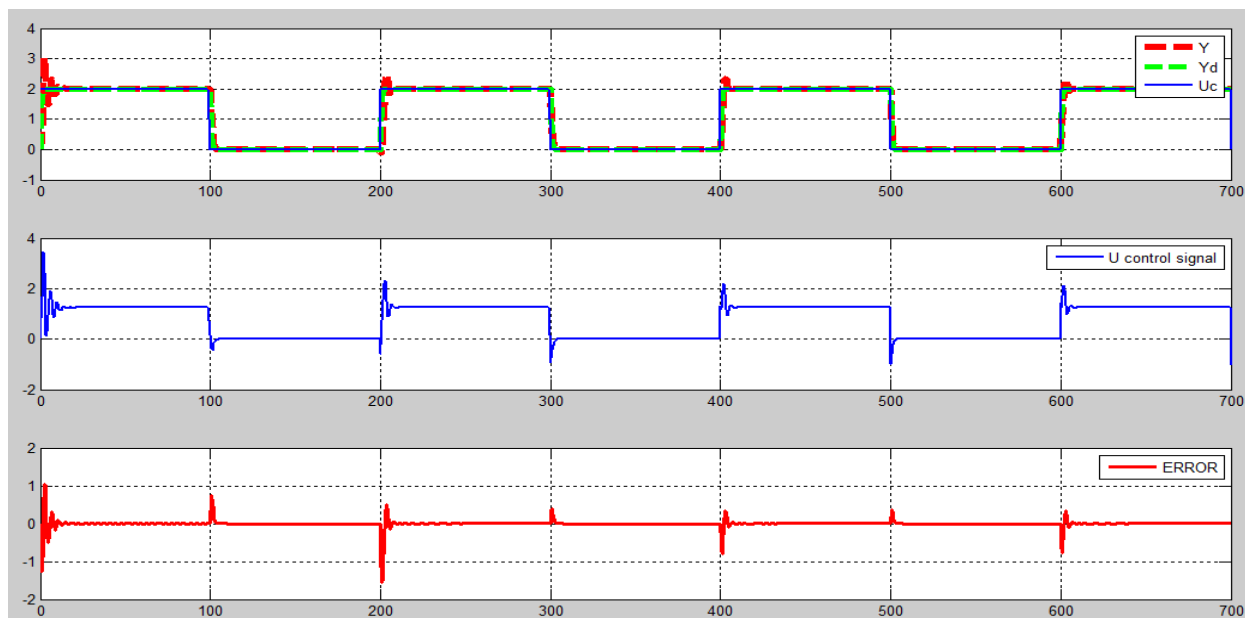
واضح است با افزایش γ همگرایی پارامترها به مقدار مطلوب و ردیابی در حالت ورودی سینوسی پس از مدت زمانی مناسب نمی‌باشد و به سمت ناپایداری میل می‌کند.

ب- روش گرادیان نرمالیزه:

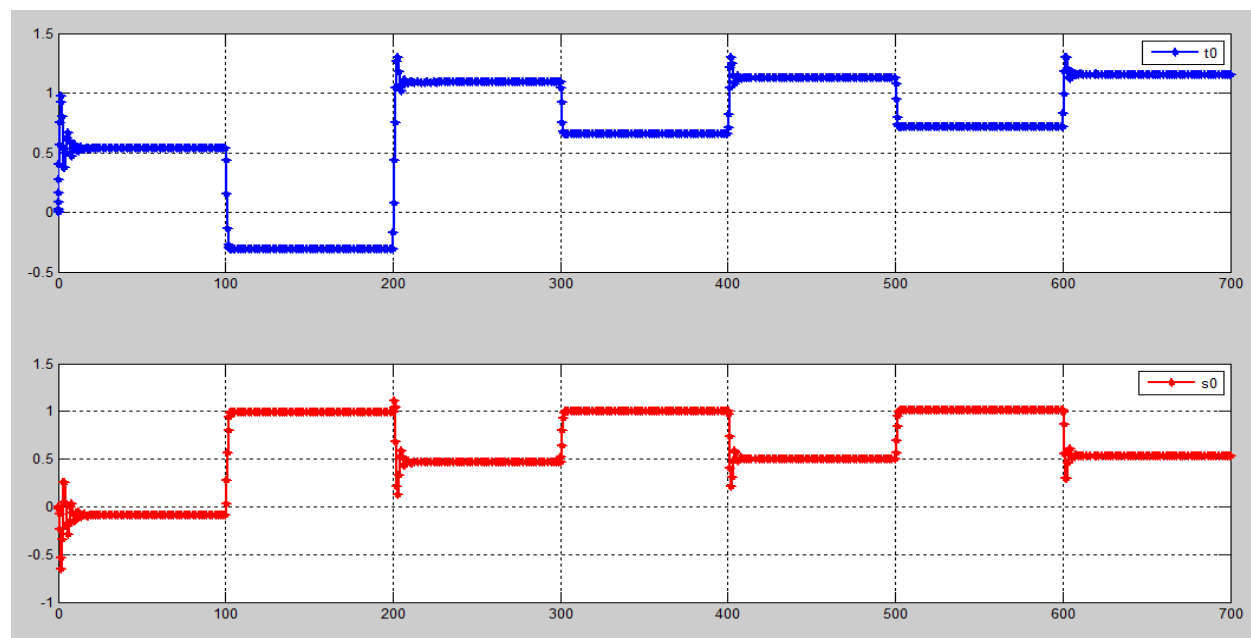
ورودی پالس و $\alpha = 0.04$

$$\gamma_1 = \gamma_2 = 1, U_c = 2$$

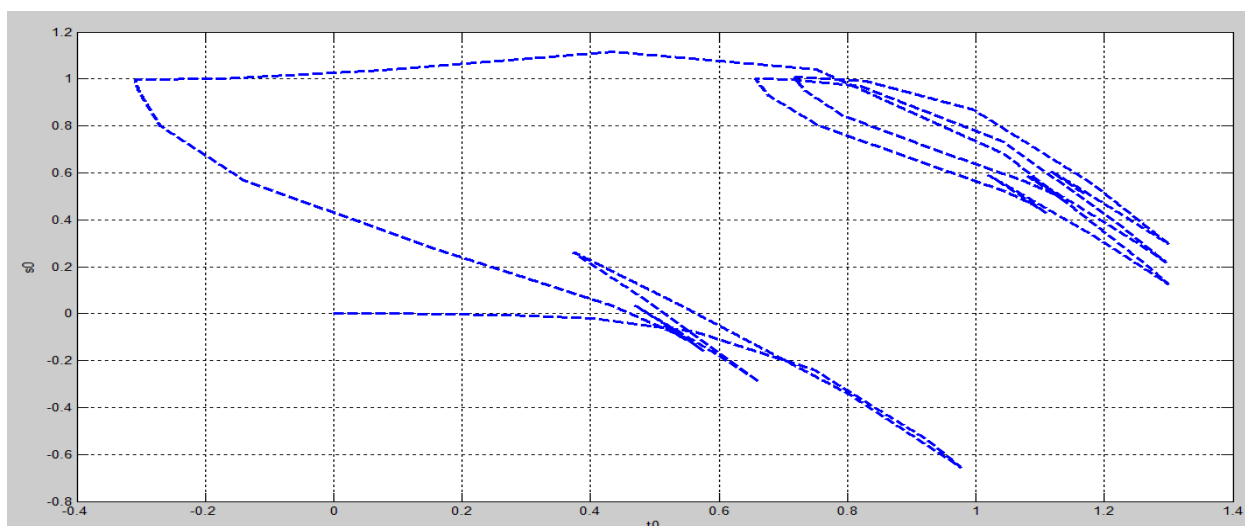
شکل (۴۰) خروجی سیستم کنترل شده، سیستم مطلوب و ورودی، سیگنال کنترلی و خطای به دست آمده را نمایش می دهد. شکل (۴۱) تغییرات پارامترهای کنترلر را نمایش می دهد. شکل (۴۲) نیز رابطه بین پارامترهای کنترلر را نمایش می دهد.



شکل ۴۰



شکل ۴۱



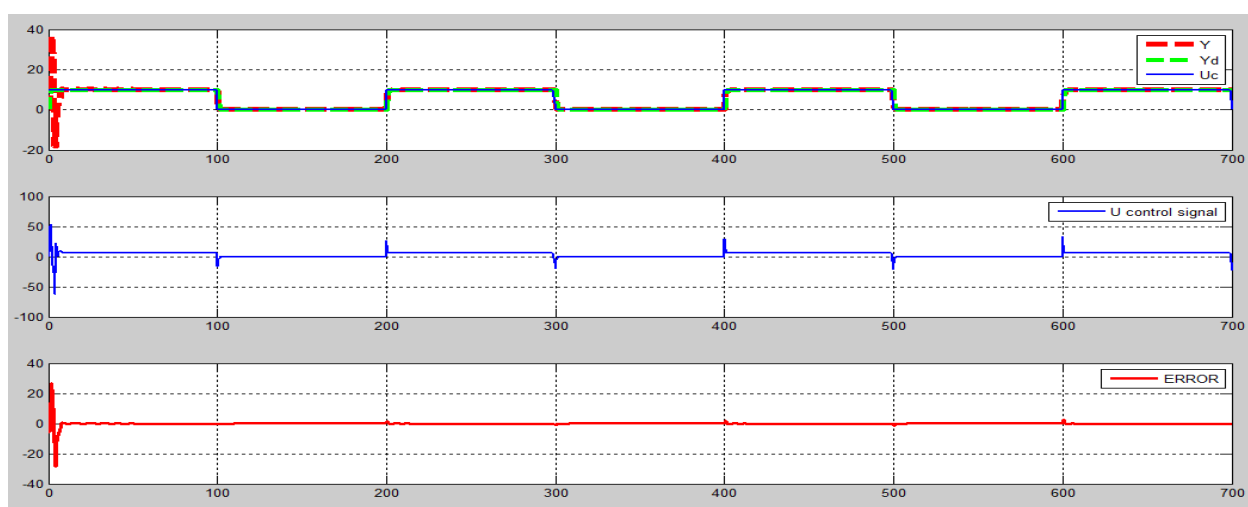
شکل ۴۲

شکل (۴۰) نشان دهنده ردیابی مطلوب و میزان خطای کمی است که در این حالت وجود دارد، ولی همگرایی پارامترها به حالت مطلوب (s_0) نمی‌کند.

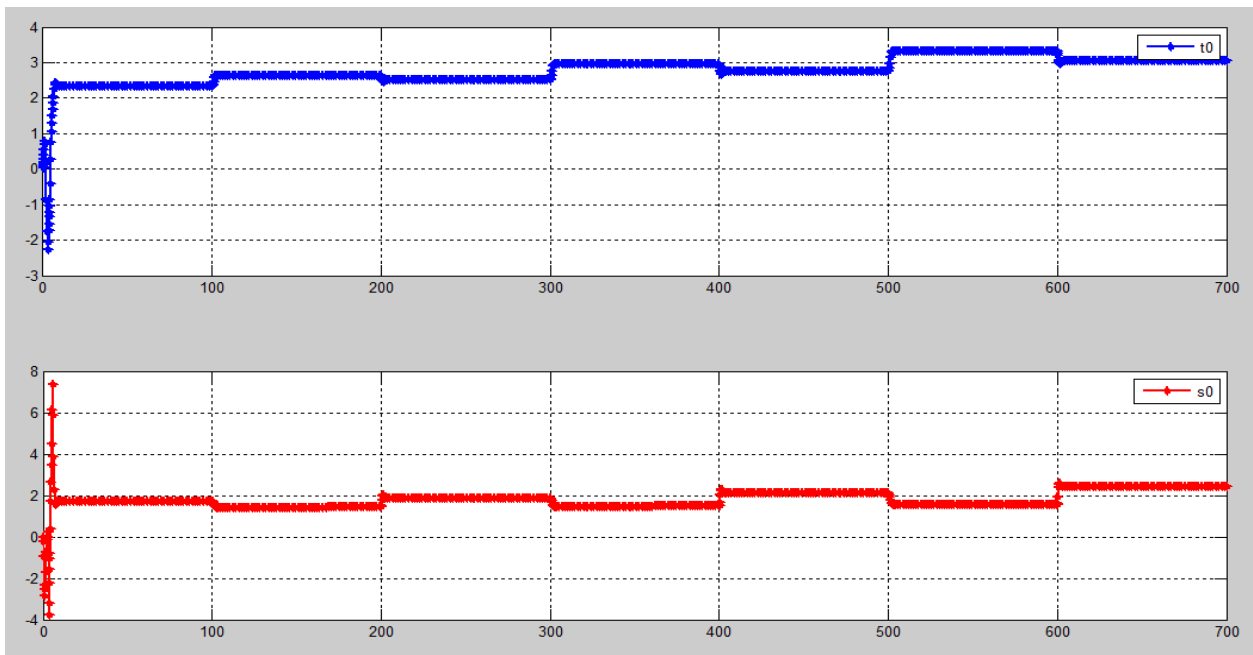
ورودی پالس

$$\gamma_1 = \gamma_2 = 1, U_c = 10$$

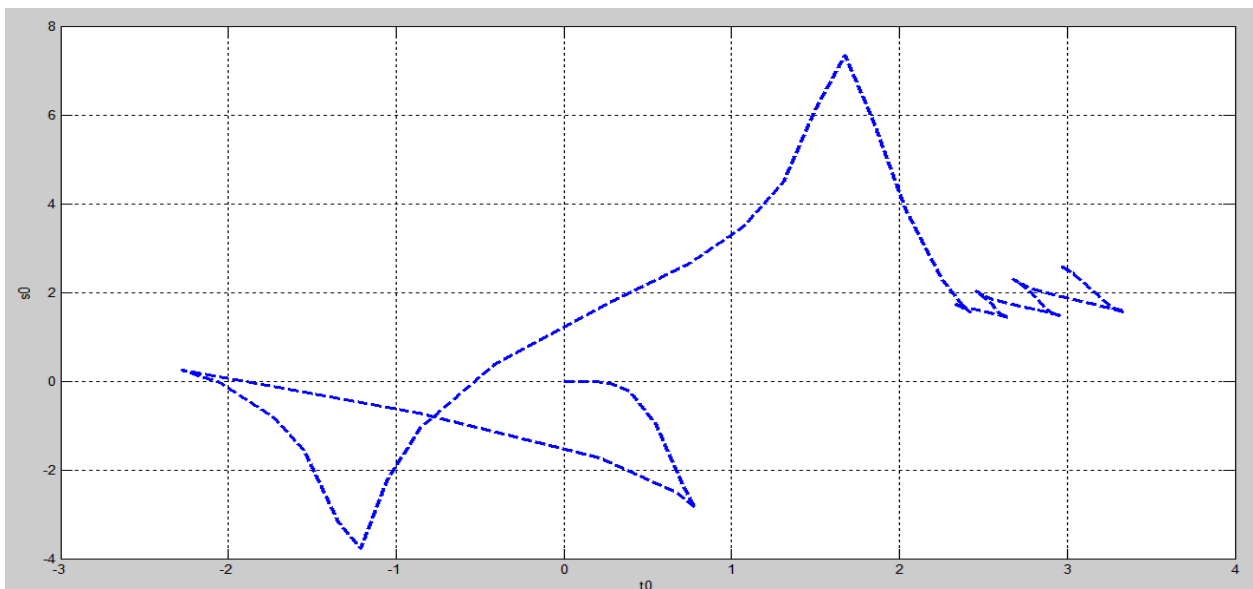
شکل (۴۳) خروجی سیستم کنترل شده، سیستم مطلوب و ورودی، سیگنال کنترلی و خطای به دست آمده را نمایش می‌دهد. شکل (۴۴) تغییرات پارامترهای کنترلر را نمایش می‌دهد. شکل (۴۵) نیز رابطه بین پارامترهای کنترلر را نمایش می‌دهد.



شکل ۴۳



شکل ۴۴

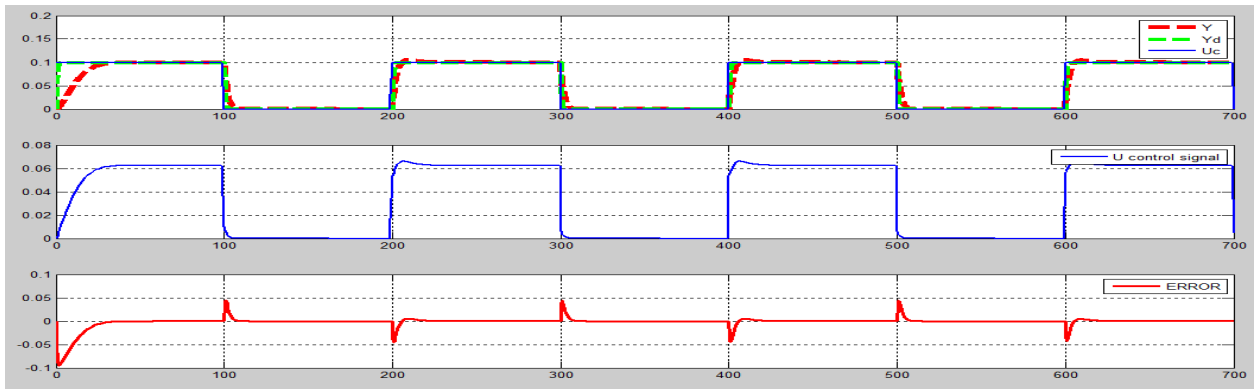


شکل ۴۵

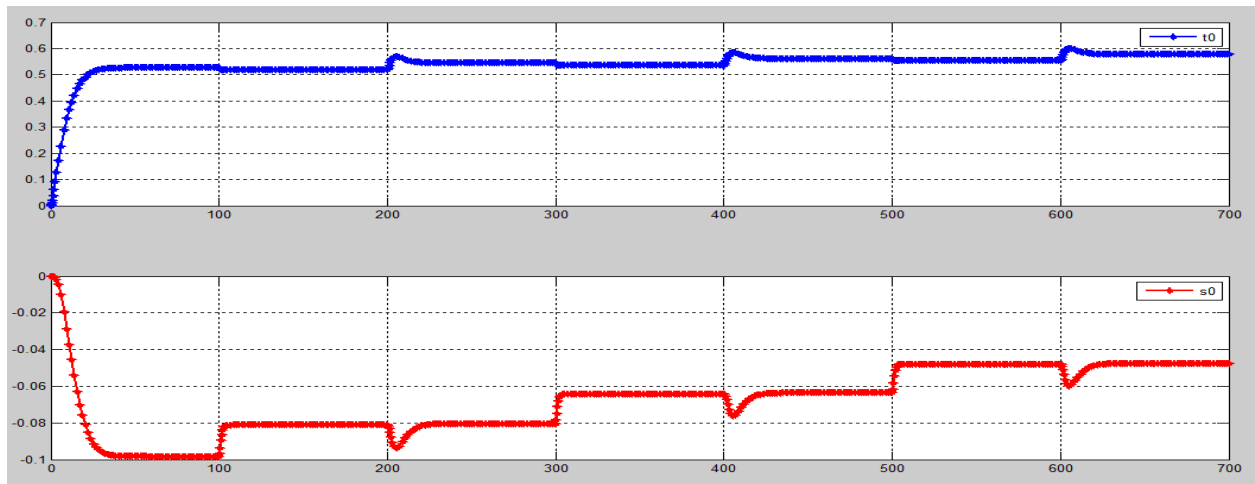
ورودی پالس

$$\gamma_1 = \gamma_2 = 1, U_c = 0.1$$

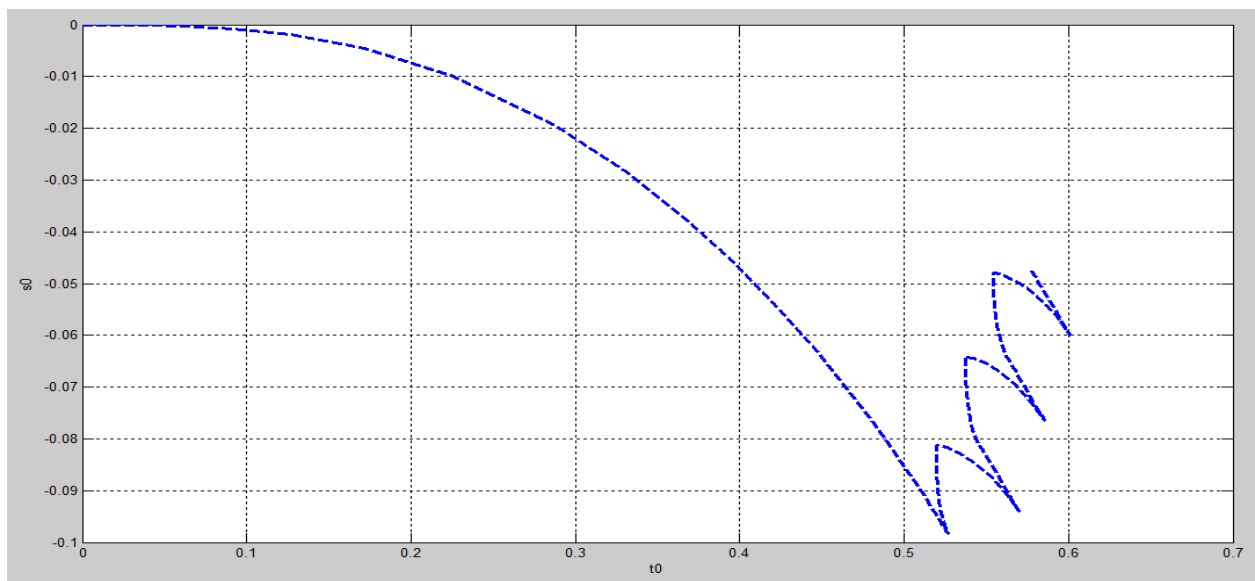
شکل (۴۶) خروجی سیستم کنترل شده، سیستم مطلوب و ورودی، سیگنال کنترلی و خطای به دست آمده را نمایش می دهد. شکل (۴۷) تغییرات پارامترهای کنترل را نمایش می دهد. شکل (۴۸) نیز رابطه بین پارامترهای کنترل را نمایش می دهد.



شکل ۴۶



شکل ۴۷



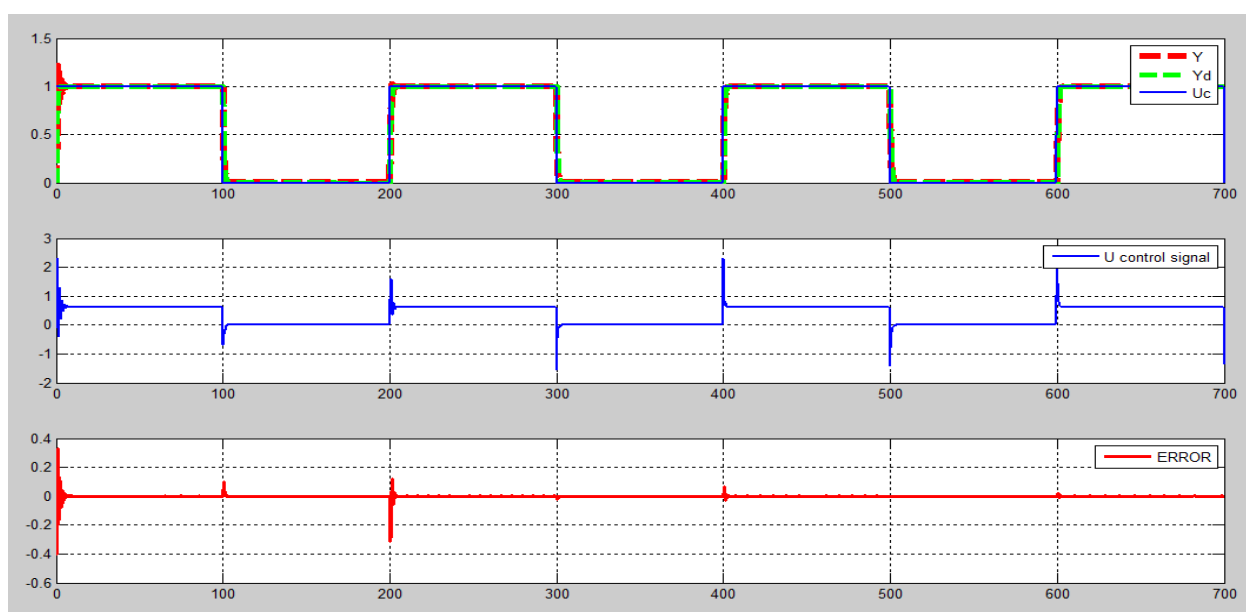
شکل ۴۸

با توجه به خروجی های فوق واضح است نسبت به حالت غیر نرمالیزه شده حساسیت نسبت به تغییرات سیگنال ورودی کمتر می باشد که به علت نرمالیزه شدن روابط و سیگنال کنترلی و مشتقات می باشد.

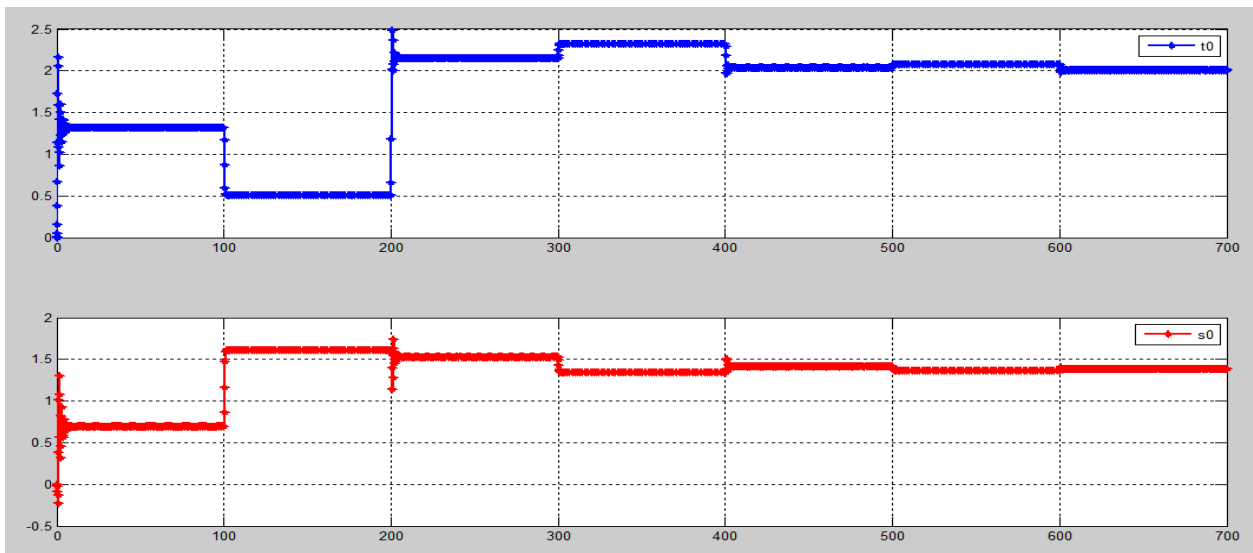
ورودی پالس

$$\gamma_1 = \gamma_2 = 10, U_c=1$$

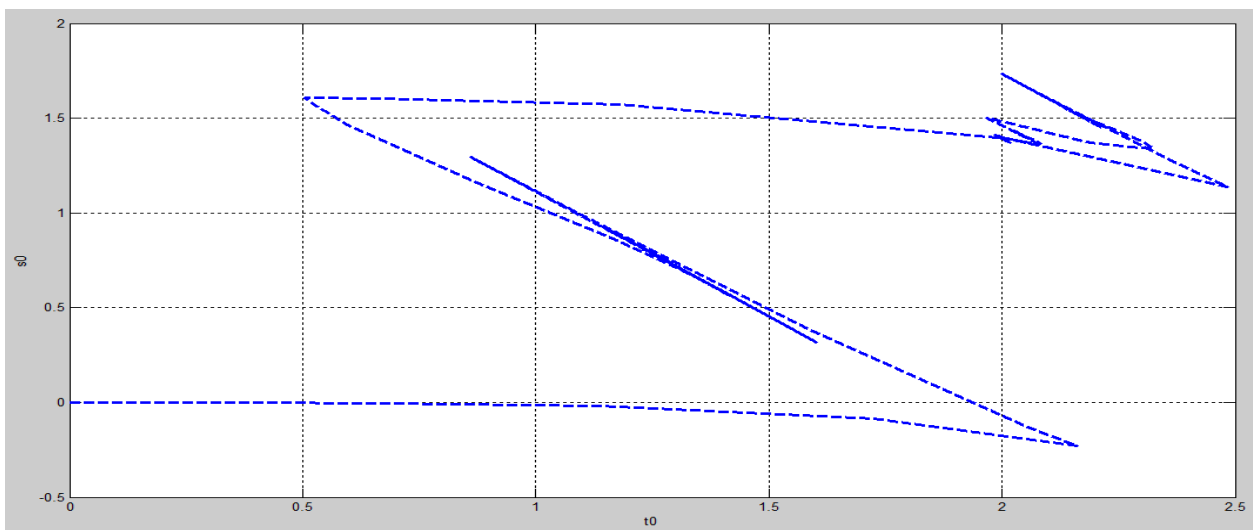
شکل (۴۹) خروجی سیستم کنترل شده، سیستم مطلوب و ورودی، سیگنال کنترلی و خطای به دست آمده را نمایش می دهد. شکل (۵۰) تغییرات پارامترهای کنترلر را نمایش می دهد. شکل (۵۱) نیز رابطه بین پارامترهای کنترلر را نمایش می دهد.



شکل ۴۹



شکل ۵۰

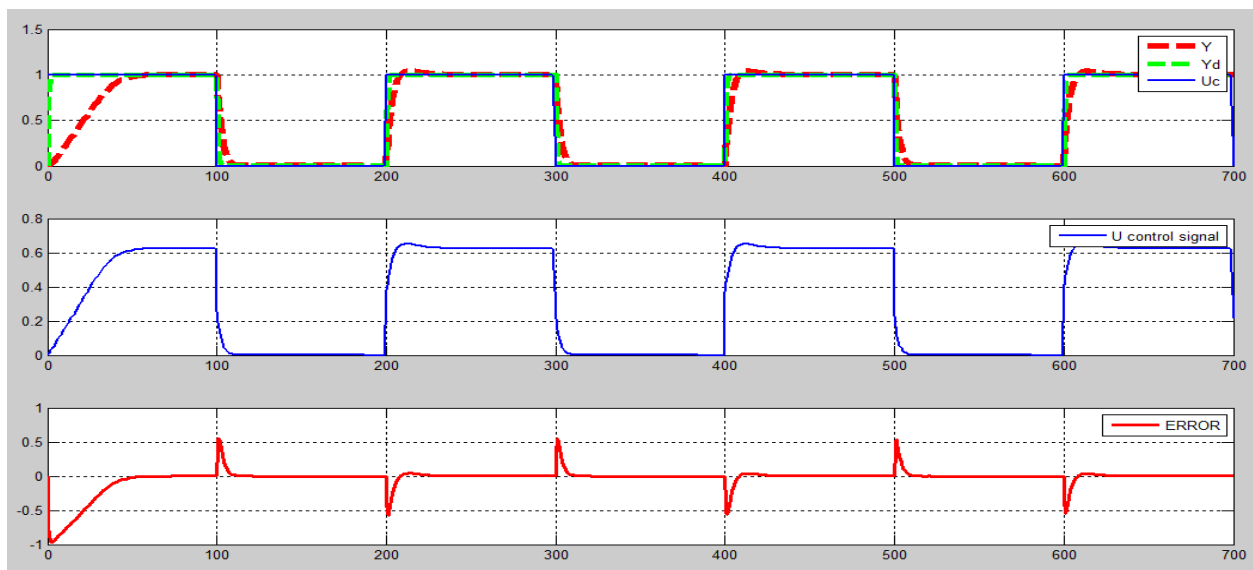


شکل ۵۱

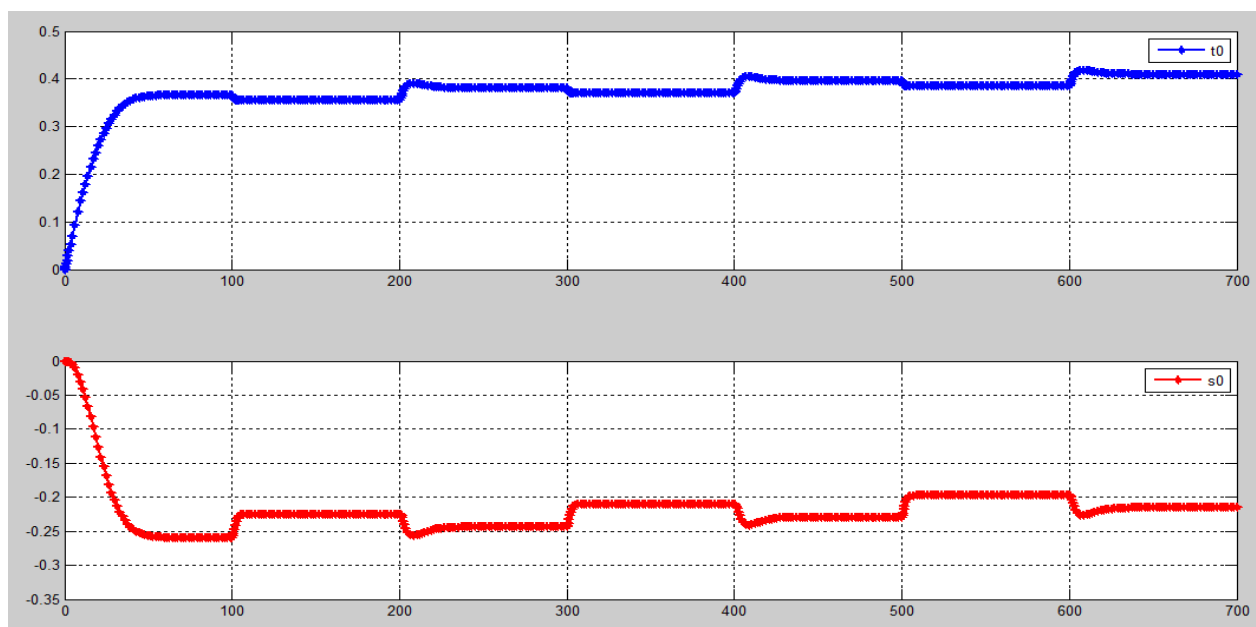
ورودی پالس

$$\gamma_1 = \gamma_2 = 0.02, U_c=1$$

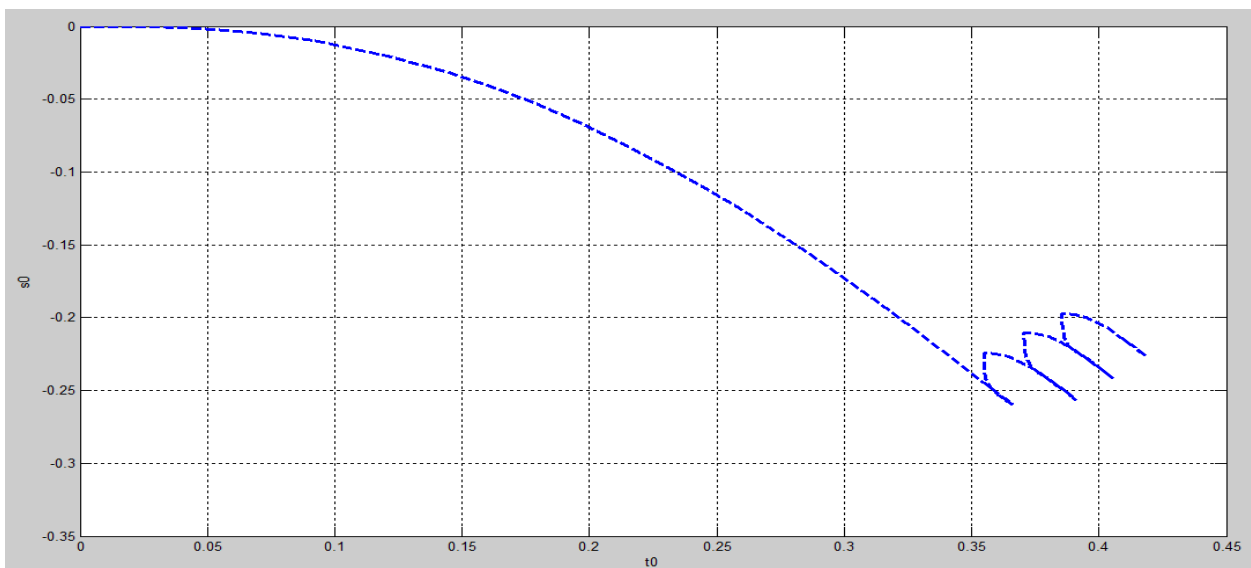
شکل (۵۲) خروجی سیستم کنترل شده، سیستم مطلوب و ورودی، سیگنال کنترلی و خطای به دست آمده را نمایش می دهد. شکل (۵۳) تغییرات پارامترهای کنترل را نمایش می دهد. شکل (۵۴) نیز رابطه بین پارامترهای کنترل را نمایش می دهد.



شکل ۵۲



شکل ۵۳



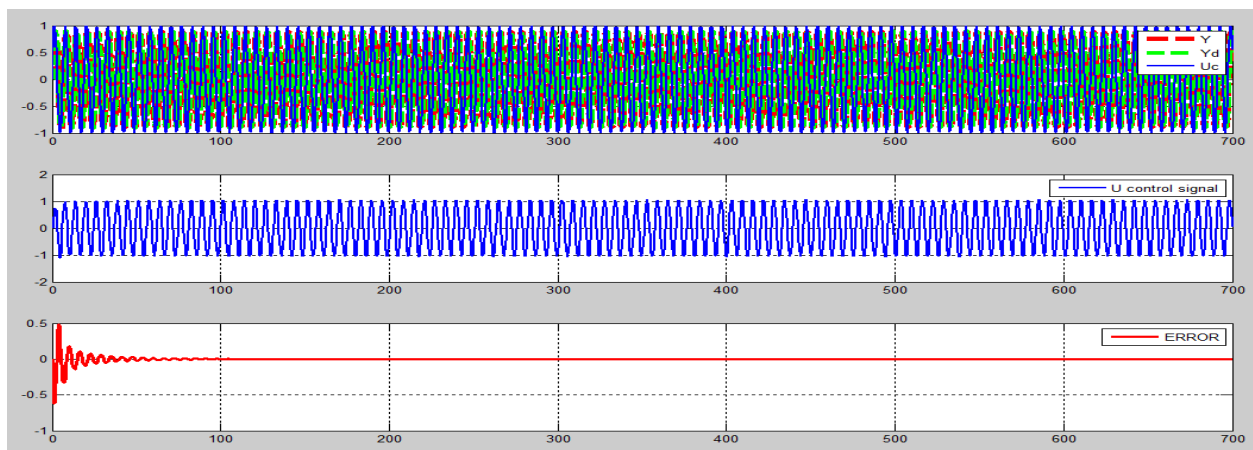
شکل ۵۴

با توجه به شبیه سازی های صورت گرفته در بخش نرمالیزه شده باید در نظر داشت با تغییرات U_c نسبت به حالت غیر نرمالیزه شده خروجی های مطلوب تری به دست آمده و حساسیت نسبت به تغییر سیگنال ورودی کمتر گشته است. همچنین لازم به ذکر است به تغییرات γ نیز حالت مشابهی نسبت به به حساسیت پدید می آید که در کل نشانگر این امر است که حالت نرمالیزه شده مطلوب تر می باشد. باید در نظر داشت در حالت ورودی مربعی به طور کلی رابطه بین پارامترهای کنترلر به یک نقطه همگرا نمی گردد و اساسا به مقدار مطلوب به صورت دقیقی همگرا نمی گردد.

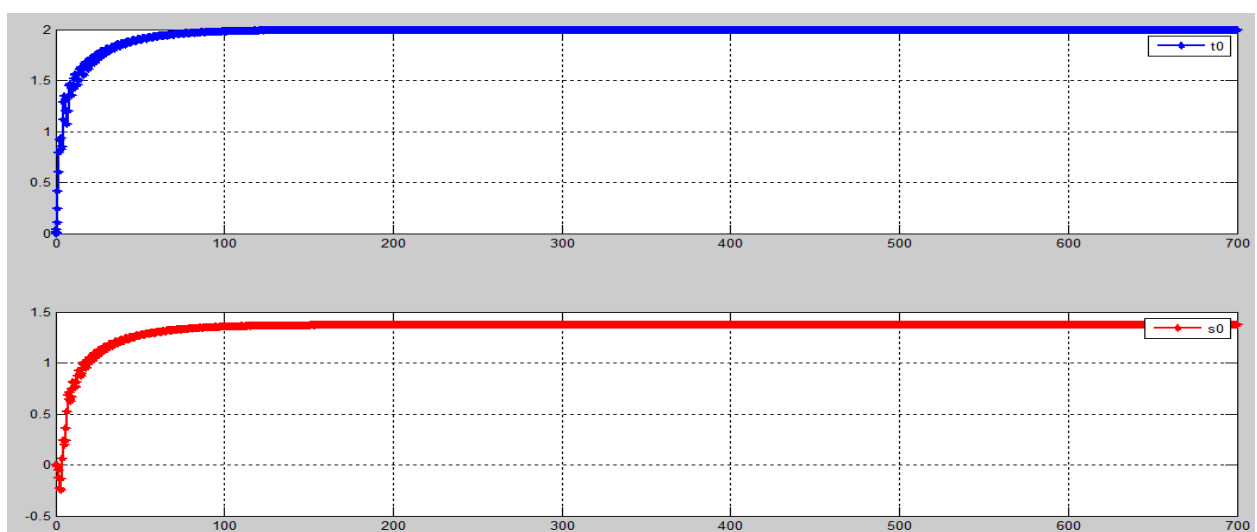
ورودی سینوسی

$$\gamma_1 = \gamma_2 = 1, U_c = \text{frequency} = 1$$

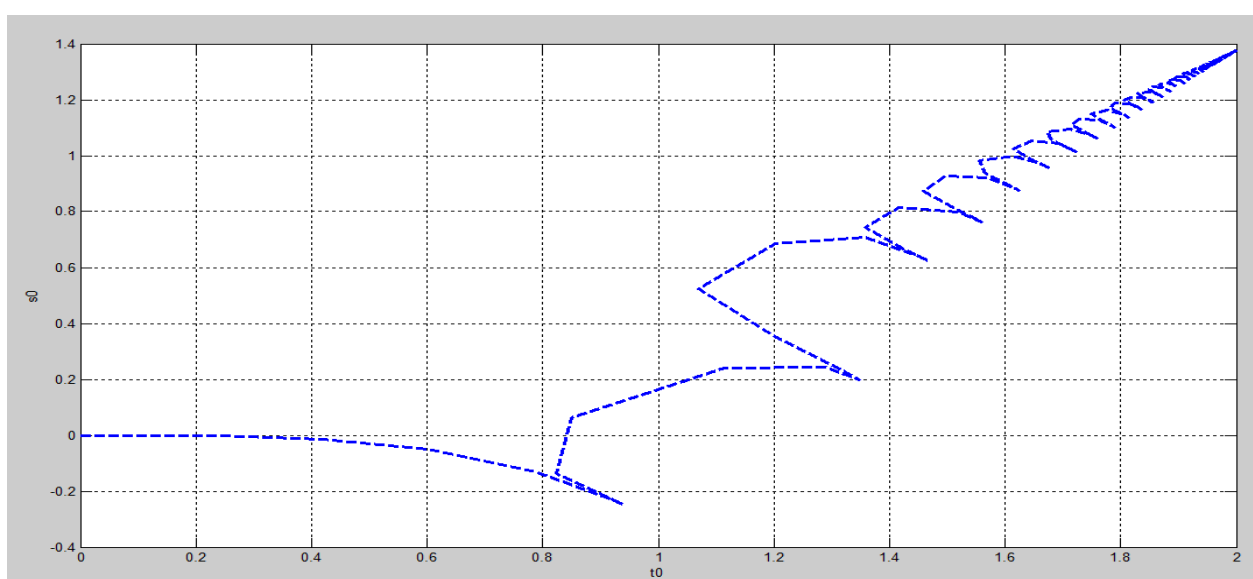
شکل (۵۵) خروجی سیستم کنترل شده، سیستم مطلوب و ورودی، سیگنال کنترلی و خطای به دست آمده را نمایش می دهد. شکل (۵۶) تغییرات پارامترهای کنترلر را نمایش می دهد. شکل (۵۷) نیز رابطه بین پارامترهای کنترلر را نمایش می دهد.



شکل ۵۵



شکل ۵۶



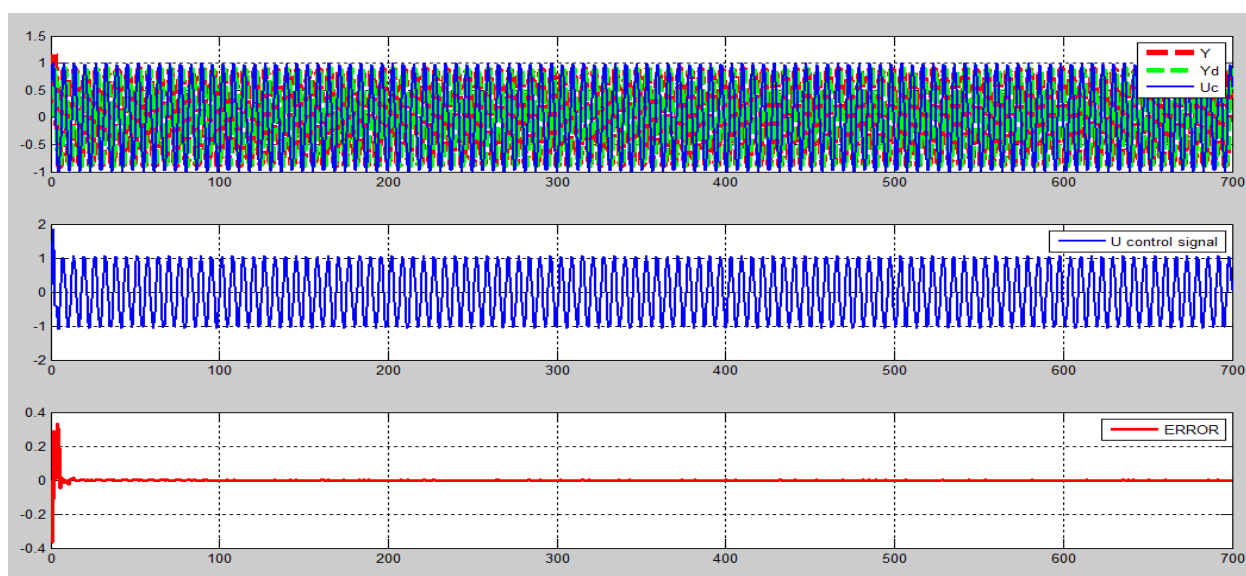
شکل ۵۷

واضح است که ردیابی مطلوب، خطا کم و پارامترها نیز در این حالت به مقدار مطلوبی همگرا گشته اند.

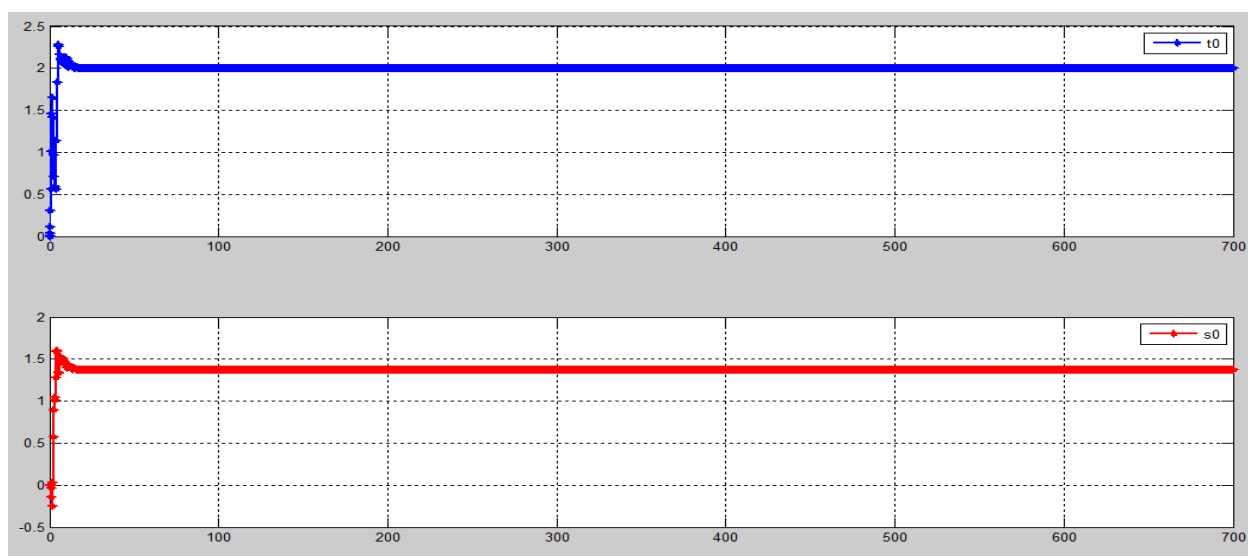
ورودی سینوسی

$$\gamma_1 = \gamma_2 = 5, U_c = \text{frequency} = 1$$

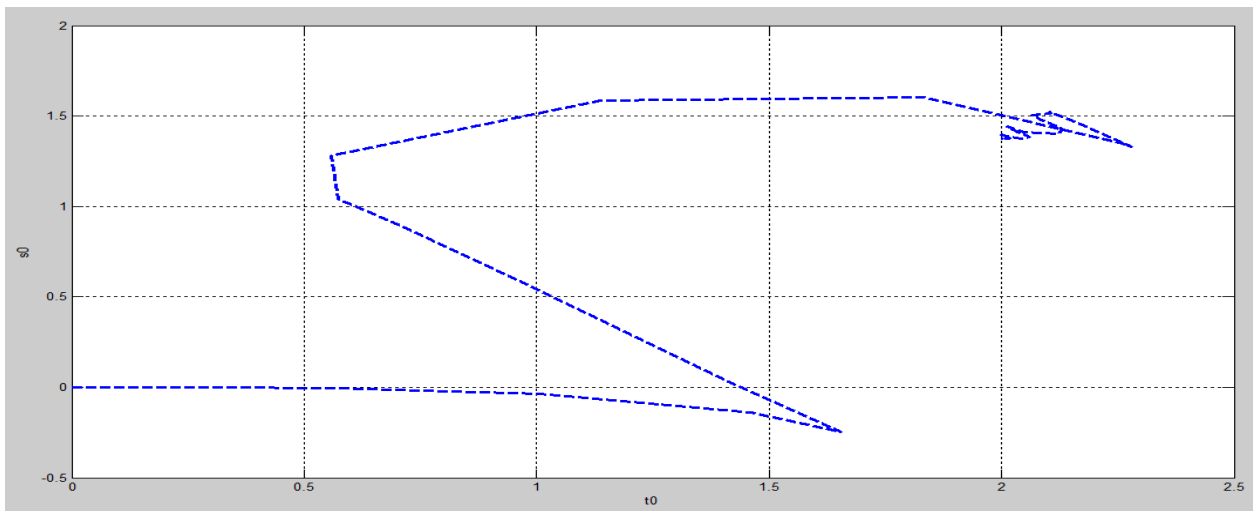
شکل (۵۸) خروجی سیستم کنترل شده، سیستم مطلوب و ورودی، سیگنال کنترلی و خطای به دست آمده را نمایش می دهد. شکل (۵۹) تغییرات پارامترهای کنترلر را نمایش می دهد. شکل (۶۰) نیز رابطه بین پارامترهای کنترلر را نمایش می دهد.



شکل ۵۸



شکل ۵۹

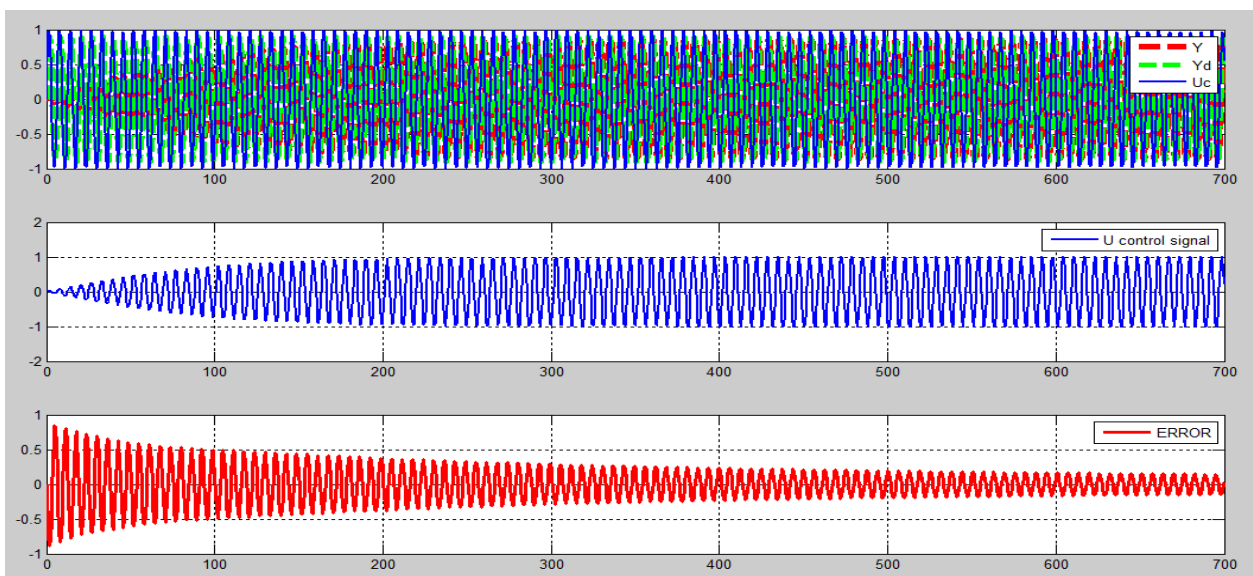


شکل ۶۰

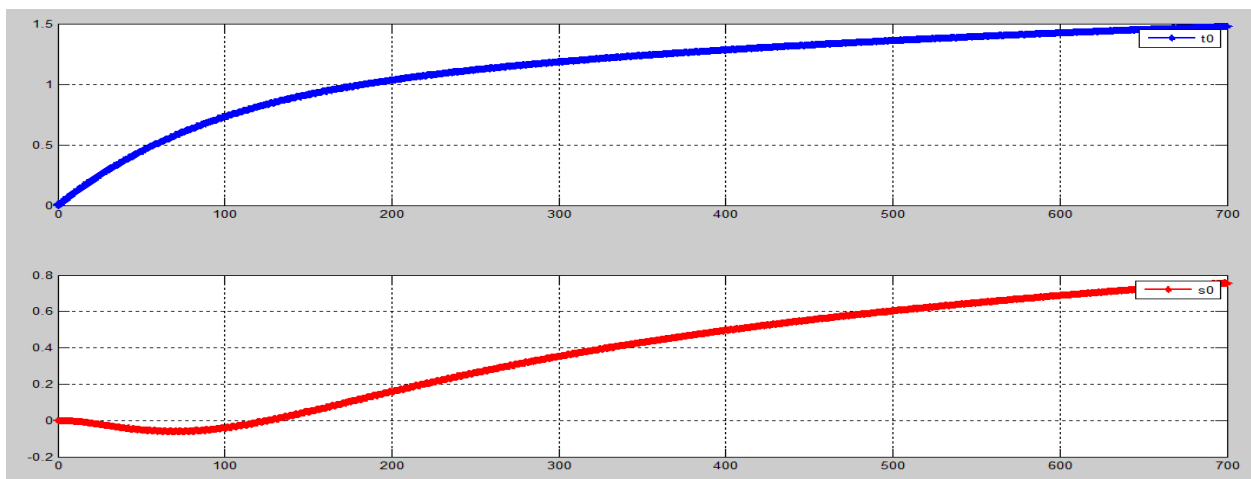
ورودی سینوسی

$$\gamma_1 = \gamma_2 = 0.02, U_c = \text{frequency} = 1$$

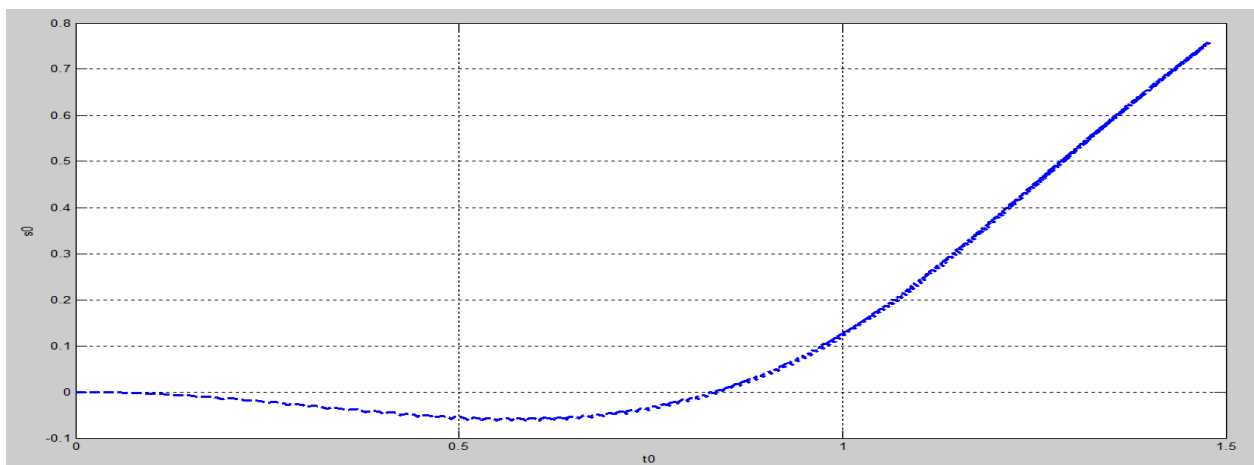
شکل (۶۱) خروجی سیستم کنترل شده، سیستم مطلوب و ورودی، سیگنال کنترلی و خطای به دست آمده را نمایش می دهد. شکل (۶۲) تغییرات پارامترهای کنترل را نمایش می دهد. شکل (۶۳) نیز رابطه بین پارامترهای کنترل را نمایش می دهد.



شکل ۶۱



شکل ۶۲

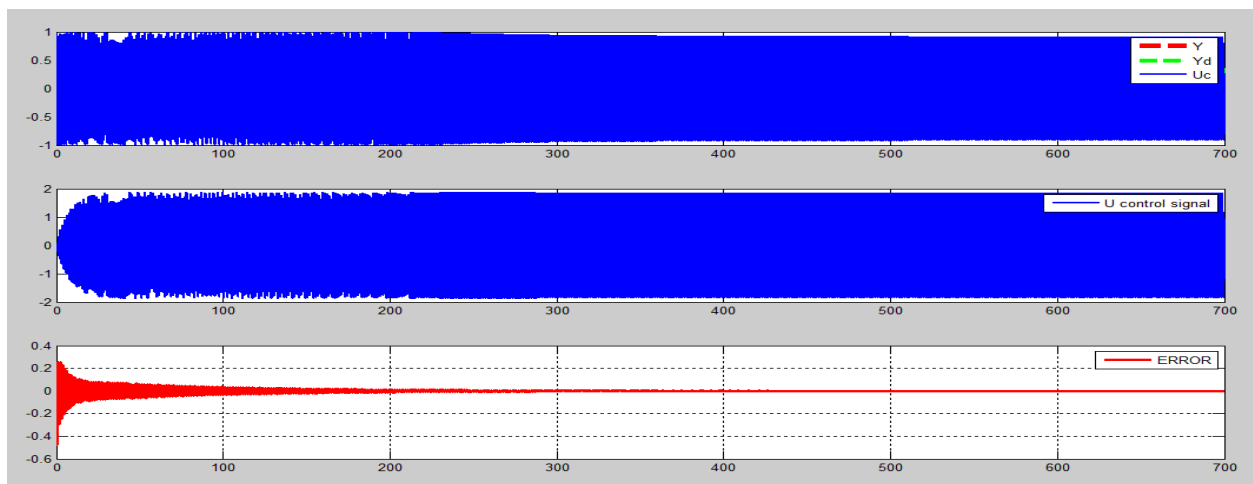


شکل ۶۳

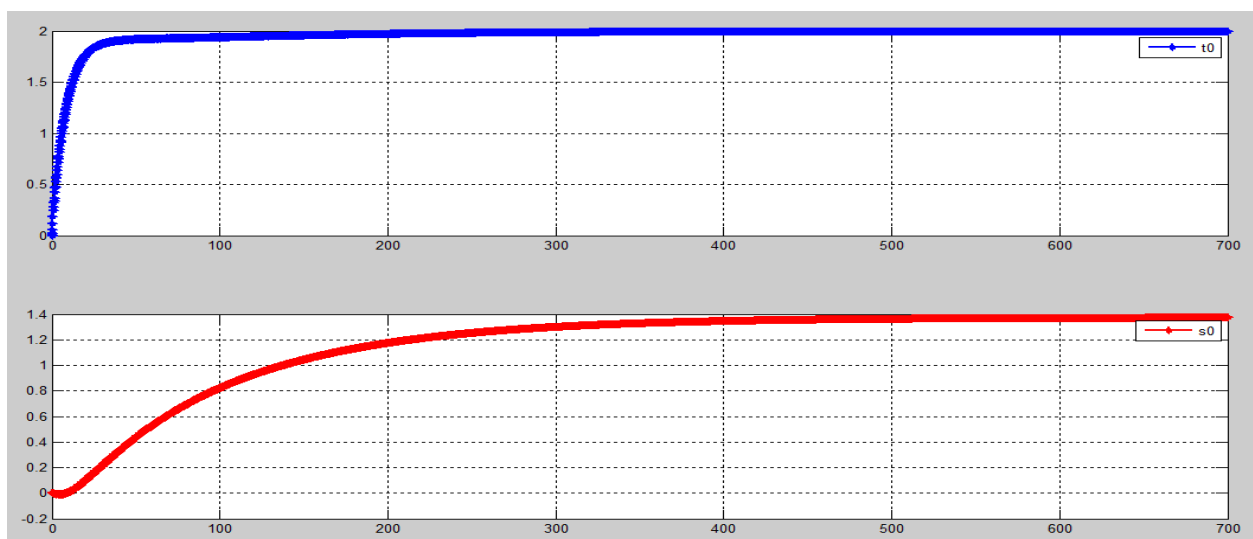
ورودی سینوسی

$$\gamma_1 = \gamma_2 = 1, U_c = \text{frequency} = 0$$

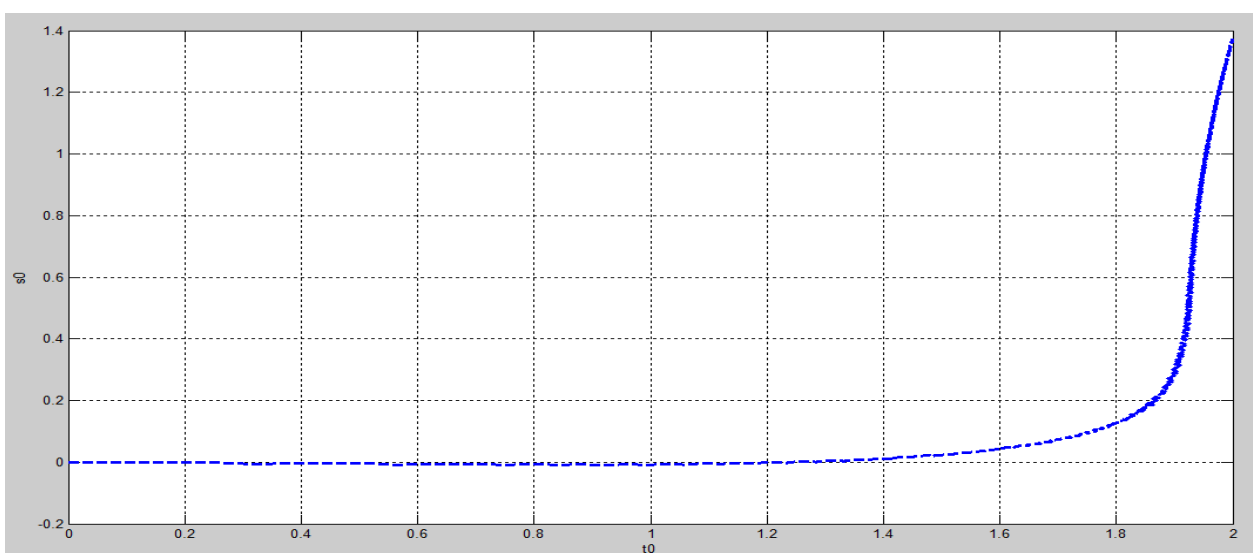
شکل (۶۴) خروجی سیستم کنترل شده، سیستم مطلوب و ورودی، سیگنال کنترلی و خطای به دست آمده را نمایش می دهد. شکل (۶۵) تغییرات پارامترهای کنترلر را نمایش می دهد. شکل (۶۶) نیز رابطه بین پارامترهای کنترلر را نمایش می دهد.



شکل ٦٤



شکل ٦٥



شکل ٦٦

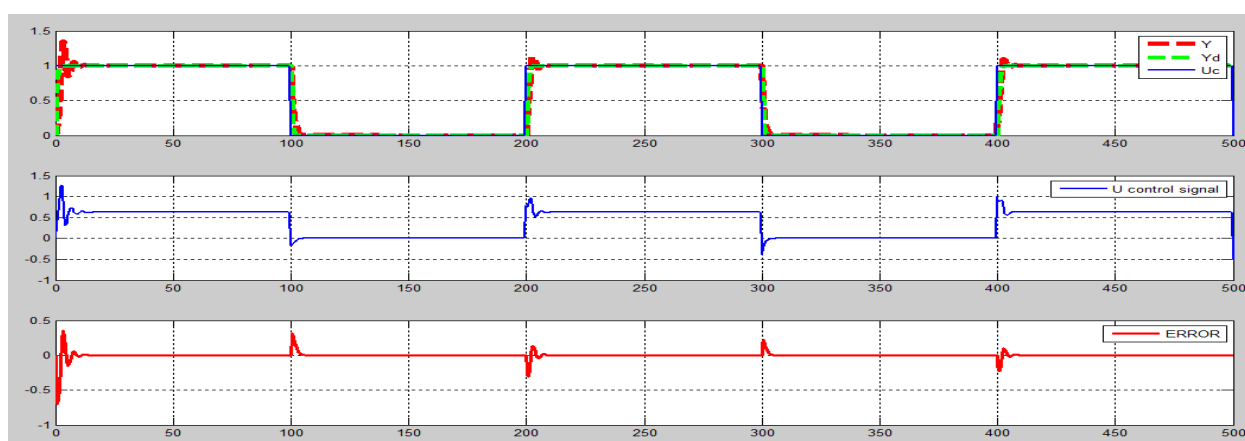
نتیجه گیری: واضح است با افزایش یا کاهش γ در حالت نرمالیزه پایداری سیستم نسبت به حالت غیر نرمالیزه تغییرات بسیار زیادی ندارد و همگرایی پارامترها و ردیابی تقریباً به طور مطلوبی صورت می‌گیرد. هم چنین با افزایش فرکانس نیز به پایداری سریع تری نیز میل می‌کند.

ج- روش لیاپانوف:

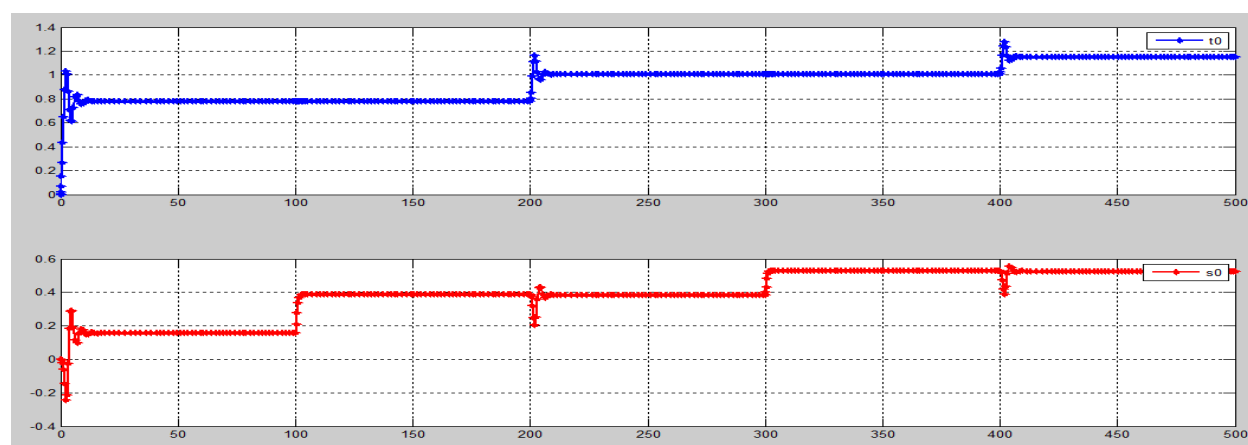
ورودی پالس

$$\gamma_1 = \gamma_2 = 1, U_c = 1$$

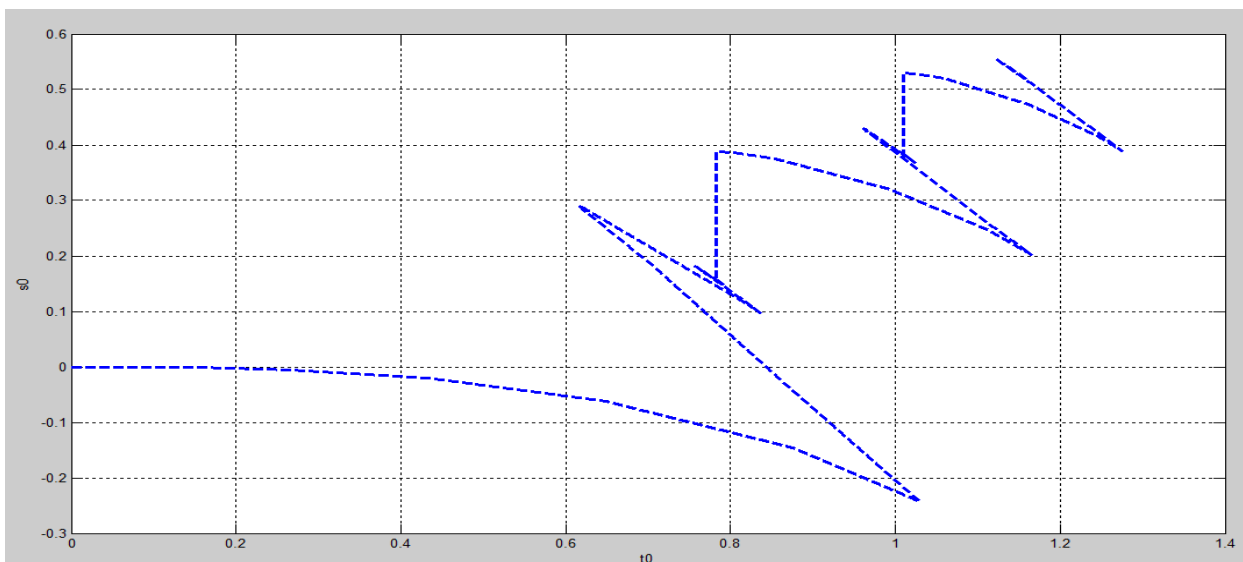
شکل (۶۷) خروجی سیستم کنترل شده، سیستم مطلوب و ورودی، سیگنال کنترلی و خطای به دست آمده را نمایش می‌دهد. شکل (۶۸) تغییرات پارامترهای کنترلر را نمایش می‌دهد. شکل (۶۹) نیز رابطه بین پارامترهای کنترلر را نمایش می‌دهد.



شکل ۶۷



شکل ۶۸



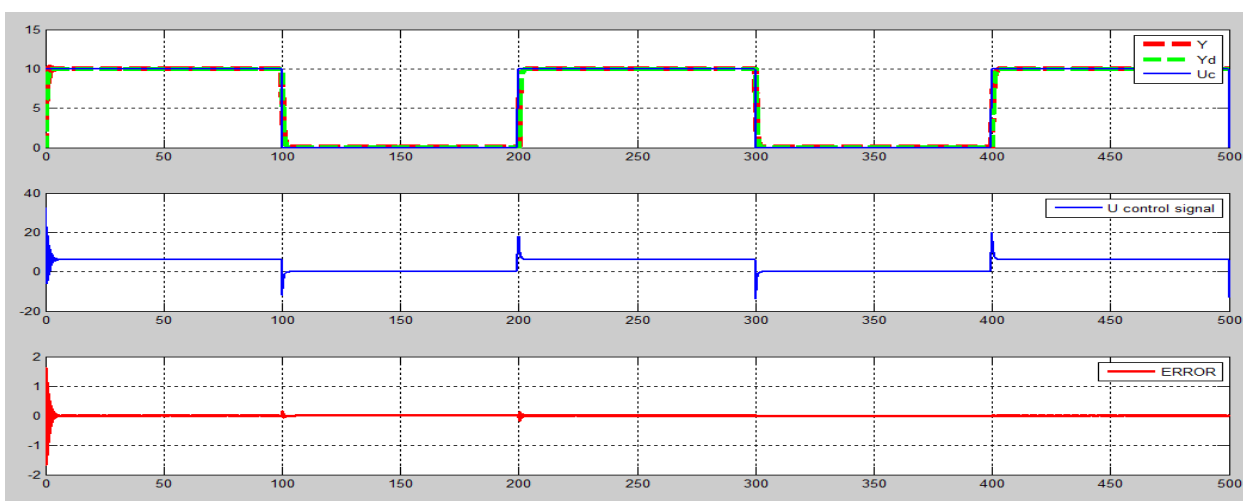
شکل ۶۹

که با توجه با اشکال فوق واضح است ردیابی مطلوب و پایدار است. هم چنین همگرایی پارامترها نیز تقریباً به طور مطلوبی صورت گرفته است.

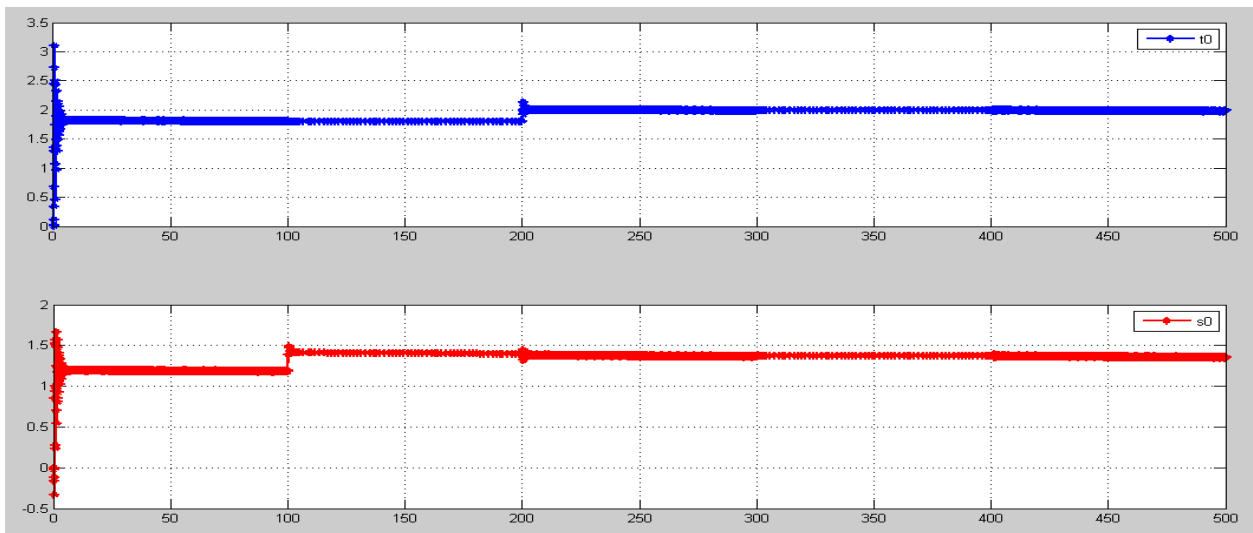
ورودی پالس

$$\gamma_1 = \gamma_2 = 1, U_c = 10$$

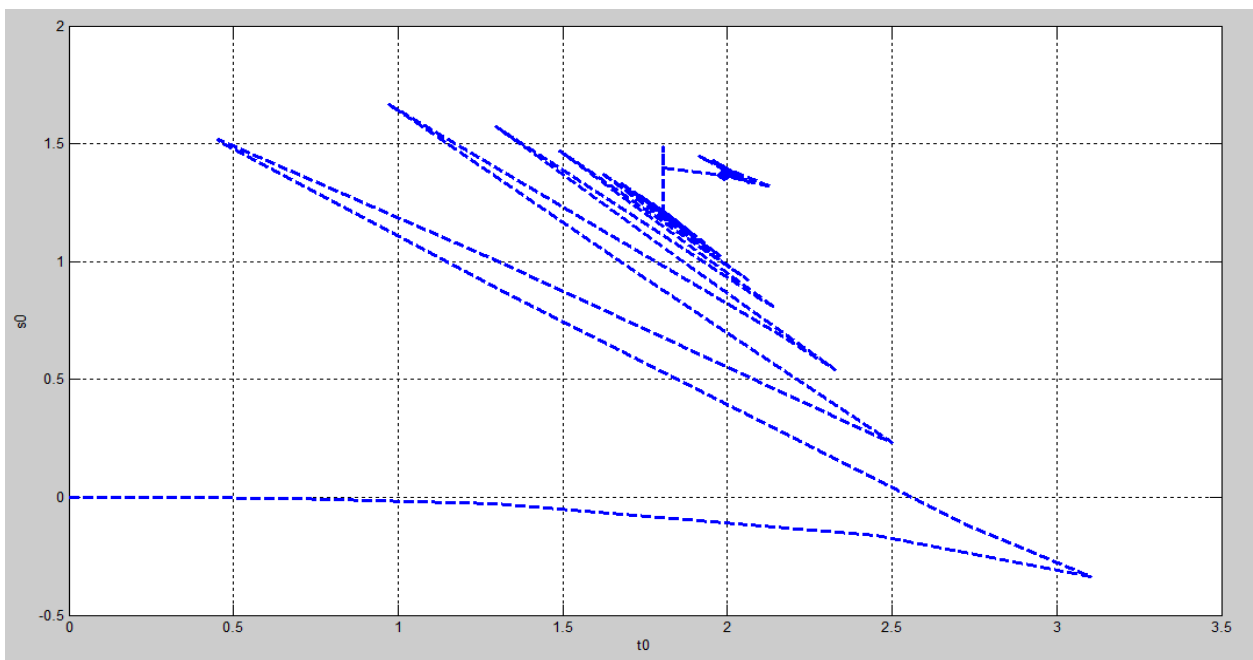
شکل (۷۰) خروجی سیستم کنترل شده، سیستم مطلوب و ورودی، سیگنال کنترلی و خطای به دست آمده را نمایش می دهد. شکل (۷۱) تغییرات پارامترهای کنترلر را نمایش می دهد. شکل (۷۲) نیز رابطه بین پارامترهای کنترلر را نمایش می دهد.



شکل ۷۰



شکل ۷۱

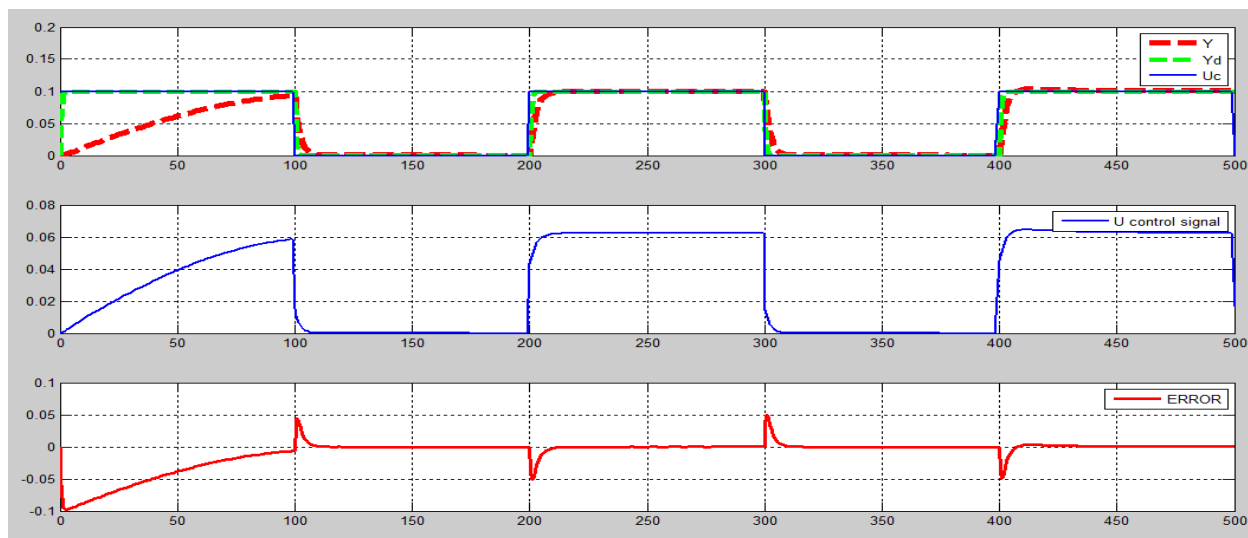


شکل ۷۲

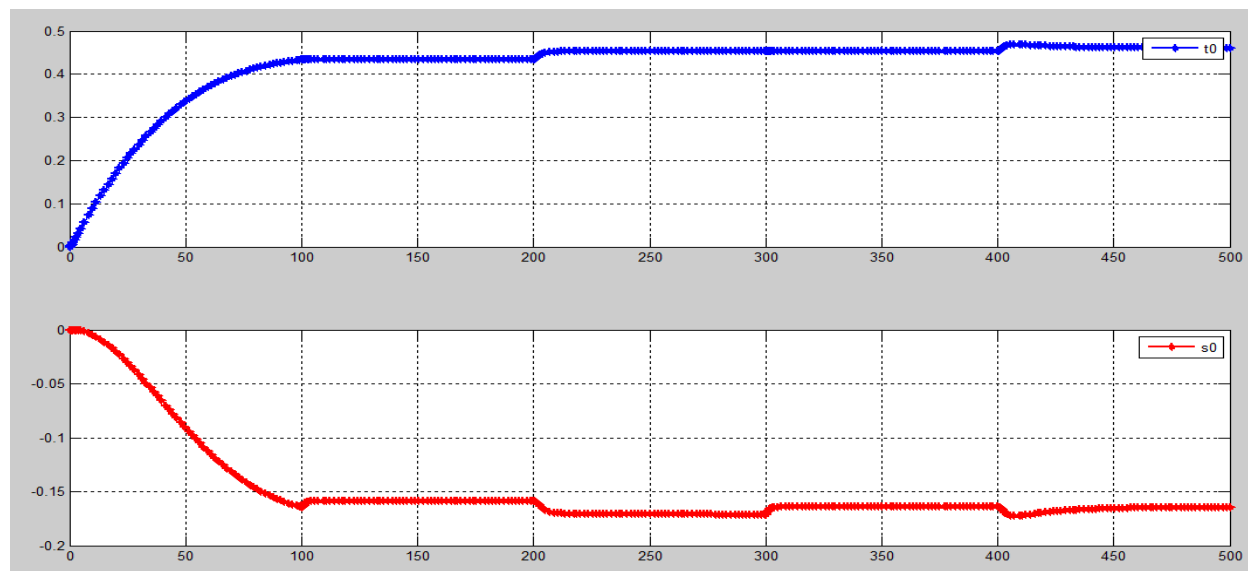
واضح است با افزایش دامنه UC همگرایی سریع تر و مطلوب تر صورت می‌پذیرد و ردیابی نیز به طور مناسبی صورت پذیرفته است.

$$\gamma_1 = \gamma_2 = 1, U_c = 0.1$$

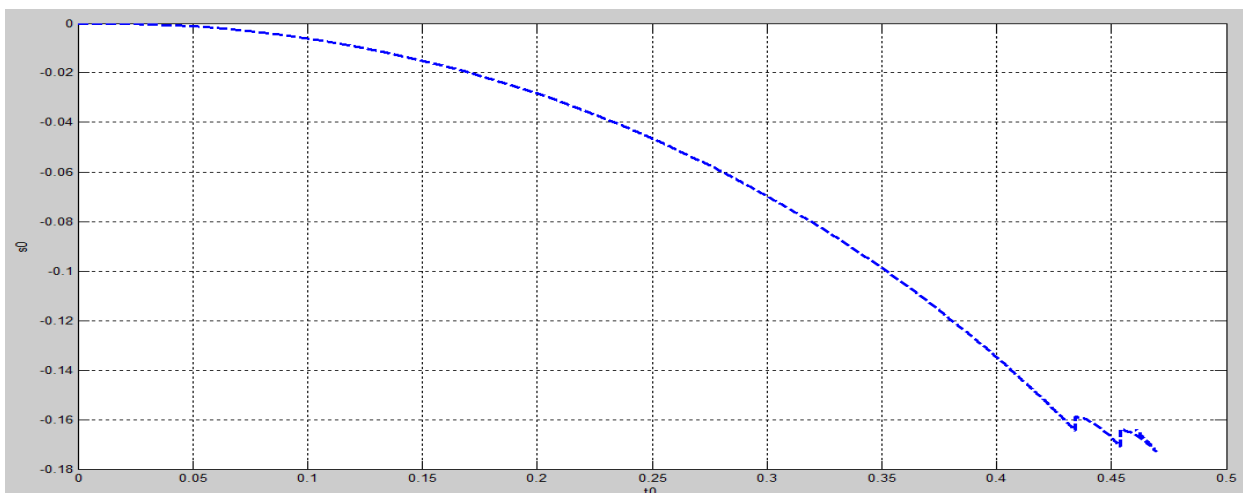
شکل (۷۳) خروجی سیستم کنترل شده، سیستم مطلوب و ورودی، سیگنال کنترلی و خطای به دست آمده را نمایش می دهد. شکل (۷۴) تغییرات پارامترهای کنترلر را نمایش می دهد. شکل (۷۵) نیز رابطه بین پارامترهای کنترلر را نمایش می دهد.



شکل ۷۳



شکل ۷۴



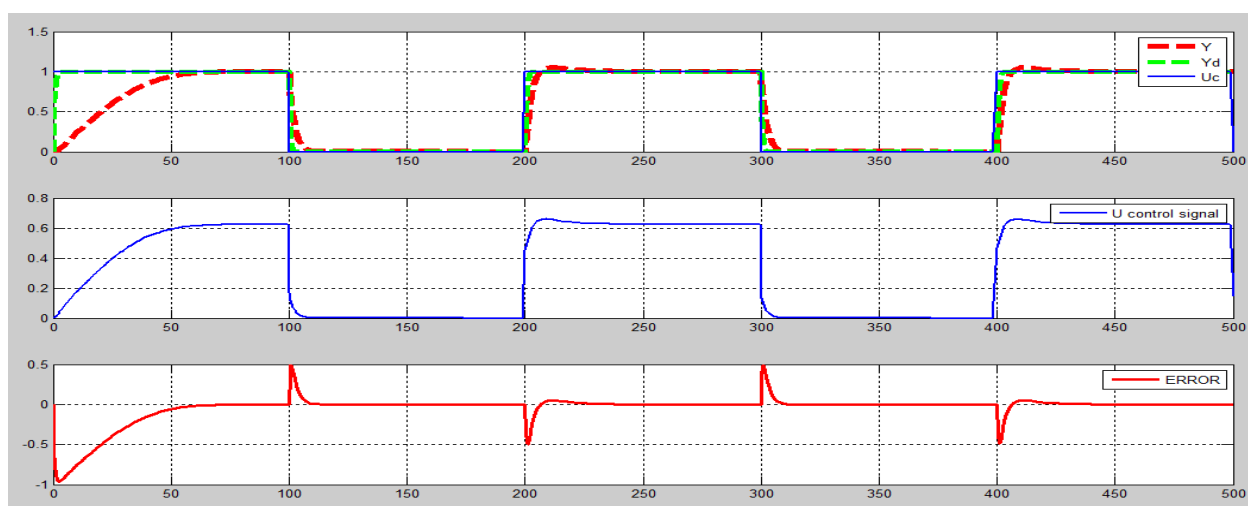
شکل ۷۵

با توجه با اشکال فوق واضح است ردیابی در ابتدا از حالت مطلوب فاصله داشته و همگرایی پارامترهای کنترلر کندتر صورت می‌پذیرد، اما در ادامه این ردیابی مناسب تر گشته و خطا نیز کمتر می‌گردد.

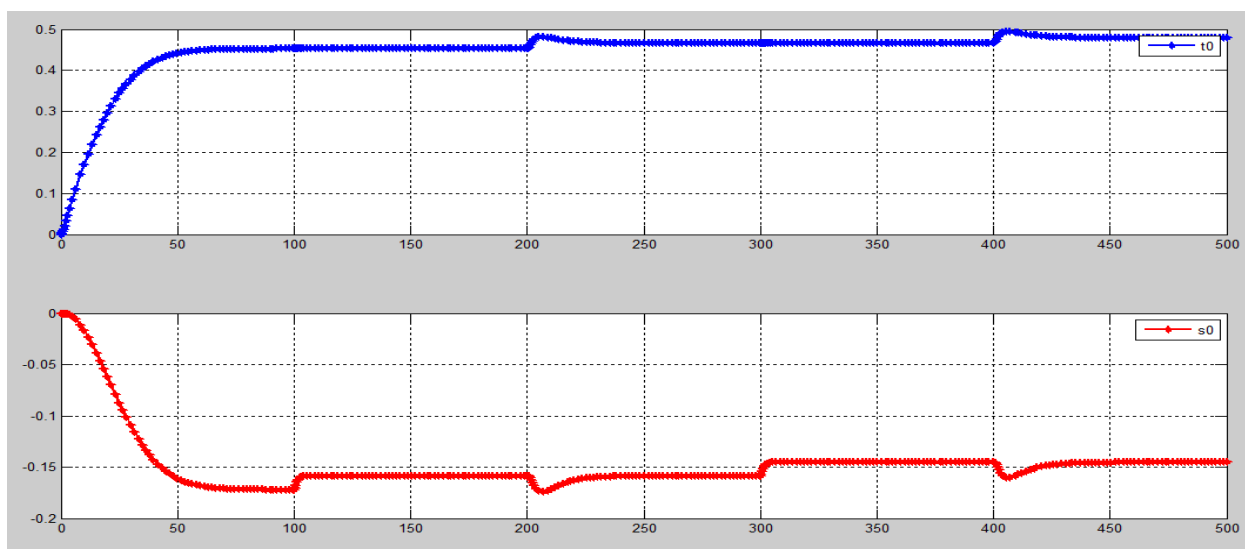
ورودی پالس

$$\gamma_1 = \gamma_2 = 0.02, U_c=1$$

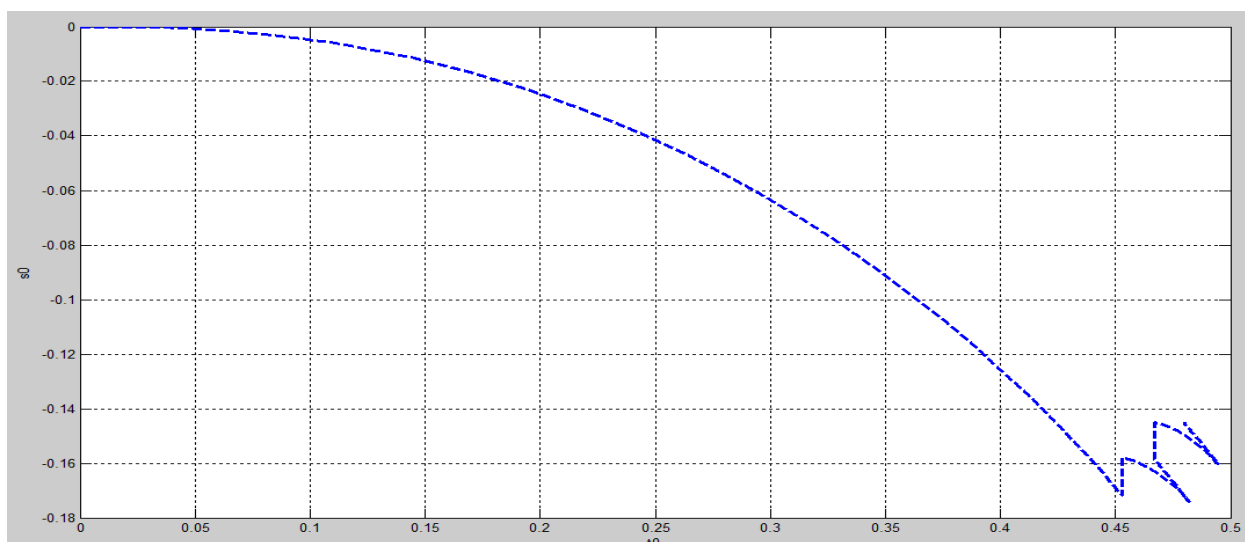
شکل (۷۶) خروجی سیستم کنترل شده، سیستم مطلوب و ورودی، سیگنال کنترلی و خطای به دست آمده را نمایش می‌دهد. شکل (۷۷) تغییرات پارامترهای کنترلر را نمایش می‌دهد. شکل (۷۸) نیز رابطه بین پارامترهای کنترلر را نمایش می‌دهد.



شکل ۷۶



شکل ۷۷



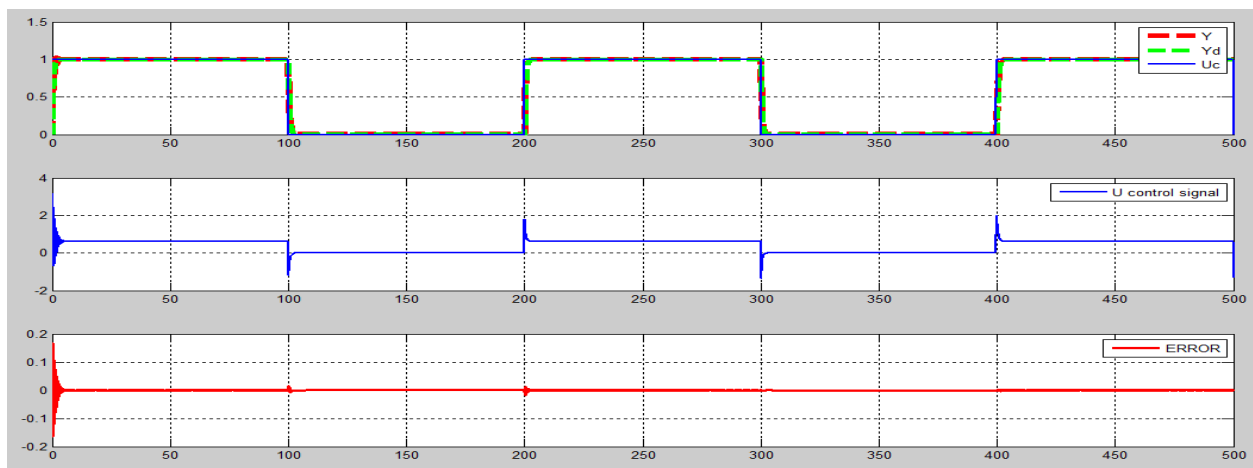
شکل ۷۸

واضح است با کمتر شدن مقدار γ همگرایی کندتر و ردیابی مطلوب دیرتر صورت می‌پذیرد.

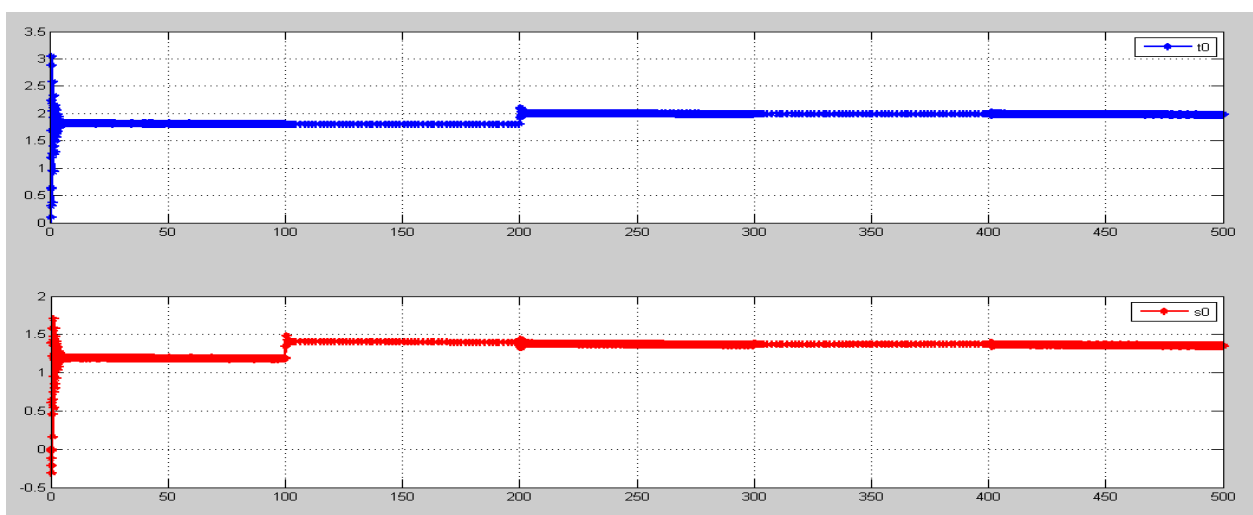
ورودی پالس

$$\gamma_1 = \gamma_2 = 100, U_c = 1$$

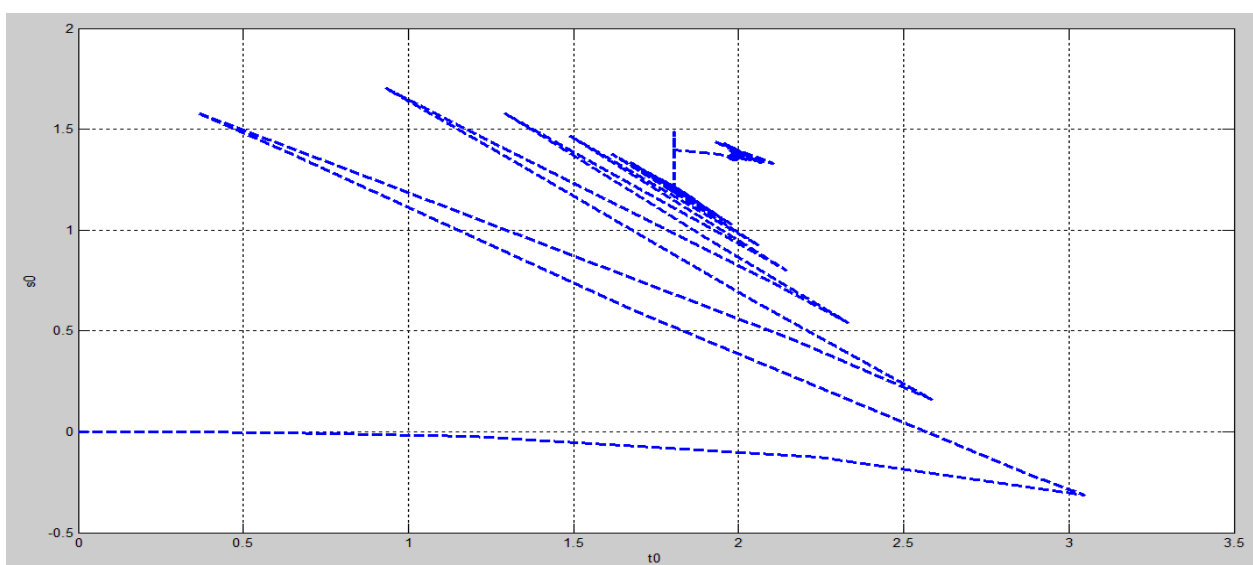
شکل (۷۹) خروجی سیستم کنترل شده، سیستم مطلوب و ورودی، سیگنال کنترلی و خطای به دست آمده را نمایش می‌دهد. شکل (۸۰) تغییرات پارامترهای کنترل را نمایش می‌دهد. شکل (۸۱) نیز رابطه بین پارامترهای کنترل را نمایش می‌دهد.



شکل ۷۹



شکل ۸۰



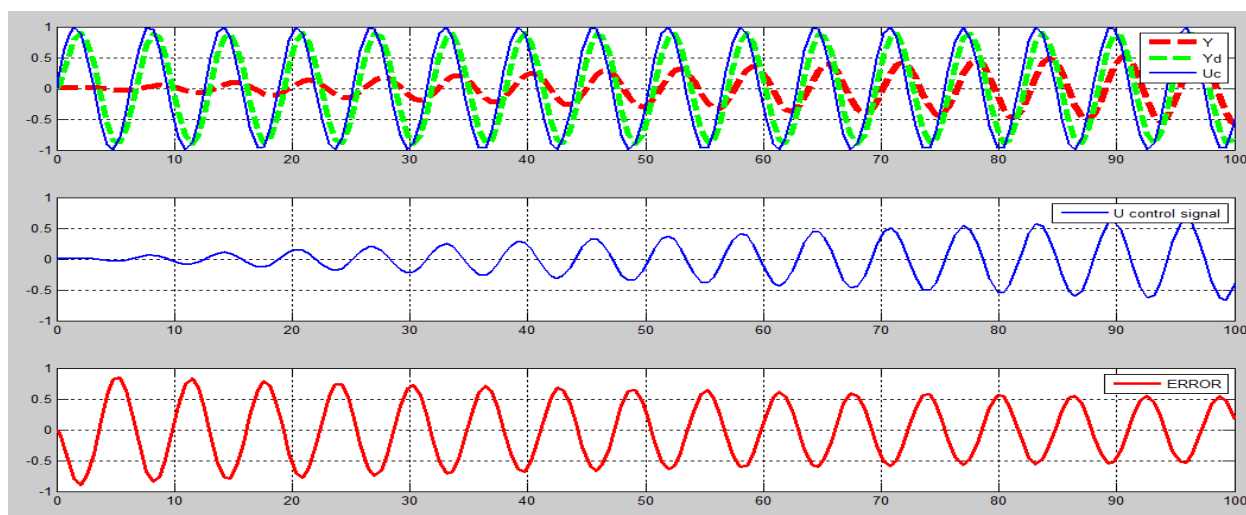
شکل ۸۱

با توجه به نتایج به دست آمده از این قسمت می توان گفت با افزایش دامنه U_c و γ همگرایی مطلوب تر سریع تر صورت می پذیرد و از آن جایی که طراحی به روش لیپانف صورت گرفته پایداری نیز از بین نمی رود.

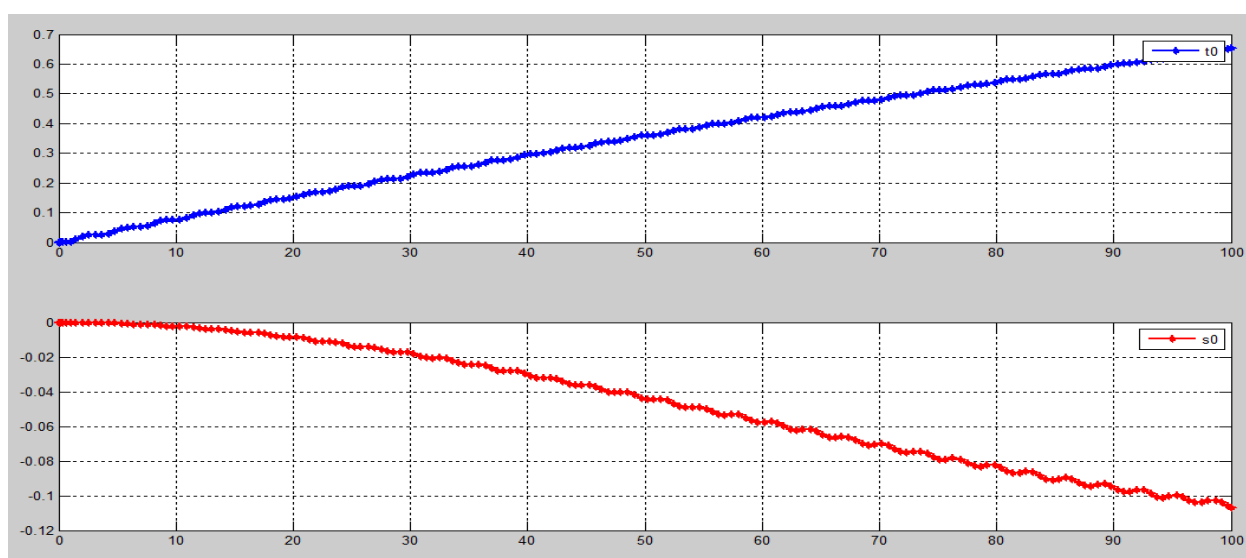
ورودی سینوسی

$$\gamma_1 = \gamma_2 = 0.02, U_c = \text{frequency} = 1$$

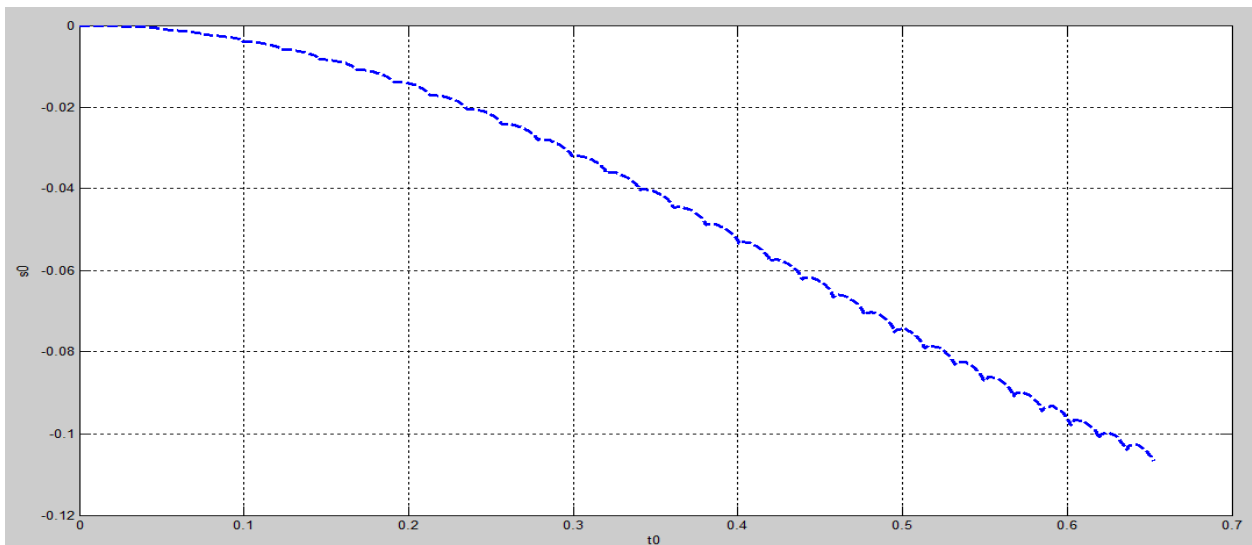
شکل (۸۲) خروجی سیستم کنترل شده، سیستم مطلوب و ورودی، سیگنال کنترلی و خطای به دست آمده را نمایش می دهد. شکل (۸۳) تغییرات پارامترهای کنترلر را نمایش می دهد. شکل (۸۴) نیز رابطه بین پارامترهای کنترلر را نمایش می دهد.



شکل ۸۲



شکل ۸۳



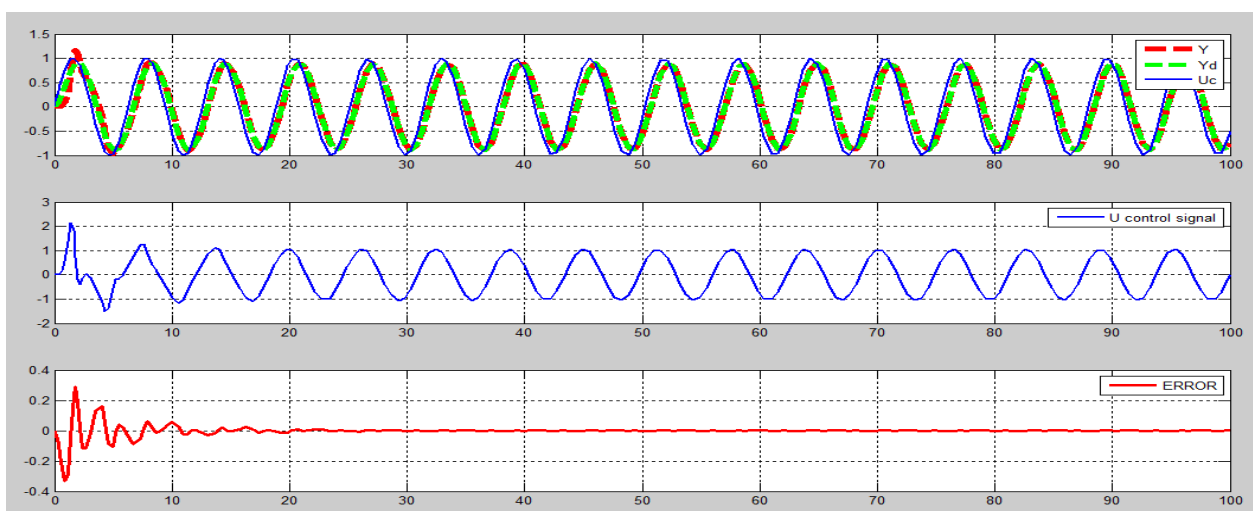
شکل ۸۴

با توجه به اشکال فوق واضح است با کاهش مقدار γ همگرایی پارامترهای کنترلر بسیار کندتر و ردیابی مطلوب دیرتر صورت می‌پذیرد.

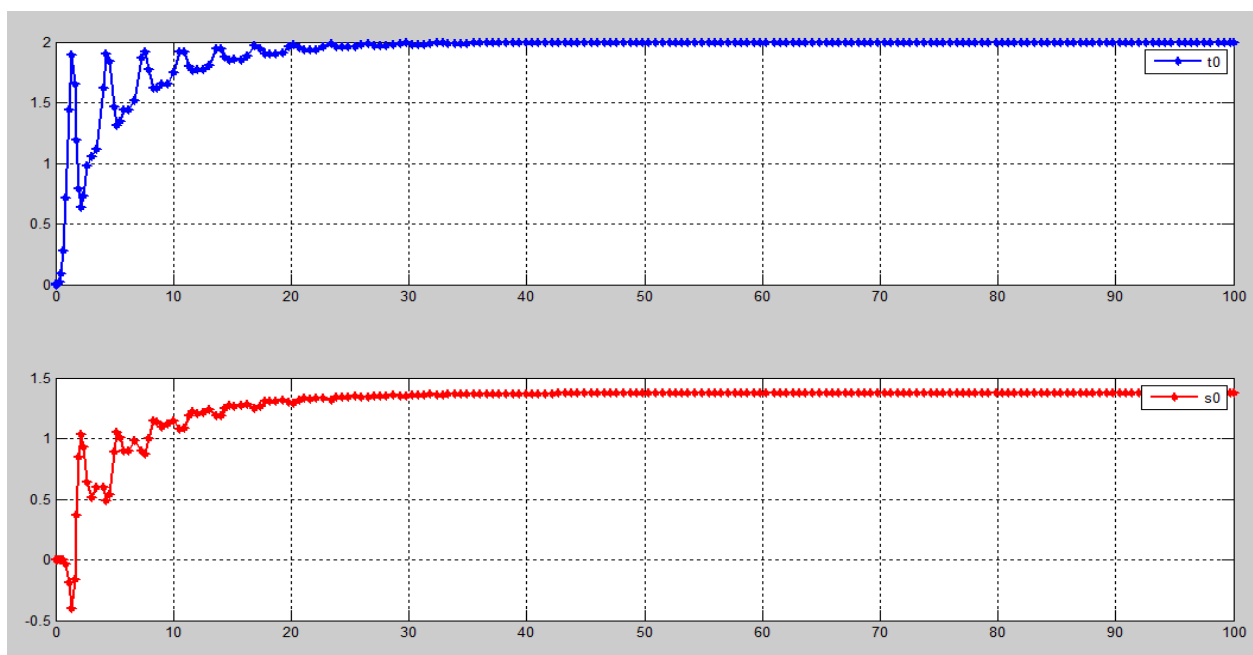
ورودی سینوسی

$$\gamma_1 = \gamma_2 = 10, U_c = \text{frequency} = 1$$

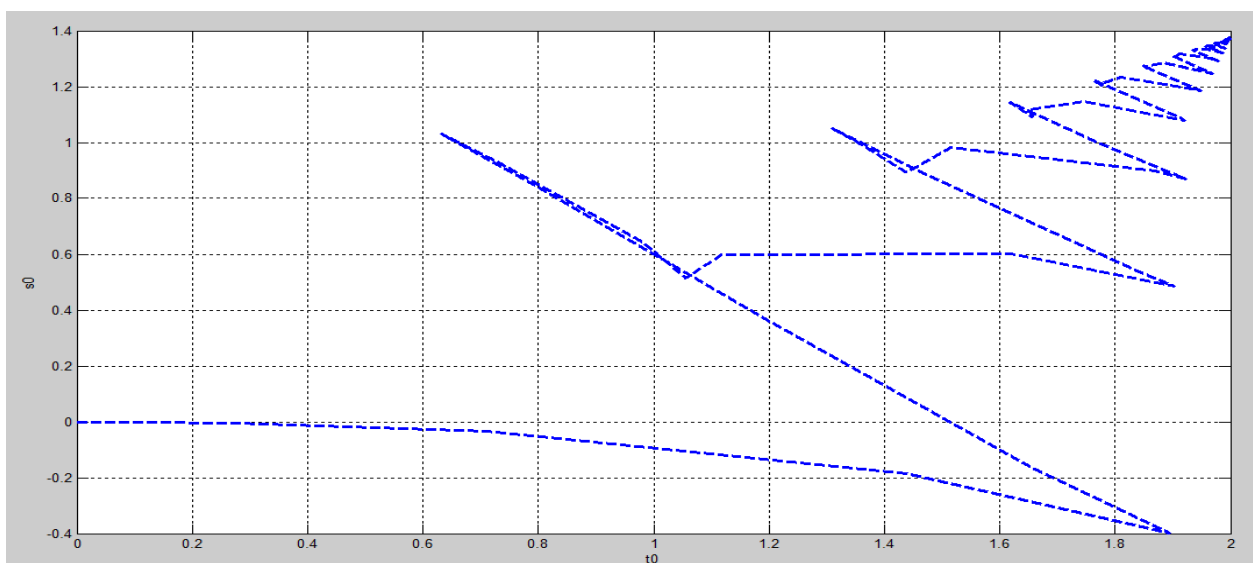
شکل (۸۵) خروجی سیستم کنترل شده، سیستم مطلوب و ورودی، سیگنال کنترلی و خطای به دست آمده را نمایش می‌دهد. شکل (۸۶) تغییرات پارامترهای کنترلر را نمایش می‌دهد. شکل (۸۷) نیز رابطه بین پارامترهای کنترلر را نمایش می‌دهد.



شکل ۸۵



شکل ۸۶

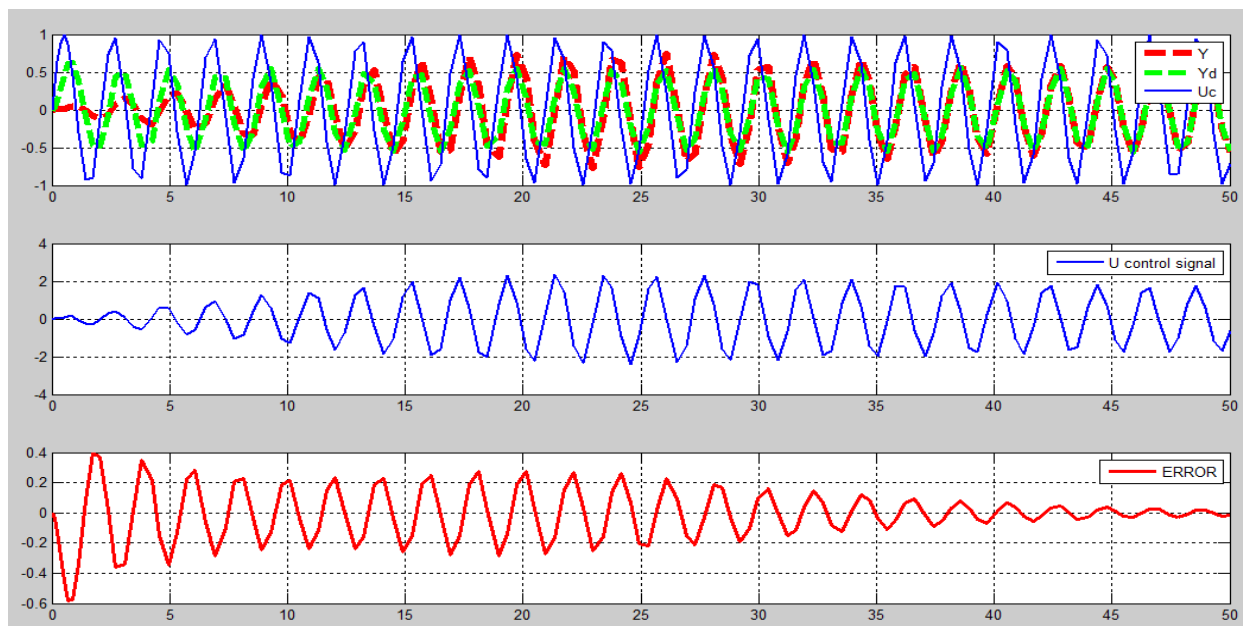


شکل ۸۷

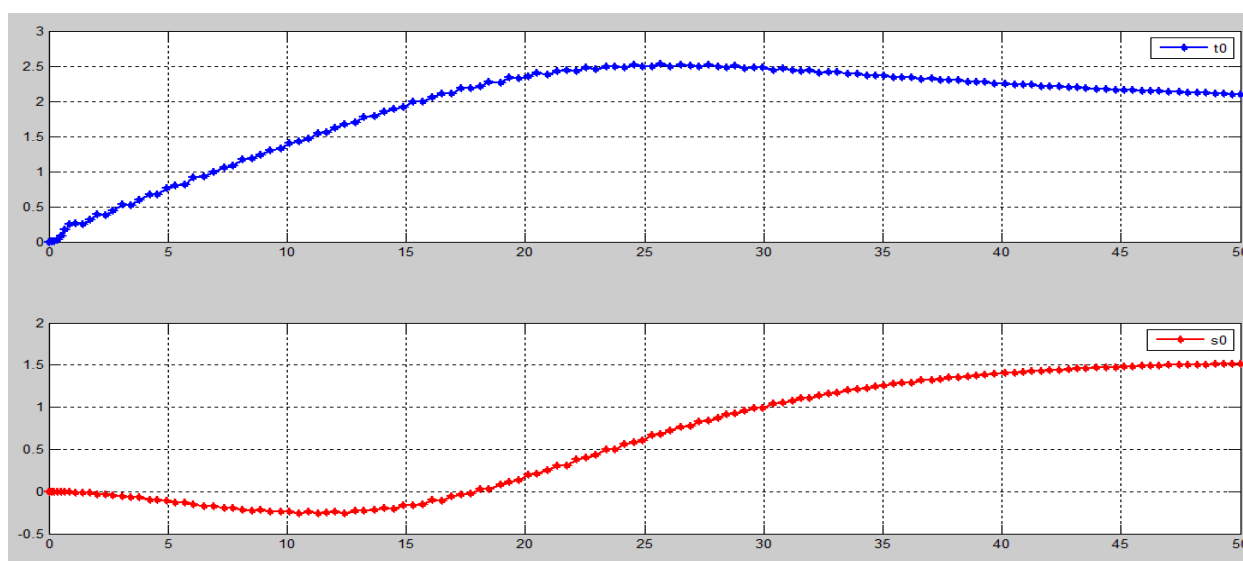
اشکال فوق نشان می‌دهد با افزایش مقدار γ همگرایی پارامترها بسیار سریع تر صورت گرفته و ردیابی نیز مطلوب بوده، خروجی پایدار و خطا نیز بسیار کم می‌باشد.

$$\gamma_1 = \gamma_2 = 1, U_c = \text{frequency} = 5$$

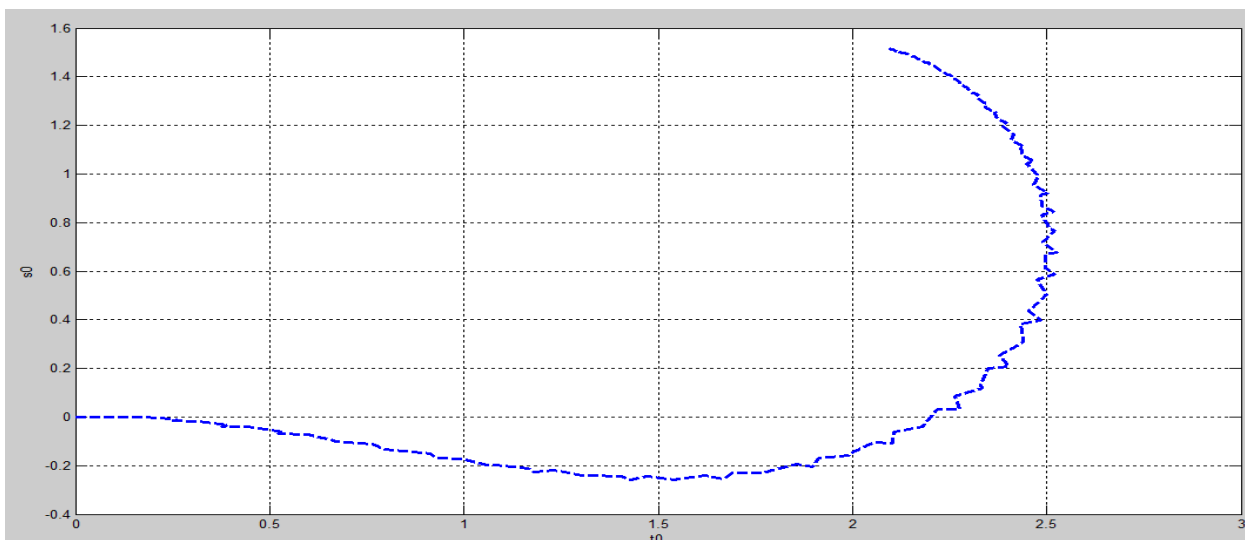
شکل (۸۸) خروجی سیستم کنترل شده، سیستم مطلوب و ورودی، سیگنال کنترلی و خطای به دست آمده را نمایش می دهد. شکل (۸۹) تغییرات پارامترهای کنترلر را نمایش می دهد. شکل (۹۰) نیز رابطه بین پارامترهای کنترلر را نمایش می دهد.



شکل ۸۸



شکل ۸۹



شکل ۹۰

از اشکال فوق می‌توان نتیجه گرفت با افزایش فرکانس نیز ردیابی و همگرایی بهتری صورت می‌پذیرد.

نتیجه‌گیری: به طور کلی در طراحی به روش لیپانوف با افزایش مقدار γ یا فرکانس نوسان همگرایی پارامترهای کنترلر سریع‌تر صورت پذیرفته و به ردیابی مطلوب نزدیک‌تر می‌گردد. لازم به ذکر است از آن جایی که در طراحی به این روش از تابع لیپانوف استفاده می‌گردد این روش پایداری ذاتی داشته و به صورت ناپایدار در نمی‌آید.

۵. بررسی سیگنال کنترل

با توجه به نتایج شبیه سازی واضح است سیگنال کنترلی در لحظات تغییر ورودی تغییر می‌کند که با هر تغییر این سیگنال کنترلی ممکن است جهشی داشته باشد. در روش گرادیان این جهش به وضوح در حالت هایی که γ یا U_c زیاد است مشاهده می‌گردد اما در روش های نرمالیزه و لیپانوف این جهش ها کمتر مشاهده می‌گردد. هم چنین باید دقت داشت که روش لیپانوف روشی پایدار است.

این جهش ها ممکن است در صورتی که مقدار حداکثر را داشته باشد، عملکرد سیستم را حلقه باز کرده و از آن جایی که ممکن است در حالت حلقه باز وضعیت ناپایداری پدید آید مناسب نمی باشد. هم چنین ممکن است در صورتی که مقدار سیگنال کنترلی بسیار زیاد می‌گردد عملکرد قابلیت اجرای فرامین کنترلی را نداشته باشد و این حالت هم عمر کنترلر را کم کرده و هم عمر عملگر را کاهش می‌دهد.

۶. حس فیزیکی از پلانت

هدف کنترل ارتفاع مایع درون تانک (خروجی) و قرار دادن آن در یک سطح مطلوب است. می‌خواهیم مایع درون تانک رفتار مورد نظر کاربر (مدل مرجع) را دنبال کند. مایع از یک لوله با فلوی D_1 به داخل تانکی به سطح مقطع A می‌ریزد. ارتفاع مایع درون تانک در هر لحظه برابر h بوده و خروجی مخزن توسط یک شیر با فلوی D_2 کنترل می‌شود. اگر $D_1 = D_2$ ارتفاع مایع داخل مخزن تغییر نمی‌کند. اگر $D_2 > D_1$ پس از مدتی مخزن خالی خواهد شد. بنابراین D_2 نمی‌تواند بیشتر از فلوی ورودی باشد. لوله‌ها در برابر عبور جریان مقاومتی دارند که به صورت رابطه ۳-۱۸ تعریف می‌شود. در این رابطه H ارتفاع مایع درون تانک و D فلوی عبوری از لوله‌هاست و $D = KH$ و K ثابت است.

$$R = \frac{dH}{dD} = \frac{H}{D}$$

تغییر جریان ورودی و خروجی نسبت به حالت ماندگار به ترتیب به صورت d_2 و d_1 و تغییر ارتفاع نسبت به حالت ماندگار با h نمایش داده می‌شوند. بنابراین

$$C \times dh = (d_1 - d_2)dt, d_2 = \frac{h}{d}, RC \frac{dh}{dt} + h = Rd_1$$

$$(RCs + 1)H(s) = RD_1(s) \rightarrow RCy = -y + Ru \rightarrow y = -\frac{1}{RC}y + \frac{1}{C}u$$

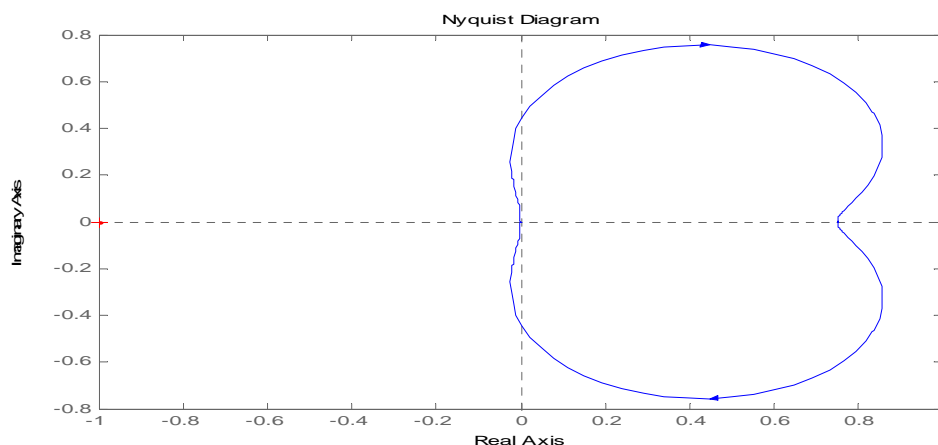
در این مقاله ظرفیت مخزن واحد و مقاومت لوله $0.625/RC$ و RC ثابت زمانی سیستم است.

۷. طراحی یک MRAS پایدار بر اساس تئوری Passivity

برای حل مسئله سیستم درجه دومی به صورت رابطه ۳-۲۱ در نظر می‌گیریم.

$$G(s) = \frac{s + 3}{s^2 + 2s + 4}$$

منحنی نایکویست سیستم مذکور مطابق شکل (۹۱) می‌باشد:



شکل ۹۱

نمی باشد چون SPR با توجه به نمودار نایکویست سیستم مشخص می گردد که سیستم که سیستم مورد بحث، دارای قسمت حقیقی منفی است. در این سیستم قصد داریم بر اساس تئوری پسیویتی کنترلر $G(j\omega)$ بخشی از نبودن آن را SPRکننده تطبیقی ای را طراحی کنیم که به کمک آن سیستم مدل مطلوب را ردیابی نماید. مشکل

حل نمود و سپس بتوان مکانیزم تطابق را بر روی $G_c(s) = \frac{C(s)}{B(s)}$ می توان توسط یک پیش جبران ساز ساده مجموعه به دست آمده پیاده سازی کرد.

. برای محاسبه جبران ساز ابتدا مدل فضای حالت سیستم را به دست می آوریم. داریم:

$$A = \begin{bmatrix} -2 & -2 \\ 2 & 0 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 2 \\ 0 \end{bmatrix}, C = [0.5 \quad 0.75], D = 0$$

با در نظر گرفتن $Q = -I$ و حل معادله لیاپانوف داریم:

$$A^T P + P A = -Q \rightarrow P = \begin{bmatrix} 0.5 & 0.25 \\ 0.25 & 0.75 \end{bmatrix}$$

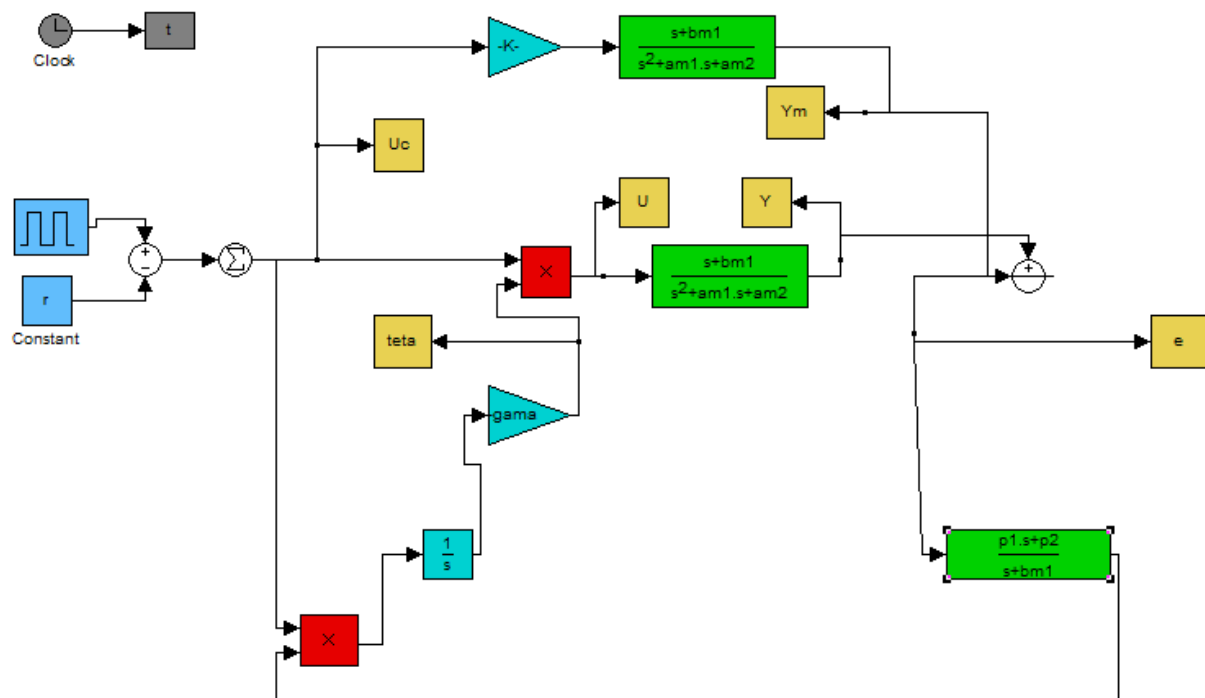
ضرایب چند جمله ای C به گونه ای که $\frac{C(s)}{A(s)}$ SPR باشد، عبارتست از سطر اول ماتریس P :

$$C = 0.5s + 0.25$$

در این حالت چندجمله ای جبران ساز به صورت زیر می باشد:

$$G_c = \frac{0.5s + 0.25}{0.25s + 0.75}$$

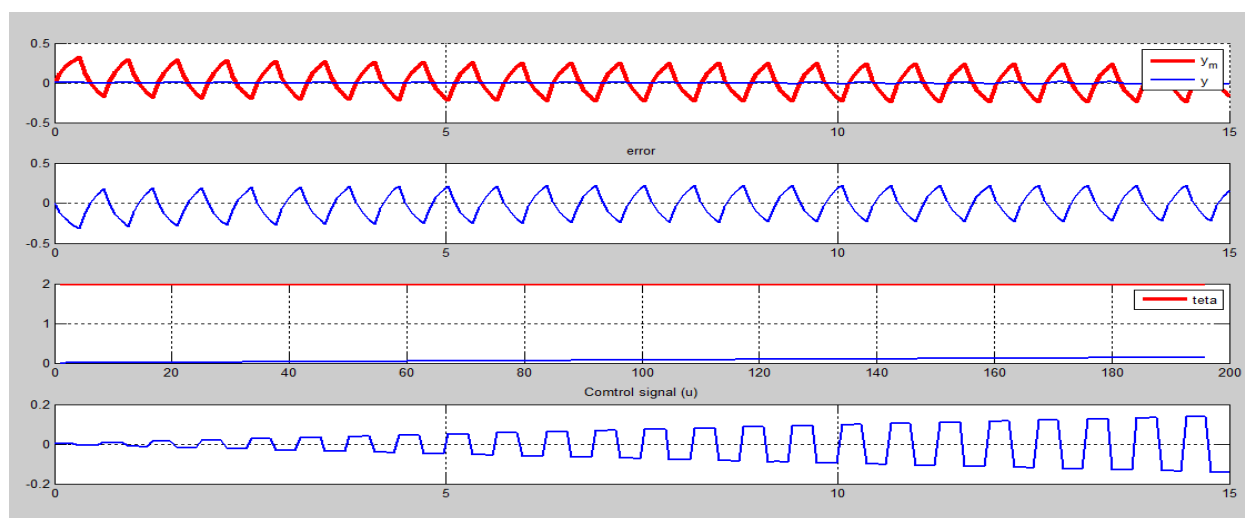
مدل سیمولینک ارائه شده برای این سیستم به صورت شکل (۹۱) می باشد:



شکل ۹۲

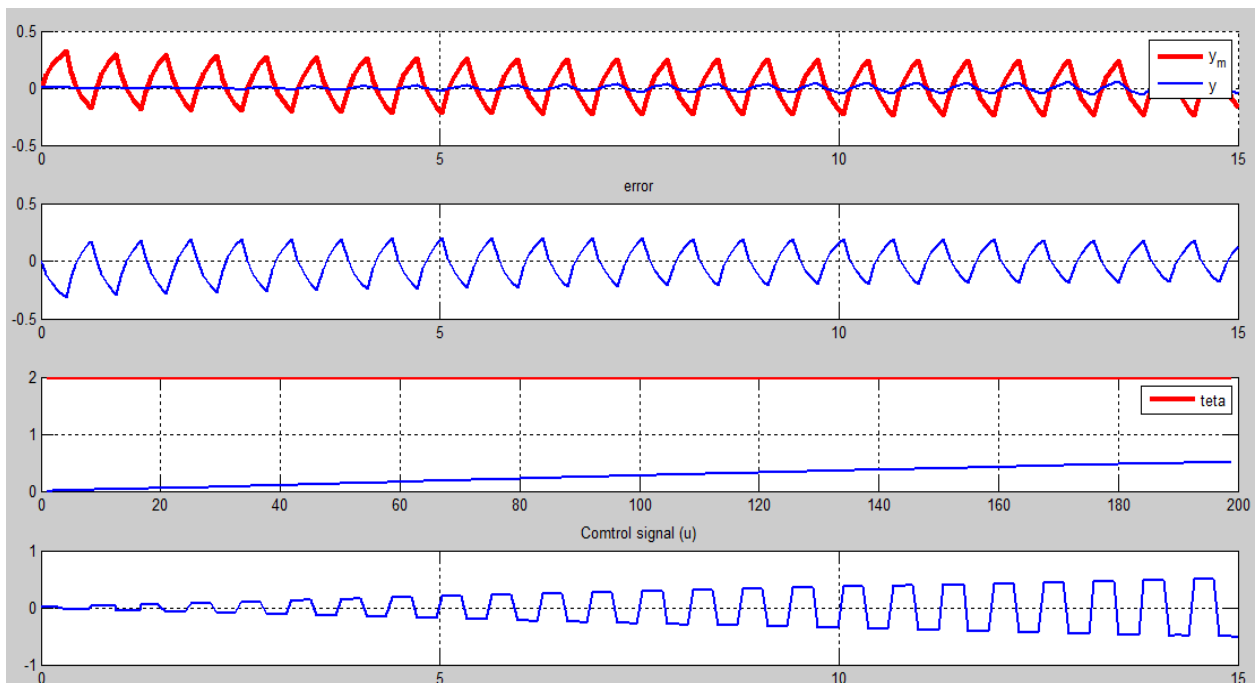
حال اثر تغییر γ را در ردیابی سیستم بررسی می نماییم:

$\gamma=0.25$



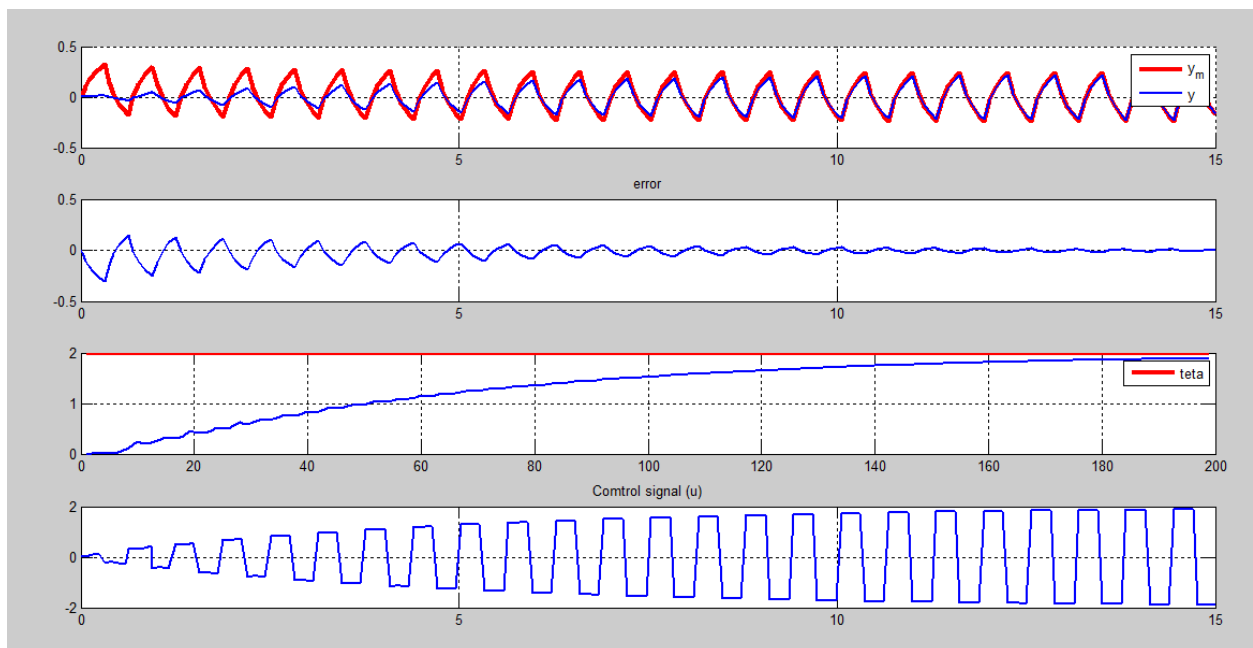
شکل ۹۳

$\gamma=1$



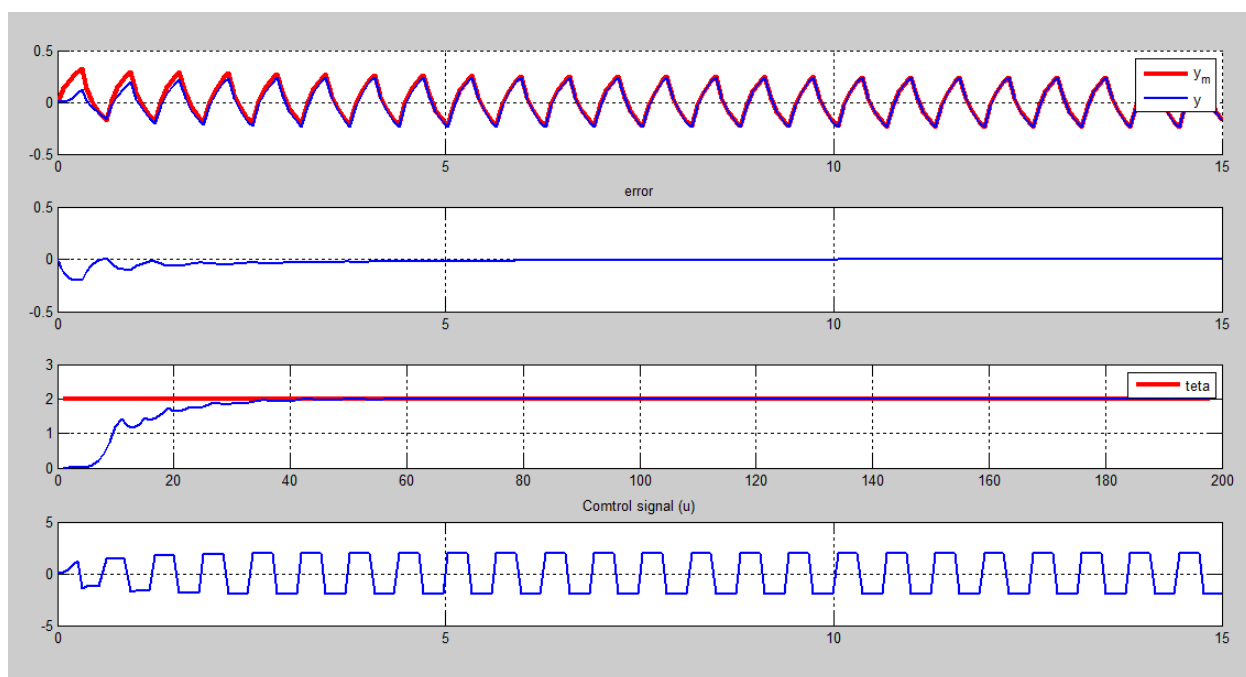
شکل ۹۴

$\gamma=10$



شکل ۹۵

$\gamma=70$



شکل 96

با توجه به شکل های بالا مشاهده می گردد که هر چقدر γ بیشتر گردد ردیابی خروجی سیستم بهبود بخشیده شده و سرعت همگرایی سیستم افزایش می یابد. ولی در عوض سیگنال کنترلی دارای نوسانات بیشتری شده است.