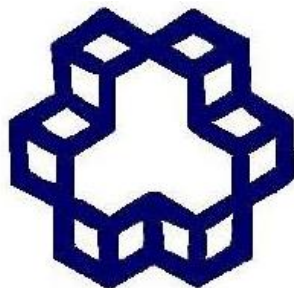


به نام یزدان پاک



*K.N.Toosi University Of Technology*  
*Faculty Of Electrical Engineering*

پروژه ششم درس کنترل تطبیقی

## کنترل کننده‌های PID خود تنظیم

استاد: دکتر علی خاکی صدیق

یزدان باتمانی

در این پروژه قصد داریم تا با روش‌های تنظیم پارامترهای کنترلرهای PID آشنا شویم. برای انجام شبیه‌سازی‌ها از سیستم با تابع تبدیل زیر استفاده خواهیم کرد:

$$H(s) = \frac{2e^{-s}}{(s+1)(s+2)}$$

۱. ابتدا با استفاده از روش زیگلر نیکولز حلقه باز پارامترهای کنترلر PID را بدست می‌آوریم. همان طور که می‌دانیم در این روش ابتدا یک سیگنال پله به عنوان ورودی به سیستم اعمال می‌شود و سپس با توجه به پاسخ سیستم مدل مرتبه اولی بصورت تقریبی برای سیستم استخراج خواهد شد. فرض کنید که این تابع تبدیل تقریبی بصورت زیر باشد:

$$G(s) = \frac{K}{1+sT} e^{-Ls}$$

سپس با توجه به پارامترهای مدل تقریبی و با توجه به جدول I پارامترهای کنترل‌کننده PID تعیین خواهند شد.

جدول I: تنظیم پارامترهای کنترلر PID با استفاده از روش زیگلر نیکولز حلقه باز.

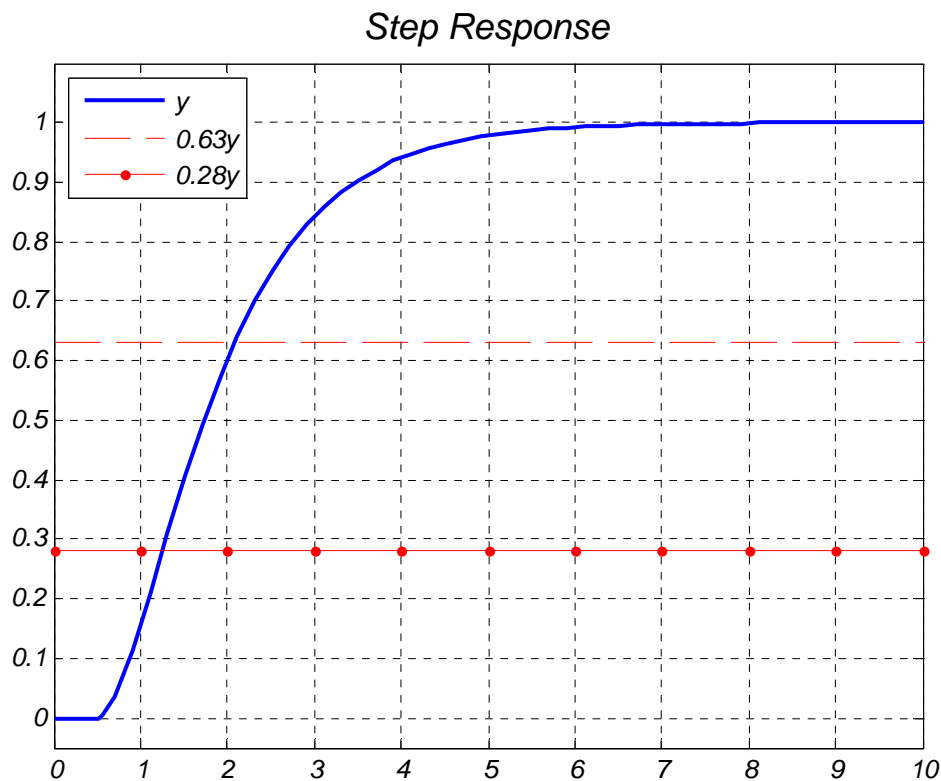
Controller	$K_c$	$T_i$	$T_d$
P	$1/a$		
PI	$0.9/a$	$3L$	
PID	$1.2/a$	$2L$	$L/2$

برای تعیین پارامترهای  $L$ ,  $K$  و  $T$  می‌توان از روابط زیر استفاده کرد.

$$K = \frac{y_{\infty}}{r}, L = t_0, T = 1.5(t_{0.63} - t_{0.28}), \alpha = \frac{L}{T}$$

که در آن  $r$  دامنه سیگنال پله اعمال شده،  $y_{\infty}$  مقدار نهایی خروجی،  $t_0$  مدت زمانی که خروجی تقریباً صفر است،  $t_{0.63}$  مدت زمانی که خروجی به 63% مقدار نهایی خود می‌رسد و  $t_{0.28}$  مدت زمانی که خروجی

به 28% مقدار نهایی خود می‌رسد، می‌باشند. در شکل (۱) پاسخ سیستم به ورودی پله نشان داده شده است.



شکل (۱): پاسخ سیستم به ورودی پله با دامنه واحد.

با توجه به این شکل، مقادیر زیر برای پارامترها بدست آورده می‌شوند:

$$K = \frac{1}{1} = 1$$

$$L = 0.52$$

$$T = 1.5(2.1 - 1.25) = 1.275$$

$$\alpha = \frac{0.52}{1.275} = 0.4078$$

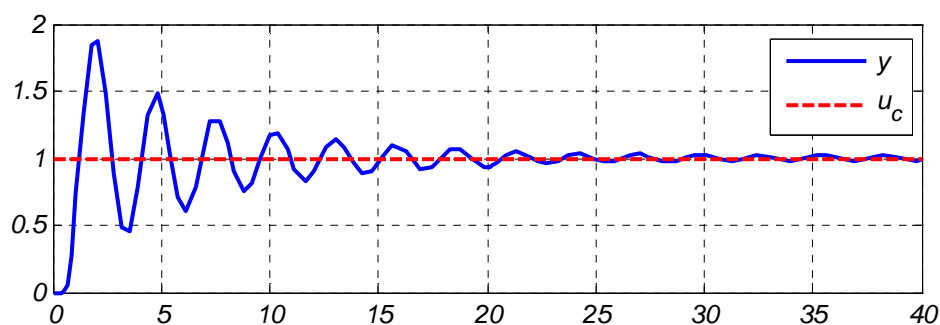
که منجر به تابع تبدیل تقریبی زیر شده است.

$$G(s) = \frac{1}{1 + 1.275s} e^{-0.52s}$$

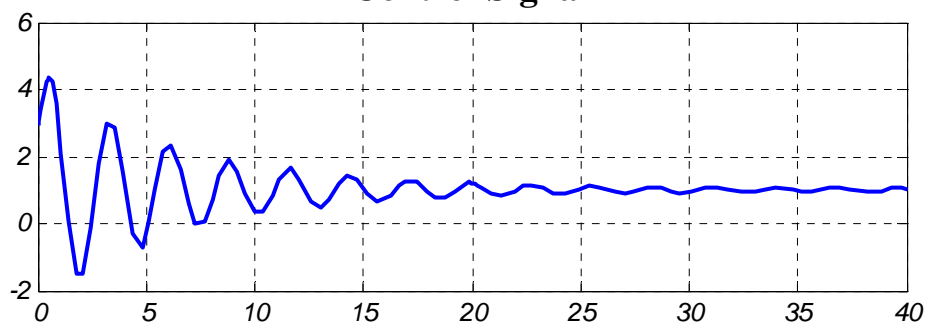
با توجه به جدول I، پارامترهای کنترلر PID بصورت زیر خواهند بود:

$$K_c = \frac{1.2}{0.4078} = 2.9423, T_i = 1.04, T_d = 0.26$$

در شکل (۲) پاسخ پله سیستم با وجود این کنترلر و سیگنال کنترل متناظر با آن آورده شده است.



**Control Signal**

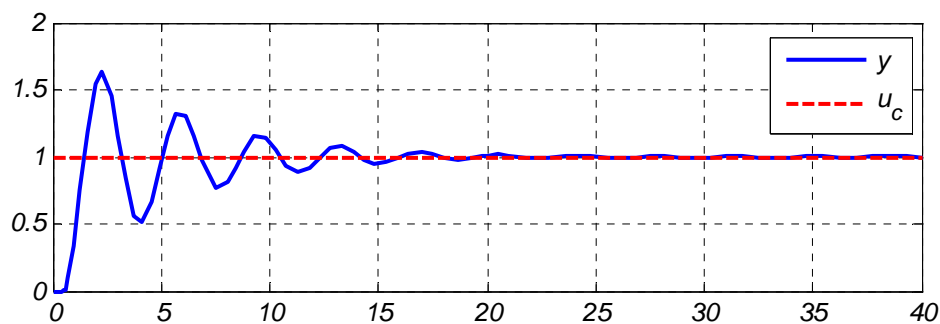


شکل (۲): پاسخ پله سیستم با وجود کنترلر PID با روش زیگلر نیکولز حلقه باز و سیگنال کنترل متناظر با آن.

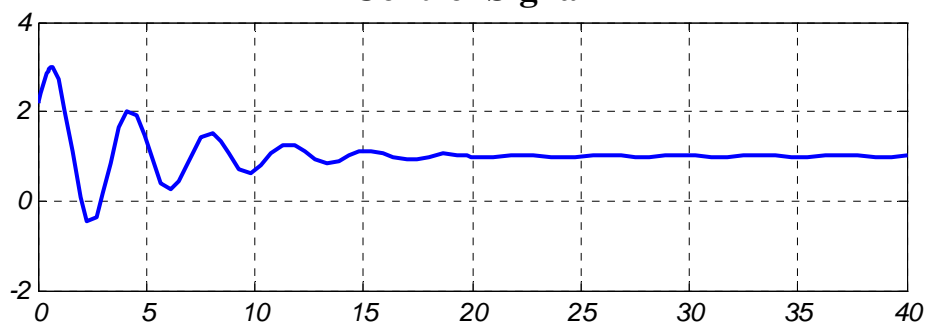
حال برای همین سیستم و با روش زیگلر نیکولز حلقه باز کنترلر PI را طراحی خواهیم کرد. با توجه به جدول I، پارامترهای کنترلر PI بصورت زیر خواهند بود:

$$K_c = \frac{0.9}{0.4078} = 2.2070, T_i = 1.56$$

در شکل (۳) پاسخ پله سیستم با وجود این کنترلر و سیگنال کنترل متناظر با آن آورده شده است.

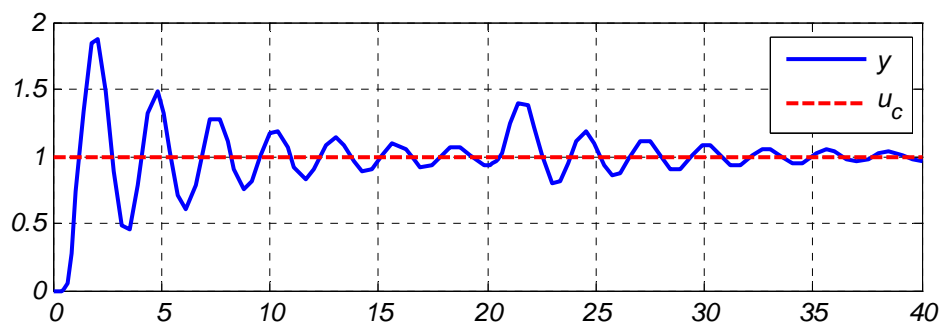


**Control Signal**

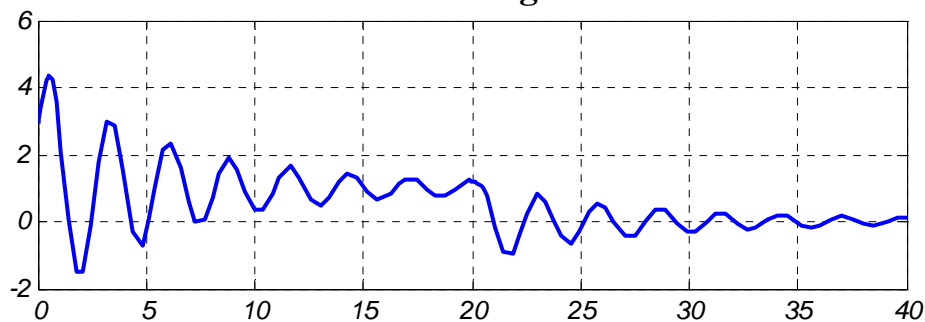


شکل (۳): پاسخ پله سیستم با وجود کنترلر PI با روش زیگلر نیکولز حلقه باز و سیگنال کنترل متناظر با آن.

حال عملکرد این دو کنترلر در برابر اغتشاش پله‌ای ثابت با دامنه یک که در زمان ۲۰ ثانیه در ورودی سیستم ایجاد می‌شود را بررسی می‌کنیم.

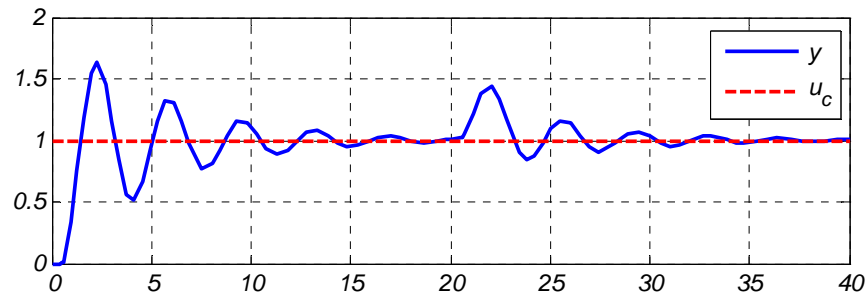


**Control Signal**

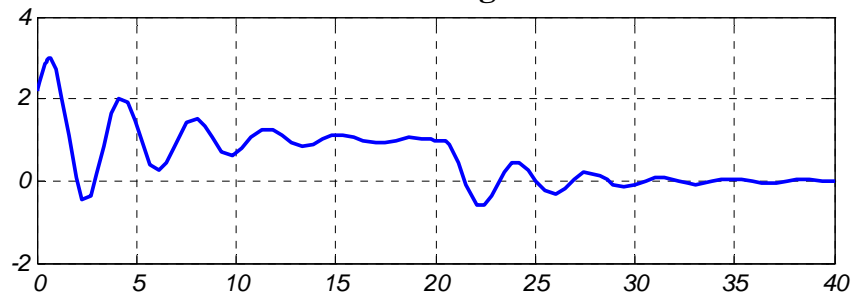


شکل (۴): عملکرد سیستم با وجود کنترلر PID با روش زیگلر نیکولز حلقه باز در حضور اغتشاش و سیگنال کنترل متناظر با آن.

همان طور که مشاهده می‌شود این کنترلر توانایی حذف اثر اغتشاش را دارد.



**Control Signal**



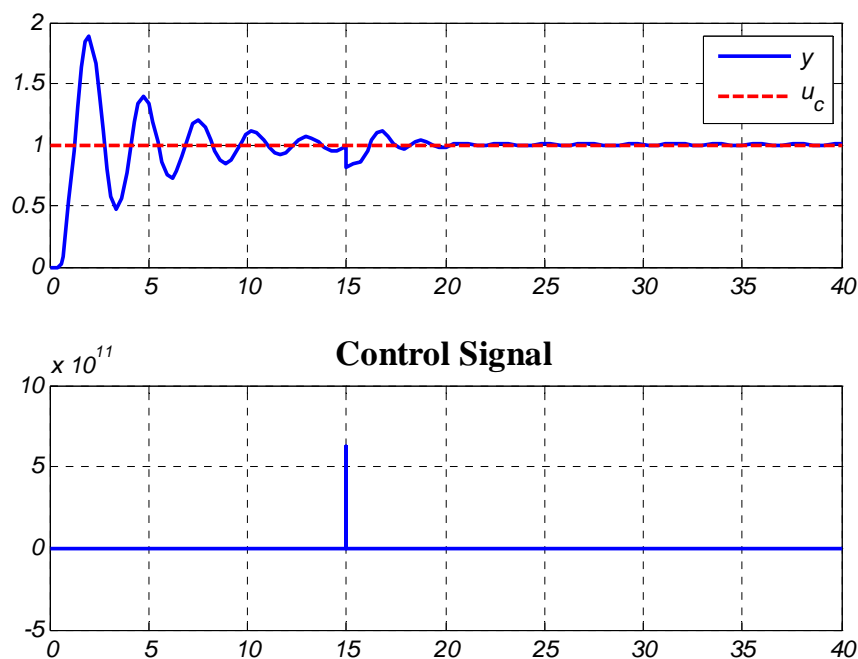
شکل (۵): عملکرد سیستم با وجود کنترلر PI با روش زیگلر نیکولز حلقه باز در حضور اغتشاش و سیگنال کنترل متناظر با آن.

همان طور که مشاهده می‌شود این کنترلر نیز توانایی حذف اثر اغتشاش را دارد.

برای بررسی اثر تغییر پارامترهای بر روی پاسخ سیستم، فرض کنید که در زمان ۱۵ ثانیه تابع تبدیل سیستم بطور ناگهانی بصورت زیر تغییر کند:

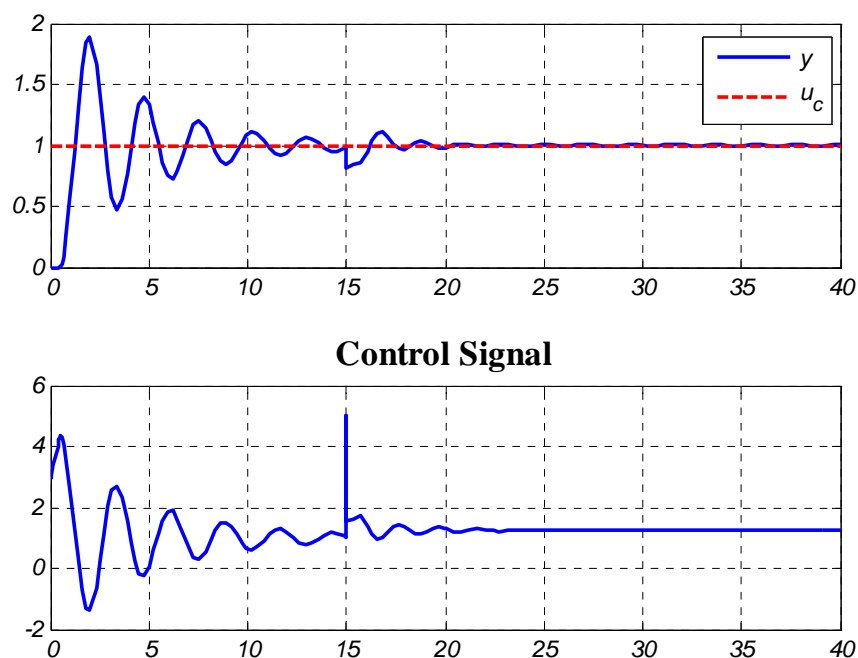
$$H(s) = \frac{4e^{-s}}{(s+1)(s+5)}$$

با وجود کنترلر PID پاسخ سیستم حلقه بسته در شکل (۶) آورده شده است.



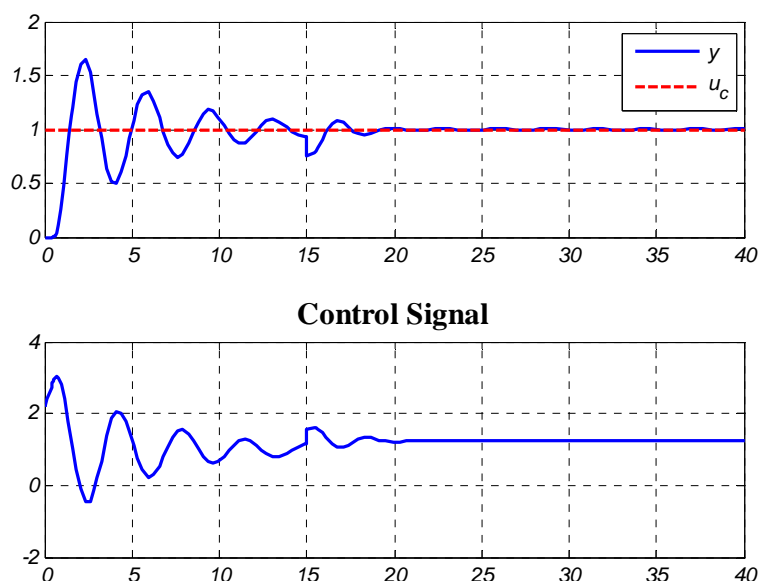
شکل (۶): عملکرد سیستم حلقه بسته با وجود کنترلر PID با روش زیگلر نیکولز حلقه باز در برابر تغییر پارامترهای سیستم و سیگنال کنترل متناظر با آن.

مشاهده می‌شود سیستم در برابر این تغییر پارامتر مقاوم است. اما دامنه سیگنال کنترل بسیار زیاد است که منجر به اشباع در عملگر خواهد شد. با فرض آستانه اشباع ۵ پاسخ سیستم در شکل (۷) آورده شده است.



شکل (۷): عملکرد سیستم حلقه بسته با وجود کنترلر PID با روش زیگلر نیکولز حلقه باز در برابر تغییر پارامترهای سیستم و سیگنال کنترل متناظر با آن با وجود اشباع در عملگر.

در شکل (۸) پاسخ سیستم حلقه بسته با وجود کنترلر PI با روش زیگلر نیکولز حلقه باز در برابر تغییر پارامترهای سیستم و سیگنال کنترل متناظر با آن با وجود اشباع در عملگر آورده شده است.



شکل (۸): عملکرد سیستم حلقه بسته با وجود کنترلر PI با روش زیگلر نیکولز حلقه باز در برابر تغییر پارامترهای سیستم و سیگنال کنترل متناظر با آن با وجود اشباع در عملگر.

مشاهده می‌شود که در این حالت نیز سیستم حلقه بسته توانایی تحمل تغییر در پارامترهای سیستم حلقه باز را داشته است.

۲. در این روش با استفاده از یک فیدبک رله‌ای و ورودی سینوسی، سیستم را به نوسان در آورده و سپس دو پارامتر بهره و پریود بحرانی را محاسبه می‌کنیم. اگر دامنه خروجی رله را با  $d$  و دامنه خروجی فرآیند را با  $a$  نمایش دهیم، بهره بحرانی از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$k_u = \frac{4d}{\pi a}$$

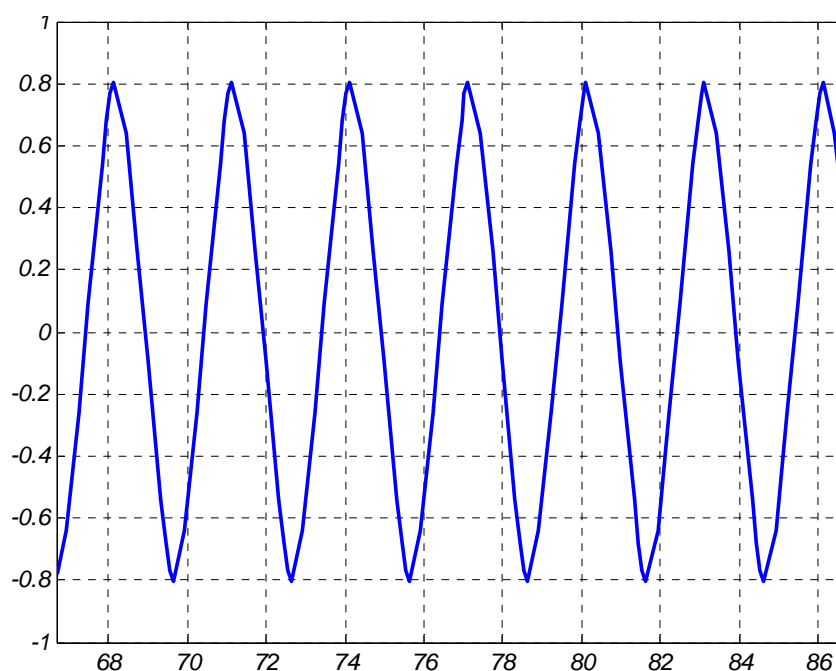
از جدول II برای تنظیم پارامترهای کنترلر می‌توان استفاده کرد:

جدول II: تنظیم پارامترهای کنترلر PID با استفاده از روش زیگلر نیکولز حلقه بسته.

Controller	$K_c$	$T_i$	$T_d$
P	$0.5 K_u$		
PI	$0.4 K_u$	$0.8 P_u$	
PID	$0.6 K_u$	$0.5 P_u$	$0.12 P_u$



برای فرآیند ارائه شده در بخش قبل پاسخ سیستم بصورت شکل (۹) است.



شکل (۹): پاسخ سیستم با وجود فیدبک رله‌ای.

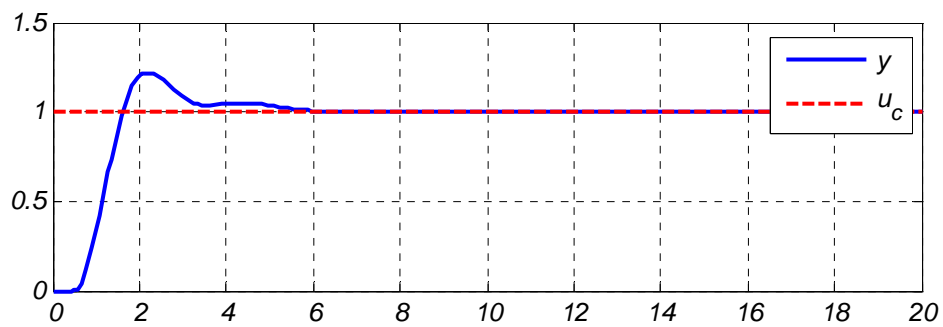
در این صورت پارامترهای زیر بدست می‌آیند:

$$k_u = 3.1831, T_u = 3$$

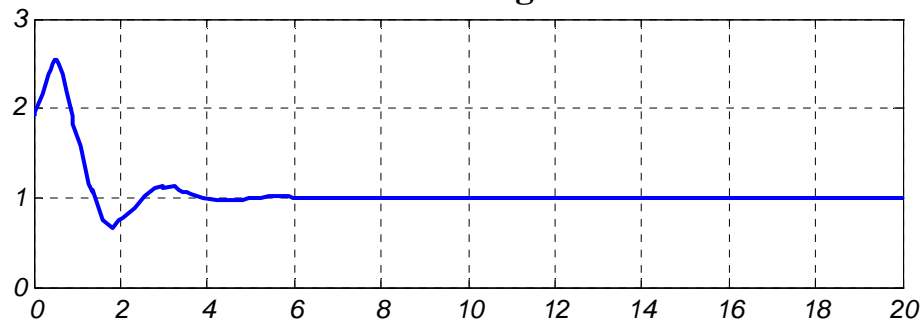
و بنابراین پارامترهای کنترلر  $PID$  بصورت زیر خواهند بود:

$$K_c = 1.9099, T_i = 1.5, T_d = 0.375$$

در شکل (۱۰) پاسخ پله سیستم با وجود این کنترلر و سیگنال کنترل متناظر با آن آورده شده است.



**Control Signal**

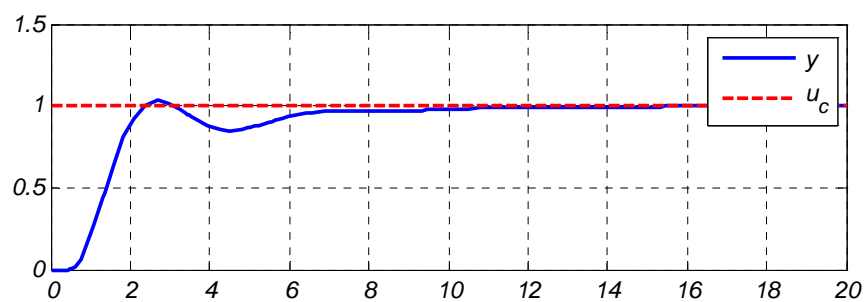


شکل (۱۰): پاسخ پله سیستم با وجود کنترلر PID با روش زیگلر نیکولز حلقه بسته و سیگنال کنترل متناظر با آن.

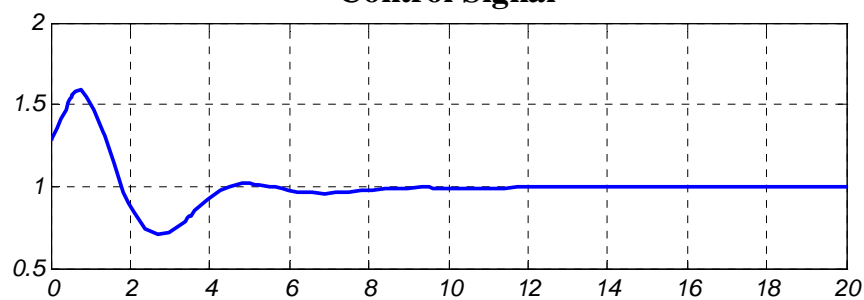
حال برای همین سیستم و با روش زیگلر نیکولز حلقه بسته کنترلر PI را طراحی خواهیم کرد. با توجه به جدول I، پارامترهای کنترلر PI بصورت زیر خواهند بود:

$$K_c = 1.2732, T_i = 2.4$$

در شکل (۱۱) پاسخ پله سیستم با وجود این کنترلر و سیگنال کنترل متناظر با آن آورده شده است.

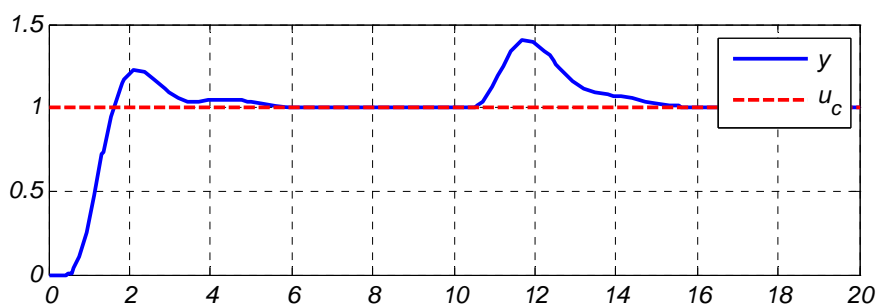


**Control Signal**

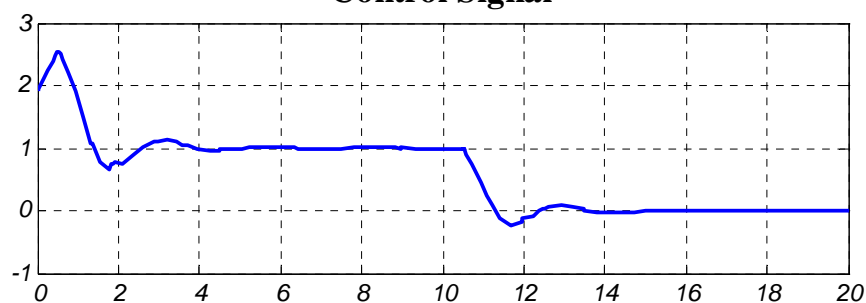


شکل (۱۱): پاسخ پله سیستم با وجود کنترلر PI با روش زیگلر نیکولز حلقه بسته و سیگنال کنترل متناظر با آن.

حال عملکرد این دو کنترلر در برابر اغتشاش پله‌ای ثابت با دامنه یک که در زمان ۱۰ ثانیه در ورودی سیستم ایجاد می‌شود را بررسی می‌کنیم.

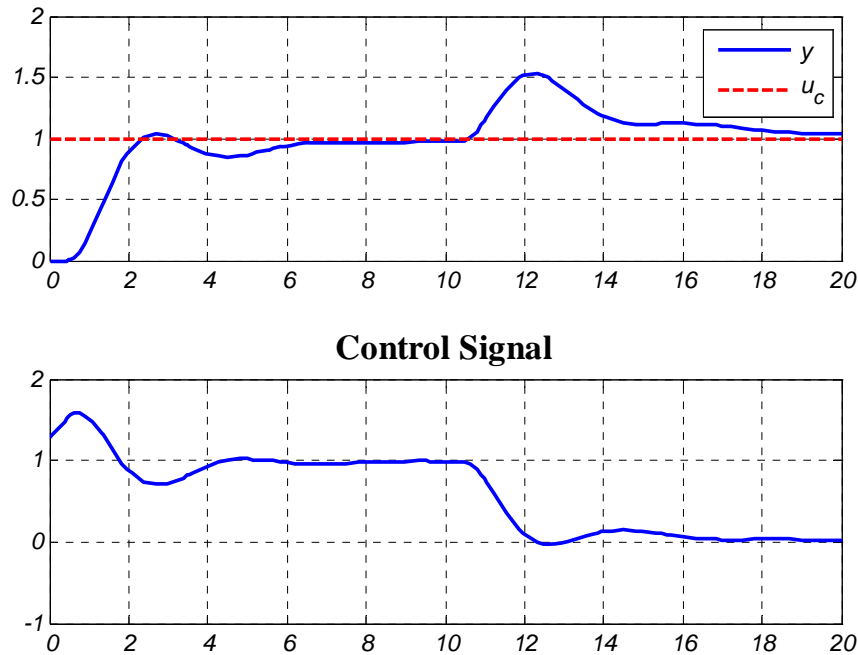


**Control Signal**



شکل (۱۲): عملکرد سیستم با وجود کنترلر PID با روش زیگلر نیکولز حلقه بسته در حضور اغتشاش و سیگنال کنترل متناظر با آن.

همان طور که مشاهده می‌شود این کنترلر توانایی حذف اثر اغتشاش را دارد.



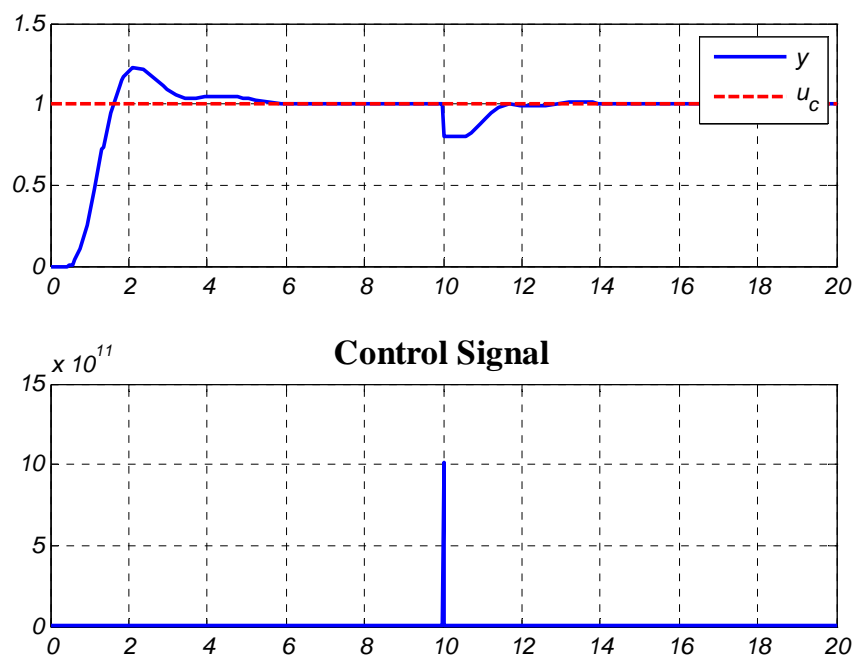
شکل (۱۳): عملکرد سیستم با وجود کنترلر PI با روش زیگلر نیکولز حلقه بسته در حضور اغتشاش و سیگنال کنترل متناظر با آن.

همان طور که مشاهده می‌شود این کنترلر نیز توانایی حذف اثر اغتشاش را دارد.

برای بررسی اثر تغییر پارامترهای بر روی پاسخ سیستم، فرض کنید که در زمان ۱۰ ثانیه تابع تبدیل سیستم بطور ناگهانی بصورت زیر تغییر کند:

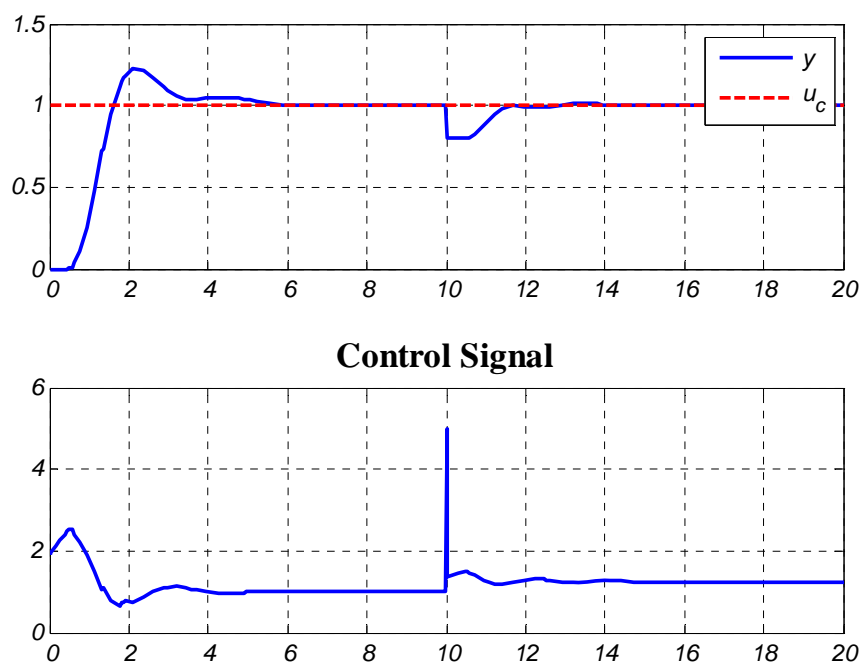
$$H(s) = \frac{4e^{-s}}{(s+1)(s+5)}$$

با وجود کنترلر PID پاسخ سیستم حلقه بسته در شکل (۱۴) آورده شده است.



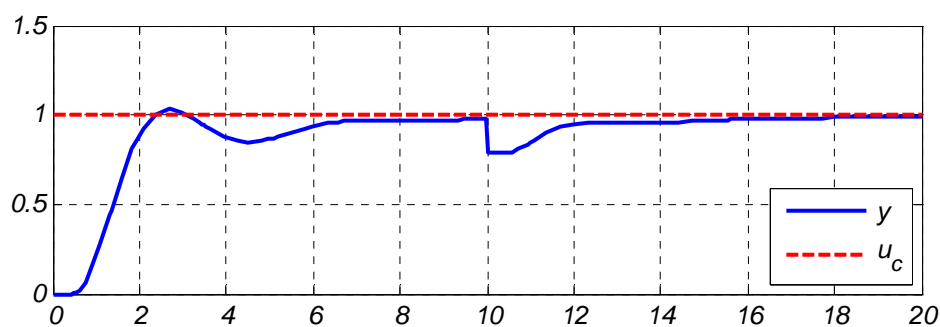
شکل (۱۴): عملکرد سیستم حلقه بسته با وجود کنترلر PID با روش زیگلر نیکولز حلقه بسته در برابر تغییر پارامترهای سیستم و سیگنال کنترل متناظر با آن.

مشاهده می‌شود سیستم در برابر این تغییر پارامتر مقاوم است. اما دامنه سیگنال کنترل بسیار زیاد است که منجر به اشباع در عملگر خواهد شد. با فرض آستانه اشباع ۵ پاسخ سیستم در شکل (۱۵) آورده شده است.

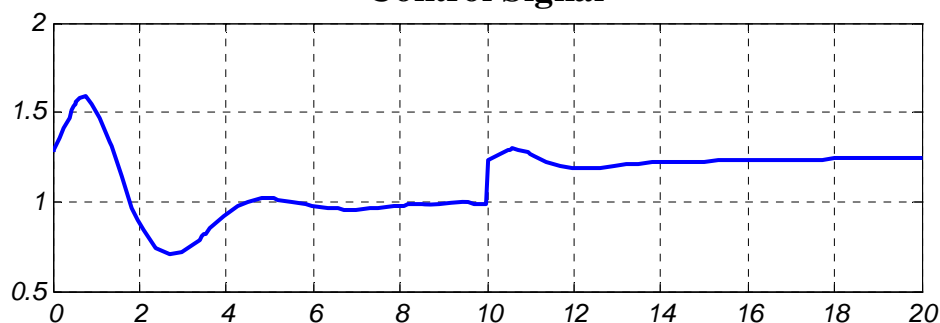


شکل (۱۵): عملکرد سیستم حلقه بسته با وجود کنترلر PID با روش زیگلر نیکولز حلقه بسته در برابر تغییر پارامترهای سیستم و سیگنال کنترل متناظر با آن با وجود اشباع در عملگر.

در شکل (۱۶) پاسخ سیستم حلقه بسته با وجود کنترلر PI با روش زیگلر نیکولز حلقه بسته در برابر تغییر پارامترهای سیستم و سیگنال کنترل متناظر با آن بدون در نظر گرفتن اشباع در عملگر آورده شده است.



**Control Signal**



شکل (۱۶): عملکرد سیستم حلقه بسته با وجود کنترلر PI با روش زیگلر نیکولز حلقه بسته در برابر تغییر پارامترهای سیستم و سیگنال کنترل متناظر با آن.

مشاهده می‌شود که در این حالت نیز سیستم حلقه بسته توانایی تحمل تغییر در پارامترهای سیستم حلقه باز را داشته است.