کنترل موقعیت و زاویه پاندول معکوس با استفاده از کنترلر فازی

هادی بهین[1]

[1] ترم سوم ارشد مکاترونیک، گروه مکاترونیک، دانشگاه آزاد تهران جنوب ، تهران

Hadi.behin@gmail.com

چکیده

طراحی کنترل کننده و بررسی پایداری مدل پاندول معکوس بعلت غیر خطی بودن همیشه از موضوعات مطرح در کنترل بوده است.در این مقاله، یک کنترل کننده کلاسیک از نوع PD با روش تنظیم پارامتر زیگلر-نیکولز برای کنترل زاویه پاندول و یک کنترل کننده فازی از نوع ممدانی برای کنترل موقعیت گاری و زاویه پاندول طراحی شده اند که نتیجه ای که گرفته شده است این است که کنترل کلاسیک زمانی که زاویه کوچک باشد خطای حالت ماندگار صفر دارد ولی وقتی زاویه افزایش پیدا می کند خطای حالت ماندگار دادرد ولی کنترل کننده فازی با کم و زیاد شده زاویه خطای حالت ماندگار نخواهد داشت و سیستم غیر خطی را بدون خطی سازی کنترل می کند.

کلمات کلیدی

کنترل فازی-ممدانی-کنترل کلاسیک-پاندول معکوس-خطای حالت ماندگار

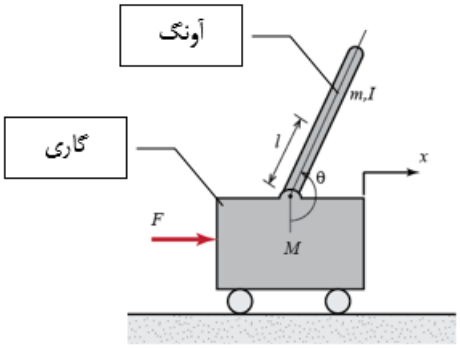
فهرست مطالب:

1-مقدمه 2
2 روش 2
2-1 معادلات دینامیکی و مدل سازی سیستم 2
2-2 شبیه سازی در **MATLAB** 3
2-3 پاسخ مدار باز سیستم به ورودی ضربه 4
2-4 طراحی کنترلر کلاسیک **PD** برای کنترل زاویه پاندول 5
2-5 طراحی کنترل کننده فازی برای موقعیت گاری و زاویه پاندول 6
2-5-1 تعریف متغیرهای کلامی و توابع عضویت 7
2-5-3 قواعد فازی کنترلرها 8
2-6 شبیه سازی حلقه بسته سیستم و کنترلر فازی 9
3 نتایج 9
منابع و ماخذ 11

www.Prozhe.com

1- مقدمه

مدل دو درجه آزادی پاندول معکوس با مشخصات جدول 1 را در نظر گرفته شده است.



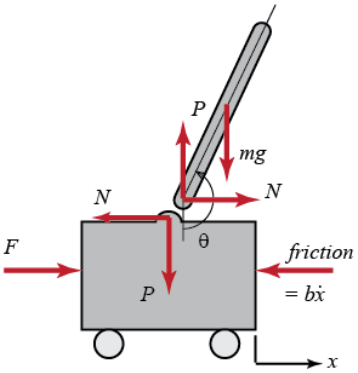
جدول 1 پارامترهای مساله

علامت	متغیر	مقدار	توضیح
M	M	0.4 kg	جرم گاری
m	m	0.2 kg	جرم آونگ
b	b	0.1 N/m/sec	ضریب اصطکاک گاری
l	l	0.2 m	فاصله تا مرکز جرم آونگ
g	g	9.8 m/s^2	شتاب گرانش
I	I	0.006 kg.m^2	ممان اینرسی آونگ
F	F		نیروی اِعمالی به گاری
x	x		جابجایی افقی آونگ
θ	theta		زاویه‌ی آونگ نسبت به راستای عمود

2- روش

2-1- معادلات دینامیکی و مدل سازی سیستم:

دیاگرام آزاد مدل



با استفاده از روش نیوتن-اویلر برای گاری و پاتدول:

$$\ddot{x} = \frac{1}{M}\sum_{cart} F_x = \frac{1}{M}(F - N - b\dot{x})$$

$$\ddot{\theta} = \frac{1}{I}\sum_{cart} \tau = \frac{1}{I}(-Nl\cos\theta - Pl\sin\theta)$$

برای بدست آوردن مدل باید روابط نیرو های N و P محاسبه شوند بنابراین:

$$m\ddot{x}_p = \sum_{pend} F_x = N$$

$$\Rightarrow N = m\ddot{x}_p$$

$$m\ddot{y}_p = \sum_{pend} F_y = p - mg$$

$$\Rightarrow P = m(\ddot{y}_p + g)$$

از طرفی x_p, y_p توابعی از θ هستند بنابراین:

جابجائی و سرعت و شتاب افقی پاتدول

$$x_p = x + l\sin\theta$$

$$\dot{x}_p = \dot{x} + l\dot{\theta}\cos\theta$$

$$\ddot{x}_p = \ddot{x} - l\dot{\theta}^2\sin\theta + l\ddot{\theta}\cos\theta$$

جابجائی و سرعت و شتاب عنودس پاتدول

$$y_p = -l\cos\theta$$

$$\dot{y}_p = l\dot{\theta}\sin\theta$$

$$\ddot{y}_p = l\dot{\theta}^2\cos\theta + l\ddot{\theta}\sin\theta$$

با جایگذاری روابط N و P بدست آورده می شوند:

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

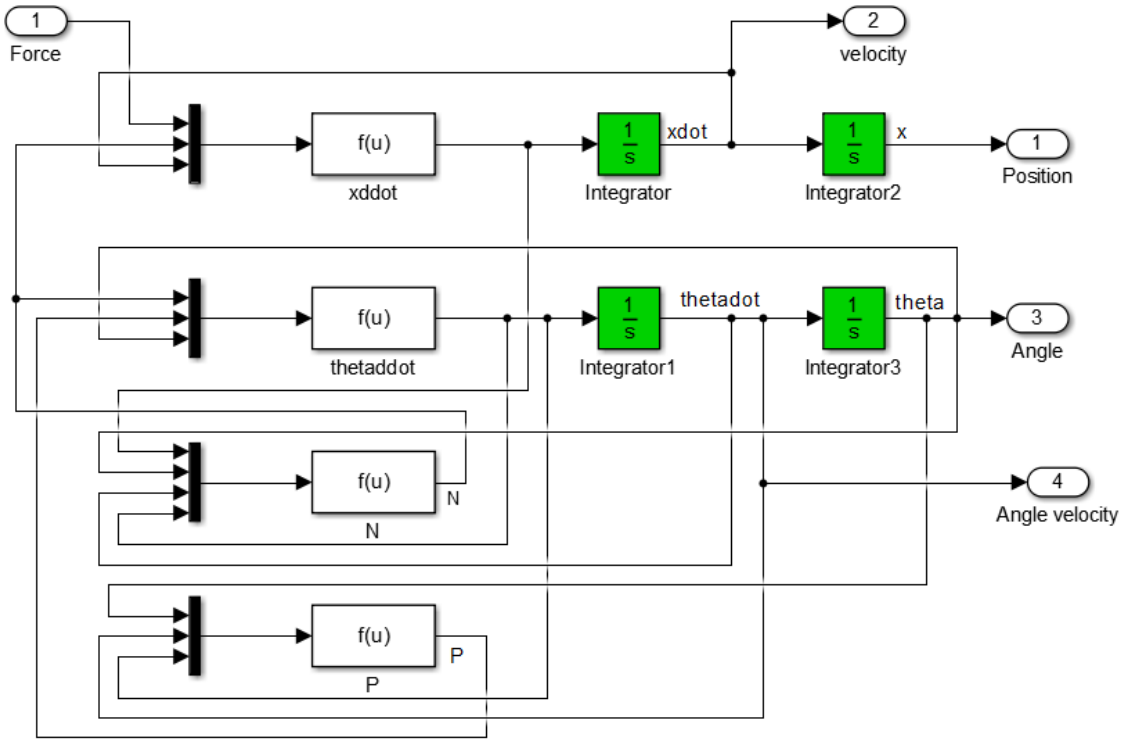
$$P = m(l\dot{\theta}^2\cos\theta + l\ddot{\theta}\sin\theta) + g$$

روابط بالا برای مدل سازی سیستم پاندول معکوس در سیمولینک متلب کافی هستند.

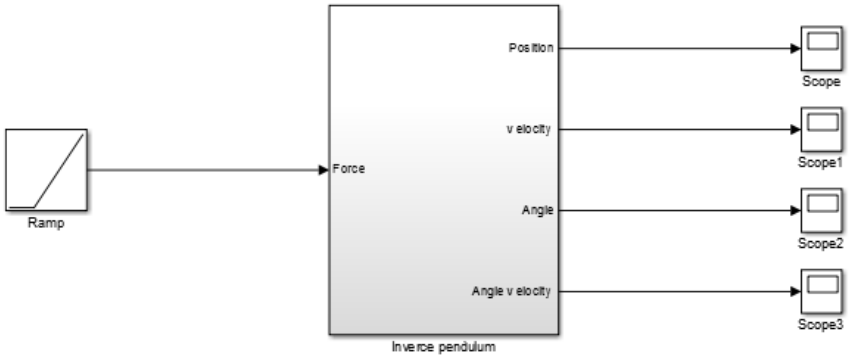
لازم به ذکر است برای اینکه نحوه ارتباط کنترلر ها با سیستم مدل شده بخوبی نشان داده شود و به درک موضوع کمک کند سیستم را در سیمولینک شبیه سازی شده است بطبع همین کارها در محیط کد تویسی متلب هم به آسانی قابل پساده شدن هست.

www.Prozhe.com

2-2- مدل سازی معادلات دینامیکی در محیط سیمولینک:

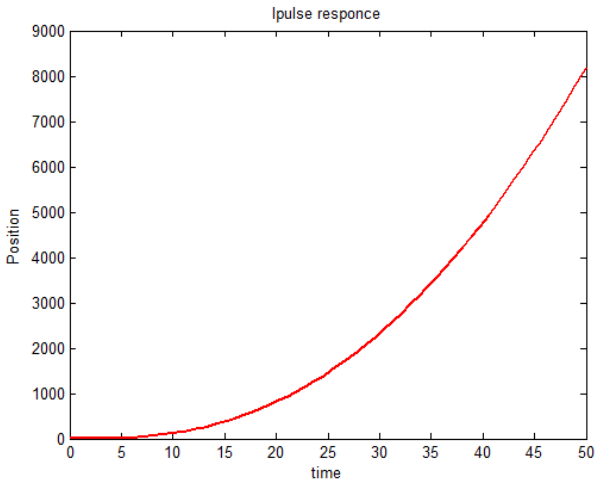


2-3- پاسخ مدار باز سیستم به ورودی ضربه:

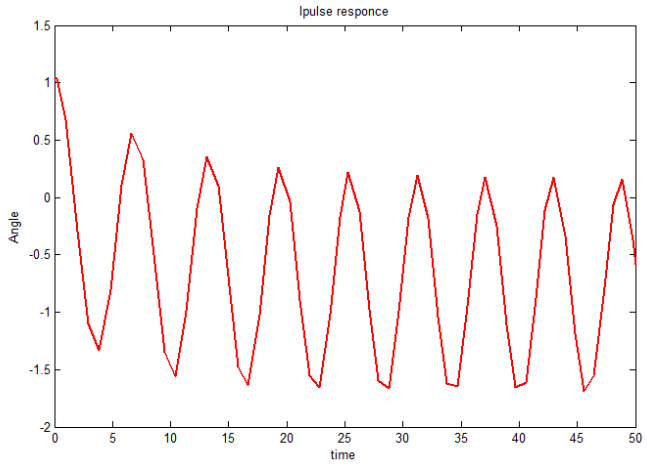


www.Prozhe.com

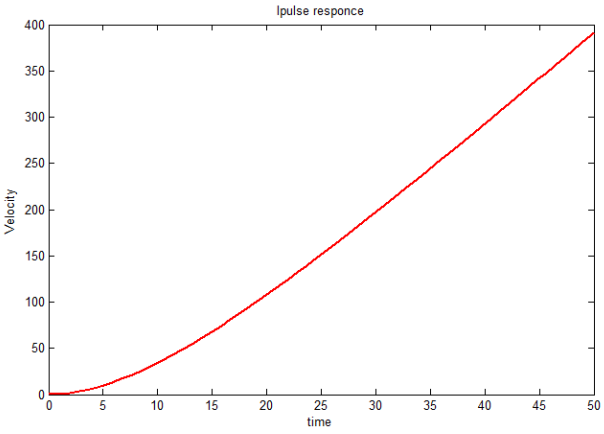
پاسخ ضربه موقعیت گاری:



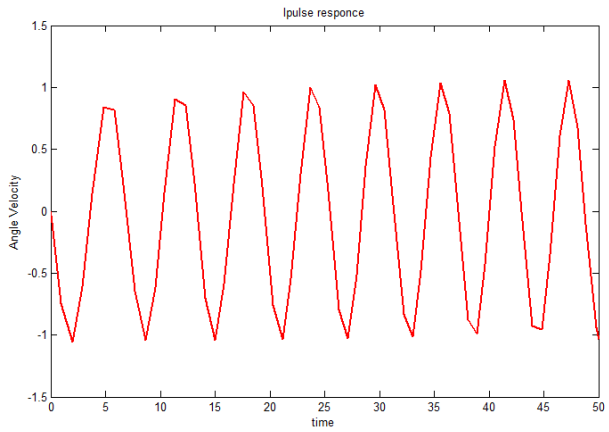
پاسخ ضربه زوایه پاندول



پاسخ ضربه سرعت گاری:



پاسخ ضربه سرعت زاویه ای پاندول:



همین طور که مشخص است سیستم کاملا ناپایدار است که در ادامه کنترلر کلاسیک و فازی را برای بهبود رفتار این سیستم طراحی خواهد شد.

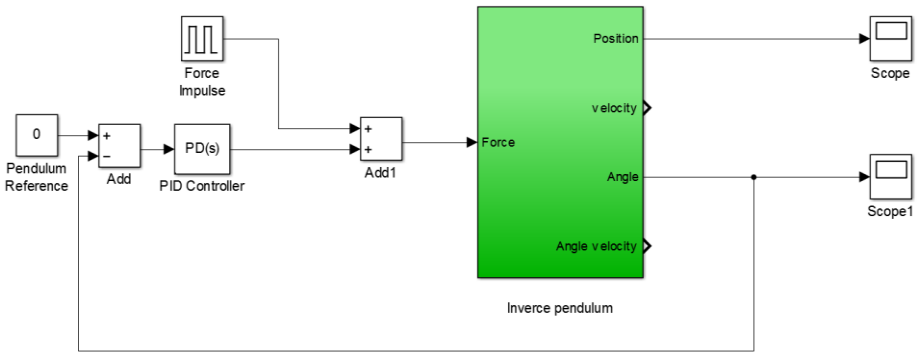
www.Prozhe.com

2-4- طراحی کنترلر کلاسیک PD برای کنترل زاویه پاندول:

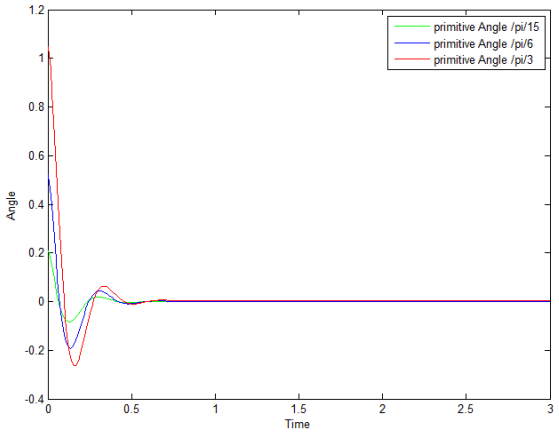
با استفاده از روش زیگر نیکولز پارامترهای تناسبی و مشتق گیر را برای این سیستم طراحی شده است و در پایان پاسخ سیستم با زاویه اولیه پاندول مختلف مورد بررسی قرار گرفته است:

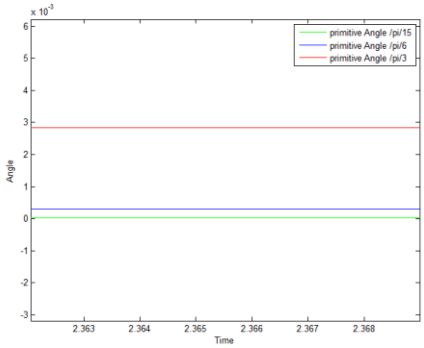
$k_p = -3967.065$

$k_d = -177.72$



2-4-1- پاسخ سیستم با زوایه های اولیه $\frac{\pi}{15}, \frac{\pi}{6}, \frac{\pi}{3}$



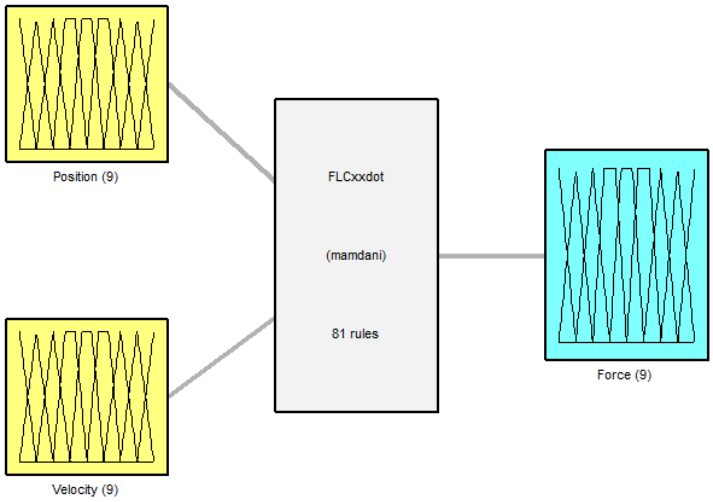


www.Prozhe.com

همانطوری که مشاهده می شود کنترل کلاسیک هر چه زاویه اولیه انحراف پاندول از وضعیت صفر بیشتر شود خطای حالت ماندگار بیشتر می شود، این به علت غیر خطی بودن مدل پاندول معکوس است .برای سیستم های غیر خطی کنترل کلاسیک حول نقطه تعادل سیستم باید خطی سازی شود تا جواب مورد قبول باشد.

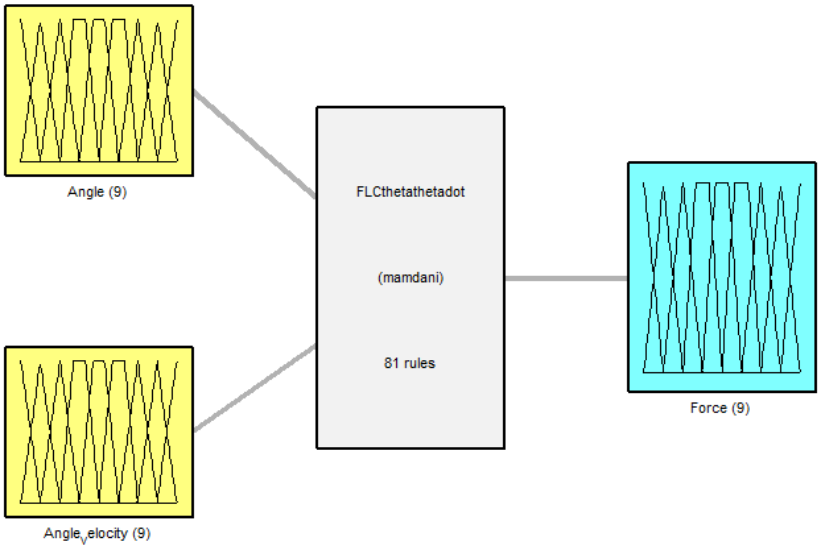
2-5- طراحی کنترل کننده فازی برای موقعیت گاری و زاویه پاندول:

دو کنترلر فازی یکی برای موقعیت که دارای دو ورودی موقعیت و سرت گاری و خروجی نیرو



System FLCxxdot: 2 inputs, 1 outputs, 81 rules

و دیگری برای کنترل زاویه پاتدول که دارای دو ورودی زاویه پاندول و سرعت زاویه ای پاندول و خروجی نیرو



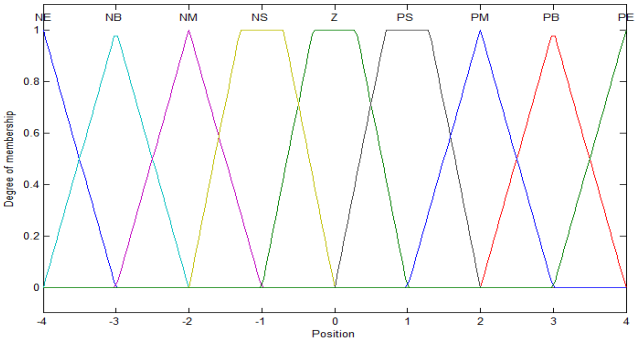
System FLCthetathetadot: 2 inputs, 1 outputs, 81 rules

www.Prozhe.com

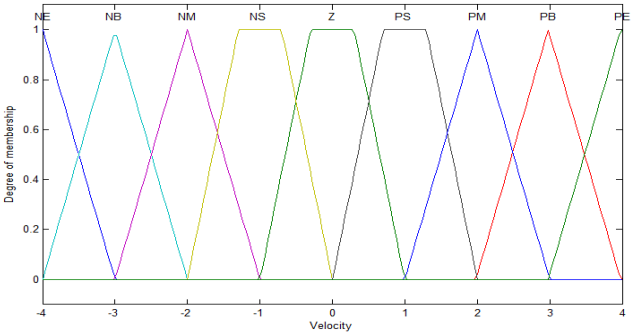
2-5-1- تعریف متغیرهای کلامی و توابع عضویت

- کنترلر موقعیت گاری

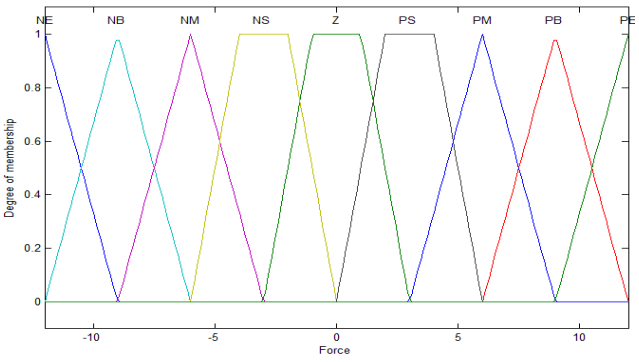
توابع عضویت موقعیت



توابع عضویت سرعت گاری(ورودی2)

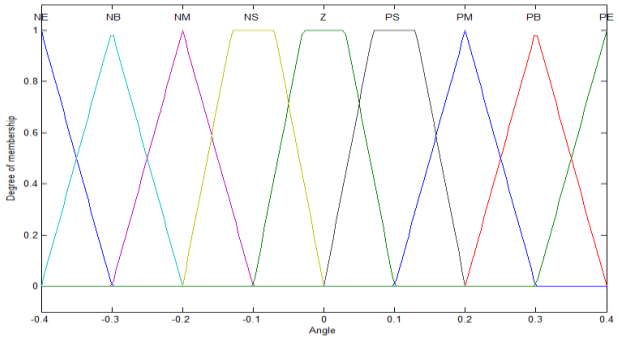


توابع عضویت نیرو(خروجی)

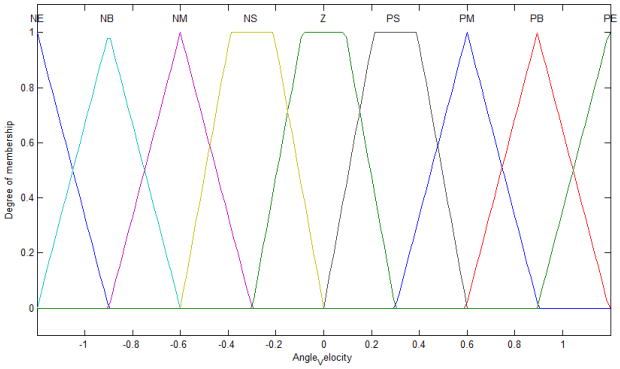


- کنترلر زاویه پاندول:

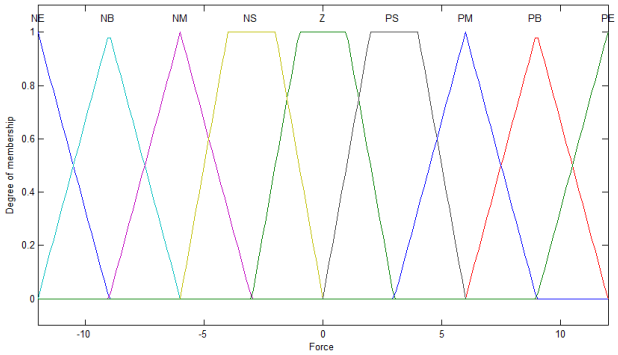
تابع عضویت زاویه پاندول(ورودی1)



توابع عضویت سرعت زاویه ای(ورودی2)



توابع عضویت نیرو(خروجی)



www.Prozhe.com

2-5-2- قواتین کنترلر های فازی:

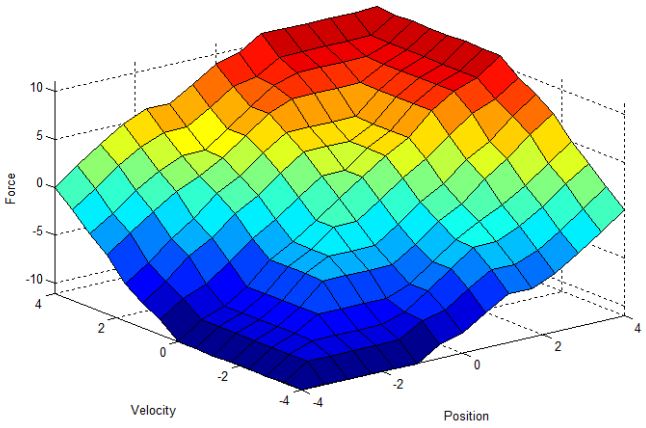
برای هر دو کنترلر قوانین یکی هستند.

موقعیت گاری- زاویه پاندول

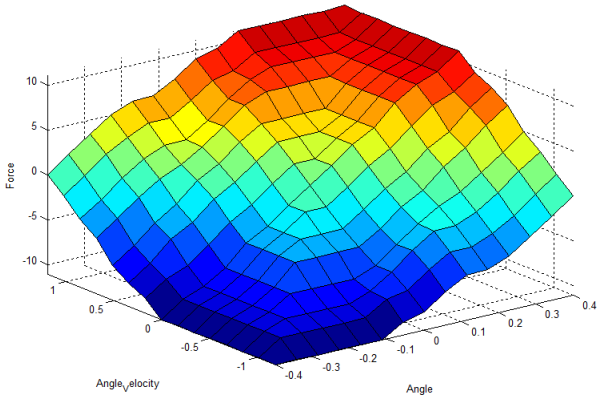
سرعت گاری – سرعت زاویه ای پاندول	NE	NB	NM	NS	Z	PS	PM	PB	**PE**
NE	**NE**	**NE**	**NE**	**NE**	**NB**	**NM**	**NM**	**NS**	**Z**
NB	**NE**	**NB**	**NB**	**NB**	**NM**	**NS**	**NS**	**Z**	**PS**
NM	**NE**	**NB**	**NM**	**NM**	**NM**	**NS**	**Z**	**PS**	**PM**
NS	**NE**	**NB**	**NM**	**NS**	**NS**	**Z**	**PS**	**PM**	**PB**
Z	**NE**	**NB**	**NM**	**NS**	**Z**	**PS**	**PM**	**PB**	**PE**
PE	**NB**	**NM**	**NS**	**Z**	**PS**	**PS**	**PM**	**PB**	**PE**
PM	**NM**	**NS**	**Z**	**PS**	**PM**	**PM**	**PM**	**PB**	**PE**
PB	**NS**	**Z**	**PS**	**PS**	**PM**	**PB**	**PB**	**PB**	**PE**
PE	**Z**	**PS**	**PM**	**PM**	**PB**	**PE**	**PE**	**PE**	**PE**

بعد از تعریف قوانین نمودار خروجی بر حسب ورودی ها را ترسیم می شوند:

کنترلر فازی موقعیت:

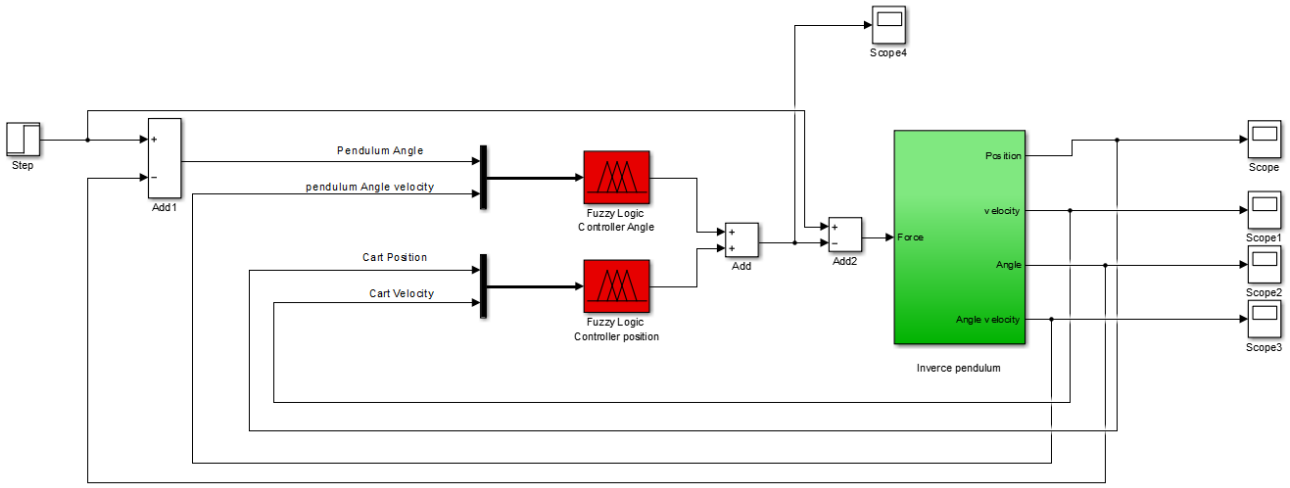


کنترلر فازی زاویه:



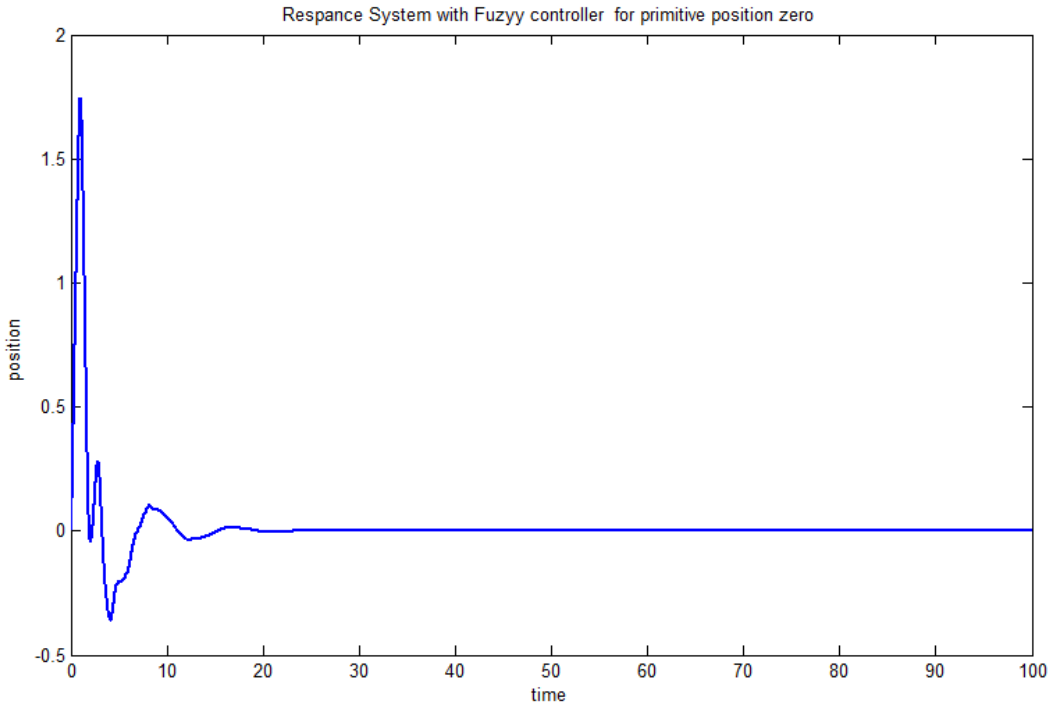
www.Prozhe.com

2-6- مدل کنترلر فازی و پاندول معکوس بصورت حلقه بسته



3- نتایج

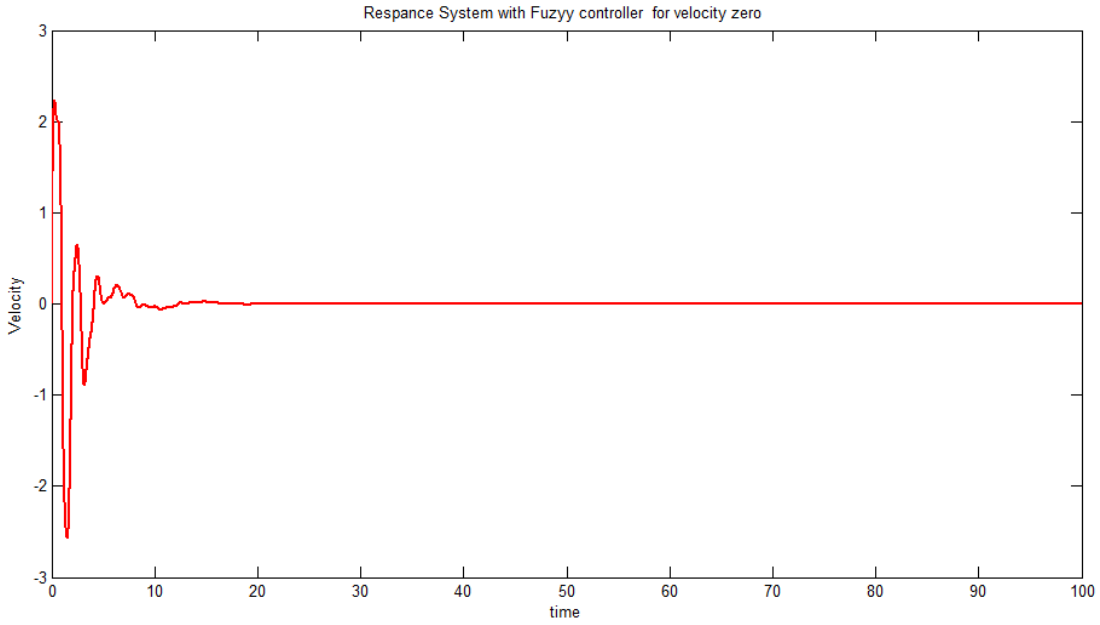
موقعیت سیستم از شرایط اولیه صفر



همانطور که مشاهده می شود موقعیت گاری بعد از به موقعیت اولیه برگشته و گاری متوقف شده است

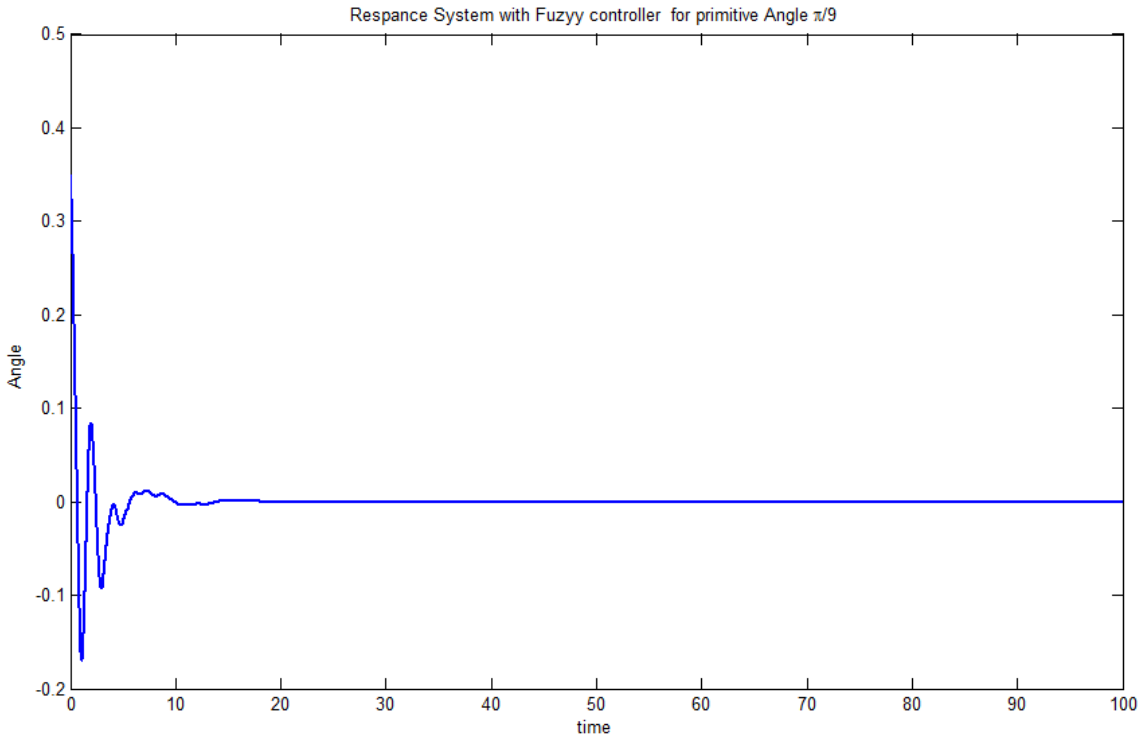
www.Prozhe.com

سرعت گاری از شرایط اولیه صفر



همانطور که مشاهده می شود سرعت گاری بعد از مدتی صفر شده است.

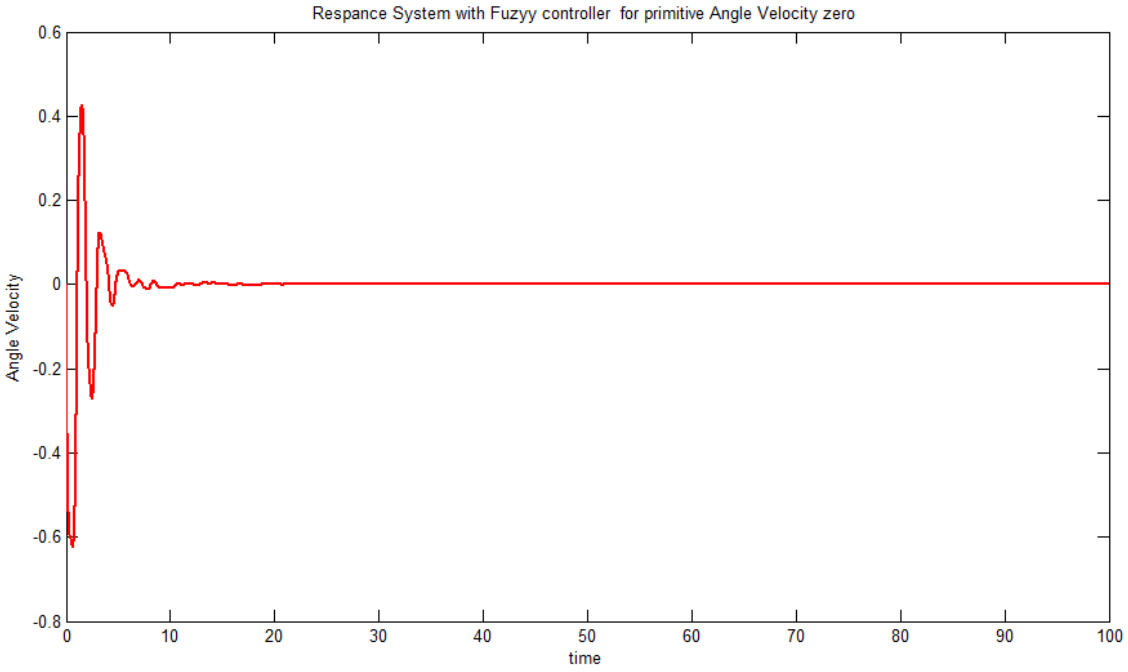
زاویه پاندول با شرط اولیه $(\frac{\pi}{9})$



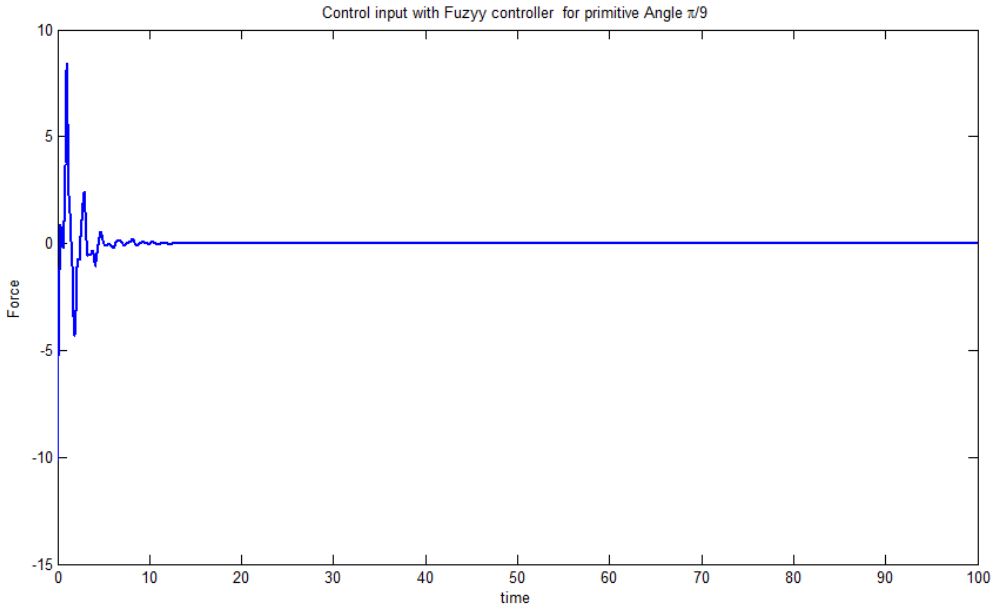
همانطور که مشاهده می شود زاویه پاتدول بعد از مدتی صفر شده است

www.Prozhe.com

سرعت زاویه ای پاندول با شرط اولیه صفر



ورودی کنترلی (نیرو اعمالی)



منابع و ماخذ

[1] Ashwani Kharola , Punit Gupta," Stabilization of Inverted Pendulum (IP) Using Two Fuzzy logic & Controllers (FLC's) Having Nine Linguistic Variables", International Journal of Engineering Research Technology (IJERT),ISSN: 2278-0181,Vol. 2 Issue 9, September – 2013

[2] http://ctms.engin.umich.edu/CTMS/index.php?example=InvertedPendulum&section=SystemModeling

هزینه استفاده:پنج صلوات جهت تعجیل فرج صاحب الامر

www.Prozhe.com