

## یک روش تعمیم یافته برای تثبیت ولتاژ با استفاده از منطق فازی

امیر ترابی<sup>۱</sup>، جمال قبادی دیزج یکان<sup>۲</sup> و سید کمال الدین موسوی مشهدی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup>موسسه آموزش عالی خراسان مشهد، Amirtorabi1@gmail.com

<sup>۲</sup>موسسه آموزش عالی خراسان مشهد، Jamal\_ghobadi@yahoo.com

<sup>۳</sup>دانشکده برق دانشگاه علم و صنعت ایران، SK\_Mousavi@iust.ac.ir

### چکیده:

توسعه و گسترش دستگاه های الکترونیکی لزوم استفاده از روش هایی برای به دست آوردن پاسخ سریع تر به ورودی، را با توجه به دستگاه های حساس امروزی دو چندان نموده است. از جمله کاربردهای رگولاتور را می توان در برخی سیستم های حساس مانند روبات ها، رادارها و سیستم کنترل سرعت (کروز) نام برد که در این سیستم ها به پاسخ سریع نیازمندیم. در گذشته از روش های کنترلی مشتقی - انتگرالی استفاده می شد. در این مقاله یک کاربرد از منطق فازی برای کنترل ولتاژ بصورت اتوماتیک که بصورت رگولاتور شناخته می شوند، ارائه شده است. این روش دارای سرعت پاسخ بیشتر است. رگولاتورها المانهای الکترونیکی هستند که جهت تامین یک ولتاژ مستقل از بار و ولتاژ ورودی به کار می روند که علاقم تغییرات ولتاژ ورودی و تغییرات در بار (جریان خروجی) همواره دارای ولتاژ ثابتی می باشند. در این مقاله قواعد فازی را براساس خطا (e) و تغییرات آن ( $\Delta e$ ) بنا نهاده ایم. در بخش پایانی این مقاله نتایج شبیه سازی برای نشان دادن مناسب بودن روش ارائه شده آورده شده است.

کلمات کلیدی: رگولاتور، قواعد فازی، کنترلر فازی، کنترلر PID، مدارات الکترونیکی

عملکرد پایینی باشد سیستم سرو AC را از حالت موازنه

خطی خود خارج می سازد. از جمله کاربرد سیستم سرو

را می توان در روباتیک و ماشین ابزار نام برد که

عملکرد درایو تحت رنج وسیعی از تغییرات مشخصه

بار و پارامترهای سیستم کاملاً مورد توجه است [3-5].

الگوریتم کنترلی پیاده سازی شده برای این وسایل عموماً

پیچیده و نیازمند محاسبات گسترده می باشد. در سال های

اخیر هوش مصنوعی نظیر شبکه عصبی و نیز کنترلر های

### ۱- مقدمه:

همزمان با پیشرفت در زمینه میکروپروسور و الکترونیک

قدرت، استفاده از درایوهای موتور های القائی بسیار رایج

گشته است. در بسیاری از استراتژی های کنترل دیجیتال

پیشرفته برای کنترل موتور القائی، درایو آن از یک

کنترلر PID استفاده می کند که این کنترلر اگر سرعت

منطق فازی برای فائق آمدن بر مسائل فوق نقش بسیار مهمی را ایفا نموده اند. [۴, ۵]. به عبارت دیگر، منطق فازی در بسیاری از دستگاه ها نظیر پروسور سیگنال دیجیتال (DSP) و نیز PC و همچنین میکرو

ولتاژ خروجی برای موتور DC براساس قوانین فازی نوشته شده است. که این رول ها به نرم افزار اعمال گشته است. موتور DC از ساختار پل استفاده می کند که این ساختار بوسیله ترانزیستور قدرت حاصل شده است. سیگنال درایو برای موتور DC بوسیله ماژول PWM (pulse width modulation) بوجود آمده است.

## ۲- پیاده سازی سخت افزاری:

همانطور که می دانیم از رگولاتور ولتاژ برای تثبیت ولتاژ در مداراتی که نیاز به ولتاژ ثابت است، استفاده می شود.

تصویر نشان داده شده در شکل ۱ یک مدار اتو ترانس را نشان می دهد. یک موتور DC برای جاروب کردن در آن استفاده شده است و در آن از سطح ولتاژ -

۱۲ ولت و ۱۲۰ استفاده شده است. سنسور ولتاژ با

ولتاژ ۱۲ ولت تغذیه می شود، و ورودی میکرو کنترلر PIC از طریق یک مبدل آنالوگ به دیجیتال از اتو ترانس تامین می گردد. مقاومت R22 (مقاومت ۱۰ کیلو اهم) برای پایدار سازی خروجی بکار برده می شود. ولتاژ ورودی ۱۵۰ تا ۲۵۰ ولت می باشد. بنابراین مشخصات مدار

عبارتست از:  $V_o = 220 \pm 1V$  if:

$150 < V_{in} < 250V$ . مدارات منطقی دارای

سطح ۵

کنترلرها پیاده سازی شده است. منطق فازی به مانند کنترلر های مرسوم روش محاسباتی خاص ندارد امداد مواردی که این کنترلرها دارای جواب مناسب نباشند عملکرد رضایت بخشی

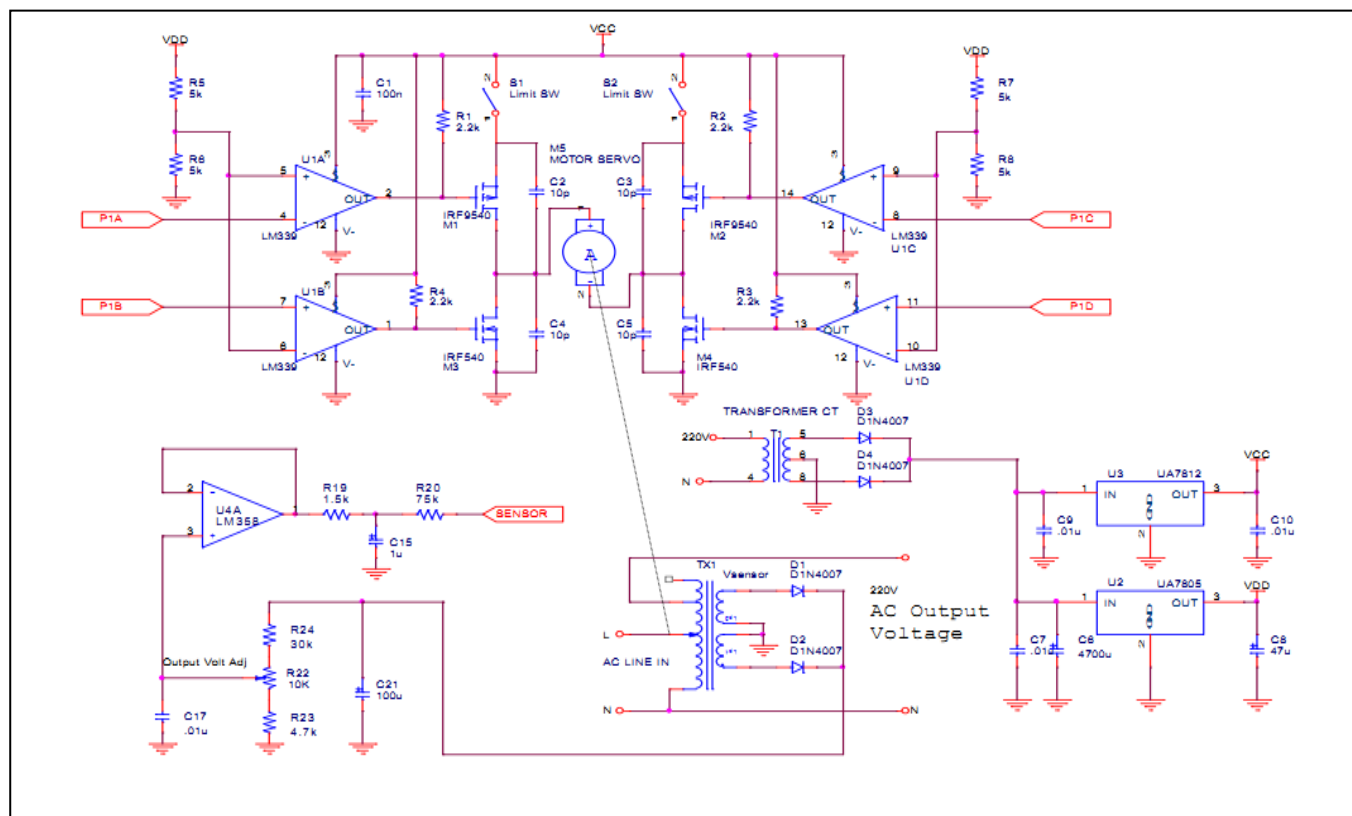
دارند، به عبارت دیگر زمانی که یک روش کنترلی خاص برای یک پروسه وجود داشته باشد استفاده از منطق فازی ممکن است درست نباشد ولی این همیشه صحیح نیست زیرا استفاده از منطق فازی ممکن است منجر به جواب بهتری شود [6]. در این مقاله از منطق فازی برای امر تنظیم سازی ولتاژ استفاده کرده ام و نتایج را هم در بخش انتهایی نمایش داده ایم. در این مقاله سیستم دارای دو نوع ورودی برای کنترلر می باشد ورودی اول مربوط به خطا ورودی دوم مربوط به ضرائب تناسبی، مشتقی و انتگرالی می باشد، که این پارامترها به روش های سابق تنظیم شده اند [2].

میکرو چیپ PIC18F452 یک میکرو کنترلر ۸ بیتی از نوع EPROM و برای کار در حوزه ۲۵۶ بیتی استفاده می گردد.

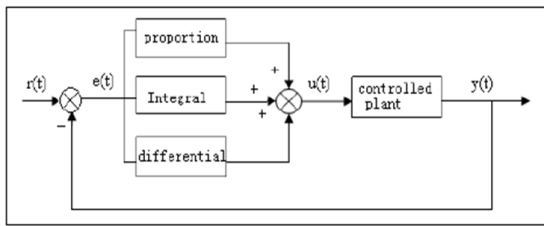
ولت می باشند که از رگولاتور IC7805 ناشی می گردد. دیودهای D3 و D6 برای یکسوسازی و C6 برای صافی بکار می رود.

سیگنال های درایو از پین های CCP1 و CCP2 که در خروجی میکروکنترلر واقع شده اند ناشی می گردد. میکروکنترلر برای منطق صفرو ولتاژ صفر ولت و برای منطق یک ولتاژ 5 ولت را

ایجاد می کند. و ماسفت هم برای خاموش شدن به ولتاژ صفر ولت و برای روشن شدن ولتاژ ۱۲ ولت نیازمند



شکل ۱: مدار الکترونیکی



شکل ۱: خروجی کنترلر های مرسوم [2]

$$u(t) = K_p e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \cdot \frac{de(t)}{dt}$$

۱- بخش تناسبی که برای بهبود سیگنال خطا استفاده می گردد.

۲- بخش انتگرالی که خطای حالت دائمی را کاهش می دهد. (جبران ساز پایین گذر به وسیله انتگرال گیر)

۳- بخش مشتق گیر که خطای حالت گذرا را کاهش می دهد.

(جبران ساز بالا گذر به وسیله مشتق گیر) [1]

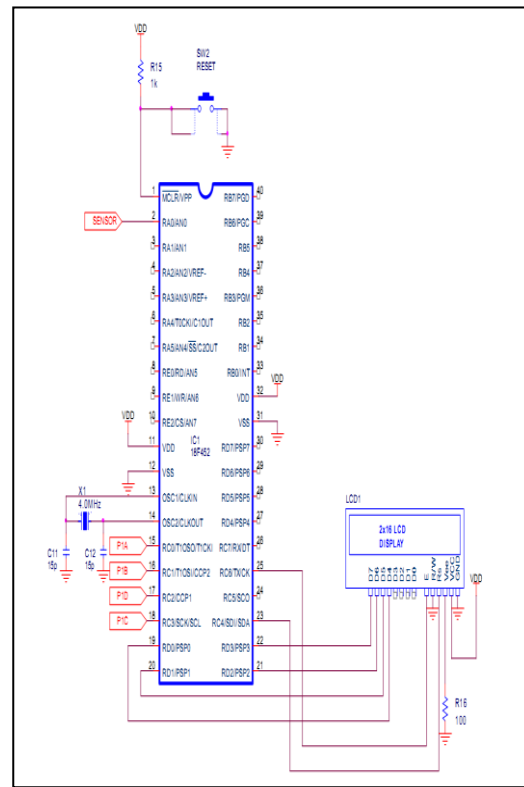
خطای کنترلر PID همچنان که می دانیم به صورت زیر محاسبه می شود:

$$e(t) = r(t) - y(t)$$

طراحی کنترلر فازی بر اساس تجربه های کاری شکل می گیرد و در موارد بسیاری که مسئله توسط روش های سنتی حل نمی شود از تکنولوژی فازی استفاده می شود. تکنولوژی فازی به جهت آنکه روابط ریاضی پیچیده ای ندارد برای کنترل سیستم های غیر قطعی، سیستم های غیر خطی و سیستم های دارای اغتشاشات زیاد عملکرد مناسبی دارد.

ساختار اصلی سیستم کنترل فازی در شکل ۴ نشان داده شده است. که دارای کانال ورودی، کنترلر فازی و کانال خروجی می باشد که در حقیقت هسته اصلی سیستم همان کنترلر فازی می باشد. [7]

تکنولوژی فازی به جهت آنکه روابط ریاضی پیچیده ای ندارد برای کنترل سیستم های غیر قطعی سیستم های غیر



شکل ۲: دیگر مدارهای رگولاتور فازی [12]

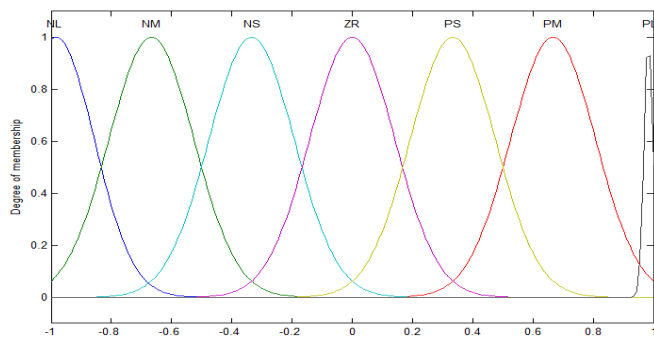
۳- پیاده سازی نرم افزاری:

همان طور که می دانیم کنترلر های PID در بسیاری از پروسه های صنعتی کاربرد قابل قبولی دارند اما با گسترش تکنولوژی و همچنین پیچیدگی پروسه ها و ایجاد برخی پروسه های غیر خطی به تدریج این کنترلرها جایگاه خود را در این پروسه ها از دست داده اند. زیرا با پیچیدگی این پروسه ها و احیاناً غیر خطی شدن آنها محاسبات ریاضی به شدت افزایش پیدا می کند.

محاسبات خطا در کنترلر های مرسوم:

از شکل ۱ خروجی کنترلر  $u(t)$  بصورت زیر محاسبه می گردد:

بانک قواعد بصورت زیر تعریف میگردد:



شکل ۶: قواعد فازی برای خطا و تغییرات آن

بانک قواعد (رول) که برای این کنترلر ایجاد شده است

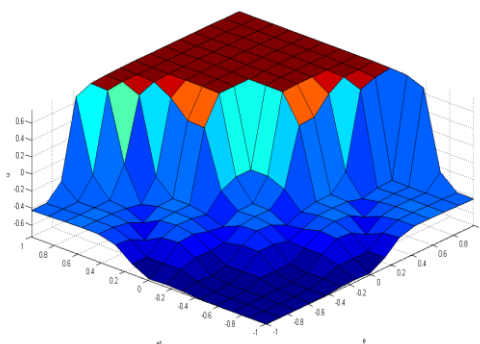
به شرح زیر می باشد.

جدول ۱: بانک قواعد کنترلر فازی

E/E	NL	NM	NS	ZR	PS	PM	PL
PL	NS	ZR	PS	PM	PL	PL	PL
PS	NM	NS	ZR	PS	PM	PL	PL
ZR	NL	NM	NS	ZR	PS	PM	PL
NS	NL	NL	NM	NS	ZR	PS	PM
NM	NL	NL	NL	NM	NS	ZR	PS
NL	NL	NL	NL	NL	NM	NS	ZR

در نهایت surface این کنترلر که از ورودی ها وقواعد

فوق ناشی شده اند، به شکل زیر می باشد.



شکل ۸: نمایش surface کنترلر فازی

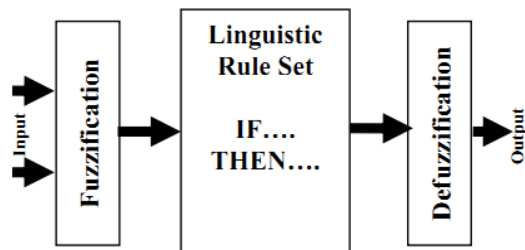
تخمین و مدل سازی

مدل ارائه شده از یک رگولاتور در مرجع [12] دیده می

شود.

خطی و سر انجام سیستم های دارای اغتشاشات زیاد

عملکرد مناسبی دارد. [10]



شکل ۹: ساختار منطق فازی [9]

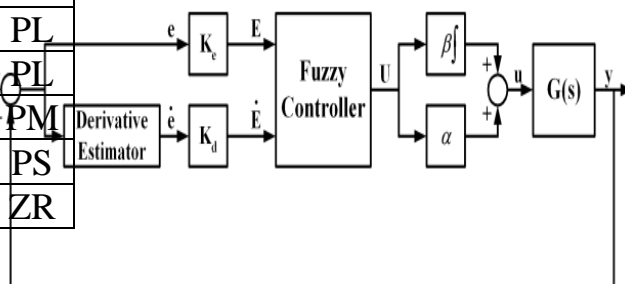
در این مقاله برای کنترل موتور DC از منطق فازی

استفاده نموده ایم. کنترل موقعیت موتور DC بوسیله سر

لغزان یک اتو ترانس انجام می گیرد. با استفاده از منطق

فازی ولتاژ خروجی پایدار سازی میگردد در حالیکه به

ورودی ولتاژ ۱۵۰ تا ۲۵۰ ولت می باشد.



شکل ۱۰: ساختار کنترلر حلقه بسته با دو ورودی خطا

و تغییرات آن [7]

منطق فازی در میکرو کامپیوترها پیاده سازی می

گردد. عملگرهای فازی بوسیله متغیرهای زبانی و به روش

شناخته شده و رسمی درست می شوند. این متغیرها

برخلاف متغیرهایی که تا کنون با آنها سروکار داشته ایم

دقیق نیستند و به ماندلغات در مکالمات روز مره که دائما

از آنها استفاده می کنیم، هستند. [8] همانطور که در بالا

مشاهده می گردد ورودی های کنترلر فازی خطا

$e = r(k) - y(k-1)$  و تغییرات خطا  $ec = r(k) - y(k)$

باشند [10].

این مدل از روی رگولاتور تخمین زده شده است. یکی از سیستم های کنترل، سیستم رگولاتور (تنظیم کننده) ولتاژ می باشد که در خروجی یک مقدار ثابت ولتاژ می دهد. سیستم کنترل ولتاژ در شکل زیر داده شده است. این سیستم همان سیستمی است که در [۱۱] استفاده شده است به جز ضرایب PID که عبارتند از:  $K_P=1$ ,  $K_I=0.25$  و  $K_D=0.28$ . برای امتحان کنترلر این سیستم به آن ورودی پله اعمال می گردد.

مدل این رگولاتور در زیر آورده شده است و در ادامه پاسخ پله این سیستم آورده می شود. همانطور که مشاهده می شود پاسخ کنترلر PID علاوه بر اورشوت های شدید دارای تاخیر می باشد که مدل پیشنهاد شده تا حد امکان برخی از این مشکلات را مرتفع ساخته است. در شکل های ۸ و ۹ شبیه سازی کنترلر فازی، نتایج و مقایسه آن با کنترلر PID نشان داده شده است.

#### نتیجه گیری

در گذشته که دارای سیستم های با سرعت متوسط بودیم کنترلرهای PID کنترلرهایی ایده آل به نظر می آمدند ولی در حال حاضر در بسیاری از کاربردها این کنترلرها توانایی خود را برای دادن پاسخی مناسب و سریع از دست داده اند که در خلا بوجود آمده کارآمد بودن کنترلرهای فازی کاملاً اثبات شده است. در این مقاله سعی بر آن شده که پاسخ رگولاتور ولتاژ که وظیفه تامین برق یک موتور DC که این موتور هم به نوبه خود ممکن است در روبات ها، رادارها، سیستم های کنترل سرعت (کروز) و... بکار برده شوند، افزایش پیدا کند. بدیهی است در کاربرد های ذکر شده ارائه پاسخ سریع تر از سیستم بسیار مطلوب تر و در برخی موارد حیاتی است.

#### ۴- مدل رگرسیون فازی کنترلر فوق

تحلیل رگرسیون با مدل کردن رابطه بین متغیرهای وابسته و متغیرهای مستقل جهت پیش بینی مقادیر متغیرهای وابسته بر اساس متغیرهای مستقل بکار می رود. در تحلیل رگرسیون متغیر وابسته ( $y$ ) تابعی از متغیرهای مستقل است و درجه مشارکت یا نقش هر متغیر مستقل در خروجی (متغیر وابسته) توسط ضرایب متغیرهای وابسته می شود. مدل رگرسیون بر اساس داده های جمع آوری شده و مشاهدات ساخته می شود که مدل عمومی و استاندارد رگرسیون خطی در حالت کلاسیک بصورت زیر است:

$$y_i = a_0 + a_1x_{i1} + a_2x_{i2} + \dots + a_nx_{in} + \varepsilon_i \quad i = 1, 2, \dots, m$$

به طوریکه متغیر وابسته ( $y_i$ )، متغیرهای

مستقل ( $X_{ij}$ ) و پارامترهای مدل یا همان ضرایب متغیرهای

مستقل ( $\varepsilon_i$ ) مقادیر قطعی هستند و همین طور  $\varepsilon_i$  خطای

تصادفی مدل رگرسیون است بطوریکه:

$$E(\varepsilon_i) = 0 \\ V(\varepsilon_i) = \sigma^2(\varepsilon_i) = \sigma^2$$

#### ۵- مدل عمومی رگرسیون فازی

در روش های رایج رگرسیون، تفاوت بین مقادیر مشاهده شده و مقادیر پیش بینی شده توسط مدل، خطای پیش بینی در مقایسه با مشاهدات بوده و یک متغیر تصادفی فرض می شود. حد بالا و حد پایین مقدار پیش بینی محاسبه شده و احتمال قرار گرفتن مقدار پیش بینی در بین این دو حد بیانگر اطمینان تخمین

است. به عبارت دیگر مدل های رایج رگرسیون، ساختار احتمالی دارند. در حالی که در رگرسیون فازی، اختلاف بین مقادیر پیش بینی و مشاهده شده ناشی از ابهام ذاتی در سیستم است. مقدار خروجی برای ورودی های مشخص، دامنه مقادیر ممکن فرض می شود. بنابراین در رگرسیون فازی، امکان پذیری مقدار خروجی با توجه به



لازم به ذکر است در مدل فوق ضرایب  $X$  و  $Y$  هر دو تا توان دو مورد بررسی و شبیه سازی قرار گرفته اند. در نهایت خطاهای R-square (میانگین مربع ریشه ها) و RMSE (انحراف معیار) عبارتند از:

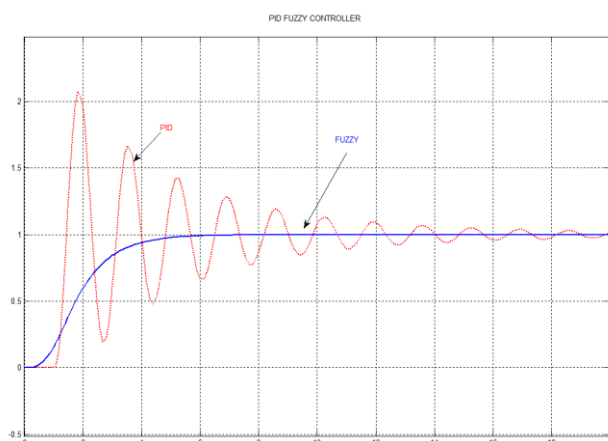
R-square: 0.6831

RMSE: 0.6904

۶- شبیه سازی:

در این بخش نتیجه شبیه سازی در محیط سیمولینک مطلب نشان داده شده است. پلاتی که در این مقاله بر روی آن عمل شبیه سازی انجام گرفته شده است، از روی مرجع [12] برگرفته شده است.

با توجه به شکل ۱۰ کاملاً مشهود است که کنترلر فازی دارای پاسخ بسیار مناسب (چه به لحاظ عدم اورشوت و چه به لحاظ تاخیر کمتر در خروجی) نسبت به مشابه PID می باشد.



شکل ۱۰: شبیه سازی خروجی فازی و PID

نتیجه گیری

در این مقاله سعی بر آن نمودیم که منطق فازی را بر روی رگولاتور ولتاژ که در دستگاه های الکترونیکی حساس نظیر مانند روبات ها، رادارها و سیستم کنترل سرعت (کروز) که نیاز به پاسخ سریع می باشند پیاده سازی کنیم. با به دست آوردن تابع تبدیل دستگاه

مقادیر متغیرهای ورودی بررسی می شوند. یک مدل

عمومی رگرسیون خطی فازی به شرح زیر است:

به طوری که  $\tilde{A}_i$  عدد فازی  $i$  امین است.

$$\tilde{Y} = f(x, \tilde{A}) = \tilde{A}_1 x_1 + \tilde{A}_2 x_2 + \dots + \tilde{A}_n x_n$$

رگرسیون فازی یک دامنه مقادیر ممکن را که با یک تابع

توزیع امکان (تابع عضویت) همراه است پیش بینی می

کند. توابع عضویت با تخصیص درجه های عضویت

مشخص به مقادیر پیش بینی شده شکل می

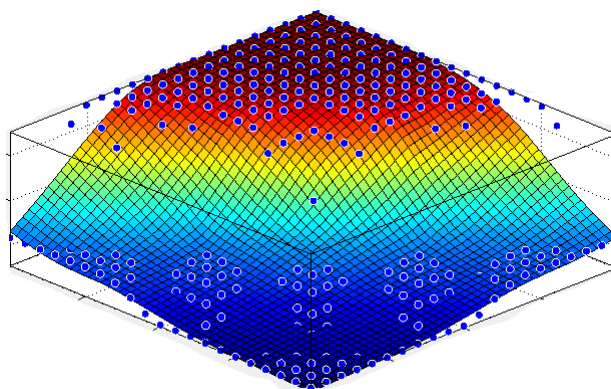
گیرند. همچنین توابع عضویت برای ضرایب متغیرهای

مستقل نیز تعریف می شوند.

نتایج رگرسیون فازی کنترلر فازی:

در شکل ۸ براساس موارد ذکر شده در مورد

رگرسیون، surface کنترلر فازی نشان داده شده است.



شکل ۹: نمای مربوط به surface رگرسیون فازی

معادله خطی مربوط به این کنترلر عبارتست از:

$$F(X, Y) = P_0 + P_1 X + P_2 Y + P_3 X^2 + P_4 X * Y + P_5$$

مقادیر عددی ضرایب فوق عبارتند از:

$$P_0 = -0.04699$$

$$P_1 = 1.22$$

$$P_2 = 1.208$$

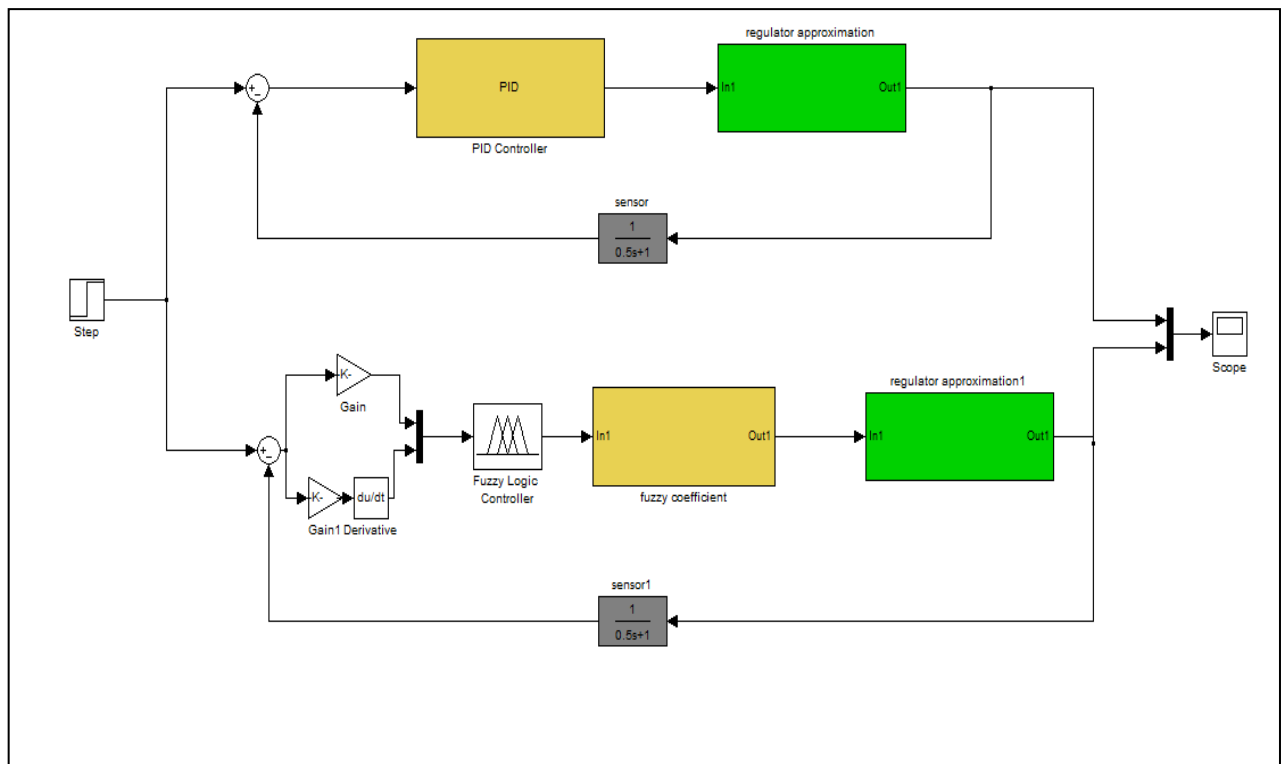
$$P_3 = 0.00719$$

$$P_4 = 0.1923$$

$$P_5 = 0.002203$$

و اعمال پله به آن اثبات نمودیم که کنترلر فازی به مراتب از PID (بدون اورشوت و تاخیر کمتر در شروع نسبت به کنترلر مشابه PID) می باشد که دو مزیت ذکر شده در کار حساسی چون روبات ها، رادارها و سیستم کنترل سرعت (کروز) بسیار مورد توجه قرار گرفته و مطلوب است.

شکل ۱۱: شبیه سازی در محیط سیمولینک







مراجع:

- Regulator System, World Academy of Science, Engineering and Technology 50 2009
- [7] Implementation of a New Self-Tuning Fuzzy PID Controller on PLC, Turk J Elec Engin, VOL.13, NO.2 2005
- [8] H. Rongen, "Introduction to Microproces- sors and Microcontrollers" Forschungszentrum Julich, Germany 2000.
- [9] PID-Fuzzy Controller for Grate Cooler in Cement Plant
- [10] Research on the parameters self-tuning fuzzy PID controller, 2009 Second International Symposium on Knowledge Acquisition and Modeling
- [11] H. Saadat, 1999, "Power System Analysis" McGraw Hill Book Company, New York.
- [12] A GENERALIZED DIRECT APPROACH FOR DESIGNING FUZZY LOGIC CONTROLLERS IN MATLAB/SIMULINK GUI ENVIRONMENT, ", International Journal of Information Technology and Intelligent Computing, Int. J. IT&IC no.4 vol.1, 2007.
- [1] A GENERALIZED DIRECT APPROACH FOR DESIGNING FUZZY LOGIC CONTROLLERS IN MATLAB/SIMULINK GUI ENVIRONMENT
- [2] A New Type of Adaptive Fuzzy PID Controller, Proceedings of the 8th World Congress on Intelligent Control and Automation ,July 6-9 2010, Jinan, China
- [3] B.J. Chalmers, "Influence of saturation in brushless permanent-magnet motor drives," IEE Proc. B, Electr. Power Appl., vol. 139, no. 1, pp.51-52, 1992.
- [4] C. T. Johnson and R.d. Lorenz, "Experimental identification of friction and its compensation in precise, position controlled mechanisms," IEEE Trans. Ind. Applicat., vol.28, no. 6,pp. 1392-1398,1992.
- [5] C.Canudas, K. J. Astrom, and K. Braun, "Adaptive friction compensation in DC-motor drives," IEEE J. Robot., Automat., vol. RA-3, no. 6,pp. 681-685,1987.
- [6] Fuzzy Logic PID Control of Automatic Voltage