



# اولین کنفرانس ملی ایده های نو در مهندسی برق

۱۶ و ۱۷ آذرماه ۱۳۹۱ - دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوراسگان - اصفهان



## طراحی و تجزیه و تحلیل کنترل کننده منطق فازی برای کنترل فرکانس بار در سیستم های قدرت

مهرداد احمدی کمپشتی<sup>۱</sup>، هدی کاظمی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> موسسه آموزش عالی روزبهان ساری، گروه برق، ساری، ایران [Mehرداد.ahmadi.k@gmail.com](mailto:Mehرداد.ahmadi.k@gmail.com)

<sup>۲</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی برق، موسسه آموزش عالی روزبهان ساری، ساری، ایران [hoda.kazemi.aski@gmail.com](mailto:hoda.kazemi.aski@gmail.com)

چکیده: روش های کنترل هوشمند فرآیند ها مانند کنترل منطق فازی (fuzzy logic control) موفقیت بزرگی است، به خصوص در محیط تجربی، نیاز چشمگیری به ارزیابی عملکرد آنها در زمان واقعی نسبت به روش های کنترل معمولی وجود دارد. چنین ارزیابی هایی، به کنترل فرآیند هوشمندسازی کمک می کند و زمینه کاربرد های پیچیده تر آن ها را در جهان واقعی فراهم می سازد. در این مقاله کنترل کننده منطق فازی برای سیستم های قدرت با کاربرد های خاص طراحی شده و با کنترل کننده های متداول مقایسه شده است. این سیستم با استفاده از نرم افزار MATLAB شبیه سازی شده است.

کلید واژه - کنترل کننده فازی، کنترل فرکانس بار، سیستم قدرت دو منطقه ای

### ۱. مقدمه

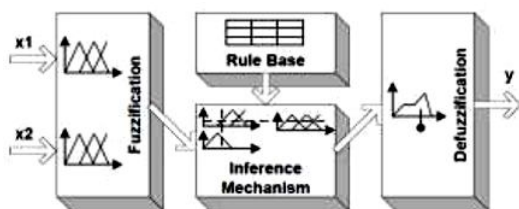
اکثر راه حل های کنترل خطی و غیر خطی در طی سه

دهه گذشته بر پایه مدل های دقیق ریاضی می باشند. اکثر این سیستم ها به سختی و یا حتی غیر ممکن است توسط روابط ریاضی قدیمی توصیف شوند. از این رو این طرح ممکن است راه حل های رضایت بخشی را فراهم نکند. رفتار FLC، توسط یک متخصص به آسانی فهمیده می شود، بعنوان دانشی که با استفاده از قواعد زبانی بیان شده است. در مقابل تئوری کنترل خطی و غیر خطی سنتی، FLC بر پایه مدل ریاضی بنا نشده و به طور گسترده برای حل مشکلات در محیط های نا معلوم و مبهم با درجه غیر خطی بالا استفاده می شود [2]. منطق فازی یک سطح مطمئنی از هوش مصنوعی را برای کنترل کننده های معمولی فراهم می کند. مزایای FLC بر کنترل کننده های

کنترل کننده های معمولی نمی توانند راه حل کلی برای مشکلات کنترلی فراهم کنند. وقتی که این فرآیند بیش از حد پیچیده شود، روش های کنترل معمولی نمی توانند به طور کارآمد کنترل کنند. برای غلبه بر این مشکلات، انواع مختلف کنترل کننده های PI و PID اصلاح شده مانند کنترل کننده های PID تطبیقی و تنظیم خودکار، به تازگی توسعه یافته اند [1]. همچنین نوع غیر متداول از کنترل کننده های PID با استفاده از منطق فازی، برای این منظور طراحی و شبیه سازی شده است. کنترل کننده های فازی بهتر از کنترل کننده های کلاسیک می باشند زیرا آنها می توانند طیف گسترده از شرایط عملیاتی را پوشش دهند و همچنین می توانند در شرایط نویزی و اختلال کار کنند.

در اینجا کنترل کننده فازی در یک سیستم کنترل حلقه بسته در نظر میگیریم. خروجی با ورودی مقایسه می شود. کنترل کننده منطق فازی شامل چهار اصل می باشد [3]:

- Fuzzification
- Rule base
- Inference mechanism
- Defuzzification



شکل ۱: کنترل کننده منطق فازی

اصول فازی و دفازی برای تبدیل سیگنال های موج دار به فازی و برعکس استفاده می شود.

مکانیسم استنتاج (inference) یک تطابقی بین جریان فازی ورودی با میدان ورودی به وجود می آورد. سپس قواعد برانگیختگی ترکیب می شوند تا قوانین کنترلی را شکل دهند.

## الف) کنترل کننده منطق فازی v/s کنترل کننده

### کلاسیکی

زبان های کنترل کننده انتگرالی قدیمی بصورت زیر خلاصه شده است:

۱. آهسته هستند.
۲. ماهیت اجزای غیر خطی سیستم قدرت را ندارند.
۳. بعضی از عوامل غیر خطی، اثر گاورنر ها، استفاده از نوع گرمایی توربین های بخار در سیستم های گرمایی، تولید میزان فشار (GRC) و غیره.

معمولی به صورت زیر است: آن ها برای توسعه ارزان هستند، یک طیف وسیعی از شرایط عملیاتی را پوشش می دهند، به آسانی قابل تنظیم به اصطلاحات زبان طبیعی هستند. کنترل کننده های فازی قابلیت خود تنظیمی و همچنین تطبیق به صورت غیر خطی، متغیر با زمان دارند.

## ۲. منطق فازی

اصولا برای طراحی کنترل کننده منطق فازی (FLC) دو روش وجود دارد:

۱) روش تخصصی ۲) روش مهندسی کنترل [1]

در ابتدا، ساختار کنترل کننده فازی و انتخاب پارامتر ها لازم است. طراحی و اجرای کنترل کننده منطق فازی اغلب به دانش و تجربه متخصصان و یا بینش و حرفه کارشناسان بستگی دارد. این رویکرد می تواند به ساخت یک مدل فازی یا مدل اولیه یک کنترل کننده فازی کمک کند. رویکرد بعدی کاربرد مهندسی کنترل و طراحی کنترل کننده فازی در بعضی جنبه ها شبیه طراحی های معمولی با انتخاب پارامتر ها بستگی به کارایی کنترل کننده دارد. شباهت FLC و کنترل کننده های PID و بهبود آنها در حال بررسی می باشد.

کنترل فازی از قوانین منطق فازی برای به دست آوردن کاربرد های کنترلی استفاده می شود. قوانین فازی بر پایه قوانین کنترلی می باشد. طراحی سیستم منطق فازی بر پایه مدل ریاضی نمی باشد. کنترل کننده های فازی با استفاده از منطق فازی، منطق بشری را پیاده کرده است که با توابع عضویت، قوانین فازی و قوانین عضویت برنامه ریزی شده است. کنترل کننده های فازی، خطا و تغییرات خطا را به عنوان تغییرات ورودی در نظر گرفته است.

شامل سه متغیر ورودی و دو متغیر خروجی می باشد که به صورت زیر توصیف شده اند:

IF X1 is M1 AND X2 is M2 AND X3 is M3 THEN  
u1 is M4; u2 is M5

X1, x2, x3 متغیر های ورودی هستند و u1, u2 متغیر های خروجی هستند. M1, M2, M3, M4, M5 ست های فازی هستند و AND منطق فازی می باشد. بخش اول رابطه بالا قاعده مقدم نامیده می شود و بخش باقیمانده قاعده نتیجه نامیده می شود. ساختار قاعده فازی Mamadani برای مدل فازی همان است. [4]

### ۳. مدل دینامیکی سیستم قدرت دو منطقه ای

مشکلات کنترل تولید اتوماتیک در یک سیستم قدرت با ارتباطات داخلی، با تقسیم کل سیستم به مناطق کنترلی، مورد مطالعه قرار گرفته است. یک "منطقه کنترلی" بعنوان یک سیستم قدرت، یک قسمتی از سیستم قدرت و یا ترکیبی از سیستم ها می باشد [5].

همه ژنراتور ها در منطقه کنترلی همزمان کار می کنند و در یک گروه مرتبط شکل می یابند. ارتباطات الکتریکی داخلی هر منطقه کنترلی در مقایسه با اتصال مناطق مجاور خیلی قوی هستند.

در کار حالت پایدار نرمال هر منطقه کنترلی یک سیستم قدرت تغییرات در بار را جبران می کند. هر منطقه کنترلی در یک سیستم قدرت به برقراری فرکانس و پروفایل ولتاژ در سرتاسر سیستم کمک می کند. سیستم چند منطقه ای با ارتباطات داخلی متشکل از تعدادی از مناطق کنترلی می باشد که هر یک از آنها تغییرات با خود را جذب می کنند. جریان های خط بین مناطق طبق برنامه نگهداری می شوند. هدف

۴. زمانی که بار به طور پیوسته در طی دوره روزانه تغییر می کند، به تناسب نقطه کار نیز تغییر می کند. این ویژگی اصلی سیستم قدرت می باشد. برای نتایج بهتر، گین انتگرال گیر باید با هر تغییر نقطه کار به طور متوالی تغییر کند و همچنین باید مقدار بهترین نقطه کار بین کمترین فرا جهش در پاسخ دینامیکی و بهبود حالت گذرای سریع صورت بگیرد. به دست آوردن این نقطه به صورت آزمایشی نسبتا مشکل است. بنابراین یک کنترل کننده انتگرالی اساسا یک کنترل کننده ثابت است که تحت یک وضعیتی بهینه است اما در نقطه کار دیگر نا مناسب است.

بنابراین یک کنترل کننده بر پایه سیستم هوشمند باید برای کنترل سیستم مناسب باشد.

### ب) انواع کنترل کننده های منطق فازی

دو نوع عمده قوانین فازی mamadani و takagi-sugeno(TS) نامیده می شوند. در اینجا ما نوع طراحی کنترل کننده Mamadani را در نظر گرفتیم [4]. قوانین فازی ساده mamadani که حرکات ماشین را توصیف می کند به صورت زیر است:

اگر سرعت بالا و شتاب پایین باشد تلفات نسبتا کم است. سرعت و شتاب متغیر های ورودی هستند و تلفات متغیر خروجی می باشد. "بزرگ"، "کوچک" و "متعادل" ست های فازی هستند، دو تای اول ست فازی ورودی و آخری ست فازی خروجی نامیده می شوند.

متغیر ها می توانند با علایم ریاضی نمایش داده شوند. بنابراین قوانین فازی mamadani برای یک کنترل کننده فازی

به طور مشابه توان خروجی منطقه ۲ به صورت رابطه ۳ می باشد:

$$\Delta P_{tie2} = 2\pi T_{21} \left( \int \Delta f_2 dt - \int \Delta f_1 dt \right) \quad (3)$$

با گرفتن تبدیل لاپلاس از معادلات فوق داریم [5]:

$$\begin{aligned} \Delta P_{tie1}(s) &= \frac{2\pi T_{12}}{s} [\Delta f_1(s) - \Delta f_2(s)] \\ \Delta P_{tie2}(s) &= \frac{-2\pi T_{12} T_{21}}{s} [(\Delta f_1(s) - \Delta f_2(s))] \end{aligned} \quad (4)$$

#### ۴. عملکرد کنترل کننده فازی بر کنترل فرکانس بار

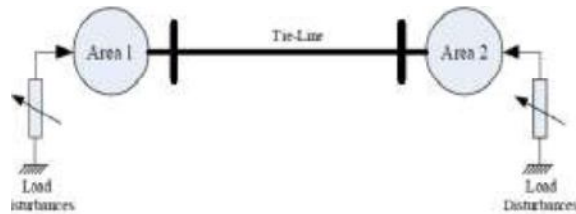
اولین گام در طراحی یک کنترل کننده فازی تعیین متغیرهای حالت سیستم دینامیکی می باشد که سیگنال ورودی را به کنترلر مرتبط می کند. منطق فازی از متغیرهای زبانی به جای متغیرهای عددی استفاده می کند. فرآیند تبدیل متغیرهای عددی به متغیرهای زبانی، fuzzication نامیده می شود. همانطور که در بالا ذکر شده، در یک سیستم قدرت ایزوله شده، خطای کنترل منطقه ای (ACE) و مشتق ACE به عنوان ورودی به AGC فازی داده می شود.

برای سیستم قدرت دو ناحیه ای، دو کنترل کننده فازی غیر متمرکز استفاده می شود (یک کنترل کننده برای هر ناحیه). ACE1 و  $\Delta ACE1$  سیگنال های خطا برای کنترل کننده فازی در ناحیه ۱ و ACE2 و  $\Delta ACE2$  برای ناحیه ۲.

در این مطالعه، توابع عضویت مثلثاتی برای متغیرهای ورودی و خروجی استفاده می شود. هر چقدر تعداد توابع عضویت افزایش یابد، کیفیت کنترل بهبود می یابد. هر چقدر تعداد متغیرهای زبانی افزایش یابد، زمان محاسباتی و حافظه مورد نیاز افزایش می یابد. بنابراین مصالحه بین کیفیت کنترل و زمان محاسباتی برای انتخاب تعداد متغیرهای زبانی مورد نیاز

کنترل، تنظیم فرکانس هر منطقه و به طور همزمان تنظیم توان خط به صورت قراردادی می باشد. کنترل کننده انتگرالی و نسبیتی خطای فرکانس و توان خط را به صفر می رساند.

سیستم دو منطقه ای (شکل ۲) برای تحقیقات در نظر گرفته شده است. هر منطقه کنترلی با یک گاورنر سرعت، توربین و سیستم قدرت با ژنراتور معادل در نظر گرفته شده است



شکل ۲: سیستم قدرت دو منطقه ای

توان انتقالی خط در داخل یا خارج منطقه ۱ به صورت رابطه ۱ داده شده است:

$$P_{tie1} = \frac{|V_1||V_2|}{X_{12}} \sin(\delta_1^0 - \delta_2^0) \quad (1)$$

که در آن  $\delta_1^0$  و  $\delta_2^0$  زوایای ژنراتورهای دو ناحیه،  $V_1$  و  $V_2$  به ترتیب ولتاژهای باس ۱ و ۲ هستند.  $X_{12}$  راکتانس خط انتقال می باشد.

توان خط به صورت رابطه ۲ است:

$$\Delta P_{tie1} = 2\pi T_{12} \left( \int \Delta f_1 dt - \int \Delta f_2 dt \right) \quad (2)$$

که در آن  $T_{12}$  = ضریب همزمانی یا سختی الکتریکی خط انتقال می باشد.

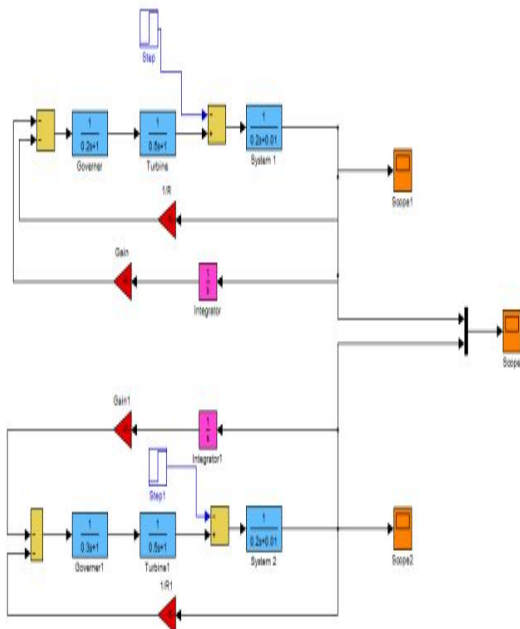
$\Delta F_1$  و  $\Delta f_2$  تغییرات فرکانس افزایشی در مناطق ۱ و ۲ می باشند.

است. برای بررسی AGC در مناطق جدا شده، هفت متغیر زبانی برای متغیر های ورودی و خروجی انتخاب شده است. این متغیر ها در جدول 1 نشان داده شده است.

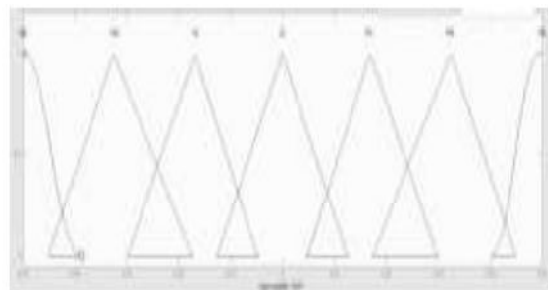
جدول ۱: متغیر های زبانی [6]

NB	Negative Big
NM	Negative Medium
NS	Negative Small
Z	Zero
PS	Positive Small
PM	Positive Medium
PB	Positive Big

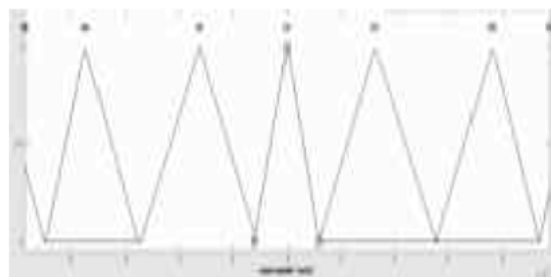
کنترل کننده فازی طراحی شده در بالا به دو ناحیه سیستم قدرت اعمال شده است. پاسخ سیستم با کنترل کننده های معمولی (AGC) PI و نوع تکمیل شده کنترل کننده مقایسه شده است. شبیه سازی سیستم با استفاده از سیمولینک متلب و جعبه ابزار fuzzy logic toolbox و همچنین شکل موج ها به صورت شکل ۶، ۷، ۸، ۹ و ۱۰ نشان داده شده است:



ACE و توابع عضویت کنترل فازی به صورت شکل ۳ و ۴ می باشند:

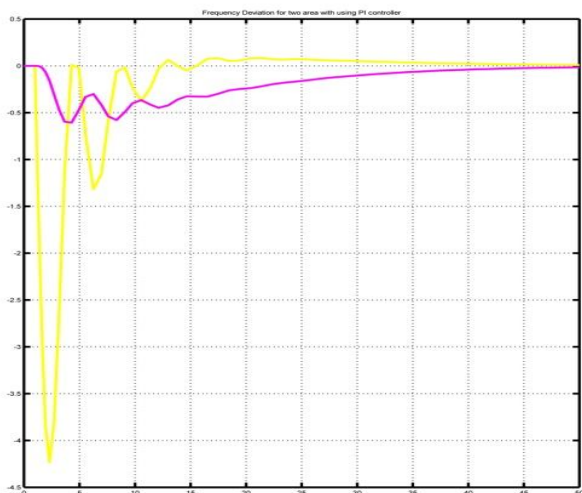


شکل ۳: خطای ACE کنترل کننده فازی [7]

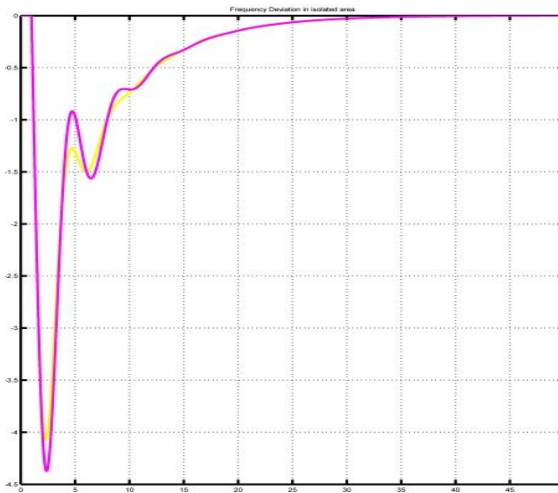


شکل 4: عمل کنترل

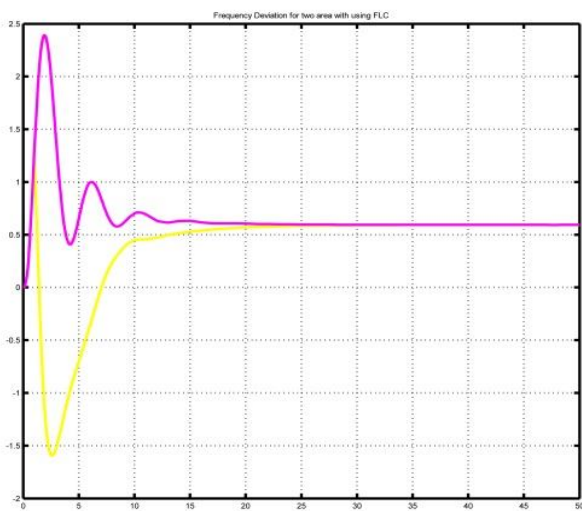
شکل 5: سیستم قدرت دو منطقه ای بدون کنترل کننده



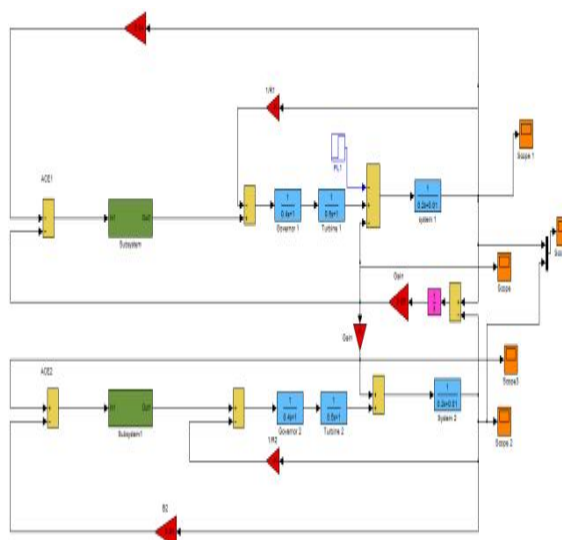
شکل ۸: انحراف فرکانس در کنترلر PI



شکل ۶: انحراف فرکانس در سیستم دو منطقه ای



شکل ۹: انحراف فرکانس در FLC



شکل ۷: سیستم دو منطقه ای با کنترل کننده

## ۶. نتیجه گیری

کنترل کننده منطق فازی برای کنترل فرکانس بار در مناطق جدا از هم و سیستم های قدرت با ارتباطات داخلی دو منطقه ای طراحی شده است. عملکرد سیستم دینامیکی با استفاده از کنترل کننده فازی و PI کنترلر مشاهده می شود.



مزیت اصلی کنترل کننده فازی سادگی در طراحی آن می باشد. یکی از ویژگی های اساسی کنترل کننده فازی این است که فرآیند می تواند بدون دانش در زمینه دینامیک کنترل شود. با شبیه سازی ثابت کردیم که کنترل کننده فازی از کنترل کننده های معمولی بهتر است اما مستلزم این است که تغییرات در بار به طور دقیق پیش بینی شوند. کنترل کننده های فازی تقویتی در جاهایی که طراحی دقیق و یا پیش بینی تغییرات بار در سیستم مشکل است، استفاده می شوند. با توجه به شکل ها مشاهده می شود که کنترل کننده فازی رفتار بسیار مناسب تری نسبت به کنترل کننده PI دارد و همچنین مقدار overshoot و فرکانس در کنترل کننده فازی نسبت به کنترل کننده PI و کنترل کننده های معمولی کاهش یافته است.

## مراجع

- [1] G. Chen, "Conventional and fuzzy PID controllers: an overview", International Journal of Intelligent and Control Systems, 1, 1996, pp.
- [2] H. Ying, Fuzzy Control and Modeling: Analytical Foundations and Applications. Wiley-IEEE Press, 2000.
- [3] Journal of Science and Technology 12 (02 ) December 2011.
- [4] طراحی کنترل کننده های فازی
- [5] Dynamics and Control of Electric Power Systems Lecture 227-0528-00, ITET ETH G'oran Andersson EEH - Power Systems Laboratory ETH Z'urich February 2012
- [6] World Academy of Science, Engineering and Technology 60 2011.
- [7] Gazi University Journal of Science GU J Sci 24(4):805-816 (2011).