



University of Kurdistan

Dept. of Electrical and Computer Engineering

Smart/Micro Grid Research Center

smgrc.uok.ac.ir

PI parameter tuning for frequency/voltage controller in a Microgrid using fuzzy logic.

Laleh, M S, Ahmadi S, Bevrani H

Published (to be published) in: 21th Iranian Conf. on Electrical Engineering ICEE-2013, Mashad, Iran.

(Expected) publication date: 2013

Citation format for published version:

Laleh, M S, Ahmadi S, Bevrani H (2013) PI parameter tuning for frequency/voltage controller in a Microgrid using fuzzy logic. 21th Iranian Conf. on Electrical Engineering ICEE-2013 (in Persian), Mashad, Iran.

Copyright policies:

- Download and print one copy of this material for the purpose of private study or research is permitted.
- Permission to further distributing the material for advertising or promotional purposes or use it for any profit-making activity or commercial gain, must be obtained from the main publisher.
- If you believe that this document breaches copyright please contact us at smgrc@uok.ac.ir providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

تعیین ضرایب PI در کنترل فرکانس و ولتاژ یک شبکه مایکروگرید

با استفاده از منطق فازی

^۱ محمد سیفی لاله^۱، صالح احمدی^۲، حسن بیورانی^۳

^۱ دانشگاه کردستان، Mohammadsayfi.uok@gmail.com

^۲ دانشگاه کردستان، salehahmadi66@yahoo.com

^۳ دانشگاه کردستان، bevrani@ieee.org

چکیده - شبکه‌های نوین تولید به افزایش هوشمندی و انعطاف پذیری در کنترل و بهینه سازی برای اطمینان از تعادل بار-تولید و جلوگیری از اختلال‌های جدی در شبکه نیاز دارد. امروزه این مساله باعث افزایش تعداد مایکروگریدها در شبکه شده است. مایکروگریدها عمدتاً از انرژی‌های تجدیدپذیر که به صورت طبیعی تغییر می‌کنند برای تولید برق استفاده می‌کنند. این تغییرات و عدم قطعیت در شبکه‌های قدرت باعث افزایش استفاده از کنترل‌کننده‌های متنوع از جمله کنترل‌کننده‌های ساده PI شده است. در پاسخ به این چالش، مقاله حاضر راهکاری نوین برای تعیین ضرایب PI بر مبنای تغییرات پارامترهای مرتبط با استفاده از منطق فازی برای کنترل فرکانس و ولتاژ ارائه می‌دهد. کلید واژه- منابع پراکنده، شبکه‌های هوشمند، منطق فازی

۱- مقدمه

افزایش تقاضا برای انرژی باعث وارد شدن چندین منبع غیرمعمول برای تولید برق شده است که افزایش پیچیدگی شبکه و عدم قطعیت در شبکه را بالا برده است. انرژی‌های تجدیدپذیر عمده این منابع هستند که از آن جمله موتورهای احتراق داخلی، میکروتوربین‌ها، سلول‌های فتوولتائیک، توربین‌های بادی، پیل-های سوختی و باتری‌ها را می‌توان نام برد. اگرچه استفاده از این منابع مزایای زیادی دارد اما بهره‌برداری همزمان آن‌ها با شبکه اصلی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. اساس وارد کردن مایکروگریدها در شبکه بر مبنای افزایش توانایی شبکه‌های متداول قدرت می‌باشد و همچنین مسائل اقتصادی و محیط زیست بر این مساله سایه افکنده است. منابع تولید پراکنده (Distributed Generations) DG در سطح ولتاژهای پایین قرار گرفته‌اند و اتصال این DGها به شبکه اصلی که سطح ولتاژ بالایی دارد چالشی جدید از جمله پایداری شبکه، کیفیت برق و عملکرد شبکه را به دنبال دارد.

برای تعیین ضرایب PI (Proportional Integral) از روش‌های مختلفی از روش قدیمی Ziegler-Nichols تا روش هوشمند Fuzzy- PSO استفاده شده است. در این مقاله از ایده منطق فازی برای بهبود نتایج بهره گرفته شده است.

۲- شبکه‌های هوشمند

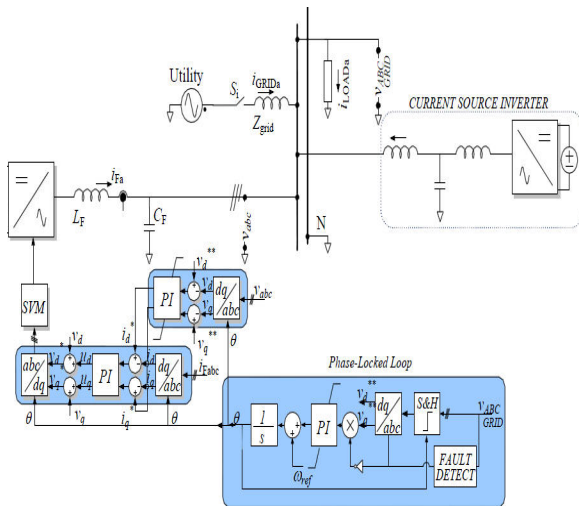
شبکه‌های هوشمند توزیع انرژی الکتریکی یکی از جدیدترین فناوری‌های روز دنیا و حاصل سعی و تلاش متخصصین جهت مدرنیزه نمودن شبکه‌های توزیع و ورود به قرن دیجیتال است. اصلی‌ترین هدف، تأمین برق مطمئن و پاسخگویی به نیازهای رو به رشد مشتریان با کمترین خسارت به محیط زیست است. از مزایای شبکه‌های هوشمند پیک سایی (کم کردن ریبیل)، کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی، کاهش خاموشی‌ها، کاهش سرمایه‌گذاری مورد نیاز برای پروژه‌های توزیع و انتقال به جهت بهبود بالانس بار و کاهش بار در پیک مصرف با مدیریت نوین تقاضا و همچنین کاهش هزینه‌ها می‌باشد. شبکه‌های هوشمند از لحاظ توان (Power) به سه دسته تقسیم می‌شوند:

$1 \text{ w} < P < 5 \text{ Kw}$	ریز
$5 \text{ Kw} < P < 5 \text{ Mw}$	کوچک
$5 \text{ Mw} < P < 50 \text{ Mw}$	متوسط
$P > 50 \text{ Mw}$	بزرگ

در این مقاله شبکه هوشمند در سطح توان کوچک در نظر گرفته شده است.

۲-۱- روش‌های کنترل شبکه‌های هوشمند

روش کنترل مرکزی دارای یک سیستم کنترل مرکزی می‌باشد. در چنین کنترلی، اطلاعات همه منابع انرژی پراکنده به



شکل ۱: فرم کلی یک منبع تولید پراکنده به همراه ساختار کنترلی.

منبع تولید پراکنده به صورت منبع ۴۰۰ ولت و جریان مستقیم در نظر گرفته شده است [۱]. جهت تبدیل جریان مستقیم به جریان متناوب از یک اینورتر با دیودهای MOSFET استفاده شده است. ساختار کنترل فرکانس و ولتاژ مربوط به کنترل مدولاتور پهنای پالس گیت است. از مدولاتور پهنای پالس برای تامین پالس‌های گیت دیودهای به کار رفته در اینورتر، استفاده شده است [۲]. در مرحله بعدی مقدار ΔV_d از مقدار یک پریونیت و ΔV_q از، صفر پریونیت کم شده و به ورودی کنترل کننده تناسبی انتگرالی (PI) اعمال می‌شود. ضرایب این کنترل کننده به گونه‌ای انتخاب می‌شود که خروجی‌های آن که به عنوان مرجع جریان به کار می‌روند به ترتیب یک و صفر پریونیت باشند.

۳-۱- شبیه‌سازی منبع تولید پراکنده در حالت مستقل

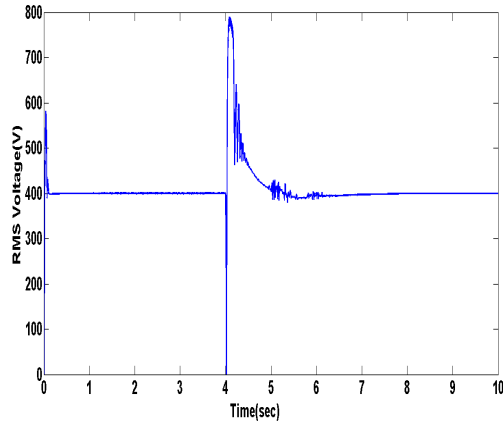
شبیه‌سازی در محیط Simpower و در ۱۰ ثانیه انجام شده است. خروجی منبع تولید پراکنده یک بار ثابت ۳۰ کیلو اهم مقاومتی و ۱۰ کیلو هانری سلفی است. در شکل‌های ۲ و ۳ به ترتیب فرکانس و ولتاژ یک منبع تولید پراکنده نشان داده شده است که فرکانس و ولتاژ آنها ۵۰ هرتز و ۴۰۰ ولت موثر فاز به فاز می‌باشد. همچنین در شکل‌های ۴ و ۵ ولتاژ موثر فاز به فاز با اعمال خطای سه فاز در زمان ۴/۲ ثانیه نشان داده شده است که شبکه پس از گذشت مدت زمان کوتاهی توانسته است فرکانس و ولتاژ آن را کنترل کند.

کنترل مرکزی می‌رود و در آنجا برای وضعیت شبکه هوشمند تصمیم‌گیری می‌شود. در این حالت مثلاً با اضافه و کم شدن باری به شبکه هوشمند سیستم کنترل مرکزی با دانستن اطلاعات تولیدکننده‌ها بار اضافه شده را بین آنها تقسیم می‌کند [۱، ۲]. منابع، فرمان‌های کنترلی را صادر و اطلاعات مربوط به این تولیدکننده‌ها از طریق خطوط ارتباطی به کنترل مرکزی فرستاده می‌شود و نقاط کار تمامی این تولیدکننده‌ها توسط این کنترل کننده مرکزی بسته به نوع تولیدکننده و قابلیت آنها در شرکت کردن در امر کنترل فرکانس تعیین می‌شود. در کنترل تک‌عامله یک منبع انرژی پراکنده بزرگ (منبع تولید یا ذخیره) وجود دارد که به منظور تنظیم فرکانس شبکه هوشمند و همچنین برقراری تعادل انرژی در لحظات گذرا و دائمی کنترل می‌شود. در این رویه منبع مرجع بایستی فرمان‌پذیر و دارای ذخیره انرژی کافی باشد. در کنترل پراکنده هر تولید کننده با استفاده از سیگنال‌های اندازه‌گیری شده‌ی محلی به صورت مستقل عمل می‌کند. در این حالت هیچ منبعی مرجع نیست و همگی از نظر کنترلی هم درجه می‌باشند که خارج شدن یکی از آنها از مدار اختلالی در کار دیگران ایجاد نمی‌کند.

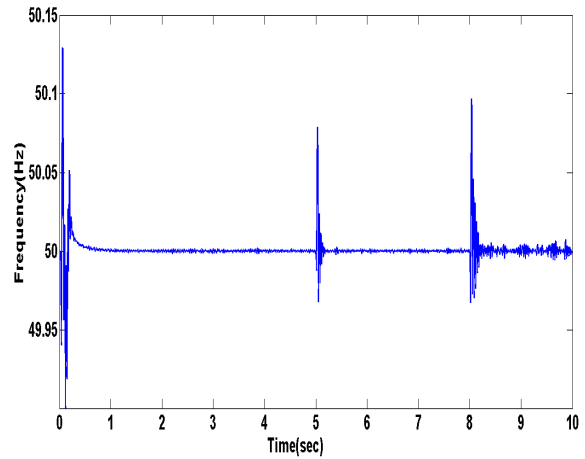
۳-۲- کنترل ولتاژ و فرکانس یک منبع تولید پراکنده

یک منبع تولید پراکنده به دلیل پایین بودن اینرسی در پاره‌ای از موارد و ثابت نبودن تولید آن در ساعات مختلف شبانه روز، نیاز به داشتن یک سیستم ذخیره ساز را ایجاد می‌کند [۱].

مدل اولیه یک منبع تولید پراکنده [۱] می‌تواند به صورت شکل ۱ باشد. اگر خروجی منبع، جریان مستقیم باشد، پس از عبور آن از یک چارپر به یک ذخیره ساز متصل می‌شود. خروجی ذخیره‌ساز به یک اینورتر جهت ساختن مقدار جریان متناوب مورد نظر اعمال می‌شود. همچنین اگر خروجی منبع، جریان متناوب باشد از یک مبدل جریان متناوب به جریان مستقیم عبور داده می‌شود. مقدار خروجی که جریان مستقیم است از یک چارپر عبور داده شده و خروجی آن به یک ذخیره ساز داده می‌شود. در نهایت خروجی ذخیره‌ساز به اینورتر جهت تامین مقادیر جریان و ولتاژ متناوب مورد نظر داده می‌شود. با توجه به توضیحات ذکر شده می‌توان یک منبع تولید پراکنده به عنوان محرک اولیه را به گونه‌ای در نظر گرفت که با به همراه داشتن یک سیستم ذخیره ساز انرژی، دارای خروجی جریان مستقیم و ولتاژ ۴۰۰ ولت موثر فاز به فاز باشد.



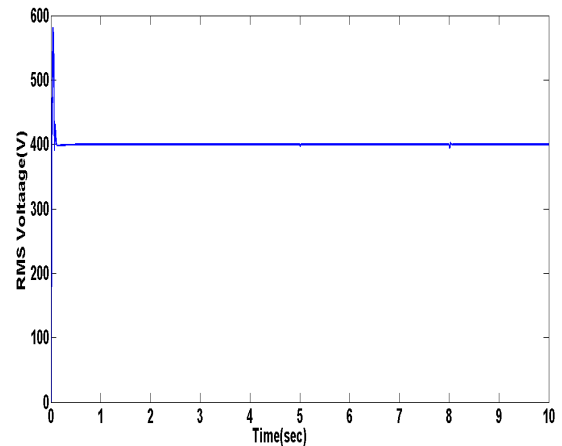
شکل ۵: ولتاژ موثر فاز به فاز یک منبع تولید پراکنده بر حسب زمان با اعمال خطای سه فاز.



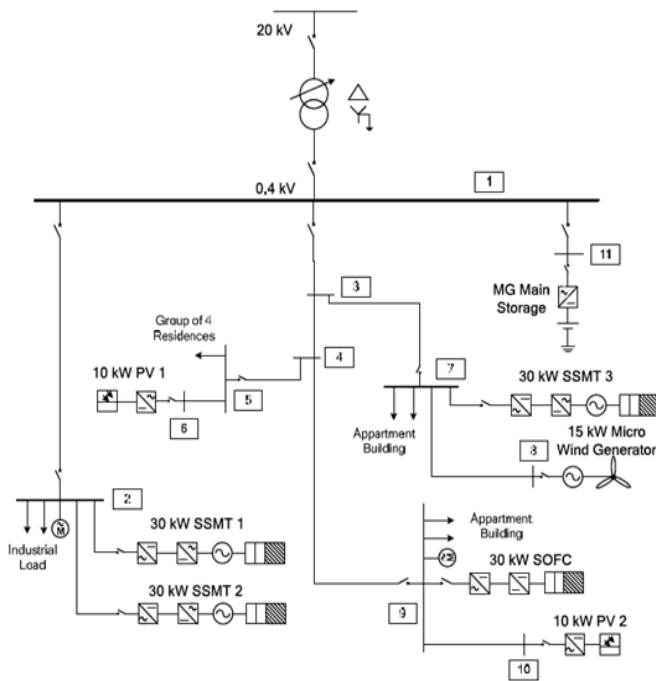
شکل ۲: فرکانس یک منبع تولید پراکنده بر حسب زمان.

۴- نمونه مورد مطالعه (شبیه سازی سیستم ۱۱ شینه)

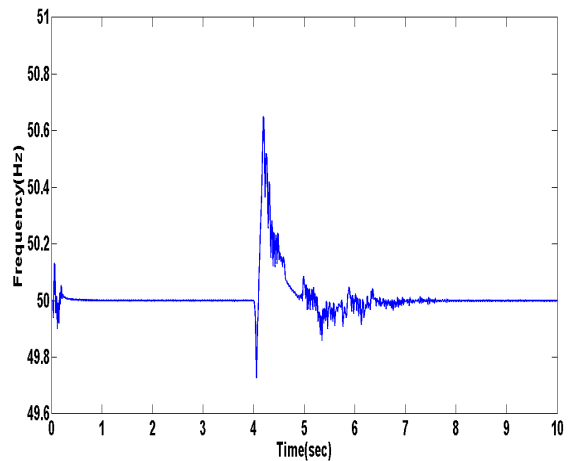
این سیستم [۲] که در شکل ۶ نشان داده شده شامل یازده شین بوده که دارای هشت منبع تولید پراکنده بدین صورت است دو عدد میکروتوربین در شین ۲، واحدهای فتوولتاییک در شین ۶ و ۱۰، پیل سوختی اکسید جامد در شین ۹، میکروتوربین و توربین بادی در شین های ۷ و ۸ و یک سیستم ذخیره ساز در شین ۱۰ می باشد. شبکه اصلی در شین ۱۲ واقع بوده و از طریق شین ۱، به شبکه هوشمند متصل شده است.



شکل ۳: ولتاژ موثر فاز به فاز یک منبع تولید پراکنده بر حسب زمان.



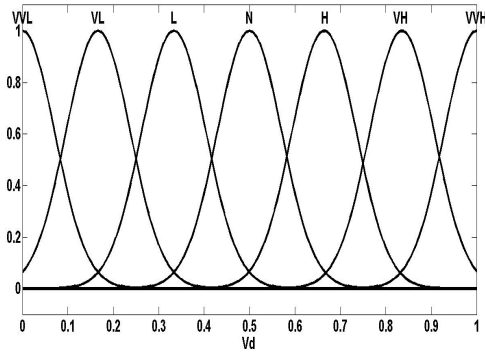
شکل ۶: سیستم یازده شینه.



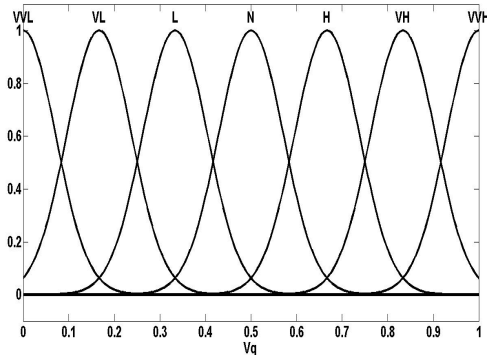
شکل ۴: فرکانس یک منبع تولید پراکنده بر حسب زمان با اعمال خطای سه فاز.

۵- ارائه راهکار فازی برای تعیین ضرایب PI

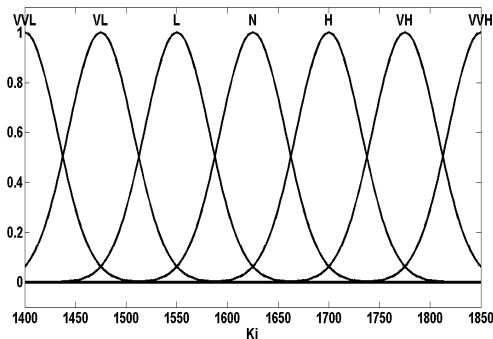
مطالعات زیادی برای تعیین ضرایب با استفاده از روشهای کلاسیک مانند روش Ziegler-Nichols انجام گرفته است [۵]. در این مقاله سعی شده است که با استفاده از قوانین فازی و بر اساس تغییرات پارامترهایی که در تعیین مقدار ضرایب موثرند ضرایب را تعیین کرد. برای انجام این کار بر روی شینه‌هایی که بار بیشتری دارند تمرکز شده است، به همین منظور شین ۲ و ۷ برای این کار انتخاب شده است. مقادیر بار این دو شین در جدول ۱ آمده است. برای شبیه سازی این بخش از Toolbox Matlab استفاده شده است. برای این کار از چهار تابع عضویت ΔV و Δf که به ترتیب بیانگر ماکزیمم تغییرات ولتاژ و فرکانس و همچنین ΔV_d و ΔV_q که تبدیل یافته ولتاژ سه فاز تحت تبدیل پارک می‌باشند برای ورودی و دو تابع عضویت K_p و K_i برای خروجی استفاده شده است. شکل‌های ۷ تا ۱۲ ورودی‌ها و خروجی‌ها و همچنین شکل ۱۳ قوانین فازی را نمایش می‌دهند. برای تعیین ضرایب، محدوده K_i مابین ۱۴۰۰ تا ۱۸۵۰ و ۲۰۰ تا ۴۷۰ و همچنین محدوده K_p بین ۵۰۰ تا ۸۰۰ و ۱۵۰ تا ۸۰۰ که برای PI ها متغیر است تعیین گردیده است. مقادیر ΔV_q و ΔV_d بین ۰ و ۱ می‌باشد.



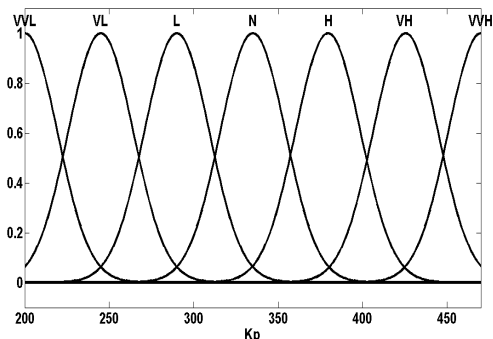
شکل ۹: تابع عضویت تغییرات ΔV_d



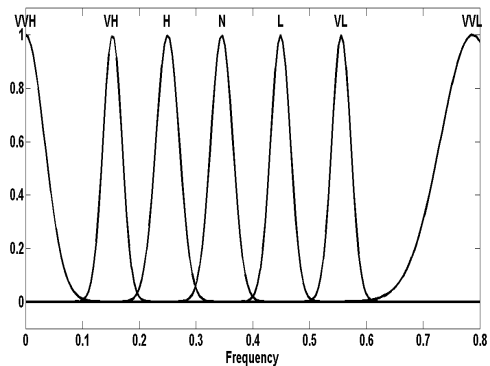
شکل ۱۰: تابع عضویت تغییرات ΔV_q



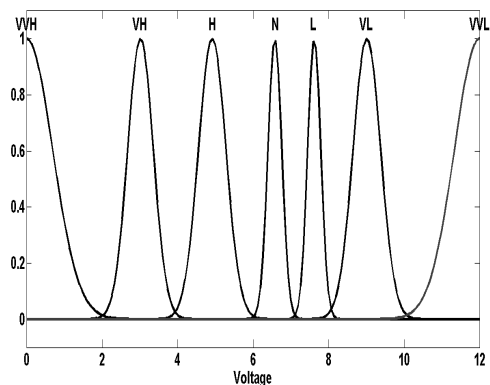
شکل ۱۱: تابع عضویت تغییرات K_i



شکل ۱۲: تابع عضویت تغییرات K_p



شکل ۷: تابع عضویت تغییرات فرکانس (Δf)



شکل ۸: تابع عضویت تغییرات ولتاژ (ΔV)

در تبدیل پارک مقادیر ΔV_d و ΔV_q به ترتیب ۰ و ۱ می‌باشد که در این حالت ولتاژ سه فاز کاملاً متقارن را می‌دهد.

- 1. If (ΔV_q is VVL) and (ΔV_d is VVL) then (K_p is VVL)(1)
- 2. If (ΔV_q is VL) and (ΔV_d is VL) then (K_p is VL)(1)
- 3. If (ΔV_q is L) and (ΔV_d is L) then (K_p is L)(1)
-
-
- 8. If (ΔV_q is VVL) and (ΔV_d is VVL) then (K_i is VVL)(1)
- 9. If (ΔV_q is VL) and (ΔV_d is VL) then (K_i is VL)(1)
-
-
- 15. If (Frequency is VVH) and (ΔV_q is VVL) and (ΔV_d is VVL) then (K_p is VVL)(1)
- 16. If (Frequency is VH) and (ΔV_q is VL) and (ΔV_d is VL) then (K_p is VL)(1)
- 17. If (Frequency is H) and (ΔV_q is L) and (ΔV_d is L) then (K_p is L)(1)
-
-
- 27. If (ΔV is VL) and (ΔV_q is VH) and (ΔV_d is VH) then (K_i is VH)(1)
- 28. If (ΔV is VVL) and (ΔV_q is VVH) and (ΔV_d is VVH) then (K_i is VVH)(1)

شکل ۱۳: توابع عضویت.

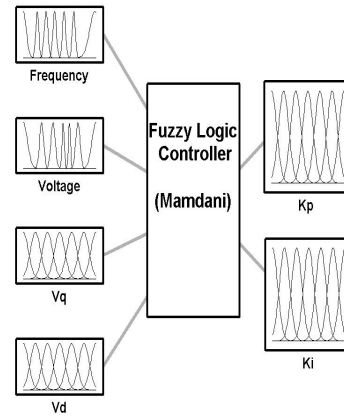
ساختار منطق فازی مورد بررسی که در شکل ۱۲ نشان داده شده است Mamdani می‌باشد [۴, ۳] همچنین تعداد قوانین فازی به کار رفته ۲۸ می‌باشد که در شکل ۱۱ نشان داده شده است. متغیرهای ورودی که در شکل‌های ۷ تا ۱۰ نشان داده شده است شامل ۷ تابع عضویت با نام‌های VL, VVL, L, N, H, VH و VVH که به ترتیب عبارتند از مقدار خیلی خیلی پایین، خیلی پایین، کم، نرمال، بالا، خیلی بالا و خیلی خیلی بالا [۳]. ساختار فازی ذکر شده بر روی شین‌های ۲ و ۷ که بیشترین بار را دارند در بدترین شرایط ممکن برای ورودی‌ها آزمایش شده است که مقادیر ورودی برای تغییرات ولتاژ ۱۲ ولت و برای تغییرات فرکانس ۰/۸ هرتز و برای ΔV_d و ΔV_q مقادیر ۱ قرار داده شده است که در جدول ۱ مقادیر به دست آمده برای ضرایب PI و در جداول ۲ و ۳ مقادیر بار متصل به شین‌ها و پارامترهای خطوط شبکه هوشمند را نشان می‌دهد. در شکل‌های ۱۵ تا ۱۸ تغییرات فرکانس و ولتاژ در دو باس ۲ و ۷ با استفاده از مقادیر به دست آمده با استفاده از روش‌های معمول و فازی نشان داده شده است، که نشان‌دهنده عملکرد مناسب کنترل‌کننده فازی می‌باشد.

جدول ۲: مقادیر بارهای متصل به شین‌های شبکه هوشمند.

Bus Number	Load (kVA)
2	67.2+j19.6
5	19.6+j4.0
7	48.8+j11.1
9	29.3+j6.7

جدول ۳: پارامترهای خطوط شبکه هوشمند.

Line	Bus i	Bus j	R (Ω)	X (Ω)
1	1	2	0.0528	0.0142
2	1	3	0.0341	0.0103
3	1	11	0.0123	0.0021
4	3	4	0.0199	0.0058
5	3	7	0.0680	0.0128
6	4	5	0.0261	0.0025
7	4	9	0.0687	0.0149
8	5	6	0.0414	0.0026
9	7	8	0.0870	0.0084
10	9	10	0.0414	0.0026



شکل ۱۴: ساختار منطق فازی.

جدول ۱: مقادیر ضرایب کنترل‌کننده‌ها.

Control parameter	Value with conventional method	Value with fuzzy logic
Kp1	430	413
Ki1	1670	1860
Kp2	400	751
Ki2	800	777

۶- نتیجه‌گیری

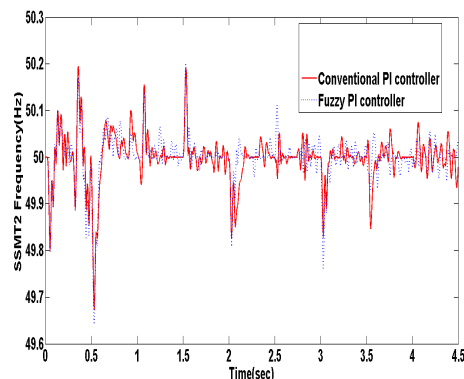
در شبکه متصل به منابع پراکنده راهکاری بر مبنای ایده منطق فازی برای کنترل این پارامترها ارائه شده است. در این مطالعه از کنترل کننده‌های PI استفاده شده است. برای تعیین ضرایب در ابتدا از روش‌های معمول برای تعیین این ضرایب استفاده شده است اما با توجه پیچیدگی‌های مساله از روش منطق فازی کمک گرفته شده است. منطق فازی در واقع مدلی برای تبدیل مدل‌های غیرخطی به روابط قابل فهم می‌باشد. سادگی و همچنین زبانی بودن قوانین منطق فازی باعث شده است که استفاده از آن به شدت در حال افزایش باشد. در این مقاله از وابستگی و تغییرات ضرایب PI به پارامترهای ΔV_q , Δf و ΔV_d برای بدست آوردن قوانین فازی استفاده شده است.

سپاسگزاری

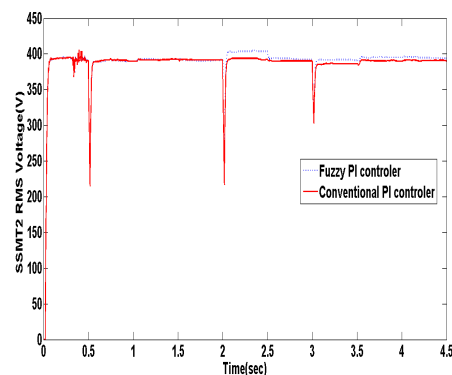
نویسندگان مقاله از زحمات بی شائبه مهندس شورش شکوهی در انجام موفقیت آمیز این پژوهش تقدیر می‌کنند.

مراجع

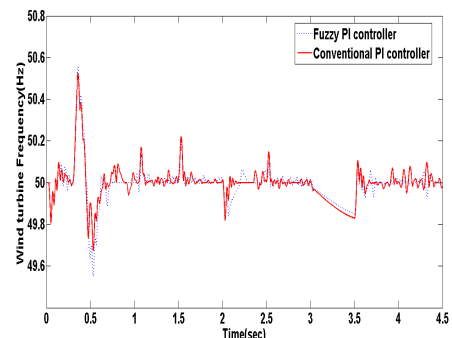
- [۱] H. Karimi, A. Yazdani, and R. Iravani, "Negative-Sequence Current Injection for Fast Islanding Detection of a Distributed Resource Unit," *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. ۲۳, pp. ۲۹۸-۳۰۷, ۲۰۰۸.
- [۲] T. Thacker, F. Wang, and D. Boroyevich, "Islanding Control of a Distributed Generation Unit's Power Conversion System to the Electric Utility Grid," in Proc. *IEEE ۳rd Power Electronics Specialists Conference*, ۲۰۰۵. PESC '0۵, ۲۰۰۵.
- [۳] S. Ahmadi, H. Bevrani, and H. Jannaty, "A Fuzzy Inference model for Short-term Load Forecasting," *Iranian Conf. on Renewable Energy and Distributed Generation (ICREDG)*, pp. ۳۹-۴۴.
- [۴] E. Abdulhadi, O. Badran, and R. Mamlook, "Fuzzy Inference model for Short-term Load Forecasting," *Energy policy* ۳۷ (۲۰۰۹) ۱۲۳۹-۱۲۴۸, ۲۰۰۹.
- [۵] H. Bevrani, F. Habibi, P. Babahajyani, M. Watanabe, Y. Mitani "Intelligent Frequency Control in an AC Microgrid: Online PSO-Based Fuzzy Tuning Approach," *IEEE Transactions on Smart Grid*, ۲۰۱۲.



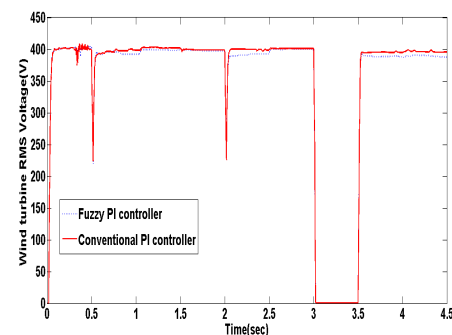
شکل ۱۵: فرکانس میکروتوربین ۲ بر حسب زمان.



شکل ۱۶: ولتاژ میکروتوربین ۲ بر حسب زمان.



شکل ۱۷: فرکانس توربین بادی بر حسب زمان.



شکل ۱۸: ولتاژ توربین بادی بر حسب زمان.