



University of Kurdistan

Dept. of Electrical and Computer Engineering

Smart/Micro Grid Research Center

smgrc.uok.ac.ir

\Design of a GA-based hierarchical controller for stabilizing the microgrids (in Persian)

Waseei H, Bevrani H

Published (to be published) in: 3rd National Conf. on Fuel, Energy and Environment (NCFEE2013), Tehran, Iran.

(Expected) publication date: 2013

Citation format for published version:

Sabori F, Shokoohi S, Bevrani H (2013) Design of a GA-based hierarchical controller for stabilizing the microgrids (in Persian). 3rd National Conf. on Fuel, Energy and Environment (NCFEE2013), Tehran, 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.



طراحی یک کنترل کننده سلسله مراتبیمبتنی بر الگوریتم ژنتیک جهت پایداری ریزشبکه‌های الکتریکی

فواد صبوری*^۱، شورش شکوهی^۲، حسن بیورانی^۳

پست الکترونیکی: foad.sabori@modares.ac.ir

پست الکترونیکی: shokoohi@ieee.org

پست الکترونیکی: bevrani@ieee.org

^۱دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده

مهندسی برق و کامپیوتر، گروه مهندسی کنترل

^۲کارشناس ارشد، شرکت خطوط لوله و مخابرات نفت ایران، واحد

کنترل و ابزار دقیق

^۳دانشیار، دانشگاه کردستان، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر،

گروه مهندسی برق

*نویسنده پاسخگو

چکیده

هدف این مقاله ارائه یک ساختار کنترلی کارآمد برای ریزشبکه‌های الکتریکی و سپس تنظیم ضرایبکنترل کننده‌های موجود در این ساختار به کمک الگوریتم ژنتیک جهت کمینه سازی نوسانات ولتاژ و فرکانس می‌باشد. در این ساختار از کنترل کننده‌های اولیه و ثانویه استفاده شده است، همچنین در این ساختار تأثیر نوسانات منبع DC در آن کمینه شده است.

کلمات کلیدی: ریزشبکه الکتریکی-کنترل ولتاژ و فرکانس-الگوریتم ژنتیک

۱ مقدمه

امروزه مسئله تأمین منابع انرژی در سرتاسر دنیا یک چالش بزرگ می‌باشد، چرا که با مصرف روزافزون انرژی در سال‌های اخیر، واحدهای تولید انرژی الکتریکی در سیستم قدرت با مشکلات متعددی مانند گرمایشجهانی، کمبود سوخت‌های فسیلی، آلودگی محیط زیست، فرسودگی ساختار سیستم‌های قدرت، هزینه بالای احداث نیروگاه‌های جدید، محدودیت توسعه نیروگاه‌های هسته‌ای، کنترل کیفیت توان و بازدهی مناسب مواجه‌اند [۱]. بمنظور رفع این مشکلات، افزایش قابلیت اطمینان و عرضه توان بیشتر سیستم‌های قدرت، استفاده از منابع تولید پراکنده (DGs) در محیط‌های تجاری خصوصی، در چند دهه اخیر مطرح شده است [۲].

توربین‌های بادی، سلول‌های خورشیدی و منابع ترکیبی تولید گرما و توان الکتریکی (CHP) از انواع DG می‌باشند. افزایش حضور DGها در سیستم‌های توزیع، ساختار جدیدی به نام ریزشبکه^۳ را به وجود آورد. با حضور ریزشبکه، به دلیل نزدیک شدن فاصله تولید و مصرف، تلفات ناشی از خطوط انتقال به حداقل می‌رسد. همچنین به علت تولیدات چند منظوره و مشترک گرما و سرما بازدهی افزایش می‌یابد [۳].

زمانی که شبکه در یک آرامش نسبی کار می‌کند، تعادل میان بار و تولید برقرار است، چنانچه تغییری در سیستم رخ دهد، این تعادل به هم می‌خورد و موجب نوسانات فرکانس و ولتاژ می‌گردد. بنابراین وجود یک ساختار کنترلی مناسب جهت محدود نمودن همزمان نوسانات ولتاژ و فرکانس الزامی است، که تا به حال کارهای اندکی از جمله [۴] و [۵] در زمینه کنترل همزمان ولتاژ و فرکانس صورت گرفته است. در این مقاله درصدد پیاده سازی طراحی کنترل کننده براساس روش‌های هوشمند جهت تنظیم ضرایب کنترل کننده انتگرالی-تناسبی به منظور محدود نمودن نوسانات فرکانس و ولتاژ به طور همزمان در ریزشبکه تحت انواع تغییر بارهای مختلف، خواهیم بود.

۲ طراحی ساختار کنترل DGها

هدف کنترلی مورد نظر در این مقاله، طراحی کنترل کننده جهت محدود نمودن نوسانات فرکانس و ولتاژ می‌باشد. منابع تولید

^۲Combined Heat and Power

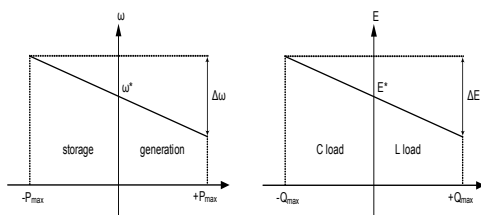
^۳Microgrid

^۱Distributed Generations



ولتاژ و جریان، جهت حذف اغتشاشات فرکانس بالا و نوسانات ناشی از فیلتر LC می‌باشد.

بر اساس روابطی که بر سیستم‌های قدرت حاکم است، ارتباط میان توان حقیقی و فرکانس به صورت یک رابطه خطی بوده و ارتباط میان توان موهومی و دامنه ولتاژ نیز به صورت خطی است، که در شکل ۲ نشان داده شده است [۹]. با توجه به توان‌های حقیقی و موهومی هر ریزشبکه و بر اساس روابط آن‌ها با ولتاژ و فرکانس ریزشبکه، سیگنال کنترلی مطلوب بدست می‌آید، که این ساختار کنترلی در شکل ۳ نشان داده شده است.

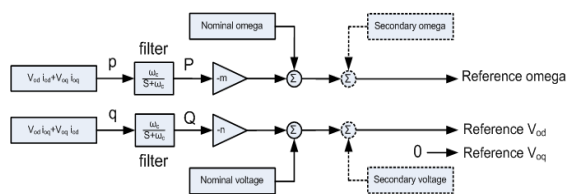


شکل ۲- مشخصه‌های افت توان حقیقی-فرکانس ($P-\omega$) و توان راکتیو-ولتاژ ($Q-E$)

همانگونه که در شکل ۳ نشان داده شده است، توان‌های

$$\begin{aligned} \tilde{p} &= v_{od}i_{od} + v_{oq}i_{oq} \\ \tilde{q} &= v_{od}i_{oq} - v_{oq}i_{od} \end{aligned} \quad (1)$$

لحظه‌ای حقیقی و موهومی توسط ولتاژ و جریان خروجی اندازه‌گیری شده، به صورت معادله (۱) می‌باشد:



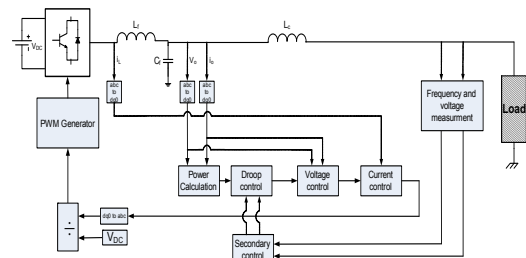
شکل ۳- کنترل کننده توان

به منظور حذف نوسانات لحظه‌ای در محاسبات توان حقیقی و راکتیو، از فیلترهای پایین گذر استفاده شده است.

شکل ۴ ساختار کنترل کننده ولتاژ را نشان می‌دهد. کنترل ولتاژ خروجی با استفاده از یک کنترل کننده تناسبی-انترگالی (PI) (۴)

پراکنده عموماً دارای یک اینورتر مرجع ولتاژ^۱ (VSI) به منظور تبدیل ولتاژ DC به ولتاژ AC با یک دامنه و فرکانس خاص می‌باشند، یک VSI بر اساس یک سیگنال ورودی و مرجع، سیگنال خروجی مورد نظر DG را تولید می‌نماید. سیگنال مرجع بر اساس دامنه و فرکانس ولتاژ مطلوب ریزشبکه به شکل $A \sin(\omega t)$ است. چنانچه تغییری در سیستم رخ دهد، این تغییر منجر به تغییر در دامنه و فرکانس ولتاژ خروجی می‌شود. با توجه به حساس بودن بارها به تغییر ولتاژ تغذیه، یک ساختار کنترلی کارآمد جهت تغییر دو پارامتر دامنه ولتاژ (A) و فرکانس (ω) به گونه ای که اثر اغتشاش وارده روی این دو پارامتر صفر گردد، لازم می‌باشد.

ساختار کنترلی VSI در شکل ۱ نشان داده شده است [۶]. کلیه ولتاژها و جریان‌های ریزشبکه بر مبنای دستگاه مختصات چرخان (dq0) می‌باشد [۷]. بنابراین مؤلفه‌های یک سیستم سه فاز می‌تواند تنها با دو مؤلفه مستقل از هم مدل گردد.



شکل ۱- ساختار کلی کنترل یک VSI

بخش قدرت VSI شامل یک مولد موج PWM^۲ و یک اینورتر سه فاز به همراه فیلتر LC و یک سلف تزویج می‌باشد. فرض می‌کنیم منبع DG ایده‌آل باشد و از دینامیک خط شین DC صرف نظر می‌شود. به منظور تقلیل تأثیر نوسانات منبع DC بر روی ولتاژ خروجی اینورتر، اثر ولتاژ منبع DC به صورت پیشخور^۳ در سیگنال متصل به ژنراتور PWM لحاظ شده است [۸]. کنترل کننده‌های داخلی یک اینورتر منبع تولید پراکنده را می‌توان به سه دسته تقسیم نمود. نخست حلقه کنترلی خارجی مربوط به بخش توان، که دامنه و فرکانس را برای بخش‌های بعدی بر اساس مشخصه‌های افتاز روی توان‌های حقیقی و راکتیو می‌سازد. بخش دوم و سوم سیستم کنترلی شامل کنترل کننده‌های

^۱Voltage Source Inverter

^۲Pulse Width Modulation

^۳Feedforward

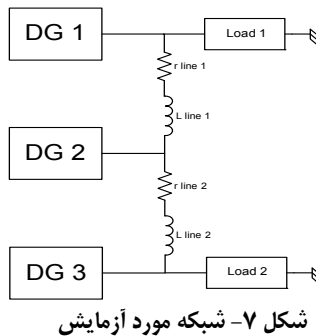
^۴Proportional-Integral



مناسب صورت می‌گیرد. در شکل ۵ ساختار کنترل کننده جریان نشان داده شده است. کنترل جریان فیلتر خروجی توسط یک کنترل کننده PI مناسب صورت می‌گیرد.

۳ الگوریتم ژنتیک

با توجه به اینکه ریزشکبه‌های الکتریکی دارای ساختاری غیرخطی می‌باشند، لذا به ازایضربیک کنترل کننده ثابت، شبکه نمی‌تواند دارای عملکرد مطلوبی باشد، بنابراین بهینه‌سازی ضرایب کنترلی جهت رسیدن به عملکرد مطلوب شبکه حائز اهمیت می‌باشد. در زمینه روش‌های بهینه‌سازی هوشمند می‌توان به [۱۱] اشاره کرد، ولی در [۱۱] بر اساس مدل فضای حالت بوده و همچنین از مدل مولد پالس PWM صرف نظر گردیده است. در این مقاله سعی شده است تا با استفاده از الگوریتم ژنتیک ضرایب کنترلی PI موجود در ساختار کنترلی معرفی شده، برای سه نوع تغییر بار مختلف بهینه گردد، تا نوسانات ولتاژ و فرکانس شبکه به ازای این تغییرات بار به حداقل برسد. شبکه در نظر گرفته شده مطابق شکل ۷ شامل سه DG به همراه دو شین و دو بار متغییر که به شین‌های اول و دوم متصل می‌باشد. مشخصات پارامترهای این سیستم در جدول شماره ۱ ذکر گردیده‌است.

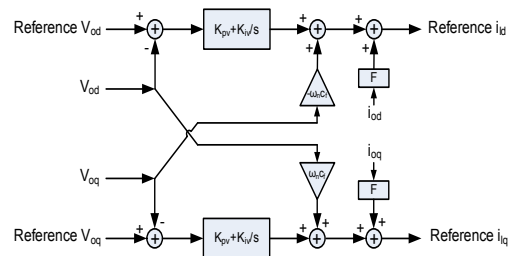


شکل ۷- شبکه مورد آزمایش

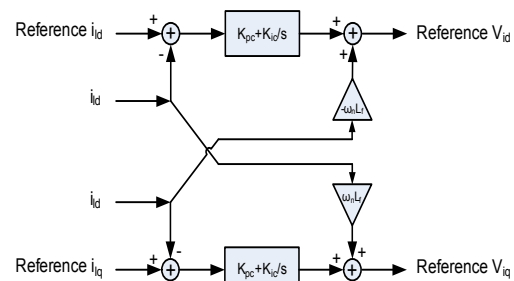
جدول ۱- پارامترهای ریزشکبه

Time (second)	LOAD 1	LOAD 2
0 - 1	150Ω + 200mH	800Ω
1 - 2	50Ω + 70mH	80Ω + 100mH
2 - 3	500Ω + 500mH	250Ω

تابع هدف معرفی شده در این الگوریتم جهت حداقل سازی همزمان نوسانات ولتاژ و فرکانس است. از آنجایی که نوسانات فرکانس در شبکه‌های قدرت دارای آثار بسیار نامطلوبی نسبت به نوسانات ولتاژ است، لذا بایستی نوسانات فرکانس را با وزن بیشتری در تابع هدف لحاظ نماییم. به این منظور از تابع هدف

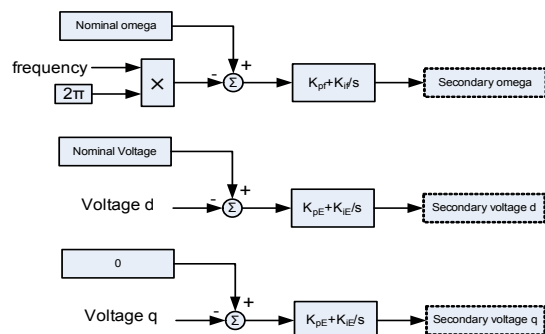


شکل ۴- کنترل کننده ولتاژ



شکل ۵- کنترل کننده جریان

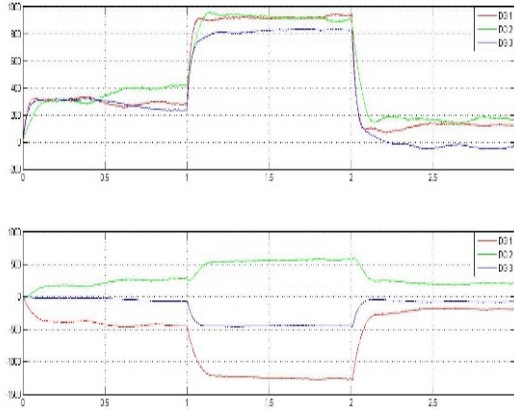
کنترل ثانویه به منظور حذف هر گونه خطای حالت ماندگار ناشی از کنترل افت استفاده می‌گردد [۹] و [۱۰]. ساختار کنترل کننده ثانویه دامنه ولتاژ و فرکانس در شکل ۶ نشان داده شده است. که در آن پارامترهای جبران ساز کنترل ثانویه می‌باشد. در این بخش هدف آن است که نوسانات فرکانس و دامنه ولتاژ محدود گردند، تا مقادیر آنها از حداکثر مقدار مجاز تجاوز نکنند.



شکل ۶- کنترل کننده ثانویه



نمودار تغییرات توان‌های حقیقی و موهومی برای هر کدام از ریزشبه‌ها مطابق شکل ۹ می‌باشد.



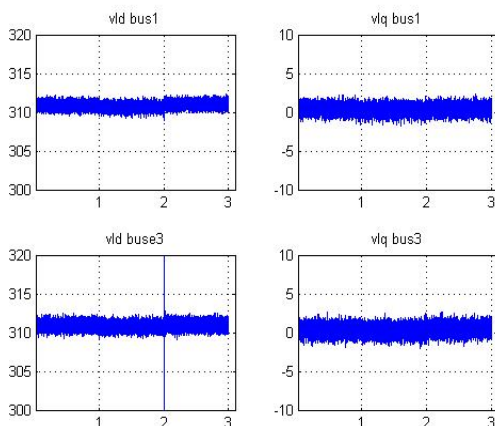
شکل ۹- نمودار توان‌های حقیقی و موهومی ریزشبه‌ها

پس از اعمال الگوریتم ژنتیک به این سیستم ضرایب کنترل کننده مطابق جدول ۳ به دست آمده است.

جدول ۳- پارامترهای ریزشبه‌ها

K_{pv}	9.784	K_{iv}	$6.2918e + 03$
K_{pc}	4.73858	K_{ic}	$1.8402e + 04$
K_{pe}	$3.7132e - 01$	K_{ie}	1.9139
K_{pf}	$8.1839e - 02$	K_{if}	2.6145

همچنین نمودار مؤلفه‌های d و q ولتاژ بارها در شکل ۱۰ و نمودار فرکانس در شکل ۱۱ نشان داده شده است.



معرفی شده در رابطه (۲) جهت برآورده نمودن این هدف استفاده می‌نماییم:

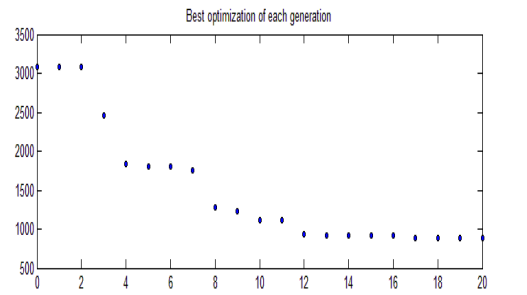
$$object1 = \sqrt{((\Delta v_d^2 + \Delta v_q^2) + (30\Delta f)^2)} \quad (2)$$

در این الگوریتم، جمعیت اولیه برابر ۱۵ و تعداد نسل‌ها برابر ۲۰ در نظر گرفته شده، همچنین جمعیت اولیه تصادفی با توزیع یکنواخت تولید شده و مقدار تقاطع ۰.۶ در نظر گرفته شده است.

از آنجایی که در سیستم‌های قدرت فراجشش ولتاژ حائز اهمیت می‌باشد، لذا یک تابع جریمه نیز در نظر گرفته شده است، بدین ترتیب هرگاه ولتاژ یا فرکانس از حد مجازی بیشتر فراجشش داشته باشد، مقدار فراجشش با وزن مناسبی با تابع هدف جمع می‌گردد.

$$total\ object = object1 + penalty\ term \quad (3)$$

نمودار مقدار بهینگی تابع هدف در شکل ۸ نشان داده شده است.



شکل ۸- نمودار بهینگی تابع هدف

۴ نتایج شبیه‌سازی

در سیستم مورد بررسی، یک شبکه با دو بار متغیر در نظر گرفته شده که تغییرات بار اول و دوم مطابق جدول شماره ۲ می‌باشد.

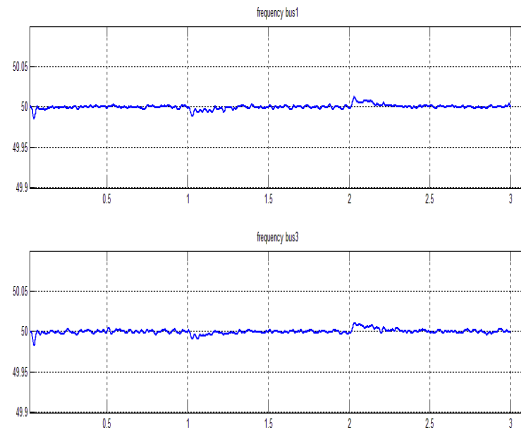
جدول ۲- تغییرات بارهای شین ۱ و ۲

f_s	8 KHz	V_{DC}	700 V
L_f	1.35mH	ω_c	31.41
C_f	500 μF	r_{Line1}	0.23 Ω
r_f	0.1 Ω	L_{Line1}	0.318 mH
L_c	0.35mH	r_{Line2}	0.35 Ω
r_{LC}	0.03 Ω	L_{Line2}	1.85 mH



- Electrification Conference and Expo (ITEC) 2012, IEEE, 2012, pp. 1-6.*
- [4] H. H. Zeineldin and J. L. Kirtley, "Micro-grid operation of inverter based distributed generation with voltage and frequency dependent loads," in *Power & Energy Society General Meeting, 2009. PES '09. IEEE, 2009, pp. 1-6.*
- [5] T. L. Vandoorn, B. Meersman, J. D. M. De Kooning, and L. Vandevelde, "Analogy Between Conventional Grid Control and Islanded Microgrid Control Based on a Global DC-Link Voltage Droop," *Power Delivery, IEEE Transactions on, vol. 27, pp. 1405-1414, 2012.*
- [6] N. Pogaku, M. Prodanovic, and T. C. Green, "Modeling, Analysis and Testing of Autonomous Operation of an Inverter-Based Microgrid," *Power Electronics, IEEE Transactions on, vol. 22, pp. 613-625, 2007.*
- [7] R. H. Park, "Two-reaction theory of synchronous machines generalized method of analysis-part I," *American Institute of Electrical Engineers, Transactions of the, vol. 48, pp. 716-727, 1929.*
- [8] J. C. Vasquez, J. M. Guerrero, M. Savaghebi, J. Eloy-Garcia, and R. Teodorescu, "Modeling, Analysis, and Design of Stationary-Reference-Frame Droop-Controlled Parallel Three-Phase Voltage Source Inverters," *Industrial Electronics, IEEE Transactions on, vol. 60, pp. 1271-1280, 2013.*
- [9] J. M. Guerrero, J. C. Vasquez, J. Matas, V. de, x00F, L. G. a, et al., "Hierarchical Control of Droop-Controlled AC and DC Microgrids—A General Approach Toward Standardization," *Industrial Electronics, IEEE Transactions on, vol. 58, pp. 158-172, 2011.*
- [10] M. Savaghebi, A. Jalilian, J. C. Vasquez, and J. M. Guerrero, "Secondary Control for Voltage Quality Enhancement in Microgrids," *Smart Grid, IEEE Transactions on, vol. 3, pp. 1893-1902, 2012.*
- [11] M. A. Hassan and M. A. Abido, "Optimal Design of Microgrids in Autonomous and Grid-Connected Modes Using Particle Swarm Optimization," *Power Electronics, IEEE Transactions on, vol. 26, pp. 755-769, 2011.*

شکل ۱۰- نمودار ولتاژ روی بارها



شکل ۱۱- نمودار فرکانس بارها

۵ نتیجه گیری

در این مقاله یک ساختار کنترلی سلسله مرتبه‌ای برای ریزشکده‌ها پیشنهاد گردیده است و پارامترهای کنترل کننده موجود در ساختار کنترلی توسط الگوریتم ژنتیک بمنظور کمینه سازی نوسانات ولتاژ خروجی و فرکانس ریزشکده بهینه شده است. در این مقاله ساختار کنترلی توسط تغییر بارهای شدید در شین‌های مختلف و در بازه‌های زمانی گوناگون مورد بررسی قرار گرفت و نتایج مطلوبی حاصل گردید. همچنین در این ساختار تأثیر تغییرات ولتاژ DC متصل به اینورترها با استفاده از یک سیگنال پیشخور اصلاح شده است.

۶ منابع

- [1] D. Ming, Z. Yingyuan, and M. Meiqin, "Key technologies for microgrids-a review," in *Sustainable Power Generation and Supply, 2009. SUPERGEN '09. International Conference on, 2009, pp. 1-5.*
- [2] S. Chowdhury, S. P. Chowdhury, and P. Crossley, "Microgrids and Active Distribution Networks," ed: Institution of Engineering and Technology.
- [3] X. E. Yu, X. Yanbo, S. Sirouspour, and A. Emadi, "Microgrid and transportation electrification: A review," in *Transportation*



Designing a Hierarchical Controller based on Genetic Algorithm to Stabilize Microgrids

FoadSabori^{*1}, Shores Shokoohi², Hasan Bevrani³

¹M.Sc Student, Department of Electrical and Computer Engineering, Tarbiat Modares University

Email: foad.sabori@modares.ac.ir

²M.Sc, Instrumentation and Control Unit (ICU), Iranian Oil Pipelines and Telecommunication Company (IOPTC)

Email: shokoohi@ieee.org

³Associate Professor, Department of Electrical and Computer Engineering, University of Kurdistan

Email: bevrani@ieee.org

Corresponding Author*

Abstract

In this paper, an efficient hierarchical control structure to minimize voltage and frequency fluctuations in microgrids is proposed. The control structure coefficients using genetic algorithm is adjusted. In the proposed hierarchical structure, the primary and secondary control loops are considered. In this research, impact of DC source fluctuations is minimized.

Keywords: Microgrid – Voltage and frequency control – Genetic algorithm