طراحی کنترل‌کننده فازی بهینه در حالت افت ولتاژ نامتعادل برای بازیاب دینامیکی ولتاژ

نگین مهرپویا*[1]، علی کرمی ملایی[2]

*۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی برق، واحد نیشابور، دانشگاه آزاد اسلامی، نیشابور، ایران،

mehrpooya.negin88@gmail.com

- استادیار، گروه برق، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران،a_k_mollaee@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۲/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۴/۲۶

چکیده: افت ولتاژهای متعادل شامل افت ولتاژ ناشی از خطاهای سه فاز متقارن و یا راه اندازی بارهای سه فاز توان بالا و یا کلیدزنی‌های سه‌فاز متقارن میباشد. در حالیکه این وقایع به صورت نامتعادل منجر به افت ولتاژهای نامتقارن می گردد. افت ولتاژ می‌تواند سبب بارگذاری نامتقارن در شبکه قدرت، وقوع ناپایداری ولتاژ و حتی خاموشی شبکه گردد. یکی از رایج ترین راههای مقابله با افت ولتاژ، بهره‌گیری از ادوات مبتنی بر الکترونیک قدرت در فیدرهای حساسِ شبکه‌های توزیع میباشد.که در این تحقیق از بازیاب دینامیکی ولتاژ استفاده شده است.برای جلوگیری از این افت ولتاژ ها کنترل‌کننده‌های PID، فازی و فازی بهینه، کنترل کننده‌هایی است که این مقاله قصد پیاده‌سازی آنها و مقایسه نتایج آنها را دارد.

کلمات کلیدی: افت ولتاژ نامتعادل، بازیاب دینامیکی ولتاژ، کنترل کننده PID، کنترل کننده فازی، کنترل کننده فازی بهینه.

۱ - مقدمه

شبکه توزیع انرژی الکتریکی حدواسط تولیدکننده و مصرف‌کننده است. کیفیتی که مصرف‌کننده از توان الکتریکی دریافتی انتظار دارد، باید در شبکه های توزیع انرژی الکتریکی تأمین شود. از علائم مسئله کاهش ولتاژ، صدور اشتباه فرمان تریپ تجهیزات از طریق رله های حفاظتی، اختلال در عملکرد بارهای مصرفی و افزایش جریان عبوری از شبکه به واسطه تأمین توان بارهای مصرفیِ توان ثابت است. از این‌رو، ایجاد تنش حرارتی در تجهیزات و کاهش عمر مفید آنها را نیز باید از اثرات افت ولتاژ شبکه دانست.[1]

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-06-25]

Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 6-No. 1- spring & summer 2017

[DOR: 20.1001.1.23222468.1396.6.1.6.3]

ایده‌های مختلفی برای جبران‌سازی افت ولتاژ در شبکه‌های توزیع مطرح شده است. استفاده از جبران‌سازهای توان راکتیو [2]، بهره‌گیری از ادوات custom power [3]، استفاده از ترانسفورماتورهای تپ‌چنجردار [4] و ... راهکارهایی است که تا کنون برای این مهم اندیشیده شده است. استفاده از بازیاب دینامیکی ولتاژ برای مقابله با افت ولتاژ، راهکاری است که در این مقاله برای مقابله با افت ولتاژ پیشنهاد شده است. آنچه در عملکرد بازیاب دینامیکی ولتاژ نقش اصلی ایفا می‌کند، کنترل‌کننده اینورتر بکار رفته در آن است.

با توجه به اینکه در شبکه های توزیع انرژی الکتریکی، افت ولتاژ متعادل و نامتعادل امکان وقوع دارد، باید بتوان بازیاب دینامیکی ولتاژی ارائه کرد که قابلیت جبرانسازی افت ولتاژ نامتعادل را نیز داشته باشد.

۲- معرفی بازیاب دینامیکی ولتاژ (DVR)

بازیاب دینامیکی ولتاژ به طور سری با شبکه و بیشتر در ترمینال بارهای حساس به افت ولتاژ نصب می گردد و در صورت وقوع افت ولتاژ با تزریق ولتاژی به همان اندازه، افت ولتاژ را به طور لحظه ای و دینامیکی بازیابی می کند. البته این تجهیز به واسطه کنترلی که روی ولتاژ دارد قادر است هنگام وقوع خطاهای سه فاز اتصال کوتاه، با عملکرد در راستای جبران افت ولتاژ، جریان خطا را هم محدود کند.[5]

۲-۱ معرفی و تشریح اجزای DVR

بازیاب دینامیکی ولتاژ از پنج بخش اساسی تشکیل شده است [۷]. این پنج بخش شامل :باتری (ذخیره‌ساز انرژی)، اینورتور منبع ولتاژ، فیلتر، ترانسفورماتور ،سیستم تشخیص‌دهنده افت ولتاژ و کنترل‌کننده اینورتر هستند.

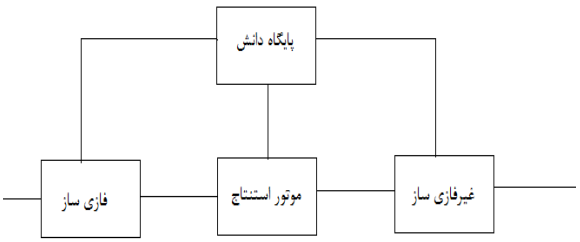
منبع ولتاژ ورودی در بازیاب دینامیکی ولتاژ، همین ذخیره ساز انرژی است. وظیفه این بخش، ذخیره انرژی به صورت جریان مستقیم (DC) میباشد. اینورتر یکی از قسمت های اصلی بازیاب را تشکیل می دهد که وظیفه آن، تبدیل برق جریان مستقیم به جریان متناوب می باشد. هدف از نصب فیلتر در خروجی اینورتر، حذف هارمونیک هایی میباشد که در ولتاژ ساخته شده اینورتر وجود دارد. ترانسفورماتور به صورت سری با شبکه قرار می گیرد و وظیفه آن در کنار ایجاد ایزولاسیون بین شبکه و ساختار بازیاب دینامیکی ولتاژ، تزریق ولتاژ جریان متناوب در خروجی اینورتر به شبکه است. قسمت تخمین ولتاژ دو وظیفه مهم به عهده دارد:

۱. تشخیص به موقع و سریع افت ولتاژ در شبکه قدرت
۲. صدور سیگنال کلیدزنی اینورتر منبع ولتاژ به منظور جبران‌سازیِ دقیق ولتاژ شبکه

۳- منطق فازی

منطق فازی، منطق مدلسازی عدم قطعیت هایی است که ریاضیات کلاسیک از مدلسازی آنها ناتوان بوده است.[8]

شکل (۱)، ساختار یک کنترل کننده فازی را نشان می دهد. رابطه بین چهار بخش مختلف کنترل کننده، در شکل مشخص شده است. .



شکل (۱): ساختار کلی یک کنترل کننده فازی

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-06-25]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 6-No. 1- spring & summer 2017
[DOR: 20.1001.1.23222468.1396.6.1.6.3]

۴- آشنایی با الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات

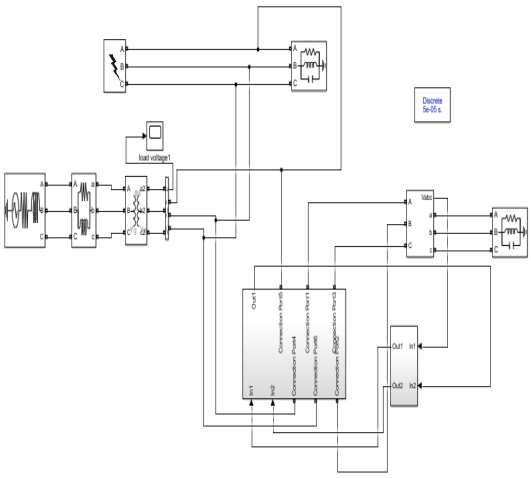
برای حل مسئله تحقیق از الگوریتم بهینه‌سازی PSO استفاده‌شده است. جزئیات عملکرد این الگوریتم در مرجع [۹] آورده شده است. این الگوریتم از یک پاسخ اولیه شروع و در هر بار تکرار، طبق رابطه زیر موقعیت پاسخ را بهبود می دهد.

$$V_i(t) = w * V_i(t-1) + c_1 * rand_1 * (P_{i.best} - X_i(t-1)) + c_2 * rand_2 * (P_{g.best} - X_i(t-1))$$

$$X_i = X_i(t-1) + V_i(t)$$

۵- شبیه سازی

شبکه قدرت مورد مطالعه در این تحقیق، مانند شبکه های مرسومی که در مراجع تحقیق استفاده شده بود، بصورت ساده و مطابق با شکل (۲) در نظر گرفته شده است ه در مراجع استفاده شده است. اطلاعات شبکه در جدول(۱) اورده شده است. در جدول (۲) اطلاعات فیلتر مورد استفاده قابل مشاهده میباشد.



شکل(۲): مدار مورد مطالعه در این تحقیق

جدول (۱): اطلاعات شبکه مورد مطالعه در این تحقیق

ولتاژ منبع	۲۲۰۰۰ ولت
مقاومت منبع	۱/۰ اهم
فرکانس	۵۰ هرتز
مقاومت خط	۰/۰۰۱ + j ۰/۰۰۵
بار	۵۰۰ وات و ۱۰۰ وار
ترانس بین منبع و مصرف کننده	۴۱۵/۲۲۰۰۰V $Z_{SC=}$ ٪۲ S=۲۵۰۰ کیلووار

جدول (۲): پارامترهای فیلتر مورد استفاده در بازیاب دینامیک ولتاژ

مقاومت	۲/۷ اهم
سلف	۲۵ میلی هانری
خازن	۱ میلی فاراد

یکی از کنترل‌کننده های موردمطالعه، کنترل‌کننده خانواده PID است. برای مشاهده عملکرد این کنترل کننده، ضرایب K و P مطابق جدول(۳) در نظر گرفته شده است.

جدول (۳): مقدار ضرایب اولیه کنترل کننده PI

K_1	۵
P_1	۱۵
K_2	۵
P_2	۱۵

با تعیین پارامترهای منطق فازی و پارامترهای کنترل‌کننده PI استفاده شده، ضمن بهینه‌سازی این تابع هدف، در نهایت ولتاژ بادقت خیلی خوبی باید کنترل شود و افت ولتاژ آن جبران گردد. برای بهینه‌سازی تابع هدف، از الگوریتم ازدحام ذرات با پارامترهای جدول۴ استفاده شده است. شکل ۳ نیز روند

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-06-25]

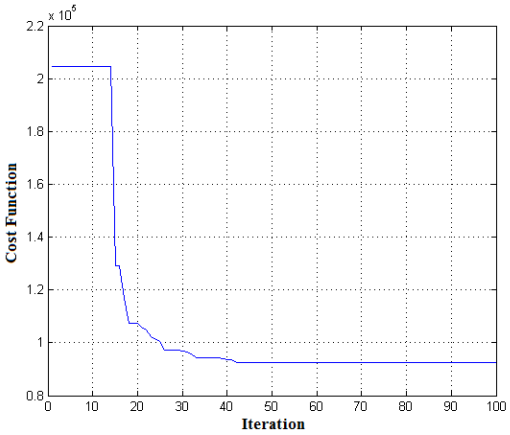
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 6-No. 1- spring & summer 2017

[DOR: 20.1001.1.23222468.1396.6.1.6.3]

بهبودی تابع هدف را ضمن تعیین پارامترهای کنترل‌کننده فازی نشان می‌دهد.

جدول (۴): پارامترهای الگوریتم ژنتیک

تعداد ذرات	ضریب C_1	ضریب C_2
۴۰	۰/۷	۰/۳

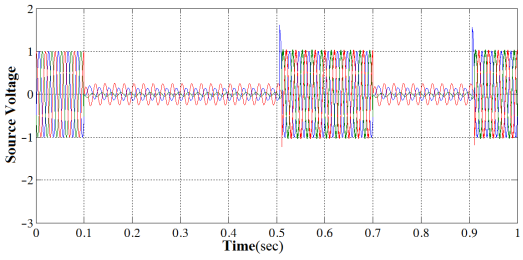


شکل۳: روند بهبود تابع هدف در فرایند بهینه‌سازی‌کنترل‌کننده فازی

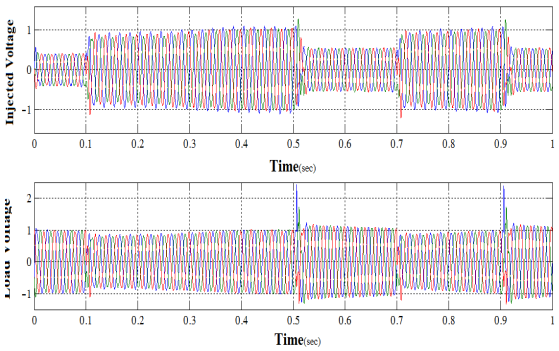
جدول (۵): مقدار پارامترهای تعیین شده توسط الگوریتم ژنتیک برای ضرایب کنترل کننده PI

K_1	۴/۲۴۸۳۹۱
P_1	۲۸/۰۰۴۰۵
K_2	۱۱/۴۲۰۰۴
P_2	۲۴/۱۰۲۳۸

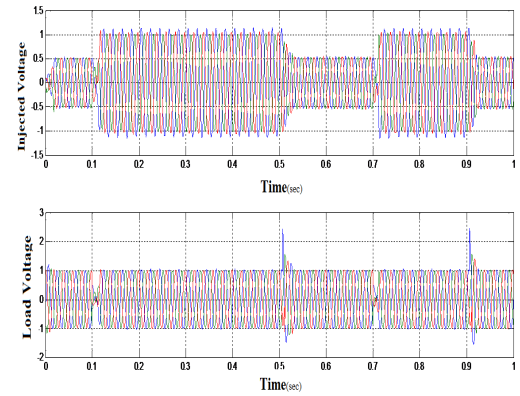
در شکل های (۵) ، (۶) و (۷) شکل موج تزریقی توسط بازیاب دینامیکی ولتاژ در هر سه کنترل کننده PID، فازی و فازی بهینه و همچنین شکل موج واتاژ را در فیدر بار بعد از بروز یک افت ولتاژ نا متعادل مطابق شکل(۴) قابل مشاهده است.



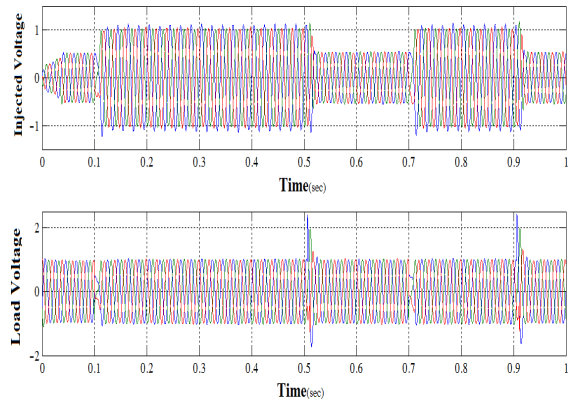
شکل(۴): افت ولتاژ نامتعادل در فیدر بار حساس به افت ولتاژ



شکل(۵): شکل موج ولتاژ تزریقی توسط بازیاب دینامیکی ولتاژ و ولتاژ نهایی در فیدر بار را بعد از جبران‌سازی با کنترل‌کننده PID



شکل (۶): شکل موج ولتاژ تزریقی توسط بازیاب دینامیکی ولتاژ و ولتاژ نهایی در فیدر بار را بعد از جبرانسازی با کنترل کننده فازی



شکل(۷): شکل موج ولتاژ تزریقی توسط بازیاب دینامیکی ولتاژ و ولتاژ نهایی در فیدر بار را بعد از جبران‌سازی با کنترل‌کننده فازی بهینه

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-06-25]

Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 6-No. 1- spring & summer 2017

[DOR: 20.1001.1.23222468.1396.6.1.6.3]

۶- نتیجه گیری

همانطور که انتظار می رفت، مقایسه نتایج نشان میدهد کنترلر PID فراجهش و زمان نشست نسبتا زیادی دارد، برای دستیابی به پاسخ بهینه بدون فراجهش سیستم را با کنترلرهای منطق فازی مختلف شبیه سازی کردیم.

در واقع کنترل کننده فازی نسبت به کنترل کننده PID معمولی درجه ای از نظارت و پوشش عدم قطعیت ها را دارد. همچنین در مقابل کنترل کننده فازی معمولی، در کنترل کننده فازی بهینه، میزان نظارت و پوشش عدم قطعیت توسط کنترل کننده بیشتر می شود.

در شبکه های توزیع هر دو نوع افت ولتاژ شامل افت ولتاژ متعادل و نامتعادل محتمل است.

طراحی کنترل کننده به منظور جبران افت ولتاژ متعادل برای شبکه های توزیع کافی نیست. بلکه کنترل کننده مطلوب باید قابلیت جبرانسازی افت ولتاژ نامتقارن را نیز داشته باشد.

کنترل کننده فازی نسبت به کنترل کننده PID، سرعت و دقت بالاتری دارد. زیرا عدم قطعیت‌ها را مدل می‌کند و می‌تواند دامنه افت ولتاژ بیشتری را در بربگیرد

کنترل کننده فازی بهینه نسبت به کنترل کننده فازی عملکرد بهتری دارد. زیرا پایگاه قوانین فازی متناسب با هدف مورد نظر بهینه سازی شده است.

مراجع

[1] V. Ansal, K. Ravikumar and P. Parthiban, "Transformerless Dynamic Voltage Restorer for voltage sag mitigation," *2016 Biennial International Conference on Power and Energy Systems: Towards Sustainable Energy (PESTSE)*, Bangalore, 2016, pp. 1-4.

[2] N. Muluk, A. Warsito, Juningtyastuti and I. Setiawan, "Voltage sag mitigation due to short circuit current using dynamic voltage restorer based on hysteresis controller," *2017 4th International Conference on Information Technology, Computer, and Electrical Engineering (ICITACEE)*, Semarang, 2017, pp. 108-112.

[3] C. M. N. Mukundan, K. Mithun and P. Jayaprakash, "Modular five-level inverter with binary sources based DVR for power quality improvement," *2017 International Conference on Technological Advancements in Power and Energy (TAP Energy)*, Kollam, 2017, pp. 1-6.

[4] L.A.Zadeh , Department of Electrical Engineering and Electronics Research Laboratory, University of California, Berkeley, California, USA, June 1965

[5] H. M. Wijekoon, D. M. Vilathgamuwa and S. S. Choi, "Interline dynamic voltage restorer: an economical way to improve interline power quality," in *IEE Proceedings - Generation, Transmission and Distribution*, vol. 150, no. 5, pp. 513-520, 15 Sept. 2003.

[6] Fei Jiang,Chunming Tu,Zhikang Shuai,Fan Xiao,Zheng Lan, Electric Power Systems Research, Elsevier, July 2016

[7] S. Jothibasu and M. K. Mishra, "An Improved Direct AC–AC Converter for Voltage Sag Mitigation," in IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 62, no. 1, pp. 21-29, Jan. 2015

[8] Z. Shuai, P. Yao, Z. J. Shen, C. Tu, F. Jiang and Y. Cheng, "Design Considerations of a Fault Current Limiting Dynamic Voltage Restorer (FCL-DVR)," in IEEE Transactions on Smart Grid, vol. 6, no. 1, pp. 14-25, Jan. 2015.

[9] X. Liang, "Emerging power quality challenges due to integration of renewable energy sources", IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 53, pp. 855-866, 2017.

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-06-25]

Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 6-No. 1- spring & summer 2017

[DOR: 20.1001.1.23222468.1396.6.1.6.3]

Optimized Fuzzy Controller Design in Unbalanced Voltage Drop Mode for Dynamic Voltage Restorer

Negin Mehrpooya[1]*, Ali Karami Mollayi[2]

1. Master's student, Electrical Engineering Department, Neyshaboor Branch, Islamic Azad University, Iran, mehrpooya.negin88@gmail.com

2. Assistant professor, Electrical and Computer Engineering Department, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran, a_k_mollaee@yahoo.com

Abstract: The loss of balanced voltages involves a voltage drop due to symmetric three-phase errors, or the initiation of high-power three-phase loads or symmetric three-phase switches. While these events in an unbalanced way lead to asymmetric voltage drops. Voltage drops can cause asymmetric load on the power grid, the occurrence of volatility, and even network power outage. One of the most common ways of dealing with voltage drop is the use of power electronics devices in sensitive feeders of distribution networks. In this research, dynamic voltage restorer is used. In order to avoid this voltage drop, optimal PID, fuzzy and fuzzy controllers are the controllers that this article intends to implement and compare their results.

Keywords: Unbalanced voltage drop, dynamic voltage recovery, PID controller, fuzzy controller, optimal fuzzy controller.

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-06-25]

Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 6-No. 1- spring & summer 2017

[DOR: 20.1001.1.23222468.1396.6.1.6.3]