

# طراحی کنترل کننده فازی بهینه در حالت افت ولتاژ نامتعادل برای بازیاب

## دینامیکی ولتاژ

نگین مهرپویا<sup>۱\*</sup>، علی کرمی ملایی<sup>۲</sup>

\*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\_mollae@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۴/۲۶

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۲/۲۰

**چکیده:** افت ولتاژهای متعادل شامل افت ولتاژ ناشی از خطاهای سه فاز متقارن و یا راه اندازی بارهای سه فاز توان بالا و یا کلیدزنی های سه فاز متقارن میباشد. در حالیکه این وقایع به صورت نامتعادل منجر به افت ولتاژهای نامتقارن می گردد. افت ولتاژ می تواند سبب بارگذاری نامتقارن در شبکه قدرت، وقوع ناپایداری ولتاژ و حتی خاموشی شبکه گردد. یکی از رایج ترین راههای مقابله با افت ولتاژ، بهره گیری از ادوات مبتنی بر الکترونیک قدرت در فیدرهای حساس شبکه های توزیع میباشد. که در این تحقیق از بازیاب دینامیکی ولتاژ استفاده شده است. برای جلوگیری از این افت ولتاژها کنترل کننده های PID، فازی و فازی بهینه، کنترل کننده هایی است که این مقاله قصد پیاده سازی 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

تربیت تجهیزات از طریق رله های حفاظتی، اختلال در عملکرد بارهای مصرفی و افزایش جریان عبوری از شبکه به واسطه تأمین توان بارهای مصرفی توان ثابت است. از این رو، ایجاد تنش حرارتی در تجهیزات و کاهش عمر مفید آنها را نیز باید از اثرات افت ولتاژ شبکه دانست. [1]

شبکه توزیع انرژی الکتریکی حدواسط تولیدکننده و مصرف کننده است. کیفیتی که مصرف کننده از توان الکتریکی دریافتی انتظار دارد، باید در شبکه های توزیع انرژی الکتریکی تأمین شود. از علائم مسئله کاهش ولتاژ، صدور اشتباه فرمان

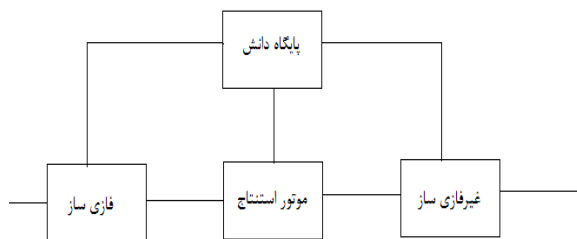
منبع ولتاژ ورودی در بازیاب دینامیکی ولتاژ، همین ذخیره ساز انرژی است. وظیفه این بخش، ذخیره انرژی به صورت جریان مستقیم (DC) می باشد. اینورتر یکی از قسمت های اصلی بازیاب را تشکیل می دهد که وظیفه آن، تبدیل برق جریان مستقیم به جریان متناوب می باشد. هدف از نصب فیلتر در خروجی اینورتر، حذف هارمونیک هایی می باشد 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

جبران سازی 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

ایده های مختلفی برای جبران سازی افت ولتاژ در شبکه های توزیع مطرح شده است. استفاده از جبران سازهای توان راکتیو [2]، بهره گیری از ادوات custom power [3]، استفاده از ترانسفورماتورهای تپ چنجر دار [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 می کند، کنترل کننده 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 جبران سازی 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 (ذخیره ساز انرژی)، اینورتر-منبع ولتاژ، فیلتر، ترانسفورماتور، سیستم تشخیص دهنده افت ولتاژ و کنترل کننده اینورتر هستند.

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

ولتاژ منبع	۲۲۰۰۰ ولت
مقاومت منبع	۱/۰ اهم
فرکانس	۵۰ هرتز
مقاومت خط	$0.005 + j 0.001$
بار	۵۰۰ وات و ۱۰۰ وار
ترانس بین منبع و مصرف کننده	$415/22000V$ $Z_{SC} = 2\%$ $S = 2500$ 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 کنترل کننده های مورد مطالعه، کنترل کننده 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 کنترل کننده PI استفاده شده، ضمن بهینه سازی این تابع هدف، در نهایت ولتاژ بادقت خیلی خوبی باید کنترل شود و افت ولتاژ آن جبران گردد. برای بهینه سازی تابع هدف، از الگوریتم ازدحام ذرات با پارامترهای جدول ۴ استفاده شده است. شکل ۳ نیز روند

#### ۴- آشنایی با الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات

##### ذرات

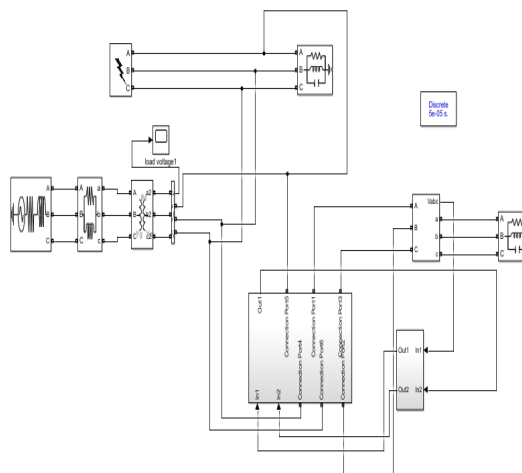
برای حل مسئله تحقیق از الگوریتم بهینه سازی PSO استفاده شده است. جزئیات عملکرد این الگوریتم در مرجع [۹] آورده شده است. این الگوریتم از یک پاسخ اولیه شروع و در هر بار تکرار، طبق رابطه زیر موقعیت پاسخ را بهبود می دهد.

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

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

##### ۵- شبیه سازی

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

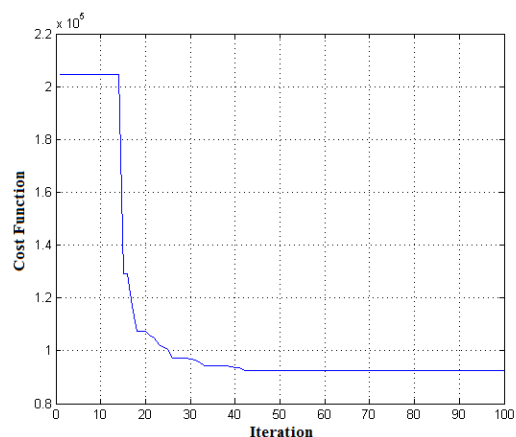


شکل (۲): مدار مورد مطالعه در این تحقیق

بهبودی تابع هدف را ضمن تعیین پارامترهای کنترل کننده فازی نشان می‌دهد.

جدول (۴): پارامترهای الگوریتم ژنتیک

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



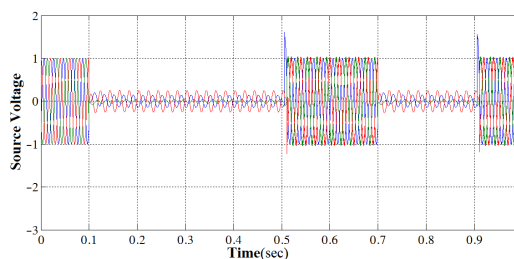
شکل ۳: روند بهبود تابع هدف در فرایند بهینه‌سازی کنترل کننده فازی

جدول (۵): مقدار پارامترهای تعیین شده توسط الگوریتم ژنتیک برای

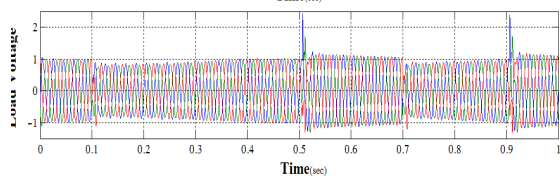
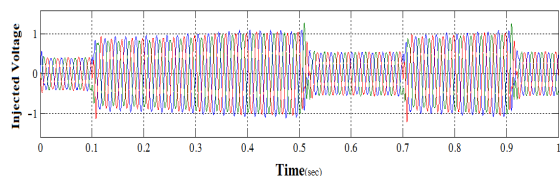
ضرایب کنترل کننده PI

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

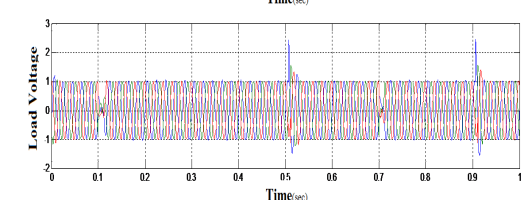
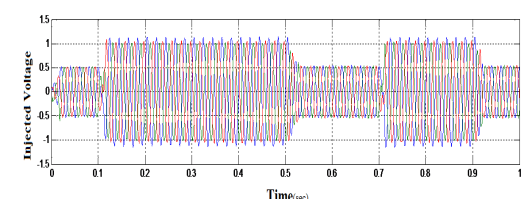
در شکل های (۵) ، (۶) و (۷) شکل موج تزریقی توسط بازیاب دینامیکی ولتاژ در هر سه کنترل کننده PID، فازی و فازی بهینه و همچنین شکل موج واتاژ را در فیدر بار بعد از بروز یک افت ولتاژ نامتعادل مطابق شکل(۴) قابل مشاهده است.



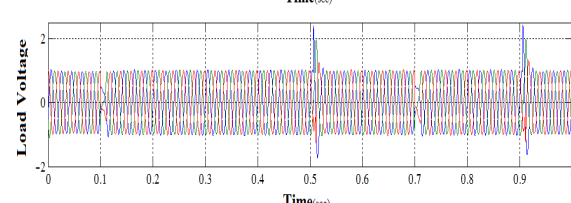
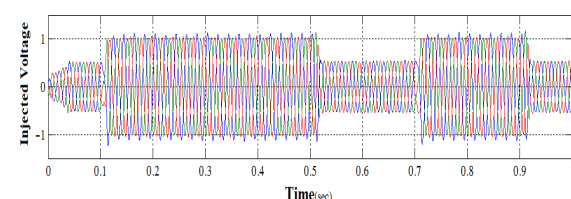
شکل(۴): افت ولتاژ نامتعادل در فیدر بار حساس به افت ولتاژ



شکل(۵): شکل موج ولتاژ تزریقی توسط بازیاب دینامیکی ولتاژ و ولتاژ نهایی در فیدر بار را بعد از جبران‌سازی با کنترل کننده 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 کنترل کننده فازی بهینه

## ۶- نتیجه گیری

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 *IEEE 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.

همانطور که انتظار می رفت، مقایسه نتایج نشان میدهد کنترلر PID فراجش و زمان نشست نسبتاً زیادی دارد، برای دستیابی به پاسخ بهینه بدون فراجش 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 جبران سازی افت ولتاژ نامتقارن را نیز داشته باشد.

کنترل کننده فازی نسبت به کنترل کننده PID، سرعت و دقت بالاتری دارد. زیرا عدم قطعیت ها را مدل می کند و می تواند دامنه افت ولتاژ بیشتری را در برگیرد

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, Juningyastuti and I. Setiawan, "Voltage sag mitigation due to short circuit current using dynamic voltage restorer based on hysteresis

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

Negin Mehrpooya<sup>1\*</sup>, Ali Karami Mollayi<sup>2</sup>

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.