بهبود کیفیت توان در سیستم های توزیع با استفاده از روش حوزه زمان سیگنال مرجع در کنترل DVR

روشنک رضائی پور*[۱]، المیرا کاظمی نیا[۲]

*۱- روشنک رضائی پور ، استادیار، دانشکده برق ، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات آذربایجان شرقی ، گروه برق، تبریز، ایران r.a.rezaei@gmail.com

۲- المیرا کاظمی نیا، گروه برق، دانشکده برق ، دانشگاه علم و صنعت ایران ،تهران، ایران ، Elmira_k1109@yahoo.com

چکیده: در این مقاله، روش سیگنال مرجع، جهت کنترل جبران کننده دینامیکی ولتاژ (DVR) در حوزه زمان به منظور رفع مشکلات کیفیت توان پیشنهاد گردیده است. نظر به قابلیت DVR به عنوان یکی از ادوات بهبود کیفیت توان در شبکه های توزیع، روش پیشنهادی با استفاده از تحلیل حوزه زمان سیگنال مرجع، می تواند با داشتن منبع ذخیره کننده انرژی مشکلات متعدد کیفیت توان از قبیل بیشبود ولتاژ، کمبود ولتاژ و فلیکر را برطرف نماید. کارایی این روش کنترلی با شبیه سازی توسط نرم افزار Matlab/Simulink مورد ارزیابی و تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. نتایج شبیه سازی حاکی از ان است که با وجود اینکه روش پیشنهادی بسیار ساده بوده و محاسبات اندکی دارد، در مقابل طیف وسیعی از اغتشاشات ولتاژ قادر به حفظ کیفیت توان بصورت مطلوب می باشد.

واژه‌های کلیدی: کیفیت توان، کمبود ولتاژ ، بیشبود ولتاژ، فلیکر ،DVR

۱-مقدمه

در یک سیستم قدرت، خطاها و بارهای غیرخطی و عملکردهای دینامیکی اغلب باعث بروز انواع اغتشاش از قبیل افت ولتاژ، فلیکر، بریدگی ها ، هارمونیک و ..... می گردد. از طرفی افزایش استفاده از مدارهای الکترونیکی حساس توسط مشتریان خانگی و صنعتی همگام با پیشرفت خصوصی سازی و رقابت، مساله کیفیت توان را به عنوان یکی از مشکلات جدی صنعت برق مطرح نموده است [۱-۲] .

اغتشاشات ولتاژ می تواند باعث توقف فرایندها شده و با ایجاد مشکلات کیفیت توان به تلفات اقتصادی قابل توجهی منجر گردد [۳-۴] .

ادوات Custom Powerاز سال ۱۹۹۸ در مهندسی توزیع مطرح شده اند و در میان آنها جبران کننده دینامیکی ولتاژ اقتصادی ترین و پیشرفته ترین فناوری برای اغتشاشات ولتاژ در شبکه های توزیع است.. جبران کننده دینامیکی ولتاژ همچنین به منظور حفاظت بارهای حساس از اغتشاشات ولتاژ در سطح شبکه های توزیع نصب می شود و با داشتن منبع ذخیره کننده انرژی می تواند جهت جبرانسازی خطاهای ولتاژ در سیستمهای توزیع مورد استفاده قرار گیرد [۸-۵] .

تا کنون روشهای متفاوتی برای کنترل DVR در جهت رفع مشکلات متعدد کیفیت توان بکار گرفته شده است [۱۰-۹] که از بین آنها می توان روش کنترلی در مختصاتdq0 [۱۱] ، الگوریتم

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-12]

[DOR: 20.1001.1.23222468.1391.1.3.2.8]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 1-No. 3- winter 2012

PWM با استفاده از بردار فضایی ولتاژ [۱۲] ، روش کنترل تکراری [۱۳] ، استراتژی مصرف بهینه انرژی [۱۴] و بسیاری از روشهای ابتکاری [۱۸-۱۵] را برشمرد. با این وجود، پیچیدگی محاسبات در روشهای کلاسیک و کند بودن یا کیفیت ضعیف پاسخ در برخی از روشهای حوزه فرکانس مشاهده می شود. همچنین، بسیاری از روشهای پیشین قابلیت رفع همه مشکلات کیفیت توان را ندارند. در این مقاله، روش پیشنهادی علاوه بر سرعت و دقت بالای پاسخ، قابلیت رفع انواع اغتشاشات ولتاژ را نیز دارد.

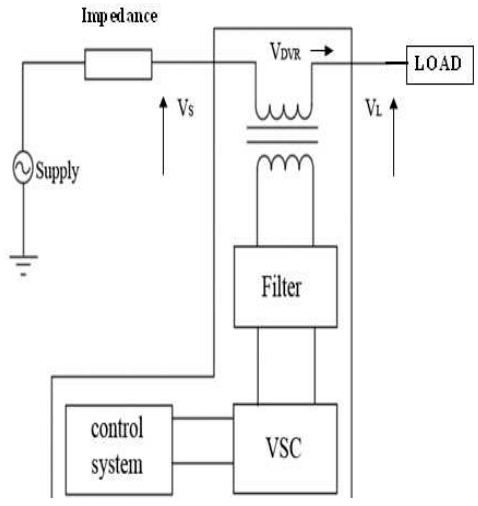
قسمت‌های بعدی این مقاله مشتمل بر موارد زیر است:

در بخش ۲ ساختمان DVR به صورت کلی مورد مطالعه قرار گرفته است. بخش ۳ به توصیف روش کنترل پیشنهادی اختصاص داده شده و در بخش ۴ نتایج شبیه سازی برای رفع چند رخداد کیفیت توان از جمله اغتشاشات ولتاژ مورد بررسی قرار گرفته است. در خاتمه در بخش ۵ نتیجه گیری ارائه گردیده است.

۲- ساختار DVR

اصولا ساختمان DVR مشتمل بر یک ترانسفورمر سری تزریق، فیلتر هارمونیک و سیستم کنترلی می باشد که شکل (۱) نحوه قرار گرفتن آنها را در شبکه نشان می دهد [۱۹] .

سیستم کنترلی DVR نقش مهمی را در رویارویی با اغتشاشات ولتاژ و تغییرات بارهای متصل شده ایفا میکند. توان اکتیوی که توسط DVR تزریق می شود به روش بازیابی ولتاژ بستگی دارد. ترانسفورمر سری که بصورت یک منبع ولتاژ سری با شبکه عمل می کند و هر شکل موجی که توسط کنترل کننده به آن داده می‌شود توسط مبدلهای PWM تولید می نماید.



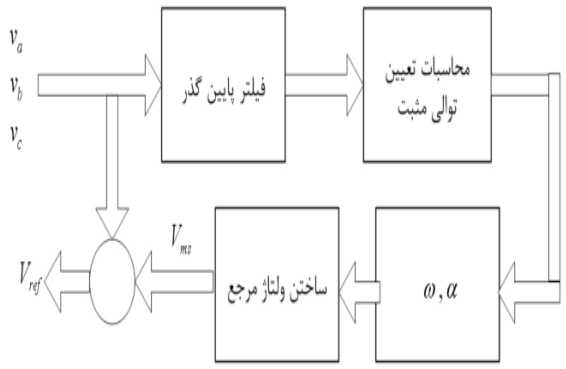
شکل (۱): ساختمان کلی یک DVR در شبکه

همچنین با توجه به اینکه DVR باید قادر به تامین توان اکتیو باشد از یک ذخیره ساز انرژی سریع، در سمت DC مبدل های الکترونیک قدرت ترانسفورمر سری استفاده می شود.

۳-ارائه روش کنترلDVR

سیگنال کنترل سری که به ترانسفورمر سری اعمال می شود باید بگونه ای باشد که بتوان با اعمال آن به ولتاژ غیرسینوسی و نامتعادل منبع، در سمت بار به ولتاژ سینوسی کامل دست پیدا نمود. به همین دلیل بدست آوردن سیگنال مرجع، که ولتاژ تصحیح شده سینوسی کامل باید به شکل آن باشد ضروری است. مراحل استخراج سیگنال در بلوک دیاگرام شکل(۲) نشان داده شده است.

مطابق شکل اگر سیگنالهای ولتاژ u_a ,u_bوu_c ولتاژهای دارای اعوجاج سه فاز باشند، پس از گذر از فیلتر پایین گذر، فقط دارای مولفه فرکانس اصلی هستند.



شکل (۲): دیاگرام کنترل DVR

حال با استفاده از رابطه (۱) ، مولفه های لحظه ای توالی مثبت آنها یعنی u_a^+، u_b^+، u_c^+ محاسبه خواهد شد.

$$\begin{bmatrix} u_a^+ \\ u_b^+ \\ u_c^+ \end{bmatrix} = \frac{1}{3}\begin{bmatrix} 1 & -0.5 & -0.5 \\ -0.5 & 1 & -0.5 \\ -0.5 & -0.5 & 1 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} u_a \\ u_b \\ u_c \end{bmatrix} + \frac{\sqrt{3}}{6\omega}\begin{bmatrix} 0 & D & -D \\ -D & 0 & D \\ D & -D & 0 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} u_a \\ u_b \\ u_c \end{bmatrix} \quad (۱)$$

که در آن D عملگر مشتق‌گیر می باشد.

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-12]
[DOR: 20.1001.1.23222468.1391.1.3.2.8]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 1-No. 3- winter 2012

پس ازآن، مقدار موثر ولتاژ توالی مثبت با استفاده از رابطه (۲) بصورت لحظه ای تعیین میگردد.

$$U = \left(\sqrt{abs\left(\frac{1}{T} \int_{t}^{T+t} \left(u^{+}\right)^2 \right)} \right) \qquad (۲)$$

حال شکل موج مولفه اصلی ولتاژ دارای اعوجاج که بصورت رابطه (۳) می باشد در دسترس است.

$$u_a^{+} = \sqrt{2} U \sin\left(\omega t + \alpha\right) \qquad (۳)$$

اکنون می توان شکل موج ولتاژ مرجع را مطابق رابطه (۴) با تصحیح مقدار موثر ولتاژ در رابطه (۲) ایجاد نمود.

$$v_a = \frac{V}{U} u_a^{+} = \sqrt{2} V \sin\left(\omega t + \alpha\right) \qquad (۴)$$

که درآن V مقدار موثر ولتاژ مطلوب می باشد. در نهایت با مقایسه سیگنال مرجع بدست آمده از رابطه(۴) و سیگنال دارای اغتشاش، سیگنال کنترل ترانسفورمر سری بدست می آید.

۴-شبیه سازی

جهت بررسی کارایی روش پیشنهادی، در این قسمت، شبیه سازی کامپیوتری با استفاده از نرم افزار SIMULINK درمحیط MATLAB برای چند رخداد مختلف ولتاژ صورت گرفته است.

۴-۱- وجود کمبود ولتاژ

مشخصات سیستم مورد مطالعه به شرح زیر است:

یک شبکه ۴۰۰ ولت سه فاز دارای بار خطی توان ثابت ۱۰kW درنظر گرفته شده است که از زمان t=۰/۱s الی t=۰/۲ s دچار۴۰٪ کاهش ولتاژ می‌شود.

شکل(۳الف-پ)به‌ترتیب شکل موج ولتاژ منبع، ولتاژ جبرانسازیDVR و ولتاژ اصلاح شده را نشان می‌دهند. در شکل(۳- الف) ولتاژ از زمان t=۰/۱ s الی t=۰/۲ s دچار ۴۰٪ کاهش ولتاژ شده است.

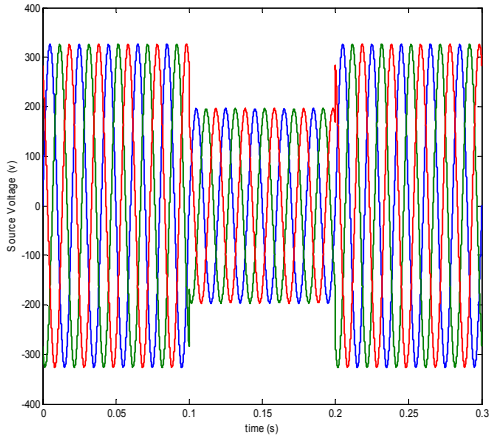
در شکل(۳- پ)-قبل از جبران کمبود ولتاژ یک سیکل قدرت طول کشیده تا فیلتر بتواند مقدار موثر را بخواند و بعد از جبران دوباره یک سیکل طول می‌کشد تا مقدار موثر را بخواند. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، روش کنترل پیشنهادی پس از سپری شدن حالت گذرای کوتاهی موفق به رفع مشکل کمبود ولتاژ شده است.

۴-۲- وجود بیشبود ولتاژ

در شکل (۴- الف) ولتاژ از زمان t=۰/۱ s الی t=۰/۲ s دچار ۴۰٪ افزایش ولتاژ شده است. شکل‌های (۴- ب) و(۴- پ) به ترتیب ولتاژهایDVR و ولتاژ اصلاح شده را نشان می‌دهند. در شکل (۴- پ) نوساناتی که در هنگام ظاهر شدن بیشبود ولتاژ و رفع آن در ولتاژ بار دیده می‌شود مربوط به پاسخ فیلتر پایین‌گذر می‌باشد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، در این حالت نیز جبران‌ساز به سرعت اغتشاش ایجاد شده را بر طرف نموده به‌طوری‌که ولتاژ به جز نوسانات هنگام وقوع خطا و رفع آن تقریبا بدون تغییر مانده است.

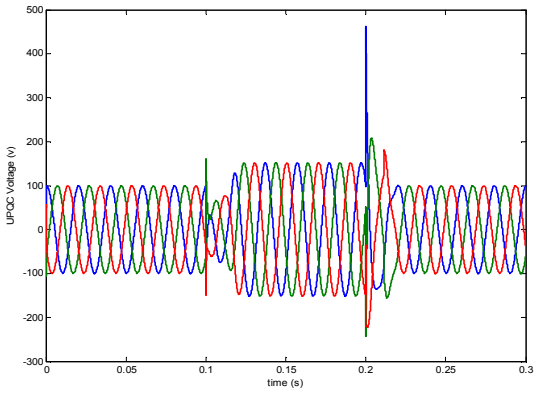
۴-۳- وجود فلیکر

یک شبکه ۴۰۰ ولت سه فاز دارای بار خطی توان ثابت ۱۰kW درنظر گرفته شده است که زمان t=۰/۱ s الی t=۰/۴ s دچار نوسانات دامنه به مقدار۲۰٪+ تا۲۰٪- و با فرکانس ۸ هرتز می‌گردد.

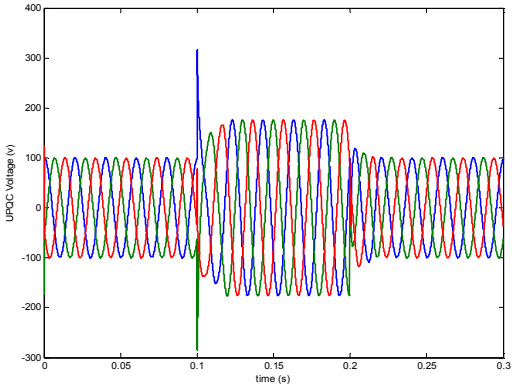


شکل (۳): الف

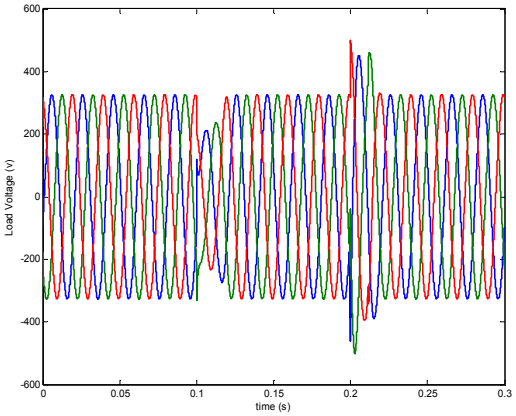
[DOR: 20.1001.1.23222468.1391.1.3.2.8]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 1-No. 3- winter 2012
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-12]



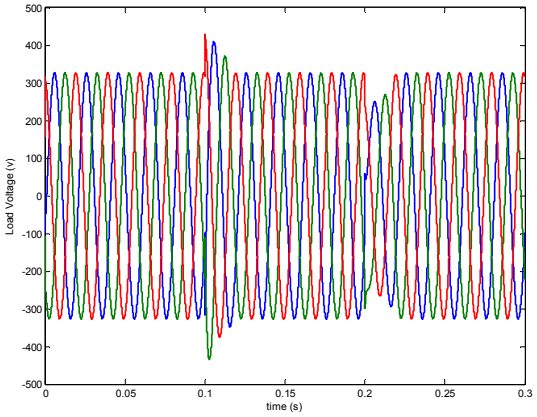
شکل (۳): ب



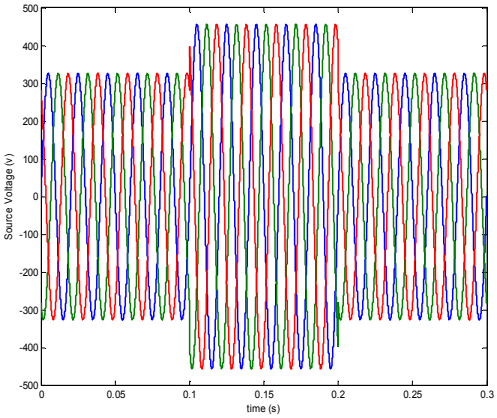
شکل (۴): ب



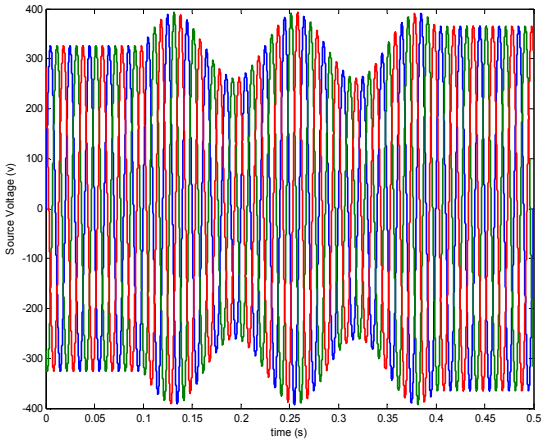
شکل (۳): پ



شکل (۴): پ

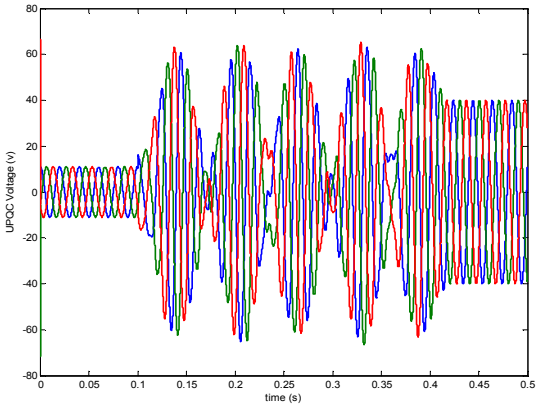


شکل (۴): الف

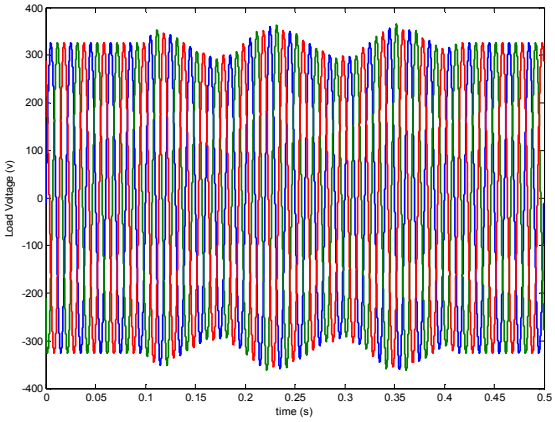


شکل (۵): الف

[DOR: 20.1001.1.23222468.1391.1.3.2.8]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 1-No. 3- winter 2012
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-12]



شکل (۵) : ب



شکل (۵): پ

همانطور که از شکل ها ی (۵. الف- پ) برداشت می شود، فلیکر ولتاژ شدید ایجاد شده در سمت منبع مشاهده می گردد، در اثر فعالیت بازیاب دینامیکی ولتاژ به نحو قابل ملاحظه ای کاهش یافته است.

۵-نتیجه گیری

در این مقاله، یک روش کنترل برای جبران کننده دینامیکی ولتاژ مبتنی بر محاسبه سیگنال مرجع در زمان ارائه گردید. روش پیشنهادی بسیار ساده و سریع بوده و مبتنی بر شرایط شبکه در هر لحظه از زمان عمل می نماید. شبیه سازی کامپیوتر بر روی یک سیستم نمونه برای اغتشاشات ولتاژ صورت گرفت و در تمامی موارد، روش پیشنهادی به نحو مطلوب موفق به حذف اغتشاشات گردید. نتایج شبیه سازی حاکی از آن است که روش مبتنی بر سیگنال مرجع در حذف کمبود ولتاژ، بیشبود ولتاژ و فلیکر بسیار مطلوب عمل می نماید و تا حد قابل توجهی منجر به بهبود وضعیت کیفیت توان می‌گردد.

مراجع:

[1] R.Omar, and N.A.Rahim, "Power quality improvement in low voltage distribution system using dynamic voltage restorer (DVR)," *the 5th IEEE Conf. on Electronics and Applications,* pp. 973-978, 2010.

[2] B. Singh, K. Al-Haddad, and A.Chandra, "A review of active filters for power quality improvement," *IEEE Trans. on Industrial Electronics* , vol.46, no.5, pp. 960-971, 1999.

[3] D.M. Vilathgamuwa, A.A.D.R. Perera, and S.S. Choi, "Voltage Sag compensation with energy optimized Dynamic Voltage Restorer", *IEEE Trans. on Power Del.,* vol. 11, no. 3, pp. 928-936, 2003.

[4] V. Salehi, S. Kahrobaee, and S. Afsharnia, "Power flow control and power quality improvement of wind turbine using universal custom power conditioner", *IEEE Conf. on Industrial Electronics,* pp. 1688-1692, 2006.

[5] S.S. Mahesh, M.K. Mishra, B.K. Kumar, and V. Jayashankar, "Rating and design issues of DVR injection transformer", *the 3rd IEEE Conf. on Applied Power Electronics*, pp. 449-455, 2008.

[6] V.K. Ramachandaramurthy, A. Arulampalam, C.Fitzer, C. Zhan, M. Barnes, and N. Jenkins, "Supervisory control of dynamic voltage restorers", *IEEE Proc.Gener. Transm. Distrib*, vol. 151, no.1, pp. 509-516, 2004.

[7] H. Toodeji, and S.H. Fathi. "Cost reduction and control system improvement in electrical arc furnace using DVR", *IEEE Conf. on Industrial Electronics and Applications*, pp. 211-215, 2009.

[8] R. Madhusudan, and G. RamamohanRao, "Modeling and simulation of a Dynamic Voltage Restorer (DVR) for power quality problems-voltage sags and swells ," *International Conf. on Advances in Engineering, Science and Management* , pp. 422-427, 2012.

[9] M.Sharanya, B.Basavaraja, and M.Sasikala, "An overview of dynamic voltage restorer for voltage profile improvement," *International Journal of Engineering and Advanced Technology,* vol. 2, no. 2, pp. 26-29, 2012.

[10] O.Rosli, N.A.Rahim, and S.Marizan, "Dynamic voltage restorer application power quality improvement in electrical distribution system: An overview," *Australian Journal of Basic and Applied Sciences* , vol. 5, no. 12, pp. 379-396, 2011.

[11] T.Thakur, and G.Singh "Modelling and simulation of DVR for power quality improvement" *International Journal of Engineering Sciences Research* , vol. 2, no. 4, pp. 304-311, 2011.

[12] M.Kavitha, T.Chandrase Khar, and D.Mohan Reddy, "Designing of dynamic voltage restorer(DVR) to improve the power quality for restructured power

[DOR: 20.1001.1.23222468.1391.1.3.2.8]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 1-No. 3- winter 2012
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-12]

systems," *American Journal of Electrical Power and Energy Systems* , vol.2, no.3, pp. 94-97, 2013.

[13] A.Venkata, and Dr.K.Narasimha Rao, "Power quality improvement using repetitive controlled dynamic voltage restorer for various faults.," *International Journal of Engineering Research* , vol.2, no.1, pp. 168-178, 2012.

[14] M.R. Banaei, S.H. Hosseini, and G.B. Gharehpetian, "Inter-line dynamic voltage restorer control using a novel optimum energy consumption strategy" *Science direct,* pp. 989-999, 2006.

[15] P.Kumari, and V.Kumargarg, "Simulation of dynamic voltage restorer using Matlab to enhance power quality in distribution system," *International Journal of Engineering Research and Applications.,* vol.3,no.4, pp.1436-1441, 2013.

[16] M. A. Bhaskar, S. S. Dash, C. Subramani, M. J. Kumar, P. R. Giresh, and M.V. Kumar "Voltage quality improvement using DVR", *International Conf. on Recent Trends in Information*, *Telecommunication and Computing*, pp. 378-380, 2010.

[17] P. Roncero-Sánchez, E. Acha, J. E. Ortega-Calderon Vicente Feliu, and A.García-Cerrada, "A versatile control scheme for a dynamic voltage restorer for power-quality improvement", *IEEE Trans., Power Del*., vol. 24, no. 1, pp. 277-284, 2009.

[18] P. G. Gonzalez, and A. G. Cerrada "Analysis of a Neutral-Point-Connected DVR and comparison with a conventional and a transformer-less DVR", *Internal report*. Comillas, Madrid, 2010.

[19] A. Kumar Jena, B. Mohapatra, and K.Pradhan, "Modeling and simulation of a Dynamic Voltage Restorer (DVR)," *A Project Report for the degree of Bachelor of Technology in Electrical Engineering* , Rourkela, Odisha, 2008.

رزومه

روشنک رضائی پور تحصیلات دانشگاهی خود را در مقطع کارشناسی مهندسی برق- قدرت از دانشگاه آزاد تبریز،کارشناسی-ارشد مهندسی برق- قدرت از دانشگاه علم و صنعت ایران و دکتری مهندسی برق-قدرت از دانشگاه علم و صنعت ایران سپری کرده است.فعالیت‌های پژوهشی و علاقه‌مندی ایشان در زمینه ادوات FACTS، کیفیت توان، و کنترل توان راکتیو و در حال حاضر استادیار گروه برق دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم وتحقیقات آذربایجان‌شرقی می‌باشد..

المیرا کاظمی نیا تحصیلات دانشگاهی خود را در مقطع کارشناسی‌ارشد مهندسی برق- قدرت از دانشگاه علم و صنعت ایران سپری کرده است.فعالیت‌های پژوهشی و علاقه‌مندی ایشان در زمینه ادوات FACTS و کنترل سیستمهای قدرت می‌باشد.

[DOR: 20.1001.1.23222468.1391.1.3.2.8]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 1-No. 3- winter 2012
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-12]