

مقایسه کیفیت ولتاژ ریز شبکه‌های DC به‌ازای دو رویکرد کنترل ثانویه متمرکز و توزیع شده

مهدی بهاریزاده / استادیار / دانشکده مهندسی برق / واحد خمینی شهر / دانشگاه آزاد اسلامی / خمینی شهر / اصفهان-ایران / baharizadeh@iaukhsh.ac.ir
 محمود اسماعیلی / شرکت توزیع نیروی برق استان چهارمحال و بختیاری / ایران / esmaili_mahmoud@yahoo.com
 محمدحسین ارشادی / استادیار / دانشکده مهندسی برق / واحد خمینی شهر / دانشگاه آزاد اسلامی / خمینی شهر / اصفهان-ایران / ershadi@iaukhsh.ac.ir

چکیده

ریز شبکه‌ها به‌عنوان بستر بکارگیری منابع انرژی پراکنده مورد توجه قرار گرفته‌اند. سیستم‌های توزیع سنتی AC، ظهور ریز شبکه‌های AC را در پی داشته‌اند. در راستای کاهش هزینه‌ها و تلفات و افزایش قابلیت اطمینان، به‌تازگی سیستم‌های توزیع DC و در پی آن ریز شبکه‌های DC مورد توجه قرار گرفته‌اند. در این مقاله، کیفیت ولتاژ ریز شبکه‌های DC در حالت عملکرد جزیره‌ای مطالعه می‌شود. در این حالت عملکرد، منابع به‌طور معمول به‌وسیله مشخصه‌های افتی کنترل می‌شوند. در پی استفاده از مشخصه‌های افتی، انحراف ولتاژ ریز شبکه از مقدار نامی رخ می‌دهد. به‌منظور بازیابی ولتاژ از ارتباطات مخابراتی کند در قالب سطح کنترل ثانویه استفاده می‌شود. این سطح کنترل با یکی از دو رویکرد متمرکز و توزیع شده بازیابی ولتاژ را انجام می‌دهد. در این مقاله بازیابی ولتاژ ریز شبکه طی این دو رویکرد مطالعه و تحلیل شده و در پی آن مقایسه آن‌ها ارائه می‌شود. نشان داده می‌شود طی رویکرد متمرکز، نقطه اتصال مشترک کیفیت ولتاژ مطلوبی دارد و طی رویکرد توزیع شده، باس منابع کیفیت مطلوب دارد. به‌منظور تایید نتایج، از شبیه‌سازی زمانی یک ریز شبکه DC کمک گرفته می‌شود.

کلمات کلیدی: ریز شبکه DC، کنترل سلسله مراتبی، استراتژی مشخصه افتی، کنترل اولیه، کنترل ثانویه.

Voltage quality comparison of DC microgrids for centralized and distributed secondary control approaches

Mehdi Baharizadeh/ Department of Electrical Engineering, Khomeinishahr Branch, Islamic Azad University, Khomeinishahr/ Isfahan, Iran/ baharizadeh@iaukhsh.ac.ir

Mahmud esmaeli/ Electricity Distribution Company Chaharmahal and Bakhtiari ,Iran/ esmaili_mahmoud@yahoo.com

Mohammad hosein ershadi/ Department of Electrical Engineering, Khomeinishahr Branch, Islamic Azad University, Khomeinishahr/ Isfahan, Iran/ ershadi@iaukhsh.ac.ir

Abstract:

Microgrids are considered as a platform for the use of distributed energy resources (DERs). The traditional AC distribution systems result in the emergence of AC grids. In order to reduce costs and losses and increase reliability, recently, DC distribution systems and subsequently DC microgrids have been considered. In this paper, the quality of DC voltages during the islanded mode is studied. In this mode, DERs are usually controlled by droop characteristics. In the use of the droop characteristics, the micro grid voltage deviation occurs from a nominal value. For voltage restoration, low band width communications as a part of secondary control are used. This control level, provides voltage restoration with one of two centralized and distributed approaches. In this paper, the voltage restoration with these two approaches is studied and analyzed, and then a comparison is presented. It is shown that for the centralized approach, the point of common coupling has desirable voltage quality and for the distributed approach, DERs buses have desirable voltage quality. For verification, the time domain simulation of a DC microgrid is used.

Keywords: DC microgrids, droop characteristics strategy, hierarchical control, primary control, secondary control

۱- مقدمه

با توجه به مشکلات زیست محیطی و کاهش منابع سوخت‌های فسیلی، تولیدات پراکنده و به تبع آن مفهوم ریزشبکه در چندین سال اخیر مطرح شده است [۱-۲]. ریزشبکه قسمتی از سیستم توزیع الکتریکی است که دست کم دارای یک منبع تولید پراکنده و تعدادی بار وابسته بوده و توانایی ایجاد جزیره‌هایی در سیستم توزیع را داشته باشد. در یک ریزشبکه بارها و منابع تولید پراکنده می‌توانند از سیستم قطع یا وصل شوند در شرایطی که کمترین قطعی بار رخ دهد [۱-۴].

شبکه‌های توزیع به صورت سنتی AC می‌باشند. به واسطه افزایش ضریب نفوذ منابع و بارهای به‌خودی خود DC، به‌تازگی شبکه‌های توزیع DC مورد توجه قرار گرفته‌اند. منابع به‌طور ذاتی DC، منابع تجدیدپذیری چون سیستم‌های فتوولتائیک، بادی و پیل سوختی هستند که بیشتر انرژی را به فرم DC فراهم کرده و جهت اتصال به شبکه‌های مرسوم AC، از یک طبقه اضافی مبدل استفاده می‌کنند. بارهای ذاتی DC، بارهای الکترونیکی چون سیستم‌های روشنایی، رایانه‌ها و حتی درایوهای سرعت متغییر هستند که ولتاژ AC شبکه را قبل از استفاده از طریق یک مبدل، به DC تبدیل می‌کنند [۵-۶]. جایگزینی شبکه توزیع AC با DC، کاهش یک طبقه مبدل در منابع و بارهای DC را به همراه خواهد داشت. این تغییر طی ضریب نفوذ بالای منابع و بارهای DC، منجر به افزایش بازده و قابلیت اطمینان و کاهش هزینه‌های سیستم قدرت می‌شود. همچنین مباحث مربوط به توان راکتیو، فرکانس و اثر پوستی در سیستم‌های DC موضوعیت ندارند. انتظار است با این تغییر، بازده کل سیستم بین ۱۰ تا ۲۲٪ افزایش یابد [۷]. با استفاده از سیستم‌های توزیع DC ریزشبکه‌های DC تشکیل خواهند شد.

ریزشبکه‌ها از جمله نوع DC آنها، دو حالت عملکرد متصل به شبکه و جزیره‌ای دارند. در حالت عملکرد جزیره‌ای که در این مقاله نیز مورد توجه است، کنترل ولتاژ ریزشبکه و تقسیم تقاضای توان اکتیو بر عهده منابع می‌باشد. جهت فراهم کردن این موارد، استراتژی‌های کنترلی متنوعی وجود دارد که استراتژی مشخصه‌های افی از محبوبیت بیشتری برخوردار است [۸-۶]. با استفاده از این استراتژی کنترلی، کل ساختار کنترلی ریزشبکه به سه سطح اولیه، ثانویه و ثالثیه تقسیم می‌شود [۸]. سطح کنترل اولیه تحقق مشخصه‌های افی منابع را بر عهده دارد. سطح کنترل ثانویه که مجهز به ارتباطات مخابراتی کند است، [۹] وظیفه تکمیل کنندگی برای سطح کنترل اولیه را بر عهده دارد. این سطح کنترل بازبایی ولتاژ و بهبود تقسیم توان بین منابع را در حالت جزیره‌ای فراهم می‌کند. سطح کنترل ثالثیه هم وظیفه تنظیم توان تبادلی ریزشبکه با شبکه‌ی بالا دست طی عملکرد متصل به شبکه را بر عهده دارد [۸-۹].

سطح کنترل ثانویه ریزشبکه بر اساس یکی از دو رویکرد متمرکز یا توزیع شده عمل می‌کند. در استراتژی کنترل متمرکز پردازش اطلاعات و تصمیمات کنترلی در کنترل مرکزی انجام می‌پذیرد. و در استراتژی کنترل توزیع شده پردازش اطلاعات بر روی ساختار کنترلی که بر روی منابع تولید پراکنده محقق شده انجام می‌پذیرد [۹]. در این مقاله دو رویکرد متمرکز و توزیع شده سطح کنترل ثانویه مطالعه شده و مقایسه‌ای از جهت توانایی آنها در بازبایی ولتاژ ارایه می‌شود.

در بخش دوم مقاله سطح کنترل اولیه مطالعه می‌شود. در بخش سوم نیز ساختار کنترل ثانویه و دو رویکرد متمرکز و توزیع شده آن به بحث گذاشته می‌شود. در بخش چهارم نتایج شبیه‌سازی یک

ریزشبکه DC نمونه ارایه می‌شود و عملکرد رویکردهای مختلف سطح کنترل ثانویه از جهت بازبایی ولتاژ نشان داده می‌شود. در انتها نیز نتیجه‌گیری ارایه می‌شود.

۲- سطح کنترل اولیه

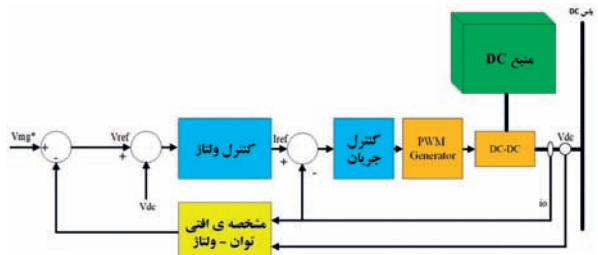
در این سطح، تحقق مشخصه افی انجام می‌شود. مشخصه افی منبع i در رابطه (۱) ارایه شده است [۹].

$$V_{refi} = v_{mg}^* - m_i P_{dci} \quad (1)$$

در این رابطه ولتاژ نامی ریزشبکه، P_{dci} توان خروجی منبع و m_i شیب مشخصه افی آن می‌باشد. این شیب برای هر منبع براساس رابطه زیر تعیین می‌شود.

$$m_i = \frac{v_{mg}^* - v_{fl}}{P_{ratedi}} \quad (2)$$

در رابطه (۲)، v_{fl} ولتاژ ریزشبکه در بار کامل و P_{ratedi} توان نامی منبع i ام می‌باشد [۱۰]. این انتخاب شیب مشخصه‌های افی، تقسیم متناسب با ظرفیت توان تولیدی منابع را به همراه خواهد داشت [۱۱]. در شکل (۱) ساختار کنترل منبع جهت تحقق مشخصه افی نشان داده شده است. همان‌طور که دیده می‌شود، با اندازه‌گیری ولتاژ و جریان محلی منبع، توان تولیدی آن محاسبه می‌گردد. این توان به مشخصه افی اعمال شده و ولتاژ مرجع منبع استخراج می‌شود. ولتاژ مرجع هم از طریق حلقه بیرونی کنترل ولتاژ و حلقه درونی کنترل جریان محقق می‌شود [۷].



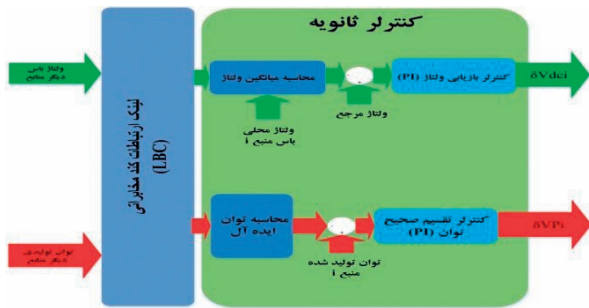
شکل ۱: ساختار کنترل اولیه

با تحقق مشخصه‌های افی، طی افزایش توان تولیدی منابع ولتاژ باس منابع و در پی آن ولتاژ در سطح ریزشبکه کاهش یافته و از مقدار نامی منحرف می‌شود. این افت ولتاژ یکی از نقاط ضعف روش مشخصه افی است [۶].

تقسیم توان اکتیو نیز بین منابع به صورت دقیق انجام نمی‌شود که ناشی از خاصیت محلی ولتاژ است. این دو مورد از نقاط ضعف استراتژی مشخصه‌های افی هستند که به کمک سطح کنترل ثانویه برطرف می‌شوند [۹].

۳- سطح کنترل ثانویه

همان‌طور که در بخش قبل بیان شد در سطح کنترل اولیه مشخصه‌های افی محقق می‌شوند [۷]. وجود این مشخصه‌ها به‌خودی خود باعث ایجاد افت ولتاژ در ریزشبکه می‌گردد. سطح کنترل ثانویه به بازبایی انحراف ولتاژ مورد بحث می‌پردازد. علاوه بر این خطای تقسیم توان را نیز به کمک حلقه‌های کنترل تکمیلی می‌تواند برطرف کند. سطح کنترل ثانویه که مجهز به ارتباطات مخابراتی کند است، براساس یکی از دو استراتژی متمرکز یا توزیع شده عمل می‌کند [۹]. در ساختار کنترل متمرکز متغییرهای مورد نظر در یک کنترل کننده مرکزی جمع‌آوری شده و سپس پردازش اطلاعات در این کنترل کننده صورت



شکل ۳: ساختار کنترل ثانویه توزیع شده

$$V_{avei} = \frac{(V_{ri} + \sum_{j=1}^n V_{rj})}{2}, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

$$\delta_{vi} = kp(v_{ref}^* - V_{avei}) + ki \int (v_{ref}^* - V_{avei}) dt \quad (5)$$

در روابط (۴) و (۵)، V_{avei} متوسط ولتاژ منابع محاسبه شده در منبع i ام، V_{rj} ولتاژ ارسال شده منبع j ام از طریق لینک ارتباطات مخابراتی و δ_{vi} تغییرات عرض از مبدا مشخصه افقی منبع i ام می‌باشند. بر این اساس متوسط ولتاژ منابع به مقدار ولتاژ نامی بازیابی می‌شود.

۳-۳- مقایسه کیفیت ولتاژ

یکی از مزیت‌های ریزشبه، فراهم کردن ولتاژ با کیفیت مطلوب برای مصرف‌کننده‌ها است. همان‌طور که گفته شد بازیابی ولتاژ به سطح نامی، برعهده سطح کنترل ثانویه می‌باشد. در رویکرد متمرکز (بخش ۳-۱)، کنترل‌کننده ولتاژ PCC را بر مقدار نامی منطبق می‌کند. وجود امپدانس خطوط و افت ولتاژ متناظر با آنها، انحراف ولتاژ دیگر نقاط ریزشبه از مقدار نامی را در پی دارد. در این شرایط ولتاژ PCC بهترین کیفیت را دارد. در مقابل در رویکرد توزیع شده (بخش ۳-۲)، کنترل‌کننده میانگین ولتاژ باس منابع را بر مقدار نامی منطبق می‌کند. به عبارتی سعی می‌شود ولتاژ باس کلیه منابع در حد امکان به مقدار نامی نزدیک شده و ولتاژ باس منابع کیفیت مطلوب داشته باشند. به‌صورت مشابه افت ولتاژ متناظر با امپدانس خطوط، کاهش کیفیت ولتاژ دیگر بخش‌های ریزشبه را در پی دارد.

بحث حاضر تایید می‌کند هرچند هر دو رویکرد بهبود کیفیت ولتاژ را در پی دارند، اما در رویکرد متمرکز، ولتاژ PCC کیفیت عالی داشته و در رویکرد توزیع شده ولتاژ باس منابع کیفیت عالی دارند. در این شرایط، برتری وابسته به ساختار ریزشبه است. در ریزشبه‌ای که بارهای حساس الکتریکی در PCC یا اطراف آن هستند، رویکرد متمرکز شرایط بهتری را فراهم می‌کند اما در ریزشبه‌ای که بارهای حساس الکتریکی در باس منابع یا نزدیک آنها هستند، رویکرد توزیع شده شرایط بهتر است.

۴- نتایج شبیه‌سازی

در این بخش نتایج شبیه‌سازی یک ریزشبه تست در محیط نرم‌افزار PSIM ارائه می‌شود. طی این شبیه‌سازی، ریزشبه مجهز به سطح کنترل اولیه و ثانویه شده است. شکل (۴) ساختار ریزشبه تحت مطالعه را نشان می‌دهد. پارامترهای این ریزشبه در جدول (۱) ارائه شده است.

در ابتدا ریزشبه بی‌بار است. در $t=4s$ بار ۳ با توان 25 kW وارد می‌شود. در $t=10s$ بار ۱ با توان 12 kW و در $t=16s$ بار ۲ با توان 12 kW وارد می‌شوند. شکل (۵) ولتاژ باس‌های ریزشبه به‌ازای سطح

پذیرفته و بازخورد دستورات کنترلی از طریق ارتباطات مخابراتی کند به تک تک کنترل‌کننده‌های محلی (LCs) ارسال می‌گردد [۱۲]. در حالت کنترل توزیع شده، متغیرهای مورد نظر بین کنترل‌کننده‌های محلی (LCs) رد و بدل می‌شود. سپس متغیرهای اطلاع‌رسانی شده در هر کنترل‌کننده، معیار تصمیم‌گیری قرار می‌گیرد [۱۴]-[۱۲].

۳-۱- رویکرد متمرکز

شکل (۲) ساختار کنترل ثانویه متمرکز را نشان می‌دهد. در این ساختار، دو حلقه کنترلی مجزا وجود دارد. وظیفه بالایی، بازیابی ولتاژ و پایینی برطرف کردن خطای تقسیم توان است. از آنجا که در این مقاله عملکرد بازیابی ولتاژ مطالعه می‌شود، فقط ساختار کنترل مربوط به آن بررسی می‌شود [۹]. در این ساختار، ولتاژ نقطه اتصال مشترک (PCC) که محل اتصال ریزشبه با شبکه بالا دست است، توسط ارتباطات مخابراتی ارسال شده، با ولتاژ نامی (v_{mg}^*) مقایسه شده و خطای بدست آمده به کنترل‌کننده PI اعمال می‌شود. مقدار δ_v بدست آمده از خروجی کنترل‌کننده به تمامی منابع تولید پراکنده از طریق لینک ارتباطات مخابراتی ارسال می‌گردد. این عملکرد باعث اصلاح عرض از مبدا مشخصه‌ی افقی شده در راستای بازیابی ولتاژ v_{pcc} می‌گردد.

رابطه کنترلی در (۳) ارائه شده است.

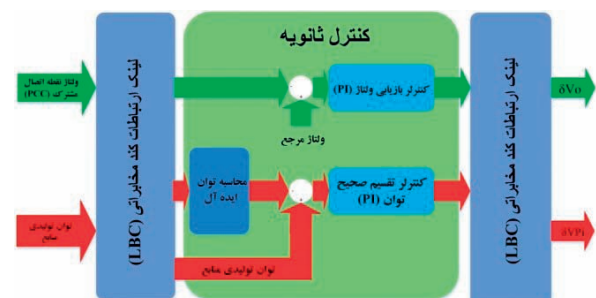
$$\delta_v = kp(v_{mg}^* - v_{pcc}) + ki \int (v_{mg}^* - v_{pcc}) dt \quad (3)$$

در این رابطه v_{pcc} ولتاژ PCC و kp و ki پارامترهای کنترل‌کننده PI می‌باشند [۱۱].

۳-۲- رویکرد توزیع شده

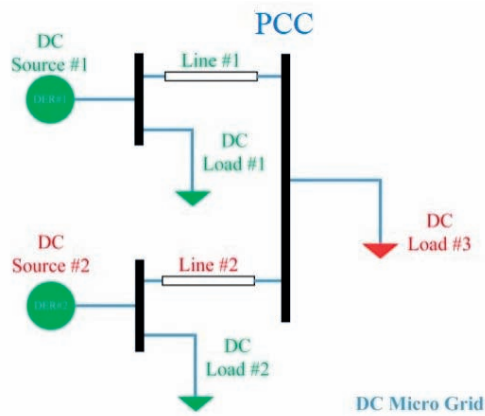
در این نوع کنترل ثانویه، همانند استراتژی متمرکز از ارتباطات مخابراتی کند استفاده می‌شود [۱۳]-[۱۲]. بر خلاف استراتژی متمرکز که ارتباطات مخابراتی آن بین منابع و کنترل‌کننده مرکزی است، در استراتژی توزیع شده ارتباطات مخابراتی بین هر منبع و کلیه منابع دیگر ریزشبه است. همچنین در این استراتژی کنترل‌کننده مرکزی وجود ندارد و ساختار کنترل ثانویه بر روی کنترل‌های محلی محقق می‌شود [۱۳]. شکل (۳) ساختار کنترل ثانویه توزیع شده را نشان می‌دهد. دوباره دو حلقه کنترلی استفاده شده که بالایی مربوط به بازیابی ولتاژ می‌باشد که مورد توجه در این مقاله است.

همان‌طور که دیده می‌شود، ولتاژ باس DC هر منبع تولید پراکنده به‌صورت محلی اندازه‌گیری شده و ولتاژ باس DC دیگر منابع تولید پراکنده از طریق ارتباطات مخابراتی کند به کنترل‌کننده ثانویه موجود بر روی دیگر منابع تولید پراکنده ارسال می‌گردد [۱۲]-[۱۳]. در کنترل‌کننده ثانویه موجود بر روی هر منبع، مقدار متوسط ولتاژ باس منابع ریزشبه از رابطه (۴) محاسبه گردیده، با ولتاژ نامی (v_{mg}^*) مقایسه شده، خطای بدست آمده به کنترل‌کننده PI اعمال شده تا مقدار δ_{vi} به‌ازاء هر منبع از طریق رابطه (۵) بدست آید [۱۳].

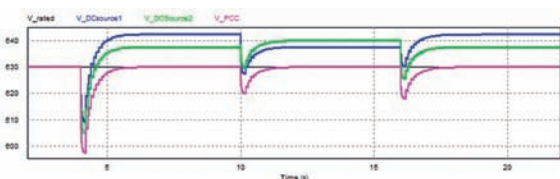


شکل ۲: ساختار کنترل ثانویه متمرکز

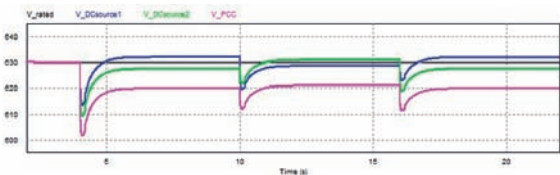
فراهم کرده که مطابق با مطالعات بخش ۳-۳ می‌باشد.



شکل ۴: ریزشبكة تحت مطالعه



شکل ۵: ولتاژ باس‌های ریزشبكة تحت مطالعه به ازای سطح کنترل ثانویه متمرکز



شکل ۶: ولتاژ باس‌های ریزشبكة تحت مطالعه به ازای سطح کنترل ثانویه توزیع شده

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله ساختار کنترل ثانویه متمرکز و توزیع شده ریزشبكة‌ها مطالعه شدند. در ساختار کنترل ثانویه متمرکز، تصمیمات در کنترل‌کننده مرکزی اخذ شده از طریق ارتباطات مخابراتی کند به کنترل‌کننده‌های محلی ارسال می‌شود. در ساختار کنترل ثانویه توزیع شده، اطلاعات منابع از طریق لینک مخابراتی کند به دیگر منابع تولید پراکنده ارسال شده و هر منبع به صورت مستقل تصمیمات کنترلی را اتخاذ می‌نماید. به صورت کلی هر دو ساختار موفق به بازیابی ولتاژ می‌شوند. براساس مطالعات انجام شده، رویکرد متمرکز ولتاژ PCC را بر مقدار نامی منطبق می‌کند. این درحالی است که امپدانس خطوط انحراف ولتاژ دیگر نقاط ریزشبكة از مقدار نامی را در پی دارد. در مقابل رویکرد توزیع شده، میانگین ولتاژ باس منابع را بر مقدار نامی منطبق می‌کند. به عبارتی ولتاژ باس منابع کیفیت مطلوب دارند. امپدانس خطوط نیز کاهش کیفیت ولتاژ دیگر بخش‌های ریزشبكة را در پی دارد. در انتها گفته می‌شود در ریزشبكة‌ای که بارهای حساس الکتریکی در PCC یا اطراف آن هستند، رویکرد متمرکز شرایط بهتری را فراهم می‌کند اما در ریزشبكة‌ای که بارهای حساس الکتریکی در باس منابع یا نزدیک آنها هستند، رویکرد توزیع شده شرایط بهتر را فراهم می‌کند.

کنترل ثانویه متمرکز و شکل (۶) ولتاژ باس‌های ریزشبكة به ازای سطح کنترل ثانویه توزیع شده را نشان می‌دهد. همان‌طور که در هر دو شکل دیده می‌شود، با اضافه شدن بار، ولتاژ در سطح ریزشبكة افت کرده که نتیجه عکس‌العمل مشخصه‌های افتی منابع به افزایش تولید توان است. سطح کنترل ثانویه هم که سرعت کمتری نسبت به سطح کنترل اولیه دارد در هر دو رویکرد، بازیابی ولتاژ پس از کاهش آن را انجام داده است. به صورت کلی، هر دو رویکرد متمرکز و توزیع شده موفق به بازیابی ولتاژ شده‌اند. در ادامه مقایسه‌ای بین این دو رویکرد از جهت کیفیت ولتاژ ارائه خواهد شد.

همان‌طور که در نتایج شکل (۵) نشان داده شده است، طی رویکرد متمرکز ولتاژ PCC بر مقدار نامی منطبق شده است. این درحالی است که ولتاژ باس منابع از مقدار نامی منحرف شده‌اند. رویکرد متمرکز برای بار ۳ که متصل به PCC است، ولتاژ با کیفیت بهتری نسبت به بارهای ۱ و ۲ که متصل به منابع هستند فراهم کرده است. این نتایج با مطالعات بخش ۳-۳ مطابقت دارند.

جدول ۱: پارامترهای ریزشبكة تحت مطالعه

مقدار	نماد	پارامتر
۳۰ kW	P_{rated1}	توان نامی منبع ۱
۳۰ kW	P_{rated2}	توان نامی منبع ۲
۶۳۰ v	v_{mg}^*	ولتاژ نامی منابع
۵۷۰ v	v_{fl}	ولتاژ منابع در بار کامل
$۰/۷ \Omega$	R_{Line1}	مقاومت خط ۱
$۰/۷ Mh$	L_{Line1}	اندوکتانس خط ۱
$۰/۳۵ \Omega$	R_{Line2}	مقاومت خط ۲
$۰/۳۵ mH$	L_{Line2}	اندوکتانس خط ۲
۱۳ kW	P_{load1}	توان بار اول
۱۰ kW	P_{load2}	توان بار دوم
۲۰ kW	P_{load3}	توان بار سوم
۱۰۰ ms	t_{delay}	تاخیر ارتباطات
۰/۲۵	k_p	ضریب تناسبی کنترل ثانویه متمرکز
۱/۷	k_i	ضریب انتگرالی کنترل ثانویه متمرکز
۰/۵	k_p	ضریب تناسبی کنترل ثانویه غیرمتمرکز
۳/۵	k_i	ضریب انتگرالی کنترل ثانویه غیرمتمرکز

طی رویکرد توزیع شده که نتایج شبیه‌سازی آن در شکل (۶) ارائه شده است، ولتاژ باس منابع به مقدار نامی نزدیک هستند. این در حالی است که انحراف بزرگی از مقدار نامی در ولتاژ PCC رخ داده است. رویکرد توزیع شده برای بارهای ۱ و ۲ ولتاژ با کیفیت بهتری

Karthikeyan, P. (2015, July). Underwater Image Enhancement and Edge Detection. In National Conference on» Mechatronics-Technologies and Future Challenges».

[8] Boffety, M., Galland, F., & Allais, A. G. (2012). Color image simulation for underwater optics. *Applied optics*, 51(23), 5633-5642.

[9] Zhao, X., Jin, T., & Qu, S. (2015). Deriving inherent optical properties from background color and underwater image enhancement. *Ocean Engineering*, 94, 163-172.

[10] Jaffe, J. S. (1990). Computer modeling and the design of optimal underwater imaging systems. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, 15(2), 101-111.

[11] Riaz, I., Yu, T., Rehman, Y., & Shin, H. (2016). Single image dehazing via reliability guided fusion. *Journal of Visual Communication and Image Representation*, 40, 85-97.

[12] Sahu, P., Gupta, N., & Sharma, N. (2014). A survey on underwater image enhancement techniques. *International Journal of Computer Applications*, 87(13).

[13] Li, Y., Lu, H., Li, J., Li, X., Li, Y., & Serikawa, S. (2016). Underwater image de-scattering and classification by deep neural network. *Computers & Electrical Engineering*, 54, 68-77.

[14] Xie, B., Guo, F., & Cai, Z. (2010, October). Improved single image dehazing using dark channel prior and multi-scale Retinex. In *Intelligent System Design and Engineering Application (ISDEA), 2010 International Conference on (Vol. 1, pp. 848-851)*. IEEE.

[15] Bianco, G., Muzzupappa, M., Bruno, F., Garcia, R., & Neumann, L. (2015). A new color correction method for underwater imaging. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 40(5), 25.

[16] Ghani, A. S. A., & Isa, N. A. M. (2017). Automatic system for improving underwater image contrast and color through recursive adaptive histogram modification. *Computers and electronics in agriculture*, 141, 181-195.

[17] Chiang, J. Y., & Chen, Y. C. (2012). Underwater image enhancement by wavelength compensation and dehazing. *Image Processing, IEEE Transactions on*, 21(4), 1756-1769.

[18] Block, M., Gehmlich, B., & Hettmanczyk, D. (2017). Automatic underwater image enhancement using improved dark channel prior. *Studies in Digital Heritage*, 1(2), 566-589.

[19] Sathya, R., Bharathi, M., & Dhivyasi, G. (2015, February). Underwater image enhancement by dark channel prior. In *Electronics and Communication Systems (ICECS), 2015 2nd International Conference on (pp. 1119-1123)*. IEEE.

[20] Ma, J., Fan, X., Yang, S. X., Zhang, X., & Zhu, X. (2017). Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization Based Fusion for Underwater Image Enhancement. Preprints, (March), 127.

[21] Peng, Y. T., Cao, K., & Cosman, P. C. (2018). Generalization of the Dark Channel Prior for Single Image Restoration. *IEEE Transactions on Image Processing*, 27(6), 2856-2868.

[22] Ghani, A. S. A., & Isa, N. A. M. (2014). Underwater image quality enhancement through composition of dual-intensity images and Rayleigh-stretching. *SpringerPlus*, 3(1), 757.

[23] Li, X., Hu, H., Zhao, L., Wang, H., Yu, Y., Wu, L., & Liu, T. (2018). Polarimetric image recovery method combining histogram stretching for underwater imaging. *Scientific reports*, 8(1), 12430.

[24] Galdran, A., Pardo, D., Picón, A., & Alvarez-Gila, A. (2015). Automatic Red-Channel underwater image restoration. *Journal of Visual Communication and Image Representation*, 26, 132-145.

[25] Li, C. Y., Guo, J. C., Cong, R. M., Pang, Y. W., & Wang, B. (2016). Underwater image enhancement by dehazing with minimum information loss and histogram distribution prior. *IEEE Transactions on Image Processing*, 25(12), 5664-5677.

[26] Yao, B., & Xiang, J. (2018, June). Underwater image dehazing using modified dark channel prior. In *2018 Chinese Control And Decision Conference (CCDC) (pp. 5792-5797)*. IEEE.

[27] Fan, Y., Wang, S., Yu, T., & Hu, B. L. (2018, December). Underwater image enhancement algorithm based on RGB channels histogram equalization. In *Optical Sensing and Imaging Technologies and Applications (Vol. 10846, p. 108460G)*. International Society for Optics and Photonics.

[28] Yao, Z., Zhou, Q., Yang, X., Yang, C., & Lai, Z. (2016, October). Quadrants Histogram Equalization with a Clipping Limit for image enhancement. In *Wireless Communications & Signal Processing (WCSP), 2016 8th International Conference on (pp. 1-5)*. IEEE.

[29] He, K., Sun, J., & Tang, X. Single image haze removal using dark channel prior. *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, 33(12), 2341-2353.2011.

[30] Agaian, S. S., Panetta, K., & Grigoryan, A. M. (2000, September). A new measure of image enhancement. In *IASTED International Conference on Signal Processing & Communication pp. 19-22*

[31] Fang, Y., Ma, K., Wang, Z., Lin, W., Fang, Z., & Zhai, G. (2015). No-reference quality assessment of contrast-distorted images based on natural scene statistics. *IEEE Signal Processing Letters*, 22(7), 838-842

[1] H.Lasseter, Robert, And P.Paigi. "Microgrid: A Conceptual Solution." In *Power Electronics Specialists Conference, 2004. PESC 04. 2004 IEEE 35th Annual, VOL. 6, Pp. 4285-4290*. IEEE, 2004.

[2] N.,Hatzigargyriou, H. Asano, R. Iravani, and C.Marnay, Microgrids. *IEEE power and energy magazine*, 5(4), pp.78-94.2007

[3] F. Katiraei, and M.R.Iravani. "Power management strategies for a microgrid with multiple distributed generation units." *IEEE transactions on power systems* 21, no. 4 (2006): 1821-1831.

[4] I. Sadeghkhani, M.E.HamedaniGolshan, J. M. Guerrero, and A.Mehrizi-Sani. "A current limiting strategy to improve fault ride-through of inverter interfaced autonomous microgrids." *IEEE Transactions on Smart Grid* 8, no. 5 (2017): 2138-2148.

[5] M.Baharizadeh, H.R. Karshenas, and J. M. Guerrero. "An improved power control strategy for hybrid AC-DC microgrids." *International Journal of Electrical Power & Energy Systems* 95 (2018): 364-373.

[6] Anand, S., Fernandes B. G., "Reduced-Order Model and Stability Analysis of Low-Voltage DC Microgrid," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 60, no. 11, pp. 5040-5049, Nov. 2013.

[7] Chen, D., Xu, L., "Autonomous DC Voltage Control of a DC Microgrid with Multiple Slack Terminals," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 27, no. 4, pp. 1897-1905, Nov. 2012.

[8] J. M. Guerrero, J. C. Vasquez, J. Matas, L. Garcia de Vicuña, and M. Castilla, "Hierarchical Control of Droop-Controlled AC and DC Microgrids A General Approach Toward Standardization", *Industrial Electronics*, 2009. IECON '09. 35th Annual Conference of IEEE, 3-5 Nov. 2009

[9] T. Dragičević, X. Lu, J. C. Vasquez, and J. M. Guerrero. "DC microgrids Part I: A review of control strategies and stabilization techniques." *IEEE Transactions on power electronics* 31, no. 7 (2016): 4876-4891.

[10] Q.Shafiee, T.Dragicevic, J. C. Vasquez, and J. M. Guerrero, "A Novel Robust Communication Algorithm for Distributed Secondary Control of Islanded MicroGrids", *Systems, Signals & Devices (SSD), 2014 11th International Multi-Conference on*, 11-14 Feb. 2014

[11] Q. Shafiee, T.Dragičević, J. C. Vasquez, and J. M. Guerrero. "Hierarchical control for multiple DC-microgrids clusters." *IEEE Transactions on Energy Conversion* 29, no. 4 (2014): 922-933.

[12] Q.Shafiee, ;J. M.Guerrero, J. C. Vasquez, "Distributed Secondary Control for Islanded MicroGrids A Novel Approach", *Power Electronics, IEEE Transactions on (Volume:29 , Issue: 2)*, 23 April 2013

[13] X. Lu, J. M. Guerrero, K. Sun, and J.C. Vasquez, "An Improved Droop Control Method for DC Microgrids Based on Low Bandwidth Communication With DC Bus Voltage Restoration and Enhanced Current Sharing Accuracy", *IEEE Transactions on Power Electronics*, VOL. 29, NO. 4, APRIL 2014

[14] Q.Shafiee; Č. Stefanović; T.Dragičević; P.Popovski; J. C. Vasquez; J. M. Guerrero "Robust Networked Control Scheme for Distributed Secondary Control of Islanded Microgrids" *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, VOL. 61, NO. 10, OCTOBER
