

SID



سرویس های ویژه



سرویس ترجمه تخصصی



کارگاه های آموزشی



بلاگ مرکز اطلاعات علمی



عضویت در خبرنامه



فیلم های آموزشی

کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی



کارگاه آنلاین آشنایی با پایگاه های اطلاعات علمی بین المللی و ترند های جستجو



مباحث پیشرفته یادگیری عمیق؛ شبکه های توجه گرافی (Graph Attention Networks)



کارگاه آنلاین مقاله نویسی IEEE و ISI ویژه فنی و مهندسی

تحلیل و بهبود افت ولتاژ ناشی از عملکرد حفاظت ضد جزیره‌ای منابع تولید پراکنده با استفاده از تنظیم‌کننده پله‌ای ولتاژ در شبکه توزیع فعال

میلاذ رحیمی پور بهبهانی، محمدعلی امینی، علیرضا جلیلیان

آزمایشگاه تحقیقاتی کیفیت توان، دانشکده مهندسی برق، دانشگاه علم و صنعت ایران
تهران، ایران

کیفیت توان و تعدیل اضافه‌بار خطوط شبکه مورد تأکید بوده است [۱]. این مزایا باعث افزایش روزبه‌روز درصد تأمین برق مصرفی شبکه برق و علی‌الخصوص شبکه توزیع، از منابع تولید پراکنده شده است.

در اتصال منابع تولید پراکنده به شبکه، مسائل متعدد و دانش فنی پیچیده‌ای نیاز است که می‌بایست رعایت گردند. یکی از مهم‌ترین مسائل در ایمنی منابع تولید پراکنده، جلوگیری کردن از وقوع حالت جزیره‌ای غیرعمدی است. حالت جزیره‌ای، شرایطی است که یک DG بار محلی را تأمین می‌کند؛ درحالی‌که اتصال شبکه با آن بار قطع شده است [۲]. به‌عبارت‌دیگر، در شرایط جزیره‌ای، تنها تأمین‌کننده بار محلی، DG بوده و اتصال بار و شبکه برقرار نیست. شکل (۱)، نشان‌دهنده دیاگرام تک‌خطی وضعیت جزیره‌ای شدن یک منبع فوتوولتائیک می‌باشد.

همان‌طور که از شکل مشخص است، با باز شدن کلید بازبست ارتباط بین شبکه و منبع تولید پراکنده قطع شده و تولید پراکنده فقط بار محلی خود (Local Load) را تغذیه می‌کند. اتصال دوباره شبکه و منبع تولید پراکنده به دلیل نیاز به سنکرون سازی مجدد (هم‌فاز، هم ولتاژ و هم فرکانس بودن منبع تولید پراکنده با شبکه [۲]) می‌تواند چند دقیقه طول بکشد.

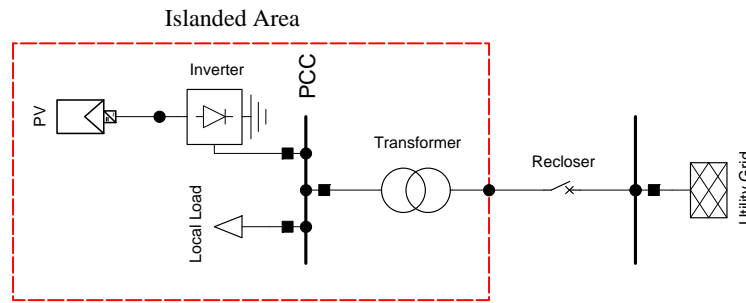
جزیره‌ای شدن غیر عمد DG، می‌تواند به کیفیت توان نامناسب، ناشی از خارج شدن ولتاژ و فرکانس از مقادیر مرجع، منجر شده و به تجهیزات سیستم و بارها آسیب برساند.

چکیده — حفاظت ضد جزیره‌ای منابع تولید پراکنده (DG) به‌گونه‌ای طراحی شده است که در هنگام خطا و قرار گرفتن آن در شرایط جزیره، فرمان به جداسازی DG از شبکه می‌دهد. در هنگام وقوع خطاهای گذرا، عملکرد این حفاظت منجر به جداسازی DG تا اتصال مجدد شده که این موضوع باعث به وجود آمدن شرایط افت یا فروافتادگی ولتاژ در شبکه می‌گردد. در این مقاله، وقوع افت و فروافتادگی ولتاژ در شبکه توزیع استاندارد ۳۳ شینه IEEE با استفاده از نرم‌افزار DIGSILENT تحلیل و سپس با استفاده از مکان‌یابی تنظیم‌کننده پله‌ای ولتاژ (SVR) اقدام به بهبود آن شده است. مطالعه مکان‌یابی باهدف بهبود پروفیل ولتاژ شبکه در شرایط جدا شدن DG انجام شده است. نتایج، نشان‌دهنده مؤثر بودن عملکرد SVR در کاهش زمان و اندازه افت ولتاژ ناشی از عملکرد حفاظت ضد جزیره‌ای DG می‌باشد.

واژه‌های کلیدی — کیفیت توان؛ منابع تولید پراکنده؛ فروافتادگی ولتاژ؛ افت ولتاژ؛ حفاظت ضد جزیره‌ای؛ تنظیم‌کننده پله‌ای ولتاژ.

۱. مقدمه

در دهه اخیر استفاده از منابع تولید پراکنده به دلایل متعدد از جمله افزایش قابلیت اطمینان سیستم، کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی، افزایش



شکل (۱): دیاگرام تک‌خطی وقوع شرایط جزیره در شبکه شعاعی

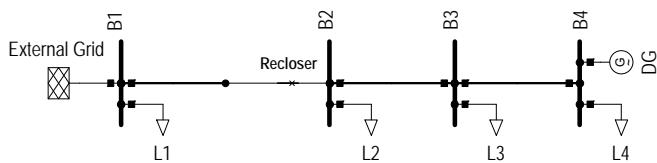
Fernanda در [۱۴] جهت بهبود فروافتادگی ولتاژ ناشی از این پدیده روش‌هایی را از جمله خازن‌گذاری و ریزش بار پیشنهاد داده است.

در این مقاله، ابتدا به شرح پدیده افت ولتاژ ناشی از حفاظت ضد جزیره‌ای، پرداخته شده است. سپس یک شبکه نمونه که بخشی از بار آن توسط DG تغذیه می‌شود، در نظر گرفته و چگونگی رخ دادن پدیده فروافتادگی ولتاژ در این شبکه بررسی شده است. پس‌از آن از بین روش‌های موجود جهت کاهش افت ولتاژ ناشی از این پدیده، استفاده از SVR مورد بررسی قرار گرفته است. در ادامه آن، با جایابی SVR، محل بهینه آن، باهدف بهبود حداقل ولتاژ شبکه شناسایی شده و مشاهده می‌گردد که با بکار بردن SVR، اندازه ولتاژ بعد از عملکرد حفاظت ضد جزیره‌ای بهبود یافته و این افزایش دامنه، افت ولتاژ را به فروافتادگی ولتاژ تبدیل می‌نماید.

۲. شرح پدیده افت ولتاژ ناشی از حفاظت ضد

جزیره‌ای

شبکه توزیع شعاعی ۱۲/۶۶ کیلوولت خلاصه‌شده‌ای به صورت شکل (۲) در نظر بگیرید. هرکدام از بارهای این شبکه، می‌توانند نشان‌دهنده مجموعه‌ای از بارهای کوچک‌تر باشد؛ و دلیل نام‌گذاری این شبکه به شبکه خلاصه‌شده نیز همین موضوع می‌باشد. همه خطوط دارای راکتانس سلفی ۱ اهم و همچنین مقاومت ۱ اهم می‌باشند. مشخصات بارهای شبکه در جدول (۱) ارائه شده است.



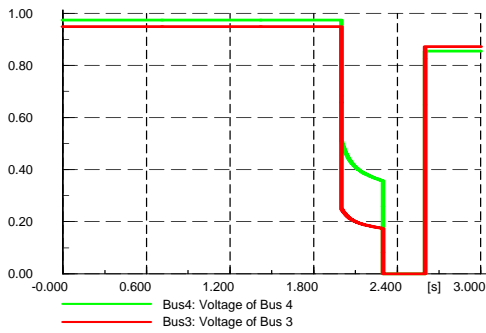
شکل (۲): شبکه توزیع شعاعی نمونه

به همین دلیل، به عملکرد جزیره‌ای یک سیستم به‌طور معمول اجازه وقوع داده نمی‌شود و حفاظت ضد جزیره‌ای برای اتصال DG به سیستم توزیع ضروری می‌باشد [۳]. در [۴-۸] الگوریتم‌های مختلف اکتیو و پسیو برای تشخیص حالت ضد جزیره‌ای پیشنهاد شده است.

امروزه به دلیل افزایش بارهای حساس، کیفیت توان الکتریکی اهمیتی بیش‌ازپیش پیدا کرده است. کیفیت توان ضعیف در سیستم‌های قدرت، می‌تواند منجر به خسارات اقتصادی و خاموشی در شبکه برق شود. استاندارد IEEE، "فروافتادگی ولتاژ" (Voltage Sag) را بصورت کاهش از ۰/۱ تا ۰/۹ پرینویت در مقدار مؤثر ولتاژ برای بازه زمانی ۰/۵ سیکل تا ۱ دقیقه و "افت ولتاژ" (Under Voltage) را به صورت کاهش ولتاژ مؤثر بین ۰/۸ تا ۰/۹ در زمان بیش از ۱ دقیقه تعریف می‌نماید [۹].

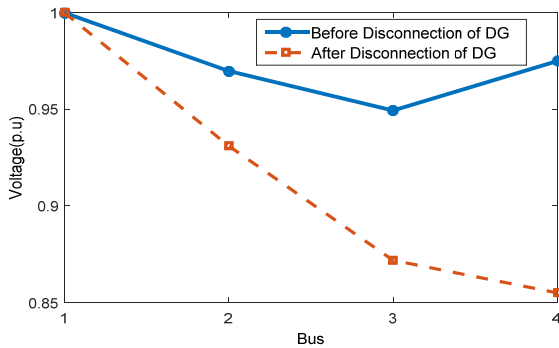
اخیراً تجهیزات مختلفی برای بهبود شاخص‌های کیفیت توان شبکه به کار گرفته می‌شوند. یکی از تجهیزات که در بهبود پارامترهای کیفیت توان، به‌خصوص فروافتادگی ولتاژ، نقش بسزایی دارد، تنظیم‌کننده پله‌ای ولتاژ (SVR) می‌باشد [۱۰]. SVRها، اتوترانسفورماتورهایی هستند که تپ‌های زیادی دارند و معمولاً، تنظیم ولتاژ را در رنج $\pm 10\%$ انجام می‌دهند. SVRها معمولاً یا از ۳۲ گام $\frac{5}{8}$ پله‌ای یا از ۱۶ گام $\frac{5}{4}$ پله‌ای تشکیل شده‌اند [۱۰]. محل قرارگیری SVR در شبکه توزیع، عامل مؤثری در میزان بهبود کیفیت توان شبکه (از جمله در شرایط افت ولتاژ) می‌باشد. مقالات کمی به یافتن محل بهینه SVR پرداخته‌اند. در [۱۱] به پیدا کردن مکان بهینه SVR، با توجه به تغییر روزانه بار در حضور منابع تولید پراکنده پرداخته شده است. در [۱۲] نیز به پیدا کردن مکان بهینه SVR، با در نظر گرفتن افزایش بار پرداخته شده است.

فروافتادگی ولتاژ و افت ولتاژ هنگام رخ دادن حفاظت ضد جزیره‌ای DG، اولین بار توسط Fernanda در [۱۳] مطرح شد. این پدیده می‌تواند منجر به آسیب‌های عظیمی به‌خصوص به بارهای حساس شبکه شود.



شکل (۳): اندازه ولتاژ شینه‌های سوم و چهارم در طول دوره مطالعه

۲/۱ بازبست، باز و در ثانیه ۲/۳ منبع تولید پراکنده قطع و در ثانیه ۲/۵ خطای گذرا از بین رفته و در ثانیه ۲/۶ بازبست مجدداً بسته شود. پس‌ازاین عمل به دلیل برطرف شدن خطا، بازبست دیگر باز نشده و شبکه در ولتاژ ثابت تا اتصال مجدد منبع تولید پراکنده باقی می‌ماند. شکل (۳) نمودار اندازه ولتاژ شینه سوم و چهارم را در طول دوره مطالعه نشان می‌دهد که مطابق آن، ولتاژ شینه ۳ قبل از وقوع خطا ۰/۹۴۹ پر یونیت و بعد از رخ دادن خطای سه فاز در شینه ۲ و قبل از عملکرد حفاظت ضد جزیره‌ای منابع تولید پراکنده، به شدت افت می‌نماید. پس از عملکرد حفاظت ضد جزیره‌ای DG و در زمان باز بودن کلید بازبست، سمت پایین دست کلید به‌طور کامل از شبکه جدا شده و ولتاژ آن به صفر می‌رسد. پس از بسته شدن مجدد کلید بازبست، ولتاژ آن به ۰/۸۷۷ پر یونیت می‌رسد. اما مسئله افت ولتاژ در شینه ۴ که به دلیل تأمین توان توسط منبع تولید پراکنده، قبل از وقوع خطا ولتاژی بالاتر از شینه ۳ و به میزان ۰/۹۷۵ پر یونیت دارد، متفاوت از شینه ۳ می‌باشد. پس از قطع منبع تولید پراکنده، از آنجاکه شینه ۴ انتهایی‌ترین شینه فیدر توزیع می‌باشد، کمترین ولتاژ را در شبکه پیدا می‌کند. ولتاژ این شینه پس از قطع منبع تولید پراکنده ۰/۸۵۵ پر یونیت می‌باشد. علی‌رغم اینکه کل توان مصرفی شینه‌های ۳ و ۴ تأمین شده است، اما به دلیل دور بودن منبع تأمین توان از محل این شینه‌ها، دچار افت ولتاژ شده‌اند. لازم به ذکر است که ولتاژهای به‌دست‌آمده، تا اتصال مجدد منبع تولید پراکنده، ثابت می‌ماند.



شکل (۴): پروفیل ولتاژ شبکه، قبل و بعد از جدا شدن DG

جدول (۱): اطلاعات بارهای شبکه نمونه

بار	مدل	توان اکتیو (MW)	توان راکتیو (MVar)
L1	امپدانس ثابت	۲	۱
L2	امپدانس ثابت	۱	۰/۵
L3	امپدانس ثابت	۴	۳
L4	امپدانس ثابت	۲	۱

منبع تولید پراکنده نیز در وضعیت بهره‌برداری PQ می‌باشد. توان اکتیو این منبع ۴ مگاوات و ضریب توان آن ۰/۸ در نظر گرفته شده است. همچنین باید توجه نمود که حضور منبع تولید پراکنده و تأمین توان اکتیو و راکتیو منجر به جبران افت ولتاژ در شینه‌های ۲ و ۳ خواهد شد. در این مدار از یک بازبست برای جلوگیری از قطع بار شینه ۱ در هنگام خطاهایی که در پایین دست بازبست رخ می‌دهند، استفاده شده است.

حال اگر یک خطای گذرا در یکی از شینه‌ها یا خط‌های پایین دست بازبست رخ دهد، بازبست فوراً (در زمانی حدوداً ۰/۱ ثانیه‌ای) با توجه به مشخصات آن) باز شده و پس‌از آن منبع تولید پراکنده به دلیل عملکرد حفاظت ضد جزیره‌ای خود (پس از زمان حدوداً ۰/۲ ثانیه از جزیره‌ای شدن) از مدار جدا می‌شود. سپس خطای گذرا برطرف شده و بازبست با توجه به تنظیمات خود (در زمانی حدوداً ۰/۵ ثانیه پس از باز شدن) بسته می‌شود. پس‌از آن، از آنجاکه خطا پاک‌سازی شده، بازبست مجدداً باز نمی‌شود. لازم به ذکر است که منبع تولید پراکنده که به دلیل عملکرد حفاظت ضد جزیره‌ای از مدار خارج شد، برای دوباره برگشتن به مدار به زمانی چند دقیقه‌ای نیاز دارد و در این مدت زمان، وظیفه تأمین بخشی از بار که قبلاً توسط منبع تولید پراکنده تأمین می‌شد به عهده شبکه بالادست (فوق توزیع - External Grid) می‌افتد. در این مطالعه فرض شده است که شبکه فوق توزیع، قابلیت تأمین کل بار شبکه بدون اضافه‌بار شدن را دارد. از آنجاکه External Grid بارهای شبکه توزیع را در فاصله دورتری نسبت به منبع تولید پراکنده تأمین می‌کند، به دلیل امپدانس خطوط در این فاصله، ولتاژ شینه‌های پایین دست (در اینجا ۲، ۳ و ۴) افت خواهند داشت که میزان این افت ولتاژ در شینه ۴ به دلیل فاصله بیشتر از منبع تأمین انرژی (بعد از قطع منبع تولید پراکنده)، بیشتر از سایر شینه‌ها خواهد بود.

در این مقاله هدف، بررسی افت ولتاژ در مدت زمان چند دقیقه‌ای فراهم نبودن DG و ارائه راهکار جهت بهبود اندازه و زمان آن می‌باشد. به‌منظور تشریح آن، در شبکه شکل (۲) فرض شده است که در ثانیه ۲ یک خطای سه فاز به زمین در شینه ۲ رخ دهد. از آنجاکه این خطا در مقایسه با سایر خطاهای محتمل وضعیت بدتری را برای شبکه ایجاد می‌نماید؛ این خطا در نظر گرفته شده است. همچنین امپدانس خطا نیز برای بررسی بدترین حالت شبکه، صفر در نظر گرفته شده است. فرض شده است که در ثانیه

که در شکل مشاهده می‌گردد، پروفیل ولتاژ با اضافه شدن منبع تولید پراکنده بهبود یافته و همچنین در هر دو حالت شینه ۱۸، کمترین میزان ولتاژ را دارد.

۳.۲ گام ۲: مطالعه وقوع افت ولتاژ ناشی از عملکرد

حفاظت ضد جزیره‌ای در شبکه نمونه

جهت مطالعه افت ولتاژ به هنگام وقوع پدیده حفاظت ضد جزیره‌ای، فرض شده است که یک خطای سه فاز (شدیدترین نوع خطا) در شینه ۸ در ثانیه ۵ رخ داده است. با توجه به مشخصات کلید بازبست، پس از زمان ۰/۱ ثانیه، بازبست جهت حفاظت بارهای بالادست در شرایط خطا، عمل نموده و باز می‌شود. در ثانیه ۵/۳ حفاظت ضد جزیره‌ای منبع تولید پراکنده به علت جزیره شدن بخشی از شبکه که بازبست در آن قرار دارد، منبع تولید پراکنده را از مدار خارج می‌کند. در ثانیه ۵/۵ خطای گذرا از بین رفته و در ثانیه ۵/۶ بازبست مجدداً بسته می‌شود. پس از آن به علت پاک‌سازی خطا، بازبست در وضعیت بسته باقی می‌ماند. در شکل (۷) وضعیت ولتاژ شینه ۱۸ شبکه در طول دوره مطالعه (شینه محفوظ مانده از خطا) نمایش داده شده و ولتاژ، چه در حضور منبع تولید پراکنده و چه در عدم حضور آن، شینه ۳۳ (به‌عنوان نمونه) و شینه ۲ (شینه محفوظ مانده از خطا) نمایش داده شده است. هنگامی که خطا در شینه ۸ رخ دهد، ولتاژ شینه ۱۸ فوراً به صفر رسیده و پس از رفع خطا به علت جدا شدن منبع تولید پراکنده ولتاژ این شینه بازم کمترین مقدار ولتاژ شبکه می‌باشد؛ با این تفاوت که مقدار ولتاژ در حالت دوم کمی کمتر (به میزان $0.035 = 0.0877 - 0.912$) خواهد بود. این تفاوت باعث خارج شدن ولتاژ از محدوده مجاز ($\pm 10\%$) شده و می‌تواند موجب آسیب رسیدن به بارهای حساس واقع در این شینه شود. به‌منظور حل مشکل و رساندن ولتاژ این شینه و سایر شینه‌هایی که خارج از حد مجاز هستند، راه‌حل‌های متنوعی از جمله اضافه کردن منبع تولید پراکنده دوم در شبکه، قطع قسمتی از بار (Shedding Load)، اضافه کردن خازن به مدار و ... وجود دارند. ولی این راه‌حل‌ها به دلیل هزینه‌بر بودن چندان مورد تأیید نمی‌باشد.

شکل (۳)، ولتاژ این دو شینه را برحسب زمان در نمونه مطالعاتی نشان می‌دهد. باید توجه کرد که ولتاژ سایر شینه‌های شبکه نیز از عملکرد حفاظت ضد جزیره‌ای تأثیر می‌پذیرند، اما تأثیر آن‌ها به‌شدت دو شینه مذکور نمی‌باشد. شکل (۴) نشان‌دهنده پروفیل ولتاژ شبکه، قبل و بعد از وقوع خطا و عملکرد حفاظت ضد جزیره‌ای منبع تولید پراکنده می‌باشد.

۳. مطالعه پدیده افت ولتاژ ناشی از عملکرد

حفاظت ضد جزیره‌ای در شبکه استاندارد

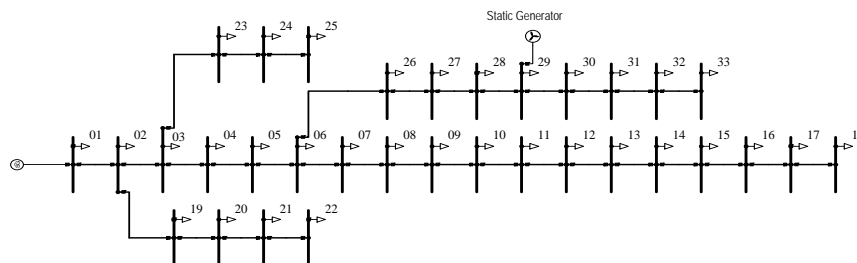
IEEE

پس از مطالعه انجام‌شده در بخش گذشته در شبکه نمونه، در این بخش پدیده افت ولتاژ ناشی از عملکرد حفاظت ضد جزیره‌ای منبع تولید پراکنده در شبکه استاندارد IEEE مورد مطالعه قرار گرفته و سپس با به‌کارگیری SVR، افت ولتاژ شبکه بهبود داده شده است.

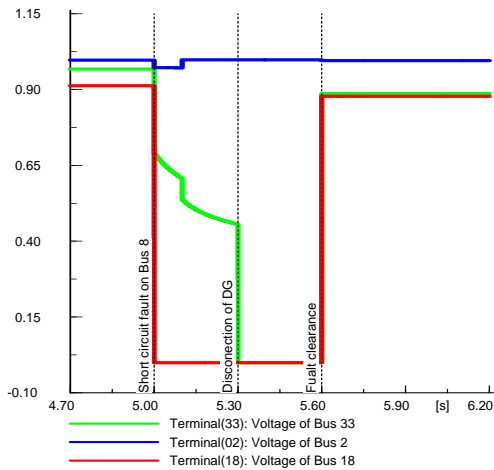
۳.۱ گام ۱: ارزیابی وضعیت شبکه در حالت حضور

و عدم حضور DG

به‌منظور مطالعه افت و فروافتادگی ولتاژ ناشی از عملکرد حفاظت ضد جزیره‌ای، شبکه ۳۳ شینه استاندارد توزیع IEEE به‌عنوان شبکه نمونه در نظر گرفته شده است. شکل (۵) نشان‌دهنده شمای تک‌خطی شبکه نمونه می‌باشد. این شبکه شامل ۳۳ شینه و ۳۲ شاخه، با مجموع بار مصرفی ۳/۷۱۵ مگاوات و ۲/۳ مگاوار می‌باشد [۱۵]. برای بررسی بهتر پدیده افت ولتاژ ناشی از عملکرد حفاظت ضد جزیره‌ای، فرض شده است که شبکه در وضعیت پیک مصرف و در ۱/۵ برابر مقدار مصرف عادی خود قرار گرفته است. همچنین به‌منظور محافظت شبکه در برابر خطاهای گذرا، از کلید بازبست در بین شینه‌های ۵ و ۶ استفاده شده است. جهت بهبود پروفیل ولتاژ شبکه در این حالت یک منبع تولید پراکنده با تولید توان ۲ مگاوات اکتیو و ۱/۵ مگاوار راکتیو (وضعیت بهره‌برداری PQ) در شینه ۲۹ شبکه قرار گرفته است. شکل (۶) پروفیل ولتاژ شبکه در وضعیت پیک، در حالت حضور و عدم حضور منبع تولید پراکنده را نشان می‌دهد. همان‌طور



شکل (۵): شبکه ۳۳ شینه استاندارد توزیع IEEE استفاده شده جهت مطالعه افت و فروافتادگی ولتاژ ناشی از عملکرد حفاظت ضد جزیره‌ای



شکل (۷): مقدار موثر ولتاژهای شبکه در طول دوره مطالعه

جبران سازی در شینه HV به معنای تنظیم ولتاژ در شینه ۱۰ می‌باشد.

مسئله دوم در جایابی SVR، محل قرارگرفتن آن است. جبران سازی در خطوط مختلف می‌تواند پروفیل ولتاژ متفاوتی را نتیجه دهد. تأثیر SVR در بهبود ولتاژ شبکه را می‌توان به عملکرد آن در شرایط عادی و خطا تقسیم‌بندی نمود. در مطالعه انجام‌شده، با توجه به هدف مطالعه که ارزیابی عملکرد SVR در شرایط خطا و پس از عملکرد حفاظت ضد جزیره‌ای DG است، لازم است تا تأثیر SVR در شرایط عدم حضور DG مورد مطالعه قرار گیرد؛ چراکه منبع تولید پراکنده در شرایط خطا به علت عملکرد حفاظت ضد جزیره‌ای از شبکه جدا شده است.

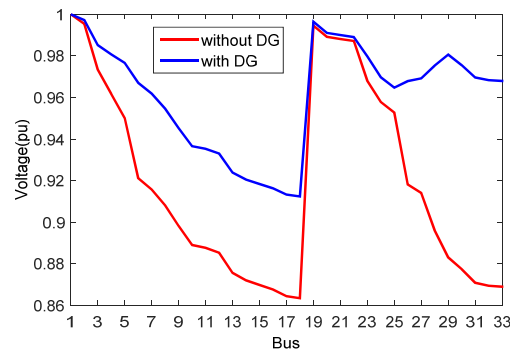
در بحث جایابی SVR، هدف حداکثر کردن حداقل ولتاژ شبکه در آرایش مدنظر است. هدف موردنظر به آن دلیل اتخاذ شده است که اطمینان حاصل شود پس از جایابی SVR، کمترین ولتاژ شبکه بهبود می‌یابد. این هدف در مطالعات انجام‌شده به صورت رابطه (۱) لحاظ شده است:

$$f = \max(\min(V_i)) \quad i=1,2,\dots,N \quad (1)$$

که در آن V_i مقدار موثر ولتاژ شینه i و N نشان‌دهنده تعداد شینه‌های شبکه است. برای تابع هدف قید حداکثر جریان قابل تحمل خطوط به صورت رابطه (۲) در نظر گرفته شده است که در آن I_j جریان شاخه j ام و I_{jmax} نشان‌دهنده حداکثر جریان شاخه مذکور می‌باشد:

$$I_j < I_{jmax} \quad (2)$$

مسئله بهینه‌سازی مطالعه شده به این صورت است که SVR مدنظر به ترتیب در تمامی شینه‌های شبکه قرار داده شده و شرایط شبکه در هر حالت تحلیل شده است. متغیر دیگری که در این مسئله لحاظ شده است، شین تحت کنترل SVR می‌باشد. شکل (۸)، نشان‌دهنده کمترین ولتاژ شبکه پس



شکل (۶): پروفیل ولتاژ شبکه، در حضور و عدم حضور منبع تولید پراکنده

راه‌حل کم‌هزینه که علاوه بر بهبود پروفیل ولتاژ بعد از قطع منبع تولید پراکنده، پروفیل ولتاژ را در حضور منبع تولید پراکنده نیز بهبود می‌دهد، استفاده از تنظیم‌کننده ولتاژ (SVR) می‌باشد [۱۳]. در این مقاله به منظور بهبود افت ولتاژ ناشی از حفاظت ضد جزیره‌ای از تنظیم‌کننده پله‌ای ولتاژ استفاده شده است.

۳.۳. گام ۳: بهبود افت ولتاژ با جایابی SVR

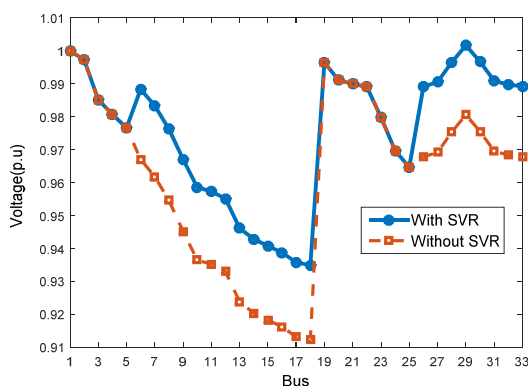
در این مقاله به منظور بهبود افت ولتاژ ناشی از عملکرد حفاظت ضد جزیره‌ای در شبکه توزیع شعاعی، از SVR استفاده شده که مشخصات آن در جدول (۲) ارائه شده است. عموماً مدار کنترل SVR به گونه‌ای طراحی می‌گردد تا با توجه به مشخصات امپدانس شبکه، بتواند ولتاژ شین موردنظر را در محدوده مجاز تنظیم نماید که کنترل جبران افت خط (LDC) نام دارد. شین موردنظر می‌تواند یکی از شین‌های دوردست شبکه یا شین نزدیک به SVR باشد. در این مقاله فرض شده است که شین موردنظر SVR در مدار کنترل، یکی از شین‌های بالادست یا پایین‌دست که SVR به آن‌ها متصل است، می‌باشد. با توجه به شرایط تشریح شده در ارتباط با عملکرد SVR در شبکه توزیع، می‌بایست SVR موردنظر در بهترین مکان ممکن در شبکه توزیع جایابی و نصب گردد تا بتواند بهترین عملکرد را در بهبود افت ولتاژ شبکه ارائه دهد. در بحث جایابی SVR، دو نکته حائز اهمیت است؛ شین موردنظر مدار کنترل و محل قرار گرفتن SVR. ابتدا به بررسی اینکه SVR جبران سازی ولتاژ را برای کدام یک از شینه‌های خود انجام می‌دهد، پرداخته شده است. مطابق نامگذاری انجام شده، شین نزدیک به ابتدای فیدر با نام HV و شین دیگر با نام LV نام‌گذاری شده‌اند. در ادامه بحث، جبران سازی برای شینه‌های HV و LV در شبکه توزیع به معنی کنترل ولتاژ باهدف تنظیم ولتاژ شینه‌های HV و LV با استفاده از تغییر تپ SVR می‌باشد. به عنوان مثال فرض کنید که SVR در خط واصل بین شینه ۱۰ به ۱۱ شبکه توزیع استاندارد قرار گرفته است؛ جبران سازی در شینه LV به معنای تنظیم ولتاژ در شینه ۱۱ و

مورد مطالعه در بار پیک و در حضور DG، در دو حالت حضور SVR در خط ۵ و عدم حضور آن نشان می‌دهد که مطابق آن، حضور SVR منجر به بهبود پروفیل ولتاژ شبکه می‌شود درحالی‌که همچنان شین ۱۸ دارای کمترین ولتاژ خواهد بود.

۳.۴. گام ۴: بررسی تأثیر عملکرد حفاظت ضد

جزیره‌ای در حضور SVR

به منظور مطالعه پدیده حفاظت ضد جزیره‌ای در حضور SVR، پس از بهینه‌سازی انجام شده در خصوص محل نصب و مدار کنترل SVR، در ادامه، شرایط خطا، پاک‌سازی و عملکرد بازیست مدل‌سازی و تحلیل شده است. در مطالعه شبکه ۳۳ شینه IEEE، شینه ۱۸ که کمترین ولتاژ پس از رخ دادن خطا و قطع منبع تولید پراکنده را دارد، به‌عنوان بدترین وضعیت ولتاژ مورد بررسی قرار گرفته است. ابتدا در ثانیه ۵ خطای سه فاز به زمین در شینه ۸ رخ می‌دهد. اگرچه خطای تک‌فاز به زمین پرتکرارترین نوع خطا می‌باشد ولی به علت شدیدتر بودن خطای سه فاز به زمین این نوع خطا مورد مطالعه قرار گرفته است [۱۶]. پس از خطای رخ داده در ثانیه ۵، در ثانیه ۵/۱ بازیست باز شده و در ثانیه ۵/۳ منبع تولید پراکنده قطع می‌شود و سپس در ثانیه ۵/۵ خطا پاک‌سازی شده و در ثانیه ۵/۶ بازیست مجدداً بسته می‌شود. ترتیب زمانی خطا، پاک‌سازی و عملکرد بازیست مشابه روند گام ۱ است با این تفاوت که در این مطالعه، نصب SVR تغییراتی را در شرایط بهره‌برداری شبکه وارد نموده است. با توجه به تنظیم شین ۶ به‌عنوان شین هدف مدار کنترل SVR، در شرایط بهره‌برداری عادی و قبل از رخ دادن خطا، SVR با تغییر تپ خود ولتاژ شینه ۶ را در محدوده مجاز رنج $\pm 5\%$ تنظیم می‌نماید. تپ SVR در این حالت ۲ و ولتاژ شینه ۱۸، 0.932 پرینویت می‌باشد. پس از رخ دادن خطا و افت ولتاژ شین ۶ به‌عنوان هدف مدار کنترل، SVR وارد عمل شده و با توجه به

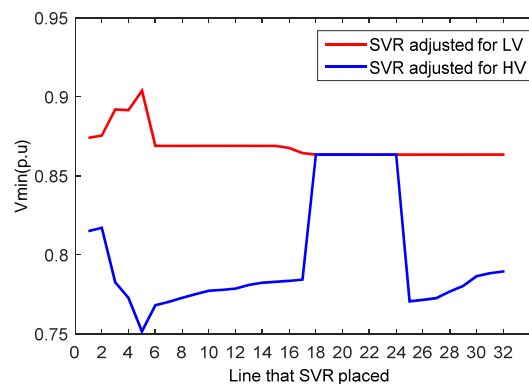


شکل (۹): پروفیل ولتاژ در شرایط بهره‌برداری عادی

جدول (۲): مشخصات SVR مورد استفاده

پارامتر	مقدار
توان نامی	15MVA
ولتاژ نامی	12/66kv/12/66kv
امپدانس	۰/۶
تعداد تپ‌ها	۳۲ تپ (از ۱۶- تا ۱۶+)
ولتاژ مرجع	۱ پرینویت
حد بالای ولتاژ مرجع	۱/۰۵ پرینویت
حد پایین ولتاژ مرجع	۰/۹۵ پرینویت
تأخیر زمانی SVR	۱۵ ثانیه
کنترل دروپ برای شینه خارجی	ندارد

از قرار گرفتن SVR در تمامی شین‌های شبکه در دو وضعیت متفاوت است. در وضعیت اول، هدف مدار کنترل SVR، کنترل ولتاژ شینه LV و هدف وضعیت دوم، کنترل ولتاژ شینه HV توسط SVR می‌باشد. مطابق نتیجه به‌دست‌آمده در شکل (۸)، تنظیم SVR باهدف کنترل شین LV منجر به دستیابی به ولتاژ حداقل بیشتری در شبکه در مقایسه با کنترل ولتاژ شین HV می‌گردد. با توجه به اینکه از بین دو شین HV و LV، تنظیم ولتاژ می‌بایست در ولتاژ با شین کمتر صورت پذیرد، نتیجه به‌دست‌آمده از مسئله بهینه‌سازی نیز این موضوع را تأیید می‌نماید. از طرف دیگر، مطابق شکل (۸)، قرار گرفتن SVR در خط ۵، موجب می‌شود که کمترین میزان ولتاژ در این آرایش، نسبت به سایر خطوط در بالاترین حد باشد. لذا مکان مناسب برای قرار گرفتن SVR خط ۵ و تنظیم مناسب آن از بین دو حالت تنظیم، شینه LV یعنی شینه پایین دست محل قرار گرفتن SVR می‌باشد. همان‌طور که در مسئله بهینه‌سازی تشریح شد، مکان‌یابی و شینه هدف مدار کنترل SVR، در شرایطی مورد مطالعه قرار گرفته است که منبع تولید پراکنده به علت عملکرد حفاظت ضد جزیره‌ای از مدار خارج شده باشد. از طرف دیگر، نتایج به‌دست‌آمده از بهینه‌سازی، شرایط عادی بهره‌برداری شبکه را نیز تحت تأثیر قرار خواهد داد. شکل (۹)، پروفیل ولتاژ شبکه

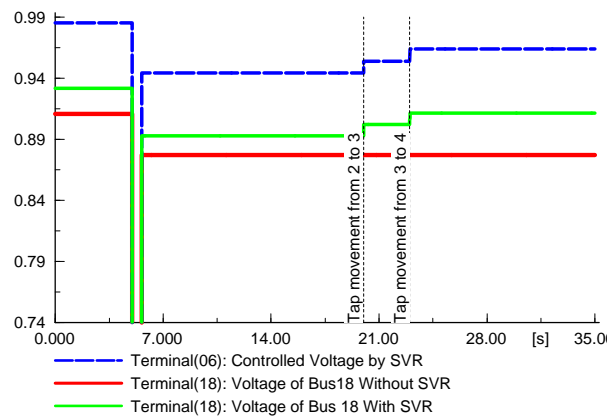


شکل (۸): کمترین ولتاژ شبکه پس از نصب SVR در شینه‌های شبکه

ولتاژ شبکه در نرم افزار DigSILENT انتخاب شده است. نتایج بدست آمده کارایی SVR در بهبود وضعیت شبکه از دیدگاه کیفیت توان را نشان می‌دهد. با بکارگیری SVR، می‌توان زمان و اندازه افت ولتاژ به وجود آمده را بهبود داده و افت ولتاژ شبکه را به فروافتادگی ولتاژ تبدیل نمود و متعاقباً از آسیب به بارهای حساس شبکه کاست.

منابع

- [1] S. Chowdhury and P. Crossley, *Microgrids and active distribution networks*: The Institution of Engineering and Technology, 2009.
- [2] "IEEE Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems," in *IEEE Std 1547-2003*, ed. 2003, pp. 1-28.
- [3] F. De Mango, M. Liserre, A. Dell'Aquila, and A. Pigazo, "Overview of anti-islanding algorithms for PV systems. Part I: Passive methods," in *Power Electronics and Motion Control Conference, 2006. EPE-PEMC 2006. 12th International*, 2006, pp. 1878-1883.
- [4] B. Singam and L. Y. Hui, "Assessing SMS and PJD schemes of anti-islanding with varying quality factor," in *2006 IEEE International Power and Energy Conference*, 2006, pp. 196-201.
- [5] W. Y. Teoh and C. W. Tan, "An overview of islanding detection methods in photovoltaic systems," *World Academy of Science, Engineering and Technology*, vol. 58, pp. 674-682, 2011.
- [6] T. Funabashi, K. Koyanagi, and R. Yokoyama, "A review of islanding detection methods for distributed resources," in *Power Tech Conference Proceedings*, 2003, pp. 1-6.
- [7] D. Velasco, C. Trujillo, G. Garcera, and E. Figueres, "Review of anti-islanding techniques in distributed generators," *Renewable and sustainable energy reviews*, vol. 14, pp. 1608-1614, 2010.
- [8] F. Noor, R. Arumugam, and M. Vaziri, "Unintentional islanding and comparison of prevention techniques," in *Proceedings of the 37th Annual North American Power Symposium, 2005.*, 2005, pp. 90-96.
- [9] "IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality," in *IEEE Std 1159-2009 (Revision of IEEE Std 1159-1995)*, ed. 2009, pp. c1-81.
- [10] R. C. Dugan, M. F. McGranaghan, and H. W. Beaty, *Electrical power systems quality* vol. 1, 1996.
- [11] T. Shiino and H. Aoki, "Optimal placement of SVRs considering multiple loads," *Electrical Engineering in Japan*, vol. 182, pp. 39-47, 2013.
- [12] R. Watanabe, Y. Imanishi, Y. Hida, Y. Nakanishi, and R. Yokoyama, "Optimal Allocation and Planning of SVR on Distribution Network under Demand Growth," presented at the International Conference on Renewable Energies and Power Quality, Bilbao (Spain), 2013.
- [13] F. C. Trindade, K. V. do Nascimento, and J. C. Vieira, "Investigation on voltage sags caused by DG anti-islanding protection," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 28, pp. 972-980, 2013.
- [14] F. C. Trindade, J. C. Vieira, and W. Freitas, "Potential Solutions for Minimizing Voltage Sags Caused by DG Anti-Islanding Protection," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 30, pp. 2242-2251, 2015.
- [15] J. M. Rupa and S. Ganesh, "Power Flow Analysis for Radial Distribution System Using Backward/Forward Sweep Method," *World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Electrical, Computer, Energetic, Electronic and Communication Engineering*, vol. 8, pp. 1621-1625, 2014.
- [16] S. García-Martínez and E. Espinosa-Juárez, "Optimal reconfiguration of electrical networks by applying tabu search to decrease voltage sag indices," *Electric Power Components and Systems*, vol. 41, pp. 943-959, 2013.



شکل (۱۰): مقدار موثر ولتاژهای شبکه در طول دوره مطالعه

مشخصات جدول (۲)، پس از تأخیر ۱۵ ثانیه‌ای به صورت پله‌ای ولتاژ شین ۶ و سایر ولتاژهای شبکه را افزایش می‌دهد. زمان ۱۵ ثانیه، مدت زمان تأخیر عملکرد SVR است که می‌تواند بین ۱۵ تا ۴۵ ثانیه تنظیم شود و اینجا ۱۵ ثانیه در نظر گرفته شده است [۱۰]. پس از طی شدن زمان تأخیر، SVR به صورت پله‌ای ولتاژ شین ۶ را افزایش می‌دهد تا در محدوده مجاز $\pm 5\%$ قرار گیرد. هم‌زمان با تغییر تپ SVR، ولتاژ شین ۱۸ (کمترین ولتاژ شبکه) نیز افزایش یافته و بعد از دو تغییر تپ به مقدار 0.904 پریونیت می‌رسد. شکل (۱۰)، شبیه‌سازی زمانی مطالعه انجام‌شده را نمایش می‌دهد. در این شکل، ولتاژ موثر شین ۱۸ در حضور و عدم حضور SVR نشان داده شده است. از طرف دیگر، در شرایط حضور SVR، مطابق شکل (۱۰)، تنظیم تپ خودکار SVR باعث شده که ولتاژ شین ۱۸ (کمترین ولتاژ شبکه) از 0.895 به 0.912 برسد. با این تنظیم، تپ SVR با دو گام افزایش، از تپ ۲ به تپ ۴ می‌رود. همان‌طور که از شکل فوق نتیجه می‌شود، افت ولتاژ در شین ۱۸ به فروافتادگی ولتاژ تبدیل شده است. مطابق شکل ۷، شبکه از زمان $5/7$ ثانیه تا 23 ثانیه به مدت حدوداً 17 ثانیه ولتاژی بین 0.9 تا 0.904 پریونیت را تجربه می‌کند که این موضوع طبق تعریف، شاهدی بر وقوع فروافتادگی ولتاژ است. همان‌طور که مشاهده شد با اضافه کردن SVR به شبکه توزیع، از شدت افت ولتاژ ایجادشده کاسته شده و افت ولتاژ به فروافتادگی ولتاژ با مدت زمان 15 ثانیه، تبدیل شده است.

۴. نتیجه‌گیری

در این مقاله، به تحلیل پدیده حفاظت ضد جزیره‌ای منابع تولید پراکنده از دیدگاه کیفیت توان شبکه پرداخته شده است. پدیده فوق منجر به ایجاد افت ولتاژ در شبکه می‌گردد که جهت رفع آن، از SVR استفاده شده است. به کار بردن SVR در مکان‌های مختلف، پروفیل ولتاژ متفاوتی را نتیجه می‌دهد که در این مقاله، مکان مناسب SVR باهدف بهبود کمترین

SID



سرویس های ویژه



سرویس ترجمه تخصصی



کارگاه های آموزشی



بلاگ مرکز اطلاعات علمی



عضویت در خبرنامه



فیلم های آموزشی

کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی



کارگاه آنلاین آشنایی با پایگاه های اطلاعات علمی بین المللی و ترند های جستجو



مباحث پیشرفته یادگیری عمیق؛ شبکه های توجه گرافی (Graph Attention Networks)



کارگاه آنلاین مقاله نویسی IEEE و ISI ویژه فنی و مهندسی