بررسی تاثیر زمان مرده رله بازبست بر روی پایداری گذرای مولد سنکرون مقیاس کوچک در ریزشبکه‌ها

حامد آقابیگی[۱]، علی اکبر مطیع بیرجندی[۲]، امین یزدانی نژادی[۳]

[۱] دانشجو دکتری، برق قدرت، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران
Hamedaghabeigi8@gmail.com

[۲] دانشیار، گروه قدرت، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران
motiebirjandi@sru.ac.ir

[۳] استادیار، گروه قدرت، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران
a.yazdaninejadi@sru.ac.ir

چکیده

ثابت اینرسی پایین تولیدات‌پراکنده برپایه مولد سنکرون، موجب شده که پایداری گذرای ریزشبکه‌ها بسیار آسیب‌پذیر باشند. تعدد خطاها، زمان طولانی رفع خطا از دیگر عواملی هستند که پایداری گذرای ریزشبکه را تهدید می‌کنند. در این مقاله، با شبیه‌سازی یک ریزشبکه در دیگسایلنت، تاثیر زمان مرده بازبست بر روی پایداری گذرا ریزشبکه در دو سناریو مورد بررسی قرار می‌گیرد. در سناریو اول، تاثیر زمان مرده بازبست بر روی پایداری گذرا ریزشبکه با تغییرات سطح بارگذاری ریزشبکه بررسی می‌شود. برای اینکار با تغییر سطح بارگذاری شبکه در زمان مرده بازبست متفاوت شبیه‌سازی‌های متعددی انجام می‌شود تا بررسی گردد آیا در نظرگیری یک زمان مرده ثابت برای بازبست می‌تواند مناسب باشد یا خیر. در سناریو دوم بصورت مشابه پایداری گذرای ریزشبکه با تغییر زمان رفع خطا مورد بررسی قرار می‌گیرد. در این سناریو نیز با تغییر زمان رفع خطا و در زمان مرده بازبست متفاوت شبیه‌سازی‌هایی انجام می‌شود تا پایداری شبکه بررسی شود. با توجه به نتایج، در نظرگیری زمان مرده ثابت نمی تواند پایداری گذرا ریزشبکه را حفظ نماید. از طرفی دیگر، بکارگیری مقدار طولانی برای زمان مرده به پایداری سیستم کمک می‌کند ولی باعث قطعی طولانی شده که نارضایتی مشترکین، کاهش قابلیت اطمینان و کاهش کیفیت توان را به همراه دارد.

کلمات کلیدی

ریزشبکه، پایداری گذرا، تولیدات‌پراکنده برپایه مولد سنکرون، زمان مرده بازبست، زمان رفع خطا، سطح بارگذاری ریزشبکه

۱- مقدمه

ریزشبکه‌ها به علت وجود تولیدات‌پراکنده مبتنی بر مولد سنکرون مستعد بروز خروج از همگامی و ناپایداری گذرا می‌باشند [۱]. پایداری گذرا در ریزشبکه‌ها از اهمیت زیادی برخوردار است تا بتوان تامین برق را با شرایطی بهتر و بی‌وقفه برقرار کرد. در این مسیر، از چالش‌های مهم برای پایداری ریزشبکه می‌توان به اینرسی پایین آن و تعدد وقوع اتصال کوتاه در آن اشاره نمود[۲] .

در مطالعات اولیه، پیشنهاد شده است تا در اولین قدم جهت جلوگیری از وقوع ناپایداری گذرای ریزشبکه‌ها، تولیدات‌پراکنده در اغتشاشهای شدید سریعاً از مدار خارج شوند [۳] و [۴]. طبق روش ارائه شده در این مقالات، وقوع ناپایداری گذرا در ریزشبکه می‌تواند کاهش یابد. با توجه به تعدد اتصال کوتاه در ریزشبکه‌ها، خروج متوالی تولیدات‌پراکنده موجب آسیب به این منابع می‌شود. از طرفی، این نوع خروج‌ها می‌تواند باعث کاهش

استفاده از مزایای تولیدات‌پراکنده گردد. در مرجع [۵]، استفاده از رله امپدانسی به همراه کورکننده پیشنهاد شده است. درمرجع [۶]، نشان داده شده است که استفاده از رله امپدانسی به همراه کورکننده به منظور تشخیص خروج از همگامی با مشکلاتی مواجه است. در این روش، خروج از همگامی با تأخیر و پس از یک یا چندین مرتبه لغزش قطب تشخیص داده می‌شود. اگرچه در ژنراتورهای بزرگ ممکن است این مساله به علت ثابت اینرسی زیاد از اهمیت کمتری برخوردار باشد، اما این در حالی است که در ریزشبکه، تولیدات‌پراکنده مبتنی بر مولد سنکرون دارای ثابت اینرسی پایین و ابعاد کوچک استفاده می‌شود که باعث می‌شود این منابع در مقابل تنش‌های شدیدی مانند لغزش قطب بسیار آسیب‌پذیر باشند [۷]. مساله بعدی این روش، تنظیم سخت رله تشخیص خروج از همگامی مبتنی بر امپدانس است. لازم به ذکر است تنظیم زمانی این رله نیازمند مطالعات وسیع در حوزه زمان و همچنین اطلاع دقیق از محدوده فرکانسی نوسانات ریزشبکه است. به دلیل تعداد زیاد تولیدات‌پراکنده و برهم کنش دینامیکی تولیدات‌پراکنده مبتنی بر مولد سنکرون، تنظیم این نوع از رله‌ها و اطمینان از عملکرد مناسب آنها با چالش مواجه است [۸]. در مرجع [۹]، پیشنهاد شده است از رله ولتاژی جهت حفاظت از تولیدات‌پراکنده مبتنی بر مولد سنکرون در مقابل خروج از همگامی استفاده شود. این روش پیشنهادی در مراجع [۱۰] و [۱۱] توسعه داده شده‌اند و در این روش‌ها با استفاده از مطالعات برون خط، زمان رفع خطا تعیین می‌شود. سپس با در نظرگیری یک حد ولتاژی متناسب، اگر ولتاژ ترمینال ژنراتور برای زمان مشخص شده زیر این حد باشد، تولید پراکنده مبتنی بر مولد سنکرون از مدار خارج می‌شود. در این روش مشکل اصلی و اساسی این است که ولتاژ از دیدگاه ویژگی انتخابگری حفاظتی نمی‌تواند مناسب باشد و لذا ممکن است در بسیاری از موارد، موجب خروج‌ها و تریپ‌های نابجا برای مولد مولد گردد [۱۲] و [۱۳].

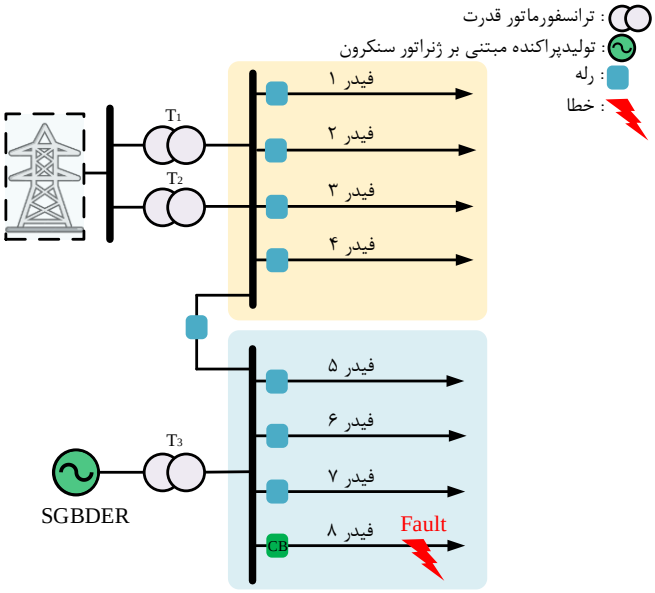
در کارهای صورت گرفته در مقالات [۱۴] و [۱۵]، سعی شده است نوع اتصال کوتاه از دیدگاه موقت یا دائمی بودن تشخیص داده شود. در ادامه، رله بازبست در شرایط خطای دائمی قفل می‌گردد تا از عملکرد آن جلوگیری شود. با انجام این کار تلاش شده است تا از وارد شدن تنش دینامیکی به تولیدات‌پراکنده در حین نوسانات و پس از رفع خطا جلوگیری شده و احتمال وقوع ناپایداری گذرا کاهش یابد [۱۶]. باید به این موضوع توجه داشت که مشکل اصلی در ارتباط با این روش‌ها این است که نوع اتصال کوتاه یک پدیده فیزیکی است و تشخیص آن از طریق محتوای جریان خطا به دلیل عدم قطعیت‌های موجود امری بسیار مشکل است. در نتیجه ممکن است در بسیاری از موارد، رله بازبست در شرایط خطای موقت قفل شده و فرصت بازیابی سریع بار از بین رود.

در این مقاله نشان داده می‌شود که استفاده از زمان مرده ثابت در طرح‌های بازبست متداول می‌تواند یکی از عوامل تهدیدکننده پایداری گذرای تولیدات‌پراکنده مبتنی بر مولد سنکرون در ریزشبکه‌ها هنگام رخداد خطای دائمی‌باشد. در شرایط اتصال کوتاه‌های موقت، ثابت بودن زمان مرده مشکلی از دیدگاه پایداری گذرا ایجاد نمی‌کند چرا که پس از عمل بازبست، اغتشاش جدیدی به سیستم وارد نمی‌شود. در مقابل، بازبست در شرایط اتصال کوتاه‌های دائمی اغتشاش جدیدی را به سیستم تحمیل می‌کند. به عبارت دیگر بریکر بر روی اتصال کوتاه بسته می‌شود که اگر اغتشاش ناشی از این عمل در لحظه نامناسب وارد شود، می‌تواند باعث وقوع ناپایداری گذرا شود. لذا تنظیم زمان مرده در مقداری ثابت موجب می‌شود تا احتمال بازبست در لحظات نامناسب و در نتیجه احتمال وقوع ناپایداری گذرا افزایش یابد. لذا در این مقاله، با شبیه‌سازی یک ریزشبکه واقعی در نرم‌افزار دیگسایلنت، تاثیر زمان مرده بازبست بر روی پایداری گذرا ریزشبکه در طی خطاهای دائمی در دو سناریو مورد بررسی قرار می‌گیرد. در سناریو اول، تاثیر زمان مرده بازبست بر روی پایداری گذرا ریزشبکه با تغییرات سطح بارگذاری ریزشبکه بررسی می‌شود. برای این کار با تغییر سطح بارگذاری شبکه در زمان مرده بازبست متفاوت شبیه‌سازی‌های متعددی انجام می‌شود تا بررسی گردد آیا در نظرگیری یک زمان مرده ثابت برای بازبست می‌تواند مناسب باشد یا خیر. در سناریو دوم نیز بصورت مشابه پایداری گذرای ریزشبکه با تغییر زمان رفع خطا مورد بررسی قرار می‌گیرد. در این سناریو نیز با تغییر زمان رفع خطا و در زمان مرده بازبست متفاوت شبیه‌سازی‌هایی انجام می‌شود تا پایداری شبکه بررسی شود. با توجه به نتایج بدست آمده ، در نظرگرفتن زمان مرده ثابت می‌تواند یکی از عوامل تهدید کننده پایداری گذرا در ریزشبکه باشد. از طرفی دیگر، بکارگیری مقدار ثابت ولی بزرگ برای زمان مرده در طرح بازبست اگرچه به پایداری سیستم کمک می‌کند ولی باعث بی‌برقی طولانی در شبکه و مشترکین شده که این موضوع نارضایتی مشترکین، کاهش قابلیت اطمینان و کاهش کیفیت توان را در پی خواهد داشت.

۲- شبکه مورد مطالعه

دیاگرام تک خطی ریزشبکه تست مورد مطالعه در این مقاله در شکل (۱) آورده شده است. این شکل شامل یک ریزشبکه متصل به شبکه بالادست از طریق دو ترانسفورماتور است. این ریزشبکه یک شبکه واقعی می‌باشد که اطلاعات آن از مرجع [۱۷] استخراج شده است. همچنین یک مولد سنکرون مقیاس کوچک نیز از طریق یک ترانسفورماتور به این ریزشبکه متصل است. این ریزشبکه هشت بار را از طریق هشت فیدر تغذیه می‌نماید که اطلاعات کامل مورد نیاز شبکه در بخش ضمیمه آورده شده

است. مطالعات اتصال کوتاه انجام شده در این مقاله روی فیدر شماره ۸ انجام می‌شود و عمل بازبست نیز از طریق کلید روی این فیدر اعمال می‌گردد. این مطالعه تاثیر زمان مرده بازبست بر روی پایداری گذرا ریزشبکه با تغییرات سطح بارگذاری ریزشبکه و با تغییرات زمان رفع خطا را با شبیه‌سازی در نرم‌افزار دیگسایلنت دنبال می‌کند. تغییر سطح بارگذاری با تغییر بارهای متصل به این هشت فیدر انجام می‌شود و زمان رفع خطا نیز با تغییر فرمان به کلید قدرت سر فیدر شماره ۸ خواهد بود. لازم به ذکر است که در این مطالعه خطا به صورت اتصال کوتاه دائمی از نوع ۳ فاز و بدون مقاومت زمین روی فیدر مورد مطالعه اعمال شده است.

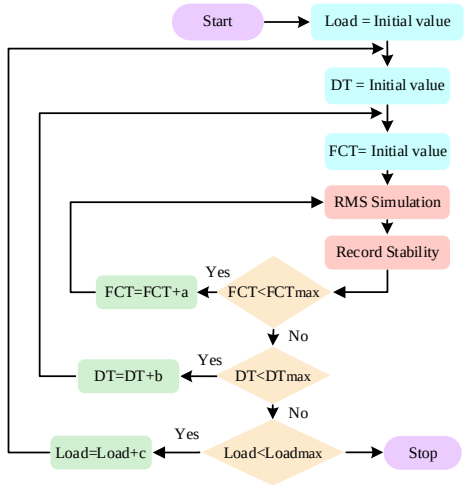


شکل (۱): شبکه مورد مطالعه در نرم افزار دیگسایلنت

۳- شبیه سازی و مطالعات انجام شده

در این قسمت برای نشان دادن تاثیر زمان مرده ثابت در روش بازبست متداول بر روی پایداری گذرای ریزشبکه دو سناریو در نظر گرفته شده است. در سناریو اول، سعی شده است تاثیر بارگذاری شبکه مورد مطالعه قرار گیرد. . برای اینکار با تغییر سطح بارگذاری شبکه در زمان مرده بازبست متفاوت شبیه‌سازی‌های متعددی انجام می‌شود. سنایو دوم نیز به این موضوع با تغییر مقدار زمان رفع خطا پرداخته و نتایج مورد بحث و بررسی قرار گرفته است.

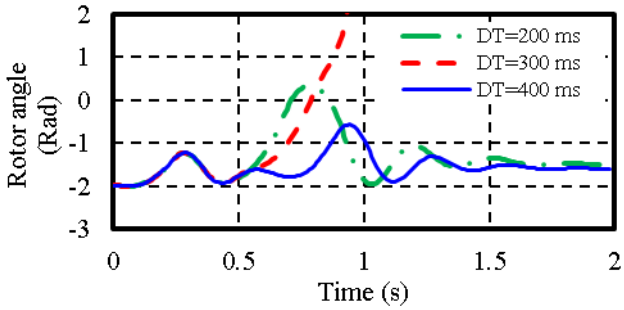
برای دنبال کردن این سناریوها از الگوریتم ارائه شده در شکل (۲) برای بررسی پایداری در ریزشبکه با طرح متداول بازبست استفاده شده است. فلوچارت ارائه شده در نرم‌افزار دیگسایلنت و به صورت کد DPL دنبال شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود با پیاده کردن این الگوریتم، برای تمامی حالات شبیه‌سازی در نرم‌افزار انجام می‌شود و پایدار بودن و ناپایداری ریزشبکه ذخیره می‌شود. در این الگوریتم، a، b و c مقادیر ثابتی هستند که به ترتیب مقادیر زمان رفع خطا، زمان مرده رله بازبست و درصد بارگذاری شبکه را پله به پله افزایش می‌دهد.



شکل(۲): فلوچارت پیشنهادی برای انجام شبیه‌سازی‌ها در نرم‌افزار

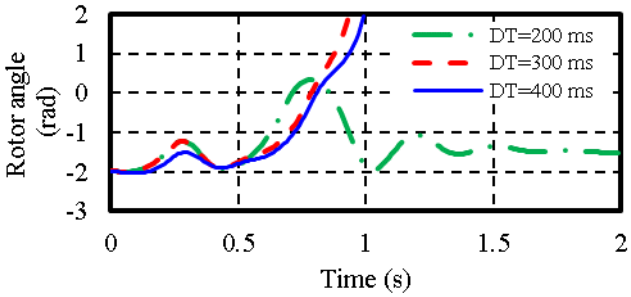
۳-۱- سناریو ۱

همانگونه که ذکر شد در این سناریو، تاثیر زمان مرده بازبست بر روی پایداری گذرا ریزشبکه با تغییرات سطح بارگذاری ریزشبکه بررسی می‌شود. برای این کار، اتصال کوتاه سه فازی به صورت دائمی در محل نقطه Fault که در ۲۰٪ ابتدای فیدر ۸ است شبیه سازی شده است. همانگونه که قبلا اشاره شد این شبیه‌سازی در نرم‌افزار دیگسایلنت صورت گرفته است. شکل (۳) نتایج حاصله از شبیه سازی برای زاویه روتور ژنراتور در بارگذاری ۱۰۰٪، زمان رفع خطای ۲۴۰ میلی‌ثانیه و زمان‌های مرده ۱۰۰ میلی‌ثانیه، ۲۰۰ میلی‌ثانیه و ۳۰۰ میلی‌ثانیه را نشان می‌دهد. خطا در لحظه صفر اعمال شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود پایداری گذرای تولیدپراکنده مبتنی بر مولد سنکرون برای بازبست با زمانهای مرده ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی‌ثانیه حفظ شده است؛ در حالی که، بازباست با زمان مرده ۳۰۰ میلی‌ثانیه موجب ناپایداری گذرای مولد سنکرون شده است.



شکل(۳): زاویه روتور در بارگذاری ٪۱۰۰ و در زمان رفع خطای ۲۰۰ میلی‌ثانیه

برای نشان دادن تاثیر بارگذاری، شبیه‌سازی‌های مشابه با حالت قبل ولی در بارگذاری ٪۵۰ انجام می‌شود. در نگاه اول به شکل (۲) ممکن است اینگونه به نظر برسد که زمان مرده ۲۰۰ یا ۴۰۰ میلی‌ثانیه می‌تواند گزینه مناسبی برای بازبست ما باشد. این درحالی است که اگر سطح بارگذاری به ٪۵۰ کاهش یابد، دیگر چنین تصمیمی کارآمد نخواهد بود. برای پی بردن به این موضوع، شکل(۴) زاویه روتور منبع را در بارگذاری ٪۵۰ و برای بازبست با زمان‌های مرده ۲۰۰ میلی ثانیه، ۳۰۰ میلی ثانیه و ۴۰۰ میلی ثانیه نشان می‌دهد. همانگونه که مشاهده می‌شود بارگذاری‌های متفاوت ریزشبکه در زمان مرده یکسان وضعیت پایداری یکسانی نخواهد داشت و نتیجه می‌گیریم در نظرگرفتن یک زمان مرده ثابت برای بازبست نا مناسب می‌باشد و نمی‌تواند شرط پایداری گذرا را برآورده کند.

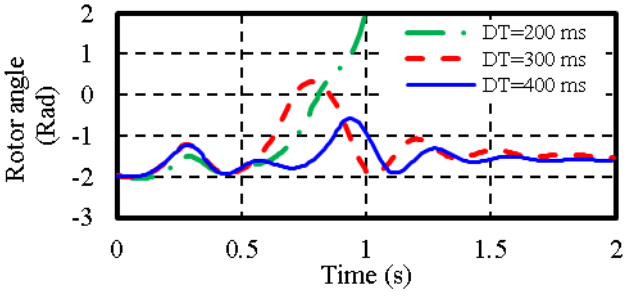


شکل (۴): زاویه روتور برای بارگذاری ٪۵۰ و زمان رفع خطای ۲۰۰ میلی‌ثانیه

۳-۲- سناریو ۲

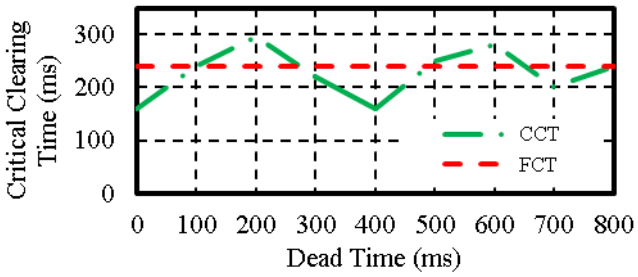
در سناریو دوم بصورت مشابه، پایداری گذرای ریزشبکه با تغییر زمان رفع خطا مورد بررسی قرار می‌گیرد. در این حالت، زمانهای مرده ۳۰۰ میلی ثانیه و ۴۰۰ میلی ثانیه منجر به ناپایداری گذرا شده‌اند؛ در صورتی که اگر بازبست با زمان مرده ۲۰۰ میلی ثانیه انجام شود، پایداری گذرای منبع انرژی پراکنده مبتنی بر مولد سنکرون حفظ می‌شود. با توجه به شکل‌های (۳) و (۴) این نتیجه حاصل می‌شود. که برای مثال حاضر، زمان مرده ۲۰۰ میلی‌ثانیه می‌تواند زمان مناسبی برای بازبست فیدر فشار متوسط در حالت اتصال مولد به شبکه مورد مطالعه باشد. ولی طبق شکل (۵) اگر زمان رفع خطا در شرایط بارگذاری ٪۵۰ به ۲۶۰ میلی‌ثانیه افزایش یابد، بازبست با زمان مرده ۲۰۰ میلی‌ثانیه به ناپایداری منجر می‌شود.

نتایج حاصل از این مطالعات نشان می‌دهد که بازبست با زمان مرده ثابت نمی‌تواند باعث حفظ پایداری گذرا در شرایط اتصال کوتاه دائمی‌باشد. ممکن است بازبست با یک زمان مرده مشخص نتیجه مطلوبی در یک حالت ایجاد کند. در حالیکه با تغییر سطح بارگذاری و یا مدت زمان برقراری خطا، بازبست با همان زمان مرده منجر به ناپایداری گذرا شود. بنابراین، زمان مرده بازبست باید بصورت تطبیقی و با توجه به شرایط منبع انرژی پراکنده مبتنی بر مولد سنکرون و خطا انتخاب شود. زمان مرده مناسب برای هر حالت باید طوری انتخاب شود که اگر بازبست در شرایط اتصال کوتاه دائمی صورت گرفت، خطری پایداری گذرای منبع انرژی پراکنده مبتنی بر مولد سنکرون را تهدید نکند. بهترین شاخص برای تصمیم گیری در مورد این موضوع، استفاده از شاخص زمان بحرانی رفع خطا می‌باشد. به منظور شرح بیشتر شکل (۶) را در نظر بگیرید که در آن، زمان بحرانی رفع مشابه شکل (۴) ارائه شده است. با توجه به شکل (۶)، زمان رفع بحرانی خطا به ازای بازبست با زمانهای مرده ۳۰۰ میلی‌ثانیه و ۴۰۰ میلی‌ثانیه کمتر از زمان رفع خطا می‌باشد. در اینصورت بازبست با این زمان‌های مرده موجب ناپایداری گذرا می‌شود که این موضوع از طریق شکل (۴) قابل مشاهده می‌باشد.



شکل(۵): زاویه روتور برای بارگذاری ٪۵۰ و زمان رفع خطای ۲۶۰ میلی‌ثانیه

در مقابل، زمان بحرانی رفع خطا برای بازبست با زمان مرده ۲۰۰ میلی‌ثانیه بیش از زمان رفع خطا می‌باشد. در نتیجه همانطوری که از شکل (۳) مشهود است، پایداری گذرا در بازبست با زمان مرده ۲۰۰ میلی‌ثانیه حفظ شده است.



شکل (۶): زمان بحرانی رفع خطا متناظر با زمانهای مرده مختلف برای شرایط مشابه شکل (۳)

استفاده از شاخص زمان بحرانی رفع خطا می‌تواند راهکاری مناسب برای تعیین زمان مرده بازبست باشد. برای رسیدن به این هدف، باید زمان بحرانی رفع خطای متناظر با هر زمان مرده تعیین شود. سپس با توجه به زمان رفع خطا، آن زمان مرده ای انتخاب می‌شود که زمان بحرانی رفع خطای متناظر با آن از زمان رفع خطای موجود بزرگتر باشد. تعیین زمان بحرانی رفع خطای متناظر با هر زمان مرده کار مشکلی می‌باشد. درنتیجه، بیان زمان بحرانی رفع خطا بصورت تابعی از تغییرات زمان مرده، سطح بارگذاری مولد، محل خطا و نوع اتصال کوتاه بسیار مشکل می‌باشد.

۴- نتیجه گیری

در این مقاله، طبق نتایج شبیه سازی از منظر پایداری گذرا، در دو سناریو تاثیر زمان مرده بازبست بر روی پایداری گذرا ریزشبکه با تغییرات سطح بارگذاری و تغییر زمان رفع خطا مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به نتایج بدست آمده از شبیه سازی، در نظر گیری طرح بازبست با زمان مرده ثابت نمی تواند پایداری گذرا شبکه را حفظ نماید. از طرفی دیگر نتایج نشان می‌دهند اگرچه بکارگیری مقدار طولانی برای زمان مرده می‌تواند به پایداری سیستم کمک کند ولی می‌تواند باعث قطع طولانی برق باشد که این می تواند باعث نارضایتی مشترکین، کاهش قابلیت اطمینان و کاهش کیفیت توان در شبکه شود. با توجه به مطالعات انجام شده این نتیجه حاصل می‌شود که اولاً، بازبست با یک زمان مرده از دیدگاه پایداری گذرای ریزشبکه نامناسب می‌باشد و زمان مرده بازبست باید بصورت تطبیقی و با توجه به شرایط ریزشبکه انتخاب شود. ثانیاً، روش مبتنی بر زمان بحرانی رفع خطا نیازمند مطالعات وسیع حوزه زمان بوده و پوشش دادن تمامی حالات امری دشوار می‌باشد که نیازمند مطالعات بیشتر و آتی است

ضمایم:

در ضمایم، مشخصات ریزشبکه مورد استفاده گزارش شده است. ریزشبکه مورد بررسی یک شبکه واقعی می‌باشد که اطلاعات آن از [۱۷] استخراج شده، مشخصات ژنراتور و ترانسفورماتور ها و فیدرهای شبکه تست شکل(۱) بصورت زیر می‌باشد:

جدول(۱): مشخصات مولد سنکرون SGBDER

پارامتر	مقدار
توان نامی	۵ مگا ولت آمپر
ولتاژ نامی	۱۱ کیلو ولت
x_d	۱/۹۱۹ پریونیت
x'_d	۰/۲۸۳ پریونیت
x''_d	۰/۱۸۳ پریونیت
R_a	۰/۰۰۵۰۷ پریونیت
H	۱ ثانیه

جدول(۲): مشخصات ترانسفورماتور مربوط به SGBDER

پارامتر	مقدار
توان نامی	۱۲ مگا ولت آمپر
ولتاژ نامی سمت HV	۲۰ کیلو ولت
ولتاژ نامی سمت LV	۱۱ کیلو ولت
ولتاژ اتصال کوتاه	۱۰ درصد
X/R	۲۵

جدول(۳): مشخصات ترانسفورماتور مربوط به شبکه بالادست

پارامتر	مقدار
توان نامی	۳۰ مگا ولت آمپر
ولتاژ نامی سمت HV	۶۳ کیلو ولت
ولتاژ نامی سمت LV	۲۰ کیلو ولت
ولتاژ اتصال کوتاه	۱۲/۵ درصد
X/R	۳۵

جدول(۴): مشخصات مدار معادل شبکه بالادست

پارامتر	مقدار
ولتاژ نامی	۶۳ کیلو ولت
قدرت اتصال کوتاه	۱۰ کیلو آمپر
X/R	۱۰

جدول(۵): مشخصات فیدر و خطوط

نوع خط	طول خط	توان ظاهری	ضریب توان
خط ۱) زمینی	۰/۵ کیلومتر	۳ مگاولت آمپر	۰/۸
خط ۲) زمینی	۶ کیلومتر	۲ مگاولت آمپر	۰/۸
خط ۳) زمینی	۱ کیلومتر	۶ مگاولت آمپر	۰/۹
خط ۴) زمینی	۳ کیلومتر	۴ مگاولت آمپر	۰/۸
خط ۵) هوایی	۱ کیلومتر	۵ مگاولت آمپر	۰/۹
خط ۶) هوایی	۲/۵ کیلومتر	۵ مگاولت آمپر	۰/۸
خط ۷) هوایی	۲ کیلومتر	۴ مگاولت آمپر	۰/۸۵
خط ۸) هوایی	۳ کیلومتر	۴ مگاولت آمپر	۰/۸

مراجع:

[1] H. Cheng, Z. Shuai, C. Shen, X. Liu, Z. Li and Z. J. Shen, "Transient angle stability of paralleled synchronous and virtual Synchronous generators in islanded microgrids," in IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 35, no. 8, pp. 8751-8765, 2020.
[2] K. Shi, W. Song, H. Ge, P. Xu, Y. Yang and F. Blaabjerg, "Transient analysis of microgrids with parallel synchronous generators and virtual synchronous generators," in IEEE Transactions on Energy Conversion, vol. 35, no. 1, pp. 95-105, 2020.
[3] D. Fitton, R. Dunn, R. Aggarwal, A. Johns, and A. Bennett, "Design and implementation of an adaptive single pole autoreclosure technique for transmission lines using artificial neural networks," IEEE Trans. Power Del., vol. 11, no. 2, pp. 748-756, 1996.
[4] F. Iov, A. D. Hansen, P. E. Sorensen, and N. A. Cutululis", Mapping of grid faults and grid codes," Riso Nat. Lab., Tech. Univ. Denmark, Roskilde, Denmark, Tech. Rep.,2007.
[5] K. Malmedal, P. K. Sen, and J. P. Nelson, "Application of out-of-step relaying for small generators in distributed generation," Rural Electric Power Conference, 2004, pp. C1-1-11.
[6] M. A. Saad, A. H. Eltom, G. L. Kobet and R. Ahmed, "Performance comparison between dual-blinder and phasor-based out-of-step detection functions using hardware-in-the loop simulation," *2015 IEEE Industry Applications Society Annual Meeting*, Addison, TX, USA, 2015.
[7] KM Cheema, K Mehrmood "Improved virtual synchronous generator control to analyse and enhance the transient stability of microgrid, " IET Renewable Power Generation, 2020.
[8] Desai, J.P. "Modified blinder-based out-of-step relays with renewable integration," Electrical Engineering, 2023 - Springer
[9] I. Xyngi, A. Ishchenko, M. Popov, and L. Van der Sluis, "Transient stability analysis of a distribution network with distributed generators," IEEE Trans. Power Syst., vol. 24, no.2 2009.
[10] I. Xyngi, A. Ishchenko, M. Popov, and L. van der Sluis, "Protection, transient stability and fault ride-through issues in distribution networks with dispersed generation," in Universities Power Engineering Conference,. UPEC 2008, pp. 1-5.
[11] E. Coster, J. Myrzik, and W. Kling, "Influence of protection on transient stability of medium voltage grids including distributed generation," Universities Power Engineering Conference,. UPEC 2007, pp. 1054-1059.
[12] M. Eskandari and A. V. Savkin, "On the impact of fault ride-through on transient stability of autonomous microgrids: nonlinear analysis and solution," in IEEE Transactions on Smart Grid, vol. 12, no. 2, pp. 999-1010, 2021.
[13] X. Wang, H. Wu, X. Wang, L. Dall and J. B. Kwon, "Transient stability analysis of grid-following VSCs considering voltage-dependent current injection during fault ride-through," in *IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol. 37, no. 4, pp. 2749-2760, 2022.
[14] V. Terzija and Z. Radojevic, "Numerical algorithm for adaptive autoreclosure and protection of medium-voltage overhead lines," IEEE Trans. Power Del., vol. 19, no. 2, pp. 554-559, 2004.
[15] J.-H. Park, H.-C. Seo, C.-H. Kim, and S.-B. Rhee, "Development of adaptive reclosing scheme using wavelet transform of neutral line current in distribution system," Electr. Power Compon. Syst., vol. 44, no. 4, pp. 426-433, 2016.
[16] H.-C. Seo and S.-B. Rhee, "Novel adaptive reclosing scheme using wavelet transform in distribution system with battery energy storage system," Int. J. Electr. Power Energy Syst., vol. 97, pp. 186-200, 2018.
[17] R. Razzaghi, M. Davarpanah, and M. Sanaye-Pasand, "A novel protective scheme to protect small-scale synchronous generators against transient instability," IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 60, pp. 1659-1667, 2013