

روش جدید برای تشخیص نوسان توان و قفل کردن زون سوم رله دیستانس با استفاده از نرخ تغییرات بین توان‌های اکتیو سه فاز

بهروز طاهری، فرزاد رضوی، سیروس صالحی مهر

دانشکده مهندسی برق، پزشکی و مکترونیک، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران.

چکیده

رله‌های دیستانس به دلیل سادگی عملکرد قابلیت هماهنگی بالا و امکان اعلام محل رخداد خطا به‌طور گسترده برای حفاظت از خطوط انتقال انرژی مورد استفاده قرار می‌گیرند. در هنگام رخداد نوسان توان ممکن است رله‌های دیستانس دچار اشتباه شده و موجب خروج پله‌ای خطوط انتقال و در نتیجه ایجاد خاموشی‌های سراسری شوند. این مقاله یک روش ساده و کاربردی برای تشخیص نوسان توان و خطای همزمان با نوسان توان با استفاده از نرخ تغییرات بین توان‌های اکتیو سه فاز ارائه شده است. روش بیان شده در شبکه ۳۹ باسه استاندارد تست شده و نتایج آن بیان شده است.

واژه‌های کلیدی

نوسان توان، رله دیستانس، حفاظت سیستم‌های قدرت، حالات گذرا در سیستم قدرت.

مقدمه

رله‌های دیستانس به علت کاربری ساده به‌طور گسترده به‌عنوان حفاظت اصلی خطوط انتقال انرژی مورد استفاده قرار می‌گیرند [۱-۳]. این رله‌ها از اندازه‌گیری ولتاژ و جریان خطوط انتقال در محل رله برای تعیین نوع و موقعیت خطا استفاده می‌کنند. گاهی ممکن است ایجاد نوسان توان در خطوط انتقال و وارد شدن این نوسان به زون‌های رله دیستانس موجب اشتباه رله دیستانس شود. اشتباه رله‌های دیستانس می‌تواند باعث خروجی پله‌ای خطوط انتقال و در نتیجه ایجاد خاموشی‌های سراسری شود. برطرف کردن خاموشی‌های سراسری کاری سخت، پیچیده و زمان‌بر است به همین دلیل خسارات فراوانی را به شرکت‌های انتقال انرژی وارد می‌کند. برای جلوگیری از چنین رخدادهایی در زمان نوسان توان رله‌های دیستانس از فانکشن قفل کننده نوسان توان استفاده می‌کنند. تحقیقات فراوانی برای تشخیص نوسان توان از خطا در شبکه‌های انتقال انرژی انجام شده است که در ادامه به بررسی برخی از این تحقیقات می‌پردازیم.

در مقاله [۴] از نرخ تغییرات امپدانس برای تشخیص نوسان توان استفاده شده است. اصل کار این الگوریتم درک تفاوت در نرخ تغییرات امپدانس (ΔZ) و تمایز گذاشتن بین نوسان توان و خطا است. این طرح قادر به تشخیص نوسانات توان سریع (بیشتر از ۵ کیلوهرتز) نیست. این شیوه توانایی تشخیص خطای همزمان با نوسان توان را دارا نیست. عدم تشخیص خطای همزمان با نوسان توان می‌تواند موجب ناهماهنگی حفاظتی در شبکه قدرت شود.

روشی بر پایه دابل بلیندر در مقاله [۵] ارائه شده است. این روش معایب روش تغییرات امپدانس را برطرف می‌کند. با این حال این روش خود نیز دارای معایبی می‌باشد از جمله معایب این روش می‌توان به نیاز به تجزیه و تحلیل پیچیده شبکه و عملکرد نامناسب برای نوسان توان پایدار اشاره کرد.

مقالات [۶، ۷] روشی بر پایه مقاومت کاهش یافته ارائه داده‌اند. این روش‌ها مشکلات روش بلیندر را حل کرده و به‌علاوه قابلیت تشخیص خطای همزمان با نوسان توان را نیز دارا می‌باشند. این روش‌ها در هنگام رخداد خطای سه فاز همزمان با نوسان توان آهسته دچار اشتباه می‌شوند. مقاله [۸] روشی بر اساس تغییرات $V \cos \phi$ ارائه داده است. ولتاژ مرکز نوسان وابسته به امپدانس خط و باس نیست. این شیوه در تشخیص خطای سه فاز تاخیر دارد.

مقاله [۹] از اختلاف توان سه فاز برای تشخیص نوسان توان استفاده می‌کند. این روش در هنگام وقوع نوسان توان پایدار دچار اشتباه می‌شود به‌علاوه این شیوه فقط قابلیت تشخیص خطای های متقارن را دارد.

مقالات [۱۰، ۱۱] از روش‌های مبتنی بر تبدیل فوریه استفاده می‌کنند. تکنیک‌های استفاده کننده از تبدیل فوریه نیاز به انتخاب مقدار آستانه مناسب برای شناسایی خطا دارند. در مقالات [۱۲-۱۴] از تبدیل موجک برای تشخیص نوسان توان استفاده شده است.

در مقالات [۱۵، ۱۶] روشی بر مبنای ANFIS برای تشخیص نوسان توان استفاده شده است. در [۱۷، ۱۸] روشی بر مبنای SVM معرفی شده است. با اینکه این روش‌ها از سرعت و دقت خوبی برای تشخیص نوسان توان برخوردار هستند اما نیاز به شبیه‌سازی‌های آفلاین زیادی برای آموزش نرخ‌های متفاوت خطا و نوسان توان دارند.

روش بر مبنای پنجره متوسط گیر جریان در [۱۹] ارائه شده است. پنجره متوسط گیر جریان یک فیلتر پایین گذر است که به رله دیستانس اعمال می‌شود. این روش قابلیت تشخیص خطای همزمان با نوسان توان و نوسان توان ناپایدار را دارا می‌باشد. به علاوه این روش قابلیت تشخیص نوسان توان مولتی مود را ندارد. روشی مستقل در نرخ پارامترهای سیستم قدرت در [۲۰] ارائه شده است. مقاله [۲۱] اثرات UPFC را در ۴ روش متفاوت از نوسان توان بررسی کرده است. در [۲۲] یک روش نوین تشخیص نوسان توان بر اساس مولفه‌های تحمیلی ولتاژ بیان شده است. روشی بر مبنای پیش‌بینی در مقاله [۲۳] ارائه شده است. روشی بر اساس نرخ تغییرات RMS جریانی در [۲۴] ارائه شده است. روش بیان شده قابلیت تشخیص انواع خطا همزمان با نوسان توان از جمله خطاهای امیدانس بالا را نیز دارا می‌باشد.

مقاله [۲۵] اثربخشی چنین روشی را برای تشخیص نوسانات توان بر پایه اندازه‌گیری پیوسته امیدانس ارائه کرده است. اینجا سه معیار برای ایجاد بلاک نوسان توان معرفی شده‌اند که شامل Monotony, continuity, Smoothness می‌شود. الگوریتم در این روش آستانه‌ها را برای نمونه‌های متوالی بر پایه نمونه‌های قبلی ارزیابی می‌کند و نمونه‌های به دست آمده را با نمونه‌های موجود مقایسه می‌کند. زمانی که مسیر امیدانس وارد زون حفاظتی رله شد، قبل از اینکه شرایط PSB ایجاد شود سه معیار بیان شده در ۶ نمونه بررسی می‌شود. همچنین دی بلاک کردن رله نیازمند برقرار نشدن سه معیار بالا می‌باشد.

یک الگوریتم بر اساس فاکتورهای مشارکتی ساخته شده از ماتریس واریانس کوواریانس در مقاله [۲۶] ارائه شده است، که توسط جریان‌های افزایشی بعد از رخداد خطا ایجاد شده است. با تکنیک‌های آنالیز مدال، خصوصیات و فاکتورهای مشارکتی محاسبه می‌شوند و از آن‌ها برای شناسایی خطای سه فاز در طول نوسان توان استفاده می‌شود. نمونه‌های گرفته شده از جریان ثانویه در یک ماتریس فیلتر می‌شوند که یک سیکل از جریان افزایشی را نشان می‌دهد، و یک ماتریس واریانس کوواریانس از این داده‌ها ساخته شده است.

مقاله [۲۷] بر اساس H-T که خطای متقارن را با نظارت بر توان اکتیو سه فاز تشخیص می‌دهد. نویسندگان در این مقاله بیان می‌کنند که ابزارهای سیگنال پروسسینگ معمول مانند تبدیل فوریه قادر به تشخیص همه اختلالات به وجود آمده در سیگنال نیستند در حالی که یک تبدیل واقعی و تبدیل هیلبرت آن یک پردازش سیگنال قوی را تشکیل می‌دهند. در این روش با اعمال روش هیلبرت فرکانس لحظه‌ای محاسبه می‌شود، و زمانی که مقدار آن ناچیز باشد نوسان توان را تشخیص می‌دهد اما زمانی که خطای متقارن رخ می‌دهد این تغییرات ناگهان افزایش یافته و تقریباً به مقدار نامی می‌رسد. در نتیجه با محاسبه فرکانس لحظه‌ای توسط تبدیل هیلبرت و در زمان رخداد یک خطای متقارن همزمان با نوسان توان رله آن را تشخیص داده و می‌تواند رفع قفل کند شود.

مقاله [۲۸] یک طرح موثر برای طبقه‌بندی اختلال برای خط انتقال جبران شده سری (SCTL) برای تمایز در حین اختلال در شبکه قدرت، با استفاده از SVM طبقه‌بندی کننده مبتنی بر توالی فضا را نشان می‌دهد. پس از به دست آوردن ویژگی‌های مناسب در زمان اختلال پس از شبیه‌سازی‌ها، تصمیم‌گیری در مورد نوسان قدرت یا خطا با استفاده از طبقه‌بندی‌های SVM صورت گرفته است. تنظیمات و پارامتر تابع مرکزی با استفاده از ten-fold cross-validation بر روی مجموعه آموزش تنظیم شده است. طرح توسعه یافته همچنین برای تشخیص خطای متقارن در حین نوسان توان مورد بررسی قرار می‌گیرد و بهبود قابل توجهی در دقت و سرعت برای حفاظت از SCTL در مقایسه با طرح‌های موجود نشان می‌دهد.

در این مقاله یک روش ساده و کاربردی برای تشخیص نوسان توان و خطای همزمان با نوسان توان با استفاده از نرخ تغییرات بین توان‌های اکتیو سه فاز ارائه شده است. روش بیان شده در شبکه ۳۹ باسه استاندارد تست شده و نتایج آن بیان شده است.

روش جدید

تعریف معمول توان برای شرایط سینوسی خالص برابر معادله زیر است:

$$p(t) = v(t) * i(t) \quad (1)$$

که در آن $p(t)$ ، $v(t)$ و $i(t)$ به ترتیب توان لحظه‌ای، ولتاژ و جریان لحظه‌ای هستند. با توجه به سیگنال‌های سینوسی ولتاژ و جریان نشان داده شده در معادلات $v(t) = \sqrt{2} * v * \sin(\omega t)$ و $i(t) = \sqrt{2} * i * \sin(\omega t - \phi)$ بنابراین رابطه ۱ را می‌توان به صورت زیر بازنویسی کرد.

$$p(t) = V * I * \cos(\phi) - V * I * \cos(\phi) * \cos(2 * \omega t) + V * I * \sin(\phi) * \sin(2 * \omega t) \quad (2)$$

$$p(t) = P * (1 - \cos(2 * \omega t)) + Q * \sin(2 * \omega t) \quad (3)$$

مقدار توان اکتیو می‌تواند با توجه به معادلات بیان شده به صورت زیر نمایش داده شود.

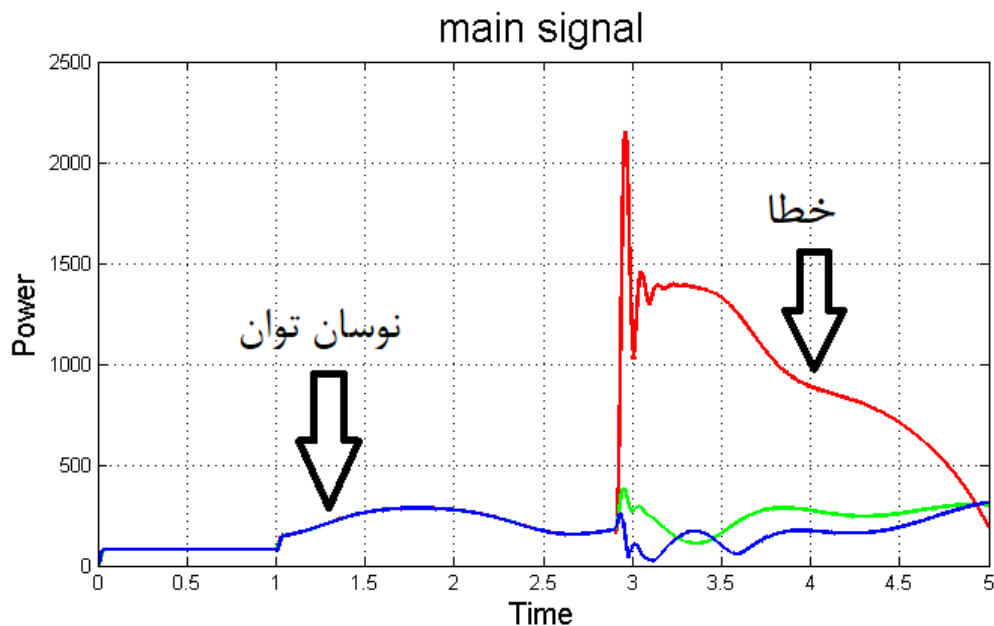
$$P = V * I * \cos \phi \quad (4)$$

پس از محاسبه توان اکتیو مقدار تغییرات توان در هر فاز با استفاده از معادله زیر محاسبه می‌شود.

$$\Delta_p(n) = |P(n+1) - P(n)| \quad (5)$$

$$\text{for } n = 1 \dots L-1$$

شکل ۱ تغییرات توان اکتیو را در زمان نوسان توان و خطای همزمان با نوسان توان نشان می‌دهد.



شکل ۱: تغییرات توان در زمان نوسان توان و خطا

همان‌گونه که از این شکل مشخص است، مقدار تغییرات توان در هر سه فاز جریانی در زمان نوسان توان یکسان است، این در صورتی است که این مقدار در زمان خطا کاملاً متفاوت می‌باشد. با توجه به موارد بیان شده شرط نوسان توان می‌تواند به صورت رابطه (۶) بیان شود.

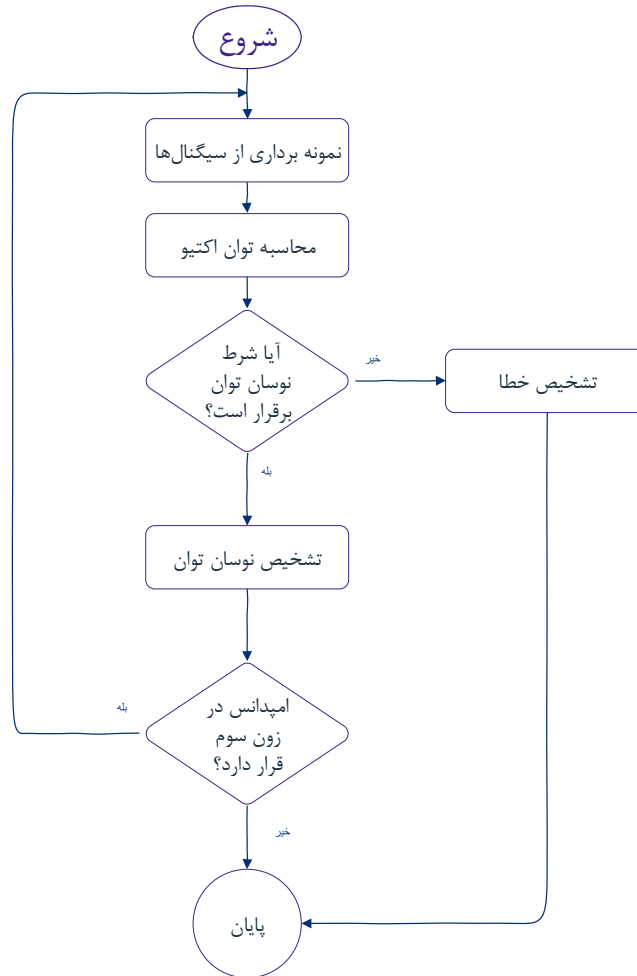
$$\text{if } \Delta_p(a) = \Delta_p(b) = \Delta_p(c) \quad (6)$$

$$PSB = True$$

که در آن Δ_p مقدار تغییرات توان در هر فاز را نمایش می‌دهد.

به منظور تمایز نوسان توان از خطای دائم، شرط ارائه شده در رابطه (۶) بررسی می‌شود. اگر این شرط برقرار باشد نوسان توان شناسایی می‌شود و در غیر این صورت خطا تشخیص داده خواهد شد. لازم به ذکر است الگوریتم بعد از تشخیص نوسان توان تا زمانی که امپدانس در زون سوم رله دیستانس قرار دارد به کار خود ادامه می‌دهد تا در صورت رخداد خطای همزمان با نوسان توان و بر هم خوردن شرط نوسان توان بتواند خطای همزمان با نوسان توان را تشخیص دهد.

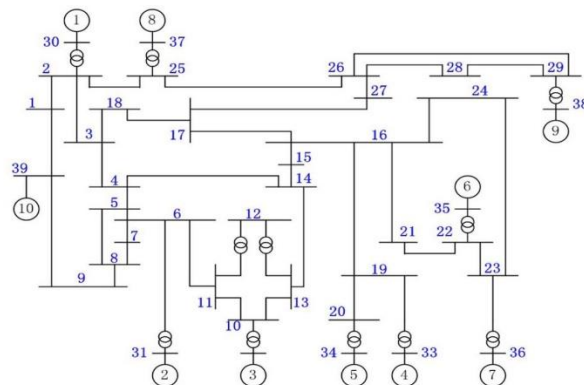
شکل ۲ الگوریتم روش بیان شده را نشان می‌دهد.



شکل ۲: الگوریتم روش ارائه شده

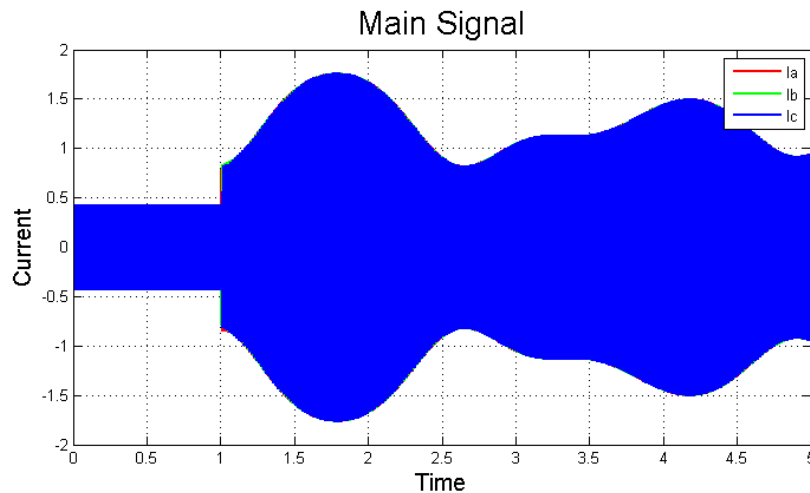
تست روش بیان شده

به منظور ارزیابی روش پیشنهادی، این روش بر روی شبکه ۳۹ باسه IEEE که در شکل (۳) نشان داده شده است، پیاده سازی می شود. این شبکه ۲۳۰ کیلوولت و ۶۰ هرتز بوده و شامل ۳۹ باس و ۱۰ ژنراتور است. ۱۹ بار موجود بر روی شبکه در مجموع ۶۱۵۰/۱ مگاوات و ۱۲۳۳/۹ مگاوار توان مصرف می کنند. در این بخش، ارزیابی روش پیشنهادی در سه حالت تشخیص نوسان توان، تشخیص نوسان توان همزمان با خطا انجام می شود.

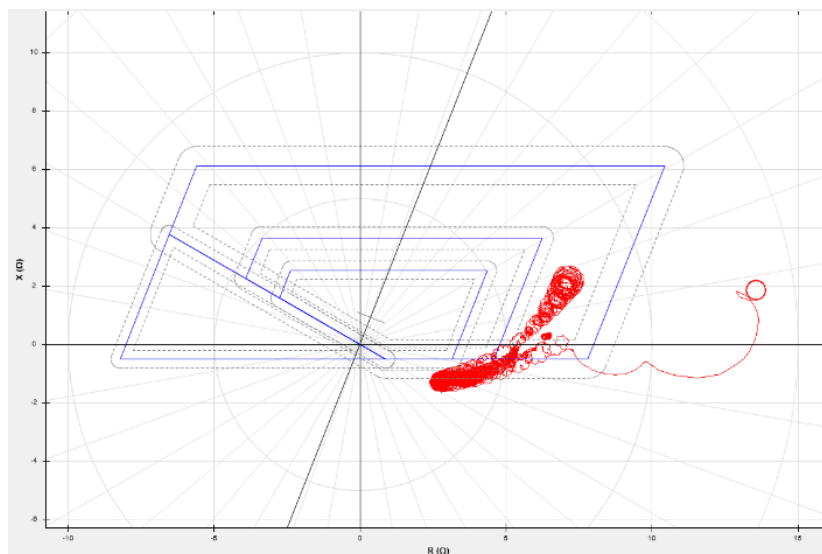


شکل ۳: شبکه ۳۹ باسه IEEE برای ارزیابی روش پیشنهادی

به منظور ارزیابی روش پیشنهادی در تشخیص نوسان توان، فرض می‌شود رله موردنظر بر روی باس شماره ۲۶ قرار دارد و برای حفاظت خط ۲۶-۲۹ استفاده می‌شود. برای ایجاد نوسان توان بر روی رله دیستانس کلیدهای خطوط ۲۶-۲۸ و ۲۸-۲۹ در ثانیه ۱ باز می‌شوند. شکل (۴) نوسان توان دیده شده توسط رله دیستانس را نمایش می‌دهد. شکل (۵) ورود نوسان توان به زون رله دیستانس را نمایش می‌دهد. مشخص است که ورود نوسان توان به زون سوم رله دیستانس مدنظر می‌تواند موجب عملکرد اشتباه رله در صورتی که فانکشن قفل کننده نوسان توان فعال نشود، گردد.

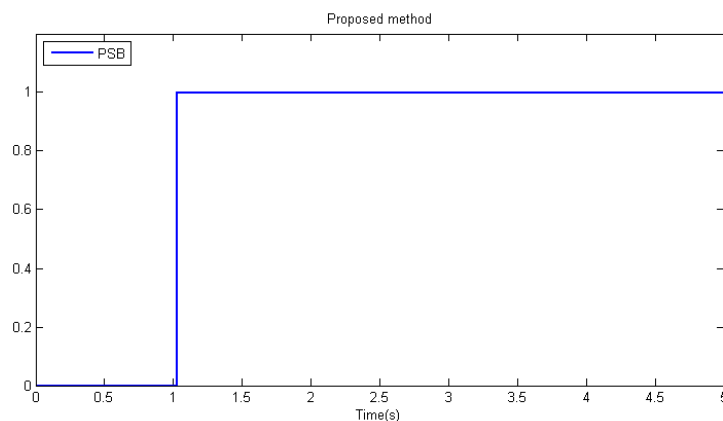
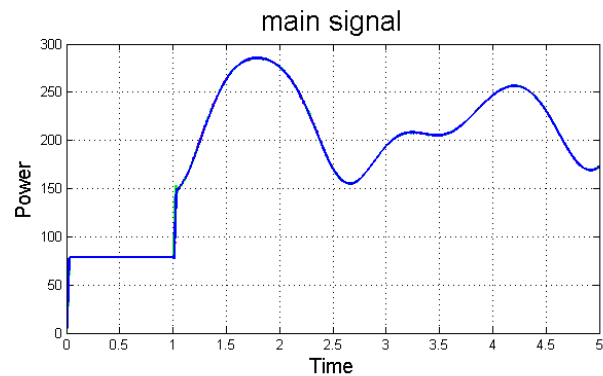


شکل ۴: نوسان توان دیده شده توسط رله دیستانس



شکل ۵: ورود نوسان توان به زون های رله دیستانس

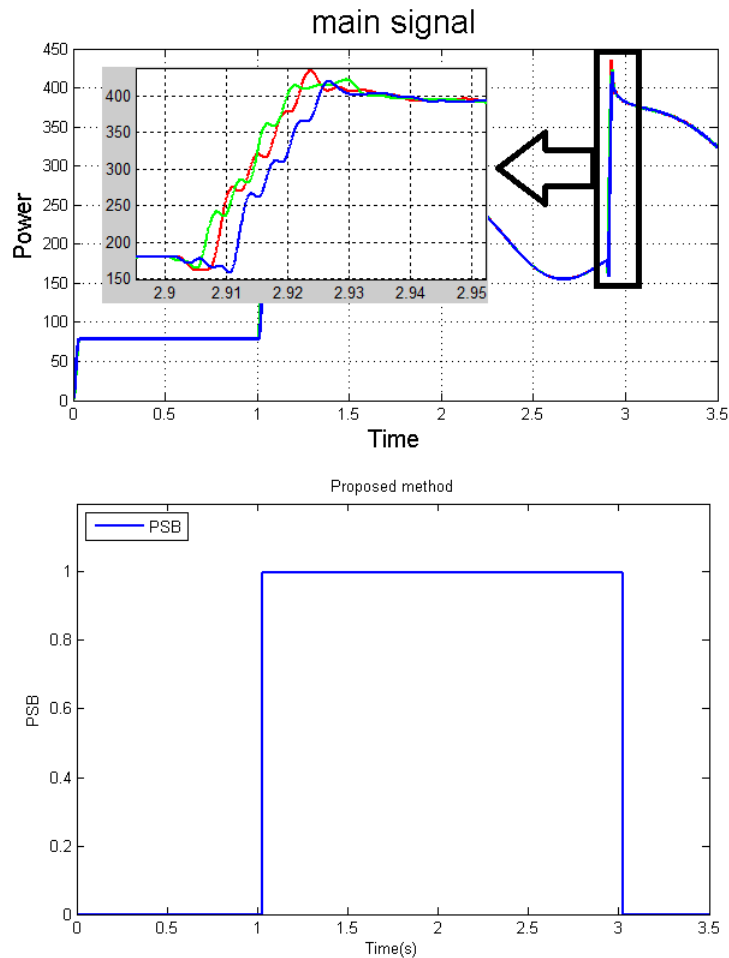
به منظور جلوگیری از عملکرد اشتباه رله دیستانس، فانکشن قفل کننده نوسان توان با استفاده از الگوریتم پیشنهادی به شناسایی نوسان توان می‌پردازد. همان طور که از شکل (۶) مشخص است، این فانکشن با بهره‌گیری از الگوریتم پیشنهادی در مقاله حاضر، موفق شده است بعد از گذشت ۳۰ میلی ثانیه از ورود امپدانس محاسبه شده به زون سوم رله دیستانس، نوسان توان رخ داده را با موفقیت تشخیص دهد.



شکل ۶: عملکرد رله در زمان نوسان توان

همان‌طور که بررسی شد، یکی از چالش‌های مهم الگوریتم‌های تشخیص نوسان توان داشتن عملکرد نامناسب در زمان وقوع خطای سه فاز متعادل همزمان با نوسان توان است. تشخیص خطای سه فاز به دلیل ماهیت متعادل آن قالباً بسیار مشکل است. با این وجود شروط پیشنهاد شده در مقاله حاضر برای تشخیص نوسان توان، به گونه‌ای طراحی شده‌اند که به ازای حالت گذرای اولیه تمامی خطاهای دائم، این شروط نقض شده و خطای دائم به درستی تشخیص داده می‌شود.

به منظور ارزیابی موفقیت روش پیشنهادی در تشخیص همزمان نوسان توان و خطاهای سه فاز، مانند حالت قبل فرض می‌شود کلیدهای خطوط ۲۶-۲۸ و ۲۸-۲۹ در ثانیه ۱ باز می‌شوند. همچنین برای ایجاد خطای همزمان با نوسان توان یک خطای سه فاز در ثانیه ۲٫۹ در ۲۵ درصد خط ۲۶-۲۹ قرار داده می‌شود. شکل (۷) عملکرد رله را در زمان خطای سه فاز همزمان با نوسان توان نشان می‌دهد. این شکل به خوبی نشان می‌دهد که رله بعد از گذشت ۳۰ میلی‌ثانیه خطای سه فاز را با موفقیت تشخیص داده و رله را از حالت بلاک خارج کرده است.



شکل ۶: عملکرد رله در زمان نوسان توان و خطای سه فاز همزمان با نوسان توان

نتیجه‌گیری

در این مقاله یک روش جدید با استفاده از اختلاف توان اکتیو سه فاز بیان شده است. از جمله ویژگی‌های روش بیان شده می‌توان به سرعت بالا در تشخیص نوسان توان، تشخیص خطای همزمان با نوسان توان و کاهش محاسبات به‌منظور سهولت در پیاده‌سازی عملی اشاره کرد. به‌منظور اثبات کارایی روش پیشنهادی این روش بر روی یک شبکه نمونه شبیه‌سازی گردید نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که روش جدید بیان شده در این مقاله به‌درستی عمل کرده است.

مراجع

- [۱] K. M. Silva, W. L. Neves, and B. A. Souza, "Distance protection using a wavelet-based filtering algorithm," *Electric Power Systems Research*, vol. 80, no. 1, pp. 84-90, 2010.
- [۲] M. M. Alam, H. Leite, N. Silva, and A. da Silva Carvalho, "Performance evaluation of distance protection of transmission lines connected with VSC-HVDC system using closed-loop test in RTDS," *Electric Power Systems Research*, vol. 152, pp. 168-183, 2017.
- [۳] Z. Xu *et al.*, "A distance protection relay for a 1000-kV UHV transmission line," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 23, no. 4, pp. 1795-1804, 2008.
- [۴] Z. Gao and G. Wang, "A new power swing block in distance protection based on a microcomputer-principle and performance analysis," in *Advances in Power System Control, Operation and Management, 1991. APSCOM-91., 1991 International Conference on*, 1991, pp. 843-847: IET.



- [۵] H. K. Zadeh and Z. Li, "Artificial neural network based load blinder for distance protection," in *Power and Energy Society General Meeting-Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century, 2008 IEEE*, 2008, pp. 1-6: IEEE.
- [۶] H. Khoradshadi-Zadeh, "Evaluation and performance comparison of power swing detection algorithms," in *Power Engineering Society General Meeting, 2005. IEEE*, 2005, pp. 1842-1848: IEEE.
- [۷] P. K. Nayak, J. G. Rao, P. Kundu, A. Pradhan, and P. Bajpai, "A comparative assessment of power swing detection techniques," in *Power Electronics, Drives and Energy Systems (PEDES) & 2010 Power India, 2010 Joint International Conference on*, 2010, pp. 1-4: IEEE.
- [۸] N. Fischer, G. Benmouyal, D. Hou, D. Tziouvaras, J. Byrne-Finley, and B. Smyth, "Do system impedances really affect power swings—Applying power swing protection elements without complex system studies," in *Protective Relay Engineers, 2012 65th Annual Conference for*, 2012, pp. 108-119: IEEE.
- [۹] X. Lin, Y. Gao, and P. Liu, "A novel scheme to identify symmetrical faults occurring during power swings," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 23, no. 1, pp. 73-78, 2008.
- [۱۰] H. K. Karegar and B. Mohamedi, "A new method for fault detection during power swing in distance protection," in *Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology, 2009. ECTI-CON 2009. 6th International Conference on*, 2009, vol. 1, pp. 230-233: IEEE.
- [۱۱] B. Mahamedi, "A very fast unblocking scheme for distance protection to detect symmetrical faults during power swings," in *IPEC, 2010 Conference Proceedings*, 2010, pp. 378-383: IEEE.
- [۱۲] S. Brahma, "Use of wavelets for out of step blocking function of distance relays," in *Power Engineering Society General Meeting, 2006. IEEE*, 2006, p. 5 pp.: IEEE.
- [۱۳] S. M. Brahma, "Distance relay with out-of-step blocking function using wavelet transform," *IEEE transactions on power delivery*, vol. 22, no. 3, pp. 1360-1366, 2007.
- [۱۴] C. Pang and M. Kezunovic, "Fast distance relay scheme for detecting symmetrical fault during power swing," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 25, no. 4, pp. 2205-2212, 2010.
- [۱۵] H. K. Zadeh and Z. Li, "A novel power swing blocking scheme using adaptive neuro-fuzzy inference system," *Electric Power Systems Research*, vol. 78, no. 7, pp. 1138-1146, 2008.
- [۱۶] A. Esmaeilian and S. Astinfeshan, "A novel power swing detection algorithm using adaptive neuro fuzzy technique," in *Electrical Engineering and Informatics (ICEEI), 2011 International Conference on*, 2011, pp. 1-6: IEEE.
- [۱۷] K. Seethalekshmi, S. Singh, and S. Srivastava, "SVM based power swing identification scheme for distance relays ",in *Power and Energy Society General Meeting, 2010 IEEE*, 2010, pp. 1-8: IEEE.
- [۱۸] K. Seethalekshmi, S. Singh, and S. Srivastava, "A classification approach using support vector machines to prevent distance relay maloperation under power swing and voltage instability," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 27, no. 3, pp. 1124-1133, 2012.
- [۱۹] J. G. Rao and A. K. Pradhan, "Power-swing detection using moving window averaging of current signals," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 30, no. 1, pp. ۳۶۸-۳۷۶, ۲۰۱۵.
- [۲۰] R. Jafari, N. Moaddabi, M. Eskandari-Nasab, G. Gharehpetian, and M. Naderi, "A novel power swing detection scheme independent of the rate of change of power system parameters," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 29, no. 3, pp. ۱۹۲-۲۰۱, ۲۰۱۴.
- [۲۱] J. Khodaparast, M. Khederzadeh, F. Faria da Silva, and C. Leth Back, "Performance of power swing blocking methods in UPFC-compensated line," *International Transactions on Electrical Energy Systems*, vol. 27, no. 11, 2017.
- [۲۲] M. S. Parniani, M. Sanaye-Pasand, and P. Jafarian, "A blocking scheme for enhancement of distance relay security under stressed system conditions," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 94, pp. 104-115, 2018.



- [۲۳] A. K. Rao and A. Ahmad "Power swing blocking (PSB) function for distance relay using prediction technique," *International Journal of System Assurance Engineering and Management*, vol. 8, no. 2, pp. 301-307, 2017.
- [۲۴] B. Taheri and F. Razavi, "Power Swing Detection Using rms Current Measurements," *Journal of Electrical Engineering & Technology*, vol. 13, no. 5, pp. 1831-1840, 2018.
- [۲۵] I. S. Ganeshan, M. K. Jena, and B. K. Panigrahi, "An improved setting-free power swing blocking scheme using local end information," in *2018 IEEMA Engineer Infinite Conference (eTechNxT)*, 2018, pp. 1-6: IEEE.
- [۲۶] S. Torres *et al.*, "Unblocking function of distance relay during power swing based on modal analysis," in *Transmission & Distribution Conference and Exposition-Latin America (PES T&D-LA ۲۰۱۶)*, (IEEE PES, 2016, pp. 1-6: IEEE.
- [۲۷] S. Das and B. K. Panigrahi, "Detecting symmetrical faults during power swing for deblocking distance relays," in *2018 IEEMA Engineer Infinite Conference (eTechNxT)*, 2018, pp. 1-6: IEEE.
- [۲۸] N. Chothani, U. Patel, and P. Bhatt, "A Novel Sequence-Space Aided SVM Classifier for Disturbance Detection in Series Compensated Transmission Line," *IET Science, Measurement & Technology*, 2018.
- [۲۹] W. H. Hayt, J. E. Kemmerly, and S. M. Durbin, *Engineering circuit analysis*. McGraw-Hill New York, 1986.
- [۳۰] P. Kundur, N. J. Balu, and M. G. Lauby, *Power system stability and control*. McGraw-hill New York, 1994.
- [۳۱] B. Mahamedi and J. G. Zhu, "A novel approach to detect symmetrical faults occurring during power swings by using frequency components of instantaneous three-phase active power," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 27, no. 3, pp. 1368-1376, 2012.