

31th Power System Conference, 24-26 October 2016, Tehran, Iran

Adaptive Single Phase Auto-Reclosing Using Voltage Magnitude Pattern

Arman Ghaderi Baayeh,¹ Sadegh Jamali²

Center of Excellence for Power System Automation and Operation, School of Electrical Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran

¹ arman.ghaderi@gmail.com, ² sjamali@iust.ac.ir

Abstract: This paper presents a novel adaptive single-phase auto-reclosing (ASPAR) scheme based on the first derivation of local voltage magnitude (VM) of the faulted phase for determination of dead time of transient faults. The algorithm is fast and uses low-frequency sampling and adaptive threshold value (ATV). This algorithm is effective for all transmission line configurations (transposed or untransposed) with different levels of reactive power compensation. The performance of the proposed algorithm has been verified using the Electromagnetic Transient Program (EMTP) for numerous simulation studies. The results of investigations on different conditions, including the pre-fault line loading, the circuit breaker opening angle, arc type, and fault location show the reliability and validity of the algorithm.

Keywords: Adaptive Single Phase Auto-Reclosing, Power System Protection, Transmission Lines, Secondary Arc Extinction.

بازبست خودکار تک فاز تطبیقی بوسیله الگو اندازه ولتاژ

آرمان قادری^۱، صادق جمالی^۲

قطب علمی اتوماسیون و بهره برداری از سامانه های قدرت، دانشکده مهندسی برق

دانشگاه علم و صنعت ایران

تهران، ایران

¹arman.ghaderi@gmail.com, ²sjamali@iust.ac.ir

مرجع [۲] با استفاده از توالی صفر ولتاژ اقدام به تشخیص نوع خطاهای گذرا و دائم می کند و در صورت گذرا بودن خطا، هارمونیک سوم توالی صفر ولتاژ برای تعیین لحظه خاموشی قوس ثانویه مورد استفاده قرار می گیرد. در [۳] براساس دنبال کردن شاخص اعوجاج هارمونیک اول^۲ ولتاژ فاز خطادار، یک شاخص تصمیم گیری برای تشخیص نوع و زمان خاموشی خطا تعریف می شود. در [۴] با استفاده از تابع موجک sym8 ولتاژ فاز خطادار تجزیه می شود و سپس شاخصی برای تشخیص خاموشی قوس ثانویه تعریف می شود. مرجع [۵] با اندازه گیری محتویات هارمونیک ولتاژ فاز خطادار در هنگام قوس ثانویه زمان پاک شدن خطا را تعیین می کند. در [۶] مشتق اول اندازه و زاویه ولتاژ فاز خطادار برای تشخیص نوع و لحظه خاموشی خطا مورد استفاده قرار می گیرد. در [۷] با استفاده از روش جمع انباشتی تطبیقی^۳ الگوی کاهش ها و افزایش های اندازه ولتاژ^۴ برای تعیین لحظه خاموشی قوس استخراج می شود.

در این مقاله اندازه ولتاژ فاز خطا دار بعد از عملکرد تک فاز مدارشکن برای استخراج بازبست خودکار تک فاز تطبیقی^۵ مورد استفاده قرار گرفته است. مقاله ارائه شده با استفاده از مشتق اول VM محلی فاز خطادار در خطاهای گذرا اقدام به تعیین لحظه خاموشی قوس ثانویه می نماید. موردهای مطالعاتی مختلفی برای بارگذاری خط، نوع خطا، زاویه باز شدن مدارشکن، محل خطا و همچنین انواع پیکربندی خط شامل خطوط ترانسپوز شده و نشده و جبران سازی شده و نشده توسط راکتور موازی، مورد بررسی قرار

چکیده — این مقاله یک روش جدید برای بازبست خودکار تک فاز تطبیقی براساس مشتق اول اندازه ولتاژ محلی فاز خطادار بمنظور تعیین زمان خاموشی قوس ثانویه در خطاهای گذرا ارائه می کند. الگوریتم پیشنهادی عملکرد سریعی دارد و از فرکانس نمونه برداری پایین و مقدار آستانه تطبیقی استفاده می کند. الگوریتم ارائه شده برای انواع پیکربندی خط انتقال شامل ترانسپوز شده و ترانسپوز نشده و سطوح مختلف جبران سازی راکتو موثر است. نرم افزار EMTPT برای شبیه سازی مدل های مطالعاتی مختلف مورد استفاده قرار گرفته است. نتایج برای شرایط مختلف شامل بارگذاری قبل خطای خط انتقال، زاویه باز شدن مدارشکن، نوع خطا و محل خطا نشان می دهند که الگوریتم پیشنهادی عملکرد درستی دارد و دارای قابلیت اطمینان بالا می باشد.

واژه های کلیدی — بازبست خودکار تک فاز تطبیقی؛ حفاظت سیستم های قدرت؛ خطوط انتقال؛ زمان خاموشی قوس ثانویه؛

۱. مقدمه

نزدیک به نود درصد از خطاهای خطوط انتقال گذرا یا قوسی هستند [۱]. برای خطاهای تک فاز به زمین، بازبست خودکار تک فاز^۱ یک روش حفاظتی موثر و معمول است. SPAR های سنتی که از تنظیمات زمان ثابت استفاده می کنند باعث افزایش احتمال بازبست ناموفق می شوند که منجر به خسارت به سیستم قدرت می شود.

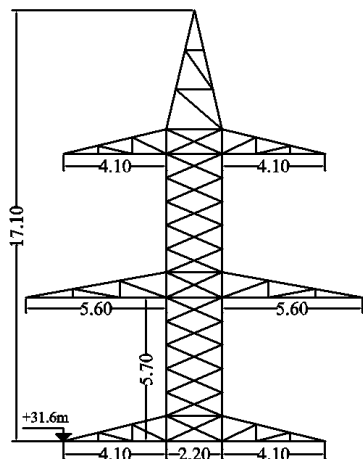
² single harmonic distortion index (HDI)

³ adaptive cumulative sum (ACUSUM)

⁴ voltage magnitude (VM)

⁵ adaptive single phase auto-reclosing (ASPAR)

¹ single phase auto-reclosing (SPAR)



شکل ۱: پیکربندی فیزیکی دکل خط انتقال ۲۳۰ کیلو ولت

برای تعیین لحظه خاموشی قوس ثانویه استفاده شده که در (۱) آورده شده است.

$$DVM(n) = |VM(n) - VM(n-1)| \quad (1)$$

در زمان قوس ثانویه به دلایلی از جمله وزش باد، طول قوس ثانویه افزایش پیدا می کند. طول قوس ثانویه رابطه مستقیمی با مقاومت قوس ثانویه دارد و با افزایش طول قوس ثانویه، مقاومت قوس ثانویه افزایش پیدا می کند و در نتیجه افت ولتاژ دو سر قوس ثانویه افزایش می یابد که در انتها موجب افزایش مقادیر VM در هنگام قوس ثانویه می شود. در هنگام قوس ثانویه بدلیل افزایش آرام VM، مقادیر DVM همچنان که در شکل ۲ (ب) نشان داده شده است، ثابت و کوچک می باشند. در شکل ۲ خطا در زمان ۱۰۰ میلی ثانیه اتفاق می افتد و در ۲۰۰ میلی ثانیه فاز خطا دار بی برق می شود و در زمان ۳۳۱ میلی ثانیه قوس ثانویه خاموش می شود. مقادیر VM قبل و بعد از خاموشی قوس ثانویه دارای اختلاف قابل توجهی می باشد در نتیجه در لحظه خاموشی قوس ثانویه در شکل موج VM پرش مشاهده می شود. به همین دلیل در لحظه خاموشی قوس ثانویه همانطور که در شکل ۲ (ب) مشاهده می شود مقادیر DVM افزایش چشمگیری می یابند. در شکل ۲ (ب) خط نشان دهنده سیگنال DVM و خط چین و نقطه چین بترتیب نمایش دهنده لحظه خاموشی قوس ثانویه واقعی و مورد تشخیص الگوریتم می باشد.

جدول ۱: پارمترهای نوع قوس

نوع قوس	r_0 (mΩ)	τ_0 (ms)	l_0 (m)	u_0 (v/cm)
قوس ۱	۱۶۰	۱	۳٫۵	۹٫۶
قوس ۲	۳۵۰	۱٫۱	۳٫۵	۱۳٫۵
قوس ۳	۲۲	۱	۴	۹

گرفتند. درستی و سرعت الگوریتم ارائه شده توسط شمار زیادی از شبیه سازی ها مورد تایید قرار گرفته است.

در ادامه مدل سازی سیستم و قوس در بخش ۲ توضیح داده شده است. تحلیل سیستم در هنگام قوس ثانویه و الگوریتم پیشنهادی در بخش ۳ ارائه شده است. کارایی الگوریتم پیشنهادی در بخش ۴ آزمایش و بررسی شده است و در پایان نتیجه گیری آورده شده است.

۲. سیستم مورد مطالعه

۲.۱. مدل سازی سیستم قدرت

به وسیله نرم افزار EMTP خط انتقال ۲۳۰ کیلوولت میان سندانج و همدان در استان کردستان شبیه سازی شده است [۸]. هادی های فازها قناری^۶ و هادی گارد یا زمین، از نوع باز^۷ هستند. طول خط انتقال ۱۴۶ کیلومتر می باشد. شکل ۱ پیکربندی فیزیکی دکل دومداره خط انتقال مورد بررسی را نمایش می دهد. امیدان های دو باس سندانج و همدان بصورت می باشد

$$Z_0 \text{ Sanandaj} = 1.33 < 76, Z_1 \text{ Sanandaj} = 4.17 < 82$$

$$Z_0 \text{ Hamedan} = 0.68 < 76, Z_1 \text{ Hamedan} = 2.09 < 82$$

فیلتر پاسخ ضربه محدود^۸ پایین گذر با فرکانس قطع ۱۰۰ هرتز برای فیلتر کردن مولفه های فرکانس بالا مورد استفاده قرار گرفته است. فرکانس نمونه برداری ۱ کیلوهرتز (۲۰ نمونه در هر سیکل) می باشد و برای استخراج مقادیر فازوری از الگوریتم فوری استفاده شده است.

۲.۲. مدل خطای قوس

در این مقاله مدل قوس قزلچای برای مدل سازی قوس اصلی و ثانویه مورد استفاده قرار گرفته است [۹]. سه مدل قوس ثانویه مختلف در مقاله استفاده شده که در جدول ۱ پارمترهای این مدل ها آورده شده است.

۳. الگوریتم پیشنهادی

الگوریتم پیشنهادی براساس مقایسه بین مقادیر مشتق اول^۹ VM و مقدار آستانه تطبیقی^{۱۰} نمونه زمان کنونی یا آخرین نمونه می باشد. قدر مطلق DVM

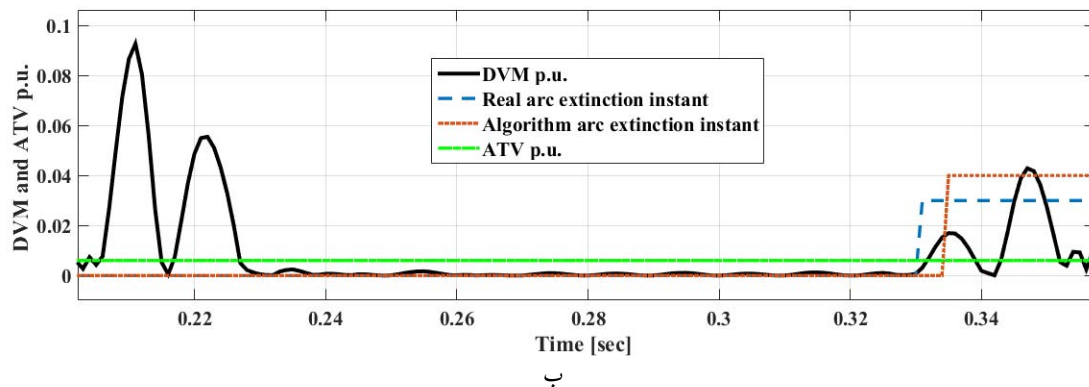
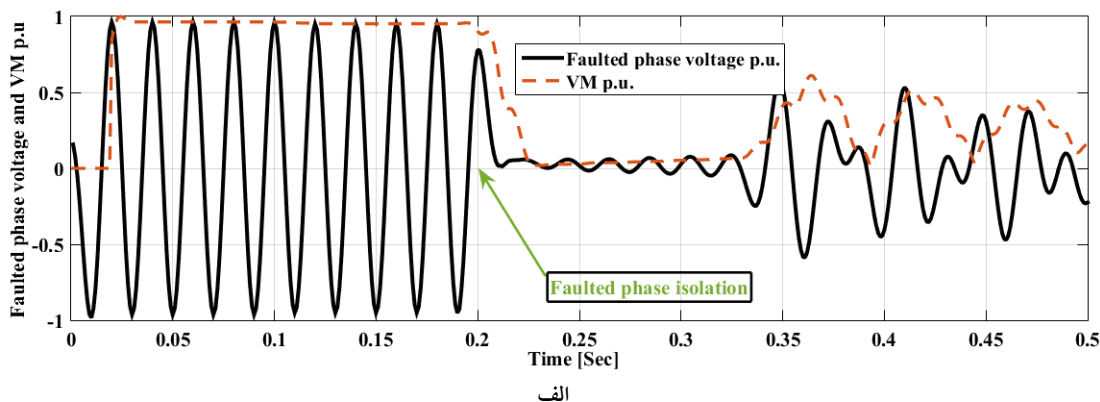
^۶ Canary

^۷ Hawk

^۸ finite impulse response (FIR)

^۹ derivative of VM (DVM)

^{۱۰} adaptive threshold value (ATV)



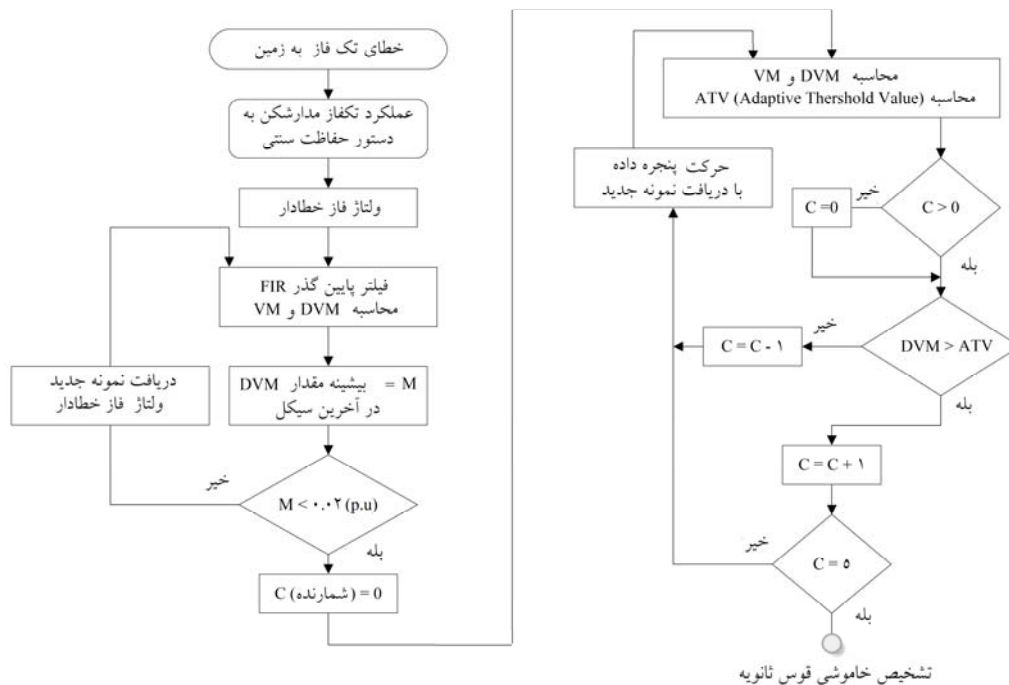
شکل ۲: ولتاژ فاز خطادار و تغییرات سیگنال DVM در هنگام خطای تک فاز به زمین گذرا (الف) مولفه فرکانس اصلی ولتاژ فاز خطادار و VM در پست سنج برای جبران سازی سطح پایین ب) DVM، ATV و لحظه‌ی تشخیص خاموشی قوس ثانویه توسط الگوریتم و لحظه واقعی خاموشی قوس ثانویه

سیستم می‌باشد. با هر بار دریافت یک نمونه جدید ولتاژ فاز خطادار، مقدار M دوباره محاسبه می‌شود و با مقدار 0.02 بر واحد مقایسه می‌شود. اگر M از مقدار 0.02 کمتر باشد الگوریتم وارد مرحله‌ی انتظار برای خاموشی قوس ثانویه می‌شود.

وقتی قوس ثانویه خاموش می‌شود، DVM شروع به افزایش می‌کند که این افزایش با مقایسه کردن مقدار کنونی DVM با مقدار آستانه ATV تشخیص داده می‌شود. مقدار ATV با سه برابر آخرین مقدار M محاسبه شده برابر است. وقتی از مقدار ATV بزرگتر باشد، الگوریتم استراتژی شمارش خود را برای تشخیص خاموشی قوس ثانویه آغاز می‌کند. برای اطمینان یافتن از اینکه قوس ثانویه خاموش شده است و افزایش موجود در DVM بدلیل خطا عددی رله حفاظتی نمی‌باشد، الگوریتم پنج بار DVM را با ATV مقایسه می‌کند. شمارنده C برای ذخیره دفعات بزرگتر بودن مقدار DVM از ATV تعریف شده است و در هر بار کوچکتر بودن DVM از

فلوچارت الگوریتم پیشنهادی برای تشخیص خاموشی قوس ثانویه در شکل ۳ آورده شده است. با وقوع خطای تک فاز به زمین گذرا بعد از چند سیکل، حفاظت سستی، مدارشکن فاز خطادار را باز نموده و فاز خطادار بی‌برق می‌شود. سپس الگوریتم پیشنهادی با بی‌برق شدن تک فاز شروع به کار می‌کند.

DVM به پرش در VM حساس است. بعد از باز شدن مدارشکن، VM کاهش می‌یابد و در نتیجه مقادیر DVM افزایش می‌یابند. بعد از ناپدید شدن حالت‌های گذرای ناشی از عملکرد تک فاز مدارشکن مقدار DVM کاهش می‌یابد و در مقادیر کم و ثابت تا خاموشی قوس ثانویه باقی می‌ماند. برای رد کردن حالت‌های گذرای ناشی از بی‌برقی تک فاز مدارشکن، الگوریتم پیشنهادی مقایسه مقادیر DVM و ATV را زمانی آغاز می‌کند که DVM برای یک سیکل کمتر از مقدار 0.02 بر واحد قرار گیرد. متغیر کمکی M همانطور که در شکل ۳ نشان داده شده، برابر بیشینه DVM در آخرین سیکل



شکل ۳: فلوچارت الگوریتم پیشنهادی

باز شدن مدارشکن در زاویه ۹۰ درجه ولتاژ در پست سنج می‌باشد. برای بررسی مقاوم بودن الگوریتم در برابر مقدار بارگذاری سه نوع بارگذاری کم بار، بارگذاری کامل و ۲۰۰ درصد اضافه بار در نظر گرفته شده است. محل خطا بر مقدار زمان مرده تاثیر دارد و همچنین با توجه نزدیکی قوس به باس با سطح اتصال کوتاه بالاتر پرش ولتاژ بیشتری در زمان خاموشی قوس ثانویه ایجاد می‌شود اما با توجه به اینکه روش مستقل از مقدار پرش ولتاژ و سریع می‌باشد تفاوت این تغییرات در زمان تاخیر بازبست مشهود نمی‌باشد. از نتایج جدول ۲ می‌توان دریافت که الگوریتم پیشنهادی به شرایط بارگذاری خط انتقال حساس نمی‌باشد.

در جدول ۳ کارایی الگوریتم پیشنهادی برای هر دو پست سنج و هم‌دان و خطوط انتقال بصورت ایده‌آل ترانسپوز شده و غیر ترانسپوز شده و در حضور راکتور موازی نشان داده است. نتایج برای دو مقدار بارگذاری معمول ۵۰ و ۱۰۰ مگاوار و برای دو زاویه ولتاژ ۰ و ۹۰ درجه باز شدن مدارشکن می‌باشد. زاویه ولتاژ باز شدن مدارشکن در حالت‌های گذرای تولیدی بعد از بی‌برق شدن تک‌فاز تاثیر دارد. همانطور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود حالت‌های گذرا باز شدن مدار شکن تاثیری بر زمان تاخیر بازبست ندارد و الگوریتم در حضور راکتور نیز موفقیت آمیز عمل می‌کند.

ATV الگوریتم یک شماره از مقدار شمارنده C کم می‌کند. وقتی C از پنج بزرگتر باشد الگوریتم خاموشی قوس ثانویه را تشخیص داده و فرمان انجام بازبست تک‌فاز را همانگونه که در شکل ۳ نشان داده شده است، صادر می‌کند

۴. نتایج شبیه‌سازی

برای ارزیابی کارایی الگوریتم پیشنهادی تعداد بیشماری شبیه‌سازی مورد مطالعه قرار گرفتند. طول پنجره داده برای فرکانس ۵۰ هرتز برابر یک سیکل سیستم یا مقدار ۲۰ میلی ثانیه انتخاب شده است. در همه موارد مطالعاتی لحظه‌ی شروع خطا ۱۰۰ میلی ثانیه در نظر گرفته شده است.

جدول ۲ کارایی الگوریتم پیشنهادی را برای مقادیر مختلف بارگذاری خط، محل خطا و نوع قوس نشان می‌دهد. زمان تاخیر بازبست^{۱۱} برابر بازه‌ی زمانی میان تشخیص خاموشی قوس ثانویه توسط الگوریتم و لحظه‌ی واقعی خاموشی قوس ثانویه مستخرج از نرم افزار EMTP می‌باشد. نتایج نشان داده شده در جدول ۲ برای خط انتقال بصورت ایده‌آل ترانسپوز شده با لحظه‌ی

^{۱۱} reclosing time delay

جدول ۲: زمان تاخیر الگوریتم پیشنهادی بر حسب میلی ثانیه در پست سنندج برای خط انتقال به صورت ایده‌آل ترانسپوز شده و زاویه ولتاژ ۹۰ درجه برای بازشدن مدارشکن

بارگذاری خط %	% ۲۰۰			% ۱۰۰			% ۵۰		
محل خطا %	% ۱۵	% ۴۰	% ۰	% ۱۵	% ۴۰	% ۰	% ۱۵	% ۴۰	% ۰
قوس ۱	۳	۴	۴	۳	۳	۳	۳	۳	۳
قوس ۲	۵	۵	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴
قوس ۳	۳	۴	۴	۳	۴	۳	۳	۳	۳

جدول ۳: زمان تاخیر الگوریتم پیشنهادی بر حسب میلی ثانیه در حضور جبران‌ساز راکتیو موازی

مقدار توان راکتیو جبران‌سازی شده			۱۰۰ مگاوار			۵۰ مگاوار		
پیکربندی خط انتقال	زاویه باز شدن مدارشکن	محل خطا از پست سنندج (%)	% ۱۵	% ۴۰	% ۱	% ۱۵	% ۴۰	% ۱
خط ترانسپوز نشده	۰	در سنندج	۳	۵	۴	۵	۴	۳
	۹۰	در همدان	۴	۵	۴	۳	۴	۳
	۰	در سنندج	۵	۴	۳	۵	۳	۴
	۹۰	در همدان	۴	۵	۳	۳	۳	۵
خط بصورت ایده‌آل ترانسپوز شده	۰	در سنندج	۱۴	۱۴	۴	۳	۴	۳
	۹۰	در همدان	۱۴	۱۴	۴	۵	۵	۳
	۰	در سنندج	۱۲	۱۳	۳	۵	۴	۵
	۹۰	در همدان	۱۰	۱۳	۳	۴	۳	۳

جدول ۴: مقایسه روش‌های بازبست خودکار تک‌فاز تطبیقی

روش	تاخیر زمانی بازبست (ms)	فرکانس نمونه برداری (kHz)	استفاده از مقدار آستانه از پیش تعیین شده
[۲]	< ۹	۱,۶	خیر
[۴]	< ۴	۲,۵	خیر
[۵]	< ۲۰	۱,۶	بله
[۶]	< ۱۰۵	۳,۸۴	بله
[۷]	< ۴	۱	بله
روش پیشنهادی	< ۱۴	۱	خیر

در جدول ۴ مقایسه روش‌های بازبست خودکار تک‌فاز تطبیقی بصورت

خلاصه نمایش داده شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود الگوریتم پیشنهادی دارای فرکانس نمونه برداری کوچکی می‌باشد و الگوریتم پیشنهادی سریع می‌باشد بطوری که تاخیر زمانی بازبست آن عدد مناسب ۱۴ میلی ثانیه می‌باشد. همانگونه مشاهده می‌شود الگوریتم به مقدار آستانه از قبل تعیین شده احتیاجی ندارد و بدون دخالت انسانی می‌تواند برای شرایط گوناگون سیستم و خطا بطور موفقیت آمیز عمل کند.

۵. نتیجه‌گیری

در این مقاله یک روش حفاظتی جدید برای انجام بازبست خودکار تک‌فاز تطبیقی در خطوط انتقال ارائه شده است. این روش از مشتق اول اندازه ولتاژ فاز خط‌دار و مقدار آستانه تطبیقی برای تشخیص درست خاموشی قوس ثانویه در خط‌های گذرا استفاده می‌کند. الگوریتم پیشنهادی برای انواع پیکربندی خطوط انتقال شامل بصورت ایده‌آل ترانسپوز شده و ترانسپوز نشده و همچنین در وجود یا عدم وجود جبران‌ساز موازی خطوط انتقال بدرستی عمل می‌کند. الگوریتم پیشنهادی نیازی به تجهیزات مخابراتی ندارد زیرا از ولتاژ اندازه‌گیری شده‌ی محلی استفاده می‌نماید. نرم‌افزار EMTP برای انجام شبیه‌سازی‌های مختلف مورد استفاده قرار گرفته است. برای همه موارد آزمایش شده الگوریتم پیشنهادی بصورت موفقیت آمیز در زمان کمتر از ۱۴ میلی ثانیه برای فرکانس نمونه برداری ۲۰ نمونه در سیکل خاموشی قوس ثانویه را تشخیص می‌دهد.

References

- [1] J. Esztergalyos, J. Andrichak, D.H. Colwell, "Single-phase tripping and auto reclosing of transmission-lines I IEEE committee report," IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 7, no. 1, pp. 182-192, 1992.
- [2] S. Jamali, A. Parham, "New approach to adaptive single pole auto-reclosing of power transmission lines", IET Generation, Transmission & Distribution, vol. 4, no. 1, pp. 115-122, 2010.
- [3] M.E.H. Golshan, N. Golbon, "Detecting secondary arc extinction time by analysing low frequency components of faulted phase voltage or sound phase current waveforms," Journal of Electrical Engineering, vol. 88, no. 2, pp. 141-148, 2006.
- [4] S. Jamali, N. Ghaffarzadeh, "Adaptive single pole auto-reclosing using discrete wavelet transform," European Transactions on Electrical Power, vol. 21, no. 1, pp. 973-986, 2011.
- [5] Z. Radojevi, J. Shin, "New digital algorithm for adaptive re-closing based on the calculation of the faulted phase voltage total harmonic distortion factor," IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 22, no. 1, pp. 37-41, 2007.
- [6] F. Zhalefar, M.R. Dadash Zadeh, T. Sidhu, "A high-speed adaptive single-phase reclosing technique based on local voltage phasors," IEEE Transactions on Power Delivery, vol. PP, no. 99, pp. 1, 2015.
- [7] M. Khodadadi, M.R. Noori, S.M. Shahrtash, "A noncommunication adaptive single-pole autoreclosure scheme based on the ACUSUM algorithm," IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 28, no. 4, pp. 2526-2533, 2013.
- [8] H.W. Dommel, "EMPT reference manual," (Microtran Power System Analysis Corporation, Vancouver, British Columbia, Canada, 1997)
- [9] M. Kizilcay, T. Pniok, "Digital simulation of fault arcs in power systems," European Transactions on Electrical Power, vol. 1, no. 1, pp. 55-60, 1991.