

تست عملی رله دیفرانسیل طولی به روش End-to-End

بهروز طاهری

دانشکده مهندسی برق، پزشکی و مکترونیک، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران.
Behrooztaheri1372@gmail.com

فرزاد رضوی

دانشکده مهندسی برق، پزشکی و مکترونیک، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران.
Farzad.razavi@qiau.ac.ir

مهدی محمدی قلعه‌سفیدی

دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران.
mehdimohamadi.gh@gmail.com

سیروس صالحی مهر

دانشکده مهندسی برق، پزشکی و مکترونیک، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران.
Sirus.salehi@yahoo.com

سیامک زارعی

گروه مهندسی برق، شرکت دانش‌بنیان وبکو امیرکبیر، قزوین، ایران.
Siamak.zi65@gmail.com

چکیده

پایداری شبکه‌های قدرت وابستگی زیادی به سیستم‌های حفاظتی دارد. وجود مشکل در سیستم‌های حفاظتی و درست عمل نکردن این سیستم‌ها در زمان وقوع خطا می‌تواند پایداری شبکه‌های قدرت را برهم زند. ممکن است سیستم‌های حفاظتی دارای عیوب پنهانی باشند که تا زمان ایجاد خطا در شبکه مشخص نشود. برای پی بردن به این عیوب و رفع آن در زمان مناسب سیستم‌های حفاظتی و به خصوص مهم‌ترین عضو آن یعنی رله‌های حفاظتی نیاز به تست‌های دوره‌ای دارند. انجام صحیح تست و تحلیل درست نتایج آن از اهمیت زیادی برخوردار است. در این مقاله به بررسی نحوه عملکرد سیستم تست End-to-End و یک نمونه تست عملی رله دیفرانسیل طولی پرداخته شده است.

واژگان کلیدی: رله دیفرانسیل، حفاظت سیستم‌های قدرت، تست رله، منحنی رله دیفرانسیل.

مقدمه

با توسعه روز افزون صنعت و تکنولوژی استفاده از انرژی الکتریکی دائما در حال افزایش است. این افزایش استفاده از انرژی الکتریکی احتمال وقوع خطا در سیستم‌های قدرت را نیز افزایش داده است. اگر چه در هنگام طراحی یک سیستم قدرت، کاهش امکان ایجاد خطا از پارامترهای مهمی هستند که در نظر می‌شود اما همچنان احتمال وقوع خطا وجود دارد. بنابراین باید تمهیداتی اندیشیده شود تا در کوتاه‌ترین زمان ممکن قسمت مشکل دار از شبکه خارج شود.

عناصر حفاظتی نقش بسیار مهمی را در پایداری سیستم‌های قدرت ایفا می‌کنند. عناصر حفاظتی باید دارای الزامات عمومی مانند تشخیص صحیح خطا، سرعت پاسخ و حداقل کردن اختلالات در سیستم قدرت باشند (Horowitz and Phadke 2008). یکی از مهمترین مشکلات عناصر حفاظتی این است که امکان وجود عیوب پنهان در آن‌ها وجود دارد به طوری که تا زمان رخ دادن حادثه در شبکه قدرت این عیوب مشخص نخواهد شد. در چنین شرایطی اگر حادثه‌ای رخ دهد رله‌های حفاظتی نمی‌توانند عملکرد مناسبی را از خود نشان دهند. رله‌های حفاظتی نقش بسیار مهمی در ایجاد قابلیت اطمینان در سیستم قدرت دارند (Musaruddin, Zaporoshenko et al. 2008). و اگر در زمان حادثه عملکرد مناسبی نداشته باشند می‌تواند باعث بروز ناپایداری در شبکه قدرت شود. برای جلوگیری از بروز چنین مشکلاتی، رله‌های حفاظتی نیاز به تست‌های متفاوتی در طول مراحل توسعه، راه اندازی، تعمیر و نگهداری، پیکربندی و عیب‌یابی دارند (Musaruddin, Zaporoshenko et al. 2008).

حفاظت دیفرانسیل یکی از متداول‌ترین روش‌های مورد استفاده در حفاظت از تجهیزات الکتریکی مانند ترانسفورماتورها، ژنراتورها، و ... در برابر خطاهای داخلی است (Kang, Jin et al. 2004, Kasztenny and Finney 2004, NengLing, Qian et al. 2004, Tripathy, Maheshwari et al. 2008, Pires, Gaspar et al. 2017). دلیل اصلی استفاده از این نوع رله سادگی و حساسیت بالای آن می‌باشد. حفاظت دیفرانسیل طولی آنالوگ برای خطوط انتقال کوتاه‌تر و تک مداره در شبکه دو طرفه استفاده می‌شود (Rajić and Stojanović 2018). امروزه با توسعه تکنولوژی‌های ارتباطی پیشرفته رله‌های دیفرانسیل فعلی نیز برای محافظت از خطوط انتقال مناسب‌تر شده‌اند (Wheatley 1989, Albrecht, Fleck et al. 1992, Gangadharan, Sidhu et al. 2007, Bhalja and Maheshwari 2008). اگر از سیستم‌های ارتباطی فیبر نوری استفاده شود، پارامتر طول خط که یک عامل محدود کننده در حفاظت دیفرانسیل طولی هست از بین می‌رود. اصل حفاظت رله دیفرانسیل طولی بر اساس مقایسه جریان‌های ابتدایی و انتهایی خط است. مفهوم حفاظت دیفرانسیل، حفاظتی سریع، حساس و ساده را تضمین می‌کند که خط دچار اشکال شده را از شبکه قطع می‌کند. محدوده حفاظت دیفرانسیل توسط موقعیت CT ها تعریف می‌شود (Ziegler 2012, Rajić and Stojanović 2018). برای حفاظت دیفرانسیل چند الگوریتم کلی وجود دارد. مقالات (Dambhare, Soman et al. 2009, Hosny and Sood 2014, Krishnanand, Dash et al. 2015) از Phasor استفاده می‌کنند. مقاله (Deng, Yuan et al. 2015) از مقادیر لحظه‌ای سیگنال‌های الکتریکی استفاده می‌کند. علاوه بر رویکردهای کلاسیک، راه‌حلی وجود دارند که برای تشخیص خطا نیاز به ولتاژ دارند (Aziz, Zoba et al. 2008, Kawady, Taalab et al. 2010, Wen, Chen et al. 2014). فارغ از نوع الگوریتم تشخیص دهنده با توجه به دلایلی که بیان شد این نوع از رله‌ها نیز احتیاج به تست در طول مراحل توسعه، راه‌اندازی، تعمیر و نگهداری، پیکربندی و عیب‌یابی دارند.

در میان انواع روش‌های تست رله دیفرانسیل تست به شیوه Search منحنی دیفرانسیل برای بدست آوردن محل دقیق منحنی از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشد. این تست در رله‌های دیفرانسیل به منظور تعیین دقیق شکل مشخصه رله دیفرانسیل و مقدار تیرانس آن انجام می‌شود. در اثر اشتباهات فنی، کار زیاد در شبکه و ... ممکن است خطای رله افزایش یابد و در نتیجه با کاهش دقت رله محل منحنی در رله تغییر کند این تغییر می‌تواند باعث عملکرد بی‌مورد رله در زمان خطاهای خارج از زون و یا نداشتن عملکرد در خطاهای موجود در محدوده حفاظتی شود. در شبکه قدرت ایران رله‌های دیفرانسیل طولی بسیاری وجود دارند که سال‌ها در شبکه در حال کار هستند، بنابر عللی که قبل تر بیان شد است، تست این نوع از رله‌ها به شیوه Search منحنی بسیار اهمیت دارد.

در این یک رله دیفرانسیل طولی با استفاده دستگاه تست رله AMT-105 ساخت شرکت وبکو امیرکبیر تست شده است.

حفاظت دیفرانسیل

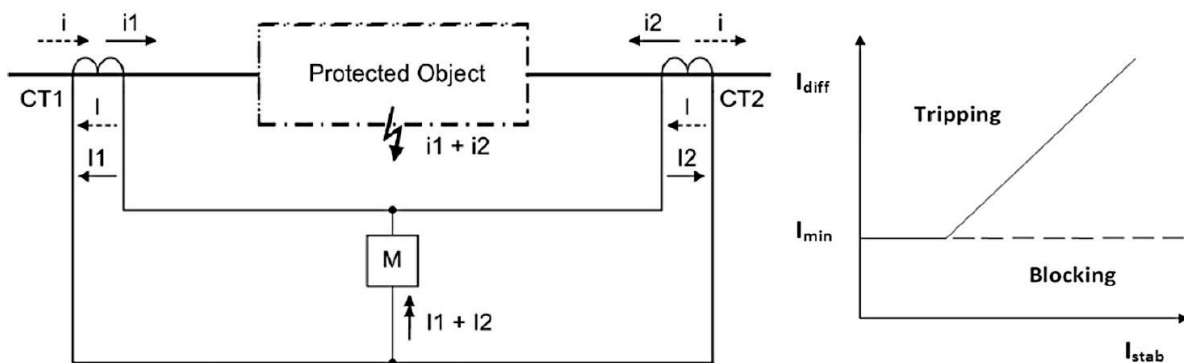
در حفاظت دیفرانسیل کلاسیک I_{diff} از مجموع جریان‌های محلی و دور با استفاده از معادله زیر بدست می‌آید:

$$I_{diff} = |\vec{I}_P + \vec{I}_S| \quad (1)$$

مقدار I_{stab} نیز از رابطه زیر بدست می‌آید:

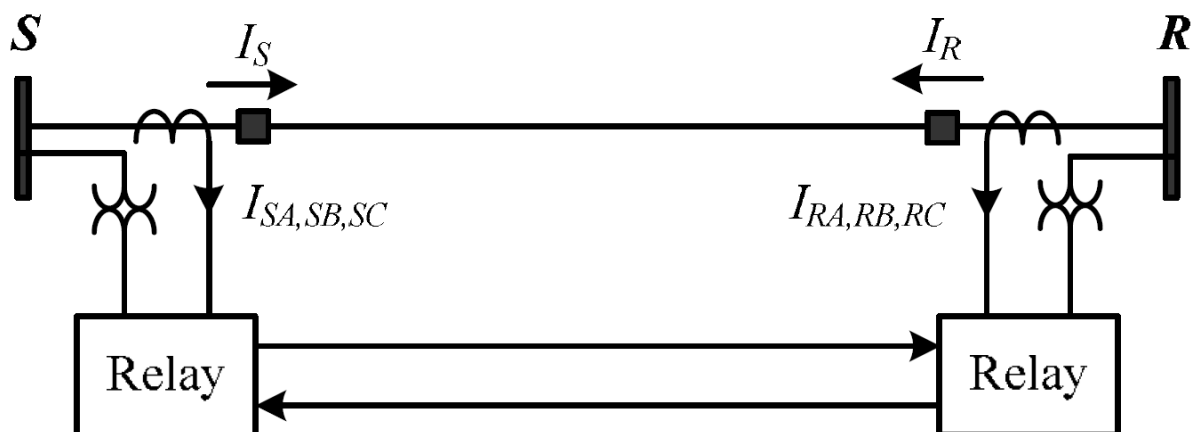
$$I_{stab} = |\vec{I}_P| + |\vec{I}_S| \quad (2)$$

در شکل ۱ حفاظت دیفرانسیل به همراه منحنی رله دیفرانسیل نمایش داده شده است.



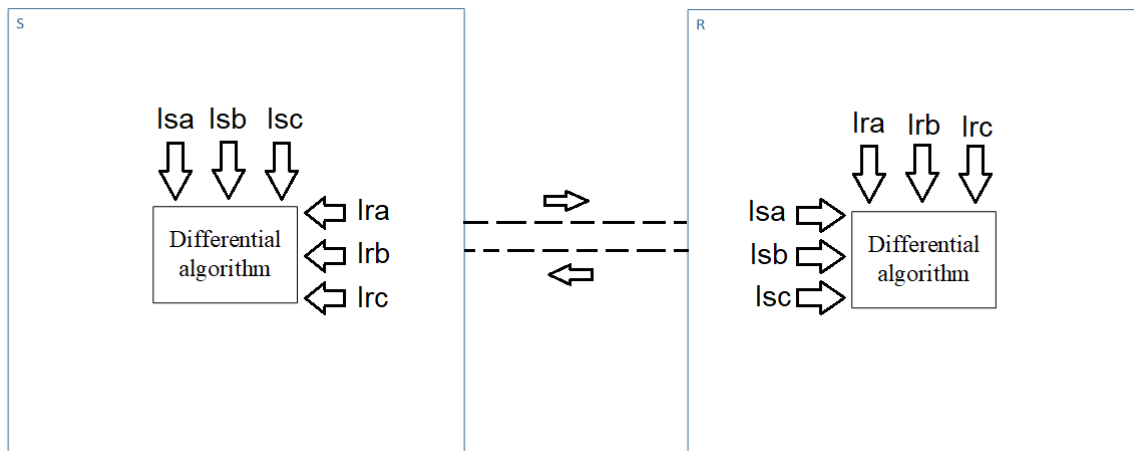
شکل ۱: حفاظت دیفرانسیل (Rajić and Stojanović 2018).

شکل ۲ حفاظت دیفرانسیل خطوط و شیوه ارتباطی آن را نمایش می‌دهد.



شکل ۲: حفاظت دیفرانسیل خطوط انتقال (Pires, Gaspar et al. 2017).

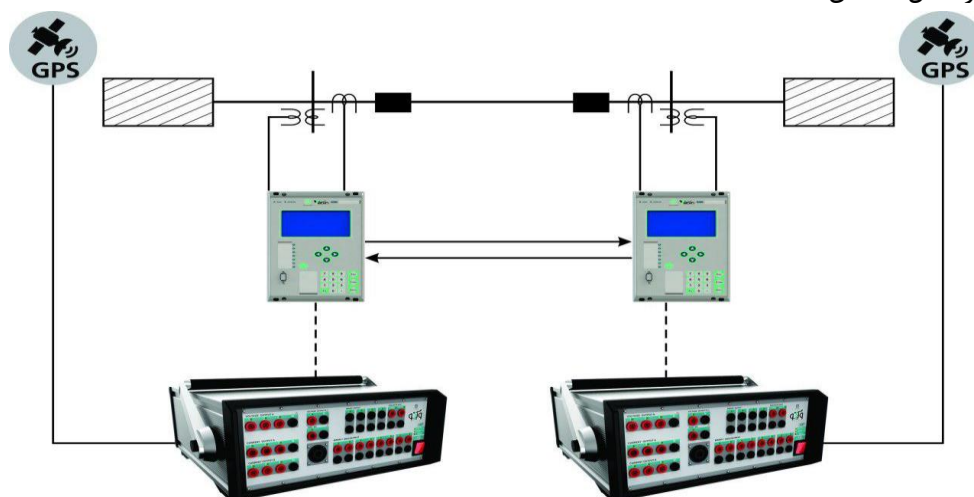
شکل ۳ نحوه ارسال و دریافت اطلاعات بین دو رله را نشان می‌دهد.



شکل ۳: نحوه ارسال و دریافت اطلاعات دو رله ابتدا و انتهای خط.

تست End To End

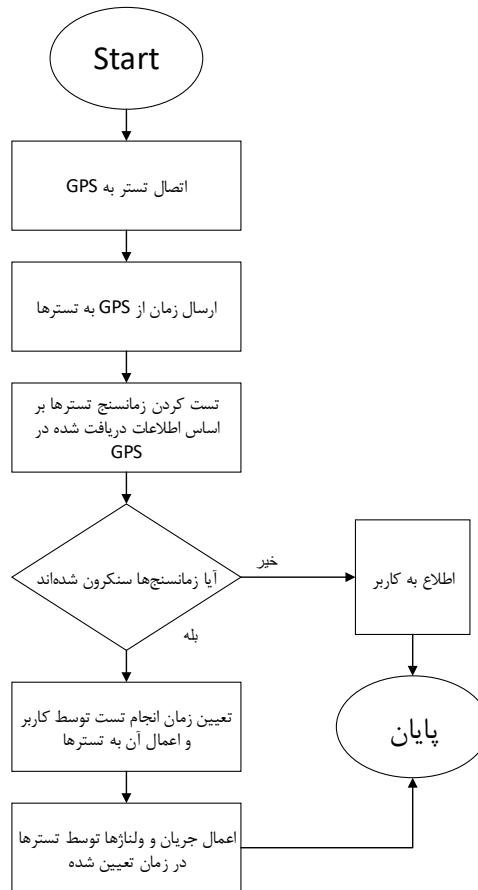
روش‌های تست معمول، هر رله در هر پست را به صورت مستقل تست می‌کند. در واقع از مواردی که در طرح حفاظتی قرار دارد فقط عملکرد رله را به صورت محلی تست می‌کند و باقی موارد طرح حفاظتی مانند تست همزمان حفاظت اصلی و پشتیبان، تست سیستم‌های مخابراتی و تأخیرهای زمانی انتقال سیگنال از یک پست به پست دیگر مورد بررسی قرار نمی‌گیرد. برای تست کامل طرح حفاظتی باید از روش تست END To END استفاده کرد. اساس کار END To END به این گونه است که دستگاه‌های تست رله در نقاط مختلف از نظر زمانی با یکدیگر سنکرون باشند و با توجه به زمان شروع تست، همگی بتوانند جریان و ولتاژهای موردنظر را به رله‌ها بدهند و محیطی واقعی برای تست طرح حفاظتی برای رله‌های سیستم ایجاد کنند. برای تست رله دیفرانسیل طولی به روش Search منحنی نیز نیاز به انجام تست END To END داریم. دیاگرام تست END To END در شکل ۴ نشان داده شده است.



شکل ۴: تست END TO END

همانطور که از شکل ۴ مشخص است دو دستگاه تست رله AMT-105 در دو طرف یک خط انتقال انرژی قرار دارند و با استفاده

از GPS زمان‌های هر دو دستگاه به طور یکسانی با خطای بسیار کم (حدود 5n ثانیه) سینک شده‌اند. بنابراین تسترها قادرند به طور همزمان جریان و ولتاژ لازم را در دو پست متفاوت در دوسر خط اعمال نمایند تا به این صورت بتوان عملکرد رله را مشاهده نمود. شکل ۵ فلوجارت ارتباطی تسترها با یکدیگر با استفاده از GPS را نشان می‌دهد.

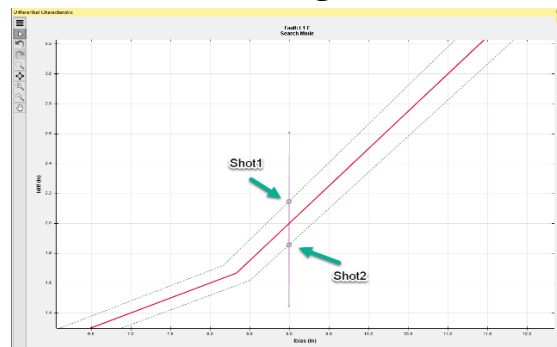


شکل ۵: فلوجارت تست END TO END

تست رله دیفرانسیل طولی

روش تست

در این روش برای Search منحنی دیفرانسیل طولی بعد از ارتباط تسترها با GPS در هر دو دستگاه یک تست یکسان را قرار می‌دهیم. دستگاه ابتدا نقطه روی خط تفرانس داخل زون را تست کرده (Shot1) و اگر رله در زمان مناسب Trip دهد نقطه بعدی که روی خط تفرانس خارج از ناحیه عملکرد است را تست می‌کند (Shot2) (شکل ۶).



شکل ۵: نقاط اول و دوم تست

اگر با تست این نقطه (Shot2) رله عملکردی نداشته باشد دستگاه نقطه سوم را مابین این دو نقطه قرار داده و تست می‌کند. پس از نقطه جدید با توجه به اینکه در نقطه جدید رله تریپ داده است یا نه محل نقطه بعدی را با استفاده از شرط زیر بدست می‌آورد:

$$Shot_{New} = \begin{cases} \text{If } - Shot_3 = Trip \Rightarrow Shot_3 < Shot_{New} < Shot_2 \\ \text{If } - Shot_3 = Non - Trip \Rightarrow Shot_3 < Shot_{New} < Shot_1 \end{cases} \quad (3)$$

تعداد نقاط تست برای پیدا کردن محدوده زون‌ها به صورت اتوماتیک توسط عددی که برای وضوح و یا دقت جستجو (Search Resolution) تنظیم می‌شود محاسبه می‌گردد. زمانی تست متوقف می‌گردد که شرط زیر برقرار باشد:

$$\text{If } |Shot_{n-1} - Shot_n| < \text{Search Resolution} \Rightarrow \text{TetsStop} \quad (4)$$

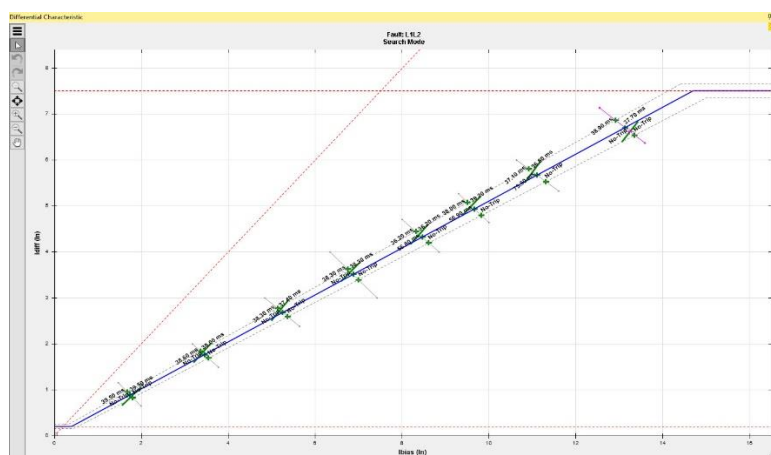
نتایج تست

رله‌های دیفرانسیل طولی ستینگ شده و ارتباط بین آن‌ها برقرار شده است. جدول ۱ تنظیمات رله را نشان می‌دهد.

جدول ۱: تنظیمات رله دیفرانسیل طولی

Relay	
Idiff >	0.2
Idiff >>	2
Slop1	0.25
K	1
Base point1	0
Relative Tolerance	٪2
Absolute Tolerance	0.05 In

شکل ۶ نمودار تست شده رله دیفرانسیل طولی را نمایش می‌دهد.



شکل ۶: نتایج تست رله دیفرانسیل طولی

جدول ۲ نتایج به دست آمده از تست را نشان می دهد. همانگونه که از جدول مشخص است رله به درستی عمل کرده و کلیه خطوط تست شده Pass شده‌اند.

جدول ۲: نتایج تست رله دیفرانسیل طولی

	State	Assessment	Idiff	Ibiass	Angle	Length	Reach
1	+	Passed	1.152In	1.477In	-43.99	0.727In	(Id:0.860In Ib:1.780In)
2	+	Passed	2.000In	3.182In	-40.13	0.787In	(Id:1.804In Ib:3.415In)
3	+	Passed	3.000In	4.847In	-37.87	1.016In	(Id:2.727In Ib:5.198In)
4	+	Passed	4.000In	6.351In	-42.72	1.471In	(Id:3.567In Ib:6.820In)
5	+	Passed	4.711In	8.000In	-39.64	1.114In	(Id:4.383In Ib:8.395In)
6	+	Passed	5.266In	9.299In	-45.00	0.943In	(Id:5.003In Ib:9.592In)
7	+	Passed	6.000In	10.643In	-34.86	1.173In	(Id:5.740In Ib:11.016In)
8	+	Passed	7.134In	12.548In	-36.43	1.296In	(Id:6.619In Ib:13.247In)

نتیجه گیری

سیستم‌های حفاظتی از مهمترین عناصر سیستم قدرت هستند. این سیستم‌ها نیاز به تست‌های متفاوتی در طول مراحل ساخت، راه‌اندازی، بهره‌برداری و تعمیرات دارند. یکی از این رله‌ها رله دیفرانسیل طولی است که برای حفاظت خطوط انتقال کوتاه مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این مقاله به چگونگی کارکرد سیستم تست End-to-End و یک نمونه تست عملی رله دیفرانسیل پرداخته شده است.

منابع

- Albrecht, N., et al. (1992). "Charge comparison protection of transmission lines-communications concepts." IEEE transactions on Power Delivery **7**(4): 1853-1860.
- Aziz, M. M. A., et al. (2008). "Transmission lines differential protection based on the energy conservation law." Electric Power Systems Research **78**(11): 1865-1872.
- Bhalja, B. and R. Maheshwari (2008). "New differential protection scheme for tapped transmission line." IET generation, transmission & distribution **2**(2): 271-279.
- Dambhare, S., et al. (2009). "Adaptive current differential protection schemes for transmission-line protection." IEEE transactions on Power Delivery **24**(4): 1832-1841.
- Deng, X., et al. (2015). "Digital differential protection technique of transmission line using instantaneous active current: theory, simulation and experiment." IET generation, transmission & distribution **9**(11): 996-1005.
- Gangadharan, P., et al. (2007). "Influence of current transformer saturation on line current differential protection algorithms." IET generation, transmission & distribution **1**(2): 270-277.

Horowitz, S. H. and A. G. Phadke (2008). Power system relaying, John Wiley & Sons.

Hosny, A. and V. K. Sood (2014). "Transformer differential protection with phase angle difference based inrush restraint." Electric Power Systems Research **115**: 57-64.

Kang, Y., et al. (2004). "Compensated-current differential relay for protection of transformers." IEEE Proceedings-Generation, Transmission and Distribution **151**(3): 281-289.

Kasztenny, B. and D. Finney (2004). New algorithm for generator differential protection. Developments in Power System Protection, 2004. Eighth IEE International Conference on, IET.

Kawady, T. A., et al. (2010). "Dynamic performance of the power differential relay for transmission line protection." International Journal of Electrical Power & Energy Systems **32**(5): 390-397.

Krishnanand, K., et al. (2015). "Detection, classification, and location of faults in power transmission lines." International Journal of Electrical Power & Energy Systems **67**: 76-86.

Musaruddin, M., et al. (2008). Remote protective relay testing. Power Engineering Conference, 2008. AUPEC'08. Australasian Universities, IEEE.

NengLing, T., et al. (2004). "New generator incomplete differential protection based on wavelet transform." Electric Power Systems Research **69**(2): 179-186.

Pires, V. F., et al. (2017). Differential line protection using dqo components for the communication channel. Compatibility, Power Electronics and Power Engineering (CPE-POWERENG), 2017 11th IEEE International Conference on, IEEE.

Rajić, T. and Z. Stojanović (2018). "An algorithm for longitudinal differential protection of transmission lines." International Journal of Electrical Power & Energy Systems **94**: 276-286.

Tripathy, M., et al. (2008). "Radial basis probabilistic neural network for differential protection of power transformer." IET generation, transmission & distribution **2**(1): 43-52.

Wen, M., et al. (2014). "An energy differential relay for long transmission lines." International Journal of Electrical Power & Energy Systems **55**: 497-502.

Wheatley, J. (1989). A microprocessor based current differential protection. Developments in Power Protection, 1989., Fourth International Conference on, IET.

Ziegler, G. (2012). Numerical differential protection: principles and applications, John Wiley & Sons.