



دانشگاه سبزگان

دانشکده فنی و مهندسی

پایان نامه کارشناسی مهندسی برق

گرایش قدرت

عنوان

الگوی جدید برای تشخیص خطاهای فاز بوسیله رله دیستانس دیجیتال در خطوط انتقال

جبران سازی شده از دو سو تغذیه

نگارش

علیرضا میرزائی - رضا محمدی

استاد راهنما: دکتر کاظم مظلومی

تیر 1392

تعهذنامه اصالت اثر

اینجانبان **علیرضا میرزائی و رضا محمدی** تایید می‌نماییم که مطالب مندرج در این پایان‌نامه، حاصل کار پژوهشی اینجانبان بوده و به دستاوردهای پژوهشی دیگران که در نوشته از آنها استفاده شده است، مطابق مقررات ارجاع گردیده است. این پایان‌نامه قبلاً برای احراز هیچ مدرک هم‌سطح یا بالاتر ارائه نشده است.

کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه زنجان می‌باشد.

علیرضا میرزائی رضا محمدی

امضاء

امضاء



دانشگاه سبزگان

دانشکده فنی و مهندسی

گروه برق

چکیده پایان نامه

ارائه شده توسط: علیرضا میرزائی - رضا محمدی

برای اخذ درجه کارشناسی در رشته مهندسی برق - قدرت، تحت عنوان:

الگوی جدید برای تشخیص خطاهای فاز بوسیله رله دیستانس دیجیتال در خطوط انتقال جبران سازی شده از دو سو تغذیه

استاد راهنما: دکتر مظلومی

تیر 1392

چکیده

حفاظت دیستانس یکی از روش های حفاظت خطوط انتقال در برابر انواع خطاهای اتصال کوتاه می باشد. هنگامی که در این خطوط از جبران سازی سری به منظور بهبود انتقال توان استفاده می شود، عملکرد رله های دیستانس دیجیتال در تشخیص خطا و محل خطا با اشکالات عمده و جدی مواجه می شود. به همین منظور الگوریتم و روش جدیدی برای بهبود این شرایط پیشنهاد می شود. مزایای این روش از جمله تشخیص دقیقتر محل خطا، عدم وابستگی این الگو به مقاومت خطا، تشخیص بهتر با هر درجه جبران سازی سری و سایر موارد که به تفصیل به آنها اشاره خواهد شد، بر آن می دارد که در تشخیص خطاها از آن استفاده شود.

واژه های کلیدی: حفاظت - دیستانس - جبران سازی سری - رله - خطای دو فاز - خط انتقال - دو سو تغذیه

پیشگفتار

پیشرفت های روز افزون در زمینه خطوط انتقال انرژی ، توسعه شبکه انتقال کنونی کشور و افزایش محل های مصرف و تولید انرژی بر آن داشته است که سیستم های انتقال انرژی از لحاظ کمی و کیفی بروزرسانی و دچار تغییراتی شوند.

توسعه همواره بر پایه اصول گذشته و روابط حاکم بر سیستم های انرژی صورت می گیرد اما گاهی توسعه شبکه و بکار گیری شیوه های نوین برای بهینه سازی انتقال انرژی سبب می شود ساختار ها و سیستم های پیشین بکار گرفته کارایی پیشین خود را نداشته و حتی در صورت سازگاری با توسعه و تغییرات شبکه ، کارایی بهینه خود را از دست دهند . یکی از این تغییرات به منظور بهینه سازی شبکه انتقال استفاده از جبران ساز سری در خطوط انتقال می باشد. سیستم حفاظتی متداول مورد استفاده در خطوط انتقال که همان رله دیستانس می باشد به علت اینکه قوانین و روابط حاکم بر نحوه تشخیص خطا در آن برای این جبران سازی سری طراحی نشده است ، در تشخیص خطا دچار اشتباه در محاسبات شده و محل رخداد خطا را به اشتباه در محل دیگری تشخیص می دهد.

از طرفی حساسیت روابط محاسبه امپدانس خطا به مقاومت گوس الکتریکی از دیگر اشکالات رله های دیستانس متداول می باشند که حتی اگر در حفاظت خطوط جبران سازی نشده نیز مورد استفاده قرار گیرند در تشخیص محل دقیق خطا دچار اشتباه محاسباتی می شوند. علاوه بر این موارد و سایر عیوب این رله ها و اهمیت خطوط انتقال انرژی در انتقال توان ، بروز رسانی و رفع عیوب روابط محاسبه خطا اهمیت دوچندانی می یابد. در این پروژه سعی شده است با ارائه روشی نوین این عیوب برطرف گردیده و نحوه محاسبه امپدانس خطا و محل خطا به گونه ای که اشاره خواهد شد ، با شبیه سازی در نرم افزار Matlab دقیق تر و صحیح تر بدست آید.

سپاس و تشکر فراوان از ...

دکتر کاظم مظلومی

دکتر ابوالفضل جلیوند

دکتر مهرداد بابازاده

و تمامی اساتید عزیز دانشگاه زنجان که امروز و فردایمان را مدیون شان هستیم و خواهیم بود.

فهرست مطالب

1	فصل 1:
1	مقدمه
2	1-1 حفاظت دیستانس
6	2-1 جبران‌ساز سری
8	3-1 انواع خطا و روابط حاکم بر آنها
15	فصل 2:
15	خطای فاز به فاز در خطوط جبران‌سازی شده
16	1-2 مدار معادل خطای فاز به فاز
17	2-2 مدل خطی سازی شده Goldworthy برای SC/MOV
18	3-2 ولتاژ و جریان معکوس
18	4-2 اثر خطای فاز به فاز بر امپدانس خط
20	فصل 3:
20	تحلیل خطای فاز به فاز
21	1-3 امپدانس اندازه گیری شده بوسیله رله های دیستانس متداول
21	2-3 امپدانس اندازه گیری شده بوسیله روش جدید
25	فصل 4:
25	نتایج و تحلیل ها
27	1-4 خطای فاز به فاز

4-1-1 اثر تغییر در محل خطا

27

4-1-2 اثر تغییر در زاویه انتقال توان

29

4-1-3 اثر تغییر در درجه جبرانسازی سری

29

4-1-4 اثر تغییر ظرفیت اتصال کوتاه (SCC)

32

4-1-5 خطای Close-in

33

4-1-6 اثر خطا در حوالی مرز ناحیه اول حفاظتی رله

34

4-2 خطای سه فاز

34

4-3 خطای فاز به فاز به زمین

35

فصل 5:

38

مزایای روش پیشنهادی

38

فصل 6:

40

نتیجه گیری

40

مراجع

42

پیوست 1

45

فهرست جدول‌ها

1	فصل 1:
1	مقدمه
15	فصل 2:
15	خطای فاز به فاز در خطوط جبران‌سازی شده
20	فصل 3:
20	تحلیل خطای فاز به فاز
25	فصل 4:
25	نتایج و تحلیل‌ها
27	جدول 1-4- امپدانس اندازه‌گیری شده و خطای اندازه‌گیری آنها حین رخداد خطای فاز به فاز ($\delta=40^\circ$)
28	جدول 2-4- امپدانس اندازه‌گیری شده و خطای اندازه‌گیری آنها حین رخداد خطای فاز به فاز ($\delta=-40^\circ$)
29	جدول 3-4- امپدانس اندازه‌گیری شده و خطای اندازه‌گیری آنها حین رخداد خطای فاز به فاز ($\delta=-40^\circ$, $K_M=50\%$)
30	جدول 4-4- امپدانس اندازه‌گیری شده و خطای اندازه‌گیری آنها حین رخداد خطای فاز به فاز ($\delta=-40^\circ$, $K_M=50\%$)
30	جدول 5-4- امپدانس اندازه‌گیری شده و خطای اندازه‌گیری آنها حین رخداد خطای فاز به فاز ($\delta=+40^\circ$, $K_M=70\%$)
30	جدول 6-4- امپدانس اندازه‌گیری شده و خطای اندازه‌گیری آنها حین رخداد خطای فاز به فاز ($\delta=-40^\circ$ و $K_M=70\%$)
31	جدول 7-4- امپدانس اندازه‌گیری شده و خطای اندازه‌گیری آنها حین رخداد خطای فاز به فاز ($\delta=+40^\circ$ و $K_M=80\%$)
31	جدول 8-4- امپدانس اندازه‌گیری شده و خطای اندازه‌گیری آنها حین رخداد خطای فاز به فاز ($\delta=-40^\circ$ و $K_M=80\%$)
32	جدول 9-4- امپدانس اندازه‌گیری شده و خطای اندازه‌گیری آنها حین رخداد خطای فاز به فاز ($\delta=+40^\circ$ و $SCC_s=20000MVA$, $SCC_R=4000MVA$ و $K_M=80\%$)
33	جدول 10-4- امپدانس اندازه‌گیری شده و خطای اندازه‌گیری آنها حین رخداد خطای فاز به فاز ($\delta=-40^\circ$ و $SCC_s=20000MVA$, $SCC_R=4000MVA$ و $K_M=80\%$)
34	جدول 11-4- امپدانس اندازه‌گیری شده و خطای اندازه‌گیری آنها حین رخداد خطای فاز به فاز ($\delta=+40^\circ$, $K_M=70\%$)
35	جدول 12-4- امپدانس اندازه‌گیری شده و خطای اندازه‌گیری آنها حین رخداد خطای سه فاز ($\delta=+40^\circ$)
35	جدول 13-4- امپدانس اندازه‌گیری شده و خطای اندازه‌گیری آنها حین رخداد خطای سه فاز ($\delta=-40^\circ$)
36	جدول 14-4- امپدانس اندازه‌گیری شده و خطای اندازه‌گیری آنها حین رخداد خطای فاز به فاز به زمین ($\delta=+40^\circ$, $R_F=5\Omega$)
36	جدول 15-4- امپدانس اندازه‌گیری شده و خطای اندازه‌گیری آنها حین رخداد خطای فاز به فاز به زمین ($\delta=+40^\circ$, $R_F=100\Omega$)
36	جدول 16-4- امپدانس اندازه‌گیری شده و خطای اندازه‌گیری آنها حین رخداد خطای فاز به فاز به زمین ($\delta=+40^\circ$, $R_F=200\Omega$)
38	فصل 5:
38	مزایای روش پیشنهادی

فهرست شکل‌ها

فصل 1: 1

مقدمه

- شکل 1-1- مشخصه امپدانی
- شکل 2-1- مشخصه مهو
- شکل 3-1- مشخصه آفست مهو
- شکل 4-1- مشخصه راکتانسی
- شکل 5-1- مشخصه کواد (چهار گوش)
- شکل 6-1- منحنی انتقال توان در حضور خازن سری

فصل 2: 15

خطای فاز به فاز در خطوط جبران سازی شده

- شکل 1-2- مدار معادل خطای فاز به فاز بر روی خطوط انتقال
- شکل 2-2- ترکیب سری R_C-X_C مدل SC/MOV

فصل 3: 20

تحلیل خطای فاز به فاز

فصل 4: 25

نتایج و تحلیل ها

- شکل 1-4- امپدانس اندازه گیری شده و خطای اندازه گیری آنها حین رخداد خطای فاز به فاز
- شکل 2-4- امپدانس اندازه گیری شده و خطای اندازه گیری آنها حین رخداد خطای فاز به فاز با زاویه انتقال توان متفاوت
- شکل 3-4- امپدانس اندازه گیری شده و خطای اندازه گیری آنها حین رخداد خطای فاز به فاز با SCC های متفاوت
- شکل 4-4- امپدانس اندازه گیری شده و خطای اندازه گیری آنها حین رخداد خطای فاز به فاز به زمین

فصل 5: 38

مزایای روش پیشنهادی

فصل 6: 40

نتیجه گیری

40

مراجع

42

پیوست 1

45

پایان نامه کارشناسی



فهرست علائم و اختصارات

P توان اکتیو [W]

Q توان راکتیو [VA]

V ولتاژ [V]

I جریان [A]

p محل خطا [%]

R مقاومت [Ω]

X راکتانس [Ω]

δ زاویه انتقال توان [°]

X_{eff} راکتانس موثر [Ω]

K_M یا k درصد جبران سازی خط []

SCC ظرفیت اتصال کوتاه [VA]

فصل 1:

مقدمه

1-1 حفاظت دیستانس

رله های دیستانس برای حفاظت خطوط انتقال به کار می روند و از آنجا که فاصله عیب را با اندازه گیری امپدانس مشخص می کنند، بدین نام مشهور شده اند. به طور کلی وقتی اتصالی در شبکه رخ می دهد اینگونه رله ها نقش حفاظتی خط و تعیین فاصله اتصالی تا رله را به عهده دارند. معمولا حفاظت اصلی خطوط انتقال رله های دیستانس و حفاظت پشتیبان این خطوط رله های اضافه جریان هستند. دلیل این امر آن است که زمان عملکرد رله های دیستانس بر روی خطی که رله روی آن است بسیار کم و زمان عملکرد رله جریان زیاد نسبتا زیاد است.

اصول کار رله های دیستانس:

رله های دیستانس صرف نظر از انواع مختلف آنها بر مبنای اندازه گیری فاصله الکتریکی رله تا محل خطا کار می کنند. در مواقعی که حداقل جریان خطا قابل مقایسه با جریان بار باشد، این رله ها کاربرد وسیعی پیدا می کنند و این از آنجا ناشی می شود که رله های دیستانس به جریان حساس نیستند، بلکه امپدانس ظاهری (فاصله الکتریکی) تا محل خطا را می سنجند. رله های دیستانس دارای یک امپدانس داخلی به نام امپدانس تنظیم رله می باشند. این امپدانس (Z_0) برابر امپدانس قسمتی از خط است که رله باید آن قسمت را مورد حفاظت قرار دهد.

ساختمان رله دیستانس:

این رله با دو عنصر ولتاژ و جریان سروکار دارد و نسبت این دو پارامتر را می سنجد. یعنی در اصل از دو ترانس ولتاژ و جریان تشکیل شده است. به طور کلی می توان گفت که یک رله دیستانس از قسمت های زیر تشکیل شده است:

1- عضو تحریک کننده 2- عضو سنجشی رله دیستانس (عضو زمانی) 3- عضو جهت یاب 4- تعداد زیادی رله کمکی طرز کار بدین صورت است که از سیم پیچ عمل کننده جریانی متناسب با جریان اتصال کوتاه می گذرد و هنگامی که جریان خطا به یک آستانه رسید، این سیم پیچ تحریک شده و کنتاکتهای مربوطه را به هم وصل می کند در نتیجه رله عمل کرده و مدار قطع می گردد و در ضمن سیم پیچی که سیم پیچی بازدارنده نام دارد نیروی مقاوم یا نیروی بازدارنده را تولید می کند و باعث تولید گشتاور در خلاف جهت گشتاور حاصل از سیم پیچ عمل کننده می گردد. لذا هر چه ولتاژ بیشتر باشد یا نقطه اتصال کوتاه از رله دورتر باشد نیروی سیم پیچ بازدارنده بیشتر شده و در اصل مقاومت ظاهری خط تا نقطه اتصالی بیشتر می شود.

به طور کلی در یک رله دیستانس از یک تحریک جریان زیاد و یک تحریک ولتاژ کم و در نتیجه از تحریک توسط امپدانس کم استفاده می شود. در تحریک توسط جریان زیاد از یک رله جریان زیاد که برای 0.8 تا 2 برابر جریان نامی ترانسفورماتور جریان قابل تنظیم است، استفاده می شود و می توان با توجه به نوع شبکه، در مواقعی که نقطه صفر ستاره آن ایزوله باشد، از دو رله استفاده کرد. در مواقعی که شبکه مستقیما به زمین وصل شده باشد از سه رله استفاده می کنند، البته رله سوم، رله اتصال زمین می باشد. تحریک توسط رله های جریان زیاد در شبکه هایی قابل استفاده است که حداقل جریان اتصال کوتاه فازی از ماکزیمم جریان کار عادی و نرمال شبکه بیشتر باشد. ولی در تحریک توسط امپدانس کم نباید حداقل جریان اتصال کوتاه از ماکزیمم جریان عادی شبکه بیشتر شود. تحریک کننده امپدانس کم نسبت ولتاژ و جریان را می سنجد.

در نوع دیجیتال رله های دیستانس ، این رله ها با دریافت مقادیر دیجیتال اندازه گیری شده جریان و ولتاژ خط فاز ها و با جایگذاری در روابطی که برای انواع خطا وجود دارد ، امیدانس محل خطا اندازه گیری می کنند . حال بسته به مقدار امیدانس محل خطای بدست آمده و نوع خطا رله دیستانس تصمیم گیری کرده و در واقع اگر امیدانس بدست آمده ، در شرایط تنظیمی رله برای وقوع خطا یا به عبارت دیگر در نواحی تعریف شده به عنوان خطا واقع شده باشد، رله فرمان تریپ را صادر می کند.

-انواع رله های دیستانس:

رله های دیستانس با توجه به «امپدانس تنظیم» عمل می کنند. این امیدانس مقداری مختلط است در نتیجه دارای دامنه و فاز خواهد بود. با توجه به این موضوع می توان محدوده عملکرد رله ها را در صفحه مختلط $R-X$ توسط یک منحنی بیان نمود.

یک رله دیستانس با هر نوع منحنی مشخصه ای دارای سه ناحیه حفاظتی می باشد. در ناحیه 1 معمولا امیدانس معادل 80% خط اول (خط اصلی) تنظیم می شود و زمان عملکرد آن خیلی سریع یعنی حدود 0.01 ثانیه است و به عنوان حفاظت اصلی خط به کار می رود. علت اینکه کل خط اصلی به عنوان ناحیه اول انتخاب نمی شود آن است که به واسطه خطاهای ناشی از ترانسفورماتور جریان یا ولتاژ عملکرد این رله با رله روی خط بعدی همزمان نباشد.

امپدانس تنظیم ناحیه دوم رله معمولا برابر کل امیدانس خط اصلی به اضافه حدود 50% امیدانس خط بعدی است و زمان عملکرد آن حدود 0.4 ثانیه است. ناحیه سوم رله دیستانس دارای امیدانس تنظیمی برابر کل خط اول به اضافه کل خط دوم به علاوه حدود 25% خط سوم است. بدیهی است زمان عملکرد این ناحیه حدود 0.8 ثانیه است. در زیر انواع مختلف مشخصه ها را مختصرا ذکر می کنیم:

1- رله دیستانس با مشخصه امیدانسی یا تخت

این مشخصه ساده ترین مشخصه رله دیستانس می باشد. همانطوریکه در شکل (1-1) دیده می شود مشخصه در صفحه محورهای R و X به صورت دایره ای است که مرکز آن مبدا و شعاع آن Z می باشد. رله با این مشخصه تنها به دامنه امیدانس تا محل خطا حساس می باشد و برای خطاهایی که قدر مطلق امیدانس آنها کمتر از مقدار تنظیمی رله باشد صرفنظر از جهت جریان خطا عمل می کند... از اینرو هماهنگی این رله ها با یکدیگر مشکل و در بعضی موارد غیر ممکن است به همین دلیل این رله را هیچگاه به تنهایی مورد استفاده قرار نمی دهند و همواره به همراه رله های دیگر که در

ادامه شرح داده می شود از آن استفاده می گردد. معادله این رله بصورت معادله $Z=|Z_s|$ بوده و این معادله دایره ای است که در شکل (1-1) نشان داده شده است.

فصل 6:

نتیجه گیری

در این پروژه سعی شد تا روشی جدید برای رله دیستانس دیجیتال در اندازه گیری مقادیر صحیح مقاومت و راکتانس ناحیه خطای خطاهای فاز در خطوط انتقال انرژی که جبران سازی شده اند ، ارائه شود. این روش بر محاسبات و اندازه گیری دیجیتال توالی های ولتاژ و جریان سه فاز استوار بوده و تنها از داده های محل اندازه گیری استفاده می کند. صحت این روش با تغییر انواع پارامتر های سیستم و خطا از قبیل درصد جبران سازی ، زاویه انتقال توان ، ظرفیت اتصال کوتاه و مقاومت گوس مورد آزمایش و شبیه سازی قرار گرفت. علاوه بر این صحت و پایداری روش پیشنهادی در تشخیص محل صحیح خطای نزدیک به خود رله نیز مورد بررسی قرار گرفت. همچنین تایید شد که این روش به عملکرد و روش های پیچیده خاصی برای تشخیص خطاهای فاز در پشت رله نیاز ندارد. در نهایت می توان با اطمینان بالایی صحت این روش را برای اندازه گیری دقیقتر امیدانسی ناحیه خطا مورد تایید قرار داد.

پایان نامه کارشناسی

مراجع



-
- 1 Anderson, P.M.: 'Power system protection' (IEEE Press, New York, 1999)
 - 2 Bhalja, B., Maheshwari, R.P., Parikh, U., Das, B.: 'Decision tree based fault classification scheme for protection of series compensated transmission lines', Int. J. Emerging Electr. Power Syst., 2007, 8, (6), pp. 1–12
 - 3 Jamali, S., Kazemi, A., Shateri, H.: 'Measured impedance for inter phase faults in presence of TCSC considering MOV operation'. IEEE Electrical Power and Energy Conf., Vancouver, BC, Canada, 6–7 October 2008
 - 4 Zhang, Y., Zhang, Q., Song, W., Yu, Y., Li, X.: 'Transmission line fault location for double phase-to-earth fault on non-direct-ground neutral system', IEEE Trans. Power Deliv., 2000, 15, (2), pp. 520–524
 - 5 Moore, P.J., Aggarwal, R.K., Jiang, H., Johns, A.T.: 'New approach to distance protection for resistive double-phase to earth faults using adaptive techniques', IEE Proc. Gener. Transm. Distrib., 1994, 141, (4), pp. 369–376
 - 6 Ahn, Y.-J., Kang, S.-H., Lee, S.-J., Kang, Y.-C.: 'An adaptive distance relaying algorithm immune to reactance effect for double-circuit transmission line systems'. IEEE Power Engineering Society Summer Meeting, 15–19 July 2001, vol. 1, pp. 599–604
 - 7 Jain, A., Thoke, A.S., Koley, E., Patel, R.N.: 'Fault classification and fault distance location of double circuit transmission lines for phase to phase faults using only one terminal data'. IEEE Third Int. Conf. on Power Systems, Kharagpur, India, 27–29 December 2009, Paper no: 41
 - 8 Eissa, M.M., Masoud, M.: 'A novel digital distance relaying technique for transmission line protection', IEEE Trans. Power Deliv., 2001, 16, (3), pp. 380–384
 - 9 Gilany, M.I., Malik, O.P., Hope, G.S.: 'A laboratory investigation of a digital protection technique for parallel transmission lines', IEEE Trans. Power Deliv., 1995, 10, (1), pp. 187–193
 - 10 Gilany, M.I., Malik, O.P., Hope, G.S.: 'A digital protection technique for parallel transmission lines using a single relay at each end', IEEE Trans. Power Deliv., 1992, 7, (1), pp. 118–125
 - 11 Parikh, U.B., Das, B., Maheshwari, R.P.: 'Combined wavelet-SVM technique for fault detection in a series compensated transmission line', IEEE Trans. Power Deliv., 2008, 23, (4), pp. 1789–1794
 - 12 Altuve, H.J., Mooney, J.B., Alexander, G.E.: 'Advances in series compensated line protection'. 62nd Annual Protective Relay Engineers Conf., Austin, TX, 27 May 2009, pp. 263–275
 - 13 Ghassemi, F., Goodarzi, J., Johns, A.T.: 'Method to improve digital distance relay impedance measurement when used in series compensated lines protected by a metal oxide varistor', IEE Proc. Gener. Transm. Distrib., 1998, 145, (4), pp. 403–408
 - 14 Erezzaghi, M.E.L., Crossley, P.A., Elferes, R.: 'Design and evaluation of an adaptive distance protection scheme suitable for series compensated transmission feeders'. Eighth IEE Int. Conf. on Developments in Power System Protection, 5–8 April 2004, pp. 453–456
 - 15 Jena, P., Pradhan, A.K.: 'A positive-sequence directional relaying algorithm for series-compensated line', IEEE Trans. Power Deliv., 2010, 25, (4), pp. 2288–2298
 - 16 Saha, M.M., Kasztenny, B., Rosolowski, E., Izykowski, J.: 'First zone

algorithm for protection of series compensated lines', IEEE Trans. Power Deliv., 2001, 16, (2), pp. 200–207

17 Saha, M.M., Izykowski, J., Rosolowski, E., Kasztenny, B.: 'A new accurate fault locating algorithm for series compensated lines', IEEE Trans. Power Deliv., 1999, 14, (34), pp. 789–797

18 Goldsworthy, D.L.L.: 'A linearized model for MOV-protected series capacitors', IEEE Trans. Power Deliv., 1987, 2, (4), pp. 953–957

19 Novosel, D., Phadke, A., Saha, M.M., Lindahi, S.: 'Problems and solutions for series compensated lines'. Sixth Int. Conf. on Developments in Power System Protection, Nottingham, 25–27 March 1997, Publication no. 434, pp. 18–23

20 Kasztenny, B.: 'Distance protection of series compensated lines – problems and solutions'. 28th Annual Western Protective Relay Conf., Spokane, 22–25 October 2001, pp. 1–34

21 Orejwo, E.K., Synal, B., Trojak, J.: 'Short HV transmission lines problems'. IEE Proc. Second Int. Conf. on Development in Power System Protection, London, 1980, Publication no. 185, pp. 196–200

22 Phadke, A.G., Ibrahim, M., Hlibka, T.: 'Fundamental basis for distance relaying with symmetrical components', IEEE Trans. Power Appar. Syst., 1977, 96, (2), pp. 635–646

23 Waikar, D.L., Elangovan, S., Liew, A.C.: 'Symmetrical component based improved fault impedance estimation method for digital distance protection Part I. Design aspects', Electr. Power Syst. Res., 1993, 26, (2), pp. 143–147

23 V.H. Makwana, B. Bhalja, 'New digital distance relaying scheme for phase faults on doubly fed transmission lines.' August 2011