دانشگاه زنجان

دانشکده مهندسی

گروه برق

پایان نامه کارشناسی

گرایش: قدرت

عنوان:

حفاظت خطوط انتقال جبران شده موازی بر مبنای حفاظت ضرایب انرژی

استاد راهنما:

دکتر کاظم مظلومی

نگارش:

امیرحسین قاسمی

بهمن ۱۳۹۷

تقدیم به:

پدر و مادرم

چکیده

استفاده از جبران کننده توان راکتیو (SVC)[۱] برای افزایش جریان برق در خط انتقال با بهبود مشخصات ولتاژ مورد استفاده قرار می‌گیرد.

SVC با تغییر سسپتانس خط، توان راکتیو را تزریق می‌کند. این تغییر در سسپتانس، چالش‌های جدیدی را برای تکنیک‌های حفاظت معمولی ارائه می‌دهد.

جهت استفاده از انرژی اضافه (SE)[۲]، می‌توان برای تشخیص بین خطاهای مقابل و معکوس استفاده کرد. با این حال، SE به پارامترهای مختلفی مانند محل خطا، نوع خطا و مقاومت خطا وابسته است. این وابستگی، انتخاب ارزش آستانه‌ی مناسب برای شناسایی فاز معیوب را مشکل می‌سازد؛ بنابراین، ضرایب انرژی (ECs)[۳] پیشنهاد شده و برای شناسایی جهت خطا و بیشتر طبقه‌بندی نوع خطا، مورد استفاده قرار می‌گیرند.

اگر هر دو رله خطای رو به جلو را حس کنند، به عنوان یک خطا در خط حفاظت شده شناخته می‌شد در غیر این صورت یک خطا خارج از منطقه حفاظت شده است.

از آنجا که انرژی وابسته به پارامترهای حقیقی خط است، این طرح مبتنی بر EC قابل اعتماد برای جبران توان راکتیو شنت متغیر است.

الگوریتم مبتنی بر EC، خطاها را در منطقه حفاظت شده حس می‌کند و نوع خطا را تحت شرایط مختلف سیستم تشخیص می‌دهد؛ یعنی تفاوت در محل‌های خطا، انواع خطا و مقاومت‌های خطا.

این طرح تحت تأثیر دینامیک SVC، مُدها و تغییرات در پیکربندی سیستم، نمی‌باشد.

---

۱ Static Var Compensator
۲ Superimposed Energy
۳ Energy Coefficients

فهرست مطالب

مقدمه ۱
فصل اول ۳
معرفی جبران کننده ایستای توان راکتیو SVC ۳
تعریف SVC ۴
مزایای SVC ۴
مزایای استفاده از SVC در سیستم توزیع ۵
مزایای استفاده از SVC در سیستم انتقال ۵
دسته بندی SVCها ۵
SVC نوع امپدانس متغیر ۵
انواع SVC با استفاده از مبدل‌های الکترونیک قدرت ۶
سیمولینک SVC استفاده شده در شبیه‌سازی MATLAB ۷
فصل دوم ۸
معرفی زون‌ها یا نواحی حفاظتی رله ۸
نواحی عملکرد رله دیستانس ۸
Zone1 .... ۸
Zone2 .... ۹
Zone3 .... ۹
فصل سوم ۱۱
طرح رله پیشنهادی مبتنی بر EC ۱۱
خطای مقابل ۱۱
خطای معکوس ۱۳
فصل چهارم ۱۵
پیاده سازی طرح و تأثیر دینامیک SVC ۱۵
پیاده‌سازی طرح در محیط MATLAB ۲۱

سیمولینک ۲۱
توضیح الگوریتم نوشته شده ۲۲
فصل پنجم ۲۶
نتایج ۲۶
ارزیابی طرح برای خطاهای تک‌فاز ۲۶
ارزیابی طرح برای خطاهای چند فازی ۲۹
عملکرد رله‌ای برای سیستم ۹ باسه IEEE ۳۱
فصل ششم ۳۴
جمع‌بندی ۳۴
بخش پایانی ۳۴
مراجع ۳۶

مقدمه

ادوات انعطاف پذیر AC سیستم انتقال (FACTS) برای رله حفاظتی مشکل‌ساز هستند [4]-[1]. مشکلات در حفاظت از مسیر به‌خاطر حضور جبران کننده توان راکتیو ایستا (SVC) در مقاله‌های [2] و [3] گزارش شده است.

مشاهده شده است که نواحی حفاظت شده توسط رله ممکن است در دسترس باشد ولی حضور SVC ممکن است باعث انتخاب فاز نادرست شود. در مقاله [2]، نتیجه گرفته شده است که احتمال رخداد خطای تکفاز بسیار زیاد است (۸۵٪ اتفاق)؛ در نتیجه، روش مرسوم حفاظت از راه دور برروی رله دیستانس، ترجیح داده می‌شود.

برای خط انتقال (TL)[1] جبران شده شنت، طرح‌های رله سازگار در مقاله‌های [5] و [6]، پیشنهاد شده‌اند که نسبتاً دقیق هستند و نتایج قابل اطمینانی ارائه می‌دهند. با این حال، مشکل طبقه‌بندی نوع خطا در مقالات گنجانده نشده است.

یک طرح حفاظت TL حفاظت کلی است که از اثرات under-reaching و over-reaching مصون می‌باشد، مقاله‌های [4] و [7]. با این حال طرح‌های حفاظتی کلی، از جمله طرح جریان دیفرانسیلی، در کل از کانال ارتباطی استفاده می‌کنند. علاوه بر این، طرح جریان دیفرانسیلی نمی‌توانست خطاهای مقاومت بالا را تشخیص دهد، مقاله‌های [8] و [9].

طرح رله اصلی که در مقاله [8] آمده نمی‌توان برای محافظت از خط جبران شده SVC به عنوان یک SVC برای هر سه فاز در طول یک خطا، استفاده کرد. بنا بر این، انتخاب فاز معیوب سخت خواهد بود. یک طرح رله بهبود یافته در مقاله [4] پیشنهاد شده است که تزریق SVC را حذف می‌کند و می‌تواند برای تشخیص خطاهای مقاومت بالا استفاده کرد. با این حال، این طرح به پارامترهای سیستم قدرت وابسته است. بنابراین، در مورد تغییرات پارامتر سیستم، تنظیمات رله باید به روز شود.

---

۱ Transmission Line

طرح یکپارچه مبتنی بر امپدانس، که در مقاله [14] پیشنهاد شده است، همچنین دارای محدودیت برای تشخیص خطای مقاومت بالا می‌باشد، مقاله [7].

روش تخمین موقعیت خطا برای سیستم جبران شده شنت در مقاله [10] با استفاده از تکنیک بهینه‌سازی و اعمال روش پیشنهادی، آگاهی از نوع خطا مورد نیاز است، که در مقاله [10] مورد بررسی قرار نمی‌گیرد. طرح‌های رله جهت‌دار مبتنی بر انرژی در مقاله‌های [11]-[14] پیشنهاد شده‌اند. طرح‌های مبتنی بر انرژی حتی در مورد تغییرات بزرگ در سیستم قدرت هم دقیق هستند. با این حال، از طرح مبتنی بر انرژی نمی‌توان برای طبقه‌بندی نوع خطا استفاده کرد چون به محل خطا، نوع خطا و مقاومت خطا بستگی دارد.

برای غلبه بر محدودیت‌های فوق‌الذکر، این مقاله یک ضرایب انرژی پایه (EC based)، الگوریتم رله برای خط انتقال SVC جبران شده ارائه می‌کند. این طرح از علامت و اندازه ECها برای تشخیص جهت خطا و همچنین شناسایی نوع خطا استفاده می‌کند.

EC یک فاز، نسبت انرژی اضافه (SE) همان فاز به حداکثر مقدار SE می‌باشد. جایی که SE یک ادغام زمانی از قدرت لحظه‌ای اضافی است که در باس رله اندازه‌گیری می‌شود. این ECs برای هر فاز به‌دست می‌آید و این ECs می‌توانند بیش‌ترین مقدار مثبت ۱ و حداقل مقدار منفی ۱ داشته باشند. EC با مقدار ماکزیمم برای یافتن جهت خطا در هر دو طرف رله اندازه‌گیری می‌شود. اگر منفی ۱ باشد خطا در جهت مقابل، و اگر مثبت ۱ باشد، خطا در جهت معکوس می‌باشد.

ECs فقط در هنگام رخداد خطا و در دو طرف رله اندازه‌گیری می‌شوند. اگر هر دو رله خطای رو به جلو را حس کنند، آن‌ها از طریق یک کانال ارتباطی منتقل می‌شوند و یک سیگنال trip خواهد شد.

اگر خطای تک فاز شناسایی شود، tripping تک قطب مورد نظر است. برای تسهیل tripping تک قطب، طرح پیشنهادی همچنین نوع خطا را طبقه‌بندی می‌کند. اگر مقدار EC هر فاز کمتر از حد آستانه باشد، آنگاه آن فاز خاص به عنوان یک فاز معیوب فرض می‌شود.

در صورت شناسایی خطا در بیش از یک فاز، یک خطای چند فازی تشخیص داده می‌شود.

فصل اول

معرفی جبران کننده ایستای توان راکتیو SVC

یکی از مسائل بسیار مهم در سیستم‌های قدرت این امر است که ولتاژ در نقاط مختلف ثابت بوده و جریان‌ها و ولتاژها عاری از هارمونیک باشند. به غیر از این موارد به دلایل اقتصادی و فنی می‌خواهیم ضریب توان تا حد امکان و با حداقل هزینه در نقاط مختلف شبکه به ۱ نزدیک شود.

اما با توجه به گستردگی سیستم‌های قدرت مخصوصا در بخش انتقال و فوق توزیع، دستیابی به شرایط مذکور به طور ایده‌آل غیر ممکن می‌باشد.

یکی از روش‌های دستیابی به اهداف بالا کنترل توان راکتیو می‌باشد. یکی از پیشرفته‌ترین ادوات که با پیشرفت ساخت ادوات نیمه هادی با توان بالا به بازار عرضه شده است، SVCها می‌باشد.

اولین حضور SVC در دنیای صنایع الکتریکی به سال‌های ۱۹۶۰ باز می‌گردد، که برای جبران کوره‌های قوس الکتریکی و جلوگیری از چشمک زدن ولتاژ استفاده شد. اما به دلیل مزایای زیاد بسیار زود برای کاربردهای دیگر مورد توجه قرار گرفت.

SVC اولین بار در سال ۱۹۷۸ بطور علمی در شبکه قدرت مورد استفاده قرار گرفت. به علت مزایای بسیار SVC و همچنین پیشرفت در امر فن‌آوری نیمه هادی‌های قدرت با توان بالا و ولتاژ بالا و کاهش قیمت آنان، همچنین ارائه روش‌های کنترل جدید، SVCها توسعه فراوانی یافته‌اند.

به عنوان مثال تا سال ۱۹۸۸ در کانادا و آمریکا ظرفیت نصب شده از این نوع جبران کننده ۹۷۱۰ مگاوار برای خطوط انتقال و ۱۷۶۰ مگاوار برای مصارف صنعتی بوده است. یا طبق آمار دیگری تا سال ۱۹۹۰ در حدود ۱۹۵ مورد SVC که کل ظرفیت آنها بالغ بر ۳۱۰۰۰ مگاوار می‌باشد، در شبکه قدرت نصب و راه‌اندازی شده که بیش از ۹۵ درصد از این ظرفیت سهم SVCهای قابل کنترل با تریستور می‌باشند.

تعریف SVC

SVC یک وسیله یا سیستم الکتریکی ساکن است که می‌تواند جریان راکتیو خازنی یا سلفی از سیستم قدرت بکشد و به این ترتیب توان راکتیو تولید یا جذب کند. این منبع تولید توان راکتیو بایستی به صورت موازی به شبکه متصل شود و خروجی آن بگونه‌ای تغییر کند که پارامترهای مشخصی از سیستم قدرت را کنترل کند.

مفهوم استاتیک در SVC به این معنی است که برخلاف جبران کننده‌های سنکرون، دارای اجزاء چرخنده و متحرک نمی‌باشد و این ویژگی سبب می‌شود پاسخ سریعتری به تغییرات شبکه بدهد (پاسخ‌گویی در ۳ سیکل به جای ۳۰ سیکل در کندانسورهای سنکرون). در ضمن نداشتن جزء گردان باعث کاهش خرابی و کم شدن هزینه تعمیرات می‌شود.

مزایای SVC

موارد زیر را می‌توان از مزایای کاربرد SVC در مقابل سایر جبران کننده‌های توان راکتیو نام برد.

۱- پاسخ سریع
۲- قابلیت انعطاف زیاد
۳- قابلیت اطمینان خوب
۴- متعادل کردن فازها
۵- محدود کردن اضافه ولتاژ ماندگار و گذرا
۶- نداشتن اینرسی چرخان
۷- راه‌اندازی سریع با حداقل حالت گذرا
۸- هزینه کارکرد کم
۹- عدم تغذیه اتصال کوتاه (به علت این که SVC از عناصر پسیو تشکیل شده است)
۱۰- سادگی کنترل
۱۱- تامین توان راکتیو برای مبدل‌های AC-DC
۱۲- میرا نمودن نوسانات زیرسنکرون
۱۳- افزایش حد پایداری گذرا

از SVC در هر دو سـطح انتقال و توزیع می‌توان استفاده کرد که در هر کدام از این دو سطح مزایای خاص خود را نیز دارا است.

مزایای استفاده از SVC در سیستم توزیع

۱- تنظیم و جلوگیری از فروپاشی ولتاژ
۲- بهبود ضریب توان
۳- متعادل کردن بار
۴- حذف هارمونیک

مزایای استفاده از SVC در سیستم انتقال

۱- تنظیم و جلوگیری از فروپاشی ولتاژ
۲- افزایش پایداری گذرا
۳- افزایش میرائی سیستم انتقال

دسته بندی SVCها

SVCها به دو دسته عمده تقسیم می‌شوند:

SVC نوع امپدانس متغیر

در روش امپدانس متغیر که قدیمی‌تر می‌باشـد با وارد یا خارج شدن عناصر ذخیره کننده انرژی که قادر به تولید یا جذب توان راکتیو هستند یا با کنترل جریان عبوری از آنها توان راکتیو کنترل می‌شود.

از انواع SVCهای امپدانس متغیر می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

أ- خازن سوئیچ شونده تریستوری (TSC)[۱]

۱ Thyristor Switched Capacitor

ب- سلف کنترل شده با تریستور (TCR)[۱]

ت- سلف کنترل شده با تریستور همراه با خازن (FC-TCR)[۲]

انواع SVC با استفاده از مبدل‌های الکترونیک قدرت

در این روش از عناصر ذخیره کننده انرژی مانند سلف یا خازن به طور واقعی و به منظور تولید توان راکتیو استفاده نمی‌شود، بلکه از یک مبدل الکترونیک قدرت و از خاصیت غیر خطی بودن آن برای تولید یا جذب توان راکتیو استفاده شده است و با کنترل نحوه کلیدزنی کلیدهای قدرت، توان راکتیو کنترل می‌شود.

از انواع این قسم SVC می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

أ- با استفاده از مبدل‌های مستقیم AC/AC

ب- با استفاده از مبدل DC/AC

ت- با استفاده از اینورتر منبع جریان

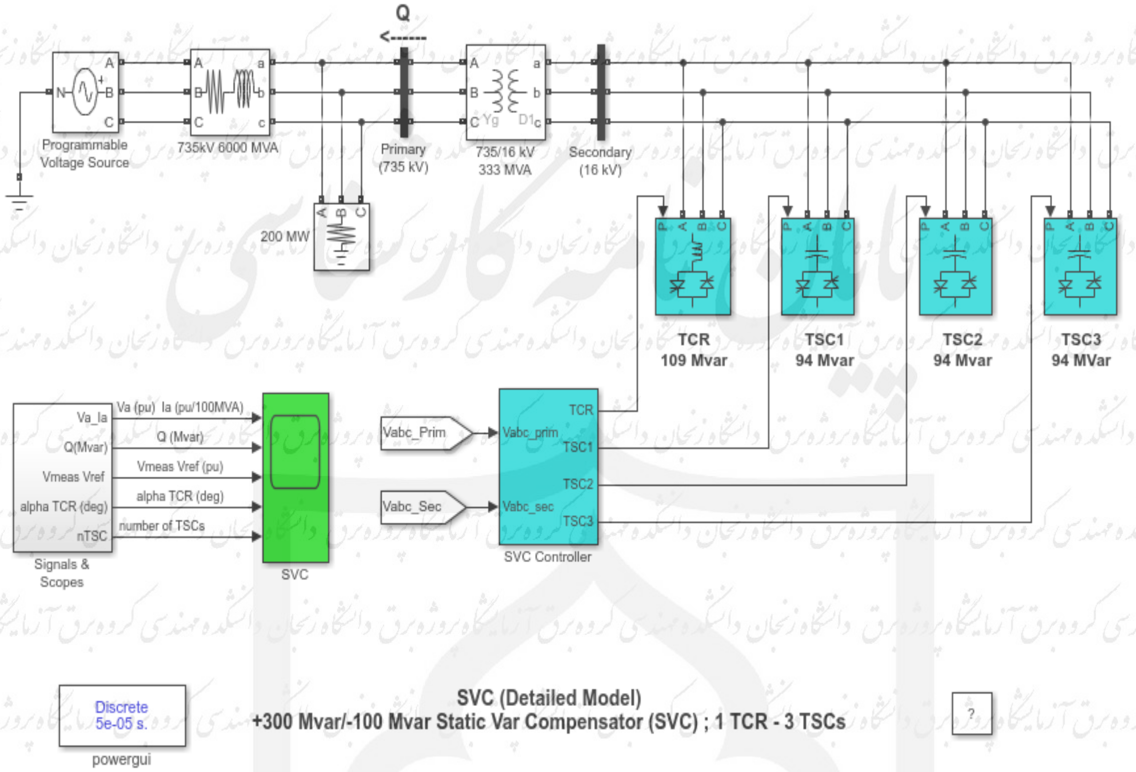
ث- با استفاده از اینورتر منبع ولتاژ

---

۲ Thyristor Controlled Reactor

۳ Fixed Capacitor-Thyristor Controlled Reactor

سیمولینک SVC استفاده شده در شبیه‌سازی MATLAB:



تصویر ۱-۱

دانشجویان محترم:

جهت دسترسی به متن کامل پایان نامه‌ها به کتابخانه دانشکده مهندسی و یا آزمایشگاه پروژه گروه برق مراجعه فرمایید.

فصل ششم

جمع‌بندی

عموما اجزای خط انتقال (مقاومت‌ها) در طی توســـعه شـــرایط حفاظتی نادیده می‌شـــوند. با این حال در الگوریتم پیشـنهادی، هر دو عنصر (یعنی بخش‌های حقیقی و موهومی خط انتقال و امپدانس منبع) در حین شکل‌گیری شرایط رله‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند.

مزیت رله‌ی پیشـنهادی این اسـت که تنها در صـورتی ارتباط برقرار می‌کند که سیگنال هشدار با توجه به رابطه ۲-۴ ایجاد شود. علاوه بر این، شرایط پیشنهاد شده بلافاصله پس از وقوع خطا ایجاد شده و تا زمانی که خطا مشـخص نشود باقی می‌ماند. این امر امکان برقراری ارتباط بین رله انتهایی محلی و دورترین رله انتهایی را فراهم می‌کند، که به دلیل کدگذاری و رمزگشـایی، حدود ۱۰ میلی‌ثانیه طول می‌کشد. علاوه بر این، معیار پیشنهادی برای انحراف‌های پارامتری سیستم سازگار است.

در مورد اصـلاح در پارامترهای خط و یا طول خط، مقدار آسـتانه رابطه ۴-۲ باید فقط به روز رسـانی شود. این مقدار آسـتانه، به جریان خط ارزیابی شـده، بستگی دارد و می‌تواند به آسانی به‌روز شود. به‌خاطر تأثیرات جفت شـدن متقابل، فازهای سـالم نیز مختل شـده و برخی از SE را دارند. بااین‌حال، این انرژی در مقایسه با انرژی فاز معیوب، بسیار کوچک است.

بخش پایانی

- یک طرح رله مبتنی بر جهت داری برای خط انتقال (TL) جبران شـــده شـــنت در این مقاله ارائه شده‌است.
- از ECها برای شناسایی جهت خطا استفاده می‌شود.
- برای خطا در جهت معکوس، مقدار EC مثبت و برای خطا در جهت مقابل، مقدار EC منفی است.
- عملکرد الگوریتم پیشـنهادی با کمک شـبیه‌سـازی‌های PSCAD/EMTDC (در شـبیه سازی ما با MATLAB) ارزیابی شد.

- طرح رله به‌طور مؤثری خطاهای داخلی تحت شرایط خرابی مختلف را شناسایی می‌کند.
- علاوه بر این، این طرح با تغییرات در پیکربندی سیستم سازگار است.
- این طرح با موفقیت روی سیستم تست ۹ باسه IEEE مورد آزمایش قرار گرفته‌است.

پایان نامه کارشناسی
آزمایشگاه پروژه برق

مراجع

[1] F. A. Albasri, T. S. Sidhu, and R. K. Varma, “Performance comparison of distance protection schemes for shunt-FACTS compensated transmission lines,” IEEE Trans. Power Deliv., vol. 22, no. 4, pp. 2116–2125, Oct. 2007.

[2] A. Ghorbani, M. Khederzadeh, and B. Mozafari, “Impact of SVC on the protection of transmission lines,” Int. J. Electr. Power Energy Syst., vol. 42, no. 1, pp. 702–709, Nov. 2012.

[3] M. A. Bhaskar and A. Indhirani, “Impact of FACTS devices on distance protection in transmission system,” in 2014 IEEE National Conference on Emerging Trends In New & Renewable Energy Sources And Energy Management (NCET NRES EM), 2014, pp. 52–58.

[4] O. H. Gupta and M. Tripathy, “An innovative pilot relaying scheme for shunt-compensated line,” IEEE Trans. Power Deliv., vol. 30, no. 3, pp. 1439–1448, Jun. 2015.

[5] A. R. Singh and S. S. Dambhare, “Adaptive distance protection of transmission line in presence of SVC,” Int. J. Electr. Power Energy Syst., vol. 53, pp. 78–84, Dec. 2013.

[6] A. Manori, M. Tripathy, and H. O. Gupta, “SVM based zonal setting of Mho relay for shunt compensated transmission line,” Int. J. Electr. Power Energy Syst., vol. 78, pp. 422–428, Jun. 2016.

[7] O. H. Gupta and M. Tripathy, “An integrated impedance based pilot protection scheme for SVC compensated transmission line,” in 2014 International Conference on Power, Control and Embedded Systems (ICPCES), 2014, pp. 1–6.

[8] J. Suonan, K. Liu, and G. Song, “A novel UHV/EHV transmission-line pilot protection based on fault component integrated impedance,” IEEE Trans. Power Deliv., vol. 26, no. 1, pp. 127–134, Jan. 2011.

[9] S. He, J. Suonan, and Z. Q. Bo, “Integrated impedance-based pilot protection scheme for the TCSC-compensated EHV/UHV transmission lines,” IEEE Trans. Power Deliv., vol. 28, no. 2, pp. 835–844, Apr. 2013.

[10] M. Ghazizadeh-Ahsaee and J. Sadeh, “Accurate fault location algorithm for transmission lines in the presence of shunt-connected flexible AC transmission system devices,” IET Gener. Transm. Distrib., vol. 6, no. 3, pp. 247–255, Mar. 2012.

[11] Liu Shiming, Yin Xianggen, Chen Deshn, and Tao Huiliang, “Fault component negative-sequence energy direction protection for generators,” in 2000 IEEE Power Engineering Society Winter Meeting. Conference Proceedings (Cat. No.00CH37077), 2000, vol. 3, pp. 1878–1882.

[12] Z. Li, Y. Li, G. Fu, and B. Li, “Directional protection based on fault component energy function in micro-grid,” in IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies, 2012, pp. 1–5.

[13] Yan Gao, Xiangning Lin, Qing Tian, and Pei Liu, “A novel principle of energy directional protection for powerformer,” in 2006 IEEE Power Engineering Society General Meeting, 2006, pp. 1–6.

[14] Benteng He, Huafeng Jin, and Ju Li, “The energy based directional protection of transmission lines,” in POWERCON ’98. 1998 International Conference on Power System Technology. Proceedings (Cat. No.98EX151), 1998, vol. 2, pp. 1163–1167.

[15] “PSCAD/EMTDC - 4.5.2.0: Electromagnetic transients program including dc systems.” Manitoba HVDC Research Centre, Winnipeg, Manitoba, Canada, 2013.

[16] O. H. Gupta and M. Tripathy, “Superimposed energy-based fault detection and classification scheme for series-compensated line,” Electr. Power Components Syst., vol. 44, no. 10, pp. 1095–1110, Jun. 2016.

[17] H. Gao and P. A. Crossley, “Design and evaluation of a directional algorithm for transmission-line protection based on positive-sequence fault components,” IEE Proc. - Gener. Transm. Distrib., vol. 153, no. 6, pp. 711–718, Nov. 2006.

[18] M. T. Hagh, H. Seyedi, and S. M. Hashemi, “High-speed relaying scheme for protection of transmission lines in the presence of thyristorcontrolled series capacitor,” IET Gener. Transm. Distrib., vol. 8, no. 12, pp. 2083–2091, Dec. 2014.

[19] “IEEE 9-bus test system,” Illinois Center for a Smarter Electric Grid(ICSEG). [Online]. Available: http://publish.illinois.edu/smartergrid/case-1-ieee-9-bus-systems