

## بهبود عملکرد رله دیستانس در حضور خازن سری کنترل شده با تریستور (TCSC)

حامد حیدری<sup>۱</sup>، امیر قربانی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی برق، دانشگاه آزاد اسلامی واحد ابهر، ابهر، ایران

h.heydari@abhariau.ac.ir

<sup>۲</sup> استادیار، دانشکده مهندسی برق، دانشگاه آزاد اسلامی واحد ابهر، ابهر، ایران

ghorbani.a@abhariau.ac.ir

چکیده - رله های دیستانس به کمک اندازه گیری امپدانس خط انتقال وجود خطا در خط را تشخیص می دهند. یکی از عواملی که باعث کاهش امپدانس محاسبه شده توسط رله می شود و باعث افزایش برد رله می شود، خازن سری کنترل شده با تریستور (TCSC<sup>۱</sup>) در خط انتقال می باشد. عامل دیگر وجود مقاومت خطا است که سبب افزایش امپدانس محاسبه شده توسط رله و کاهش برد آن می شود که سبب عدم تشخیص خطا توسط رله می شود. در این روش مقادیر توان اکتیو و راکتیو در دو انتهای خط محاسبه می شود به طوری که از روی مقدار توان اکتیو، مقاومت خطا و از روی توان راکتیو، ولتاژ دوسر خازن محاسبه می شود. این ولتاژ از ولتاژ اندازه گیری شده توسط رله کاسته می شود و باعث از بین رفتن اثر (TCSC) در محاسبات رله می شود. در این مقاله از مدل با جزئیات کامل (TCSC) استفاده شده است و بررسی ها شامل انواع خطاها در محل های مختلف و با انواع مختلف مقادیر مقاومت خطا ها می باشد. نتایج نشان می دهد که روش ارائه شده در تمامی حالات بررسی شده از دقت کافی برخوردار می باشد.

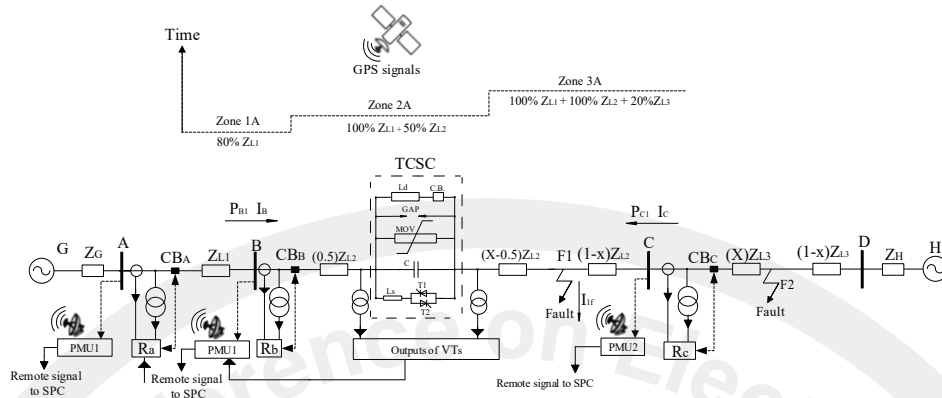
کلید واژه- حفاظت دیستانس، خازن سری کنترل شده با تریستور (TCSC)، خطوط انتقال، مقاومت خطا ( $R_f$ )

ناپایداری ناحیه حفاظتی رله می گردد پرداخته است. در مرجع [۴] عملکرد اشتباه رله ی دیستانس در انواع خطاهای یک فاز به زمین، دو فاز و سه فاز در حالتی که TCSC در انتهای خط دوم قرار دارد مورد بررسی قرار گرفته است. در مرجع [۵] به بررسی امپدانس سنجیده شده رله ی دیستانس که متأثر از رابطه با افزایش برد رله دیستانس در حضور TCSC در نقاط دور خط دوم یک خط انتقال دو مداره که تحت تأثیر از عملکرد MOV می باشد و به عواملی چون: شرایط ساختاری سیستم قدرت، بار گذاری قبل از خطا، خطای یک فاز به زمین می باشد با حافظه ولتاژ توالی مثبت در حضور TCSC پرداخته شده است. در مرجع [۶] که امپدانس سنجیده شده در محل رله گذاری شده در حضور TCSC یا حتی در حالتی که TCSC در فاصله دور در خط دوم نصب شده است و به شدت تحت تأثیر قرار می گیرد را مورد تحلیل قرار داده است.

عامل دیگری که عملکرد رله ی دیستانس را دچار اختلال می کند مقاومت خطا می باشد. برای برطرف کردن اثر آن تحقیقاتی صورت گرفته شده است. مرجع [۷] روش حل معادلات دیفرانسیل خطی مربوطه را ارائه داده است که می تواند به درستی اثرات منفی مقاومت خطا را بر روی امپدانس ظاهری در خطوط انتقال کوتاه را برطرف کند. مرجع [۸] روش جبران مقاومت خطا در تعدیل فاز ارائه شده است. مطالعات نشان می دهد که روش یاد شده سبب بهبود عملکرد رله

### ۱- مقدمه

با افزایش روزافزون مصرف انرژی الکتریکی، نیاز به تولید و انتقال توان نیز افزایش یافته است. یکی از روش های مدرن افزایش توان انتقالی خطوط انتقال به کمک ادوات FACTS<sup>۲</sup> می باشد. این مجموعه که بر پایه الکترونیک قدرت می باشد قابلیت کنترل و افزایش ظرفیت انتقال توان شبکه را بهبود می بخشد [۱]. این ادوات با تغییر امپدانس، ولتاژ و جریان خطوط انتقال، باعث افزایش پایداری سیستم، افزایش توان انتقالی و بهبود پروفایل ولتاژ سیستم می شوند و در نتیجه در عملکرد رله های خط انتقال تأثیر می گذارند. یکی از پرکاربردترین ادوات فکتس استفاده از TCSC که با کاهش راکتانس خط انتقال، توان انتقالی را افزایش می دهد. این موضوع سبب ایجاد اختلال در عملکرد رله ها می گردد. مقالات متعددی در این زمینه ارائه شده اند. در مرجع [۲] به بررسی اثر TCSC بر روی امپدانس ظاهری اندازه گیری شده رله دیستانس با بهره گیری از پارامترهای کنترل TCSC و تغییر در محل نصب TCSC که بر امپدانس اندازه گیری شده رله دیستانس تأثیر می گذارد پرداخته شده است. مرجع [۳] به بررسی اثر TCSC در حین خطای یک فاز به زمین بر مشخصه راکتانس و جهت آن در رله ی دیستانس موهو که موجب



شکل ۱: دیاگرام تک خطی شبکه قدرت با حضور TCSC در وسط خط

## ۲- بررسی تحلیلی تأثیر TCSC در عملکرد رله ی دیستانس

دیاگرام تک خطی سیستم قدرت مورد مطالعه در شکل (۱) نشان داده شده است. در این شکل TCSC در وسط خط قرار داده شده است. شبکه های توالی مثبت، منفی و صفر از دید رله دیستانس  $R_A$  نیز در شکل (۳) آورده شده است. مراحل زیر جهت مدل سازی رله های دیستانس اعمال می شود:

- نمونه سیگنال هایی که از خروجی C.T ها و P.T ها پس از عبور از فیلترهای پایین گذر حاصل می شوند.
- نمونه سیگنال های فازوری که از روش تبدیل فوریه گسسته تمام سیکل به دست می آیند.

این مقاله حالت خطای فاز A به زمین (A-G) از خطاهای مختلف مورد بررسی قرار داده است که لازم به ذکر است رفتار انواع دیگر خطا مانند (B-G) و (C-G) نیز مشابه همین حالت می باشند. برای مثال معادله زیر مربوط به حالت (A-G) رله های دیستانس معمولی است:

$$Z_{A-G} = \frac{V_R}{I_R + \left[ \frac{(Z_{0L} - Z_{1L})}{Z_{1L}} \right] \cdot I_{0R}} \quad (1)$$

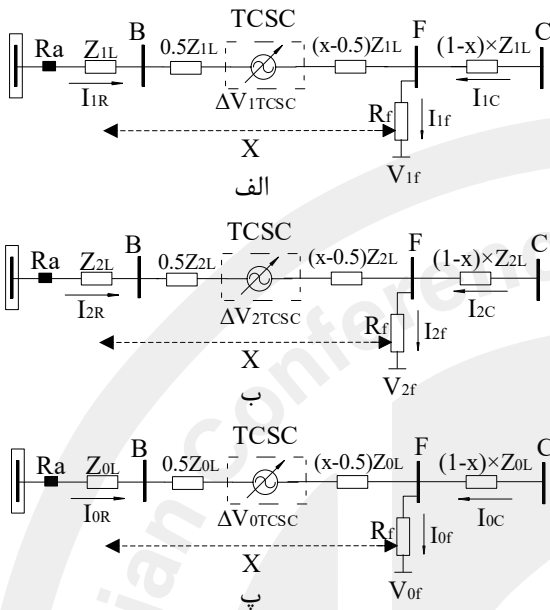
از آن جایی که  $I_R = I_{1R} + I_{2R} + I_{0R}$  می باشد و  $I_{1R}$  و  $I_{2R}$  و  $I_{0R}$  به ترتیب جریان های فاز خط انتقال (توالی های صفر و منفی و مثبت) در محل رله می باشند. هم چنین  $V_R = V_{1R} + V_{2R} + V_{0R}$  و ولتاژ توالی های فاز صفر و منفی و مثبت در محل رله می باشند. رله های دیستانس سه زون دارند. این زون ها برای رله ی  $R_A$  در شکل (۱) نشان داده شده اند. زون های دیگر نیز شبیه همین شکل هستند. در زون ۱ رله بلافاصله بدون هیچ تأخیری پاسخ می دهد، در زون های ۲ و ۳ رله با کمی تأخیر پاسخ می دهد. در بخش های بعدی اثرات TCSC بر روی عملکرد رله ی دیستانس با روش های تحلیلی مورد بررسی قرار گرفته است. در این مقاله دو نوع رله ی دیستانس شبیه-

می شود. در مرجع [۹] جریان منفی، صفر، جامع منفی، توالی صفر جهت تخمین امپدانس خطا به کار برده می شود. در منبع [۱۰] اطلاعات مربوطه به انتهای محل، جهت جبران اثرات مخرب مقاومت خطا بر روی رله ها به کار رفته است که این روش اثر خطاها را در رله های معمولی می کاهش دهد. مرجع [۱۱] نوعی از رله ی دیستانس تطبیقی با ولتاژ پلاریزه ی مرکب را مورد بررسی قرار داده است.

در این مقاله روشی ارائه شده است که قادر است همزمان اثر هر دو عامل مقاومت خطا و TCSC را از بین ببرد. این روش ترکیب دو روش حفاظتی دیستانس و دیفرانسیلی می باشد. به طوری که در ابتدا از روی اطلاعات جریان دو انتهای خط، وجود خطا شناسایی می شود. سپس از روی اطلاعات ولتاژ و جریان دو انتهای خط، مقادیر توان اکتیو و راکتیو دو انتهای خط محاسبه می شوند. از روی مقدار توان اکتیو مقدار مقاومت خطا حاصل می شود. و از روی مقدار توان راکتیو ولتاژ دو سر TCSC به دست آورده می شود. سپس به کمک الگوریتم جدید محل خطا با دقت بالا شناسایی می شود. به عبارتی در روش ارائه شده هم اثر  $R_f$  و هم اثر TCSC از بین برده شده به طوری که برخلاف حفاظت دیفرانسیل معمولی، محل خطا نیز به دست آورده می شود. مزایایی این کار عبارتند از:

- هم زمان هم اثر TCSC و اثر  $R_f$  از بین برده می شود.
- اثر TCSC در تمامی خطاها من جمله یک فاز به زمین، فاز به فاز و سه فاز از بین رفته است.
- محاسبه  $R_f$  (خطا) وابسته به پارامترهای خط انتقال نمی باشد در نتیجه اشتباه در اندازه گیری پارامترهای خط تأخیری در نتیجه محاسبات ندارد.
- این روش محاسبات ساده تری دارد و در آن از شبکه های عصبی و فازی و ... استفاده نشده است.

سازی شده است. نوع اول رله ی دیستانس معمولی است که توانایی سنجش  $R_f$  را ندارد. رله دوم می تواند با کمک سیگنال های منتقل شده ی واحد های اندازه گیری فازوری  $(PMU)^x$ ،  $R_f$  را تشخیص دهد. شبکه های توالی منفی و صفر و مثبت سیستم قدرت از دید رله ی دیستانس  $R_a$  در شکل ۲) نشان داده شده است. این شبکه ها از دید رله ی  $R_a$  بررسی می شوند. ولتاژ توالی مثبت رله در محل رله ی  $R_a$  می تواند به صورت زیر توصیف گردد :



شکل ۲: شبکه های توالی

(الف) توالی مثبت، (ب) توالی منفی، (پ) توالی صفر

$$V_{1R} = (Z_{1L} + Z_{1TCSC} + xZ_{1L})I_{1R} + R_f I_{1f} + V_{1f} + \Delta V_1 \quad (2)$$

ولتاژهای توالی صفر و منفی ( $V_{2R}, V_{0R}$ ) مشابه (۲) می باشند با این تفاوت که اندیس های ۱ به ۲ و ۰ تغییر می کنند. برای یک خطای ساده یک فاز به زمین داریم :

$$V_{1f} + V_{2f} + V_{0f} = 0 \quad (3)$$

$$V_R = V_{1R} + V_{2R} + V_{0R} = (Z_{1L} + Z_{1TCSC} + xZ_{1L})I_R + ((Z_{0L} + Z_{0TCSC} + xZ_{0L}) - (Z_{1L} + Z_{1TCSC} + xZ_{1L}))I_{0f} + \Delta V + I_f R_f \quad (4)$$

$$I_f = I_{1f} + I_{2f} + I_{0f} \quad (5)$$

$$\Delta V = \Delta V_1 + \Delta V_2 + \Delta V_0 \quad (6)$$

در شبکه توالی مثبت در شکل (۲) برای یک خطای A-G، امپدانس ظاهری دیده شده توسط  $R_b$  به صورت (۷) است که با جاگذاری (۴) در (۱) خواهیم داشت:

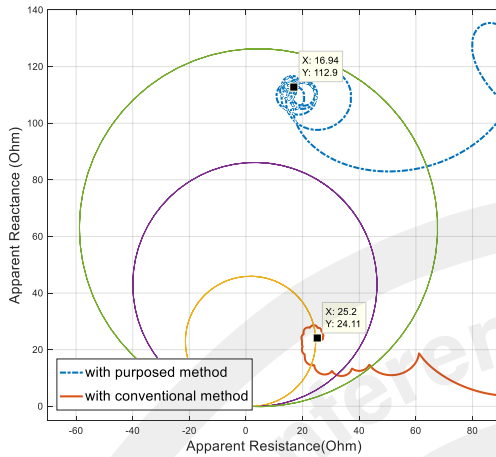
$$Z_{A-G} = \frac{V_R}{I_R + \left[ \frac{(Z_{0L} - Z_{1L})}{Z_{1L}} \right] I_{0R}} = \frac{V_R}{I_{relay}} = xZ_{1L} + \frac{I_f}{I_{relay}} R_f + \frac{\Delta V_{TCSC}}{I_{relay}} \quad (7)$$

با توجه به (۷) دیده می شود که امپدانس محاسبه شده توسط رله شامل سه بخش می باشد :

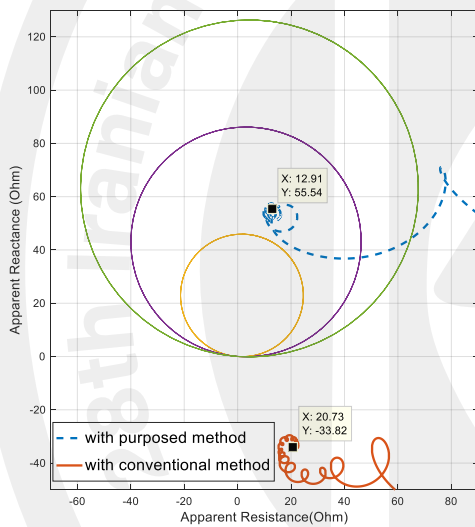
بخش اول:  $xZ_{1L}$ ، این مقدار امپدانس خط انتقال از محل رله یا محل خطا می باشد که با توجه به آن محل خطا به دست می آید. به عبارتی در حالت عادی امپدانس محاسبه شده توسط رله بایستی برابر این مقدار باشد. بخش دوم:  $\Delta Z_{Rf}$ ، این بخش مربوط به اثر  $R_f$  می باشد که باعث تغییر امپدانس محاسبه شده از مقدار عادی ( $xZ_{1L}$ ) می شود. بخش سوم:  $\Delta Z_{TCSC}$ ، این بخش نشانگر اثر TCSC در امپدانس محاسبه شده توسط رله می باشد، که دیده می شود با در دست داشتن مقدار  $\Delta V_{TCSC}$  می توان اثر آن را در امپدانس سنجیده شده توسط رله از بین برد. این موضوع در بخش نتایج مدل سازی (بخش ۳) مفصل آورده شده است.

### ۳- نتایج مدل سازی

TCSC شامل یک خازن و راکتور کنترل شده با تریستور موازی در هر فاز می باشد. TCSC در حالت خازنی یا القایی عمل می کند، هرچند حالت القایی در عمل به ندرت استفاده می شود. از آن جایی که رزنانس در TCSC در حدود ۵۸ درجه زاویه آتش رخ می دهد، عملکرد در محدوده ی ۴۹ درجه تا ۶۹ درجه زاویه آتش منع می گردد. توجه شود که رزنانس برای کل سیستم حدود ۶۷ درجه می باشد. در این بخش نتایج مدل سازی های صورت گرفته آورده شده است. خطا در ۴۰۰ کیلومتری از رله  $R_a$  و ۲۰۰ کیلومتری از رله  $R_b$  رخ داده است. روش ارائه شده با روش قدیمی مقایسه شده است و نتایج در شکل های (۳) و (۴) آورده شده اند. با توجه به شکل های (۳) و (۴) دیده می شود با حذف تأثیر TCSC، هر دو رله  $R_a$  و  $R_b$  به درستی خطا را در محل خود شناسایی کرده اند. این خطا در زون ۳  $R_a$  و زون ۲  $R_b$  قرار دارد که دیده می شود بدون TCSC هر دو رله به درستی عمل کرده اند. از نتایج به دست آمده در شکل ۵ و ۶ مشاهده می شود که وجود TCSC عملکرد رله ها را دچار اختلال کرده است. به طوری که رله  $R_a$  خطا را به اشتباه در زون ۱ خود شناسایی کرده است و رله  $R_b$  خطا را در هیچ یک از زون های خود شناسایی نکرده است، که این عمل سبب می شود حفاظت پشتیبان از بین برود و یا ممکن است  $R_a$  زودتر از  $R_b$  عمل کند. این تشخیص



شکل ۳: امپدانس ظاهری دیده شده توسط رله  $R_a$  در خطای A-G واقع در ۴۰۰ کیلومتری با حضور TCSC



شکل ۴: امپدانس ظاهری دیده شده توسط رله  $R_b$  در خطای A-G واقع در ۲۰۰ کیلومتری با حضور TCSC

همان طور که در شکل ها ملاحظه می شود اعمال این روش می تواند اثرات مخرب TCSC را بر روی رله های دیستانس تحت تمامی شرایط عملکرد به راحتی حذف کند. با توجه به نتایج شبیه سازی، از آن جایی که رله ها در حضور TCSC نمی توانند خطاها را تشخیص دهند و این یک عیب بزرگ برای سیستم قدرت محسوب می شود، بنابراین روش تطبیقی ارائه شده برای استفاده در سیستم های مربوطه جهت حذف خطرات احتمالی ناخواسته پیشنهاد می شود. باید یادآوری شود که در تمامی شبیه سازی های این بخش  $R_f$  برابر صفر اهم در نظر گرفته شده بود. در بخش بعدی، اثرات  $R_f$  بر روی نتایج شبیه سازی ها مورد بررسی قرار گرفته است.

اشتباه در رله ی دیستانس به دلیل اثر خازنی TCSC در امپدانس سنجیده شده رله رخ می دهد.

راکتانس خازنی TCSC سبب کاهش راکتانس سلفی امپدانس خطا می شود. در نتیجه رله خطا را در زون نادرست تشخیص می دهد. پس از اعمال الگوریتم جدید، اثر TCSC بر روی عملکرد رله از بین رفته است. رله  $R_a$  خطا را به درستی در زون ۳ خود تشخیص داده است. به همین ترتیب رله  $R_b$  نیز خطا را به درستی در زون ۲ خود شناسایی کرده است.

#### ۴- مدار معادل TCSC

در این روش، مدار معادل TCSC که در آن امپدانس (بیشتر به صورت راکتانس خازنی) و ولتاژ سری آن ملاحظه می شود. بهترین روش برای اعمال این مقادیر در محاسبات رله ی دیستانس این است که کل مدار معادل را به صورت یک منبع ولتاژ متغییر در نظر بگیریم. به عبارت دیگر جهت جریان در امپدانس متغییر TCSC مثل یک ولتاژ متغییر عمل می کند، بنابراین با توجه به مقدار ولتاژ اعمال شده در شکل (۱)، می توان نوشت:

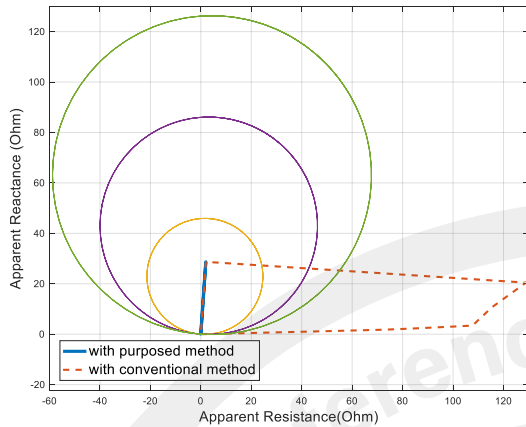
$$\Delta V_{TCSC} = \Delta V + (Z_{TCSC} \times I) \quad (8)$$

$\Delta V_{TCSC}$ : اختلاف ولتاژ بین ترمینال های TCSC است که حالا (۱) را می توان به صورت زیر نوشت:

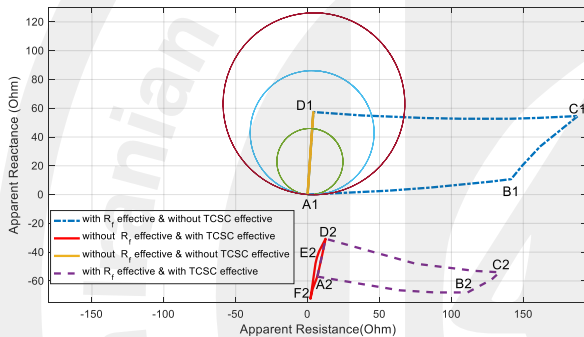
$$Z_{A-G} = \frac{V_R - \Delta V_{TCSC}}{I_R + [(Z_{OL} - Z_{1L}) / Z_{1L}] I_{OR}} \quad (9)$$

در  $\Delta V_{TCSC}$  (۸) محاسبه می شود و سپس به محل رله ارسال می گردد تا از ولتاژ سنجیده شده ی رله کاسته شود. سیگنال نتیجه به کمک سیستم سیگنال از راه دور به  $SPC^4$  ارسال می گردد. در مرکز حفاظت سیستم (SPC) سیگنال ها توسط  $GPS^5$  هماهنگ می شوند [۱۳]. امپدانس های محاسبه شده توسط رله های تطبیقی (حالت مربوط به حضور TCSC در خط) برای خطای A-G (۴۰۰ کیلومتر از رله ی  $R_a$ ) در شکل (۳) نشان داده شده است. علاوه بر این، نتایج رله های معمولی (حالت بدون حضور TCSC) در این شکل با رله های تطبیقی مقایسه شده اند. همان طور که این روش به طور ویژه ای اثر TCSC در هر دو رله به حداقل می رساند، با توجه به نتایج مشاهده می شود که روش جدید مشکل کاهش برد رله ی دیستانس را به درستی حذف کرده است. از آن جایی که این روش تأخیر کمتری را ایجاد می کند باعث می شود که نسبت به روش معمولی تصحیح شده قدیمی، محاسبات ساده تری داشته باشد.

### ۵- اثرات TCSC بر روی محدوده های تریپ رله دیستانس



شکل ۵: محدوده های تریپ مربوط به خطای A-G که در سمت چپ TCSC رخ داده است



شکل ۶: محدوده های تریپ مربوط به خطای A-G که در سمت راست TCSC رخ داده است

مقاومت خطا گشته است و در نهایت در مرزهای A1B1 و C1D1 (شکل ۶) به دلیل افزایش مقدار  $R_f$  محدوده از زون های حفاظتی رله دیستانس خارج شده است. محدوده های تریپ A2B2C2D2 و A2D2E2F2 مربوط به حالتی است که با استفاده از روش مدار معادل TCSC، ولتاژ دو سر آن از ولتاژ رله ی دیستانس کاسته نشده است. همچنین جبران اثر  $R_f$  نیز فقط مربوط به محدوده تریپ A2D2E2F2 می باشد. می توان مشاهده کرد که به دلیل اینکه این محدوده ها متأثر از حضور TCSC می باشند به طور کامل از زون های حفاظتی رله دیستانس خارج شده اند. پایین افتادن این محدوده ها نسبت به زون ها از اثر خازنی TCSC حکایت دارد که سبب منفی شدن راکتانس امپدانس سنجدیده شده توسط رله ی دیستانس گشته است. محدوده ی تریپ A1D1 مربوط به جبران اثر  $R_f$  و TCSC می باشد در حالی که محدوده ی تریپ A2D2E2F2 فقط مربوط به جبران اثر  $R_f$  می باشد.

حال در این بخش به بررسی تاثیرات مقاومت خطا ( $R_f$ ) می پردازیم. از آن جایی که تأثیر  $R_f$  سبب عدم تشخیص درست خطا توسط رله می گردد، در این بخش محدوده های تریپ جهت تعیین اثرات  $R_f$  بر روی امپدانس سنجدیده شده رله به کار می رود. شایان ذکر است که مقاومت خطا از صفر اهم تا ۳۰۰ اهم در نظر گرفته شده است. از آن جا که  $R_f$  مقدار بسیار بزرگی است، مجموع توان های اکتیو در هر دو ترمینال های خط انتقال برابر است با توانی که به وسیله ی  $R_f$  مصرف می شود. یعنی:

$$P = P_B + P_C \quad (10)$$

$$= xR_{L2}(I_B)^2 + (1-x)R_{L2}(I_C)^2 + R_f(I_f)^2$$

$$\cong R_f(I_f)^2$$

$P_C$  و  $P_B$ : توان های اکتیو ترمینال های (باس B و باس C) خط انتقال ۲ (محدوده ی مربوط به رله ی  $R_b$ ).

با توجه به این حقیقت که  $V_C$  و  $V_B$ ،  $I_C$  و  $I_B$ ،  $I_f = I_B + I_C$  اطلاعاتی هستند که توسط PMU ها ارسال می شوند،  $P_C$  و  $P_B$  می توانند محاسبه شوند و در فرمول (۱۰) جهت محاسبه  $R_f$  به کار روند. حالا تعیین یک  $R_f$  به راحتی می تواند اثرات آن را بر روی حالت A-G که در معادله ی (۶) به صورت  $R_f \frac{I_f}{I_{relay}}$  می باشد را حذف کند. همان-طور که مشاهده می شود این روش اثرات  $R_f$  را بر روی امپدانس تحت تمامی شرایط خطاهای مختلف حذف می کند که باعث تشخیص راحت خطا توسط رله می شود. در این جا اثرات TCSC بر روی خطاها که در سمت چپ آن رخ داده اند نشان داده شده است. TCSC وسط خط انتقال قرار گرفته است. از آن جا که TCSC به مقاومت خطای سمت چپ خود تأثیر می گذارد. محدوده های تریپ در حضور TCSC در شکل های (۵) و (۶) نشان داده شده است. با توجه به این دو شکل مشخص است که حضور TCSC باعث می شود تا امپدانس با توجه به

شکل (۵) محدوده تریپ که مربوط به حالت بدون جبران اثر  $R_f$  می باشد به دلیل آن که خطا سمت چپ TCSC است این محدوده متأثر از حضور TCSC نمی باشد، بلکه دلیل خروج محدوده تریپ از زون های حفاظتی رله در شکل (۵)، افزایش مقدار  $R_f$  می باشد. محدوده ی تریپی که به صورت یک خط داخل زون ۱ قرار گرفته است مربوط به جبران اثر  $R_f$  می باشد. اما در شکل (۶) که مربوط به خطای A-G در سمت راست TCSC می باشد، محدوده ی تریپ A1B1C1D1 مربوط به حالتی است که با استفاده از روش مدار معادل TCSC ولتاژ دو سر آن از ولتاژ رله ی دیستانس کاسته شده است و فقط اثر  $R_f$  جبران نشده است که همین امر سبب تغییر در

## ۶- نتیجه گیری

- phase faults', 2009 IEEE International Symposium on Industrial Electronics , Year: 2009 , pp. 35 - 40, DOI: 10.1109/ISIE.2009.5222615.
- [5] A. Kazemi, S. Jamali, H. Shater: 'Measured impedance by distance relay with positive sequence voltage memory in presence of TCSC', Power Systems Conference and Exposition, 2009. PSCE '09. IEEE/PES, Year: 2009, pp. 1 - 6, DOI: 10.1109/PSCE.2009.4840247.
- [6] A. Kazemi, S. Jamali, H. Shateri: 'Distance relay over-reaching due to TCSC presence on second circuit of double circuit line considering MOV operation', MELECON 2008 - The 14th IEEE Mediterranean Electrotechnical Conference, Year: 2008 , pp. 738 - 743, DOI: 10.1109/MELCON.2008.4618523.
- [7] Ying Zhong ,Xiaoning Kang ,Zaibin Jiao ,Zengchao Wang ,JialeSuonan : 'A Novel Distance Protection Algorithm for the Phase-Ground Fault', IEEE Trans. Power Deliv., Year: 2014, Volume: 29, Issue: 4 , pp.1718 - 1725, DOI: 10.1109/TPWRD.2013.2286627.
- [8] Filomena, A.D., Salim, R.H., ResenerBretas, A.S.: 'Ground distance relaying with fault-resistance compensation for unbalanced system', IEEE Trans. Power Deliv. , 2118, 23, (3), pp. 1312-1326.
- [9] Makawana, V.H., Bhalja, B.R.: 'A new digital distance relaying scheme for compensation of high-resistance faults on transmission line', IEEE Trans.Power Deliv. , 2112, 27, (4), pp. 2133-2141.
- [10] Xu, Z.Y., Jiang, S.J., Yang, Q.X., Bi, T.S.: 'Ground distance relaying algorithm for high resistance fault', IET Gener. Transm. Distrib. , 0202, 4, (0), pp. 02 53.
- [11] Liu, Q.K., Huang, S.F., Liu, H.Z., Liu, W.S.: 'Adaptive impedance relay with composite polarizing voltage against fault resistance', IEEE Trans. Power Deliv. , 0222, 32, (0), pp. - 325 390.
- [12] A.Ghorbani, M.Arablu: 'Ground distance relay compensation in the presence of delta-hexagonal phase shifting transformer, IET Gener. Transm. Distrib, 9 (11) (2015), p. 2091 – 2098.
- [13] H. Mehrjerdi, and A.Ghorbani, 'Adaptive algorithm for transmission line protection in the presence of UPFC' International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 91 (11) (2017), p. 10 – 19.)

در این مقاله، به بررسی اثرات TCSC و همچنین اثرات مقاومت محل خطا،  $R_f$  در خطای یک فاز به زمین A-G پرداختیم. همان طور که دیدیم، در زمان خطا و در حالتی که تریستورهای TCSC به هر دلیلی عمل نمی کرد سبب می شد تا TCSC معادل یک خازن عمل کند که سبب کاهش راکتانس خطا می شد که در نتیجه سبب تغییر امپدانس سنجدیده شده توسط رله ی دیستانس می گردید. در نهایت رله خطا را در زون درست تشخیص نمی داد و از طرفی وجود مقاومت خطای  $R_f$  سبب تغییر مقاومت امپدانس سنجدیده شده توسط رله ی دیستانس می شد که سبب عملکرد نادرست رله می گردید. حال با الگوریتم ارائه شده، اختلاف ولتاژ دو سر TCSC را محاسبه کرده و از ولتاژ رله دیستانس می کاهیم که این امر سبب حذف تأثیر TCSC بر روی رله دیستانس می گردد. سپس با استفاده از توان های اکتیو دو سر خط اثر  $R_f$  محاسبه شده و با استفاده از الگوریتم ارائه شده اثر  $R_f$  را از امپدانس سنجدیده شده رله دیستانس حذف شده است. در نهایت با اعمال الگوریتم جدید هم اثر TCSC و هم اثر  $R_f$  به طور هم زمان حذف شده است.

## زیر نویس ها

## مراجع

- 1 Thyristor Controlled Series Capacitor
- 2 Flaxible AC Trasmission Systems
- 3 Phasor Measurement Unit
- 4 System Protection Center
- 5 Global Positioning System

- [1] D.Jovcic, G.N.Pillai: 'Analytical Modelling of TCSC Dynamics', IEEE Trans. Power Deliv., vol 20, Issue 2, April 2005, pp. 1097-1104.
- [2] S.Jamali, H.Shateri: 'Effect of TCSC on distance relay tripping characteristic', Universities Power Engineering Conference, 2004. UPEC 2004. 39th International, Year: 2004, Volume: 2, pp. 704 – 708.
- [3] Wang Weiguo, Yin Xianggen, Yu Jiang, Duan Xian zhong, Chen Deshu: ' The impact of TCSC on distance protection relay',Power System Technology, 1998. Proceedings. POWERCON '98. 1998 International Conference on, Year: 1998, Volume: 1, pp. 382 - 388 vol.1, DOI: 10.1109/ICPST.1998.728991
- [4] S. Jamali, A. Kazemi, H. Shateri: 'Distance relay mal-operation due to TCSC presence at near end of second circuit of double circuit line in inter