



### فاصله یابی خطا در خطوط انتقال جبران شده با وجود UPFC در میانه خط

مهدی نقدی<sup>۲</sup>  
دانشجوی کارشناسی  
marzie\_naghdi@yahoo.com

جواد ساده<sup>۱</sup>  
استادیار گروه برق  
sadeh@um.ac.ir

مرضیه نقدی<sup>۲و۱</sup>  
کارشناس ارشد  
mehdi.naghdi@yahoo.com

<sup>۱</sup> گروه برق، دانشکده مهندسی - دانشگاه فردوسی مشهد،  
<sup>۲</sup> دانشکده مهندسی برق - دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد  
ایران

واژه‌های کلیدی: خط انتقال جبران شده، فاصله یابی خطا، مدل گسترده حوزه زمان خط انتقال، PSCAD/EMTDC، UPFC

#### چکیده

در این مقاله الگوریتم فاصله یابی خطا با استفاده از مدل گسترده حوزه زمان برای خطوط انتقال جبران شده با UPFC ارائه می شود که نیازی به داشتن مدل دقیق UPFC و عملکرد سیستمهای کنترلی آن در زمان رخداد خطا در خط انتقال ندارد. روش پیشنهادی از پنجره کوچکی از نمونه های همزمان ولتاژ و جریان دو پایانه خط انتقال برای فاصله یابی خطا بهره می برد و مستقل از ساختار سیستم، نوع جبران کننده UPFC نصب شده در میانه خط (جبران کننده با ساختمانهای متفاوت ساخت مانند استفاده از GTO یا IGBT و روشهای کنترلی گوناگون مثل PWM، مبدلهای چند پالسه و کنترل ولتاژ خازن یا کنترل زاویه ولتاژ سیستم AC و ...)، زاویه شروع خطا و مقاومت خطا است. انواع اتصال کوتاه در

فواصل مختلف و شرایط گوناگون با استفاده از نرم افزار PSCAD شبیه سازی گردیده و الگوریتم با نرم افزار MATLAB بر نتایج حاصل از شبیه سازیها پیاده شده است. نتایج دقت الگوریتم پیشنهادی را تایید می کند.

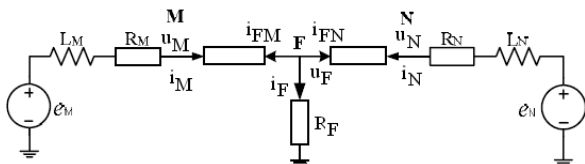
#### ۱- مقدمه

رشد دائم تقاضای انرژی الکتریکی سبب توسعه روز افزون شبکه های سراسری شده است. سیستم قدرت بخصوص در بخش انتقال با این رشد همخوانی ندارد. پیدا کردن راههای عبور مناسب و احداث خطوط برق جدید نیز سرمایه گذاری زیادی را می طلبد. الکترونیک قدرت با معرفی ادوات FACTS به عنوان وسایلی برای بهینه سازی سیستم برق، تکنولوژی جدیدی را در بخش انتقال عرضه داشته و در حل

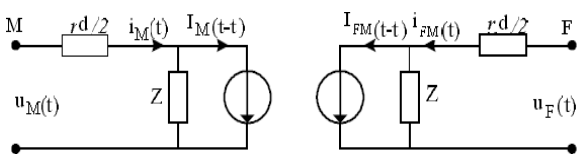
خطا بهره می برد. این روش UPFC میانه خط را به صورت یک جعبه سیاه در نظر می گیرد و هیچ مدل خاصی را برای جبران کننده UPFC احتیاج ندارد. انواع مختلف اتصال کوتاه در فواصل مختلف و شرایط گوناگون با استفاده از نرم افزار PSCAD/EMTDC شبیه سازی گردیده و الگوریتم پیشنهادی با نرم افزار MATLAB بر نتایج حاصل از شبیه سازیها پیاده شده است. نتایج حاصله دقت الگوریتم پیشنهادی را تایید می کند. معمولا UPFC در خطوط انتقال طولانی برای جبران استفاده می شود، دقت و قابلیت اطمینان زیاد الگوریتم با وجود استفاده از مدل گسترده خط انتقال در روش فاصله یابی خطای پیشنهادی قابل توجه است.

## ۲- معیار فاصله یابی خطا

اگر در خط انتقال ساده MN تکفاز اتصال کوتاهی در نقطه دلخواه F به فاصله  $d \leq D$  (D طول کل خط انتقال) از پایانه M خط انتقال رخ دهد (شکل ۱). مدل گسترده قسمت MF از خط انتقال به صورت شکل (۲) خواهد بود.



شکل ۱: مدل خطا در خط تک فاز



شکل ۲: مدل گسترده قسمت MF خط

با توجه به شکل (۲) معادلات ولتاژ و جریان به صورت زیر هستند [۷]:

$$u_F(t) = \frac{1}{2} \left( \frac{Z + rd/2}{Z} \right) \cdot [u_M(t + \tau) - i_M(t + \tau) \cdot (Z + rd/2)] + \frac{1}{2} \left( \frac{Z - rd/2}{Z} \right) \cdot [u_M(t - \tau) + i_M(t - \tau) \cdot (Z - rd/2)] \quad (1)$$

مشکلات خطوط انتقال به کمک آن آمده است. کوشش برای ساختن سیستم کارآمدتر و قابل اعتمادتر استفاده از ادوات FACTS در سیستمهای انتقال را افزایش می دهد. بیشتر ادوات FACTS برای افزایش دادن ظرفیت خطوط انتقال نصب می شوند. از بین این گروه UPFC کاربرد زیادی در سیستم قدرت دارد. این جبران کننده به دلیل قدرتمندی در تغییر استراتژی خود چون جبرانهای سری و موازی، جریان توان راکتیو، ولتاژها و جریانهای تغییر دهنده زاویه توانایی زیادی دارد.

مهمترین اختلالی که در سیستم انتقال رخ می دهد، وقوع انواع اتصال کوتاه هاست. وسیله ای که بتواند با سرعت و دقت کافی موقعیت خطا را تشخیص دهد، فاصله یاب خطا نام دارد. فاصله یاب خطا در خطاهای دائمی و گذرا محل آسیب دیده را تشخیص می دهد. ولی وجود تجهیز الکترونیک قدرت UPFC در خطوط انتقال که معمولا در میانه خطوط طولانی برای جبران و افزایش ظرفیت توان نصب شده است؛ هماهنگی رله های حفاظتی و فاصله یابهای خطا را نیز که در تعیین دقیق محل خطا در سیستم قدرت دارای اهمیت هستند، دچار اختلال خواهد می کند [۱].

مطالعات نشان می دهد که فاصله یابهای خطا که از اطلاعات ولتاژ و جریان پایانه های خط انتقال برای جایابی خطا استفاده می کنند؛ با وجود UPFC و تاثیر آن بر سیگنالهای ولتاژ و جریان میانه خط انتقال دچار اشتباهات فاحشی خواهند شد. در این مطالعات، تا به حال روش فاصله یابی خطای درستی در خطوط انتقال جبران شده با UPFC وجود ندارد [۶-۱].

در این مقاله الگوریتم فاصله یابی خطا با استفاده از مدل گسترده حوزه زمان برای خطوط انتقال جبران شده با UPFC ارائه می شود که نیازی به داشتن مدل دقیق UPFC و دانستن عملکرد سیستمهای کنترلی آن در زمان رخداد خطا در خط انتقال ندارد. این الگوریتم مستقل از ساختار سیستم، نوع جبران کننده UPFC نصب شده، زاویه شروع خطا و مقاومت خطا است. الگوریتم پیشنهادی از پنجره کوچکی از نمونه های همزمان ولتاژ و جریان دو پایانه خط انتقال برای فاصله یابی

بیست و چهارمین کنفرانس بین‌المللی برق

با رابطه (۳) و (۲) داریم:

$$i_{FN}(t) = -i_{FM}(t) - \frac{1}{R_F} \left\{ \frac{1}{2} \left( \frac{Z+rd/2}{Z} \right) [u_M(t+\tau) - i_M(t+\tau).(Z+rd/2)] + \frac{1}{2} \left( \frac{Z-rd/2}{Z} \right) [u_M(t-\tau) + i_M(t-\tau).(Z-rd/2)] \right\} \quad (4)$$

و با استفاده از ولتاژ نقطه F در رابطه (۱) و رابطه (۴) ولتاژ و جریان توالی صفر پایانه دیگر خط انتقال N به دست خواهد آمد:

$$u_{F0}(t) = \frac{1}{2} \left( \frac{Z+r(D-d)/2}{Z} \right) [u_{FN0}(t+\tau) - i_{FN0}(t+\tau).(Z+r(D-d)/2)] + \frac{1}{2} \left( \frac{Z-r(D-d)/2}{Z} \right) [u_{FN0}(t-\tau) + i_{FN0}(t-\tau).(Z-r(D-d)/2)] \quad (5)$$

$$i_{F0}(t) = \frac{1}{2Z} [u_{FN0}(t+\tau) - i_{FN0}(t+\tau).(Z+r(D-d)/2) + \frac{1}{2Z} [u_{FN0}(t-\tau) + i_{FN0}(t-\tau).(Z-r(D-d)/2)] \quad (6)$$

معادله (۷) نیز در پایانه N بین مقادیر ولتاژ و جریان لحظه ای برقرار است، اینجا  $R_N, L_N$  پارامترهای معادل تونن شبکه متصل به پایانه N هستند:

$$u_{N0}(t) = -[R_N.i_{N0}(t) + L_N \frac{d}{dt} i_{N0}(t)] \quad (7)$$

با جایگزینی رابطه (۵) و (۶) در رابطه (۷) تابع f به صورت زیر تعریف خواهد شد؛ که برای هر نمونه k از ولتاژ و جریان نمونه برداری شده در پایانه M صادق است.

$$f(R_F, d, R_N, L_N)|_k = 0 \quad (8)$$

برای حل معادله (۸) یک جستجوی دو پارامتری (d و  $R_F$ ) با پله های جستجوی  $\Delta R_F = 1\Omega$  و بازه جستجوی  $[0, 3000\Omega]$  و  $\Delta d = \Delta t / v$  در نظر گرفته می شود؛ که در آن  $\Delta t$  فاصله زمانی نمونه برداری سیگنالهای لحظه ای ولتاژ و جریان در پایانه های خط انتقال است. بنابراین، فاصله یابی خطا در خط MN (شکل ۱) با اطلاعات تنها یک پایانه مثل M با روش زیر امکان پذیر است:

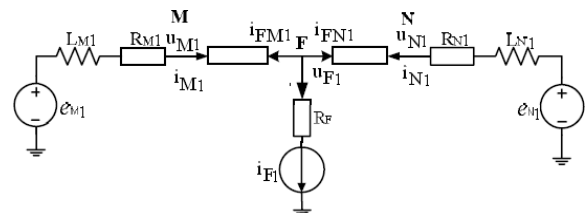
$$i_{FM}(t) = \frac{1}{2Z} [u_M(t+\tau) - i_M(t+\tau).(Z+rd/2)] + \frac{1}{2Z} [u_M(t-\tau) + i_M(t-\tau).(Z-rd/2)] \quad (2)$$

در اینجا:  $\tau$ : زمانی است که موج سیار از نقطه M به F می رسد  $Z = \sqrt{l/c}$ ؛  $\tau = d.v$ ؛  $v = \sqrt{lc}$  ثابت انتشار و  $l, c$  کاپاسیتانس و اندوکتانس واحد طول خط انتقال است.

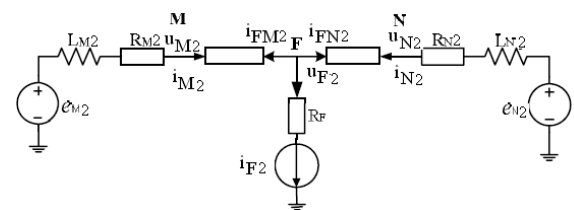
با توجه به مدار معادل خط انتقال در شکل (۱) می توان نوشت:

$$u_F(t) = \frac{1}{2} \left( \frac{Z+rd/2}{Z} \right) [u_M(t+\tau) - i_M(t+\tau).(Z+rd/2)] + \frac{1}{2} \left( \frac{Z-rd/2}{Z} \right) [u_M(t-\tau) + i_M(t-\tau).(Z-rd/2)] = R_F.i_F(t) = -R_F.(i_{FM}(t) + i_{FN}(t)) \quad (3)$$

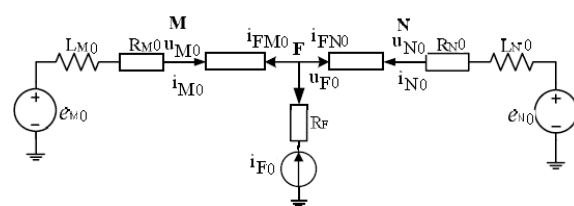
اگر از تبدیل توالیهای ۰، ۱ و ۲ استفاده شود، مدار معادل تک فاز توالیهای صفر، ۱ و ۲ خط انتقال خطادار در شکل ۳ آمده است.



الف- مدار معادل توالی ۱



ب- مدار معادل توالی ۲



ج- مدار معادل توالی صفر

شکل ۳: مدار معادل شبکه خطادار تک فاز

در اینجا  $n$ : تعداد نمونه ها؛  $A_L$  و  $A_R$  متوسط مقادیر  $R_N$  و  $L_N$  بدست آمده در جستجو دو متغیره  $k$  (  $R_F$  و  $d$  )؛  $D_L$  و  $D_R$  واگرایی  $R_N$  و  $L_N$  محاسبه شده است.

پله ۶: برای کمترین مقدار  $D_R$  به ازای پله مکانی  $k$  ام  $d_1=d(k)$  قرار دهید.

پله ۷: برای کمترین مقدار  $D_L$  به ازای پله مکانی  $k$  ام  $d_2=d(k)$  قرار دهید.

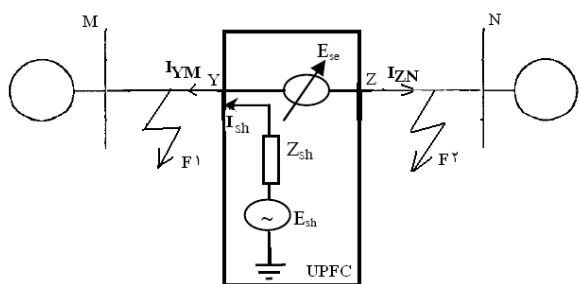
پله ۸:  $d(k) = d(k-1) + \Delta d$  و  $k = k + 1$

و اگر  $R_F(k) = R_F(k-1) + \Delta R_F$  و  $d(k) \leq D$  و  $R_F(k) \leq 300\Omega$  باشد به پله ۳ برگردید و در غیر این صورت به پله بعد بروید.

پله ۹: فاصله خطا برابر خواهد بود با:  $(d_1 + d_2) / 2$ .

### ۳- فاصله یابی در خط انتقال با وجود UPFC در میانه خط

برای کنترل یا افزایش ظرفیت انتقال توان در خطوط طولانی (مثل اتصال خطوط متصل به دو شبکه بزرگ) نقطه میانی خط بهترین محل برای نصب ادوات FACTS جبران کننده ای مثل UPFC است. خط انتقالی را در نظر بگیرید که در وسط آن UPFC نصب شده باشد:



شکل ۴: خط انتقال با UPFC در میانه آن

در شکل (۴) UPFC ولتاژ  $E_{se}$  در میان خط، بین  $Y$ ،  $Z$  که بدون وجود جبران کننده UPFC تفاوت ولتاژ ندارند، اختلاف ولتاژ ایجاد می کند. همچنین جریان  $I_{sh}$  را در نقطه  $Y$  به خط تزریق کرده و جریان طرفین جبران کننده  $I_{YM}$  با  $I_{ZN}$  متفاوت است.

پله ۱:  $k = 0, d(k) = 0, R_F(k) = 0.1$

پله ۲: اطلاعات ولتاژ و جریان نقطه  $M$  را با تبدیل مودال آقای Clarke به سیستم توابع تبدیل کنید.

$$\begin{bmatrix} F_0 \\ F_1 \\ F_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 2 & -1 & -1 \\ 0 & \sqrt{3} & -\sqrt{3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_a \\ F_b \\ F_c \end{bmatrix} \quad (9)$$

پله ۳: ولتاژ و جریان نقطه  $F$  فرضی در پله ۱ را با معادلات (۱) و (۲) بدست آورید.

پله ۴: الف- خطای تک فاز و سه فاز: ولتاژ نقطه  $F$  و جریان آن از رابطه زیر بدست می آید:

$$u_{Fa} = u_{F0} + u_{F1} + u_{F2} \quad i_{Fa} = u_{Fa} / R_F \quad (10)$$

جریان توالی صفر  $i_{F0} = i_{Fa} / 3$  و با توجه به شکل (۳-ج):

$$i_{FN0} = -i_{FM0} - i_{F0} \quad (11)$$

حال با استفاده از مقادیر  $u_{F0}$  و  $i_{FN0}$  که محاسبه شده، مقادیر ولتاژ و جریان توالی صفر پایانه انتهایی خط محاسبه می شود و با حل رابطه (۷) به کمک روش می نیمم مربعات  $R_{N0}$  و  $L_{N0}$  محاسبه می گردد، که پارامترهای مدار معادل متصل به نقطه  $N$  است.

$$X = [R \ L], \quad A = [i_{FN0} \ d \ di_{FN0}/dt], \quad B = [u_{F0}] \\ X = B \cdot A^T \cdot [A \cdot A^T]^{-1} \quad (12)$$

در اینجا  $A^T$  به معنای ترانزپوز ماتریس  $A$  است.

ب- خطای دو فاز: مقادیر زیر تعریف می شوند و به جای ولتاژ و جریان فاز در قسمت الف بکار می رود:

$$u_{bc} = u_b - u_c, \quad i_{bc} = i_b - i_c \quad (13)$$

به همان روش قسمت الف و با مقادیر رابطه (۱۳) در پایانه  $M$  و با مقاومت خطای نصف قسمت الف مقادیر  $R_N$  و  $L_N$  در توالی ۲ بدست می آید.

پله ۵: با مقادیر به دست آمده در پله قبل مقادیر زیر محاسبه می گردد:

$$A_R = \frac{\sum_{i=1}^n R_N(i)}{n}, \quad A_L = \frac{\sum_{i=1}^n L_N(i)}{n}, \\ D_R = \frac{\sum_{i=1}^n |R_N(i) - A_R|}{n|A_R|}, \quad D_L = \frac{\sum_{i=1}^n |L_N(i) - A_L|}{n|A_L|} \quad (14)$$

شده MY یا ZN رخ نداده باشد، ولتاژ در انتهای آن یعنی نقاط Y و Z کمترین مقدار را داراست و معیار فاصله یابی خطا در قسمت (۲) انتهای خط را به عنوان مکان خطا محاسبه خواهد کرد. از اینرو برای آنکه مکان صحیح خطا به دست آید باید نتایج مراحل قبل به صورت زیر مقایسه گردد:

الف- اگر  $d_M < D/2$  و  $dn \geq D/2$  باشد محل خطا  $d_F = d_M$  خواهد بود (D طول کل خط انتقال است).

ب- اگر  $dn < D/2$  و  $dn \geq D/2$  باشد محل خطا  $d_F = d_N$  خواهد بود.

ج- اگر  $dm \geq D/2$  و  $dn \geq D/2$  باشد محل خطا در میانه خط  $d_F = D/2$  می باشد.

پنجره داده‌های مورد نیاز لااقل می‌بایست دو برابر مدت زمان لازم برای انتشار امواج ولتاژ و جریان در طول خط انتقال باشد. این پنجره حداقل شامل داده‌های یک چهارم سیکل پس از وقوع خطا است، ولی انتخاب پنجره بزرگتر دقت فاصله‌یابی خطا را افزایش خواهد داد. الگوریتم پیشنهادی از اطلاعات یک دوم سیکل برای فاصله‌یابی خطا بهره می‌گیرد. این الگوریتم نیاز به داده‌های همزمان دارد که از طریق سیستم موقعیت‌یاب جهانی (GPS) به صورت همزمان برداشت می‌گردند یا اینکه برداشت داده‌ها غیر همزمان بوده و سپس با پردازش داده‌ها همزمان گردند.

یک خط انتقال ساده دارای سه فاز است؛ روابط ولتاژ و جریان فازها نه تنها به پارامترهای گسترده همان فاز وابسته است بلکه به پارامترهای متقابلی که بین فازها حاکم است نیز وابستگی دارد. برای استفاده از رابطه (۶) که برای خط تک‌فاز بیان شد از تبدیل مودال آنالیز LC استفاده می‌شود که خطوط سه فاز را تبدیل به سه خط تک‌فاز مستقل کند. در الگوریتم پیشنهادی از نمونه‌های ولتاژ و جریان برای فاصله‌یابی خطا استفاده می‌گردد و مقادیر فازوری در آنها وجود ندارد.

نکته دیگر آن است که این الگوریتم در مورد خطوط جبران شده با ادوات دیگر مانند SVC، STATCOM [۹]، TCSC و SSSC [۱۰-۱۱] نیز جوابهای خوبی را ارائه خواهد کرد و

خطا در خط انتقال می‌تواند در فاصله MY که برابر نیمی از خط انتقال MN است رخ دهد یا در نیمه دیگر ZN. اگر خطا در فاصله MY اتفاق افتد مثل  $F_1$ ، با اطلاعات نمونه برداری شده در نقطه M و با روش ارائه شده در قسمت ۲ می‌توان محل خطا را به راحتی تشخیص داد. ولی اگر خطا در نقطه  $F_2$  رخ دهد، چون پارامترهای خط انتقال در میانه خط بوسیله UPFC نصب شده با تغییر ولتاژ و جریان میانه خط تغییر می‌کند، الگوریتم فاصله‌یابی خطا با استفاده از اطلاعات پایانه M به درستی فاصله خطا را تشخیص نمی‌دهد. اطلاعات تجهیز نصب شده در میان خط هم احتیاج به دستگاههای اندازه‌گیری و مخابراتی اضافه دارد. لذا برای حل این مشکل با استفاده از نمونه‌های همزمان دو پایانه M و N از خط انتقال به روش زیر محل درست خطا تشخیص داده می‌شود. در این روش UPFC شبیه یک جعبه سیاه در نظر گرفته می‌شود که در میانه خط نصب شده است و هر نوع اطلاعاتی مانند نوع ساختار تشکیل دهنده یا مشخصات GTO یا IGBT های بکار رفته در ساختمان آن، نحوه عملکرد سیستمهای کنترلی اش و... در مورد آن احتیاج نیست.

الگوریتم پیشنهادی:

مرحله (۱): ابتدا با نمونه‌های ولتاژ و جریان در نقطه M

ابتدای خط انتقال به کمک روش توصیف شده در قسمت ۲ نقطه  $d_M$  (محل خطا با فاصله یابی با استفاده از اطلاعات پایانه M) که نتیجه فاصله یابی خطا در فاصله MY است را بیابید.

مرحله (۲): با استفاده از اطلاعات ولتاژ و جریان همزمان پایانه N انتهای خط انتقال جبران شده و با الگوریتم توصیفی در قسمت ۲ نقطه  $d_N$  (محل خطا با فاصله یابی با استفاده از اطلاعات پایانه N) که محل خطا در فاصله NZ است را پیدا کنید.

مرحله (۳): از آنجایی که مقدار ولتاژ در مکان خطا از تمام مقادیر ولتاژ در مکانهای دیگر خط کمتر است [۸] و در مرحله (۱) و (۲) نیز مکان خطا به کمک محاسبه ولتاژ به دست آمده است، لذا اگر خطا در نیمه خط در نظر گرفته

جدول ۲- نتایج حاصل به ازای مقاومت خطای خطا

Fault type	50 ohm		200 ohm		
	Actaul Dist. (km)	Cal. Dist. (km)	error(%)	Cal. Dist. (km)	error(%)
20	20.3694	20.3694	0.1	20.7388	0.2
80	79.2612	79.2612	0.2	80.3694	0.1
150	150.7388	150.7388	0.2	144.2612	0.2
200	200	200	0.00	200	0.00
300	301.1082	301.1082	0.28	301.1082	0.28
350	350.7388	350.7388	0.2	349.26	0.2
390	390.3694	390.3694	0.1	389.6306	0.1

در جدول (۳) نتایج حاصل از شبیه سازی برای خطای تک فاز به زمین در فواصل مختلف به ازای مقاومت خطای ۱۰۰ اهم و زوایای وقوع خطای مختلف مشاهده می گردد.

جدول ۳- نتایج حاصل برای زوایای مختلف خطا

Fault type	0degree		30degree		90degree		
	Actaul Dist. (km)	Cal. Dist. (km)	error(%)	Cal. Dist. (km)	error(%)	Cal. Dist. (km)	error(%)
15	15.3694	15.3694	0.1	15.3694	0.001	15.3694	0.1
80	80.7388	80.7388	0.1	79.2612	0.002	80.3694	0.1
145	144.2612	144.2612	0.2	145.7388	0.002	144.2612	0.2
210	210.7388	210.7388	0.2	210.7388	0.002	208.5224	0.37
300	301.1082	301.1082	0.28	301.1082	0.0028	301.1082	0.28
350	349.26	350.7388	0.2	350.7388	0.002	349.26	0.2
390	389.6306	389.6306	0.1	389.6306	0.001	389.6306	0.1

از بررسی جداول فوق مشاهده می گردد که خطای الگوریتم کمتر از ۰.۴ درصد طول خط انتقال بوده و از مقاومت خطا و زاویه وقوع خطا نیز تاثیر نمی پذیرد. نکته قابل توجه آنکه نوع تجهیز FACTS در الگوریتم مورد نظر مورد توجه نیست؛ به این معنا که در این روش احتیاجی به مدل سازی جبران کننده UPFC که در میان خط نصب است وجود ندارد. با رخداد خطا بدون توجه به نوع عملکرد جبران کننده و سیستمهای کنترلی آن و فقط با فرض وجود یک جعبه سیاه که می تواند شامل هر المانی باشد، می توان مکان خطا را با دقت و قابلیت اطمینان خوبی تعیین نمود.

#### ۵- نتیجه گیری

در این مقاله الگوریتم فاصله یابی خطای جدیدی با استفاده از مدل گسترده حوزه زمان و با پنجره کوچکی از نمونه های ولتاژ و جریان همزمان دو طرف خط برای خطوط انتقال

دارای دقت بیشتری است، جعبه سیاه میانه خط می تواند شامل هر المان موازی، سری و یا ترکیبی از المانهای سری و موازی باشد. بنابراین در مدهای عملکردی مختلف که UPFC گاهی شبیه STATCOM و گاهی چون SSSC است [۴]، نیز دقت خوبی را ارائه می کند.

#### ۴- ارزیابی الگوریتم پیشنهادی

به منظور ارزیابی الگوریتم ارائه شده سیستم قدرتی مشابه شکل (۳) با طول ۴۰۰ کیلومتر، ۵۰۰ کیلو ولت، 200MVA، ۶۰ هرتز با UPFC در میانه خط انتقال در نظر گرفته شده است.

سیستم قدرت مورد نظر با نرم افزار PSCAD/EMTDC شبیه سازی و برای پیاده سازی الگوریتم از نرم افزار MATLAB استفاده شده است. فرکانس نمونه برداری 1MHz می باشد.

خطای الگوریتم از رابطه (۱۵) محاسبه خواهد شد:

$$error(\%) = \frac{|actaulloc. - computedloc. |}{line\ length} \times 100 \quad (15)$$

در جدول (۱) نتایج حاصل از شبیه سازی برای انواع مختلف خطا در فواصل مختلف به ازای مقاومت خطای ۵۰ اهم و زاویه وقوع خطای صفر دیده می شود.

جدول ۱- نتایج حاصل برای انواع مختلف خطا

Fault type	A-G		A-B		A-B-C-G		
	Actaul Dist. (km)	Cal. Dist. (km)	error(%)	Cal. Dist. (km)	error(%)	Cal. Dist. (km)	error(%)
10	10.3694	10.3694	0.1	10.3694	0.1	10.3694	0.1
70	70.3694	70.3694	0.1	69.2612	0.2	70.3694	0.1
160	159.2612	159.2612	0.2	160.3694	0.1	159.2612	0.2
220	220.7388	220.7388	0.2	220.7388	0.2	220.7388	0.2
300	301.1082	301.1082	0.28	301.1082	0.28	301.1082	0.28
350	349.26	350.7388	0.2	350.7388	0.2	349.26	0.2
390	389.6306	389.6306	0.1	389.6306	0.1	389.6306	0.1

همچنین از آنجائیکه اتصال کوتاه تک فاز به زمین عموماً همراه با مقاومت خطا می باشد. لذا جهت بررسی اثر مقاومت خطا بر روی دقت الگوریتم پیشنهادی نتایج حاصل از شبیه سازی برای خطای تک فاز به زمین در فواصل مختلف به ازای مقاومتهای خطای مختلف و زاویه وقوع خطای صفر در جدول (۲) آورده شده است.

Transmission Lines", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol.18, No. 4, October 2003.

[۹] مرضیه نقدی، جواد ساده و رضا قاضی، "فاصله یابی خطا در خطوط جبران شده با ادوات FACTS موازی (SVC و STATCOM)"، شانزدهمین کنفرانس مهندسی برق ایران- تربیت مدرس، اردیبهشت ۱۳۸۷.

[۱۰] J. Sadeh, N. Hadjsaid, A.M. Ranjbar and R. Feuillet, "Accurate Fault Location Algorithm for Series Compensated Transmission Lines", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol.15, No. 3, pp. 1027-1033, July 2000.

[۱۱] جواد ساده و انیسه آدینه زاده، "فاصله یابی خطا در خطوط جبران شده با ادوات FACTS (TCSC)"، چهاردهمین کنفرانس مهندسی برق ایران، ۱۳۸۵.

جبران شده با UPFC ارائه می شود. این الگوریتم مستقل از ساختار سیستم و زاویه شروع خطا و مقاومت خطا می باشد. انواع مختلف خطا در فواصل مختلف و شرایط گوناگون با استفاده از نرم افزار PSCAD/EMTDC شبیه سازی شده است. نتایج حاصل از شبیه سازی های متفاوت دقت الگوریتم پیشنهادی را تایید می نماید.

## ۶- مراجع

[۱] Yong Hua Song and Allen T Johns, "Flexible AC Transmission Systems (FACTS)", Published by: The Institution of Electrical Engineers, London, United Kingdom, 1999.

[۲] M. Khederzadeh, "Impact of FACTS Devices on Digital Multifunctional Protective Relay", IEEE 2002

[۳] X. Zhou, H. Wang, R. K. Aggarwal & P. Beaumont, "Performance Evaluation of a Distance Relay as Applied to a Transmission System With UPFC", IEEE Transactions on Power Delivery, 2006.

[۴] C. Chaoying, C. Yong, D. Xuefei & C. Liyi, "Study of Protective Relay's Behaviors in Unified Power Flow controller of FACTS", Proceedings of the 4th International Conference on Advances in Power System Control Operation and Management, Hong Kong, November 1997.

[۵] P.K. Dash, A.K. Pradhan, G. Panda, "Distance Protection in the Presence of Unified Power Flow Controller", Electric Power Systems Research 54 (2000) 189-198.

[۶] H. Shateri, s. Jamali, "Distance Relay Over-Reaching due to UPFC Presence on Second Circuit of a Double Circuit Line", IEEE, 2008.

[۷] X. Kang, S. Jiale, Z. Bo, J. Tang and Q. Junl, "Parameter Identification Algorithm for Fault Location Based on Distributed Transmission Line model", IEEE, 2008.

[۸] H. Ha, B. Zhang and Z. Lv, "A Novel Principle of Single-Ended Fault Location Technique for EHV