

فاصله یابی خطا در خطوط انتقال موازی به کمک مدل گسترده خط در حوزه زمان

سید محسن صدر^۱جواد ساده^۱

دانشجوی کارشناسی ارشد قدرت

استادیار گروه برق

^۱ دانشکده مهندسی - دانشگاه فردوسی مشهد^۲ شرکت برق منطقه ای خراسان

sadeh@um.ac.ir

Sadr_mohsen@yahoo.com

چکیده - در این مقاله الگوریتمی جدید جهت فاصله یابی خطا برای خطوط انتقال موازی در حوزه زمان ارائه شده است. در این الگوریتم برای اولین بار تبدیلی حقیقی ارائه شده است که بوسیله آن می توان خطوط انتقال موازی دارای تزویج متقابل را به شش نمود مستقل تفکیک نمود. یکی از ویژگی های این تبدیل آن است که در سه مود از این مودها ولتاژ ترمینالها برابر صفر می باشد. لذا برای فاصله یابی خطا تنها به جریان فازها در محل ترمینالها نیاز می باشد. از آنجائیکه ولتاژ محاسبه شده بر حسب جریان ترمینالهای طرفین خط تنها در نقطه خطا با یکدیگر برابر می باشند، لذا تفاضل این دو ولتاژ به عنوان معیار فاصله یابی خطا در نظر گرفته شده است. این الگوریتم تنها به پنجره داده بسیار کوچکی نیاز دارد و همچنین نمونه های جریان برداشت شده از طرفین خط می بایست با یکدیگر همزمان باشند. انواع مختلف خطا در فواصل مختلف و شرایط گوناگون با استفاده از نرم افزار ATP-EMTP شبیه سازی شده است. نتایج حاصل از شبیه سازی های متفاوت دقت بسیار بالای الگوریتم پیشنهادی را تایید می نماید.

کلید واژه- فاصله یابی خطا، خطوط موازی، تزویج متقابل، مدل گسترده حوزه زمان خط انتقال.

۱- مقدمه

جویی در زمان و انرژی نیروی انسانی، اصلاح برنامه ریزی آینده و صرفه جویی های اقتصادی را به همراه دارد.

در سالهای اخیر فشارهای اقتصادی و زیست محیطی شرکت های انتقال را مجبور به حداکثر استفاده از فضای در دسترس برای عبور خطوط انتقال نموده است. این امر موجب استفاده روزافزون از خطوط انتقال موازی گردیده است. دو خط انتقال بر روی یک دکل دارای تزویج متقابل چشمگیری خواهند بود. این تزویج متقابل مشکلات متعددی را برای سیستم حفاظتی و بویژه فاصله یابهای خطا ایجاد می نماید. لذا تاکنون الگوریتم های ویژه ای به منظور فاصله یابی خطا در خطوط انتقال موازی ارائه گشته است [۱-۱۲].

خطوط انتقال از ارکان اساسی هر سیستم قدرت می باشد. عموماً مهمترین اختلالی که در سیستم قدرت برای خطوط انتقال رخ می دهد وقوع انواع اتصال کوتاه می باشد. در این وضعیت وظیفه سیستم حفاظتی ایزوله کردن قسمتی از سیستم که خطا در آن رخ داده از بقیه سیستم در حداقل زمان ممکن می باشد. از سوی دیگر به منظور تداوم سرویس دهی و افزایش قابلیت اطمینان سیستم ضروری است که محل خطا بر روی خطوط انتقال هرچه سریعتر تعیین شده و اقدامات لازم جهت رفع عیب و بازگرداندن مجدد آن به سیستم انجام پذیرد. الگوریتم های فاصله یابی خطای مناسب علاوه بر کمک به یافتن سریع محل وقوع خطا و بازگرداندن مجدد خط انتقال، مزایای دیگر چون صرفه

مولفه مشترک و مولفه تفاضلی برای خطوط انتقال موازی تعریف شده و بر اساس این تعاریف خطوط انتقال موازی به دو شبکه مستقل، شبکه مولفه تفاضلی و شبکه مولفه مشترک تفکیک می گردد. هر کدام از شبکه های فوق یک شبکه سه فاز مستقل می باشد. لذا می توان در ادامه از هر کدام از این دو شبکه نظیر یک شبکه سه فاز متداول برای فاصله یابی خط بهره گیری نمود. با توجه به صفر بودن ولتاژ ترمینالها در شبکه مولفه تفاضلی از این شبکه برای فاصله یابی خط استفاده شده است.

در این مقاله الگوریتمی جدید جهت فاصله یابی خط در خطوط انتقال موازی با استفاده از مدل گسترده خط انتقال در حوزه زمان ارائه گردیده است. بدین منظور نخست تبدیلی حقیقی معرفی می شود که توسط آن می توان معادلات دیفرانسیل حاکم بر خطوط انتقال موازی در حوزه زمان را که به یکدیگر وابسته می باشند به شش معادله جداگانه (شش مود مستقل) تفکیک نمود. در ادامه از هر کدام از این شش مود می توان به صورت مستقل برای فاصله یابی خط بهره گیری نمود. مهمترین مزیت استفاده از تبدیل معرفی شده آن است که در شرایطی که اندازه ولتاژ فازهای همنام دو مدار یکسان باشند با اعمال این تبدیل ولتاژ سه مود از شش مود صفر می گردد. با توجه به یکسان بودن ولتاژ فازهای همنام در محل ترمینال ها، ولتاژ ترمینال ها در سه مود از شش مود حاصله صفر می شود. لذا اگر از این مودها برای فاصله یابی خط استفاده گردد، نه تنها دیگر نیازی به داده های ولتاژ فازهای طرفین خط انتقال نخواهد بود، بلکه این الگوریتم تحت تاثیر تغییر ساختار شبکه نیز قرار نمی گیرد. در نتیجه دقت الگوریتم بالاتر خواهد رفت. این الگوریتم همچنین تنها به پنجره داده بسیار کوچکی برای فاصله یابی خط نیاز دارد به گونه ای که کافی است پنجره داده کمی بیشتر از دو برابر مدت زمان مورد نیاز برای انتشار امواج ولتاژ و جریان در طول خط باشد. انواع مختلف خطاها در فواصل و شرایط مختلف شبکه توسط نرم افزار ATP-EMTP شبیه سازی گردیده و پردازش داده ها نیز توسط نرم افزار MATLAB صورت پذیرفته است که نتایج حاصل در بدترین حالت خطایی کمتر از ۰/۱٪ را نشان می دهد که نسبت به سایر الگوریتم ها و روشهای ارائه شده تاکنون از دقت بسیار بالایی برخوردار است.

دسته ای از الگوریتم ها تنها از داده های یک سمت خط انتقال استفاده می نمایند [۵-۱]. به طور کلی پایه اصلی تمامی این دسته از الگوریتم های فاصله یابی خط اعمال قانون ولتاژ کیرشهوف در حلقه خط می باشد.

در [۲-۱] فاصله یابی خط بر اساس داده های یکی از خطوط و با در نظر گرفتن مدل فشرده خطوط انتقال صورت پذیرفته است. در الگوریتم های ارائه شده در این مقالات رابطه بدست آمده برای مکان خط به ساختار شبکه وابسته می باشد.

به منظور بهبود دقت الگوریتم در [۵-۳] از داده های هر دو مدار در یک سمت خط انتقال و همچنین از مدار معادل π برای مدلسازی خط انتقال استفاده گردیده است. در این شرایط با استفاده از داده های خط انتقال سالم امیدانسهای معادل سیستم در طرفین خط تخمین زده می شود، لذا الگوریتم های مربوطه نیازی به اطلاعات مربوط به ساختار شبکه نخواهند داشت. دسته دیگر از الگوریتم های ارائه شده، فاصله یابی خط در خطوط انتقال موازی را با استفاده از داده های هر دو سمت خط و مدل فشرده خط انتقال مورد بررسی قرار داده اند [۷-۶].

در [۸] از شبکه عصبی برای فاصله یابی خط در خطوط انتقال موازی استفاده شده است و در آن داده های ورودی شامل جریانها و ولتاژهای فاز هر دو مدار در یک سمت می باشد. نقطه اشتراک الگوریتم های ارائه شده در [۸-۱] نیاز آنها به محاسبه هارمونیک اصلی شکل موجهای ولتاژ و جریان می باشد. عموماً تخمین فازورهای ولتاژ و جریان همراه با قدری خطا می باشد. این خطا در شرایطی که پنجره داده در دسترس کمتر از یک سیکل باشد، بیشتر می باشد. با توجه به مشکل فوق برخی از الگوریتم های فاصله یابی خط به منظور بهبود دقت الگوریتم از نمونه های جریان و ولتاژ در الگوریتم استفاده می نمایند [۱۲-۹].

در مراجع [۱۱-۹] از مدل فشرده خط انتقال و داده های هر دو مدار در یک طرف خط برای فاصله یابی خط استفاده گردیده است. مدلسازی مقاومت قوس خط و فاصله یابی خط در خطوط انتقال موازی با در نظر گرفتن اثر مقاومت قوس خط با استفاده از روش حداقل مربعات در [۱۱] ارائه شده است. در مرجع [۱۲] الگوریتم فاصله یابی خط در خطوط انتقال موازی با استفاده از مدل گسترده خط انتقال در حوزه زمان ارائه گردیده است. در این الگوریتم ابتدا

۲- معرفی تبدیل

معادلات دیفرانسیل حاکم بر خطوط انتقال موازی به منظور استفاده در فاصله یابی خطا می بایست از یکدیگر تفکیک گردند، لذا ماتریسهای مشخصه های الکتریکی خط انتقال باید به صورت قطری در آیند. که این عناصر قطری مقادیر ویژه ماتریس های مذکور می باشد لذا یک ایده ساده و در عین حال کارآمد و مطمئن استفاده از فرم کانونی جردن می باشد. برای این منظور بایستی بردارهای ویژه ماتریس هایی با فرم کلی اشاره شده تعیین گردند. بر این اساس ماتریس تبدیل مورد نیاز که ماتریسی شامل بردارهای ویژه ماتریسهای مشخصه های الکتریکی خواهد بود به فرم ذیل بدست می آید:

$$T = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 \\ 1 & 0 & -2 & -1 & 0 & 2 \\ 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & -2 & 1 & 0 & -2 \\ 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

با اعمال این تبدیل به بخش اول رابطه (1) خواهیم داشت:

$$\frac{\partial \mathbf{u}_m}{\partial x} = -\mathbf{R}_m \cdot \mathbf{i}_m - \mathbf{L}_m \cdot \frac{\partial \mathbf{i}_m}{\partial t} \quad (3)$$

که در رابطه فوق :

$$\begin{cases} \mathbf{u}_m = T^{-1} \cdot \mathbf{u} \\ \mathbf{i}_m = T^{-1} \cdot \mathbf{i} \\ \mathbf{R}_m = T^{-1} \cdot \mathbf{R} \cdot T \\ \mathbf{L}_m = T^{-1} \cdot \mathbf{L} \cdot T \end{cases} \quad (4)$$

همچنین ماتریس اندوکتانس جدید به صورت زیر خواهد بود:

$$\mathbf{L}_m = \begin{bmatrix} L_s + 2L_p + 3L_m & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & L_s - L_p & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & L_s - L_p & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & L_s + 2L_p - 3L_m & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & L_s - L_p & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & L_s - L_p \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{u}_m = \begin{bmatrix} u_{m1} \\ u_{m2} \\ u_{m3} \\ u_{m4} \\ u_{m5} \\ u_{m6} \end{bmatrix}, \quad \mathbf{i}_m = \begin{bmatrix} i_{m1} \\ i_{m2} \\ i_{m3} \\ i_{m4} \\ i_{m5} \\ i_{m6} \end{bmatrix}$$

به همین طریق بخش دوم از رابطه (1) نیز به صورت زیر تبدیل می گردد:

$$\frac{\partial \mathbf{i}_m}{\partial x} = -\mathbf{G}_m \cdot \mathbf{u}_m - \mathbf{C}_m \cdot \frac{\partial \mathbf{u}_m}{\partial t} \quad (5)$$

معادلات دیفرانسیل حاکم بر خطوط انتقال موازی، با در نظر گرفتن تزویج متقابل بین هادیها شامل تزویج متقابل بین فازهای یک مدار و همچنین تزویج متقابل بین فازهای یک مدار با فازهای مدار دیگر) به صورت زیر خواهد بود :

$$\begin{cases} \frac{\partial \mathbf{u}}{\partial x} = -\mathbf{R} \cdot \mathbf{i} - \mathbf{L} \frac{\partial \mathbf{i}}{\partial t} \\ \frac{\partial \mathbf{i}}{\partial x} = -\mathbf{G} \cdot \mathbf{u} - \mathbf{C} \frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} \end{cases} \quad (1)$$

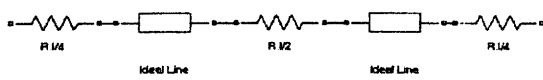
که در رابطه فوق

$$\mathbf{u} = \begin{bmatrix} u_{1a} \\ u_{1b} \\ u_{1c} \\ u_{2a} \\ u_{2b} \\ u_{2c} \end{bmatrix}, \quad \mathbf{i} = \begin{bmatrix} i_{1a} \\ i_{1b} \\ i_{1c} \\ i_{2a} \\ i_{2b} \\ i_{2c} \end{bmatrix}$$

در حالت کلی ماتریسهای مشخصه های الکتریکی خط انتقال یعنی \mathbf{R} ، \mathbf{L} ، \mathbf{G} و \mathbf{C} ماتریسهایی با المانهای ناهمسان و نامتقارن می باشند. اگر فرض شود خطوط انتقال موازی به صورت ایده آل ترانسپوره شده باشند، در این صورت تزویج متقابل بین فازهای هر مدار با یکدیگر یکسان بوده و همچنین تزویج متقابل بین فازهای یک مدار و مدار دیگر نیز با هم برابر خواهد بود. لذا در این حالت به عنوان نمونه ماتریس اندوکتانس \mathbf{L} به شکل زیر خواهد بود:

$$\mathbf{L} = \begin{bmatrix} L_s & L_p & L_p & L_m & L_m & L_m \\ L_p & L_s & L_p & L_m & L_m & L_m \\ L_p & L_p & L_s & L_m & L_m & L_m \\ L_m & L_m & L_m & L_s & L_p & L_p \\ L_m & L_m & L_m & L_p & L_s & L_p \\ L_m & L_m & L_m & L_p & L_p & L_s \end{bmatrix}$$

همانگونه که مشاهده می گردد معادلات توصیف کننده خط انتقال در حوزه زمان به یکدیگر وابسته می باشند که با توجه به نحوه تعریف ماتریسهای \mathbf{R} ، \mathbf{L} ، \mathbf{G} و \mathbf{C} مشخص می باشد. با فرض اینکه خطوط انتقال موازی به صورت ایده آلی ترانسپوزه شده باشند (شرطی که در تمامی الگوریتم های پیشنهادی تاکنون لحاظ شده است [۱۲-۱])، ماتریس های مشخصه های الکتریکی خط به فرم بلوکی در می آیند که بلوکهای روی قطر اصلی با یکدیگر و بلوکهای روی قطر فرعی نیز با هم یکسان می باشند.



شکل (۲) مدل گسترده خط انتقال

همانگونه که در شکل (۲) ملاحظه می شود در این مدل دو خط ایده آل با طولی معادل نصف طول خط اصلی وجود دارد. با در نظر گرفتن معادل حوزه زمان خطوط ایده آل ولتاژ نقطه دلخواهی به فاصله x از ترمینال M بر حسب ولتاژ و جریان این ترمینال بصورت زیر خواهد بود [۱۴]:

$$V_x^M(t) = (Z_c^2 [V_M(t+\tau) - Z_c' i_M(t+\tau)] + Z_c^2 [V_M(t-\tau) + Z_c' i_M(t-\tau)] - \frac{Z_c' R_s'}{4} \left[\frac{R_s'/2}{Z_c'} V_M(t) + 2Z_c' i_M(t) \right]) / 2Z_c^2 \quad (6)$$

که در رابطه فوق

T : مدت زمان مورد نیاز برای انتشار موج بین ترمینال M و نقطه x .

Z_c : امپدانس مشخصه خط

R_s' : مقاومت خط بین ترمینال M و نقطه x .

$$Z_{rc}' = Z_c + R_s'/4 \quad Z_{rc}'' = Z_c - R_s'/4$$

از سوی دیگر ولتاژ همین نقطه را می توان بر حسب ولتاژ و جریان ترمینال N بصورت زیر بیان نمود [۱۴]:

$$V_x^N(t) = (Z_{rc}^2 [V_N(t+T-\tau) - Z_{rc}'' i_N(t+T-\tau)] + Z_{rc}^2 [V_N(t-T+\tau) + Z_{rc}'' i_N(t-T+\tau)] - \frac{Z_{rc} R_s'}{4} \left[\frac{R_s'/2}{Z_{rc}''} V_N(t) + 2Z_{rc}'' i_N(t) \right]) / 2Z_{rc}^2 \quad (7)$$

که در رابطه فوق

T : مدت زمان مورد نیاز برای انتشار موج در طول خط

R_s' : مقاومت خط بین ترمینال N و نقطه x .

$$Z_{rc}' = Z_c + R_s'/4 \quad Z_{rc}'' = Z_c - R_s'/4$$

با در نظر گرفتن اثر جریان عبوری از مقاومت خط، توزیع ولتاژ محاسبه شده با استفاده از اطلاعات ترمینال M تنها برای نقاطی که بین این ترمینال و محل وقوع خط قرار دارند معتبر می باشد. به همین ترتیب توزیع ولتاژ محاسبه شده با استفاده از اطلاعات ترمینال N تنها برای نقاط ما بین این ترمینال و محل خط برقرار است.

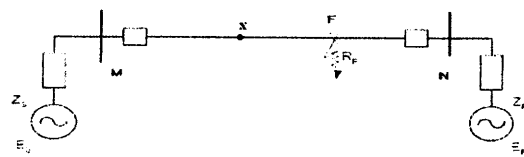
به این علت که ولتاژ نقطه خط محاسبه شده با کمک رابطه (6) می بایست با مقدار محاسبه شده از رابطه (7) یکسان باشد لذا مکان خط می تواند با حل معادله زیر تعیین گردد:

همانگونه که مشاهده می گردد با اعمال این تبدیل معادلات دیفرانسیل وابسته با توجه به قطری بودن ماتریسهای R_m ، C_m و G_m به شش معادله دیفرانسیل مستقل از یکدیگر تبدیل می گردند.

یکی از ویژگی های برجسته این تبدیل این است که در صورتی که مقادیر مربوط به فازهای همنام دو مدار با یکدیگر برابر باشند در این صورت مقادیر مودال برای سه مود از شش مود موجود برابر صفر خواهد بود. از طرف دیگر ولتاژ فازهای همنام در محل ترمینالهای خط انتقال با یکدیگر برابر بوده لذا ولتاژ مودال ترمینالها در مودهای چهارم و پنجم و ششم برابر صفر می گردد. در نتیجه اگر برای فاصله یابی خط از این سه مود بهره گیری شود دیگر نیازی به اطلاعات ولتاژ فازهای در محل ترمینالهای خط نخواهد بود. بعلاوه این مطلب موجب می گردد تا الگوریتم فاصله یابی خط تحت تاثیر تغییر ساختار شبکه (امپدانسهای معادل شبکه) قرار نگیرد که این مطلب اشکال عمده بسیاری از الگوریتم هایی است که تاکنون در این زمینه ارائه شده است. لذا بهره گیری از این سه مود (مودهای چهارم و پنجم و ششم) جهت فاصله یابی خط در خطوط انتقال موازی ایده آل می باشد.

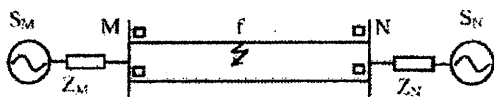
۳- معیار فاصله یابی خط

خط انتقال تکفازی را مطابق با شکل (۱) در نظر می گیریم که باسهای طرفین آن با مدل تونن جایگزین شده اند.



شکل (۱) مدل خط در خط تکفاز

با توجه به اینکه در عمل کندوکتانس خط انتقال بسیار نا چیز است می توان از آن صرف نظر نمود. اگر R ، L و C به ترتیب نشان دهنده مقادیر مقاومت، اندوکتانس و کپاسیتانس در واحد طول خط و l بیانگر طول خط باشد، در این صورت اگر مقاومت کل خط ($R.l$) خیلی کوچکتر از امپدانس مشخصه خط (Z_c) باشد، خط انتقال را می توان به صورت نشان داده شده در شکل (۲) مدل نمود [۱۳]:



شکل (۳) سیستم قدرت مورد مطالعه

جدول (۱) داده های منابع

$R^0=2.334\Omega$	$R^+=1.312\Omega$
$L^0=84.67\text{mH}$	$L^+=47.7465\text{mH}$

جدول (۲) داده های خط

$R^0=0.275\Omega/\text{km}$	$R^+=0.0275\Omega/\text{km}$	$R^m=0.2\Omega/\text{km}$
$L^0=3.27\text{mH}/\text{km}$	$L^+=1.003\text{mH}/\text{km}$	$L^m=2\text{mH}/\text{km}$
$C^0=8.5\text{ nF}/\text{km}$	$C^+=13\text{ nF}/\text{km}$	$C^m=5\text{ nF}/\text{km}$

در جدول (۳) نتایج حاصل از شبیه سازی برای انواع خطا در فواصل مختلف به ازای مقاومت خطای صفر و زاویه وقوع خطای صفر مشاهده می گردد.

جدول (۳) نتایج حاصل برای انواع مختلف خطا

Fault type →	A-G		A-B		A-B-C	
	Cal. Dist.	Error %	Cal. Dist.	Error %	Cal. Dist.	Error %
5 km	4.985	0.005	4.985	0.005	4.985	0.005
50 km	49.846	0.051	49.846	0.051	49.846	0.051
100 km	99.969	0.010	99.969	0.010	99.969	0.010
150 km	150.033	0.011	149.814	0.062	149.814	0.062
200 km	199.937	0.021	199.937	0.021	199.937	0.021
250 km	250.059	0.020	250.059	0.020	250.059	0.020
295 km	294.921	0.026	294.921	0.026	294.921	0.026

همچنین از آنجائیکه اتصال کوتاه تکفاز 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 تکفاز به زمین در فواصل مختلف به ازای مقاومت های خطای مختلف و زاویه وقوع خطای صفر در جدول (۴) آورده شده است.

جدول (۴) نتایج حاصل به ازای مقاومت های خطای مختلف

Fault R _s →	0 Ω		50 Ω		100 Ω	
	Cal. Dist.	Error %	Cal. Dist.	Error %	Cal. Dist.	Error %
5 km	4.985	0.005	4.985	0.005	4.985	0.005
50 km	49.846	0.051	49.846	0.051	50.1227	0.041
100 km	99.969	0.010	99.969	0.010	99.969	0.010
150 km	150.033	0.011	150.091	0.031	149.814	0.062
200 km	199.937	0.021	199.937	0.021	199.937	0.021
250 km	250.059	0.020	250.059	0.020	250.059	0.020
295 km	294.921	0.026	294.921	0.026	294.921	0.026

$$|V_{xy}^M(t) - V_{xy}^N(t)| = 0 \quad (8)$$

که $z=1,2,3,4,5,6$ بیانگر مود مربوطه می باشد. در این الگوریتم از یکی از مودهای چهار، پنج یا شش استفاده می گردد. لذا رابطه (8) بصورت زیر در می آید:

$$\left[(-Z_c'^3 i_{Mf}(t+\tau) + Z_c'^3 i_{Mf}(t-\tau) - \frac{Z_c' Z_c'' R_c'}{2} i_{Mf}(t)) / 2Z_c'^2 - (-Z_{rc}'^3 i_{Nf}(t+\tau) + Z_{rc}'^3 i_{Nf}(t-\tau) - \frac{Z_{rc}' Z_{rc}'' R_{rc}'}{2} i_{Nf}(t)) / 2Z_{rc}'^2 \right] = 0$$

اگر چه رابطه فوق می تواند به عنوان معیار فاصله یابی خطا مورد استفاده قرار گیرد، لیکن ممکن است در برخی نقاط بجز نقطه ای که خطا در آن رخ داده است نیز به صورت لحظه ای رابطه فوق برقرار شود. لذا برای حذف چنین حالتی انتگرال گیری از رابطه (8) در یک بازه زمانی مشخص به عنوان معیار فاصله یابی خطا مورد استفاده قرار می گیرد:

$$\min \int_{t_1}^{t_2} |V_{xy}^M(t) - V_{xy}^N(t)| dt \quad (9)$$

با توجه به ساختار معادلات (6) و (7) پنجره داده مورد نیاز لااقل می بایست دو برابر مدت زمان لازم برای انتشار امواج ولتاژ و جریان در طول خط باشد که در این مقاله داده های یک چهارم سیکل پس از وقوع خطا مورد استفاده قرار گرفته است. این الگوریتم نیاز به داده های همزمان دارد که داده های مذکور می توانند از طریق سیستم موقعیت یاب جهانی (GPS) به صورت همزمان برداشت گردند یا اینکه برداشت داده ها غیر همزمان بوده و سپس با پردازش داده ها همزمان گردند.

با حل معادله بهینه سازی (۹) می توان مکان خطا را پیدا نمود. برای این منظور این معادله گسسته سازی شده و به روش عددی مکان خطا محاسبه می شود.

۴- ارزیابی الگوریتم پیشنهادی:

به منظور ارزیابی دقت الگوریتم ارائه شده سیستم قدرتی را مشابه با شکل (۳) در نظر می گیریم. فرکانس سیستم 50Hz و طول خط برابر با ۳۰۰ کیلومتر در نظر گرفته شده است. اطلاعات سیستم قدرت در جداول (۱) و (۲) نشان داده شده است. از نرم افزار ATP-EMTP برای شبیه سازی سیستم قدرت و برای پیاده سازی الگوریتم از نرم افزار MATLAB استفاده شده است.

- transmission system", Proceedings of 2000 Power Engineering Society Summer Meeting, Seattle, CD-ROM:0-7803-6423-6PP1-6 JULY 2000.
- [3] L.B. Sheng, S. Elangovan, "A fault location method for parallel transmission lines", Electrical Power and Energy Systems, Vol. 21, pp. 253-259, Sept. 1998.
- [4] J. Izykowski, R. Kawecki, E. Rosolowski, and M.M. Saha, "Locating faults in parallel transmission lines under availability of complete measurement at one end", IEE Proc. Gen. Trans. Dist., Vol. 151, No. 2, Mar. 2004, pp. 268-273.
- [5] T. Kawady, and J. Stenzel, "A practical fault location approach for double circuit transmission lines using single end data", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 18, NO. 4, Oct. 2003, pp.1166-1173.
- [6] M.M. Saha, J. Izykowski, and E. Rosolowski, "A method of fault location based on measurements from impedance relays at the line ends", Development in power system protection, Eighth Conf., pp.176-179, 5-8 April 2004.
- [7] F. Chunju, C. Huarong, Y. Weiyong, "Application of six-sequence fault components in fault location for joint parallel transmission line", Tsinghua science and technology, Vol. 10, No. 2, pp. 247-253, April 2005.
- [8] A. J. Mazon, I. Zamora, J. Gracia, K. J. Sagastebeitia, and J. R. Saenz, "Fault location system on double circuit two-terminal transmission lines based on ANN's", IEEE Power Tech, Porto, Portugal.10-13 Sep 2001.
- [9] Z. Qingchao, Z. Yao, S. Wennan, Y. Yixin, and W. Zhigang, "fault location of two-parallel transmission line for non-earth fault using one-terminal data", IEEE trans. on power delivery, Vol. 14, No. 3, July 1999, pp.863-867.
- [10] Z. Qingchao, and D.W.P. Thomas, "Accurate fault location algorithms for two parallel transmission line using one-end data", Transmission and Distribution Conference and exposition, 2001 IEEE/PES Vol. 1, pp. 527-530.
- [11] S. Hongchun, S. Dajun, G. Yaozhong, C. Xunyun, "A least error squares for locating fault on coupled double-circuit HV transmission line using one terminal data", 2002 IEEE.
- [12] G. Song, J. Suonan, Q. Xu, P. Chen, Y. Ge, "Parallel Transmission Lines fault location algorithm based on differential component net", IEEE Trans. Power Del., Vol. 20, No. 4, pp.2396-2406, Oct 2005.
- [13] J. R. Marti, L. Marti, and H. W. Dommel, "Transmission line Models for Steady-state and Transients Analysis", Proc. IEEE/Nat. Tech.Univ. Athens Power Tech Conf. Planning, Operation, Control of Today's Electric Power Systems, pp.744-750, 1993.
- [14] J. Sadeh, A.M. Ranjbar, N. Hajsaid and R. Feuillet, "Accurate Fault Location Algorithm for Power Transmission Lines", European Transactions on Electrical Power (ETEP) Vol. 10, No. 5, pp. 313-318, Sept./ Oct. 2000.

همچنین در جدول (۵) نتایج حاصل از شبیه سازی برای خطای تکفاز به زمین در فواصل مختلف به ازای مقاومت خطای صفرو زاویای وقوع خطای مختلف مشاهده می گردد.

جدول (۵) نتایج حاصل به ازای زاویای وقوع خطای مختلف

Fault Incept. Angle→	0 degree		45 degree		90 degree	
	Cal. Dist.	Error %	Cal. Dist.	Error %	Cal. Dist.	Error %
5 km	4.985	0.005	5.2615	0.087	5.2615	0.087
50 km	49.846	0.051	50.1227	0.041	50.1227	0.041
100 km	99.969	0.010	99.969	0.010	99.969	0.010
150 km	150.033	0.011	150.091	0.030	150.091	0.030
200 km	199.937	0.021	199.937	0.021	200.214	0.071
250 km	250.059	0.020	250.059	0.020	250.059	0.020
295 km	294.921	0.026	295.198	0.066	295.198	0.066

از بررسی جداول فوق مشاهده می گردد که دقت الگوریتم بسیار بالا بوده و از مقاومت خطا و زاویه وقوع خطا نیز تاثیر نمی پذیرد.

۵- نتیجه گیری :

در این مقاله در ابتدا تبدیلی پیشنهاد شده است که می تواند خطوط انتقال موازی را به شش مود مستقل تفکیک نماید، که هر کدام از این مودها را می توان به منظور فاصله یابی خطا مورد استفاده قرار داد. ویژگی اصلی این تبدیل آن است که در سه مود از شش مود حاصل ولتاژ ترمینالها برابر صفر می باشد، لذا اگر از این مودها جهت فاصله یابی بهره گیری گردد، تنها به جریان فازها در محل ترمینالها نیاز خواهد بود. بعلاوه در این حالت الگوریتم تحت تاثیر تغییر ساختار شبکه قرار نمی گیرد، در نتیجه الگوریتم دارای دقت بالاتری خواهد بود. این الگوریتم به پنجره داده بسیار کوچکی تنها به میزان دو برابر مدت زمان مورد نیاز برای انتشار امواج ولتاژ و جریان در طول خط نیاز دارد. شبیه سازی های صورت پذیرفته دقت بسیار بالایی را در شرایط مختلف از خود نشان می دهد. به گونه ای که حداکثر خطا هیچ گاه از ۰/۱٪ طول خط بیشتر نشده است.

مراجع

- [1] J. Izykowski, R. Kawecki, E. Rosolowski, and M.M. Saha, "Accurate location of faults in parallel transmission lines under availability of measurements from one circuit only" Proc. 14th Power Systems Computation Conf. (PSCC), Seville, Spain, June 2002, Session 08, paper 6, pp. 1-7.
- [2] Y.J. Ahn, M.S. Choi, S.H. Kang, and S.J. Lee, "An accurate fault location algorithm for double-circuit