

تعیین محل خطا در شبکه های چند باسه مستقل از اندازه گیری جریان در باس های داخلی

خلیل گرگانی فیروزجاه، عبدالرضا شیخ الاسلامی
دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر
دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل
بابل- ایران

واژه های کلیدی: تعیین محل خطا، شبکه انتقال چند باسه، حذف اندازه گیری جریان

چکیده

در این مقاله، روشی مبتنی بر اندازه گیری فازوری همزمان ولتاژ (به گونه ای مستقل از جریان) برای تعیین محل خطا در شبکه انتقال چند باسه ارائه شده است. الگوریتم پیشنهادی، آزاد از مشکلات ذاتی CT از جمله اشباع آن در هنگام اتصال کوتاه به جز در تعداد معدودی از باس ها پیاده شده است. با بهره گیری از تئوری تونن، توالی مقارن و مدل سازی تمامی المان های شبکه در حالت پریونیت، تخمین مستقل از نوع و مقاومت خطا امکان پذیر گشته است. مطابق با این روند، نیاز به مدل تونن شبکه (در الگوریتم های مستقل از جریان) با حذف CT حفاظتی در باس های داخلی و استفاده معدود آنها تنها در باس های ارتباطی شبکه با خارج مرتفع شده و در نتیجه، تعداد CT های حفاظتی تقلیل یافته و لذا CT باس های باقی مانده از نوع مرغوب تری انتخاب می گردند. بنابراین، علاوه بر کاهش هزینه کلی، قابلیت اطمینان مکان یابی دقیق خطا در خطاهای با جریان بالاتر افزایش می یابد. نتایج شبیه

سازی با نرم افزار MATLAB نشان دهنده عملکرد مناسب الگوریتم، مستقل از نوع و مقاومت خطا می باشند.

۱- مقدمه

خطوط انتقال در هر سطح ولتاژی در معرض خطا و اتصال کوتاه قرار دارند. شناسایی و تعیین محل خطا در خطوط انتقال، ارتباط تنگاتنگی با سرعت بازگردانی مجدد شبکه قدرت و در نتیجه افزایش کارایی آن دارد [۱]. تا کنون روش های متعددی جهت حفاظت دقیق توام با هزینه کم در محل یابی خطا ارائه شده اند. روش ها متداول از مقادیر ولتاژ و جریان اندازه گیری شده برای تخمین و محاسبه محل خطا استفاده می نمایند. اگرچه با صرف نظر از رفتار ایده آل سیستم های اندازه گیری و تاثیر پذیری آنها از شرایط شبکه در طول پیرو خطا، حذف وابستگی الگوریتم محل یابی خطا از برخی تجهیزات اندازه گیری (نظیر ترانسفورماتورهای جریان CT) موجب افزایش دقت الگوریتم می گردد. البته راه حل های

بیست و چهارمین کنفرانس بین المللی برق

بر اساس مشکلات ناشی از CT در روند تعیین محل خطا، اخیراً مراجع [۲۳-۲۸] با بهره گیری از تکنیک اندازه گیری ولتاژ همزمان، روش هایی مستقل از جریان ارائه نموده اند. روش Brahma [۲۳ و ۲۴]، علیرغم حذف وابستگی جریان در محاسبات، مستقل از مقاومت و نوع خطا نمی باشد. در صورتی که Firouzjah [۲۵-۲۸]، با استفاده از روابط حاکم بر شبکه دو ترمینال، تاثیر پذیری مقدار تخمینی محل وقوع خطا را به نوع و مقاومت خطا به خوبی مرتفع نموده است. در ادامه تحقیقات انجام شده قبلی [۲۵-۲۸]، به منظور حذف وابستگی روابط به مدل تونن شبکه دو ترمینال (در عمل محاسبه آن مستقل از جریان مشکل و امکان ناپذیر می نماید) و ایجاد زمینه جهت پیاده سازی طرح مستقل از جریان در شبکه های انتقال فعلی پیگیری می گردد. بر اساس طرح پیشنهادی با گسترش آن در یک شبکه چند باسه، می توان نیاز اندازه گیری جریان را از تمامی باس ها به تعداد محدودی از باس های خاص تغییر داد. در نهایت، پس از ارائه روابط و الگوریتم پیشنهادی در بخش (۲)، نتایج شبیه سازی ها با نرم افزار MATLAB و با بهره گیری از محیط M-File در بخش (۳) به منظور بررسی صحت طرح ارائه می گردند.

۲- روش پیشنهادی تعیین محل خطا

در یک شبکه چندین (n) باسه، با در اختیار داشتن امپدانس سری و ادمیتانس موازی خط انتقال بصورت:

$$Z_{abc} = \begin{bmatrix} Z_{aa} & Z_{ab} & Z_{ac} \\ Z_{ba} & Z_{bb} & Z_{bc} \\ Z_{ca} & Z_{cb} & Z_{cc} \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$Y_{abc} = \begin{bmatrix} Y_{aa} & Y_{ab} & Y_{ac} \\ Y_{ba} & Y_{bb} & Y_{bc} \\ Y_{ca} & Y_{cb} & Y_{cc} \end{bmatrix}$$

می توان رابطه بین ولتاژ و جریان باس را با تشکیل ماتریس ادمیتانس باس های شبکه بدست آورد:

متفاوتی از جمله انتخاب CT با کلاس اندازه گیری دقیق تر و مدل دینامیکی در شرایط گذرا پیشنهاد شده اند [۲-۴]. اما با این وجود، مشکل اشباع CT و اندازه گیری نادرست آن، موجب کاهش دقت و افزایش هزینه حفاظت شبکه انتقال می گردد. لذا علیرغم دقت بالای روش هایی که از هر دو پارامتر ولتاژ و جریان شبکه استفاده می نمایند، توسعه روش های جدید مستقل از جریان مقتم بشمار می آیند.

تاکنون روش های متعدد مستقل از جریان برای تعیین محل خطا در خطوط انتقال ارائه شده اند [۵-۹]. مراجع [۵ و ۶] روشی بر پایه اندازه گیری ولتاژ باس های یک شبکه چند ترمینال حلقوی و شعاعی ارائه نموده اند. همچنین در کاربرد خطوط دو ترمینال، مراجع [۷ و ۸] اندازه گیری ولتاژ را به یک ترمینال تقلیل داده اند. اگرچه روش های دو ترمینال از روش های تک ترمینال دقیق تر بوده و قادر به حذف تاثیر مقاومت خطا، بارگیری سیستم و جریان شارژ خط (مستقل از شناسایی نوع خطا) در الگوریتم محل یابی می باشند [۱۰].

پیشرفت های اخیر در اندازه گیری های همزمان مبتنی بر GPS موجب رویکرد طیف وسیعی از تحقیقات انجام شده در مبحث محل یابی خطا به بهره گیری از این تکنولوژی ها شده است. از این جمله می توان به روش های مبتنی بر تئوری امواج سیار [۹ و ۸]، تبدیل موجک [۹ و ۱۱ و ۱۲]، شبکه های عصبی [۱۲ و ۱۳] و فازی اشاره نمود. علاوه بر موارد ذکر شده، روش های محل یابی خطا مبتنی بر اندازه گیری فازوری همزمان (Synchronized Phasor Measurement)، از مباحث جدید و مناسب مطرح شده در زمینه حفاظت دیستانس خطوط انتقال بشمار می آیند [۱۸-۲۲]. مراجع [۲۰ و ۲۱]، با ارائه الگوریتمی جدید بر پایه تبدیل فوریه زمان گسسته، مقدار دقیق مولفه فرکانس اصلی ولتاژ و جریان را با حذف نویز اندازه گیری و محل خطا را با دقت بسیار بالایی تخمین زده اند. Brahma [۲۲]، با اندازه گیری فازوری همزمان ولتاژ و جریان پایانه های یک شبکه انتقال چند ترمینال، با تخمین مدل تونن شبکه در هر پایانه و تشکیل ماتریس امپدانس باس، محل خطا را محاسبه نموده است.

بیست و چهارمین کنفرانس بین المللی برق

تنها منبع موجود در حالت خطا را منبعی با مقدار منفی در باس خطا در نظر گرفت. بیان علمی این نظر، در تئوری تونن در محاسبه اتصال کوتاه شبکه مبحثی شناخته شده می باشد. در این روش تحلیل شبکه در اتصال کوتاه، با صفر نمودن منابع اکتیو شبکه و نمایش ژنراتورها، ترانسفورماتورها، خطوط و بارها با امدانسانس های هم ارز مناسب، ماتریس ادمیتانس شبکه (معادله (۲)) به صورت زیر باز نویسی می گردد:

(۴)

$$\begin{bmatrix} [0] \\ [0] \\ \vdots \\ [0] \\ IF \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y'_{11} & Y'_{12} & \dots & Y'_{1n} & Y_{1F} \\ Y'_{21} & Y'_{22} & \dots & Y'_{2n} & Y_{2F} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ Y_{n1} & Y_{n2} & \dots & Y_{nn} & Y_{nF} \\ Y_{F1} & Y_{F2} & \dots & Y_{Fn} & Y_{FF} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta V_1 \\ \Delta V_2 \\ \vdots \\ \Delta V_n \\ \Delta V_F \end{bmatrix}$$

مقادیر ولتاژ در سمت چپ معادله فوق، تغییرات ولتاژ باس ها قبل و حین خطا می باشد:

$$\Delta V = V_{\text{Post Fault}} - V_{\text{Pre Fault}} = V^f - V^o \quad (5)$$

البته مقادیر فوق، هر یک ماتریس 3×3 می باشند:

$$\Delta V_i = \begin{bmatrix} V_{ia}^f - V_{ia}^o \\ V_{ib}^f - V_{ib}^o \\ V_{ic}^f - V_{ic}^o \end{bmatrix} \quad \{i = 1, 2, \dots, n\} \quad (6)$$

همچنین، مقادیر پریم دار در رابطه (۴)، مقادیر ادمیتانس باس ها می باشد که در اثر اتصال کوتاه و پیدایش باس جدید (F) تغییر یافته اند. دیگر عناصر جدید پدید آمده، تنها شامل مولفه های مربوط به باس های دو سمت خطا (مجاور Bus و Bus j) می باشند و دیگر ادمیتانس های بیان شده بر حسب F صفر می گردند:

$$Y_{Fi} = Y_{iF} = 0 \quad \{i=1,2,\dots,n \text{ only } i \neq k,F\} \quad (7)$$

با توجه به عدم تقارن شبکه در خطاهای نامتقارن، با تعریف ماتریس تبدیل T به عنوان ماتریس تبدیل مولفه های متقارن، تمامی روابط و پارامترهای سیستم از جمله مقادیر امدانسانس و ادمیتانس خط و همچنین ولتاژها به مختصات توالی صفر، مثبت و منفی منتقل می گردند. به این ترتیب محاسبات علاوه بر سادگی، از نامتعادلی نیز مبرا می گردند.

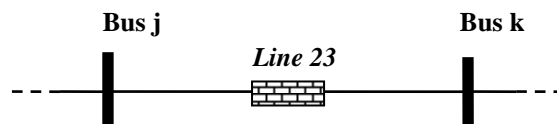
$$\begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \vdots \\ V_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & \dots & Y_{1n} \\ Y_{21} & Y_{22} & \dots & Y_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Y_{n1} & Y_{n2} & \dots & Y_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \vdots \\ I_n \end{bmatrix} \quad (2)$$

هر یک از مقادیر ماتریس ادمیتانس باس، ماتریس 3×3 و بر حالت سه فاز بیان می شود. طریقه تشکیل این ماتریس به تفصیل در مراجع ارائه شده است.

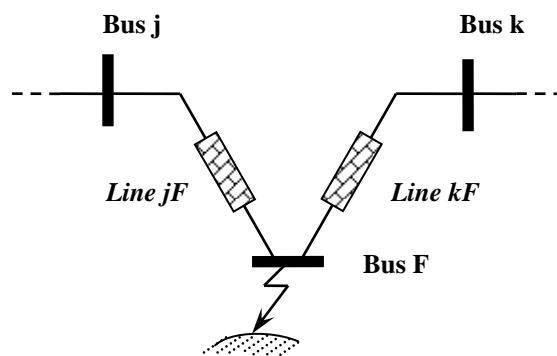
با فرض وقوع خطا در طول خطوط انتقال شبکه n باس با معادله شبکه (۲) و با توجه به شکل (۱)، می توان خطای به وقوع پیوسته در خط انتقال ارتباطی بین باس های مجاور Bus j و Bus k را در یک باس جدید، به عنوان باس خطا (F) لحاظ نمود. خط انتقال ارتباطی بین باس های j و k به دو خط انتقال با مدل π شکسته می گردد:

$$Line\ jk \rightarrow Line\ jF \ \& \ Line\ kF \quad (3)$$

مدل قبل خطا



مدل حین خطا



شکل (۱) قسمتی از شبکه n باسه : قبل و حین خطا

با فرض بزرگی جریان خطا از جریان حالت عادی شبکه و عدم تغییر ولتاژ معادی تونن متصل به برخی باس ها می توان

بیست و چهارمین کنفرانس بین المللی برق

قبل خطا (در رابطه (۲))، می توان ماتریس ادمیتانس حین خطا (در رابطه (۴)) را بدست آورد:

$$[Y_{jj}] = [Y_{jj}] - [Y_{jk}] + x [Y_{jk}] \quad (13)$$

$$[Y_{kk}] = [Y_{kk}] - [Y_{jk}] + (1-x)[Y_{jk}] \quad (14)$$

$$\begin{bmatrix} Y^{0+-new} & \\ & jj \end{bmatrix} = \quad (15)$$

$$\begin{bmatrix} Y^{0+-old} & \\ & jj \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} Y^{0+-} & \\ & jk \end{bmatrix} + x \begin{bmatrix} Y^{0+-} & \\ & jk \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} Y^{0+-new} & \\ & kk \end{bmatrix} = \quad (16)$$

$$\begin{bmatrix} Y^{0+-old} & \\ & kk \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} Y^{0+-} & \\ & kj \end{bmatrix} + (1-x) \begin{bmatrix} Y^{0+-} & \\ & kj \end{bmatrix}$$

Y^{0+-new} و Y^{0+-old} به ترتیب، ماتریس ادمیتانس توالی صفر و مثبت و منفی باس شبکه قبل و حین خطا و پارامتر x بیانگر نسبت فاصله خطا از باس Z بر کل طول خط می باشد.

با توجه به رابطه فوق، اگر خطا در خطی مرتبط با باس متصل به خارج این شبکه n باسه با مدل تونن (Z_{th}) واقع گردد، آنگاه بدون ماتریس ادمیتانس تونن شبکه معادل، حل معادلات (۱۱) و (۱۲) امکان پذیر نمی باشد. لذا، مطابق موارد ذکر شده

در مقدمه این تحقیق، و مراجع [۲۳-۲۸] در اختیار داشتن مدل تونن در باس های انتهایی شبکه الزامیست. محاسبه معادل تونن شبکه امری مشکل و لازمه معادلات پیچیده می باشد. بنابراین آنچه به عنوان راهی در جهت حذف CT حفاظتی برای تعیین محل خطا در شبکه چند باسه مطرح می گردد، حذف CT فقط در باس های داخلی شبکه می باشد. به عبارت دیگر، به منظور دستیابی به معادل تونن شبکه در باس های ارتباطی این سیستم n باسه با شبکه های همسایه، اندازه گیری جریان اجباری می گردد. به این ترتیب، مطابق شکل (۲) در هنگام وقوع خطا در باس ارتباطی بین این شبکه n باسه با شبکه خارجی با مدل تونن نامشخص، می توان به جای حاصل ضرب ادمیتانس تونن در مقدار تغییرات ولتاژ در رابطه های (۱۱) و (۱۲)، تغییرات جریان اندازه گیری شده را نوشت.

$$T = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \alpha^2 & \alpha \\ 1 & \alpha & \alpha^2 \end{bmatrix} \quad \left\{ \alpha = e^{\frac{2\pi}{3}i} \right\} \quad (8)$$

$$V^{0+-} = T^{-1} V^{abc}, \quad I^{0+-} = T^{-1} I^{abc}, \quad Y^{0+-} = T^{-1} Y^{abc} T \quad (9)$$

با اعمال ماتریس T ، رابطه (۴) به جریان ها، ولتاژها و ادمیتانس های توالی متقارن ($++$) تبدیل می شوند.

$$(10)$$

$$\begin{bmatrix} [0] \\ [0] \\ \vdots \\ [0] \\ [IF] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y^{0+-} 11 & Y^{0+-} 12 & \dots & Y^{0+-} 1n & Y^{0+-} 1F \\ Y^{0+-} 21 & Y^{0+-} 22 & \dots & Y^{0+-} 2n & Y^{0+-} 2F \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ Y^{0+-} n1 & Y^{0+-} n2 & \dots & Y^{0+-} nn & Y^{0+-} nF \\ Y^{0+-} F1 & Y^{0+-} F2 & \dots & Y^{0+-} Fn & Y^{0+-} FF \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta V 1 \\ \Delta V 2 \\ \vdots \\ \Delta V n \\ \Delta V F \end{bmatrix}$$

اینک با رابطه (۱۰) و این امر که خطا بین چه باس هایی واقع شده است، با ضرب عناصر دو سطر ماتریس ادمیتانس رابطه اخیر (با شماره باس های دو سمت خطا) در ماتریس ولتاژ، دو معادله با طرف چپ صفر (جریان های باس های مربوطه که در معادله (۲) صفر شده اند) بدست می آید:

$$[0] = \begin{bmatrix} Y^{0+-} j1 & Y^{0+-} j2 & \dots & Y^{0+-} jn & Y^{0+-} jF \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta V 1 \\ \Delta V 2 \\ \dots \\ \Delta V n \\ \Delta V F \end{bmatrix} \quad (11)$$

$$[0] = \begin{bmatrix} Y^{0+-} k1 & Y^{0+-} k2 & \dots & Y^{0+-} kn & Y^{0+-} kF \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta V 1 \\ \Delta V 2 \\ \dots \\ \Delta V n \\ \Delta V F \end{bmatrix} \quad (12)$$

تساوی دو معادله اخیر منجر به معادله ای با مجهول بر حسب مولفه ای از ماتریس ادمیتانس مرتبط با ادمیتانس خودی باس-های دو سمت خطا ($Y^{0+-} jj$ و $Y^{0+-} kk$) می گردد. بر اساس مرجع [۲۵] و شکل (۱)، خط انتقال پس از اتصال کوتاه به دو مدل π با طول های x و $ljk-x$ تجزیه می گردد (x فاصله خطا از باس Z در خط انتقال ارتباطی بین این باس و باس x با طول ljk می باشد). لذا با در اختیار داشتن ماتریس ادمیتانس باس

بیست و چهارمین کنفرانس بین المللی برق

به عنوان نتیجه، می توان طرح پیشنهادی فوق را مستقل از اندازه گیری جریان حین و قبل خطا (به جز اندازه گیری جریان در باس هایی از شبکه که با شبکه های دیگر خارجی مرتبطند) در نظر گرفت. در نهایت، معادله حاصل از تساوی معادلات (۱۱) و (۱۲) با مباحث تکمیلی فوق به منظور جستجوی جوابی یکتا برای x در توالی مثبت مورد ارزیابی توسط روش های حل عددی معادلات قرار گرفته و با ضرب مقدار x در طول اولیه خط خطا دار شده، محل وقوع خطا محاسبه می گردد. به منظور بیان اختلاف بین فاصله تخمینی توسط معادلات اخیر و محل واقعی خطا، پارامتر Error به عنوان درصد این اختلاف در طول کل خط به صورت زیر تعریف می گردد.

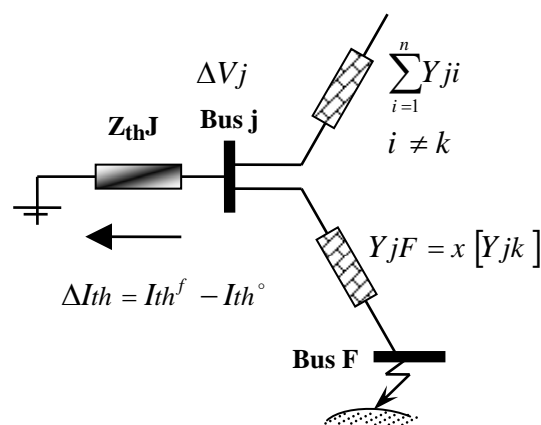
$$\text{Error} = \frac{|\text{Actual Location} - \text{Estimated Location}|}{\text{Total Line Length}} \times 100 \quad (19)$$

در شرایط ایده آل، هدف روش ارائه شده، دستیابی به کمترین Error و در نتیجه دقت فاصله تخمینی علاوه بر حذف ترانسفورماتور جریان در اکثریت باس های شبکه و همچنین استقلال تخمین از نوع و مقاومت خطا می باشد.

۳- نتایج شبیه سازی روش پیشنهادی

شبیه سازی ها به منظور بیان صحت و دقت روش ارائه شده، برای یک شبکه انتقال ۸ باسه با مدل نمونه ای مطابق شکل (۳) با دو سطح ولتاژ ۴۰۰ و ۲۳۰ کیلوولت و توسط نرم افزار MATLAB انجام شده است.

پارامتر های خط انتقال بر اساس مرجع [۲۵] انتخاب شده اند. پارامتر های مورد استفاده در تحلیل ها در مختصات مولفه های متقارن لحاظ شده اند. همچنین، با توجه به اینکه شبکه از دو سطح ولتاژ تشکیل شده است، لذا تمامی روابط و پارامترها به حالت پریونیت انتقال یافته اند. مطابق با دیگرام تک خطی شبکه انتقال چند باسه نمونه شکل (۳) و بر اساس الگوریتم بخش قبل، اندازه گیری جریان در دو باس ۱ و ۸ و تنها جریان خروجی از این دو باس صورت گرفته است. بنابراین، در این شبکه ۸ باسه، تعداد ترانسفورماتورهای جریان حفاظتی مورد استفاده در روش های متداول، از ۸ عدد به ۲



شکل (۲) مدل شبکه هنگام وقوع خطا در باس ارتباطی بین شبکه n باس و یک شبکه خارجی با امپدانس تونن Z_{th}

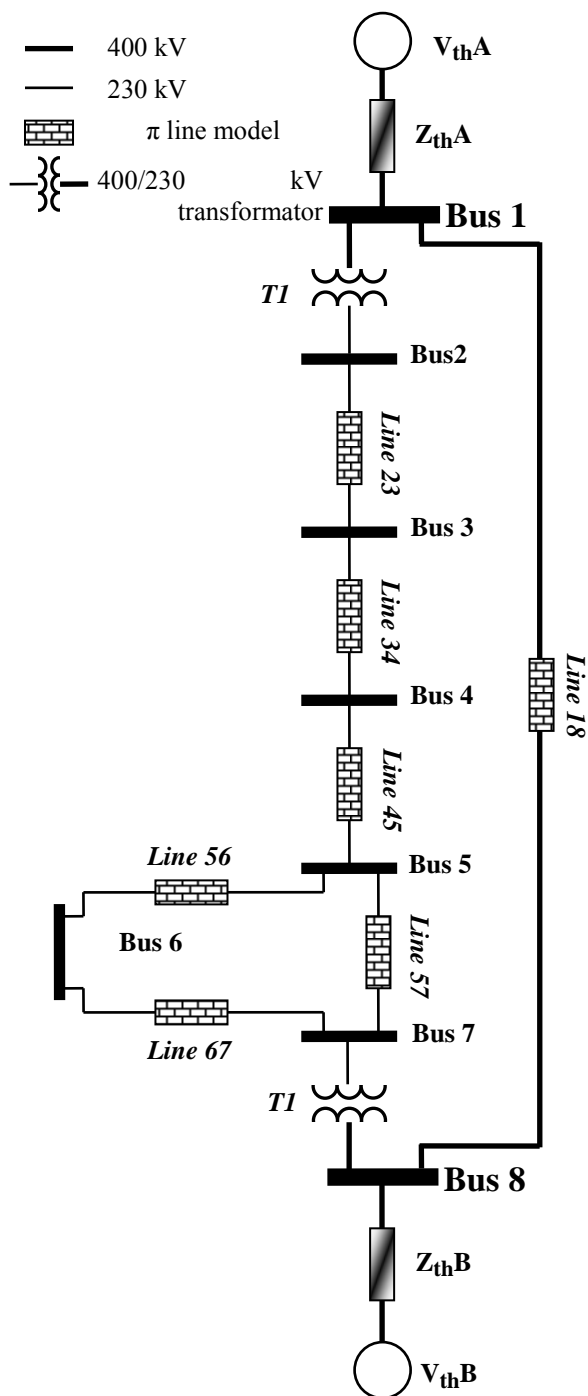
$$\begin{bmatrix} Y^{0+new} & \\ & jj \end{bmatrix} [\Delta V_j] = \begin{bmatrix} Y^{0+old} & \\ & jj \end{bmatrix} [\Delta V_j] - \quad (17)$$

$$\begin{bmatrix} Y^{0+-} & \\ & jk \end{bmatrix} [\Delta V_j] + x \begin{bmatrix} Y^{0+-} & \\ & jk \end{bmatrix} [\Delta V_j] \\ \begin{bmatrix} Y^{0+old} & \\ & jj \end{bmatrix} [\Delta V_j] = \sum_{i=1 \{i \neq k\}}^n Y_{ji} [\Delta V_j] + Y_{thJ} [\Delta V_j] \quad (18)$$

$$\{ \Delta I_{thJ} = Y_{thJ} [\Delta V_j] \} \rightarrow \begin{bmatrix} Y^{0+old} & \\ & jj \end{bmatrix} [\Delta V_j] = \sum_{i=1 \{i \neq k\}}^n Y_{ji} [\Delta V_j] + \Delta I_{thJ}$$

بنابراین، غیر از مقدار جریان ΔI_{thJ} که از اندازه گیری جریان در باس ارتباطی شبکه با خارج بدست می آید، مابقی پارامترها به روابط و ولتاژ شبکه وابسته می باشند. البته، اگر خطا در خط مرتبط با باسی با مشخصات ذکر شده واقع نگردد، آنگاه نیازی به اندازه گیری جریان در مسیر خروجی شبکه با ترانسفورماتور نمی باشد. اما با تکیه بر این حقیقت که هیچگاه محل خطا قابل پیشبینی نیست، لذا لزوم اندازه گیری جریان (به صورت حداقل در باس های خروجی شبکه) مشخص می گردد.

بیست و چهارمین کنفرانس بین المللی برق



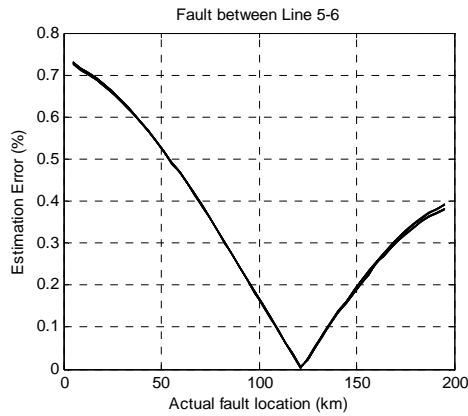
شکل (۳) دیاگرام تک خطی سیستم قدرت نمونه چند باسه

عدد تقلیل یافته که بیانگر کاهش ریسک روابط از دقت و صحت اندازه گیری جریان می باشد. لذا اگر جواب نتایج تخمین محل خطا بر اساس طرح فوق، در بازه ای قابل قبول قرار گیرد، آنگاه می توان توجیهی بر برتری این طرح بر طرح های متداول در نظر گرفت.

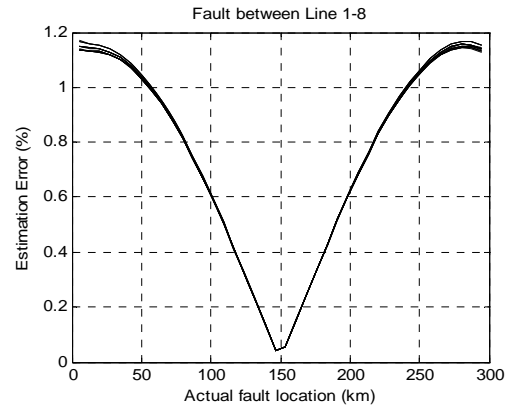
به منظور بررسی دقت تخمین، توام با استقلال آن از نوع و مقاومت خطا، شبیه سازی های متعدد به ازای خطاهای پنجگانه (LLL، LL، LLLG، LLG، LG) با سه اندازه مقاومت خطای ۱، ۱۰ و ۱۰۰ اهم (در مجموع، ۱۵ حالت خطا) با نرم افزار MATLAB انجام و با بهره گیری از محیط M-File نتایج در شکل های زیر (چند خط به نمایندگی) ارائه شده است.

مطابق با نتایج ارائه شده در شکل های (۴) تا (۹)، مقدار درصد Error با توجه به حذف اندازه گیری جریان در ۶ باس از ۸ باس، در حد قابل قبول می باشد. علاوه بر این، مقدار Error تخمین در ۱۵ حالت خطا بر روی یکدیگر منطبق شده اند که این امر بیانگر برابری تخمین در شرایط مختلف می باشد. بنابراین، دقت تخمین تنها به محل واقعی وقوع خطا بستگی دارد. لذا از دیگر مزایای این طرح، عدم وابستگی روابط به نوع و مقاومت خطا می باشد. لازم به ذکر است که ترانسفورماتورهای ۴۰۰/۲۳۰ کیلوولت (T1 و T2) در این شبکه پس از انتقال به شرایط پریونیت، با توجه به اتصال ستاره-ستاره زمین شده در دو سمت (به عنوان یک نمونه در مثال مورد استفاده از شبکه ۸ باس شکل (۳)) و اصول مدل سازی ترانسفورماتورها در توالی متقارن، پیاده سازی و در روابط ادمیتانس معادل شده اند. اگرچه، نکته اساسی در هنگام بازنویسی روابط بخش قبل، صحت مدل سازی این ترانسفورماتورها بوده و لذا در روند الگوریتم، به منظور اعمال ترانسفورماتورهای مذکور، باس های دو سمت آنها به عنوان باس های مجازی و امپدانس ترانسفورماتورها نیز به عنوان جزئی مجازی از ماتریس ادمیتانس شبکه وارد روابط شده اند.

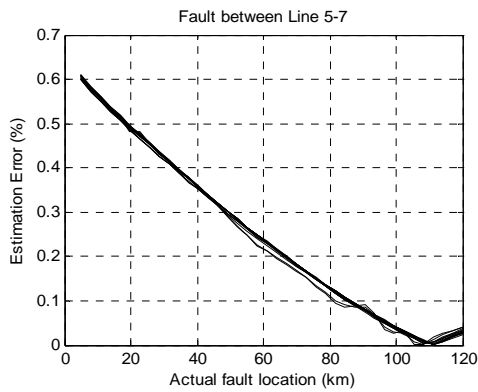
بیست و چهارمین کنفرانس بین المللی برق



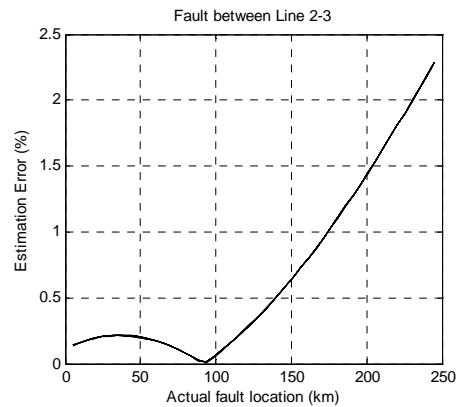
شکل (۷) Error ۱۵% نوع خطا بر حسب محل وقوع در خط ۵-۶



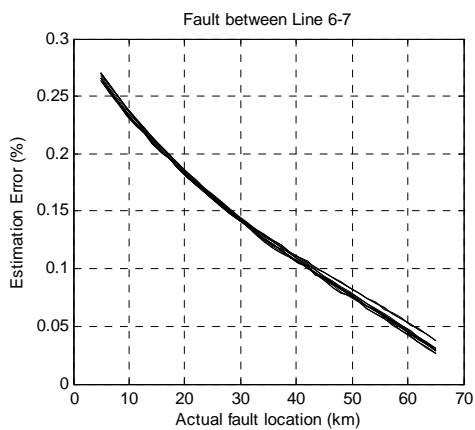
شکل (۴) Error ۱۵% نوع خطا بر حسب محل وقوع در خط ۸-۱



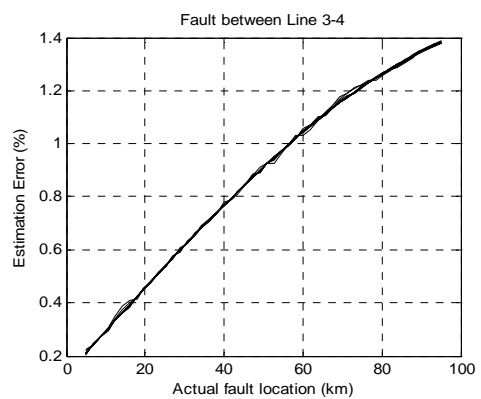
شکل (۸) Error ۱۵% نوع خطا بر حسب محل وقوع در خط ۵-۷



شکل (۵) Error ۱۵% نوع خطا بر حسب محل وقوع در خط ۳-۲



شکل (۹) Error ۱۵% نوع خطا بر حسب محل وقوع در خط ۷-۶



شکل (۶) Error ۱۵% نوع خطا بر حسب محل وقوع در خط ۴-۳

models for protective relay transient study", IEEE Tran. Power Delivery, Vol. 9, No. 1, pp. 405-413, 1994.

- [5] Z. Galijasevic, A. Abur, "Fault location using voltage measurements", IEEE Trans. Power Delivery, Vol. 17, No. 2, pp. 441 – 445, 2002.
- [6] P. Bastard, L. Garcia-Santander, X.Le. Pivert, I. Gal, E.L. Parra, "A voltage-based fault location method for radial distribution networks", in Proc IEEE, Power System Management and Control International Conference, No. 488, pp. 216 – 221, 2002.
- [7] C.E. de Morais Pereira, L.C. Zanetta, "Fault location in transmission lines using one-terminal postfault voltage data", IEEE Trans. Power Delivery, Vol. 19, No. 2, pp. 570 – 575, 2004.
- [8] Li Yongli; Yi. Zhang; Ma. Zhiyu, "Fault location method based on the periodicity of the transient voltage traveling wave", TENCON, IEEE Region 10 Conference, Vol. 3, pp. 389 – 392, 2004.
- [9] Y.J. Xia, X.G. Yin, Z.H. Wang, J.C. Yang, X.B. Zhang, "A novel fault location scheme using voltage traveling-wave of CVTs", UPEC 2004, Vol. 2, pp. 768 – 772, 2004.
- [10] Power System Relaying Committee of the IEEE Power Engineering Society, "IEEE Guide for Determining Fault Location on AC Transmission and Distribution Lines", IEEE Standard C37.114, pp. 10-11, 2005.
- [11] H. Zhengyou, C. Yumei, Q. Qingquan, "Study on Adaptation of Traveling Waves Based on Wavelet Transform for Fault Location in Automatic Blocking and Continuous Power Transmission Lines", Transmission and Distribution Conference, IEEE/PES, pp. 1 – 6, 2005.
- [12] A. Ngaopitakkul, A. Kunakorn, S. Bunjongjit, "Discrete wavelet transform and probabilistic neural networks algorithm for identification of fault locations on transmission systems", PowerCon 2004, Vol. 1, pp. 270 – 274, 2004.
- [13] H.P. Amorim, L. Huais, "Faults location in transmission lines through neural networks", Transmission and Distribution Conference, IEEE/PES, pp. 691 – 695, 2004.
- [14] D.J. Lawrence, L. Cabeza, L. Hochberg, "Development of an advanced transmission line fault location system part II—algorithm development and simulation", IEEE Trans. Power Delivery, Vol. 7, No.4, pp. 1972–1983, 1992.
- [15] A.A. Girgis, D.G. Hart, W. Peterson, "A new fault location technique for two- and threeterminal lines", IEEE Trans. Power Delivery, Vol. 7, No. 1, pp. 98–107, 1992.

۴- نتیجه گیری

در این مقاله، روشی جدید مبتنی بر تکنیک اندازه گیری فازوری همزمان برای تعیین محل خطا در شبکه انتقال چند باسه ارائه شده است. تخمین محل خطا توسط روش ارائه شده، تنها با استفاده از ولتاژ ترمینالها قبل و حین خطا، با Error قابل قبول همراه شده است. مزیت این روش به روش پیشین، علاوه بر حذف ترانسفورماتور جریان (CT) (بخاطر مشکلات ذاتی CT از جمله اشباع و حالت گذرای آن در هنگام اتصال کوتاه)، حذف وابستگی به نوع و مقاومت خط به گونه ای عملی با امکان پیاده سازی در شبکه های انتقال موجود می باشد. بر اساس روند پیشنهادی در این مقاله، مدل تونن در اکثریت باس ها با اندازه گیری ولتاژ بدست آمده و تنها تعداد معدودی از آنها از مبحث استقلال از اندازه گیری جریان مستثنا می گردند. لذا مشکلات ناشی از CT از تمامی باس ها، به تعداد معدودی از آنها (۲ باس از یک شبکه ۸ باس نمونه) تقلیل یافته و در نتیجه CT باس های باقی مانده از نوع مرغوب تری انتخاب می گردند. بنابراین، علاوه بر کاهش هزینه کلی، قابلیت اطمینان مکان یابی دقیق خطا در خطاهای با جریان بالاتر افزایش می یابد. نتایج شبیه سازی با نرم افزار MATLAB نشان دهنده عملکرد مناسب الگوریتم ارائه شده است.

مراجع

- [1] A. Sauhats, M. Danilova, "Fault location algorithms for super high voltage power transmission lines", Power Tech, in Proc IEEE, Vol. 3, pp. 3, 2003.
- [2] M. Sanaye-Pasand, M.S.A. Azarbayejani, "An efficient compensation algorithm for current transformer saturation Effects", IEEE Trans. Power Delivery, Vol. 21, No. 3, pp. 1757, 2006.
- [3] H. Khorashadi-Zadeh, M. Sanaye-Pasand, "Correction of saturated current transformers secondary current using ANNs", IEEE Trans. Power Delivery, Vol. 21, No. 1, pp. 73 – 79, 2006.
- [4] M. Kezunovic, L. Kojovic, A. Abur, C.W. Fromen, D.R. Sevcik, F. Phillips, "Experimental evaluation of EMTP-based current transformer

بیست و چهارمین کنفرانس بین المللی برق

Terminal Transmission Lines Accompanied by CT Elimination", *Int Journal of Applied Engineering Research*, Vol. 3, No. 2, pp. 241-256, 2008.

[۲۸] خلیل گرگانی فیروزجاه، عبدالرضا شیخ الاسلامی،

"روش اصلاح شده مبتنی بر اندازه گیری ولتاژ همزمان

برای تعیین محل خطا در خطوط دو ترمینال با حذف

ترانسفورماتور جریان" مجله دانشکده فنی دانشگاه تبریز،

جلد ۳۶، شماره ۱، ویژه مهندسی برق، بهار ۱۳۸۸.

- [16] D. Hart, D. Novosel, E. Udren, "Application of synchronized phasors to fault location analysis", *Applications of Synchronized Phasors Conference*, 1993.
- [17] M. Kezunovic, "An accurate fault location using synchronized sampling at two ends of a transmission line", *Applications of Synchronized Phasors Conference*, 1993.
- [18] M. Kezunovic, B. Perunicic, "Automated transmission line fault analysis using synchronized sampling at two ends", *IEEE Trans. Power System.*, Vol. 11, pp. 441–447, 1996.
- [19] H.Y. Li, E.P. Southern, P.A. Crossley, S. Potts, S.D.A. Pickering, B.R.J. Caunce, G.C. Weller, "A new type of differential feeder protection relay using the global positioning system for data synchronization", *IEEE Trans. Power Delivery*, Vol. 12, pp. 1090–1097, 1997.
- [20] J.A. Jiang, J.Z. Yang, Y.H. Lin, C.W. Liu, J.C. Ma, "An adaptive PMU based fault detection/location technique for transmission lines, Part I: Theory and algorithms", *IEEE Trans. Power Delivery*, Vol. 15, pp. 486–493, 2000.
- [21] J.A. Jiang, Y.H. Lin, J.Z. Yang, T.M. Too, C.W. Liu, "An adaptive PMU based fault detection/location technique for transmission lines, Part II: PMU implementation and performance evaluation", *IEEE Trans. Power Delivery*, Vol. 15, pp. 1136–1146, 2000.
- [22] S.M. Brahma, "New fault-location method for a single multi terminal transmission line using synchronized phasor measurements", *IEEE Trans. Power Delivery*, Vol. 21, No. 3, pp. 1148 – 1153, 2006.
- [23] S.M. Brahma, A.A. Girgis, "Fault location on a transmission line using synchronized Voltage measurements", *IEEE Trans. Power Delivery*, Vol. 19, No. 4, pp. 1619 – 1622, 2004.
- [24] S.M. Brahma, "Fault location scheme for a multi-terminal transmission line using synchronized Voltage measurements", *IEEE Trans. Power Delivery*, Vol. 20, No. 2, Part 2, pp. 1325 – 1331, 2005.
- [25] K. G. Firouzjah, A. Sheikholeslami, "Current Independent Method Based on Synchronized Voltage Measurement for Fault Location on Transmission Lines," *Simulation Modelling Practice and Theory*, Elsevier, Vol. 17, No.4, pp. 692-707, April 2009.
- [26] K. G. Firouzjah, A. Sheikholeslami, "A current independent synchronized phasor measurement based method for fault location on Transmission lines," in *Proc. IEEE, ICEE '07* , pp. 1-52007.
- [27] K. G. Firouzjah, A. Sheikholeslami, "A New Fault Location Method for Two and Three–