

روشی دقیق برای تعیین فاصله خطای خطا در خطوط انتقال چند پایانه‌ای مبتنی بر امواج سیار و الگوریتم ژنتیک

مهردی قاضیزاده احسائی^۱

۱- استادیار - گروه مهندسی برق - دانشکده فنی و مهندسی - دانشگاه زابل - زابل - ایران
ghazizadeh@uoz.ac.ir

چکیده: در این مقاله، روش جدیدی برای تعیین دقیق فاصله‌ی خطای خطا در خطوط انتقال دارای چند پایانه ارائه شده است. این روش مبتنی بر الگوریتم ژنتیک بوده و از اطلاعات همزمان ثبت شده در پایانه‌ها استفاده می‌نماید و دارای دو مرحله می‌باشد. در مرحله اول، با استفاده از روش مقایسه‌ای ارائه شده بخشی از خط انتقال که دچار خطای خطا شده تعیین می‌شود. در مرحله دوم، نیز فاصله دقیق خطای خطا با بکارگیری الگوریتم ژنتیک مشخص می‌گردد. این روش دارای دقت بالایی نسبت به روش‌های قبلی که برای خطوط انتقال چند پایانه‌ای ارائه شده، می‌باشد زیرا از مدل گستردگی خط در حوزه زمان که ظرفیت خازنی خط را نیز بطور کامل مدل سازی می‌کند استفاده می‌نماید و به دلیل بهره‌گیری از نمونه‌های ثبت شده در پایانه‌ها، هامونیکهای موجود در شکل موج پایانه‌ها بر عملکرد آن تاثیری ندارد. نتایج شبیه‌سازی دقت بالای روش پیشنهادی را در مقایسه با روش‌های قبلی در شرایط مختلف خطای خطا نشان می‌دهد.

کلمات کلیدی: خطوط انتقال چند پایانه‌ای، مدل گستردگی خط، اطلاعات همزمان، فاصله‌یابی خط، حفاظت خط انتقال.

تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۴/۰۸/۰۱

تاریخ پذیرش مشروط مقاله: ۱۳۹۴/۱۰/۲۴

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۱۱/۲۵

نام نویسنده‌ی مسئول: مهردی قاضیزاده احسائی

نشانی نویسنده‌ی مسئول: ایران - زابل - کیلومتر ۳ جاده بنجار - پردیس جدید دانشگاه زابل - دانشکده‌ی فنی و مهندسی - گروه مهندسی برق



۱- مقدمه

حافظت و مکان یابی خطوط شبکه های قدرت از اهمیت ویژهای برخوردار بوده و توجه محققان و پژوهشگران زیادی را به خود جلب کرده است [۱-۲۵].

با توسعه سیستم های قدرت مدرن، شبکه های قدرت پیچیده تر شده اند و خطوط انتقال چند پایانه ای نیز در سیستم های قدرت بوجود آمده اند. این خطوط خطاهای مختلفی را تجربه می کنند که می تواند ناشی از عوامل خارجی یا داخلی باشد. برای تداوم سرویس دهی و افزایش قابلیت اطمینان شبکه، به روش های مکان یابی خطای دقیقی احتیاج می باشد. اما، مکان یابی خط در چنین خطوطی از پیچیدگی بیشتری نسبت به خطوط معمولی برخوردار است. از طرفی، روش های مکان یابی خطای تک پایانه ای [۴-۸] و دو پایانه ای [۹-۱۳] قادر به تعیین بخش خط دیده از خط انتقال چند پایانه ای نیستند و روش های معده دی برای مکان یابی خط در این نوع خطوط ارائه شده است [۲۲-۲۴]. این روش های چند پایانه ای از مقاومت خط و امپدانس تونن سیستمهای خارجی تاثیر کمتری می بینند و از لحاظ تئوری دقیق ترند. در ضمن، تکنولوژی مخابرایی موجود استفاده از اطلاعات نمونه گیری شده در چند پایانه خط را فراهم می آورد. مرجع [۱۴] از اطلاعات ولتاژ و جریان همه پایانه ها بصورت همزمان استفاده می نماید. این مرجع بخش خطدار را تعیین نموده و سپس، با استفاده از روش مبتنی بر توان راکتیو مکان خط را پیدا می کند. مرجع [۱۵] از تفاضل جریان پایانه ها برای مکان یابی خط استفاده می نماید. در مرجع [۱۶]، از جریان های همزمان که از پایانه ها وارد می شود استفاده شده و از دو روش متفاوت برای تعیین مکان خط بهره گیری شده است. روش ارائه شده در [۱۸] بر اساس یک الگوریتم دو پایانه ای مکان خط را تعیین می نماید و از اطلاعات همزمان پایانه ها بهره برده است.

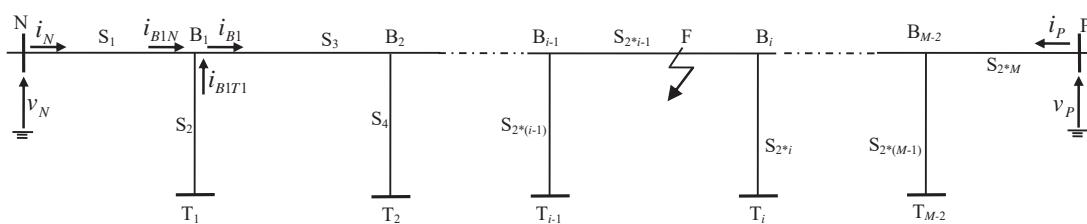
روش های پیشنهادی در [۱۹-۲۰] با محاسبه فاصله زمانی بین امواج رفت و برگشتی از محل خط، مکان خط را تعیین می نمایند که نیاز به فرکانس نمونه برداری بالا دارند و دقت این روش ها به فرکانس نمونه برداری وابسته است. از طرفی، برای خطاهایی که نزدیک پایانه ها و یا گره ها اتفاق می افتد درصد خطای مکان یابی به شدت افزایش می یابد [۱۹]. مرجع [۲۱] روش مناسبی ارائه داده است که تنها از ولتاژ های اندازه گیری شده در ترمینالهای خط استفاده می کند. اما،

۲- روش پیشنهادی مکان یابی خط

برای سادگی، ابتدا روش پیشنهادی برای خط انتقال چند پایانه ای تک فاز ارائه می شود. سپس، این روش به خط انتقال سه فاز قابل تعمیم می باشد.

۲-۱- خط انتقال چند پایانه ای تک فاز

یک سیستم انتقال دارای M پایانه و تک فاز را در نظر بگیرید (شکل (۱)) که خطایی در آن اتفاق افتاده است. فرض کنید ولتاژها و جریان های تمامی پایانه ها ثابت شده و بصورت همزمان در اختیار می



شکل (۱): دیاگرام سیستم انتقال چند پایانه ای

$$\begin{aligned} i_{B1N}(t) = & ((Z_c + R_{S1}/4).v_N(t + \tau_{S1}) \\ & - (Z_c + R_{S1}/4).i_N(t + \tau_{S1})) \\ & - (Z_c - R_{S1}/4)[v_N(t - \tau_{S1}) \\ & + (Z_c - R_{S1}/4).i_N(t - \tau_{S1})] \\ & - \frac{R_{S1}}{4}.[2.v_N(t) - \frac{R_{S1}}{2}.i_N(t)]/2Z_c^2 \end{aligned} \quad (2)$$

همچنین، با استفاده از رابطه (2) جریان ورودی به گره B_1 از سمت S_2 محاسبه می‌شود. حال می‌توان جریان ورودی از گره B_1 به بخش S_3 (i_{B1}) را بصورت زیر بدست آورد:

$$i_{B1}(t) = i_{B1N}(t) + i_{BIT1}(t) \quad (3)$$

همچنین، می‌توان ولتاژ گره B_2 را با بکارگیری ولتاژ گره B_1 و جریان خروجی از آن (v_{B1N}), و با استفاده از رابطه (1) بدست آورد (v_{B2B1}). به همین صورت، ولتاژ گره B_2 با استفاده از ولتاژ و جریان پایانه T_2 نیز قابل محاسبه است (v_{B2T2}). حال، با مقایسه v_{B2T2} و v_{B2B1} می‌توان فهمید که آیا خطا در بخش‌های S_3 یا S_4 رخ داده است یا خیر.

این روش ادامه می‌یابد تا دو ولتاژ محاسبه شده برای گره B_i با یکدیگر مساوی نباشد. در این شرایط می‌توان گفت که خطا یا در بخش S_{2i-1} یا در بخش S_{2i} رخ داده است. اگر دو ولتاژ بدست آمده با یکدیگر برابر باشد تا $i=M-2$ گردد در این صورت خطا قطعاً در بخش S_{2M} اتفاق افتاده است.

حال، دو بخشی که در یکی از آنها خطا رخ داده است مشخص گردید. برای تعیین بخشی که قطعاً در آن خطا اتفاق افتاده است، از روش مقایسه‌ای دیگری برای ولتاژها استفاده می‌کنیم. ابتدا، پایانی ولتاژ صحیح گره B_i را با استفاده از ولتاژ و جریان پایانه‌های $T_{i+1}, T_{i+2}, \dots, T_{M-1}$ و P و با بکارگیری روشی مشابه با روشی که قبلاً برای بدست آوردن ولتاژ هر کدام از گره‌ها (مثالاً ولتاژ گره B_2 (v_{B2B1})) استفاده شد محاسبه نمود. نکته اینکه، بدلیل عدم وقوع خطا بین گره B_i و پایانه‌های $T_{i+2}, T_{i+1}, \dots, T_{M-1}$ و P ، ولتاژ بدست آمده برای گره B_i ($v_{Bi-True}$) صحیح می‌باشد. اگر ولتاژ گره B_i بدست آمده با استفاده از اطلاعات گره B_{i-1} ($v_{BiB(i-1)}$) با ولتاژ صحیح گره B_i ($v_{Bi-True}$) برابر نباشد آنگاه خطا در بخش S_{2i-1} رخ داده است و گرنه اگر ولتاژ محاسبه شده برای گره B_i با بکارگیری اطلاعات گره T_i (v_{BiTi}) با ولتاژ $v_{Bi-True}$ برابر نباشد آنگاه خطا در بخش S_{2i} رخ داده است.

حال، بخش خطدار از خط مشخص گردید. در ادامه (مرحله دوم) به مکان‌یابی خطا پرداخته شده است.

باشد.

روش پیشنهادی مکان‌یابی از دو مرحله تشکیل شده است. در مرحله اول بخش خطدار از خط مشخص می‌گردد و در مرحله دوم فاصله‌ی خط تعيين می‌شود. روش پیشنهادی در ادامه آورده شده است.

۱-۱-۲- مرحله اول: تعیین بخش خطدار

برای تعیین بخش خطدار ولتاژهای تمامی گره‌ها با استفاده از ولتاژها و جریان‌های پایانه‌ها محاسبه می‌شود. با مقایسه ولتاژهای محاسبه شده در گره‌های مختلف، بخش خطدار مشخص می‌شود. در این روش، از باس N شروع کرده و ولتاژ گره B_1 با استفاده از ولتاژ و جریان پایانه N بدست می‌آید [۲۴]:

$$\begin{aligned} v_{B1N}(t) = & ((Z_c + R_{S1}/4)^2.[v_N(t + \tau_{S1}) \\ & - (Z_c + R_{S1}/4).i_N(t + \tau_{S1})] \\ & + (Z_c - R_{S1}/4)^2.[v_N(t - \tau_{S1}) \\ & + (Z_c - R_{S1}/4).i_N(t - \tau_{S1})]) \\ & - \frac{(Z_c + R_{S1}/4)}{4}.[\frac{R_{S1}/2}{(Z_c + R_{S1}/4)}.v_N(t) \\ & + 2.(Z_c - R_{S1}/4).i_N(t)]/2Z_c^2 \end{aligned} \quad (1)$$

که:
 v_{B1N} : ولتاژ محاسبه شده برای گره B_1 با استفاده از ولتاژ و جریان
 N پایانه.

v_N : به ترتیب ولتاژ و جریان پایانه N
 τ_{S1} : زمان مورد نیاز برای موج سیار برای طی مسیر از گره N تا B_1

Z_c : امپدانس مشخصه،
 R_{S1} : مقاومت خط مربوط به بخش S_1

همچنین، ولتاژ گره B_1 را می‌توان با استفاده از ولتاژ و جریان پایانه T_1 با بکارگیری معادله (1) بدست آورد (شکل (1) را ببینید). با در نظر گرفتن شکل (1) می‌توان اینگونه بیان نمود که:

اگر v_{BIT1} و v_{B1N} باهم مساوی باشند، آنگاه در بخش‌های S_1 و S_2 خطا رخ نداده است. در این شرایط ولتاژ ولتاژ بدست آمده برای گره B_1 صحیح است و این ولتاژ برای محاسبه ولتاژ گره بعدی بکار گرفته می‌شود.

جریان وارد شده به گره B_1 از بخش S_1 (i_{B1N}) همانطور که در شکل (1) نشان داده شده است) در حوزه‌ی زمان بصورت زیر به دست می‌آید:



۲-۱-۲- مرحله دوم: روش مکانیابی خطا

در این مرحله، یک روش مکانیابی دو پایانه‌ای با لحاظ نمودن مدل گسترده‌ی خط انتقال برای مکانیابی خطا مورد استفاده قرار گرفته است. با این هدف، ولتاژ و جریان دو طرف بخش خط‌دادار بایستی مشخص باشد. نکته اینکه، تمامی ولتاژها و جریان‌های گره‌ها بجز جریان خروجی از گره B_i به سمت خطا (i_{Bi}) قبلاً در مرحله اول محاسبه شده است. جریان‌های ورودی به گره B_i با استفاده از ولتاژ و جریان انتهای بخش‌های متناظر بدست می‌آید و جریان i_{Bi} با جمع دو جریان ورودی به گره B_i محاسبه می‌شود.

به عنوان مثال، فرض کنید خطاب S_{2i-1} رخ داده باشد. جریان ورودی به گره B_i از بخش S_{2i} (i_{BiTi}) با استفاده از ولتاژ و جریان پایانه T_i (با بکارگیری رابطه (۲)) محاسبه می‌شود. همچنین، جریان ورودی به B_i از بخش S_{2i+1} (i_{BiBi+1}) و با بکارگیری رابطه (۲) بدست می‌آید. حال، می‌توان جریان خروجی از گره B_i به سمت خطا را بصورت زیر محاسبه نمود:

$$i_{Bi}(t) = i_{BiTi}(t) + i_{BiBi+1}(t) \quad (4)$$

اکنون، بخش خط‌دادار S_{2i-1} را در نظر بگیرید. ولتاژ و جریان دو انتهای آن مشخص شد. ولتاژ محل خطا را می‌توان با استفاده از ولتاژ گره B_i و جریان خروجی از گره B_i بصورت ذیل محاسبه نمود:

$$\begin{aligned} v_{FBi}(t) &= \\ &((Z_c + R_{BiF}/4)^2 \cdot [v_{Bi}(t + \tau_{BiF}) - \\ &(Z_c + R_{BiF}/4) \cdot i_{Bi}(t + \tau_{BiF})] \\ &+ (Z_c - R_{BiF}/4)^2 \cdot [v_{Bi}(t - \tau_{BiF}) + \\ &(Z_c - R_{BiF}/4) \cdot i_{Bi}(t - \tau_{BiF})]) \\ &- \frac{(Z_c + R_{BiF}/4)}{4} \cdot \left[\frac{R_{BiF}/2}{(Z_c + R_{BiF}/4)} \cdot v_{Bi}(t) \right. \\ &\left. + 2 \cdot (Z_c - R_{BiF}/4) \cdot i_{Bi}(t) \right] / 2Z_c^2 \end{aligned} \quad (5)$$

که:

i_{Bi} : به ترتیب ولتاژ B_i و جریان خروجی از گره B_i
 v_{FBi} : ولتاژ محاسبه شده برای نقطه F با استفاده از ولتاژ B_i و
 جریان خروجی از گره B_i .

τ_{BiF} : زمان لازم برای عبور موج سیار از گره B_i تا F
 R_{BiF} : مقاومت خط از B_i تا F
 همچنین، ولتاژ نقطه F با بکارگیری ولتاژ گره B_{i-1} و جریان خروجی از گره B_{i-1} قابل محاسبه است:

$$\begin{aligned} v_{FBi-1}(t) &= \\ &((Z_c + R_{Bi-1F}/4)^2 \cdot [v_{Bi-1}(t + T - \tau_{BiF}) - \\ &(Z_c + R_{Bi-1F}/4) \cdot i_{Bi-1}(t + T - \tau_{BiF})] \\ &+ (Z_c - R_{Bi-1F}/4)^2 \cdot [v_{Bi-1}(t - T + \tau_{BiF}) + \\ &(Z_c - R_{Bi-1F}/4) \cdot i_{Bi-1}(t - T + \tau_{BiF})]) \\ &- \frac{(Z_c + R_{Bi-1F}/4) \cdot R_{Bi-1F}}{4} \cdot \left[\frac{R_{Bi-1F}/2}{(Z_c + R_{Bi-1F}/4)} \cdot v_{Bi-1}(t) \right. \\ &\left. + 2 \cdot (Z_c - R_{Bi-1F}/4) \cdot i_{Bi-1}(t) \right] / 2Z_c^2 \end{aligned} \quad (6)$$

که:

$$v_{Bi-1}: \text{ولتاژ گره } B_{i-1}$$

$$i_{Bi-1}: \text{جریان خروجی از گره } B_{i-1}$$

v_{FBi-1} : ولتاژ محاسبه برای نقطه F با استفاده از ولتاژ گره B_{i-1} و
 جریان خروجی از گره B_{i-1}

$$T: \text{زمان لازم برای عبور موج سیار از گره } B_i \text{ تا گره } B_{i-1}$$

$$R_{Bi-1}: \text{ مقاومت خط از } B_{i-1} \text{ تا } B_i$$

فرض کنید که خطاب باعث قطعی در خط انتقال نشده است. لذا،
 v_{FBi-1} با یکدیگر برابرند:

$$v_{FBi}(t) = v_{FBi-1}(t) \quad (V)$$

بنابراین، با مساوی قرار دادن (۵) و (۶)، معادله زیر بدست می‌آید:

$$f(v_{Bi}, i_{Bi}, v_{Bi-1}, i_{Bi-1}, t, \tau_{BiF}, Z_c, T, R_{BiF}, R_{Bi-1F}) = 0 \quad (A)$$

نمونه‌های ثبت شده در پنجه اطلاعاتی بایستی معادله (A) را ارضا کند. لذا (A) گسسته سازی می‌شود:

$$f(v_{Bi}, i_{Bi}, v_{Bi-1}, i_{Bi-1}, k, n, Z_c, T, R_{BiF}, R_{Bi-1F}) = 0 \quad (9)$$

که:

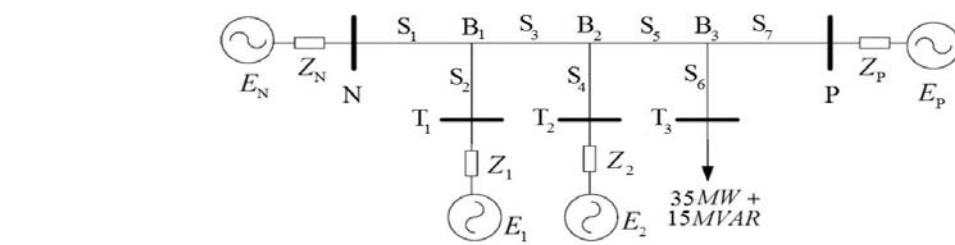
$$k: \Delta t = t$$

$$n: \text{فاصله زمانی نمونه برداری،}$$

$$k: \text{اعداد دلخواه.}$$

برای K نمونه ثبت شده حین خطاب، K معادله و یک متغیر مجهول n وجود دارد که متناسب با مکان خطاب می‌باشد. برای تعیین مکان خطاب (x)، بایستیتابع بهینه سازی زیر را حل نمود:

$$\begin{aligned} \text{Min J}(n) &= \\ \text{Min} \sum_{k=1}^K &|f(v_{Bi}, i_{Bi}, v_{Bi-1}, i_{Bi-1}, k, n, Z_c, T, R_{BiF}, R_{Bi-1F})| \end{aligned} \quad (10)$$



شکل (۲): خط انتقال دارای پنج پایانه

مورد نظر اعمال می‌شود، جمعیت جدیدی با همان تعداد کروموزوم تشکیل می‌شود. در این الگوریتم عملگرهای انتخاب، برش و جهش کاربرد عمده‌ای دارند. در روش‌های انتخاب، افرادی که دارای تابع برآزندگی بهتری هستند ترجیح داده می‌شوند. این روش ادامه می‌یابد تا در یکی از نسل‌ها، الگوریتم همگرا شده و یا تعداد تکرار به حد معینی برسد.

تابع (۱۰) با استفاده از روش‌های بهینه سازی موجود از جمله الگوریتم ژنتیک قابل حل است. تا اینجا روش ارائه شده برای خطوط انتقال چند پایانه‌ای تک فاز شرح داده شد. نکته اینکه، روش ارائه شده برای خطوط انتقال چندپایانه‌ای سه فاز نیز قابل استفاده می‌باشد که در ادامه توضیح داده شده است.

۳- ارزیابی روش پیشنهادی

یک سیستم قدرت ۵۰۰ KV و ۵۰ HZ که دارای ۵ پایانه می‌باشد (همانطور که در شکل (۲) نشان داده شده است) برای ارزیابی روش ارائه شده در نرم‌افزار MATLAB مدل سازی شده است. این سیستم نمونه‌ی شبیه‌سازی شده را می‌توان برای اثبات صحت عملکرد روش مکان‌یابی پیشنهادی بکار برد. پارامترهای مربوط به سیستم شبیه‌سازی شده در جدول (۱) آورده شده است. مطالعات شبیه‌سازی با در نظر گرفتن شرایط مختلف سیستم و خطا انجام گرفته است. خطای مکان‌یابی به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$\text{خطای مکان‌یابی} = \frac{\text{طول بخش خطا دیده}}{\text{فاصله واقعی خطا - فاصله محاسبه شده}} \quad (12)$$

بخش خطدار با بهره‌گیری از مرحله‌ی اول از روش ارائه شده تعیین می‌گردد. همانگونه که در بخش ۲-۲- توضیح داده شد، پس از تعیین ولتاژ و جریان همه‌ی گره‌ها، تابع بهینه‌سازی (۱۱) برای یافتن محل خطا مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد. برای حل تابع (۱۱) از Global Optimization Toolbox در نرم‌افزار MATLABTM اجرای الگوریتم ژنتیک استفاده شده است. شبیه‌سازی‌های زیادی برای بررسی اعتبار روش پیشنهادی انجام شده که در ذیل به برخی از آنها پرداخته شده است.

۲-۲- خط انتقال چند پایانه‌ای سه فاز

خط انتقالی چند پایانه‌ای و سه فاز که دیاگرام تک خطی آن شیوه شکل (۱) می‌باشد را در نظر بگیرید. فرض کنید خطاطی در بخش S_{2i-1} رخ داده است. برای خطوط انتقال سه فاز، ابتدا با استفاده از معادلات دیفرانسیل جزئی که در حوزه فاز نوشته شده است به حوزه مودال تبدیل شود [۲۵]. به ازای هر کدام از سه مود می‌توان ۱۰ معادله به شکل معادلات (۱) تا (۱۰) نوشت. بدلیل اینکه اولین مود در انواع خطاهای موجود است، می‌توان آنرا برای تعیین مکان خطا بکار برد. بنابراین، تابع بهینه سازی زیر مشابه (۱۰) برای اولین مود به دست می‌آید:

$$\begin{aligned} \text{Min } J(n^{(1)}) = \\ \text{Min}_{n^{(1)}} \sum_{k=1}^K \left| f(v_{Bi}^{(1)}, i_{Bi}^{(1)}, v_{Bi-1}^{(1)}, i_{Bi-1}^{(1)}, k, n^{(1)}, Z_c^{(1)}, T^{(1)}, R_{BiF}^{(1)}, R_{Bi-IF}^{(1)}) \right| \end{aligned} \quad (11)$$

در تابع (۱۱) پارامترهای با بالانویس (۱) مربوط به اولین مود می‌باشند. با حل تابع (۱۱) با بکارگیری الگوریتم ژنتیک، $n^{(1)}$ که متناسب با مکان خطا می‌باشد محاسبه می‌شود. الگوریتم ژنتیک، روشی مبتنی بر تصوری تکامل است و بر اساس مجموعه‌ای از کروموزوم‌ها که یک جمعیت را تشکیل می‌دهند کار می‌کند. جمعیت اولیه با استفاده از یک رویکرد تصادفی تولید می‌شود. برای همه‌ی می‌شود. با بکارگیری مجموعه‌ای از عملگرهای ژنتیکی که به جمعیت



برای بررسی تاثیر مقاومت خطاب بر روش ارائه شده، مکان‌های مختلف روی خط چند پایانه‌ای در نظر گرفته شده و خطاهایی با مقاومتهاهای 1Ω ، 10Ω و 100Ω و زاویه شروع خطای 45° در این مکان‌ها به سیستم انتقال اعمال شده و نتایج اجرای روش پیشنهادی برای بخش N-P در جدول (۴) مشاهده می‌شود. در این جدول نیز حداکثر قدر مطلق خطاب مقداری ناچیز بوده و به مقدار $0/04$ درصد محدود می‌گردد. نتیجه اینکه، روش ارائه شده به مقاومت خطاب حساسیت پایینی از خود نشان داده و دقت آن با تغییر مقاومت خطاب تعییرات بسیار کمی را از خود نشان داده است.

زاویه‌ی شروع خطاب یکی از عواملی است که دقت روش‌های سنتی را تحت تاثیر قرار می‌دهد. برای نشان دادن تاثیر زاویه‌ی شروع خطاب بر روش پیشنهادی در این مقاله، خطاهای گوناگون با زوایای شروع خطاب مختلف و در مکان‌های مختلف شبیه سازی شده و نتایج بدست آمده از اجرای روش ارائه شده به ازای خطاب‌ی تک فاز به زمین با زوایای شروع خطابی 0° ، 35° ، 75° و 100° با مقاومت خطابی 10Ω در جدول (۵) آورده شده است. از نتایج بدست آمده می‌توان چنین نتیجه گرفت که برخلاف روش‌های سنتی زاویه‌ی شروع خطاب تاثیر کمی بر روش پیشنهادی دارد.

بررسی جداول (۲) تا (۵) و نتایج حاصل از اجرای روش پیشنهادی در حالت‌های گوناگون نشان می‌دهد که حداکثر قدر مطلق خطاب در همه‌ی حالت‌های مورد مطالعه کمتر از $0/05$ درصد بوده است. برای مقایسه‌ی روش پیشنهادی با روش‌های قبلی [۱۴-۲۳]، شبکه موجود در مرجع [۲۳] (که بالاترین دقت را در بین مراجع قبلی

برای مطالعه تاثیر محل خطاب بر روش مکان‌بایی پیشنهادی، جدول (۲) نتایج شبیه‌سازی برای خطاهای اعمال شده به قسمت N-P مربوط به خط را نشان می‌دهد. انواع مختلف خطاب با مقاومت خطای 10Ω و زاویه‌ی شروع خطای 90° در فواصل مختلف از پایانه P اعمال شده و اطلاعات ولتاژ و جریان سه فاز ثبت شده در پایانه‌ها برای مکان‌بایی خطاب ارسال شده است. این اطلاعات به عنوان ورودی به برنامه پیشنهادی داده شده و درصد خطابی مکان‌بایی در جدول (۲) مشخص شده است. همچنین، این خطاهای به بخش‌های S2، S4 و S6 نیز اعمال شده و نتایج مکان‌بایی خطاب در جدول (۳) نمایش داده شده است. با بررسی جداول (۲) و (۳) می‌توان مشاهده نمود که بخش خطابدار از خط به درستی توسط روش پیشنهادی تعیین شده و همچنین روش ارائه شده با تغییر مکان خطاب دارای دقت بالایی بوده و وابستگی پایینی به تغییر مکان خطاب دارد. به طوری که حداکثر قدر مطلق خطاب کمتر از $0/05$ درصد می‌باشد.

جدول (۱): پارامترهای خط انتقال شبیه سازی شده

پارامترهای توالی مثبت و منفی	پارامترهای توالی صفر	طول	بخش
$R_0=0.275(\Omega/\text{km})$ $L_0=3.4505998(\text{mH}/\text{km})$ $C_0=8.5(\text{nF}/\text{km})$	$R_1=0.0275(\Omega/\text{km})$ $L_1=1.002768(\text{mH}/\text{km})$ $C_1=13(\text{nF}/\text{km})$	130	S ₁
		120	S ₂
		80	S ₃
		100	S ₄
		110	S ₅
		50	S ₆
		70	S ₇

جدول (۲): نتایج حاصل از تخمین محل خطاب در فواصل مختلف خطاب روی بخش N-P

نوع خطاب	فاصله واقعی خطاب از پایانه (Km) P	تعیین بخش خطاب دیده	خطابی فاصله‌یابی به درصد
3LG	40	✓	-0.0405
	100	✓	-0.0061
	160	✓	-0.0336
	250	✓	0.0096
	300	✓	0
	350	✓	-0.0227
	40	✓	-0.0205
	100	✓	-0.0484
	160	✓	0.0287
	250	✓	0.0096
SLG	300	✓	0
	350	✓	-0.0227
	40	✓	-0.0405
	100	✓	-0.0061
	160	✓	0.0287
	250	✓	0.0096
	300	✓	0
	350	✓	-0.0227
	40	✓	-0.0405
	100	✓	-0.0061
DLG	160	✓	0.0287
	250	✓	0.0096
	300	✓	0
	350	✓	-0.0227
	40	✓	-0.0405
	100	✓	-0.0061
	160	✓	0.0287
	250	✓	0.0096
	300	✓	0
	350	✓	-0.0227
LL	40	✓	-0.0405
	100	✓	-0.0484
	160	✓	0.0287
	250	✓	0.0096
	300	✓	0
	350	✓	-0.0227
	40	✓	-0.0405
	100	✓	-0.0484
	160	✓	0.0287
	250	✓	0.0096

جدول (۳): نتایج تخمین محل خطاب در فواصل متفاوت خطاب روی بخش‌های S2، S4 و S6

نوع خطاب	فاصله واقعی خطاب از پایانه (Km) P	تعیین بخش خطاب دیده	خطابی فاصله‌یابی به درصد	خطابی فاصله‌یابی به درصد
3LG	40	✓	-0.0405	-0.0487
	100	✓	-0.0061	-0.0266
	160	✓	-0.0336	0.0455
	250	✓	0.0096	0
	300	✓	0	-0.0105
	350	✓	-0.0227	-0.0487
	40	✓	-0.0205	-0.0266
	100	✓	-0.0484	0.0455
	160	✓	0.0287	0
	250	✓	0.0096	-0.0105
SLG	300	✓	-0.0227	-0.0487
	350	✓	-0.0405	-0.0266
	40	✓	-0.0061	0.0455
	100	✓	0.0287	0
	160	✓	0.0096	-0.0105
	250	✓	-0.0227	-0.0487
	300	✓	-0.0405	-0.0266
	350	✓	-0.0061	0.0455
	40	✓	0.0287	0
	100	✓	0.0096	-0.0105
DLG	160	✓	-0.0287	-0.0487
	250	✓	-0.0096	-0.0266
	300	✓	-0.0227	0.0455
	350	✓	-0.0405	0
	40	✓	-0.0287	-0.0487
	100	✓	-0.0096	-0.0266
	160	✓	-0.0227	0.0455
	250	✓	-0.0405	0
	300	✓	-0.0287	-0.0487
	350	✓	-0.0096	-0.0266
LL	300	✓	-0.0227	-0.0487
	350	✓	-0.0405	-0.0266
	40	✓	-0.0061	0.0455
	100	✓	0.0287	0
	160	✓	0.0096	-0.0105
	250	✓	-0.0227	-0.0487
	300	✓	-0.0405	-0.0266
	350	✓	-0.0061	0.0455
	40	✓	0.0287	0
	100	✓	0.0096	-0.0105

جدول (٥): نتایج تخمین محل خطأ با زوایای شروع 0° , 35° , 75° و 100° با مقاومت خطأ 10Ω در فواصل متفاوت خطأ

خطای فاصله‌یابی به درصد	تعیین بخش خطا دیده	فاصله واقعی خط (Km)	زاویه شروع خطا
0.0125	✓	65	فاصله از N
-0.037	✓	45	فاصله از T ₁
0.0279	✓	55	فاصله از T ₂
0.0347	✓	30	فاصله از T ₃
0.0143	✓	45	فاصله از P
0.02	✓	65	فاصله از N
0.019	✓	45	فاصله از T ₁
0	✓	55	فاصله از T ₂
0.012	✓	30	فاصله از T ₃
-0.026	✓	45	فاصله از P
0.016	✓	65	فاصله از N
-0.037	✓	45	فاصله از T ₁
-0.017	✓	55	فاصله از T ₂
-0.036	✓	30	فاصله از T ₃
-0.03	✓	45	فاصله از P
0.025	✓	65	فاصله از N
0.015	✓	45	فاصله از T ₁
-0.015	✓	55	فاصله از T ₂
0.036	✓	30	فاصله از T ₃
-0.04	✓	45	فاصله از P

مراجع

- [۱] حسین عسکریان ابیانه، هدا شریفیان، رضا محمدی چبنلو، فرزاد رضوی، "روشی نو در بدست آوردن کمترین نقاط شکست به کمک الگوریتم ژنتیک"، مجله انجمن مهندسی برق و الکترونیک ایران، سال هشتم، شماره دوم، پائیز و زمستان ۱۳۹۰.

[۲] حسان واحدی، رضا نوروزیان، ایوالفضل جلیلوند، گنگره قره پتیان، "ارائه روشی نوین برای بهره برداری و تشخیص حالت جزیره‌ای تولیدات پراکنده مبتنی بر اینورتر"، مجله انجمن مهندسی برق و الکترونیک ایران، جلد ۸، شماره ۲، ۱۳۹۰.

[۳] محسن حمزه، شاهرخ فرهنگی، مجید صنایع‌بستن، "روشی جدید در تحلیل عملکرد حفاظت‌های ضدجزیره‌ای فرکانسی در حالت جزیره‌ای چند اینورتری"، مجله انجمن مهندسی برق و الکترونیک ایران، سال نهم، شماره دوم، صص ۱۱-۱۸، پائیز و زمستان ۱۳۹۱.

[۴] رحمن دشتی، جواد ساده، "ارائه روشی اجرایی و نوین جهت شناسایی بخش خطأ در شبکه های توزیع"، مجله انجمن مهندسی برق و الکترونیک ایران، جلد ۱۰، شماره ۱، ۱۳۹۲.

[۵] Takagi, K., Yomakoshi, Y., Yamaura, M., Kondow, R., Matsushima, T., "Development of a new type fault locator using the one-terminal voltage and current data", IEEE Trans. Power App. Syst., vol. PAS-101, no. 8, pp. 2892-2898, Aug. 1982.

خطا ۰/۰ درصد غزارش شده و این موضوع اثبات کننده دقت بالاتر

جدول (۴): نتایج حاصل از تخمین محل خطای با مقاومتهای مختلف خطای روی بخش N-P

نوع خطأ	فاصله واقعی خطأ از پایانه P (Km)	مقاطومت خطأ (اهم)	تعیین بخش خطأ دیده	خطای فاصله یابی
3LG	180	1	✓	به درصد
		10	✓	0.0355
		100	✓	-0.0390
		1	✓	0.02
		10	✓	-0.0311
	330	100	✓	-0.0391
		1	✓	0.0233
		10	✓	0.0355
		100	✓	-0.0390
		1	✓	0.02
SLG	180	10	✓	-0.0311
		100	✓	-0.0391
		1	✓	0.0233
		10	✓	0.0355
		100	✓	-0.0390
	330	1	✓	0.02
		10	✓	-0.0311
		100	✓	-0.0391
		1	✓	0.0233
		10	✓	0.0355
DLG	180	100	✓	-0.0390
		1	✓	0.02
		10	✓	-0.0311
		100	✓	-0.0391
		1	✓	0.0233
	330	10	✓	0.0355
		100	✓	-0.0390
		1	✓	0.02
		10	✓	-0.0311
		100	✓	-0.0391
LL	180	1	✓	0.0233
		10	✓	0.0355
		100	✓	-0.0390
		1	✓	0.02
		10	✓	-0.0311
	330	100	✓	-0.0201
		1	✓	0.0233
		10	✓	0.0355
		100	✓	-0.0390
		1	✓	0.02

روش پیشنهادی نسبت به روش‌های قبلی خصوصاً برای خطوط طولانی است.

۴ - نتیجه‌گیری

در این مقاله، روش دقیقی برای مکان یابی خطای در خطوط انتقال چند پایانه‌ای بر اساس الگوریتم ژنتیک ارائه شده که از اطلاعات ولتاژ و جریان هم‌زمان پایانه‌ها استفاده می‌نماید. این روش از دو مرحله برای مکان یابی خطای بهره می‌برد. در مرحله اول، بخش خط‌دار تعیین شده و در مرحله دوم، الگوریتم مکان یابی اجرا می‌شود. در مقایسه با روش‌های قبلی، روش پیشنهادی دارای دقت بالاتری است و این بدليل استفاده از مدل گستردۀ خط انتقال در حوزه زمان در روش پیشنهادی می‌باشد، بطوری که حداکثر قدر مطلق خطای اجرای روش ارائه شده به

- measurements”, IEEE Trans. Power Del., vol. 20, no. 2, pp. 1325–1331, Apr. 2005.
- [22] Brahma, S. M., “New fault-location method for a single multiterminal transmission line using synchronized phasor measurements”, IEEE Trans. Power Del., vol. 21, no. 3, pp. 1148–1153, Jul. 2006.
- [23] Jiang, Q., Wang, B., Li, X., “An Efficient PMU-based fault-location technique for multiterminal transmission lines”, IEEE Trans. Power Del., vol. 29, no. 4, Aug. 2014.
- [24] Sadeh, J., Hadjsaid, N. A., Ranjbar, M., Feuillet, R., “Accurate fault location for series compensated transmission lines”, IEEE Trans. Power Del., vol. 15, no. 3, pp. 1027–1033, Jul. 2000.
- [25] Ibe, A. O., Cory, B. J., “A travelling wave-based fault locator for two and three terminal networks”, IEEE Trans. Power Del., vol. 1, no. 2, pp. 283–288, Apr. 1986.
- [6] Eriksson, L., Saha, M. M., Rockefeller, G. D., “An accurate fault locator with compensation for apparent reactance in the fault resistance resulting from remote-end indeed”, IEEE Trans. Power App. Syst., vol. PAS-104, no. 2, pp. 424–436, Feb. 1985.
- [7] Xin Zhou, D., Shen Xing, S., “Optimizing solution of fault location using single terminal quantities”, Sci. China Ser. E-Tech Sci., vol. 51, no. 6, pp. 761–772, Jun. 2008.
- [8] Izykowski, J., Rosolowski, E., Saha, M. M., “Locating faults in parallel transmission lines under availability of complete measurements at one end”, Proc. Inst. Elect. Eng., Gen., Transm. Distrib., vol. 151, no. 2, pp. 268–273, Mar. 2, 2004.
- [9] Novosel, D., Hart, D. G., Udran, E., Garity, J., “Unsynchronized two-terminal fault location estimation”, IEEE Trans. Power Del., vol. 11, no. 1, pp. 130–138, Jan. 1996.
- [10] Gopalakrishnan, A., Kezunovic, M., McKenna, S.M., Hamai, D.M., “Fault location using distributed parameter transmission line model”, IEEE Trans. Power Del., vol. 15, no. 4, pp. 1169–1174, Oct. 2000.
- [11] Jiang, J.-A., Yang, J.-Z., Lin, Y.-H., Liu, C.-W., Ma, J.-C., “An adaptive PMU based fault detection/location technique for transmission lines-part I: Theory and algorithms”, IEEE Trans. Power Del., vol. 15, no. 2, pp. 486–493, Apr. 2000.
- [12] Silveira, E. G., Pereira, C., “Transmission line fault location using two-terminal data without time synchronization”, IEEE Trans. Power Del., vol. 22, no. 1, pp. 498–499, Jan. 2007.
- [13] Ghazizadeh-Ahsaee, M., “Accurate NHIF locator utilizing two-end unsynchronized measurements”, IEEE Trans. Power Del., vol. 28, no. 1, pp. 419–426, Jan. 2013.
- [14] Abe, M., Otsuzuki, Emura, N. T., Takeuchi, M., “Development of a new fault location system for multi-terminal single transmission lines”, IEEE Trans. Power Del., vol. 10, no. 1, pp. 159–168, Jan. 1995.
- [15] Nagasawa, T., Abe, M., Otsuzuki, N., Emura, T., Jikihara, Y., Takeuchi, M., “Development of a new fault location algorithm for multiterminal two parallel transmission lines”, IEEE Trans. Power Del., vol. 7, no. 3, pp. 1516–1532, Jul. 1992.
- [16] Funabashi, T., Otoguro, H., Mizuma, Y., Dube, L., Ametani, A., “Digital fault location algorithm for parallel double-circuit multi-terminal transmission lines”, IEEE Trans. Power Del., vol. 15, no. 2, pp. 531–537, Apr. 2000.
- [17] Sanderson, J. V. H., Santana, R. G. R., Al-Fakri, B., “Improved directional comparison based algorithm for protection of multi-terminal transmission lines”, in Proc. 5th Int. Conf. Develop. Power Syst. Protect., 1993, vol. 368, pp. 153–156.
- [18] Liu, C.-W., Lien, K.-P., Chen, C.-S., Jiang, J.-A., “A universal fault location technique for N-terminal ($N \geq 3$) transmission lines”, IEEE Trans. Power Del., vol. 23, no. 3, pp. 1366–1373, Jul. 2008.
- [19] Ngu, E.E., Ramar, K. “A combined impedance and traveling wave based fault location method for multiterminal transmission lines”, Int. J. Electr. Power Energy Syst., vol. 33, no. 10, pp. 1767–75, 2011.
- [20] Yongli, Z., Xinqiao, F., “Fault location scheme for a multi-terminal transmission line based on current traveling waves”, Int. J. Electr. Power Energy Syst., vol. 53, pp. 367–374, 2013.
- [21] Brahma, S. M., “Fault location scheme for a multi-terminal transmission line using synchronized voltage