

محل یابی خطا در شبکه‌های توزیع شعاعی واقعی بر اساس اطلاعات ولتاژ و جریان نمونه برداری شده توسط ثبات‌های خطای دیجیتال

صادق جمالی و وحید تلاوت

در این شبکه‌ها از این دید بسیار مهم است. در این نوع شبکه‌ها هر خط بین دو پست شامل ثبات‌هایی جهت گرفتن داده‌های ولتاژ و جریان بوده و به راحتی با دقت بسیار بالایی می‌توان محل یابی دقیق خطا را انجام داده و آن را رفع نمود که تا به حال الگوریتم‌های مختلفی در مقالات علمی ارائه و در شبکه‌های واقعی اجرا شده است.

در شبکه‌های توزیع هر فیدر توزیع خروجی پست فوق توزیع، مساحت زیادی را در بر گرفته و بر خلاف شبکه‌های انتقال به صورت یک خط مستقیم نبوده و از شاخه‌های فرعی زیادی تشکیل شده است. از طرفی هر فیدر توزیع شامل تعداد زیاد و متنوعی از ترانسفورماتورهای توزیع می‌باشد. بنابراین اجرای محل یابی در شبکه‌های توزیع نسبت به شبکه‌های انتقال مشکل‌تر و با هزینه بالا و دقت کمتر انجام خواهد شد که تا به حال مقالات متعددی در کنفرانس‌ها و مجلات علمی ارائه شده است [۱] تا [۴].

اصولاً در طی محل یابی خطا در یک شبکه توزیع مشکلات زیر قابل توجه است که تعیین محل خطا را نسبت به شبکه‌های انتقال مشکل کرده است:

- گستردگی بالای فیدرهای شبکه توزیع و تعداد زیاد شاخه‌های فرعی آن.
- متفاوت بودن نوع خطوط هوایی و کابل‌های زیرزمینی اعم از سطح مقطع و آرایش فازها در بخش‌های مختلف شبکه توزیع.
- وجود ترانسفورماتورهای توزیع در نقاط مختلف شبکه توزیع با ظرفیت‌های نامی و ضرایب بارگیری و قدرت بار متفاوت.
- وجود فقط یک ثبات داده‌های ولتاژ و جریان خطا در ابتدای فیدرهای شبکه توزیع.

در این مقاله روشی جدید برای محل یابی خطا در شبکه‌های توزیع شعاعی واقعی ارائه شده که بر روی یک فیدر توزیع واقعی ۲۰ کیلوولت آزمایش گردیده است. الگوریتم محل یابی خطای مورد استفاده بر اساس روش امیدانسی بوده و با استفاده از داده‌های ولتاژ و جریان نمونه برداری شده توسط ثبات ابتدای فیدر توزیع یا کلید بازبست شامل ثبات خطا و همچنین اطلاعات ساختاری فیدر توزیع اعم از اطلاعات مربوط به خطوط هوایی و کابل‌های زیرزمینی و ترانسفورماتورهای توزیع ۲۰/۰/۴ کیلوولت به محل یابی خطا می‌پردازد. با توجه به این که محل یاب ممکن است چندین نقطه خطا از فیدر توزیع را به عنوان محل‌های اولیه کاندیدای خطا پیدا کند، لذا نیاز به استفاده از اطلاعات مربوط به نشانگرها و چگونگی عملکرد فیوزها و جداکننده‌ها در فیدر توزیع وجود دارد تا حداقل تعداد محل‌های خطا حاصل شود.

به منظور آزمایش نرم افزار محل یاب توزیع آماده شده چندین خطای اتصال کوتاه در فواصل مختلف از ابتدای فیدر توزیع در یک شبکه توزیع واقعی ایجاد شده که نرم افزار DFL نتایج خوبی را در برداشته است.

چکیده: در این مقاله روشی جدید برای محل یابی خطا در شبکه‌های توزیع شعاعی واقعی ارائه می‌شود. الگوریتم محل یابی خطای پیشنهادی بر اساس روش امیدانسی بوده و با استفاده از داده‌های ولتاژ و جریان نمونه برداری شده توسط ثبات یا کلید بازبست شامل ثبات ابتدای شبکه توزیع عمل می‌کند.

در الگوریتم محل یاب خطا ابتدا بر اساس داده‌های ولتاژ و جریان قبل از وقوع خطا ضرایب بارگیری و قدرت میانگین ترانسفورماتورهای توزیع در لحظه قبل از خطا تخمین زده می‌شود. سپس با استفاده از داده‌های ولتاژ و جریان بعد از خطا و محاسبه فازورهای آنها، محل‌های اولیه کاندیدای خطا با بررسی تمامی بخش‌های شبکه توزیع از جهت خطادار بودن به دست می‌آید و در نهایت با بهره‌گیری از نحوه عملکرد فیوزها، نشانگرها و جداکننده‌ها حداقل محل‌های نهایی کاندیدای خطا با دقت قابل قبولی ارائه می‌شود.

این الگوریتم به صورت یک بسته نرم افزاری تحت عنوان ^۱DFL در زبان دلفی در آزمایشگاه تحقیقاتی حفاظت و اتوماسیون شبکه‌های برق دانشگاه علم و صنعت ایران مدون شده است. به راحتی می‌توان با داده‌های ولتاژ و جریان نمونه برداری شده توسط ثبات خطا و ارسال شده از طریق خط تلفن مربوط به آن و همچنین اطلاعات مربوط به عملکرد فیوزها، نشانگرهای خطا و جداکننده‌ها برای فیدرهای توزیع با سطح ولتاژهای ۱۱ و ۲۰ کیلوولت به محل یابی خطا پرداخت. نرم افزار آماده شده بر روی یک فیدر توزیع شعاعی ۲۰ کیلوولت واقعی با خطاهای اتصال کوتاه در نقاط مختلف، آزمایش شده است که نتایج محل یابی خطا، کارایی بالای محل یاب خطا را نشان می‌دهد.

کلید واژه: شبکه‌های توزیع شعاعی واقعی، محل یابی خطا، ثبات خطای دیجیتال.

۱- مقدمه

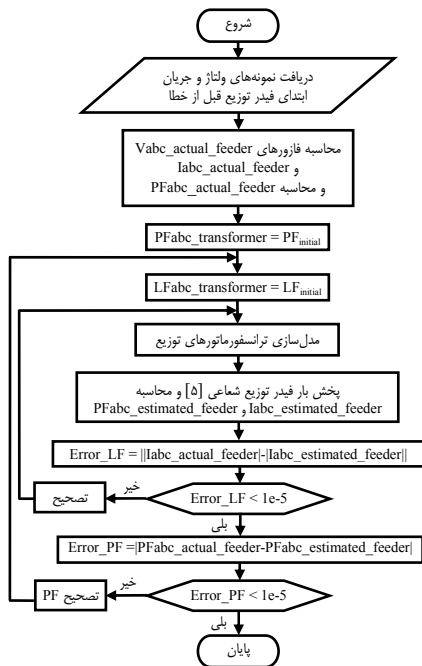
تعیین محل خطا یکی از مقولات مهم در مبحث حفاظت سیستم‌های قدرت است که اجرای دقیق و سریع آن موجبات کاهش محسوس انرژی توزیع نشده، افزایش سوددهی سیستم و بالارفتن رضایت‌مندی مشترکین از سیستم برق‌رسانی را فراهم می‌آورد. اجرای الگوریتم‌های محل یابی خطا در سیستم‌های قدرت هم در شبکه‌های انتقال و هم در شبکه‌های توزیع مطرح است. اصولاً در شبکه‌های انتقال طولانی شدن زمان رفع خطا ممکن است باعث بروز مشکلات جبران‌ناپذیری شود، لذا تشخیص خطا

این مقاله در تاریخ ۲۶ شهریور ماه ۱۳۸۶ دریافت و در تاریخ ۲۲ دی ماه ۱۳۸۷ بازنگری شد.

صادق جمالی، دانشکده مهندسی برق، دانشگاه علم و صنعت ایران، نارمک، تهران، (email: sjamali@iust.ac.ir).

وحید تلاوت، دانشکده مهندسی برق، دانشگاه علم و صنعت ایران، نارمک، تهران، (email: talavat@iust.ac.ir).

1. Distribution Fault Locator



شکل ۲: روند نامی تخمین مقادیر LF و PF میانگین ترانسفورماتورهای توزیع.

آن بر اساس فازورهای محاسبه شده توسط داده‌های ولتاژ و جریان ثبت شده در لحظه‌ای قبل از وقوع خطای اتصال کوتاه یک LF و PF میانگین برای ترانسفورماتورهای توزیع تخمین زده می‌شود. در این الگوریتم ابتدا بر اساس فازورهای ولتاژ و جریان محاسبه شده در قبل از وقوع خطای اتصال کوتاه ضرایب بارگیری و قدرت اولیه ترانسفورماتورهای توزیع با استفاده از (۵) و (۶) محاسبه می‌شود، سپس بر اساس روند نامی شکل ۲ ضرایب بارگیری و قدرت میانگین نهایی بدست می‌آید.

$$LF_{initial} = \frac{S}{\sum_i S_{ni}} \quad (5)$$

$$PF_{initial} = \frac{P}{S} \quad (6)$$

که در آن

$$S = P + jQ = V_{SS} I_{SS}^*$$

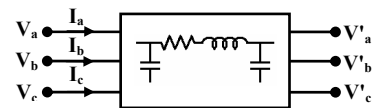
که در رابطه فوق‌الذکر P ، Q و S به ترتیب توان‌های اکتیو، راکتیو و ظاهری تزریقی از ابتدای فیدر توزیع و S_{ni} مقدار ظرفیت نامی ترانسفورماتور توزیع واقع در گره i ام می‌باشد.

۳- الگوریتم محل‌یابی خطا در فیدر توزیع

اصولاً خطاهایی که در یک فیدر توزیع ممکن است اتفاق بیفتد، خطای تک‌فاز به زمین با مقاومت زمین R_f و خطای دوفاز به هم و به زمین با مقاومت قوس R_{arc} و مقاومت زمین R_f در فازهای مختلف است که قبل از ارائه الگوریتم محل‌یابی خطا این دو نوع خطای اتصال کوتاه بر اساس شکل ۱ مدل‌سازی می‌شود.

۳-۱ مدل‌سازی خطای تک‌فاز به زمین

یک خطای اتصال کوتاه تک‌فاز به زمین با مقاومت زمین R_f در فاصله d بر حسب پریونیت از گره ابتدای بخش خطا دار مطابق شکل ۳ نشان داده شده است. با توجه به شکل می‌توان رابطه بین ولتاژ ابتدای بخش مورد نظر و محل خطا را به صورت زیر نوشت



شکل ۱: مدل مداری بخش SR از فیدر توزیع شعاعی.

۲- مدل‌سازی فیدر توزیع شعاعی

به منظور بررسی الگوریتم محل‌یابی خطا یک بخش از فیدر توزیع شعاعی بین دو گره ابتدای K و انتهای R را مطابق شکل ۱ در نظر گرفته می‌شود. این بخش از خطوط هوایی و یا کابل‌های زیرزمینی با سطح مقطع و نوع آرایش فازهای یکسان تشکیل شده‌اند، به طوری که می‌توان یک ماتریس امیدانس عناصر سری Z و یک ماتریس ادmittانس عناصر موازی Y را به بخش بین دو گره اختصاص داد.

اگر $V_S = [V_a \ V_b \ V_c]^t$ و $V_R = [V'_a \ V'_b \ V'_c]^t$ به ترتیب فازورهای ولتاژهای سه‌فاز گره ابتدا و انتهای بخش مورد نظر و $I_S = [I_a \ I_b \ I_c]^t$ و همچنین $I_{cap} = [I_{capa} \ I_{capb} \ I_{capc}]^t$ به ترتیب فازورهای جریان‌های سه‌فاز عناصر سری و عناصر موازی این بخش باشد، در آن صورت روابط زیر ارائه می‌شود

$$V_S = ZI_S + V_R \quad (1)$$

$$I_{cap} = YV_S \quad (2)$$

۲-۱ تخمین ضرایب بارگیری و قدرت میانگین ترانسفورماتورهای توزیع

در الگوریتم محل‌یابی خطا بارها به صورت ترانسفورماتورهای توزیع متصل به فیدر توزیع شعاعی با ظرفیت‌ها، ضرایب بارگیری و ضرایب قدرت متفاوت در نظر گرفته می‌شوند. هر ترانسفورماتور توزیع به صورت یک بار امیدانسی مدل می‌شود، به طوری که اگر S_n ظرفیت نامی ترانسفورماتورهای توزیع بر حسب کیلوولت‌آمپر، V_n ولتاژ نامی فیدر توزیع بر حسب کیلوولت، $X\%$ امیدانس درصد عناصر سری ترانسفورماتور توزیع و LF^1 و PF^2 به ترتیب ضرایب بارگیری و قدرت ترانسفورماتورهای توزیع باشد، در آن صورت قسمت‌های حقیقی و موهومی امیدانس ترانسفورماتورهای توزیع به صورت زیر ارائه می‌شود

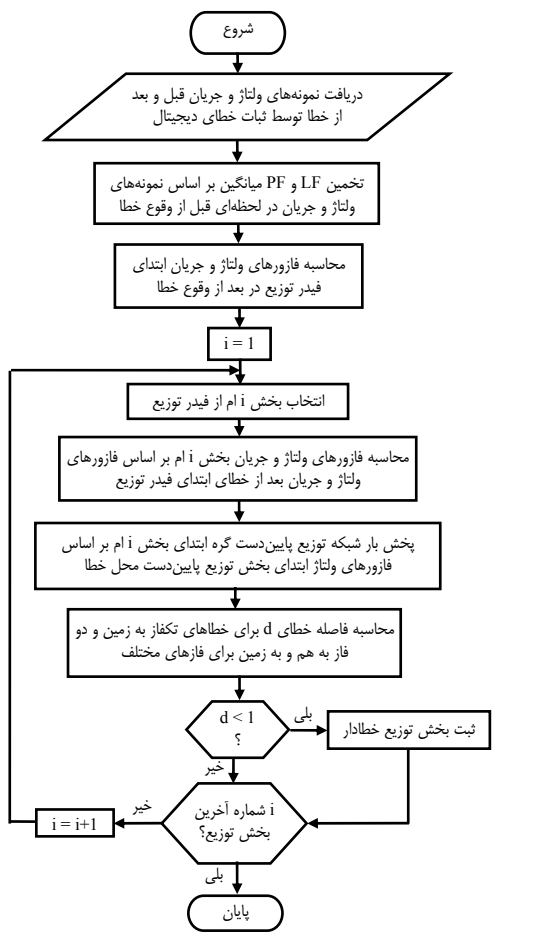
$$R_L = \left(\frac{100 \cdot V_n^2}{LF \times S_n} \right) PF \quad (3)$$

$$X_L = \left(\frac{100 \cdot V_n^2}{LF \times S_n} \right) \sin(\cos^{-1}(PF)) + \left(\frac{100 \cdot V_n^2}{S_n} \right) X \% \quad (4)$$

در روابط فوق‌الذکر LF و PF متغیرهای نامعلوم از بار امیدانسی مدل‌سازی شده ترانسفورماتورهای توزیع هستند که در زمان‌های مختلف از شبانه‌روز به دلیل تغییر جریان مصرفی کشیده شده از ترانسفورماتورهای توزیع می‌توانند مقادیر متفاوتی داشته باشند. با توجه به اینکه خطاهای اتصال کوتاه در شبکه‌های توزیع می‌توانند در هر لحظه‌ای از شبانه‌روز اتفاق بیفتند، لذا نمی‌توان LF و PF مشخص و ثابتی را برای ترانسفورماتورهای توزیع جهت استفاده در الگوریتم محل‌یابی خطای پیشنهادی در نظر گرفت.

به منظور فائق آمدن به این مشکل الگوریتمی ارائه شده است که در

1. Loading Factor
2. Power Factor

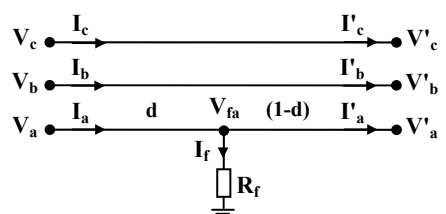


شکل ۵: روندنمای محل‌یابی خطا در فیدرهای توزیع شعاعی.

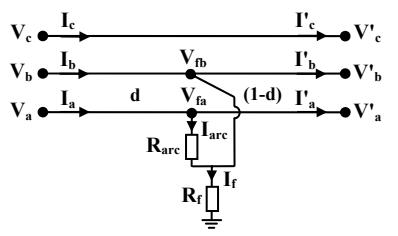
$$d = [\text{Re}(V_a - V_b) \text{Im}(I_a - I'_a) - \text{Im}(V_a - V_b) \text{Re}(I_a - I'_a)] / [\text{Re}((z_{11} - z_{r1})I_a + (z_{12} - z_{r2})I_b + (z_{13} - z_{r3})I_c) \text{Im}(I_a - I'_a) - \text{Im}((z_{11} - z_{r1})I_a + (z_{12} - z_{r2})I_b + (z_{13} - z_{r3})I_c) \text{Re}(I_a - I'_a)] \quad (14)$$

۳-۳ ساختار الگوریتم محل‌یابی خطا

الگوریتم محل‌یابی خطا در فیدرهای توزیع شعاعی به این صورت است که ابتدا مقادیر LF و PF میانگین بر اساس داده‌های ولتاژ و جریان قبل از خطای ابتدای فیدر با استفاده از روندنمای شکل ۲ تخمین زده می‌شود تا ترانسفورماتورهای فیدر توزیع به‌صورت بارهای امپدانس برای لحظه وقوع خطا بر اساس (۳) و (۴) مدل گردند. سپس فازورهای بعد از وقوع خطا با استفاده از نمونه‌های ولتاژ و جریان محاسبه می‌شود. در نهایت الگوریتم محل‌یابی خطا بخش‌های مختلف فیدر توزیع را با محاسبه فاصله d از ابتدای هر بخش از نظر خطادار بودن مورد بررسی قرار می‌دهد، به‌طوری که اگر d کوچک‌تر از یک باشد، بخش مورد نظر به‌عنوان محل اولیه کاندیدای خطا در نظر گرفته می‌شود و در غیر این صورت بخش مورد نظر بدون خطا فرض می‌شود. روندنمای شکل ۵ الگوریتم محل‌یابی خطای پیشنهادی را برای فیدرهای توزیع شعاعی نشان می‌دهد. پس از آزمایش تمام بخش‌های فیدر توزیع از نظر خطادار بودن، به‌منظور کاهش تعداد بخش‌های اولیه کاندیدای خطا می‌بایست بخش‌های توزیع کاندیدای خطایی را که نشانگر، فیوز و یا جداکننده بالادست آنها فعال نشده از لیست بخش‌های خطادار حذف نمود تا به حداقل تعداد بخش‌های خطادار رسید.



شکل ۳: مدل مداری خطای تک‌فاز به زمین.



شکل ۴: مدل مداری خطای دوفاز به هم و به زمین.

$$V_a = d(z_{11}I_a + z_{12}I_b + z_{13}I_c) + V_{fa} \quad (7)$$

از طرفی بر اساس شکل ۳ می‌توان نوشت

$$V_{fa} = R_f(I_a - I'_a) \quad (8)$$

مقدار فازور جریان I'_a با اجرای الگوریتم پخش بار ارائه‌شده در [۵] در فیدر توزیع پایین‌دست نقطه f با در دست داشتن فازور ولتاژ V_{fa} به‌دست می‌آید. ولی از آنجایی که محل نقطه f یعنی فاصله d مجهول است، لذا می‌توان با یک تقریب خوب، فیدر توزیع پایین‌دست نقطه f را بدون در نظر گرفتن خطا با فازور ولتاژ موجود V_a پخش بار نمود و جریان I_a محاسبه‌شده را به‌جای مقدار جریان I'_a استفاده نمود.

با جایگزینی (۸) در (۷) و تجزیه رابطه حاصل به دو جز حقیقی و موهومی می‌توان به مقادیر d و R_f دست یافت که مقدار d در (۹) آمده است

$$d = [\text{Re}(V_a) \text{Im}(I_a - I'_a) - \text{Im}(V_a) \text{Re}(I_a - I'_a)] / [\text{Re}(z_{11}I_a + z_{12}I_b + z_{13}I_c) \text{Im}(I_a - I'_a) - \text{Im}(z_{11}I_a + z_{12}I_b + z_{13}I_c) \text{Re}(I_a - I'_a)] \quad (9)$$

۳-۲ مدل‌سازی خطای دوفاز به هم و به زمین

در این حالت نیز یک خطای دوفاز به هم و به زمین در فاصله d از ابتدای بخش خطادار با مقاومت قوس R_{arc} و مقاومت زمین R_f رخ داده است که در شکل ۴ نشان داده شده است. مانند حالت قبل، بر اساس (۱) می‌توان ولتاژ فازهای خطادار ابتدای بخش مورد نظر و محل خطا را به‌صورت روابط زیر نوشت

$$V_a = d(z_{11}I_a + z_{12}I_b + z_{13}I_c) + V_{fa} \quad (10)$$

$$V_b = d(z_{21}I_a + z_{22}I_b + z_{23}I_c) + V_{fb} \quad (11)$$

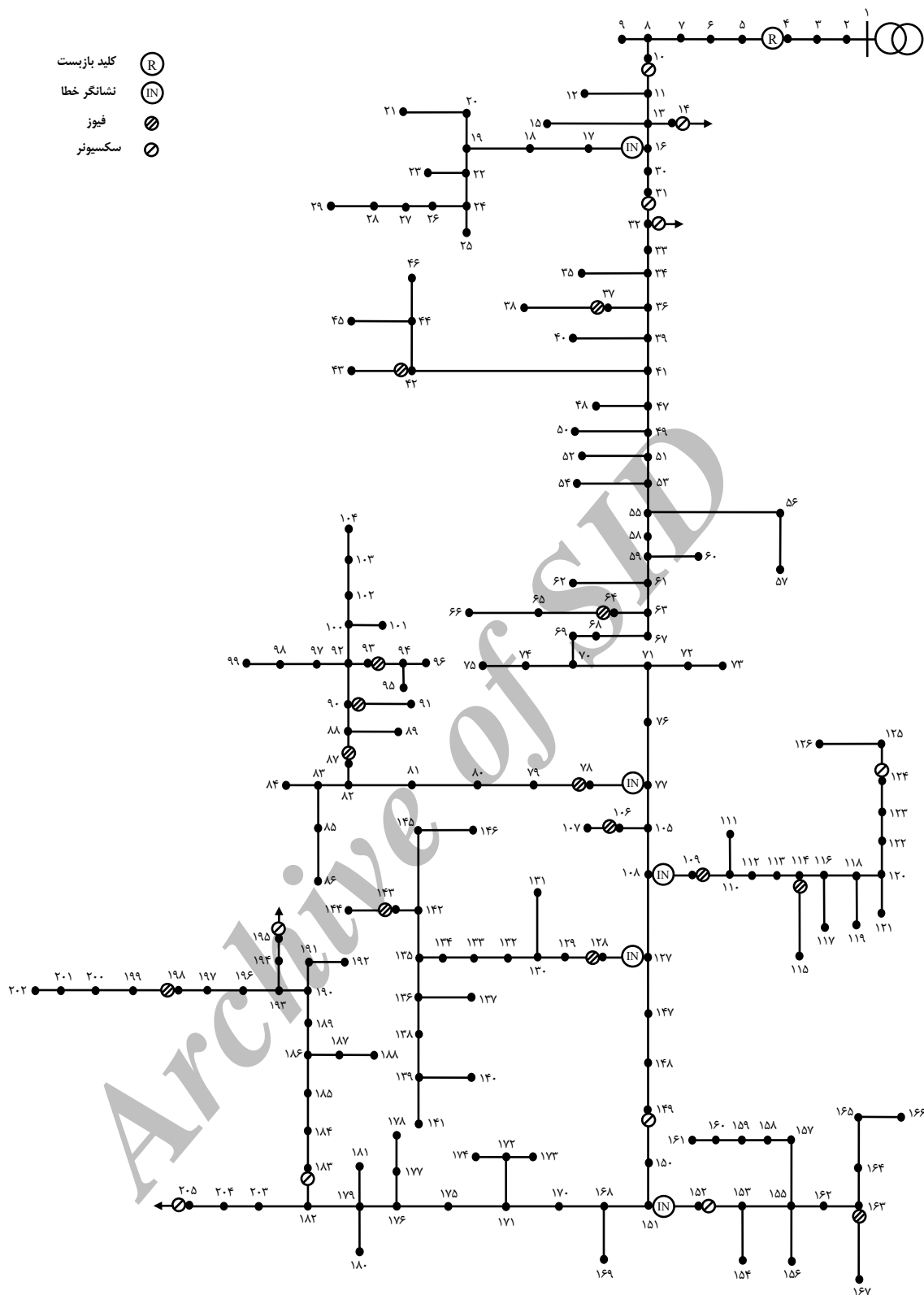
با توجه به روابط فوق‌الذکر، روابط زیر ارائه می‌شود

$$V_a - V_b = d[(z_{11} - z_{21})I_a + (z_{12} - z_{22})I_b + (z_{13} - z_{23})I_c + (V_{fa} - V_{fb})] \quad (12)$$

از طرفی با توجه به شکل ۴ می‌توان نوشت

$$V_{fa} - V_{fb} = R_{arc}(I_a - I'_a) \quad (13)$$

با جایگزینی (۱۳) در (۱۲) می‌توان به مانند حالت تک‌فاز به زمین مقادیر d و R_f را به‌دست آورد که فاصله خطای d در زیر آمده است

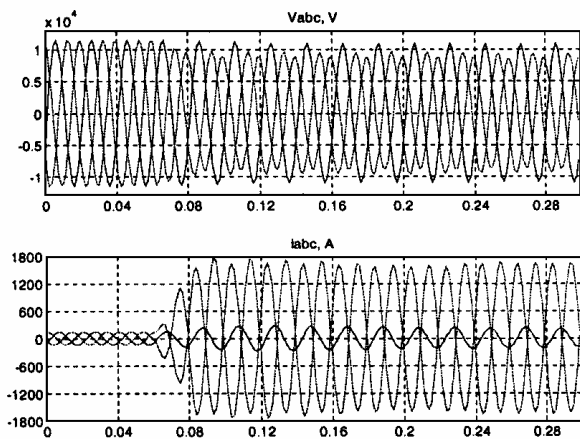


شکل ۶: دیاگرام تک خطی فیدر توزیع ۲۰ کیلوولت سه‌پایه.

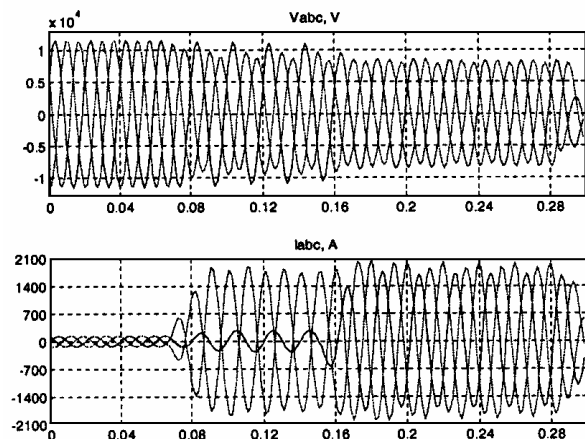
توزیع فرعی، فیوزها و سکسیونرها در شکل ۶ نشان داده شده است. فیدر توزیع نمونه شامل ۱۱۳ ترانسفورماتور توزیع ۲۰/۰/۴ کیلوولت با ظرفیت‌های مختلف و ۷۱/۴۴ کیلومتر شامل خطوط هوایی و کابل‌های زیرزمینی می‌باشد. جداول پ-۱ و پ-۲ به ترتیب مشخصات ترانسفورماتورهای توزیع و مشخصات بخش‌های فیدر سه‌پایه اعم از طول و سطح مقطع فیدر سه‌پایه و جدول پ-۳ مشخصات سیم‌ها و کابل‌های مورد استفاده در بخش‌های مختلف فیدر توزیع را نشان می‌دهد.

۴- نتایج آزمایش نرم‌افزار محل‌یاب خطا

به‌منظور آزمایش کارایی نرم‌افزار DFL آماده شده، فیدر توزیع ۲۰ کیلوولت سه‌پایه از پست فوق توزیع ۶۳/۲۰ کیلوولت طاووسیه منطقه برق ساوجبلاغ تحت پوشش شرکت توزیع نیروی برق غرب استان تهران در نظر گرفته شده است. این فیدر توزیع شعاعی به‌همراه محل کلید بازبست شامل ثبات در ابتدای فیدر توزیع، نشانگرهای خطا در ابتدای فیدرهای



شکل ۸: شکل موج‌های ولتاژ و جریان خطای بخش ۶۳-۶۴



شکل ۷: شکل موج‌های ولتاژ و جریان خطای بخش ۴۹-۵۰

جدول ۲: نتایج خطای دوفاز به هم مربوط به بخش ۶۳-۶۴

گره ابتدا	گره انتها	فاصله از گره ابتدا (متر)	فاصله از محل نصب ثبات (متر)	مقاومت خطای R_f	مقاومت خطای R_{arc}
۵۶	۵۷	۱۵۸,۰۶	۸۲۷۸,۰۶	۲۵,۲۱	۱,۷۱
۵۹	۶۰	۴۳,۰۱	۸۲۵۳,۰۱	۲۵,۷۳	۱,۹۲
۵۹	۶۱	۲۱۰,۳۷	۸۴۲۰,۳۷	۲۹,۶۶	۱,۸۶

موجود در این جدول برابر با $۷۶۶۱/۰۸$ متر می‌باشد که خطای آن از محل واقعی خطا یعنی ۷۵۰۰ متری از محل نصب ثبات کلید بازبست برابر با $۲/۱۴$ درصد می‌باشد.

۴-۲ خطای دوفاز به هم در ۷۰ متری از گره ۶۳ در بخش ۶۳-۶۴ و ۸۷۸۰ متری از محل نصب ثبات

این خطا در ساعت ۱۱ و ۲ دقیقه در ۷۰ متری از گره ۶۳ در بخش ۶۳-۶۴ با دامنه جریان حدود ۱۸۰۰ آمپر ایجاد شده است که شکل ۸ شکل موج‌های ولتاژ و جریان سه‌فاز و جدول ۲ نتایج خروجی محل‌های اولیه کاندیدای خطای پیداشده را نشان می‌دهند. مقادیر LF و PF میانگین تخمین زده شده توسط نرم‌افزار DFL در این حالت برابر با $۰/۲۳۱۵۵$ و $۰/۹۱۴۶۷$ می‌باشد. به دلیل عدم عملکرد نشانگرها و فیوزهای موجود هیچ‌کدام از بخش‌های موجود در جدول ۲ حذف نمی‌شوند و بر اساس میانگین فواصل خطای $۸۳۱۷/۱۴$ متری محل‌های خطای جدول ۲ و فاصله خطای واقعی ۸۷۸۰ متری، خطای الگوریتم محل‌یابی برابر با $۵/۲۷$ درصد می‌باشد.

۴-۳ خطای دوفاز به هم در ۳۵ متری از گره ۱۵۲ در بخش ۱۵۲-۱۵۳ و ۱۳۷۸۵ متری از محل نصب ثبات

این خطا در ساعت ۱۲ و ۲ دقیقه در ۳۵ متری از گره ۱۵۲ در بخش ۱۵۲-۱۵۳ با دامنه جریان حدود ۱۱۰۰ آمپر به وقوع پیوسته است. به مانند حالت‌های قبل شکل موج‌های ولتاژ و جریان سه‌فاز در شکل ۹ و نتایج خروجی محل‌های خطادار در جدول ۳ آمده است. در ابتدا نرم‌افزار DFL مقادیر LF و PF میانگین را به ترتیب $۰/۲۳۸۳۱$ و $۰/۹۱۵۳۸$ تخمین زده است. با توجه به عدم عملکرد نشانگر موجود در بخش ۷۸-۷۷ بخش‌های خطادار ۹۸-۹۷، $۱۰۳-۱۰۲$ و $۱۰۴-۱۰۳$ از لیست محل‌های اولیه کاندیدای خطا حذف می‌شوند، علاوه بر این فعال‌نشدن نشانگر بخش $۱۰۸-۱۰۹$ امکان حذف بخش‌های خطادار $۱۱۴-۱۱۵$ و $۱۱۴-۱۱۶$ را می‌دهد و در نهایت عدم عملکرد نشانگر بخش $۱۲۷-۱۲۸$ سبب حذف

جدول ۱: نتایج خطای دوفاز به هم مربوط به بخش ۴۹-۵۰

گره ابتدا	گره انتها	فاصله از گره ابتدا (متر)	فاصله از محل نصب ثبات (متر)	مقاومت خطای R_f	مقاومت خطای R_{arc}
۴۱	۴۲	۳۶۶,۷۸	۶۶۰۶,۷۸	۰,۵۰	۲,۶۶
۴۱	۴۷	۱۳۲,۵۰	۶۳۷۲,۵۰	۰,۵۰	۲,۹۵
۴۹	۵۰	۵۴۳,۲۲	۷۷۳۳,۲۲	۰,۶۵	۲,۰۲
۵۵	۵۶	۲۷۶,۶۱	۷۹۶۶,۶۱	۰,۳۷	۲,۳۵
۵۸	۵۹	۱۷۱,۲۶	۸۰۱۱,۲۶	۰,۲۹	۲,۴۳
۶۴	۶۵	۴۵۸,۰۴	۹۳۰۸,۰۴	۰,۵۲	۰,۹۱
۶۷	۶۸	۱۶۶,۱۱	۹۲۷۶,۱۱	۰,۴۱	۰,۸۶

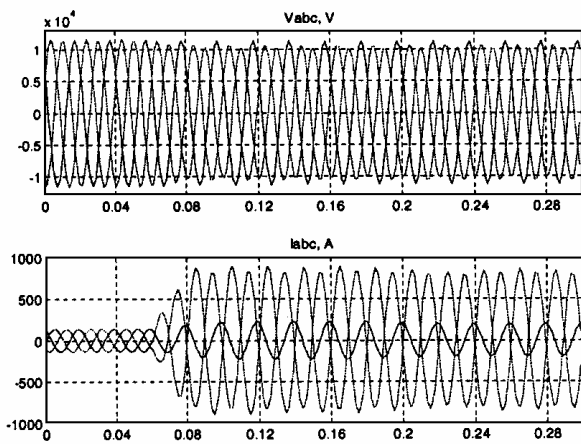
در فیدر توزیع شعاعی ۲۰ کیلوولت مورد نظر خطاهایی مصنوعی در نقاط مختلف توسط پرتاب سیم با تفنگ مخصوص که یک طرف سیم بر روی زمین و طرف دیگر به سیم‌های سه‌فاز خط هوایی برخورد می‌کند، ایجاد شد که نرم‌افزار DFL توسط داده‌های ولتاژ و جریان نمونه‌برداری شده از ثبات کلید بازبست نتایج قابل قبولی در پی داشته است که جزئیات آنها در ذیل آمده است.

۴-۱ خطای دوفاز به هم در ۳۱۰ متری از گره ۴۹ در بخش ۴۹-۵۰ و ۷۵۰۰ متری از محل نصب ثبات

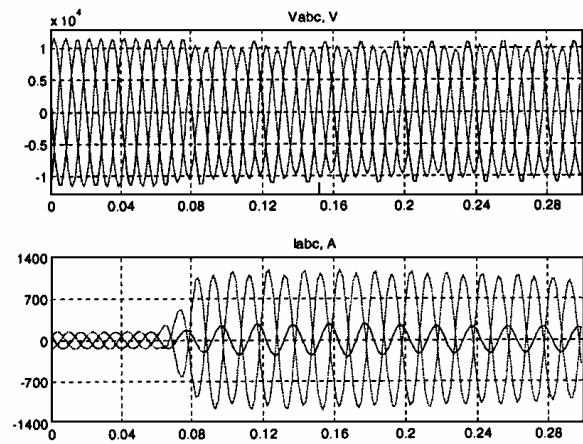
این خطا در ساعت ۱۰ و ۴۷ دقیقه در ۳۱۰ متری از گره ۴۹ در بخش ۴۹-۵۰ ایجاد شده است که شکل موج‌های ولتاژ و جریان سه‌فاز آن در شکل ۷ نشان داده شده است. با نگاه دقیق‌تر به شکل موج‌های جریان، مشاهده می‌شود که دامنه جریان اتصال کوتاه ۲۱۰۰ آمپر بوده و خطای اتصال کوتاه ابتدا به مدت ۴ سیکل به صورت دوفاز به هم بوده و سپس در اثر برخورد سیم به هر سه فاز به خطای اتصال کوتاه سه‌فاز به هم تبدیل شده است. جدول ۱ نتایج خروجی نرم‌افزار DFL شامل گره ابتدا و انتهای بخش خطادار، فاصله محل خطا از گره ابتدا و از محل نصب ثبات را نشان می‌دهد.

الگوریتم محل‌یابی خطا ابتدا بر اساس فازور ولتاژ و جریان سه‌فاز قبل از خطا LF و PF میانگین ترانسفورماتورهای توزیع $۲۰/۰/۴$ کیلوولت را تخمین می‌زند که در این حالت LF و PF میانگین به ترتیب $۰/۲۲۲۷۷$ و $۰/۸۹۷۹۳$ محاسبه شده است.

با توجه به عدم عملکرد فیوز موجود در ابتدای بخش ۶۴-۶۵ می‌توان بخش ۶۴-۶۵ را از لیست بخش‌های اولیه کاندیدای خطای آمده در جدول ۱ حذف نمود. بنابراین میانگین فواصل خطای بقیه محل‌های



شکل ۱۰: شکل موج‌های ولتاژ و جریان خطای بخش ۱۸۲-۱۸۳.



شکل ۹: شکل موج‌های ولتاژ و جریان خطای بخش ۱۵۲-۱۵۳.

جدول ۴: نتایج خطای دوفاز به هم مربوط به بخش ۱۸۲-۱۸۳.

مقاومت خطای R_f	مقاومت خطای R_{arc}	فاصله از محل نصب ثبات (متر)	فاصله از گره ابتدا (متر)	گره ابتدا	گره انتها
۳۷,۱۴	۶,۴۳	۱۸۱۶۸,۳۸	۲۴۵۸,۳۸	۱۶۷	۱۶۳
۴۶,۲۴	۶,۸۴	۱۸۱۰۰,۸۷	۷۵,۸۷	۱۸۰	۱۷۹
۴۶,۲۴	۶,۸۴	۱۸۱۰۰,۸۷	۷۵,۸۷	۱۸۱	۱۷۹
۴۶,۲۴	۶,۸۷	۱۸۰۹۷,۶۳	۷۲,۶۳	۱۸۲	۱۷۹
۵۱,۱۸	۶,۳۶	۱۸۹۳۴,۶۴	۱۲۹,۶۴	۱۸۴	۱۸۳
۵۱,۷۲	۶,۴۵	۱۸۹۳۶,۹۶	۲۵۱,۹۶	۲۰۳	۱۸۲

جدول ۳: نتایج خطای دوفاز به هم مربوط به بخش ۱۵۲-۱۵۳.

مقاومت خطای R_f	مقاومت خطای R_{arc}	فاصله از محل نصب ثبات (متر)	فاصله از گره ابتدا (متر)	گره ابتدا	گره انتها
۳۱,۹۵	۴,۳۱	۱۳۱۵۳,۴۸	۳۷۸,۴۸	۹۸	۹۷
۳۲,۲۳	۴,۳۰	۱۳۱۵۲,۹۸	۷۷,۹۸	۱۰۳	۱۰۲
۳۹,۴۲	۳,۸۸	۱۳۶۵۳,۶۱	۳۷۸,۶۱	۱۰۴	۱۰۳
۳۲,۷۰	۴,۶۱	۱۳۱۰۱,۰۶	۱۵۷,۰۶	۱۱۵	۱۱۴
۳۲,۷۰	۴,۶۱	۱۳۱۰۰,۹۷	۱۵۶,۹۷	۱۱۶	۱۱۴
۳۱,۵۶	۴,۶۳	۱۳۰۹۸,۵۶	۴۲۳,۵۶	۱۳۳	۱۳۲
۳۹,۶۵	۴,۱۸	۱۳۶۳۶,۸۴	۴۰۱,۸۴	۱۳۴	۱۳۳
۳۱,۹۸	۵,۱۵	۱۳۰۳۱,۹۹	۲۶۱,۹۹	۱۵۱	۱۵۰

شعاعی ارائه و بر روی یک فیدر توزیع ۲۰ کیلوولت واقعی آزمایش شده است که نتایج درخور توجهی را به دنبال داشته است. الگوریتم پیشنهادی بر اساس روش امیدانسی بوده و با استفاده از اطلاعات ولتاژ و جریان نمونه برداری شده توسط ثبات کلید بازبست به محل یابی خطا می‌پردازد.

اصولاً در طی محل یابی خطا در شبکه‌های توزیع برخلاف شبکه‌های انتقال مشکلاتی پیش می‌آید که از آن جمله می‌توان به مشخص نبودن ضرایب بارگیری و قدرت ترانسفورماتورهای توزیع در لحظه وقوع خطا، متنوع بودن سطح مقطع‌های بخش‌های مختلف فیدر توزیع و گستردگی بیش از حد فیدرهای شبکه توزیع به صورت درختی اشاره کرد که در این مقاله راهکارهایی جهت رفع این مشکلات ارائه شده است.

با توجه به این که الگوریتم امیدانسی محل یابی خطا برای هر یک از بخش‌های فیدر توزیع به طور جداگانه اجرا می‌شود، لذا تنوع زیاد آرایش و سطح مقطع خطوط هوایی و یا کابل‌های زیرزمینی بخش‌های فیدر توزیع تأثیر چندانی در دقت محل یابی خطا ندارد.

به منظور تخمین ضرایب بارگیری و ضرایب قدرت میانگین ترانسفورماتورهای توزیع، الگوریتمی ارائه شد که بر اساس نمونه‌های ولتاژ و جریان لحظه‌ای قبل از خطا مقادیر این ضرایب را محاسبه و در محل یابی خطا استفاده می‌کند.

با توجه به این که نرم‌افزار محل یابی بسته به ساختار درختی فیدر توزیع شعاعی، ممکن است چندین نقطه خطا را به عنوان محل‌های اولیه کاندیدای خطا معرفی کند، لذا به راحتی می‌توان بر اساس فعال شدن نشانگرها و همچنین چگونگی عملکرد فیوزها و جداکننده‌ها در فیدر توزیع بعضی از محل‌های اولیه کاندیدای خطای پیداشده غیر قابل قبول را حذف و به حداقل تعداد محل‌های خطا رسید.

نرم‌افزار محل یابی خطای DFL به کمک عملکرد نشانگرها و توجه به ساختار فیدر توزیع در محل یابی خطاهای ایجادشده در فیدر توزیع

۱۰۸-۱۰۹ امکان حذف بخش‌های خطادار ۱۱۴-۱۱۵ و ۱۱۴-۱۱۶ را می‌دهد و در نهایت عدم عملکرد نشانگر بخش ۱۲۷-۱۲۸ سبب حذف بخش‌های توزیع ۱۳۳-۱۳۳ و ۱۳۳-۱۳۴ از جدول ۳ می‌شود. بنابراین تنها محل خطای قابل قبول در نتایج خروجی جدول ۳ بخش ۱۵۱-۱۵۰ باشد. این محل به فاصله ۱۳۰۳۹۹ متری از محل نصب ثبات بوده که خطای محل یابی با فرض فاصله واقعی خطا برابر با ۱۳۷۸۵ متر حدود ۵/۴۶ درصد بوده است.

۴-۴ خطای دوفاز به هم در ۶۰ متری از گره ۱۸۲ در بخش ۱۸۲-۱۸۳ و ۱۸۷۴۵ متری از محل نصب ثبات

این خطا در ساعت ۱۲ و ۲۲ دقیقه در ۶۰ متری از گره ۱۸۲ در بخش ۱۸۲-۱۸۳ با دامنه جریان حدود ۹۰۰ آمپر به وقوع پیوسته است. شکل موج‌های ولتاژ و جریان سه فاز آن در شکل ۱۰ و نتایج خروجی محل‌های اولیه کاندیدای خطا در جدول ۴ آمده است.

مقادیر LF و PF میانگین تخمین زده شده توسط DFL در این حالت به ترتیب ۰,۲۲۸۲۴ و ۰,۹۱۶۸۶ می‌باشد. با توجه به غیر فعال بودن نشانگر موجود در بخش ۱۵۱-۱۵۲ می‌توان محل خطای بخش ۱۶۷-۱۶۳ را از لیست محل‌های اولیه کاندیدای خطای پیداشده توسط DFL حذف کرد. بنابراین میانگین فاصله بقیه محل‌های خطای موجود برابر با ۱۸۴۳۳۴/۱۹ متر می‌باشد که خطای الگوریتم محل یابی خطا با فرض فاصله واقعی خطای ۱۸۷۴۵ متر برابر با ۱/۶۵ درصد بوده است.

۵- نتیجه گیری

در این مقاله روشی کاربردی برای محل یابی خطا در شبکه‌های توزیع

۲۰ کیلوولت سه‌پایه نتایج درخور توجهی داشته که خطای محل‌یابی بین ۱/۶۵ و ۵/۴۶ درصد بوده است. این در حالی است که نتایج شبیه‌سازی‌ها در برنامه ATP-EMTP خطای ناچیزی را نشان می‌دهد. منابع خطا در محل‌یابی واقعی در فیدر توزیع مشخص نبودن دقیق LF و PF ترانسفورماتورهای توزیع در لحظه بروز خطا و نبود اطلاعات دقیق از ساختار و طول بخش‌های مختلف فیدر توزیع می‌باشد که به‌طور یقین با ارائه راهکارهای بهتر می‌توان به کمترین مقدار خطا در محل‌یابی دست یافت.

۶- پیوست

جدول پ-۱: مشخصات ترانسفورماتورهای توزیع.

شماره گره	ظرفیت ترانسفورماتور (کیلوولت‌آمپر)	شماره گره	ظرفیت ترانسفورماتور (کیلوولت‌آمپر)
۵	۳۱۵	۶	۱۰۰
۷	۵۰	۱۲	۱۰۰
۱۵	۱۰۰	۱۶	۲۰۰
۱۷	۱۰۰	۱۸	۵۰
۲۰	۱۶۰	۲۱	۲۰۰
۲۳	۳۱۵	۲۵	۵۰
۲۷	۸۰۰	۲۹	۱۰۰
۳۰	۲۵۰ و ۲۰۰	۳۳	۳۱۵
۳۵	۱۰۰	۳۸	۲۰۰
۴۰	۲۰۰	۴۳	۱۲۵۰
۴۵	۲۰۰	۴۶	۲۰۰
۴۸	۱۰۰	۵۰	۵۰۰
۵۲	۵۰	۵۴	۵۰
۵۶	۲۰۰	۵۷	۱۰۰
۶۰	۲۰۰	۶۲	۳۱۵
۶۵	۲۵۰	۶۶	۳۱۵
۶۹	۴۰۰ و ۸۰۰	۷۲	۲۰۰
۷۳	۲۵۰	۷۴	۵۰
۷۵	۵۰	۷۶	۲۵۰
۷۹	۲۵۰	۸۰	۲۵۰
۸۱	۲۵۰	۸۴	۱۰۰
۸۵	۲۵۰	۸۶	۱۰۰
۸۹	۵۰	۹۱	۲۰۰
۹۵	۵۰	۹۶	۱۰۰
۹۷	۱۰۰	۹۸	۱۰۰
۹۹	۵۰	۱۰۱	۵۰
۱۰۲	۲۰۰	۱۰۳	۲۰۰
۱۰۴	۲۰۰	۱۰۷	۱۰۰
۱۱۱	۱۰۰	۱۱۲	۲۰۰
۱۱۳	۲۰۰	۱۱۵	۲۰۰
۱۱۷	۱۰۰	۱۱۹	۲۰۰
۱۲۱	۲۰۰	۱۲۲	۲۵۰
۱۲۳	۲۵۰	۱۲۶	۵۰
۱۲۹	۲۵۰	۱۳۱	۲۰۰
۱۳۲	۱۰۰	۱۳۳	۱۰۰
۱۳۴	۱۰۰	۱۳۷	۵۰
۱۳۸	۱۰۰	۱۴۰	۵۰
۱۴۱	۲۰۰	۱۴۴	۲۰۰

شماره گره	ظرفیت ترانسفورماتور (کیلوولت‌آمپر)	شماره گره	ظرفیت ترانسفورماتور (کیلوولت‌آمپر)
۱۴۵	۵۰	۱۴۶	۲۰۰
۱۴۷	۲۰۰	۱۴۸	۲۰۰
۱۵۰	۱۰۰	۱۵۷	۳۱۵
۱۵۹	۱۰۰	۱۶۰	۲۵۰
۱۶۱	۲۰۰	۱۶۴	۲۰۰
۱۶۵	۱۰۰	۱۶۶	۱۰۰
۱۶۷	۱۰۰۰	۱۶۹	۲۰۰
۱۷۰	۱۰۰	۱۷۳	۳۱۵
۱۷۴	۲۵۰	۱۷۶	۲۰۰
۱۷۷	۳۱۵	۱۷۸	۲۰۰
۱۸۰	۱۰۰	۱۸۱	۱۰۰
۱۸۴	۵۰	۱۸۵	۱۰۰
۱۸۷	۵۰	۱۸۸	۱۰۰
۱۸۹	۲۵۰	۱۹۱	۲۵۰
۱۹۲	۱۰۰	۱۹۴	۲۵۰
۱۹۶	۲۰۰	۱۹۷	۲۰۰
۱۹۹	۵۰	۲۰۲	۲۰۰

جدول پ-۲: مشخصات بخش‌های فیدر توزیع.

شماره گره	شماره گره	شماره گره	شماره گره	سطح مقطع (mm ²)	طول (m)	شماره گره	شماره گره	سطح مقطع (mm ²)	طول (m)
۱	۲	۳	۴	۱۸۵	۵۰	۱۱۸	۱۳۲	۳	۱۱۸
۳	۴	۵	۶	۱۱۸	۹۶۰	۱۱۸	۳۷۰	۵	۱۱۸
۵	۶	۷	۸	۱۱۸	۵۴۰	۱۱۸	۱۸۰	۷	۱۱۸
۷	۸	۹	۱۰	۱۱۸	۹۶۰	۱۱۸	۱۰۰	۹	۱۱۸
۸	۱۰	۱۱	۱۲	۱۱۸	۱۲۰	۱۱۸	۳۱۰	۱۱	۱۱۸
۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۷۳	۱۴۰	۱۱۸	۱۱۰۰	۱۳	۱۱۸
۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۷۳	۱۴۰	۷۳	۴۱۰	۱۵	۷۳
۱۳	۱۶	۱۷	۱۸	۱۱۸	۵۶۰	۱۱۸	۱۶۰	۱۷	۷۳
۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۷۳	۱۵۰	۷۳	۵۰	۱۹	۷۳
۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۷۳	۱۱۰	۷۳	۲۵۰	۲۱	۷۳
۱۹	۲۲	۲۳	۲۴	۷۳	۱۵۰	۷۳	۶۰	۲۳	۷۳
۲۲	۲۴	۲۵	۲۶	۷۳	۱۵۰	۷۳	۱۰	۲۵	۷۳
۲۴	۲۶	۲۷	۲۸	۷۳	۱۳۰	۷۳	۳۰	۲۷	۱۵۰
۲۷	۲۸	۲۹	۳۰	۱۵۰	۳۰	۷۳	۵۰	۲۹	۷۳
۱۶	۳۰	۳۱	۳۲	۱۱۸	۲۰۰	۱۱۸	۵۰	۳۱	۱۱۸
۳۱	۳۲	۳۳	۳۴	۱۱۸	۵۰	۱۱۸	۵۰	۳۳	۱۱۸
۳۳	۳۴	۳۵	۳۶	۱۱۸	۱۰۰	۱۱۸	۱۸۰	۳۵	۷۳
۳۴	۳۶	۳۷	۳۸	۱۱۸	۴۰۰	۱۱۸	۹۰	۳۷	۷۳
۳۷	۳۸	۳۹	۴۰	۷۳	۷۷۰	۷۳	۲۵۰	۳۹	۱۱۸
۳۹	۴۰	۴۱	۴۲	۲۰	۴۰	۱۱۸	۱۰۰۰	۴۱	۱۱۸
۴۱	۴۲	۴۳	۴۴	۱۵۰	۶۱۰	۱۵۰	۸۱۰	۴۳	۱۵۰
۴۲	۴۴	۴۳	۴۴	۷۳	۲۰	۷۳	۶۰	۴۵	۷۳
۴۴	۴۶	۴۵	۴۶	۷۳	۶۳۰	۷۳	۳۵۰	۴۷	۱۱۸
۴۷	۴۸	۴۹	۵۰	۷۳	۲۰	۷۳	۶۰۰	۴۹	۱۱۸
۴۹	۵۰	۵۱	۵۲	۶۲۰	۵۰	۱۱۸	۱۵۰	۵۱	۱۱۸
۵۱	۵۲	۵۳	۵۴	۷۳	۵۲۰	۷۳	۱۵۰	۵۳	۱۱۸
۵۳	۵۴	۵۵	۵۶	۷۳	۲۵۰	۷۳	۲۰۰	۵۵	۱۱۸
۵۵	۵۶	۵۷	۵۸	۴۳۰	۵۶	۷۳	۳۰۰	۵۷	۷۳

شماره گره ابتدا	شماره گره انتها	سطح مقطع (mm ²)	طول (m)	شماره گره ابتدا	شماره گره انتها	سطح مقطع (mm ²)	طول (m)
۱۱۸	۵۶۰	۱۵۷	۱۵۵	۷۳	۴۲۰	۱۵۶	۱۵۵
۴۲	۴۵۰	۱۵۹	۱۵۸	۱۱۸	۴۲۰	۱۵۸	۱۵۷
۴۲	۳۵۰	۱۶۱	۱۶۰	۴۲	۸۰	۱۶۰	۱۵۹
۷۳	۴۲۰	۱۶۳	۱۶۲	۷۳	۲۱۰	۱۶۲	۱۵۵
۷۳	۴۲۰	۱۶۵	۱۶۴	۷۳	۱۴۰	۱۶۴	۱۶۳
۷۳	۷۰۲۰	۱۶۷	۱۶۳	۷۳	۲۱۰	۱۶۶	۱۶۵
۷۳	۳۰۰	۱۶۹	۱۶۸	۷۳	۵۰۰	۱۶۸	۱۵۱
۱۵۰	۲۵۰	۱۷۱	۱۷۰	۷۳	۸۹۰	۱۷۰	۱۶۸
۴۲	۲۱۰	۱۷۳	۱۷۲	۴۲	۴۹۰	۱۷۲	۱۷۱
۷۳	۲۸۵	۱۷۵	۱۷۱	۴۲	۲۸۰	۱۷۴	۱۷۲
۷۳	۳۱	۱۷۷	۱۷۶	۱۱۸	۹۶۰	۱۷۶	۱۷۵
۱۱۸	۱۵۱۰	۱۷۹	۱۷۶	۷۳	۵۴۰	۱۷۸	۱۷۷
۷۳	۱۸۰	۱۸۱	۱۷۹	۷۳	۲۱۰	۱۸۰	۱۷۹
۷۳	۱۲۰	۱۸۳	۱۸۲	۱۱۸	۶۶۰	۱۸۲	۱۷۹
۷۳	۱۶۵	۱۸۵	۱۸۴	۷۳	۴۲۰	۱۸۴	۱۸۳
۷۳	۲۸۰	۱۸۷	۱۸۶	۷۳	۱۶۵	۱۸۶	۱۸۵
۷۳	۴۵۰	۱۸۹	۱۸۶	۷۳	۱۴۰	۱۸۸	۱۸۷
۷۳	۲۰	۱۹۱	۱۹۰	۷۳	۴۹۰	۱۹۰	۱۸۹
۷۳	۸۴۰	۱۹۳	۱۹۰	۱۵۰	۲۰۰	۱۹۲	۱۹۱
۷۳	۵۴۰	۱۹۵	۱۹۴	۷۳	۶۰۰	۱۹۴	۱۹۳
۷۳	۱۸۰	۱۹۷	۱۹۶	۷۳	۱۳۰	۱۹۶	۱۹۳
۷۳	۷۸۲	۱۹۹	۱۹۸	۷۳	۱۸۰	۱۹۸	۱۹۷
۱۵۰	۱۲۰	۲۰۱	۲۰۰	۷۳	۳۵۰	۲۰۰	۱۹۹
۱۱۸	۴۲۰	۲۰۳	۱۸۲	۷۳	۱۲۰	۲۰۲	۲۰۱
۱۱۸	۵۴۰	۲۰۵	۲۰۴	۱۸۵	۱۵۰	۲۰۴	۲۰۳

جدول پ-۳: مشخصات سیم‌ها و کابل‌ها.

B _۱ (μS/km)	B. (μS/km)	X _۱ (Ω/km)	R _۱ (Ω/km)	X. (Ω/km)	R. (Ω/km)	سطح مقطع سیم (mm ²)
۱,۲۶	۱,۲۶	۰,۳۸	۰,۷۸	۱,۶۱	۰,۹۲	۴۲
۱,۲۹	۱,۲۹	۰,۳۶	۰,۴۵	۱,۵۹	۰,۵۹	۷۳
۱,۳۱	۱,۳۱	۰,۳۷	۰,۲۶	۱,۶۰	۰,۴۱	۱۱۸
B _۱ (μS/km)	B. (μS/km)	X _۱ (Ω/km)	R _۱ (Ω/km)	X. (Ω/km)	R. (Ω/km)	سطح مقطع کابل (mm ²)
۹,۹۶	۹,۹۶	۰,۱۲	۰,۲۱	۰,۰۸	۰,۴۲	۱۵۰
۱,۰۸	۱,۰۸	۰,۱۱	۰,۱۷	۰,۰۸	۰,۳۷	۱۸۵

مراجع

- [1] Z. Jun, D. L. Lubkeman, and A. A. Girgis, "Automated fault location and diagnosis on electric power distribution feeders," *IEEE Trans. on Power Delivery*, vol. 12, no. 2, pp. 801-809, Apr. 1997.
- [2] L. Seung-Jae, C. Myeon-Song, K. Sang-Hee, J. Bo-Gun, L. Duck-Su, A. Bok-Shin, Y. Nam-Seon, K. Ho-Yong, and W. Sang-Bong, "An intelligent and efficient fault location and diagnosis scheme for radial distribution systems," *IEEE Trans. on Power Delivery*, vol. 19, no. 2, pp. 524-532, Apr. 2004.
- [3] C. Myeon-Song, L. Seung-Jae, L. Duck-Su, and J. Bo-Gun, "A new fault location algorithm using direct circuit analysis for distribution systems," *IEEE Trans. on Power Delivery*, vol. 19, no. 1, pp. 35-41, Jan. 2004.
- [4] E. C. Senger, G. Manassero Jr., C. Goldemberg, and E. L. Pellini, "Automated fault location system for primary distribution networks,"

شماره گره ابتدا	شماره گره انتها	سطح مقطع (mm ²)	طول (m)	شماره گره ابتدا	شماره گره انتها	سطح مقطع (mm ²)	طول (m)
۱۱۸	۳۷۰	۵۹	۵۸	۱۸۵	۱۵۰	۵۸	۵۵
۱۱۸	۲۴۰	۶۱	۵۹	۷۳	۱۹۰	۶۰	۵۹
۱۱۸	۲۶۰	۶۳	۶۱	۷۳	۲۰	۶۲	۶۱
۱۱۸	۸۷۰	۶۵	۶۴	۱۱۸	۱۴۰	۶۴	۶۳
۱۱۸	۴۰۰	۶۷	۶۳	۱۸۵	۲۷۰	۶۶	۶۵
۱۵۰	۱۲۰	۶۹	۶۸	۷۳	۳۲۰	۶۸	۶۷
۷۳	۲۸۵	۷۱	۷۰	۷۳	۳۰	۷۰	۶۹
۱۱۸	۴۹۰	۷۳	۷۲	۱۱۸	۴۲۰	۷۲	۷۱
۷۳	۲۰۰	۷۵	۷۴	۷۳	۲۰	۷۴	۷۰
۱۱۸	۲۵۰	۷۷	۷۶	۱۱۸	۸۵۰	۷۶	۷۱
۷۳	۵۰	۷۹	۷۸	۷۳	۵۰	۷۸	۷۷
۷۳	۱۰۰	۸۱	۸۰	۷۳	۲۰۰	۸۰	۷۹
۷۳	۱۵۰	۸۳	۸۲	۷۳	۲۰۰	۸۲	۸۱
۷۳	۲۳۰	۸۵	۸۳	۷۳	۱۰۰	۸۴	۸۳
۷۳	۱۰۰	۸۷	۸۲	۷۳	۲۳۰	۸۶	۸۵
۷۳	۳۲۰	۸۹	۸۸	۷۳	۲۵۰	۸۸	۸۷
۷۳	۳۵۰	۹۱	۹۰	۷۳	۳۰۰	۹۰	۸۸
۷۳	۱۰۰	۹۳	۹۲	۷۳	۱۱۰	۹۲	۹۰
۷۳	۳۰۰	۹۵	۹۴	۷۳	۳۵۰	۹۴	۹۳
۷۳	۴۵۰	۹۷	۹۲	۷۳	۳۵۰	۹۶	۹۴
۷۳	۱۵۰	۹۹	۹۸	۷۳	۴۰۰	۹۸	۹۷
۷۳	۱۵۰	۱۰۱	۱۰۰	۷۳	۲۵۰	۱۰۰	۹۲
۷۳	۲۰۰	۱۰۳	۱۰۲	۷۳	۵۰۰	۱۰۲	۱۰۰
۱۱۸	۶۰۰	۱۰۵	۷۷	۷۳	۷۵۰	۱۰۴	۱۰۳
۷۳	۴۹۰	۱۰۷	۱۰۶	۱۱۸	۷۰	۱۰۶	۱۰۵
۷۳	۱۰۰	۱۰۹	۱۰۸	۱۱۸	۱۵۰	۱۰۸	۱۰۵
۷۳	۱۴۰	۱۱۱	۱۱۰	۷۳	۳۵۰	۱۱۰	۱۰۹
۷۳	۴۹۰	۱۱۳	۱۱۲	۷۳	۱۴۰	۱۱۲	۱۱۰
۷۳	۵۱۰	۱۱۵	۱۱۴	۷۳	۱۴۹	۱۱۴	۱۱۳
۷۳	۲۰	۱۱۷	۱۱۶	۷۳	۹۲۰	۱۱۶	۱۱۴
۱۱۸	۳۰۰	۱۱۹	۱۱۸	۷۳	۸۵۰	۱۱۸	۱۱۶
۷۳	۵۰	۱۲۱	۱۲۰	۱۱۸	۵۰	۱۲۰	۱۱۸
۷۳	۲۰۰	۱۲۳	۱۲۲	۷۳	۲۶۰	۱۲۲	۱۲۰
۷۳	۵۰	۱۲۵	۱۲۴	۷۳	۲۰	۱۲۴	۱۲۳
۱۱۸	۵۰	۱۲۷	۱۰۸	۷۳	۸۶۰	۱۲۶	۱۲۵
۷۳	۲۱۰	۱۲۹	۱۲۸	۷۳	۱۴۰	۱۲۸	۱۲۷
۷۳	۲۸۰	۱۳۱	۱۳۰	۷۳	۴۲۰	۱۳۰	۱۲۹
۷۳	۵۶۰	۱۳۳	۱۳۲	۷۳	۱۴۰	۱۳۲	۱۳۰
۷۳	۷۰	۱۳۵	۱۳۴	۷۳	۴۹۰	۱۳۴	۱۳۳
۷۳	۱۴۰	۱۳۷	۱۳۶	۴۲	۳۰۰	۱۳۶	۱۳۵
۴۲	۹۰	۱۳۹	۱۳۸	۴۲	۹۰	۱۳۸	۱۳۶
۴۲	۴۲۰	۱۴۱	۱۳۹	۷۳	۴۸۰	۱۴۰	۱۳۹
۷۳	۱۰۰	۱۴۳	۱۴۲	۷۳	۱۴۰	۱۴۲	۱۳۵
۷۳	۲۶۰	۱۴۵	۱۴۲	۷۳	۱۸۰۰	۱۴۴	۱۴۳
۱۱۸	۳۶۰	۱۴۷	۱۲۷	۷۳	۱۴۰	۱۴۶	۱۴۵
۱۱۸	۵۵	۱۴۹	۱۴۸	۱۱۸	۲۹۰	۱۴۸	۱۴۷
۱۱۸	۸۶۰	۱۵۱	۱۵۰	۱۱۸	۳۰۰	۱۵۰	۱۴۹
۱۱۸	۷۰	۱۵۳	۱۵۲	۱۱۸	۱۲۰	۱۵۲	۱۵۱
۱۱۸	۱۲۶۰	۱۵۵	۱۵۳	۱۱۸	۴۲۰	۱۵۴	۱۵۳

وحید تلاوت در سال ۱۳۷۹ مدرک کارشناسی مهندسی برق خود را از دانشگاه تبریز و در سال ۱۳۸۱ مدرک کارشناسی ارشد مهندسی برق خود را از دانشگاه علم و صنعت ایران دریافت نمود. در حال حاضر دانشجوی دوره دکترای مهندسی برق در دانشگاه علم و صنعت ایران می‌باشد. زمینه‌های علمی مورد علاقه ایشان حفاظت و محلیابی شبکه‌های توزیع شعاعی با نیروگاه‌های تولید پراکنده می‌باشد.

IEEE Trans. on Power Delivery, vol. 20, no. 2, pt. 2, pp. 1332-1340, Apr. 2005.

- [5] C. S. Cheng and D. Shirmohammadi, "A three-phase power flow method distribution system analysis," *IEEE Trans. on Power Systems*, vol. 10, no. 2, pp. 671-679, May 1995.

صادق جمالی در سال ۱۳۵۸ مدرک کارشناسی مهندسی برق خود را از دانشگاه صنعتی شریف و مدارک کارشناسی ارشد و دکتری خود را به ترتیب از دانشگاه ویکتوریا منچستر (UMIST) در سال ۱۳۶۵ و دانشگاه سیتی لندن در سال ۱۳۶۹ دریافت نمود و هم‌اکنون دانشیار دانشکده مهندسی برق دانشگاه علم و صنعت ایران می‌باشد. نامبرده دارای ۴ کتاب تالیفی و ترجمه و بیش از ۲۰۰ مقاله در مجلات و کنفرانس‌های معتبر ملی و بین‌المللی، شامل ۱۰ مقاله نمایه شده (ISI)، می‌باشد که یکی از مقالات ISI ایشان تاکنون ۵۵ بار در مجلات معتبر بین‌المللی مورد ارجاع قرار گرفته است. نامبرده دارای فعالیت‌های وسیع صنعتی می‌باشد که شامل انجام پروژه‌های متعدد برای صنعت برق کشور و طراحی و مشاوره سیستم‌های برق برای مترو تهران، راه‌آهن دولتی آلمان، راه‌آهن قطر و مترو لندن می‌باشد. ایشان عضو ارشد انجمن مهندسی و تکنولوژی انگلستان (IET) و نماینده IET در ایران می‌باشند. زمینه‌های مورد علاقه ایشان عبارتند از: حفاظت سیستم‌های قدرت، شبکه‌های توزیع برق و شبکه‌های برق ریلی.

Archive of SID