

مکان‌یابی خطای تک‌فاز به روش امپدانسی با بهره‌گیری از روش شناسایی الگو

رحمن دشتی^۱ (استادیار)، محمد دیسی^۲ (دانشجوی دکتری)، شهرام جوادی^۳ (دانشیار)

۱- آزمایشگاه سیستم قدرت و حفاظت، دانشکده مهندسی، دانشگاه خلیج فارس، بوشهر ۷۵۱۶۹۱۳۸۱۷، ایران

R.Dashti@pgu.ac.ir

۲- مرکز تحقیقات برق هوشمند و اتوماسیون، دانشکده فنی و مهندسی، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

Moh.Daisy.eng@iauctb.ac.ir Sh.Javadi@iauctb.ac.ir

چکیده: شبکه توزیع به عنوان بخشی از ساختار کلی سیستم‌های قدرت، آخرین حلقه‌ی زنجیره تولید و انتقال انرژی محسوب می‌گردد. از جمله مهم‌ترین مسائل موجود در خطوط توزیع، مسئله بروز خطأ است که با توجه به ساختار ذاتی شبکه‌های توزیع و انشعابات متعدد، مکان‌یابی آن اهمیت ویژه‌ای دارد. روش‌های امپدانسی به عنوان معمولی‌ترین روش برای مکان‌یابی خطأ می‌باشد. این روش با مشکلاتی مانند چند پاسخی بودن و عدم تشخیص بخش خطأ روبرو بوده و قادر به ارائه پاسخ یکتا نمی‌باشد. در این مقاله ابتدا با استفاده از روش امپدانسی ارتقاء یافته، مکان‌های ممکن خطأ تشخیص داده می‌شوند. سپس فرکانس‌های طبیعی آن نقاط تعیین می‌گردد. لذا با توجه به اینکه مکان‌های ممکن خطأ بیش از یک نقطه می‌باشند لازم است بخش خطأ جهت تعیین مکان اصلی خطأ شناسایی گردد؛ بنابراین شبیه‌سازی خطأ هر بخش از مکان‌های ممکن را به ازای گام‌های کوچک انجام داده و با تطبیق فرکانس تعیین شده با فرکانس پایه ثبت شده در شکل ولتاژ اصلی خطأ، بخش و مکان اصلی خطأ تعیین می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: شبکه توزیع، مکان‌یابی خطأ، تخمین بخش خطأ، فاصله‌یابی خطأ.

تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۶/۱۲/۲۳

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۵/۱۳

نام نویسنده‌ی مسئول: شهرام جوادی

نشانی نویسنده‌ی مسئول: مرکز تحقیقات برق هوشمند، دانشکده فنی و مهندسی، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۱- مقدمه

بین سیگنال‌های دریافتی و انتقال Chirp (سیگنالی که فرکانس آن بهمروز زمان کم و زیاد می‌شود) محاسبه می‌نماید.

در [۸] یک روش جدید مکان‌یابی خطاب بر اساس توالی صفر جریان در سیستم توزیع موربدرسی قرار گرفته است. همچنین مشخصه‌های توزیع توالی صفر جریان قبل و بعد از بستن سوئیچ در شبکه حلقوی در مورد خطای تک‌فاز به زمین نیز آنالیز می‌گردد.

در [۹] یک روش عملی برای تخمین بخش خطاب و حذف مشکل چند تخمینی از روش‌های مکان‌یابی خطاب به روش امپدانسی ارائه گردیده است. این روش بر اساس محاسبه امپدانس ظاهری و مقادیر اساسی که در پست اندازه‌گیری شده، می‌باشد.

در [۱۰] روشی اجرایی و ساده ارائه شده است که قادر به تخمین بخش خطاب بر اساس الگوی جریانی و الگوی زمانی جریان ابتدای فیدر و حذف مشکل چند پاسخی روش‌های امپدانسی در سیستم‌های توزیع می‌باشد. در این روش با تعیین مکان تجهیزات حفاظتی و هماهنگی و پیژه آن‌ها در شبکه توزیع، به گونه‌ای عمل می‌کند که بهره‌برداران بتوانند بخش خطاب را از طریق الگو و رفتار جریان ابتدای فیدر بدون هیچ‌گونه تجهیز اضافی تعیین نمایند. همچنین این روش به کمک انجام چند آزمایش اتصال کوتاه واقعی بر روی یک فیدر توزیع در شرکت توزیع استان بوشهر صحبت‌سنگی شده است.

یک روش عملی برای تعیین فاصله و بخش خطاب در سیستم توزیع قدرت در [۱۱] ارائه گردیده است. در روش ارائه شده در ابتداء نقاط احتمالی خطاب تعیین و سپس با استفاده از یک روش جدید، مکان‌یابی به روش امپدانسی انجام می‌پذیرد.

در [۱۲] بر اساس مدل‌سازی آماری و استخراج ولتاژ اندازه‌گیری شده ذخیره در پایگاه‌های داده، بخش خطاب تعیین می‌گردد. انتخاب تعدادی از گروه‌ها، تناسب نمونه‌ها در هر گروه و مقادیر اولیه مورد نیاز از محدودیت‌های این روش می‌باشد.

با استفاده از اطلاعات ولتاژ و جریان ابتدای فیدر و با استفاده از فن طبقه‌بندی کننده از طریق الگوریتم‌های یادگیرنده الگوریتمی در [۱۳] ارائه گردیده که مکان خطاب را تعیین می‌نماید. در این مرجع با بهره‌گیری از اطلاعات ولتاژ و جریان ابتدای دامنه فرو رفتگی ولتاژ در هر فاز، میزان افزایش جریان هر فاز، انحراف معیار (Voltage Sag) در این روشی ارائه گردیده که بخش و فاصله اصلی خطاب مشخص می‌شود.

در [۱۴] یک روش ترکیبی جدید برای مکان‌یابی خطابی تک فاز به زمین ارائه شده است. در این روش الگوریتم مکان‌یابی خطاب به روش امپدانسی برای یافتن مکان‌های ممکن خطاب استفاده گردیده است. سپس روش جدیدی برای تعیین بخش خطاب با استفاده از الگوریتم تطبیق فرو رفتگی ولتاژ ارائه شده است. در این روش بعد از خطابی تک فاز به زمین، مکان‌های ممکن خطاب تعیین و با استفاده از الگوریتم مکان‌یابی خطاب به روش امپدانسی خطابی یکسان در مکان‌های ممکن به‌طور جداگانه شبیه‌سازی گردیده است.

سیستم قدرت از چهار بخش تولید، انتقال، توزیع و بار تشکیل شده است که شبکه توزیع به عنوان پیچیده‌ترین شبکه دارای خصوصیات بارهای متفاوت و متنوع می‌باشد. انواع بارهای موجود در سیستم توزیع عبارت‌اند از: بارهای صنعتی، تجاری، کشاورزی، خانگی و روشناهی. شبکه توزیع معمولاً از یک پست توزیع آغاز و توسط یک یا چند خط فوق توزیع یا خطوط انتقال فشارقوی تغذیه می‌گردد که هر پست توزیع یک یا چند فیدر را تغذیه می‌کند. شبکه توزیع با انشعاب‌های متعدد و بارهای متنوع و نامتعادل در سطح کوچه‌ها و خیابان‌ها گستردگی شده است و به دو صورت شبکه شعاعی و اتصال یافته دسته‌بندی می‌گردد.

اهمیت مکان‌یابی خطاب در شبکه توزیع از دو دیدگاه کلی مورد بررسی قرار می‌گیرد: از دیدگاه مشترکین و شرکت توزیع. از نظر مشترکین ارائه خدمات مداوم، حداقل زمان و تعداد قطعی؛ مورد قبول است و با توجه به اینکه مشترکین متفاوتی وجود دارد این امر زمانی امکان پذیر می‌باشد که شبکه در شرایط عادی باشد. از دیدگاه شرکت توزیع مواردی چون رضایت مشترکین و کاهش هزینه تعمیرات بسیار مهم است که در صورت غیرعادی شدن شرایط بحث خطابها در شبکه مطرح می‌گردد.

الگوریتم مکان‌یابی خطاب بر اساس آنالیز مدار سه‌فاز مستقیم برای سیستم‌های توزیع نامتعادل در [۱۵] ارائه شده است. الگوریتم مورد ارائه بر محدودیت الگوریتم معمولی در جایی که به سیستم متعادل نیاز است، غلبه می‌کند.

در [۱۶] از تبدیل موجک پیوسته وتابع همبستگی جهت تعیین فاصله خطاب استفاده گردیده است. روش بهمودیافتیه در [۱۷] نیز ارائه شده است. در این روش فاصله خطاب از طریق شبکه عصبی با استفاده از الگوریتم ویژه‌ای از استخراج ولتاژ ابتدای فیدر تعیین می‌گردد. در این مرجع وجود یک بانک داده حجیم و دقیق ضروری می‌باشد.

یک روش بهمودیافتیه برای مکان‌یابی در سیستم توزیع قدرت در [۱۸] ارائه شده است که از دقت بالایی برخوردار می‌باشد. در الگوریتم مورد ارائه با استفاده از حوزه فازور مدل خط گسترده، یک معادله جبری درجه ۵ از فاصله خطاب به دست آمده است که می‌تواند دقت را بهمود بخشد.

در [۱۹] یک فرمول جدید برای محاسبه فاصله خطاب به روش امپدانسی در سیستم‌های توزیع ارائه شده است. در روش مورد ارائه تنها از اندازه‌گیری ولتاژ و جریان ابتدای فیدر استفاده می‌گردد و نیازی به نصب تجهیزات اضافی مثل دستگاه‌های مانیتورینگ در سیستم توزیع نمی‌باشد. یک روش جدید تک‌پایانه برای مکان‌یابی خطاب در شبکه‌های سیستم توزیع در [۲۰] ارائه شده است. این روش بر بازتاب فرکانس-زمان مبتنی است که فاصله‌ی خطاب را بر اساس اختلاف زمان

شبیه‌سازی و مقایسه با دیگر روش‌ها در بخش سوم مورد بررسی قرار خواهد گرفت. درنهایت نتیجه‌گیری ارائه می‌گردد.

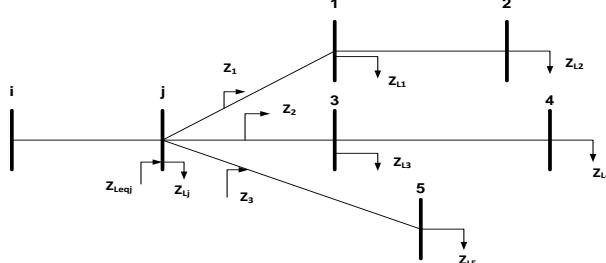
۲- روش پیشنهادی

۲-۱- فاصله‌یابی خطای تکفاز به روش امپدانسی بهبود یافته

در این قسمت، مکان خطای تکفاز با استفاده از روش امپدانسی که در [۱۱] معرفی شده است، تعیین می‌گردد. در این روش مدل خط گستردۀ برای بهبود دقت الگوریتم امپدانسی مکان‌یابی خطای تکفاز استفاده می‌شود. بر اساس این مدل و بسته به نوع خطای تکفاز، معادله جدیدی به دست می‌آید که می‌تواند فاصله خطای تکفاز را با دقت بالا تعیین کند.

۲-۱-۱- تعیین بار معادل در انتهای هر بخش

در این قسمت با در نظر گرفتن شبکه نمونه ارائه شده در شکل (۱) به تشریح روند محاسبه امپدانسی بار معادل انتهای هر بخش می‌پردازیم.



شکل (۱): نمای تکخطی شبکه توزیع نمونه

در صورتی که خطای تکفاز بین دو بسیار i و j رخ داده باشد، لازم است امپدانس معادل بار انتهای این بخش (امپدانس معادل در بسیار j) مشخص گردد. این امپدانس توسط (۱) به دست می‌آید:

$$Z_{Leqj} = (Z_1^{-1} + Z_2^{-1} + Z_3^{-1} + Z_{Lj}^{-1})^{-1} \quad (1)$$

هر کدام از امپدانس‌های Z_1, Z_2, Z_3 به‌وسیله محاسبه امپدانس معادل دیده شده از گره j تعیین می‌گردد. برای محاسبه این امپدانس‌ها از سری و موازی کردن امپدانس بارها و امپدانس خطوط استفاده می‌شود. لازم به توضیح است که برای دست‌یابی به دقت بالاتر، از مدل گستردۀ خطای تکفاز مطابق با شکل (۲) استفاده شده است.

یک روش دقیق و کارآمد برای تخمین بخش و فاصله خطای تکفاز به روش امپدانسی از اساس اجزای طیف فرکانس تولید شده توسط امواج سیار در [۱۵] ارائه گردیده است. خطای اتفاق افتاده در سیستم شعاعی تولید امواج سیار فرکانس بالا را به دو بخش تقسیم کرده است. بخشی از آن بین محل خطای تکفاز و پست و بخش دیگر بین اتصالات شبکه و پست سیر می‌کند.

در [۱۶] روش جدیدی جهت تعیین مکان خطای تکفاز در سیستم‌های توزیع بر مبنای مؤلفه‌های فرکانسی امواج سیار ناشی از خطای ارائه گردیده است. در این مرجع الگوریتمی ارائه شده است که با ثبت اطلاعات فرکانس بالای خطای تکفاز در ابتدای فیدر توزیع و تحلیل فرکانسی مؤلفه‌های ایجاد شده در ولتاژهای ابتدای فیدر، بخش دارای خطای شناسایی و فاصله دقیق خطای تکفاز از ابتدای فیدر به‌طور یکتا محاسبه می‌شود.

در [۱۷] پس از وقوع خطای تکفاز، محل‌های ممکن خطای تکفاز در سیستم امپدانسی توزیع می‌شوند. سپس خطاهای مشابهی به‌طور جداگانه در محل‌های ممکن تعیین شده، شبیه‌سازی می‌شوند. در ادامه ولتاژ ابتدای فیدر ذخیره می‌شود و آنگاه دامنه و فاز اختلاف ولتاژهای تعیین و بانک داده آنلاین تولید می‌گردد. برای تشخیص خطای حقیقی، داده‌های این بانک با دامنه و زاویه اختلاف ولتاژهای به دست آمده و ثبت شده (در ابتدای فیدر) مقایسه می‌شوند. محل واقعی خطای تکفاز با مقدار تطبیق هر محل خطای ممکن تعیین می‌شود.

در [۱۸]، مکان‌یابی خطای تکفاز بر اساس امپدانس خط برای شبکه‌های توزیع چهار سیم ارائه شده است. در روش ارائه شده از مدل خط π استفاده شده است و تأثیر مشخصات اصلی شبکه‌های توزیع شامل زیر شاخه‌ها، مقاومت خطای تکفاز، محل خطای تکفاز، زاویه شروع خطای تکفاز و نوع خطای تکفاز بررسی شده است.

در این مقاله روش ترکیبی جدیدی جهت تعیین مکان خطای تکفاز در شبکه توزیع ارائه شده است. در روش پیشنهادی ابتدا با استفاده از روش امپدانسی مکان‌های ممکن خطای تکفاز با استفاده از اطلاعات ابتدای فیدر تعیین می‌گردد. با توجه به اینکه تعداد مکان‌های ممکن وابسته به آرایش شبکه می‌تواند بیش از یک باشد لذا تعیین بخش و مکان اصلی خطای تکفاز پراهمیت خواهد بود. اکنون خطای تکفاز در هر مکان ممکن شبیه‌سازی و شکل موج ولتاژ ابتدای فیدر به ازای هر یک ذخیره می‌گردد. سپس تبدیل فوریه آن‌ها تعیین و برای هر یک با تبدیل فوریه ولتاژ ذخیره شده به ازای خطاهای واقعی مقایسه می‌گردد. هر کدام که دارای بیشترین تشابه باشد به عنوان مکان و بخش اصلی خطای تکفاز معرفی می‌گردد. روش پیشنهادی در یک شبکه توزیع نمونه تحت شرایط مکان‌های مختلف، مقاومت‌ها و زوایای مختلف شروع خطای تکفاز و ارزیابی قرار گرفته که نتایج بدست آمده بیانگر عملکرد و حسن دقت آن می‌باشد. این مقاله بهصورت زیر بخش‌بندی می‌شود. در ابتدای روش پیشنهادی جهت فاصله‌یابی خطای تکفاز می‌گردد. در بخش بعد تعیین بخش واقعی خطای تکفاز به روش پیشنهادی آنالیز خواهد شد. نتایج

که در آن:
 l_j : طول بخش j -می باشد
 ضرایب $k_{15} - k_0$: در [۱۱] به طور کامل توضیح داده شده‌اند.
۲-۳-۳- الگوریتم مکان‌بایی روش پیشنهادی در شبکه توزیع

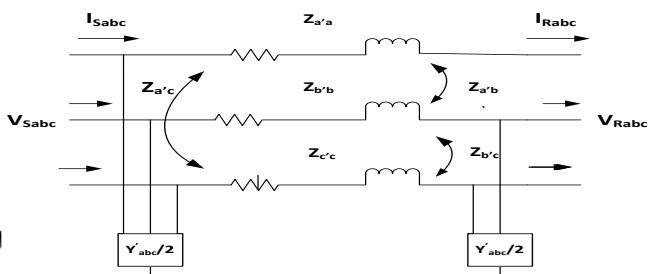
- الگوریتم مکان‌بایی خطابه روش پیشنهادی مطابق زیر می‌باشد.
- ۱- تشخیص نوع خطابه این مرحله نوع خطابه تفکیک تک فاز به زمین، دو فاز به زمین، دو فاز به هم و سه فاز به زمین تشخیص داده می‌شود.
 - ۲- تعیین امپدانس بار معادل در انتهای هر بخش و ولتاژ و جریان ابتدای هر بخش.
 - ۳- جریان بار (I_L) قبل و بعد خطابه یکسان در نظر گرفته شود. همچنین جریان خروجی از نقطه خطابه سمت انتهای بخش (I_u) برابر (I_L) فرض شود.
 - ۴- برابر فرض کردن جریان ورودی به نقطه خطابه از سمت بالا دست (I_D) و جریان خروجی از گره ابتدایی بخش (I_S) محل جریان‌های مختلف در شکل (۳) نشان داده است.
 - ۵- محاسبه جریان خطابه کمک معادله زیر:

$$I_F = I_D - I_u \quad (۷)$$

- ۶- تعیین مکان خطابه یا همان مقدار x برای انواع خطابه زمین:

$$\begin{aligned} &x^5[Im(k_{5m}I_{Fm}^*)] + x^4[Im(k_{4m}I_{Fm}^*)] + \\ &x^3[Im(k_{3m}I_{Fm}^*)] + x^2[Im(k_{2m}I_{Fm}^*)] + \\ &x^1[Im(k_{1m}I_{Fm}^*)] + x^0[Im(k_{0m}I_{Fm}^*)] = 0 \end{aligned} \quad (۸)$$

ضرایب k_5 تا k_0 در ضمایم نشان داده شده‌اند.



شکل (۲): مدل مداری هر بخش از شبکه توزیع

روابط (۲)، (۳) و (۴) نحوه تعیین امپدانس معادل هر بخش متصل به گره j را نشان می‌دهد.

$$Y_1 = \left(\left[\left(Z_{L_2}^{-1} + \frac{Y_{12}}{2} \right)^{-1} + Z_{12}' \right]^{-1} + \frac{Y_{12}}{2} + Z_{L_1}^{-1} + \frac{Y_{j_1}}{2} \right]^{-1} + \frac{Y_{j_1}}{2} \quad (۲)$$

$$Y_2 = \left(\left[\left(Z_{L_4}^{-1} + \frac{Y_{34}}{2} \right)^{-1} + Z_{34}' \right]^{-1} + \frac{Y_{34}}{2} + Z_{L_3}^{-1} + \frac{Y_{j_3}}{2} \right]^{-1} + \frac{Y_{j_3}}{2} \quad (۳)$$

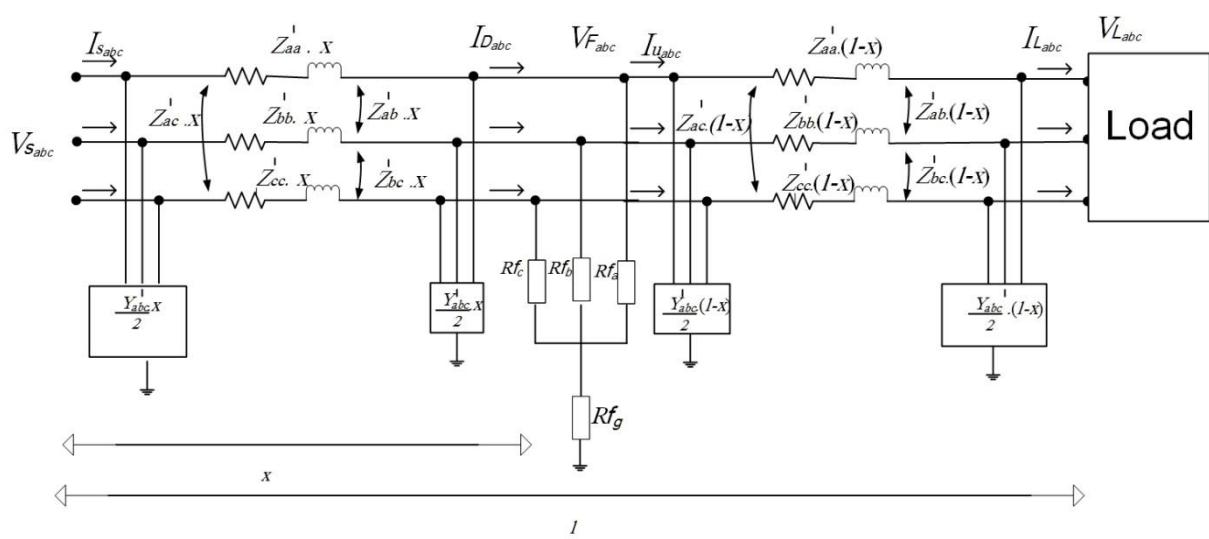
$$Y_3 = \left(\left[\left(Z_{L_5}^{-1} + \frac{Y_{j_5}}{2} \right)^{-1} + Z_{j_5}' \right]^{-1} + \frac{Y_{j_5}}{2} \right]^{-1} \quad (۴)$$

۲-۱-۲- تعیین ولتاژ و جریان در ابتدای هر بخش

با استفاده از اطلاعات ثبت شده از ولتاژ و جریان ابتدای فیدر و آنچه که هر گره در پایین دست گره ابتدای فیدر است، بنابراین ولتاژ در گره پایین دست (V_{kj}) و جریان ورودی این گره از گره ماقبل (I_{kij}) می‌تواند از طریق (۵) و (۶) محاسبه گردد.

$$V_{kj} = k_0 + k_1 l_{ij} + k_2 l_{ij}^2 + k_3 l_{ij}^3 + k_4 l_{ij}^4 + k_5 l_{ij}^5 \quad (۵)$$

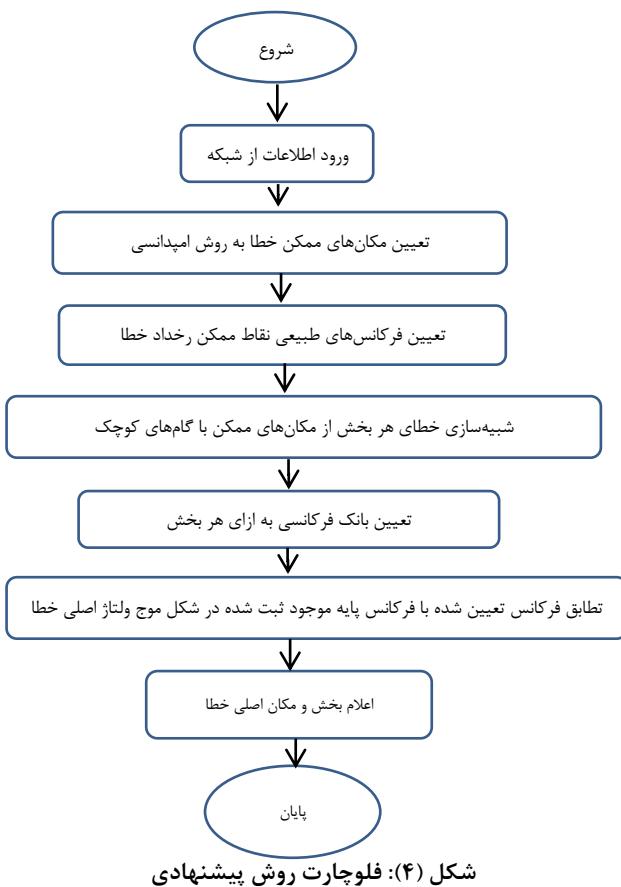
$$I_{kij} = k_{i0} + k_{i1} l_{ij} + k_{i2} l_{ij}^2 + k_{i3} l_{ij}^3 + k_{i4} l_{ij}^4 + k_{i5} l_{ij}^5 \quad (۶)$$



شکل (۳): نمای مداری یک بخش نمونه با حضور خطابه در فاصله x از ابتدای فیدر

فرکانسی شکل موج‌ها از طریق تبدیل فوریه استخراج می‌شود. حال با در اختیار داشتن تبدیل فوریه ولتاژ خطای واقعی و تبدیل فوریه ولتاژ‌های ابتدایی فیدر به ازای خطا در نقاط ممکن، می‌توان بیشترین تشابه بین این شکل موج‌ها را به عنوان جواب در نظر گرفت. در این روش شاخص تطبیقی با اجرای نورم ۲ تعیین می‌شود. شاخص هر مکان ممکنی که دارای کمترین مقدار باشد به عنوان مکان اصلی خطا معرفی می‌شود.

در شکل (۴) فلوچارت روش پیشنهادی نشان داده شده است.



الف) خطا در مکان‌های ممکن شبیه‌سازی شده است که درنتیجه آن موج ولتاژ در هر مکان حاصل می‌گردد:

V_{ps_1} : موج ولتاژ به ازای خطا در مکان ممکن ۱

V_{ps_2} : موج ولتاژ به ازای خطا در مکان ممکن ۲

V_{ps_n} : موج ولتاژ به ازای خطا در مکان ممکن n

ب) در این مرحله قدر مطلق تبدیل فوریه فرکانسی موج ولتاژ خطای برای خطای واقعی و خطا در مکان‌های ممکن محاسبه شده است: $(V_{ms})_{FFT}$: قدر مطلق تبدیل فوریه فرکانسی موج ولتاژ خطای واقعی

۷- آیا x همگرا شده است؟

اگر بایی توقف الگوریتم و چاپ مقدار x در غیر این صورت رفتن به مرحله ۸.

۸- تعیین مجدد ولتاژ محل یا نقطه خطای.

۹- به روز کردن جریان I_u و I_D با استفاده از (۹) و (۱۰) و برگشت به مرحله ۵.

$$I_u = I \left(\left(Z_L^{-1} + \frac{\gamma'}{2} \cdot (l-x) \right)^{-1} + Z' \cdot (l-x) \right) + \frac{\gamma'}{2} \cdot (l-x) \cdot V_F \quad (9)$$

$$I_D = k_{10} + k_{11}x + k_{12}x^2 + k_{13}x^3 + k_{14}x^4 + k_{15}x^5 \quad (10)$$

ضرایب $k_{10} - k_{15}$: ضرایبی هستند که در محاسبات ارائه می‌شوند و در بخش ضمایم نمایش داده شده اند.

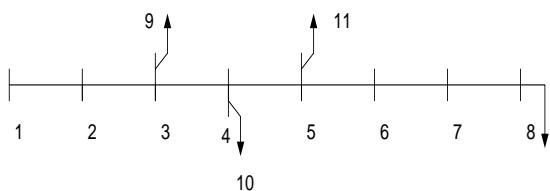
معمولًاً روش‌های مکان‌یابی خطای امپدانسی چندین نقطه را به عنوان مکان خطای در شبکه توزیع تخمین می‌زنند. برای مشخص کردن مکان واقعی خطای لازم است بخش خطای نیز تعیین گردد. در ادامه به تشریح تعیین بخش واقعی خطای می‌پردازیم.

۲-۴- روش پیشنهادی جهت تعیین بخش واقعی خطای

تا این مرحله مکان‌های احتمالی خطای به روش امپدانسی مشخص گردید. حال باید از بین آن‌ها مکان واقعی خطای مشخص شود، برای این منظور به تحلیل مؤلفه فرکانس طبیعی ولتاژ خطای واقعی و مقایسه آن با خطاهای شبیه‌سازی شده در مکان‌های ممکن می‌پردازیم. برای یک تحلیل گذرا در حوزه فرکانس می‌توان از تبدیل‌های فوریه، موجک و ... استفاده کرد.

در ادامه به تشریح روش بخش‌یابی پیشنهادی پرداخته خواهد شد، با استفاده از موج ولتاژ خطای واقعی و همچنین مکان‌های ممکن که توسط روش امپدانسی مشخص شده است اقدام به تعیین بخش واقعی خطای شده است.

در روش پیشنهادی ابتدا اطلاعات فیدر و اطلاعات لحظه‌ای لوازم اندازه‌گیری سر فیدر جمع‌آوری و به الگوریتم وارد می‌شود. آنگاه پس از اعلام وقوع خطای طریق رله و سیستم حفاظتی در فیدر مورد بررسی نسبت به ذخیره‌سازی ولتاژ خطای اقدام می‌گردد. در ادامه از طریق روش امپدانسی مکان‌های ممکن خطای تعیین می‌شود. با توجه به آرایش و نوع ساختار شبکه، ممکن است چندین بخش به عنوان مکان ممکن خطای تعیین گردد. حال پیدا کردن بخش اصلی دارای نقش مهمی می‌باشد. در این روش بدون داشتن هرگونه بانک آفلاین، در مکان‌های ممکنی که توسط روش امپدانسی معرفی شده‌اند، نسبت به شبیه‌سازی، خطای با مشخصات به دست آمده (X, R_f) در مکان‌های ممکن، شکل موج‌های ولتاژ ابتدایی فیدر به ازای خطا در هر مکان ممکن استخراج می‌شود. سپس در هر مکان ممکن خطای مشابه شبیه‌سازی و ولتاژ‌های مربوطه در ابتدای فیدر ذخیره می‌گردد. اکنون مشخصات

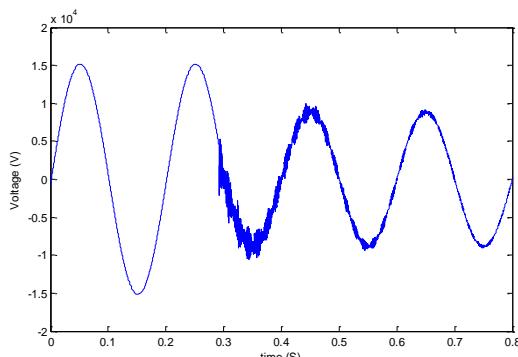


شکل (۵): فیدر تست نمونه [۱۹]

۲-۳- بررسی روش پیشنهادی در سیستم موردمطالعه

• بررسی روش پیشنهادی در مکان‌های مختلف

با قرار دادن خطای واقعی با فاصله $0.0\text{--}0.3$ کیلومتر از ابتدای فیدر در بخش ۳-۴ و اعمال روش امپدانسی، مکان‌های ممکن خطای در قطعات ۳-۴ و ۳-۹ به دست می‌آیند. مکان‌های ممکن خطای برای $0.0\text{--}0.3$ کیلومتر به ترتیب $0.3975\text{--}0.3005$ کیلومتر از ابتدای بخش با مقاومت خطای ۵.۰ اهم می‌باشند. جدول (۱)، سه مکان واقعی خطای را در بخش ۳-۴ مورد تحلیل قرار داده که پس از اجرای روش امپدانسی برای هر خطای واقعی، دو مکان ممکن بدست آمده است. با استفاده از معیار نورم دو که در ستون چهارم از این جدول نشان داده شده، می‌توان بخش اصلی خطای را مشخص کرد. شکل‌های (۶) و (۷) به ترتیب شکل موج‌های ولتاژ و جریان را در لحظه وقوع خطای در بخش ۳-۴ و در فاصله $0.0\text{--}0.3$ کیلومتری از ابتدای فیدر نشان می‌دهند.

شکل (۶): شکل موج ولتاژ خطای در بخش ۳-۴ در فاصله $0.0\text{--}0.3$ کیلومتر با مقاومت خطای 50Ω

|FFT (V_{ps1}) : قدر مطلق تبدیل فوریه فرکانسی موج ولتاژ خطای در مکان ممکن ۱

|FFT (V_{ps2}) : قدر مطلق تبدیل فوریه فرکانسی موج ولتاژ خطای در مکان ممکن ۲

|FFT (V_{psn}) : قدر مطلق تبدیل فوریه فرکانسی موج ولتاژ خطای در مکان ممکن ۳

داده‌های ولتاژ به ازای خطای واقعی و به ازای خطای در مکان‌های ممکن خطای ذخیره و تبدیل فوریه مربوطه استخراج می‌گردد. در این مرحله بین تبدیل فوریه ولتاژ به ازای خطای واقعی و خطای در هر یک از مکان‌های ممکن یک شاخص مقایسه‌ای انجام می‌پذیرد که در این مقاله از معیار نورم ۲ استفاده شده است. درواقع مجدد اختلاف دو شکل موج را نمونه به نمونه محاسبه و تجمعی کل نمونه‌های اختلافی انجام و از آن رادیکال گرفته می‌شود. تعداد این شاخص محاسبه شده با تعداد مکان‌های ممکن برابر می‌باشد که کمترین مقدار به دست آمده به عنوان جواب صحیح انتخاب و آن مکان ممکن به عنوان مکان اصلی و بخش اصلی خطای معرفی می‌گردد.

ج) در این مرحله از معیار نورم دو برای تعیین بخش اصلی خطای استفاده شده است که به شرح زیر است:

برای معیار نورم ۲ ضریب α تعریف شده است که رابطه آن به صورت زیر است:

$$\alpha = \text{norm}(|\text{FFT}(V_{ms})| - |\text{FFT}(V_{ns})|, 2) \quad (11)$$

پس از محاسبه α برای موج ولتاژ خطای واقعی و تمامی مکان‌های ممکن خطای، آن بخشی که دارای کمترین مقدار α باشد به عنوان بخش واقعی خطای معرفی می‌شود.

۳- نتایج شبیه‌سازی

۳-۱- سیستم توزیع موردمطالعه

عملکرد روش مکان‌بایی خطای پیشنهادی با در نظر گرفتن یک فیدر توزیع یازده گره مورد ارزیابی قرار گرفته است. فیدر موردنظر دارای بخش‌هایی روی تنه اصلی و همچنین بخش‌هایی با انشعاب‌های فرعی و طول‌های متفاوتی می‌باشد. سیستم تست با استفاده از نرم‌افزار MATLAB برای خطای تک فاز با مقاومت‌های خطایی $0.0\text{--}0.3$ کیلومتری در مکان‌های مختلف شبیه‌سازی شده است.

شکل (۵) فیدر تست نمونه را نشان می‌دهد [۱۹].

- بررسی زاویه شروع خط و مقاومت‌های مختلف خطاب بر روی روش پیشنهادی

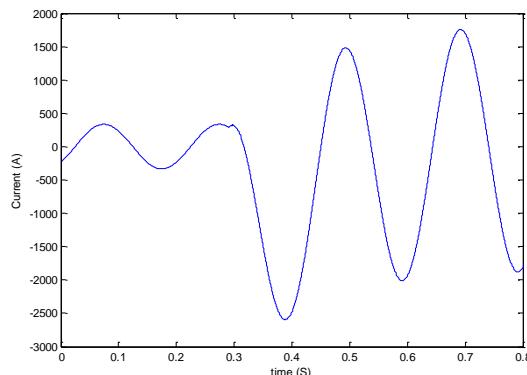
برای بررسی زاویه شروع خطا و مقاومت‌های مختلف خطاب دقت روش پیشنهادی، شبیه‌سازی‌های مختلف با پنج زاویه $\alpha = 0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 120^\circ, 160^\circ$ درجه و مقاومت‌های خطای $\Omega = 25\Omega, 50\Omega, 100\Omega, 150\Omega$ اهم انجام شده است. جدول (۳) نتایج حاصل از این ارزیابی را نشان می‌دهد. با بررسی نتایج شبیه‌سازی برای مقاومت $\Omega = 100\Omega$ در زاویه‌های مختلف می‌توان دریافت که حداکثر خطای روش پیشنهادی در زاویه صفر درجه با 0.312% و حداقل خطاب در زاویه 160° درجه با 0.287% می‌باشد که بیانگر عدم حساسیت روش پیشنهادی به زاویه شروع خطاب می‌باشد. همچنین با تحلیل مقاومت خطاب در $\Omega = 150\Omega$ که حداکثر خطای روش پیشنهادی در آن 0.702% می‌باشد، دقت بالای الگوریتم پیشنهادی در مقاومت‌های خطاب مشخص می‌شود.

جدول (۳): زوایای مختلف شروع خطأ در بخش ۵-۶ با مقاومت‌های مختلف

مقاآمت (Ω) خطا	مکانی ممکن خطا	زاویه شروع خطا (درجه)				
		۰	۴۵	۹۰	۱۲۰	۱۶۰
		% خط				
$R = \infty$	۰_۶	۰/۲۱۰	۰/۱۴۸۳	۰/۰۷۲۳	۰/۲۸۳۳	۰/۰۵۱۷
	۰_۱۱	۰/۱۸۳۴	۰/۱۲۲۹	۰/۰۹۳۱	۰/۹۹۸	۰/۰۷۶۹
$R = ۲۰$	۰_۶	۰/۰۰۲۱	۰/۰۰۰۸	۰/۰۰۱۳	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۳۲
	۰_۱۱	۰/۰۰۵۷	۰/۰۴۷۷	۰/۰۴۹۱	۰/۰۵۳۹	۰/۰۱۹
$R = ۵۰$	۰_۶	۰/۰۱۲۶	۰/۰۱۰۷	۰/۰۱۳۰	۰/۰۱۲۹	۰/۰۱۳۲
	۰_۱۱	۰/۱۲۴۲	۰/۱۱۲۰	۰/۱۲۴۰	۰/۱۲۴۴	۰/۱۲۴۹
$R = ۱۰۰$	۰_۶	۰/۰۳۱۲	۰/۰۳۰۸	۰/۰۳۰۹	۰/۰۲۹۲	۰/۰۲۸۷
	۰_۱۱	۰/۲۷۵۴	۰/۲۷۴۹	۰/۲۷۵۱	۰/۲۷۷۹	۰/۲۷۷۴
$R = ۱۵۰$	۰_۶	۰/۰۷۰۲	۰/۰۷۰۰	۰/۰۶۹۳	۰/۰۶۷۹	۰/۰۶۶۱
	۰_۱۱	۰/۴۳۰۵	۰/۴۳۰۳	۰/۴۳۴۴	۰/۴۳۲۶	۰/۴۳۰۲

روش‌های ارائه شده ۳-۳- مزیت و مقایسه روش پیشنهادی با دیگر

این مقاله بر روی تعیین فاصله خطأ و تخمین بخش خطأ تمرکز دارد، لذا باید در مقایسه با روش‌های دیگر ارزیابی شود. در ابتدا، دقت مکان‌یابی خطأ به روش امپدانسی با مقالات دیگر مقایسه و در جدول (۴) ارائه شده است. همه خطاهای برای مقاومت خطای 100Ω محاسبه شده‌اند، در حالی‌که حداقل خطأ برای روش امپدانسی بهبودیافته 42% است. طبق این جدول می‌توان نتیجه گرفت که دقت روش امپدانسی بهبودیافته پیشنهادی، بالاتر از مقالات دیگر است که این یکی از مزایای روش پیشنهادی می‌باشد. در مرحله دوم، روش‌های ارائه شده تخمین بخش خطأ با روش پیشنهادی مقایسه شده‌اند. تخمین صحیح بخش خطأ در شرایط مختلف بهره‌برداری و توسعه شبکه بالادست و پایین‌دست توزیع بسیار مهم است. از دیگر مزایای این روش نسبت به روش‌های دیگر می‌توان به سرعت بالا، سادگی، ارزان بودن و عدم حساسیت به مکان‌های مختلف وقوع خطأ، زاویه‌های مختلف شروع خطأ و مقاومت‌های مختلف خطأ اشاره کرد. شرایط مختلف برای چند روش ارائه شده، مقایسه و نتایج آن به این صورت



شکل (۷): شکل جریان خطأ در بخش ۳-۴ در فاصله $\frac{1}{3}$ کیلومتر با مقاومت خطای Ω

جدول (١): نقاط ممکن خطا در بخش ٣-٤ در فواصل مختلف

مکان واقعی خطوط	اولین مکان ممکن خطوط (km) فاصله آن	دومین مکان ممکن خطوط (km) فاصله آن	معیار نورم ۲
•	بخش ۳-۴	٠/٠٠٦	٥/٦٤٩٦+٨٠٦
٠/٣	بخش ۳-۴	٠/٣٠٥	٠/٣٩٧٥.٣-٩
٠/٧	بخش ۳-۴	٠/٧٠٠٣.٣-٩	٦/٣٣٠.٨٤٠٦

جهت بررسی دقیق روش پیشنهادی در مکان‌های مختلف وقوع خطا، با قرار دادن خطای واقعی با فاصله $0/3$ کیلومتر در بخش $4-10$ و $4-5$ اعمال روش امپدانسی پیشنهادی، مکان‌های ممکن خطأ در بخش‌های $4-9$ و $4-10$ به دست می‌آیند که فواصل آن‌ها به ترتیب $0/3030$ و $0/2257$ کیلومتر از ابتدای بخش با مقاومت خطای 50Ω می‌باشد. جدول (۲) به بررسی چهار نقطه وقوع خطا پرداخته است که پس از اجرای روش امپدانسی، سه نقطه ممکن برای هر خطای واقعی بدست آمده است. سپس با استفاده از معیار نورم ۲، بخش اصلی خطأ مشخص شده است. نتایج بدست آمده از جدول‌های (۱) و (۲) بیانگر دقیق بالای روش پیشنهادی برای مکان‌های مختلف وقوع خطأ می‌باشد.

جدول (٢): نقاط ممکن خطأ در بخش ٤-١٠ در فواصل مختلف

استفاده از تبدیل فوریه و شاخص طبیعی تعریف شده میان ولتاژ ذخیره شده خطای واقعی و ولتاژهای استخراج شده از شبیه سازی، مکان اصلی خطا تعیین می گردد. مزیت روش پیشنهادی، مقاوم بودن نسبت به شرایط خطای طبق نتایج حالت های قبل می توان نتیجه گرفت که همه بخش های دچار خطا به طور صحیح تخمین زده می شوند.

جدول (۴): مقایسه روش پیشنهادی و دیگر روش های ارائه شده در موضوع تعیین فاصله خطا

درصد خطا و معادل طول آن			
[۲۱.۱۹]	[۲۲]	[۱]	روش پیشنهادی
۸/۰۶	۱/۲۹	۸/۱۵	.۰۴۲
(۷۹۱۲/۰۶m)	(۱۲۶۶/۳۲m)	(۸۰۰۰/۴۱m)	(۲۷۴۶/۷m)

گزارش شده اند:

- در [۱۵] یک روش برای تخمین بخش و فاصله خطا در سیستم توزیع بر اساس امواج سیار ارائه گردیده است؛ اما روش های امواج سیار دارای محدودیت هایی هستند که از جمله آن ها می توان به اشکال در تشخیص بین امواج سیار بازگشته از نقطه خطا و از انتهای خط و وجود معادلات و ساختار عملیاتی پیچیده اشاره کرد که علاوه بر ایجاد مشکل در پیاده سازی سبب افزایش هزینه تمام شده آن می شود. همچنین دقت این روش ها به نوع خطا، زاویه ولتاژ هنگام وقوع خطا و موقعیت خطا و مقاومت خطا بسیار وابسته است که در این موارد روش های امپدانسی با مشکلات کمتری روبرو بوده و علاوه بر آن روشی ساده و کم هزینه تر است.

- در [۱۹] برای تعیین بخش خطا دیده از شبکه عصبی استفاده می شود. در شبکه عصبی، به بانک داده و یادگیری نیاز است، لذا این روش برای شبکه توزیع مناسب نیست، زیرا این شبکه مطابق با شرایط مختلف تغییر می کند. درنتیجه بانک داده و مجموعه یادگیری آن باید به روز شوند.

- در [۲۰] و [۲۱]، بخش دچار خطا، با ادوات حفاظتی و کات اوت فیوزها که یکی از آن ها قطع شده، تعیین شده است. این وسیله با ذوب عنصر و حرکت مکانیکی کار می کند. اگر سرویس قسمت مکانیکی این وسیله در زمان بندی منظم انجام نشود، هماهنگی حفاظت از دست می رود و تخمین بخش خطا دچار اشتباه خواهد شد. همچنین اگر فیوز لینک این وسیله متناسب با شبکه توزیع انتخاب نشده باشد، عملکرد این وسیله با خطا مواجه شده و هماهنگی حفاظت از دست می رود.

- مرجع [۹] از طریق روش امپدانسی و با استفاده از ولتاژ و جریان ثبت شده در ابتدای فیدر مکان های ممکن خطا را تعیین و سپس از طریق ادوات حفاظتی عملکرد مکان اصلی خطا را مشخص می نماید. در این مقاله مدل دینامیکی بار در نظر گرفته شده است. مشکل این روش عدم ایجاد خصوصیات یکتا برای هر بخش در الگوی جریانی است؛ زیرا که تعداد ادوات حفاظتی محدود و انشعابات فیدرهای توزیع متعدد است. با توجه به گستردگی و توسعه روزافروز شبکه توزیع، تنظیم و هماهنگی ادوات حفاظتی، بعد از مدتی کارایی خود را در یکتا بیان الگوی جریان از دست می دهد.

- در روش پیشنهادی، بخش دچار خطا به صورت آنلاین و بدون نیاز به بانک داده آفلاین، تخمین زده می شود. سپس خطای مشابه با مشخصات استخراج شده از روش امپدانسی در محل های ممکن خطا شبیه سازی می گردد و ولتاژ ابتدای فیدر ثبت می گردد. سپس با

ضمایم

$$\begin{aligned} k_0 &= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{s_a} \\ V_{s_b} \\ V_{s_c} \end{bmatrix} \\ k_1 &= -\frac{1}{3}(z_2^+y^+ + z_2^-y^- + z_2^0y^0) \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{s_a} \\ I_{s_b} \\ I_{s_c} \end{bmatrix} \\ k_2 &= \frac{1}{6} \begin{bmatrix} (y^+)^2 + (\gamma^-)^2 + (y^0)^2 & (y^+)^2 + \alpha(\gamma^-)^2 + \alpha(y^0)^2 & (y^+)^2 + \alpha(\gamma^-)^2 + \alpha(y^0)^2 \\ (y^+)^2 + \alpha(\gamma^-)^2 + \alpha(y^0)^2 & (y^+)^2 + (\gamma^-)^2 + (y^0)^2 & (y^+)^2 + \alpha(\gamma^-)^2 + \alpha(y^0)^2 \\ (y^+)^2 + \alpha(\gamma^-)^2 + \alpha(y^0)^2 & (y^+)^2 + \alpha(\gamma^-)^2 + \alpha(y^0)^2 & (y^+)^2 + (\gamma^-)^2 + (y^0)^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{s_a} \\ V_{s_b} \\ V_{s_c} \end{bmatrix} \\ k_3 &= -\frac{1}{18} \begin{bmatrix} (y^+)^3 + (\gamma^-)^3 + (y^0)^3 & (y^+)^3 + \alpha(\gamma^-)^3 + \alpha(y^0)^3 & (y^+)^3 + \alpha(\gamma^-)^3 + \alpha(y^0)^3 \\ (y^+)^3 + \alpha(\gamma^-)^3 + \alpha(y^0)^3 & (y^+)^3 + (\gamma^-)^3 + (y^0)^3 & (y^+)^3 + \alpha(\gamma^-)^3 + \alpha(y^0)^3 \\ (y^+)^3 + \alpha(\gamma^-)^3 + \alpha(y^0)^3 & (y^+)^3 + \alpha(\gamma^-)^3 + \alpha(y^0)^3 & (y^+)^3 + (\gamma^-)^3 + (y^0)^3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{s_a} \\ I_{s_b} \\ I_{s_c} \end{bmatrix} \\ k_4 &= \frac{1}{72} \begin{bmatrix} (y^+)^4 + (\gamma^-)^4 + (y^0)^4 & (y^+)^4 + \alpha(\gamma^-)^4 + \alpha(y^0)^4 & (y^+)^4 + \alpha(\gamma^-)^4 + \alpha(y^0)^4 \\ (y^+)^4 + \alpha(\gamma^-)^4 + \alpha(y^0)^4 & (y^+)^4 + (\gamma^-)^4 + (y^0)^4 & (y^+)^4 + \alpha(\gamma^-)^4 + \alpha(y^0)^4 \\ (y^+)^4 + \alpha(\gamma^-)^4 + \alpha(y^0)^4 & (y^+)^4 + (\gamma^-)^4 + (y^0)^4 & (y^+)^4 + \alpha(\gamma^-)^4 + \alpha(y^0)^4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{s_a} \\ V_{s_b} \\ V_{s_c} \end{bmatrix} \\ k_5 &= -\frac{1}{360} \begin{bmatrix} (y^+)^5 + (\gamma^-)^5 + (y^0)^5 & (y^+)^5 + \alpha(\gamma^-)^5 + \alpha(y^0)^5 & (y^+)^5 + \alpha(\gamma^-)^5 + \alpha(y^0)^5 \\ (y^+)^5 + \alpha(\gamma^-)^5 + \alpha(y^0)^5 & (y^+)^5 + (\gamma^-)^5 + (y^0)^5 & (y^+)^5 + \alpha(\gamma^-)^5 + \alpha(y^0)^5 \\ (y^+)^5 + \alpha(\gamma^-)^5 + \alpha(y^0)^5 & (y^+)^5 + (\gamma^-)^5 + (y^0)^5 & (y^+)^5 + \alpha(\gamma^-)^5 + \alpha(y^0)^5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{s_a} \\ I_{s_b} \\ I_{s_c} \end{bmatrix} \end{aligned}$$

مهندسین برق و الکترونیک ایران، سال دهم، شماره اول، بهار و
تابستان ۱۳۹۲

- [11] R.Dashti and J.Sadeh, "Fault section estimation in power distribution network using impedance-based fault distance calculation and frequency spectrum analysis", IET Journal: Generation, Transmission and Distribution, vol. 8, no. 8, pp. 1406-1417, 2014.
- [12] J. Mora-Florez, et al, "K-means algorithm and mixture distributions for locating faults in power systems", Electric Power Systems Research, vol. 79, no. 5, pp. 714-721, 2009.
- [13] J.M. Florez and V.B. Nuez and G.C. Caicedo, "Fault location in power distribution systems using a learning algorithm for multivariable data analysis", IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 22, no. 3, pp. 1715-1721, 2007.
- [14] M. Daisy, R. Dashti, "Single Phase Fault Location in Electrical Distribution Feeder Using Hybrid Method", Electrical Power and Energy Systems, vol. 103, pp. 356-368, 2016.
- [15] J. Sadeh and E. Bakhshizadeh and R. Kazemzadeh, "A new fault location algorithm for radial distribution systems using modal analysis", Electeric Power and Energy System, vol. 45, no.1, pp. 271-278, 2013.
- [16] E.Bakhshizadeh and J.Sadeh and Sh.maasomi, et al, "A new and efficient technique for fault location in distribution systems based on fault generated traveling waves", International Journal of Electrical Power & Energy Systems, vol. 45, no. 1, pp. 271-278, 2013.

[۱۷] محمد دیسی و رحمن دشتی، "مکان‌یابی خطای در شبکه‌های توزیع با استفاده از ترکیب روش امپدانسی و فرورفتگی ولتاژ"،
مهندسان برق و مهندسی کامپیوتر ایران - الف مهندسی برق، دوره
۱۳۹۶، شماره ۱، صفحه ۲۰-۱۲ بهار ۱۵

- [18] R. Dashti, M. Daisy, H. R. Shaker and M. Tahavori, "Impedance-Based Fault Location Method for Four-Wire Power Distribution Networks", IEEE Access, vol. 6, no. 1, pp. 1342-1349, 2017.
- [19] Salim, R. H., Resener, M. and Filomena,"Extended Fault-Location Formulation for Power Distribution Systems", IEEE transactions on power delivery, vol. 24, no. 2, April. 2009.
- [20] R. Dashti and J. Sadeh, "Applying Dynamic Load Estimation and Distributed-parameter Line Model to Enhance the Accuracy of Impedance-based Fault-location Methods for Power Distribution Networks," Electric Power Components and Systems Journal, vol. 14, no. 1, pp. 1334-1362, 2013.
- [21] S. J. Lee, M. S. Choi, S. H. Kang, B. G. Jin, D. S. Lee, et al. "An intelligent and efficient fault location and diagnosis scheme for radial distribution systems". IEEE Trans. Power Delivery, vol. 19, no. 2, pp. 524-532. 2004.
- [22] R.H. Salim, K. C. O. Salim; A. S. Bretas, "Further improvements on impedance-based fault location For power distribution systems," IET Generation, Transmission & Distribution, vol. 5, pp. 467-478, 2011.

$$\begin{aligned} k_{I,0} &= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{sa} \\ I_{sb} \\ I_{sc} \end{bmatrix} \\ k_{I,1} &= -\frac{1}{3} (z_c^+ y^+ + z_c^- y^- + z_c^0 y^0) \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{sa} \\ V_{sb} \\ V_{sc} \end{bmatrix} \\ k_{I,2} &= \frac{1}{6} \begin{bmatrix} (y^+)^2 + (y^-)^2 + (y^0)^2 & (y^+)^2 + \alpha^2(y^-)^2 + \alpha(y^0)^2 & (y^+)^2 + \alpha(y^-)^2 + \alpha^2(y^0)^2 \\ (y^+)^2 + \alpha(y^-)^2 + \alpha^2(y^0)^2 & (y^+)^2 + (y^-)^2 + (y^0)^2 & (y^+)^2 + \alpha^2(y^-)^2 + \alpha(y^0)^2 \\ (y^+)^2 + \alpha^2(y^-)^2 + \alpha(y^0)^2 & (y^+)^2 + \alpha(y^-)^2 + \alpha^2(y^0)^2 & (y^+)^2 + (y^-)^2 + (y^0)^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{sa} \\ I_{sb} \\ I_{sc} \end{bmatrix} \\ k_{I,3} &= -\frac{1}{18} \begin{bmatrix} (y^+)^3 + (y^-)^3 + (y^0)^3 & (y^+)^3 + \alpha^2(y^-)^3 + \alpha(y^0)^3 & (y^+)^3 + \alpha(y^-)^3 + \alpha^2(y^0)^3 \\ (y^+)^3 + \alpha(y^-)^3 + \alpha^2(y^0)^3 & (y^+)^3 + (y^-)^3 + (y^0)^3 & (y^+)^3 + \alpha^2(y^-)^3 + \alpha(y^0)^3 \\ (y^+)^3 + \alpha^2(y^-)^3 + \alpha(y^0)^3 & (y^+)^3 + \alpha(y^-)^3 + \alpha^2(y^0)^3 & (y^+)^3 + (y^-)^3 + (y^0)^3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{sa} \\ V_{sb} \\ V_{sc} \end{bmatrix} \\ k_{I,4} &= \frac{1}{72} \begin{bmatrix} (y^+)^4 + (y^-)^4 + (y^0)^4 & (y^+)^4 + \alpha^2(y^-)^4 + \alpha(y^0)^4 & (y^+)^4 + \alpha(y^-)^4 + \alpha^2(y^0)^4 \\ (y^+)^4 + \alpha(y^-)^4 + \alpha^2(y^0)^4 & (y^+)^4 + (y^-)^4 + (y^0)^4 & (y^+)^4 + \alpha^2(y^-)^4 + \alpha(y^0)^4 \\ (y^+)^4 + \alpha^2(y^-)^4 + \alpha(y^0)^4 & (y^+)^4 + \alpha(y^-)^4 + \alpha^2(y^0)^4 & (y^+)^4 + (y^-)^4 + (y^0)^4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{sa} \\ I_{sb} \\ I_{sc} \end{bmatrix} \\ k_{I,5} &= -\frac{1}{360} \begin{bmatrix} (y^+)^5 + (y^-)^5 + (y^0)^5 & (y^+)^5 + \alpha^2(y^-)^5 + \alpha(y^0)^5 & (y^+)^5 + \alpha(y^-)^5 + \alpha^2(y^0)^5 \\ (y^+)^5 + \alpha(y^-)^5 + \alpha^2(y^0)^5 & (y^+)^5 + (y^-)^5 + (y^0)^5 & (y^+)^5 + \alpha^2(y^-)^5 + \alpha(y^0)^5 \\ (y^+)^5 + \alpha^2(y^-)^5 + \alpha(y^0)^5 & (y^+)^5 + \alpha(y^-)^5 + \alpha^2(y^0)^5 & (y^+)^5 + (y^-)^5 + (y^0)^5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{sa} \\ V_{sb} \\ V_{sc} \end{bmatrix} \end{aligned}$$

مراجع

- [1] M.S.Choi and J.J. Lee and S.D. Lee, et al, "A new fault location algorithm using direct circuit analysis for distribution systems", IEEE Trans. Power Delivery, vol. 19, no. 1, pp. 35-41, 2004.
- [2] A. Borghetti and M. Bosetti and M.D. Silvestro, et al, "Continuous wavelet transform for fault location in distribution power networks: definitionof mother wavelets inferred from fault originated transients", IEEE Transactions on Power Systems, vol. 23, no. 2, pp. 380-388, 2008.
- [3] A. Borghetti and S. Corsi and C.A. Nucci, et al, "On the use of continuous-wavelet transform for fault location in distribution power networks", International Journal of Electrical Power of Energy System, vol. 28, no. 1, pp. 608-617, 2006.
- [4] M. Pourahmadi-Nakhli and A.A. Safavi, "Path characteristic frequency-based fault locating in radial distribution systems using wavelets and neural networks", IEEE Transaction on Power Delivery, vol. 26, no. 2, pp. 772-781, 2011.
- [5] R.Dashti and J.Sadeh, "Accuracy improvement of impedance based fault location method for power distribution network using distributed-parameter line model", Int Trans Electr Energy Syst, Vol. 24, no 3, pp. 318-34, March 2014.
- [6] S.Kongming and G.Zhanjun and L.Dawei, et al, "Generalized Impedance-based Fault Distance Calculation Mehtod for Power Distribution Systems", Power and Energy Engineering Conference (APPEEC), pp. 1-4, 2014.
- [7] A.Ghaderi and H.A.Mohammadpour and H.Ginn, "Active fault location in distribution network using time-frequency reflectometry", Power and Energy Conference at Illinois (PECI), pp. 1-7, 2015.
- [8] X.Deng and R.Yuan and Zh.X, et al, "Fault location in loop distribution network using SVM technology", Electrical Power and Energy Systems, pp. 254-261, 2015.
- [9] R. Dashti and J. Sadeh, "Fault section estimation in power distribution network only with special cutout fuse links setting", Woulfenia Journal, pp. 317-323, 2012.
- [۱۰] رحمن دشتی و جواد ساده، "ارائه روشهای اجرایی و نوین جهت شناسایی بخش خطای در شبکه‌های توزیع"، مجله انجمن