

فاصله یابی تطبیقی خطا در خطوط انتقال نیرو

محمد حسین جاویدی^(۱)

javidi@ferdowsi.um.ac.ir

^(۱) معاونت بهره برداری، برق منطقه ای خراسان

مشهد، ایران

جواد ساده^(۱)

sadeh@ferdowsi.um.ac.ir

^(۱) گروه برق، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی

مشهد، ایران

عبادالله کامیاب^{(۱)، (۲)}

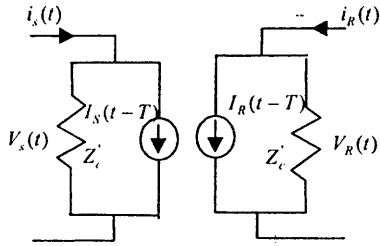
ebadkamyab@yahoo.com

۱- مقدمه:

خطوط انتقال نیرو مانند همه تجهیزات دیگر سیستم قدرت در معرض انواع خطاها قرار دارند. شایع ترین نوع خطا روی خطوط انتقال نیرو اتصال کوتاههایی هستند که به دلایل مختلف بوجود می آیند. پس از بروز اتصال کوتاه و قطع خط توسط رله های حفاظتی، مسئله به سرویس برگرداندن مجدد خط به میان می آید. از آنجاکه خطوط انتقال نیرو در مسیرهای طولانی گسترده شده اند، تعیین محل خطا در صورت استفاده از روشهای گشت زنی به زمان زیادی نیاز خواهد داشت. حتی در بعضی از موارد نیز ممکن است نتوان محل خطا را براحتی پیدا نمود. لذا بکارگیری روش و یا استفاده از دستگاههایی که بتواند محل خطا را با سرعت و دقت کافی تعیین نماید، ضروری به نظر میرسد. این وسایل را فاصله یابهای خطا و الگوریتمهای استفاده شده در آنها را الگوریتمهای فاصله یابی خطا می نامند. تاکنون الگوریتمهای متعددی برای فاصله یابی خطا ارائه شده که در آنها از اطلاعات یک طرف و یا طرفین خط و مدلهای مختلف خط انتقال استفاده شده است. از جمله عواملی که باعث کاهش دقت فاصله یابهای خطا میشود دقت نبودن و عدم قطعیت ثوابت خطوط انتقال مورد نیاز در الگوریتم فاصله یابی خطا است که بر اثر عوامل مختلفی مانند شرایط آب و هوایی و گذشت زمان بهره برداری و همچنین تقریبی بودن

چکیده: استفاده از فاصله یابهای خطا برای یافتن محل وقوع خطا بر روی خطوط انتقال نیرو برای تداوم سرویس دهی و عملکرد مطمئن سیستم امری ضروری به نظر میرسد. تعیین دقیق محل خطا میتواند منجر به بازگشت سریع خط به مدار گردد. از جمله عواملی که باعث کاهش دقت فاصله یابهای خطا میشود دقت نبودن و عدم قطعیت در ثوابت خطوط انتقال میباشد. بنابراین ارائه الگوریتم تطبیقی فاصله یابی خطا که ثوابت خطوط را با استفاده از اطلاعات قبل از خطا محاسبه و از آنها به عنوان داده های ورودی الگوریتم فاصله یابی خطا استفاده نماید، میتواند کاهش دقت در اثر عدم قطعیت در ثوابت خطوط انتقال را حذف نماید. تاکنون روشهای مختلفی برای فاصله یابی تطبیقی خطا ارائه شده است که عمدتاً مبتنی بر اندازه گیری هارمونیک اصلی ولتاژ و جریان میباشد. در این مقاله روش فاصله یابی تطبیقی خطا در خطوط انتقال نیرو مبتنی بر مدل گسترده خط انتقال در حوزه زمان پیشنهاد شده است که در آن پنجره اطلاعاتی مورد نیاز برای اجرای الگوریتم، پنجره ای کوتاهتر از نیم سیکل میباشد. دقت روش پیشنهادی به کمک شبیه سازی یک سیستم قدرت نمونه توسط نرم افزار EMTP/ATP تایید گردیده است.

واژه های کلیدی: الگوریتم فاصله یابی خطا، فاصله یابی تطبیقی خطا، فاصله یاب خطا، مدل گسترده خط انتقال در حوزه زمان



شکل (۲) مدل گسترده خط انتقال در حوزه زمان

از شکل (۲) معادلات زیر را میتوان بدست آورد:

$$i_s(t) = \frac{1}{Z_c'} V_S(t) + I_S(t-T) \quad (1)$$

$$i_r(t) = \frac{1}{Z_c'} V_R(t) + I_R(t-T) \quad (2)$$

در معادلات فوق منابع جریان وابسته I_S و I_R به صورت زیر تعریف می شوند:

$$I_S(t-T) = \frac{-R'/4}{Z_c'^2} [V_S(t-T) + Z_c'' i_s(t-T)] - \frac{Z_c'}{Z_c'^2} [V_R(t-T) + Z_c'' i_r(t-T)] \quad (3)$$

$$I_R(t-T) = \frac{-R'/4}{Z_c'^2} [V_R(t-T) + Z_c'' i_r(t-T)] - \frac{Z_c'}{Z_c'^2} [V_S(t-T) + Z_c'' i_s(t-T)] \quad (4)$$

در این معادلات داریم:

- T : زمان سیر موج از S به R
 Z_c' : امپدانس مشخصه خط انتقال
 R' : مقاومت خط انتقال

$$Z_c' = Z_c + R'/4$$

$$Z_c'' = Z_c - R'/4$$

با حذف i_r از معادلات (۱) تا (۴) رابطه زیر بدست می آید:

$$V_r(t) = (Z_c'^2 [V_S(t+T) - Z_c' i_s(t+T)] + Z_c'' [V_S(t-T) + Z_c'' i_s(t-T)] - \frac{Z_c' R'}{4} [\frac{R'}{Z_c'} V_S(t) + 2Z_c' i_s(t)]) / 2Z_c'^2 \quad (5)$$

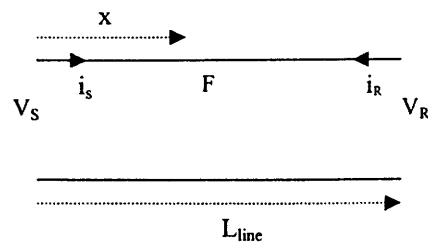
محاسبات ثوابت خط بوجود میآید. بنابراین الگوریتم تطبیقی فاصله یابی خطا که از اطلاعات ولتاژ و جریان پایانه های طرفین خط انتقال جهت محاسبه ثوابت خط و از ثوابت محاسبه شده جهت تنظیم فاصله یابها استفاده میشود، میتواند کاهش دقت در اثر عدم قطعیت ثوابت خطوط انتقال را حذف نماید. تاکنون روشهای مختلف فاصله یابی تطبیقی خطا ارائه شده است که عمدتاً مبتنی بر اندازه گیری هارمونیک اصلی ولتاژ و جریان میباشد [۱] و [۲]. در این مقاله روش فاصله یابی تطبیقی خطا در خطوط انتقال نیرو مبتنی بر مدل گسترده خط انتقال در حوزه زمان پیشنهاد شده است که در آن پنجره اطلاعاتی مورد نیاز برای اجرای الگوریتم، پنجره ای کوتاهتر از نیم سیکل میباشد. عیب اصلی روشهای مبتنی بر حوزه زمان نیاز به داشتن کلیه هارمونیکهای موجود در شکل موجهای ولتاژ و جریان میباشد که به دلیل کوتاه بودن باند فرکانسی ترانسهای جریان معمولی، فرکانسهای بالای موجود در شکل موجها فیلتر میشوند. با ظهور ترانسهای نوری این مشکل و همچنین مشکلات بوجود آمده در اثر اشباع هسته حل گردیده است. در نتیجه استفاده از الگوریتمهای مبتنی بر حوزه زمان ممکن شده است. اطلاعات مورد نیاز الگوریتم پیشنهادی، ولتاژها و جریانهای پایانه ها قبل از خطا جهت محاسبه پارامترهای خط انتقال و نیز اطلاعات بعد از خطا جهت تخمین فاصله تا محل خطا از پایانه مرجع با استفاده از ثوابت محاسبه شده می باشد.

۲- مدل گسترده خط انتقال در حوزه زمان و تبدیل

مودال

شکل (۱) خط انتقال تکفاز با پارامترهای گسترده و شکل (۲)

مدل گسترده آنرا در حوزه زمان نشان می دهد [۳].



شکل (۱) خط انتقال با پارامترهای گسترده

بافرض مقادیر اولیه برای Z_{cm} و R_m و فرض معلوم بودن T_m با استفاده از روش تکرار، متغیرهای Z_{cm} و R_m محاسبه میشوند. چگونگی این محاسبه در مقاله ای دیگر از همین نویسندگان تشریح شده است. مشکل اصلی این روش پارامتر مجهول T_m یا زمان رسیدن موج از ابتدا تا انتهای خط میباشد که در آرگومان تابع f_m قرار دارد و امکان مشتق گرفتن تابع نسبت به آن وجود ندارد، و بنابراین در روش تکرار محاسبه آن مانند محاسبه پارامترهای دیگر مقدور نمیشود. جهت حل این مشکل با توجه به معلوم بودن طول خط و سرعت تقریبی سیر موج، با گسسته سازی معادله (۸) تابع زیر بدست میآید:

$$V_r^{(m)}(k) = f_m(Z_{cm}, R_m, V_s^{(m)}, i_s^{(m)}, k, p) \quad m=0,1,2 \quad (9)$$

در معادله فوق داریم:

$$t = k\Delta t \quad , \quad T_m = p\Delta t$$

Δt : زمان نمونه برداری

k و p : اعداد صحیح دلخواه

در معادله بالا مقادیر مجهول شامل R_m ، Z_{cm} و p میباشد. با فرض معلوم بودن طول خط انتقال و مشخص بودن حدود سرعت موج در طول خط انتقال و با فرض تغییرات p در یک بازه معین و منطقی به ازای هر p پارامترهای Z_{cm} و R_m به روش تکرار محاسبه میشوند. جهت تعیین پارامترهای واقعی خط انتقال تابع بهینه سازی زیر را تعریف میکنیم:

$$g = V_s^{(m)}(k) - \hat{V}_s^{(m)}(k) = g(V_r, i_r, k, p, Z_{cm}, R_m)$$

$$\text{Min } G = \text{Min}_p \sum_k g^2(V_r, i_r, k, p, Z_{cm}, R_m) \quad (10)$$

نقطه مینیمم تابع فوق جواب مسئله میباشد که پارامترهای واقعی خط انتقال در آن محاسبه میشوند. در رابطه فوق داریم:

$V_s^{(m)}$: مقدار اندازه گیری شده و واقعی ولتاژ پایانه S

$\hat{V}_s^{(m)}$: مقدار محاسبه شده ولتاژ پایانه S در هر مرحله
با استفاده از معادله (۷)

همچنین با اعمال روش بالا به طرف دیگر خط رابطه (۶) بدست می آید:

$$V_s(t) = (Z_c^2 [V_r(t+T) - Z_c' i_r(t+T)] + Z_c'^2 [V_r(t-T) + Z_c'' i_r(t-T)] - \frac{Z_c' R'}{4} [\frac{R'/2}{Z_c'} V_r(t) + 2Z_c'' i_r(t)]) / 2Z_c^2 \quad (6)$$

در سیستمهای سه فاز و در وضعیت های نامتقارن شبکه، معادلات وابسته در حوزه فاز به کمک تبدیل مودال به معادلات مستقل در حوزه مودال تبدیل می شوند [۴]. در این حالت محاسبات مورد نیاز به صورت مستقل روی مودهای مختلف انجام می شود. برای خطوط جابجا شده از تبدیل کلارک جهت تغییر حوزه زمان به حوزه مودال و بدست آوردن معادلات مستقل استفاده می شود. هر معادله مستقل در حوزه مودال از هر نظر مشابه معادله خط انتقال تک فاز می باشد، بنابراین معادلات (۵) و (۶) در حوزه مودال به صورت زیر تبدیل میشوند:

$$V_r^{(m)}(t) = (Z_{cm}^2 [V_s^{(m)}(t+T_m) - Z_{cm}' i_s^{(m)}(t+T_m)] + Z_{cm}''^2 [V_s^{(m)}(t-T_m) + Z_{cm}'' i_s^{(m)}(t-T_m)] - \frac{Z_{cm}' R_m'}{4} [\frac{R_m'/2}{Z_{cm}'} V_s^{(m)}(t) + 2Z_{cm}'' i_s^{(m)}(t)]) / 2Z_{cm}^2$$

$$V_s^{(m)}(t) = (Z_{cm}^2 [V_r^{(m)}(t+T_m) - Z_{cm}' i_r^{(m)}(t+T_m)] + Z_{cm}''^2 [V_r^{(m)}(t-T_m) + Z_{cm}'' i_r^{(m)}(t-T_m)] - \frac{Z_{cm}' R_m'}{4} [\frac{R_m'/2}{Z_{cm}'} V_r^{(m)}(t) + 2Z_{cm}'' i_r^{(m)}(t)]) / 2Z_{cm}^2 \quad (7)$$

در معادلات فوق $m = 0,1,2$ معرف مودهای صفر، یک و دو میباشد.

۳- روش پیشنهادی تخمین پارامترهای خط انتقال

با بکارگیری دسته از معادلات (۷) و استفاده از روش تکراری نیوتن - رافسون و با تعریف تابع f_m به صورت زیر، پارامترهای Z_{cm} ، T_m و R_m محاسبه خواهد شد:

$$V_r^{(m)}(t) = f_m(Z_{cm}, R_m, T_m, V_s^{(m)}, i_s^{(m)}, t) \quad m=0,1,2 \quad (8)$$

۴- الگوریتم فاصله یابی خطا مبتنی بر مدل گسترده

خط انتقال

۴-۱- فاصله یابی خطا برای خطاهای سه فاز متقارن

در مرجع [۵] جهت حل مسئله فاصله یابی خطا در خطوط انتقال نیرو در صورت بروز خطاهای سه فاز متقارن به کمک مدل گسترده خط انتقال تابع F به صورت زیر تعریف شده است:

$$F(V_s, i_s, V_r, i_r, t, \tau) = 0 \quad (11)$$

در این معادله تابع F به صورت زیر است:

$$\begin{aligned} F = & (Z_c'^2 [V_s(t+\tau) - Z_c' i_s(t+\tau)] \\ & + Z_c''^2 [V_s(t-\tau) + Z_c'' i_s(t-\tau)] \\ & - \frac{Z_c' R'}{4} \left[\frac{R'/2}{Z_c'} V_s(t) + 2Z_c'' i_s(t) \right] \\ & - (Z_{rc}' [V_r(t+T-\tau) - Z_{rc}' i_r(t+T-\tau)] \\ & + Z_{rc}'' [V_r(t-T+\tau) + Z_{rc}'' i_r(t-T+\tau)] \\ & - \frac{Z_{rc}' R_r'}{4} \left[\frac{R_r'/2}{Z_{rc}'} V_r(t) + 2Z_{rc}'' i_r(t) \right]) / 2Z_c^2 \end{aligned} \quad (12)$$

پارامترها در معادلات فوق به صورت زیر تعریف می شوند:

τ : زمان انتشار موج از S به F

R_r' : مقاومت خط از R تا F

$$Z_{rc}' = Z_c + R_r' / 4$$

$$Z_{rc}'' = Z_c - R_r' / 4$$

فاصله تا محل خطا (x) در معادله (۱۲) نه تنها در زمان سیر موج از پایانه S تا محل خطا (τ) نهفته است بلکه در متغیرهای Z_{rc}'' ، Z_c' ، Z_c'' ، R_r' ، R' ، Z_{rc}' صریح وجود دارد. برای محاسبه محل خطا ابتدا معادله فوق گسترده سازی شده و سپس با حل مسئله بهینه سازی زیر محل خطا تعیین میگردد:

$$\text{Min } obj(m) = \text{Min}_m \sum_k F^2(V_s, i_s, V_r, i_r, k, m) \quad (13)$$

که در این معادله پارامترها عبارتند از:

$$k\Delta t = t \quad \text{و} \quad m\Delta t = \tau$$

Δt : زمان نمونه برداری

m, k : اعداد صحیح دلخواه

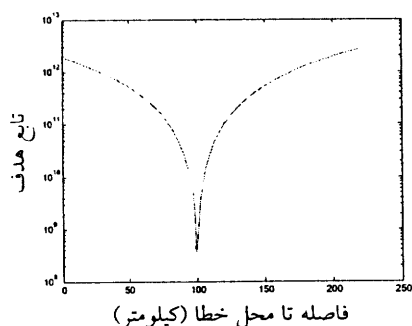
۴-۲- خطاهای نامتقارن

همچنین در مرجع [۵] جهت اعمال معادله (۱۱) به خطاهای نامتقارن بسته به نوع خطائی که رخ داده است با ترکیب مناسب ولتاژ و جریان توالیها این مهم انجام شده است، که به دلیل اختلاف سرعت موج در مود صفر و مود یک، با مشکلاتی در فاصله یابی خطا در اتصال کوتاههای تک فاز به زمین روبرو میشود. در روش پیشنهادی این مقاله از این واقعیت که هر معادله مستقل در حوزه مودال از هر نظر مشابه معادله خط انتقال تکفاز میباشد استفاده میشود [۶]. بنابراین با استفاده از تبدیل سیستم سه فاز نامتقارن به سه سیستم متقارن، تابع F در مودهای مختلف به صورت زیر در میآید:

$$\begin{aligned} F_m = & (Z_{cm}^{\prime 2} [V_s^{(m)}(t+\tau_m) - Z_{cm}' i_s^{(m)}(t+\tau_m)] \\ & + Z_{cm}^{\prime \prime 2} [V_s^{(m)}(t-\tau_m) + Z_{cm}'' i_s^{(m)}(t-\tau_m)] \\ & - \frac{Z_{cm}' R'}{4} \left[\frac{R'/2}{Z_{cm}'} V_s^{(m)}(t) + 2Z_{cm}'' i_s^{(m)}(t) \right] \\ & - (Z_{rcm}' [V_r^{(m)}(t+T-\tau_m) - Z_{rcm}' i_r^{(m)}(t+T-\tau_m)] \\ & + Z_{rcm}'' [V_r^{(m)}(t-T+\tau_m) + Z_{rcm}'' i_r^{(m)}(t-T+\tau_m)] \\ & - \frac{Z_{rcm}' R_r'}{4} \left[\frac{R_r'/2}{Z_{rcm}'} V_r^{(m)}(t) + 2Z_{rcm}'' i_r^{(m)}(t) \right]) / 2Z_{cm}^2 \end{aligned} \quad (14)$$

در معادله فوق $m = 0, 1, 2$ معرف مودهای صفر، یک و دو و پارامترها مشابه پارامترهای تعریف شده در معادله (۷) در مود m میباشد. فاصله یابی خطا در مود صفر و مود یک بطور مستقل انجام میگردد، که برای اتصال کوتاههای سه فاز متقارن و اتصال کوتاههای نامتقارن بدون زمین از مود یک و برای اتصال کوتاههای نامتقارن زمین شده از مودهای صفر یا یک میتوان جهت فاصله یابی خطا استفاده کرد. با توجه به اینکه

بدون استفاده از الگوریتم تطبیقی ارائه شده است. فاصله تا محل خطا از پایانه S، ۷۰ کیلومتر و مقاومت خطا ۱۰ اهم فرض شده است. نتایج این جداول حکایت از دقت مناسب روش پیشنهادی دارد، بگونه ای که در تمامی حالات خطای کمتر از ۰/۲ در صد در پاسخها مشاهده میشود.



شکل (۳) تابع هدف تعریف شده در معادله (۱۳)

جدول (۱) تخمین ثوابت خط و فاصله یابی خطا مکان خطا ۱۰۰ کیلومتری با مقاومت خطای ۵۰ اهمی

	ثوابت واقعی	تخمین ثوابت	فاصله یابی غیرتطبیقی	درصد خطا
r	۰/۰۲۷۵	۰/۰۲۷۵	۹۹/۷۱	۰/۱۳
l	۱/۰۰۲۶۸	۱/۰۰۲۷		
c	۱۳	۱۳/۰۲۳۵		

جدول (۲) تخمین ثوابت خط و فاصله یابی خطا با فرض ۱۰ درصد تغییر در ثوابت خط، مکان خطا ۱۰۰ کیلومتری با مقاومت خطای ۵۰ اهمی

	ثوابت اولیه	ثوابت واقعی	تخمین ثوابت	فاصله یابی غیرتطبیقی	فاصله یابی تطبیقی
r	۰/۰۲۷۵	۰/۰۳۰۲	۰/۰۳۰۱	۱۰۹/۴۱	۱۰۰/۵۷
l	۱/۰۰۲۶۸	۱/۱۰۲۶	۱/۱۰۲۷		
c	۱۳	۱۴/۳	۱۴/۳۴۵		

جدول (۳) تخمین ثوابت خط و فاصله یابی خطا با فرض ۵ درصد تغییر در ثوابت خط، مکان خطا ۷۰ کیلومتری با مقاومت خطای ۱۰ اهمی

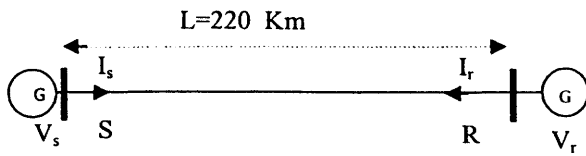
	ثوابت اولیه	ثوابت واقعی	تخمین ثوابت	فاصله یابی غیرتطبیقی	فاصله یابی تطبیقی
r	۰/۰۲۷۵	۰/۰۲۸۸۷	۰/۰۲۸۸	۷۲/۰۲	۶۹/۸۲
l	۱/۰۰۲۶۸	۱/۰۵۲۸۱	۱/۰۵۲۹		
c	۱۳	۱۳/۶۵	۱۳/۶۸۲		

مود یک در انواع اتصالیها وجود دارد، در صورت استفاده از آن در فاصله یابی خطا مشخص بودن نوع خطا در برآورد فاصله تا محل خطا ضروری نمی باشد.

۵- ارزیابی روش پیشنهادی

در این بخش به منظور ارزیابی دقت روش پیشنهادی، شبیه سازیهای انجام شده بر روی یک سیستم قدرت نمونه که در قسمت ضمیمه معرفی گردیده، ارائه شده است. خطای تک فاز به زمین در نقطه ای به فاصله ۱۰۰ Km از پایانه S رخ داده و مقاومت خطا ۵۰ اهم فرض شده است. ثوابت خط انتقال با استفاده از اطلاعات قبل از خطا و روش پیشنهادی بخش (۲) محاسبه و در فاصله یابی خطا مورد استفاده قرار گرفته است. جدول (۱) ثوابت محاسبه شده و واقعی و شکل (۳) تابع هدف تعریف شده در معادله (۱۳) را با استفاده از پارامترهای محاسبه شده نشان میدهد. با محاسبه نقطه مینیمم این تابع مشاهده میشود که در این حالت فاصله تا محل خطا ۹۹/۶۲ کیلومتر برآورد شده است که معادل ۰/۱۷ درصد خطا در فاصله یابی خطا میباشد. در صورت در دسترس بودن پارامترهای واقعی خط انتقال و تنظیم فاصله یاب خطا بوسیله آنها فاصله مورد نظر ۹۹/۷۱ کیلومتر محاسبه شده است که نشان دهنده دقت روش تطبیقی میباشد.

در این مرحله جهت اطمینان بیشتر از دقت روش پیشنهادی، فرض کنید که به دلایل شرایط محیطی کلیه پارامترهای خط انتقال تغییر ۱۰ درصدی از مقدار اولیه خود داشته باشند، در این صورت بدون استفاده از فاصله یابی تطبیقی خطا، فاصله تا محل خطا ۱۰۹/۴ کیلومتر برآورد شده که نشانگر ۴/۳ درصد خطا در محاسبه میباشد (جدول (۲)). اما در صورتی که قبل از اجرای الگوریتم فاصله یابی خطا، ابتدا پارامترهای خط توسط روش پیشنهادی تخمین زده شوند و سپس الگوریتم فاصله یابی خطا اجرا شود، محل خطا ۱۰۰/۵۷ کیلومتر محاسبه خواهد شد. بنابراین با این روش اثر عدم قطعیت پارامترهای خط انتقال در برآورد فاصله تا محل خطا در خطوط انتقال نیرو از بین میرود. در جداول (۳) تا (۵) نتایج تعیین محل خطا با فرض مقداری معین تغییر در پارامترهای اولیه خط انتقال، با و



داده های خط انتقال:

$r^+ = .0275\Omega / Km$	$r^0 = .275\Omega / Km$
$l^+ = 1.00268mH / Km$	$l^0 = 3.26798mH / Km$
$c^+ = 13nF / Km$	$c^0 = 8.5nF / Km$

داده های منابع:

$R^+ = 1.31\Omega$	$R^0 = 2.33\Omega$
$L^+ = 47.75mH$	$L^0 = 84.67mH$

مراجع:

- [1] Joe-Air Jiang, et al, "An Adaptive Fault Locator For Transmission Lines," Department Of Electrical Engineering National Taiwan University, Taipie, Taiwan IEEE 1999.
- [2] Ching-Shan Chen, et al, "A New Adaptive PMU Based Protection Scheme for Transposed Untransposed Parallel Transmission Lines," IEEE Trans. on Power Delivery, Vol.17, No.2, pp. 395-404, 2002.
- [3] H.Dommel, "Digital Computer Solution of Electromagnetic Transient in Single and Multi Phase Networks," IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-88, No.4, pp.388-399, Apr. 1969.
- [4] A.O. Ibe, "Travelling Wave-Based Fault Location Algorithm for Power System," P.h.D. Thesis, Imperial College of Science and Technology, London, 1984.
- [5] J.Sadeh, et al, "Accurate Fault Location Algorithm for Series Compensated Lines," IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 15, No. 3, pp.1027-1033, July 2000.
- [6] A.O. Ibe and J.B. Corry, "Fault Location Algorithm For Multiphase Power Lines," IEE. Proc. Vol.134, pt.C, No.1, pp.43-50, 1986.

جدول ۴) تخمین ثوابت خط و فاصله یابی خط با فرض ۱۰ درصد تغییر در ثوابت خط، مکان خط ۷۰ کیلومتری با مقاومت خطای ۱۰ اهمی

	ثوابت اولیه	ثوابت واقعی	تخمین ثوابت	فاصله یابی غیر تطبیقی	فاصله یابی تطبیقی
r	۰/۰۲۷۵	۰/۰۳۰۲	۰/۰۳۰۱	۷۲/۰۸	۷۰/۴
l	۱/۰۰۲۶۸	۱/۱۰۲۶	۱/۱۰۲۷		
c	۱۳	۱۴/۳	۱۴/۳۴۵		

جدول ۵) تخمین ثوابت خط و فاصله یابی خط با فرض ۲۰ درصد تغییر در ثوابت خط، مکان خط ۷۰ کیلومتری با مقاومت خطای ۱۰ اهمی

	ثوابت اولیه	ثوابت واقعی	تخمین ثوابت	فاصله یابی غیر تطبیقی	فاصله یابی تطبیقی
r	۰/۰۲۷۵	۰/۰۳۳	۰/۰۳۲۸	۸۴/۴۸	۷۰/۲۶
l	۱/۰۰۲۶۸	۱/۲۰۳۲۲	۱/۲۰۳۴		
c	۱۳	۱۵/۶	۱۵/۶۶		

نتیجه گیری:

در این مقاله جهت افزایش دقت فاصله یابی خط در خطوط انتقال نیرو، فاصله یابی تطبیقی خط با استفاده از مدل گسترده خط انتقال در حوزه زمان ارائه شده است. به این مفهوم که با استفاده از اطلاعات ولتاژ و جریان پایانه ها قبل از خط، پارامترهای خط انتقال که امکان دارد به دلیل شرایط آب و هوایی و افزایش عمر بهره برداری تغییر کرده باشد و یا به دلایل شرایط مختلف دکلها در طول مسیر خط انتقال دقیق محاسبه نشده باشد، محاسبه و با استفاده از این پارامترها و اطلاعات ولتاژ و جریان بعد از خط، فاصله تا محل خط تخمین زده شده است. از مهمترین مزایای این روش نیاز به پنجره اطلاعاتی کمتر از نیم سیکل میباشد. با توجه به اینکه از اطلاعات قبل از خط (سیستم متعادل) جهت محاسبه پارامترهای خط انتقال استفاده شده، جهت تخمین فاصله تا محل خط از مود یک استفاده گردیده است. شبیه سازیهای انجام شده نشان میدهد که تخمین فاصله تا محل خط با دقت قابل قبولی انجام شده است.