

حفاظت فوق سریع خطوط انتقال فشار قوی با استفاده از تئوری موجک

دکتر رضا کیانی نژاد

reza.kiani@scu.ac.ir

دکتر سید قدرت اله سیف السادات

seifossadat@yahoo.com

ایمان موسویان

iman66_61@yahoo.com

دانشگاه شهید چمران اهواز ایران

چکیده - از تبدیل موجک (WT) می توان برای تجزیه سیگنال به باندهای فرکانسی مختلف با استفاده از آنالیز چند سطحی سیگنال استفاده نمود. از این آنالیز می توان در حفاظت خطوط انتقال و تعیین محل خطا استفاده نمود. در این مقاله از تبدیل موجک برای تشخیص و تعیین محل خطا در خطوط انتقال استفاده می شود. همچنین در این مقاله از تابع موجک مادر db8، برای تجزیه امواج سیار از روی سیگنال های جریان و ولتاژ استفاده می گردد. با مقایسه امواج سیار در شین های واقع در دو انتهای خط می توان خطا در خط را تشخیص داد. با توجه به نتایج بدست آمده، تبدیل موجک کاربردی ترین ابزار برای تشخیص دادن امواج سیار ناشی از خطا می باشد. برای تأیید الگوریتم پیشنهادی، از نرم افزارهای ATP و MATLAB برای شناسایی انواع خطا ها در فاصله های مختلف از یک خط انتقال ۴۰۰ KV با طول ۳۰۰ km استفاده می شود.

کلید واژه- امواج سیار، تبدیل موجک، حفاظت خطوط انتقال، مکان یابی خطا

۱- مقدمه

نشان داده شده است که با تبدیل موجک گرفتن از مولفه های تبدیل کلارک برای بدست آوردن امواج سیار ناشی از خطا، یکی از بهترین روش ها برای تشخیص خطا در خط را می باشد [۸]. تبدیل موجک می تواند سیگنال های ناپایدار (مانند سیگنال های جریان و ولتاژ در یک سیستم قدرت) را در حوزه زمان به خوبی تحلیل کند. اغلب روش های تشخیص خطا بر مبنای امواج سیار از یکی از سیگنال های جریان و یا ولتاژ و یا هر دوی آن ها استفاده می کنند [۹]. یکی از محدودیت های اصلی روش های حفاظت فوق سریع در مورد خطاهایی است که نزدیک شین رخ می دهند، در این گونه خطاها به خاطر سرعت بالای امواج و تابش و بازتابش شدن این امواج بین نقطه خطا و شین، تشخیص اولین دسته از امواج سیاری که از نقطه خطا به سمت شین تابش شده اند بسیار مشکل می باشد. استفاده از تبدیل موجک به منظور فیلتر کردن امواج سیار از روی شکل موج های ولتاژ و جریان این مورد را به کلی بر طرف می کند.

به منظور تأمین انرژی بدون وقفه و با کیفیت مطلوب، حفاظت های مناسبی را در شبکه باید در نظر گرفت. تشخیص هر چه سریع تر خطا، به جهت رفع خطا و خاموشی کمتر، در خطوط انتقال فشار قوی از اهمیت خاصی برخوردار است. روش های مختلفی برای این منظور ارائه شده است که از آن جمله می توان به استفاده از امواج سیار ناشی از خطا برای حفاظت فوق سریع خطوط فشار قوی اشاره کرد [1]. امواج سیار ناشی از خطا دارای پهنای باندهای در حدود چند صد کیلو هرتز می باشند. خطا در خط مورد نظر را می توان با مقایسه پلاریته امواج سیار جریان و ولتاژ در دو انتهای خط، تشخیص داد [2]. برای استخراج این امواج از شکل موج های جریان و ولتاژ تحت خطا روش های گوناگونی از جمله principal component analysis (PCA) [۳]، شبکه های عصبی [۴] Mathematical morphology، [۵] DSP [۶] و همچنین استفاده از تئوری WAVELET [۷] موجود است.

خطی است البته با این تفاوت مهم که قادر به مشخص کردن زمان بوجود آمدن و از بین رفتن مولفه‌های فرکانسی در سیگنال می‌باشد. این خاصیت را تبدیل فوریه پنجره‌ای (Windowed Fourier transform) نیز دارد اما این تبدیل دارای مشکل محدود بودن عرض پنجره‌های انتخابی است. در تبدیل موجک یک سری توابع خاص به عنوان توابع اصلی همانند سینوسی‌ها در سری فوریه انتخاب می‌شوند. این توابع در سطوح مختلف از مقیاس کردن و شیف‌ت دادن موجک‌های خاصی به نام موجک مادر بدست می‌آیند.

تبدیل موجک را می‌توان از انتگرال حاصل ضرب تابع در تابع مقیاس بدست آورد

$$W_{\psi} f(a, b) = \int f(t) \times \psi^*(t) dt = \langle f, \psi_{a,b} \rangle \quad (1)$$

که :

$$\psi_{a,b} = \frac{1}{\sqrt{a}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad (2)$$

که a و b به ترتیب پارامترهای مقیاس و مکان می‌باشند و ψ تابع موجک است. انتخاب نوع موجک مادر وابسته به نوع آنالیزی است که قرار است انجام گیرد. برای تبدیل موجک گسسته یک تابع داریم [۱۲]:

$$DWT(f, m, n) = \frac{1}{\sqrt{a_0^m}} \sum_{k=-\infty}^{+\infty} f(k) \psi^*\left(\frac{k - nb_0 a_0^m}{a_0^m}\right) \quad (3)$$

در این معادله مقادیر a و b با مقادیر a_0^m و $k a_0^m$ جایگزین شده‌اند ($k, m \in \mathbb{Z}$). در تبدیل موجک گسسته استاندارد $a_0=2$ و $b_0=1$ انتخاب می‌شود بنابراین $a_0^0=1$ و $a_0^{-1}=1/2$ و $b=ka \times 2^i$ ($i \in \mathbb{Z}$)

بکار بردن واقعی تبدیل موجک شامل استفاده همزمان یک جفت فیلتر بالاگذر و پایین‌گذر در هر مقیاس از تبدیل می‌باشد. بدین ترتیب می‌توان یک سیگنال را در چند سطح تجزیه نمود که هر سطح، متناسب با پارامتر

با توجه به ارتباط بین امواج سیار پیشرو و پسرو و تغییرات پلاریته این امواج می‌توان ناحیه خطا را معین نمود [۹].

در این مقاله، ابتدا مفهوم تبدیل موجک و تئوری امواج سیار معرفی خواهد شد و در ادامه به تشریح خواص آنالیز چند سطحی در حوزه زمان و فرکانس پرداخته می‌شود. سپس الگوریتمی برای تشخیص خطا در خطوط انتقال فشار قوی مبنی بر تبدیل موجک ارائه می‌گردد.

۲- تبدیل موجک و آنالیز چند سطحی سیگنال:

سیگنال توسط تبدیل موجک به صورت جمع چندین موجک با مقیاس‌ها و مکان‌های مختلف نمایش داده می‌شود. مقدار ضرایب تبدیل موجک در واقع نشان‌گر موجود بودن فرکانس‌های خاصی در موقعیت زمانی خاص در سیگنال می‌باشند [۱۰].

تبدیل موجک را می‌توان به سه دسته تقسیم بندی کرد. تبدیل موجک پیوسته (CWT)، که یک سطح از ضرایب موجک را برای مقادیر مختلف از پارامتر مقیاس و موقعیت تولید می‌کند. سری موجک (WS) که یک تابع با متغیرهای پیوسته را به یک ردیف از ضرایب تبدیل می‌کند و بالأخره تبدیل موجک گسسته (DWT) که برای تجزیه سیگنال‌های گسسته به سطح‌های مختلف به کار می‌رود. در مقایسه با تبدیل موجک پیوسته، تبدیل موجک گسسته برای آنالیز سیگنال‌های جریان و ولتاژ کافی است. کارایی تبدیل موجک در تحلیل و آنالیز سیگنال‌ها ثابت شده است. این کارایی به خاطر کاهش دادن تعداد ضرایب (و بدیهی است که افزایش سرعت در محاسبات را نیز در پی دارد) در پارامتر مقیاس می‌باشد [۱۱]. از تبدیل موجک با طراحی مناسب می‌توان در موارد دیگری نیز بهره برد.

۲-۱. توانایی تبدیل موجک در مشخص کردن

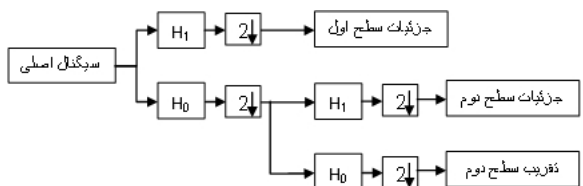
همزمان فرکانس و زمان آن را قادر می‌سازد تا حالات گذرای سیگنال را در زمان بوجود آمدن‌شان تشخیص دهد. تبدیل موجک همانند سری فوریه یک تبدیل

مقیاس و به طبع آن فرکانس ، دارای اطلاعات مهمی از سیگنال اصلی می باشد . در هر سطح سیگنال به یک شکل موج تقریب و یک شکل موج جزئیات تجزیه می شود . در آنالیز چند سطحی سیگنال تابع موجک و تابع مقیاس برای تجزیه سیگنال به چند سطح به کار می روند . تابع موجک برای تجزیه جزئیات یا همان مولفه های فرکانس بالا و تابع مقیاس برای بدست آوردن یک تقریب از سیگنال اصلی به کار می روند ، بنابراین داریم :

۲-۳. در صورتی که ، به طور کلی هر موجکی را می توان در آنالیز موجک به کار برد ، در این مقاله از موجک مادر Daubechies8 استفاده می شود . خانواده این موجک به صورت کلی با عبارت dbN نشان داده می شوند که N تعداد ضرایب فیلترهای موجود در تابع مذکور و عددی بین ۲ تا ۴۰ است [۱۳]. (برخی اوقات این دسته از موجک ها به صورت dbK نمایش داده می شوند که در آن N=2K می باشد).

$$f(t) = \sum_k c_0(k) \phi(t-k) + \sum_{k=0}^{j-1} \sum_k d_j(k) 2^{j/2} \psi(2^j t - k) \quad (4)$$

در این رابطه ϕ تابع مقیاس و ψ تابع موجک d_j ، ضرایب موجک در سطح j ام و c_0 ضرایب تقریب اول می باشد . شکل (۱) آنالیز چند سطحی سیگنال را در دو سطح نشان می دهد . با استفاده از نسخه های مقیاس شده و منتقل شده از توابع موجک و مقیاس سیگنال اصلی به دو دسته جزئیات و یک تقریب تبدیل شده است. در این شکل ، H_1 ضرایب بالاگذر فیلتر تجزیه کننده و H_0 ها ضرایب پایین گذر فیلتر تجزیه کننده می باشند .



شکل ۱: تجزیه سیگنال در دو سطح

فیلترهای H_0 و H_1 در یک بازه فرکانسی مکمل یکدیگر هستند و به این دو مجموعه ضرایب فیلتر، فیلترهای آئینه ای گفته می شود. اگر تبدیل موجک را در سطوح دیگر نیز محاسبه کنیم پاسخ فرکانسی هر سطح، از شکسته شدن باند فرکانسی تخمین سطح ماقبل به دو باند فرکانسی دیگر بدست می آید.

۲-۲. اگر فرکانس مرکزی باند فرکانسی سیگنال اصلی f_0 باشد با توجه به آنچه گفته شد فرکانس مرکزی جزئیات بدست آمده در سطح بعدی

تغییر ناگهانی در انرژی ذخیره شده ، بواسطه خطا ، منجر به تولید امواج سیار در طول خط می شود . این امواج از نقطه خطا به سمت دو انتهای خط منتشر شده و با رسیدن به شین ها بازتابش می کنند ، این تابش و بازتابش تا از بین رفتن کامل این امواج بین نقطه خطا و شین ها ادامه می یابد [۸]. حل معادلات امواج برای خط بدون تلف به صورت امواج تابش و بازتابش زیر می باشد [۱۴] :

$$U(x,t) = f_1(x-vt) + f_2(x+vt) \quad (5)$$

$$I(x,t) = \frac{1}{Z_1} [f_1(x-vt) + f_2(x+vt)] \quad (6)$$

$$v = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (7)$$

$$Z_0 = \frac{u}{i} = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (8)$$

که Z_0 امپدانس مشخصه خط، L و C اندوکتانس و کاپاسیتانس بر واحد طول خط و v سرعت امواج سیار می باشد . در سیستم های سه فازه معادلات بالا تابع ولتاژ و جریان فازها می باشند . بنابراین برای از بین بردن القای متقابل بین فازها از تبدیل کلارک استفاده می شود [۸] :

بعد از وقوع خطا ($t \geq 0$) می‌توانند به دو بخش قبل از خطا و در حین خطا تقسیم شوند. بخش مربوط به قبل از خطا $V'_A(t)$ و $I'_A(t)$ نشان داده شده و مربوط به حالات پایدار مدار می‌باشند. قسمت مربوط به خطا یعنی $\Delta V_A(t)$ و $\Delta I_A(t)$ را می‌توان با جایگزینی یک منبع در محل خطا بدست آورد. این مقدار هم شامل حالات مانا و هم شامل حالات گذرا می‌باشد. اندازه این منبع به اندازه ولتاژ در محل خطا درست یک لحظه قبل از وقوع خطا وابسته می‌باشد اما با علامت مخالف آن [2]. با توجه به اصل جمع آثار داریم:

$$i_A = i'_A + \Delta i_A = i'_A + (\Delta i_A)_{S.S} + (\Delta i_A)_{transient} \quad (11)$$

$$V_A = V'_A + \Delta V_A = V'_A + (\Delta V_A)_{S.S} + (\Delta V_A)_{transient} \quad (12)$$

با مقایسه پلاریته ΔV و Δi مستقیماً می‌توان به وقوع خطا پی برد. با توجه به مطالب ذکر شده، منبعی که در محل خطا منظور کردیم باعث تولید امواج سیار می‌شود که از محل خطا به سمت شینه‌های A و B می‌روند، شکل (۲) از طرفی در رله گذاری جریان مثبت به جریانی گفته می‌شود که از سمت شینه‌های A و B به سمت خطا (F) می‌روند. فرض کنید خطایی بین A و B رخ داده باشد، اگر ولتاژ قبل از خطا در محل خطا یعنی V'_F مثبت باشد، منبع جایگزین شده ولتاژ منفی به سمت دو شین A و B می‌فرستد. اما جریان مقدار مثبت دارد و از طرف شینه‌های A و B به سمت محل اتصالی جریان می‌یابد. بنابر این در لحظات ابتدایی بعد از ایجاد خطا جریان در محل A دارای پلاریته مثبت و ولتاژ دارای پلاریته منفی می‌باشد. به همین ترتیب برای شین B. اگر V'_F منفی باشد منبع باید مثبت باشد، بنابراین Δi منفی و ΔV مثبت است مطابق شکل (۲) و جدول (۱). با توجه به مطالب مذکور زمانی که خطایی خارج از دو شین رخ می‌دهد باعث می‌شود ΔV و Δi در یک انتها دارای پلاریته مشابه شوند و در انتهای دیگر دارای پلاریته مخالف باشند.

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ \sqrt{2} & -1/\sqrt{2} & -1/\sqrt{2} \\ 0 & \sqrt{3}/2 & -\sqrt{3}/2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} \quad (9)$$

اگر این ماتریس را با T نامگذاری کنیم معادلات بالا را می‌توان به صورت خلاصه به فرم زیر نوشت:

$$U(x,t) = T.U_m(x,t) \quad (10)$$

$$I(x,t) = T.I_m(x,t) \quad (11)$$

که I_m و V_m جریان‌ها و ولتاژهای خط، I و V مدهای جریان و ولتاژ می‌باشند. جریان‌ها و ولتاژها در تمامی فازها اندازه گیری و ذخیره می‌شوند و سپس به مولفه‌های کلارک تبدیل شده و در ادامه با استفاده از تبدیل موجک گسسته به مقیاس‌های مطلوب تجزیه می‌گردند. به دلیل ثابت بودن پنجره‌های یکسان سری فوریه در تمامی فرکانس‌ها تبدیل موجک برای آنالیز سیگنال ترجیح داده می‌شود. تبدیل موجک برای تحلیل فرکانس‌های بالا از موجک‌های کوچک و برای تحلیل فرکانس‌های پایین از موجک‌های بزرگ‌تر استفاده می‌کند. در این مقاله تبدیل موجک گسسته برای تشخیص خطا در خط با استفاده از نرم‌افزار MATLAB به کار گرفته شده است.

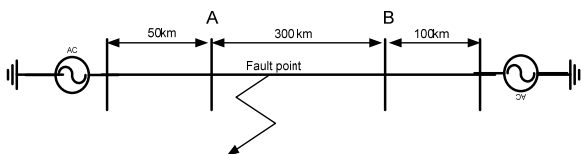
۴-۴ فرمول بندی تحلیل

فرض کنید یک خط انتقال بدون اتلاف به طول l بین دو شین A و B با امپدانس مشخصه Z_0 وجود داشته باشد. به دلیل بدون اتلاف بودن خط سرعت امواج سیار برابر سرعت نور فرض می‌شود. اگر خطایی در فاصله x از شین A رخ دهد باعث تغییر ناگهانی در ولتاژ و جریان در محل خطا و بوجود آمدن امواج سیار می‌شود. جریان و ولتاژ در محل خطا با استفاده از اصل جمع آثار بدست می‌آید. نقطه A را در نظر بگیرید، $i_A(t)$ و $V_A(t)$ جریان و ولتاژ

که در این معادله ، L طول خط ، x فاصله خط از شین A و v سرعت امواج سیار می باشند . البته می توان سرعت این امواج را از روابط دیگری نیز محاسبه کرد اما با وجود این مقدار بدست آمده بسیار نزدیک به سرعت نور می باشد [15].

۵- شبیه سازی و آنالیز خطا

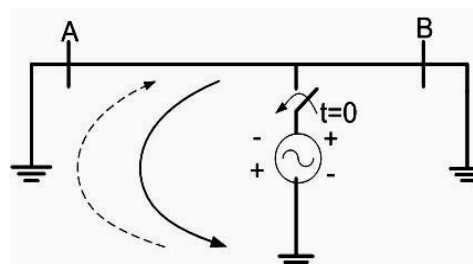
یک خط انتقال 400 kV و 60 Hz با استفاده از نرم افزار ATP در شکل (۳) نمایش داده شده است . طول خط 300 km و برای مدل کردن خط از مدل فرکانسی J_{marti} با مشخصات مندرج در جدول (۲) استفاده شده است . این خط در دو طرف به دو خط دیگر با طول های 100 و 50 کیلومتر متصل است . زمان نمونه برداری از سیگنال $1 \mu\text{s}$ انتخاب شده همچنین به دلیل بدون تلف فرض کرده خط سرعت انتشار امواج سیار در امتداد خط با سرعت نور برابر می باشد.



شکل ۳: مدل خط انتقال 400 کیلو ولت

جدول ۲: مشخصات خط شبیه سازی شده

Ph	Rin(	Rout	Resis(	Hori	Vtow	Vmi	Se	Al	N
.n	cm)	(cm)	Ω/km	z(m)	er(m)	d(m)	pa	ph	b
o			dc)			)	r	a	
1	0.7	1.45	0.069	۱۹.۵	۲۵.۱	۱۰.۱	۶۰	۴۵	۴
2	0.7	1.45	0.069	۰	۲۵.۱	۱۰.۱	۶۰	۴۵	۴
3	0.7	1.45	0.069	۱۹.۵	۲۵.۱	۱۰.۱	۶۰	۴۵	۴
G	0.5	0.77	0.44	-۱۵	۳۹.۷	۲۴.۷	۰	۰	۰
ND									
G	0.5	0.77	0.44	۱۵	۳۹.۷	۲۴.۷	۰	۰	۰
ND									



شکل ۲: لحاظ کردن اثر امواج سیار

جدول ۱: پلاریته امواج سیار

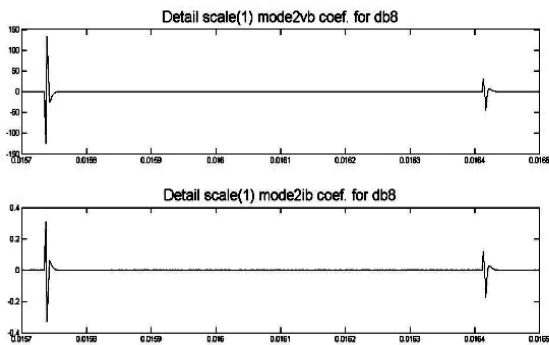
V_f	TERMINAL			
	A		B	
POLARITY	Δi	Δv	Δi	Δv
POS (..)	+	-	+	-
NEG(-)	-	+	-	+

با توجه به مطالب ذکر شده اگر امواج سیاری با مشخصات مذکور در دو انتهای شین تشخیص داده شد، با توجه به زمان رسیدن این امواج در دو انتها می توان فاصله خط را مطابق زیر تشخیص داد .

در این مقاله از سطر دوم تبدیل کلارک برای تحلیل جریان ها و ولتاژها استفاده می کنیم . امواج سیار ناشی از خطا توسط دو سیستم جداگانه در دو انتهای خط که توسط یک مرجع زمانی همسان (GPS) هماهنگ شده اند ذخیره می شوند . این امواج ابتدا به مولفه های تبدیل کلارک تبدیل شده و سپس توسط تبدیل موجک آنالیز می شوند . فرض کنید t_A و t_B مطابق با ضرایب تبدیل موجک ، زمان رسیدن اولین دسته از امواج سیار ناشی از خطای داخل ناحیه حفاظتی (خط مورد نظر) به شین های A و B باشند . با فرض هماهنگ بودن مرجع زمان در دو انتهای خط ، از اختلاف زمان رسیدن امواج به دو انتهای خط یعنی $t_d = t_B - t_A$ برای محاسبه محل خطا نسبت به شین A مطابق فرمول زیر استفاده کرد :

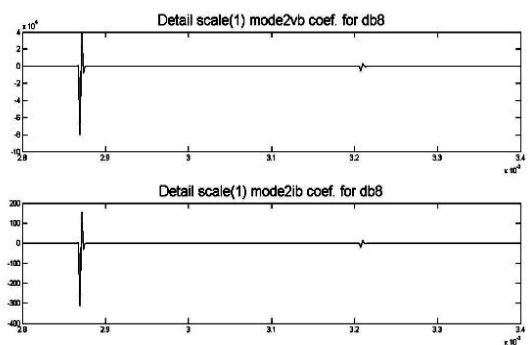
$$x = \frac{l - v \cdot t_d}{2} \quad (14)$$

که با توجه به پلاریته امواج جریان و ولتاژ در این شین نیز مشهود می باشد .



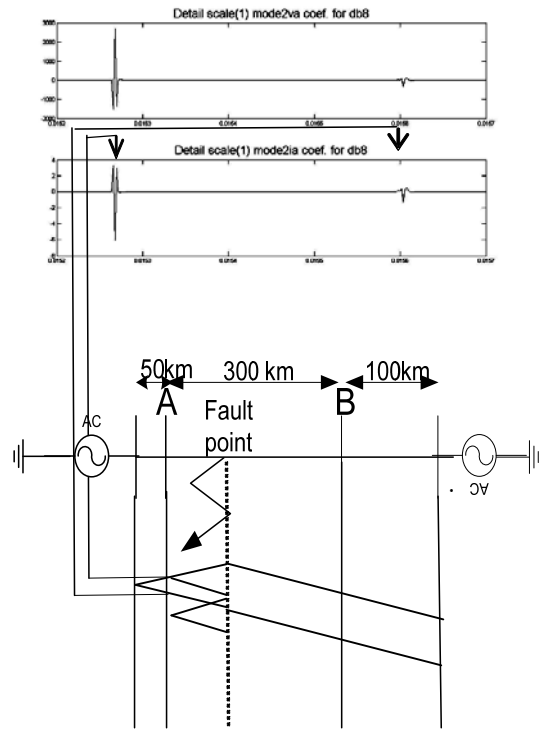
شکل ۵: ولتاژ و جریان شین B

این فرآیند برای خطاهای تک فاز، دو فاز، دو فاز و زمین و سه فاز در زاویه های مختلف وقوع خطا بررسی شده است در جدول (۳) و (۴) برخی از این خطاها در فاصله های مختلف و در دو زاویه وقوع خطای ۲۷۰ درجه و ۵۰ درجه مطابق با الگوریتم پیشنهادی بررسی شده است . با توجه به اطلاعات مندرج در این جدول ، الگوریتم مذکور نسبت به نوع خطا حساس نمی باشد و تغییر زاویه خطا نیز تأثیر بسیار جزئی در عمل کرد آن دارا می باشد.



شکل ۶: ولتاژ و جریان شین B

همچنین با توجه به نتایج به دست آمده در خطاهای زیر ۳۰ کیلومتر واضح است که این روش در این گونه موارد نیز دارای عمل کرد مناسب و مطلوب است .



شکل ۴: ولتاژ و جریان شین A

با فرض یکسان بودن مرجع زمان در دو انتهای خط مذکور خطای سه فازی در فاصله ۸۰ km از شین A شبیه سازی شده است . ابتدا شرط پلاریته امواج سیار جریان و ولتاژ به جهت در ناحیه بودن خطا چک می شود.

شکل (۴) و (۵) ضرایب مقیاس اول تبدیل موجک (WTC) که با استفاده از موجک DB8 بدست آمده را نشان می دهد . با توجه به پلاریته امواج سیار جریان و ولتاژ در دو انتهای خط ، در محدوده بودن خطا تأیید می شود . خطا در زمان ۰.۰۱۵ ثانیه رخ داده و با توجه به شکل اولین دسته از امواج سیار ولتاژ در زمان $t_B = 0.01574$ ثانیه به شین B و در زمان $t_A = 0.01526$ ثانیه به شین A می رسند بنابراین $t_d = 0.00047$ بدست می آید با جایگذاری این اعداد در فرمول بالا $x = 79.21$ کیلومتر محاسبه می شود . اگر خطا خارج از خط مورد حفاظت باشد پلاریته امواج در یکی از دو انتهای خط باید مشابه هم باشند . شکل ۶ و ۷ مربوط به امواج سیار خطا در زمان ۰.۰۰۲ ثانیه و پشت شین B است

جدول ۳: نتایج شبیه‌سازی

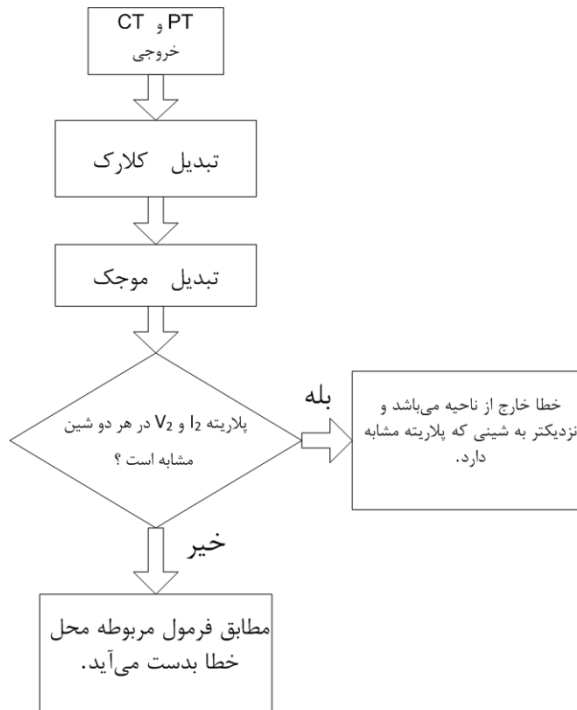
محاسبه شده مسافت		خطای تک فاز	خطای دو فاز
فاصله	زاویه وقوع خطا		
۱۰ km	270°	۹.۰۲ km	۹.۰۲ km
	50°	۸.۴۲ km	۸.۴۲ km
30 km	270°	۲۹.۱۱ km	۲۹.۱۱ km
	50°	۲۸.۸۱ km	۲۸.۸۱ km
80 km	270°	۷۹.۱۱ km	۷۹.۱۱ km
	50°	۷۸.۹۱ km	۷۸.۹۱ km
120 km	270°	۱۲۰ km	۱۲۰ km
	50°	۱۱۹.۴ km	۱۱۹.۴ km
160 km	270°	۱۵۹.۸۹ km	۱۵۹.۸۹ km
	50°	۱۵۹.۸۹ km	۱۵۹.۸۹ km
240 km	270°	240.5 km	240.5 km
	50°	240.5 km	240.5 km
290 km	270°	290.9 km	290.9 km
	50°	291.5 km	291.5 km

جدول ۴: نتایج شبیه‌سازی

محاسبه شده مسافت		خطای دو فاز و زمین	خطای سه‌فاز
فاصله	زاویه وقوع خطا		
۱۰ km	270°	۹.۰۲ km	۹.۰۲ km
	50°	۸.۴۲ km	۸.۴۲ km
30 km	270°	۲۹.۱۱ km	۲۹.۱۱ km
	50°	۲۸.۸۱ km	۲۸.۸۱ km
80 km	270°	۷۹.۱۱ km	۷۹.۱۱ km
	50°	۷۸.۹۱ km	۷۸.۹۱ km
120 km	270°	۱۲۰ km	۱۲۰ km
	50°	۱۱۹.۴ km	۱۱۹.۴ km

شکل ۷ فلوجارت الگوریتم پیشنهادی در این

مقاله برای تعیین محل خطا بر اساس تبدیل موجک را نشان می‌دهد.



شکل ۷: فلوجارت الگوریتم حفاظتی

۶- نتیجه‌گیری

این مقاله شامل روشی برای تعیین محل خطا بر اساس تحلیل امواج سیار در دو انتهای خط و آنالیز چند سطحی تبدیل موجک می‌باشد. در این آنالیز همان‌طور که در بالا ذکر شد، از موجک مادر db8 برای بدست آوردن زمان رسیدن امواج سیار ولتاژ و جریان در دو طرف خط استفاده شده. با توجه به نتایج شبیه‌سازی برای تخمین محل خطا در انواع خطا و خطاها در زاویه‌های مختلف صحت این روش در تعیین محل خطا واضح است.

همچنین مشکل تفکیک امواج سیار در خطاهای نزدیک به دو انتهای خط در این روش به حداقل خود رسیده و برای این دسته از خطاها نیز دارای عمل‌کرد مطلوب می‌باشد.

- [8]. F. H. Magnago and A. Abur, "Fault location using wavelets," IEEE Trans. Power Delivery, Vol. 13, pp. 1475–1480, Oct. 1998.
- [9]. S. Rajendra and P.C. McLaren, "Traveling Wave Techniques Applied To The Protection of Teed Circuits: multi-phase/multi-circuit system", IEEE transactions on power apparatus and systems , vol. PAS-104, NO 12, pp. 3551-3557, Dec 1985.
- [10]. A.M. Gaouda, M.M.A. Salaina and M.K. Sultan and A.Y. Clilidiao, "Power Quality Detection and Classification Using Wavelet-Multiresolution Signal Decomposition", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 14, No. 4, October 1999.
- [11]. J.C. Goswami, A.K. Chan, "Fundamental of wavelets: Theory, Algorithms and application", John Wiley & Sons, 1999.
- [12]. S. Santoso, E. J. Powers, Peter Hofmann and W. M. Grady, "Power quality assessment via wavelet transform analysis" ,IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 11, No. 2, April 1996.
- [13]. Ingrid daubechies, "The Wavelet Transform, Time-Frequency Localization and Signal Analysis", ~EEET RANSACTIONS ON INFORMATION THEORY, Vol. 36, No. 5, Sep 1990.
- [۱۴]. ج. دانکن گلور و مولوکوتاساما ، "بررسی و طراحی سیستم-های قدرت" ، ترجمه: دکتر علی سعیدیان ۱۳۸۵
- [15]. Lei Li, Zeng Xiangjun, Liu Jianhua, Liu Zhengyi, Lv qian, and Zhang Xiaoli , "Transmission Line frequency Impedance Characteristic and It's influence in Transient Protection", IEEE, 2006.

160 km	270°	۱۵۹.۸۹km	۱۵۹.۸۹km
	50°	۱۵۹.۸۹km	۱۵۹.۸۹km
240 km	270°	240.5km	240.5km
	50°	240.5km	240.5km
290 km	270°	290.9km	290.9km
	50°	291.5km	291.5km

۷- مراجع

- [1]. OMAR A.S.YOUSSEF, "Online Applications of Wavelet Transforms to Power System Relaying", IEEE TRANSACTIONS ON POWER DELIVERY, VOL. 18, NO. 4, pp.1158-1165, OCTOBER 2003.
- [2]. M Chamia, and S Liberman, "Ultra High Speed Relay for EHV/UHV Transmission Lines - development, Design and Application", IEEE Trans. PAS-97, pp.2104-2112, 1978.
- [3]. Ernesto Vázquez, Member, IEEE, Jorge Castruita, Oscar L. Chacón, Member, IEEE, and Arturo Conde, Member, IEEE "A New Approach Traveling-Wave Distance Protection—Part I: Algorithm " IEEE TRANSACTIONS ON POWER DELIVERY, Vol. 22, No. 2, APRIL 2007.
- [4]. Ángel L. Orille Fernandez, Member, IEEE, and Nabil Khalil I. Ghonaim "A Novel approach Using a FIRANN for Fault Detection and Direction Estimation for High-Voltage Transmission Lines " IEEE TRANSACTIONS ON POWER DELIVERY, Vol. 17, No. 4, OCTOBER 2002.
- [5]. Q. H. Wu, Senior Member, IEEE, J. F. Zhang, and D. J. Zhang, Student Member, IEEE "Ultra-High-Speed Directional Protection of Transmission Lines Using Mathematical Morphology " IEEE TRANSACTIONS ON POWER DELIVERY, Vol. 18, No. 4, OCTOBER 2003.
- [6]. Marcello Artioli, Gaetano Pasini, Lorenzo Peretto, Senior Member, IEEE, Renato Sasdelli, Senior Member, IEEE, and Fiorenzo Filippetti, Member, IEEE "Low-Cost DSP-Based Equipment for the Real-Time Detection of Transients in Power Systems " IEEE TRANSACTIONS ON INSTRUMENTATION AND MEASUREMENT, Vol. 53, NO. 4, AUGUST 2004
- [7]. Wei Chen, O. P. Malik, Xianggen Yin, Deshu Chen, Senior Member, IEEE, and Zhe Zhang "Study of Wavelet-Based Ultra High Speed Directional Transmission Line Protection" IEEE transactions on power delivery, VOL. 18 , No. 4, OCTOBER 2003.