طراحي و ساخت يك رله جديد براي تشخيص خطاهاي امپدانس بالا براساس تبديل موجك

حسن خراشادی‌زاده
مربی گروه مهندسی برق - قدرت، دانشکدهٔ فنی مهندسی، دانشگاه بیرجند

چکیده

در اين مقاله طراحي و ساخت يك رله جديد براي تشخيص خطاهاي امپدانس بالا در شبكههاي توزيع نيروی برق براساس تبديل موجك توصيف شده است. تشخيص خطاهاي امپدانس بالا با روشهاي مرسوم بسيار مشكل مي‌باشد. با رخداد خطا در اين شبكه، سيگنالهاي آغشته به مؤلفه‌هاي فركانسي در جريان ظاهر مي‌شوند. با تشخيص اين مؤلفه‌هاي فركانسي مي‌توان به وجود اين خطاها پي برد. بنابراين با توجه به قدرت بالاي تبديل موجك به نظر مي‌رسد اين تبديل مي‌تواند با استخراج طيف فركانسي شكل موج جريان با قابليت بالايي خطاهاي امپدانس بالا را تشخيص دهد. در اين مقاله الگوريتمي مبتني بر اين تبديل براي تشخيص خطاهاي امپدانس بالا در شبكه‌هاي توزيع معرفي شده است. نتايج آزمايش و شبيه‌سازي نشان مي‌دهد كه روش فوق با قدرت بسيار زياد خطاهاي امپدانس بالا را تشخيص داده و مي‌تواند آن را از حالتهاي ديگر سيستم قدرت مانند كليدزني بار يا كليدزني خازن تفكيك نمايد. در اين مقاله جزئيات طراحی و پیاده‌سازی الگوریتم حاصل بر روی سخت‌افزاری که به همین منظور ساخته شده است، توضیح داده می‌شود.

كلمات كليدی: تبديل موجك، شبكههاي توزيع و خطاهاي امپدانس بالا.

A Novel Approach to High Impedance Faults Detection Using Wavelet Transform; Design and Implementation

H. Khorashadi-Zadeh
Department of Electrical Eng., University of Birjand

Abstract

This paper presents a new approach for detection of high impedance faults in the Electric power distribution systems using wavelet transform. The proposed method has been implemented on a digital protective relay and its behavior is investigated using appropriate simulation software. Details of the design procedure, implementation and the results of performance studies of the proposed relay are given in this paper. The experiment show that the proposed algorithm performs very well in detecting a high impedance fault with nonlinear arcing resistance. It is clearly shown that the proposed relay is able to accurately distinguish between high impedance faults and other cases such as load and/or capacitance switching.

Key words: Wavelet transform, Distribution network and high impedance faults.

۱- مقدمه

در سیستمهاي توزیع الکتریکي به خطاهایي که رلههاي اضافه جریان و رلههاي اتصال زمین قادر به تشخیص آنها نیستند خطاهاي امپدانس بالا گفته ميشود. این خطاها در اثر تماس هادي با شاخه درخت و یا قطع هادي و افتادن آن بر روي سطحي که داراي هدایت الکتریکي کمی است به وجود ميآید. دامنه جریان خطا در این نوع خطاها بسیار کم است ولي احتمال آتش سوزي و یا برقگرفتگي اشخاص وجود دارد [۱].

تحقیقات زیادي براي تشخیص خطاهاي امپدانس بالا انجام و روشهاي متعددي براي آنها ارائه شده است [۸-۲]. تحقیقات نشان ميدهد که خطاهاي امپدانس بالا موجب به وجود آمدن هارمونیك بر روي جریان ميشود. به این دلیل بعضی از محققین از هارمونیکها براي تشخیص این خطاها استفاده کردهاند [۱۲-۹]. تبدیل موجك روش مناسبي براي استخراج طیف فرکانسي یك شکل موج ميباشد. امروزه این تبدیل در پردازش سیگنال، پردازش تصویر، پردازش اطلاعات و . . . کاربرد بسیار زیادي پیدا کرده است [۱۳].

در این مقاله یك روش جدید براساس تبدیل موجك براي تشخیص خطاهاي امپدانس بالا پیشنهاد شده است. براي انجام مطالعات شبیهسازي، یك سیستم توزیع به کمك نرمافزار EMTDC شبیهسازي شده است. نتایج شبیهسازي نشان ميدهد که روش پیشنهاد شده با دقت بالایي قادر به تشخیص خطاهاي امپدانس بالا ميباشد و در هنگام به وجود آمدن حالتهاي گذرایي مانند کلیدزني، ورود و خروج خازنهاي تعدیل شبکه که در شبکه هارمونیکهاي زیادي به وجود ميآورند این روش قادر به تفکیك این حالات از خطاهاي امپدانس بالا ميباشد. براي پیادهسازي این الگوریتم یك سختافزار که شامل سه کارت مینیمم سیستم، دستیابي اطلاعات و ورودي/ خروجي ميباشد استفاده شده است.

۲- تبدیل موجك

امواج پریودیك با دورههاي نامحدود عموماً به کمك تبدیل فوریه به شکل موجهاي مختلف با فرکانسهاي متفاوت تجزیه ميشوند. به طور مشابه تبدیل موجك یك سیگنال را به سیگنالهاي شیفت داده شده و تغییر مقیاس یافته از یك سیگنال اصلي تبدیل ميکند. موجك یك شکل موج محدود زماني با یك مقدار متوسط صفر است. تبدیل موجك براي آنالیز شکل موجهاي کوتاه مدت، نامتقارن و نوساني بسیار کاربرد دارد. تبدیل موجك براي تحلیل بازههاي طولاني و کوتاه مدت یك شکل موج نیز مناسب است به گونهایکه اطلاعات مربوط به فرکانسهاي بالا و نیز اطلاعات مربوط به فرکانسهاي پایین در تبدیل موجك باقي ميماند. بنابراین تبدیل موجك داراي خاصیت چند وضوحی است و براي تحلیل سیگنالهاي گذارا بسیار مناسب است [۱۴].

تبدیل موجك پیوسته به صورت جمع حاصلضرب سیگنال زماني در تغییر مقیاس یافته و شیفت داده شده تابع اصلي موجك به صورت زیر تعریف مي شود:

$$WT(a,b)=\frac{1}{\sqrt{a}}\int_{-\infty}^{\infty}x(t).g(\frac{t-b}{a})dt \qquad (۱)$$

در رابطه (۱) x(t) سیگنالي است که باید آنالیز شود، a و b نیز ضرایب تغییر مقیاس و شیفت زماني ميباشند. در این رابطه g (t) تابع اصلي موجك نامیده ميشود. با توجه به این رابطه میتوان دریافت که تبدیل موجك پیوسته در واقع ضرایب زیادي هستند که تابعي از تغییر مقیاس و وضعیت سیگنال ميباشند.

شکل گسسته تبدیل گسسته به تبدیل موجك گسسته مشهور است و به صورت زیر تعریف ميشود:

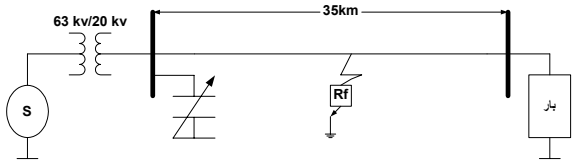
$$DWT(m,k)=\frac{1}{\sqrt{a_0^m}}\sum_n x[n].g[\frac{k-na_0^m}{a_0^m}] \qquad (۲)$$

در این رابطه g(n) تابع اصلي موجك ميباشد و تغییر مقیاس و شیفت زماني به صورت na_0^m و a_0^m در نظر گرفته شدهاند. این تبدیل مشابه یك فیلتر با پاسخ ضربة محدود (FIR) عمل ميکند. در واقع تبدیل موجك مشابه یك سري فیلترهاي میانگذر با فرکانسهاي مرکزي متغیر ميباشد. این فرکانسهاي مرکزي ميتوانند به وسیله تغییر مقیاس و شیفت زماني در تابع اصلي موجك تغییر پیدا کنند. این نشان ميدهد که تبدیل موجك ميتواند در استخراج سیگنالهاي ناخواسته و اجزاي فرکانسي گذرا در یك شکل موج بسیار کارآمد باشد. در این مقاله از تبدیل موجك براي استخراج اجزاي فرکانسي موجود در سیگنال گذرا براي تشخیص خطاهاي امپدانس بالا استفاده شده است.

۳- طراحي تشخيص دهنده خطا براساس تبديل موجك

۳-۱- شبيهسازي سيستم قدرت

شكل (۱) يك شبكه توزيع شعاعي ۲۰ kV را كه براي انجام مطالعات شبيه‌سازي به كار رفته است نشان مي‌دهد. اين شبكه داراي خطي با طول ۳۵ كيلومتر، يك منبع ۶۳ كيلوولت و يك ترانسفورماتور ۶۳/۲۰ كيلوولت با ظرفيت ۲۰۰ MVA مي‌باشد. فركانس نامي در اين سيستم ۵۰Hz لحاظ شده است. شبيه‌سازي اين سيستم توزيع قدرت به كمك نرمافزار EMTDC انجام شده است [۱۵]. مشخصات سيستم شبيه‌سازي شده در جدول (۱) داده شده است. در انجام شبيه‌سازي مقاومتهاي توام با قوس امپدانس بالاي غيرخطي نيز در نظر گرفته شده است. شرايط مختلفي كه در مطالعات شبيه‌سازي ملاحظه شده، در جدول (۲) آمده است.



شكل ۱- سيستم توزيع شبيهسازي شده

جدول ۱- مشخصات سيستم توزيع شبيه‌سازي شده

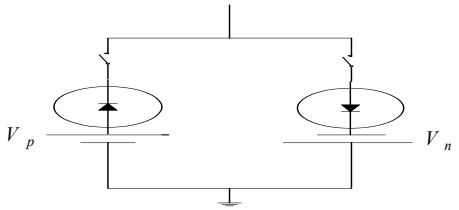
۰/۳۲+i۰/۴۸	توالي مثبت و منفي امپدانس خط توزيع (Ω/km)
۷/۵	امپدانس ترانسفورماتور (%)
۱۰۰	نسبت X/R منبع
۲۲	امپدانس منبع (Ω)

جدول ۲- شرايط مختلف براي شبيه‌سازي سيستم نشان داده شده در شكل (۱)

۲، ۷، ۹، ۱۰، ۱۴، ۲۰، ۲۳، ۲۷، ۳۰، ۳۳، ۳۵	محل خطا
مقادير مختلف بين (۰-۵۰۰۰)	ولتاژ قوس
مقادير مختلف بين (۰-۳۶۰)	زاويه شروع
مقادير مختلف بين (۰-۳۰۰)	C(kVar)
(-۴/۵، ۰، ۴/۵)	Tap_Trans

چنانچه ديده مي‌شود با تغيير محل خطا، زاويه شروع خطا، مقاومت خطا و ولتاژ قوس شرايط مختلف سيستم شبيه‌سازي شده است.

تاكنون مطالعات زيادي بر روي خطاهاي همراه قوس انجام شده و مدلهاي مداري مختلفي براي اين منظور ارائه شده است. يكي از معمولترين و پركاربردترين اين مدلها مدل ولتاژ مربعي است كه در آن شكل موج ولتاژ قوس به صورت مربعي در نظر گرفته مي‌شود [۱۶]. در اينجا نيز خطاهاي همراه با قوس براساس چنين مدلي با مداري مطابق شكل (۲) شبيه‌سازي شده‌اند. اين مدل شامل دو منبع و دو ديود كه نسبت به هم به صورت معكوس قرار گرفته‌اند مي‌باشد. قوس الكتريكي به وسيله قطع و وصل دو كليد كه در مدار قرار دارند مدل شده است.

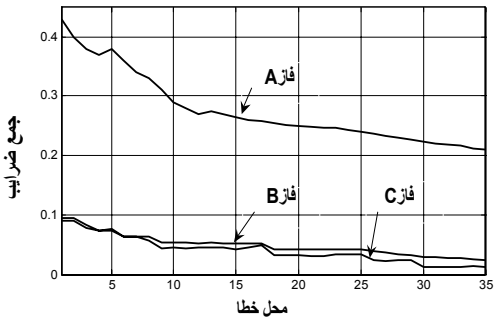


شكل ۲- مدل مقاوت خطا با قوس الكتريكي

۳-۲- انتخاب تابع پايه تبديل موجك

انتخاب تابع پايه تبديل موجك براي افزايش كارايي تشخيص خطاهاي امپدانس بالا و استخراج اطلاعات مفيد از اهميت زيادي برخوردار است. براي اين منظور توابع مختلفي مانند دابيشيز، Biorthogonal و Coiflet بررسي شده‌اند. مطالعات انجام شده نشان مي‌دهد كه استفاده از تابع دابيشيز (db5) به عنوان تابع پايه نسبت به ساير توابع پايه در اين كاربرد مناسبتر است. با بررسي‌هاي انجام شده مشخص شد كه ضريب d1 به دست آمده از اعمال تبديل موجك از نوع دابيشيز (db5) با شروع خطا افزايش مي‌يابد و با انتخاب جمع ضرايب d1 در يك پنجره نمونه‌برداري به عنوان معيار تشخيص خطا، مي‌توان خطاهاي امپدانس بالا را به خوبي تشخيص داد. به عنوان مثال شكل (۳)، جمع ضرايب d1 را براي خطاي ag با مقاومت خطاي ۸۰۰ اهم با زاويه شروع ۴۵ درجه در فواصل مختلف خطا نشان مي‌دهد. همچنانكه نشان داده شده است جمع ضرايب d1 در يك پنجره نمونه‌برداري بعد از خطا براي فاز a خيلي بيشتر از مجموع فوق

براي دو فاز ديگر مي‌باشد. براي حالتهاي ديگر سيستم مانند كليدزني، ورود و خروج خازنهاي تعديل نيز مجموع ضرايب d1 محاسبه شده است و در تمامي اين موارد اين مجموع از ۰/۲ خيلي كمتر بوده است. اين ضرايب براي توابع Coiflet و Biorthogonal نيز به دست آورده شده است ولي رفتار اين ضرايب مانند رفتار ضرايب ناشي از به كارگيري تابع دابيشيز مناسب نبوده است. بنابراين تابع دابيشيز به عنوان تابع پايه به كار گرفته شده است.



شكل ۳- جمع ضرايب d1 در محلهاي مختلف خط توزيع

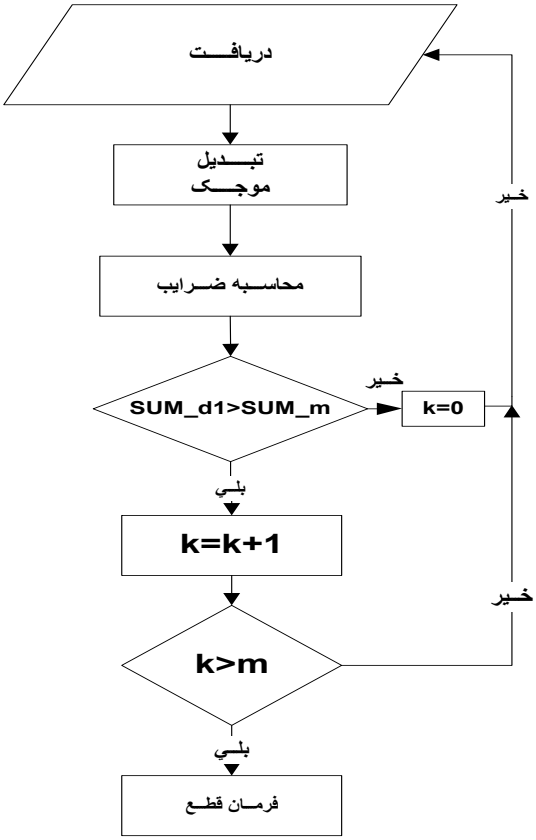
۳-۳- الگوريتم تشخيص خطا

الگوريتم تشخيص خطاي پيشنهادي براساس كاربرد تبديل موجك عمل مي‌كند. چنانچه اشاره شد تابع db5 به عنوان تابع پايه موجك مورد استفاده قرار گرفته است. در الگوريتم پيشنهادي سرعت نمونه‌گيري kHz ۴ در نظر گرفته شده است و براساس آن مركز سطوح فركانس به صورت جدول (۳) لحاظ خواهد شد.

جدول ۳- مراكز سطوح فركانس در تبديل موجك

سطح	مركز فركانسي	سطح	مركز فركانسي
۰	۶۲/۵	۳	۵۰۰
۱	۱۲۵	۴	۱۰۰۰
۲	۲۵۰	۵	۲۰۰۰

شكل (۴) فلوچارت الگوريتم پيشنهادي را براي تشخيص خطاهاي امپدانس بالا نشان مي‌دهد. در اين فلوچارت k يك شمارنده، Sum_d1، مجموع ضرايب d1 در يك پنجره نمونه‌برداري، Sum_m، سطح آستانه مجموع ضرايب d1 و m سطح آستانه براي شمارنده مي‌باشد. بعد از دريافت اطلاعات تبديل موجك از نوع db5 بر روي اطلاعات پردازش نموده و ضرايب d1 به دست مي‌آيند. سپس به كمك ضرايب d1 به دست آمده از مرحله قبل، Sum_d1 كه مجموع ضرايب d1 در يك سيكل مي‌باشد محاسبه مي‌شود و آنگاه Sum_d1 با سطح آستانه Sum_m مقايسه مي‌گردد. در صورتيكه Sum_d1 از Sum_m بيشتر باشد، يكي به شمارنده k افزوده خواهد شد و اين فرايند آنقدر ادامه پيدا مي‌كند تا شمارنده از سطح آستانه، m بيشتر شود. هنگاميكه k از آستانه m بيشتر شود فرمان قطع ارسال خواهد شد. Sum_m و m به ترتيب با ۰/۲ و ۱۲۰ تنظيم شده‌اند. سرعت نمونه برداري Hz ۴۰۰۰ يعني ۸۰ نمونه بر سيكل بوده است.



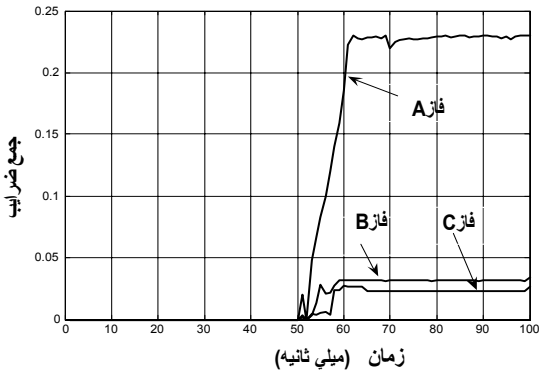
شكل ۴- فلوچارت الگوريتم تشخيص خطاهاي امپدانس بالا با روش موجك

۴-۳- نتايج آزمايش الگوريتم پيشنهادي

به كمك نتايج حاصل از شبيه‌سازي سيستم توزيع نشان داده

شده در شكل (۱)، الگوريتم پيشنهادي براي خطاهاي مختلف آزمايش شده‌اند.

شكل (۵) مجموع ضرايب d1 را بـراي يـك خطاي تك فاز ag نشان مي‌دهد. اين خطا در محل ۱۰ km با ولتاژ قوس ۱۴۰۰ ولت و زاويه شروع خطا صفر درجه رخ داده است. چنانچه ديده مي‌شود مجموع ضرايب d1 در اين خطا براي فاز a بيشتر از ۰/۲ مي‌باشد در حاليكه اين مقدار براي دو فاز ديگر كمتر از سطح آستانه است و با كمك الگوريتم پيشنهادي مي‌توان اين خطا را به خوبي تشخيص داد.



شكل ۵- مجموع ضرايب d1 در خطا ag در ۱۰ كيلومتري

در جدول (۴) نمونه‌هايي از نتايج آزمايش رله پيشنهادي آورده شده است. ديده مي‌شود كه در تمامي موارد رله قادر به تشخيص خطا بوده است. حتي براي خطا با مقاومتهاي قوسدار با ولتاژهاي بالا به خوبي خطا تشخيص داده شده است. به عنوان نمونه براي خطاي AG كه در ۱۷ كيلومتري با مقاومت توام با قوس ۳۲۰۰ ولت با زاويه شروع ۶۰ درجه رخ داده است ديده مي‌شود كه تنها مجموع ضرايب فاز A از ۰/۲ بيشتر شده است.

برخي از حالات گذرا در سيـستم قـدرت شـرايطي را بـه وجـود مي‌آورند كه در آن رله‌هاي امپدانس بالا دچـار عمـلكـرد اشـتباه مي‌شونـد. اين حالتهاي گذرا شامل كليـدزني خازنهـا، كليدزنـي بار، عملكرد تپ‌چنجر ترانس و . . . مـي‌باشـد. بـراي اطمينـان از عدم عملكرد الگوريتم پيشنهادي در هنگام به وجود آمدن حالات گذرا، شرايط مختلف گذراي سيستم توزيـع مـدل شـده و رفتـار الگوريتم پيشنهادي بررسي شده است. جدول (۵) نمونـه‌هـايي از نتايج آزمايش الگوريتم را در برابر حالات گذراي ناشـي از ورود و خروج خازنهاي تعديل، كليدزني بار و عملكرد تپ‌چنجـر تـرانس نشان مي‌دهد. چنانچه مشاهده مي‌شود در ايـنجـا نيـز الگـوريتم پيشنهادي به خوبي قادر به تفكيك حالتهـاي گـذراي مختلـف از خطاهاي امپدانس بالا بوده و در هيچ يك از ايـن مـوارد مجمـوع ضرايب از ۰/۲ بيشتر نشده است.

جدول ۴- نتايج حاصل از آزمايش الگوريتم پيشنهادي براي خطاهاي مختلف

نوع خطا	محل خطا	ولتاژ قوس	زاويه شروع خطا	مجموع ضرايب d1 دريك سيكل		
				فاز a	فاز b	فاز c
AG	۴	۲۵۰۰	۰	۰/۲۲	۰/۰۳۱	۰/۰۲۹
AG	۶	۱۸۰۰	۱۰	۰/۲۵	۰/۰۲۷	۰/۰۳۱
BG	۱۰	۳۵۰۰	۹۰	۰/۰۴۳	۰/۲۵	۰/۰۳۵
CG	۱۲	۳۸۰۰	۴۵	۰/۰۴۹	۰/۰۲۷	۰/۲۳
AG	۱۷	۳۲۰۰	۶۰	۰/۳۱	۰/۰۱۹	۰/۰۶۱
CG	۱۹	۱۳۰۰	۳۰	۰/۰۵۷	۰/۰۳۴	۰/۲۳۴
AG	۲۰	۱۴۰۰	۹۰	۰/۳۲۱	۰/۰۲۶	۰/۰۴۳
BG	۲۲	۱۲۰۰	۰	۰/۰۵۱۲	۰/۳۵	۰/۰۳۲
CG	۲۹	۴۵۰۰	۴۵	۰/۰۴۳۱	۰/۰۵۶	۰/۳۱۴
BG	۳۲	۳۱۰۰	۰	۰/۰۳۶۱	۰/۲۵	۰/۰۳۸۲

جدول ۵- نتايج حاصل از آزمايش الگوريتم پيشنهادي براي حالتهاي گذراي مختلف

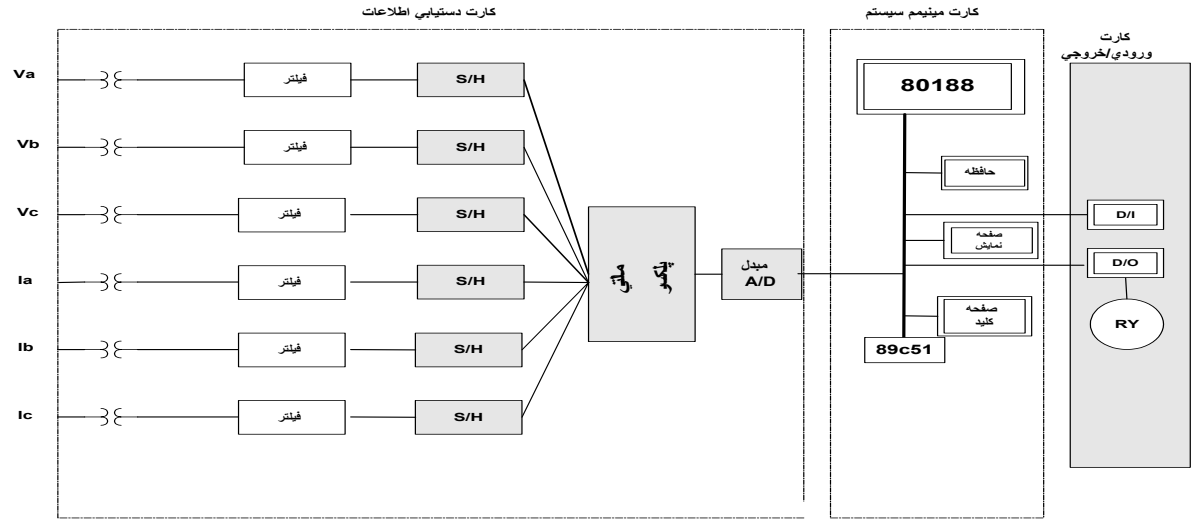
حالت گذرا	تغييرات	مجموع ضرايب d1 دريك سيكل		
		فاز a	فاز b	فاز c
کلیدزني خازن	kVar→ kVar			
	۲۰ → ۸۵	۰/۰۵۲	۰/۰۷۱	۰/۰۵۷
	۱۲۰ → ۲۴۰	۰/۰۴۷	۰/۰۵۲	۰/۰۵۹
	۲۴۰ → ۳۰۰	۰/۰۸۹	۰/۰۵۵	۰/۰۶۴
	۱۰۰ → ۲۲۰	۰/۱۰۴	۰/۰۹۲۷	۰/۰۸۲
	۱۴۰ → ۲۰۰	۰/۰۹۶	۰/۰۵۱۲	۰/۰۸۵
کلیدزني بار	MW→ MW			
	۲۳ → ۲۵/۶	۰/۰۱۵	۰/۰۳۱	۰/۰۲۳
	۱۳/۴ → ۱۵	۰/۰۲۳	۰/۰۱۵	۰/۰۴۳
	۱۵ → ۱۷	۰/۰۱۴	۰/۰۱۲	۰/۰۳۲
	۴۱ → ۴۳/۴	۰/۰۱۱۶	۰/۰۱۳	۰/۰۳۱
	۴۴ → ۴۶/۷	۰/۰۱۰۷	۰/۰۱۴	۰/۰۲۷
تپ چنجر	% → %			
	-۴/۵ → ۰	۰/۰۳۲	۰/۰/۴	۰/۰۳۴
	۰ → ۴/۵	۰/۰۵۱	۰/۰۲۶	۰/۰۲۶
	۴/۵ → ۰	۰/۰۴۳	۰/۰۴۳	۰/۱۳
	۰ → -۴/۵	۰/۰۳۶	۰/۰۵۶	۰/۰۵۶

۴- سخت‌افزار رله

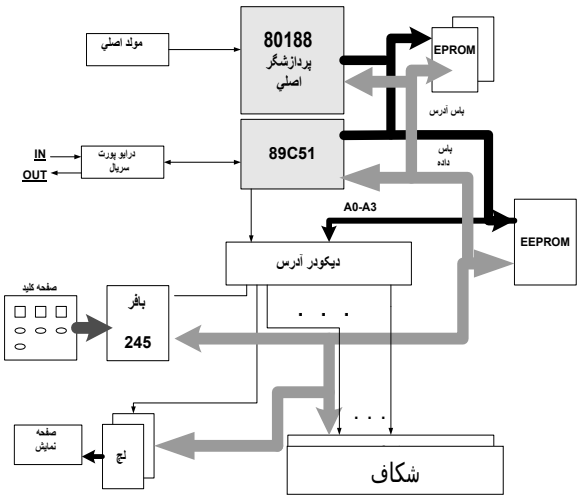
بـراي پياده‌سـازي رله سخت افزاری، با ساختار مشابـه شكل (۶) ساخته شده است. اين سخت‌افزار شامل سه كارت، كارت مينيمم سيستم، كارت دستيابي اطلاعات و كارت ورودي و خروجي مي‌باشد. اين كارت توسط شكافهائی بر روي يك برد واسط قرار گرفته و با يكديگر مرتبط شده‌اند. در كارت مينيمم سيستم امكان ارتباط با كامپيوتر، ارتباط با صفحه كليد و صفحه نمايش در نظر گرفته شده است. كارت دستيابي اطلاعات شامل عناصري از قبيل مبدل آنالوگ به ديجيتال، مالتي پلكسر و فيلترهاي آنالوگ قابل تنظيم مي‌باشد. در اين كارت چهار ورودي جريان در نظرگرفته شده است. كارت ورودي- خروجي نيز شامل تعداد مناسب ورودي و خروجي مي‌باشد كه امكان ارسال فرمانها به محلهاي ديگر يا دريافت سيگنالهاي كنترلي از محلها و وسايل حفاظتـي ديـگر بـه رلـه را ميـسر مي‌سازد. هر يك از اين كارتها بـه تفصيل در ذيل توضيح داده خواهند شد.

۴-۱- كارت مينيمم سيستم

ساختار كارت مينيمم سيستم در شكل (۷) نشان داده شده است. اين كارت شامل ريزپردازندة مركزي ۸۰۱۸۸ و يك ميكروكنترل كننده جانبي مي‌باشد. ريزپردازندة ۸۰۱۸۸ وظيفه اجراي الگوريتم اصلي رله را به عهده دارد و ساختار نرمافزاري بيان شده در بخش قبل بر روي اين پردازنده پياده مي‌شود. ميكروكنترل كننده جانبي وظيفه كنترل اجزاي كارت دستيابي اطلاعات، كارت ورودي و خروجي تنظيم رله و نمايش بر روي صفحه LCD را به عهده دارد. يك RAM ۳۲ كيلوبايت نيز بر روي كارت براي انجام عمليات رله لحاظ شده است.



شکل ۶- ساختار سخت افزار رله تشخیص دهنده خطاهاي امپدانس بالا



شکل ۷- ساختار کارت مینیمم سیستم رله پیشنهادي

در سیستم طراحي شده براي پیاده سازي رله پیشنهادي، از دو واحد حافظه EPROM و يك حافظه E^2PROM مطابق شكل (۷) استفاده شده است. برنامه اصلي رله در حافظه EPROM قرار گرفته است. تنظيمات رله پس از تعيين شدن در داخل نرمافزار و يا دريافت از كامپيوتر در داخل E^2PROM نوشته مي‌شوند و هنگاميكه رله شروع بـه كار مي‌كند يا reset مي‌شود اين تنظيمات را از داخل E^2PROM خوانده و به RAM داخلي مي‌آورد.

نوشتن در حافظه E^2PROM مانند نوشتن در حافظه RAM ميباشد با اين تفاوت كه مدت زمان لازم جهت نوشتن در E^2PROM (زمان فعال بودن سيگنال نوشتن) خيلي بيشتر از حافظه RAM مي‌باشد. E^2PROMهاي مورد استفاده در طراحي رله امپدانس بالا داراي نوعي تأخير داخلي مي‌باشند و نوشتن در آنها ساده‌تر مي‌باشد و در نتيجه نيازي به افزايش دادن سيگنال WR و مدت زمان باقي ماندن داده روي پالس داده نيست. تنها مواردي كه براي اجراي صحيح دستورالعمل نوشتن بايد رعايت شود رعايت فاصله زماني لازم بين دو نوشتن در E^2PROM است كه بايد از حد مشخصي كمتر نباشد.

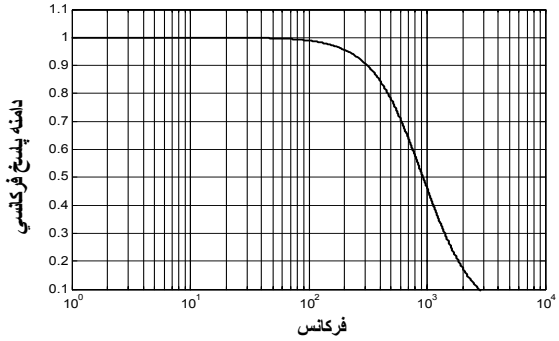
براي دريافت تنظيمات رله از طريق كامپيوتر شخصي از درگاه سريال استفاده مي‌شود. هر بسته ارسالي از طريق كامپيوتر داراي ۶ بيت اطلاعات مفيد است بنابراين براي دريافت يك داده ۱۶ بيتي حداقل بايد سه بسته ارسال شود. تنظيمات موردنظر پس از دريافت از طريق كامپيوتر در داخل RAM داخلي نوشته مي‌شوند و در صورت نياز كاربر قابل ضبط در E^2PROM نيز مي‌باشند.

۴-۲- كارت دستيابي اطلاعات

سيگنالهاي جريان و ولتاژ در يك رله ديجيتالي از طريق ترانسهاي جريان و ولتاژ فشار قوي در اختيار ترانسهاي جريان و ولتاژ كمكي قرار مي‌گيرند تا به سطح قابل تحمل مدارهاي الكترونيكي تبديل شوند. با استفاده از كارت دستيابي اطلاعات(DAS) برروي سيگنالهاي ورودي پيش‌پردازشهاي مناسب انجام شده و داده‌ها براي پردازش نهايي توسط ريزپردازنده آماده مي‌شوند. جريانها پس از عبور از ترانسفورماتور

کمکي تبديل به ولتاژ معادل مي‌شوند. اين كار عمدتاً با عبور جريان خروجي ترانسفورماتور كمكي از يك مقاومت انجام مي‌گيرد. با انتخاب مناسب اين مقاومت ميتوان تغييرات سيگنالهاي معادل جريان ورودي را در يك محدودة قابل قبول نگه داشت. در مرحله بعد سيگنالهاي دريافت شده ورودي براي حذف مؤلفه‌هاي بالاي فركانسي از فيلترهاي حذف كننده اختلاط مناسب عبور داده مي‌شوند.

براي انجام پيش پردازش مناسب بر روي سيگنالها از فيلتر باترورث درجه دوم پايين گذر استفاده شده است. مشخصه پاسخ فركانسي فيلتر مورد استفاده در شكل (۸) نشان داده شده است. فركانس قطع فيلتر Hz ۲۰۰۰ مي‌باشد. سپس هر ورودي از يك واحد نمونه‌برداري و نگهداشت سيگنال (S/H) عبور داده مي‌شود. وجود S/H براي همزماني سيگنالهاي نمونه‌برداري شده لازم مي‌باشد. بعلاوه براي انجام تبديل سيگنال آنالوگ به ديجيتال، سيگنالهاي ورودي بايد به اندازه لازم نگهداري شوند كه اين كار توسط واحدهاي S/H صورت مي‌پذيرد. مبدل آنالوگ به ديجيتال (ADC) استفاده شده در اين پروژه، ۱۲ بيتي با سرعت تبديل ۵ ميكرو ثانيه بوده و داراي خروجي‌هاي سه حالته براي برقراري ارتباط با پردازنده مي‌باشد. يك سوئيچ چند حالته (MUX) به كمك كنترل توسط ريزپردازنده امكان ورود سيگنالهاي مناسب به مبدل ADC را فراهم مي‌كند. در واقع بوسيله MUX از چند كانال ورودي يك سيگنال مورد نظر انتخاب شده و به خروجي انتقال داده مي‌شود. خروجي مبدل ADC توسط بافرهاي مناسب به باس داده‌ها متصل و براي ريزپردازنده قابل دسترسي مي‌شود.



شكل ۸- پاسخ فركانسي فيلتر حذف كننده اختلاط

ريزپردازنده تعبيه شده بر روي كارت پردازشگر اصلي، كنترل عناصر و آماده‌سازي داده‌ها را نيز بر عهده دارد. ريز پردازنده در هنگام نياز به اطلاعات كارت دستيابي اطلاعات، آدرس مناسب را بر روي باس آدرس قرار داده و ثبات قرار داده شده بر روي كارت را فعال مي‌كند و سپس با قرار دادن مقادير مناسب بر روي باس دادهها واحد نمونه‌برداري، مالتي‌پلكسر و يا مبدل آنالوگ به ديجيتال را فعال مي‌سازد.

۳-۴- ارتباطات رله

اصولاً امكان برقراري ارتباطات در يك رله حفاظتي به دلايل زير الزامي است:

الف- امكان تنظيم رله

ب- امكان ارتباط با رله‌ها و يا دستگاههاي ديگر

ج- امكان صدور سيگنال فرمان قطع و هشدار

۱-۳-۴- سيستمهاي واسط

تنظيم رله طراحي شده به صورت نرم افزاري و بدون استفاده از عناصري از قبيل كليدهاي چند حالته مكانيكي امكان‌پذير مي‌باشد. با استفاده از سيستمهاي واسط LCD و صفحه كليد نيز مي‌توان تنظيمات را تغيير داد. براي وارد كردن تنظيمات موردنظر در اين حالت مقادير نشان داده شده بر روي صفحه LCD با استفاده از كليدها به مقادير مناسب تغيير داده مي‌شوند. در حالت تنظيم از طريق نرمافزار براي تنظيم كردن رله از طريق يك كامپيوتر، با درگاه سريال رله ارتباط برقرار شده و تغيير تنظيمات رله انجام مي‌شود. سختافزار به نحوي طراحي شده است كه امكان ارتباط با درگاه موازي يك كامپيوتر خارجي به منظور تبادل اطلاعات بين رله و كامپيوتر نيز وجود دارد.

۲-۳-۴- صفحه كليد و نمايشگر

به منظور افزايش كارايي رله طراحي شده و ايجاد امكان ارتباط با كاربر، براي رله يك صفحه كليد به علاوه يك صفحه نمايشگر در نظر گرفته شده است. تعداد كليدهايي كه معمولاً براي كنترل و برنامه‌ريزي رله‌هاي ديجيتال استفاده مي‌شود كم مي‌باشد. در برخي رله‌ها تنها از دو كليد براي انجام عمليات موردنظر استفاده مي‌شود. در رله طراحي شده از چهار كليد استفاده شده است. امكان تغيير تنظيمات رله از طريق صفحه كليد نيز در نظر گرفته شده است. صفحه نمايشگر در نظر گرفته شده براي رله از نوع ۲*۲۰ مي‌باشد. جهت راه‌اندازي و استفاده LCD، امكان تعريف كاراكتر جديد به تعداد محدود نيز وجود دارد.

با فشردن کليدهاي مختلف صفحه کليد، صفحات مختلفي بـر روي نمايشگر فعال مي‌شود. به عنوان نمونه با فشار دادن دکمه # رله وارد حالت اندازه‌گيري خواهد شد و صفحه نمايشگر مقادير ولتاژ، جريان و توان انتقالي را نمايش خواهد داد.

۴-۳-۳-کارت ورودي/ خروجي

فرمانهاي قطـع و هـشدار خروجـي کـه از طريـق رلـــه‌هـاي ديجيتال صادر مي‌شوند، اساسـاً بـه صـورت ديجيتـال هـستند و معمولاً از طريـق رلـه‌هـاي الکترومکـانيکي کوچـك و سـريع بـه مدارهای ديگر انتقال داده مي‌شـوند. بـه عـلاوه در برخـي مـوارد سيستم حفاظتي به‌گونه‌اي طراحي شده است که رله براي انجـام عملکرد صحيح احتياج به آگاه بودن از وضعيت عملکردي برخـي عناصر ديگر از قبيل رلـــه‌ها و کليدها دارد. اين اطلاعات از طريق سيگنالهاي ورودي به رلـــه وارد مي‌شـود. توسـط کـارت ورودي/ خروجي فرمانها يا اطلاعات مناسب به بخشهاي حفاظتي ديگـر و يا از بخشهای حفاظتی ديگر بـه رلـه منتقل مـي‌شـوند. طراحـي رلـه امپدانس بالا ديجيتال بـه گونـه‌اي اسـت کـه امکـان اضـافه کردن حداکثر ۶ کارت ورودي/ خروجي بـه سيـستم وجـود دارد. هر کارت از دو بخش ورودیها و خروجيـها تـشکيـل شـده اسـت. بـر روي هر کـارت ۵ ورودي و ۴ خروجـي در نـظر گرفتـه شـده است کـه امکان افزايش آنها به سادگي امکان‌پذير مي‌باشد.

۵- پياده سازي الگوريتم پيشنهادي بر روي سخت افزار

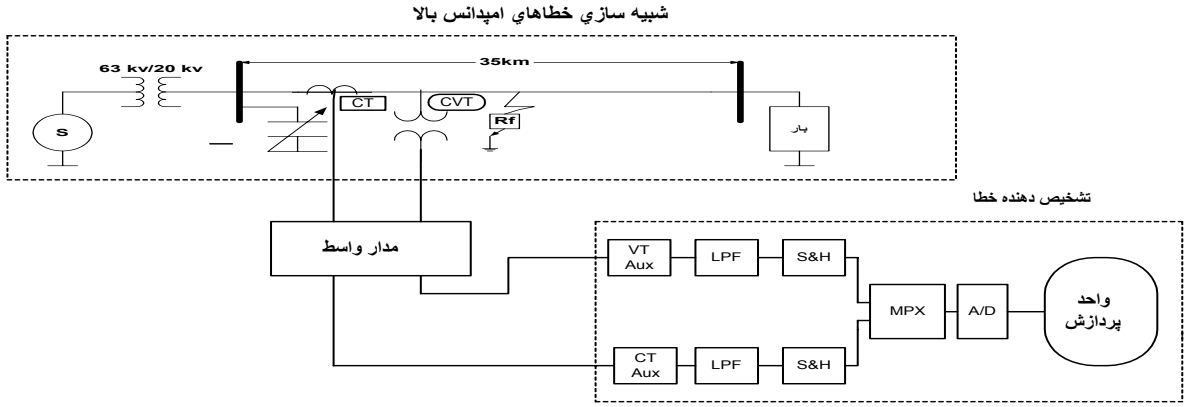
نرم‌افزاري که بر روي سخت‌افزار نصب شده است شامل سه بـخش نـرم‌افـزاري دستيـابي اطلاعات، الگوريتـم رلـه و نرم‌افزار ارتباط بهره‌بردار با سيستم است. وظيفه بخش دستيابي اطلاعات راه اندازي کارت دستيابي اطلاعات مي‌باشد. اين بخش شامل دو زيربرنامه است. زيربرنامه اصلي، کارت دستيابي اطلاعات را راه‌اندازي نموده و تايمرها را براي يك سرعت نمونـه‌بـرداري ۴kHz فعال مي کند، زير برنامه بعدي زير برنامه وقفه است که اين زيربرنامه در بازه‌هاي مناسب با ارسال دستور به S/H از جريانها نمونه‌برداري نموده و سپس با فعال نمودن MUX ورودي مناسب را انتخاب نموده و در اختيار A/D مي‌گذارد. آنگاه دستور تبديل به A/D براي تبديل اطلاعات آنالوگ به ديجيتال ارسال مي‌شود و سپس اين اطلاعات در اختيار پردازندة ۸۰۱۸۸ قرار خواهد گرفت.

الگوريتـم اصلـي به صورتيکه در بخش (۳-۳) توصيف شد بـر روي پردازندة مرکزي پياده شده است. نرم افزار رابط نيز براي ارسال فرمان قطع، دريافت ورودي، تغيير تنظيمات رله از طريق صفحه کليد و نمايش اطلاعات بر روي صفحه LCD به کار رفته است.

۶- آزمايش رله

براي آزمايش رله از شبيه‌سازي کامپيوتري خطاهاي امپدانس بـالا استفاده شده است. جهت آزمايش رله، خطاهاي امپدانس بالا به صورت کامپيوتري شبيه‌سازي شده و اطلاعات مربوطه در يك فايل ذخيره مي‌شود سپس از طريق درگاه موازي کامپيوتر اين اطلاعات به يك مدار رابط ارسال مي‌شوند. مدار رابط شامل يك مبدل ديجيتال به آنالوگ مي‌باشد که اطلاعات ارسال شده توسط کامپيوتر را به اطلاعات آنالوگ تبديل مي‌کند و سپس اين اطلاعات را در اختيار رله قرار مي‌دهد. ساختار کلي آزمايش مدار در شکل (۹) آورده شده است.

عملکرد رله براي خطاهاي متفاوت در محلها و در حالات مختلف کليدزني بررسي شده است. بعضي از نتايج آزمايش رله براي خطاهاي مختلف در جدول (۶) آورده شده است.



شکل ۹- نحوه آزمايش رله تشخيص خطاهاي امپدانس بالا

جدول ۶- نتايج حاصل ازآزمايش رله در خطاهاي مختلف امپدانس بالا

محل خطا (km)	زاويه شروع خطا (deg)	ولتاژ مقاومت قوس		
		۱ (kV)	۲/۵ (kV)	۵ (kV)
۴	۹۰	Trip	Trip	Trip
۶	۰	Trip	Trip	Trip
۱۰	۱۸۰	Trip	Trip	Trip
۱۲	۱۲۰	Trip	Trip	Trip
۱۷	۶۵	Trip	Trip	Trip
۲۰	۴۵	Trip	Trip	Trip
۲۳	۳۰	Trip	Trip	Trip
۲۶	۱۰۰	Trip	Trip	Trip
۲۹	۳۵	Trip	Trip	Trip
۳۰	۲۵	Trip	Trip	Trip
۳۴	۳۵	Trip	Trip	Trip

ديده مي‌شود كه رله در تمامي حالات قادر به تشخيص صحيح خطا مي‌باشد. مثلاً براي خطاي امپدانس بالا در محل ۱۷ كيلومتري با زاويه شروع ۶۵ درجه، با مقاومت توأم با قوس با ولتاژهاي ۱، ۲/۵ و ۵ كيلوولت رله به خوبي خطا را تشخيص داده است. خطاهاي مختلف امپدانس بالای ديگر نيز در نواحي و با ولتاژهاي قوس مختلف توسط اين رله تشخيص داده شده و فرمان قطع آن ارسال شده است. علاوه بر خطاها عملكرد رله در برابر حالتهاي مختلف گذراي كليدزني خازنها و بارها و تغيير تپ ترانسفورماتور نيز آزمايش شده و در تمامي موارد رله عملكرد صحيح داشته است.

۷- نتيجه گيري

در اين مقاله نحوه طراحي و ساخت يك رله براي تشخيص خطاهاي امپدانس بالا بيان شده است. روش پيشنهادي داراي قابليت تشخيص بالاتري نسبت به روشهاي مرسوم در تشخيص اين نوع خطاها مي‌باشد. با استفاده از الگوريتم پيشنهادي علاوه بر اين كه ميتوان خطاهاي امپدانس بالا را به خوبي تشخيص داد فازي كه دچار خطا شده است نيز قابل تشخيص مي‌باشد. نتايج حاصل از آزمايش الگويتم پيشنهادي نشان مي‌دهد كه استفاده از تبديل موجك در تشخيص خطاهاي امپدانس بالا بسيار سودمنـد است. سخت‌افزار رله شامل يك ريـزپردازندة اصلي ۸۰۱۸۸ و يك ميكروكنترل كننده ۸۹c۵۱ است. مطالعات انجام شده نشان مي‌دهد كه اين رله قادر است در شرايط مختلف خطاهاي امپدانس بالا را تشخيص دهد.

مراجع

[1] H. Calhoun, M. T. Bishop, C. H. Eichler, T. E. Lee, “Development and Testing of and Electromechanical Relay to Detect Fallen Distribution Conductors”, IEEE Transactions on Power Apparatus and system, PAS-101, no. 6, June 1982, pp. 1643-1650.

[2] A.M. Sharaf, Guosheng Wang, “High impedance fault detection using feature-pattern based relaying”, Transmission and Distribution Conference and Exposition, 2003 IEEE PES, vol. 1, 7-12 Sep. 2003 pp. 222-226.

[3] Z.Q. Bo, X. Z. Dong, S. X. Shi, Z. Gan, B. R. J. Caunce, “Detection of High Impedance Fault Using Adaptive Non-Communication Protection Technique”, Power Engineering Society Summer Meeting, 2002 IEEE, vol. 1, 21-25 July 2002 pp. 376-381.

[4] Zeng Xiangjun, K. K. Li, W. L. Chan, “Wavelet analysis based protection for high impedance ground fault in supply systems”, Proceedings. International Conference on

Power System Technology, Power Con 2002, vol. 1, 13-17 Oct. 2002 pp. 275-279.

[5] R. Das, S. A. Kunsman, "A novel approach for ground fault detection", 2004 57th Annual Conference for Protective Relay Engineers, 30 Mar-1 Apr. 2004, pp. 97–109.

[6] Z. Gan, X. Z. Dong, Z. Q. Bo, B. R. J. Caunce, D. Montjean, "A New Protection Scheme for High Impedance Fault Using Adaptive Trip and Reclosure Technique", Proceedings. International Conference on Power System Technology, Power Con 2002, vol. 1, 13-17 Oct. 2002 pp. 295-299.

[7] C. H. Kim, R. K. Aggarwal, A. T. Johns, "Wavelet Transform in The Accurate Detection of High Impedance Arcing Faults in High Voltage Transmission Lines", Seventh International Conference on Developments in Power System Protection, (IEE), 9-12 April 2001 pp. 422–425.

[8] H. Khorashadi Zadeh, "A Novel Approach to Detection High Impedance Faults Using Artificial Neural Network", Proc. of the 39nd International Universities Power Engineering Conference, UPEC2004, Sep. 2004, pp. 373-377.

[9] B. M. Aucoin, "Detection of Distribution High Impedance Faults Using Burst Noise Signals Near 60 Hz", IEEE Transactions on Power Delivery, vol. PWRD-2, no. 2, April 1987, pp. 347-349.

[10] L. A. Snider, "High Impedance Fault Detection Using Third Harmonic Current", EPRI Report EI, 2430, Prepared by Hughes Aircraft Co., June 1982.

[11] L. Angrisani, P. Daponte, M. D. Apuzzo, A. Testa, "A New Wavelet Transform Based Procedure For Electrical Power Quality Analysis", Proceeding of ICHQP'96, Oct. 1996.

[12] A. Lazkano, J. Ruiz, E. Aramendi, L. A. Leturiondo, "A New Approach to High Impedance Fault Detection Using Wavelet Packet Analysis", Proceeding of ICHQP 2000, Oct. 2000, pp. 1005-1010.

[13] D. J. Jeerings, "Ground Resistance Revisited", IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 4, no. 2, April 1989, pp. 949-956.

[14] I. Daubechies, "The Wavelet transform, Time-Frequency Localization and Signal Analysis", IEEE Transactions on Information Theory 36, vol. 5, 1990.

[15] PSCAD/EMTDC User's Manual, Manitoba HVDC Research Center, Winnipeg, Manitoba, Canada.

[16] M.B. Djuric and V. V. Terzija, "A New Approach to the Arcing Faults Detection For Fast Autoreclosure In Transmission Systems", IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 10, no. 4, Oct. 1995, pp. 1793-1798.