



شبیه سازی خطاهای امپدانس بالا در شبکه توزیع انرژی الکتریکی

علیرضا صدیقی انارکی^{(۱)(۲)} حجت اله ذاکرزاده^(۳) محمد تقی صادقی^(۱) محمودرضا حقی فام^(۴)
(۱) دانشگاه یزد، دانشکده برق و کامپیوتر
(۲) دانشگاه یزد، دانشکده ریاضی
(۳) دانشگاه تربیت مدرس، بخش برق
(۴) haghifam@modares.ac.ir m.sadeghi@yazduni.ac.ir hzaker@yazduni.ac.ir sedighi@yazduni.ac.ir

واژه‌های کلیدی: آنالیز چند متغیره، آنالیز مؤلفه‌های اصلی (PCA)، بازه اطمینان بن فرونی، خطای امپدانس بالا.

چکیده

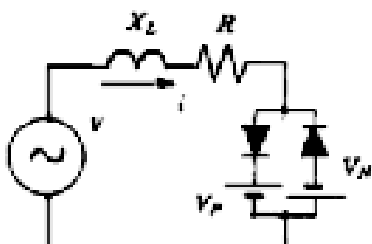
این مقاله به بیان چگونگی شبیه سازی خطاهای امپدانس بالا در یک شبکه توزیع انرژی الکتریکی می پردازد. در همین راستا از اطلاعات جریان و ولتاژ خطاهای امپدانس بالا که با انجام آزمایشهایی بر روی یک فیدر ۲۰kV بدست آمده اند، استفاده شده است. به منظور مقایسه شکل موجهای شبیه سازی شده و شکل موجهای واقعی جریان خطاهای امپدانس بالا از تبدیل فوریه سریع (FFT) استفاده گردیده است. به همین منظور ۸ سیکل ابتدایی جریان خطاهای امپدانس بالا که با فرکانس ۲۴/۶۷۰kHz نمونه برداری شده اند تا ۲۰۴۸ مؤلفه فرکانسی (شامل هارمونیکهای فرد، زوج و بین هارمونیک) تجزیه گردیدند. اندازه و زاویه هر مؤلفه به عنوان ویژگیهای اصلی مد نظر قرار گرفتند. به منظور کاهش ابعاد بردار ویژگیها از آنالیز مؤلفه های اصلی استفاده شده است. مقایسه شکل موجهای شبیه سازی شده و شکل موجهای واقعی با استفاده از روش تعیین نواحی اطمینان بن فرونی برای میانگین

ویژگیهای مؤلفه های اصلی صورت پذیرفته است. در نهایت ۳ مدل شبیه سازی شده برای خطاهای امپدانس بالا ارایه گردیده است.

مقدمه

خطاهای امپدانس بالا بیشتر در شبکه‌های توزیع فشار متوسط، بواسطه پایین بودن سطح ولتاژ آنها، رخ می‌دهند [۱]. پایین بودن سطح ولتاژ و زیاد بودن مقاومت زمین باعث کاهش دامنه جریان در این نوع خطاها می‌شوند. لذا حفاظتهای موجود در شبکه مثل رله‌های اضافه جریان قادر به شناسایی آنها نخواهند بود. خطاهای امپدانس بالا معمولاً با قطع هادی و برخورد آن به زمین و یا اتصال هادی به زمین بوجود می‌آیند. برقرار بودن هادی هنگام برخورد به زمین برای عابرین خطرناک است و نیز ممکن است موجب آتش‌سوزی گردد. لذا به منظور افزایش سطح ایمنی و همچنین افزایش قابلیت اطمینان شبکه لازم است اقداماتی جهت شناسایی

بیست و چهارمین کنفرانس بین المللی برق



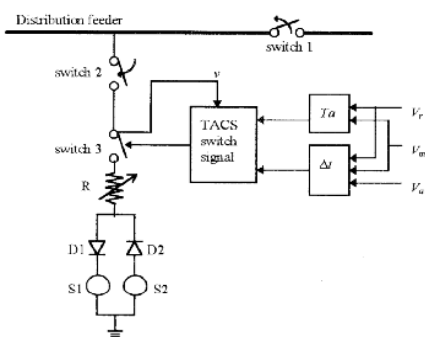
شکل (۱) مدل Emanuel برای خطای امپدانس بالا

استدلالاتها و آزمایشهای انجام شده که پشتوانه قوی این مدل است باعث توجه محققین به آن گردید به گونه ای که در سال ۱۹۹۳ دو مقاومت غیر خطی در شاخه های منابع جایگزین R و X مدل Emanuel شد تا به نوعی رفتار غیر خطی زمین هم در نظر گرفته شود، شکل (۲) [۱۰].



شکل (۲) مدل خطای امپدانس بالا ارائه شده در سال ۱۹۹۳

با توجه به تئوری جرقه های خطای امپدانس بالا یک مدل واقع بینانه آن در سال ۱۹۹۶ ارائه گردید [۱۱]. این مدل همانگونه که در شکل (۳) نشان داده شده است شامل امپدانس غیرخطی، منابع ولتاژ متغیر با زمان و کلیدهای کنترل کننده TACS (Transient Analysis of Control system) می باشد.



شکل (۳) مدل خطای امپدانس بالا با در نظر گرفتن ماهیت جرقه ها

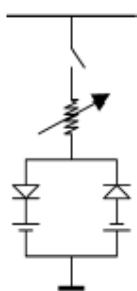
مطمئن این نوع خطاها صورت پذیرد. به همین منظور محققین زیادی اقدام به ارائه روشهایی برای شناسایی خطاهای امپدانس بالا نموده اند. بخشی از این روشها بر مبنای داده های بدست آمده از آزمایشهای واقعی [۷-۲] و بخش دیگر مبتنی بر مدل های ارایه شده می باشند [۱۶-۸]. در این راستا مدلهایی برای خطاهای امپدانس بالا ارایه شده اند که بر مبنای تعدادی از ویژگیهای مختلف و متنوع خطاهای امپدانس بالا می باشند که در بخش بعد به آنها پرداخته می شود و با توجه به آنها مدل جدیدی برای خطای امپدانس بالا ارایه می گردد. در بخش سوم مبنای علمی استفاده شده در بررسی و تحلیل نتایج شبیه سازی ارایه می شوند. در بخش چهارم نحوه دسترسی به اطلاعات خطاهای امپدانس بالا بیان می گردد. در بخش پنجم چگونگی شبیه سازی و مقایسه شکل موجهای شبیه سازی شده با شکل موجهای واقعی ارایه می شوند. نتایج هم در بخش ششم ارایه شده اند.

مروری بر مدلسازی خطاهای امپدانس بالا

ماهیت کاملاً تصادفی خطای امپدانس بالا، تأثیرپذیری جریان خطا از پارامترهای گوناگون و متغیر، نظیر مقاومت زمین، مکان وقوع خطا، ساختار فیدر، رطوبت هوا، سطح تماس هادی با زمین و... ارائه مدلی کامل را که دربرگیرنده همه پارامترها و شرایط باشد دشوار ساخته است. محققین متعددی مدلهایی را ارائه نموده اند که هرچند کامل نیستند ولی باتوجه به اینکه بر مبنای نتایج عملی می باشند حداقل هائی از ویژگیهای خطا را در برمی گیرند.

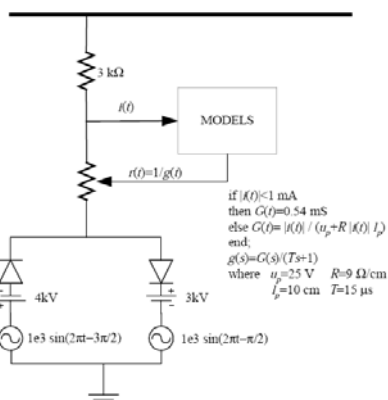
اولین مدل خطای امپدانس بالا در سال ۱۹۸۵ با اتصال یک مقاومت به شبکه در محل خطا ارائه شد [۸]. در سال ۱۹۹۰ با توجه به آزمایشهای انجام شده توسط Emanuel مدلی براساس ماهیت جرقه ها هنگام برخورد هادی با زمین ارائه شد [۹]. این مدل همان گونه که در شکل (۱) نشان داده شده است از دو منبع DC و دیود که به طور معکوس باهم موازی شده اند تشکیل شده است. مقاومت R و راکتانس X دامنه و جریان خطا را کنترل می کنند.

بیست و چهارمین کنفرانس بین المللی برق



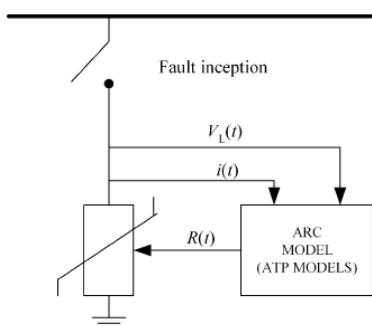
شکل (۶) مدل خطای امپدانس بالا با استفاده از مقاومت غیر خطی و منابع dc متغییر

در سال ۲۰۰۵ نیز مدل خطای امپدانس بالا مطابق شکل (۷) ارائه گردیده است که در آن مقاومت خطی $R(t)$ معادل مقاومت زمین بوده و $r(t)$ بیانگر حالت دینامیکی جرقه بوده و منابع DC غیر متقارن بودن جریان خطا را مدل می کنند و منابع AC تغییرات روشن و خاموش شدن جرقه ها را مدل می کنند [۱۵].



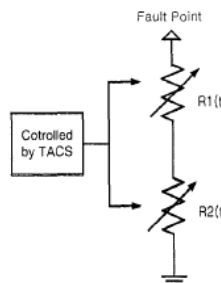
شکل (۷) مدل خطای امپدانس بالا ازایه شده در سال ۲۰۰۵

در سال ۲۰۰۶، مطابق شکل (۸)، یک مقاومت غیر خطی که با توجه به مدل‌های EMTP کنترل می شود به عنوان مدل جرقه ارائه گردیده است [۱۶].



شکل (۸) مدل خطای امپدانس بالا با استفاده مدل‌های EMTP

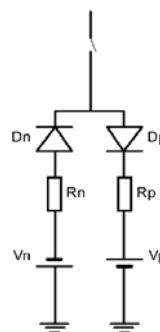
در سال ۲۰۰۱ مدل خطای امپدانس بالا با استفاده از دو مقاومت غیر خطی سری همانند شکل (۴) ارائه شد. یکی از مقاومتها ویژگیهای غیر خطی و نامتقارن بودن جریان خطا را مدل می کند و دیگری گذرای بوجود آمده در لحظه وقوع خطا را نشان می دهد [۱۲].



شکل (۴) مدل خطای امپدانس بالا با استفاده از دو مقاومت غیر خطی

در سال ۲۰۰۳ از مدل ارائه شده در شکل (۵) برای تولید جریان خطای امپدانس بالا استفاده شده است که در آن مقاومت‌های R_P و R_N و مقاومت‌های خطا را مدل می کنند و به منظور مدل کردن غیر متقارن بودن جریان، مقاومتها متفاوت در نظر گرفته شده اند [۱۳].

در سال ۲۰۰۴، مدل نشان داده شده در شکل (۶) ارائه گردید که شامل یک مقاومت غیر خطی، دو دیود و دو منبع DC است که دامنه آنها در هر نیم سیکل بطور تصادفی تغییر می کند. تغییرات متوسط و انحراف معیار دامنه ولتاژ منابع با توجه به نوع سطح زمین تعیین می شود [۱۴].



شکل (۵) مدل خطای امپدانس بالا ازایه شده در سال ۲۰۰۳

بیست و چهارمین کنفرانس بین المللی برق

و مثبت معین است می توان آن را با استفاده از ماتریس تبدیل A به صورت قطری (به نام C^*) با رابطه زیر نشان داد:

$$C^* = ACA^T = \text{diag}(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_k) \quad (2)$$

که در آن k تعداد ویژگیها در بردار ویژگی، λ_i ، i امین مقدار ویژه ماتریس C و A ماتریس تبدیل است که سطرهای آن شامل بردارهای ویژه متناظر با مقادیر ویژه روی قطر C^* می باشند. ماتریس A فضای بردارهای ویژه را که با هم دارای همبستگی می باشند به فضای جدیدی که در آن بردارهای ویژه دارای همبستگی نمی باشند تبدیل می کند. شایان ذکر است اگر داده ها دارای توزیع نرمال نباشند در فضای جدید، ویژگیها دارای همبستگی خواهند بود. اثبات شده است [۱۸]، که در روش PCA با انتخاب m سطر از k (سطر) ماتریس A ، متناظر با مقادیر ویژه بزرگتر، به عنوان ماتریس تبدیل می توان ضمن کاهش ابعاد بردارهای ویژگی، بیشترین اطلاعات را حفظ کرد. رابطه زیر بیانگر در صد میانگین مربعات خطای (MSE) محاسبات ناشی از حذف i امین بردار ویژه می باشد [۱۹].

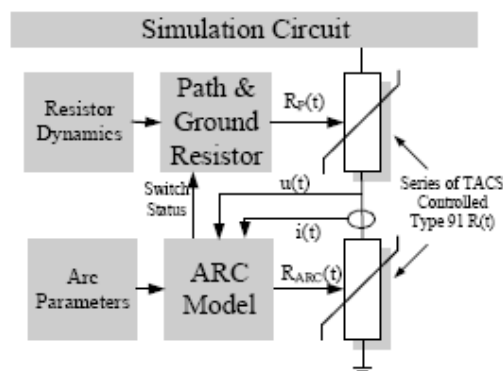
$$MSE = \frac{\lambda_i}{\sum_{j=1}^N \lambda_j} \quad (3)$$

با توجه به رابطه اخیر می توان میزان کاهش ابعاد بردارهای ویژگی را متناسب با خطای مورد قبول انتخاب نمود.

بازه های اطمینان بن فرونی

هنگامی که لازم است برای تعداد زیادی متغیر تصادفی به طور همزمان برآوردهای فاصله ای (فاصله های اطمینان) بدست آورد، چنانچه برای هر متغیر، بازه ها به طور جداگانه تعیین شوند، احتمال درست بودن بازه ها به طور همزمان، برابر خواهد بود با حاصلضرب احتمال درستی هر بازه که حتی اگر این احتمال نزدیک ۱ هم باشد، احتمال صحت همزمان بازه ها کوچک خواهد شد. در این صورت برای کنترل ضریب اطمینان همزمان $(1-\alpha)$ ، از روشهای متفاوتی می توان استفاده نمود. یکی از این روشها، روش بن فرونی می باشد. اگر بخواهیم برای k متغیر تصادفی (در این مقاله متغیرهای

در سال ۲۰۰۸ مدل خطای امپدانس بالا با استفاده از دو مقاومت غیر خطی سری که با استفاده از مدل های $EMTP$ کنترل می شوند مطابق شکل (۹) ارائه شده است. یکی از مقاومتها، مقاومت زمین و مسیر خطا را مدل می کند و دیگری جرقه ها را مدل می نماید [۱۷].



شکل (۹) مدل خطای امپدانس بالا با استفاده از مدل های $EMTP$

مبانی علمی مورد استفاده

آنالیز مؤلفه های اصلی

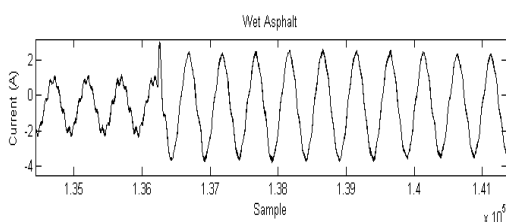
آنالیز مؤلفه های اصلی (PCA) که به نام تبدیل $K-L$ نیز نامیده می شود، یکی از روشهای کاهش ابعاد بردارهای ویژگی است که در بیشتر کارهای عملی کاربرد دارد. هدف از کاهش ابعاد بردارهای ویژگی، کاهش ابعاد بردار ویژگیها تا حدی است که کمترین اطلاعات، از بین برود. روش PCA تبدیل خطی ای ارائه می دهد که ماتریس کوواریانس بردارهای ویژگی را که بین ویژگیهای آن همبستگی وجود دارد، به ماتریسی که بین ویژگیهای آن همبستگی وجود ندارد تبدیل می کند. به عبارت دیگر ماتریس کوواریانس را به یک ماتریس قطری تبدیل می کند. در این روش فرض بر این است که توزیع داده ها بصورت توزیع نرمال است. در این صورت ماتریس کوواریانس C برابر خواهد شد با:

$$C = \frac{1}{N} \sum_j X_j X_j^T - mm^T \quad (1)$$

که در آن N تعداد بردارهای ویژگی، X بردار ویژگی و m میانگین بردارهای ویژگی می باشند. از آنجا که C متقارن

بیست و چهارمین کنفرانس بین المللی برق

خطا در این مقاله استفاده شده است. نمونه ای از شکل موج جریان خطا در شکل (۱۱) نشان داده شده است.



شکل (۱۱) بخشی از شکل موج جریان ثبت شده بر روی آسفالت

مرطوب

شبیه سازی خطاهای امپدانس بالا

قبل از بیان چگونگی شبیه سازی خطاهای امپدانس بالا به اختصار به بیان ویژگیهای خطای امپدانس بالا و مواردی که در این مقاله به آن پرداخته شده است می پردازیم.

امپدانس غیر خطی مسیر خطا عامل مهم و تأثیرگذار در شکل موج جریان خطا می باشد. جریان خطای امپدانس بالا در ابتدای وقوع جرقه ۶۰ درصد مقدار نهایی است و بتدریج طی ۳ الی ۴ سیکل به مقدار نهایی می رسد. این خصوصیت بین تمام خطاهای امپدانس بالا مشترک می باشد [۲۱]. علت این امر می تواند کوچک بودن سطح تماس هادی و خاک در ابتدای برخورد هادی به زمین باشد که باعث ایجاد جرقه های کوچک می گردد و پس از گذشت ۳ الی ۴ سیکل با گسترش قوسها، سطح تماس به ۲/۵ برابر مقدار اولیه می رسد و باعث افزایش جریان خطا می گردد.

دومین عاملی که موجب غیر خطی شدن جریان خطا می گردد تشکیل لوله های کربید سیلیکون می باشد که به علت حرارت ناشی از عبور جریان خطا تولید می شوند و مشخصه ای غیر خطی دارند. البته این پدیده در ابتدای برخورد هادی به زمین رخ نمی دهد و چند سیکل ابتدایی جریان خطا از این عامل تأثیر پذیر نمی باشند.

سومین عامل مؤثر در غیر خطی بودن جریان خطا مقاومت خود زمین است که به جنس زمین و میزان رطوبت آن بستگی دارد. علاوه بر موارد فوق در جریان خطا جهش هایی نیز مشاهده می شود که علت آن مسیرهای هدایت جدیدی است که در خاک ایجاد می گردد [۲۲].

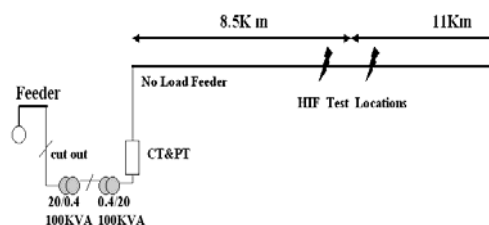
تصادفی میانگین ویژگیها می باشند). بازه های اطمینان همزمان بدست آوریم که به طور همزمان تمام آنها با اطمینان $(1-\alpha) \times 100\%$ درصد درست باشند باید برای هر کدام از آنها خطایی برابر $\alpha/2k$ در نظر گرفت و از مقادیر نقاط درصدی توزیع $t(t_{\alpha/2k})$ ، به همان شکلی که برای یک بازه اطمینان عمل می شود استفاده نمود. در این صورت بازه های اطمینان از رابطه زیر بدست می آیند [۲۰].

$$\mu_i \in (y_i \pm t_{\alpha/2k} \times \frac{\sigma_i}{\sqrt{n}}) \quad i = 1, 2, \dots, k \quad (4)$$

که در آن n تعداد متغیرهای تصادفی است، k تعداد نمونه ها σ_i واریانس i امین مؤلفه نمونه ها و y_i میانگین i امین مؤلفه نمونه ها می باشند و $t_{\alpha/2k}$ از جداول مربوطه بدست می آید.

نحوه دسترسی به اطلاعات خطای امپدانس بالا

به منظور دسترسی به جریانهای واقعی خطاهای امپدانس بالا با تغذیه یک فیدر بدون بار $20 kV$ از طریق دو ترانس $100 kVA$ ، $20/0.4 kV$ ، که به صورت پشت به پشت به هم متصل شده اند و از یک فیدر برقدار $20 kV$ دیگر تغذیه می گردند مطابق شکل (۱۰) مجموعه ای جهت انجام خطاهای امپدانس بالا فراهم گردید.

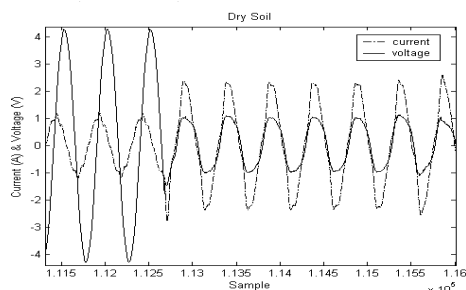


شکل (۱۰) شماتیک اتصالات

۴۱ آزمایش بر روی زمینهای شنی، سیمانی و آسفالت در دو حالت خشک و مرطوب و درخت خشک انجام شد. شکل موجهای جریان خطا در ابتدای فیدر با فرکانس نمونه برداری $24/670 kHz$ ثبت گردیدند. جزئیات بیشتر در مراجع [۵-۲] ارایه گردیده اند. شایان ذکر است با توجه به بدون بار بودن فیدر مورد آزمایش جریانهای ثبت شده، همان جریانهای خطاهای امپدانس بالا می باشند که از آنها برای شبیه سازی

بیست و چهارمین کنفرانس بین المللی برق

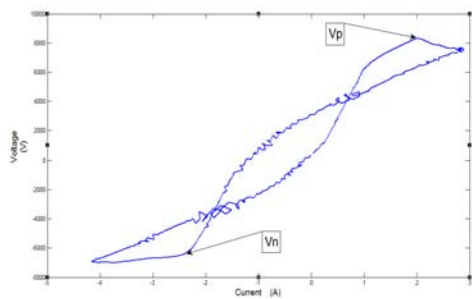
در طرح فوق مقادیر مقاومت شاخه ها و منابع با توجه به اطلاعات آزمایشهای واقعی بدست آمده اند. با رسم شکل موج های ولتاژ و جریان خطا هنگام آزمایش بر روی زمینهای مختلف شکلهایی مشابه شکل (۱۴) بدست می آیند که بیانگر ویژگی مقاومتی بودن خطا می باشند و با توجه به آنها میزان مقاومت خطا بدست خواهد آمد.



شکل (۱۴) شکل موج های ولتاژ و جریان خطا هنگام آزمایش بر روی خاک خشک

همچنین با توجه به با رسم منحنی های $v-i$ برای جریان و ولتاژ خطا های واقعی، منحنی هایی به صورت شکل (۱۵) بدست می آیند که با استفاده از آنها می توان مقادیر dc منابع را محاسبه نمود.

و نیز با در نظر گرفتن افزایش جریان خطا از ۶۰ درصد مقدار نهایی تا مقدار نهایی طی ۵۰ الی ۶۰ ثانیه اقدام به تنظیم زمانهای کلیدزنی و مقادیر مربوط به مقاومتها و منابع گردید. به منظور کنترل میزان شباهت شکل موج شبیه سازی شده با شکل موجهای واقعی به صورت زیر عمل شده است.



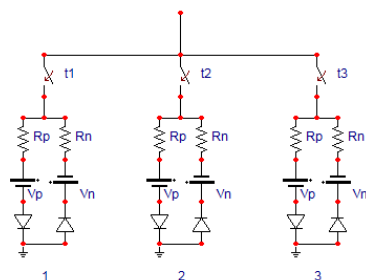
شکل (۱۵) منحنی $v-i$ برای جریان و ولتاژ HIF

مدلهای ارایه شده در این مقاله حدود ۸ سیکل ابتدایی جریان خطا را شبیه سازی می کنند. لذا به طور خاص ویژگی اول و سوم از موارد فوق را مد نظر قرار می دهند. علاوه بر آن با توجه به در اختیار داشتن ۴۱ نمونه از شکل موجهای جریان خطا بر روی ۷ سطح متفاوت، مدل های ارایه شده کلیه مؤلفه های فرکانسی نمونه های موجود را نیز پوشش می دهند.

آن دسته از مدل های ارایه شده قبلی که بر پایه مدل Emanuel شکل (۱)، می باشند؛ عمدتاً بر روی تغییرات پارامترهای مدل نظیر مقاومتها و منابع dc و زمانهای کلیدزنی متمرکز شده اند و تلاش در تولید شکل موج جریان خطا در هر سیکل داشته اند. بادقت در لحظه برخورد هادی به زمین، شکل (۱۲)، مشاهده می شود که در یک لحظه چند جرقه با شدتهای متفاوت بوجود آمده اند.

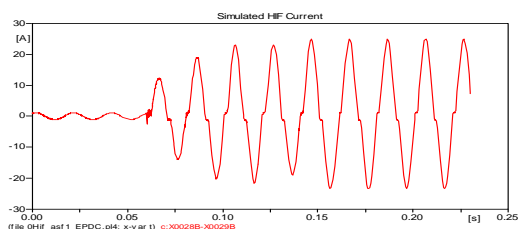


شکل (۱۲) جرقه های ایجاد شده به هنگام آزمایش بر روی سیمان خشک همین امر مبنای مدل ارایه شده در این مقاله قرار گرفته است. بدین صورت که به جای استفاده از یک مدل مشابه شکل (۱) و تغییر پارامترهای آن برای ایجاد جریانی مشابه جریان خطا، از چند مدل که هر یک بیانگر یک جرقه می باشند؛ در کنار یکدیگر استفاده شده است. شکل (۱۳) شمایی از این طرح را با در نظر گرفتن مدل ۳ جرقه نشان می دهد.

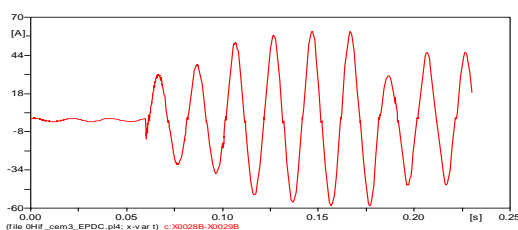


شکل (۱۳) مدل خطای امپدانس بالا با ۳ جرقه

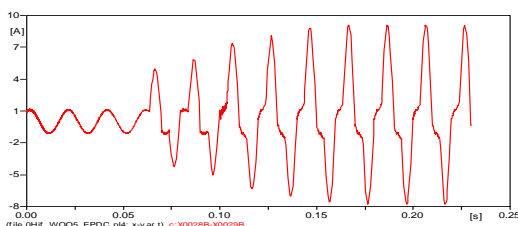
بیست و چهارمین کنفرانس بین المللی برق



الف) حالت ۱

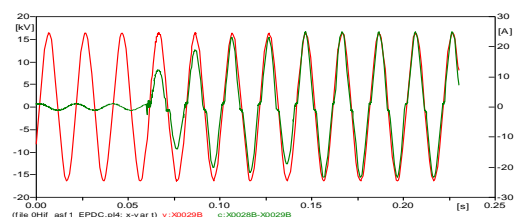


ب) حالت ۲



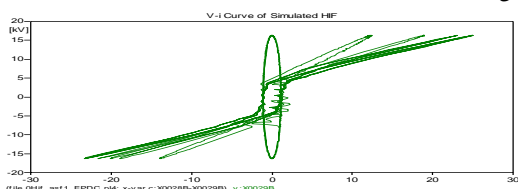
ج) حالت ۳

شکل (۱۶) شکل موجهای شبیه سازی شده خطای امپدانس بالا



شکل (۱۷) شکل موجهای ولتاژ و جریان شبیه سازی شده خطای امپدانس بالا

همچنین منحنی $v-i$ برای جریان و ولتاژ خطای حالت ۱ در شکل (۱۸) آمده است.



شکل (۱۸) منحنی $v-i$ خطای امپدانس بالای شبیه سازی شده حالت ۱

پارامترهای هر مدل جرقه به طور مجزا برای هر حالت در جدول (۱) آمده است.

ابتدا برای داده های واقعی که با فرکانس $24/670 kHz$ نمونه برداری شده اند، ۸ سیکل ابتدایی خطا در نظر گرفته شد و مؤلفه های هارمونیک آن توسط تبدیل فوریه سریع (FFT) برای 2048 مؤلفه استخراج گردید و نسبت کلیه مؤلفه ها به مؤلفه اصلی محاسبه شدند. با در نظر گرفتن زاویه مؤلفه ها تعداد ویژگیهای هر جریان 4096 عدد می شوند. با استفاده از روش آنالیز مؤلفه های اصلی (PCA) تعداد مؤلفه ها به 38 مؤلفه کاهش یافت. با انجام این عمل $98/3$ درصد انرژی سیگنالها حفظ گردید. سپس با استفاده از نواحی اطمینان بن فرونی با در نظر گرفتن $\alpha=0/001$ برای میانگین هر 38 ویژگی اصلی بازه های اطمینان تعیین شد.

به منظور کنترل میزان شباهت شکل موج شبیه سازی شده با داده های واقعی، ۸ سیکل ابتدایی سیگنال شبیه سازی شده با فرکانس $24/670 kHz$ تجزیه شده و مؤلفه های هارمونیک آن استخراج می شوند. پس از نرمالیزه کردن اندازه هارمونیکها، با استفاده از تبدیل PCA تعداد ویژگیها به 38 مؤلفه کاهش می یابد. چنانچه تمامی مؤلفه های بدست آمده در بازه های اطمینان بدست آمده از داده های واقعی قرار گرفتند؛ شکل موج شبیه سازی شده به عنوان شکل موجی شبیه داده های واقعی در نظر گرفته می شود، در غیر این صورت با تغییر پارامترهای مدل اقدام به شبیه سازی مجدد می گردد.

نتایج

با توجه به توضیحات بخش قبل اقدام به شبیه سازی خطای امپدانس بالا برای حالت ۳ گردید. برای هر حالت مدل ۶ جرقه در کنار هم قرار گرفت و با تنظیم پارامترهای Rp ، t ، RN ، Vp و Vn برای هر مدل اقدام به تولید شکل موجهای خطای امپدانس بالا گردید. شایان ذکر است مدل دو جرقه برای شبیه سازی خاموش شدن و ایجاد جرقه جدید، مورد استفاده قرار گرفته اند. شکل موجهای بدست آمده در شکل (۱۶) نشان داده شده اند.

شکل موج ولتاژ و جریان خطای شبیه سازی شده برای حالت ۱ در شکل (۱۷) نشان داده شده است.

بیست و چهارمین کنفرانس بین المللی برق

مراجع

- [1] M. Aucoin, B.D. Russell, C.L. Benner, "High impedance fault detection for industrial power systems" *Industry Applications Society Annual Meeting, 1989., Conference Record of the 1989 IEEE*, vol.2, 1989, pp.1788 –1792.
- [2] A.-R. Sedighi, M.-R. Haghifam, O.P. Malik, M.-H. Ghassemian, "High Impedance Fault Detection Based on Wavelet Transform and Statistical Pattern Recognition" *IEEE Transactions on Power Delivery*, Volume 20, Issue 4, Oct. 2005 Page(s):2414 – 2421.
- [3] A.-R. Sedighi, M.-R. Haghifam, O.P. Malik, "Soft Computing Applications in High Impedance Fault Detection in Distribution Systems" *Electric Power Systems Research*, Volume 76, Issues 1-3, September 2005, Pages 136-144.
- [4] M.-R. Haghifam, A.-R. Sedighi, O.P. Malik, "Development of a Fuzzy Inference System Based on Genetic Algorithm for High Impedance Fault Detection" *Generation, Transmission and Distribution, IEE Proceedings-Vol. 153, Issue 3, May 2006* Page(s):359 – 367.
- [5] صدیقی انارکی، علیرضا. حقی فام، محمود رضا. "شناسایی خطاهای امپدانس بالا با استفاده از تبدیل موجک و طبقه بندی کننده بیز" بیستمین کنفرانس بین المللی برق، ۲۳-۲۵ آبان ۱۳۸۴، تهران. ایران.
- [6] Shyh-Jier Huang; Cheng-Tao Hsieh "High-impedance fault detection utilizing a Morlet wavelet transform approach" *Power Delivery, IEEE Transactions on*, Vol. 14, Issue: 4, Oct. 1999, Page(s): 1401 –1410.
- [7] A. Lazkano, J. Ruiz, E. Aramendi, L.A. Leturiondo, "A new approach to high impedance fault detection using wavelet packet analysis" *Harmonics and Quality of Power, 2000. Proceedings. Ninth International Conference on*, Vol.3, 2000, Page(s): 1005 –1010.
- [8] M. Aucoin, "Status of high impedance fault detection" *IEEE T-PAS-104*, No.3, 1985, Page(s): 638-643.
- [9] A.E. Emanuel, D. Cyganski, J.A. Orr, S. Shiller, E.M. Gulachenski, "High impedance fault arcing on sandy soil in 15 kV distribution feeders: contributions to the evaluation of the low frequency spectrum" *Power Delivery, IEEE Transactions on*, Vol.5, Issue: 2, April 1990, Page(s): 676 –686.
- [10] A.M. Sharaf, L.A. Snider, K. Debnath, "A neural network based back error propagation relay algorithm for distribution system high impedance fault detection" *Advances in Power System*

جدول (۱) پارامترهای مدل‌های جرعه‌های هر حالت

پارامترها	t(ON/OFF)	Rp	Rn	Vp	Vn	
۱	جرعه ۱	۰/۰۶	۱۰۰۰	۱۰۵۰	۴۰۰۰	۴۵۰۰
	جرعه ۲	۰/۰۷	۲۹۰۰	۳۰۰۰	۸۰۰۰	۸۱۰۰
	جرعه ۳	۰/۱۱				
	جرعه ۴	۰/۰۹	۳۵۰۰	۳۵۵۰	۷۵۰۰	۷۶۰۰
	جرعه ۵	۰/۱	۳۷۰۰	۳۷۵۰	۱۰۰۰۰	۱۰۵۰۰
	جرعه ۶	۰/۰۸	۴۰۰۰	۴۰۱۰	۱۰۰۰	۱۳۰۰
۲	جرعه ۱	۰/۱۳	۲۸۰۰	۲۸۵۰	۳۰۰۰	۳۵۰۰
	جرعه ۲	۰/۰۶	۵۰۰	۵۰۵	۹۰۰	۱۰۰۰
	جرعه ۳	۰/۱۸				
	جرعه ۴	۰/۰۸	۲۰۰۰	۲۰۵۰	۲۵۰۰	۲۷۰۰
	جرعه ۵	۰/۱۲	۲۵۰۰	۲۵۵۰	۳۰۰۰	۳۲۰۰
	جرعه ۶	۰/۱۴	۱۸۰۰	۱۹۰۰	۱۱۰۰۰	۱۱۵۰۰
۳	جرعه ۱	۰/۱	۱۰۰۰	۱۰۵۰	۱۰۰۰	۱۱۰۰
	جرعه ۲	۰/۱۹	۹۰۰	۹۰۵	۱۸۰۰	۱۹۰۰
	جرعه ۳	۰/۰۶	۱۵۰۰	۱۵۰۵	۹۰۰۰	۱۰۰۰۰
	جرعه ۴	۰/۰۸	۹۰۰۰	۹۶۰۰	۸۰۰۰	۹۰۰۰
	جرعه ۵	۰/۱۲	۶۵۰۰	۷۰۰۰	۱۱۰۰۰	۱۱۰۵۰
	جرعه ۶	۰/۱۴	۵۸۰۰	۶۵۰۰	۱۲۰۰۰	۱۲۵۰۰
۴	جرعه ۱	۰/۱۶				
	جرعه ۲	۰/۱	۱۰۰۰۰	۱۱۱۰۰۰	۲۰۰۰	۲۰۵۰
جرعه ۳	۰/۱۶	۵۳۰۰	۶۲۰۰	۱۱۰۰۰	۱۱۵۰۰	

نتیجه گیری

در این مقاله روش جدیدی برای شبیه سازی خطاهای امپدانس بالا ارائه شده است. روش ارائه شده مبتنی بر مدلی است که Emanuel برای جرعه های تولیدی در هنگام وقوع خطای امپدانس بالا ارائه نموده است. در این روش مدل چند جرعه در کنار هم قرار گرفته تا ویژگیهای جریان خطاهای امپدانس بالا را بهتر مدل نمایند. برای استخراج ویژگیهای مناسب از تبدیل سریع فوری و برای کاهش ویژگیها از تبدیل PCA استفاده شده است. به منظور کنترل شباهت جریانهای تولیدی و جریانهای واقعی از آنالیز چند متغیره و تعیین بازه های اطمینان برای میانگین ویژگیهای اصلی بروش بن فرونی استفاده گردیده است. شبیه سازیهای انجام شده با استفاده از برنامه EMTP صورت پذیرفته است. به کمک این روش می توان مدل‌های متعددی از خطاهای امپدانس بالا را بدست آورد که تعدادی از آنها در این مقاله ارائه شده است.

بیست و چهارمین کنفرانس بین المللی برق

- Control, Operation and Management*, 1993. APSCOM-93., 2nd International Conference on , 1993, Page(s): 613 –620.
- [11] David Chan Tat Wai; Xia Yibin “A novel technique for high impedance fault identification” *Power Delivery, IEEE Transactions on*, Vol.13 Issue: 3, July 1998, Page(s): 738 –744.
- [12] S.R. Nam, J.K. Park, Y.C. Kang, T.H. Kim, “A modeling method of a high impedance fault in a distribution system using two series time-varying resistances in EMTP” *Power Engineering Society Summer Meeting, 2001. IEEE*, Vol.2, 15-19 July 2001, Page(s): 1175 – 1180.
- [13] T.M. Lai, L.A. Snider, E. Lo. “Wavelet Transform Based Relay Algorithm for the Detection of Stochastic High Impedance Faults” *International Conference on Power System Transient*, in New Orland, IPTS 2003, Page(s): 1-6.
- [14] Y. Sheng, S.M. Rovnyak, “Decision Tree-Based Methodology for High Impedance Fault Detection” *Power Delivery, IEEE Transactions on*, Vol.19, Issue: 2, April 2004, Pages:533 – 536.
- [15] M. MICHALIK, W. REBIZANT, M. LUKOWICZ, S.-J. LEE, KANG: "Wavelet Transform Approach to High Impedance Fault Detection in MV Networks", *Proceedings of the 2005 IEEE PowerTech Conference*, St. Petersburg, Russia, 27-30 June 2005, CD-ROM, paper 73.
- [16] Marek Michalik; et al, “ High-Impedance Fault Detection in Distribution Networks With Use of Wavelet-Based algorithm” *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 21, No. 4, Oct. 2006, pp. 1793-1802.
- [17] T. Cui and Xinzhou Dong and Zhiqian Bo and S. Richards, “ Integrated scheme for high impedance fault detection in MV distribution system” [Transmission and Distribution Conference and Exposition: Latin America, 2008 IEEE/PES](#), 13-15 Page(s):1 – 6, 2008.
- [18] J.T. Tou, R.C. Gonzalez, “ *Pattern Recognition Principles* “ 4th Edition, Massachusetts, Addison-Wesley Publishing Company, 1981.
- [19] M. Nadler, E.P. Smith, “ *Pattern Recognition Engineering*”, JOHN WILEY & SONS, INC., 1992.
- [۲۰] فرشادفر، عزت ...، " اصول و روشهای آماری چند متغیره"، کرمانشاه، انتشارات طاق بستان، ۱۳۸۴.
- [21] D. I. Jeerings, J. R. Linders, "Ground Resistance-- Revisited," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. PWRD-4, No. 2, Apr. 1989, pp. 949-956.
- [22] B.D. Russell, K. Metu, R.P. Chinchali, “An arcing fault detection technique using low frequency current components performance evaluation using recorded field data” *Power Delivery, IEEE Transactions on*, Vol.3, No.4, 1998, Page(s): 1493 –1499.