

افزایش قابلیت ترانسفورماتور آزمایشگاهی فشارقوی در آزمون آلودگی مفره توسط خازن و راکتورهای جبرانگر

حسین محسنی مجید صنایع پسند علی نادریان سعید فراست
آزمایشگاه فشارقوی - دانشکده فنی دانشگاه تهران

کلمات کلیدی: مفره، آلودگی، ترانسفورماتور آزمایشگاهی، آزمون

چکیده:

آزمون آلودگی مفره های فشارقوی ازدیرباز به دلیل اهمیت آلودگی در شکست الکتریکی و کاهش قابلیت اطمینان سیستمهای قدرت مورد توجه بوده است. استاندارد بین المللی تدوین شده برای آزمون آلودگی مفره ها برای جریان تزریقی به مفره در زمان شکست الکتریکی حداقلی را تعیین کرده است که برای اکثر آزمایشگاههای فشارقوی تامین آن مقدور نمی باشد. در این مقاله با مروری بر پارامترهای مهم و موثر در این آزمون روشی جهت بهبود وضعیت آزمون بدون نیاز به منبع خیلی قوی ارائه شده است. در این حالت جریان خازن خروجی مدار به عنوان یک منبع مصنوعی تزریق جریان در لحظه اتصال کوتاه که با جریان منبع ورودی جمع می شود، میتواند سطح جریان اتصال کوتاه لازم را ایجاد کند و شرایط آزمون را بهبود داده و به سمت حداقلهای استاندارد سوق دهد. جهت کنترل اضافه ولتاژهای ماندگار و گذرا باید از راکتورهای جبرانگر استفاده کرد. شبیه سازیها که برای ترانسفورماتورهای فشار قوی کاسکاد ۳ پله با ولتاژ ۳۰۰

کیلوولت و جریان نامی خروجی ۲ آمپر منطبق با ترانسفورماتورهای آزمایشگاه فشارقوی دانشگاه تهران انجام شده، نتایج را تایید می کند.

۱- مقدمه:

بدلیل نقش کلیدی مفره های فشار قوی در شبکه، آزمونهای مربوط به آنها جهت اطمینان از کیفیت و کارایی لازم همواره مورد توجه بوده است. تجربه نشان داده است که عدم توجه به این امر مهم خسارتهای زیادی را در پی داشته است. آزمون آلودگی مفره نیز یکی از آزمونهای مهم است که خصوصا از دهه ۶۰ میلادی به آن توجه مضاعف شده است [۱-۵]. در همین رابطه توسط موسسه بین المللی IEC استاندارد آزمون آلودگی مفره های فشارقوی تدوین شده و مورد استفاده قرار می گیرد [۱]. قبل و بعد از تدوین این استاندارد تحقیقات ارزشمندی روی وضعیت آزمون آلودگی مفره ها صورت گرفته است. وقوع اضافه ولتاژها در هنگام تست با ترانسفورماتورهای آزمایشگاهی توسط Train

مقره های با آلودگی سبک برابر ۶ آمپر است. برای مقره های مناطقی مانند خوزستان و هرمزگان که فاصله خزشی مخصوص مقره عمدتاً بالای ۳۰ mm/kV است، استاندارد حداقل را مشخص نکرده است و به نظر میرسد که جریان بصورت خطی افزایش یابد. اما آنچه مسلم است این است که ترانسفورماتور فشارقوی باید حداقل ۱۶ آمپر که حد بالای رابطه ۱ است را تامین کند. این محدودیت استاندارد بدلیل آن است که در صورت عدم تامین جریان خزشی کافی در زمان آزمون آلودگی مقره، در صورتیکه هنگام تست قوس رخ دهد در زمانیکه ولتاژ به صفر نزدیک میشود متعاقباً جریان هم کاهش می یابد و قوس خاموش خواهد شد. در این حالت ممکن است دیگر قوس روشن نشود. چنین شرایطی بدلیل عدم تطابق با شرایط واقعی بهره برداری مقره ها از نظر استاندارد قابل قبول نیست. به عبارت دیگر قوسهای منقطع در نوارهای خشک مقره در صورتیکه منبع از نظر جریان دهی ضعیف باشد، معمولاً نمی توانند تشکیل یک قوس کامل را دهند، مگر اینکه سطح ولتاژ بالاتر رود. بنابراین در صورتیکه یک مقره آلوده با منبع ولتاژ ضعیفتری (از نظر امکان تامین جریان اتصال کوتاه) تست شود ولتاژ شکست الکتریکی آن بالاتر از یک منبع قوی خواهد شد و این موضوع در زمان تست، نتایج گمراه کننده ای را در پی خواهد داشت.

طبیعتاً هر چه طول خزشی مقره بیشتر باشد، به دلیل اینکه مقاومت مسیر ناحیه خشک و ناحیه آلوده بیشتر میشود، شکست الکتریکی نیاز به جریان بیشتری خواهد داشت. تاثیر قدرت جریان دهی ترانسفورماتور در آزمون آلودگی مقره در مقالات متعددی بررسی شده است که موید تاثیر این پارامتر در ولتاژ شکست مقره ها بوده است [۳-۵].

۲-۲-۲- امپدانس مدار تغذیه

در استاندارد IEC تاکید شده است که نسبت مقاومت به راکتانس (R/X) مدار تغذیه باید بیشتر از ۰/۱ باشد. دلیل این محدودیت این است که در صورت عدم وجود مقاومت در مدار تغذیه بدلیل خاصیت سلفی، ولتاژ و جریان ۹۰ درجه اختلاف فاز دارند. محتمل ترین زمان شکست الکتریکی

توضیح داده شده است [۲]. تاثیر پارامترهای منبع و مدار آزمایش در آزمون مقره های آلوده در یک تحقیق ارزشمند که توسط Rizk صورت گرفته است به تفصیل مورد بحث قرار گرفته است [۳] و در قسمت بحث این مقاله نیز پرسشهایی از طرف صاحب نظران برجسته این موضوع (آقای Parnell از استرالیا، آقای Fezer از دانشگاه اشتوتگارت، و آقای Khalifa از دانشگاه قاهره) مطرح شده است. یکی از ایراداتی که در این بحث وارد شده است قضاوت راجع به خازن اندازه گیری در آزمون آلودگی مقره است. پس از بکارگیری مقره های پلیمری نیز تحقیق دیگری توسط شرکت NGK و یک دانشگاه در ژاپن صورت گرفته است که نشان داده است برای تست این مقره ها نیازی به منبع خیلی قوی نمی باشد در حالیکه برای مقره های سرامیک ولتاژ شکست مقره بامنع ضعیف، بالاتر است [۵]. در این مقاله با بررسی مشخصات آزمایش آزمون آلودگی مقره، روش جدیدی برای بهبود این آزمون ارائه می شود.

۲- محدودیتهای استاندارد

از نظر استاندارد، تجهیزات آزمایشگاه فشارقوی که به منظور آزمون آلودگی مقره طراحی و ساخته میشود باید دارای شرایطی باشد که با تستهای متناوب دیگر مانند تست ایستادگی فرکانس قدرت و تست خیس متفاوت است. این شرایط در ادامه توضیح داده میشود.

۲-۱- حداقل جریان اتصال کوتاه

حداقل جریان اتصال کوتاه ترانسفورماتور سمت فشارقوی جهت تست که توسط IEC507 تعیین شده است عبارتست از [۱]:

$$I_{sc \min} = \begin{cases} 6 & L_s \leq 16 \\ L_s - 10 & 16 \leq L_s \leq 25 \end{cases} \quad (1)$$

$I_{sc \min}$ مینیمم جریان اتصال کوتاه لازم برای تست آلودگی مقره بر حسب آمپرو L_s فاصله خزشی مخصوص مقره بر حسب mm/kV است. بنابراین حداقل جریان ترانسفورماتور آزمایشگاهی در سمت فشارقوی (برای آزمون

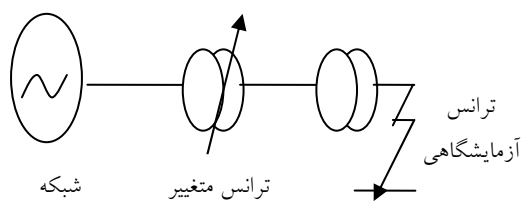
تفصیل بیشتر پیرامون این پارامترها و نحوه تاثیرشان در این آزمون پرداخته شود. پارامترهای موثر در مقدار و شکل موج جریان هنگام آزمون عبارتند از:

- امپدانس مدار تغذیه ورودی
- امپدانس اتصال کوتاه ترانسفورماتور، قدرت ترانسفورماتور
- میزان خازن اندازه گیری و خازن test object
- ولتاژ تست
- وجود و میزان راکتورها
- مدت اتصال کوتاه

البته برای آزمون مقرر آلوده پارامترهای محیطی (درصد رطوبت، میزان آلودگی و پارامترهای شیمیایی برای مقرر های پلیمری) نیز نقش اساسی در تعیین سطح ولتاژ شکست دارند که خارج از بحث این مقاله است.

۳-۱ منبع ورودی

تاثیر منبع تغذیه ترانسفورماتور در میزان جریان دهی مشخص است. هر چه قدر امپدانس اتصال کوتاه آن کمتر باشد، طبیعتاً جریان اتصال کوتاه بیشتر خواهد شد. دیاگرام ساده یک مجموعه آزمایشگاهی جهت آزمونهای ولتاژی در شکل ۱ ملاحظه میشود. به عنوان مثال اگر ولتاژ ۳۰۰ کیلوولت جهت آزمون مد نظر باشد و جریان نامی خروجی ترانسفورماتور آزمایشگاهی ۱ آمپر باشد، برای رسیدن به جریان اتصال کوتاه ۱۶ آمپر حداکثر امپدانس مجموعه آزمایش نباید بیشتر از ۶/۲۵٪ شود. در عمل رسیدن به چنین امپدانس بسیار مشکل است، چون حتی اگر یک ژنراتور هم در دسترس باشد باز هم دارای یک امپدانس است که با امپدانس ترانسفورماتور فشارقوی سری می شود و معمولاً مقداری بیش از ۱۰ درصد خواهد شد.



شکل ۱- دیاگرام ساده تک خطی منبع ولتاژ آزمون ولتاژ فشارقوی

زمانی است که ولتاژ ماکزیمم است. در همین لحظه جریان مدار صفر است. بنابراین در زمان شکست ولتاژ و جریان همزمان صفر میشوند. در این صورت قوس خاموش خواهد شد و آزمون نتوانسته است شرایط واقعی را فراهم کند. در صورت وجود مقداری مقاومت در مدار تغذیه ورودی اختلاف فاز کمتر از ۹۰ درجه خواهد شد که امکان تطابق صفر ولتاژ و صفر جریان در لحظه شکست الکتریکی را کاهش می دهد.

۳-۲ خازن خروجی

طبق استاندارد نسبت جریان خازنی خروجی ترانسفورماتور به جریان اتصال کوتاه باید در محدوده معینی باشد که در رابطه ۲ ملاحظه میشود.

$$0.001 \leq \frac{I_c}{I_{sc}} \leq 0.1 \quad (2)$$

رابطه ۲ نشان میدهد که میزان خازن اندازه گیری نباید از یک مقدار ماکزیمم بیشتر باشد چون در صورت بزرگ بودن خازن اضافه ولتاژ در حالت نرمال و همچنین پس از اتصال کوتاه افزایش خواهد یافت. از طرف دیگر حد پایین این کسر به دلیل لزوم وجود یک بار خازنی جهت جلوگیری از افت ولتاژ در ترمینال ترانسفورماتور در حالت نرمال است. بدیهی است که جهت اندازه گیری ولتاژ، حداقل نیاز به یک خازن اندازه گیری در سمت فشارقوی می باشد. به عنوان مثال اگر یک ترانسفورماتور فشارقوی با ولتاژ ۳۰۰ کیلوولت و جریان اتصال کوتاه ۱۰ آمپر در دسترس باشد، طبق IEC حداقل و حداکثر خازن در خروجی مدار طبق رابطه عبارتست از:

$$0.001 \leq \frac{I_c}{I_{sc}} \leq 0.1 \Rightarrow 0.01A \leq UC\omega \leq 1A \Rightarrow$$

$$0.1nF \leq C \leq 10nF$$

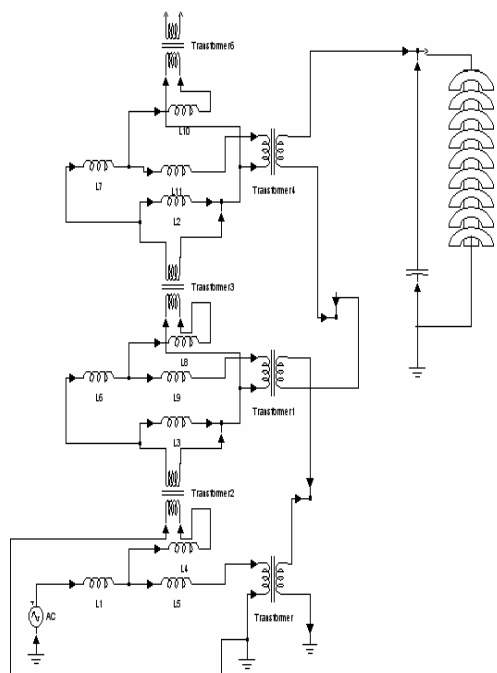
۳-۳ تاثیر پارامترهای الکتریکی در آزمون

در بررسی شرایط آزمون مقرر آلوده فشار قوی طبق استاندارد IEC مواردی توضیح داده شد که لازم است به

میشود که در آرایش کاسکاد امپدانس اتصال کوتاه معادل افزایش قابل توجهی دارد. معمولا در صورت عدم نیاز به ولتاژ زیاد ترجیحا از یک پله استفاده میشود. حتی ممکن است جهت کاهش امپدانس، ترانسفورماتورها را با هم موازی کرد.



شکل ۲-الف- ترانسفورماتورهای فشارقوی کاسکاد ۳ پله



شکل ۲-ب- مدار معادل ترانسفورماتورهای کاسکاد ۳ پله

از طرف دیگر همانطور که در قسمت قبل اشاره شد به دلیل ماهیت آزمون آلودگی مقرر نیاز است که مدار تغذیه خاصیت مقاومتی نیز داشته باشد.

۲-۳ مشخصات ترانسفورماتور فشارقوی

بارزترین مشخصه ترانسفورماتور آزمایشگاهی از نظر آزمون آلودگی مقرر، جریان طرف فشارقوی است. در حقیقت قدرت ترانسفورماتور پارامتر تعیین کننده است. بنابراین به نظر میرسد چاره ای جز افزایش جریان نامی خروجی ترانسفورماتور وجود ندارد. این موضوع به عنوان یکی از اساسی ترین محدودیتهای آزمون آلودگی مقرر ها مطرح بوده است. چنین ترانسفورماتورهایی در هر آزمایشگاهی وجود ندارند.

از جمله پارامتر دیگر که در میزان جریان دهی موثر است امپدانس اتصال کوتاه ترانسفورماتور است. هر چه این امپدانس کوچکتر باشد، ترانسفورماتور قابلیت جریان دهی بیشتری خواهد داشت. هر چند امپدانس اتصال کوتاه نیز در میزان تزریق جریان تاثیر گذار است اما عملا به دلیل محدودیتهای ساخت (ابعاد هسته و سیم پیچ ها) نمیتوان آنرا کاهش داد. البته معمولا در عمل مدار آزمایش پیچیده تر از شکل ۱ است. برای رسیدن به ولتاژهای فشارقوی معمولا از آرایش کاسکاد استفاده میشود که نمونه ای از آن که توسط آزمایشگاه فشارقوی دانشگاه تهران طراحی و در شرکت ایران ترانسفو ساخته شده است در شکل ۲ ملاحظه میشود.

هر کدام از ترانسفورماتورها دارای ۳ سیم پیچ هستند. سیم پیچ ورودی، سیم پیچ فشارقوی و سیم پیچ کوپلینگ که توان را به پله بالاتر منتقل می کند. با توجه به مدار معادل آرایش کاسکاد ۳ پله، در صورت مشابه بودن ترانسفورماتورها امپدانس اتصال کوتاه در این آرایش عبارتست از [۶]:

$$X_K = 14X_E + 5X_K + 3X_H \quad (3)$$

X_E راکتانس سیم پیچ فشار ضعیف، X_K راکتانس سیم پیچ کوپلینگ و X_H راکتانس سیم پیچ فشار قوی است. ملاحظه

۳-۳ خازن خروجی

طریق به قوس اعمال شود امکان دارد که قوس خاموش نشود. از طرف دیگر، عملی ترین راه محدود کردن اضافه ولتاژ ناشی از وجود خازن اندازه گیری، بکارگیری راکتور در ورودی ترانسفورماتورهاست که در قسمت بعد بررسی می شود.

۴- بهبود شرایط توسط راکتورهای جبرانگر

همانطور که اشاره شد مهمترین علت محدود بودن خازن خروجی وجود اضافه ولتاژ در حالت ماندگار و برگشتی است. این در حالی است که در صورت بزرگ بودن خازن خروجی در زمان اتصال کوتاه جریان نه چندان کمی توسط دشارژر خازن به محل اتصال کوتاه تزریق می گردد. ایده ای که در این مقاله مطرح شده است بر اساس جبران اضافه ولتاژهای خروجی توسط راکتورهای جبرانگری که در ورودی هر پله قرار می گیرند می باشد.

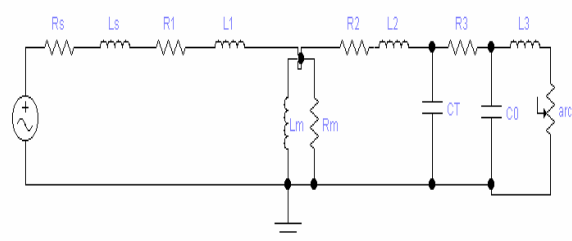
با توجه به اینکه در آزمونهای فشارقوی بار معمولاً خازنی است این راکتورها جهت جبران جریان لازم برای تست و کاهش قدرت منبع تغذیه ورودی به کار می آیند. لازم به ذکر است که ترانسفورماتورهای آزمایشگاه فشارقوی دانشگاه تهران براین اساس طراحی شده است و هرکدام دارای دو سری راکتور هستند که امکان موازی و سری کردن آنها وجود دارد. این موضوع خصوصاً برای ترانسفورماتورهایی که قدرت کمی دارند بسیار مهم است. در این صورت با بزرگ کردن خازن خروجی یک منبع مصنوعی تزریق جریان در لحظه اتصال کوتاه بوجود می آید. اضافه ولتاژ ناشی از خازن نیز بواسطه راکتورها محدود می شود. بدین ترتیب مشابه آزمون مصنوعی اتصال کوتاه کلیدهای فشارقوی از دو طریق جریان اتصال کوتاه لازم تامین می شود. یکی از طریق منبع و دیگری از طریق خازن خروجی. با این روش میتوان به جریان اتصال کوتاه لازم برای آزمون مفره که ۶ تا ۱۶ آمپر است، دست یافت.

۵- شبیه سازی

در این بخش هدف شبیه سازی ترانسفورماتورهای کاسکاد ۳ پله موجود در آزمایشگاه فشارقوی دانشگاه تهران که در

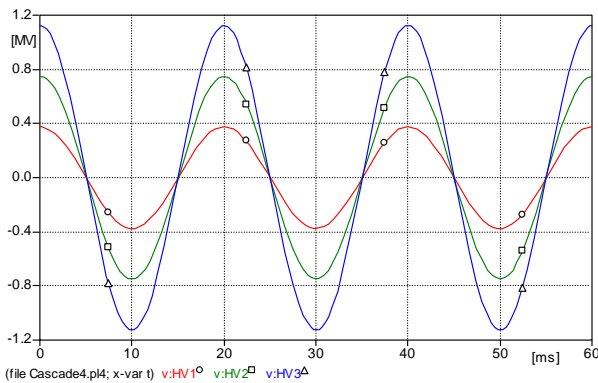
خازن خروجی در آزمون آلودگی مفره نقش مهمی دارد. تحلیل حالت ماندگار ترانسفورماتورهای کاسکاد همراه با خازن اندازه گیری نشان میدهد که ولتاژ خروجی بیشتر از نسبت تبدیل ضربدر ولتاژ ورودی است [۶]. این واقعیت بدلیل بار خازنی ترانسفورماتور است. بنابراین هرچند بزرگ کردن خازن در میزان جریان دهی آن در زمان اتصال کوتاه کمک می کند اما در حالت عادی باعث اضافه ولتاژهایی خواهد شد که توسط ترانس قابل تحمل نیست. شکل ۳ مدار معادل ساده یک ترانسفورماتور فشارقوی آزمایشگاهی تکفاز با خازن خروجی در زمان وقوع شکست الکتریکی را نشان میدهد. در این شکل، C_T خازن معادل خروجی ترانسفورماتور، R_3 مقاومت محدود کننده جریان، C_0 خازن معادل test object علاوه خازن اندازه گیری مدار، L_3 اندوکتانس شکست الکتریکی است

Equivalent Circuit of test transformer

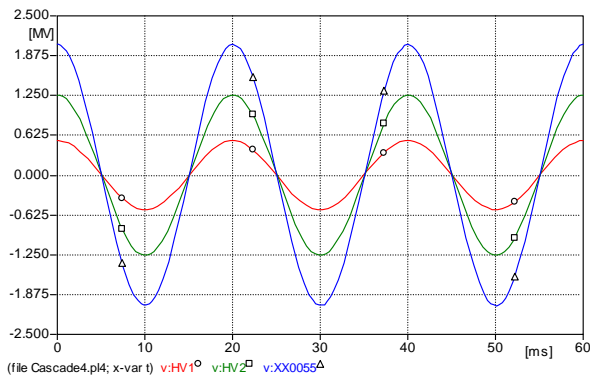


شکل ۳- مدار معادل ترانس آزمایشگاهی در حین تست

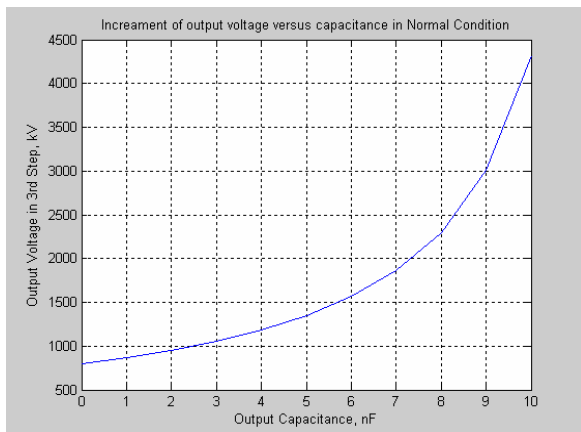
تحقیقات قبلی انجام شده در رابطه با شکست الکتریکی مفره ها نشان داده است که شکست رخ داده در پیک مثبت ولتاژ توام با اضافه ولتاژ برگشتی در نیم سیکل منفی بعد از شکست الکتریکی است [۲-۴]. در صورت وقوع شکستهای پی در پی اضافه ولتاژ برگشتی افزایش می یابد. بنابراین علاوه بر حالت ماندگار، حالتی گذرای بعد از شکست نیز دارای اضافه ولتاژ برگشتی خواهد بود. البته در صورتیکه این اضافه ولتاژ محدود باشد میتواند به روشن شدن دوباره قوس در زمانیکه جریان صفر شده است کمک کند. زمانیکه شکست در پیک ولتاژ رخ می دهد جریان مدار صفر است. در این لحظه اگر بتوان از خازن خروجی کمک گرفت و جریانی از این



شکل ۳- ولتاژ خروجی ترانس بدون خازن



شکل ۴- ولتاژ خروجی ترانس با خازن ۲ نانوفاراد



شکل ۵- تغییرات ولتاژ خروجی با خازن خروجی

۲-۵- جبران اضافه ولتاژ توسط راکتورها

به منظور تعیین تاثیر میزان راکتانس جبرانگرهای موازی در کنترل ولتاژ خروجی آرایش کاسکاد ۳ پله برای حالت‌های مختلف شبیه سازی توسط نرم افزار PSCAD صورت گرفته است و در شکل ۶ ملاحظه میشود.

شکل ۲ ملاحظه میشود به همراه مدارات ملحقه می باشد. این ترانسفورماتورها با هدف آزمون آلودگی مفره ها طراحی و ساخته شده اند. جریان نامی خروجی هر یک ۲ آمپر است. امپدانسهای آنها به ترتیب $X_{EH} = 7.8\%$, $X_{EK} = 19\%$ و $X_{KH} = 10\%$ است. سیم پیچ اولیه دارای ولتاژ ۴۰۰ ولت، ثانویه ۳۰۰ کیلوولت و کوپلینگ ۸۰۰ ولت می باشد.

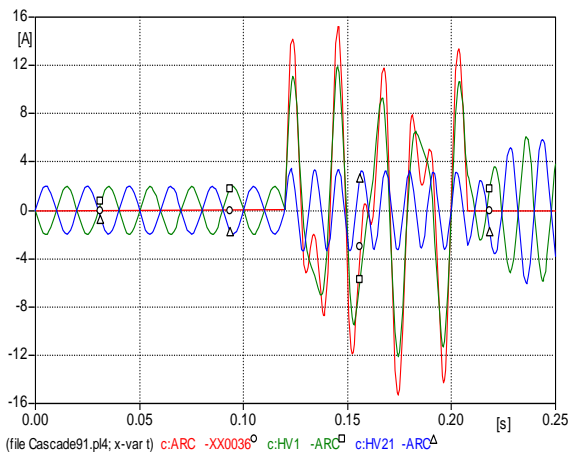
۵-۱- اضافه ولتاژ

همانطور که در قسمتهای قبل اشاره شد وجود خازن اندازه گیری باعث اضافه ولتاژ میشود. این موضوع با استفاده از نرم افزار EMTDP شبیه سازی شده و در شکل‌های ۳ و ۴ ملاحظه میشود. هرکدام از این شکلها ولتاژ ۳ پله را در چند سیکل نشان میدهد. ولتاژ پله سوم در حالتی که خازن ۵ نانوفاراد وجود دارد به بیش از ۱۳۰۰ کیلوولت رسیده است، در حالیکه ولتاژ بدون خازن ۸۰۰ کیلوولت است.

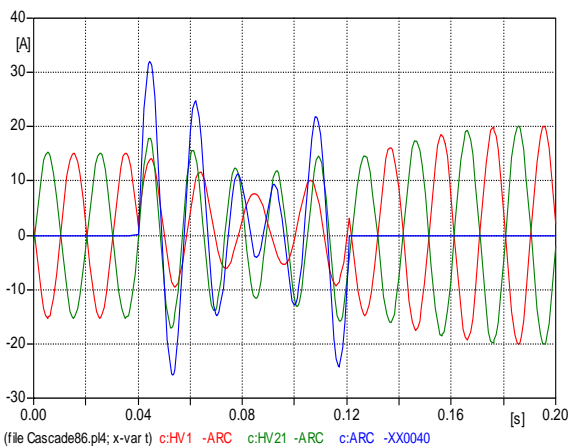
جهت شبیه سازی کاملتر به منظور تعیین تاثیر خازن در اضافه ولتاژ، ولتاژ ۳ پله سوم بر حسب میزان خازن بدست آمد که نتیجه آن در شکل ۵ نشان داده شده است. ملاحظه میشود که با افزایش خازن میزان اضافه ولتاژ بطور غیر خطی افزایش می یابد. نتایج مذکور نیز بر اساس شبیه سازی توسط نرم افزار EMTDC/ PSCAD بدست آمده است و ماحصل آن توسط MATLAB رسم شده است. با استفاده از نرم افزار MATLAB جهت بدست آوردن یک رابطه تحلیلی نتایج شبیه سازی با یک منحنی درجه ۵ منطبق شد. بنابراین رابطه ولتاژ خروجی آرایش کاسکاد ۳ پله در یک شرایط ثابت شبیه سازی نزدیک به واقعیت (استفاده از پارامترهای واقعی) بر حسب خازن خروجی عبارتست از:

$$U(C) = 0.184C^5 - 3.4C^4 + 23.8C^3 - 59.42C^2 + 125.91C + 790.38 \quad (4)$$

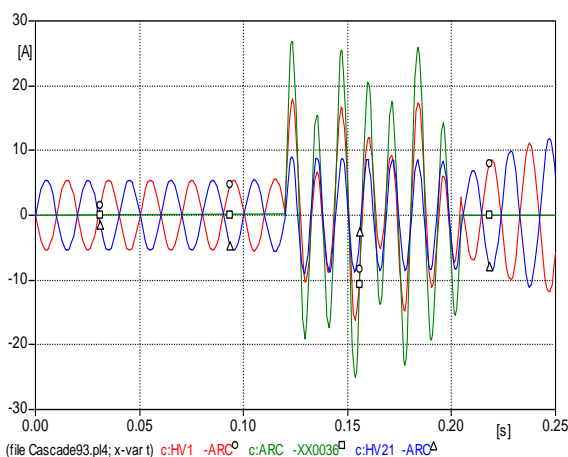
در رابطه ۴ C بر حسب نانوفاراد و U بر حسب کیلوولت است.



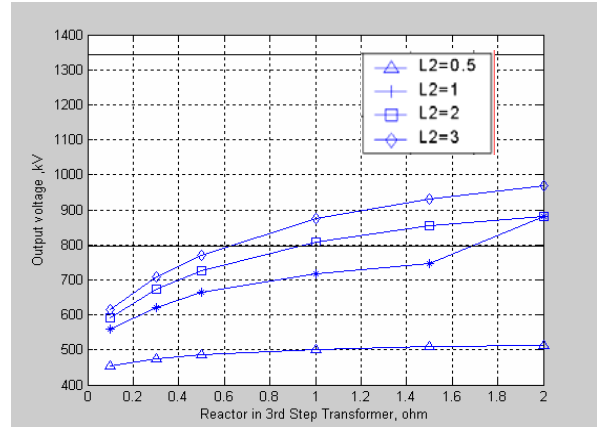
شکل ۷- جریانهای تامین کننده جریان اتصال کوتاه
 $X_{L2}=X_{L3}=1 \text{ ohm}$ $C=5\text{nF}$, $X_e=5\%$, $R_e=1\%$,



شکل ۸- جریانهای تامین کننده جریان اتصال کوتاه
 $X_{L1}=X_{L3}=1 \text{ ohm}$ $C=10 \text{ nF}$



شکل ۹- افزایش امپدانس ورودی منبع
 $X_{L3}=1 \text{ ohm}$ $C=5\text{nF}$, $X_e=20\%$, $R_e=2\%$,



شکل ۶- تاثیر راکتورها در کنترل اضافه ولتاژ

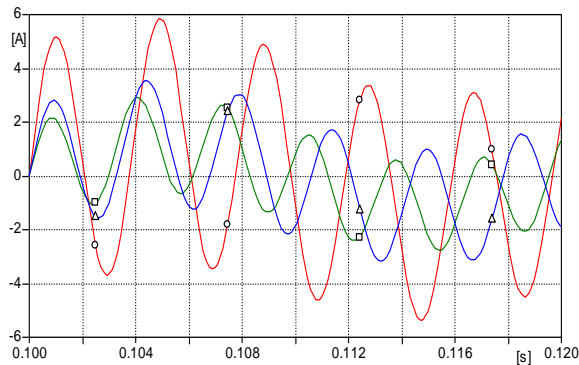
در این حالت ولتاژ نامی بدون وجود خازن ۸۰۰ کیلوولت بوده است. این ولتاژ با لحاظ خازن اندازه گیری ۵ nF به ۱۳۵۰ کیلوولت رسیده است که ۶۸ درصد اضافه ولتاژ را نشان میدهد. راکتورهای موازی در پله های دوم و سوم اضافه ولتاژ را کنترل کرده اند. بطور نمونه در صورتیکه راکتانس جبرانگر هر دو ترانسفورماتور ۱ اهم باشد اضافه ولتاژی نخواهیم داشت. شکل ۶ نشان میدهد که در حالتیکه از دیدگاه خروجی بار سلفی می شود ولتاژ خروجی از ولتاژ نامی هم پایبتر می آید. مثلاً اگر $X_{L2}=2 \text{ Ohm}$ و $X_{L3}=1 \text{ Ohm}$ باشد ولتاژ ۳۷ درصد کاهش خواهد داشت.

۳-۵- تاثیر منبع مصنوعی در تامین جریان

جهت مشاهده جریانهای تغذیه کننده flashover با استفاده از نرم افزار EMTP ترانسفورماتور ۳ پله با فرض اینکه مقمره در پله اول قرار دارد شبیه سازی انجام شد. جریانهای تغذیه کننده از طرف منبع اصلی و خازن خروجی و همچنین مجموع آنها در شکلهای ۷ تا ۱۰ نشان داده شده است.

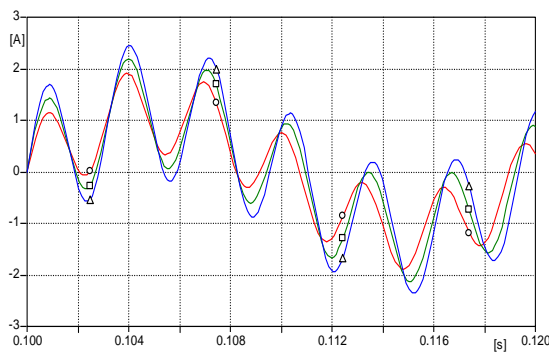
در شکل ۷ ملاحظه میشود که منبع مصنوعی (خازن خروجی از طرف ترانسفورماتورهای پله دوم و سوم در شکل ۲) پیک جریان قوس را از حدود ۸ آمپر به ۱۲ آمپر رسانده است. در این حالت خازن خروجی مدار ۵ نانوفاراد فرض شده است. این جریان که از طرف خازن روی مقمره می آید به خاموش نشدن قوس کمک می کند.

نوسان جریان شکست اکتريکی مقرر در حالت بدون سلف حدود ۲۵۰ هرتز است در حالیکه با قرار دادن سلف ۱ اهم در پله سوم و ۳۰۰ هرتز و با افزایش سلف به ۲ اهم فرکانس نوسان جریان حدود ۲۸۰ هرتز شده است.



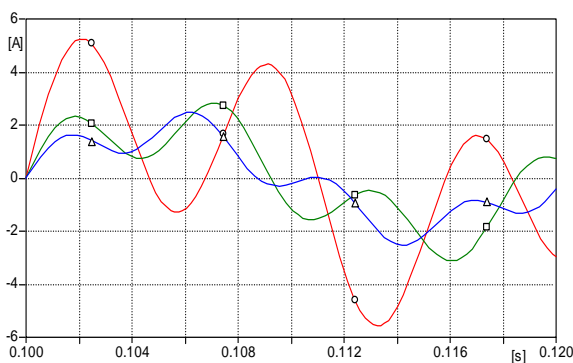
Cascade5.pl4: c:XX0032-XX0026^o
 CASCADE51.pl4: c:XX0032-XX0026[□]
 CASCADE52.pl4: c:XX0032-XX0026[△]

شکل ۱۱- تغییر فرکانس جریان با تغییر راکتور پله سوم



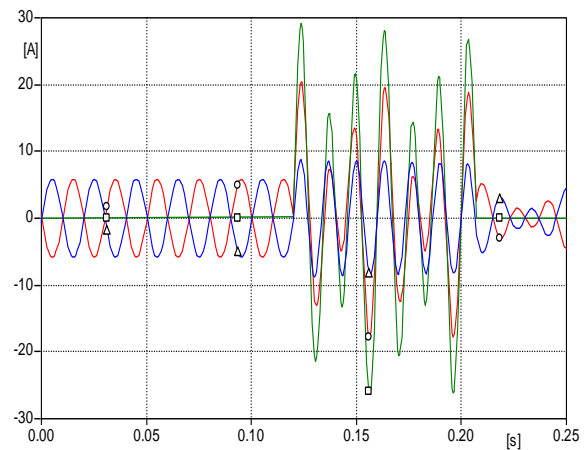
Cascade54.pl4: c:XX0032-XX0026^o
 CASCADE53.pl4: c:XX0032-XX0026[□]
 CASCADE55.pl4: c:XX0032-XX0026[△]

شکل ۱۲- تغییر فرکانس جریان با تغییر راکتور پله دوم



Cascade6.pl4: c:XX0032-XX0026^o
 CASCADE61.pl4: c:XX0032-XX0026[□]
 CASCADE62.pl4: c:XX0032-XX0026[△]

شکل ۱۳- تغییرات فرکانس جریان، مقرر در پله اول قرار دارد



(file Cascade93.pl4; x-var t) c:HV1 -ARC^o c:ARC -XX0036[□] c:HV21 -ARC[△]

XI2=1 ohm C=5nF, Xe= 10%, Re=2%,

شکل ۱۰- راکتور در پله دوم

در شرایط شبیه سازی شکل ۸ ملاحظه میشود که بدلیل بزرگ بودن ظرفیت، خازن توانسته است مانند یک منبع قوی تقریباً جریانی معادل جریان منبع اصلی را در چند سیکل محدود به اتصالی تزریق کند. جهت نشان دادن امکان تاثیر امپدانس مدار ورودی در شکل‌های ۹ و ۱۰ شبیه سازی مجدداً انجام شده است که نشان میدهد کماکان در چند نیم سیکل که جرقه وجود دارد، جریان قابل توجهی از طریق خازن به مدار اعمال می شود.

البته این قضیه بستگی به فرکانس نوسان جریان تامین شده از منبع مصنوعی دارد که در حقیقت فرکانس طبیعی مدار است که باعث میشود بر حسب فرکانس اختلاف فاز وجود بیاید و سیگنالها همدیگر را تقویت و تضعیف کنند. این موضوع در قسمت بعد بررسی می شود.

۴-۵- بررسی تاثیر راکتورها در فرکانس طبیعی مدار

شکل موجها شامل دو مولفه است. مولفه فرکانس اصلی که از طریق منبع ورودی تحمیل می شود و مولفه گذرا که متاثر از فرکانس طبیعی مدار است. جهت بررسی تاثیر راکتورها در شکل موج و تغییر فرکانس طبیعی توسط EMTP شبیه سازیایی انجام شد. جریان قوس در حالیکه مقرر در پله دوم نصب شده است با میزان راکتورهای متفاوت بدست آمد. همانطور که در شکل ۱۱ ملاحظه میشود فرکانس طبیعی

۷- مراجع

- [1]- IEC 60507, "Artificial Pollution Tests on High Voltage Insulators to be Used on A.C. Systems", 1991
- [2]- D. Train, "Transient Over voltages on Testing transformers", Electrical Times, May 1967, pp. 713-717
- [3]- F. Rizk, "Influence of AC Source Parameters on Flashover Characteristics of Polluted Insulators", IEEE Tans. PAS-104, No. 4, April 1985, pp. 948-958
- [4]- R. Garcia, N. Santiago, "A Mathematical Model to Study the Influence of Source Parameters in Polluted Insulator Tests", 3rd International Conference on Properties Applications of Dielectric Materials, July 1991, Japan, pp. 953-956
- [5]- R. Matsuoka, K. Kondo, "Influence of Power Source on Contamination Withstand Voltage of Polymer Insulators", IEE High Voltage Symposium, August 1999, pp. 276-279
- [6]- حسین محسنی، مبنای مهندسی فشار قوی الکتریکی، انتشارات دانشگاه تهران، ۱۳۷۷

شکل ۱۲ نوسان جریان مقرر برای سه حالت مختلف با ثابت بودن سلف پله سوم و تغییر سلف پله دوم ۰/۵ اهم، ۱ اهم و ۲ اهم بدست آمده است. در این حالت سلف پله دوم تاثیر زیادی در تغییر فرکانس طبیعی ندارد. این فرکانس برای سه حالت فوق به ترتیب حدود ۳۱۵، ۳۱۲ و ۳۱۰ هرتز است. بنابراین با ثابت بودن سلف پله سوم با افزایش سلف پله دوم فرکانس نوسان به مقدار کمی کاهش می‌یابد. در حالتیکه مقرر در پله اول نصب شده باشد برای سه حالت بدون سلف و با سلف در پله سوم و همینطور با سلف در هر دو پله نتیجه شبیه سازی در شکل ۱۳ ملاحظه میشود.

۶- نتیجه گیری

با توجه به اهمیت و نیاز به ترانسفورماتور فشارقوی در آزمون آلودگی مقرر با استفاده از خازن خروجی به عنوان یک منبع مصنوعی تزریق جریان در لحظه اتصال کوتاه میتوان جریان را تقویت کرد و شرایط آزمون را به سمت حداقلهای استاندارد بهبود داد. در چنین شرایطی، جهت کنترل اضافه ولتاژهای ماندگار و گذرا باید راکتورهای جبرانگر که در ورودی هر پله از آرایش کاسکاد قرار می‌گیرند استفاده کرد. این راکتورها علاوه بر محدود کردن اضافه ولتاژ در تغییر فرکانس طبیعی مدار نیز موثرند که از این خاصیت میتوان در جهت عدم انطباق صفر جریان و ولتاژ در لحظه اتصال کوتاه بهره گرفت تا احتمال خاموش شدن قوس پس از صفر جریان کمتر شود.

شبیه‌سازیها نشان میدهد در شرایط خاص امکان دارد برای ترانسفورماتورهای فشار قوی کاسکاد ۳ پله با ولتاژ ۳۰۰ کیلوولت و جریان نامی خروجی ۲ آمپر در زمان وقوع شکست الکتریکی برای مقررهای که در پله اول نصب شده است پیک جریان تا ۵۰ درصد افزایش یابد که گام بسیار خوبی در جهت افزایش قابلیت آزمون با امکانات موجود است.