کاربردهای ترانسفورماتور زیگزاگ در شبکه توزیع جهت اصلاح کیفیت توان

حاجی عاطفت دوست
شرکت برق منطقه ای فارس
شیراز – ایران

علیرضا سوخک
شرکت برق منطقه ای فارس
شیراز – ایران

محمدرضا تاجدانی
شرکت برق منطقه ای فارس
شیراز – ایران

کلمات کلیدی: ترانسفورماتور زیگزاگ، جریان مؤلفه صفر، امپدانس توالی صفر، سیستم اصلاح کننده پویای فرو رفتگی ولتاژ Dysc، دو فازه شدن موتور القایی

چکیده:

در این مقاله مزایای کاربرد ترانسفورماتور زیگزاگ در شبکه توزیع مورد بررسی قرار گرفته است. از جمله کاربردهای ترانسفورماتور زیگزاگ می توان از نولسازی، حفاظت خطای نامتقارن، کاهش تبعات هارمونیک های شبکه توزیع، حفاظت و استفاده مناسب از برخی تجهیزات و بارهای صنعتی (نظیر موتورهای القایی موجود در کارخانجات) و کاهش سطح اتصال کوتاه نام برد. در واقع با بررسی گزینه های موجود برای تحقق هر کدام از موارد فوق الذکر، می توان با نصب و تجهیز و یا استفاده از ترانسفورماتورهای زیگزاگ موجود در شبکه، از قابلیتهای این ترانسفورماتورها بهره گرفت.

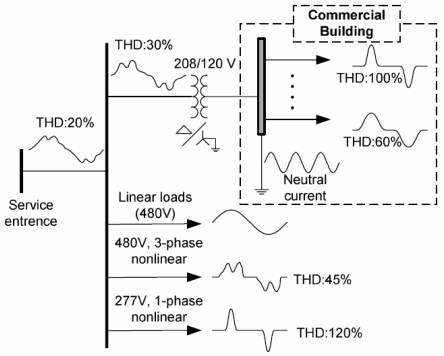
۱ – مقدمه:

امروزه مراکز صنعتی و تجاری که وابسته به سیستمها و کنترل کننده حساس و دقیق الکترونیکی می باشند به شدت از موضوع کیفیت نامناسب توان رنج می برند. حالات گذرای ناشی از ضربات صاعقه، افت ولتاژ ناشی از حوادث و خاموشی هایی که در اثر عملکرد سیستمهای حفاظتی ایجاد می شوند، عامل بیش از ۹۲ درصد مشکلات کیفیت توان می باشند. سیستم اصلاح کننده پویای فرو رفتگی ولتاژ Dysc (Dynamic Sag Corrector System)، دستگاهی است که با اتصال سری به شبکه در مقابل حوادث و مشکلات کیفیت توان از آن حفاظت می نماید. از طرفی جریانهای هارمونیکی در سیستم قدرت می تواند تبعات نامطلوب متعددی را در پی داشته باشد. از جمله این تبعات می توان به گرم شدن بیش از حد تجهیزات، کاهش عمر تجهیزات، تداخل رادیویی با سیستمهای مخابراتی و... اشاره نمود. در یک شبکه برق صنعتی- تجاری سه فاز چهار سیمه توزیع برق بارهای الکتریکی متعددی از جمله تجهیزات ادرای نظیر کامپیوترها، دستگاه فاکس، دستگاه فتوکپی، لامپهای فلورسنت، سیستمهای تهویه هوا و سیستمهای گرمایش-سرمایش با سرعت دور قابل تنظیم و سایر بارهای حساس الکترونیکی وجود دارند. اغلب این تجهیزات دارای یک طبقه یکسوکننده قدرت میباشند که خود جریان هارمونیکی بالایی را به شبکه توزیع تزریق می نمایند. اخیراً بزرگترین عامل مولد هارمونیک که سهم بالایی در ایجاد هارمونیک مراکز صنعتی-تجاری را دارد کامپیوترهای شخصی می باشد. قسمت عمده این جریان هارمونیکی نیز هارمونیک مرتبه سوم (۱۵۰هرتز) می باشد. اصولاً هارمونیک سوم و مضارب سوم از هارمونیک سوم (هارمونیکهای مرتبه ۹، ۱۵ و...) که هم فاز بوده و با هم جمع شده و اثر یکدیگر را در سیم نول خنثی نمی نمایند، جریان توالی صفر را ایجاد می نمایند. مع الوصف هارمونیکهای مرتبه سوم با یکدیگر جمع شده و جریان بالایی را در سیم نول سیستم سه فاز چهار سیمه برقرار می نمایند. جریان بالای ایجاد شده در سیم نول منجر به ایجاد سروصدا، گرم شدن هادی و ترانسفورماتور و اعوجاج ولتاژ شبکه مصرف کننده می گردد. بنابراین هارمونیکهای جریان سیم نول، یکی از

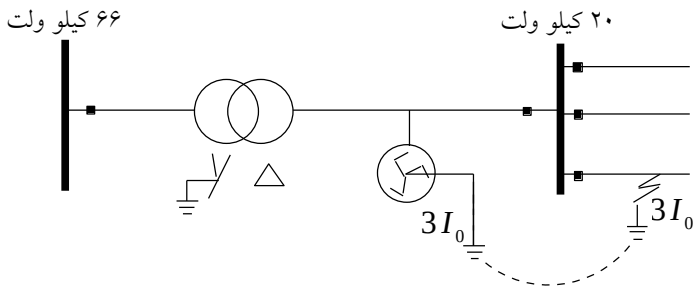
مهمترین موضوعات مطرح در یک سیستم توزیع الکتریکی می باشد. در شکل (۱) نمونه ای از سیستم قدرت یک ساختمان تجاری- اداری با ساختار سه فاز چهار سیمه نشان داده شده است [۱].

در این مقاله تکنیک حذف مؤلفه صفر به صورت اکتیو، برای سیستم قدرت نامتعادل یک ساختمان تجاری نیز بررسی گردیده است. درواقع یک ترانسفورماتور زمین کننده (نولساز) از نوع زیگزاگ جهت جریان یافتن جریان هارمونیکی یکسان در تمام سیم پیچهای ترانسفورماتور و یک جریان مؤلفه اصلی در نقطه نول شبکه برقرار می گردد. اینورترهای تک فازه با ولتاژ پایین تر و جریان بالا، فقط قابلیت متعادل سازی جریان یک فاز را دارد. بنابراین، جریان سایر فازها با به کارگیری ترانسفورماتور زیگزاگ به طور متعادل توزیع میگردد. ضمناً مؤلفه اصلی جریان سیم نول از هارمونیک های چرخان در سیم پیچ ترانسفورماتور زیگزاگ ایجاد می گردد.

جریان مؤلفه منفی ایجاد شده بر اثر دو فازه شدن یک موتور القایی سه فاز، عدم اجازه راه اندازی به موتور در حالت سکون، و گرم شدن بسیار شدید سیم پیچیها در موتور در حالت حرکت خواهد گردید. در راستای حذف مؤلفه منفی و در نتیجه عملکرد رضایت بخش موتور تحت شرایط دو فازه شدن موتور، یک راه حل وصل کردن نقطه ستاره ترانسفورماتور زیگزاگ به نقطه خنثی مولد (برق شهر) می باشد.



شکل(۱): نمونه ای از سیستم قدرت یک ساختمان تجاری



شکل(۲): چگونگی جاری شدن جریان اتصالی یک فاز به زمین با حضور یک ترانسفورماتور زیگزاگ در خروجی هر ترانسفورماتور قدرت

۲- استفاده از ترانسفورماتور زیگزاگ مناسب در سیسمتهای زمین نشده:

چنانچه سیستم زمین نشده باشد، ولی توسط ترانسفورماتور زیگزاگ آن را زمین شده نماییم با توجه به حضور ترانسفورماتور ارت (زیگزاگ) در مؤلفه صفر سیستم و جاری شدن جریان اتصالی فاز به زمین بر روی خطوط خروجی ۲۰ (و یا ۱۱) کیلوولت پست که ترانسفورماتور زیگزاگ آن نصب شده و توسط یک ترانسفورماتور جریان که در نقطه صفر (نول) ترانسفورماتور زیگزاگ نصب شده یک رله زمین با زمانی بیش از زمان عملکرد رله های زمین خطوط خروجی نصب گردد تا این که حفاظت پشتیبان برای رله های زمین خطوط خروجی از پست باشد.

در شکل (۲) چگونگی جاری شدن جریان اتصالی یک فاز به زمین با حضور ترانسفورماتور زیگزاگ بررسی و مشاهده می‌نماییم. با توجه به شکل (۲)، فقط توالی صفر ترانسفورماتور زیگزاگ در مسیر جریان اتصالی فاز به زمین قرار می گردد و بر اساس امپدانس صفر ترانسفورماتور زیگزاگ جریان اتصالی تعیین و محاسبه می گردد.

چنانچه یک ترانسفورماتور نولساز 500 آمپری داشته باشیم (در واقع جریان $3I_0 = 500$) و بر روی هر بازو و سیم پیچی ترانسفورماتور ارت، 166.6 آمپر جریان داریم. که در فاز اتصالی شده جریان به سمت زمین برگشته و دو فاز دیگر از طریق دو سیم پیچی ترانسفورماتور قدرت (فاز اول و سوم) جریان دور زده و نهایتاً به زمین سرازیر می گردد و به تناسب این دو جریان و با اعمال

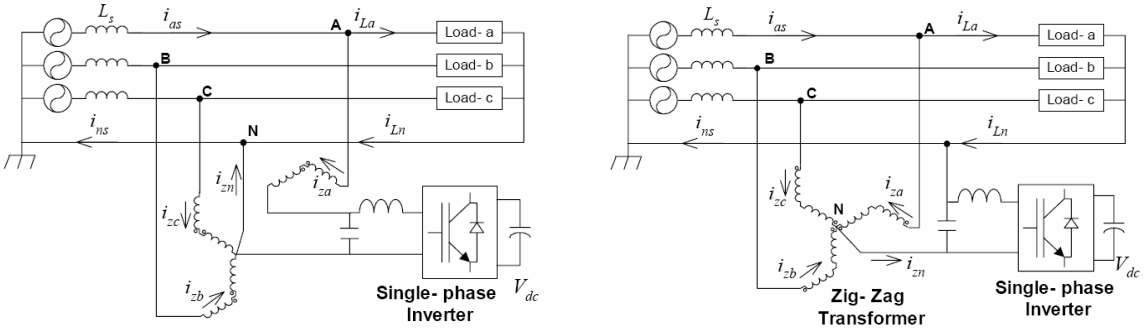
نمودن نسبت تبدیل ترانسفورماتور قدرت در سمت فشار قوی (66 KV) به صورت اتصالی دو فاز با جریانی خیلی کمتر خود را نشان می دهد که بعضاً نمی توان آن را در رله های جریانی و زمین آشکار نمود.

مع الوصف ملاحظه می گردد که انتخاب ترانسفورماتور نولساز بسیار با اهمیت بوده و باید کلیه موارد شامل قدرت ترانسفورماتور اصلی وجود رله های جریانی و رله های اتصال زمین، طول ومسافت خطوط توزیع20 KV یا 11 KV سطح مقطع سیمهای بکار رفته و زمین منطقه را در نظر گرفت تا اینکه بتوان حداقل جریانهای اتصالی به زمین را در دید رله ها آورد و نهایتاً قطع نمودن کلید مربوطه که می تواند اتصالی وارده را برطرف نماید همراه داشت.

۳- حذف جریان توالی صفر در سیستم قدرت نامتقارن ساختمانهای تجاری

در [۱]، یک تکنیک حذف توالی صفر جریان به صورت اکتیو برای سیستمهای قدرت متعادل و همچنین نامتعادل پیشنهاد گردیده است. یک ترانسفورماتور نولساز از نوع زیگزاگ جهت برقرارسازی جریان هارمونیک مرتبه سوم یکسان در تمام سیم پیچهای ترانسفورماتور توزیع بکار گرفته شده است. از طرفی اینورترهای ولتاژ پایین یک فاز فقط قابلیت تنظیم کردن جریان یک فاز را دارا می باشند لذا جریان سایر فازها به علت کاربرد ترانسفورماتور زیگزاگ به طور یکسان توزیع می گردد. در این تکنیک فقط نیاز به نمونه برداری از جریان نقطه نول بار و جریان اینورترتک فاز می باشد.

در شکل (۳) دو روش اکتیو برای حذف توالی صفر جریان در سیم نول که به کار گیری ترانسفورماتور زیگزاگ ارائه شده نشان داده شده است.



شکل (۳) روشهای مختلف حذف هارمونیک ایجاد شده در سیم نول یک سیستم قدرت سه فاز چهار سیمه

الف: اینورتر بطور سری با سیم نول ترانسفورماتور زیگزاگ می باشد. ب: اینورتر بطور سری با یک فاز از ترانسفورماتور زیگزاگ می باشد

همانطور که دیده می شود، در شکل (۳- الف)، اینورتر تک فاز در مرکز نول ترانسفورماتور زیگزاگ نصب شده، ولی در شکل(۳- ب)، اینورتر تک فاز در یکی از فازها نصب شده است. در واقع در شکل (۳- ب)، یک فاز از ترانسفورماتور زیگزاگ شکسته شده و یک اینورتر یک فاز در فاز مربوطه سری شده است و سیم نول ترانسفورماتور زیگزاگ، مستقیماً به نقطه نول بار متصل گردیده است. بدیهی است که در صورت به کار بردن ساختار شکل (۳- ب) میزان سطح ولتاژ خروجی اینورتر (V_{dc}) کمتر از حالت شکل (۳- الف) می گردد. زیرا که ولتاژ بین نقطه نول بار و نقطه نول ترانسفورماتور در شکل (۳- ب) کمتر می باشد. این در حالی است که جریان عبوری از اینورترها در حالت (۳- الف) برابر با I_{zn} و در حالت (۳- ب) $I_{zn}/3$ می باشد. جهت انتخاب ظرفیت ترانسفورماتور زیگزاگ، طبق رابطه (۱) عمل می نماییم:

$$VA = V_{Line} \times I_{zn} / 3 \qquad (۱)$$

که V_{line} ولتاژخط بوده و I_{zn} کل جریان هارمونیکی (برآیند جریان) در سیم نول می باشد.

در واقع جریان هارمونیکی در سیم نول در یک سیستم قدرت سه فاز چهارسیمه، جریانهای توالی صفر می باشند که این جریان در داخل سیم پیچهای یک ترانسفورماتور زیگزاگ توسط یک اینورتر تک فاز کنترل شده در سطح ولتاژ نامی پایین، گردش و تضعیف داده می شود و حذف می گردد. و تنها مؤلفه اصلی جریان که سینوسی کامل می باشد در سیم نول مصرف کننده در گردش خواهد بود.

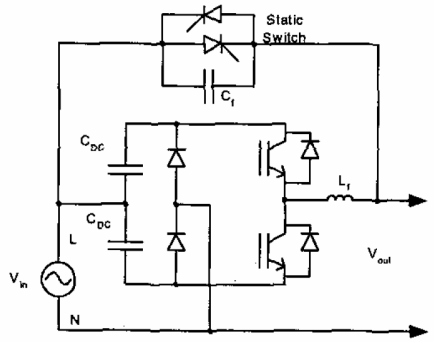
اصولاً در حالت عادی، در شرایط متعادل یا نامتعادل بودن بارها، قسمت عمده جریان سیم نول، جریان هارمونیک مرتبه سوم می باشند که در واقع جریان توالی صفر محسوب می گردند. این در حالی است که در جریان های توالی مثبت و توالی منفی نظیر هارمونیک های ۵ام، هارمونیک ۷ام، و... فقط در شرایط نامتعادل بودن بارها رخ می دهند و در بار متعادل وجود ندارند. هر چند مؤلفه های غیر مضرب ۳ بسیار ضعیف تر (قابل صرف نظرتر) نسبت به جریان هارمونیکی مضرب ۳ می باشند.

۴- کاربرد ترانسفورماتور زیگزاگ در یک سیستم سه سیم‌پیچه اصلاح‌کننده دینامیکی فرورفتگی ولتاژ کوتاه‌مدت (sag)

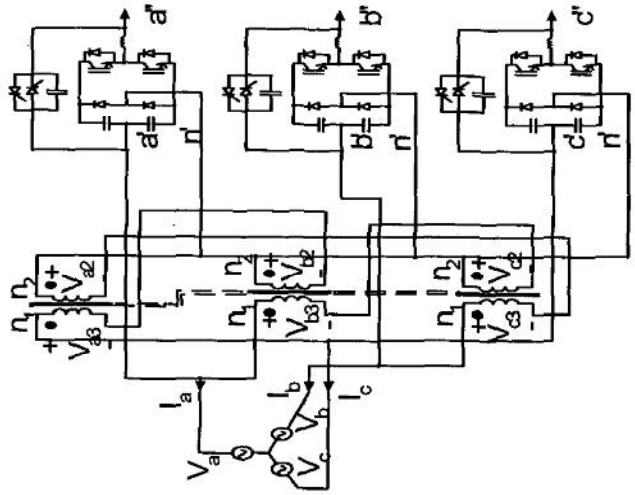
اصولاً فرو رفتگی ولتاژ کوتاه مدت (sag)، نوعی اغتشاش می باشد که طبق استاندارد IEC، کاهش ناگهانی سطح ولتاژ از ۱۰ تا ۹۰ درصد دامنه ولتاژ نامی، به مدت نیم سیکل الی چند ثانیه (حداکثر ۱ دقیقه) می باشد. سیستم اصلاح کننده پویای افت ولتاژ (Dysc) سیستمی است که با اتصال سری به شبکه در مقابل حوادث و مشکلات کیفیت توان از آن حفاظت می نماید. واحد ساختمانی یک Dysc، در واقع یک واحد تک فاز است که ولتاژ فاز ۲۷۷/۲۴۰/۲۰۸/۱۲۰ ولت را گرفته و ولتاژ اصلاح شده ای را در خروجی ایجاد می کند. یک سیستم سه فاز Dysc شامل ۳ واحد تک فاز است که به ۳ فاز شبکه وصل می شود و هریک از آنها نیازمند یک نقطه خنثی به عنوان مرجع برای اصلاح ولتاژ می باشند و لذا در یک شبکه سه فاز که چنین نقطه ای وجود ندارد باید با اتخاذ تمهیداتی آن را ایجاد نمود. ترانسفورماتورهای زیگزاگ روشی با صرفه برای ایجاد چنین نقطه خنثایی می باشند [۳].

۴-۱ سیستم Dysc سه سیمه

یک Dysc تکفاز از مداری که تحت عنوان مدار تقویت ولتاژ شناخته می شود مشتق شده است [۳]. یک اینورتر تک فاز با کمک دو برابر کننده ولتاژ قادر است تا در صورت افت ۵۰ درصدی ولتاژ ورودی، خروجی مرجع قابل قبول را ارائه نماید. از سوی دیگر خازنهای موجود در شینه DC از اینورتر نیز با توجه به ظرفیت خازنی خود، قادرند تا مدت معینی در صورت قطع کامل ورودی، خروجی را حفظ نمایند (شکل ۴). وقتی ولتاژ نقطه خنثی ورودی از میزان محاسبه شده تغییر نماید یک افت ولتاژ احساس می شود. ولتاژ نقطه خنثی در حالت عادی و قبل از وقوع افت ولتاژ محاسبه و به عنوان مرجع، مورد استفاده قرار می گیرد.



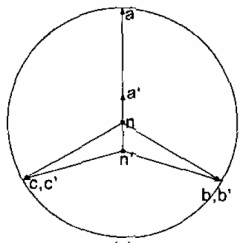
شکل (۴): سیستم اصلاح کننده پویای افت ولتاژ (Dysc) تکفاز



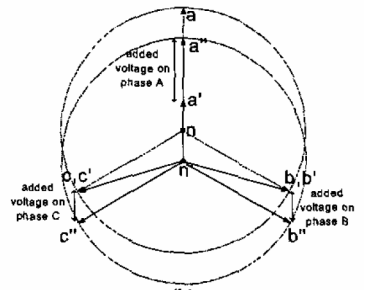
شکل (۵): سیستم اصلاح کننده پویای افت ولتاژ (Dysc) سه فاز سه سیمه

در شکل (۵)، یک سیستم Dysc سه فاز مشتمل بر ۳ واحد Dysc تکفاز نشان داده شده است که از یک نقطه خنثی به عنوان مرجع استفاده می کند. این نقطه خنثی توسط یک ترانسفورماتور زیگزاگ –که امپدانس بالا را برای حالت متعادل بودن ولتاژ و امپدانس پایین را برای ولتاژهای توالی صفر ایجاد می کند– مهیا می گردد. از آنجا که ولتاژ نامی هر سیم پیچ تنها یک سوم ولتاژ فاز است لذا ابعاد و قیمت ترانسفورماتور کاهش می یابد. اتصالات خط و خنثی نیز به ورودی یکسو کننده Dysc تک فاز(مطابق شکل ۵) وصل می شوند.

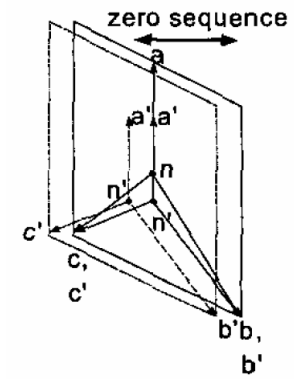
در طی افت ولتاژ نامتقارن که یکی از فازها دچار افت می شوند، یک ولتاژ مؤلفه صفر قابل ملاحظه ای از منبع تولید می شود. در این حالت ترانسفورماتور زیگزاگ که امپدانس کمی در برابر مؤلفه صفر دارد، بخش عمده این ولتاژ را به یکسوکننده منتقل می نماید. ترانسفورماتور زیگزاگ نقطه خنثی مورد استفاده به عنوان مرجع کنترل را نیز ایجاد می نماید. برای ایجاد ولتاژهای خروجی متعادل در حین ایجاد افت ولتاژ رفتار این نقطه خنثی باید در طی افت ولتاژ مورد مطالعه قرار گیرد. یک افت ولتاژ تک فاز مشابه شکل (۶–الف) را در نظر بگیرید. در این حالت نقطه خنثی به نقطه n' منتقل می شود. Dysc متصل به فاز A افت ولتاژ ورودی $a'n'$ را احساس کرده و روشن می شود. Dysc های متصل به فازهای B و C نیز $b'n'$ و $c'n'$ را احساس می کنند که افت چندانی ندارند و لذا روشن نمی شوند. لذا خروجی های این سیستم سه فاز به فرم شکل (۶–ب) در می آیند. یعنی cn' و bn' و $a''n'$ که یک سیستم نامتعادل با فازهای غیر از ۱۲۰ درجه را ا یجاد می کنند. به علاوه جریان مؤلفه صفر ورودی به یکسوکننده فاز افت کرده به تبعیت از ترانسفورماتور زیگزاگ نقطه خنثی را مانند شکل (۶–ج) جابجا می کند. ولتاژهای متعادل خروجی با عملکرد هر سه Dysc به دست می آید که با تغییر نقطه خنثی به محل جدید فعال می شوند. وقتی هر سه واحد فعال شوند ولتاژهایی به هر سه فاز اضافه می شوند و لذا ولتاژهای حاصل $a''n'$ و $b''n'$ و $c''n'$ تشکیل یک سیستم متعادل را می دهند (مطابق شکل ۶–ب).



شکل (۶–الف): تغییر ولتاژ نقطه خنثی تحت شرایط فرو رفتگی (sag) ولتاژ تک فاز



شکل (۶–ب): تغییر ولتاژ نقطه خنثی تحت شرایط فرو رفتگی (sag) ولتاژ تک فاز



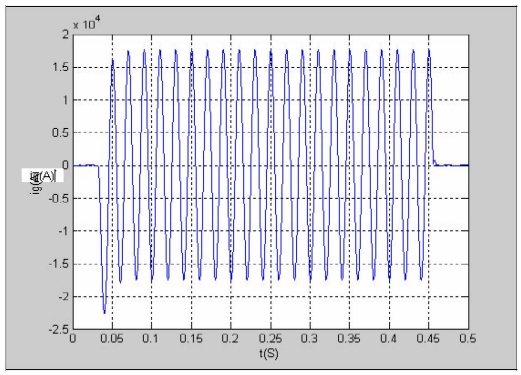
شکل (۶–ج): تغییر ولتاژ نقطه خنثی تحت شرایط فرو رفتگی (sag) ولتاژ تک فاز

۵– کاربرد ترانسفورماتور زیگزاگ در کاهش سطح اتصال کوتاه زمین

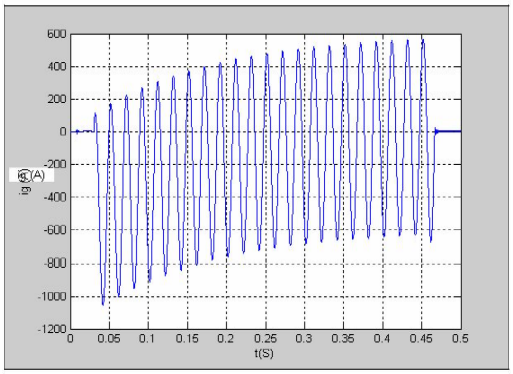
به منظور کاهش سطح اتصال کوتاه زمین، می توان در نوترال طرف ثانویه ترانسفورماتور قدرت یک اندوکتانس یا مقاومت نصب نمود. روش دیگر باز نمودن اتصال زمین نقطه نوترال ستاره ثانویه ترانسفورماتور قدرت (۶۶/۱۱ کیلو ولت) و نصب یک دستگاه ترانسفورماتور زمین مناسب برای هر ترانسفورماتور قدرت می باشد. نتایج شبیه سازیهای انجام شده در [۶] نشان می دهد که نصب ترانسفورماتور زمین، دارای مزایای متعددی است و روش مناسبی برای کاهش سطح اتصال کوتاه زمین و جلوگیری از حوادث می باشد. چون اتصال ثانویه ترانسفورماتور قدرت ایستگاههای فوق توزیع معمولاً بصورت مثلث می باشد لذا در ثانویه ترانسفورماتورهای قدرت، ترانسفورماتور زیگزاگ نصب می گردد. در این حالت، اتصال زمین نقطه نوترال ترانسفورماتور قدرت باز گردیده و ترجیحاً یک دستگاه ترانسفورماتور زمین ۵۰۰ آمپری بر روی باسبار ۱۱ KV نصب می گردد. به هنگام خطای اتصال زمین، جریان ثانویه ترانسفورماتور قدرت

و ترانسفورماتور زمین بسیار کاهش می یابد. شکل موج جریان نوترال ترانسفورماتور قدرت در شکل (۷-الف و ب) نشان داده شده است. همانطور که دیده می شود دامنه جریان از ۱۷/۵ کیلو آمپر به ۰/۶ کیلو آمپر کاهش یافته است [۶].

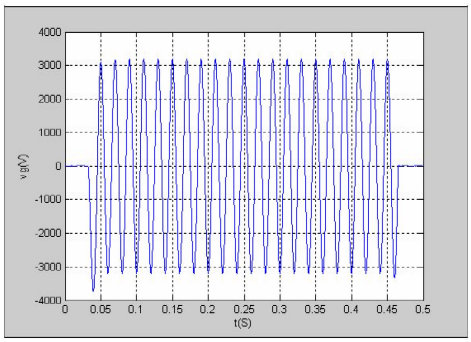
شکل (۸- الف و ب) ولتاژ نقطه نوترال ترانسفورماتور قدرت رانشان می دهد. به هنگام اتصال زمین، نقطه نوترال ولتاژی معادل ولتاژ فاز زمین پیدا کرده است که با توجه به بالا بودن مقاومت شبکه زمین ایستگاههای مزبور در حالت فعلی نیز ولتاژی کمی کمتر ازچنین ولتاژهایی وجود دارد. ضمن این که قطع ووصل غیرهمزمان پلهای بریکر نیز باعث بروز اضافه ولتاژهای گذرا شده است (زمانهای ۸ و ٤٧٠ میلی ثانیه).



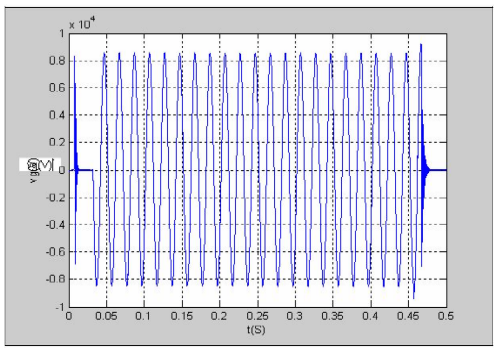
شکل (۷-الف): جریان نوترال ترانسفورماتور قدرت در حالت بدون ترانس زمین



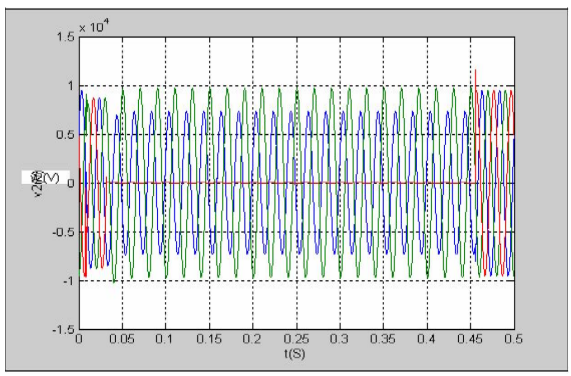
شکل (۷-ب): جریان نوترال ترانسفورماتور قدرت با نصب ترانس زمین



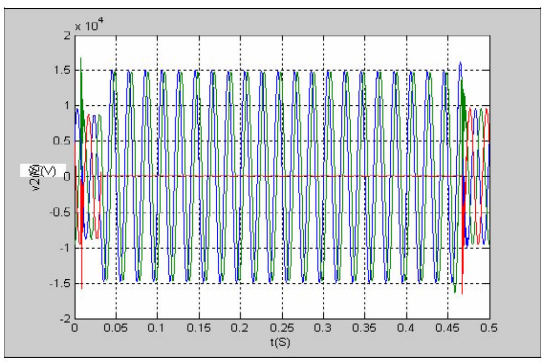
شکل (۸-الف): ولتاژ نوترال ستاره ثانویه ترانسفورماتور قدرت در حالت بدون ترانس زمین



شکل (۸-ب): ولتاژ نوترال ستاره ثانویه ترانسفورماتور قدرت با نصب ترانس زمین

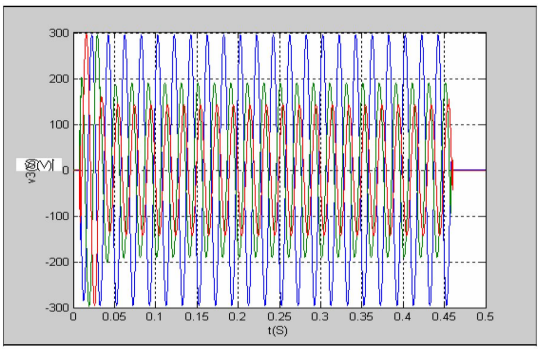


شکل (۹-الف): ولتاژ فاز زمین ثانویه ترانسفورماتور قدرت در حالت بدون ترانس زمین

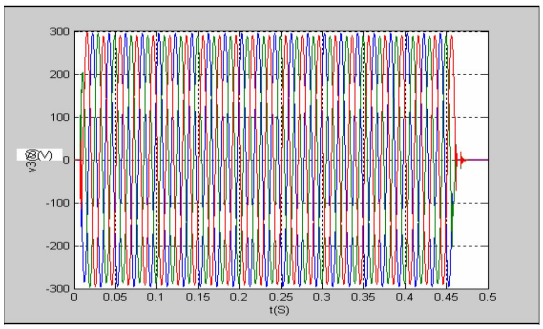


شکل (۹-ب): ولتاژ فاز زمین ثانویه ترانسفورماتور قدرت با نصب ترانس زمین

شکل (۹- الف و ب) ولتاژهای ثانویه ترانسفورماتور قدرت (ولتاژ فاز – زمین) را نشان می دهد. ولتاژ فاز به زمین فازهای سالم به میزان ۷۳٪ افزایش یافته است. اما چون اتصال ترانسفورماتورهای توزیع مثلث – ستاره یا ستاره – زیگزاگ می باشد ولتاژ مشترکین ثابت می ماند و لذا بر ولتاژ مصرف کنندگان هیچ گونه تاثیری نخواهد داشت. ولتاژ فاز به زمین مشترکین در شکل (۱۰- الف و ب) آمده است. از طرفی به هنگام اتصال زمین و یا قطع و وصل غیر همزمان پلهای بریکر اضافه ولتاژهای گذرا به وجود می آید. البته چون بریکرهای فشار متوسط تنها دارای یک مکانیزم قطع و وصل هستند امکان قطع و وصل غیرهمزمان پلهای بریکر وجود ندارد. با توجه به اختصاصی نبودن ترانسفورماتور زمین (مشابهت با ترانسفورماتور زمین سایر ایستگاهها) امکان جایگزینی سریع آن به هنگام نیاز وجود دارد.



شکل (۱۰-الف): ولتاژ فاز زمین مشترکین ۲۳۰ ولت در حالت بدون ترانس زمین



شکل (۱۰-ب): فاز زمین مشترکین ۲۳۰ ولت با نصب ترانس زمین

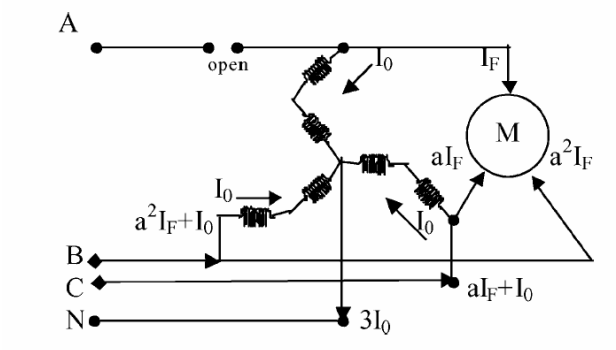
۶- کاربرد ترانسفورماتور زیگزاگ در یک موتور القایی سه فاز و عملکرد موتور تحت شرایط دو فازه شدن تغذیه موتور

اصولاً به یکی از دلایل ذیل ممکن است دو فاز شدن یک سیستم سه فاز رخ دهد: پریدن فیوز یک فاز، سوختن جمپر، یا ترکیدن هادی یک فاز. از طرفی در بارهای سه فاز، با قطع شدن یک فاز، عملکرد سیستم به هم می خورد. مثلاً در یک موتور القایی سه فاز به علت قطع شدن یک فاز در هنگام راه اندازی، هیچ گشتاور راه اندازی در موتور ایجاد نمی گردد و در صورت سرعت داشتن موتور، گشتاور تولیدی موتور کاهش یافته و سرعت موتور کاهش یافته و با ضریب توان کمتری به کار خود ادامه می دهد. سیم پیچها به علت جریان مؤلفه صفر به شدت دمای آنها افزایش یافته و امکان ادامه کار موتور به طور پیوسته نخواهد بود.

بکارگیری مبدلهای فازی استاتیکی (Static Phase Converter) و یا بکارگیری مبدلهای حالت جامد به همراه تجهیزات الکترونیک قدرت روشهای ایجاد یک سیستم سه فازی از یک سیستم یک فازی می باشد. اما به علت گران تمام شدن و ایجاد هارمونیک توسط این ادوات، بکارگیری این تکنیکها را در ایجاد یک سیستم سه فازه از یک سیستم یک فازه در هنگام ایجاد خطای دو فازه شدن موتور القایی محدود می نماید. در [۴]، بکارگیری یک ترانسفورماتور زیگزاگ به موازات موتور القایی که مرکز ستاره ترانسفورماتور زیگزاگ به نقطه زمین مولد (برق شهر) وصل شده می باشد، نشان داده شده است که با بکارگیری یک ترانسفورماتور زیگزاگ طبق شکل (۱۱)، می توان یک موتور القایی سه فاز را در صورت دو فازه شدن با وارد کردن ترانسفورماتور زیگزاگ در مدار، در حالت بار کامل راه اندازی و استفاده دائمی نمود.

در واقع در این سیستم به علت پایین بودن امپدانس مؤلفه صفر ترانسفورماتور زیگزاگ یک مسیر موازی (شنت) را برای مؤلفه مثبت جریان ایجاد نموده و باعث کاهش مؤلفه جریان خواهد شد. ضمناً جهت انشعاب KVA ترانسفورماتور زیگزاگ ، بایستی KVA نامی آن با KVA نامی بار (موتور القایی) یکسان باشد.

زیرا ترانسفورماتور نولساز برای جریانهای مؤلفه مثبت و منفی امپدانس بسیار زیادی (در حدود بینهایت) از خود نشان می دهد و در برابر مؤلفه صفر جریان، امپدانس کمی از خود نشان می دهد.



شکل (۱۱): یک موتور القایی سه فاز به طور موازی با یک ترانسفورماتور زیگزاگ که نقطه نول ترانسفورماتور زیگزاگ با نقطه نول منبع مولد (برق شهر) وصل شده است (این اتصال به محض دو فازه شدن موتور القایی انجام می گردد).

۷- نتیجه گیری

در این مقاله مزایای کاربرد ترانسفورماتور زیگزاگ در شبکه توزیع مورد بررسی قرار گرفته است. از جمله کاربردهای ترانسفورماتور زیگزاگ می توان از نولسازی، حفاظت خطای نامتقارن، کاهش تبعات هارمونیک های شبکه توزیع، حفاظت و استفاده مناسب از برخی تجهیزات و بارهای صنعتی (نظیر موتورهای القایی موجود در کارخانجات) و کاهش سطح اتصال کوتاه نام برد. نظر به مقایسه نتایج فنی انجام شده، از نظر بهره برداری و اقتصادی، بکارگیری و نصب ترانسفورماتور نولساز، بهترین شیوه کاهش اتصال زمین می باشد. ضمناً برخی از مزایای ترانسفورماتور زمین به شرح ذیل است:

۱. هزینه کمتر (به علت اختصاصی نبودن ترانسفورماتور زمین).
۲. امکان تهیه و جایگزینی سریع با نوع مشابه چرا که معمولا در پستهای فوق توزیع از ترانسفورماتور زمین استفاده می‌گردد.
۳. توان اکتیو کمتر (هنگام اتصالی) و لذا کاهش احتمال ناپایداری شبکه و عدم اضافه بار ترانسفورماتور.

برخی از معایب ترانسفورماتور زمین نیز به شرح ذیل است:

۱. ایجاد اضافه ولتاژهای گذرا در صورت قطع و وصل غیرهمزمان پلهای بریکر (با توجه به این که بریکرهای فشار متوسط برای هر سه پل تنها دارای یک مکانیزم هستند لذا امکان ایجاد این نوع اضافه ولتاژ وجود ندارد.)
۲. ایجاد اضافه ولتاژ گذرا در صورتی که کاپاسیتانس سیستم زیاد باشد.
۳. ایجاد اضافه ولتاژهای دائمی هنگام اتصال زمین.

۸- مراجع

[1] S. Kim, "Active Zero-Sequence Cancellation Technique in Unbalanced Commercial Building Power System", IEEE Trans power App and sys., 0-7803-8269-2 , pp. 185-190, 2004.
[2] P. Khera, "APPLICATION OF ZIGZAG TRANSFORMERS FOR REDUCING HARMONICS IN THE NUETRAL CONDUCTOR OF LOW VOLTAGE DISTRIBUTION SYSTEM", IEEE Trans. Power Delivery , vol.8,No 2 April 1993, pp. 672 – 680.
[3] Atul Bhadkamkar., Ashish Bendre", Robert Schneider, William bani, Deepak Divan, "Application of Zig-Zag Transformers in a Three-wire Three-phase Dynamic Sag Corrector System", IEEE Trans , Ind App. 0-7803-7754-0/03, pp. 1260-1265, 2003.
[4] K. P. Basu, and S. K. Mukerji "Experimental Investigation Into Operation Under Single-Phasing Condition of a Three-Phase Induction Motor Connected Across a Zigzag Transformer", IEEE TRANSACTIONS ON EDUCATION, VOL. 47, NO. 3, pp. 365-368, AUGUST 2004.
[5] Po-Tai Cheng Yung-F'u Huang Chung-Chuan Hou, "A new harmonic suppression scheme for three-phase four-wire distribution systems", IEEE Trans Ind , App Vol.30 No.2, pp. 1287-1293, 2001.
[۶] حمزه روغنیان، مرتضی پورمند، شاهرخ خالقی، شهرام کارگر و شهرام جدید، "کاهش سطح اتصال کوتاه زمین ایستگاههای بهمنی و پودر"، نوزدهمین کنفرانس بین المللی برق، PSC2004 , 98-F-PDS-486