

بررسی حالات گذرای بروز صاعقه در مجاورت شبکه های توزیع تغذیه کننده قطارهای برقی

فرهاد شهینیا^۱ و گئورگ قره پتیان^۳

^۱دفتر تحقیقات و استاندارد- شرکت توزیع نیروی برق آذربایجانشرقی

^۲دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر- دانشگاه تبریز

^۳دانشکده مهندسی برق- دانشگاه صنعتی امیرکبیر

^{1,2}farhadshahnia@yahoo.com, ³grptian@aut.ac.ir

چکیده - کنترل و محدود نمودن دامنه اضافه ولتاژهای گذرا در سیستمهای توزیع انرژی الکتریکی قطارهای برقی یکی از پارامترهای مهم و حساس در این زمینه می باشد. لذا بررسی دلایل ایجاد اضافه ولتاژها و تأثیرات آن بر سیستم تراکشن ضروری است. در این مقاله به بررسی عوامل و نحوه ایجاد اضافه ولتاژهای گذرا در قطارهای برقی DC پرداخته شده و استفاده از راهکار نصب برگیرها در قسمتهای حساس شبکه جهت حفاظت تجهیزات سیستم قدرت در مقابل آسیب دیدگیهای احتمالی ناشی از اضافه ولتاژ پیشنهاد شده و تعیین نقاط بهینه برای این منظور بررسی می گردد. آنگاه با استفاده از شبیه سازیهای انجام شده در نرم افزار PSCAD/EMTDC به بررسی تأثیرات اضافه ولتاژها در شبکه قطار برقی در حالات وجود و عدم وجود برگیرها در شبکه می پردازیم.

کلمات کلیدی: شبکه توزیع، قطار برقی، اضافه ولتاژهای سوئیچینگ و صاعقه، برگیر

۱- مقدمه

ولتاژهای القایی برای حفاظت تجهیزات پستهای تراکشن و قطارهای برقی و همچنین استفاده از کابلها زمینی دارای روپوش فلزی و یا استفاده از هادیهای لخت با فاصله مناسب و بموازات کابلهای دفن شده می تواند ضمن کاهش جریانهای القایی در کابلهای سیستم تراکشن، مسیری را جهت عبور جریان القایی صاعقه فراهم آورد [۴].

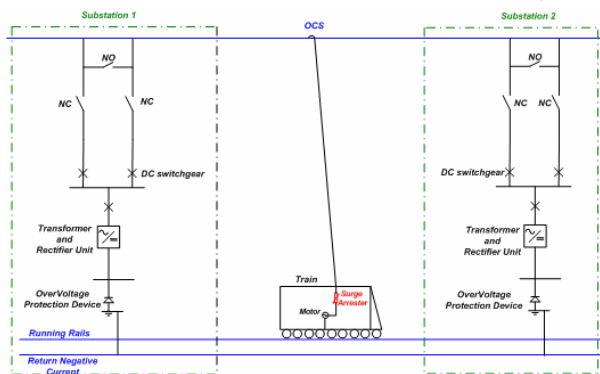
همچنین تجمع ابرهای باردار در بالای خطوط توزیع انرژی الکتریکی قطارهای برقی نیز می تواند موجب تغییر شکل امواج ولتاژ در آنها و نتیجتاً تغییر مقدار موثر آنها شود که بروز فلش اور یا شکست عایقی مقرر ها را بدنبال دارد. ولتاژ بسیار زیاد تزریق شده به خطوط توزیع ناشی از صاعقه برای تخلیه به زمین از مسیر ترانس استفاده می کند که این امر نیز تخریب سریع ترانس و عایق آن را بهمراه دارد. حال اگر مقاومت زمین بار با مقاومت زمین ترانس یکسان باشد، هیچ اضافه ولتاژی بر دو سر ترانس ایجاد نشده و مشکل جدی

یکی از مهمترین مسائل سیستمهای تغذیه الکتریکی قطارهای برقی، بررسی دلایل بروز اضافه ولتاژهای گذرا در این سیستمها و ارائه راهکارهای کاهش و محدود نمودن دامنه آنهاست [۱]. یکی از مهمترین این دلایل بروز پدیده صاعقه یا برخورد مستقیم آن به هادیهای شبکه بالاسری قطار برقی یا شبکه برق مجاور پستهای تغذیه کننده سیستم قطار برقی است [۲]. پدیده صاعقه و اضافه ولتاژهای گذرای ناشی از آن می توانند اثرات بسیار نامطلوبی بر روی تجهیزات سیستم تراکشن وارد نموده و موجبات آسیب دیدن سریع آنها فراهم آورند [۳]. پدیده صاعقه همچنین دارای اثرات سوئی بر کابلهای برگشت جریان دفن شده سیستم قطار برقی داشته و با وجود دفن این کابلها در خاک، شاهد جذب جریانهای القایی ناشی از صاعقه در این کابلها هستیم. لذا استفاده از برگیرها در نقاط مهم و حساس شبکه جهت کنترل و محدود کردن دامنه اضافه

یا AC شبکه برق مجاور پستهای تراکشن برای حالات وجود و عدم وجود برقیها آورده شده است.

۲- سیستمهای تراکشن DC

سیستم تراکشن DC از پستهای تراکشن، شبکه بالاسری، کابلهای تغذیه پستها و ریلهای حرکت قطار بعنوان مسیر جریان تشکیل شده است. ولتاژ سه فاز شبکه توزیع از طریق واحدهای یکسو کننده در پستهای تراکشن به ولتاژ نامی DC تبدیل می گردد که از طریق شبکه بالاسری و ریلهای برگشت، قطارهای در حال حرکت در طول خط را تغذیه می نمایند. تصویر شماتیک شبکه تغذیه انرژی الکتریکی قطار برقی DC به همراه ساختار یک پست تراکشن آن در شکل (۱) دیده می شود. مشخصات و پارامترهای الکتریکی این شبکه نیز در پیوست آورده شده است.



شکل ۱: تصویر شماتیک شبکه تغذیه انرژی الکتریکی قطار برقی DC.

۳- اضافه ولتاژهای گذرا در سیستم تراکشن

اضافه ولتاژهای گذرای ناشی از کلید زنی یا پدیده صاعقه می توانند بصورت غیرقابل پیش بینی و بسیار سریع به ولتاژ DC شبکه برق قطارهای برقی تحمیل گردند. دامنه، شکل موج و میزان انرژی آنها با توجه به مشخصات سیستم و امپدانس موجی شبکه متفاوت خواهد بود.

هر یک از اعمال زیر می توانند موجب ایجاد اضافه ولتاژهایی با دامنه متفاوت در سیستم تراکشن DC گردد:

الف- قطع یک کلید DC در مدار می تواند اضافه ولتاژهایی تا ۲/۵ برابر ولتاژ DC نامی سیستم را تولید نماید [۸].

ب- اتصال نامناسب پانتوگراف با هادیهای شبکه بالاسری می تواند منجر به ایجاد قوس الکتریکی و نتیجتاً تولید اضافه ولتاژهایی گردد که بسته به سرعت قطار، جریان پانتوگراف و شرایط آب و هوایی ویژگیهای مختلفی دارند [۸].

بوجود نمی آید ولی در غیر اینصورت آسیب شدید عایق و سیم پیچهای ترانس را بدنبال خواهد داشت [۵].

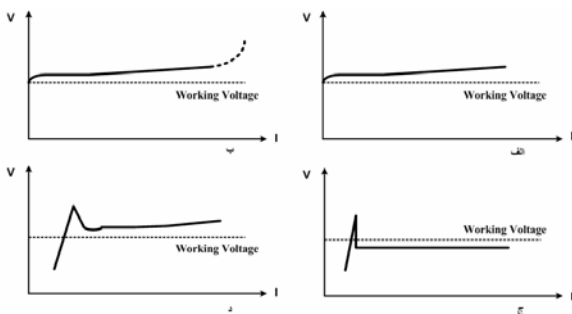
همچنین در صورت وجود خطوط انتقال فشار قوی بموازات ریلهای راه آهن، بروز هر عیبی در خطوط انتقال موجب بهم خوردن تقارن میدان در اطراف آنها شده و در نتیجه جریانهایی در هادیهای موازی آنها القا می شود تا نامتعادلی جریان از بین برود و در نتیجه شاهد القا ولتاژ به ریلهای راه آهن در مجاورت خطوط انتقال خواهیم بود که می تواند آسیب تجهیزات را بدنبال داشته باشد.

برقگیرهای نصب شده در سیستمهای قدرت تغذیه کننده قطارهای برقی DC بایستی قابلیت قطع جریانهای DC و بدون گذر از حالت صفر را که در سیستمهای AC متداول است دارا باشد. لذا برقگیرهای اکسید فلزی از این لحاظ نسبت به سایر انواع موجود ارجحیت دارند [۶]. در حالت عادی سیستم، این برقگیرها تنها جریان نشستی بسیار ناچیزی دارند حال آنکه قابلیت قطع دامنه بیشتری از اضافه ولتاژها را دارا هستند. میزان دامنه انرژی که بایستی یک برقگیر در سیستمهای DC بتواند تحمل نماید بسیار بیشتر از مقداری است که در سیستمهای AC نیاز است زیرا در سیستمهای DC انرژی ذخیره شده در میدان مغناطیسی نیز آزاد می گردد. در صورتیکه محافظت کافی از تجهیزات سیستم قدرت در مقابل بروز اضافه ولتاژ گذرا صورت نگیرد، سیستم با مشکل بزرگ احتمالی آسیب دیدن تجهیزات مواجه خواهد بود لذا آگاهی و آشنایی کافی با تعدد اضافه ولتاژها، دامنه و شکل موج آنها و عوامل بوجود آورنده اضافه ولتاژهای گذرا در سیستمهای قطارهای برقی DC اهمیت فراوانی دارد.

در این مقاله ابتدا شرح مختصری از سیستمهای قدرت تغذیه کننده قطارهای برقی DC بیان شده آنگاه دلایل و ویژگیهای بروز اضافه ولتاژهای گذرا در این سیستمها مورد مطالعه قرار گرفته است. سپس مشخصات و ویژگیهای برقگیرهای لازم جهت کنترل اضافه ولتاژها برای این سیستمها آورده شده و محلهای بهینه و مناسب نصب برقگیرها مورد بررسی قرار گرفته است [۷].

در انتها نیز نتایج شبیه سازیهای انجام شده توسط نرم افزار PSCAD/EMTDC برای یک سیستم قطار برقی DC در هنگام بروز اضافه ولتاژهای گذرا در سیستم DC قطار برقی

لذا با مد نظر قرار دادن موارد فوق تنها برقیگیر نشان داده شده با مشخصه شکل (۲-ب) برای استفاده در سیستمهای قطارهای برقی DC مناسب بنظر می رسد زیرا نه تنها مشخصه ای بسیار مشابه به مشخصه برقیگیرهای ایده آل دارد بلکه برخلاف مشخصه (۲-د) که در اندازه های بیشتری از سطح محافظت شده برقیگیر عمل می نماید و دقت کمتری دارد و یا مشخصه (۲-ج) ممکن است هدایت و تخلیه کامل اضافه ولتاژ بر زمین بدرستی صورت نگیرد. لذا در بسیاری از سیستمهای قطارهای برقی DC از برقیگیرهایی با مشخصه (۲-ب) یا برقیگیرهای دارای فاصله هوایی سری شده با یک مقاومت جهت توزیع مناسب ولتاژ استفاده می شود [۴ و ۶].



شکل ۲: مشخصه های عملکرد چندین نوع از برقیگیرهای مختلف متداول: الف- برقیگیر ایده آل، ب- برقیگیر اکسید فلزی، ج- برقیگیرهای دارای فاصله هوایی، د- برقیگیرهای اکسید فلزی دارای فاصله هوایی.

امپدانس موجی هادیهای شبکه بالاسری قطار برقی (Z) از رابطه ۱ بدست می آید که در آن L اندوکتانس و C کاپاسیتانس خط بترتیب برحسب هانری و فاراد بر واحد طول می باشند.

$$Z = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (1)$$

امواج صاعقه با سرعتی تقریباً برابر با سرعت نور در خطوط انتقال و با نصف این سرعت در کابل ها منتقل می گردند که در محل اتصال کابل و خط انتقال بدلیل تغییر امپدانس موجی، شاهد بروز پدیده انتشار و انعکاس هستیم. بنابراین ولتاژ موج ضربه که از طریق کابلها به سمت ترانس می رسد از رابطه ۲ بدست می آید که در آن Z_c امپدانس موجی هر کابل، Z_{ocs} امپدانس موجی خط انتقال، n تعداد کابلهای موازی فیدر، V_I ولتاژ موج ضربه و V_{FC} ولتاژ موج ضربه در سر ترانس خواهد بود که بایستی توسط کلید مربوطه قطع گردد.

پ- در بعضی مواقع قطع مدار توسط کلیدهای خلا و ایجاد قوس در زمان وصل مجدد کلید می تواند موجب تولید اضافه ولتاژهایی در شبکه گردد.

ت- اضافه ولتاژهای ناشی از ساختار سیستم قدرت و تجهیزات آن می تواند باعث بروز dv/dt نا مطلوب بر دو سر دیودهای واحدهای یکسوساز گردد.

ث- بروز صاعقه یا برخورد مستقیم آن به خطوط انتقال یا شبکه های توزیع مجاور سیستم قطار برقی یا تغذیه کننده آن می تواند اضافه ولتاژهای القایی را در شبکه DC قطار برقی تولید نماید.

ج- عملکرد نابهنگام فیوزهای محدود کننده جریان که حفاظت دیودهای واحد یکسوساز را برعهده دارند می تواند موجب تولید اضافه ولتاژهایی در شبکه گردد.

چ- اتصالات نامناسب کابلهای تغذیه کننده سیستم قطار برقی می توانند موجب تولید اضافه ولتاژهای گذرا در شبکه DC شود.

برای حفظ ایمنی و جلوگیری از بروز آسیب به تجهیزات لازم است تا با انتخاب محل های صحیح برای نصب برقیگیرها در تمامی شبکه از اعمال اضافه ولتاژهای گذرا به تجهیزات حساس شبکه ممانعت بعمل آید.

۳- مشخصات برقیگیرهای DC

برقیگیرهای DC بکار رفته برای حفاظت سیستم قطار برقی DC در مقابل اضافه ولتاژهای گذرا بایستی دارای ویژگیهای زیر باشند:

الف- در ولتاژ کار نامی سیستم هدایت نکرده و دارای مینیمم جریان نشتی باشند.

ب- در برابر اضافه ولتاژهای ناگهانی در شبکه هدایت کرده و تنها افزایش بسیار ناچیزی در دامنه اضافه ولتاژهای دو سرشان روی دهد.

ج- قابلیت و تحمل هدایت و تخلیه انرژی زیاد ذخیره شده در سیستم DC را دارا باشند.

د- قابلیت کارکرد را برای انواع شرایط آب و هوایی خصوصاً محیطهای مرطوب تونلها دارا باشند.

ه- ماکزیمم ولتاژ دو سر برقیگیر برای بیشترین دامنه اضافه ولتاژ ممکن کمتر از حد آسیب دیدن آن باشد.

ی- برقیگیر بایستی با دقت بسیار زیادی و بدون بروز هر گونه خطا، در صورت بروز اضافه ولتاژ عمل نماید.

برقگیرهای بکار رفته برای سیستمهای توزیع انرژی الکتریکی قطارهای برقی بایستی ضمن دارا بودن مشخصه غیرخطی مناسب و تغییرناپذیر با زمان و دما بتوانند انرژی را که از طریق امواج صاعقه به خطوط تزریق می شوند تحمل کرده و با عملکرد صحیح آنها به زمین هدایت کنند.

۴- نصب برقگیرها در سیستمهای تراکشن DC

همانطور که در شکل ۱ مشاهده می گردد، امواج اضافه ولتاژ گذرا می توانند براحتی وارد تجهیزات پست تراکشن گردند. بنابراین ماکزیمم دامنه موج اضافه ولتاژ که می تواند بدون وجود برقگیر از طرف شبکه بالاسری وارد پست شود برابر ولتاژ فلش اور در حالت خشک سیستم شبکه بالاسری و در حدود ۳۵ کیلوولت است. همچنین دامنه موج اضافه ولتاژ AC که از طرف شبکه AC وارد تجهیزات پست تراکشن می گردد بدلیل تغییر امپدانس در محل ترانسفورمرر و واحدهای یکسوساز دو برابر خواهد شد. همچنین با توجه به اینکه هادیهای شبکه بالاسری و ریلهای حرکت قطار در فاصله بسیار نزدیکی بهم قرار دارند، هرگونه بروز صاعقه در محیط اطراف موجب تولید امواج اضافه ولتاژ گذرا در هر دو هادی می گردد که امواج اضافه ولتاژها بصورت همزمان بطرف قطارهای در حال حرکت در خط و پستهای تراکشن انتشار پیدا می کنند.

لذا بهترین و مناسبترین محلهای نصب برقگیرها در سیستمهای تراکشن DC جهت کنترل دامنه اضافه ولتاژها و حفظ ایمنی تجهیزات در شکل (۳) دیده می شود [۸-۹].

این محلها عبارتند از:

الف- استفاده از برقگیر در ترمینالهای ابتدایی واحد ترانس و یکسوساز در پستهای تراکشن

ب- استفاده از برقگیرها در سمت AC یکسوسازهای پل دیودی با دیودهای غیرقطبی زنر دارای اتصال پشت به پشت و نیز استفاده از فیوزهای محدود کننده جریان برای دیودهای یکسوساز به همراه استفاده از خازنهای و مقاومتهایی در دو سر فیوزها جهت کنترل اضافه ولتاژهای کلید زنی

پ- استفاده از برقگیر در سمت DC واحد یکسوساز به همراه یک دیود معکوس و خازن توزیع یکسان ولتاژ

ت- استفاده از برقگیرهای DC جهت محافظت کلیدهای DC موجود در پستهای تراکشن

$$V_{FC} = 2V_I \left(\frac{Z_c}{nZ_{ocs} + Z_c} \right) \quad (2)$$

برقگیرهای بکار رفته برای محافظت سیستم تغذیه قطار برقی DC بایستی ماکزیمم دامنه اضافه ولتاژهای گذرای سوئیچینگ و صاعقه را تحمل نمایند. مقدار ماکزیمم دامنه اضافه ولتاژ گذرای صاعقه و کلید زنی بترتیب از روابط ۳ و ۴ حاصل می شوند [۴-۵].

$$U_{50\% CZ} = \frac{1.05 U_{b.p} \cdot K_d}{(1 - 3\sigma_z) K_h} \quad (3)$$

$$U_{50\% L} = \frac{1.1 \times 1.25 K_d}{(1 - 3\sigma_L) K_h} U_{b.c} \quad (4)$$

که در آنها $U_{50\% CZ}$ نصف ولتاژ تخلیه دامنه مثبت موج ضربه سوئیچینگ، $U_{b.p}$ سطح ولتاژ حفاظت شده برای امواج ضربه سوئیچینگ، $\sigma_z = 0.05$ ضریب ثابت تغییرات دامنه مثبت موج ضربه سوئیچینگ، $U_{50\% L}$ نصف ولتاژ تخلیه دامنه مثبت موج ضربه صاعقه، $U_{b.c}$ سطح ولتاژ حفاظت شده برای امواج ضربه صاعقه، $\sigma_L = 0.05$ ضریب ثابت تغییرات دامنه مثبت موج ضربه صاعقه می باشند. K_h و K_d نیز از روابط ۵ و ۶ حاصل می شوند.

$$K_d = \delta^m \quad (5)$$

$$K_h = \left[1 + a \left(\frac{h}{\delta} - 11 \right) \times 10^{-3} \right]^w \quad (6)$$

که در آن K_d ضریب چگالی هوا، K_h ضریب رطوبت هوا، h و $a=8$ $m=1$ و $w=1$ ضرایب ثابت برای موج ضربه صاعقه، δ چگالی نسبی رطوبت کامل برحسب گرم بر مترمکعب و δ چگالی نسبی هوا می باشد.

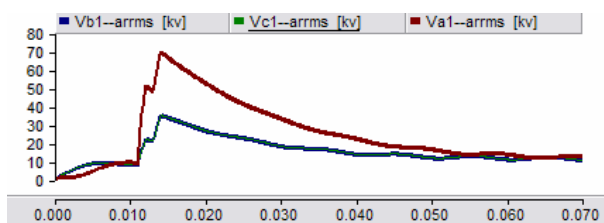
همچنین انرژی که بایستی یک برقگیر در چنین سیستمهایی تحمل نماید از رابطه ۷ حاصل می شود که در آن V ولتاژ پیشانی موجب ضربه، I ماکزیمم جریان تخلیه و t مدت زمان لازم برای رسیدن موج ولتاژ ضربه به V می باشد.

$$W = \int_0^t V \cdot I \cdot dt \quad (7)$$

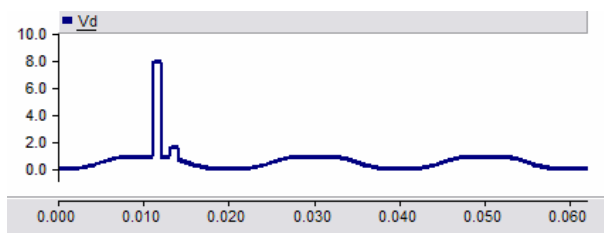
روش تجربی دیگری که می توان از آن برای محاسبه این انرژی استفاده نمود رابطه ۸ است که در آن K برابر مقدار ثابت ۱/۴ برای موج نمایی، V_c ولتاژ قطع شده، I ماکزیمم جریان اعمالی و t مدت زمان موج ضربه می باشد.

$$W = K \cdot V_c \cdot I \cdot t \quad (8)$$

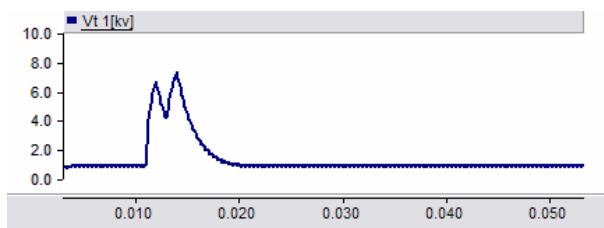
از واحدهای یکسوساز مطابق شکل (۵) می توانند موجب ایجاد اضافه ولتاژی بر روی دیودهای موجود در واحدهای یکسوساز شده و با انتقال به باس DC، اضافه ولتاژی در شبکه برق تغذیه کننده قطارها مشابه شکل (۶) روی خواهد داد. با اینحال، با انتشار این اضافه ولتاژها به محل پستهای تراکشن مجاور، بدلیل ویژگیهای عدم هدایت دیودها در حالت معکوس، شاهد انتشار اضافه ولتاژها بصورت بالعکس در شبکه AC پستهای تراکشن مجاور نخواهیم بود که این موضوع نیز در شکل ۷ دیده می شود.



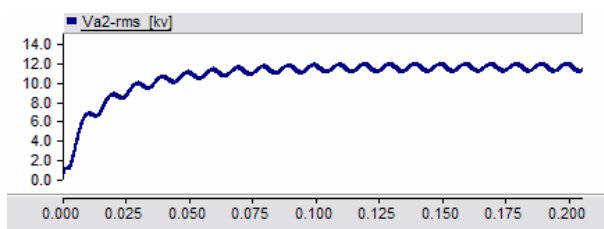
شکل ۴: شکل موجهای سه فاز شبکه AC که موج صاعقه به یکی از فازهای آن اعمال شده است در حالت عدم وجود برقگیرها.



شکل ۵: شکل موجهای ولتاژ دو سر یکی از دیودهای پست تراکشن که صاعقه به سیستم AC آن وارد شده است در حالت عدم وجود برقگیرها.

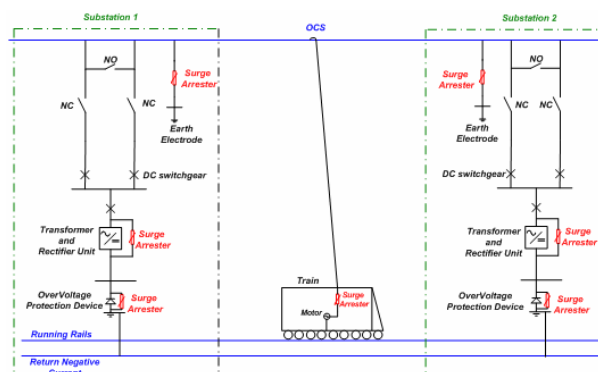


شکل ۶: شکل موج ولتاژ شبکه DC بالاسری قطار برقی در حالت عدم وجود برقگیرها.



شکل ۷: شکل موجهای یکی از فازهای شبکه AC سه فاز پست تراکشن مجاور در حالت عدم وجود برقگیرها.

ث- استفاده از برقگیرها در محل اتصال خروجی واحدهای یکسوساز به هادیهای شبکه بالاسری
ج- استفاده از یک برقگیر در محل ورودی ولتاژ به واگن قطار از طریق پانتوگراف
چ- استفاده از برقگیرها برای هادیهای ریل حرکت قطار تنها برای نواحی با عدد ایزوکرونیک بالا
نصب و استفاده از برقگیرهایی با مشخصات مذکور و در نقاط تعیین شده فوق می تواند تاثیر بسیار زیادی در کنترل و کاهش دامنه اضافه ولتاژهای ایجاد شده در شبکه برق قطارهای برقی DC داشته و به حفاظت بیشتر تجهیزات کمک نماید.



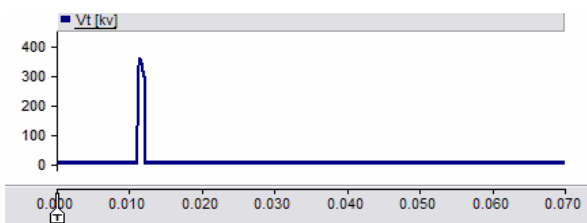
شکل ۳: محلهای نصب بهینه برقگیرها در سیستمهای قدرت قطارهای برقی DC.

۵- شبیه سازی و بحث

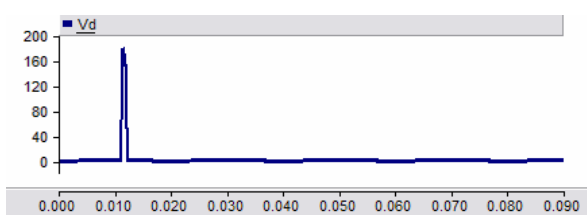
برای بررسی تاثیرات و ویژگیهای اضافه ولتاژهای ایجاد شده در چنین سیستمهایی، یک سیستم قطار برقی با مشخصات مندرج در پیوست در نرم افزار PSCAD/EMTDC شبیه سازی شده است. همچنین برای مشاهده تاثیرات بروز ناگهانی اضافه ولتاژهای گذرا، موج ضربه ناشی از صاعقه یا کلید زنی با شیب صعودی زیاد و مشابه یک تابع پله با دامنه ۵۰ کیلو ولت در نظر گرفته شده است. این بررسیها برای دو حالت بروز اضافه ولتاژ در قسمت DC سیستم تراکشن و همچنین در شبکه AC تغذیه کننده پستهای تراکشن و برای دو حالت وجود و عدم وجود برقگیرها صورت گرفته است.

بررسیهای انجام شده نشان می دهد در صورتیکه یک اضافه ولتاژ مثلاً صاعقه به یکی از فازهای سمت AC پستهای تراکشن اعمال گردد، این اضافه ولتاژ می تواند به سایر فازهای آن نیز القا شود که این موضوع در شکل (۴) دیده می شود. این اضافه ولتاژها با انتقال به پست تراکشن و عبور

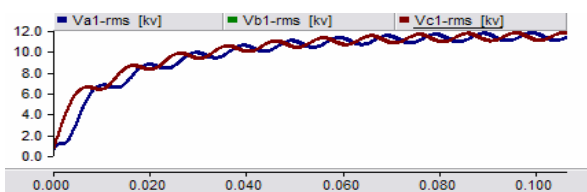
این بررسیها برای حالات بروز اضافه ولتاژهایی نظیر برخورد صاعقه به شبکه بالاسری قطار برقی DC نیز انجام شده و حاکی از این واقعیت است که اضافه ولتاژهای اعمالی به شبکه DC به دو سر دیودهای موجود در پستهای تراشکن نیز وارد می شود و در صورتیکه اقدام به نصب برقیگیرهای مناسب در محلهای ویژه صورت نگرفته باشد، احتمال آسیب دیدن آنها حتمی خواهد بود ولیکن همانند حالت قبل این اضافه ولتاژها هیچ تاثیری بر روی شبکه AC تغذیه کننده پستهای تراشکن نخواهند گذاشت. شکلهای (۱۲-۱۴) شکل موج ولتاژ سمت DC پست تراشکن، ولتاژ دو سر یکی از دیودهای واحدهای یکسوساز پست تراشکن و ولتاژ سه فاز شبکه AC پستهای تراشکن مجاور را برای حالت عدم وجود برقیگیر نمایش می دهند. با مقایسه دامنه این اضافه ولتاژها برای حالات نصب برقیگیر در شبکه که در شکلهای (۱۷-۱۵) دیده می شوند می توان به میزان تاثیر مثبت بکارگیری برقیگیرهای انتخاب و نصب شده در شبکه قطارهای برقی DC جهت محدود نمودن دامنه اضافه ولتاژها و بهبود کارایی سیستم و نیز کاهش احتمال آسیب دیدن تجهیزات پی برد.



شکل ۱۲: شکل موج ولتاژ شبکه DC بالاسری قطار برقی در حالت عدم وجود برقیگیرها.

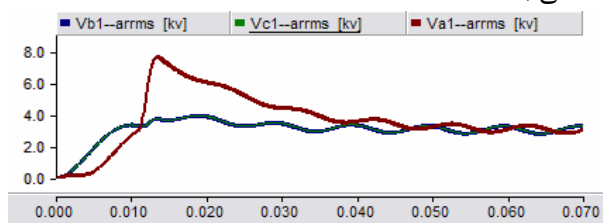


شکل ۱۳: شکل موجهای ولتاژ دو سر یکی از دیودهای پست تراشکن که صاعقه به سیستم DC آن وارد شده است در حالت عدم وجود برقیگیرها.

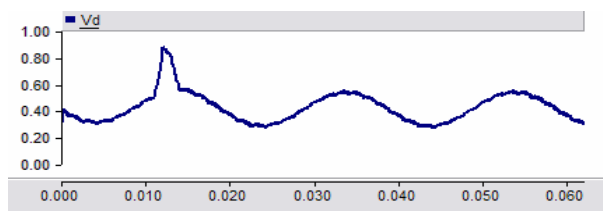


شکل ۱۴: شکل موجهای سه فاز شبکه AC که موج صاعقه به سمت DC پست تراشکن اعمال شده است در حالت عدم وجود برقیگیرها.

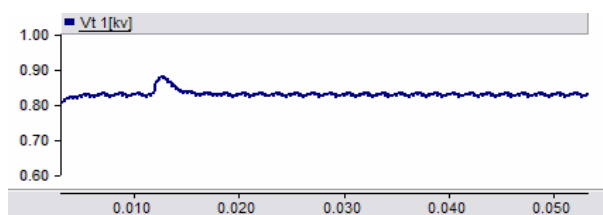
بررسیهای مجدد انجام گرفته برای حالات نصب برقیگیرها مطابق با بخش (۴) نشان می دهد که در این صورت شاهد کاهش چشمگیری در دامنه اضافه ولتاژها خواهیم بود. بعنوان مثال، در صورت نصب برقیگیرها در شبیه سازیهای قبلی، شکل موج ولتاژ برای حالات سه فاز شبکه دارای برخورد صاعقه به یکی از فازها، ولتاژ دو سر یکی از دیودهای واحدهای یکسوساز پست تراشکن، ولتاژ سمت DC پست تراشکن و نیز ولتاژ سمت AC پستهای تراشکن مجاور بترتیب در شکلهای (۱۱-۸) دیده می شوند. مقایسه اندازه دامنه اضافه ولتاژها با شکلهای (۷-۴) گواهی بر تاثیر آشکار برقیگیرها و اثر انتخاب مناسب پارامترها و محلهای نصب بر کاهش دامنه اضافه ولتاژها در شبکه های قطارهای برقی DC می باشد.



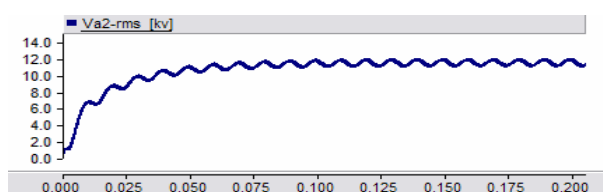
شکل ۸: شکل موجهای سه فاز شبکه AC که موج صاعقه به یکی از فازهای آن اعمال شده است در حالت وجود برقیگیرها.



شکل ۹: شکل موجهای ولتاژ دو سر یکی از دیودهای پست تراشکن که صاعقه به سیستم AC آن وارد شده است در حالت وجود برقیگیرها.



شکل ۱۰: شکل موج ولتاژ شبکه DC بالاسری قطار برقی در حالت وجود برقیگیرها.



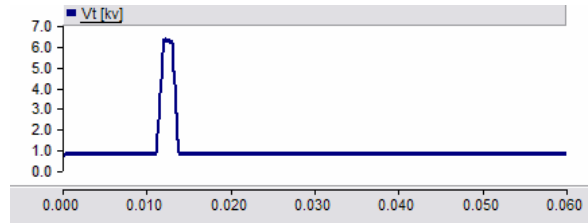
شکل ۱۱: شکل موجهای یکی از فازهای شبکه AC سه فاز پست تراشکن مجاور در حالت عدم وجود برقیگیرها.

مراجع

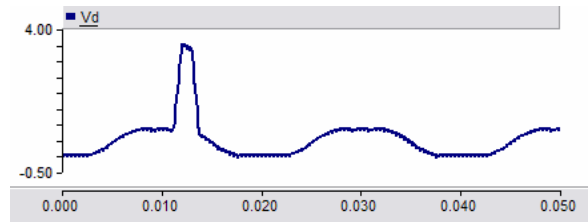
- [1] فرهاد شهنیا، سید حسین حسینی، "پارامترهای انتخاب هادیهای سیستم توزیع انرژی الکتریکی قطارهای برقی و بررسی اضافه ولتاژهای گذرا در این خطوط"، دهمین کنفرانس شبکه های توزیع نیروی برق، تبریز، ۱۳۸۴.
- [2] D. Haluza, "Lightning, ground potential rise and electrical damage, Protecting wayside equipment on the MTA Long Island rail road", ASME/IEEE Joint Railroad Conf., pp. 111-135, April/May 1996.
- [3] F. Delfino, R. Procopio, M. Rossi, "Overvoltage protection of light railway transportation systems", IEEE Int. PowerTech Conf., June 2003, Italy.
- [4] V. Polimac, A. Jhutti, M. Fraser, "Application of HV insulation coordination techniques to DC railway systems", IEE 11th High Voltage Engineering Symposium, pp. 372-376, August 1999.
- [5] L.L. Zhang, G.N. Wu, J. Li, J. Wang, H. Shen, "Study on lightning protection of Qighai-Tibet railway", IEE 13th Int. Symposium on High Voltage Engineering, Netherlands 2003.
- [6] L. Zhang, G. Wu, H. Shen, J. Wang, J. Li, "MOA insulation condition and its operation properties on lightning protection of Qinghai-Tibet railway", IEEE 7th Int. Conf. on Properties and Applications of Dielectric Materials, pp. 137-140, June 2003.
- [7] فرهاد شهنیا، پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی برق- قدرت، "مدلسازی و تحلیل سیستمهای توزیع انرژی الکتریکی تغذیه کننده قطارهای برقی"، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه تبریز، بهمن ۱۳۸۴.
- [8] D. Paul, "Light rail transit DC traction power system surge overvoltage protection", IEEE Trans. on Industry Applications, Vol. 38, No. 1, pp. 21-28, Jan./Feb. 2002.
- [9] N. Theethayi, Y. Liu, R. Montano, R. Thottappillil, M. Zitnik, V. Cooray, V. Scuka, "Modeling direct lightning attachment to electrified railway system in Sweden", IEEE Int. PowerTech Conf., June 2003, Bologna, Italy.

پیوست

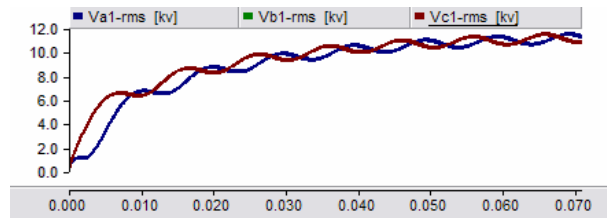
ولتاژ نامی سیستم	۸۰۰ ولت DC
ولتاژ بی باری سیستم	۸۴۸ ولت DC
ماکزیمم ولتاژ در ترمز انرژی زا	۱۰۰۰ ولت DC
تپ اولیه ترانس پست در بی باری	۲/۵٪ +/-
رگولاسیون ولتاژ اولیه سیستم	۵٪ +/-
بارگیری واحدهای ترانس و یکسوساز	۱۰۰٪ پیوسته
مقاومت دی الکتریک واحد یکسوساز	۱۵۰٪ در دو ساعت
مقاومت دی الکتریک کلیدهای DC	۳۰۰٪ در یک دقیقه
سطح ایزولاسیون کابلهای فیدرها	۵ برابر ولتاژ DC نامی
سطح ایزولاسیون تجهیزات الکتریکی	۵/۹ کیلو ولت DC
داخل قطارهای برقی	۲ یا ۵ کیلو ولت
	۳ کیلو ولت DC



شکل ۱۵: شکل موج ولتاژ شبکه DC بالاسری قطار برقی در حالت وجود برقگیرها.



شکل ۱۶: شکل موجهای ولتاژ دو سر یکی از دیویدهای پست تراکشن که صاعقه به سیستم DC آن وارد شده است در حالت وجود برقگیرها.



شکل ۱۷: شکل موجهای سه فاز شبکه AC که موج صاعقه به سمت DC پست تراکشن اعمال شده است در حالت وجود برقگیرها.

۶- نتیجه گیری

بروز اضافه ولتاژ در شبکه قطارهای برقی DC ناشی از عوامل مختلفی از جمله بروز پدیده صاعقه یا برخورد مستقیم آن به هادیهای شبکه بالاسری قطار برقی یا در مجاورت شبکه های توزیع تغذیه کننده پستهای تراکشن، پدیده کلیدزنی در پستهای تراکشن و یا ناشی از اتصالات سست موجود در شبکه می توانند موجب آسیب دیدن تجهیزات شبکه گردند. نصب و استفاده از برقگیرهای DC اکسید فلزی بدلیل مشخصه های عملکردی مناسب و قابلیت قطع جریانهای DC و تحمل انرژی زیاد آن در محل های حساس شبکه تراکشن می تواند راهکار مناسبی جهت کاهش و محدود نمودن دامنه این اضافه ولتاژها باشد. کارایی نصب و استفاده از برقگیرها در کاهش دامنه اضافه ولتاژها در مناطق حساس شبکه با انجام شبیه سازیهای توسط نرم افزار PSCAD/EMTDC نشان داده شده است.