کنفرانس ملی چشم انداز ۱۴۲۰ و پیشرفت های
تکنولوژیک مهندسی برق، کامپیوتر و فناوری اطلاعات

کاهش اضافه ولتاژهای کلیدزنی در خط انتقال H.V.

۱. پری ناز مشایخی شمس[۱]، امین مشایخی شمس[۲]، فرشته رضائی ارپاتپه[۳]

۱-موسسه آموزش عالی غیرانتفاعی- غیردولتی نوین رشته مهندسی تکنولوژی سخت افزارکامپیوتر

۲-دانشگاه آزاد اسلامی اردبیل رشته مهندسی پزشکی گرایش بیوالکتریک

۳- دانشگاه ازاد تهران رشته برق گرایش کنترل

خلاصه:

این خلاصه، توسعه یک پایه شناخت برای کاهش اضافه ولتاژهای گذرای کلیدزنی در خطوط انتقال HV را ارائه می کند. از این پایه شناخت، می توانیم برخی قواعد عملی را برای گذراهای ضربه کلیدزنی بیابیم. این قواعد عملی در سیستم پشتیبانی هوشمند پیشنهادی به کار خواهد رفت. این قواعد با مطالعه جزئی تر پدیده گذرای کلیدزنی، به دست خواهند آمد. پایه شناخت برای مطالعات ضربه کلیدزنی، مشکل انتخاب مدل های مناسب برای نشان دادن اجزای سیستم قدرت در برنامه گذرای الکترومغناطیسی را حل می کند. این، به بررسی اعتبار داده های استفاده شده برای نمایش پدیده گذرای شبیه سازی شده کمک کرده و به کاربر، پیشنهاداتی را برای اصلاح داده های نمونه خود پیش از شبیه سازی می دهد.

کلمات کلیدی: خط انتقال، اضافه ولتاژ، کلیدزنی کنترل شده، فرکانس توان، انرژی دار کردن.

۱- مقدمه

در زمانی که ولتاژهای انتقال، حدود ۲۲۰ kV و کمتر بود، اضافه ولتاژهای ناشی از صاعقه، از مرتبه بالایی بودند و اضافه ولتاژهای داخل سیستم، اثر زیادی نداشتند.[1]در سال های بعد، با افزایش در ولتاژهای انتقال از ۴۰۰ kV و بالاتر، اضافه ولتاژهای ایجاد شده در داخل سیستم، به همان مرتبه اندازه اضافه ولتاژهای صاعقه یا بالاتر رسیدند. ثانیا، این اضافه ولتاژها، برای مدت بیشتری طول می کشند و بنابراین برای سیستم شدیدتر و خطرناک تر هستند. اضافه ولتاژهای کلیدزنی به ولتاژ طبیعی سیستم وابسته هستند و لذا با افزایش ولتاژ سیستم، افزایش می یابند. سطح عایق و هزینه وسیله به مقادیر این اضافه ولتاژها بستگی دارد. در محدوده EHV، ضربه کلیدزنی و سایر انواع اضافه ولتاژها هستند که سطح عایق خطوط و سایر وسایل و در نتیجه ابعاد و هزینه آنها را تعیین می کنند.[5] یک گذرا، وقتی در سیستم قدرت رخ می دهد که شبکه از یک حالت پایدار به حالت دیگر تغییر کند. این برای نمونه می تواند حالتی باشد که صاعقه به طور مستقیم به یک پست برخورد می کند. با این وجود، بیشتر گذراهای سیستم قدرت، نتیجه یک عمل کلیدزنی هستند. سوئیچ های قطع بار و قطع کننده ها[۱] بخش هایی از شبکه را تحت شرایط با باری و بی باری، قطع و وصل می کنند.[2]

با رخدادهای کلیدزنی و اختلالات سیستم، تبادل های انرژی، اجزای مدار را در معرض تنش بالاتر ناشی از تغییرات جریان و ولتاژ زیاد قرار می دهند که پیش بینی آن، هدف اصلی شبیه سازی گذرای سیستم قدرت است.[3] انرژی دار کردن خط انتقال بلند می تواند باعث تنش های اضافه ولتاژ بالا عمدتا در طول خط انتقال و نیز در شبکه منبع شود. یک روش سنتی برای محدود کردن اضافه ولتاژهای کلیدزنی به سطوح قابل قبول، استفاده از مدار شکن های مجهز به مقاومت های پیش الحاق است.[4]

[۱] disconnectors

گذرای کلیدزنی در یک سیستم انتقال قابل اجتناب نیست و حذف کامل آن نیز بسیار دشوار است. با این وجود، مقادیر آن باید محدود شود تا با سطح عایق تجهیزات سیستم، سازگار باشد. در نتیجه، اقدامات کنترل اضافه ولتاژ باید اتخاذ شود که حفاظت مناسبی را برای شبکه فراهم کند.

سطح اضافه ولتاژ گذرا، اثر زیادی بر قابلیت اطمینان سیستم قدرت دارد. کارهای عمده که می توانند اضافه ولتاژهای کلیدزنی ایجاد کنند، انرژی دار کردن خط و انرژی دار کردن مجدد، کلیدزنی خازن و راکتور، وقوع خطاها و باز شدن های کلید، هستند.

گذرای کلیدزنی خط انتقال و شدت آن به اختلاف بین ولتاژهای منبع و خط در لحظه انرژی دار کردن، وابسته است. [6]اگر انرژی دار کردن در لحظه ای که اختلاف بین ولتاژ منبع و ولتاژ خط زیاد است، رخ دهد، یک موج سیار بزرگ در خط انتقال تزریق خواهد شد. IEC یک، دو یا سه سطح BIL را برای هر ولتاژ سیستم تعیین می کند، لذا فضایی را به مشتری برای وفق دادن BIL به شرایط اضافه ولتاژ کلیدزنی واقعی می دهد.

سازنده به سادگی باید کابل هایی را تولید کند که ولتاژهای تست کلیدزنی را برآورده کند. برای جلوگیری از خرابی کابل ناشی از اضافه ولتاژهای کلیدزنی لازم است که سطح حفاظتی فراهم شده با برق گیرها در یک حاشیه امن حفظ شود.

برای خطوط انتقال بلند، به طور سنتی، اضافه ولتاژهای گذرای کلیدزنی بوسیله اتخاذ مقاومت های پیش الحاق در مدار شکن های خط، محدود می شد، اما این به علت هزینه بالای پیاده سازی و نگهداری، مقبولیت رو به کاهشی را نشان می دهد. [7]

اولین گزینه تحلیل شده برای جایگزین کردن مقاومت های بستن، نصب برق گیرهای اکسید فلز (MOSA) در هر دو انتهای خط است. یک روش دیگر کاهش گذراهای کلیدزنی، کلیدزنی سنکرون است. این، روشی برای حذف اضافه ولتاژهای گذرا بوسیله عملیات کلیدزنی کنترل شده با زمان است. فرمان های بسته شدن به مدار شکن به صورتی تأخیر می یابد که جدایی در لحظه زمانی بهینه در رابطه با زاویه فاز رخ دهد.

چندین روش حل برای کاهش اضافه ولتاژهای کلیدزنی، پیشنهاد و اعمال شده، مانند مقاومت های پیش الحاق، اندوکتانس های پیش الحاق، اندوکتانس های ثابت، برق گیرها و کلیدزنی کنترل شده. در میان اینها، کلیدزنی کنترل شده مدار شکن ها یک روش مفید رو به گسترش برای کاهش اضافه ولتاژ کلیدزنی شده است.

۲–کلیدزنی کنترل شده

کلیدزنی کنترل شده، اصطلاحی است که معمولا برای توصیف استفاده از تجهیزات کنترل الکترونیک برای آسان کردن کار کنتاکت های یک وسیله کلیدزنی در یک نقطه از پیش تعیین شده نسبت به یک سیگنال مرجع الکتریکی، استفاده می شود. اصطلاحات دیگری نیز برای این روش مانند «کلیدزنی سنکرون» یا «کلیدزنی نقطه روی موج» وجود دارد.

در روش کلیدزنی کنترل شده، عمدتا دو مرحله اصلی وجود دارد. ابتدا، باید یک نقطه بهینه روی موج ولتاژ یا جریان مرجع طوری تعیین شود که اضافه ولتاژ گذرای حاصل پس از عملیات، حداقل باشد. این کار نیاز به توجه خاصی دارد، زیرا نقطه عملکرد بهینه طبق باری که باید سوئیچ شود، تغییر می کند.

دوم، لحظه اعمال فرمان عملکرد مربوط به مدار شکن، باید طوری تعیین شود که مدار شکن در نقطه از پیش تعیین شده کار کند. به منظور انجام این کار، زمان های عملکرد مدار شکن باید معلوم شود. گرچه زمان های عملکرد مدار شکن می تواند اندازه گیری شود، اما پارامترهای محیطی و عملیاتی، ذاتا بر زمان های عملکرد اثر می گذارند.[10]

در نتیجه، می توان گفت که جزئیات کار کاربردهای کلیدزنی کنترل شده عمدتا به دو عامل وابسته است؛ نوع باری که باید سوئیچ شود و مشخصه های کاری مدار شکن خاصی که استفاده می شود.

۳–اضافه ولتاژهای فرکانس توان در سیستم های قدرت

اضافه ولتاژهای فرکانس توان در سیستم های قدرت بزرگ رخ می دهند و در سیستم های EHV یعنی سیستم های ۴۰۰ kV و بالاتر اهمیت زیادی دارند. دلایل اصلی اضافه ولتاژهای فرکانس و هارمونیک های آن عبارتند از

الف) از دست دادن ناگهانی بارها،

ب) قطع بارهای سلفی یا اتصال بارهای خازنی،

ج) اثر فرانتی، خطاهای نامتقارن و

د) اشباع در ترانسفورمرها و غیره.

۴–کنترل اضافه ولتاژهای ناشی از کلیدزنی

اضافه ولتاژهای ناشی از کلیدزنی و فرکانس توان می توانند با این روش ها کنترل شوند

الف) انرژی دار کردن خطوط انتقال در یک یا دو گام با اضافه کردن مقاومت ها و سپس بیرون آوردن آنها،

ب) بستن کنترل شده با فاز مدار شکن ها،

ج) تخلیه بارهای محبوس پیش از بستن مجدد،

د) استفاده از راکتورهای شنت و

ه) محدود کردن ضربه های کلیدزنی با برق گیرهای مناسب.

الف) اضافه کردن مقاومت

اضافه کردن مقاومت R به صورت سری با کنتاکت های مدار شکن هنگام روشن کردن و اتصال کوتاه آنها پس از چند سیکل، کاری طبیعی و متداول است. این، گذراهای ناشی از کلیدزنی را کاهش می دهد. پیش الحاق مقاومت های با مقادیر مناسب در عمل، برای محدود کردن اضافه ولتاژ به کمتر از ۲/۰ تا ۲/۵ p.u. انجام می شود و زمان طبیعی الحاق ۶ تا ۱۰ ms است. [8]

ب) کلیدزنی کنترل شده با فاز

با کنترل دقیق لحظه های بسته شدن سه فاز به صورت جداگانه، می توان از اضافه ولتاژ اجتناب کرد. اما این کار استفاده از تجهیزات کنترل پیچیده را الزامی می کند و لذا استفاده نمی شود.

ج) تخلیه بارهای محبوس

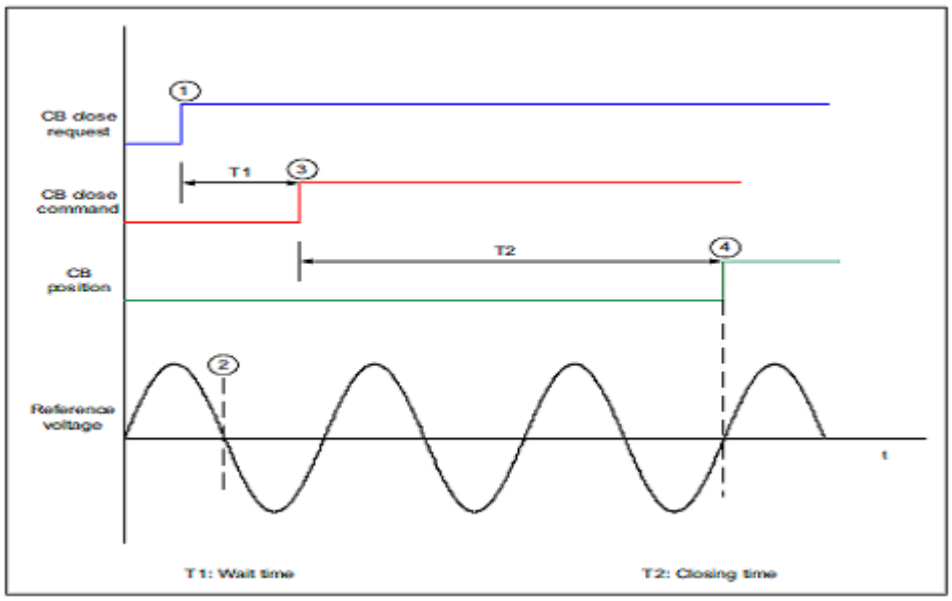
وقتی خطوط به طور ناگهانی قطع می شوند، «بار الکتریکی» می تواند بر روی خازن ها و هادی های خط باقی بماند. این بار معمولا از طریق مسیر نشتی عایق ها و غیره، نشت می کند. (مغناطیس) ترانسفورمرهای پتانسیل متداول نیز ممکن است به تخلیه بار کمک کنند. یک روش مؤثر کاهش بارهای محبوس در طول زمان پیش از بستن مجدد، الحاق موقتی مقاومت هایی به زمین یا به صورت سری با راکتورهای شنت و برداشتن آنها پیش از بستن سوئیچ هاست.

د) راکتورهای شنت

معمولا همه خطوط EHV، راکتورهای شنتی برای محدود کردن صعود ولتاژ ناشی از اثر فرانتی خواهند داشت. آنها معمولا به کاهش ضربه های ناشی از انرژی دار کردن ناگهانی کمک می کنند. با این وجود، راکتورهای شنت نمی توانند بارهای محبوس را تخلیه کنند، اما با ظرفیت خازنی سیستم، نوسانات را افزایش می دهند. از آنجا که جبران سازی توسط راکتورها کمتر از ٪ ۱۰۰ خواهد بود، فرکانس نوسان کمتر از فرکانس توان خواهد بود و اضافه ولتاژ تولید شده می تواند به اندازه ۱/۲ p.u. باشد. مقاومت سری با این راکتورها، از نوسانات جلوگیری کرده و اضافه ولتاژها را محدود می کنند. [9]

۵–کاربردهای کلیدزنی کنترل شده– پدیده عمومی کلیدزنی کنترل شده

کلیدزنی کنترل شده، روشی است که برای حذف گذراهای مضر تولید شده با عمکردهای کلیدزنی به کار می رود. در این روش، فرمان های باز کردن و بستن به مدار شکن طوری تأخیر می یابند که وقفه یا آغاز جریان در نقطه از پیش تعیین شده ای بر روی سیگنال مرجع الکتریکی یعنی شکل موج ولتاژ یا جریان رخ دهد.



۱-دنباله رخدادها برای کلید زنی کنترل شده

دنباله رخدادها برای کلیدزنی کنترل شده در شکل یک به صورت زیر است؛

الف) درخواست بستن مدار شکن در نقطه ۱ دریافت می شود

ب) به منظور تعیین نقطه هدف، صفر ولتاژ بعدی در نقطه ۲ مشخص می شود

ج) با دانستن زمان بستن مدار شکن و فرکانس سیستم قدرت، صفر ولتاژ هدف شناسایی می شود

د) زمان دادن فرمان بستن به مدار شکن، تخمین زده شده و فرمان بستن در نقطه ۳ اعمال می شود

ه) کنتاکت های مدار شکن در صفر ولتاژ هدف در نقطه ۴ تماس پیدا می کنند

۶-کلیدزنی کنترل شده خطوط هوایی

کاهش اضافه ولتاژهای کلیدزنی مرتبط با کلیدزنی خط بدون بار، یکی از اولین کاربردهای پیشنهادی کلیدزنی کنترل شده است. اضافه ولتاژهای گذرا در هر دو عملیات باز شدن و بستن در کلیدزنی خط هوایی مشاهده می شوند و روش های کلیدزنی کنترل شده می توانند به هر دو عملیات اعمال شوند. کلیدزنی کنترل شده می تواند برای حذف ضربه ها با افزایش زمان جرقه نیز به کار رود.

۷-مزایای کلیدزنی کنترل شده

کاربرد کلیدزنی کنترل شده، مزایایی را در هر دو جنبه فنی و اقتصادی، فراهم می کند.

۱- افزایش طول عمر مدار شکن: روش های کلیدزنی کنترل شده می توانند با کنترل زمان جرقه و پیش از جرقه، برای حداقل کردن فرسایش ضربه گیر استفاده شوند. حداقل کردن فرسایش ضربه گیر، افزایش عمر مدار شکن، بازه های نگهداری طولانی تر و لذا هزینه های نگهداری پایین تر را ارائه می کند. کنترل زمان جرقه و پیش از جرقه، همچنین امکان استفاده از طراحی های مدار شکن متراکم تر و ارزان تر را فراهم می کند.

۲- حذف تجهیزات جانبی پر هزینه مانند مقاومت های بستن: حذف این تجهیزات جانبی، کاهشی را نه تنها در هزینه مدار شکن بلکه در هزینه های نگهداری فراهم می کند. محدودیت اضافه ولتاژهای کلیدزنی، کاهش سطح عایق و در نتیجه هزینه تجهیزات سیستم قدرت را فراهم می کند. این به طور خاص برای خطوط هوایی که در آن هزینه عایق قابل توجه است، مهم می باشد. با استفاده از کلیدزنی کنترل شده، استفاده از طراحی های برج متراکم تر و رشته های عایق کمتر در ساختار خط هوایی، ممکن می شود.

۸–شبیه سازی و نتایج

در این بخش، شبیه سازی های واقعی انجام شده و نتایج، نشان داده شده اند. خط انتقال استفاده شده، ۴۰۰ km طول دارد. این خط به چهار قسمت ۱۰۰ km تقسیم شده تا مقادیر ولتاژ در فواصل مختلف در خط انتقال مشاهده شود.

۸–۱اضافه ولتاژها در زمان انرژی دار کردن خط انتقال:

در زمان انرژی دار کردن خط انتقال، اضافه ولتاژهایی ناشی از عملکرد مدار شکن ها رخ می دهد. چندین روش برای کاهش این اضافه ولتاژها به سطح قابل قبول وجود دارد، روش هایی مانند برق گیرها و کلیدزنی کنترل شده مدار شکن ها در شبیه سازی های انجام شده، به کار رفته اند. در قسمت بعد نتایج شبیه سازی برای شرایط مختلف در نظر گرفته شده است.

۸–۲بدون استفاده از روش های کاهش اضافه ولتاژ:

خط انتقال در هر دو انتها به منبع ولتاژ ۴۰۰ V متصل بود و دو مدار شکن در هر دو انتها از t برای ایزوله کردن منبع از خط استفاده کردند. مدار شکن در زمان ۰/۲ ثانیه بسته شده و رفتار خط برای انرژی دار کردن مشاهده می شود. نمودارهای ولتاژهای سمت فرستنده و دریافت کننده به صورت مشاهده شده در ادامه هستند. اینها ولتاژهای زمان انرژی دار کردن خط انتقال هستند. حداکثر ولتاژ حدود ۵۳۶ kV است.

۸–۳اعمال کلیدزنی کنترل شده به C.B. برای کاهش اضافه ولتاژ:

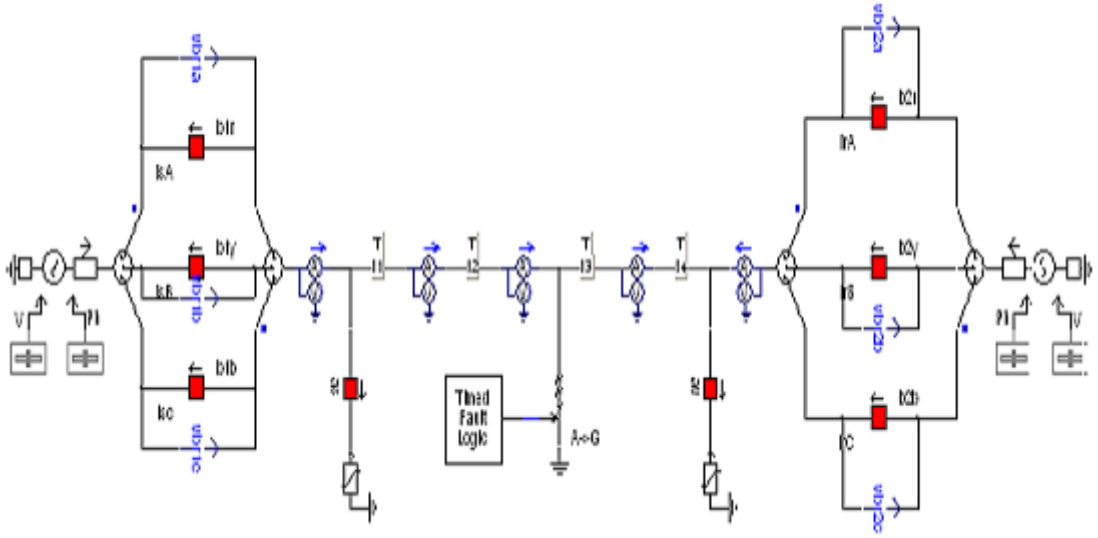
حال برای اعمال کلیدزنی کنترل شده، سه قطب C.B. مختلف به صورت مجزا سوئیچ می شوند. سه قطب C.B. وقتی که ولتاژ روی کنتاکت های قطب صفر است، به صورت جداگانه سوئیچ می شوند.

۸–۴اضافه ولتاژها در زمان انرژی دار کردن مجدد خط انتقال:

مقادیر شدیدتر ولتاژ در روی خط انتقال، می تواند در زمان انرژی دار کردن مجدد خط انتقال رخ دهد. در ادامه نتایج و روش های کاهش این اضافه ولتاژها آمده است.

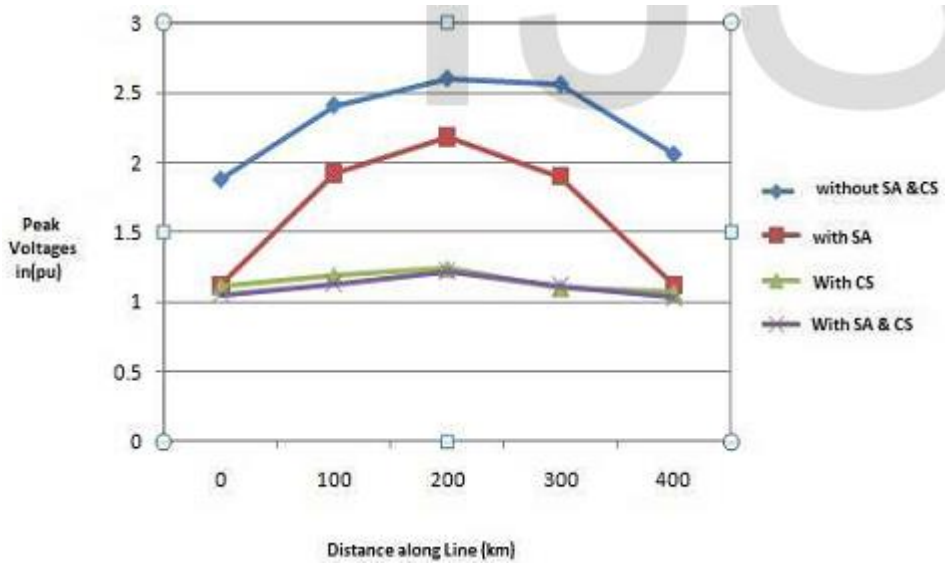
۸–۵با استفاده از برق گیر و کلیدزنی کنترل شده برای کاهش اضافه ولتاژ

اکنون برای خط داده شده، هر دو روش برق گیر و کلیدزنی کنترل شده اعمال شده و نتایج مشاهده شده اند.



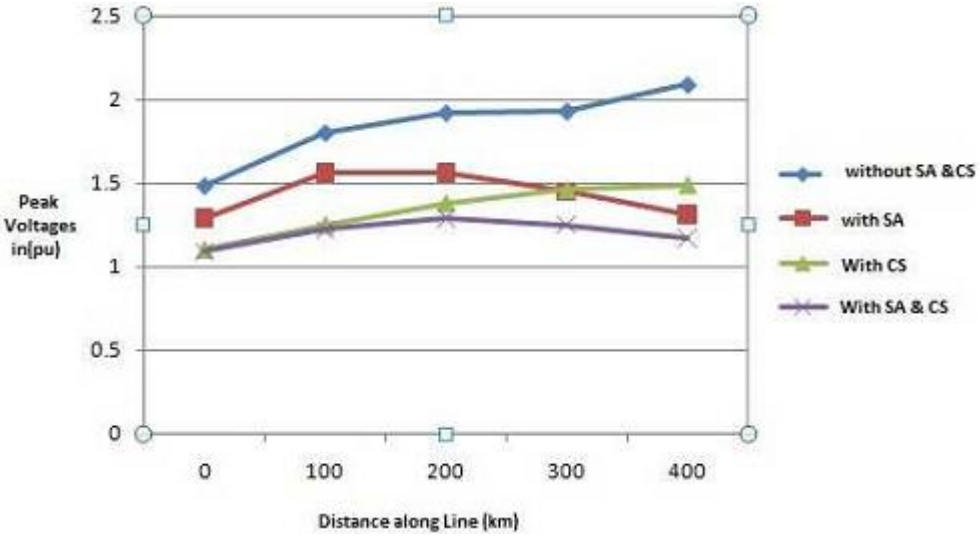
شکل ۲: مدل برای اعمال کلیدزنی کنترل شده در لحظه انرژی دار کردن مجدد

نمودار، لحظه کلیدزنی هر قطب مدار شکن را برای هر دو سمت مدار شکن نشان می دهد. شکل زیر مقایسه حداکثر اضافه ولتاژ ظاهر شده در فواصل مختلف خط با اعمال روش های کاهش اضافه ولتاژ مختلف است.



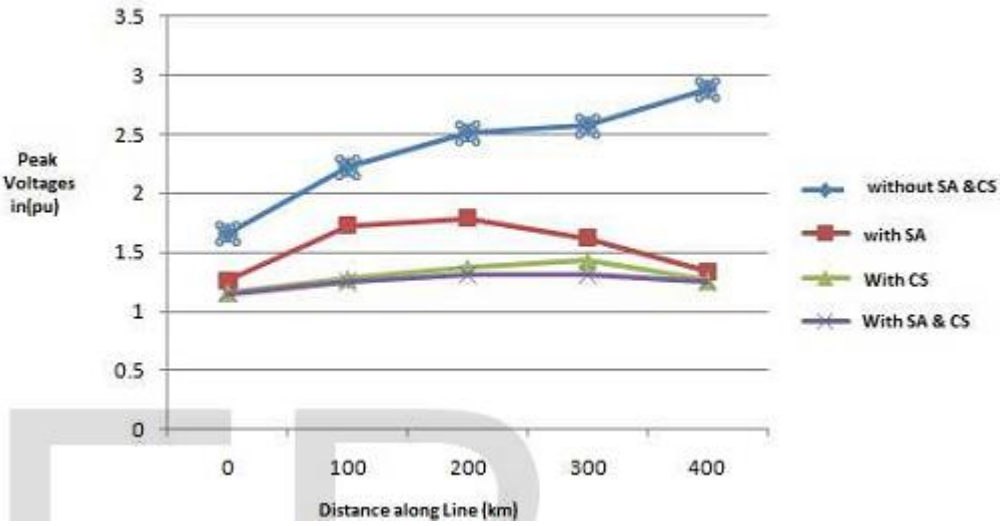
شکل۳: مقایسه اضافه ولتاژها برای شرایط مختلف در زمان انرژی دار کردن مجدد

نمودار بالا در شکل ۳ نشان می دهد که اضافه ولتاژها می توانند با استفاده از برق گیرها و روش کلیدزنی کنترل شده، در لحظه انرژی دار کردن مجدد خط انتقال، به سطح قابل قبول کاهش یابند.



شکل٤ -مقایسه اضافه ولتاژها برای انرژی دار کردن خط تغذیه شده در یک انتها برای شرایط مختلف

برای انرژی دار کردن مجدد خط داده شده در بالا، نتیجه می تواند به صورت زیر داده شود.



شکل ۵-مقایسه اضافه ولتاژها برای انرژی دار کردن مجدد خط تغذیه شده در یک انتها برای شرایط مختلف

۶-نتیجه گیری

از شبیه سازی بالا می توانیم نتیجه بگیریم که کلیدزنی کنترل شده مدار شکن، بهترین روش برای کاهش اضافه ولتاژهای کلیدزنی نسبت به سایر روش هاست. بدون استفاده از برق گیر یا کلیدزنی کنترل شده، اضافه ولتاژهای اوج می توانند به p.u. ۲/۱۲ و حتی تا نزدیک p.u. ۳/۰ برسند. این اضافه ولتاژها برای کل سیستم قدرت بسیار خطرناک هستند. اگر برق گیرها در هر دو انتهای خط استفاده شوند، این اضافه ولتاژها می توانند تا حدی جلوگیری شوند و مقدار اوج ولتاژ مشاهده شده با برق گیر p.u. ۱/۸ است. با استفاده از کلیدزنی کنترل شده می توانیم این ولتاژهای اوج را به یک سطح بسیار پایین و قابل تحمل کاهش دهیم.

با استفاده از کلیدزنی کنترل شده، مقدار اوج اضافه ولتاژها p.u. ۱/۳۱ است. کلیدزنی کنترل شده چند مزیت را در هر دو جنبه فنی و اقتصادی مانند طول عمر افزایش یافته مدار شکن و هزینه عایق پایین تر تجهیزات سیستم قدرت، فراهم می کند. قابلیت اطمینان کاربردهای کلیدزنی کنترل شده به علت این حقیقت که استفاده گسترده این روش به بیش از ۱۰-۱۵ سال نمی رسد، فعلا نمی تواند بررسی شود. طرح های حفاظت و کنترل شامل هر دو روش کلیدزنی کنترل شده و برق گیر، نتیجه بهتری را برای کاهش اضافه ولتاژ فراهم می کنند.

۷-چشم انداز آینده

امروزه روش کلیدزنی کنترل شده، با استفاده از تجهیزات کنترل خارجی (کنترل کننده) اعمال می شود که سیگنال های ولتاژ و جریان را به عنوان ورودی می گیرد. این کاربردهای خارجی قابلیت اطمینان روش را کاهش می دهند، زیرا شرایط کابل کشی و محیطی بر عملکرد کنترل کننده اثر می گذارند. در آینده انتظار می رود که این کنترل کننده ها تجهیزاتی داخلی باشند که به صورت یک ویژگی استاندارد مدار شکن ها، فراهم شوند. به علاوه، همچنین ممکن به نظر می رسد که در آینده الگوریتم های کنترلی در سیستم های حفاظت و کنترل پست گنجانده شوند که منجر به این می شود که کلیدزنی کنترل شده تنها به یک موضوع نرم افزاری تبدیل شود.

مراجع

[1] A.I. Ibrahim, H.W. Dommel “A Knowledge BaseforSwitch-ing Surge transients”, International conference on power system transients (IPST’05) in Montreal Canada onJune19-23 2005Pa-per No.IPST050.

[2] T. Keokhoungning, “Switching Over voltage Analysis of 500 kV TransmissionLineBetween Nam Theun2 andRoi Et 2”In-ternational Conference onPower Systems Transients (IPST2009) in Kyoto, Japan June3-6,2009

[3] A 13.07 CIGRE Working Group, “Controlled Switching: non-conventional applications\”, Electra No 214, June 2004 , CIGRE, Paris.

[4] Manitoba HVDCResearch Center Inc.,Canada “Application of PSCAD/EMTDC” ver.4.2.1

[5] A 13.07 CIGRE WorkingGroup, “Controlled Switching of HVACCircuit Breakers, Guide forapplication lines, reactors, capacitors,transformers (1stpart)” , Electra No183, April 1999 , CIGRE, Paris.

[6] A 13.07 CIGRE WorkingGroup,“Controlled Switching of HVACCircuit Breakers, Guide forapplication lines,reactors, capacitors,transformers (2ndpart)” , Electra No 185, August 1999 , CIGRE,Paris.

[7] Volker Hinrichsen, “Metal-Oxide Surge Arresters in High-Voltage TransmissionandDistribution Systems Effectiveand reliable devices increasing system availability and reducing maintenance costs” SiemensPTD,Berlin/Germany

[8] TaskForce 13.00.1 ofStudy Committee 13 CIGRE,“Con-trolled Switching– A State oftheArt Survey (1stpart)”, Electra No.162, October 1995, CIGRE,Paris

[9] TaskForce 13.00.1 ofStudy Committee 13 CIGRE,“Con-trolled SwitchingA State oftheArt Survey (2nd part)”, Electra No164, February 1996, CIGRE,Paris

[10] ABB, Edition 1 "Controlled Switching Application Guide", 2004