# بررسی محدودکننده جریان خطا از نوع HTS با هسته اشباع در شرایط وقوع اضافه‌ولتاژهای گذرای سطح انتقال

محمدباقر ابوالحسنی جبلی
دانشگاه شاهد

عارف درودی
دانشگاه شاهد

سعید جودکی
دانشگاه شاهد

محمدحسین کاظمی
دانشگاه شاهد
شرکت مدیریت شبکه برق ایران

چکیده - باتوجه به افزایش تقاضای انرژی الکتریکی و به تبع آن توسعه شبکه‌های به هم پیوسته و در نتیجه افزایش سطح اتصال کوتاه، مسئله کنترل جریان خطا با استفاده از تجهیزاتی به نام محدود ساز جریان خطا، یکی از مباحث تحقیقاتی روز دنیا گردیده است. از طرفی با توجه به وجود این مشکل در شبکه انتقال ایران، در این مقاله سعی شده تا با ارائه مدل و ساختار یک نوع HTS-FCL با هسته اشباع که برای سطح انتقال طراحی شده است، به بررسی نحوه توزیع ولتاژ گذرا در سیم‌پیچهای آن در شرایط وقوع انواع ولتاژهای ضربه پرداخته شود. باتوجه به نتایج، علاوه بر عدم یکنواختی توزیع ولتاژ در شرایط گذرا، سیم‌پیچ این تجهیز بویژه هنگام وقوع ولتاز ضربه کامل، شکسته و سوزنی، دچار نوسانهای فرکانس بالای ولتاژی می‌گردد که می بایست در طراحی عایقی آن مورد توجه قرار گیرد.

کلید واژه- محدودکننده جریان خطا، HTSFCL، اضافه ولتاژ، ولتاژ ضربه

## ۱- مقدمه

ازدیاد تقاضا و به دنبال آن توسعه روز افزون سیستم های تولید، انتقال و توزیع انرژی الکتریکی و همچنین افزایش به هم پیوستگی در شبکه‌های قدرت به دلیل نیاز به افزایش ظرفیت، منجر به افزایش سطح اتصال کوتاه و جریانهای خطای بزرگتر و در نتیجه ایجاد آثار نامطلوب حرارتی، تنشهای مکانیکی و کاهش قابلیت اطمینان شبکه شده است. با وجود رعایت تمامی موارد مربوط به ایمنی سیستم قدرت، وقوع اتصال کوتاه در شبکه‌های قدرت امری اجتناب ناپذیر می‌باشد. در زمان اتصال کوتاه صرف نظر از آسیبی که به خاطر بروز قوس الکتریکی به نقطه اتصال کوتاه وارد می‌شود، جریانهای عظیمی که از ژنراتورها به طرف نقطه عیب جاری می‌گردد، سبب وارد شدن تنشهای دینامیکی و حرارتی بالا به تجهیزات سیستم قدرت از قبیل خطوط هوایی، کابلها، ترانسفورماتورها و کلیدهای قدرت می شود[۱]. ضمن اینکه تجهیزات شبکه باید توانایی تحمل این جریان زیاد را داشته باشند، برای قطع این جریان، کلیدهایی با قدرت قطع بالا لازم است که هزینه های سنگینی به سیستم تحمیل می‌کند. کلیدهای قدرت مورد استفاده در شبکه برای عملکرد کامل نیازمند زمانی معادل چند سیکل(چند میلی ثانیه) می‌باشند. عبور مقادیر بزرگ جریان از خطوط و تجهیزات سیستم قدرت در همین چند سیکل می‌تواند موجب تخریب جدی تجهیزات شود زیرا جریان اتصال کوتاه در لحظات اولیه بویژه در پریود اول موج جریان دارای بیشترین دامنه است. مسئله کنترل قدرت اتصال کوتاه شبکه‌های الکتریکی با استفاده از قابلیتهای تجهیزات



Create PDF files without this message by purchasing novaPDF printer (http://www.novapdf.com)

فوق تحت عنوان محدود ساز جریان خطا (FCL)[1] ازمباحث تحقیقاتی روز دنیا محسوب می‌شود. محدود کننده‌های جریان خطا وظیفه دارند جریان اتصال کوتاه را قبل از رسیدن به حداکثر مقدار خودمحدودکنند بطوری که تجهیزات حفاظتی و کلیدهای قدرت توانایی قطع آن را داشته باشند[۲].

محدود ساز جریان خطا بلافاصله بعد از وقوع خطا در مدار قرار می گیرد و توانایی دارد تا تمام جریانهای اضافی را که بزرگتر از جریان شبکه باشند با زمان پاسخگویی مناسبی محدود کند. محدود کننده‌های جریان اتصال کوتاهی که در دهه‌های اخیر، طراحی شده‌اند، معمولا عناصر سری با تجهیزات شبکه هستند. این تجهیزات در حالت عادی مقاومت کمی در برابر عبور جریان از خود نشان می دهند، اما پس از وقوع اتصال کوتاه در لحظات اولیه شروع جریان، مقاومت(امپدانس) آنها سریعاً بزرگ شده و از افزایش جریان اتصال کوتاه جلوگیری می‌کنند. بنابراین صاحبان این شبکه ها این امکان را پیدا می‌کنند تا از تجهیزاتی با مقادیر نامی پایینتر استفاده کرده و صرفه جویی بالایی را در هزینه ها داشته باشند. براساس انتشارات CIGRE، مشخصات عمومی یک محدودکنندهٔ مناسب جریان بصورت ذیل تعیین شده است[۳]:

- پاسخ بسیار سریع هنگام وقوع خطا را داشته باشد.
- در حالت عادی تاثیر سوء بر سیستم نداشته باشد.
- توانایی کافی جهت محدودسازی جریان اتصال کوتاه داشته باشد.
- توانایی برای عملکرد به دفعات متعدد داشته باشد.
- بعد از عملکرد، توانایی برگشت به حالت عادی را داشته باشد.
- نرخ بهره/قیمت بالا داشته باشد.

یکی از تجهیزات حفاظتی سیستم قدرت که روز به روز مزیتهای فنی و اقتصادی آن بیشتر آشکار شده و به همین دلیل مورد توجه پژوهشگران و مهندسین فعال در زمینه طراحی شبکه های الکتریکی قرار می گیرد، محدودساز ابررسانایی جریان خطا(SFCL)[2] است[۴]. محدودکننده‌های جریان خطای فوق گرمایی (HTS-FCL)[3] نیز بر پایه نسبت بین مقاومت و دما در ابر رسانا می توانند جریان را محدود کنند. مواد ابر رسانا همچون Bi2222، Bi222 و Ybco رساناهای الکتریکی کاملی هستند که دارای مقاومت صفر در زیر دمای بحرانی خود می‌باشند و با زیاد شدن جریان، دمای آنها بالا رفته و باعث زیاد شدن مقاومت ابر رسانا می‌شود و زیاد شدن مقاومت ابررسانا محدود شدن جریان خطا را در پی دارد[۵].

در شبکه انتقال ایران، افزایش سطح اتصال کوتاه در بعضی از مناطق باعث شده که جریانهای اتصال کوتاه تا حد مقادیر نامی تجهیزات شبکه افزایش یابد و یا حتی در بعضی موارد مانند شینه ۲۳۰ کیلوولت پستهای فیروزبهرام و شهیدمنتظرقائم، مقادیر نامی تجهیزات کافی نباشد و تعویض آنها در برنامه‌های آینده شبکه گنجانده شود[۶]. بنابراین در سالهای اخیر به تجهیزاتی که توانایی محدود کردن جریان اتصال کوتاه داشته باشند، توجه ویژه‌ای شده و مطالعات و تحقیقاتی در این زمینه انجام گرفته

1. Fault Current Limiter

2. Superconducting FCL

3. High Temperature SFCL



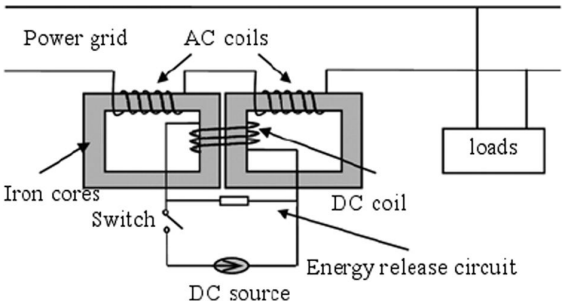
Create PDF files without this message by purchasing novaPDF printer (http://www.novapdf.com)

است[۷]. محدودکننده‌های جریان اتصال کوتاه، بیشتر در سطح توزیع و فوق توزیع ساخته و استفاده شده‌اند اما در سطح انتقال(۲۳۰ کیلوولت و بالاتر) بـه دلایـل خاص تکنولوژیکی و شرایط ولتاژ بـالا، باهزینـه هـای بسیار زیادی نسبت به تجهیزات دیگـر قابـل سـاخت هستند و استانداردهای خاص فشار قوی مـی بایسـت درباره آنها رعایت گردد.

از آنجـا کـه بررسـی خصوصـیتهای الکتریکـی، مغناطیسی و حرارتی انواع محدودسازهای ابررسانایی، نیازمند یک مدل تحلیلی قابل قبول برای انجام شـبیه سـازیهای لازم و سـپس اسـتفاده از الگوریتمهـای بهینه‌سازی در طراحی آنهاست[۴]، در این مقاله تلاش می‌شود تا با ارائه مدل و ساختار یک نوع HTS-FCL با هسته اشباع که برای کار در سطح انتقال طراحی شده است، به بررسی شرایط توزیع ولتاژهای ایجاد شده در این محدود کننده جریان خطا پرداخته شود. اهمیـت موضوع اینطور مشخص می‌شود کـه بـدانیم نوسـانات فرکانس بالای ولتاژی در شرایط گذرا که در این تجهیز ایجاد می شود، عایقهای سیم‌پیچها را تهدید می‌کنـد. در بررسیها و مطالعات گذشـته و از جملـه در [۸] بـه بررسی توزیع ولتاژ ناشی از ضـربه کامـل و شکسـته پرداخته شده است اما در این مقاله به بررسی شـرایط محدود کننده در شرایط اِعمال انواع ولتاژهـای ضـربه (کامل، شکسته، سوزنی و کلیدزنی) پرداختـه شـده و نکاتی در این خصوص استخراج خواهد شد.

## ۲- ساختار و کارکرد نوعی HTS-FCL

در شکل۱ ساختاری ساده از طرح تکفاز یک HTS-FCL باهسته اشباع و ارتباطات آن با شبکه برق را نشان می‌دهد. این تجهیز برای سطح ولتاژ ۲۲۰کیلولت طراحی گردیده است[۸] و در این مقاله از این ساختار برای مطالعه استفاده می‌شود.




شکل ۱: ساختار ارتباطات نوعی HTS-FCL تکفاز در شبکه

دو هسته ای که در شکل مشاهده می‌شود، دارای پرمابیلیته (نفوذپذیری)[1] غیرخطی‌اند و در شرایط کارکرد عادی، سیم‌پیچ ابررسانا که به دور هسته پیچیده شده است، توسط یک جریان DC تغذیه می‌شود و کل هسته را به حالت اشباع نگه می‌دارد و به همین دلیل نیز به آن محدودکننده جریان اتصال کوتاه با هسته اشباع[2] می‌گویند. در حالت کار عادی، امپدانس وارد بین منبع و بار حداقل مقدار ممکن را دارد و در ضمن تلفات سیم‌پیچ بسیار ناچیز است. به هنگام بروز خطا، بعلت افزایش جریان، هسته از حالت اشباع خارج می‌شود و بدین ترتیب امپدانس بین منبع و بار بطور قابل ملاحظه ای افزایش می‌یابد و جریان اتصال کوتاه بشدت کاهش می‌یابد. با استفاده از این نوع محدودساز می‌توان چندین FCL را در شبکه تعبیه کرد و از این طریق، جریانهای خطای گذرا را نیز بخوبی مهار نمود.

## ۳- مدار معادل HTS-FCL مورد مطالعه

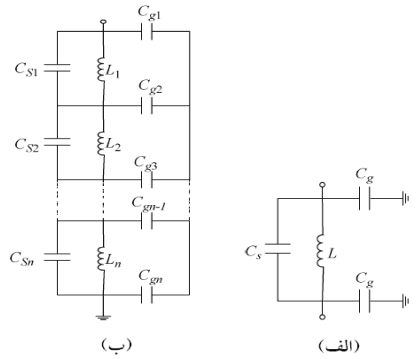
یک تجهیز HTS-FCL در واقعیت پیچیده است، هر سیم‌پیچ[3] ac شامل ۶۰دور[4] و۳۶ لایه[5] می باشد که

1. permeability
2. Saturated Core HTS-FCL
3. coil
4. turn
5. pancake



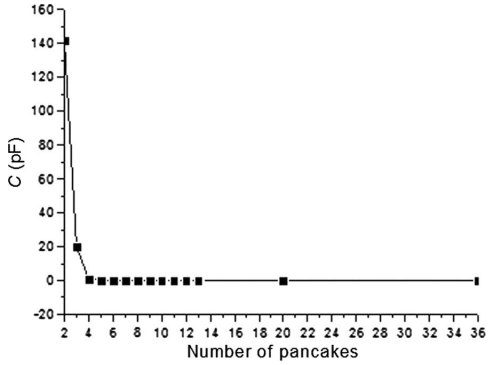
Create PDF files without this message by purchasing novaPDF printer (http://www.novapdf.com)

برای تحلیل توزیع ولتاژ، می‌توان مدار معادلی همانند شکل۲ در نظر گرفت. شکل۲-الف مدار معادل یک جزء سیم پیچ را بیان می‌کند و شکل۲-ب مدار معادل مجموعه سیم پیچی را برای مطالعات حالات گذرا نمایش می دهد[۸]و[۹]. در این مدار معادل، Cs بیانگر خازن طولی، Cg بیانگر خازن نسبت به زمین و L نمایانگر اندوکتانس هر جزء سیم پیچی می‌باشد. مقادیر پارامترهای مدار معادل، باتوجه به موقعیت مکانی لایه‌های مختلف سیم پیچ نسبت به هم و نسبت به زمین تغییر می‌نمایند. این مقادیر که با روش FEA[1] بدست آمده، در شکلهای۳ تا۶ نمایش داده شده است[۸]. شکل۳ به عنوان نمونه، مقدار خازن میان اولین لایه و سایر لایه‌ها را نمایش می‌دهد. این شکل بیان می‌نماید که بیشترین مقدار خازن طولی (به عنوان مقدار غالب) خازن بین دولایه مجاور است و هر چه فاصله بیشتر می‌شود، مقدار خازن طولی قابل صرفنظر می‌گردد.

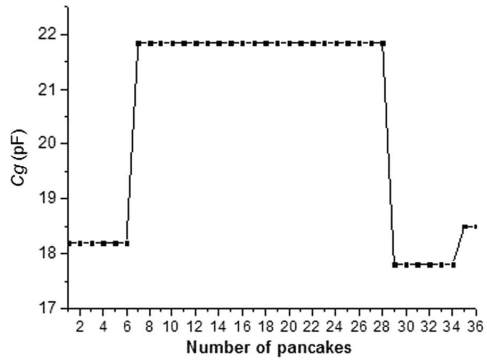



شکل ۲: مدار معادل برای تحلیل توزیع ولتاژ سیم پیچی ac: الف-یک جزء واحد ب-کل سیم پیچ

شکل۴ بیانگر مقادیر خازنهای زمین برای لایه‌های مختلف سیم پیچی است که در مقایسه با مقدار خازنهای طولی در حدود ٪۱۰ می‌باشند. بنابراین در حالات گذرا، خازن بین لایه‌ها (خازنهای طولی) موثرتر از خازنهای زمین هستند. باتوجه به شکل۱ و اینکه دو سیم پیچی ac به دور هسته های مجزا پیچیده می‌شوند، می‌توان از مقدار اندوکتانس متقابل بین سیم پیچها صرفنظر نمود. شکل۵ مقادیر اندوکتانس خودی را برای لایه‌های یک سیم پیچ نشان می‌دهد. نکته قابل دکر درباره این شکل آن است که لایه‌های بیرونی‌تر، دارای تعداد دور کمتری هستند و به همین دلیل مقدار اندوکتانس خودی کمتری دارند. همچنین برای داشتن درکی از مقدار اندوکتانس متقابل بین لایه‌های مختلف یک سیم پیچ، شکل۶ مقدار اندوکتانس متقابل بین لایه دهم و سایر لایه‌ها را نمایش می‌دهد.




شکل ۳: مقدار خازن میان اولین لایه و سایر لایه ها

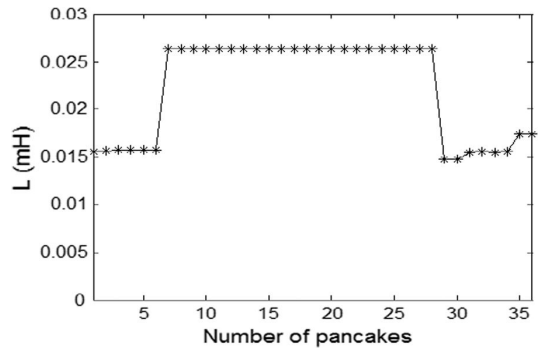



شکل ۴: مقدار خازن زمین برای لایه‌های مختلف سیم پیچ

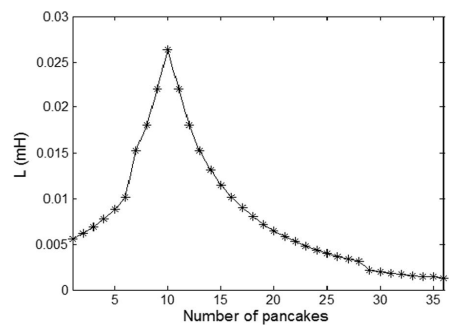
1. Finite Element Analysis



Create PDF files without this message by purchasing novaPDF printer (http://www.novapdf.com)




شکل ۵: مقادیر اندوکتانس خودی برای لایه های یک سیم پیچ




شکل ۶: مقدار اندوکتانس متقابل بین لایه دهم و سایر لایه‌ها

## ۴- محاسبه توزیع ولتاژ روی سیم‌پیچ

باتوجه به مدار معادل ارائه شده می‌توان رابطه ذیل را برای محاسبه توزیع ولتاژ ناشی از اعمال یک ولتاژ ضربه استفاده نمود[۸]:

$$\Gamma_n u_t + C_n \frac{d^2 u_t}{dt^2} = C_r \frac{d^2 e_t}{dt^2} + \Gamma_r e_t \qquad (۱)$$

که در آن:

$C_n$ : ماتریس خازنهای کاتست های گرهها،

$\Gamma_n$ : معکوس ماتریس اندوکتانسهای کاتست های گرهها،

$u_t$: بردار ستونی ولتاژهای گرهها،

$e_t$: منبع ولتاژ گذرا،

همچنین ماتریسهای $\Gamma_r$ و $C_r$ به منظور معرفی منابع ولتاژ گذرا در شاخه های اندوکتانسی و خازنی تعریف می شود. ماتریسهای ضرایب در رابطه (۱) به صورت ماتریسهای مثبت معین متقارن می‌باشند و بنابراین می‌توان از روش مقادیر ویژه تعمیم یافته[1] برای حل آن استفاده نمود[۸].

در ادامه توزیع ولتاژ گذرا در سیم‌پیچ تحت شرایط وقوع انواع ولتاژهای ضربه بررسی می‌شود. این موضوع، با توجه به تأثیر آن در طراحی عایق و نیز ادامه کار مطمئن تجهیز در شرایط گذرا، هم از لحاظ اندازه ولتاژها و هم از نظر وقوع نوسانهای ولتاژی مورد توجه قرار می‌گیرد.

### ۴-۱- توزیع ولتاژ در شرایط اعمال ولتاژ ضربه کامل

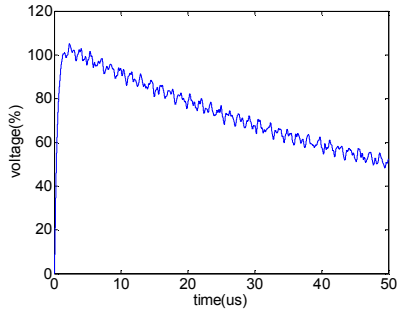
ولتاژ ضربه[2] به طور عمده برای مطالعه شرایط گذرا تعریف می‌شود که از جمله برای مدلسازی اثر وقوع صاعقه[3] بر سیستم مورد استفاده قرار می‌گیرد. در واقع صاعقه یا برق آسمان، به صورت یک جریان سریع و گذرا پیش می آید که با سرعت زیاد در مدت یک تا چند میکروثانیه به حداکثر خود می‌رسد و در مدت چند ده میکرو ثانیه مجدداً به صفر می‌رسد. در واقع این جریان باعث القا یا اعمال یک ولتاژ در تجهیزات می‌شود که تا حدود زیادی شکل جریان صاعقه را دارد و دامنه آن ممکن است به چند مگاولت برسد. از آنجا که صاعقه یک کمیت آماری است و همیشه به یک شکل نمی‌باشد، یک موج را به عنوان موج ولتاژ ضربه استاندارد در نظر گرفته‌اند و آن موجی است که زمان پیشانی[4] آن ۱،۲ میکروثانیه و

1. Generalized Eigen value method
2. impulse voltage
3. lightning
4. Front time

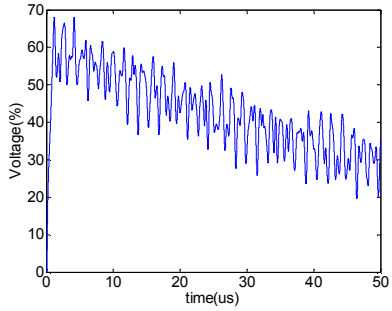


Create PDF files without this message by purchasing novaPDF printer (http://www.novapdf.com)

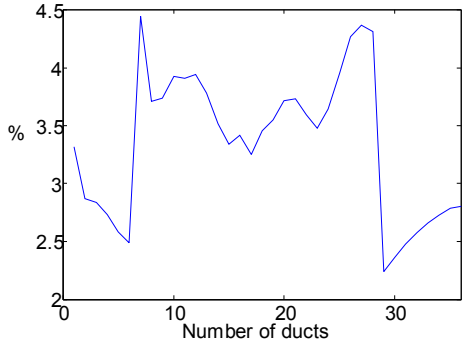
نیم‌زمان پشت[1] آن ۵۰ میکروثانیه است که به آن ولتاژ ضربه کامل[2] گفته می‌شود[۱۰]. در این بخش، محاسبات لازم برای یافتن مقادیر ولتاژ در طول سیم پیچ انجام شده است. در شکلهای ۷ و ۸، مقادیر ولتاژ برحسب درصد (نسبت به پیک ولتاژ اِعمالی) به ترتیب برای لایه‌های سوم و سی‌ام نشان داده می‌شود. تبادل انرژی بین خازنها و اندوکتانسها منجر به وقوع نوسانهای ولتاژ در لایه‌های مختلف می‌گردد. این نوسانها در قسمتهای انتهایی که کمتر تحت تأثیر مستقیم ضربه ولتاژ هستند، بیشتر است. در شکل۹ مقدار بیشترین درصد اختلاف پتانسیل روی مجاری روغن[3] سیم پیچ در طول ۵۰میکروثانیه که ولتاژ ضربه اعمال می‌شود، نشان داده شده است. بیشترین اضافه ولتاژ در مجرای روغن شماره ۷ و ۲۷ قابل مشاهده می‌باشد. در شکل۱۰ یک تصویر لحظه‌ای[4] از ولتاژ لایه‌ها نسبت به زمین در لحظه ۰،۸میکروثانیه ارائه شده است. مشاهده می‌شود که توزیع پتانسیل الکتریکی روی لایه‌ها در شرایط اعمال ولتاژ ضربه، همسان نیست.



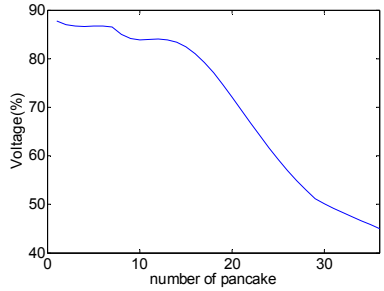

شکل ۷: ولتاژ لایه سوم برحسب درصد (برای ولتاژ ضربه کامل)




شکل ۸: تغییرات ولتاژ لایه ۳۰ ام برحسب درصد (برای ولتاژ ضربه کامل)




شکل ۹: بیشترین اختلاف پتانسیل روی مجاری روغن سیم پیچ (برای ولتاژ ضربه کامل)




شکل ۱۰: مقدار ولتاژ هر لایه در لحظه ۰،۸ میکروثانیه (برای ولتاژ ضربه کامل)

## ۴-۲- توزیع ولتاژ در شرایط اِعمال ولتاژ ضربه سوزنی[5]

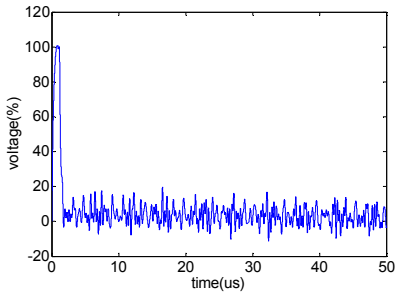
1. Time to half value
2. Full Lightning Impulse
3. oil ducts
4. snapshot
5. front of wave



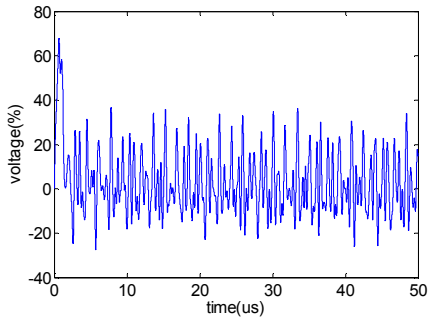
Create PDF files without this message by purchasing novaPDF printer (http://www.novapdf.com)

برای درنظر گرفتن اثر اِعمال ولتاژ ضربه سوزنی، مراحل محاسبات مانند بخش قبل انجام می‌شود اما در این حالت، موج ولتاژ ضربه قبل از رسیدن به پیک(قله) به یکباره می‌شکند و به سمت صفر میل می‌کند. شکلهای ۱۱تا ۱۴ نتایج محاسبات را برای اهدافی مشابه بخش قبل نشان می‌دهند.

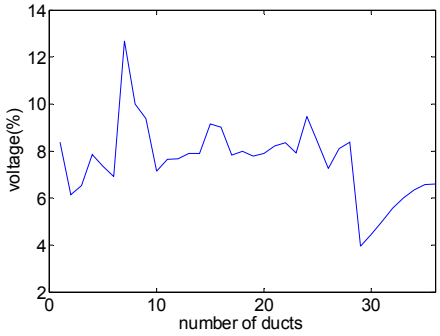
باتوجه به شکلهای ۱۱و ۱۲، که تغییرات ولتاژ را برحسب درصد برای لایه‌های سوم و ۳۰ ام را نشان داده است، در این حالت نیز نوسانهای ولتاژ مشاهده می‌شود اما با این تفاوت که در این حالت، بویژه نقاط انتهایی سیم‌پیچ با شدت نوسان ولتاژ بیشتری نسبت به حالت قبل روبرو هستند. بنابراین توجه به مسایل عایقی در این حالت، مورد تأکید بیشتری می‌باشد. این امر درباره اضافه ولتاژهای وارد شده بر مجاری روغن، از اهمیت بیشتری برخوردار است زیرا با توجه به شکل۱۳ و مقایسه آن با شکل۹ به دست می‌آید که اختلاف پتانسیل بیشتری در این حالت بر مجاری روغن اعمال شده است. نکته دیگر در همین راستا، آن است که در این حالت، مجرای ۷ با داشتن ۱۲،۷درصد اختلاف پتانسیل(نسبت به پیک ضربه)، بیشترین مقدار اختلاف پتانسیل را در طول اعمال ولتاژ ضربه دارد که بیش از ۲برابر حالت قبل است. در شکل۱۴ یک تصویر لحظه‌ای از ولتاژ لایه‌ها نسبت به زمین، در لحظه ۳میکروثانیه ارائه شده است. مشاهده می‌شود که توزیع پتانسیل الکتریکی در این حالت نیز یکنواخت نیست.



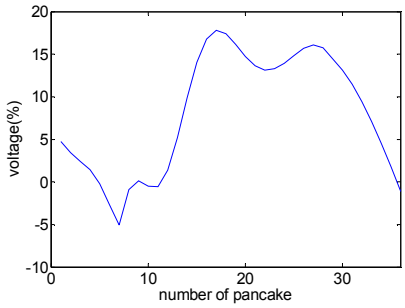

شکل ۱۱: ولتاژ لایه۳ برحسب درصد (برای ولتاژ ضربه سوزنی)




شکل ۱۲: ولتاژ لایه ۳۰ ام برحسب درصد (برای ولتاژ ضربه سوزنی)




شکل ۱۳: بیشترین اختلاف پتانسیل روی مجاری روغن سیم پیچ (برای ولتاژ ضربه سوزنی)




شکل ۱۴: ولتاژ هر لایه در ۳ میکروثانیه(برای ولتاژ ضربه سوزنی)

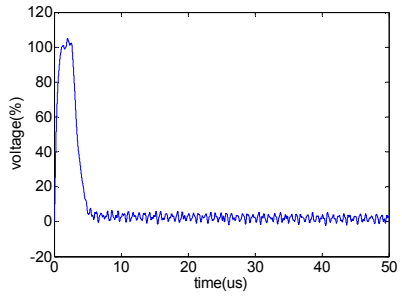
## ۴-۳- توزیع ولتاژ در شرایط اِعمال ولتاژ ضربه شکسته[1]

1. chopped lightning impulse voltage

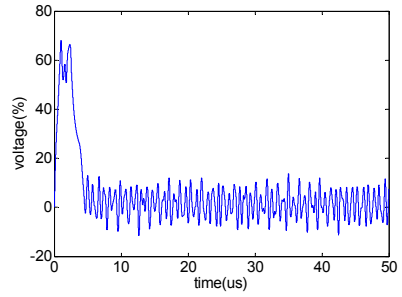


Create PDF files without this message by purchasing novaPDF printer (http://www.novapdf.com)

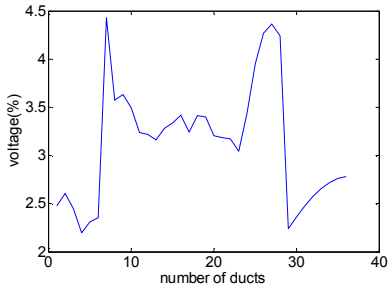
برای درنظر گرفتن اثر اِعمال ولتاژ ضربه شکسته(دُم بریده)، مراحل محاسبات مانند ولتاژ ضربه استاندارد انجام می‌شود اما در این حالت، موج ولتاژ ضربه در لحظه ۳میکروثانیه می‌شکند و به سمت صفر میل می‌کند. شکلهای ۱۵ تا ۱۸ نتایج محاسبات را برای اهدافی مشابه بخش قبل نشان می‌دهند. باتوجه به این شکلها مشاهده می‌شود که دامنه نوسانات ولتاژ لایه‌ها و نیز مقدار اختلاف پتانسیل ایجاد شده بر مجاری روغن در این حالت کمتر از حالات قبلی است. در شکل۱۸ یک تصویر لحظه‌ای از ولتاژ لایه‌های سیم‌پیچ نسبت به زمین، در لحظه ۵میکروثانیه ارائه شده است. ملاحظه می‌شود که توزیع پتانسیل الکتریکی روی لایه‌ها، در این حالت نیز یکسان نیست.



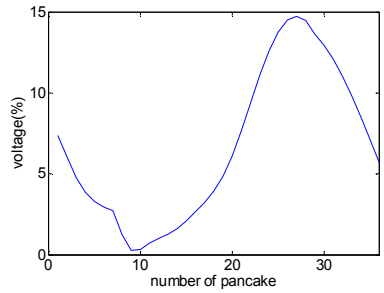

شکل ۱۵: ولتاژ لایه سوم برحسب درصد ( با ولتاژ ضربه شکسته)




شکل ۱۶: ولتاژ لایه ۳۰ام برحسب درصد(با اعمال ولتاژ ضربه شکسته)




شکل ۱۷: بیشترین اختلاف پتانسیل روی مجاری روغن سیم پیچ (شرایط اعمال ولتاژ ضربه شکسته)




شکل ۱۸: مقدار ولتاژ هر لایه در لحظه ۵ میکروثانیه (شرایط اعمال ولتاژ ضربه شکسته)

## ۴-۳- توزیع ولتاژ در شرایط اِعمال ولتاژ کلیدزنی

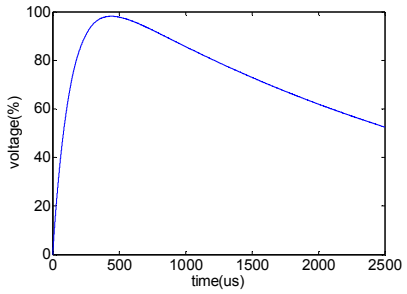
علاوه بر شرایط صاعقه، بر اثر کلیدزنی یعنی قطع و وصل کلیدها یا به دلیل اتصال کوتاه نیز اضافه ولتاژهای کوتاه مدت تولید می‌شود که به آنها اضافه ولتاژهای کلیدزنی[1] گفته می‌شود. شکل این ولتاژ بستگی به شبکه دارد و شبیه سازی و محاسبه آن مشکل است لذا استاندارد، ولتاژ کلیدزنی را شبیه ولتاژ ضربه تعریف می‌کند و جزو ولتاژهای ضربه بررسی می‌شود. ولتاژ کلیدزنی استاندارد، ولتاژی است که در آن، زمان پیشانی ۲۵۰ میکروثانیه و نیم زمان پشت ۲۵۰۰ میکروثانیه است[۱۰].

1. switching surge

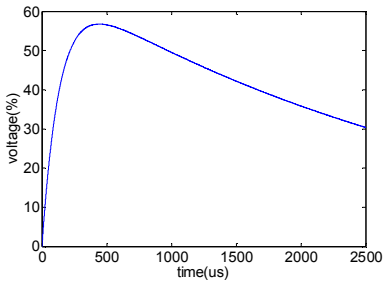


Create PDF files without this message by purchasing novaPDF printer (http://www.novapdf.com)

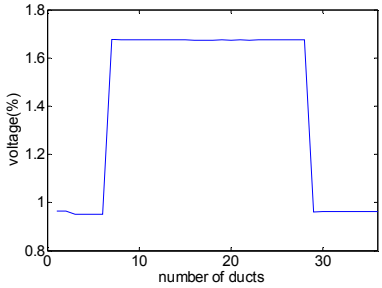
در این بخش به بررسی تأثیر ولتاژ کلیدزنی استاندارد بر سیم پیچ محدود کننده جریان خطای HTS-FCL می‌پردازیم. در شکلهای ۱۹ تا ۲۲، نتایج محاسبات برای شرایط اعمال ولتاژ کلیدزنی ارائه شده است. شکلهای ۱۹ و۲۰ نشان می دهند که اعمال ولتاژ ضربه کلیدزنی تأثیری در ایجاد نوسان‌های ولتاژ لایه‌ها ندارد. شکل ۲۱ نشان می‌دهد که اختلاف پتانسیل ناشی از کلیدزنی روی مجاری روغن در مقایسه با حالات قبلی قابل ملاحظه نیست ولی درعین حال، اختلاف پتانسیل بیشتری بر مجاری میانی در مقایسه با سایر مجراها اعمال می‌شود. در شکل۲۲ یک تصویر لحظه‌ای از وضعیت ولتاژ لایه‌های سیم‌پیچ نسبت به زمین، در لحظه ۵میکروثانیه پس از کلیدزنی ارائه شده است. مشاهده می‌گردد که توزیع پتانسیل الکتریکی روی لایه‌ها، در این حالت نیز یکنواخت نمی‌باشد.



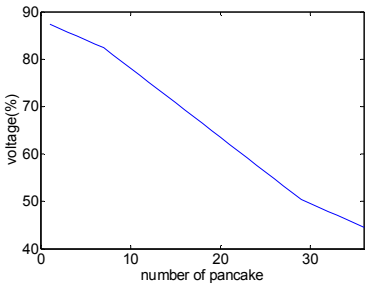

شکل ۱۹: ولتاژ برحسب درصد برای لایه سوم(حالت کلیدزنی)




شکل ۲۰: ولتاژ لایه ۳۰ام برحسب درصد(حالت کلیدزنی)




شکل ۲۱: بیشترین اختلاف پتانسیل روی مجاری روغن سیم پیچ(حالت کلیدزنی)




شکل ۲۲: ولتاژ هر لایه در ۱۰۰۰ میکروثانیه(حالت کلیدزنی)

## ۵- نتیجه گیری و ارائه پیشنهاد

در این مقاله، توزیع ولتاژ روی سیم‌پیچ یک محدود کننده جریان اتصال کوتاه از نوع HTS-FCL باهسته اشباع که برای کار در سطح انتقال طراحی شده است، در شرایط مختلف وقوع انواع ولتاژهای ضربه کامل، شکسته، سوزنی و کلیدزنی ارائه و بررسی شده است. نتایج نشان می‌دهد که توزیع ولتاژ روی نقاط مختلف سیم‌پیچ در شرایط اضافه ولتاژهای گذرا یکنواخت نیست. همچنین مشاهده گردید که تبادل انرژی بین خازنها و اندوکتانسهای این تجهیز موجب بروز نوسانهای شدید ولتاژی در لایه‌های مختلف سیم پیچ می گردد که البته شدت این نوسانها به ترتیب در هنگام اعمال ولتاژ ضربه سوزنی، شکسته و کامل قابل ملاحظه بوده اما در هنگام کلیدزنی قابل صرفنظر می‌باشد و بنابراین چنین تجهیزی در شرایط کلیدزنی می‌تواند عمل نماید اما استقامت عایق سیم‌پیچهای آن می‌بایست متناسب با شرایط اضافه ولتاژ گذرای ضربه کامل، سوزنی و



Create PDF files without this message by purchasing novaPDF printer (http://www.novapdf.com)

**شکسته مورد توجه و تقویت گردد. نکته دیگری که از بررسیها به دست می‌آید، با توجه به اختلاف پتانسیل مجراهای روغن که در شرایط اِعمال ولتاژ ضربه سوزنی بیشتر می‌باشد، عایقهای طولی سیم‌پیچ ac می‌بایست استقامت لازم را داشته باشند و این هدف می‌تواند با افزایش خازن طولی محقق گردد.**

## ۶- مراجع


[۱] Mahmoud Gilany, and Wael Al-HasawiT, " Reducing the Short Circuit Levels in Kuwait Transmission Network (A Case Study)", World Academy of Science, Engineering and Technology 53, 2009

[۲] سیدحسین حسینی، افشین روشن میلانی، بابک اسدزاده، " بررسی عملکرد یک محدودسازجریان تریستوری جدید درکاهش سطح اتصال کوتاه"، بیست و دومین کنفرانس بین المللی برق، ۱۳۸۶.

[۳] گئورک قره پتیان، مهدی صلای نادری، پروژه " تعیین زیر نواحی استراتژیک شبکه انتقال و فوق توزیع برق منطقه‌ای تهران با هدف کنترل و محدود سازی سطح جریان اتصال کوتاه "، به کارفرمایی شرکت مدیریت شبکه برق ایران، ۱۳۸۸.

[۴] رضا شریفی، حسین حیدری، " مدل الکتریکی - حرارتی محدودساز ابررسانایی نوع شیلد مغناطیسی و طراحی بهینه محدودسازی با استفاده از تصمیم گیری چندمعیاره"، بیست و پنجمین کنفرانس بین المللی برق، ۱۳۸۹.

[۵] غلامرضا لاله زار، [ علیرضا صدیقی انارکی، "معرفی نسل جدید محدودکننده های جریان خطا بر پایه ابررسانای فوق گرمایی "، چهارمین کنفرانس حفاظت و کنترل سیستم های قدرت، دانشکده فنی دانشگاه تهران، ۱۳۸۸.

[۶]M. Khorrami, Mohammad S. Nader, N. Khalil Nejhad, "Short Circuit Current Level Control and its Effects on Circuit Breakers Transient Studies", Journal of Electrical Engineering: Theory and Application,Vol.1,pp4-17 ,2010

[۷]مهدی صلای نادری، گئورگ قره پتیان، کورش رحمانی، محمدباقر ابوالحسنی جبلی، نسترن منصوبی، " کاربرد کنترل کننده میان فاز توان(IPC) برای کنترل و محدود سازی جریان اتصال کوتاه"، هجدهمین کنفرانس مهندسی برق ایران، اردیبهشت ۱۳۸۹.

[۸] Hongli Xiao, Jie Qiu, Shuhong Wang, Qiuhui Zhang, Weizhi Gong, Ying Xin, Jian Guo Zhu, and Youguang Guo, "Analysis of Transient Overvoltage in 220 kV Saturated Core HTS FCL", IEEE Transactions on Magnetics, vol. 47, issue 10, 2011, pp. 2620-2623.

[۹] V. Woivre, J. P. Arthaud, A. Ahmad, and N. Burais, "Transient overvoltage study and model for shell-type power transformers," IEEE Trans. Power Del., vol. 8, no. 1, pp. 212–222, Jan. 1993.

[۱۰] حسین محسنی، "مبانی مهندسی فشارقوی الکتریکی"، انتشارات دانشگاه تهران، ۱۳۸۹.




Create PDF files without this message by purchasing novaPDF printer (http://www.novapdf.com)