



دانشگاه زنجان

دانشکده فنی و مهندسی

## پایان نامه مهندسی برق قدرت

عنوان پروژه :

بررسی روش های یخ زدایی و جلوگیری از یخ زدگی خطوط انتقال

استاد راهنما :

جناب آقای دکتر اجاقی

تحقیق و نگارش :

زهرا حسینی

سال تمصیلی : ۹۱-۹۰

## چکیده

در مناطق سردسیر کوهستانی در فصول سرد سال ، خطوط انتقال هوایی در معرض بارگذاری های شدید ناشی از انباشت یخ و برف می باشند که این امر به نوبه خود باعث بروز حوادثی از قبیل گالوپینگ، اتصال کوتاه شدن فازها ، صدمه دیدن تجهیزات مربوط به خط و در نهایت خاموشی شبکه خواهد شد که تبعات جبران ناپذیر اقتصادی را به همراه دارد.

بنابراین یافتن راه حل های چاره ساز و کم هزینه با بازدهی های مناسب از اهمیت فوق العاده ای برخوردار است . در طی سالهای اخیر روش های مختلفی برای این مساله از گوشه و کنار جهان پیشنهاد

شده که هر کدام از این روش ها دارای محدودیت ها ، معایب و مزایای خاص خود می باشند . بیشتر این آزمایشگاه پروژه برق

روش ها بر مبنای اصول گرمایشی می باشند که در نهایت منجر به ذوب یخ و جدا شدن آن از خط می شوند . همانطور که گفته شد مشکلات و حوادث فوق الذکر باعث تهدید جدی قابلیت اطمینان و امنیت شبکه می شود . واضح است که هزینه کاهش امنیت شبکه از این طریق و مدت زمان طولانی در مدار نبودن خطوط انتقال بسیار بیش از هزینه فراهم کردن تمهیدات یخ زدایی و جلوگیری از یخ زدگی خطوط انتقال است .

در ابتدا با توجه به اهمیت پدیده گالوپینگ ( یکی از مهمترین اثرات انباشتگی یخ)، توضیحی در رابطه با نحوه ایجاد آن و روش های کاربردی برای کاهش یا حذف اثرات این پدیده داده خواهد شد.

سپس به مطالعه ، بررسی و مقایسه روشهای یخ زدایی و جلوگیری از یخ زدگی خطوط انتقال نیرو خواهیم پرداخت . شناخت مکانیزم یخ زدگی و مکانیزم روش های ممانعت از آن از جمله اهداف این

پروژه می باشد .

برق دانشگاه زنجان

دانشگاه زنجان

زنجان

## فهرست مطالب

### صفحه

### عنوان

## فصل اول : مقدمه

۱-۱. مقدمه ..... ۱

## فصل دوم : انباشتگی یخ روی هادی ها و مشکلات ناشی از آن

۱،۲- مقدمه ..... ۸

۲،۲- خسارت های ناشی از گالوپینگ ..... ۹

۳،۲- بارگذاری یخ هادی ها و افتادن یخ ..... ۱۰

۴،۲- عوامل موثر بر گالوپینگ ..... ۱۱

۵،۲- شکل آیرودینامیکی یخ ..... ۱۳

۶،۲- روش های حفاظتی ..... ۱۶

۱،۶،۲- جلوگیری از یخ زدگی یا ذوب آن ..... ۱۶

۷،۲- بررسی خطوط ۴۰۰ کیلو ولت زیاران-تبریز ..... ۱۷

۸،۲- وقوع پدیده گالوپینگ در خطوط ۴۰۰ کیلو ولت باندل ..... ۲۰

۹،۲- نکات مهم در رابطه با گالوپینگ ..... ۲۰

## فصل سوم: بررسی روش های جلوگیری از یخ زدگی

۱,۳- استفاده از روش های نوین فناوری نانو ..... ۲۳

۲,۳- روش OLTC سنکرون ..... ۲۳

۱,۲,۳- مقدمه ..... ۲۳

۲,۳- تشریح سیستم ..... ۲۴

۳,۲,۳- اصول یخ زدایی ..... ۲۶

۴,۲,۳- تعیین جریان بحرانی ..... ۲۷

۵,۲,۳- رگولاتور ضد یخ OLTC ..... ۳۰

۶,۲,۳- شبیه سازی ..... ۳۲

## فصل چهارم: بررسی انواع روش های یخ زدایی

۱,۴- مقدمه ..... ۳۶

۲,۴- انواع روش های مکانیکی ..... ۳۶

۳,۴- انواع روش های گرمایشی ..... ۴۰

۱,۳,۴- یخزدایی با روش HVDC ..... ۴۱

۱,۱,۳,۴- مقدمه ..... ۴۱

۲,۱,۳,۴- مکانیزم یخ زدایی ..... ۴۲

دانشگاه زنجان دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق	دانشگاه زنجان دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق	دانشگاه زنجان دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق	دانشگاه زنجان دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق
۳،۱،۳،۴- جریان های یخ زدایی	۳،۱،۳،۴- تشریح راه حل. HVDC	۵،۱،۳،۴- شماتیک مداری مد de-icer	۶،۱،۳،۴- شماتیک مداری مد SVC
۴۲	۴۳	۴۷	۴۹
دانشگاه مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق	دانشگاه مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق	دانشگاه مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق	دانشگاه مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق
۷،۱،۳،۴- تجهیزات اصلی	۴،۱،۴- استفاده از تلفات دی الکتریک با ولتاژ تحریک ۱۰۰ KHZ	۱،۱،۴،۴- مقدمه	۲،۱،۴،۴- قاعده کلی گرمایش دی الکتریک یخ
۵۲	۵۶	۵۶	۵۷
دانشگاه پروژه برق	دانشگاه زنجان دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق	دانشگاه زنجان دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق	دانشگاه زنجان دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق
۳،۱،۴،۴- دستیابی به گرمایی به گرمای یکنواخت	۴،۱،۴،۴- طراحی منبع قدرت	۵،۱،۴،۴- نمونه اولیه اینورتر	۶،۱،۴،۴- مبدل تمام مقیاس
۵۸	۶۱	۶۲	۶۵
دانشگاه مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق	دانشگاه مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق	دانشگاه مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق	دانشگاه مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق
۷،۱،۴،۴- تست آزمایشگاهی یخ زدایی	۸،۱،۴،۴- EMI	۹،۱،۴،۴- پوشش سیم های یخ زدایی	۱۰،۱،۴،۴- کرونا
۶۶	۶۷	۶۸	۶۸
دانشگاه پروژه برق	دانشگاه پروژه برق	دانشگاه پروژه برق	دانشگاه زنجان دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق
دانشگاه پروژه برق	دانشگاه پروژه برق	دانشگاه پروژه برق	دانشگاه زنجان دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق
دانشگاه پروژه برق	دانشگاه پروژه برق	دانشگاه پروژه برق	دانشگاه زنجان دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق

۱،۵،۴- یخ زدایی خطوط با استفاده از نیروهای الکترومغناطیس ایجاد شده توسط جریان های اتصال

کوتاه مناسب ..... ۶۹

۲،۱،۵،۴- مقدمه ..... ۶۹

۳،۱،۵،۴- نیرو های الکترومغناطیس در باندل های ۲ سیمه ..... ۶۹

۴،۱،۵،۴- نیروهای الکترومغناطیس در باندل های ۴ سیمه ..... ۷۰

۵،۱،۵،۴- آزمایش توان در باندل های ۲ سیمه و ۴ سیمه ..... ۷۴

۶،۱،۵،۴- تنظیم آزمایش ..... ۷۴

۷،۱،۵،۴- آزمایش برنامه ..... ۷۴

۸،۱،۵،۴- نتایج آزمایش ..... ۷۴

۹،۱،۵،۴- باندل ۲ سیمه ..... ۷۴

۱۰،۱،۵،۴- باندل ۴ سیمه ..... ۷۸

۱۱،۱،۵،۴- تاثیر روی سیستم های قدرت ..... ۷۹

۱۲،۱،۵،۴- پایداری ..... ۷۹

۱۳،۱،۵،۴- افت ولتاژ ..... ۸۰

۱۴،۱،۵،۴- تغییرات فرکانس ..... ۸۱

۱۶،۶،۴- یخ زدایی به روش تلفات ژول ..... ۸۳

۲،۱،۶،۴- مقدمه ..... ۸۳

۳،۱،۶،۴- تکنیک های یخ زدایی به روش تلفات ژول ..... ۸۳

۴،۱،۶،۴- روش تولید جریان های مورد نیاز ..... ۸۸

۵،۱،۶،۴- الگوریتم روش پیشنهادی ..... ۸۹

۶،۱،۶،۴- پیاده سازی روش پیشنهادی روی خط ۶۳ کیلو ولت سقز-بانه ..... ۹۰

۷،۱،۶،۴- پیاده سازی روش پیشنهادی روی خط ۶۳ کیلو ولت سنندج-۲-مریوان ..... ۹۳

نتیجه گیری ..... ۹۹

منابع ..... ۱۰۱



# فصل اول

## مقدمه



در مناطق کوهستانی از جمله استان زنجان، مشکل انباشتگی یخ و برف در خطوط انتقال در فصول سرد سال وجود دارد. با انباشتگی یخ بر روی خطوط، سطح هادی های خطوط باد خور و در نتیجه بر نیروی باد نیز افزوده می گردد. افزایش نیروهای عمودی باعث خمش هادی ها و در نتیجه افزایش دامنه نوسانات یا گالوپینگ می گردد. در ضمن افزایش نیروی افقی سبب اضافه شدن دامنه نوسانات آونگی و در

نتیجه کاهش فواصل افقی فازها خواهد شد، که آن نیز به نوبه خود مشکلاتی از قبیل افزایش ابعاد برجها ( که صرفه اقتصادی ندارد )، اتصال کوتاه شدن فازها و ... را به دنبال دارد. طبق تحقیقات به عمل

آمده، روشی برای ذوب یخ از روی خطوط به طور عملی و کاربردی در استان صورت نگرفته است. اگرچه کارشناسان شرکت برق منطقه ای برای جلوگیری از انباشتگی بیشتر برف بر روی خطوط از روش های مکانیکی استفاده می کنند که می توان به تغییر وضعیت مقره ها اشاره کرد. در صورتی که زنجیره مقره ها به صورت وی شکل نصب شوند ( که عمده مزایای این نوع آرایش کنترل نوسانات هادی ها در هنگام

وزش باد های تند می باشد) امکان نشستن برف در طول زنجیر مقره ها بسیار زیاد است، که همین اتفاق می تواند باعث بروز جرقه در مسیر زنجیر مقره ها و مابین فاز با بدنه برج ( ناشی از، از بین رفتن مقاومت

عایقی بر اثر ایجاد مسیری برای پدیده تخلیه جزئی) گردد. یک روش ابتکاری توسط کارشناسان خط شرکت برق منطقه ای تغییر وضعیت مقره ها از حالت (وی) شکل به حالت (هشت) می باشد تا از انباشتگی یخ جلوگیری شود. این روش مختص مقره های خطوط آن هم با آرایش (وی) شکل می باشد و ضمن اینکه این روش ها فقط برای خطوط انتقال کوتاه به کار می رود و در خطوط طولانی کاربرد چندانی

ندارد. در این میان شرکت برق منطقه ای غرب، روش تلفات ژول برای یخ زدایی خطوط انتقال فوق توزیع را شبیه سازی نموده است که در فصل ۶ به طور مفصل به آن پرداخته خواهد شد. از میان کشور های

همسایه پیشرو در این زمینه می توان به روسیه اشاره کرد. روسیه کشوری است که در مقیاس وسیعی سیستم یخ زدگی از خطوط انتقال در آن مورد استفاده قرار گرفته است

گرفته است این سیستم در کشورهای دیگر نیز کاربرد دارد از جمله در کانادا، ایالت های شمالی آمریکا،

آلاسکا، اکراین، جمهوری چک اسلواکی، سوئد، نروژ، ژاپن و فرانسه و... در این سیستم با تزریق جریان DC به خطوط انتقالی که دچار یخ زدگی شده اند، یخ های موجود روی هادیها را ذوب میکنند و یخ زدگی با سنسورهایی که روی خطوط انتقال نصب می شوند تشخیص داده می شود. جریان لازم برای

ذوب یخ توسط سیگنالهایی که از طریق سنسورها دریافت می شود کنترل شده و دستگاه را به آسانی بوسیله خطوط ریلی و یا سایر سیستم های حمل و نقل میتوان به نقاط مورد نظر انتقال داد.

امروزه در دنیا بیش از ۹۰ خط انتقال HVDC به بهره برداری رسیده اند و همچنین بیش از ۲۰ خطی که در

انتقال HVDC نیز در مرحله اجراء بوده و به زودی به بهره برداری میرسند که از این تعداد ۲۴ خط با ظرفیت کلی ۱۲ GW در اروپا و ۱۸ خط با ظرفیت ۱۶ GW در آمریکای شمالی نصب شده است. از مزایای این فناوری می توان به این موارد اشاره کرد:

۱- کابلهای زیر دریایی که برای انتقال انرژی بکار برده می شوند دارای ظرفیت خازنی بالایی هستند و نیاز به توان راکتیو زیادی دارند که با استفاده از HVDC نیاز به تامین توان راکتیو منتفی میشود.

۲- پایدار کردن شبکه های AC بدون افزایش سطح اتصال کوتاه

۳- کاهش هزینه در مقایسه با خطوط انتقال AC ، زیرا HVDC در مقایسه با سیستم AC به تعداد

هادیهای کمتری جهت انتقال انرژی نیاز دارد بدون آنکه قابلیت اطمینان سیستم کاهش یابد.

۴- قادر به انتقال انرژی در مقیاس بسیار بالا و مسافتهای طولانی است.

۵- بالا بردن قدرت خطوط موجود در مواردی که احداث خط جدید مشکل یا هزینه آن خیلی زیاد باشد

در رابطه با یخ زدایی خطوط (HVDC) در فصل ۳ توضیح داده می شود.

در ضمن می توان به کشور لبنان نیز اشاره کرد که به تازگی از روشی ابتکاری برای یخ زدایی استفاده می کند.

محققان لبنانی به روشی کم هزینه و موثر برای یخ زدایی از سیم های انتقال برق در معابر و خیابان ها دست یافته اند. در این فناوری جدید از کابل های مقاومت متغیر VRC مجهز به سیستم یخ زدایی استفاده شده است. یکی از مهم ترین ویژگی های این سیستم جدید این است که تنها با ایجاد اصلاحات جزئی و

استفاده از قطعات الکترونیکی که به آسانی قابل دسترسی هستند، میزان مقاومت خطوط جریان برق قوی از کم به زیاد افزایش خواهد یافت. افزایش مقاومت سبب ایجاد گرما و در نتیجه آب شدن قطعات یخ

موجود بر روی خطوط انتقال نیرو و همچنین جلوگیری از یخ زدگی مجدد آن خواهد شد. می توان با ایجاد تغییرات جزئی در فرآیند تولید و نصب خطوط جدید انتقال نیرو، این سیستم را مورد استفاده قرار داد. این در حالی است که استفاده از این سیستم هیچ گونه تداخلی را در ارائه خدمات به مشترکان به وجود نخواهد آورد. این گروه از محققان قصد دارند این فرآیند را به صورت آزمایشی در بخشی از کشور روسیه مورد آزمایش و بررسی قرار دهند. آنها همچنین در تلاش هستند در صورت موفقیت آمیز بودن اجرای این

طرح آزمایشی، سیستم یخ زدایی را در خطوط انتقال برق دیگر مناطق روسیه و همچنین در کشور چین

نصب و راه اندازی کنند تا بتوانند مشکلات ناشی از یخ زدگی خطوط برق مناطق سردسیر در فصل سرما را

به حداقل برسانند. علاوه بر این، ایجاد چنین تغییراتی در خطوط انتقال برق می تواند هزینه نهایی نصب، راه اندازی و نگهداری از این خطوط را تا ۱۰ درصد کاهش دهد. طول عمر خطوط مجهز به سیستم های یخ زدایی در مقایسه با خطوط معمولی انتقال برق، ۳۰ تا ۵۰ سال افزایش خواهد یافت و شرکت های توزیع کننده برق در سطح شهرها می توانند کارایی این خطوط را در فصول مختلف سال تحت کنترل

کامل قرار دهند. این فناوری جدید به کمک حسگرهای الکترونیکی از قابلیت تنظیم دما، مکان و زمان به برق آزمایشگاه پروژه صورت اتوماتیک و یا غیر اتوماتیک برخوردار است که می تواند نقش بسیار مهمی در افزایش زمینه های کاربرد این سیستم در خطوط انتقال نیرو داشته باشد.

یخ زدایی خطوط انتقال نیرو در مناطق سردسیر از مهمترین مسائل و مشکلات شرکت های برق منطقه ای طی دهه های اخیر بوده است . تکنیک های زیادی برای حل این مشکلات ایجاد شده است . بر مبنای تجربه صنعت برق در نقاط مختلف دنیا ، دو استراتژی مختلف بکار رفته در این رابطه در خطوط انتقال

• یخ زدایی

• جلوگیری از یخ زدگی

برای جلوگیری از تخریب برجهای انتقال نیرو ، شرکت های برق اقدام به طراحی و احداث خطوطی می کنند که بتوانند حجم قابل توجهی از بار یخ را تحمل کنند تا احتمال تخریب و شکست برجها به حداقل

جلوگیری از یخ زدگی خطوط انتقال نیرو اولین کاری است که در این رابطه باید انجام داد . بعنوان اقدام

یخ خطوط انتقال نیرو را کاهش داد. بدیهی است هر چه حجم یخ خطوط انتقال بیشتر باشد کارایی

چنین روش هایی چشمگیرتر خواهد بود . جلوگیری از یخ زدگی باعث کاهش مقدار یخ جمع شده روی خطوط میشود . این استراتژی میتواند در خطوطی که دارای طراحی نرمال می باشند بکار گرفته شود . در صورت بکار گیری مناسب این استراتژی میتوان به صرفه جویی قابل توجهی در هزینه طراحی و احداث خطوط جدید دست یافته و ضریب اطمینان در استحکام هادی های برج ، زنجیره یرق آلات و ...

در این پروژه ابتدا در فصل ۲ به بررسی پدیده گالوپینگ و روش های حذف یا کاهش اثرات این پدیده که

ناشی از یخ زدگی خطوط انتقال می باشد و تبعات جبران ناپذیر اقتصادی را به همراه دارد را بیان خواهیم

گردو سپس در فصل ۳ به بررسی و مقایسه انواع روش های جلوگیری از یخ زدگی خواهیم پرداخت که شامل روش های زیر می باشد:

✓ استفاده از روش های نوین فناوری نانو

✓ روش OLTC سنکرون

می باشد:

✓ روش تلفات ژول

✓ روش تولید نیروهای الکترومغناطیسی توسط جریانهای اتصال کوتاه

✓ روش HVDC

✓ روش تلفات دی الکتریک با ولتاژ فرکانس بالا

✓ روش های مکانیکی

در این پروژه چند روش علمی برای حل این مشکل مطرح می شود که با بیان مزایا و معایب هر کدام،

روشی که از نظر کاربردی موثر و قابل اعمال بر روی خطوط و از نظر اقتصادی به صرفه باشد، معرفی و مهندسی گروه برق

خواهد شد.

**ضمیمه**

**جدول مشخصات ترانسفورماتورهای منطقه (در مبانی BASE هر ترانسفورماتور)**

تعداد تپ	تپ نرمال	فازله تپ (درصد)	محدوده تغییرات تپ (درصد)	محدوده تغییرات تپ (ولت)	امپدانس درصد		نسبت KV/KV	سازنده	قدرت MVA	نوع پست
					R%	Z%				
19	7	1/67	-20/0.2 تا +6/68	105502 تا 115212	0.8312	15/40	132/63	TUR	1x20	سفر
19	10	1/67	-15/0.3 تا +15/0.3	53550 تا 72250	0.5111	13/49	63/20	TRF	1x30	سفر
19	7	1/67	-20/0.2 تا +0/0.2	50376 تا 69312	0.6672	13/50	63/20	TUR	1x15	بانه
19	10	1/67	-15 تا 15	53550 تا 72250	0.2952	13/33	63/20	IRTR	1x30	سنتج 2
19	7	1/67	-20/0.2 تا +0/0.2	50376 تا 69312	0.6672	13/50	63/20	TUR	1x15	پستک
19	10	1/67	-15/0.3 تا +15/0.3	53550 تا 72250	0.5111	13/50	63/20	IRTR	1x30	پستک

## نتیجه گیری

ما در این پروژه به بررسی روشهای یخ زدایی و پیش گیری از یخ زدگی بطور مفصل پرداختیم. اکنون با

بیان خلاصه ای از ویژگی های هر کدام بهترین روش را مشخص می نماییم .

• روش های پیشگیری از یخ زدگی :

فناوری نانو : استفاده از نانو ذرات ، جلوگیری کامل از یخ زدگی

OLTC سنکرون : افزایش جریان خط ، استفاده از تجهیزات الکترونیک قدرت ، قابلیت تنظیم سریع ،

حفظ شرایط کارکرد نرمال خط ، افزایش دمای سایر خطوط متصل به خط مورد نظر برای یخ زدایی .

✓ در میان روش های جلوگیری از یخ زدگی روش استفاده از فناوری نانو در خطوط بدلیل جلوگیری

کامل از یخ زدگی و سهولت استفاده نسبت به روش های دیگر بهینه بنظر میرسد .

• روشهای یخ زدایی

• مکانیکی :

نیروی انسانی زیادی دارند . ولی این روش ها برای اسپن های کوتاه مناسب می باشند . شماری از روش

های مکانیکی در ذیل آمده است :

دستی : خراشیدن با تیرعایق ، ایجاد شوک توسط طناب مجهز به چکش مخصوص

دستگاه های الکترومکانیکی :

ربات اتوماتیک ( ROV ) : محدودیت کاربرد ، استفاده در ولتاژهای بالا

DAC : یخ زدایی از روی زمین ، قابلیت کنترل از راه دور

AIC : نصب دائم بر روی خط ، قابلیت های مخابراتی ، یخ زدایی بصورت اتوماتیک ، قابلیت کنترل

دستی .

• در میان روش های مکانیکی یخ زدایی روش استفاده از AIC بدلیل قابلیت کنترل دستی و کنترل از

راه دور زمین و نصب دائم بهینه بنظر می رسد .

• گرمایی :

— روش ژول : در حالت عادی از روش تلفات ژول نمیتوان برای یخ زدایی خطوط برقدار استفاده کرد ولی

با استفاده از ترانسهای PST این امکان مهیا میشود همچنین از این روش میتوان برای یخ زدایی سیم

های گارد استفاده نمود . چند روش استفاده از تلفات ژول برای یخ زدایی در زیر آمده است :

روش تغییر جریان بار : عدم نیاز به تجهیز اضافی ، تغییر شرایط بهره برداری

ولتاژ کاهش یافته : استفاده برای مسافت های طولانی ، نیاز به تجهیز اضافی

جریان DC : نیاز به تجهیزات اضافی ، نیاز به ولتاژ و توان اعمالی بالا ، برای مسافت های طولانی با هادی

با قطر بالا ، نیاز به تشکیل حلقه بسته با هادی ها

— روش تولید نیروهای الکترومغناطیس توسط جریان های اتصال کوتاه : ناپایداری شبکه بعد از چند

اتصال مجدد ، نامناسب بودن برای هر سیستم قدرت ، کاربرد فقط در شرایط خیلی اضطراری ، کنترل

پذیری سخت ، محدود شدن حلقه یخ زدایی ، پیچیده بودن عملکرد .

HVDC : مناسب برای خطوط طولانی ، قابلیت کنترل پذیری بالا ، نیاز به بی برق شدن خطوط و

تشکیل حلقه بسته با هادی ها ، نیاز به تجهیزات اضافی .

— روش تلفات دی الکتریک : امکان تشعشعات الکترومغناطیسی ، قابلیت کنترل پذیری خوب ، افزایش

اثرات کرونا ، نیاز به تجهیزات اضافی ، قابلیت اجرا با توان های کم .

✓ در میان روش های گرمایی یخ زدایی روش تلفات ژول روش مطلوبی میباشد .



## منابع

۱. مقاله ارائه شده در دهمین سمینار تخصصی خطوط انتقال نیرو ( گردآورندگان : فرامرز قلیچی ،

سیامک حسین خلج ، صابر نوری زاده ، پویا رضایی ) .

2. Li Xiao Ming , Hung Junjie , Shu Xin , Lin Shiqi “ anti-icing method based synchronous OLTC technology ” .

۳. برزو یوسفیان کلاره ، شهاب فرخی ، محمد مهدی قربی ، پیمان اسماعیلی ، " یخ زدایی خطوط فوق

توزیع برق منطقه ای غرب " ( نوزدهمین کنفرانس بین المللی برق ) .

4. Michel Landry , Roger beauchemin and Andre venne “ de-icing EHV

overhead lines using electromagnetic forces generated by moderate short-circuit currents” .

5. Manuzio C. “ an investigation of the forces on bundle conductors spacer

under fault conditions “ IEEE transactions on power apparatus and systems .

6 . Hayt H. , William “engineering electromagnetics “ , second edition .

chapter 8 , page 258 .

7 . Gilbert Commonwealth “ transmission line reference book-wind-indueed

page11 and 12 , chapter 1 , conductor motion” .

8 . Vaculik P. “ heating of lines the 110kv system “ IW AIS 2002 .

9 . Podrazil J. “ ice shedding from overhead lines in distribution networks “

9<sup>th</sup> internationalatmospheric icing of structures , proceeding of IW AIS 2000.

۱۰. شهاب فرخی ، پیمان اسماعیلی " مطالعه چگونگی کاهش و جلوگیری از تجمع برف و یخ بر روی

سیم ها و مقره های خطوط انتقال و فوق توزیع " ، پژوهشگاه نیرو ، گروه خط و پست .

11 . Desieno C.F , Imborgia C.A , Mc Danaiel G.H , “ sleet melting on 330kv

lines of transaction of the AIEE vol 73 , american gas and electric

cooperation system “ , pt3 , august 1956 .

12 . D.L Dickmader , S.Y.Lee , G.L.Desilets , M.Granger “AC/DC harmonic interactions in presence of GIC the quebec-new england phase II HVDC transmission “ , IEEE/PES , winter meeting , columbus , OH , janv93 WM 062-0 PWRD .

13 . J.D.Wheeler , C.C.Davidson , J.D.G.Williams , A.K.Roy , “ design aspects of the chandrapur 2x500MW back to back HVDC scheme “ , in GIGRE session 1996 .

14 . R.N.Nayak , D.Kumar , B.N.Kaybabu , R.Gulati , M.H.Baker , “ system benefits derived from the 500MW back to back HVDC scheme at sasan , india “ in GIGRE session 2004 .

15 . C.Horwill , C.C.Davidson , M.GRANGER , A.Dery “ an application of HVDC to the de-icing of transmission lines “ .

16 . Joshua D.McCurdy , charles R.sullivan and victor F.Petrenko “ using Dielectric losses De-ice power transmission lines with kHz high –voltage excitation “ .

17 . Robert W.Whitworth and victor F.Petrenko , physics of ice , pxford univpress , 1999 .

18 . Jiankun Hu and charles R.Sullivan , “ optimization of shapes round-wire high-frequency gapped-inductor windings “ , in proceeding of the 1998 IEEE industry applications society Annual meeting , 1998 .

19 . Jiankun Hu and Charles R.Sullivan , “ Analytical method for generalizaatiion of numerically optimized inductor winding shapes “ in 30<sup>th</sup> annual IEEE power electronics specialists conference , 1999 .

20 . W.M.Chew and P.D.Evans , “ high frequency inductor design concepts “ , in 22<sup>nd</sup> annual IEEE power electronics specialists conference , june 1991 .

21 . Khai D.T.Ngo and M.H.Kuo , “ effects of air gaps on winding loss in high-frequency planer magnetics “ , in PESC88 , 1988 .

22 . N.H.Kutkut and D.M.Divan , “optimal air-gap design in high frequency foil windings “ , IEEE transactions on power electronics , 1998 .

23. Jiankun Hu and C.R.sullivan , “ the quasi-distributed gap technique for planer inductors : design guidelines “ , in proceedings of the 1997 IEEE industry applications society annual meeting , 1997 .

24. Gang Liu , Xuezheng Zhao , Yonghui Chen , Shijin Jiang , Dong Wang and Zhiping Liu , “ a de-icing method of electric transmission line by adjusting load based on controllable inductor and capacitor compensation “ , 2009 IEEE bucharest power tech conference .

25. Jiang Xingliang , Zhang Lihua , “ de-icing and anti-icing of transmission lines “ , high voltage engineering , 1997 , chinese .

26. Shan Xia , Shu Naiqu , “ Discussion on method of de-icing for overhead lines “ , high voltage engineering , 2006 , chinese .

27. Chang Hao , Shi Yan , Yin Weiyang , “ ice-melting technologies for HVDC and HVDC transmission lines “ power system technology , 2008 , chinese .

28. M.Asadi , P.Esmaeili , P.Khazaei , S.Farzalizadeh , “ de-icing power transmission and sub transmission lines of iran implementing injection of high frequency current “ , 19<sup>th</sup> international power system conference .

29. P.Esmaeili and S.Farokhi , “ study of reduction or prevention of ice accretion on overhead transmission and subtransmission lines of kurdestan province “ , niroo research institute report , T&D center , november 2003.

۳۰.اطلاعات دریافتی از شرکت برق منطقه ای تهران

۳۱.اطلاعات دریافتی از شرکت برق منطقه ای زنجان

32. A study of Galloping on a 230kv transmission lines research consulting associates(USA)