

مشخصات فنی عمومی و اجرایی

پست ها، خطوط فوق توزیع و انتقال

سیستم حفاظت از صاعقه در خطوط هوایی انتقال نیرو

نشریه شماره ۱-۴۴۵

وزارت نیرو - شرکت توانیر
طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت برق
www.tavanir.ir

معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور

معاونت نظارت راهبردی

دفتر نظام فنی اجرایی

<http://tec.mporg.ir>



جمهوری اسلامی ایران

مشخصات فنی عمومی و اجرایی پست ها، خطوط فوق توزیع و انتقال سیستم حفاظت از صاعقه در خطوط هوایی انتقال نیرو

نشریه شماره ۱-۴۴۵

وزارت نیرو - شرکت توانیر
طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت برق
www.tavanir.ir

معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور

معاونت نظارت راهبردی

دفتر نظام فنی اجرایی

<http://tec.mporg.ir>



omoorepeyman.ir



بسمه تعالی

ریاست جمهوری

معاون برنامه ریزی و نظارت راهبردی رئیس جمهور

شماره:	۱۰۰/۱۱۰۶۰۳
تاریخ:	۱۳۸۷/۱۱/۲۰
بخشنامه به دستگاه‌های اجرایی، مهندسان مشاور و پیمانکاران	
موضوع:	
مشخصات فنی عمومی و اجرایی پست‌ها، خطوط فوق توزیع و انتقال - سیستم حفاظت از صاعقه در خطوط هوایی انتقال نیرو	
به استناد آیین‌نامه استانداردهای اجرایی طرح‌های عمرانی، موضوع ماده (۲۳) قانون برنامه و بودجه و در چارچوب نظام فنی و اجرایی کشور (مصوبه شماره ۴۲۳۳۹/ت/۳۳۴۹۷هـ مورخ ۱۳۸۵/۴/۲۰ هیأت محترم وزیران)، به پیوست نشریه شماره ۴۴۵ دفتر نظام فنی اجرایی، در دو جلد با عنوان «مشخصات فنی عمومی و اجرایی پست‌ها، خطوط فوق توزیع و انتقال - سیستم حفاظت از صاعقه در خطوط هوایی انتقال نیرو (جلد اول) و (جلد دوم)» از نوع گروه دوم ابلاغ می‌شود. شایسته است دستگاه‌های اجرایی و مهندسان مشاور مفاد نشریه یاد شده، ضوابط و معیارهای مندرج در آن را ضمن تطبیق با شرایط کاری خود- در طرح‌های عمرانی مورد استفاده قرار دهند.	
امیرمنصور برقی معاون برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس جمهور <i>امیرمنصور</i>	



اصلاح مدارک فنی

خواننده گرامی:

دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور با استفاده از نظر کارشناسان برجسته، مبادرت به تهیه این دستورالعمل نموده و آن را برای استفاده به جامعه مهندسی کشور عرضه نموده است. با وجود تلاش فراوان، این اثر مصون از ایرادهایی نظیر غلطهای مفهومی، فنی، ابهام، ابهام و اشکالات موضوعی نیست.

از این رو، **از شما خواننده گرامی صمیمانه تقاضا دارد در صورت مشاهده هرگونه ایراد و اشکال فنی، مراتب را به صورت زیر گزارش فرمایید:**

- ۱- شماره بند و صفحه موضوع مورد نظر را مشخص کنید.
 - ۲- ایراد مورد نظر را به صورت خلاصه بیان دارید.
 - ۳- در صورت امکان، متن اصلاح شده را برای جایگزینی ارسال نمایید.
 - ۴- نشانی خود را برای تماس احتمالی ذکر فرمایید.
- کارشناسان این دفتر نظرهای دریافتی را به دقت مطالعه نموده و اقدام مقتضی را معمول خواهند داشت. پیشاپیش از همکاری و دقت نظر جنابعالی قدردانی می‌شود.

نشانی برای مکاتبه: تهران، میدان بهارستان، خیابان صفی علی شاه
معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور، دفتر نظام فنی اجرایی

سازمان مرکزی - تهران ۱۱۴۹۹۴۳۱۴۱ - خیابان صفی علی شاه

<http://tec.mporg.ir>



بسمه تعالی

پیشگفتار

در اجرای ماده ۲۳ قانون برنامه و بودجه و در چارچوب نظام فنی و اجرایی کشور و به منظور تعمیم استانداردهای صنعت برق و ایجاد هماهنگی و یکنواختی در طراحی و اجرای پروژه‌های مربوط به تولید، انتقال و توزیع نیروی برق، معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری (معاونت نظارت راهبردی - دفتر نظام فنی اجرایی) با همکاری وزارت نیرو - شرکت توانیر در قالب طرح «ضوابط و معیارهای فنی صنعت برق» اقدام به تهیه مجموعه کاملی از استانداردهای مورد لزوم نموده است.

نشریه حاضر با عنوان «مشخصات فنی عمومی و اجرایی پست ها ، خطوط فوق توزیع و انتقال - سیستم حفاظت از صاعقه خطوط هوایی انتقال نیرو - جلد اول» در بر گیرنده مباحث مربوط به نیازهای عمومی انواع هادی های مورد مصرف، مشخصات فنی و آزمون های استاندارد سیم های محافظ معمولی و OPGW، بسته بندی و نصب هادی ها، و نمونه مدارکی که پیشنهاد دهندگان و پیمانکاران باید ارائه نمایند میباشد که به دو زبان فارسی و انگلیسی تهیه و تدوین شده است.

معاونت نظارت راهبردی به این وسیله از کوشش های دست اندرکاران به ثمر رسیدن این نشریه و همچنین سازمان ها و شرکت های مهندسی مشاور که با اظهارنظرهای سازنده خود این معاونت را در جهت غنا بخشیدن به آن یاری نموده اند سپاسگزاری و قدردانی نموده و توفیق روزافزون آنان را از درگاه ایزد یکتا آرزومند است.

معاون نظارت راهبردی

۱۳۸۷



مشخصات فنی عمومی و اجرایی پست ها و خطوط فوق توزیع و انتقال - سیستم حفاظت از صاعقه خطوط هوایی انتقال نیرو - نشریه شماره ۱- ۴۴۵

تهیه کننده

این مجموعه به وسیله شرکت مهندسين مشاور نیرو با همکاری آقایان مهندسين علیرضا سرودی، شهرام کاظمی، خانم مهندس طاهره نوری و دکتر عارف درودی تهیه و تدوین شده است و توسط آقای اسماعیل زارعی مورد ویراستاری قرار گرفته است.

کمیته فنی

این نشریه همچنین در کمیته فنی طرح با مشارکت مجری و مشاور طرح و نمایندگان شرکت‌های مهندسی مشاور تحت پوشش وزارت نیرو به شرح زیر بررسی، اصلاح و تصویب شده است.

آقای مهندس جمال بیانی	وزارت نیرو - سازمان توانیر - مجری طرح
آقای مهندس بهمن الله مرادی	سازمان توسعه برق ایران
آقای مهندس حسین ایلخانی	شرکت مشانیر
آقای مهندس حمید رضا پوریگ	شرکت مشانیر
آقای مهندس حسین جلالی فراهانی	مهندسين مشاور نیرو
آقای مهندس حسین دانشور	مهندسين مشاور قدس نیرو
آقای دکتر عارف درودی	مهندسين مشاور نیرو
آقای مهندس علی اصغر کسائیان	مهندسين مشاور قدس نیرو
آقای مهندس محمد مهدی محسنی	مهندسين مشاور نیرو
آقای مهندس اباذر میرزایی	مشاور معاون هماهنگی و نظارت بر بهره برداری سازمان توانیر
آقای مهندس احسان الله زمانی	وزارت نیرو - سازمان توانیر - دبیر کمیته فنی طرح

مسئولیت کنترل و بررسی نشریه در راستای اهداف دفتر نظام فنی اجرائی به عهده آقایان مهندسين محمدرضا طلاکوب و پرویز سیداحمدی بوده است.



فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول	
اهداف، کلیات و تعاریف	
۱-۱ وظیفه سیستم حفاظت از صاعقه	۳
۲-۱ کلیات	۳
۳-۱ تعاریف	۴
۱-۳-۱ ولتاژ جرقه بحرانی (CFO)	۴
۲-۳-۱ دامنه جریان ضربه بحرانی	۴
۳-۳-۱ شاخه پیشرو صاعقه	۴
۴-۳-۱ حفاظت مؤثر	۴
۵-۳-۱ مدل هندسی	۴
۶-۳-۱ تئوری مدل هندسی	۴
۷-۳-۱ چگالی صاعقه‌های زمین (GFD)	۵
۸-۳-۱ سطح کرو نیک	۵
۹-۳-۱ خطوط ایزوکرو نیک	۵
۱۰-۳-۱ سیم محافظ	۵
۱۱-۳-۱ زاویه حفاظتی سیم‌های محافظ نسبت به هادی‌های فاز	۵
۱۲-۳-۱ زاویه حفاظتی مثبت	۵
۱۳-۳-۱ زاویه حفاظتی منفی	۶
۱۴-۳-۱ شاخه پله‌دار	۷
۱۵-۳-۱ فاصله برخورد	۷
۱۶-۳-۱ امپدانس موجی	۷
۱۷-۳-۱ نرخ خطای سیستم حفاظت از صاعقه (SFR)	۷
۱۸-۳-۱ نرخ وقوع قوس ناشی از خطای سیستم حفاظت از صاعقه (SFFOR)	۷
۱۹-۳-۱ قوس برگشتی	۷
۲۰-۳-۱ رشته	۸
۲۱-۳-۱ هادی رشته‌ای	۸
۲۲-۳-۱ جهت لایه	۸
۲۳-۳-۱ نسبت لایه	۸
۲۴-۳-۱ هادی فولادی با پوشش گالوانیزه	۸
۲۵-۳-۱ هادی آلومینیوم - فولاد (ACSR)	۸
۲۶-۳-۱ هادی فولادی با پوشش آلومینیوم (ACS)	۹
۲۷-۳-۱ هادی آلیاژ آلومینیوم (AA)	۹
۲۸-۳-۱ سیم حفاظتی با مغزی فیبر نوری (OPGW)	۹
۲۹-۳-۱ هادی تمام آلومینیومی (AL)	۹

فصل چهارم مشخصات و دستورالعمل‌های اجرایی

۶۵.....	اهداف و دامنه کاربرد	۱-۴
۶۵.....	کلیات	۲-۴
۶۶.....	نصب هادی	۳-۴
۶۶.....	موارد عمومی	۱-۳-۴
۶۶.....	اتصالات	۲-۳-۴
۶۶.....	تنظیم فلش	۳-۳-۴
۶۷.....	قرقره‌های سیم‌کشی	۴-۳-۴
۶۷.....	سیم‌کشی و آرایش تجهیزات	۵-۳-۴
۶۸.....	کنترل وسایل و تجهیزات اتصال زمین	۶-۳-۴
۶۹.....	کار با ماشین ترمز و ماشین کشنده	۷-۳-۴
۷۰.....	نیروی کشش لازم برای سیم‌کشی در حالت تحت کشش	۸-۳-۴
۷۱.....	چگونگی نصب OPGW و تجهیزات مربوطه آن	۴-۴
۷۱.....	روشهای نصب	۱-۴-۴
۷۴.....	روشهای اتصال یا پیوند OPGW	۲-۴-۴
۷۷.....	تکرارکننده و پانل‌های خورشیدی	۳-۴-۴

منابع و مراجع



فصل ۱

اهداف، کلیات، تعاریف



مقدمه

در این فصل، اهداف، تعاریف و کلیاتی از سیستم حفاظت از برخورد مستقیم صاعقه به خطوط هوایی انتقال نیرو ارائه می‌شود.

۱-۱- وظیفه سیستم حفاظت از صاعقه

حفاظت خطوط هوایی انتقال نیرو در مقابل اصابت مستقیم صاعقه به هادیهای فاز وظیفه اصلی سیستم حفاظت از صاعقه می‌باشد. برای نیل به هدف مذکور از سیم‌های محافظ هوایی (سیم گارد) که در بالای برج و در ارتباط با بدنه آن نصب شده‌اند، استفاده می‌شود.

۱-۲- کلیات

برخورد صاعقه به خطوط انتقال انرژی می‌تواند در زمانی بسیار کوتاه اضافه ولتاژهای بزرگی را در قسمتهای مختلف خط پدید آورد که نهایتاً منجر به تخلیه الکتریکی و اتصال کوتاه گردد. به همین علت طراحی ایزولاسیون خطوط انتقال در مقابله با این پدیده از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشد. البته طراحی که تمامی اثرات صاعقه رادر سیستم خنثی سازد، طراحی بسیار گران و بدون توجیه اقتصادی می‌باشد. بنابراین می‌بایستی با قبول یک ریسک مناسب و با توجه به اهمیت خط، طراحی مناسبی صورت گیرد. در طراحی ایزولاسیون خطوط، پدیده صاعقه، طول زنجیره مقرر، تعداد، نوع و محل سیم‌های محافظ هوایی، مقاومت مناسب پایه برج، شکل و ابعاد شاخکهای جرقه‌گیر، برقگیرها و موارد دیگر دخیل می‌باشند.

وظیفه سیستم حفاظت از صاعقه خطوط جلوگیری از برخورد مستقیم صاعقه به هادی‌های فاز می‌باشد. حفاظت کامل هادی‌های فاز در مقابل برخورد مستقیم صاعقه عملاً امکان‌پذیر نبوده و از لحاظ اقتصادی نیز مقرون به صرفه نمی‌باشد. در هر حال با لحاظ مسائل اقتصادی و ریسک در نظر گرفته شده، تعداد و محل سیم‌های محافظ هوایی در خط انتقال به گونه‌ای انتخاب می‌گردد که از برخورد مستقیم صاعقه‌های مشخصی که می‌توانند برای سیستم انتقال مشکل ساز باشند ممانعت به عمل آید و یا اینکه احتمال آن کاهش یابد.

بررسی سطح ایزوکرونیک در مسیر خط انتقال، میزان اهمیت خط انتقال و عواقب ناشی از بی‌برق شدن آن و سطوح استقامت عایقی خط انتقال مورد نظر از جمله عواملی هستند که در هنگام طراحی سیستم حفاظت صاعقه می‌بایستی مدنظر قرار گیرند. با استفاده از روشهای توسعه یافته جهت طراحی سیستم حفاظت از صاعقه خطوط هوایی انتقال نیرو و با لحاظ مسائل فوق‌الذکر، محل و تعداد سیم‌های گارد خط انتقال مشخص می‌گردد. انتخاب نوع، جنس و سطح مقطع هادی‌های مورد استفاده بعنوان سیم‌های گارد با توجه به نیازهای سیستم، طراحی و مسائل اقتصادی مرتبط با طراحی خط انتقال نیرو و سیستم حفاظت از صاعقه آن صورت می‌گیرد.



۱-۳- تعاریف

در خصوص مبحث حفاظت از صاعقه خطوط انتقال، حداقل تعاریف شامل موارد زیر می گردند :

۱-۳-۱- ولتاژ جرقه بحرانی (CFO)^۱

میزان اضافه ولتاژ گذرای است که چنانچه به ترمینالهای تجهیز برسد، احتمال اینکه عایق تجهیز این اضافه ولتاژ را تحمل کند ۵۰ درصد است.

۱-۳-۲- دامنه جریان ضربه بحرانی^۲

دامنه جریان موج ضربه صاعقه‌ای است که چنانچه بر روی یک هادی جاری شود، می تواند موجب ایجاد ولتاژی برابر با سطح ولتاژ جرقه بحرانی (CFO) عایق آن هادی گردد.

۱-۳-۳- شاخه پیشرو صاعقه^۳

شاخه‌ای پایین رونده به سمت زمین، در صاعقه‌هایی که از چندین شاخه تشکیل شده‌اند .

۱-۳-۴- حفاظت مؤثر^۴

حفاظتی که مانع برخورد صاعقه‌هایی با دامنه بزرگتر از دامنه جریان ضربه بحرانی به تجهیزات پست می گردد (البته ممکن است به دلیل حواشی ایمنی، اندازه جریان ضربه بحرانی کوچکتر از مقدار واقعی در نظر گرفته شود که در این حالت حفاظت مؤثر بر اساس این جریان جدید تعریف می گردد).

۱-۳-۵- مدل هندسی^۵

یک نمایش هندسی از تجهیز و سیستم حفاظت از صاعقه آن می باشد که در آن روابط ریاضی مورد استفاده برای نمایش ابعاد هندسی به جریان صاعقه برخوردکننده به سیستم حفاظت از صاعقه، زمین و هادی‌های فاز وابسته می باشد .

۱-۳-۶- تئوری مدل هندسی

نظریه توصیف کننده مدل هندسی همراه با تحلیل کمی مربوطه، شامل ارتباط میان فواصل برخورد با المانهای مختلف مدل و اندازه اولین ضربه بازگشتی، تئوری مدل هندسی را تشکیل می دهد.

1. Critical flashover voltage
2. critical stroke amplitude
3. dart leader
4. effective shielding
5. geometric model



۱-۳-۷- چگالی صاعقه‌های زمین^۱ (GFD)

تعداد متوسط برخورد صاعقه بر واحد سطح، در واحد زمان، در یک مکان مشخص را چگالی صاعقه‌های زمین در آن مکان گویند.

۱-۳-۸- سطح کرونیک^۲

تعداد متوسط روزها یا ساعاتی از سال که رعد و برق در یک مکان مشخص به وقوع می‌پیوندد. سطح کرونیک به دو گونه زیر تقسیم‌بندی می‌شود:

- سطح کرونیک روزانه: تعداد متوسط روزهایی از سال که رعد و برق در یک دوره ۲۴ ساعته مشاهده می‌گردد.
- سطح کرونیک ساعتی: تعداد متوسط ساعتهایی از سال، که رعد و برق در یک دوره ۶۰ دقیقه‌ای مشاهده می‌گردد.

۱-۳-۹- خطوط ایزوکرونیک^۳

چنانچه نقاط روی یک نقشه جغرافیایی را که دارای سطح کرونیک یکسانی هستند بهم متصل کنیم، از اتصال این نقاط، خطوطی حاصل می‌شود که آنها را خطوط ایزوکرونیک می‌نامند.

۱-۳-۱۰- سیم محافظ^۴

سیم یا سیم‌هایی که در بالای هادی‌های فاز قرار می‌گیرند تا از برخورد ضربات صاعقه به آنها جلوگیری به عمل آورند. این سیم‌ها گاهی اوقات سیم زمین شده هوایی یا سیم گارد نیز نامیده می‌شوند.

۱-۳-۱۱- زاویه حفاظتی سیم‌های محافظ نسبت به هادی‌های فاز

زاویه بدست آمده از تقاطع خط عمودی رسم شده از طریق سیم محافظ با خط دیگری که از سیم محافظ به هادی حفاظت شده کشیده شده است. این زاویه بمنظور فراهم نمودن ناحیه حفاظتی برای هادی‌های فاز به گونه‌ای انتخاب می‌گردد که ضربات صاعقه به جای برخورد به هادی‌های فاز به سیم محافظ برخورد نمایند.

۱-۳-۱۲- زاویه حفاظتی مثبت^۵

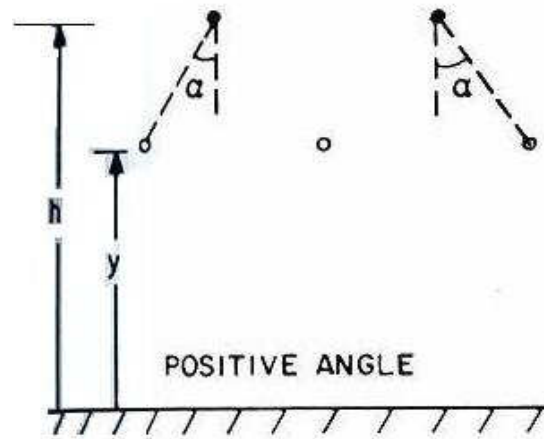
چنانچه سیم محافظ در بالا و داخل سطح اشغال شده توسط هادی‌های فاز قرار گیرد، زاویه تشکیل شده از طریق این سیم و هادی فاز کناری، زاویه حفاظتی مثبت نامیده می‌شود. این زاویه در شکل (۱-۱) نشان داده شده است.

1. Ground flash density
2. keraunic level
3. isokeraunic lines
4. shield wire
5. Positive shielding angle.

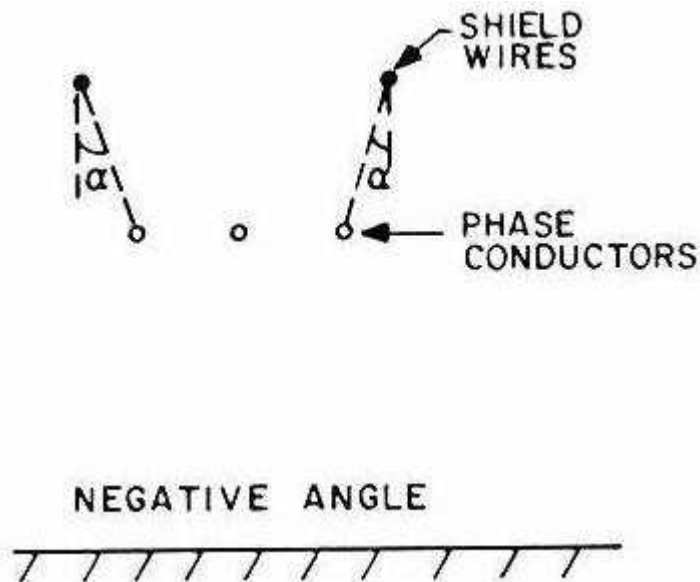


۱-۳-۳- زاویه حفاظتی منفی^۱

چنانچه سیم محافظ در بالا و بیرون سطح اشغال شده توسط هادی‌های فاز قرار گیرد، زاویه تشکیل شده از طریق این سیم و هادی فاز کناری، زاویه حفاظتی منفی نامیده می‌شود. این زاویه در شکل (۱-۲) نشان داده شده است.



شکل ۱-۱: زاویه حفاظتی مثبت



شکل ۱-۲: زاویه حفاظتی منفی

1. Negative shielding angle

۱-۳-۱۴ - شاخه پله‌دار^۱

تخلیه استاتیکی که از طریق ابر به هوا بوقوع می‌پیوندد شاخه پله‌دار نامیده می‌شود. دامنه جریان مربوط به این شاخه‌های پله‌دار در مقایسه با جریان ضربه نهایی کوچک می‌باشد (نوعاً از مرتبه ۱۰۰ آمپر هستند). شاخه‌های پله‌دار در جهات تصادفی، در پله‌های متصلی به طول ۱۰ تا ۸۰ متر منتشر می‌گردند. در اغلب موارد سرعت انتشار آنها در حدود ۰/۰۵ درصد سرعت نور می‌باشد.

۱-۳-۱۵ - فاصله برخورد^۲

طولی از فاصله هوایی که پتانسیل لازم برای شکست عابقی آن کمتر از پتانسیل آخرین جهش شاخه پله‌دار صاعقه می‌باشد، فاصله برخورد نامیده می‌شود. طول این فاصله هوایی به اندازه جریان صاعقه بستگی دارد.

۱-۳-۱۶ - امپدانس موجی^۳

نسبت ولتاژ به جریان موج سیاری که بر روی هادی حرکت می‌کند، امپدانس موجی نامیده می‌شود.

۱-۳-۱۷ - نرخ خطای سیستم حفاظت از صاعقه^۴ (SFR)

تعداد کل ضربات صاعقه‌ای که از سیستم حفاظت از صاعقه عبور کرده و به هادی‌های فاز برخورد نماید، نرخ خطای سیستم حفاظت از صاعقه (SFR) نامیده می‌شود.

۱-۳-۱۸ - نرخ وقوع قوس ناشی از خطای سیستم حفاظت از صاعقه^۵ (SFFOR)

تعداد ضربات صاعقه‌ای که از سیستم حفاظت از صاعقه عبور کرده و به هادی‌های فاز برخورد نموده و موجب بروز قوس الکتریکی در خط می‌گردند، نرخ قوس الکتریکی ناشی از خطای سیستم حفاظت از صاعقه (SFFOR) نامیده می‌شود.

۱-۳-۱۹ - قوس برگشتی^۶

قوس الکتریکی که در ایزولاسیون خط در نتیجه برخورد صاعقه به بخشهایی از شبکه یا تجهیزات الکتریکی که عموماً دارای پتانسیلی برابر با زمین هستند (مانند سیم محافظ یا دکل) بوجود می‌آید، قوس برگشتی نامیده می‌شود.

1. Stepped leader

2. Striking distance

3. Surge impedance

4. Shielding failure rate

5. Shielding failure flashover rate

6. Back flashover



۱-۳-۲۰- رشته^۱

یک هادی تک مفتولی با مقطع دایره را رشته گویند.

۱-۳-۲۱- هادی رشته‌ای^۲

هادی متشکل از چند رشته که در لایه‌های مختلف به دور یکدیگر پیچیده شده‌اند را هادی رشته‌ای گویند (از این پس جهت اختصار با لفظ هادی بیان می‌گردد).

۱-۳-۲۲- جهت لایه^۳

جهت پیچش لایه‌ها روی یکدیگر را جهت لایه گویند و به دو حالت راستگرد و چپگرد تقسیم‌بندی می‌شود. در صورتی که هادی بصورت عمودی قرار داشته شود، در حالت راستگرد، جهت چرخش رشته‌ها در جهت عقربه‌های ساعت و در حال چپگرد در خلاف جهت عقربه‌های ساعت می‌باشد.

۱-۳-۲۳- نسبت لایه^۴

نسبت طول محوری یک دور کامل مارپیچی که توسط رشته مشخص ایجاد می‌شود، به قطر خارجی مارپیچ مذکور را نسبت لایه گویند. کوچک بودن نسبت لایه نشانگر قابلیت خمش بیشتر هادی است.

۱-۳-۲۴- هادی فولادی با پوشش گالوانیزه

هادی‌های فولادی با پوشش گالوانیزه در کلاسهای مختلفی از پوشش گالوانیزه تولید می‌شوند. از این نوع سیم‌ها در بافت هادی‌های آلومینیوم - فولاد جهت هادی‌های خطوط انتقال و همچنین بصورت مستقل بعنوان سیم محافظ استفاده می‌شود و بر حسب اینکه شرایط آلودگی منطقه استقرار خط چگونه باشد می‌توان ضخامت پوشش گالوانیزه را باتوجه به مقادیر توصیه شده در استانداردها تعیین نمود.

۱-۳-۲۵- هادی آلومینیوم - فولاد (ACSR)^۵

هادی رشته‌ای که مغزی آن رشته یا رشته‌های فولادی می‌باشد و رشته‌های قرار گرفته بر روی آن از جنس آلومینیوم است، هادی آلومینیوم - فولاد نامیده می‌شود.

-
1. Wire
 2. Conductor
 3. Direction of Lay
 4. Lay Ratio
 5. Aluminum Conductor Steel Reinforced



۱-۳-۲۶- هادی فولادی با پوشش آلومینیوم (ACS)^۱

در این نوع هادیها، آلومینیوم جامد بدون اینکه ذوب شود، طی یک فرآیند حرارتی بصورت روکشی روی سطح رشته‌های فولادی قرار می‌گیرد و ضخامت روکش آلومینیومی می‌تواند برحسب مورد کم یا زیاد گردد.

۱-۳-۲۷- هادی آلیاژ آلومینیوم (AA)^۲

این هادی آلومینیومی دارای درجه خلوص حدود ۹۸/۳ درصد بوده و بقیه وزن آن را منیزیم و سیلیسیم تشکیل می‌دهد. از این هادی بصورت رشته در بافت سیم‌های OPGW استفاده می‌شود.

۱-۳-۲۸- سیم حفاظتی با مغزی فیبر نوری (OPGW)^۳

هادی‌های OPGW معمولاً به صورت سیم محافظ در خطوط انتقال نیرو مورد استفاده قرار می‌گیرند. این هادیها در ضمن اینکه خطوط انتقال را از اثرات ناشی از برخورد صاعقه حفاظت می‌کنند، وظیفه انتقال سیگنالهای مخابراتی را نیز برعهده دارند. این سیگنالهای مخابراتی از طریق فیبر نوری داخل هادی OPGW منتقل می‌گردد.

۱-۳-۲۹- هادی تمام آلومینیومی (AL)

این هادی تماماً از جنس آلومینیوم بوده و با درجه خلوص در حدود ۹۹/۵ درصد تولید شده و از این هادی در بافت سیم‌های OPGW بصورت غلاف خارجی فیبرنوری استفاده می‌شود.

۱-۳-۳۰- واحد نوری^۴

بخشی از هادی OPGW که از فیبرهای نوری و مواد محافظت کننده آنها تشکیل شده است، واحد نوری نامیده می‌شود.

۱-۳-۳۱- حداکثر کشش مجاز^۵ (MAT)

حداکثر کشش مورد انتظار در بدترین شرایط بارگذاری یا هر مقدار مشخص دیگری، حداکثر تنش مجاز (MAT) نامیده می‌شود.

۱-۳-۳۲- استقامت کششی نامی

مقدار نیروی کششی که سیم را در آستانه پارگی قرار می‌دهد، استقامت کششی^۶ (UTS یا RTS^۷) نامی نامیده می‌شود.

1. Aluminum clad steel

2. Aluminum alloy

3. optical ground wire

4. Optical unit

5. Max. Allowable tension

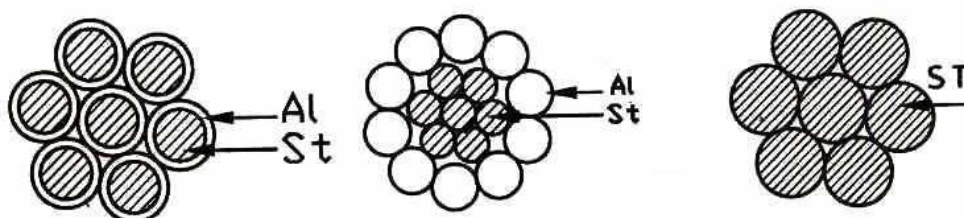
6. Ultimate tensile strength

7. rate tensile strength



۱-۴- مشخصات و ویژگی‌های سیم‌های حفاظت از صاعقه معمولی

بررسی‌های انجام شده نشان داده که در طراحی و انتخاب سیم حفاظت از صاعقه، داشتن مقاومت الکتریکی کم مطلوب است تا محافظ فیزیکی خوبی برای سیم محافظ باشد. اما از آنجائیکه افزایش قطر هادی مزبور سبب گرانی آن می‌شود بهتر است که با کاهش مقاومت پایه برج، سیم محافظ با قطر کمتری را انتخاب نمود. از طرفی توجه به این مطلب ضروری است که تشکیل برف و یخ روی سیم حفاظت از صاعقه سریعتر بوده و این سیم ضخامت یخ بیشتری را دارا می‌باشد. در حالیکه به علت گرم شدن هادی‌های اصلی در اثر جریان الکتریکی، یخ روی آنها دیرتر تشکیل می‌شود و زودتر از بین می‌رود. بنابراین سیم حفاظت از صاعقه می‌بایستی حتی‌الامکان در مقایسه با دیگر هادی‌های خط دارای مقاومت مکانیکی بیشتر باشد و برای این منظور معمولاً از هادی‌های فولادی با استقامت مکانیکی بالا (HS)، هادی‌های فولادی با استقامت مکانیکی بسیار بالا (EHS)، هادی‌های فولادی روکش شده با آلومینیوم (ACS) و هادی‌های آلومینیوم فولاد (ACSR) با استقامت مکانیکی بالا استفاده می‌گردد. در مناطق دارای آلودگی (کنار دریا یا مناطق صنعتی) عمدتاً از هادی‌های فولادی گالوانیزه شده (GS) یا هادی‌های ACS که در مقابل خوردگی مقاوم هستند استفاده می‌گردد. در نزدیکی نیروگاه‌ها و پست‌های فشار قوی جهت دست یافتن به مقاومت کم از هادی‌هایی که دارای رشته‌های آلومینیومی با استقامت زیاد (ACSR) هستند استفاده می‌شود. ساختمان هادی‌های فوق‌الذکر در شکل (۱-۳) نشان داده شده است. در جدول (۱-۱) تا (۱-۳) مشخصات عمومی هادی‌های HS, EHS, ACS و ACSR ارائه شده‌اند [۱۷-۱۹].



شکل ۱-۳: ساختمان هادی‌های مورد استفاده بعنوان سیم‌های حفاظت از صاعقه معمولی

جدول ۱-۱: مشخصات عمومی هادی‌های فولادی با استقامت بالا (HS) و هادی‌های فولادی با استقامت بسیار بالا (EHS)

قطر نامی هادی (in)	قطر نامی هادی (mm)	تعداد رشته‌های موجود در هادی	قطر نامی رشته‌های گالوانیزه شده (mm)	وزن تقریبی هادی (Kg/Km)	حداقل نیروی گسیختگی هادی (KN)	سطح مقطع هادی (mm ²)
هادی‌های فولاد با استقامت بالا (HS)						
$\frac{5}{8}$	۱۵/۸۸	۷	۵/۲۶	۱۲۱۰	۱۳۱/۶۶۷	۱۵۲/۱۱
$\frac{5}{8}$	۱۵/۸۸	۱۹	۳/۱۸	۱۱۸۴	۱۲۴/۹۹۵	۱۵۰/۹۰
$\frac{1}{2}$	۱۲/۰۷	۷	۴/۱۹	۷۶۸	۸۳/۶۲۷	۹۶/۵۲
$\frac{1}{2}$	۱۲/۰۷	۱۹	۲/۵۴	۷۵۱	۸۴/۹۶۱	۹۶/۲۷
$\frac{7}{16}$	۱۱/۱۱	۷	۳/۶۸	۵۹۴	۶۴/۴۹۹	۷۴/۴۵
$\frac{3}{8}$	۹/۵۲	۳	۴/۱۹	۳۲۸	۳۷/۱۸۷	۴۱/۳۶
$\frac{3}{8}$	۹/۵۲	۷	۳/۰۵	۴۰۷	۴۸/۰۴۰	۵۱/۱۴
هادی‌های فولاد با استقامت بسیار بالا (EHS)						
$\frac{5}{8}$	۱۵/۸۸	۷	۵/۲۶	۱۲۱۰	۱۸۸/۶۰۵	۱۵۲/۱۱
$\frac{5}{8}$	۱۵/۸۸	۱۹	۳/۱۸	۱۱۸۴	۱۷۸/۸۱۹	۱۵۰/۹۰
$\frac{1}{2}$	۱۲/۰۷	۷	۴/۱۹	۷۶۸	۱۱۹/۶۵۷	۹۶/۵۲
$\frac{1}{2}$	۱۲/۰۷	۱۹	۲/۵۴	۷۵۱	۱۱۸/۷۶۸	۹۶/۲۷
$\frac{7}{16}$	۱۱/۱۱	۷	۳/۶۸	۵۹۴	۹۲/۵۲۳	۷۴/۴۵
$\frac{3}{8}$	۹/۵۲	۳	۴/۱۹	۳۲۸	۵۲/۴۸۹	۴۱/۳۶
$\frac{3}{8}$	۹/۵۲	۷	۳/۰۵	۴۰۷	۶۸/۵۰۳	۵۱/۱۴
$\frac{5}{16}$	۷/۹۴	۷	۲/۶۴	۳۰۵	۴۹/۸۲۰	۳۸/۳۲

جدول ۱-۲: مشخصات عمومی هادی‌های فولادی با روکش آلومینیوم (ACSS)

کد	تعداد رشته‌ها در هادی	قطر هر رشته (mm)	قطر خارجی هادی (mm)	حداقل نیروی گسیختگی (Kg)	وزن هادی (Kg/Km)	مقاومت dc هادی در 20°C (Ω/Km)	سطح مقطع هادی (mm^2)
37n6	۳۷	۴/۶۲۰۳	۳۲/۲۶	۶۴۷۷۲	۴۱۷۰	-/۱۳۹۳۴	۶۲۰/۵۸
37n6	۳۷	۴/۱۱۴۸	۲۸/۷۰	۵۴۵۲۱	۳۳۰۶	-/۱۷۵۷۳	۴۹۲/۱۹
37n8	۳۷	۳/۶۶۵۲	۲۵/۶۵	۴۵۶۷۶	۲۶۲۲	-/۲۲۱۶۰	۳۹۰/۳۲
37n8	۳۷	۳/۲۶۳۹	۲۲/۸۳	۳۸۱۹۲	۲۰۸۰	-/۲۷۹۴۱	۳۰۹/۵۵
37n8	۳۷	۲/۹۰۵۷	۲۰/۳۴	۳۰۲۸۶	۱۶۴۹	-/۳۵۲۳۸	۲۴۵/۴۸
37n8	۳۷	۲/۵۸۸۳	۱۸/۱۱	۲۴۰۱۷	۱۳۰۸	-/۴۴۴۲۴	۱۹۴/۶۴
19n6	۱۹	۴/۶۲۰۳	۲۳/۱۱	۳۳۲۷۰	۲۱۲۸	-/۲۶۹۸۳	۳۱۸/۷۱
19n6	۱۹	۴/۱۱۴۸	۲۰/۵۷	۲۷۹۸۶	۱۶۸۷	-/۳۴۰۲۴	۲۵۲/۷۱
19n8	۱۹	۳/۶۶۵۳	۱۸/۳۱	۲۳۴۶۴	۱۳۳۸	-/۴۲۹۱۵	۲۰۰/۴۵
19n8	۱۹	۳/۲۶۳۹	۱۶/۳۰	۱۹۶۱۳	۱۰۶۲	-/۵۴۱۰۴	۱۵۸/۹۷
19n8	۱۹	۲/۹۰۵۸	۱۴/۵۳	۱۵۵۵۳	۸۴۲	-/۶۸۲۱۲	۱۲۶/۰۶
19n8	۱۹	۲/۵۸۸۳	۱۲/۹۳	۱۲۳۳۳	۶۶۸	-/۸۶۰۲۸	۹۹/۹۳
7n6	۷	۴/۶۲۰۳	۱۳/۸۷	۱۲۲۶۰	۷۸۱	-/۷۴۲۸۲	۱۱۷/۴۲
7n6	۷	۴/۱۱۴۸	۱۲/۳۴	۱۰۳۱۰	۶۱۹	-/۹۱۹۶۶	۹۳/۰۹
7n8	۷	۳/۶۶۵۳	۱۱/۰۰	۸۶۴۵	۴۹۱	۱/۱۵۹۸۳	۷۳/۸۷
7n8	۷	۳/۲۶۳۹	۹/۷۸	۷۲۲۵	۳۹۰	۱/۴۶۲۶۷	۵۸/۵۶
7n8	۷	۲/۹۰۵۸	۸/۷۱	۵۷۲۹	۳۰۹	۱/۸۴۴۲۵	۴۶/۴۴
7n8	۷	۲/۵۸۸۳	۷/۷۷	۴۵۴۵	۲۴۵	۲/۳۲۵۵۷	۳۶/۸۲
7n8	۷	۲/۳۰۳۸	۶/۹۰	۳۶۰۴	۱۹۴	۲/۹۳۲۵۵	۲۹/۱۸
7n8	۷	۲/۰۵۲۳	۶/۱۴	۲۸۵۸	۱۵۴	۳/۶۹۷۶۸	۲۳/۱۶
3n6	۳	۴/۶۲۰۳	۹/۹۵	۵۵۴۷	۳۳۴	۱/۶۹۸۵۷	۵۰/۳۲
3n6	۳	۴/۱۱۴۸	۸/۸۶	۴۶۶۳	۲۶۵	۲/۱۴۱۸۴	۳۹/۹۰
3n8	۳	۳/۶۶۵۳	۷/۹۰	۳۹۱۰	۲۱۰	۲/۷۰۰۹۲	۳۱/۶۴
3n8	۳	۳/۲۶۳۹	۷/۰۴	۳۲۶۸	۱۶۷	۳/۴۰۵۶۸	۲۵/۰۹
3n8	۳	۲/۹۰۵۸	۶/۲۷	۲۵۹۲	۱۳۲	۴/۲۹۴۸۳	۱۹/۹۰
3n8	۳	۲/۵۸۸۳	۵/۵۹	۲۰۵۶	۱۰۵	۵/۴۱۶۹۳	۱۵/۷۸



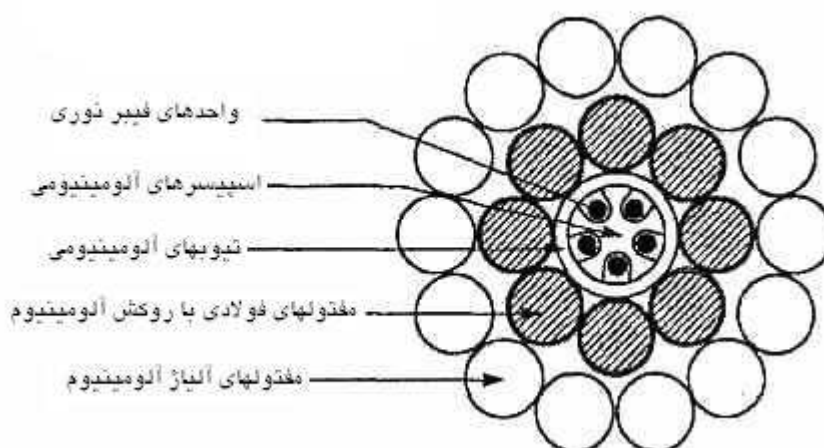
جدول ۱-۳: مشخصات عمومی هادی‌های آلومینیوم - فولاد (ACSR) با استقامت بالا

کد	سطح مقطع آلومینیوم (mm ²)	سطح مقطع کل (mm ²)	تعداد و قطر رشته‌های آلومینیومی (میلیمتر × تعداد)	تعداد و قطر رشته‌های فولادی (میلیمتر × تعداد)	قطر هادی (میلیمتر)	قطر مغزی (میلیمتر)	وزن هادی (Kg/Km)	مقاومت dc در ۲۰ °C (Ω/Km)	حداقل نیروی گسیختگی (kg)
Brahma	۱۰۳	۱۹۴/۹	۱۶×۲/۸۶۳	۱۹×۰/۰۹۷۷	۱۸/۱۳۵	۱۲/۳۹۵	۱۰۰۷	۰/۲۸۷	۹۳۸۹
Coohin	۱۰۷/۱	۱۶۹/۵	۱۲×۳/۳۷۱	۷×۰/۱۳۲۷	۱۶/۸۶۵	۷/۸۲۳	۷۸۵	۰/۲۷۶	۱۲۸۸۲
Dorking	۹۶/۷	۱۵۳/۱	۱۲×۳/۲۰۳	۷×۰/۱۲۰۱	۱۶/۰۲۷	۹/۵۵۰	۶۹۵	۰/۳۰۶	۸۴۸۲
Dotterel	۸۹/۶	۱۴۱/۹	۱۲×۳/۰۸۴	۷×۰/۱۲۱۴	۱۵/۴۱	۹/۲۴۵	۶۵۶	۰/۳۳۰	۷۸۴۷
Guinea	۸۰/۶	۱۲۷/۵	۱۲×۲/۹۲۳	۷×۰/۱۱۵۱	۱۴/۶۳۰	۸/۷۶۳	۵۹۱	۰/۳۶۷	۷۲۵۸
Leghorn	۶۸/۲	۱۰۳	۱۲×۲/۶۹۰	۷×۰/۱۰۵۹	۱۳/۴۳۶	۸/۰۷۷	۵۰۰	۰/۴۳۴	۶۱۶۹
Minorca	۵۶/۲	۸۸/۹	۱۲×۲/۴۴۱	۷×۰/۰۹۶۱	۱۲/۱۹۲	۷/۳۱۵	۴۱۲	۰/۵۲۶	۵۰۸۰
Petrel	۵۱/۶	۸۱/۷	۱۲×۲/۳۳۹	۷×۰/۰۹۲۱	۱۱/۷۱۰	۷/۰۱۰	۳۷۸	۰/۵۷۳	۴۷۱۸
Grouse	۴۰/۵	۵۴/۷	۸×۲/۵۴۰	۱×۰/۱۶۷۰	۹/۳۲۲	۴/۲۴۲	۲۲۲	۰/۷۲۶	۲۳۵۹

۱-۵- مشخصات و ویژگی‌های سیم‌های حفاظت از صاعقه همراه با تکنولوژی فیبرنوری

به علت مزایای فیبر نوری از جمله سازگاری آن با محیط‌های الکترومغناطیسی و انتقال حجم زیادی از اطلاعات، در سیستم‌های قدرت نیز استفاده از این نوع کابل آغاز شده است و در بسیاری از کشورهای پیشرفته و صنعتی جهان با شرایط مختلف آب و هوایی بکار برده می‌شود. از طرفی شرکت‌های برق با توجه به اینکه بازدهی و کارکرد مطمئن شبکه توزیع و انتقال قدرت الکتریکی به یک سیستم ارتباطی مناسب نیاز دارد، مطالعاتی را پیرامون استفاده از فیبر نوری در خطوط انتقال به وسیله الحاق آن با سیم حفاظت از صاعقه خط انتقال انجام داده‌اند.

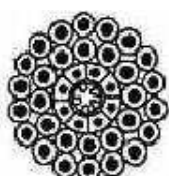
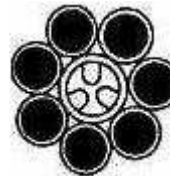
یکی از روش‌های ابداع شده جهت ذخیره سازی فیبر نوری در سیم حفاظت از صاعقه خط انتقال، منجر به تولید سیم‌های حفاظت از صاعقه OPGW گردیده است. در شکل (۱-۴) ساختمان یک OPGW نمونه نشان داده شده است و در جدول (۱-۴) نیز برخی از مشخصات OPGW‌های نوعی به همراه ساختمان ظاهری آنها ارائه گردیده است.



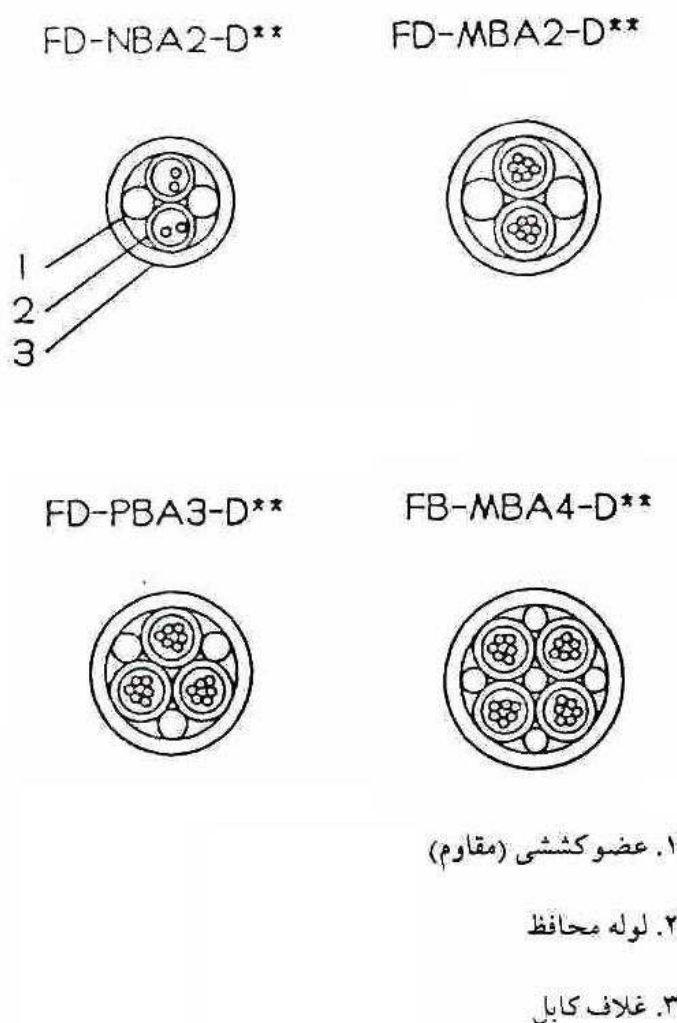
شکل ۱-۴: ساختمان یک OPGW نوعی



جدول ۱-۴: مشخصات OPGW های نوعی به همراه ساختمان ظاهری آنها

40AC OPGW500mm ²	30AC OPGW500mm ²	OPGW290mm ²	OPGW170mm ²	OPGW80mm ²	OPGW60mm ²	کد تولید
						ساختمان ظاهری توضیحات
40AC 30/4.2	30AC 30/4.2	40AC 12/4.5	27AC 12/3.5	23AC 7/3.9	23AC 8/3.2	ساختمان رشته‌های بافته شده، قطر و تعداد رشته‌های لایه خارجی (mm * تعداد)
40AC 8/SB (3.62)	40AC 8/SB (3.62)	40AC 8/SB (4.0)	40AC 8/SB (2.89)	—	—	ساختمان رشته‌های بافته شده، قطر و تعداد رشته‌های لایه داخلی (mm * تعداد)
OP 1/6.5	OP 1/6.5	OP 1/6.5	OP 1/6.0	OP 1/5.0	OP 1/5.0	ساختمان رشته‌های بافته شده، قطر و تعداد واحد نوری (mm * تعداد)
۳۰۷/۴	۳۸۱	۱۷۹/۹	۱۴۴/۶	۹۵/۶	۷۳/۵۷	حداقل نیروی کششی بدون لحاظ فیبرهای نوری (KN)
۴۹۷/۸	۴۹۷/۸	۲۹۱/۴	۱۶۸	۸۳/۶۵	۶۴/۳۴	سطح مقطع رشته‌های فولادی با روکش آلومینیوم (mm ²)
۲۳/۳۹	۲۳/۳۹	۲۳/۳۹	۲۰/۳۶	۱۳/۵۵	۱۳/۵۵	سطح مقطع واحدهای نوری (mm ²)
۵۲۱/۱	۵۲۱/۱	۳۱۴/۶۹	۱۸۸/۴	۹۷/۲	۷۷/۸۹	سطح مقطع کل (mm ²)
۲۳۵۸	۲۷۷۰	۱۳۷۲	۹۴۰	۵۳۵	۴۱۱/۴	وزن واحد طول رشته‌های فولادی با روکش آلومینیوم (kg/km)
۷۲/۸۸	۷۲/۸۸	۷۲/۸۸	۶۲/۹۷	۴۲/۵۷	۴۲/۵۷	وزن واحد طول واحدهای نوری (kg/km)
۲۴۳۱	۲۸۴۳	۱۴۴۵	۱۰۰۳	۵۷۷/۶	۴۵۴	وزن کل (kg/km)
۲۹/۴	۲۹/۴	۲۲/۵	۱۷/۵	۱۲/۸	۱۱/۴	قطر خارجی (mm)
۱۱۱۰۰	۱۳۱۰۰	۱۱۱۰۰	۱۳۳۰۰	۱۵۲۰۰	۱۵۲۰۰	مدول الاستیسیته بدون لحاظ فیبرهای نوری (kgf/mm ²)
۰/۰۸۸۴	۰/۱۱۲	۰/۱۵۰	۰/۳۳۶	۰/۹۱۴	۱/۱۹	مقاومت الکتریکی (Ω/km)

روش دیگر برای ذخیره سازی فیبرنوری در سیم حفاظت از صاعقه خطوط انتقال، استفاده از تکنیک GWWOP^۱ یا کابل نوری پیچیده شده بر روی سیم زمین می باشد. استفاده از این روش در سیم های حفاظت از صاعقه خطوط انتقال موجود مقرون به صرفه می باشد. دو ساختار جهت کاربرد GWWOP وجود دارد که یکی کابل فیبر نوری بطور موازی با سیم زمین ادامه داشته و بوسیله مفتولهای تسمه ای متصل به سیم حفاظت از صاعقه نگهداری می شود و دیگری کابل فیبر نوری بر روی سیم زمین پیچیده می شود. در شکل (۵-۱) مقاطع انواع کابل هوای فیبر نوری مورد استفاده به صورت GWWOP که به Sky Wrap موسوم هستند را نشان می دهد. در جدول (۵-۱) نیز اطلاعات نوعی مفیدی برای این نوع کابلها ارائه شده است.



شکل ۵-۱: مقاطع انواع کابل های فیبر نوری مورد استفاده به صورت GWWOP که به Sky Wrap موسوم هستند.

1. Ground wire wrapped optical fiber cable

جدول ۵-۱: اطلاعات نوعی کابل‌های فیبر نوری نشان داده شده در شکل (۵-۱) که با سیم حفاظت از صاعقه به کار می‌روند.

کد				واحد‌ها	توضیحات
FD-MBA4-D**	FD-PBA3-D**	FD-MBA2-D**	FD-NBA2-D**		
۲۰-۲۴	۱۴-۱۸	۸-۱۲	۲-۴	—	تعداد فیبر
۷/۳	۶/۶	۶/۲	۵/۲	mm	قطر کابل‌ها
۴۳	۳۵	۲۵	۲۰	kg/km	وزن
۳۰	۴۵	۳۰	۳۰	kgf	میزان نیروی گسیختگی
۵۰	۵۰	۵۰	۵۰	mm	حداقل شعاع خمشی
۲۰۰	۲۰۰	۲۰۰	۲۰۰	°C	ماکزیمم درجه حرارت مجاز
۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	N	نیروی مقاوم در برابر برش داخلی



فصل ۲

طراحی سیستم حفاظت از برخورد مستقیم

صاعقه به خطوط هوایی انتقال نیرو



مقدمه

در این فصل روش طراحی سیستم حفاظت از برخورد مستقیم صاعقه به خطوط هوایی انتقال نیرو ارائه می‌گردد. در پایان جهت آشنایی با رویه طراحی یک مثال کاربردی نیز ارائه می‌شود.

۱-۲- کلیات

سیستم حفاظت از صاعقه جهت جلوگیری از برخورد مستقیم صاعقه به هادی‌های فاز خطوط هوایی انتقال نیرو ایجاد می‌گردد. چنانچه دامنه جریان صاعقه برخورد کننده به هادی‌های فاز کمتر از مقدار مشخصی باشد (جریان بحرانی)، این صاعقه نمی‌تواند برای ایزولاسیون خط مشکل خاصی را ایجاد کند. لذا عبور صاعقه‌هایی که دامنه‌های آنها کمتر از جریان بحرانی است، از سیستم حفاظت از صاعقه مجاز می‌باشد. آنچه که باید از آن اجتناب نمود ورود صاعقه‌هایی با دامنه بزرگتر از جریان بحرانی است چرا که اینگونه ضربات صاعقه می‌توانند ولتاژهایی بزرگتر از حد استقامت عایقی خط را ایجاد نموده و موجبات بروز قوس الکتریکی را در خط فراهم نمایند.

طراحی سیستم حفاظت از صاعقه‌ای که بتواند از ورود تمامی ضربات صاعقه‌ای که دامنه آنها بزرگتر از جریان بحرانی است جلوگیری بعمل آورد، در عمل غیر اقتصادی می‌باشد چرا که این امر مستلزم آن است که جریان بحرانی بعنوان جریان طراحی انتخاب گردد و بعلت کوچک بودن این جریان، طول فواصل برخورد نیز کوچک می‌شود و لذا برای فراهم دیدن ناحیه حفاظتی مطلوب باید از تعداد زیادی سیم حفاظتی استفاده نمود که این امر موجب افزایش هزینه‌های اجرایی سیستم حفاظت از صاعقه می‌شود.

چنانچه مقدار نرخ جرقه ناشی از خطای سیستم حفاظت از صاعقه (SFFOR) کوچکی (مثلاً ۰/۰۵ قوس در هر صد کیلومتر در سال) برای سیستم حفاظت از صاعقه در نظر بگیریم، این مشکل نیز قابل حل خواهد بود چرا که با پذیرش نرخ کوچک خطا می‌توان از جریانهای طراحی بزرگتر از جریان بحرانی استفاده نمود و به این طریق نسبت به حالت قبل سیمهای حفاظتی کمتری را به کار برد و یا اینکه ممکن است طول یا ارتفاع کراس آرمهای نگهدارنده سیمهای حفاظتی را کاهش داد و بدین طریق هزینه‌های اجرایی سیستم حفاظت از صاعقه خط را پائین آورد. البته به علت طبیعت احتمالی پدیده صاعقه، پذیرش این نرخ کوچک خطا قابل قبول می‌باشد.

در صورتی که خط مورد نظر برای طراحی از درجه اهمیت بسیار بالایی برخوردار باشد، طراحی سیستم حفاظت از صاعقه می‌تواند بر مبنای جریان طراحی برابر با جریان بحرانی صورت گیرد تا حفاظت کامل فراهم شود.

در حالت کلی جهت طراحی سیستم حفاظت از برخورد مستقیم صاعقه به خطوط هوایی انتقال نیرو گامهای زیر می‌بایستی دنبال گردد :

گام اول :

تعیین محل قرارگیری سیم گارد با استفاده از روشهای مناسب طراحی سیستم حفاظت از برخورد مستقیم صاعقه به خطوط هوایی انتقال نیرو.

گام دوم :

تعیین مشخصات سیم حفاظت از صاعقه از دیدگاه الکتریکی.



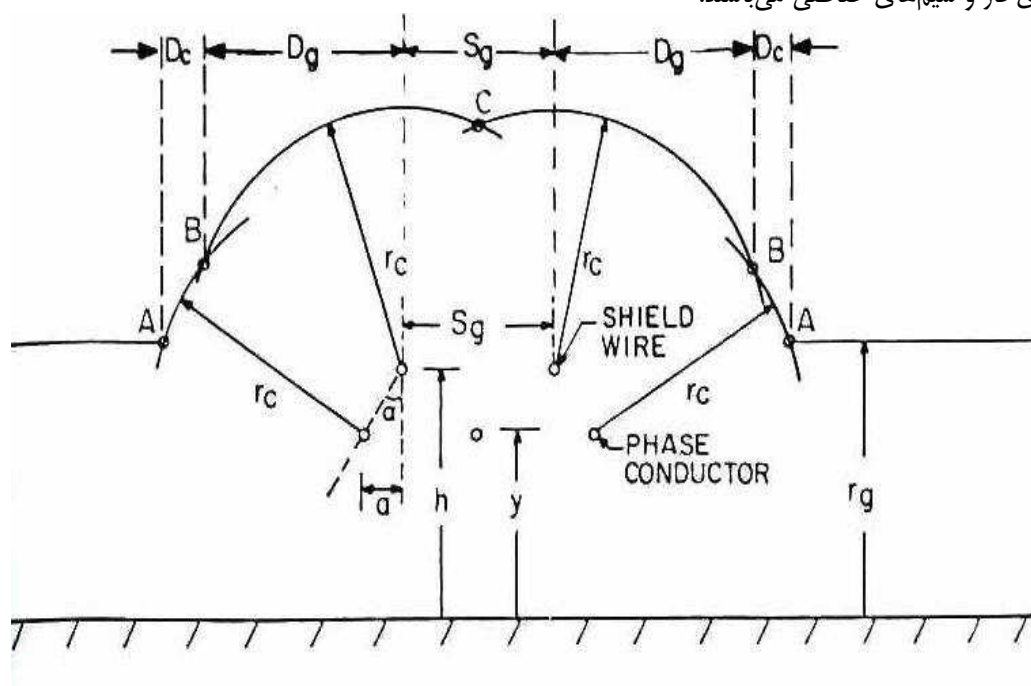
گام سوم :

تعیین مشخصات سیم حفاظت از صاعقه از دیدگاه مکانیکی.

۲-۲- جایابی سیم‌های حفاظت از صاعقه خطوط هوایی انتقال نیرو براساس روش مدل هندسی

۱-۲-۲- کلیات

شکل (۱-۲) را در نظر بگیرید. براساس روش مدل هندسی و به ازای مقدار مشخصی از جریان ضربه بازگشتی صاعقه، کمانهایی به شعاع r_c و به مرکزیت هادی‌های فاز و سیم‌های حفاظت از صاعقه رسم شده‌اند. علاوه بر این، خط افقی به ارتفاع r_g از سطح زمین و به موازات آن نیز رسم شده است. r_g و r_c به ترتیب برابر فاصله برخورد صاعقه به زمین و فاصله برخورد صاعقه به هادی‌های فاز و سیم‌های حفاظتی می‌باشند.



شکل ۱-۲: مدل هندسی، تعیین زوایا و فواصل

فواصل برخورد (r_g, r_c) را می‌توان از روابط زیر بدست آورد :

- معادلات ارائه شده از سوی Brown & Whitehead [۵] :

$$\begin{cases} r_g = 6.4I^{0.75} \\ r_c = 7.1I^{0.75} \end{cases} \quad (۱-۲)$$

که در آن I جریان ضربه بازگشتی صاعقه برحسب کیلوآمپر است.

محل تقاطع کمانه با یکدیگر و با خط افقی با حروف A، B و C مشخص شده‌اند. شاخه‌های پائین رونده صاعقه‌ای که به فواصل A تا B می‌رسند به هادی‌های فاز برخورد می‌کنند و آن دسته از ضربات صاعقه‌ای که به کمانه‌های مابین B و C می‌رسند نیز به سیم‌های حفاظت از صاعقه برخورد می‌نمایند. ضربات وارد شده به نواحی بیرون از فواصل فوق به زمین برخورد خواهند نمود.

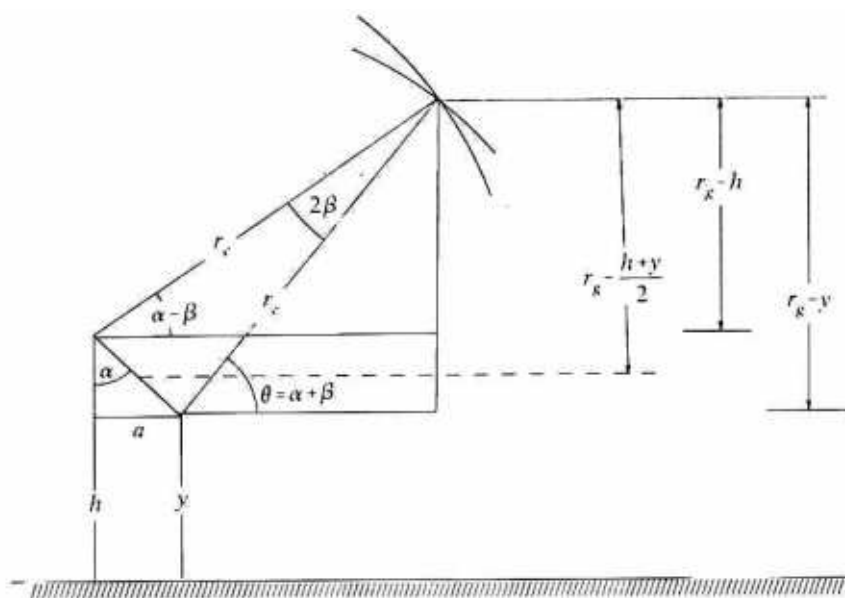
با فرض اینکه ضربات صاعقه به صورت عمودی فرود می‌آیند، فواصل D_c و $2D_g+S_g$ که در شکل (۲-۱) مشخص شده‌اند به ترتیب به مفهوم فاصله رؤیت صاعقه برای هادی‌های فاز و فاصله رؤیت صاعقه برای سیم‌های حفاظت از صاعقه می‌باشند. چنانچه طراحی سیستم حفاظت از صاعقه خط انتقال به گونه‌ای صورت گیرد که فاصله D_c به ازای کلیه جریانهای برابر یا بزرگتر از I_c برابر صفر باشد، حفاظت فراهم شده را حفاظت کامل می‌نامند و نرخ جرقه ناشی از خطای سیستم حفاظت از صاعقه (SFFOR) برابر صفر خواهد بود. در برخی موارد به جهت مسائل اقتصادی و شرایط جوی مسیر خط انتقال ممکن است مقدار ناچیزی از SFFOR قابل قبول باشد، تحت چنین شرایطی طراحی براساس مقدار مطلوبی از SFFOR صورت می‌گیرد.

در ادامه روشهای جایابی سیم‌های حفاظت از صاعقه خطوط هوایی انتقال نیرو براساس میزان SFFOR برابر صفر (حفاظت کامل) و میزان SFFOR مخالف صفر ارائه می‌گردد.

۲-۲-۲- طراحی براساس SFFOR برابر صفر (زاویه حفاظت کامل)^۱

زاویه حفاظت کامل معادل با SFFOR برابر با صفر است. شکل (۲-۲) را می‌توان جهت استخراج زاویه حفاظت کامل α_p مورد استفاده قرارداد. سه فرم معادله قابل استخراج می‌باشد. اولین و ساده‌ترین این معادلات به صورت زیر از شکل (۲-۲) قابل استخراج است :

$$\alpha_p = \frac{1}{2} \left[\sin^{-1} \frac{r_g - h}{r_c} + \sin^{-1} \frac{r_g - y}{r_c} \right] \quad (2-2)$$



شکل ۲-۲: نحوه پیدا کردن زاویه حفاظت کامل

1. Perfect shielding angle

یک راه دیگر برای تعیین زاویه حفاظت کامل، ابتدا تعیین فاصله افقی a_p می‌باشد :

$$a_p = \sqrt{r_c^2 - (r_g - h)^2} - \sqrt{r_c^2 - (r_g - y)^2} \quad (3-2)$$

آنگاه زاویه حفاظت کامل را می‌توان از رابطه زیر استخراج کرد :

$$\alpha_p = \tan^{-1} \frac{a_p}{h - y} \quad (4-2)$$

و بالاخره راه سوم برای تعیین زاویه حفاظت کامل به صورت زیر می‌باشد :

$$\alpha_p = \sin^{-1} \frac{r_g - (h + y)/2}{\sqrt{r_c^2 - \left(\frac{C^2}{4}\right)}} \quad (5-2)$$

که در آن C اندازه فاصله هادی فاز بیرونی تا نزدیکترین سیم حفاظتی مجاور آن می‌باشد.

از آنجائی که $r_c \gg \frac{C}{2}$ است، معادله تقریبی زیر قابل استخراج می‌باشد :

$$\alpha_p = \sin^{-1} \frac{r_g - (h + y)/2}{r_c} \quad (6-2)$$

از آنجا که برای زوایای کوچک $\sin^{-1}x = x$ (که در آن x زاویه مورد نظر برحسب رادیان است) می‌باشد، از رابطه (۶-۲) می‌توان رابطه تقریبی زیر را بدست آورد:

$$\alpha_p = \frac{r_g - (h + y)/2}{r_c} = \frac{r_g}{r_c} - \frac{1}{r_c} \left(\frac{h + y}{2} \right) \quad (7-2)$$

این رابطه نشان می‌دهد که زاویه حفاظت کامل تقریباً یک تابع خطی از تابع $\frac{h + y}{2}$ ، یعنی ارتفاع متوسط سیم‌های حفاظت از صاعقه و هادی فاز می‌باشد.

۳-۲-۲ طراحی براساس SFFOR مخالف صفر

اصلی‌ترین هدف در انتخاب تعداد و محل سیم‌های حفاظت از صاعقه جلوگیری از برخورد صاعقه با هادی‌های فاز و کاهش نرخ خطای سیستم حفاظت از صاعقه به یک سطح قابل قبول (با توجه به این نکته که SFFOR برابر صفر تقریباً از لحاظ عملی غیر ممکن است) می‌باشد. اگر چه که این نظریه برای مناطقی که چگالی صاعقه‌های برخوردی بسیار زیاد می‌باشد ممکن است مناسب باشد، اما برای مناطقی که در آنجا N_g بین ۱ تا ۴ می‌باشد این شرط، طراحی براساس حفاظت کامل، ممکن است به شدت مسائل طراحی اقتصادی خط را دچار مشکل سازد. بنابراین برای نواحی با چگالی صاعقه کم ممکن است یک سیم حفاظت از صاعقه کفایت نماید، در حالیکه برای مناطق با چگالی صاعقه بیشتر ممکن است دو سیم حفاظت از صاعقه مورد نیاز باشد. بنابراین طراحی براساس مقدار غیر صفری از SFFOR پیشنهاد می‌شود [۱]. مقدار طراحی واقعی از SFFOR می‌بایستی در این حالت برای فراهم نمودن امکان طراحی‌های اقتصادی توسط طراح خط انتخاب گردد. در مورد خطوطی که بارهای مهمی را تغذیه می‌کنند مقدار طراحی ۰/۰۵



جرقه در هر ۱۰۰ کیلومتر بر سال ممکن است مناسب باشد. با این وجود در اروپا مقادیر طراحی به بزرگی ۲ جرقه در هر ۱۰۰ کیلومتر بر سال نیز انتخاب شده است. به طور کلی مقدار طراحی ۰/۰۵ جرقه در هر ۱۰۰ کیلومتر بر سال پیشنهاد می‌شود. SFFOR به صورت تقریبی از رابطه زیر بدست می‌آید [۱۲]:

$$SFFOR = 2N_g L \frac{D_{cc}}{2} [Q(I_c) - Q(I_m)] \quad (۸-۲)$$

که در آن:

$Q(I)$: احتمال اینکه حداکثر دامنه جریان صاعقه در هر بار برخورد برابر یا بزرگتر از مقدار I باشد را نشان می‌دهد و از رابطه زیر

تعیین می‌شود [۲]:

$$\begin{cases} Q(I) = 1 - 0.31e^{-\frac{I^2}{1.6}} & 3 \leq I < 20KA \\ Q(I) = 0.5 - 0.35Z & 20 \leq I < 60KA \\ Q(I) = 0.278e^{-\frac{I^2}{1.7}} & 60 \leq I < 200KA \end{cases} \quad (۹-۲)$$

پارامتر Z نیز از رابطه زیر قابل تعیین می‌باشد [۱ و ۲]:

$$\begin{cases} Z = \frac{\ln(\frac{I}{m})}{\beta} \\ m = 64.1, \quad \beta = 1.33 & I \leq 20KA \\ m = 33.1, \quad \beta = 0.605 & I > 20KA \end{cases} \quad (۱۰-۲)$$

N_g : تعداد برخورد صاعقه به هر کیلومتر مربع از سطح زمین در سال می‌باشد و از رابطه زیر تعیین می‌گردد [۱۱]:

$$N_g = 0.04(T_d)^{1.25} \quad (۱۱-۲)$$

که در آن T_d متوسط سطح کرونیک سالیانه برحسب روزهای رعد و برقی در سال، در مسیر خط انتقال می‌باشد.

L : طول خط انتقال، برحسب کیلومتر

I_c : جریان بحرانی خط، برحسب کیلوآمپر

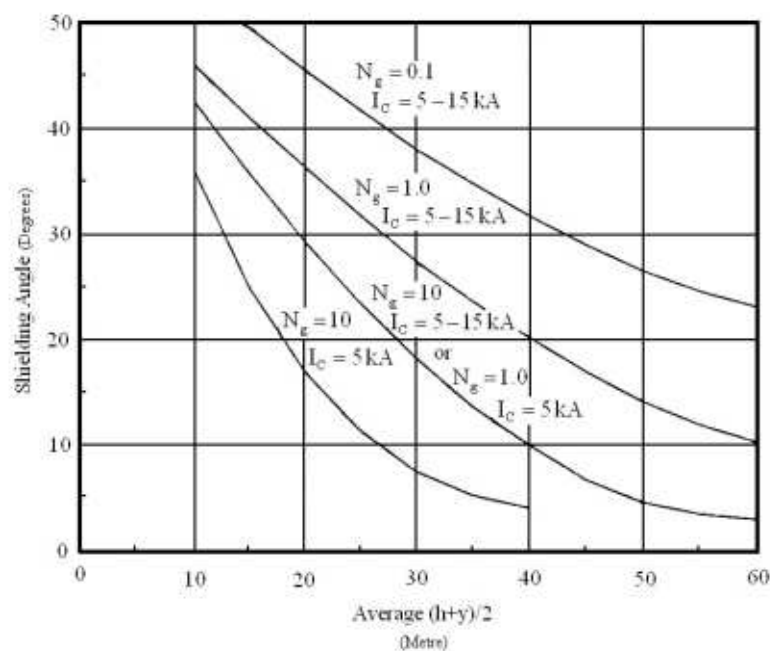
I_m : حداکثر جریان خطای سیستم حفاظت از صاعقه، برحسب کیلوآمپر

D_{cc} : فاصله D_c در شکل (۱-۲) به ازای جریان بحرانی I_c می‌باشد.



برای مساعدت در انتخاب زاویه حفاظتی، منحنیهای نشان داده شده در شکل (۳-۲) بر اساس معادلات ارائه شده از سوی Brown-Whitehead و با فرض ضربات صاعقه عمود بر زمین به ازای SFFOR برابر با ۰/۰۵ جرقه در هر ۱۰۰ کیلومتر بر سال تهیه شده‌اند.

در ادامه نحوه محاسبه کمیت‌های D_{cc} ، I_m و I_c ارائه می‌گردد.



شکل ۳-۲: زوایای حفاظتی برای $SFFOR=0.05/100\text{Km-year}$ و معادلات فواصل برخورد Brown-Whitehead و با فرض ضربات صاعقه عمود بر زمین

- تعیین فاصله D_{cc} :

شکل (۴-۲) یک سمت از دیاگرام مدل هندسی شکل (۱-۲) را نشان می‌دهد. زاویه بین کمانهای به شعاع r_c با 2β مشخص شده است که با توجه به این شکل β برابر است با:

$$\beta = \sin^{-1} \frac{C}{2r_c} = \sin^{-1} \frac{\sqrt{a^2 + (h-y)^2}}{2r_c} = \sin^{-1} \frac{(h-y)\sqrt{1 + \tan^2 \alpha}}{2r_c} \quad (۱۲-۲)$$

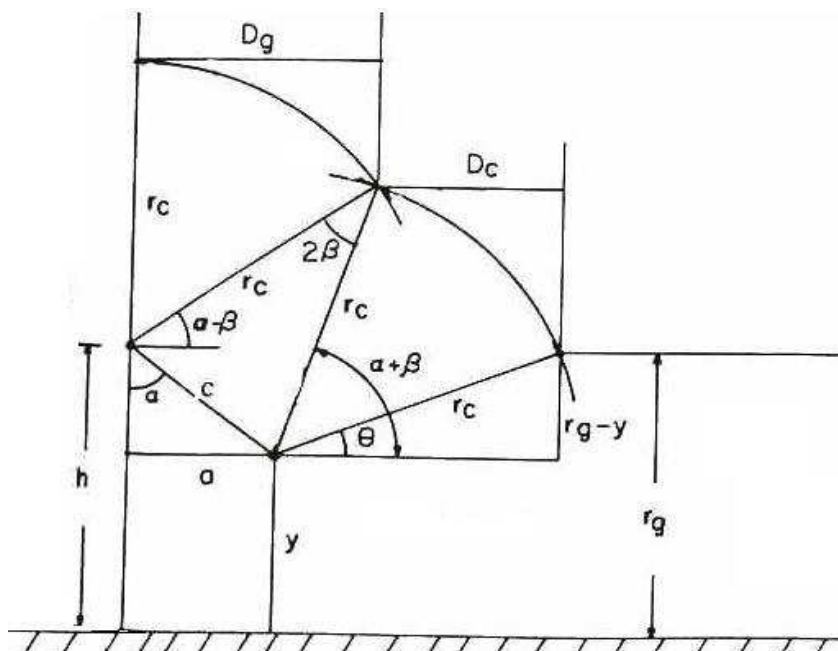
زوایای θ و α از شکل (۴-۲) بصورت زیر تعیین می‌گردند:

$$\begin{cases} \theta = \sin^{-1} \frac{r_g - y}{r_c} \\ \alpha = \tan^{-1} \frac{a}{h-y} \end{cases} \quad (۱۳-۲)$$

و نهایتاً با توجه به شکل (۴-۲) فاصله D_c بصورت زیر تعیین می‌گردد:



$$D_c = r_c [\cos \theta - \cos(\alpha + \beta)] \quad (۱۴-۲)$$



شکل ۲-۴: نمای یک سمت از دیاگرام هندسی شکل (۱-۲)

- تعیین حداکثر جریان خطای سیستم حفاظت از صاعقه، I_m

شکل (۲-۲) وضعیتی را نشان می‌دهد که در آن کلیه فواصل برخورد در یک نقطه با یکدیگر تلاقی پیدا کرده‌اند، این نقطه به ازای جریان I_m حاصل می‌شود. از این شکل مقدار r_g در جریان I_m یا ابتدا با تعیین مقدار کمیت a به صورت زیر مشخص می‌شود:

$$a = \sqrt{r_c^2 - (r_g - h)^2} - \sqrt{r_c^2 - (r_g - y)^2} \quad (۱۵-۲)$$

و از این رو :

$$\left\{ \begin{aligned} r_{gm} &= \frac{h+y}{2K_0} \left[1 + \sqrt{1 - K_0 \left[1 + \left(\frac{a}{h+y} \right)^2 \right]} \right] \\ K_0 &= 1 - \gamma^2 \sin^2 \alpha \\ \gamma &= \frac{r_{cm}}{r_{gm}} \end{aligned} \right. \quad (۱۶-۲)$$



همچنین از طریق شکل خواهیم داشت :

$$\sin \alpha = \frac{r_{gm} - \frac{h+y}{2}}{\sqrt{r_{cm}^2 - \frac{C^2}{4}}} \quad (۱۷-۲)$$

معمولاً $r_{cm}^2 \gg \frac{C^2}{4}$ است و بنابراین با یک تقریب مناسب خواهیم داشت :

$$r_{gm} = \frac{(h+y)/2}{1 - \gamma \sin \alpha} \quad (۱۸-۲)$$

I_m و r_{gm} نیز بوسیله روابط زیر با یکدیگر مرتبط می‌شوند :

$$I_m = \left[\frac{r_{gm}}{A} \right]^{1/b} \quad (۱۹-۲)$$

که در آن A و b ضرایب مورد استفاده در معادله فاصله برخورد به زمین (r_g) می‌باشند. به عنوان مثال با فرض اینکه r_g از رابطه ۱-۲ تبعیت می‌کند مقدار ضرایب A و b به ترتیب برابر با $۶/۴$ و $۰/۷۵$ می‌باشد.

- تعیین جریان بحرانی خط، I_c :

در میان کلیه ضربات صاعقه‌ای که به هادی‌های فاز برخورد می‌کنند تنها تعداد محدودی صاعقه قادر به ایجاد شکست عایقی در ایزولاسیون خط هستند. تنها زمانی قوس الکتریکی به وقوع می‌پیوندد که ولتاژ ایجاد شده بوسیله موج ضربه جریان صاعقه بیش از ولتاژ جرقه بحرانی ایزولاسیون خط، CFO باشد. برای تعیین نرخ قوس الکتریکی با توجه به شکل (۵-۲) ولتاژ روی هادی و ولتاژ دو سر ایزولاسیون خط، E برابر است با :

$$E = I \frac{Z_c}{2} \quad (۲۰-۲)$$

که در آن Z_c امپدانس موجی هادی‌های فاز خط انتقال می‌باشد و از رابطه زیر بدست می‌آید :

$$Z_C = \sqrt{\frac{L}{C}} = 60 \ln \frac{2h_{av}}{r} \quad (۲۱-۲)$$

که در آن :

h_{av} : فاصله متوسط هادی فاز از زمین بر حسب متر

r : شعاع هادی بر حسب متر می‌باشد

چنانچه از هادی‌های باندل استفاده شده باشد باید از شعاع معادل R_0 به جای r استفاده کرد، مقدار R_0 را می‌توان از روابط زیر بدست آورد :

$$R_0 = \sqrt{r \times d} \quad (۲۲-۲)$$



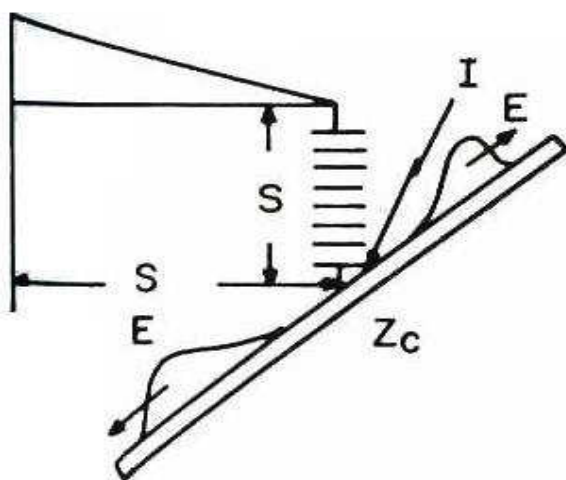
$$R_0 = \sqrt[3]{r \times d^2} \quad \text{در حالت باندل سه تایی} \quad (2-23)$$

$$R_0 = 1.09 \sqrt[4]{r \times d^3} \quad \text{در حالت باندل چهار تایی} \quad (2-24)$$

در این روابط d فاصله دو هادی باندل مجاور هم برحسب متر است.

اگر ولتاژ E معادل CFO با پلاریته منفی قرار داده شود، آنگاه جریان بحرانی که در آن و بالاتر از آن جرقه به وقوع می پیوندد از رابطه زیر بدست می آید :

$$I_c = \frac{2(CFO)}{Z_c} \quad (2-25)$$



شکل ۲-۵: برای ایجاد قوس الکتریکی ولتاژ E می بایستی بزرگتر از CFO خط باشد

CFO ای که معمولاً بکار برده می شود برابر CFO استاندارد پلاریته منفی فرض می شود و مقدار آن برابر ۶۰۵ کیلوولت بر متر فاصله ایزولاسیون S (مطابق شکل ۲-۵) می باشد [۱].

بطور کلی جهت جابجایی بهینه سیم های حفاظت از صاعقه خطوط هوایی انتقال نیرو، براساس SFFOR مخالف صفر گام های زیر می بایستی دنبال گردد :

گام اول :

تعیین میزان SFFOR قابل قبول براساس میزان اهمیت خط و شرایط جغرافیایی و آب و هوایی مکانهایی که در مسیر خط انتقال قرار دارند . جز در موارد خاص استفاده از میزان SFFOR مخالف صفر به جهت کاهش هزینه های طراحی و اجرای سیستم حفاظت از صاعقه خط پیشنهاد می گردد . بطور کلی میزان SFFOR پیشنهادی برابر ۰/۰۵ جرقه در هر ۱۰۰ کیلومتر در سال می باشد .

گام دوم :

استخراج پارامترهای مورد نیاز جهت طراحی و تحلیل سیستم حفاظت از صاعقه خط انتقال شامل :

- تعیین سطح ایزوکرونیک در محل یا محل هایی که در مسیر خط انتقال قرار دارند .



- تعیین مشخصات هندسی وضعیت قرارگیری هادی‌های فاز نسبت به یکدیگر و نسبت به سطح زمین، مشخصات هادی‌های فاز (از قبیل باندلی بودن یا نبودن و شعاع هادی‌ها) و حداقل فاصله آزاد هوایی فاز - زمین (طول زنجیره مقرر یا کوتاهترین فاصله هوایی بین هادی فاز و نقاط فلزی زمین شده برج، هرکدام که کوچکتر هستند) جهت تعیین امپدانس موجی، ولتاژ جرقه بحرانی (CFO) و جریان بحرانی خط انتقال (I_c) و ارتفاع متوسط هادی‌های فاز از سطح زمین. ارتفاع متوسط هادی‌های فاز از سطح زمین از رابطه زیر تعیین می‌شود:

$$\bar{y} = y_t - \frac{2}{3} f_c \quad (26-2)$$

که در آن:

$\bar{y}$: ارتفاع متوسط هادی فاز از سطح زمین، بر حسب متر

y_t : ارتفاع هادی فاز در محل برج، بر حسب متر

f_c : فلش هادی فاز، بر حسب متر

گام سوم:

- با تقریب قابل قبولی می‌توان تنها ضربات صاعقه عمود بر سطح زمین را در نظر گرفت و از روش ساده‌ای که جهت محاسبه SFFOR ارائه گردید استفاده نمود. روش کار بصورت زیر می‌باشد:
- مقدار پیش فرض برای زاویه حفاظت از صاعقه انتخاب می‌گردد. برای این منظور می‌توان بطور تقریبی از منحنی‌های نشان داده شده در شکل (۳-۲) استفاده نمود. انتخاب اولیه زاویه حفاظتی و اندازه $(h+y)/2$ که در آن هردوی h و y ارتفاعهای متوسط هستند، می‌بایستی به گونه‌ای باشد که در صورت امکان به یک سیم حفاظت از صاعقه با کوچکترین h ممکن (حداقل هزینه ممکنه) منجر گردد. برای این کار می‌توان از روشهای ترسیمی - هندسی استفاده نمود.
- مقدار جریان I_m با استفاده از روابط (۱۸-۲) و (۱۹-۲) و با استفاده از معادلات فواصل برخورد ارائه شده از سوی Brown-Whitehead (معادلات ۱-۲) استخراج می‌شود.
- میزان SFFOR منتهی از این انتخاب اولیه زاویه حفاظتی و محل قرارگیری سیم حفاظت از صاعقه با استفاده از معادله (۸-۲) و معادلات مرتبط با آن استخراج می‌گردد.
- چنانچه SFFOR حاصل از قسمت قبلی برابر یا کوچکتر از میزان SFFOR مطلوب باشد، طراحی انجام گرفته صحیح بوده و زاویه حفاظتی و محل قرارگیری سیم یا سیم‌های حفاظتی فرض شده، به عنوان وضعیت مطلوب برای طراحی پذیرفته می‌شوند.
- در صورتیکه میزان SFFOR محاسبه شده به ازاء سیستم حفاظت از صاعقه فرضی، مطلوب نباشد می‌بایستی با تغییر زاویه حفاظتی پیشین (با افزایش ارتفاع سیم یا سیم‌های حفاظت از صاعقه یا استفاده از دو سیم حفاظت از صاعقه، هرکدام که به هزینه‌های کمتری منجر گردند) مراحل فوق مجدداً دنبال شوند تا نتیجه مطلوب فراهم شود. نکته‌ای که می‌بایستی به آن توجه نمود این است که زاویه حفاظتی انتخاب شده، زاویه حفاظتی متوسطی می‌باشد که در طول اسپن به وقوع می‌پیوندد. لذا از آنجا که زاویه حفاظتی در طول اسپن از زاویه حفاظتی در محل برج کوچکتر می‌باشد می‌توان زاویه حفاظتی را در محل برج مقداری بزرگتر در نظر گرفت (حداکثر تا ۵ درجه). علاوه بر این مقادیر h ، y استفاده شده در معادلات ارائه شده در بخشهای قبلی،



ارتفاع‌های متوسط بوده و $(\bar{h}, \bar{y})$ هنگام اعمال آنها به محل برج می‌بایستی از مقدار واقعی آنها در محل برج یعنی y_t (که از معادله ۲-۲۶ قابل حصول است) و h_t که از معادله زیر قابل تعیین است، استفاده نمود.

$$\bar{h} = h_t - \frac{2}{3} f_t \quad (2-27)$$

که در آن :

$\bar{h}$: ارتفاع متوسط سیم حفاظت از صاعقه، بر حسب متر

h_t : ارتفاع سیم حفاظت از صاعقه در محل برج، بر حسب متر

f_t : فلش سیم حفاظت از صاعقه، بر حسب متر

۲-۳- مشخصات سیم حفاظت از صاعقه از دیدگاه الکتریکی

در هنگام اتصال کوتاه‌های نامتقارن به زمین (بویژه اتصال کوتاه تک‌فاز به زمین)، جریانهای اتصالی از طرق مختلف از جمله سیم محافظ هوایی، بدنه برج، اتصال زمین برج، پستهای انتقال و توزیع و غیره برقرار می‌گردد. به این ترتیب میزان جریان اتصالی به امپدانسهای سیستم انتقال و تولید، محل اتصال (فاصله تا نزدیکترین پست نیروگاهی یا فشارقوی)، مقاومت زمین پای برج در محل اتصالی و سطح مقطع موثر سیم حفاظت از صاعقه، تعداد سیم‌های حفاظت از صاعقه و... بستگی خواهد داشت.

در مواقعی که جریان‌های اتصال کوتاه کوچک هستند، حداقل سطح مقطع سیم حفاظت از صاعقه معمولاً بوسیله ملاحظات مربوط به جریان صاعقه تعیین می‌گردد تا جریان اتصال کوتاه. با این حال، در صورتی که جریان‌های اتصال کوتاه بزرگتر از حدود ۲۰ کیلوآمپر باشند، جریان سیم حفاظت از صاعقه‌ای که سطح مقطع آن براساس جریان صاعقه تعیین شده است می‌تواند از قابلیت عبور جریان سیم مورد نظر فراتر رود. تحت چنین شرایطی، به منظور جلوگیری از صدمه دیدن سیم حفاظت از صاعقه می‌بایستی از هادی با سطح مقطع بزرگتر (یا قابلیت عبور جریان بیشتر) استفاده نمود.

از نظر اثرات اتصال کوتاه، نوع و محل اتصالی، برخورد صاعقه، شرایط بارگذاری، اسپن‌ها، فلش‌ها، تنش‌های مکانیکی، تحمل بارهای اضافی و ... سیم‌های حفاظتی از صاعقه OPGW نیز همانند سیم‌های حفاظت از صاعقه معمولی طراحی و انتخاب می‌شوند. اما به جهت اینکه سیم‌های حفاظت از صاعقه OPGW علاوه بر محافظت سیستم انتقال در مقابل اصابت مستقیم صاعقه به هادی‌های فاز و انتقال جریانهای اتصال کوتاه وظیفه انتقال اطلاعات جهت ارتباطات مخابراتی بین پست‌ها را عهده‌دار هستند، ضروری است که در هنگام تعیین سطح مقطع بخش حامل جریان این قبیل سیم‌های حفاظت از صاعقه تنش‌های مکانیکی، تحمل بارهای اضافی، شرایط بارگذاری، حداکثر درجه حرارت مجاز و... واحدهای فیبر نوری جاسازی شده در داخل یا خارج این قبیل سیم‌ها را نیز در نظر گرفت.



۲-۳-۱- بررسی جریان عبوری از سیم‌های حفاظتی از دیدگاه اتصال کوتاه

قابلیت تحمل سیم‌های حفاظت از صاعقه معمولی یا OPGW در مقابل عبور جریان ناشی از اتصال کوتاه به مدت زمان اتصالی و یا زمان عملکرد رله و برطرف شدن خط^۱ بستگی دارد. این زمان در سیستم‌های HV و EHV حداکثر ۲۰ الی ۲۵ سیکل، برای عملکرد رله پشتیبان در نظر گرفته می‌شود. البته در محاسبات اتصال کوتاه و تعیین مشخصات سیستم زمین پستها و نیروگاهها مدت زمان اتصالی خیلی بیشتر (نوعاً ۱ تا ۳ ثانیه) در نظر گرفته می‌شود.

هنگام تعیین جریان عبوری از سیم‌های حفاظتی از دیدگاه اتصال کوتاه، پیشنهادات زیر می‌توانند مفید واقع گردند:

- پیشنهاد می‌شود که نیازمندی‌های سیم حفاظتی براساس زمان‌های رفع خطای تعیین شده بوسیله حفاظت پشتیبان تعیین گردد.
- اگر سیستم‌های تحریک سریع در نیروگاهها استفاده نشده است، مقدار X'_d ممکن است برای تعیین جریان خطا مورد استفاده قرار گیرد، اگر چه جریان خطای بزرگتری را در حین چند سیکل اولیه خطا می‌بایستی در نظر گرفت.
- اگر سیستم‌های تحریک سریع در نیروگاهها استفاده شده‌اند، شبیه‌سازی‌های دینامیکی دقیقی می‌بایستی برای تعیین جریان خطا مورد استفاده قرار گیرد. راه تقریبی و ساده‌تر دیگر این است که از مقدار راکتانس X''_d ژنراتورها برای تعیین جریان خطا استفاده گردد.
- پیشنهاد می‌شود که اثر مولفه dc نیز برای خطاهای مجاور ایستگاه در نظر گرفته شود.
- در مجاورت ایستگاه بیشتر جریان خطا در سیم‌های حفاظت از صاعقه‌ای که در سمت ایستگاه قرار دارند جاری می‌شود، در صورت کوچک بودن مقاومت پایه برجها (در حدود ۳ اهم)، از هر سیم حفاظت از صاعقه در حدود ۳۰ الی ۴۰ درصد کل جریان خطا (با فرض وجود دو سیم حفاظت از صاعقه) عبور می‌کند و در صورت بزرگ بودن مقاومت پایه برجها (در حدود ۲۰ الی ۳۰ اهم)، از هر سیم حفاظت از صاعقه در حدود ۴۵ تا ۴۸ درصد کل جریان خطا (با فرض وجود دو سیم حفاظت از صاعقه) عبور می‌کند.
- برای خطاهایی که در فاصله دوری از ایستگاه اتفاق می‌افتد، حداکثر جریان عبوری از هر سیم حفاظتی حدود ۴۰ درصد کل جریان خطا (با فرض وجود دو سیم حفاظت از صاعقه) خواهد بود.
- از آنجائی که جریان عبوری از سیم‌های حفاظت از صاعقه در نزدیکی پست با مقدار آن در فواصل دورتر متفاوت می‌باشد می‌توان با انجام تحلیل‌های مناسب از دو سازه مختلف برای سیم‌های حفاظت از صاعقه مجاور ایستگاه و فواصل دورتر استفاده نمود و هزینه‌های سیستم حفاظت از صاعقه را کاهش داد. این مسئله بویژه در مورد خطوط انتقال طولانی می‌تواند بسیار مقرون به صرفه باشد.

۲-۳-۲- تعیین میزان ظرفیت عبور جریان از سیم‌های حفاظت از صاعقه

هدف از محاسبات ظرفیت عبور جریان از سیم‌های حفاظت از صاعقه تعیین مقدار مجاز جریانی است که تحت شرایط مشخصی (درجه حرارت اولیه، درجه حرارت نهایی، مدت زمان اتصالی و...) می‌تواند از سیم‌های حفاظت از صاعقه عبور نماید بدون اینکه موجب آسیب دیدن و یا کاهش استقامت مکانیکی آنها گردد. ظرفیت عبور جریان سیم‌های حفاظت از صاعقه تابع عوامل مختلفی همچون:

1. Fault clearing time

مقاومت مخصوص، جرم، گرمای ویژه^۱، چگالی و ضریب حرارتی مقاومت هادی‌ها می‌باشد. علاوه بر این، مقدار این ظرفیت تابع درجه حرارت‌های اولیه و نهایی هادی‌ها نیز می‌باشد. با استفاده از معادله مشخصه زیر می‌توان ظرفیت مجاز جریان عبوری از سیم‌های حفاظت از صاعقه را تعیین نمود [۲۰]:

$$I = \sqrt{\frac{JA^2 D S \ln(1 + \alpha(\phi - \phi_0))}{\rho \alpha t \times 10^4}} \quad (2-28)$$

که در آن:

I: مقدار موثر جریان سیم محافظ بر حسب آمپر

ρ : مقاومت مخصوص سیم محافظ بر حسب اهم - سانتیمتر

J: مقدار ثابتی برابر با ۴/۱۸۵ بر حسب ژول بر کالری

A: سطح مقطع سیم محافظ بر حسب میلی‌مترمربع

S: گرمای ویژه بر حسب کالری بر گرم بر درجه سانتی‌گراد

D: چگالی سیم محافظ بر حسب گرم بر سانتیمترمکعب

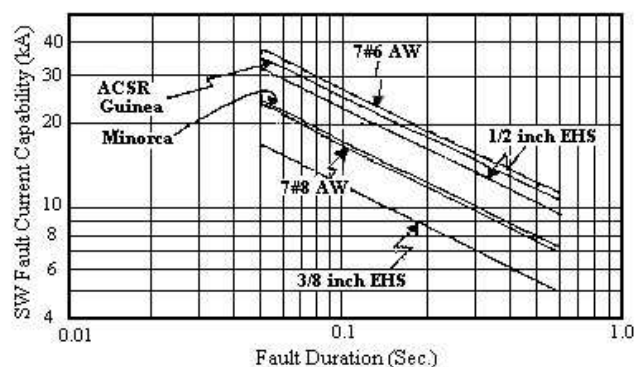
α : ضریب حرارتی مقاومت سیم محافظ بر حسب عکس درجه سانتیگراد

t: مدت زمان اتصال کوتاه بر حسب ثانیه

ϕ_0 : درجه حرارت اولیه سیم محافظ بر حسب درجه سانتیگراد

ϕ : درجه حرارت نهایی سیم محافظ بر حسب درجه سانتیگراد

رابطه (۲-۲۸) برای برخی از انواع سیم‌های محافظ متداول مورد استفاده قرار گرفته است و نتایج حاصل از آن در شکل (۲-۶) نشان داده شده است. در جدول (۲-۱) نیز مقادیر نوعی برای پارامترهای مورد استفاده در رابطه (۲-۲۸) پیشنهاد شده است و در استخراج نتایج شکل (۲-۶) نیز از این مقادیر استفاده شده است [۲۰ و ۲۳].



شکل ۲-۶: ظرفیت عبور جریان از سیم محافظ بر حسب مدت زمان خطا برای برخی از سیم‌های محافظ متداول

1. Specific heat



جدول ۱-۲: مقادیر نوعی پیشنهاد شده برای پارامترهای مورد استفاده در رابطه (۲-۲۸)

نوع سیم حفاظت از صاعقه			واحد	پارامتر
ACSR	EHS	AW(ACS)		
$2/87 \times 10^{-6}$	$15/9 \times 10^{-6}$	$8/53 \times 10^{-6}$	Ohm-cm	ρ
۰/۰۰۴۰	۰/۰۰۳۵	۰/۰۰۳۶	$\frac{I}{C^0}$	α
۲۰۰	۴۰۰	۴۰۰	0C	ϕ
۴۰	۴۰	۴۰	0C	ϕ_0
۲/۷۰	۷/۸۶	۶/۶۶	gram/cm ³	D
۰/۲۱۰	۰/۱۱۸	۰/۱۱۸	Cal/gram/ 0C	S

پارامترهای نوعی ارائه شده در جدول (۱-۲) بر مبنای اطلاعات تجربی ارائه شده در مرجع [۲۳] و براساس کاتالوگ‌های سازندگان سیم‌های محافظ تهیه شده‌اند [۲۰]. اطلاعات سیم‌های محافظ از نوع EHS اساساً همان اطلاعاتی هستند که برای فولاد استفاده می‌شود. در اطلاعات پیشنهاد شده برای سیم‌های محافظ هوایی از نوع AW (ACS) اثر هر دوی آلومینیوم و فولاد لحاظ شده است و در نهایت اطلاعات ارائه شده برای سیم‌های محافظ از نوع ACSR بر مبنای اطلاعات آلومینیوم می‌باشد چرا که هسته فولادی در پدیده گرم شدن سیم حفاظتی نقش ناچیزی را برعهده دارد.

برای سیم‌های حفاظتی از نوع EHS حداکثر دمای کاری برابر ۴۰۰ درجه سانتیگراد انتخاب شده است، چرا که فراتر از این درجه حرارت، امکان ذوب شدن روکش روی قرارداد شده بر روی مفتولها وجود دارد. تحقیقات انجام شده در مرجع [۲۳]، حداکثر درجه حرارت کاری ۴۰۰ و ۲۰۰ درجه سانتیگراد به ترتیب برای سیم‌های محافظ از نوع AW و ACSR انتخاب شده است. این مقادیر به این جهت انتخاب شده‌اند که در درجه حرارتهای فراتر از این مقادیر هادی‌ها استقامت مکانیکی خود را از دست می‌دهند. چنانچه جریان اتصالی که انتظار می‌رود از سیم حفاظتی عبور نماید مشخص باشد، با استفاده از رابطه (۲-۲۸) می‌توان سطح مقطع سیم حفاظتی را از دیدگاه ظرفیت عبور جریان‌های خطا تعیین نمود. برای این منظور می‌توان از رابطه زیر استفاده نمود:

$$A_{sc} = 100I \sqrt{\frac{\rho \alpha t}{JDS \ln(1 + \alpha(\phi - \phi_0))}} \quad (2-29)$$

که در آن کلیه پارامترها همانند قبل تعریف می‌شوند و A_{sc} سطح مقطع مطلوب از دیدگاه ظرفیت عبور جریان اتصال کوتاه می‌باشد.

همانطور که قبلاً نیز اشاره شد در برخی موارد ممکن است سطح مقطع سیم حفاظتی متأثر از جریان‌های صاعقه نیز باشد، بنابراین سطح مقطع سیم حفاظت از صاعقه می‌بایستی از این دیدگاه نیز کنترل شود. برای این منظور برای حداکثر صاعقه‌های مورد پیش‌بینی در طول مسیر خط انتقال حداقل مقدار سطح مقطع سیم‌های حفاظتی از نوع AW(ACS)، EHS و ACSR از دیدگاه ظرفیت عبور جریان صاعقه (A_L) به صورت زیر استخراج می‌گردند:

- برای سیم‌های حفاظتی از نوع AW(ACS): $A_L > 17 \text{ mm}^2$
- برای سیم‌های حفاظتی از نوع EHS: $A_L > 21 \text{ mm}^2$

- برای سیم‌های حفاظتی از نوع ACSR : $A_L > 16 \text{ mm}^2$

بدیهی است که سطح مقطع نهایی یک سطح مقطع استاندارد می‌باشد که براساس بزرگترین مقدار استخراج شده برای A_{SC} و A_L انتخاب می‌گردد.

برای انتخاب مقطع مناسب در شرایط اتصال کوتاه صاعقه جهت سیم‌های حفاظت از صاعقه OPGW می‌توان سطح مقطع زره یا سطح مقطع سیم‌های فولادی روکش آلومینیوم و یا آلیاژ آلومینیوم، که برابر سطح مقطع کل منهای سطح مقطع واحدهای نوری و مواد پرکننده می‌باشد را مشابه روش فوق محاسبه نمود. برای اینکار می‌توان از اطلاعات نوعی ارائه شده در جدول (۱-۲) جهت محاسبه سطح مقطع مناسب سیم‌های حفاظت از صاعقه OPGW استفاده نمود. حداکثر درجه حرارت مجاز سیم‌های حفاظتی OPGW می‌بایستی بر اساس مقادیر ارائه شده از سوی سازنده انتخاب گردد. انتخاب نامناسب حداکثر درجه حرارت مجاز سیم‌های حفاظتی OPGW ممکن است موجب صدمه دیدن واحدهای فیبرنوری جاسازی شده در این سیم‌ها گردد و علاوه بر آن ممکن است استقامت مکانیکی این قبیل سیم‌های حفاظتی را نیز کاهش دهد. به عنوان مثال حداکثر درجه حرارت مجاز سیم‌های حفاظتی OPGW با بافر سیلیکونی برابر ۳۰۰ درجه سانتیگراد و با بافر آکلریلیک برابر ۱۸۰ درجه سانتیگراد در نظر گرفته می‌شود [۲۴].

توجه :

در مورد سیم‌های حفاظتی که از چندین ماده مختلف تشکیل شده‌اند (مانند ACSR و OPGW) به علت تغییرات متفاوت مقاومت هر بخش تشکیل دهنده سیم حفاظتی در اثر حرارت ایجاد شده بواسطه عبور جریانهای اتصال کوتاه یا صاعقه، ممکن است که تقریبهای بکار رفته جهت استخراج روابط حاکم بر ظرفیت مجاز عبور جریان سیم‌های حفاظتی در پاره‌ای از موارد منجر به نتایجی گردند که از لحاظ فنی و اقتصادی توجیه‌ناپذیر نباشد. براین اساس پیشنهاد می‌گردد که سطح مقطع نهایی براساس مشخصات فنی ارائه شده از سوی سازنده سیم حفاظتی انتخاب گردد. این مسئله بویژه در مورد سیم‌های حفاظتی OPGW که تعداد مواد بکار رفته در آن نسبت به سیم‌های حفاظتی معمولی بالاتر و حساسیت آن به درجه حرارت نهایی بیشتر است (به علت وجود واحدهای فیبرنوری مستقر در این قبیل سیم‌های حفاظت) از اهمیت افزونتری برخوردار است.

۲-۴- مشخصات سیم حفاظت از صاعقه از دیدگاه مکانیکی

در برخی موارد محاسبات مکانیکی می‌تواند عامل تعیین کننده مشخصات سیم حفاظت از صاعقه باشد. محاسبات مکانیکی مربوط به سیم‌های حفاظت از صاعقه شامل تعیین نیروهای وارد بر سیم‌ها، کشش و فلش آنها می‌باشد. واضح است که انتخاب سیم‌های حفاظتی خطوط انتقال از نظر مکانیکی و میزان کشش و وزن آنها در محاسبات مربوط به دکلها و انتخاب نوع آنها نیز مؤثر می‌باشد. به طور کلی یک خط از نظر مکانیکی باید چنان طرح گردد که بتواند بدترین حالات محتمل را تحمل کند اما نه بدترین حالات ممکن را؛ دلیل این امر آن است که هزینه خط ممکن است بیش از اندازه گران تمام شود لذا مسائل اقتصادی را در این طراحی می‌بایستی در نظر گرفت.

شرایط بارگذاری برای سیم محافظ معمولاً همان شرایط انتخاب شده برای هادی‌های فاز در مناطق مختلف بارگذاری می‌باشد، با این تفاوت که علاوه بر رعایت ضرایب اطمینان مجاز برای هر حالت خاص بارگذاری، لازم است حداقل فاصله هوایی و زاویه حفاظت مورد نیاز بین سیم محافظ و هادی‌های فاز در وسط اسپن و در بدترین حالت بارگذاری کنترل گردد.



چون سیم محافظ نسبت به هادی‌های فاز وزن واحد طول کمتر و ماکزیمم مقاومت کششی بیشتری دارد فلش آن تحت بارگذاری یکسان کمتر خواهد شد و چون فلش کم است در هوای سرد که سیم انقباض پیدا می‌کند در مناطق کوهستانی ممکن است نیروی بالا برنده ایجاد شود. بنابراین سیم محافظ را معمولاً شل‌تر می‌کشند، با این کار مسئله نیروی بالا برنده تقریباً حل می‌شود و در طراحی راحت‌تر می‌توان محل برجها را روی پروفیل طراحی انتخاب کرد چرا که اگر فلش کم باشد و در بیشتر نقاط نیروی بالا برنده داشته باشیم باید اسپن‌ها را کوتاه‌تر و پایه‌ها را بلندتر انتخاب کنیم تا نیروی بالا برنده نداشته باشیم و همچنین باشل‌تر گرفتن سیم‌های محافظ نیروی کشش کمتر می‌شود و می‌توان قسمتهایی از پایه را که سیم محافظ به آنها وصل می‌شود، ضعیف‌تر طراحی کرد. البته می‌بایستی توجه نمود که فلش کم دارای این مزیت است که حفاظت از هادی‌های فاز بهبود می‌یابد و هادی‌های فاز در مقابل صاعقه مصونیت بیشتری پیدا می‌کنند. از طرفی مسئله گالوپینگ (جدا شدن یخ بصورت یکپارچه از روی سیم‌های محافظ یا هادی‌های فاز و ایجاد نوسانهای عمودی) را نیز می‌بایستی در نظر گرفت.

در طراحی خطوط انتقال باید در تمامی شرایط جوی منطقه مورد نظر کشش و فلش محاسبه شوند. سیم‌های محافظ تحت تاثیر پدیده‌های خارجی مختلفی قرار می‌گیرند و کشش و فلش آنها با درجه حرارت و نیروی باد و یخ تغییر می‌کند. بعنوان مثال کاهش درجه حرارت باعث کم شدن طول سیم و در نتیجه افزایش کشش می‌گردد و افزایش درجه حرارت باعث ازدیاد طول سیم و در نتیجه افزایش فلش سیم می‌شود و باد و یخ نیز سبب اضافه شدن کشش سیم می‌شوند.

در عمل، سیم‌کشی ابتدا روی قرقره انجام می‌گیرد و پس از تنظیم فلش سیم به کلمپ بسته می‌شود و پس از سیم‌کشی باید مطمئن بود که :

- فاصله سیم محافظ هوایی از سیم هادی در بدترین شرایط بارگذاری از حد مجاز کمتر نشود.
 - کشش در سخت‌ترین شرایط با ضریب اطمینان لازم از مقدار مجاز بیشتر نشود.
- از این رو کشش در موقع نصب باید مقدار صحیحی داشته باشد و طوری انتخاب شود که در بدترین شرایط مقادیر کشش و فلش سیم از مقادیر مجاز تجاوز ننمایند.

فاصله سیم محافظ و هادی‌های فاز روی برجهای مختلف باید طوری انتخاب شود که فاصله سیم محافظ با سیم هادی در وسط اسپن باتوجه به متفاوت بودن فلش این دو سیم در حالات مختلف بارگذاری و شرایط کاری سیستم کمتر از مقدار مجاز نباشد. این مسئله در اسپنهای بزرگتر از اسپن معادل و بخصوص در حالت بارگذاری نامتعادل اهمیت داشته و لازم به کنترل است. حالت بارگیری نامتعادل سیم محافظ و هادی‌های فاز از این نظر محتمل است که هادی‌های فاز به جهت عبور جریان الکتریکی از آنها گرم‌تر از سیم محافظ بوده و لذا بار یخ آن زودتر آب شده و می‌افتد. بعضی از طراحان خطوط انتقال رعایت ۸۰ درصد فلش هادی‌های فاز را برای سیم محافظ در حالت بارگذاری معمول (EDS)¹ را برای کنترل فاصله هوایی در وسط اسپن کافی می‌دانند. ولی باتوجه به مطالبی که در این بخش توضیح داده شد این شرط در همه موارد بخصوص در مناطق بارگذاری سنگین و فوق سنگین کافی نبوده و توصیه می‌شود که جهت کنترل فاصله کلیه حالات بارگذاری که احتمال کاهش قابل توجه فاصله مابین سیم حفاظت از صاعقه و هادی‌های فاز وجود دارد مورد بررسی قرار گیرند.



1. Every day stress

۲-۵- یک نمونه از طراحی

در یک پروژه خط انتقال ۴۰۰ کیلوولت، طراح خط پیشنهاد استفاده از برج استاندارد LS3° را مطرح نموده است. ابعاد و مشخصات این برج استاندارد در شکل (۲-۷) نشان داده شده است. طراح خط مدعی است که خط مورد نظر در برابر برخورد مستقیم صاعقه از حفاظت مطلوبی برخوردار است. هدف بررسی سیستم حفاظت از برخورد مستقیم صاعقه خط مذکور می‌باشد.

سایر اطلاعات مورد نیاز به همراه اطلاعات قابل استخراج از شکل (۲-۷) جهت انجام تحلیلهای مربوطه به شرح ذیل می‌باشند:

- تعداد هادی‌های فاز موجود در هر باندل : ۴ هادی
- فاصله مابین هادی‌های موجود در هر باندل : ۰/۴۵۷ متر
- قطر هادی‌های فاز : ۳۱/۶۵ میلیمتر
- تعداد سیم‌های حفاظت از صاعقه استفاده شده : ۲ سیم حفاظتی معمولی
- حداقل فاصله هوایی بین نقاط برقدار و استراکچر فلزی : ۳/۵۲ متر
- زاویه حفاظتی در محل برج : ۱۵ درجه
- فاصله افقی مابین فاز بیرونی و نزدیکترین سیم حفاظتی : ۲/۷ متر
- متوسط سطح ایزوکرونیک سالانه در مسیر خط انتقال : ۲۵ روز رعد و برقی در سال
- تعداد و طول اسپنرها، ارتفاع و فلش هادی‌های فاز و سیم‌های حفاظتی تحت شرایط EDS به شرح جدول (۲-۲) می‌باشد.



جدول ۲-۲: سایر اطلاعات خط ۴۰۰ کیلوولت طراحی شده

سیم‌های حفاظتی		هادی‌های فاز		تعداد اسپین متناظر	طول اسپین (m)
فلش متوسط در شرایط EDS (m)	ارتفاع متوسط در محل برج (m)	فلش متوسط در شرایط EDS (m)	ارتفاع متوسط در محل برج (m)		
۲/۴	۴۱	۵/۱	۳۰/۵	۶۰	۲۵۰
۳/۵	۴۲	۷/۴	۳۱/۵	۸۰	۳۰۰
۵/۲	۴۳	۱۰/۰	۳۲/۵	۱۰۰	۳۵۰
۸/۵	۴۴	۱۳/۱	۳۳/۵	۹۰	۴۰۰
۱۲/۵	۴۵	۱۶/۵	۳۴/۵	۶۰	۴۵۰
۱۶/۹	۴۸	۲۰/۶	۳۷/۵	۵۰	۵۰۰
۲۱/۸	۴۹	۲۵/۳	۳۸/۵	۳۵	۵۵۰
۲۷/۲	۴۹	۳۰/۵	۳۸/۵	۲۰	۶۰۰

برای محاسبه SFFOR این خط انتقال میزان SFFOR هر بازه طولی از اسپین‌ها محاسبه می‌شود، SFFOR کل برابر مجموع این SFFOR ها خواهد بود.

بعنوان نمونه SFFOR برای اسپین‌های با طول ۲۵۰ متر به صورت زیر محاسبه می‌گردد :

مطابق رابطه (۲-۸) SFFOR برابر خواهد بود با :

$$SFFOR = 2N_g L \frac{D_{cc}}{2} [Q(I_c) - Q(I_m)]$$

برای حل معادله فوق مجهولات N_g , I_c , D_{cc} و I_m می‌بایستی تعیین گردند.

از رابطه (۲-۱۱) N_g بصورت زیر استخراج می‌شود :

$$N_g = 0.04(Td)^{1.25} = 0.04(25)^{1.25} = 2.236 \text{ flash/km}^2 - \text{year}$$



برای تعیین I_c از روابط (۲۱-۲)، (۲۴-۲)، (۲۵-۲)، (۲۶-۲) و (۲۷-۲) خواهیم داشت :

$$\bar{y} = y_t - \frac{2}{3}f_c = 30.5 - \frac{2}{3} \times 5.1 = 27.1 \text{ m}$$

$$\bar{h} = h_t - \frac{2}{3}f_t = 41 - \frac{2}{3} \times 2.4 = 39.4 \text{ m}$$

$$Z_c = \sqrt{\frac{L}{C}} = 60 \text{Ln} \frac{2h_{av}}{r} = 60 \text{Ln} \frac{2\bar{y}}{R_o}$$

$$R_o = 1.09\sqrt[4]{r \times d^3} = 1.09\sqrt[4]{0.5 \times 0.03165 \times (0.457)^3} = 0.215 \text{ m}$$

$$\Rightarrow Z_c = 60 \text{Ln} \frac{2 \times 27.1}{0.215} = 332 \text{ } \Omega$$

$$\text{CFO} = 605 \times S = 605 \times 3.52 = 2129.6 \text{ KV}_{\text{peak}}$$

$$I_c = \frac{2(\text{CFO})}{Z_c} = \frac{2 \times 2129.6}{332} = 12.83 \text{ KA}_{\text{peak}}$$

برای تعیین فاصله D_{cc} با استفاده از روابط (۱-۲)، (۱۲-۲) تا (۱۴-۲) خواهیم داشت :

$$r_c = 7.1I_c^{0.75} = 7.1 \times (12.83)^{0.75} = 48.13 \text{ m}$$

$$r_g = 6.4I_c^{0.75} = 6.4 \times (12.83)^{0.75} = 43.39 \text{ m}$$

$$\theta = \sin^{-1} \frac{r_g - y}{r_c} = \sin^{-1} \frac{43.39 - 27.1}{48.13} = 19.78^\circ$$

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{a}{h - y} = \tan^{-1} \frac{2.7}{39.4 - 27.1} = 12.38^\circ$$

$$\beta = \sin^{-1} \frac{(h - y)\sqrt{1 + \tan^2 \alpha}}{2r_c} = \sin^{-1} \frac{(39.4 - 27.1)\sqrt{1 + (\tan 12.38)^2}}{2 \times 48.13} = 7.52^\circ$$

$$\Rightarrow D_{cc} = r_c [\cos \theta - \cos(\alpha + \beta)] = 48.13 [\cos 19.78 - \cos(12.38 + 7.52)] = 0.0342 \text{ m}$$



برای محاسبه I_m با استفاده از روابط (۱-۲)، (۱۶-۲) و (۱۸-۲) خواهیم داشت :

$$r_{gm} = 6.4 I_m^{0.75} \quad r_{cm} = 7.1 I_m^{0.75} \Rightarrow \gamma = \frac{r_{cm}}{r_{gm}} = \frac{7.1}{6.4} = 1.1094$$

$$\Rightarrow r_{gm} = \frac{(h+y)/2}{1-\gamma \sin \alpha} = \frac{(39.4+27.1).2}{1-1.1094 \sin 12.38} = 43.63m$$

$$\Rightarrow I_m = \left(\frac{r_{gm}}{6.4} \right)^{\frac{1}{0.75}} = \left(\frac{43.63}{6.4} \right)^{\frac{1}{0.75}} = 12.93KA_{peak}$$

برای محاسبه $Q(I_m)$, $Q(I_c)$ از روابط (۹-۲) و (۱۰-۲) خواهیم داشت:

$$Z_c = \frac{L_n \left(\frac{I_c}{m} \right)}{\beta} = \frac{L_n \left(\frac{12.83}{64.1} \right)}{1.33} = -1.2095$$

$$Q(I_c) = 1 - 0.31 e^{-\frac{Z_c^2}{1.6}} = 1 - 0.31 e^{-\frac{(-1.2095)^2}{1.6}} = 0.875757$$

$$Z_m = \frac{L_n \left(\frac{I_m}{m} \right)}{\beta} = \frac{L_n \left(\frac{12.93}{64.1} \right)}{1.33} = -1.2036$$

$$Q(I_c) = 1 - 0.31 e^{-\frac{Z_m^2}{1.6}} = 1 - 0.31 e^{-\frac{(-1.2036)^2}{1.6}} = 0.874658$$

لذا SFFOR برای کلیه اسپن ها با طول ۲۵۰ متر برابر خواهد بود با:

$$SFFOR = 2NgL \frac{D_{cc}}{2} [Q(I_c) - Q(I_m)]$$

$$= 2 \times 2.236 \times (60 \times 0.25) \times \left(\frac{0.0342}{2 \times 1000} \right) [0.875757 - 0.874658]$$

$$= 1.26 \times 10^{-6} \frac{\text{جرقه}}{\text{کیلومتر در سال}} = 0.126 \times 10^{-3} \frac{\text{جرقه}}{100 \text{ کیلومتر در سال}}$$

چنانچه عملیات فوق را برای سایر بازه‌های طولی اسپن ها انجام دهیم، نتایج نشان داده شده در جدول (۳-۲) بدست می آید.



جدول ۲-۳: نتایج بدست آمده از تحلیل سیستم حفاظت از صاعقه خط انتقال ۴۰۰ کیلوولت طراحی شده

طول اسپین (m)	تعداد اسپین‌های متناظر	ارتفاع متوسط هادی‌های فاز (m)	ارتفاع متوسط سیم‌های محافظ (m)	Z_C (Ω)	I_C (KApeak)	α (درجه)	I_m (KApeak)	SFFOR (۱۰۰ کیلومتر در سال/جرقه)
۲۵۰	۶۰	۲۷/۱	۳۹/۴	۳۳۲	۱۲/۸۳	۱۲/۳۸	۱۲/۹۳	$10^{-3} \times 0.126$
۳۰۰	۸۰	۲۶/۵۷	۳۹/۶۷	۳۳۱	۱۲/۸۷	۱۱/۶۵	۱۲/۵۵	.
۳۵۰	۱۰۰	۲۵/۸۴	۳۹/۵۴	۳۲۹	۱۲/۹۵	۱۱/۱۵	۱۲/۱۴	.
۴۰۰	۹۰	۲۴/۷۷	۳۸/۳۴	۳۲۷	۱۳/۰۳	۱۱/۲۵	۱۱/۶۲	.
۴۵۰	۶۰	۲۳/۵	۳۶/۶۷	۳۲۳	۱۳/۱۹	۱۱/۵۸	۱۱/۰۲	.
۵۰۰	۵۰	۲۳/۷۷	۳۶/۷۳	۳۲۴	۱۳/۱۵	۱۱/۷۷	۱۱/۱۷	.
۵۵۰	۳۵	۲۱/۶۳	۳۴/۴۷	۳۱۸	۱۳/۳۹	۱۱/۸۷	۱۰/۱۳	.
۶۰۰	۲۰	۱۸/۱۶	۳۰/۸۷	۳۰۸	۱۳/۸۳	۱۲/۰	۸/۵۰	.

همانطور که از نتایج جدول (۲-۳) مشخص می‌باشد، ادعای طراح خط مبنی بر عملکرد مطلوب سیستم حفاظت از برخورد مستقیم صاعقه خط مذکور کاملاً صحیح می‌باشد. توجه کنید که به ازای اسپن‌های ۳۰۰ تا ۶۰۰ متری، از آنجا که میزان I_m از جریان بحرانی I_c کوچکتر می‌باشد، میزان SFFOR برابر صفر خواهد بود و به محاسبات اضافی جهت تعیین SFFOR نیاز نمی‌باشد. لذا SFFOR کل خط برابر مقدار ناچیز بدست آمده برای اسپن‌هایی با طول ۲۵۰ متر می‌باشد.



فصل ۲

مشخصات و دستورالعملهای فنی



مقدمه

در این فصل مشخصات و دستورالعمل‌های فنی سیستم حفاظت از برخورد مستقیم صاعقه به خطوط هوایی انتقال نیرو ارائه می‌گردد.

۳-۱- اهداف و دامنه کاربرد

هدف از این فصل ارائه مشخصات و دستورالعمل‌های فنی سیستم حفاظت از برخورد مستقیم صاعقه به خطوط هوایی انتقال نیرو جهت سطوح ولتاژی ۶۳ الی ۴۰۰ کیلوولت می‌باشد. این مشخصات و دستورالعمل‌های فنی جهت سیستم‌های حفاظت از صاعقه خطوط هوایی انتقال نیرویی که در آنها از سیم‌های محافظ هوایی معمولی (سیم‌گارد) یا سیم‌های محافظ هوایی مبتنی بر تکنولوژی فیبرنوری (OPGW) استفاده می‌شود، کاربرد خواهد داشت.

۳-۲- کلیات

این مشخصات و دستورالعمل‌های فنی نیازمندیهای لازم برای مقادیر نامی، جنس مواد تشکیل دهنده، طراحی، ساخت و آزمون سیم‌های حفاظتی مورد استفاده در سیستم حفاظت از برخورد مستقیم صاعقه به خطوط هوایی انتقال نیرو را ارائه می‌نمایند. سیم‌های حفاظتی معمولی و OPGW می‌بایستی براساس نیازمندیهای آخرین تجدید نظر استانداردهای به شرح ذیل و نشریات و مراجع مندرج در این استانداردها، طراحی، ساخته و مورد آزمون قرار گیرند :

- استاندارد IEC شماره ۶۱۰۸۹: هادی‌های رشته‌ای خطوط هوایی با لایه‌های متمرکز متشکل از مفتولهای با مقطع گرد.
- استاندارد IEC شماره ۶۰۸۸۹: مفتولهای آلومینیومی سخت برای هادی‌های خطوط هوایی.
- استاندارد IEC شماره ۶۰۸۸۸: مفتولهای فولادی با روکش روی برای هادی‌های رشته‌ای.
- استاندارد IEC شماره ۶۰۱۰۴: مفتولهای آلیاژ آلومینیوم _ سیلیکون _ منیزیم برای هادی‌های خطوط هوایی.
- استاندارد ISO شماره ۶۸۹۲: آزمون کششی مواد فلزی تحت درجه حرارت محیط.
- استاندارد ISO شماره ۷۸۰۲: آزمون خاصیت لوله شدن مفتولهای ساخته شده از مواد فلزی.
- استاندارد IEC شماره ۶۰۴۶۸: روش اندازه‌گیری مقاومت الکتریکی مواد فلزی.
- استاندارد IEC شماره ۶۰۷۹۳: فیبرهای نوری _ قسمتهای اول تا پنجم.
- استاندارد IEC شماره ۶۰۷۹۴: کابل‌های فیبر نوری _ قسمتهای اول تا چهارم.
- استاندارد IEC شماره ۶۱۲۳۲: مفتولهای فولادی با روکش آلومینیوم جهت مقاصد الکتریکی.
- استاندارد IEC شماره ۶۱۳۹۴: خطوط هوایی _ مشخصات گریس مورد استفاده برای هادی‌های از جنس آلومینیوم، آلیاژ آلومینیوم و فولاد.
- استاندارد IEC شماره ۶۱۳۹۵: هادی‌های خطوط هوایی _ روشهایی برای آزمون پیری هادی‌ها.



توجه :

از آنجا که سایر تجهیزات مورد استفاده در سیستم حفاظت از برخورد مستقیم صاعقه به خطوط هوایی انتقال نیرو (همچون یراق‌آلات و اتصالات) مشابه تجهیزاتی می‌باشند که با هادی‌های خطوط انتقال نیرو به کار می‌روند، در استاندارد حاضر از ارائه مشخصات و دستورالعمل‌های این قبیل تجهیزات صرف‌نظر شده است و تاکید اصلی بر روی مشخصات و دستورالعمل‌های فنی مرتبط با سیم‌های حفاظتی معمولی و OPGW متمرکز شده است.

۳-۳- سیم‌های محافظ معمولی**۳-۳-۱- مشخصات فنی**

سیم‌های محافظ معمولی می‌بایستی به صورت هادی‌های رشته‌ای از نوع فولاد گالوانیزه یا هادی‌های فولادی پوشش شده با آلومینیوم و یا هادی‌های آلومینیوم _ فولاد باشند. سطح مقطع و نوع هادی‌های حفاظتی می‌بایستی براساس مشخصات ارائه شده باشد. بسته به نوع سیم‌های محافظ هوایی، این هادی‌ها می‌بایستی مشخصات فنی ارائه شده در استاندارد IEC شماره‌های ۶۰۸۸۹، ۶۰۸۸۸، ۶۰۱۰۴ و ۶۱۲۳۲ و مراجع مندرج در آنها را دارا باشند.

۳-۳-۲- آزمون‌ها

کلیه آزمون‌های نوعی و نمونه‌ای زیر باید مطابق با آخرین تجدید نظر استاندارد IEC شماره‌های ۶۰۸۸۹، ۶۰۸۸۸، ۶۰۱۰۴، ۶۰۴۶۸، ۶۱۲۳۲ و ISO شماره‌های ۶۸۹۲ و ۷۸۰۲ بر روی سیم‌های محافظ معمولی انجام گیرند.

• آزمون‌های نوعی شامل

- آزمون اتصالات در رشته‌های آلومینیومی
- آزمون منحنی‌های تنش _ کرنش بر روی هادی
- آزمون نیروی گسیختگی هادی

• آزمون‌های نمونه‌ای شامل :

- آزمون کشش بر روی مفتول‌های آلومینیومی و فولادی
- آزمون پیچش مفتول‌های آلومینیومی
- آزمون مقاومت الکتریکی مفتول‌های آلومینیومی
- آزمون تنش در یک درصد افزایش طول روی مفتول‌های فولادی
- آزمون خاصیت لوله شدن روی مفتول‌های فولادی
- آزمون پوشش فلز روی در مفتول‌های فولادی
- اندازه‌گیری سطح مقطع هادی
- اندازه‌گیری قطر نهایی هادی
- اندازه‌گیری جرم در واحد طول هادی (چگالی خطی)



- آزمون گسیختگی رشته‌های آلومینیومی و فولادی پس از تاییده شدن
- آزمون وضعیت سطح هادی
- آزمون نسبت لایه و جهت لایه هادی

۳-۴- سیم‌های محافظ OPGW

۳-۴-۱- مشخصات فنی

سیم‌های محافظ OPGW می‌بایستی از یک یا تعدادی واحد نوری که در داخل هادی رشته‌ای جاسازی شده‌اند، تشکیل شده باشند. این قبیل سیم‌های محافظ می‌بایستی مشخصات فنی ارائه شده در ذیل را دارا باشند :

• فیبرهای نوری :

کلیه فیبرهای نوری جاسازی شده در داخل واحد نوری می‌بایستی نیازمندیهای استاندارد IEC شماره ۶۰۷۹۳ را برآورده نمایند. در غیر اینصورت با توافق بین سازنده و خریدار فیبرهای دیگری را می‌توان مورد استفاده قرار داد. فیبر یا واحدهای فیبری می‌بایستی جهت شناسایی در هر یک از دو انتهایشان دارای کد رنگی باشند و قادر باشند بوسیله پیوندهای امتزاج^۱ به یکدیگر متصل شوند. مواد پوشش دهنده فیبر نوری می‌بایستی به صورت مکانیکی قابل برداشتن باشند.

• واحدهای نوری :

واحد نوری می‌بایستی پوششی برای فیبرهای نوری بوده و آنها را از هرگونه صدمه دیدگی به جهت تنش‌های محیطی و نیروهای مخرب القاء شده‌ای همچون : فشارهای محوری، خراشیدگی، نیروهای خمشی، نیروهای پیچشی، تنشهای کششی، آثار حرارتی کوتاه و بلند مدت و رطوبت محافظت نمایند. واحد نوری می‌تواند مجهز به ترکیبات مناسب ضد آبی برای محافظت فیبرها در مقابل رطوبت و ارتعاش باشد و علاوه بر این ممکن است حاوی لوله‌های فلزی یا پلاستیکی یا کانالهای میله‌ای^۲ نیز باشند.

• مفتولهای بافته شده :

مفتولهای بافته شده ممکن است مطابق استاندارد IEC شماره ۶۱۰۸۹ دارای مقطعی به شکل دایره و یا سایر شکلهایی همچون : قطاعی، لوله‌ای (تیوبی) و Z شکل باشند. این مفتولها می‌بایستی از یک یا ترکیبی از مواد زیر ساخته شده باشند :

- مفتولهای آلیاژ آلومینیوم _ سیلیکون _ منیزیم^۳، مطابق استاندارد IEC شماره ۶۰۱۰۴.
- مفتولهای فولادی با پوشش روی^۴ برای هادی‌های رشته‌ای، مطابق استاندارد IEC شماره ۶۰۸۸۸.
- مفتولهای آلومینیومی سخت^۵، مطابق با استاندارد IEC شماره ۶۰۸۸۹.
- مفتولهای آلومینیومی با روکش آلومینیوم^۶، مطابق با استاندارد IEC شماره ۶۱۲۳۲.

1. Fusion splicing
2. channeled rod
3. Aluminum – magnesium – silicon
4. Zinc coated steel wires
5. Hard drawn aluminum wires
6. Aluminum – clad steel wires



• گریس :

در مواردی که از گریس برای کاهش احتمال خوردگی هادی‌های OPGW استفاده شده باشد، نوع گریس مورد استفاده می‌بایستی مطابق با استاندارد IEC شماره ۶۱۳۹۴ باشد.

• مسدود کننده‌های آب :

در مواقعی که از مسدود کننده‌های آب برای جلوگیری از نفوذ آب به داخل واحدهای نوری هادی‌های OPGW استفاده شده باشد، مسدود کننده‌های مورد استفاده می‌بایستی مطابق با استاندارد IEC شماره ۶۰۷۹۴-۱ و بندهای ۱۷ و ۱۸ (روشهای آزمونی E14 و E15) ارائه شده در این استاندارد باشند.

• مشخصه‌های OPGW :

لیست ذیل خلاصه‌ای از مهم‌ترین مشخصه‌های OPGW که ممکن است به هر دوی خریدار و سازنده مربوط باشد را ارائه می‌نماید. اکثر این مشخصه‌ها می‌بایستی همراه با فواصل برجهای، نیازمندیهای فلش، باریخ، بار باد و حداکثر نیروی کششی مجاز در نقاط آویخته‌شدن در نظر گرفته‌شوند. این لیست یک لیست قاطع و صریح نمی‌باشد و مشخصه‌های دیگری ممکن است با توافق سازنده و خریدار در نظر گرفته‌شوند.

- تعداد، نوع و مشخصه‌های نوری فیبرها.
- قطر کلی (mm)
- سطح مقطع محاسبه‌شده (mm^2)
- جرم واحد طول محاسبه شده (kg/km)
- استقامت کششی نامی، RTS (KN)
- مدول الاستیسیته (N/mm^2)
- ضریب انبساط خطی (k^{-1})
- مقاومت dc خطی (Ω/km)
- حداکثر محدوده حرارتی مجاز ($^{\circ}\text{C}$)
- ظرفیت جریان خطا (KA^2Sec)
- حداکثر کشش مجاز MAT (KN).
- سازگاری مکانیکی بین OPGW و یراق‌آلات.
- حداکثر میزان مجاز بیضویت، MAOC

۳-۴-۲-آزمونها

کلیه آزمونهای نوعی و نمونه‌ای زیر باید مطابق با آخرین تجدید نظر استاندارد IEC شماره‌های ۶۱۰۸۹، ۶۰۸۸۹، ۶۰۸۸۸، ۶۰۱۰۴، ۶۰۴۶۸، ۶۰۷۹۳، ۶۰۷۹۴، ۶۱۳۹۴، ۶۱۳۹۵ و ISO شماره‌های ۶۸۹۲ و ۷۸۰۲ بر روی سیم‌های محافظ OPGW انجام گیرند.



- آزمونهای نوعی :

- برروی فیبرهای نوری :
- کلیه آزمونهای نوعی ارائه شده در استاندارد IEC شماره ۶۰۷۹۳.
- برروی OPGW کامل :
- آزمون تنش _ کرنش^۱
- آزمون کشش^۲
- آزمون قرقره^۳
- آزمون آئولین^۴
- آزمون گالوپینگ^۵
- آزمون پیری^۶
- آزمون چرخه حرارتی^۷
- آزمون نفوذ آب^۸
- آزمون اتصال کوتاه^۹
- آزمون صاعقه^{۱۰}

- آزمونهای نمونه‌ای :

- برروی فیبرهای نوری :
- کلیه آزمونهای نمونه‌ای ارائه شده در استاندارد IEC شماره ۶۰۷۹۳.
- برروی واحد نوری :
- الف) آزمون ابعادی
- ب) آزمون استقامت کششی و ازدیاد طول
- ج) آزمون مقاومت الکتریکی

توجه :

آزمون استقامت کششی و ازدیاد طول و آزمون مقاومت الکتریکی تنها در صورتی که واحد نوری در محاسبات انجام گرفته برای مقادیر RTS و مقاومت OPGW کامل، در نظر گرفته شده باشد انجام می‌شوند.

1. Stress-strain test
2. Tensile test
3. Sheave test
4. Aeolian test
5. Galloping test
6. Creep test
7. Temperature cycling test
8. Water penetration test
9. Short circuit test
10. Lightning test



- بر روی مفتولها قبل از بافته شدن :
- الف) مطابق استاندارد IEC شماره ۶۰۱۰۴ برای مفتولهای آلومینیومی آلیاژ سیلیکای منیزیم.
- ب) مطابق استاندارد IEC شماره ۶۰۸۸۸ برای مفتولهای فولادی با روکش روی.
- ج) مطابق استاندارد IEC شماره ۶۰۸۸۹ برای مفتولهای آلومینیومی.
- د) مطابق استاندارد IEC شماره ۶۱۲۳۲ برای مفتولهای فولادی روکش شده با آلومینیوم.
- بر روی OPGW کامل :
- OPGW کامل می‌بایستی کلیه نیازمندیهای ارائه شده در بند (۶-۲-۲) استاندارد IEC شماره ۶۱۰۸۹ را برآورده نماید.

۳-۵- بسته‌بندی

هادیها باید روی قرقه حمل گردند. در هنگام بسته‌بندی، هادی نباید با هیچگونه مواد آلوده کننده‌ای تماس پیدا کند. کلیه سطوح دور تا دور قرقه می‌بایستی با روش‌های مناسب و با استفاده از چوب یا مواد مقاوم دیگر در برابر ضربه پوشانده شود تا هادی از آسیب‌های احتمالی حفاظت شود.

قرقه می‌بایستی قادر به تحمل نیروهایی که در اثر بستن زنجیر در حین کار به آن وارد می‌شود باشد. هر دو سر ابتدا و انتهای هادی باید محکم و مطمئن به قرقه بسته شود. قرقه‌ها باید به نحوی طراحی و ساخته شوند و از چنان استحکامی برخوردار باشند که تحویل سالم کالا به مقصد کاملاً تضمین شود و هیچگونه تغییر شکل، خراشیدگی و صدمه‌ای در حین حمل در مسیر به کالا وارد نیاید. جهت رول کردن باید با علامت فلش بر روی دیواره جانبی قرقه نشان داده شود.

علاوه بر اطلاعاتی که برای حمل کالا بر روی قرقه ثبت می‌گردد، هر قرقه باید حاوی اطلاعاتی نظیر نام سازنده، شماره سریال، شماره سفارش، تاریخ تولید، نوع هادی، طول هادی با تلورانس مربوطه، جهتی که انتهای هادی را نشان می‌دهد، وزن خالص و وزن کل باشد. علائم باید خوانا و کاملاً قابل رؤیت باشند. این اطلاعات باید روی یک صفحه آلومینیومی حک شده و در هر دو طرف قرقه قرار داده شوند.

هنگام حمل قرقه توسط وسیله حمل و نقل، محور قرقه باید با جهت حرکت موازی باشد. هنگام بلند کردن قرقه باید ابتدا بتوان میله‌ای را در حفره داخلی قرقه قرار داده و سپس با استفاده از زنجیر یا وسایل مشابه آن، قرقه را بلند کرد.

قرقه‌ها باید همواره هم برای جابجائی و هم برای انبارداری به صورت عمودی نگه داشته شوند و علامت مشخص کننده این وضعیت استقرار باید توسط پلاکی روی قرقه نشان داده شود. قرقه‌ها باید همواره در جهت فلش رول شوند. رول شدن قرقه نباید در روی سطوح سخت انجام گیرد. بسته‌بندی و نشان گذاری OPGW می‌بایستی مطابق بند ۷ استاندارد IEC شماره ۶۱۰۸۹ صورت گیرد. علاوه بر آن نیازمندیهای زیر نیز می‌بایستی برآورده گردند :

- بسته بندی OPGW می‌بایستی به گونه‌ای انجام گیرد که امکان دسترسی به هر دو انتهای OPGW به منظور کنترل فیبرها، فراهم گردد.

- هر دو انتهای OPGW به منظور جلوگیری از نفوذ رطوبت می‌بایستی با استفاده از روش مناسبی مهر و موم شود.

- میزان طولهای آزاد و قابل دسترسی OPGW و مقدار تلورانس آنها می‌بایستی با موافقت سازنده و خریدار تعیین گردد.



۳-۶- بازرسی و نظارت

در طی ساخت و آزمون سیم‌های حفاظت از صاعقه، بنا به درخواست خریدار کلیه تسهیلات لازم باید از جانب پیمانکار تهیه شود تا مهندس بتواند بازرسی‌های لازم را انجام دهد. به هر حال اگر نتایج آزمون‌ها مثبت هم باشد، مهندس حق دارد که در صورت عدم مطابقت مشخصات هادی با مشخصات لازم در هنگام نصب و یا عدم کار رضایت بخش در طی بهره‌برداری محصولات کارخانه را رد کند.

۳-۷- لوازم یدکی و وسایل مخصوص

لوازم یدکی مورد نیاز در دوره بهره‌برداری ۵ ساله و وسایل لازم برای نصب، بهره‌برداری و تعمیرات که به نظر سازنده مورد نیاز است باید توسط سازنده پیشنهاد و تأمین گردد.

۳-۸- نقشه‌ها و مدارک

۳-۸-۱- مدارکی که باید پیشنهاد دهندگان ارائه نمایند

- جدول شماره II سیستم حفاظت از برخورد مستقیم صاعقه که کاملاً تکمیل شده است.
- کاتالوگ و کتابچه مشخصات فنی
- شرح خلاصه‌ای از استثناهای موجود بر مشخصات فنی مناقصه
- لیست سیستم‌های حفاظت از برخورد مستقیم صاعقه تأمین شده
- لیست لوازم یدکی
- لیست لوازم مخصوص
- خلاصه‌ای از گزارش آزمون‌ها
- دستورالعمل‌های مربوط به بسته‌بندی، حمل و نقل، انبارداری، نصب و بهره‌برداری

۳-۸-۲- مدارکی که باید پیمانکار یا سازنده ارائه نماید

مدارک و نقشه‌های الکتریکی و مکانیکی مربوط به طراحی، ساخت، آزمون‌های کارخانه‌ای، بسته‌بندی، علامت‌گذاری، حمل، انبارداری، نصب، آزمون‌های محلی، بهره‌برداری و تعمیر و نگهداری سیستم حفاظت از برخورد مستقیم صاعقه که به شرح ذیل می‌باشند ولی به آنها محدود نمی‌شوند باید ارسال گردند :

- محاسبات لازم برای اثبات کفایت سیستم حفاظت از برخورد مستقیم صاعقه از هر حیث
- جزئیات بسته‌بندی، حمل و انبارداری
- گزارش آزمون‌ها و گواهی‌های مربوط به موفق بودن آزمون‌ها
- دستورالعمل‌های نصب، بهره‌برداری و نگهداری



- نقشه‌هایی که ابعاد و شکل قرقره‌ها، نحوه حمل، وزن آنها، نوع و اندازه آنها و سایر مشخصات آنها را نشان بدهد.
- توضیحات کامل مربوط به روش تمیز کردن هادی.
- منحنی‌های کشش _ تنش در بازه‌های زمانی یک ساعت، ۲۴ ساعت، ۳۰ روز، یک سال و ۱۰ سال با در نظر گرفتن پدیده پیری هادی.
- توصیف تسهیلات موجود برای انجام آزمون توسط سازنده
- پیشنهاد سازنده برای حداقل قطر قرقره‌های سیم‌کشی
- منحنی‌های مربوط به جریان اتصال کوتاه هادی
- پیشرفت کار ماهانه
- جداول زمانی
- لیست نقشه‌ها



جداول (I) و (II)

مربوط به سیستم حفاظت از برخورد مستقیم صاعقه

به خطوط هوایی انتقال نیرو

جهت سطوح ولتاژی ۶۳ الی ۴۰۰ کیلوولت



جدول شماره (I): سیستم حفاظت از برخورد مستقیم صاعقه به خطوط هوایی انتقال نیرو

مقادیر نامی و مشخصات سیستم حفاظت از برخورد مستقیم صاعقه

ردیف	شرح	مشخصات فنی جهت سطوح ولتاژی سیستم‌هایی با ولتاژ نامی			
		۶۳/۶۶ کیلوولت	۱۳۲ کیلوولت	۲۳۰ کیلوولت	۴۰۰ کیلوولت
۱	مشخصات سیستم:				
۱-۱	ولتاژ نامی سیستم	۶۳/۶۶	۱۳۲	۲۳۰	۴۰۰
۲-۱	حداکثر ولتاژ سیستم	۷۲/۵	۱۴۵	۲۴۵	۴۲۵
۳-۱	فرکانس نامی سیستم		۵۰		
۴-۱	حداکثر جریان اتصال کوتاه تکفاز سیستم		*		
۵-۱	حداکثر مدت زمان تداوم اتصال کوتاه فاز		*		
۶-۱	سطح عایقی خط در برابر موج ضربه صاعقه	۳۲۵	۵۵۰/۶۵۰	۸۵۰/۹۵۰/۱۰۵۰	۱۰۵۰/۱۱۷۵/۱۳۰۰/۱۴۲۵
۷-۱	جریان بحرانی خط				
۸-۱	میزان مطلوب نرخ قوس الکتریکی ناشی از خطای سیستم				
	حفاظت از صاعقه	Failures/100km-year			
۹-۱	زاویه حفاظتی مطلوب	درجه			
			≤ ۰/۰۵		
			*		

باتوجه به مشخصات سیستم و خصوصیات هادیهای مورد استفاده در خط تعیین می‌گردد.

ادامه جدول شماره (I): سیستم حفاظت از برخورد مستقیم صاعقه

ردیف	شرح	مشخصات فنی جهت سطوح ولتاژی سیستم‌هایی با ولتاژ نامی			
		۶۶/۶۳ کیلوولت	۱۳۲ کیلوولت	۲۳۰ کیلوولت	۴۰۰ کیلوولت
۲	شرایط کاری سیستم حفاظت از برخورد مستقیم صاعقه:				
۱-۲	حداکثر درجه حرارت محیط	°C			
۲-۲	حداقل درجه حرارت محیط	°C			
۳-۲	نوع آلودگی				
۴-۲	شتاب زمین لرزه برحسب شتاب ثقل زمین (g)				
۵-۲	حداکثر سرعت باد در شرایط یخ	m/sec			
۶-۲	ضخامت بار یخ	mm			
۷-۲	سطح ایزوکرونیک در مسیر خط	days/year			

ادامه جدول شماره (I): سیستم حفاظت از برخورد مستقیم صاعقه

ردیف	شرح	مشخصات فنی جهت سطوح ولتاژی سیستم‌هایی با ولتاژ نامی			
		۴۰۰ کیلوولت	۲۳۰ کیلوولت	۱۳۲ کیلوولت	۶۳/۶۶ کیلوولت
۳	مشخصات سیم‌های محافظ معمولی :	ACS / GS / ACSR * * * * * * * * * *			
۱-۳	نوع				
۲-۳	قطر کلی				
۳-۳	سطح مقطع				
۴-۳	مدول الاستیسیته				
۵-۳	نیروی گسیختگی نامی (RTS)				
۶-۳	طول				
۴	مشخصات سیم‌های محافظ OPGW :				
۱-۴	تعداد، نوع و مشخصه‌های نوری فیبرها				
۲-۴	قطر کلی				
۳-۴	سطح مقطع محاسبه شده				
۴-۴	مدول الاستیسیته				

ادامه جدول شماره (I): سیستم حفاظت از برخورد مستقیم صاعقه

ردیف	شرح	مشخصات فنی جهت سطوح ولتاژی سیستم‌هایی با ولتاژ نامی			
		۶۳/۶۶ کیلوولت	۱۳۲ کیلوولت	۲۳۰ کیلوولت	۴۰۰ کیلوولت
۵-۴	حداکثر نیروی کششی مجاز (MAT)	KN	*		
۶-۴	نیروی گسیختگی نامی (RTS)	KN	*		
۷-۴	طول	m	*		
۷	تعداد اتصالات مورد استفاده در سیستم حفاظت از برخورد مستقیم صاعقه :				
۱-۷	تعداد قلاب زنجیره		*		
۲-۷	تعداد پیچهای رکابی		*		
۳-۷	تعداد صفحات یوغ		*		
۴-۷	تعداد کلمپهای پرسی انتهایی		*		
۵-۷	تعداد کلمپ شیاردار موازی		*		
۶-۷	سایر اتصالات (نوع / تعداد)		*		

* این اطلاعات توسط مهندس طراح مشخص خواهد شد.

جدول شماره (II) : سیستم حفاظت از برخورد مستقیم صاعقه به خطوط هوایی انتقال نیرو

خصوصیات فنی داده‌های تضمین شده سیستم حفاظت از برخورد مستقیم صاعقه که باید توسط پیشنهاد دهنده به‌مراه مناقصه ارائه گردد

ردیف	شرح	مشخصات فنی جهت سطوح ولتاژی سیستم‌هایی با ولتاژ نامی			
		۶۳/۶۶ کیلوولت	۱۳۲ کیلوولت	۲۳۰ کیلوولت	۴۰۰ کیلوولت
۱	اطلاعات عمومی :				
۱-۱	میزان نرخ قوس الکتریکی ناشی از خطای سیستم حفاظت از برخورد مستقیم صاعقه طراحی شده Failures/100km-year				
۲-۱	زاویه حفاظتی مطلوب طراحی شده	درجه			
۳-۱	مشخصات محل و شرایط محیطی :				
۱-۳-۱	حداکثر درجه حرارت محیط	°C			
۲-۳-۱	حداقل درجه حرارت محیط	°C			
۳-۳-۱	میزان آلودگی				
۴-۳-۱	حداکثر ضخامت مجاز یخ	mm			
۵-۳-۱	شتاب زلزله در طراحی	g			
۶-۳-۱	حداکثر سرعت مجاز باد	m/sec			
۴-۱	مدارک لازم شامل گزارش آزمون‌ها / طرح‌ها/نقشه‌ها/کاتالوگ‌ها/راهنمای تعمیرات و نصب/کتابچه آموزشی/مراجع/لیست اقلام یدکی موجود است؟	بلی/خیر			

ادامه جدول شماره (II): سیستم حفاظت از برخورد مستقیم صاعقه

ردیف	شرح	مشخصات فنی جهت سطوح ولتاژی سیستم‌هایی با ولتاژ نامی			
		۶۳/۶۶ کیلوولت	۱۳۲ کیلوولت	۲۳۰ کیلوولت	۴۰۰ کیلوولت
۲	مشخصات سیم‌های محافظ معمولی :				
۱-۲	نام سازنده و کشور سازنده				
۲-۲	علامت مشخصه				
۳-۲	نوع هادی				
۴-۲	قطر کلی	mm			
۵-۲	سطح مقطع	mm ²			
۶-۲	ماده پوشش دهنده مقبولها				
۷-۲	قابلیت عبور جریان در ۲۰ درجه سانتیگراد	A			
۸-۲	مقاومت dc خطی در ۲۰ درجه سانتیگراد	Ω/km			
۹-۲	مدول الاستیسیته	KN/mm ²			
۱۰-۲	ضریب افزایش طولی به ازای افزایش هر				
	درجه سانتیگراد از دمای محیط	mm/°c			
۱۱-۲	وزن واحد طول	Kg/m			
۱۲-۲	نیروی گسیختگی نامی (RTS)	KN			

ادامه جدول شماره (II): سیستم حفاظت از برخورد مستقیم صاعقه

مشخصات فنی جهت سطوح ولتاژی سیستم‌هایی با ولتاژ نامی				شرح	ردیف
۴۰۰ کیلوولت	۲۳۰ کیلوولت	۱۳۲ کیلوولت	۶۳/۶۶ کیلوولت		
				m	۱۳-۲ طول کل
					۱۴-۲ تعداد رشته‌ها
				°C	۱۵-۲ حداکثر محدوده حرارتی مجاز
				(KA) ² .Sec	۱۶-۲ ظرفیت جریان خطا
				بلی / خیر	۱۷-۲ آیا گریس لازم است ؟
					۱۸-۲ نوع گریس به کار رفته در هادی
				°C	۱۹-۲ حداقل درجه حرارت پیری
				۳ مشخصات سیم‌های محافظ OPGW :	
					۱-۳ نام سازنده و کشور سازنده
					۲-۳ علامت مشخصه
					۳-۳ تعداد، نوع و مشخصه‌های نوری فیبرها
				mm	۴-۳ قطر کلی
				mm ²	۵-۳ سطح مقطع محاسبه شده

ادامه جدول شماره (II) : سیستم حفاظت از برخورد مستقیم صاعقه

مشخصات فنی جهت سطوح ولتاژی سیستم‌هایی با ولتاژ نامی				شرح	ردیف
۴۰۰ کیلوولت	۲۳۰ کیلوولت	۱۳۲ کیلوولت	۶۳/۶۶ کیلوولت		
				ویژگی‌های مفتول‌های استفاده شده :	۶-۳
				تعداد	۱-۶-۳
				نوع	۲-۶-۳
				قطر	۳-۶-۳
				mm	
				mm ²	۴-۶-۳
				سطح مقطع	
				A	۷-۳
				قابلیت عبور جریان در ۲۰ درجه سانتیگراد	
				Ω/km	۸-۳
				مقاومت dc خطی در ۲۰ درجه سانتیگراد	
				مدول الاستیسیته	۹-۳
				KN/mm^2	
				ضریب افزایش طولی به ازای هر	۱۰-۳
				درجه سانتیگراد از دمای محیط	
				$\text{mm}/^{\circ}\text{C}$	
				وزن واحد طول	۱۱-۳
				Kg/m	
				نیروی گسیختگی نامی (RTS)	۱۲-۳
				KN	
				طول کل	۱۳-۳
				m	
				حداکثر محدوده حرارتی مجاز	۱۴-۳
				$^{\circ}\text{C}$	

ادامه جدول شماره (II): سیستم حفاظت از برخورد مستقیم صاعقه

ردیف	شرح	مشخصات فنی جهت سطوح ولتاژی سیستم‌هایی با ولتاژ نامی			
		۴۰۰ کیلوولت	۲۳۰ کیلوولت	۱۳۲ کیلوولت	۶۳/۶۶ کیلوولت
۱۵-۳	ظرفیت جریان خطا				$(KA)^2 \cdot Sec$
۱۶-۳	حداکثر نیروی کششی مجاز (MAT)				KN
۱۷-۳	حداکثر میزان بیضویت مجاز در فیبرها (MAOC)				درصد
۱۸-۳	آیا گریس لازم است ؟				بلی / خیر
۱۹-۳	نوع گریس به کار رفته در هادی				
۲۰-۳	حداقل درجه حرارت پیری				
۴	مشخصات قرقره‌های هادی :				
۱-۴	جنس قرقره				چوبی / فلزی
۲-۴	حداقل طول هادی در یک قرقره				m
۳-۴	وزن قرقره بدون هادی				kg
۴-۴	وزن قرقره کامل با هادی				kg
۵-۴	قطر قرقره حمل هادی				m

ادامه جدول شماره (II) : سیستم حفاظت از برخورد مستقیم صاعقه

مشخصات فنی جهت سطوح ولتاژی سیستم‌هایی با ولتاژ نامی				شرح	ردیف
۴۰۰ کیلوولت	۲۳۰ کیلوولت	۱۳۲ کیلوولت	۶۳/۶۶ کیلوولت		
				مشخصات اتصالات مورد استفاده در سیستم حفاظت از برخورد مستقیم صاعقه :	۵
				قلاب زنجیره :	۱-۵
				نام سازنده و کشور سازنده	۱-۱-۵
				نوع و علامت مشخصه	۲-۱-۵
				جنس	۳-۱-۵
				اندازه	۴-۱-۵
				مدول الاستیسیته	۵-۱-۵
				تعداد	۶-۱-۵
				حداقل استقامت کششی	۷-۱-۵
				پیچ‌های رکابی :	۲-۵
				نام سازنده و کشور سازنده	۱-۲-۵
				نوع و علامت مشخصه	۲-۲-۵
				جنس	۳-۲-۵
				اندازه	۴-۲-۵

ادامه جدول شماره (II) : سیستم حفاظت از برخورد مستقیم صاعقه

مشخصات فنی جهت سطوح ولتاژی سیستم‌هایی با ولتاژ نامی				شرح	ردیف
۴۰۰ کیلوولت	۲۳۰ کیلوولت	۱۳۲ کیلوولت	۶۳/۶۶ کیلوولت		
				مدول الاستیسیته	۵-۲-۵
				تعداد	۶-۲-۵
				حداقل استقامت کششی	۷-۲-۵
				صفحات یوغ :	۳-۵
				نام سازنده و کشور سازنده	۱-۳-۵
				نوع و علامت مشخصه	۲-۳-۵
				جنس	۳-۳-۵
				اندازه	۴-۳-۵
				مدول الاستیسیته	۵-۳-۵
				تعداد	۶-۳-۵
				حداقل استقامت کششی	۷-۳-۵
				کلمپهای پرسی انتهایی :	۴-۵
				نام سازنده و کشور سازنده	۱-۴-۵
				نوع و علامت مشخصه	۲-۴-۵
				جنس	۳-۴-۵
				اندازه	۴-۴-۵

ادامه جدول شماره (II): سیستم حفاظت از برخورد مستقیم صاعقه

ردیف	شرح	مشخصات فنی جهت سطوح ولتاژی سیستم‌هایی با ولتاژ نامی			
		۶۳/۶۶ کیلوولت	۱۳۲ کیلوولت	۲۳۰ کیلوولت	۴۰۰ کیلوولت
۵-۴-۵	مدول الاستیسیته	KN/mm ²			
۶-۴-۵	تعداد				
۷-۴-۵	حداقل استقامت کششی	KN			
۵-۵	کلمپ شیار دار موازی :				
۱-۵-۵	نام سازنده و کشور سازنده				
۲-۵-۵	نوع و علامت مشخصه				
۳-۵-۵	جنس				
۴-۵-۵	اندازه				
۵-۵-۵	مدول الاستیسیته	KN/mm ²			
۶-۵-۵	تعداد				
۷-۵-۵	حداقل استقامت کششی	KN			
۶-۵	سایر اتصالات مورد استفاده (نام سازنده و کشور سازنده / نوع و علامت مشخصه / جنس / اندازه / مدول الاستیسیته / تعداد / حداقل / استقامت کششی)				

مشخصات و دستوالعملهای اجرایی



مقدمه

در این فصل مشخصات و دستورالعملهای اجرایی سیستم حفاظت از برخورد مستقیم صاعقه به خطوط هوایی انتقال نیرو ارائه می گردد.

۴-۱- اهداف و دامنه کاربرد

هدف از این فصل ارائه دستورالعملهای اجرایی سیستم حفاظت از برخورد مستقیم صاعقه به خطوط هوایی انتقال نیرو جهت سطوح ولتاژی ۶۳ الی ۴۰۰ کیلوولت می باشد. این مشخصات و دستورالعملهای اجرایی جهت سیستمهای حفاظت از صاعقه خطوط هوایی انتقال نیرویی که در آنها از سیمهای محافظ هوایی معمولی یا سیمهای محافظ هوایی مبتنی بر تکنولوژی فیبر نوری (OPGW) استفاده می شود، تدوین شده است.

توجه

از آنجا که نصب، راه اندازی و بهره برداری از سیمهای محافظ هوایی مبتنی بر تکنولوژی فیبر نوری (بویژه OPGW) و تجهیزات مورد استفاده برای نصب آنها ممکن است به جهت عوامل مختلفی همچون: تفاوت جنس مواد تشکیل دهنده، فرآیند ساخت، نوع، شرایط نصب و راه اندازی متفاوت این قبیل سیمهای حفاظتی با سایر سیمهای محافظ هوایی معمولی فرق داشته باشد، مشخصات و دستورالعملهای اجرایی ارائه شده در این فصل، جزء در مواردی که صریحاً بیان شده است، منحصر به فرد نمی باشد و تجربیات و توصیه های ارائه شده از سوی مشاوران، پیمانکاران و سازندگان سیمهای حفاظت از صاعقه خطوط انتقال نیرو نیز در صورتی که با دلایل متقن به اثبات رسیده باشد، قابل استفاده خواهند بود.

۴-۲- کلیات

دستورالعملها و مشخصات اجرایی که جهت نصب، راه اندازی و بهره برداری از هادیهای خطوط هوایی انتقال نیرو تدوین شده اند، عیناً، جز در مواردی که در آنها صریحاً مشخص شده است، در مورد سیستم حفاظت از برخورد مستقیم صاعقه به خطوط هوایی انتقال نیرو قابل استفاده می باشد. به عنوان نمونه دستورالعملهای ارائه شده در استاندارد IEEE شماره ۵۲۴ و همچنین گزارش "هادیهای خطوط انتقال نیرو" از مجموعه حاضر نیز که شامل دستورالعملها و مشخصات اجرایی نصب، راه اندازی و بهره برداری از هادیهای خطوط هوایی انتقال نیرو می باشد، جهت مقاصد مورد نظر این بخش از استاندارد حاضر قابل استفاده می باشد.

در برخی موارد استفاده از دستورالعملهای فوق جهت سیمهای حفاظت از صاعقه مبتنی بر تکنولوژی فیبر نوری (همچون OPGW) ممکن است مستلزم ملاحظات ویژه ای باشد. این مسئله به جهت وجود عواملی همچون: تفاوت جنس مواد تشکیل دهنده، فرآیند ساخت، حساسیت های ویژه و شرایط نصب و راه اندازی متفاوت این قبیل سیمهای حفاظتی با سایر سیمهای حفاظتی معمولی باشد. در چنین مواردی می توان از تجربیات و توصیه های ارائه شده از سوی پیمانکاران و مشاوران این قبیل پروژه ها یا سازندگان سیمهای حفاظتی مبتنی بر تکنولوژی فیبر نوری که روش های اجرایی مورد استفاده یا پیشنهاد شده بوسیله آنها با دلایل متقن به اثبات رسیده باشد، استفاده نمود.



۴-۳- نصب هادی

۴-۳-۱- موارد عمومی

پیمانکار باید سیم‌کشی را با روش تحت کشش انجام دهد.

پیمانکار باید برای سیم‌کشی از وسایل، تجهیزات و ماشین‌آلات استاندارد استفاده نماید و در انجام مراحل کار با اتخاذ تدابیر لازم مانع از برخورد هادی‌ها با زمین یا سایر عوارض مسیر و مجاور آن شود.

نصب هادی‌ها، اتصالات و بستن به گیره‌های نگهدارنده، باید بگونه‌ای انجام پذیرد که از اعمال کشش اضافی و غیر مجاز به آنها جلوگیری شود و ضمناً از وارد آمدن هرگونه آسیب مانند خراشیدگی، لهیدگی و تابیدگی رشته‌ها ممانعت گردد.

پیمانکار باید دقت کافی بعمل آورد تا در هنگام انجام عملیات سیم‌کشی از اعمال بار غیر مجاز به دکل‌ها جلوگیری شود و در صورت لزوم به تشخیص مهندس دکل‌های خاصی را بوسیله مهار تقویت نماید و پس از پایان عملیات سیم‌کشی، مهارها را برچیند.

۴-۳-۲- اتصالات

هنگام انجام عملیات سیم‌کشی باید سعی شود که با استفاده از قطعات هادی با طول بیشتر حتی‌المقدور از تعداد اتصالات میانی کاسته شود. برای این منظور ضروریست پیمانکار یک ماه قبل از شروع عملیات سیم‌کشی برنامه عملیاتی خود را که در آن طول هادی‌هایی را که در نظر دارد استفاده نماید و محل اتصالات میانی انتخاب شده را تهیه و به مهندس ارائه دهد تا در صورت تصویب به آن عمل نماید.

در صورتی که شرایط خاصی ایجاب نماید تا از هادی با طول کمتر استفاده شود، وجود بیشتر از یک اتصال میانی در هر اسپن مجاز نمی‌باشد. برای بریدن لایه هادی باید از ابزار ساخته شده برای این منظور استفاده شود تا از آسیب رساندن به رشته‌های لایه‌های زیری جلوگیری شود و انجام اتصال باید به گونه‌ای باشد که از هر نظر مورد تایید مهندس باشد.

محل هر اتصال میانی باید قبلاً تعیین شده باشد تا پس از پایان عملیات پرسکاری، عبور دادن آن از قرقره لازم نباشد. مقاومت الکتریکی هر اتصال میانی و انتهایی (اتصال کششی)، باید توسط پیمانکار و با میکرواهم متر ۴ ترمینالی اندازه‌گیری و ثبت شود و این مقدار نباید از حداقل ۱۰۵ درصد مقاومت طول مشابه هادی مورد آزمون بیشتر باشد. ضمناً استقامت مکانیکی اتصالات مذکور و کلمپها نباید کمتر از ۹۵ درصد استقامت مکانیکی هادی مربوطه باشد.

پیمانکار بنا به درخواست کارفرما باید تسهلات لازم را برای نظارت مهندس بر عملیات پرسکاری و اندازه‌گیری مقاومت اتصالات میانی و انتهایی فراهم نماید.

پیمانکار موظف است گزارش مربوط به هر اتصال را با مشخص نمودن محل، تاریخ انجام، مقاومت الکتریکی اندازه‌گیری شده و نام مسئول مربوطه را تهیه و در پایان عملیات سیم‌کشی هر قسمت به مهندس ارائه نماید.

۴-۳-۳- تنظیم فلش

پیمانکار باید برای تنظیم فلش از دینامومتر مناسب و دوربین مخصوص کنترل فلش که به تایید مهندس رسیده باشد استفاده نماید. در مواردی که قرار است فلش از روی زمین تنظیم گردد باید از دوربین تئودولیت استفاده شود.



دمای هادی در هنگام تنظیم فلش باید بوسیله ترمومتر تعیین شود. ترمومتری که برای این منظور مورد استفاده قرار می‌گیرد در جوف یک هادی و بجای هسته فولادی تعبیه شده است. طول این قطعه هادی حدود ۵۰ تا ۶۰ سانتیمتر می‌باشد. برای اندازه‌گیری دقیق دمای هادی، ترمومتر باید بمدت حدود ۱۵ دقیقه در ارتفاع محل اتکاء هادی به قرقره قرار گیرد و بعد درجه دما خوانده شود که براساس آن تنظیم فلش انجام می‌شود.

اختلاف فلش هادی‌ها در برجهایی که دارای دو سیم محافظ می‌باشند نباید از حدود ۱۵ سانتیمتر بیشتر شود، بطوریکه هادی‌ها دارای تلورانس مشابه باشند (مثبت یا منفی).

اسپنهای انتخابی برای تنظیم فلش در هر سکشن باید دارای طولی نزدیک به اسپن معادل داشته باشند. ضمناً دو اسپن نیز در مجاورت دکل‌های انتهایی باید برای این منظور در نظر گرفته شود.

۴-۳-۴- قرقره‌های سیم‌کشی

قرقره‌های مورد استفاده در عملیات سیم‌کشی باید دارای طرح مناسب و کارایی لازم باشند. قرقره‌ها باید از نوع بلبرینگ بوده و جنس آن از آلومینیوم باشد و قبل از نصب تمیز و روغنکاری شوند تا بتوانند همواره آزادانه حرکت کنند.

پس از نصب قرقره‌ها روی دکل و شروع سیم‌کشی چنانچه در قرقره‌ای اشکالی مشاهده شد باید قرقره سالم جایگزین آن نمایند. شیار قرقره‌ها باید دارای پوشش نیمه هادی رزینی یا نظیر آن باشد تا بین هادی مورد سیم‌کشی و دکل هدایت الکتریکی برقرار گردد. قطر قسمت ته شیار قرقره حداقل باید ۱/۱ برابر قطر هادی مورد سیم‌کشی باشد و عمق شیار حداقل به ۱/۲۵ برابر قطر هادی برسد تا عبور آزادانه هادی و نیز گیره‌ها و تاب بازکن را تسهیل نماید. ضمناً قطر قرقره حداقل باید ۱۰ برابر قطر هادی مورد استفاده باشد.

۴-۳-۵- سیم‌کشی و آرایش تجهیزات

- برای انجام سیم‌کشی موارد زیر باید مورد توجه قرار گیرد :
- محل مناسب برای استقرار تجهیزات و ماشین‌آلات انتخاب گردد.
- تجهیزات باید بگونه‌ای استقرار یابند که دسترسی به آنها از هر طرف میسر باشد تا کار با آنها و انجام کنترل‌های لازم به آسانی امکان‌پذیر باشد.
- ماشین‌آلات و پایه قرقره‌ها به زمین محکم گردند.
- قرقره هادی‌ها روی پایه‌های مربوطه و به فاصله حدود ۱۰ تا ۱۵ متر از ماشین ترمز قرار گیرد. قرقره‌ها به گونه‌ای قرار بگیرند که عبور هادی از قرقره ماشین ترمز به آسانی انجام پذیرد و به دیوار شیار آن سائیده نشود.
- قرقره‌های ماشین ترمز باید دارای شیارهای نیم دایره‌ای شکل و دارای پوشش مناسب مانند مواد پلاستیکی یا نظیر آن باشد و شیارهای آن باید به تعدادی باشد که از لغزیدن لایه‌های هادی برروی یکدیگر جلوگیری شود.



- سمت وارد شدن هادی به قرقره ماشین ترمز بستگی به جهت پیچش رشته سیم‌های لایه بیرونی دارد بطوریکه هادی با لایه آخر راست گرد از سمت چپ قرقره وارد و از سمت راست به طرف جهت کشیدن سیم خارج می‌شود و هادی با لایه آخر چپ گرد از طرف راست قرقره وارد و از سمت چپ به طرف جهت کشیدن سیم خارج می‌شود.
- مواردی که باید قبل از عملیات سیم‌کشی به دقت انجام شوند به قرار زیر می باشند :
- کنترل آرایش کلیه وسایل، تجهیزات و ماشین‌آلات سیم‌کشی، سالم بودن و کارایی آنها
- کنترل وضعیت و ترکیب گروه‌های کار
- کنترل دقیق ملاحظات ایمنی که باید رعایت شود از جمله برقراری اتصال زمین‌ها و مهار کردن ماشین‌آلات و پایه‌های قرقره‌ها و داربست‌ها
- کنترل تجهیزات ارتباطی (بی‌سیم) مسئولین مختلف و اپراتورهای ماشین ترمز و ماشین کشنده و مراقبین داربست‌های روی تقاطع‌ها با خطوط برق‌دار و جاده‌ها
- برقراری اتصال زمین‌های مناسب و مورد نیاز با توجه به آرایش تجهیزات و نحوه کار یکی از عوامل بسیار مهم است .
- محل اتصال زمین‌ها باید بگونه‌ای انتخاب شود که مانع از بوجود آمدن پتانسیل خطرناک در تجهیزات متصل به یکدیگر شود. در مواقعی که خطوط انتقال نیروی در دست احداث به موازات خطوط انتقال برق‌دار باشد یا با آن خطوط تقاطع داشته باشد و یا چنانچه وقوع طوفان پیش‌بینی شود ضروریست اتصال زمین‌های بیشتری در نقاط حساس نصب گردد .

۴-۳-۶- کنترل وسایل و تجهیزات اتصال زمین

- کلیه وسایل اتصال زمین موقت اعم از سیم‌ها، گیره‌ها و میله‌ها باید از نظر سالم بودن و داشتن ظرفیت برای عبور دادن جریان اتصال مورد کنترل و آزمون‌های لازم قرار گیرند .
- جدول شماره (۴-۱) ظرفیت حمل جریان هادی‌های اتصال زمین با اندازه‌های مختلف را نشان می‌دهد.



جدول ۴-۱: ظرفیت حمل جریان هادی‌های اتصال زمین با احتساب ۳۰ درجه سانتیگراد دمای محیط و دمای کل ۱۷۵ درجه سانتیگراد (مقرر شده توسط استاندارد کابل عایق آمریکا (ICEA) در مورد محاسبه مشخصات اتصال کوتاه برای کابل‌های برق)

اندازه کابل AWG	زمان اتصالی به سیکل	جریان اتصالی به آمپر	
		مس	آلومینیوم
2	۱۵	۱۰۵۰۰	۶۵۰۰
	۳۰	۷۵۰۰	۴۶۰۰
	۶۰	۵۳۰۰	۳۲۰۰
1/0	۱۵	۱۶۵۰۰	۱۰۵۰۰
	۳۰	۱۱۵۰۰	۷۵۰۰
	۶۰	۸۰۰۰	۵۳۰۰
2/0	۱۵	۲۱۰۰۰	۱۳۰۰۰
	۳۰	۱۵۰۰۰	۹۰۰۰
	۶۰	۱۰۰۰۰	۶۵۰۰
3/0	۱۵	۲۶۵۰۰	۱۶۵۰۰
	۳۰	۱۸۵۰۰	۱۱۵۰۰
	۶۰	۱۳۰۰۰	۸۰۰۰
4/0	۱۵	۳۰۰۰۰	۲۱۰۰۰
	۳۰	۲۱۰۰۰	۱۵۰۰۰
	۶۰	۱۵۰۰۰	۱۰۰۰۰
250 kcmil	۱۵	۳۵۰۰۰	۲۵۰۰۰
	۳۰	۲۵۰۰۰	۱۷۵۰۰

۴-۳-۷- کار با ماشین ترمز و ماشین کشنده

اپراتورها باید به دقت مراقب باشند تا حرکت ماشین‌ها و قرقه‌های هادی‌ها که در پشت ماشین ترمز قرار گرفته‌اند همواره بصورت یکنواخت انجام پذیرد تا کشش هادی در طول عملیات یکنواخت باشد و بدین ترتیب از بروز تکان‌ها، پرش ناگهانی و پس زدن هادی ممانعت شود. در غیر این صورت خساراتی نظیر بادکردگی لایه‌ها یا کشیدگی مضاعف و باریک شدن رشته‌های آلومینیومی ببار خواهد آمد.

ماشین‌های ترمز و کشنده هر دو باید دارای دینامومتر نشان‌دهنده نیروی کشش باشند تا از طریق آن کنترل کشش به راحتی امکان‌پذیر گردد.

در طول عملیات سیم‌کشی مراقبین قرقه‌ها باید با تنظیم به موقع و به اندازه ترمزها، از دور برداشتن قرقه در روی پایه جلوگیری نمایند.



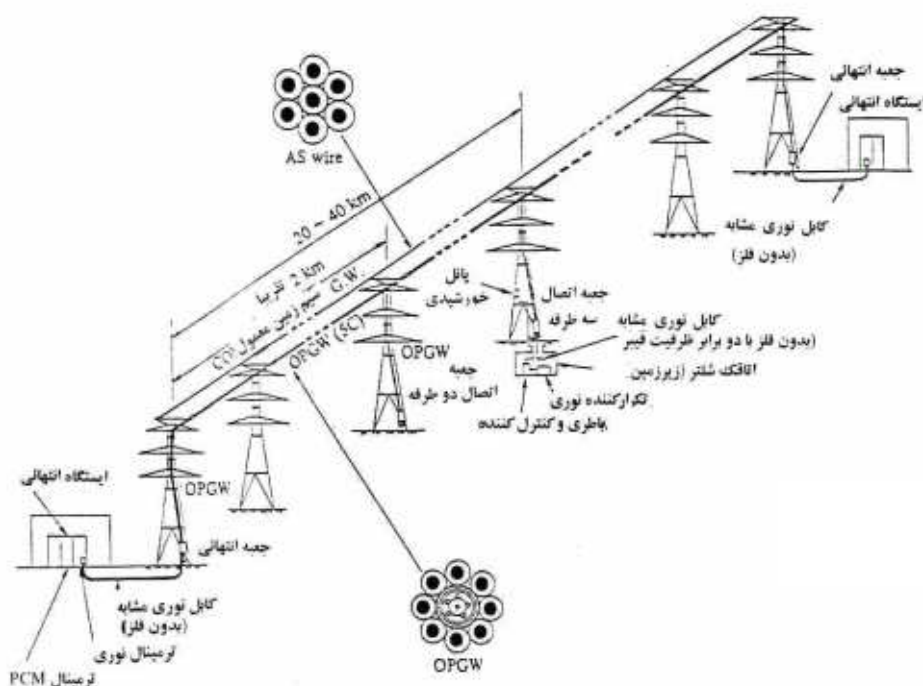
در صورتیکه سیم‌کشی برای کلیه هادیها بطور همزمان انجام می‌گیرد، هماهنگی و دقت لازم در کنترل ماشین‌های ترمز و کشنده باید اعمال گردد.

۴-۳-۸- نیروی کشش لازم برای سیم‌کشی در حالت تحت کشش

حداکثر نیروی کشش در این روش به اندازه‌ای است که فاصله ایمن هادی‌ها را با زمین و عوارض آن تامین می‌نماید. به تجربه ثابت شده است که مناسبترین کشش برای این حالت حدود نصف کشش لازم به هنگام تنظیم نهایی فلش می‌باشد. هرگز نباید برای تنظیم شکم یک هادی، آن را همتراز با هادی که قبلاً فلش‌گذاری شده مقایسه و تنظیم فلش نمایند بلکه فلش هر هادی را باید دقیقاً با توجه به جدول فلش و کشش و دمای محیط تنظیم نمود.

۴-۴- چگونگی نصب OPGW و تجهیزات مربوطه آن

شکل (۴-۱) شمایی از سیم حفاظتی OPGW نصب شده در یک خط انتقال قدرت و تجهیزات مورد استفاده در این سیستم را نشان می‌دهد. در این بخش چگونگی نصب و توضیح برخی از تجهیزات مورد استفاده با سیم‌های حفاظتی OPGW در سیستم قدرت ارائه می‌گردد.



شکل ۴-۱: شمایی از سیم حفاظتی OPGW نصب شده در یک خط انتقال قدرت

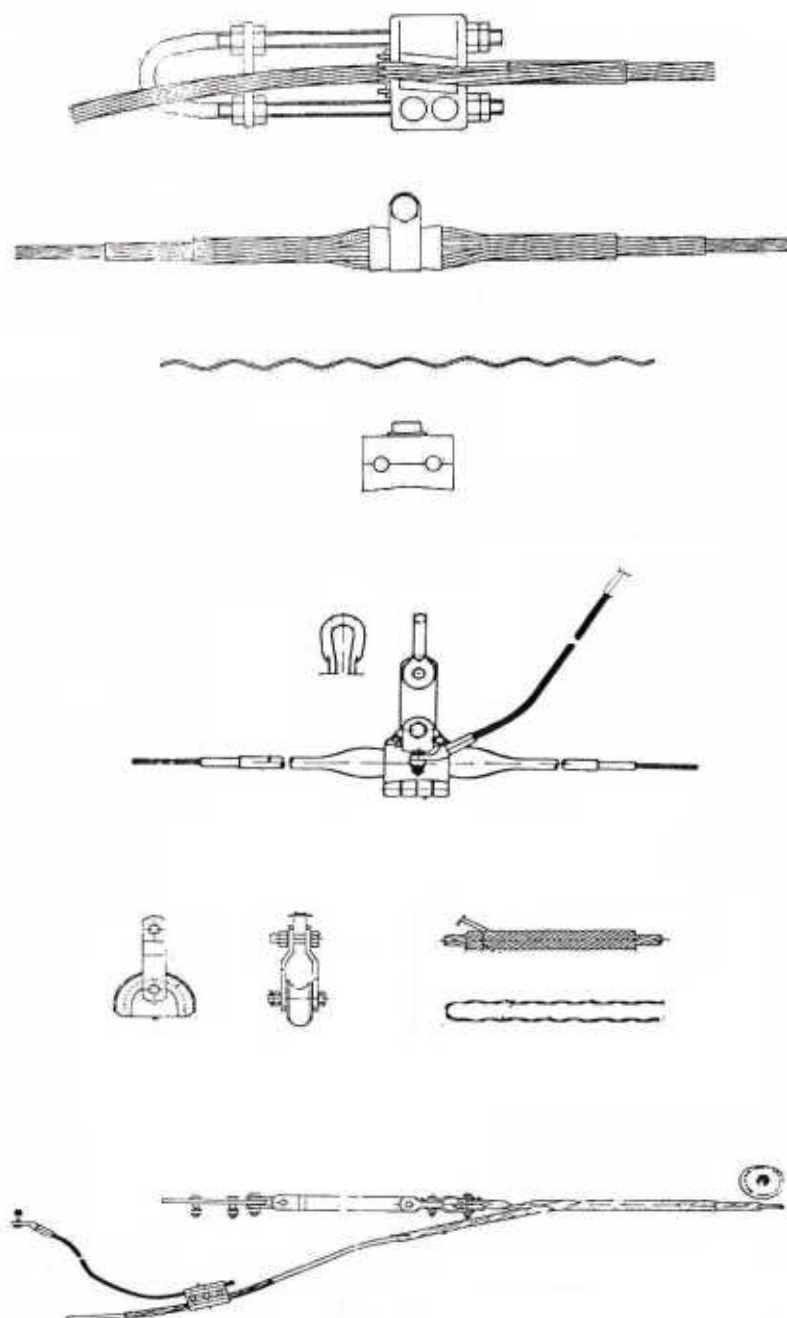


۴-۴-۱- روشهای نصب

برای نصب سیمهای حفاظتی OPGW می‌توان از توصیه‌های ارائه شده در استانداردهای بین‌المللی همچون IEEE شماره ۵۲۴ (نسخه سال ۱۹۹۲) و استانداردهای ملی که دامنه کاربرد آنها این قبیل سیمها را نیز شامل می‌گردد، استفاده نمود.

نحوه نصب OPGW با کمترین شعاع خمیدگی، کشش مجاز و یک وسیله ضدچرخش در طول کار ارتباط دارد. سخت‌افزار و متعلقات مورد استفاده با سیمهای حفاظتی OPGW مانند کلمپهای انتهایی، واحدهای آویزی، لرزش‌گیرها و غیره می‌بایستی به گونه‌ای طراحی، ساخته و استفاده گردند که موجب آسیب دیدن فیبرنوری داخل سیمها نگردند. انتخاب اندازه و نوع عضو نگهدارنده بوسیله وزن کابل، طول اسپن، منطقه بارگذاری و جریان اتصال کوتاه کنترل می‌شود. شکل (۴-۲) چند نوع از سخت‌افزارها و متعلقات مربوطه را جهت نصب OPGW نشان می‌دهند.





شکل ۴-۲: برخی از سخت‌افزارها و متعلقات مورد استفاده جهت نصب OPGW



دو روش معمول برای نصب OPGW وجود دارد که عبارتند از :

- روش چرخش قرقره^۱ یا بستن قرقره^۲ :

روش چرخش قرقره اساساً برای ساختمان خطوط جدید در مناطقی که سیم یا یدک کش سیم می‌تواند به طور موازی با برج یا مسیر خط کشیده شود، قابل اجرا است. این روش همچنین در خطوط بی‌برق در مناطقی که هیچ نوع منعی برای حرکت تریلر و یا بلند کردن سیم بر روی دکل و محل قرار گرفتن آن وجود ندارد، استفاده می‌شود. روش فوق با استفاده از قرقره‌های گردان یا شیارهای غلطکی برای نگهداری سیم تا هنگام کشش کامل، انجام می‌گیرد.

- روش کششی :

در مناطقی که موانعی برای جلوگیری از انجام روش چرخش قرقره وجود دارد، توصیه می‌شود از روش کششی استفاده می‌شود. این روش به سیم اجازه می‌دهد که از قرقره ثابت و از طریق وسایل کششی، چنانچه سیم تحت کشش باشد و دارای فاصله کافی از موانع و دیگر سیم‌های هادی باشد، کشیده شود. روش کششی ممکن است به وسیله کشیدن سیم از طریق بلوک‌های گردان یا قرقره‌های قرارداده شده در هر برج یا محل ساختمان تحت کشش ثابت، بوسیله یک حالت کشش در سیم، استفاده شود.

لازم به ذکر است که کشش در هنگام نصب نباید بیش از ۲۵ درصد حد نهایی کشش باشد و بلوک‌های کششی یا قرقره‌ها بایستی در یک حالت طبیعی قرار گیرند. این قرقره‌ها معمولاً بزرگتر از قرقره‌های مورد استفاده برای سیم‌های حفاظ معمولی می‌باشد. در بیشتر اسپن‌ها اولین قرقره بعد از دستگاه کشش^۳ و آخرین قرقره قبل از کشنده^۴ بایستی دارای قطر ۵۰ میلی‌متر باشند و قرقره‌های قرارداده شده در داخل اسپن بایستی به طور معمول ۲۵ برابر قطر خارجی کابل را داشته باشند.

از یک طناب یا وسیله مشابه دیگری جهت کشیدن OPGW از طریق دستگاه کشش استفاده می‌شود. برای جلوگیری از پیچش سیم OPGW در زمان کابل کشی می‌بایستی طناب در راستای OPGW قرار گیرد.

قبل از کشیدن OPGW از قرقره، بایستی یک وسیله ضد چرخش به OPGW وصل شود. این وسیله عموماً شامل یک حلقه گردان و یک وزنه تعادلی پاندولی می‌باشد که برای ایمن ساختن سیم OPGW از چرخش در زمان کشیدن می‌باشد. در هنگام جایگزینی سیم حفاظتی نصب شده با سیم حفاظتی OPGW می‌توان بوسیله یک گیره مخصوص، عملیات کششی را با اتصال سیم حفاظتی قبلی به سیم OPGW انجام داد.

1. Moving reel method
2. Pay off
3. Tensioner
4. Puller



۴-۲-۴- روشهای اتصال یا پیوند OPGW

در صنعت دو روش متداول برای اتصال یا پیوند OPGW وجود دارد که عبارتند از:

- اتصال به هم فشرده در وسط اسپین

هدف اساسی از بکارگیری این نوع اتصال ها، تعمیر OPGW می باشد. در صورت پارگی کابل در فاصله بین دو پایه، از این اتصالات در برقراری مجدد ارتباط استفاده می شود.

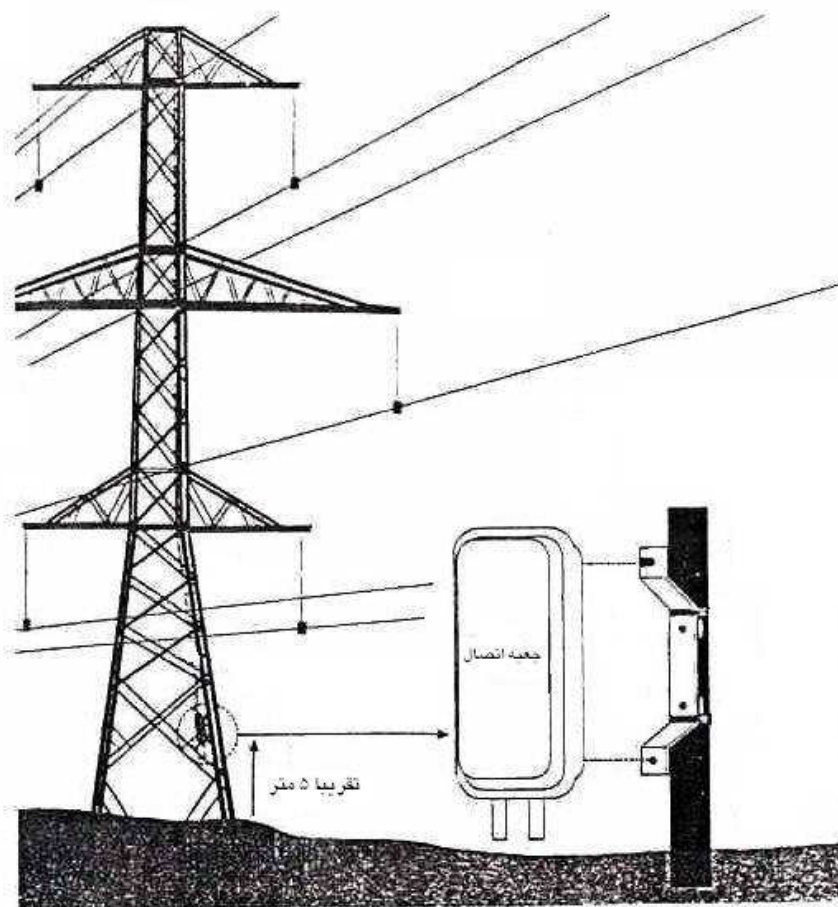
نقطه اتصال در وسط اسپین با یک نوع سیلندر تراکمی مخصوص که دارای حفره ای برای جادادن اتصالات فیبر می باشد انجام می شود. نقاط اتصال وسط اسپین دارای فوائد استفاده از قسمتهایی از طول کابل بطور تصادفی بوده اما پتانسیل را برای عملکرد به تأخیر می اندازد و پیوستگی با نقطه اتصال دوباره مشکل پیش می آورد و از نظر اقتصادی به صرفه نیست و استفاده از این روش توصیه نمی شود.

- جعبه اتصال قرارداده شده در برج :

از این نوع نقاط اتصالی که در محل برج قرارداده می شوند پس از آنکه کابل کشیده و فلش داده شده و به پایداری رسید استفاده می شود. در این روش دو انتهای OPGW برای اتصال سطح مرکزی به پایین برج هدایت شده و سپس اجزاء فیبر کامل برای عمل اتصال حاضر می گردند.

جعبه اتصال روی برج در محلی تقریباً ۵ تا ۷ متر بالای زمین قرار می گیرد. کابل اضافی بایستی پیچیده شده و در محفظه جداگانه ای قرارداده شود و یا اینکه روی برج طوری قرار گیرد که کابل آسیبی نبیند. بهترین مکان برای قراردادن حلقه های کابل، مستقیماً در زیر محل اتصال بوده طوری که آب در هنگام بارندگی به داخل جعبه اتصال نفوذ نکند. شکل (۳-۴) محل و چگونگی قرار گرفتن جعبه اتصال را بر روی برج نشان می دهند.

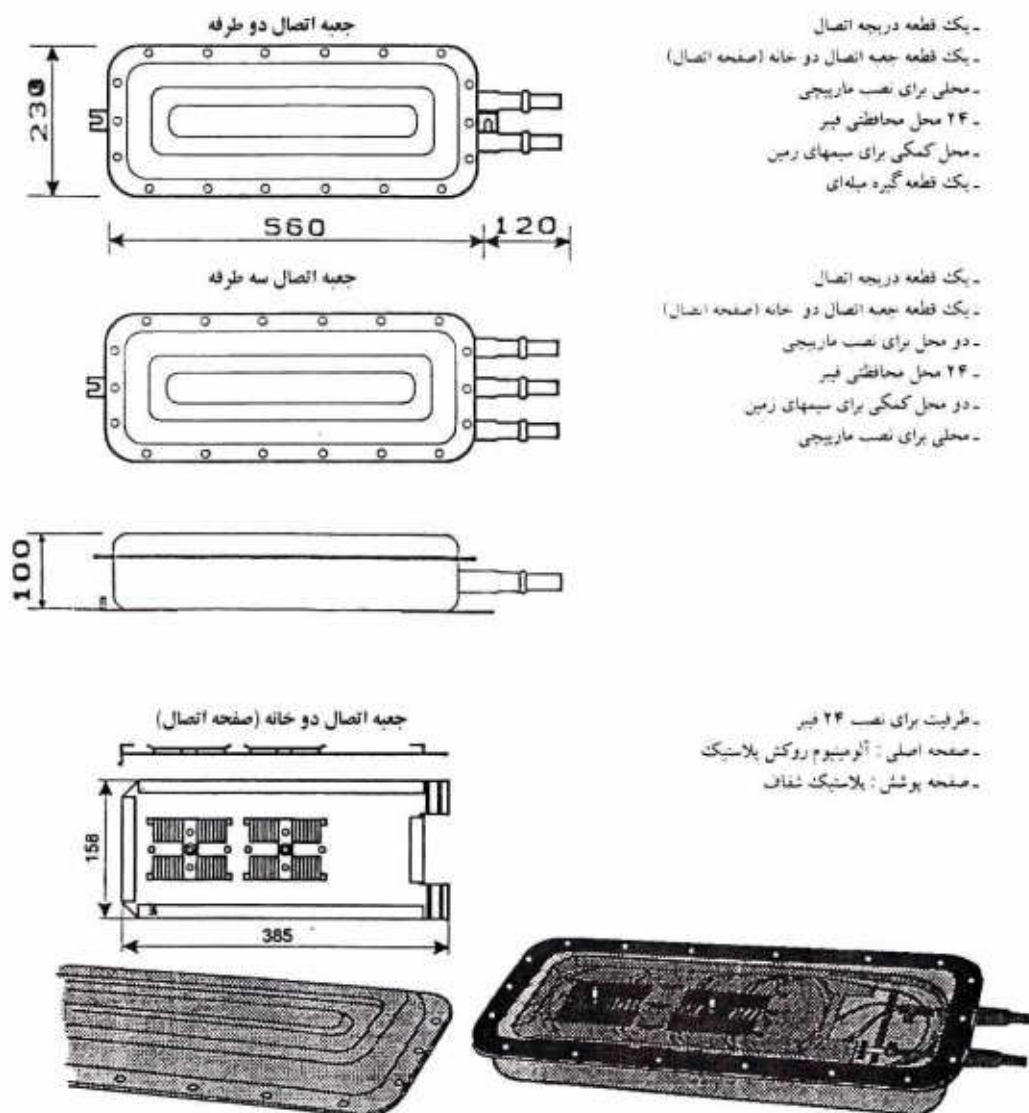




شکل ۴-۳: محل و چگونگی قرار گرفتن جعبه اتصال بر روی برج



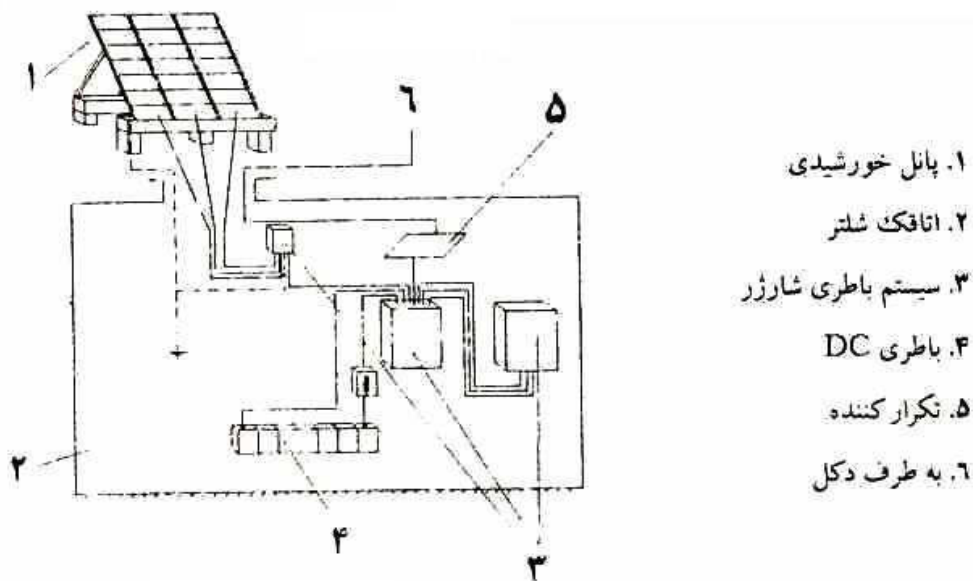
نمونه‌های متفاوتی از جعبه‌های اتصال وجود دارند که از نظر تعداد لوله‌های ورودی برای ظرفیت پیوند فیبرها از یکدیگر تمیز داده می‌شوند. شکل (۴-۴) دو نمونه از جعبه‌های اتصال را که برای تمام فیبرهای نوری جهت نصب در زیرزمین، کانال و تأسیسات هوایی مناسب هستند نشان می‌دهد. ماده سازنده این نوع جعبه اتصالها طبق استاندارد ANSI شماره ۳۱۶ فولاد ضدزنگ و ضداسید می‌باشد.



شکل ۴-۴: جعبه‌های اتصال دو طرفه و سه طرفه

۴-۳- تکرارکننده و پانلهای خورشیدی

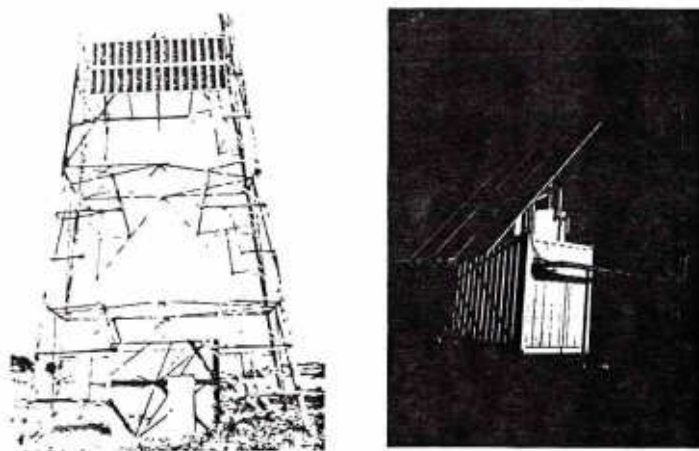
استفاده از فیبرهای نوری، حداکثر طول خط را به حدود ۸۰ کیلومتر (بسته به نوع فیبر) محدود می‌سازد. برای رفع این نقیصه و استفاده از خطوط با طول بیشتر از تکرارکننده‌ها استفاده می‌شود. چون در بیشتر خطوط انتقال امکان استفاده از ولتاژ فشار ضعیف وجود ندارد، از سلولهای خورشیدی بعنوان منبع تغذیه‌کننده استفاده می‌شود. در شکل (۴-۵) شمایی از این سیستم نشان داده شده است.



شکل ۴-۵: شمایی از سیستم تکرارکننده و پانل خورشیدی آن

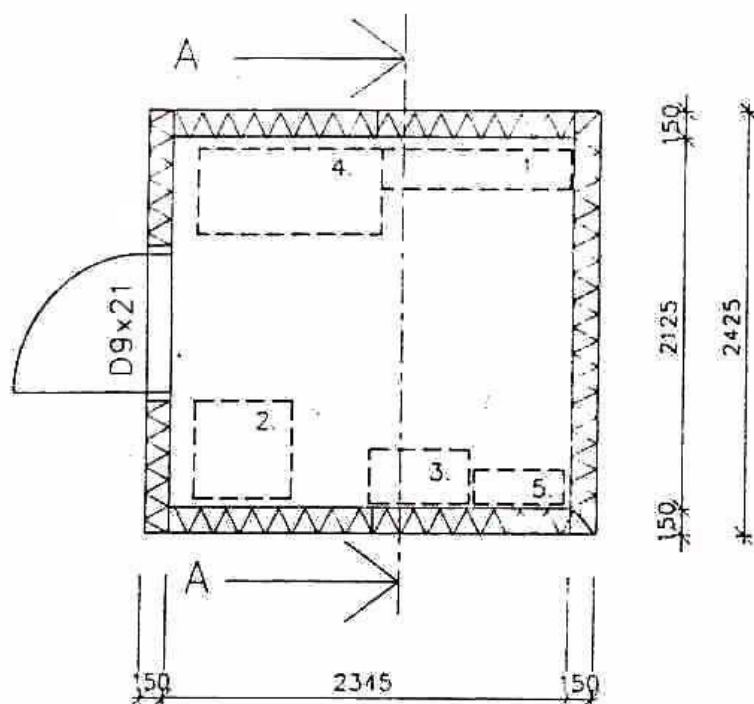
پانلهای خورشیدی قابل نصب بر روی برجهای انتقال و همینطور بر روی اتاقک محافظ (شالتر^۱) می‌باشند و عوامل متعددی در انتخاب پایه مناسب برای پانلهای خورشیدی دخالت دارند که از جمله میتوان قابل دسترس بودن محل، مشخصه ساختمانی محل، آب و هوا و قابل دسترس بودن پانلهای نام برد. بعد از آنکه پایه مشخص شد می‌بایستی وزن آن تعیین گردد. در تعیین وزن می‌بایستی نیروی ناشی از جمع شدن برف روی پانل و همینطور نیروی باد با توجه به انحراف زاویه پانل و وزن خود صفحه خورشیدی نیز لحاظ گردند. شکل (۴-۶) نصب پانل خورشیدی را بر روی برج و اتاقک محافظ را نشان می‌دهد.

1. Shelter



شکل ۴-۶: نصب پانل خورشیدی روی برج و اتاقک محافظ

اتاقکهای محافظ جهت محیطهای نامطلوب و محل های دور از دسترس طراحی گردیده و می توانند روی زمین نصب شوند و یا در مواردی نیز می توانند در زیرزمین قرار گیرند. این اتاقکها دارای محلهای از پیش تعیین شده ای جهت نصب تجهیزات این سیستم می باشند، در شکل (۴-۷) نمای داخل یک نمونه از این اتاقکها نشان داده شده است.



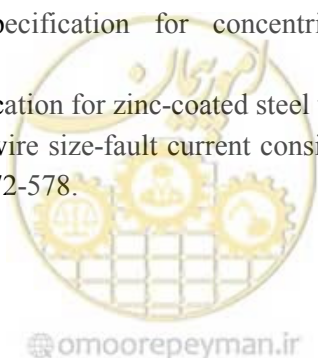
شکل ۴-۷: نمای داخل یک نمونه از اتاقکهای محافظ

باتریهای ذخیره برای فراهم آوردن عملکرد سیستم به طور پیوسته، یا در زمان کاهش قدرت و هنگام تعمیر سلولهای خورشیدی مورد استفاده قرار می گیرند.



منابع و مراجع :

- [1] A. R. Hileman, "Insulation coordination for power systems", marcel dekker publisher, 1999, ISBN : 0-8247-9957-7.
- [2] CIGRE working group 33.01, "Guid to procedures for estimating the lightning performance of transmission lines", "Technical brochure No. 63, Oct.1991.
- [3] IEEE working group on lightning performance of transmission lines, "A simplified method for estimating the lightning performance of transmission lines", IEEE Trans. on PA&S, Apr. 1985, pp. 919-932.
- [4] F. S. Young, J. M. Clayton and A.R. Hileman, "Shielding of transmission lines", AIEEE Trans. 61S, 1951, pp. 132-154.
- [5] G. E. Brown and E. R. Witehead, "Field and analytical studies of Transmission line shielding-II", IEEE Trans. on PA&S, 1969, pp. 617-626.
- [6] E. R. Love, "Improvements on the lightning stroke modeling and application to design of EHV and UHV transmission lines", "M. Sc. Thesis, university of Colorado, 1973.
- [7] IEEE working group, "Estimating the lightning performance of transmission lines II-Updates to analytical models", IEEE Trans. on power delivery, Jul. 1993, pp. 1254-1267.
- [8] A. M. Mousa and K. D. Srivastava, "A Revised electrogeometric model for the termination of lightning strokes on grounded objects", proceedings of international aerospace conference on lightning and static electricity, Oklahoma city, Apr. 1988, pp. 342-352.
- [9] IEEE standard 998-1996, "Guide for direct stroke shielding of substations".
- [10] A. J. Eriksson, "An improved electrogeometric model for Transmission line shielding analysis", IEEE Trans. on power delivery, Jul.1987, pp. 871-886.
- [11] A. J. Eriksson, "The incidence of lightning strike to Transmission lines", IEEE Trans. on power delivery, Jul.1987, pp. 859-870.
- [12] J. G. Anderson, "Lightning performance of Transmission lines", chapter 12 of Transmission line reference book, palo alto CA : Electric power research institute.
- [13] C. F. Wagner and A. R. Hileman, "The lightning stroke-II", A IEEE Trans. on PA&S, Oct. 1961, pp. 622-242.
- [14] R. Lindholm, "Induced over voltages on transmission lines and their bearing on the lightning performance of medium voltage networks", diploic gotebery, gthenburg, Sweden, 1955, also see Trans. of Chalmers university of technology (gothenberg, Sweden), 188, 1957, pp.1-17.
- [15] S. Rusck, "Induced lightning over voltage on power transmission lines with special reference to over voltage protection of low voltage networks", Trans. of Royall institute of technology (Stockholm, Sweden), 120, 1958.
- [16] C. F. Wagner, "The relation between stroke current and the velocity of the return stroke", IEEE Trans. on PA&S, Oct. 1963, pp. 609-617.
- [17] "Transmission line reference book 345KV and above", published by EPRI, 3412 Hillview avenue, palo alto, CA 94304, 1979.
- [18] ASTM B416-93, "Standard specification for concentric-lay-stranded aluminum-clad steel conductors", 1993.
- [19] ASTM A475-95, "Standard specification for zinc-coated steel wire strand", 1995.
- [20] S. R. Lambert, "Minimum shield wire size-fault current considerations", IEEE Trans. on PAS, vol. PAS 102, No. 3, March 1983, pp. 572-578.



- [21] L. M. Popovice, "Practical method for evaluating ground fault current distribution in station, towers and ground wires", IEEE Trans. on power delivery, Vol. 13, No.1, January 1998, pp. 123-128.
- [22] F. Dawalibi, G. B. Niles, "Measurements and computations of fault current distribution on overhead transmission lines", IEEE Trans. on PAS, Vol. PAS, No. 3, March 1984, pp. 553-560.
- [23] "Current carrying capacity of skywires", Ontario hydro research quarterly, fourth quarter, 1965.
- [24] R. Kimata, K. Yoshida, T. A. Schehade, Dr. L. Varga, Dr. O. Gunter, "Development of an application program to calculate short circuit temperature rise in OPGW", Furukaw review No. 18, 1999, pp. 45-50.



خواننده گرامی

دفتر نظام فنی اجرایی معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور با گذشت بیش از سی سال فعالیت تحقیقاتی و مطالعاتی خود، افزون بر چهارصد عنوان نشریه تخصصی- فنی، در قالب آیین‌نامه، ضابطه، معیار، دستورالعمل، مشخصات فنی عمومی و مقاله، به صورت تالیف و ترجمه، تهیه و ابلاغ کرده است. نشریه حاضر در راستای موارد یاد شده تهیه شده، تا در راه نیل به توسعه و گسترش علوم در کشور و بهبود فعالیت‌های عمرانی به کار برده شود. فهرست نشریات منتشر شده در سال‌های اخیر در سایت اینترنتی <http://tec.mporg.ir> قابل دستیابی می‌باشد.

دفتر نظام فنی اجرایی



این نشریه

با عنوان «مشخصات فنی عمومی و اجرایی
پست ها، خطوط فوق توزیع و انتقال -
سیستم حفاظت از صاعقه در خطوط هوایی
انتقال نیرو» جلد اول از مجموعه دو جلدی
است. در این مجلد مباحث مربوط به نیازهای
عمومی انواع هادی های مورد مصرف،
مشخصات فنی و آزمون های استاندارد سیم
های محافظ معمولی و OPGW ، بسته بندی و
نصب هادی ها، و نمونه مدارکی که
پیشنهاد دهندگان و پیمانکاران باید ارائه دهند
به دو زبان فارسی و انگلیسی تصریح شده است.

