

هادی‌های هوایی روکش دار و نتایج حاصل از تولید نیمه صنعتی

مهرداد طرفدار حق^(۱)، سید محمد سید قیاسی^(۲*)، مجید مستوفی سرکاری^(۲)، فرهاد فرنام^(۲)

گروه مهندسی برق قدرت - دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر دانشگاه تبریز^(۱)
شرکت تولیدی سیم و کابل تبریز (سیمکات)^(۲)

واژه‌های کلیدی: شبکه‌های توزیع فشار متوسط، هادی روکش دار، عایق XLPE

چکیده

این مقاله ضمن مرور ویژگیهای بکارگیری هادیهای هوایی روکش دار در شبکه فشار متوسط توزیع به ارائه نتایج آزمایشگاهی حاصل از تولید نیمه صنعتی این نوع از هادیها با استفاده از روش وینیل سیلان می پردازد. مهمترین مشخصات الکتریکی و مکانیکی این هادیها معرفی شده و همچنین روشهای رایج تولید آنها بررسی می گردد. ضمن ارائه مدل حرارتی هادیهای هوایی روکش دار، جریان مجاز آنها محاسبه شده و دلایل افزایش جریان نامی آنها نسبت به هادیهای لخت بیان می گردد. نتایج حاصل از تولید هادی مذکور با استانداردهای رایج مقایسه و کارآئی روش اجرا شده به اثبات می رسد.

۱- مقدمه

انرژی الکتریکی لازمه زندگی مدرن است. امروزه مصرف انرژی الکتریکی با میانگین رشد سالانه ۲/۴٪ مواجه است. این عدد در کشورهای آسیایی در حال توسعه در حدود ۲/۷٪ است. نکته جالب اینکه با این وجود هنوز ۱/۶ میلیارد نفر در دنیا بدون انرژی الکتریکی زندگی می کنند و این عدد تا سال

۲۰۲۰ ممکن است به ۲ میلیارد نفر برسد [۱]. اعداد مذکور دلایل سرمایه گذاری های کلان کشورهای مختلف را جهت تأمین، انتقال، توزیع و کنترل انرژی الکتریکی توجیه می نماید. متأسفانه مشکلات بهره برداری از انرژی الکتریکی صرفاً به تأمین آن محدود نمی گردد. امروزه استفاده کنندگان انرژی الکتریکی انتظار دارند تداوم انرژی رسانی از طریق افزایش قابلیت اطمینان شبکه های برق (Reliability) و همچنین کیفیت توان (Power Quality) توسط تأمین کنندگان انرژی حفظ شود.

گرچه در مورد افزایش قابلیت اطمینان، مباحث مختلفی همچون روشهای زمین کردن [۲]، حفاظت های پیشرفته [۳]، ذخیره سازهای انرژی [۴]، جایابی بهینه تجهیزات [۵] و غیره مطرح می باشد اما باید توجه داشت در این خصوص، افزایش قابلیت اطمینان شبکه های انتقال به ویژه توزیع انرژی الکتریکی می تواند مهمترین نقش را داشته باشد. در واقع شبکه های هوایی توزیع انرژی الکتریکی به دلیل گستردگی و نزدیکی به مشترکین، عبور از مناطق داخل شهری، باغات، مراتع و جنگل ها، ارتفاع زیاد نسبت به سایر تاسیسات، اثرات

بیستین کنفرانس بین‌المللی برق

۳- امکان کاهش خسارات ناشی از آزادسازی حریم خطوط (Way-Leave Corridor)

۴- افزایش قابلیت اطمینان شبکه بویژه در یک بازار برق رقابتی

۵- حفظ ایمنی تجهیزات و استفاده کنندگان

۶- حفظ محیط زیست از طریق کاهش شاخه زنی، قطع درختان و جلوگیری از مرگ و میر پرندگان

۷- کاهش نشتی برق و برق دزدی

۸- کاهش هزینه های نگهداری خط

۹- افزایش امکان تعمیرات دوره ای و پیش بینی شده

۱۰- کاهش ابعاد کراس آرماها و در نتیجه کاهش گشتاور و افزایش زیبایی محیط

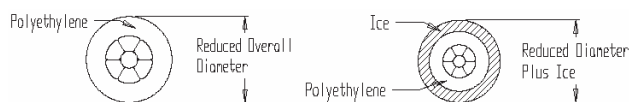
۱۱- امکان استفاده از میزان قابل توجهی از تکنیکها، ابزارآلات و تجربیات نصب خطوط رایج در احداث

خطوط هوایی روکش دار

۱۲- افت ولتاژ کمتر

۱۳- خاصیت خازنی بیشتر

هادی هوایی روکش دار ازدو قسمت هادی و روکش تشکیل می شود. از نظر امکان تولید، قسمت هادی می تواند شامل انواع هادیهای رایج مانند ۱ACSR، ۲AAC، ۳AAAC، ۴ACAR، ۵ACSR /AW باشد. هادیها عموماً بصورت گریس اندود هستند تا از نفوذ احتمالی آب به داخل هادی جلوگیری شود. ضمناً هادیها را می توان بصورت فشرده (Compact) تولید نمود که مزایائی همچون وزن و سطح باد خور و همچنین توزیع بهتر حرارت در داخل هادی را در پی خواهد داشت (شکل ۱).



شکل (۱) هادی هوایی روکش دار و بکارگیری هادی فشرده در آن

1. Aluminum Conductor Steel Reinforced
2. All Aluminum Conductor
3. All Aluminum Alloy Conductor
4. Aluminum Conductor Alloy Reinforced
5. Aluminum Clad/ Alumoweld (AW)

عوامل طبیعی و عوامل مشابه نقش عمده ای در تداوم انرژی رسانی به مشترکین دارند. بروز اتصال کوتاه های موقت و دائمی بین فاز و فاز و زمین که عموماً ناشی از برخورد شاخه درختان با خطوط است و منجر به قطعی برق موقت یا بلند مدت می گردد مهمترین مشکل بهره برداری از شبکه های هوایی توزیع فشار متوسط و فشار ضعیف است.

با استفاده از هادیهای هوایی عایق شده می توان مشکلات مذکور را حل نمود. سه نوع رایج خطوط هوایی توزیع با هادیهای عایق شده عبارتند از:

۱- کابل خود نگهدار Self - Supporting Cable که به آن کابل به هم پیچیده هوایی Aerial Bounded Cable (ABC) نیز می گویند.

۲- کابل فاصله دار Spacer Cable

۳- هادی(هوایی) روکش دار Covered Conductor (CC)

استفاده از انواع خطوط هوایی با هادیهای عایق شده از سال ۱۹۸۴ (بیش از بیست سال قبل) در کشورهای پیشرفته آغاز گردیده اما متأسفانه بنظر می رسد قابلیت های این نوع از خطوط در داخل کشور چندان شناخته شده نیست. این مقاله ضمن معرفی اجمالی ویژگیهای های هادیهای هوایی روکش دار به ارائه و تحلیل نتایج حاصل از تولید این نوع از هادیها که با استفاده از امکانات تولیدی و آزمایشگاهی شرکت سیم و کابل تبریز (سیمکات) جهت استفاده در ولتاژ 20 KV به انجام رسیده است می پردازد. روش تولید بر اساس ونیل سیلان بوده است و بطوریکه مولفین مطلع هستند این روش برای اولین بار در سطح کشور جهت تولید هادیهای هوایی روکش دار بکار برده شده است. با توجه به اهمیت بکارگیری این نوع از هادیها در خطوط توزیع فشار متوسط کشور، نتایج این تحقیق مهم بنظر می رسد.

۲- هادی هوایی روکش دار

بطور کلی با بکارگیری هادی های هوایی روکش دار

می توان به مزایای زیر دست یافت [۶ و ۷]:

- ۱- کاهش قطعی های کوتاه مدت و بلندمدت انرژی الکتریکی
- ۲- کاهش انرژی های توزیع نشده

بیستمین کنفرانس بین‌المللی برق

از نظر هزینه‌های احداث، هزینه سرمایه‌گذاری اولیه خطوط روکش‌دار حدود ۸٪ بیشتر از هادیهای لخت می‌باشد در حالیکه کل هزینه شامل سرمایه‌گذاری و بهره‌برداری از خط روکش‌دار (با در نظر گرفتن انرژیهای توزیع نشده و بدون احتساب صرفه‌جویی ناشی از کاهش شاخه‌زنی) ۸۰٪ خطوط با هادیهای لخت در طی ۳۰ سال عمر مفید این نوع از خطوط می‌باشد.



شکل ۲- هادی هوایی روکش‌دار CC



شکل ۳- هادی هوایی با روکش ضخیم CCT

۳- روکش XLPE و روش‌های کراس‌لینک (شبکه‌ای) نمودن پلی‌اتیلن

عایق XLPE برای اولین بار در سوئد و نروژ و در حدود سال ۱۹۶۰ تولید گردید. این عایق به روش پخت یا کراس‌لینک کردن تولید می‌شود. نقطه کار حرارتی آن $90^{\circ}C$ بوده و یک عایق غیر هالوژنه است و هنگام سوختن فاقد گازها و بخارات سمی می‌باشد. مقاومت ویژه XLPE در حدود $10^{16} \Omega.cm$ بوده و در مقابل اسیدها، روغن‌ها و گاز ازن دارای مقاومت بسیار مناسب می‌باشد. این عایق نیز مشابه PE دارای خاصیت خاموش نمودن شعله به صورت خودی نیست. رنگ آن به دلیل اضافه نمودن کربن مشکی که خاصیت مقاومت در مقابل اشعه ماورا بنفش دارد به رنگ

جنس روکش در ولتاژ فشار متوسط عموماً از پلی‌اتیلن کراس‌لینک XLPE می‌باشد اما استفاده از پلی‌اتیلن دانسیته پایین LDPE^۱ و پلی‌اتیلن دانسیته بالا HDPE^۳ نیز امکان پذیر است. با توجه به نوع روکش، هادیهای روکش‌دار را به دو نوع زیر می‌توان تقسیم نمود:

۱- هادی روکش‌دار (متعارف) Covered Conductor (CC)

۲- هادی با روکش ضخیم Full Thickness Covering (CCT)

شکلهای (۲) و (۳) این هادیها را نشان می‌دهند.

ضخامت روکش در نوع متعارف برای تمام رده‌های ولتاژ تا ۳۳kV ثابت و در حدود دو میلیمتر می‌باشد. این نوع از هادیها فقط میتوانند برخوردهای غیر دائمی (و متناوب) بین فازها یا فاز و زمین را تحمل کنند. هادی با روکش ضخیم دارای یک روکش خارجی از جنس HDPE بوده و XLPE در جداره داخلی بعنوان عایق عمل کرده و برای هر سطح ولتاژ ضخامت آن متفاوت است. این هادی تحمل برخورد و یا تماس طولانی مدت بین فازها و یا فاز و زمین را دارد. بررسیهای انجام شده نشان داده است که مشخصات الکتریکی عایق تا اندازه بسیار کمی در طی زمان تحت تاثیر شرایط محیط قرار می‌گیرد که این موضوع گرچه در اکثر موارد چندان مهم نیست اما در صورت نیاز در هر منطقه باید جداگانه بررسی شود [۱۰].

باید توجه داشت که لمس این نوع از هادیها امن نبوده، خطر برق‌گرفتگی داشته و مجاز نمی‌باشد و این موضوع باید دقیقاً به اطلاع برقکاران و سایر افراد مرتبط رسانده شود. در واقع تمام استانداردهای حفاظت فردی مانند OSHA و NESG حریم‌های خطوط روکش‌دار را در مناطق شلوغ مشابه هادیهای لخت تعیین کرده است. بدین ترتیب کاهش حریم که از نظر صرفه‌جویی اقتصادی بسیار مهم است صرفاً بدلیل کاهش فاصله بین فازها به جهت روکش‌دار بودن آنها می‌باشد.

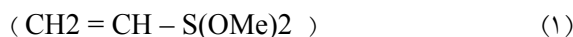
- 1 . Cross Linked Polyethylene
- 2 . Low Density PE
- 3 . High Density PE

بیستیمین کنفرانس بین‌المللی برق

تحت شرایط ویژه انجام می‌پذیرد به نحوی که مراحل اکستروژن و کراسلینک روکش در یک مرحله و بطور پیوسته صورت می‌گیرد. چنین فرآیندی فقط در اکسترودرهای CCV میسر می‌باشد. باید توجه داشت که روش پراکسید عموماً دارای سرعت تولید کمتر و ضایعات بیشتر نسبت به سایر روشهای رایج می‌باشد اما امکان تولید عایقهای کابل برای ولتاژهای فشار قوی نیز با استفاده از آن میسر است.

۳-۲- روش ونیل سیلان

در این روش بمنظور شبکه‌ای کردن پلی‌اتیلن از ماده ونیل سیلان استفاده می‌شود. ونیل سیلان یک ماده شیمیایی با فرمول زیر می‌باشد.



ونیل سیلان به‌مراه مواد پراکسید و سایر افزودنی‌ها در داخل اکسترودر مخلوط شده و در مرحله اول، فرآیند اکستروژن مواد فوق روی هادی صورت می‌پذیرد. در مرحله دوم هادی روکش‌دار تولید شده در اتاقک‌های بخار و در سیکل زمانی مشخصی نگهداری می‌شود. در این مرحله است که فرآیند کراسلینک پلی‌اتیلن در اثر فعل و انفعالات شیمیایی انجام گرفته و محصول نهایی حاصل می‌شود. در روش فوق مولکول ونیل سیلان با ایجاد پیوندهای عرضی باعث شبکه‌ای شدن زنجیرهای پلی‌اتیلن می‌شود.

۳-۳- تابش بتا

در روش فوق از هیچ ماده افزودنی استفاده نمی‌شود بلکه بمباران الکترونی پلی‌اتیلن باعث شکستن پیوند هیدروژن کربن گردیده و با آزاد شدن گاز هیدروژن، پلی‌اتیلن شبکه‌ای بوجود می‌آید. این امر بکمک دستگاههای تابش الکترونی با انرژی بالا و غلظت خاص صورت می‌پذیرد. فرآیند فوق در مرحله دوم پس از اکستروژن مواد پلی‌اتیلن روی هادی انجام می‌گیرد.

مشکی بوده و خاصیت دفع حرارت آن نیز قابل توجه است. این روکش از نوع گرما سخت است یعنی شکل آن بر اثر گرما تغییر نمی‌کند. امروزه با توجه به خواص مناسب XLPE در محیط‌های باز استفاده از آن در خطوط هوایی توزیع و در محدوده ولتاژهای زیاد در حال گسترش است. لازم به ذکر است در هادیهای هوایی روکش‌دار فشارضعیف برای خطوط توزیع شهری، پلی‌اتیلن خطی نیز بعنوان یک روکش مناسب می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

سه روش عمده برای شبکه‌ای کردن پلی‌اتیلن بکار می‌رود که عبارتند از:

۱- روش پراکسید

۲- تابش بتا

۳- روش ونیل سیلان

هر سه روش فوق موجب اتصال رشته‌های پلی‌اتیلن به هم و ایجاد پلی‌اتیلن کراس لینک شده می‌گردد (شکل ۴). در ادامه، به توضیح اجمالی هر کدام از روشهای مذکور خواهیم پرداخت.



پلی اتیلن

پلی اتیلن کراس لینک شده

شکل ۴- مولکول پلی‌اتیلن و نوع کراس لینک شده آن

۳-۱- روش پراکسید

عامل شبکه‌ای شدن در این روش، وجود مواد پراکسید در پلی‌اتیلن می‌باشد. پراکسیدها مواد شیمیایی هستند که در اثر حرارت فعال شده و باعث اتصال دو پلیمر می‌شوند در خصوص پلی‌اتیلن نیز، اتصالات ایجاد شده در اثر وجود ماده پراکسید و در محدوده دمایی 180 - 220 درجه سانتیگراد منجر به ایجاد فرآیند کراسلینک و نهایتاً بوجود آمدن XLPE می‌شود. این فرآیند بلافاصله پس از اکستروژن مواد PE روی هادی در داخل تیوب مخصوص و

بیستین کنفرانس بین‌المللی برق

۴- مقایسه روشهای کراسلینک

روش پراکسید نیاز به اکسترودرهای CCV دارد که این امر سرمایه‌گذاری اولیه بالایی را می‌طلبد و از طرف دیگر سرعت تولید پایین و ضایعات بالا از دلایل اصلی بالا بودن قیمت تمام شده هادیهای روکش‌دار در این روش می‌باشد. هر چند یک مرحله‌ای بودن فرآیند تولید از مزایای روش فوق بحساب می‌آید.

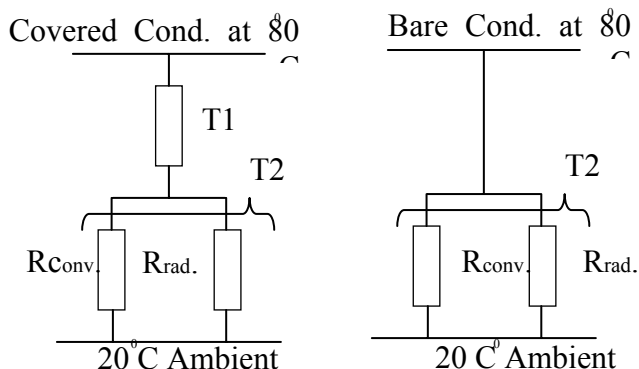
میزان سرمایه‌گذاری در تابش بتا از سایر روش‌ها بیشتر بوده و ممکن است محصولات بمنظور قرار گرفتن در معرض تابش به یک فضای خاص با امکانات ویژه انتقال یابند به همین دلیل است که حتی در کشورهای پیشرفته (نظیر آمریکا که از پیشتانان این روش می‌باشد) نیز طرفداران چندانی ندارد و روش مقرون به صرفه‌ای نمی‌باشد.

روش ونیل سیلان در مقایسه با سایر روشها مشکلات کمتری دارد و یکی از مهمترین مزایای این روش، امکان بکارگیری اغلب اکسترودرها و سادگی فرآیند آن می‌باشد. سرعت بالا و حداقل ضایعات بوجود آمده از اهم دلایل قیمت تمام شده پایین در هادیها روکش‌دار تولید شده می‌باشد. بر اساس اطلاعات فوق، روش ونیل سیلان جهت تولید هادیهای هوایی روکش‌دار فشار متوسط در این پژوهش انتخاب و بعنوان روش اقتصادی به مرحله عمل در آمد. در ادامه، پس از محاسبه جریان نامی هادی هوایی روکش‌دار و مقایسه آن با هادیهای لخت رایج، نتایج آزمایشگاهی حاصل از تولید این محصول ارائه خواهد شد.

۵- مقایسه جریانهای مجاز در هادیهای لخت و روکش‌دار هوایی

عبور جریان از هادی موجب اتلاف الکتریکی می‌گردد. این اتلاف بصورت گرما در هادیها پدیدار می‌شود. تعیین گنجایش جریان هر هادی بستگی به فرآیندی دارد که گرمای ایجاد شده را تا رویه بیرونی هادی رسانده و سپس آنرا در پیرامون هادی پخش می‌کند. در مورد هادیهای لخت، گرمای ایجاد شده در هادی مستقیماً در محیط پیرامون پراکنده می‌شود. در هادیهای روکش‌دار، وجود روکش XLPE موجب

تغییر مدار معادل حرارتی می‌گردد. مدار معادل حرارتی هادیهای لخت و روکش‌دار در شکل ۵ مشاهده می‌شود.



(الف) هادی لخت (ب) هادی روکش‌دار
(شکل ۵) مدار معادل حرارتی

در این شکل داریم:

$$T1 = \text{مقاومت حرارتی روکش } \text{K.m}^2/\text{W}$$

$$T2 = \text{مقاومت حرارتی سطح هادی (از طریق کنوکسیون و همرفتی)}$$

$$R_{\text{conv}} = \text{مقاومت حرارتی همرفتی یا کنوکسیون}$$

$$R_{\text{rad}} = \text{مقاومت حرارتی تابش یا تشعشع}$$

در هادیهای لخت گرمای تولید شده توسط جریان عبوری از هادی مستقیماً از سطح هادی به صورت کنوکسیون و تابش دفع می‌گردد. ولی در هادی روکش‌دار گرمای ایجاد شده از طریق روکش به سطح بیرون هادی می‌رسد و آنگاه به طریق کنوکسیون و تشعشع به محیط بیرون هدایت می‌شود. جهت مقایسه جریان مجاز هادیها، دمای ۸۰ درجه را برای سطح هادیهای لخت و روکش‌دار و دمای ۲۰ درجه سانتیگراد را برای محیط خارج از هادی انتخاب می‌کنیم. مقدار جریان مجاز هادی توسط رابطه (۲) محاسبه می‌شود. در این رابطه داریم:

$$R_T = \text{مقاومت اهمی هادی در دمای کار } ۸۰ \text{ درجه}$$

$$\Delta\theta = \text{اختلاف دمای هادی با محیط بیرون}$$

$$i = \sqrt{\frac{\Delta\theta}{(T1 + T2)R_T}} \quad (۲)$$

بیستین کنفرانس بین‌المللی برق

θ_2 = دمای سطح هادی لخت روکش دار بر حسب کلونین

θ_1 = دمای هادی لخت روکش دار بر حسب کلونین

Ke = ضریب انتشار سطح هادی یا کابل نسبت به جسم سیاه

Ke را برای هادی لخت ۰,۶ و برای روکش دار بعلت

مشکی بودن آن ۰,۹۵ در نظر می‌گیریم).

بمنظور محاسبه P_{sol} ، توان جذب شده از انرژی خورشیدی

از رابطه (۷) استفاده می‌کنیم.

$$P_{sol} = \gamma \cdot S \cdot D \quad (۷)$$

در این رابطه داریم:

$$D = \text{قطر هادی } m$$

$$S = \text{شدت تابش اشعه خورشیدی } W/m^2$$

$$\gamma = \text{ضریب جذب اشعه خورشید}$$

در محاسبات فوق به پارامتر θ_2 یعنی دمای سطح بیرونی

های نیاز خواهیم داشت. این مقدار برای هادیهای لخت

برابر مقدار دمای کار هادیست ولی محاسبه دمای سطح

روکش برای هادیهای روکش دار بر اساس استاندارد

IEC60587 به صورت زیر می‌باشد.

$$\Delta\theta_s^{1/4} = \left[\frac{\Delta\theta + \Delta\theta_{ds}}{1 + K_A (\Delta\theta_s)^{1/4}} \right]^{0.25} \quad (۸)$$

در این رابطه داریم:

$$\Delta\theta_s = \text{اختلاف دمای بین سطح روکش با محیط}$$

n شماره تکرار

$\Delta\theta$ اختلاف بین θ_1 و θ_2

مقدار K_A از رابطه (۹) تعیین می‌شود.

$$K_A = \pi D h T_1 \quad (۹)$$

که در آن داریم:

$$h = 0.21 / D^{0.6} + 3.94$$

مقدار $\Delta\theta_{ds}$ نیز از رابطه (۱۰) قابل حصول است.

$$\Delta\theta_{ds} = P_{sol} \cdot T_1 = \gamma \cdot S \cdot D \cdot T_1 \quad (۱۰)$$

مقدار مقاومت حرارتی روکش T_1 ، توسط رابطه (۷)

بدست می‌آید. در این رابطه داریم:

$$T_1 = \frac{\rho}{2\pi} \int_{d/2}^{D/2} \frac{dr}{r} = \frac{\rho}{2\pi} \ln \left(1 + \frac{2t}{d} \right) \quad (۳)$$

T_1 = مقدار مقاومت حرارتی روکش

d = قطر هادی

D = قطر هادی روکش دار

t = ضخامت روکش

ρ مقاومت ویژه حرارتی روکش

(لازم به ذکر است در هادیهای لخت هوایی بدلیل نبودن

روکش $T_1 = 0$ می‌باشد).

مقدار T_2 از رابطه (۴) قابل حصول است.

$$T_2 = \frac{\Delta\theta}{P_{conv} + P_{rad} - P_{sol}} \quad (۴)$$

در این رابطه داریم:

$\Delta\theta$ = اختلاف دمای هادی با محیط

P_{conv} = توان دفع شده از طریق همرفتی یا کنوکسیون

P_{rad} = توان دفع شده از طریق تابش یا تشعشع

P_{sol} = توان جذب شده از انرژی خورشیدی

مقادیر P_{conv} , P_{rad} , P_{sol} به ترتیب از روابط (۵) الی

(۷) حاصل می‌گردد.

$$P_{conv} = 0.2585 \pi (0.65 R_e^2 + 0.23 R_e^{0.61}) (\theta_2 - \theta_1) \quad (۵)$$

$$R_e = 1.64 \times 10^9 V \cdot D [\theta_1 + 0.5(\theta_2 - \theta_1)]^{-1.78}$$

که در آن داریم:

θ_2 = دمای سطح هادی بر حسب کلونین

θ_1 = دمای محیط بر حسب کلونین

V = سرعت باد m/s

D = قطر هادی m

بمنظور محاسبه P_{rad} از رابطه (۶) استفاده می‌شود.

$$P_{rad} = 5.67 \times 10^{-8} \pi \cdot D \cdot K_e (\theta_2^4 - \theta_1^4) \quad (۶)$$

در این رابطه داریم:

بیستین کنفرانس بین‌المللی برق

مواد PE و PVC بر طبق استاندارد IEC 60287 به ترتیب ۰,۶، ۰,۴ و ۰,۴ می باشد. و ضریب جذب اشعه خورشید برای هادیهای آلومینیومی و آلومینیوم آلیاژی (آنگونه که در استاندارد IEC 1597 ذکر شده) ۰,۵ است. با در نظر گرفتن شدت اشعه خورشید معادل $s=1000 \text{ W/m}^2$ و با ملاحظه نمودار شکل (۸) مشاهده می شود که مقدار جذب گرمائی خورشید در هادیهای روکش دار اندکی بیشتر از هادیهای لخت است ولی مقدار این افزایش در مقابل حرارتی که از طریق تابش و کنوکسیون دفع می شود ناچیز و قابل صرف نظر کردن است.

شکل (۹)، مقاومت حرارتی هادیهای روکش دار و لخت را در اندازه های مختلف نشان می دهد. مقدار مقاومت حرارتی در استاندارد IEC 60287 برای PE و PVC به ترتیب ۳,۵ و ۵ می باشد. یعنی روکش PE (یا XLPE) نسبت به روکش PVC مقاومت حرارتی کمتری دارد و بخوبی گرما را انتقال می دهد که این موضوع یک مزیت مهم PE و XLPE نسبت به PVC به شمار می آید. بدیهی است، کم بودن مقاومت حرارتی باعث انتقال حرارتی بیشتر و افزایش جریان مجاز هادیها می شود.

شکل (۱۰) جریانهای مجاز هادیهای روکش دار و لخت را مقایسه می کند. در محاسبه جریان مجاز مقادیر زیر برای پارامترها فرض شده است.

شدت اشعه خورشید S، معادل	1000 W/m^2
ضریب جذب اشعه خورشید	$\gamma=0.4$
ضریب تشعشع، K_e معادل	۰,۹۵
سرعت باد V معادل	0.6 m/s
مقاومت حرارتی XLPE معادل	3.5 K.m/w
دمای کار هادی	$80 \text{ }^\circ\text{C}$
دمای محیط	$20 \text{ }^\circ\text{C}$

برای شروع محاسبات تکراری برای تعیین $\theta_2, \theta_0^{1/4} = 2, \Delta\theta_s$ در نظر می گیریم و سپس محاسبه $(\Delta\theta_s)_{n+1}^{1/4}$ را تا جایی ادامه می دهیم که در رابطه زیر مقدار ε از یک مقدار از پیش تعیین شده کمتر باشد.

$$(\Delta\theta_s)_{n+1}^{1/4} - (\Delta\theta_s)_n^{1/4} < \varepsilon \quad (11)$$

مشخصه شکل (۶) هدایت حرارت از طریق تشعشع را در هادیهای لخت و روکش دار با هم مقایسه می کند. همانطوریکه مشاهده می شود انتقال حرارت از طریق تابش در هادیهای روکش دار نسبت به هادیهای لخت بیشتر است. دلیل این امر این است که در هادیهای روکش دار علیرغم کاهش دمای سطح هادی، قطر هادی افزایش پیدا می کند و علاوه بر آن وجود روکش بعنوان جسم سیاه نقش عمده ای را در انتقال از طریق تابش ایفا می کند. زیرا میزان تشعشع در اجسام سیاه رنگ نسبت به اجسام روشن تر بیشتر است. بنابراین این در مجموع، انتقال حرارت از طریق تابش در هادیهای روکش دار بیشتر صورت می گیرد و موجب خنک کردن هادی می شود.

شکل (۷) انتقال حرارت از طریق همرفتی یا کنوکسیون در هادیهای لخت و روکش دار با هم مقایسه می کند. علیرغم کاهش دمای سطح هادی روکش دار که موجب کاهش انتقال حرارت از طریق کنوکسیون می شود ولی چون قطر هادی افزایش یافته در نتیجه سطح تماس هادی با محیط بیشتر شده و در نهایت انتقال حرارت در هادی روکش دار نسبت به هادی لخت افزایش اندکی را موجب گشته است. میزان سرعت وزش باد 0.6 m/s در نظر گرفته شده است.

شکل (۸) میزان جذب انرژی خورشید را در هادیهای لخت و روکش دار با هم مقایسه می کند. گرمای حاصل از انرژی خورشید در سطح هادیها نقش منفی در انتقال حرارت دارد و موجب افزایش گرمای سطح هادی می گردد. با بررسی رابطه توان جذب شده از خورشید و با ثابت نگه داشتن میزان شدت انرژی خورشید ملاحظه می شود که مقدار انرژی جذب شده به دو عامل ضریب جذب اشعه خورشید (که بستگی به جنس سطح مواد) و قطر هادی دارد. ضریب جذب

بیستمین کنفرانس بین‌المللی برق

۶- نتایج آزمایشگاهی

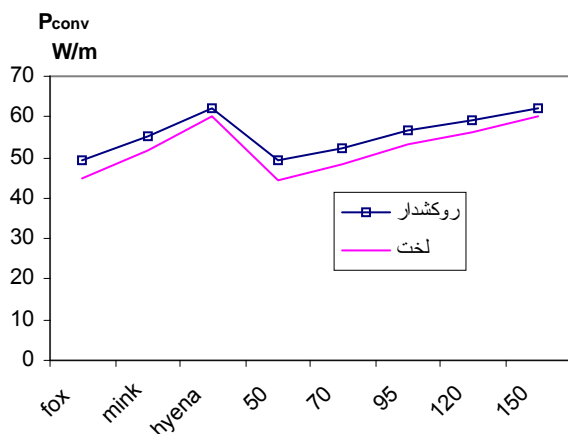
با استفاده از روش ونیل سیلان، نمونه ای از هادیهای هوایی روکش دار که در ولتاژ ۲۰ کیلو ولت قابل بکار گیری است تولید گردید. نمونه تولیدی می بایست شرایط الکتریکی و مکانیکی لازم را طبق شرایط استاندارد داشته باشد [۸ و ۹]. مهمترین آزمونهای الکتریکی (مطابق با استاندارد SFS5791) به شرح زیر می باشند:

الف- آزمون اندازه‌گیری مقاومت الکتریکی

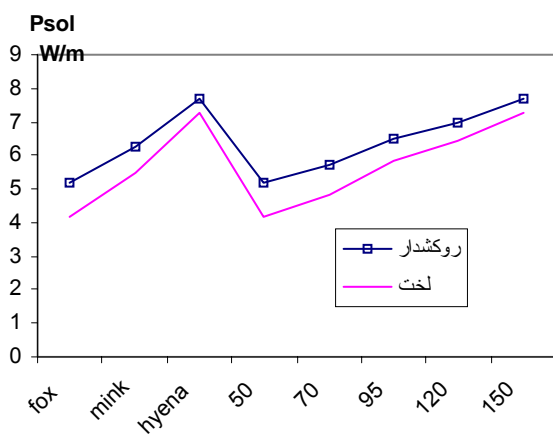
ب- آزمون اندازه‌گیری جریان نشتی

ج- آزمون اعمال ولتاژ AC حالت خشک (روش B)

د- آزمون اعمال ولتاژ AC در آب



شکل (۷) هدایت حرارت از طریق کنوکسیون



شکل (۸) میزان جذب انرژی خورشید

الف- نتایج آزمون اندازه‌گیری مقاومت الکتریکی هادی مطابق با بند 6.1.1 استاندارد SFS5791. به شرح زیر بوده است:

$$L = 9.5 \text{ m} \quad \text{طول هادی} \quad T = 26^\circ\text{C} \quad \text{دمای محیط}$$

$$V = 217 \text{ V} \quad \text{ولتاژ} \quad I = 50 \text{ A} \quad \text{جریان الکتریکی}$$

$$R = \frac{V}{I \times L} \times 1000 = 0.457 \Omega / \text{Km}$$

• حداکثر مقاومت الکتریکی سیم با سطح مقطع

۷۰ mm^۲ مطابق با استاندارد 0.493 Ω / Km

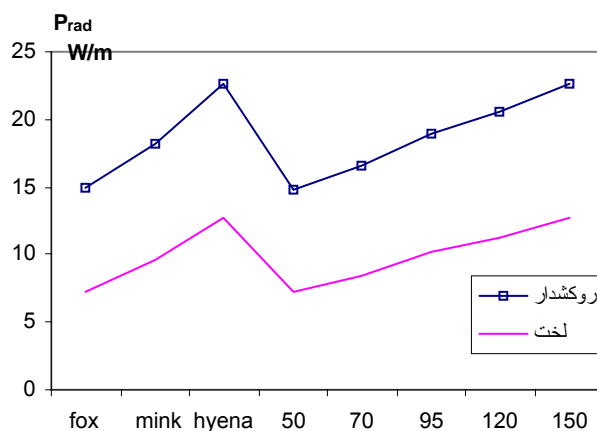
می‌باشد.

ب- نتایج آزمون اندازه‌گیری جریان نشتی مطابق بند 6.1.2

استاندارد SFS5791 به شرح زیر بوده است:

نمونه آماده شده مطابق دستور العمل استاندارد به مدت ۲۴ ساعت در حالت غوطه ور در آب قرار داده شد. پس از تکاندن آب سطحی و در مدت زمان کمتر از ۵ دقیقه، با اعمال ولتاژ 14 kV با فرکانس ۵۰ Hz جریان نشتی بین هادی و الکتروود بیرونی اندازه‌گیری شد میزان جریان نشتی مساوی بود. $I = 218 \mu\text{A}$

* مطابق استاندارد مجموع جریان نشتی و خازنی باید کمتر از ۱ mA باشد.



شکل (۶) هدایت حرارت از طریق تشعشع

بیستمین کنفرانس بین‌المللی برق

افزایش داده شد تا در سطح ولتاژ ۵۰kV عایق روکش دچار شکست الکتریکی گردید.

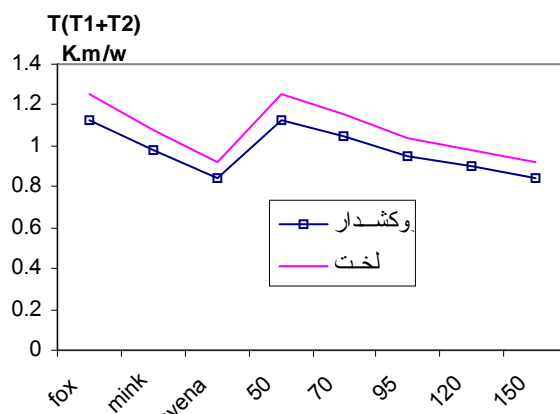
* مطابق با استاندارد ولتاژ شکست می‌بایست بیش از ۲۴kV باشد.

با توجه به نتایج حاصل، مشاهده می‌شود که نمونه تولیدی تمام مشخصات الکتریکی لازم را مطابق استاندارد دارا می‌باشد. هادی تولیدی تحت آزمونهای مکانیکی شامل آزمایش Hot Set و Shrinkage، آزمایشهای ابعادی، آزمایشهای کشش (بدون پیر سازی) و آزمایشهای کشش (با پیر سازی نمونه‌های ساخته شده) قرار گرفته و در تمامی موارد شرایط ذکر شده در استانداردها را داشته است.

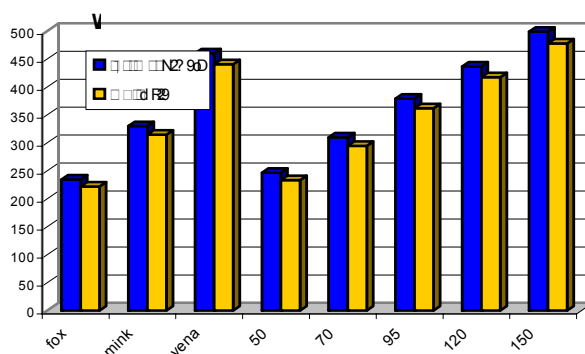
۷- نتیجه گیری

مقاله حاضر ضمن مرور ساختار، انواع و ویژگیهای هادیهای هوایی روکش دار به ارائه نتایج حاصل از تولید نیمه صنعتی این نوع از هادیها می پردازد. مدل حرارتی هادیهای هوایی روکش دار ارائه شده و با استفاده از آن دلیل افزایش جریان نامی این هادیها نسبت به هادیهای لخت بیان شده است. انواع رایج روشهای تولید این هادیها ارائه شده و با توجه به مزایای روش ونیل سیلان، این روش برای تولید نمونه انتخاب شده است. روش اجرا و نتایج حاصل از انجام آزمونهای الکتریکی بر روی نمونه تولید شده ارائه گردیده و نشان داده شده است که مشخصات الکتریکی و مکانیکی نمونه تولید شده با شرایط استاندارد مطابقت می نماید.

با توجه به اهمیت بکار گیری هادیهای هوایی روکش دار به ویژه در ولتاژ فشار متوسط، تولید این نوع از هادیها در داخل کشور بسیار مهم می باشد و نتایج حاصل از مقاله حاضر نشانگر امکان تولید موفقیت آمیز هادیهای مذکور با امکانات داخلی می باشد.



شکل (۹) مقاومت حرارتی



شکل (۱۰) جریان مجاز

ج- نتایج آزمون ولتاژ AC در هوا مطابق بند 6.1.3 استاندارد:

SFS5791 به شرح زیر بوده است:

بین هادی و الکتروود بیرونی که از سیم مس تابیده شده بر روی روکش تشکیل شده بود ولتاژ ۲۴kV با فرکانس ۵۰Hz به مدت ۵ دقیقه اعمال گردید. هیچ گونه اثر ناشی از شکست الکتریکی و یا تخریب مشاهده نگردید.

د- آزمون ولتاژ شکست AC در آب مطابق بند 6.1.4

استاندارد SFS5791 انجام شده و نتایج زیر حاصل گردید

نمونه‌ای از سیم هادی روکش دار به طول ۹/۵ متر پس از یک ساعت غوطه وری در آب، تحت اعمال ولتاژ بین هادی و آب قرار داده شد. ولتاژ آزمون با سرعت بیش از ۰/۵kV/S

۸- مراجع

- [1] Nexans Aerial Bundled Cables (ABC) Guide, www.nexans.com.
- [2] "High Resistance Grounding of Low – Voltage Systems, Standard for the Petroleum and Chemical Industry", J. P. Nelson, P. K. Sen, IEEE Trans. on Ind. Appl., Vol. 35, Issue 4, July- Aug. 1999, pp. 941-948.
- [3] "Repetitive Operation of Three – Phase Super-Conducting Fault Current Limiter in a Model Power System", Y. Shirai, et. al., IEEE Trans. on Applied Superconductivity, Vol. 15, No. 2, June 2005, pp. 2110 – 2113.
- [4] "Energy Storage System to Improve Power Quality and System Reliability", D. Stanton, SCORES, 2002, 16-17 July, 2002, pp. 8-11.
- [5] "Optimal Distributed Generation Allocation in MV Distribution Networks" G. Celli , F. Pilo, 22nd Power Eng. Society Intl. Conf. on Power Ind. Computer Appl., 20-24 May 2004, PP. 81-86.

[۶] کارگاه آموزشی "هادی‌های هوایی روکش دار، نسل جدید خطوط توزیع ایران"، مهرداد طرفدار حق. کریم روشن میلانی، سید محمد سید قیاسی، دهمین کنفرانس شبکه‌های توزیع ایران، ادیبهشت ۸۴ دانشگاه تبریز

[۷] "هادی‌های هوایی روکش دار- نسل جدید خطوط توزیع ایران"، مهرداد طرفدار حق. کریم روشن میلانی، سید محمد سید قیاسی، دهمین کنفرانس شبکه‌های توزیع ایران، ادیبهشت ۸۴، دانشگاه تبریز، صفحه ۶۴-۷۲.

- [8] Standard IEC 60287, SFS 5971, IEC 1597
- [9] "Power Cable & Their Application" Lothar Heinhold
- [10] W. Pinherio, et. Al., "study of Polymeric Material Characteristics on Covered Conductors Used in Brazil", Conf. On Electrical and Dielectric Phenomena, San Francisco, Oct. 1996, pp. 416-419