بسمه تعالی

هفتمین کنفرانس شبکه‌های توزیع نیروی برق

انجمن مهندسین برق و الکترونیک ایران

کد مقاله: DNEQ102

نوع پذیرش : ارائه

بررسی کارآئی هادیهای آلومینیومی در خطوط توزیع نیرو

قدرت‌اله حیدری
شرکت توانیر

مازیار حیدری
دانشگاه صنعتی امیرکبیر

چکیده

متداول‌ترین نوع هادیها مورد استفاده در خطوط انتقال و توزیع نیرو، هادیهای آلومینوم فولاد می‌باشد. دراین نوع هادیها فلسفه استفاده از رشته‌های فولادی افزایش مقاومت مکانیکی آنها می‌باشد.اما این پرسش قابل طرح است، در مواقعی که نیاز به مقاومت مکانیکی بالا نیست آیا ضرورتی برای استفاده از هادیهای آلومینیوم فولاد وجود دارد ؟

در این مقاله مزایای استفاده از هادیهای آلومینیومی خالص در خطوط توزیع مورد بررسی قرار می‌گیرد. بررسیهای انجام شده دراین مقاله نشان می‌دهد در مواردی که طول اسپن کوتاه باشد بکارگیری این نوع هادیها به مراتب موجه‌تر از هادیهای آلومینیوم فولاد می‌باشد .

واژه‌های کلیدی

هادیهای‌آلومینیوم فولاد، هادیهای آلومینیومی، مشخصه هادیها،اسپن‌خط ، خوردگی ،تلفات انرژ ی

۱ - مقدمه

انتخاب مناسب هادیها درخطوط انتقال و توزیع نیرو هوائی می‌تواند نقش بسیار مهمی را در طراحی و بهره برداری بهینه ایفا نماید. ویژگیهای خاص هادیهای آلومینیوم فولاد سبب می‌شوند که در اکثر خطوط هوائی از آنها استفاده شود . این هادیها ضمن اینکه از نظر اقتصادی مقرون به صرفه می‌باشند به دلیل بهره‌گیری از رشته‌های فولادی در کنار رشته‌های آلومینیومی امکان افزایش یا کاهش مقاومت مکانیکی آنها باتوجه به شرایط منطقه نیز میسر می‌باشد.

مزیت بهره‌گیری از رشته‌های فولادی در بافت هادیهای آلومینوم فولاد، ارتقاء مقاومت مکانیکی می‌باشد و طبیعی است در صورت نیاز به تحمل مکانیکی بالا امکان تنظیم آن با افزایش قطر رشته‌های فولادی یا تعداد لایه فولادی در بافت هادیها میسر می‌گردد . در چند ساله اخیر استفاده از تیرهای بتونی در سطوح مختلف ولتاژ از جمله خطوط توزیع رواج زیادی پیدا کرده‌است . این نوع پایه‌ها در کنار مزایای خود معایبی را نیز بهمراه دارند که از جمله می‌توان به پائین بودن تحمل آنها در مقابل نیروهای کششی اشاره نمود . این نقیصه سبب می‌شود تا امکان بهره‌گیری از پایه‌های بتونی در اسپن‌های بلند میسر نگردد . بنابراین با توجه به اینکه با کاهش اسپن عملاً نیازی به هادیهای مقاوم نمی‌باشد ، دراین مقاله مزایای بکارگیری از هادیهای تمام آلومینیوم در خطوط توزیع مورد بررسی قرار می‌گیرد .

۲- ویژگی هادیها

هادیهای متداول در خطوط انتقال نیرو را به صورت رشته‌ای می بافند جنس آنها را می‌توان از انواع مختلف فلزات از جمله مس ، آلومینیوم و فولاد ساخت ، اما در خطوط انتقال نیرو که هدف انتقال انرژی الکتریکی با کمترین هزینه می باشد ، تلاش براین است که آنها را از فلزات یا آلیاژهای مناسبی ساخت که ضمن برخورداری از مشخصات الکتریکی و مکانیکی مناسب از دیدگاه اقتصادی نیز دارای مزیت نسبی باشند .

متداول‌ترین نوع هادیها با ترکیبی از رشته های آلومینیوم با درجه خلوص بالا و رشته‌های فولاد گالوانیزه بافته می‌شوند که رشته‌های فولادی در لایه‌های مرکزی و رشته های آلومینیومی در لایه‌های بیرونی قرار دارند . نقش رشته های فولادی برای ایجاد مقاومت مکانیکی مناسب و رشته‌های آلومینیومی برای افزایش ضریب هدایت هادیها است. کد ACSR که برای نامگذاری این نوع هادی‌ها بکارگرفته می‌شود، از حروف اول کلمات انگلیسی زیر برداشته شده‌است :

ACSR = Aluminum Conductor Steel Reinforced

شاید در بیش از ۹۰ درصد خطوط انتقال نیرو جهان از این نوع هادی استفاده می گردد، این نوع هادی‌ها در مناطق معمولی (غیرآلوده) کاربرد وسیع دارند، لذا برای افزایش طول عمر آنها در مناطق آلوده می توان از انواع مختلف گریس به عنوان محافظ در مقابل خوردگی استفاده نمود ، که بر حسب مورد ممکن است در اطراف رشته های فولادی یا در کلیه لایه ها مصرف گردد . این اقدام سبب کاهش سرعت خوردگی بخصوص نوع گالوانیک می گردد، ضمناً در مصرف گریس باید به این نکته توجه شود که در مناطق گرمسیری یا در مواردی که هادیها برای درجه حرارتهای بالا طراحی می‌شوند ، ممکن است گریس ذوب و از لایه های هادیها خارج گردد و نقش خود را که در حقیقت کاستن سرعت خوردگی هادی‌ها است از دست بدهند، لذا در این مناطق شیوه فوق همواره برای کاهش خوردگی مناسب نیست، بلکه لازم است بجای استفاده از مغزی فولاد گالوانیزه (GS) از مغزی فولادی با روکش آلومینیوم(AS یا AW) استفاده شود. علاوه بر این نوع هادیها می‌توان از سایرانواع هادیهای متداول از جمله AAC و AAAC و ACAR نیز که کد آنها برگرفته از کلمات زیر می‌باشد نیز استفاده نمود.

AAC = All Aluminum Conductor
AAAC = All Aluminum Alloy Conductor
ACAR = Aluminum Conductor Alloy Reinforced

البته با توجه به اینکه هدف این مقاله مقایسه بکارگیری هادیهای AAC بجای هادیهای ACSR/GS می‌باشد، لذاتنها این دیدگاه مورد بررسی قرار می‌گیرد .

۳- مقایسه هادیهای AAC و ACSR

اگر بجای هادیهای ACSR از AAC استفاده شود، ضمن اینکه این اقدام مزایائی را بهمراه دارد، معایب و مشکلاتی را نیز در پیش دارد که به برخی از نکات مهم آن اشاره می‌گردد. ضمناً برای اینکه امکان انجام بررسی فنی بصورت همگن میسر گردد، هادی Hyena از استاندارد BS با هادی Valerian از استاندارد ASTM که دارای مقطع کل برابر می‌باشند مورد مقایسه قرار می‌گیرند، به عبارت دیگر اگر رشته‌های فولادی هادی Hyena به آلومینوم تبدیل شوند، مقاطع کل باهم برابر می‌شوند، ضمناً دیگر مشخصات این دو هادی در جدول(۱) درج گردیده است .

کد یا نام هادی	Hyena	Valerian
استاندارد مورد استفاده	BS-215	ASTM B231
قطررشته‌های‌آلومینیوم، mm	۷×۴/۳۹	۱۹×۲/۹۱۳
قطررشته‌های‌فولاد، mm	۷×۱/۹۳	ندارد
قطر خارجی هادی ، mm	۱۴/۵۷	۱۴/۵۷
مقطع‌آلومینیوم ، mm^2	۱۰۶	۱۲۶/۶
مقطع کل هادی ، mm^2	۱۲۶/۵	۱۲۶/۶
وزن کل هادی kg/km	۴۵۱	۳۴۹
مقاومت مکانیکی، kg	۴۱۸۰	۲۱۰۰
مقاومت‌الکتریکی Ohm/km	۰/۲۷۰۷	۰/۲۲۶۹

جدول (۱)- مشخصات کلی دونمونه از هادی

۳-۱-کاهش مقاومت مکانیکی

مهمترین اشکال تبدیل هادیهای ACSR به AAC کاهش مقاومت مکانیکی هادی می‌باشد و این مطلب موقعی به عنوان یک عیب مطرح می‌باشد، که نیاز به مقاومت مکانیکی بالا باشد. ازآنجا که در بسیاری از خطوط توزیع نیرو از پایه‌های بتونی باتحمل پائین استفاده می‌شود، نیازی به هادیهای مقاوم نمی‌باشد و به عبارت دیگر در مواردیکه اسپن کوتاه یا مقاومت پایه‌ها کم باشد هادیهای ACSR ازاین دیدگاه مزیتی نسبت به هادی AAC ندارند.

۳-۲-کاهش مقاومت الکتریکی

همانطور که جدول(۱) نشان می‌دهد با جایگزینی هادی ACSR بجای هادی AAC مقاومت هادیها از رقم ۰/۲۷۰۷ به ۰/۲۲۶۹ کاهش می‌یابد که نشانگر ۱۹/۳ درصد کاهش در مقاومت الکتریکی هادی می‌باشد که خود به عنوان یک مزیت مطرح می‌باشد.

۳-۳-کاهش تلفات الکتریکی

با تقلیل مقاومت الکتریکی هادی، تلفات الکتریکی در خط انتقال نیز کاهش می‌یابد که در نمونه مورد مطالعه این اقدام سبب می‌شود تا ۱۹/۳ در صد از تلفات الکتریکی خط تقلیل یابد. برای محاسبه تلفات توان وانرژی می‌توان‌از روابط زیراستفاده نمود.

$$PL = \frac{1000\ Rc}{nc.ns} \cdot \left(\frac{P}{U.Cos\varphi}\right)^2 \qquad (1)$$

$$EL = T \cdot PL \cdot LSF \qquad (2)$$

در این رابطه :

PL = تلفات دربارپیک ، کیلووات

EL = تلفات انرژی در دوره T کیلوواتساعت

Rc = مقاومت هادی در درجه حرارت هادی ، اهم برکیلومتر

P = پیک بارانتقالی ، مگاوات

U = ولتاژ خط انتقال ، کیلووات

$Cos\varphi$= ضریب قدرت بار مصرفی

T = دوره مطالعه که برای یکسال ۸۷۶۰ =T ساعت

LSF = ضریب تلفات، برمبنای بار شبکه سرایری برق مقدار آن حدود ۴۰/ می‌باشد

nc = تعداد مدارات خط انتقال

ns = تعداد هادیهای فرعی خطوط انتقال باندل (برای خطوط ساده ns = 1 می باشد)

با توجه به اینکه مقاومت هادی Hyena از هادی Valerian بیشتر است، لذا تلفات آن نیز بیشتر می‌باشد. در جدول(۲) اختلاف تلفات توان وانرژی سالیانه این دوهادی را برای مقادیر متفاوتی از توان انتقالی نشان می‌دهد. درمحاسبات این جدول ضریب قدرت ۰/۹ و ضریب تلفات ۰/۴ و درجه حرارت‌هادی ۵۰ درجه سانتیگراد درنظر گرفته شده است و مقادیر تلفات برای یک کیلومتر از طول خط محاسبه شده‌است.

توان انتقالی کیلووات	تلفات توان کیلووات	تلفات‌انرژی کیلوواتساعت
۲۰۰۰	۰/۶۱	۲۱۳۰
۳۰۰۰	۱/۳۶	۴۷۷۵
۴۰۰۰	۲/۴۲	۸۴۹۵
۵۰۰۰	۳/۷۹	۱۳۲۷۰
۶۰۰۰	۵/۴۵	۱۹۱۱۵

جدول(۲) - اضافه تلفات هادی Hyena نسبت به هادی Valerian برحسب توان انتقالی

۳-۴-افزایش مقاومت در مقابل خوردگی

مقاومت آلومینیوم در مقابل خوردگی بستگی به درجه خلوص آن دارد بطوریکه هر چه بر مقدار ناخالصی آن افزوده گردد از مقاومت آن کاسته می‌شود. میزان مقاومت این فلز یا آلیاژهای آن بستگی به لایه محافظ اکسیدی چسبنده سطح آن دارد. این پوسته محافظ در هوا یا در بسیاری از محلول ها به علت

وجود اکسیژن ایجاد می‌گردد . ضخامت این لایه اکسیدی بر روی سطح آلومینیومی که تازه تمیز شده باشد به حدود ۵۰ تا ۱۰۰ انگستروم می‌رسد. این قشر محافظ که به صورت اکسید آلومینیوم یا آلومینا می‌باشد باعث جلوگیری از اکسیداسیون مجدد این فلز می‌گردد، این اکسید از نظر شیمیایی غیر فعال بوده و به همین دلیل دارای مقاومت خوبی در برابر خوردگی می باشد . اما مقاومت مکانیکی کم این فلز باعث می‌شود که در صنعت برق به صورت آلیاژ یا همراه با فولاد مورد استفاده قرار گیرد، این امر گر چه از یک طرف باعث افزایش مقاومت مکانیکی هادی می‌گردد اما از طرف دیگر کاهش مقاومت آن در مقابل خوردگی را به همراه دارد ، بهمین دلیل عمر هادیهای ACSR در مقایسه با هادیهای AAC کمتر می‌باشد که خود به عنوان مزیت بکارگیری هادیهای AAC مطرح می‌باشد. ضمناً با توجه به اینکه درمناطق آلوده کشور امکان بهره‌گیری از هادیهای ACSR میسر نمی‌باشد لذا استفاده از هادیهای AAC دراین مناطق می‌تواند عمر آنها را افزایش دهد که از این دیده به عنوان یک ویژگی مثبت مطرح می‌باشد .

۳-۵-کاهش وزن

طبیعی است که با تبدیل رشته‌های فولادی به رشته‌های آلومینیومی وزن هادی کاهش می‌یابد که در نمونه موردمطالعه این اقدام سبب می‌شود تا وزن هرکیلومتر هادی از ۴۵۱ کیلوگرم به ۳۴۹ کیلوگرم تنزل یابد،که خود به عنوان یک مزیت مطرح می‌باشد .

۳-۶-افزایش نسبی قیمت

وزن هادی Hyena کلاً ۴۵۱ کیلوگرم می‌باشد که شامل ۲۹۱ کیلوگرم آلومینیوم و ۱۶۰ کیلوگرم فولاد است اما وزن هادی Valerian کلاً ۳۴۹ کیلوگرم آلومینیوم خالص می‌باشد یا به عبارت دیگر در این هادی ۵۸ کیلوگرم آلومینیوم جایگزین ۱۶۰ کیلوگرم فولاد گردید که با شرایط اقتصادی روز قیمت هادی Valerian حداکثر پنج درصد افزایش می‌یابد .از طرف دیگر در مناطق آلوده کشور هادی AAC می‌تواند جایگزین مناسبی برای هادیها ACSR/AS و AAAC ACAR و ACSR/AW نیز باشد که در چنین شرایط از نظر اقتصادی نیز مقرون به صرفه می باشد .

۳-۷-افزایش نسبی فلش

در خطوط هوائی فلش یا شکم هادیها تابعی از اسپن، وزن و مقاومت مکانیکی هادیها می‌باشد که در حالت کلی مقدار آن رابطه زیر بدست می‌آید .

$$F = \frac{S^2}{8\,a} \qquad (3)$$

$$a = \frac{H}{W} \qquad (4)$$

دراین‌رابطه a پارامترهادی ، F فلش هادی برحسب متر، W وزن هادی برحسب کیلوگرم برمتر و H کشش هادی برحسب کیلوگرم می‌باشد . گرچه درهادی Valerian کشش و وزن هادی هر دو کاهش یافته‌اند اما بهرحال پارامتر a دراین هادی کوچکتر از هادی Hyena می‌باشد که در مجموع باعث افزایش فلش و در نتیجه افزایش ارتفاع پایه می‌گردد، اما در اسپن‌های کوتاه این عامل قدری طول فلش را افزایش می‌دهد که رقم بالائی نمی‌باشد .

		طول اسپن به متر		
		۵۰	۷۵	۱۰۰
Lynx	۵۰۰	۱/۴۰	۲/۶۰	۴/۲۰
	۷۵۰	۱/۱۴	۲/۰۰	۳/۱۲
	۱۰۰۰	۰/۹۶	۱/۶۶	۲/۵۳
	۱۲۵۰	۰/۸۰	۱/۳۸	۲/۱۱
	۱۵۰۰	۰/۶۳	۱/۱۳	۱/۷۵
	۱۷۵۰	۰/۴۶	۰/۸۸	۱/۴۱
	۲۰۰۰	۰/۳۱	۰/۶۵	۱/۱۰
Valerian	۵۰۰	۱/۴۳	۲/۵۹	۴/۱۲
	۷۵۰	۱/۱۷	۲/۰۲	۳/۱۰
	۱۰۰۰	۰/۹۸	۱/۶۷	۲/۵۲
	۱۲۵۰	۰/۸۰	۱/۳۷	۲/۰۷

جدول(۳)- مقایسه‌فلش‌دوهادی درشرایط مختلف

جدول(۳) رابطه کشش و فلش را برای اسپن‌های مختلف و برای یک شرایط خاص نشان می‌دهد.

همانطور که ازاین جدول مشهود است برای کشش و اسپن یکسان، مقادیر فلش تقریباً یکسان می‌باشند اما چون مقاومت مکانیکی هادیهای ACSR حدود دو برابر هادیهای AAC می‌باشد، لذا براین مبنا فلش هادی درحالت استفاده از هادیهای AAC برحسب مورد افزایش می‌یابد . به عنوان مثال اگر کشش ماکزیمم هادیهای ACSR و AAC در بدترین شرایط برای ۲۰۰۰ و ۱۰۰۰ کیلوگرم طراحی شود ، میزان فلش در صورت استفاده از هادیهای AAC و اسپن ۱۰۰ متری حدود ۱/۴ متر افزایش می‌یابد که به عنوان یک عیب می‌تواند مطرح گردد، اما باتوجه به اینکه هدف این مقاله بهره‌گیری از هادیهای AAC در اسپن‌های کوتاه می‌باشد، این نقیصه در مقایسه با سایر مزایا به عنوان یک پارامتر مهم جلوه نمی‌کند .

۸-۳- افزایش دامنه نوسانات هادی

درخطوط هوائی زاویه انحراف زنخیره مقره‌های آویزان به فاصله پایه‌ها، سرعت باد، اسپن، وزن و قطر هادیها بستگی دارد و در حالت کلی از رابطه زیر محاسبه می‌گردد .

$$\tan(\phi) = \frac{0.0625\ V^2 \cdot S_h \cdot d}{S_v \cdot W + 0.5\ W_{in}} \qquad (5)$$

دراین رابطه

ϕ = زاویه انحراف زنخیره مقره
V = سرعت باد برحسب متر برثانیه
S_v = اسپن وزن یا عمودی برحسب متر
S_h = اسپن باد یا افقی برحسب متر
d = قطر هادی برحسب متر
W = وزن هادی کیلوگرم برمتر
W_{in} = وزن زنجیره مقره برحسب کیلوگرم

همانطور که این رابطه نشان می‌دهد درصورتیکه مقره‌ها بصورت آویزان مورد استفاده قرار گیرند، انحراف زنخیره مقره مربوط به هادی سبک‌تر بیشتر است ، اما چون در خطوط توزیع مقره‌ها عموماً بصورت ثابت استفاده می‌شوند این مشکل در سر برج وجود ندارد اما در وسط پایه‌ها فازهائی که دارای هادیهای سبک‌تر می‌باشند در اثر وزش باد بیشتر بهم نزدیک می‌شوند که لازم است برای ممانعت از بروز اتصال کوتاه فواصل فازی بیشتر انتخاب شوند. البته در مواردیکه طول اسپن کوتاه باشد، این مطلب مشکل ساز نمی‌باشد .

۹-۳- افزایش تحمل جریان اتصال کوتاه

گرچه در شرایط فعلی شبکه سطح جریان اتصال کوتاه بالا نمی‌باشد اما باگسترش شبکه‌های برقرسانی، جریان اتصال کوتاه مشکل ساز خواهند شد . در حالت کلی تحمل جریان اتصال کوتاه هر هادی بستگی به مقطع مؤثر هادی و تداوم جریان اتصال کوتاه دارد که این ارتباط را می‌توان بصورت رابطه زیر نشان داد .

$$I_{sh} = \frac{K \cdot S}{\sqrt{t}} \qquad (6)$$

دراین رابطه I_{sh} جریان اتصال کوتاه برحسب آمپر، S مؤثر مقطع هادی برحسب میلیمترمربع ، t حداکثر تداوم جریان اتصال‌کوتاه در هادی و K ثابت هادی می‌باشد که مقدار آن برای هادیهای ACSR حدود ۹۵ و هادیهای AAC حداکثر ۱۰۰ می‌باشد . براین مبنا تحمل جریان اتصال کوتاه هادی Valerian حدود ۲۵/۷ در صد بیشتر از هادی Hyena می‌باشد که در شبکه‌های توزیع نیرو به عنوان یک مزیت مطرح می‌باشد .

۱۰-۳- جریان مجاز هادیها

یکی دیگر از مزایای مهم هادیهای AAC بالا بودن جریان آنها می‌باشد. این مزیت به دلیل کم‌بودن مقاومت الکتریکی این هادی است . در شرایط آب و هوائی شهری چون تهران جریان مجاز هادیهای Hyena و Valerian به ترتیب ۳۴۵ و ۳۸۰ آمپر می‌باشد. این ارقام نشان می‌دهند که جریان مجاز هادی Valerian حدود ۱۰ درصد بیشتر است به عبارت دیگر با تبدیل رشته‌های فولادی به آلومینیومی چون مقطع مؤثر افزایش می‌یابد جریان مجاز و درنتیجه ظرفیت، خط انتقال افزایش می‌یابد .

۴- مقایسه وجمع‌بندی

باتوجه به آنچه گفته شده گرچه هادیهای ACSR در مقایسه با هادیهای AAC دارای امتیازات مناسبی می‌باشند اما در مواردیکه طول اسپن کوتاه باشد، مزایا و برتری هادیهای ACSR به عنوان یک ارجحیت مطلق مطرح نمی‌باشد، لذا درچنین موارد می‌توان از هادیهای AAC استفاده نمود. در صورت جایگزین نمودن هادیهای هم اندازه استفاده از هادیهای AAC ویژگیهای زیرا بهمراه دارد .

۱- مقاومت بیشتردر مقابل‌خوردگی وامکان استفاده از آن در مناطق آلوده و خورنده و جایگزین نمودن‌با هادیهای ACSR/AW و ACSR/AS و AAAC و ACAR
۲- تحمل بیشتر این نوع هادیها در مقابل جریان‌های اتصال کوتاه
۳- بالا بودن جریان مجاز هادیها و درنتیجه افزایش ظرفیت خطوط
۴- کم بودن مقاومت الکتریکی هادیها و در نتیجه تقلیل تلفات انرژی
۵- کم بودن وزن هادیها و مزایای مرتبط با آن
۶- امکان استفاده ازاتصالات هادیهای‌استاندارد فعلی

این ویژگیها نشان می‌دهد که در بسیاری موارد امکان جایگزینی هادیهای آلومینوم خالص بجای هادیهای آلومینیوم فولاد وجود دارد. تبدیل هادیها ACSR به AAC می‌تواند با جایگزین کردن رشته‌های فولادی به رشته‌های آلومینیومی یا انتخاب هادیهای هم سایزاز دیگر استانداردها و یا حتی تعیین مقاطع استاندارد جدید انجام‌گیرد.

۵- نتیجه

استفاده گسترده از پایه‌های بتونی در خطوط توزیع نیرو، تحمل کم آنها درمقابل نیروهای مکانیکی و سایر محدودیت‌ها، سبب می‌شوند که اسپن این نوع خطوط محدود گردد. درچنین شرایط عملاً لزومی به استفاده از هادیهای مقاوم نمی‌باشد و در نتیجه نیازی به بکارگیری هادیهای ACSR احساس نمی‌شود و عملاً در چنین موارد امکان جایگزین کردن هادیهای AAC هم اندازه معقول خواهد بود. بررسیهای انجام شده دراین مقاله نشان می‌دهد در خطوط توزیع با اسپن‌های کوتاه می‌توان هادیهای AAC را جایگزین هادیهای ACSR نمود ، این جایگزینی بخصوص در مناطق آلوده کشور که موضوع خوردگی هادیها بسیار مهم است از درجه اهمیت بیشتری برخوردار است چون ضمن اینکه عمر هادیها افزایش می‌یابد با این اقدام‌می‌توان تلفات الکتریکی خط راکاهش و ظرفیت خطوط نیز افزایش داد .

٦-منابع

۱- قدرت‌اله حیدری، طراحی الکتریکی خطوط انتقال نیرو "، شرکت تابش برق - بهمن ۱۳۷۹
۲- قدرت‌اله حیدری ، " بررسی تلفات الکتریکی در شبکه‌های برقرسانی " ، شرکت تابش برق - اردیبهشت ماه ۱۳۷۸
۳- گاتالوگ هادیها - شرکت هیتاچی
۴- استاندارد BS 215 Part 2
۵- استاندارد ASTM B231 -78