

مشخصات فنی عمومی و اجرایی
پست ها، خطوط فوق توزیع و انتقال
کابل در پست های فشار قوی (جلد دوم)
نشریه شماره ۲-۴۵۲

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
کابل درپست های فشارقوی
نشریه شماره ۲-۴۵۲

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>



بسمه تعالی

ریاست جمهوری
معاون برنامه ریزی و نظارت راهبردی

شماره:	۱۰۰/۵۶۵۷۳
تاریخ:	۱۳۸۷/۶/۲۳
بخشنامه به دستگاه‌های اجرایی، مهندسان مشاور و پیمانکاران	
موضوع:	
مشخصات فنی عمومی و اجرایی پست‌ها و خطوط فوق توزیع و انتقال - کابل در پست‌های فشار قوی (جلد اول) و (جلد دوم)	
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/۳۳۴۹۷ هـ مورخ ۱۳۸۵/۴/۲۰ هیأت محترم وزیران)، به پیوست نشریه شماره ۴۵۲ دفتر نظام فنی اجرایی، با عنوان «مشخصات فنی عمومی و اجرایی پست‌ها و خطوط فوق توزیع و انتقال - کابل در پست‌های فشار قوی (جلد اول) و (جلد دوم)» از نوع گروه سوم ابلاغ می‌شود. دستگاه‌های اجرایی، مهندسان مشاور، پیمانکاران و عوامل دیگر می‌توانند از این نشریه به عنوان راهنما استفاده کنند و در صورتی که روش‌ها، دستورالعمل‌ها و راهنمای بهتری در اختیار داشته باشند، رعایت مفاد این بخشنامه الزامی نیست. عوامل یاد شده باید نسخه‌ای از دستورالعمل‌ها، روش‌ها یا راهنماهای جایگزین را به دفتر نظام فنی اجرایی، ارسال کنند.	
امیرمنصور برقی معاون برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور	

اصلاح مدارک فنی

خواننده گرامی:

دفتر نظام فنی اجرایی معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور 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 پست‌ها، خطوط فوق توزیع و انتقال - کابل در پست‌های فشار قوی - جلد دوم» در بر گیرنده مطالب مربوط به کابل‌های فشار متوسط، کابل‌های فشار ضعیف و کابل‌های کنترل در پست‌های فشار قوی ۶۳ تا ۴۰۰ کیلو ولت می باشد که شامل معرفی و شناخت، معیارهای طراحی و انتخاب، آزمون‌های نوعی (که به منظور بررسی و تایید مشخصات فنی کابل‌ها انجام می گیرد)، آزمون‌های جاری (که برای تشخیص نقائص و خطاهای موجود در ساختار کابل صورت می گیرد) و دستورالعمل‌های نصب و نگهداری کابل‌های مزبور خواهد شد. معاونت نظارت راهبردی به این وسیله از کوشش‌های دست‌اندرکاران به ثمر رسیدن این نشریه و همچنین سازمان‌ها و شرکت‌های مهندسی مشاور که با اظهارنظرهای سازنده خود این معاونت را در جهت غنا بخشیدن به آن یاری نموده‌اند سپاسگزاری و قدردانی نموده و توفیق روزافزون آنان را از درگاه ایزد یکتا آرزومند است.

معاون نظارت راهبردی

مشخصات فنی عمومی و اجرایی پست ها، خطوط فوق توزیع و انتقال - کابل در پست های فشار قوی - نشریه شماره ۲-۴۵۲

تهیه کننده

این مجموعه به وسیله شرکت مهندسين مشاور نیرو با همکاری خانم مهندس طاهره نوری، آقایان مهندسين محمود حالتی، شهرام کاظمی 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 شرکت های 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 والا اردلان	شرکت مشانیر
آقای مهندس بهمن الله مرادی	سازمان توسعه برق ایران
آقای مهندس بزرگ منش	شرکت مشانیر
آقای مهندس محمود رشیدی	شرکت مشانیر
آقای دکتر عارف درودی	مهندسين مشاور نیرو
آقای مهندس علی رحیم زاده خوشرو	معاونت برنامه ریزی - دفتر فنی شبکه
آقای مهندس سید حسن عرب اف	شرکت مهندسين مشاور قدس نیرو
آقای مهندس اباذر میرزایی	مشاور معاون هماهنگی و نظارت بر بهره برداری سازمان توانیر
آقای مهندس عبدالرحیم کیانی	معاونت برنامه ریزی - دفتر فنی شبکه
خانم مهندس طاهره نوری	مهندسين مشاور نیرو
آقای مهندس احسان الله زمانی	وزارت نیرو - سازمان توانیر - دبیر کمیته فنی

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

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
	فصل اول - معرفی و شناخت
۳	۱-۱- کلیات
۳	۲-۱- تعاریف
۳	۱-۲-۱- مغزی
۴	۱-۲-۲- پوسته (پوشش الکترواستاتیکی)
۴	۱-۲-۳- غلاف
۴	۱-۲-۴- غلاف بیرونی
۴	۱-۲-۵- غلاف فلزی
۴	۱-۲-۶- غلاف جداکننده
۴	۱-۲-۷- زره
۴	۱-۲-۸- پوسته فلزی (شیلد)
۵	۱-۲-۹- پوسته هادی (پوشش الکترواستاتیکی هادی)
۵	۱-۲-۱۰- پوسته عایق (پوشش الکترواستاتیکی عایق)
۵	۱-۲-۱۱- پوشش داخلی
۵	۱-۲-۱۲- پرکننده
۵	۱-۲-۱۳- هادی هم مرکز
۵	۱-۲-۱۴- عایق اکستروودشده
۵	۱-۲-۱۵- عایق ترموپلاستیک
۶	۱-۲-۱۶- عایق کراس لینک شده
۶	۱-۲-۱۷- عایق ترموستینگ
۶	۱-۲-۱۸- عایق الاستومریک
۶	۱-۲-۱۹- هادی رشته‌ای
۶	۱-۲-۲۰- هادی یکپارچه
۶	۱-۲-۲۱- جداکننده
۷	۱-۲-۲۲- هادی با پوشش فلزی
۷	۱-۲-۲۳- هادی با روکش فلزی

۷	 لایه زیرین ۲۴-۲-۱
۷	 مقدار میانی ۲۵-۲-۱
۷	 آزمونهای نوعی ۲۶-۲-۱
۷	 آزمونهای نمونه‌ای ۲۷-۲-۱
۷	 آزمونهای جاری ۲۸-۲-۱
۸	 ساختمان کابل ۳-۱
۸	 انواع هادیهای بکار رفته در کابل‌های عایق شده ۴-۱
۹	 هادیهای با نصب ثابت ۱-۴-۱
۹	 هادیهای یکپارچه (کلاس ۱) ۱-۱-۴-۱
۱۰	 هادیهای رشته‌ای غیرمترکم با سطح مقطع دایره‌ای (کلاس ۲) ۲-۱-۴-۱
۱۰	 هادیهای رشته‌ای مترکم با سطح مقطع دایره‌ای و فرم داده شده (کلاس ۲) ۳-۱-۴-۱
۱۰	 هادیهای انعطاف‌پذیر (کلاس ۵ و ۶) ۲-۴-۱
۱۵	 عایق ۵-۱
۱۵	 جنس عایق ۱-۵-۱
۱۵	 ضخامت عایق ۲-۵-۱
۱۸	 غلاف ۶-۱
۱۸	 ترکیبات فلزی ۱-۶-۱
۱۸	 ضخامت غلاف ۲-۶-۱
۱۸	 غلاف فلزی ۱-۲-۶-۱
۱۹	 غلاف خارجی ۲-۲-۶-۱
۱۹	 زره ۷-۱
۱۹	 نوع زره ۱-۷-۱
۱۹	 ابعاد سیم‌ها و نوارهای زره ۲-۷-۱
۱۹	 رابطه بین قطر کابل و ابعاد زره ۳-۷-۱
۲۰	 پوشش داخلی ۸-۱
۲۱	 کدگذاری کابل ۹-۱
۲۱	 کد کابل‌های با عایق پلاستیکی ۱-۹-۱
۲۱	 کدگذاری بر اساس نوع و شکل هادی‌های کابل ۲-۹-۱
۲۲	 انواع کابل‌های کنترل و مخابراتی ۱۰-۱
۲۶	 پیوست ۱-۱ روش محاسبه فرضی برای تعیین ابعاد پوشش‌های محافظ

فصل دوم - طراحی و انتخاب

۳۵	 ۱-۲- جریان نامی
۳۵	 ۱-۱-۲- درجه حرارت محیط
۳۶	 ۲-۱-۲- اثر همجواری در کابل ها
۴۲	 ۲-۲- جریان اتصال کوتاه
۴۶	 ۳-۲- افت ولتاژ
۴۶	 ۴-۲- کابل کنترل
۴۷	 ۵-۲- نمونه طراحی

فصل سوم - آزمون های لازم

۵۱	 ۱-۳- شرایط آزمون
۵۱	 ۱-۱-۳- درجه حرارت محیط
۵۱	 ۲-۱-۳- فرکانس و شکل موج ولتاژهای آزمون فرکانس قدرت
۵۱	 ۳-۱-۳- شکل موج ولتاژهای آزمون ضربه
۵۱	 ۲-۲-۳- آزمون های جاری
۵۱	 ۱-۲-۳- کلیات
۵۲	 ۲-۲-۳- آزمون اندازه گیری مقاومت الکتریکی هادیها
۵۲	 ۳-۲-۳- آزمون تخلیه جزئی
۵۲	 ۴-۲-۳- آزمون ولتاژ
۵۲	 ۱-۴-۲-۳- روش آزمون برای کابل های تک مغزی
۵۲	 ۲-۴-۲-۳- روش آزمون برای کابل های چند مغزی
۵۳	 ۳-۴-۲-۳- ولتاژ آزمون
۵۳	 ۴-۴-۲-۳- شرط قبولی آزمون
۵۳	 ۳-۳- آزمون های نمونه ای
۵۳	 ۱-۳-۳- کلیات
۵۳	 ۲-۳-۳- تعداد دفعات انجام آزمون های نمونه ای
۵۴	 ۳-۳-۳- تکرار آزمون ها
۵۴	 ۴-۳-۳- محک هادی
۵۴	 ۵-۳-۳- اندازه گیری ضخامت عایق و غلاف های غیرفلزی
۵۵	 ۱-۵-۳-۳- نیازهای عایق
۵۵	 ۲-۵-۳-۳- نیازهای مربوط به غلاف های غیرفلزی

- ۵۵ اندازه‌گیری ضخامت غلاف سربی ۶-۳-۳
- ۵۶ اندازه‌گیری سیم‌ها و نوارهای زره ۷-۳-۳
- ۵۶ اندازه‌گیری قطر خارجی ۸-۳-۳
- ۵۷ آزمون ولتاژ به مدت ۴ ساعت ۹-۳-۳
- ۵۷ آزمون داغ برای عایق‌های XLPE و غلاف الاستومریک ۱۰-۳-۳
- ۵۷ آزمون‌های نوعی الکتریکی کابل‌های فشار متوسط ۴-۳-۳
- ۵۷ کابل‌هایی که دارای پوسته هادی و پوسته عایق هستند ۱-۴-۳
- ۵۸ آزمون تخلیه جزئی ۱-۱-۴-۳
- ۵۸ آزمون خمش ۲-۱-۴-۳
- ۵۹ اندازه‌گیری $\tan \delta$ برای کابل‌های با ولتاژ نامی (۱۲) ۶/۱۰ کیلوولت و بالاتر ۳-۱-۴-۳
- ۵۹ آزمون دوره‌ای گرما ۴-۱-۴-۳
- ۶۰ آزمون ضربه ۵-۱-۴-۳
- ۶۰ آزمون ولتاژ به مدت ۴ ساعت ۶-۱-۴-۳
- ۶۰ اندازه‌گیری مقاومت ویژه پوسته‌های نیمه هادی ۷-۱-۴-۳
- ۶۱ کابل‌های با عایق بدون پوسته ۲-۴-۳
- ۶۱ اندازه‌گیری مقاومت عایق در درجه حرارت محیط ۱-۲-۴-۳
- ۶۲ اندازه‌گیری مقاومت عایقی در حداکثر درجه حرارت هادی ۲-۲-۴-۳
- ۶۲ آزمون ولتاژ به مدت ۴ ساعت ۳-۲-۴-۳
- ۶۳ آزمون ضربه ۴-۲-۴-۳
- ۶۳ آزمون‌های نوعی الکتریکی کابل‌های فشار ضعیف ۵-۳-۳
- ۶۴ اندازه‌گیری مقاومت عایقی در درجه حرارت محیط ۱-۵-۳
- ۶۴ اندازه‌گیری مقاومت عایقی در حداکثر درجه حرارت هادی ۲-۵-۳
- ۶۵ آزمون ولتاژ برای ۴ ساعت ۳-۵-۳
- ۶۵ آزمون‌های نوعی - غیرالکتریکی کابل‌های فشار متوسط ۶-۳-۳
- ۶۷ اندازه‌گیری ضخامت عایق ۱-۶-۳
- ۶۷ اندازه‌گیری ضخامت غلاف‌های غیرفلزی ۲-۶-۳
- ۶۷ آزمون‌های لازم جهت تعیین مشخصه‌های مکانیکی عایق قبل و بعد از پیری ۳-۶-۳
- ۶۷ آزمون‌های لازم جهت تعیین مشخصه‌های مکانیکی غلاف‌های غیرفلزی قبل و بعد از پیری ۴-۶-۳
- ۶۷ آزمون پیری اضافه روی قطعات کابل تکمیل شده ۵-۶-۳
- ۶۷ آزمون کاهش جرم روی غلاف‌های pvc نوع ST2 ۶-۶-۳
- ۶۸ آزمون فشار در درجه حرارت بالا بر روی عایق و غلاف‌های غیرفلزی ۷-۶-۳

۶۸	 ۳-۶-۸- آزمون بر روی عایق pvc و غلافهای در درجه حرارت پایین
۶۸	 ۳-۶-۹- آزمون جهت تایید استقامت عایق pvc و غلافها در برابر ترک برداشتن
۶۸	 ۳-۶-۱۰- آزمون داغ برای عایقهای XLPE و غلافهای الاستومریک
۶۸	 ۳-۶-۱۱- آزمون غوطه‌وری در روغن برای غلافهای الاستومریک
۶۸	 ۳-۶-۱۲- آزمون جذب آب بر روی عایق
۶۸	 ۳-۶-۱۳- آزمون مقاومت در برابر آتش
۶۸	 ۳-۶-۱۴- اندازه‌گیری درصد کربن سیاه در غلافهای بیرونی PE مشکی رنگ
۶۸	 ۳-۶-۱۵- آزمون انقباض برای عایق XLPE
۶۹	 ۳-۶-۱۶- آزمون پایداری حرارتی بر روی عایق PVC
۶۹	 ۳-۶-۱۷- آزمون انقباض بر روی غلاف بیرونی PE
۶۹	 ۳-۶-۱۸- آزمون قابلیت جداسازی برای پوسته عایق
۶۹	 ۳-۶-۱۹- آزمون نفوذناپذیری در برابر آب
۷۵	 ۳-۷-۷- آزمون‌های نوعی - غیرالکتریکی کابل‌های فشار ضعیف
۷۶	 ۳-۷-۱- اندازه‌گیری ضخامت عایق
۷۶	 ۳-۷-۲- اندازه‌گیری ضخامت غلافهای غیرفلزی
۷۶	 ۳-۷-۳- آزمون‌های تعیین مشخصه‌های مکانیکی عایق قبل و بعد از پیری
۷۶	 ۳-۷-۴- آزمون‌های تعیین مشخصه‌های مکانیکی غلاف غیرفلزی قبل و بعد از پیری
۷۶	 ۳-۷-۵- آزمون‌های اضافی پیری بر روی قطعات کابل تکمیل شده
۷۶	 ۳-۷-۶- آزمون کاهش جرم بر روی غلافهای PVC از نوع ST2
۷۷	 ۳-۷-۷- آزمون فشار در درجه حرارت بالا بر روی عایق‌ها و غلافهای غیرفلزی
۷۷	 ۳-۷-۸- آزمون بر روی عایق PVC و غلافها در درجه حرارت پایین
۷۷	 ۳-۷-۹- آزمون مقاومت عایق PVC و غلافها در برابر ترک برداشتن
۷۷	 ۳-۷-۱۰- آزمون داغ برای عایق‌های XLPE و غلافهای الاستومریک
۷۷	 ۳-۷-۱۱- آزمون غوطه‌وری در روغن برای غلافهای الاستومریک
۷۷	 ۳-۷-۱۲- آزمون جذب آب روی عایق
۷۷	 ۳-۷-۱۳- آزمون مقاومت در برابر آتش
۷۷	 ۳-۷-۱۴- اندازه‌گیری مقدار کربن در غلافهای بیرونی PE
۷۷	 ۳-۷-۱۵- آزمون انقباض روی عایق XLPE
۷۷	 ۳-۷-۱۶- آزمون ویژه پیچش
۷۸	 ۳-۷-۱۷- آزمون انقباض بر روی غلافهای کلی PE
۸۰	 ۳-۸- آزمون‌های الکتریکی بعد از نصب (کابل‌های فشار متوسط و ضعیف)

پیوست ۳-۱: روش اندازه‌گیری مقاومت پوسته‌های نیمه هادی ۸۱

پیوست ۳-۲: آزمون نفوذ آب ۸۳

فصل چهارم - نصب و نگهداری کابل

۴-۱- حمل و نقل ۸۷

۴-۲- پیاده کردن قرقره ۸۷

۴-۳- درجه حرارت نصب کابل ۸۸

۴-۴- حفاظت در برابر عوامل جوی و مواد خوردنده ۸۹

۴-۵- ملاحظات کلی ۸۹

۴-۶- حداقل شعاع خمش ۹۱

۴-۷- کشش مجاز ۹۱

۴-۸- اتصال به زمین پوششهای فلزی کابلها ۹۲

۴-۹- حفاظت در برابر ولتاژ ضربه ناشی از کلیدزنی ۹۲

۴-۱۰- نحوه کابل کشی ۹۳

۴-۱۰-۱- کابل کشی روی دیوار یا سقف، سینی مشبک و سینی کابل ۹۳

۴-۱۰-۲- نصب کابل در کانال ۹۳

منابع و مراجع ۹۵

مقدمه

در این فصل به معرفی و شناخت ساختمان کابل، انواع هادیهای بکار رفته در آن و ساختار لایه‌های مختلف تشکیل‌دهنده کابلها پرداخته خواهد شد. همچنین نحوه کدگذاری کابلها و انواع آن نیز مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

۱-۱- کلیات

کابل در حقیقت نوعی هادی است که دارای پوشش عایقی می‌باشد. ساختمان کابل از بخشهای مختلفی تشکیل شده است که عبارتند از هادی، عایق، پوسته عایق، پوسته هادی، پوسته فلزی، پرکننده، زره و غلاف که هر یک وظیفه خاصی را بهعهده داشته و در مجموع قابلیت هدایت الکتریکی و استقامت الکتریکی، مکانیکی و شیمیایی کابل را برآورده می‌سازند.

کابل‌های مورد استفاده در پستهای فشارقوی به سه دسته کلی تقسیم می‌شوند، کابل‌های فشار متوسط، کابل‌های فشار ضعیف و کابل‌های کنترل. کابل‌های فشار متوسط وظیفه انتقال توان را در سمت فشار متوسط پست و کابل‌های فشار ضعیف وظیفه تأمین توان مورد نیاز تجهیزات را بهعهده دارند. این کابلها جهت عبور جریان بار و تغذیه توان مورد استفاده قرار می‌گیرند. به کابل‌های با ولتاژ بیش از ۱۰۰۰ ولت کابل‌های فشار متوسط و به کابل‌های با ولتاژ نامی ۱۰۰۰ ولت یا کمتر کابل فشار ضعیف می‌گویند.

کابل‌های کنترل وظیفه عبور سیگنالهای حفاظتی و اندازه‌گیری ترانسفورماتورهای ولتاژ و جریان و انتقال سیگنالهای کنترلی را عهده‌دار می‌باشند. در واقع این کابلها به منظور انتقال سیگنالهای آنالوگ (بعنوان مثال جریان‌های عبوری از خط و یا سایر تجهیزات و ولتاژ نقاط مختلف پست) و سیگنال‌های دیجیتال (بعنوان مثال باز یا بسته کردن کلیدها و فرمان‌های مربوطه) بکار می‌روند. این سیگنالها با اهداف کنترل و اندازه‌گیری (باز و بسته کردن خط و... اندازه‌گیری جریان، توان، انرژی و...) و حفاظت در نقاط مختلف پست مورد استفاده قرار می‌گیرند. کابل‌های کنترل معمولاً با سیگنالهایی با ولتاژ و جریان پایین و در نتیجه قدرت کم سر و کار دارند. جهت بالا رفتن دقت عملکرد تجهیزات اندازه‌گیری و کنترل باید میزان اعوجاج و اختلاف بین ورودی و خروجی کابل کنترل حداقل گردد.

در اکثر موارد از جمله آزمونها، کابل‌های کنترل و حفاظت بعنوان زیرمجموعه‌ای از کابل‌های فشار ضعیف در نظر گرفته می‌شوند. از دیگر انواع کابلها در پستهای فشارقوی می‌توان به کابل‌های شبکه کامپیوتری و کابل‌های با زوج‌های به هم تابیده^۱ نیز اشاره نمود.

۱-۲- تعاریف

۱-۲-۱- مغزی^۲

هادیهای قرار گرفته در داخل کابل که وظیفه انتقال توان را بهعهده دارند.

1. Twisted pair
2. Core

۱-۲-۲- پوستره^۱ (پوشش الکترواستاتیکی)

لایه‌ای که وظیفه یکنواخت کردن میدان الکتریکی را در درون عایق بعهدده دارد. همچنین سطح یکنواختی را در مرزهای عایقی ایجاد کرده و به پرکردن فضای خالی در این مرزها کمک می‌کند.

۱-۲-۳- غلاف^۲

پوشش استوانه‌ای شکل یکپارچه و پیوسته فلزی یا نیمه هادی که معمولاً اکسترو^۳ شده می‌باشد.

۱-۲-۴- غلاف بیرونی^۴

غلاف نیمه‌هادی که برای اطمینان از حفاظت کابل در برابر عوامل خارجی، بر روی پوششهای فلزی بکار می‌رود.

۱-۲-۵- غلاف فلزی^۵

غلافی که معمولاً از جنس سرب، آلیاژ سرب، آلومینیوم و یا آلیاژ آلومینیوم بوده و بصورت صاف یا موجدار بر روی مغزی(های) کابل بکار می‌رود تا از لحاظ مکانیکی حفاظت آن را برآورده سازد.

۱-۲-۶- غلاف جداکننده^۶

غلاف داخلی که بین دو پوشش فلزی غیر هم‌جنس بکار می‌رود.

۱-۲-۷- زره^۷

پوششی که از نوار(ها) یا سیمهای فلزی تشکیل شده و عموماً جهت حفاظت کابل در برابر اثرات مکانیکی خارجی بکار می‌رود.

۱-۲-۸- پوستره فلزی^۸ (شیلد)

لایه فلزی زمین‌شده‌ای که جهت محدودکردن میدان الکتریکی درون کابل و محافظت از آن در برابر اثرات الکتریکی خارجی بکار می‌رود. غلاف فلزی، زره و هادی هم مرکز نیز می‌توانند نقش شیلد را بعهدده بگیرند.

-
1. Screen
 2. Sheath
 3. Extruded
 4. Over sheath
 5. Metal sheath
 6. Separator sheath
 7. Armour
 8. Shield

۹-۲-۱- پوسته هادی^۱ (پوشش الکترواستاتیکی هادی)

پوسته‌ای الکتریکی که از مواد فلزی یا غیرفلزی نیمه‌هادی تشکیل شده و روی مغزی‌های بهم تابیده بکار می‌رود تا با یکنواخت کردن سطح خارجی هادی و میدان روی آن از بروز تخلیه جزئی در فواصل ناچیز احتمالی بین عایق و هادی جلوگیری کند.

۱۰-۲-۱- پوسته عایق^۲ (پوشش الکترواستاتیکی عایق)

پوسته‌ای الکتریکی که از مواد غیرفلزی یا نیمه‌هادی تشکیل شده و عایق را می‌پوشاند. این پوسته با محدود کردن میدان الکتریکی مغزی‌ها از تخلیه جزئی و نشت جریان بین مغزی‌ها و سایر لایه‌های پوشاننده جلوگیری می‌کند.

۱۱-۲-۱- پوشش داخلی^۳

پوششی غیرفلزی که مجموعه مغزی‌های (و در صورت وجود پرکننده‌های) یک کابل چند مغزی را در بر گرفته و بر روی پوشش محافظ بکار می‌رود.

۱۲-۲-۱- پرکننده^۴

موادی که جهت پر کردن فضای خالی باقیمانده بین مغزی‌های یک هادی چند مغزی بکار می‌رود.

۱۳-۲-۱- هادی هم مرکز^۵

هادی که یک یا چند هادی عایق شده را احاطه می‌کند. در مورد کابل‌های تک‌مغزی مستقیماً بر روی عایق یا پوسته عایق و در مورد کابل‌های سه مغزی بر روی پوشش داخلی قرار می‌گیرد.

۱۴-۲-۱- عایق اکستروژنه^۶

عایقی که معمولاً از یک لایه ترموپلاستیک یا ترموستینگ تشکیل می‌شود و از طریق پروسه اکستروژن^۷ در محل موردنظر اعمال می‌گردد (طی این فرآیند که برای ساخت قطعات یک تکه به کار می‌رود، مواد با فشار بالا از یک روزنه عبور داده می‌شوند).

۱۵-۲-۱- عایق ترموپلاستیک^۸

عایق ساخته شده از جنس پلاستیک که در محدوده حرارتی مربوط به مشخصه پلاستیک، در اثر گرم شدن شل شده و در اثر سرد کردن، مجدداً سخت می‌شود. این نوع عایق در هنگام شل شدن انعطاف‌پذیر بوده و قادر به شکل گرفتن می‌باشد.

-
1. Conductor screen
 2. Insulation screen
 3. Inner covering
 4. Filler
 5. Concentric screen
 6. Extruded insulation
 7. Extrusion process
 8. Thermoplastic insulation

۱-۲-۱۶- عایق کراس لینک شده^۱

عایق ساخته شده از مواد ترموپلاستیک یا کوپلیمر یا ترکیبی بر پایه یکی از این مواد که ساختار مولکولی داخلی آن تحت فعل و انفعالات شیمیایی از قبیل جوش دادن و یا پروسه‌های فیزیکی از قبیل تابش، تغییر می‌یابد.

۱-۲-۱۷- عایق ترموستینگ^۲

عایق ساخته شده از پلاستیک که اگر در اثر گرما یا سایر عوامل از جمله تابش، کاتالیزور و... خشک شود به ماده‌ای غیرقابل ذوب و غیرقابل حل تبدیل می‌شود.

۱-۲-۱۸- عایق الاستومریک^۳

عایق ساخته شده از موادی که تحت تنش مکانیکی تغییر فرم داده و با رفع تنش به حالت اولیه خود باز می‌گردند. این عایق معمولاً کراس لینک شده است اما می‌تواند ترموپلاستیک هم باشد.

۱-۲-۱۹- هادی رشته‌ای^۴

هادی‌ای که از تعدادی سیم مجزای بهم تابیده شده تشکیل گردد.

۱-۲-۲۰- هادی یکپارچه^۵

هادی‌ای که تنها از یک سیم واحد تشکیل شده باشد.

۱-۲-۲۱- جداکننده^۶

لایه‌ای نازک که جهت جلوگیری از اثرات مخرب دو جانبه بین ترکیبات متفاوت کابل مثلاً بین هادی و عایق یا بین عایق و غلاف بکار می‌رود.

-
1. Cross – linked insulation
 2. Thermosetting insulation
 3. Elastomeric insulation
 4. Stranded conductor
 5. Solid conductor
 6. Separator

۱-۲-۲۲- هادی با پوشش فلزی^۱

نوعی از هادی که هر سیم آن به طور جداگانه با یک لایه نازک از فلز یا آلیاژ غیر از جنس خود سیم پوشانده شود.

۱-۲-۲۳- هادی با روکش فلزی^۲

نوعی از هادی که هر سیم آن دارای یک بخش داخلی فلزی است که به طریقه متالوژیکی (ذوب) با پوسته‌ای فلزی از جنس متفاوت پوشانده می‌شود.

۱-۲-۲۴- لایه زیرین^۳

لایه(های) محافظ که بلافاصله زیر لایه‌های فلزی نظیر زره بکار می‌رود.

۱-۲-۲۵- مقدار میانی^۴

اگر نتایج حاصل از چندین آزمایش را به صورت صعودی یا نزولی مرتب کنیم، در صورتیکه تعداد این مقادیر فرد باشد مقدار میانی مقدار وسطی آن سری است و در صورتی که تعداد این مقادیر زوج باشد میانگین دو مقدار وسط می‌بایستی محاسبه گردد.

۱-۲-۲۶- آزمونهای نوعی^۵

آزمونهای نوعی به منظور تحقیق مشخصات اصلی کابل که اساساً به طراحی آن بستگی دارد، انجام می‌شوند. این قبیل آزمونها تنها یک بار انجام شده و تنها زمانی تکرار می‌شوند که طراحی یا مواد مورد استفاده در ساخت کابل تغییر کند. نتایج آزمونهای نوعی به عنوان گواهی مطابقت با نیازمندیهای طراحی ثبت می‌شوند.

۱-۲-۲۷- آزمونهای نمونه‌ای^۶

آزمونهای نمونه‌ای به منظور تحقیق کیفیت مواد کابل و صحت کار پرسنل مربوطه انجام می‌شوند. آزمونهای نمونه‌ای می‌بایستی بر روی نمونه‌هایی که به صورت اتفاقی از مجموعه ارائه شده برای پذیرش انتخاب شده‌اند به عمل آیند و رای خریدار در انتخاب نمونه‌ها مقدم می‌باشد.

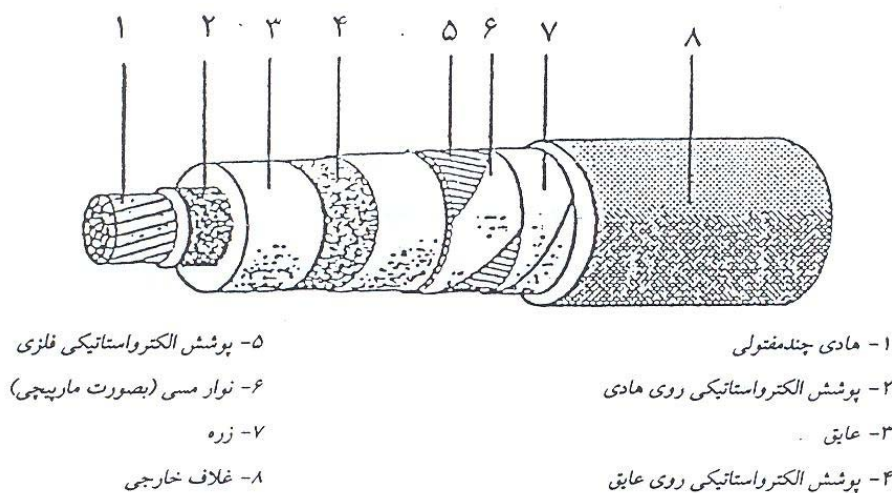
۱-۲-۲۸- آزمونهای جاری^۷

آزمونهای جاری به منظور اثبات مطابقت کابل با مشخصات معین شده به کار می‌روند و می‌بایستی بر روی هر یک از کابل‌ها انجام گردند.

-
1. Metal – coated conductor
 2. Metal – clad conductor
 3. beading
 4. Median value
 5. Type tests
 6. Sample tests
 7. Routine tests

۱-۳- ساختمان کابل

در ساختمان کابل‌ها به طور عمده دو دسته مواد هادی و عایق بکار می‌روند. کابلها اغلب از هادی‌هایی در مرکز، پوشش عایقی، پوسته در اطراف هادی و عایق، زره و غلاف بیرونی جهت حفاظت در برابر اثرات شیمیایی و مکانیکی تشکیل می‌گردند. شکل ۱-۱ لایه‌های مختلف کابل را در حالت کلی نشان می‌دهد. پوسته بکاررفته در اطراف هادی برای جلوگیری از تخلیه جزئی بین هادی و عایق بکار می‌رود، به همین دلیل باید اتصالات این پوسته با پوشش عایقی بطور کامل برقرار باشد. غلاف فلزی کابل شامل سیم‌ها و نوارهایی است که در راستای طول کابل، در اطراف آن، زیر یک غلاف خارجی پیچیده می‌شوند. این مجموعه مسیری را با امپدانس بسیار پایین برای جریان‌های اتصال کوتاه فراهم می‌آورند.



شکل ۱-۱: لایه‌های مختلف کابل

۱-۴- انواع هادی‌های بکار رفته در کابل‌های عایق شده

تقسیم‌بندی هادی‌های بکاررفته در کابل‌های عایقی از دو دیدگاه صورت می‌گیرد، کابل‌های با نصب ثابت و کابل‌های انعطاف‌پذیر. در نصب ثابت دو نوع هادی وجود دارد. کلاس ۱ تنها برای هادی‌های یکپارچه^۱ و کلاس ۲ برای هادی‌های رشته‌ای^۲. هادی‌های بکاررفته در کابل‌های انعطاف‌پذیر نیز به دو کلاس ۵ و ۶ تقسیم می‌شوند که هادی کلاس ۶ انعطاف‌پذیرتر است. مقادیر مختلف حداکثر مقاومت برای انواع هادی با سطح مقطع یکسان بصورت زیر است:

برای کلاس ۱ و ۲ (در صورتیکه جنس هادیها از مواد یکسان بوده و دارای سطح مقطع نامی یکسان باشند) برای هر دو کلاس و برای هادی‌های تک‌مغزی و چندمغزی (خواه سطح مقطع هادی دایره‌ای باشد یا فرم داده شده) حداکثر مقاومت مشخص شده یکسان است. در این دو کلاس، حداکثر مقاومت هادی آلومینیوم دارای سطح مقطع نامی کوچکتر یا مساوی ۱۰ میلی‌متر مربع با حداکثر مقاومت اولین سطح مقطع استاندارد کوچکتر هادی مسی، یکسان است.

1. Solid conductor
2. Stranded conductor

برای هادیهای آلومینیومی خالص و هادیهای آلیاژ آلومینیوم، مقادیر مقاومت یکسانی اختصاص داده شده است. در این حالت می‌توان از سیمهایی با سایزهای مختلف جهت بدست آوردن یک سطح مقطع استفاده کرد. هادیهای انعطاف‌پذیر کلاس ۵ و ۶، تنها شامل هادیهای مسی می‌شوند و مقدار حداکثر مقاومت برای هر دو کلاس یکسان است.

۱-۴-۱- هادیهای با نصب ثابت

۱-۱-۴-۱- هادیهای یکپارچه (کلاس ۱)

هادیهای یکپارچه از مس خالص، مس انیله‌شده با روکش فلزی، آلومینیوم خالص یا آلیاژ آلومینیوم ساخته می‌شوند. سطح مقطع این هادیها دایره‌ای بوده و مشخصات آنها در جدول ۱-۱ ارائه شده است. هادیهای با سطح مقطع ۲۵ میلیمتر مربع و بیشتر تنها جهت کاربردهای خاص می‌باشند. برای این دسته از هادیها در صورتی که کابل چندمغزی باشد، سطح مقطع هادی می‌تواند دایره‌ای یا فرم داده شده باشد.

سطح مقطع هادیهای با ابعاد بیش از ۹۵ میلیمتر مربع می‌تواند تا ۵ قسمت تقسیم شود. مقاومت هر هادی در ۲۰ درجه سانتیگراد نباید از حداکثر مقدار داده شده در جدول ۱-۱ تجاوز کند.

جدول ۱-۱: مشخصات هادیهای یکپارچه (کلاس ۱)

حداکثر مقاومت هادی در ۲۰ درجه سانتیگراد (Ω/km)			سطح مقطع نامی (mm ²)
هادی آلومینیوم گرد یا فرم‌داده شده، بدون روکش، با پوشش فلزی یا با روکش فلزی	هادی مسی گرد		
	با پوشش فلزی	بدون روکش	
–	۳۶/۷	۳۶	۰/۵
–	۲۴/۸	۲۴/۵	۰/۷۵
–	۱۸/۲	۱۸/۱	۱
۱۸/۱	۱۲/۲	۱۲/۱	۱/۵
۱۲/۱	۷/۵۶	۷/۴۱	۲/۵
۷/۴۱	۴/۷	۴/۶۱	۴
۴/۶۱	۳/۱۱	۳/۰۸	۶
۳/۰۸	۱/۸۴	۱/۸۳	۱۰
۱/۹۱	۱/۱۶	۱/۱۵	۱۶
۱/۲۰	–	۰/۷۲۷	۲۵
۰/۸۶۸	–	۰/۵۲۴	۳۵
۰/۶۴۱	–	۰/۳۸۷	۵۰
۰/۴۴۳	–	۰/۲۶۸	۷۰
۰/۳۲۰	–	۰/۱۹۳	۹۵
۰/۲۵۳	–	۰/۱۵۳	۱۲۰
۰/۲۰۶	–	۰/۱۲۴	۱۵۰
۰/۱۶۴	–	–	۱۸۵
۰/۱۲۵	–	–	۲۴۰
۰/۱۰۰	–	–	۳۰۰

۱-۴-۲- هادیهای رشته‌ای غیرمتراکم با سطح مقطع دایره‌ای (کلاس ۲)

این هادیها از جنس مس خالص، مس انیله‌شده با پوشش فلزی^۱، آلومینیوم خالص، آلیاژ آلومینیوم با پوشش فلزی، آلومینیوم با روکش فلزی^۲ یا آلومینیوم دارای روکش و پوشش فلزی^۳ ساخته می‌شوند. سطح مقطع هادیهای رشته‌ای آلومینیومی بیش از ۱۰ میلی‌متر مربع می‌باشد، اما در کاربردهای خاص سطوح مقطع ۴ و ۶ میلی‌متر مربع نیز می‌تواند استفاده شود. کلیه سیمهای بکاررفته در هادیهای رشته‌ای کلاس ۲ دارای سطح مقطع یکسان می‌باشند. تعداد سیمهای بکاررفته در هر هادی و مقاومت هادی در ۲۰ درجه سانتیگراد باید مطابق با جدول ۲-۱ باشد.

۱-۴-۳- هادیهای رشته‌ای متراکم با سطح مقطع دایره‌ای و فرم داده شده (کلاس ۲)

این نوع هادیها از جنس مس خالص، مس انیله‌شده با پوشش فلزی، آلومینیوم خالص یا آلیاژ آلومینیوم می‌باشند. سطح مقطع هادیهای با سطح مقطع دایره‌ای ۱۶ میلی‌متر مربع و در مورد هادیهای با سطح مقطع فرم داده شده ۲۵ میلی‌متر مربع و بیش از آن می‌باشد. نسبت قطر دو سیم با سطح مقطع متفاوت در این هادیها حداکثر ۲ است. تعداد سیمهای بکاررفته در هر هادی و مقاومت آن در ۲۰ درجه سانتیگراد در جدول ۲-۱ ارائه شده است.

۱-۴-۲- هادیهای انعطاف‌پذیر (کلاس ۵ و ۶)

جنس این نوع هادیها مس یا مس انیله‌شده با پوشش فلزی است. سیمهای بکاررفته در این نوع هادیها دارای سطح مقطع یکسان می‌باشند. قطر سیمها و مقاومت هادی در ۲۰ درجه سانتیگراد در جدول ۳-۱ و ۴-۱ ارائه شده است. ضریب تصحیح مقاومت هادی برحسب درجه حرارت در جدول ۵-۱ آورده شده است.

1. Metal – coated annealed copper

2. Metal – clad aluminium

3. Metal – coated metal – clad aluminium

جدول ۱-۲: مشخصات هادیهای رشته‌ای

حداکثر مقاومت هادی در ۲۰ درجه سانتیگراد (Ω/km)			حداقل تعداد سیمهای یکاررفته در هادی						سطح مقطع نامی هادی (mm ²)
هادی آلومینیوم با سیم‌های بدون روکش، با پوشش فلزی یا با روکش فلزی	هادی مسی		هادی فرم داده شده		هادی دایره‌ای متراکم		هادی دایره‌ای (غیرمتراکم)		
	سیم‌های با پوشش فلزی	سیم بدون روکش							
			مس	آلومینیوم	مس	آلومینیوم	مس	آلومینیوم	
–	۳۶/۷	۳۶/۰	–	–	–	–	–	۷	۰/۵
–	۲۴/۸	۲۴/۵	–	–	–	–	–	۷	۰/۷۵
–	۱۸/۲	۱۸/۱	–	–	–	–	–	۷	۱
–	۱۲/۲	۱۲/۱	–	–	–	۶	–	۷	۱/۵
–	۷/۵۶	۷/۴۱	–	–	–	۶	–	۷	۲/۵
۷/۴۱	۴/۷	۴/۶۱	–	–	–	۶	۷	۷	۴
۴/۶۱	۳/۱۱	۳/۰.۸	–	–	–	۶	۷	۷	۶
۳/۰.۸	۱/۸۴	۱/۸۳	–	–	–	۶	۷	۷	۱۰
۱/۹۱	۱/۱۶	۱/۱۵	–	–	۶	۶	۷	۷	۱۶
۱/۲۰	۰/۷۳۴	۰/۷۲۷	۶	۶	۶	۶	۷	۷	۲۵
۰/۸۶۸	۰/۵۲۹	۰/۵۲۴	۶	۶	۶	۶	۷	۷	۳۵
۰/۶۴۱	۰/۳۹۱	۰/۳۸۷	۶	۶	۶	۶	۱۹	۱۹	۵۰
۰/۴۴۳	۰/۲۷۰	۰/۲۶۸	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۹	۱۹	۷۰
۰/۳۲۰	۰/۱۹۵	۰/۱۹۳	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۹	۱۹	۹۵
۰/۲۵۳	۰/۱۵۴	۰/۱۵۳	۱۵	۱۸	۱۵	۱۸	۳۷	۳۷	۱۲۰
۰/۲۰۶	۰/۱۲۶	۰/۱۲۴	۱۵	۱۸	۱۵	۱۸	۳۷	۳۷	۱۵۰
۰/۱۶۴	۰/۱۰۰	۰/۰۹۹۱	۳۰	۳۰	۳۰	۳۰	۳۷	۳۷	۱۸۵
۰/۱۲۵	۰/۰۷۶۲	۰/۰۷۵۴	۳۰	۳۴	۳۰	۳۴	۶۱	۶۱	۲۴۰
۰/۱۰۰	۰/۰۶۰۷	۰/۰۶۰۱	۳۰	۳۴	۳۰	۳۴	۶۱	۶۱	۳۰۰
۰/۰۷۷۸	۰/۰۴۷۵	۰/۰۴۷۰	۵۳	۵۳	۵۳	۵۳	۶۱	۶۱	۴۰۰
۰/۰۶۰۵	۰/۰۳۶۹	۰/۰۳۶۶	۵۳	۵۳	۵۳	۵۳	۶۱	۶۱	۵۰۰
۰/۰۴۶۹	۰/۰۲۸۴	۰/۰۲۸۳	۵۳	۵۳	۵۳	۵۳	۹۱	۹۱	۶۳۰
۰/۰۳۶۷	۰/۰۲۲۴	۰/۰۲۲۱	–	–	۵۳	۵۳	۹۱	۹۱	۸۰۰
۰/۰۲۹۱	۰/۰۱۷۷	۰/۰۱۷۶	–	–	۵۳	۵۳	۹۱	۹۱	۱۰۰۰
۰/۰۲۴۷	۰/۰۱۵۱		–	–	–	–	–	–	۱۲۰۰
۰/۰۲۱۲	۰/۰۱۲۹		–	–	–	–	–	–	۱۴۰۰
۰/۰۱۸۶	۰/۰۱۱۳		–	–	–	–	–	–	۱۶۰۰
۰/۰۱۶۵	۰/۰۱۰۱		–	–	–	–	–	–	۱۸۰۰
۰/۰۱۴۹	۰/۰۰۹۰		–	–	–	–	–	–	۲۰۰۰

جدول ۱-۳: مشخصات هادی مسی انعطاف‌پذیر (کلاس ۵)

حداکثر مقاومت هادی در ۲۰ درجه سانتیگراد (Ω/km)		حداکثر قطر سیم‌های هادی (mm)	سطح مقطع نامی هادی (mm^2)
سیم بدون روکش	سیم با پوشش فلزی		
۴۰	۳۹	۰/۲۱	۰/۵
۲۶/۷	۲۶	۰/۲۱	۰/۷۵
۲۰	۱۹/۵	۰/۲۱	۱
۱۳/۷	۱۳/۳	۰/۲۶	۱/۵
۸/۲۱	۷/۹۸	۰/۲۶	۲/۵
۵/۰۹	۴/۹۵	۰/۳۱	۴
۳/۳۹	۳/۳	۰/۳۱	۶
۱/۹۵	۱/۹۱	۰/۴۱	۱۰
۱/۲۴	۱/۲۱	۰/۴۱	۱۶
۰/۷۹۵	۰/۷۸	۰/۴۱	۲۵
۰/۵۶۵	۰/۵۵۴	۰/۴۱	۳۵
۰/۳۹۳	۰/۳۸۶	۰/۴۱	۵۰
۰/۲۷۷	۰/۲۷۲	۰/۵۱	۷۰
۰/۲۱۰	۰/۲۰۶	۰/۵۱	۹۵
۰/۱۶۴	۰/۱۶۱	۰/۵۱	۱۲۰
۰/۱۳۲	۰/۱۲۹	۰/۵۱	۱۵۰
۰/۱۰۸	۰/۱۰۶	۰/۵۱	۱۸۵
۰/۰۸۱۷	۰/۰۸۰۱	۰/۵۱	۲۴۰
۰/۰۶۵۴	۰/۰۶۴۱	۰/۵۱	۳۰۰
۰/۰۴۹۵	۰/۰۴۸۶	۰/۵۱	۴۰۰
۰/۰۳۹۱	۰/۰۳۸۴	۰/۶۱	۵۰۰
۰/۰۲۹۲	۰/۰۲۸۷	۰/۶۱	۶۰۰

جدول ۱-۴: مشخصات هادی مسی انعطاف پذیر (کلاس ۶)

حداکثر مقاومت هادی در ۲۰ درجه سانتیگراد (Ω/km)		حداکثر قطر سیم های بکار رفته در هادی (mm)	سطح مقطع نامی هادی (mm^2)
سیم بدون روکش	سیم با پوشش فلزی		
۳۹	۴۰	۰/۱۶	۰/۵
۲۶	۲۶/۷	۰/۱۶	۰/۷۵
۱۹/۵	۲۰	۰/۱۶	۱
۱۳/۳	۱۳/۷	۰/۱۶	۱/۵
۷/۹۸	۸/۲۱	۰/۱۶	۲/۵
۴/۹۵	۵/۰۹	۰/۱۶	۴
۳/۳	۳/۳۹	۰/۲۱	۶
۱/۹۱	۱/۹۵	۰/۲۱	۱۰
۱/۲۱	۱/۲۴	۰/۲۱	۱۶
۰/۷۸	۰/۷۹۵	۰/۲۱	۲۵
۰/۵۵۴	۰/۵۶۵	۰/۲۱	۳۵
۰/۳۸۶	۰/۳۹۳	۰/۳۱	۵۰
۰/۲۷۲	۰/۲۷۷	۰/۳۱	۷۰
۰/۲۰۶	۰/۲۱۰	۰/۳۱	۹۵
۰/۱۶۱	۰/۱۶۴	۰/۳۱	۱۲۰
۰/۱۲۹	۰/۱۳۲	۰/۳۱	۱۵۰
۰/۱۰۶	۰/۱۰۸	۰/۴۱	۱۸۵
۰/۰۸۰۱	۰/۰۸۱۷	۰/۴۱	۲۴۰
۰/۰۶۴۱	۰/۰۶۵۴	۰/۴۱	۳۰۰

جدول ۱-۵: ضرایب تصحیح مقاومت هادی برحسب درجه حرارت

نسبت به درجه حرارت مرجع 20°C

ضریب تصحیح	درجه حرارت هادی در زمان اندازه‌گیری برحسب درجه سانتیگراد
۱/۰۶۴	۵
۱/۰۵۹	۶
۱/۰۵۵	۷
۱/۰۵۰	۸
۱/۰۴۶	۹
۱/۰۴۲	۱۰
۱/۰۳۷	۱۱
۱/۰۳۳	۱۲
۱/۰۲۹	۱۳
۱/۰۲۵	۱۴
۱/۰۲۰	۱۵
۱/۰۱۶	۱۶
۱/۰۱۲	۱۷
۱/۰۰۸	۱۸
۱/۰۰۴	۱۹
۱/۰۰۰	۲۰
۰/۹۹۶	۲۱
۰/۹۹۲	۲۲
۰/۹۸۸	۲۳
۰/۹۸۴	۲۴
۰/۹۸۰	۲۵
۰/۹۷۷	۲۶
۰/۹۷۳	۲۷
۰/۹۶۹	۲۸
۰/۹۶۵	۲۹
۰/۹۶۲	۳۰
۰/۹۵۸	۳۱
۰/۹۵۴	۳۲
۰/۹۵۱	۳۳
۰/۹۴۷	۳۴
۰/۹۴۳	۳۵

۱-۵- عایق

۱-۵-۱- جنس عایق

انواع ترکیبات عایقی مورد استفاده در کابل‌های فشار متوسط و فشار ضعیف جهت پست‌های فشار قوی در جدول ۱-۶ آمده است.

جدول ۱-۶: انواع ترکیبات عایقی

علامت اختصاری	ترکیب عایقی
PVC/A	I_ ترموپلاستیک - ترکیبات پلی‌وینیل کلراید جهت کابل‌هایی با ولتاژ نامی $U_0 / U \leq 1/8 / 3KV$
PVC/B	- ترکیبات پلی‌وینیل کلراید جهت کابل‌هایی با ولتاژ نامی $U_0 / U \leq 3/6 / 6KV$
XLPE	II_ ترموستینگ - پلی‌اتیلن کراس لینک‌شده (در همه سطوح ولتاژ)

حداکثر درجه حرارت هادی برای انواع مختلف ترکیبات عایقی در جدول ۱-۷ آورده شده است.

جدول ۱-۷: حداکثر درجه حرارت هادی برای انواع مختلف ترکیبات عایقی

حداکثر درجه حرارت هادی (°C)		ترکیب عایقی
شرایط اتصال کوتاه θ_f (حداکثر ۵ ثانیه)	عملکرد عادی θ_i	
۱۶۰	۷۰	پلی‌وینیل کلراید (PVC/A) و (PVC/B)
۱۴۰	۷۰	$\leq 300mm^2$ سطح مقطع هادی
۲۵۰	۹۰	$> 300mm^2$ سطح مقطع هادی پلی‌اتیلن کراس لینک‌شده (XLPE)

درجه حرارت‌های ذکرشده در جدول ۱-۷ براساس مشخصه‌های ذاتی مواد عایقی است. در هنگام بکاربردن این مقادیر در محاسبه جریان نامی، سایر عوامل ازجمله شرایط نصب نیز باید در نظر گرفته شود.

۱-۵-۲- ضخامت عایق

ضخامت نامی برای انواع مختلف عایق در جدول ۱-۸ تا ۱-۱۰ آمده است. در انتخاب ضخامت عایق نباید ضخامت لایه‌های جداکننده یا پوسته نیمه هادی روی هادی یا عایق در نظر گرفته شود.

جدول ۱-۸: ضخامت نامی عایق PVC/A

ضخامت نامی عایق در ولتاژ نامی kV (۱/۲) / ۱ / ۰/۶ (mm)	سطح مقطع نامی هادی (mm ²)
۰/۸	۱/۵ و ۲/۵
۱	۴ و ۶
۱	۱۰ و ۱۶
۱/۲	۲۵ و ۳۵
۱/۴	۵۰ و ۷۰
۱/۶	۹۵ و ۱۲۰
۱/۸	۱۵۰
۲	۱۸۵
۲/۲	۲۴۰
۲/۴	۳۰۰
۲/۶	۴۰۰
۲/۸	۵۰۰ تا ۸۰۰
۳	۱۰۰۰

جدول ۱-۹: ضخامت نامی عایق PVC/B

ضخامت نامی عایق در ولتاژ نامی kV (۷/۲) / ۶ / ۳/۶ (mm)	سطح مقطع نامی هادی (mm ²)
۳/۴	۱۰ تا ۱۰۰۰

جدول ۱-۱: ضخامت نامی عایق پلی اتیلن کراس لینک شده (XLPE)

ضخامت نامی عایق در ولتاژ نامی KV U_0/U_m (mm)			سطح مقطع نامی هادی (mm ²)
۱۸/۳۰ (۳۶)	۱۲/۲۰ (۲۴)	۰/۶/۱ (۱/۲)	
—	—	۰/۷	۱/۵ و ۲/۵
—	—	۰/۷	۴ و ۶
—	—	۰/۷	۱۰
—	—	۰/۷	۱۶
—	—	۰/۹	۲۵
—	۵/۵	۰/۹	۳۵
۸	۵/۵	۱	۵۰
۸	۵/۵	۱/۱	۷۰ و ۹۵
۸	۵/۵	۱/۲	۱۲۰
۸	۵/۵	۱/۴	۱۵۰
۸	۵/۵	۱/۶	۱۸۵
۸	۵/۵	۱/۷	۲۴۰
۸	۵/۵	۱/۸	۳۰۰
۸	۵/۵	۲	۴۰۰
۸	۵/۵	۲/۲	۵۰۰
۸	۵/۵	۲/۴	۶۳۰
۸	۵/۵	۲/۶	۸۰۰
۸	۵/۵	۲/۸	۱۰۰۰

۱-۶-۱- غلاف

۱-۶-۱-۱- ترکیبات فلزی

ترکیبات غلاف و حداکثر درجه حرارت مجاز برای انواع مختلف آن در جدول ۱۱-۱ آمده است.

جدول ۱۱-۱: ترکیبات غلاف و حداکثر درجه حرارت مجاز هادی

ترکیب بکاررفته در غلاف	علامت اختصاری	حداکثر درجه حرارت هادی در عملکرد عادی برحسب درجه سانتیگراد
I_ ترموپلاستیک پلی‌وینیل کلراید (PVC)	ST ₁	۸۰
	ST ₂	۹۰
پلی اتیلن	ST ₃	۸۰
	ST ₇	۹۰
II_ الاستومریک پلی کلروپرن، کلروسولفات پلی اتیلن یا پلیمرهای مشابه	SE ₁	۸۵

۱-۶-۲- ضخامت غلاف

۱-۶-۲-۱- غلاف فلزی

براساس استاندارد IEC شماره ۶۰۰۵۲ ضخامت نامی غلاف فلزی از روابط زیر محاسبه می‌گردد:

الف - برای کلیه کابل‌های تک مغزی

$$t_{pb} = 0.03 D_g + 0.8 \quad \text{mm} \quad (1-1)$$

ب - برای کابل‌هایی که هادیهای آن قطاعی شکل هستند:

$$t_{pb} = 0.03 D_g + 0.6 \quad \text{mm} \quad (2-1)$$

ج - برای سایر کابلها

$$t_{pb} = 0.03 D_g + 0.7 \quad \text{mm} \quad (3-1)$$

که در روابط فوق:

t_{pb} : ضخامت نامی غلاف فلزی برحسب میلی‌متر

D_g : قطر فرضی زیر غلاف فلزی، برحسب میلی‌متر است.

در کلیه موارد ضخامت نامی باید حداقل ۱/۲ میلی‌متر باشد.

۱-۷-۳- رابطه بین قطر کابل و ابعاد زره

جدول ۱-۱۲: قطر نامی سیم‌های گرد برای زره کابل

قطر نامی سیم زره برحسب میلی‌متر	قطر فرضی زیر زره برحسب میلی‌متر	
	کوچکتر یا مساوی	بیشتر از
۰/۸	۱۰	—
۱/۲۵	۱۵	۱۰
۱/۶	۲۵	۱۵
۲	۳۵	۲۵
۲/۵	۶۰	۳۵
۳/۱۵	—	۶۰

جدول ۱-۱۳: ضخامت نامی نوار برای زره کابل

ضخامت نامی نوار برحسب میلی‌متر		قطر فرضی زیر زره برحسب میلی‌متر	
آلومینیوم یا آلایژ آلومینیوم	فولاد یا فولاد گالوانیزه	کوچکتر یا مساوی	بیشتر از
۰/۵	۰/۲	۳۰	—
۰/۵	۰/۵	۷۰	۳۰
۰/۸	۰/۸	—	۷۰

۱-۸- پوشش داخلی

پوشش‌های داخلی باید اکستروژده شده یا پیچیده شده باشند. درمورد کابل‌هایی که سطح مقطع مغزی آنها گرد است، به جز کابل‌هایی که بیش از پنج مغزی دارند، در صورتی که فضای بین مغزی‌ها کاملاً پر شده باشد می‌توان از یک پوشش داخلی پیچیده شده استفاده کرد. ضخامت تقریبی پوشش‌های داخلی اکستروژده شده باید از جدول ۱-۱۴ استخراج شود.

جدول ۱-۱۴: ضخامت پوشش‌های داخلی اکستروژده شده

ضخامت پوشش داخلی اکستروژده شده برحسب میلی‌متر	قطر فرضی از روی مغزی‌ها برحسب میلی‌متر	
	کوچکتر یا مساوی	بیشتر از
۱	۲۵	—
۱/۲	۳۵	۲۵
۱/۴	۴۵	۳۵
۱/۶	۶۰	۴۵
۱/۸	۸۰	۶۰
۲	—	۸۰

ضخامت تقریبی پوشش‌های داخلی پیچیده شده برای مغزی‌هایی که قطر فرضی آنها کوچکتر یا مساوی ۴۰ میلی‌متر باشد، باید برابر با ۰/۴ میلی‌متر و برای قطرهای بزرگتر، ۰/۶ میلی‌متر باشد.

۱-۹- کدگذاری کابل

براساس VDE شماره ۲۷۱ کابل‌های قدرت و کنترل بصورت زیر کدگذاری می‌شوند.

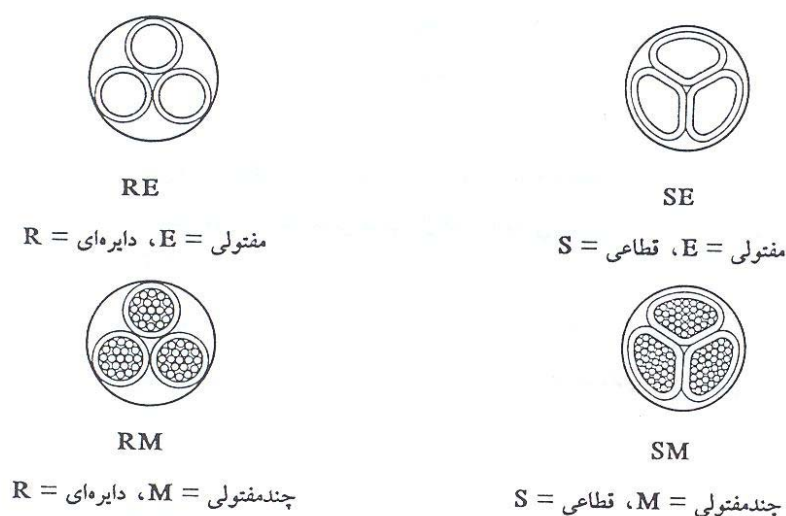
۱-۹-۱- کد کابل‌های با عایق پلاستیکی

A	هادی آلومینیومی
Y	عایق از نوع پلی وینیل کلراید (PVC) ترموپلاستیک
2Y	عایق از نوع پلی اتیلن (PE) ترموپلاستیک
2X	عایق از نوع پلی اتیلن کراس لینک شده (XLPE)
C	هادی مسی هم مرکز
CW	هادی مسی خالص بفرم پیچیده شده
CE	هادی مسی هم مرکز برای کابل‌های سه مغزی
S	شیلد مسی
SE	شیلد مسی برای هر مغزی مجزا از کابل سه مغزی
K	غلاف سربی
Y	پوشش حفاظتی PVC بین شیلد مسی و یا هادی هم مرکز و زره
F	زره فولاد گالوانیزه بصورت سیم با مقطع تخت
R	زره فولاد گالوانیزه بصورت سیم با مقطع گرد
G	نوار فولاد گالوانیزه جلوگیری از پیچش
Y	غلاف PVC
2Y	غلاف PE
J	کابل با مغزی‌های کدگذاری شده سبز / زرد (سبز / رنگ معمولی) (۰/۶/۱ kV)
O	کابل بدون مغزی‌های کدگذاری شده سبز / زرد (سبز / رنگ معمولی) (۰/۶ / ۱ kV)

۱-۹-۲- کدگذاری براساس نوع و شکل هادی‌های کابل

RE	هادی تک رشته‌ای مقطع گرد
RM	هادی چند رشته‌ای مقطع گرد
SE	هادی با رشته دارای مقطع قطاعی شکل
SM	هادی که هر رشته دارای مقطع قطاعی شکل و هر یک شامل چند رشته باشد.
RF	هادی چند رشته‌ای مقطع گرد و قابل انعطاف

در شکل ۲-۱ شیوه نامگذاری انواع سیم‌ها آورده شده است.



شکل ۲-۱: نحوه نامگذاری سیم‌های با سطح مقطع مختلف

مثال: کابل دارای سه مغزی بوده که هر مغزی دارای عایق PVC روکش رسانا برای محدود کردن میدان الکتریکی می‌باشد. کابل دارای غلاف پوششی سراسری ترموپلاستیک است. سطح مقطع هر هادی ۷۰ میلی‌متر مربع بوده و هادی دارای مقطع گرد است. نحوه کدگذاری به شرح زیر خواهد بود:

NYSEY 3×70 RM

۱-۱۰- انواع کابل‌های کنترل و مخابراتی

کابل‌های کنترل رایج در پست‌های فشار قوی با توجه به کدهای ارائه شده در بند ۱-۹ از انواع زیر می‌باشند.

کابل NYCY

کابل یا هادی مسی و عایق PVC ترموپلاستیک و هادی هم محور مسی و غلاف PVC این نوع کابل برای کنترل و انتقال سیگنالها از جمله سیگنالهای ترانسفورماتورهای جریان و ولتاژ بکار می‌رود. کاربرد این نوع کابل در مصارفی است که اضافه ولتاژهای گذرا ممکن است به آنها آسیب برسانند. بعنوان مثال از این گونه کابلها در خطوطی که تجهیزات الکترونیکی را بهم متصل می‌نمایند، استفاده می‌شود. حفاظت مکانیکی اغلب مورد نیاز نیست. مشخصات این نوع کابل در جدول ۱-۱۵ آمده است.

کابل NYJ-J

کابل با هادی مسی و عایق PVC ترموپلاستیک و غلاف PVC و کد رنگی مغزی‌ها. این نوع کابل برای کنترل و انتقال سیگنالها از جمله سیگنال ترانسفورماتورهای جریان و ولتاژ مورد استفاده قرار می‌گیرد. کاربرد نوع کابل در مکانهایی است که هیچ حفاظت خاصی در مقابل صدمات مکانیکی ضروری نباشد. همچنین این گونه کابلها اضافه بارهای گذاری کوچکی را تحمل می‌کنند. مشخصات این گونه کابلها در جدول ۱-۱۶ آمده است.

کابل NYRGY - J (تا 7×2.5 یا 4×6) و کابل NYFGY (10×2.5 یا 4×10 به بالا)

کابل با هادی مسی، عایق PVC ترموپلاستیک، زره سیم فولادی گالوانیزه با مقطع گرد، نوار محافظ در مقابل پیچش مغزی‌ها از جنس سیم فولادی گالوانیزه مقطع گرد به همراه غلاف PVC و کد رنگی مغزی‌ها.

این نوع کابل برای کنترل و انتقال سیگنالها از جمله سیگنالهای ترانسفورماتورهای جریان و ولتاژ مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد. کاربرد این نوع کابل در مکانهایی است که حفاظت قوی در مقابل صدمات مکانیکی ضروری می‌باشد. این نوع کابل اضافه ولتاژهای گذرای کوچکی را می‌تواند تحمل نماید. این کابل دارای زره از نوع فولاد گالوانیزه شده است. مشخصات این گونه کابلها در جدول ۱۷-۱ آمده است.

کابل NYY

کابل یا هادی مسی رشته‌ای و عایق PVC ترموپلاستیک و غلاف PVC.

این کابلها به عنوان کابل قدرت و کنترل در فضای بسته و باز، زیرزمین و در مناطق خشک و مرطوب کاربرد دارد. مشخصات این کابلها در جدول ۱۸-۱ آمده است.

کابل J-Y(ST)Y

این کابلها برای کنترل از راه دور، اندازه‌گیری و ارسال سیگنالها و همچنین ارتباطات تلفنی مورد استفاده قرار می‌گیرند. این کابلها اغلب در مناطق خشک، مرطوب و نصب در فضای باز بکار می‌روند. مشخصات این کابلها در جدول ۱۹-۱ آمده است.

جدول ۱۵-۱: کابل‌های کنترل و ارسال سیگنال با ولتاژ نامی ۱ KV / ۰/۶ از نوع NYCY

کاربرد				وزن Kg/km	قطر خارجی mm	کدگذاری مغزی		تعداد (مغزی) و قطر (mm)
تغذیه AC و DC	ترانسفورماتور ولتاژ	ترانسفورماتور جریان	اینترلاک، کنترل و غیره			براساس رنگ	عددی	
×	×			۳۰۰	۱۴	GNGE/SW/HBL/BR	—	۴×۲/۵
×	×	×	×	۳۷۰	۱۵	GNGE/SW/HBL/BR/SW	—	۵×۲/۵
		×	×	۴۵۰	۱۶	GNGE	۱-۶	۷×۲/۵
			×	۷۱۰	۲۲	GNGE	۱-۱۳	۱۴×۲/۵
			×	۱۰۴۰	۲۷	GNGE	۱-۲۳	۲۴×۲/۵
×	×	×	×	۵۰۰	۱۷	GNGE/SW/HBL/BR/SW	—	۵×۴
		×		۶۰۰	۱۸	GNGE	۱-۶	۷×۴
×	×	×		۶۰۰	۱۸	GNGE/SW/HBL/BR/SW	—	۵×۶
		×		۷۸۰	۲۰	GNGE	۱-۶	۷×۶*
×	×	×		۹۴۰	۲۱	GNGE/SW/HBL/BR/SW	—	۵×۱۰
		×		۱۱۶۰	۲۳	GNGE	۱-۶	۷×۱۰*

جدول ۱۶-۱: کابل‌های کنترل و ارسال سیگنال با ولتاژ نامی KV ۰/۶/۱ از نوع NYY-J

کاربرد				وزن (Kg/km)	قطر خارجی (mm)	کدگذاری مغزی		تعداد (مغزی) و قطر (mm)
تغذیه AC و DC	ترانسفورماتور ولتاژ	ترانسفورماتور جریان	اینترلاک، کنترل و غیره			براساس رنگ	عددی	
×	×			۲۷۵	۱۴	SW/HBL	—	۲×۲/۵/۲/۵
×	×	×	×	۳۵۰	۱۶	SW/HBL/BR/SW	—	۴×۲/۵/۲/۵
		×	×	۵۰۰	۱۷	—	۱-۷	۷×۲/۵/۲/۵
			×	۹۷۰	۲۶	—	۱-۱۶	۱۶×۲/۵/۶
			×	۱۲۰۰	۳۱	—	۱-۲۴	۲۴×۲/۵/۱۰
×	×	×	×	۴۰۰	۱۸	SW/HBL/BR/SW	—	۴×۴/۴
		×		۶۸۰	۱۹	—	۱-۷	۷×۴/۴*
×	×	×		۸۰۰	۱۹	SW/HBL/BR/SW	—	۴×۶/۶
		×		۸۴۰	۲۱	—	۱-۷	۷×۶/۶
×	×	×		۸۱۰	۲۱	SW/HBL/BR/SW	—	۷×۱۰/۱۰
		×		۱۲۰۰	۲۵	—	۱-۷	۷×۱۰/۱۰

جدول ۱۷-۱: کابل‌های کنترل و ارسال سیگنال با ولتاژ نامی KV ۰/۶/۱ از نوع NYFGY-5

کاربرد				وزن (Kg/km)	قطر خارجی (mm)	کدگذاری مغزی		تعداد (مغزی) و قطر (mm)
تغذیه AC و DC	ترانسفورماتور ولتاژ	ترانسفورماتور جریان	اینترلاک، کنترل و غیره			براساس رنگ	عددی	
×	×			۶۰۰	۱۷	GNGE/SW/HBL/BR	—	۴×۲/۵
×	×	×	×	۶۴۰	۱۸	GNGE/SW/HBL/BR	—	۵×۲/۵
		×	×	۷۷۰	۱۹	GNGE	۱-۶	۷×۲/۵
			×	۱۰۵۰	۲۲	GNGE	۱-۱۳	۱۴×۲/۵
			×	۱۶۲۰	۲۹	GNGE	۱-۲۳	۲۴×۲/۵
×	×	×	×	۸۲۰	۲۰	GNGE/SW/HBL/BR	—	۵×۴
		×		۹۶۰	۲۱	GNGE	۱-۶	۷×۴
×	×	×		۹۸۰	۲۲	GNGE/SW/HBL/BR/SW	—	۵×۶
		×		۱۰۳۰	۲۱	GNGE	۱/۶	۷×۶
×	×	×		۱۱۶۰	۲۳	GNGE/SW/HBL/BR	—	۵×۱۰
		×		۱۲۵۰	۲۴	GNGE	۱/۶	۷×۱۰

جدول ۱۸-۱: کابل‌های کنترل و ارسال سیگنال با ولتاژ نامی KV ۰/۶/۱ از نوع NYY

(در مورد باتریها کاربرد دارد)

وزن Kg/km	قطر خارجی mm	کدگذاری مغزی		تعداد (مغزی) و قطر (mm)
		براساس رنگ	عددی	
۳۷۰	۱۲	SW	—	۱×۲۵
۶۲۰	۱۵	SW	—	۱×۵۰
۱۱۰۰	۱۹	SW	—	۱×۹۵

جدول ۱-۱۹: انواع و ابعاد کابل‌های مخابراتی

J-Y(ST)Y ۲×۰/۸(mm)				J-Y(ST)Y ۲×۰/۶(mm)			
وزن (تقریبی) (kg/km)	قطر بیرونی (تقریبی) (mm)	ضخامت غلاف بیرونی (mm)	تعداد زوجها ضربدر قطر سیم (mm)	وزن (تقریبی) (kg/km)	قطر بیرونی (تقریبی) (mm)	ضخامت غلاف بیرونی (mm)	تعداد زوجها
۴۰	۶	۱	۱	۳۰	۴/۵	۱	۱
۶۰	۷	۱	۲	۴۰	۵/۵	۱	۲
۸۰	۸/۵	۱	۳	۵۰	۶/۵	۱	۳
۱۰۰	۹	۱	۴	۶۰	۷	۱	۴
۱۲۰	۹/۵	۱	۵	۷۰	۷/۵	۱	۵
۱۴۰	۱۰/۵	۱	۶	۸۰	۷/۵	۱	۶
۱۷۰	۱۱/۵	۱	۸	۹۰	۸	۱	۸
۲۲۰	۱۳/۵	۱/۲	۱۰	۱۱۰	۹	۱	۱۰
۲۵۰	۱۴	۱/۲	۱۲	۱۳۰	۹/۵	۱	۱۲
۲۸۰	۱۴/۵	۱/۲	۱۴	۱۴۵	۱۰	۱	۱۴
۳۱۰	۱۵/۵	۱/۲	۱۶	۱۶۰	۱۰/۵	۱	۱۶
۳۷۰	۱۶/۵	۱/۲	۲۰	۱۹۰	۱۱/۵	۱	۲۰
۴۶۰	۱۹	۱/۴	۲۴	۲۲۰	۱۲/۵	۱	۲۴
۵۵۰	۲۰	۱/۴	۳۰	۲۸۰	۱۳/۵	۱/۲	۳۰
۷۰۰	۲۲/۵	۱/۴	۴۰	۳۵۰	۱۵	۱/۲	۴۰
۸۸۰	۲۵/۵	۱/۶	۵۰	۴۳۰	۱۷	۱/۲	۵۰
۱۰۵۰	۲۷	۱/۶	۶۰	۵۰۰	۱۸	۱/۲	۶۰
۱۳۶۰	۳۱	۱/۸	۸۰	۶۴۰	۲۰/۵	۱/۴	۸۰
۱۷۰۰	۳۶/۵	۲	۱۰۰	۸۲۰	۲۳/۵	۱/۴	۱۰۰
۱۹۹۰	۳۷/۵	۲	۱۲۰	۹۹۰	۲۵	۱/۶	۱۲۰

پیوست ۱-۱- روش محاسبه فرضی^۱ برای تعیین ابعاد پوشش‌های محافظ

ضخامت پوشش‌های کابل مانند غلافها و زره، به قطر نامی کابل وابسته است. این امر گهگاه موجب بروز مشکلاتی می‌گردد. قطرهای نامی محاسبه شده لزوماً همان مقادیری نیستند که عملاً در تولید بدست می‌آیند. در حالات مرزی، در صورتی که بدلیل تفاوت جزئی بین قطر محاسبه شده و مقدار واقعی، ضخامت پوشش با قطر واقعی مطابقت نداشته باشد این مشکلات افزایش می‌یابد. تفاوت‌های موجود در ابعاد هادی، به دلیل روش‌های متفاوت محاسبه و تولید، باعث تفاوت‌هایی در قطر نامی می‌شود و لذا می‌تواند باعث تفاوت‌هایی در ضخامت پوشش‌های بکاررفته در کابل‌هایی با طراحی واحد گردد.

برای اجتناب از این مشکلات، باید روش محاسبه فرضی را بکار برد. در این روش شکل و درجه تراکم هادیها در محاسبه دخیل نبوده و قطر فرضی از رابطه‌ای که بر پایه سطح مقطع هادی‌ها، ضخامت نامی عایق و تعداد مغزی‌ها می‌باشد، محاسبه می‌گردد. بنابراین ضخامت غلاف و سایر پوشش‌ها از طریق فرمول یا با استفاده از جداول به قطرهای فرضی بستگی پیدا می‌کند. این روش، با محاسبه و تخصیص ضخامت‌ها از قبل برای هر سطح مقطع از هادی، طراحی‌های کابل را استاندارد می‌کند. محاسبه فرضی فقط جهت تعیین ابعاد غلافها و پوشش‌های کابل استفاده شده و نمی‌توان از آن به جای محاسبه قطرهای واقعی موردنیاز برای مقاصد عملی که باید بطور جداگانه محاسبه می‌شود استفاده نمود.

۱-۱-۱- کلیات

روش فرضی محاسبه ضخامت پوشش‌های مختلف در کابل به گونه‌ای است که هر گونه تفاوتی که ممکن است در محاسبات مستقل بوجود آید (بعنوان مثال به علت فرض کردن ابعاد هادی و اختلافات غیرقابل اجتناب بین قطرهای واقعی و نامی) از بین می‌رود.

ضخامت‌ها و قطرها باید با تقریب یک رقم اعشار گرد شوند.

چنانچه نوارهای نگهدارنده، مانند نواری که روی زره پیچیده می‌شود، ضخیم‌تر از $\frac{0}{3}$ میلیمتر نباشد در این روش محاسبه، نادیده گرفته می‌شوند.

۱-۱-۲- روش محاسبه

۱-۱-۲-۱- هادیها

قطر فرضی (d_L) هادی، بدون در نظر گرفتن شکل یا تراکم هادیها، برای هر سطح مقطع نامی در جدول (۱-۲۰) داده شده است.

1. Fictitious method

جدول ۱-۲: قطر فرضی هادی

سطح مقطع نامی هادی (mm ²)	d _L (mm)	سطح مقطع نامی هادی (mm ²)	d _L (mm)
۱/۵	۱/۴	۱۲۰	۱۲/۴
۲/۵	۱/۸	۱۵۰	۱۳/۸
۴	۲/۳	۱۸۵	۱۵/۳
۶	۲/۸	۲۴۰	۱۷/۵
۱۰	۳/۶	۳۰۰	۱۹/۵
۱۶	۴/۵	۴۰۰	۲۲/۶
۲۵	۵/۶	۵۰۰	۲۵/۲
۳۵	۶/۷	۶۳۰	۲۸/۳
۵۰	۸/۰	۸۰۰	۳۱/۹
۷۰	۹/۴	۱۰۰۰	۳۵/۷
۹۵	۱۱		

۱-۲-۲- مغزی ها

قطر فرضی هر مغزی، D_c برحسب میلیمتر به صورت زیر محاسبه می شود:

- برای مغزی های بدون لایه های نیمه هادی:

$$D_c = d_L + 2 t_i \quad (۵-۱)$$

- برای کابل های فشار متوسط توزیع و با لایه های نیمه هادی:

$$D_c = d_L + 2 t_i + 3 \quad (۶-۱)$$

که t_i ضخامت نامی عایق برحسب میلیمتر است (جداول ۱-۸ تا ۱-۱۰).

در صورتیکه یک پوسته فلزی یا هادی هم مرکز بکار رود، طبق بند ۱-۲-۱-۵ باید عمل شود.

۱-۲-۳- قطر از روی مغزی های تابیده شده

قطر فرضی از روی مغزی های تابیده شده، D_f برحسب میلیمتر به صورت زیر بدست می آید:

- برای کابل های چند رشته ای با هادی های دارای سطح مقطع نامی یکسان:

$$D_f = k D_c \quad (۷-۱)$$

که ضریب k مطابق با جدول (۲۱-۱) انتخاب می گردد.

- برای کابل های با چهار مغزی که دارای یک مغزی با سطح مقطع کوچکتر باشند:

$$D_f = \frac{2.42(3D_{c1} + D_{c2})}{4} \quad (۸-۱)$$

D_{c1} ، قطر فرضی هادی عایق شده مربوط به فازها، شامل لایه فلزی در صورت وجود، بر حسب میلیمتر

D_{c2} ، قطر فرضی هادی عایق شده با سطح مقطع کمتر شامل عایق یا پوشش در صورت وجود، برحسب میلیمتر

۱-۲-۴- پوشش‌های داخلی

قطر فرضی از روی پوشش داخلی (D_b) بر حسب میلیمتر به صورت زیر به دست می‌آید:

$$D_b = D_f + 2 t_b \quad (9-1)$$

T_b به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

- برای قطرهای فرضی از روی مغزی‌های تابیده شده (D_f) کمتر یا مساوی ۴۰ میلیمتر، برابر ۰/۴ میلیمتر می‌باشد.

- برای D_f بزرگتر از ۴۰ میلیمتر برابر ۰/۶ میلیمتر می‌باشد.

این مقادیر فرضی t_b برای موارد زیر بکار می‌رود:

کابل‌های چند مغزی:

- با پوشش داخلی یا بدون آن.

- با پوشش داخلی بصورت اکستروژنه یا نوار پیچ‌شده.

به جز در مواقعی که یک غلاف جداکننده همراه با یک پوشش داخلی و یا بجای آن بکار رفته باشد بند ۱-۱-۲-۶ جایگزین خواهد شد.

کابل‌های تک مغزی:

در صورتیکه پوشش داخلی بصورت اکستروژنه یا نوار پیچ‌شده بکار رفته باشد.

جدول ۱-۲۱: ضریب تجمع k برای مغزی‌های تاییده شده

تعداد رشته‌ها	ضریب تجمع (k)	تعداد رشته‌ها	ضریب تجمع (k)
۲	۲	۲۵	۶
۳	۲/۱۶	۲۶	۶
۴	۲/۴۲	۲۷	۶/۱۵
۵	۲/۷	۲۸	۶/۴۱
۶	۳	۲۹	۶/۴۱
۷	۳	۳۰	۶/۴۱
*۷	۳/۳۵	۳۱	۶/۷
۸	۳/۴۵	۳۲	۶/۷
*۸	۳/۶۶	۳۳	۶/۷
۹	۳/۸	۳۴	۷
*۹	۴	۳۵	۷
۱۰	۴	۳۶	۷
*۱۰	۴/۴	۳۷	۷
۱۱	۴	۳۸	۷/۳۳
۱۲	۴/۱۶	۳۹	۷/۳۳
*۱۲	۵	۴۰	۷/۳۳
۱۳	۴/۴۱	۴۱	۷/۶۷
۱۴	۴/۴۱	۴۲	۷/۶۷
۱۵	۴/۷	۴۳	۷/۶۷
۱۶	۴/۷	۴۴	۸
۱۷	۵	۴۵	۸
۱۸	۵	۴۶	۸
*۱۸	۷	۴۷	۸
۱۹	۵	۴۸	۸/۱۵
۲۰	۵/۳۳	۵۲	۸/۴۱
۲۱	۵/۳۳	۶۱	۹
۲۲	۵/۶۷		
۲۳	۵/۶۷		
۲۴	۶		

* تمام مغزی‌ها در یک لایه بهم تاییده شده‌اند.

۱-۱-۲-۵- هادیهای هم مرکز با پوسته‌های فلزی:

افزایش در قطر به دلیل وجود هادیهای هم مرکز و پوسته‌های فلزی در جدول زیر آمده است.

جدول ۱-۲۲: افزایش در قطر بدلیل وجود هادیهای هم مرکز و پوسته‌های فلزی

افزایش در قطر (mm)	سطح مقطع نامی هادی هم مرکز یا پوسته فلزی (mm ²)	افزایش در قطر (mm)	سطح مقطع نامی هادی هم مرکز یا پوسته فلزی (mm ²)
۱/۷	۵۰	۰/۵	۱/۵
۲	۷۰	۰/۵	۲/۵
۲/۴	۹۵	۰/۵	۴
۲/۷	۱۲۰	۰/۶	۶
۳	۱۵۰	۰/۸	۱۰
۴	۱۸۵	۱/۱	۱۶
۵	۲۴۰	۱/۲	۲۵
۶	۳۰۰	۱/۴	۳۵

اگر سطح مقطع هادی هم مرکز یا پوسته فلزی، بین دو مقدار داده شده در جدول (۱-۲۲) باشد، افزایش قطر، مقدار مربوط به سطح مقطع بزرگتر خواهد بود.

در صورتیکه پوسته فلزی بکار رود، سطح مقطع پوسته‌ای که باید براساس آن به جدول (۱-۲۲) مراجعه کرد، بصورت زیر برحسب میلیمتر مربع محاسبه می‌گردد:

پوسته نواری:

$$n_t \times t_t \times W_t = \text{سطح مقطع} \quad (۱۰-۱)$$

که در این رابطه داریم:

n_t : تعداد نوارها

t_t : ضخامت نامی یک نوار مجزا بر حسب میلیمتر

W_t : عرض نامی یک نوار مجزا برحسب میلیمتر

در صورتیکه ضخامت مجموع پوسته‌ها کمتر از ۰/۱۵ میلیمتر باشد افزایش در قطر ایجاد نمی‌گردد.

برای یک پوسته نواری پیچیده شده که از دو نوار یا یک نوار با همپوشانی تشکیل شده است، ضخامت کل دو برابر ضخامت یک نوار است.

برای پوسته‌های نواری که در راستای طول پیچیده شده‌اند، اگر همپوشانی کمتر از ۳۰٪ باشد، ضخامت کل برابر با ضخامت نوار است و اگر همپوشانی بزرگتر یا مساوی ۳۰٪ باشد، ضخامت کل دو برابر ضخامت نوار خواهد بود.

پوسته سیمی (با نوارهای پیچیده شده در جهت عکس^۱، در صورت وجود)

$$\text{سطح مقطع} = \frac{n_w \times d_w^2 \times \pi}{4} n_h \times t_h \times W_h \quad (۱۱-۱)$$

در این رابطه داریم:

n_w : تعداد سیم‌ها

d_w : قطر سیم‌های مجزا (میلیمتر)

n_h : تعداد نوارهای پیچیده شده در جهت عکس پیچش

t_h : ضخامت نوارهای پیچیده شده در جهت عکس پیچش (میلیمتر)

W_h : پهنای نوارهای پیچیده شده در جهت عکس پیچش (میلیمتر) است.

۱-۲-۱-۶- غلاف سربی

قطر فرضی کابل از روی غلاف سربی (D_{pb}) با استفاده از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$D_{pb} = D_g + 2t_{pb} \quad (۱۲-۱)$$

که در آن:

D_g : قطر فرضی زیر غلاف سربی برحسب میلیمتر

t_{pb} : ضخامت محاسبه شده مطابق با بند ۱-۳-۵-۱، بر حسب میلیمتر است.

۱-۲-۱-۷- غلاف خارجی

قطر فرضی کابل از روی غلاف خارجی (D_s) برحسب میلیمتر از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$D_s = D_u + 2t_s \quad (۱۳-۱)$$

که در این رابطه D_u ، قطر فرضی زیر غلاف جداکننده و t_s ضخامت محاسبه شده غلاف جداکننده مطابق بند ۱-۲-۶-۲ می‌باشد.

۱-۲-۱-۸- لایه نوارپیچی شده زیرین

قطر فرضی کابل از روی لایه نوارپیچی شده زیرین (D_{lb}) با استفاده از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$D_{lb} = D_{ulb} + 2t_{lb} \quad (۱۴-۱)$$

که در آن:

D_{ulb} : قطر فرضی زیر لایه نوارپیچی شده، برحسب میلیمتر

t_{lb} : ضخامت لایه نوارپیچی شده زیرین برحسب میلیمتر می‌باشد.

۱-۱-۲-۹- لایه اضافی زیرین جهت کابل‌های دارای زره نواری (اعمال شده روی پوشش داخلی)

افزایش قطر ناشی از لایه اضافی زیرین برای کابل‌های دارای زره نواری بصورت داده شده در جدول زیر می‌باشد.

جدول ۱-۲۳: افزایش قطر برای لایه اضافی زیرین

افزایش قطر ناشی از لایه اضافی (میلیمتر)	قطر فرضی زیر لایه اضافی (میلیمتر)	
	کمتر یا مساوی	بیشتر از
۱	۲۹	-
۱/۶	-	۲۹

۱-۱-۲-۱۰- زره

قطر فرضی روی زره (D_x) برحسب میلیمتر با استفاده از رابطه زیر بدست می‌آید:

برای زره سیمی تخت یا گرد:

$$D_x = D_a + 2t_a + 2t_w \quad (۱۵-۱)$$

در رابطه فوق:

D_a : قطر زیر زره برحسب میلیمتر

t_a : ضخامت یا قطر سیم زره برحسب میلیمتر

t_w : ضخامت نوار قرار گرفته در جهت عکس پیچش سیم‌های زره (در صورت وجود) چنانچه بیشتر از ۳/۰ میلیمتر باشد.

در مورد زره نواری دوبل:

$$D_x = D_a + 4t_a \quad (۱۶-۱)$$

که در آن:

D_a : قطر زیر زره برحسب میلیمتر

t_a : ضخامت نوار زره برحسب میلیمتر می‌باشد.

مقدمه

در این فصل روش طراحی و انتخاب کابل‌های تغذیه، کابل‌های کنترل و حفاظت مورد استفاده در پستهای فشارقوی شرح داده خواهد شد.

۱-۲- جریان نامی

در تعیین سطح مقطع کابل‌های فشار متوسط و فشار ضعیف باید ابتدا جریان عبوری از کابل تعیین گردد. جریان نامی کابل با توجه به میزان بار در محل نصب آن و در نظر گرفتن شرایط اضطراری یا اضافه بار تعیین می‌شود. در صورتی که بارگذاری دوره‌ای در نظر گرفته شده باشد، در تعیین جریان نامی کابل می‌توان از منحنی بار استفاده نمود. پارامترهای مختلفی در تعیین ظرفیت جریانی کابل مؤثر می‌باشند که به آنها پرداخته خواهد شد.

۱-۱-۲- درجه حرارت محیط

درجه حرارت محیط و یا زمین اطراف کابل از جمله پارامترهای مؤثری است که در تعیین ظرفیت جریانی کابل دخیل می‌باشد. حداکثر درجه حرارت مجاز برای عایق‌های مختلف از طریق آزمایش و تجربه بدست می‌آید و تابعی از زمان می‌باشد. بدیهی است برای زمان‌های کوتاه، حداکثر درجه حرارت مجاز افزایش خواهد یافت. بنابراین باید جریان‌های دائمی، دوره‌ای و کوتاه‌مدت و همچنین شرایط اضطراری و اتصال کوتاه در تعیین حداکثر درجه حرارت مجاز در نظر گرفته شود. از این منظر جریان نامی مجاز کابل، حداکثر جریانی است که از آن عبور نماید بدون اینکه درجه حرارت کابل از حداکثر مقدار مجاز خود فراتر رود. ضرایب تصحیح جریان هادی برحسب درجه حرارت هوا و زمین در جداول ۱-۲ و ۲-۲ ارائه شده است.

جدول ۲-۱: ضرایب تصحیح جریان کابل در درجه حرارت‌های مختلف هوا

ضرایب تصحیح برای درجه حرارت هوا بر حسب درجه سانتیگراد									حداکثر افزایش درجه حرارت	حداکثر درجه حرارت عملکرد °C	نوع کابل
۵۰	۴۵	۴۰	۳۵	۳۰	۲۵	۲۰	۱۵	۱۰			
۰/۸۲	۰/۸۷	۰/۹۱	۰/۹۶	۱	۱/۰۴	۱/۰۸	۱/۱۲	۱/۱۵	–	۹۰	کابل XLPE
۰/۷۱	۰/۷۹	۰/۸۷	۰/۹۴	۱	۱/۰۷	۱/۱۲	۱/۱۷	۱/۲۲	–	۷۰	کابل PVC
۰/۷۷	۰/۸۴	۰/۸۹	۰/۹۵	۱	۱/۰۵	۱/۰۵	۱/۰۵	۱/۰۵	۵۵	۸۰	کابل با عایق اشباع شده و کابل با عایق نوار پیچی شده
۰/۶۵	۰/۷۶	۰/۸۵	۰/۹۳	۱	۱	۱	۱	۱	۳۵	۶۵	– ۱/۶ تا ۳/۶ کیلوولت
۰/۷۷	۰/۸۴	۰/۸۹	۰/۹۵	۱	۱/۰۵	۱/۰۵	۱/۰۵	۱/۰۵	۵۵	۸۰	کابل تک مغزی و سه مغزی، 1SL
۰/۷۱	۰/۷۹	۰/۸۷	۰/۹۴	۱	۱/۰۶	۱/۰۶	۱/۰۶	۱/۰۶	۴۵	۷۰	– ۱/۶ کیلوولت
۰/۶۵	۰/۷۶	۰/۸۵	۰/۹۳	۱	۱	۱	۱	۱	۳۵	۶۵	– ۱۲/۲۰ کیلوولت
۰/۵۸	۰/۷۱	۰/۸۲	۰/۹۱	۱	۱	۱	۱	۱	۳۰	۶۰	– ۱۸/۳۰ کیلوولت

جدول ۲-۲: ضرایب تصحیح جریان کابل در درجه حرارت‌های مختلف زمین^۲

درجه حرارت زمین	۱۰	۱۵	۲۰	۲۵	۳۰	۳۵
ضریب تصحیح	۱/۱	۱/۰۵	۱	۰/۹۵	۰/۸۹	۰/۸۴

۲-۱-۲- اثر همجواری در کابلها

در صورتی که بیش از یک سری کابل تک مغزی یا چندمغزی در مجاورت یکدیگر قرار گرفته باشند، جریان مجاز کابل تغییر نموده و باید تصحیح گردد.

جدول ۲-۳ ضرایبی را جهت تصحیح ظرفیت جریانی کابل بر اساس اثر همجواری برای کابل‌های چندمغزی با عایق PVC نشان می‌دهد. همچنین ضریب تصحیح همجواری کابلها برای حالات مختلف نصب در جداول ۲-۴ تا ۲-۷ آمده است (چنانچه از نردبان کابل استفاده شود این ضرایب کماکان معتبر می‌باشند).

۱. کابل دارای غلاف سربی واحد (single lead sheathed cable)

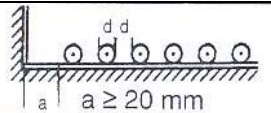
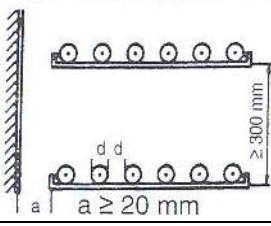
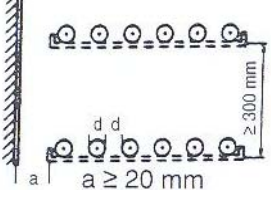
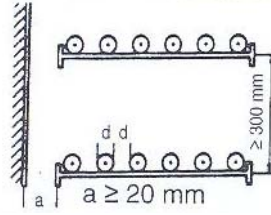
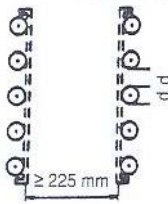
۲. کابل با هادی مسی و عایق PVC

استاندارد IEC شماره ۶۰۲۸۷-۲-۲ روش محاسبه ضرایب مقاومت حرارتی را برای دسته کابل‌های نصب شده در هوای آزاد ذکر کرده است.

جدول ۲-۳: ضرایب تصحیح ظرفیت جریانی براساس اثر همجواری برای کابل‌های چندمغزی با عایق PVC
(برای کابل‌های با سطح مقطع ۱/۵ تا ۱۰ mm²)

تعداد هادی‌هایی که جریان از آنها عبور می‌کند	دفن شده در زمین	نصب شده در هوا
۵	۰/۷	۰/۷۵
۷	۰/۶	۰/۶۵
۱۰	۰/۵	۰/۵۵
۱۴	۰/۴۵	۰/۵۰
۱۹	۰/۴	۰/۴۵
۲۴	۰/۳۵	۰/۴۰
۴۰	۰/۳۰	۰/۳۵
۶۱	۰/۲۵	۰/۳۰

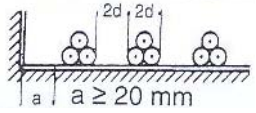
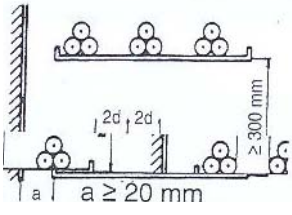
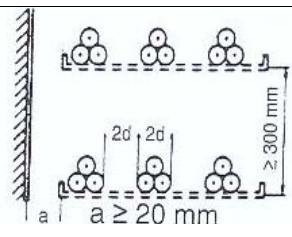
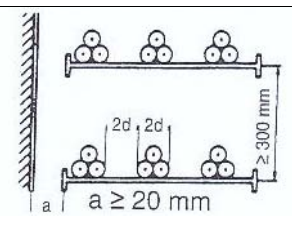
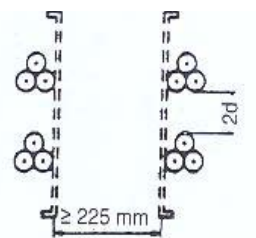
جدول ۲-۴: ضرایب تصحیح برای کابل‌های گروهی در هوا، تک مغزی در سیستم‌های سه فاز

نصب در حالت تخت فاصله: قطر کابل	تعداد سینی‌ها / رکهای عمودی	تعداد سیستم‌ها در حالت افقی		
		۱	۲	۳
نصب روی سطح زمین 	۱	۰/۹۲	۰/۸۹	۰/۸۸
سینی کابل 	۱	۰/۹۲	۰/۸۹	۰/۸۸
	۲	۰/۸۷	۰/۸۴	۰/۸۳
	۳	۰/۸۴	۰/۸۲	۰/۸۱
	۶	۰/۸۲	۰/۸۰	۰/۷۹
سینی کابل مشبک 	۱	۱/۰۰	۰/۹۳	۰/۹۰
	۲	۰/۹۷	۰/۸۹	۰/۸۵
	۳	۰/۹۶	۰/۸۸	۰/۸۲
	۶	۰/۹۴	۰/۸۵	۰/۸۰
رک 	۱	۱/۰۰	۰/۹۷	۰/۹۶
	۲	۰/۹۷	۰/۹۴	۰/۹۳
	۳	۰/۹۶	۰/۹۳	۰/۹۲
	۶	۰/۹۴	۰/۹۱	۰/۹۰
روی رک یا روی دیوار یا روی سینی مشبک در آرایش عمودی 	تعداد سینی‌های افقی	تعداد سیستم‌های عمودی		
	۱	۱	۲	۳
	۱	۰/۹۴	۰/۹۱	۰/۸۹
	۲	۰/۹۴	۰/۹۰	۰/۸۶

توضیحات:

- سینی کابل مشبک است اگر حداقل ۳۰٪ کل سطح آن سوراخکاری شده باشد.
- رک یک سازه نگهدارنده است که در آن سطح نگهدارنده کمتر از ۱۰٪ کل سازه است.

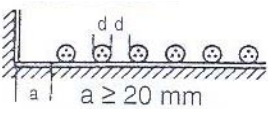
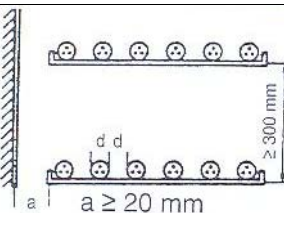
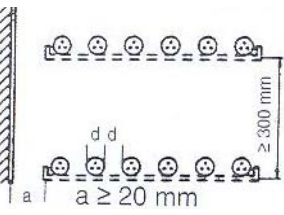
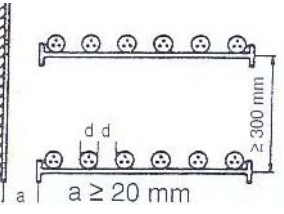
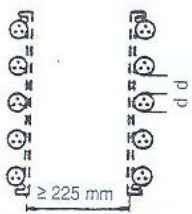
جدول ۲-۵: ضریب تصحیح سیستمهای سه فاز همجوار با کابل های تک مغزی نصب شده در هوا

نصب به صورت سه گانه مثلثی فاصله: دو برابر قطر کابل	تعداد سینی ها/ رکهای عمودی	تعداد سیستمها در حالت افقی		
		۱	۲	۳
نصب روی سطح زمین 	۱	۰/۹۸	۰/۹۶	۰/۹۴
سینی کابل 	۱	۰/۹۸	۰/۹۶	۰/۹۴
	۲	۰/۹۵	۰/۹۱	۰/۸۷
	۳	۰/۹۴	۰/۹۰	۰/۸۵
	۶	۰/۹۳	۰/۸۸	۰/۸۲
سینی کابل مشبک 	۱	۱/۰۰	۰/۹۸	۰/۹۶
	۲	۰/۹۷	۰/۹۳	۰/۸۹
	۳	۰/۹۶	۰/۹۲	۰/۸۵
	۶	۰/۹۵	۰/۹۰	۰/۸۳
رک 	۱	۱/۰۰	۰/۹۷	۰/۹۶
	۲	۰/۹۷	۰/۹۵	۰/۹۳
	۳	۰/۹۶	۰/۹۴	۰/۹۰
	۶	۰/۹۵	۰/۹۳	۰/۸۷
روی رک یا روی دیوار یا روی سینی مشبک در آرایش عمودی 	تعداد سینی های افقی	تعداد سیستمهای عمودی		
	۱	۱/۰۰	۰/۹۱	۰/۸۹
	۲	۱/۰۰	۰/۹۰	۰/۸۶

توضیحات:

- سینی کابل مشبک است اگر حداقل ۳۰٪ کل سطح آن سوراخکاری شده باشد.
- رک یک سازه نگهدارنده است که در آن سطح نگهدارنده کمتر از ۱۰٪ کل سازه است.

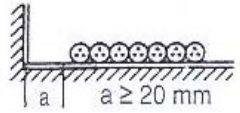
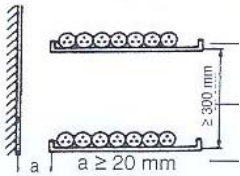
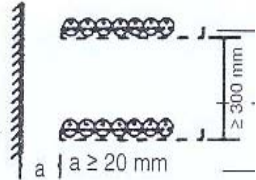
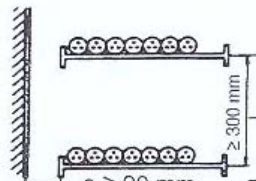
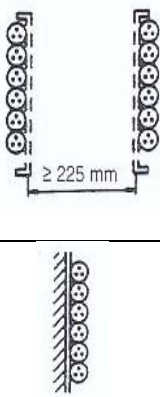
جدول ۲-۶: ضرایب تصحیح برای کابل‌های گروهی در هوا، تک مغزی و چند مغزی dc

نصب	تعداد کابل‌های افقی	تعداد سینی‌ها / رکهای عمودی					
		۱	۲	۳	۴	۶	
فاصله: قطر کابل d							
نصب روی زمین		۱	۰/۹۷	۰/۹۶	۰/۹۴	۰/۹۳	۰/۹۰
سینی کابل		۱	۰/۹۷	۰/۹۶	۰/۹۴	۰/۹۳	۰/۹۰
		۲	۰/۹۷	۰/۹۵	۰/۹۲	۰/۹۰	۰/۸۶
		۳	۰/۹۷	۰/۹۴	۰/۹۱	۰/۸۹	۰/۸۴
		۶	۰/۹۷	۰/۹۳	۰/۹۰	۰/۸۸	۰/۸۳
سینی کابل مشبک		۱	۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۹۸	۰/۹۵	۰/۹۱
		۲	۱/۰۰	۰/۹۹	۰/۹۶	۰/۹۲	۰/۸۷
		۳	۱/۰۰	۰/۹۸	۰/۹۵	۰/۹۱	۰/۸۵
		۶	۱/۰۰	۰/۹۷	۰/۹۴	۰/۹۰	۰/۸۴
رک		۱	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰
		۲	۱/۰۰	۰/۹۹	۰/۹۸	۰/۹۷	۰/۹۶
		۳	۱/۰۰	۰/۹۸	۰/۹۷	۰/۹۶	۰/۹۳
		۶	۱/۰۰	۰/۹۷	۰/۹۶	۰/۹۴	۰/۹۱
روی رک یا روی دیوار یا روی سینی مشبک در آرایش عمودی		تعداد سینی‌های افقی	تعداد سیستم‌های عمودی				
		۱	۱/۰۰	۲	۳	۴	۶
		۱	۱/۰۰	۰/۹۱	۰/۸۹	۰/۸۸	۰/۸۷
		۲	۱/۰۰	۰/۹۱	۰/۸۸	۰/۸۷	۰/۸۵

توضیحات:

- سینی کابل مشبک است اگر حداقل ۳۰٪ کل سطح آن سوراخکاری شده باشد.
- رک یک سازه نگهدارنده است که در آن سطح نگهدارنده کمتر از ۱۰٪ کل سازه است.

جدول ۲-۷: ضریب تصحیح همجواری کابل‌های چندمغزی یا کابل تک‌مغزی dc در هوا

نصب تماس متقابل	تعداد سینی‌ها/ رکهای عمودی	تعداد کابل‌های افقی					
		۱	۲	۳	۴	۶	۹
نصب روی زمین 	۱	۰/۹۷	۰/۸۵	۰/۷۸	۰/۷۵	۰/۷۱	۰/۶۸
	۱	۰/۹۷	۰/۸۵	۰/۷۸	۰/۷۵	۰/۷۱	۰/۶۸
سینی کابل 	۲	۰/۹۷	۰/۸۴	۰/۷۶	۰/۷۳	۰/۶۸	۰/۶۳
	۳	۰/۹۷	۰/۸۳	۰/۷۵	۰/۷۲	۰/۶۶	۰/۶۳
	۶	۰/۹۷	۰/۸۱	۰/۷۳	۰/۶۹	۰/۶۳	۰/۵۸
	۹	۰/۹۷	۰/۸۱	۰/۷۳	۰/۶۹	۰/۶۳	۰/۵۸
سینی کابل مشبک 	۱	۱/۰۰	۰/۸۸	۰/۸۲	۰/۷۹	۰/۷۶	۰/۷۳
	۲	۱/۰۰	۰/۸۷	۰/۸۰	۰/۷۷	۰/۷۳	۰/۶۸
	۳	۱/۰۰	۰/۸۶	۰/۷۹	۰/۷۶	۰/۷۱	۰/۶۶
	۶	۱/۰۰	۰/۸۴	۰/۷۷	۰/۷۳	۰/۶۸	۰/۶۴
رک 	۱	۱/۰۰	۰/۸۷	۰/۸۲	۰/۸۰	۰/۷۹	۰/۷۸
	۲	۱/۰۰	۰/۸۶	۰/۸۰	۰/۷۸	۰/۷۶	۰/۷۳
	۳	۱/۰۰	۰/۸۵	۰/۷۹	۰/۷۶	۰/۷۳	۰/۷۰
	۶	۱/۰۰	۰/۸۳	۰/۷۶	۰/۷۳	۰/۶۹	۰/۶۶
روی رک یا روی دیوار یا روی سینی مشبک در آرایش عمودی 	تعداد سینی‌های افقی		تعداد سیستم‌های عمودی				
	۱		۱	۲	۳	۴	۶
	۱		۱/۰۰	۰/۸۸	۰/۸۲	۰/۷۸	۰/۷۳
	۲		۱/۰۰	۰/۸۸	۰/۸۱	۰/۷۶	۰/۷۱
	تعداد سینی‌های عمودی		۱	۲	۳	۴	۶
	۱		۰/۹۵	۰/۷۸	۰/۷۳	۰/۷۲	۰/۶۸

توضیحات:

- سینی کابل مشبک است اگر حداقل ۳۰٪ کل سطح آن سوراخکاری شده باشد.
- رک یک سازه نگهدارنده است که در آن سطح نگهدارنده کمتر از ۱۰٪ کل سازه است.

۲-۲- جریان اتصال کوتاه

حفاظت در برابر اتصال کوتاه یکی از عوامل انتخاب کابل است. در واقع پس از انتخاب سطح مقطع کابل براساس جریان نامی، باید همخوانی آن با جریان نامی اتصال کوتاه مورد بررسی قرار گیرد. جهت حفاظت کابل در برابر اتصال کوتاه، ظرفیت قطع وسایل حفاظتی باید حداقل برابر با بزرگترین جریان اتصال کوتاه در محل نصب کابل باشد. اصل لازم در حفاظت مطلوب این است که در لحظه اتصال کوتاه، جریان خطا به مقدار قطع وسیله حفاظتی بکاررفته برسد. یعنی مقاومت کابل و یا به عبارت دیگر طول آن از مقدار مشخصی فراتر نرود. نمونه‌هایی از حداکثر طول مجاز کابل جهت حفاظت اتصال کوتاه با فیوز در جداول ۲-۹ و ۲-۱۰ داده شده است. در صورت استفاده از کلید (MCCB یا MCB) برای حفاظت اتصال کوتاه، حداکثر طول مجاز کابل در شکل‌های ۲-۱ و ۲-۲ مشخص شده است.

زمان قطع مجاز برای اتصال کوتاه‌هایی که تا ۵ ثانیه بطول می‌انجامند، بطور تقریبی از رابطه زیر بدست می‌آید. مدت زمان مجاز اتصال کوتاه بستگی به حداکثر جریان اتصال کوتاه محاسبه شده دارد. براساس این مدت زمان، سیستم حفاظتی کابل تنظیم می‌گردد.

$$t = \left(\frac{K \cdot S}{I} \right)^2 \quad (2-4)$$

در رابطه فوق داریم:

t: زمان قطع مجاز بر حسب ثانیه

S: سطح مقطع هادی بر حسب میلیمتر مربع

I: جریان بحرانی کابل بر حسب آمپر

K: ضریبی است که در تعیین زمان قطع مجاز بکار می‌رود. این ضریب برای کابل‌های مختلف در جدول ۲-۸ آمده است.

جدول ۲-۸: ضریب K برای کابل‌های مختلف

ضریب K	
۱۱۵	سیم مسی با عایق PVC
۱۴۱	سیم مسی با عایق پلاستیکی
۱۴۳	سیم مسی با عایق پلی‌اتیلن
۷۶	سیم آلومینیوم با عایق PVC
۸۷	سیم آلومینیوم با عایق لاستیکی
۹۴	سیم آلومینیوم با عایق پلی‌اتیلن

در صورتی که زمان قطع وسیله حفاظتی، از مقدار محاسبه شده t بزرگتر باشد، سطح مقطع کابل را افزایش می‌دهیم. در صورتی که زمان قطع آن از t کوچکتر باشد، کابل انتخاب شده در برابر اتصال کوتاه پایدار خواهد بود. در صورتی که زمان قطع مجاز کوتاه باشد، $K^2 \cdot S^2$ بدست آمده از رابطه فوق باید بزرگتر از $I^2 \cdot t$ باشد که توسط سازنده وسیله محدودکننده جریان تعیین شده است.

جدول ۲-۹: حداکثر طول مجاز کابل*

امپدانس مسیر تا قبل از وسیله حفاظتی (mΩ)									حداقل جریان اتصال کوتاه (A)	جریان نامی وسيله حفاظتی (A)	سطح مقطع نامی هادی (mm ²)
۷۰۰	۶۰۰	۵۰۰	۴۰۰	۳۰۰	۲۰۰	۱۰۰	۵۰	۱۰			
حداکثر طول مجاز (m)											
۲۴۹	۲۵۲	۲۵۵	۲۵۸	۲۶۱	۲۶۴	۲۶۷	۲۶۹	۲۷۰	۲۷	۶	۱/۵
۱۳۴	۱۳۷	۱۴۰	۱۴۳	۱۴۶	۱۴۹	۱۵۲	۱۵۴	۱۵۵	۴۷	۱۰	
۹۱	۹۴	۹۷	۱۰۰	۱۰۳	۱۰۶	۱۰۹	۱۱۱	۱۱۲	۶۵	۱۶	
۳۶	۴۰	۴۳	۴۶	۴۹	۵۲	۵۵	۵۷	۵۸	۱۲۶	۲۰	
۳۲	۳۶	۳۹	۴۲	۴۵	۴۸	۵۱	۵۳	۵۴	۱۳۵	۲۵	
۲۱۹	۲۲۴	۲۲۹	۲۳۴	۲۳۹	۲۴۴	۲۴۹	۲۵۱	۲۵۳	۴۷	۱۰	۲/۵
۱۴۸	۱۵۴	۱۵۹	۱۶۴	۱۶۹	۱۷۳	۱۷۸	۱۸۱	۱۸۳	۶۵	۱۶	
۱۰۵	۱۱۰	۱۱۵	۱۲۰	۱۲۵	۱۳۰	۱۳۵	۱۳۸	۱۳۹	۸۵	۲۰	
۷۳	۷۸	۹۳	۸۸	۹۳	۹۸	۱۰۳	۱۰۶	۱۰۸	۱۱۰	۲۵	
۳۶	۴۲	۴۷	۵۲	۵۷	۶۳	۶۷	۷۰	۷۲	۱۶۵	۳۲	
۲۴۱	۲۵۰	۲۵۸	۲۶۶	۲۷۴	۲۸۲	۲۹۰	۲۹۴	۲۹۷	۶۵	۱۶	۴
۱۷۱	۱۷۹	۱۸۷	۱۹۶	۲۰۴	۲۱۲	۲۲۰	۲۲۴	۲۲۷	۸۵	۲۰	
۱۱۸	۱۲۷	۱۳۵	۱۴۴	۱۵۲	۱۶۰	۱۶۸	۱۷۲	۱۷۵	۱۱۰	۲۵	
۷۱	۷۹	۸۸	۹۶	۱۰۵	۱۱۳	۱۲۱	۱۲۵	۱۲۸	۱۵۰	۳۲	
۴۲	۵۱	۶۰	۶۹	۷۷	۸۶	۹۴	۹۸	۱۰۱	۱۹۰	۴۰	
۸	۱۸	۲۷	۳۶	۴۵	۵۳	۶۱	۶۵	۶۸	۲۸۰	۵۰	
۲۵۷	۲۷۰	۲۸۲	۲۹۴	۳۰۷	۳۱۹	۳۳۱	۳۳۷	۳۴۲	۸۵	۲۰	۶
۱۷۸	۱۹۱	۲۰۴	۲۱۶	۲۲۹	۲۴۱	۲۵۳	۲۵۹	۲۶۴	۱۱۰	۲۵	
۱۰۶	۱۱۹	۱۳۲	۱۴۵	۱۵۸	۱۷۰	۱۸۲	۱۸۸	۱۹۳	۱۵۰	۳۲	
۶۴	۷۷	۹۱	۱۰۴	۱۱۶	۱۲۹	۱۴۱	۱۴۷	۱۵۲	۱۹۰	۴۰	
۲۰	۳۵	۴۸	۶۲	۷۵	۸۷	۱۰۰	۱۰۶	۱۱۱	۲۶۰	۵۰	
۰	۱۰	۲۴	۳۸	۵۷	۶۴	۷۶	۸۲	۸۷	۳۳۰	۶۳	
۲۹۸	۳۱۹	۳۴۰	۳۶۱	۳۸۲	۴۰۳	۴۲۳	۴۳۳	۴۴۱	۱۱۰	۲۵	۱۰
۱۷۸	۱۹۹	۲۲۱	۲۴۲	۲۶۴	۲۸۴	۳۰۵	۳۱۵	۳۲۳	۱۵۰	۳۲	
۱۰۷	۱۳۰	۱۵۲	۱۷۳	۱۹۵	۲۱۶	۲۳۶	۲۴۶	۲۵۵	۱۹۰	۴۰	
۳۴	۵۸	۸۱	۱۰۳	۱۲۵	۱۴۶	۱۶۷	۱۷۷	۱۸۵	۲۶۰	۵۰	
۰	۲۰	۴۴	۶۷	۸۹	۱۱۱	۱۳۲	۱۴۲	۱۵۰	۳۲۰	۶۳	
۰	۰	۰	۲۳	۴۶	۶۹	۹۰	۱۰۰	۱۰۸	۴۴۰	۸۰	
۲۸۰	۳۱۵	۳۵۰	۳۸۴	۴۱۷	۴۵۰	۴۸۳	۴۹۹	۵۱۲	۱۵۰	۳۲	۱۶
۱۶۹	۲۰۵	۲۴۰	۲۷۴	۳۰۸	۳۴۱	۳۷۴	۳۹۱	۴۰۴	۱۹۰	۴۰	
۵۴	۹۱	۱۲۷	۱۶۳	۱۹۸	۲۳۱	۲۶۵	۲۸۱	۲۹۴	۲۶۰	۵۰	
۰	۳۲	۶۹	۱۰۶	۱۴۱	۱۷۵	۲۰۹	۲۲۵	۲۳۸	۳۲۰	۶۳	
۰	۰	۰	۳۷	۷۳	۱۰۹	۱۴۳	۱۵۹	۱۷۲	۴۴۰	۸۰	
۰	۰	۰	۰	۲۹	۶۵	۱۰۰	۱۱۷	۱۳۰	۵۸۰	۱۰۰	

* کابل با هادی مسی، عایق PVC، حفاظت فیوژی با فیوز کلاس gG مطابق با استاندارد IEC شماره ۱-۶۰۲۶۹ و لثاژ نامی ۴۰۰ ولت و فرکانس ۵۰

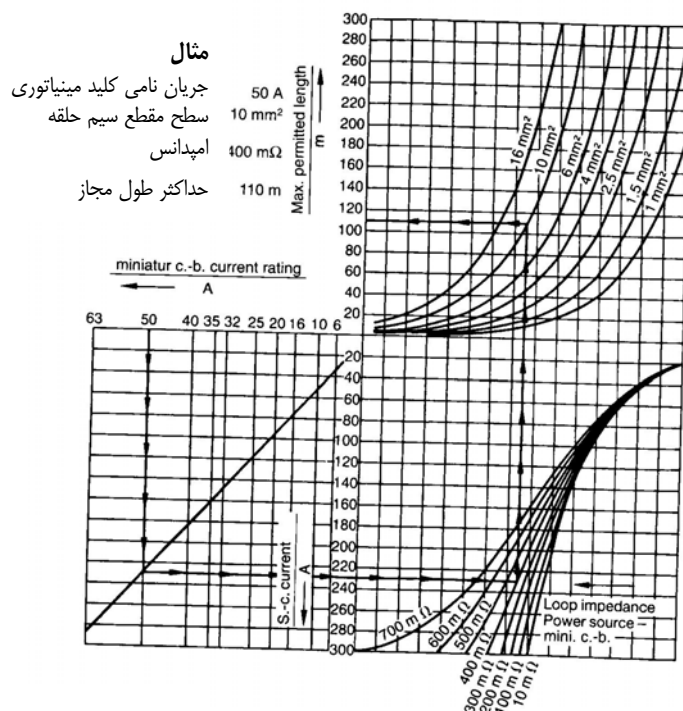
هرتر، مدت زمان قطع بعد از ۵ ثانیه و یا بعد از رسیدن به حد حرارتی مجاز اتصال کوتاه

جدول ۲-۱۰: حداکثر طول مجاز کابل*

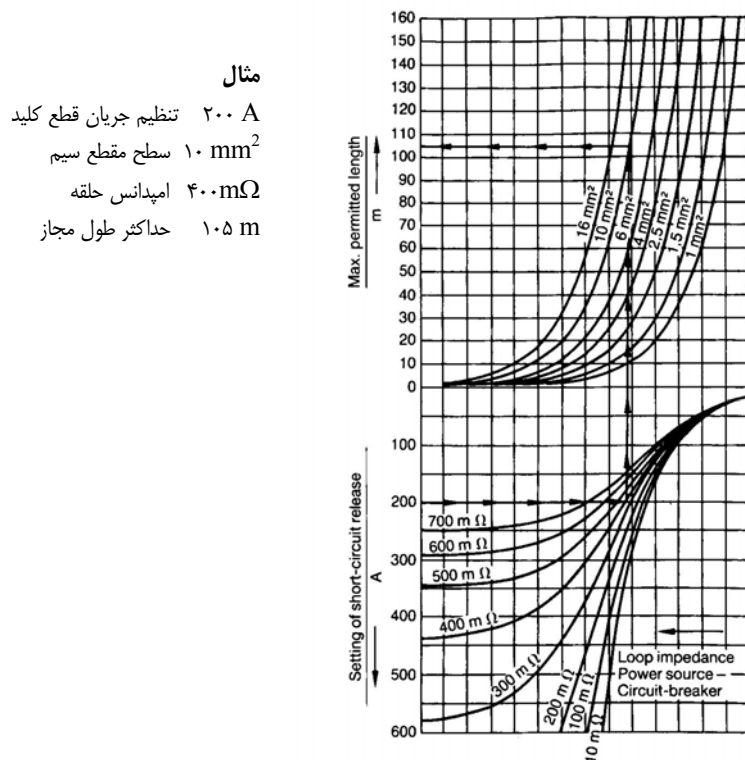
امپدانس مسیر تا قبل از وسیله حفاظتی (mΩ)					حداقل جریان اتصال کوتاه (A)	جریان نامی وسيله حفاظتی (A)	سطح مقطع نامی هادی (mm ²)
۳۰۰	۲۰۰	۱۰۰	۵۰	۱۰			
حداکثر طول مجاز (m)							
۲۲۱	۲۷۵	۳۲۸	۳۵۴	۳۷۴	۳۲۰	۶۳	۲۵
۱۱۵	۱۷۰	۲۲۴	۲۵۰	۲۷۱	۴۴۰	۸۰	
۴۶	۱۰۲	۱۵۷	۱۸۳	۲۰۴	۵۸۰	۱۰۰	
۰	۵۴	۱۰۹	۱۳۶	۱۵۷	۷۵۰	۱۲۵	
۰	۲۱	۷۷	۱۰۴	۱۲۵	۹۳۰	۱۶۰	
۱۵۷	۲۳۳	۳۰۷	۳۴۳	۳۷۲	۴۴۰	۸۰	۳۵
۵۲	۱۴۰	۲۱۵	۲۵۱	۲۸۰	۵۸۰	۱۰۰	
۰	۷۳	۱۴۹	۱۸۶	۲۱۵	۷۵۰	۱۲۵	
۰	۲۸	۱۰۶	۱۴۳	۱۷۲	۹۳۰	۱۶۰	
۰	۰	۴۹	۸۷	۱۱۶	۱۳۵۰	۲۰۰	
۰	۰	۲۹	۶۷	۹۷	۱۶۰۰	۲۵۰	
۸۳	۱۸۷	۲۸۸	۳۳۷	۳۷۶	۵۸۰	۱۰۰	۵۰
۰	۹۷	۲۰۰	۲۴۹	۲۸۹	۷۵۰	۱۲۵	
۰	۳۸	۱۴۱	۱۹۱	۲۳۱	۹۳۰	۱۶۰	
۰	۰	۶۵	۱۱۶	۱۵۶	۱۳۵۰	۲۰۰	
۰	۰	۳۹	۹۰	۱۳۰	۱۶۰۰	۲۵۰	
۰	۱۳۶	۲۸۱	۳۵۲	۴۰۸	۷۵۰	۱۲۵	۷۰
۰	۵۳	۱۹۹	۲۷۰	۳۲۶	۹۳۰	۱۶۰	
۰	۰	۹۲	۱۶۴	۲۲۰	۱۳۵۰	۲۰۰	
۰	۰	۵۴	۱۲۷	۱۸۴	۱۶۰۰	۲۵۰	
۰	۰	۰	۷۳	۱۳۰	۲۲۰۰	۳۱۵	
۰	۷۰	۲۶۵	۳۶۱	۴۳۸	۹۳۰	۱۶۰	۹۵
۰	۰	۱۲۲	۲۱۹	۲۹۶	۱۳۵۰	۲۰۰	
۰	۰	۷۲	۱۶۹	۲۴۶	۱۶۰۰	۲۵۰	
۰	۰	۰	۹۷	۱۷۴	۲۲۰۰	۳۱۵	
۰	۰	۰	۵۸	۱۳۵	۲۷۵۰	۴۰۰	
۰	۰	۱۴۸	۲۶۷	۳۶۲	۱۳۵۰	۲۰۰	۱۲۰
۰	۰	۸۸	۲۰۷	۳۰۲	۱۶۰۰	۲۵۰	
۰	۰	۰	۱۱۸	۲۱۳	۲۲۰۰	۳۱۵	
۰	۰	۰	۷۰	۱۶۵	۲۷۵۰	۴۰۰	
۰	۰	۱۷۴	۳۱۴	۴۲۶	۱۳۵۰	۲۰۰	۱۵۰
۰	۰	۱۰۳	۲۴۳	۳۵۵	۱۶۰۰	۲۵۰	
۰	۰	۰	۱۳۹	۲۵۰	۲۲۰۰	۳۱۵	
۰	۰	۰	۸۳	۱۹۵	۲۷۵۰	۴۰۰	
۰	۰	۰	۱۷	۱۲۹	۳۹۰۰	۵۰۰	

* کابل با هادی مسی، عایق PVC، XLPE یا EPR، حفاظت فیوژی با فیوز کلاس gG مطابق با استاندارد IEC شماره ۱-۶۰۲۶۹، ولتاژ نامی ۴۰۰

ولت و فرکانس ۵۰ هرتز، قطع بعد از ۵ ثانیه و یا بعد از رسیدن به حد مجاز حرارتی اتصال کوتاه



شکل ۲-۱: منحنی تعیین حداکثر طول مجاز برای کلید مینیاتوری (MCB)



شکل ۲-۲: منحنی تعیین حداکثر طول مجاز برای MCCB

۲-۳- افت ولتاژ

یکی از پارامترهای مهم در انتخاب کابل، افت ولتاژ بوده که بر روی انتخاب سطح مقطع کابل بسیار مؤثر است. افت ولتاژ کابل نباید از محدوده تعیین شده‌ای بیشتر شود. میزان افت ولتاژ مجاز از ترانسفورماتور تغذیه تا بار جهت کابل‌های فشار متوسط و فشار ضعیف برابر با ۵ درصد در نظر گرفته می‌شود. در مورد کابل‌های فشار ضعیف حداکثر افت ولتاژ کابل بین ترانسفورماتور زمین - کمکی و تابلوی LVAC برابر با ۲ درصد و از تابلوی LVAC تا بار برابر با ۳ درصد در نظر گرفته می‌شود. برای جریان راه‌اندازی موتور تا ۱۰٪ افت ولتاژ مجاز می‌باشد. در مورد سیستم LVDC تا ۵٪ افت ولتاژ و در Close/open کلید تا ۱۰٪ مجاز است. در محاسبه افت ولتاژ سیستم‌های جریان مستقیم داریم:

$$\Delta U = 2ILR_L \quad (۵-۲)$$

در جریان متناوب افت ولتاژ از رابطه زیر محاسبه می‌گردد.

سیستم تک‌فاز:

$$\Delta U = 2IL(R_L \cos\phi + X_L \sin\phi) \quad (۶-۲)$$

سیستم سه فاز:

$$\Delta U = \sqrt{3}IL(R_L \cos\phi + X_L \sin\phi) \quad (۷-۲)$$

در روابط فوق داریم:

ΔU : افت ولتاژ بر حسب ولت

I : جریان عبوری از کابل بر حسب آمپر

L : طول کابل بر حسب کیلومتر

R_L : مقاومت واحد طول کابل بر حسب اهم بر کیلومتر

X_L : اندوکتانس واحد طول کابل بر حسب اهم بر کیلومتر

ϕ : زاویه ضریب قدرت است.

در صورتی که سطح مقطع کابل کوچک باشد (تا ۱۶mm^2)، می‌توان از مؤلفه $X_L \sin\phi$ در برابر $R_L \cos\phi$ صرف‌نظر کرد. همچنین مقدار مقاومت از اطلاعات ارائه شده توسط سازنده در روابط فوق جایگذاری می‌شود.

در هنگام انتخاب کابل در صورتی که افت ولتاژ محاسبه شده از روابط فوق بیش از حد مجاز باشد باید کابلی با سطح مقطع بالاتر انتخاب گردد.

۲-۴- کابل کنترل

در مورد کابل‌های متصل به ثانویه ترانسفورماتورهای جریان باید توجه داشت که برخلاف کابل‌های قدرت که کابل توسط وسیله حفاظتی همچون فیوز و MCB نیز حفاظت می‌شود، هیچگونه حفاظتی نباید بطور سری با کابل قرار گیرد، زیرا هر گونه قطع مدار ثانویه ترانسفورماتور جریان در حالیکه سیم‌پیچ اولیه تحت ولتاژ باشد منجر به آسیب رسیدن به ترانسفورماتور جریان و نیز تجهیزات متصل به مدار ثانویه آن خواهد شد.

در مورد کابل‌های متصل به ثانویه ترانسفورماتورهای ولتاژ، MCB‌های سریع باید قادر باشند حداقل جریان اتصال کوتاه و یا جریان اتصال زمین مدار ثانویه را در مدت زمان قابل قبول که کمتر از مدت زمان عملکرد رله دیستانس است تشخیص داده و قطع نمایند. در این شرایط امیدانس کابل که سبب کاهش جریان اتصال کوتاه و یا اتصال زمین انتهایی مسیر می‌شود باید برای محاسبه حداقل جریان اتصالی ممکن بکار رود. لازم به ذکر است که چنانچه اتصالی در مدار ثانویه ترانسفورماتور ولتاژ رخ دهد، ورودی ولتاژ رله‌های دیستانس افت کرده و رله دیستانس به اشتباه در فیدر خط و یا کابل تشخیص خطا خواهد داد. بنابراین لازم است توسط رله‌های «تشخیص عملکرد فیوز» و یا MCB‌های سریع با کنتاکت کمکی «در حالت عادی بسته» خود این خطا را تشخیص داده و مانع از عملکرد رله دیستانس شوند.

در مورد کابل‌های مربوط به فرمان‌های قطع و وصل کلیدهای قدرت، تریپ حفاظتی و وصل مجدد آنها و نیز کویل اینترلاک سکسیونرها باید سطح مقطع کابل در مورد افت ولتاژ در حداکثر بار پاسخگو باشد و بعلاوه باید چنان باشد که پس از قطع مدار، کویل و یا بوبین‌های قطع و وصل را بر مقدار نگه ندارد. لازم به ذکر است که در صورت قطع مدار، کاپاسیتانس هادیها که در طول بلند خود ظرفیت خازنی قابل ملاحظه‌ای پدید می‌آورند مانع از بی‌برقی کامل کویل‌ها (جریان شارژ) و تغییر وضعیت مدار خواهند شد. چنانچه کابل با سطح مقطع بهینه قابل انتخاب نباشد باید از رله‌های با ظرفیت بالا استفاده نمود.

سطح مقطع هادیهای مربوط به کابل‌های ترانسفورماتورهای جریان باید چنان انتخاب شوند که تلفات ولت - آمپر در این کابل‌ها که ناشی از عبور جریان از آنهاست محدود به مقداری شود که در محاسبات تعیین می‌گردد. سازندگان سیستم‌های حفاظتی و کنترل باید حداقل شرایط لازم برای ترانسفورماتورهای جریان را ارائه نمایند. این شرایط معمولاً شامل ولتاژ زانوئی، مقاومت داخلی، ظرفیت هسته بر حسب ولت - آمپر، درصد خطا و ضریب حد دقت^۱ هستند. محاسباتی که در این مورد انجام می‌شود با ملحوظ نمودن اثر کابل‌های ارتباطی تحقیق می‌نماید که آیا حداقل شرایط اعلام شده توسط سازنده تأمین شده است و اگر چنین نیست باید کابل‌هایی با هادی‌های سطح مقطع بالاتر مورد استفاده قرار گیرند.

۲-۵- نمونه طراحی

هدف از این مثال انتخاب کابلی به طول ۶۰ متر جهت سوئیچگیر ۲۰ کیلوولت در یک پست ۶۳/۲۰ کیلوولت می‌باشد. ظرفیت ترانسفورماتور قدرت ۴۰ مگاوات آمپر و درجه حرارت محیط در محل پست برابر با ۳۵ درجه سانتیگراد است.

جریان نامی

با توجه به ظرفیت ترانسفورماتور قدرت، جریان نامی برابر است با:

$$I = \frac{40 \times 10^6}{\sqrt{3} \times 20 \times 10^3} = 1154/7 \quad (A)$$

مقدار جریان بدست آمده باید با توجه به ضرایب مربوطه تصحیح گردد.

- ضریب درجه حرارت محیط: فرض می‌شود کابلها با عایق XLPE باشند در این صورت با توجه به جدول ۱-۲ برای ۴۵ درجه سانتیگراد ضریب حرارتی برابر با ۰/۸۷ است.
 - برای ضریب اضافه بار^۱ ترانس، مقدار ۱/۲ در نظر گرفته می‌شود.
 - ضریب همجواری: فرض می‌شود که کابلها تک مغزی بوده و در یک سینی مشبک و در دو ردیف مجاور هم نصب شوند. در این صورت با توجه به جدول ۲-۷ ضریب همجواری برابر ۰/۹۸ می‌باشند.
- به این ترتیب ضریب تصحیح جریان برابر است با:

$$0.87 \times 0.98 = 0.8526$$

بنابراین ظرفیت جریانی موردنظر جهت کابل انتخاب برابر است با:

$$I = \frac{1154.7}{0.8526} = 1354.3$$

سطح مقطع نامی کابل با توجه به جریان بدست آمده برابر با ۳۰۰ میلیمتر مربع انتخاب می‌گردد.

جریان اتصال کوتاه

جریان اتصال کوتاه برابر با ۲۰ کیلوآمپر در نظر گرفته می‌شود. در صورتی که حداکثر زمان مجاز اتصال کوتاه ۳ ثانیه باشد داریم

$$S = \frac{I_{sc} \sqrt{t}}{k}$$

k برای کابل‌های XLPE برابر با ۱۴۳ می‌باشد. لذا داریم:

$$S = \frac{20 \times 10^3 \times \sqrt{3}}{143} = 242.2 \quad (\text{mm}^2)$$

بنابراین سطح مقطع ۳۰۰ میلیمتر مربع برای هادی کابل از دید اتصال کوتاه مناسب است.

افت ولتاژ

با توجه به جنس هادی که آلومینیوم فرض می‌شود، مقدار مقاومت هادی برابر با ۰/۱ (Ω/km) می‌باشد، بنابراین افت ولتاژ دو سر کابل در صورتی که طول آن ۶۰ متر فرض شود برابر است با

$$\% \Delta u = \frac{\Delta u}{u} \times 100 = \frac{2ILR_L}{u} \times 100 = \frac{2 \times 1154.7 \times 0.06 \times 0.1}{20 \times 10^3} \times 100 = 0.0693 < 2\%$$

بنابراین سطح مقطع هادی انتخاب شده از دیدگاه افت ولتاژ نیز مناسب است.



Three horizontal lines of varying lengths, centered on the page. The lines are black and have a consistent thickness. The top line is the longest, the middle line is slightly shorter, and the bottom line is the shortest. They are all parallel to each other.

مقدمه

در این فصل آزمون‌های لازم و شرایط انجام این آزمون‌ها جهت کابل‌های فشار متوسط و فشار ضعیف ارائه می‌گردد. این آزمون‌ها شامل آزمون‌های جاری، نمونه‌ای و نوعی می‌باشند. جهت انجام آزمون‌ها، کابل‌های کنترل در زمره کابل‌های فشار ضعیف قرار می‌گیرند.

۳-۱- شرایط آزمون

۳-۱-۱- درجه حرارت محیط

درجه حرارت محیط جهت کلیه آزمون‌ها باید در محدوده 20 ± 15 درجه سانتیگراد باشد، مگر اینکه در شرایط آزمونی خاص مورد دیگری تعیین شده باشد.

۳-۱-۲- فرکانس و شکل موج ولتاژهای آزمون فرکانس قدرت

فرکانس ولتاژ آزمون متناوب باید در محدوده ۴۹ تا ۶۱ هرتز باشد. شکل موج باید اساساً سینوسی باشد. ولتاژها برحسب مقدار مؤثر بیان می‌شوند.

۳-۱-۳- شکل موج ولتاژهای آزمون ضربه

مطابق با استاندارد IEC شماره ۶۰۳۳۰، شکل موج ضربه باید دارای زمان پیشانی بین ۱ تا ۵ میکروثانیه بوده و زمان رسیدن آن به نصف مقدار پیک در پشت موج بین ۴۰ تا ۶۰ میکروثانیه باشد. دیگر مشخصات موج ضربه باید مطابق با استاندارد IEC شماره ۶۰۶۰-۱ باشد.

۳-۲- آزمون‌های جاری

۳-۲-۱- کلیات

- آزمون‌های جاری زیر باید بر روی کلیه کابل‌های با طول مشخص انجام شود.
 - اندازه‌گیری مقاومت الکتریکی هادیها
 - آزمون تخلیه جزئی روی کابل‌هایی که مغزی‌های آنها دارای پوسته هادی و پوسته عایق با مشخصات ارائه شده در فصل اول می‌باشند (فقط برای کابل‌های فشار متوسط).
 - آزمون ولتاژ
- تعداد کابل‌هایی که مورد آزمون قرار می‌گیرند را می‌توان مطابق با روش کنترل کیفیت توافق شده کاهش داد.

۳-۲-۲- آزمون اندازه‌گیری مقاومت الکتریکی هادیها

اندازه‌گیری مقاومت باید روی کلیه هادیهای موجود در طول کابلی که جهت آزمون جاری فرستاده می‌شود، از جمله هادی هم‌مرکز (در صورت وجود) انجام گیرد.

دمای اتاق آزمون باید حداقل به مدت ۱۲ ساعت قبل از آزمون در یک مقدار قابل قبول، ثابت نگهداشته شود. در صورت تردید در مورد ثابت بودن دمای اتاق، مقاومت کابل باید بعد از اینکه کابل به مدت ۲۴ ساعت در اتاق آزمون قرار گرفت، اندازه‌گیری شود. روش دیگر، اندازه‌گیری مقاومت یک نمونه از هادی است که برای مدت حداقل یک ساعت در وان مایع با دمای کنترل شده قرار گرفته است.

مقدار اندازه‌گیری شده مقاومت باید مطابق با روابط و ضرایب ارائه‌شده در استاندارد IEC شماره ۶۰۲۲۸ نسبت به درجه حرارت ۲۰ درجه سانتیگراد و طول یک کیلومتر تصحیح گردد. مقاومت dc هر هادی در ۲۰ درجه سانتیگراد نباید از ماکزیمم مقدار مشخص‌شده در استاندارد IEC شماره ۶۰۲۲۸ فراتر رود. برای هادیهای هم‌مرکز، مقاومت باید با استانداردها یا قوانین موجود مطابقت کند.

۳-۲-۳- آزمون تخلیه جزئی

آزمون تخلیه جزئی باید مطابق با استاندارد IEC شماره ۶۰۸۸۵-۳ انجام شود. برای کابل‌های سه مغزی، آزمون باید بر روی کلیه مغزی‌های عایق‌شده انجام گیرد و ولتاژ باید بین هر هادی و پوسته فلزی اعمال گردد.

مقدار تخلیه جزئی در $\sqrt{3}$ برابر ولتاژ نامی نباید از ۱۰ پیکوکولمب تجاوز کند.

۳-۲-۴- آزمون ولتاژ

آزمون ولتاژ باید در درجه حرارت محیط و با بکاربردن ولتاژ متناوب در فرکانس قدرت انجام شود. در مورد کابل‌های فشار ضعیف می‌توان به دلخواه سازنده از ولتاژ مستقیم نیز استفاده نمود.

۳-۲-۴-۱- روش آزمون برای کابل‌های تک مغزی

برای کابل‌های تک مغزی دارای پوسته، ولتاژ آزمون باید به مدت ۵ دقیقه بین هادی و پوسته فلزی اعمال گردد. در مورد کابل‌های فشار ضعیف تک مغزی بدون پوسته، کابل باید در حرارت اتاق به مدت ۱ ساعت در آب غوطه‌ور شده و سپس ولتاژ آزمون به مدت ۵ دقیقه بین هادی و زمین اعمال گردد.

۳-۲-۴-۲- روش آزمون برای کابل‌های چندمغزی

برای کابل‌های چند مغزی که مغزی‌های آنها به طور جداگانه با پوسته فلزی پوشانده شده باشند، ولتاژ آزمون باید به مدت ۵ دقیقه بین هر هادی و لایه فلزی اعمال گردد. در خصوص کابل‌های بدون پوسته جداگانه برای هر مغزی، ولتاژ آزمون باید به مدت ۵ دقیقه بطور متوالی بین هر هادی عایق شده و سایر هادیها و لایه‌های فلزی یکپارچه (در صورت وجود)، اعمال گردد.

می‌توان هادیها را به جهت اعمال متوالی ولتاژ آزمون به شکلی مناسب متصل کرد تا زمان کل آزمون کاهش یابد به نحوی که اطمینان حاصل شود در هر نحوه اتصال، ولتاژ برای حداقل ۵ دقیقه بدون وقفه بین هر هادی و هر یک از هادیهای دیگر و بین هر هادی و لایه‌های فلزی (در صورت وجود)، اعمال می‌گردد. روش دیگر استفاده از ترانسفورماتور سه فاز جهت آزمون یکباره کابل‌های سه مغزی می‌باشد.

۳-۲-۳- ولتاژ آزمون

ولتاژ آزمون فرکانس قدرت برای کابل‌های فشار متوسط باید $3/5$ برابر ولتاژ نامی و برای کابل‌های فشار ضعیف $2/5 U_0 + 2$ کیلوولت باشد که U_0 ولتاژ نامی کابل است.

اگر برای کابل‌های سه مغزی، آزمون ولتاژ با یک ترانسفورماتور سه فاز انجام می‌گیرد، ولتاژ بین فازها باید $\sqrt{3}$ برابر مقادیر فوق باشد.

اگر از ولتاژ مستقیم جهت کابل‌های فشار ضعیف استفاده می‌شود ولتاژ اعمالی باید $2/4$ برابر ولتاژ آزمون فرکانس قدرت باشد. در کلیه حالات، ولتاژ آزمون باید به صورت تدریجی تا مقدار مشخص شده افزایش یابد.

۳-۲-۴- شرط قبولی آزمون

در حین آزمون نباید هیچ شکستی در عایق رخ دهد.

۳-۳- آزمونهای نمونه‌ای

۳-۳-۱- کلیات

آزمون‌های نمونه‌ای کابلها عبارتند از:

- محک هادی
- بازبینی ابعاد کابل
- آزمون ولتاژ برای کابل‌های فشار متوسط
- آزمون داغ برای عایقهای XLPE و غلافهای الاستومریک

۳-۳-۲- تعداد دفعات انجام آزمون‌های نمونه‌ای

محک هادی و بازبینی ابعاد کابل

اندازه‌گیری ضخامت عایق و غلاف و اندازه‌گیری قطر خارجی باید بر روی یک واحد طول از هر سری ساخت از نوع مشابه و سطح مقطع نامی یکسان انجام شود، اما نباید روی بیش از ۱۰ درصد تعداد طول کابل مورد قرارداد انجام شود.

آزمون‌های الکتریکی و فیزیکی

آزمون‌های الکتریکی و فیزیکی باید روی نمونه‌هایی انجام گیرد که مطابق با روش کنترل کیفیت مورد توافق، بازرسی شده‌اند. در صورت عدم وجود چنین توافقی، برای قراردادهایی که در آن طول کابل برای کابل‌های چند مغزی از ۲ کیلومتر و یا برای کابل‌های تک مغزی از ۴ کیلومتر تجاوز می‌کند، آزمون‌ها باید براساس جدول زیر انجام شوند.

جدول ۳-۱: تعداد نمونه‌ها برای آزمون‌های نمونه‌ای

طول کابل بر حسب کیلومتر				تعداد نمونه‌ها
کابل‌های چند مغزی		کابل‌های تک مغزی		
کوچکتر یا مساوی	بزرگتر از	کوچکتر یا مساوی	بزرگتر از	
۱۰	۲	۲۰	۴	۱
۲۰	۱۰	۴۰	۲۰	۲
۳۰	۲۰	۶۰	۴۰	۳
غیره		غیره		غیره

۳-۳-۳- تکرار آزمون‌ها

در صورتی که نمونه‌ای در هر یک از آزمون‌های نمونه‌ای با شکست مواجه شود، باید دو نمونه دیگر از همان گروه گرفته شده و جهت انجام آزمون یا آزمون‌های نمونه‌ای مشابهی که نمونه اصلی در آن مردود شده است فرستاده شود. اگر هر دو نمونه، آزمون‌ها را با موفقیت پشت سر گذاشتند، بدین معناست که کل کابل‌های گروهی که این دو نمونه از آن گرفته شده‌اند، نیازهای مربوطه را برآورده می‌سازند. اگر هر یک از دو نمونه اضافی در آزمون‌ها با شکست مواجه شوند، گروه کابل مورد نظر با نیازهای مربوطه همخوانی ندارد.

۳-۳-۴- محک هادی

باید مطابقت مشخصات هادی‌های کابل با نیازهای مندرج در استاندارد IEC شماره ۶۰۲۲۸ بوسیله بازرسی و در صورت امکان اندازه‌گیری بررسی شود.

۳-۳-۵- اندازه‌گیری ضخامت عایق و غلاف‌های غیرفلزی

این آزمون شامل غلاف جداکننده اکستروژده شده بوده اما پوشش اکستروژده شده داخلی را شامل نمی‌شود.

روش آزمون باید مطابق با بند ۸ از استاندارد IEC شماره ۶۰۸۱۱-۱-۱ باشد.

هر طول کابلی که جهت آزمون انتخاب می‌شود باید از انتهای طول کابل بریده شده و مورد ارزیابی قرار گیرد. کابل مورد آزمایش می‌تواند قطعه‌ای از کابل صدمه دیده یا کابلی که به هر علتی کنار گذاشته شده است (قطعات دور ریختنی) باشد.

در کابل‌های فشار ضعیف، کابل‌هایی که بیش از سه مغزی دارند و هادیهای آنها سطح مقطع نامی یکسان دارند، تعداد مغزی‌هایی که آزمون بر روی آنها انجام می‌شود باید به سه مغزی یا ده درصد مغزی‌ها، هر کدام بزرگتر بود، محدود گردد.

۳-۳-۱- نیازهای عایق

برای هر تکه از مغزی، متوسط مقادیر اندازه‌گیری شده باید تا یک رقم اعشار برحسب میلیمتر گرد شود. این مقدار نباید کمتر از ضخامت نامی باشد و کوچکترین مقدار اندازه‌گیری شده نباید بیش از $(mm) \pm 0.1$ زیر مقدار نامی قرار گیرد. عبارت دیگر:

$$t_m \geq t_n - (0.1 + 0.1 t_n) \quad (1-3)$$

که در آن

t_m : حداقل ضخامت برحسب میلیمتر

t_n : ضخامت نامی برحسب میلیمتر می‌باشد.

۳-۳-۲- نیازهای مربوط به غلافهای غیرفلزی

غلاف باید با مطالب زیر همخوانی داشته باشد:

الف- برای غلافی که روی سطحی مدور و صاف (بعنوان مثال روی یک پوشش داخلی، یک غلاف فلزی یا عایق) قرار دارد، متوسط مقادیر اندازه‌گیری شده، که تا یک رقم اعشار برحسب میلیمتر گرد شده است، نباید کمتر از ضخامت نامی بوده و کوچکترین مقدار اندازه‌گیری شده نباید بیش از $(mm) \pm 0.15$ پایین‌تر از مقدار نامی قرار گیرد. یعنی:

$$t_m \geq t_n - (0.1 + 0.15 t_n) \quad (2-3)$$

ب - برای غلافی که روی سطحی نامنظم قرار می‌گیرد (بعنوان مثال غلاف خارجی موجدار روی یک کابل سه مغزی بدون پوشش داخلی یا غلاف خارجی که مستقیماً روی زره، پوسته فلزی یا هادی هم مرکز قرار گرفته است) و برای یک غلاف جداکننده، حداقل مقدار اندازه‌گیری شده نباید بیش از $(mm) \pm 0.2$ پایین‌تر از مقدار ضخامت نامی قرار گیرد. یعنی:

$$t_m \geq t_n - (0.2 + 0.2 t_n) \quad (3-3)$$

۳-۳-۶- اندازه‌گیری ضخامت غلاف سربی

حداقل ضخامت غلاف سربی باید به انتخاب سازنده با یکی از روشهای زیر تعیین گردد. مقدار اندازه‌گیری شده نباید بیش از $(mm) \pm 0.5$ پایین‌تر از مقدار نامی باشد.

$$t_m \geq t_n - (0.1 + 0.05 t_n) \quad (4-3)$$

روش لخت کردن

اندازه‌گیری باید بوسیله یک میکرومتر با فکهای با قطر ۴ تا ۸ میلیمتر و دقت ± 0.1 میلیمتر و بر روی یک قطعه غلاف آزمون با طولی در حدود ۵۰ میلیمتر که از کابل کامل شده جدا شده است، انجام شود. قطعه مورد آزمون باید از جهت طولی شکاف داده شود و به دقت پهن شود. بعد از تمیز کردن قطعه مورد آزمون، باید تعدادی اندازه‌گیری بر روی محیط غلاف انجام شود. اندازه‌گیری نباید بیش از ۱۰ میلیمتر از لبه قطعه صاف شده فاصله داشته باشد تا اطمینان حاصل شود که کمترین ضخامت اندازه‌گیری می‌شود.

روش حلقه‌ای

اندازه‌گیری باید با یک میکرومتر که یک نوک مسطح^۱ و یک نوک کروی^۲ و یا یک نوک مسطح و یک نوک چهارگوش مسطح^۳ با عرض ۰/۸ میلی‌متر و طول ۲/۴ میلی‌متر دارد انجام شود. نوک کروی یا چهارگوش مسطح باید به داخل حلقه وارد شود. دقت میکرومتر باید ± 0.01 میلی‌متر باشد.

اندازه‌گیری‌ها باید روی یک حلقه از غلاف که به دقت از نمونه جدا شده است انجام گیرد. ضخامت باید در تعداد نقاط کافی در اطراف حلقه تعیین گردد تا اطمینان حاصل شود که کوچکترین ضخامت اندازه‌گیری شده است.

۳-۳-۷- اندازه‌گیری سیم‌ها و نوارهای زره

اندازه‌گیری سیم‌ها

قطر سیم‌های گرد و ضخامت سیم‌های تخت باید با استفاده از میکرومتری که دو نوک مسطح دارد و دقت آن ± 0.01 mm است، اندازه‌گیری شود. برای سیم‌های گرد، دو اندازه‌گیری باید در زوایای عمود به یکدیگر و در موقعیت یکسان انجام شود. متوسط دو مقدار بدست آمده باید بعنوان قطر در نظر گرفته شود.

اندازه‌گیری نوارها

اندازه‌گیری باید با یک میکرومتر که دو نوک مسطح با قطر تقریباً ۵ میلی‌متر و دقتی معادل ± 0.01 میلی‌متر دارد، انجام شود. برای نوارهایی که عرض آنها تا ۴۰ میلی‌متر است، ضخامت باید در وسط عرض اندازه‌گیری شود. برای نوارهای پهن‌تر، اندازه‌گیری‌ها باید در ۲۰ میلی‌متری هر لبه از نوار انجام شده و متوسط نتایج بدست آمده بعنوان ضخامت در نظر گرفته شود.

شرط قبولی آزمون

ابعاد سیم‌ها و نوارهای زره نباید بیش از مقادیر زیر با مقادیر نامی ارائه شده در فصل اول اختلاف داشته باشند:

- ۵٪ برای سیم‌های گرد
- ۸٪ برای سیم‌های تخت
- ۱۰٪ برای نوارها

۳-۳-۸- اندازه‌گیری قطر خارجی

اگر نیاز باشد که قطر خارجی کابل بعنوان یک آزمون نمونه‌ای اندازه‌گیری شود، روش اندازه‌گیری باید مطابق با بند ۸ از استاندارد IEC شماره ۱-۱-۶۰۸۱۱ انجام گیرد.

1. Flat nose
2. Ball nose
3. Flat rectangular nose

۳-۳-۹- آزمون ولتاژ به مدت ۴ ساعت

این آزمون تنها برای کابل‌هایی با ولتاژ نامی بالای $3/6/6(7/2)$ کیلوولت قابل اعمال است.

نمونه‌گیری

نمونه باید یک قطعه از کابل کامل شده با طول حداقل ۵ متر باشد.

روش آزمون

ولتاژ فرکانس قدرت باید به مدت ۴ ساعت در درجه حرارت محیط و بین هر هادی و لایه(های) فلزی اعمال گردد.

ولتاژ آزمون

ولتاژ آزمون باید ۴ برابر مقدار ولتاژ نامی باشد. این ولتاژ باید بصورت پله‌ای تا مقدار مشخص شده افزایش یافته و به مدت ۴ ساعت نگه داشته شود.

شرط قبولی آزمون

هیچ شکستی نباید در عایق رخ دهد.

۳-۳-۱۰- آزمون داغ برای عایق‌های XLPE و غلاف الاستومریک

روش آزمون

نمونه‌برداری و روش آزمون باید مطابق بند ۹ از استاندارد IEC شماره ۱-۲-۶۰۸۱۱ با بکار بردن شرایط ارائه شده در جدول ۳-۹ و ۳-۱۰ انجام شود.

نتایج آزمون باید با نیازهای داده شده در جدول ۳-۹ برای عایق‌های XLPE و جدول ۳-۱۰ برای غلاف‌های الاستومریک همخوانی داشته باشد.

۳-۴- آزمون‌های نوعی الکتریکی کابل‌های فشار متوسط

۳-۴-۱- کابل‌هایی که دارای پوسته هادی و پوسته عایق هستند

یک نمونه از کابل با طول ۱۰ تا ۱۵ متر باید به ترتیب تحت آزمون‌های ذکر شده در زیر قرار گیرد. به استثناء شروط ویژه، کلیه آزمون‌های ذکر شده باید به ترتیب بر روی نمونه مذکور انجام شود.

در کابل‌های چندمغزی، هریک از آزمون‌ها یا اندازه‌گیری‌ها باید روی کلیه مغزی‌ها انجام شود.

اندازه‌گیری مقاومت پوسته‌های نیمه‌هادی باید روی یک نمونه جدا انجام شود.

ترتیب آزمون‌ها

آزمون‌ها باید به ترتیب زیر انجام گیرد:

الف - آزمون تخلیه جزئی

ب - آزمون خمش که با یک آزمون تخلیه جزئی دنبال می‌شود.

ج - اندازه‌گیری $\tan\delta$

د - آزمون دوره‌ای گرما، که با یک آزمون تخلیه جزئی دنبال می‌شود.

ه - آزمون ضربه، که با یک آزمون ولتاژ دنبال می‌شود.

و - آزمون ولتاژ به مدت ۴ ساعت

ز - اندازه‌گیری مقاومت ویژه پوسته‌های نیمه هادی

شروط ویژه

اندازه‌گیری $\tan\delta$ می‌تواند روی نمونه متفاوتی از نمونه بکار رفته انجام شود. اندازه‌گیری $\tan\delta$ بر روی کابل‌هایی که ولتاژ نامی زیر (۱۲) ۶/۱۰ کیلوولت دارند لازم نیست. می‌توان برای آزمون بند «و» از یک نمونه جدید استفاده کرد با این شرط که این نمونه ابتدا تحت آزمون‌های بند «الف» و «ب» و «د» قرار گرفته باشد.

۳-۴-۱-۱- آزمون تخلیه جزئی

آزمون تخلیه جزئی باید به روش شرح داده شده در استاندارد IEC شماره ۲-۶۰۸۸۵ انجام شود
مقدار تخلیه جزئی در ولتاژ $\sqrt{3}$ برابر ولتاژ نامی باید اندازه‌گیری شود. این مقدار نباید از آنچه در جدول ۳-۳ آمده است بزرگتر باشد.

۳-۴-۱-۲- آزمون خمشی

نمونه باید در درجه حرارت محیط حداقل یک دور کامل حول یک استوانه آزمون پیچیده شود. سپس باید باز شده و مجدداً در جهت عکس روی استوانه پیچیده شود. این روند باید سه بار تکرار گردد.
قطر استوانه آزمون باید بصورت زیر باشد:
- برای کابل‌های با غلاف سربی یا با یک فویل فلزی که لبه‌های آن روی هم آمده باشد (این فویل به صورت طولی قرار گرفته است) شرایط زیر باید برقرار گردد:

برای کابل‌های تک مغزی

$$25 (d+D) \pm 5\% \quad (۵-۳)$$

برای کابل‌های چندمغزی

$$20 (d+D) \pm 5\% \quad (۶-۳)$$

برای سایر کابلها داریم:

برای کابل‌های تک مغزی

$$20(d+D) \pm 5\% \quad (۷-۳)$$

برای کابل‌های چند مغزی

$$15(d+D)5\pm\% \quad (۸-۳)$$

که در آن:

D: قطر خارجی واقعی نمونه کابل، برحسب میلیمتر که مطابق با بند ۲-۳-۸ اندازه‌گیری می‌شود.

d: قطر واقعی هادی، برحسب میلیمتر

اگر سطح مقطع هادی دایره نباشد:

$$d = 1.13\sqrt{S} \quad (۹-۳)$$

که در آن S سطح مقطع نامی برحسب میلیمتر مربع است.

برای تکمیل آزمون، نمونه باید تحت آزمون تخلیه جزئی قرار گرفته و با نیازهای ذکرشده همخوانی داشته باشد.

۳-۴-۱-۳- اندازه‌گیری $\tan\delta$ برای کابل‌های با ولتاژ نامی (۱۲)/۶ کیلوولت و بالاتر

نمونه گرفته شده از کابل باید با یکی از روشهای زیر گرم شود:

- نمونه باید در یک مخزن مایع یا در یک کوره قرار گیرد، یا یک جریان گرم‌کننده از پوسته فلزی یا هادی یا هردوی آنها عبور کند.

- نمونه باید تا جایی گرم شود که درجه حرارت هادی به ۵ یا ۱۰ درجه بالاتر از حداکثر درجه حرارت آن در عملکرد عادی برسد.

در هر کدام از روشهای فوق، درجه حرارت هادی باید با اندازه‌گیری مقاومت هادی یا با یک وسیله اندازه‌گیری مناسب درجه حرارت در وان مایع یا کوره یا روی سطح پوسته یا روی یک کابل مرجع گرم شده مشابه با کابل تحت آزمون تعیین گردد.

$\tan\delta$ باید در ولتاژ متناوب حداقل ۲ کیلوولتی و در درجه حرارت مشخص شده اندازه‌گیری شود. مقادیر اندازه‌گیری شده نباید بالاتر از مقادیر ذکرشده در جدول ۳-۳ باشد.

۳-۴-۱-۴- آزمون دوره‌ای گرما

نمونه‌ای که آزمون‌های قبلی بر روی آن انجام شده است باید روی کف اتاق آزمون قرار گرفته و با عبور جریان از هادی آن گرم شود تا اینکه درجه حرارت هادی به مقداری ماندگار معادل ۵ تا ۱۰ درجه سانتیگراد بالاتر از حداکثر درجه حرارت هادی در عملکرد نامی برسد.

برای کابل‌های سه مغزی، جریان باید از تمام هادیها عبور کند.

دوره گرمادهی باید حداقل ۸ ساعت باشد. درجه حرارت هادی باید به مدت حداقل ۲ ساعت از هر دوره گرمادهی در محدوده دمایی مشخص شده نگهداشته شود. پس از آن باید حداقل ۳ ساعت سرمایش طبیعی در هوا صورت گیرد و این روند باید ۲۰ بار تکرار گردد.

بعد از آخرین دوره، نمونه باید تحت آزمون تخلیه جزئی قرار گرفته و با نیازهای ذکرشده در IEC شماره ۲-۶۰۸۸۵ همخوانی داشته باشد.

۳-۴-۱-۵- آزمون ضربه

این آزمون باید در درجه حرارتی معادل ۵ تا ۱۰ درجه سانتیگراد بالاتر از حداکثر درجه حرارت هادی در عملکرد عادی، روی نمونه انجام شود.

ولتاژ ضربه باید مطابق با روش ارائه شده استاندارد IEC شماره ۶۰۲۳۰ اعمال گردد و باید مقدار پیکی برابر با مقادیر داده شده در جدول ۳-۲ داشته باشد.

جدول ۳-۲: مقدار پیک ولتاژ آزمون ضربه

ولتاژ نامی $U_0/U (U_m)$ kV	۳/۶/۶ (۷/۲)	۶/۱۰ (۱۲)	۸/۷/۱۵ (۱۷/۵)	۱۲/۲۰ (۲۴)	۱۸/۳۰ (۳۶)
ولتاژ آزمون (پیک) kV	۶۰	۷۵	۹۵	۱۲۵	۱۷۰

هر مغزی کابل باید بدون خطا در برابر ۱۰ ولتاژ ضربه با پلاریته مثبت و ۱۰ ولتاژ ضربه با پلاریته منفی استقامت کند.

بعد از آزمون ضربه، هر مغزی از نمونه باید در درجه حرارت محیط به مدت ۱۵ دقیقه تحت آزمون ولتاژ فرکانس قدرت قرار گیرد. هیچ شکستی نباید در عایق رخ دهد.

۳-۴-۱-۶- آزمون ولتاژ به مدت ۴ ساعت

این آزمون باید در درجه حرارت محیط انجام شود. ولتاژ فرکانس قدرت باید به مدت ۴ ساعت بین هادی‌ها و پوسته‌ها اعمال گردد.

ولتاژ آزمون باید ۴ برابر ولتاژ نامی باشد. ولتاژ باید بصورت پله‌ای تا مقدار مشخص شده افزایش یابد. هیچ شکستی نباید در عایق رخ دهد.

۳-۴-۱-۷- اندازه‌گیری مقاومت ویژه پوسته‌های نیمه هادی

مقدار مقاومت ویژه پوسته‌های نیمه هادی اکستروژده که روی هادی و روی عایق قرار می‌گیرند باید با انجام اندازه‌گیری روی قطعاتی که از مغزی یک نمونه کابل گرفته شده و قطعاتی از یک نمونه کابل که تحت آزمون پیری قرار گرفته است تعیین گردند.

پس از آن می‌توان سازگاری مواد را مطابق با بند ۳-۶-۵ آزمایش نمود.

روش آزمون

روش آزمون باید مطابق با پیوست ۱-۳ باشد.

اندازه‌گیری‌ها باید در درجه حرارتی بین ± 2 درجه سانتیگراد از حداکثر درجه حرارت هادی در عملکرد عادی انجام گیرد.

شرط قبولی آزمون

مقاومت، قبل و بعد از پیری نباید از مقادیر زیر فراتر رود.

- پوسته هادی $1000 \Omega.m$
- پوسته عایقی $500 \Omega.m$

۳-۴-۲- کابل‌های با عایق بدون پوسته

همه مغزیهای کابل نمونه با طول ۱۰ تا ۱۵ متر باید به ترتیب تحت آزمون‌های زیر قرار گیرند:

الف - اندازه‌گیری مقاومت عایقی در درجه حرارت محیط

ب - اندازه‌گیری مقاومت عایقی در حداکثر درجه حرارت هادی در عملکرد عادی

ج - آزمون ولتاژ به مدت ۴ ساعت

کابلها همچنین باید تحت یک آزمون ضربه که روی نمونه‌ای جدا از نمونه فوق انجام می‌گیرد قرار گیرند (طول نمونه باید ۱۰ تا ۱۵ متر باشد).

۳-۴-۲-۱- اندازه‌گیری مقاومت عایق در درجه حرارت محیط

روش آزمون

این آزمون باید قبل از سایر آزمون‌های الکتریکی روی نمونه موردنظر انجام شود.

کلیه پوششهای خارجی باید جدا شده و مغزی‌ها باید در آب با درجه حرارت محیط به مدت حداقل یک ساعت قبل از آزمون غوطه‌ور شوند.

ولتاژ dc آزمون باید بین ۸۰ تا ۵۰۰ ولت باشد و باید برای مدت زمان کافی تا رسیدن به شرایط قابل قبول ماندگار جهت اندازه‌گیری اعمال گردد. این مدت زمان باید بین ۱ تا ۵ دقیقه باشد. اندازه‌گیری باید بین هر هادی و آب انجام گیرد. در صورت درخواست، اندازه‌گیری می‌تواند در درجه حرارت $(20 \pm 1)^\circ \text{C}$ تأیید گردد.

محاسبات

مقدار مقاومت حجمی را می‌توان با استفاده از مقاومت عایقی اندازه‌گیری شده به شکل زیر محاسبه نمود:

$$\rho = \frac{2 \times \pi \times L \times R}{\ln \frac{D}{d}} \quad (10-3)$$

که در آن:

ρ : مقاومت حجمی برحسب اهم سانتیمتر

R : مقاومت اندازه‌گیری شده عایق برحسب اهم

L : طول کابل بر حسب سانتی‌متر

D : قطر خارجی عایق بر حسب میلی‌متر

d : قطر داخلی عایق بر حسب میلی‌متر می‌باشد.

ثابت مقاومت عایق k_i را که برحسب مگا اهم در کیلومتر بیان می‌گردد می‌توان با استفاده از رابطه زیر محاسبه کرد:

$$k_i = \frac{L \times R \times 10^{-11}}{\text{Log} \frac{D}{d}} = 10^{-11} \times 0.367 \times \rho \quad (11-3)$$

شرط قبولی آزمون

مقادیر محاسبه شده نباید از مقادیر درج شده در جدول ۳-۳ کمتر باشد.

۳-۴-۲- اندازه‌گیری مقاومت عایقی در حداکثر درجه حرارت هادی

روش آزمون

مغزی‌های نمونه کابل باید حداقل به مدت ۱ ساعت قبل از آزمون در آبی با دمای حداکثر درجه حرارت هادی در عملکرد عادی، (با تلورانس ± 2 درجه سانتیگراد) غوطه‌ور شوند. ولتاژ dc آزمون باید بین ۸۰ تا ۵۰۰ ولت باشد و باید برای مدت زمان کافی تا رسیدن به شرایط ماندگار قابل قبول جهت اندازه‌گیری اعمال گردد. این مدت زمان باید بین ۱ تا ۵ دقیقه باشد. اندازه‌گیری باید بین هادی و آب انجام شود.

محاسبات

مقاومت حجمی و یا ثابت مقاومت عایق باید با استفاده از روابط ۳-۸ و ۳-۹ محاسبه گردد.

شرط قبولی آزمون

مقادیر محاسبه شده نباید کمتر از مقادیر درج شده در جدول ۳-۳ باشد.

۳-۴-۲- آزمون ولتاژ به مدت ۴ ساعت

روش آزمون

مغزی‌های نمونه باید حداقل ۱ ساعت در درجه حرارت محیط در آب غوطه‌ور شوند. سپس ولتاژی با فرکانس قدرت و با دامنه ۴ برابر ولتاژ نامی باید به شکل تدریجی بین هر هادی و آب و به مدت ۴ ساعت بطور پیوسته اعمال شود.

شرط قبولی آزمون

هیچ شکستی نباید در عایق رخ دهد.

جدول ۳-۳: شرایط لازم جهت آزمون‌های الکتریکی ترکیبات عایقی کابل فشار متوسط

ردیف	آزمون	واحد	PVC/B	XLPE
	حداکثر درجه حرارت هادی در عملکرد عادی	C°	۷۰	۹۰
۱	مقاومت حجمی ρ^*			
۱-۱	- در ۲۰°C	$\Omega.cm$	۱۰ ^{۱۴}	-
	- در حداکثر درجه حرارت هادی تحت عملکرد عادی	$\Omega.cm$	۱۰ ^{۱۱}	-
۲	ثابت مقاومت عایقی k_i^*			
۱-۲	- در ۲۰°C	M. $\Omega.km$	۳۶۷	-
۲-۲	- در حداکثر درجه حرارت هادی تحت عملکرد عادی	M. $\Omega.km$	۰/۳۷	-
۳	$\tan \delta$			
	- حداکثر $\tan \delta$ در حداکثر درجه حرارت هادی تحت عملکرد عادی به علاوه ۵ تا ۱۰ درجه سانتیگراد	$\times 10^{-4}$	-	۸۰
۴	آزمون تخلیه جزئی			
	- حداکثر تخلیه در $\sqrt{3}$ برابر ولتاژ نامی	pc	-	۵

* برای کابل‌های بدون پوسته مطابق با فصل اول دارای عایق PVC

۳-۲-۴-آزمون ضربه

روش آزمون

در این آزمون درجه حرارت هادی باید ۵ تا ۱۰ درجه سانتیگراد بالاتر از حداکثر درجه حرارت هادی در شرایط عملکرد عادی باشد.

ولتاژ ضربه باید مطابق با روش ارائه شده در استاندارد IEC شماره ۶۰۲۳۰ اعمال شده و مقدار پیک آن ۶۰ کیلوولت باشد. هر سری از امواج ضربه باید به نوبت بین هر هادی فاز و کلیه هادیهای دیگر که به یکدیگر و به زمین اتصال یافته‌اند، اعمال گردد.

شرط قبولی آزمون

هر مغزی کابل باید بدون خطا ۱۰ ولتاژ ضربه با پلارینه مثبت و ۱۰ ولتاژ ضربه با پلارینه منفی را تحمل کند.

۳-۵-آزمونهای نوعی الکتریکی کابل‌های فشار ضعیف

یک نمونه از کابل تکمیل شده با طول ۱۰ تا ۱۵ متر باید به ترتیب تحت آزمونهای زیر قرار گیرد:

الف - اندازه‌گیری مقاومت عایقی در درجه حرارت محیط

ب - اندازه‌گیری مقاومت عایقی در حداکثر درجه حرارت هادی در عملکرد عادی

ج - آزمون ولتاژ به مدت ۴ ساعت

۳-۵-۱- اندازه‌گیری مقاومت عایقی در درجه حرارت محیط

روش آزمون

این آزمون باید قبل از سایر آزمون‌ها روی نمونه مورد نظر انجام شود. باید کلیه پوشش‌های خارجی از نمونه جدا شده و مغزیها در درجه حرارت محیط برای حداقل ۱ ساعت قبل از آزمون در آب غوطه‌ور شوند. ولتاژ آزمون dc باید ۸۰ تا ۱۰۰ ولت بوده و به مدت زمان کافی تا رسیدن به مقدار ماندگار جهت اندازه‌گیری، اعمال گردد. این مدت زمان باید بین ۱ تا ۵ دقیقه باشد. اندازه‌گیری باید بین هر هادی و آب انجام شود. در صورت نیاز، اندازه‌گیری می‌تواند در درجه حرارت (20 ± 1) درجه سانتیگراد تأیید شود.

محاسبات

با توجه به مقاومت اندازه‌گیری شده عایق، مقاومت حجمی باید با استفاده از رابطه زیر محاسبه گردد:

$$\rho = \frac{2 \times \pi \times L \times R}{\ln \frac{D}{d}} \quad (13-3)$$

که در آن:

ρ : مقاومت حجمی بر حسب اهم سانتیمتر

R : مقاومت اندازه‌گیری شده عایق بر حسب اهم

L : طول کابل بر حسب سانتیمتر

D : قطر خارجی عایق بر حسب میلی‌متر

d : قطر داخلی عایق بر حسب میلی‌متر

ثابت مقاومت عایقی k_i که بر حسب مگا اهم - کیلومتر بیان می‌گردد از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$K_i = \frac{L \times R \times 10^{-11}}{\log \frac{D}{d}} = 10^{-11} \times 0.367 \times \rho \quad (13-3)$$

شرط قبولی آزمون

مقادیر محاسبه شده نباید کمتر از مقدار مشخص شده در جدول ۳-۱۱ باشد.

۳-۵-۲- اندازه‌گیری مقاومت عایقی در حداکثر درجه حرارت هادی

مغزی‌های نمونه باید در ماکزیمم درجه حرارت هادی (با تلو رانس ± 2 درجه سانتیگراد) در عملکرد عادی برای مدت زمان حداقل ۱ ساعت قبل از آزمون در آب غوطه‌ور شوند. ولتاژ آزمون dc باید بین ۸۰ تا ۵۰۰ ولت بوده و برای مدت زمان کافی تا رسیدن به مقدار ماندگار جهت اندازه‌گیری اعمال شود. این مدت زمان باید بین ۱ تا ۵ دقیقه باشد.

اندازه‌گیری باید بین هر هادی و آب انجام شود.

محاسبات

مقاومت حجمی و یا ثابت مقاومت عایقی باید از مقاومت عایقی و با استفاده از روابط (۱۲-۳) و (۱۳-۳) محاسبه گردند.

شرط قبولی آزمون

مقادیر محاسبه شده نباید از آنچه در جدول ۱۱-۳ مشخص شده است کمتر باشد.

۳-۵-۳- آزمون ولتاژ برای ۴ ساعت

روش آزمون

مغزی‌های نمونه باید در درجه حرارت محیط برای حداقل ۱ ساعت قبل از آزمون در آب غوطه‌ور شوند. سپس یک ولتاژ فرکانس قدرت با دامنه‌ای برابر با $4U_0$ باید برای مدت ۴ ساعت و بطور پیوسته بین هر هادی و آب اعمال گردد.

شرط قبولی آزمون

هیچ شکست عایقی نباید اتفاق بیفتد.

۳-۶- آزمون‌های نوعی - غیرالکتریکی کابل‌های فشار متوسط

آزمون‌های نوعی غیرالکتریکی کابل‌های فشار متوسط مورد نیاز این استاندارد در جدول ۴-۳ داده شده است.

جدول ۳-۴: آزمون‌های نوعی غیرالکتریکی برای ترکیبات عایقی و غلافهای کابل فشار متوسط

ردیف	آزمون	عایق‌ها		غلافها			
		XLPE	PVC/B	PVC		PE	
				ST ₂	ST ₁	ST ₇	SE ₁
۱	ابعاد						
۱-۱	اندازه‌گیری ضخامت	×	×	×	×	×	×
۲	مشخصه‌های مکانیکی (استقامت کششی و افزایش طول در حد پارگی) ^۱						
۱-۲	بدون پیری	×	×	×	×	×	×
۲-۲	بعد از پیری در کوره هوا	×	×	×	×	×	×
۳-۲	بعد از پیری قطعات کابل تکمیل شده	×	×	×	×	×	×
۴-۲	بعد از غوطه‌ور شدن در روغن داغ	-	-	-	-	-	×
۳	مشخصه‌های ترموپلاستیک						
۱-۳	آزمون فشار داغ	-	×	×	×	×	-
۲-۳	رفتار در درجه حرارت پایین	-	×	×	×	-	-
۴	سایر آزمونها						
۱-۴	کاهش جرم در کوره هوا	-	-	×	-	-	-
۲-۴	آزمون شوک حرارتی	-	×	×	×	-	-
۳-۴	آزمون داغ	×	-	-	-	-	×
۴-۴	آزمون اشتعال ناپذیری	-	-	×	×	-	×
۵-۴	آزمون جذب آب	×	×	-	-	-	-
۶-۴	پایداری حرارتی	-	×	-	-	-	-
۷-۴	آزمون انقباض	×	-	-	-	×	-
۸-۴	اندازه‌گیری مقدار کربن سیاه (دوده)*	-	-	-	-	×	-
۹-۴	آزمون قابلیت لخت کردن**						
۱۰-۴	آزمون نفوذ آب***						

* فقط برای غلافهای خارجی مشکی رنگ.

** درمورد کابل‌هایی که سازنده ادعا می‌کند پوسته عایقی قابل جدا شدن است، انجام گردد.

*** در مورد کابل‌هایی که سازنده ادعا می‌کند محافظی جهت جلوگیری از نفوذ آب در نظر گرفته شده است، انجام گردد.

تهیه نمونه و روش انجام کلیه آزمون‌ها باید مطابق استاندارد IEC شماره ۶۰۸۱۱ باشد. نکات زیر علاوه بر استاندارد IEC فوق باید مدنظر قرار گیرد:

۳-۶-۱- اندازه‌گیری ضخامت عایق

شرط قبولی آزمون، برآورده شدن نیازهای عایقی ذکرشده در بند ۳-۵-۱ است.

۳-۶-۲- اندازه‌گیری ضخامت غلافهای غیرفلزی

این آزمون شامل غلافهای جداکننده اکستروژن شده بوده اما پوششهای داخلی را در بر نمی‌گیرد. شرط قبولی آزمون، برآورده شدن نیازهای مربوط به غلافهای غیرفلزی ذکر شده در بند ۳-۵-۲ می‌باشد.

۳-۶-۳- آزمونهای لازم جهت تعیین مشخصه‌های مکانیکی عایق قبل و بعد از پیری

شرط قبولی آزمون، تطابق نتایج آزمون برای قطعات پیرشده و پیرنشده با نیازهای داده شده در جدول ۳-۵ است.

۳-۶-۴- آزمونهای لازم جهت تعیین مشخصه‌های مکانیکی غلافهای غیرفلزی قبل و بعد از پیری

شرط قبولی آزمون تطابق نتایج آزمون برای قطعات پیرشده و پیرنشده با نیازهای ذکرشده در جدول ۳-۶ است.

۳-۶-۵- آزمون پیری اضافه روی قطعات کابل تکمیل‌شده

این آزمون جهت بررسی این نکته است که عایق و غلافهای غیرفلزی در حین عملکرد بر اثر تماس با سایر اجزاء کابل در معرض آسیب قرار نگیرند. آزمون برای کلیه انواع کابل قابل اجراست.

پیرسازی قطعات کابل باید در کوره هوا و به روش ارائه شده در بند ۸-۱-۴ از استاندارد IEC شماره ۶۰۸۱۱-۱-۲ و تحت شرایط زیر انجام گیرد:

- درجه حرارت: $10 \pm 2^{\circ}\text{C}$ بالاتر از حداکثر درجه حرارت هادی در عملکرد عادی (جدول ۳-۵)

- مدت زمان آزمون: $7 \pm 24\text{h}$

شرط قبولی آزمون به شرح زیر است:

تغییرات بین مقادیر میانی استقامت کششی و افزایش طول در حد پارگی، بعد از پیری و مقادیر متناظر آنها که قبل از پیری (بندهای ۳-۶-۳ و ۴-۶-۳) بدست آمده‌اند نباید از مقادیر بکاررفته در آزمون بعد از پیری در کوره هوای مشخص شده در جدول ۳-۵ برای عایقها و جدول ۳-۶ برای غلافهای غیرفلزی، فراتر رود.

۳-۶-۶- آزمون کاهش جرم روی غلافهای PVC نوع ST2

شرط قبولی آزمون تطابق نتایج آزمون باید با نیازهای ذکرشده در جدول ۳-۷ است.

۳-۶-۷- آزمون فشار در درجه حرارت بالا بر روی عایق و غلافهای غیرفلزی

شرط قبولی، تطابق نتایج آزمون با نیازهای بند ۸ از استاندارد IEC شماره ۱-۳-۶۰۸۱۱ است.

۳-۶-۸- آزمون بر روی عایق PVC و غلافها در درجه حرارت پایین

شرط قبولی آزمون تطابق نتایج آزمون با نیازهای ذکرشده در بند ۸ استاندارد IEC شماره ۴-۱-۶۰۸۱۱ است.

۳-۶-۹- آزمون جهت تأیید استقامت عایق PVC و غلافها در برابر ترک برداشتن^۱ (آزمون شوک حرارتی)

درجه حرارت و مدت زمان آزمون باید مطابق با جدول ۳-۷ باشد.

شرط قبولی آزمون تطابق نتایج آن با نیازهای ذکرشده در بند ۸ استاندارد IEC شماره ۱-۲-۶۰۸۱۱ است.

۳-۶-۱۰- آزمون داغ برای عایقهای XLPE و غلافهای الاستومریک

نمونه‌برداری و روش آزمون باید مطابق با بند ۳-۳-۱۰ انجام شود و با نیازهای آن مطابقت کند.

۳-۶-۱۱- آزمون غوطه‌وری در روغن برای غلافهای الاستومریک

شرط قبولی آزمون تطابق نتایج آن با نیازهای ذکرشده در جدول ۳-۱۰ است.

۳-۶-۱۲- آزمون جذب آب بر روی عایق

شرط قبولی آزمون تطابق نتایج آن با نیازهای ذکرشده در جداول ۳-۷ یا ۳-۹ است.

۳-۶-۱۳- آزمون مقاومت در برابر آتش

این آزمون تنها در مورد کابل‌هایی که غلافهایی با ترکیب ST_1 ، ST_2 یا SE_1 دارند قابل اعمال است و باید تنها در صورتی که مشخصاً درخواست شده باشد روی چنین کابل‌هایی انجام شود. روش آزمون و نیازهای مربوطه باید با آنچه در استاندارد IEC شماره ۱-۶۰۳۳۲ ذکر شده مطابقت کند.

۳-۶-۱۴- اندازه‌گیری درصد کربن سیاه در غلافهای بیرونی PE مشکی رنگ

شرط قبولی آزمون تطابق نتایج آن با نیازهای جدول ۳-۸ است.

۳-۶-۱۵- آزمون انقباض برای عایق XLPE

شرط قبولی آزمون تطابق نتایج بدست آمده با نیازهای جدول ۳-۹ است.

۳-۶-۱۶- آزمون پایداری حرارتی بر روی عایق PVC

شرط قبولی آزمون تطابق نتایج آن با نیازهای ذکر شده در جدول ۳-۷ است.

۳-۵-۱۷- آزمون انقباض بر روی غلاف بیرونی PE

شرط قبولی آزمون تطابق نتایج آن با نیازهای جدول ۳-۸ است.

۳-۶-۱۸- آزمون قابلیت جداسازی برای پوسته عایق

این آزمون باید هنگامی که سازنده ادعا می‌نماید پوسته عایقی نیمه هادی اکستروود شده قابل جدا شدن است انجام شود.

روش آزمون

آزمون باید سه بار روی هر دو نمونه پیر شده و پیر نشده، انجام شود. استفاده از سه قطعه کابل مجزا یا سه نقطه از یک کابل (این سه نقطه در محیط کابل و با زاویه تقریباً ۱۲۰ درجه‌ای انتخاب می‌شوند) اختیاری است. طول مغزی باید حداقل ۲۵۰ میلی‌متر باشد و باید قبل و بعد از پیری مطابق با بند ۳-۶-۵ از کابل گرفته شود.

دو برش باید بر روی پوسته عایق نیمه هادی اکستروود شده هر نمونه، از یک انتها تا انتهای دیگر در راستای طولی و تا سطح عایق بطور شعاعی، ایجاد شود. برش‌ها باید (1 ± 10) میلی‌متر با یکدیگر فاصله داشته و موازی هم باشند.

بعد از جدا کردن نوار تقریباً ۵۰ میلی‌متری با عرض ۱۰ میلی‌متر از کابل، با کشیدن آن در راستای موازی با مغزی، مغزی باید بطور عمودی در یک ماشین کشش قرار گرفته و یک انتهای مغزی در یک چنگک و نوار ۱۰ میلی‌متری در چنگک دیگر نگهداشته شود.

نیروی لازم جهت جدا کردن یک نوار ۱۰ میلی‌متری از عایق با جدا کردن طول حداقل ۱۰۰ میلی‌متر، با سرعت کشش $mm/min (250 \pm 50)$ باید محاسبه شود. زاویه جداسازی باید تقریباً ۱۸۰ درجه باشد.

آزمون باید در درجه حرارت (20 ± 5) درجه سانتیگراد انجام شود.

برای نمونه پیر شده و پیر نشده، مقادیر نیروی لازم جهت لخت کردن باید بطور پیوسته ثبت شود.

شرط قبولی آزمون

نیروی مورد نیاز جهت جدا کردن پوسته نیمه‌هادی اکستروود شده از عایق نباید قبل و بعد از پیری از ۴ نیوتن کمتر و از ۴۵ نیوتن بیشتر باشد.

سطح عایق نباید آسیب ببیند و هیچ اثری از پوسته نیمه هادی نباید روی عایق باقی بماند.

۳-۶-۱۹- آزمون نفوذناپذیری در برابر آب

این آزمون باید جهت آن دسته از کابلها که سازنده آن ادعا می‌کند تمهیداتی جهت جلوگیری از نفوذ آب در نظر گرفته شده است، انجام شود. آزمون طوری طراحی شده است که نیازهای مربوط به کابل‌های دفن شده برآورده شود.

آزمون باید به کابل‌های با طراحی‌های زیر قابل اعمال باشد.

- الف - کابل‌هایی که یک لایه محافظ جهت جلوگیری از ورود آب به ناحیه لایه‌های فلزی در نظر گرفته شده است.
- ب - کابل‌هایی که یک لایه محافظ جهت جلوگیری از ورود آب به هادی در نظر گرفته شده است.
- وسایل، نمونه‌برداری و روش آزمون باید مطابق با پیوست ۲-۳ باشد.

جدول ۳-۵: شرایط لازم برای آزمون مشخصه‌های مکانیکی ترکیبات عایقی کابل فشار متوسط (قبل و بعد از پیری)

ردیف	آزمون	واحد	PVC/B	XLPE
	حداکثر درجه حرارت هادی در عملکرد عادی	C°	۷۰	۹۰
۱	بدون پیری			
۱-۱	حداقل استقامت کششی	N/mm ²	۱۲/۵	۱۲/۵
۲-۱	حداقل افزایش طول در پارگی	%	۱۲۵	۲۰۰
۲	بعد از پیری در کوره هوا			
۱-۲	بعد از پیری بدون هادی			
۱-۱-۲	شرایط عملکرد:			
	- درجه حرارت	C°	۱۰۰	۱۳۵
	- تلورانس	C°	±۲	±۳
	- مدت زمان آزمون	روز	۷	۷
۲-۱-۲	استقامت کششی			
	- حداقل مقدار بعد از پیری	N/mm ²	۱۲/۵	-
	- حداکثر انحراف* از مقدار متوسط	%	±۲۵	±۲۵
۳-۱-۲	افزایش طول در پارگی			
	- حداقل مقدار بعد از پیری	%	۱۲۵	-
	- حداکثر انحراف	%	±۲۵	±۲۵

* انحراف عبارت است از تفاوت بین مقدار متوسط بدست آمده بعد از پیری و مقدار متوسط بدست آمده بدون پیری برحسب درصد.

جدول ۳-۶: شرایط لازم برای آزمون مشخصه‌های مکانیکی ترکیبات غلاف کابل فشار متوسط و فشار ضعیف (قبل و بعد از پیری)

ردیف	آزمون	واحد	ST ₁	ST ₂	ST ₃	ST7	SE ₁
	حداکثر درجه حرارت هادی در عملکرد عادی	C°	۸۰	۹۰	۸۰	۹۰	۸۵
۱	بدون پیری						
۱۲-۱	حداقل استقامت کششی	N/mm ²	۱۲/۵	۱۲/۵	۱۰	۱۲/۵	۱۰
۲-۱	حداقل افزایش طول در پارگی	%	۱۵۰	۱۵۰	۳۰۰	۳۰۰	۳۰۰
۲	بعد از پیری در کوره هوا						
۱-۲	شرایط عملکرد						
	- درجه حرارت (تولرانس C° ±۲)	C°	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۱۰	۱۰۰
	- مدت زمان آزمون	روز	۷	۷	۱۰	۱۰	۷
۲-۲	استقامت کششی						
	- حداقل مقدار قبل از پیری	N/mm ²	۱۲/۵	۱۲/۵	-	-	-
	- حداکثر انحراف	%	±۲۵	±۲۵	-	-	±۳۰
۳-۲	افزایش طول در پارگی						
	- حداقل مقدار بعد از پیری	%	۱۵۰	۱۵۰	۳۰۰	۳۰۰	۲۵۰
	- حداکثر انحراف	%	±۲۵	±۲۵	-	-	±۴۰

جدول ۷-۳: شرایط لازم برای آزمون مشخصه‌های خاص ترکیبات عایقی و غلاف از جنس PVC کابل فشار متوسط و فشار ضعیف

ردیف	آزمون		واحد	PVC/B	PVC/A	ST ₁	ST ₂
	استفاده از ترکیب PVC			عایق	غلاف		
۱	کاهش جرم در کوره هوا						
۱-۱	شرایط عملکرد						
	- درجه حرارت (تلورانس °C ±۲)		°C	-	-	-	۱۰۰
	- مدت زمان آزمون		روز	-	-	-	۷
۲-۱	حداکثر کاهش جرم		mg/cm ²	-	-	-	۱/۵
۲	آزمون فشار در درجه حرارت بالا						
۱-۲	درجه حرارت (تلورانس °C ±۲)		°C	۸۰	۸۰	۸۰	۹۰
۳	رفتار در درجه حرارت پایین						
۱-۳	آزمون که باید بدون پیری قبلی انجام شود						
	- آزمون خمشی سرد برای قطر کوچکتر از ۱۲/۵ میلیمتر						
	- درجه حرارت (تلورانس °C ±۲)		°C	-۱۵	-۵	-۱۵	-۱۵
۲-۳	آزمون انبساط سرد روی قطعات دمبل شکل						
	- درجه حرارت (تلورانس °C ±۲)		°C	-۱۵	-۵	-۱۵	-۱۵
۳-۳	آزمون سرما						
	- درجه حرارت (تلورانس °C ±۲)		°C	-	-	-۱۵	-۱۵
۴	آزمون شوک حرارتی						
۱-۴	درجه حرارت (تلورانس °C ±۳)		°C	۱۵۰	۱۵۰	۱۵۰	۱۵۰
۲-۴	مدت زمان آزمون		ساعت	۱	۱	۱	۱
۵	پایداری حرارتی						
۱-۵	درجه حرارت (تلورانس °C ±۰/۵)		°C	۲۰۰	۲۰۰	-	-
۲-۵	حداقل زمان آزمون		دقیقه	۱۰۰	۱۰۰	-	-
۶	آزمون جذب آب						
	روش الکتریکی						
۱-۶	درجه حرارت (تلورانس °C ±۲)		°C	۷۰	۷۰	-	-
۲-۶	مدت زمان آزمون		روز	۱۰	۱۰	-	-

جدول ۳-۸: شرایط آزمون برای مشخصه‌های خاص ترکیبات غلاف PE (پلی اتیلن ترمو پلاستیک) کابل فشار متوسط و فشار ضعیف

ردیف	آزمون	واحد	ST3	ST7
۱	چگالی *			
۲	مقدار کربن سیاه (دوده) **			
۱-۲	مقدار نامی	%	۲/۵	۲/۵
۲-۲	تورانس	%	±۰/۵	±۰/۵
۳	آزمون اختصاصی			
۱-۳	درجه حرارت (تورانس °C ±۲)	°C	۸۰	۸۰
۲-۳	مدت زمان گرمادهی	ساعت	۵	۵
۳-۳	تعداد دوره گرمادهی		۵	۵
۴-۳	حداکثر انقباض	%	۳	۳
۴	آزمون فشار در درجه حرارت بالا			
۱-۴	درجه حرارت (تورانس °C ±۲)	°C	-	۱۱۰

* اندازه‌گیری چگالی تنها جهت سایر آزمون‌ها مورد نیاز است.

** فقط برای غلافهای خارجی مشکی رنگ

جدول ۳-۹: شرایط لازم برای آزمون مشخصه‌های خاص برای ترکیبات عایقی ترموستینگ (XLPE) کابل فشار متوسط و فشار ضعیف

ردیف	آزمون	واحد	XLPE
۱	آزمون داغ		
۱-۱	شرایط عملکرد		
	- درجه حرارت هوا (تورانس °C ±۲)	°C	۲۵۰
	- زمان بودن زیر بار	دقیقه	۱۵
	- فشار مکانیکی	N/cm ²	۲۰
۲-۱	حداکثر افزایش طول تحت بار	%	۱۷۵
۳-۱	حداکثر افزایش طول مجاز بعد از اعمال سرما	%	۱۵
۲	جذب آب		
	روش سنجش غلظت		
۱-۲	درجه حرارت (تورانس °C ±۲)	°C	۸۵
۲-۲	مدت زمان آزمون	روز	۱۴
۳-۲	حداکثر افزایش جرم	mg/cm ²	*۱
۳	آزمون انقباض		
۱-۳	فاصله L بین علامتها	mm	۲۰۰
۲-۳	درجه حرارت (تورانس °C ±۳)	°C	۱۳۰
۳-۳	مدت زمان آزمون	ساعت	۱
۴-۳	حداکثر انقباض	%	۴

* افزایش بیش از ۱ mg/cm² برای چگالی‌های XLPE بزرگتر از ۱ g/cm³ در نظر گرفته می‌شود.

جدول ۳-۱۰: شرایط آزمون مشخصه‌های خاص ترکیب غلاف الاستومریک کابل فشار متوسط و فشار ضعیف

ردیف	آزمون	واحد	SE ₁
۱	آزمون غوطه‌وری در روغن و پس از آن تعیین مشخصه‌های مکانیکی		
۱-۱	شرایط عملکرد		
	- درجه حرارت روغن (تلورانس $\pm 2^{\circ}\text{C}$)	$^{\circ}\text{C}$	۱۰۰
	- مدت زمان آزمون	ساعت	۲۴
۲-۱	حداکثر انحراف از		
	- استقامت کششی	%	± 40
	- افزایش طول در حد پارگی	%	± 40
۲	آزمون داغ		
۱-۲	شرایط عملکرد		
	- درجه حرارت (تلورانس $\pm 3^{\circ}\text{C}$)	$^{\circ}\text{C}$	۲۰۰
	- زمان قرار گرفتن تحت بار	دقیقه	۱۵
	- فشار مکانیکی	N/cm^2	۲۰
۲-۲	حداکثر افزایش طول تحت بار	%	۱۷۵
۳-۲	حداکثر افزایش مجاز طول بعد از سرما	%	۱۵

۷-۳- آزمون‌های نوعی - غیرالکتریکی کابل‌های فشار ضعیف

آزمون‌های نوعی غیرالکتریکی موردنیاز کابل‌های فشار ضعیف در جدول ۱۱-۳ آورده شده است.

جدول ۱۱-۳: آزمون‌های نوعی غیرالکتریکی برای ترکیبات عایقی و غلافهای کابل فشار ضعیف

غلافها			عایق‌ها				آزمون	ردیف
SE ₁	PE		PVC		XLPE	PVC/B		
	ST ₄	ST ₃	ST ₂	ST ₁				
							ابعاد	۱
×	×	×	×	×	×	×	اندازه‌گیری ضخامت	۱-۱
							مشخصه‌های مکانیکی (استقامت کششی و افزایش طول در حد پارگی)	۲
×	×	×	×	×	×	×	بدون پیری	۱-۲
×	×	×	×	×	×	×	بعد از پیری در کوره هوا	۲-۲
×	×	×	×	×	×	×	بعد از پیری قطعات کابل تکمیل شده	۳-۲
×	-	-	-	-	-	-	بعد از غوطه ور شدن در روغن داغ	۴-۲
							مشخصه‌های ترموپلاستیک	۳
-	×	-	×	×	-	×	آزمون فشار داغ	۱-۳
-	-	-	×	×	-	×	رفتار در درجه حرارت کم	۲-۳
							سایر آزمونها	۴
-	-	-	×	-	-	-	کاهش جرم در کوره هوا	۱-۴
-	-	-	×	×	-	×	آزمون شوک حرارتی	۲-۴
×	-	-	-	-	×	-	آزمون داغ	۳-۴
×	-	-	×	×	-	-	آزمون اشتعال‌ناپذیری	۴-۴
-	-	-	-	-	×	×	آزمون جذب آب	۵-۴
-	×	×	-	-	×	-	آزمون انقباض	۶-۴
-	×	×	-	-	-	-	اندازه‌گیری مقدار کربن سیاه (دوده)	۷-۴

کلیه آزمونها باید مطابق با استاندارد IEC شماره ۶۰۸۱۱ انجام گیرند. علاوه بر این نکات ذیل باید مورد توجه قرار گیرد:

۳-۷-۱- اندازه‌گیری ضخامت عایق

برای کابل‌هایی که بیش از سه مغزی دارند و هادی‌های مغزی دارای سطح مقطع یکسان می‌باشند، تعداد مغزی‌هایی که اندازه‌گیری بر روی آنها صورت می‌گیرد باید به سه مغزی یا ۱۰ درصد تعداد مغزی‌ها، هر کدام که بزرگتر بود، محدود شود. شرط قبولی آزمون مطابق با نیازهای عایقی بند ۳-۳-۵-۱ می‌باشد.

۳-۷-۲- اندازه‌گیری ضخامت غلاف‌های غیرفلزی

این آزمون شامل غلاف‌های جداکننده اکستروژده شده، اما پوشش داخلی را در بر نمی‌گیرد. شرط قبولی آزمون، تطابق نتایج آن با نیازهای مربوط به غلاف‌های غیرفلزی از بند ۳-۳-۵-۲ می‌باشد.

۳-۷-۳- آزمون‌های تعیین مشخصه‌های مکانیکی عایق قبل و بعد از پیری

شرط قبولی آزمون تطابق نتایج آن با نیازهای ارائه شده در جدول ۳-۱۳ است.

۳-۷-۴- آزمون‌های تعیین مشخصه‌های مکانیکی غلاف غیرفلزی قبل و بعد از پیری

شرط قبولی آزمون تطابق نتایج آن، با نیازهای ارائه شده در جدول ۳-۱۴ است.

۳-۷-۵- آزمون‌های اضافی پیری بر روی قطعات کابل تکمیل‌شده

این آزمون به منظور بررسی اینکه عایق و غلاف‌های غیرفلزی در اثر تماس با سایر اجزاء کابل منجر به عملکرد نامناسب نمی‌شوند، انجام می‌گیرد. آزمون در مورد همه انواع کابل قابل اعمال است. پیرسازی در مورد قطعات کابل باید در کوره هوا مطابق با بند ۸-۱-۴ استاندارد IEC شماره ۶۰۸۱۱-۱-۲ و تحت شرایط زیر انجام شود:

- درجه حرارت: $(10 \pm 2)^\circ\text{C}$ بالاتر از حداکثر درجه حرارت هادی برای عملکرد عادی کابل مطابق جدول ۳-۱۴
- مدت زمان آزمون: $7 \times 24\text{h}$

شرط قبولی آزمون به شرح زیر است:

اختلاف بین مقادیر میانی استقامت کششی و افزایش طول در حد پارگی بعد از پیری و مقادیر مربوطه بدست آمده بدون پیری (بند ۳-۷-۳ و ۳-۷-۴) نباید از مقادیر اعمال شده آزمون بعد از پیری در کوره هوای مشخص شده تجاوز کند. این مقادیر برای عایق‌ها در جدول ۳-۱۴ و برای غلاف‌های غیرفلزی در جدول ۳-۱۳ آمده است.

۳-۷-۶- آزمون کاهش جرم بر روی غلاف‌های PVC از نوع ST2

شرط قبولی آزمون تطابق نتایج آن با نیازهای ذکر شده در جدول ۳-۱۱ است.

۷-۷-۳- آزمون فشار در درجه حرارت بالا بر روی عایق‌ها و غلافهای غیرفلزی

شرط قبولی آزمون تطابق نتایج آن با نیازهای ذکر شده در بند ۸ از استاندارد IEC شماره ۶۰۸۱۱-۳-۱ است.

۸-۷-۳- آزمون بر روی عایق PVC و غلافها در درجه حرارت پایین

شرط قبولی آزمون تطابق نتایج آن با نیازهای ذکر شده در بند ۸ از استاندارد IEC شماره ۶۰۸۱۱-۱-۴ است.

۹-۷-۳- آزمون مقاومت عایق PVC و غلافها در برابر ترک برداشتن (آزمون شوک حرارتی)

شرط قبولی آزمون تطابق نتایج آن با نیازهای ارائه شده در بند ۹ استاندارد IEC شماره ۶۰۸۱۱-۳-۱ است.

۱۰-۷-۳- آزمون داغ برای عایق‌های XLPE و غلافهای الاستومریک

روش نمونه‌برداری و آزمون باید مطابق با بند ۱۰-۳-۳ و نیازهای مربوطه آن باشد.

۱۱-۷-۳- آزمون غوطه‌وری در روغن برای غلافهای الاستومریک

شرط قبولی آزمون تطابق نتایج آن با نیازهای ذکر شده در جدول ۱۰-۳ است.

۱۲-۷-۳- آزمون جذب آب روی عایق

شرط قبولی آزمون تطابق نتایج آن با نیازهای مشخص شده در جداول ۷-۳ یا ۹-۳ است.

۱۳-۷-۳- آزمون مقاومت در برابر آتش

این آزمون تنها برای کابل‌هایی که غلاف‌های آن از جنس ST_1 و ST_2 یا ترکیبات SE_1 هستند قابل اعمال است و تنها در صورتی که مشخصاً درخواست شده باشد بر روی چنین کابل‌هایی انجام می‌شود. روش آزمون و نیازها باید مطابق با استاندارد IEC شماره ۶۰۳۳۲-۱ باشد.

۱۴-۷-۳- اندازه‌گیری مقدار کربن در غلافهای بیرونی PE

شرط قبولی آزمون تطابق نتایج آن با نیازهای جدول ۸-۳ است.

۱۵-۷-۳- آزمون انقباض روی عایق XLPE

شرط قبولی در آزمون، همخوانی نتایج آزمون با نیازهای ذکر شده در جدول ۹-۳ است.

۱۶-۷-۳- آزمون ویژه پیچش

آزمون باید بر روی کابل‌های چندمغزی با یک لایه فلزی یکپارچه که به صورت نوارهایی فلزی با حذف پوشش داخلی مستقیماً روی مغزی‌ها پیچیده می‌شود، انجام گردد.

نمونه باید در درجه حرارت محیط به اندازه حداقل یک دور کامل بر روی استوانه آزمون پیچیده شود.

قطر استوانه باید $5\% \pm YD$ باشد که D قطر خارجی نمونه کابل است. سپس باید کابل باز شود و در جهت عکس حالت قبلی پیچیده شده و آزمون تکرار گردد. مجموعه این کارها باید سه بار انجام شود. سپس نمونه باید بصورت پیچیده شده روی استوانه در کوره هوایی قرار گرفته و تا حداکثر درجه حرارت هادی در شرایط عملکرد عادی کابل، به مدت ۲۴ ساعت گرم شود.

بعد از اینکه کابل سرد شد، آزمون ولتاژ مطابق با بند ۳-۲-۴ در حالیکه کابل هنوز پیچیده شده است باید انجام گردد.

شرط قبولی آزمون عدم وقوع شکست و عدم وجود نشانه‌ای از ترک و شکاف در غلاف خارجی است.

شرط قبولی آزمون تطابق نتایج حاصل از آن با نیازهای مندرج در جدول ۳-۸ است.

جدول ۳-۱۲: شرایط لازم جهت آزمون‌های نوعی ترکیبات عایقی کابل فشار ضعیف

ردیف	شرایط لازم	واحد	PVC/A	XLPE
	حداکثر درجه حرارت هادی در عملکرد عادی	C°	۷۰	۹۰
۱	مقاومت حجمی ρ			
۱-۱	در ۲۰°C	$\Omega.cm$	۱۰ ^{۱۲}	-
۲-۱	در حداکثر درجه حرارت هادی تحت عملکرد عادی	$\Omega.cm$	۱۰ ^{۱۰}	۱۰ ^{۱۲}
۲	ثابت مقاومت عایقی k_i			
۱-۲	در ۲۰°C	M $\Omega.Km$	۳۶/۷	-
۲-۲	در حداکثر درجه حرارت هادی تحت عملکرد عادی	M $\Omega.Km$	۰/۰۳۷	۳/۶۷

جدول ۳-۱۳: شرایط لازم برای آزمون مشخصه‌های مکانیکی ترکیبات عایقی کابل فشار ضعیف (قبل و بعد از پیری)

ردیف	آزمون	واحد	PVC/A	XLPE	
				کابل‌های ۱/۶/۰ کیلوولت با هادی مسی	سایر کابلها
	حداکثر درجه حرارت هادی در عملکرد عادی	°C	۷۰	۹۰	۹۰
۱	بدون پیری				
۱-۱	حداقل استقامت کششی	N/mm ²	۱۲/۵	۱۲/۵	۱۲/۵
۲-۱	حداقل افزایش طول در حد پارگی	%	۱۵۰	۲۰۰	۲۰۰
۲	بعد از پیری در کوره هوا				
۱-۲	بعد از پیری بدون هادی				
۱-۱-۲	شرایط عملکرد				
	- درجه حرارت	°C	۱۰۰	۱۳۵	۱۳۵
	- تلورانس	°C	±۲	±۳	±۳
	- مدت زمان آزمون	روز	۷	۷	۷
۲-۱-۲	استقامت کششی				
	- حداقل مقدار قبل از پیری	N/mm ²	۱۲/۵	-	-
	- حداکثر انحراف	%	±۲۵	±۲۵	±۲۵
۳-۱-۲	افزایش طول در حد پارگی				
	- حداقل مقدار قبل از پیری	%	۱۵۰	-	-
	- حداکثر انحراف	%	±۲۵	±۲۵	±۲۵
۲-۲	بعد از پیری با هادی مسی و پس از آن				
	آزمون کشش				
۱-۲-۲	شرایط عملکرد				
	- درجه حرارت	°C	-	۱۵۰	-
	- تلورانس	°C	-	±۳	-
	- مدت زمان آزمون	روز	-	۷	-
۲-۲-۲	حداکثر انحراف در استقامت کششی	%	-	±۳۰	-
۳-۲-۲	حداکثر انحراف در افزایش طول در حد پارگی	%	-	±۳۰	-
۳-۲	بعد از پیری با هادی مسی و پس از آن آزمون پیچش				
	(تنها در صورتی که ۲-۲ عملی نباشد)				
۱-۳-۲	شرایط عملکرد				
	- درجه حرارت	°C	-	۱۵۰	-
	- تلورانس	°C	-	±۳	-
	- مدت زمان آزمون	روز	-	۱۰	-
۲-۳-۲	نتایج موردانتظار		-	هیچ ترکی ایجاد نشود	-

جدول ۳-۱۴: شرایط لازم برای آزمون مشخصه‌های مکانیکی ترکیبات غلاف کابل فشار ضعیف (قبل و بعد از پیری)

ردیف	آزمون	واحد	ST1	ST2	ST3	ST7	SE1
	حداکثر درجه حرارت هادی در عملکرد عادی	°C	۸۰	۹۰	۸۰	۹۰	۸۵
۱	بدون پیری						
۱-۱	حداقل استقامت کششی	N/mm ²	۱۲/۵	۱۲/۵	۱۰	۱۲/۵	۱۰
۲-۱	حداقل افزایش طول در حد پارگی	%	۱۵۰	۱۵۰	۳۰۰	۳۰۰	۳۰۰
۲	بعد از پیری در کوره هوا						
۱-۲	شرایط عملکرد						
	- درجه حرارت (تلورانس °C ±۲)	°C	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۱۰	۱۰۰
	- مدت زمان آزمون	روز	۷	۷	۱۰	۱۰	۷
۲-۲	استقامت کششی						
	- حداقل مقدار بعد از پیری	N/mm ²	۱۲/۵	۱۲/۵	-	-	-
	- حداکثر انحراف	%	±۲/۵	±۲/۵	-	-	±۳۰
۳-۲	افزایش طول در حد پارگی						
	- حداقل مقدار بعد از پیری	%	۱۵۰	۱۵۰	۳۰۰	۳۰۰	۲۵۰
	- حداقل تغییرات	%	±۲/۵	±۲/۵	-	-	±۴۰

۳-۸- آزمون‌های الکتریکی بعد از نصب (کابل‌های فشار متوسط و ضعیف)

این آزمون‌های باید پس از نصب کامل کابل و تجهیزات مربوطه آن انجام گردد.

ولتاژ dc با دامنه ۴ برابر ولتاژ نامی باید به مدت ۱۵ دقیقه اعمال شود.

به جای آن می‌توان با توافق بین سازنده و خریدار، آزمون ولتاژ ac در فرکانس قدرت را مطابق با یکی از آیت‌های زیر انجام داد.

الف - آزمون به مدت ۵ دقیقه، که ولتاژ فاز به فاز سیستم بین هادی و پوسته فلزی اعمال می‌شود.

ب - آزمون به مدت ۲۴ ساعت که ولتاژ عملکرد عادی سیستم اعمال می‌گردد.

توجه:

آزمون‌های فوق تنها جهت نصب‌های جدید است.

پیوست ۳-۱- روش اندازه‌گیری مقاومت پوسته‌های نیمه هادی

قطعه مورد آزمون باید نمونه‌ای ۱۵۰ میلیمتری از پوسته هادی از کابل تکمیل شده باشد و با بریدن یک نمونه از مغزی بریده شده در راستای طولی و جداکردن هادی (و در صورت وجود جداکننده^۱) تهیه گردد (شکل ۳-۱-۱). پوسته عایقی مورد آزمون نیز باید با جداکردن کلیه پوششها از نمونه مغزی تهیه گردد (شکل ۳-۱-۲).

اندازه‌گیری چگالی حجمی مقاومت پوسته‌ها باید بصورت زیر انجام شود.

چهار الکتروود با روکش نقره A، B، C، D (شکل‌های ۳-۱ و ۳-۲) باید به صفحات نیمه هادی اعمال گردد. دو الکتروود ولتاژ B و C باید ۵۰ میلیمتر فاصله داشته و دو الکتروود جریان A و D باید هر یک با فاصله حداقل ۲۵ میلیمتر از الکتروودهای ولتاژ قرار گیرند. اتصالات الکتروودها باید بوسیله گیره‌های مناسبی صورت گیرد. در برقراری اتصالات به الکتروودهای پوسته هادی، باید اطمینان حاصل گردد که گیره‌ها از پوسته عایقی روی صفحه خارجی نمونه آزمون عایق شده‌اند.

مجموعه باید در یک کوره که از قبل تا درجه حرارت معینی گرم شده است قرار گیرد و بعد از مدت زمان حداقل ۳۰ دقیقه، مقاومت بین الکتروودها بوسیله مداری که منبع توان آن نباید بزرگتر از ۱۰۰ میلی‌وات باشد، اندازه‌گیری شود.

بعد از اندازه‌گیری‌های الکتریکی، قطره‌های روی پوسته هادی و پوسته عایقی و ضخامت‌های پوسته هادی و پوسته عایقی باید در درجه حرارت محیط اندازه‌گیری شود. اندازه‌گیری‌ها باید ۶ مرتبه تکرار شده و برای بدست آوردن مقدار نهایی از نتایج این اندازه‌گیری‌ها میانگین گرفته شود.

چگالی مقاومت ρ برحسب اهم متر با استفاده از رابطه زیر بدست می‌آید:

الف _ پوسته هادی

$$\rho_c = \frac{R_c \times \pi \times (D_c - T_c) \times T_c}{2LC} \quad (3-14)$$

که در آن:

ρ_c : چگالی مقاومت برحسب اهم متر

R_c : مقاومت اندازه‌گیری شده برحسب اهم

L_c : فاصله بین الکتروودهای ولتاژ، بر حسب متر

D_c : قطر خارجی از روی پوسته هادی برحسب متر

T_c : میانگین ضخامت پوسته هادی، برحسب متر می‌باشد.

ب - پوسته عایق

$$\rho_i = \frac{R_i \times \pi \times (D_i - T_i) \times T_i}{2L_i} \quad (3-15)$$

که در آن:

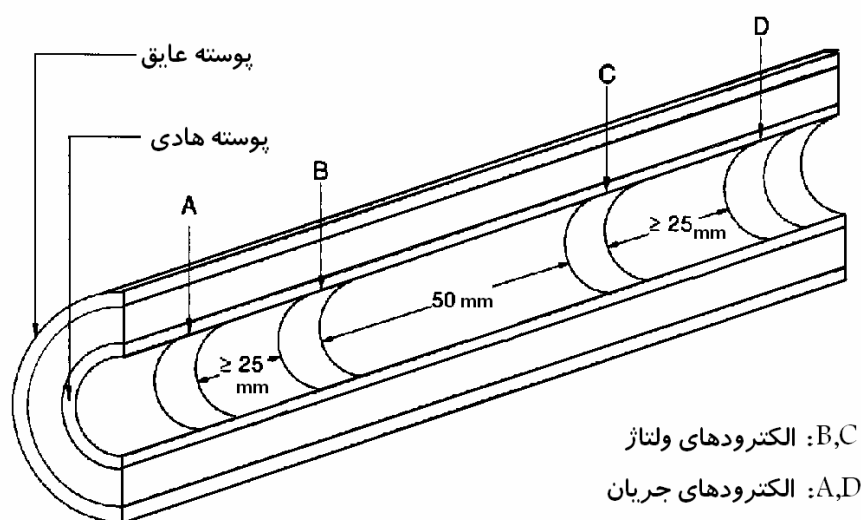
ρ_i : چگالی مقاومت برحسب اهم متر

R_i : مقاومت اندازه‌گیری شده برحسب اهم

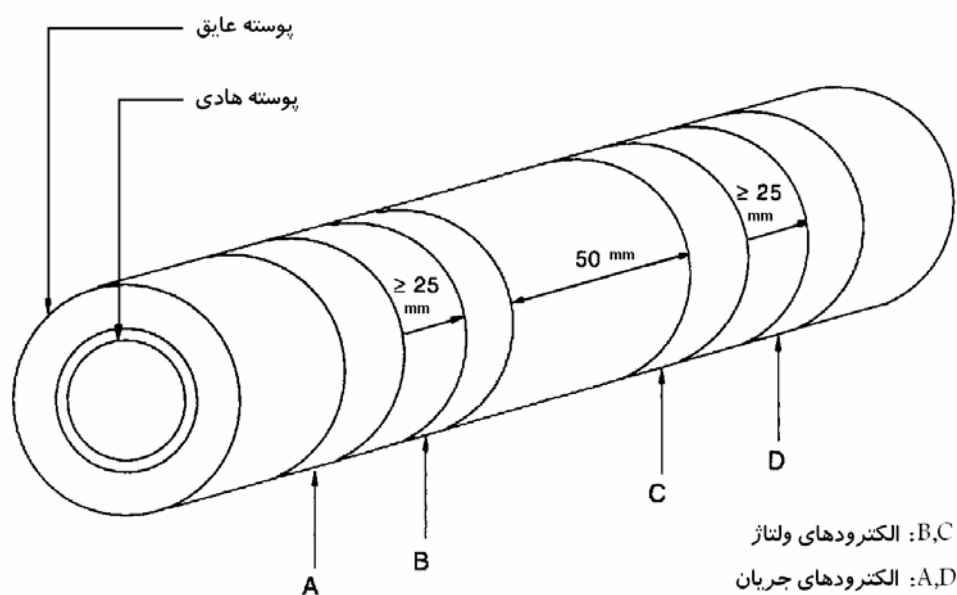
L_i : فاصله بین الکترودهای ولتاژ، بر حسب متر

D_i : قطر خارجی از روی پوسته عایق، برحسب متر

T_i : میانگین ضخامت پوسته هادی، برحسب متر می‌باشد.



شکل ۳-۱: نمونه آزمون اندازه‌گیری چگالی مقاومت پوسته هادی



شکل ۳-۲: نمونه آزمون اندازه‌گیری چگالی مقاومت پوسته عایقی

پیوست ۳-۲- آزمون نفوذ آب

۳-۲-۱- قطعه آزمون

یک نمونه از کابل تکمیل شده با حداقل ۶ متر طول که تحت هیچ یک از آزمونهای بند ۳-۴ قرار نگرفته است باید تحت آزمون خمش شرح داده شده در بند ۳-۴-۱-۲ بدون آزمون تخلیه جزئی اضافه قرار گیرد. قطعه‌ای به طول ۳ متر باید از نمونه‌ای که تحت آزمون خمش قرار گرفته است، بریده شود و بصورت افقی قرار گیرد. یک حلقه با پهنای حدوداً ۵۰ میلیمتر باید از وسط این طول جدا شود. این حلقه باید کلیه لایه‌های خارج از پوسته عایقی را در بر گیرد. در صورتیکه ادعا شود که هادی دارای حصار^۱ می‌باشد، حلقه باید کلیه لایه‌های خارج از هادی را در برگیرد.

اگر کابل دارای حصارهای ناپیوسته جهت جلوگیری از نفوذ آب باشد، نمونه باید حداقل ۲ تا از این حصارها را شامل شود. در این حالت متوسط فاصله بین حصارها در چنین کابل‌هایی باید مشخص گردد و طول نمونه کابل باید براساس آن تعیین شود. صفحات باید به گونه‌ای بریده شوند که فضاهای خالی مربوطه بتوانند به خوبی در معرض آب قرار گیرند. اگر طراحی فقط شامل یک حصار هادی باشد، سطوح برش مربوطه می‌تواند با یک ماده مناسب مهر و موم شود و یا پوشش‌های خارجی می‌توانند جدا شوند. وسیله‌ای مناسب می‌بایستی جهت (شکل ۳-۳) قرار دادن تیوبی با قطری حداقل برابر با ۱۰ میلیمتر بصورت عمودی روی حلقه مورد نظر تهیه شده و سطح غلاف کلی آن آب‌بندی شود. آب‌بندی در جاهایی که کابل از تجهیزات خارج می‌شود نباید فشار مکانیکی به کابل وارد کند.

توجه: پاسخگوبودن حصارها در برابر نفوذ آب بستگی به ترکیب آب (pH، غلظت یون و...) دارد. برای آزمون باید آب با درجه حرارت عادی مورد استفاده قرار گیرد. مگر اینکه در توافق غیر از این مشخص شده باشد.

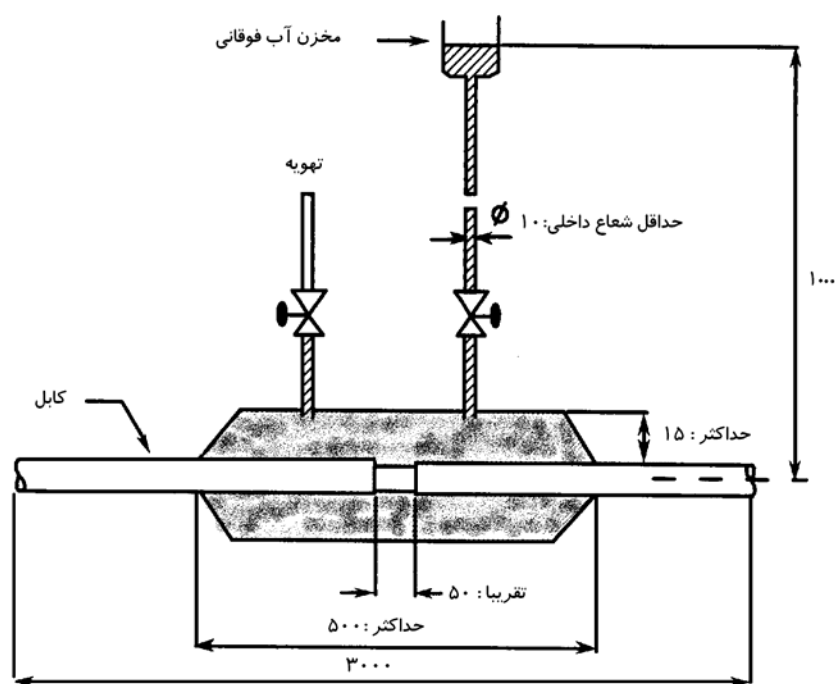
۳-۲-۲- آزمون

تیوب باید در عرض ۵ دقیقه در درجه حرارت محیط معادل با $20 \pm 10^{\circ}\text{C}$ با آب پر شود به گونه‌ای که ارتفاع آب در تیوب ۱ متر بالای مرکز کابل باشد (شکل ۳-۳ را ببینید). نمونه باید برای ۲۴ ساعت قابل نگهداری باشد. نمونه باید با عبور جریان از هادی در معرض ۱۰ سیکل گرما قرار گیرد تا هادی به درجه حرارت پایداری معادل با ۵ تا ۱۰ درجه سانتیگراد بالاتر از حداکثر درجه حرارت هادی در عملکرد عادی برسد. این دما باید کمتر از ۱۰۰ درجه سانتیگراد باشد. سیکل گرما باید ۸ ساعت بطول انجامد. درجه حرارت هادی باید در درون محدوده‌های دمایی مشخص برای حداقل ۲ ساعت در هر دوره گرمایی، نگهداشته شود. سپس باید حداقل ۳ ساعت خنک‌کنندگی طبیعی بکار گرفته شود. سطح آب باید روی ۱ متر نگهداشته شود.

نکته: هیچ ولتاژی در طول آزمون نباید اعمال گردد، توصیه می‌شود که یک کابل دیگر بطور سری با کابل تحت آزمون متصل گردد و درجه حرارت مستقیماً روی هادی این کابل اندازه‌گیری شود.

۳-۲-۳- نیازها

در طول دوره آزمون هیچ آبی نباید از دو انتهای قطعه آزمون وارد گردد.



ابعاد بر حسب میلیمتر

شکل ۳-۳: دیاگرام شماتیک ابزار مورد نیاز جهت آزمون نفوذ آب

مقدمه

در این فصل دستورالعمل‌های حمل و نقل، نصب و نگهداری کابل‌های فشار متوسط، فشار ضعیف، کنترل و حفاظت مورد استفاده در پست‌های فشار قوی ارائه خواهد گردید.

۴-۱- حمل و نقل

معمولاً کابلها بر روی قرقره‌هایی از جنس چوب پیچیده می‌شوند. ابعاد این قرقره‌ها به نوع کابل، سطح ولتاژ، سطح مقطع، طول کابل و... بستگی دارد. کابل‌های کوتاه بدون زره تا حداکثر طول ۱۵۰ متر و حداکثر وزن ۱۰۰ کیلوگرم و یا کابل‌های زره‌دار تا حداکثر طول ۱۵۰ متر و حداکثر وزن ۲۵۰ کیلوگرم را می‌توان بصورت چمبره کاغذ پیچی شده حمل و نقل کرد. قرقره‌های کابل باید به نحو مناسبی محافظت شوند تا کابل از روی قرقره باز نشود.

قبل از پیاده‌کردن قرقره، باید آن را به دقت مورد بازرسی قرارداد تا از سالم بودن آن اطمینان حاصل گردد. نمونه‌ای از قرقره کابل در شکل ۴-۱ آمده است.



شکل ۴-۱: قرقره کابل

۴-۲- پیاده‌کردن قرقره

برای پیاده‌کردن قرقره از جرثقیل یا سطح شیب‌دار استفاده می‌گردد. در صورت استفاده از سطح شیب‌دار، باید جنس آن از الوار چوبی بوده و نسبت ۴ به ۱ (ابعاد سطح شیب‌دار) برای آن در نظر گرفته شود. برای پیاده‌کردن قرقره و حرکت آن روی سطح شیب‌دار، باید آن را با طناب مهار نمود. جهت ترمزدادن به قرقره می‌توان از چند تپه کوچک شنی با ارتفاع حدوداً ۲۰ سانتیمتر در جلوی سطح

شیب‌دار استفاده نمود. چمبره و یا قرقره نباید از روی وسیله حمل به پایین انداخته شود. حتی اگر چمبره یا قرقره سبک و کوچک بوده و زمین در آن نقطه از خاک نرم تشکیل شده باشد، انداختن آنها باعث صدمه رساندن به کابل می‌گردد.

در روی قرقره نشانه‌هایی وجود دارد که جهت چرخاندن قرقره را نشان می‌دهد. در صورتی که قرقره در جهت عکس چرخانده شود، ممکن است کابل پیچیده شده روی قرقره شل شود.

پس از برداشتن حفاظ‌های قرقره و یا نوارهای پیچیده شده بر روی چمبره، باید کابلها را بازرسی نمود تا اطمینان حاصل شود که آسیب‌دیدگی خارجی وجود ندارد.

سرپوش انتهایی کابل باید به دقت بازرسی شود تا اطمینان حاصل گردد که در وضعیت مطلوبی قرار دارد. در صورتیکه احتمال نفوذ رطوبت به داخل کابل وجود داشته باشد، باید با انجام آزمون عایقی این مسأله را مورد بررسی قرارداد و در صورت نیاز باید کابل را تا جایی که دیگر اثری از رطوبت دیده نشود قطع نمود.

جهت حمل کابل تا محل نصب می‌توان از وسایل چرخدار استفاده نمود. اگر قرقره با یاتاقان به بدنه چرخ وصل باشد، می‌توان کابل را مستقیماً از روی قرقره باز کرده و نصب نمود.

در صورتیکه کابل مستقیماً از چرخ به داخل کانال هدایت شود، باید قرقره حتی‌الامکان به محل نصب کابل نزدیک باشد. در این حالت نباید برای جابجایی قرقره آنرا چرخاند.

چرخ مورد استفاده و سایر تجهیزات مورد نیاز باید ابعاد و ظرفیتی مناسب داشته باشند تا اطمینان حاصل گردد که کشیدن کابل بصورت پیوسته و یکنواخت صورت می‌گیرد.

قرقره‌های کابل باید به گونه‌ای محافظت شوند که کابل ناخواسته از قرقره باز نشود و کابل بدون اینکه در جهت معکوس خم شود، در داخل کانال قرار گیرد.

در هنگام کشیدن کابل از روی قرقره باید قرقره چرخانده شود تا از وارد شدن فشار به کابل جلوگیری شود. باید وسیله‌ای مناسب جهت حفاظت و هدایت کابل از قرقره به کانال فراهم گردد. شعاع این وسیله نباید کمتر از حداقل شعاع خمش باشد. در صورت عدم استفاده از چنین وسیله‌ای کابل باید به وسیله دست به مسیر کابل کشی هدایت شود.

۴-۳- درجه حرارت نصب کابل

در هنگام نصب کابل در درجه حرارت بسیار پایین، باید محدوده‌های دمایی سازنده کابل را رعایت نمود. جابجایی و کابل‌کشی در درجه حرارت بسیار پایین ممکن است به غلاف، پوسته و عایق کابل صدمه وارد نماید.

برای جلوگیری از وارد آمدن آسیب به کابل، باید کابل‌ها را حداقل ۲۴ ساعت قبل از کابل‌کشی در ساختمان گرم نگهداری نمود. درجه حرارت اتاق باید حداقل ۲۵ و حداکثر ۴۰ درجه سانتیگراد باشد.

در حین گرم شدن کابل، باید قرقره را متناوباً در جهت علامت مشخص‌کننده جهت چرخش، گردانند.

در حین حمل کابل از اتاق به محل نصب، باید آن را با یک پوشش برزنتی پوشاند تا از سرد شدن آن جلوگیری شود. کابل‌کشی باید با دقت و سرعت انجام شود و کابل نباید بیش از حد تعیین شده سرد شود.

کابلها نباید در محیطهایی که دمای آنها از حد مشخص شده توسط سازنده تجاوز می کند، نصب گردند. مجاری کابل و یا لوله ها باید فاصله کافی تا منابع حرارتی داشته باشند.

۴-۴- حفاظت در برابر عوامل جوی و مواد خوردنده

کابلها در صورتی می توانند در هنگام ساخت یا نصب در معرض بارش، در مجاورت هوای آزاد یا در معرض تابش مستقیم خورشید قرار گیرند که به پوشش مناسب مجهز باشند. در صورتیکه نصب کابلها در مجاورت مواد خوردنده اجتناب ناپذیر باشد، باید به پوششهای مناسب و مقاوم و در برابر خوردگی مجهز گردند. در مواردی که کابل در زیر جاده نصب می گردد، باید از لوله های گالوانیزه برای حفاظت آنها استفاده کرد.

باید در هنگام نصب کابل احتیاط لازم بعمل آید تا تجمع آب و یا گرد و غبار و سایر موارد منجر به تغییر وضعیت سرویس دهی و پارامترهای طراحی از جمله مقاومت حرارتی خاک در اطراف کابل نگردد.

۴-۵- ملاحظات کلی

هنگام باز کردن کابل از قرقره، کشش در آن افزایش می یابد. لذا برای کاهش فشار ابتدا قرقره را به مقدار کافی بچرخانید و سپس کابل باز شده و آویخته را در مجرا بخوابانید. راستای خواباندن کابل در تنش وارده به کابل علی الخصوص در کانالهایی که دارای پیچ و خم هستند، بسیار مؤثر است. حتی المقدور باید سعی شد که قرقره در نزدیکترین فاصله نسبت به محل های پیچ و خم قرار گیرد. باید به مقدار کافی کابل باز شده از قرقره در مسیر آدمرو قرار گیرد و موقتاً محافظت شود تا اینکه کابل بتواند تا محل نهایی خود بر روی سینی کابل یا نگهدارنده ها هدایت شود. اتصالات کابل نباید مستقیماً بر روی نگهدارنده قرار گیرد. در هنگام کابل کشی در گوشه ها و یا از روی موانع باید از قرقره های با قطر مناسب استفاده کرد. طراحی و انجام کابل کشی باید به گونه ای باشد که توسعه و تغییرات آن در آینده به آسانی و با حداقل هزینه و خروجی از مدار، صورت گیرد.

در صورتی که از حداکثر کشش کابل کشی، فشار دیواره ها و یا حداقل شعاع خمش پیشنهاد شده توسط سازنده تجاوز شود، ممکن است هادیهای کابل، عایق، غلاف و یا پوسته کابل دچار آسیب شوند. همچنین کابلها نباید از گوشه و یا موانع تیز عبور کنند. دقت ویژه ای باید در حین اتصال دو کابل فشار متوسط به یکدیگر توسط مفصل و یا سرکابل صورت گیرد تا از آسیب رسیدن به کابل جلوگیری شود. نمونه ای از شکل مفصل و سرکابل که برای کابل های فشار متوسط استفاده می شوند در شکل ۴-۲ آمده است.



ب) مفصل



الف) سرکابل

شکل ۴-۲: سرکابل و مفصل

در صورت نیاز باید کابل را با مواد ضد اشتعال محافظت نمود. نباید طناب بافته شده از سیم لخت، جهت قراردادن کابل در لوله‌ها مورد استفاده قرار گیرد، زیرا ممکن است به لوله آسیب وارد کند.

برآمدگی‌ها و لبه‌های تیز ابزار کابل‌کشی باید نوار پیچی شود و یا با پوششی مناسب پوشانده شود تا از برخورد و یا گیر کردن به لوله کابل و وارد آمدن خسارت به آن جلوگیری شود. با توجه به اینکه کابل‌ها در محل انشعاب (مفصل یا سرکابل) در معرض آسیب بیشتری قرار دارند، باید طول معینی از کابل را در هر یک از این نقاط بعنوان ذخیره در نظر گرفت. این طول می‌تواند تا حدود ۱۰ متر باشد و باید به نحوی قرار گیرد که در هنگام تشخیص عیب، مشکلی ایجاد نکند. معمولاً این طول از کابل را به شکل عدد ۸ قرار می‌دهند.

کابل‌ها باید به گونه‌ای نصب شوند که ولتاژ بالاتر نتواند به هیچ یک از سیستم‌های ولتاژ پایین فشار وارد سازد. برای این منظور باید کابل‌های فشار متوسط را از کابل‌های فشار ضعیف و کنترل جدا نمود و در مسیر جداگانه‌ای نصب کرد.

کابل‌های با ولتاژ خیلی پایین و مخابراتی نباید در مسیر کابل مشترک با سایر کابل‌ها قرار گیرند در صورتی که از یک کانال یا مجرا برای عبور کابل‌های ولتاژ پایین و مخابراتی و کابل‌های ولتاژ بالا استفاده می‌شود، باید به طرز مؤثری از یکدیگر جدا شوند. برای این کار باید دیواره‌هایی بین آنها قرار داد تا با فاصله بیش از ۳۰ سانتیمتر از سایر کابل‌ها قرار گیرند.

کابل‌هایی که در سینی کابل نصب می‌شوند، باید به صورت مرتب چیده شوند تا تشخیص و جدا کردن کابل‌ها از یکدیگر به آسانی صورت گیرد و علاوه بر آن فضای مفید سینی کابل حداکثر شود.

نحوه کابل کشی باید به گونه‌ای باشد که خطرات ناشی از صدمات مکانیکی در آن به حداقل برسد. در صورتی که خطر تنش‌های مکانیکی وجود دارد، باید از کابل‌های زره‌دار استفاده نمود و باید به نحو مناسبی از آن محافظت کرد. کابل‌هایی که در داخل لوله یا کانال نصب می‌شوند در برابر صدمات مکانیکی استقامت کافی دارند.

۴-۶- حداقل شعاع خمش

به جز در موارد خاص که سازنده کابل، شرایط محیطی، مقررات و مشخصه‌های دیگری را جهت نصب کابل ذکر کرده باشد، حداقل شعاع خمش کابل در هنگام نصب باید مطابق با جدول زیر انتخاب گردد.

جدول ۴-۱: حداقل شعاع خمش مجاز کابل

کابل با عایق پلاستیکی	$U_0/U \leq 0.6/1$ کیلوولت	$U_0/U > 0.6/1$ کیلوولت
کابل چندمغزی	$R=12d$	$R=15d$
کابل تک‌مغزی	$R=15d$	$R=15d$

در جدول فوق d قطر خارجی کابل و R حداقل شعاع خمش کابل می‌باشد.

U_0 : ولتاژ نامی فرکانس صنعتی بین هادی و زمین می‌باشد.

U : ولتاژ نامی فرکانس صنعتی بین هادی‌های کابل می‌باشد.

۴-۷- کشش مجاز

در هنگام کابل کشی باید دقت شود که نیروی کشش از محدوده ذکر شده در جدول ۴-۲ فرتر نرود.

جدول ۴-۲: نیروی کشش مجاز در حین کابل کشی

روش کشش	نوع کابل	نیروی کشش (نیوتن)
بوسیله گیره سرکابل ^۱ روی هادی	کلیه انواع کابل	برای کابل با هادی مسی: $F=50 \times A$ برای کابل با هادی آلومینیومی: $F=30 \times A$
بوسیله قلاب کابل ^۲	کابل‌های با زره سیمی	$F=K \cdot D^2$ $K=9 \text{ N/mm}^2$
	کابل با غلاف فلزی بدون زره مقاوم در برابر کشش	برای کابل‌های تک غلاف: $K=3$ N/mm^2 برای کابل‌های سه مغزی با غلاف فلزی جداگانه: $K=1$ N/mm^2
	کابل‌های پلاستیکی بدون غلاف فلزی و بدون زره	برای کابل با هادی مسی: $F=50 \times A$ برای کابل با هادی آلومینیومی: $F=30 \times A$

1. Pulling eye
2. Cable grip

در جدول فوق:

A: سطح مقطع کل هادی برحسب میلیمتر مربع (بدون در نظر گرفتن هادی هم مرکز و یا پوشش الکترواستاتیکی فلزی)

D: قطر خارجی کابل برحسب میلیمتر

F: حداکثر نیروی کشش مجاز برحسب نیوتن

در هنگام نصب کابل دقت شود در صورتی که کابل بعد از نصب دائماً تحت کشش قرار دارد، باید آن را به سیم مهار یا مشابه آن مجهز نمود تا بتواند به راحتی نیروی کشش را تحمل کند.

۴-۸- اتصال به زمین پوششهای فلزی کابلها

پوشش فلزی کابلها باید در برابر بروز اتصالی محافظت شود. در کابل‌هایی که عایق آن از جنس مواد ترموپلاستیک (PVC، XLPE و...) است، هادی هم مرکز حفاظتی، پوسته، زره و غلافهای فلزی باید زمین شوند. در مورد کابل‌هایی که هادی هم مرکز پوسته‌ای از جنس سیم مسی دارند باید سیم‌های مسی به هم تاییده شوند و زمین گردند. در صورتی که پوسته کابل از نوار مسی یا سیم‌های گرد فولادی تشکیل شده باشد، این پوسته‌ها باید با لحیم کردن و یا پیچیدن سیم مسی به دور آن زمین شوند.

۴-۹- حفاظت در برابر ولتاژ ضربه ناشی از کلیدزنی

بهتر است نوترال مدارهای CT و PT در سمت ساختمان کنترل و رله زمین شوند. کابل‌هایی که از تجهیزات فشار قوی از قبیل ترانسفورماتور ولتاژ خازنی، ترانسفورماتور جریان، کلید قدرت و ترانسفورماتور خارج می‌شوند باید در مسیر خود و قبل از رسیدن به ساختمان رله و کنترل در مجاورت یک هادی زمین قرار گیرند. این عمل باعث می‌گردد فشار عبوری که منجر به بوجود آمدن نوسانات گذرای فرکانس بالا می‌شود، کاهش یابد. کلیه کابل‌کشی‌های کنترل DC و AC در محوطه تجهیزات فشار قوی باید چنان انجام شوند که مسیر بسته‌ای^۱ در این مدارات ایجاد نشود. به عبارت دیگر سیم‌های رفت و برگشت این مدارات باید در یک مسیر قرار گیرند.

جهت کاهش ولتاژ ضربه گذرای ناشی از کلیدزنی بهتر است کابل ثانویه ترانسفورماتور ولتاژ و جریان را در داخل یک لوله مسی قرار داد که در هر دو قسمت به زمین متصل باشد. این لوله مسی بعنوان هادی زمین ترانسفورماتور ولتاژ نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد. به دلیل اینکه ظرفیت خازنی متقابل و اندوکتانس متقابل بین مدارات با افزایش فضای بین آنها کاهش می‌یابد، توصیه می‌شود منابع گذرا از لحاظ مکانی از مدارات کنترل جدا شده و کابل‌های کنترل در صورت امکان عمود بر هادیهای ولتاژ بالا قرار گیرند و در غیر این صورت حداکثر فضای ممکن بین آنها اختصاص داده شود.

1. Loop

۴-۱۰- نحوه کابل کشی

کابل‌های مورد استفاده در پست بر روی سینی کابل و سینی مشبک نصب شده و یا روی دیوار یا سقف بوسیله بست کابل محکم می‌گردند. فاصله بین این بست‌ها و یا فاصله نگهدارنده‌ها در روی سینی کابل برای کابل‌های بدون زره نباید از ۲۰ برابر قطر خارجی و برای کابل‌های با زره نباید از ۳۰ تا ۳۵ برابر قطر خارجی بیشتر شود. کابل کشی می‌بایست از محوطه به اتاق کنترل انجام شود. حداکثر فاصله نباید از ۸۰ سانتیمتر بیشتر شود. در مسیرهای عمودی فاصله بین دو بست کابل به نوع کابل و نوع بست کابل بستگی دارد. این مقدار نباید از ۱/۵ متر بیشتر شود.

۴-۱۰-۱- کابل کشی روی دیوار یا سقف، سینی مشبک و سینی کابل

در هنگام کابل کشی باید به ظرفیت حمل جریان، وزن کابل، حداقل شعاع خمش و... در طراحی نگهدارنده‌ها دقت شود. برای کابلها باید فضای کافی در نظر گرفته شود و کابل طوری در قفسه نصب گردد تا تعادل حرارتی کافی با محیط اطراف داشته باشد. ابعاد سینی کابل باید از لحاظ مکانیکی با توجه به وزن کابلها و همچنین در صورت لزوم با در نظر گرفتن شرایط نصب، تعمیرات و نگهداری انتخاب شود. سینی کابل باید از ورق آهنی گالوانیزه مشبک به ضخامت حداقل ۲ میلیمتر ساخته شود و در صورت آویز بودن بوسیله میله‌های فولادی به قطر حداقل ۶ میلیمتر در فواصل حداکثر ۱ متری نگهداری شود. هنگام نصب کابلها بر روی سینی کابل، کابلها باید در نزدیکی هر نقطه تغییر جهت، سواره یا چهارراه به سینی محکم شوند. فاصله بین سینی‌های دو طبقه باید حداقل نصف عرض سینی بالایی باشد. نیازی به بستن کابل‌های چندمغزی بر روی سینی نمی‌باشد و حداقل فاصله بین کابل‌های مجاور نباید کمتر از قطر کابل بزرگتر باشد.

۴-۱۰-۲- نصب کابل در کانال

این روش علی‌الخصوص وقتی که کابل وزن زیادی دارد، مزیت سهولت در تعویض یا گسترش کابل بدون انجام کار زیاد را به دنبال دارد. نصب کابل در کانال تنها در نزدیکی تجهیزات و با تعداد کم کابلها در فاصله کوتاه مورد قبول است. ظرفیت جریان قابل حمل کابلی که در کانال قرار گرفته است، در صورتی که تهویه مناسبی برقرار باشد معمولاً از کابل قرار گرفته در زمین بیشتر است. این روش هزینه بیشتری نسبت به سایر روش‌های کابل کشی دارد. برای جلوگیری از بروز آتش در داخل پست، باید نقطه ورودی کابل در کانال کاملاً مسدود گردد. هنگام عبور کابل داخل کانال از دیوار (قبل از وارد شدن به محوطه پست) باید کابل از لوله‌ای که قطر داخلی آن تقریباً ۱/۵ برابر قطر خارجی کابل باشد، عبور داده شود. بعد از عبور کابل باید لوله را کاملاً مسدود کرد. این کار را می‌توان با استفاده از پارچه کنفی فشرده‌شده و آغشته به رزین اپوکسی (یا مواد مشابه دیگر) انجام داد، سپس با رزین مخصوص اطراف لوله را کاملاً مسدود نمود. در این حالت باید دقت شود که درجه حرارت رزین از ۱۰۰ درجه سانتیگراد بیشتر نشود. کابل‌های با غلاف PVC باید با لایه‌ای از نوار پلی‌اتیلن پوشانده شوند. به منظور دفع آبهایی که احتمال دارد در کف کانال جمع شود، باید کف‌شوهای مناسبی که به سیستم فاضلاب یا چاه جذب آب متصل باشد، در فواصل حداکثر ۴۰ متری از یکدیگر پیش‌بینی و نصب نمود. برای هدایت آبهای احتمالی، کف کانالها باید دارای شیبی برابر نیم الی یک درصد در جهت کف‌شوهای پیش‌بینی شده باشد. به منظور پرهیز از تماس مستقیم کابلها با کف کانالهای پیش‌ساخته معمولی باید برحسب نیاز در کف کانال در فواصلی حداکثر برابر ۶۰ سانتیمتر، پایه‌ای اتکایی از لوله گالوانیزه و یا پروفیل ناودانی (آلومینیومی یا گالوانیزه) و یا چوب فشرده به ارتفاع ۱۰ سانتیمتر از کف کانال یا بیشتر، پیش‌بینی و نصب نموده و سپس کابلها بر روی پایه‌های فوق خوابانده شوند.

منابع و مراجع

- 1- IEC Std. 60287-1-2, Electric cables – calculation of the current rating – part 1: current rating equations (100% load factor) and calculation of losses – section 2: sheath eddy current loss factors for two circuit in flat formation.
- 2- IEC Std. 60287-3-1, Electric cables – calculation of current rating – part 3-1: sections on operating conditions – reference operating condition and selection of cable type edition 1.1, 1999.
- 3- IEC Std. 60287-3-2, Electric cables – calculation of current rating – part 3-2: sections on operating conditions – section 2: economic optimization of power cable size, first edition, 1995.
- ۴- استاندارد کابل‌های مورد استفاده در شبکه توزیع، جلد ۱ استاندارد کابل‌های فشار متوسط توزیع، مرکز تحقیقات نیرو، ۱۳۷۵.
- ۵- استاندارد کابل‌های مورد استفاده در شبکه توزیع، جلد ۳ مشخصات فنی کابل‌های فشار متوسط و ضعیف، مرکز تحقیقات نیرو، ۱۳۷۵.
- ۶- استاندارد کابل‌های مورد استفاده در شبکه توزیع، جلد ۴ راهنمای نصب و تعمیر کابل، مرکز تحقیقات نیرو، ۱۳۷۵.
- ۷- استاندارد کابل‌های مورد استفاده در شبکه توزیع، جلد ۵ راهنمای انتخاب کابل، مرکز تحقیقات نیرو، ۱۳۷۵.
- ۸- استاندارد پست‌های (۳۳) ۱۳۲/۲۰ کیلوولت معمولی، جلد ۱۲۰۸ کابلها، مهندسين مشاور قدس نیرو، ۱۳۷۵.
- ۹- کتاب کابل، محمد اسماعیل بانکیان، شرکت سیم و کابل ابهر، ۱۳۸۲.
- ۱۰- اسناد و مدارک فنی پروژه‌های انجام شده توسط شرکت مهندسين مشاور نیرو.
- ۱۱- کتاب کابل - شرکت سیم و کابل ابهر.
- 12- Power cables: Their design and installation, G.C. barnes, 1953.
- 13- Power cable: Installation practice, EWP jones, 1993.

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

Islamic Republic of Iran
Vice Presidency for Strategic Planning and Supervision

General Technical Specification and Execution Procedures for Transmission and Subtransmission Networks Cables

NO: 452- 2

**Office of Deputy for Strategic Supervision
Bureau of Technical Execution System
<http://tec.mporg.ir>**

**Energy Ministry - Tavanir Co.
Power Industry Technical Criteria
Project
www.tavanir.ir**

این نشریه

با عنوان «مشخصات فنی عمومی و اجرایی
پست ها، خطوط فوق توزیع و انتقال - کابل در
پست های فشار قوی»، جلد دوم از مجموعه دو جلدی
است. در این مجلد مباحث مربوط به کابل های
فشار متوسط، کابل های فشار ضعیف و کابل های
کنترل مورد استفاده در پست های فشار قوی ۳۶ تا
۴۰۰ کیلو ولت شامل معرفی و شناخت، معیارهای
طراحی و انتخاب آزمون های استاندارد لازم، و
دستورالعمل های نصب و نگهداری کابل های مزبور
ارائه شده است.

