

شرکت کابل سینا

کابل‌های قدرت

طراحی و ساخت

نویسنده: مسعود آسا

www.ketab.ir



۱۳۹۹



کابل‌های قدرت

نویسنده: مسعود آسا

ویراستار: آنی هوسپیان

موضوع: طراحی، ساخت و آزمون کابل‌های قدرت فشار ضعیف و فشار قوی

۵۷۶ ص. شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۹۹۸۷۰-۶-۱

نوبت و سال چاپ: اول-۱۳۹۹

رده‌بندی دیویی: ۶۲۱/۳۱۹۳۴

رده‌بندی کنگره: TK۳۳۵۱

شماره کتابشناسی ملی: ۶۲۱۷۸۲۵

عنوان	کابل ی قدر
نویسنده	مسعود آسا
ویراستار	آنی هوسپان
صفحه آرا و گرافیک	کارولین آرمن
چاپخانه	آلیک
لیتوگرافی	سایان پارس
شابک	۹۷۸-۶۰۰-۹۹۸۷۰-۶-۱
تیراژ	۲۰۰۰ نسخه
نوبت و سال چاپ	اول ۱۳۹۹
نشانی:	تهران- خیابان میرداماد- میدان محسنی- خیابان سنجابی- کوچه چهارم پلاک ۱۰
تلفن:	۲۲۹۱۹۵۵۰-۲۲۲۵۹۶۴۰
شماره همراه:	۰۹۱۲۳۱۲۹۵۱۷
پست الکترونیک	www.sinacable.com



این کتاب قابل فروش نیست و اهدایی از طرف شرکت کابل سینا است.

همه حقوق چاپ و نشر این اثر انحصاراً برای مؤلف است. هر گونه استفاده تجاری از این اثر یا تکثیر آن به هر صورت (چاپ،

فتو کپی، کتاب صوتی و الکترونیک و نشر در فضای مجازی) کلاً و جزء ممنوع است و پیگرد قانونی دارد.

فهرست

پیشگفتار

مختصری درباره زندگی کاری نویسنده

فصل اول

اصول تئوریک کابل

۱-۱ - مقاومت اهمی

۱-۲ - اندوکتانس کابل

۱-۳ - خازن کابل

۱-۴ - مقاومت عایقی کابل

۱-۵ - رسانایی الکتریکی کابل

۱-۶ - تلفات عایقی در کابل

فصل دوم

عناصر اصلی کابل ها، قدرت

۲-۱ - رسانا

۲-۲ - عایق

۲-۳ - پوشش های داخلی کابل

۲-۴ - لایه های محافظ فلزی

۲-۵ - روکش جدا کننده

۲-۶ - روکش بیرونی

فصل سوم

کابل های فشار قوی

۳-۱ - عناصر اصلی در کابل های فشارقوی

۳-۲ - عایق XLPE

۳-۳ - اسکرین کابل های فشارقوی

۳-۴ - نحوه زمین کردن کابل های فشارقوی

فصل چهارم

خطوط تولید و آزمایشگاه کابل های فشارقوی

۴-۱ - خطوط تولید عایق فشارقوی

۴-۲ - خطوط شلجمی (Catenary Continuous Vulcanization)

۴-۳ - خطوط عمودی (Vertical Continuous Vulcanization)

۴-۴ - خطوط افقی (MDCV (Mitsubishi - Dainichi Continuous Vulcanization)

۴-۵ - آزمایشگاه فشارقوی (High Voltage Lab)

۴-۶ - آزمون کابل در شبکه توزیع

فهرست

پیشگفتار

مختصری درباره زندگی کاری نویسنده

فصل اول

اصول تئوریک کابل

۱ - ۱ - مقاومت اهمی

۱ - ۲ - اندوکتانس کابل

۱ - ۳ - خازن کابل

۱ - ۴ - مقاومت عایقی کابل

۱ - ۵ - میدان الکتریکی کابل

۱ - ۶ - فیلد یقی در کابل

فصل دوم

عناصر اصلی کابل های قدرت

۱ - ۲ - رسانا

۲ - ۲ - عایق

۲ - ۳ - پوشش های داخلی کابل

۲ - ۴ - لایه های محافظ فلزی

۲ - ۵ - روکش جدا کننده

۲ - ۶ - روکش بیرونی

فصل سوم

کابل های فشار قوی

۱ - ۳ - عناصر اصلی در کابل های فشارقوی

۲ - ۳ - عایق XLPE

۳ - ۳ - اسکرین کابل های فشارقوی

۴ - ۳ - نحوه زمین کردن کابل های فشارقوی

فصل چهارم

خطوط تولید و آزمایشگاه کابل های فشارقوی

۱ - ۴ - خطوط تولید عایق فشارقوی

۲ - ۴ - خطوط شلجمی (Catenary Continuous Vulcanization)

۳ - ۴ - خطوط عمودی (Vertical Continuous Vulcanization)

۴ - ۴ - خطوط افقی (Mitsubishi - Dainichi Continuous Vulcanization) MDCV

۵ - ۴ - آزمایشگاه فشارقوی (High Voltage Lab)

۶ - ۴ - آزمون کابل در شبکه توزیع

- ۲۰۳ روش برآورد طول عمر کابل‌های فشارقوی با عایق XLPE
- ۲۰۳ ۱- ۵- روش اندازه‌گیری طول عمر کابل
- ۲۰۶ ۲- ۵- روش بررسی آماری داده‌ها

فصل ششم

- ۲۱۳ جریان مجاز کابل (ظرفیت جریانی کابل)
- ۲۱۳ ۱- ۶- منشاء تلفات در کابل
- ۲۲۲ ۲- ۶- تئوری انتقال حرارت در کابل
- ۲۲۶ ۳- ۶- مقاومت گرمایشی بین رسانا و محیط اطراف
- ۲۴۰ ۴- ۶- محاسبه حداکثر گنجایش جریان کابل (جریان مجاز)
- ۲۴۲ ۵- ۶- عوامل اصلی مؤثر بر گنجایش جریان (جریان مجاز)
- ۲۵۹ ۶- ۶- بارهای دوره‌ای (Cyclic Loads)
- ۲۶۰ ۷- ۶- مثال‌هایی از محاسبات جریان مجاز کابل‌ها

فصل هفتم

- ۲۸۰ محاسبه جریان اتصال کوتاه، اضافه بار، امپدانس ترتیب مثبت - منفی و صفر کابل
- ۲۸۰ ۱- ۷- جریان اتصال کوتاه
- ۲۸۷ ۲- ۷- بار اضافی یا جریان اضطراری
- ۲۹۳ ۳- ۷- امپدانس ترتیب مثبت - منفی و صفر
- (Positive, Negative and Zero Sequence Impedance)

ضمیمه ۱

- ۳۰۷ اطلاعات فنی مورد نیاز برای طراحی شبکه‌های کابلی

ضمیمه ۲

- ۳۱۹ جریان مجاز کابل‌های فشارضعیف بدون آرمور بر اساس جدول ذکر شده در استاندارد IEC ۶۰۳۶۴-۲۲
- ۳۲۷ جریان مجاز کابل‌های فشارمتوسط بر اساس توصیه‌های ذکر شده در ضمیمه B استاندارد IEC ۶۰۵۰۲-۲۲

ضمیمه ۳

- ۳۵۳ List of IEC publications related to cables

ضمیمه ۴

- ۴۰۳ اختصارات معمول برای توضیح ساختمان کابل‌ها

ضمیمه ۵

- ۴۰۹ تبدیل واحدها
- ۴۱۴ منابع

Product catalogue of Sina Cable

Low Voltage Cables

Medium Voltage Cables

High Voltage Cables

پیشگفتار

سرانه تولید و مصرف انرژی الکتریکی در هر کشوری معیاری اساسی، برای سنجش پیشرفت و درجه صنعتی آن کشور است. تأسیسات شهری، مناطق مسکونی، ادارات، کتابخانه، بیمارستان‌ها و... که گسترده‌گی آنها وابسته به میزان مصرف برق دارد، از جمله معیارهای اصلی سطح استاندارد زندگی می‌باشد. حجم تولید، انتقال، توزیع و مصرف برق نیز نقش اساسی با سرمایه‌گذاری در صنعت، کشاورزی، حمل‌ونقل و سایر بخش‌های اجتماعی دارد. در کشورهای پیشرفته، سرمایه‌گذاری‌های انجام شده در رابطه با تولید و توزیع انرژی الکتریکی بیش از ۶۰٪ کل هزینه سرمایه‌گذاری در دیگر بخش‌های اقتصاد است. به‌لطف اختراعات و نوآوری‌های علم مهندسی، کاربرد الکتریسته در زندگی بشر همواره به‌طور پیوسته افزایش یافته. اختراع دینامو، منجر به ساخت ژنراتور و تأثیر بسزایی در رفع تنگناهای موجود برای تولید و مصرف انرژی برق، نه تنها برای صنایع بلکه مصرف خانگی نیز به‌جا گذاشت. در اوایل استفاده از توان الکتریسته به‌عنوان پمپ‌ها و موتورهای به‌حوالی نیروگاه‌ها محدود می‌شد؛ ولی بعدها ولتاژ ژنراتورها در وهله اول تا ۳ کیلوولت و سپس به حدود ۱۰ تا ۱۵ کیلوولت افزایش یافت. برای انتقال توان الکتریکی به فواصل طولانی‌تر می‌بایست ولتاژ برق را افزایش داد که در مثال زیر این موضوع به‌خوبی نشان داده شده است:

فرض کنیم: برای انتقال برق از شبکه کابلی استفاده می‌کنیم که در آن مقاومت کابل R اهم بر متر باشد و جریان در کابل I آمپر. در آن صورت افت انرژی (وات بر متر) در کابل برابر:

$$W=RI^2$$

از این رابطه به‌آسانی می‌توان نتیجه گرفت که، اگر بخواهیم تلفات انرژی W را کاهش دهیم، دو راه حل وجود دارد:

۱- کاهش مقاومت اهمی خطوط انتقال

۲- کاهش جریان درون خطوط انتقال

در زیر به بررسی دقیق‌تر هر یک از این پارامترها می‌پردازیم.

۱- کاهش مقاومت اهمی خطوط انتقال:

می‌دانیم که مقاومت هر هادی تقریباً از رابطه زیر پیروی می‌کند:

$$R = \rho \frac{l}{A}$$

که در آن ρ ، ضریب مقاومت مخصوص (اهم میلی‌متر مربع بر متر)، A ، سطح مقطع هادی بر حسب میلی‌متر مربع و l ، طول هادی بر حسب متر است.

برای کاهش مقاومت هادی می‌توان آن را از جنس هادی‌هایی انتخاب کرد که دارای پایین‌ترین ضریب مقاومت مخصوص باشد (نقره، مس یا آلومینوم)؛ یا سطح مقطع آن را تا حد امکان بالا برد. هر یک از این تمهیدات می‌تواند هزینه خطوط انتقال را افزایش دهد؛ بنابراین، در عدم معمول می‌توان آنها را بهینه انتخاب کرد. به‌طوری که سرمایه‌گذاری خطوط انتقال قابل تحمل و اجرایی شود. برای این مثل جنس خطوط انتقال، به‌علت هزینه بسیار بالا نمی‌تواند نقره باشد. ولی، مس یا آلومینوم عناصری هستند که به‌وفور در خطوط انتقال استفاده می‌شود.

تلاش بشر برای ساخت سیم‌کشی‌ها (فوق هادی) با ضریب مقاومت مخصوص، بسیار پایین و نزدیک به صفر هم در این مقوله قابل درک است. البته متأسفانه نور به‌کارگیری سوپر کاندکتورها، در خطوط انتقال در سطح وسیع نتوانسته اجرایی شود. انتخاب سطح مقطع بالا هم محدود، هادی‌ها را دارد؛ از جمله، وزن زیاد مواد به‌کار رفته در هادی و به‌طبع، قیمت بالای آن در واحد طول که نمی‌تواند از حد معقول بالاتر باشد.

۲- کاهش جریان درون خطوط انتقال:

مؤثرترین راه‌حل برای کاهش تلفات درون خطوط انتقال، در حقیقت کاهش جریان درون آنها است. ولی از آنجا که، توان انتقالی حاصل ضرب ولتاژ در جریان انتقالی است، برای انتقال یک توان مشخص، اگر جریان را کم کنیم، به‌ناچار باید ولتاژ انتقال را بالا برد. به همین دلیل، خطوط انتقال همه دارای سطوح ولتاژی بالایی هستند. هر چقدر مسافت انتقال طولانی‌تر باشد لازم است ولتاژ انتقال را بالاتر ببریم تا افت انرژی در خطوط انتقال محدود باقی بماند. به همین دلیل، در گذشته استفاده از نیروی برق به محدوده اطراف نیروگاه‌ها ختم می‌شد و مصرف‌کنندگان بزرگ مانند صنایع بزرگ نیاز به ترانسفورماتورهای بزرگ داشتند. اختراع ترانسفورماتور، قدم بعدی در گسترش سیستم‌های امروزی توزیع نیروی برق به حساب می‌آید. این اختراع یک انقلاب محسوب می‌شد. زیرا امکان افزایش ولتاژ را فراهم می‌آورد که در انتقال یک توان ثابت، باعث کاهش جریان می‌شود. امروزه با وجود خطوط انتقال تا ۱۰۰۰ k.V، امکان ایجاد نیروگاه‌های بزرگ در نزدیکی منابع انرژی طبیعی به هر فاصله‌ای مصرف‌کننده، فراهم گشته. خطوط انتقال و توزیع به‌شکل‌های گوناگون، اعم از خطوط هوایی (نظیر خطوط هوایی مسی، ACSR، AAC، AA و...) یا کابل‌های زمینی بر حسب مورد می‌تواند باشد. انتخاب نوع خطوط انتقال و توزیع با بررسی‌های فنی-اقتصادی، توسط مهندسین صورت می‌گیرد. به‌طور کلی، اکثر انتخاب‌نهایی بین خطوط هوایی یا کابل‌های زمینی (انواع مختلف) مورد مطالعه قرار می‌گیرد. در مواردی که محدودیت‌های محیطی یا اجرایی وجود نداشته باشد، خطوط هوایی به‌خاطر اقتصادی بودن ترجیح داده می‌شوند.