

بنام خدا

ایمنی در برق

رشته‌های :

الکتروتکنیک

(برق صنعتی - تاسیسات الکتریکی)

الکترونیک عمومی

محمد جعفرپور

امیررضا زارع بیدکی

احسان طهرانی

سرشناسه	: جعفرپور جلالی، محمد، ۱۳۵۸ -
عنوان و نام پدیدآور	: ایمنی در برق / محمد جعفرپور جلالی، محمدرضازارع بیدکی، احسان طهرانی.
مشخصات نشر	: تهران: ادبستان، ۱۳۹۱.
مشخصات ظاهری	: ۱۷۶ ص.: مصور، جدول.
شابک	: ۹۷۸-۶۰۰-۱۹۶-۰۳۷-۶
وضعیت فهرست نویسی	: فیبا
موضوع	: برق -- پیش‌بینی‌های ایمنی
موضوع	: برق -- سیستم‌ها -- حفاظت
شناسه افزوده	: زارع‌بیدکی، محمدرضا، ۱۳۶۳ -
شناسه افزوده	: طهرانی، احسان، ۱۳۵۹ -
رده بندی کنگره	: ۱۳۹۱/۱۵۳TK ج/۷الف ۹
رده بندی دیویی	: ۶۲۱/۳۰۳۸۹
شماره کتابشناسی ملی	: ۳۰۳۷۷۵۲

نام کتاب	: ایمنی در برق
مؤلفان	: محمد جعفرپور جلالی - محمدرضازارع بیدکی - احسان طهرانی
ناشر	: ادبستان
لیتوگرافی	: طیف نگار
چاپ	: دیبا - پردازش تصویر رایان
نوبت چاپ	: اول ۱۳۹۲
تیراژ	: ۱۰۰۰ نسخه
قیمت	: ۶۵۰۰ تومان

دفتر مرکزی کتاب آیلار

انقلاب - خیابان شهید منیری جاوید (اردیبهشت) - خیابان شهدای ژاندارمری شرقی - شماره ۱۴۶
(ساختمان آیلار) تلفن: ۶۶۴۰۱۲۵۵ - دورنگار: ۶۶۴۹۴۴۳۱

فروشگاه شماره ۱ (کتاب آیلار)

انقلاب - روبروی دبیرخانه دانشگاه تهران - بازارچه کتاب، تلفن ۶۶۹۵۶۴۳۳ - ۸۶۵ ۶۶۴۱

فروشگاه شماره ۲ (کتاب آیلار)

کریمخان زند - مابین ایرانشهر و خردمند جنوبی - شماره ۱۳۲، تلفن: ۸۸۳۱۹۷۴۰ - ۱

فروشگاه شماره ۳ (کتاب آیلار)

انقلاب - روبروی دانشگاه تهران - پاساژ فروزنده - شماره ۳۲۱، تلفن: ۶۶۹۶۳۵۹۶ - ۹۷

ISBN: 978-600-196-037-6

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۱۹۶-۰۳۷-۶

فهرست مطالب

پیشگفتار.....	۱۱
مقدمه.....	۱۳

فصل اول

اثرات عبور برق از بدن انسان.....	۱۵
۱-۱ مقدمه.....	۱۶
۲-۱ خطرات ناشی از برق گرفتگی.....	۱۷
۳-۱ امپدانس بدن انسان.....	۱۸
۱-۳-۱ امپدانس پوست بدن انسان (Z_p) و ساختار آن.....	۱۸
۲-۳-۱ امپدانس داخلی بدن انسان (Z_i) و ساختار آن.....	۱۹
۳-۳-۱ امپدانس کل بدن انسان (Z_T).....	۲۰
۴-۳-۱ مقاومت اولیه بدن انسان (R_i).....	۲۰
۴-۱ شرایط محیطی، ولتاژ و جریان مجاز برای انسان.....	۲۱
۱-۱-۴-۱ ولتاژ تماس.....	۲۲
۲-۱-۴-۱ ولتاژ قدم.....	۲۲
۲-۴-۱ شدت جریان الکتریکی.....	۲۳
۳-۴-۱ نوع جریان.....	۲۴
۱-۳-۴-۱ جریان مستقیم.....	۲۵
۲-۳-۴-۱ برق جریان متناوب.....	۲۶

- ۴-۴-۱ مسیر عبور جریان..... ۲۶
- ۴-۴-۱ مدت زمان عبور جریان برق..... ۲۶
- ۵-۱ احساس‌های فیزیولوژی بدن انسان در مقابل شدت جریان‌های مختلف..... ۲۷
- ۶-۱ تاثیر برق‌گرفتگی بر روی قلب از نظر فیزیولوژی..... ۲۸
- ۷-۱ اثر فرکانس در برق‌گرفتگی و نحوه تاثیر آن بر بدن انسان..... ۳۰
- ۱-۷-۱ آتا عبور جریان متناوب با فرکانس ۱۰۰ هرتز تا ۱۰۰۰ هرتز از بدن انسان..... ۳۱
- ۸-۱ خلاصه..... ۳۳
- مسائل..... ۳۵

فصل دوم

- زمین و مقاومت الکتریکی آن..... ۳۷
- ۱-۲ مقدمه..... ۳۸
- ۲-۲ مفاهیم اولیه..... ۳۹
- ۳-۲ جرم کلی زمین و مسائل وابسته به آن..... ۴۰
- ۱-۳-۲ چگونگی پیدایش مفهوم "جرم کلی زمین"..... ۴۱
- ۴-۲ مقاومت ویژه خاک و عوامل وابسته به زمین..... ۴۴
- ۵-۲ تأثیر دما بر مقاومت ویژه..... ۴۵
- ۶-۲ انتخاب محل احداث الکترود زمین..... ۴۶
- ۷-۲ چگونگی آماده‌سازی محل احداث الکترود زمین..... ۴۷
- ۸-۲ بررسی خصوصیات الکترودهای متداول و مقاومت آنها..... ۴۸
- ۱-۸-۲ الکترودهای مصنوعی..... ۴۸
- ۲-۸-۲ الکترودهای موجود..... ۴۹
- ۳-۸-۲ الکترودهای صفحه‌ای..... ۴۹
- ۱-۳-۸-۲ الکترودهای صفحه‌ای کم‌عمق..... ۵۱

- ۵۲ ۲-۳-۸-۲ الکترودهای صفحه‌ای عمیق
- ۵۲ ۴-۸-۲ الکترودهای قائم
- ۵۵ ۱-۴-۸-۲ ساختمان و جنس الکترودهای قائم به روش کوبیدن
- ۵۶ ۲-۴-۸-۲ ساختمان و جنس الکترودهای قائم به روش دفن
- ۵۷ ۵-۸-۲ الکترودهای افقی
- ۶۰ ۱-۵-۸-۲ ساختمان و جنس الکترودهای افقی و عمق دفن آنها
- ۶۱ ۶-۸-۲ هادی رمین
- ۶۱ ۱-۶-۸-۲ استحکام هادی اتصال زمین
- ۶۲ ۷-۸-۲ چگونگی اندازه‌گیری مقاومت الکترودهای زمین و مقومت ویژه خاک
- ۶۳ ۱-۷-۸-۲ اندازه‌گیری مقاومت الکترودها
- ۶۳ ۲-۷-۸-۲ اندازه‌گیری مقاومت ویژه خاک
- ۶۵ ۹-۲ خلاصه
- ۶۷ مسائل

فصل سوم

- ۶۹ حفاظت در برابر برق گرفتگی
- ۷۰ ۱-۳ مقدمه
- ۷۱ ۲-۳ دسته‌بندی انواع برق گرفتگی
- ۷۲ ۳-۳ حفاظت در برابر تماس مستقیم یا حفاظت اصلی
- ۷۴ ۱-۳-۳ حفاظت با استفاده از موانع (حفاظت در برابر تماس غیر عمد)
- ۷۴ ۲-۳-۳ حفاظت با استفاده از حصارکشی‌ها یا استفاده از محفظه‌ها
- ۷۴ ۳-۳-۳ حفاظت با استفاده از عایق‌بندی
- ۷۵ ۴-۳-۳ حفاظت اضافی با استفاده از وسایل جریان تفاضلی
- ۷۵ ۵-۳-۳ حفاظت توسط ولتاژ کم

- ۶-۳-۳ حفاظت توسط ترانسفورماتور جداکننده (یک به یک)..... ۷۵
- ۷-۳-۳ طبقه‌بندی تجهیزات با توجه به حفاظت در برابر تماس مستقیم و نحوه استفاده از آن ۷۷
- ۴-۳ حفاظت در برابر تماس غیرمستقیم (حفاظت در برابر بروز اتصالی)..... ۷۸
- ۱-۴-۳ مشخصه‌های تجهیزات حفاظتی در سیستم TN..... ۸۰
- ۲-۴-۳ مشخصه‌های تجهیزات حفاظتی در سیستم TT..... ۸۱
- ۳-۴-۳ مشخصه‌های تجهیزات حفاظتی در سیستم IT..... ۸۲
- ۴-۴-۳ طبقه‌بندی تجهیزات از نظر حفاظت در برابر تماس غیرمستقیم..... ۸۵
- ۵-۴-۳ حفاظت در برابر تماس غیرمستقیم با استفاده از قطع خودکار مدار..... ۸۷
- ۶-۴-۳ همبندی اصلی برای هم‌ولتاژ کردن..... ۸۷
- ۵-۳ آشنایی با لوازم ایمنی..... ۸۹
- ۱-۵-۳ لوازم ایمنی انفرادی..... ۸۹
- ۱-۱-۵-۳ شرایط انتخاب لباس کار..... ۹۰
- ۲-۱-۵-۳ کمربندهای ایمنی سیمبانی..... ۹۱
- ۳-۱-۵-۳ کلاه‌های ایمنی..... ۹۲
- ۴-۱-۵-۳ کفش‌های ایمنی..... ۹۲
- ۵-۱-۵-۳ دستکش‌های حفاظتی..... ۹۳
- ۶-۱-۵-۳ رکاب‌های سیمبانی..... ۹۴
- ۷-۱-۵-۳ فازمتر فشار ضعیف..... ۹۵
- ۸-۱-۵-۳ فیوزکش..... ۹۵
- ۹-۱-۵-۳ عینک‌های حفاظتی..... ۹۶
- ۱۰-۱-۵-۳ انبردست..... ۹۶
- ۲-۵-۳ لوازم ایمنی گروهی..... ۹۷
- ۱-۲-۵-۳ تفنگ پرتاب سیم ارت..... ۹۷
- ۲-۲-۵-۳ دستگاه اتصال زمین موقت برای خطوط فشار ضعیف، متوسط و قوی..... ۹۸
- ۳-۲-۵-۳ فازمترهای فشار متوسط و قوی..... ۹۹

- ۳-۲-۴ دستکش‌های عایق برق فشار متوسط ۱۰۰
- ۳-۲-۵ چوب استیک یا پرش ۱۰۰
- ۳-۶ دستورالعمل ایمنی کار با تأسیسات برقی ۱۰۱
- ۳-۷ خلاصه ۱۰۲
- مسائل ۱۰۴

فصل چهارم

- ۱۰۷ امداد در برق گرفتگی
- ۴-۱-۱ مقدمه ۱۰۸
- ۴-۲-۱ تنفس مصنوعی یا احیای سیستم تنفسی ۱۰۹
- ۴-۲-۱-۱ انواع روشهای تنفس مصنوعی ۱۰۹
- ۴-۲-۱-۱-۱ روش تنفس مصنوعی دهان به دهان ۱۰۹
- ۴-۲-۱-۲ روش تنفس مصنوعی دهان به بینی ۱۱۲
- ۴-۲-۱-۳ تنفس مصنوعی به روش هولگرفیلسن ۱۱۳
- ۴-۲-۱-۴ روش تنفس مصنوعی به روش سیلوستر ۱۱۶
- ۴-۳-۱ کمک‌های اولیه در مورد سوختگی‌های الکتریکی ۱۱۷
- ۴-۳-۱-۱ سوختگی در اثر قوس الکتریکی ۱۱۸
- ۴-۴-۱ نجات شخص برق گرفته از تیر های برق ۱۱۹
- ۴-۵ خلاصه ۱۲۰
- مسائل ۱۲۱

فصل پنجم

- ۱۲۳ ایمنی در برابر الکتریسیته ساکن

۱۲۴.....	۱-۵ مقدمه.....
۱۲۴.....	۲-۵ جامدات خشک.....
۱۲۶.....	۳-۵ خشکاندن.....
۱۲۷.....	۴-۵ آسیاب کردن.....
۱۲۷.....	۵-۵ غربال کردن.....
۱۲۸.....	۶-۵ مایعات و جامدات.....
۱۳۰.....	۷-۵ مرکز گریز.....
۱۳۱.....	۸-۵ خلاصه.....
۱۳۲.....	مسائل.....

فصل ششم

۱۳۳.....	کابل‌های الکتریکی.....
۱۳۴.....	۱-۶ مقدمه.....
۱۳۴.....	۲-۶ هادی‌ها.....
۱۳۵.....	۱-۲-۶ تکنولوژی ساخت هادی.....
۱۳۵.....	۳-۶ عایق‌ها.....
۱۳۶.....	۴-۶ غلاف کابل‌ها.....
۱۳۶.....	۵-۶ جریان مجاز قابل تحمل.....
۱۳۷.....	۶-۶ شرایط نصب و قرار دادن کابل‌های برق.....
۱۳۸.....	۷-۶ استقامت الکتریکی کابل.....
۱۳۸.....	۸-۶ انواع کابل از لحاظ ساختمان.....
۱۳۸.....	۱-۸-۶ کابل‌های فشار ضعیف و متوسط.....
۱۳۹.....	۲-۸-۶ کابل‌های فشار قوی.....

۱۳۹	۶-۸-۲-۱ کابل روغنی با فشار کم
۱۴۰	۶-۸-۲-۲ کابل‌های روغنی با فشار زیاد
۱۴۱	۶-۸-۲-۳ کابل‌های گازی از نوع SF6
۱۴۱	۶-۹ نکاتی در مورد انتخاب کابل مناسب
۱۴۲	۶-۱۰ انواع کابل به لحاظ کاربرد
۱۴۵	۶-۱۱ انواع کابل و کاربرد آن از نظر ساختمان داخلی
۱۴۶	۶-۱۲ شناسایی کابل‌ها
۱۴۶	۶-۱۲-۱ طریقه شناسایی کابل‌های جریان زیاد
۱۴۷	۶-۱۳ حریم خطوط انتقال نیروی برق و انواع آن
۱۴۹	۶-۱۳-۱ برخی از آئین‌نامه‌های مهم در قانون سازمان برق ایران
۱۵۱	۶-۱۴ خلاصه
۱۵۲	مسائل

فصل هفتم

۱۵۵	حفاظت و ایمنی در برابر صاعقه
۱۵۶	۷-۱ مقدمه
۱۵۶	۷-۲ صاعقه و رعد
۱۶۰	۷-۳ ایمنی تاسیسات و ساختمان‌ها در برابر صاعقه
۱۶۱	۷-۴ حفاظت در برابر صدمات صاعقه
۱۶۲	۷-۵ حفاظت از صاعقه در ساختمان
۱۶۳	۷-۵-۱ برق‌گیر یا رسانای آذرخش
۱۶۴	۷-۵-۲ هادی‌ها
۱۶۴	۷-۵-۳ سیستم ارت
۱۶۵	۷-۵-۳-۱ اجرای ارت به روش عمقی و انتخاب محل چاه ارت

- ۱۶۶..... ۲-۳-۵-۷ حفر چاه ارت
- ۱۶۸..... ۶-۷ ایمنی دکل در برابر صاعقه
- ۱۶۹..... ۱-۶-۷ ایمنی در مقابل صاعقه برای هواپیما
- ۱۷۰..... ۲-۶-۷ صاعقه زدگی و خطرات احتمالی در پرواز
- ۱۷۳..... ۷-۷ خلاصه
- ۱۷۴..... مسائل

پیشگفتار مولفان

قوانین حفاظتی و ایمنی در اواخر قرن ۱۹ به منظور جلوگیری از بسیاری حوادث ناشی از برق-گرفتگی پدید آمدند. حفاظت و ایمنی در برابر برق‌گرفتگی به دو صورت کلی تعریف می‌شوند که شامل حفاظت فردی و ابزاری است. با روند توسعه روزمره سیستم‌های برقی و وابستگی بشر به آنها در اکثر امور، قوانین ایمنی در برابر برق‌گرفتگی نیز شکل و شمایل تازه‌ای به خود دید، به طوریکه استانداردهای واحد جهت ایمنی در برابر برق‌گرفتگی و حوادث ناشی از آن تعریف شدند. هدف اصلی از نگارش این کتاب، جمع‌آوری اطلاعاتی بر اساس استانداردهای بین‌المللی بود تا دانشجویان را با امر ایمنی و حفاظت در برابر برق‌گرفتگی و حوادث ناشی از آن آگاه سازد.

در بحث کار در صنعت و استفاده از لوازم برقی، مهمترین بحث را می‌توان به حفاظت از موجود زنده نام برد که در این درس اولین برخورد جدی دانشجویان با مفاهیم اصول ایمنی در برق است. در تنظیم مطالب کتاب علاوه بر پوشش موارد درسی مورد نیاز در سرفصل درس ایمنی در برق و بسط و تکمیل آنها، سعی شده است که مباحث انتخاب شده و نحوه ارائه آنها به گونه‌ای باشد که این کتاب مورد استفاده مهندسان شاغل در صنعت نیز قرار گرفته و آنها را در یک دوره مطالعه انفرادی با مفاهیم حفاظت و ایمنی آشنا سازد.

کتاب در ۷ فصل جمع‌آوری شده که در ابتدای هر فصل با بیان مقدمه‌ای به شرح عناوینی که خواننده با آن روبرو است، می‌پردازیم.

در فصل اول به اثرات عبور برق از بدن انسان و همچنین خطرات ناشی از برق‌گرفتگی و مقاومت پوست بدن انسان در برابر جریان الکتریسیته با عنوان مقاومت الکتریکی می‌پردازد. در فصل دوم،

بحث زمین و مقاومت الکتریکی آن، معرفی انواع الکترودها و نحوه قرار دادن آنها از جمله مباحث مهمی است که در این فصل به آن می‌پردازد. فصل سوم به بررسی مهمترین مبحث در ایمنی یعنی حفاظت در برابر برق‌گرفتگی و رعایت و توجه به لوازم ایمنی انفرادی که از مهم‌ترین ابزار حفاظتی محسوب می‌شوند، می‌پردازد. فصل چهارم اختصاص به آشنایی با مفاهیم امداد در برق‌گرفتگی و چگونگی انجام کمک‌های اولیه برای نجات شخص برق‌گرفته پرداخته شده است. در فصل پنجم، ایمنی در برابر الکتریسیته ساکن، همچنین کنترل خطرهای الکتریسیته ساکن و مهمترین منابعی که بالقوه می‌توانند موجب افروزش ناشی از الکتریسیته ساکن شوند پرداخته می‌شود. فصل ششم و هفتم به ترتیب به معرفی انواع کابل‌های الکتریکی و حفاظت در برابر صاعقه بررسی می‌شود.

دوستان زیادی در تهیه و تنظیم این کتاب نقش داشته‌اند که از همه آنها تشکر می‌شود. حال با تمام تلاشی که برای بی‌نقص شدن این اثر انجام داده‌ایم، مطمئن هستیم که هنوز اشکالاتی وجود دارد که با راهنمایی شما عزیزان در نسخه‌های بعدی قابل رفع است. لطفاً اشکالات احتمالی موجود را از طریق پست‌های الکترونیکی

Mjp.jalali@yahoo.com

Azare@buiinfa.ac.ir

یا از طریق آدرس پستی انتشارات اطلاع فرمائید.

مقدمه

در اواخر قرن ۱۹ میلادی که برق از روشنگری خیابان‌های بعضی از شهرهای دنیا نفوذ خود را به داخل خانه‌ها و ساختمان‌ها آغاز کرد، به فوریت احساس شد که به نوعی مقررات برای جلوگیری از آتش‌سوزی‌های ناشی از برق احتیاج می‌باشد. در این زمان شرکت‌های بیمه بودند که مشوق تهیه آیین‌نامه‌هایی برای ایمنی در استفاده از برق شدند. در روزهای اول استفاده از برق، برق‌گرفتگی چاره‌ناپذیر انگاشته می‌شد و هنوز روش‌های ایمنی در این مورد مانند امروز ابداع نشده بود و آتش-سوزی تهدید اصلی برق به حساب می‌آمد.

مهمترین خطر برق، بروز برق‌زدگی در موجودات زنده در نتیجه تماس با برق است. تا قبل از ورود IEC¹ به میدان تهیه مقررات ایمنی در برابر برق‌گرفتگی، ملل مختلف درباره نحوه تأثیر برق بر انسان مطالعات گسترده‌ای را انجام داده بودند که به علت وجود اختلاف در سلیقه‌ها و نگرش‌ها، این مطالعات هیچ‌گاه همفکری لازم بین‌الملل را ایجاد نکرد. IEC با تهیه استاندارد IEC479²، که اولین چاپ آن در سال ۱۹۷۴ منتشر شد، به این اختلافات پایان داد و اینک مدرک فوق راهنمای تهیه مدارک ایمنی در برق می‌باشد. استاندارد IEC479 مشتمل بر چند قسمت است که تأثیر انواع جریان‌ها مانند جریان‌های زیر را بر بدن انسان بررسی می‌کند:

- جریان متناوب؛
- جریان مستقیم؛
- جریان‌های مخصوص؛

1- International Electrotechnical Commission

2- IEC479: effects of current passing through the human body

نتایجی که از مطالعات مربوط به برق گرفتگی بدست آمده، مبتنی بر آزمایش‌هایی است که بر روی حیوانات، اجساد و در بعضی موارد نادر، انسان زنده به عمل آمده است. این نتایج به قدری محافظ-کارانه است که در مورد کودکان، بدون توجه به سن آنها، قابل استفاده است. عبور جریان برق از بدن انسان است که سبب برق گرفتگی می‌شود اما باز هم اشخاصی پیدا می‌شوند که ولتاژ را مقصر در ایجاد برق زدگی می‌دانند. آنهایی که با برق سر و کار دارند، می‌دانند که صحبت درباره جریان مستقل از ولتاژ بی‌معنا است و رابطه بین این دو، ناگسستنی و بسیار ساده است: $U=IZ$

در هر صورت هنگام بحث درباره برق زدگی، کار کردن یا نتیجه‌گیری بر مبنای شدت جریان ساده‌تر و قابل فهم‌تر است اما این نتایج در کاربردهای عملی قابل استفاده نیستند. البته با توجه به رابطه بالا ظاهراً تبدیل جریان به ولتاژ برعکس بسیار ساده است اما در این رابطه Z که نماینده امپدانس بدن انسان است از یک طرف عددی است آماری و از طرف دیگر مقدار ثابتی ندارد که موضوعی است جداگانه که در ادامه بحث ما خواهد بود.