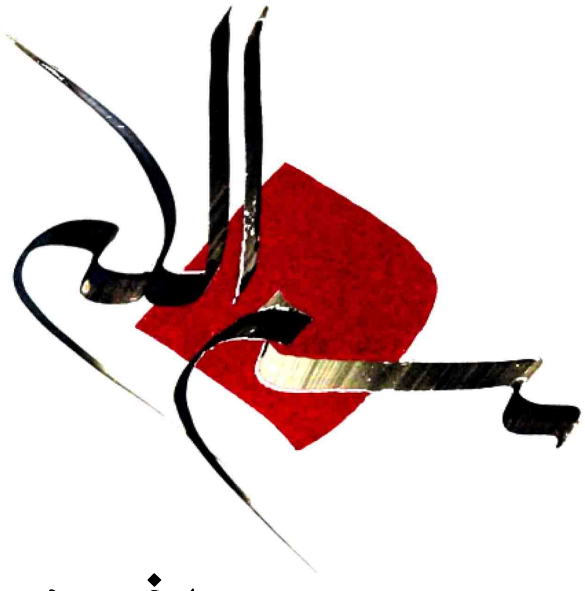

مرجع منحصربه‌فرد

عایق‌ها و فشارقوی

مؤلفین: آرورا راویندرا و دیگران

مترجمین: دکتر فرامرز فقیهی)عضو هیأت علمی دانشگاه علوم تحقیقات(

دکتر روزبه جهانی -مدرس دانشگاه

سها پویش

سرشناسه	:	آرورا ، راویندرا
عنوان ونام پدیدآور		عایق ها وفشار قوی /راویندرا آرورا،لفگانگ موش مترجمین:فرامرز فقیهی،روزبه جهانی
مشخصات نشر	:	تهران: سها پویش، ۱۴۰۲
مشخصات ظاهری	:	۴۸۲ ص.: مصور (بخشی رنگی)، جدول
شابک	:	۹۷۸۶۲۲۵۳۸۷۸۷۴
وضعیت فهرست نویسی	:	
یادداشت		عنوان اصلی high voltage electrical insulation engineering Eiectric power distribution-high tenslon
موضوع	:	عایق سازی،برق نیرو،توزیع،کشش باد،برق کابل ها
اموضوع	:آ	فقیهی فرامرز-۱۳۴۹،جهانی روزبه ۱۳۶۵
شناسه افزوده	:	
رده بندی کنگره		TK۳۴۱/۴ع ۲ ۱۴۰۲
رده بندی دیویی		۶۲۱/۳۱۹۳۷
شماره کتابشناسی ملی	:	۴۵۰۶۳۵۲
اطلاعات رکوردکتابشناسی	:	فیپا
	:	

تلفن : ۳-۶۶۵۶۹۸۸۱ همراه : ۰۹۳۵۱۲۶۱۴۱۹

عنوان کتاب ..... مرجع منحصر به فرد عایق ها وفشار قوی
مترجمین:.....دکتر فقیهی فرامرز،جهانی روزبه
ناشر.....سهاپویش
نوبت چاپ .....اول
سال چاپ ۱۴۰۲
تیراژ.....۵۰نسخه
قیمت.....۳۵۰۰۰۰تومان

شابک: ۴-۸۷-۵۳۸۷-۶۲۲-۹۷۸

soha_pub
@soha_pub
فروشگاه آنلاین: www.sohabook.ir

این اثر مشمول قانون حمایت مؤلفان و مصنفان و هنرمندان مصوب ۱۳۴۸ می‌باشد.

پیش‌گفتار

زمین دارای این مشخصه منحصربه فرد است که هر مقدار الکتریسیته (بار الکتریکی) را جذب کند و در عین حال، خنثی(یعنی در پتانسیل صفر) باقی بماند. با این حال، الکتریسیته نمی تواند بدون عایق الکتریکی وجود داشته باشد. هر چه پتانسیل بالاتر باشد، سطح عایق مورد نیاز بیشتر است. اصول درک مهندسی ولتاژ بالا در دانش رفتار دی‌الکتریک، عایق الکتریکی تحت پتانسیل بالا قرار می‌گیرد.

سیستم عایق اساس سیستم‌های قدرت است. برای ساخت یک سیستم عایق با طراحی بهینه به طوری که بتواند خدمات پایدار و رضایت بخش فراهم کند، لازم است که رفتار دی‌الکتریک‌ها تحت فشار الکتریکی را درک کنیم. دانش و مفاهیم اساسی در موضوعات علمی، از طریق تلاش‌های مستمر علمی با کارهای پژوهشی در طی چند دهه و حتی گاهاً چند قرن حاصل می‌شوند.

مطالب این کتاب از چندین دهه سخنرانی در زمینه مهندسی ولتاژ بالا در دانشگاه فنی (TU) درسدن، آلمان و در موسسه فناوری هند و کانپور برای دانش آموزان مقطع کارشناسی و کارشناسی ارشد الهام گرفته شده است. اولین کتاب ما به زبان انگلیسی درمورد این موضوع در سال ۱۹۹۵ در هند منتشر شد. از آن زمان، کارهای تحقیقاتی و توسعه‌ای زیادی در آزمایشگاه‌های ما و در دیگر جاهای جهان انجام شده است. در طول دو دهه گذشته، ایده‌های مفهومی نوآورانه که با بحث در کلاس‌های درس توسعه یافته اند، ما را ترغیب به نوشتن این کتاب کرده است.

TU درسدن یکی از بزرگترین و قدیمی ترین دانشگاه‌های فنی اروپا است. این دانشگاه ۱۵۰ امین سالگرد خود را در سال ۱۹۷۸ جشن گرفت. آلمان، به تحقیق عملی سازمان یافته در آزمایشگاه برای توسعه روش و فن آوری‌های علمی معروف است. پیشرفت در رشته مهندسی ولتاژ بالا در TU درسدن در اوایل سال ۱۹۰۰ یعنی بیش از یک قرن پیش آغاز شد. تحقیقات در زمینه تخلیه گاز توسط افراد معروف در این زمینه یعنی پورفسورTeopler و پورفسور Binder آغاز شد. نویسندگان با داشتن شانس کار کردن در چنین محیط حرفه ای پیشرفتهای، دسترسی کاملی به مفاهیم اساسی که در مورد این موضوع به دست آمده بود، داشتند.

در این کتاب یک رویکرد جدید با عنوان"رفتار وابسته به میدان دی‌الکتریک ها" مطرح شده است. در طبقه بندی میدان‌های الکتریکی، مفهوم منحصر به فردی از "میدان غیریکنواخت ضعیف"با کمک فاکتورشوایگر به صورت مفهومی و تحلیلی ارائه شده است. این فاکتور، یک ابزار مهم برای طراحی تجهیزات ولتاژ بالا، به ویژه در سیستم‌های عایق گازی (GIS) می‌باشد.

برای تهیه این کتاب نویسندگان شانس استفاده از مراجعه به متون وسیع و غنی موجود به زبان آلمانی و انگلیسی را داشته اند. سطح پیشرفته مطالب این کتاب برای دانشجویان کارشناسی و کارشناسی ارشد مهندسی مناسب است. محققان، طراحان و کارمندان نیز برای دانش کامل و بینش عمیق در این زمینه آن را مفید خواهند یافت. این کتاب برای توضیح یک پدیده خاص، به جای نمودارهای شماتیک، نمودارهای واقعی منظم ارائه کرده است تا یک کتاب مبتنی بر عمل باشد.

برای اولین بار در این کتاب به جای اصطلاح"تخلیه جزئی" (PD) که تا کنون استفاده می‌شد، از اصطلاح مناسب تر "شکست جزئی" (PB) استفاده شده است. در مهندسی برق، معنای تحت اللفظی کلمه "تخلیه" خارج شدن شارژ یا الکتریسیته است. تخلیه به صورت فرآیند خروج یا انتقال بار الکتریکی نیز توصیف شده است. در مرحله اولیه آن، فرآیند تخلیه الکتریکی بین دو الکترود، مکانیسم "انتقال" جریان از طریق دی‌الکتریک را ایجاد می‌کند. هنگامی که این انتقال تا حدی افزایش بیابد که جریان تخلیه الکتریکی به برابری اختلاف پتانسیل در دو الکترود منجر شود ، این پدیده "شکست" نامیده می‌شود، که اغلب از آن به عنوان "تخلیه" یاد شده است. شکست، وضعیتی است که در آن شکست کامل عایق رخ می‌دهد. در شرایط میدان بسیار غیریکنواخت، فرآیند شکست الکتریکی می‌تواند به صورت محلی دریک ناحیه ازدی‌الکتریک و بدون تاثیر گذاشتن بر کل دی‌الکتریک رخ دهد. این فرآیند شکست محلی "شکست جزئی" (PB) نامیده می‌شود. فرآیند شکست جزئی پایدار در محیط‌های گازی به عنوان "هاله (کرونا)" شناخته شده است. در تمام دی‌الکتریک‌هایی که در شرایط میدان بسیار غیریکنواخت کار می‌کنند، فرآیند PB پایدار همیشه قبل از شکست کامل رخ می‌دهد.

فصل اول این کتاب، "مقدمه"، معنی واقعی اصطلاحات علمی مربوطه را که معمولاً در مهندسی ولتاژ بالا استفاده می‌شود توضیح می‌دهد. این اصطلاحات اغلب به طور نامناسب تفسیر و استفاده شده اند. مابه دلیل مباشرت در آموزش و تعامل با دانش آموزان، نیاز دیدیم که این فصل رابنویسیم. بحث و گفتگو با دانشجویان فارغ التحصیل، ضمن نظارت بر پایان نامه‌های آنها منجر به ایجاد تفاسیر درستی شد که در این کتاب گنجانیده شده است. فصل ۲ در باب میدان‌های الکتریکی، مبنایی برای درک رفتار وابسته میدان دی‌الکتریک‌ها فراهم می‌کند."شدت میدان الکتریکی" اندازه "فشار الکتریکی" که دی‌الکتریک تحت آن است می‌باشد و به شکل الکترودها بستگی دارد. بنابراین شدت میدان الکتریکی, عملکرد کلیدی‌الکتریک‌ها را نشان می‌دهد.

فصل ۳ در باب دی‌الکتریک‌های گازی، طولانی ترین فصل این کتاب است. تحقیقات انجام شده در هوای آزاد اتمسفر تحولات مفهومی جالبی در فرآیند شکست و خرابی خاصیت عایق بودن دی‌الکتریک نشان می‌دهد. مطالعه دی‌الکتریک‌های گازی، بهترین راه یادگیری رفتار انواع دی‌الکتریک است. درک چگونگی تغییر قدرت شکست هوای اتمسفراز مقادیر بسیار بالا مانند ۹۰ کیلو ولت/سانتی متر تا مقادیر بسیار کم مانند فقط ۱ کیلو ولت/سانتی متر تحت شرایط میدانی مختلف، باید برای خواننده جالب باشد. تفاوت بین سه نوع هاله، یعنی ستاره، پرچم و هاله رهبر، و همچنین ویژگی‌های عجیب آنها نیز در این فصل توضیح داده شده است. عملکردگاز SF_6 و مخلوط آن تحت شرایط میدانی مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. شاغلینی که با GIS سر و کار دارند

نیز این بخش از فصل را برای علایق خاص خود مفید خواهند یافت. پدیده رعد و برق در ارتباط بسیار نزدیک با روند شکست در شکاف‌های هوایی بلند، در فصل ۴ آورده شده است. شرح پدیده نادر توپ"رعد و برق" باید برای همه خوانندگان جالب باشد. تجارب نویسندگان در زمینه وقایع نادر توپ رعد و برق به علت منابع شارژ ساخت بشر نیز توصیف شده است. در سه دهه گذشته کاربرد خلاء به عنوان دیالکتریک بطور قابل توجهی افزایش یافته است. از این رو، آن را به طور جداگانه در فصل ۵ ارائه کرده ایم. طبقه بندی، ویژگی‌ها و کاربردهای عملی دیالکتریک‌های مایع و جامد در فصل ۶ و ۷ ارائه شده است. قدرت شکست ذاتی و عملی آنها با توجه به فرآیندهایی که بر شکست اثر می‌گذارد مشخص شده است. شکست جزئی در دیا لکتریک‌های جامد با اهمیت ویژه ای مطرح شده است.این کتاب دومین سرمایه گذاری مشترک ما است. مورد اول در سال ۱۹۹۵ در هند منتشر شد. ما همواره پذیرا و و سپاسگزار پیشنهادات خوانندگان کتابمان خواهیم بود.

Ravindra Arora
Wolfgang Mosch June

فهرست مطالب

فصل ۱.....**مقدمه**

مقدمه ۱۷
۱.۱. شارژ و تخلیه الکتریکی..... ۱۸
الکترون..... ۱۸
پروتون..... ۱۸
یون..... ۱۸
یونیزه کردن..... ۱۹
یونیزاسیون..... ۱۹
بار الکتریکی..... ۱۹
تخلیه الکتریکی..... ۱۹
۲.۱ میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی و الکترومغناطیس..... ۲۰
میدان الکتریکی..... ۲۰
میدان مغناطیسی..... ۲۰
الکترومغناطیسی..... ۲۰
الکترومغناطیس..... ۲۱
تابش الکترومغناطیسی..... ۲۱
موج الکترومغناطیسی..... ۲۱
میدان الکترومغناطیسی..... ۲۱
۳.۱ دی‌الکتریک وعایق الکتریکی..... ۲۲
الکتریک..... ۲۲
دی‌الکتریک..... ۲۲
عایق..... ۲۲
عایق الکتریکی..... ۲۲
عایق بندی..... ۲۲
۴.۱ شکست الکتریکی..... ۲۳
۱.۴.۱ شکست کلی..... ۲۳
۲.۴.۱ شکست محلی..... ۲۳

۵.۱ کرونا، استریمر و آورورا ۲۳
کرونا (هاله)..... ۲۳
استریمر (نوار)..... ۲۴
آورورا (شفق)..... ۲۵
شفق جنوبی..... ۲۵
شفق شمالی..... ۲۶
۶.۱ خازن و ظرفیت خازنی..... ۲۷
۱.۶.۱. ظرفیت پراکنده..... ۲۷
مراجع..... ۲۸

فصل ۲ ..... میدان‌های الکتریکی، کنترل و تخمین آنها

۱.۱. میدان های الکتریکی کنترل و تخمین آن ها..... ۲۹
۱.۲. شدت میدان الکتریکی "E"..... ۲۹
۲.۲ شکست و قدرت الکتریکی دی‌الکتریک‌ها " E_b "..... ۳۲
۱.۲.۲ شکست جزئی در دی‌الکتریک..... ۳۲
۳.۲ طبقه بندی میدانهای الکتریکی ۳۳
۱.۳.۲ درجه یکنواختی میدان‌های الکتریکی ۳۷
۱.۱.۳.۲ اثر زمین کردن (اتصال به زمین) بر وضعیت میدان ۳۹
۴.۲ کنترل شدت میدان الکتریکی (کنترل تنش)..... ۴۱
۵.۲ برآورد شدت میدان الکتریکی ۴۷
۱.۵.۲ معادلات مبنا برای شدت میدان و پتانسیل در میدان‌های الکترواستاتیک ۴۷
۲.۵.۲ روش‌های تحلیلی برای برآورد شدت میدان الکتریکی در دی‌الکتریک منفرد همگن ۵۱
۱.۲.۵.۲ حل مستقیم لاپلاس معادله ۵۱
۱.۱.۲.۵.۲ کندانسورصفحات موازی ۵۱
۲.۱.۲.۵.۲ کندانسور کره‌های هم‌مرکز ۵۲
۳.۱.۲.۵.۲ کندانسور استوانه‌های هم‌محور ۵۵
۲.۲.۵.۲ روش‌های بار محصور به "سطح گاوسی" برای برآورد و بهینه سازی میدان ۵۷
۱.۲.۲.۵.۲ کندانسور کره‌های هم‌مرکز ۵۷
۲.۲.۲.۵.۲ کندانسور استوانه‌های هم‌محور ۵۹
۳.۵.۲ بررسی شدت میدان الکتریکی در سیستم چند دی‌الکتریک همسان ۶۴
۱.۳.۵.۲ میدان با اتصال طولی ۶۴
۲.۳.۵.۲ میدان با اتصال عمودی ۶۶
۱.۲.۳.۵.۲ گذردهی مؤثر دی‌الکتریک‌های مرکّب ۷۱

۳.۳.۵.۲ میدان با اتصال مورب ۷۲
۴.۵.۲ روش‌های عددی برای برآورد شدت میدان الکتریکی ۷۴
۱.۴.۵.۲ روش اجزاء محدود (FEM) ۷۵
۲.۴.۵.۲ روش شبیه سازی بار (CSM) ۸۲
۵.۵.۲ بهینه‌سازی عددی میدان‌های الکتریکی ۹۰
۱.۵.۵.۲ بهینه‌سازی از طریق جابجایی نقاط برجسته ۹۱
۲.۵.۵.۲ بهینه‌سازی با تغییر موقعیت بارهای بهینه‌سازی و نقاط برجسته ۹۲
۳.۵.۵.۲ بهینه‌سازی از طریق اصلاح المان‌های پروفیل ۹۴
۶.۲ نتیجه‌گیری ۹۷
مراجع ۹۷

فصل ۳ ..... رفتار وابسته به میدان دی‌الکتریک

۱.۱. رفتار وابسته به میدان دی‌الکتریک ۱۰۳
۱.۲. رفتار وابسته به میدان دی‌الکتریک هوا و دیگر دی‌الکتریک‌های گازی ۱۰۳
۱.۳ اصول تولید حامل‌های بار به کمک میدان الکتریکی ۱۰۶
۱.۱.۳ یونیزاسیون ضربه‌ای ۱۰۹
۲.۱.۳ یونیزاسیون حرارتی ۱۱۰
۳.۱.۳ فوتویونیزاسیون و برهم‌کنش شبه‌پایدارها با مولکول‌ها ۱۱۱
۲.۳ شکست اتمسفری در میدان‌های الکتریکی یکنواخت و غیریکنواخت ضعیف ۱۱۳
۱.۲.۳ میدان یکنواخت با انباشتگی الکترونی ۱۱۳
۱.۲.۳ ایجاد بهمن الکترونی ۱۱۶
۳.۲.۳ توسعه جریان ساز و یا دشارژتخلیه وکانال ۱۲۳
۴.۲.۳ مکانیزم های شکست ۱۲۵
۱.۴.۲.۳ شکست در میدان های یکنواخت با فاصله شکاف کوچک (مکانیسم تاونزند) ۱۲۵
۲.۴.۲.۳ شکست با استریمر یا مکانیسم Kanal ۱۳۳
۵.۲.۳ مشخصه‌های ولتاژ شکست در میدان‌های یکنواخت (قانون پاشن) ۱۴۰
۶.۲.۳ ویژگی های ولتاژ شکست درمیدان ضعیف غیریکنواخت ۱۵۱
۱.۳.۳ گسترش تخلیه بهمن الکترونی ۱۵۴
۱.۱.۳.۳ پیکربندی الکترود صفحه‌ای-سوزنی مثبت ۱۵۴
۲.۱.۳.۳ پیکربندی الکترود صفحه‌ای-سوزنی منفی ۱۵۶
۲.۳.۳ گسترش تخلیه Kanal یا استریمر ۱۵۹
۱.۲.۳.۳ الکترود صفحه‌ای- میله‌ای مثبت (تاج استریمر مثبت) ۱۵۹
۲.۲.۳.۳ الکترود صفحه‌ای- میله‌ای منفی (کرونای استریمر منفی) ۱۶۵
۳.۲.۳.۳ پیکربندی‌های متقارن الکترود منفی و مثبت در میدان شدیداً غیریکنواخت ۱۶۶
۳.۳.۳ گسترش کرونا لیدر و اِستم ۱۶۸

۱.۳.۳.۳توسعه و گسترش هاله پیشرو ۱۷۳
۲.۳.۳.۳ توسعه و گسترش هاله پیشرو منفی و پدیده پیشرو فضا ۱۷۶
۳.۳.۳.۳. تداخل نیروی مغناطیسی برق (EMI) تولیدی هاله ۱۷۹
۴.۳.۳. خلاصه گسترش فروپاشی در میدان های غیر یکسان ۱۸۰
۵.۳.۳. ویژگی های ولتاژ فروپاشی هوا در میدان های غیر یکسان ۱۸۲
۲.۵.۳.۳. فروپاشی مقدم بر هاله ستون نور پایدار ۱۸۵
۳.۵.۳.۳. شکست پس از هاله ی سردسته و جریان ساز (شکاف طولانی هوایی) ۱۹۷
۴.۵.۳.۳ نیاز به زمان برای تشکیل شکست جرقه با ولتاژ ضربه ۲۰۱
۵.۵.۳.۳. اثر شکل موج روی شکست با ولتاژ ضربه ۲۰۵
۶.۵.۳.۳ نتیجه گیری از مشخصه های شکست اندازه گیری شده ۲۰۹
۷.۵.۳.۳ برآورد ولتاژ شکست در میدان های بسیار یکنواخت در شکاف طولانی هوایی ۲۱۰
۶.۳.۳ اثرات شکست جزئی و یا کرونا در هوای اتمسفری ۲۱۳
۱.۶.۳.۳ تجزیه شیمیایی هوا توسط کرونا ۲۱۴
۲.۶.۳.۳. افت نیروی کرونا در خطوط انتقال ۲۱۶
۳.۶.۳.۳ تداخل الکترومغناطیسی و نویز شنیداری تولید شده ۲۱۸
۴.۶.۳.۳. آثار دیگر خطوط انتقال ولتاژ بالا و کرونا روی محیط زیست ۲۲۱
۳.۴. قوس الکتریکی و ویژگی‌های آن ۲۲۲
۱.۴.۳ ولتاژ–جریان ایستا، U- I، ویژگی‌های قوس در هوا ۲۲۳
۲.۴.۳ مشخصات دینامیکی U-I قوس ۲۲۵
۳.۴.۳ انهدام قوس‌های الکتریکی ۲۲۸
۵.۳ خصوصیات سولفورهگزافلوئورید، گاز sf6 و کاربردهای آنها در تاسیسات الکتریکی..... ۲۲۸
۱.۵.۳ خواص سولفورهگزافلوئوراید، sf6 گازی ۲۳۰
۱.۱.۵.۳ خواص فیزیکی ۲۳۴
۱.۱.۳.۵ویژگیهای فیزیکی ۲۳۴
۲.۱.۵.۳ پیوست خواص الکتریکی ۲۳۵
۲.۵.۳ شکست در میدانهای غیر یکنواخت با عایق سازی SF_6 ..... ۲۳۶
۳.۵.۳ عوامل خارجی موثر بر مشخصات شکست در گازهای فشرده ۲۴۶
۱.۳.۵.۳اثر مواد الکترودی و ناهمواری سطوح بر شکست ۲۴۷
۲.۳.۵.۳ تاثیر آلودگی های ذره ای بر سیستمهای عایق گازی (GIS) ۲۴۹
۱.۲.۳.۵.۳ حرکت ذرات ۲۵۰
۲.۲.۳.۵.۳ تخمین بار القایی و شدت میدان پیش رونده ذرات ۲۵۱
۳.۳.۵.۳. ذره ناشی از PB و اندازه های شکست در GIS ۲۵۶
۴.۳.۵.۳. قدامات پیشگیری کننده برای اثر ذره در GIS ۲۵۹
۴.۳.۳. شکست نسبتا غیر یکنواخت و میدان غیر یکنواخت واپیچیده‌ی ضعیف با PB پایدار و عایق گازی SF_6 ..... ۲۶۰
۵.۵.۳. بیشترین نقطه قوت الکتریکی SF_6 با دیگر گازها ۲۶۴

۶.۵.۳ تجزیه SF6 و مخلوط آن در تجهیزات گاز عایق ۲۶۸
۳.۵.۳. گاز SF_6 و محیط زیست ۲۷۲
مراجع ۲۷۴

فصل ۴ ..... صاعقه و رعد و برق توپی، مکانیزم‌های توسعه

اثرات مخرب، محافظت ۲۸۳
۱.۴. جهان، یک خازن ۲۸۵
۱.۱.۴. جوّ زمین و ابرها ۲۸۷
۱.۱.۱.۴. تروپوسفر ۲۸۷
۲.۱.۱.۴. استراتوسفر ۲۸۷
۳.۱.۱.۴ یونوسفر ۲۸۸
۲.۱.۴ ابرها و نقش مهم آنها ۲۸۸
۱.۲.۱.۴ طبقه بندی ابرها ۲۸۸
۱.۱.۲.۱.۴ابرهای در ارتفاع پائین ۲۸۹
۲.۱.۲.۱.۴ ابرهای در ارتفاع متوسط ۲۸۹
۳.۱.۲.۱.۴ ابرهای در ارتفاع بالا ۲۸۹
۳.۱.۴ بار الکتریکی ساکن در اتمسفر ۲۸۹
۱.۳.۱.۴ منبع خارجی بار الکتریکی ۲۹۱
۲.۳.۱.۴ بارهای ناشی ازیونیزاسیون در اتمسفر هوا ۲۹۲
۱.۲.۳.۱.۴ تابش خورشید ۲۹۳
۲.۲.۳.۱.۴ اصطکاک و جریان‌های هوا ۲۹۴
۳.۳.۱.۴ مکانیزم‌های باردهی و طوفان‌های رعد و برق ۲۹۴
۲.۴ مکانیزم‌های برخورد صاعقه ۲۹۶
۱.۲.۴ مکانیزم‌های شکست در فاصله هوایی طولانی ۲۹۷
۲.۲.۴ مکانیزم‌های برخورد صاعقه به زمین ۲۹۹
۳.۲.۴ تقدّم مکان‌ها برای برخورد صاعقه ۳۰۱
۳.۴ اثرات زیان بار رعد و برق ۳۰۲
۱.۳.۴ مرگ موجودات زنده ۳۰۳
۲.۳.۴ خطرات آتش ناشی از رعد و برق ۳۰۳
۳.۳.۴ انفجار به وجود آمده در اثر رعد و برق ۳۰۴
۴.۴ حفاظت در برابر رعد و برق ۳۰۷
۱.۴.۴ محافظت از زندگی ۳۰۸
۲.۴.۴ محفاظت از ساختمان‌ها و سازه ۳۱۰
۲.۲.۴.۴ هادی میانی: هادی میانی ۳۱۱

۳.۲.۴.۴ سیستم اتصال به زمین ۳۱۱
۳.۴.۴ ناحیه حفاظت شده ۳۱۲
۱.۳.۴.۴حجم حفاظت شده به شکل مخروطی ۳۱۲
۲.۳.۴.۴ حجم حفاظت به دست آمده توسط گوی غلتان ۳۱۴
۴.۵ رعد و برق توپی ۳۱۵
۱.۵.۴ پدیده توپ رعد و برق ۳۱۵
2.5.4 اثرات زیان بار توپ رعد و برق ۳۱۶
۳.۵.۴ مدل‌ها و فیزیک توپ رعد و برق ۳۱۶
۴.۵.۴ توپ رعد و برق بدون برخورد صاعقه ۳۱۸
۱.۴.۵.۴شرایط آب و هوایی ۳۱۹
۲.۴.۵.۴ منابع بار یا جریان ساخته بشر ۳۱۹
مراجع ۳۲۰

فصل ۵ ..... خواص الکتریکی خلاء به عنوان عایق ولتاژ بالا

خواص الکتریکی خلاء به عنوان عایق ولتاژ بالا ۳۲۳
۱.۵. صدور الکترون پیش‌شکست در خلاء ۳۲۴
۱.۱.۵ مکانیسم صدور الکترون از سطوح فلزی ۳۲۵
۱.۲.۵ شکست الکتریکی در قطع کنندههای خلاء ۳۴۳
۱.۱.۲.۵ اطفاء قوس الکتریکی جریان بالا در خلاء..... ۳۴۴
۲.۱.۲.۵ جرقه زنی مجدد و با تاخیرقوس های الکتریکی..... ۳۴۵
۳.۱.۲.۵ اثر پدیدهٔ سطح عایق..... ۳۴۵
۳.۲.۵ تاثیر مساحت الکترودها بر شکست در خلاء..... ۳۴۸
۳.۵ خلاء به عنوان عایق در کاربردهای فضایی..... ۳۵۰
۱.۳.۵ منابع تغذیهٔعایق شدهٔ باخلاء برای فضا..... ۳۵۰
۲.۳.۵ مشکلات مربوط به خلاء در محیط پلاسمای مدار پایین زمین..... ۳۵۱
۴.۵ نتیجه گیری..... ۳۵۲
مراجع..... ۳۵۳

فصل ۶..... دی الکتریک های مایع و طبقه بندی، خواص، و استقامت شکست آنها

دی الکتریک های مایع و طبقه بندی، خواص، و استقامت شکست آنها..... ۳۵۷
۱.۶ طبقه بندی دی الکتریک های مایع..... ۳۵۸
۱.۱.۶ روغن های عایق معدنی..... ۳۶۰
۱.۱.۱.۶ روغن عایق معدنی در ترانسفورماتورها..... ۳۶۱

۲.۱.۶ روغن های نباتی..... ۳۶۳
۳.۱.۶ دی الکتریک های مایع مصنوعی، دی فنیل های کلردار..... ۳۶۴
۱.۳.۱.۶ روغن های مصنوعی بدون هالوژن..... ۳۶۵
۴.۱.۶ مایعات غیرآلی به عنوان عایق..... ۳۶۶
۵.۱.۶ دی الکتریک های قطبی و ناقطبی..... ۳۶۶
۲.۶ خواص دی الکتریکی موارد عایق..... ۳۶۷
۱.۲.۶ مقاومت عایقی دی الکتریک..... ۳۶۷
۲.۲.۶ گذردهی مواد عایق..... ۳۶۹
۳.۲.۶ قطبش در مواد عایق..... ۳۷۱
۱.۳.۲.۶ اثر زمان بر قطبش..... ۳۷۳
۴.۲.۶ اتلافات توان دی الکتریک در مواد عایق..... ۳۸۰
۳.۶ شکست در دی الکتریک های مایع..... ۳۸۴
۱.۳.۶ رسانش الکتریکی در مایعات عایق..... ۳۸۴
۱.۱.۳.۶ دی الکتریک های مایع در حرکت و الکتروهیدرودینامیک(EHD)..... ۳۸۷
۲.۳.۶ استقامت شکست ذاتی..... ۳۹۰
۳.۳.۶ اندازه گیری استقامت شکست عملی در میدان های نزدیک به یکنواخت..... ۳۹۱
۱.۳.۳.۶ اثر رطوبت و دما بر استقامت شکست..... ۳۹۵
۴.۳.۶ شکست در میدان های به شدت غیریکنواخت و گسترش استریمر..... ۳۹۸
۴.۶ کهنگی در روغن های عایق معدنی..... ۴۰۶
مراجع..... ۴۰۹

فصل ۷.....دی الکتریک های جامد و منابع، خواص و رفتار آنها در میدان های الکتریکی

دی الکتریک های جامد و منابع، خواص و رفتار آنها در میدان های الکتریکی..... ۴۱۳
مواد قالب گیری ۴۱۳
مواد پوششی ۴۱۳
مواد پرکننده ۴۱۴
پایهٔ مکانیکی عایق..... ۴۱۴
۱.۷ طبقه بندی مواد عایق جامد..... ۴۱۵
۱.۱.۷ مواد عایق غیرآلی..... ۴۱۵
۱.۱.۱.۷ مواد عایق سرامیک..... ۴۱۵
۲.۱.۱.۷ شیشه به عنوان مادهٔ عایق..... ۴۱۸
۲.۱.۷ مواد آلی پلیمری..... ۴۱۹
۱.۲.۱.۷ پلیمرهای ترموپلاستیک..... ۴۲۰
۲.۲.۱.۷ پلیمرهای ترموسِت..... ۴۲۰

۳.۲.۱.۷ ترکیبات پلیمر..... ۴۲۱
۴.۲.۱.۷ پلی وینیل کلراید(PVC)..... ۴۲۲
۵.۲.۱.۷ پلی اتیلن (PE)..... ۴۲۳
۶.۲.۱.۷ رزین های اپوکسی (رزین های EP)..... ۴۲۹
۷.۲.۱.۷ لاستیک های طبیعی و مصنوعی..... ۴۳۱
۳.۱.۷ سیستم های عایق مرکب..... ۴۳۲
۱.۳.۱.۷ کاغذ اشباع به عنوان سیستم عایق مرکب..... ۴۳۲
۲.۳.۱.۷ مواد تختهٔ عایق..... ۴۳۶
۳.۳.۱.۷ پلاستیک های تقویت شده با فیبر..... ۴۳۷
۲.۷ شکست جزئی در دی الکتریک های جامد..... ۴۳۷
۱.۲.۷ شکست جزئی داخلی..... ۴۳۸
۲.۲.۷ تخلیهٔ الکتریکی سطحی (ترکینگ)..... ۴۴۸
۳.۲.۷ تخریب دی الکتریک جامد ناشی از PB..... ۴۵۰
۱.۳.۲.۷ جلوگیری ازشکست جزئی/ درختی‌شدن در دی الکتریک های جامد..... ۴۵۱
۴.۲.۷ شناسایی و اندازه گیری شکست جزئی..... ۴۵۳
۱.۴.۲.۷ روش های غیرمستقیم شناسایی PB..... ۴۵۳
تکنیک شناسایی EMI..... ۴۵۴
تکنیک صوتی برای شناسایی..... ۴۵۴
شناسایی نوری..... ۴۵۴
شناسایی از طریق بررسی و تحلیل گاز تولید شده بر اثرPB..... ۴۵۵
۲.۴.۲.۷ روش های مستقیم شناسایی و اندازه گیری PB..... ۴۵۵
۳.۷ پدیده های شکست و پیش‌شکست در دی الکتریک های جامد..... ۴۵۶
۱.۳.۷ استقامت شکست ذاتی دی الکتریک های جامد..... ۴۵۸
نمونهٔ فرو رفته..... ۴۵۸
تکنیک McKeown..... ۴۵۹
۲.۳.۷ شکست حرارتی..... ۴۶۲
۳.۳.۷ مکانیزم شکست در میدان های به شدت غیریکنواخت..... ۴۶۶
۴.۳.۷ "درختی شدن" یک پدیدهٔ پیش‌شکست در دی الکتریک های پلیمری..... ۴۶۷
۱.۴.۳.۷ انواع شکل های الگوهای درختی شدن..... ۴۶۸
۲.۴.۳.۷ طبقه بندی فرآیند درختی شدن..... ۴۶۸
۵.۳.۷ زمان مورد نیاز برای شکست..... ۴۷۲
۶.۳.۷ برآورد مشخصهٔ عمر متوسط..... ۴۷۶
۷.۳.۷ استقامت شکست عملی و تنش الکتریکی کاری برای دی الکتریک های جامد..... ۴۸۰
مراجع..... ۴۸۱-۴۸۴