

طراحی خطوط انتقال انرژی الکتریکی هوایی

Design of Overhead Electrical Energy Transmission Lines

جلد اول

تألیف: مهرداد طرفدار حق

استاد دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر دانشگاه تبریز

سرشناسه	: طرفدار حق، مهرداد ۱۳۴۷ -
عنوان و نام پدیدآور	: طراحی خطوط انتقال انرژی الکتریکی هوایی = Design of Overhead Electrical Energy Transmission Lines / تألیف مهرداد طرفدار حق ؛ ویراستار ادبی مسعود رفیعی.
مشخصات نشر	: تبریز: آشینا، ۱۳۹۸.
مشخصات ظاهری	: ۵۱۰ ص: مصور، جدول، نمودار.
شابک	: ۹۷۸-۶۰۰-۲۰۸-۰۵۵-۴-۹۰۰۰۰ ریال
وضعیت فهرست نویسی	: فیبا
یادداشت	: کتابنامه.
موضوع	: برق نیرو — انتقال
موضوع	: Electric power transmission
موضوع	: برق — خطوط هوایی
موضوع	: Overhead electric lines
رده بندی کنگر	: TK۳۰۰۱
رده بندی دیویی	: ۶۲۱/۳۱۹
شماره کتابشناسی ملی	: ۵۸۸۲۰۰۰

مؤلف: دکتر مهرداد طرفدار حق

ویراستار ادبی: مسعود رفیعی

ناشر: انتشارات آشینا

نوبت چاپ: اول - پاییز ۱۳۹۸

لیتوگرافی: نگین فیلم

قطع: وزیری

تعداد صفحات: ۵۱۰ صفحه

تیراژ: ۱۰۰۰ جلد

قیمت: ۹۰۰۰۰ تومان

شابک: ۹۷۸ - ۶۰۰ - ۲۰۸ - ۰۵۵ - ۴

حق چاپ برای مؤلف محفوظ است

تلفن هماهنگی: ۰۹۱۴ ۳۱۶ ۱۲۴۲ رفیعی

نشانی ناشر: تبریز - خیابان امام خمینی - بازار بزرگ تربیت - طبقه زیرزمین پلاک ۷

تلفن: ۳۵۵۳۶۱۹۶

فهرست

۲۲	 پیشگفتار
فصل اول: مسیریابی خطوط انتقال انرژی الکتریکی هوایی	
۳۱	 ۱ - مقدمه
۳۲	 ۲ - نکات اساسی در انتخاب مسیر
۳۲	 ۱ - ۲ - هماهنگی ملی
۳۲	 ۱ - ۲ - ۱ - نیت کلیه حریم‌ها در عبور از تأسیسات و موانع
۳۳	 ۱ - ۲ - ۲ - اجرای آنالیز که از نظر اقتصادی توجیه‌پذیر باشد
۳۳	 ۱ - ۲ - ۳ - انتخاب کوتاه‌ترین مسیر ممکن
۳۳	 ۱ - ۲ - ۴ - در نظر گرفتن حرولات آینده در حوالی مسیر
۳۳	 ۱ - ۲ - ۵ - انتخاب منطقه مناسب به لحاظ تأمین ایمنی کامل تجهیزات
۳۴	 ۱ - ۲ - ۶ - قابل دسترس بودن جهت اجراء نگهداری و پایداری خط
۳۴	 ۱ - ۲ - ۷ - اجتناب از تقاطع خط با سایر خطوط و سایر انتقالی دیگر
۳۵	 ۱ - ۲ - ۸ - نزدیکی به مناطق مصرف انرژی که پس از آینده در نظر گرفته می‌شود
۳۵	 ۲ - ۲ - هماهنگی محیطی
۳۵	 ۱ - ۲ - ۲ - حفظ زیبایی محیط
۳۵	 ۲ - ۲ - ۲ - آسیب نرساندن به محیط طبیعی
۳۵	 ۲ - ۲ - ۳ - عدم عبور از مناطق خاص
۳۶	 ۲ - ۳ - هماهنگی اقتصادی
۳۶	 ۳ - مراحل عملیات مسیریابی
۳۷	 ۱ - ۳ - جمع‌آوری اطلاعات
۳۷	 ۲ - ۳ - انتخاب مسیرهای مختلف
۳۷	 ۳ - ۳ - تعیین اعضای گروه مسیریاب
۳۸	 ۴ - ۳ - مسیریابی اولیه، بازدید و شناسایی از مسیرهای انتخابی
۳۸	 ۱ - ۴ - ۳ - بازدید از مسیرهای انتخاب شده در منطقه
۳۸	 ۲ - ۴ - ۳ - وسایل و ابزار و لوازم مورد نیاز
۳۹	 ۳ - ۴ - ۳ - انتخاب مسیر تقریبی

۳- ۴- ۴- بازدید و بررسی مسیر تقریبی.....	۳۹
۳- ۵- انتخاب مسیر بهینه با توجه به نحوه عبور خط از زمین‌ها و مناطق با عوارض مختلف.....	۴۰
۳- ۵- ۱- عبور خط از مناطق کوهستانی.....	۴۰
۳- ۵- ۲- عبور خط از مناطق تپه ماهور.....	۴۱
۳- ۵- ۳- عبور خط از مناطق دشت و بیابانی.....	۴۱
۳- ۵- ۴- عبور خط از مناطق با زمین‌های با مقاومت مکانیکی پایین مانند زمین‌های باتلاقی.....	۴۲
۳- ۵- ۵- عبور خط از مناطق جنگلی.....	۴۲
۳- ۵- ۶- عبور خط از مناطق آلوده.....	۴۳
۳- ۵- ۷- عبور از مناطق شهری.....	۴۳
۴- زمین‌شناسی مسیر.....	۴۳
۴- ۱- شناخت مسیر از نظر عوارض مزاحم زمین‌شناسی.....	۴۳
۴- ۲- شناخت از نظر طوبوگرافی و بندبندی عمومی مشخصه‌های زمین.....	۴۴
۵- نقشه‌برداری و تهیه پلان (پروفیل) مسافت انتقال.....	۴۵
۵- ۱- مطالعه مجدد عبور محور خاوری عمارت نقشه‌برداری.....	۴۶
۵- ۲- تهیه نقشه‌های توپوگرافی.....	۴۶
۵- ۲- ۱- شناسایی و تهیه کروکی از منطقه.....	۴۷
۵- ۲- ۲- انتخاب و تثبیت ایستگاه‌ها.....	۴۷
۵- ۲- ۳- اندازه‌گیری زوایا.....	۴۸
۵- ۲- ۴- ترازبایی.....	۴۸
۵- ۲- ۴- ۱- انواع روش‌های ترازبایی که در محاسبات اختلاف ارتفاع به کار برده می‌شود.....	۴۹
۵- ۲- ۵- اندازه‌گیری طول‌ها.....	۴۹
۵- ۲- ۶- پیمایش.....	۴۹
۵- ۳- استفاده از سیستم G.P.S در نقشه‌برداری جهت پیمایش مسیر خط انتقال.....	۵۰
۵- ۴- نصب علائم بتنی دائم.....	۵۱
۵- ۵- اوراق پلان و پروفیل Plan and Profile.....	۵۱
۶- مشکلات ناشی از انتخاب نادرست مسیر خطوط انتقال.....	۵۳
۶- ۱- کاهش قابلیت اطمینان.....	۵۴
۶- ۲- افزایش سرمایه‌گذاری خطوط انتقال نیرو.....	۵۵
۷- مسیریابی و آشنایی با سیستم اطلاعات جغرافیایی GIS.....	۵۵

۵۶	۱-۷- تعریف سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS).....
۵۷	۷-۲- مسیریابی بهینه خطوط انتقال نیرو با استفاده از GIS.....
۵۷	۷-۳- آشنایی با نرم افزار Google Earth و استفاده از آن در مسیریابی.....
۶۰	مراجع.....

فصل دوم: دکل های خطوط انتقال

۶۳	۱- مقدمه.....
۶۴	۲- نحوه قر گیری هادی ها بر روی دکل.....
۶۴	۲-۱- آرایش افقی.....
۶۵	۲-۲- آرایش عمودی.....
۶۶	۲-۳- آرایش مثلث (دلتا).....
۶۷	۳- دسته بندی دکل ها بر نظر رعیت در خطوط نیرو.....
۶۷	۳-۱- دکل های میانی.....
۶۸	۳-۲- دکل های زاویه ای.....
۶۹	۳-۳- دکل های انتهایی.....
۷۰	۳-۴- دکل های ویژه.....
۷۱	۴- انواع دکل ها از نظر جنس.....
۷۱	۴-۱- دکل های مشبک.....
۷۳	۴-۲- دکل های فولادی (دکل های تلسکوپی).....
۷۴	۴-۳- دکل های چوبی.....
۷۵	۴-۴- دکل های مهاربندی شده.....
۷۶	۵- دکل های خودایستای بتنی سائتریفیوژ.....
۷۶	۵-۱- مقدمه.....
۷۸	۵-۲- ساختار کلی دکل های خودایستای بتنی سائتریفیوژ.....
۷۹	۵-۳- مشخصات عمومی دکل های بتنی خود ایستا.....
۷۹	۵-۳-۱- فونداسیون.....
۷۹	۵-۳-۲- سازه بتنی دکل.....
۸۰	۵-۳-۳- کراس آرم ها.....
۸۰	۵-۳-۴- شیلدینگ.....

۵-۳-۵	نردبان	۸۱
۵-۴-۵	طراحی دکل‌های بتنی	۸۱
۵-۴-۱	مقدمه	۸۱
۵-۴-۲	اصول و فرایند طراحی دکل‌های خود ایستای بتنی	۸۱
۵-۴-۳	محاسبات مکانیکی و کاربرد نرم‌افزارهای تخصصی در طراحی دکل‌های خود ایستای بتنی	۸۳
۵-۵-۵	مراحل تولید دکل‌های خود ایستای بتنی	۸۵
۵-۵-۱	قطعات بتنی	۸۵
۵-۵-۲	قطعات فلزی	۸۸
۵-۶-۶	تست نوع دکل‌های خود ایستای بتنی	۸۹
۵-۷-۷	مراحل نصب دکل‌های خود ایستای بتنی	۸۹
۵-۷-۱	اتصال قطعات فولاد گالوانیزه شده	۹۳
۵-۷-۲	اتصال اجزاء بتنی خود ایستای بتنی	۹۳
۵-۸-۸	سیستم اتصال به زمین	۹۵
۵-۹-۹	مزایای دکل‌های خود ایستای بتنی	۹۶
۵-۱۰-۱۰	معایب استفاده از دکل‌های پیش ساخت بتنی	۱۰۱
۶-۱۰۲	الزامات مکانیکی دکل	۱۰۲
۷-۱۰۴	الزامات الکتریکی دکل	۱۰۴
۸-۱۰۵	روش‌های کاهش مقاومت الکتریکی زمین	۱۰۵
۸-۱-۱	کوبیدن میله (Ground Rod)	۱۰۵
۸-۲-۲	خواباندن سیم زمین (Counter Poise)	۱۰۷
۸-۳-۳	روش ترکیبی	۱۰۸
۸-۴-۴	اتصال دکل‌ها به یکدیگر	۱۰۸
۹-۱۰۹	محاسبه نیروها در حالت بارگذاری متعادل	۱۰۹
۱۰-۱۱۲	محاسبه نیروها در حالت بارگذاری غیرمتعادل	۱۱۲
۱۱۴	مراجع	۱۱۴

فصل سوم: انواع فونداسیون دکل

۱-۱۱۷	مقدمه	۱۱۷
۲-۱۱۸	مشخصات مربوط به خاک، سنگ، بتن و فولاد	۱۱۸

۱۱۸	۲- ۱- رده‌بندی لایه‌های زمین
۱۱۸	۲- ۲- رده‌بندی سنگ‌ها
۱۱۹	۲- ۳- رده‌بندی خاک‌ها
۱۲۰	۳- مقاومت خاک
۱۲۱	۴- اصطکاک و چسبندگی خاک
۱۲۳	۵- آزمایش خاک مسیر خط انتقال نیرو
۱۲۴	۶- موقعیت و محل چاله‌ها
۱۲۴	۷- چاله کنی
۱۲۶	۸- آرماتور و آنتوربندی
۱۲۹	۹- بتن
۱۳۲	۱۰- طرح اختلاط بتن
۱۳۲	۱۱- بتن‌سازی
۱۳۴	۱۲- ریختن بتن در چاله و قالب‌ها
۱۳۵	۱۳- نمونه‌سازی و آزمایش آن
۱۳۶	۱۴- پر کردن فضای خالی چاله‌ها (بک فیل)
۱۳۶	۱۵- نصب سیم زمین
۱۳۶	۱۶- تسطیح منطقه دکل و عملیات نهایی
۱۴۰	۱۷- زمین لغزه
۱۴۱	۱۸- تقسیم‌بندی فونداسیون از جهت عمق
۱۴۱	۱۸- ۱- فونداسیون‌های سطحی (Surface foundation)
۱۴۱	۱۸- ۲- فونداسیون‌های پایاب (Shallow foundation)
۱۴۲	۱۸- ۳- فونداسیون‌های نیمه عمیق
۱۴۲	۱۸- ۴- فونداسیون‌های عمیق
۱۴۴	ضمایم
۱۴۴	مراجع

فصل چهارم: طراحی هادی‌های هوایی

۱۴۶	۱- مقدمه
-----	----------

۱۴۶.....	۲ - هادی ها
۱۴۶.....	۲ - ۱ - انواع هادی ها
۱۴۹.....	۲ - ۲ - بررسی انواع مواد در ساخت هادی ها
۱۴۹.....	۲ - ۲ - ۱ - آلومینیوم
۱۴۹.....	۲ - ۲ - ۲ - آلیاژهای آلومینیوم گالوانیزه
۱۵۰.....	۲ - ۲ - ۳ - فولاد
۱۵۰.....	۲ - ۲ - ۴ - مس و آلیاژهای آن
۱۵۰.....	۲ - ۲ - ۵ - آلیاژ آلومینیوم مقاوم در برابر حرارت
۱۵۱.....	۲ - ۳ - انواع هادی ها
۱۵۱.....	۲ - ۳ - ۱ - هادی های تمام آلومینیومی AAC
۱۵۲.....	۲ - ۳ - ۲ - هادی های فولادی با روکش آلومینیوم ACS
۱۵۲.....	۲ - ۳ - ۳ - هادی های تمام آلیاژ آلومینیوم AAAC
۱۵۲.....	۲ - ۳ - ۴ - هادی های ترکیبی
۱۵۳.....	۲ - ۳ - ۴ - ۱ - هادی های آلومینیومی هسته آلیاژ آلومینیوم ACAR
۱۵۴.....	۲ - ۳ - ۴ - ۲ - هادی های آلومینیومی با هسته فولادی ACSR
۱۵۵.....	۲ - ۳ - ۴ - ۳ - هادی های ACSR با هسته فولاد گالوانیزه ACSR/GS
۱۵۵.....	۲ - ۳ - ۴ - ۴ - هادی های ACSR با هسته فولادی برای روکش آلومینیوم ACSR/AS
۱۵۵.....	۲ - ۳ - ۴ - ۵ - ACSR/AW
۱۵۵.....	۲ - ۳ - ۴ - ۶ - ACSR/HS
۱۵۵.....	۲ - ۳ - ۴ - ۷ - ACSR/Comp
۱۵۶.....	۲ - ۳ - ۴ - ۸ - Thermal ACSR
۱۵۶.....	۲ - ۳ - ۴ - ۹ - Small Loss ACSR
۱۵۶.....	۲ - ۳ - ۴ - ۱۰ - ACSR/TW ACSR/SD
۱۵۷.....	۲ - ۳ - ۵ - هادی های باندل
۱۵۷.....	۲ - ۳ - ۶ - هادی های پیشرفته
۱۵۷.....	۲ - ۳ - ۶ - ۱ - Composite Reinforced Aluminum Conductor (CRAC)
۱۵۹.....	۲ - ۳ - ۶ - ۲ - کابل های فوق هادی دمای بالا (HTS) High Temperature Superconductor
۱۶۱.....	۳ - طراحی هادی های خطوط هوایی انتقال نیرو
۱۶۲.....	۳ - ۱ - انتخاب هادی مناسب

۱۶۳.....	۳-۱-۱- انتخاب هادی از نقطه نظر اقتصادی
۱۶۶.....	۳-۲- انتخاب سطح مقطع بهینه
۱۶۷.....	۳-۲-۱- انتخاب سطح مقطع بر اساس توانایی عبور جریان
۱۶۷.....	۳-۲-۱- تعیین دمای هادی
۱۶۸.....	۳-۲-۱- طراحی بر اساس تحمل جریان دائم
۱۷۰.....	۳-۲-۱- طراحی بر اساس جریان خطا
۱۷۱.....	۳-۲-۱- ظرفیت خط بر اساس شرایط جوی
۱۷۲.....	۳-۲-۲- انتخاب سطح مقطع بر اساس افت ولتاژ
۱۷۳.....	۳-۳- طراحی بر اساس تنش‌های ناشی از ولتاژ
۱۷۳.....	۳-۳-۱- طراحی بر اساس پارامترهای الکتریکی
۱۷۳.....	۳-۳-۲- طراحی بر اساس تنش ولتاژهای ناشی از صاعقه
۱۷۵.....	۳-۳-۳- طراحی بر اساس تنش ولتاژهای ناشی از کلید زنی
۱۷۶.....	۳-۳-۴- تعیین مقدار ولتاژ کلید زنی
۱۷۸.....	۳-۳-۵- طراحی بر اساس گرادیان سطحی ولتاژ
۱۷۹.....	۳-۳-۶- تلفات کرونا
۱۸۳.....	۳-۴- طراحی مکانیکی هادی‌ها
۱۸۳.....	۳-۴-۱- تنش مکانیکی در شرایط بحرانی
۱۸۴.....	۳-۴-۲- تنش مکانیکی در شرایط روزمره
۱۸۴.....	۳-۴-۳- شرایط مکانیکی
۱۸۵.....	۳-۴-۴- تأثیر بار کششی هادی بر سرمایه‌گذاری خط
۱۸۶.....	۴- نوسانات خطوط هوایی انتقال نیرو
۱۸۷.....	منابع

فصل پنجم: محاسبات الکتریکی انتقال انرژی الکتریکی

۱۸۹.....	۱- مقدمه
۱۸۹.....	۲- پارامترهای خط انتقال
۱۹۰.....	۲-۱- مقاومت
۱۹۱.....	۲-۲- اندوکتانس
۱۹۲.....	۲-۲-۱- اندوکتانس داخلی

۱۹۲.....	۲-۲-۲- اندوکنانس یک خط دوسیمه تک فاز
۱۹۳.....	۲-۲-۳- اندوکنانس خطوط انتقال سه فاز هوایی
۱۹۶.....	۲-۲-۴- اندوکنانس هادی‌های مرکب
۱۹۷.....	۲-۲-۵- GMR هادی‌های گروهی
۱۹۸.....	۲-۳-۳- ظرفیت خازنی خط
۱۹۸.....	۲-۳-۱- ظرفیت خازنی خطوط تک فاز
۱۹۹.....	۲-۳-۲- ظرفیت خازنی خط سه فاز
۲۰۰.....	۳- تلفات کرونا
۲۰۰.....	۳-۱- تعریف ماهیت کرونا
۲۰۰.....	۳-۲- کرونا در خطوط انتقال
۲۰۱.....	۳-۳- روش‌های اندازه‌گیری کرونا
۲۰۲.....	۴- دسته‌بندی خطوط انتقال
۲۰۳.....	۴-۱- عملکرد خط انتقال کوتاه
۲۰۳.....	۴-۱-۱- عملکرد خط انتقال کوتاه تک فاز
۲۰۴.....	۴-۱-۲- خط انتقال کوتاه سه فاز
۲۰۵.....	۴-۱-۳- تنظیم ولتاژ
۲۰۵.....	۴-۱-۴- بهره انتقال
۲۰۵.....	۴-۱-۵- تأثیر ضریب قدرت بار بر روی تنظیم ولتاژ و انتقال
۲۰۶.....	۴-۲- خط انتقال با طول متوسط
۲۰۶.....	۴-۲-۱- روش خازن در انتهای خط
۲۰۸.....	۴-۲-۲- مدار معادل T
۲۰۹.....	۴-۲-۲- مدار معادل π
۲۱۰.....	۴-۳- خط انتقال بلند
۲۱۰.....	۴-۳-۱- تجزیه و تحلیل خط انتقال بلند با روش Rigorous
۲۱۲.....	۵- ثابت‌های خط انتقال
۲۱۳.....	۶- اثر فرانتی در خطوط انتقال
۲۱۴.....	۷- حل مثالی از محاسبات خطوط انتقال
۲۱۷.....	منابع

فصل ششم: محاسبات مکانیکی خطوط انتقال انرژی الکتریکی هوایی

۲۱۹	۱ - مقدمه
۲۱۹	۲ - اسپن
۲۲۰	۲ - ۱ - اسپن معمولی
۲۲۰	۲ - ۲ - اسپن متوسط
۲۲۱	۲ - ۳ - اسپن معادل طراحی
۲۲۲	۲ - ۴ - اسپن قائم یا وزنی
۲۲۲	۲ - ۵ - اسپن بادگیر یا افقی
۲۲۳	۲ - ۶ - اسپن بحرانی
۲۲۳	۳ - کشش
۲۲۳	۴ - تنش
۲۲۴	۵ - کشش افقی
۲۲۴	۶ - خزش
۲۲۵	۷ - اسپن معادل طراحی
۲۲۶	۸ - فلش (SAG)
۲۲۶	۹ - تعیین فلش در یک هادی موجود
۲۲۸	۱۰ - برخورد هادی ها
۲۲۹	۱۱ - بادگیری
۲۳۰	۱۲ - رابطه ابتدایی کشش - فلش
۲۳۱	۱۳ - منحنی سیم
۲۳۵	۱۳ - ۱ - طول سیم
۲۳۷	۱۳ - ۲ - طول واقعی هادی
۲۳۸	۱۳ - ۳ - تغییر در طول هادی
۲۴۰	۱۴ - مروری بر نیروهای وارد بر دکل
۲۴۱	۱۴ - ۱ - ارتفاع محل اتصال هادی و گشتاور واژگونی
۲۴۲	۱۴ - ۲ - نیروی باد بر روی هادی
۲۴۳	۱۴ - ۳ - نیروهای وارد بر هادی در دکل دارای زاویه انحراف
۲۴۴	۱۴ - ۴ - محاسبه نیروی باد بر روی دکل، کراس آرم ها و اتصالات

۲۴۵	۱۴ - ۵ - نیروهای وارد بر دکل
۲۴۷	۱۵ - رژیم‌های بارگذاری
۲۴۷	۱۵ - ۱ - رژیم زمستان
۲۴۷	۱۵ - ۲ - رژیم یخبندان
۲۴۸	۱۵ - ۳ - رژیم طوفان
۲۵۰	۱۵ - ۴ - رژیم تابستان
۲۵۰	۱۵ - ۵ - رژیم عادی یا رژیم استقرار
۲۵۴	۱۶ - تغییرات کشش و فلش سیم در بارگذاری‌ها و درجه حرارت‌های مختلف
۲۵۴	۱۶ - ۱ - تعریف و ادله تغییر وضعیت
۲۵۵	۱۶ - ۲ - هدف از معادله تغییر وضعیت
۲۵۵	۱۶ - ۳ - رابطه تغییر وضعیت
۲۵۶	۱۷ - تقریب عمومی و حالت بحرانی
۲۵۶	۱۷ - ۱ - فرضیات طراحی و ولج‌های بار
۲۵۶	۱۷ - ۲ - حالت‌های مختلف خط انتقال و جریان‌های حالات
۲۵۹	۱۷ - ۳ - تقریب عمومی طراحی
۲۶۰	۱۸ - تعیین جریان مجاز
۲۶۲	۱۸ - ۱ - تعیین جریان مجاز خطا
۲۶۳	۱۹ - پیری هادی (تغییر کیفیت هادی با گذشت زمان)
۲۶۴	مراجع

فصل هفتم: محاسبات عایقی خطوط انتقال انرژی الکتریکی وایی

۲۶۶	۱ - مقدمه
۲۶۶	۲ - انواع مقره‌ها
۲۶۸	۳ - معیارهای الکتریکی انتخاب مقره‌ها
۲۶۸	۳ - ۱ - اضافه ولتاژهای داخلی
۲۶۹	۳ - ۲ - اضافه ولتاژهای خارجی
۲۶۹	۳ - ۳ - نسبت اضافه ولتاژ به ولتاژ مجاز
۲۶۹	۳ - ۴ - شرایط محیطی
۲۷۰	۳ - ۵ - آلودگی محیط

۳- ۶- کرونا.....	۲۷۰
۴- مشخصات عمومی مقره‌ها.....	۲۷۰
۵- توزیع ولتاژ در طول یک زنجیره مقره آویزی.....	۲۷۱
۶- روش‌های توزیع مساوی ولتاژ در طول زنجیره مقره.....	۲۷۳
۶- ۱- کنترل m.....	۲۷۳
۶- ۲- درجه‌بندی کاپاسیتانس واحدهای مقره.....	۲۷۴
۶- ۳- کاربرد حفاظ استاتیکی با حلقه محافظ.....	۲۷۵
۶- ۴- لغام نادی.....	۲۷۷
۷- تعیین فاصله عایقی.....	۲۷۷
۸- روش انتخاب مقره با توجه به ولتاژهای فرکانس قدرت و آلودگی.....	۲۷۸
۹- روش تعیین فاصله ای و انتخاب مقره برحسب ولتاژهای کلیدزنی.....	۲۸۳
۱۰- روش تعیین فاصله ای و تعیین مقره برای اضافه ولتاژهای سریع ناشی از صاعقه.....	۲۸۹
۱۱- تعیین مقاومت مکانیکی مقره‌ها.....	۲۹۳
۱۱- ۱- تعیین مقاومت مکانیکی در زنجیره‌های آویزی.....	۲۹۵
۱۱- ۲- زنجیره‌های آویزی دوتایی و چندتایی.....	۲۹۸
۱۲- تعیین مقاومت مکانیکی در زنجیره‌های کششی.....	۳۰۰
۱۳- تعیین مقاومت مکانیکی براق آلات.....	۳۰۲
مراجع.....	۳۰۲

فصل هشتم: سیم زمین

۱- مقدمه.....	۳۰۴
۲- مروری بر سیم زمین.....	۳۰۵
۲- ۱- خطر برخورد صاعقه.....	۳۰۵
۲- ۲- نقش سیم زمین در محافظت خطوط انتقال انرژی.....	۳۰۶
۲- ۳- قوس برگشتی.....	۳۰۶
۲- ۴- نحوه شروع و انجام تخلیه جوی.....	۳۰۷
۲- ۵- نصب سیم‌های زمین در خطوط انتقال انرژی.....	۳۰۸
۲- ۶- سطح سایه خط.....	۳۰۹
۲- ۷- زاویه حفاظت خط.....	۳۱۰

پیشگفتار

امروزه انرژی الکتریکی به یکی از اجزاء اساسی و جدانشدنی حیات بشر تبدیل گردیده است. استفاده از انرژی الکتریکی زندگی را برای انسان ها بسیار آسان تر نموده و سطح رفاه را افزایش داده است. انرژی الکتریکی در زمینه های مختلف از جمله در خانه، صنعت، کشاورزی، حمل و نقل، مخابرات و ... کاربرد دارد. عدم وجود حتی یکی از بخش های که توسط برق کار می کند می تواند مشکلات بسیاری را در زندگی بشر بوجود آورد. یکی از مهمترین ویژگیهای انرژی الکتریکی سهولت انتقال آن می باشد. با توجه به اینکه رایج ترین و اقتصادی ترین سیستم انتقال انرژی الکتریکی خطوط هوایی فشار قوی می باشند لذا طراحی مهمی این نوع از خطوط از اهمیت ویژه ای برخوردار می باشد. خطوط هوایی انتقال انرژی الکتریکی وظیفه انتقال انرژی الکتریکی از محل تولید یعنی نیروگاه ها به مراکز توزیع را دارند. می توان خطوط انتقال را به رودخانه هایی تشبیه کرد که حیات و زندگی بهتر را به مصرف کنندگان می رساند. با توجه به کاربردهای الکتریسیته نمی توان زندگی امروزی را حتی یک لحظه بدون برق تصور کرد. علیرغم گسترش بکارگیری از ذخیره سازهای انرژی الکتریکی بنظر می رسد در چند دهه آینده نیز این انرژی هنگام تولید باید مصرف شود. لازمه این امر اتصال الکتریکی تولید کننده ها به مصرف کننده های انرژی الکتریکی می باشد. برای انتقال انرژی الکتریکی از تولید کننده ها به مصرف کننده وجود خطوط انتقال ضروری است. طراحی خطوط انتقال انرژی الکتریکی هوایی مستلزم مصالحه بین دو جنبه بسیار مهم فنی و اقتصادی می باشد. هدف از طراحی مهندسی خطوط هوایی انتقال انرژی الکتریکی دست یافتن به نقطه مطلوبی است که هر دو جنبه فنی و اقتصادی را بهینه نماید. در ابتدای احداث خطوط انتقال انرژی الکتریکی بیشتر به استحکام مکانیکی خطوط توجه می شد، از این رو از ظرفیت الکتریکی خطوط بصورت بهینه بهره برداری نمی گردید. این امر بر خلاف طراحی بهینه اقتصادی خطوط بود. با توجه به وجود این مشکلات بررسی جنبه های گوناگون خطوط انتقال انرژی الکتریکی اهمیت



فراوانی پیدا کرد و همه بخش های خطوط انتقال انرژی الکتریکی مورد بررسی و مطالعه دقیق قرار گرفت. تقریباً همزمان با پیشرفتهای صورت گرفته در مورد مسایل فنی خطوط انتقال انرژی الکتریکی و پیشرفت های علمی مرتبط با آن، جنبه های اقتصادی طراحی نیز اهمیت فراوانی پیدا کردند. توجه به هزینه بالای احداث و نگهداری خطوط انتقال انرژی الکتریکی از جمله مسایل اقتصادی بسیار با اهمیت می باشند. مهندسین سعی دارند تا ابتدا نکات فنی یک خط انتقال انرژی الکتریکی را بررسی کرده و سپس با توجه به رعایت نکات فنی به حالت بهینه اقتصادی دست یابند. با رشد روز افزون و فراوان استفاده از انرژی الکتریکی در مناطق مختلف و تغییر مصرف انرژی در منطقه مورد نظر، مهندسین بر آن شدند تا در طراحی خطوط انتقال انرژی الکتریکی مطالعاتی برای بررسی آینده خطوط نیز داشته باشند. توجه به این مطالعات به پروژه های در دست اقدام همانند شهرک های صنعتی و مسکونی در مناطق مختلف یا تغییر الگوی مصرف مناطق مختلف بمنظور برنامه ریزی احداث خطوط انتقال مورد نیاز برای آینده بوده است. بر این اساس در هنگام طراحی، خطوط را به گونه ای طراحی کنند تا نیاز های آینده منطقه مورد نظر را نیز تامین کنند.

مسایل دیگر فنی که اهمیت فراوانی دارند پایداری، تداوم کار سیستم های الکتریکی می باشند. سیستم های مختلف در بخش های صنعتی، روش های نظامی، اداری و غیره وجود دارند که نیازمند تامین برق مداوم هستند. برای تداوم کار این گونه بخش ها باید سیستم الکتریکی به شکل مداوم در حال کار و انتقال انرژی به این بخش ها باشد. تداوم انتقال انرژی الکتریکی باید در طراحی خطوط انتقال انرژی الکتریکی مورد بررسی و مطالعه دقیق قرار گیرد. طراحی خطوط باید با در نظر گرفتن قابلیت اطمینان قابل قبول باشد تا کار پایدار سیستم با در نظر گرفتن شرایط اقتصادی تضمین گردد.

با توجه به موارد ذکر شده، مهندسین تلاش دارند تا مطالعات و بررسی مربوط به هر بخش از طراحی را به شکل بسیار دقیق انجام دهند. مراحل طراحی خطوط انتقال انرژی الکتریکی در این کتاب مورد توجه و بررسی قرار گرفته است و هر کدام از مراحل اساسی



در یک فصل بصورت جداگانه توضیح داده شده است. در ادامه این پیشگفتار، توضیحاتی در مورد هر کدام از فصول کتاب به اختصار آورده شده است.

فصل اول کتاب به انتخاب مسیر خط اختصاص دارد. یکی از اولین مراحل اساسی که برای طراحی خطوط انتقال انرژی الکتریکی انجام می‌شود انتخاب مسیر است. در این بخش مسیر عبور خط انتقال مشخص می‌شود. به این دلیل این بخش هم از لحاظ فنی و هم از لحاظ اقتصادی دارای اهمیت فراوانی می‌باشد. از لحاظ اقتصادی بهترین مسیر برای خط انتقال، مسیر مستقیم بین نقاط ابتدا و انتهای خط انتقال می‌باشد. اما به دلیل وجود مسایل مختلف فنی، زیست محیطی و مسایل خاص اقتصادی این امر ممکن نیست که خط انتقال را به شکل یک مسیر مستقیم بین نقاط ابتدا و انتها انتخاب کنیم. از این رو انتخاب مسیر به دو قسمت عمده تقسیم می‌شود. ابتدا مسیر تقریبی برای خط را انتخاب نموده و سپس از این مسیر استفاده کرده و مسیر دقیق عبور خط انتقال را تعیین می‌کنند. انتخاب مسیر تقریبی وابسته به مسایل فنی، زیست محیطی و اقتصادی است. در انتخاب مسیر تقریبی باید مسیری را انتخاب کرد که مسایل فنی خط انتقال و نصب و نگهداری آن را دچار مشکل نکند. برای مثال بهتر است که انتقال از عمق دره‌ها یا زمین‌های باتلاقی عبور نکند. از لحاظ محیط زیستی نیز خطوط انتقال را نباید از مناطق حفاظت شده عبور داد زیرا این امر ممکن است زندگی حیوانات خاصی را دچار مشکل نموده و یا موجب آسیب یا تخریب محیط زیست گردد. در انتخاب مسیر تقریبی مسایل مرتبط با نصب و نگهداری خط را نیز در نظر داشت. بررسی تاثیر دیداری خط انتقال باید به شکل دقیق بررسی شود به گونه‌ای که دکل‌ها نباید مناظر طبیعی مسیرهایی که خط از آن‌ها عبور می‌کند تخریب کند. در این بخش وجود مکان‌هایی که هزینه خرید زمین در آنها زیاد است یا مشکل مالکیتی وجود دارد نیز باید مورد مطالعه و بررسی قرار داد. شاید بتوان گفت که انتخاب مسیر مناسب احداث خط، به میزان قابل توجهی سرمایه لازم برای احداث خط را مشخص می‌کند. بررسی موارد مذکور بر اساس بکارگیری روشهای رایج و سنتی و همچنین روشهای مبتنی بر سیستم اطلاعات جغرافیایی GIS و بکارگیری نرم افزار Google Earth است.