

بنام خدا

طراحی الکتریکی خطوط انتقال نیرو

دکتر قدرت اله حیدری

به اهتمام شرکت برق منطقه‌ای تهران

سرشناسه	: حیدری، قدرت‌اله، ۱۳۳۸ -
عنوان و نام پدیدآور	: طراحی الکتریکی خطوط انتقال نیرو/ قدرت‌اله حیدری ؛ به اهتمام شرکت برق منطقه‌ای تهران.
مشخصات نشر	: تهران: اسحاق، ۱۳۹۱.
مشخصات ظاهری	: ۲۸۴ ص.: مصور، جدول، نمودار.
شابک	: 978-964-6747-71-5
وضعیت فهرست نویسی	: فیا
یادداشت	: چاپ قبلی: تابش برق، ۱۳۷۹.
یادداشت	: واژه‌نامه.
یادداشت	: کتابنامه.
یادداشت	: نمایه.
موضوع	: برق نیرو -- انتقال
موضوع	: برق -- خطوط
موضوع	: برق -- تولید
شناسه افزوده	: شرکت سهامی برق منطقه‌ای تهران
رده بندی کنگره	: ۱۳۴ : ۳۰ ط ۹۳ : ۱۳۹۱
رده بندی دیویی	: ۶۲ / ۳۱۹ :
شماره کتابشناسی ملی	: ۲۸۲۵۵۸۸

انتشارات اسحاق

انقلاب - خیابان شهید میری جاوید (ردیبهشت) - پلاک ۷۳ - واحد ۸

تلفن: ۶۶۴۹۳۱۳۹ - ۰۹۱۳۲۲۷۹۳۴۶

نام کتاب	: طراحی الکتریکی خطوط انتقال نیرو
مؤلف	: دکتر قدرت‌اله حیدری
	: به اهتمام شرکت برق منطقه‌ای تهران
ناشر	: انتشارات اسحاق
لیتوگرافی	: جلوه
ناظر چاپ	: هومن دانش اشرافی
چاپ	: ظفر - دیبا
نوبت چاپ	: دوم - ۱۳۹۱ (اول ناشر)
شمارگان	: ۱۰۰۰ نسخه
قیمت	: ۱۲۵۰۰ تومان

ISBN: 978-964-6747-71-5

شابک: ۹۷۸-۹۶۴-۶۷۴۷-۷۱-۵

فهرست مطالب

۱۲	سرآغاز
۱۳	پیشگفتار مؤلف
۱۵	بخش اول - دیدگاه‌های برنامه‌ریزی و مطالعاتی
۱۷	مقدمه
۲۱	فصل اول: مبانی طراحی خطوط انتقال نیرو
۲۲	قسمت اول - فلسفه احداث خطوط انتقال نیرو
۲۲	تولید اختصاصی
۲۳	تولید مشترک
۲۴	دلایل نیاز به خطوط انتقال نیرو
۲۵	- انتقال توان تولیدی نیروگاه‌ها
۲۶	- برقرسانی به مناطق دور دست
۲۷	- افزایش قابلیت اطمینان سیستم
۲۷	- ارتباط چند منطقه با پیک مصرف غیر همزمان
۲۷	- ارتباط بین کشورها
۲۷	- تبدیل انرژی
۳۰	قسمت دوم - برنامه‌ریزی و مطالعات اولیه
۳۰	برآورد نیاز مصرف
۳۰	بررسی وضعیت شبکه‌های موجود
۳۱	بازدید کلی از مسیر و پستها
۳۱	انتخاب طرح‌ها
۳۲	مطالعات سیستم
۳۳	انتخاب هادی
۳۳	بررسی‌های اقتصادی
۳۵	قسمت سوم - قابلیت اطمینان برق رسانی
۳۵	دسته‌بندی مصرف‌کنندگان برق
۳۶	خسارات ناشی از قطع برق
۳۷	افزایش قابلیت اطمینان برق رسانی
۳۷	افزایش قابلیت اطمینان طراحی
۴۰	جمع بندی
۴۲	تمرینات فصل اول

۱۳۵	فصل هشتم: تلفات الکتریکی در خطوط انتقال نیرو
۱۳۵	تلفات توان
۱۳۶	محاسبه تلفات انرژی
۱۳۸	مدل‌های ضریب تلفات
۱۴۰	- انتخاب روش مناسب
۱۴۲	تمرینات فصل هشتم
۱۴۵	فصل نهم: خطوط انتقال چند مداره و کمپاکت
۱۴۵	حریم خطوط انتقال نیرو
۱۴۶	جداول مربوط به حریم و پهنای برج
۱۴۶	خطوط انتقال یک مداره
۱۴۸	خطوط انتقال دو مداره
۱۵۰	خطوط انتقال با چند ولتاژ
۱۵۲	خطوط انتقال باندل
۱۵۲	خطوط انتقال کمپکت یا فشرده
۱۵۸	تصاویری از خطوط انتقال کمپکت
۱۶۰	تمرینات فصل نهم
۱۶۳	فصل دهم: برآورد سرمایه گذاری خطوط انتقال نیرو
۱۶۳	اجزای سرمایه گذاری خطوط انتقال نیرو
۱۶۵	سرمایه گذاری نسبی در سطوح مختلف ولتاژ
۱۶۷	سرمایه گذاری خطوط انتقال نیرو در ایران
۱۶۸	تعیین اجزای سرمایه گذاری
۱۶۹	- وزن برج‌ها
۱۶۹	- حجم فونداسیون‌ها
۱۷۰	- متوسط سهم اجزا
۱۷۰	- سرمایه گذاری نسبی
۱۴۷	- تأثیر هادی‌ها در سرمایه گذاری
۱۷۱	- خطوط باندل
۱۷۱	مدل‌های سرمایه گذاری
۱۷۲	- سرمایه گذاری نسبی خطوط باندل
۱۷۳	- رابطه تعداد مدارها با سرمایه گذاری

- ۱۷۴ - رابطه هادی‌ها با وزن برج‌ها
- ۱۷۵ - رابطه هادی‌ها با حجم فونداسیون‌ها
- ۱۷۵ برآورد سرمایه گذاری
- ۱۷۷ تمرینات فصل دهم

- ۱۸۱ فصل یازدهم: ارزش حال هزینه های جاری
- ۱۸۱ تعیین اصل و فرع سرمایه
- ۱۸۳ ارزش حال سرمایه
- ۱۸۳ پرداخت‌های قسطی
- ۱۸۴ ارزش حال پرداخت‌های قسطی
- ۱۸۵ محاسبه ارزش حال با احتساب تورم
- ۱۸۶ محاسبه ارزش حال با احتساب سود و تورم
- ۱۸۷ محاسبه ارزش حال هزینه‌ها
- ۱۸۸ - ارزش حال تلفات
- ۱۸۹ - ارزش حال هزینه‌های تعمیرات و نگهداری
- ۱۸۹ - ارزش حال تلفات راکتو
- ۱۹۱ تمرینات فصل یازدهم

- ۱۹۵ فصل دوازدهم: انتخاب ولتاژ و هادی در خطوط انتقال نیرو
- ۱۹۵ عوامل مؤثر در انتخاب ولتاژ
- ۱۹۹ عوامل مؤثر در انتخاب هادی
- ۲۰۱ کنترل ولتاژ انتخابی
- ۲۰۱ - مدل‌های تجربی تخمین ولتاژ
- ۲۰۳ مقایسه اقتصادی
- ۲۰۶ انتخاب هادی و ولتاژ
- ۲۰۹ تمرین فصل دوازدهم

- ۲۱۳ بخش دوم- دیدگاه‌های مهندسی و اجرایی
- ۲۱۵ مقدمه
- ۲۱۹ فصل سیزدهم- مسیریابی خطوط انتقال نیرو
- ۲۲۱ مشکلات مرتبط با زمین
- ۲۲۱ مسیرها و مانداب‌ها

۲۲۱	مناطق جنگلی
۲۲۲	پرندگان مهاجر
۲۲۴	مناطق حفاظت شده
۲۲۵	باد و طوفان
۲۲۶	تداخل با سایر سازمانها
۲۲۷	مناطق آلوده
۲۲۷	مناطق کوهستانی
۲۲۸	مسایل اجرایی
۲۳۰	تمرینات فصل سیزدهم

فصل چهاردهم: پایه‌های خطوط انتقال نیرو

۲۳۳	انواع پایه‌های خطوط انتقال نیرو
۲۳۴	- تیرهای چوبی
۲۳۵	- تیرهای بتونی
۲۳۷	- تیرهای فولادی
۲۳۹	- برج‌های مشبک فولادی
۲۴۰	- تیرهای فایبرگلاس
۲۴۰	شکل پایه‌ها
۲۴۱	- جایگذاری افقی فازها
۲۴۲	- جایگذاری عمودی فازها
۲۴۳	- جایگذاری مثلی فازها
۲۴۴	برج‌های کمپکت
۲۴۶	برج‌های مهاری
۲۴۶	انواع برج‌های معمولی
۲۴۹	تمرینات فصل چهاردهم

فصل پانزدهم: مقره‌های خطوط انتقال نیرو

۲۵۳	جنس مقره‌ها
۲۵۴	- مقره‌های چینی
۲۵۴	- مقره‌های شیشه‌ای
۲۵۵	- مقره‌های ترکیبی
۲۵۶	انواع مقره‌ها

معیارهای الکتریکی گزینش مقره‌ها

۲۵۷

- اضافه ولتاژهای داخلی

۲۵۸

- اضافه ولتاژهای خارجی

۲۵۸

- شرایط محیطی

۲۵۸

- آلودگی محیط

۲۵۹

- کرونا

۲۵۹

بار مکانیکی

۲۵۹

توزیع ولتاژ در زنجیره مقره‌ها

۲۵۹

مشخصات عمومی مقره‌ها

۲۶۳

تمرینات فصل پانزدهم

۲۶۹

فصل شانزدهم: نوسانات هادیهای خطوط انتقال نیرو

۲۷۳

نوسانات آونگی

۲۷۳

نوسانات جهشی

۲۷۴

نوسانات لرزشی

۲۷۵

نقش نوسانات هادیاها در افزایش فواصل فازها

۲۷۷

- بررسی فواصل فازها در روی برجها

۲۷۷

- کنترل زاویه انحراف زنجیره مقره‌ها

۲۷۹

- کنترل فاصله فازها در وسط اسپن

۲۸۰

آثار سوء نوسانات هادیاها

۲۸۱

تمرینات فصل شانزدهم

۲۸۴

فصل هفدهم: نقش اضافه ولتاژها در طراحی خطوط انتقال نیرو

۲۸۷

ولتاژ سیستم

۲۸۷

اضافه ولتاژها

۲۸۸

- اضافه ولتاژها موقتی

۲۸۹

- اضافه ولتاژهای کلیدزنی

۲۸۹

- اضافه ولتاژهای صاعقه

۲۹۰

عوامل مؤثر در بروز جرقه

۲۹۱

- کاهش درجه عایقی مقره‌ها

۲۹۱

- تقلیل خاصیت عایقی هوا

۲۹۲

تعیین ولتاژ شکست هوا در شرایط مختلف محیطی

۲۹۵

۲۹۷	قسمت اول - اضافه ولتاژهای موقتی
۲۹۷	تأثیر انواع آلودگی
۳۰۱	تعیین تعداد مقره‌ها
۳۰۲	تأثیر آلودگی در نوع و تعداد مقره‌ها
۳۰۵	محاسبه اضافه ولتاژ بی باری
۳۰۹	قسمت دوم - اضافه ولتاژهای ناشی از کلیدزنی
۳۰۹	تعیین مقدار ولتاژ کلیدزنی
۳۱۰	عوامل مؤثر در اضافه ولتاژها
۳۱۳	تعیین حداقل فاصله هوایی
۳۱۴	- مدل EPRI
۳۱۴	- مدل CRIEPI
۳۱۴	- مدل IEEE
۳۱۵	- مقایسه مدل‌های محاسباتی
۳۱۹	قسمت سوم - اضافه ولتاژهای ناشی از صاعقه
۳۲۰	عوامل مؤثر در ایجاد اضافه ولتاژ
۳۲۲	جریان صاعقه
۳۲۳	محاسبه مقدار اضافه ولتاژ
۳۲۵	تعیین حداقل فاصله هوایی
۳۲۸	مقادیر استاندارد اضافه ولتاژ
۳۳۰	تمرینات فصل هفدهم
۳۳۳	فصل هیجدهم: تعیین فواصل فازها
۳۳۳	تعیین حداقل فاصله فاز تا بدنه
۳۳۵	تأثیر نوسانات هادیها
۳۳۷	تعیین حداقل فاصله عمودی فازها
۳۳۸	تعیین حداقل فاصله افقی فازها
۳۳۹	فاصله هادی تا زمین
۳۴۱	فاصله خطوط انتقال نیرو از طرفین
۳۴۱	جداول مربوط به فواصل فازی و حریم
۳۴۴	تمرینات فصل هیجدهم

فصل نوزدهم: انتخاب سیم محافظ

۳۴۷	شیوه حفاظت
۳۴۷	مشخصه سیم محافظ
۳۴۹	انتخاب سیم محافظ
۳۵۰	- جریان صاعقه
۳۵۲	- جریان اتصال کوتاه
۳۵۲	- جنس سیم محافظ
۳۵۲	- مقاومت الکتریکی
۳۵۳	- تداوم جریان
۳۵۳	- مقاومت زمین
۳۵۵	- مقاومت مکانیکی
۳۵۶	تمرینات فصل نوزدهم

فصل بیستم: محاسبات مکانیکی

۳۵۹	تعریف اسپن
۳۵۹	- اسپن وزن
۳۵۹	- اسپن باد
۳۶۰	- اسپن متوسط
۳۶۰	- اسپن بحرانی
۳۶۰	- اسپن معادل
۳۶۱	- اسپن اقتصادی
۳۶۱	نیروهای وارده بر هادی
۳۶۲	رژیم های مختلف آب و هوایی
۳۶۵	معادله تغییر وضعیت
۳۶۷	فلش هادی
۳۶۸	جدول نصب
۳۷۲	تمرینات فصل بیستم
۳۷۷	واژه یاب
۳۸۱	منابع و مراجع
۳۸۵	معرفی نویسنده

«بسم الله الرحمن الرحيم»

الذی علم بالقلم. علم الانسن ما لم یعلم.

آن خدایی که بشر را علم نوشتن به قلم آموخت. به آدمی آنچه را که نمی دانست، تعلیم داد. (سوره علق، آیه ۴ و ۵)

شرکت برق منطقه‌ای تهران به عنوان یکی از مهمترین دستگاه های خدمت رسانی، مشارکت مؤثر در توسعه پایدار و ارتقاء سطح زندگی شهروندان را در شمار مسؤولیتها و یکی از دغدغه‌های بنیادی خود می‌داند. از اینرو، می‌کوشد از راه مدیریت مؤثر، در تأمین انرژی الکتریکی با کیفیتی مطلوب، گامی در جهت نیل به این هدف بر دارد.

ارتقای کیفیت انرژی برق مورد نیاز شهروندان و سایر مصرف کننده ها و رساندن آن به سطح استانداردهای داخلی، منطقه ای و بین‌المللی، مستلزم بررسی گسترده و تحقیق های علمی و فنی پر دامنه برای دستیابی به فناوری روزآمد جهانی و طراحی سیستم های بهینه تولید، انتقال و توزیع انرژی است.

از همین رو، به کمیته علمی شرکت مأموریت داده شده است که نشر، انتقال و بسط نظریه‌های نوین اندیشمندان و صاحب نظران صنعت برق در سطح ملی و جهانی را سرلوحه فعالیت های خود قرار دهد.

کتاب حاضر که تحت عنوان «طراحی الکتریکی خطوط انتقال نیرو» توسط یکی از پیشکسوتان صنعت برق، بنیان‌گذار تئوریهای علم برق و استاد فربخته دانشگاه جناب آقای دکتر قدرت اله حیدری تألیف و به عنوان یکی از دستاوردهای کمیته علمی شرکت محسوب می‌شود که اینک در اختیار علاقمندان قرار می‌گیرد. ضمن تشکر از زحمات مولف و اعضای کمیته علمی برق تهران، امید است با انتشار کتابهایی از این دست گامی مؤثر برای تحقق هدفهای بنیادی صنعت برق کشور برداشته شده و برای اهل علم و عمل نیز سودمند افتد.

با آرزوی توفیق الهی برای کلیه رهجویان علم و دانش، بدون شک یاریها، رهنمودها و انتقادهای سازنده تمامی عزیزان و صاحب نظران ما را در اصلاح حرکت، انتخاب، ترجمه و ارتقا کیفیت نشر اثرهای تخصصی دلگرم می نماید.

سید زمان حسینی

رئیس هیئت مدیره و مدیر عامل

شرکت برق منطقه‌ای تهران

پیشگفتار

رشد روز افزون شهرها، مراکز صنعتی، کشاورزی و تجاری، نیاز به انرژی الکتریکی را افزایش می‌دهد که لازمه تأمین آن توسعه و گسترش نیروگاه‌ها و شبکه‌های انتقال و توزیع نیرو می‌باشد. وسعت بالای کشور، پراکندگی شهرها و روستاها، دور بودن مراکز تولید برق از مناطق مصرف، عبور خطوط انتقال و توزیع نیرو از مناطق مختلف با ویژگی‌های متفاوت را اجتناب‌ناپذیر می‌سازد. گوناگونی شرایط جوی و محیطی، امکانات و محدودیت‌های مسیر، بکارگیری و انتخاب معیارهای مناسبی را برای طراحی خطوط انتقال نیرو ضروری می‌سازد. با توجه به اینکه خطوط انتقال و توزیع نیرو رابط بین مراکز تولید و مصرف می‌باشد، لذا هر نوع بی‌دقتی در طراحی و احداث آن‌ها می‌تواند باعث توقف کوتاه مدت یا بلند مدت انتقال و توزیع انرژی الکتریکی گردد. به همین دلیل توجه به نکات علمی و اجرایی و همچنین شناخت شرایط آب و هوایی و ویژگی‌های مسیر عبور خطوط انتقال نیرو می‌تواند تأثیر بسیار مهمی در بهره‌برداری بهینه از تأسیسات برق داشته باشد.

با توجه به اهمیت طراحی درست و مناسب خطوط انتقال نیرو در قابلیت اطمینان برق رسانی در نگارش این کتاب ضمن اینکه از مقالات و کتاب‌های متعددی استفاده شده است، تلاش گردیده است از اطلاعات مربوط به آمار و حوادث و تجارب بهره‌برداری خطوط انتقال نیروی صنعت برق ایران نیز بهره گرفته شود تا بر حسب مورد از آنها به عنوان نمونه‌هایی واقعی نامبرده شود. ایجاد هماهنگی مطالب این کتاب با روش متداول در صنعت برق سبب شد تا تفاوت مختصری بین مجموعه حاضر با سایر کتابهای درسی خطوط انتقال نیرو به وجود آید، که به عقیده نگارنده چون این شیوه با واقعیت‌های صنعت برق ایران و سایر کشورهای جهان تطابق دارد، می‌تواند برای دانشجویان برق مفیدتر باشد. بر این اساس بخش اول اختصاص به مطالبی دارد که در مرحله برنامه‌ریزی در دفاتر برنامه‌ریزی شرکت‌های برق، مورد توجه کارشناسان قرار می‌گیرد و بخش دوم اختصاص به سایر دیدگاه‌های طراحی الکتریکی دارد که معمولاً در دفاتر مهندسی یا شرکت‌های مهندسی مشاور به کار گرفته می‌شوند.

گرچه کتاب حاضر چندین بار با بیش از دوهزار نسخه بصورت فتوکپی تکثیر گردید، اما ابراز لطف و پیشنهاد بسیاری از دوستان و همکاران به خصوص جناب آقای مهندس سیدزمان حسینی مدیرعامل محترم شرکت برق منطقه ای تهران مبنی بر تجدید چاپ کتاب، اینجانب را برآن داشت تا بعد از ده سال کتاب قبلی را بازنگری و تایپ مجدد نمایم. در ویرایش جدید ضمن این که مطالب جدیدی اضافه گردید، تلاش گردید برای درک بهتر مطالب از تصاویر واقعی اجزای خطوط انتقال نیرو استفاده بیشتری انجام گیرد. در تدوین مطالب کتاب علاوه بر مطالب مفیدی که از مراجع معتبر علمی استخراج گردید از پیشنهادها، نظرات و کمک‌های فکری دوستان، صاحب‌نظران صنعت برق، همکاران و

دانشجویان عزیز بهره‌مند شده‌ام که به این وسیله از تمامی آنها بخصوص از دوست ارجمند جناب آقای دکتر حمید قلقی که در ویرایش چاپ دوم کتاب اینجانب را یاری دادند تشکر و قدردانی نمایم. گرچه در طول سال‌هایی که اینجانب مجموعه حاضر را تدریس نمودم مطالب آن بارها مورد بازنگری و تجدید نظر قرار گرفته است، اما بدون هیچ تردیدی کتاب حاضر بدون اشکال نمی‌باشد، لذا امید است با اظهار نظر و راهنمایی دوستان، دانشجویان و خوانندگان محترم به تدریج از اشکالات آن کاسته شود. در پایان شایسته می‌دانم از همسرم سرکارخانم شیرین باکمالی که همواره در فعالیت‌های علمی همراه اینجانب بودند به خاطر همفکری، کمک و مشاورت در تدوین مطالب اقتصادی و همچنین از فرزندانم آقای دکتر مازیار حیدری که در تهیه و تنظیم مطالب کتاب با اینجانب همکاری نمودند تشکر و قدردانی نمایم.

قدرت اله حیدری

اسفند ۱۳۹۰