



دانشگاه زنجان

دانشکده مهندسی

گروه برق

پایان نامه کارشناسی

گرایش: قدرت

عنوان:

بررسی عملکرد سیستم زمین برجهای خطوط انتقال در

برابر صاعقه

استاد راهنما: دکتر جلیل زاده

نگارش: حمید کشاورز قزل قشلاق

تابستان 91

پایان نامه کارشناسی

فصل دوم

فیزیک صاعقه و پارامترهای جریان ناشی از آن

1-2-1 فیزیک صاعقه 12

2-2-1 شاخه های پیشرونده مرحله ای صاعقه 12

2-2-2 مسیر برگشتی 13

2-2-2 شاخه پیشرونده تیری شکل 14

3-2-2 تخلیه بین ابر 15

4-2-2 تخلیه ای که بار مثبت به زمین می آورد 16

5-2-2 تخلیه ای با جریان پیشرونده بسوی بالا 16

3-2-2 اختلاف پتانسیل بین ابر و زمین و انرژی موجود در صاعقه 17

4-2-2 رعد 17

5-2-2 جریان ناشی از اصابت صاعقه 19

1-5-2 اثر ارتفاع جسم در دامنه جریان 19

2-5-2 اثر مناطق جغرافیایی 20

3-5-2 شکل موج جریان 21

- 38 3-4 کم کردن مقاوت پایه برجهای بوسیله اتصالات اضافی
- 39 1-3-4 نصب میله قائم در زمین
- 40 1-1-3-4 استفاده از میله های طویل
- 41 2-1-3-4 اتصال زمین چند میله ای (میله های موازی)
- 44 2-3-4 نصب میله افقی در زمین
- 45 3-3-4 زمین کردن بصورت کانتریپوز
- 49 4-4 نتایج آزمایشها و تجربیات عملی اتصال زمین
- 50 5-4 طرح سیستم زمین برجهای خطوط انتقال انرژی
- 52 1-5-4 زمین کردن برجهای خطوط انتقال انرژی

فصل پنجم

تخلیه جوی الکتریکی بر خطوط انتقال

- 59 1-5 تخلیه جوی الکتریکی بر هادیهای فاز
- 64 2-5 تخلیه جوی بر سیمهای محافظ
- 67 3-5 تخلیه جوی مستقیم بر بدنه برجهای
- 71 4-5 تخلیه جوی مستقیم در مجاور پستهای فشار قوی
- 74 5-5 انتشار موج در طول خطوط انتقال انرژی

فصل ششم

بررسی حادثه خط منتظر قائم - قزوین

77	1-6 شرح حادثه
78	2-6 علت حادثه
78	1-2-6 برخورد صاعقه با فاز
80	2-2-6 برخورد مستقیم صاعقه با برج
80	3-6 پیشنهادات
80	1-3-6 تقویت اتصال زمین پایه برجهای
81	2-3-6 نصب برقگیر
82	3-3-6 نصب سیم محافظ هوایی
82	4-3-6 نصب شاخکهای برقگیر در طول زنجیر مقره
83	4-6 گزارشی از پست منتظر قائم

فصل هفتم

نتیجه گیری و پیشنهادات

85	1-7 نتایج
86	2-7 ارائه پیشنهادات

فصل اول

مقدمه

1-1 کلیات

با توجه به ماهیت و نقش شبکه‌های سراسری انتقال انرژی در زندگی امروزی و پیشرفتهای صنعتی کشورها، خطوط انتقال انرژی و ایستگاه‌های فشار قوی در این شبکه‌ها آسیب‌پذیرترین و حساس‌ترین قسمت‌های شبکه را در قبال پدیده‌های طبیعی منجمله رعد و برق یا تخلیه جوی الکتریکی تشکیل می‌دهند. شبکه‌های سراسری انتقال انرژی به صورت خطوط هوایی با هادیهای تحت ولتاژ در ارتفاع کافی از زمین در معرض برخورد مستقیم رعد و برق و تخلیه جوی الکتریکی واقع می‌باشند.

تأثیر تخلیه جوی الکتریکی بر این خطوط از نظر صدمه موضعی و خسارات ناشی از آن مورد نظر نبوده، اهمیت عمده آن ایجاد اختلال در برق‌رسانی و قطع سراسری شبکه و انرژی مورد نیاز مصرف‌کننده‌ها می‌باشد. هر گونه تخلیه جوی بر هر نقطه از خطوط انتقال انرژی به صورت قوس الکتریکی در فواصل هوایی ایزولاسیون خطوط ظاهر گردیده، ایزولاسیون پیش‌بینی شده خطوط را مختل و شبکه را با خاموشی کامل مواجه می‌سازد.

صاعقه یکی از عوامل مهم قطع برق در خطوط انتقال و توزیع نیرو می‌باشد، بررسی‌های انجام شده در کشور آمریکا و کانادا در طول 14 سال بهره‌برداری از حدود 25000 مایل خطوط انتقال نیرو نشان می‌دهد که 26 درصد قطعی‌های برق خطوط انتقال 345 کیلو ولت در اثر برخورد صاعقه به وجود آمده است و بررسی‌های مشابه در کشور انگلستان که آنهم در یک دوره 14 ساله انجام گرفته نشان می‌دهد که از حدود 5000 قطعی در خطوط توزیع نیرو تا ولتاژ 33 کیلو ولت، 47 درصد آنها در اثر صاعقه به وجود آمده‌اند.

1-2-1 اهداف

1-2-1-1 فصل دوم

با توجه به اینکه امواج گذرای صاعقه باعث پدید آمدن مشکلات عدیده‌ای در خطوط انتقال و پست‌های فشار قوی شده‌اند، لذا می‌بایست حفاظت مناسبی از خطوط و پستهای فشارقوی در برابر این پدیده طبیعی صورت گیرد. لزوم حفاظت صحیح از سیستمهای قدرت، مستلزم شناخت کافی از مکانیزم، ماهیت و عملکرد صاعقه بر روی خطوط انتقال انرژی می‌باشد. به همین منظور در این فصل به بررسی مکانیزم صاعقه، شکل موج، رابطه ریاضی و انرژی موجود در صاعقه می‌پردازیم، به طوری که در فصلهای بعدی از این شکل موجها و معادلات استفاده خواهیم کرد.

1-2-2-1 فصل سوم

بررسی خواص الکتریکی خاک، بسیار مهم و قابل توجه است. تعیین مقاومت مخصوص خاک در تعیین مقاومت زمینی که مورد بررسی مسائل مربوط به ایمنی الکتریکی قرار می‌گیرد، مورد استفاده واقع می‌شود. در این فصل به بررسی عوامل موثر بر هدایت الکتریکی خاک می‌پردازیم.

1-2-3-1 فصل چهارم

با توجه به اهمیت امپدانس موجی برجهای در کاهش درصد بروز قوسهای برگشتی، همچنین تأثیر مقاومت زمین طبیعی برجهای در ولتاژ تماس بدنه، لازم است مقاومت طبیعی و امپدانس موجی موجها از مقدار مجاز و قابل قبول تجاوز ننماید، مقاومت اهمی طبیعی برجهای تابع مقاومت مخصوص خاک بوده و برحسب نوع زمین و موقعیت برج در رنج وسیعی تغییر می‌نماید. به منظور کاهش مقاومت زمین طبیعی برجهای در زمینهای با مقاومت مخصوص بالا، سیستم زمین مناسب جهت

برج پیش‌بینی شده، مقاومت زمین طبیعی برج کاهش می‌یابد. در فصل چهارم ضمن آشنایی با مقاومت پای برج و رفتار آن در برخورد با امواج گذرا، روشهای مختلف کم کردن این مقاومت مورد بررسی قرار گرفته است. در نهایت طرح سیستم زمین برجهای در خطوط انتقال انرژی ارائه می‌شود.

1-2-4 فصل پنجم

خطوط انتقال انرژی الکتریکی، متشکل از برجهای فولادی، سیمهای زمین، هادیهای فاز واقع در دشتهای، مناطق کوهستانی، بیابانها، مزارع کشاورزی و غیره مناسبترین و کوتاهترین وسیله را جهت تخلیه جوی بارهای الکتریکی به زمین تشکیل می‌دهند. به طوری که تخلیه جوی در مناطق کوهستانی و دشتهای به سمت این خطوط منحرف گشته، از طریق آنها به زمین تخلیه می‌گردد. تخلیه در کلیه قسمتها و اجزای خطوط انتقال انرژی امکان پذیر بوده، در هر قسمت با پدیدهها و عکس‌العملهای متفاوت همراه می‌باشد. در این فصل نحوه تخلیه جوی الکتریکی بر اجزای خطوط انتقال انرژی مورد مطالعه قرار می‌گیرد.

1-2-5 فصل ششم

از آنجایی که ایده اصلی انجام این پروژه از حادثه‌ای که در سال 72 در حوالی پست منتظر قائم اتفاق افتاده، گرفته شده است، لذا در این فصل در ابتدا گزارش مشروح حادثه آورده شده است، سپس به بررسی علل مختلف حادثه پرداخته و در نهایت پیشنهادات و گزارشی از این پست و خط مزبور ارائه شده است.

فصل دوم

فیزیک صاعقه

ویپارامترهای جریان ناشی

از آن

1-2 فیزیک صاعقه (Physics of lightning)

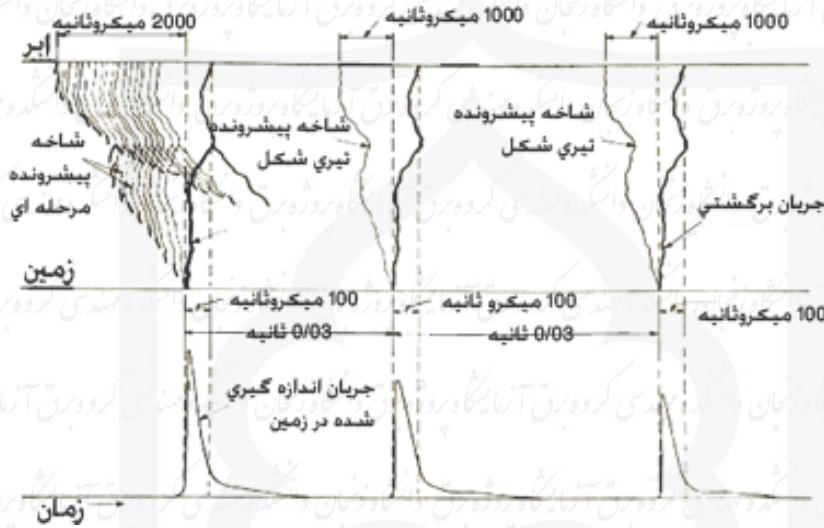
صاعقه را می‌توان یک تخلیهٔ گذرای الکتریکی با جریان بالا که طول مسیر آن به کیلومترها می‌رسد، تعریف کرد. صدای ناشی از این عمل رعد (thunder) نامیده می‌شود. این تخلیه الکتریکی هنگامی رخ می‌دهد که ناحیه‌ای از اتمسفر دارای آنچنان بار الکتریکی شود که میدان ناشی از آن باعث شکست الکتریکی هوا گردد. این عمل به خصوص در ابرهای جوشان (thunder cloud) اتفاق می‌افتد. این ابرها را کومولونیمبوس (cumulonimbus) می‌نامند. گرچه در جریان ریزش برف و تگرگ و ابرهای روی کوههای آتشفشان هم زدن صاعقه گزارش شده است، در این بحث منظور ما از صاعقه بیشتر، برق ناشی از ابرهای جوشان است. این چنین تخلیه‌ای می‌تواند در درون ابر (intra cloud)، پایین دو ابر (cloud to cloud) یا بین ابر و زمین (cloud to earth)، پایین ابر و هوای اطراف اتفاق افتد. قبل از بررسی مسأله تخلیه به مسأله بارداری ابرهای جوشان پرداخته می‌شود. تئوریهای مختلفی در این زمینه وجود دارد که در فصل پیوسته‌ها به آنها اشاره می‌گردد.

2-2 شاخه‌های پیشرونده مرحله‌ای صاعقه (Stepped leader)

در سال 1930 مالان (Malan)، کولنز (Collens) و هاگز (Hodges) در آفریقای جنوبی به طور گسترده‌ای از دوربین بویز (Boys) استفاده کردند. این دوربین حرکت نسبی بین فیلم و لنز ایجاد می‌کند تا مکانیسم صاعقه را نشان دهد. با استفاده از لنز ثابت و فیلم نواری متحرک، تصویری شماتیک شبیه شکل (1-2) حاصل می‌شود.

هر صاعقه که به زمین اصابت می‌کند با یک تخلیهٔ ابتدایی ضعیف شروع شده که شاخه پیشرونده است و از ابر به سوی زمین گسترش می‌یابد و به دنبال آن مسیر برگشتی که با شدت زیاد همراه است، از زمین به سوی ابر گسترش می‌یابد. در حقیقت تخلیهٔ ابتدایی از ابر به سوی زمین که قبل از مسیر برگشتی رخ می‌دهد،

شاخه پیشرونده مرحله‌ای نامیده می‌شود. به عقیده خیلی از محققین شاخه پیشرونده مرحله‌ای با شکست الکتریکی بین بارهای P و N در ابرجوشان رخ می‌دهد و این شکست بارهای الکتریکی که قبلاً به یخ و ذرات کوچک آب چسبیده بودند را به حرکت در می‌آورد. در این هنگام با جمع شدن بارهای منفی در ابر، میدان الکتریکی ایجاد می‌شود که به صورت ستونی به سمت زمین حرکت می‌کند و همین ستون شاخه پیشرونده است.



شکل (1-2) : شماتیک اصابت یک صاعقه به زمین (با استفاده از دوربین ذکر شده) ، زمان از چپ به راست افزایش می یابد.

2-2-1 مسیر برگشتی (Return stroke)

وقتی که شاخه پیشرونده مرحله‌ای، ستونی از بار منفی را به نزدیک زمین می‌آورد، میدان الکتریکی قوی حاصل در زمین به قدری است که باعث حرکت بارها به سمت بالا می‌شود تا به شاخه پیشرونده برسد. وقتی یکی از این تخلیه‌ها به شاخه پیشرونده می‌رسد از این لحظه مسیر برگشتی شروع می‌شود.

با اتصال شاخه پیشرونده به زمین، بار مثبت از زمین به سوی ابرها جاری می‌گردد و با اندازه‌گیری از روش اسپکتروسکوپی (spectroscopy) درجه حرارت مسیر به حدود 30000°K می‌رسد.

2-2-2 شاخه پیشرونده تیری شکل (Dart leader)

بعد از اینکه جریان کانال قطع شد، صاعقه پایان می‌یابد. اگر بار اضافی در بالای کانال باشد، شاخه‌های جدیدی از برق ایجاد می‌گردد که در این حالت صاعقه چند شاخه‌ای (multiple stroke) حاصل می‌گردد. بار مورد لزوم برای شاخه‌های ایجاد شده از قسمتهای بالای ناحیه N تامین می‌گردد. شاخه‌های پیشرونده بعد از اولین مسیر برگشتی (مطابق شکل 2-1) را شاخه پیشرونده تیری شکل می‌نامند.

مشخصه‌های شاخه پیشرونده مرحله‌ای، مسیر برگشتی و شاخه پیشرونده تیری شکل (مشخصه‌های صاعقه) در جدول (2-1) آمده است.

شاخه پیشرونده مرحله‌ای	مینیمم	مقدار معمول	ماکزیمم
طول مرحله‌ها m	3	50	200
فاصله زمانی بین مراحل μs	30	50	125
سرعت متوسط انتشار شاخه پیشرونده مرحله‌ای *m/sec	1×10^5	$1/5 \times 10^5$	$2/6 \times 10^6$
بار موجود در کانال شاخه پیشرونده مرحله‌ای coul	3	5	20
شاخه پیشرونده تیری شکل	مینیمم	مقدار معمول	ماکزیمم
سرعت انتشار m/sec	1×10^6	2×10^6	$2/1 \times 10^7$
بار موجود در کانال شاخه پیشرونده تیری شکل coul	0/2	1	5
مسیر برگشت **	مینیمم	مقدار معمول	ماکزیمم
سرعت انتشار m/sec	2×10^7	5×10^7	$1/4 \times 10^8$
سرعت افزایش جریان sec $\mu\text{KA}/$	< 1	10	> 80
زمان رسیدن به جریان ماکزیمم μs	< 1	2	30

200	10-20	--	جریان ماکزیمم KA ***
150	40	10	زمان رسیدن به 50% مقدار ماکزیمم جریان μS
20	2/5	0/2	بار انتقالی ناشی از جریان مداوم Coul
14	5	2	طول کانال km
ماکزیمم	مقدار معمول	مینیمم	lightning flash قوس صاعقه
26	3-4	1	تعداد اصابتها در یک قوس
100	40	3	فاصله زمانی بین اصابتها در حالتی که جریان مداوم نیست msec
**** 2	0/2	10^{-2}	طول زمانی یک قوس sec
90	25	3	بار انتقالی در ضمن یک قوس در حالت جریان مداوم coul

جدول (1-2) : مشخصه‌های شاخه پیشرونده مرحله‌ای و تیری شکل و مسیر برگشتی

* سرعت انتشار از روش عکسبرداری به دست می‌آید و در نتیجه سرعت حاصل دوبعدی است، ولی چون قوس ناشی از صاعقه که به زمین اصابت می‌کند در اکثر اوقات عمودی نیست (سه بعدی است) پس مقادیر ذکر شده کمی کمتر از مقادیر واقعی است.

** نخستین مسیر برگشت کمترین سرعت انتشار، کمترین سرعت افزایش جریان، بیشترین زمان رسیدن به ماکزیمم و بیشترین بار انتقالی را نسبت به مسیر برگشتهای بعدی داراست.

*** جریان ماکزیمم بیش از 200 KA به ندرت توسط محققین گزارش شده است.

**** قوس ناشی از صاعقه که 15 تا 20 ثانیه طول کشیده توسط گادلوتن (Godlton) در سال 1896 گزارش شده است.

مقادیر این جدول از تحقیقات آقایان برگر (Berger) ، ووگل زانگر

(Vogel Sanger) ، بروک (Brook) ، کیتاگوا (Kitagawa) و... گرفته شده است.

3-2-2 تخلیه بین ابر (Intra Cloud discharge)

فصل هفتم

نتیجه گیری و پیشنهادات

7-1 نتایج

به واسطه القاء ولتاژهای بسیار بالا توسط صاعقه روی خطوط انتقال، مشکلات عدیده‌ای برای این خطوط، پستهای انتقال و مناطق مسکونی نزدیک به این تجهیزات به وجود می‌آید و از آنجایی که مرتفع‌ترین نقاط خطوط انتقال انرژی، برجهای انتقال می‌باشند، برخورد صاعقه به آنها از همه نقاط خط متحمل‌تر می‌باشد. برای جلوگیری از بروز آثار مخرب امواج گذرای ناشی از برخورد صاعقه راههای گوناگونی وجود دارد که عبارتند از:

1- زمین کردن پایه دکلها و تقویت اتصالات آنها با زمین جهت هدایت امواج گذرا به زمین

2- نصب برقگیر در ورودی پستها

3- نصب سیمهای محافظ هوایی بر فراز سیمهای فاز اصلی جهت جذب ضربات صاعقه و هدایت آنها به نقاط رأس برج

4- نصب شاخکهای برقگیر در طول زنجیر مقرر در برجهای انتهایی خط انتقال

5- رعایت حریم خطوط انتقال در مناطق مسکونی و یا ایجاد زمینهای حفاظتی مناسب برای مناطق مسکونی‌ای که در نزدیکی این خطوط قرار دارند.

برای رسیدن به اهداف فوق‌مراحلی از قبیل شناخت دقیق مکانیزم صاعقه،

شناخت رفتار زمین در برابر صاعقه و راههای کم کردن مقاومت پایه برجهای محاسبه اضافه ولتاژهای ناشی از برخورد صاعقه و در برخی موارد، شبیه‌سازی اثر صاعقه

توسط نرم‌افزارهای موجود را می‌بایستی طی کرد.

از میان تمامی عوامل فوق در این پروژه کم کردن مقاومت پایه دکلها و عوامل مرتبط با آن مورد توجه ویژه قرار گرفته است.

وظیفه عمده زمین کردن برجهای خط انتقال نیرو برای هدایت جریان رعد و برق به زمین با کاهش امپدانس مسیر جریان و تأمین ایمنی کافی در برابر آن است.

سیستم زمین و مقدار مقاومت آن یکی از پارامترهای مؤثر در عملکرد خط در برابر صاعقه بوده و مقدار آن در تعداد قطعی خط ناشی از اصابت صاعقه نقش مؤثر

دارد، بطوریکه جهت بهبود عملکرد خط در برابر احتمال قطعی ناشی از اصابت صاعقه می‌توان به جای بالا بردن سطح ایزولاسیون خط با افزایش تعداد مقره که چندان اقتصادی نیز نمی‌باشد، مقاومت پای برج را با افزایش تعداد میله زمین و یا افزودن به طول سیم زمین کاهش داد لذا می‌توان گفت علیرغم آنکه هزینه اجرای سیستم زمین برای برجهای خط انتقال بیش از 1٪ هزینه کل خط نمی‌باشد، ولی اجرای این سیستم در افزایش قابلیت اعتماد خط انتقال موثر می‌باشد.

با بررسی نتایج حاصل از شبیه‌سازی، مشاهده شد که هر چه مقاومت پای برج کمتر باشد ولتاژهای صاعقه خطر کمتری را به همراه خواهد داشت.

7-2- ارائه پیشنهادها

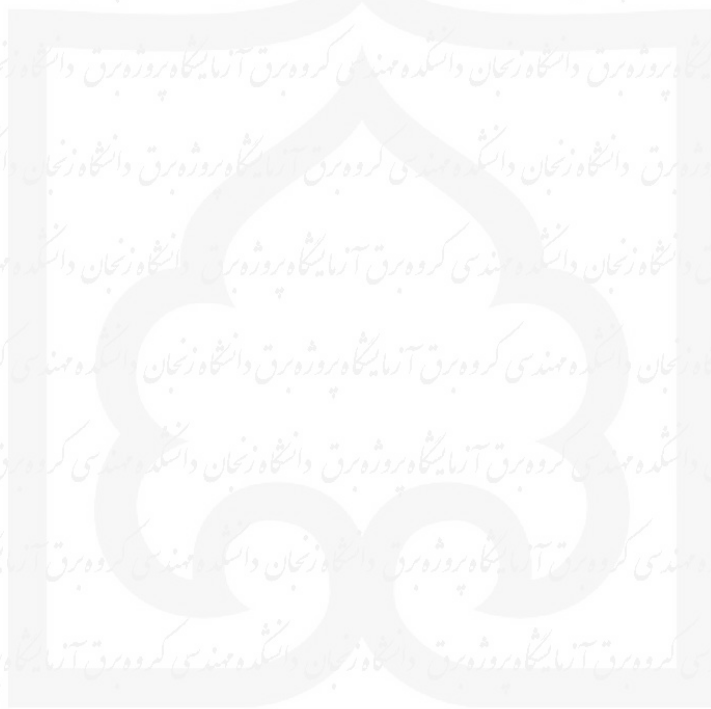
در بخش فیزیک صاعقه به بحث کلی در مورد مکانیسم رعد برق و پارامترهای جریان صاعقه پرداخته شد، در اینجا توصیه می‌شود که با نصب دستگاههای اندازه‌گیری بر روی خطوط انتقال ایران به ثبت دامنه جریان صاعقه پرداخته شود و همچنین اطلاعات در مورد مشخصه‌های موج جریان ناشی از صاعقه در ایران به دست آید. این موضوع حتی الامکان بدست آوردن منحنی احتمال دامنه جریان صاعقه برای ایران را ایجاد می‌کند و از نظر آزمایشگاهی با تجهیزات آزمایشگاه فشار قوی امکان شبیه‌سازی و بررسی آزمایشگاهی فیزیک صاعقه نیز امکان پذیر می‌گردد.

پیشنهاد می‌شود که قطعی خطوط انتقال ایران ناشی از برخورد صاعقه به خطوط ثبت شود تا بتوان آنالیز بهتری از قطعی‌های خطوط ایران انجام داد و با تجزیه و تحلیل این نتایج، به بهبود عملکرد خطوط ایران در برابر صاعقه کمک شود.

در بخش هدایت الکتریکی خاک مشخص شد که به طور کلی مقاومت مخصوص خاک یک کمیت متغیر است و برای دانستن آن تنها راه قابل اطمینان، آزمایش در محل می‌باشد. نتیجه آزمایش، میزان مقاومت مخصوص را در آن زمان در تحت شرایط موجود زمان آزمایش مشخص می‌کند. لذا پیشنهاد می‌گردد که مقاومت پای برجهای خطوط انتقال (حتی الامکان برجهای انتهایی خط انتقال) در

بازه‌های زمانی مختلف مورد آزمایش قرار گیرند و قرار گرفتن مقدار این مقاومتها در رنج استاندارد کنترل و بررسی شود.

پایان نامه کارشناسی



منابع و مآخذ

1. استیونسون، و - مبانی بررسی سیستمهای قدرت، پروین، پ. شاعری، ع. چاپ اول، مرکز نشر دانشگاهی تهران، 1372.
2. قره تپیان، گ. علیپور، ه. بررسی حالات گذرا توسط EMTP، چاپ اول، انتشارات دانشگاه صنعتی امیر کبیر (پلی تکنیک تهران)، زمستان 1378.
3. شاهرخشاهی، ط - رعد و برق و خطوط انتقال انرژی، چاپ اول، انتشارات رشیدیه 1366.
4. شاهرخشاهی، ط - قطع و وصل جریان متناوب در شبکه های فشار قوی، چاپ اول، انتشارات علوم روز، 1381.
5. شاهرخشاهی، ط. الکساندر، گ، ن. طرح ایزولاسیون خطوط انتقال انرژی و محیط زیست. چاپ اول، نشر دانش امروز. تهران، ایران 1372.
6. حیدری، ق - طراحی الکتریکی خطوط انتقال نیرو، چاپ اول، انتشارات تابش برق، زمستان 1379.
7. سلطانی، م. تجهیزات نیروگاه، چاپ سوم، انتشارات جعفری، 1366.
8. محمدی، م - اصول مهندسی فشار قوی الکتریکی، چاپ اول، انتشارات دهخدا، تهران 1372.
9. معاونت تحقیقات و تکنولوژی. دفتر استانداردها "طراحی و مهندسی فونداسیون برجهای انتقال نیرو نوع گسترده منفرد و سیلندری" مرکز تحقیقات نیرو. تهران. ایران. شهریور 1376.
10. وحیدی، ب. "بررسی حالات گذرای ناشی از صاعقه بر روی خطوط 230 و 400 کیلوولت ایران" پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی امیر کبیر، تهران، ایران 1368.
11. گزارشات سازمان توانیر در خصوص حادثه 1372/8/6 پست منتظر قائم.
12. Central Station Engineers. : "Electrical Transmission and Distribution Reference Book", Westinghouse Electric Corporation. Pt .c, No.8, January 1964.
13. Electric Power Research Institute: "Transmission Line Reference Book", 1982.
14. H.W.Dommler, EMTP Theory Book, BPA, Portland, 1986.
15. Marcolo Polo Pereira: "The Calculation of Short Circuit Current in Overhead Ground Wires Using the EMTP/ATP" Transmission

Planning Department. July 1999.

16. Carpenter. Roy, yinggang," The Secondary Effect of Lightning Activity " Colorado, 1997.
17. Tevan .G," Calculation of Caused by Lightning Strokes in the Tower of an Overhead Line " Budapest University of Technology and Economics, Febr. 2001.
18. Duckworth.m, "solving High Voltage Problems in Wireless/Utility Collection " Darnell Group Inc, 2001.
19. Tavares.M.c, Pissolato.J, Portela .C.M," Guideline for Transmission Line Modeling "Ieee.1999.
20. Franco.J.L, Amilton .S.J "Studies for the Improvement of Transmission Lines Performance " International Conference on Grounding and Earthing, November 2002.
21. Almedia.M.E, Correira de Barros.M.T," Critical Length of Long Horizontal Ground Electrodes " International Conference on Grounding and Earthing, November 2002.