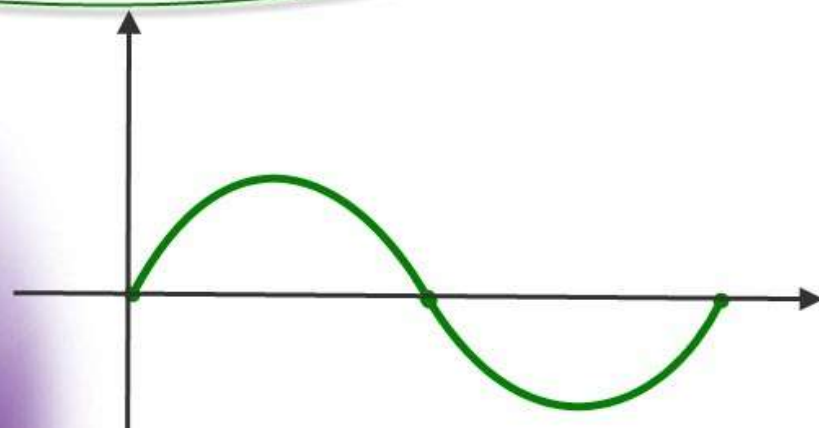


برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

موضوع پروژه:

بررسی پدیده قوس برگشتی



برای خرید فایل word این پروژه [اینجا کلیک کنید](#).

(شماره پروژه = ۲۳۶)

پشتیبانی: ۰۹۳۵۵۴۰۵۹۸۶

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

فهرست مطالب

صفحه

چکیده ۱

۱



فصل اول

بررسی پدیده قوس برگشتی

WikiPower.ir

(۱-۱) -

مقدمه ۲

۲

(۲-۱) - قوس برگشتی یا back flash over در خطوط انتقال

انرژی ۳

(۳-۱) - شرایط بروز قوس

برگشتی ۶

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

(۴-۱) - درصد بروز قوس برگشتی متناسب با ولتاژهای اسمی خط

۱۰.....

(۵-۱) - مسیر جریان تخلیه موجی به زمین

۱۱.....

(۶-۱) - مثال ۱ - ۱

۱۶.....

(۷-۱) - بررسی تاثیر مقاومت زمین بر جها در شکل ولتاژ موجی

۱۹.....

(۸-۱) - جریان حد بروز قوس برگشتی

۲۲.....

(۹-۱) - قوس برگشتی ناشی از تخلیه جوی مستقیم بر سیمهای

زمین..... ۲۹

(۱۰-۱) - شرایط بروز قوسهای برگشتی در فاصله هوایی سیمهای فاز و

زمین..... ۳۲

(۱۱-۱) - ارتباط جریان حد بروز قوس با شکل

موج..... ۳۳

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

(۱-۱۲) - تعیین مقاومت زمین مناسب برجها بر حسب بروز قوسهای

برگشتی ۳۷

(۱-۱۳) - احتمال تخلیه جوی بر سیمهای زمین و

برجها ۴۰

(۱-۱۴) - درصد بروز قوسهای

برگشتی ۴۴

(۱-۱۵) - تاثیر امپدانس موجی کانال تخلیه جوی در بروز قوسهای

برگشتی ۴۸

(۱-۱۶) - تخلیه جوی بر خطوط انتقال انرژی با ولتاژهای فوق بالا ($U \geq 750$ کیلو

ولت) ۵۰

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

فصل دوم

امپدانس موجی برجها

(۱-۲) -

..... مقدمه

۵۷

۵۷..... (۲-۲) - انتشار موج در طول برج

۶۵..... (۳-۲) - تغییرات امپدانس موجی برجها با جهت تخلیه بر برج

۶۷..... (۴-۲) - برآورد ولتاژ موجی در نقطه رأس برج

۷۳..... (۵-۲) - تاثیر سیم زمین در ولتاژهای ظاهر شده در نقطه رأس برج

۷۵..... (۶-۲) - استهلاک موج در طول برج

۷۷..... (۷-۲) - طرق گوناگون کاهش امپدانس موجی برجها

۷۹..... (۸-۲) - زمان طی شده برج

۸۱..... (۹-۲) - نصب برق گیرهای فشار قوی در خطوط انتقال انرژی

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

فصل سوم

مقاومت زمین برجها

(۱-۳) -

..... مقدمه

۸۶..

۸۶..... (۲-۳) - مقاومت زمین برجها

۸۹..... (۳-۳) نقش مقاومت زمین برجها

۸۹..... (۴-۳) - مقاومت زمین اهمی برجها

۹۷..... مساله

۱۰۰..... نتیجه گیری

۱۰۱..... مراجع

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

چکیده :

در پی تخلیه جوی مستقیم بر سیمهای زمین و بدنه برجها، مسیر جریان موی به زمین از طریق بدنه برجها برقرار میگردد.

انتقال جریانهای موی به زمین در پی تخلیه جوی الکتریکی بر هر قسمت از خطوط انتقال انرژی شامل سیمهای فاز، سیمهای زمین و برجها از طریق بدنه برجها و نقطه اتصال آنان به زمین صورت میپذیرد. چنانچه مقدار مقاومت بالا بوده و از توانائی کافی جهت انتقال سریع بارهای الکتریکی تخلیه جوی به زمین برخوردار نباشد، تراکم بارها بر روی برج، ولتاژ موی قابل ملاحظه را ظاهر میسازد. پس با کاهش دادن مقدار مقاومت موی حاصل از بدنه برج و مقاومت زمین و همینطور محل اتصال برج به زمین، میتوان مقدار قوس برگشتی را که علت آن ظهور ولتاژ در روی مقره و انتقال ندادن سریع ولتاژ توسط بدنه برج به زمین است، کاهش داد.



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

فصل اول

بررسی پدیده قوس برگشتی

(۱) مقدمه

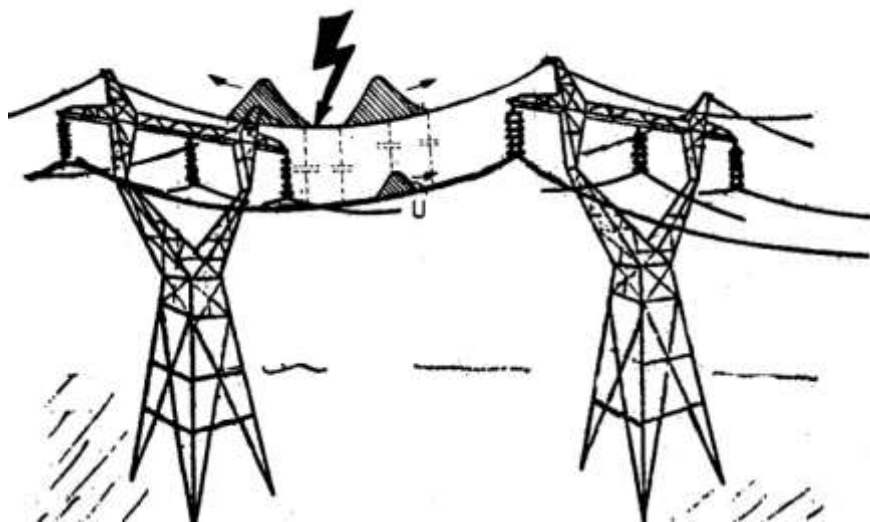
در پی تخلیه جوی مستقیم بر سیمهای زمین و بدنه برجها، مسیر جریان موی به زمین از طریق بدنه برجها برقرار میگردد. بدنه برجها و سیستم اتصال زمین آنان، مقاومت مسیر جریان موی را تشکیل داده، سرعت انتقال بارها و کاهش دامنه ولتاژهای موی به مقدار این مقاومت بستگی خواهد داشت. چنانچه مقدار مقاومت بالا بوده و از توانائی کافی جهت انتقال سریع بارهای الکتریکی تخلیه جوی به زمین برخوردار نباشد، تراکم بارها بر روی برج، ولتاژ موی قابل ملاحظه را ظاهر میسازد. این ولتاژ بروز قوس از برج به سیمهای فاز را موجب میگردد. بروز قوس از بدنه برج به سیم فاز، مشابه قوس حاصل از سیم فاز به بدنه برج بوده.

(۲) قوس برگشتی یا back flash over در خطوط انتقال انرژی

جریان موی تخلیه جوی بر سیمهای زمین در فاصله بین برجها، به صورت اضافه ولتاژ موی در طول سیمهای زمین ظاهر گشته، قسمت اعظم آن در محل اولین برج به زمین منتقل میگردد (شکل ۱-۱). چنانچه

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

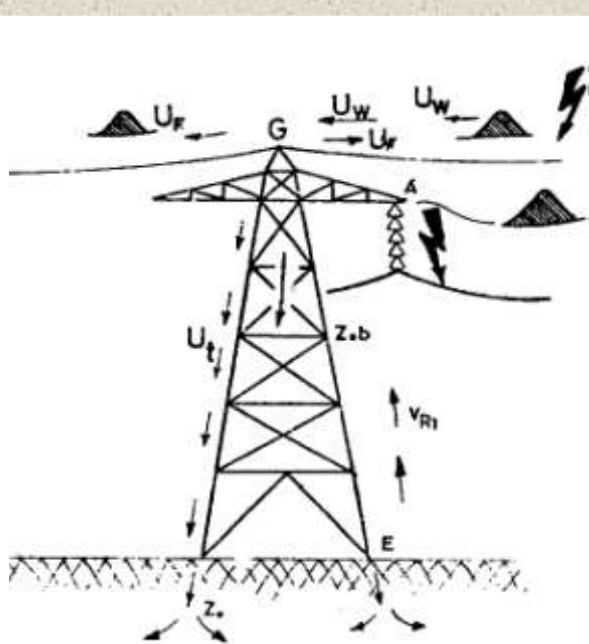
تخلیه مستقیماً بر برج صورت گیرد (شکل ۱-۲) قسمت اعظم جریان موجی از بدنه و درصد دیگر آن پس از انتشار در طول سیمهای زمین از طریق برجهای بعدی به زمین منتقل میگردد.



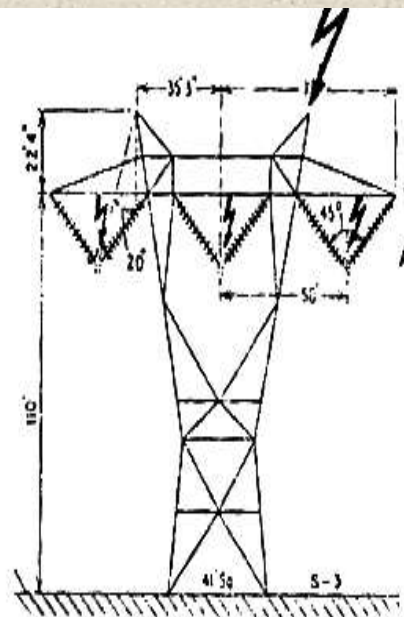
شکل (۱-۱): اصابت رعد و برق و خاصیت خازنی فازها

بدین ترتیب با تخلیه جوی بر هر قسمت از خطوط انتقال انرژی، بارهای الکتریکی از طریق بدنه برجهای به زمین منتقل میگردد، سرعت افزایش بارهای الکتریکی به حدود ۷۶۱۰۰ کیلوآمپر بر میکروثانیه بالغ میگردد. به منظور جلوگیری از ظهور ولتاژ موجی و تراکم بارها لازم است، انتقال بارها در فاصله زمانی پیشانی موج همزمان با افزایش آنها صورت پذیرد. چنانچه مسیر برقراری جریان موجی شامل بدنه برج و نقطه اتصال آن به زمین، توانائی کافی جهت عبور جریان موجی را دارا نبوده، بارهای الکتریکی تخلیه جوی امکان تخلیه سریع و بموقع را به زمین در فاصله زمانی پیشانی موج نیابند، ولتاژ موجی مطابق شکل ۱-۳ بروی برج در نقطه آ ظاهر گردیده، از ولتاژ بروز قوس زنجیر مقرر تجاوز نموده، بروز قوس A را بین برج و سیم فاز سبب میگردد. با بروز قوس در طول زنجیر مقرر، قسمت اعظم بارهای الکتریکی انباشته شده در برج، در جستجوی مسیر انتقال به زمین از طریق قوس به سمت سیمهای فاز جریان یافته، ولتاژ موجی در سیمهای فاز را ظاهر میسازد. این ولتاژ در طول سیمهای فاز منتشر گشته، بتدریج مستهلک میگردد.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه



شکل (۱-۳) : بروز قوس در زنجیر



شکل (۱-۲) : نمایش زنجیر مقره و بروز قوس

مقره و بارهای الکتریکی در جستجوی مسیری به سمت زمین

بروز قوس در طول زنجیر مقره و برقراری جریان موجی از سمت برج به سیمهای فاز اصطلاحاً قوس برگشتی یا (BF) نامیده میشود. بدین ترتیب هنگامی که ولتاژ موجی ناشی از تخلیه جوی بر برج یا سیمهای زمین از ولتاژ مجاز و مقاوم زنجیر مقره تجاوز نماید، شرایط بروز قوس برگشتی در طول زنجیر مقره فراهم میگردد. ولتاژ مقاوم معادل ولتاژ U_{BIL} یا سطح ایزولاسیون اصلی زنجیر مقره میباشد.

به طور کلی بروز قوس برگشتی از دو جهت شرایط بهره برداری خط و کار شبکه را مختل میسازد.

۱- بروز قوس در طول زنجیر مقره بلافاصله به اتصالی فاز به زمین تبدیل گردیده، جریان اتصالی را از

سیمهای فاز به بدنه برجها برقرار می سازد. بروز اتصالی سبب قطع کلید و بهره برداری خط میگردد.

۲- با بروز قوس برگشتی، قسمتی از جریان تخلیه موجی به سیمهای فاز منتقل گشته، در طول خط منتشر

میگردد، جریان موجی حاصل از قوس برگشتی، مشابه جریان حاصل تخلیه جوی مستقیم بر کندوکتورهای فاز

بوده، سرعت افزایش آن به حدود ۱۰۰ کیلومتر بر میکروثانیه بالغ می گردد. این جریان با توجه به امپدانس

موجی سیمهای فاز، ولتاژ موجی تخلیه جوی را پدید آورده از محل بروز قوس در دو جهت در طول

کندوکتورهای فاز منتشر میگردد. این موج مشابه ولتاژ موجی ناشی از تخلیه جوی مستقیم بر سیمهای فاز

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

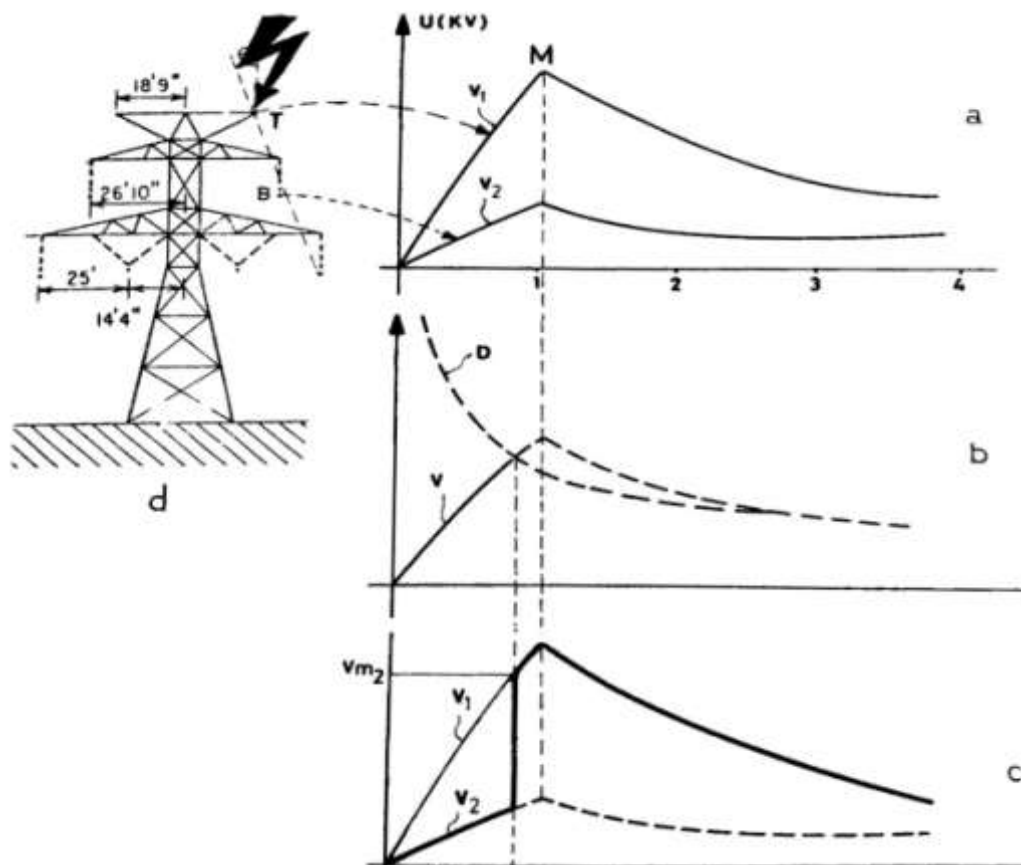
میتواند قوس تخلیه را در برجهای بعدی واقع در مسیر انتشار خود موجب گردد به همین علت ولتاژ موجی حاصل از قوس برگشتی یا bf در ردیف موجهای خطرناک محسوب گردیده، سرعت افزایش فوق العاده آن، امکان تخلیه موج را توسط برقگیرهای فشار قوی واقع در انتهای خطوط مشکل میسازد. دامنه و سرعت افزایش موجهای bf در انتهای خطوط به محل بروز قوس برگشتی و فاصله آن تا انتهای خط یا محل ایستگاه بستگی دارد. هنگامی که فاصله فوق از حدود چند کیلومتر تجاوز نماید، سرعت افزایش موج تحت تاثیر پدیده های گوناگون بخصوص پدیده کرونا کاهش یافته، تخلیه آن توسط برقگیرهای فشار قوی ایستگاه امکان پذیر میگردد.

چنانچه تخلیه در مجاور ایستگاهها و در فاصله ۲-۳ کیلومتر از انتهای خطوط بر سیمهای زمین و یا بدنه برجها صورت روی میدهد، بروز قوس برگشتی ولتاژ موجی با شیب بالا را به کندوکتورهای فاز منتقل میسازد. این موج به علت فاصله ناچیز تا ایستگاههای دو انتهای خط به طور کامل مستهلک نشده در محل ایستگاهها شیب قابل توجه معادل ۵۰۰-۱۰۰۰ کیلومتر بر میکروثانیه را دارا گردیده، برقگیرهای واقع در محل ایستگاهها ممکن است قادر به تخلیه این موجها نگردند.

(۳-۱) شرایط بروز قوس برگشتی

با تخلیه جوی بر سیمهای زمین و یا بدنه برجها، ولتاژ موجی بر طبق منحنی V_1 شکل ۱-۴ در نقطه T برج ظاهر میگردد. با توجه به ارتباط خازنی و القائی کندوکتورهای فاز با بدنه برج و یا سیم زمین، ولتاژ موجی مشابه با دامنه محدودتر به طور همزمان در سیمهای فاز القا میگردد، ولتاژ موجی القا شده در سیمهای فاز با منحنی V_2 نشان داده است. این ولتاژ در طرف خط زنجیر مفره (نقطه B شکل d ۱-۴) ظاهر میگردد.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آر م سایت و به همراه فونت های لازمه



شکل (۴-۱)

: برخورد

صاعقه و ایجاد ولتاژ موجی در نقطه راس و القاء شدن ولتاژ روی فاز و تلاقی منحنی بروز قوس با ولتاژ موجی

ایجاد شده و در نتیجه بروز قوس برگشتی

ضریب ارتباط دو ولتاژ موجی v_1, v_2 یا coupling factor معادل $0.15-0.25$ میباشد. به طوری که :

$$v_2 = (0.15-0.25) v_1 \quad \text{رابطه (۱-۱) :}$$

ولتاژ ظاهر شده در طول زنجیر مقرر عبارت از تفاضل لحظه ای دو ولتاژ فوق یا $v = v_2 - v_1$ میباشد.

برطبق شکل b ۴-۱ تغییرات ولتاژ v کاملاً مشابه تغییرات دو ولتاژ v_1 و v_2 بوده، مقدار آن در فاصله زمانی

پیشانی موج افزایش می یابد. هنگامی که دامنه ولتاژ موجی v از ولتاژ 0.50% بروز قوس در طول زنجیره مقرر

یا U_{BIL} تجاوز نماید، قوس برگشتی را سبب میگردد. با بروز قوس برگشتی در لحظه t_1 قسمت اعظم بارهای

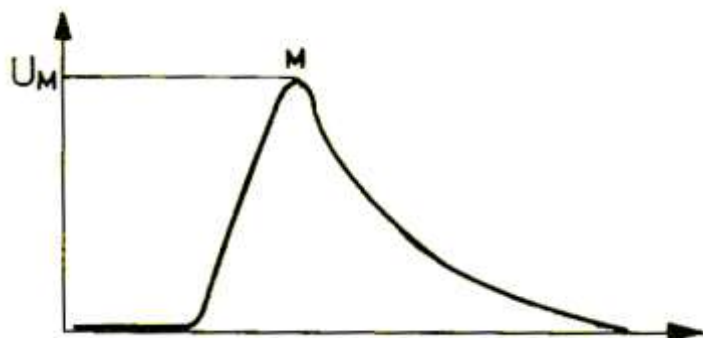
الکتریکی تخلیه جوی از طریق قوس به سیمهای فاز منتقل گشته، ولتاژ نقطه B به طور لحظه ای از منحنی

V_2 به منحنی V_1 منتقل میگردد. بدین ترتیب منحنی ولتاژ موجی ظاهر شده در پی بروز قوس برگشتی در

سیمهای فاز بر طبق شکل C ۴-۱ منحنی پررنگ خواهد شد.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آر م سایت و به همراه فونت های لازمه

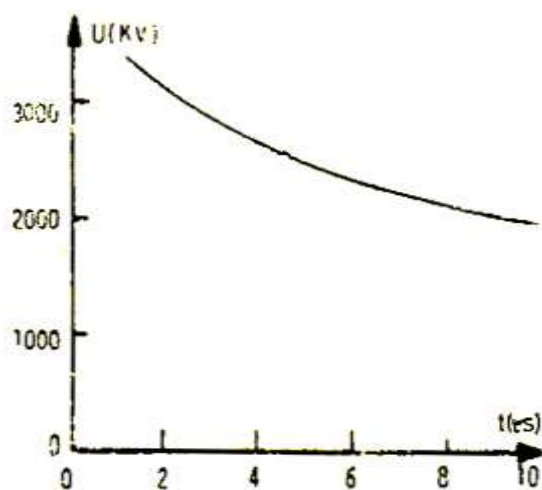
در خطوط انتقال انرژی با ولتاژ بالا ($U > 700 \text{ KV}$) به علت طول بلند مقره ها، ضریب ارتباط ولتاژهای V_1 و V_2 ناچیز بوده، ولتاژ القاء شده در سیمهای فاز نزدیک به خط مستقیم رسم میگردد. همچنین احتمال بروز قوس در حدود لحظه حداکثر موج یا U_{max} بیشتر خواهد بود. در این صورت منحنی ولتاژ موجی ظاهر شده در سیمهای فاز در پی بروز قوس در طول زنجیر مقره بر طبق شکل زیر رسم شده، نشان داده میشود.



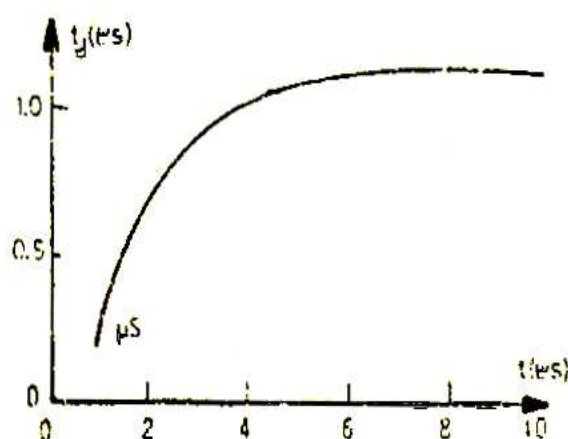
شکل (۱-۵): منحنی ولتاژ موجی

لحظه قوس بروز قوس در ولتاژهای بالاتر از 700 kv

دامنه و زمان پیشانی موج ظاهر شده در سیمهای فاز به خصوصیات موج اصلی V_1 و لحظه بروز قوس برگشتی بستگی دارند. در اشکال ۱-۶ و ۷-۱ دامنه و زمان پیشانی موج ظاهر شده در سیمهای فاز پس از بروز قوس برگشتی بر حسب خصوصیات موج V_1 داده شده اند به طوری که مشاهده میگردد با افزایش زمان پیشانی موج از دامنه موج کاسته گشته بر زمان پیشانی آن افزوده میگردد.



شکل (۱-۷): کاهش دامنه موج ولتاژ



شکل (۱-۶): افزایش زمان پیشانی موج

موجی

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

در منحنیهای فوق قوس برگشتی قبل از لحظه ماکزیمم موج اصلی روی داده است. با توجه به آنچه که اشاره

گردیده و بر طبق اشکال ۱-۴ و ۱-۵ شرط بروز قوس برگشتی بر طبق رابطه زیر نوشته میشود:

$$V = V_2 - V_1 \geq U_{BIL} \quad \text{رابطه (۱-۲):}$$

U_{BIL} سطح ولتاژ اصلی ایزولاسیون زنجیر مفره در قبال ولتاژهای موجی که با مقدار ۵۰٪ بروز قوس مشخص

میگردد. چنانچه اختلاف ولتاژ ظاهر شده بین دو انتهای زنجیر مفره با منحنی V و ولتاژ ۵۰٪ بروز قوس

زنجیر مفره با امتداد D بر طبق شکل ۱-۸ رسم گردند، هنگامی که منحنی V ، امتداد D را قطع

میسازد، قوس برگشتی در طول زنجیر مفره روی میدهد. لحظه بروز قوس در این شکل با t_1 مشخص گردیده

است. چنانکه مشاهده میگردد، با جابجایی امتداد فوق و یا تغییر سرعت افزایش موج لحظه بروز قوس تغییر

مینماید (اشکال ۱-۸ و ۱-۹).

با توجه به اشکال فوق به منظور جلوگیری از بروز قوس برگشتی لازم است ولتاژ موجی ظاهر شده در طول

زنجیر مفره (منحنی V)، امتداد D مربوط به منحنی ولت-ثانیه بروز قوس را قطع نسازد. این منظور به طرق

زیر امکان پذیر میگردد:

۱- ولتاژ بروز قوس در طول زنجیر مفره جابجا شده به منحنی بالاتر منتقل گردد. به طوری که احتمال تلاقی

منحنی V با امتداد D کاهش یابد، به عنوان مثال چنانچه منحنیهای D_3 و D_4 به عنوان منحنیهای ولتاژ

بروز قوس زنجیر مفره انتخاب گردند. از احتمال بروز قوس کاسته شده، منحنی V و منحنی ولتاژ بروز قوس

در دفعات کمتر یکدیگر را قطع خواهند ساخت (شکل ۱-۸).

۲- حتی الامکان از شیب منحنی V کاسته گردد، به طوری که فاصله زمانی لازم جهت تلاقی منحنی V با

امتداد D افزایش یافته، فرصت کافی جهت انتقال بارهای الکتریکی انباشته شده در برج فراهم گردد

(شکل ۱-۹).

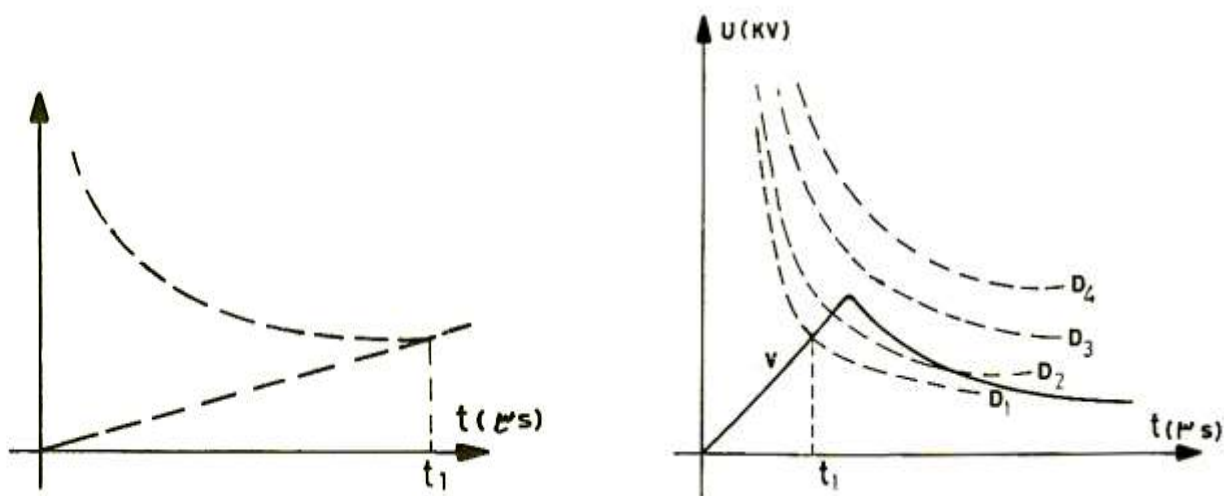
۳- شیب منحنی V به شیب منحنی V_1 بستگی داشته، با ایجاد مسیر مناسب جهت تخلیه بارهای الکتریکی

انباشته شده در برج، فاصله زمانی انتقال این بارها به زمین تا حد امکان کاهش یابند. به طوری که کلیه

بارهای الکتریکی ناشی از تخلیه جوی در فاصله زمانی پیشانی موج و یا فاصله زمانی $t_0 - t_1$ از طریق بدنه

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آر م سایت و به همراه فونت های لازم

برج و سیستم زمین آن به زمین منتقل گردند. با انتقال کامل بارها در فاصله زمانی فوق منحنی موج ولتاژ V قبل از لحظه حداکثر خود و تلاقی با منحنی D کاهش می یابد.



شکل (۸-۱): افزایش منحنی بروز قوس و جلوگیری از بروز قوس شکل (۹-۱): نمایش شیب منحنی

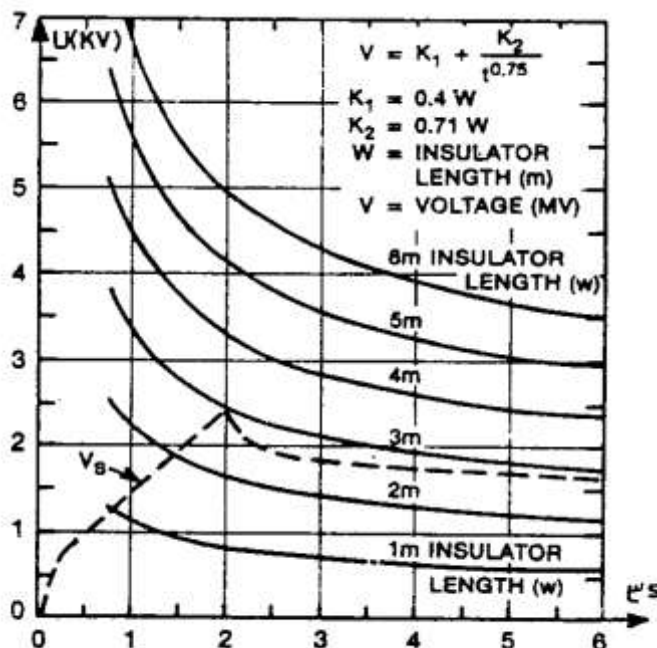
ولتاژ موجی

با توجه به سه بند فوق، افزایش ولتاژ ۵۰٪ بروز قوس، U_{BIL} در طول زنجیر مقره مطابق بند ۱ محدود می باشد. راه حل مناسب کاهش هر چه بیشتر شیب منحنی V می باشد، کاهش آن با انتقال کامل بارهای الکتریکی به زمین در فاصله زمانی پیشانی موج، قبل از نقطه حداکثر آن امکان پذیر می گردد. همچنانکه بررسی نمودیم، انتقال بارهای الکتریکی به زمین مستلزم ایجاد مسیرهای متعدد با حداقل مقاومت موجی می باشد.

(۴-۱) درصد بروز قوس برگشتی متناسب با ولتاژهای اسمی خط

در شکل ۱۰-۱ منحنی ولتاژ موجی ظاهر شده در طول زنجیر مقره، در پی تخلیه جوی مستقیم بر برج با منحنی خط چین نشان داده شده است. منحنی های ولت-ثانیه بروز قوس یا U_{BIL} برای مقره ها با طولهای مختلف از ۱ تا ۶ متر مشخص گردیده اند. مقره به طول ۱ متر در حدود ولتاژهای ۱۳۲-۶۳ کیلو ولت و مقره به طول ۶ متر در حدود ولتاژهای ۴۰۰-۵۰۰ کیلو ولت صدق مینماید.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم



شکل (۱-۱) :

نمایش چگونگی افزایش طول مقره و

جلوگیری از بروز قوس

چنانکه ملاحظه میگردد، در ولتاژهای اسمی

محدود (مقره ها با طول کوتاه ۱-۳ متر)

منحنی ولت - ثانیه زنجیر مقره به سهولت توسط ولتاژهای موجی حاصل از تخلیه جوی بر بدنه برج قطع شده، قوس برگشتی را سبب می گردد. با افزایش ولتاژ اسمی خط و جابجایی منحنیهای بروز قوس متناسب با افزایش طول مقره، امکان قطع این منحنیها توسط ولتاژهای موجی دشوار گردیده، احتمال بروز قوسهای برگشتی کاهش می یابند. به دلیل فوق درصد بروز قوسهای برگشتی در حدود ولتاژهای اسمی محدود، $U \leq 132$ کیلو ولت بیش از ولتاژهای بالا باشد.

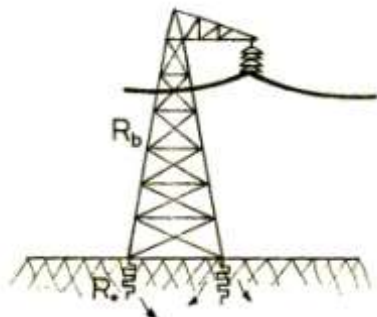
متقابلاً به علت افزایش حجم، ارتفاع و ابعاد برجها و واقع گردیدن در نقاط کوهستانی خطوط انتقال انرژی بیش از بیش در معرض تخلیه های جوی الکتریکی واقع می گردند.

(۱-۵) مسیر جریان تخلیه موجی به زمین

انتقال جریانهای موجی به زمین در پی تخلیه جوی الکتریکی بر هر قسمت از خطوط انتقال انرژی شامل سیمهای فاز، سیمهای زمین و برجها از طریق بدنه برجها و نقطه اتصال آنان به زمین صورت میپذیرد. مقاومت مسیر جریان موجی را به زمین، مقاومت بدنه برجها R_B و مقاومت زمین آنان R_0 تشکیل می دهد. در هنگام برقراری جریانهای موجی این کمیات مشخصات موجی را دارا می گردند.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

در شکل ۱۱-۱ مقاومت بدنه برج با R_b و مقاومت سیستم اتصال زمین آن با R_0 نشان داده شده اند. در پی برقراری جریان موجی با دامنه i_0 ولتاژ موجی ظاهر شده V_1 در نقطه A بر روی برج از رابطه زیر بدست می آید.



رابطه (۱-۳) :

$$V_1 = i_0 (R_0 + R_b) \quad (1)$$

شکل (۱-۱۱) : نمایش مقاومت بدنه برج و زمین

چنانکه ملاحظه می شود با افزایش این مقاومت ها بر دامنه ولتاژ V_1 افزوده گشته ، امکان بروز قوس برگشتی در طول زنجیر مقره فراهم میگردد. افزایش مقاومت مسیر جریان موجی به مفهوم ایجاد مانع در انتقال بارهای الکتریکی به زمین تعبیر میگردد. منظور از ایجاد مانع در مسیر انتقال بارها ، عدم امکان انتقال آنان در فاصله زمانی پیشانی موج یا کسری از میکرو ثانیه می باشد. انتقال بارها در مسیر جریان موجی و با توجه به مقاومت آن ، مشابه عبور افراد با سرعت زیاد از یک معبر تنگ با ظرفیت محدود میباشد. چنانچه عبور بارها یا افراد از معبر یا درب عبوری در فاصله زمانی پیش بینی شده متناسب با سرعت جابجایی آنان امکان پذیر نباشد، تراکم افراد را پشت درب و فشار قابل توجه ناشی از آن را موجب میگردد. به منظور جلوگیری از تراکم بارها و کاهش دامنه ولتاژ موجی لازم است حتی الامکان مقاومت مسیر انتقال بارها کاهش یافته ، راه عبور بارها وسعت می یابد. به همین علت تخلیه بارهای الکتریکی در حداقل فاصله زمانی معادل زمان پیشانی موج با تامین حداقل مقاومت موج برای آن امکان پذیر میگردد.

با توجه به آنچه که بیان گردید، مهمترین و موثرترین طریق به منظور جلوگیری از بروز قوسهای برگشتی در طول خطوط انتقال انرژی ، کاهش مقاومت بدنه و زمین برجها میباشد. ذیلاً تاثیر کاهش مقاومتهاى فوق را در شرایط بروز قوسهای برگشتی مورد مطالعه قرار میدهیم.

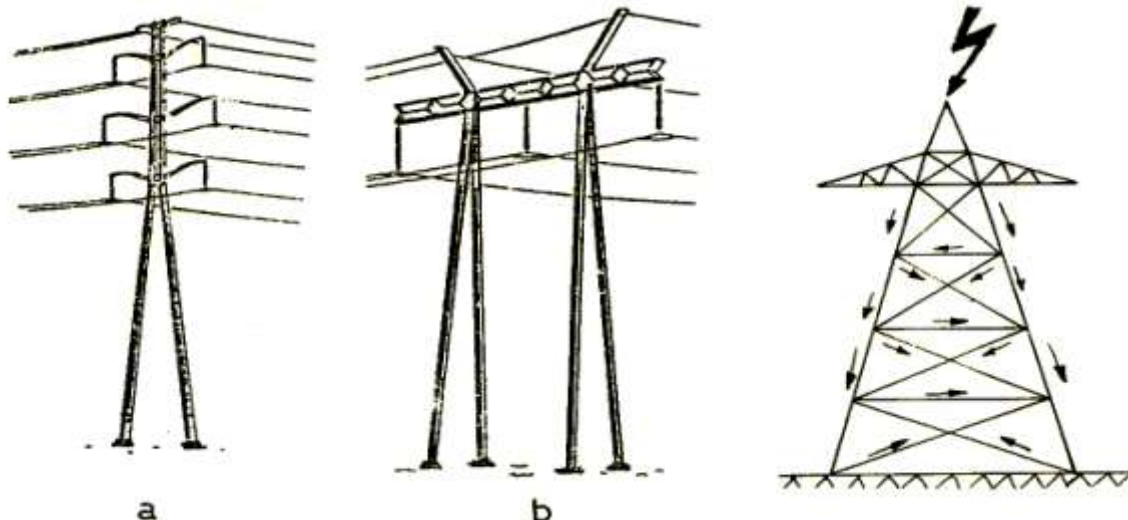
الف- تاثیر کاهش مقاومت بدنه برجها: مقاومت اهمی بدنه برجها به ازاء جریانهای فرکانس ۵۰ بسیار ناچیز بوده ، در حد قابل قبول واقع میباشد. در هنگام ظهور بارهای الکتریکی تخلیه جوی با فرکانس بسیار بالا ، با

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

خاصیت موجی ، انتشار بارها در طول بدنه برجها بر اساس قوانین انتشار موجها صورت گرفته ، توأم با انتشار و انعکاس متوالی موج در نقاط اتصال نبشی ها و بازوها به یکدیگر میباشد. انتشار و انعکاس متوالی موج در این نقاط مانع از تخلیه سریع بارهای الکتریکی گردیده، فاصله زمانی انتقال بارها را افزایش میدهد (۱-۱۲). همچنین فرکانس بالای موجها خاصیت القایی و خازنی بدنه برج را در مسیر جریان موجی با امپدانس موجی خود طبق رابطه $Z_b = \sqrt{\frac{L_b}{C_b}}$ مشخص میگردند، شکل خاص برجها با اسکلت فلزی متشکل از نبشیهها، بازوها و نقاط اتصال متعدد آنان ، مقاومت موجی این نوع برجها را در قبال جریانهای موجی تا مقدار قابل ملاحظه افزایش داده ، مانع از انتقال سریع بارها به زمین میگردد. چنانچه بدنه برج به صورت یکپارچه بدون نقاط انشعاب و اتصالات متعدد پیش بینی گردد، به طوری که امکان انعکاس و تقاطع موج در این نقاط موجود نباشد ، تخلیه بارها با سهولت بیشتر میسر گردیده، از درصد بروز قوسهای برگشتی کاسته می گردد. به همین علت برجها بدون اسکلت فلزی از نوع ستون مستقیم فولادی یا برجها با سیمهای مهاری امپدانس موجی ناچیز را نسبت به برجها با اسکلت فلزی ظاهر می سازند. یک نمونه از برجها به صورت ستونهای فولادی در شکل ۱-۱۳ و برجها به شکل ۷ با سیمهای مهاری در شکل ۱-۴۷ نشان داده شده اند. این نوع برجها حداقل مقاومت موجی را عرضه می سازند. در برجهای مهاری قسمت عمده از بارهای الکتریکی تخلیه جوی انباشته شده در بدنه برجها از طریق سیمهای مهاری به زمین تخلیه می گردند.

نظر به اهمیت و نقش مقاومت موجی برجها در بروز قوسهای برگشتی ، بررسی شکل برجها و تاثیر آن را در مقاومت موجی به طور جداگانه بحث خواهد شد.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه



شکل (۱-۱۳): نمایش برجها به صورت

شکل (۱-۱۲): نمایش انعکاس متوالی موجها

ستونهای فولادی

انتشار موج در طول برج و به سمت زمین بر طبق قوانین موجهای حرکتی صورت گرفته، درصد انعکاس و انتشار موج به امپدانس موجی برج بستگی خواهد داشت، چنانچه از انعکاس موج در محل اتصال بازوها و نبشی ها صرف نظر نمائیم، انعکاس اصلی موج در محل اتصال آن به زمین روی خواهد داد. موج منعکس شده بدنه برج را طی نموده، به بارهای الکتریکی ظاهر شده در نقطه رأس برج افزوده گشته، دامنه ولتاژ را در نقطه رأس به طور قابل توجه افزایش می دهد، به همین علت حداکثر دامنه ولتاژ موجی به فاصله چند دهیم میکرو ثانیه پس از تخلیه جوی در نقطه رأس آن ظاهر می گردد. همچنین در نقطه انتهای بازوها و محل اتصال زنجیرهای مقره، ولتاژ موجی حداکثر خواهد بود، با توجه به آنچه که بیان گردید شکل و دامنه ولتاژهای موجی ناشی از تخلیه جوی در قسمتهای مختلف برج متفاوت میباشند و حداکثر دامنه ولتاژ موجی در نقطه رأس برج T و نقاط انتهائی بازوها ظاهر می گردد.

ولتاژهای موجی ظاهر شده در انتهای بازوها، معمولاً متفاوت از یکدیگر می باشند. این تفاوت از مسیر انتشار موج، امپدانس موجی آن و خصوصیات نقاط انعکاس نتیجه میگردد. در شکل ۱-۱۴ ولتاژ حاصل از تخلیه جوی مستقیم بر انتهای برج T_1 و ولتاژهای ظاهر شده در طول زنجیر مقره و بازوهای سه فاز با A, B, C,

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

نشان داده شده اند. برطبق شکل فوق ولتاژ در انتهای بازوی فاز A بیش از ولتاژ حاصل در بازوی فاز C بوده است.

ب- تاثیر مقاومت اتصال زمین برجها: مقاومت اتصال زمین برجها را مقاومت محل اتصال و تماس نبشی به

زمین تشکیل می دهد. مقاومت زمین برجها بستگی به نوع فونداسیون وسعت آن، کیفیت سطح تماس

فونداسیون با خاک، مقاومت مخصوص خاک و سیستم زمین پیش بینی شده جهت برج دارد، در زمینهای

مرطوب مقاومت زمین برج حداقل و در زمینهای خشک حداکثر می باشد. مشخصات خاک و مقاومت

مخصوص آن با توجه به تنوع مسیر خط در طول آن متغیر و متفاوت بوده، بر حسب محل برج مقدار آن

تغییر می نماید. معمولاً حدود مقاومت زمین برجها برای یک خط معین، بر حسب مشخصات جوی منطقه

بر آورده گردیده، در صورت تجاوز مقاومت برجها از حدود فوق، با انجام پیش بینی های خاص نسبت به

کاهش آنان اقدام میگردد. منجمله سیستم زمین مخصوص جهت هر یک از برجها طرح ریزی می گردد.

این سیستم اتصال بهتر برج و ۴ نبشی فونداسیون آن را به زمین عملی میسازد. سیستم زمین برجها به طرق

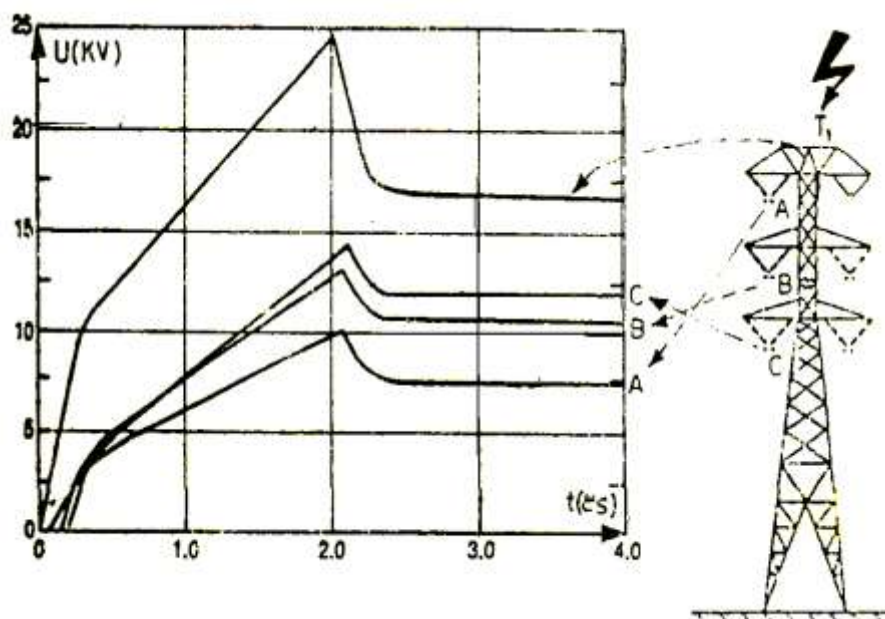
گوناگون طرح ریزی می گردند. در ساده ترین حالت از آرماتورهای واقع در داخل فونداسیون بتنی ۴ پایه

برج و ۴ نبشی متصل به آنان، به عنوان سیستم زمین برج و مسیر مناسب انتقال بارهای الکتریکی به زمین

استفاده می شود. در پاره ای موارد به منظور اتصال بهتر و مطمئن تر چهار نبشی برج به آرماتورهای آن

تسمه های مسی در داخل بتن پیش بینی میگردد.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آر م سایت و به همراه فونت های لازمه



شکل (۱-۱۴): نمایش ولتاژهای موجی ایجاد شده روی تک تک فازها

مقاومت زمین برجها که به ترتیب فوق بر حسب طرح سیستم زمین آنان حاصل می گردد، بر حسب ولتاژ خط در حدود ۵-۳۰ اهم تغییر می نماید. به علت کیفیت خاک و میزان بارندگی مقاومت زمین برجها در طول سال ثابت نبوده در فاصله وسیع تغییر می نماید. مقاومت زمین مناسب برجها معادل مقدار حداکثر آن در طی تغییرات سالانه انتخاب می گردد.

مقاومت برجها در محل اتصال آنان به زمین یا مقاومت زمین برجها^۱ که به طور خلاصه با (TFR) نشان داده میشود. مقاومت زمین برجها TFR در خطوط انتقال انرژی از اهمیت ویژه برخوردار می باشد. نحوه کار خطوط انتقال انرژی و کار مرتب و منظم آنان، به طوری که حداقل تعداد قطعی ها در هنگام بروز عیوب گذرا در خط ظاهر گردند، تنها با توجه به مقاومت زمین برجها و انتخاب مقدار مناسب این مقاومت امکان پذیر می گردد.

با توجه به طول قابل توجه خطوط انتقال انرژی و تعداد بسیار زیاد برجها طرح سیستم زمین مناسب با مقاومت زمین قابل توجه جهت هر یک از برجها هزینه بسیار بالای خط را سبب می گردد. به همین علت پیش بینی مقاومت زمین مناسب برجها و طرح سیستم زمین آن به طوری که با حداقل هزینه همراه بوده،

^۱: Tower footing resistance

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

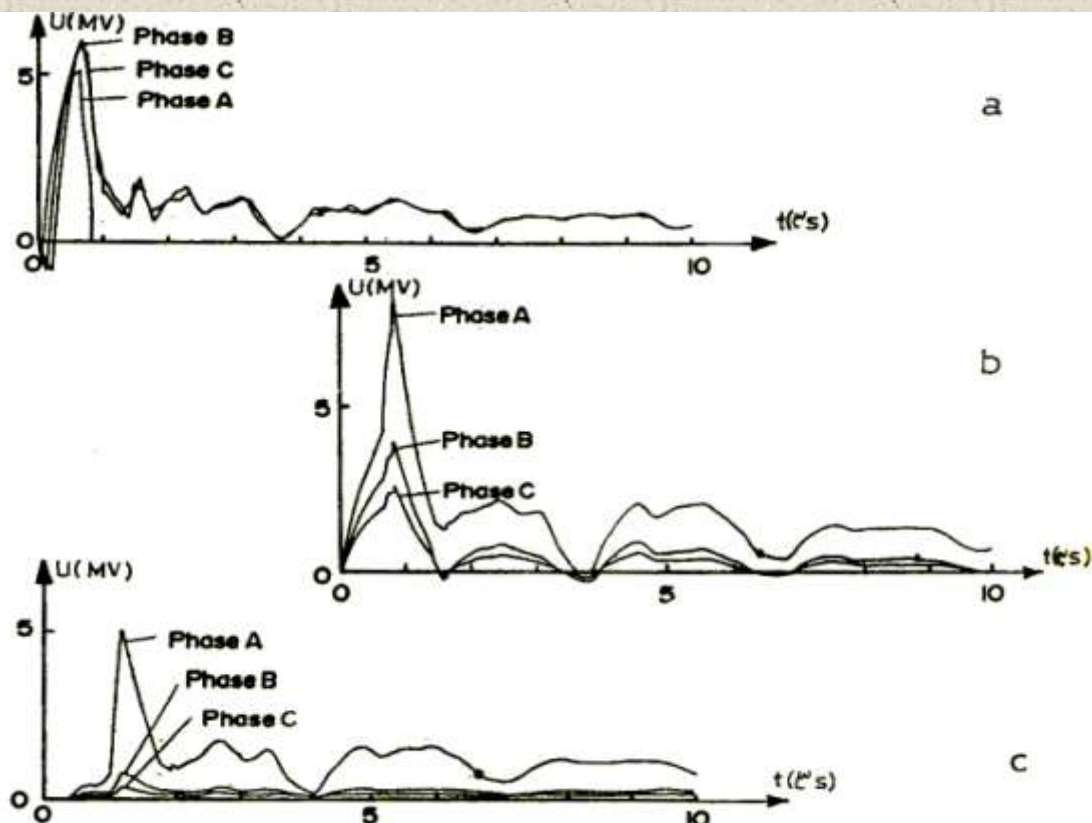
و همچنین درصد بروز قوسهای برگشتی از مقدار مجاز تجاوز ننماید. قسمت عمده از امور مهندسی و طراحی های خطوط انتقال انرژی را تشکیل می دهد. در اکثر موارد مشخصات مناسب خاک و سطح تماس فونداسیون با آن، به طور طبیعی مقاومت زمین قابل قبول برجهای را تامین ساخته، نیازی به انجام پیش بینی های خاص جهت کاهش مقاومت زمین برجهای نخواهد بود. متقابلاً هنگامی که زمین مقاومت مخصوص بالا را نظیر زمینهای خشک و یا صخره ای دارا بوده، درصد تخلیه جوی منطقه یا سطح کرینک نیز قابل توجه باشد طرح سیستم زمین برجهای و تامین مقاومت زمین حداقل بخش اساسی از طرحهای خطوط انتقال انرژی را تشکیل می دهد.

۱-۱) مثال ۱-۶

در این مثال شکل و منحنی ولتاژهای موجی ظاهر شده در سه فاز در محل ایستگاه، در پی بروز قوس برگشتی در برجهای مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته اند. شمای برجهای خط در شکل ۱-۱۴ نشان داده شده است. موقعیت فازها بر روی برج در امتداد قائم بوده اند. در پی تخلیه جوی مستقیم بر نقطه رأس برج T_1 ، ولتاژهای موجی با دامنه های متفاوت در انتهای بازوهای سه فاز در محل اتصال مقرر شده ظاهر گردیده اند. ولتاژهای موجی متفاوت در انتهای بازوها، ولتاژهای موجی مختلف را در پی بروز قوس برگشتی در فازها موجب میگردند. هنگامی که نصب فازها بر روی برج در امتداد قائم صورت گرفته باشد، اختلاف دامنه ولتاژهای موجی ناشی از بروز قوس برگشتی قابل ملاحظه خواهند بود.

در شکل a ۱-۱۵ منحنی ولتاژی موجی ظاهر شده در طول زنجیر مقرر سه فاز در هنگام تخلیه جوی مستقیم بر نقطه رأس برج مشخص گردیده اند. در شکل b ۱-۱۵ منحنی ولتاژهای موجی حاصل از بروز قوس برگشتی در سه فاز A, B, C در محل برج، و در شکل c ۱-۱۵ منحنی ولتاژهای موجی فوق پس از انتشار در طول خط و در محل ورود به ایستگاه نشان داده شده اند.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم



شکل (۱-۱۵): نمایش ولتاژهای ظاهر شده در طول زنجیر مقرر هنگام تخلیه جوی و هنگام بروز قوس و

پس از بروز قوس

به علت نزدیک بودن بازوی A به نقطه رأس برج، ولتاژ حاصل در طول زنجیر مقرر و فاز A متصل به آن به طور قابل ملاحظه بیش از دو فاز دیگر بوده است. دامنه ولتاژهای موجی سه فاز با استفاده از منحنیهای فوق در شکل ۱-۱۶ برده شده اند. سه امتداد A, B, C دامنه ولتاژهای موجی ظاهر شده در بازوها و کندوکتورهای سه فاز را در پی بروز قوس برگشتی از انتهای بازوها به سیمهای فاز مشخص می سازند. امتداد T ولتاژهای ظاهر شده بر روی برج را در محل بازوها، امتداد P بر روی کندوکتورهای فاز و امتداد S در محل ایستگاه نشان می دهند.

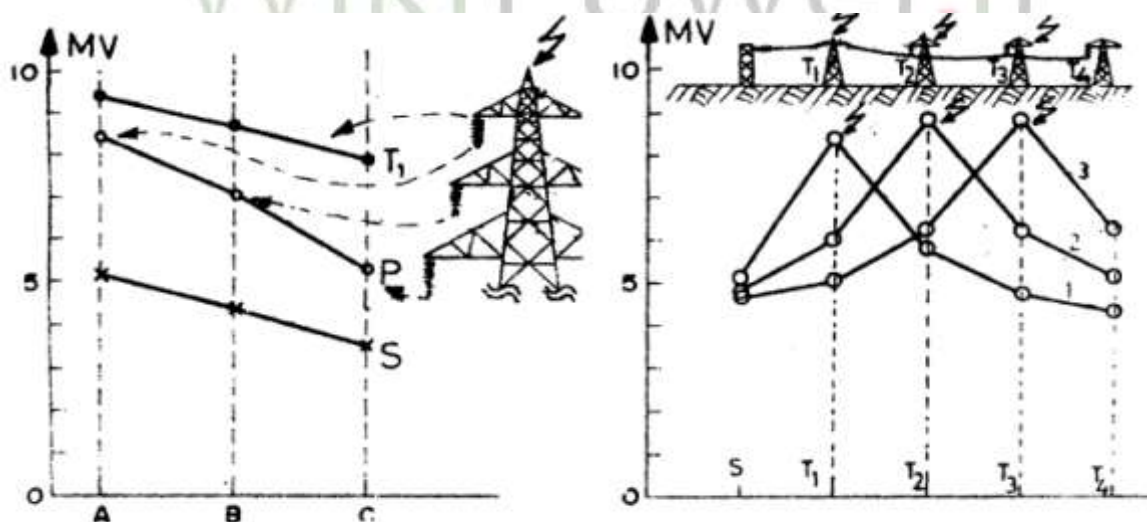
در شکل ۱-۱۷ تغییرات دامنه ولتاژهای موجی ظاهر شده در فاز A در پی تخلیه جوی مستقیم بر چهار برج انتهایی خط و بروز قوس برگشتی در آنان نشان داده شده است. منحنی ۱ تغییرات دامنه ولتاژ موجی فاز A را پس از بروز تخلیه جوی مستقیم بر اولین برج و قوس برگشتی در فاز A مشخص می سازد. دامنه ولتاژ موجی در محل قوس برگشتی (برج T_1) حداکثر معادل $8/5$ M.V بوده، با انتشار موج به سمت ایستگاه و در

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

طول خط از دامنه موج کاسته گردیده در محل ایستگاه به حدود ۵/۱ بالغ میگردد. در منحنی ۲ دامنه موج حاصل از تخلیه جوی و بروز قوس برگشتی در برج T_2 نشان داده شده است. دامنه ولتاژ در محل برج حداکثر معادل ۹ M.V و در محل ایستگاه معادل ۴/۹ M.V بوده است. در منحنی ۳ بروز قوس برگشتی در برج شماره ۳ نشان داده شده است. دامنه ولتاژ موجی در فاز A در محل برج معادل ۹ M.V بوده که در محل ایستگاه تا حدود ۴/۶ کاهش یافته است. چنانکه دیده میشود، تغییرات دامنه موج در محل ایستگاه در پی تخلیه جوی مستقیم و بروز قوس برگشتی در برجهای اول، دوم، سوم خط محدود بوده، در فاصله ناچیز ۴/۶-۵/۱ تغییر می نماید.

در آزمایشات فوق خط تحت ولتاژ سینوسی فرکانس ۵۰ قرار نداشته، منحنیهای ولتاژ موجی بدون در نظر گرفتن ولتاژ سینوسی خط بر آورد و رسم گردیده اند.

تاثیر وجود ولتاژ سینوسی خط در دامنه ولتاژهای موجی ظاهر شده فاز A در پی بروز قوس برگشتی در اولین برج از ایستگاه در شکل ۱-۱۸ نشان داده شده است. در امتداد SP دامنه ولتاژ موجی با ولتاژ فرکانس ۵۰ هم جهت، در امتداد OP در خلاف جهت، و در امتداد O، قوس برگشتی هم زمان با لحظه صفر ولتاژ سینوسی روی داده است. امتدادهای T, S, P در شکل ۱-۱۸ مشخص گردیده اند.



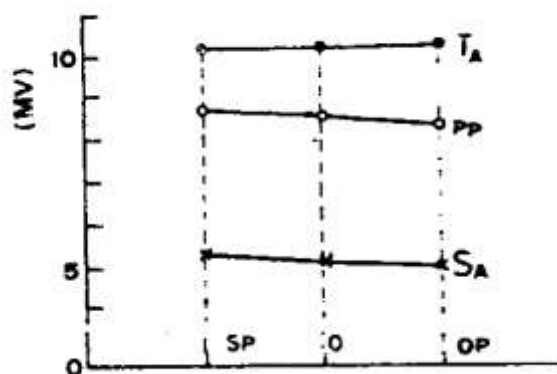
شکل (۱-۱۶): دامنه ولتاژ در

شکل (۱-۱۷): استهلاک پیدا کردن ولتاژهای موجی در خطوط

برج و فازها

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

چنانکه ملاحظه می شود، ولتاژ سینوسی خط و لحظات مختلف بروز قوس برگشتی، در دامنه ولتاژهای موجی ظاهر شده تاثیر محسوسی نداشته، در هر سه امتداد SP، O، و OP، دامنه ولتاژها مقادیر مشابه و نزدیک به هم را دارا می باشند.



شکل (۱۸-۱):

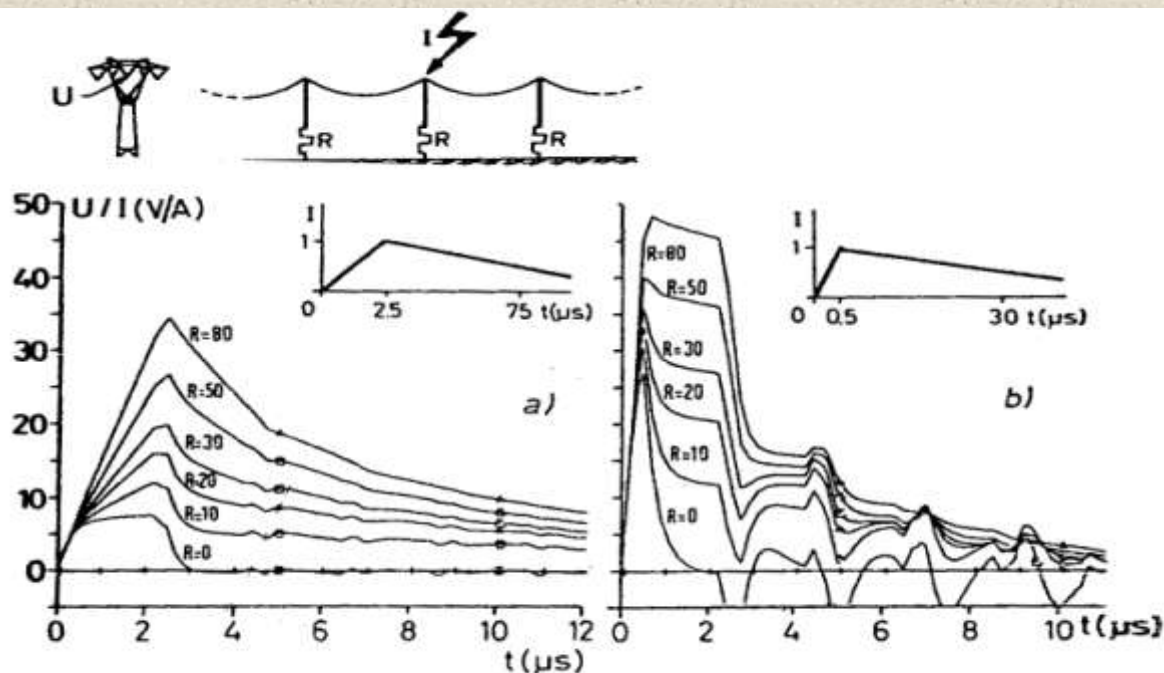
نمایش دامنه ولتاژ موجی در طول زنجیر مفره و فازها، هنگام کاملاً سینوسی بودن ولتاژ خط

(۷-۱) بررسی تاثیر مقاومت زمین برجهها در شکل ولتاژ موجی

مهمترین کمیت موثر در ظهور ولتاژهای موجی با دامنه بالا در برج، مقاومت زمین نامناسب آن می باشد، مقاومت زمین برج تحت تاثیر شرایط جوی منطقه، نوع زمین، موقعیت برج نوع فوندانسیون و نحوه تماس آن با زمین قرار گرفته تغییر می نماید. به همین علت تهیه طرح مناسب سیستم زمین برجهها، قبل از همه به مشخصات خاک و موقعیت برج بستگی دارد.

در شکل ۱۹-۱ یک نمونه از تاثیر مقاومت زمین برج مربوط به خط ۳۸۰ کیلو ولت در فرانسه نشان داده شده است.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آر م سایت و به همراه فونت های لازمه



شکل (۱۹-۱): نمایش تاثیر مقاومت زمین برج در زمانهای پیشانی متفاوت

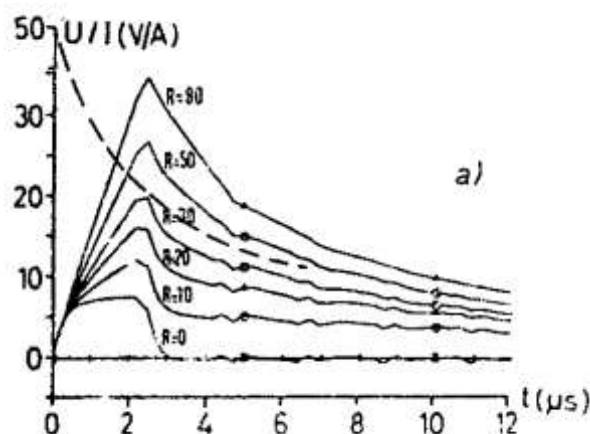
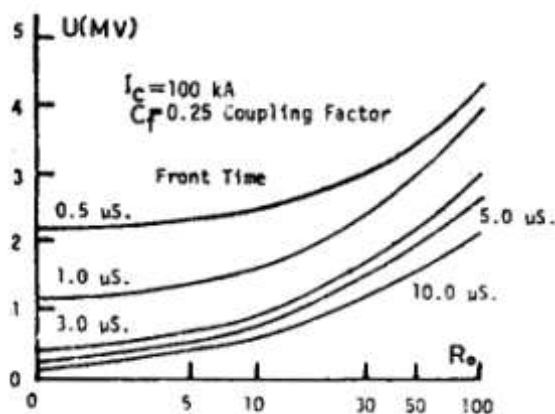
منحنیها به ازاء مقادیر مختلف مقاومت زمین برجهارسم گردیده اند، ولتاژ موجی حاصل از اولین تخلیه در یک تخلیه کلی یا صاعقه، زمان پیشانی $2/5$ میکرو ثانیه و تخلیه های متوالی بعدی زمان پیشانی $0/5$ میکرو ثانیه را دارا بوده اند. نمای ظاهری برج و مقاومت زمین آن R_0 در اشکال a و b شکل ۱۹-۱ موج تخلیه به ترتیب برای اولین تخلیه و تخلیه های متوالی بعدی به ازاء مقادیر مختلف مقاومت زمین برج داده شده اند، چنانکه ملاحظه می گردد، با کاهش مقاومت زمین برج از شیب و دامنه ولتاژموجی ظاهر شده در برج کاسته گردیده است. به عنوان مثال برای اولین تخلیه و به ازاء مقاومت زمین 50 اهم (شکل a ۱۹-۱)، سرعت افزایش موج معادل $10 \text{ kV}/\mu\text{s} = \frac{25}{2.5}$ و به ازاء و مقاومت زمین 20 اهم معادل $7 \text{ kV}/\mu\text{s} = \frac{15}{2.5}$ بوده است، چنانچه از ولتاژ موجی القا شده در سیمهای فاز صرف نظر گردد.

ولتاژهای موجی ظاهر شده در بدنه برج V_1 بر طبق منحنیهای شکل ۱۹-۱ و به ازاء مقادیر مختلف مقاومت زمین برج بروز قوس برگشتی را در طول زنجیر مقره سبب می گردند. می توان حداکثر مقاومت زمین قابل قبول برج را به طوری که قوس برگشتی در طول زنجیر مقره روی ندهد تعیین نمود، منحنی ولت - ثانیه بروز قوس در طول زنجیر مقره مطابق شکل ۱-۲۰ رسم می گردد، بر طبق آن چنانچه مقاومت زمین برج از

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

حدود ۲۰ اهم تجاوز نماید، ولتاژ موجی ظاهر شده بر روی برج منحنی ولت-ثانیه ایزولاسیون خط را قطع نموده، شرایط بروز قوس برگشتی را در طول زنجیر مقرر، به ازای موج جریان تخلیه جوی فراهم می سازد. جریان موجی حاصل از تخلیه جوی بر روی برج می باشد این جریان موجی با توجه به مقاومت زمین برج R_0 ، ولتاژ موجی V_1 را بوجود می آورد، برطبق شکل فوق تغییرات دامنه موج بر حسب مقاومت زمین در منحنیهای مختلف بستگی به زمان پیشانی موج دارد، چنانچه دامنه ولتاژ موجی بر حسب مقاومت زمین برج رسم گردد، منحنیهای شکل ۱-۲۱ حاصل میگردند. این منحنیها به ازای زمانهای پیشانی مقاومت برای موج رسم گردیده اند. چنانکه ملاحظه میگردد، با افزایش مقاومت زمین برج، دامنه موج نیز افزایش یافته، درصد بیشتری از ولتاژهای موجی ظاهر شده بر روی بدنه برج، منحنی ولت-ثانیه بروز قوس در طول زنجیر مقرر را قطع نموده، بر احتمال بروز قوسهای برگشتی افزوده می گردد، همچنین کاهش سطح ایزولاسیون خط درصد بروز قوسهای برگشتی را بر طبق رابطه ۱-۴ افزایش می دهد.

$$V_1 - V_2 \geq \text{رابطه (۱-۴)} : (U_{BIL} = U_{\%50})$$



شکل (۱-۲۰): بروز قوس در مقاومت های بالای ۲۰ اهم

شکل (۱-۲۱): افزایش زمان پیشانی موج به علت افزایش مقاومت سیستم زمین

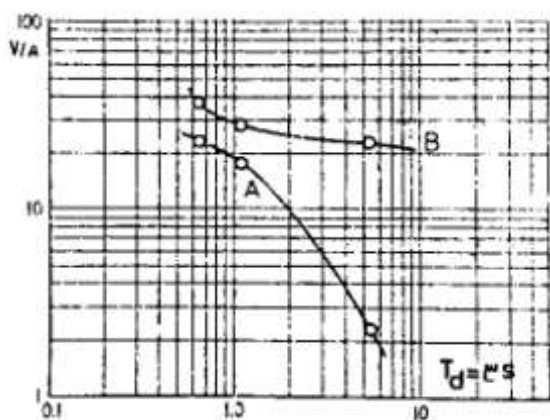
برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

در منحنیهای ارائه شده بر طبق شکل ۱-۲۲ دامنه ولتاژ موجی ظاهر شده در طول زنجیر مقره V_1-V_2 =
 V بدنبال تخلیه جوی بر برج با مقاومت زمین صفر در منحنی A و با مقاومت زمین اهم $5=R_0$ در منحنی
 B بر حسب زمان پیشانی موج داده شده است.

در این شکل دامنه ولتاژ موجی بدنه برج به صورت کیلو ولت بر کیلو آمپر جریان موجی KV/KA مشخص گردیده است. به عنوان مثال با تخلیه جریان موجی با دامنه ۱۲۰۰ کیلو آمپر و زمان پیشانی $2\mu S$ بر طبق منحنیهای A و B ، ولتاژ موجی ظاهر شده در بدنه برج بر حسب جریان موجی تخلیه به ترتیب معادل ۵ کیلو ولت بر کیلو آمپر و ۱۱/۱ کیلو ولت بر کیلو آمپر نتیجه می گردد. در این صورت ولتاژ کلی ظاهر شده بر بدنه برج خواهد بود.

$$1200 \times 11/1 = 13200 \text{ KV}$$

$$1200 \times 5 = 6000 \text{ KV}$$



شکل (۱-۲۲):

نمایش دامنه ولتاژ به ازای مقاومت زمین صفر و ۵ اهم

(۱-۸): جریان حد بروز قوس برگشتی

شرایط بروز قوس برگشتی به شرح زیر تعیین میگردد:

$$V_1 - V_2 \geq U_{BIL} \quad \text{رابطه (۱-۵):}$$

V_1 : ولتاژ موجی ظاهر شده در طرف زنجیر مقره بر روی برج

V_2 : ولتاژ موجی القا شده در سیم فاز

U_{BIL} : ولتاژ ۵۰٪ بروز قوس یا سطح ایزولاسیون زنجیر مقره

ولتاژ V_2 با توجه به ضریب ارتباطی با ولتاژ V_1 به شرح زیر نوشته می شود:

$$V_2 = C_f V_1 \quad \text{رابطه (۱-۶):}$$

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

C_f : ضریب القائی بین سیمهای زمین و سیمهای فاز

شرایط حد بروز قوس برگشتی به ازای برقراری رابطه (4-1) $V_1 - V_2 = U_{\%50}$ ظاهر میگردد لذا رابطه قبل در

شرایط حد به شکل زیر نوشته می شود:

$$V_1 - C_f V_1 = U_{BIL} \quad \text{رابطه (۷-۱)}$$

$$C_f (1 - V_1) = U_{BIL} \rightarrow V_1 = \frac{U_{BIL}}{1 - C_f} \quad \text{رابطه (۸-۱)}$$

به طور خلاصه قوس برگشتی در طول زنجیر مقره هنگامی روی میدهد که ولتاژ ظاهر شده در بدنه از نسبت $\frac{U_{BIL}}{1 - C_f}$ تجاوز نماید.

ولتاژ حاصل در بدنه برج با توجه به مقاومت بدنه آن R_b و مقاومت زمین برج R_0 به ازاء جریان تخلیه جوی i_{oc} ظاهر گردیده و به صورت رابطه (۳-۱) نوشته میشود.

جریان به دست آمده از رابطه فوق به عنوان جریان حد بروز قوس برگشتی BF موسوم میباشد:

$$U_{BIL} \rightarrow \frac{U_{BIL}}{(R_0 + R_b)(1 - C_f)} = R_0 + R_b \quad \text{رابطه (۹-۱)}$$

بر طبق رابطه فوق هنگامی که دامنه جریان تخلیه موجی i_0 از جریان حد i_{oc} تجاوز نماید، قوس برگشتی در طول زنجیر مقره روی می دهد. به همین علت کاهش درصد بروز قوسهای برگشتی با افزایش جریان حد i_{oc} امکان پذیر میگردد. به منظور تعیین نحوه افزایش جریان حد i_{oc} تغییرات کمیات فوق را مورد مطالعه قرار می دهیم.

- ولتاژ ۵۰٪ بروز قوس در طول زنجیر مقره متناسب با ولتاژ اسمی خط بوده ، افزایش آن فاصله ایزولاسیون بیشتر را سبب گردیده ، بر طول بازوها ، حجم و وزن برج می افزاید. لذا انتخاب مقادیر بالای آن مقرون به صرفه نمی باشد.
- ضریب القائی خط با توجه به خاصیت خازنی فازها یا فواصل ایزولاسیون آنان از یکدیگر و از تصویر الکتریکی خط برآورد می گردد. لذا به شکل ابعاد و موقعیت کندوکتورهای بر روی برج بستگی خواهد داشت. به عنوان مثال برای برج نشان داده شده در شکل ۱-۲۳ و تصویر الکتریکی آن بر طبق رابطه زیر محاسبه می گردد.

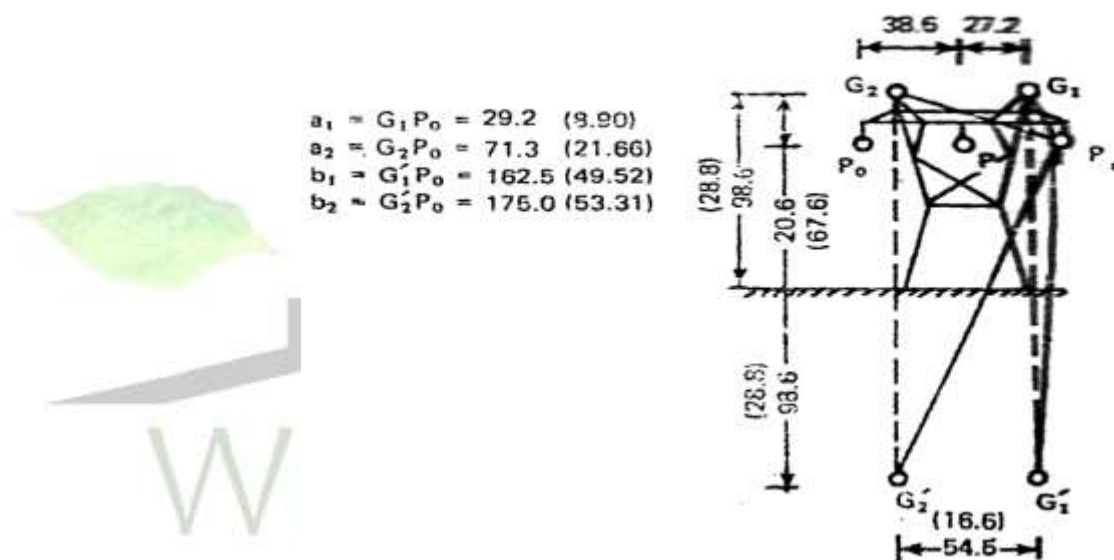
برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آر م سایت و به همراه فونت های لازم

$$C_f = \frac{50}{2Z_n} \log \frac{b_1 b_2}{a_1 a_2} \quad \text{رابطه (۱۰-۱)}$$

Z_n : امپدانس موجی معادل خطوط زمین، برای خط مجهز به دو سیم زمین خواهد بود.

$$Z_g = \frac{1}{2} Z_n \quad \text{رابطه (۱۱-۱)} \quad Z_g: \text{امپدانس موجی هر یک از سیمهای زمین}$$

فواصل b_2, b_1, a_2, a_1 در شکل ۱-۲۳ مشخص گردیده اند. به علت تفاوت ارتفاع نصب سیمهای فاز از زمین و از یکدیگر، فواصل b_2, b_1, a_2, a_1 در طول خط ثابت نبوده، در فواصل برجهای تغییر مینماید. شرایط فوق موجب میگردند تا شکل ولتاژ موجی ظاهر شده در طول خط در فاصله برجهای ثابت نبوده، تغییر نماید.



شکل (۱-۲۳): نمایش ابعاد برج و موقعیت کندوکتورها و تصویر الکتریکی

روش دیگر جهت محاسبه ضریب ارتباط C_f بر طبق

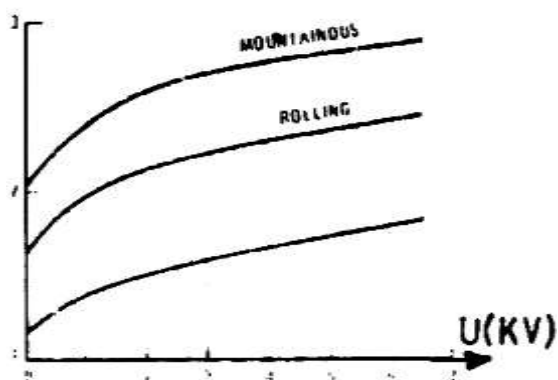
شکل ۱-۲۴ می باشد. در این شکل مقدار ضریب فوق بر

حسب ولتاژ حد کرنا برای سیم زمین و موقعیت

جغرافیائی خط داده شده است. سه منحنی F, R, M

به ترتیب برای مناطق کوهستانی، مناطق تپه و ماهور و

مناطق بیابانی رسم گردیده اند.



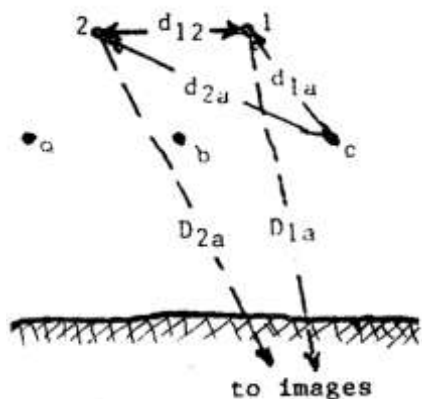
شکل (۱-۲۴): نمایش ضریب ارتباط خازنی بر حسب موقعیت جغرافیائی

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

رابطه مورد استفاده جهت رسم منحنیهای فوق به شرح زیر می باشد:

$$C_f = \frac{Z_{1a} + Z_{2a}}{Z_{12}} \quad \text{رابطه ۱۲-۱}$$

مقادیر Z_{1a} ، Z_{2a} و Z_{12} به شرح روابط زیر و شکل ۱-۲۵ محاسبه میگردند.



Z_{1a} : امپدانس القائی بین سیم فاز و سیم زمین شماره ۱

Z_{12} : امپدانس سیمهای فاز

Z_{2a} : امپدانس القائی بین سیم فاز و سیم زمین شماره ۲

$$Z_{1a} = 60 \ln \frac{D_{1a}}{d_{1a}} \quad \text{رابطه ۱۳-۱}$$

$$Z_{2a} = 60 \ln \frac{D_{2a}}{d_{2a}} \quad \text{رابطه ۱۴-۱}$$

$$Z_{12} = 60 \ln \frac{D_{12}}{d_{12}} \quad \text{رابطه ۱۵-۱}$$

شکل (۱-۲۵): نمایش فاصله فازها

در این محاسبات ضریب فوق با توجه به پدیده کرنا و تغییر شکل قطر کندوکتور تحت تاثیر آن برآورد و

محاسبه گردیده است. با بروز پدیده کرنا همزمان با انتشار موج در طول سیم زمین، قطر کندوکتور به قطر

کاذب D تغییر نموده، ضرایب القائی Z_{1a} و Z_{2a} و Z_{12} مقادیر متفاوت نسبت به شرایط عادی را دارا میگردند. بدین ترتیب ضریب ارتباط C_f تحت تاثیر پدیده کرنا ظاهر میگردد. ولتاژ حد مربوط به بروز پدیده

کرنا در سیمهای زمین با توجه به ابعاد و اندازه های سیم زمین در ردیف مشخصات آن ارائه میگردد.

افزایش این ضریب بر مقدار جریان حد I_{oc} افزوده، احتمال بروز قوس برگشتی را کاهش

می دهد. کمیت اصلی حائز اهمیت در رابطه فوق، مقاومت مسیر انتقال جریان موجی به زمین میباشد. در

هنگام تخلیه بر نقطه رأس برج بدون سیم زمین مقاومت مسیر جریان موجی شامل مقاومت بدنه برج و

مقاومت زمین آن R_0 می باشد.

مقاومت بدنه برج با امپدانس موجی آن Z_b مشخص میگردد. این امپدانس بستگی به نوع برج، شکل آن

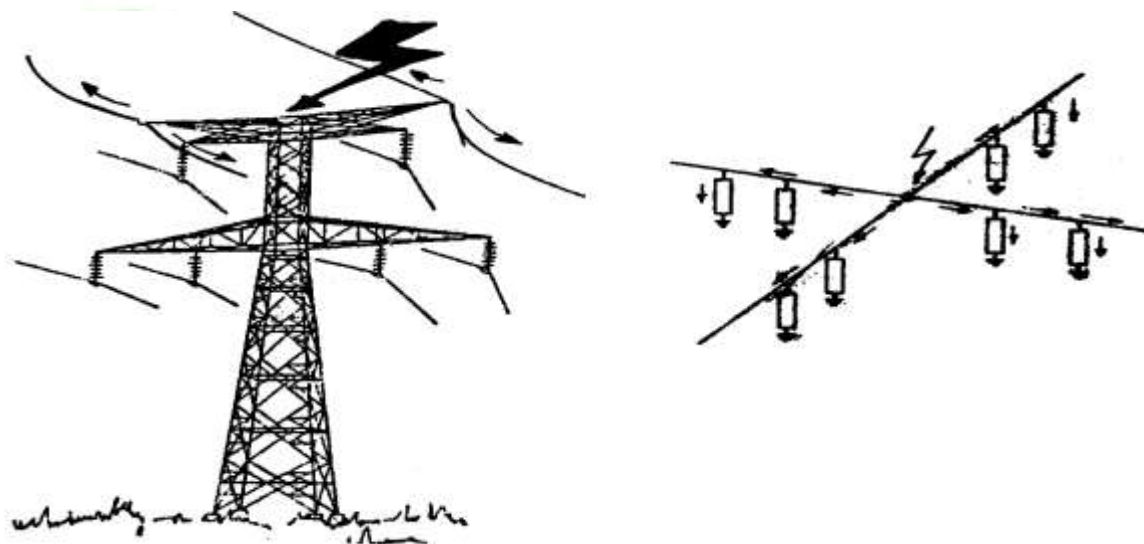
، تعداد بازوها، و نبشی ها خواهد داشت. به همین علت مقدار آن در خطوط با برجهای به اشکال گوناگون

متفاوت بوده در بحث بعدی جداگانه آن را بررسی خواهیم نمود. همچنانکه شرح داده شد مقاومت زمین برج

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

یا R_0 با توجه به نحوه اتصال الکتریکی آن به زمین و مشخصات طبیعی زمین در محل نصب برج تعیین میگردد. مقدار آن در نحوه انتقال بارها و شرایط بروز قوس برگشتی نقش اساسی داشته، کاهش هر چه بیشتر آن درصد بروز قوسهای برگشتی را به طور قابل ملاحظه تقلیل می دهد.

عملاً برجها مجهز به سیمهای زمین بوده، کلیه برجها از طریق این سیمها دارای اتصال الکتریکی بیکدیگر می باشند. اتصال الکتریکی برجها از طریق سیمهای زمین موجب میگردد تا مقاومت زمین معادل و قابل قبول جهت کلیه برجها حاصل گردد. در این حالت با ظهور بارهای الکتریکی تخلیه جوی در هر یک از برجها، این بارها از طریق ۴ مسیر مربوط به دو سیم زمین به سایر برجها منتقل می گردند (شکل ۱-۲۶). به طوری که با اتصال الکتریکی کلیه برجها امپدانس موجی مسیر بارها بر طبق مدار معادل بیش از پیش کاهش می یابند (شکل ۱-۲۷).



شکل (۱-۲۶): تقسیم شدن ولتاژ موجی به ۴ قسمت

شکل (۱-۲۷): کاهش پیدا کردن امپدانس موجی

چنانچه امپدانس موجی هر یک از برجها و سیم زمین خط معادل Z_1 فرض میگردد، در این صورت با توجه به تعداد سیمهای زمین خط و با تقریب کافی امپدانس معادل خط خواهد بود:

$$Z_n = Z_1 \frac{1}{4} \quad \text{رابطه (۱-۱۶):}$$

امپدانس موجی Z_1 در هر مسیر انتقال بارها به زمین شامل: مقاومت سیم زمین، مقاومت بدنه برج و مقاومت زمین آن R_0 می باشد. برای خط با مشخصات معین، مقاومت بدنه برج ثابت بوده، تنها مقاومت زمین

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

R_0 قابل تغییر و کنترل می باشد. در شکل ۱-۲۸ تغییرات این امپدانس بر حسب مقاومت زمین برجهای داده

شده است. چنانکه ملاحظه میگردد، با افزایش مقاومت زمین برجهای، امپدانس موجی ظاهر شده در رابطه

جریان حد:

$$= i_{OC} \frac{U_{BIL}}{Z_n(1-c_f)} \quad \text{رابطه (۱-۱۷)}$$

افزایش یافته، جریان حد قوس برگشتی کاهش می یابد، به طوری که بر درصد بروز قوسهای افزوده میگردد.

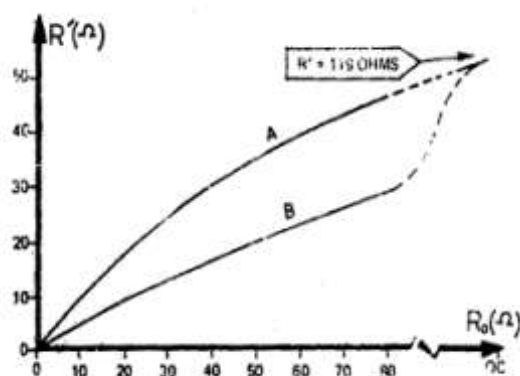
منحنیهای A و B امپدانس موجی ظاهر شده در مسیر انتقال بارها را به ترتیب در صورت تخلیه بر برج و یا

سیم زمین مشخص می سازند. به عنوان مثال چنانچه مقاومت زمین چند برج واقع در مجاور یکدیگر معادل

۲۰ اهم فرض گردد، بر طبق شکل فوق امپدانس موجی ظاهر شده در مسیر انتقال بارها در صورت تخلیه بر

برج معادل ۱۸ اهم و تخلیه بر سیم زمین معادل ۱۰

اهم خواهد بود.



شکل (۱-۲۸): نمایش امپدانس موجی در دو صورت تخلیه برج و سیم زمین

بر طبق منحنیهای فوق هنگامی که مقاومت زمین هر یک از برجهای تا مقدار قابل توجه $R \geq 100$ اهم افزایش

یابد، امپدانس های یکسان و مشابه در هر دو حالت تخلیه نتیجه می گردند. در این صورت درصد بروز

قوسهای برگشتی در پی تخلیه بر برجهای و یا بر سیم زمین یکسان خواهد بود.

مقاومت زمین برجهای بر حسب درصد قابل قبول قوسهای برگشتی بر آورد و محاسبه میگردد. به علت تغییر

مقاومت مخصوص خاک در طول خط، مقاومتهای زمین متفاوت جهت برجهای حاصل میگردد. در قسمتهایی

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

از خط که مقاومت زمین طبیعی برج بیش از مقدار مورد نظر می باشد، با ارائه طرحهای مناسب مقاومت زمین برج تا مقدار لازم کاهش داده می شود. با ارائه این طرحها مقاومت زمین برجهای تا حدود یک اهم و یا کمتر از آن می تواند تقلیل یابد. مقاومت زمین برجهای در خطوط انتقال انرژی بر حسب ولتاژ خطوط و خصوصیات تخلیه جوی منطقه در حدود ۵-۳۰ اهم تغییر می باشد.

تعداد ۲-۴ برج واقع در ابتدا و انتهای خطوط و برجهای واقع در نقاط کوهستانی و مرتفع شرایط استثنائی را دارا بوده، مقاومت آنان تا حد امکان کاهش داده می شوند. آنچه که در این قسمت مورد بررسی قرار گرفت شرایط بروز قوس برگشتی را در طول زنجیر مقرر شامل می گردند، در حالی که بروز قوس برگشتی در حد فاصل برجهای، در فاصله هوایی سیمهای زمین و سیمهای فاز نیز امکان پذیر بوده از اهمیت ویژه برخوردار میباشد.

(۹-۱) : قوس برگشتی ناشی از تخلیه جوی مستقیم بر سیمهای زمین

سطح محافظت ارائه شده سیم زمین و بدنه فلزی برجهای به فاصله S از آنان بر طبق امتداد هاشور خورده رسم می گردد، سطح برخورد برجهای منحنی B از سطح فوق را شامل گردیده، این منحنی طول d از سیمهای فاز را نیز محافظت می نماید. جریانهای پیشرو وارد شده در فضای منحنی M با طول سایه m تخلیه جوی بر سیم زمین را در حد فاصل دو پایه موجب می گردند. به علت حجم و ارتفاع قابل توجه برجهای، بارهای الکتریکی در آنان انباشته گردیده، احتمال تخلیه بر بدنه برجهای بیش از احتمال تخلیه بر سیمهای زمین در فاصله M می باشد (شکل ۱-۲۹).

حال شرایط بروز قوس برگشتی را در پی تخلیه جوی مستقیم بر سیمهای زمین در طول M مورد مطالعه قرار می دهیم.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

در صورت تخلیه جوی مستقیم بر سیمهای زمین در حد فاصل برجها به طول M ، جریان تخلیه با دامنه $\frac{1}{2}$ جریان تخلیه اصلی، در دو جهت از محل تخلیه در طول سیم زمین منتشر می گردد. دامنه ولتاژ موجی منتشر شده در طول سیم زمین با توجه به امپدانس موجی آن Z_g و دامنه جریان موجی خواهد بود:

$$V = \left(Z_g - \frac{1}{2} \right) I$$

ولتاژ موجی ظاهر شده در سیمهای زمین در رابطه فوق، مشابه ولتاژ حاصل از تخلیه جوی مستقیم بر سیمهای فاز طبق رابطه $Z_{oi} \frac{1}{2}$ میباشد. انتشار موج در سیمهای زمین با پدیده های متفاوت از سیمهای فاز همراه بوده، انتشار موج در این سیمها با خصوصیات زیر صورت می پذیرد.

۱- امپدانس موجی سیم زمین نسبت به سیمهای فاز و یا بدنه برجها بالا بوده، در صورت تخلیه جوی مستقیم بر این سیمها دامنه ولتاژ موجی بیش از تخلیه بر سایر قسمتهای خط افزایش می یابد. به عنوان مثال امپدانس موجی سیمهای فاز، سیمهای زمین و بدنه برجها در خط ۵۰۰ کیلو ولت مجهز به برجها با نصب افقی فازها طبق شکل ۱-۳۰ به شرح زیر می باشند:

سیمهای فاز ۳۰۰ اهم

سیمهای زمین ۴۸۰ اهم

بدنه برج ۱۴۰ اهم

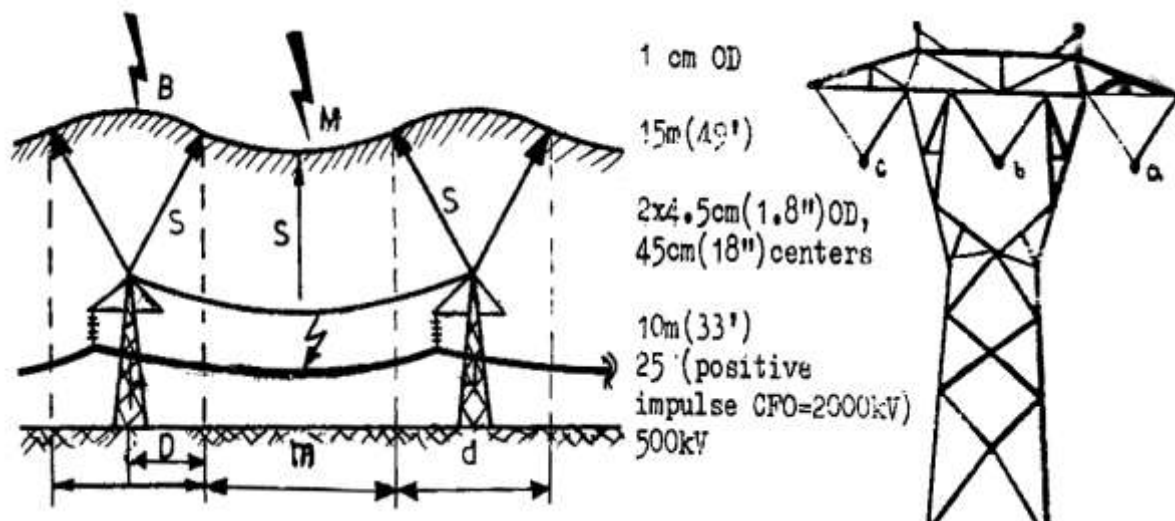
تغییرات امپدانس های موجی به شرح فوق در خطوط با ولتاژهای اسمی متفاوت از حدود $\pm 5\%$ تجاوز نمی نماید.

چنانکه ملاحظه می شود، امپدانس موجی سیمهای زمین در حدود $1/5$ برابر بیش از امپدانس موجی

سیمهای فاز می باشد. لذا دامنه ولتاژ موجی ظاهر شده در سیمهای زمین نیز به همین نسبت بیش از ولتاژ

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

موجی ظاهر شده در سیمهای فاز می باشد. شرایط فوق احتمال بروز قوس برگشتی را در فاصله هوای



شکل (۱-۲۹): نمایش محافظت خطوط توسط سیم زمین

شکل (۱-۳۰): نمایش نصب افقی فازها

سیمهای فاز و سیمهای زمین افزایش می دهند، ولی به علت طول بیشتر فاصله هوایی ایزولاسیون در حد فاصل برجها نسبت به طول زنجیر مقرر، درصد احتمال بروز قوسهای برگشتی در این فاصله افزایش محسوس نشان میدهند.

۲- سرعت استهلاک موج در طی انتشار آن در طول سیمهای زمین، بسیار بالا بوده، دامنه موج به سرعت کاهش می یابد. در سیمهای زمین ولتاژ حد پدیده کرنا به مراتب کمتر از ولتاژ مربوط به آن برای سیمهای فاز میباشد. همچنانکه اشاره گردید، ولتاژ حد پدیده با توجه به شدت میدان الکتریکی حاصل در سطح کندوکتور تعیین میگردد، شدت میدان با قطر کندوکتور نسبت عکس داشته، در سیمهای زمین با قطر کمتر نسبت به سیمهای فاز، ولتاژ حد پدیده کاهش می یابد. همچنین در سیمهای فاز ولتاژ حد پدیده با انجام پیش بینیهای لازم نظیر نصب کندوکتورهای فرعی و رشته ای بودن آنان افزایش داده شده است. به علت ناچیز بودن ولتاژ حد پدیده کرنا در سیمهای زمین، پدیده همزمان با تخلیه بارهای الکتریکی روی داده، شرایط استهلاک موج را به سرعت فراهم میسازد. به طوری که استهلاک موج در فاصله چند صد متر از نقطه تخلیه بارها روی می دهد.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

۳- به علت وجود ضریب ارتباط قابل توجه سیمهای زمین و سیمهای فاز C_f و ظهور موج القاء شده در سیمهای فاز، شرایط استهلاک موج در طی انتشار آن در طول سیمهای زمین بیش از بیش فراهم میگردد. به ضریب C_f و نحوه برآورد آن قبلاً اشاره گردید.

۴- با توجه به پدیده های اشاره شده در سه بند ۱ و ۲ و ۳ موج حاصل از تخلیه بر سیمهای زمین، به سرعت مستهلک گردیده، احتمال بروز قوسهای برگشتی ناشی از تخلیه جوی بر سیمهای زمین در محل برج بسیار ناچیز خواهد بود. متقابلاً امکان بروز قوس برگشتی در حد فاصل برجها، در فاصله هوای سیمهای فاز و زمین وجود خواهد داشت. در شکل ۱-۳۱ بروز قوس برگشتی در فاصله M بدنبال تخلیه جوی مستقیم بر سیمهای زمین نشان داده شده است. به طور کلی شرایط حاصل از تخلیه جوی مستقیم بر سیمهای زمین از نظر بروز قوس برگشتی به شرح زیر خلاصه می گردند.

الف- در صورت تخلیه جوی در حدود نقطه وسط حد فاصل برجها یا نقطه M' ، در فاصله $M_1 M_2$ انتشار موج در طول سیم زمین با استهلاک فوق العاده همراه بوده، موج قبل از رسیدن به محل برج تا حد قابل قبول مستهلک میگردد. در این حالت شرایط بروز قوس برگشتی در طول M و در فاصله هوایی سیمهای فاز و سیمهای زمین فراهم میباشند.

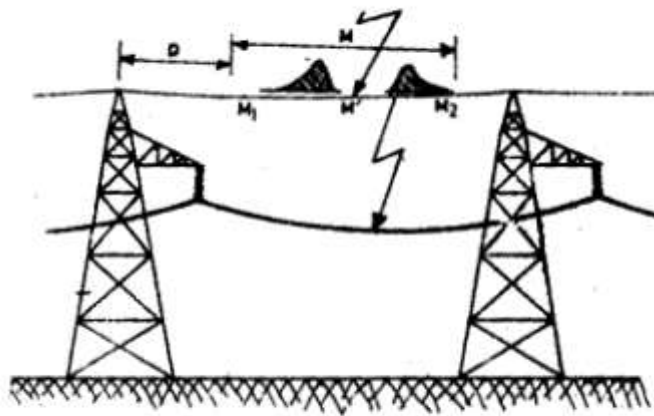
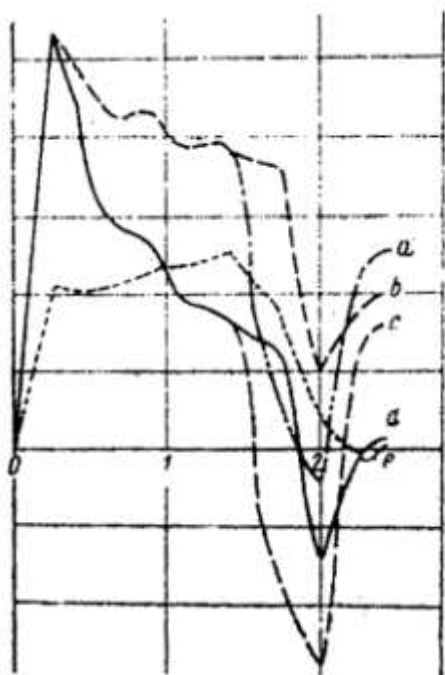
ب- در صورتی که تخلیه در فاصله D از سیم زمین واقع در مجاور برج روی دهد، استهلاک موج در طی انتشار آن در طول D امکان پذیر نبوده، احتمال ظهور ولتاژهای موجی در محل برج و قوس برگشتی در محل زنجیر مفره موجود می باشند.

با توجه به مراتب فوق تخلیه جوی مستقیم بر سیم زمین در طول D (شکل ۱-۲۹) ایده آل نبوده، تخلیه در طول M مناسب خواهد بود. ولتاژ موجی حاصل از تخلیه جوی در طی انتشار خود در این طول مستهلک میگردد. در شکل ۱-۳۲ منحنی ولتاژهای موجی ظاهر شده در نقطه رأس برج در پی تخلیه جوی مستقیم بر برج و یا سیم زمین در فاصله $2D$ به ازاء دو مقدار متفاوت مقاومت زمین برج داده شده است. در

منحنی a تخلیه بر سیم زمین در $\frac{1}{2}$ فاصله بین دو برج و در منحنی b تخلیه جوی مستقیم بر برج روی داده است. شرایط تخلیه در منحنیهای c و d مشابه شرایط تخلیه در منحنیهای a و b با مقاومت زمین

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آر م سایت و به همراه فونت های لازم

متفاوت بوده اند فاصله بین برجها ۲۷۵ متر و زمان پیشانی موج $2 \mu s$ بوده است. در این منحنیها افت ناشی از پدیده کرنا در نظر گرفته نشده است.



شکل (۱-۳۲): نمایش منحنی ولتاژ به ازاء دو مقدار متفاوت

شکل (۱-۳۱): بروز قوس بین سیم زمین و فاز

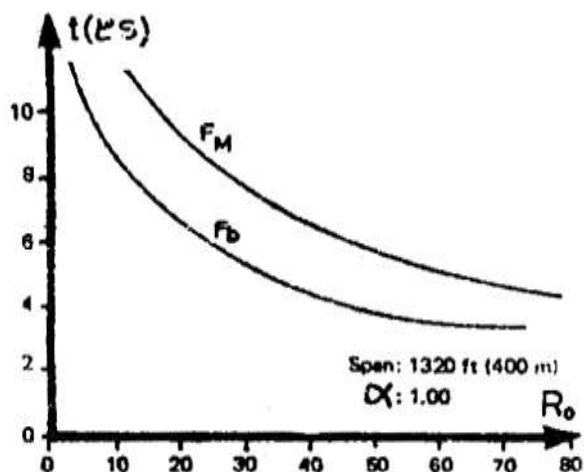
روی برج و در وسط برج

(۱-۱۰): شرایط بروز قوسهای برگشتی در فاصله هوایی سیمهای فاز و زمین

شرایط بروز قوسهای برگشتی در فاصله هوایی سیمهای فاز و سیمهای زمین واقع در بین برجها کاملاً مشابه شرایط بروز قوس در طول زنجیر مقره میباشد. در این حالت ولتاژ بروز قوس مربوط به فاصله هوایی سیم فاز و سیم زمین بیش از ولتاژ بروز قوس زنجیر مقره، خواهد بود. به همین ترتیب به علت فاصله بیشتر سیم فاز از سیم زمین نسبت به طول زنجیر مقره، منحنی ولت-ثانیه بروز قوس فاصله هوایی F_M بالاتر از

منحنی بروز قوس طول زنجیر مقره F_B واقع می

گردد (شکل ۱-۳۳).



شکل (۱-۳۳):

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

قرار گرفتن منحنی بروز قوس در فاصله هوای بالاتر از منحنی بروز قوس در طول زنجیر مقرر

شرایط فوق موجب میگردند تا در رابطه جریان حد i_{oc} مقدار U_{BIL} و جریان حد بروز قوس برگشتی افزایش یافته، احتمال بروز قوسهای برگشتی در فاصله بین برجها (شکل ۱-۳۱) نسبت به بروز قوس در طول زنجیر مقرر کاهش یابد.

(۱-۱۱) ارتباط جریان حد بروز قوس با شکل موج

شرایط بروز قوس برگشتی با رسم منحنی ولت - ثانیه زنجیر مقرر و منحنی ولتاژ موجی تعیین میگردد. در شکل ۱-۳۴ منحنی ولت - ثانیه بروز قوس با منحنی خط چین و ولتاژهای موجی ظاهر شده در طول زنجیر مقرر با ۱ و ۲ نشان داده شده اند. امکان بروز قوس برگشتی به موقعیت منحنی ولت - ثانیه و شیب ولتاژ موجی بستگی دارد. نقطه تقاطع موج ظاهر شده با منحنی ولت - ثانیه، ولتاژ بروز قوس و جریان موجی قوس را بر طبق رابطه زیر تعیین می نماید.

$$i_{oc} = \frac{V_{1max}}{Z_0 + Z_b} \quad \text{رابطه (۱-۱۹)}$$

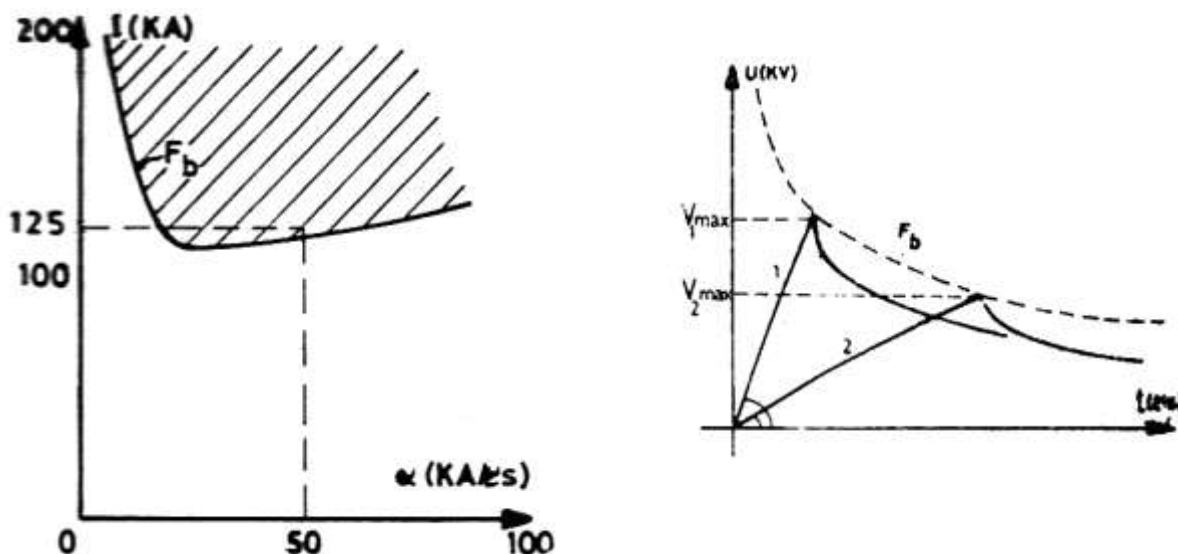
V_{1max} : ولتاژ بروز قوس زنجیر مقرر به ازاء موج فوق

Z_0 و Z_b : امپدانسهای موجی برج و سیستم زمین آن

به ازاء موجهای تخلیه جوی با شیبهای گوناگون مقادیر متفاوت جریانهای موجی بروز قوس حاصل میگردند. به عنوان مثال برای موج ۱ با شیب α_1 قوس برگشتی در ولتاژ V_{1max} روی داده، جریان مربوط به آن از رابطه قبل محاسبه میگردد. برای موج ۲ با شیب کمتر ($\alpha_2 < \alpha_1$)، قوس برگشتی به ازاء ولتاژ V_{2max} با جریان موجی محدودتر می دهد. این جریانها در حقیقت جریانهای حد بروز قوس برگشتی را برای موجها با شیبهای گوناگون مشخص میسازند. به عنوان مثال چنانچه دامنه موجها با شیب α_1 تا مقدار V_{1max} افزایش نیابد، جریان موجی کمتر از جریان حد i_{oc1} بوده قوس برگشتی روی نخواهد داد.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرمان سایت و به همراه فونت های لازم

چنانچه ملاحظه میگردد، جریانهای حد بروز قوس برگشتی، بستگی به شیب موج یا کیلو آمپر بر میکرو ثانیه خواهند داشت.



شکل (۱-۳۵): محدوده منحنی بروز قوس

شکل (۱-۳۴): منحنی بروز قوس با دو شیب ولتاژ موجی متفاوت

می توان تغییرات جریانهای حد یا دامنه جریانهای موجی بروز قوس را بر حسب شیب منحنیهای تخلیه

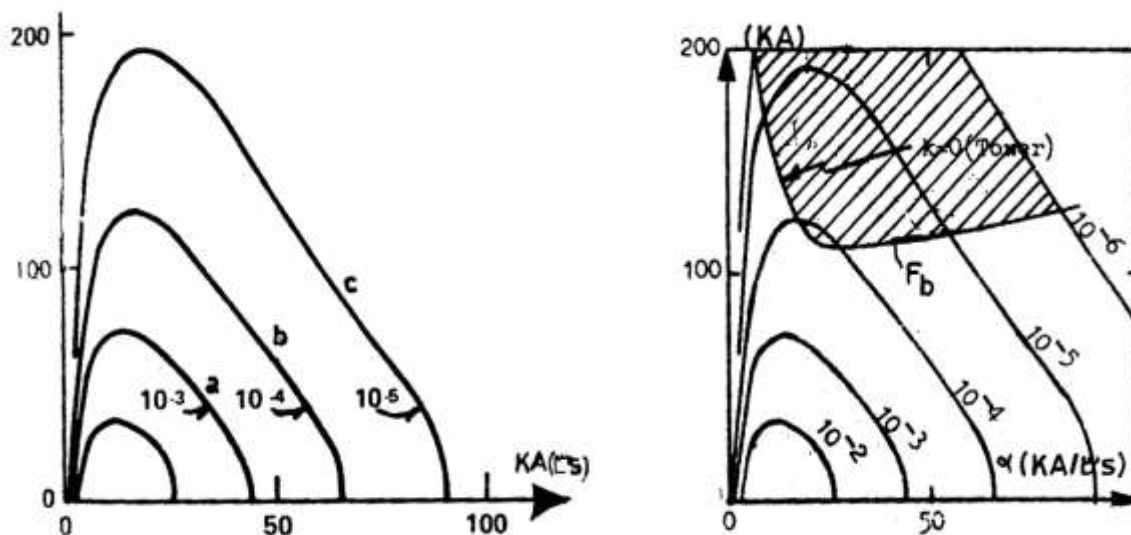
جوی یا کیلو آمپر بر میکرو ثانیه بر طبق شکل ۱-۳۵ رسم نمود. ناحیه هاشور خورده مشخصات مناسب موجهای جهت بروز قوس برگشتی را مشخص ساخته، منحنی F_b به عنوان منحنی حد محسوب میگردد. بر طبق آن چنانچه مشخصات موجهای از مقادیر تعیین شده توسط منحنی فوق تجاوز نماید قوسهای برگشتی در طول زنجیر مقرر رود خواهند داد.

به عنوان مثال چنانچه در موج با سرعت افزایش ۵۰ کیلو آمپر بر میکرو ثانیه، مقدار جریان موجی تخلیه از ۱۲۵ کیلو آمپر تجاوز نماید، قوس برگشتی در طول زنجیر مقرر روی خواهد داد. موقعیت منحنی حد F_b در شکل ۱-۳۵ به منحنی ولت-ثانیه زنجیر مقرر شکل ۱-۳۴ بستگی خواهد داشت.

مشخصات جریانهای موجی تخلیه جوی شامل دامنه و سرعت افزایش α ، با توجه به احتمال بروز آنان بر طبق منحنیهای a, b, c, d شکل ۱-۳۶ نشان داده میشود. احتمال درصد تخلیه در این منحنیها به ترتیب 10^{-3} و 10^{-4} ، 10^{-5} ، 10^{-6} می باشد. این منحنیها با منحنی حد بروز قوس برگشتی و سطح مربوط به آن در یک صفحه مشترک رسم شده مقایسه میگردد. (شکل ۱-۳۷). در شکل ۱-۳۷ چنانچه احتمال

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

تخلیه های جوی بر خط از حدود 10^{-4} (منحنی خط چین) تجاوز نماید شرایط بروز قوس برگشتی در خط فراهم میگردد.



شکل (۱-۳۷): درصد احتمال شکل (۱-۳۶): منحنی احتمال بروز قوس با توجه به دامنه و سرعت افزایش موج

چنانچه تخلیه جوی برسیمهای زمین در فاصله بین دو برج روی دهد، شرایط بروز قوس برگشتی در فاصله

هوایی ایزولاسیون سیمهای فاز و سیمهای زمین با توجه به منحنی ولت-ثانیه این فاصله هوایی تعیین

میگردد. در شکل ۱-۳۸ منحنیهای ولت - ثانیه بروز قوس زنجیر مقرر با F_b و فاصله هوایی با F_M نشان

داده شده اند. به علت فاصله ایزولاسیون بیشتر سیم فاز به سیم زمین نسبت به طول زنجیر مقرر، منحنی F_M

بالتر از منحنی F_b واقع میگردد.

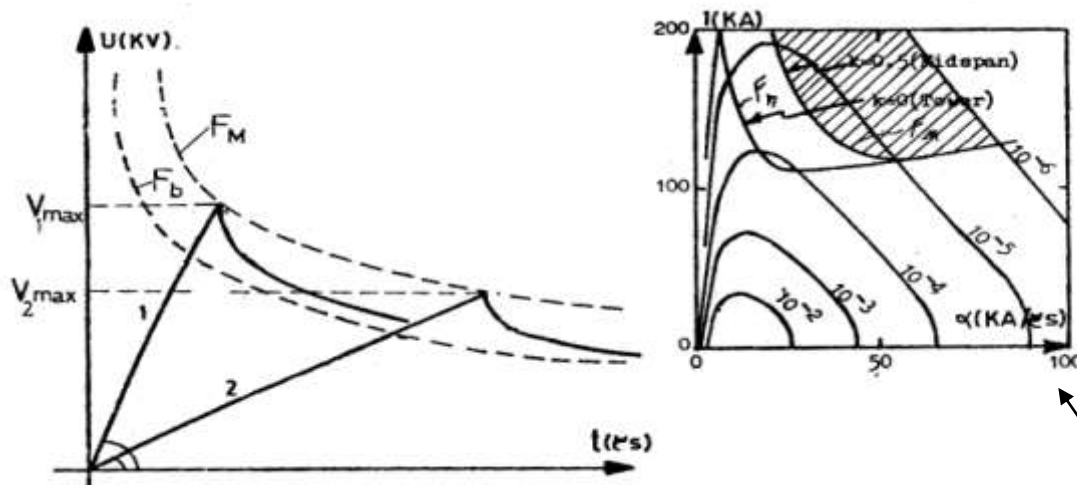
منحنی حد مشخصات موجها جهت بروز قوس برگشتی در این فاصله هوایی با تعیین نقطه تقاطع موجها با

منحنی ولت - ثانیه F_b برآورد میگردد (شکل ۱-۳۸). به همین ترتیب منحنیهای حد بروز قوس برگشتی در

فاصله هوایی سیم های فاز و سیمهای زمین با منحنی F_M در صفحه مختصات I- α شکل ۱-۳۹ نشان داده

می شود.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آر م سایت و به همراه فونت های لازمه



شکل (۱-۳۹): منحنی درصد احتمال همراه با منحنی بروز قوس در فاصله هوایی و طول زنجیر مفره

شکل (۱-۳۸): منحنی بروز قوس در فاصله هوایی و طول زنجیر مفره با دو شیب منحنی ولتاژ

ناحیه بروز قوسهای برگشتی را در فواصل هوایی ایزولاسیون سیمهای فاز و سیمهای زمین بر حسب

مشخصات موجهای تخلیه جوی مشخص میسازند. به طور کلی شرایط بروز قوسهای برگشتی با توجه به

مشخصات جریانهای موجی تخلیه و منحنیهای جریان حد قوس برگشتی شکل ۱-۳۹ تعیین میگردد. در این

منحنیها دامنه جریانهای موجی تخلیه جوی مناسب با جهت بروز قوسهای برگشتی بر حسب شیب یا سرعت

افزایش جریانها محاسبه و برآورد میشوند. منحنی حد بروز قوس برگشتی در صفحه مختصات لگاریتمی به

دو خط قائم تبدیل میگردد. در شکل ۱-۴۰

سرعت افزایش جریانها و دامنه آنان به مختصات

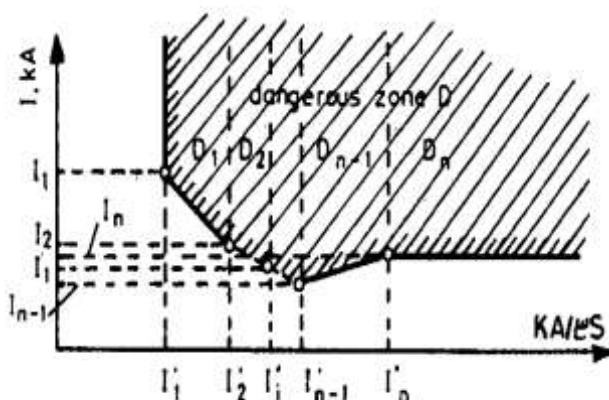
لگاریتمی برده شده، ناحیه بروز قوسهای برگشتی

با هاشور مشخص گردیده است. با تغییر فاصله

هوایی ایزولاسیون منحنیهای حد بروز قوس

برگشتی به موازات خود جابجا میگرددند.

(امتدادهای D_n, \dots, D_2, D_1).



شکل (۱-۴۰): نمایش منحنی بروز قوس برگشتی در صفحه مختصات لگاریتمی در فاصله هوایی

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آر م سایت و به همراه فونت های لازم

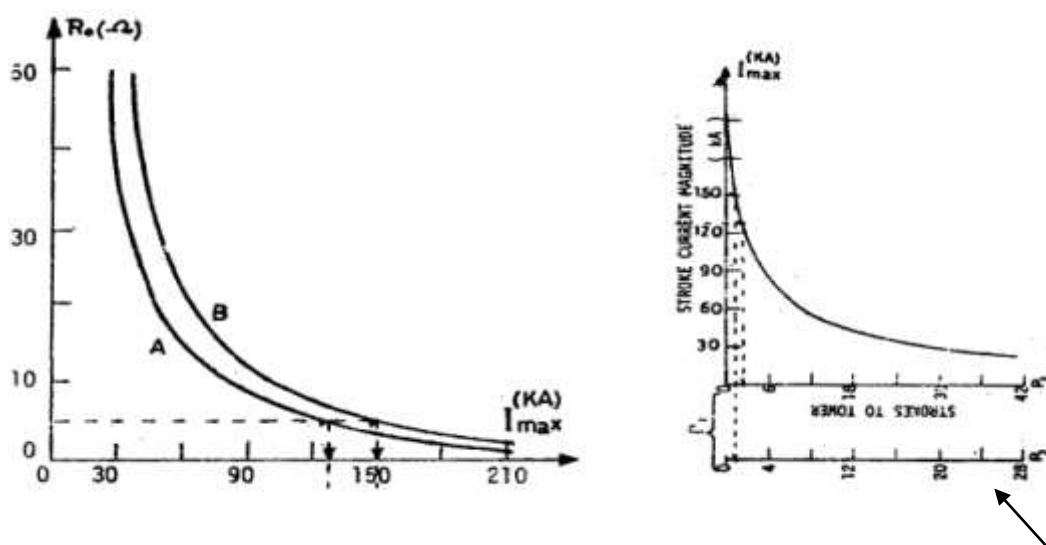
(۱۲-۱) : تعیین مقاومت زمین مناسب برجهای بر حسب بروز قوسهای برگشتی

کاهش درصد بروز قوسهای برگشتی مستلزم افزایش آن بر طبق رابطه زیر میباشد.

$$i_{OC} = \frac{U_{BIL}}{(Z_0 + Z_b)(1 - C_f)} \quad \text{رابطه (۱-۲۰):}$$

برای خط معین با شکل مشخص برجهای و کمیات U_{BIL} و C_f ، درصد بروز قوسهای برگشتی تنها به مقدار امیدانس زمین برجهای یا Z_0 بستگی خواهد داشت، به طوری که با انتخاب درصد قابل قبول قوسهای برگشتی، مقاومت زمین مناسب برجهای برآورد می گردد.

برای این منظور، در این مرحله از خط، ابتدا منحنی تغییرات درصد قوسهای برگشتی بر حسب دامنه جریان موجی تخلیه رسم میگردد. نمونه آن در شکل ۱-۴۱ نشان داده شده است. در این شکل به ازاء هر مقدار دامنه جریان تخلیه I_{max} ، برای خط معین، درصد بروز قوسهای برگشتی ناشی از آن ناشی از آن P را میتوان برآورد نمود. اشل P_1 درصد بروز قوسهای برگشتی را در طول زنجیر مقره و اشل P_2 در فاصله هوائی سیمهای فاز و زمین در حد فاصل بین برجهای نشان می دهد. همچنین حداکثر مقاومت زمین قابل قبول برج R_0 بر حسب جریان حد قوس برگشتی I_{max} بر طبق رابطه فوق رسم میگردد. این ارتباط توسط منحنیهای A و B مربوط به حد بروز قوسهای برگشتی در طول زنجیر مقره و فواصل هوائی سیم فاز و سیم زمین نشان داده می شود (شکل ۱-۴۲).



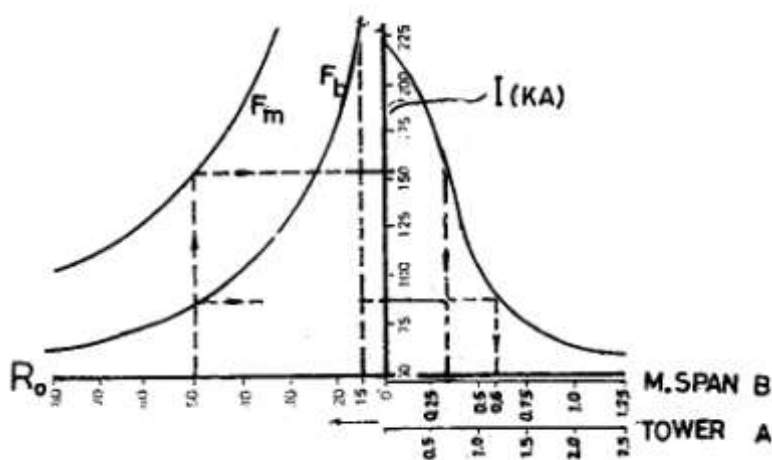
شکل (۱-۴۱) : درصد بروز قوس با توجه به دامنه جریان موجی در دو اشل طول زنجیر مقره و فاصله هوائی سیم زمین و فاز

شکل (۱-۴۲) : نمایش مقاومت قابل قبول جهت جلوگیری از بروز قوس برگشتی

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آر م سایت و به همراه فونت های لازم

بر طبق منحنیهای فوق با مقاومت زمین $Z_0=5$ برای برجها، حداکثر جریان تخلیه قابل قبول بر برج ۱۳۰ کیلو آمپر و حداکثر جریان تخلیه قابل قبول بر سیم زمین ۱۵۰ کیلو آمپر میباشد. چنانچه دامنه جریانهای موجی تخلیه از مقادیر فوق تجاوز نمایند، بروز قوسهای برگشتی در طول زنجیر مقرر و یا فاصله هوای سیم زمین و سیم فاز حتمی خواهد بود. چنانکه ملاحظه میگردد مقاومت زمین مناسب برجها و منحنیهای مربوط به آنان در آخرین مرحله طرح خط و پس از انتخاب سطح ولتاژ ایزولاسیون U_{BIL} ، طول فواصل هوایی ایزولاسیون ابعاد و اندازه برجها برآورد می گردند.

با استفاده از دو شکل ۴۱-۱ و ۴۲-۱ درصد بروز قوسهای برگشتی در طول زنجیر مقرر و فاصله هوایی سیمهای فاز و سیمهای زمین به ازاء مقاومت زمین معین برج R_0 یافته میشود. متقابلاً در صورت انتخاب درصد قابل قبول قوسهای برگشتی مقاومت مناسب برجها تعیین میگردد. برای این منظور دو منحنی فوق در مجاور یکدیگر طبق شکل ۴۳-۱ قرار داده میشوند.



شکل (۴۳-۱):

پیدا کردن درصد بروز قوس بر حسب مقاومت زمین

به عنوان مثال منحنیهای فوق برای خط ۴۰۰ KV، به ازاء مقاومت زمین ۵۰ اهم برای برجها، در محور R_0 ، درصد بروز قوسهای برگشتی در طول زنجیر مقرر معادل ۶۰٪ در سال و در فاصله هوای سیمهای فاز و زمین معادل ۳۰٪ نتیجه میگردد. اشلهای A و B درصد بروز قوسهای برگشتی را به ترتیب در طول زنجیر مقرر و در فاصله هوای سیمهای فاز و زمین نشان می دهند. مجموع درصد بروز قوسهای برگشتی در پی تخلیه جوی مستقیم بر برج و بر سیم زمین معادل ۰/۹ نتیجه میگردد. مقدار مناسب مقاومت زمین برجها با توجه

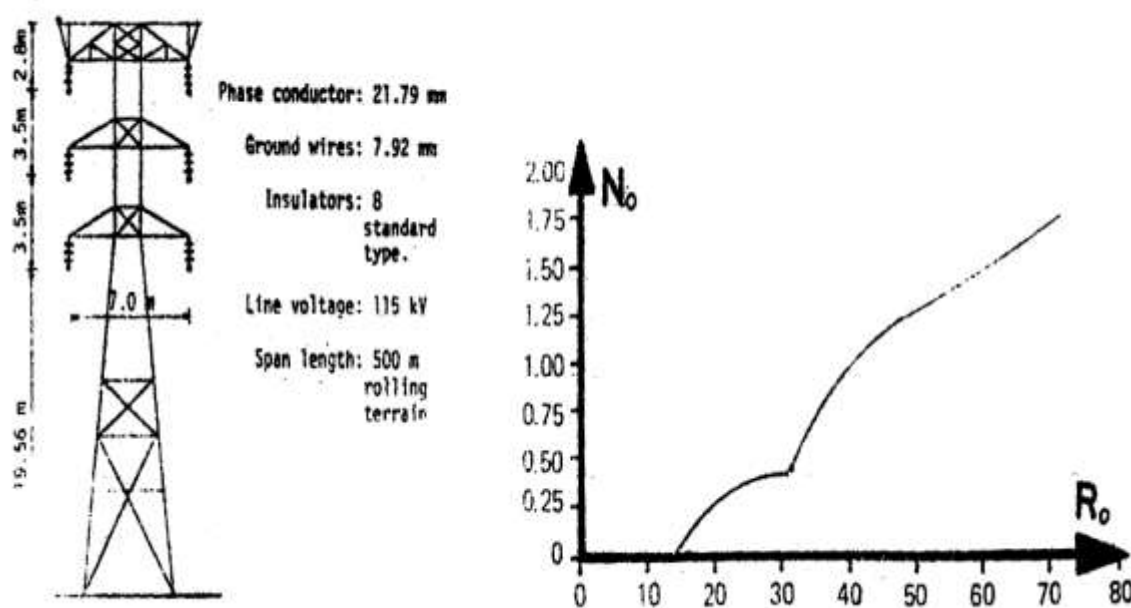
برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آر م سایت و به همراه فونت های لازم

به درصد کل قوسها در دو حالت انتخاب میگردد. برای این منظور تغییرات مجموع قوسهای برگشتی در طول

زنجیر مقرر و فاصله هوائی سیمهای فاز و زمین بر حسب مقاومت زمین برجها مطابق شکل ۴۴-۱

رسم گردیده است.

منحنیهای نشان داده شده در ۴۳-۱ برای خط ۴۰۰ KV با برجهای دو مداره (شکل ۴۵-۱) رسم گردیده اند.



شکل (۴۴-۱): نشان دهنده تغییرات مقاومت بر تخلیه بر برج یا سیم زمین شکل (۴۵-۱): نمایش برج دو مداره

درصد کمتر قوسهای برگشتی در برج و در سیم زمین مقاومت زمین محدودتر برجها را ایجاد می نماید،

همچنانکه اشاره گردید، کاهش قابل ملاحظه مقاومت زمین برجها هزینه احداث خط و سیستم زمین آن

را افزایش خواهد داد.

حد بروز قوسهای برگشتی با کاهش ولتاژ اسمی خطوط و فاصله هوای زنجیر مقرر تقلیل یافته، درصد بروز

قوسها را افزایش میدهد. به همین علت در ولتاژهای اسمی پایین خط ($U \leq 132KV$) لازم است مقاومت

زمین برجها مقدار حداقل را در حدود ۳-۱۰ اهم دارا گردند. به عنوان مثال مقاومت زمین برجها در خطوط

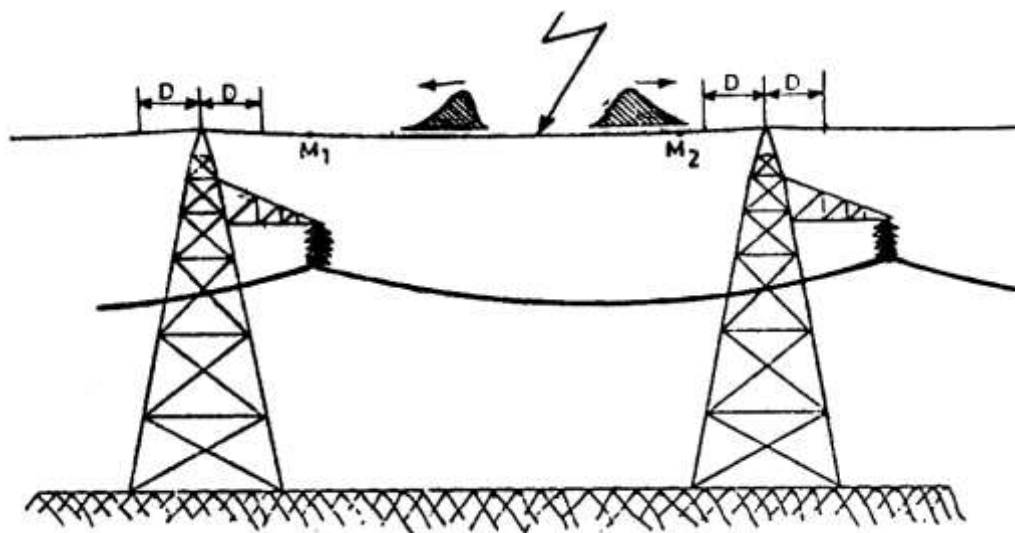
۳۳۰KV و در شرایط معمول به حدود ۲۰ اهم و در خطوط ۱۳۲KV به حدود ۴ اهم بالغ می گردند.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرمان سایت و به همراه فونت های لازم

در خطوط دو مداره احتمال بروز قوسهای برگشتی نسبت خطوط یک مداره افزایش می یابند. لذا مقاومت زمین برجها در خطوط دو مداره نسبت به خطوط هم ولتاژ یک مداره کمتر می باشند. در مثال فوق، در شرایط مشابه برای خطوط دو مداره 330KV مقاومت زمین برجها معادل 10 اهم و در خطوط دو مداره 132 کیلو ولت معادل $2-3$ اهم پیش بینی میگردند.

(۱۳-۱): احتمال تخلیه جوی بر سیمهای زمین و برجها

با توجه به مطالعات و بررسیهای به عمل آمده، درصد تخلیه جوی بر برجها و در فاصله D از سیم زمین یا فاصله $2D$ بر روی سیم زمین در مجاور برجها، بیش از تخلیه در فاصله بین برجها بوده است (شکل ۱-۴۶).



شکل (۱-۴۶): درصد تخلیه بیشتر بر روی برجها صورت میگیرد

این پدیده از حجم و تعداد بیشتر تجهیزات فلزی متصل به زمین در فاصله فوق ناشی می گردد، وجود تجهیزات و بدنه فلزی به صورت برج موجب میگردد تا بارهای الکتریکی بیشتری در آنان انباشته گردیده، از آنجا که شدت میدان قابل توجه در مجاور برج ظاهر میگردد، تراکم شدت میدان الکتریکی جهت جریان پیشرو را به سمت برج منحرف ساخته، تخلیه جوی مستقیم بر برجها و یا سیمهای زمین در فاصله D افزایش می یابند. به علت بالا بودن درصد تخلیه جوی بر برجها در فاصله $2D$ از سیم زمین، احتمال بروز قوسهای برگشتی در طول زنجیر مقرره بیش از احتمال بروز قوسها در فاصله هوای سیمهای فاز و زمین میباشد. به همین ترتیب در خطوط با ولتاژ بالا $U \geq 500\text{ KV}$ ، به علت حجم قابل توجه برجها، درصد

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

تخلیه بر برجها و بروز قوسهای برگشتی، به طور قابل توجه نسبت به خطوط با ولتاژ ۱۳۲KV - ۲۳۰

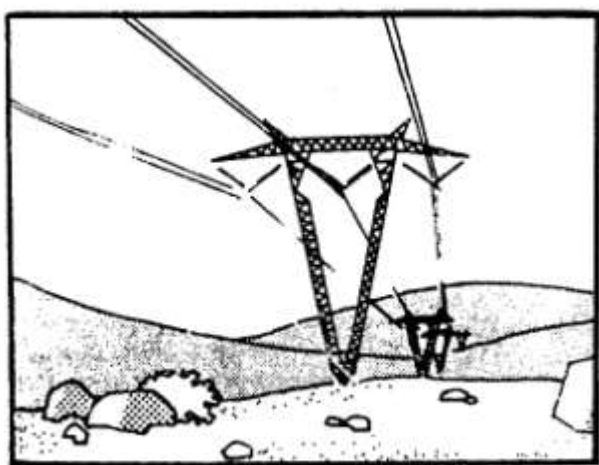
افزایش می یابند. به منظور کاهش درصد تخلیه بر برجها در این حدود ولتاژها، مطالعات و بررسیهای

متعدد صورت گرفته و طرلهای لازم تهیه گردیده اند، در ردیف این طرلهها تغییر شکل نوع برجها و تبدیل

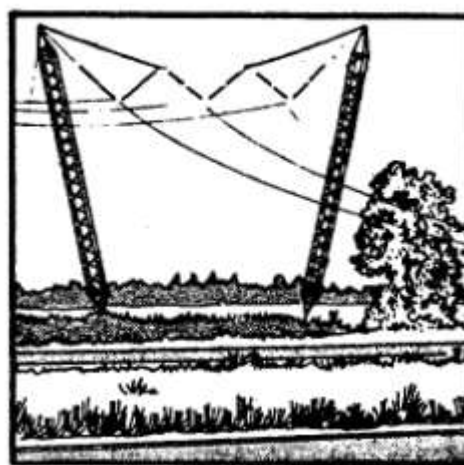
آنان به برجها با اسکلت فلزی کمتر مجهز به سیمهای مهاری می باشند.

چند نمونه برجهای مهاری پیش بینی شده جهت ولتاژهای $U \geq 565 \text{ kv}$ نشان داده شده اند. در شکل ۱-۴۷

برج با یک نقطه اتکاء به زمین، به برج معلق یا ۷ موسوم می باشد.



شکل (۱-۴۷): نمایش برج معلق



شکل (۱-۴۸): نمایش برج مهاری

در شکل ۱-۴۸ برج مجهز به دو نقطه اتکاء به زمین می باشد. به برج بندی موسوم می باشد. در اشکال ۱-۴۹

و ۱-۵۰ ابعاد و اندازه برجها و فواصل فازها از یکدیگر و از اسکلت فلزی برج نشان داده شده اند. در شکل

۱-۵۱ طرق گوناگون نصب کندوکتورها بر روی برجها داده شده اند.

تخلیه بر پایه های چوبی (خطوط توزیع ۲۰-۳۰ کیلو ولت) یا برجها با اسکلت چوبی به صورت چوب بست

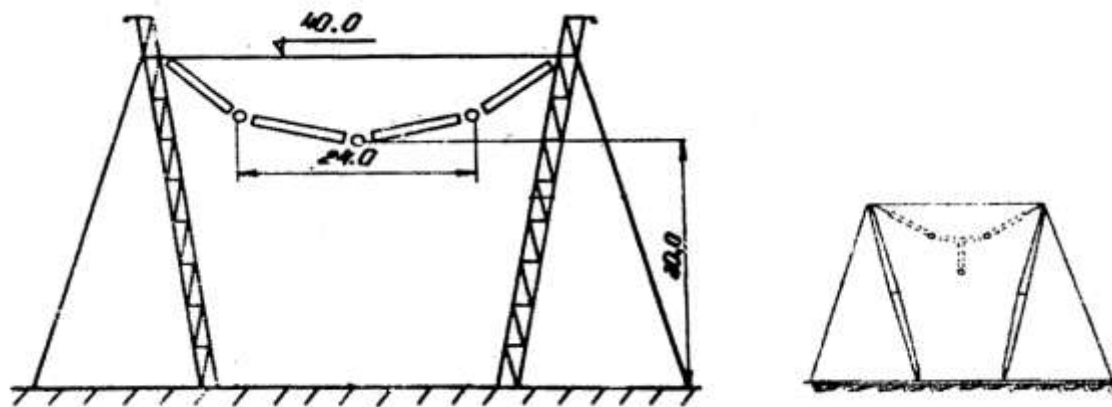
در ولتاژهای $U = 220 \approx 132$ کیلو ولت نسبت به خطوط با برجهای فولادی کاهش قابل توجه نشان

میدهد. در این خطوط تنها ۲۰-۳۰٪ از کل تخلیه های جوی بر خط، تخلیه بر پایه ها را شامل می گردد. در

حالی که برای برجها با اسکلت فلزی این رقم تا ۴۰-۵۰٪ افزایش نشان می دهد. کاهش قابل توجه درصد

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

تخلیه های جوی مستقیم بر برجها در خطوط با اسکلت چوبی یکی از مزایای عمده استفاده از این نوع برجها می باشد.



شکل (۱-۴۹): نمایش ابعاد و نصب فازها

شکل (۱-۵۰): نمایش دیگری از نصب فازها

درصد تخلیه جوی مستقیم بر برجها و سیمهای زمین به فاصله آنان از یکدیگر، تعداد برجها و طول سیم زمین بستگی دارد. برای خطوط انتقال انرژی با فاصله برجها معادل ۳۵۰ متر از یکدیگر، درصد تخلیه بر برجها ۶۰٪ و تخلیه بر سیم های زمین واقع در حد فاصل برجها معادل ۴۰٪ کل تخلیه بر خط را تشکیل می دهد.

هنگامی که فاصله بین برجها تا حدود ۵۰۰ متر افزایش می یابد، ارتفاع برجها تا حد امکان کاهش داده میشوند. در این صورت درصد تخلیه بر برجها تا ۴۰٪ تقلیل یافته، متقابلاً تخلیه بر سیمهای زمین تا ۶۰٪ افزایش می یابد.

به طور کلی با افزایش تعداد برجهای فلزی در واحد کیلومتر طول خط بر درصد تخلیه جوی بر برجها افزوده گشته، از درصد تخلیه جوی بر سیمهای زمین کاسته می گردد.

با افزایش هرچه بیشتر برجها، درصد تخلیه بر آنان حدود ۱۰۰٪ را نیز می تواند دارا گردد. در حالی که بر هزینه احداث خط به طور قابل ملاحظه افزوده میگردد. به همین ترتیب افزایش فاصله بین برجها و کاهش تعداد آنان از درصد تخلیه بر برجها می کاهد. در شرایط حد با افزایش فاصله بین برجها تا ∞ درصد تخلیه بر

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

برجها معادل صفر گشت، با کاهش فاصله برجها درصد تخلیه بر آنان تا ۱۰۰٪ افزایش می یابد. با توجه به مراتب فوق، درصد تخلیه بر برجها، با توجه به فاصله بین آنان از رابطه زیر تعیین میگردد.

$$N_T = N_L E - \delta \frac{S_L}{S_{L0}} \quad \text{رابطه (۱-۲۱):}$$

N_T : تعداد تخلیه بر برجها در ۱۰۰ کیلومتر طول خط در سال

N_L : تعداد تخلیه بر خط در ۱۰۰ کیلومتر طول خط در سال

S_L : فاصله بین پایه ها بر حسب متر

S_{L0} : فاصله واحد یا مبنا بر حسب متر

δ : مقدار ثابت

هنگامی که فاصله بین پایه ها معادل فاصله مبنا انتخاب گردد. ($S_L = S_{L0}$) $\frac{S_L}{S_{L0}} = 1$

بوده رابطه فوق به شکل زیر نوشته میشود:

$$N_T = N_L E - \delta \quad \text{رابطه (۱-۲۲):}$$

در شرایط مساعد، تعداد تخلیه جوی مناسب بر برجها در حدود ۶۰٪ تعداد تخلیه جوی بر خط انتخاب

میگردد. به طوری که $\frac{N_T}{N_L} = ۶۰\%$ بدین ترتیب مقدار ثابت δ در رابطه فوق تعیین میگردد. به عنوان مثال

در خطوط انتقال با ولتاژ $U = ۷۶۵ \text{ KV}$ فاصله مبنای پایه ها $S_{L0} = 400 \text{ m}$ میباشد.

چنانچه احتمال بروز قوسهای برگشتی با توجه به درصد تخلیه های جوی بر برج و بر خط تعیین گشته،

برحسب آن رسم گردد، منحنی ۱-۵۲ حاصل میگردد. در این شکل تعداد کل تخلیه های جوی بر خط شامل

برجها و سیم های زمین با ۱۰۰٪ مشخص گردیده است.

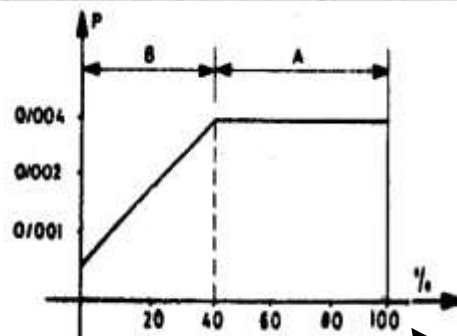
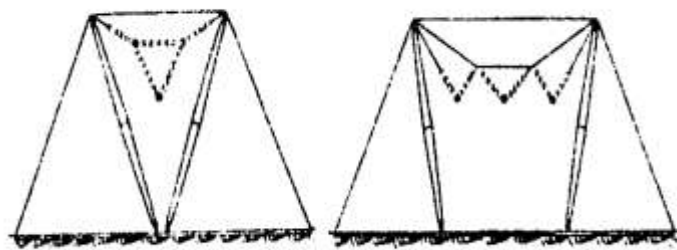
درصد تخلیه ها بر برج و فاصله $2D$ از سیم زمین در ناحیه A و درصد تخلیه ها بر سیم زمین در فاصله

$M_2 M_1$ (شکل ۱-۴۶) در ناحیه B واقع گردیده اند. ۶۰٪ از تخلیه های جوی بر خط مربوط به ناحیه A و

۴۰٪ مربوط به ناحیه B می باشند، چنانکه مشاهده می گردد، احتمال بروز قوسهای برگشتی در ناحیه A

ثابت بوده، در حالی که در ناحیه B متناسب با درصد تخلیه جوی افزایش می یابد.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه



شکل (۱-۵۲): منحنی احتمال بروز قوسهای برگشتی با توجه به درصد تخلیه های جوی بر برج و بر خط

شکل (۱-۵۱): نمایش طرق گوناگون نصب فازها در برج مهاری

(۱-۱۴): درصد بروز قوسهای برگشتی

با توجه به آنچه که تا کنون بررسی نمودیم، بروز قوس در ایزولاسیون خطوط انتقال انرژی، در پی تخلیه جوی بر خطوط، به دو علت عمده زیر روی می دهد.

1- عدم توانایی سیم زمین^۱: هرگونه تخلیه جوی مستقیم بر سیمهای فاز به عنوان عدم توانایی سیمهای زمین محسوب گردیده.

2- بروز قوس برگشتی^۲: این گونه قوسها در پی تخلیه جوی مستقیم بر سیمهای زمین و یا بدنه برجها روی می دهند، در هنگام بروز این نوع تخلیه های جوی، چنانچه پیش بینی های کافی جهت انتقال بارها به زمین صورت نگرفته باشند، قوس برگشتی یا BF در طول زنجیر مقرر یا در فاصله هوای سیمهای فاز و زمین روی میدهد.

حال با توجه به طرح مقاومت زمین برجها، و ابعاد و اندازه آنان، درصد بروز قوسهای برگشتی را با توجه به مشخصات خط، موقعیت سیمهای زمین و خصوصیات تخلیه جوی منطقه شرح می دهیم.

با توجه به آمار برداریهای مداوم از خطوط تحت ولتاژ و تعیین درصد قطعی ها، میزان تاثیر کمیات و عوامل

موثر در بروز قوسهای برگشتی به شرح زیر مشخص گردیده اند:

1: Shielding Failure

2: Back Flash Over

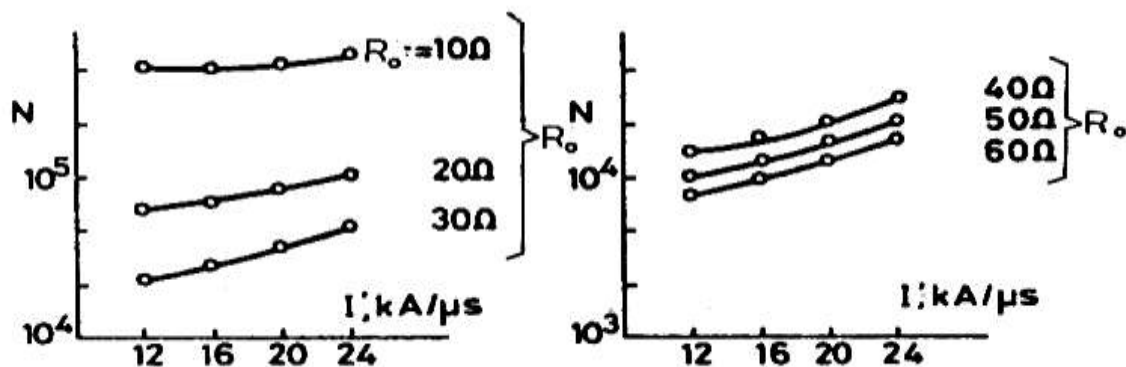
برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

ولتاژ ۵۰٪ بروز قوس زنجیر مقره	-----	۳-
مقدار جریان تخلیه جوی	-----	۲/۶
مقاومت زمین برج	-----	۱/۷
ضریب ارتباط خازنی سیم فاز با سیم زمین	-----	۱/۱-
سطح کرینک منطقه	-----	۱
مدت زمان لازم جهت انتشار موج در طول برج	-----	۰/۹
بروز پدیده کرنا در سیمهای زمین و سیمهای فاز	-----	۰/۲
ارتفاع متوسط سیم فاز از سیم زمین	-----	۰/۵
امپدانس موجی برج	-----	۰/۴
مقدار ولتاژ اسمی خط	-----	۰/۴

بر طبق درصد فوق عوامل اصلی بروز قوسهای برگشتی در طول خط، ولتاژ ۵۰٪ یا U_{BIL} خط در طول زنجیر مقره (فاصله هوای سیمهای فاز و زمین در طول $M_2 M_1$ طبق شکل ۱-۴۶) مقدار جریان تخلیه موجی و مقاومت زمین برج می باشد، مقدار U_{BIL} هر خط ثابت بوده، جریان موجی تخلیه نیز قابل کنترل نمی باشد. تنها عامل اصلی قابل تغییر و تنظیم را مقاومت زمین برج تشکیل میدهد. با افزایش دو عامل از درصد بروز قوسهای برگشتی کاسته می گردد، این دو عامل با علامت منفی مشخص گردیده، عبارتند از: ولتاژ ۵۰٪ بروز قوس یا U_{BIL} فواصل هوایی ایزولاسیون و ضریب ارتباط القائی و خازنی سیم فاز با سیم زمین.

درصد قطعی ها ناشی از مشخصات جریان تخلیه جوی و مقاومت زمین برجهها در شکل ۱-۵۳ نشان داده شده اند. در دو شکل فوق تاثیر سرعت افزایش جریان تخلیه جوی با بالا رفتن تعداد قوسهای برگشتی بخوبی ملاحظه میگردد. در این منحنیها، سرعت افزایش جریان عیب ۱۲-۲۴ کیلو آمپر بر میکروثانیه تغییر داده شده، منحنیها با مقاومتهای زمین متفاوت رسم گردیده اند.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آر م سایت و به همراه فونت های لازمه



شکل (۱-۵۳): درصد قطعی های ناشی از مشخصات جریان و مقاومت برجها

برطبق این منحنیها با کاهش مقاومت زمین برجها، درصد قطعی ها ناشی از بروز قوسهای برگشتی تا میزان

۰/۶-۰/۲ درصد کیلومتر طول خط در سال محدود میگردند. با افزایش مقاومت زمین برجها تا مقدار R_0

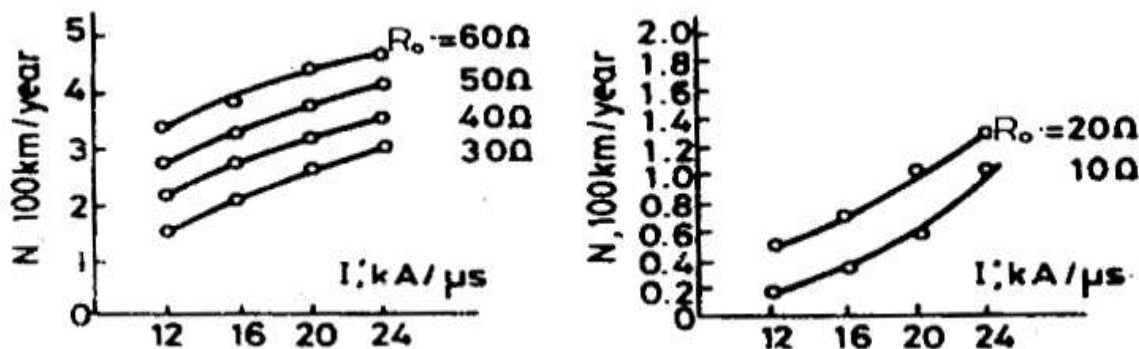
۶۰=، درصد قطعی ها به ۳-۵ بار درصد کیلومتر طول خط در سال بالغ می گردند. مشخصه دیگر جریان

تخلیه جوی، امپدانس موجی کانال تخلیه جوی، سرعت تغییرات و وسعت بارهای الکتریکی را مشخص

میسازد. در شکل ۱-۵۴ درصد بروز قوسهای برگشتی برحسب امپدانس موجی کانال تخلیه، به ازاء مقادیر

متفاوت مقاومت زمین برجها یا RF رسم گردیده اند. امپدانس موجی برج و سیمهای زمین مقادیر قابل

قبول و ثابت را دارا بوده اند.



شکل (۱-۵۴): درصد بروز قوسهای برگشتی برحسب امپدانس موجی کانال تخلیه، به ازاء مقادیر متفاوت

مقاومت زمین برجها

با توجه به تاثیر مقاومت زمین برجها در بروز قوسهای برگشتی و درصد قطع خطوط، درصد قطعی ها ناشی

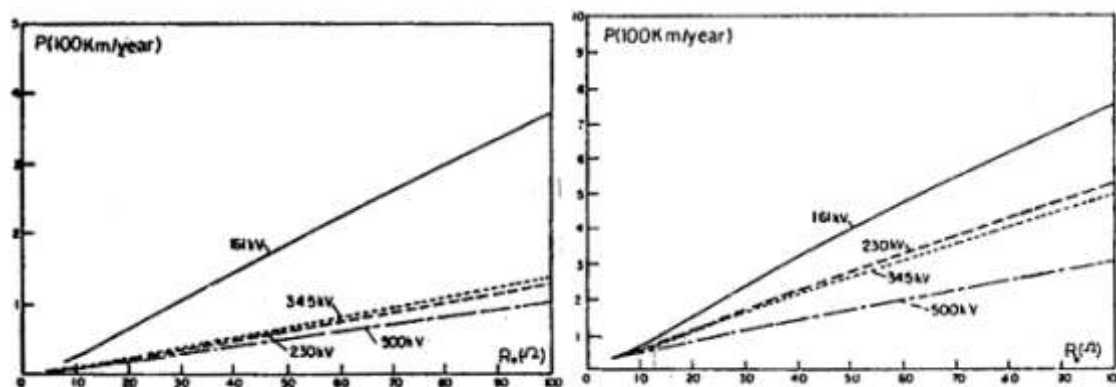
از قوسهای برگشتی برای خطوط با ولتاژهای گوناگون تعیین و رسم گردیده اند. در این منحنیها، درصد

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آر م سایت و به همراه فونت های لازم

قطعی ها با استفاده از آمارهای تهیه شده برای خطوط ۱۶۱،۲۳۰،۳۴۵،۵۰۰ کیلو ولت در آمریکا محاسبه

گردیده اند. در شکل ۱-۵۵ خطوط یک مداره با نصب افقی فازها و در شکل ۱-۵۶ خطوط دو مداره با نصب

قائم فازها بوده اند.



شکل (۱-۵۶): درصد قطعی ها برای خطوط با ولتاژهای گوناگون (دو مداره) شکل (۱-۵۵):

شکل (۱-۵۵): یک مداره

چنانکه مشاهده میگردد، در صورت انتخاب درصد برابر و یکسان قطعی ها مقاومت های زمین متفاوت جهت

خطوط با ولتاژهای گوناگون نتیجه میگردد. با بالا رفتن ولتاژ اسمی خطوط مقاومت های زمین قابل قبول

برجها افزایش می یابند. به عنوان مثال

چنانچه درصد قطعی ها معادل یک درصد

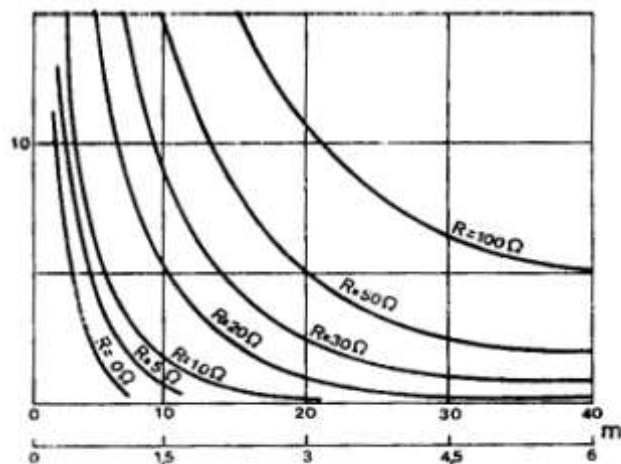
کیلومتر طول خط در یک سال انتخاب

گردد، برای خطوط دو مداره، ۵۰۰KV، طبق

شکل ۱-۵۶ مقاومت زمین ۲۲ اهم و ۱۶۱

کیلو ولت ۱۲ اهم نتیجه میگردد.

شکل (۱-۵۷): درصد بروز قوسها بر حسب



فاصله فاز به زمین و یا تعداد مقره های بشقابی به ازاء مقاومت های زمین برج

در شکل ۱-۵۷ نمونه دیگری از منحنی های ارائه شده جهت برآورد سریع درصد بروز قوسهای برگشتی یا

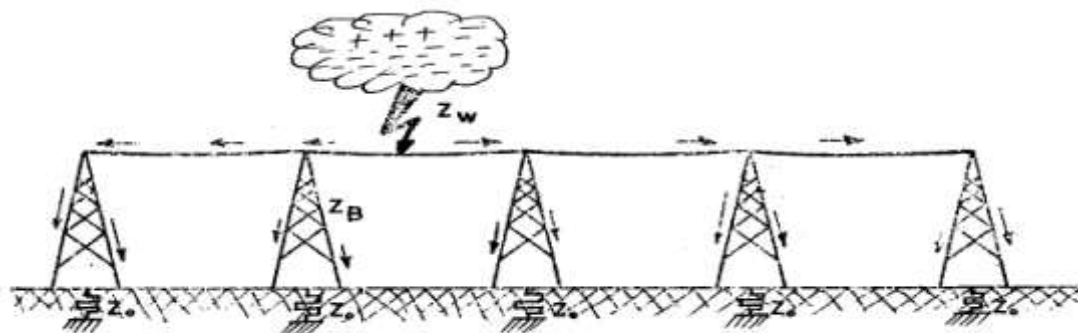
BF داده شده است. در این منحنی های درصد بروز قوسهای برگشتی در صد کیلومتر طول خط در یک سال بر

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

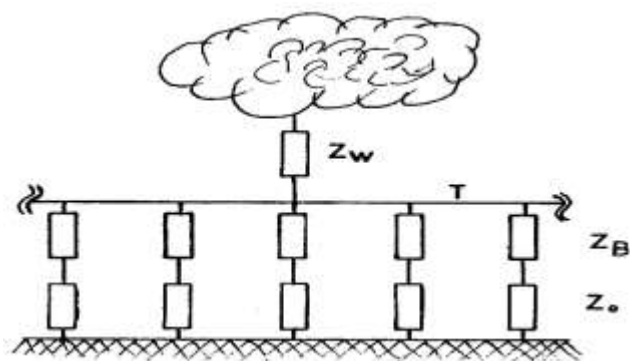
حسب فاصله فاز به زمین و یا تعداد مقره های بشقابی به ازاء مقاومت های زمین برج داده شده اند. در این منحنیها سطح کرینک منطقه ۳۰ روز و خط مجهز به سیم زمین بوده است.

(۱۵-۱): تاثیر امپدانس موجی کانال تخلیه جوی در بروز قوسهای برگشتی

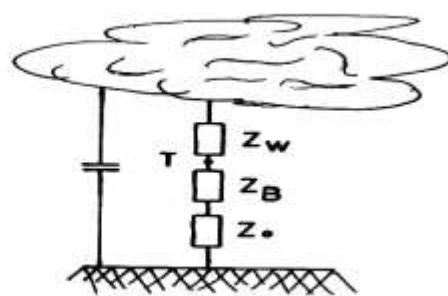
تخلیه بارهای الکتریکی جوی از ابر به برج از طریق کانال تخلیه و امپدانس موجی آن صورت می پذیرد. و شکل مسیر انتقال بارها و امپدانسهای موجی واقع در آن بر طبق شکل ۵۸-۱ نشان داده میشوند. مدار معادل این مسیر شامل امپدانس موجی کانال تخلیه جوی Z_w امپدانس موجی برج و امپدانس موجی سیستم زمین برجهای Z_0 در شکل ۵۹-۱ نشان داده شده اند. مدار معادل در شکل ۶۰-۱ داده شده است.



شکل (۵۸-۱): شکل مسیر انتقال بارها و امپدانسهای موجی واقع در آن



شکل (۵۹-۱): امپدانس موجی سیستم



شکل (۶۰-۱): مدار معادل امپدانس ها

زمین برجهای و کانال

چنانچه ولتاژ حاصل از انباشته گشتن بارها در ابر با E_t نشان داده شود، در این صورت دامنه جریان موجی

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

$$i_w = \frac{E_t}{Z_B + Z_W + Z_0} \quad \text{رابطه (۲۳-۱)} : \quad \text{برقرار شده در این مدار خواهد بود} :$$

ولتاژ ظاهر شده در نقطه T برابر خواهد بود:

$$V_T = \frac{Z_B + Z_0}{Z_B + Z_W + Z_0} E_t \quad \text{رابطه (۲۴-۱)} :$$

برای خط با برجها به شکل مشخص و سیستم زمین معین مقدار Z_B ثابت بوده، ولتاژ ظاهر شده در نقطه رأس برج بر حسب امپدانس کانال تخلیه بارها Z_W تغییر می نماید.

بر طبق رابطه $Z_W = 500 \frac{h}{l}$ هر قدر بر وسعت ابر یا قطر متوسط آن افزوده شده، از ارتفاع آن h کاسته گردد

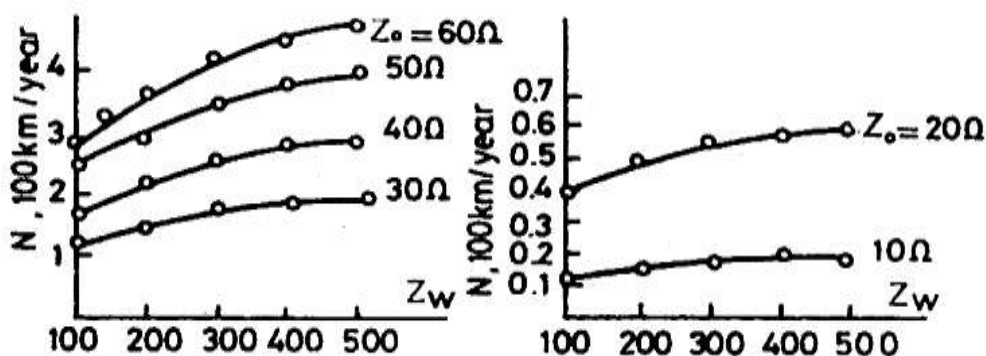
مقدار Z_W هرچه بیشتر کاهش یافته، ولتاژ ظاهر شده بر نقطه رأس برج افزایش می یابد. در حقیقت کاهش مقدار Z_W ، افت ولتاژ ظاهر شده در کانال تخلیه از ابر بر برج را تقلیل میدهد. بدین ترتیب ولتاژ ظاهر شده بر نقطه رأس برج مستقیماً بر حسب ابعاد و اندازه های ابر و امپدانس کانال تغذیه تحت تاثیر قرار میگردد.

با توجه به تاثیر ولتاژ ظاهر شده بر نقطه رأس برج در بروز قوسهای برگشتی و قطع خط میتوان درصد بروز قطعی ها را بر امپدانس موجی کانال تخلیه تعیین نمود.

در شکل ۱-۶۱ درصد بروز قوسهای برگشتی بر حسب امپدانس موجی کانال تغذیه رسم گردیده است. در

این شکل منحنیهای گوناگون بر حسب مقادیر متفاوت مقاومت زمین برجها یا Z_0 رسم گردیده اند. از

امپدانس موجی برج و سیمهای زمین صرف نظر شده است.



شک

ل

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

(۱-۶۱): درصد بروز قوسها بر حسب امپدانس موجی کانال تغذیه بر حسب مقادیر متفاوت مقاومت زمین

برجها

(۱-۱۶): تخلیه جوی بر خطوط انتقال انرژی با ولتاژهای فوق بالا ($U \geq 750$ کیلو ولت)

توسعه شبکه های انتقال انرژی، افزایش ظرفیت خطوط انتقال انرژی و ولتاژهای بالای آنان را تا حدود

۱۸۰۰-۱۲۰۰-۷۵۰ کیلو ولت ایجاب نموده است. ظهور عیوب مکانیکی و الکتریکی و قطع خطوط انتقال

انرژی در شرایط فوق از اهمیت ویژه برخوردار میباشند. بروز هر گونه قطعی اتفاقی، به علت ظرفیت بسیار

بالای خطوط تا حدود ۵۰۰۰-۱۰۰۰ مگا وات، شرایط نا پایداری کامل را ظاهر ساخته، خاموشی و قطع

سراسری شبکه را موجب میگردد. در شرایط فوق احتمال بروز قطعی های خطوط لازم است حداقل مقدار

ممکن را، کمتر از مقادیر پیش بینی شده خطوط موجود ۲۳۰-۴۰۰ کیلوولت دارا گردد.

بر طبق تجربیات حاصل از بهره برداری خطوط ۷۵۰ کیلو ولت، درصد قابل توجه از عیوب روی داده در این

خطوط را، عیوب گذرا ناشی از تخلیه جوی مستقیم بر سیمهای فاز یا قوسهای برگشتی تشکیل میدهند. به

همین علت کاهش درصد تخلیه های جوی در خطوط ۷۵۰ کیلو ولت نسبت به خطوط $U \leq 500$ کیلو ولت

حائز اهمیت فراوان میباشد.

شرایط بروز قوس در ایزولاسیون خطوط انتقال انرژی را در پی تخلیه جوی مستقیم بر آنان به شرح زیر مورد

مطالعه قرار میدهیم.

الف- تخلیه جوی بر برجها و درصد بروز قوسهای برگشتی یا *BFO*.

با افزایش ولتاژ اسمی خطوط بر فاصله هوایی ایزولاسیون فازها به طور قابل ملاحظه افزوده میگردد. در جدول

۱-۱ مشخصات خطوط فوق داده شده اند. با افزایش فاصله هوایی ایزولاسیون و طول زنجیر مقرر تا حدود

۱۰-۱۵ متر، درصد بروز قوسهای برگشتی نسبت به تخلیه های جوی بر بدنه برج با توجه به سطح بالای

ایزولاسیون فواصل هوایی U_{BIL} کاهش می یابند. با توجه به سطح بالای ایزولاسیون زنجیر مقرر U_{BIL}

جریان بروز قوس برگشتی تا حدود ۴۰-۶۵ کیلو آمپر نتیجه میگردد.

$$I = \frac{U_{BIL}}{Z+Z_0} \approx 65 - 40 \text{ KA} \quad \text{رابطه (۱-۲۵):}$$

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

ولتاژ اسمی خط (KV)	۷۵۰	۱۲۰۰	۱۸۰۰
ارتفاع برج (m)	۳۵	۴۳	۴۹
ارتفاع نصب سیم فاز (m)	۲۵	۳۰	۳۵
پهنا خط (m)	۱۰	۱۲	۱۵
فاصله هوایی بین فازها (m)	۱۸	۲۳	۳۲
طول زنجیر مقره (m)	۶	۹	۱۵
نوع هادی فاز	۴۰۰×۴	۳۰۰×۸	۳۰۰×۱۲
نوع هادی زمین	۷۰	۷۰×۲	۷۰×۲

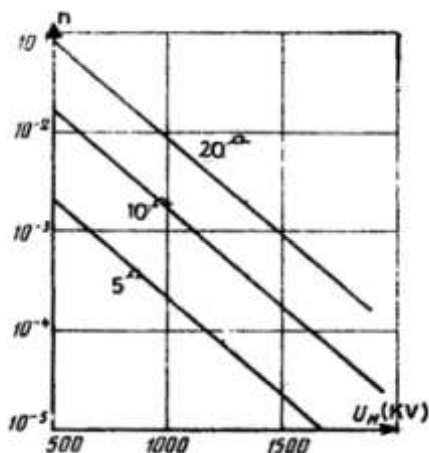
جدول (۱-۱): مشخصات برج بر حسب مقدار ولتاژ خط

در حالی که برای خطوط $U \leq 500$ کیلو ولت جریان حد بروز قوس برگشتی در حدود $I \leq 25$ کیلو آمپر می باشد. بدین ترتیب شرط ظهور ولتاژ موجی قابل ملاحظه در بدنه برجها به منظور بروز قوس برگشتی در طول زنجیر مقره خطوط با ولتاژهای ۱۸۰۰-۱۲۰۰-۷۵۰ کیلو ولت، جریانهای تخلیه جوی با دامنه $I_{max} = 40-65$ کیلو آمپر میباشند. احتمال تخلیه این جریانها بر بدنه برج بسیار ناچیز میباشد. با این همه ۹۰٪ آنان ولتاژ موجی قابل ملاحظه جهت بروز قوس برگشتی را در بدنه برج ظاهر میسازند. در حقیقت بالا بودن دامنه جریانهای تخلیه جوی با توجه به امپدانس موجی هر چند ناچیز بدنه برجها و سیستم زمین آنان، ولتاژ موجی فوق العاده را در برج موجب میگردد. به عنوان مثال جریان تخلیه جوی با دامنه ۶۵ KA، تحت تاثیر امپدانس موجی برج معادل ۵۰ اهم و سیستم زمین آن معادل ۱۰ اهم ولتاژ موجی ۳۹۰۰ KV را در طول زنجیر مقره ظاهر میسازد. به همین علت علیرغم ناچیز بودن احتمال جریانهای تخلیه جوی با دامنه بالا، درصد بروز قوسهای برگشتی در این خطوط، با درصد بروز قوسهای برگشتی در خطوط ۴۰۰ کیلو ولت برابر می باشد در شکل ۱-۶۲ درصد بروز قوسهای برگشتی، در صورت تخلیه جوی مستقیم بر بدنه برجها، بر حسب ولتاژ اسمی خطوط داده شده اند، چنانکه ملاحظه میگردد، با افزایش ولتاژ اسمی خطوط از

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آر ام سایت و به همراه فونت های لازم

درصد بروز قوسهای برگشتی کاسته می گردد. سطح کرینک منطقه معادل ۳۰ روز بوده دشوارترین شرایط و حداکثر فشار الکتریکی بر زنجیر مقره در نظر گرفته شده اند. به طوری که فاصله زمانی بروز قوس و شارژ

مقره تحت تاثیر ولتاژ ضربه ای حداقل بوده است. فاصله



زمانی فوق ، بستگی به فاصله سطحی مقره های بشقابی در

زنجیر مقره خط داشته ، در شکل فوق معادل ۰/۰۱۶ متر

بر کیلو ولت بوده است. با افزایش فاصله سطحی مقره

، بر زمان شارژ مقره و فاصله زمانی بروز قوس تحت تاثیر

ولتاژ ضربه ای افزوده گردیده ، احتمال بروز قوسهای

برگشتی کاهش می یابند.

شکل (۱-۶۲) : درصد بروز قوسهای برگشتی، در صورت تخلیه جوی مستقیم بر بدنه برجها ، بر حسب ولتاژ

اسمی خطوط

منحنیها به ازاء سه مقدار متفاوت مقاومت زمین برجها داده شده اند. چنانکه ملاحظه میگردد، با افزایش

مقاومت اهمی برجها و سیستم زمین آنان ، درصد بروز قوسهای برگشتی و قطعی های خط با تعداد قطعی

های خطوط با ولتاژ ۵۰۰ کیلوولت برابر میگردد. در حالی که بنابر اهمیت خطوط $U \geq 750$ کیلو ولت

، کاهش درصد قطعی ها مورد نظر میباشد.

به عنوان مثال برای خط ۷۵۰ کیلوولت با مقاومت اهمی ۵ اهم ، درصد بروز قوسهای برگشتی معادل ۰/۰۰۱

نتیجه میگردد، در صورتی که ولتاژ خط تا ۱۲۰۰ کیلو ولت و مقاومت زمین برجها تا ۱۰ اهم افزایش یابند

، درصد قطعی ها همین مقدار را نشان میدهد. بنابر این به منظور کاهش درصد قطعی ها نسبت به خطوط

۵۰۰ کیلوولت و کمتر، لازم است هم زمان با افزایش ولتاژ اسمی خطوط ، از مقاومت زمین برجها به طور قابل

ملاحظه کاسته گردد.

1 : Creepage Distance

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

ب- محافظت سیمهای فاز در قبال تخلیه جوی در ولتاژهای بالا یا SF

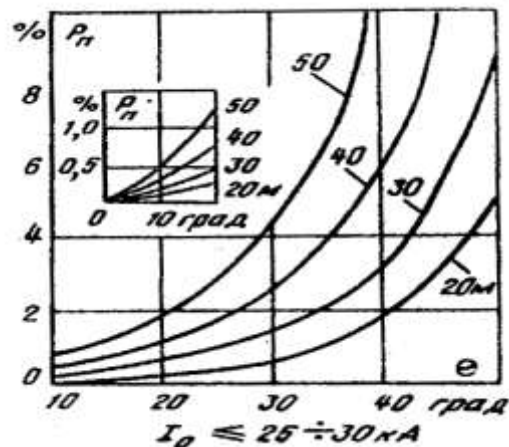
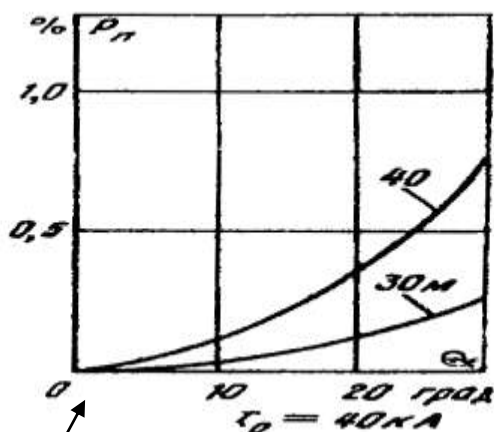
همچنانکه اشاره گردید، خصوصیات عمده این خطوط در مقایسه با خطوط معمولی انتقال انرژی با ولتاژ $U \geq 500$ کیلوولت، حد بالای جریانهای تخلیه جوی بروز قوس در طول زنجیر مقره تا حدود ۶۰-۶۵ کیلو آمپر می باشد. در این حالت نیز در صورت تخلیه جوی مستقیم بر سیمهای فاز، درصد بروز قوسها در فاصله هوای ایزولاسیون فازها و زنجیر مقره کاهش می یابند. با این همه به علت ارتفاع بالای سیمهای فاز درصد تخلیه بر آنان افزایش یافته، بر ناتوانی سیمهای زمین در محافظت این سیمها و درصد SF^1 افزوده میگردد. جریانهای تخلیه جوی با مقدار ۴۰-۶۵ کیلو آمپر، تراکم قابل توجه بارهای الکتریکی را به صورت ابرها با وسعت زیاد در ارتفاع H از زمین ایجاب می نمایند.

به منظور برآورد درصد احتمال تخلیه جوی بر سیمهای فاز یا SF، این درصد بر حسب زاویه حفاظت خط برای خطوط با ولتاژهای مختلف و جریانهای حد متفاوت ۵۰، ۴۰، ۶۵ کیلو آمپر در اشکال ۱-۶۶ تا ۱-۶۳ داده شده اند. منحنیهای گوناگون جهت ارتفاعات متفاوت نصب سیمهای فاز رسم گردیده اند. چنانکه ملاحظه میگردد با افزایش جریانهای تخلیه جوی از احتمال تخلیه بر سیمهای فاز در شرایط یکسان (زاویه و ارتفاع نصب برابر) کاسته می گردد.

با مقایسه منحنیهای مربوط به جریانهای حد ۳۰ - ۲۵ I_{max} کیلو آمپر (خطوط $U \leq 500$ کیلو ولت) با جریانهای حد ۶۵-۵۰ کیلو آمپر (خطوط ۱۲۰۰-۷۵۰ کیلوولت)، کاهش قابل توجه درصد احتمال قطعی ها ناشی از عدم توانائی سیم زمین مشاهده می گردد. به عنوان مثال به ازاء جریان حد $I_{OC}=50$ کیلو آمپر و زاویه حفاظت خط معادل ۲۰ درجه، برای خط ۷۶۵ کیلو ولت با ارتفاع نصب سیمهای زمین معادل ۴۰ متر احتمال بروز قوس در طول زنجیر مقره به حدود ۰/۱۵ بالغ میگردد. (درصد قطعی ها در ۱۰۰ کیلو متر خط در سال) (شکل ۱-۶۵).

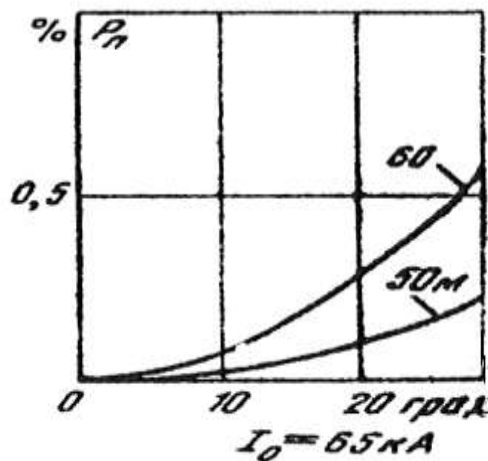
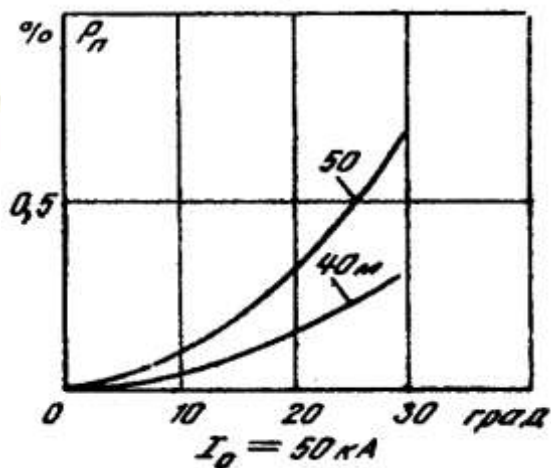
1. Shielding Failure

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آر م سایت و به همراه فونت های لازم



شکل (۶۴-۱): درصد بروز قوس بر حسب زاویه حفاظت خط برای خطوط کمتر از ۵۰۰ kv

شکل (۶۳-۱): درصد بروز قوس بر حسب زاویه حفاظت خط برای خطوط کمتر از ۵۰۰ kv



شکل (۶۵-۱): برای خطوط بیشتر از ۵۰۰ kv

شکل (۶۶-۱): برای خطوط بیشتر از ۵۰۰ kv

۵۰۰

در خط ۵۰۰ کیلوولت (شکل ۶۴-۱) با ارتفاع نصب ۳۰ متر و زاویه حفاظت ۲۰ درجه همین مقدار نتیجه می‌گردد. چنانچه بر ارتفاع برجها در خط ۷۶۵ کیلوولت معادل ۱۰ متر افزوده گشته، ارتفاع آن به حدود ۵۰ متر بالغ گردد، احتمال قطعی‌ها از ۰/۱۵ به ۰/۳۵ افزایش می‌یابند (شکل ۶۵-۱)

بدین ترتیب با افزایش ۱۰ متر یا ۲۵٪ بر ارتفاع برج، احتمال قطعی‌ها تا ۲ برابر افزایش می‌یابند.

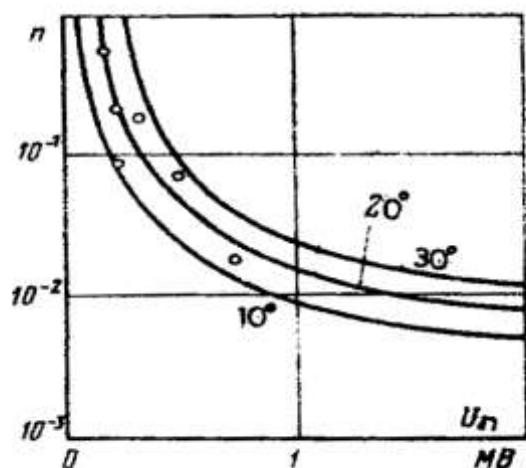
منظور ثابت نگاه داشتن درصد قطعی‌ها در ولتاژهای بالا، لازم است ارتفاع برج به طور مناسب انتخاب

گردد. همچنانکه اشاره گردید، این منظور با انتخاب شکل مناسب برجها، در این ردیف ولتاژها امکان پذیر می

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

گردد. راه دیگر کاهش زاویه حفاظت خط تا حدود $\theta \leq 10^\circ$ درجه، همزمان با افزایش ارتفاع برج می باشد.

در شکل ۱-۶۷ درصد احتمال بروز قوس در طول زنجیرمقره برحسب ولتاژ اسمی خطوط رسم گردیده است. منحنیهای مختلف به ازاء زوایای حفاظت متفاوت خط رسم گردیده اند. نقاط نشان داده شده با توجه به مشخصات خطوط احداث شده تعیین گردیده اند. چنانکه ملاحظه میگردد، به منظور کاهش احتمال قطعی ها، همزمان با افزایش ولتاژ اسمی خط، زاویه حفاظت خط از حدود 30° تا 10° کاهش یافته است.



(۱-۶۷):

درصد احتمال بروز قوس در طول

زنجیرمقره برحسب ولتاژ اسمی خط به ازاء

زوایای حفاظت

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

فصل دوم

امپدانس موجی برجها

WikiPower.ir

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

(۱-۲) مقدمه

مسیر اصلی جریانهای تخلیه جوی را به زمین در خطوط انتقال انرژی، برجها و بدنه فولادی آنان تشکیل می دهند. این مسیر با امپدانس موجی برجها تشکیل میگردد. در این فصل تاثیر شکل ظاهری و نوع برج را مقدار آن مورد مطالعه قرار داده، نوع مناسب برجها را به منظور کاهش درصد قوسهای برگشتی و تخلیه سریع بارها تعیین می نمائیم.

(۲-۲) انتشار موج در طول برج

انتشار موج در طول برج بر اساس قوانین موجهای حرکتی صورت گرفته، با انتشار و انعکاس متوالی موج در نقاط اتصال بازوها، نبشی ها و غیره توأم می باشد. فاصله زمانی لازم جهت انتشار موج در طول برج به ارتفاع ۳۰-۵۰ متر معادل $0/2 - 0/1$ میکروثانیه میباشد. تغییرات سریع ولتاژ موجی در این فاصله زمانی، در طی انتشار آن در طول برج، با پدیده های گوناگون مشابه پدیده های حاصل از انتشار موجها با فرکانس بالا، همراه می باشد. منجمله ایجاد میدان مغناطیسی و ظرفیت خازنی در مسیر انتشار موج. در این حالت انتشار موج در طول برج کاملاً مشابه انتشار موج در طول سیمهای فاز خطوط انتقال انرژی صورت گرفته، اندوکتانس خودالقاء L و ظرفیت خازنی C را نسبت به زمین، نبشی ها و بازوهای مجاور خود پدیدار می سازد، خاصیت

اندوکتیو L و خاصیت خازنی C امپدانس موجی $Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}}$ را تشکیل میدهند.

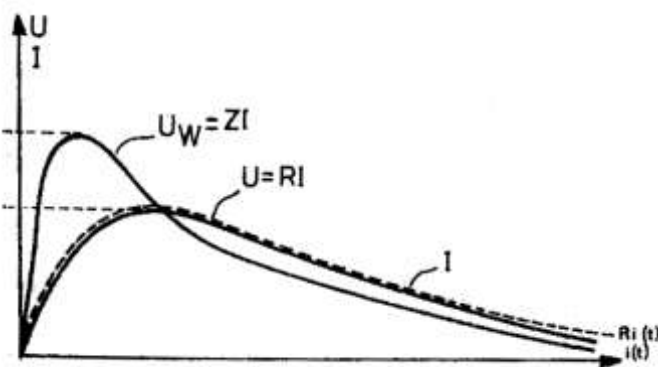
خاصیت موجی بارهای الکتریکی همچنین موجب میگردد، تا مقدار امپدانس موجی بر حسب شکل موج تخلیه جوی در طول زمان تحت تاثیر قرار گرفته، تغییر نماید. تغییرات امپدانس موجی نسبت به زمان با توجه به منحنیهای ولتاژ و جریان موجی صورت میپذیرد.

برای این منظور شکل منحنی ولتاژ موجی در نقطه فوقانی برج، به ازای جریانهای تخلیه موجی ثبت و اندازه گیری شده، از نسبت ولتاژها به جریانهای موجی تغییرات امپدانس موجی برجها بر حسب زمان مشخص میگردد، با رسم منحنی ولتاژها و جریانهای موجی عدم همزمانی در برقراری جریان موجی ناشی از ولتاژ

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

موجی آشکار می گردد، در حالیکه تخلیه سریع و بموقع بارها ایجاب می نماید تا منحنیها حت الامکان بر یکدیگر منطبق بوده، فاقد تاخیر زمانی باشند.

در شکل ۱-۲ ولتاژ موجی تغذیه برج در نقطه رأس آن با منحنی U_t و جریان موجی برقرار شده با منحنی $i(t)$ نشان داده شده اند. چنانکه ملاحظه میگردد، جریان موجی همزمان با ولتاژ موجی ظاهر شده در برج برقرار نگشته، تاخیر زمانی نسبت به آن را نشان می دهد.



شکل (۱-۲) :

شکل موج تاخیر زمانی بین ولتاژ رأس

برج با جریان موجی

وجود تاخیر زمانی در منحنیهای ولتاژ و

جریان موجی و عدم انتقال سریع بارهای الکتریکی به زمین، تغییرات امپدانس موجی برج را نسبت به زمان پدید می آورد. همچنانکه اشاره گردید این تاخیر زمانی از خاصیت خازنی C و اندوکتیو L مربوط به مسیر انتشار موج، شامل بازوها، نبشی های متعدد، اسکلت فلزی ناشی گردیده، مانع از انتقال بموقع بارها همزمان با تخلیه آنان بر برج میگردد. به همین علت امپدانس موجی برج و تغییرات آن نسبت به زمان در ولتاژ موجی ظاهر شده در برج حائز اهمیت فراوان میباشد.

با توجه به مراتب فوق امپدانس موجی برجها به شکل برج، تعداد نبشی ها، بازوهای ارتباطی و شکل اسکلت فلزی بستگی داشته، در برجها با حداقل تعداد نبشی ها و شکل ساده اسکلت فلزی امپدانس موجی برج محدود بوده، در برجها با شکل پیچیده، مقدار آن افزایش می یابد.

با توجه به دلایل فوق ولتاژ حاصل در نقاط مختلف برج، انتهای بازوها و محل اتصال زنجیر مقرر از طریق انجام آزمایشات مستقیم بر روی مدل ساخته شده برج و محاسبه مقدار دقیق امپدانس موجی توسط

کامپیوتر برآورد میگردد. به منظور برآورد ولتاژ موجی ظاهر شده در نقطه رأس برج، بدنه برج به منزله سیم

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

فاز خط انتقال در نظر گرفته شده، انتشار و انعکاس متوالی موجهای حرکتی در طول برج با توجه به امپدانس موجی آن تعیین می گردند. این ولتاژ در هنگام برآورد درصد بروز قوسهای برگشتی و تعیین مقدار قابل قبول مقاومت زمین برج مورد استفاده قرار میگیرد. برآورد امپدانس موجی برجها، مشابه خطوط انتقال انرژی، با توجه به خصوصیات L و C آنان، صورت می پذیرد. مقادیر L و C مناسب با ابعاد و اندازه برجها بوده، این ابعاد و اندازه ها در طول بدنه برج متفاوت می باشند. به همین علت از اندازه های معادل استفاده می شود. اندازه های معادل برج با انتخاب مدل مشابه آن به دو شکل استوانه و یا مخروط تعیین میگردند.

۱- پیش بینی مدل برج به صورت استوانه: امپدانس موجی سیم زمین عمودی نصب شده در زمین بر طبق شکل ۲-۲ به طول l و قطر $2a$ از رابطه زیر محاسبه می گردد.

ϵ : پرمیتیویته یا ثابت دی الکتریک

μ : پرمتابیلیته یا ثابت مغناطیس

$$Z_{0b} = \sqrt{\frac{L}{C}} = 60 \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} \log \frac{2l}{a} \quad \text{رابطه (۱-۲)}$$

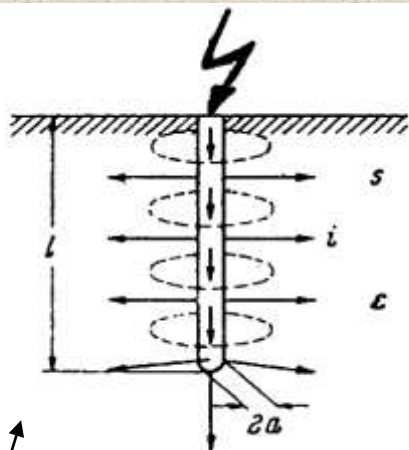
چنانچه برج نشان داده در شکل ۳-۲ مشابه میله عمودی نصب شده در زمین معادل استوانه شکل ۴-۲ هاشور خورده در نظر گرفته شود. امپدانس موجی آن می تواند بر طبق رابطه فوق محاسبه گردد، برای این منظور طول l و قطر $2a$ بر حسب ابعاد و اندازه های برج، بازوها و نبشی های آن محاسبه میگردند. مقادیر محاسبه l و a به ابعاد و اندازه های معادل برج موسوم می باشند.

بر طبق تعریف ابعاد و اندازه های معادل برج عبارت از قطر و طول میله عمودی نصب شده در زمین می باشند، که مشخصات L و C آنان با مشخصات L و C برج در شرایط یکسان برابر باشند.

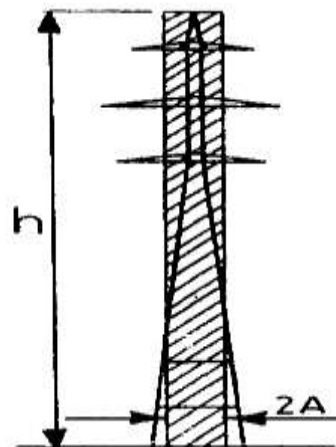
برای برج شکل ۴-۲ امپدانس موجی برج بر اساس رابطه (۱-۲) به شرح زیر محاسبه میگردد :

$$Z_{0b} = 60 \log \sqrt{\frac{2h}{A}} \quad \text{رابطه (۲-۲)}$$

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آر م سایت و به همراه فونت های لازمه



شکل (۳-۲) : نمای برج به صورت



شکل (۴-۲) : نمای برج به صورت معادل استوانه

مخروطی

شکل (۲-۲): میله عمودی نصب شده در زمین معادل برج

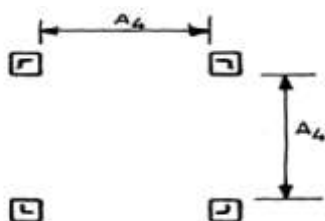
h : ارتفاع برج را تشکیل شده، معادل طول میله قرار گرفته در زمین l در نظر گرفته میشود.

A : قطر معادل برج را تشکیل داده معادل قطر میله قرار گرفته در زمین 2a در نظر گرفته میشود. قطر

معادل A در طول برج متفاوت بوده، بر حسب قطر نبشی های عمودی واقع در ۴ گوشه پایه برج و فاصله آنان

از یکدیگر A_4 از رابطه زیر محاسبه میگردد. (شکل ۵-۲)

$$A = \sqrt[4]{2bA_4^3} \quad \text{رابطه (۳-۲)}$$



b : شعاع نبشی ها واقع در ۴ گوشه برج

شکل (۵-۲): نمای قطر نبشی های عمودی واقع در ۴ گوشه پایه برج

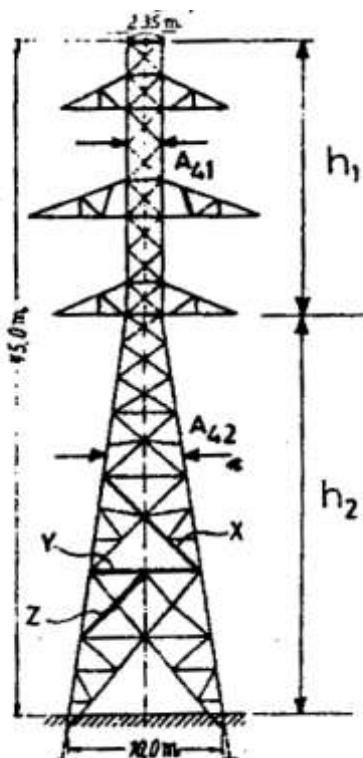
به عنوان مثال برج نشان داده شده در شکل ۲-۶ از دو قسمت جدا با ارتفاعات h_1 و h_2 با مقاطع متفاوت

تشکیل گردیده است. برای هر مقطع می توان قطر معادل A را محاسبه نمود. در قسمت h_1 به طور معمول

$b = 0.1 A_{41}$ بوده لذا بر طبق رابطه (۳-۲) مقدار قطر معادل خواهد بود :

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

$$A = 0.61A_{41} \quad \text{رابطه (۲-۴):}$$



عرض برج در ارتفاع h_2 با عرض آن در ارتفاع h_1 متفاوت

بوده، مقدار آن با نزدیک گشتن به سطح زمین افزایش می یابد. معمولاً مقدار آن در پائین ترین نقطه برج واقع در سطح زمین از نظر انعکاس موج حائز اهمیت بوده، محاسبه می گردد.

شکل (۲-۶):

برج با دو قطر معادل متفاوت

به علت تغییر قطر معادل A در طول برج امپدانس موجی برج با توجه به مقطع عرضی آن A محاسبه میگردد.

به عنوان مثال چنانچه ارتفاع برج نشان داده شده در شکل ۲-۶ معادل ۴۵ متر در نظر گرفته شود، طول هر ضلع برج در مقطع مربوط به ارتفاع h_1 معادل $A_{41} = 2.3$ متر بوده، امپدانس موجی برج در ارتفاع فوق طبق رابطه (۲-۲) خواهد بود:

$$Z_{01} = 60 \log \frac{2 \times 45}{0.61 \times 2.35} = 248 \Omega$$

بدین ترتیب امپدانس موجی برج در طول آن متناسب با ابعاد و اندازه های مقاطع مختلف مقادیر متفاوت را دارا می گردد. در حالیکه در قسمت اعظم مسیر انتشار موجها شامل کندوکتورهای زمین و یا کندوکتورهای فاز خطوط انتقال انرژی، مقاطع سیم های فاز و زمین در سرتاسر طول خط ثابت بوده، امپدانس موجی برابر و یکسان را عرضه میسازند.

امپدانس موجی Z_{02} مربوط به ارتفاع h_2 به ازا مقطع مربوط به پائین ترین نقطه برج واقع در مجاور سطح زمین $A_{42} = 10$ m طبق رابطه (۲-۲) خواهد بود:

$$Z_{02} = 60 \log \frac{2 \times 45}{0.61 \times 10} = 162 \Omega$$

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آر مسایت و به همراه فونت های لازم

۲- پیش بینی مدل برج به صورت مخروط : در این حالت برج معادل به صورت مخروط مشابه شکل ۲-۷ در نظر گرفته شده ، امپدانس موجی آن از رابطه زیر محاسبه می گردد:

$$Z_{0b} = 60 \log \frac{\sqrt{2}}{\sin \alpha} \quad \text{رابطه (۲-۵)}$$

زاویه α زاویه رأس مخروط را نشان میدهد، به علت نزدیک بودن فواصل TH و TE به یکدیگر رابطه مقابل

$$\sin \alpha = \operatorname{tg} \alpha = \frac{r_b}{H} \quad \text{رابطه (۲-۶)}$$

r_b : شعاع معادل قاعده مخروط برج واقع بر روی زمین که بر طبق رابطه زیر نوشته می شود:

$$r_b = \sqrt{\frac{b_1 \cdot b_2}{\pi}} \quad \text{رابطه (۲-۶)}$$

r_b

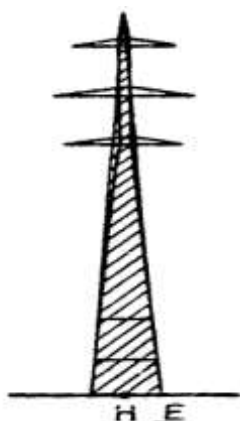
$$\log \frac{H\sqrt{2}}{r_b} Z_{0b} = 60 \quad \text{رابطه (۲-۷)}$$

به عنوان مثال برای برج با فاصله پایه ها در سطح زمین معادل $b_1 = b_2 = 6m$ و ارتفاع برج معادل

$h = 30 m$ ، طبق رابطه (۲-۶) ، رابطه (۲-۷) خواهیم داشت :

$$r_b = \sqrt{\frac{6 \times 6}{\pi}} = 3.4 \rightarrow Z_{0b} = 60 \log \frac{30\sqrt{2}}{3.4} = 151 \Omega$$

چنانکه در شکل ۲-۷ ملاحظه میگردد، مدل برج به صورت مخروط بیش از مدل برج به صورت استوانه با برجهای قائم تطبیق دارد، لذا در هنگام محاسبه امپدانس موجی برج بیشتر مدل مخروطی آن در نظر گرفته می شود.



۶-۲ در صورتی که برج به دو قسمت با ارتفاعات و مقاطع متفاوت نظیر شکل

تقسیم شود، امپدانس موجی قسمت با ارتفاع h_1 با استفاده از مدل استوانه ، و

قسمت با ارتفاع h_2 با استفاده از مدل مخروطی برآورد میگردد.

شکل (۲-۷) : مدل برج به صورت مخروط

در برجهای با نصب افقی فازها استفاده از برج مدل به شکل استوانه مناسب تر

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

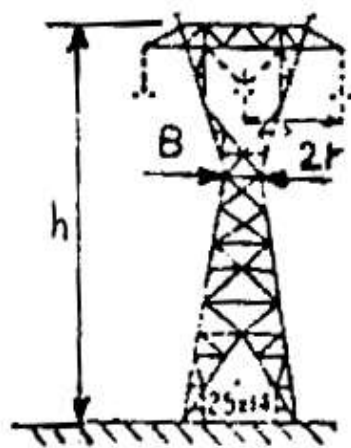
میباشد. در پاره ای از هند بوک ها و دستور العمل ها امپدانس موجی برجها به شکل روابط زیر ارائه گردیده

اند:

شکل ۲-۸ برای برج با اسکلت فلزی از نوع دروازه ای با نصب افقی فازها.

شکل ۲-۹ برای برج با اسکلت فلزی قائم از نوع ایستاده با نصب قائم فازها.

شکل ۲-۱۰ برای برج از نوع compact یا ابعاد محدود با بدنه فولادی.



$$\text{رابطه (۲-۸): } Z_t = 60 \left[\ln \left(\sqrt{2} \frac{2h}{r} \right) - 1 \right]$$

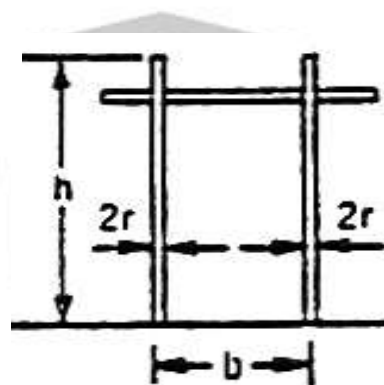
شکل (۲-۸): برج با اسکلت فلزی از نوع دروازه ای با نصب

افقی فازها

$$Z_t = \frac{1}{2} (Z_s + Z_m)$$

رابطه (۲-۹):

$$Z_s = 60 \ln \left(\frac{h}{r} \right) + 90 \left(\frac{r}{h} \right)$$

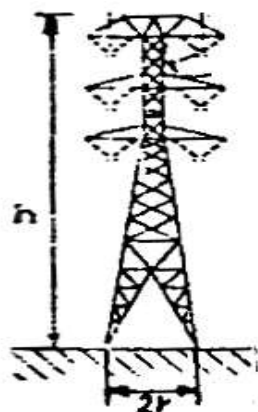


رابطه (۲-۱۰): -60

$$Z_m = 60 \ln \left(\frac{h}{b} \right) + 90 \left(\frac{b}{h} \right)$$

رابطه (۲-۱۱): -60

شکل (۲-۹): برای برج با اسکلت فلزی قائم از نوع ایستاده با نصب قائم فازها



$$\text{رابطه (۲-۱۲): } Z_t = 30 \ln \frac{2(h^2 + r^2)}{r^2}$$

شکل (۲-۱۰): برای برج از نوع compact یا ابعاد محدود با بدنه فولادی

در روابط فوق از پدیده های ناشی از انتشار و انعکاس متوالی موج در طول

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

بازوها، نبشی های ارتباطی و تقویتی، همچنین مشخصات خازنی C و اندوکتیو آنان L صرفنظر گردید. به عنوان مثال قطر معادل A در رابطه مربوط به مدل استوانه ای برج صرفاً با توجه به قطر معادل ۴ نبشی عمودی واقع در ۴ گوشه برج بدون در نظر گرفتن بازوها و نبشی های مایل γ, Z, X برآورد میگردد (شکل ۲-۶). در حالیکه عملاً بازوها و نبشی های متعدد با ابعاد و اندازه های متفاوت واقع در مسیر انتشار جریان موجی خصوصیات L و C آنان، امپدانس موجی برج را تا حدود $\pm 10\%$ تغییر داده، از یکنواختی آن در طول برج به طور قابل ملاحظه می کاهند، به طوری که مقدار امپدانس موجی برج در طول آن متناسب با شکل برج و تعداد نبشی ها و بازوهای تقویتی تغییر نموده، برآورد مقدار دقیق آن در هر مقطع به سهولت امکان پذیر نمی باشد. به همین علت ولتاژ حاصل در نقطه فوقانی یا نقطه رأس برج در پی تخلیه جوی مستقیم و ظهور بارهای الکتریکی، تا حدودی متفاوت از برآورد مقدار این ولتاژ از طریق محاسبه امپدانس موجی برج می باشد.

(۲-۳) تغییرات امپدانس موجی برجها با جهت تخلیه بر برج

امپدانس موجی برجها بر حسب امتداد کانال تخلیه جوی تاثیر قرار گرفته، مقادیر متفاوت را دارا می گردد. در مطالعات قبل کانال تخلیه جوی در امتداد قائم بر نقطه رأس برج واقع بوده است. در هنگام تخلیه جوی مستقیم بر سیم زمین در فاصله برجها، جریان موجی در طول سیمهای زمین منتشر گشته، در امتداد افقی بر نقطه رأس برج وارد، سپس در امتداد قائم در طول بدنه برج منتشر می گردد، در این حالت سیم زمین به مثابه کانال تخلیه جوی واقع در امتداد افقی فرض میگردد.

تغییرات امپدانس موجی برج با فرض برج معادل به صورت مخروط، به ازاء تخلیه در امتداد قائم (تخلیه

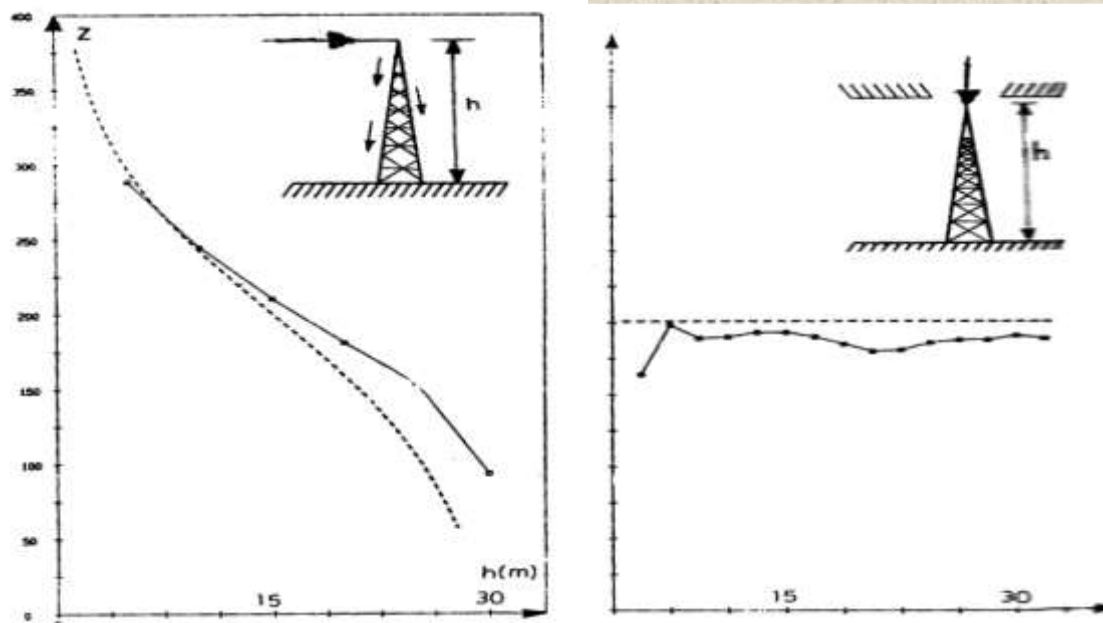
مستقیم بر بدنه برج) و در امتداد افقی (تخلیه مستقیم بر سیم زمین) به ترتیب در اشکال ۲-۱۱ و ۲-۱۲

نشان داده شده است. چنانکه مشاهده می گردد، تغییرات امپدانس موجی برج در دو حالت تخلیه جوی

بستگی کامل به ارتفاع برج داشته، مطابق شکل ۲-۱۱ در صورت تخلیه قائم بر برج مقدار آن نسبتاً ثابت

در فاصله دو حد ۲۰۰-۱۸۰ اهم واقع بوده است.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آر م سایت و به همراه فونت های لازم



شکل (۲-۱۱): تغییرات امپدانس موجی برج به ازاء تخلیه در امتداد قائم

شکل (۲-۱۲): تغییرات امپدانس موجی برج به ازاء تخلیه در امتداد افقی

در صورت تخلیه بر سیم زمین و کانال تخلیه افقی، امپدانس موجی برج بر حسب ارتفاع آن در فاصله وسیع ۲۸۰-۸۰ اهم متغیر بوده است.

در شکل ۲-۱۳ منحنی مشابه مربوط به تغییرات امپدانس موجی به ازاء کانال تخلیه افقی بر برج معلق نوع ۷

(شکل ۲-۱۴) نشان داده شده است. در این نوع برج مدل مشابه به صورت مخروط با نقطه رأس آن بر روی

زمین در نظر گرفته میشود. چنانکه مشاهده میگردد، امتداد کانال تخلیه جوی، به صورت افقی، تغییر در

امپدانس موجی این برج را بر حسب ارتفاع آن موجب نمی گردد. با مقایسه منحنی فوق با منحنی مشابه

مربوط به برج معمولی شکل ۲-۱۲ تغییر قابل توجه امپدانس موجی برج و تاثیر شکل برج در مقدار آن ظاهر

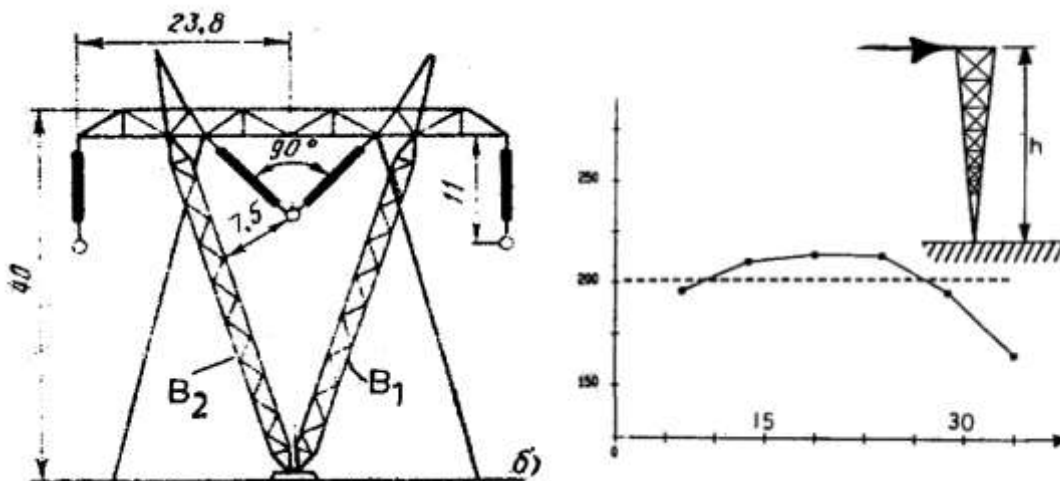
میگردد. به همین علت بر طبق آخرین بررسیها و مطالعات انجام شده برجهای نوع معلق از نظر حداقل

اسکلت فلزی مورد نیاز، عکس العمل مناسب در قبال ولتاژ موجی و سهولت نصب توصیه و پیشنهاد گردیده

اند. در این نوع برجهای دو اسکلت فلزی به صورت دو ستون نگهدارنده B_1 و B_2 توسط سیم های مهارى به

زمین محکم گردیده اند.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آر م سایت و به همراه فونت های لازمه



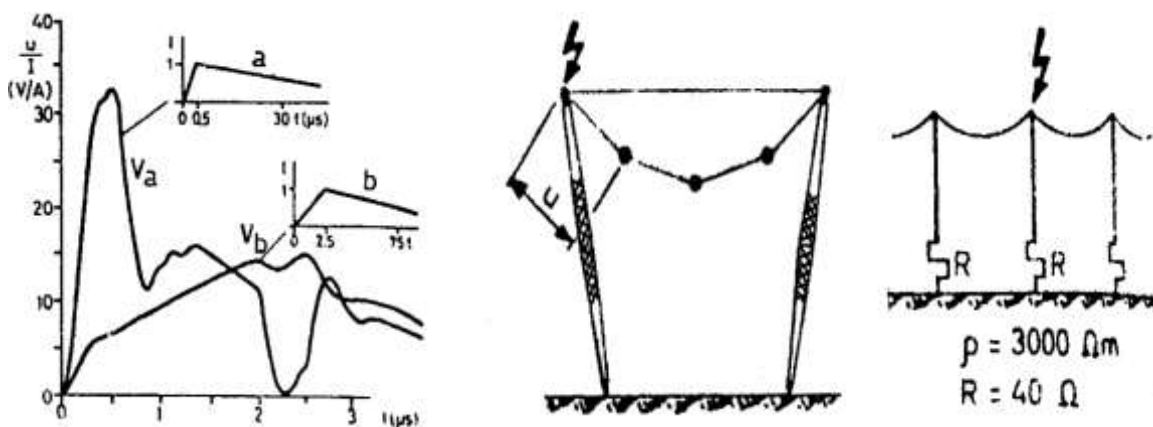
شکل (۲-۱۴): تغییرات امپدانس موجی به ازاء کانال تخلیه افقی بر برج معلق

شکل (۲-۱۳): نمای

برج معلق در شکل ۲-۱۵ ولتاژ موجی حاصل در نقطه فوقانی برج معلق نوع سیرکی به ازاء جریانهای تخلیه جوی

مطابق منحنیهای a و b یا V_a و V_b نشان داده شده اند. منحنی a جریان موجی اولین تخلیه و منحنی b تخلیه های بعدی را بر برج مشخص میسازند. این منحنیها با منحنی ولتاژهای موجی در برجهای معمولی، شکل ۱-۱۹ قابل مقایسه می باشند.

نمای برج و نقطه تخلیه جوی بر آن در شکل ۲-۱۶ نشان داده شده است.



شکل (۲-۱۵): ولتاژ موجی حاصل در نقطه

شکل (۲-۱۶): نمای برج معلق و نقطه تخلیه جوی

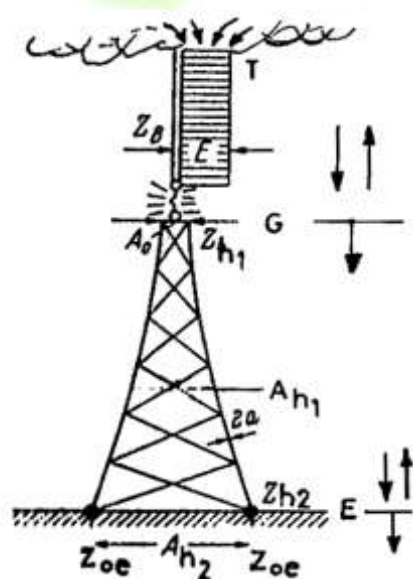
فوقانی برج معلق

شکل (۲-۴) برآورد ولتاژ موجی در نقطه رأس برج

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آر م سایت و به همراه فونت های لازم

جریان برقرار شده در کانال تخلیه جوی دارای خصوصیات موجی بوده، برقراری آن با توجه به قوانین انتشار و انعکاس موجها صورت می پذیرد. به همین علت شکل منحنی موجی متشکل از نوسانات پله ای متعدد بوده، این نوسان همزمان با تخلیه بارها بتدریج مستهلک میگردند. در هنگام تخلیه بر برج، شرایط تخلیه جوی کاملاً مشابه تخلیه بر زمین بوده، انتهای کانال تخلیه جوی بر نقطه رأس برج ختم می گردد. قسمتی از جریان موجی در نقطه رأس برج G منعکس گردیده، طول کانال تخلیه را طی نموده، در نقطه T مجدداً منعکس شده به سمت برج منتشر می گردد (شکل ۲-۱۷).

سرعت انتشار موج معادل سرعت نور $300 \frac{m}{\mu s}$ بوده، مدت زمان لازم جهت رفت و برگشت موج در طول کانال تخلیه برای ابر واقع در ارتفاع ۲۰۰ متر به حدود $1/33$ میکروثانیه و برای ابر واقع در ارتفاع ۱۰۰۰ متر به حدود $3/33$ میکروثانیه به طول می انجامد، رفت و برگشت متوالی موج شکل ولتاژ حاصل در نقطه انتهای برج را تحت تاثیر قرار داده، منحنی ولتاژ موجی را به صورت پله ای ظاهر میسازد.



همزمان با ظهور ولتاژ موجی، بارهای الکتریکی تخلیه جوی به صورت جریان موجی در طول برج به سمت زمین منتشر گشته، قسمتی از آن در نقطه E ، محل اتصال برج به زمین، منعکس شده، مجدداً در نقطه رأس برج ظاهر می گردد (شکل ۲-۱۷). فاصله زمانی لازم جهت ظهور موج در نقطه رأس برج متناسب با ارتفاع برج و به شرح زیر می باشد:

شکل (۲-۱۷): منعکس ولتاژ موجی در نقطه راس برج و انتهای

آن

$$T = 2\tau = 2 \times \frac{h}{300} \quad \text{رابطه (۲-۱۳):}$$

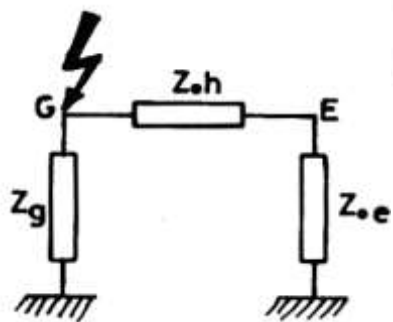
برای برج به ارتفاع $h=45$ متر فاصله زمانی رفت و برگشت موج طبق رابطه (۲-۱۳) خواهد بود:

$$T = 2 \times \frac{45}{300} = 0.3 \mu s$$

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

بدین ترتیب موج انعکاسی در نقطه E، در فاصله زمانی $0/3$ میکروثانیه از لحظه تخلیه جوی بر نقطه رأس برج ظاهر گردیده، منحنی جریان موجی حاصل در این نقطه را تحت تاثیر قرار می دهد. شرایط فوق موجب می گردند تا جریان موجی تخلیه در نقطه رأس برج از طرفی تحت تاثیر جریانهای موجی منعکس شده در طول برج واقع گردد. به همین علت ولتاژ موجی ظاهر شده در نقطه رأس برج با توجه به تاثیر ولتاژهای موجی منتشر و منعکس شده در کانال تخلیه جوی و بدنه برج برآورد و محاسبه می گردد. محاسبه ولتاژ موجی در شرایط فوق بسیار دشوار بوده، این محاسبه از طریق روابط پیچیده و طولانی انجام میشود. به علت طول بسیار کوتاه انتشار موج در بدنه برج، تاثیر ولتاژ موجی منعکس شده در بدنه بیش از تاثیر موج منعکس شده در کانال تخلیه جوی می باشد. لذا به بررسی تاثیر ولتاژ موجی منعکس شده از نقطه E در ولتاژ رأس برج اکتفا می نمائیم.

به منظور برآورد ولتاژها در نقطه رأس برج، برج با توجه به امپدانس موجی خود Z_{0h} به مثابه خط انتقال با طول بسیار کوتاه در نظر گرفته می شود، که در یک انتها به امپدانس موجی اتصال زمین برج Z_{0e} و در انتهای دیگر به امپدانس موجی سیم Z_g متصل گردیده باشد. از کانال تخلیه جوی و امپدانس موجی آن صرف نظر می گردد (شکل ۲-۱۸).



شکل (۲-۱۸):

مدار معادل امپدانس های موجی در مقابل جریان موجی

ابتدا دامنه ولتاژ موجی در نقطه رأس برج را بدون وجود سیم زمین، مورد مطالعه قرار میدهیم.

الف - برج فاقد سیم زمین میباشد: با انتشار موج در طول برج و برخورد به محل اتصال زمین E، قسمتی از موج منعکس گشته قسمت دیگر آن به زمین وارد می گردد، درصد موجهای منعکس شده در طول برج با توجه به امپدانس موجی قسمت تحتانی برج Z_{0h2} در شکل ۲-۱۹ و امپدانس موجی سیستم زمین آن Z_{0e} عبارتند از:

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

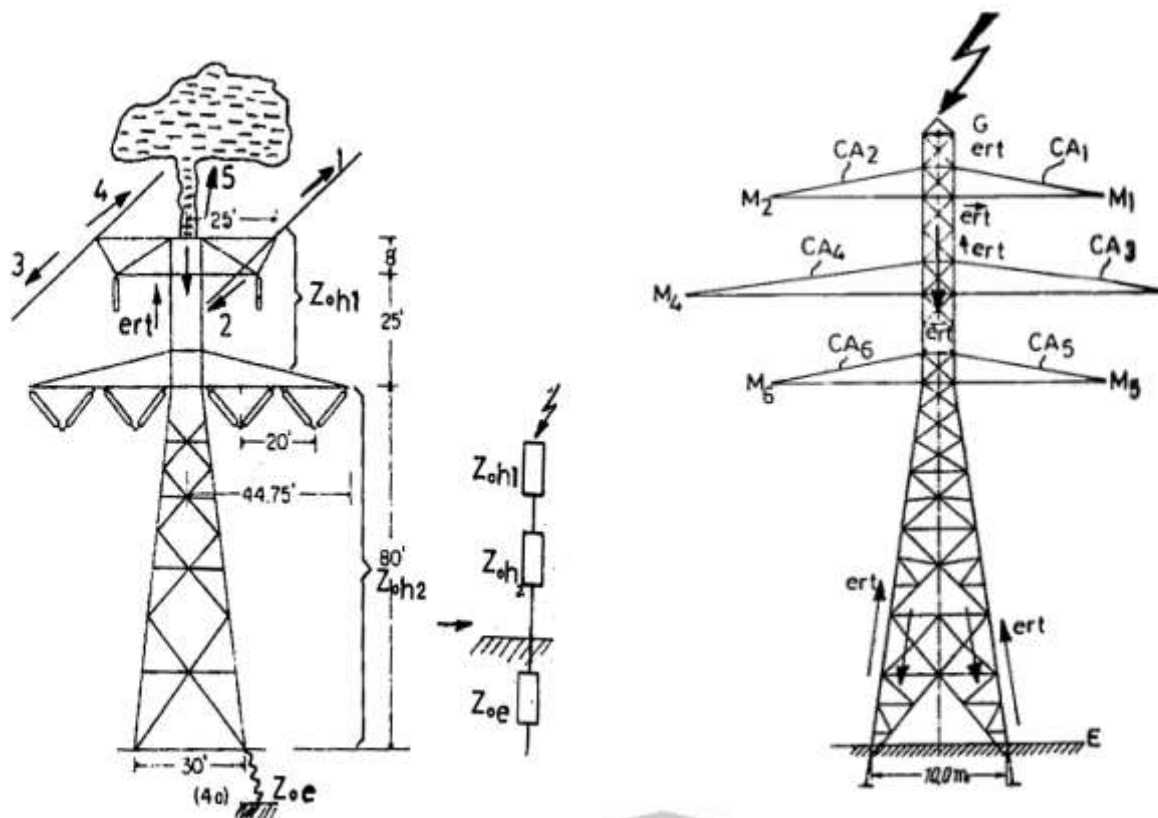
$$e_{rt} = \frac{Z_{0e} - Z_{0h2}}{Z_{0e} + Z_{0h2}} e_t \quad \text{رابطه (۲-۱۴):}$$

موج e_{rt} به سمت نقطه رأس برج G منتشر گشته، مقدار و علامت آن بستگی به امپدانس موجی سیستم زمین برج Z_{0e} خواهد داشت. همچنانکه دیدیم این موج در فاصله زمانی 2τ از لحظه تخلیه موج در نقطه رأس آن برج G افزوده گشته، دامنه موج را در این نقطه افزایش می دهد. چنانچه دامنه موج منعکس شده منفی باشد، از دامنه موج در نقطه رأس برج G می کاهد، بدین ترتیب علامت و مقدار موج انعکاسی در دامنه ولتاژ حاصل در نقطه رأس برج کاملاً موثر واقع گردیده، بر طبق روابط قبل برآورد میگردد. لذا علامت موج انعکاسی e_{rt} را بر حسب نسبت $\frac{Z_{0e}}{Z_{0h2}}$ بررسی مینمائیم.

۱- در صورتیکه امپدانس موجی سیستم زمین برج، نسبت به امپدانس موجی تحتانی آن بسیار بالا باشد، یا $\frac{Z_{0e}}{Z_{0h2}}$ قسمت تحتانی برج یا انتهای مسیر انتشار موج شرایط مشابه خط باز را دارا بوده، موج e_{rt} با دامنه دو برابر موج e_t منعکس میگردد، به علت کاهش تدریجی قطر معادل برج، امپدانس موجی برج در مسیر انتشار موج به سمت نقطه رأس آن افزایش یافته، موجب میگردد تا دامنه موج در طی انتشار به سمت نقطه T به نسبت $\sqrt{\frac{Z_{0h1}}{Z_{0h2}}}$ افزایش یابد. در این صورت دامنه موج منعکس شده در نقطه رأس برج G خواهد بود:

$$e_{rt} = \sqrt{\frac{Z_{0h1}}{Z_{0h2}}} \quad \text{رابطه (۲-۱۵):}$$

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آر م سایت و به همراه فونت های لازمه



شکل (۲-۱۹): نمایش برج با مدار معادل و کانال تخلیه

شکل (۲-۲۰): برج با بازوهای بلند

برای برج نشان داده شده در شکل ۲-۲۰ درصد قابل توجه از موج e_{rt} در طول بازوهای CA_1, CA_2, CA_3 منتشر گشته، در نقاط انتهایی بازوها M_1, M_2, M_3 ظاهر میگردد. در این نقاط مسیر انتشار موج شرایط مدار باز را دارا بوده، امپدانس معادل بی نهایت ظاهر گشته، دامنه موج در نقاط فوق یا محل اتصال زنجیر مقرر تا دو برابر افزایش می یابد. افزایش دامنه موج تا دو برابر در شرایط فوق، احتمال بروز قوسهای برگشتی را در این نقاط به طور قابل ملاحظه افزایش می دهد.

تاثیر موج انعکاسی در افزایش دامنه ولتاژ موجی هنگامی قابل توجه خواهد بود، که طول بازوها و زمان لازم جهت انتشار موج در آنان در حدود فاصله زمانی پیشانی موج e_t واقع باشد. این حالت در برجها با بازوهای طولانی نظیر شکل ۲-۲۰ محسوس تر خواهد بود. در صورت محدود بودن فاصله زمانی انتشار و انعکاس موج یا $2T$ ، نسبت به فاصله زمانی پیشانی موج e_t تاثیر موج انعکاسی در دامنه ولتاژ موجی ناچیز خواهد بود.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آر م سایت و به همراه فونت های لازم

۲- در صورتیکه امپدانس موجی سیستم زمین برج Z_{0e} نسبت به امپدانس موجی برج Z_{0h2} ناچیز باشد، در

این صورت $\frac{Z_{0e}}{Z_{0h2}} < 1$ بوده، موج با علامت منفی منعکس گشته و لتاژ حاصل در نقطه رأس برج را کاهش می

دهد. این حالت شرایط مناسب و قابل قبول را دارا می باشد.

با توجه به مراتب فوق، مقادیر مناسب Z_{0e} و Z_{0h2} مربوط به این حالت را تعیین می نمائیم برای این

منظور رابطه قبل را تعیین علامت نموده، جدول ۲-۱ را جهت تعیین علامت آن نسبت به $\frac{Z_{0e}}{Z_{0h2}}$ تشکیل می

دهیم.

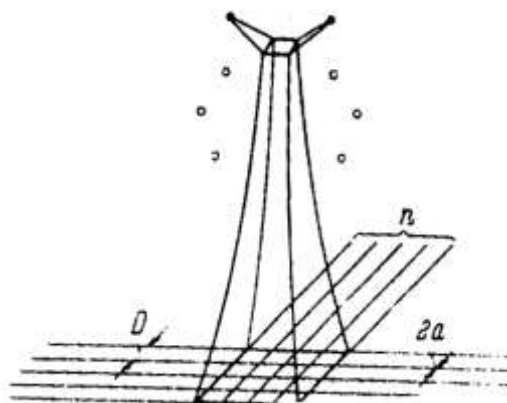
نسبت $\frac{Z_{0e}}{Z_{0h2}}$	> 1	$= 1$	< 1
ولتاژ در نقطه رأس برج	حداکثر	ثابت	حداقل

جدول (۲-۱): جهت تعیین علامت ولتاژ در نقطه رأس

بر طبق جدول (۲-۱) هنگامیکه امپدانس موجی برج در قسمت تحتانی آن Z_{0h2} بالا باشد، امپدانس موجی

سیستم زمین برج نیز می تواند بالا انتخاب گردد. آنچنانکه

همواره از امپدانس موجی برج Z_{0h2} کمتر باشد.



شکل (۲-۲):

طرح سیستم زمین مناسب جهت کاهش امپدانس موجی

کاهش امپدانس موجی زمین برج با طرح سیستم زمین مناسب جهت آن تامین میگردد.

در ساده ترین حالت این سیستم بر طبق شکل ۲-۲ با نصب هادیهای افقی عمود بیکدیگر در عمق محدود

زمین و تا فاصله ۵۰-۱۰۰ متر در حول برج حاصل میگردد.

در صورتیکه مقاومت مخصوص خاک در محل احداث برج بالا بوده، و مقاومت سیستم زمین برج تا حدود

مورد نظر کاهش نیابد، هادیهای عمودی موسوم به الکتروود اضافه می شوند. به طور کلی با توجه به نحوه

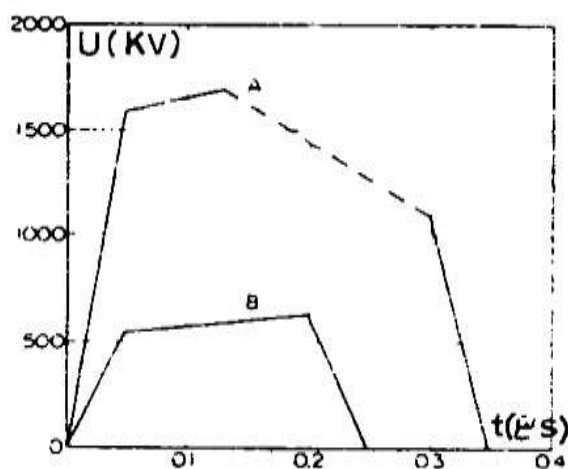
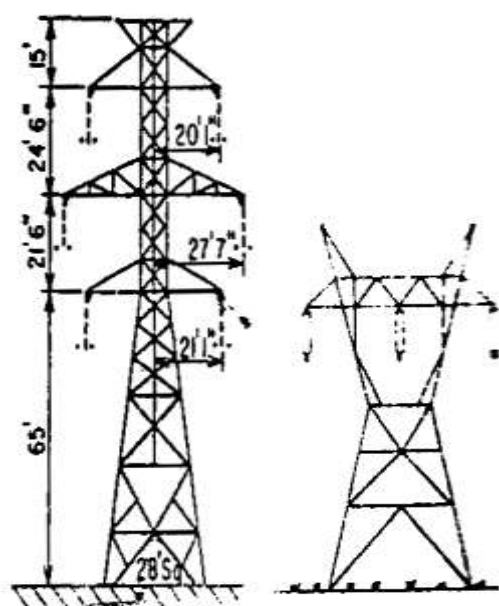
برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

انتشار موج در طول هادیها و انعکاس موج در محل اتصال آنان به یکدیگر، نقطه اتصال ۴ نبشی برج به سیستم زمین ایجاد شده حائز اهمیت فراوان می باشد.

ب- برج مجهز به یک یا ۲ سیم زمین در نقطه رأس خود می باشد. هنگامی که برج در نقطه رأس خود به ۱ یا ۲ سیم زمین ختم میگردد، موج منعکس شده در نقطه رأس برج در سیمهای زمین، کانال تخلیه جوی و غیره تقسیم گشته، تاثیر آن در ولتاژ موجی نقطه رأس می یابد.

به عنوان مثال در برجهای با دو سیم زمین، در هر سیم زمین موج به دو قسمت تقسیم گشته، در هر قسمت در طول سیم زمین منشر می گردد. بدین ترتیب موج منعکس شده در نقطه رأس برج در ۵ مسیر ۴ مسیر سیم زمین و یک مسیر کانال تخلیه جوی تقسیم گشته از تاثیر آن در ولتاژ موجی نقطه رأس بطور قابل ملاحظه کاسته میگردد (شکل ۲-۱۹). بدین ترتیب شرایط ظهور موج انعکاسی در نقطه رأس برج کاملاً مشابه قسمت الف بوده، دامنه موج به نسبت تعداد مسیرها کاهش می یابد.

در شکل ۲-۲۲ منحنیهای ولتاژهای موجی ظاهر شده در نقطه رأس دو نوع برج پیش بینی شده جهت ولتاژ ۳۴۵ کیلو ولت داده شده اند، دو نوع برج از نوع دو مداره قائم، و یک مداره افقی مجهز به دو سیم زمین بوده اند. امپدانس زمین برجهای بی نهایت فرض گردیده است ($Z_g = \infty$ و Z_{0e}) جریانهای موجی در نقطه رأس برجهای را تغذیه نموده، ولتاژهای ظاهر شده در این نقاط اندازه گیری و ثبت شده اند (شکل ۲-۲۳).



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

شکل (۲-۲۳): منحنی ولتاژ رأس برج به ازای دو برج متفاوت

شکل (۲-۲۲): نمای برج تک مداره و دو مداره

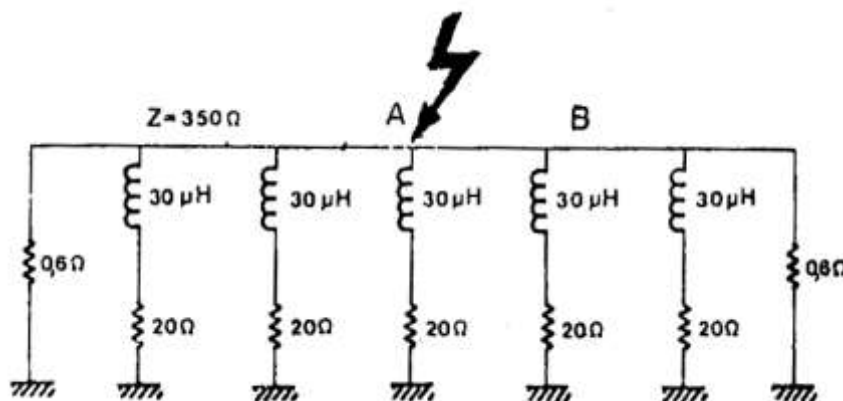
(۲-۵) تاثیر سیم زمین در ولتاژهای ظاهر شده در نقطه رأس برج

وجود سیم زمین و ارتباط الکتریکی کلیه برجها بیکدیگر، شکل ولتاژ موجی ظاهر شده در نقطه رأس برج را در پی انتشار و انعکاس متوالی آن تحت تاثیر قرار می دهد. این تاثیر به دو دلیل عمده زیر روی می دهد:

1 - وجود سیم زمین در نقطه رأس، امپدانس واقع در نقطه رأس برج یا Z_G را کاهش داده، دامنه موجهای منعکس شده از این نقطه را تقلیل می دهد. هنگامیکه امپدانس موجی این نقطه به صفر نزدیک گردد، شرایط خط با انتهای اتصال کوتاه فراهم گشته، موج با علامت منفی منعکس میگردد، به طوری که امپدانس ناچیز این نقطه در پی اتصال سیمهای زمین به آن استهلاک موجها را امکان پذیر می سازد.

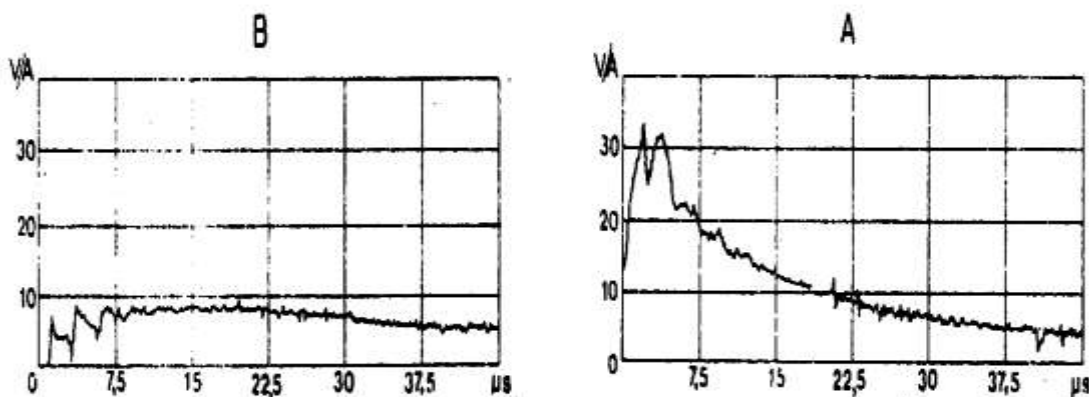
2 - بر طبق بررسی که در قسمت قبل صورت گرفت، بلافاصله پس از تخلیه جوی بر برج، قسمت قابل توجه از جریانهای تخلیه جوی در سیمهای زمین وارد گشته، با انتشار در طول این سیمها، به برجهای بعدی رسیده، از طریق بدنه آنان به زمین تخلیه می گردند. بطوریکه وجود سیم زمین انتقال بارهای تخلیه جوی را از بدنه کلیه برجها به زمین امکان پذیر می سازد. وجود سیم زمین و ارتباط الکتریکی برجها با یکدیگر توسط آن، در ولتاژهای موجی ظاهر شده بر نقطه رأس برج نیز موثر واقع می گردد. در شکل ۲-۲۴ تخلیه بر برج A صورت گرفته، ولتاژهای موجی ظاهر شده در برج و بر مجاور آن در شکل ۲-۲۵ نشان داده شده اند. چنانچه ملاحظه می گردد، ولتاژ در برج مجاور پس از گذشت فاصله زمانی لازم جهت انتشار موج از برج A به برج B ظاهر گردیده است.

هنگامیکه تخلیه بر طبق شکل ۲-۲۶ در فاصله بین دو برج روی دهد، شکل ولتاژهای موجی ظاهر شده در نقطه رأس برجها کاملاً متفاوت از حالت قبل مربوط به تخلیه جوی مستقیم بر برج را تحت تاثیر قرار داده است (شکل ۲-۲۷).

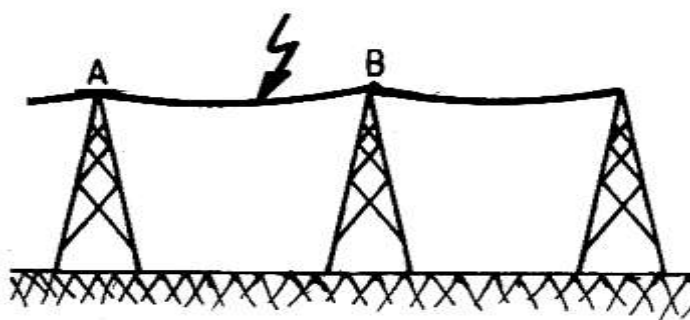


برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

شکل (۲-۲۴): مدار معادل برجها



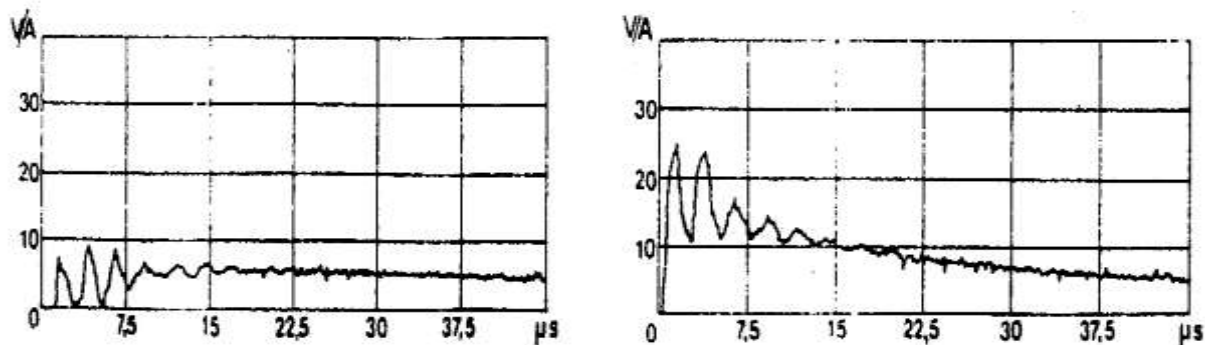
شکل (۲-۲۵): ولتاژهای موجی ظاهر شده در برج و بر مجاور آن



نمایش تخلیه بر

شکل (۲-۲۶):

فاصله بین دو برج



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آر م سایت و به همراه فونت های لازمه

A شکل (۲-۲۷): شکل ولتاژهای موجی ظاهر شده در نقطه رأس برجها B

(۲-۶) استهلاك موج در طول برج

انعکاس موج را در محل انتقال برج به زمین، همچنین تاثیر امپدانس موجی سیستم زمین آن را در دامنه ولتاژ منعکس شده بررسی نمودیم. موج منعکس شده e_{rt} از نقطه T در نقطه رأس برج (شکل ۲-۲۸) با دامنه دو برابر منعکس شده، موج e_{rt} را طبق شکل ۲-۲۹ به وجود می آورد. موج فوق در طول برج منتشر شده با رسیدن به نقطه E محل اتصال برج به زمین قسمتی از آن معادل e_{rt2} منعکس و قسمت دیگر آن در زمین وارد می گردد. به همین ترتیب انتشار متوالی موج در فاصله بین دو نقطه T و E و انعکاس آن در این نقاط تا استهلاك کامل موج ادامه می یابد. چنانچه امواج منعکس شده در فاصله بین دو نقطه T و E بر حسب زمان

رسم گردند، شکل ۲-۲۹ حاصل می گردد. در ابتدا موج e_t

از نقطه T منتشر شده، در طی انتشار از نقطه T به نقطه E

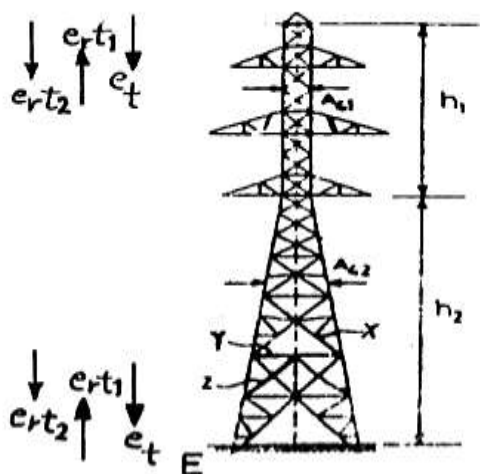
متناسب با زمان افزایش می یابد. لذا منحنی تغییرات آن در

امتداد D_1 واقع می باشد. موج منعکس شده از نقطه E در

امتداد D_2 و موج سوم منعکس شده از نقطه T در امتداد

D_4 واقع می باشند. انعکاس موج تا استهلاك کامل آن

ادامه می یابد.



شکل (۲-۲۸): نمایش موجهای منعکس شده

ذیلاً منحنی تغییرات ولتاژ موجی ظاهر شده در نقطه رأس برج T را با توجه به انعکاسهای متوالی آن در

طول برج به ارتفاع ۴۵ متر بررسی می نمائیم. زمان لازم جهت انتشار و انعکاس موج در طول برج از نقطه T

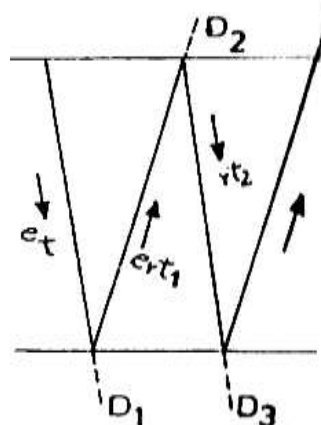
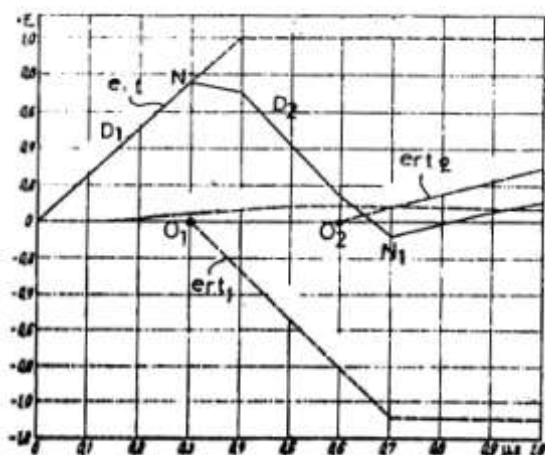
به E و سپس از E به T به حدود $0/3$ بالغ می گردد. ولتاژ ظاهر شده در نقطه T رأس برج دارای زمان پیشانی

$0/4$ بوده، لذا در این فاصله زمانی به افزایش خود ادامه داده، بر طبق امتداد e_t مشخص می گردد (شکل ۲-۲)

۳۰). با توجه به زمان رفت و برگشت موج نقطه تحتانی آن معادل $0/3 \tau = 2$ ، اولین موج انعکاسی e_{rt1} از

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آر م سایت و به همراه فونت های لازم

نقطه E در فاصله زمانی $0.15 \mu s$ در نقطه T ظاهر می گردد. به علت دامنه منفی این موج از دامنه موج e_t در لحظه $0.3 \mu s$ منطبق با نقطه N کاسته می گردد.



شکل (۲-۳۰): تطبیق منحنی

شکل (۲-۲۹): نمایش رفت و برگشت موج در طول برج

های موج انعکاسی

موج انعکاسی دوم e_{rt2} در فاصله زمانی $0.3 \mu s$ پس از نقطه O1 یا $0.6 \mu s$ از نقطه O به نقطه رأس برج T رسیده به دامنه موج اصلی e_t افزوده گشته، از نقطه N_1 دامنه آن را افزایش می دهد. بطوریکه شکل موج اصلی e_t بر طبق منحنی خط پر تغییر می نماید.

(۲-۷) طرق گوناگون کاهش امپدانس موجی برجهای

همچنانکه بررسی نمودیم امپدانس موجی برجهای و تغییرات آن نسبت به زمان یکی از علل اصلی بروز قوسهای برگشتی در برجهای انتقال انرژی بخصوص برجهای از نوع اسکلت فلزی میباشد. به منظور کاهش امپدانس موجی برجهای و جلوگیری از تاثیر آن در انتقال بارهای الکتریکی به زمین راه حلهای گوناگون ارائه گردیده اند.

1 - عایق نمودن سیمهای زمین از برج و اتصال مستقیم و جداگانه آنان به زمین، با این عمل بارهای

الکتریکی تخلیه جوی نه از طریق بدنه برج بلکه از طریق سیم اتصال جداگانه به زمین منتقل می

گردند. بدین ترتیب از ظهور ولتاژهای موجی بر روی بدنه برج و بروز قوسهای برگشتی جلوگیری به عمل

خواهد آمد (شکل ۲b و ۳۱). این روش مستلزم هزینه بالا بوده، اجرای آن تا حدودی غیر ممکن می باشد.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

2 - اتصال مستقیم سیمها به زمین، از طریق نصب تسمه مسی در طول برج

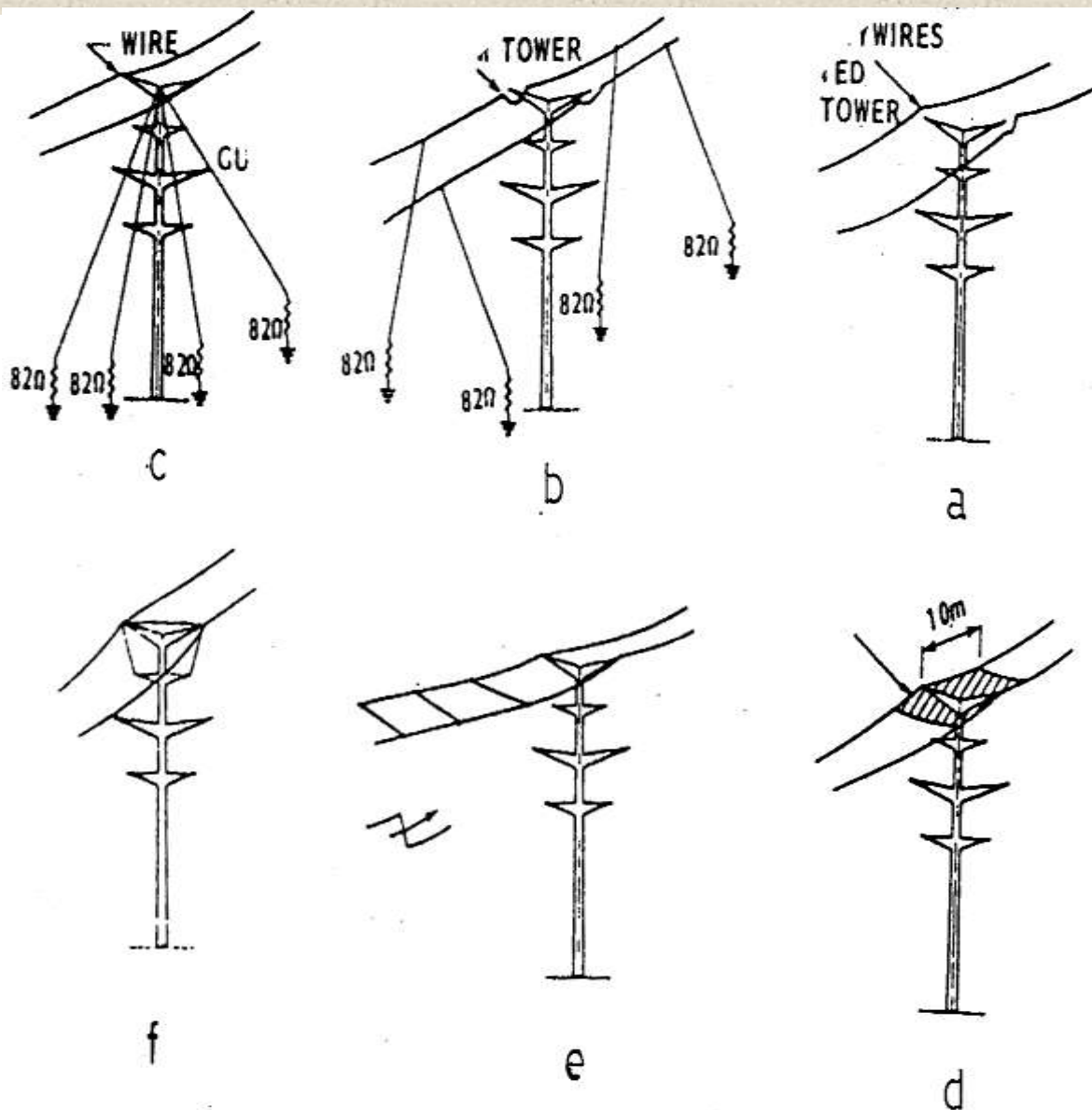
نصب تسمه مسی با مقاومت اهمی ناچیز متفاوت از مقاومت اهمی برج امکان می دهد، تا قسمت اعظم جریان موجی و بارهای الکتریکی تخلیه جوی از طریق آن به زمین منتقل گردند این راه حل عملی بوده، انجام آن در خطوط انتقال انرژی معمول می باشد. در پایه ها از نوع پایه های معلق یا مهاری نیاز به نصب تسمه های مسی نبوده از سیمهای مهاری پایه ها به عنوان اتصال زمین مستقیم سیمها استفاده می شود
(شکل c ۲-۳۱).

3 - اتصال سیمهای زمین بیکدیگر توسط کندوکتورهای عرضی . کندوکتورهای عرضی به فواصل در طول خط بر طبق اشکال b و c، e، نصب می گردند. اتصال توسط تور یا ورقه های فلزی مناسب تر می باشد
(شکل d و e ۲-۳۱).

در اتصال انتهای بازوها و محل اتصال زنجیر مقره به یکدیگر و به سیم زمین، در هنگام بالا بودن طول بازوهای برج، به منظور تبدیل مسیر موج در بازوها از مدار باز به مدار بسته و جلوگیری از ظهور امپدانس بی نهایت در انتهای آنان، این بازوها به یکدیگر و به سیم زمین متصل می گردند (شکل f ۲-۳۸).

WikiPower.ir

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم



شکل (۲-۳۱): نمایش طرق گوناگون کاهش امپدانس موجی برجها

(۲-۸) زمان طی شده برج (TTT)^۱

^۱ TOWER TRAVEL TIME

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرمان سایت و به همراه فونت های لازم

عکس العمل برج در قبال جریانهای تخلیه جوی با دو مشخصه بیان می گردد، این دو مشخصه عبارتند از :

امپدانس موجی برج و زمان طی شده آن. امپدانس موجی برج را بررسی نمودیم، حال زمان طی شده آن را مورد مطالعه قرار می دهیم. این مشخصه فاصله زمانی رفت و برگشت موج را در طول برج نشان می دهد.

سرعت انتشار موج در طول هادیهای برج معادل سرعت نور یا $U=300 \frac{m}{\mu s}$ می باشد. چنانچه زمان لازم جهت

انتشار موج در طول برج با ارتفاع h با توجه به سرعت فوق برآورد گردد، خواهیم داشت :

$$t = \frac{h}{u} \quad \text{رابطه (۲-۱۶) :}$$

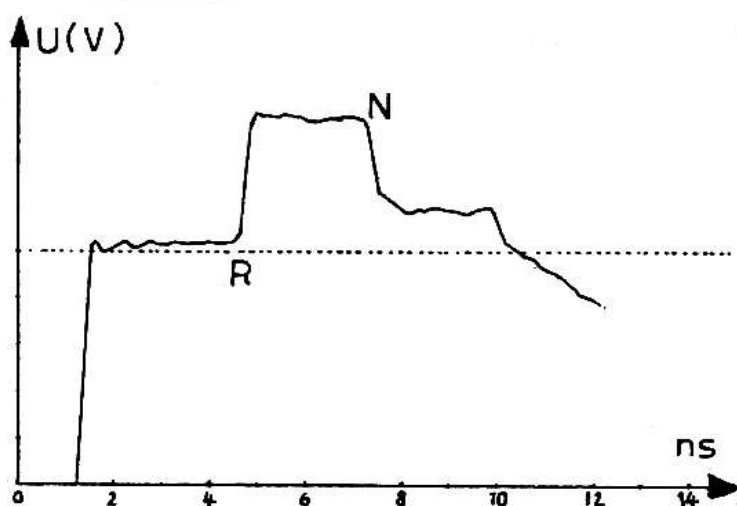
با اندازه گیری دقیق زمان رفت و برگشت موج در طول برج به ارتفاع h ، مقدار آن بیش از رابطه فوق

حاصل می گردد ، برای این منظور ولتاژ موجی ظاهر شده در نقطه رأس برج توسط

دستگاه Time Domain Reflectionery اندازه گیری شده منحنی آن بر طبق شکل ۲-۳۲ رسم

می گردد، نقطه R لحظه ظهور موج منعکس شده و نقطه N لحظه ظهور موج بعدی را مشخص می

سازد، فاصله N-R زمان لازم جهت رفت و برگشت موج یا $2t$ را مشخص میسازد.



شکل (۲-۳۲) :

منحنی زمان لازم جهت رفت و برگشت

موج

افزایش فاصله زمانی رفت و برگشت موج به منزله کاهش سرعت انتشار موج در طول برج از U به U'

می باشد. این کاهش با توجه به هادیهای متعدد اسکلت فلزی برج و خاصیت القایی و خازنی آنان نتیجه

میگردد.

زمان طی شده برج از رابطه زیر برآورد می گردد:

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

$$TTT = ZC$$

رابطه (۲-۱۷) :

Z : امپدانس موجی برج

C : خاصیت خازنی برج در ارتفاع h نسبت به زمین .

ارتفاع h با توجه به ارتفاع نصب سیم زمین در نظر گرفته می شود.

چنانچه ملاحظه میشود این فاصله زمانی با خاصیت خازنی برج و امپدانس موجی آن ارتباط مستقیم داشته کاهش امپدانس موجی برج آن را به مقدار حاصل از سرعت نور نزدیک می سازد. همچنین افزایش ارتفاع برج در ولتاژهای بالای انتقال $U > 500 \text{ KV}$ تا حدودی ۴۵-۵۰ متر، بر خاصیت خازنی برج به طور قابل توجه افزوده، زمان TTT را افزایش می دهد.

افزایش زمان طی شده برج مانع از انتقال کامل بارهای الکتریکی تخلیه جوی به زمین در حداقل فاصله زمانی گشته، بر دامنه ولتاژ حاصل در محل زنجیر مقرر می افزاید. در حالیکه تخلیه بارهای الکتریکی از ابر به برج با سرعت نور صورت می پذیرد، انتقال بارها از برج به زمین با سرعت کمتر روی داده، موجب تجمع بارها و ظهور ولتاژ قابل توجه در برج می گردد. با توجه به مراتب فوق، افزایش زمان طی شده برج در ولتاژهای بالای انتقال یکی از علل اصلی بروز قوسهای برگشتی را تشکیل می دهد. به طوری که زمان طی شده برج در ردیف علل اصلی بروز قوسهای برگشتی و قطع خط ناشی از تخلیه جوی محسوب می گردد.

بر طبق محاسبات به عمل آمده هنگامی که فاصله زمانی طی شده برج تا حدود ۳۰٪ متفاوت از مقدار واقعی آن در نظر گرفته شود، برآورد دامنه موجها و درصد بروز قوسهای برگشتی معادل ۶۰٪ اختلاف را نشان می دهد، به همین علت برآورد مقدار دقیق فاصله زمانی طی شده برج حائز اهمیت فراوان می باشد. پس از انتخاب نوع برجها، مدل برج ساخته شده، دو مشخصه برجها شامل امپدانس موجی و زمان طی شده آن با آزمایشات لازم بر روی مدل برآورد می گردند.

(۲-۹) نصب برق گیرهای فشار قوی در خطوط انتقال انرژی

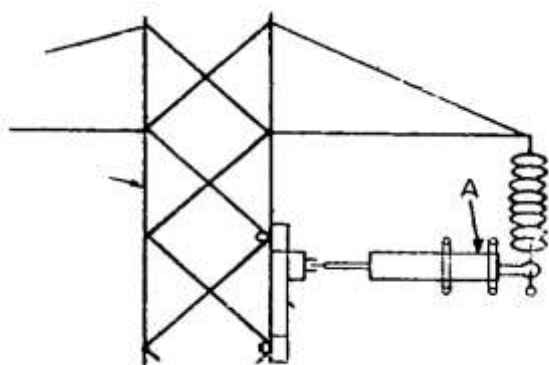
موثرترین و مفیدترین طریق به منظور جلوگیری از ظهور ولتاژهای موجی و بروز قوس در طول زنجیر مقرر، نصب برق گیرهای فشار قوی در خطوط می باشد. با نصب برق گیرها هر گونه موج اضافه ولتاژ حاصل از

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

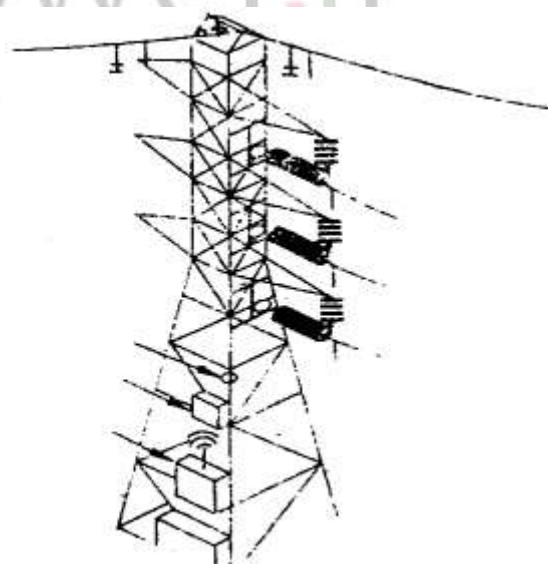
تخلیه جوی توسط برق گیرها به بدنه برج و زمین منتقل می گردد، بدون اینکه شرایط بروز قوس و اتصالی را در طول زنجیر مقره فراهم سازد.

نصب برق گیرها از سالها قبل به عنوان مناسب ترین راه جلوگیری از بروز قوس در طول زنجیر مقره مورد نظر بوده است، ولی به علت خصوصیات مورد نیاز برق گیرهای فوق نسبت به برق گیرهای معمول در ایستگاه های فشار قوی، همچنین هزینه بالای آنان، نصب آنان در خطوط انتقال انرژی مورد توجه واقع نگردید. در سالهای اخیر، ساخت برق گیرهای جدید با حداقل هزینه و وزن و ابعاد محدود امکان نصب آنان را در خطوط ۲۲۰-۱۳۸ کیلو ولت فراهم ساخته است. با این همه نصب آنان در ولتاژهای بالاتر در خطوط انتقال انرژی همچنان غیر ممکن می باشد. این برق گیرها با حداقل فاصله هوایی و متشکل از مقاومتها کاملاً غیر خطی اکسید روی یا ZnO بوده، کیفیت تخلیه جریانهای موجی و شرایط برقراری آن نسبت به برق گیرهای معمول با مقاومتهای غیر خطی SiO₂ به طور کامل بهبود یافته است.

برق گیرها بر روی برج در فاصله سیمهای فاز و بدنه برج طبق شکل ۲-۳۳ نصب می گردند. در این شکل ستون مقره برق گیر با رنگ سیاه مشخص گردیده است. در شکل ۲-۳۴ نصب برق گیر بر روی برج به طور دقیق نشان داده شده است.



شکل (۲-۳۳) : برق گیرها بر روی برج در فاصله



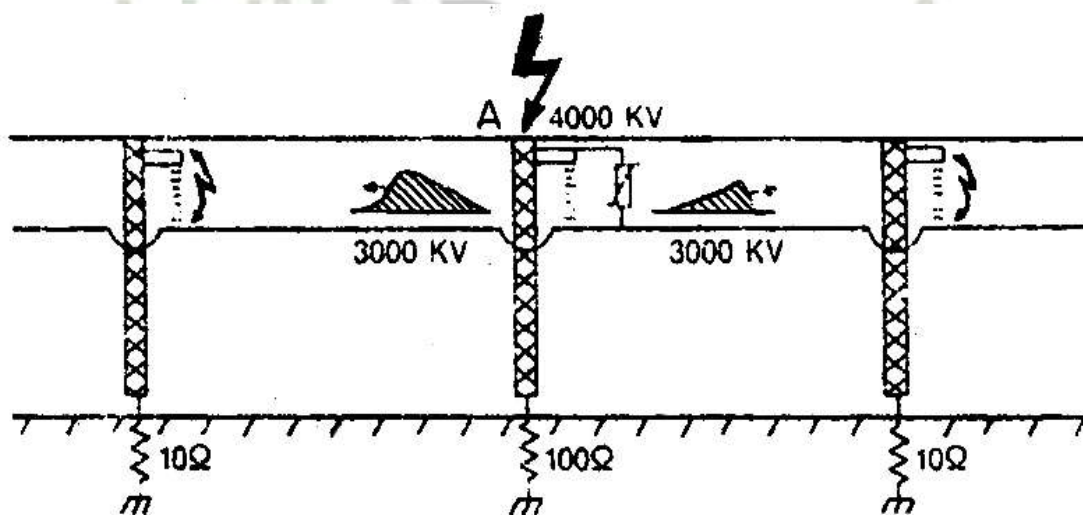
شکل (۲-۳۴) : نصب برق گیر بر روی برج

سیمهای فاز و بدنه برج

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

با بروز تخلیه جوی بر سیمهای فاز، قسمت قابل توجه از موج اضافه ولتاژ از طریق برق گیرها به بدنه برج و سپس زمین منتقل گشته، از دامنه موج ها کاسته می گردد. متقابلاً در هنگام تخلیه جوی مستقیم بر برج قسمت قابل توجه از موج از طریق برق گیر ها به سیمهای فاز منتقل گشته، با انتشار در طول این سیمها، شرایط بروز قوس را در سایر برجها فراهم میسازد. این پدیده و انتقال بارهای الکتریکی از برج به سیمهای فاز یکی از تفاوتهای عمده شرایط کار برق گیرها را در خطوط با برق گیرهای نصب شده در ایستگاهها مشخص میسازد. بر طبق آن در حالیکه در برقگیرهای نصب شده در ایستگاهها تخلیه بارها همواره از قسمت شینه ها و تجهیزات تحت ولتاژ به زمین روی می دهد در خطوط انتقال انرژی جریان تخلیه در هر دو جهت فاز به زمین و زمین به فاز در برق گیر روی می دهد.

در شکل ۲-۳۵ تخلیه جوی بر بدنه برج نقطه A با دامنه ۴۰۰۰ کیلو ولت روی داده، موج اضافه ولتاژ با دامنه ۳۰۰۰ کیلوولت از طریق برق گیر خط در سیمهای فاز ظاهر گردیده است. این موج در طول سیمهای فاز منتشر گشته، قوس در طول زنجیر مقره برجهای بعدی را موجب گردیده است. به همین علت نصب برق گیر تنها در تعدادی از برجها مفید واقع نگشته، در صورت استفاده نصب آن در کلیه برجها ضروری می باشد.

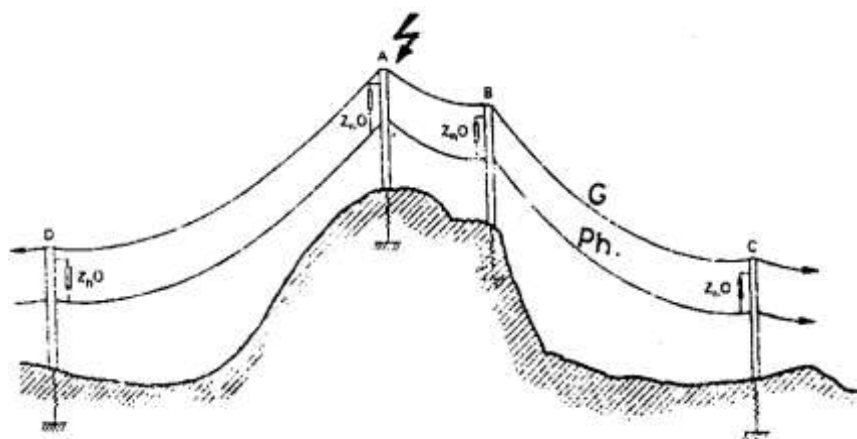


شکل (۲-۳۵): تخلیه جوی بر بدنه برج نقطه A با دامنه ۴۰۰۰ کیلو ولت

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

با این همه در مناطق کوهستانی و در برجها با موقعیت استثنائی و ارتفاع بالا، نصب برق گیرها در کلیه

برجهای واقع در این مناطق بر طبق شکل ۲-۴۳ می تواند مفید واقع می گردد.



شکل (۲-۴۳): نصب برق

گیرها در کلیه برجهای واقع

در مناطق کوهستانی

همچنانکه اشاره گردید، برق گیرهای مورد نصب در خطوط انتقال انرژی، خصوصیات متمایز از برق گیرهای معمول در ایستگاههای فشار قوی را به شرح زیر دارا می باشند.

1 - برق گیرها از توانائی قابل قبول انرژی حرارتی نسبت به برق گیرهای مورد نصب در ایستگاهها برخوردار

می باشند. در خطوط انتقال انرژی برق گیرهای نصب شده در برجها مستقیماً تحت تاثیر تخلیه جوی

الکتریکی متشکل از چندین برخورد واقع گردیده شرایط تخلیه موجی به طور متوالی و مکرر در آنان برقرار

میگردد. لذا از ظرفیت حرارتی قابل ملاحظه نسبت به برق گیرهای ایستگاهها برخوردار می باشند. در

ایستگاهها موج اضافه ولتاژ در پی انتشار در خطوط در ایستگاه وارد گردیده و معمولاً برخورد اولیه با دامنه

بسیار بالا توسط برق گیر ایستگاه تخلیه می گردد.

2 - ظهور اضافه ولتاژهای موقت (فرکانس ۵۰) در خطوط انتقال انرژی بسیار معمول بوده، ولتاژ خط بر

خلاف ایستگاههای فشار قوی در فاصله وسیع افزایش می یابد. افزایش ولتاژ در پی بروز عیوب فاز به زمین

در فازهای سالم، بروز پدیده فرورزنانس، بروز رزنانس بین فازها و غیره روی می دهد، به طوری که برق

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

- گیرهای فشار قوی نصب شده در خط را کاملاً تحت تاثیر قرار می دهد ، به همین علت این برق گیرها تنها به منظور تخلیه موجهای رعد و برق ،پیش بینی شده،به ازاء اضافه ولتاژهای قطع و وصل عمل نمی نمایند.
- 3 - در ایستگاههای فشار قوی در صورت از کار افتادن برق گیرها و مقاومتهای غیر خطی شرایط اتصال کوتاه در آنان ظاهر گردیده ،بلافاصله شینه متصل به برق گیر با به کار افتادن رله های محافظتی مربوط به آن از مدار خارج می گردد.در خطوط انتقال انرژی با سوختن هر یک از برق گیرها ،خط برای مدت طولانی تا هنگام تعویض برق گیر آسیب دیده ،قطع می گردد یافتن برق گیر معیوب و تعویض آن نیز به سهولت میسر نمی باشد.به منظور رفع مشکل فوق برق گیر با فاصله هوایی به طور سری پیش بینی می گردد.
- 4 - برق گیرهای مورد نصب در خطوط انتقال انرژی از مقاومتهای مکانیکی کاملاً مشابه زنجیر مقره برخوردار می باشند.
- 5 - وزن برق گیرهای مورد نصب در خطوط به منظور امکان نصب در برجها محدود می باشد.



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

فصل سوم

مقاومت زمین برجها



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

(۱-۳) مقدمه :

رعدوبرق یا تخلیه جوی، تبادل بارهای الکتریکی بین ابر و زمین می باشد. تبادل بارها با تخلیه جوی بر هر شیئی واقع بر روی زمین امکان پذیر گردیده، مسیر نهائی بارهای الکتریکی تخلیه جوی را محل اتصال شیئی به زمین تشکیل می دهد، به طوری که محل اتصال شیئی به زمین و تامین ارتباط الکتریکی کافی بین این دو، نقش اساسی را در انتقال بارها ایفاء می نماید. به همین ترتیب تخلیه الکتریکی بر هر قسمت از خطوط انتقال انرژی شامل سیمهای زمین، سیمهای فاز، بدنه برجها، به عنوان تخلیه بر شیئی واقع بر روی زمین تلقی گردیده، تامین ارتباط الکتریکی کافی و مطمئن برجها و زمین موجب تسریع در انتقال بارها و جلوگیری از ظهور ولتاژ موجی قابل ملاحظه بر برج می گردد. ارتباط الکتریکی برج و زمین مقاومت اهمی زمین برج را تشکیل داده، مقدار آن، نحوه ارتباط الکتریکی را مشخص می سازد.

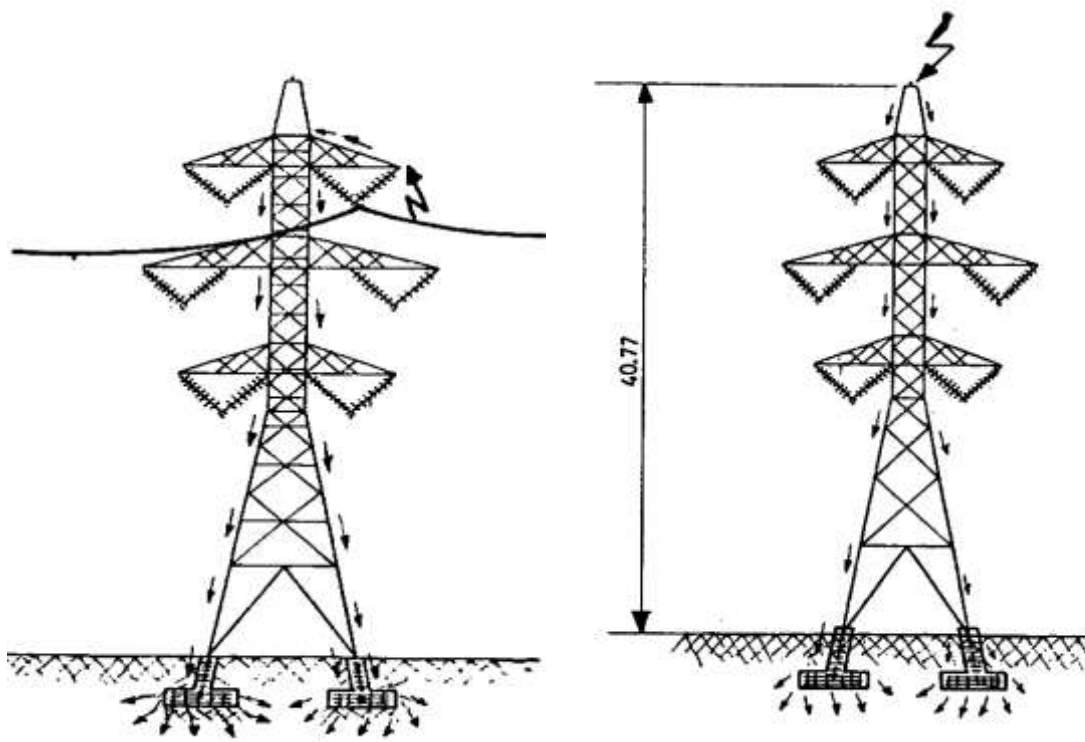
(۲-۳) مقاومت زمین برجها

مسیر جریان تخلیه موجی حاصل از تخلیه بر هر قسمت از خطوط انتقال انرژی را بدنه برجها و محل اتصال آنان به زمین تشکیل می دهد. به منظور انتقال هرچه سریعتر بارهای الکتریکی تخلیه جوی و جلوگیری از ظهور ولتاژ موجی قابل ملاحظه بر روی برج، لازم است مقاومت اهمی و مقاومت موجی برجها در محل اتصال آنان به زمین در حدود قابل قبول واقع بوده، از مقدار تعیین شده مجاز تجاوز ننماید. ایجاد ترتیب مناسب جهت تامین ارتباط الکتریکی کافی و مطمئن بین برج و زمین به زمین شدن برجها موسوم بوده، مقاومت اهمی حاصل بین برج و زمین اصطلاحاً (TFR)^۱ نامیده می شود. برقراری جریان بین برج و زمین در دو حالت زیر روی می دهد:

- 1 - بروز تخلیه جوی بر برج، سیمهای زمین و یا خطوط فاز (شکل ۱-۳)
- 2 - بروز اتصالی فاز به زمین به صورت قوس در طول زنجیر مقره (شکل ۲-۳)

¹ : Tower Footing Resistance

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آر م سایت و به همراه فونت های لازمه



شکل (۲-۳): بروز اتصالی فاز به زمین به صورت قوس در طول زنجیر مفره

شکل (۱-۳): بروز تخلیه جوی بر برج، سیمهای زمین و یا خطوط فاز

در هنگام بروز تخلیه جوی بر خط (بند ۱) جریان برقرار شدن از نوع موجی با دامنه و فرکانس بسیار بالا و زمان پیشانی معادل چند میکرو ثانیه می باشد.

در هنگام بروز اتصال فاز به زمین (بند ۲) جریان عیب با فرکانس ۵۰ برقرار گردیده تا هنگام قطع کلید به حدود $0/8 - 0/4$ ثانیه به طول می انجامد.

خصوصیات مقاومت زمین به ازاء هر یک از دو حالت مورد اشاره متفاوت بوده، برقراری جریان موجی تخلیه جوی و جریان فرکانس ۵۰ بروز عیب با پدیده ها و عکس العمل های متفاوت در طول برج و محل اتصال زمین همراه می باشد.

مدت برقراری جریان عیب فرکانس ۵۰ نسبت به مدت برقراری جریان موجی قابل توجه بوده، به حدود

۱۰۰۰ برابر آن بالغ می گردد. مدت برقراری جریان عیب در بدنه برج تا حدود $0/8 - 1$ ثانیه به طول

انجامیده، در صورت بالا بودن مقاومت اهمی محل اتصال زمین برج، ولتاژ تا حد خطرناک در این نقطه در

اطراف برج افزایش می یابد. به طوری که هر گونه تماس اتفاقی با برج یا نزدیک گشتن به محل آن، در مدت

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

برقراری جریان عیب فرکانس ۵۰ با برق گرفتگی و عوارض ناشی از آن به صورت ضربه همراه می گردد. به منظور تامین شرایط ایمنی و جلوگیری از افزایش ولتاژ فرکانس ۵۰ در بدنه برج و یا سطح زمین لازم است مقاومت محل اتصال برج با زمین از حد قابل قبول و مجاز تجاوز ننماید. مقاومت اهمی محل اتصال برج با زمین به ازاء جریان فرکانس ۵۰، به عنوان مقاومت اهمی آن بیان گردیده. این مقاومت با تغذیه ولتاژ فرکانس ۵۰ بین بدنه برج و زمین طبق شکل ۳-۳ و اندازه گیری جریان برقرار شده و تقسیم آن دو بیکدیگر تعیین می گردد. ولتاژ فرکانس ۵۰ ظاهر شده بر بدنه برج در طول مدت برقراری جریان عیب اصطلاحاً به ولتاژ تماس موسوم می باشد.

برقراری جریان موجی تخلیه جوی از برج به زمین و از طریق مقاومت اهمی محل اتصال آن، با توجه به سرعت تغییرات فوق العاده موج و فاصله زمانی بسیار محدود آن معادل چند میکرو ثانیه، با پدیده های انتشار و انعکاس موج و خصوصیات اندوکتیو خازنی بالا همراه می گردد. این خصوصیات ظهور ولتاژ موجی را بر بدنه برج سبب گردیده، امپدانس موجی برج و امپدانس موجی محل اتصال زمین آن را پدید می آورد. مقدار امپدانس موجی زمین برج با استفاده از مقدار جریان موجی برقرار شده و ولتاژ موجی ظاهر شده در محل اتصال برج به زمین امکان پذیر می گردد.

ظهور امپدانس موجی قابل توجه در محل اتصال زمین الکتریکی برج، انتقال سریع بارهای تخلیه جوی را از برج به زمین دشوار ساخته، انتقال این بارها را با تاخیر مواجه میسازد. عدم امکان انتقال سریع و به موقع بارها به زمین ولتاژ موجی قابل ملاحظه در بدنه برج را ظاهر ساخته، بر احتمال بروز قوس برگشتی در خط می افزاید. همچنین ظهور امپدانس موجی زمین برج فاصله بروز قوس برگشتی را کاهش می دهد. بدین ترتیب وجود امپدانس موجی در مسیر انتقال بارها به زمین و افزایش آن موجب ظهور ولتاژ موجی بر بدنه برج، بروز قوس برگشتی و کاهش فاصله زمانی قوس می گردد.

(۳-۳) نقش مقاومت زمین بر جها

قوس برگشتی در طول زنجیر مقرر و یا در فاصله هوای ایزولاسیون فازها و سیم زمین، در پی ظهور ولتاژ موجی V_1 بر بدنه برج و یا سیم زمین روی می دهد.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

ولتاژ موجی ظاهر شده در بدنه برج و یا سیم زمین با توجه به امپدانس موجی سیم زمین Z_g ، بدنه برج Z_t و سیستم زمین آن Z_0 عبارتست از :

$$V_1 = \frac{1}{2}(Z_g + Z_b + Z_0) \quad \text{رابطه (۱-۳) :}$$

امپدانس موجی سیستم زمین برج بر حسب زمان تغییر نموده، مقدار حداکثر آن به عنوان امپدانس موجی سیستم زمین در نظر گرفته می شود. مقدار این امپدانس موجی به مقدار مقاومت اهمی اندازه گیری شده توسط ولتاژ فرکانس ۵۰ نزدیک بوده، بر حسب آن بر طبق رابطه زیر بیان می گردد :

$$k_0 R_0 \quad \text{رابطه (۲-۳) :}$$

$$Z_0 =$$

K_0 : به ضریب موجی سیستم زمین موسوم می باشد.

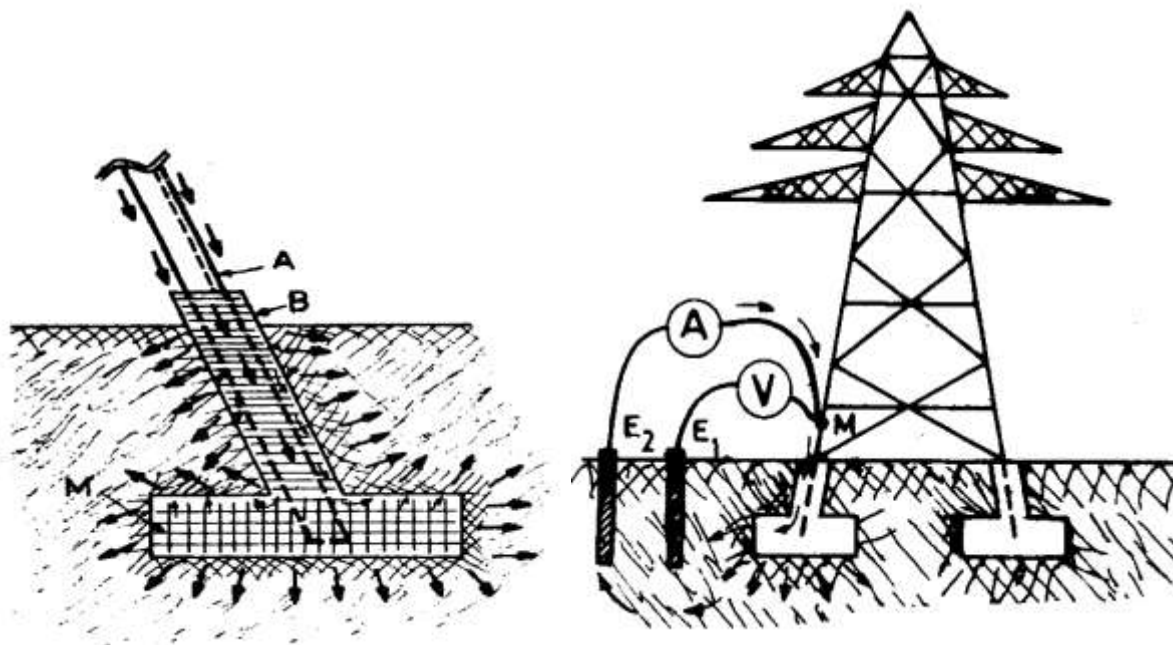
مقدار Z_0 در این رابطه حداکثر امپدانس موجی سیستم زمین را در حین تغییرات آن نسبت به زمان نشان می دهد. امپدانس موجی برج با توجه به مقدار مقاومت اهمی سیستم زمین آن R_0 به سهولت از طریق رابطه فوق و ضریب K_0 مشخص می گردد، لذا ابتدا مقاومت اهمی زمین برج R_0 را تعیین می نمائیم.

(۴-۳) مقاومت زمین اهمی برجها

مقاومت زمین اهمی برجها عبارت از مقاومت اهمی ظاهر شده بین بدنه برج و زمین مجاور آن می باشد. این مقاومت اهمی با اندازه گیری ولتاژ و جریان فرکانس ۵۰ یا جریان مستقیم با مقدار کم در حدود چند آمپر بین بدنه برج و زمین اندازه گیری می شود.

بر طبق شکل ۳-۳ ولتاژ V بین بدنه برج نقطه M و زمین نقطه E_1 داده شده، جریان برقرار شده بین دو نقطه E_2 و M اندازه گیری میشود. نسبت آنان مقاومت اهمی اتصال زمین برج را می دهد. مسیر جریان از بدنه برج، به زمین مجاور آن در شکل ۳-۴ نشان داده شده است. چنانچه مشاهده میشود، مسیر جریان به ترتیب از طریق نبشی ها، آرماتورهای واقع در بتن، ضخامت بدنه بتن و محل تماس با خاک برقرار می گردد.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آر م سایت و به همراه فونت های لازمه



شکل (۳-۳): اندازه گیری

شکل (۳-۴): مسیر جریان از بدنه برج، به زمین مجاور آن

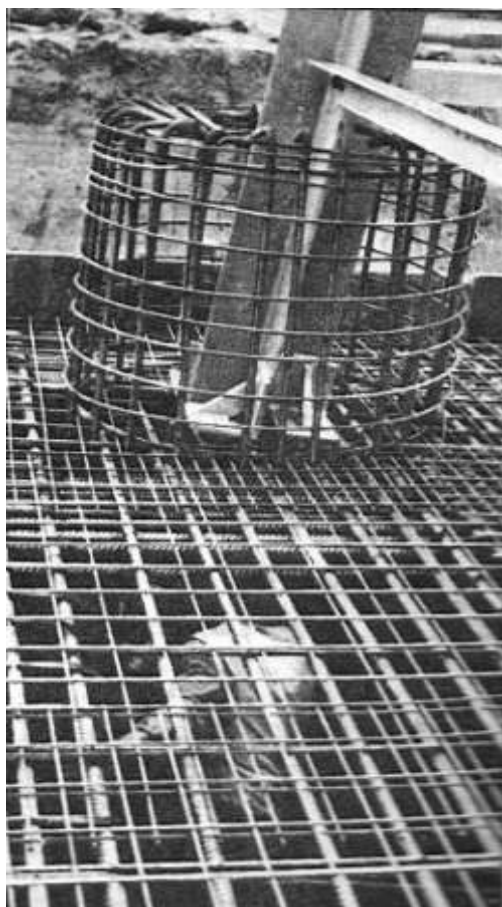
جریان اعمالی

در شکل ۳-۵ نمونه فونداسیون پایه برج در مرحله قالب بندی و آرماتوربندی آن، آماده جهت بتن ریزی نشان داده شده است. چنانچه مشاهده می‌گردد، ارتباط نبشی اصلی پایه برج A، با تعداد قابل ملاحظه آرماتورها، و ارتباط کامل آنان با بتن، مسیر مناسب جریان را از نبشی پایه برج به زمین تشکیل می‌دهد. بدین ترتیب مقاومت اهمی اصل زمین برج به نحوه اتصال بدنه برج به آرماتورها، تعداد آرماتورها در داخل فونداسیون بتنی سطح تماس فونداسیون بتنی با خاک، نحوه تماس خاک با فونداسیون و مقاومت مخصوص خاک بستگی خواهد داشت. شرایط برقراری جریان از برج به زمین در کلیه برجها با فونداسیون بتنی و بدون انجام پیش بینی های دیگر، به شرح فوق می باشد.

مقاومت اهمی اتصال زمین برج که به ترتیب فوق، بدون انجام پیش بینی های خاص و اضافی دیگر حاصل می گردد، به مقاومت زمین طبیعی برج موسوم می باشد. با توجه به مسیر جریان زمین برج و تجهیزات واقع در آن، مقدار مقاومت طبیعی برج بسیار متغییر بوده بر حسب نوع زمین، مقاومت مخصوص خاک، نوع فونداسیون، تعداد آرماتورها، و غیره تحت تاثیر واقع می گردد.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

در حدود ۹۵٪ برجها در خطوط انتقال انرژی از نوع اسکلت فلزی با ۴ پایه یا فونداسیون بر روی زمین می باشند. پایه ها دارای ۴ فونداسیون مربوط به ۴ پایه صورت می پذیرد. فونداسیونها ممکن است از نوع بتنی و یا فلزی باشند، در خطوط انتقال انرژی با ولتاژ بالا $U \geq 500$ کیلو ولت، فونداسیون های فلزی بسیار معمول بوده، در دشتهای و مناطق هموار به تعداد زیاد به کار برده می شوند. نمای ظاهری این نوع فونداسیون ها در شکل ۳-۴ نشان داده شده است. در این حالت آرماتورها و ضخامت بتن به صورت واسطه بین بدنه برج و قوس وجود داشته، بدنه و نبشی های برج مستقیماً با خاک در تماس می باشند. قسمتی از تجهیزات واقع در



مسیر جریان زمین، شامل نبشی ها، آرماتورها و بدنه بتن در کلیه برجها به طور یکسان و مشابه موجود بوده، حدود تغییرات آنان محدود می باشد. آنچه که در مسیر جریان زمین و بر حسب موقعیت برج متفاوت می باشد، نحوه تماس فونداسیون با خاک و نوع خاک واقع در مجاور فونداسیون می باشد. نوع زمین و مقاومت مخصوص آن در مسیر خط بسیار متنوع و گوناگون می باشد. در نقاط کوهستانی، دشتهای، جنگلها، زمینهای خشک، صخره ها و شوره زارها شرایط طبیعی زمین و مقاومت مخصوص خاک تغییر نموده مقادیر کاملاً متفاوت را در فاصله وسیع ۱۰۰۰-۱۰۰۰۰ اهم بر طبق جدول ۳-۱ ظاهر می سازد. شکل (۳-۵): نمونه فونداسیون پایه برج در مرحله

مقاومت

نوع زمین

قالب بندی و آرماتوربندی آن

مخصوص خاک

100

مقدار معمول

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

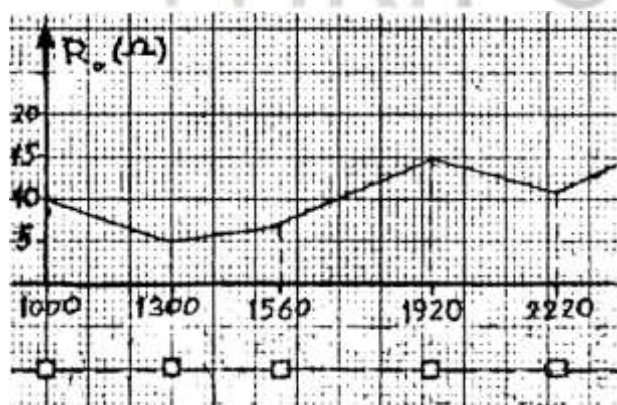
0.01-1	آب دریا
10-100	زمین گل آلود و مرطوب
1000	زمین خشک
10000000	زمین شنزار
100000000	قلوه سنگ

جدول ۱-۳

مقدار مقاومت مخصوص خاک با توجه به نوع زمین

تغییر مقاومت مخصوص خاک موجب می گردد، تا مقاومت زمین طبیعی کاملاً جدا و متفاوت از یکدیگر برای برجها حاصل می گردد. در شکل ۳-۶ مقاومت زمین طبیعی برجها برای یک قسمت از خط انتقال انرژی به طول ۱/۵ کیلو متر با ولتاژ ۲۳۰ کیلو ولت نشان داده شده است.

مقاومت زمین ذکر شده در این منحنی، مقاومت طبیعی هر یک از برجها را بر حسب موقعیت آن مشخص می سازد، بر حسب وضعیت زمین و خشکی یا رطوبی بودن آن، در پاره ای از برجها، مقاومت طبیعی حداکثر و در پاره ای دیگر حداقل بوده است.



شکل (۳-۶): مقاومت زمین طبیعی برجها برای

یک قسمت از خط انتقال انرژی به طول ۱/۵

کیلو متر با ولتاژ ۲۳۰ کیلو ولت

مقاومت مخصوص خاک با ρ نشان داده شده، بر طبق رابطه $R = \frac{\rho}{s}$ ، مقدار آن برای نمونه خاک با واحد

طول (m) و واحد سطح مقطع (متر مربع)، معادل $R = \rho$ خواهد بود. لذا واحد آن با Ωm بیان گردیده

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

مقاومت حجمی از خاک با عمق ۱۰۰-۵۰ سانتیمتر، مقاومت مخصوص خاک علاوه بر نوع خاک تابع شرایط جوی محیط منجمله: درجه حرارت، رطوبت و میزان بارندگی می باشد. مهمترین آنان رطوبت خاک می باشد. سایر کمیات و عوامل جوی از طریق مقدار رطوبت مقاومت مخصوص خاک را تحت تاثیر قرار می دهند. درجه حرارت محیط و میزان بارندگی یا ریزش برف و غیره میزان رطوبت خاک را تغییر داده، مقاومت مخصوص جدید آن را موجب می گردند. با افزایش عمق خاک از تاثیر کمیات فوق در میزان رطوبت کاسته گردیده لایه های تحتانی با مقاومت مخصوص نسبتاً ثابت حاصل می گردند. بطوریکه در عمق بیش از ۱/۵ متر، مقاومت مخصوص با تغییرات کمتر حاصل می گردد.

کمیت دیگر موثر در مقاومت زمین طبیعی برجهها، کیفیت سطح تماس بدنه بتن با خاک مجاور آن میباشد. به علت رطوبت ناشی از خاک، سطح تماس بتن با خاک همواره رطوبی بوده، وجود رطوبت برقراری جریان را از بتن به خاک به سهولت ممکن ساخته مقاومت مسیر جریان زمین را فوق العاده کاهش می دهد. در این شرایط مقاومت الکتریکی مخصوص بتن مقدار نزدیک به مقاومت مخصوص خاک مجاور خود را دارا می باشد. چنانکه ملاحظه میگردد، کیفیت سطح تماس بتن با خاک کاملاً تحت تاثیر رطوبت قرار داشته، مقاومت الکتریکی محل تماس با میزان رطوبت مشخص می گردد. مشخصه دیگر خاک علاوه بر میزان رطوبت آن، درصد فشرده شدن خاک در مجاور فونداسیون می باشد. فشرده گشتن خاک در مجاور فونداسیون، امکان برقراری هرچه بهتر و بیشتر جریان را از فونداسیون به خاک فراهم می سازد. فشرده گشتن و کوبیدن شدن خاک موجب می گردد تا از فواصل هوای موجود بین ذرات کاسته شده، تماس ذرات با یکدیگر بطور کامل صورت گرفته، وجود هوا در مسیر جریان زمین به حداقل کاهش می یابد. در خطوط انتقال انرژی پس از بتن ریزی و یا نصب صفحات فونداسیون های فلزی، فضای اطراف آنان لایه، لایه خاک ریزی شده، کوبیده می گردد. بطوریکه خاک واقع در مجاور فونداسیون و چسبیده به آن یک طبقه خاک کوبیده و فشرده شده را تشکیل می دهد. این فضا مقاومت اهمی به مراتب کمتر را نسبت به خاک معمولی ارائه می سازد. در لایه های کوبیده شده، فواصل هوایی واقع در حد فاصل ذرات خاک کاهش یافته، ذرات در تماس کامل با یکدیگر واقع می گردند، همچنین با کوبیدن و فشرده گشتن خاک، ذرات خاک مقدار قابل

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

توجه رطوبت را در خود حفظ نموده، به علت حفظ رطوبت و کاهش فواصل هوایی، مقاومت مخصوص خاک نسبت به خاک معمولی فوق العاده کاهش می یابد.

هنگامیکه خاک رطوبی بوده و مقاومت مخصوص آن ناچیز باشد، مقاومت الکتریکی بتن نسبت به خاک حدود ۱۰۰-۵۰ اهم متر را دارا می باشد هنگامیکه خاک مجاور فونداسیون ها خشک بوده، مقاومت مخصوص خاک بالا باشد، مقاومت مخصوص بتن - خاک به حدود ۱۰۰۰۰-۱۰۰۰ اهم متر بالغ میگردد. خصوصیت فوق موجب میگردد تا در هنگام رطوبی بودن خاک و یا تغییر شرایط جوی و فصلی بارانی سال، مقاومت زمین طبیعی برجهای فوق العاده کاهش یابد، متقابلاً در هنگام خشک بودن خاک در فصول خشک سال، مقاومت زمین طبیعی برج افزایش یابد.

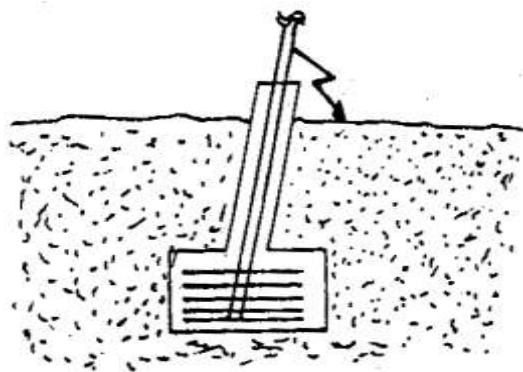
در خطوط با ولتاژ بالا که در آن برجهای ارتفاع قابل توجه را دارا می باشد، عمق فونداسیون در داخل خاک بالا بوده به حدود ۴-۵ متر بالغ می گردد، عمق بالای فونداسیون موجب تماس مستقیم آن با لایه های تحتانی خاک با رطوبت دائم میگردد. در این حالت تماس فونداسیون با خاک با رطوبت دائمی و یکنواخت، مقاومت اهمی نسبتاً ثابت و ناچیز را در طی فصول سال تأمین می سازد.

مقاومت مسیر جریان در داخل فونداسیون بتنی به تعداد آرماتور موجود در آن بستگی دارد. جریان از بدنه اسکلت فلزی برج از طریق آرماتورهای بداخل بتن راه می یابد. با افزایش آرماتورهای جریان از برج بداخل بتن به سهولت برقرار گشته مقاومت اهمی ناچیز را عرضه می سازد، به همین علت در هنگام محدود بودن تعداد آرماتورها و یا عدم تأمین ارتباط الکتریکی کافی برج و بتن آن، تسمه های مسی در بتن پیش بینی می گردند. تسمه ها در یک انتها در سطح فوقانی فونداسیون به بدنه برج متصل و در انتهای دیگر در داخل بتن واقع می باشند. برای این منظور تسمه ها در مرحله آماده گشتن قالب در داخل بتن قرار داده شد، سپس قالب بتن ریزی می گردد.

قسمت دیگر از مسیر جریان زمین برج را محل تماس فونداسیون بتنی با خاک تشکیل می دهد. همچنانکه بررسی نمودیم کیفیت برقراری جریان در این قسمت به میزان رطوبت سطح بتن و فشرده بودن خاک بستگی دارد. نوع فونداسیون با توجه به ابعاد و اندازه های خود یا سطح تماس فونداسیون و عمق آن، در

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

مقدار مقاومت مخصوص بتن خاک موثر واقع می گردد مقاومت سطح تماس فونداسیون با خاک به نسبت افزایش حجم فونداسیون و وزن آرماتور بکار برده شده کاهش یافته ، با گسترش سطح تماس فونداسیون با خاک سطح عبور جریان از بتن به خاک افزایش می یابد ، به همین علت در هنگام تامین مقاومت زمین طبیعی ، مناسب برای برج می توان با افزایش حجم فونداسیون ، مقاومت زمین برج را تا حدودی کاهش داد. بستگی کامل مقاومت الکتریکی مخصوص خاک با درصد رطوبت ، همچنین تغییرات دائمی رطوبت با شرایط جوی و درجه حرارت ، خاصیت غیر خطی مقاومت مخصوص را با جریان برقرار شده در خاک موجب می گردد. بر طبق آن ، با افزایش دامنه جریان موجی و انرژی حرارتی حاصل از آن ، خاک واقع در مجاور فونداسیون گرم شده ، رطوبت موجب در آن تبخیر گشته ، مقاومت مخصوص خاک افزایش می یابد ، افزایش مقاومت مخصوص خاک بر انرژی حرارتی حاصل از عبور جریان افزوده ، تبخیر بیشتر رطوبت خاک را موجب می گردد. افزایش تدریجی مقاومت مخصوص خاک به ترتیب فوق و لتاژ سطحی حاصل بین نبشی ها و خاک واقع در فاصله دورتر از فونداسیون را افزایش داده ، قوس کامل در سطح خاک را پدیدار میسازد. قوس بر طبق شکل ۳-۷ در فاصله بین نبشی انتهائی برج واقع در داخل فونداسیون و خاک در مجاور بتن روی داده ، ترک خوردن و یا سوختن فونداسیون را سبب می گردد.



شکل (۳-۷) :

قوس کامل در سطح خاک

در اینگونه موارد لازم است کیفیت ارتباط و اتصال

الکتریکی فونداسیون و خاک مجاور آن بطور کامل بهبود یابد، بطوریکه سطح تماس بتن با خاک افزایش یافته ، امکان انتقال بارهای الکتریکی تخلیه جوی به عمق زمین فراهم گردند. شرایط بروز قوس در سطح فونداسیون با توجه به شرایط جوی منطقه نیز فراهم میگردند. در هنگام کاهش قابل توجه رطوبت خاک در

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

عمق فونداسیون و ظهور رطوبت لحظه ای و کوتاه مدت در سطح زمین، بروز قوس در سطح فونداسیون همزمان با تخلیه جوی الکتریکی بر خط امکان پذیر خواهد بود.

در صورت وجود سیستم زمین طبیعی برج و انتقال بارهای الکتریکی تخلیه جوی از طریق سیستم فوق، قوس در سطح فونداسیون روی نخواهد داد.

معمولاً تعداد محدودی از برجها، شامل برجها واقع در مناطق کوهستانی و ارتفاعات و برجها واقع در دو انتهای خطوط مجهز به سیستم زمین اضافه می باشند. در حدود ۹۰٪ برجهای خط، از طریق مقاومت طبیعی خود زمین گردیده، تنها مجهز به تسمه های مسی در داخل بتن و یا خارج از آن می باشند. لذا احتمال بروز قوس در سطح فونداسیون در پی برقراری جریان موجی و تغییر رطوبت خاک در ۹۰٪ برجها همواره موجود می باشد. به منظور جلوگیری از بروز قوس در سطح فونداسیون، لازم است مطالعات کافی در مورد تغییرات رطوبت و میزان غیر خطی بودن مقاومت مخصوص خاک در مناطق مختلف مسیر خط و در ارتفاعات صورت گیرد.



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آریم سایت و به همراه فونت های لازم

مساله:

در یک شبکه kv ۴۰۰ با امپدانس موجی سیم زمین ۳۵۰ اهم و مقاومت بدنه ۳۰۰ اهم و مقاومت زمین برج ۲۵۰ اهم سطح ایزولاسیون ۱۴۰۰ کیلو ولت .

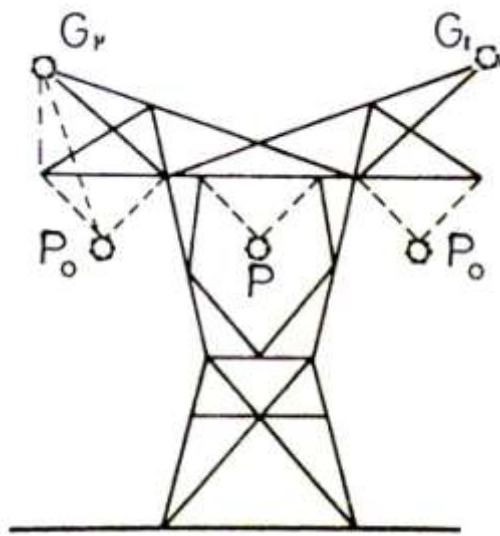
الف- بدست آورید با توجه به شکل زیر و فواصل داده شده از آن، حداقل جریان موجی بروز قوس برگشتی در طول زنجیرمقره را .

$$= 8.9m \quad G_1 P_0 = a_1$$

$$G_2 P_0 = 21.6m = a_2$$

$$= 49.5m \quad G'_1 P_0 = b_1$$

$$G'_2 P_0 = 53.3m = b_2$$



G_r

G_t

جواب:

$$Z_n \frac{1}{2} Z_g =$$

$$= Z_n \cdot 0.5 \times 350 = 175$$

$$C_f = \frac{50}{2Z_n} \log \frac{b_1 b_2}{a_1 a_2}$$

$$C_f = \frac{50}{2 \times 175} \log \frac{49.2 \times 53.3}{8.9 \times 21.6} = 0.1619 \quad f$$

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

$$i_{OC} = \frac{U_{BIL}}{(Z_o + Z_b)(1 - C_f)} = \frac{1400}{(250 + 300)(1 - 0.1619)} = 3 \text{ KA}$$

ب- اگر ارتفاع برج را ۳۰ متر در نظر بگیریم و فاصله پایه های برج در سطح زمین معادل ۷ متر امپدانس موجی برج را بدست آورید.

جواب:

با توجه به اینکه سیم های فاز و سیم های زمین روی یک بازو نصب گردیده اند و شکل ظاهری برج به صورت یک تکه است، برای محاسبه امپدانس موجی برج، آن را به صورت مخروط فرض و محاسبه می کنیم.

$$= r_b \sqrt{\frac{b_1 \cdot b_2}{\pi}} = \sqrt{\frac{7 \times 7}{\pi}} = 3.95 \text{ m}$$

$$\log \frac{H\sqrt{2}}{r_b} Z_{Ob} = 60 = 60 \log \frac{30\sqrt{2}}{3.95} = 61.7 \Omega$$

پ- با توجه به جواب بند ب مساله دامنه ولتاژ موجی در نقطه رأس برج را اگر که ولتاژ صاعقه را حدود ۵۰۰۰ ولت در نظر بگیریم بدست آورید.

جواب:

$$e_{rt} = \frac{Z_{Oe} - Z_{Ob}}{Z_{Oe} + Z_{Ob}} e_t$$

$$\frac{350 - 61.7}{350 + 61.7} = e_{rt} \times 5 = 3501 \text{ V}$$

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

نتیجه گیری :

با توجه به اینکه موضوع بحث این پروژه پدیده قوس برگشتی در خطوط انتقال انرژی می باشد و بررسی کامل این موضوع تا اینکه بتوانیم از مقدار آن در خطوط کاسته باشیم، به این نتیجه می رسیم که اگر ما می خواهیم این پدیده را کاهش بدهیم باید مهمترین مرحله کاهش قوس برگشتی یعنی کاهش دادن امپدانس موجی سیستم زمین تا بیشترین جریان موجی در سریع ترین زمان به زمین انتقال داده شود. در مرحله بعد کاستن امپدانس موجی برج که توسط یکپارچه کردن برج یا به حداقل رساندن تعداد اتصالات برج صورت میگیرد. و روش های دیگر مثل افزایش دادن تعداد سیم های زمین و روش های متعدد دیگر که در این پروژه به صورت کامل در مورد آنها توضیح داده شده است.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه مراجع:

[۱] - کتاب رعد و برق و خطوط انتقال انرژی، تالیف مهندس شاهرخشاهی

[۲] - جزوه درس طراحی خطوط، آقای مهندس ناصح حسن زاده

