عایقها و فشار قوی

اخوان حجازی

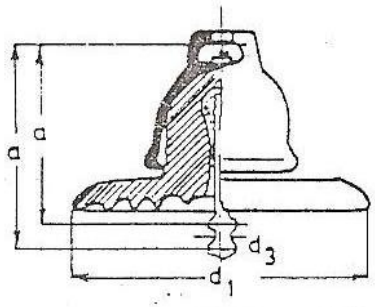
فصل هفتم

عایق های جامد

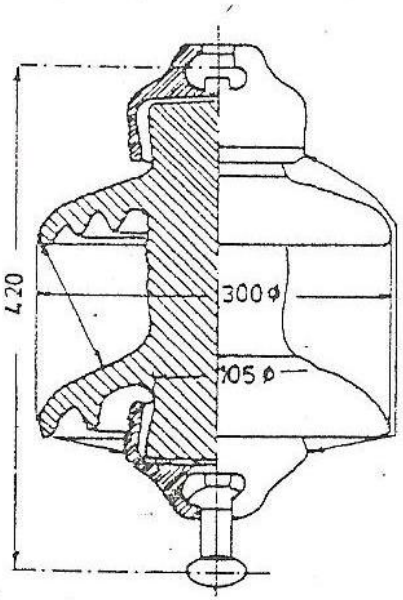
مقـــره-های آویـــز

- مقره-های آویز به شکلهای مختلفی طرح و ساخته شده است. از این مجموعه میتوان دو نوع مقره آویز را که از لحاظ ساختمان و شکل ظاهری متفاوت هستند مورد بررسی قرار داد.
- مقره-های گروه اول را مقره-های «بشقابی آویز » و مقره-های گروه دوم مقره-های «موتوری اویز» نام داده شده-اند.
- نوع اول تشکیل گروهی از مقره-ها را میدهند که بیش از هر نوع مقره مورد استفاده واقع شده است. شکل این مقره و طرز ساختمان آن بنحوی است که نیروی کشش مکانیکی در آنها نسبت به نیروی فشار قوی و یا تنش بسیار کم و قابل صرفنظر کردن است. انتخاب شکل این مقره با توجه به خصوصیات مکانیکی چینی صورت گرفته است.
- نوع دوم مقره-های آویز تحت نیروی کششی مکانیکی بزرگی واقع میشوند و با توجه به استقامت کم چینی در مقابل نیروی کششی، قطر حلقه آویز را نسبتاً بزرگ یعنی با قطری در حدود ۱۰۰ mm می-سازند.

ساختمان مقـــره-های بشقابـی



شکل ۱-۴۱،۲
مقره بشقابی آویز با کلاهک مخروطی

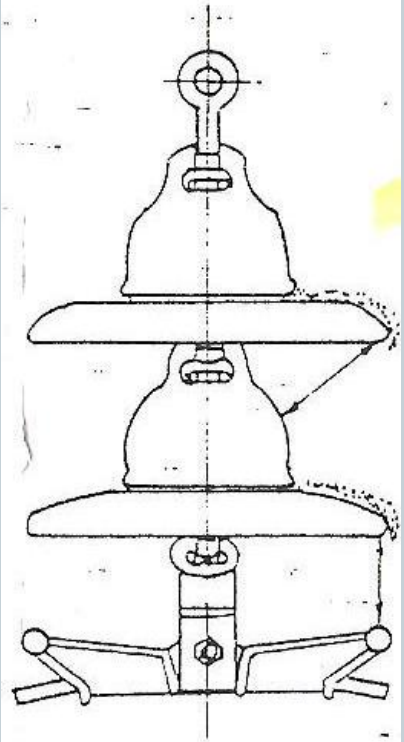


شکل ۲-۴۱،۲
مقره موتوری آویز توپر

- در مقره-های بشقابی دو طرز ساختمان را از یکدیگر تمیز می-دهیم: مقره بشقابی با کلاهک مخروطی و مقره بشقابی با کلاهک استوانه شکل.
- مقره-های بشقابی با کلاهک مخروطی شکل یک نوع آن در شکل ۱-۴۱ ، ۲ نمایش داده شده است دارای کلاهکی است که شکل مخروطی ساخته شده و بر روی تنه مقره قرار میگیرد. کلاهک و تنه مقره بوسیله سیمان بیکدیگر چسبانده میشوند. سطح داخلی کلاهک قبلاً لعاب داده می-شود.
- همچنین در بعضی از مقره-های بشقابی کلاهک با گوگرد-سیمان و یا آلیاژ سرب – آنتیموان به تنه چسبانده میشود. کلفتی عایق در کلاهک مقـــره در حدود ۲۲ تا ۲۸ میلیمتر میباشد. شکل ۲- ۴۱،۲ یک مقره موتوری را نشان میدهد.

- در مقره-های بشقابی با کلاهک استوانه-ای شکل تنها تفاوت کوچک با مقره-های کلاهک مخروطی همان شکل کلاهک است که در اینجا تقریباً بشکل استوانه می-باشد. و در اینجا نیز کلاهک و بدنه مقره بوسیله سیمان بیکدیگر چسبانده می-شوند.

- با مقره-های بشقابی میتوان زنجیری از مقره ساخت که تعداد مقره-ها در آن تابعی از فشار الکتریکی گذارده شده بر روی زنـــجیر است. در شـــکل ۳ – ۴۱ ، ۲ طرز اتصال مقره-ها به یکدیگر و نحوه عبور خط از زیر مقره نشان داده شده است. چنان که در شکل دیده میشود دکمه فلزی در زیـــر محور مقره در فضای خالی تعبیه شده و در بالای مقره بشقابی قرار می-گیرد.
- زنجیر تشکیل یافته از مقره-های بشقابی شکل تحت نیروی کششی بزرگی واقع می-گردد.



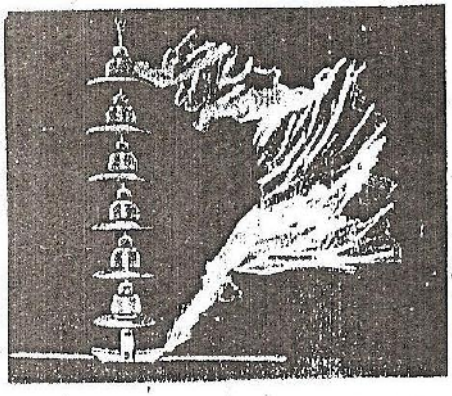
شکل ۳-۴۱،۲
طرز اتصال مقره‌های بشقابی بهمدیگر و عبورخط از زیر مقره آویز

- زنجیره-های تشکیل یافته از مقره-های بشقابی یا قائم از دکل اویخته میشود که در این حال مجبور است وزن خط و وزن اضافی ناشی از یخ و برف را تحمل کند.
- در حالتی دیگر زنجیر تشکیل یافته از مقره-ها تقریباً در حال افقی خط را به دکل اتصال میدهند. استقامت مکانیکی زنجیر تابعی از استقامت مکانیکی مقره-ها است.
- در حالیکه یک زنجیر کافی برای نگهداری خط نباشد از دو یا سه زنجیر استفاده میکنیم. در مواردی مانند خط حامل انرژی در راه آهن و یا عبور خط از چهار راه-ها و یا بزرگراه-ها از نظر احتیاط دو زنجیر بطور موازی بسته می-شود.

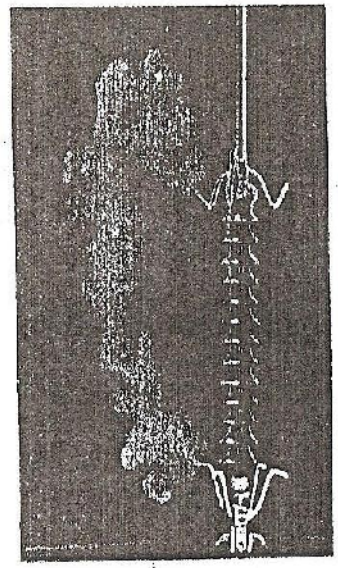
- در خطوط تحت فشار ۴۰۰ کیلوولت و یا وقتی دو خط فشار قوی از عرض رودخانه نسبتاً بزرگی عبور میکند، وزن خط در حدود ۱۰ تا ۲۰ تن میشود و در این مواقع از سه و حتی تعداد بیشتری زنجیر که موازی بسته شده است استفاده میکنیم. تعداد مقره-ها در یک زنجیر در درجه نخست از فشار الکتریکی خط تبعیت می-کند.
- در زنجیرهائی که بطور عمود آویخته شده است، معمولاً برای KV ۳۵ از دو مقره بشقابی و برای ۱۱۰ کیلو ولت از ۶ مقره و ۲۲۰ کیلو ولت ۱۲ مقره و بالاخره در خط ۴۰۰ کیلوولت از ۲۰ مقره بشقابی آویز استفاده میشود.
- بدیهی است که تعداد مقره-ها بسته به نوع و نحوهٔ ساختمان دکل است و میتواند دو تا سه مقره به اعداد داده شده اضافه شود.

- از مقره-های موتوری آویز در ساختن زنجیر عایق برای فشار الکتریکی ۱۱۰ هزار ولت به بالا استفاده میشود. فشار الکتریکی فروپاشی سطحی یعنی پدید آمدن قوس بین دو سر زنجیر از جمع فشار الکتریکی فروپاشی سطحی هر یک از مقره-ها بدست می-آید. در مواقع بارانی فشار الکتریکی فرو پاشی سطحی به ۵۰ تا ۶۵ درصد موقع خشک تنزل می-یابد.
- آزمایشهای الکتریکی نشان میدهد که تعداد بیشتری شیار در زیر سپر مقره بشقابی استقامت الکتریکی مقره را بالا می-برد و هر چه عمق این شیارها بیشتر باشد طولی که جریان خزنده باید طی کند بیشتر میشود و این بدین معنی است که استقامت الکتریکی سطحی مقره بزرگ می-شود.
- از نظر ساختمان مقره، تعبیه وساختن شیارها مشکل است، بویژه وقتی که این شیارها با دست ساخته شود بهمین دلیل معمولاً در مقره آویز سه یا چهار شیار در نظر گرفته میشود که عمق آنها در حدود فاصلهٔ آنهاست.

الکترودهای کمکی برای حفاظت مقره در برابر قوس الکتریکی سطحی



شکل ۱-۲،۴۲
قوس الکتریکی فشارمتناوب در یک زنجیر مشتمل بر ۶ مقره

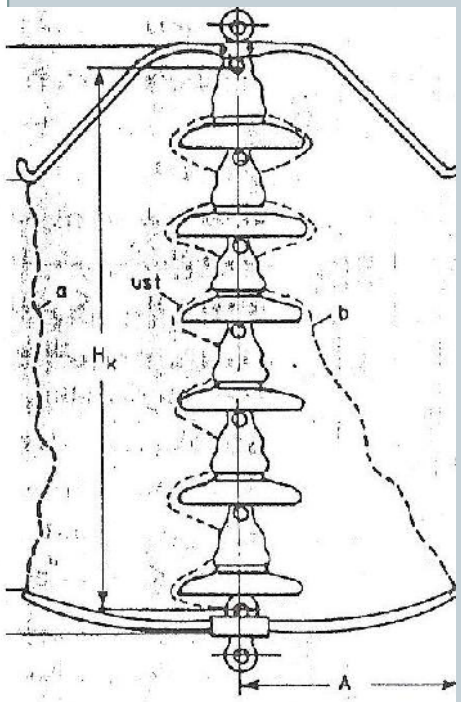


شکل ۲-۲،۴۲
قوس الکتریکی باقدرت زیاد بین الکترود-های حفاظتی یک مقره بلند

- بمنظور حفاظت مقره در برابر فروپاشی الکتریکی سطحی و قوس پدید آمده بین دو سر مقره و همچنین تقسیم یکنواخت پتانسیل بر روی مقره-های یک زنجیر، از الکترودهای کمکی به اشکال مختلف استفاده می-کنیم، تا فشار الکتریکی $U = ۱۱۰\ KV$ از الکترودی شاخی شکل استفاده می-کنیم و برای فشارهای بالاتر، این الکترود حفاظتی بشکل حلقه ساخته می-شود. این الکترودها وظیفه دارند که قوس ایجاد شده در لحظه شکست سطحی را بین دو سر خود هدایت کنند

- هر چه فشار الکتریکی بالاتر باشد بهمان نسبت باید ظرفیت الکتریکی الکترودهای کمکی در مقابل زنجیر عایقی بیشتر شود.
- قوس الکتریکی با توانی نسبتاً بزرگ در دو حالت پدید می-آید: وقتی که بعلت تخلیه طبیعی در اتمسفر، فشار الکتریکی بزرگ بر روی عایق بنشیند. و یا زمانیکه با ازدیاد رطوبت نسبی هوا استقامت الکتریکی سطحی مقره کوچک-تر از فشار الکتریکی نامی خط شود.
- قوس الکتریکی در چنین حالتی بر روی سطح عایق بین دو سر مقره ایجاد میشود که بخاطر توان الکتریکی نسبتاً بزرگ خود در روی سطح مقره حرارت زیاد ایجاد می-کند، این حرارت سبب شکستن و یا ترک خوردگی عایق میشود. بنابراین محافظت مقره در مقابل این قـــــوسهای الکـــتریکی با کمک الکترودهای کمکی شرح داده شده در بالا انجام می-گیرد.

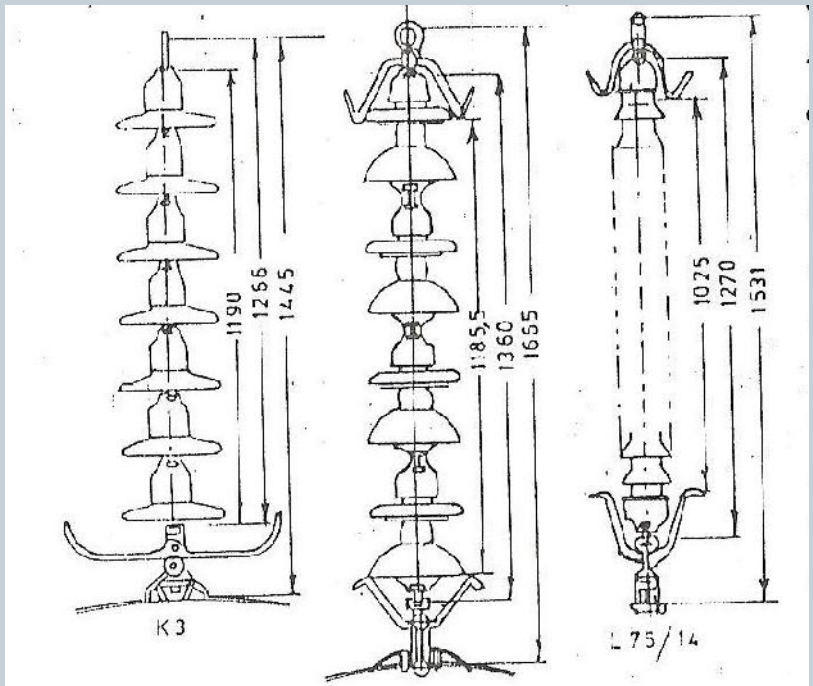
- فاصله این حلقه-ها $d= o/8\ H_k$ تعیین میشود.
- علیرغم نگهداشتن این نسبت-ها تضمینی برای این امر نیست که حتماً قوس الکتریکی بین دو الکترود کمکی پدید آید، بنابراین فاصله A در الکترود کمکی باید مساوی و یا بزرگتر از ۰.۳ تا ۰.۴ فاصله H_k انتـــخاب گردد. در غیر اینصورت امکان دارد که قوس الکتریکی مسیر b را به پیـــماید.



شکل ۳-۲،۴۲
مسیرقوس الکتریکی بین الکترودها و از روی سطح عایق

- در مواردی که فروپاشی الکتریکی بعلت افزایش رطوبت نسبی هوا انجام می-گیرد، علیرغم نصب الکترود حفاظتی قوس الکتریکی بر روی سطح مقره-های زنجیری یعنی فاصلهٔ U_{st} (شکل (۳ – ۴۲، ۲) انجام می-گیرد. در این حال نیز باید بنحوی مسیر قوس الکتریکی را تنظیم کرد تا بجای سطح مقره در بین دو سر الکترودهای حفاظتی پدید آید.
- آزمـــایشهای مخـــتلف نشان داده-اند که برای تغییر مسیر قوس الـــکتریکی از روی سطح عایق به دو سر الکترودها، الکترود حلقه ای شکل مناسب-ترند. موثرترین قطر برای چنین حلقه-ای بین ۴۵۰ تا ۴۸۰ میلیمتر قرار می-گیرد.

- از آنجا که در شبکه-های تکامل یافته امروزی، شدت جریان اتصال کوتاه بیش از جندین صدم ثانیه دوام نمی-یابد و فوراً قطع میشود، بنابراین از الکترودهای حفاظتی (مقره زنجیری شکل) در این شبکه-ها نیز خصوصیات فنی کمتری مورد انتظار است.
- با توجه بزمان بسیار کوتاه قطع جریان اتصال کوتاه از لحاظ حفاظت دیگر به الکترودهای محافظ نیازی نبوده و نصب آنها بخاطر کمک به یک تقسیم پتانسیل همگن بر روی مقره زنجیری شکل است.



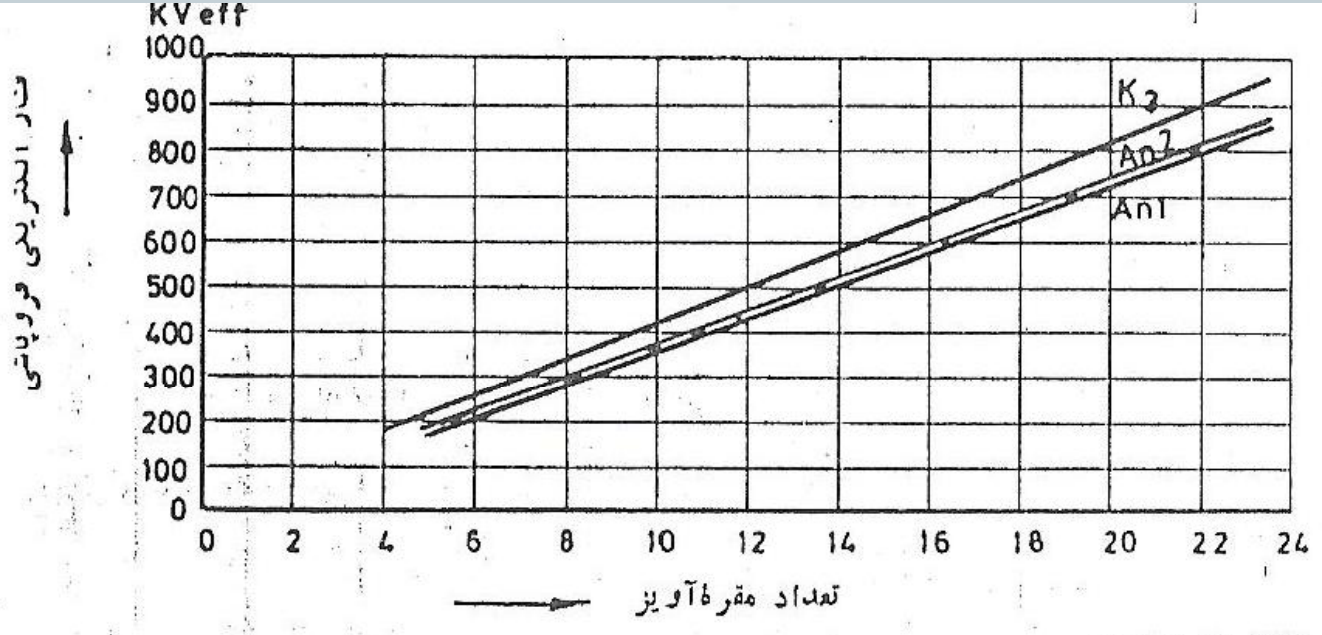
شکل ۴-۲،۴۲
سه نوع مقره زنجیری شکل با اندازه‌های مربوطه

- آنجا که نیاز به استقامت مکانیکی بیشتری بود با موازی بستن مقره-ها زنجیری و درآن هنگام که استقامت الکتریکی بزرگتری مورد انتظار قرار می-گردد با سری بستن زنجیرها شرایط مورد نظر بدست می-آید.
- در اتصال موازی زنجیرها باید انتخاب شکل الکترودهای حفاظتی دقت شود تا نیروی مکانیکی وارده به زنجیر بطور همگن بر روی تمام زنجیرها تقسیم گردد.

- با انتخاب مقره-های آویز و تشکیل زنجیرهای سری و موازی بسته شده شرایطی پدید میاوریم که اگر یکی از مقره-ها در حال کار دچار ضایعه شود زنجیر زمانی را که لازم است تا مقره صدمه دیده تعویض شود فشار الکتریکی را نگاه دارد و از این جهت زمان کار آن بسیار خوب و نسبتاً طولانی خواهد گردید. بدیهی است که این حالت در صورت بازرسی و آزمایش واقعی مقره-ها در حال کار دوام خواهد یافت و در اروپا فقط آنوقت از موازی بستن تعدادی مقره زنجیری استفاده می-شود که اطمینان باشد، هریک از زنجیرها به تنهایی قادر به تحمل نیروی مکانیکی موجود برای مدت محدودی خواهد بود.

- از چندین مقره زنجیری بسته شده، آنوقت باید استفاده شود که با پاره شدن، شکستن و یا صدمه دیدن یک زنجیر، بقیه زنجیرها تحت فشار مکانیکی استقامت کرده و فشار الکتریک ضربه-ای افزایش یافته را نیز پاسخگو باشند.
- باید اضافه شود که در ساختمان نامناسب چنین زنجیرهای موازی، پاره شدن یک زنجیر می-تواند با اصابت به زنجیرهای دیگر باعث قطع و شکستگی در آنها گردد به دلایل فوق در اروپا ساختمان چندین مقره زنجیری و اتصال موازی آنها با توجه به هزینه الکترودهای حفاظتی آن گرانتر از یک مقره زنجیری بزرگ خواهد بود.
- بهمین دلیل در اروپا و بویژه آلمان در شبکه-های فشار قوی KV ۳۸۰ نیز از مقره-های زنجیری واحد و یا حداکثر زوج استفاده میگردد.

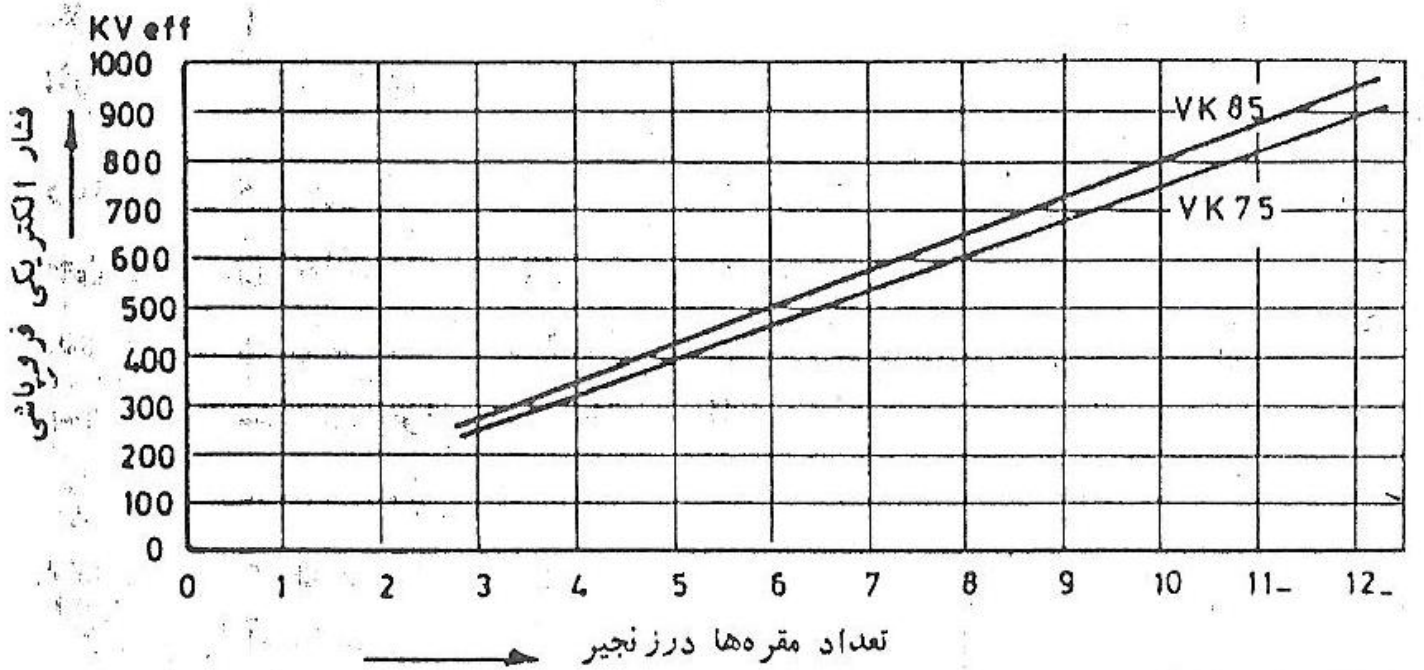
- آزمایشهای زیاد نشان میدهد که در شبکه-های فشار قوی بالاتر از ۲۲۰ هزار ولت نیز زنجیرهای ساخته شده از مقره-های بشقابی بهتر در مقابل نیروهای مکانیکی و الکتریکی مقاومت نشان میدهند تا مقره-های بزرگ.
- از مقره-های موتوری نیز برای ساختن زنجیر استفاده میشود.در این مقره-ها بدقت میتوان نیروی وارده بر مقره را ناشی از بار دائمی و یا بار لحظه-ای محاسبه کرد. برای محاسبه استقامت الکتریکی و تعیین ابعاد زنجیر امروزه نیز از آزمایش با فشار الکتریکی تحت بارانی به ارتفاع ۳ mm و هدایت الکتریکی $۱۰۰\mu\delta cm^{-1}$ استفاده میگردد. حداقل فشار الکتریکی آزمایش را در شکل-های ۶- ۴۲، ۲ و ۷ – ۴۲ ، ۲ برای انواع مقره-های آویز و مقره-های موتوری که از آنها در ساختمان زنجیر استفاده میشود نشان داده شده است.



شکل ۶-۲،۴۲

حداقل فشارالکتریکی آزمایش تحت بـاران برای مقره‌های آویز باعلامت An_1 و An_2 و k_3

(ساختمان مقره آویز k_3 مانند An_1 و An_2 است، لیکن سه پوشش آن چسبانده نشده است)



شکل ۲،۴۲-۷

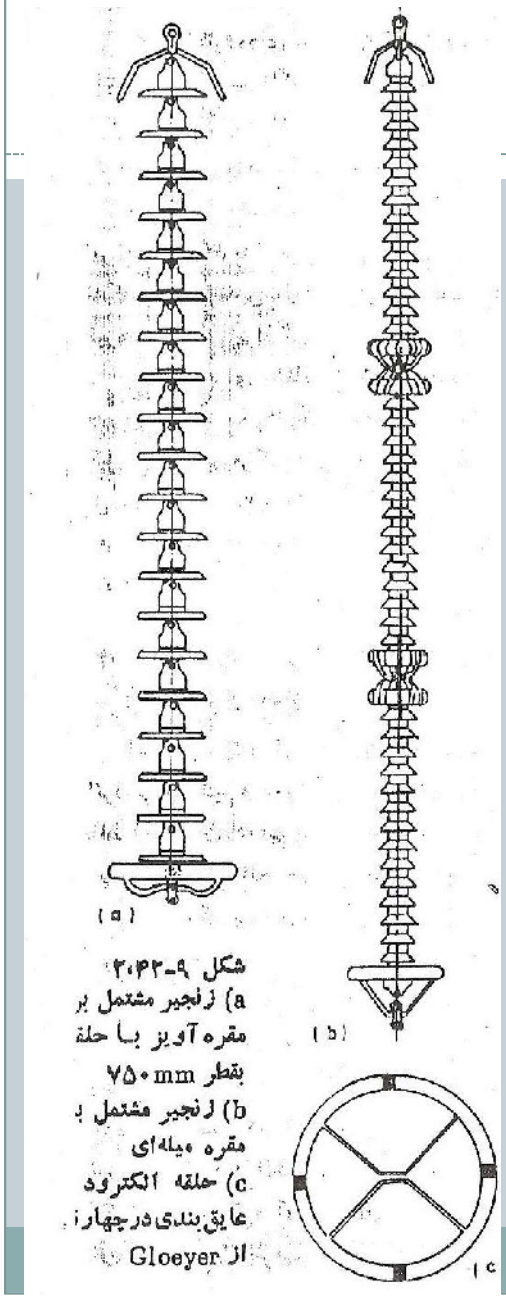
حداقل فشار الکتریکی آزمـــایشی تحت باران برای مقره‌هـای (موتوری) توپر $Vk_{۷۵}$ و $Vk_{۸۵}$

- همچنین فشار الکتریک ضربه-ای «در شکل ۸ – ۴۲، ۲» برای زنجیر آویز، ساخته شده از مقره-های آویز نشان داده شده است. در شبکه-های فشار قوی که مرکز ستاره مولد آنها مستقیم به زمین شده است (زمین سخت) فشار الکتریکی آزمایشی تحت باران از رابطهٔ تجربی و استاندارد شده زیر بدست می-آید:

$$U = 1/1\,(2/2 \times 0/8\,U_L + 20)\ [KV]$$

- با توجه به این رابطه، فشار الکتریکی آزمایش تحت باران در شبکه ۳۸۰ کیلو ولت برابر ۷۵۹ کیلو ولت خواهد شد.
- با این محاسبه در شبکه-های ۳۸۰ کیلو وقتی میتوان از مقره زنجیری مشتمل بر ۱۹ تا ۲۱ مقره آویز و یا ۱۰ تا ۱۱ مقره توپر (موتوری) استفاده کرد.

- در سالهای اخیر با توسعه و بالا رفتن تعداد کارخانجات، سطح مقره-های فشار قوی در زمان کوتاهی از یک لایه مواد زغالی ، گرد و خاک و یا نمک و دوده با هم، پوشیده میگردد. این لایه با پائین آوردن استقامت الکتریکی سطحی مقره سبب پدید آمدن قوس الکتریکی در دو سر مقره و یا کورونای شدید در ان میشود. بنابراین برای جلوگیری از این امر کوشش میشود که بسطح خارجی مقره-ها بنحوی شکل داده شود که مانع نشستن بیش از حد موارد خارجی بر روی آنها گردد، و همچنین شستن سطح آنها آسان باشد.
- بیش از هر عامل دیگری تقسیم ناهمگن پنانسیل بر روی مقره سبب نشستن این لایه مواد خارجی خواهد شد یعنی در نقاطی که شدت میدان الکتریکی بالا است مواد خارجی با سرعت بیشتری بر روی سطح مقره می-نشیند از این نقطه نظر شاید مقره-های موتوری و استوانه-ای بهتر از مقره-های آویز باشند زیرا نقاط اتصال کمتری دارند.



شکل ۹-۲،۴۳
a) زنجیر مشتمل بر مقره آویز با حلقه بقطر ۷۵۰mm
b) زنجیر مشتمل بر مقره میله‌ای
c) حلقه الکترود عایق‌بندی در چهار از Gloeyer

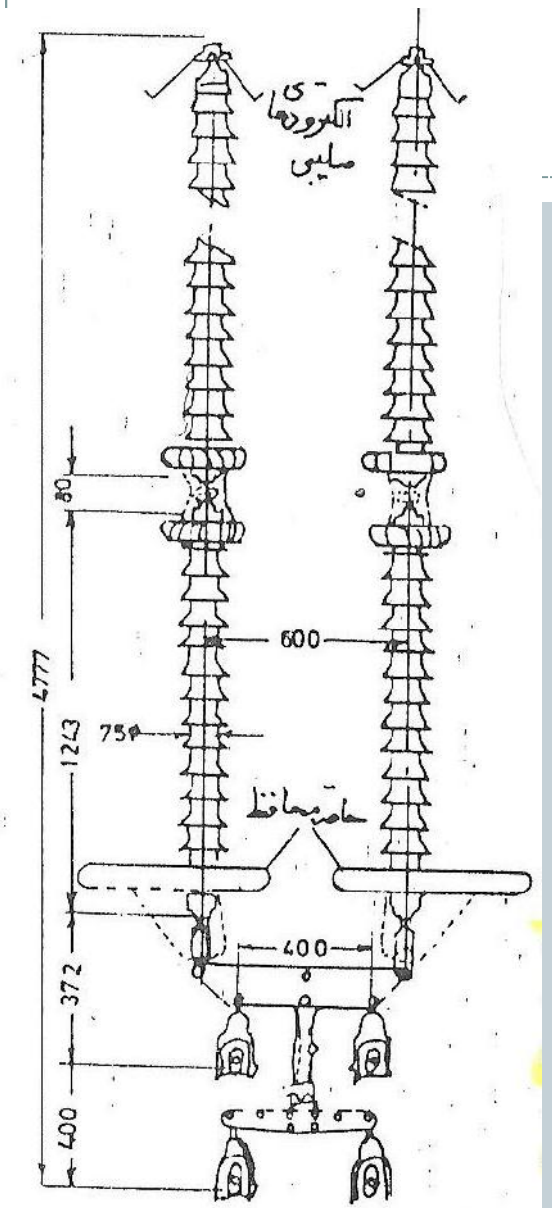
الف- الکترود حفاظتی در خط ۳۸۰ کیلو ولتی با زمین سخت باید بنحوی میدان الکتریکی را در طول زنجیر تنظیم کند که استقامت الکتریکی فاصله در شرایط نامناسب نیز از ۳۸۰ کیلو ولت کمتر نباشد.

ب – الکترودهای حفاظتی باید فشار الکتریکی را در تمامی طول زنجیر همگن قسمت کند.

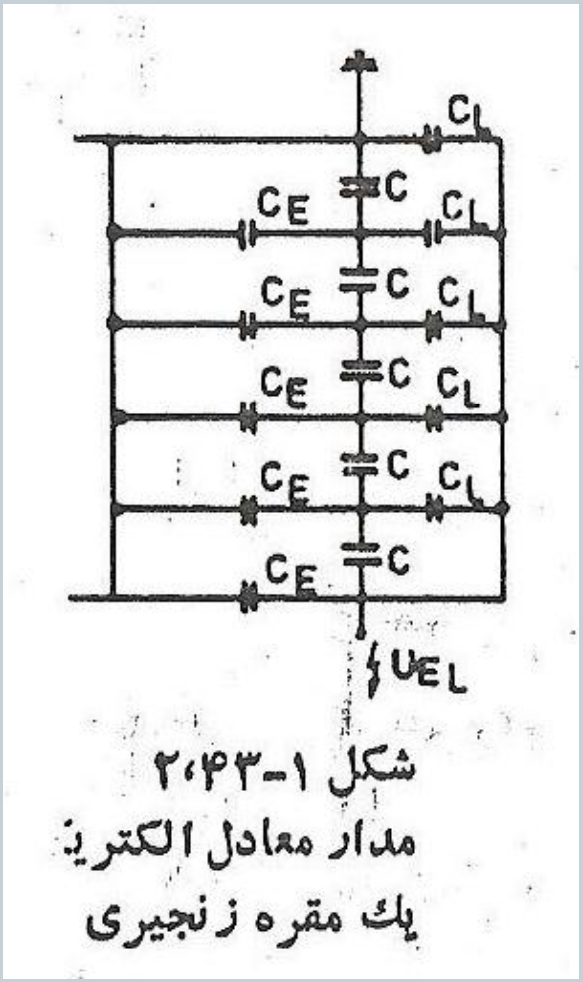
ج- الکترودهای حفاظتی باید طوری ساخته شوند که زنجیر در نقاط ضعیف خود بتواند در مقابل قـــوس الکتریکی و اثرات الکتریکی آن مقاومت کند.

د-اندازه-های الکترودهای حفاظتی باید به اندازه-ای انتخاب شود که در صورت پدید آمدن قوس الکتریکی مانع ذوب قسمت-هایی از فلز الکترودها گردد.

- اندازه-های الکترودهای حفاظتی باید به اندازه-ای انتخاب شود که در صورت پدید آمدن قوس الکتریکی مانع ذوب قسمت-هایی از فلز الکترودها گردد.



شکل ۱۰-۲،۴۲
مقره‌ای زنجیری شکل مرکب



شکل ۱-۲،۴۳
مدار معادل الکتریکی
یك مقره زنجیری

- در زنجیری بدون الکترودهای محافظ، پتانسیل به نحوی ناهمگن بر روی هر مقره تقسیم میشود و بالاترین مقدار فشار الکتریکی بر روی مقره-هائی در سمت اتصال به خط می-نشیند. کمترین مقدار فشار الکتریکی بر روی مقره-های واقع در میانه زنجیر قرار میگیرد و مقره-های واقع شده در سمت زمین دارای پتانسیل کمی بیشتر از پنانسیل مقره-های میانی است.
- در این شکل C ظرفیت الکتریکی مقره، C_Eظرفیت الکتریکی مقره نسبت به زمین و بالاخره C_L ظرفیت الکتریکی مقره نسبت به خط میباشد.

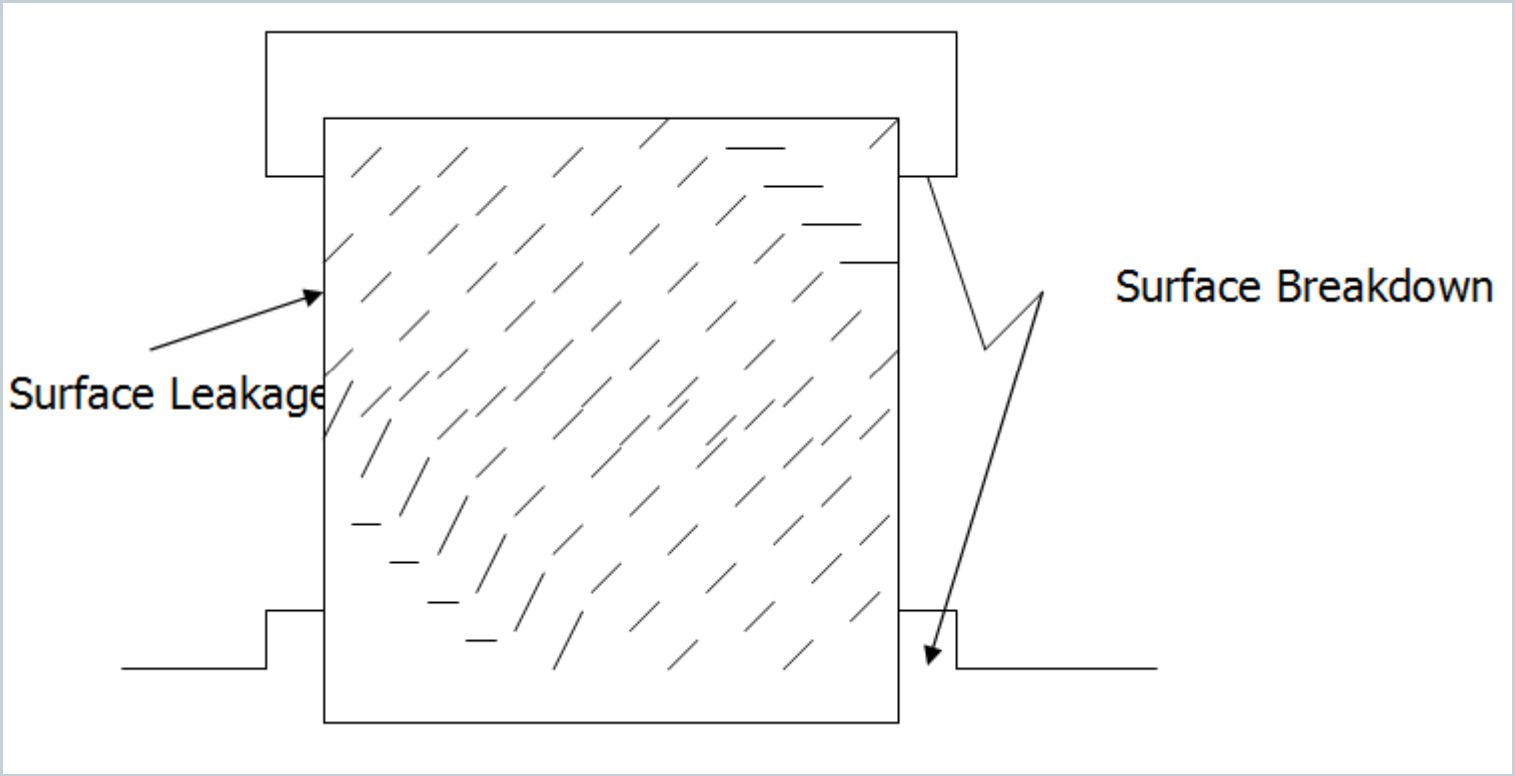
شکست الکتریکی در سطح عایق

- برای بررسی این قسمت یک ولتاژ تحمل تعریف می کنیم:

- ولتاژ تحمل ولتاژی است که یک عایق می تواند بدون شکست در خود یا سطح خود تحمل کند.
- برای اینکه ببینیم شکست الکتریکی چگونه در سطح عایق صورت می گیرد ، انواع ایزولاتورهای فشار قوی را در زیر تقسیم بندی میکنیم.

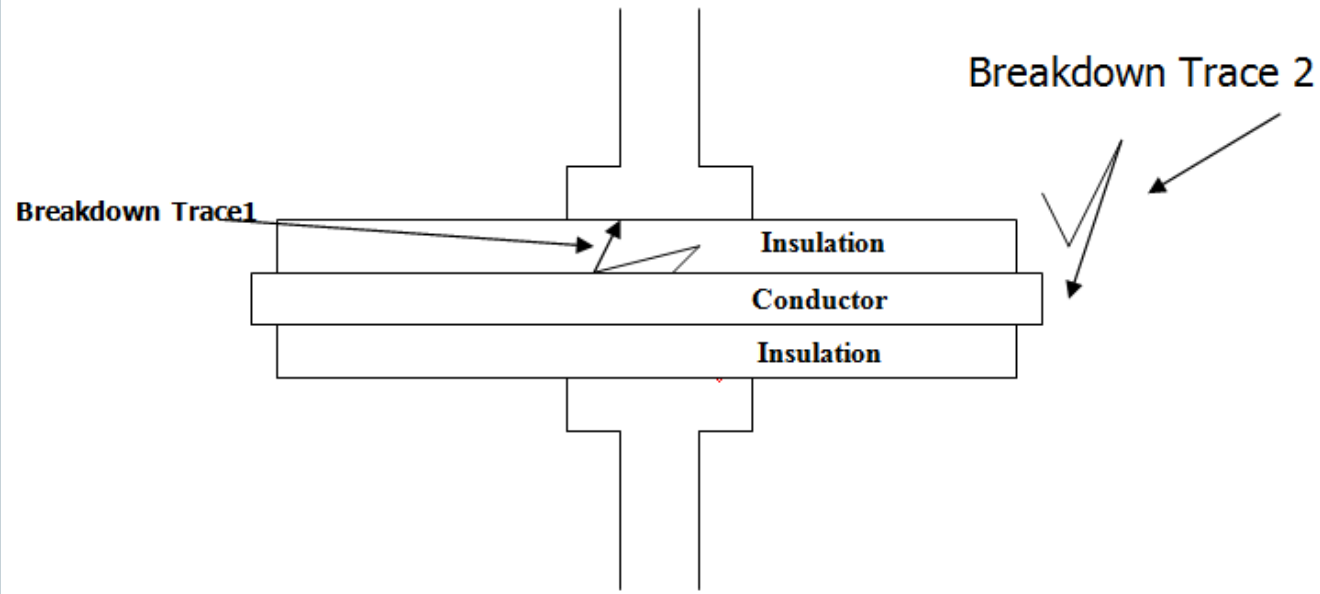
ایزولاتورهای ثابت

- این ایزولاتورها دارای یک پایه ثابت هستند و طوری طرح می شوند که شکست الکتریکی قبل از اینکه در عایق صورت گیرد در سطح عایق همان طور که در شکل نشان داده شده است جرقه بزند وبرای اینکه جرقه حاصل صدمه ای به عایق نزند و کاملا از داخل هوا صورت گیرد بدنه این ایزولاتورها دندانه ای شکل درست میکنند. این دندانه ها باید طوری طراحی شوند که اولا کثافت بطور یکنواخت روی آنها جمع نشود و از طرف دیگر آب باران قادر باشد آنها را تمیز کند . این دندانها مسیر سطحی را طولانی تر می کنند.کاربرد این ایزولاتور بیشتر در کلیدها و بعنوان پایه های ترانسفورماتورها می باشد.


Surface Leakage
Surface Breakdown

ایزولاتور بوشینگ

- این ایزولاتور از نظر مکانیزم فرق اساسی با دو نوع اول داردو احتمال شکست در داخل عایق (مسیر۱) بیشتر از دو ایزولاتور قبل است و در طرح این ایزولاتور دقت بیشتری لازم است. در شکل زیر شمای این ایزولاتور رسم شده است



- باید هادی بوشینگ نسبت به بدنه ترانسفورماتور که زمین شده است عایق باشد. این ایزولاتور باید طوری طرح شود که شکست در مسیر (۲) صورت گیرد.
-