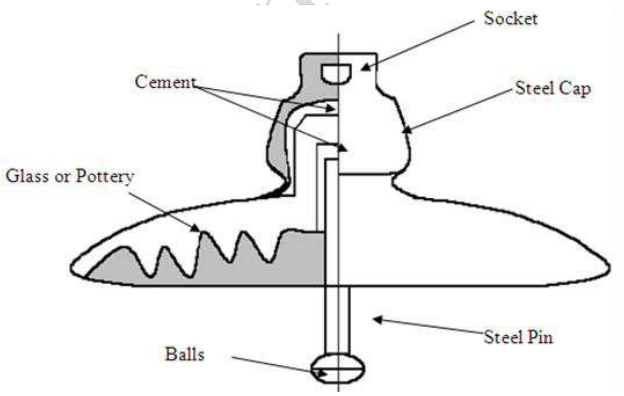
مقره‌های بشقابی (Disc Type Insulators)

مقره‌های بشقابی یکی از رایجترین نوع مقره‌ها در خطوط انتقال، توزیع و همچنین پستهای برق می‌باشند. عموما این نوع مقره‌ها به صورت تکی (شبکه‌های توزیع فشار متوسط) یا چندتایی یا زنجیره مقره (Insulator String) مورد استفاده قرار می‌گیرند. تعداد مقره‌های بشقابی در زنجیره مقره بستگی به سطح ولتاژ، شرایط محیطی محل نصب (آلودگی، ...) و سطح اضافه ولتاژهای سیستم دارد. ارتباط مقره‌های بشقابی زنجیره مقره با یکدیگر توسط دو قطعه فلزی که با پودر سیمان و شیشه و چسب مخصوص به مقره محکم می‌شود، صورت می‌گیرد. هر مقره بشقابی از یک صفحه بشقاب از جنس چینی یا شیشه تشکیل شده است که در قسمت بالایی آن، یک کلاهک (cap) چدنی گالوانیزه توسط سیمان مخصوصی به نام آلومینا که دارای استقامت الکتریکی و مکانیکی و قدرت چسبندگی بالایی می‌باشد به شیشه یا چینی متصل می‌گردد. در قسمت پایین مقره نیز یک میله (pin) فولادی گالوانیزه به وسیله سیمان آلومینا به مقره متصل می‌شود. همچنین مسیر زیر بشقابها به صورت موج دار است تا طول مسیر جریان نشتی افزایش یابد. پین فولادی هر مقره در داخل حفره کلاهک مقره پایینی قرار گرفته و با زدن گیره اطمینان (اشپیل Split-Pin) اتصال پین و کلاهک محکم می‌شود. استقامت مکانیکی مقره‌ها معمولاً بین ۴۰ تا ۳۰۰ کیلونیوتن می‌باشد.



مزایای استفاده از مقره‌های بشقابی عبارتند از:

۱- هرچند هر واحد مقره بشقابی برای یک ولتاژ نامی پایینی (در حدود ۱۱ کیلو ولت) طراحی می‌شود. اما متناسب با ولتاژ خط می‌توان به تعداد دلخواه از این بشقابها را به هم متصل نمود تا یک زنجیره آن بتواند ولتاژ خط را تحمل کند (قابلیت افزایش طول زنجیره مقره با افزایش تعداد مقره‌ها متناسب با سطح ولتاژ).

حداقل تعداد مقره‌های بشقابی در زنجیره مقره خطوط توزیع و انتقال (به طور نمونه)

ولتاژ کاری سیستم (کیلوولت)	حداقل تعداد مقره بشقابی در هر زنجیره مقره	
	زنجیره مقره آویزی	زنجیره مقره کششی
۱۱	۱	۱
۳۳	۲	۳
۶۶	۵	۶
۱۳۲	۹	۱۰
۲۲۰	۱۴	۱۵
۴۰۰	۲۱	۲۲

۲- اگر هر یک از بشقابهای یک زنجیره مقره، آسیب یا صدمه ببیند فقط لازم است همان یک بشقاب تعویض شود و نیازی به تعویض کل زنجیره مقره نیست (اقتصادی بودن مقره).

۳- در زنجیره مقره‌های آویزی، چون زنجیره مقره به بازوی دکل خط آویزان است و می‌تواند به صورت آزادانه حرکت نماید، حداقل فشار مکانیکی بر مقره‌ها وارد می‌شود.

۴- اگر بار مکانیکی خط زیاد باشد (در فواصل طولانی بین دو دکل مجاور، هنگام عبور خطوط انتقال از روی رودخانه‌ها، دره‌ها، اتوبان‌ها،...) می‌توان از زنجیره مقره‌های دوتایی یا بیشتر استفاده نمود.

۵- نسبت به سایر انواع مقره‌ها در شرایط و سطح ولتاژ یکسان، قیمت مقره‌های بشقابی (زنجیره مقره) کمتر می‌باشد.

۶- مقره‌های بشقابی (زنجیره مقره) دارای انعطاف پذیری بیشتر در برابر انواع نیروهای مکانیکی می‌باشند.

۷- مقره‌های بشقابی در کلیه سطوح ولتاژی قابل استفاده می‌باشند.

*انواع مقره‌های بشقابی:

الف- از لحاظ جنس:

۱- مقره‌های سرامیکی یا چینی (Porcelain)

مقره‌های چینی از سه ماده مختلف تشکیل شده است:

- کائولین یا خاک چینی $AL2O3-2SIO2-2H2O$ به مقدار ۴۰ تا ۵۰ درصد.
- سیلیکات آلومینیوم (فلداسپات) $K2O-AL2O3-6SIO2$ به مقدار ۲۵ تا ۳۰ درصد.
- خاک کوارتز $SiO2$ به مقدار حداکثر ۲۵ درصد.

این سه نوع ماده به ترتیب برای بالا بردن استقامت حرارتی، الکتریکی و مکانیکی به کار می‌روند. هر چه فلداسپات بیشتر باشد استقامت الکتریکی مقره افزایش می‌یابد و هر چه مقدار کوارتز بیشتر شود، استقامت مکانیکی آن بیشتر شده و با افزایش کائولین، استقامت حرارتی آن بیشتر می شود.

برای تهیه مقره سرامیکی، مواد فوق را با کمی آب خالص مخلوط می‌کنند تا به صورت گل و خمیر در آید. سپس درصد رطوبت گل را پایین می‌آورند و تحت خلاء آن را پرس می‌کنند تا هوا و سایر گازها از داخل آن خارج شود. سپس این گل را در قالبهای معینی شکل داده و در کوره حرارت می‌دهند تا پخته شود و رطوبت آن نیز گرفته شود. پس از پخته شدن آن را به آرامی سرد می‌کنند تا ترکی در آن ایجاد نشود. پس از این مرحله یک لایه لعاب شیشه‌ای بر روی آن می‌ریزند تا سطح آن کاملاً خالی از وجود حبابها و ترک‌های مویین گردد. لعاب شیشه‌ای علاوه بر افزایش استقامت مکانیکی مقره، با ایجاد سطح صاف و صیقلی قدرت چسبندگی گرد و غبار و نفوذ آنها و رطوبت را کاهش می‌دهد. همچنین لعاب باعث افزایش مقاومت سطحی عایق می‌شود. استقامت الکتریکی سرامیک بین ۱۲ تا ۲۸ (kV/cm) می‌باشد. از ویژگی مهم سرامیک، شکل گیری آسان و مقاومت در برابر مواد شیمیایی و تغییرات جوی می‌باشد.

۲- مقره‌های شیشه‌ای (Glass)

معمولاً شیشه را در درجه حرارت بالا با مخلوطی از مواد مختلف از جمله آهک و پودر کوارتز ذوب می‌کنند و سپس به طور ناگهانی آن را سرد نموده و قالب ریزی می‌کنند. این عمل باعث مستحکم شدن شیشه می‌شود. بدین ترتیب

niasari.profile.semnan.ac.ir

مقره شیشه‌ای با استقامت مکانیکی خیلی زیاد بدست می‌آید که در مقابل لب پریدگی از سرامیکی مقاومتر است و استقامت مکانیکی فشاری آن ۱/۵ برابر چینی می‌باشد. اما استقامت مکانیکی شیشه در برابر نیروهای خمشی، کمتر از سرامیک است. استقامت الکتریکی شیشه خیلی بیشتر از عایق‌های سرامیکی می‌باشد (بین ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ کیلوولت بر سانتی متر).

مزیت دیگر شیشه، کوچک بودن ضریب انبساط حرارتی آن می‌باشد. در نتیجه تغییر شکل نسبی آن در اثر تغییر درجه حرارت، خیلی کم است. همچنین در مقره‌های شیشه‌ای، قبل از بروز ترک، کاملاً خرد می‌شوند و لذا از روی زمین به راحتی می‌توان مقره معیوب را تشخیص داد. برخلاف مقره‌های چینی، در هنگام ساخت مقره‌های شیشه-ای، معمولاً حفره در آن به وجود نمی‌آید و اگر ترک یا حفره‌ای هم باشد به راحتی قابل مشاهده است. به علاوه به علت عبور نور خورشید از شیشه در اثر شفاف بودن، مقاومت آن در برابر نور خورشید بیشتر است.

معایب مقره شیشه‌ای عبارتند از:

۱- رطوبت به راحتی در سطح آن تقطیر می‌شود (تشکل شب نم و قطرات ریز آب روی آن).

۲- به علت تغییر شکل نسبی داخلی پس از سرد شدن، نمی‌توان مقره‌های با ابعاد بزرگ از جنس شیشه ساخت.

۳- گرد و خاک را بیشتر به خود جذب می‌کند.

مقره بشقابی شیشه‌ای

مقره بشقابی سرامیکی

ب- از لحاظ کاربرد:

۱- مقره استاندارد (Standard Type)

۲- مقره بشقابی ضد مه (Anti-Fog Type)

از این مقره‌ها در مناطق آلوده و مه آلود که به فاصله خزشی بیشتری نیاز دارند استفاده می‌شود. در این مقره شیارهای پایین بزرگتر از شیارهای مقره‌های معمولی می‌باشد. ولی وزن آنها زیادتر بوده و موجب افزایش نیروی مکانیکی روی دکلها می‌شود.

۳- مقره بشقابی ضد آلودگی (Anti-Pollution Type)

از این مقره‌ها در مناطق آلوده که به فاصله خزشی بیشتری نیاز دارند استفاده می‌شود.

۴- مقره‌های بشقابی آئرودینامیک (Aerofoil Insulator)

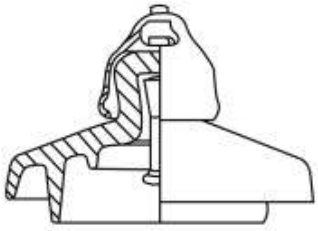
از این مقره‌ها در مناطق بادگیر استفاده می‌شود زیرا سطح بادگیر کمتری نسبت به دیگر مقره‌ها دارند و در زنجیره مقره انحراف زاویه کمتری داشته و نیروهای وارده به دکل کم می‌شود. به علت فاصله خزشی کم این نوع مقره‌ها،

جهت حفظ سطح استقامت عایقی در زنجیره مقره از تعداد بیشتری از آنها استفاده می‌شود که منجر به افزایش هزینه خط می‌گردد.

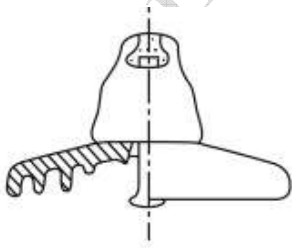
مقره ضد آلودگی

مقره ضد مه

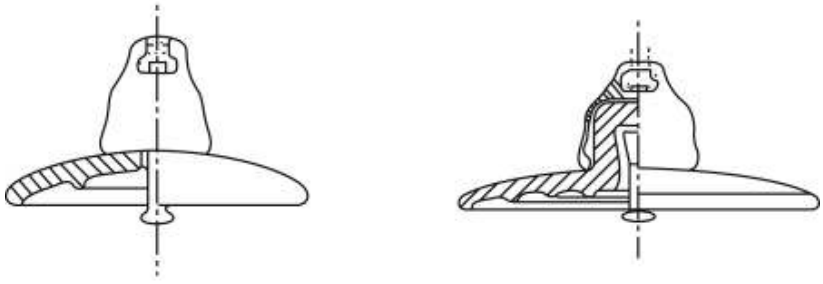
مقره استاندارد



Anti-fog disc



Standard disc



Aerofoil disc types

***انواع زنجیره مقره‌های خطوط انتقال:**

زنجیره مقره‌های خطوط انتقال برحسب نوع طراحی دکلها، نیروهای وارده، شرایط محیطی و غیره دارای انواع مختلف زیر می‌باشند.

الف- زنجیره مقره آویزی (Suspension Type)

۱- زنجیره مقره I شکل (تک زنجیره و چند زنجیره)

الف- زنجیره مقره I شکل تکی (I - String): این زنجیره مقره‌ها در مواردی استفاده می‌شوند که نیروی مکانیکی چندان زیاد نباشد. معمولاً در هادی‌های تک سیمه یا باندل دوتایی از آنها استفاده می‌شود.

ب- زنجیره مقره آویزی چندتایی (II - String): در این حالت برای افزایش استقامت مکانیکی، از دو ردیف زنجیره مقره به موازات یکدیگر و به شکل II مورد استفاده قرار می‌گیرد. معمولاً در هادی‌های باندل از این نوع استفاده می‌شود. در صورت نیاز به استقامت مکانیکی بالاتر، ممکن است بیش از دو زنجیره مقره موازی هم استفاده شود.

۲- زنجیره مقره آویزی V شکل (تک زنجیره و چند زنجیره در هر بازو)

الف- زنجیره مقره آویزی V شکل (V - String)

در مناطق با سرعت باد زیاد، نوسانات بوجود آمده بر روی زنجیره مقره و در نتیجه انحراف بیش از حد آن می‌تواند منجر به کاهش فاصله عایقی گردد. جهت جلوگیری از این مشکلات در این مناطق از زنجیره مقره V شکل استفاده می‌شود تا از نوسانات زنجیره مقره جلوگیری شود. در زنجیره مقره V شکل معمولا طول دو بازو برابر می‌باشد. اما در مواردی که به دلیل زاویه خط نیاز به بازوهای متفاوت باشد، می‌توان با کاهش و یا افزایش طول یک بازو به این حالت دست پیدا کرد. معمولاً زاویه بین دو بازو در زنجیره مقره بین ۹۰ تا ۱۰۰ درجه می‌باشد.

الف- زنجیره مقره آویزی V شکل (Double V - String)

برای داشتن استقامت مکانیکی بیشتر، زنجیره مقره V شکل می‌تواند به صورت دوتایی و بیشتر نصب شود.

زنجیره مقره آویزی I شکل

زنجیره مقره آویزی V شکل

ب- زنجیره مقره کششی (Tension Type)

از زنجیره مقره کششی در جاهایی که نیروی کشش افقی زیادی به مقره وارد می‌شود استفاده می‌گردد. از این مقره ها در دکلهای ابتدایی و انتهایی خطوط انتقال و توزیع و در پایه‌هایی که در مسیر خط از حالت مستقیم خارج شده و یا نسبت به افق، زاویه پیدا می‌کنند (دکلهای زاویه‌ای)، استفاده می‌شوند. این زنجیره مقره‌ها به صورت افقی و سری با هادی خط نصب می‌شوند و باید نیروی کششی خط را در پایه‌ها تحمل نمایند. لذا برای تحمل نیروی کششی زیاد، استقامت مکانیکی آنها نسبت به زنجیره مقره‌های آویزان بیشتر است. این زنجیره مقره‌ها می‌توانند به صورت دوتایی یا بیشتر مورد استفاده قرار گیرند که انتخاب آن بستگی به تعداد هادی‌های هر فاز و همچنین شرایط بارگذاری و نوع مقره دارد.

Niasa.semnan.ac.ir

زنجیره مقره کششی چندتایی (با دو زنجیر موازی برای افزایش استحکام مکانیکی)

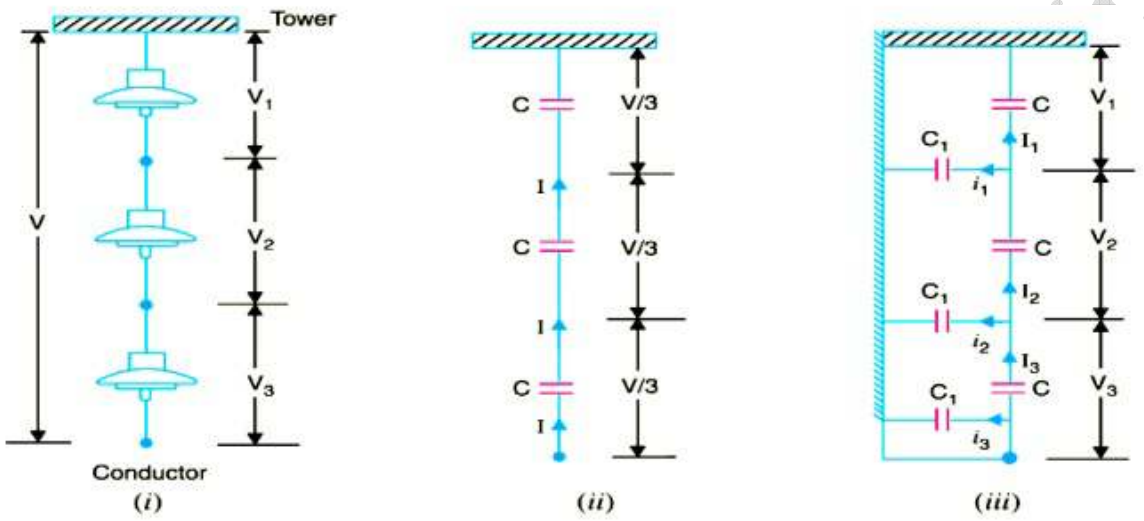
ج- زنجیره مقره جامپر (Jumper Insulator String)

این زنجیره مقره، سیم جامپر ارتباطی فازها را در برج کششی به صورت آویزی نگه داشته و از حرکت جانبی آن جلوگیری می‌کند. نیروی مکانیکی وارده به این نوع زنجیره مقره چندان قابل ملاحظه نیست.

نمونه‌هایی از زنجیره مقره کششی و جامپر

بررسی عیب اصلی زنجیره مقره‌ها

عیب اصلی زنجیره مقره‌ها، عدم توزیع یکنواخت و یکسان ولتاژ روی مقره‌ها می‌باشد. به عبارت دیگر، در شکل زیر علیرغم یکسان بودن مقره‌ها، اما ولتاژ دو سر آنها (V1، V2 و V3) برابر نیستند. در حالت ایده آل باید مطابق حالت (*ii*)، ولتاژ دو سر هر مقره زنجیره مقره برابر ولتاژ فاز-بدن تقسیم بر تعداد مقره‌ها باشد. علت عدم توزیع یکنواخت ولتاژ روی مقره‌های زنجیره مقره‌ها، مطابق شکل (*iii*) وجود جریان نشتی از طریق خازنهای پراکندگی (C1) بین کلاهک / میله فلزی دو سر مقره‌ها با بدنه زمین شده دکل فلزی می‌باشد.



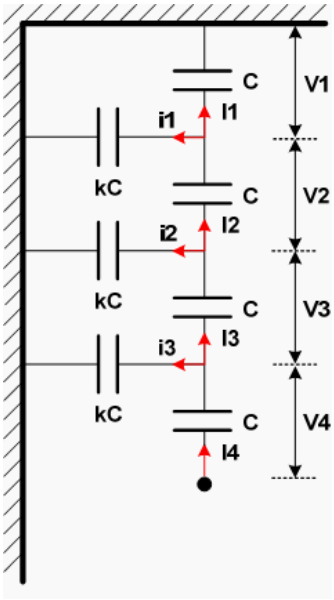
*محاسبه ولتاژ دو سر مقره‌های زنجیره مقره

(Potential Distribution over a String of Suspension Insulators)

برای محاسبه توزیع ولتاژ روی مقره‌ها، به جای هر مقره، مدل الکتریکی ساده شده عایق مقره (فقط خازن معادل) در نظر گرفته می‌شود.

براساس شکل زیر، ولتاژ دو سر هر مقره زنجیره مقره به صورت زیر محاسبه می‌شود.

Niasar profile



$$I_1 = V_1\omega C$$

$$i_1 = kV_1\omega C$$

$$I_2 = I_1 + i_1 = (1+k)V_1\omega C$$

$$V_2 = \frac{I_2}{\omega C} = (1+k)V_1$$

$$i_2 = k\omega C(V_1 + V_2) = k(2+k)V_1\omega C$$

$$I_3 = I_2 + i_2 = (1+3k+k^2)V_1\omega C$$

$$V_3 = \frac{I_3}{\omega C} = (1+3k+k^2)V_1$$

$$i_3 = (V_1 + V_2 + V_3)k\omega C = k(3+4k+k^2)V_1\omega C$$

$$I_4 = I_3 + i_3 = (1+6k+5k^2+k^3)V_1\omega C$$

$$V_4 = \frac{I_4}{\omega C} = (1+6k+5k^2+k^3)V_1$$

بنابراین:

$$V_{ph} = V_1 + V_2 + V_3 + V_4 \Rightarrow V_{ph} = V_1(4+10k+6k^2+k^3)$$

با توجه به اینکه مقدار $k = C_1 / C$ و مقدار ولتاژ فاز V_{ph}، مشخص می‌باشد، لذا می‌توان ولتاژ V_1 را محاسبه نمود و پس از آن مقدار سایر ولتاژها را نیز بدست آورد.

Niasat.semnan.ac.ir

اگر نسبت خازن پراکندگی بین بخش فلزی هر مقره و بدنه دکل (C_1) به خازن مقره (C) برابر $k = C_1 / C = 0.1$، آنگاه:

$$V_{ph} = 5.061 \times V_1 \Rightarrow V_1 = 0.168 \times V_{ph}$$
$$V_1 = 1 \times V_1 = 0.168 \times V_{ph}$$
$$V_2 = 1.1 V_1 = 0.217 \times V_{ph}$$
$$V_3 = 1.31 \times V_1 = 0.259 \times V_{ph}$$
$$V_4 = 1.651 \times V_1 = 0.326 \times V_{ph}$$

مثال: برای یک خط ۶۳ کیلوولت با زنجیره مقره ۴ تایی و مقدار $k = C_1 / C = 0.1$، مطلوبست مقدار ولتاژ دو سر کلیه مقره‌های زنجیره مقره؟

$$V_{ph} = V_{LL} / \sqrt{3} = 63kV / \sqrt{3} \simeq 36.373kV$$

بنابراین:

$$V_1 = 1 V_1 = 0.168 V_{ph} = 0.168 \times 36.373 = 6.11kV$$
$$V_2 = 1.1 V_1 = 0.217 V_{ph} = 0.217 \times 36.373 = 7.89kV$$
$$V_3 = 1.31 V_1 = 0.259 V_{ph} = 0.259 \times 36.373 = 9.72kV$$
$$V_4 = 1.651 V_1 = 0.326 V_{ph} = 0.32 \times 36.373 = 11.86kV$$

راندمان زنجیره مقره (String Efficiency):

$$\%\eta_{string} = \frac{100 V_{ph}}{n \times V_n}$$

n: تعداد مقره‌های زنجیره مقره،

V_n: ولتاژ دو سر مقره nام (نزدیکترین مقره به سیم فاز)،

هرچه راندمان زنجیره مقره بزرگتر باشد (به ۱۰۰٪ نزدیکتر باشد)، اختلاف ولتاژ روی مقره‌های زنجیره مقره کمتر خواهد بود و توزیع ولتاژ روی مقره‌ها یکنواخت‌تر می‌گردد.

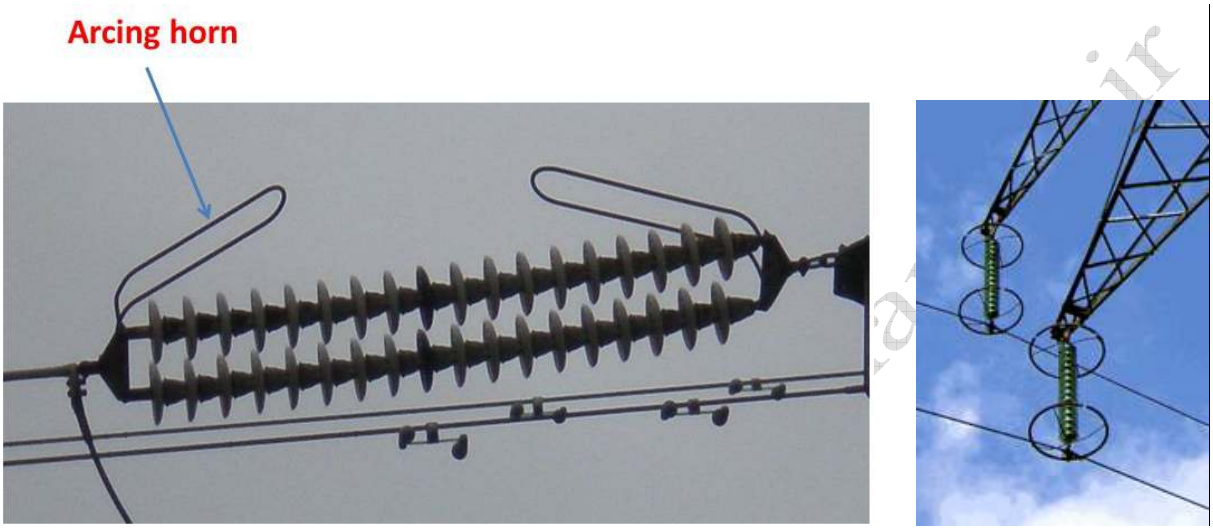
برای مثال قبل، راندمان زنجیره مقره برابر است با:

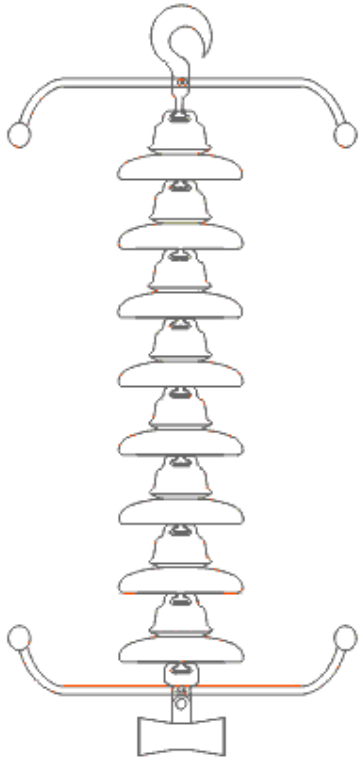
$$\%\eta_{string} = \frac{100 V_{ph}}{n \times V_n} = \frac{100 \times 36.373kV}{4 \times 11.86kV} \simeq 76.7\%$$

Niasati.profile.semnan.ac.ir

*روش بهبود راندمان زنجیره مقره (بهبود توزیع ولتاژ روی مقره‌ها):

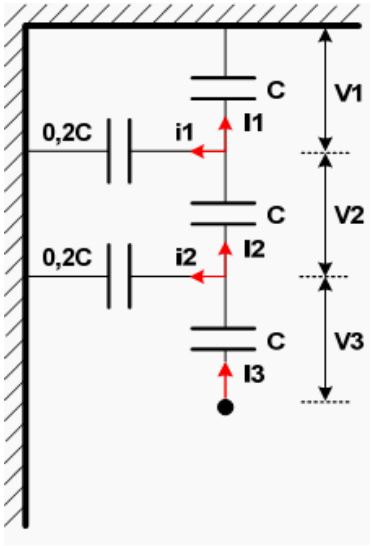
استفاده از حلقه کرونا (Corona ring)، یا شاخکهای جرقه زن (Spark gap) و یا حلقه‌های حفاظتی (Protective ring)، باعث بهبود توزیع ولتاژ روی زنجیره مقره و افزایش راندمان زنجیره مقره می‌شود. این حلقه‌ها یا شاخکها باعث ایجاد خازن پراکندگی جدید بین آنها و بخش فلزی (کلاهک و میله) مقره‌های بشقابی زنجیره مقره می‌شود.





حلقه کرونا و شاخک جرقه زن روی زنجیره مقره

در ادامه، تاثیر وجود یا عدم وجود حلقه کرونا بر توزیع ولتاژ روی مقره‌های یک خط توزیع با ولتاژ فاز برابر با ۳۰ کیلوولت بررسی می‌گردد. مقدار $k = C'/C = 0.2$ فرض شده است.



زنجیره مقره بدون حلقه کرونا

الف- بدون حلقه کرونا:

$$I_1 = V_1\omega C$$

$$i_1 = 0{,}2V_1\omega C$$

$$I_2 = I_1 + i_1 = 1{,}2V_1\omega C$$

$$V_2 = \frac{I_2}{\omega C} = 1{,}2V_1$$

$$i_2 = 0{,}2(V_1 + V_2)\omega C = 0{,}44V_1\omega C$$

$$I_3 = i_2 + I_2 = 1{,}64V_1\omega C$$

$$V_3 = \frac{I_3}{\omega C} = 1{,}64V_1$$

$$V_1 + V_2 + V_3 = 30000 = V_1 + 1{,}2V_1 + 1{,}64V_1 = 3{,}84V_1 \rightarrow$$

$$\rightarrow V_1 = 7813 \ or \ 26{,}05\%$$

$$V_2 = 9375 \ or \ 31{,}25\%$$

$$V_3 = 12812 \ or \ \frac{12812}{30000}\% \ or \ 42{,}70\%$$

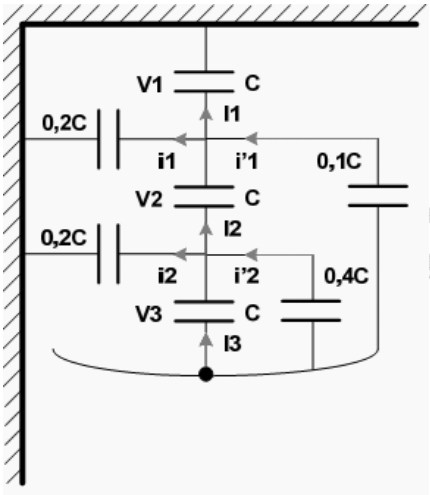
Niasemnan.ac.ir

راندمان زنجیره مقره مفروض بدون حلقه کرونا برابر است با:

$$\%\eta_{string} = \frac{100V_{ph}}{n \times V_n} = \frac{100 \times 30000V}{3 \times 12812V} \simeq 78.05\%$$

ب- با حلقه کرونا:

با فرض $k = C'/C = 0.2$، مقدار خازن پراکندگی بین مقره پایینی و حلقه کرونا $C''/C = 0.4$ و مقدار خازن پراکندگی بین مقره دوم و حلقه کرونا $C''/C = 0.1$، خواهیم داشت:



زنجیره مقره با حلقه کرونا

$$I_1 = V_1 \omega C$$

$$i_1 = 0{,}2V_1 \omega C$$

$$I_2 = V_2 \omega C$$

$$i_1' = 0{,}1(V_2 + V_3)\omega C$$

$$i_1 + I_1 = i_1' + I_2 \rightarrow 1{,}2V_1 = 1{,}1V_2 + 0{,}1V_3 \qquad (3)$$

$$i_2 = 0{,}2(V_1 + V_2)\omega C$$

$$i_2' = 0{,}4V_3 \omega C$$

$$I_3 = V_3 \omega C$$

$$i_2 + I_2 = i_2' + I_3 \rightarrow 0{,}2V_1 + 1{,}2V_2 = 1{,}4V_3 \qquad (4)$$

$$\text{From} \xrightarrow{(3)\ and\ (4)}$$

$$V_2 = V_1, \quad V_3 = V_1 \quad \rightarrow \quad V_1 = V_2 = V_3 = 10000\ Volts$$

راندمان زنجیره مقره مفروض بدون حلقه کرونا برابر است با:

$$\%\eta_{string} = \frac{100V_{ph}}{n \times V_n} = \frac{100 \times 30000V}{3 \times 10000V} = 100\%$$

در مثال فوق، مقدار خازنهای پراکندگی بین حلقه کرونا و بخش فلزی مقره‌ها (کلاهک و میله) طوری انتخاب شده است که راندمان زنجیره مقره به ۱۰۰٪ برسد. در عمل راندمان زنجیره مقره‌ها کوچکتر از ۱۰۰٪ می‌باشد.

به سئوالات زیر پاسخ دهید:

مسئله ۱) برای یک زنجیره مقره آویزی دارای n مقره یکسان، اگر نسبت $k = C'/C$ و نسبت $m = C''/C$ باشد، مقدار ولتاژ دو سر هر مقره‌های زنجیره مقره را به صورت رابطه پارامتری تعیین کنید.

مسئله ۲) برای خطوط ۳۳، ۶۳، ۱۳۲، ۲۳۰ و ۴۰۰ کیلوولت، با تعداد مقره‌های ذکر شده در جدول فوق، و با ضرایب $k = C'/C = 0.2$ و $m = C''/C = 0.1$، مقدار ولتاژ دو سر مقره‌ها و راندمان زنجیره مقره را برای دو حالت بدون حلقه کرونا و با حلقه کرونا محاسبه نمایید.

مسئله ۳) به کمک یک برنامه در محیط نرم افزار Matlab مسئله (۲) را حل کنید.

Niasati.profile.semnan.ac.ir