برقگیرها برای زمین کردن ولتاژهای بالای ضربه پیش از رسیدن به تجهیزات خط مورد حفاظت به کار می روند. برقگیرها این کار را از طریق اختیار قرار دادن مداری با امپدانس کمتر نسبت به مداری که خط یا تجهیزات با زمین می سازند انجام می دهند. ضربه ولتاژ محفظه باعث سکشت عایقی برقگیر می شود. و به موج ضربه این امکان را می دهد که در زمین تخلیه شود. سپس برقگیر خاصیت عایقی خود را باز می یابد و با ممانعت از غبور جریان بیشر به زمین، جهت عملکرد بعدی به حالت آماده به کار خویش باز می گردد.

انواع برقگیرها

برقگیرها یا زمین کننده های موج ضربه اساسً شامل یک فاصله هوایی هستند که به صورت سری به عنصر دیگری متصل می گردد. این عنصر دارای مشخصه بخصوصی از نظر ایجاد مقاومت یا امپدانس کم در مقابل جریان ایجاد شده توسط موج فشار قوی و مقاومت یا امپدانس زیاد در مقابل عبور جریان معمولی ولتاژ پایین خط توزیعی که برقگیر به آن متصل است می باشد. در برخی از انواع جدیدتر برقگیر، فاصله هوایی ممکن است حذف شده باشد.

برقگیر ساچمه ای: در برقگیر ساچمه ای، عنصر دوم از یک لوله پر از ساچمه های سربی تشکیل شده است. ساچمه های سربی از جنس پراکسید سرب با روکشی از اکسید سرب می باشند. ساچمه ها در حالت عادی مانند عایق عمل می کنند و مانع از عبور جریان به زمین می شوند. هنگامی که یک موج ضربه فشار قوی به آنها اعمال می گردد جریانی از آنها عبور می کند که موجب گرم شدنشان گردیده اکسید سرب را که یک هادی ضعیف است به پراکسید سرب که یک هادی خوب است تبدیل می نماید. بعد از این که موج ضربه زمین تخلیه شد، سطح ساچمه ها توسط جریان تخلیه دوباره به اکسید سرب تبدیل می شود و برقگیر حالت اولی خود را باز می یابد.

هر چند که این نوع برقگیر به سرعت نسوخ گردید لیکن برقگیرهای بسیاری از این نوع هنوز وجود دارند و تا مدتی طولانی در آینده وجود خواهند داشت.

برقگیر سوپاپی (دریچه ای): در برقگیرهای نوع دریچه ای، عنصر دوم ممکن است از مواد مخصوصی مانند مواد سرامیکی حاوی ذرات هادی نظیر اکسیدهای فلزی یا مواد دیگری که تحت شرایط ولتاژ ضربه دارای مشخصات یاد شده باشند، ساخته شود. بسیاری از این ها را به شکل واحدهایی مجزا می سازند و به تعداد زیاد به طور سری به هم متصل می کنند تا جهت ولتاژ خط مورد حفاظت مناسب باشند.

برقگیر نوع خارج شونده: در برقگیر نوع خارج شونده امکان استفاده یا عدم استفاده از فاصله هوایی دیگری که در لوله فیبری قرار داشته به صورت سری به فاصله هوایی ثابت متصل است، وجود دارد. همانطور که در مورد نگهدارنده های فیوز ساخته شده از فیبر گفته شد، هنگام ایجاد ولتاژ فشار قوی که منجر به بروز قوس الکتریکی در فاصله هوای می شود، اثر حرارت برقگیر موجب ساتع شدن گاز تحت فشاری می گردد که غیرعادی است و قوس را خاموش می نماید. به این ترتیب جریان موج ضربه قطع گردیده برقگیر به حالت اولیه خود باز می گردد.

محل نصب برقگیر:

برقگیرها را تا حد ممکن نزدیک تجهیزات یا خط مورد حفاظت نصب می کنند، به طوری که مقاومت اتصال به زمین حداقل باشد. اتصال به زمین از اهمیت بسیاری برخوردار است. زیرا برقگیر بدون آن نمی تواند عمل نماید. در صورت امکان، علاوه بر زمین های دیگر، برقگیر باید اتصال زمین مخصوص خود را نیز داشته باشد.

از آنجایی که برقگیر باید از سیستم عایقی خط یا تجهیزات مربوط به آن حفاظت نماید، سیستم عایقی خود برقگیر باید با سیستم عایقی خط یا تجهیزات مرتبط با آن هماهنگ باشد.

مقادیر نامی برقگیرها:

برقگیرهای استاندارد نه تنها برحسب ولتاژ نامی خطی که باید به آن اتصال یابند بلکه برحسب ولتاژ پیکی (سطح اساسی عایقی در مقابل ضربه) که باید تحمل نمایند، تقسیم بندی می شوند. جدول زیر

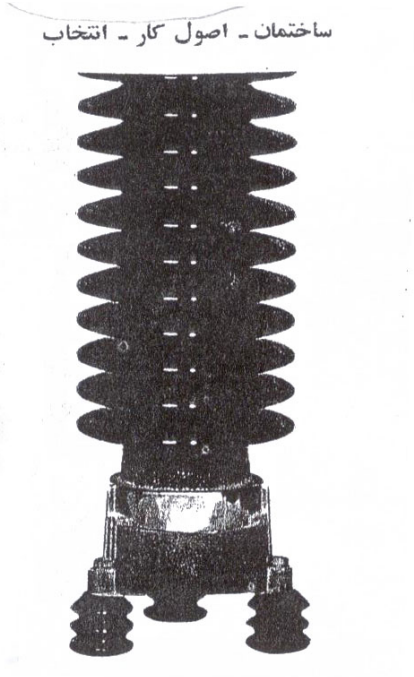
برخی از مقادیر نامی را جهت برقگیرهای مرتبط با مدارهای توزیع دارای ولتاژهای مختلف نشان می دهد.

مقادیر نامی استاندارد برقگیرها جهت ولتاژهای توزیع

کلاس ولتاژ مرجع (KV)	پیک ولتاژ (KV)*	کلاس ولتاژ مرجع (KV)	پیک ولتاژ (KV)*
1/2	30	15	110
2/5	45	23	150
5	60	34/5	200
8/7	75	46	250
12	95	69	350

* سطح پایه عایقی (BIL) برحسب کیلوولت که با موج استاندارد 1/5 به 40 میکرو ثانیه به دست آمده است.

برقگیرهای اکسید روی ZnO:



مقدمه

برقگیرها بایستی قادر به حفاظت تجهیزات برقی در مقابل تخریب در اثر صاعقه باشند. از طرف دیگر نبایستس در اثر بروز اشکالاتی در شبکه (مثل کلید زنی یا اتصال فاز با زمین و یا ..) بی جا عمل نموده یا صدمه ببینند. در هر حال انتخاب باید جامع شرایط بوده، همچنین صرفهٔ اقتصادی نیز مورد توجه قرار گیرد. در این مقاله علاوه بر تحلیل اصول کار و ساختمان برقگیرهای اکسید فلزی (MOV) و مقایسهٔ آنها با نوع متداول سیلیکون کار باید (SiC)، پارامترهای مهم در برقگیر و نحوهٔ انتخاب آن مورد تحلیل قرار می گیرند.

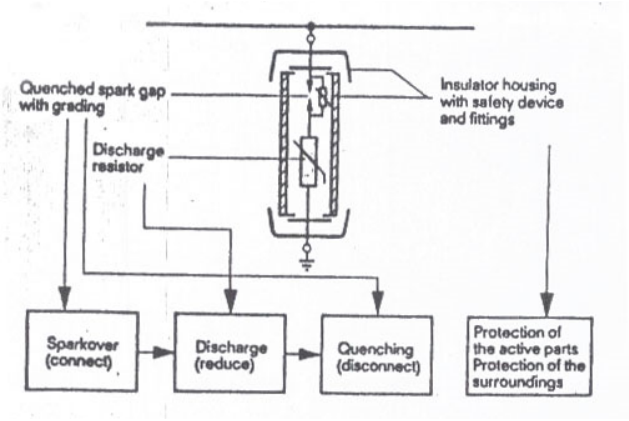
فاصلهٔ هوائی

ابتدائی ترین روش حفاظت در مقابل صاعقه استفاده از «فاصلهٔ هوایی» بوده است (مانند شاخک برقگیر) که دو مشکل ایجاد می نماید. اولاً، پس از گذر موج سیّار جرقه پاک نمی شود و تا پایان نیم سیکل و یا قطع ولتاژ ادامه پیدا کرده و خط را اتصال کوتاه می نماید. در نتیجه پس از هر بار جرقه، شبکه بایستی بی برق شده و مجدداً برقرار گردد. ثانیاً، از آنجائی که همیشه در فاصلهٔ هوایی جرقه با تأخیر واقع می شود، اضافه ولتاژی در فاصلهٔ هوایی ظاهر می گردد.

انواع برقگیر

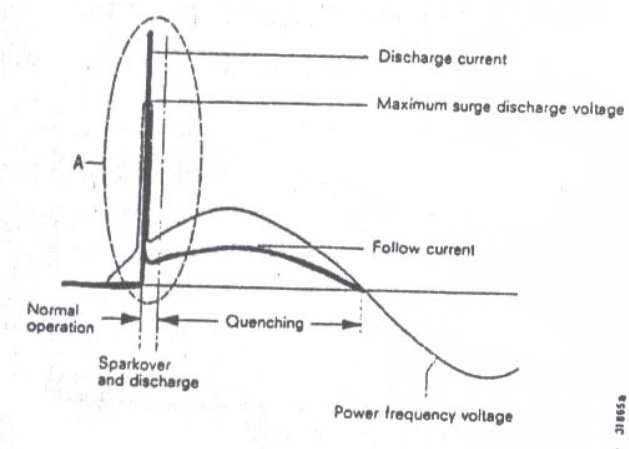
۱- سیلیکون کارباید

روش متداول حفاظت در مقابل صاعقه استفاده از برقگیرهای SiC (سیلیکون کارباید) بوده است. در این برقگیرها تعدادی قرص SiC روی هم قرار گرفته و تعدادی فاصلهٔ هوایی نیز با قرصها سری می گردد (شکل 1). مواد SiC دارای مقاومت الکتریکی غیرخطی بوده و در جریان های مختلف مقاومت ای متفاوت از خود نشان می دهند.



شکل 1- مدل سازی برقگیر SiC و توابع آن

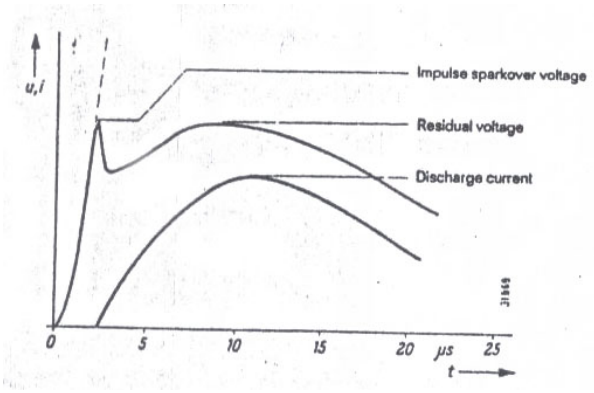
در یک برقگیر 24 کیلوولتی حدود 50 اهم در جریان ^{A}500و حدود 2 اهم در جریان ^{KA} 100). این خاصیت موجب می شود که در ایمپالس های با جریان زیاد، ولتاژ دو سر برقگیر پایین نگه داشته شده و در نتیجه تجهیزات مورد حفاظت آسیب نبینند. از طرف دیگر برای اینکه در حالت های عادی از عبور جریان در برقگیر جلوگیری شود، فواصل هوایی مورد استفاده قرار می گیرند. پس از اعمال موج ضربه (یا اضافه ولتاژهای به اندازهٔ کافی بزرگ) فاصلهٔ هوایی هادی شده و بارهای الکتریکی را به زمین هدایت می نمایند. اما پس از گذر موج ضربه یا رفع اضافه ولتاژ، جرقه در فاصلهٔ هوایی از بین نرفته و تا پایان همان نیم سیکل از ولتاژ متناوب ادامه خواهد داشت. این جریان که «جریان متعاقب موج» نامیده می شود در حدود 100 تا 500 آمپر می باشد (شکل 2)



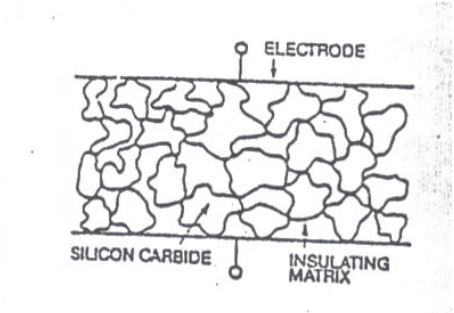
شکل 2- تغییرات جریان و ولتاژ

شکل 3 جزئیات قسمت A در شکل 2 را نشان می دهد.

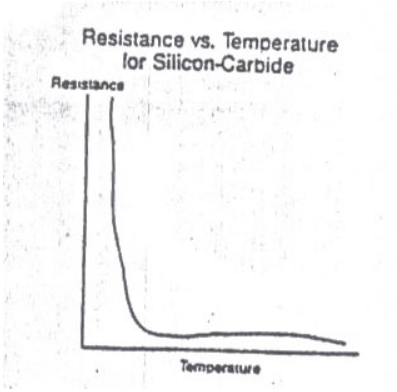
اصول عملکرد غیر خطی بودن مقاومت در مواد Sic به این ترتیب است که در مدت زمان هدایت ضربه، انرژی زیاد ضربه موجب حرارت شدید در مرز دانه های مادهٔ SiC (شکل 4) و این باعث کاهش مقاومت می گردد (شکل 5)، و اجازه می دهد که موج ضره با عبور از حداقل مقاومت وارد زمین شود. پس از گذر موج ضربه، توده بلوک SiC مرزهای دانه ها را به سرعت خنک کرده و باعث افزایش سریع مقاومت بلوک می شود. این افزایش در مقاومت، دامنهٔ جریان متناوب شبکه را که متعاقب موج ضربه عبور می کند به چند صد آمپر تقلیل می دهد. فاصلهٔ هوای به شکلی طراحی می شود که در اولین گذر جریان از صفر جریان را قطع نماید. فاصلهٔ هوایی و بلوک به گونه ای با هم عمل می نمایند که عملکرد مناسبی حاصل شود.



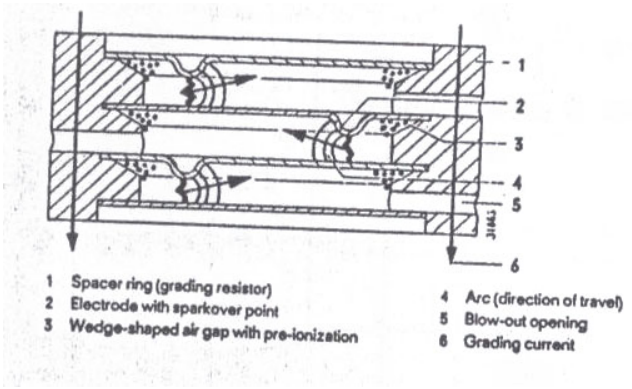
شکل 3- جزدیات قسمت A از شکل 2.



شکل 4- ساختمان بلوک سیلیکون کارباید



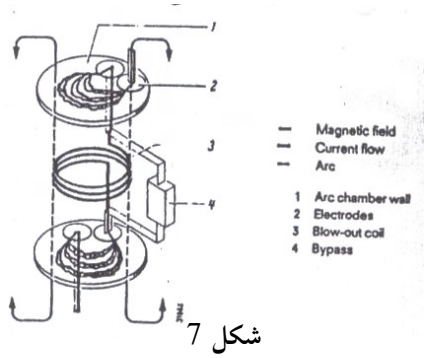
شکل 5- مقاومت برحسب دمای سیلیکون کارباید



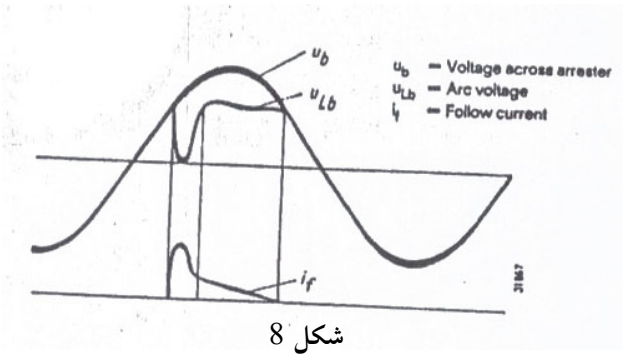
شکل 6- فاصلهٔ هوای نوع صفحه ای

توزیع پتانسیل یکنواخت روی فاصلهٔ های هوایی سری شده با یکدیگر توسط مقاومت های ساخته شده از جنس سرامیک و به شکل رینگ تأمین می گردد. شکل 6 جزئیات ساختمان فاصلهٔ هوایی را نشان می دهد.

در نوع مدرن تر برقگیرهای SiC برای کاهش تلفات در برقگیر که منجر به افزایش عمر و قابلیت اطمینان و تمحل بیشتر انرژی می گردد، از روش های مغناطیسی برای خاموش کردن جرقه در فاصلهٔ هوایی پس از گذر موج و در نتیجه قطع جریان متعاقب موج استفاده می شود. شکل 7 ساختمان یک نمونه از این نوع برقگیرها و شکل 8 موج ولتاژ و جریان را نشان می دهد.



شکل 7



شکل 8

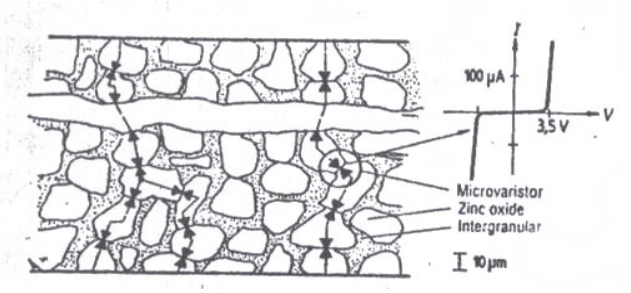
برقگیر SiC با خاموش کن مغناطیسی، سه برابر بیشتر از نوع معمولی قابلیت تحمل انرژی دارا می باشد، زیرا تلفات «جریان متعاقب موج» به حداقل مقدار خود می رسد. این نوع برقگیرها با ولتاژ زیاد به کار می رفته است.

۲- اکسید فلزی

نوع مدرن برقگیرها دارای بلوک هایی با مقاومت الکتریکی غیرخطی و از جنس فلزات می باشد. این بلوک ها به MOV مشهور هستند و به این علت که حدود 95 درصد از مواد این بلوک ها را از اکسید روی تشکیل می دهد به آنها Zno نیز گفته می شود.

اصول هدایت این نوع برقگیر براساس اثر واریستوری می باشد که از زینتر شدن اکسید روی با دیگر اکسیدهای فلزی حاصل می شود. شکل 9 نشان دهندهٔ اصول سادهٔ عملکرد واریستور می باشد. دانه های اکسید وری هادی خوبی هستند در حالی که اکسیدهای فلزی دیگر عایق خوبی هستند محل اتصال هر دو دانهٔ اکسید روی در ناحیه ای به ضخامت 1 نانومتر تشکیل یک میکرو واریستو را می دهد. هر میکرو واریستو دقیقاً با یک دیود زینر (با منحنی قرینه) قابل مقایسه می باشد که ولتاژ شکست آن حدود 3/5 ولت می باشد (3/2 تا 3/8 ولت) و تکنیک ولتاژ سد و حامل های اقلیت و اکثریت و حفره و الکترون و همچنین الکترون ولت اکسیدروی تعیین کنندهٔ این ولتاژ شکست می باشد. در شکل 9 منحنی مشخصهٔ ولت آمپر هر میکرو واریستو مشاهده می گردد.

در مجموع عملکرد هر بلوک واریستور اکسید فلزی حاصل عملکرد میکرو واریستورهای سری و موازی می باشد و نتایج زیر قابل طرح می باشد.



شکل 9 – اصول ساختمان واریستور

□ ولتاژ هر میکرو واریستور مستقل از قطر هر دانهٔ اکسید روی و حدود 3/5 ولت است.

□ در یک ارتفاع مشخص از بلوک اکسید روی در صورت داشتن دانه های ریزتر ولتاژ هدایت بالاتری خواهیم داشت.

□ دو برابر کردن ارتفاع بلوک موجب دوبرابر شدن سطح حفاظتی می گردد زیرا تعداد میکرو واریستورهای سری شده دوبرابر شده است.

□ دو برابر کردن سطح مقطع بلوک موجب دوبرابر شدن قابلیت عبور موج ضربه می گردد زیرا تعداد میکرو واریستورهای موازی شده یا تعداد مسیرهای موازی جریان دو برابر شده است.

□ دو برابر شده حجم بلوک تقریباً دو برابر شدن قابلیت جذب انرژی می گردد. زیرا تعدا جذب کننده های انرژی دو برابر شده است.

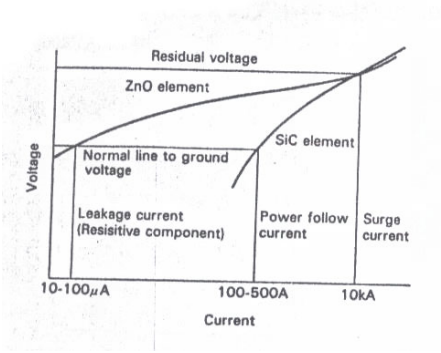
□ قابلیت سری و موازی شدن میکرو واریستورها باعث کاربرد آنها در قدرت های خیلی زیاد گردیده است، در حالی که در نیمه هادی ها حرارت فقط در محل اتصال p-n تلف شده و نیمه هادی ها به راحتی با یکدیگر سری و موازی نمی گردند،

□ ابعاد هر ذرهٔ اکسید روی بین 10 تا 100 میکرومتر و متناسب با نوع طراحی انتخاب می گردد.

□ واریستور در ولتاژ نامی جریانی در حدود 100 میکرو آمپر از خود عبور می دهد (شکل 10). بنابراین نیازی به وجود فاصلهٔ هوایی جهت قطع عبور جریان از بلوک ها در شرایط کار عادی نمی باشد.

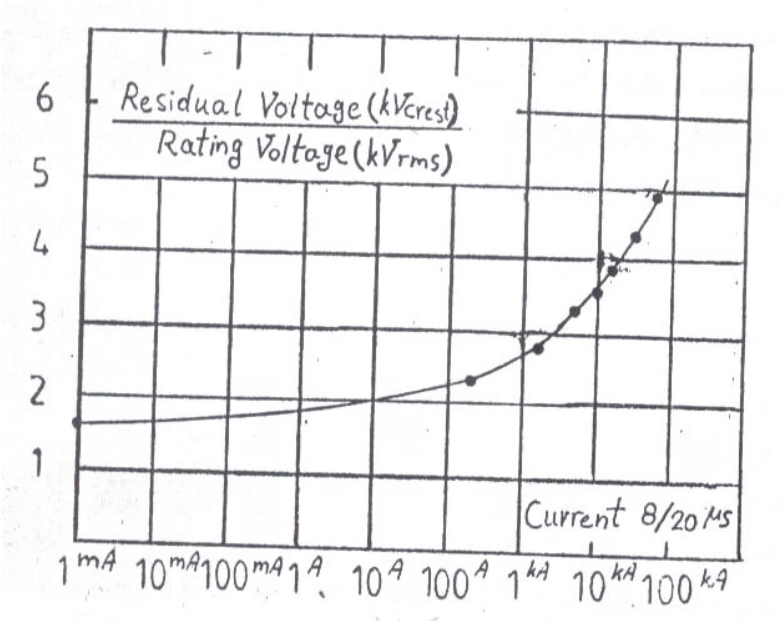
□ به علت عدم وجود فاصلهٔ هوای، تأخیر در پاسخ برقگیر به موج های گذرا تقریباً به صفر می رسد ($< 25^{nsec}$).

 به علت مشخصهٔ واریستوری، جریان متعاقب موج سیّار بسیار ناچیز می باشد. (چند ده میکرو آمپر در مقایسه با نوع SiC که حدود 500 آمپر می باشد.) بنابراین تلفات انرژی روی بلوک های اکسید روی کمتر از نوع SiC بوده و قابلیت جذب انرژی بیشتری را دارند (شکل 10)



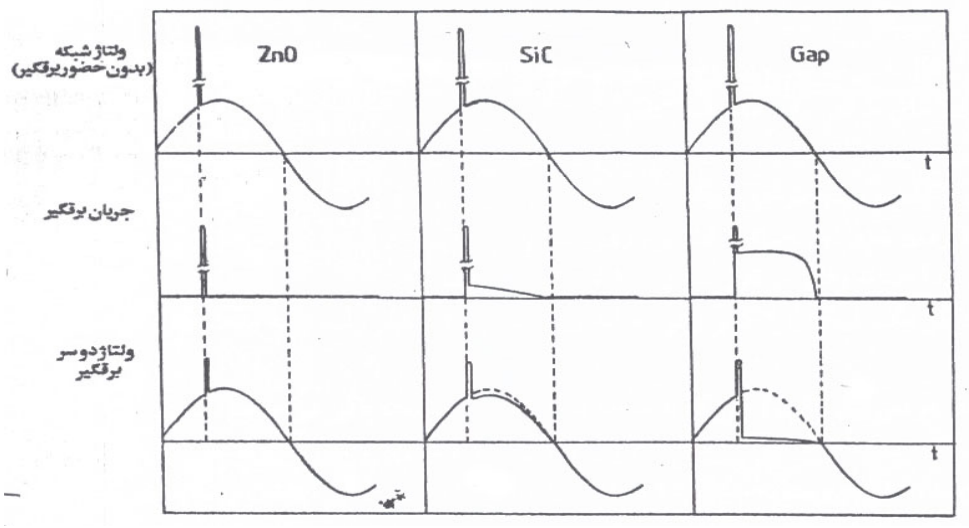
شکل 10- مشخصات ولتاژ- جریان بلوکهای zno **و** SiC

یک نمونهٔ واقعی از برقگیر 10^{KA} ساخت کمپانی Mc Graw Edison دارای مشخصهٔ ولتاژ جریانی مطابق شکل 11 می باشد.



شکل 11- مشحصهٔ ولتاژ جریان برقگیر 10KA**، ساخت کمپانی** Mc Graw Edison

شکل 12 نشان دهندهٔ جریان و ولتاژ برقگیرها در مقابل موج ضربه می باشد.



شکل 12- جریان ولتاژ انواع برقگیر در مقابل موج ضربه

 واریستورهای Zno در شرایط زیر آسیب می بینند.

1- ایمپالس جریان زاد و تلفات بیش از حد انرژی در عنصر Zno موجب تخریب برقگیر می شود.

2- اضافه بار دائمی باعث تخریب اتصال p-n بین دانه های اکسید روی شده و در نتیجه موجب امتزاج دانه های منفصل اکسید روی می کردد. در نهایت فقط مقاومت تودهٔ اکسید روی باقی می ماند که به صورت یک جسم هادی عمل می نماید.

3- اضافه بار محدود و دائمی باعث تخریب برگشت ناپذیر قسمتی از عناصر میکرو واریستور شده و مشخصهٔ ولتاژ جریان بلوک Zno را تغییر می دهد (مشخصه را مقداری شیفت می دهد). در صورتی که این مورد اتفاق بیفتد معمولاً ولتاژ واریستور در جریان ثابت 10٪ کاهش می یابد.

4- چنانچه برقگیر دچار اضافه بار شود و خطا به سرعت برطرف نگردد، واریستور ضایع خواهد شد. مثلاً هنگامی که بین خطی با ولتاژ بالا با خطی با ولتاژ کمتر یک اتصالی واقع شود (به عنوان مثال اتصالی 63^{KV} و با خط 20^{KV}) واریستور خط با ولتاژ کمتر داغ شده و تخریب می گردد. در چنین موقعیتی ایزولاتور نیز شکسته و یا منفجر می شود. بنابراین برای جلوگیری از خطرات احتمالی می بایست پیش بینی های لازم انجام شود.

انتخاب برقگیر

برقگیرها عمدتاً برای حفاظت ترانسفورماتورها به کار می روند. آنها همچنین حفاظت کابل های فشار قوی را نیز به عهده می گیرند. برقگیرها با وسیلهٔ تحت حفاظت موازی می شوند. این کار عموماً با قرار گرفتن بین فاز و زمین انجام می گیرد.

پارامترهای مهم در انتخاب برقگیر عبارتند از:

الف) ماکزیمم ولتاژ کار دائم MCOV

ب) ولتاژ نامی Ur

ج) جریان تخلیهٔ نامی (8/20 µsec)

د) ماکزیمم جریان ضربهٔ قابل تحمل (4/10 µsec)

ه) ماکزیمم جریان قابل تحمل با زمان زیاد (2 µsec)

و) قابلیت تحمل جذب انرژی W (J)

حال این پارامترها را به ترتیب مورد بررسی قرار می دهیم.

الف) ماکزیمم ولتاژ کار دائم MCOV

از آنجا که برقگیر بین فاز و زمین بسته می شود، ولتاژ کار دائم روی برقگیر به میزان 1/73 برابر ولتاژ خط می باشد. معمولاً برای این مقدار ضریب اطمینانی در نظر گرفته می شود. حداقل ضریب اطمینان 1/05 می باشد.

$$MCOV > ۱/۰۵ \times \frac{U1}{73} \qquad (1)$$

بنابر این در شبکه 20^{kv} که ماکزیمم ولتاژ شبکه 24^{kv} می باشد:

$$u_{pn} = \frac{24}{73} = 13/86KV$$

و حداقل MCOV عبارتست از:

$$MCOV > 1/05 \times 13/86$$
$$MCOV > 14/55^{kv}$$

مقدار MCOV بر حسب «کیلو ولت مؤثر» داده می شود.

 سازندگان برقگیر تولیدات خود را به مدت 1000 ساعت ولتاژ 1/05 MCOV قرار می دهند و تلفات برقگیر را در ابتدا و انتهای مدت آزمایش اندازه گیر می کنند، در صورتی که تلفات تغیر نکرده باشد برقگیر تأیید می شود.

ب) ولتاژ نامی Ur

مقدار ولتاژ نامی به چند عامل بستگی دارد، از جمله:

1- اضافه ولتاژ موقتی (TOV) ناشی از اتصال کوتاه خط با زمین یا قطع بار و در نتیجه افزایش ولتاژ شبکه

2- ضریب اتصال کوتاه (C_E)

3- زمان قطع شدن خطاهای اضافه ولتاژ

با توجه به عوامل مذکور، ولتاژ نامی از رابطهٔ تقریبی زیر محاسبه می شود:

$$Ur \approx 1/25\ MCOV \qquad (2)$$

برای روشن شدن مطلب به تعاریف و توضیحات زیر می پردازیم:

ب- 1- اضافه ولتاژ موقتی TOV

 در حالت اتصال یک فاز با زمین فازهای سالم بسته به نوع اتصال زمین صفر شبکه بالا می رود. ولتاژ دو فاز سالم که افزایش می یابد برابر خواهد بود با

$$u = C_E \frac{U1}{\sqrt{3}} \qquad (3)$$

که در آن C_E ضریب اتصال کوتاه (بعداً توضیح داده خواهد شد) می باشد.

 در حالت قطع بار ضریب اضافه ولتاژ در زمان عملکرد رله از جدول (1) به دست می آید.

تغذیهٔ خط	ضریب اضافه ولتاژ در اثر قطع بار C_L	زمان پاک شدن یا رفع خطا
پست ترانسفورماتوری با قدرت اتصال کوتاه زیاد	1/05	10-60 sec
پست ترانسفورماتوری با قدرت اتصال کوتاه کم	1/20	10-60 sec
ترانسفورماتور نیروگاه توربینی	1/40	3 sec
ترانسفورماتور نیروگاه آبی	1/50	3 sec

جدول 1

□ در صورتی که احتمال وقوع اتصال کوتاه و قطع بار به طور همزمان وجود داشته باشد

$$TOV = C_L.C_E.\ \frac{U1}{\sqrt{3}} \qquad (4)$$

□ برقگیرها اضافه ولتاژ را برای مدت کوتاهی تحمل می نمایند.

به طور معمول برقگیرها MCOV را دائماً 1/1 تا 1/2 برابر را به مدت 3 ساعت، 1/3 برابر MCOV را به مدت 10 ثانیه و 1/5 برابر MCOV را به مدت 0/1 ثانیه تحمل می نمایند. سازندگان برقگیر نیز معمولاً منحنی تحمل اضافه ولتاژ برقگیر را نسبت به زمان اعمال آن ارائه می نمایند.

□ در حالت کلید زنی چنانچه رزنانس ایجاد شود، روی خط نوساناتی با ولتاژ زیاد به وجود می آید. برقگیر برای حذف اضافه ولتاژ رزنانسی پیش بینی نمی گردد و این اضافه ولتاژ بایستی به روش های دیگری پیشگیری می شود. این اضافه ولتاژ معمولاً در اثر عملکرد غیر همزمان قطبهای دیژنکتور ایجاد می گردد و نباید مبنای انتخاب TOV برقگیر باشد بلکه بایستی با طراحی مناسب شبکه از ایجاد آن جلوگیری کرد. این ومضعیت در شبکه 400 kv و بالاتر بسیار حائز اهمیت است.

ب-2- ضریب اتصال CE

مقدار CE متناسب با مقاومت و راکتانس مؤلفه های توالی صفر و مثبت و منفی سیستم بین 1/2 تا 1/7 می باشد.

در شبکه های توزیع اگر صفر آنها مستقیماً زمین شده باشد، CE عملاً ¼ در نظر گرفته می شود و چنانچه صفر آنها زمین نشده یا غیرمستقیم زمین شده باشد، CE= 1/7 انتخاب می شود (برای به دست آوردن اعداد دقیق تر به ضمیمه A از استاندارد IEC-TC37/85-1992 مراجعه نمایید).

ب-3- ولتاژ نامی برقگیری که برای MCOV مشخصی طراحی شده است و منحنی TOV آن نیز موجود است بدین ترتیب تعریف می شود، ولتاژ نامی برقگیر کوچکتر یا مساوی با اضافه ولتاژ موقتی قابل تحمل در 10 ثانیه می باشد.

ب-4- جهت تعیین ولتاژ نامی مناسب، ابتدا اضافه ولتاژ موقتی شبکه را تعیین می نماییم و سپس به کمک رابطهٔ (5) معادل 10 ثانیه اضافه ولتاژهای موقتی را محاسبه می کنیم.

$$U_e = U_T \left(\frac{T}{10}\right)^{0/02} \qquad (5)$$

که در آن: U_T اضافه ولتاژ موقتی شبکه

T زمان بقای این اضافه ولتاژ بر روی سیستم

و U_e اضافه ولتاژ موقتی معادل 10 ثانیه می باشد.

□ به عنوان مثال اگر در یک شبکهٔ 20 کیلو ولتی اضافه ولتاژ موقتی 45 کیلو ولت را به مدت 0/5 ثانیه داشته باشیم آنگاه:

$$U_T = \frac{45}{\sqrt{3}} = 26\,KV$$

اضافه ولتاژ موقتی بین فاز و زمین که به مدت 0/5 ثانیه روی شبکه باقی می ماند.

$$U = 26\left(\frac{0/5}{10}\right)^{0/02} = 24/5\,KV$$ معادل 10 ثانیه ای

به این معنی که 24/5 کیلو ولت به مدت 10 ثانیه همان تلفاتی را روی برقگیر ایجاد می نماید که 26 کیلو ولت به مدت 0/5 ثانیه.

بنابراین در شبکهٔ 20 کیلو ولتی فوق که اضافه ولتاژ موقتی 45 کیلو ولت را به مدت 0/5 ثانیه خواهد داشت، ولتاژ نامی برقگیر بایستی بزرگتر یا مساوی 24/5 کیلو ولت باشد.

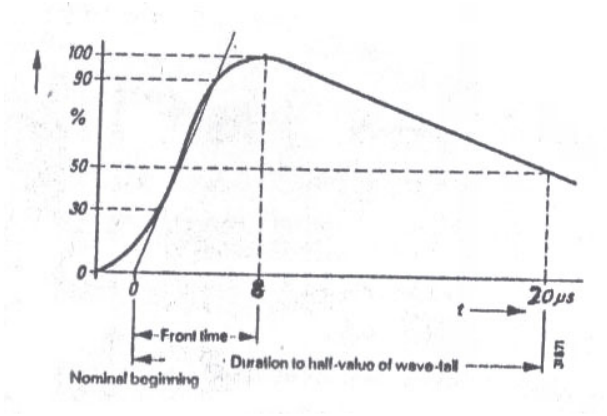
□ ولتاژ نامی برقگیر بایستی بزرگتر یا مساوی اضافه ولتاژ موقتی معادل 10 sec سیستم انتخاب شود.

$$Ur \geq TOV_{(10\ sec)} \qquad (6)$$

(توضیحات کاملتر در استاندارد IEC-TC37/85-1992)

ج) جریان تخلیهٔ نامی I_n

جریان تخلیهٔ نامی جریان ایمپالسی است با «زمان صعود» 8 میکرو ثانیه و «زمان نزول به نصف ماکزیمم» 20 میکرو ثانیه، که برقگیر بایستی به دفعات قادر به تحمل آن باشد. بدیتن ترتیب I_n پیک شکل موجی مطابق شکل 13 خواهد بود. طبق استاندارد برقگیر بایستی 20 موج ضربهٔ I_n ، را در 6 گروه سه پالسه و هر پالس به فاصلهٔ زمانی 1دقیقه را تحمل کرده و آسیبی نبیند (هر گروه سه پالسه با گروه سه پالسهٔ بعدی باید به اندازه ای فاصلهٔ زمانی داشته باشد که قرص برقگیر به اندازهٔ کافی خنک شود).

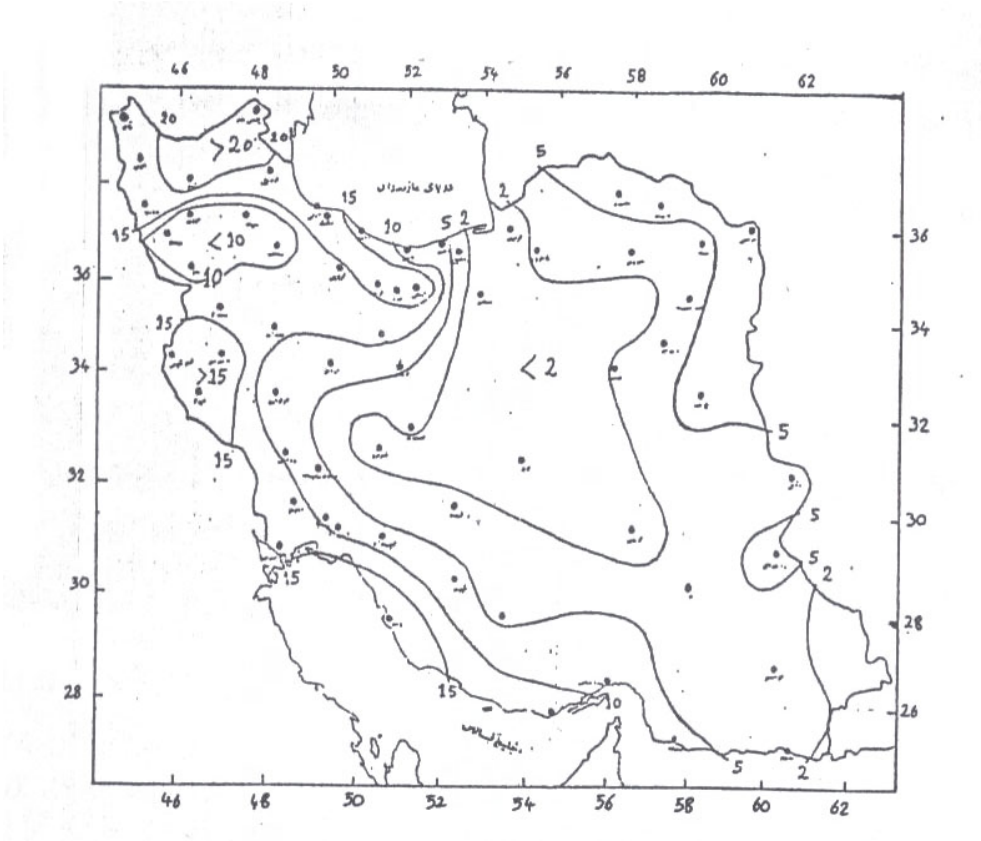


شکل 13- شکل موج ایمپالس استاندارد 8/20 µsec

برقگیرهای خطوط توزیع و انتقال با 4 رنج جریان نامی 5، 10، 15 و 20 کیلو آمپر ساخته می شوند. در سیستم توزیع عموماً برقگیر 5 KA استفاده می شود. اما در مناطقی که تعداد روزهای رعد و برقی و یا تعداد صاعقه در سال زیاد باشد، برقگیرهای 10 کیلو آمپری نیز به کار می روند. عدد نشان دهندهٔ تعداد صاعقه، IKL می باشد.

نقشه های IKL برای ایران وجود دارد و می توان مناطق پرصاعقه را جستجو نمود. مناطقی که IKL > 12 داشته باشند پر صاعقه محسوب شده و بهتر است در خطوط توزیع هوایی آنها برقگیر 10KA نصب گردد(شکل 14).

برقگیرهای 10KA بالاتر از کلاس 1، همچنین برقگیرهای 15KA و 20KA در خطوط انتقال بکار می روند.



شکل 14- منحنی های ایزوکرونیک سالیانهٔ ایران

 در کابل های متصل به خطوط هوای، اگر طول کابل کمتر از 1000 متر باشد در هر دو سر کابل و اگر طول کابل بیشتر از 1000 متر باشد در یک طرف کابل برقگیر 10KA نصب خواهد شد.

د) ماکزیمم جریان ضربهٔ قابل تحمل (4/10 µSec)

ماکزیمم جریان ایمپالسی است با «زمان صعود» 4 میکرو ثانیه و «زمان نزول به نصف مقدار» 10 میکروثانیه که برقگیر بایستی در حالی که قرص های داخلی آن تا 60 درجه سانتیگراد گرم شده اند یک بار قادر به تحمل آن باشد و سپس به مدت 10 ثانیه ولتاژ نامی و بعد از آن به مدت نیم ساعت ولتاژ MCOV را نیز باید بتواند تحمل نماید و در اثر حرارت تخریب نشود و پایداری حرارتی تضمین گردد.

این جریان را استاندارد IEC برای برقگیرهای 5KA به میزان 65KA و برای برقگیرهای 10KA به میزان 100KA توصیه نموده است.

ه) ماکزیمم جریان قابل تحمل با زمان زیاد (2 msec)

بارهای انباشته شده بر روی خط انتقال در هنگام وصل کلید باعث عبور جریان از برقگیر نصب شده در انتهای یک خزط باز می گردد که دامنهٔ جریان متناسب با ولتاژ شارژ خط و زومان عبور این جریان متناسب با طول خط می باشد (بعداً توضیح داده می شود).

 مقدار این جریان به توصیهٔ استاندارد IEC برای برقگیر 5KA، 75A و زمان آن 1 msec، و برای برقگیر 10KA کلاس 1 (که در سیستم توزیع بکار می رود) برابر 125A و زمان آن 2msec می باشد.

و) قابلیت تحمل جذب انرژی W

قابلیت جذب انرژی اصولاً مختص فشارهای ناشی از وصل کلید در انتهای باز خطوط انتقال طویل می باشد. برقگیری که در انتهای باز خط نصب می شود، می بایست توانایی جذب بارهای انباشته شده روی خط انتقال را داشته باشند.

و-1- انرژی تلف شده در برقگیر از رابطهٔ زیر به دست می آید:

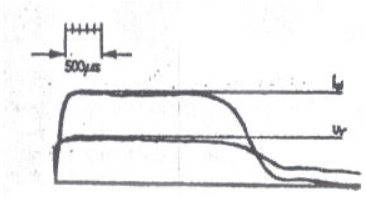
$$W = \int U.I.dt \qquad (7)$$

که در آن I جریان تخلیه بوده که از طریق برقگیر به زمین منتقل می گردد.

و V ولتاژ دو سر برقگیر در حالتی است که جریان I از ان عبور می نماید.

از آنجا که «کلاس تخلیه»، همچنین «قابلیت جذب انرژی» پارامترهای نشان دهندهٔ رفتار برقگیر در مقابل «موج ضربهٔ کلید زنی» بوده و این موج دارای زمانی طولانی (حدود 2 میلی ثانیه) است، در نتیجه شکل موج شبیه موج مربعی شده (شکل 15) و رابطهٔ 7 به شکل زیر خلاصه می گردد.

$$W = U.I.t \qquad (8)$$



شکل 15 – جریان و ولتاژ تخلیهٔ بلند مدت

و-2- جهت محاسبهٔ انرژی به روش زیر عمل می کنیم.

و-2-1-t: زمان عبور موج سوئیچینگ از داخل برقگیر بوده و برحسب µsec بیان می شود. این زمان دو برابر زمان انتشار موج می باشد یعنی:

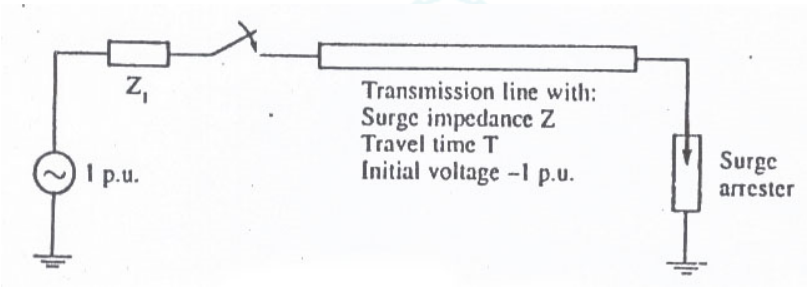
$$t = 2\,T \qquad (9)$$

زمان انتشار موج در خطوط هوایی با توجه به سرعت انتشار موج که نزدیک به سرعت نور (0/3 km/msec) می باشد، از رابطهٔ زیر به دست می آید:

$$T^{[\mu\sec]} = \frac{1[km]}{0/3}$$

این رابطه برای کابل ها به فرم زیر در می آید، چرا که سرعت انتشار موج در کابل ها تقریباً نصف سرعت نور است.

$$T = \frac{1}{0/15}$$



شکل 16- مدل تکفاز سادهٔ سیستم

و-2-2- I: جریان موج کلید زنی که از برقگیر عبور کرده و مدار آن از رابطهٔ 10 برحسب KA به دست می آید.

$$I = \frac{U_1 - U_{res}}{Z} \qquad (10)$$

که در آن U_1 = پیک ولتاژ شارژ خط در حالت کلیدزنی (برحسب KV) در حالتی که برقگیر وجود نداشته باشد.

U_{res} «ولتاژ تخلیه» یا «ولتاژ باقیمانده» روی برقگیر در حالت عبور موج کلیدزنی (برحسب KV)

Z = امپدانس خط بر حسب Ω

مقادیر Z و U_1 برای خطوط مختلف به تقریب از جدول زیر به دست می آید:

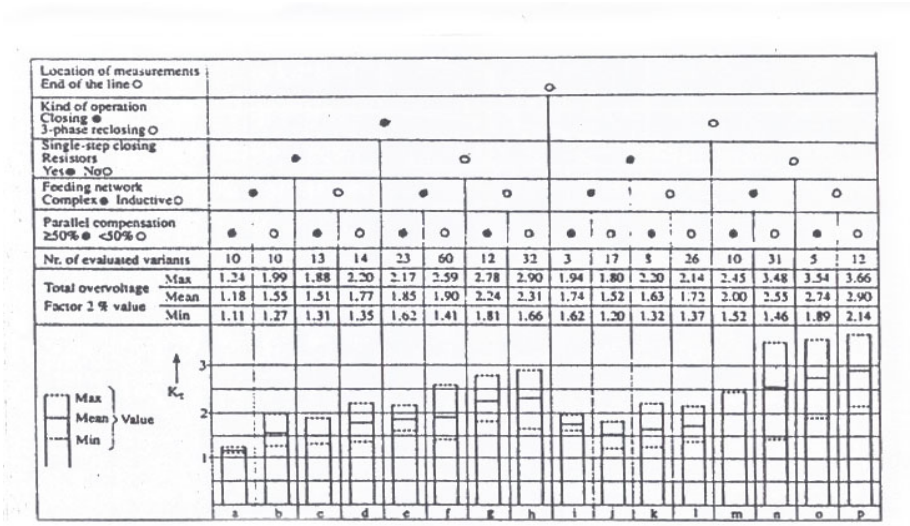
U_m [kv]	≤ 245	245-300	300-420	420-525	525-765
Z [Ω]	450	400	350	325	300
U_1 [p.u.]	3	3	2/8	2/6	2/2

جدول 2

مقدار U_1 به صورت .p.u نسبت به U_m داده شده است و

$$1\ p.u. = \frac{\vee 2 \times U_m}{\vee 3}$$

ولتاژ شارژ خط در موارد خاص می تواند به طور دقیق از جدول زیر استخراج شود. این جدول توسط CIGRE انتشار یافته است و تأثیر ضریب قدرت شبکه و اصلاح کننده های موازی با خط و نوع کلیدزنی را در مقدار U_1 نشان می دهد.



جدول 3

و-2-3-U: در رابطهٔ 8، U همان U_{res} و آن ولتاژ تخلیهٔ در حالت عبور موج جریان از برقگیر می باشد. مقدار U_{res} برای جریان های مختلف متفاوت بوده و سازندگان برقگیر مقادیر U_{res} را برای جریان های مختلف ارائه می نمایتد.

و-2-4-W: انرژی تلف شده روی برقگیر (برحسب J) می باشد.

و-2-5-W: به عنوان «قابلیت جذب انرژی» تعریف می گردد و مقدار آن از رابطهٔ زیر به دست می آید:

$$W = \frac{W}{U_r} \qquad (11)$$

که در آن U_r ولتاژ نامی برقگیر برحسب KV و W برحسب Kj/Kv_{rating} به دست می آید.

و- 3- به عنوان مثال در یک خط 230 کیلو ولتی به طول 150 کیلومتر، اگر برقگیر با ولتاژ شبکه شارژ گردد، مقدار تلفات انرژی پس از هر بار کلیدزنی بدین صورت محاسبه می شود. (براساس اطلاعات سازندهٔ برقگیر، ولتاژ باقیمانده در هنگام عبور جریان کلیدزنی ¼ برابر ولتاژ نامی (rms) برقگیر فرض می شود).

$$W = U.I.t$$

$$U_{res} = 1/4 \times 200280 kv$$

$$I = \frac{U_1 - U}{Z} \Rightarrow I = \frac{4 \times \frac{\vee 2 \times 230}{\vee 3} - 280}{450} = 1/04\, kv\, A$$

$$t = 2T = 2 \times \frac{1}{0/3} \Rightarrow t = \frac{2 \times 150}{0/3} = 10000 \mu \sec$$

W= 280 × 1/047 × 1000= 29316 J

$$W = \frac{293160}{200000} = 1/47 kJ / kV_{rating}$$

بنابراین برای یک ایمپالس کلیدزنی (با فاصلهٔ 15 دقیقه از ایمپالس قبلی و بعدی جهت تبادل حرارتی) مقدار $1/47\ KJ/\ KV_{rating}$ کافی می باشد، ولی اگر برقگیر 8 KJ/Kv داشته باشیم، در موقعیت مشابه می تواند حداقل 5 ایمپالس کلیدزنی متوالی (به فاصلهٔ کوتاه) را تحمل نماید.

$$W = \frac{U_{res}}{U_r}.1\frac{U_1}{U_r} - \frac{U_{res}}{U_r}1.\frac{U_r}{Z}.t$$

رابطهٔ 8 را به شکل زیر بسط داد:

$$E = U_{res}\,\frac{U_{1-}U_{res}}{Z} \times 2T \qquad (12)$$

بنابراین رابطهٔ W به شکل زیر خواهد شد:

$$W = \frac{U_{res}}{U_r} \times \frac{U_r - U_{res}}{Z} \times 2T \qquad (13)$$

که در آن: W= انرژی مخصوص برحسب J/KV_{rating}

U_{res}= ولتاژ تخلیه برقگیر در حالت عبور موج کلیدزنی برحسب KV

U_r= ولتاژ نامی برقگیر (rms) برحسب Kv

U_1= ولتاژ شارژ خط در حالت کلیدزنی برحسب kv

Z= امپرانس خط برحسب Ω

i= طول خط برحسب کیلومتر

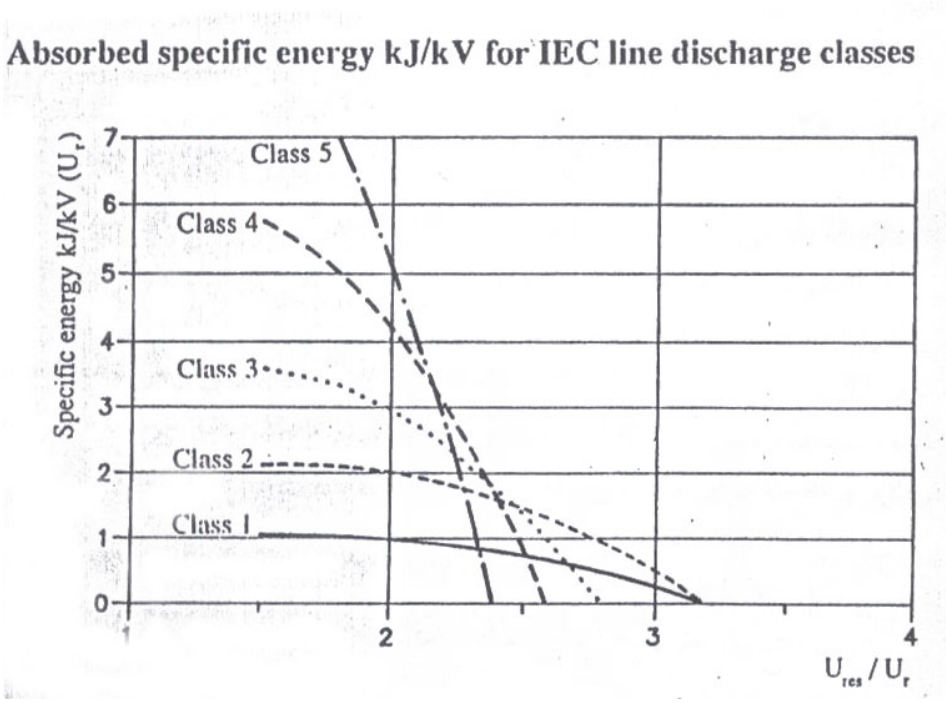
و-4 - استاندارد IEC 99-4/1997 این رابطه را به شکل زیر داده است.

مقادیر و تعریف آنها مطابق رابطهٔ 13 می باشند.

و-5- کلاس تخلیه:

برقگیرها را مطابق منحنی شکل 17 دسته بندی می نمایند (این منحنی ANNEXE از استاندارد IEC 99-4/1997 می باشد.)

با داشتن W برحسب KJ/KV_{rating}، همچنین $\frac{U_{res}}{U_r}$ می توان تشخیص داد که چه کلاس تخلیه ای لازم است و سپس اولین کلاس تخلیه بالاتر را انتخاب نمود.



شکل 17- نمودار تعین کلاس تخلیهٔ برقگیر

و- 6- برای برقگیرهای 5KA و پایین تر کلاس معین نمی شود ولی برقگیرهای 10، 15، و 20 کیلو آمپری را برحسب قابلیت تحمل انرژی دسته بندی می نمایند. برقگیرهای سیستم توزیع حداکثر کلاس 1 می باشند و کلاس 2 و بالاتر مخصوص برقگیرهای نوع پست است.

همان گونه که در قسمت های پیش نیز بیان شد، استاندارد IEC جریان تخلیهٔ کلیدزنی رابرای برقگیر 5KA حداقل 75A و زمان آن را 1msec، همچنین برای برقگیرهای 10KA کلاس 1 به میزان حداقل 125A و زمان آن را 2(msec) پیشنهاد نموده است (صفحهٔ 51 و 75 استاندارد).

– **مقدمه** :یکی از ارزانترین راههای انتقال انرژی که از ابتدا تا امروز مورد استفاده بوده است ، استفاده از شبکه های هوایی است چنانکه می دانیم شبکه های هوایی با استفاده از هادیهای لخت نصب شده روی برجهای فلزی یا پایه های بتنی اجرا می شوند ، بهمین دلیل این نوع شبکه ها همواره در معرض تغییرات جوی وشرایط آب وهوایی قراردارند و گاه ممکن است در اثر این تغییرات قطع گردند از طرفی امروزه با وابستگی کامل انسان به انرژی برق حتی قطع لحظه ای آن می تواند ضمن وارد آوردن خسارات سنگین به تاسیسات صنعتی و تجاری ، زندگی روزمره مردم را نیز مختل کند. با توجه به اینکه بحث این دوره مربوط به برقگیر است ابتدا می خواهیم ضرورت نصب برقگیررا بررسی کنیم وسپس در قسمتهای بعد به سایر مسایل مرتبط با آن بپردازیم.

برقگیرتجهیزی است که جهت حفاظت ایزولاسیون داخلی تجهیزات شبکه های انتقال وتوزیع انرژی الکتریکی دربرابر اضافه ولتاژها مورد استفاده قرارمی گیرد.قبل از اینکه وارد بحث اصلی گردیم لازم است با برخی مسایل مرتبط با آن آشنا گردیم ابتدا انواع ایزولاسیون را مورد بررسی قرارمی دهیم.

–**ایزولاسیون** :به طور کلی ایزولاسیون به دو نوع تقسیم می شود :

۱- ایزولاسیون داخلی ۲- ایزولاسیون خارجی

سطح عایقی که در داخل محفظه بسته تجهیزات میان قسمتهای برقداربا همدیگر وبافضای خارج ازآن تامین می شود، ایزولاسیون داخلی نامیده می شود نظیر ایزولاسیون تجهیزاتی مثل ترانسفورماتور، ترانسفورماتورولتاژ و... . از طرف دیگر ایزولاسیونی که خارج از محفظه تامین می شود ایزولاسیون خارجی نامیده می شود. مثل شبکه های هوایی برق.ایزولاسیون خارجی همواره تحت تاثیر عوامل جوی و محیطی نظیر باد ، برف ، باران ، آلودگی و ...قراردارد وممکن است شرایط مختلف ناشی از این عوامل ودرنتیجه شکست این نوع عایقی سبب قطع برق گردد.ولی مشخصه ایزولاسیون خارجی با توجه به عدم تاثیر پذیری از عوامل یاد شده متفاوت است.معمولا ایزولاسیون داخلی با بروز قوسهای ناشی از اضافه ولتاژها صدمه می بیند لذا طبق استانداردهای رایج این نوع عایقی می بایست به گونه ای طراحی شودکه احتمال بروز قوس درآن صفر باشد.برخی تجهیزات فقط ایزولاسیون خارجی دارند نظیر خطوط انتقال وتوزیع برق وبرخی هم ایزولاسیون داخلی وهم خارجی دارند نظیر ترانسفورماتور بعنوان مثال شاخکهای جرقه گیر ترانسفورماتور که خود نوعی برقگیر محسوب می شوند ، ایزولاسیون خارجی را جهت حفاظت از ایزولاسیون داخلی تامین می کنند بدین ترتیب که با بروزبرخی اضافه ولتاژها فاصله هوایی بین دو شاخک یونیزه شده وهادی می گردد واضافه

ولتاژاز این طریق به بدنه ترانسفورماتور وزمین تخلیه می گردد ودر نتیجه از بروز قوس در داخل تانک ترانسفورماتور جلوگیری می کند.ازاینجا می توان گفت یکی از وظایف برقگیرها محافظت از ایزولاسیون داخلی تجهیزات است.نکته دیگری که قابل ذکر است اینکه با اختراع برقگیر وپیشرفت آن وبا توجه به وظیفه ای که برای آن ذکرشد ، ابعاد تجهیزات کاهش یافت زیرا قبلا دستگاهها را طوری طراحی می کردند که مقدار زیادی از ولتاژ موجی توسط ایزولاسیون داخلی تحمل شود ولی با پیشرفت برقگیرها وحفاظت بهترامروزه ولتاژ قابل تحمل توسط ایزولاسیون داخلی کاهش یافته ودر نتیجه ابعاد دستگاهها نیز کاهش یافته است.

-**اضافه ولتاژها** :به طور کلی شکست عایقی داخلی تجهیزات دراثر بروز اضافه ولتاژها رخ می دهد لذا دراین جا انواع اضافه ولتاژها را مورد بررسی قرارمی دهیم.دونوع اضافه ولتاژ ممکن است درشبکه بوجود بیاید :

۱- اضافه ولتاژهای فرکانس قدرت : منظور ازاین نوع اضافه ولتاژ ، همان ولتاژ عادی شبکه وبا همان فرکانس است که در اثر عواملی نظیر تغییرناگهانی بار شبکه یا اتصال فازهاافزایش یافته است که می توان آن را به موارد زیر تقسیم بندی کرد :

۱-۱-مدت طولانی با دامنه محدود(بیش از یک دقیقه) :این نوع اضافه ولتاژ به علت تغییرات بار شبکه ومعمولا در ساعات انتهایی شب اتفاق می افتد دلیل آن نیز به این شرح است که در ساعات پایانی شب با تعطیلی مراکز صنعتی وتجاری ونیز کاهش بار خانگی ، بار شبکه کاهش یافته و از طرفی خاصیت خازنی خطوط نیز مزید برعلت شده وسبب افزایش ولتاژ شبکه می گردد.البته در پستهای انتقال برق برای جلوگیری از بروز این نوع اضافه ولتاژها از راکتورها استفاده می کنند.ولی بطور کلی پیش بینی استاندارد جهت جلوگیری از بروز صدمه به تجهیزات در اثر این نوع اضافه ولتاژها این است که سازندگان را موظف کرده کلیه تجهیزات را برای تحمل ولتاژی حدود ۵ تا ۱۰ درصد بالاترازولتاژنامی شبکه به عنوان ولتاژ سیستم طراحی کنند.به عنوان مثال تجهیزات مورد استفاده در سطح ۶۶کیلوولت را برای ولتاژ۷۲کیلوولت طراحی می کنند.

۱-۲-مدت محدودبادامنه بالا(کمترازیک دقیقه وافزایش حدود۴۰ درصدی دامنه):

هنگامی که فاز به زمین اتصالی پیدا می کند، تازمانی که کلید قطع نکند ولتاژ فازهای سالم افزایش پیدا می کند.براساس بروز این نوع اضافه ولتاژها، استانداردپیش بینی کرده است کلیه تجهیزات ولتاژی به عنوان ولتاژ یک دقیقه را تحمل کنند که این مقدار همان ولتاژآزمایش فرکانس قدرت است.

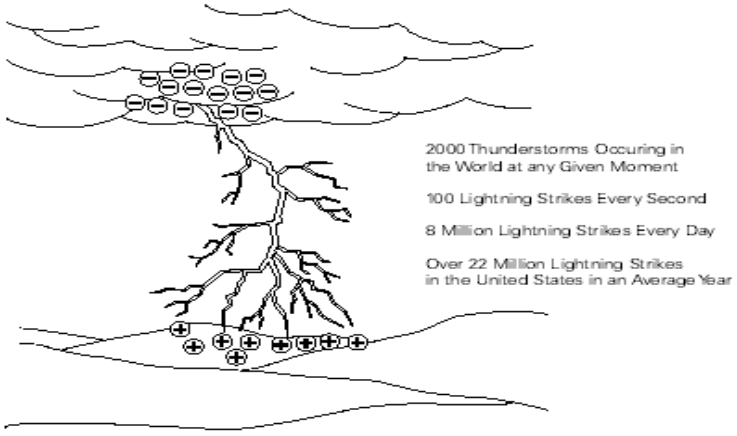
۲- اضافه ولتاژهای موجی:این نوع اضافه ولتاژها به مدت خیلی محدود وبصورت ایمپالسی (ضربه ای)هستند.این ولتاژ فقط روی همان نیم پریود زمان اتصالی وجود دارد.این اضافه ولتاژ موجی به دو علت تخلیه جوی وکلید زنی درشبکه بوجود می آید.

دراینجا بطور مختصراین دو نوع اضافه ولتاژ را توضیح می دهیم.

۱-۲-اضافه ولتاژهای تخلیه جوی :یکی از پدیده هایی که ممکن است در اثر تغییرات آب وهوایی بروز کند ، رعد وبرق یا به اصطلاح لاتین آن lightning است . رعد وبرق با تغییر فصل واختلاف زیاد درجه حرارت شب وروز رخ می دهد.رعد وبرق سبب بروز اضافه ولتاژهای موجی می گردد که این اضافه ولتاژها همراه با جریان تخلیه بسیار بالای آن می تواند به تاسیسات شبکه های انتقال وتوزیع برق وحتی مشترکین صدمه وارد سازد.اضافه ولتاژهای موجی بیشترین سرعت افزایش دامنه را درمیان انواع اضافه ولتاژها دارند به گونه ای که در هر میکروثانیه دامنه آنها حدود۵۰۰تا۵۰۰۰کیلوولت تغییرمی کند . از طرفی بروزاین پدیده طبیعی در کلیه نقاط جهان امکانپذیر است البته بسته به شرایط آب وهوایی تعداد وشدت آنها متفاوت است.با توجه به همین موضوع می توانیم یکی از مواردی را که معمولا در طراحی تجهیزات ونیز انتخاب مشخصات فنی آنها موثر است ، را معرفی کنیم.این مورد که سطح ایزو کرونیک یا به اختصارIKL(Iso Krounic Level) نامیده می شود به تعداد روزهای رعد وبرقی درسال گفته می شود.این عدد براساس اطلاعات سازمانهای هواشناسی که به منحنی های ایزو کرونیک سالیانه مشهور است، بدست می آید.معمولا جهت انتخاب بهینه برقگیر برای سطوح ولتاژ مختلف ونواحی متفاوت می بایست اطلاعاتی از سطح ایزوکرونیک وکیفیت اضافه ولتاژهای تخلیه جوی در دست باشد.می توان دامنه اضافه ولتاژهای تخلیه جوی روی برج وسیم زمین رابه صورت زیر برآورد کرد:

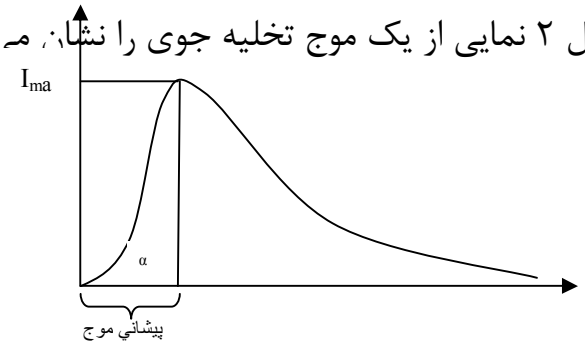
اگر سیم زمین نصب شده باشد احتمال تخلیه صاعقه روی سیم فاز٪۵ وکمتر است.رعد وبرق معمولا به هنگام جمع شدن بارهای الکتریکی مثبت ومنفی در دو سوی دو توده ابر یا یک توده ابر و زمین رخ می دهد. با تجمع بارهای الکتریکی منفی درابروحرکت آن به سمت زمین بار الکتریکی مثبت در زمین پدیدار می شود.این حالت را می توان به شارژ یک خازن تشبیه کرد.باتجمع بارهای الکتریکی یک شدت میدان الکتریکی درناحیه تجمع بارهابوجود می آید.اکنون در صورتی که شدت میدان الکتریکی از میزان قابل تحمل هوای موجود بین دو توده ابر یا ابر و زمین بیشتر شود بارهای الکتریکی مثبت ومنفی ازکوتاهترین مسیر، یک کانال هوای یونیزه ایجاد کرده ودریک نقطه با رسیدن به هم ، یکدیگرراجذب وخنثی می کنند که در این نقطه قوس الکتریکی بروز کرده وبارهای الکتریکی در قالب یک جریان بسیار شدید به زمین

تخلیه می شوند.شدت میدان الکتریکی قابل قبول زمین ۶۰۰ kv/m است که البته این شدت میدان بین دو توده ابربدلیل وجود رطوبت در آن کمتر است وبه همین دلیل رعد وبرق بین دو ابربیشتربروزمی کند. با تخلیه بارها بلافاصله شدت میدان کاهش یافته وهوای موجود بین ابر وزمین خاصیت عایقی خود را بازمی یابد.شکل زیر این وضعیت را نشان می دهد :



شکل۱: چگونگی بروز رعد وبرق

بطور کلی جهت برآورد سطح عایقی مواد ایزوله ونیز فواصل ایزولاسیون در قبال ولتاژهای موجی تخلیه جوی ، از ولتاژ موجی تخلیه جوی استاندارد استفاده شده وفواصل ومواداایزولاسیون با این موج مورد آزمایش قرارمی گیرند.جریان موجی ناشی از تخلیه جوی با دومشخصه پیشانی موج ماکزیمم وشیب تعیین می شود.این دو مقدار درمناطق مختلف آب وهوایی متفاوت است .شکل ۲ نمایی از یک موج تخلیه جوی را نشان می دهد .



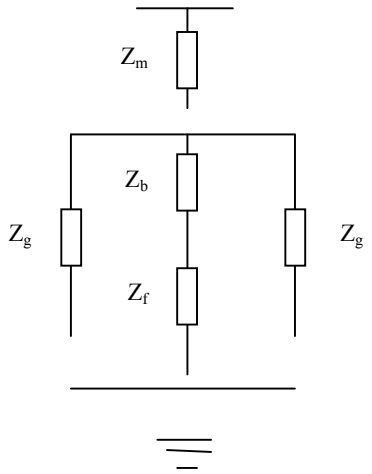
شکل۲ : شکل موج جریانها وولتاژهای موجی

زمان پیشانی موج حدود۱۰الی۵۰ میکرو ثانیه داردوسایر موارد درایران به شرح زیر است هر چند این اطلاعات را سازمان هواشناسی به ما می دهد.

$\alpha = di/dt = 30 - 40$ KA/μS

$I_{max} = 30 - 50$ KA

به محض تخلیه جریان ، با توجه به وجود امپدانسی درمسیر عبور جریان تخلیه ، ولتاژی بوجودمی آیدکه باداشتن امپدانس مسیرمی توان ولتاژ تخلیه جوی را نیز محاسبه کرد. در صورتی که بخواهیم یک مدار معادل از امپدانسهای واقع در مسیرعبور جریان تخلیه ترسیم کنیم:



که در آن :

Z_b : امپدانس بدنه برج – این مقدار حدود ۱۰ اهم در نظر گرفته می شود.

Z_f : امپدانس فونداسیون برج – این مقدار حدود ۵ تا ۱۰ اهم در نظر گرفته می شود.

Z_g : امپدانس زمین محل برج – این مقدار نیز حدود ۳۰ اهم در نظر گرفته می شود.

حال در صورتی که امپدانس معادل فوق را محاسبه کنیم خواهیم داشت :

$$Z_e = 8\ \Omega$$

بنابراین ولتاژی که روی برج افت می کند به صورت زیر محاسبه می شود :

$$V_{max} = I_{max} * Z_e = 50\ ka * 8 = 400\ kv$$

ولتاژ تخلیه جوی که به صورت فوق محاسبه گردید روی برج قرارمی گیرد.هنگامی که این ولتاژ روی برج قرارگیرد ، ممکن است قوس را درفواصل مختلف مثلا زنجیره مقره برقرارکندبنابراین می توان ارتفاع زنجیره مقره را به صورت زیر محاسبه کرد :

$$V_i = E * H_i$$

که در آن :

V_i: ولتاژ قابل تحمل زنجیره مقره در قبال ولتاژ موجی

E : شدت میدان قابل قبول زمین برابر۶۰۰کیلوولت برمتر

H_i: ارتفاع زنجیره مقره

بنابراین ولتاژی که روی سیم فاز قرارمی گیرد دامنه ای معادل H_i ۶۰۰ دارد البته این ولتاژ برای نقاط مختلف متفاوت است بستگی به اینکه در اثر این قوس در چه نقطه ای مثلا روی نزدیکترین برج به محل فرود صاعقه یا برجهای بعدی جرقه وشکست حاصل شود ، این مقدارولتاژمتفاوت است.اکنون اگرموج ولتاژ روی سیم فاز تخلیه شده باشد با برخورد به برقگیر وبا توجه به خاصیت برقگیربه زمین تخلیه می گردد.ولتاژی که روی برقگیر قرارگرفته واز حاصلضرب جریان تخلیه در امپدانس برقگیر بدست می آید بعنوان ولتاژ تخلیه برقگیریا $U_{d(discharge)}$ نامیده می شود.

۲-۲-اضافه ولتاژهای سوییچینگ :نوع دیگری از اضافه ولتاژهای موجی که ممکن است در شبکه بوجود بیاید اضافه ولتاژهای ناشی از کلید زنی است که از نظر شکل وتغییرات لحظه ای خود کاملا مشابه اضافه ولتاژهای موجی تخلیه جوی است وتنها در زمان پیشانی موج وزمان دم موج با همدیگراختلاف عمده دارند.بروز این نوع اضافه ولتاژونیز میزان دامنه آن اتفاقی است به گونه ای که احتمال بروز موجهایی با دامنه ۴ برابرولتاژ نامی در حد۱ درصد واحتمال بروز موجهایی با دامنه ۲ برابر حدود ۹۰ درصد است با توجه به این موضوع ونظر به اینکه تامین ایزولاسیون در مقابل بالاترین احتمال اضافه ولتاژها هزینه زیادی می برد لذا تنها به تعیین یک سطح استاندارد اکتفا شده وتجهیزات در مقابل این اضافه ولتاژها محافظت می گردند.برای یافتن این سطح استانداردمی توان از مدلهای آزمایشگاهی شبکه استفاده کرد. این نوع اضافه ولتاژها در اثر قطع ووصل کلیدها در شبکه بوجود می آیدکه سرعت افزایش دامنه آنها به حدود چند کیلوولت برمیکرو ثانیه می رسد. خصوصیات این نوع اضافه ولتاژبه کمیات ومشخصات الکتریکی شبکه از جمله دستگاههای مورد قطع و وصل ، نوع کلید بستگی دارد معمولا سطح ولتاژ سوئیچینگ حدود چهار برابرولتاژ نامی شبکه است.اگر به این نکته توجه کنیم که همواره شبکه برای بدترین شرایط طراحی می گردد و با توجه به این توضیحات مختصر می توانیم این مطلب را در رابطه با اینکه ازدو نوع اضافه ولتاژ یاد شده کدامیک معمولا مبنای طراحی شبکه وتجیزات قرارمی گیرند را در یابیم.درصورتی که سطوح ولتاژ توزیع مد نظر باشد اضافه ولتاژهای قطع ووصل سطحی پایینترازاضافه ولتاژهای ناشی از رعدو برق دارند بنابراین اضافه ولتاژهای ناشی از صاعقه مبنای طراحی قرارمی گیرند برهمین اساس وبا توجه به تحقیقات محققین وکارشناسان مشخص شده است که تا سطح ولتاژ کمتراز۳۰۰کیلوولت صاعقه مبنای محاسبات قرارمی گیرد ودر ولتاژهای بالاترسوییچینگ به عنوان مبنای طراحی مدنظر قرارمی گیرد. به طور کلی شرایط بروز این نوع اضافه ولتاژ به شرح زیر می باشد :

- کاهش ناگهانی بار شبکه در پی قطع ووصل کلیدها در ابتدا یا انتهای خطوط فشار قوی

- بروز عیوب فاز به زمین یا دو فاز به زمین که با افزایش ناگهانی ولتاژ در فازهای سالم همراه است.

- برقگیر وساختمان داخلی آن :

کلیه تجهیزات منصوبه در شبکه های برق برای یک سطح ولتاژ خاص طراحی شده ویک سطح تحمل استقامت الکتریکی مشخصی دارند، بنابراین ولتاژ های بالاتر از ولتاژنامی تجهیز نظیر صاعقه وکلید زنی به آنها آسیب می رسانند.براین اساس برای تجهیزات منصوبه در پستها وپست یک سطح استقامت عایقی یا BIL(Basic Insulation Level) تعریف می کنند.این سطح را دربرخی موارد بعنوان سطح ایزولاسیون دربرابرولتاژهای موجی تخلیه جوی نیز شناخته اند ودر برابر آن سطح عایقی در برابر اضافه ولتاژهای قطع ووصل یا SIL یا SIWL(Switching Impulse Withstand Level)را نیز تعریف کرده اند.با توجه به اینکه جهت طراحی واحداث شبکه ها وپستها همواره می بایست بدترین شرایط در نظر گرفته شود جهت محاسبه استقامت عایقی در ولتاژ های پایین تر از ۳۰۰کیلوولت صاعقه مبنای محاسبات بوده ودرولتاژ های بالاتر سوئیچینگ یا کلیدزنی به عنوان مبنا مد نظر قرارمی گیرد.پس از محاسبه سطح استقامت عایقی پست وبا استفاده ازآن فواصل عایقی موردنیازدرقسمتهای مختلف ازجمله فاصله فازبه فاز، فاصله فازبه زمین(این فواصل هوایی ایزولاسیون با توجه به دامنه اضافه ولتاژهای قطع ووصل برآوردمی شوند)، ارتفاع استراکچر و...محاسبه می گردد.البته ارتفاع استراکچرها معمولا ۲,۴۴ متر بوده وبرای کلیه سطوح ولتاژ یکی است. اکنون با توجه به این توضیحات می بایست از تجهیزات حفاظتی جهت جلوگیری از ورود ولتاژ های بالاتر از سطح استقامت عایقی تعریف شده به تجهیزات پست وآسیب دیدن آنها جلوگیری کنیم. تجهیزی که دراین رابطه درپستها نصب می گردد ، برقگیر است.البته برقگیرها در خطوط انتقال نیز نصب می شوند.برقگیرها وظیفه زمین کردن اضافه ولتاژ های موجی نظیر صاعقه و کلید زنی را بعهده داشته وبین فاز وزمین نصب می شوند.سیم زمین برقگیر می بایست به اتصال زمین مشترک پست وصل شود.پیچش یا حلقه ای بودن سیم اتصال زمین برقگیر سبب می شود، اندوکتانس اضافه دربرابر جریان تخلیه بوجود آید.جهت اتصال زمین برقگیر بهتر است ازکابلهای رشته ای با مقطع ۲۵ ، ۳۵ ویا ۵۰ اینچ مربعی استفاده شود.{۳}

برقگیر می بایست به گونه ای انتخاب شود که سطح عایقی پست بالاتر از سطح عملکرد برقگیر قرارگیرد ، زیرا درغیر این صورت برقگیر اضافه ولتاژ های مضر برای تجهیزات

را از خود عبور داده ودر نتیجه آنها آسیب می بینند.بدین منظور معمولاسطح محافظت تجهیزات توسط برقگیر ، در حدود۱۵ تا ۲۰ درصد کمتر از سطح BIL تجهیزات در نظر گرفته می شود. منحنی شکل ۳ این مطلب را نشان می دهد.

شکل ۳ : نمایش سطح حفاظت برقگیر براساس نوع اضافه ولتاژ ونیز سطح استقامت عایقی

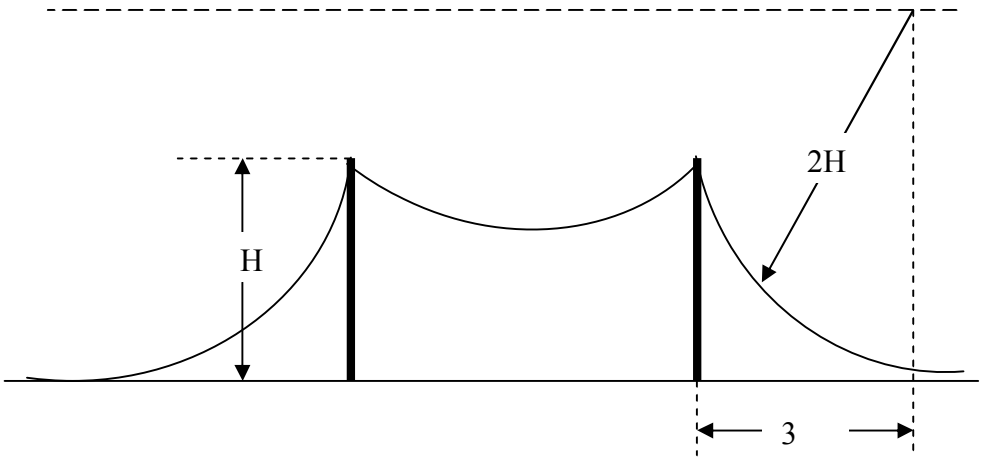
هر قدر برقگیر به دستگاه مورد حفاظت نزدیکتر باشد ، اختلاف پتانسیل کمتری بین برقگیر ودستگاه وجوددارد. برقگیرهاامروزه درکلیه سطوح شبکه حتی در ورودی منازل وتابلوهای کوچک برق نیز استفاده شده وبرهمین اساس برقگیرهای با ولتاژ نامی۳۰۰ولت تا ۴۰۰ کیلوولت در شبکه های ایران ساخته شده اند .پس از توضیحات فوق اکنون به روند تکامل ساختمان برقگیر از ابتدا تا امروز پرداخته وسپس ساختمان برقگیرهایی که امروزه مورد استفاده قرارمی گیرند را شرح می دهیم.

- **اصول کار انواع برقگیرها:**

۱-۱- نوع ساچمه ای :این نوع برقگیر که از فاصله هوایی به صورت سری با یک لوله پر از ساچمه از جنس پراکسید سرب با روکشی از اکسید سرب تشکیل شده بود درهمان اوایل تولید منسوخ گشت.با عبور جریان تخلیه وگرم شدن ساچمه ها ، آنهابه پراکسید سرب که یک هادی خوب است تبدیل شده و موج ضربه به زمین تخلیه می شد وپس از تخلیه مجددا ساچمه ها به اکسید سرب تبدیل شده وحالت اول خود را باز می یابند.

۲-۱- نوع سوپاپی: دراین نوع، تعدادی فاصله هوایی با مواد مخصوصی مانند مواد سرامیک حاوی ذرات هادی نظیر اکسید فلزات به صورت سری ساخته می شد.

۳-۱- نوع میله ای :این نوع که بهتر است صاعقه گیر نامیده شود ، درساختمانهای بلند ،پستهای برق و... نصب می گردد.با توجه به اینکه برقگیرهای منصوبه در پست تنها امواج سیار که ممکن است از طریق سیمهای انتقال انرژی بداخل پست هدایت شوند را زمین می کنند، لذا ممکن است صاعقه به طور مستقیم به تاسیسات برخورد کرده وسبب آسیب آنها شود بنابراین پستها می بایست دارای تاسیساتی برای حفاظت درمقابل برخورد صاعقه باشند .جهت تامین این حفاظت می توان از میله های بلندی که درنقاط مختلف پست نصب می شوند ویا همان استراکچرهای نصب شده درداخل پست نظیر گنتری ورودی وخروجی پست استفاده کرد.محدوده حفاظت آن طبق شکل ۴مشخص شده است.دراین روش تاسیسات درفضایی زیر قوسی به شعاع $2H$ در مقابل برخورد صاعقه حفاظت می شوند .ضمن اینکه ارتفاع H با توجه به ارتفاع تاسیسات تحت ولتاژ ومنحنی های مربوطه بدست می آید.



شکل ۴ : چگونگی حفاظت تاسیسات پست با استفاده از میله های صاعقه گیر

۴-۱- نوع شاخکی: این نوع برقگیر در محل زنجیره مقره متصل به گانتری پیش بینی می گردد(گانتری به سازه فلزی که هادیهای ورودی خط در ابتدای ایستگاه به آن متصل می شود ، گفته می شود).شاخک به عنوان وسیله محافظتی دوم در قبال ولتاژهای تخلیه جوی پس از برقگیر پیش بینی می گردد.در برخی مراجع نیز نصب آن را فقط در برابراضافه ولتاژهای موقت ذکر کرده اند.برقگیر شاخکی روی بوشینگ ترانسفورماتورهانیزنصب می گردد که معمولا جهت حفاظت اضافه ولتاژهایی است که درمحدوده حفاظت برقگیرهای نصب شده قبل از

ترانسفورماتورقرارندارند.این نوع از دوشاخک (میله) که دربالا وپایین بوشینگ با یک فاصله معین از همدیگر نصب می شوند تشکیل شده است . این فاصله حدود نصف فاصله ایزولاسون فاز-زمین یا طول بوشینگ می باشدکه این فاصله احتمال بروز قوس در برابر اضافه ولتاژهای موقت فرکانس ۵۰ را افزایش می دهد. منحنی بروز قوس در شاخکها یا ایزولاسیون خارجی بستگی به نوع وشکل شاخکها داشته ودرصورت استفاده ز شاخکهای میله-صفحه بهبود می یابد.در برخی تجهیزات شاخک صفحه ای همان بدنه دستگاه می باشد.باید توجه داشت که در ولتاژهای بالاتراز۴۰۰کیلوولت نصب شاخکها با بروز شدت میدان فوق العاده همراه خواهد بود به همین علت در این سطوح ولتاژی شاخکها به حلقه آلومینیمی تبدیل می گردند که علاوه برتوزیع یکنواخت ولتاژدر فاصله هوایی ، شدت میدان نیز متعادل شده وشرایط بروز قوس در طول فاصله فاز-زمین را فراهم می سازد.

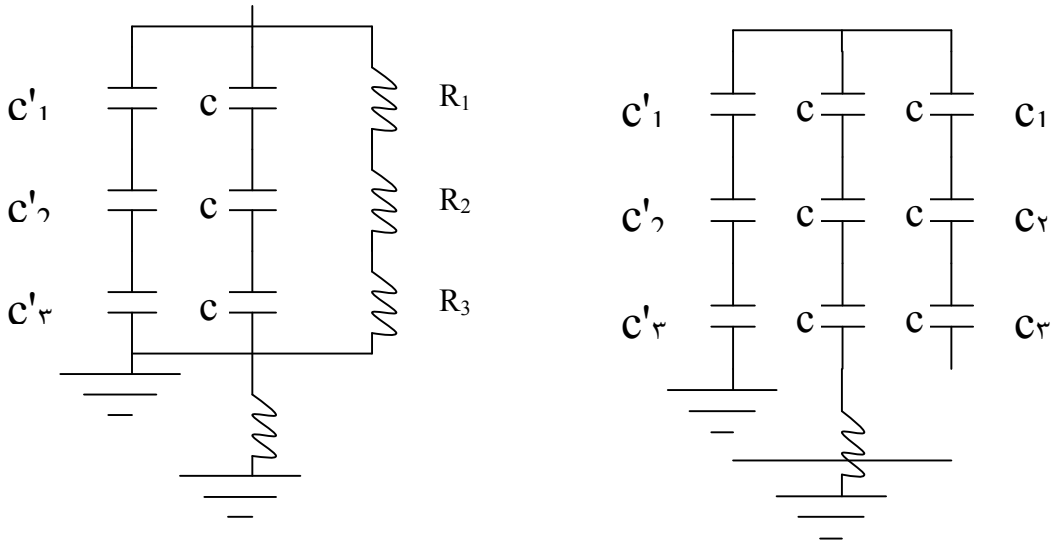
یکی از مشکلاتی که این نوع برقگیر برای شبکه های توزیع ایجاد می کند قطع برق در اثر قرارگرفتن جسم خارجی نظیر پرنده بین دوشاخک وبروز اتصالی است.این شاخکها که از یک طرف تحت ولتاژ بوده واز سمت دیگر به زمین با بدنه تجهیزات متصل می گردد ،.شکل ۵ این نوع برقگیر راروی بوشینگ ترانسفورماتورنشان می دهد.

شکل۵ : برقگیر شاخکی نصب شده روی یک ترانسفورماتورتوزیع

۵-۱-برقگیرهای با فاصله هوایی یا سیلیکون کاربیدی :این نوع برقگیر از تعدادی فاصله هوایی به صورت سری با مقاومتهای غیر خطی تشکیل شده است .در این برقگیرها برقراری جریان تخلیه ، مستلزم بروز قوس در فواصل هوایی خواهد بود ، که برقراری شرایط تخلیه در فواصل هوایی با نواقصی همراه خواهد بود.زیرا ولتاژ بروز قوس فواصل هوایی ثابت نبوده وتحت تاثیر محیط تغییر خواهد کرد.از طرفی در صورت بروز قوسهای متوالی با فاصله زمانی بسیار کم ناشی از ظهور اضافه ولتاژ های متوالی ، ولتاژ بروز قوس کاهش می یابد.

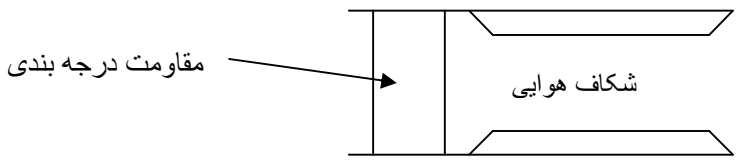
معمولا بکار بردن چند فاصله هوایی بطور سری بجای یک فاصله هوایی قابلیت استقامت برقگیر را دربرابرولتاژبرگشتی زیاد می کنداما این مساله سبب توزیع غیر یکنواخت ولتاژ روی فواصل

هوایی می شود.چون در حالت کار عادی سیستم ، ولتاژکل سیستم دردوسر فاصله هوایی برقگیر قرارمی گیرد، اگر بعلتی افت ولتاژ دردوسر یکی از فواصل هوایی بیشتر ازاستقامت الکتریکی آن گردد، قوس الکتریکی این فاصله هوایی را از بین می بردوسهم فواصل هوایی دیگر از ولتاژ بیشتر می شود.این موضوع سبب می شود که احتمال تشکیل قوس الکتریکی بین فواصل دیگر بیشتر شود وبه همین منوال در فاصله کوتاهی همه فواصل هوایی (خازنها)شکست الکتریکی پیدا می کنند.برای غلبه براین پدیده معمولا مقاومتهایی که معمولا از نوع غیر خطی انتخاب می شوند، یا خازنهایی بطور موازی در دو سر شکافها می گذارند.که این کار را درجه بندی ولتاژ(voltage grading) می گویند.



C : خازن اصلی C': خازن ناخواسته

C_1،C_2،C_3،R_1،R_2 وR_3: خازنها ومقاومتهای درجه بندی

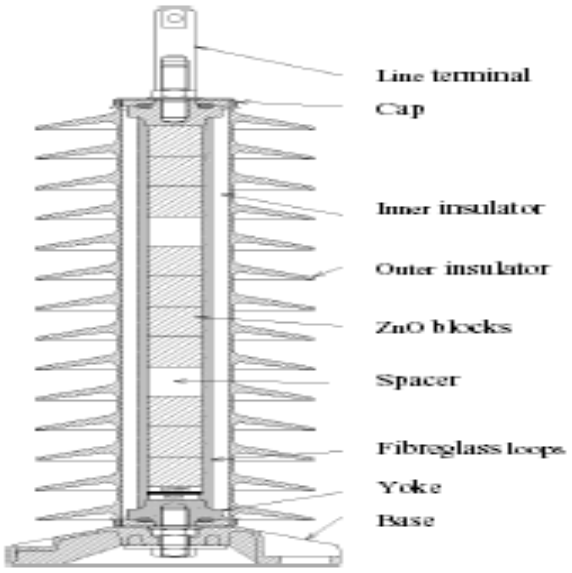


شکل۶:درجه بندی ولتاژ

گاه ممکن است درجه بندی به صورت ترکیبی از خازن ومقاومت باشد.مقادیر خازنها ومقاومتها چنان انتخاب می شوند که امپدانس دیده شده از دوسر شکاف با هم برابر باشند. باید

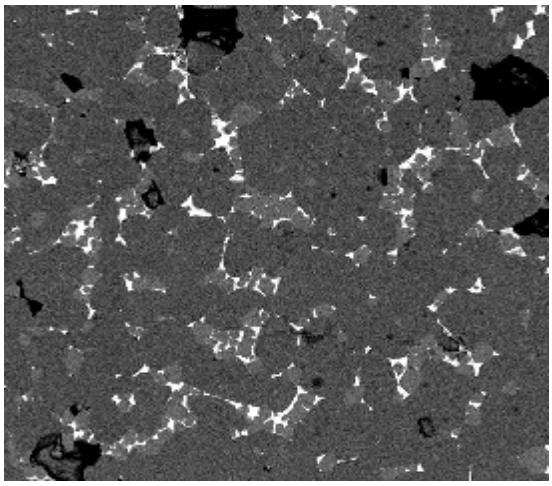
توجه داشت که علاوه برخازنهای سرگردان که باعث توزیع نامساوی ولتاژ می گردند، آلودگی سطوح خارجی مقره ها ، مجاورت با هادیهای باردار واجزاء زمین شده نیز باعث این عدم توزیع مساوی ولتاژ می شود.از موارد دیگری که بعنوان یک نقص برای این نوع برقگیر شمرده می شود ، وزن وابعاد بالای برقگیر است که استفاده از آن در خطوط انتقال انرژی را مشکل می سازد.بهمین علت تولید آن بتدریج از سال ۱۹۸۰ درتمام نقاط دنیا متوقف شده است.

۶-۱ -برقگیرهای بدون فاصله هوایی(ZNO):این نوع برقگیر که بیش ازدودهه است در شبکه های برق مورد استفاده قرارمی گیرد ، خصوصیاتی کاملا متفاوت نسبت به انواع قبلی را دارا می باشند و در سطح گسترده ای مورد استفاده قرارمی گیرد.ساختمان این برقگیرها از ستون مقاومتهای غیر خطی تشکیل شده وبرخلاف برقگیرهای با فاصله هوایی ، هیچگونه فاصله هوایی به صورت فاصله عایقی بین مقاومتها وهادی تحت ولتاژ موجود نمی باشد.این ستون مقاومتها که بطور دائم تحت ولتاژ فاز به زمین قراردارند مانندیک ستون مقره عمل می نمایدکه با ظهور اضافه ولتاژ های موجی ، مقاومتهای غیر خطی در فاصله چند میکروثانیه تغییر ماهیت داده واز قابلیت هدایت الکتریکی قابل ملاحظه ای برخوردارمی شوند وجریان از هادیهای فاز به زمین تا حدود چندین کیلوآمپر برقرار می شودکه این جریان به عنوان جریان تخلیه برقگیر شناخته می شود.پس از تخلیه بارهای الکتریکی به زمین وهمزمان با کاهش دامنه ولتاژ موجی دوباره ستون مقاومتهای غیر خطی خاصیت عایقی خود رابازیافته وبعنوان یک ستون مقره عمل می کنند. شکل۷یک برش مقطعی برقگیر همراه با ستون مقاومتهای غیر خطی را نشان می دهد.



شکل۷:برش مقطعی برقگیر

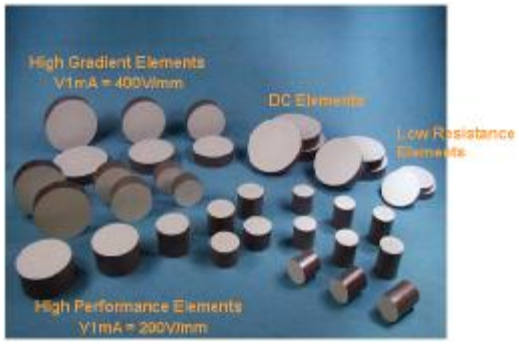
-**ساختمان مقاومتهای غیر خطی** : همانطور که از نام این نوع برقگیر که به برقگیراکسید روی مشهور شده است پیداست ساختمان قسمت اصلی برقگیرکه همان قرصهای اکسید روی است به طورعمده از اکسید روی یا zno تشکیل شده است ولی جهت دستیابی به مقاومت غیر خطی وخصوصیات مورد نظر جهت استفاده خاص به طور کلی از مخلوطی از اکسید فلزات تشکیل شده است.ترکیب مواد قرص شامل ۷۰ الی ۸۰ درصد اکسید روی(دربرخی مراجع میزان اکسید روی ۹۰ درصد ذکر شده است{۹}) وباقیمانده ترکیبی از اکسید بیسموت ، اکسید کبالت ، اکسید کرم اکسید منگنز و اکسید آنتیموان به صورت پودربوده وبه خمیر تبدیل می شودکه از میان مواد ذکر شده مهمترین ماده اکسید بیسموت می باشد. سپس پودر خمیر شده تحت فشار بالا به اندازه های مورد نظربه شکل قرص(استوانه) در آمده ودر دمای ۱۱۰۰الی ۱۲۰۰درجه سانتیگراد پخته می شودودر نهایت از نظر استحکام به شکل سرامیک است.ساختار اصلی در نهایت به شکل لایه های دانه بندی شده در می آید که لایه اکسید روی با ضخامت۵تا۱۰میکرومتر(دربرخی مراجع ۲۰میکرو متر ذکرشده{۹}) توسط لایه اکسید سایر فلزات با ضخامت حدود ۰,۱میکرومتراحاطه شده است.این لایه ها خاصیت غیر خطی قرص برقگیر را شکل می دهد.شکل ۸ ترکیب داخلی مواد اکسید فلزی قرص برقگیر را نشان می دهد.



شکل۸ : ترکیب داخلی اکسید فلزات درقرص برقگیر

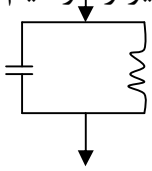
از میان مواد مورد استفاده ، zno مقاومت طولی بسیار کمی (درحدود۰,۱تا۱اهم سانتیمتر) دارد بنابراین از هدایت الکتریکی خوبی برخوردار می باشددر حالی که لایه مخلوط اکسید فلزی دارای مقاومت طولی درحدود10^{13} اهم سانتیمتر داردکه این لایه نقش دی الکتریک یا

سد کننده را بازی می کند.با توجه به اینکه در حالت عادی ودر برابرولتاژ نامی شبکه ، شدت میدان در حد مجاز می باشد ، لذا در این حالت الکترونهای آزاد تنها در zno موجود بوده ولایه دی الکتریک مانع عبور این الکترونهای آزاد می گردد وبنابراین هیچ جریانی برقرارنمی گردد.البته با توجه به اثر حرارتی تعداد محدودی از الکترونها قادر به شکستن لایه مذکور می باشند که این الکترونها همان جریان نشتی برقگیر را تشکیل می دهند.اکنون با بروز اضافه ولتاژ وافزایش شدت میدان تعداد الکترونهایی که قادر به عبور از لایه سد کننده می گردند افزایش می یابد تا جایی که شدت میدان الکتریکی به میزانی است که لایه دی الکتریک مقاومت خود را از دست داده وبه طور کامل هادی می گردد ودر یک لحظه جریان به چندین کیلو آمپر بالغ می شود.شکل۹ انواع قرصهای برقگیر تولیدی را نشان می دهد.



شکل۹ : نمای قرصهای برقگیر مورد استفاده

حال اگر بخواهیم مدل الکتریکی قرصهای برقگیر را ترسیم کنیم با توجه به توضیحات فوق می توان گفت اکسید روی دارای مقاومت اهمی واندوکتانس بسیارکمی خواهد بودلذا انرژی حرارتی در اثر عبور جریان نشتی بسیار ناچیزخواهد بود از طرف دیگر چنانکه ذکر شد لایه دی الکتریک دارای مقاومت اهمی بالا وخاصیت خازنی بسیار بالایی است.حال اگر درساده ترین حالت بخواهیم مدار معادل قرص برقگیر را ترسیم کنیم به حالت زیر در می آید :

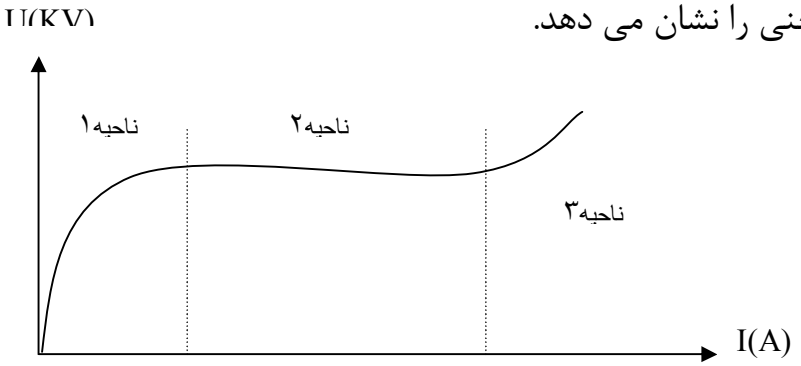


که با توجه به قطر قرصهای تولیدی ظرفیت خازنی آنها بطور کلی حدود۷۵ پیکو فاراد وجریان خازنی حدود۰,۵تا۳میلی آمپر می باشدالبته جریان خازنی به تعداد ستون قرص که به صورت موازی استفاده شده است نیز بستگی دارد.جریان نشتی اهمی واریستورها در همان زمان نیز بین ۵۰ تا ۲۵۰ میکرو آمپر خواهد بودحال اگربخواهیم

چگونگی عملکرد برقگیر را براین اساس تحلیل کنیم می بایست به منحنی عملکرد آن توجه کنیم.

-منحنی عملکرد برقگیر :

به طور کلی منحنی عملکرد برقگیر را براساس یک منحنی V-I می شناسند.شکل ۱۰ این منحنی را نشان می دهد.



شکل۱۰:منحنی عملکرد برقگیر غیر خطی

با توجه به توضیحات فوق ونیز توجه به منحنی، در ناحیه یک برقگیر در حالت کار عادی شبکه قرارداشته وتنها جریان نشتی در حدود چند میکرو آمپر را از خود عبور می دهد.در این حالت لایه اکسید فلزی موجود بین اکسید روی نقش دی الکتریک خود را بازی می کند.اکنون در صورتی که شدت میدان به هردلیلی افزایش یابد برقگیر از نظر عملکرد وارد ناحیه ۲ می شود.در این حالت مسیری جهت عبور الکترونهاباز شده وبرتعداد الکترونها وجریان عبوری از برقگیر افزوده می شود.حال اگر شدت میدان از حد قابل تحمل لایه دی الکتریک فراتر برود عملکرد برقگیر وارد ناحیه ۳ شده وبرقگیر به صورت یک هادی عمل می کند.

یکی از مسایلی که در بهره برداری از برقگیر حایزاهمیت است شکل مناسب منحنی ولت-آمپر برقگیر است که در قسمتهای بعد توضیح داده خواهد شد.شکل مناسب این منحنی بستگی به ابعاد واندازه المانها، یکنواختی مخلوط اکسید فلزات ونیز یکنواخت بودن پخت قرصهای برقگیر است.به گونه ای که با تغییر ابعاد واندازه ها ونیز تغییر در ترکیب ونوع پخت قرص منحنی عملکردبرقگیرنیزجابجا می گردد.قرصهای برقگیر که به عنوان واریستور(varistor) نامیده می شوند با میزان ولتاژیا شدت میدان قابل تحمل ودانسیته جریان قابل قبول موجی مشخص می گردند.بر حسب ارتفاع هر المان ، ولتاژ قابل تحمل در فاصله ۵۰ تا۱۰۰۰ولت ومیزان جریان قابل تحمل درفاصله۲تا۵۰۰آمپر برمیلیمتر مربع متغیر است.با افزایش سطح ولتاژ تعداد المانهای مورد استفاده نیز افزایش یافته وبه صورت سری روی

همدیگر قرارمی گیرند.البته با افزایش سطح ولتاژ منحنی ولت-آمپر نیز به موازات منحنی فوق جابجا می گردد.

چنانکه می دانیم مقاومتهای معمولی ، منحنی ولت-آمپر به صورت خط مستقیم دارند($U=RI$)حال با توجه به اینکه مقاومتهای مورد استفاده در برقگیر مقاومتهای غیر خطی بوده ومقدار ثابتی ندارندرابطه ولتاژ وجریان درآنها را می توان به شکل اکپونانسیل $U=^{KI1/}\alpha$ نوشت که مقدار α برحسب میزان ولتاژمتغیراست.α که بعنوان ضریب غیر یکنواختی مشخصه برقگیر شناخته می شود در هر بخش از منحنی مقدار متفاوتی دارد چنانکه در حالت عادی بهره برداری از برقگیر که منحنی به صورت خط مستقیم می باشد ونقطه کار برقگیر نیز در این قسمت قراردارد ، α=۱ است

-ابعاد واندازه واریستورها وچگونگی انتخاب آنها:

قرصهای برقگیر همان مقاومتهای غیر خطی بوده ونقش اصلی را درتخلیه اضافه ولتاژ بعهده دارندودر کلیه برقگیرهای مورد استفاده قرارمی گیرند این قرصها (واریستورها)به صورت سرامیک ساخته شده ومعمولا با قطر ۱۵-۱۵۰ میلیمتر وضخامت ۱۰ -۲۰ میلیمتر ساخته می شوند.عمر ودوام واریستور ودرنتیجه برقگیر به تعداد دفعات تخلیه جریانهای موجی ، نوع مواد بکاربرده شده ، تکنولوژی ساخت ومنحنی ولت-آمپر و تغییرات جریان نشتی بستگی دارد. سطح مقطع عرضی واریستورها نیزبا توجه به حداکثر جریانهای تخلیه قطع ووصل تعیین می شود.چنانچه قرص مقاومت غیر خطی باسطح مقطع بدست آمده موجود نباشد، از ستونهای متعدد واریستور موازی با یکدیگر استفاده می شود.البته در این حالت خاصیت خازنی واریستورها افزایش یافته ودرنتیجه جریان خازنی در قبال فرکانس ۵۰ نیز افزایش خواهد یافت.در این حالت که در ساخت برقگیرهای با ولتاژ بالا مرسوم است جهت پرکردن فضای خالی بین ستون مقاومتها وبدنه برقگیر از ماسه استفاده می شود.

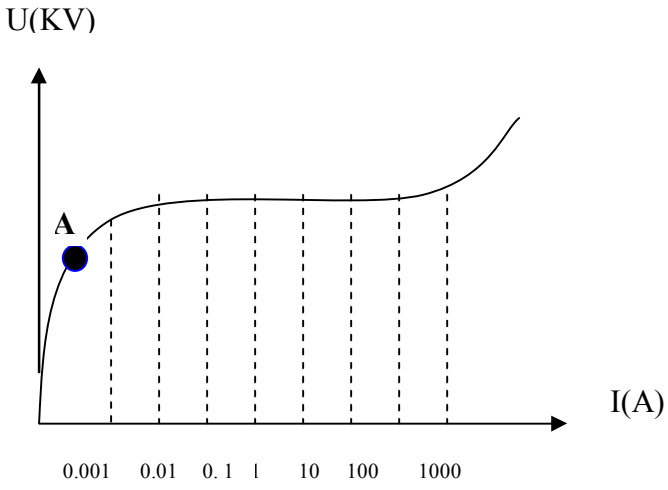
-چگونگی مونتاژ برقگیر :

پس از مراحل طراحی وانتخاب قرصهای اکسید روی اکنون مراحل مونتاژ نهایی برقگیر انجام می شود.یکی از مهمترین قطعاتی که علاوه برقرص برقگیر مورد استفاده قرارمی گیردمحفظه برقگیر است.درحال حاضر دو نوع محفظه سرامیکی وپلیمری استفاده می شود که در این میان محفظه های پلیمری که ترکیبی از شیشه وپلاستیک است ، قابلیت تبادل حرارتی را افزایش می دهد و برتریهایی نظیر آب گریزی(عدم تجمع آب روی مقره به هنگام بارندگی) ، عدم رسوب آلودگی روی مقره ،عدم امکان شکستن آن در اثر عوامل خارجی ونیز سبکی را نسبت به نوع سرامیکی دارد.فاصله خزشی مقره برقگیروارتفاع آن با توجه به استانداردهای

موجود برای سطوح ولتاژ مختلف انتخاب می گردد البته شدت میدان الکتریکی مجازقابل قبول واریستورها در قبال ولتاژ فرکانس ۵۰ نیز درتعیین ارتفاع ستون مقره موثر است.اکنون نکته مهمی را که می بایست مد نظر قرارداد ارتفاع مجموعه قرصهای برقگیرطراحی شده جهت برقگیر ونیز ارتفاع محفظه برقگیر است.اگر در این مورد یک برقگیر ۲۰کیلوولت را مدنظر قراردهیم با توجه به برقگیرهای تولید داخل ، ارتفاع قرص برقگیر کوتاهترازارتفاع محفظه است لذا در این مورد جهت پر کردن فضای خالی باقیمانده از فاصله دهنده های آلومینیمی استفاده می کنند که این فاصله دهنده علاوه بر افزایش ارتفاع ستون قرصها امکان هدایت بهتر جریان را نیز برای جریانهای تخلیه جوی ایجاد می کند.چنانکه در شکل ۷ نیز نمایش داده شده است.در برقگیرهای تولیدی پارس وجهت ثابت نگهداشتن ستون قرص برقگیر وبه عبارت دیگر پر کردن فضای خالی بین قرصها وبدنه برقگیر از یک لایه پشم شیشه استفاده شده بود که این مساله سبب ایجاد یک لایه عایق حرارتی شده ودرنتیجه با عدم امکان انتقال حرارت ایجاد شده ناشی از عبور جریانهای بالا ، سبب تغییر در مشخصات برقگیر ودر نهایت معیوب شدن آن می گردید.

-عملکرد برقگیرها :

در حالت عادی نقطه کار برقگیر درحدود نقطه Aقرارداشته ودراین حالت جریان ناچیزی در حدود کسری از میلی آمپر از برقگیر عبور می کند که به عنوان جریان نشتی برقگیر نامیده می شود.درحال حاضر برقگیرهای با جریان تخلیه ۵ ، ۱۰ و۲۰ کیلوآمپر ساخته می شود. ازاین میان برقگیرهای با جریان تخلیه ۵ کیلوآمپر جهت استفاده در شبکه های توزیع ، ۱۰ کیلوآمپر برای شبکه های انتقال تا ولتاژ ۳۰۰کیلوولت وبرقگیرهای ۲۰ کیلوآمپر برای ولتاژهای بالاتر از ۴۰۰کیلوولت توصیه شده است. منحنی ولت – آمپر مقاومتهای غیر خطی درشکل ۱۱ نشان داده شده است.

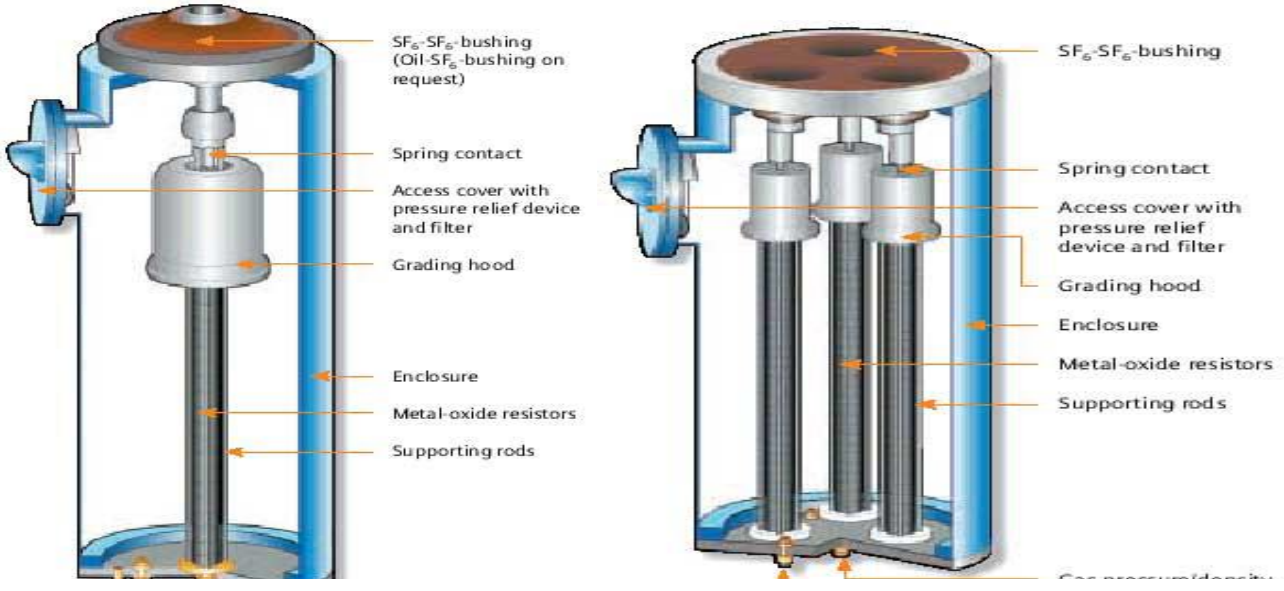


شکل۱۱ : منحنی ولت-آمپر مقاومتهای غیر خطی

برقگیرهای فوق علیرغم مزیتهای فراوانی که دارند به تدریج براثرحرارت حاصل از تخلیه جریانهای موجی به زمین ونیز حرارت محیط محل نصب آن ودرنتیجه از دست رفتن خاصیت قرصهای اکسید فلزی معیوب شده ودربرخی موارد با انفجار محفظه مواجه می گردند.البته مشکلی که این برقگیرها درسالهای اخیر بخصوص در شبکه های توزیع ایجاد کرده ، بروز اتصالی در ستون مقاومتها بدون آسیب دیدن ظاهر برقگیر بوده است.این مساله سبب شده گاهی خطوط توزیع ساعتها به خاطر اتصالی یک برقگیر وپیدا نبودن آن خاموش مانده وخسارتهای فراوانی را به شرکتهای برق وارد کند.بدنبال این مشکل شرکتهای سازنده جهت رفع آن از وسیله ای بنام دیسکانکتور درانتهای برقگیر استفاده کردند که این وسیله می بایست درهنگام بروز اتصالی دربرقگیر سوخته وسبب باز شدن سیم زیر برقگیر ودرنتیجه سریعتر پیداشده محل اتصالی گردد.البته این تمهید نیز بطور کامل به رفع مشکل کمک نکرده است.نکته دیگری که دراین قسمت قابل ذکر است اینکه سیستم زمین ومقاومت آن نقشی اساسی در زمین شدن اضافه ولتاژها از طریق برقگیر دارند لذا می بایست به طور اساسی به آن توجه شود.

۷-۱- برقگیرهای مورد استفاده درپستهای گازی:

برقگیرهای اکسید روی جهت نصب در پستهای گازی ازنظر ساختمانی دربرخی موارد با برقگیرهای معمولی متفاوتند .شکل های زیر برقگیرهای بدون فاصله هوایی با ولتاهای ۱۴۵ و۵۵۰کیلوولت سه فازوتکفازبا گاز sf6 ساخت زیمنس را نشان می دهد.



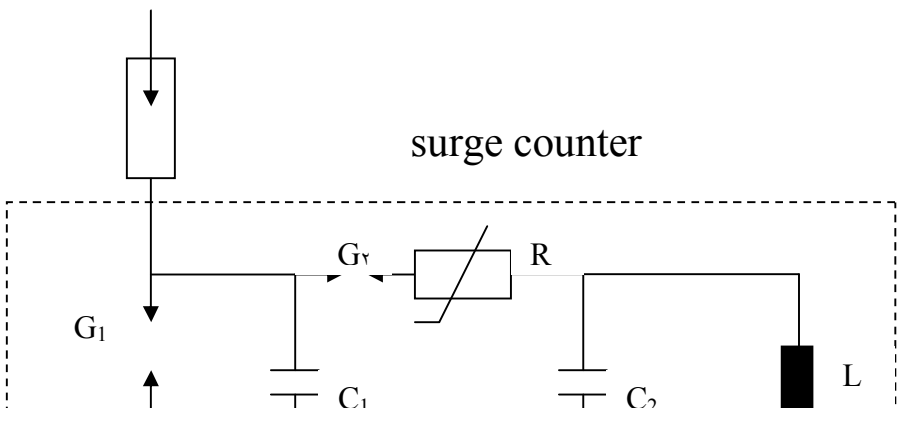
شکل ۱۲ : ساختمان برقگیرهای مورد استفاده در پستهای گازی

- تجهیزات جانبی ومتعلقات برقگیرهای فشار قوی :

چنانکه درقسمتهای قبل توضیح داده شد ،تخلیه جریان موجی توسط برقگیر وانرژی حرارتی ناشی ازآن می تواند به تدریج سبب آسیب به قرصهای برقگیر،افزایش جریان نشتی ودرنهایت معیوب شدن آن گردد به همین دلیل ثبت تعدادتخلیه های برقرارشده توسط برقگیرهای فشار قوی از نظر آمار تخلیه بر شبکه اندازه گیری جریان نشتی ونیز مشخصات ولتاژهای موجی تخلیه جوی حائز اهمیت می باشد. اندازه گیری جریان نشتی وکنترل مقدار آن بهترین راه جهت اطمینان از کیفیت مقاومتهای غیر خطی است .

- کنتور برقگیر :

سازندگان برای ثبت تعداد تخلیه های جوی ونیزکنترل جریان نشتی از کنتورویک آمپرمتر حساس به جریانهای درحدمیلی آمپر درمسیر جریان هادی – زمین برقگیر استفاده کرده اند.میلی آمپرمتر در قسمت تحتانی کنتوروجهت شمارش تعداد دفعات تخلیه نصب می شود.حدود جریانهای قابل قبول نشتی در صفحه آمپر متر با رنگ سبز وجریانهای خطرناک با رنگ قرمز مشخص شده است.مدار کنتوربرقگیر به صورت زیر است :



شکل۱۳ : مدار کنتور برقگیر

G_1 وG_2 : فواصل هوایی

R : مقاومت غیر خطی

C_1 وC_2 : خازن

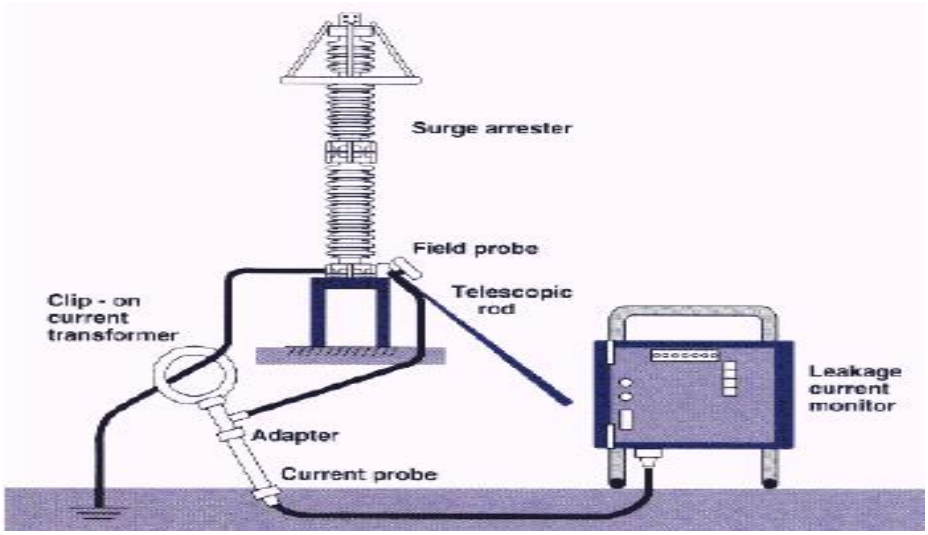
L : رله شمارنده

البته درصورت عدم نصب آمپرمتر دربرقگیر نیز می توان عمل اندازه گیری جریان نشتی را بااستفاده از یک آمپرمترحساس دیجیتالی ازطریق سیم زمین برقگیر انجام داد.وسیله جانبی دیگری که معمولا همراه بابرقگیر نصب می شود ، نصب کنتور به منظور شمارش تعداد دفعات تخلیه وبرقراری جریان دربرقگیر می باشد.آگاهی از تعداد دفعات تخلیه دربرقگیر امکان می دهد تاتعداد دفعات تخلیه برخط ، میزان محافظت خط درقبال ولتاژ های موجی تخلیه جوی و...برآورد شده وبا استفاده از این اطلاعات در هنگام طراحی واحداث خطوط انتقال انرژی جدید ، پیش بینی های کافی در محافظت خط صورت گیرد.شکل ۱۴نمای یک کنتور برقگیر رانشان می دهد.

شکل۱۴:نمای کنتور برقگیر با میلی آمپرمتر وبدون آن

- مانیتورینگ برقگیر :

درسالهای اخیر دستگاهی ساخته شده است که با نصب آن روی برقگیریا اینکه به عنوان دستگاهی جدا دراختیار گروههای سرویس پست می تواند هر لحظه وضعیت آن را حین درمدار قرارداشتن مونیتور کرده وبا وصل دستگاه به یک کامپیوتر اپراتور پست وضعیت برقگیر را تحلیل کرده ودرصورت پیش بینی بروز عیب قبل از بروز خسارتهای زیاد نسبت به رفع عیب اقدام کند.شکل زیر نمایی از نحوه کاردستگاه یادشده را نشان می دهد.البته این دستگاه معمولا برای برقگیرهای با سطح ولتاژ بالاتر از ۶۶کیلوولت استفاده می شود



شکل ۱۵- نمای کلی دستگاه مونیتورینگ برقگیرهای فشار قوی

۲-۸-۱- دیسکانکتور :

این دستگاه که در برقگیرهای سطح توزیع کاربرد دارد به منظور قطع سیم اتصال زمین برقگیر به هنگام بروز عیب داخلی دربرقگیر است .چنانکه توضیح داده شد در بسیاری موارد قرصهای برقگیر بر اثر تخلیه های متعدد و تحمل حرارت شدید ناشی از آنها ودر برخی موارد حتی طراحی نامناسب معیوب شده وتحت کوچکترین اختلالات ولتاژ جریان از طریق آنها به سمت زمین برقرارمی گردد.دراین موارد خط در اثر اتصالی قطع می گردد در حالی که کارگران هیچ گونه اتصالی در خط مشاهده نمی کنند .برای جلوگیری از بروز این اشکال سازندگان وسیلی را طراحی ونصب کرده اند که به هنگام بروز اتصالی در قرصهای برقگیر سوخته وسیم زمین برقگیر را جدا کند وبه این وسیله نقطه اتصالی از خط جدا گردد.این وسیله از یک چاشنی انفجاری به صورت سری با یک فاصله هوایی ساخته شده وحالتی شبیه فیوز

دارد. مشخصه الکتریکی دیسکانکتور به گونه ای طراحی شده که درصورت عبور جریان نشتی بیش از حد مجاز از برقگیر چاشنی منفجر شده ودر نتیجه دیسکانکتور همراه با سیم زمین از زیر برقگیر جدا می گردد وبه این صورت نقطه بروز اتصالی در خط را مشخص می کند.شکل زیر نمای یک دیسکانکتور نصب شده زیر برقگیر فشار متوسط را نشان می دهد.

شکل ۱۶-نمای دیسکانکتور نصب شده زیر برقگیر فشار متوسط

- **عوامل اختلال در مشخصات برقگیر** : چنانکه ذکر شد منحنی ولت-آمپر بعنوان مهمترین مشخصه برقگیر تاثیر زیادی در نوع عملکرد برقگیر خواهد داشت.حال می خواهیم بدانیم با توجه به اینکه این منحنی براساس ساختار مشخص قرصهای مورد استفاده در برقگیر بدست آمده همواره ثابت خواهد ماند یا اینکه در اثر عواملی که برقگیر در معرض آن قراردارد تغییر خواهد کرد. می دانیم که حرارت یکی از عواملی است که کلیه مواد را تحت تاثیر خود قرارداده ومنجر به تغییر خصوصیات آنها می شود .در اینجا نیز اگر بخواهیم عوامل اختلال در کار برقگیر را مورد بررسی قراردهیم به تاثیر حرارت برخورد خواهیم کرد .بطور کلی دو عامل مهم در تغییر منحنی عملکرد برقگیر موثرند که عبارتند از :

۱- درجه حرارت مقاومتها

۲- شدت میدان الکتریکی واقع برمقاومتها

- **درجه حرارت مقاومتها** : افزایش درجه حرارت در مقاومتها برقگیر در اثر دو عامل روی می دهد :

۱- درجه حرارت محیط وتاثیر آن بر حرارت مقاومتها

۲- حرارت ناشی از برقراری جریان در مقاومتها

با توجه به اینکه برقگیرتجهیزی است که همواره در فضای باز نصب می شود بنابراین همیشه در معرض تغییرات درجه حرارت محیط می باشد. هم چنین آلودگی موجود در محیط پیرامون محل نصب برقگیر می تواند با رسوب روی محفظه برقگیر از انتقال حرارت درون برقگیر به محیط جلوگیری کرده وخود سبب افزایش درجه حرارت گردد به همین دلیل سازندگان همواره سعی کرده اند برقگیر را به گونه ای تولید کنند که این عوامل کمترین تاثیر در عملکرد برقگیر را داشته باشد.

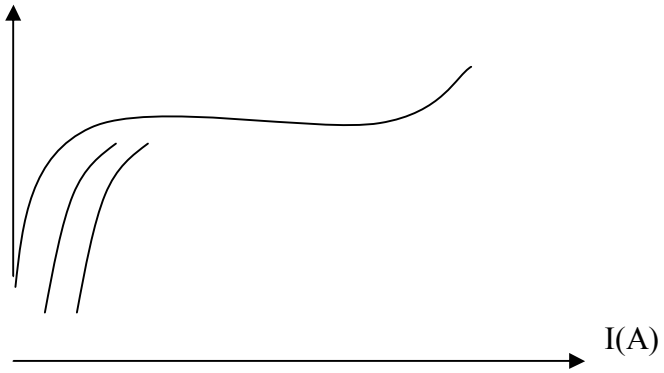
حرارت به دو طریق تشعشع وهدایت می تواند منتقل گردد بنابراین می بایست برقگیر ونحوه قرارگرفتن قرصهای آن به گونه ای باشد که با انتقال حرارت از دو طریق ذکر شده همواره قرصهای برقگیر حرارتی در حد مجاز قابل تحمل خود داشته باشند برای این منظور همواره می بایست حرارت ایجاد شده در قرصهای برقگیر کمتر از میزان انتقال حرارت از طریق بدنه آن به فضای خارج باشد ودر واقع هنگامی که میزان ایجاد حرارت در قرص فراتر از میزان تبادل آن با محیط بیرون باشد درجه حرارت قرصها بطور مرتب افزایش یافته تا جایی که برقگیر پایداری حرارتی خود را از دست داده ومنفجر خواهد شد. جهت دستیابی به هدف ذکر شده ، سازندگان طرحهای مختلفی راجهت نصب ستون قرصها داخل محفظه مورد آزمایش قرارداده اند که به شرح زیر می باشد :

۱- نصب ستون مقاومتها هم محور با محفظه بدون وجود فاصله هوایی میان ستون مقاومتها ومحفظه برقگیر
۲- نصب ستون مقاومتها بصورت هم محور با محفظه به گونه ای که مقاومتها یک فاصله هوایی یکنواخت را از تمام سطح محفظه داشته باشند.
۳- نصب ستون مقاومتها بصورت هم محور با محفظه با فاصله هوایی نامساوی در قسمتهای مختلف از بدنه
۴- نصب ستون مقاومتها بصورت نامتقارن به گونه ای که در یک سمت مقاومتها به بدنه چسبیده ودر سمت دیگر با بدنه دارای یک فاصله هوایی باشند.

با توجه به محاسبات و آزمایشاتی که انجام شده است بهترین طرح در میان طرحهای فوق روش چهارم بوده است که بسیاری از سازندگان از آن استفاده می کنند.البته برقگیرهای توزیع هم اکنون نیز به روش ۱ تولید می گردند.

-**تاثیر درجه حرارت برمنحنی عملکرد** : افزایش حرارت درمواد منجر به تحرک بیشتر الکترونهای آزاد شده واین تحرک سبب انتقال انرژی به همدیگر ودر نتیجه افزایش جریان نشتی می گردد لذا اگرناحیه۱ منحنی که جریان نشتی را نیز تشکیل داده ومیزان آن در حد

میکرو آمپر قراردارد به موازات خود در امتداد محور جریان جابجا گردد، نقطه کار برقگیر نیز جابجا خواهد شد بنابراین وجود مداوم یک جریان نشتی بیشتر خود سبب ایجاد حرارت مداوم بیشتر در طول ستون مقاومتها گشته واین مساله بطور پیوسته افزایش جریان نشتی وافزایش حرارت را بدنبال دارد تاجایی که برقگیر معیوب شده ویک جریان اتصالی در حدود تنظیم رله های فاز به زمین را از خود عبور می دهد و منجر به قطع خطوط با عملکرد رله ها بعنوان خطا خواهد شد.این مساله بخصوص در سطوح توزیع برق که تعداد برقگیرها زیاد بوده وکنترل وضعیت آنها در حین بهره برداری مشکل می باشد زیاد دیده می شود.معمولا اینگونه موارد تا زمان انفجار یا معیوب شدن بدنه برقگیر قابل تشخیص نبوده ولذا خسارات سنگینی به شرکتهای برق وارد می گردد.



شکل ۱۷- جابجایی منحنی در اثر افزایش حرارت ستون مقاومتها

- **شدت میدان الکتریکی واقع برمقاومتها :** چنانکه در قسمتهای قبل نیز ذکر شد افزایش شدت میدان از یک سطح مشخص منجر به بروزصاعقه ودرموردبرقگیرمنجربه عملکردآن می شود.حال با توجه به اینکه درحالت عادی توزیع شدت میدان درطول مقره برقگیرغیر یکنواخت می باشدلذافشارالکتریکی مداوم بربرقگیرمی تواند منجر به افزایش جریان نشتی وافت حرارتی بیشتردرستون مقاومتهاودر نتیجه معیوب شدن آن گردد.طبق آزمایشات انجام شده باافزایش شدت میدان ازمقدار$\frac{۱}{\text{kv/cm}}$ به میزان دوبرابرآن دانسیته جریان نشتی تاحدود ۱۰ برابرافزایش می یابد.با توجه به این مطلب می بایست جهت جلوگیری ازافزایش جریان نشتی در اثرتوزیع غیر یکنواخت شدت میدان نسبت به یکنواخت کردن توزیع میدان در طول ستون مقاومتها اقدام کرد.

بطور کلی هنگامیکه ارتفاع ستون مقاومتها ازحدود۴۰ سانتیمتر تجاوز نماید توزیع میدان به صورت غیر یکنواخت می شود والبته هر چه ارتفاع ستون مقاومتها بیشتر گردد، این توزیع غیر یکنواخت بیشتر می شود.دلیل عدم یکنواختی شدت میدان نیز به تجمع بارهای

الکتریکی در سطح کم هادی در ترمینال برقگیر باز می گردد.حال اگر بخواهیم این نقیصه را رفع کنیم می بایست با اقدامی که صورت می دهیم نسبت به توزیع بارهای الکتریکی وجلوگیری از تجمع انها بخصوص در یک نقطه اقدام کنیم.سازندگان جهت این اقدام از حلقه های فلزی محافظ ودر ولتاژهای بالاتر از کره فلزی استفاده کرده اندبه گونه ای که می توان با نصب حلقه فلزی محافظ با قطر مشخص به توزیع یکنواخت میدان درطول ستون مقره دست یافت.بعنوان مثال بانصب یک حلقه به قطر۳,۲ متر روی یک برقگیربارتفاع۶مترحداکثرشدت میدان ازحدود۲۵۰kv/mبه حدود۱۲۰ kv/mکاهش خواهد یافت.جهت کاهش بیشترشدت میدان حتی می توان ازدوحلقه محافظ نیزاستفاده کرد.البته درردیف ولتاژهای۶۳-۲۳۰کیلوولت نصب یک حلقه محافظ با قطر مناسب کافی خواهد بود.حلقه محافظ معمولا با سه هادی به فلانژ فوقانی محکم شده وتحت ولتاژ می باشد.

- **مشخصات فنی وانتخاب برقگیرها :**

استانداردبرقگیرIEC99-4 می باشد.طبق استاندارد مشخصات یک برقگیر می بایست براساس موارد زیر معین شود:

۱- ولتاژ نامی
۲- ولتاژ کار مداوم
۳- جریان نشتی برقگیر
۴-جریان وولتاژتخلیه نامی
۵- کلاس تخلیه برقگیر
۶- ولتاژ وجریان مرجع(Reference)
۷- سطح محافظت برقگیر
۸- منحنی ولت-آمپر برقگیر
۹-فاصله خزشی یا ایزولاسیون سطحی مقره برقگیر

اختلال حرارتی برقگیرها ناشی از آلودگی محیط :با تشکیل یک لایه آلودگی بر سطح خارجی محفظه برقگیر ها ، در شرایط رطوبت یک جریان خزشی از این سطح برقرارمی شود.حال در صورتی که این لایه سطحی دارای ضخامت کمی بوده و هدایت سطحی آن مناسب نباشد ، عبور جریان خزشی وحرارت ناشی از آن سبب تبخیر لایه سطحی وکاهش هدایت ودر نتیجه کاهش جریان خزشی از سطح مقره می شود.با توجه به ارتفاع ستون مقره ونیز نوع ساخت معمولا لایه سطحی که تشکیل می گردد در برخی قسمتهای محفظه برقگیر خشک ودارای مقاومت اهمی بالا بوده ودر برخی قسمتها از هدایت بالاتری برخورداراست.که

این ناحیه خشک عموما در قسمت تحتانی برقگیر یا محل اتصال دو قسمت محفظه برقگیر در برقگیرهای چند پارچه می بلشد.وجود ناحیه خشک در این قسمتها سبب توزیع نامناسب ولتاژروی سطح خارجی بدنه برقگیر می گردد.حال با توزیع نامناسب ولتاژ در سطح خارجی در برخی نقاط محفظه برقگیر یک اختلاف ولتاژبین سطح داخلی محفظه وسطح خارجی برقرارمی گردد این اختلاف ولتاژ سبب برقراری یک جریان خازنی از سطح خارجی به سطح داخلی می گردد.طبق آزمایشات بعمل آمده در شرایطی که جریان نشتی در خالت عادی ۰,۵ میلی آمپر باشد با توجه به آلودگی این جریان نشتی به ۱۰ برابر یعنی ۵ میلی آمپر افزایش می یابد.با افزایش طول ستون مقره برقگیر وچند پارچه شدن آن که در ولتاژهای بالا با آن مواجه هستیم و با توجه به توضیحات فوق ، جریان خازنی برقرارشده قابل ملاحظه خواهد بود.

۱-ولتاژ نامی : چنانکه می دانیم برقگیر بین فاز و زمین نصب شده ولذا همواره تحت ولتاژ فاز به زمین قراردارد‌ولی از طرف دیگر باید در نظر داشت که اتصال یک فازبه زمین سبب افزایش ولتاژفازهای سالم به صورت موقت تا زمان رفع خطاخواهد شد که این اضافه ولتاژسبب افزایش جریان نشتی برقگیر خواهد شد.البته این افزایش ولتاژ حداکثر تا مقدار ولتاژ فاز به فاز خواهد بود.حال اگر برقگیر برای این سطح ولتاژطراحی نگرددپس از مدت کوتاهی وبر حسب تعداد اضافه ولتاژهای اعمال شده به آن آسیب خواهد دید.بنابراین برقگیربرای تحمل این اضافه ولتاژها طراحی شده و ولتاژ نامی یا همان rated voltage برقگیرنیز در این سطح تعریف می شود. حال با دردست داشتن اطلاعات مربوط به اضافه ولتاژهای موقت نسبت به انتخاب ولتاژ نامی برقگیر اقدام می شود.دامنه اضافه ولتاژهای موقت طبق رابطه زیر تعیین می شود :

$$U_{rated}=k_g*(U_n/\sqrt{3})*1.05$$

که در آن K_g ضریب زمین است که برای سطح توزیع۱,۳ تا۱,۴ ودر سطح انتقال۱,۱ تا ۱,۱۵ در نظر گرفته می شود.مقدار بدست آمده از رابطه فوق با مقادیر استاندارد ولتاژ مقایسه شده ومقداربالاترونزدیکترین مقداربه آن بعنوان ولتاژ اسمی برقگیرانتخاب می گردد.

۲-ولتاژ کار مداوم :طبق استانداردIEC حداکثر ولتاژ فرکانس ۵۰ که برای مدت بیش از۱۰ثانیه در شبکه تداوم داشته باشد بعنوان حداکثر ولتاژ کار دائم شبکه تعریف شده وبا U_{cov} نشان داده می شود که covمخفف عبارت continous operating voltage می باشد.این ولتاژ به منظورجلوگیری از کاهش عمر برقگیردر برابر جریانهای نشتی دراز مدت بیش از چندین ساعت انتخاب می گردد.طبق این توضیح ولتاژ کار دائم برقگیرحداکثر ولتاژ فاز به

زمین شبکه می باشد که به برقگیر اعمال می گرددبدون اینکه سبب افزایش حرارت مقاومتهای غیر خطی گردد.

حال اگر بخواهیم به مفهوم این تعریف پی ببریم می توانیم به علل بوجود آمدن یک مقدار حداکثر ولتاژبجز ولتاژ نامی شبکه در زمانی بیش از ۱۰ ثانیه توجه کنیم.در خطوط با طول بالا در طول شب بخصوص ساعات انتهایی شب ویا در صورت کاهش شدید بار در طول روزبدلیل کاهش شدید بارولتاژ انتهای خط تا چند کیلوولت نسبت به ابتدای خط افزایش می یابد.بنابراین ولتاژ کار مداوم برقگیر در انتهای خط با مقدار آن برای ابتدای خط متفاوت خواهد بود.برای انتخاب این مقدار می بایست منحنی تغییرات ولتاژ در ۲۴ ساعت تهیه شده وبالاترین مقدار دراین مدت زمان انتخاب گردد سپس با استفاده از رابطه زیر بدست خواهد آمد :

$$U_{cov}>=(U_{nm}/\sqrt{3})*1.05$$

البته می بایست توجه داشت که مقدار ولتاژ کار مداوم برقگیر همواره مقداری برابر یا کمتر از ۸۰ درصد ولتاژ نامی برقگیر خواهد داشت.

۳-جریان نشتی :

چنانکه شرح داده شد با توجه به اثر ترمیک وتحت ولتاژ دائم که همواره برکنتاکت سمت شبکه برقگیر اعمال می گردد ، تعدادی از الکترونهای آزاد موفق به عبور از لایه دی الکتریک متشکل از مخلوط اکسید فلزات می گردند که همین تعداد اندک ، جریان نشتی برقگیر یا Leakage current را بوجود می آورند جریان نشتی در حدود کسری از میلی آمپراست. با توجه به مدار معادلی که برای قرصهای برقگیر ترسیم گردید جریان نشتی با توجه به وجود خاصیت اهمی وخازنی در قرص برقگیر دارای دو مولفه اهمی وخازنی است که البته در حالت عادی کار برقگیر مولفه خازنی این جریان بیش از مولفه اهمی آن است حال با افزایش ولتاژ یا شدت میدان واقع بر مقاومتها مقدار مولفه اهمی وخازنی جریان نشتی افزایش می یابد که میزان افزایش مولفه اهمی بیش از مولفه خازنی است.اگر به منحنی عملکرد برقگیر توجه کنیم این اتفاق یعنی افزایش ولتاژ یا شدت میدان منجر به تغییر نقطه کار برقگیر از ناحیه ۱ به ناحیه ۲ می شوداز طرفی با توجه به اینکه انرژی حرارتی از مولفه اهمی جریان ناشی می شود لذا میزان حرارت ایجاد شده در اثر عبور جریان در ناحیه ۲ بسیار زیادتر از حرارت ایجاد شده در اثر عبور جریان در حالت کار برقگیر در ناحیه ۱ می باشد بنابراین می توان گفت تاثیر جریان نشتی در عملکرد برقگیر ومعیوب شدن قرصها که در قسمتهای بعدی آن را بعنوان جابجایی منحنی ولت-آمپر خواهیم شناخت منتفی است وبرقگیر در اثر عبور جریانهای ناشی از اضافه ولتاژها ممکن است آسیب ببینند.

۴-جریان تخلیه و ولتاژ تخلیه برقگیر : با اعمال ولتاژ موجی به برقگیر ، جریانهای موجی متناسب با میزان ولتاژاز برقگیر عبور می کند که به جریان تخلیه برقگیر یا I_d موسوم است.این جریان که دامنه بسیار زیادی دارد در مدتی حدود چند میکرو ثانیه الی چند میلی ثانیه بسته به نوع ولتاژ موجی در برقگیر برقرارمی شود.با توجه به اینکه حرارت حاصل از عبور جریان بطور مستقیم با مدت زمان عبور جریان در ارتباط است لذا حرارت ایجاد شده در قرصهای برقگیردر اثرعبور جریانهای موجی قطع ووصل که زمان بیشتری دارند زیادتر از حرارت حاصل از جریانهای موجی تخلیه جوی است.با توجه به همین مساله می توان گفت حرارت حاصل از جریانهای نشتی ناشی از اضافه ولتاژهای فرکانس ۵۰ نیز بیش از جریانهای تخلیه جوی است ولذا این حرارت بیشتر از موارد تخلیه جوی می تواند در معیوب شدن برقگیر سهیم باشد بنابراین محدود کردن جریانهای نشتی در طی بهره برداری از برقگیر بسیار مهم می باشد.

جریان تخلیه که به منظور انجام آزمایش وتعیین ولتاژ تخلیه برقگیر بکارمی رود جریان موجی استاندارد۸/۲۰ میکروثانیه می باشد که مقدار پیک آن نیز طبق استانداردها ۱,۵،۲,۵،۵،۱۰و۲۰کیلو آمپر تعیین شده است.هر چند جریان تخلیه برقگیر باید هنگام سفارش به سازندگان اعلام گردد ولی معمولا با توجه به استانداردها برای هر سطح ولتاژی استفاده از برخی رده های استاندارد معمول شده است که در این میان جریانهای ۱,۵ و ۲,۵ کیلو آمپر در رده های ولتاژ مستقیم وفشار ضعیف ، جریانهای تخلیه ۵ کیلو آمپر برای رده های توزیع(هر چند در حال حاضر شرکتهای توزیع عموما از ۱۰ کیلو امپر استفاده می کنند)۱۰ کیلو آمپر برای ردیف ولتاژ انتقال تا ۳۰۰کیلوولت و۲۰ کیلو آپر برای ولتاژ های بالاتر استفاده می گردد.

۵-جریان تخلیه برقگیر :ولتاژ حاصل در محل تخلیه برقگیر در برابر تخلیه جریان موجی ۸/۲۰ میکرو ثانیه وبا دامنه های ذکر شده به ولتاژ تخلیه برقگیر موسوم است این ولتاژ بعنوان discharge voltage یا ولتاژ باقیمانده یا residual نیز نامیده می شود.به منظور تعیین ولتاژ تخلیه در کارخانه سازنده ، جریان موجی استاندارد با پیک اسمی برقگیر به آن اعمال شده وولتاژ حاصل اندازه گیری می شود.اکنون می توان با استفاده از همین آزمایش ناحیه ۳ منحنی ولت- آمپر را نیز بدست آورد به این ترتیب که آزمایش فوق را برای نصف و دوبرابر جریان تخلیه نامی تکرار کرده وسه نقطه از منحنی را بدست می اوریم

۵-کلاس تخلیه برقگیر :چنانکه شرح داده شد انرژی حرارتی ناشی از عبور جریانهای موجی وفرکانس۵۰با توجه به زمان عبور جریان می تواند سبب معیوب شدن برقگیر گردد.بنابراین می توان تصور کرد که برقگیر همواره در یک آستانه تحمل حرارتی قراردارد که ایجاد حرارت بیش از آن ونیز تکرار این مساله می تواند سبب معیوب شدن وحتی انفجار برقگیر گردد.بنابراین

انرژی حرارتی حاصل از تخلیه جریانهای موجی را به عنوان ظرفیت تخلیه برقگیر یا کلاس تخلیه برقگیر می نامند که یکی از مشخصات آن به هنگام سفارش خرید می باشد.از طرف دیگر می بایست توجه داشت که انرژی تخلیه شده از طریق برقگیر به زمین به دو عامل زمان عبور جریان ودامنه جریان بستگی دارد.چنانکه توضیح داده شد ، دراضافه ولتاژهای قطع ووصل بدلیل زمان طولانی تر انرژی بیشترتوسط برقگیر تخلیه می گردد از طرف دیگر همزمان با تخلیه اضافه ولتاژ، بارهای باقیمانده در خط ناشی از خاصیت خازنی نیزبسته به طول خط توسط برقگیر تخلیه می گردد لذا می بایست به هنگام سفارش برقگیر برای خطوط با طول بالاتر با توجه به این نکته از برقگیر های با کلاس تخلیه بالاتر استفاده کرد.با توجه به این موضوع در استاندارد IEC برای برقگیرها یک کلاس تخلیه تعریف شده است که این کلاس تخلیه از ۱ تا ۵ می باشد.طبق استاندارد IEC برقگیر های ۵ کیلو آمپری دارای کلاسهای ۱ تا۳ و برقگیره ای ۲۰ کیلو امپری دارای کلاس تخلیه ۴ و ۵ می باشد.

۶-ولتاژ وجریان مرجع :چنانکه در توضیحات قبلی ذکر شد حرارت مهمترین تاثیر درعمر و دوام برقگیر ونیز منحنی عملکرد آن را خواهد داشت.اگر به خصوصیات غیر خطی برقگیر توجه کنیم وچگونگی عملکرد آن را نیز مورد توجه قراردهیم ، می بینیم با عبور جریان از قرصهای برقگیروبا توجه به مقاومت اهمی آنها یک افت حرارتی در آنها خواهیم داشت.از طرف دیگر این افت حرارتی هنگامی می تواند سبب مشکل گردد که برقگیر نتواند به میزانی که حرارت در آن افت کرده به همان میزان یا بیشتر حرارت را دفع کند.زمانی که برقگیر در حالت کار عادی خود قراردارد وجریان نشتی از آن عبور می کند افت حرارتی ناشی از حرارت محیط اطراف واین جریان نشتی ناچیز می باشد که در این حالت درناحیه ۱ از منحنی عملکرد قرارداشتیم حال می توان یک نقطه روی منحنی ولت-آمپربرقگیر در نظر گرفت که اگر ولتاژ بیش از آن افزایش یابدمولفه اهمی جریان نشتی زیاد شده وافت حرارتی در قرصها قابل توجه خواهد شد به گونه ای که عملکرد برقگیر وارد ناحیه ۲ می گردد حال اگریک نقطه فرضی با نامK(البته این نقطه به صورت فرضی بدست نمی آید بلکه با استفاده از آزمایشات متعدد روی برقگیر مشخص می گردد)روی منحنی برقگیردر نظر بگیریم جابجایی نقطه کار برقگیر به مقداری بیش از این نقطه در قبال اضافه ولتاژهای سینوسی فرکانس ۵۰ وعیوب فاز به زمین سبب افت حرارتی قابل توجه در قرصهای برقگیر خواهدشد.بنابراین انتخاب مناسب منحنی ولت-آمپر ونیزنقطه کار بسیار مهم خواهد بود. نقطه K را knee point یا نقطه شکست زانویی می نامند.حال اگر یکبار دیگر توضیحات فوق را مرور کنیم نقطه پایین تر از نقطه k و در مجاور آن که در انتهای منطقه خطی منحنی ولت-آمپر قراردارد ، در برابر عبور جریانهای نشتی افت

حرارتی بسیار ناچیزی را درمقاومتها خواهد داشت . در استانداردIECاین نقطه را به عنوان نقطه مرجع معرفی کرده و ولتاژ و جریان آن را بعنوان U_{ref} وI_{ref} می نامند.این ولتاژ وجریان توسط کارخانجات سازنده وبا آزمایشات استاندارد تعیین می گردد.

- **تعیین سلامت برقگیر با استفاده از مقادیر مرجع :** جهت پی بردن به سلامت برقگیرهایی که در مدار قراردارندولتاژ و جریان مرجع مورد استفاده قرارمی گیرند هرچند این موضوع در پستهای فوق توزیع وبالاتر با استفاده از کنتور برقگیر وبه صورت دائمی انجام می شود.ولی جهت اطلاع از وضعیت برقگیرها می توان در دوره های زمانی ۱ الی ۲ ساله با استفاده از یک دستگاه قابل تنظیم ، ولتاژ را تا حدی که جریان مرجع از قرصها عبور کند افزایش داد سپس مقدار ولتاژ اعمال شده قرائت وبا ولتاژ مرجع مقایسه می گردد . در صورتی که این ولتاژبیش از ۵الی۱۰ درصد از مقدار اولیه افزایش نشان دهد به مفهوم صدمه دیدن مقاومتهای برقگیر ودر نتیجه خود آن خواهد بود.

روش دیگری نیزدر تعیین سلامت برقگیر مورد استفاده قرارمی گیرد وآن استفاده از ولتاژ تخلیه برقگیراست که در ادامه به توضیح آن می پردازیم.در این روش درفواصل ۲ الی ۳ ساله از بهره برداری از برقگیربا نجام آزمایشاتی ولتاژ تخلیه برقگیر اندازه گیری شده وبا مقدار اعلام شده توسط سازنده مقایسه می گرددر صورت تفاوت بیش از ۵ الی ۱۰ درصدی با مقدار سازنده میتوان گفت مقاومتها معیوب شده است.

ضریب زمین : نسبت ولتاژ فازهای سالم پس از بروز عیوب فاز –زمین به ولتاژ فاز قبل از بـروز عیب به ضریب زمین موسوم بوده وباK_g نشان داده می شود.

$$K_g=U_{ph(safe)}/U_{ph}<=1.4$$

بدین ترتیب میزان افزایش ولتاژ در شبکه های با نقطه نول به حدود ۱,۴ برابر ولتاژ فاز بالغ می گردد. در سطح ولتاژ های انتقال ضریب زمین را ۱,۱ تا ۱,۱۵در نظـر مـی گیرنـد و در ردیـف توزیع این مقدار را ۱,۳ تا ۱,۴ در نظر می گیرند.

۷- سطح محافظت برقگیر : چنانکه در بحث هماهنگی عایقی نیز مطرح گردید سطح محافظت برقگیر می بایست به گونه ای انتخاب شود که همواره پایین تر از سطح عایقی پست قرارداشته باشد تا در صورت ورود موج اضافه ولتاژ توسط برقگیر به زمین تخلیه شود.قبل از اینکه در رابطه با این موضوع صحبت کنیم ابتدا به توضیح در مورد ولتاژ۵۰ درصدمی پردازیم.

- **ولتاژ۵۰درصد** :ولتاژ دی الکتریک مواد ایزوله از نوع خود نگهدار در برابر اضافه ولتاژهای موجی با انجام آزمایشات مستقیم با موج استانداردتعیین گردیده ، توسط ولتاژ موسوم به ۵۰ درصد بروز قوس مشخص می گردد.

تعریف ولتاژ ۵۰ درصد :عبارت است از دمنه موج ولتاژ استانداردکه احتمال بروز قوس در ماده ایزوله به ازای آن معادل ۵۰ درصد باشد.به گونه ای که با ده بار آزمایش با موج استاندارد با دامنه برابر، ۵ بار با عدم بروز قوس و۵ باربا بروز قوس همراه باشداین ولتاژ به ولتاژ بحرانی بروز قوس یا critical flashover voltage یاU50% موسوم می باشد.

-**عایقهای برگشت پذیریا خود نگهدار**:در صورت کاهش ولتاژ وعلیرغم بروز قوس مجددا خاصیت ایزولاسیون خود را حفظ می نمایند وکاهش مقاومت دی الکتریک در آنها اتفاق نمی افتد مثل زنجیره مقره وفواصل هوایی

-**عایقهای برگشت ناپذیریا غیرخود نگهدار**:درصورت بروز عیب از خاصیت دی الکتریک آن کم می شود.

اکنون به ادامه بحث در مورد سطح محافظت برقگیر می پر دازیم.چنانکه گفتیم برای هرپست یک حداکثر ولتاژ قابل تحمل طبق مقادیر استاندارد بعنوان BIL انتخاب می کنندین در حالی است که طبق استانداردجهت جلوگیری از بروز قوس در ایزولاسیون داخلی، می بایست دامنه ولتاژهای موجی تا۸۰ الی ۸۵ درصد مقدارBILکاهش یابد.این مقدار را سطح حفاظت ایستگاه یا همان برقگیر می نامیم.

$$P.L=0.8BIL-0.85BIL$$

که P.L مخفف PROTECTION LEVELمی باشد.دامنه ولتاژهای موجی در محل تجهیزات فشار قوی توسط برقگیرها تا این مقدار کاهش داده می شود در روشهای معمول ابتدا منحنی سطح محافظت برقگیر ترسیم می گردد.سپس جریان تخلیه برقگیر برآورد می شود این جریان تخلیه در برابر حداکثر دامنه ولتاژ موجی بدست می آید.مقدار حداکثر دامنه ولتاژ موجی در اثر بروز قوس برگشتی در نزدیکترین برج به ایستگاه بدست می آید که این ولتاژ معادل ولتاژ بروز قوس زنجیره مقره خواهد بود.که در ابتدای همین جزوه آمده وبرابر H_i ۶۰۰می باشد (۶۰۰شدت میدان قابل قبول هوا وH_i ارتفاع زنجیره مقره است.) از طرف دیگر این مقدار معادل ولتاژ ۹۰ درصد می باشد.حال اگر بخواهیم سطح محافظت را بدست آوریم ابتدا می بایست ماکزیمم دامنه ولتاژ موجی را بدست آوریم لذا داریم

$$U_{max}=1.2U_{CFO}$$

از طرف دیگر رابطه جریان تخلیه برقگیر وولتاژ تخلیه به شرح زیر می باشد :

$$U_d=U_{max}- I_d*Z$$

که در آن Z امپدانس موجی خط است.با توجه به دامنه ولتاژ موجی وامپدانس موجی خط ، منحنی سطح محافظت در صفحه منحنی ولت- آمپر ترسیم می گردد. ونقطه تقاطع آن با منحنی ولت-آمپر غیر خطی ، ولتاژ تخلیه وجریان تخلیه را مشخص می سازد.ولتاژ تخلیه نقطه فوق سطح محافظت برقگیر را نشان می دهد.البته در ساده ترین حالت می توان ولتاژ تخلیه حاصل از آزمایشات با جریان تخلیه موج اسمی برقگیررا به عنوان سطح محافظت برقگیر در نظر گرفت.

۸-منحنی ولت-آمپر: در قسمتهای قبل توضیح داده شد

۹-فاصله خزشی یا ایزولاسیون سطحی مقره برقگیر:

چنانکه درقسمتهای قبل توضیح داده شد جهت ایزوله کردن نقاط تحت ولتاژ برقگیر از زمین می بایست یک فاصله عایقی مناسب تامین گردد.اولین چیزی که می بایست در رابطه با فاصله عایقی یا در اصطلاح استاندارد فاصله خزشی مقره ها در نظر داشت ، سطح ولتاژ و نیز میزان آلودگی است .در استانداردها آلودگیها را به چهار دسته طبق جدول زیر تقسیم بندی کرده اند :

سطح آلودگی	مثالهایی از چند نمونه ناحیه
۱- سبک	- ناحیه‌های بدون کارخانه و با تراکم کمی از خانه‌های مسکونی - ناحیه‌هایی با تراکم کم کارخانه های صنعتی و خانه و با وزش باد و بارندگی دائمی - ناحیه های کشاورزی - نواحی کوهستانی * تمام نواحی فوق باید دارای حداقل فاصله‌ای برابر ۱۰ الی ۲۰ کیلومتر از دریا بوده و دارای وزش مستقیم باد از طرف دریا نباشند.
۲- متوسط	- ناحیه‌هایی با کارخانه‌هایی که دارای دود آلوده کننده مخصوصی نیستند و یا ناحیه‌هایی با تراکم متوسطی از خانه‌هایی که دارای لوازم گرمازا هستند. - ناحیه‌هایی با تراکم زیاد خانه‌ها و یا تراکم کارخانه‌ها با وزش مداوم باد و یا بارش مداوم باران - ناحیه‌هایی که در معرض باد از سمت دریا بوده ولی خیلی به ساحل دریا نزدیک نیستند (حداقل چندین کیلومتر فاصله وجود دارد)
۳- سنگین	- ناحیه‌هایی با تراکم زیاد کارخانه و شهرهای بزرگی که دارای حومه در اطراف خود هستند با منابع گرمایی که مولد آلودگی هستند. - نواحی نزدیک به دریا که در تمام شرایط در معرض وزش بادهای نسبتا" شدید از طرف دریا هستند.
۴- خیلی سنگین	- ناحیه‌هایی که دارای گرد و غبارهای محلی بوده و کارخانه‌هایی که مولد دودهای آلوده کننده همراه با ذرات ریز معلق هستند. - ناحیه‌هایی با وسعت محدود که خیلی به ساحل دریا نزدیک بوده و در معرض قطرات ریز آب دریا و یا بادهای آلوده خیلی قوی از طرف دریا هستند. - نواحی خشک و بدون باران که در معرض بادهای شنی قراردارند.

با توجه به نوع آلودگی در استانداردها یک فاصله سطحی برحسب mm/kv طبق جدول زیرتعریف شده است.

سطح آلودگی	حداقل فاصله خزشی نامی (mm/KV)
۱- سبک	۱۶
۲- متوسط	۲۰
۳- سنگین	۲۵
۴- خیلی سنگین	۳۱

با توجه به جداول فوق و محل نصب برقگیرمی توان از رابطه زیر فاصله سطحی را برآورد کرد:

$$L>=U_n*\alpha*1.1$$

که در آن α : فاصله خزشی طبق استاندارد

U_n : ولتاژ اسمی فاز به فازشبکه برحسب کیلوولت

پس از بدست آمدن فاصله طبق رابطه فوق می بایست فاصله خزشی را بیش ازآن انتخاب کرد.

سیستم اتصال زمین برقگیرها :چنانکه می دانیم برقگیرها به منظور تخلیه ولتاژ های موجی مورد استفاده قرارگرفته ودر محل ورودی ایستگاهها ونیز قبل از ترانسفورماتورها وراکتورها نصب میگردد . جهت اینکه برقگیر بتواند وظیفه خود مبنی بر تخلیه جریانهای موجی به زمین را انجام دهد می بایست کمترین امپدانس را داشته باشد.بنابراین می بایست سیستم اتصال زمین با این شرایط طرح گردد به این مظور برای برقگیرها مستقل برای هر واحد برقگیر ومتصل به شبکه افقی زمین ایستگاه پیش بینی می گردد.این سیستم را میله های مستقیم با طول ۴-۱۰ متر وقطر ۱,۵ الی ۲ سانتیمتر با نصب قائم تشکیل داده که میله های به عمق زمین را ه یافته وارتباط کامل ومداوم با لایه عمقی با مقاومت حداقل و رطوبت بالا را فراهم می آورد.به منظور جلوگیری از ایجاد اندوکتانس اضافی در مسیر هادی به زمین حتی الامکان سعی شود از ایجاد انحراف وپیچش در مسیر سیستم زمین برقگیر جلوگیری شود ومسیر بصورت مستقیم باشد.

ایزولاسیون داخلی وخارجی :طبق استاندارد ایزولاسیون داخلی می بایست به گونه ای طراحی گردد که احتمال بروز قوس درآن صفر باشد در حالی که می توان احتمال بروز قوس در ایزولاسیون خارجی نظیر ستون مقره را ۱۰ درصد در نظر گرفت وبه همین دلیل است که ولتاژ را ۹۰ درصد در نظر می گیرند.طبق استاندارد IEC نسبت تعداد دفعات بروز قوس به تعداد دفعات اعمال ولتاژبرای ستون مقره را ۰,۱ تعیین می کنند که به عنوان ولتاژ ۱۰درصد بروز قوس و۹۰ درصد دی الکتریک می شناسند این به مفهوم این است که در ده بار بروز اضافه ولتاژ یک بار همراه با بروز قوس همراه بوده ودر ۹ بار دیگر قوسی اتفاق نمی افتد.

-**فاصله محل نصب برقگیرها از همدیگر:**در مدت برقراری شرایط تخلیه دربرقگیر، دامنه ولتاژهای تخلیه تا سطح محافظت برقگیر کاهش می یابد ولی در طول شینه با افزایش تدریجی فاصله از محل برقگیر افزایش می یابد.افزایش دامنه ولتاژهای تخلیه جوی با توجه به سرعت افزایش موج وطی مسیر انتشار آن صورت می پذیرد.به عنوان مثال چنانچه سرعت افزایش موج۵۰۰ کیلوولت در هر میکرو ثانیه باشد و شرایط تخلیه در برقگیربه ازای ولتاژ ۶۵۰ کیلوولت فراهم گردیده باشد ، دامنه ولتاژ موجی در فاصله ۵۰ متر از محل برقگیر به صورت زیر خواهد بود :

$$T=d/v=50/300=1/6 \qquad 500*1/6=83$$

که در آن T فاصله زمانی لازم جهت انتشار موج ، dفاصله از محل برقگیر(متر) و v سرعت انتشار موج در طول هادی که نزدیک یا معادل سرعت انتشار نور و برابر۳۰۰ متر در هر میکرو ثانیه خواهد بود.با توجه به این محاسبه درمی یابیم که دامنه ولتاژ موجی در فاصله ۵۰ متری از محل برقگیر خواهد بود:

۶۵۰+۸۰=۷۳۳

با توجه به این مقدار میزان افزایش دامنه در فاصله ۵۰ متری از محل نصب برقگیر را بدست آوردیم که ممکن است از سطح محافظت برقگیر افزایش یافته باشد در این صورت برقگیر قادر به تخلیه این اضافه ولتاژ به زمین نیست.به همین علت فاصله برقگیر از ترانس مورد توجه بوده ولازم است از حدود مشخص تجاوز ننماید.در صورت افزایش فاصله لازم است نسبت به نصب برقگیرهای اضافی در مجاور ترانسفورماتور اقدام گردد.در ایستگاههای فشار قوی ۶۳ کیلوولت وبالاتر به دلیل ایجاد فاصله ، علاوه بر برقگیرهای ورودی پست ، در مجاورت ترانسفورماتور نیز برقگیر نصب می گردد.

هماهنگی در سطح ایزولاسیون داخلی وخارجی :

انتخاب مشخصات مناسب ایزولاسیون داخلی وخارجی ، هماهنگ با یکدیگر چنانکه احتمال بروز قوس در کلیه تجهیزات از حدود مشخص تجاوز ننماید به عنوان هماهنگی در ایزولاسیون ایستگاه تعریف می گردد.جهت هماهنگی در ایزولاسیون ابتدا ایزولاسیون داخلی تجهیزات فشار قوی انتخاب شده ، سپس با توجه به سطح اضافه ولتاژها وسطح محافظت برقگیرها ایزولاسیون خارجی تجهیزات مشخص می گردد.به منظور انتخاب سطح ایزولاسیون اصلی ترانسفورماتورها وایزولاسیون داخلی تجهیزات فشار قوی ، دامنه ولتاژهای موجی تخلیه جوی وقطع ووصل ظاهر شده در ایستگاه برآورد می گردند.

-آزمایشات برقگیرهای فشار قوی:

چنانکه می دانیم کلیه تجهیزات تولیدی سه نوع آزمایش را می گذرانند.آزمایشات نوعی که همیشه در مورد اولین نمونه ساخته شده از هر دستگاهی وبه منظور اطمینان ازمشخصات طراحی شده دستگاه انجام می شود وبه عنوان type testشناخته می شود.این آزمایشها با هر نوع تغییر در طراحی دستگاه می بایست مجددا انجام گیرد وهرگواهی از این آزمایشات تنها تا ۵ سال اعتبار دارد.آزمایشات جاری یاroutin testکه برای کلیه تجهیزات ساخته شده انجام می شود ونوع دیگر که به عنوان آزمایشات تحویل یا نمونه ای خوانده می شوند فقط برای برخی نمونه های تولید شده که صورت تصادفی توسط خریدارانتخاب می شوند ، انجام می شود.این آزمایشات به نام sample test یاacceptance test نامیده می شوند.البته برخی آزمایشها در هر سه دسته قرارمی گیرند.

-آزمایشات نوعی برقگیر :این آزمایشات شامل موارد زیر می باشند:

۱- آزمایش عایقی محفظه برقگیر:که خود به سه دسته تقسیم می شود

- آزمایش با ولتاژ موجی تخلیه جوی
- آزمایش با ولتاژ موجی قطع ووصل
- آزمایش با ولتاژ فرکانس ۵۰ در شرایط رطوبی

۲-آزمایش اندازه گیری ولتاژ تخلیه :به سه دسته زیر تقسیم می گردد:

- آزمایش با جریان موجی با شیب بالا
- آزمایش با جریان معمول تخلیه جوی
- آزمایش با جریان موجی قطع ووصل

۳-آزمایش تحمل جریان تخلیه در درازمدت یا آزمایش خط شارژشده در برقگیرهای۱۰ و۲۰ کیلوآمپر

۴-آزمایش سیکل بهره برداری برقگیریاoperating duty test

۵-آزمایش کوتاه نمودن عمر برقگیریاaccelerated ageing procedure

۶-برآورد ولتاژهای اسمی ودائم کاربه منظور آزمایش المانهای جدید

۷-آزمایش سیکل بهره برداری برقگیربا جریان موجی بالا

۸-آزمایش شیر اطمینان یا preesure relief test

۹-آزمایش برآورد تخلیه جزیی یاpartial discharge

۱۰-آزمایش شرایط محیطی برقگیرهای فشار قوی

۱۱-آزمایش آببندی برقگیرهای فشار قوی

-**آزمایشات جاری یا routin test**:شامل موارد زیر می باشد

۱-اندازه گیری ولتاژ مرجع

۲-اندازه گیری ولتاژ تخلیه یا باقیمانده

۳-آزمایش اطمینان ازعدم بروز تخلیه جزیی وصدای ناشی ازآن

۴-آزمایش آب بندی محفظه

۵-کنترل توزیع مناسب جریان در ستونهای مقاومت برقگیرهای با بیش از یک ستون

-**آزمایشات نمونه ای** :شامل موارد زیر می باشد

۱-اندازه گیری ولتاژفرکانس۵۰در برقگیرکامل به عنوان ولتاژreference

۲-ولتاژ تخلیه برقگیر کامل یا هر المان برقگیر به ازائ جریان تخلیه برقگیر

۳-آزمایش تخلیه جزیی

۴-آزمایش پایداری حرارتی

۱-آزمایشات عایقی محفظه برقگیر :

-**در برابرولتاژهای موجی تخلیه جوی**:دراین آزمایش ستون مقره برقگیر با ولتاژ موجی تخلیه جوی با دامنه ای معادل ۱,۳ برابر سطح محافظت ارایه شده در برابر این نوع ولتاژمورد آزمایش قرارمی گیرد.مقدار۳۰ درصد بیش از دامنه معمول که در نظر گرفته شده باتوجه به افزایش احتمالی دامنه ولتاژ تخلیه ظاهر شده درمحل برقگیردر شرایط جوی وایجاد جریان تخلیه بیش از جریان تخلیه اسمی آن است.

-**در برابرولتاژهای موجی قطع ووصل** :چنانکه درقسمتهای قبل نیزذکرشددر سطوح ولتاژ بالاتراز۲۳۰کیلوولت دامنه ولتاژهای موجی قطع ووصل بیش از دامنه ولتاژهای موجی تخلیه جوی است.بنابراین آزمایش برای سطوح ولتاژ بالاتراز۲۳۰ کیلوولت وجریان های تخلیه ۱۰ و ۲۰ کیلوآمپربا ولتاژهای موجی قطع ووصل با دامنه ای معادل ۲۵ درصد بیش از سطح محافظت ارایه شده برقگیر در برابر این نوع ولتاژانجام می شود.افزایش ۲۵درصدی دامنه با توجه به احتمال افزایش در اثر شرایط جوی وافزایش جریان تخلیه موجی قطع ووصل در نظر گرفته می شود.

-**آزمایش با فرکانس۵۰در شرایط رطوبی**:محفظه برقگیرهای با جریان تخلیه اسمی۱,۵،۲,۵و۵کیلوآمپردر شرایط تخلیه جوی سنگین می بایست ولتاژسینوسی فرکانس قدرت معادل ۰,۸۸سطح محافظت برقگیر دربرابر ولتاژهای تخلیه جوی رابه مدت یک دقیقه تحمل کنند.البته دامنه ولتاژ برای جریانهای تخلیه ۱۰و۲۰کیلوآمپر وولتاژهای کمتر از ۲۰۰کیلوولت ۱,۰۶می باشد.این آزمایش با تعداد ۱۵ ضربه مثبت و۱۵ضربه منفی انجام می شود و می

بایست در سطح داخلی برقگیر هیچگونه قوسی رخ ندهد ودر سطح خارجی نیز تنها ۲ قوس مجاز می باشدکه میتوان گفت معادل ولتاژ ۹۰ درصد عایقی می باشد.البته اگر ارتفاع محفظه خارجی تشکیل شده از تعدادی محفظه متصل بهم از ارتفاع بدست آمده طبق رابطه زیر بیشتر باشد انجام ژازمایشات فوق ضروری نیست.

H=۵۰۰kv/m(سطح محافظت برقگیر در برابرولتاژ تخلیه جوی*۱,۳)

-آزمایش اندازه گیری ولتاژ تخلیه با جریان موجی با شیب بالا:

دراین آزمایش که سطح محافظت برقگیر رامشخص می سازد،جریان موجی با مشخصه۱/۲۰وپیک معادل تخلیه موجی وحداکثر ۵ درصد تولرانس به سه برقگیر مشابه اعمال می گردد.بالاترین مقدار ولتاژ تخلیه اندازه گیری شده به عنوان ولتاژ تخلیه برقگیر منظور می شود.

-آزمایش اندازه گیری ولتاژ تخلیه با جریان معمول تخلیه جوی:

در این حالت جریان موجی با مشخصه۸/۲۰وپیک معادل۰,۵،۱ و ۲برابر جریان اسمی تخلیه برقگیربرای سه بار به سه نمونه مشابه اعمال می گردد.مقادیر حاکثر ولتاژ تخلیه که در ازمایشات قرائت می گردند ترسیم می گردد.سپس به ازای جریان تخلیه نامی مقدارولتاژ تخلیه قرائت می گردد وبعنوان سطح محافظت برقگیر منظورمی شود.

-آزمایش اندازه گیری ولتاژ تخلیه با جریان موجی قطع ووصل:

این آزمایش مشابه دو مورد قبل می باشد با این تفاوت که مشخصه جریان۳۰/۶۰بوده وپیک آن از جدول زیر بدست می آید.

نوع برقگیر	پیک جریان تخلیه در قبال ولتاژ موجی قطع ووصل
۲۰کیلوآمپربا کلاس تخلیه۴و۵	۵۰۰-۲۰۰۰۰آمپر
۱۰کیلوآمپر با کلاس تخلیه۳	۲۵۰-۱۰۰۰آمپر
۱۰کیلوآمپر با کلاس تخلیه۱و۲	۲۵۰-۱۰۰۰آمپر

-آزمایش تحمل جریان تخلیه در درازمدت یا آزمایش خط شارژشده در برقگیرهای۱۰ و۲۰ کیلوآمپر:

در این آزمایش توانایی المانهای غیر خطی به منظور تحمل فشار الکتریکی وانرژی تخلیه شده در برابر جریانهای تخلیه اسمی برقگیر در دراز مدت برآورد می گرددر طی انجام آزمایش نباید هیچگونه قوس داخلی یا خارجی اتفاق بیفتد.

با توجه به اینکه طبق توضیحات گذشته برقگیرها با جریانهای تخلیه اسمی ۱۰ و ۲۰ کیلو آمپر برای ولتازهای بالا ودر نتیجه خطوط بلند مورد استفاده قرارمی گیرند بنابراین آزمایش برای این برقگیرها با تخلیه خط شارژ شده توسط برقگیر انجام می شود.برای برقگیرها ۲۵۰۰تا ۵۰۰۰آمپر ، این آزمایش با تخلیه جریان موجی دراز مدت توسط برقگیر مشخص می گردد.تفاوت ولتاژ تخلیه قبل وبعد از انجام این آزمایشات نباید بیش از ۵ درصد باشد.بنـابراین ابتدا می بایست قبل از انجام این آزمایش ولتاژ تخلیه اندازه گیری شده وسپس آزمایش انجـام گیرد.این آزمایش برای ۶ گروه متوالی از برقگیرهای تولیدی وبرای هرگروه سه بـار انجـام مـی شود.فاصله انجام آزمایشها حداکثر یک دقیقه خواهد بود به گونه ای که المانها تا درجه حرارت محیط خنک شوند.پس از انجام آزمایشها علاوه براینکه نباید اختلافی بین ولتاژ باقیمانده باشد می بایست هیچگونه آثار بروز قوس ، لکه ویا ترک ویا صدمه کلی بـه مقاومتهـای غیـر خطـی مشاهده نشود.

- آزمایش سیکل بهره برداری برقگیر :

این آزمایش بمنظور اطمینان از پایداری حرارتی برقگیر صورت می گیرد.در این آزمایش شرایط دشوار کار برقگیر مشابه آنچه که در طی بهره برداری از برقگیر اتفاق می افتد ، در آزمایشگاه ایجاد می شود.به گونه ای که درجه حرارت المانها تا حدود درجه حرارت بحرانی افزایش یابد.برای این منظور تعداد مشخصی از جریانهای ضربه ای توسط برقگیر تخلیه می گردد.نیاز عمده به منظور انجام موفقیت آمیز آزمایشات فوق ، خنک گشتن مقاومتها ی غیر خطی در فواصل برقراری جریان تخلیه می باشد.در حالی که برقگیر تحت ولتاژ فرکانس ۵۰ می باشد.مراحل انجام این ازمایشات به شرح زیر می باشد:

۱- اندازه گیری لازم قبل از شروع آزمایش
۲- فراهم ساختن شرایط مناسب آزمایش
۳- اعمال جریانهای ضربه ای پیش بینی شده

مراجع :

۱- برقگیرهای فشار قوی بدون فاصله هوایی – مهندس طهماسبقلی شاهرخشاهی
۲- رعد وبرق وخطوط انتقال انرژی – مهندس طهماسبقلی شاهرخشاهی
۳- جزوه برقگیرهای اکسید روی – سید محمد صادق غفوریان – شرکت برقگیر پارس
۴- جزوه surge – protection- شرکت زیمنس
۵- IEC standard – part4 – metal oxide surge arresters without gaps
۶- جزوه تجهیزات پستهای فشار قوی – محمد داوودی
۷- جزوه تجهیزات پستهای فشار قوی – حسن جباری
۸- تجهیزات نیروگاه – مسعود سلطانی – جلد اول و دوم
۹- Design and testing of polymer- housed surge arrester –abb switchgear ab Sweden

۱۰-استاندارد برقگیر اکسید فلزی ۲۰ و ۳۳کیلوولت-وزارت نیرو
۱۱-استاندارد ترانسفورماتورهای روغنی توزیع-جلد دوم