I.P.I.S

13

1 St . edition
April . 2002

جمهوری اسلامی ایران

Islamic Republic Of Iran

وزارت نیرو

Ministry Of Energy

سازمان مدیریت تولید و انتقال نیروی برق ایران (توانیر)

Iran Power Generation & Transmission Management Organization - Head Office (Tavanir)

۱۳

چاپ اول
اردیبهشت ۱۳۸۱

استاندارد صنعت برق ایـــران – مشـــخصات و خصوصیـــات

انرژی الکتریکی (کیفیت برق)

قسمت پنجم ــ پایداری و پدیده های گذرا

Iran Power Industry Standards - Power Quality
Part Five : Stability and Transient Phenomena

فهرست مندرجات .....صفحه

پیش گفتار ..... ب

مقدمه ..... پ

۱ هدف ۱

۲ دامنه کاربرد ۱

۳ مراجع الزامی ۱

٤ اصلاحات و تعاریف ۲

٥ نمادها و یکاها ۳

٦ مفاهیم اساسی و کلیات ۳

۷ ویژگی ها ٦

پیوست الف - اضافه ولتاژ های گذرا (اطلاعاتی) ۳۰

پیوست ب - انواع موج ضربه با انرژی زیاد (اطلاعاتی) ٤۹

پیوست ج - اصول حفاظتی در مقابل اضافه ولتاژ (اطلاعاتی) ٥۰

پیوست د - تجهیزات مناسب پیشنهادی برای حفاظت علیه اضافه ولتاژهای گذرا(اطلاعاتی) ٥٤

پیوست هـ - واژگان (اطلاعاتی) ٥۹

پیش گفتار :

استاندارد مشخصـــــــات وخصوصیات انرژی الکتـریکی (کیفیت بـرق) **قسـمت پنجـم** - پـایداری و پدیده های گذرا که پیش نویس آن به وسیله وزارت نیرو - شـرکت توانـیر - **معـاونت پژوهشـی** - دفـتر استانداردها و در کمیسیون مربوط تهیه و تدوین شده و مورد تصویب **مقام محترم وزارت** طـی بخشـنامه شماره ۷۰۱۰/۳۰/۱۰۰ مورخ ۸۱/۲/۱۰ قرار گرفته است، اینک به استناد بند «ز» ماده یـک قـانون تاسـیس وزارت نیرو مصوب ۵۳/۱۱/۲۸ و ماده ۷ سازمان برق ایران مصوبه ۱۳٤٦/٤/۱۹ و ماده ۳ آئین نامه اجرائی بند «ج» ماده ۱۲۲ قانون برنامه سوم توسعه اقتصادی و اجتماعی و فرهنگی جمهوری اسلامی ایـــران بـه عنوان استاندارد صنعت برق ایران منتشر می شود.

برای حفظ همگامی و هماهنگی با تحولات و پیشرفت های ملـی و جـهانی در زمینـه صنـایع ، علـوم و خدمات ، استانداردهای ملی ایران در مواقع لزوم تجدید نظر خواهد شد و هرگونه پیشـــنهادی کـه بـرای اصلاح یا تکمیل این استانداردها ارائه شود در هنگام تجدیدنظر درکمیسیون فنی مورد توجه قرار خواهـد گرفت. بنابراین برای مراجعه به استانداردهای ایران باید همواره از آخرین تجدیدنظر آنها استفاده کرد.

در تهیه وتدوین این استاندارد سعی شده است که ضمن توجه به شرایط موجـود و نیازهـای جامعـه، در حد امکان بین این استاندارد و استاندارد ملی کشورهای صنعتی و پیشرفته هماهنگی ایجاد شود.

منابع و مآخذی که برای تهیه این استاندارد به کار رفته به شرح زیر است :

1- IEEE recommended practice on surge voltage in low – voltage AC Power circuits. IEEE C62-41

2- R.H. Hopkinson . " Better surge protection extends URD cable life. " in proceedings of the 1984 IEEE/PES T&D conference and exposition. Kansas city , Mo.

3- R.C. Dugan .H.W. Beaty . " Electrical power systems quality ". 1996.

4- S.S. Kershaw. " Surge protection for high voltage underground distribution circuits. " in conference record of the IEEE conference on underground distribution. Detroit. September 1971. PP 370-384

5- Electric systems protection handbook . 1995.

٦- استاندارد ملی ۵ : سال ۱۳۷۸ (تجدید نظر دوم) استاندارد ملی ایران – مقررات مربوط به ساختار و شیوه نگارش

مقدمه :

استاندارد مشخصات و خصوصیات انرژی الکتریکی (کیفیت برق) از قسمت های مختلفی به شرح زیر تشکیل شده است که می بایستی همراه مراجع الزامی آنها مورد استفاده قرار گیرند.

قسمت اول - کلیات

قسمت دوم - حدود مجاز هارمونیک ها

قسمت سوم - فلش و قطعی ولتاژ

قسمت چهارم - تغییرات ولتاژ و فرکانس

قسمت پنجم - پایداری و پدیده های گذرا

قسمت ششم - زمین کردن

قسمت هفتم - کیفیت برق تحویلی به انواع مشترکین

قسمت هشتم - مشخصات فنی وسایل اندازه گیری و معیار انتخاب آن ها

قسمت نهم - دستورالعمل اندازه گیری کیفیت برق ، بازرسی و اطمینان از کیفیت آن

برای آشنایی بیشتر کاربران این استاندارد علاوه بر قسمتهای فوق گزارش های فنی مشخصات و خصوصیات انرژی الکتریکی (کیفیت برق) در قسمتهای دیگری که جنبه اطلاعاتی وآموزشی دارد با عناوین زیر تهیه شده است.

قسمت اول - مفاهیم و تعاریف کیفیت برق

قسمت دوم - منابع و مراجع استانداردهای کیفیت برق

قسمت سوم - تجزیه و تحلیل نتایج وضعیت موجود کیفیت برق

" مشخصات وخصوصیات انرژی الکتریکی «کیفیت برق»
قسمت پنجم - پایداری و پدیده های گذرا "

۱ هدف

هدف از این استاندارد ایجاد دانش فنی و ارایه دستورالعمل هایی در خصوص امواج گذرا در شبکه های فشار ضعیف می باشد . با این اطلاعات طراحان تجهیزات ، مهندسین برق و استفاده کنندگان تجهیزات برقی می توانند شرایط عملکرد مناسب تجهیزات خود را از دیدگاه کیفیت برق مورد تجزیه و تحلیل قرار دهند و نیاز به وسایل حفاظتی را در جهت بهبود وضعیت موجود درک نمایند.

۲ دامنه کاربرد

این استاندارد بررسی شرایط عملکرد مناسب تجهیزات در برابر امواج گذرا از دیدگاه کیفیت برق در سیستم های توزیع و فشار ضعیف تک فاز ، سه فاز ، مسکونی ،تجاری و صنعتی دربر می گیرد.

۳ مراجع الزامی

مدارک الزامی زیر حاوی مقرراتی است که در متن این استاندارد به آنها ارجاع داده شده است . بدین ترتیب آن مقررات جزئی از این استاندارد محسوب می شود. در مورد مراجع دارای تاریخ چاپ و/ یا تجدید نظر ، اصلاحیه ها و تجدید نظرهای بعدی این مدارک مورد نظر نیست. معهذا بهتر است کاربران ذینفع این استاندارد، امکان کاربرد آخرین اصلاحیه ها و تجدیدنظرهای مدارک الزامی زیر را مورد بررسی قرار دهند.

در مورد مراجع بدون تاریخ چاپ و/ یا تجدیدنظر ، آخرین چاپ و / یا تجدیدنظر آن مدارک الزامی ارجاع داده شده مورد نظر است.

استفاده از مراجع زیر برای کاربرد این استاندارد الزامی است:

1- IEEE recommended practice on surge voltage in low – voltage AC Power circuits. IEEE C62-41

2- R.H. Hopkinson . " Better surge protection extends URD cable life. " in proceedings of the 1984 IEEE/PES T&D conference and exposition. Kansas city , Mo.

3- R.C. Dugan .H.W. Beaty . " Electrical power systems quality ". 1996.

4- S.S. Kershaw. " Surge protection for high voltage underground distribution circuits. " in conference record of the IEEE conference on underground distribution. Detroit. September 1971. PP 370-384

5- Electric systems protection handbook . 1995.

٤ اصطلاحات وتعاریف

دراین استاندارد اصطلاحات و/ یا واژه ها با تعاریف زیر به کار می رود:

٤-١ زمین ایمنی : با استفاده از هادی ای که قسمت های بدون جریان لوله های فولادی ، سینی های کابل و محفظه های تجهیزات را به نوترال و الکترود زمین متصل می کند ساخته می شود.

٤-٢ ولتاژ مد مشترک : ولتاژ اعوجاج یافته های که بین هادی حامل جریان و زمین ظاهر می شود.

٤-٣ ولتاژ مد نرمال : ولتاژی که بین هادی های برق دار ظاهر می شود.

٤-٤ بزرگ سازی ولتاژ : بزرگ شدن ولتاژ نوسانی گذرای کلید زنی خازنی در طرف اولیه یک ترانسفورماتور به دلیل وجود خازن ها در سمت ثانویه آن .

٤-٥ موج ضربه ای گذرا : تغییر ناگهانی در شرایط ماندگار ولتاژ یا جریان با فرکانسی به غیر از فرکانس قدرت که پلارینه آن تک جهته است (م ثبت یا منفی).

٤-٦ موج نوسانی گذرا : تغییر ناگهانی در شرایط ماندگار ولتاژ یا جریان با فرکانسی به غیر از فرکانس قدرت که مقدار آن هم دارای پلارینه منفی و هم پلارینه مثبت است .

۵ نمادها و یکاها

t90 = مدت زمانی که ولتاژ یا جریان به ۹۰ درصد پیک خود می رسند.

t30 = مدت زمانی که ولتاژ یا جریان به ۳۰ درصد پیک خود می رسند.

$\sqrt{P}$ = ولتاژ پیک یا مقدار پیک ولتاژ مدار باز

Ip = جریان پیک یا مقدار پیک جریان اتصال کوتاه

D = عدد ثابت مشخص کننده میزان صدمه دیدگی کابل

N = تعداد ضربه ها

V = دامنه ضربه ها

C = ثابت تجربی

Upk = ولتاژ پیک سیستم

٦ مفاهیم اساسی و کلیات

واژه گذرا مدت ها است که در تجزیه و تحلیل تغییرات شبکه قدرت به کار رفته تا یک حادثه غیر مطلوب اما لحظه ای را مشخص کند. اولین مطلبی که با شنیدن واژه گذرا به ذهن یک مهندس برق خطور می کند . رفتار نوسانی میراشونده یک مدار مقاومتی ، سلفی و خازنی (RLC) خواهد بود.

تعریفی که عموماً برای واژه گذرا به کار می رود به شکل زیر بیان می شود :

بخشی از تغییرات یک متغیر که در طی انتقال از یک شرایط کاری ماندگار به حالت ماندگار دیگر از بین می رود . متاسفانه این تعریف می تواند هر پدیده غیر معمول در شبکه قدرت را پوشش دهد.

واژه دیگری که اغلب به عنوان مترادف کلمه گذر استفاده می شود. واژه موج ضربه ای است .

به طور کلی واژه گذرا را می توان به دو گروه موج ضربه ای گذرا و موج نوسانی گذرا تقسیم بندی نمود. این گروه ها شکل موج گذرای یک کوج جریان یا ولتاژ را توصیف می کنند.

الف - موج ضربه ای گذرا

یک پدیده ضربه ای گذرا ، تغییری ناگهانی در شرایط ماندگار ولتاژ ،جریان یا هر دو است که فرکانس به غیر از فرکانس قدرت دارد و پلاریته آن تک جهته (مثبت یا منفی) است . موج ضربه ای گذرا را معمولاً علاوه بر دامنه آن توسط زمان نرخ افزایش و کاهش آن مشخص می کنند . برای مثال یک موج ۲۰۰۰ ولت ، ۱/۲//۵۰ موجی است که در زمان ۱/۲ ثانیه به مقدار پیک خود (۲۰۰۰ ولت) رسیده و سپس در مدت ۵۰ میکروثانیه به نصف مقدار پیک خود می رسد. علت اصلی ایجاد پدیده ضربه ای گذرا ، صاعقه است . به دلیل وجود فرکانس های بالا در یک موج ضربه ، شکل موج آن به سرعت توسط پارامترهای سیستم تغییر کرده و هنگامی که از دید قسمت های مختلف شبکه قدرت مشاهده می شود ممکن است به طور عمده مشخصه های متفاوتی را از خود ارایه دهد. این امواج معمولاً در فواصل نزدیک به محل ورود خود به شبکه تاثیر عمده ای داشته وهر چقدر از محل برخورد دورتر می شوند تاثیر آن ها کمتر می گردد. موج ضربه ای گذرا می تواند فرکانس طبیعی مدارهای شبکه قدرت را تحریک نموده و موج نوسانی گذر پدید آورد که در زیر به توضیح آن پرداخته می شود.

ب - موج نوسانی گذرا

یک موج نوسانی گذرا ، تغییری ناگهانی در شرایط ماندگار ولتاژ ، جریان یا هر دو است که فرکانسی به غیر از فرکانس قدرت داشته و مقدار آن ، هر دو پلارتیه مثبت و منفی را دارد باشد . موج نوسانی گذرا ، موج ولتاژ و یا جریانی است که پلارتیه مقدار لحظه ای آن سریعاً تغییر می کند. این موج با محتوای طیفی (فرکانس های غالب) ، طول دوره زمانی و دامنه خود مشخص می گردد.

این پدیده را می توان به زیر گروه های زیر تقسیم بندی نمود.

- موج با فرکانس اصلی بزرگ تر از ۵۰۰ کیلوهرتز و طول دوره زمانی میکروثانیه ، موج نوسانی گذرای فرکانس بالا نام دارد . این پدیده گذرا اغلب پاسخ سیستم به یک موج ضربه ای گذرا خواهد بود.

- موج با فرکانس اصلی بین ۵ و ۵۰۰ کیلوهرتز و طول دوره زمانی چند ده میکروثانیه ، موج نوسانی گذرای فرکانس متوسط نامیده می شود . مثلاً برق دار کردن یک بانک خازنی پست به پشت ممکن است موجب ایجاد چنین موجی شود.
- موج با فرکانس اصلی کوچک تر از ۵ کیلوهرتز و طول دوره زمانی ۰/۳ و ۵۰ میلی ثانیه ، موجب نوسانی گذرای فرکانس پایین نامیده می شود. این گروه از امواج ضربه ای گذرا اغلب روی سیستم های توزیع وانتقال ایجاد شده و موجب بسیاری از حوادث می گردند. مشهورترین آن ها برق دار کردن یک بانک خازنی است که ولتاژ نوسانی گذرایی با فرکانس اصلی بین ۳۰۰ تا ۹۰۰ هرتز تولید می کند. اندازه پیک این موج ممکن است به ۲ پریونیت نیز برسد ، اما عموماً دامنه آن ها در محدود ۱/۳ تا ۱/۵ پریونیت و طول دوره زمانی آن ها ۰/۵ تا ۳ سیکل (بسته به میرایی سیستم) خواهد بود.

موج نوسانی گذرای با فرکانس اصلی کمتر از ۳۰۰ هرتز نیز ممکن است در سیستم های توزیع ایجاد شود با این امواج عموماً در ارتباط با پدیده های فرورزونانس و برق دار کردن ترانسفورماتور به وجود آیند . پدیده های گذرای ایجاد شده در اثر خازن های سری نیز در این رده قرار می گیرند.

ج - کلیات

توصیه های ارایه شده در این استاندارد ، پایه ای برای انتخاب مشخصات فنی مناسب جهت نیازهای طراحان و استفاده کنندگان تجهیزات خواهد بود. مشخصات مربوط به قابلیت تحمل تجهیز و سطوح آزمونی که این قابلیت را به اثبات برساند ، به مسئولیت سازندگان تجهیزات است . با توجه به پیچیدگی مسئله نمی توان مدل خاصی را که بتواند تمامی محیط هایی را که امواج ضربه در آن ها وجود دارد ارایه داد. پیچیدگی دنیای واقعی حالت گذرا در سیستم های برق نیاز به ساده سازی دارد تا بتوان یک سری آزمایش ها و قواعد استاندارد قابل قبول را مشخص ساخت . هم چنین پیچیدگی محیط موج های ضربه به نحوی است که هیچ کدام از شکل موج های آزمون نمی توانند به طور کامل محیط را شبیه سازی کنند و حتی موج های ضربه با دامنه کمی بالاتر می توانند همواره به

تجهیز اعمال شده و عملکرد آن را تحت تاثیر قرار دهند. به هر حال در خصوص شکل موج ولتاژ و جریان گذرا با استفاده از دسته بندی های خاصی که در این استاندارد صورت می گیرد می توان به ارزیابی قابلیت تحمل الکتریکی دستگاه پرداخت . به دلیل تنوع شرایط **مختلف اعمال شرایط خاص** بستگی به حالت مورد مطالعه خواهد داشت.

۷ ویژگی ها

۷-۱ روش مطالعه کیفیت برق از دیدگاه حالت گذرا

موج ضربه در شبکه های متناوب را می توان به صورت پدیده ای که با یک تابع زمانی مشخص می شود معرفی می نمود. واژه های مورد استفاده در تعریف این پدیده باید به نحوی باشد که مناسب بقیه کاربردها و کلیه اندازه گیری ها باشد . در هنگام طراحی تجهیزات و به منظور ایمن سازی آن ها در مقابل موج ضربه ، طراح باید بداند که موج ضربه چگونه و تحت چه شرایطی به تجهیزات می رسد. در حقیقت طراح باید در مورد کوپلاژهای مختلف اطلاع داشته باشد.

۷-۱-۱ روش مطالعه

هم چنان که مشخص است بررسی تغییرات ولتاژ می تواند اولین مرحله منطقی برای تعیین کیفیت برق در یک محل باشد . به هر حال ، نتایج به دست آمده دراین حالت نمی تواند کاملاً حقایق را دربرگیرد ، زیرا مشخصات موج های ضربه اندازه گیری شده در شرایط مختلف ، بسته به نوع شبکه و بارها تفاوت خواهند داشت . تغییرات فصلی و جغرافیایی محلی بر نتایج به دست آمده تاثیر فراوانی دارد . این مسئله به خصوص در مورد صاعقه مشهودتر است . مطالعه و اندازه گیری های انجام شده در طول یک پریود زمانی طولانی می تواند در تعیین وضعیت آماری حالت های گذرا نقش مهمی را ایفا نماید.

در گذشته ، اندازه گیری ها ومطالعات انجام شده در محل های مختلف به دلیل عرض باند دستگاه های اندازه گیری ، به اندازه گیری حالت های گذرا با دامنه زیاد و زمان پیشانی موج سریع محدود می گردید. با پیشرفت واصلاح وسایل اندازه گیری نتایج جدیدی حاصل شده است. وجود

محدودیت های قبلی در اندازه گیری ها ، خود موجب اندازه گیری غلط در زمینه کیفیت بـرق بـرای سال های متمادی گردید.

از سوی دیگر بازدید و مشاهده خرابی ها نیز می تواند باعث بـه وجـود آمـدن اطلاعـات مفیـدی در زمینه وقوع موج ضربه باشد .به عنوان مثال می توان به موارد زیر اشاره نمود :

۱) کاهش نرخ خرابی در موتورها به کمک افزایش تحمل ولتاژ آن ها

۲) بسیاری از لامپ های رشته ای در صورتی که تحت موج ضربه ۱۵۰۰ ولت به بالا قرار گیرند بـه دلیل ایجاد جرقه داخلی آسیب خواهند دید.

تغییرات فصلی و ساعت های مختلف روز می تواند بر تعداد وقوع صاعقه اثر بگذارد . اکثر موج های ضربه با دامنه بالا ، ناشی از صاعقه هستند بنابراین محل جغرافیایی و تغییرات فصلی می تواند بر نرخ وقوع موج ضربه تاثیر بگذارد.

۷-۱-۲ ساده سازی اطلاعات

به منظور شناخت بهتر و گرفتن نتایج مناسـب از اطلاعـات جمـع آوری شـده بـهتر اسـت کـه ایـن اطلاعات ساده شوند مرحله ساده سازی را می توان در سه مرحله خلاصه نمود :

۷-۱-۲-۱ مشخص سازی محیط و شرایط کاری در مدارات بدون سیستم حفاظتی

۷-۱-۲-۲ مشخص سازی مقدار بیشینه امواج ضربه که در محل امکان وقوع آن می رود.

۷-۱-۲-۳ آخرین مرحله بستگی به نقطه نظر طراحی یا مصرف کننده دارد. در این مرحله دو حـالت را می توان مدنظر قرار داد :

حالت اول : وقتی که تجهیز نسبت به پیک ولتاژ یا جریان ونیز دوره زمانی آن حساس مـی باشـد. در این حالت پارامترهای مهم ، دامنه و دوره زمانی موج ضربه می باشند.

حالت دوم : در صورتی که تجهیز به نرخ تغییر ولتاژ حساس باشد پـارامتر اصلـی نـرخ تغییـر ولتـاژ خواهد بود . اثرات نرخ تغییر می تواند باعث شود که بعضی تجهیزات در دامنه هایی بسیار پایین تـر از موج ضربه قابل تحمل (از نظر دامنه) آسیب ببینند.

۷-۲ توصیه هایی اجرایی مرتبط با شرکت های برق

۷-۲-۱ راهکارهای مقابله با حالت گذرای ناشی از کلید زنی خازن ها

در این بخش به چگونگی برخورد و نحوه مقابله با مسائل مرتبط با حالت گذرای کلید زنی خازنی پرداخته می شود و پیشنهاداتی که به عنوان دستورالعمل قابل استفاده می باشند ارایه می شود.

۷-۲-۱-۱ زمان وصل خازن

حالات گذرای ناشی از کلید زنی خازنی بسیار معمول بوده و معمولا آسیب رسان نمی باشند . بهرحال ، زمان وقوع عمل کلید زنی می تواند برای بعضی از بارهای حساس نامطلوب باشد. برای مثال ، همان طور که می دانیم مقدار بار در بعضی از ساعات روز بالا می رود و در نتیجه شرکت های برق تصمیم می گیرند که خازن هایی را وارد مدار سازند. اگر زمان این کلید زنی ها مصادف با شروع یک شیفت کاری شود ، ممکن است بارهای حساس مانند محرکه های با قابلیت تنظیم سرعت را از کار بیاندازد . راه حل ساده وارزان دراین مورد این است که زمان قابل قبول کلید زنی خازنی از دیدگاه مشترکین تعیین گردد. برای مثال ،ممکن است کلید زنی خازن ها را چند دقیقه قبل از شروع شیفت کاری و قبل از بالا رفتن واقعی مصرف انجام داد . دراین لحظه ممکن است که وصل خازن ها لازم نباشد ولی این مورد احتمالا مشکلی را ایجاد نمی کند. اگر نتوان از چنین روشی استفاده نمود باید راه حل های دیگری را جستجو کرد.

۷-۲-۱-۲ قراردهی مقاومت در مرحله کلید زنی

قراردادن مقاومت می تواند حالت گذرای ناشی از کلید زنی را به طور قابل ملاحظه ای کاهش دهد. اولین پیک موج گذرا آسیب رسان ترین نیز می باشد . قرار دادن مقاومت در مدار کلید زنی سبب می شود که اولین پیک موج گذرا به صورت قابل ملاحظه أی میرا گردد. کلیدهای همراه با اندوکتانس نیز برای این منظور به کار برده می شوند. اندوکتانس برای محدود کردن مولفه های فرکانس بالا مفید می باشد . در بعضی مواقع می توان به طور عمدی از اندوکتانسی که دارای مقاومت قابل ملاحظه ای است استفاده شود. این کار باعث شده که حالت گذرا سریعا میرا شود.

۷-۲-۱-۳ اتصال سنکرون

روش دیگر برای کاهش حالت گذرای ناشی از کلید زنی استفاده از وصل کننده های سنکرون می باشد . روش کار این گونه وسایل بدین صورت است که زمان وصل کنتاکت ها به نحوی انتخاب می شود که ولتاژ خازن برابر با ولتاژ سیستم باشد. این کار از تغییر پله ای ولتاژ که معمولا در کلید زنی خازن ها پدید می آید . جلوگیری می کند . زمان بندی وصل کنتاکت ها به وسیله پیش بینی زمان ولتاژ صفر تعیین می شود . موفقیت این نوع کلیدها بستگی به مدت زمان وصل کنتاکت ها دارد.

۷-۲-۱-٤ محل نصب خازن

در فیدرهای توزیع ، خازن ها ممکن است نزدیک به یک مصرف کننده حساس و یا در محلی که اضافه ولتاژ گذرا امکان تقویت شدن را داشته باشد نصب شود. اغلب این امکان وجود دارد که برای حل مشکل ، خازن ها را به محل دیگری از خط و یا به شاخه دیگری از شبکه انتقال داد . اضافه نمودن میرایی سیستم با افزودن مقاومت در مدار و یا قرار دادن امپدانس بیشتر بین خازن و مشترکین حساس اساس این کار می باشند. موفقیت این روش بستگی به عوامل مختلفی دارد. البته ، اگر خازن در کنار یک بار بزرگ قرار گرفته باشد تا توان راکتیو لازم آن را تامین نماید نمی توان بانک خازنی را جا به جا نمود . بنابراین در این حالت باید روش هایی مانند کلید زنی در زمان های غیر بحرانی را دنبال کرد.

۷-۲-۲ راه کارهای مقابله با حالت گذرای ناشی از موج صاعقه

بسیاری از مسائل کیفیت برق ناشی از صاعقه می باشند. موج ضربه با ولتاژ بالا نه تنها باعث آسیب رساندن به تجهیزات می گردد. بلکه خطای موقتی که بعد از برخورد صاعقه به خط پیش می آید می تواند باعث قطعی یا فلش ولتاژ شود. در ادامه روش هایی را که شرکت های برق برای کاهش اثر برخورد صاعقه می توانند مورد استفاده قرار دهند توضیح داده خواهد شد.

۷-۲-۲-۱ استفاده از سیم گارد در خطوط

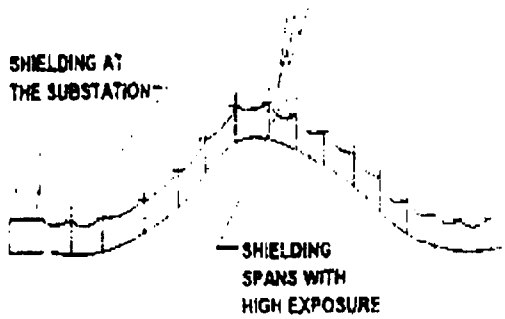
یکی از روش هایی که شرکت های برق می توانند برای جلوگیری از برخورد مستقیم صاعقه به هادی های فاز انجام دهند استفاده از سیم گارد برای خطوط و تاسیسات می باشد . این راه کار بسیار

مفید بوده ولی به دلیل احتمال وقوع قوس برگشتی نمی توان از بروز قوس به طور کامل جلوگیری نمود.

استفاده از سیم گارد در شبکه های انتقال و در پست ها مرسوم است . اما در خطوط توزیع به دلیل هزینه زیاد ناشی از قراردهی سیم زمین در بالای هادی های فاز این روش کمتر مورد استفاده قرار می گیرد. زیرا در این حالت احتیاج به پایه های بلند تری بوده که بالطبع هزینه اضافی را به وجود می آورد.

وقتی صاعقه به سیم گارد برخورد می کند ، ولتاژ در بالای پایه به اندازه کافی بالا می رود و ممکن است پدیده قوس برگشتی ایجاد شود که نتیجه آن ایجاد خطای موقت خواهد بود. به منظور کاهش احتمال وقوع قوس برگشتی ، مسیر اتصال زمین پایه به سمت پایین باید به نحوی انتخاب شود که فاصله کافی با هادی های فاز داشته باشد . هم چنین ، مقاومت زمین نقش مهمی را در کوچک نگه داشتن ولتاژ به وجود آمده بازی می کند و نتیجتا باید تا حدامکان کوچک انتخاب شود.

توصیه می شود در بخش هایی از خطوط توزیع که احتمال برخورد صاعقه در آن ها زیاد است از سیم گارد استفاده شود تا تعداد خطاها کاهش یابد . با این کار کیفیت برق نیز بهبود خواهد یافت . شکل ۱ این موضوع را به تصویر کشیده است . عموما بهتر است که در چند اسپن نزدیک به پست ها از سیم گارد استفاده شود . پست ها را عموما با استفاده از سیم گارد حفاظت می کنند و در نتیجه از ورود جریان های بزرگ به پست که می تواند باعث صدمه به ترانسفورماتور پست و کلیدها گردد جلوگیری خواهد شد . بخشی از خط که در مناطق کوهستانی و بلندی ها قرار دارد به طور معمول بیشتر در معرض صاعقه قرار می گیرد. ایجاد حفاظت کامل دراین بخش از خط نیز راه موثری در کاهش خطاهای ناشی از صاعقه می باشد . هم چنین بلند تر کردن برج به نحوی که زاویه حفاظت بهتری را بتوان ایجاد کرد می تواند در بهتر کردن وضعیت خط موثر باشد.



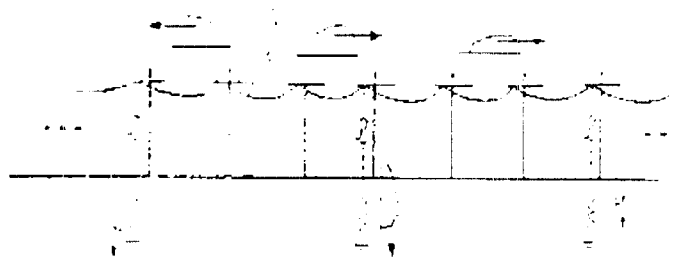
شکل ۱- استفاده از سیم گارد در قسمتی از یک سیستم توزیع

۷-۲-۲-۲ استفاده از برق گیرها

راه کار دیگری که در مناطق صاعقه خیز می توان استفاده نمود استفاده از برق گیرها است. معمولا قوس برگشتی ابتدا در مقره های برج رخ می دهد. بنابراین ، جلوگیری از بروز قوس برگشتی در مقره ها به نحو موثری قطعی ها را کاهش خواهد داد. با توجه به هزینه کمتر ، استفاده از برق گیرها اقتصادی تر از به کار بردن سیم گارد خواهد بود.

همان طور که در شکل ۲ نشان داده شده است هربرق گیر بخشی از جریان صاعقه موجود در خط را به زمین منتقل می کند. مقدار جریانی که هر برق گیر جذب می کند بستگی به مقاومت زمین دارد. دراین طرح فاصله بین برق گیرها به اندازه کافی نزدیک هم انتخاب می شود تا ولتاژ ایجاد شده در برج های غیر حفاظت شده از سطح عایقی مقره های خط (BIL) بیشتر نشود . معمولا در هر دو یا سه پایه یک برق گیر قرار داده می شود. در صورتی که فیدر بار بسیار حساسی را تغذیه می کند و یا اینکه مقاومت زمین قیدر بالا باشد شاید لازم شود که برق گیرها را بر روی هر پایه قرار داد. محاسبات حالات گذرا برای آرایش های مختلف ، تعداد برق گیرهای لازم را مشخص خواهد نمود.

پیشنهاد می گردد که با برنامه های کامپیوتری عملکرد آرایش های مختلف مورد بررسی قرار گیرد تا بهترین طرح از نظر اقتصادی و فنی انتخاب شود.



شکل ۲- جلوگیری از نفوذ جریان صاعقه در خط توسط برق گیرها

۳-۷ توصیه هایی مرتبط با مستركين صنعتی و شرکت های برق در طرف فشار ضعیف

۱-۳-۷ پیشنهاداتی در خطوص حفاظت ترانسفورماتور

عموما از دو روش برای حفاظت ترانسفورماتور استفاده می شود :

- تغییر طراحی ترانسفورماتور
- به کارگیری برق گیر در ترمینال های ثانویه ترانسفورماتور

کاملا واضح است که روش اول در هنگام طراحی ترانسفورماتور باید مورد توجه قرار گیرد و زمانی که ترانسفورماتور ساخته شد دیگر نمی توان تغییری در آن ایجاد کرد . با توجه به نکات فوق مناسب ترین روش ، استفاده از برق گیرها در طرف فشار ضعیف است .

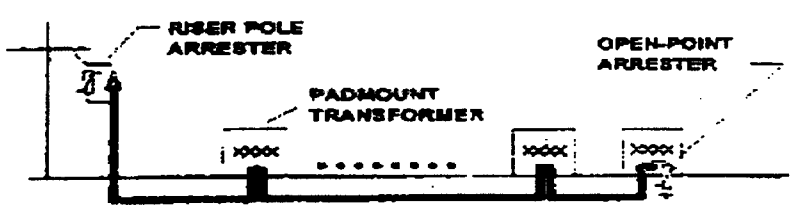
برق گیرهای طرف اولیه بایدکاملا نزدیک به ترانسفورماتور نصب شوند (با کمترین طول سیم رابط). تجربیات جدید نشان می دهد پیشانی موج ضربه از آنچه قبلا تصور می رفت تیزتر است و بنابراین به حفاظت بهتری نیاز دارد . حفاظت ترانسفورماتور را می توان با استفاده از برق گیر در طرف ثانویه

کامل نمود. برق گیر ها را هم می توان بر روز ترانسفورماتور هم در داخل ترانسفورماتور نصب کـرد. انتخاب دقیق برق گیر در طرف ثانویه کامل نمود. برق گیرها را هم می توان بـر روی ترانسـفورماتور هم در داخل ترانسفورماتور نصب کرد. انتخاب دقیق برق گیر نیاز به شبیه سازی سیسـتم در شـرایط گذرا دارد که این نـوع مطالعه با برنامه هایی مانند (عبارت EMTP) امکان پذیـر اسـت . بـرق گیر ها بر خلاف برق گیرهای اکسید روی (Zno) باعث ایجاد فلش ولتاژ می گردند.

۷-۳-۲ پیشنهاداتی درخصوص حفاظت کابل

یکی از مهم ترین علل قطع برق ، خرابی کابل های زیرزمینی است . هر چه از عمر کابل مـی گذرد ، عایق آن ضعیف تر شده و حتی یک اضافه ولتاژ گذرای کوچک نیز می تـوان موجـب خرابـی کـابل شود.

به هر حال استفاده از برق گیر می تواند طول عمر کابل را زیاد کند . با توجه به مـیزان اضافـه ولتـاژ برق گیر می تواند تنها درابتدای کابل (برج) استفاده شود یا علاوه بر آن برق گیـری نـیز در انتـهای کابل (برق گیر نقطه مدار باز)به کار رود (رجوع شود به شکل ۳).



شکل ۳- کاربرد برق گیرها برای حفاظت کابل زیر زمینی

برای حفاظت بالاتر می توان یکی از روش های زیر را به کار برد :

- اضافه کردن " برق گیر نقطه مدار باز "
- اضافه کردن برق گیر سوم در یکی مانده به آخرین ترانسفورماتور
- اضافه کردن برق گیر در هر ترانسفورماتور
- اضافه کردن برق گیرهای ویژه با ولتاژ تخلیه کم
- تزریق مایع عایقی به کابل
- استفاده از شمای برق گیر اسکات در اولیه

با توجه به اینکه طول عمر کابل تابعی نمایی از تعداد ضربه هایی است که با دامنه مشخص بـه کـابل وارد می شود . صدمه دیدگی کابل را می توان با رابطه زیر تعریف نمود :

$D = NV^c$ $C = 10 - 15$

بنابراین هر وسیله ای که بتواند دامنه موج های ضربه را کاهش دهد قادر به افزایش طول عمـر کـابل خواهد بود.

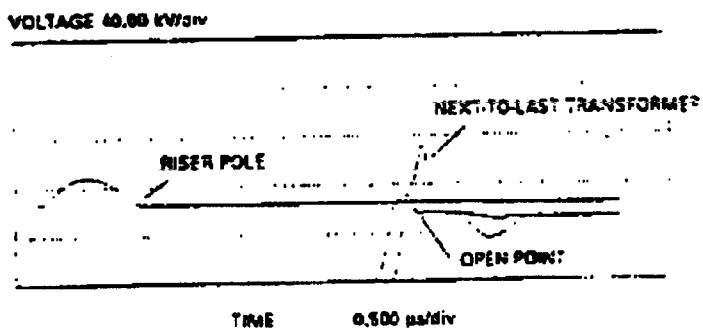
۷-۳-۲-۱ برق گیر نقطه مدار باز

دامنه موج ولتاژ هنگامی که به یک نقطه مدار باز می رسد دو برابر می شود . بنابراین پیک ولتاژ ظاهر شده روی کابل حدود دو برابر ولتاژ تخلیه برق گیر روی برج است . هنگامی که امکان خرابـی کـابل به دلیل بالا بودن تعداد ضربات صاعقه افزایش می یابد ، راه حل نخست اضافه نمـودن بـرق گیـر در نقطه مدار باز خواهد بود.

۷-۳-۲-۲ ترانسفورماتور یکی مانده به آخر

برق گیرهای نصب شده در نقطه مدار باز ممکن است نتوانند به طور کامل صدمه دیدگی هـای کـابل را از بین ببرند . در صورتی که برق گیر نقطه مدار باز موجود باشد ، بـزرگتریـن تنـش اضافـه ولتـاژ معمولا در ترانسفورماتور یکی مانده به آخر رخ می دهد . این پدیده شکل ٤ نشان داده شده اسـت . قبل از اینکه برق گیر نقطه مدار باز شروع به عمل کند ، موج رسیده را درست شـبیه یـک مـدار بـاز منعکس می کند . بنابراین موج ولتاژی وجود خواهد داشت که تقریبا نصف ولتاژ تخلیه ولتاژ تخلیـه

بوده و به سمت برق گیر روی برج منعکس می شود . اگر شکل موج دارای شیب بالایی باشد ممکن است موج ولتاژ بزرگتر نیز شود . نتیجه حالت فوق ، پالس بسیار کوتاهی خواهد بود که در بالای موج ولتاژ سوار شده و هنگامی که به سمت برق گیر روی برج حرکت می کند سریعا تضعیف می شود . به هر حال در ترانسفورماتورهایی که در مجاورت نقطه مدار باز قرار گرفته اند تنش های اضافی قابل توجه ای ایجاد خواهد شد . این مشکل را می توان با اضافه نمودن برق گیر در ترانسفورماتور یکی مانده به آخر حل نمود. در حقیقت این برق گیر عملا موج ها را از بین برده و حفاظت موثری را برای بقیه کابل ایجاد می کند.



شکل ٤- ولتاژهای موجی روی کابل در حالی که از یک برق گیر در نقطه مدار باز استفاده شده است.

۷-۳-۲-۳ برق گیرهای با ولتاژ تخلیه کوجکتر

تکنولوژی های جدیدی برای ساخت برق گیر ، به خصوص برای حفاظت کابل های زیر زمینی استفاده شده است . هدف رسیدن به ولتاژ تخلیه کوجکتر در زمان وجود موج صاعقه بوده به شرط

آن که شرایط نرمال سیستم را هم به توانند تحمل کنند. یکی از ایـن تکنولـوژی هـا اسـتفاده از بـرق گیرهای اکسید روی می باشد . با استفاده از این برق گیرها ولتاژهای تخلیه حدود ۲۰ تـا ۳۰ درصـد کاهش می یابند.

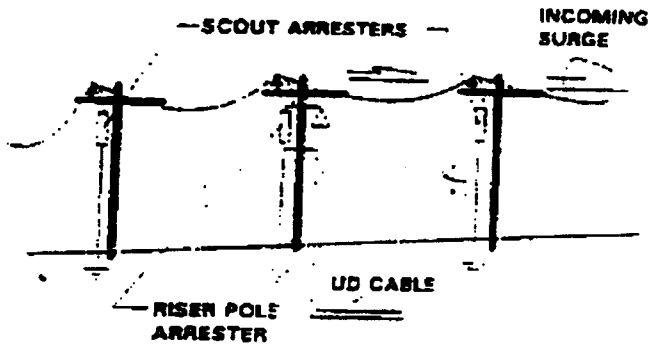
۷-۳-۲-٤ تزریق مایع

یکی از جدیدترین تکنولوژی ها ، استفاده از یک مایع تجدید شونده و تزریق آن به کابل است . ایـن مایع خلل هایی که در عایق در اثر پیری به وجود می آیند پوشانده و طول عمر کابل را افزایـش مـی دهد.

۷-۳-۲-۵ شمای برق گیر اسکات

ایده استفاده از شمای برق گیر اسکات برای حفاظت کابل های زیر زمینی شرکت هـای بـرق سـالیان متمادی است که تحت بررسی است . به هر حال به دلیل هزینه اولیه بالا ، این ایده زیاد مورد استفاده قرار نگرفته است . مفهوم این ایده بسیار ساده است : برق گیرهایی را در هر دو طرف برق گیـر روی برج متصل به کابل قرار دهید تا انرژی موج صاعقه ای را که وارد کابل می شود کاهش دهد. شکل ۵ شمای اصلی این ایده را توضیح می دهد. موج صاعقه در راه رسیدن به کابل ابتدا بـا یـک بـرق گیـر روبرو شده و قسمت زیادی از جریان در آن نقطه به زمین منتقل می شود . در نتیجه جریان کمتری به برق گیر روی برج رسیده ولتاژ تخلیه کوچکتری حاصل خواهد شد. برای افزایـش مـیزان حفـاظت ، اسپن های اول در دو طرف برج متصل به کابل را نیز می توان به سیم گارد مجهز نمود.

با توجه به این که هزینه تعویض یک ترانسفورماتور بیش از هزینه اولیه استفاده از این طرح است می توان از این سیستم استفاده نمود. تحقیقات نشان می دهند در حالی که ولتـاژ تخلیـه نـامی بـرق گیـر ممکن است در حدود چند درصد کاهش یابد . اما مزیت اصلـی کـاهش نـرخ افزایـش ولتـاژ ضربـه ورودی به کابل خواهد بود.



شکل ۵ - شمای برق گیر اسکات

۴-۷ دستورالعمل هایی در مورد محل قرار گیری تجهیزات مصرف کنندگان و حفاظت آن ها

- درصورتی که در طبقه بالای ساختمان ها از سیستم حفاظتی استفاده شده باشد با توجه به وجود هادی های متعددی که بالای ساختمان قرار می گیرند باید از نصب تجهیزات الکترونیکی حساس در این طبقات خودداری شود.
- شبیه به آنچه در بالا پیشنهاد گردید از قراردهی تجهیزات حساس الکترونیکی نزدیک به دیوار خارجی ساختمان به خصوص در گوشه های ساختمان خودداری شود (به دلیل عبور سیستم برق گیر)
- از قراردهی تجهیزات حساس در نزدیکی سازه های فلزی بلند خودداری شود. این بخش از ساختمان مسیر مناسبی برای عبور جریان صاعقه به زمین می باشد.
- صاعقه می تواند هم چنین باعث ایجاد حالت گذرا در سیستم توزیع (سیم کشی) ساختمان شود. در برابر این شرایط باید سیستم ها حفاظت شوند. این حفاظت ها شامل حفاظت منبع تغذیه ورودی به ساختمان می باشد. در صورتی که ساختمان دارای چندین منبع تغذیه ورودی و

یا تابلوی ورودی باشند تمامی این منابع باید حفاظت شوند به نحوی که کیفیت نامناسب ولتاژ به تجهیزات وارد نشود.

- کابل های برقی که از ساختمان خارج می شوند نیز باید حفاظت گردند زیرا در این حالت شرایط گذرا می تواند به ساختمان برگردد. تجهیزات حساس خارجی را باید به صورت محلی حفاظت نمود.

۵-۷ نکاتی در ارتباط با ایمنی تجهیزات با ولتاژ فشار ضعیف

دراین بخش پیشنهاداتی ارایه خواهد شد که بتوان به کمک آن ها ایمنی تجهیزات متصل به ولتاژ رده پایین را در مقابل موج ضربه افزایش داد.

ایمن سازی تجهیزات در مقابل امواج گذرا علاوه بر اینکه یک مسئله فنی به شمار می آید یک مسئله اقتصادی نیز می باشد . زیرا روشی که امکان تحمل کافی در مقابل موج ضربه را برای یک دستگاه به وجود آورد می تواند غیر اقتصادی بوده از سویی دیگر نیز شاید از نظر تکنیکی و فنی قابل دستیابی نباشد.

یک طراح می تواند بسته به نیازهای کاری تجهیزات از یک سو و نوع محیطی که این وسیله در آن مورد استفاده قرار می گیرد به یک طراحی سیستم حفاظتی مناسب دست یابد . دراین حالت دو مرحله باید مدنظر قرار گیرد . اولین مرحله تشخیص نوع محیطی است که وسیله باید در آنجا نصب گردد و دومین مرحله انتخاب مشخصه مناسبی براساس نیازهای دستگاه می باشد.

ایمن سازی تجهیزات در مقابل موج ضربه در محل برق ورودی به تجهیز را می توان با طراحی مناسب تجهیز براساس شرایط واقعی محیطی و نیز میزان واقعی اضافه ولتاژ انجام داد. مسئله ای را که باید دراین طراحی مورد نظر قرار داد هماهنگی بین قابلیت تحمل در مقابل موج ضربه قسمت های مختلف مدارات داخلی تجهیزات می باشد . برای سیستم های ساده کافی است که عملکرد تجهیزات حفاظتی در مقایسه با قابلیت تحمل تجهیزات مورد بررسی قرار داد . برای سیستم های پیچیده تر و یا سیستم های غیر خطی تخمین عملکرد مدارات حفاظتی در مقابل موج ضربه بسیار مشکل می باشد و بنابراین نیاز به آزمایش های دقیق خواهد بود.

تعیین قابلیت تحمل دستگاه با در نظر گرفتن شرایط اقتصادی باید انجام شود. طراحی محافظه کارانه تجهیزات به منظور ایمنی آن دربرابر بزرگترین موج ضربه ای که امکان بروز آن وجود دارد منجر به هزینه های اضافی خواهد شد.

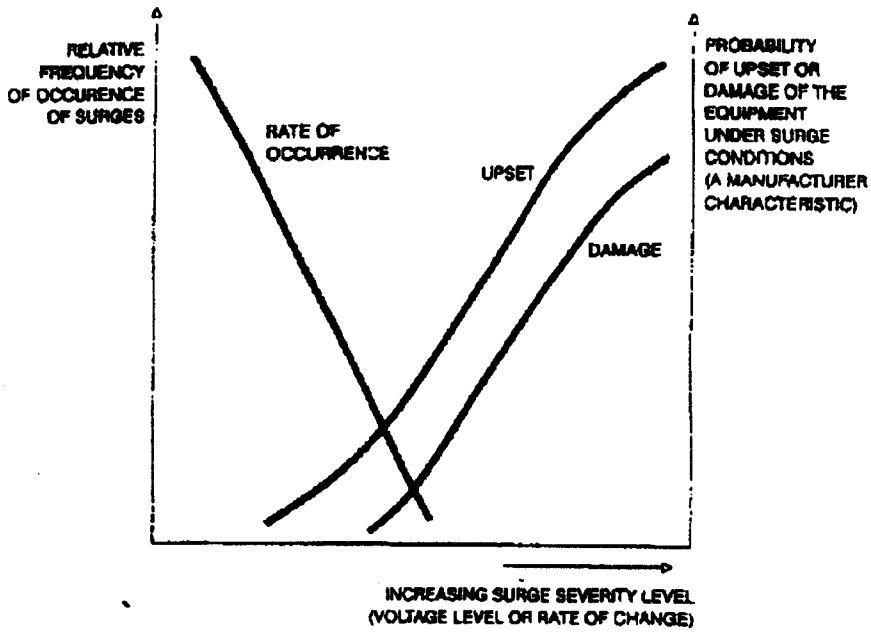
مشخص کردن مقدار بیشینه تنشی که امکان به وجود آمدن آن وجود دارد نمی تواند حفاظت کاملی را ایجاد کند. دلایل این امر را می توان چنین برشمرد :

الف - خرابی دستگاه ممکن است در مقدار پایین تری از بیشینه تنش ایجاد شده اتفاق افتد . بنابراین اطلاعات غیر دقیقی نسبت به سطحی که باعث خرابی دستگاه شده است به دست می آید.

ب - این امکان وجود دارد که دستگاه در مقابل دامنه بیشینه موج ضربه امکان پذیر ایستادگی نماید ولی در برابر امواج ضربه ای ضعیف تر خراب شود.

به طور عمومی می توان گفت که سطح ایمنی هر تجهیز خاص یک پارامتر تک مداره نمی باشد بلکه به وسیله یک سری توزیع آماری بیان می شود. علاوه بر آن ، مقدار موج ضربه بر روی ورودی تجهیز نیز دارای توزیع آماری است . بنابراین ضربه پذیری تجهیزات در برابر یک سطح موج ضربه از تداخل احتمالی این دو توزیع به دست می آید (رجوع شود به شکل ٦) .

محیط الکترومغناطیسی که یک تجهیز خاص قرار است در آن کار بکند متغیر می باشد . علاوه بر آن ، محیط هایی که در دید اول ثابت فرض می شوند نیز در اثر مرور زمان تغییر می کنند زیرا عوامل مختلفی شامل عوامل جغرافیایی ، محیطی ، فصلی و تغییرات سالانه در به وجود آمدن حالت گذرا دخالت دارند.



شکل ٦- مفهوم ایمنی در برابر موج ضربه

٦-٧ مشخصات کامل امواج ضربه

برای آزمایش تجهیزات لازم است که شکل موج ضربه و پارامترهای آن مشخص شود تا به کمک آن بتوان تجهیزات را تحت یک سری آزمایش یکسان قرار داد و از عملکرد آن مطمئن گردید. به همین منظور در ادامه به تعاریف مربوط به انواع امواج ضربه و پارامترهای آن پرداخته می شود. از این اشکال و روابط نیز می توان برای شبیه سازی کامپیوتری نیز استفاده نمود.

٦-٧-١ امواج ضربه استاندارد

موج ضربه ترکیبی 8/20 و 1.2/50 میکروثانیه

این نوع موج ضربه توسط دستگاه تولید موج ضربه ایجاد می شود. موج ضربه ولتاژ 1.2/50 μ S ولتاژ ضربه ای تولید شده در حالت مدار باز و موج ضربه جریان 8.20 μ S جریان ضربه ای در شرایط اتصال کوتاه می باشد . شکل موج واقعی توسط مشخصه واقعی ژنراتور و امپدانس دستگاهی که قرار است موج به آن اعمال شود تعیین می شود.

مشخصات موج ولتاژ ضربه 2/50 μ S به شرح زیر است :

پیشانی موج : 1.2 μ S ± .36 μ S

دم موج : 50 μ S ± 10 μ S

پیشانی موج برای ولتاژ ضربه ای به صورت زیر تعریف می شود :

پیشانی موج = 1.67 (t90 – t30) (۱)

دم موج به فاصله زمانی بین مرکز مختصات مجازی و زمانی که ولتاژ در پشت موج به ۵۰٪ ولتاژ ماکزیمم می رسد گفته می شود . مرکز مختصات مجازی ،نقطه ای بر روی محور t می باشد که از محل برخورد خط اتصال بین نقاط ۳۰٪ و ۹۰٪ موج ضربه ولتاژ و خط V = 0 به دست می آید.

مشخصات موج جریان ضربه ای 8/20 μ S به شرح زیر می باشد :

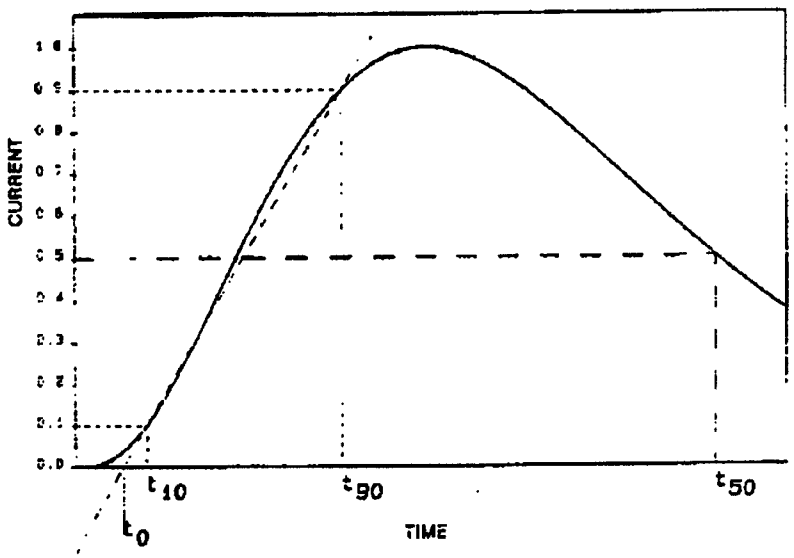
پیشانی موج : 8 μ S (+1.0 , -2.5)

دم موج : 20 μ S (+8 , -4) μ S

زمان پیشانی موج برای موج ضربه جریان از رابطه زیر حاصل می شود :

پیشانی موج = 1.25 (t90 – t10) (۲)

در این حالت نیز مانند حالت قبل مدت زمان دم موج به فاصله زمانی مرکز مجازی مختصات و زمانی که موج به ۵۰ مقدار نهایی برسد اطلاع می گردد (رجوع شود به شکل ۷).



شکل ۷- نمایش موج ولتاژ ضربه ای 8/20 میکروثانیه همراه با نمایش پارامترهای لازم

انتخاب مقدار ولتاژ پیک و جریان پیک باید براساس شرایط واقعی صورت پذیرد . امپدانس موثر منبع یعنی نسبت V_p/I_p مقدار $2.0\Omega \pm 0.25\Omega$ برای آزمایش سطح عایقی تجهیزات استفاده می شود . در این آزمایش عایق تا قبل از شکست تقریبا به صورت مدار باز می باشد . از موج ضربه جریان $8.20\ \mu S$ برای تزریق مقادیر بالای جریان به تجهیزات حفاظتی در برابر موج صاعقه استفاده می شود (مانند برق گیر ها).

۷-۶-۲ انواع دیگر امواج ضربه ای

سه موج ضربه دیگری که می توان از آن ها نام برد شامل موج گذرای سریع الکتریکی (EFT)[1]، موج $10/1000\ \mu S$ تک جهته و موج حلقوی ۵ کیلوهرتز می باشد . هر یک از این امواج دارای دامنه کاربرد مشخص و واحدی می باشند که به ترتیب می توان به باز شدن کنتاکتورها ، عملکرد فیوز و کلید زنی خازنی اشاره نمود.

1- Electrical Fast Transient Surge

۷-۶-۲-۱ موج ولتاژ گذرای سریع الکتریکی

این موج شامل تعداد پالسی تکرار شونده در یک مجموعه با مدت زمان مشخص است . شکل موج یک پالس تک از این موج به صورت زیر تعریف می شود :

زمان خیز موج :5 ns ± 1.5 ns

دم موج : 50 ns ± 15ns

زمان خیز موج به فاصله زمانی بین نقاطی که ولتاژ از مقدار ۱۰٪ به مقدار ۹۰٪ در قسمت بالارونده می رسد اطلاق می گردد. دم موج به فاصله زمانی بین نقطه ۵۰٪ در قسمت بالارونده و نقطه ۵۰٪ در قسمت پایین رونده گفته می شود. در مورد این موج ها نرخ تکرار پالس ها به صورت تابعی از پیک ولتاژ مدار باز به صورت زیر داده می شود :

برای 2kv ≤ پیک : 5kHz ± 1kHz

برای 2kv < پیک : 2.5 kHz ± 0.5 kHz

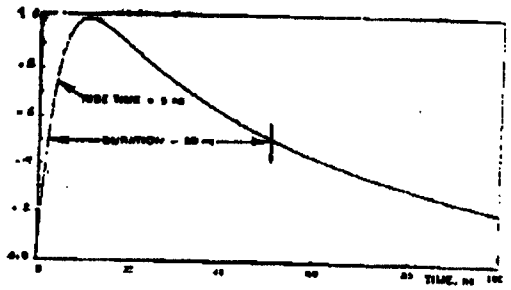
پریود مجموعه های تکراری برابر با 300 ms 60 μ S ± می باشد. در شکل ۸ یک تک پالس نمایش داده شده است.

دامنه موج EFT به شرح زیر است :

دامنه پالس های ولتاژ گذرای سریع الکتریکی توسط استاندارد IEC شماره ٤-٦٠٨٠١ به عنوان ولتاژ آزمایش مدار باز مشخص شده است و شکل موج آن وقتی که به بار 50 Ω وصل می شود تعیین می گردد .امپدانس ژنراتور تولید کننده موج نیز در بین فرکانس های 100MHz تا 1MHz باید 50 Ω باشد.

هنگامی که موج پالسی شکل به دستگاه تحت آزمایش اعمال شود جریان آن نامشخص خواهد بود زیرا جریان آن به امپدانسی که وسیله تحت آزمایش در آن فرکانس از خود نشان می دهد وابسته است .

IEC شماره ٤-٦٠٨٠١ پنج سطح مختلف را برای آزمایش پیشنهاد نموده است . به منظور کم کردن دسته بندی ها می توان از جدول ۱ استفاده نمود.



شکل ۸ - نمایش موج پالس EFT و پارامترهای آن

جدول ۱- رده بندی سطوح ولتاژ برای EFT

گروه	پیک ولتاژ در شرایط مدار باز
I	1kv
II	2kv
II	3kv

۷-۶-۲-۲ موج ضربه 10/1000 μ S

پیشانی موج و دم موج به صورت زیر تعریف می شود :

- ولتاژ مدار باز

پیشانی موج : 10 μ S (+0.-5) μ S

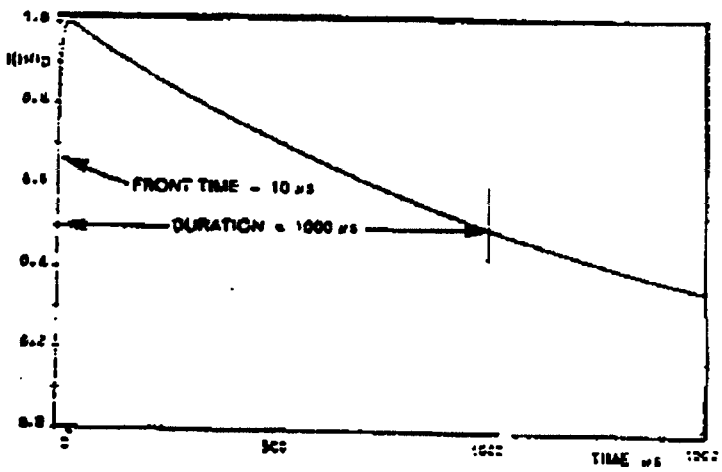
دم موج : 1000 μ S (+1000,-0)

- جریان اتصال کوتاه

پیشانی موج : 10 μ S (+0.-5) μ S

دم موج : 1000 μ S 200 μ S

هدف از این آزمایش اعمال انرژی بالا به دستگاه مورد آزمایش می باشد نمایشی از این شکل موج در شکل ۹ نشان داده شده است.



شکل ۹ - موج ولتاژ ضربه 10/1000 μ S

- دامنه موج

دم موج طولانی اثر اندوکتانس را کاهش می دهد. مقدار پیک ولتاژ مدار باز را با توجه به شرایط مختلف می توان تعیین نمود . نسبت بین پیک ولتاژ مدار باز به پیک جریان اتصال کوتاه یعنی V p/Ip در جدول ۲ آمده است.

جدول ۲- سطوح برای شکل موج 10/100 μ S

امپدانس منبع	پیک ولتاژ ضربه	محیط
-	-	مسکونی
1.0 Ω	1.0Upk	تجاری
0.25 Ω	1.3Upk	صنعتی

پیک ولتاژ ضربه ای متناسب با ولتاژ پیک سیستم Upk می باشد. مقادیر نشان داده شده مقدار ولتاژ ضربه را نشان می دهد و بدون در نظر گرفتن زاویه فاز ولتاژ اصلی (فرکانس ۵۰ Hz) محاسبه شده

اند. برای مثال پیک ولتاژی که به یک تجهیز قرار گرفته در انتهای یک کابل طویل بعد از رفع خطا توسط فیوز اعمال می شود و در نزدیکی پیک ولتاژ فرکانس قدرت (50Hz) اتفاق می افتد به صورت زیر می باشد.

اگر ولتاژ موثر N–L سیستم برابر با ۲۲۰ ولت فرض شود. تجهیز در یک محیط صنعتی قرار داشته باشد خواهیم داشت :

$$V_{total} = 220\times\sqrt{2}(\sin ewave) + 1.3\times 220\times\sqrt{2}(surgealone) = 715 \qquad (۳)$$

۷-۶-۲-۳ موج حلقوی ۵ کیلوهرتز

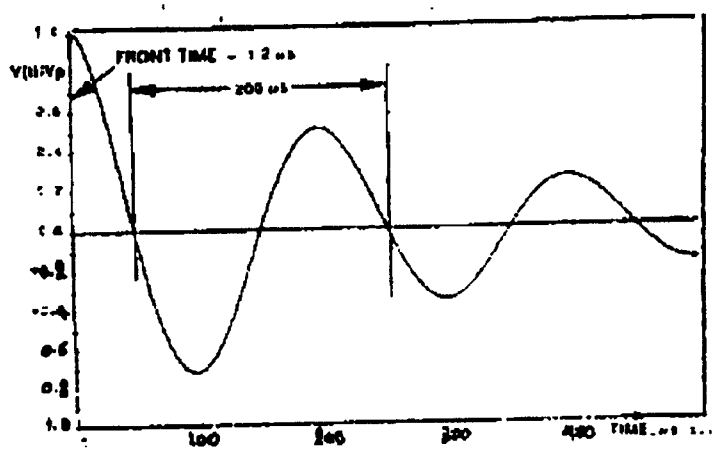
این موج با پارامترهای ولتاژ مدار باز آن مشخص می شود.

زمان خیز موج : 1.5 μ s± 0.5 μ s

فرکانس : 5 KHz ± 1KHz

نسبت بین پیک های مجاور با پلاریته مخالف : ٦٠ تا ٨٠ درصد

زمان خیز موج به اختلاف زمان بین نقاط ۹۰٪ تا ۱۰٪ در قسمت بالا رونده اولین پیک گفته می شود. فرکانس مومج از اولین و سومین عبور از صفر بعد از اولین پیک مشخص می شود . شکل ۱۰ این شکل موج را نشان می دهد.



شکل ۱۰ - موج حلقوی ۵ کیلو هرتز

۷-۶-۱-٤ دامنه موج

دامنه موج در جدول ۳ داده شده است .

جدول ۳ - سطوح برای موج حلقوی ۵ کیلوهرتز

امپدانس مبلغ	پیک ولتاژ ضربه	محیط
-	-	دور از بانک های خازنی سوئیچ شونده
۵ تا ۱ Ω	۱/۰ U_{PK}	شرایطی بین حالت بالا و پایین
۰/۵ تا Ω	۱/۸ U_{PK}	نزدیک به بانک های خازن سوئیچ شونده

مقادیر نشان داده شده در جدول پیک ولتاژ ضربه را مشخص می کند. بـرای مثـال پیـک ولتـاژ کلـی اعمال شده به یک دستگاه در صورتی که پدیده قوس مجدد در نزدیکی پیک ولتاژ سینوسی در هنگام کلید زنی خازن اتفاق بیفتد به صورت زیر می باشد . اگر ولتاژ سیستم ۲۲۰ ولت موثر باشد در نتیجـه خواهیم داشت .

$$V_{total} = 220\times\sqrt{2}(\sin ewave) + 1.8\times 220\times\sqrt{2}(surgealone) = 871 \qquad (٤)$$

۷-۶-۲ معادلات ریاضی برای شکل موج ها

نمایش ریاضی امواج ضربه ای معرفی شده در بالا در زیر آمده است . این معـادلات و مقـادیر ثـابت زمانی ها برای طراحی موج ضربه و شبیه سازی کامپیوتری آن ها مفید می باشد . شایان ذکر است که اثرات تغییرات پارامترهای مدار تولید موج ضربه و نیز اثر امپدانس بار بر روی موج بـه دسـت آمـده تاثیر می گذارد.

برای موج جریان ضربه ای 8/20 μ S معادله ریاضی به صورت زیر می باشد.

$$I(t) = AI_p t3\exp\left(\frac{-t}{\tau}\right) \qquad (۵)$$

$$\tau = 3.911\mu s$$

$$A = 0.1243(\mu s)^{-3}$$

برای موج ولتاژ ضربه ای 1.2/50 μ S از معادله ریاضی زیر استفاده می شود.

$$V(t) = AV_P(1-\exp\frac{-t}{\tau 1})\exp\left(\frac{-t}{\tau 2}\right) \quad (٦)$$

$\tau 1 = 4074\mu s$

$\tau 2 = 68.22\mu s$

$A = 1.037$

موج ۱۰/۱۰۰۰ میکروثانیه

$$I(t) = AI_P(1-\exp\frac{-t}{\tau 1})\exp\left(\frac{-t}{\tau 2}\right) \quad (٧)$$

$\tau 1 = 3.827\mu s$

$\tau 2 = 1404\mu s$

$A = 1.019$

موج حلقوی ۵ کیلو هرتز

$$V(t) = AV_P(1-\exp\frac{-t}{\tau 1})\exp\left(\frac{-t}{\tau 2}\right)\cos(\omega t) \quad (٨)$$

$\tau 1 = 3.356\mu s$

$\tau 2 = 280.4\mu s$

$\omega = \pi 10^4 rads^{-1}$

$A = 1.027$

موج گذرای سریع الکتریکی :

$$V(t) = AV_P(1-\exp\frac{-t}{\tau 1})\exp\left(\frac{-t}{\tau 2}\right) \quad (٩)$$

$\tau 1 = 3.5\mu s$

$\tau 2 = 55.6\mu s$

$A = 1.270$