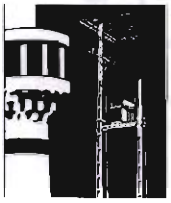


پنجمین کنفرانس شبکه‌های توزیع نیروی برق

بررسی کاربرد و عدم‌کاربرد برقگیر در ترانسفورماتورهای توزیع مناطق روستایی

مرتضی رشیدی

اداره کل برق روستایی وزارت جهاد سازندگی

چکیده:

آنچه تاکنون برای حفاظت ترانسفورماتورهای توزیع از نقطه نظر حفاظت در برابر اضافه ولتاژ ناشی از اصابت صاعقه به خط که بوسیله برقگیرها صورت می‌گرفته است، امری بدیهی و تعریف شده تلقی می‌شده است، از دیدگاه فنی و اقتصادی قابل بررسی و تعمق بیشتری است. این مقاله سعی بر آن دارد که با بررسی ضرورت حفاظت در برابر اضافه ولتاژ ناشی از صاعقه و بررسی اینکه برقگیرها در مناطق روستایی تا چه حد این هدف را تأمین می‌کنند و نیز اینکه کاربرد و عدم‌کاربرد آنها چه مزایا و معایبی را از نقطه نظر فنی در بردارند، کاربرد و عدم‌کاربرد آنها را از نقطه نظر صرفه اقتصادی در ابعاد وسیع آن مورد بررسی قرار می‌دهد. در این راستا با استفاده از تجارب آماری دیگر کشورها و نیز قیمت ترانسفورماتور و وسایل جانبی آن در داخل کشور مقایسه اقتصادی در مورد خسارتهای وارده در هر دو صورت کاربرد و عدم‌کاربرد برقگیر بعمل آمده است. در انتها روشهای حفاظتی جایگزین که صرفه اقتصادی بیشتری دارند، پیشنهاد می‌گردد.

شرح مقاله :

از نقطه نظر اقتصادی اهمیت و ارزش ترانسفورماتورها بنحو شایان توجهی به مکان و نوع بار بستگی دارد. بنابراین انتخاب نحوه و نوع حفاظت خود به تنهایی مسئله‌ای است که برای حل آن باید به یک معادله اقتصادی بین هزینه حفاظت و مقدار قدرت و اهمیت و مکان آن در سیستم توزیع دست یافت. به عبارت دیگر ترانسفورماتورهای با قدرت بالا و یا آن گروه از ترانسفورماتورها که واحدهای مهم (نظیر مراکز صنعتی و کارخانجات) و گرانقیمت را تغذیه می‌کنند، دارای حفاظت کاملتر و گرانتری نسبت به ترانسفورماتورهای کوچک توزیع هستند. اگر چه از نقطه نظر ایمنی و ملاحظات فنی بنظر می‌رسد که بهترین حفاظت‌ها کاملترین آنها باشد، اما از نقطه نظر اقتصادی بهترین حفاظت‌ها با صرفه‌ترین آنها، که در عین حال متضمن حفاظت و ایمنی قابل انتظار است می‌باشد. در این مقاله ضمن آنکه مشکلات فنی حفاظت بوسیله برقگیر در پست‌های شبکه توزیع روستایی بررسی می‌شوند، کاربرد و عدم کاربرد آنها از نقطه نظر اقتصادی نیز مقایسه می‌گردد.

۱ ـ حفاظت ترانسفورماتورها در مقابل اضافه ولتاژ :

ترانسفورماتورهای مورد استفاده در مناطق روستایی که غالباً بر روی تیر نصب می‌شوند و بوسیله کابل کوتاه به خط متصل می‌شوند، عموماً در معرض اضافه ولتاژ ناشی از اصابت صاعقه به خط هستند. چنانچه سیم‌بندی آنها براساس استاندارد IEC ساخته شده باشد، می‌توانند با ابزارهای حفاظتی مناسب در مقابل هر گونه اضافه ولتاژ ایستادگی کنند، به شرط آنکه سطح حفاظتی ترانسفورماتور بتواند پاسخگوی حداکثر قدرت صاعقه (که قادر به انفجار ترانسفورماتور است) باشد.

اضافه ولتاژ ناشی از صاعقه به دو شکل می‌تواند ایجاد شود. اول اضافه ولتاژ ناشی از اصابت مستقیم صاعقه به خط و دوم اضافه ولتاژ ناشی از اصابت صاعقه به یک قسمت زمین شده که در اثر شکست عایقی معکوس (back flashover) به خط می‌رسد. این اضافه ولتاژ که گاه به چندین مگاولت بالغ می‌گردد در عمل بوسیله شکستهای سطحی عایقی خط محدود می‌شود. قابل توجه آنکه بسته به نوع تیر محدود شدن سطح اضافه ولتاژ متفاوت است. در حالتی که تیرهای فلزی یا بتونی به کار می‌روند بدلیل جرقه زدن آنها و جریان تخلیه ناشی از آن، سطح اضافه ولتاژ بنحو بهتر از حالتی که از تیر چوبی استفاده می‌شود، محدود می‌گردد. یک راه عملی برای محدود کردن سطح اضافه ولتاژ در خطهایی که از تیر چوبی استفاده می‌شود این است که از چهار تیر مانده به ترانسفورماتور پایه مقره خط را زمین نمایند.

راه عملی مهار کردن اضافه ولتاژ استفاده از وسایلی مانند برقگیرهای معمولی. برقگیرهای اکسید فلزی و شاخکهای برقگیر که دارای مشخصه محدودکنندگی ولتاژ هستند.

می‌باشد. منحنی مشخصه هر سه نوع این وسایل در شکل شماره (۱) ارائه شده است. با توجه به این شکل، برقگیرهای اکسید روی دارای مشخصه محدودکنندگی ولتاژ بهتری نسبت به برقگیرهای معمولی هستند و به همین دلیل جایگزین شایسته‌ای برای برقگیرهای معمولی بشمار می‌آیند.

۲ ـ حفاظت ترانسفورماتورها در مقابل اضافه ولتاژ بوسیله برقگیرها :

برقگیرها برای انواع ترانسفورماتورهایی که بتوانند در برابر آزمایش ولتاژ ضربه مطابق با استاندارد IEC۷۹ یا BS۱۷۱ بخوبی مقاومت کنند، ابزار حفاظتی خوب و مطمئن در برابر اضافه ولتاژ ناشی از اصابت صاعقه بشمار می‌آیند. مشخصات برقگیرهای معمولی توسط استاندارد IEC۹۹ تعیین شده است. اما استاندارد برقگیرهای اکسید فلزی هنوز تحت بررسی است و به این جهت مشخصه و مقادیر نامی آنها به کارخانه سازنده آن بستگی دارد. یک برقگیر معمولی هنگامی عمل می‌کند که ولتاژ نسبتاً بالایی به آن برسد و در این لحظه در شکاف فاصله هوایی جرقه‌ای ایجاد می‌شود که اصطلاحاً می‌گویند برقگیر آتش کرده است. در چنین حالتی جریان قابل توجهی از مقاومت متغیر با ولتاژ برقگیر عبور می‌کند. در این نوع برقگیرها اگر چه دامنه ولتاژ محدود می‌شود اما جریان تخلیه بلافاصله قطع نمی‌شود و جریان هنگامی قطع می‌شود که موج سینوسی ولتاژ شبکه اولین نیم سیکل خود را طی کرده و به صفر برسد و به این ترتیب مکان حفاظت شده را به ولتاژ نامی شبکه باز می‌گرداند. البته با تنظیم طول فاصله هوایی می‌توان سطح ولتاژ قادر به ایجاد جرقه را تنظیم نمود.

۱ ـ ۲ ـ شیوه انتخاب برقگیر معمولی :

برقگیرهای معمولی را می‌توان براساس ولتاژ نامی آنها Vn که از رابطه زیر تعیین می‌شود انتخاب نمود.

$$Vn = K1 \times K2 \times Vm/(3)^{1/2}$$

که در آن K۱ ضریب اطمینان است و مقدار آن بین ۱/۰۵ تا ۱/۱۵ متغیر است و K۲ ضریب نوع زمین شدن ترانسفورماتور است و بطریق زیر تعیین می‌گردد :

- در سیستم‌های زمین نشده و یا زمین شده با سلف پترسون مطابق شکل (۲) مقدار K۲، برابر ۱/۸ است.
- در سیستم‌های با زمین غیر مستقیم مطابق شکل (۲) مقدار K۲، برابر ۱/۷ می‌باشد.
- در سیستم‌های با زمین مستقیم مطابق شکل (۲) مقدار K۲، برابر ۱/۴ می‌باشد. ظرفیت جریان تخلیه نامی چنین برقگیرهایی معادل با ۱۰ کیلو آمپر در نظر گرفته می‌شود. اما اگر

مکان حفاظت شده کم اهمیت‌تر باشد می‌توان ظرفیت جریان تخلیه نامی را معادل با ۵ کیلو آمپر نیز انتخاب نمود.

۲ ـ ۲ ـ برقگیرهای اکسید فلزی :

برقگیرهای متال اکساید (اکسید فلزی) از مقاومت‌های سری که دارای مشخصه غیرخطی هستند تشکیل می‌شوند. در این نوع برقگیرها به فاصله هوایی نیاز نیست و لذا مطابق آنچه در شکل (۱) نشان داده شده است در آنها spark over voltage (اضافه ولتاژ لازم برای شکستن عایقی فاصله هوایی) رخ نمی‌دهد. این گونه برقگیرها بدلیل دارا بودن مشخصه خوب کنترل ولتاژ، جایگزین خوبی برای برقگیرهای معمولی بشمار می‌آیند.

از آنجا که در خصوص این گونه برقگیرها استانداردی موجود نیست، قاعده بخصوصی هم برای انتخاب آنها وجود ندارد و بنابراین انتخاب آنها بر مبنای ضوابط ذکر شده در بروشورهای فروش و کاتالوگهای فنی کارخانه سازنده انجام می‌شود. مهمترین پارامتری که در انتخاب آنها مطرح است این است که برقگیر نباید در برابر حداکثر ولتاژ نامی احتمالی شبکه عمل کند.

با وجود دارا بودن مشخصه خوب حفاظتی برقگیرها، بدلایلی که بعداً ذکر می‌گردد، کاربرد آنها در مناطق روستایی و بخصوص برای ترانسفورماتورهای کوچک مقرون به صرفه نیست. بعلاوه از نقطه نظر فنی کاربرد برقگیرها در اینگونه مناطق دارای مشکلاتی نیز هست. اینگونه وسائل نیاز به تعمیر و نگهداری دارند و در بعضی موارد مکان‌یابی برقگیر معیوب در یک شبکه گسترده بخصوص در مناطق پراکنده و دور افتاده روستایی بسیار مشکل است بطوری که برای یافتن آن باید تمام اجزای شبکه را جزء به جزء بررسی نمود. از معایب دیگر آن این است که هوای آلوده، گرد و خاک و یا نمک روی جداره خارجی برقگیرها می‌تواند باعث جریان خزنده و در نتیجه ایجاد جرقه در سطح آن شود و آن را گرم کرده و باعث عملکرد ناخواسته آن در حالت کار عادی شبکه شود و این برای مناطق روستایی دور افتاده یک معضل بشمار می‌آید. البته اغلب این مشکلات شامل برقگیرهای معمولی می‌شود و برقگیرهای اکسید فلزی تنها بخشی از این مشکلات را دارند.

۳ ـ حفاظت ترانسفورماتورها در مقابل اضافه ولتاژ بوسیله شاخکهای برقگیر :

ثابت شده است که شاخکهای برقگیر برای حفاظت ترانسفورماتور تا ۲۰۰ کیلو ولت آمپر در برابر اضافه ولتاژ ناشی از صاعقه راه حلی ارزان و قابل اطمینان می‌باشند. بعلاوه این وسیله نیاز به تعمیر و نگهداری ندارد. در صورت استفاده از این شاخکها باید توجه داشت که

ضروری است از مقاومت مکانیکی بوشینگ ترانسفورماتور در مقابل تنش مکانیکی وارد شده که توسط شاخکهای برقگیر به هنگام عمل کردن ایجاد می‌شود اطمینان حاصل نمود. عموماً در بوشینگهای سمت فشار قوی ترانسفورماتور از شاخکهای با یک فاصله هوایی استفاده می‌شود. عیب این نوع از شاخکها آن است که اگر پرنده یا حیوانی با آن تماس پیدا کند به آسانی جرقه می‌زنند. البته می‌توان این عیب را با عایق نمودن سر شاخک‌ها (بدون هیچگونه کاهشی در میزان سطح حفاظتی آنها) بر طرف نمود. بعنوان مثال یک روکش PVC را می‌توان بطول ۲۵ تا ۳۰ میلیمتر روی نوک شاخکها ایجاد نمود. فاصله هوایی باید طوری تنظیم شده باشد که در شرایط عادی کار شبکه و در اضافه ولتاژ ناشی از کلید زنی در هوای مرطوب و بارانی شاخکها جرقه نزنند، اما در برابر اضافه ولتاژ ناشی از صاعقه متناسب با سطح عایقی ترانسفورماتور عمل نمایند. قابل ذکر آنکه در شاخکهای برقگیر عمل جرقه زدن در برابر موجهای با پیشانی موج تندتر، نسبت به ایمپالس استاندارد، با تأخیر بیشتری نسبت به برقگیرهای معمولی صورت می‌گیرد، و به نسبت آن تنش وارده بر سیم پیچی ترانسفورماتور زیادتر خواهد بود. شاخکهای برقگیر با دو فاصله هوایی در بوشینگهای ترانسفورماتور به علت فضای زیادی که می‌گیرند کمتر بکار می‌روند. اما می‌توان از آنها جهت بهبود عملکرد سکسیونرها استفاده نمود.

بعد از جرقه زدن شاخکها ولتاژ به سرعت کاهش می‌یابد و بعلاوه سبب ایجاد تنش در سیم‌بندی ترانسفورماتور می‌شود که با طراحی مناسب می‌توان این اشکال را محدود کرد و در این صورت می‌توان شاخکهای برقگیر را بعنوان یک جایگزین ارزان و مطمئن در مقایسه با برقگیرها توصیه نمود.

جدول شماره (۱) توصیه‌هایی در مورد تنظیم فاصله هوایی شاخکها و تطبیق مشخصه الکتریکی آنها با سیستم‌های مختلف ولتاژ را ارائه می‌دهد. قابل ذکر آنکه شاخکهای با فاصله هوایی کمتر بسته به شرایط مکان مورد حفاظت در ابعاد وسیعتری کاربرد دارند. همانطور که در جدول مشاهده می‌شود شاخکهای با یک فاصله هوایی در برابر پیشانی موج surge از خود حفاظت بهتری نشان می‌دهند.

پس از عمل کردن شاخکها، اتصال زمین ایجاد می‌شود. جریان اتصال کوتاه در سیستم‌های زمین نشده و یا با سلف پترسون زمین شده، در مقایسه با انواع دیگر سیستمها کمتر است. در این نوع سیستم پس از عمل کردن شاخکهای برقگیر غالباً جرقه خود بخود خاموش می‌شود. اگر قوس خود بخود قطع نشود این عمل بوسیله قطع جریان بوسیله دژنکتورها و یا وسائل قطع‌کننده دیگر صورت می‌گیرد. عمل کردن شاخکهای برقگیر در سیستمهای زمین شده بوسیله مقاومت (زمین غیر مستقیم) می‌تواند موجب جریان اتصال کوتاه بالغ بر چند صد آمپر گردد. در این حالت اگر دژنکتورها و یا وسائل قطع‌کننده دیگر در فاصله کوتاهی پس

از جرقه زدن عمل کنند، استفاده از این شاخکها قابل قبول خواهد بود. در سیستم‌های زمین شده بعلت جریان فوق‌العاده زیاد آنها در حین عمل کردن که باعث ذوب شدن شاخکها می‌گردد و نیز در مورد ترانسفورماتورهای با ظرفیت توان انتقالی ۳۱۵ کیلو ولت آمپر و قدرت‌های بالاتر از آن، استفاده از شاخکهای برقگیر توصیه نمی‌شود.

۴ ـ مقایسه اقتصادی انواع حفاظت‌ها در برابر اضافه ولتاژ :

برای ارزیابی درست و واقع بینانه از میزان خسارتهای وارده در سه حالت (۱ـ عدم استفاده از هر گونه وسیله حفاظتی، ۲ـ استفاده از شاخکهای برقگیر، ۳ـ استفاده از برقگیر)، لازم است آمار درست و جامعی از ترانسفورماتورهای معیوب در طی سالهای گذشته در دست داشت تا براساس آن بتوان نسبت به انتخاب هر یک از سه حالت ذکر شده مقایسه انجام شود.

متأسفانه در کشور ما آمار جامع و دقیقی از تعداد ترانسفورماتورهای سوخته به تفکیک نوع سیستم حفاظتی آنها، در طی سالهای گذشته در دست نیست. بنابراین با این پیش فرض که اگر آمار یک کشور که دارای آب و هوای مشابه ایران و یا حتی سخت تراز آن (از نظر وقوع صاعقه) در دست باشد، می‌توان با اطمینان از نتایج آن در مورد ایران و با توجه به قیمت ترانسفورماتور و برقگیر در کشور، از آن استفاده نمود. بدین منظور از نتایج آماری بدست آمده توسط شرکت A.B.B stromberg فنلاند که یکی از تولیدکنندگان عمده تجهیزات و وسائل فشار قوی می‌باشد، استفاده شده است. این نتایج در جدول شماره (۲) درج گردیده است. این جدول نشان‌دهنده تعداد ترانسفورماتورهای معیوب در شبکه بیست کیلو ولت روستایی فنلاند در طی سالهای ۱۹۷۴ تا ۱۹۸۳ می‌باشد. هر یک از این گزینه‌ها در برگیرندهٔ بین ۶۰ تا ۸۰ درصد از کل ترانسفورماتورهای شبکه در هر سال است. با توجه به آنکه این کشور بسیار باران خیز بوده و در ۸ الی ۹ ماه از سال با مشکل وقوع صاعقه‌های سهمگین و اصابت آن به خطوط برق‌رسانی مواجه است مسلماً درصد ترانسفورماتورهای سوخته آن در اثر وقوع صاعقه از کشور ما بیشتر بوده و بنابراین با اطمینان می‌توان از نتایج آن در این مقایسه استفاده نمود. در این جدول میانگین وزنی درصد ترانسفورماتورهای معیوب طی ده سال، در سه حالت ذکر شده است. همانطور که مشاهده می‌شود در مورد آن گروه از ترانسفورماتورهایی که فاقد هر گونه وسائل حفاظتی در برابر صاعقه هستند ۱/۵۱ درصد از آنها در اثر وقوع صاعقه سوخته‌اند و در مورد آن گروه از ترانسفورماتورهایی که در آنها از شاخکهای برقگیر استفاده شده، ۰/۵۸۶ درصد از آنها سوخته‌اند و در مورد آن گروه از ترانسفورماتورهایی که در آنها از برقگیر استفاده شده، ۰/۴۱۴ درصد از آنها سوخته‌اند. مطابق این نتایج واضح است که چه از سیستم حفاظتی استفاده شود و یا استفاده نشود همیشه درصدی از آنها در معرض سوختن در اثر اصابت صاعقه هستند. تنها تفاوتی که وجود دارد آن است که درصد ترانسفورماتورهای

معیوب که دارای برقگیر بوده‌اند کمتر است. روشن است که در یک مقایسه اقتصادی درست باید تفاوت این درصدها ملاک عمل واقع شود. بنابراین اگر برای خرید و نصب ترانسفورماتور هزینه‌ای صورت می‌گیرد (CT) و هزینهٔ حفاظت از آن بابت خرید و نصب برقگیر (CA) باشد، باید از نقطه نظر اقتصادی بررسی شود که آیا خرید برقگیر برای همهٔ ترانسفورماتورها مقرون به صرفه‌تر است یا اینکه ترجیح داده شود همه ساله درصدی از ترانسفورماتورها بر اثر اصابت صاعقه بسوزند. این مقایسه درباره آن گروه از ترانسفورماتورهایی صورت می‌گیرد که دارای پنج شرط زیر باشند :

۱ ـ در مناطق روستایی بکار رفته باشند.

۲ ـ سوختن آن از نقطه نظر ایمنی مشکلی ایجاد ننماید.

۳ ـ برای واحدهای گرانقیمت و مهم بکار نرفته باشند.

۴ ـ در تمام فصول در دسترس باشند. یعنی همیشه امکان تعویض سریع آنها وجود داشته باشد.

۵ ـ ظرفیت توان انتقالی آنها بالاتر از ۲۰۰ کیلو ولت آمپر نباشد.

با ملاحظه شرایط فوق و در نظر گرفتن تمام هزینه‌هایی که در هر دو حالت بابت خرید و نصب برقگیر و یا خرید و نصب ترانسفورماتورها و تابلوهای جدید به جای موارد صدمه دیده در اثر صاعقه، رابطهٔ ریاضی زیر بدست می‌آید :

$$CT > (۱۰۰ \times CA / (۰/۹ \times RFT)) \qquad (۱)$$

که در آن :

CT هزینهٔ خرید ترانسفورماتور و تابلو و نصب مجدد آنها

CA هزینهٔ خرید و نصب برقگیر

RFT تفاوت درصد تعداد ترانسفورماتورهای معیوب در دو حالت بدون حفاظت و دارای حفاظت با برقگیر

براساس رابطهٔ (۱) آن گروه از ترانسفورماتورهایی که هزینهٔ خرید و نصب آنها در این رابطه صدق نماید از نقطه نظر صرفه اقتصادی ضرورت دارد که مجهز به برقگیر باشند و آن گروه از ترانسفورماتورهایی که هزینهٔ خرید و نصب آنها در رابطهٔ (۱) صدق ننماید اگر حائز پنج شرط فوق باشند کاربرد برقگیر برای آنها مقرون به صرفه نیست.

با توجه به اینکه هزینهٔ فعلی خرید و نصب برقگیر معادل ۴۰۰ هزار ریال است و با توجه به نتایج جدول :

$$RFT = ۱/۵۱ - ۰/۴۱۴ = ۱/۰۹۶$$

با قرار دادن این مقادیر در رابطه (۱) نتیجهٔ زیر بدست می‌آید :

$CT > (100 \times 400000 / (0/9 \times 1/096)) = 40551500$ ریال

$CT > 40551500$ ریال

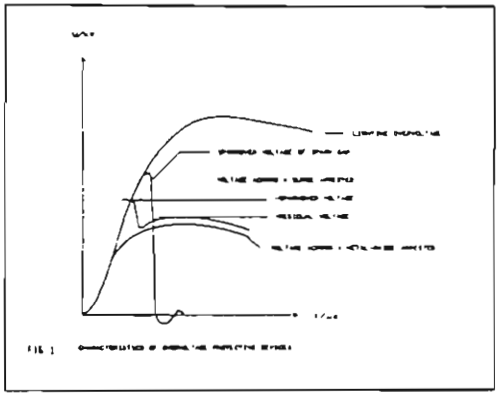
بنابراین برای پست‌های توزیع با بهای کمتر از چهل میلیون ریال کاربرد برقگیر مطلقاً مقرون به صرفه نیست. با توجه به اینکه قیمت ترانسفورماتور ۲۰۰KVA و تابلو زیر آن و هزینه نصب آنها، جمعاً از ۱۰ میلیون ریال تجاوز نمی‌کند، بنابراین تمام ترانسفورماتورهای در ردهٔ توان نامی ۲۰۰KVA و کمتر از آن مشمول این رابطه نمی‌شوند و حذف برقگیر در مورد آنها به معنی کاهش هزینه به میزان حداقل سه برابر هزینهٔ ترانسفورماتورها و تابلوهای صدمه دیده در اثر صاعقه است، و این کاهش هزینه در ابعاد وسیع رقمی نیست که بتوان به آسانی از آن صرفنظر نمود. قابل توجه آنکه این مقایسه با این فرض انجام می‌شود که از شاخکهای برقگیر (که هزینه آن بسیار پایین است) استفاده نمی‌شود و در صورت کاربرد تفاوت هزینه در دو حالت به بیش از بیست برابر می‌رسد.

نتیجه :

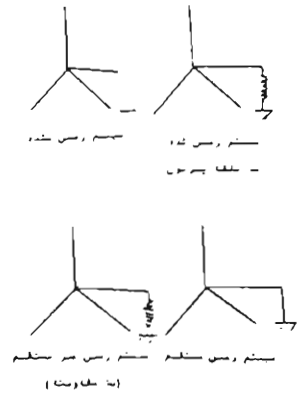
- کاربرد برقگیر بدلیل مشکلات فنی آن بخصوص برای ترانسفورماتورهای کوچک و در مناطق دور دست و پراکنده روستایی قابل توجیه نیست.
- کاربرد برقگیر بخصوص برای ترانسفورماتورهای کوچک در مناطق روستایی که توان نامی آنها حداکثر تا ۲۰۰ کیلو ولت آمپر می‌باشد و برای واحدهای صنعتی و تولیدی و یا کشاورزی بکار نرفته باشند و در صورت سوختن در دسترس و بسرعت قابل تعویض هستند از نقطه نظر صرفه اقتصادی غیر قابل توجیه است.
- با توجه به این که غالباً سیم‌پیچ‌های سمت فشار قوی ترانسفورماتور بشکل مثلث است و لذا دارای نوع سیستم زمین نشده است، شاخکهای برقگیر جایگزین ارزان، و مطمئنی بجای برقگیر، در آن می‌باشد. در این صورت زمین کردن پایه‌های مقره‌ها از چهار تیر مانده به ترانسفورماتور توصیه می‌شود.

منابع :

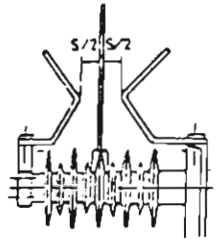
1. IEC 99 - 1 Lightning arresters 1970.
2. IEC 99 - 4 Lightning arresters 1991.
3. Surge protection of power sys. Westing house Elec. Corporation march 1975.
4. IEEE tutorial course on surge protection Chapter 4 1986.
5. ABB Stomberg Power PROTECTION Of DISTRIBUTION TRANSFORMER Esa Virtanen Dec. 1988.



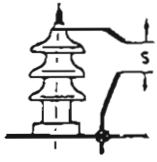
« شکل (۱) »



« شکل (۲) »



Double gap arcing horns



Single gap arcing horns

« شکل (۳) »

TABLE 1. CHARACTERISTICS OF ARCING HORNS.

Highest voltage of equipment (RMS kV)	Gap type	Recommended gap setting (mm)	Transformer 1.2/50 μs impulse voltage test level (peak kV)	Impulse voltage protection level		Gap wet power frequency withstand level (RMS kV)
				1.2/50 μs (peak kV)	1000 kV/μs (peak kV)	
12	single	60	75 (95)	78	147	35
12	double	2 × 20	75 (95)	65	154	26
17.5	single	70	95	88	220	39
17.5	double	2 × 25	95	93	180	38
24	single	100	125	120	286	50
24	double	2 × 40	125	124	248	38
36	single	140	170 (200)	162	365	58
36	double	2 × 55	170 (200)	166	304	57

These figures are valid for altitudes below 1000 mertes. To maintain approximately same characteristics at higher altitudes. the gap settings must be increased by 1.0% for each 100m in excess of 1000 metres above sen level.

Single gap arcing horns fitted on transformer bushings.

Double gap arcing horns fitted on isolator of disconnecting switch, fuse holder or similar.

« جدول (۱) »

TRANSFORMER FAILURES IN THE FINNISH RURAL 20 KV NETWORK IN 1974 ..... 1983.

Year	Transf. Without any overvoltage protection			Transf. Protected by surge arrestery			Transformers protected by arcing horns									TOTAL		
							6-8 cm			10-13 cm			15-17 cm					
	Tot Qty	Failures		Tot Qty	Failures		Tot Qty	Failures		Tot Qty	Failures		Tot Qty	Failures		Tot Qty	Failures	
	nrs	nrs	%	nrs	nrs	%	nrs	nrs	%	nrs	nrs	%	nrs	nrs	%	nrs	nrs	%
1974	3616	63	1.7	6666	61	0.9	3470	38	0.9	23078	244	1.1	1360	28	2.1	38184	426	1.1
1975	1960	25	1.3	5386	24	0.4	4138	17	0.4	20469	179	0.8	1178	15	1.3	33185	253	0.8
1976	1488	10	0.7	5571	28	0.5	4491	9	0.2	22403	134	0.6	1150	7	0.6	35037	188	0.5
1977	1693	26	1.5	5947	21	0.4	6754	38	0.5	26383	187	0.7	855	8	0.9	41578	274	0.7
1978	2012	38	1.9	7919	29	0.4	7861	27	0.3	30618	210	0.7	450	1	0.2	48854	305	0.6
1979	1309	36	2.8	7714	27	0.4	8200	105	1.3*	29338	228	0.8	489	1	0.5	46984	398	0.8
1980	1330	10	0.8	6231	25	0.4	10068	56	0.6	21680	128	0.6	65	1	1.5	39308	214	0.5
1981	1168	17	1.5	7319	35	0.5	13910	83	0.6	24334	130	0.5	—	—	—	46731	265	0.6
1982	1341	18	1.3	6643	12	0.2	13919	57	0.4	18298	73	0.4	—	—	—	40195	160	0.4
1983	1174	14	1.2	7785	16	0.2	16761	79	0.5	23599	83	0.4	—	—	—	49319	192	0.4
	AVE 1.51			AVE 0.414									AVE 0.584					

*) The high figure is dus to failures concetrated on one transformer type which was duly redesigned.

The total quantity is 60 ... 80% of the distribution transformers installed in Finland.

« جدول ۲ »