هشتمین کنفرانس شبکه های توزیع نیروی برق
انجمن مهندسین برق و الکترونیک ایران
۳۰ و ۳۱ اردیبهشت ۱۳۸۲

بررسی علل انفجار ترانسفورماتورهای ولتاژ در شبکه های توزیع

اکبر غلامی
شرکت توزیع برق شهرستان اصفهان

مقدمه

با توجه به نیاز عصر حاضر به انرژی الکتریکی و سهم آن در پیشرفت جهان و برای جلوگیری ازهدر رفتن انرژی وآماده بودن همیشه سیستم برای برقرسانی به مصرف کنندگان، وجود یک برنامه کاری منظم و پیگیری اجرای آن در سیستم نگهدارنده شبکه های توزیع الزامی است که باعث می شود مدیران بتوانند نتیجه کار مربوط به بهره برداری و نگهداری شبکه را در دسترس داشته باشند . بدین منظور پیشنهاد می گردد موارد ذیل مورد توجه قرارگیرد.

- چون برقرار بودن دائم برق در شبکه با تولید صنایع کشور و آسایش مردم در ارتباط می باشد و بعلاوه قطع برق ، سیستم اداره کننده توزیع را از منابع مالی محروم می نماید ، لذا نگهداری شبکه از اهمیت والائی برخوردار است .
- همچنین این موضوع اهمیت پیدا می کند که باید وسایل و تجهیزات تشکیل دهنده شبکه های الکتریکی در بخش توزیع از استاندارد ساخت بالائی برخوردار باشند . مسلم است که اگر در ساخت وسائل و تجهیزات صنعت برق طبق استاندارد و با اصول فنی گام برداریم ، سیستم برقرسانی و همین طور سایر بخشهای مربوط به شبکه با مراقبت های دائم می توانیم سالها ، به درخواست صنایع کشور و مردم جوابگو باشیم . پس لازم است برای داشتن یک سیستم مطمئن ، دستورالعمل های استاندارد را بدقت اجرا نمائیم .

با توجه به مطالب ارائه شده در قسمتهای قبلی و همچنین مشاهدات و آمارهای ارسالی از طریق شرکتهای توزیع سراسر کشور می توان دلایل سوختن ترانسفورماتورهای ولتاژ را به دو دسته تقسیم نمود :

الف) علتهای داخلی

عوامل موثر بر سوختن ترانسفورماتورهای ولتاژ که مستقیماً ناشی از مکانیزم داخلی آن می باشد ، عبارتند از :

۱ـ عایق بندی نامناسب سیم پیچها :

از آنجائی که اختلاف ولتاژ ۲۰۰۰۰ ولت بر روی سیم پیچهای اولیه ترانسفورماتورهای ولتاژ (در حالت نرمال) اعمال می شود ، استفاده از عایق بندی مناسب بین سیم پیچهای اولیه و ثانویه امری لازم است .

چنانچه در مراحل تولید بهر دلیل کوچکترین خللی در عایق بندی بوجود آید ، در اثر این ولتاژ (که بصورت دائم بر سیم پیچ های اولیه اعمال می گردد) ، عایق ترانسفورماتور به مرور زمان تخریب می گردد.

۲ ـ کیفیت نامناسب مواد عایقی :

نظر به اینکه ترانسفورماتورهای ولتاژ استفاده شده در شبکه توزیع ، از نوع عایق رزینی می باشند، بایستی نوع عایق بکار رفته دارای شرایط کافی پایداری عایقی باشد . و چنانچه کوچکترین حباب یا عوامل خارجی در طی مراحل تولید در داخل عایق قرار گیرد ، باعث ایجاد شکست عایقی در ترانسفورماتور ولتاژ شده ، و نهایتاً از بین خواهد رفت .

۳ـ اشکال در طراحی وساختمان آن :

ترانسفورماتورهای ولتاژ طبق استاندارد باید بصورت یکپارچه با عایق رزین ریخته شده قالب گیری شوند . و با طرح باریک و ابعاد مناسب برای نصب در سلول تمام بسته

فلزی ساخته شوند . و دارای خـواص ، تحمـل الکـتریکی و مکانیکی بالا ، در برابر فشارهای الکتریکی و تغییرات درجـه حرارت باشند . تمـام جزئیـات در معـرض هـوا بـاید بـرای مقاومت در مقابل خوردگی از مواد ضد خوردگی تهیه و یـا گالوانیزه شده باشد ، این ترانسفورماتورهای ولتاژ باید نیازی به تعمیرات نداشته باشند.

۴ـ نحوه نصب ترانسفورماتورهای ولتاژ :

مجموعه ترانسفورماتور ولتاژ باید روی یک صفحه نگهدارنده با مقاومت مکانیکی کافی ، ثابت گردد .

۵ ـ عدم کنترل کیفـی مناسـب در هنگـام سـاخت قطعات مختلف :

در طی فرایند تولید می بایست حداقل نیازهـای اسـتاندارد برآورده شود .

- کیفیت جنس :

ترانـس ولتـاژ مـی بایسـتی بـا کیفیـت مناسـب و مطـابق استاندارد خریداری شود . و حتماً استانداردهای نصب و نـیز قبـل از بـهره بـرداری کلیـه تسـتهای ارائـه شـده در استانداردهای معتبر بطور دقیـق اجـرا گـردد . و همچنیـن براساس نوع نیاز مصرف یا بعبارت دیگر براساس نیاز واقعـی خریداری شود . و براساس مشخصات موجود در *NAME PLATE* مورد استفاده قرارگیرد.

بر اساس کلاسه بندی پذیرفتـه شـده در اسـتاندارد IEC)، (186 مقدار مجاز افزایش درجه حرارت سیم پیـچ هـا ، بـا افزایش درجه حرارت و اتفاع محـل نصـب کـم مـی شـود . بنابراین ترانسفورماتورهای ولتاژ طـرح شـده بـرای مقـادیر بالای درجه حـرارت (۵۰ تـا ۵-) و ارتفـاع بـرای (۲۵۰۰- ۱۰۰۰) برای مقادیر پایین تر نـیز بـه لحـاظ فنـی جوابگـو خواهد بود .

مقدار تحمل عایقی ترانسفورماتور ولتاژ در فاصله هوایی بـا افزایش ارتفاع کم می شود ولی مقدار عایقی مذکـور بـرای کلیه ارتفاعات در شرایط اسـتاندارد (کمـتر از ۱۰۰۰ مـتر) خواسته شده است که علل آن به شرح زیر است :

? وجود برقگیر بر روی محل اتصال کابل فیدر خروجـی به خط هوایی و بر روی ترانس قدرت ۲۰ KV

? تعداد فیدرهای متصـل بـه شـینه ۲۰ KV و نتیجتـاً کاهش شیب موج صاعقه ورودی که بـاعث بـالا رفتـن اثـر حفاظتی برقگیرهای نصب شده می شود .

? طول کابل ۲۰ KV رابط بین خطوط هوایـی و کلیـد خانه در حد معمول می باشد (حدود کمتر از ۲۰ متر)

? دانسیته رعد و برق در اکثر نقـاط ایـران پـایین مـی باشد که در نتیجه اعمال موج صاعقه با شیب بالا بـه کلیـد خانه کم است .

? تجربه عملی با کلید خانه های با مقـادیر عـایقی ۵۰- ۱۲۵/۷۰ – ۱۴۵ کیلوولت برای ولتاژ نامی ۲۴ کیلوولـت در نقاط با ارتفاع بالا در داخل ایران مناسب است .

با توجه به مراتب فوق ، بمنظور حصول اطمینان بیشتری از بابت سطح عایقی می توان به روشهای زیر دست یافت :

? از طریق بالا بردن کلاس برق گیر روی خط هوایی

? اضافه نمودن برق گیر بر روی فیدرهـای خروجـی در محل کلید خانه

? اضافه نمودن برق گیر روی شینه ولتاژ متوسط

۶ـ عدم تست لازم متناسب با استانداردهای معتبردر هنگام خرید:

در هنگـام آزمـایش ، در ارتفـاع بـالای ۲۰۰۰ مـتر جـهت مشـخص نمـودن سـطح عـایقی بـالاتری بـرای ترانسـفورماتورهای ولتـاژ *KV* ۲۰ مقـادیر جـایگزین ۵۰ – ۱۲۵/۷۰ –۱۴۵ کیلوولت برای موج صاعقه و فرکانس قدرت باید انتخاب شود . در موقع خرید ترانسـفورماتورهای ولتـاژ جهت مصرف در شبکه توزیع باید دقت کافی بعمل آیـد . از جمله می توان موارد زیر را نام برد :

ـ کلاس آنها ۰/۵ باشد .

ـ وسایل اندازه گیری در نظر گرفته شده در پستهای توزیـع عبارتند از : ولت متر و کنتورهای اکتیو و راکتیو .

بسته به میزان مصرف آنـها کـه اساسـاً بـه تعـداد کنتورهـا بستگی دارد ، لذا قـدرت خروجـی ۲۵ یـا ۵۰ ولـت آمپـر ، انتخاب مناسبی است .

ـ در لوازم اندازه گیری توزیـع بیشـتر از ترانسـفورماتورهای ولتاژ ۲۰۰۰۰/۱۰۰ استفاده میشود.

تعدادی ۲۰۰۰۰/۱۰۰ و تعداد محدودی نـیز ۲۰۰۰۰/۱۱۰ می باشد.

۷ـ عدم کیفیت مناسب تولیدات بعضی از سازندگان :

با توجـه بـه اینکـه تولیـد کننـدگان تراسـفورماتور ولتـاژ متعددی در سطح جهان وجود دارد ، در هنگام خریـد لازم

است ، تست های لازم مطابق با استانداردهای رایج انجام گیرد .

ب) علتهای خارجی:

عوامل موثر برسوختن ترانسفورماتورهای ولتاژ که ناشی نحوه عملکردشبکه توزیع می باشد، عبارتند از :

۱ـ اشکال در مدار (سیم کشی) طرف ثانویه :

با توجه به آمارهای شرکتهای توزیع در بعضی از موارد علت ترکیدن ترانسفورماتور ولتاژ ، اشکال در مدار ثانویه بیان شده است .

از آنجائیکه ، مصرف کنندگان ترانسفورماتور ولتاژ شبکه توزیع عبارتند از : کنتور اکتیو ، کنتور راکتیو ، ساعت فرمان می باشند ، لذا هنگام اتصال این تجهیزات لازم است سیم کشی انجام گیرد.

بهمین خاطر ، بعلت سهل انگاری در بعضی موارد مشاهده شده که ، در سیم کشی طرف ثانویه (توسط نصب کننده) اتصال کوتاه انجام شده و این موضوع باعث سوختن سریع ترانسفورماتور ولتاژ گردیده است .

ـ مدار ثانویه ترانسفورماتورهای ولتاژ ، به هیچ وجه نباید در موقع نصب اتصال کوتاه شود. زیرا جریان زیادی از ثانویه آن عبور می کند و گرمای زیاد باعث گرم شدن سیم پیچ شده و منجر به انفجار ترانسفورماتور ولتاژ می شود .

بنابراین به منظور جلوگیری از رسیدن پتانسیل مدارهای ثانویه به حد خطرناک (ایمنی افراد در هنگام کار) ، مدارها باید زمین شوند .

ـ ترانسفورماتور ولتاژهائی که بین دو فاز بسته می شوند خیلی از نظر مدار و نوسانات شبکه حساس تر می باشند .

ـ لذا قبل از برقدار شدن حتماً باید مدار ترانسفورماتور ولتاژ توسط شخص متخصص مورد تست و آزمایش قرار گیرد .

نوسانات شبکه و تغییرات ناگهانی ولتاژ روی PT ها اثر انفجار می گذارد .

۲ـ صاعقه :

اگر ترانس ولتاژ نو باشد (تازه خریداری شده باشد) احتمالاً ولتاژ استقامت عایقی در مقابل موج صاعقه (IMPULSE) برابر مقادیر مشخص شده در استاندارد نبوده است ، یا مقادیر ظاهر شده موج صاعقه بیشتر از مقادیر تست معرفی شده در استاندارد است. (احتمال حالت دوم کمتر است) .

در صورتی که ترانس ولتاژ قدیمی باشد ، و مطابق با استانداردهای سابق تست شده باشد ، لذا شرایط جدید استاندارد را برآورد نمی سازد . و پدیده پیری (Aging) عایق نیز در عدم تحمل موجهای صاعقه موثر بوده است.

۳ـ کامل نبودن سیستم ارتینگ :

نظر به اینکه شبکه های توزیع از مصرف کنندگان متعدد ، با رفتارهای متفاوت تشکیل شده اند، عدم تعادل بار در اینگونه شبکه ها زیاد مشاهده می شود .

لذا به علت ایجاد تعادل بین فازها بایستی سیستم ارتینگ پست ها مناسب باشد . (و طبق استانداردهای شبکه توزیع بیش از ۱۰ اهم نباشد .)

ـ لازم است مقاومت زمین شبکه و پستهای توزیع سالی دو بار مورد آزمایش قرار گیرند .

ـ اتصال زمین حداقل زیر ۱۰ اهم باشد .

ـ بدنه PT باید با شمش ارت شود .

ـ با توجه به نحوه نصب ترانسفورماتور ولتاژ در حالت V-V زمین کردن ترانسفورماتور ولتاژ ، بایستی فقط در یک نقطه ثانویه آن انجام شود. چنانچه ثانویه ترانسفورماتور ولتاژ ارت نشود ، ولتاژ ثانویه (۱۰۰ ولت) تا ۱۰۰۰ ولت هم خواهد رسید .

۴ـ ولتاژ ناشی از کلید زنی :

به علت پدیده رفت وبرگشت موج در حالت گذرا یا(Wave Traveling) در هنگام وصل ـ و در زمان قطع مقادیر اضافه ولتاژ بیش از مقادیر ترانس ولتاژ به واسطه کاهش شدید بار وبارهای خازنی می باشد.

۵ـ وجود هارمونیک در شبکه :

در جائیکه هارمونیکهای با دامنه بالا وجود داشته احتمالاً سوختگی ترانس ولتاژ بواسطه دامنه هارمونیکهای ایجاد شده بوده ، که همین امر باعث سوختن عایق سیم پیچهای ترانس ولتاژ می گردد.

نتایج حاصل از آزمایشات و مشاهدات روی ترانسفورماتورهای ولتاژ سوخته

۱ـ سیم پیچ ها :

سیم پیچ های اولیه و ثانویه نقش بسیار موثری بر روی عملکرد صحیح ترانسفورماتورهای ولتاژ دارند . به لحاظ :

- افت ولتاژ در سیم پیچ ها
- تلفات در سیم پیچ ها
- فلوی پراکندگی
- گرمای حاصله در سیم پیچ ها

نظر به اینکه ، به منظور کاهش دادن یا به حداقل رساندن راکتانس پراکندگی ، سیم پیچ های اولیه را در یک ستون می پیچند ، لذا عایق بندی سیم پیچ های اولیه و ثانویه از یکدیگر بسیار مهم است .

با توجه به مشاهدات و آزمایشهای انجام شده بر روی ترانسفورماتورهای ولتاژ و روابط فوق نتایج زیر حاصل میشود :

الف ـ سیم پیچ ثانویه از شمش های مسی تسمه ای شکل تشکیل شده است .

ب ـ سیم پیچ اولیه از سیم های مسی با مقطع نازک تشکیل شده است .

ج ـ تعداد دور سیم پیچ ثانویه کم بوده ، ولی تعداد دور سیم پیچ اولیه زیاد می باشد

د ـ با توجه به اینکه سیم پیچ ثانویه به صورت تسمه ای می باشد ، ثانویه قادر به تحمل اضافه جریان می باشد .

هـ ـ و با توجه به اینکه مقطع سیم پیچ اولیه نازک می باشد ، سیم پیچ اولیه تحمل اضافه جریان را ندارد. می یابد . و از آنجائی که مقطع سیم پیچ های اولیه نسبت به ثانویه بسیار نازکتر می باشد ، تحمل این اضافه جریان را نخواهد داشت .

ز ـ در صورتی که نتوانیم این اضافه جریان را حفاظت کنیم ، باعث استهلاک سیم پیچ های اولیه خواهد شد . به عبارت دیگر ، گرمای تولید شده در اثر جریان زیاد در سیم پیچ های اولیه باعث سوختن آنها می شود .

۲ـ بررسی جریان اتصال کوتاه :

زمانیکه ثانویه یک ترانسفورماتور ولتاژ به دلایلی اتصال کوتاه گردد ، جریان اتصال کوتاه از مدار ثانویه آن عبور می نماید. که این جریان به مراتب از جریان نرمال بیشتر خواهد بود. از آنجائی که مقطع سیم پیچ های ثانویه به صورت شمشهای تسمه ای شکل می باشند ، چنین جریانی به سیم پیچ ها صدمه ای نمی زند

حال فرض کنیم اگر اتصال کوتاه در حالی صورت گیرد که اولیه ترانسفورماتور ولتاژ با ولتاژ نامی خود به شبکه وصل باشد ، زمان میراشدن موج گذرا بستگی به مقدار زیر پیدا می کند .

$$i_{sc} = - I_{sc} \sqrt{2} \cos \omega t + I_{sc} e^{-(Rsc/Lsc)t}$$

چنانچه این مقدار مساوی یا نزدیک صفر باشد ، پس از نیم پریود که از زمان اتصال کوتاه بگذرد ، جریان اتصال کوتاه به دو برابر جریان اتصال کوتاه در حالت دائمی خود می رسد . اصولاً زمان اتصال کوتاه نمی تواند از چند سیکل تجاوز نماید و بایستی توسط سیستم حفاظتی مناسب ، این پدیده سریعاً برطرف شود . در غیر این صورت این جریان باعث افزایش درجه حرارت سیم پیچ ها شده و نهایتاً باعث صدمه زدن به عایق سیم پیچ ها می گردد .

الف ـ حفاظت ترانسفورماتورهای ولتاژ :

ترانسفورماتورهای ولتاژ بایستی در مقابل اتصال کوتاه ثانویه و همچنین اضافه ولتاژها و اضافه بارهای ناگهانی حفاظت شوند .

از آنجایی که حداکثر جریان در ثانویه ترانسفورماتورهای ولتاژ بیشتر از پنج آمپر نمی باشد ، (طبق مشخصات فنی) ـ جریان اتصال کوتاه با توجه به امپدانس مدار ثانویه تا صد آمپر افزایش می یابد . لذا :

الف ـ در حالت کار نرمال مدار داریم :

$$I_2 = 200\ I_1 \quad \supset \quad I_1 = 0.25\ A$$

ب ـ در حالت اتصال کوتاه مدار ($I_2 = 100$) داریم :

$$I_2 = 200\ I_1 \quad \supset \quad I_1 = 0.5\ A$$

ملاحظه می شود که در حالت اتصال کوتاه جریان اولیه ۲۰ برابر شده است . حال با توجه به اینکه مقطع سیم پیچ های اولیه نازک می باشد ، تحمل چنین جریانی برای مدت زمان طولانی بسیار خطرناک می باشد .

در اینگونه موارد برای حفاظت ترانسفورماتورهای ولتاژ از فیوزهای تند سوز در مدار ثانویه استفاده می گردد .

جریان سیم پیچ اولیه ترانسفورماتور ولتاژ بستگی به ولتاژ اولیه آن دارد اما بیشتر از چند میلی آمپر نمی باشد . لذا بایستی از فیوز جهت قطع جریانهای ناشی از اتصال کوتاه در ثانویه استفاده شود

ب ـ استفاده از سیستم ارتینگ در حفاظت ترانسفورماتورهای ولتاژ :

در مسیر شبکه توزیع بمنظور حفاظت تجهیزات برقی از جمله ترانسفورماتورهای ولتاژ ، از وسائل حفاظتی دیگری نیز از قبیل : برقگیر ، جرقه گیر و ... استفاده می شود .

اما در بعضی موارد بـه دلایلـی ، اینگونـه وسـائل حفـاظتی وظیفه خود را بنحو شایسته انجام نمی دهند . لذا در کلیـه ترانسـفورماتورهای ولتـاژ بـه منظـور جلـوگـیری از چنیـن خطرات ناشی از القا ولتاژهای زیاد ، یک طـرف سـیم پیـچ ثانویه زمین مـی شـود . ایـن عمـل ضمـن اینکـه احتمـال شکسته شدن عایق بندی بین سیم پیچ اولیه و ثانویـه را از بین می برد ، حفاظت افرادی که با این ترانسفورماتورهـا سر و کار دارند را نیز تامین می نماید .

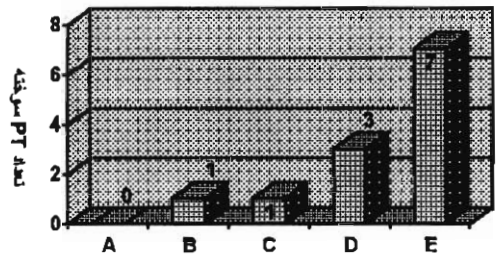
۳ ـ حالتهای گذرا

عوامل اصلی ایجاد حالت گذرا عبارتند از : اضافه ولتاژهـای ناگهانی در مواقع اتصال کوتاه در شبکه و یـا اتصـال کوتـاه ترانسفورماتور ولتاژ ایجاد می شوند ، کلید زنـی ، صاعقـه و .... پدیدار شدن نیروهای مکانیکی بسیار شدید بیـن سـیم پیچها و اجزا آنها و توزیع نامناسب ولتاژ بین سیم پیچ هـا و بوجود آمدن اضافه جریان در سیم پیچها از اثرات نـامطلوب آنها است .

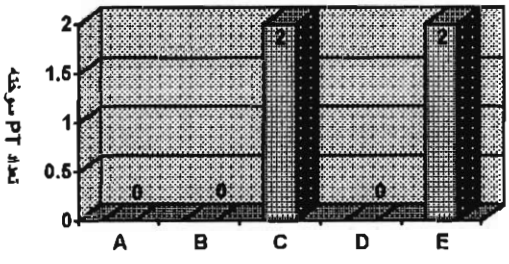
نتایج آماری حوادث در شرکتهای مختلف

در نمودارهای زیر آمار PT های سوخته در چند شرکت توزیع کشور و دلایل عمدهٔ آن ذکر گردیده است.

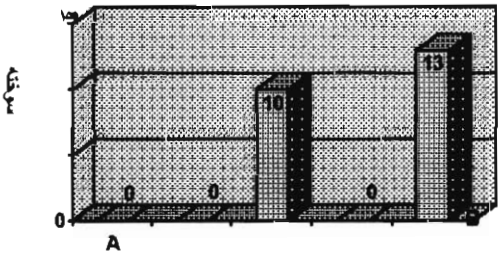
توزیع یزد



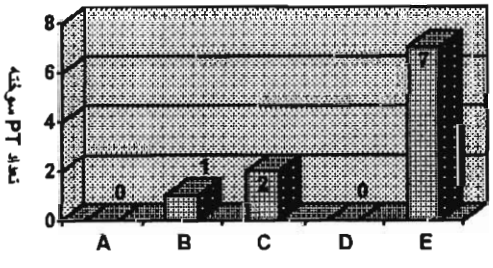
توزیع فارس



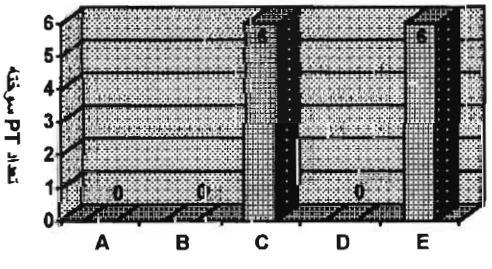
توزیع سیستان و بلوچستان



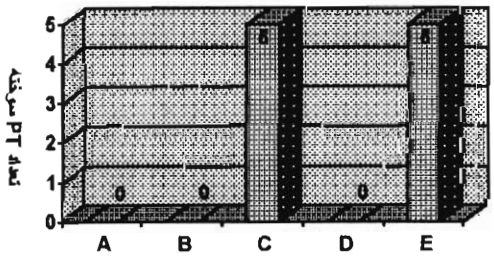
توزیع شمالغرب تهران



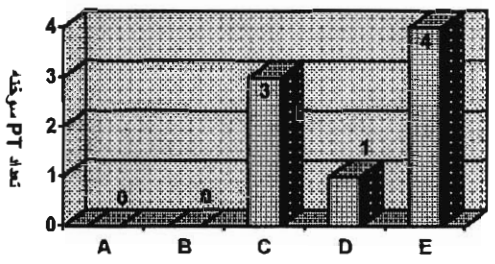
توزیع شهرستان اصفهان



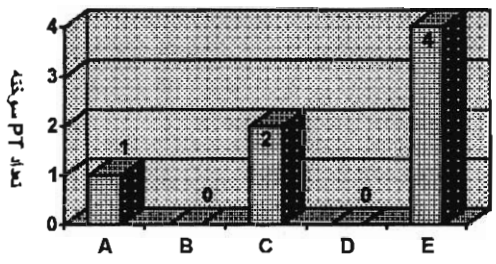
توزیع مشهد



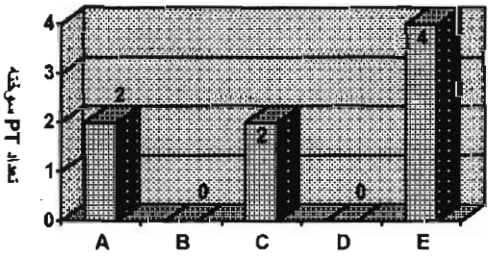
توزیع گیلان



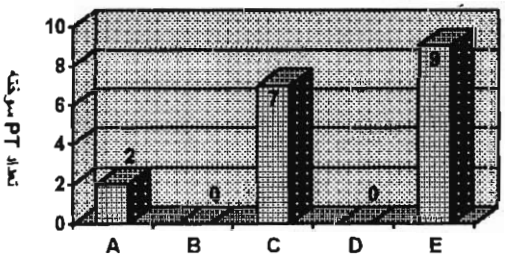
توزیع آذربایجان غربی



توزیع لرستان



توزیع استان اصفهان



A: کشاورزی *B: صنعتی با بار خازنی*

C: صنعتی با بار سلفی *D: بار هارمونیکی*

E: تعداد کل PT سوخته

نتیجه گیری

برای کاهش حوادث روی ترانسهای اندازه گیری فشار متوسط باید اقدامات زیر را بعمل آورد:

۱ـ مقاومت زمین شبکه و پستهای توزیع سالی دو بار آزمایش شوند .

۲ـ بار فیدرهای پستهای توزیع باید متعادل شوند .

۳ـ در تمام محلهائی که لوازم اندازه گیری نصب شده اند ، به دقت مورد بررسی قرار گیرند .

۴ـ بازدید و سرویس تجهیزات طبق برنامه های از پیش تعیین شده انجام گردد .

۵ـ بازسازی و اصلاح تجهیزات فرسوده باید با استاندارد قابل قبولی اجرا گردد .

۶ـ از آموزش نباید غافل بود و کارگران و تکنسینها و کارشناسان باید همیشه با روشها و تجهیزات جدید برق رسانی آشنائی داشته باشند .

۷ـ ثبت صحیح حوادث و بررسی و تجزیه و تحلیل و راه حلهای جلوگیری از حوادث ، بطور کامل اجرا شود .