تاثیر ارتفاع نصب بر ظرفیت واقعی ترانسفورماتورهای توزیع و انتقال

دکتر منصور ر فیعی

۱-مقدمه

معمولاً ارتفاع نصب ۱۰۰۰ متر از سطح دریا به عنوان شرایط استاندارد طراحی ترانسفورماتورها در نظر گرفته می‌شود. با توجه به شرایط جغرافیایی کشور، ارتفاع نصب ترانسفورماتور در برخی موارد طبق شرایط استاندارد طراحی نیست و باید در بهره‌برداری از ترانسفورماتور به این مورد توجه گردد. در این مقاله ابتدا تاثیر ارتفاع روی چگالی هوا و قابلیت خنک‌کنندگی هوا در ارتفاع‌های بالاتر از ۱۰۰۰ متر بررسی و سپس مقدار بار قابل تغذیه توسط ترانسفورماتور در ارتفاع‌های بالاتر از ارتفاع استاندارد تعیین می‌گردد.

۲- اثر ارتفاع روی فشار بارومتریک و چگالی هوا

تغییرات فشار بارومتریک (چگالی نسبی هوا) با ارتفاع طبق معادلات (۱) محاسبه می‌شود :

$$\log_{10}\frac{P_0}{P}=\frac{A}{221.15\times Tms} \qquad (۱)$$

$$Tms=\frac{fA}{\ln\frac{298}{T}}$$

$$T=298-fA$$

که درآن A ارتفاع بر حسب فوت، Tms دمای متوسط ستون هوا بر حسب درجه کلوین، f نرخ انحراف درجه حرارت که برابر ۰/۰۰۱۹۸۱۲ درجه بر فوت است. P_0 فشار هوا در سطح دریا و P فشار هوا درارتفاع A برحسب میلیمتر جیوه است.

۳- اثر ارتفاع روی افزایش دمای ترانسفورماتورها

از آنجاکه انتقال گرما بوسیله جابجایی، از چگالی هوا تاثیرمی‌پذیرد همه ترانسفورماتورهای با خنک کنندگی

طبیعی از ارتفاع محل نصب از سطح دریا اثر می‌پذیرند که مقدار آن بستگی به نسبت تلفات کنوکسیون به تابش می‌باشد. ترانسفورماتورهای با تانک صاف کمترین اثر پذیری را نسبت به ارتفاع نصب دارند. زیرا ٪۵۵ تلفات بوسیله تشعشع صورت می گیرد که تشعشع نیز وابسته به ارتفاع نیست. درحالیکه بیشترین اثرارتفاع روی ترانسفورماتورهای با رادیاتور نمایان می‌شود زیرا پخش گرمای ناشی از تلفات به روش تشعشع درمقایسه با پخش تلفات کنوکسیون کوچک است. انتقال گرما بوسیله کنوکسیون بکمک فرمول ساده(۳-۲) توصیف می‌شود.

$$w_c = k.\theta_c^{\,n} \qquad (۲)$$

که درآن w_c تلفات کنوکسیون بر حسب $\frac{w}{in^2}$، k عددی ثابت است و θ_c افزایش درجه حرارت بر حسب سانتی‌گراد و n مقدار نما از ۱ تا ۱/۲۵ (وابسته به شکل و موقعیت سطح خنک شونده) است. در سطح دریا برای بدنه صاف(بدون رادیاتور) :

$$k = 0.0014$$
$$n = 1.25$$

تلفات برای هر افزایش دمایی با ریشه دوم چگالی مواد (در اینجا هوا) تغییر می کند. همچنین برای صفحات عمودی غیر صاف، پیچشهای سطح در مقابل عبور هوا مقاومت می کنند که لازم است تصحیحی صورت بگیرد.

معادله (۲) مجدداً به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$w_c = 0.0014 \times F \times \sqrt{P} \times \theta^{1.25} \qquad (۳)$$

که درآن F ضریب اصطکاک هوا (برای سطح صاف ۱ است) و P فشار بارمتریک (در سطح دریا ۱می‌باشد) است.

رنگ سطح تانک اثری بر تلفات گرما بوسیله کنوکسیون ندارد. θ در فرمول بالا به صورت معادله (۴) تعریف می‌شود:

$$\theta = \frac{191 w_c^{\,0.8}}{F^{0.8} P^{0.4}} \qquad (۴)$$

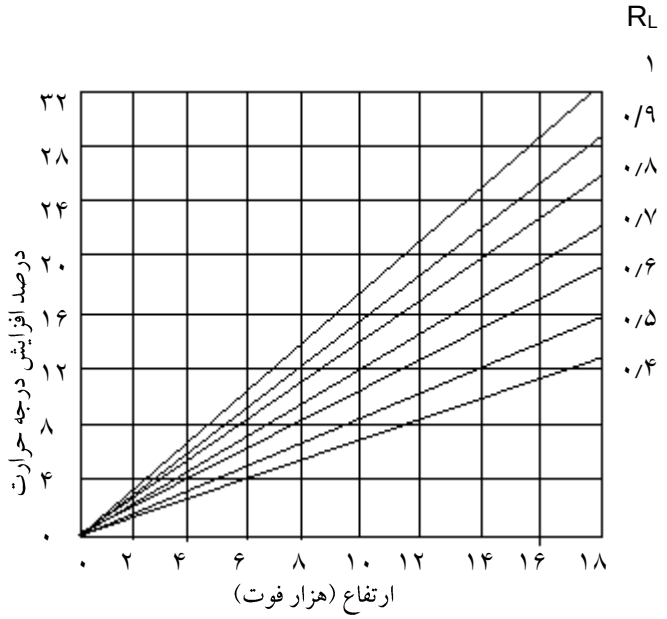
بنابراین افزایش دما، با توان ۰/۴ فشار هوا نسبت عکس دارد. هنگامیکه قسمتی از تلفات بصورت جابجایی صورت می گیرد. اثر فشار هوا با نسبت تلفات جابجایی به تلفات کل کاهش خواهد یافت.

$$\theta = \frac{191 w_c^{0.8} R_L}{F^{0.8}} \qquad (۵)$$

که در آن R_L نسبت تلفات جابجایی به تلفات کل می‌باشد.

(R_L=تلفات جابجایی /(تلفات جابجایی +تلفات تشعشع))

شکل (۱) اثر ارتفاع را روی افزایش دمای ترانسفورماتورهای با خنک کنندگی طبیعی با مقادیر مختلف R_L نشان می‌دهد. در ترانسفورماتورهای با وزش طبیعی هوا می‌توان مقدار R_L را مساوی ۱ فرض کرد.



شکل(۱) اثر ارتفاع روی افزایش دمای ترانسفورماتورهای با خنک کنندگی طبیعی با مقادیر مختلفR_L

قدرت ترانسفورماتورها مستقیما به دفع گرمای حاصله از تلفات در سیم‌پیچی‌ها، تلفات در قسمتهای مختلف فلزی ارتباط دارد، لذا لازم می‌آید که درجه حرارت حاصل ازتلفات تخلیه گردیده و در نتیجه قسمتهای مختلف ترانسفورماتور در درجه حرارت مناسبی نگهداری شود.

ترانسفورماتورهای توزیع برای دفع گرما از هوای اطراف استفاده می کنند و وابستگی شدیدی به هوای اطراف

دارند. بررسی شکل(۱) اثر کاهش چگالی هوا درنتیجه‌ی افزایش ارتفاع، اضافه درجه حرارت ترانسفورماتور را نشان می‌دهد.

با افزایش ارتفاع، توانایی هوا برای خنک‌کنندگی کاهش می‌یابد. البته میانگین درجه حرارت محیط پایین‌تر رایج در ارتفاع های بالاتر ضریب ارتفاع مورد نیاز برای کاهش قدرت ترانسفورماتور را تقریباً جبران می‌کند.

٤- بارگذاری ترانسفورماتور برای عمر متوسط معمولی

بار مجاز ترانسفورماتور برای عمر متوسط معمولی بستگی به طراحی خصوصیات ترانسفورماتور دارد، که شامل افزایش درجه حرارت در بار نامی، درجه حرارت محیط خنک کننده، مدت اضافه بار، ضریب بار، و ارتفاع بالاتراز سطح دریا است. ترانسفورماتورها با مبنای افزایش نقطه داغ 55^oC یا 65^oC بیشتر از درجه حرارت محیط طراحی می‌گردند به هر جهت در عملکرد واقعی ترانسفورماتورها، باید درجه حرارت سیم پیچی به عنوان محدودیت ترانسفورماتور به کار رود.

ترانسفورماتورها ممکن است بطور مستمر با نقطه داغ سیم پیچی بالاتر از 95^oC برای ترانسفورماتورهای با افزایش نقطه داغ 55^oC و 110^oC برای ترانسفورماتورهای با افزایش نقطه داغ 65^oC عمل کنند.

مطالب این بخش مربوط به هر دو سیستم عایقی زیر می‌شود:

۱) آن دسته ازترانسفورماتورهایی که برای کار مداوم 55^oC بالاتر از درجه حرارت محیط طراحی شده اند.

۲) آن دسته ازترانسفورماتورهایی که برای کار مداوم 65^oC بالاتر از درجه حرارت محیط طراحی شده‌اند.

عایق درترانسفورماتورهای با افزایش 65^oC تحمل بیشتری در درجه حرارت های بالاتر با یک عمر متوسط معمولی دارند.

٥- شرایط استاندارد طراحی ترانسفورماتور

برای یک ترانسفورماتور پرشده با روغن شرایط استاندارد طراحی ترانسفورماتور عبارتند از:

۱)درترانسفورماتوربا سیستم خنک کنندگی هوا، درجه حرارت هوای خنک کننده (درجه حرارت محیط)نباید از $40\ ^oC$ بیشتر شود و میانگین درجه‌ی هوای خنک کننده برای هر دوره ۲۴ ساعته نباید از $30\ ^oC$ بیشتر شود.

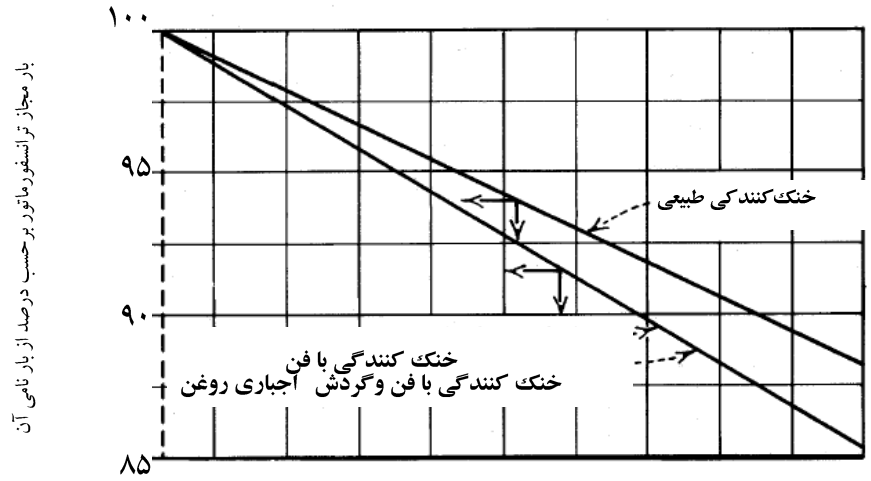
۲)ارتفاع محل نصب نباید از ۱۰۰۰ متر بیشتر شود (۳۳۰۰ فوت)

در صورتی که هر کدام از شرایط بالا تغییرکند باید ضرایبی برای بارگیری ترانسفورماتور اعمال شود. ضرایب مربوط به تغییر ارتفاع در این مقاله به صورت نمودار و همچنین یک راه‌حل ساده‌تر آمده است.

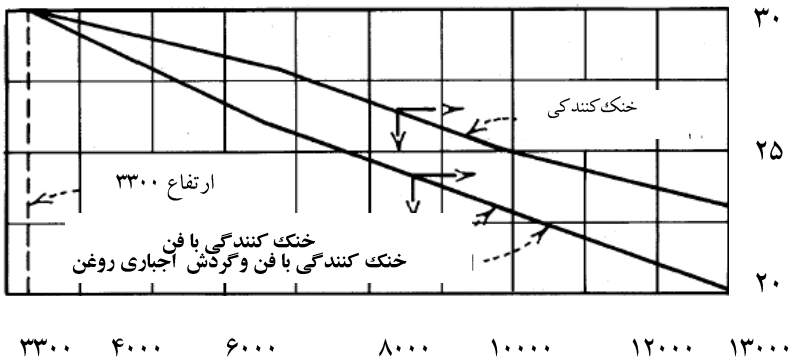
٦- تاثیر ارتفاع روی تعیین ظرفیت واقعی ترانسفورماتور

مقدار بار مجاز ترانسفورماتور برحسب درصد از بار نامی آن در ارتفاع‌های بالاتر از ارتفاع استاندارد در شکل(۲) نشان داده شده است. اگر میانگین درجه حرارت محیط نشان داده شده در شکل(۲-ب) برای ارتفاع داده شده زیادتر نباشد بار مجاز لازم نیست طبق شکل (۲-الف)کاهش یابد.

با دقت در نمودار، یک راه‌حل ساده‌تر برای پیدا کردن این ضریب بدست می‌آید. برای ترانسفورماتورهای با خنک‌کنندگی طبیعی به ازای هر ۵۰۰ متر افزایش ارتفاع، ۲٪ و برای ترانسفورماتورهای با خنک‌کنندگی با فن، یا ترانسفورماتورهای با خنک کنندگی فن و گردش اجباری روغن، به ازای هر ۵۰۰ متر افزایش ارتفاع کمی بیشتر از ۳٪ از ظرفیت مجاز کاسته می‌شود.



شکل الف



شکل(ب)

شکل (۲) الف: بار مجاز ترانسفورماتور برحسب درصدی از بار نامی آن

ب: حداکثر درجه حرارت محیط در ارتفاع‌های مختلف بدون کاهش بار