sbargh.ir

سومین کنفرانس سراسری
اصلاح و بهینه سازی مصرف
انرژی الکتریکی
۲ و ۳ اسفندماه ۱۳۹۰ - اهواز، شهرک نفت، مجتمع امام رضا(ع)

تأثیر نصب سایبان بر عملکرد ترانسفورماتورهای توزیع در شرایط آب و هوایی اهواز

عادل محمودی [۱] ابراهیم حاجی‌دولو [۲] رضاکیانی‌نژاد [۳]

۱ دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید چمران–mahmudiadel@yahoo.com
۲ دانشیار، دانشگاه شهید چمران–hajidae_1999@yahoo.com
۳ دانشیار، دانشگاه شهید چمران–reza.kiani@scu.ac.ir

چکیده: **نقش بسیار مهم ترانسفورماتورها در شبکه توزیع برق و انتقال انرژی، موجب توجه ویژه به این عنصر مهم شبکه برق گردیده تا با افزایش قدرت خروجی، کاهش ابعاد، بهینه‌سازی اقتصادی و افزایش طول عمر ترانسفورماتور، گسترش شبکه برق راحت‌تر و ارزان‌تر گردد. یکی از مشکلات مهم شبکه توزیع برق، گرم شدن بیش از حد ترانسفورماتورهای توزیع در هنگام تابستان و خراب شدن آن‌ها می‌باشد. گرمایش ناشی از بار ترانسفورماتور و تابش خورشید، از علت‌های مهم گرمایش و افزایش دمای ترانسفورماتور به شمار می‌روند. لذا بررسی اثر تشعشع خورشید بر گرمایش ترانسفورماتورها با در نظر گرفتن بار آن‌ها، ضروری به‌نظر می‌رسد. در مقاله حاضر تأثیر تابش خورشید بر گرمایش ترانسفورماتورهای توزیع با در نظر گرفتن شرایط بار ترانسفورماتور، به‌صورت تجربی مورد بررسی قرار گرفته است. بدین منظور دمای روغن و بار ترانسفورماتور در دو حالت با سایبان و بدون سایبان، اندازه‌گیری شده است. نتایج تجربی نشان می‌دهند که در شرایط تابستان شهر اهواز در مدت انجام آزمایش، با نصب سایبان بر روی ترانسفورماتور، دمای روغن درون آن به‌طور متوسط ۵/۴ درجه سانتی‌گراد کاهش می‌یابد.**

واژه‌های کلیدی: سایبان، بار ترانسفورماتور، تابش خورشید، دمای روغن

۱ مقدمه

یکی از مشکلات مهم شبکه توزیع برق گرم شدن بیش از حد ترانسفورماتورهای توزیع در هنگام تابستان و خراب شدن آن‌ها می‌باشد. دوره عمر ترانسفورماتور به شدت تحت تأثیر افزایش درجه حرارت سیم‌پیچ‌ها و افزایش درجه حرارت روغن آن است. در محیط با دمای پایین و در ۶۰٪ بار نامی، ترانسفورماتور می‌تواند عمر بسیار طولانی داشته باشد (بیش از ۴۰ سال) [۱]. در دماهای بالاتر، عمر ترانسفورماتور کاهش خواهد یافت. به عبارت دیگر اگر درجه حرارت از حدودی که در استانداردهای طراحی وجود دارد تجاوز کند پیری مواد عایقی سرعت می‌گیرد.

در کشورهایی که دمای متوسط هوا بالا بوده و تشعشع نیز زیاد می‌باشد، قدرت نامی ترانسفورماتورها کاهش یافته و لازم است خنک‌کاری ترانسفورماتور افزایش یابد. گرمایش ترانسفورماتور توسط تشعشع مستقیم خورشید به‌صورت مستقیم به نحوه طراحی، رنگ مخزن ترانسفورماتور، درجه حرارت محیط و قدرت سردکنندگی باد بستگی دارد. به همین علت اگر بتوان با قرار دادن سایبان بر روی ترانسفورماتورهای توزیع، دمای روغن را کاهش داد می‌توان امید داشت که علاوه بر افزایش عمر عایقی ترانسفورماتورها، میزان قدرت نامی آن‌ها نیز افزایش یابد. افزایش قدرت نامی و امکان بهره‌برداری بیشتر از ترانسفورماتورهای توزیع در

sbargh.ir

فصل گرم و در استان خوزستان به علت افزایش شدید مصرف انرژی الکتریکی بسیار اهمیت دارد.

با توجه به تأثیر دما بر عمر ترانسفورماتور لازم است با انجام تحقیقات مناسب عوامل موثر بر گرمایش ترانسفورماتور مشخص شده و راه‌های کاهش آن مورد بررسی قرار گیرد. در تحقیق حاجی‌دولو و محمدیان‌فرد [۲] برای شرایط آب و هوایی شهر اهواز، مشخص گردید که با ثابت در نظر گرفتن بار ترانسفورماتور، تشعشع خورشید در ماکزیمم حالت، ۷ درجه سانتی‌گراد بر روی دمای روغن درون ترانسفورماتور تأثیر دارد و نصب سایبان به‌طور متوسط ۲۹٪ عمر ترانس را افزایش می‌دهد. شلاباخ [۳] تأثیر سایبان بر بهبود بار ترانسفورماتورهای قدرت را مورد بررسی قرار داد و نتیجه گرفت در کشورهای با دمای بالا و تشعشع شدید خورشید، تأثیر سایبان بسیار مهم می‌باشد. در تحقیق گودک و ساروناک [۴] بر روی ترانسفورماتورهایی با توان نامی ۴۰ MVA مشخص گردیده است که با نصب یک پمپ در بین پوسته و تانک رادیاتورهای سیستم خنک‌کن بازدهی ترانسفورماتور بهبود می‌یابد. لزیوتره و همکاران [۵] در تحقیق خود مدلی دینامیکی برای حداکثر دمای روغن ترانسفورماتورها جهت مانیتور کردن و سیستم عیب‌یابی ترانسفورماتورهای در حال کار ارائه کرده‌اند. صحت مدل آن‌ها با استفاده از داده‌های تجربی به‌دست آمده از ترانسفورماتورهای قدرت در حال کار بررسی شده است. موفوتا [۶] در سال ۱۹۹۹ با قرار دادن ترموکوپل در نقاط مختلف ترانسفورماتور توزیع دمای روغن درون ترانسفورماتور را به‌دست آورده و با مقادیر حاصل از حل عددی مسئله مقایسه کرده است. داده‌های عددی و تجربی نشان دهنده این مطلب هستند که توزیع دبی جرمی اطراف یک بلوک مستطیلی به علت نیروی شناوری ایجاد شده می‌باشد.

با توجه به اهمیت بسیار زیاد بار ترانسفورماتور و نیز تابش خورشید در افزایش دمای روغن ترانسفورماتور، لزوم تحقیق در این رابطه ضروری به‌نظر می‌رسد. در این مقاله تأثیر تابش خورشید بر گرمایش ترانسفورماتورهای توزیع با در نظر گرفتن بار آن در شرایط آب و هوایی اهواز به‌طور تجربی بررسی شده است. سپس میزان افزایش عمر ترانسفورماتور در مدت انجام آزمایش، در اثر نصب سایبان، محاسبه شده است. برای این کار دمای روغن و بار ترانسفورماتور برای دو حالت بدون سایبان و مجهز به سایبان اندازه‌گیری می شود.

۲ ترانسفورماتور مورد آزمایش

ترانسفورماتور مورد آزمایش دارای قدرت نامی ۴۰۰ KVA، ساخت کارخانه ایران‌ترانسفو و سیستم خنک‌کنندگی آن از نوع ONAN[۱] بوده که در آن از جابجایی آزاد جهت خنک‌کاری در سمت روغن و هوا استفاده می‌شود. آزمایش‌های تجربی بر روی این ترانسفورماتور در دو حالت با سایبان و بدون سایبان، در طول تابستان و در اهواز انجام گردید. برای این کار دماسنج دیجیتالی Testo 175-T3 که دارای دو ترموکوپل نوع K می‌باشد استفاده شد. یکی از ترموکوپل‌ها در هوای محیط و در سایه و دیگری در محل دماسنج موجود بر روی ترانسفورماتور، نصب گردیده است. برای ثبت پارامترهای الکتریکی شبکه برق، از سیستم اندازه‌گیری TDL103 استفاده شده است. دما و بار ترانسفورماتور در حالت بدون سایبان برای مدت ۹ روز متوالی و در حالت با سایبان برای ۲۵ روز متوالی به فاصله زمانی ۵ دقیقه اندازه‌گیری شده است. مقایسه بین تغییرات دمای روغن در دو حالت با سایبان و بدون آن، برای روزهایی که از نظر بار ترانسفورماتور، دما و صافی هوا مشابه بودند صورت گرفته است. نصب سایبان به‌گونه‌ای بوده است که جریان خنک‌کاری هوای طبیعی به سمت بالا مسدود نگردد. همچنین برای افزایش انتقال حرارت جابجایی، دیوارهای جانبی سایبان با زاویه نصب شده‌اند. سایبان طراحی شده به منظور ایمنی، عایق بودن، وزن کم، نصب راحت و کاهش هزینه‌های آزمایش از جنس چوب ساخته شده است. ترانسفورماتور مورد آزمایش و سایبان به‌کار رفته در آن در شکل ۱ نشان داده شده است.

---

[۱] Oil Natural Air Natural

sbargh.ir

شکل ۱: نمای سایبان نصب شده بر روی ترانسفورماتور.

۴-۲ بررسی نتایج تجربی

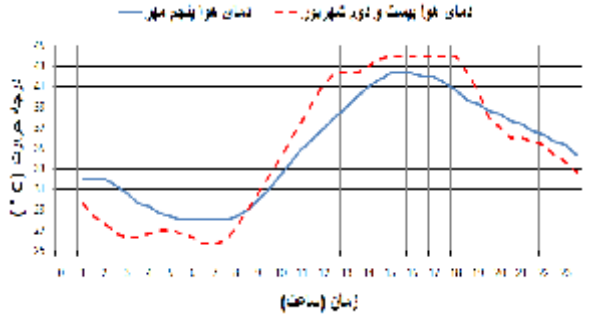
آزمایش‌های تجربی بر روی ترانسفورماتورهای در حال کار، برای دو حالت تحت تابش خورشید از تاریخ ۱۶ الی ۲۴ شهریور و مجهز به سایبان از تاریخ ۲۴ الی ۱۷ مهر انجام شده است. برای مقایسه عملکرد حرارتی ترانسفورماتور تحت تابش خورشید و مجهز به سایبان، فقط روزهایی مورد مقایسه قرار گرفتند که بار ترانسفورماتور و شرایط آب و هوایی از نظر دما و صافی هوا یکسان بوده‌اند. با توجه به تکرار آزمایش در روزهای اواخر شهریور و اوایل مهر، شرایط جوی و دمای محیط برای روزهای مختلفی با یکدیگر مشابه بوده که در ادامه دمای روغن ترانسفورماتور برای سه حالت مقایسه‌ای جهت مشاهده تأثیر سایبان بر دمای روغن ترانسفورماتور آورده شده است.

در حالت مقایسه‌ای اول، دو روز ۲۲ شهریور (در حالت بدون سایبان) و روز ۵ مهر (در حالت با سایبان) که بار ترانسفورماتور و شرایط محیط تقریباً یکسان بوده‌اند، جهت مقایسه رفتار حرارتی ترانسفورماتور در نظر گرفته شده است. جدول ۱ و شکل ۲ مشابه بودن شرایط جوی برای این دو روز را نشان می‌دهند. همچنین شکل ۳ نشان می‌دهد که بار ترانسفورماتور برای این دو روز تقریباً مشابه می‌باشد.

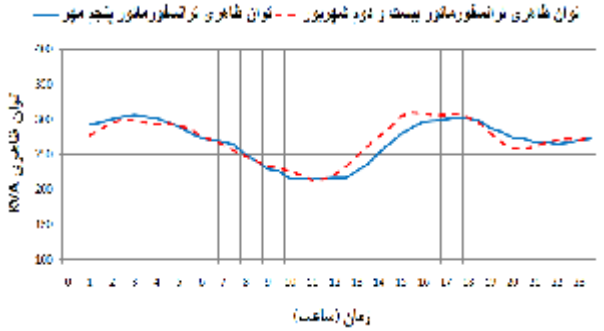
شکل ۴ دمای روغن ترانسفورماتور برای این دو روز را نشان می‌دهد. در شکل ۵ اختلاف دمای روغن ترانسفورماتور برای این دو روز نشان داده شده که متوسط اختلاف دمای روغن ۴/۸ درجه سانتی‌گراد می‌باشد و نصب سایبان در بیشترین حالت ۸/۳ درجه سانتی‌گراد، دمای روغن ترانسفورماتور را کاهش می‌دهد.

جدول ۱: وضعیت هوای روزهای ۲۲ شهریور و ۵ مهر ۱۳۸۹

تاریخ	مینیمم ماکزیمم دما ($^{\circ}C$)	میانگین دما ($^{\circ}C$)	ضریب دید افق (m)	حالت ترانس
۱۳۸۹/۶/۲۲	۴۴/۰ -۲۶/۰	۳۴/۸	اکثر ساعات نامحدود	درون آفتاب
۱۳۸۹/۷/۵	۴۳/۰ -۲۸/۰	۳۴/۹	اکثر ساعات نامحدود	درون سایه

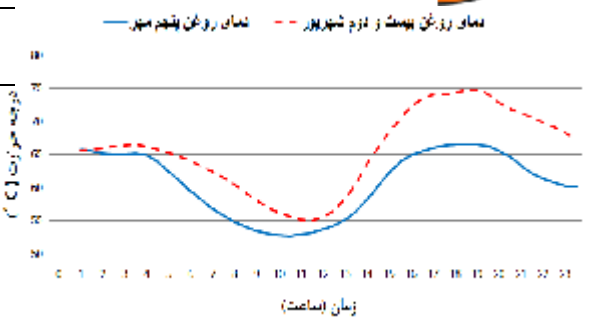


شکل ۲: دمای هوا در روزهای ۲۲ شهریور و ۵ مهر ۱۳۸۹



شکل ۳: توان ظاهری ترانسفورماتور در روزهای ۲۲ شهریور و ۵ مهر ۱۳۸۹

sbargh.ir



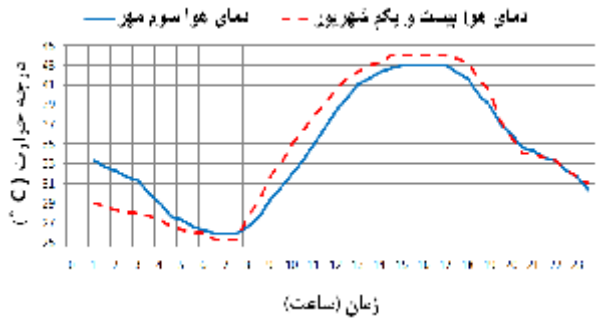
شکل ۴: دمای روغن ترانس برای دو حالت با و بدون سایبان

شکل ۵: نمودار اختلاف دمای روغن ترانسفورماتور

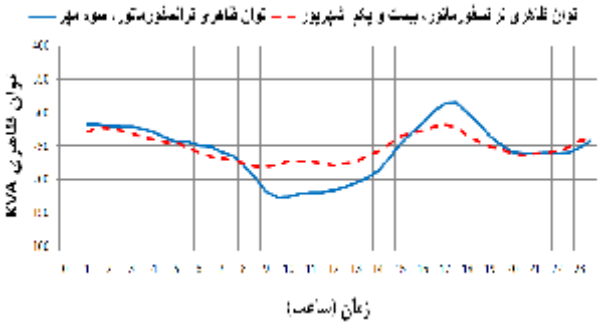
برای حالت مقایسه‌ای دوم، دو روز ۲۱ شهریور در حالت بدون سایبان و روز ۳ مهر در حالت با سایبان، که بار ترانسفورماتور و شرایط محیط تقریباً یکسان بوده جهت مقایسه رفتار حرارتی ترانسفورماتور در نظر گرفته شده است. جدول ۲ و شکل ۶ مشابه بودن شرایط جوی محیط را برای این دو روز نشان می‌دهند. شکل ۷ نشان می‌دهد که بار ترانسفورماتور برای این دو روز تقریباً مشابه می‌باشد. شکل ۸ دمای روغن ترانسفورماتور را برای این دو روز نشان می‌دهد. در شکل ۹ اختلاف دمای روغن ترانسفورماتور نشان داده شده است.

جدول ۲: مقایسه وضعیت هوای ۲۱ شهریور و ۳ مهر ۱۳۸۹

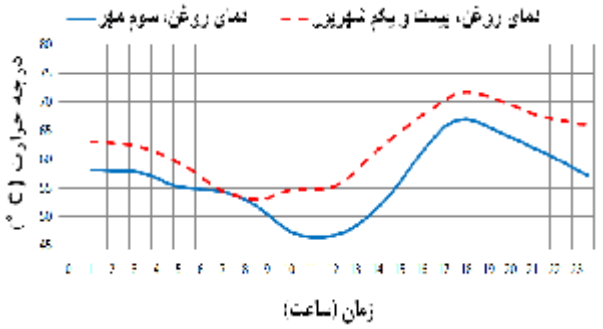
تاریخ	مینیمم ماکزیمم دما (°C)	میانگین دما (°C)	ضریب دید افق (m)	حالت ترانس
۱۳۸۹/۶/۲۱	۲۶/۰- ۴۴/۰	۳۴/۵	اکثر ساعات نامحدود	درون آفتاب
۱۳۸۹/۷/۳	۲۷/۰- ۴۳/۰	۳۴/۳	اکثر ساعات نامحدود	درون سایه



شکل ۶: دمای هوا در روزهای ۲۱ شهریور و ۳ مهر ۱۳۸۹

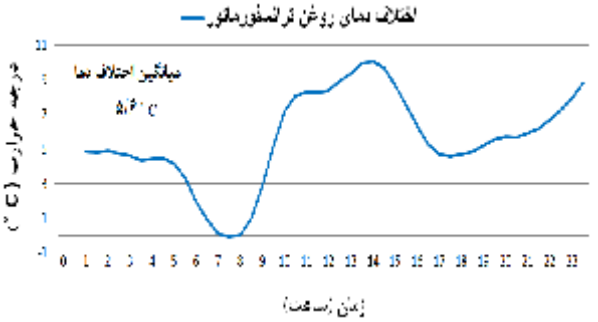


شکل ۷: توان ظاهری ترانسفورماتور در روزهای ۲۱ شهریور و ۳ مهر ۱۳۸۹



شکل ۸: دمای روغن ترانس برای دو حالت با و بدون سایبان

sbargh.ir

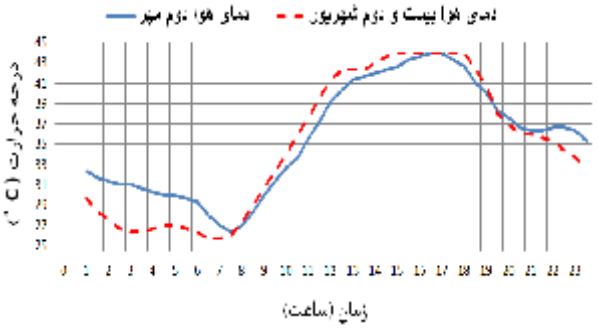


شکل ۹: نمودار اختلاف دمای روغن ترانسفورماتور

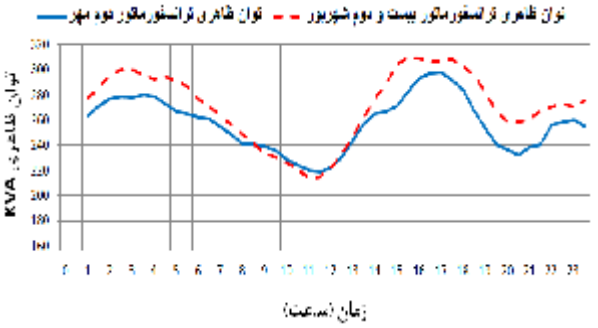
برای حالت مقایسه‌ای سوم، دو روز ۲۲ شهریور در حالت بدون سایبان و روز ۲ مهر در حالت با سایبان، که بار ترانسفورماتور و شرایط محیط تقریباً یکسان بوده جهت مقایسه رفتار حرارتی ترانسفورماتور در نظر گرفته شده است. جدول ۳ و شکل ۱۰ مشابه بودن شرایط جوی محیط را برای این دو روز نشان می‌دهند. شکل ۱۱ نشان می‌دهد که بار ترانسفورماتور برای این دو روز تقریباً مشابه می‌باشد. شکل ۱۲ دمای روغن ترانسفورماتور را برای این دو روز نشان می‌دهد. در شکل ۱۳ اختلاف دمای روغن ترانسفورماتور نشان داده شده است.

جدول ۳: مقایسه وضعیت هوای روزهای ۲۲ شهریور و ۲ مهر ۱۳۸۹

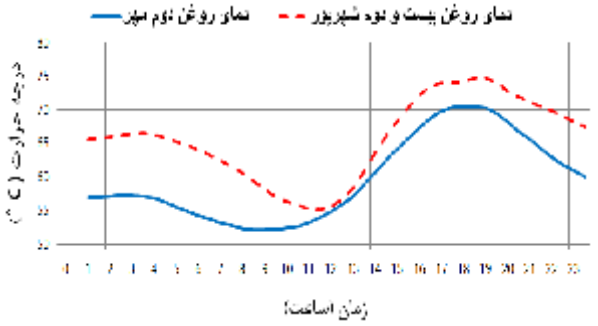
تاریخ	مینیمم ماکزیمم دما (°C)	میانگین دما (°C)	ضریب دید افق (m)	حالت ترانس
۱۳۸۹/۶/۲۲	۴۵/۰ -۲۵/۰	۳۴/۸	اکثر ساعات نامحدود	درون آفتاب
۱۳۸۹/۷/۲	۴۴/۰ -۲۶/۰	۳۵/۵	اکثر ساعات نامحدود	درون سایه



شکل ۱۰: دمای هوا در روزهای ۲۲ شهریور و ۲ مهر ۱۳۸۹

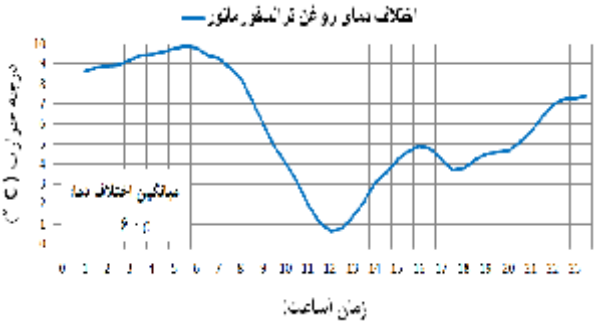


شکل ۱۱: توان ظاهری ترانسفورماتور در روزهای ۲۲ شهریور و ۲ مهر ۱۳۸۹



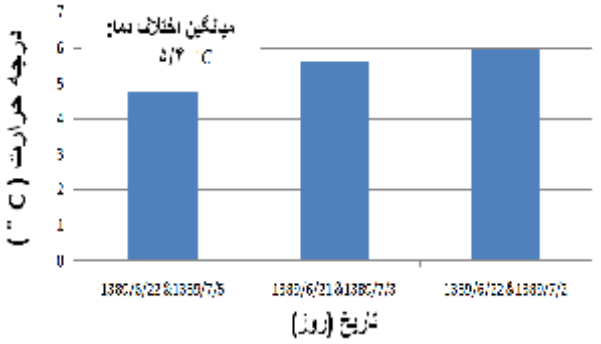
شکل ۱۲: دمای روغن ترانس برای دو حالت با و بدون سایبان

sbargh.ir



شکل ۱۳: اختلاف دمای روغن ترانسفورماتور

شکل ۱۴ میانگین اختلاف دمای روغن ترانسفورماتور در مدت انجام آزمایش برای روزهایی که از نظر شرایط جوی مشابه بوده‌اند نشان داده شده است. نصب سایبان در مدت انجام آزمایش به‌طور متوسط ۵/۴ درجه سانتی‌گراد دمای روغن ترانسفورماتور را کاهش می‌دهد.



شکل ۱۴: میانگین اختلاف دمای روغن ترانسفورماتور در مدت انجام آزمایش در اثر نصب سایبان برای روزهای مشابه

۳ نتیجه‌گیری و جمع‌بندی

بررسی نتایج تجربی نشان می‌دهد که نصب سایبان و حذف تشعشع مستقیم خورشید بر روی ترانسفورماتور، در کلیه روزهای انجام آزمایش، باعث کاهش دمای روغن شده است. نتایج به‌دست آمده برای تابستان اهواز نشان می‌دهد که نصب سایبان در مدت انجام آزمایش به‌طور متوسط ۵/۴ درجه سانتی‌گراد دمای روغن ترانسفورماتور را کاهش داده است.

معمولاً بیشترین کاهش دما در هنگام بعد از ظهر اتفاق افتاده که بیشترین مقدار جذب تابش خورشیدی وجود دارد. منحنی‌های توزیع دما در هر روز بین مقدارهای حداکثر و حداقل خود به‌صورت سینوسی تغییر می‌کنند که با نصب سایبان اختلاف بین حدکثر و حداقل دمای روغن کاهش یافته است. با کاهش دمای روغن انتظار می‌رود که دمای سیم‌پیچ کاهش یافته و عمر ترانسفورماتور افزایش یابد.

سپاس‌گزاری

از جناب مهندس حضرتی مدیر عامل شرکت توزیع نیروی برق اهواز، مهندس جامعی‌فر معاون تحقیقات و استاندارد شرکت توزیع برق و مهندس رضاییان سرپرست کارگاه تعمیرات و نگهداری ترانسفورماتور و همچنین گروه خط گرم منطقه ۴ شرکت توزیع برق که با وجود مشغله زیاد ما را یاری رساندند و به دلیل لطف بی‌دریغشان در زمینه انجام آزمایش‌های تجربی بی‌نهایت تشکر می‌نمایم.

مراجع

[۱] محمدیان‌فر، م.، **تعیین نقش تشعشع خورشید بر گرمایش ترانسهای توزیع و ارائه روش کاهش آن**، پروژه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید چمران اهواز، ۱۳۸۷.

[۲] رضایی، م.، **بررسی تست‌های ترانسفورماتورهای قدرت**، پروژه کارشناسی، دانشگاه شهید چمران اهواز، ۱۳۸۴.

[3] Agarwal, R.K., *Principles of Electrical Machine Design*, Third edition, S.K. KATARIA & SONS, Delhi, Chap. 2, pp.24-25, 1997.

[4] Hajidavalloo, E., and Mohamadianfard, M., "*Effect of sun radiation on the thermal behavior of distribution transformer*". Applied Thermal Engineering, No.30, PP. 1133–1139, 2010.

[5] Schlabbach, J., "*Improvement of Permissible Loading of Transformers by Solar Shield*", EUROCON Ljubljana Slovenia, PP. 305-309, 2003.

[6] Godec, Z., and Sarunac, R., "*Steadt-State Temperature Rise of ONAN/ONAF Transformers*", IEEE Proceedings-*C*, Vol.139, No.5, PP. 448-454, 1992.

[7] Lesieutre, B.C., Hagman, W.H., and Kirtley, J.L., "*An Improved Transformer Top Oil Tempereture Model for Use in an On-Line Monitoring and Diagnostig System*", IEEE Transaction on Power Delivery, Vol. 12, No. 1, PP. 249-257, 1997.

[8] Mufuta, J.M., "*Comparison of Experimental Values and Numerical Simulation on a Set-Up Simulating the Cross-Section of a Disc-Type Transformer*", Int. J. Thermal Science,No. 38, PP. 424-435, 1999.

sbargh.ir