بسمه تعالی

هفتمین کنفرانس شبکه‌های توزیع نیروی برق

انجمن مهندسین برق و الکترونیک ایران

کد مقاله: DNEQ119

نوع پذیرش : رزرو برای ارائه

بررسی تلفات بی باری ترانسفورماتور و روشهای کاهش آن

ابوالقاسم کریمی

شرکت توزیع نیروی برق شمالشرق تهران - اموردیسپاچینگ

ایران

چکیده :

امروزه کاهش تلفات انرژی الکتریکی بویژه در شبکه های توزیع که دارای تلفات بیشتری است یکی از مسائل پراهمیت در شبکه برق ایران است . ترانسفورماتورها یکی از مهمترین تجهیزات در سیستم های قدرت الکتریکی هستند . گرچه تلفات ترانسفورماتورهای ۲۰ و ۳۳ کیلوولت بدلیل پایین بودن ظرفیت آنها در مقایسه با ۲۳۰ و ٤۰۰ کیلوولت کم میباشد ولی تعداد بسیار زیاد آنها در سطح شبکه و همچنین درصد نسبی بالای تلفات آنها نسبت به قدرت اسمی باعث میشود که هرساله درصد عمده ای از انرژی تولیدی در این گونه ترانسفورماتورها به هدربرود . در این مقاله عوامل ایجاد تلفات بی باری و روشهای کاهش آن در ترانسهای توزیع مورد بررسی قرارگرفته اند . بکارگیری ورقه های مغناطیسی با مشخصه های تلفات هیسترزیس و تلفات گردابی کمتر در ساخت هسته یکی از عوامل مهم در کاهش تلفات هسته به شمارمیروند که استفاده از ورقه های مغناطیسی با ذرات دارای جهت یافتگی بالا (Hi-B) و همچنین استفاده از آلیاژهای آمورفوس با تلفات هسته بسیار کم (که اخیراً در ساخت ترانسفورماتورهای توزیع در چند کشور بکارگرفته شده ست) مورد بررسی قرارگرفته است .

با توجه به نکات فوق میتوان مختصراً پیشنهادهای ذیل را به ترتیب اهمیت جهت کاهش تلفات ترانسفورماتورهای موجود در شبکه برق ایران ارائه نمود :

۱- استفاده از ورقه های Hi-B در ساخت هسته ترانسفورماتورها .

۲- بررسی و پژوهش در مورد ساخت مواد مغناطیسی آمورفوس در داخل کشور و استفاده از آن در ساخت ترانسفورماتور .

۳- صلاح و بهینه نمودن فرایند تولید ترانسفورماتور جهت کاهش تلفات ناشی از نحوه ساخت .

٤- طراحی هسته ترانسفورماتور با سطح مقطع بیشتر جهت داشتن چگالی شار کمتر و در نتیجه کاهش تلفات بی باری ترانسفورماتور و انتخاب نقطه کار بهینه با توجه به ارزش کل تلفات در طول مدت بهره برداری از ترانسفورماتور .

۵- انتخاب ظرفیت مناسب جهت ترانسفورماتورها و عدم بکارگیری ترانسهای با ظرفیت بیشتر از قدرت مورد نیاز .

مقدمه

امروزه کاهش تلفات انرژی الکتریکی بویژه در شبکه‌های توزیع که دارای تلفات بیشتری است یکی از مسائل پراهمیت در شبکه برق ایران است. با توجه به اینکه ترانسفورماتورها یکی از مهمترین تجهیزات در سیستم‌های قدرت الکتریکی هستند. در این مقاله عوامل و روشهای کاهش تلفات بی‌باری در ترانسهای توزیع مورد بررسی قرار گرفته‌اند. بکارگیری ورقه‌های مغناطیسی با مشخصه‌های تلفات هیسترزیس و تلفات گردابی کمتر یکی از عوامل مهم در کاهش تلفات هسته به شمار می‌روند که استفاده از ورقه‌های مغناطیسی با ذرات دارای جهت‌یافتگی بالا (Hi-B) و همچنین استفاده از آلیاژهای آمورفوس با تلفات هسته بسیارکم (که اخیراً در ساخت ترانسفورماتورهای توزیع درچند کشور بکارگرفته شده‌اند) مورد بررسی قرار گرفته است.

حالت کار بی‌باری ترانسفورماتور

در یک ترانسفورماتور که مدار ثانویه آن باز باشد یعنی $I_2=0$ اگر اولیه را تحت یک ولتاژ متناوب تغذیه نمائیم در اثر این ولتاژ جریان بی‌باری I_0 از مدار عبور می‌نماید که می‌تواند عقربه یک وات‌متر متصله به مدار را بحرکت درآورد. میتوان گفت چون ترانسفورماتور به مصرف‌کننده خارجی وصل نیست پس تمام قدرت اکتیوی که وات‌متر نشان می‌دهد درخود ترانس تلف شده و این تلفات عبارتند از تلفات هیسترزیس، فوکو هسته و مقدار ناچیزی تلفات ژولی سیم‌پیچ اولیه. ذیلاً به شرح مختصر هریک از مؤلفه‌های بی‌باری می‌پردازیم.

الف- تلفات آهنی هسته ترانسفورماتور

تلفات آهنی هسته شامل تلفات هیسترزیس و فوکوی هسته می‌باشد. همانطور که می‌دانیم اگر از سیم‌پیچی که بدور یک هسته هادی پیچیده شده جریان متغیری نسبت به زمان عبور کند فلوی مغناطیسی متغیر ایجاد می‌شود. این فلوی متغیر در سطح مقطع هسته فلزی نیروی محرکه الکتریکی القاء می‌کند (قانون فاراده) که این نیروی محرکه باعث ایجاد جریان‌هایی در نقاط مختلف مقطع هسته می‌شود (جریان فوکو). اما این جریان یک جریان مزاحم است زیرا اولاً در اثر عبور این جریان از داخل هسته بعلت وجود مقاومت الکتریکی حرارت ایجاد می‌شود که حرارت ایجاد شده باعث گرم‌شدن هسته و ایجاد تلفات می‌گردد. ثانیاً فلوی حاصل از جریان فوکو باعث تضعیف فلو در وسط هسته آهن و تقویت آن در کناره‌ها می‌گردد و توزیع فلو در سطح مقطع هسته غیریکنواخت خواهد

شد که برای محدود نمودن جریان فوکو باید قطر هسته حتی‌الامکان کوچک اختیار شود. در مورد تلفات هیسترزیس باید گفت که بطورکلی وجود چند درصد کربن در آهن باعث افزایش سطح هیسترزیس شده ودر نتیجه تلفات مربوط به آهن نیز افزایش می‌یابد. در صورتی‌که افزودن سیلیسیم به آهن باعث کاهش این سطح می‌گردد. بدین‌منظور در ساختمان ترانس‌ها ازورقه‌های سیلیسیم‌دار استفاده‌می‌شود که دربخش بعدی دراین‌خصوص بحث‌خواهد شد.

برای محاسبه تلفات فوکو و هیسترزیس از روابط زیر استفاده می‌نمائیم:

$$p_F = \sigma_F \left(\frac{f}{100}\right)^2 B^2 \qquad W/Kg$$

$$P_H = \sigma_H \left(\frac{f}{100}\right)^2 B^2 \qquad W/Kg$$

B اندوکسیون ماکزیمم برحسب وبر بر مترمربع یا تسلا می‌باشد.

در روابط فوق ضرایب σ_F و σ_H را می‌توان از جدول (۱) بدست آورد.

جدول ۱

نوع ورق فولادی هسته	ضخامت ورق mm	σ_H	σ_F
فولاد با سیلیسیم کم یا متوسط	۱	٤/٤	۲۲/٤
فولاد با سیلیسیم کم یا متوسط	۰/۵	٤/٤	۵/٦
فولاد با سیلیسیم کم یا متوسط	۰/۳۵	٤/٤	۳/۲
فولاد با سیلیسیم زیاد	۰/۵	۳	۱/۲
فولاد با سیلیسیم زیاد	۰/۳۵	۲/۹	۰/۷

ب- تلفات مسی سیم‌پیچ اولیه $P_{Cu} = R_1 I_0^2$

از تلفات مسی سیم‌پیچ اولیه درحالت بی‌باری می‌توان صرفنظر نمود. زیرا حتی در ترانسهای کم‌قدرت که جریان بی‌باری و مقاومت R_1 آنها نسبتاً زیاد است این تلفات معمولاً از ۲ تا ۳ درصد مجموع تلفات بی‌باری تجاوز نمی‌نماید.

ج) تلفات اضافی بی‌باری (Pad)

این تلفات دراثر تغییرات ساختمانی ورقها هنگام ماشین کاری و همچنین توزیع نامنظم اندوکسیون مغناطیسی در درزها و پیچ‌های اتصال و بست‌ها و مخزن ترانس در ولتاژ بالا بوجود می‌آید که محاسبه دقیق آن ممکن نیست و از جداول استفاده می‌شود.

تلفات اکتیو ترانسفورماتورهای توزیع در حالت بی‌باری:

تلفات اکتیو بی‌باری ترانسفورماتورهایی که در شبکه برق ایران مورد استفاده قرار می‌گیرد، بصورت جدول (۲) است.

جدول ۲

قدرت ترانسفورماتور	نسبت تبدیل	سازنده	تلفات بی‌باری
۵۰ KVA	۲۰KV/۴۰۰V	ایران ترانسفو	۲۱۰ W
۱۰۰ KVA	۲۰KV/۴۰۰V	ایران ترانسفو	۳۲۰ W
۱۲۵ KVA	۲۰KV/۴۰۰V	ایران ترانسفو	۴۰۰ W
۱۶۰ KVA	۲۰KV/۴۰۰V	ایران ترانسفو	۴۸۰ W
۲۰۰ KVA	۲۰KV/۴۰۰V	ایران ترانسفو	۵۵۰ W
۲۵۰ KVA	۲۰KV/۴۰۰V	ایران ترانسفو	۶۵۰ W
۳۱۵ KVA	۲۰KV/۴۰۰V	ایران ترانسفو	۷۷۰ W
۴۰۰ KVA	۲۰KV/۴۰۰V	ایران ترانسفو	۹۲۰ W
۵۰۰ KVA	۲۰KV/۴۰۰V	ایران ترانسفو	۱۱۰۰ W
۶۳۰ KVA	۲۰KV/۴۰۰V	ایران ترانسفو	۱۴۰۰ W
۸۰۰ KVA	۲۰KV/۴۰۰V	ایران ترانسفو	۱۶۲۰ W
۱۰۰۰ KVA	۲۰KV/۴۰۰V	ایران ترانسفو	۱۷۸۰ W
۱۲۵۰ KVA	۲۰KV/۴۰۰V	ایران ترانسفو	۲۲۰۰ W
۱۶۰۰ KVA	۲۰KV/۴۰۰V	ایران ترانسفو	۲۶۰۰ W
۱۵ MVA	۶۳KV/۲۰KV	ایران ترانسفو	۱۵ KW
۳۰ MVA	۶۳KV/۲۰KV	ایران ترانسفو	۲۶ KW
۱۵ MVA	۶۳KV/۲۰KV	آلمان شرقی	۱۱/۶ KW
۳۰ MVA	۶۳KV/۲۰KV	آلمان شرقی	۲۰ KW
۱۸۰ MVA	۲۳۰KV/۶۳KV	TIBB	۱۳۰ KW
-----	۴۰۰KV/۲۳۰KV	-----	به ازای هر MVA رقم ۰/۶ کیلووات

محاسبه تلفات بی‌باری ترانسفورماتورهای موجود در شبکه برق کشور در سال ۷۵

برای پی‌بردن به میزان بالای تلفات بی‌باری ترانسها بعنوان نمونه به محاسبه تلفات بی‌باری این ترانسها در سال ۷۵ می‌پردازیم:

الف- تلفات ترانس‌های هوایی ۲۰ KV/٤۰۰V :

چون تعداد کل ترانس‌های هوایی در شهر و روستاهای ایران مجموعاً حدود ١٦٤١٨٣ دستگاه به ظرفیت KVA ۲٤٤۳۷۰۰۰ می‌باشد، بنابراین ظرفیت متوسط برابر می‌گردد با:

$$\frac{24437000}{164183} = 148.840 \qquad KVA$$

ظرفیت معادل ترانسها بین ۱۲۵ KVA و ۱٦۰ KVA قراردارد بنابراین مطابق با جدول ۲ خواهیم داشت:

تلفات ترانسفورماتور معادل

$$\frac{400+480}{2} = 440 \qquad W$$

تلفات به ازاء هرکیلو ولت آمپر

$$\frac{440}{148.840} = 2.95 \qquad W/KVA$$

کل تلفات ترانسفورماتورهای هوایی :

$$2.95 \times 24437000 = 72.240 \qquad MW$$

ب- تلفات ترانس‌های زمینی ۲۰ KV/٤۰۰V :

تعداد کل این ترانس‌ها حدود ۱۸۹۲۵ دستگاه به ظرفیت ۱۳۷٦٦۰۰۰ بوده بنابراین ظرفیت معادل برابر می‌گردد با:

$$\frac{13766000}{18925} = 727.39 \qquad KVA$$

ظرفیت معادل ترانس‌ها بین ٦۳۰KVA و ۸۰۰KVA قرار دارد. بنابراین مطابق با جدول ۲ خواهیم داشت:

تلفات ترانسفورماتور معادل :

$$\frac{1400+1620}{2} = 1510 \qquad W$$

تلفات به ازاء هرکیلوولت آمپر:

$$\frac{1510}{727.39} = 2.07$$

کل تلفات ترانسفورماتورهای زمینی توزیع:

$$2.07 \times 13766000 = 28.577 \qquad MW$$

ج- تلفات ترانسفورماتورهای ٦۳/٦ KV، ٦۳/۱۰ KV، ٦۳/۱۱KV و ٦۳/۲۰KV :

باتوجه به تنوع این نوع ترانسفورماتورها

در صنعت برق ایران برای هر مگاولت آمپر میزان تلفات بی‌باری این ترانس‌ها مقدار KW ۰/۸ درنظر می‌گیریم. تعداد کل این ترانس‌ها در شبکه ایران ۱۱۵۵ دستگاه و مجموع ظرفیت آنها برابر MVA ۲۳۶۸۷/۳ می‌باشد. بنابراین تلفات کل طبق روش فوق برابر است با:

$$23687.3 \times 0.8 = 18.950 \quad MW$$

د- تلفات ترانسفورماتورهای KV ۲۳۰/٦، KV ۲۳۰/۶۶ ، KV ۲۳۰/۲۰ ، KV ۲۳۰/۱۱ و KV ۲۳۰/۱۳۲:

تعداد این نوع ترانسفورماتورها ۲۹۵ دستگاه و به ظرفیت برابر MVA ۲۹۶۱۱ می‌باشد. تلفات به ازاء هرمگاولت آمپر معادل KW ۰/۷۵ بوده، بنابراین تلفات کل برابر است با:

$$29611 \times 0.75 = 22.21 \quad MW$$

ذ- تلفات ترانسفورماتورهای KV ٦۳ ،۱۳۲ KV ۲۳۰/۳۳ ، KV ۱۳۲/۲۰ ، KV ۱۳۲/۱۱ و KV ۱۳۲/٦:

تعداد کل این ترانس‌ها برابر ۳۵۰ دستگاه با ظرفیت MVA ۹۴۹۰/۸ می‌باشد و با درنظر گرفتن تلفات به ازاء هر مگاولت آمپر بر بر KW ۰/۸ خواهیم داشت:

$$9490.8 \times 0.8 = 7.593 \quad MW$$

ر- تلفات ترانسفورماتورهای KV ۴۰۰/۲۳۰، KV ۴۰۰/۱۳۲ و KV ۴۰۰/٦۳ :

تعداد این ترانس‌ها برابر ٥٤ دستگاه با مجموع ظرفیت MVA ۱۵۰۳۰ و تلفات کل هر مگاولت آمپر KW ۰/٦ می‌باشد، بنابراین تلفات کل برابر می‌گردد با :

$$15030 \times 0.6 = 9.2 \quad MW$$

تلفات بی‌باری کل ترانسفورماتورهای موجود در شبکه برق ایران در سال ۷۵:

$$72.240+28.577+18.950+22.21+7.593+9.2= 158.77 \ MW$$

در صورتیکه Cosφ = ۰/۸ درنظر گرفته شود، قدرت تلف شده MVA ۱۹۸/٤٦ می‌گردد که درحدود قدرت یک نیروگاه با دوواحد ۱۰۰MVA می‌باشد. البته این میزان فقط تلفات اکتیو ترانسفورماتورها بوده و باید تلفات راکتیو به آن اضافه شود که در اینجا از محاسبه آن صرفنظر می‌گردد.

باتوجه به میزان بالای تلفات بی‌باری ترانس‌ها ذیلاً به شرح روش‌های کاهش تلفات مذکور می‌پردازیم.

الف- استفاده از ورقه‌های مغناطیسی با کریستال‌های جهت داده شده در ساخت هسته ترانس:

ورقه‌های مغناطیسی با سیلیسیم و با

کریستال‌های جهت داده شده قبل از سال ۱۹۳۹ در آمریکا تهیه شده و امروزه بطور عمومی در ساختمان ترانس‌های قدرت بکار برده می‌شود. مطالعات آزمایشگاهی نشان می‌دهد که کریستال‌های آهنی از نوع مکعبی بهترین خاصیت مغناطیسی را دارا هستند. ورقه‌های با کریستال‌های جهت داده شده بوسیله آمن بسیار خالص نسبت به ورقه‌های معمولی تهیه می‌شوند که در آنها خصوصاً اندازه کربن از ۰/۰٤ درصد به ۰/۰۰۵ درصد تنزل یافته و شامل ۳ تا ۳/۵ درصد سیلیسیم می‌باشند و بطور سرد نورد شده و دارای سطحی کاملاً صاف و یکنواخت هستند و با ضخامت کمتر از ۰/۳۵ mm تولید می‌شوند. لازم به توضیح است که اضافه‌نمودن سیلیسیم برای کاهش تلفات هیسترزیس و افزایش مقاومت مخصوص ورقه‌ها می‌باشد از طرفی چون تلفات فوکو با مقاومت مخصوص نسبت عکس دارد لذا بالارفتن مقاومت مخصوص موجب کاهش تلفات حاصل از جریان‌های فوکو می‌گردد.

ب- کاربرد مواد دارای ذرات با جهت یافتگی بالا (Hi-B) در ساخت ورقه‌های هسته:

در سال ۱۹٦۷ شرکت ژاپنی Nippon Steel نوع جدیدی از مواد Goss را با نام Hi-B یا Mo-H ارائه کرد. خواص مغناطیسی این مواد به نحوی بود که تولید ترانس‌ها را با تلفات هسته، جریان تحریک و نویز کمتر، راندمان بالاتر، ظرفیت بیشتر و طراحی فشرده‌تر ممکن می‌ساخت. اختلاف عمده مواد جدید Hi-B با مواد مصرفی متداول در ساخت هسته، پوشش سطحی یا عایقی این ورقه‌هاست. پوشش سطحی این مواد شامل یک لایه نازک شیشه‌ای و یک پوشش فسفات است. بهبود جهت‌گیری ذرات و نیز اثر پوشش سطحی فوق باعث شده است تا در خواص مغناطیسی این مواد تغییرات زیر حاصل گردد:

ب-۱- منحنی اشباع یا مغناطیس شوندگی این مواد نسبت به مواد مصرفی دیگر بهبود قابل ملاحظه‌ای یافته است.

ب-۲- وقتی مواد Goss بصورت هسته ساخته می‌شوند تنش‌هایی توسط وزن آنها و نگهدارنده‌ها به آنها اعمال می‌شود. تنش کششی الاستیک اثر مطلوبی روی خواص مغناطیسی دارد در حالیکه تنش فشاری اثر نامطلوبی دارد. در واقع بخاطر اثر پوششی مذکور است که تأثیر تنش فشاری روی ورقه‌های Hi-B کمتر از ورقه‌های دیگر است.

ب-۳- ورقه‌های Hi-B حساسیت کمتری به عملیاتی که درحین ساخت هسته روی آنها صورت می‌گیرد نظیر برش‌های مختلف، سوراخ کاری، خم‌شدگی و دیگر انواع

تنش‌ها دارند. پس از عرضه ورقه‌های Hi-B به سازندگان ترانسفورماتور نتایج بدست آمده از یک دسته ترانسفورماتور ساخته شده از رده قدرت KVA ۱۰ که با هسته پیچشی تهیه شده بود تا ترانسفورماتورهای با ظرفیت بسیار بالا که با هسته چیده شده تهیه شده بود حاکی از کاهش ۵ تا ۲۰ درصدی در تلفات هسته و ۱۰ تا ۵۰ درصدی در توان ظاهری تحریک و ۲ dB تا ۷ dB در نویز آنها بوده است.

ج- کاربرد آلیاژ آمورفوس در ساخت ورقه‌های هسته ترانس:

آلیاژهای فلزی آمورفوس که در مدار مغناطیسی ترانس‌ها بکار می‌رود می‌توانند تلفاتی را که ارتباط با هسته آهنی دارند کاهش داده و باعث صرفه‌جوئی اقتصادی گردند. معمولاً تلفات هسته ترانس با هسته آلیاژ آمورفوس بین ۶۰٪ تا ۷۰٪ کمتر از تلفات هسته ترانس با هسته ساخته شده از بهترین سیلیکون- آهن‌ها است و اگر آنها را با ترانس‌های قدیمی‌تر جایگزین کنیم ۸۰٪ کاهش تلفات را درپی خواهد داشت. از این مواد فعلاً برای ساخت هسته ترانس‌های توزیع استفاده می‌شود و ساخت هسته ترانس‌های قدرت از آنها بخاطر مشکلات اجرایی حین ساخت عملی نیست بطوریکه بزرگترین ترانس ساخته شده با هسته آلیاژ آمورفوس دارای قدرت ۲۵۰۰KVA می‌باشد.

ج-۱- مشخصات مواد آلیاژ آمورفوس

این مواد بصورت نوارهای بسیار نازک و با ضخامت نوعاً ۰/۰۲۵ و حد اشباع مغناطیسی ۱/٤ تسلا، تلفات هسته‌ای به اندازه یک‌سوم تلفات هسته ورقه‌های سیلیکون- آهن دارند. هسته‌های ساخته شده از آلیاژهای آمورفوس به دودلیل دارای تلفات جریان گردابی کمتری می‌باشد. اول آنکه مقاومت الکتریکی این ورقه‌ها حدوداً ۳ برابر قدرت الکتریکی ورقه‌های سیلیکون آهن است. دیگر آنکه جریان گردابی برای مواد نازکتر کمتر است و ورقه‌های آلیاژ آمورفوس با ضخامت تقریبی یک‌هفتم تا یک‌دوازدهم ورقه‌های سیلیکون آهن تأثیر بسزایی در کاهش جریان گردابی را دارند. آلیاژهای آمورفوس از نفوذپذیری مغناطیسی (پرمابیلیته) بالایی برخوردارند و نیز حداشباع کمی دارند. دمای کوری نقطه‌ای است که در آن دما مواد فرومغناطیسی خواص مغناطیسی خود را از دست می‌دهند. این دما در مواد آلیاژ آمورفوس مقدار زیادی است. همچنین این مواد از انعطاف‌پذیری خوبی بدون کاهش سختی برخوردار بوده و مقاومت این مواد در برابر خوردگی بیشتر از مقاومت مواد کریستالیزه شده می‌باشد. از جهت افزایش درجه حرارت، این هسته‌ها بخاطر کم‌بودن

ذاتی تلفات هسته در آنها افزایش درجه حرارت بسیارکمی از خود نشان می‌دهند.

ج-۲- مقایسه فنی هسته‌های ساخته‌شده از مواد آمورفوس و سیلیکون- آهن

جداول ۳ و ٤ مشخصات فنی دو ترانسفورماتور ساخته‌شده به قدرت‌های نامی ۲۰۰ KVA و ۱۰۰ KVA که بصورت هسته Wound و هسته Core type (نوع ستونی) ساخته‌شده را نشان می‌دهد.

با مقایسه مقادیر مندرج در جداول ۳ و ٤ مشاهده می‌شود که تلفات بی‌باری در ترانس‌های با هسته آمورفوس نسبت به ترانس‌های با هسته سیلیکون- آهن تفاوت قابل ملاحظه‌ای دارد.

جدول ۳

RATING(KVA)	ترانسفورماتو ر با هستهٔ آمورفوس 100KVA	ترانسفورماتور با هستهٔ فولاد سیلیسیم‌دار 100KVA
دانسیتهٔ مغناطیسی (تسلا)	۱/۳	۱/۲۳
وزن هسته (کیلوگرم)	۲۲۲	۲۵۱
تلفات بار (وات)	۱۶۲۵	۱۶۲۵
تلفات بی‌باری (وات)	۹۱	۱۷۵

جدول ٤

ترانسفورماتور سه‌فاز ۲۰۰ کیلوولت آمپر		
	هسته آمورفوس	هسته سیلیکون-آهن
وزن مس (کیلوگرم)	۲۱۰	۲۰۰
وزن هسته (کیلوگرم)	٤۰۰	۳٦۰
تلفات بی‌باری (وات)	۹۸	۳۰۰
تلفات بار (وات)	۳٦۰۰	۳۵۸۰
دانسیتهٔ مغناطیسی (تسلا)	۱/۳	۱/۳۵

نتیجه‌گیری و پیشنهاد

باتوجه به اینکه صنعت ترانسفورماتور- سازی درجهان در جهت کاهش تلفات، بویژه تلفات هسته به پیش می‌رود، عمدهٔ موفقیت‌های حاصله در ساخت ترانسفور- ماتورهای با تلفات کم در بکارگیری مواد با تلفات کم در هسته بوده است. بعنوان مثال سیلیکون- آهن‌های جدید حدود ٤٠٪ نسبت به سیلیکون- آهن‌های معمولی کاهش تلفات دارند. همچنین آلیاژهای آمورفوس که گامی مهم در راه کاهش تلفات محسوب می‌شوند، با ارائه ۸۰٪ کاهش تلفات نسبت به سیلیکون- آهن‌های معمولی در بالابردن راندمان سیستم توزیع می‌توانند نقش عمده‌ای را ایفاء نمایند. ساخت ترانسفورماتورهای آمورفوس در کشور با مشکلاتی مواجه است. بزرگترین مشکل آن، تهیه مواد و بعد تهیه هسته از این مواد است. تولید این مواد احتیاج به تکنولوژی پیچیده‌ای دارد و به این لحاظ در داخل کشور در آینده نزدیک امکان‌پذیر به نظر نمی‌رسد. در حالیکه در مورد مواد سیلیکون- آهن علاوه بر آنکه اکثر کشورهای جهان این مواد را تولید می‌کنند، امکان تولید آنها در داخل نیز میسر است. لذا مجموعاً بنظر می‌رسد فعلاً در کشور ما تولید و یا لااقل بکارگیری مواد سیلیکون- آهن با تلفات کم نسبت به مواد آمورفوس از درجهٔ اهمیت بالاتری برخوردار ست. ضمن آنکه تحقیق برای ساخت مواد آمورفوس و ترانسفورماتور با هستهٔ ساخته شده از آنها بعنوان یک امر زیربنایی باید در دستور کار قرار گیرد. همچنین اصلاح فرایند تولید و برطرف‌کردن ایرادات وارده چه در مرحلهٔ طراحی و چه در مرحلهٔ ساخت هسته ترانسفورماتور می‌تواند باعث کاهش تلفات ناشی از ساخت و در نتیجه کاهش تلفات بی‌باری گردد.

ساخت ترانسفورماتورهای با تلفات کمتر عمدتاً افزایش هزینهٔ ساخت را درپی‌دارد، ولی با توجه به ارزش اقتصادی تلفات در طول عمر ترانسفورماتور این امر در حالت کلی اقتصادی است که در مجموع باعث کاهش قیمت نهایی ترانسفورماتور می‌گردد. نکتهٔ مهم دیگر لزوم انتخاب ترانسفورماتور متناسب با پیک بار موجود در محل و با رعایت میزان ذخیره لازم برای موارد مانور شبکه فشار ضعیف و جلوگیری از نصب ترانسفورماتورهای با قدرت زیادتر از حد لازم توسط شرکتهای برق منطقه‌ای است.

باتوجه به نکات فوق می‌توان پیشنهادهای ذیل را بترتیب اهمیت جهت کاهش تلفات ترانسفورماتورهای موجود در شبکه برق ایران خلاصه نمود:

۱- استفاده از ورق‌های Hi-B در ساخت هسته.

٤- طراحی هسته ترانسفورماتور با سطح مقطع بیشتر جهت داشتن چگالی فوران کمتر و در نتیجه کاهش تلفات بی‌باری ترانسفورماتور و انتخاب نقطهٔ کار بهینه باتوجه به ارزش کل تلفات در طول مدت بهره‌برداری.

٥- انتخاب ظرفیت مناسب جهت ترانسفورماتورها و عدم اسراف در این مورد.

٢- بررسی و پژوهش در مورد ساخت مواد مغناطیسی آمورفوس در داخل کشور و استفاده از آن در تولید ترانسفورماتور.

٣- اصلاح و بهینه‌نمودن فرایند تولید ترانسفورماتور جهت کاهش تلفات ناشی از نحوهٔ ساخت.

منابع :

١- آرشیو دفتر فنی شرکت ایران ترانسفو- کارخانه ری

٢- فهرست بهای ترانسفورماتورهای شرکت ایران ترانسفو سال ٧٦

٣- مشکوه‌الدینی.م، تئوری ترانسفورماتور، انتشارات دانشگاه صنعت آب و برق

٤- آمار تفضیلی صنعت برق ایران در سال ٧٥

5- Frankline, A-C, Franklin, DP, The J&P Transformer Book.

6- Mittle, V.N. –Design of electrical Machnines (DC and AC)