بار گذاری بهینه ترانسفورماتورهای توزیع برق

محمدجواد اسدی لاری قدرت‌اله حیدری
بخش انتقال و توزیع شرکت متن

چکیده

گرچه ترانسفورماتورها طوری طراحی می شوند که امکان بارگذاری مداوم آنها تا حد ظرفیت مجاز میسر باشد، اما در مواردی که بحث بهینه سازی تلفات مطرح می شود، همیشه عبور باری در حد ظرفیت نامی موجه نیست. درصد بارگذاری مناسب ترانسفورماتورها تابعی از تلفات بارداری و بی باری و پارامترهای فنی و اقتصادی می باشد. در این مقاله بار گذاری مناسب ترانسفورماتور بر مبنای مشخصه نامی یکی از سازندگان داخلی و پارامترهای فنی و اقتصادی غالب در کشور مورد بررسی قرار می گیرد.

مقدمه

یکی از عوامل ایجاد تلفات در شبکه های توزیع و فوق توزیع، ترانسفورماتورها می باشند. با توجه به اینکه این تجهیزات به وفور در سطوح مختلف ولتاژ در شبکه های انتقال و توزیع مورد استفاده قرار می گیرند و نیز یکی از اجزاء کلیدی شبکه به حساب می آیندلازم است تدابیری در جهت کاهش تلفات آنها اندشیده شود.

تلفات ترانسفورماتورها به دو دسته بارداری و بی باری تقسیم بندی می شود. تلفات بی باری مستقل از بار و تقریباً مقداری ثابت را اختیار می نماید،در حالی که تلفات بارداری به مشخصات مصرف و منحنی تغییرات آن وابسته می باشد، لذا با تغییر در مشخصه های بار می توان مقدار این تلفات را تغییر داد.

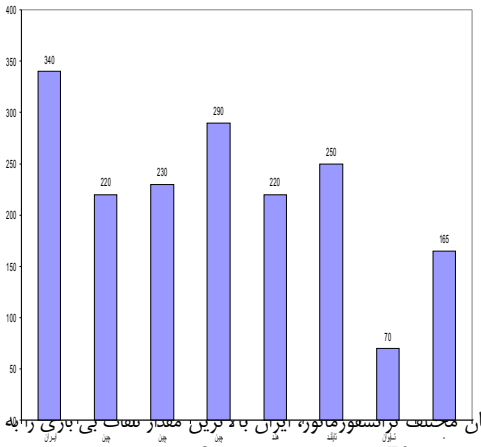
در این مقاله سعی شده است ضمن بررسی مقادیر تلفات ترانسفورماتورهای مربوط به تعدادی از سازندگان داخلی و خارجی، راهکارهایی جهت بهبود و کاهش تلفات و نیز انتخاب ظرفیت بهینه ترانسفورماتور در حالات مختلف بارگیری ارائه گردد. دراین بررسیها علاوه بر پارامترهای اقتصادی از جمله نرخ سود و تورم و قیمت انرژی و توان به مشخصه های بار نیز توجه شده است .

بررسیهای انجام شده نشان می دهد که ظرفیت بهینه ترانسفورماتورها در شرایط مختلف فنی و اقتصادی حتی برای پیک بار یکسان می تواند ارقام مختلفی را به خود اختصاص دهد که این مطلب در ادامه مورد بررسی قرار می گیرد .

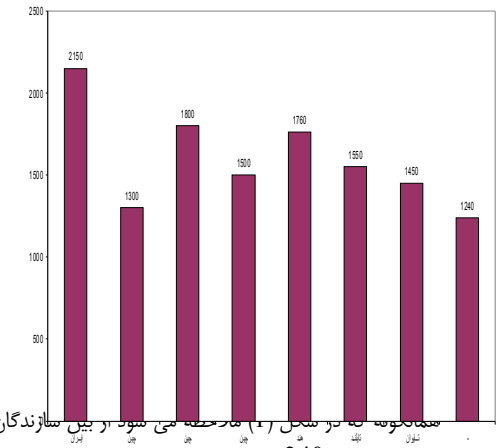
1- مقایسه تلفات ترانسفورماتورهای ساخت داخل و خارج

تلفات ترانسفورماتور به دو بخش تلفات بارداری و بی باری تقسیم می شود. گرچه تلفات بارداری به علت وابستگی به نوع مصرف از تغییرات مشخصه های بار تأثیر می پذیرد، اما تلفات بی باری تقریبا ثابت می ماند. ولی در هر حال برای تلفات بارداری و بی باری مقادیر مشخصی تحت عنوان تلفات اسمی که در شرایط بهره برداری نرمال رخ می دهد،بیان می گردد که این مقادیر وابسته به نوع طراحی و جنس مواد مصرفی در جهت ساخت ترانسفورماتور می دارد لذا طراحان و سازندگان مختلف ترانسفورماتورهایی با مقادیر تلفات نامی متفاوت را تولید می کنند.

در یک مقایسه می توان وضعیت سازندگان ترانسفوماتور را در چند کشور مختلف جهان بررسی نمود. دیاگرام شکلهای (1) و (2) تلفات بی باری و بارداری یک دستگاه ترانسفورماتور 100 کیلوولت آمپر ساخت کشورهای مختلف را نشان می دهد [1و2] .



شکل (1) : دیاگرام مقایسه ای تلفات بی باری



شکل (2) : دیاگرام مقایسه ای تلفات بارداری

همانگونه که در شکل (۲) ملاحظه می شود در بین سازندگان مختلف ترانسفورماتور، ایران با پائین ترین مقدار تلفات بی باری را به خود اختصاص داده است (340 وات) و کمترین مقدار مربوط به کشور تایوان (70 وات) می باشد. شکل (2) نیز بطورمشابه مقایسه ای را در مورد تلفات بارداری ترانسفورماتورهای مختلف، به نمایش می گذارد. از این دیاگرام نیز چنین بر می آید که ترانسفورماتورهای ساخت داخل با 2150 وات تلفات بالاترین مقدار تلفات را دارا می باشد در حالی که ترانسفورماتورمربوط به یک شرکت اروپایی با 1240 وات کمترین تلفات را به خود اختصاص داده است، یعنی تقریباً نصف تلفات کشور ایران است.همانطور که ملاحظه می شود نزدیکترین میزان تلفات به تلفات ترانسفورماتور ساخت داخل،تلفات ترانسفورماتور ساخت کشور چین به میزان 1800 وات (350 وات کمتر از سازنده داخلی) است .

از این مقایسه‌ها چنین بر می آید که کشور ایران از جمله کشورهایی است که تلفات ترانسفورماتورهای آن در حالت نامی در دسته بالاترین تلفات ترانسفورماتورها می باشد. لذا در جهت بهبود وضعیت بهره برداری از ترانسفورماتورها باید تدابیری اندیشیده شود.

اما اینکه چگونه می توان تلفات ترانسفورماتورها را کاهش داد و یا تا چه حد می توان در جهت کاهش تلفات ترانسفورماتورها گام برداشت مستلزم شناخت عوامل مختلف مؤثر بر میزان تلفات ترانسفورماتورها می باشد.

2- ارزش تلفات

در صنعت برق کشور برای خرید ترانسفورماتورهای بزرگ ارزش تلفات بی باری و بارداری در بررسیهای فنی و اقتصادی دخالت داده می شود که این امر سبب می شود تا سازندگان نسبت به کاهش تلفات داخلی اقدام نمایند. متاسفانه در ترانسفورماتورهای توزیع این امر مهم مورد توجه قرار نمی گیرد و حتی قیمت ترانسفورماتور توسط مراجع مختلف تعیین می گردد. قیمت گذاری ترانسفورماتور سبب می شود تا سازندگان داخلی تمایلی به خرید مواد بهتر و درنتیجه کاهش تلفات نداشته باشند و درنتیجه بی مورد

تلفات شبکه بالا رود. بهمین دلیل لازم است در قیمت گذاری ترانسفورماتورهای توزیع نیز ارزش تلفات دخالت داده شود. درحالت کلی ارزش تلفات بارداری و بی باری ترانسفورماتورها بصورت زیر محاسبه می‌شود[3و4] :

$$PVL_L = \left[CP * GRF + \left(CE * EF * LSF * T\right)\right] * \left(S/S_n\right)^2 * LL \quad (1)$$

$$PVL_N = \left(CP * GRF + T * EF * CE\right) * NL \quad (2)$$

$$PVL = PVL_L + PVL_N \quad (3)$$

در این روابط، PVL_L ارزش حال تلفات بارداری،GRF ضریب ذخیره،CP قیمت هر کیلووات توان (ریال)، CE قیمت انرژی (ریال)،T دوره مطالعه (ساعت)،LSF ضریب تلفات،S ماکزیم بار،Sn ظرفیت نامی ترانسفورماتور،LL تلفات بارداری نامی، PVL_N ارزش حال تلفات بی باری،NL تلفات بی باری نامی و PVL ارزش حال کل تلفات می باشد. فاکتور EF ضریب اقتصادی هزینه ها می باشد که بصورت زیر محاسبه می شود :

$$EF = \frac{\left(1+J\right)^n - 1}{J.\left(1+J\right)^n} \quad (4)$$

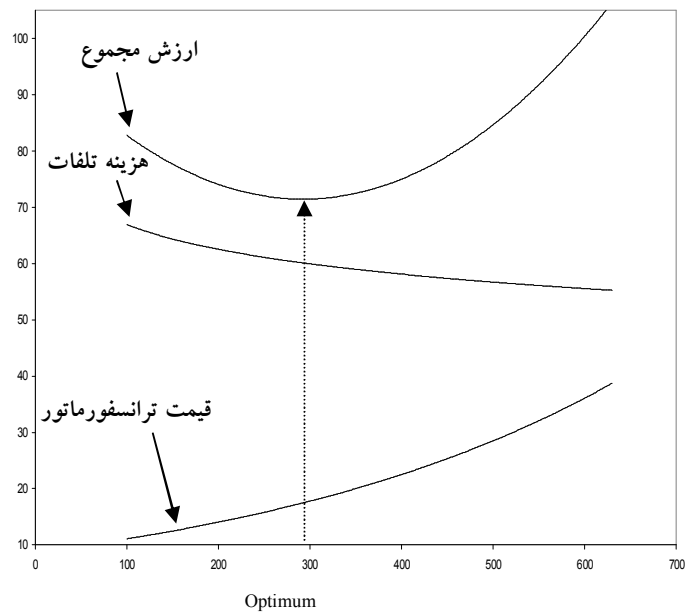
که در آن، n دوره مطالعه برحسب سال و J درصد سالیانه تفاضل بهره و تورم می باشد. همانگونه که ملاحظه می شود تمامی عوامل زمانی و اقتصادی ، طراحی و ساخت و نیز عوامل وابسته به بار در فرمولهای بالا در نظر گرفته شده اند حال با توجه به این فرمولها و موارد ذکر شده، به بررسی تأثیر عوامل مختلف در هزینه ترانسفورماتور و ظرفیت بهینه می پردازیم.

ظرفیت بهینه ظرفیتی است که اولاً نیازهای فنی شبکه را بر آورد نماید ثانیاً از لحاظ اقتصادی نیز مورد تأئید و به صرفه باشد. نیازهای فنی شبکه یعنی اینکه ظرفیت ترانسفورماتور از ماکزیمم بار کمتر نباشد نیز مشخصات ترانسفورماتور با مشخصات شبکه مطابقت داشته باشد. از لحاظ اقتصادی نیز ارزش حال هزینه بهره برداری چنین ترانسفورماتوری باید حداقل مقدار را داشته باشد.در این مبحث ظرفیت بهینه از لحاظ اقتصادی مورد بررسی قرار می گیرد.

کاهش تلفات ترانسفورماتور یکی از راههای کاهش هزینه ترانسفورماتور می باشد از دیگر راههای کاهش هزینه ترانسفورماتور افزایش ظرفیت نامی ترانسفورماتور است هرکدام از این تغییرات موجب افزایش قمیت ترانسفورماتور می گردد.

اما تا چه حد می توان اقدام به کاهش تلفات و یا افزایش ظرفیت نامی ترانسفورماتور انتخابی نمود؟ انجام چنین اقداماتی تا حدی مجاز و قابل قبول می باشد که از لحاظ اقتصادی ترانسفورماتور صرفه داشته باشد. یعنی قیمت آن از حدود مجاز اقتصادی خارج نگردد.

در یک بررسی می توان به این نتیجه رسید که با انتخاب ترانسفورماتور با ظرفیت بالاتر از طرفی قیمت ترانسفورماتور افزایش می باید از طرف دیگر هزینه تلفات بارداری به نسبت $\left(S/S_n\right)^2$ کم می‌گردد. این دو عامل با هم موجب ایجاد یک نقطه بهینه می گردد. نمودار شکل (3) تعامل این دو حالت را نشان می‌دهد [3] .



شکل (3) : نمودار برآورد ظرفیت بهینه ترانسفورماتور

همانـطور که مـشاهده می شود با افزایش ظرفیـت ترانسـفورماتور قـیمت ترانـسفورماتـور زیاد می‌شود از طرفی هزینه تلفات تا مقدار مشخصی از ظرفیت ترانسفورماتور بصورت نزولی تغییر می کند. جمع این دو نمودار شامل نقطه ای بهینه می باشد که همـان ظرفیت بهینه است. اما این ظرفیت بهینه به چه صورت با عوامل مختلف تغییر می کند. در ادامه به بررسی تغییرات نقطه بهینه در اثر تغییر ضریب بار و قیمت انرژی می پردازیم.

در بررسیهای اقتصادی دیاگرام بالا پارامترهای زیر منظور گردیده است. طبیعی است با تغییر هریک از آنها نتایج نیز تغییر می کند [5] .

GRF= 1.3 ,CP=4000000Rial ,T=8760 h, n=30 , J=0.04 , CE=300Rial , S=100KVA

ضمنا برای محاسبه ضریب تلفات از رابطه زیر استفاده شده است. در این رابطه K ضریبی است وابسته به نوع مصرف [6] .

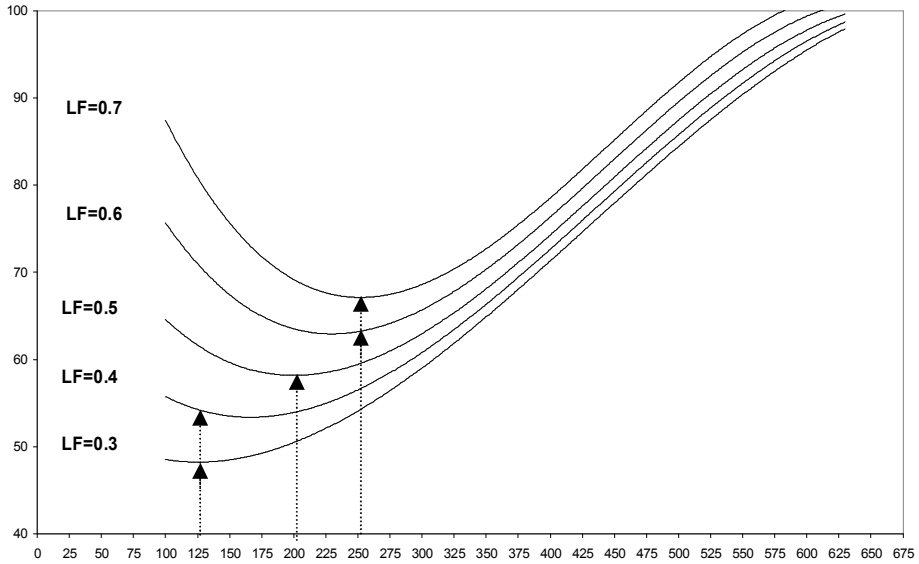
$$LSF = K.LF^2 \qquad (5)$$

در ادامه مطالعات تاثیر تغییرات ضریب بار و قیمت انرژی مورد بررسی قرار می گیرد .

1-2- نقش ضریب بار در ظرفیت بهینه

گرچه تلفات توان ترانسفورماتورها به میزان پیک بار وابسته است اما مقدار تلفات انرژی آنها تابعی از تغییرات بار و درنتیجـه ضریب بار می باشد، به عبارت دیگرممکن است حتی برای پیک بار یکسان برحسب اینکه ضریب بار چند باشد،ظرفیت بهینه تغییر نماید .

با تغییر ضریب بار ، ظرفیت بهینه نیز جابجا می شود همانطورکه شکل (4) نشان می دهد با افزایش ضریـب بار، ظــرفیت بهـینه نیز مقـدار بیـشتری را می‌پذیرد [3و4] .



شکل (4) : تاثیر ضریب بار در ضرفیت بهینه

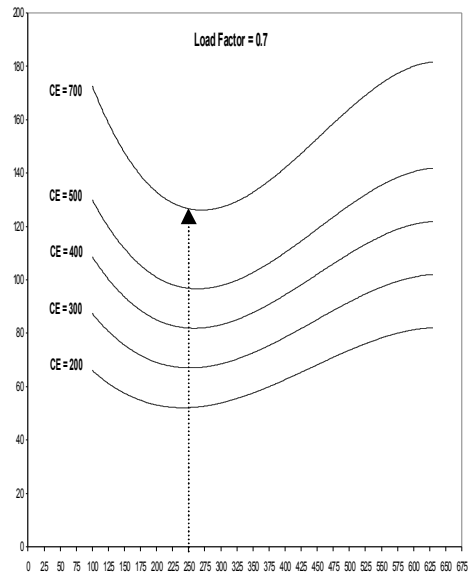
با توجه به این نمودار می توان چینن گفت که در مناطقی که ضریب بار آنها بالا می باشد، ظرفیت بهینه، مقدار بـالاتری را اختیار می کند بطوری که مثلاً برای ضریب بار 0/3 مطابق با نمودار شکل (4) ظرفیت بهینه 125 کیلوولت آمپـر بـرای بـار 100 کیلوولت آمپر کافی است در حالی که در ضریب بار 0/6 ظرفیت بهینه 250 کیلوولت آمپر است،یعنی دو برابر ظرفیت ترانسفورماتور در حالت قبل .

2-2- نقش قیمت انرژی در ظرفیت بهینه

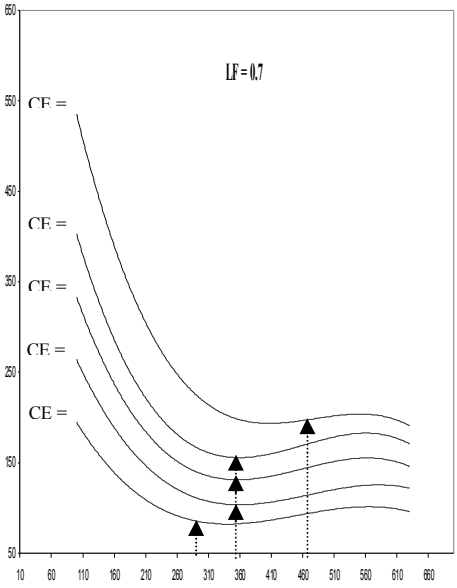
برای بررسی چگونگی تاثیرگذاری دیماند مصرف و قیمت انرژی در ظرفیت بهینه این مطالعه برای مصرف کننده ای با ضریب بار 7/. بررسی می شود. در این مطالعه برحسب اینکه دیماند مصرف (ماکزیمم بار) برابر 100 یا 200 کیلوولت آمپـر باشـد و قیمـت انرژی نیز در محدوده 500،400،300،200 و 700 ریال تغییر نماید،انجام می شود،که نتـایج بصـورت دیـاگرام شـکلهای (5و6) مشاهده می شود .

همانطورکه از این اشکال برمی آید،در دیماند 100 کیلوولت آمپری،قیمت انرژی تاثیر چندانی در ظرفیت بهینه ندارد،بطوریکه ظرفیت بهینه برای مقادیر مختلفی از قیمت انرژی (در محدوده تعیین شده) برابر مقدار 250

کیلوولت آمپر می باشد. اما با افزایش دیماند مصرف، هرچه قیمت انرژی افزایش می یابد، ظرفیت بهینه نیز مقدار بیشتری را اختیار می نماید. این مطلب درمورد بار 200 کیلوولت آمپر در ضریب بار 0/7 در شکل (6) مشاهده می شود. در این شکل برای قیمت انرژی 200 ریال ظرفیت 315 کیلوولت آمپر بهینه است درحالیکه برای قیمتهای انرژی 400،300 و 500 ریـال، ظرفیـت 400 کیلوولت آمپر و برای قیمت انرژی 700 ریال ظرفیت 500 کیلوولت آمپر ظرفیت بهینه می باشد. در کل با افـزایش قیمـت انـرژی، ظرفیت بهینه نیز افزایش می‌یابد .



شکل (5) : نمودار بهینه‌یابی ظرفیت برمبنای توان 100 کیلوولت آمپر



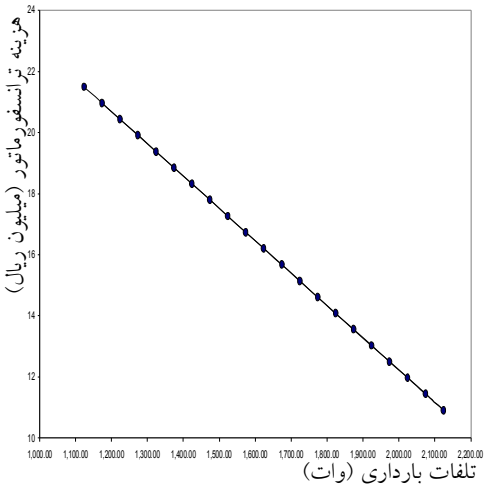
شکل (5) : نمودار بهینه‌یابی ظرفیت برمبنای توان 200 کیلوولت آمپر

2-3- کاهش تلفات نامی ترانسفورماتور

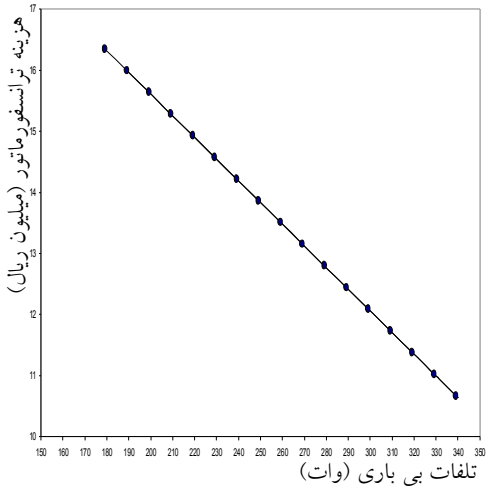
به منظور کاهش تلفات بارداری و بی باری نامی ترانسفورماتور می توان جنس ترانسفورماتور را بهبود بخشید. استفاده از مواد بهتر و درنتیجه تلفات کمتر مستلزم افزایش قیمت ترانسفورماتور است، که این خود عاملی منفی در جهت کاهش هزینه ها می باشد .

اما تا چه حد می توان تلفات را کم کرد؟ نمودار شکلهای (7و8) قیمت اقتصادی ترانسفورماتور را در تلفات نامی متفاوت نشان می دهد. این نمودارها مربوط به ترانسفورماتور 100 کیلوولت آمپر می باشد. قیمت فعلی این ترانسفورماتورها در ایران 10/64 میلیون

ریال می باشد. هزینه های محاسبه شده در حد مرزی یعنی بدون سود و ضرر می باشند، یعنی هزینه کاهش تلفات مستقیماً به قیمت ترانسفورماتور اضافه گشته است، هرچه هزینه تمام شده ترانسفورماتور از هزینه اقتصادی بدست آمده از این نمودارها کمتـر باشـد، بـه سمت سودبری پیش رفته ایم و درصورتیکه هزینه تمام شده ترانسفورماتور از این هزینه بیشـتر باشـد، تولیـد ترانسـفورماتور از لحـاظ اقتصادی توجیه ندارد و به صرفه نیست .



شکل (8) : قیمت بهینه ترانسفورماتور در مقدار تلفات بارداری مختلف



شکل (7) : قیمت بهینه ترانسفورماتور در مقدار تلفات بی باری مختلف

3- نتیجه گیری

ارزیابی انجام شده دراین مقاله نشان می دهد بر حسب اینکه تلفات بارداری و بی باری ترانسفورماتور چـه مقـدار باشـند یـا منحنی تغییرات بار مصرف کننده چگونه باشد و یا پارامترهای فنی و اقتصادی حاکم در بررسیها چه باشد حتی برای پیک بار یکسان، ظرفیت بهینه ترانسفورماتورها، تغییر می کند و بطور خلاصه می توان به نتایج زیراشاره کرد :

1- صرف برابر بودن پیک بار نمی تواند تعیین کننده ظرفیت بهینه باشد بعنوان مثال در صـورتیکه قرارباشد از بین ترانسفورماتورهای مختلف ساخت داخل ظرفیت بهینـه را بـرای یـک مصـرف کننده 100 کیلو ولت آمپری انتخاب شود بر حسـب اینکـه ضـریب بـار 0/3 یـا 0/7 باشـد ظرفیت بهینه ترانسفورماتور 125یا 250 کیلو ولت آمپر می باشد .

2- بر حسب اینکه ترانسفورماتورها از نوع ساخت داخل یا از نوع کم تلفات خارجی باشد, ظرفیت بهینه بـرای یـک مصرف کننده 100 کیلوولت آمپری می تواند از رقم 250 تا حد 100 کیلوولت آمپر کاهش یابد، که این مطلب نشانگر نقش تلفات داخلی ترانسفورماتور در انتخاب ظرفیت بهینه آنها می باشد .

3- قیمت انرژی عامل مؤثری است که می تواند در ظرفیت بهینه تاثیرگذار باشد، لذا برحسب اینکه چه میزانی برای قیمت انرژی مصرفی درنظر گرفته شود، ظرفیت بهینه نیز تغییر می‌کند .

این بررسی نشان می دهد که برای کاهش تلفات انرژی و بهره برداری بهینه از ترانسفورماتورها لازم است سازندگان داخلی ضمن توجه به کاهش تلفات داخلی برای هر ظرفیت چند تیپ ترانسفورماتور با مقادیر مختلفی از تلفات داخلی (و در نتیجه قیمتهای مختلف) به بازار مصرف ارائه دهند تا برحسب مورد امکان بهینه سازی تلفات میسر گردد .

منابع و مراجع

1- کاتولوگ مشخصات فنی ترانسفورماتورهای توزیع شرکت ایران ترانسفو،1382

2- کاتولوگهای مشخصات فنی ترانسفورماتورهای ساخت کارخانجات کشورهای چین،تایوان،تایلند و شرکت ABB

3- پروژه بهینه سازی تلفات ترانسفورماتورهای توزیع و فوق توزیع،شرکت متن، مهرماه 1382

4- قدرت اله حیدری، ''انتخاب ظرفیت ترانسفورماتورها از دیدگاه بهینه سازی تلفات الکتریکی ''،نهمین کنفرانس مهندسی برق،دانشگاه صنعت آب و برق(شهید عباسپور)،1381

5- کتاب ''تلفات شبکه های الکتریکی ''،قدرت اله حیدری،انتشارات تابش برق،شرکت برق منطقه ای تهران

6-"Experimental/Mathematical Model for Loss Factor", Gh. Heidari, IEEE, NAPS, Nevada, USA,Oct. 1992