ششمین کنفرانس شبکه های توزیع نیروی برق

بهره برداری و تعمیرات شبکه های توزیع

تعیین مدل تلفات بی باری ترانسفورماتورهای توزیع بطور دقیق

محمد اسماعیل همدانی گلشن - مهدی معلم - پیمان نیازی - علی بدری

دانشگاه صنعتی اصفهان

چکیده :

تعیین دقیق تلفات بی باری ترانسفورماتورهای توزیع به منظور ارزیابی صحیح هزینه تلفات سیستم توزیع وارائه روشهای اقتصادی به‌منظورکاهش این هزینه هاازاهمیت خاصی برخورداراست ، زیرابه علت تعدادزیادترانسفورماتورهادریک سیستم توزیع الکتریکی ،تلفات بی باری آنهاقسمت مهمی ازکل تلفات رابه خوداختصاص می دهد.بنابراین بایداثرکلیه عوامل وپارامترهای دخیل درمدل تلفات بی باری ترانسفورماتورهای توزیع درنظرگرفته شود.دراین مقاله اثرشرایط غیراستانداردکاریعنی وجودهارمونیک‌های ولتاژدرتغذیه ترانسفورماتور ودمای غیراستاندارد کار در تلفات بی‌باری بطورتحلیلی موردبررسی قرار می‌گیرند. همچنین چگونگی تعیین تأثیرعواملی چون KVA و KV نامی ،کیفیت ساخت وسال تولید ترانسفورماتورتوزیع برروی تلفات بی باری آن بوسیله روشهای آزمایش واندازه‌گیری ارائه می‌گردد.

شرح مقاله

بواسطه تعدادزیادترانسفورماتورهادریک سیستم توزیع الکتریکی ،تلفات آنهاقسمت مهمی ازکل تلفات شبکه توزیع راتشکیل می دهد.بطور کلی تلفات یک ترانسفورماتورشامل تلفات بی‌باری وتلفات بارمی‌باشد. خودتلفات بی باری شامل مؤلفه‌های زیراست .

۱ - تلفات هیسترزیس دورورقه های هسته ۲ - تلفات فوکو دورورقه‌های هسته

۳ - تلفات جریانهای گردابی سرگردان درمواد فرومغناطیس غیرازهسته مانند پیچها، گیره‌ها و.....

۴ - تلفات اهمی سیم پیچهابواسطه جریان مغناطیس کننده

۵ - تلفات عایقی

تلفات اهمی جریان مغناطیس کننده ،بعلت کوچکی این جریان درمقایسه باجریان بارنامی قابل صرفنظرکردن می‌باشد .همچنین چون تلفات عایقی برای ولتاژکمتراز ۵۰ KV ناچیزاست و ولتاژ توزیع هم زیراین مقداراست پس برای ترانسفورماتورهای توزیع می توان ازاین تلفات صرفنظر کرد.

تلفات هیسترزیس وفوکوبااستفاده ازروابط زیرقابل محاسبه می باشند.

$$P_h = \int H.dB \qquad Joul/m^3 \qquad (۱)$$

$$P_e = \frac{(\pi f B_m d)^2}{4\rho} \qquad Joul/m^3 \qquad (۲)$$

که B_m پیک چگالی فلو، ρ مقاومت الکتریکی مخصوص هسته ، f فرکانس ، d ضخامت ورقه‌های هسته، P_h تلفات هیسترزیس و P_e تلفات فوکومی‌باشند. همانگونه‌که مشاهده می‌شود تلفات هیسترزیس باپیک چگالی فلومتناسب است .دربدست آوردن رابطه (۲)فرض می شودکه ماده یکنواخت ودارای ضریب نفوذمغناطیسی ثابت است .معمولا"تلفات بی باری اندازه‌گیری شده از مجموع تلفات هیسترزیس وفوکوی محاسبه شده توسط فرمولهای فوق بیشتراست .اختلاف بین تلفات بی‌باری اندازه‌گیری شده ومحاسبه شده راتلفات غیرعادی می نامیم .تلفات غیرعادی می‌تواندناشی ازاعوجاج ولتاژ،درجه حرارت کار،کیفیت ساخت ترانسفورمانور،طول عمرو اثر

فرسودگی باشد.شرایط استاندارد کارترانسفورماتورعبارت ازکارباولتاژکاملا"سینوسی ودردرجه حرارت کارمبنامی‌باشد.وجود هارمونیک‌های ولتاژ ودمای کارغیرمبنا،شرایط کارغیراستاندارد را ایجاد می‌کنند.دراین مقاله اثرشرایط کار غیراستاندارد،همچون تأثیر۴ عامل ظرفیت وولتاژ نامی ، کیفیت ساخت وطول عمربرروی تلفات بی‌باری ترانسفورماتور توزیع بررسی می‌شود. اثرشرایط غیراستاندارد کار بطور تحلیلی مورد بررسی قرار می‌گیرند وروابطی جهت تبدیل تلفات بی‌باری ترانسفورماتور توزیع ازشرایط استاندارد به غیراستاندارد و بالعکس استخراج میگردد. چون اثر عوامل دیگر بطورتحلیلی نمی‌تواندمدل شود،روشی جهت مدل کردن آنهادرتلفات بی باری ترانسفورماتور توزیع توسط اندازه‌گیری وآزمایش ارائه می گردد.

اکنون به بررسی عوامل مختلف برتلفات بی‌باری می پردازیم .

۱ - اثراعوجاج ولتاژ [۳و۲و۱]

فرض می کنیم موج ولتاژدرنقاط $wt=0$ و $wt=\pi$ صفرمی شود.بااین فرض از اثرمینورلوپها صرفنظر می‌شود. ولتاژ اعوجاج یافته رامی توان بشکل بسط فوریه تحلیل کرد.این ولتاژفقط دارای هارمونیکهای فرد می‌باشد. بنابراین :

$$V(\omega t)=V_1\sin\omega t \pm V_3\sin 3\omega t \pm \ldots \pm V_{2n+1}\sin(2n+1)\omega t \qquad (۳)$$

ثابت شده‌است که تلفات فوکورامیتوان بایک مقاومت معادل **Re** نشان دادمشروط به اینکه عمق نفوذ شار بزرگترازضخامت ورقه‌هاباشدکه درفرکانس های هارمونیکهای موردنظراین شرایط برقراراست . باتوجه به تحلیل فوریه ولتاژاعوجاج یافته می توان نوشت :

$$P_{ed}=\frac{1}{R_e}[V_1^2+V_3^2+\ldots+V^2_{2n+1}]=\frac{V_{rms}^2}{R_e} \qquad (۴)$$

اگر تغذیه ،سینوسی خالص باشدتلفات فوکوبرابرخواهدبودبا:

$$P_{es}=\frac{V^2_{0rms}}{R_e} \qquad (۵)$$

باتوجه به روابط فوق داریم :

$$\frac{P_{ed}}{P_{es}}=\left(\frac{V_{rms}}{V_{0rms}}\right)^2 \qquad (۶)$$

که :

P_{ed} تلفات فوکوتحت تغذیه ولتاژاعوجاج یافته P_{es} :تلفات فوکوتحت تغذیه سینوسی

V_{rms} :مقدارمؤثرولتاژدارای اعوجاج V_{orms} :مقدارمؤثرولتاژسینوسی

درحالت تغذیه سینوسی **rms** موج ولتاژبامتوسط ولتاژ ضربدرفرم فاکتورموج برابراست .فرم فاکتور برای وسایل اندازه‌گیر **AC** که ازروش یکسوسازی تمام موج استفاده می کنندبرابر **1.11** می‌باشدیعنی :

$$V_{orms}=1.11V_{AVG} \qquad (۷)$$

همانطورکه قبلاً گفته شدتلفات هیسترزیس به ماکزیمم چگالی شار بستگی دارد (صرفنظرازاثر مینورلوپها) اگردر دوحالت تغذیه سینوسی وتغذیه باموج اعوجاج یافته تلفات هیسترزیس برابرباشد.پس ماکزیمم چگالی شاردردوتغذیه یکسان بوده است .حال بایدبررسی کرد چه فرضی بیانگرمساوی بودن ماکزیمم چگالی شاردرحالت تغذیه سینوسی وتغذیه باولتاژ اعوجاج یافته است .

اگرتغذیه ترانس ولتاژاعوجاج یافته باشدفرمول زیرمقدار شار رامی‌دهد.

$$B=K\int V(\omega t)d(\omega t) \qquad (۸)$$

ویا

$$B(\omega t)=K\int [V_1\sin\omega t\pm\ldots\pm V_{2n-1}\sin(2n+1)\omega t]d(\omega t) \qquad (۹)$$

که پس ازانتگرال‌گیری داریم :

$$B(\omega t)=K\left[-V_1\cos\omega t\pm\ldots\pm\frac{V_{2n+1}}{2n+1}\cos(2n+1)\omega t\right] \qquad (۱۰)$$

ویا

$$B(\omega t)=-B_1\cos\omega t\pm\ldots\pm\frac{B_{2n+1}}{2n+1}\cos(2n+1)\omega t \qquad (۱۱)$$

اگربخواهیم ماکزیمم چگالی شاررامحاسبه کنیم مشتق رابطه فوق رابرابرصفرقرارمی دهیم یعنی :

$$\frac{dB(\omega t)}{d(\omega t)}=0$$

که مشتق چگالی شاردر $\omega t=\pi$ صفرمی شودومقدارماکزیمم چگالی شاربرابراست با:

$$|B_m| = B_1 + \frac{B_3}{3} + \ldots + \frac{B_{2n+1}}{2n+1} \qquad (۱۲)$$

اگر B_o ماکزیمم چگالی شارتحت تغذیه ولتاژسینوسی باشدبرای مساوی بودن تلفات هیسترزیس تحت دوتغذیه بایدداشته باشیم :

$$B_o = B_m \qquad (۱۳)$$

که باجایگذاری ازرابطه (۱۲)داریم :

$$B_o = B_1 + \frac{B_3}{3} + \ldots + \frac{B2_{n+1}}{2n+1} \qquad (۱۴)$$

ازطرفی اگرمیانگین ولتاژاعواج یافته رامحاسبه کنیم داریم :

$$V_d(\omega t)|_{AVG} = |\frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} V(\omega t)d\omega t| = \frac{2}{\pi}[V_1 \pm \ldots \pm V_{2n+1}] \qquad (۱۵)$$

اگرطرفین رابطه (۱۲)رادر $\frac{2}{\pi k}$ ضرب کنیم خواهیم داشت :

$$\frac{2}{\pi k} B_0 = \frac{2}{\pi k}[B_1 + \frac{B_3}{3} + \ldots + \frac{B_{2n+1}}{2n+1}] \qquad (۱۶)$$

ویا

$$\frac{2}{\pi} V_0 = \frac{2}{\pi}[V_1 + \frac{V_3}{3} + \ldots + \frac{V_{2n+1}}{2n+1}] \qquad (۱۷)$$

ویا

$$V_0(\omega t)|_{AVG} = V_d(\omega t)|_{AVG} \qquad (۱۸)$$

یعنی درصورتیکه متوسط موج ولتاژاعوجاج یافته وموج ولتاژسینوسی برابرباشندماکزیمم چگالی شار درهردوحالت یکسان خواهدبود.

حال می‌توانیم باتوجه به مطالب فوق ،رابطه بین‌تلفات هسته درشرایط تغذیه غیرسینوسی (ولتاژ دارای اعوجاج) وتلفات درشرایط سینوسی بافرض برابر بودن متوسط ولتاژ دردوحالت بدست آوریم. به این ترتیب باداشتن‌تلفات هسته درشرایط موج ولتاژسینوسی می‌توان تلفات هسته را در شرایط ولتاژغیرسینوسی بدست آوردوبالعکس .

$$P_{core} = \frac{P_M}{p_1 + p_2(V_{rms}/1.11\ V_{AVG})^2} \qquad (۱۹)$$

که :

P_{core} = تلفات بی باری درتغذیه سینوسی باولتاژمتوسط V_{AVG}

P_M = تلفات بی باری درتغذیه غیرسینوسی

P_1 = پریونیت تلفات هیسترزیس تحت شرایط ولتاژسینوسی بامتوسط V_{AVG}

P_2 = پریونیت تلفات فوکوتحت شرایط ولتاژسینوسی بامتوسط V_{AVG}

۲ - اثردما [۱]

عامل مهم دیگردرتلفات بی باری دمامی باشد.براثرآزمایش مشاهده شده که تلفات هیسترزیس وابستگی ناچیزی به دما داردوکاهش اندکی دردمای بالای $100^{\circ}C$ دارد[۱]. تلفات فوکو باافزایش دماکاهش می‌یابدکه این می تواندبه دلیل افزایش مقاومت الکتریکی هسته فرومغناطیس باشد. ازاینروعمده اثر دما را برتلفات فوکودرنظرمی گیریم .دراین روندااثراعوجاج ولتاژ را نیز وارد میکنیم وبه این ترتیب رابطه‌ای کلی بین تلفات درشرایط غیراستاندارد وتلفات درشرایط استاندارد بدست خواهیم آورد.

فرض کنیدتلفات بی باری ترانس تحت تغذیه سینوسی ودردمای T برابربا P(T) باشد.

$$P(T)=P_H+P_{es}(T) \qquad (۲۰)$$

همانطورکه قبلا"گفتیم تلفات فوکورامی توان بایک مقاومت R_e نمایش داد. ($Pe=\frac{V^2}{R_e}$) پس تلفات فوکوبامقاومت R_e رابطه‌معکوس دارد.اگر α ضریب حرارتی باشدو R_O مقاومت دردمای $20^{\circ}C$ باشد پس مقاومت R در دمای T برابراست با:

$$R=R_O\alpha\ (\frac{1}{\alpha}+T-20^{\circ}) \qquad (۲۱)$$

بنابراین رابطه بین تلفات فوکودردمای T_O و T چنین است .

$$\frac{P_{es}(T)}{P_{es}(T_O)} = \frac{R(T_O)}{R(T)} \qquad (۲۲)$$

که نتیجه میدهد:

$$P_{es}(T) = P_{es}\ (T_O)\frac{R(T_O)}{R(T)} \qquad (۲۳)$$

ودرنتیجه می‌توانیم تلفات بی‌باری P(T) رابصورت زیربنویسیم .

$$P(T)=P_H+P_{cs}(T_0)\ \frac{(1/\alpha+T_0-20)}{(1/\alpha+T-20)} \qquad (۲۴)$$

اگرازطرف دوم معادله فوق از $P(T_O)$ فاکتوربگیریم خواهیم داشت :

$$P(T)=\left[\frac{P_H}{P(T_0)}+\frac{P_{cs}(T_0)}{P(T_0)}\ \frac{(1/\alpha+T_0-20)}{(1/\alpha+T-20)}\right]P(T_0) \qquad (۲۵)$$

حال فرض کنید $P_m(T_1)$ تلفات بی‌باری اندازه‌گیری شده تحت ولتاژتغذیه دارای اعـوجاج ودمای T_1 باشد پس داریم :

$$P_m(T_1)=P_H+P_{ed}(T_1) \qquad (۲۶)$$

باتوجه به مطالب گذشته می توانیم $P_M(T_1)$ رابصورت زیربنویسیم :

$$P_m(T_1)=P_H+P_{cs}(T_1)\left[\frac{V_{rms}}{1.11V_{AVG}}\right]^2 \qquad (۲۷)$$

حال طرفین رابطه فوق رابر $P(T_O)$ تقسیم می کنیم وباتوجه رابطه (۲۳) خواهیم داشت :

$$\frac{P_m(T_1)}{P(T_0)}=\frac{P_H}{P(T_0)}+\frac{P_{cs}(T_0)}{P(T_0)}\ \frac{(1/\alpha+T_0-20)}{(1/\alpha+T-20)}\left(\frac{V_{rms}}{1.11V_{AVG}}\right)^2 \qquad (۲۸)$$

ازرابطه فوق $P(T_O)$ رامحاسبه می کنیم پس خواهیم داشت :

$$P(T_0)=[P_M(T_1)]/\left[\frac{P_H}{P(T_0)}+\frac{P_{cs}(T_0)}{P(T_0)}\ \frac{(1/\alpha+T_0-20)}{(1/\alpha+T-20)}\left(\frac{V_{rms}}{1.11V_{AVG}}\right)^2\right] \qquad (۲۹)$$

اگرمقدار $\left(\frac{V_{rms}}{1.11V_{AVG}}\right)^2$ رابرابر K قراردهیم و P_1 و P_2 راتلفات هیسترزیس وتلفات فوکودردمای T_O وبصورت پریونیت درنظربگیریم یعنی :

$$P_1=\frac{P_H}{P(T_O)}\ ,\quad P_2=\frac{P_{es}(T_O)}{P(T_O)}$$

پس داریم :

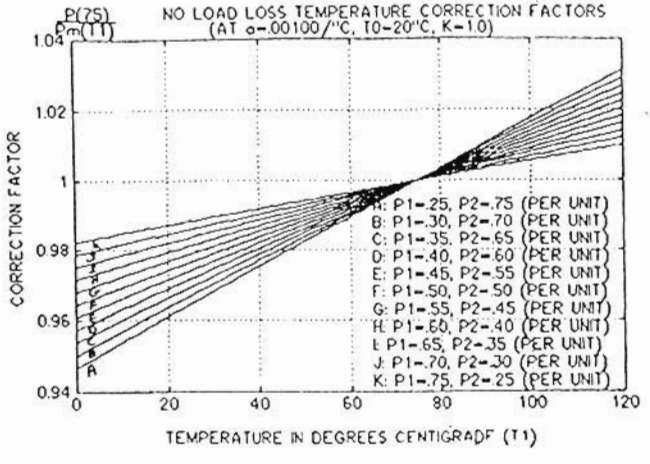
$$P(T)=\left[P_1+P_2\ \frac{(1/\alpha+T_0-20)}{(1/\alpha+T-20)}\right]\left[\frac{P_M(T_1)}{P_1+kP_2(1/\alpha+T_0-20)/(1/\alpha+T-20)}\right] \qquad (۳۰)$$

معادله اخیر شکل نهایی وکـلی ارتـباط تـلفات درحـالت غـیراسـتانداردبـاتلفات درحـالت استاندارد می‌باشد. T_O دمایی است که تلفات فوکووهیسترزیس تحت ولتاژسینوسی درآن بـدست

آمده‌اند. T_1 دمایی است که درآن تلفات بی باری اندازه‌گیری شده‌اندو T دمایی است استانداردکه تلفات به آن منتقل می شود.به عبارت دیگرتوسط این فرمول می‌توان تلفات درحالت غیراستانداردرااصلاح نمودوبه تلفات درشرایط استاندارد تبدیل نمود. لازم به ذکراست که این روندبازگشت پذیراست یعنی باداشتن تلفات درحالت استاندارد وبااعمال شرایط محیطی درمعادله(۳۰) می توان تلفات واقعی رامحاسبه کرد.

بعنوان کاربردی ازرابطه نهایی (۳۰) فاکتورتصحیح تلفات بی باری یعنی نسبت $\frac{(PT)}{P_M(T_1)}$ رابرای حالتهای زیربدست می آوریم :

حالت ۱ : دمای T_O که تلفات فوکووهیسترزیس تحت ولتاژسینوسی وبطورمجزادرآن تعیین شده‌اندرا برابر $20^\circ C$ درنظرمی گیریم دمای مرجع یااستاندارد T رابرابر $75^\circ C$ درنظرگرفته وفرض می‌کنیم ضریب حرارتی مقاومت مخصوص هسته فولادی ترانسفورماتوربرابر ۰/۰۰۱ باشد.دراین حالت همچنین فرض می‌کنیم ولتاژ کاملا" سینوسی وبدون اعوجاج است یعنی (K=۱) به عبارتی تنهااثر دماروی تلفات بی‌باری درنظر گرفته می شود.بااین فرض ها،ضریب تصحیح برای دماهای مختلف T_1 و نسبتهای متفاوت تلفات هیسترزیس وفوکودرشکل (۱) رسم شده است .

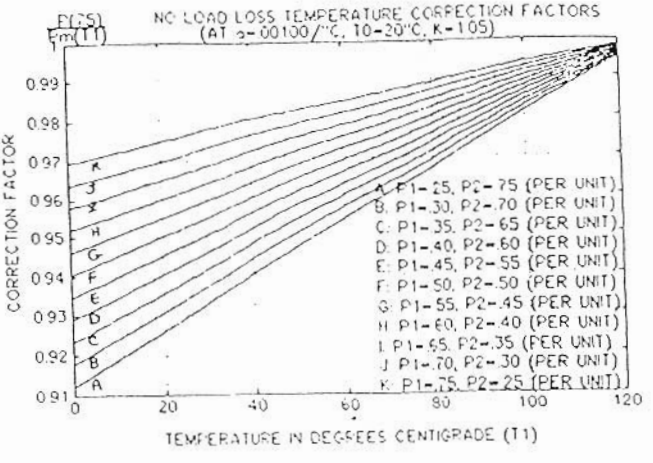


شکل ۱ :فاکتورتصحیح تلفات بی‌باری برحسب درجه حرارت کاربرای ولتاژتغذیه سینوسی(K=۱)

همانطورکه درشکل (۱) مشاهده می شودبرای $T_1=75^\circ$ ،ضریب تصحیح برابر ۱ است .برای

درجه حرارتهای کاربیش از ۷۵°، ضریب تصحیح بزرگتراز ۱ وبرای درجه حرارتهای کمتراز ۷۵°، ضریب تصحیح کوچکتر ازواحدمی باشد .همچنین بافزایش نسبت تلفات فوکوبه تلفات هیسترزیس‌دردمای T_O، فاکتور تصحیح برای $T_1>T$ افزایش وبرای $T_1<T$کاهش می یابد.

حالت ۲: دراین حالت مانندحالت قبل $T_O = ۲۰^\circ C$ ، $T= ۷۵^\circ C$ و $\alpha= ۰/۰۰۱$ درنظرگرفته می‌شوند. ولی‌فرض می کنیم که دردماهای کارغیرازدمای مرجع $۷۵^\circ C$ ،ولتاژتغذیه علاوه بر مولفه فرکانس اساسی دارای هارمونیک های دیگرهم باشدبطوریکه مثلا"$K = ۱/۰۵$ باشد .شکل(۲) فاکتور تصحیح تلفات بی‌باری رابرحسب درجه حرارتهای مختلف کارنشان می‌دهد.همانطورکه از شکل مشاهده می‌شود،ضریب تصحیح در دمای بالاتراز °۱۲۰ به یک می‌رسد.پس وجودهارمونیک در ولتاژ تغذیه ، به‌مقدار مهمی روی تلفات بی‌باری ترانسفورماتوراثرمی گذارد. $K>۱$ به معنی بزرگتربودن‌مقدارمؤثرولتاژبدشکل نسبت به مقدار مؤثر ولتاژ سینوسی استاندارد می‌باشد و همانطورکه انتظارداریم تلفات درحالت ولتاژبدشکل بیش ازتلفات درحالت ولتاژسینوسی است و افزایش سینوسی است وافزایش درجه حرارت تا °۱۲۰ هم این تلفات اضافی را جبران نمی‌کند.



شکل ۲ : فاکتورتصحیح تلفات بی باری برحسب درجه حرارت کاربرای ولتاژتغذیه سینوسی ($K=۱/۰۵$)

۳ - روشهای تفکیک تلفات بی باری به تلفات هیسترزیس وفوکو

چون درکلیه روابط قبلی تلفات هیسترزیس وفوکوبطورجداآمده‌اند پس ضروری است که روشهایی جهت جداسازی این تلفات تحت تغذیه ولتاژسینوسی ارائه گردد.

سه روش برای تفکیک تلفات پیشنهادمی شود.

۱ - ۳ - روش دوفرکانسی :این روش مبتنی برفرضیات زیراست .

۱) باپیک ولتاژالقائی ثابت تلفات هیسترزیس بصورت خطی بافرکانس تغییرمیکند.

۲)باپیک ولتاژالقایی ثابت تلفات فوکوبصورت خطی بامجذورفرکانس تغییرمی کند.

۳)ولتاژتحریک سینوسی است .

۴)دمای ترانس برابربا T_0 وثابت است .

بااعمال ولتاژتغذیه دردوفرکانس به ترانس داریم :(f_1 و f_2 فرکانسهای اعمال شده)

$$P(f_1)=P_1(f_0)(\frac{f_1}{f_0})+P_2(f_0)(\frac{f_1}{f_0})^2 \qquad (۳۱)$$

$$P(f_2)=P_1(f_0)(\frac{f_2}{f_0})+P_2(f_0)(\frac{f_2}{f_0})^2 \qquad (۳۲)$$

$P(f_1)$:مجموع تلفات بی باری اندازه‌گیری شده درفرکانس f_1 ودمای T_0

$P(f_2)$:مجموع تلفات بی باری اندازه‌گیری شده درفرکانس f_2 ودمای T_0

$P_1(f_0)$:تلفات فوکودرفرکانس مبنای f_0

$P_2(f_0)$:تلفات هیسترزیس فوکودرفرکانس مبنای f_0

F_0 :فرکانسی که درآن تلفات به اجزاءتشکیل دهنده تفکیک شده‌اند.

باحل دستگاه فوق می توان $P_1(f_0)$ و $P_2(f_0)$ رامحاسبه کرد.

۲-۳- روش فرم فاکتور:دراین روش نسبت rms ولتاژ تغذیه به متوسط ولتاژ،فرم فاکتورنامیده می‌شود. فرم فاکتوررامی توان باتغییرشکل موج اعمال شده به ترانس تغییرداد.

دراین روش فرض می‌کنیم :

۱)تلفات هیسترزیس به شکل موج ولتاژاعمالی وابسته نیست (اگرشکل موج ولتاژفقط درنقاط عادی صفرشده باشد).

۲)تلفات فوکوبامربع rms ولتاژ تغییرمیکند.

۳)فرکانس ودماثابت هستند.

۴)ماکزیمم ولتاژالقایی ثابت می ماند.

بنابراین داریم :

$$P(K_1)=P_1+K_1P_2 \qquad (۳۳)$$

$$P(K_2)=P_1+K_2P_2 \qquad (۳۴)$$

که :

$P(K_1)$:مجموع تلفات بی‌باری اندازه‌گیری شده بااعمال ولتاژبامقدار V_{rms1}

$P(K_2)$:مجموع تلفات بی‌باری اندازه‌گیری شده بااعمال ولتاژبامقدار V_{rms2}

K_1 :توان دوم فرم فاکتوروقتی که $P(K_1)$ اندازه‌گیری می شود.

K_2 :توان دوم فرم فاکتوروقتی که $P(K_2)$ اندازه‌گیری می شود.

P_1 :تلفات هیسترزیس P_2 :تلفات فوکو

باحل دستگاه فوق می توان P_1 و P_2 رابدست آورد.

۳ - ۳ - روش حرارت : این روش مربوط به اندازه‌گیری تلفات بی‌باری‌ترانسفورماتور در دماهای مختلف کارمی باشد.

این روش مبتنی برفرضیات زیراست .

۱)تلفات هیسترزیس غیروابسته به دماست .

۲)مقاومت الکتریکی هسته باافزایش دمابطورخطی افزایش می یابد .

۳)تلفات فوکوبطورمعکوس باتغییرمقاومت الکتریکی تغییرمی کند.

۴)ضریب حرارارتی هسته α معلوم است .

باتوجه به این فرضیات داریم :

$$P(T_1)=P_1+P_2(T_0)\,\frac{(1/\alpha+T_0-20)}{(1/\alpha+T-20)} \qquad (۳۵)$$

$$P(T_2)=P_1+P_2(T_0)\,\frac{(1/\alpha+T_0-20)}{(1/\alpha+T-20)} \qquad (۳۶)$$

$P(T_1)$:تلفات اندازه‌گیری شده دردمای T_1، $P(T_2)$:تلفات اندازه‌گیری شده دردمای T_2

T_1 :دمای سیم بندی وقتی $P(T_1)$ اندازه‌گیری می شود.

T_2 :دمای سیم بندی وقتی $P(T_2)$ اندازه‌گیری می شود.

باحل دستگاه فوق $P_1(T_o)$ و $P_2(T_o)$ که تلفات هیسترزیس وفوکودردمای T_o می‌باشند،بدست می‌آیند.

٤ - اثر KVA نامی

تعیین این اثربطورتحلیلی کارساده‌ای نیست .بنظر می رسد روش مناسب اندازه‌گیری و آزمایش باشد. دراین روش پیشنهادمی شودتعدادی ترانسفورماتورتوزیع باولتاژنامی یکسان ولی با KVA های مختلف بطورنمونه انتخاب وبرروی آنهاآزمایش بی باری انجام پذیرد .سپس توسط آنالیز رگرسیون ونتایج حاصله از آزمایشها،رابطه‌ای بین تلفات بی‌باری و KVA ترانسفورماتوربدست آید. برای افزایش دقت آنالیز، بهتراست ازهر KVA تعدادزیادتری نمونه درنظرگرفته شوندوبین تلفات بی باری آنهامتوسط گیری شودواین مقدارمتوسط بعنوان تلفات بی باری ترانسفورماتورهاباآن KVA مشخص درنظرگرفته شود.

واضح است که باافزایش KVA ،تلفات بی باری ترانسفورماتورنیزافزایش می یابد . زیرابااافزایش حجم ترانسفورماتورودرنتیجه حجم هسته آن افزایش می یابد .واین متناظربااافزایش تلفات بی‌باری‌است . نمونه‌ای‌ازآزمایش فوق توسط کمپانی جنرال‌الکتریک‌درسال ۱۹۸۱انجام و نتایج آن‌ارائه گردیده‌است [۴]. دراین مرجع رابطه زیرجهت ارتباط بین ظرفیت ترانسفورماتوروتلفات بی باری آن پیشنهادشده‌است .

تلفات بی باری = مقدارثابت $\times (KVA)^{0.75}$

۵ - اثر KV نامی

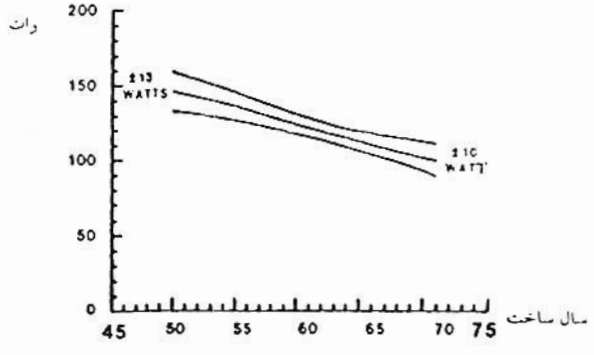
دراین مورد هم روشی مناسب جهت تعیین اثرعامل اندازه‌ولتاژنامی ،روش اندازه‌گیری و آزمایش است‌پیشنهاد می‌گرددتعدادی ترانسفورماتورباظرفیت یکسان و KV های نامی متفاوت موردآزمایش بی‌باری قرارگیرند وسپس نتایج موردآنالیز قرارگیرد.واضح است که افزایش KV ، تلفات بی‌باری راافزایش خواهد داد. درسال ۱۹۸۱ نتایج آزمایشهای جنرال الکتریک دراین موردمنتشرشده است.[۴].

۶- اثرکیفیت ساخت

یکی دیگرازعوامل مؤثربرتلفات‌بی باری درترانسفورماتورهای توزیع سازندگان مختلف هستند. این اثر هم بایدبطریقه آزمایش بدست آیدبعنوان کاری که دراین زمینه انجام گرفته‌است برای مثال نتایج آزمایشهای جنرال الکتریک نشان می دهدکه تلفات بی باری ترانسفورماتورهای توزیع ۷۶۰۰V ، ۲۵KVA که توسط ۸ سازنده مختلف ،ساخته شده‌انداز ۱۲۱W تا ۱۶۰W تغییر می‌کند[۴].

۷ - اثرسال تولید وطول عمر

روش مناسب جهت بررسی این اثر،روش آزمایش می باشد.جهت اینکارپیشنهاد می‌گردد، تعدادی ترانسفورماتورتوزیع باولتاژنامی وظرفیت برابرولی باطول عمرهای متفاوت بعنوان نمونه انتخاب و آزمایش بی‌باری روی آنهاانجام پذیرد وسپس رابطه بین سال تولید وطول عمرباتلفات بی باری بطورترسیمی یا جدول ویایک رابطه ریاضی بدست آید.البته اگرظرفیت ترانسفورماتورهاباهم برابرنباشندمی‌توان بااستفاده ازروش انتقال ،نتایج رابه یک مبنامنتقل کرد.



شکل ۳ :تلفات بی‌باری ترانسفورماتورهای توزیع ۷۲۰۰V برحسب سال ساخت آنها(مبنای‌ظرفیت ۲۵KVA)

بعنوان یک نمونه ،نتیجه آزمایشهای جنرال الکتریک برای ترانسفورماتورهای باولتاژ ۷۲۰۰V و ظرفیت ۲۵KVA درشکل ۳ آمده است .همانطورکه ملاحظه می شودترانسفورماتورهای قدیمی دارای تلفات بی‌باری بیشتری هستند.

۸ - نتیجه

دراین مقاله مدل تلفات بی باری ترانسفورماتورهای توزیع بادرنظرگرفتن کلیه عوامل دخیل درتلفات ارائه گردید .دراین مدل اثرشرایط غیراستاندارد یعنی ولتاژتغذیه بدشکل و غیرسینوسی وهمچنین تغییرات دمای کاربصورت روابط تحلیلی درنظرگرفته می شود.اثرسایرعوامل یعنی ظرفیت ،ولتاژنامی ،سال تولید وکیفیت ساخت می تواندتوسط اندازه‌گیری وسپس آنالیز داده‌های حاصل از آزمایشهابصورت ترسیمی ،جدول ویاروابط ریاضی درمدل واردشوند.واضح است که ضرایب مدل برای هرشبکه توزیع وترانسفورماتورهای بکاررفته درآن متفاوت است که آنهابایدتوسط آزمایش برای هرشبکه تعیین گردند.دراین مقاله همچنین سه روش جهت جداکردن تلفات هیسترزیس وفوکوازیکدیگردرشرایط کار استانداردارائه گردید.تعیین مدل تلفات بی باری ترانسفورماتورتوزیع همراه بامدل تلفات بارمی تواند جهت ارزیابی اقتصادی تلفات آنهااستفاده شودونهایتا"روشهای اقتصادی جهت کاهش هزینه تلفات ارائه گردد.

۹ - مراجع

[1]. D.S.Takach and R.L.Boggavarapu, "Distribution transformer no-load losses", IEEEE vol.PAS-104 NO.1, January 1985.

[2]. R.A.Newbury, "Prediction of loss in silicon steel from distorted wave froms". IEEE Trans.on magnetics. Vol.Mag-14.NO.4,July 1978.

[3]. R.Arseneau and W.J.M.Moore, "A Method for Estimating the sinusoidal Iron losses of a Transformer from measurements made with distorted voltage wavefforms". IEEE Transaction on power Apparatus and system.Vol.PAS-103,NO.10, October 1984.

[4]. Damiel J.ward and Richard H.wong, "An analysis of loss measurments on older distridution transformers", IEEE Vol.PAS-103,No.8,Aug.1984