

UOT312.61.8

ÜÇDOLAQLI TRANSFORMATORUN AKTİV MÜQAVİMƏTİNİN HESABATI

RÜSTƏMOV N.Y., İBRAHİMOVA O.B., PİRİYEVA N.M.

Azərbaycan Dövlət Neft Akademiyası

Transformatorun dolaqlarının ən isti nöqtəsi oturacaqdan 75-90% hündürlükdədir. Nüvədə isə isti nöqtə nüvənin mərkəzindədir. Təcrübədən alınmış ki, transformatorun temperaturu normal temperatura həddindən 7,5⁰S çox alınmış. DÜİST-ə görə transformatorun normal temperaturu buraxıla bilən temperaturdan 8⁰S çox olduqda, transformatorun xidmət müddəti iki dəfə azalır.

Güclü üçdolaqlı transformatorlarda qısa qapanma təcrübəsinin tətbiqi metodu öyrənilib [1,2], təqdim olunmuş DÜİST-lə və Kuybişev adına Moskva transformator zavodunda hal-hazırda qəbul olunub, göstərilir ki, mövcud təqdim olunmuş [3,4,5] üç dolaqlı transformatorun əvəz etmə sxeminə aktiv müqavimətin müəyyən olunması üçün əlavə dəqiqlik tələb olunur.

Verilmiş məqalədə göstərilən müqavimətin müəyyən olunması ilə əlaqədar bəzi hallara baxılır və üçdolaqlı transformator dolağının nominal gücünün istənilən vəziyyəti üçün qısa qapanma təcrübəsinə əsasən hesabat düsturları çıxarılır.

Üç dolaqlı transformatorun əvəz etmə sxeminin aktiv müqaviməti yüksək gərginlik dolaqlarının nominal yükə qısa qapanma itkiləri vasitəsilə (maksimum) tapılıb təqdim olunur [4,5].

Bunun üçün ümumi aktiv müqavimət $R_{\text{ümumi}}$ müəyyən olunur, hansı ki, sonra uyğun əmsalın köməkliyi ilə transformatorun, bu yaxud o biri dolağının həqiqi müqaviməti hesablanır. Əvəz etmə sxeminin aktiv müqaviməti onun dolağının uyğun aktiv müqavimətinə bərabərdir [6].

Göstərilən metod vasitəsilə üçdolaqlı transformator dolağının aktiv müqavimətinin müəyyən olunması ola bilsin ki, böyük xəta yaradır.

Transformatorlarda «mis itkiləri» və «qısa qapanma itkiləri» anlayışının işlədilməsi həmişə doğru deyil. Alüminium dolaqlarının tətbiqi ilə əlaqədar olaraq transformatorlarda mis itkiləri anlayışı köhnəlib. Transformatorlarda qısa qapanma itkiləri iki tərkibdən ibarətdir.

1) $\Sigma I^2 R$ dolaqlarda sabit cərəyana bərabər olan əsas itkilər;

2) Əlavə itkilər P_{al} dolaq naqillərində burulğan cərəyanlarından və maqnitkeçiricinin aktiv poladlarındakı itkilərdən metal konstruksiyalı detalların aktiv hissələrində və çənin divarlarında maqnit sahəsinin səpələnməsinə səbəb olur [1].

Əlavə itkilər güclü transformatorlarda ümumilikdə qısa qapanma itkilərinin 50%-ni təşkil edir. Əlavə itkilərin müəyyən olunmasında əsas amillərdən biri də maqnit sahə gərginliyinin səpələnməsinin təzahürüdür [1, 2].

Gücü 50 MVA olan transformatorlarda dolağın hündürlüyü praktiki olaraq dəyişmiş. Belə ki, onlar daşınma şərtlərinə görə məhdudlaşdırılıb. Bu sahə gərginliyinin böyüməsinə və ardıcıl olaraq əlavə itkilərin artmasına gətirib çıxarır.

Araşdırmalar göstərir ki, transformatorlarda əlavə itkilər mürəkkəb quruluşa malik olmaqla bərabər, hələ kifayət qədər öyrənilməyib.

Transformatorların hesabı və qısa qapanma itkilərinin müəyyən olunması üçün mövcud olan metodikada ehtimal olunur ki, əgər əlavə itkilər qeyri maqnit aralığında cəmlənibsə (məsələn, mis dolaqlarda burulğan cərəyanlarından yaranan itkilər) əlavə itkilər maqnit sahə induksiyası səpələnməsinin maksimal qiymətinin kvadratına mütənasib olaraq dəyişir. Preslənmiş həlqəli transformator modeli üzərində keçirilmiş təcrübə göstərdi ki, preslənmiş həlqəvi dolaqlarda əlavə itkilər cərəyanın kvadratına mütənasib olaraq dəyişir. Müəyyən

olunub ki, əlavə itkilər cərəyanın kvadratına mütənasib olmaqla, təqribən 10% xəta yaradır [1].

Dəyişən cərəyanda transformator dolaqlarının aktiv müqaviməti «R»-ə iki toplananın cəmi şəklində baxmaq olar [6].

$$R=R_{om}+R_{əla} \quad (1)$$

harada ki, R_{om} - elektrik müqavimətidir, yalnız keçiricinin materialından və onun həndəsi ölçülərindən asılıdır, hansı ki, transformatorada əsas itkilər $\sum I^2 R$ müəyyən olunur və fiziki kəmiyyətin həqiqi mövcudluğu görünür; $R_{əla}$ – bu müqavimətin artırılması həqiqətən konstruksiyanın elementlərində və dolaqlarda burulğan cərəyanlarının yaranmasına səbəb olur ki, bu da transformatorada əlavə itkilərin hesabı üçün tətbiq edilir.

Məlumdur ki, transformatorada aktiv güc itkiləri poladın itkisindən və dolaqlardakı itkilərdən ibarətdir:

$$\Delta P_T = \Delta P_{pol} + \Delta 3I^2 R_T \quad (2)$$

harada ki, R_T - transformator dolağının aktiv müqavimətinin qısa qapanma itkilərindən təyin olunur, hansı ki, transformatorada əsas və əlavə itkilər nəzərə alınır.

Beləliklə, transformatorada aktiv güc itkiləri və əlavə itkilər (2) düsturu vasitəsilə müəyyən olunur. Əlavə itkilərin belə hesabı düzgün hesab olunur.

Transformatorada aktiv müqavimətin tətbiq olunması

$$\Delta U = \frac{PR_T + Q_{xt}}{U} \quad (3)$$

bəzi xətlər əmələ gətirir, belə ki, dolaqlarda gərginlik $R_{əla}$ əmələ gəlir.

Nəzərə alsaq ki, $X_T \gg R_T$ olarsa, nəticə çıxartmaq olar ki, (3) düsturundakı ΔU –nun xətasının hesabı çox kiçik olacaq.

Üç dolaqlı transformatorlarda qısa qapanma təcrübəsinin keçirilmə metodları qəbul olunub [1], 2 dolaq üçün qısa qapanma itkiləri növbəti ardıcılıqla müəyyən olunur:

Birinci təcrübə ΔP_{k2-1} belə müəyyən olunur, OG dolağı tərəfindən qidalandırmaq üçün YG dolağı qısa qapanır, AG dolağı açılır; ikinci təcrübə ΔP_{k2-3} müəyyən olunur, OG dolağı tərəfindən qidalandırmanı saxlamaq üçün AG dolağı qısa qapanır, YG dolağı açılır; üçüncü təcrübə ΔP_{k1-3} müəyyən olunur, AG dolağı qısa qapanmış vəziyyətdə qalır, qidalandırma YG dolağı tərəfindən yerinə yetirilir, OG dolağı işə açılır.

Qısa qapanma itkiləri verilən təcrübədə iştirak edən qidalandırıcı dolağın nominal cərəyanına və iki dolaqdan ən azı güclü dolağın nominal gücünə aid edilir.

Beləliklə, transformator üçün dolaqların nominal güc münasibətində 100/100/66,7 ΔP_{k2-3} itkisini müəyyən etmək üçün bu düsturdan istifadə olunur.

$$\Delta P'_{k2-3} = \Delta P_{k2-3}^{ölç} \left(\frac{0.667 \cdot I_{H2}}{I_{2ölç}} \right)^3 \quad (4)$$

harada ki, $\Delta P'_{k2-3}$ – AG dolağının nominal gücü və OG qidalandırıcı dolağın nominal cərəyanının qısa qapanma itkiləri;

$\Delta P_{k2-3}^{ölç}$ – cihazlarda və kablələrdəki itkiləri çıxdıqdan sonra, dolaqlardakı qısa qapanma itkilərini ölçən kəmiyyət; I_{H2} –OG dolağının nominal cərəyanı; $I_{2ölç}$ –qidalandırıcı dolağın ölçülən cərəyanı.

Cöstərilən ardıcılıqla qısa qapanma təcrübəsini keçirmək üçün növbəti bərabərliklər sistemini tərtib etmək olar:

$$\left. \begin{aligned} \Delta P'_{K2-1} &= \Delta P_{KH1} \cdot \left(\frac{K_2 S_{H1}}{S_{H1}} \right)^2 + \Delta P_{KH2} \cdot \left(\frac{S_{H2}}{S_{H2}} \right)^2, \\ \Delta P'_{K2-3} &= \Delta P_{KH2} \cdot \left(\frac{K_3 S_{H1}}{K_2 S_{H1}} \right)^2 + \Delta P_{KH3} \cdot \left(\frac{S_{H3}}{S_{H3}} \right)^2, \\ \Delta P'_{K1-3} &= \Delta P_{KH1} \cdot \left(\frac{K_3 S_{H1}}{S_{H1}} \right)^2 + \Delta P_{KH3} \cdot \left(\frac{S_{H3}}{S_{H3}} \right)^2 \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

harada ki, $\Delta P'_{k2-1}$, $\Delta P'_{k1-3}$ – transformatorun protokolunda və onun pasportunda yazılmış, dolaqların qısa qapanma itkiləri kəmiyyəti; ΔP_{KH1} , ΔP_{KH2} , ΔP_{KH3} ; S_{H1} , S_{H2} , S_{H3} uyğun dolaqlarının hər birinin nominal gücü üçün alçaq, orta və yüksək gərginlik dolaqlarında qısa qapanma itkiləri; $K_2 = \frac{S_{H2}}{S_{H1}}$, $K_3 = \frac{S_{H3}}{S_{H1}}$ dolaqların nominal güc əlaqəsi; S_{H1} -YG dolağının nominal gücü, 100 %qəbul olunmuş və transformatorun nominal gücünə bərabər S_H .

Belə ki, transformator üçün güclər münasibəti 100/100/66,7 $K_2=1$, $K_3=0,667$. Bərabərliklər sistemi (5) $1 \geq K_2 > K_3$ halı üçün tərtib olunub.

Transformatorun nominal gücü S_H -a aid edilmiş ΔP_{KH1} , ΔP_{KH2} , ΔP_{KH3} kəmiyyətlərini ΔP_1 , ΔP_2 , ΔP_3 vasitəsilə ifadə edək. Yüksək gərginlik dolağının gücü həmişə transformatorun gücünə bərabərdir, ona görə də $\Delta P_{H1} = \Delta P_1$

$S_{H2} = K_2 \cdot S_H$ üçün hesabi cərəyan, eyni zamanda mis dolaqları kəsən orta gərginlik proporsional olaraq azalır S_{H2}/S_H . Ona görə də dolaqların omik müqaviməti proporsional olaraq artır S_H/S_{H2} [7].

Dolaqlarda aktiv güc itkiləri, omik müqavimətin I dərəcəsinə və cərəyanın kvadratına mütənəsbətdir, nəticədə $S_{H2}/S_H = K_2$ münasibəti ilə azalır.

Onda

$$\Delta P_{KH2} = \Delta P_2 \cdot K_2, \quad \Delta P_2 = \frac{\Delta P_{KH2}}{K_2} \quad (6)$$

Analoji olaraq AG dolaqları üçün

$$\Delta P_{KH3} = \Delta P_3 \cdot K_3, \quad \Delta P_3 = \frac{\Delta P_{KH3}}{K_3} \quad (7)$$

Belə ki, $\Delta P'_{k2-1}$ S_{H2} gücünə gətirilir, $\Delta P'_{k1-3}$ S_{H3} -ə, $\Delta P'_{k2-3}$ isə S_{H3} -ə, onda, (5) sisteminin həlli ola bilsin ki, dolaqların qısa qapanma itkilərinin gücünü transformatorun nominal gücünə gətirib çıxarır.

$$\Delta P_{K2-1} = \Delta P'_{K2-1} \cdot \left(\frac{S_H}{S_{H2}} \right)^2 = \frac{\Delta P'_{K2-1}}{K_2^2} \quad (8)$$

$$\Delta P_{K2-3} = \Delta P'_{K2-3} \cdot \left(\frac{S_H}{S_{H3}} \right)^2 = \frac{\Delta P'_{K2-3}}{K_3^2} \quad (9)$$

$$\Delta P_{K1-3} = \Delta P'_{K1-3} \cdot \left(\frac{S_H}{S_{H3}} \right)^2 = \frac{\Delta P'_{K1-3}}{K_3^2} \quad (10)$$

(5) bərabərliklər sistemini dəyişdirək,

$$\left. \begin{aligned} \Delta P'_{K2-1} &= \Delta P_{KH1} \cdot (K_2)^2 + \Delta P_{KH2} \\ \Delta P'_{K2-3} &= \Delta P_{KH2} \cdot (K_3)^2 + \Delta P_{KH3} \\ \Delta P'_{K1-3} &= \Delta P_{KH1} \cdot \left(\frac{K_3}{K_2}\right)^2 + \Delta P_{KH2} \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

ΔP_{KH1} , ΔP_{KH2} , ΔP_{KH3} -ü ΔP_1 , ΔP_2 , ΔP_3 qiymətlərinə dəyişdirsək (6) və (7) düsturlarına əsasən

$$\left. \begin{aligned} \Delta P'_{K2-1} &= \Delta P_1 \cdot (K_2)^2 + \Delta P_2 \cdot K_2 \\ \Delta P'_{K2-3} &= \Delta P_2 \cdot \left(\frac{K_3}{K_2}\right)^2 + \Delta P_3 \cdot K_3 \\ \Delta P'_{K1-3} &= \Delta P_1 \cdot (K_3)^2 + \Delta P_3 \cdot K_3 \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

(12) bərabərliklər sistemini dəyişdirən, (8), (9) və (10) düsturlarına əsasən

$$\left. \begin{aligned} \Delta P'_{K3-1} &= \Delta P_1 + \frac{\Delta P_2}{K_2} \\ \Delta P'_{K2-3} &= \frac{\Delta P_2}{K_2} + \frac{\Delta P_3}{K_3} \\ \Delta P'_{K1-3} &= \Delta P_1 + \frac{\Delta P_3}{K_3} \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

(13) bərabərliklər sistemini həll edərək, üçdolaqlı transformatorun hər dolağının qısa qapanma itkilərini onun göstərilən nominal gücündə alırıq.

$$\left. \begin{aligned} \Delta P_1 &= \frac{\Delta P_{K2-1} + \Delta P_{K1-3} - \Delta P_{K2-3}}{2}, \\ \Delta P_2 &= \left(\frac{\Delta P_{K2-1} + \Delta P_{K2-3} - \Delta P_{K1-3}}{2} \right) \cdot K_2, \\ \Delta P_3 &= \left(\frac{\Delta P_{K3-2} + \Delta P_{K1-3} - \Delta P_{K2-1}}{2} \right) \cdot K_3 \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

(14) düsturundakı mötərizənin içərisindəki ifadələr dolaqların nominal güc nisbətində 100/100/100 transformator üçün orta və alçaq gərginlik dolaqlarında qısa qapanma itkilərini göstərir.

ΔP_1 , ΔP_2 və ΔP_3 qısa qapanma itkilərinin qiymətlərinə əsasən üçdolaqlı transformator dolağının aktiv müqavimətini təyin etmək olar:

$$\left. \begin{aligned} R_1 &= \frac{\Delta P_1 \cdot 10^3 \cdot U_H^2}{S_H^2} \\ R_2 &= \frac{\Delta P_2 \cdot 10^3 \cdot U_H^2}{S_H^2} \\ R_3 &= \frac{\Delta P_3 \cdot 10^3 \cdot U_H^2}{S_H^2} \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

harada ki, S_H (kVa), U_H (kV)- uyğun olaraq üçdolaqlı transformatorun nominal gücü və gərginliyidir.

Alınmış düsturlar vasitəsilə dolaqların qısa qapanma itkiləri üçün üçdolaqlı transformatorun üçşüallı əvəz sxeminin aktiv müqavimətinin hesablanma ardıcılığı təklif olunur.

1. *Г.В.Алексеевко, А.К.Аириятов, Е.С.Фрид.* Испытание высоковольтных трансформаторов. М.: 1962 г.

2. *В.В.Боднар, В.В.Карасев, Э.А.Манькин.* Состояние исследований и основные пути снижения добавочных потерь и местных нагревов в крупных трансформаторах. Сб. «Современное состояние отечественного трансформаторостроения» М.: 1996 г.

3. *З.Е.Алутина.* Об определении активных сопротивлений в схемах замещения трехобмоточных трансформаторов. М.: «Изв. Вузов. Энергетика». №6, 1984 г.

4. *N.Y.Rustamov.* Distribution of boosting temperature height of the oil in oven dry transformers. Tabriz-Iran, № 25, 2004.

5. *В.Е.Кумаев.* Трансформаторы. М.: «Высшая школа», 1994 г.

6. *Н.Ю.Рустамов, Н.М.Пириева.* Критерии соразмерности трансформаторов. Баку, Проблемы энергетики, №1, 2007 г.

7. *Н.Ю.Рустамов, Г.М.Керимов.* К расчету мощных силовых трансформаторов с рулонной обмоткой низшего напряжения. Баку, Известия Высших Технических учебных заведений Азербайджана, № 3 (49), Энергетика, 2007 г.

8. *N.Y.Rüstəmov və başqaları.* Quru soba transformatorlarının istilik rejimlərinin tədqiqi. Bakı, Elmi əsərlər, XII buraxılış, 2003 il

9. *Н.Ю.Рустамов.* К расчету активных сопротивлений трехобмоточных трансформаторов, Баку, Elmi əsərlər, XVI buraxılış, 2007 (AANDM).

К РАСЧЕТУ АКТИВНЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ ТРЕХОБМОТОЧНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

РУСТАМОВ Н.Ю., ИБРАГИМОВА О.Б., ПИРИЕВА Н.М.

По полученным формулам предлагается следующий порядок расчета активных сопротивлений трёхлучевой схемы замещения трёхобмоточного трансформатора по потерям короткого замыкания для пар обмоток:

- 1) потери короткого замыкания пар обмоток, записанные в паспорте трансформатора, приводятся к его номинальной мощности по формулам (8), (9), (10);
- 2) находятся потери короткого замыкания в каждой из обмоток трёхобмоточного трансформатора по формулам (14);
- 3) определяются сопротивления обмоток по формулам (15).

CALCULATION THE ACTIVE RESISTANCES OF THREE-WINDING TRANSFORMERS

RUSTAMOV N.J., IBRAGIMOVA O.B., PIRIEVA N.M.

Under the received formulas the following procedure of payments of active resistance of a three-beam equivalent circuit three-winding the transformer on losses of short circuit for pairs windings is offered:

- 1) Losses of short circuit of pairs the windings, written down in the passport of the transformer, are resulted in its rated power under formulas (8), (9), (10);
- 2) There are losses of short circuit in each of windings three-winding the transformer under formulas (14);
- 3) Resistance of windings under formulas (15) are defined.