

【発明の背景】

複数の導体を並列に巻いて変圧器の巻線とすると、各導体のインピーダンスの違いによって大きさの異なる負荷電流(アンバランスな電流)が各導体に流れる。アンバランスな電流が流れると、均一な電流が流れる場合と比べて負荷損が増大する。これを防ぐ方法として、並列に巻いた導体を所定位置で互いに交差させて位置を入れ替える「転位」が有効である。

本発明は、適切な転位位置を特定するとともに、転位数を極力少なくして作業性や加工性に配慮したことを特徴とする。

【発明の効果】

変圧器巻線の等価回路を活用した計算によって転位位置を簡単に特定することができる。また、特定した転位位置は1つの巻線に1箇所でき、巻線の巻回時の作業性や加工性を向上できる。

【発明の内容】

図1は電力用変圧器に利用される多重円筒巻線の等価回路の一例である。高圧巻線の主巻線 $L_1 \sim L_3$ に流れる電流 $i_1 \sim i_3$ のアンバランスを解消するためには電流 $i_1 \sim i_3$ の値が同一となる転位位置を求める必要がある。電流 $i_1 \sim i_5$ ( $i_4$ は高圧巻線のタップ巻線 $L_4$ に流れる電流であり、 $i_5$ は低圧巻線 $L_5$ に流れる電流である)は、

$$\begin{pmatrix} i_1 \\ i_2 \\ i_3 \\ i_4 \\ i_5 \end{pmatrix} = Z^{-1} \begin{pmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_4 \\ V_5 \end{pmatrix} \dots\dots\dots (1)$$

で与えられるので、インピーダンス行列 $Z$ から電流 $i_1 \sim i_3$ の値が同一となる転位位置を特定することができる。

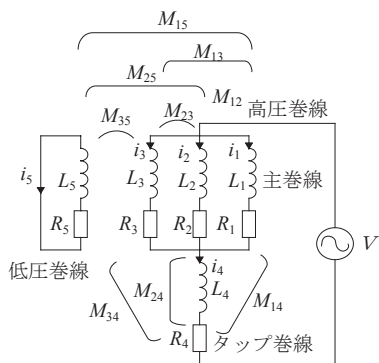


図1 多重円筒巻線の等価回路

インピーダンス行列を求めるためには、各巻線を構成する最小単位の1ターン毎の自己インダクタンス $L$ と相互インダクタンス $M$ を算出する必要がある。両インダクタンスは鉄心の影響が少ない密結合のリーケージ(漏れ)であるので、空心コイルの自己インダクタンス $L$ は、 $N$ を巻線の巻数とすると、

$$L = \mu_0 D_0 N^2 (\ln(8D_0/R_s) - 2) \dots\dots\dots (2)$$

$$\begin{aligned} \ln R_s = & 1/2 \times \ln(a^2 + b^2) - (b^2/12a^2) \times \ln(1 + a^2/b^2) \\ & - (a^2/12b^2) \times \ln(1 + a^2/b^2) + (2b/3a) \times \tan^{-1}(a/b) \\ & + (2b/3a) \times \tan^{-1}(b/a) - 25 - 12 \\ & \sqrt{D_1 \times D_2} \{ (2/k - k) \times K(k) - (2/k) \times E(k) \} \end{aligned}$$

と算出され、空心コイルの相互インダクタンス $M$ は、

$$M = \mu_0 \sqrt{D_1 \times D_2} \{ (2/k - k) \times K(k) - (2/k) \times E(k) \} \dots (3)$$

$$\begin{aligned} k &= \sqrt{4D_1 \times D_2 / (D_1 + D_2)^2 + c^2} \\ K(k) &= \int_0^{\pi/2} (\sqrt{1 - k^2 \sin^2 \phi})^{-1} d\phi \\ E(k) &= \int_0^{\pi/2} \sqrt{1 - k^2 \sin^2 \phi} d\phi \end{aligned}$$

と算出される。なお、数式(2)、(3)の $D_0$ 、 $a \sim b$ は図2(a)に示す巻線の1ターンの寸法であり、 $D_1 \sim D_2$ 、 $c$ は図2(b)に示す巻線の1ターンのうち2本の導体の位置関係を示している。

これら寸法を数式(2)、(3)に代入することによって巻線の自己インダクタンスと相互インダクタンスをインダクタンスマトリクスとして算出できる。そして転位位置の変更によってインダクタンスマトリクスの要素を入れ替えることにより、数式(1)と図1の等価回路の場合、 $5 \times 5$ のインピーダンス行列 $Z$

$$Z = \begin{pmatrix} R_1 + j\omega(L_1 + M_{14}) & j\omega(M_{12} + M_{14}) & j\omega(L_4 + M_{14}) & R_1 + j\omega(M_{13} + M_{14}) & j\omega(M_{14} + M_{45}) \\ j\omega(M_{21} + M_{24}) & R_2 + j\omega(L_2 + M_{24}) & j\omega(M_{23} + M_{24}) & R_4 + j\omega(L_4 + M_{24}) & j\omega(M_{25} + M_{45}) \\ j\omega(M_{31} + M_{34}) & j\omega(M_{32} + M_{34}) & R_3 + j\omega(L_3 + M_{34}) & R_4 + j\omega(L_4 + M_{34}) & j\omega(M_{35} + M_{45}) \\ 1 & 1 & 1 & -1 & 0 \\ j\omega M_{51} & j\omega M_{52} & j\omega M_{53} & j\omega M_{54} & R_4 + j\omega L_5 \end{pmatrix} \dots (4)$$

を求めることができる。

これにより、数式(1)から電流 $i_1 \sim i_3$ の値が計算されるので、電流 $i_1 \sim i_3$ の値が同一となる転位位置を特定ことができ、アンバランスな電流による負荷損の増大を回避することが可能となる。

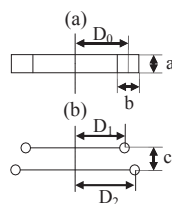


図2 導体の寸法と導体間の位置関係