UDC 621.3.045.2 : 621.3.011.22/23.
621.3.042.3

研究開発

ノート

56-B 8

スロットの上下層に各1本の導体を有する二層巻線導体の実効抵抗とリアクタンス (上下層導体電流が同位相の場合)

正員 吉田 欣二郎 (九州大)

本報告は、第1図に示す簡単に実用的な場合のスロット内導体の実効抵抗とリアクタンスの新しい算定式を提案するものである。先に報告した本理論の基礎方程式⁽¹⁾に従って、従来全く気づけなかったスロット深さ方向に関する各導体とその絶縁体間の電界強度の連続性が考慮されている。

角周波数 ω の正弦波交流の場合、フェーザを用いて表わすと次の微分方程式を得る。

$$\frac{d^2 E_y^p(z_p)}{dz_p^2} = \begin{cases} \lambda^2 E_y^p(z_p) - \lambda^2 E_{y,0}^p (0 \leq z_p \leq d_c) \\ 0 & (d_c \leq z_p \leq d_c + g_p) \end{cases} \quad (1)$$

また、

$$H_x^p(z_p) = -j \frac{1}{\omega \mu_0} \frac{d E_y^p(z_p)}{dz_p} \quad (2)$$

但し、 $\lambda^2 = j\omega \mu_0 b_c / \rho w_s$ であり、 $E_y^p(z_p)$ 、 $E_{y,0}^p$ 、 $H_x^p(z_p)$ は、それぞれ文献(1)の電界強度、磁界強度の瞬時値 e_y^p 、 $e_{y,0}^p$ 、 h_x^p のフェーザ表示、 d_c は導体深さ、 b_c は導体幅、 w_s はスロット幅、 ρ は導体の抵抗率、 μ_0 は空気の透磁率である。

第1図の場合、(1)式の解は、次のように与えられる。

(a) $0 \leq z_p \leq d_c$ ($p=1,2$):

$$E_y^p(z_p) = A^{cp} \cosh \lambda(z_p - d_c) + B^{cp} \times \sinh \lambda(z_p - d_c) + E_{y,0}^{cp} \quad (3)$$

(b) $d_c \leq z_p \leq d_c + g_p$ ($p=1,2$; $g_1=d_2$, $g_2=d_3$):

$$E_y^p(z_p) = -A^{pp} z_p + B^{pp} \quad (4)$$

但し、 A^{cp} 、 B^{cp} 、 $E_{y,0}^{cp}$ 、 A^{pp} 、 B^{pp} ; $p=1,2$ は積分定数である。 $E_{y,0}^{cp}$ は導体系の基準電界強度を与えるもので、物理的には主磁束によって導体に誘導される電

界強度を意味する。本報告の主題であるスロット漏れ磁束に関する問題では解析の便宜上これを零と置くことができる。 $E_{y,0}^{cp}$ 以外の積分定数は、各導体の上面と下面における電界強度 E_y^p と磁界強度 H_x^p の連続条件および第1図の積分路(a)、(b)に適用した Ampere の周回積分公式から決定される。

解析結果から下層導体と上層導体のインピーダンス Z_{lower} 、 Z_{upper} は Poynting ベクトル⁽¹⁾を用いて次のように求めることができる。

$$Z_{lower} = E_{y1}^{c1} H_{x1}^{c1*} w_s l / I_1^2 \\ = R_{dc} \phi + j\omega \mu_0 l \left(\frac{d_c}{3w_s} \phi' + \frac{d_2}{w_s} \right) \quad (5)$$

$$Z_{upper} = (E_{y1}^{c2} H_{x1}^{c2*} - E_{y1}^{c1} H_{x1}^{c1*}) w_s l / I_1^2 \\ = R_{dc}(\phi + 3\psi) + j\omega \mu_0 l \\ \times \left(\frac{d_c}{3w_s} \phi' + \frac{3d_c}{w_s} \phi' + \frac{d_2}{w_s} + \frac{4d_3}{w_s} \right) \quad (6)$$

但し、 E_{y1}^{c1} 、 H_{x1}^{c1} ; E_{y1}^{c2} 、 H_{x1}^{c2} はそれぞれ上層導体下面 ($z_1 = d_c + d_2$) とスロット開口部 ($z_2 = d_c + d_3$) における電界強度、磁界強度であり、 I_1 は導体電流の実効値、 $R_{dc} = \rho l / b_c d_c$ 、 l は導体のスロット部分長、また ϕ 、 ψ 、 ϕ' 、 ψ' は通常用いられる表皮効果係数⁽²⁾である。(5)式の実数部は Field 氏⁽³⁾や Emde 氏らの公式に一致し、虚数部は表皮効果を無視して別途求めた公式に表皮効果を考慮するため導体部分のみに係数 ϕ' を乗じた Richter 氏の修正式⁽²⁾に一致する。(5)式は従来理論のあいまいさを端的に解明している。

上層導体と下層導体が直列接続される場合、1スロットあたりの実効抵抗 R_e と実効リアクタンス X_e は、

$$R_e = 2R_{dc} \left(\phi + \frac{3}{2} \psi \right) \quad (7)$$

$$X_e = 4\omega \mu_0 l \left(\frac{d_c}{6w_s} \phi' + \frac{3d_c}{4w_s} \phi' + \frac{d_2}{2w_s} + \frac{d_3}{w_s} \right) \quad (8)$$

(7)式の第2項目の係数 1.5 に対して Field 氏⁽³⁾、Emde 氏らの公式では 1.0 である。また(8)式の第2項目と第3項目の係数がそれぞれ 0.75 と 0.5 であるのに対して、Richter 氏の修正式⁽²⁾では、それぞれ 0.5 と 0.25 となっている。従来の公式は上述のような過小評価をする。 (昭和55年11月25日受付)

第1図
スロット内導体
配置と座標系

Fig. 1. Arrangement of conductors in slot and coordinate system.

Effective Resistance and Reactance of Solid Bars of Double-Layer Winding Having Single Bar in Each Coil Side in Slot when Currents in Two Coil Sides are of the Same Phase. By Kinjiro Yoshida, Member (Faculty of Engineering, Kyushu University)

吉田欣二郎：正員，九州大学工学部電気工学科

文 献

- (1) 吉田：電学論B, 100, 368 (昭55-6)
- (2) R. リヒター原著 (一本利信外訳)：「電気機械原論」(コロナ社) p. 258, pp. 293~295
- (3) A.B. Field: Proc. AIEE, 24, 761 (1905)