

小川純一、早野誠治、斎藤兆古 (法政大学)

Estimation of impedance on the thin film conductors

Junichi Ogawa, Seiji Hayano, Yoshifuru Saito, (Hosei University)

1. まえがき

回路素子等のインピーダンスは、素子単体で直接測定機器に接続することで測定される。しかし、回路が実装された配線部のインピーダンスは、配線形状や回路素子の配置に依存し、直接測定することは不可能である。

従来から、我々はフィルム状変圧器の最適設計問題に対する指針を与えることを目的とし、フィルム状導体内部の電流分布を周辺磁界分布から推定可能であることを報告している[1-3]。

本稿では、フィルム状導体のインピーダンスを非接触に求める方法について検証実験を行い、導体のインピーダンスが良好な精度で求められることを報告する。

2. ループ電流モデルを用いた逆問題解析

電流密度 \mathbf{J} は、変位電流が無視できる場合、磁界 \mathbf{H} と次式で関係づけられる。

$$\nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{J} \quad (1)$$

従って、電流密度 \mathbf{J} は必ず次の関係を満足しなければならない。

$$\begin{aligned} \nabla \cdot \nabla \times \mathbf{H} &= \nabla \cdot \mathbf{J} \\ &= 0 \end{aligned} \quad (2)$$

(2)式の関係はキルヒホッフの接点則と等価であり、電流密度を面積について積分したある点に流入する電流は流出する電流と等しいことを意味する。(2)式を自動的に満足する電流の1例として環状に循環するループ電流がある。本稿では、このループ電流モデルを仮定する。

いま、導体周辺で局所的な磁界分布から電流分布を推定する問題を考える。磁界分布が n 点で測定され、対象領域内部が m 点で離散化されたとする。この問題に対してループ電流モデルを適用すると、システム方程式は、

$$\mathbf{X}_p = D\mathbf{Y} \quad (3)$$

で与えられる。ここで、 \mathbf{X}_p 、 \mathbf{Y} 、 D をそれぞれ、測定磁界を要素とするベクトル、ループ電流の振幅を要素とする

ベクトル、そして n 行 m 列のシステム行列である。一般に、推定すべきループ電流ベクトルの要素数 m は、得られた磁界ベクトルの要素数 n よりも圧倒的に大きく

$$m \gg n \quad (4)$$

の条件が成り立つ。(4)式は(3)式において未知数の数 m が式の数 n より圧倒的に多いことを示し、(3)式から一意的なループ電流の振幅を要素に持つベクトル \mathbf{Y} を求めることが従来の理論では不可能であることを意味する。

(3)式のシステム方程式からSPM(Sampled Pattern Matching)法を用いてループ電流の振幅を要素に持つベクトル \mathbf{Y} を求める。ループ電流モデルを用いたSPM法をループSPM法と呼ぶ。ループSPM法では、可能な限り解の一般性を失わない拘束条件として、ループ電流の振幅を単位値1とする単位ループ電流を用いる[4]。

従来までのSPM法では解の大きさを単位値に限定し、単位値の空間的分布で解の振幅を表現していた[1, 4-7]。本稿では、解の振幅に段階的な自由度を持たせた一般化SPM法を適用する[3]。

3. フィルム状導体のインピーダンス推定

有限長のフィルム状導体のインピーダンスを推定するため、図1に示す導体直上の表面で、法線方向の磁界分布を振幅と位相について測定した。基準位相はフィルム状導体に直列接続した抵抗の端子間電圧とした。時間軸方向に周期的に変化する磁界分布から、フィルム状導体に流れる電

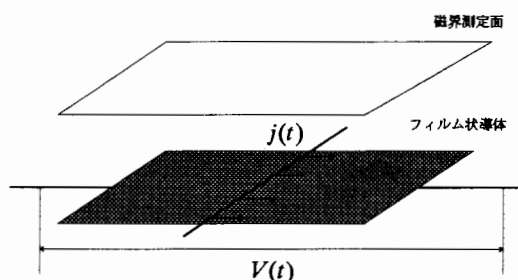


図1. 実験概略図

Fig.1. Schematic diagram of experiment

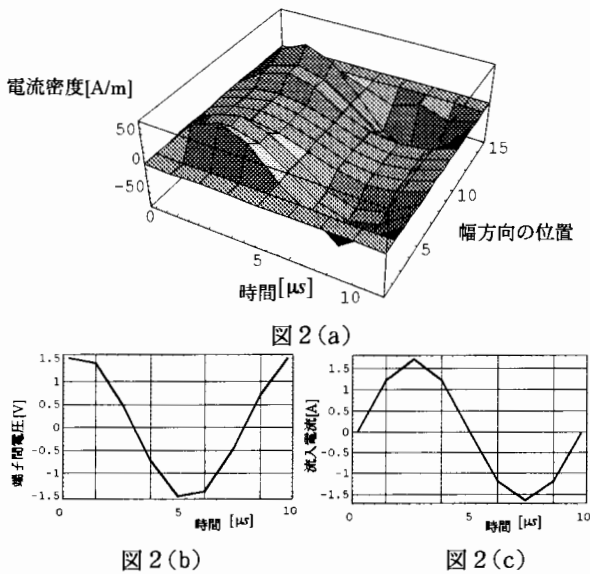


図2. (a)フィルム状導体断面に流れる電流密度分布. 電流の周波数 100[kHz]. (b)端子間電圧[V]. (c)断面を通過する電流値[A].

Fig.2. (a) Current density distribution on thin film conductor. (b) input voltage, (c) current through the section.

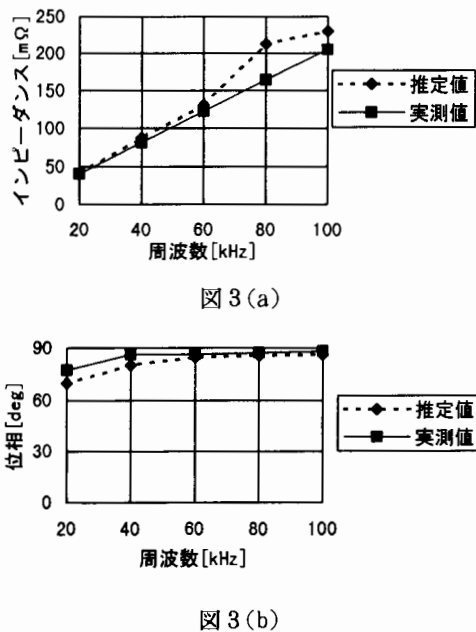


図3. フィルム状導体のインピーダンス. (a)絶対値[mΩ]. (b)位相[deg].

Fig.3. Impedance of a thin film conductor. (a) magnitude. (b) phase.

流密度分布の推定を行った。図1に示すフィルム状導体の通電方向中央部の断面を通過する電流密度分布を図2(a)に示す。図2(b)にフィルム状導体の端子間電圧波形を示す。さらにこの断面を通過する電流密度の総和、すなわち電流値を図2(c)に示す。

図2の結果からフィルム状導体のインピーダンスが求められる。フィルム状導体のインピーダンス対周波数特性を図3に示す。図3の結果から、フィルム状導体のインピーダンスは比較的良好な精度で求められていることが分かる。

4. 結言

本稿では、フィルム状導体のインピーダンスを非接触に求める方法について検証実験を行った。その結果、導体のインピーダンスが非接触で良好な精度で求められることが判明した。

文 献

- [1] 小川 他, “フィルム状導体における表皮効果と近接効果の測定,” 電気学会マグネティックス研究会資料, MAG-95-116. (1995年.)
- [2] 小川 他, “フィルム状導体の電流分布推定,” 日本シミュレーション学会資料, 第16回計算電気・電子工学シンポジウム, II-3, (1995年.)
- [3] 小川 他, “有限長フィルム状導体内部の電流分布推定,” 電気学会マグネティックス研究会資料, MAG-96-195, (1996年.)
- [4] 土井 他, “ループ電流モデルによる磁界系逆問題解析,” 電気学会マグネティックス研究会資料, MAG-96-151, (1996年.)
- [5] 斎藤, “電磁界系逆問題解析技術の進歩,” 電気学会論文誌A, 114巻6号, pp. 432-438, (1994年.)
- [6] 早乙女 他, “生体中の電流分布推定法の一考察,” 電気学会マグネティックス研究会資料, MAG-92-79, (1992年.)
- [7] 土井 他, “試行パターン一致法による導体内の欠損推定,” 電気学会論文誌A, 114巻4号, pp. 290-295, (1994年.)