

フィルムトランスを用いた電源周辺磁界分布の可視化

白田 優 早野 誠治 齋藤 兆古
法政大学大学院工学研究科電気専攻

スイッチング電源に使われる変圧器はスペースを取り、重量が重い欠点がある。これらを改善したフィルムトランスを我々は開発した。このトランスは高周波で動作するため放射磁界を発生します。本論文ではフィルムトランスを用いたスイッチング電源開発に伴う放射電磁界において、放射磁界を解決する第一段階としてフィルム型トランスを用いたスイッチング電源周辺磁界分布を測定し可視化する。可視化された磁界分布より主要な磁界源を特定する方途を議論する。

1. はじめに

近年、半導体技術の進歩によりパーソナルコンピュータや携帯電話など電子機器の小型・軽量・高性能化が進んでいる。

これらの電子機器の小型・軽量化を実現する一方法は動作周波数の高周波化である。電子機器は信号処理部と電源部分から構成されている。信号処理部分は電子回路のナノテクノロジーにより小型・軽量化に成功している。このため、電子機器の小型・軽量化は電源部分の小型・軽量化に依存するといっても過言ではない。

特に、電源部分で大きなスペースを占め、重量の重い部分である変圧器やリアクトルの小型・軽量化が図られている。変圧器やリアクトルの小型・軽量化に最も容易な方法は駆動周波数の高周波化であり、高周波特性の良好な磁性材料の開発が精力的に行われている。こうした研究成果によって、携帯可能な電子機器が実用に供されている。しかし依然としてさらなる電子機器の小型・軽量化が望まれ、電源部分の動作周波数はより高周波化が必要とされている。高周波で磁性体を駆動した場合、磁束が磁性体内部まで浸透せず表面のみに分布する表皮効果のため磁性体の薄膜化等が試みられている^{1,2)}。

本論文の構成は以下の通りである。1章は序章であり、本論文の目的と構成について述べた。2章はフィルムトランスの原理、基本構造、測定方法を示した。3章では実験方法、4章では測定結果、5章ではまとめである。

2.1 フィルムトランスの基本構造

基本的な動作原理は一次コイルと二次コイルを平行に交互に配置し、一次コイルによる磁界を直接に二次コイルに鎖交させて二次電圧を誘起させる。高透磁率の磁性体を主磁路として用い磁気抵抗を低減するのではなく、磁路を短くすることで磁気抵抗を低減しようという考え方に基づく。さらに、高周波で駆動することで表皮効果を利用し、内部の漏れインダクタンスの低減を行う。これが基本的な動作原理である。

フィルム型変圧器は Fig.1 に示すように平面に一次コイルと二次コイルが隣接して配置された構造を取る。端子 a から e へ向かって一次電流を流すと Fig.1 に示すように、磁束が上面では中心から外側、下面では外側から中心へ生ずる。この磁束から二次コイルに電圧を誘起し変圧器として動作する。

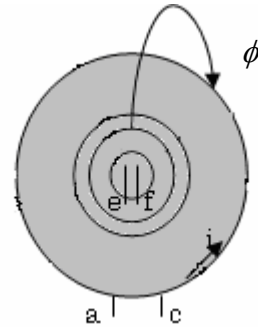


Fig.1 Designed magnetic flux flow in the film type transformer

2.2 基本構造

単体のフィルムトランスの構造では一次と二次のコイル長が異なる。このため、Fig.2(b)に示すように Fig.2(a)のコイル配置と逆パターンを持つコイル配置のフィルム型変圧器を積層し、Fig.3 に示すように Fig.2(a)と Fig.2(b)のフィルムの端子 e と f を接続する。この結果、一次・二次共にコイル長さが等しくなり、電流が同一方向に流れることとなる。従って、Fig.2(a)と(b)のフィルムを積層し、Fig.3 に示す結線を施したフィルム型変圧器を基本ユニットと呼ぶ。また、Fig.2 の a,d は一次コイルで c,d は二次コイルになる。Fig.2 の(a)と Fig.2 の(b)の前者を一次側、後者を二次側になるように構成する。

Fig.4 に供試フィルムトランスの写真を示す。

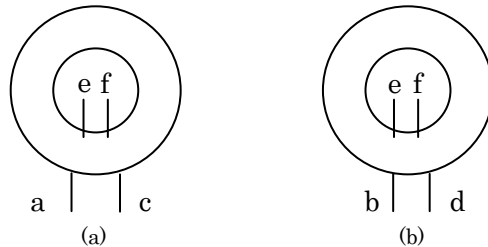


Fig.2 Primal unit of the film type transformer

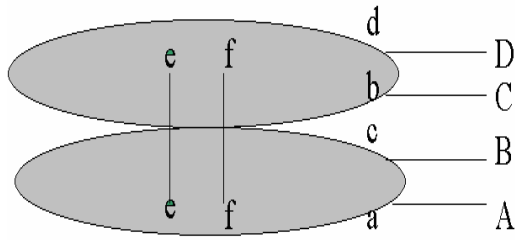
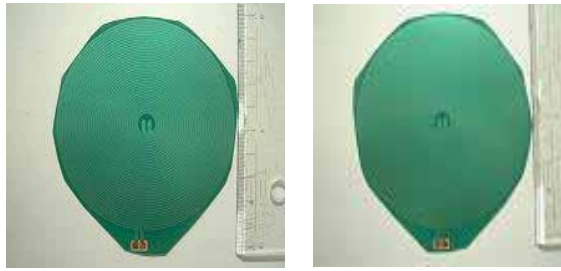


Fig.3 Coil connection in the central part of the primal unit which shows it in the Fig.2 (a) and (b)



(a)Front side (b)Back side
Fig.4 test film transformers

2.3 誘起電圧値からの磁界の求め方

磁束 [Wb]、サーチコイルの巻き数を N とすると誘起電圧 e [V]は

$$e = -N \frac{d\phi}{dt} \quad (1)$$

と表せる。

磁束 [Wb]は B を磁束密度[T]、 S をサーチコイルの断面積[m²]とすると式(2)のように書き換えられる。

$$\phi = BS \cos \omega t \quad (2)$$

式(2)を式(1)に代入すると

$$e = -NS \frac{dB}{dt} \cos \omega t \quad (3)$$

となる。

さらに、式(3)を積分するとサーチコイルに誘起する電圧 V [V]は、

$$V = NS\mu H \sin \omega t \quad (4)$$

となる。ただし、 ω は角周波数、 μ は透磁率である。よって式(4)より磁界 H の最大値は

$$H = \frac{V}{NS\mu\omega} \quad (5)$$

となる。

3. 実験方法

発振器、増幅器、フィルム型トランス、サーチコイルを用いて、 21×21 点の X 、 Y 、 Z 方向の磁界を測定した。

Table.1 と Fig.4 はそれぞれフィルム型トランスとサーチコイルの諸定数と実験概要図である

Table.1 Various parameters

Radius of the Search Coil[mm]	4
Turns	100
Radius of Film type Transformer[mm]	450
Measurement Frequency [kHz]	200
Permeability of Vacuum[H/m]	1.257×10^{-7}

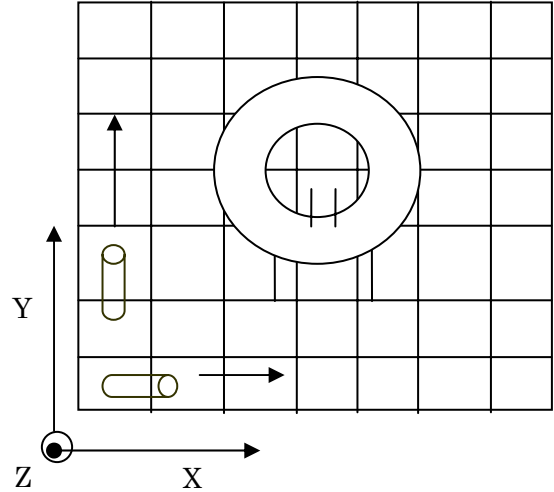


Fig.5 Schematic diagram of the experiment

4. 実験結果

Fig.6は磁界分布を成分別に表示して有る。Fig.6(a)は x 方向の磁界成分であり、凹面部が負の値、凸面部が正の値にそれぞれ対応する。従って、同図から磁界の x 成分は右方から左方へ向いていることを意味する。

Fig.6(b)は Y 方向の磁界成分であり、同心軸状に配置したコイルの折り返し部分の磁界が小さな値となっている。これはコイルの折り返し方向が Y 軸方向と平行であることを意味する。

Fig.6(c)は Z 方向の磁界成分であるが、コイルの折り返し部分の影響が多少見られる。

Y 、 Z 方向の磁界にフィルム変圧器のコイル折り返し部分の影響が現れているにも拘わらず、Fig.6(d)の合成磁界は、電流が流れる円形面にほぼ均一に磁界が分布することを示す。

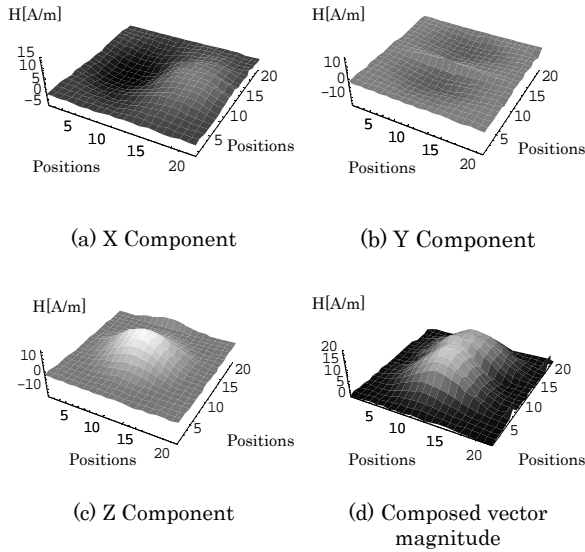


Fig.6 Three dimensions image of the magnetic field distribution

ヘルムホルツの定理によれば、任意のベクトル \mathbf{F} は回転成分と発散成分からなる。回転成分はベクトルポテンシャル \mathbf{V} の回転演算、発散成分はスカラーポテンシャル ϕ の勾配演算によりそれぞれ与えられる。すなわち、

$$\mathbf{F} = \nabla \times \mathbf{V} + \nabla \phi \quad (6)$$

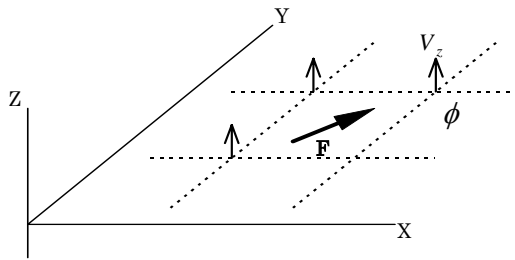


Fig.7 Vector \mathbf{F} and its reference coordinate system

いま、任意のベクトル \mathbf{F} に対する基準座標系とし、ベクトル \mathbf{F} が回転成分 $\mathbf{F}_V (= \nabla \times \mathbf{V})$ と発散成分 $\mathbf{F}_S (= -\nabla \phi)$ とすれば、任意のベクトル \mathbf{F} は

$$\begin{aligned} \mathbf{F} &= \mathbf{F}_V + \mathbf{F}_S, \\ &= D_V \mathbf{V} + D_S \Phi, \\ &= \begin{pmatrix} D_V & D_S \end{pmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{V} \\ \Phi \end{bmatrix}, \\ &= \mathbf{A} \mathbf{f}, \end{aligned} \quad (7)$$

と書くことが出来る。 D_V と D_S はそれぞれ離散化した回転演算と勾配演算子である。システム行列 \mathbf{A} は横長の長方形行列であるから、式(7)の解ベクトル \mathbf{f} は何らかの拘束条件を付加しなければ得られない。

本稿では解ベクトルのノルムが最小になる拘束条件で

式(7)を解き、磁界ベクトルを発散成分と回転成分へ分解する。

式(7)の最小ノルム解は式(8)で与えられる。

$$\mathbf{f} = \mathbf{A}^T (\mathbf{A} \mathbf{A}^T)^{-1} \mathbf{F} \quad (8)$$

式(8)で得られる解ベクトル分布の1例を Fig.7 に示す。 Fig.8 において、(a)、(b)、(c) はそれぞれ与えられたベクトル分布、ベクトルポテンシャルの紙面に垂直方向成分、スカラーポテンシャルである。

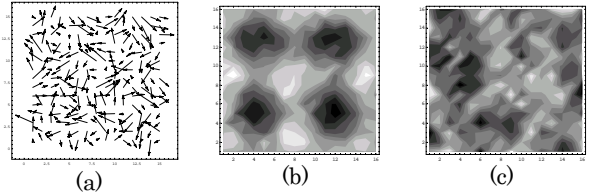


Fig.8 An example. (a) Observed vector fields, (b) vector potential and (c) scalar potential distributions.

Fig.9(a)と(b)はそれぞれ、Fig.8(a)のベクトル分布の回転成分と発散成分であり、両者の和はFig.8(a)の与えられたベクトル分布を厳密に再現する⁴⁾

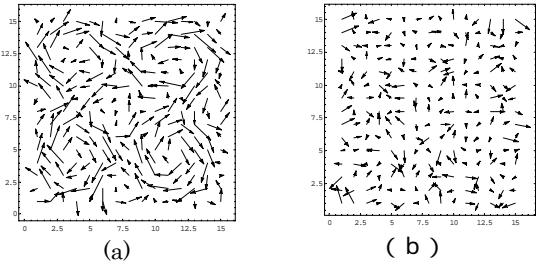
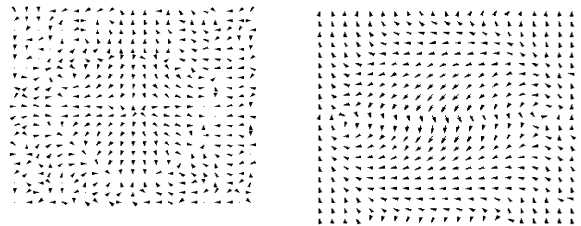


Fig.9 (a) Rotational vector fields and (b) divergent vector fields

Fig.10、Fig.11、Fig.12 は Fig.6 に示す実測値の磁界ベクトル分布から Fig.8 は Fig.9 を得る過程と同様にして求めた。それぞれの発散と回転成分ベクトル分布を示す。 Fig.10 において、Z 方向成分の磁界の回転成分がフィルムトランス中の電流ベクトル分布に近く、同心円状に巻いた形で分布している。



(a) X Component (b) Y Component

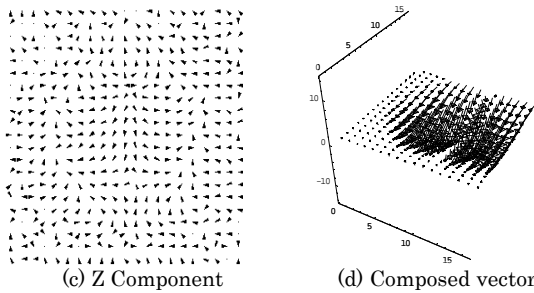


Fig.10 Three dimensions image of the magnetic vector field distribution

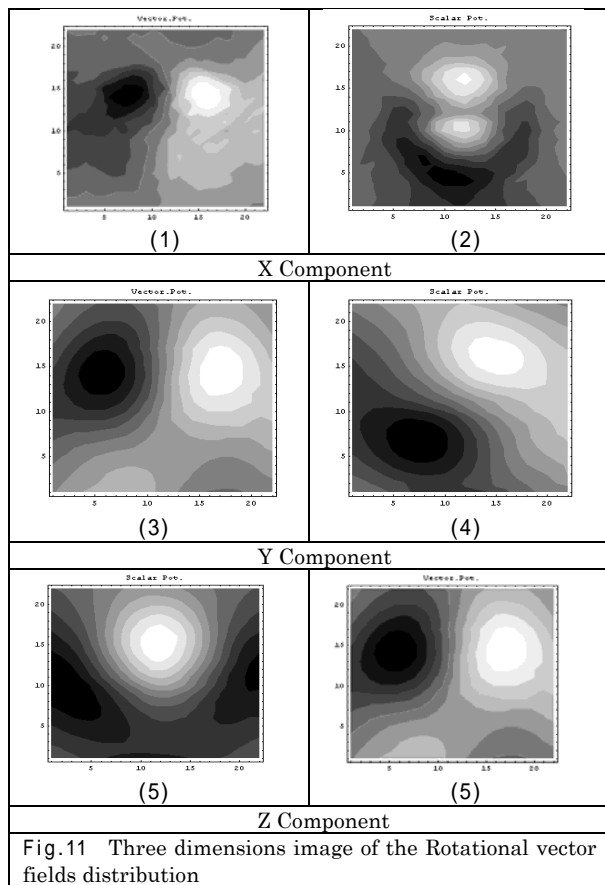


Fig.11 Three dimensions image of the Rotational vector fields distribution

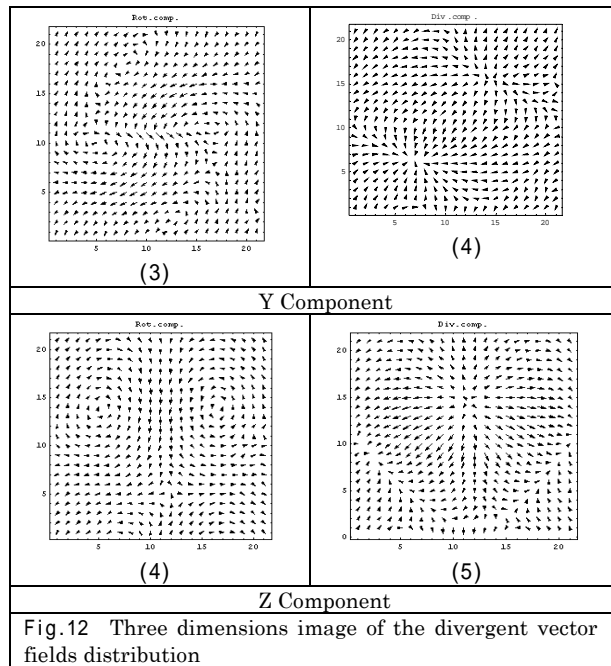
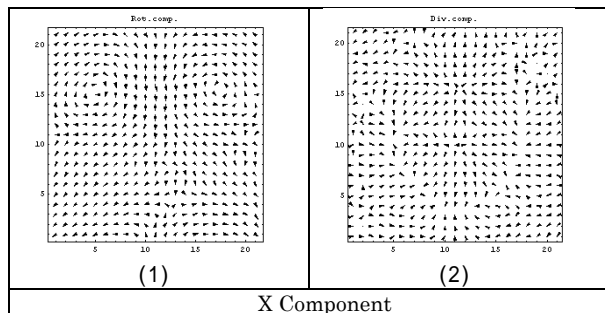


Fig.12 Three dimensions image of the divergent vector fields distribution

5. まとめ

本研究ではフィルムトランスを用いた超軽量・小型のスイッチング電源の開発を究極の目標としている。フィルムトランスの構造的欠点である放射磁界の可視化を検討した。その結果、フィルムトランス面の垂直方向磁界がフィルムトランス中の電流分布と対応することが判明した。

フィルムトランスを用いた超軽量・小型のスイッチング電源では単純なスイッチング電源と異なり、各部品にフィルムトランスの配置が周辺磁界分布へ大きな影響を与える。このため、フィルムトランスを用いた超軽量・小型のスイッチング電源では複数のフィルムトランスが生ずる磁界を互いに打ち消すように配置を考える設計の基本方針が明らかになった。

参考文献

- 1) 緑川洋一:小型・軽量磁気素子の開発とそのスイッチング電源への応用に関する研究, 1997 年度法政大学博士論文
- 2) 緑川洋一:高周波薄型変圧器とその応用に関する研究, 1994 年度法政大学修士論文
- 3) 増田則夫, 緑川洋一, 齊藤兆古, 遠矢弘和:電子回路基板の電流分布推定に関する研究, 電気学会マグネティックス研究会資料, MAG-97-128, 1997.7, pp 13-18.
- 4) T.Do, and et al : "Current Distribution Analysis on Printed Circuit Board," INVERSE PROBLEMS IN ENGINEERING MECHANICS (M.Tanaka, G.S.Dulikravich, Eds Elsevier), pp.495-501 ,(Mar.1998) .

キーワード.

フィルムトランス、EMC、磁界分布の可視化、電源供給

Summary

Visualization of Magnetic Fields around Power Supplies Utilizing Film Type Transformer

Yu Usuda Seiji Hayano Yoshifuru Saito

Department of Electrical and Electronic Engineering Hosei University

Modern microelectronics has made it possible to work out a lot of many small electronics, such as electronic calculator, radio, notebook computer and so on. Even though the electronic parts processing the electronic signals could be minimized, it is difficult to minimize the power supplier because of magnetic elements. To overcome this difficulty, we are now developing the power supplier without any magnetic elements. In this power supplier, coreless film transformer is employed instead of conventional transformers. Coreless film transformer enables us to work out an extremely lightweight power supplier but causes the other problem, i.e., magnetic field radiation around the power supplier. To examine this problem, this paper had tried to visualize the magnetic field distributions above a film transformer.

Keywords.

Film transformer ,EMC , Magnetic field visualization, Power supplier