

コイル分散配置型平面変圧器

金子聡*、早野誠治、斎藤兆古

(法政大学)

Flat transformer having distributed windings

Satoshi Kaneko, Seiji Hayano, and Yoshifuru Saito (Hosei University)

Abstract

Previously, we have proposed the flat transformer constructing the spirally twisted coils and shell type magnetic core. Employment of the thin flat shape magnetic core makes it possible to rise up the coupling factor between to primal and secondary coils and to spread out the operating frequency range.

In the present paper, we exploited the flat transformer having multi-windings and carried out the experiments concerning to the frequency characteristics. As a result, it is revealed that an optimal number of windings depends on the entire core dimensions.

キーワード：トランス、磁束制御、表皮効果

(Transformer, Flux control, Skin effect)

1. まえがき

半導体素子の高集積化技術の進歩と普及は、ワードプロセッサや携帯電話などの小型電子機器の開発のみならずデジタル計算機のダウンサイジングを促し、従来の技術では困難であった多くの小型電子機器の開発を可能とした。このような小型電子機器の電氣的構造は信号処理部と電源部に大きく分類される。電源部は、多くの場合、スイッチング電源が採用されている。特に、インバータ駆動の蛍光灯やプラズマディスプレイでは駆動周波数が数十 kHz から数百 kHz へ高周波化しつつあり、DC/DC コンバータでは MHz 帯でのスイッチングが実用化されつつある。スイッチング電源では、変圧器やリアクトルなどの磁気素子が寸法や重量において大きなウェイトを占める。このため、これらの磁気素子を小型化する一方法としてスイッチング周波数の高周波化によって、極力変圧器やリアクトルの鉄心部分を小さくする方向で小型・軽量化が図られているのが現状である。スイッチング電源の動作周波数の高周波化は変圧器やリアクトルの小型化を可能とする。他方、半導体素子のスイッチング損失の増加や高周波ノイズの増加を促し、結果として、スナバ回路や共振

用コンデンサ、ソフトスイッチング用リアクトルの追加などを余儀なくし、逆に部品数の増加と回路の複雑化が高信頼性と低コスト化の障害となりつつある。筆者等はこのような現状に鑑み、鉄損が全く存在しないため高周波で高効率な空心変圧器及びフィルム型変圧器を提案し[1-4]、更に、これらの変圧器を踏まえて空心変圧器を磁性体で密閉することで磁束の流れを制御した全閉型平面変圧器を開発した[5]。

本稿では、従来型変圧器のように磁性体を主磁路形成のためではなく、磁束の流れを制御するために使用したコイル分散配置型平面変圧器の諸特性を報告する。

2. 平面変圧器

従来型変圧器は、閉磁路を形成する磁性体に一次・二次導体を巻いた形式で作られる。これに対し、平面型変圧器は、図 1 に示すように平面上にツイストした一次・二次導体を同心円状に巻く形式で作られる。

従来型変圧器では、主磁路が磁性体で形成されるため、低周波から高周波まで良好な一次・二次導体間の結合が期待できる。しかし、磁束は必ず磁性体内を通過するため高周波動作時の鉄損増加

による効率の低下は免れない。他方、平面変圧器は隣接する一次・二次導体間の磁氣的結合を前提としているために、導体の内部インダクタンスが大きい低周波で高い結合は望めない。しかし、高周波では表皮効果により電流が表面に集中するため内部インダクタンスが減少し、一次・二次間の磁氣的結合は高められる。更に、図1(b)に示すように変圧器全体に鎖交する磁束が存在し、一次・二次の結合が強化される。理論上図2に示すような磁束分布となる[6]。

さて、変圧器全体を鎖交する磁束の影響を調べるため、筆者らは図3(a)に示す2種類の変圧器を試作した。図3(a)は中心から端部に向かうにつれ導体幅が広がる形式、(b)は(a)の逆のパターンで端部から中心に向かうにつれ導体幅が広がる形状の導体板で構成されている。図4、5にはそれぞれの基礎特性として測定した周波数対変圧比、周波数対効率の結果である[7]。

この結果から図3(b)の端部から中心に向かうにつれ導体幅が広がる導体板で構成された変圧器の特性が良好であることがわかる。これは変圧器の中心部を通過する磁束が多く鎖交することに起因すると考えられる。

このことから、平面型変圧器は隣接する導体どうしの結合も然る事ながら、変圧器全体に鎖交する磁束による結合も重要な要素であることが判明した。

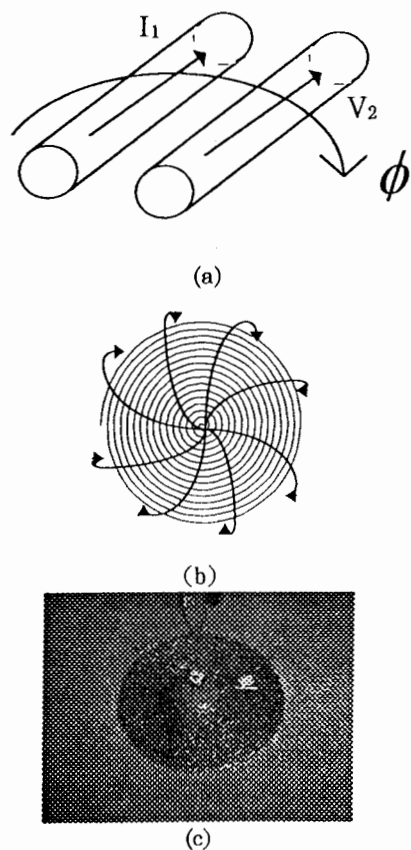


図1 平面型変圧器の原理

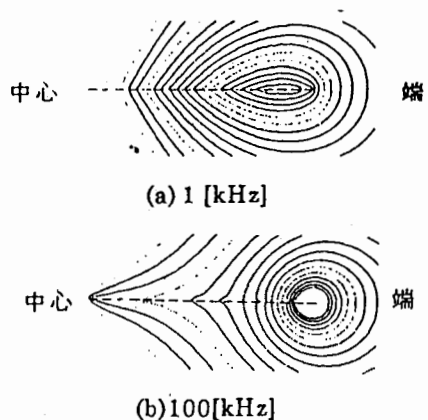


図2 磁束分布

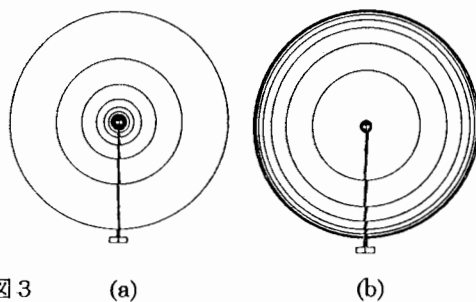


図3

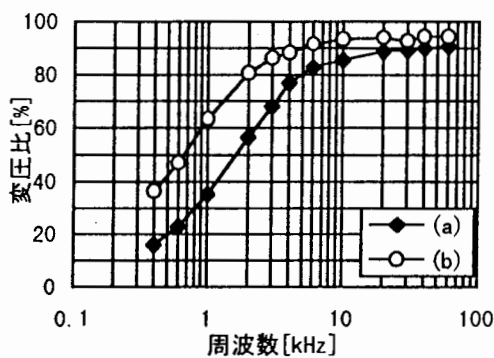


図4 周波数対変圧比特性

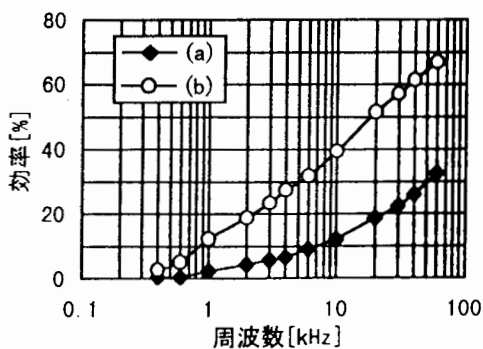


図5 周波数対効率特性

3. 全閉型平面変圧器

図6は、変圧器全体に鎖交する磁束を強化するため、磁性体(フェライト)を用いて図1の平面変圧器を上下から包み込む全閉型平面変圧器である。図6から了解できるように、磁性体は主磁路を形成するためでなく、磁束を磁性体表面に沿って流す目的で使われる。このため、本変圧器の特性は磁性体の特性に対する依存性が少ない。極言すれば、本変圧器に使われる磁性体は抵抗率と透磁率が大きければ良い。このため、磁性体は限られたコストの範囲内で可能な限り肉厚を薄く作成した。

試作した全閉型平面変圧器の諸特性を図7(a)に周波数対変圧比、(b)に周波数対効率を示す。なお、測定周波数は50[Hz]から600[kHz]である。

図7の周波数対変圧比特性で黒丸は、低周波領域での結合の高さが何れ、周波数1[kHz]以上ではほぼ100[%]近い結合がえられている。白丸は比較のため磁性体を使用しない空心平面変圧器単体の周波数対変圧比特性を示したものである。両者の比較から磁性体を使用した効果がわかる。

また、周波数対効率で黒丸は純抵抗負荷5[Ω]、白丸は純抵抗負荷50[Ω]を接続した場合である。いずれも比較的低周波領域から良好な特性を有し90[%]以上の良好な効率が得られている。

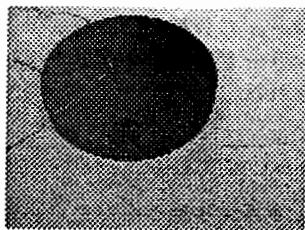
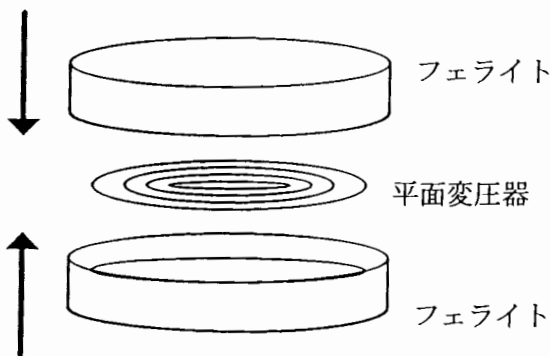


図6 全閉型平面変圧器

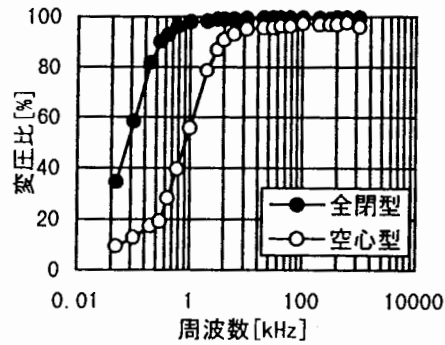


図7 (a) 全閉型平面変圧器の変圧比対周波数特性

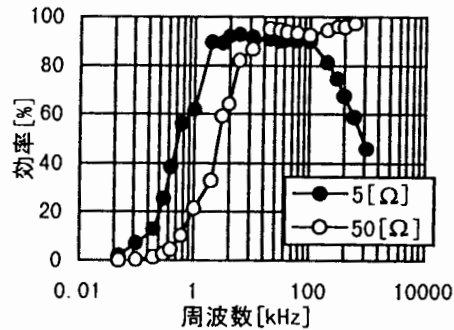


図7 (b) 全閉型平面変圧器の周波数対効率特性

4. コイル分散配置型平面変圧器

コイル分散配置型平面変圧器とは、前述の全閉型平面変圧器の巻線を複数に分割し分散配置を行ったものである。従来の全閉型平面変圧器はホルマル線を用い一次・二次導体をツイストさせ、それをスパイラル状に1対のコイルを形成しているのに対し、コイル分散配置型平面変圧器は複数対のコイルを配置し、磁性体で密閉する形式で構成される。

試作したコイル分散配置型平面変圧器は三種類である。図8、9、10と順に配置するコイル数を2、4、9個と増加させたものである。いずれの変圧器も使用した磁性体は同一のものである。このため、コイル数の増加に伴いコイル1対の大きさは小さくなる。

図8のコイル数が2個のものは半月状のコイル対を対照に配置した形状であり、図6は円を4分割し扇型に巻いたものを配置、図9は中央に8角形のコイル対を配置しその周辺に8個のコイル対を配置したものである。すべての試作変圧器は直径が9cmの円となるようにそれぞれのコイルを作成してある。

なお、使用した磁性体は直径90[mm]、厚さ

15[mm]のフェライトを使用し、100[Hz]から600[kHz]の周波数範囲で実験を行った。

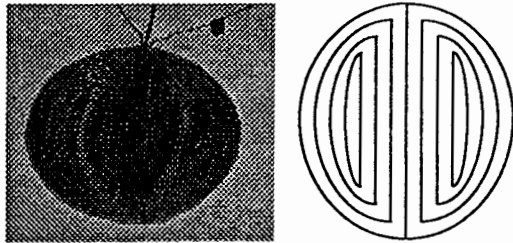


図8 コイル2

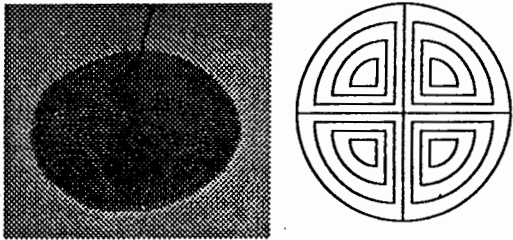


図9 コイル4

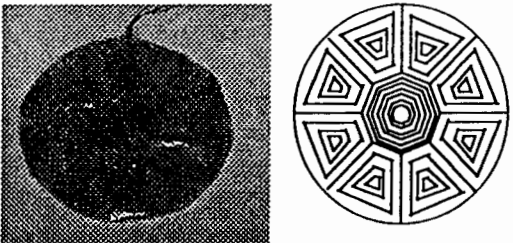


図10 コイル9

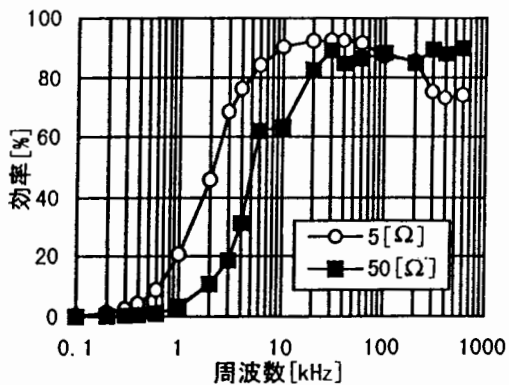


図11 周波数対効率特性 (コイル2)

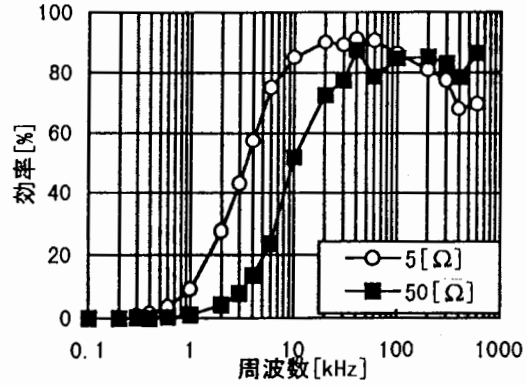


図12 周波数対効率特性 (コイル4)

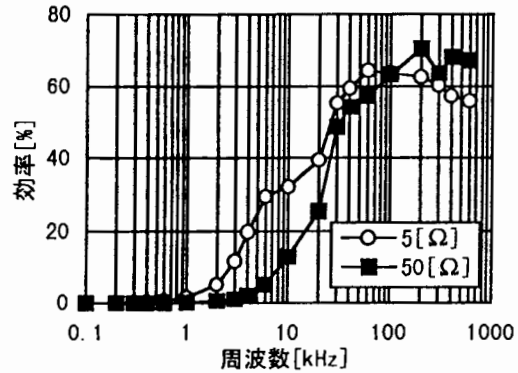


図13 周波数対効率 (コイル数9)

図11、12、13に図8—10それぞれの変圧器に対する周波数対効率特性を示す。図11—13の結果から図8、9の変圧器の特性は負荷が5[Ω]のとき90%以上の効率が得られている。特に周波数が数十kHzの範囲において良好な特性が得られ、図8の変圧器は広範囲の周波数で良好な特性を持つ。図10の変圧器の特性は他の二個の変圧器と比較しても著しく効率が低下しているのが分かる。

これは、コイルの分割と分散配置が変圧器動作に寄与しないリード線部分を増加することに起因すると考えられる。

5.まとめ

本稿では、ホルマル線を用いた平面変圧器を磁性体で密閉する全閉型平面変圧器と、複数個のコイル対を分散配置するコイル分散配置型平面変圧器の基礎特性を報告した。

その結果、試作した変圧器では全閉型平面変圧器とコイル対が2個の変圧器の特性が良好である

ことが判明した。コイル対の増加はリード線の増加につながり鎖交磁束数が減少するため効率の低下となることも判明した。コイル分散配置型平面変圧器は分割するコイル対に最適値が存在すると考えられる。すなわち、平面変圧器全体の寸法と分散コイル対に一定の規則性が存在すると考えられる。

参考文献

- [1] S.Hayano, Y.Midorikawa, and Y.Saito, "Development of film transformer" IEEE Trans.Magn,Vol.30,No.6,pp.4758-4760 (November 1994).
- [2] I.Marinova, Y.Midorikawa, S.Hayano, and Y.Saito "Thin Film Transformer and Its Analysis by Integral Equation Method" IEEE Trans.Magn, Vol.31, No.4,pp2432-2437 (July 1995)
- [3] 緑川、早野、斎藤、"フィルム変圧器の基礎的考察"、電気学会論文誌 A、115 巻 12 号,pp1221-1227(1995)
- [4] Y.Midorikawa, I.Marinova, S.Hayano, and Y.Saito, "Electromagnetic Film Transformer" IEEE Trans.Magn, Vol.31, No3, pp.1456-1459 (May 1995).
- [5] 金子、早野、斎藤、"全閉型平面変圧器の基礎特性"、マグネティクス研究会資料 MAG-97-116
- [6] Y.Midorikawa, I.Marinova, S.Hayano, and Y.Saito "Electromagnetic Field Analysis of Film Transformer" IEEE Trans.Magn, Vol.31, No.3,pp1456-1459 (May 1995)
- [7] 金子、緑川、早野、斎藤、"パネル型電力用変圧器に関する基礎特性"、マグネティクス研究資料 MAG-96-191

原稿受付日

平成 10 年 1 月 12 日