

全閉型平面変圧器の基礎特性

金子聡*、早野誠治、斎藤兆古
(法政大学)

A basic study of the flat transformer having shell type flux path.

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

Abstract

Previously, we have proposed a flat type power transformer for high frequency use. This transformer exhibits a fairly good efficiency even though they are not employing any magnetic materials. However, their characteristics are peaky nature depending on the load and operating frequency. This is because the operating principle is based on the skin effect.

In the present paper, we employ the shell shape magnetic materials covering all over the coil so that the high performance characteristics have been obtained in a extremely wide range frequency. Initial test results demonstrate that our purposed transformer has the versatile characteristics.

キーワード：全閉型平面変圧器、フェライトケース、表皮効果
(Flat transformer, Ferrite case, Skin effect)

1. まえがき

電力用変圧器は、交流電化が実現され始めた産業革命にまでその歴史を溯る事が出来る。現在でも、変圧器の動作原理と構造は、初期の形式と基本的には同一であり、技術的な改良は主として主磁路を形成する磁性材料、絶縁技術、冷却方式に対してなされた。

近年、電力用半導体の進歩と普及が変圧器の可変周波数駆動を促し、従来の商用周波数を前提とする変圧器設計の概念を見直す時期に到達していると考えられる。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。また、インテリジェントビル等では電源機器の小型軽量化のために高周波配電も検討されつつある。

筆者等は、このような現状に鑑み、表皮効果を利用したフィルム状変圧器がスイッチング電源で充分実用可能であることを示し[1-5]、更にフィルム状リアクトルがノイズフィルター構成素子として有効であることを示した[3]。

本稿は、筆者等が提唱したフィルム型変圧器を踏まえ一次・二次導体にホルマル線を用いて試作した全閉型平面変圧器の無負荷・負荷特性を測定することで、最適な動作周波数、負荷、出力等を実験的に求め、また、従来型変圧器と比較することで全閉型平面変圧器が実用化可能であることを示す基礎特性を報告するものである。

さて、平面変圧器は一次・二次導体を互いにツイストしたものを同心円状に巻く形式で構成されており、その基本的な動作原理は表皮効果で内部インダクタンスを減少し、一次・二次導体間の結合を高くするというものである。すなわち、高周波では充分動作するが、低周波に

おいては表皮効果による結合は期待できない。そこで磁性体で磁束の流れを制御する形式をとったものが全閉型平面変圧器である。ここで注意すべき点は、全閉型平面変圧器で使用している磁性体は、従来型変圧器のように主磁路を形成するために用いられるのではなく、磁束の流れを方向付けするために用いられる点にある。これは、変圧器を構成する磁性体の使用量を大幅に削減することとなり、変圧器の軽量化につながることを意味する[6,7]。

2. 全閉型平面変圧器

2.1. 動作原理 従来型変圧器は、図1に示すように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2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。

図1の従来型変圧器では、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時の鉄損増加による効率の低下は免れない。他方、平面型は隣接する一次・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で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。

図3は、磁性体(フェライト)を用い図2で示した平面変圧器を上下から包み込むようにして密閉した全閉型平面変圧器である。図3から理解できるように、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性質に依存性が少ない。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。

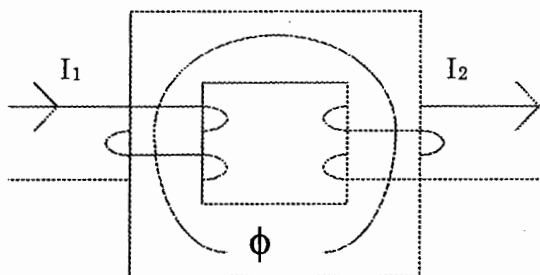


図1. 従来型(内鉄型)変圧器の構成

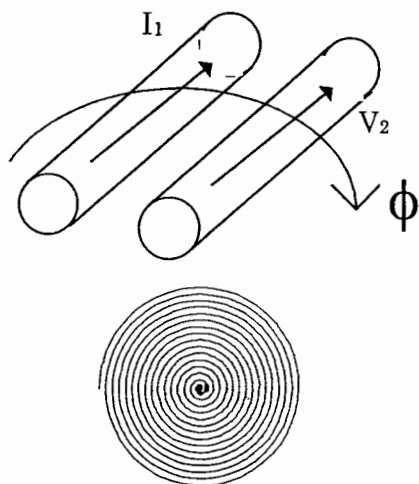


図2 平面型変圧器の原理

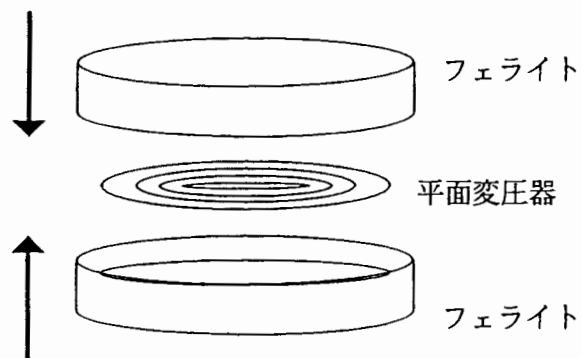


図3 全閉平面変圧器

2. 2. 試作全閉型平面変圧器

試作平面変圧器として図4に2台の変圧器を示す。図4(a)は一次・二次導体を互いにツイストしたものを同心円状に端から中心へ巻いた1層形式のもの、図4(b)は1層のものを2重に重ねた2層形式である。表1にコイルに関する諸定数を示す。使用した中空円盤状磁性体の寸法を表2に示す。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。

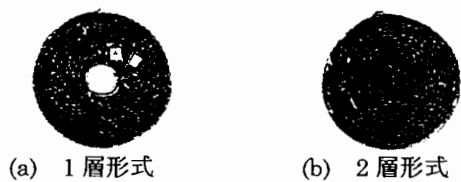


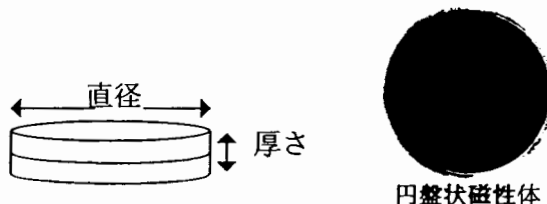
図4 試作平面変圧器

表1. 試作平面変圧器の諸定数

	内径 [mm]	外径 [mm]	導体径 [mm]	導体長 [m]	ツイスト回数 [回/m]
1層	10	90	0.6	4.5	100
2層	10	90	0.6	9.0	100

表2. 磁性体の諸定数

	直径[mm]	厚さ[mm]
1層	95	15
1層	95	25
2層	95	18
2層	95	25.5



円盤状磁性体

図5(a)に磁性体を用いない、すなわち平面変圧器のみの周波数対変圧比特性(二次誘導電圧/一次印加電圧)、図5(b)、(c)に磁性体を用いた全閉型平面変圧器の周波数対変圧比特性を示す。測定周波数は50[Hz]から1[MHz]までである。

図5(a)は、低周波における結合は弱く、3.4[kHz]付近から90[%]以上の結合が得られ、最大値は98[%]に止まった。他方、図5(b)、(c)は、低周波から良好な特性が得られ1[kHz]以上では、ほぼ100[%]の結合が得られた。これは磁性体により磁束の流れが制御され効率良く磁束が鎖交しているためと考えられる。また、厚みが約1.0[cm]異なる磁性体を用いて測定したが、厚みによる特性の違いほとんど観られなかった。全閉型平面変圧器が磁束の流れを制御することで、充分高い結合を得ることが判明した。全閉型平面変圧器の周波数対効率特性(出力[w]/入力[w])を図6に示す(出力は1[W]とした)。図6に示す効率はそれぞれ負荷抵抗4[Ω]、および50[Ω]を接続した場合の結果である。数kHzから100kHzでは何れの場合においても良好な特性を得た。これは磁性体が磁束の流れを方向付けた結果に起因すると思われる。他方、100kHz以上では抵抗値により特性が異なっているのがわかる。

図7は出力を1,3,5,9[w]と変化させた場合の周波数対効率特性を、図8には負荷抵抗を4,10,30,50[Ω]と変化させた場合の周波数対効率特性を示す。図7、図8の測

定で用いた磁性体は1層に対して15mm、2層に対して18mmを使用した。

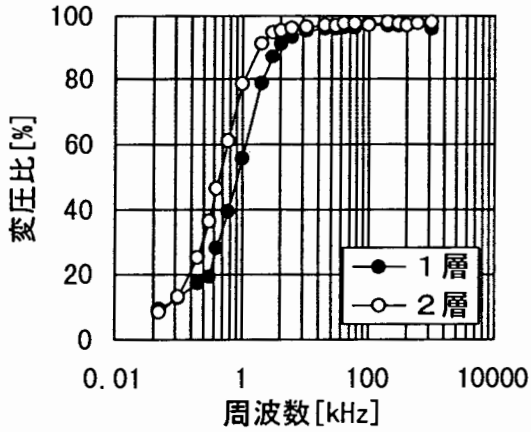


図5(a) 平面変圧器単体（磁性体未使用）の周波数対変圧比特性

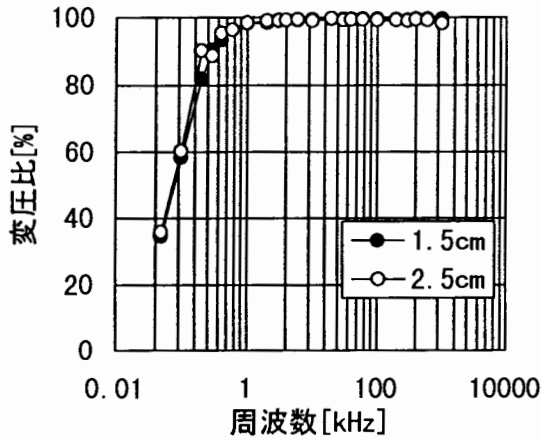


図5(b) 1層全閉型平面変圧器の周波数対変圧比特性

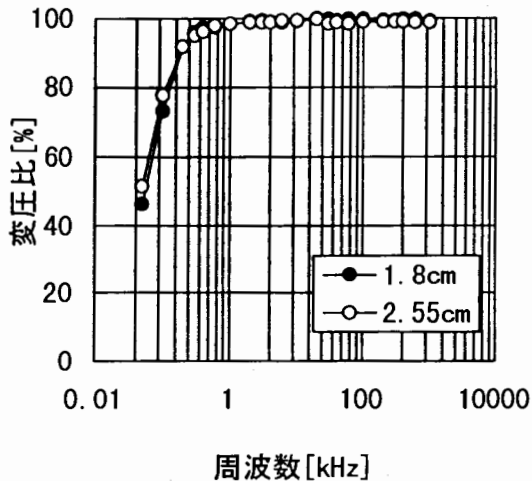


図5(c) 2層全閉型平面変圧器の周波数対変圧比特性

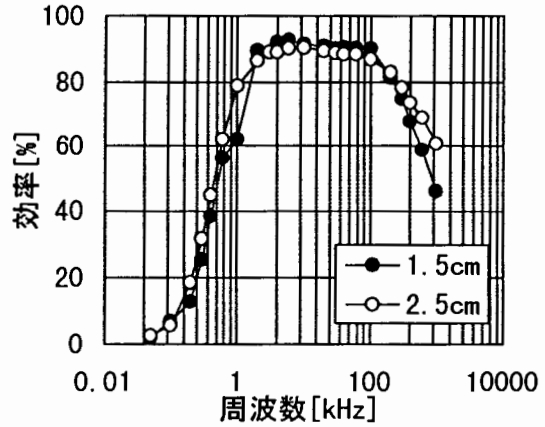


図6.1(a) 負荷抵抗4[Ω]

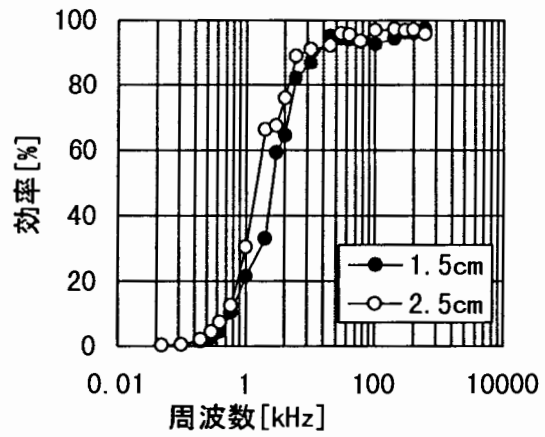


図6.1(b) 負荷抵抗50[Ω]

図6.1 1層全閉型平面変圧器の周波数対効率特性

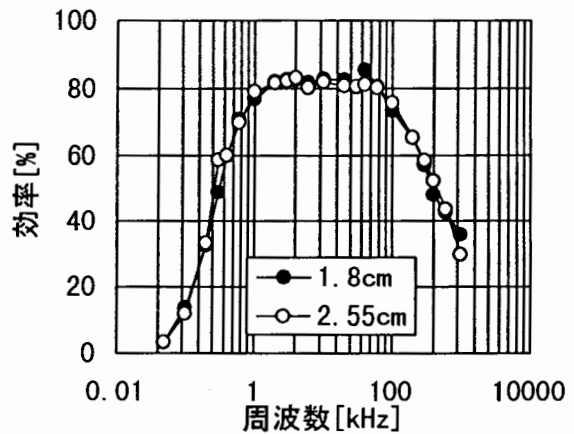


図6.2(a) 負荷抵抗4[Ω]

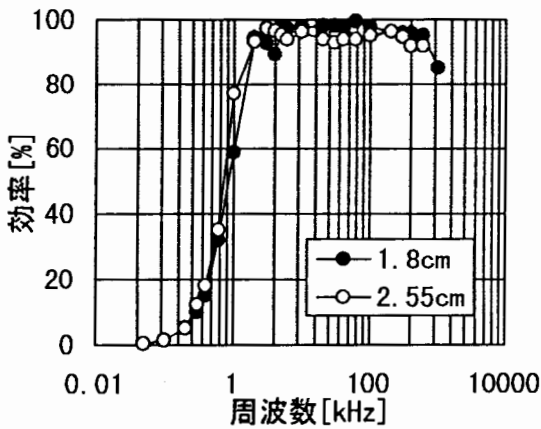


図 6.2(b) 負荷抵抗 50[Ω]
 図 6.2 2層全閉型平面変圧器の
 周波数対効率特性

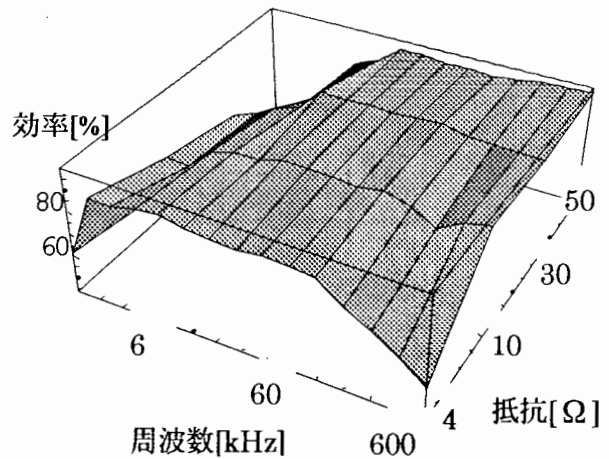


図 8 (a) 1層全閉型平面変圧器

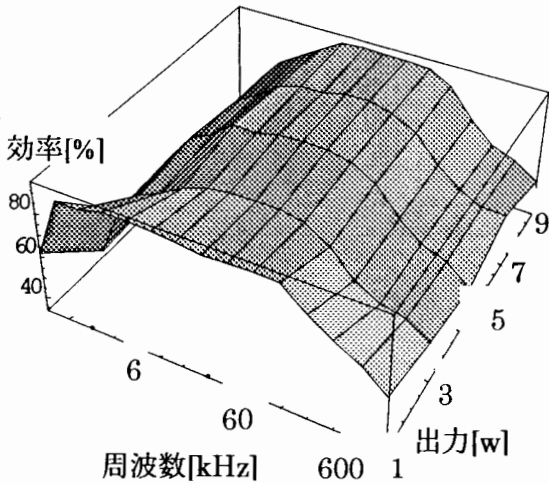


図 7 (a) 1層全閉型平面変圧器

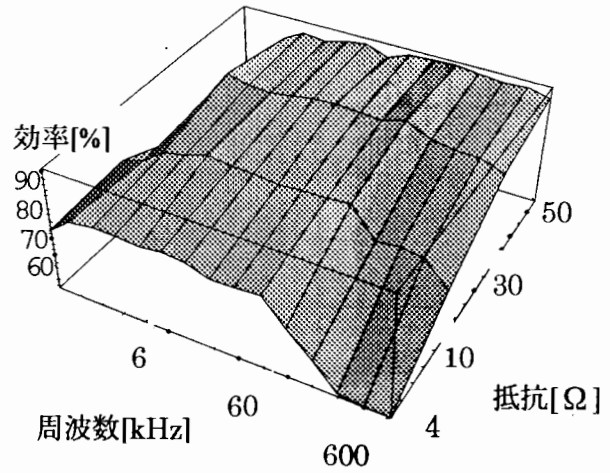


図 8 (b) 2層全閉型平面変圧器

図 8 負荷抵抗を変化させた場合の周波数対効率特性

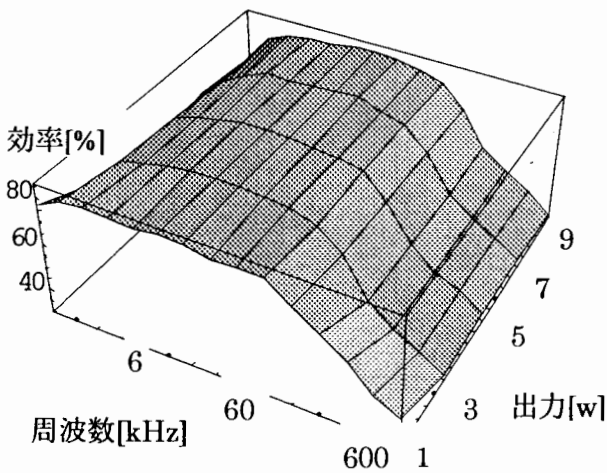


図 7(b) 2層全閉型平面変圧器
 図 7 出力を変化させた場合の周波数対効率特性

図 7 は 1,3,5,7,9[w]と出力を変更した場合の周波数対効率特性であり、(a)が1層、(b)が2層全閉型平面変圧器の特性である（負荷抵抗は 4[Ω]である）。この結果から出力を変更した場合の特性に差異はほとんど見られなかった。また、いずれの出力に対しても 6kHz から 60kHz の領域において 90[%]程度の効率が得られた。次に、図 8 は 4,10,30,50[Ω]と負荷抵抗を変えた場合の周波数対効率特性である。出力は 1[w]としている。低周波領域では低抵抗の効率が、また高周波領域では高抵抗の効率の特性が良好であることがわかる。6kHz から 60kHz においては、いずれの抵抗値に対しても 90[%]以上の効率が得られた、特に抵抗値 30[Ω]の抵抗の場合に最高効率を得た。

図 9 に等価回路定数を求め、効率の計算値を示す。

3. まとめ

本稿では、従来型変圧器とは異なり、磁性体を主磁束を形成させるためではなく、磁束の流れの方向付けをするために用いることで磁性体の使用量を大幅に削減した薄型・軽量の全閉型平面変圧器を試作し周波数特性の評価を行った。その結果、磁性体で平面変圧器を密閉することで低周波から良好な特性を有し、数 kHz から 100kHz の周波数にわたり良好な特性を有することが判明した。これは磁性体が磁束の流れの方向付けに有効であるといえる。以上のことから全閉型平面変圧器が薄型・軽量の変圧器として実用化の可能性が高いことを明らかにした。

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] Y.Midorikawa, S.Hayano, and Y.Saito, "A new inductor having a noise filtering capability" IEEE Trans.Magn, Vol30, No.6, pp.4761-4763 (November 1994).
- [4] 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)
- [5] 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)
- [6] 金子、緑川、早野、斎藤、"パネル型電力用変圧器に関する基礎的検討"、マグネティックス研究会資料、MAG-96-191
- [7] 金子、緑川、早野、斎藤、"フラット型変圧器の DC/DC コンバータへの適用"、平成 9 年電気学会全国大会、538、pp2-341-2-342

原稿受付日	平成 9 年 6 月 20 日
-------	-----------------