

薄型トランス・インダクタの検討

Studies of Thin Shape Transformer and Inductor

緑川 洋一、 早野 誠治、 斎藤 兆古
Y. Midorikawa, S. Hayano and Y. Saito

法政大学 工学部
College of Engineering, Hosei University

1. まえがき

半導体素子の高集積化技術の進歩は、携帯電話やワードプロセッサなどの小型電子機器の開発を推進し、その結果、デジタル計算機等のダウンサイジングを促し、従来の技術では製造困難であった多くの小型電子機器の開発を可能とした。電子機器を電氣的に大きく分けると信号処理部分と電源部分に分けられる。信号伝達や処理に関する電子回路の集積化はほぼ限界に達している現在、電子機器の更なる小型・軽量・低コスト化は、電源部の小型・軽量・低コスト化に依存するといっても過言ではない。電源部の小型・軽量化のため、比較的大きなスペースを占め且つ、重量の重い部品であるリアクトルや変圧器を小型・軽量化する努力がなされている。リアクトルや変圧器の小型化の最も容易な方法は高周波化であり、このため高周波動作に耐えられる磁性材料の開発が精力的に行われている [1-3]。

筆者等は、このような現状に鑑み変圧器の究極の小型・軽量化の方途としてツイストコイルを用いた空心変圧器を開発し、約7gの重量の変圧器で15W程度の出力が得られるDC/DCコンバータの実現が可能であることを報告した [4-7]。さらに極薄型化のためにフィルム状の変圧器の開発も行い、その実用化を急いでいる [8, 9]。

しかし、空心トランス等を従来型のスイッチング電源などに組み込もうとするとインダクタンスが小さいため励磁電流が大きくなる等の問題がある。励磁電流を減らすためにインダクタンスを増加するには磁性体を利用せざるをえない。以上のことから本稿では、タイル状のフェライトを用いた薄型トランス・インダクタに関する基礎的検討を行い、その結果、筆者等が従来から提案しているフィルム状変圧器・インダクタの特性が大幅に改善できることが判明したので報告する。

2. フィルムコイル

2.1 基本構造

フィルムコイルの基本構造は、1枚のフィルム基盤上に二本のコイルをエッチングまたはリソグラフィなどで図1(a), (b)に示すような同心軸状に作成する。そして、図1(a)と逆のパターンの(b)の二層を積層し、中心部で図1(a)と(b)のパターンの

フィルム基盤上のコイル端子を図2の様に接続し、一次・二次端子共に基盤の外側に取り出す構造である。これがフィルムコイルの基本ユニットである。この基本ユニットをトランスとして使用する場合は、 $a-e-b$ と $c-f-d$ をそれぞれ一次コイルと二次コイルとする。また、フィルタ用インダクタとして使用する場合は、外部端子 b と c を接続する[10]。

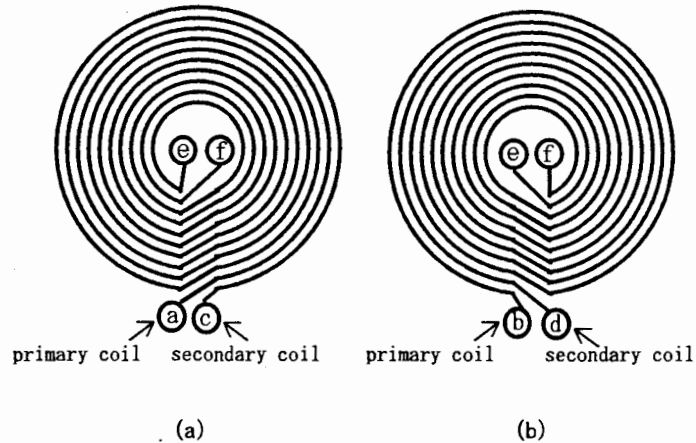


図1. フィルムコイルの基本ユニット

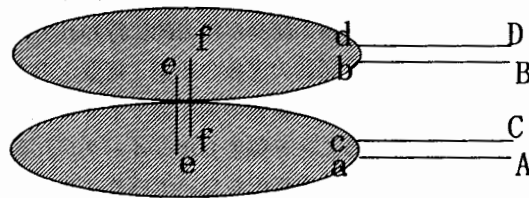


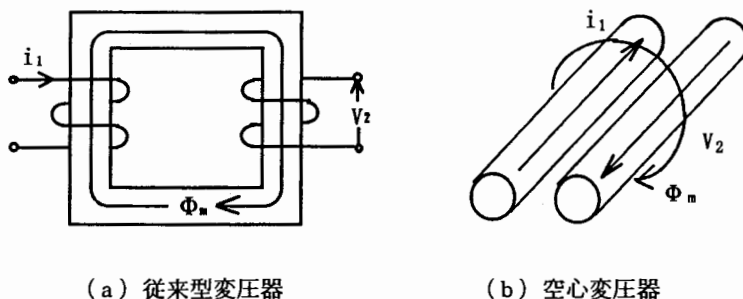
図2. 図1 (a)と(b)に示す基本ユニットのコイル接続

2. 2 動作原理

基本的な動作原理は、筆者等が既に報告したツイストコイルを用いた空心変圧器と同様に表皮効果に基づくものである[4]。図3 (a)に示す従来の内鉄型変圧器は、一次・二次間を磁束 ϕ_m で結合するために透磁率の大きな磁性体で磁路を形成する。この考え方は大部分の従来型変圧器で共通である。これに対し、筆者等は、磁性体の透磁率で磁気抵抗を低減する方法でなく、磁路を短くすることで磁気抵抗を低減しようとする考え方に基づき空心変圧器を提案してきた。すなわち、幾何学的形状で磁気抵抗を低減し、空心変圧器を実現しようとするものである。しかしながら、単純に一次コイルと二次コイルを接近させるだけで一次・二次間の磁氣的結合は高められない。これは、コイルの断面は有限であるため、コイルの内部漏れインダクタンスが存在することに起因する。コイルの内部漏れインダクタンスを

低減するのに最も簡単な方法はコイルの内部に電流を流さず、コイルの表面のみに電流を流せばよい。これを実現するには動作周波数を高周波化し、表皮効果を利用すればよい。従って、空心変圧器を実現する一方法として、一次・二次コイルを接近させ高周波で駆動すればよいこととなる。これが、筆者等の提案した空心変圧器の基本原則であり、これをフィルム基盤で実現したのがフィルムトランスである [8, 9]。

本稿では、このフィルム状のコイルを用いて従来型スイッチング電源回路等にも適用でき、また、構造が簡単なトランス・インダクタンスを作成するための基礎的実験を行う。



(a) 従来型変圧器

(b) 空心変圧器

図3. トランスの動作原理

2. 3 実験

(a) 試作トランス・インダクタ

試作したフィルムコイルは、図4に示す様なポリイミド上の銅箔膜に化学エッチングを施して作成した。作成したフィルムコイルの寸法を図5、表1に示す。

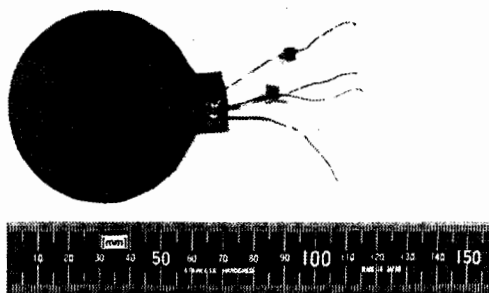


図4. 試作したフィルムコイル

表1. 供試フィルムコイルの諸定数

積層層数	外径[mm]	巻数 (1次:2次)	a [μ m]	b [μ m]	c [mm]	d [mm]
2	60	17:17	65	17	1.3	0.3

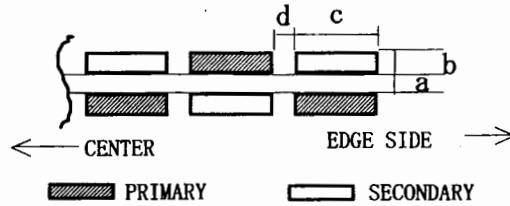


図5. フィルムコイルの断面図 (二層)

このフィルムコイルのインダクタンスの増加及び低周波特性の改善等を行うため、図6の様なタイル状のフェライトを2枚用いてフィルムコイルをサンドイッチ状に挟む薄型形状とした。実験に用いたフェライトタイルは、現在、低周波用のタイル形状のものが活用できないため、電波暗室で使用される厚さ5mmで10×10cm²の表面積を持つフェライトタイルである。

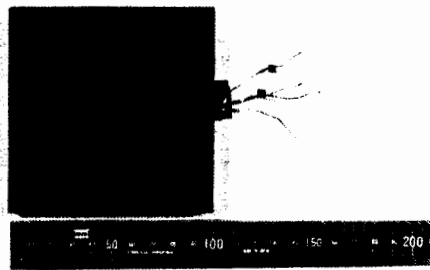


図6 フェライトタイル及びフィルムコイル

(b) 薄型トランスの特性

(b-1) 無負荷特性

試作した変圧比1:1のトランスについて、二次回路が開放されている場合の変圧比一周波数特性を図7に示す。ここで、変圧比 T_n は、

$$T_r = [V_2 / V_1] \times 100 [\%] \quad (1)$$

とし、 V_1 と V_2 はそれぞれ一次印加電圧と二次誘起電圧の振幅を示す。図7の結果より周波数の増加により二次側に一次印加電圧と近い振幅の電圧を誘起し、空心状態では、約100 kHz以上、フェライト装着時には、約1 kHz以上でほぼ同じ振幅の誘起電圧が得られていることがわかる。変圧比1:1の変圧器では、周波数が十分に高い場合、変圧比が結合係数に等しくなることが知られている[4]。従って、空心状態では約100 kHz以上、フェライト装着時には約1 kHz以上において100%近い結合が得られていることを示しており、フェライトを使用した方が低い周波数における特性が改善されていることがわかる。これは、フェライトを用いることにより磁束の分布が制御されるためと考えられる。なお、図7で、corelessとferriteは、それぞれ空心時及びフェライト使用時を示す。

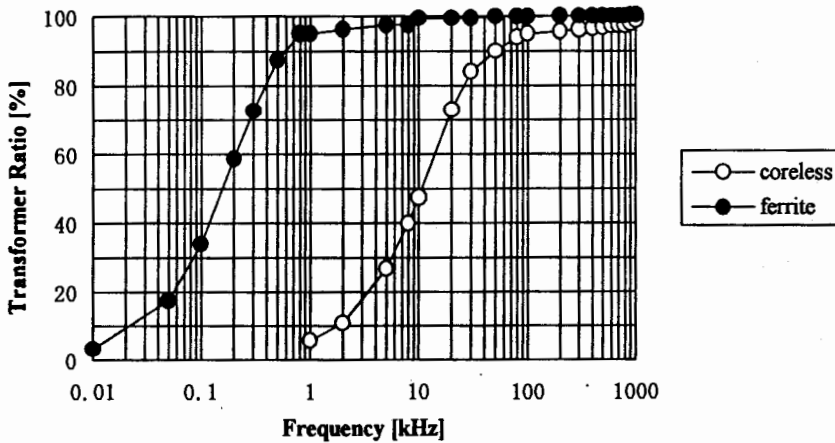


図7 変圧比一周波数特性

(b-2) 効率

試作したトランスについて、2次側に1、20、50Ωの純抵抗負荷をつけた時の、空心時とフェライト使用時の効率一周波数特性を図8に示す。ただし、効率は、

$$\text{効率} = (\text{出力}[\text{W}] / \text{入力}[\text{W}]) \times 100 [\%] \quad (2)$$

とした。

図8の特性をみると負荷抵抗値が大きくなるに従って効率は高周波領域で増加するツイストコイル型空心変圧器と同様の特性を空心時及びフェライト装着時共に示していることがわかる。空心時とフェライト使用時を比較すると、最大効率はほぼ同じであるが高効率の周波数帯域がフェライト使用時に広がっていることがわかる。

なお、図8で、corelessとferriteは、それぞれ空心時及びフェライト使用時を示し、1、

20、50はそれぞれ2次側に使用した純抵抗負荷、1、20、50Ωを示す。

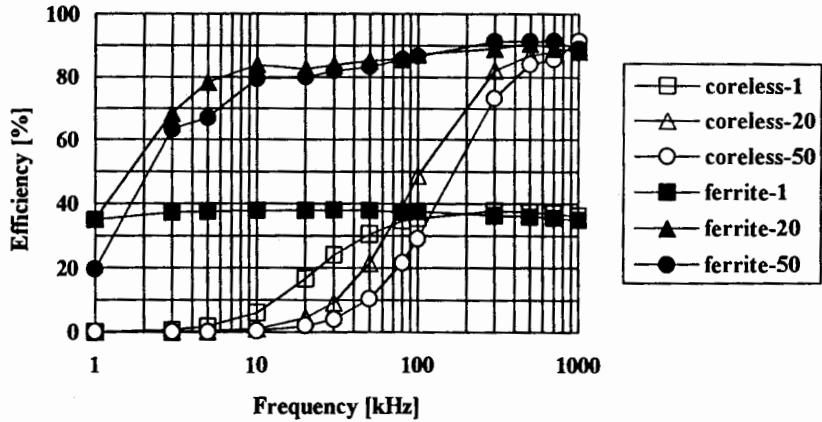


図8 効率一周波数特性

(b-3) インダクタンス

試作したトランスの空心時及びフェライト使用時について、インダクタンスを測定 (HP 4194 使用) した結果を図9に示す。10 kHz 付近で空心時は約7.5μHで、フェライト使用時は約523μHとなり、約70倍程度フェライトを用いることでインダクタンスは増加した。この結果より、フィルムコイルを磁性体でサンドイッチ状に挟むことで従来型のスイッチング電源等に特別な回路的工夫なく使用できると考えられる。

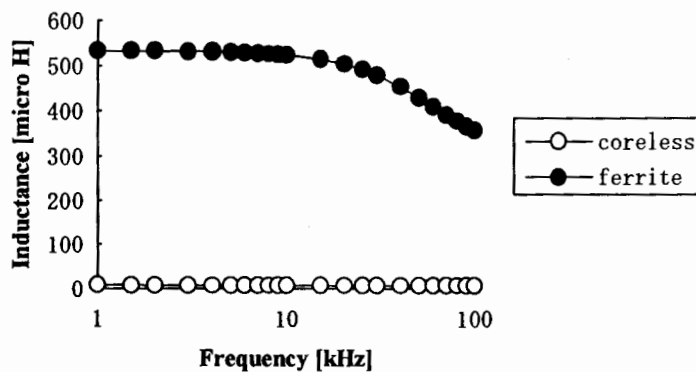


図9. インダクタンス一周波数特性

(c) 薄型インダクタ

試作した図1のフィルムコイルの外部端子bとcを接続してインダクタを作成した。このインダクタは、図1のコイルの端子bとcを接続することによって、並列共振回路を構成し、共振点付近では高インピーダンスとなる[10]。この共振型インダクタの空心時とフェライト使用時のインピーダンス対周波数特性を図10、11に示す。図10、11より、共振周波数はフェライトを使用した場合、約1桁近く低くなっていることがわかる。このインダクタをフィルタ用リアクトルとして用いた場合のゲイン—周波数特性を空心時及びフェライト使用時について、それぞれ図12、13に示す。これらの結果から、フェライトを使用した場合、より低周波数領域で広い周波数帯域のバンド阻止型フィルタとして機能することがわかる。

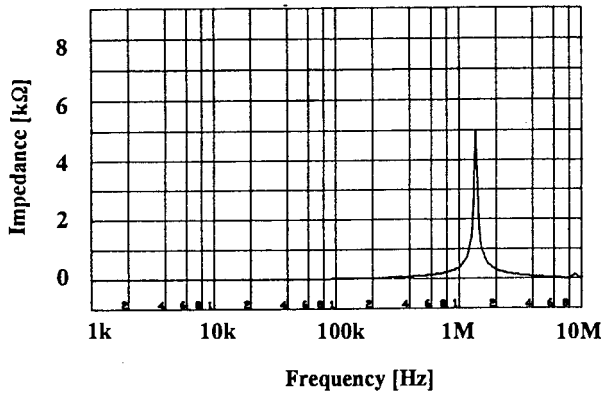


図10. インピーダンス—周波数特性 (空心時)

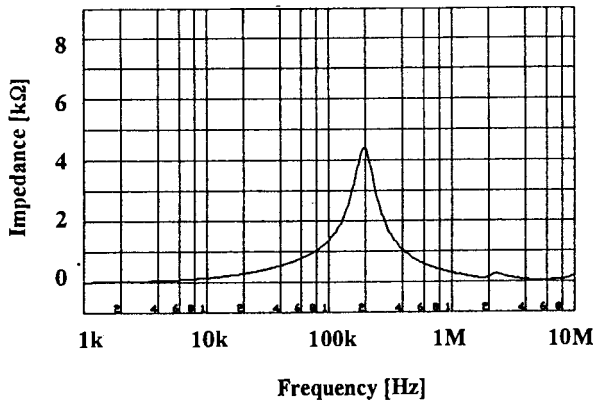


図11. インピーダンス—周波数特性 (フェライト使用時)

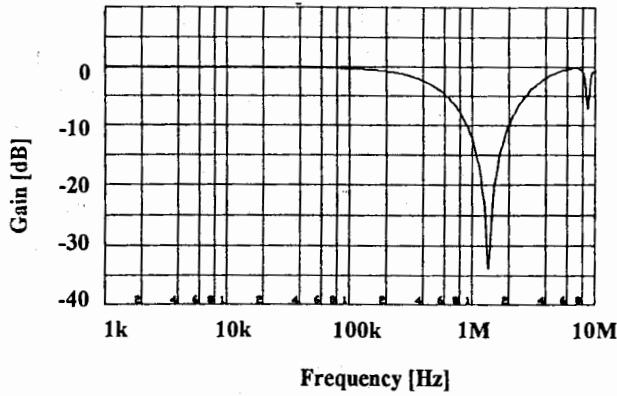


図 1 2 . ゲインー周波数特性 (空心時)

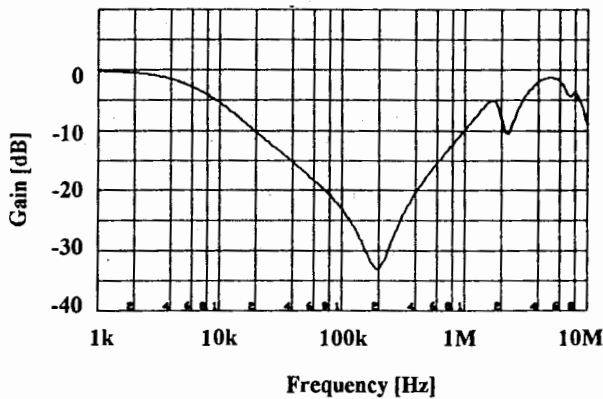


図 1 3 . ゲインー周波数特性 (フェライト使用時)

3. まとめ

本稿では、筆者等が従来から提唱しているフィルムトランス・インダクタを、タイル状のフェライトでサンドイッチ状に挟んだ場合の諸特性を実験的に吟味した。その結果、インダクタンスが増加し、結果として低周波特性が改善されることが判明した。

本稿で提案したサンドイッチ型トランス・インダクタの最適設計については、更なる検討が必要であるが、単純なサンドイッチ構造でインダクタンスが約70倍程度増加することは、薄型トランス・インダクタの実現する可能性は極めて有望であることを示唆している。

参考文献

- [1] K. Harada and T. Nabeshima, "Application of magnetic amplifier to high-frequency DC to DC converter," Proc. IEEE Vol. 76, pp. 353-361, April 1988.
- [2] F. C. Lee, "High-frequency quasi-resonant converter technology," Proc. IEEE Vol. 76, pp. 377-390, April 1988.
- [3] T. Sano, A. Morita and A. Matsukawa, "A new power ferrite for high frequency switching power supplies," Proc. 3rd Annual High Frequency Power Conversion Conference, San Diego, CA., MAG1-5, 1988.
- [4] S. Hayano, Y. Nakajima, H. Saotome and Y. Saito, "A new type high frequency transformer," IEEE Trans. Magn, MAG-27, No, 6, pp. 5205-5207, Nov. 1991.
- [5] 小川、早野、斎藤、"高周波空心トランスを用いたDC/DCコンバータの負荷特性"、電気学会マグネティックス研究会資料、MAG-92-132、1992年7月17日。
- [6] 小川、早野、斎藤、"空心変圧器を用いたDC/DCコンバータの近似過度解析"、電気学会マグネティックス研究会資料、MAG-92-274、1992年12月18日。
- [7] 小川、斎藤、"空心変圧器の一考察"、電気学会マグネティックス研究会資料、MAG-93-132、1993年8月2日。
- [8] S. Hayano, Y. Midorikawa, Y. Saito, "The film transformer," Elsevier Studies in Applied Electromagnetics in Materials, in press.
- [9] 緑川、早野、斎藤、"フィルム変圧器の試作"、電気学会マグネティックス研究会資料、MAG-93-168、1993年9月3日。
- [10] 緑川、早野、斎藤、"導体間の分布容量を用いた共振回路の実験的検討"、電気学会マグネティックス研究会資料、MAG-94-10、1994年3月7日。

原稿受付日	平成6年9月21日
-------	-----------