

金子 聡、緑川洋一、早野誠治、斎藤兆古 (法政大学)

Application of the flat transformer to a fly back type DC/DC converter

S. Kaneko, Y. Midorikawa, S. Hayano, Y. Saito (Hosei University)

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必要な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。

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十分実用可能であることを示した[1-3]。

本稿は、筆者等が提唱したフラット型変圧器(フィルム変圧器及びツイストコイル型変圧器)の単体特性及びDC/DCコンバータへの応用に関する検討を行ったものである。

2. 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・二次コイルを巻いた形式で作られる。これに対し、フィルム変圧器は、図2に示すように平面上に一次・二次コイルを交互に同心円状に巻く形式で作られ、ツイストコイル型変圧器はツイストコイルを同心円状に巻くフラット型に構成される。

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・二次コイル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駆動時の鉄損増加による効率の低下は免れない。他方、フラット型変圧器は隣接する一次・二次コイル間の磁氣的結合を前提としている。このためフラット型変圧器では、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が減少し、一次・二次間の磁氣的結合は高められる。

供試フィルム変圧器は、導体幅が中心より外側にゆくほど導体幅が広がる外広型(図2、(b))、及び、内側にゆくほど導体幅が広がる内広型(図2、(c))の2台を用い。また、ツイストコイル型変圧器は、外側から中心に向けて同心軸状にまたいだ1層のものと、外側から中心に向けて巻き更に中心から外側に向けて巻いた2層のもの2台を用いた。

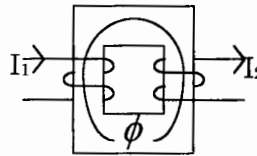


図1. 従来型(内鉄型)変圧器の構成

Fig.1 Structure of conventional transformer



図3 ツイストコイル型変圧器

Fig.3 Twist coil type transformer

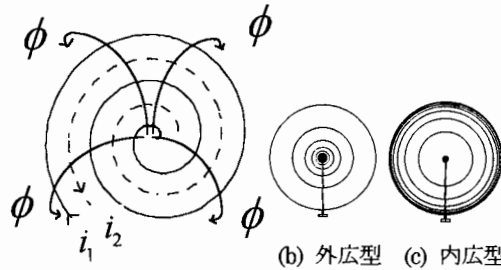


図2 (a)フィルム変圧器の構成

Fig.2 Structure of film type transformer

3. フライバック式DC/DCコンバータ

図4にフライバック式DC/DCコンバータの回路図、及びトランスの漏れインダクタンスを無視した等価回路を示す。フライバック式DC/DCコンバータは、構成部品数が少なくてよい反面、半導体素子の電圧責務が大きいという特徴を持っている。このDC/DCコンバータは、トランスTrの一次及び二次巻線を図4の[・]で示した極性で各回路に接続し、パワーMOSFET Qのオン期間に流れる一次回路電流 $i_1$ によってトランスTrの相互インダクタンスMに貯えられる磁気エネルギーを、Qのオフ期間に流れる二次回路電流 $i_2$ によって放出することで、一次・二次間の直流電力の伝達を行うものである。フライバック式DC/DCコンバータに用いられるトランスは、コイルの許容実効電流範囲内でできるだけ励磁電流の大きいもの、すなわち、相互インダクタンスMの小さいものが望ましく、磁性体コアを用いない空心トランスは、これに適している。

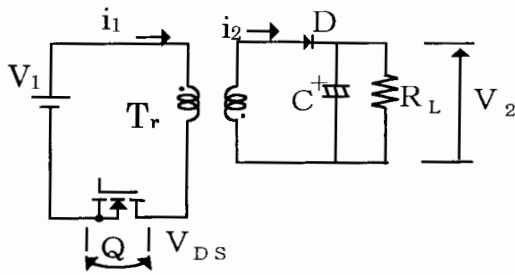


図4 フライバック式DC/DCコンバータの回路図  
Fig.4 Circuit of fly back DC/DC converter

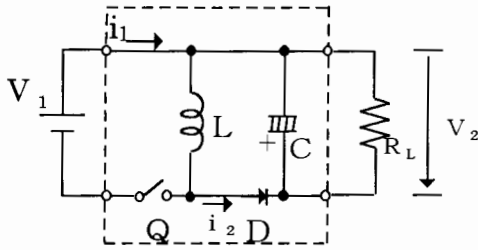
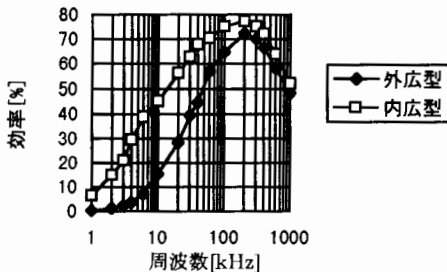


図5 等価回路  
Fig.5 Equivalent circuit

4. 変圧器の特性

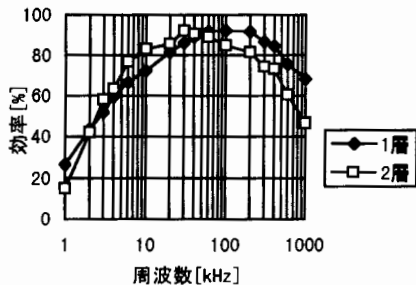
変圧器単体の周波数特性及び、変圧器をDC/DCコンバータに適用した場合の周波数対効率特性を図6、図7に示す。なお、効率 $\eta$ は次式から計算した。

$$\eta = (\text{出力電力}[w]) / (\text{入力電力}[w]) \times 100 [\%]$$



(a)フラット型変圧器の効率

(a) Efficiency of the film transformers

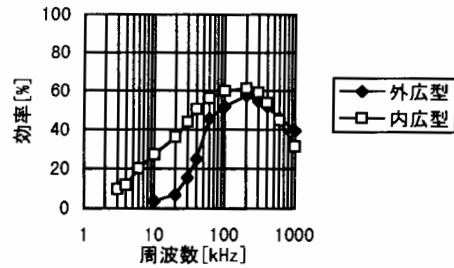


(b) ツイストコイル型変圧器の効率

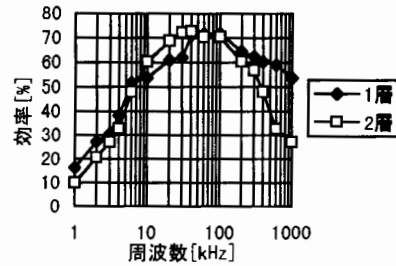
(b) Efficiency of the twist coil type transformers

図6 変圧器単体の周波数対効率特性

Fig.6 Efficiency vs. Frequency of simple transformer



(a)フラット型変圧器  
(a) Film transformer



(b)ツイストコイル型変圧器  
(b) Twist coil transformer

図7 DC/DCコンバータに適用した場合の周波数対効率特性

Fig.7 The fly back type DC/DC converter with the flat transformers

図6 (a)は内広型の低周波での特性が良好であり、(b)は低周波において2層の特性が良好であり、高周波においては、1層の特性が良好である。また、図7 (a),(b)ともに変圧器単体の特性と類似した特性であるが高い効率を得られなかった。

5. まとめ

本稿では、フラット型変圧器が100 kHz近傍で90%以上の効率で動作可能であることを示した。さらに、フラット型変圧器をフライバック型DC/DCコンバータに適用し、動作することを確認した。コンバータ全体のチューニングが完全で無く、スイッチング損失が大きく所期の効率は得られなかった。

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, pp.2432-2437 (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).