Output Current Ripple Characteristics of Hybrid DC-DC Converter

H. Saotome *, L. Kexin*, and H. Unno **

* Faculty of Engineering, Chiba University, 1-33 Yayoi-cho, Inage-ku, Chiba 263-8522, Japan

** Shindengen Electric Mfg. Co., Ltd., 10-13 Minami-cho, Hanno-shi, Saitama 357-8585, Japan

We have designed a hybrid dc-dc converter that includes a four-legged transformer and alternately operates as forward and flyback converters. To miniaturize dc-dc converters, it is necessary to reduce the ripple current that flows through output smoothing capacitors. A transformer applied to the hybrid dc-dc converter has a particular air-gap length that reduces the ripple current of the output smoothing capacitors during forward and flyback operations. We applied the air-gap length conditions to four-legged transformers as well as EI core transformers and experimentally obtained the output current ripple characteristics.

Key words: transformer, dc-dc converter, circuit simulation, active clamp, zero voltage switching

ハイブリット型 DC-DC コンバータの出力電流リプル特性

早乙女英夫*・林科鑫*・海野洋**

*千葉大学工学研究科, 千葉市稲毛区弥生町 1-33 (〒263-8522)

**新電元工業株式会社, 埼玉県飯能市南町 10-13 (〒357-8585)

1. はじめに

著者らは, トランスと出力チョークを一体化した磁気デバイスを実アクティブクランプ構成の回路に適用してフォワード動作とフライバック動作を交互に行うハイブリッド型 DC-DC コンバータ (Fig. 1) を開発した^{1)~3)}. 本コンバータは, Fig. 1 の主スイッチ Q_1 のオン・オフに伴うダイオード D_1 および D_2 の導通時にそれぞれフォワード動作およびフライバック動作となる. D_1 側巻線 N_{s1} の脚の磁気抵抗の逆数を L_1 , D_2 側巻線 N_{s2} の脚の磁気抵抗の逆数を L_2 とすると, N_{s2} , 1 次側巻線 N_p , 入力電圧 V_{IN} および出力電圧 V_o との間に

$$\frac{L_2}{L_1} = \frac{N_{s1}}{N_p} \frac{V_{IN}}{V_o} - 1 \quad (1)$$

なる関係が成立するとき, 出力整流回路電流 i_o のリプルが最小になる³⁾. ここで, 各磁気抵抗は, 各脚のエアギャップで決まるものとした. 文献³⁾では, $V_o = 24$ V において $V_{IN} = 150$ V で i_o のリプルが最小となるよう L_1 および L_2 を設計し, 製作したコアを適用した場合の実験結果を示したが, 本報告では, その前後の値となる $V_{IN} = 100$ V および $V_{IN} = 200$ V に対して設計したコアを適用した実験結果を示す. Fig. 1 に示した 4 脚コアは特注品でコストがかかるため, 同様の機能を Fig. 2 に示す標準品の EI コア⁴⁾で構成したトランスも製作した. Fig. 2 に対しても同様の実験を行ったので, それらの結果も合わせて示す.

2. 実験結果

本報告の実験で用いたコアのエアギャップ長を Table 1 に示す. Fig. 1 に示したコアの寸法は, エアギャップ部を除いて文献³⁾と同様であり, また, Fig. 2 に示した EI コアは同図に示した標準品⁴⁾を用いている. Table 1 には(1)式

Fig. 1 Hybrid dc-dc converter with four-legged transformer.

Fig. 2 Hybrid dc-dc converter with transformer composed of EI cores.

Table 1 Air-gap lengths (mm)

	V_{IN} (V)	Designed		Manufactured	
		l_{g1}	l_{g2}	l_{g1}	l_{g2}
Four-legged	100	0.150	0.265	0.145	0.258
	200	0.585	0.265	0.576	0.257
EI	100	0.126	0.383	0.120	0.370
	200	0.452	0.383	0.450	0.370

Fig. 3 Measured output ripple current with the four-legged cores. The air-gaps were designed for (a) $V_{IN} = 100$ V and (b) $V_{IN} = 200$ V, respectively.

Fig. 4 Measured output ripple current waveform with the four-legged core designed for $V_{IN} = 200$ V, $I_o = 4$ A.

から定まる L_1 および L_2 に対応したエアギャップ l_{g1} および l_{g2} の設計値と製作したコアの測定値をそれぞれ示した。

$V_o = 24$ V でコンバータの出力電流 I_o を 1 A, 2 A および 4 A として出力整流回路電流 i_o のリプル Δi_o (peak-to-peak 値) を測定した。Fig. 1 の回路での Δi_o の V_{IN} 特性を Fig. 3 に示す。また、設計 V_{IN} 値において最もリプルが大きかった $V_{IN} = 200$ V, $I_o = 4$ A での Δi_o の波形を Fig. 4 に示す。Fig. 2 の回路に対する同様の結果を Fig. 5 および Fig. 6 にそれぞれ示す。両者のコアにおいて、リプル電流最小点が設計値付近にあることが確認できた。ただし、 $V_{IN} = 200$ V 用に設計した EI コア構成では、出力電流が大きい条件下ではリプル最小入力電圧が設計値から 1 割以上ずれた。 $V_{IN} = 200$ V 用に設計した EI コア構成での実験結果において最小入力電圧が設計値からずれている理由の一つは、4 脚コアでは 2 つの外脚によりエアギャップ幅が確実に固定されるのに対し、EI コア構成ではギャップを持たない 1 つの外脚のみで上下に対向している 2 つの E コアを固定するので、エアギ

Fig. 5 Measured output ripple current with the EI cores. The air-gaps were designed for (a) $V_{IN} = 100$ V and (b) $V_{IN} = 200$ V, respectively.

Fig. 6 Measured output ripple current waveform with the EI cores designed for $V_{IN} = 200$ V, $I_o = 4$ A.

ャップでの磁極面の平行度が精度良く保てず、エアギャップ長に誤差が生じたためと考えられ、EI コア構成ではコアの固定方法に更なる工夫が必要と思われる。

3. まとめ

ハイブリット型 DC/DC コンバータの特長であるリプル電流最小化機能を異なる入力電圧設計値および形状の異なる 2 種類のコアで確認でき、適用する磁気デバイス構成の選択肢を広げられることが分かった。

References

- 1) H. Saotome, Y. Wakatauki, T. Saito, T. Yukawa, H. Watanabe, H. Unno, and Y. Kikuchi: *J. Mag. Soc. Jpn.*, **31**, 114(2007).
- 2) H. Unno, H. Watanabe, H. Saotome, and Y. Wakatauki: *J. Mag. Soc. Jpn.*, **33**, 21(2009).
- 3) H. Unno and H. Saotome: *J. Mag. Soc. Jpn.*, **34**, 599(2010).
- 4) <http://www.jfe-frt.com/product/index.html>

2011 年 6 月 28 日受理, 2011 年 8 月 8 日採録