

# 差分電圧方式による 高効率絶縁形 DC/DC コンバータの基礎検証

学生員 宮脇 慧    正員 伊東 淳一 (長岡技術科学大学)  
正員 岩谷 一生 (デンセイ・ラムダ(株))

## A Basic Investigation of a Difference Voltage Type for High Efficiency Isolated DC/DC Converter

Satoshi Miyawaki, Student Member, Jun-ichi Itoh, Member (Nagaoka University of Technology)  
Kazuki Iwaya, Member (DENSEI-LAMBDA, Ltd.)

This paper proposes a novel concept for an isolated DC/DC converter. The proposed circuit using series compensation controls only difference voltage from input to reference. The advantages of the proposed circuit are improvement efficiency and decreasing converter capacity. The valid of the proposed circuit are confirmed with simulations and loss analysis.

キーワード : DC/DC コンバータ, 絶縁形コンバータ, 電流共振, 差分電圧方式, 直列電圧補償

Keywords : DC/DC converter, Isolated converter, Current resonance, Difference voltage formula, Series voltage compensation

### 1. はじめに

近年, 通信技術の発達に伴い, 基幹系通信機器には DC48[V]に対応した DC/DC コンバータが多用されている。高効率な絶縁形 DC/DC コンバータの回路方式としては, トランスの漏れインダクタンスを利用した共振形コンバータが有効であるが, 最適条件下で出力電圧を制御できる範囲に制約がある。このため, 一般には降圧チョップなどの電圧制御用コンバータと組み合わせるが<sup>(1)</sup>, 変換器容量, 損失の増大が懸念される。

本論文では, 入力電圧の変動幅に注目し, 補助回路により変動分のみを直列補償することで出力電圧を制御する絶縁形 DC/DC コンバータを提案する<sup>(1)(2)</sup>。提案回路では共振形コンバータの高効率を維持した上で出力電圧を制御できる利点がある。シミュレーションと基本的実験, および損失解析により提案回路の有効性を確認したので報告する。

### 2. 提案回路

図 1 に提案する DC/DC コンバータの回路図を, 図 2 に従来回路の構成図を示す。提案回路では, 主電力伝送用コンバータとして電流共振形ハーフブリッジコンバータを用い, トランスの漏れインダクタンスによる共振を利用することで零電流スイッチング (以下, ZCS) を実現する。さらに, 電圧制御用の補助回路としてフルブリッジコンバータを用い, 2つのトランスにより補助回路の出力電圧を直列に重畳することで負荷に供給する電圧を制御する。また, 従来回路は 2つのコンバータの直列接続で構成され, 電圧制御を降圧チョップ, 絶縁を共振形ハーフブリッジコンバータで行うことを想定する。

この結果, 従来回路では全電力が電圧制御用コンバータ

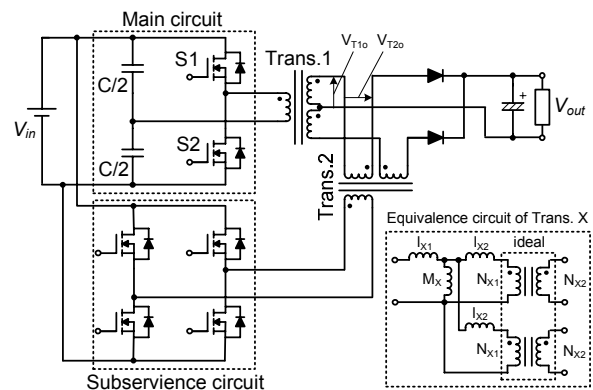


図 1 提案回路

Fig. 1. Proposed circuit.

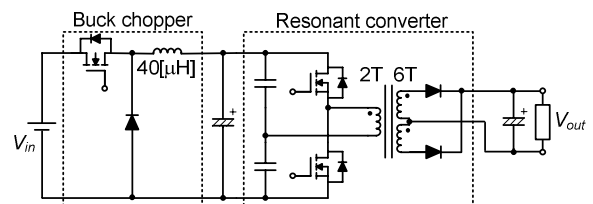


図 2 従来回路

Fig. 2. Conventional circuit.

表 1 提案回路パラメータ

Table 1. Proposed circuit parameters.

	Simulation	Experiment
Self-inductance Trans.1 [ $\mu\text{H}$ ]	38	38
Self-inductance Trans.2 [ $\mu\text{H}$ ]	38	38
Wire turns Trans.1 [Turn]	2 : 4	2 : 4
Wire turns Trans.2 [Turn]	4 : 2	4 : 4
Resonance inductance (L) [ $\mu\text{H}$ ]	1.96	0.20
C [ $\mu\text{F}$ ]	0.32	1.55

を通過する。それに対して、提案回路では負荷に供給する電力のうち、目標とする出力電圧の差分のみを補助回路で変換する。したがって、電力の大部分は補助回路を通過せず、高効率な共振形コンバータを通過するため、変換器容量、損失の低減を実現できる。図 1 に示した回路定数より提案回路における共振周波数  $f_0$  を求めると(1)式となる。

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \dots\dots\dots(1)$$

$$\text{ただし, } L = l_{11} + \frac{l_{12}M_1}{l_{12} + M_1} + \left(\frac{N_{11}}{N_{12}}\right)^2 \left(\frac{N_{22}}{N_{21}}\right)^2 \left(l_{22} + \frac{l_{21}M_2}{l_{21} + M_2}\right)$$

3. 動作検証と損失解析結果

表 1 にシミュレーションと実験における提案回路のパラメータを示す。本論文ではまず実験により基本的な動作を確認し、その後解析とシミュレーションを用いて最適化を行った。

図 3 に提案回路において負荷 200[W], 出力電圧  $V_{out}$  を 48[V] に制御したときのシミュレーション結果を示す。入力電圧  $V_{in}$  は 48[V] を基準として入力電圧変動  $\pm 20\%$  程度に対応することを想定している。結果より、昇降圧動作共にハーフブリッジコンバータでは ZCS が達成されていることが確認できる。

図 4 は提案回路における変換効率の実験結果と解析結果を示したものである。実験結果では狙い通り、特に入力電圧が基準電圧 (48[V]) に近いところで 92.1% の高効率を得られている。また、実験結果と解析結果にある程度の一致がみられることから解析方法の妥当性が確認できる。

図 5 にシミュレーションから算出した、最適化後の提案回路と従来回路における変換効率と損失分離の結果を示す。その結果、提案回路を最適化することにより、効率は 4% 改善され、最高効率は 96.0% となり、基準電圧に近いところで従来回路よりも高い効率を得られることがわかる。また、昇降圧動作をした場合においても良好な解析結果を得られた。

4. まとめ

本論文では、差分電圧方式を用いた高効率絶縁形 DC/DC コンバータを提案し、シミュレーションと損失解析により提案回路の有効性を確認した。今後は実機による検証を行う予定である。

文 献

- (1) M.Takagi, K.Shimizu, T.Zaitso: "Ultra High Efficiency of 95% for DC/DC Converter - Considering Theoretical Limitation of Efficiency", APEC 2002. Seventeenth Annual IEEE vol. 2, pp. 735-741 (2002)
- (2) 宮脇・伊東・岩谷: 「差分電圧方式を用いた高効率絶縁形 DC-DC コンバータの基本特性の検証」, 平成 19 年度電気関係学会北陸支部連合大会, A-79 (2007)
- (3) 藤井・伊東: 「差分電圧制御による昇降圧形 DC/DC コンバータの構成と制御法」, 半導体電力変換/リアドライブ合同研究会 SPC-07-126, LD-07-53 (2007)

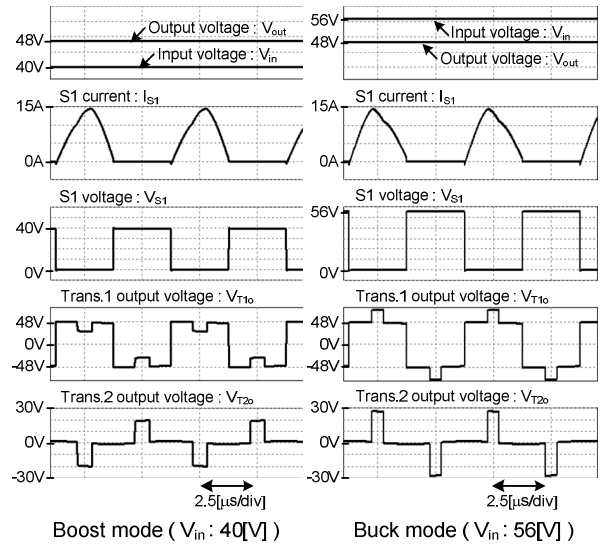


図 3 シミュレーション波形

Fig. 3. Simulation waveforms.

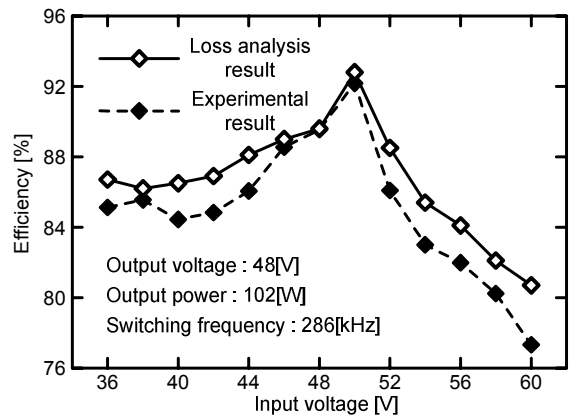


図 4 提案回路の実験結果と損失解析結果

Fig. 4. Experimental results and Loss analysis results of the proposed circuit.

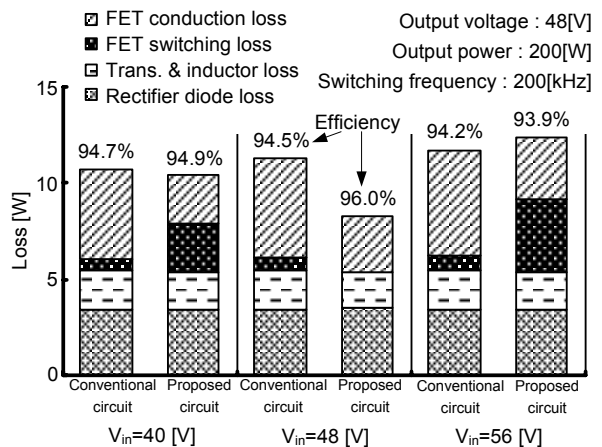


図 5 シミュレーションによる提案回路と従来回路の損失分離

Fig. 5. Loss separation of the proposed circuit and conventional circuit in simulation.