

直並列補償方式 DC-DC コンバータの 最適設計における損失評価

折川 幸司*, 伊東 淳一 (長岡技術科学大学)

Evaluation of power loss for a Optimum design of a Series-Parallel Compensation Type DC-DC converter
Koji Orikiwa, Jun-ichi Itoh (Nagaoka University of Technology)

1. はじめに

近年、バッテリーを用いた携帯機器の高機能化が急速に進んでおり、電源の高効率化、長時間駆動が求められている。長時間駆動の要求に対しては燃料電池の携帯機器への適用が検討されているが、燃料電池は化学反応を利用しているため負荷変動などによって劣化する問題がある。そこで、高効率でかつ燃料電池の劣化を防止可能な DC-DC コンバータの研究が盛んに行われている⁽¹⁾。

著者らはこれまでに、バッテリー電圧を変換して燃料電池電圧の変動分のみを直列に補償する高効率 DC-DC コンバータを提案している⁽²⁾。さらに提案回路は、燃料電池に並列に接続した並列コンバータで、負荷が変動しても燃料電池の電力変動を急変させることなく、劣化を防止できる利点がある。これまで、損失解析により提案回路の高効率達成の原理は確認しているが、最適設計を目的とした提案回路の損失評価は行われていない。

本論文では、出力電力を変化させて損失を測定し、その結果から各損失の割合を示す定数を導出し、効率特性を明らかにする。その結果、最適設計のための損失評価を行ったので報告する。

2. 提案回路

(2・1) 原理

図 1 に本論文で示す直並列補償回路の概念図を示す。このとき、出力電圧は、(1)式で表わされる。

$$V_{out} = V_{fc} \pm V_{conv} \dots \dots \dots (1)$$

ただし、 V_{fc} は燃料電池電圧、 V_{conv} は直列コンバータの出力電圧である。

(2・2) 回路構成

図 2 に本論文で示す直並列補償方式を実現する具体的回路例を示す。直列コンバータに昇圧チョップと降圧チョップを用いている。燃料電池に直列に接続したリアクトル L_{fc} は、燃料電池のリプル電流を低減し、燃料電池の劣化を防止する。なお、燃料電池からバッテリーへの突入電流を防止するためバッテリー電圧 V_{sb} は燃料電池電圧 V_{fc} よりも大きい必要がある。

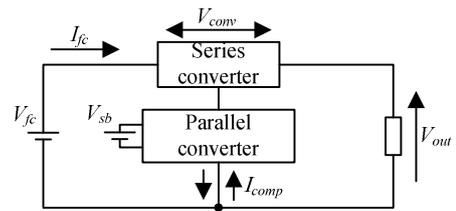


図 1 提案回路の概念図
Fig. 1. Concept of proposed circuit.

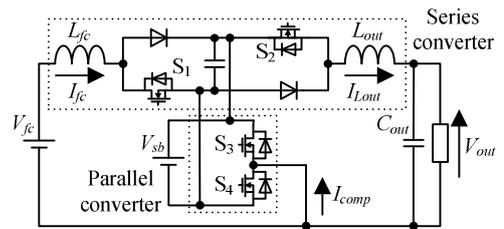


図 2 提案回路
Fig. 2. Proposed circuit.

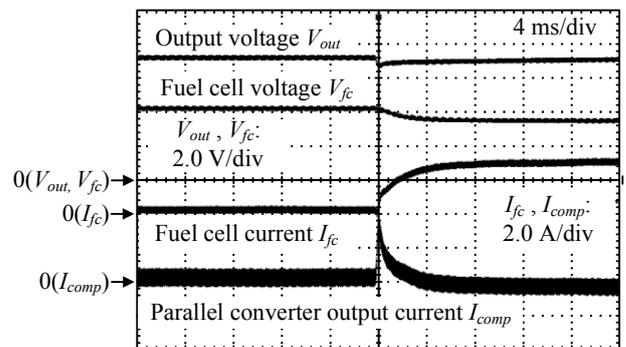


図 3 出力電力増加時の電圧電流波形
Fig. 3. Voltage waveforms and current waveforms for increasing output power.

3. 実験結果

(3・1) 直並列補償動作

図 3 に提案手法を用いた提案回路の出力電力増加時の電圧電流波形を示す。負荷は、昇圧時で出力電力を 2W から 20W に増加させている。図 3 より、出力電力が急変しても燃料電池の電流変動はゆるやかに抑えられている。

(3・2) 効率特性と損失

図 4 に、各燃料電池電圧に対する出力電力を変化させた

ときの提案回路の効率を示す。結果より最高効率 98%以上を達成していることを確認できる。ここで、出力電力 P_{out} を変数として、回路に発生する損失 P_{loss} を表わすと(2)式となる⁽³⁾。

$$P_{loss} = K_2 P_{out}^2 + K_1 P_{out} + K_0 \dots\dots\dots (2)$$

ただし、 P_{out} は電流に比例すると仮定する。ここで、 K_2 は電流の2乗に比例する損失に係る定数、 K_1 は電流に比例する損失に係る定数、 K_0 は電流の大きさに依らない損失に係る定数である。つまり、(2)式の第1項は MOSFET の導通損失やリアクトルの銅損、第2項はスイッチング損失などを示している。また、第3項は無負荷時の損失やリアクトルの鉄損を示している。3つの出力電力の条件で損失を測定し、(2)式に基づいて各損失定数を求めることで、任意の出力電力における損失および効率を理論計算できるため、最適設計のための損失評価を行うことができる。

図 5(a)に、図 4 における $V_{fc}=4V$ 時の効率および損失の出力電力に対する実験値と(2)式を用いた計算値を示す。本実験条件では、 $V_{fc}=4V$ 時に最も差分電圧が大きい。図 5(a)より、効率、損失ともに実験値と計算値がほぼ一致していることを確認できる。また、無負荷時でも損失 (K_0) が発生するのは、スイッチ S_1 がオンすると、燃料電池からリアクトル L_{fc} -スイッチ S_1 のオン抵抗-スイッチ S_4 の寄生ダイオードを経路として、電流が流れるためである。よって、無負荷時の損失は、その電流で発生する導通損失およびスイッチング損失、寄生ダイオードのオン電圧による損失の合計となる。したがって、寄生ダイオードよりも特性の良い還流ダイオードを接続するなどの工夫によって損失を低減できる。なお、鉄損は、本実験条件ではリアクトルに流れる電流のリプル成分が小さいため、無視できるほど小さい。したがって、リアクトル損失は銅損が支配的である。一方、重負荷のときは、導通損失 (K_2 項) およびスイッチング損失 (K_1 項) が支配的になる。したがって、提案回路の損失をさらに低減するには、MOSFET の最適選定およびリアクトルの最適設計が重要である。

図 5(b)に、図 4 における $V_{fc}=7V$ 時の効率および損失の出力電力に対する実験値と計算値を示す。 $V_{fc}=7V$ 時は $V_{fc}=4V$ 時と比べて差分電圧が小さい。図 5(b)より、図 5(a)と比べて、無負荷時に発生する損失が小さいことを確認できる。これは、差分電圧が小さいほど、スイッチ S_1 のオン時間が小さくなり、無負荷時に流れる電流が減少するためである。また、同じ出力電力で図 5(a)と比べて導通損失 (K_2 項) およびスイッチング損失 (K_1 項) が小さいのは、差分電圧が小さいほど回路のリプル電流が小さくなるためである。

5. 結論

本論文では、バッテリーと燃料電池を用いた直並列補償方式 DC-DC コンバータの出力電力に対する損失評価を行っ

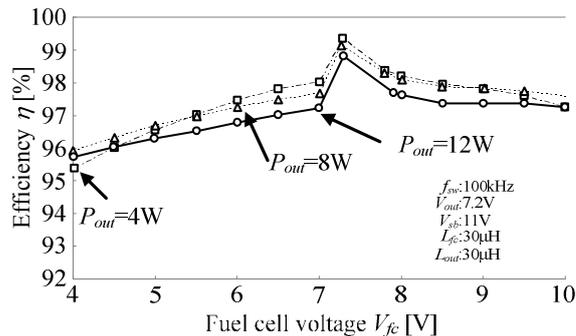
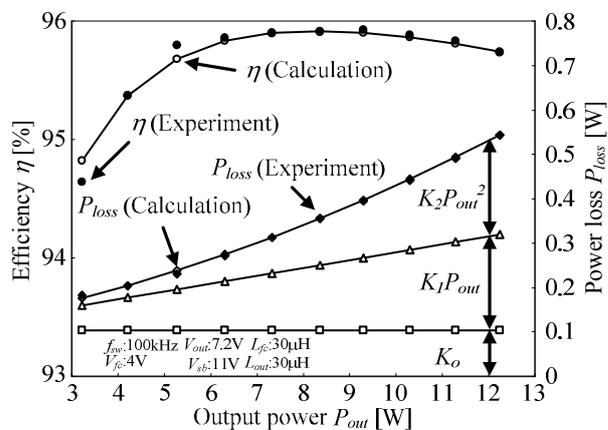
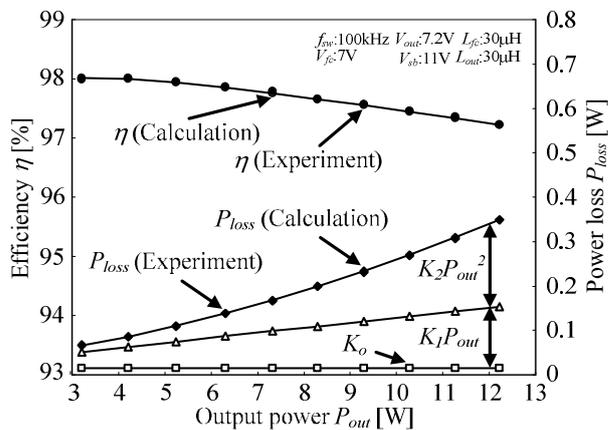


図 4 出力電力に対する効率特性
Fig. 4. Relations between the efficiency and output power.



(a) $V_{fc}=4V$.



(b) $V_{fc}=7V$.

図 5 出力電力に対する効率および損失特性
Fig. 5. Relations between the efficiency, the power loss and output power.

た。今後は、最適設計の指針を検証していく予定である。

文献

- (1)片山, 小越 : 電学論 D, Vol.130, No.11, pp.1279-1280(2010)
- (2) K.Orikawa, et.al : ECCE2010, pp1414-1421, 2010
- (3)宮脇, 伊東, 岩谷 : SPC-10-145, 2010