

多重方形波インバータとアクティブフィルタを直列接続したマルチポート DC-AC コンバータの負荷分担範囲の明確化

宮下 充*, 日下 佳祐, 伊東 淳一 (長岡技術科学大学)
 野下 裕市 (東京農工大学), 石橋 正基 (東京都立産業技術高等専門学校)

Clarification of Variable Load for Multi-port Converter
 with Square-wave-voltage Multilevel Converter and Active Power Filter Connected in Series
 Mitsuru Miyashita*, Keisuke Kusaka, Jun-ichi Itoh (Nagaoka University of Technology)
 Yuichi Noge (Tokyo University of Agriculture and Technology)
 Masaki Ishibashi (Tokyo Metropolitan College of Industrial Technology)

1. はじめに

燃料電池(FC)は、負荷応答が遅いことから、バッテリーで負荷変動を補償する必要がある。従来のマルチポートコンバータは、高いスイッチング周波数(数十 kHz~数百 kHz)で電力変換をするため、効率が低下する問題がある。さらに、インダクタを複数使用することから、回路体積が増加する⁽¹⁾。

筆者らはマルチポート DC-AC 変換器を高効率、小型化するため、直列多重方形波インバータとアクティブフィルタを直列接続した回路を提案している⁽²⁾。本回路は、インダクタの個数を増やすことなくマルチポート化でき、従来回路に対してパワー密度の向上が可能である。本論文では、提案回路において FC とバッテリーの負荷分担ができる領域を明らかにする。シミュレーションにて負荷分担動作とバッテリーの充放電動作を確認したので報告する。

2. 提案回路構成

図 1 に提案回路を示す。提案回路は、cell A, B の方形波インバータとアクティブフィルタ、極性切り替え部で構成される。cell A に FC を、cell B はバッテリーを接続することを想定しており、2つのセルから出力電力の有効電力成分をすべて出力する。また、アクティブフィルタは、フルブリッジインバータを 2 台直列接続した構成とし、電源はコンデンサとコンデンサ電圧一定制御を適用している⁽¹⁾。

図 2 に提案回路の動作波形を示す。図 2(a)に示すように cell A, B で交流電圧に同期した方形波電圧を出力する。図 2(b)に示すように、アクティブフィルタで方形波の高調波成分を補償して全波整流電圧を出力する。その全波整流電圧を極性切り替え部で反転させて交流電圧を生成する。提案回路は、インダクタ 2 つで構成でき、回路体積の小型化が可能であるほか、方形波インバータは 1 周期に数回のスイッチングであるため、スイッチング損失を低減できる。

3. 提案回路の負荷変動補償範囲

バッテリーが負荷変動を補償できる範囲を明らかにする。最初に単一セルで動作する時に必要な電源電圧を検討する。単一のセルで出力する電圧の基本波振幅はフーリエ級数展開より(1)式となる。

$$V_n = \frac{4}{\pi} E \sin\left(\frac{\theta}{2}\right) \quad (0 \leq \theta \leq \pi) \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 E はセルの電源電圧、 θ は方形波の出力角である。

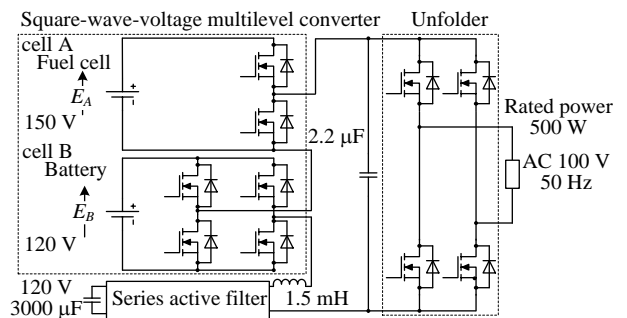
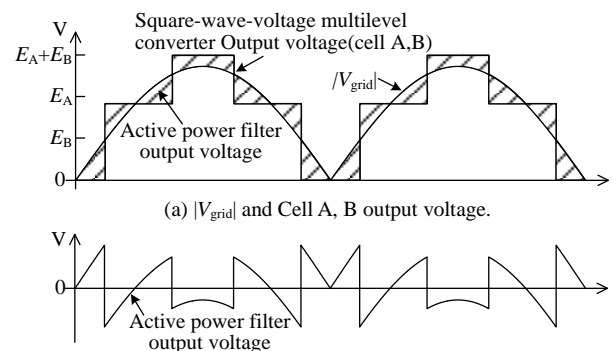


Fig. 1. Proposed circuit.



(a) $|V_{grid}|$ and Cell A, B output voltage.
 (b) Cell C and active power filter output voltage.
 Fig. 2. Conceptual diagram of the proposed circuit operation.

セルの出力電圧と出力する交流の基本波振幅が一致するとき、単一のセルから負荷へ電力を供給することができる⁽³⁾。

2つのセルを用いて5レベルの方形波電圧を出力する場合を検討する。2つのセルで出力する交流の基本波成分を分圧して出力する。まず、各セルが出力する電力は、方形波電圧の基本波実効値と電流実効値より(2)式となる。

$$P_{cell} = \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{4}{\pi} \frac{P_L}{V_{out}} E \sin\left(\frac{\theta}{2}\right) \dots\dots\dots (2)$$

ここで、 P_L は負荷電力、 V_{out} は出力電圧実効値である。(2)式よりセルの電源電圧と電力から、出力位相角が決まる。まず、FCの電圧に依存してFCセルが出力可能な最大電力が決まる。(2)式から出力電圧の最大値で基準化したFCの電圧 E_A とFCセルが出力できる最大電力を(3)式に示す。なお、FCは単セルで出力電力すべてを出力できる電圧を有する必要がある。

$$P_{A_max} = \frac{4}{\pi} E_A, \quad \frac{\pi}{4} \leq E_A \dots\dots\dots (3)$$

バッテリーの充電は、FCセルの余剰電力をバッテリーに伝送することで実現する。そのため、FCセルからバッテリーに伝送できる電力は、FCから出せる電力と負荷に供給している電力の差分がバッテリーに伝送できる電力となる。バッテリーに伝送できる電力を(4)式に示す。

$$P_{charge} = \frac{4}{\pi} E_A - 1, \quad \frac{\pi}{4} \leq E_A \dots\dots\dots (4)$$

同様に、(2)式よりバッテリーから出力できる最大電力を(5)式に示す。なお、出力電圧の最大値で基準化している。

$$P_{B_max} = \frac{4}{\pi} E_B \dots\dots\dots (5)$$

以上より、FCの電圧とバッテリーから出力したい電力よりバッテリー電圧を決定できる。しかし、回路を動作させる上で、アクティブフィルタの直流電圧も設計する必要がある。

図3にFCの電圧とアクティブフィルタの直流部に必要な電圧の関係を示す。FCの電圧と(5)式からバッテリー電圧を決定し、負荷変動時にアクティブフィルタの直流部に要求される電圧を導出している。なお、各電圧は出力する交流電圧の最大値で基準化している。アクティブフィルタはFCを接続したセルによる高調波を補償できるだけの直流電圧を有していれば、方形波駆動による高調波成分を補償することができる。また、FCの電圧が上昇すると、アクティブフィルタに必要な電圧も上昇するが、(4)式より負荷分担が可能な範囲も拡大する。

4. シミュレーション結果

シミュレーションにて出力電力一定時に、FCとバッテリーの負荷分担を変化できることを確認する。図1に示すパラ

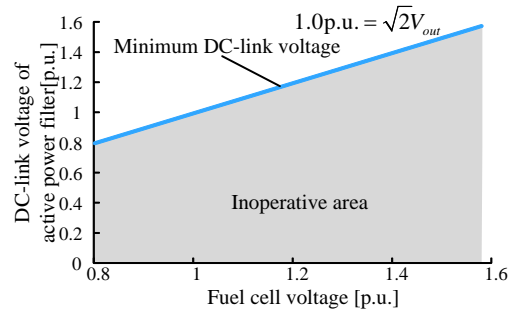


Fig. 3. The relationship between the Fuel cell voltage and DC-link voltage of the active power filter.

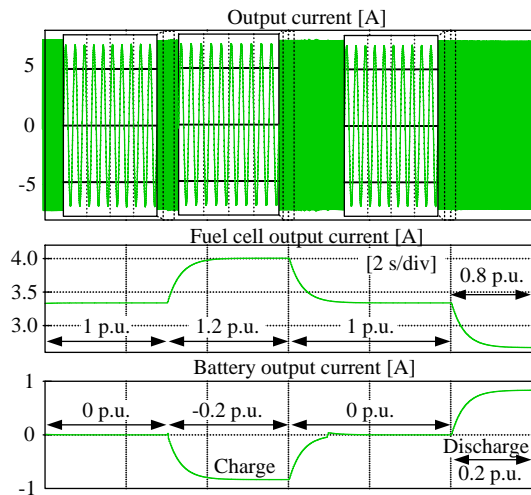


Fig. 4. Simulation result.

メータでシミュレーションを行う。

図4に負荷分担を変化させた時の負荷へ供給している電流と各セルの出力電流を示す。まず、FCセルが1.0p.u.の電力を出し、バッテリーが0p.u.出している。その次にFCが1.2p.u.出力し、余剰となる電力で0.2p.u.バッテリーを充電している。その後、FCが1.0p.u.、バッテリーが0p.u.出力し、最後にFCが0.8p.u.、バッテリーが0.2p.u.放電している。これより、各セルの負荷分担を変化できること、バッテリーの充放電動作が行えることがシミュレーション結果よりわかる。さらに、定常状態および負荷ステップ時において、出力電流THDは1.1%であることを確認し、負荷分担の過渡期でも電流ひずみがないことを確認した。

以上より、方形波インバータとアクティブフィルタを直列接続した提案回路の負荷分担を変化させられることを確認した。今後は実機実験を行う予定である。

文 献

- (1) Amit Bhattacharjee, et al.:IEEE Transaction on Power Electronics, Vol.34, No.2, pp.1431-1445 (2019)
- (2) 宮下他:電気学会研究会, Vol. , No. SPC-19-033, MD-19-033, (2019)
- (3) 宮下他:産業応用部門大会, No. 1-87, pp. I-364 I-367 (2019)