

自動車用マルチポートコンバータの開発

AE13029 金田英朗

指導教員 藤田吾郎

1. はじめに^{[1][2]}

現在、世界では地球温暖化が問題となっている。電力システムでは再生可能エネルギーや蓄電技術を用いたスマートグリッドなどの多入力・多出力型電力システムの開発が進められている。また自動車電源システムにおいても、環境負荷低減の観点からICE(Internal Combustion Engine)自動車は燃費や性能、蓄電技術の向上のため、HEV(Hybrid Electric Vehicle)やPHV(Plug-in Hybrid Vehicle)へとパワートレインの電動化が進んでいる。今後もEV(Electric Vehicle)やFCV(Fuel Cell Vehicle)へと脱ICE化が進むと予想される。そのため、将来の自動車では、搭載される様々なエネルギー源や負荷の間での自由な電力変換技術が重要となる。従来型のEVにおける電力変換では、1方向の電力変換に対して1つのコンバータが必要なため、コンバータの数が増え、コストやサイズが増大してしまう。そこでこれらの問題の解決策として、1つのコンバータで複数のポートを持つマルチポートコンバータ(MPC; Multi-Port Converter)が提案されている。

本研究では1つの回路で3つの電力制御が可能なマルチポートコンバータを提案する。さらに実機を製作し、基本動作の検証を行うことを目的としている。

2. 一般的な電気自動車の電源システム^[3]

一般的なEVの電源システム構成を図1に示す。EVは走行用駆動モータ(MG)とその電源となる大電圧・大容量型の走行用バッテリー(Main Battery)を搭載する。また、制御電源やパワーウィンドなどの各種アクチュエータ用電源としてシステム用バッテリー(System Battery)には鉛蓄電池を用いる場合が多く、その電圧 V_{Bs} =12V~14Vが一般的である。走行用バッテリーの電圧(V_{Bm})は搭載車両によって異なり、 V_{Bm} =100V~500V程度にする場合が多い。モータの制御性や効率を向上させるために、 V_{Bm} を100V~200V程度の電圧で設計し、駆動モータの間に昇圧コンバータAを搭載する方式が提案されている。同様の理由から、一部のアクチュエータにシステム用バッテリーから昇圧コンバータBを介して電力を供給する場合がある。また、システムの冗長性と安全性を向上するためにシステム用バッテリーと走行用バッテリーの間には絶縁型DCDCコンバータで接続する。さらに、走行用バッテリーの充電には100V~200Vの交流電源(EXTAc)や、太陽電池などの直

流電源(EXTDc)を用いる場合が多く、各種充電用の変換回路(Charger)を接続する。

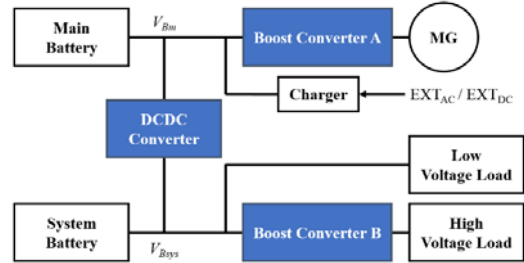


図1 一般的なEVの電源システム構成

3. 提案するマルチポートコンバータ

本研究で提案するMPCは3つの直流ポートを有する。提案するMPCの回路図を図2に示す。

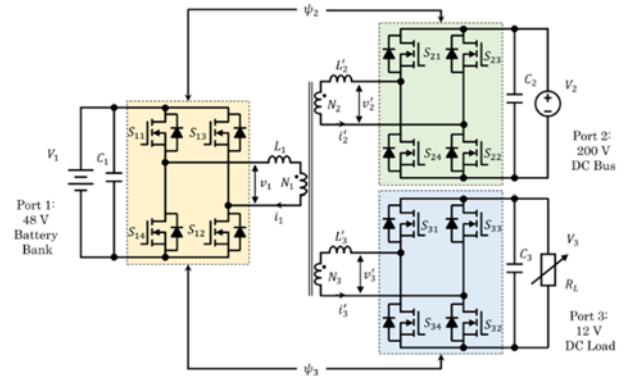


図2 MPCの提案回路

4. 試作MPC製作

本研究では、実機を用いた動作検証を可能にするため図2に示したMPCの提案回路を小規模に模擬した試作MPCを作製する。試作MPCに用いるプリント回路基板(PCB; Printed Circuit Board)はRSコンポーネンツ社が提供する基板CADソフトであるDesign Spark PCBを用いて設計した。試作MPCの構成イメージを図3、試作MPCの実験構成を図4に示す。

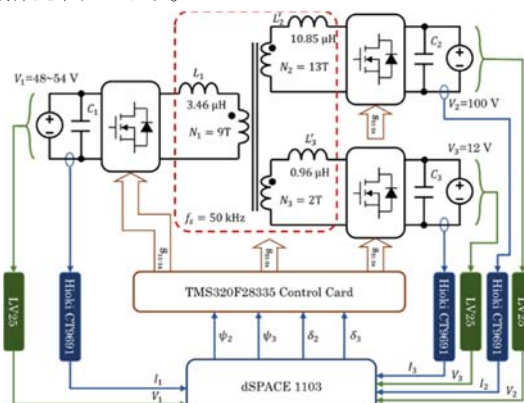


図3 試作MPCの構成イメージ

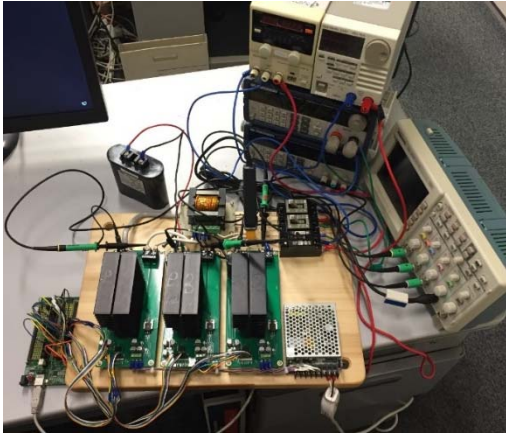


図4 試作MPCの実験構成

5. 動作検証

5.1 試験概要

電力変換パターンは以下の通りである。Case1~Case3は通常状態の伝達モード，Case4~Case6は待機状態の伝達モードを示す。

Case1:

Port1 → Port2; Port1 → Port3 ($\bar{P}_1 > 0; \bar{P}_2 < 0; \bar{P}_3 < 0$)

Case2:

Port1 → Port3; Port2 → Port3 ($\bar{P}_1 > 0; \bar{P}_2 > 0; \bar{P}_3 < 0$)

Case3:

Port2 → Port1; Port2 → Port3 ($\bar{P}_1 < 0; \bar{P}_2 > 0; \bar{P}_3 < 0$)

Case4: Port1 → Port2; $\bar{P}_3 = 0$ ($\bar{P}_1 > 0; \bar{P}_2 < 0; \bar{P}_3 = 0$)

Case5: Port1 → Port3; $\bar{P}_2 = 0$ ($\bar{P}_1 > 0; \bar{P}_2 = 0; \bar{P}_3 < 0$)

Case6: Port2 → Port1; $\bar{P}_1 = 0$ ($\bar{P}_1 = 0; \bar{P}_2 > 0; \bar{P}_3 < 0$)

本研究では試作MPCを用いてCase1, Case4, Case5について確認試験を行った。Case1はBattery→DC-BusかつBattery→DC-Load, Case4はBattery→DC-Bus, Case5はBattery→DC-Loadに対して電力変換を行う。

5.2 試験結果

Case1の動作波形を図5, Case4の動作波形を図6, Case5の動作波形を図7に示す。各図において, Port1における1次側の電圧 v_1 および電流 i_1 , Port2における2次側の電圧 v_2 , Port3における2次側の電圧 v_3 を示している。

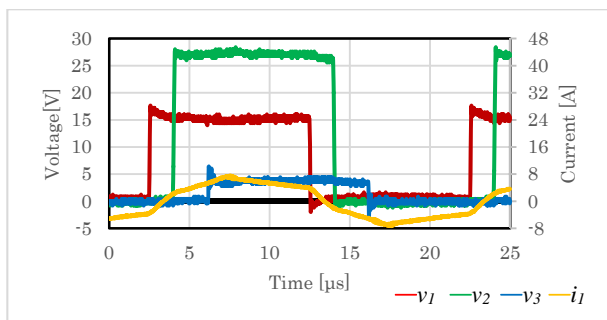


図5 Case1: $\bar{P}_1 > 0; \bar{P}_2 < 0; \bar{P}_3 < 0$

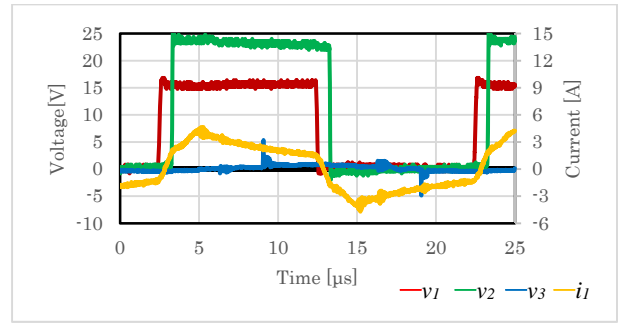


図6 Case4: $\bar{P}_1 > 0; \bar{P}_2 < 0; \bar{P}_3 = 0$

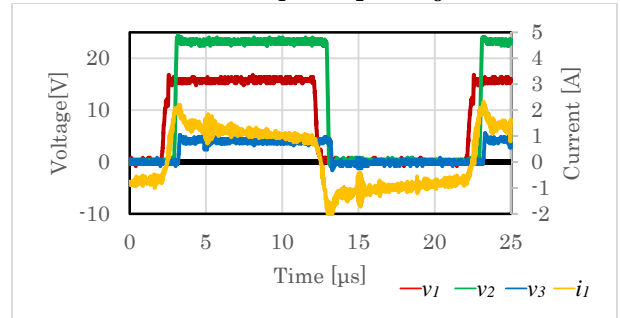


図7 Case5: $\bar{P}_1 > 0; \bar{P}_2 = 0; \bar{P}_3 < 0$

図5, 6, 7より, Case1, Case4, Case5において正しく電力変換動作がされていることが確認できた。また今後は, 5.1節に示したCase2, Case3, Case6の実験を行う。

6. まとめと今後の課題

本研究では1つの回路で3つの直流電源を制御可能なマルチポートコンバータを提案した。また実機を用いた動作検証を可能にするため, PCBおよび試作MPCを作製した。さらに, 電力変換パターンのCase1, Case4, Case5について確認試験を行い, 3ポート間の電力変換の基本動作を確認できた。

今後は, 試作 MPC の効率向上を目指す研究を行う。そのためには, 現在発生している導通損失を低減させなければならない。つまりソフトスイッチングの方式であるゼロ電圧スイッチングおよびゼロ電流スイッチングを用いた制御を検討する必要がある。

参考文献

- [1] 自動車用スマート電力マネジメント調査専門委員会「自動車用スマート電力マネジメント技術」, 電気学会技術報告書, 第1322号, pp.44(2014)
- [2] 山上滋春「マルチポートコンバータの電力損失低減技術」, 日産技報, 第78号, pp.47(2016)
- [3] 豊田中央研究所「直流電源システムの統合を可能にする絶縁型マルチポートコンバータの提案」, 電気学会論文誌D, Vol.134, No.10, pp.844-852(2014)

発表論文

- (1) 金田英朗『バッテリーの状態判定技術』, 電気学会B部門大会(2016)