

共振型ZVSによる電気自動車用MPCの電力効率改善

AE14061 砂小田 怜佑

指導教員 藤田 吾郎

1. はじめに^{[1][2][3]}

近年,自動車は産業や人々の暮らしを大きく発展させ人々の生活に欠かせないものである.また,資源枯渇や地球温暖化等の環境問題に対する観点から,二酸化炭素や窒素酸化物などの排出が少なく環境にやさしい車として電気自動車やハイブリッド自動車が注目を集めている.一方で電気自動車の部品数の多さによる高価,並びに電気自動車の電源システムが従来の12Vシステムに加えて48Vシステムの導入がヨーロッパを筆頭に動き始めており,より電源システムの複雑化が普及課題になる.これらの課題の解決策として,複数台のコンバータを一体化したマルチポートコンバータ(MPC)が提案されている.MPCを利用することで車の部品点数の削減可能のみならず電源システムの簡素化ならびに低コスト化を達成できる可能性がある.しかし,現在出回っているMPCの電力効率は70~80%程であり,効率向上が今後の課題である.

本研究ではMPCのスイッチング部分に共振型ゼロ電圧スイッチング(Resonance ZVS; zero-voltage switching)を導入することで,電力効率向上の検証を目的とする.

2. ゼロ電圧スイッチング(ZVS)^{[4][5]}

図1にZVSの回路図,図2にスイッチング損失とZVSの電流および電圧波形の関係図を示す.通常スイッチングのオン・オフを切り替える際にスイッチング素子間に発生する電流による電力損失が生じる.この損失をスイッチング損失と呼ぶ.スイッチング損失を減らす方法の一つとしてZVSがある.ZVSはスイッチング部分にキャパシタとインダクタを加え電流を共振させ電圧がゼロに達する時にスイッチングすることでスイッチング損失を減らす方法である.この方法の利点として,スイッチング素子の電力効率が上がるだけでなく,共振による滑らかなスイッチング波形により電磁妨害(EMI)を減らす効果がある.今回の研究は電磁妨害には触れず,電力効率を上げる事を目的に検討する.

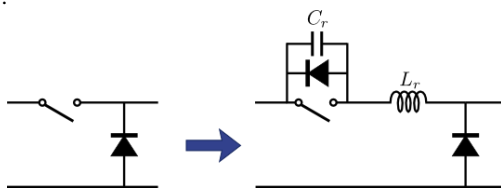


図1 ZVSの導入前と導入後の回路図

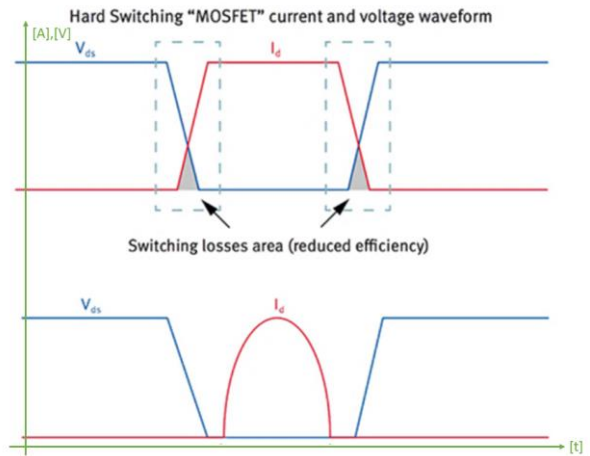


図2 スwitching損失とZVSの電流及び電圧波形

3. ZVSのシミュレーション^[6]

本研究で参考にするMPCは電気自動車をモデルにした3つのポートを持つコンバータである.参考するMPCの回路を図3に示す.

図3に示した回路を電気回路シミュレーションソフトであるPSIMで再現した回路図を図4に示す.この回路にキャパシタ及びインダクタを加え共振状態を作り,ZVSを達成させるシミュレーションを行う.例として,ポート1のスイッチング部分の電圧および電流波形を図5に示す.

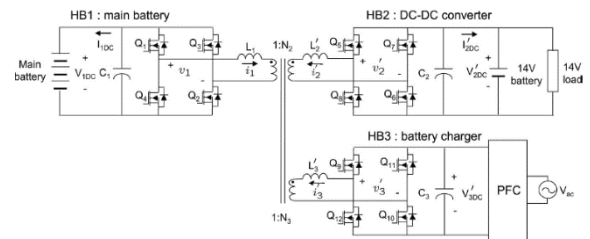


図3 MPCの回路図

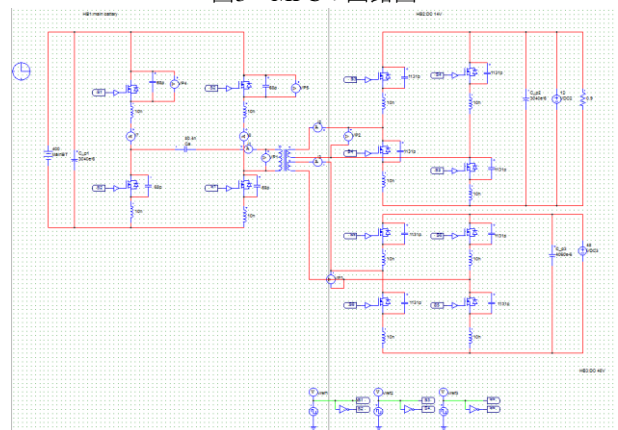


図4 PSIM上で再現したMPC

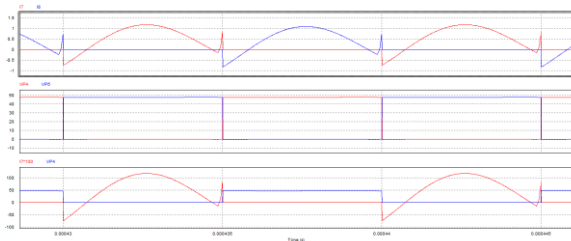


図5 共振状態のスイッチング波形

図5を見ると、電流波形が滑らかであり共振されているのが分かる。また、電圧がゼロに達した後に電流が立ち上がりZVSが達成できている事も確認できる。

4. MPCの試作

本研究では実機を用いた計測を可能にするため図3に示したMPCの回路を小規模化した試作MPCを製作する。製作した試作MPCを図6に示す。

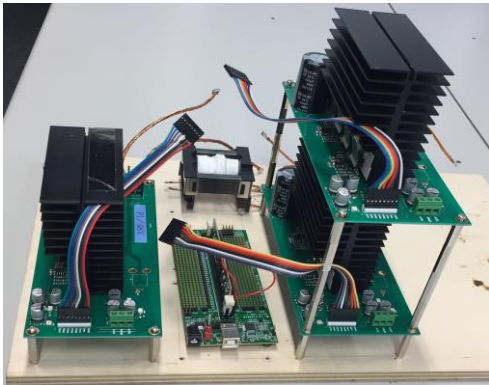


図6 試作したMPC

5. 計測結果

PSIMでのシミュレーション結果と実機による計測結果から求めたそれぞれの電力効率推移を図7,8に示す。シミュレーション結果では共振ZVSによって電力効率が向上したが、実機計測では共振ZVSを起こしたことで電力効率が低下した。電力効率が低下した原因として、共振状態によって電流の最大値が上がり導通損失の増加や変圧器の損失等が考えられる。

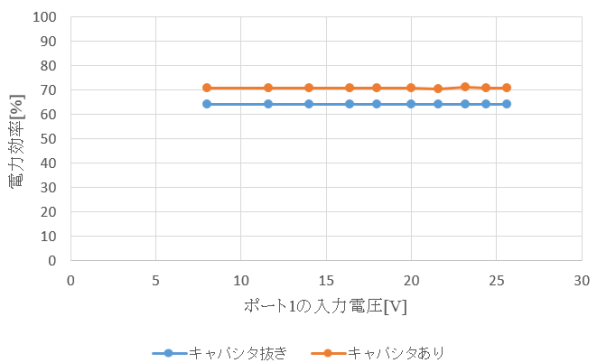


図7 シミュレーション結果による電力効率推移

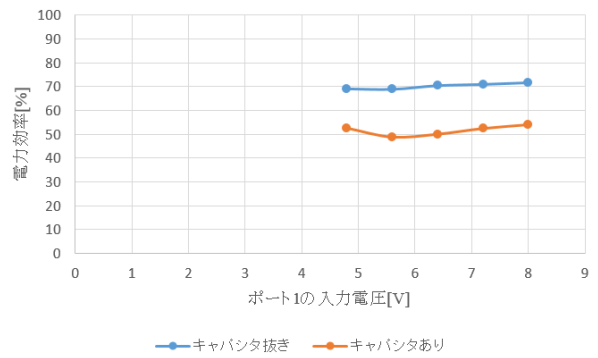


図8 実機計測による電力効率推移

5. まとめと今後の課題

本研究では3つのポートを制御するMPCを提案した。またPSIM上でモデル回路を作成し、ZVSを導入した回路のシミュレーションを行った。さらに試作MPCを製作し、実機を用いた検証を行い電力効率を算出した。しかし実機を用いた計測結果から共振型ZVSの利用による電力効率改善は達成できなかった。

今後の課題としては、シミュレーション環境により近い検証環境を作成し電力効率を再計測する。また制御方法を変え、ソフトスイッチングのもう一つの制御方法「ゼロ電流スイッチング(ZCS)」を利用した電力効率研究を検討する必要がある。

参考文献

- [1] “PHVとEVが欧州,北米,中国の需要増加で2020年以降躍進HV,PHV,EVの世界市場を調査”. Fuji Keizai.
<https://www.fuji-keizai.co.jp/market/16051.html>
- [2] “48Vシステムのコストはフルハイブリッドの半分,2016年から欧州市場で導入”. MONOist.
<http://monoist.atmarkit.co.jp/mn/articles/1411/05/news033.html>
- [3] “効率基準”. CUI Inc.
<http://www.jp.cui.com/efficiency-standards>
- [4] “A review of zero-voltage switching and its importance”. Digi-Key
<https://www.digikey.com/en/articles/techzone/2014/aug/a-review-of-zero-voltage-switching-and-its-importance-to-voltage-regulation>
- [5] “共振形インバータ(実践編)”. Energy Chord Technology/Art.
http://energychord.com/children/energy/pe/inv/contents/inv_res_o2.html
- [6] Sung, Y.K. & Hong, S.K & Kwanghee, N (2011). Idling port isolation control of three-port bidirectional converter for EVs. *IEEE Transactions on Power Electronics*, VOL. 27, NO.5, MAY 2012