

機関番号：54502

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2009～2010

課題番号：21760221

研究課題名（和文） 電流リップル低減可能な高周波電力変換装置の開発と充電システムへの応用に関する研究

研究課題名（英文） Research on development of the high-frequency power conversion system that can decrease current ripple and application to battery charge system

研究代表者

道平 雅一 (MICHIHIRA MASAKAZU)

神戸市立工業高等専門学校 電気工学科・准教授

研究者番号：10311060

研究成果の概要（和文）：電気自動車のバッテリー（リチウムイオン電池）を充電する場合、充電電流に含まれるリップルを小さくする必要がある。このため大容量の電解コンデンサを用いるが、これが充電装置のコストアップ、体積アップの原因となっている。そこで、本研究では充電装置に用いられる電力変換装置として高周波ACリンクDC-DCコンバータを取り上げ、電流リップルを低減できる複合的な制御方式を提案し、電解コンデンサの容量低減効果について述べている。

研究成果の概要（英文）：In the case of charging the battery(Lithium-ion battery) of the electric vehicle, it is necessary to decrease the current ripple included in charging current. Though the current ripple can be decreased by using the mass electrolytic capacitor, the cost and the volume of the battery charger is raised. In this research, a high-frequency AC link DC-DC converter is used as the battery charger and new control scheme is proposed for this DC-DC converter. The effect of the decrease of the capacity of the electrolytic capacitor by using the proposal method is described.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2010年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
年度			
総計	1,900,000	570,000	2,470,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・電力工学・電力変換・電気機器

キーワード：高周波電力変換、電流リップル低減、電気自動車、複合制御、ソフトスイッチング

## 1. 研究開始当初の背景

世界的に地球環境問題がクローズアップされており、京都議定書や洞爺湖サミットを経て温室効果ガス削減の新たな枠組みが検討され、世界各国での積極的な取り組みがなされていた。二酸化炭素排出量の削減の1つ

としてガソリン車から電気自動車へのシフトが考えられ、その開発と普及に向けて研究が進められていた。車載しているバッテリーを充電する際には、性能劣化の要因となる過充電防止や発熱現象防止と同時に高速充電を実現されることが重要な課題の1つとな

っており、様々な研究が進められていた。

充電装置の入力は交流入力を入流を全波整流し、平滑したものが用いられるが、このときに生じる電流リップルがバッテリーに悪影響を及ぼすため大容量の電解コンデンサを用いて十分に抑制しなければならない。しかし、大容量の電解コンデンサによるコストアップと体積アップが普及拡大の妨げの1つとなっている。

そこで、バッテリー充電装置の電力変換装置として高周波 AC リンク DC-DC コンバータを適用することを考え、新たな制御方式を提案することで電解コンデンサの静電容量を低減することを発想した。高周波 AC リンク DC-DC コンバータを適用することで得られるであろうメリットは以下のとおりである。

- (1) スイッチング損失や EMI ノイズ等を低減できると注目されているソフトスイッチング技術を導入できる。
- (2) 高周波トランスを用いることで電源とバッテリーを電気的絶縁が行える。
- (3) 高周波トランスの1次側、2次側で個別の制御方式を適用することが容易になる。すなわち、電流リップル抑制制御と充電電流制御をそれぞれ行うことが可能になる。

## 2. 研究の目的

研究の目的は以下のとおりである。

- (1) 高周波 AC リンク DC-DC コンバータに新たな複合制御を適用することによる電解コンデンサの容量の低減効果について検証する。提案する複合制御とは、高周波トランス1次側に PFM 制御、2次側に2次側位相シフト PWM 制御をそれぞれ適用することである。
- (2) デジタル制御装置として高速処理可能な FPGA を導入して実現する。
- (3) 実機による実験を行い、シミュレーション解析で得られた結果の実現性について検証する。
- (4) バッテリー充電装置としての適用の可能性について検証する。

## 3. 研究の方法

研究の方法は以下のとおりである。

- (1) シミュレーション解析により、提案する制御方式で高周波 AC リンク DC-DC コンバータが原理通りの動作がなされているか検証する。また、電解コンデンサの静電容量の低減効果について検証する。
- (2) シミュレーション結果をもとに、FPGA によるデジタル制御系を実現させる。
- (3) 主回路、周辺回路等の製作を行い実機による実験を行い、動作解析や特性評価を行う。

## 4. 研究成果

### (1) シミュレーションにより得られた成果

シミュレーションソフトとしては、電力系統解析に実績のある ATP (Alternative Transients Program) を用いて行った。図1に解析対象となる高周波 AC リンク DC-DC コンバータを示す。図2(a)は、この DC-DC コンバータに対して2次側位相シフト PWM 制御を行ったときの高周波トランス1次側の電圧・電流波形である。電流波形にゼロ電流期間(単独還流期間)が確認され、従来の位相シフト PWM 制御では避けることができなかった循環電流が除去されていることが確認できる。また、同図(b)は2次側整流回路の転流波形である。この波形より、徐々に電流が転流しておりソフトスイッチング動作が行われていること確認できる。

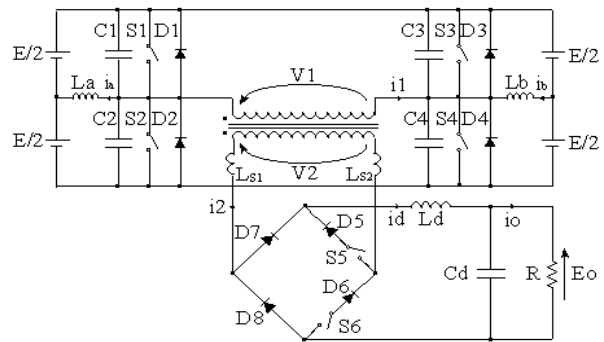
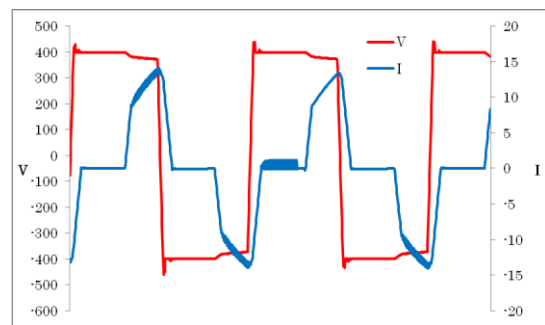
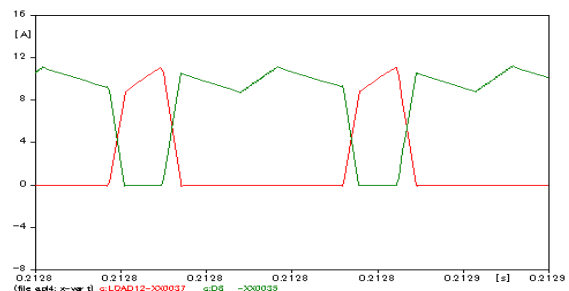


図1 2次側位相シフト PWM 制御を行う高周波 AC リンク DC-DC コンバータ

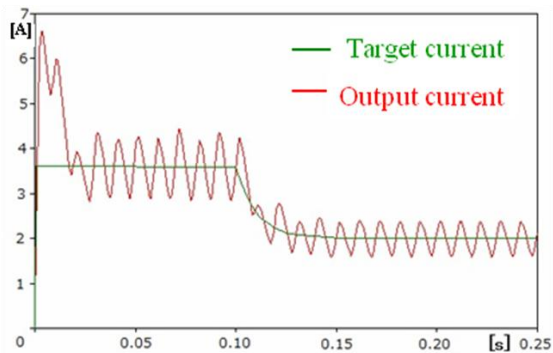


(a) 高周波トランス1次側電圧電流波形

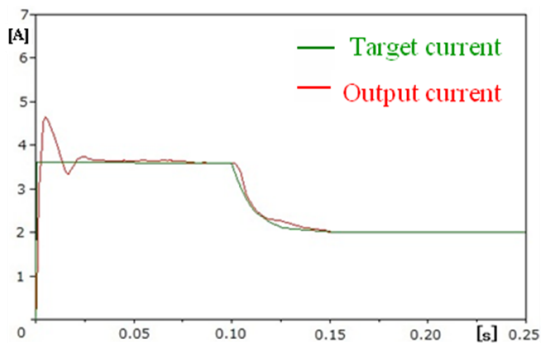


(b) 2次側回路の S5、D7 の転流波形  
図2 各部動作波形

1次側回路（インバータ部）にPFM制御を適用し、インバータの動作周波数を変化させるとインバータ出力電流を制御することが確認された。これは、入力電流に含まれるリップルを打ち消すようにPFM制御を行えば入力電流のリップルによる出力電流への影響を抑制することが可能であるといえる。図3は高周波ACリンクDC-DCコンバータの入力部を全波整流回路と平滑コンデンサに置き換え、実際に入力電流にリップルが含有している状況で提案複合制御を適用したときの結果を示す。図3(a)は2次側位相シフトPWM制御のみで行った場合、(b)は複合制御を行った場合である。高周波ACリンクDC-DCコンバータの入力電流、出力電流ともにフィードバック制御を行っており、入力電流はリップルを打ち消すように制御し、出力電流はバッテリー充電のための目標電流値に追従させるようにしている。この結果より、複合制御を行うと出力電流のリップルが大きく低減されていることが確認できる。このときの電解コンデンサの静電容量は15000 $\mu$ Fである。2次側位相シフトPWM制御のみで同等のリップルに低減するには電解コンデンサの静電容量が180000 $\mu$ F必要であることから、提案複合制御を適用すると約90%の静電容量低減効果を得られることが確認された。



(a) 2次側位相シフトPWM制御



(b) 複合制御

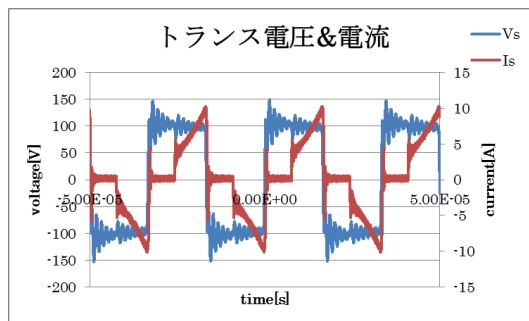
図3 出力電流波形

(2) 実機実験により得られた成果  
シミュレーション解析結果をもとに実機の製作を行った。制御部はFPGAを用いて構成した。図4に装置の全体写真を示す。

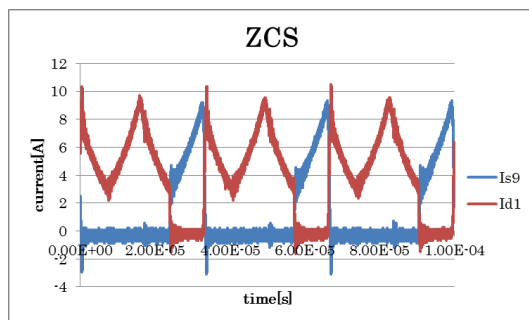


図4 装置の全体写真

各部動作波形の一例として、図2に示したシミュレーション波形と同じ箇所の波形を図5に示す。多少、ノイズが残っているもののほぼ同様の波形が得られていることが確認できる。尚、電源装置の関係上、実験では入力電圧は100Vとしている。



(a) 高周波トランス1次側電圧電流波形



(b) 2次側回路のS5、D7の転流波形

図5 各部動作波形

次に、ハードスイッチングで動作させた場合とソフトスイッチングで動作させた場合の電力変換効率の結果を表1に示す。この結果より、ソフトスイッチング技術を導入することにより、平均すると約3%の変換効率向上が図れることが確認できた。

表1 電力変換効率結果

出力電流	ソフト スイッチング	ハード スイッチング
2.88	83.9%	80.8%
3.01	87.1%	84.2%
3.09	89.1%	85.8%
3.12	89.8%	86.0%

当初、リチウムイオン電池に対して充電試験を行う予定であったが、震災の影響もあり周辺部品も含め入手困難になったため、今回は比較的制約も少ない鉛蓄電池を用いて充電試験を行った。その結果、充電できることは確認されたが充電電流の制御性が不十分であったため高速充電の実現には至らなかった。ただ、バッテリーに対して充電可能であることは確認できた。

リチウムイオン電池による充電試験が行えなかったため、新たな回路についての検討を追加し行った。震災の影響もあり、再生可能エネルギーの導入が急務となってきている。再生可能エネルギーから得られる電力のほとんどは直流であるため、効率良く運用するためにはやはりDC-DCコンバータが不可欠となる。特に、家庭における利用を想定するとLED照明に代表されるように直流電力のままの利用をするケースが増えてきている。さらに、家庭内での電力制御をIT技術を用いて行い、効率的な電力運用を行うスマートハウスが提唱され、現在、実地試験も進められるようになってきている。これらのシステムを実現するためには、双方向電力フローが可能なDC-DCコンバータが不可欠となる。そこで、双方向動作を可能とする高周波ACリンクDC-DCコンバータの提案回路構成を図6に示す。

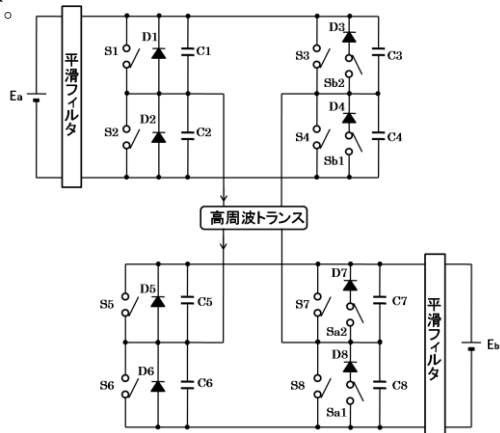


図6 双方向高周波リンクDC-DCコンバータ

これまでと逆方向の電力フローの動作をさせたときの結果を表2に示す。この結果より双方向動作ともに約90%の変換効率を実現できており、配線等の最適化を図れば実用レベルの93%前後の変換効率は達成できるものと思われる

表2 逆方向フローの変換効率

出力電流	変換効率
2.97	90.7%
3.06	89.7%
3.11	88.4%
3.16	86.1%

提案した複合制御により得られた電解コンデンサの静電容量低減効果は非常に大きく、今後の電気自動車の普及に不可欠なバッテリー充電システムの小型軽量化、低コスト化に大きく貢献できるものと思われる。また、今回の実験の制御系は全てFPGAで実現した。将来、電力変換装置の動作周波数100kHzを実現するべく様々な研究が行われているが、現在のDSPやマイコンをベースとした制御系ではそのサンプリング速度の関係からも実現は難しい。しかし、FPGAのサンプリング速度は十分にその実現が可能なものであり、今回の実験装置をFPGAで制御できたことは今後の100kHz実現に向けて大きな可能性を示唆できたものと思われる。今後、電力変換装置の高周波化がさらに進むことは必然であり、さらなる高性能化、小型軽量化、高効率化を実現していくことで、再生可能エネルギーの有効利用、省エネ技術の進展による低炭素社会実現に向けてパワーエレクトロニクス技術の発展は今後ますます大きく期待されていくものと思われる。

### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計0件)

[学会発表] (計2件)

- ①岡本昌二、石飛裕基、大久保広訓、白数裕士、道平雅一、高周波ACリンク電力変換装置の複合制御とそのデジタル制御に関する研究、パワーエレクトロニクス学会12月定例会講演論文集、2010年12月、立命館大学
- ②大久保広訓、石飛裕基、岡本昌二、道平雅二、その他2名、高周波ACリンクDC-DCの出力電流の脈動に関する研究、パワーエレクトロニクス学会12月定例会講演論文集、2009年12月、大阪大学

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計◇件)

[その他]

ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

道平 雅一 (MICHIHIRA MASAKAZU)

神戸市立工業高等専門学校 准教授

研究者番号 : 10311060