

2020年度 永守財団 研究助成 研究報告書

所属機関	東京大学 大学院新領域創成科学研究科 先端エネルギー工学専攻
職位または役職	特任講師
氏名	藤田 稔之

1. 研究題目

インホイールモータ用インバータとワイヤレス給電整流器の最適電力制御法の検討

2. 研究目的

自動車のCO₂排出量の削減を行うために自動車メーカーはEVの開発を進めている。しかし現在のEVは一充電当たりの走行距離がガソリン自動車に比較して短い。バッテリーの大型化をすることなくこの問題を解決するために走行中のEVに無線で給電する技術(WPT)が世界的に研究されている。また、本研究室において In-Wheel Motor(IWM)を搭載したEVの研究が行われている。IWMはシャフト共振がないため制御の高帯域化が可能であり、各輪独立駆動が可能であるため、高性能な制御が可能となる。前述の2つの技術を組み合わせることによって、路面からバッテリーを介さず直接IWMに電力を供給することが可能となるため、高効率な駆動が可能となる。

報告者らは右図に示すような回路構成を検討し提案している。バッテリーとMotorインバータの間にDCDCコンバータを入れることにより、 $V_{Battery}$ から V_{link} に昇圧を行い、Motorの高出力駆動時において電圧制限とならないような構成とした。さらに、WPTの出力端を V_{link} とすることによって、WPTによって給電した電力がPWMインバータに直接供給できる構成となるため、DCDCコンバータの損失を減らした高効率な駆動が可能となる。

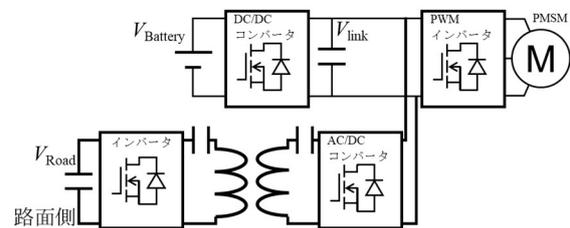


図 1 WPTとIWMを組み合わせた装置の提案

本研究では、図1の3つのコンバータの協調制御を行うに先立ち、PWMインバータとAC/DCコンバータの2つのコンバータ間における電力協調制御の検討を行う。具体的には、高速走行などのモータの最大電力もしくは最大インバータ入力電圧時においても路面からの給電が最大電力あるいは最適効率点となるPWMインバータとAC/DCコンバータの協調制御方法を確立することを目的とする。

3. 研究内容及び成果

図 2 に高周波用基板取付型電流センサの実験波形について示す. 電流は 85kHz, 1Arms となるように調整を行った結果である. 緑はオシロスコープ用の高額な電流センサであり, 赤は基板取付トランス型電流センサである. 10A 以上の電流を計測する必要がある本システムでは, 効率の低下等の問題からシャント抵抗による電流センサを使用することは難しい. 基板用電流センサによる構成では, ①センサの遅延②電流オフセットの課題があり, 本研究で取り組む課題である同期整流を達成することは難しい. そのため以下に示すような取り組みを行った.

図 3 に図 1 の ACDC コンバータのメイン回路を示す. また, 給電に使用した WPT コイルについて, 図 4 に示す. WPT 部では, コンバータの同期信号を送電側インバータから得ることができない. そのため, コンデンサ部から電圧信号を取り出し, 同期信号とした. この同期信号を用いて, 同期整流を行った. また, この制御を行うコントローラは PE-Expert4 の MWPE4-IPFPGA6 を使用し, FPGA による実装を行った. 同期信号の取り出しについては, SiC デバイスのスイッチングノイズが同期制御回路に影響を与えていることが判明した. このノイズ対策については, 別途制御回路を作成し, 対策を行う予定である.

しかし, 現状の回路であっても図 5 に示すように 2 kW-8.5 Arms の電流の制御が 85 kHz においても可能であることを示した. さらに, ダイオード整流と同期整流の比較を行った結果について, 表 1 に示す. 同期整流が行われることにより, 45W の損失低減が可能となり, 2.2pt の効率改善が可能となった.

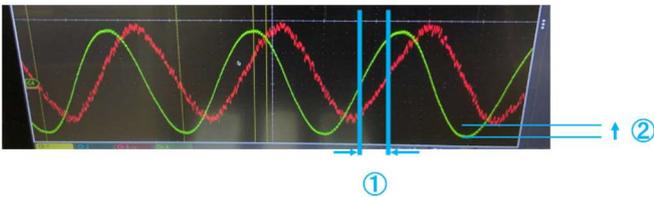


図 2 高周波用基板取付型電流センサの課題
 緑:オシロスコープ向け電流センサ(約 50 万円)
 赤:基板取付トランス型電流センサ(約 3 千円)



図 3 作成した ACDC コンバータ



図 4 使用した WPT 給電用コイル

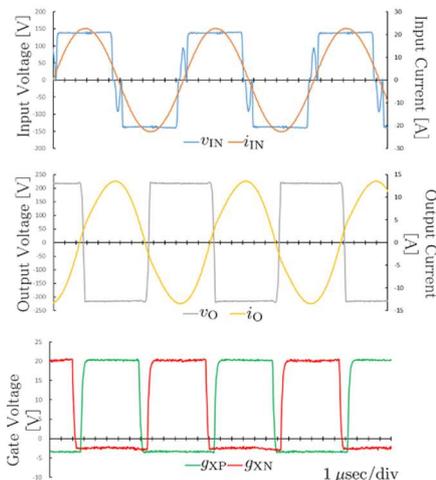


図 5 実験結果

表 1 ダイオード整流との比較結果

	Diode	Sync.
入力電圧[Vdc]	140	140
入力電流[A _{dc}]	14.5	14.3
入力電力[kW]	2.03	2.00
出力電圧[Vdc]	216	217
出力電流[A _{dc}]	8.46	8.49
出力電力[kW]	1.83	1.84
変換効率[%]	89.95	92.05
変換器損失[W]	204	159

4. 今後の研究の見通し

今後は図 1 中の V_{link} 電圧が可変であっても一定の電力が伝送可能であることを示すために、パルス幅制御の実装を行う。この制御を実装することにより、WPT 受電回路部と Motor 駆動部の電力が独立に制御することが可能となり、効率的な電力伝送の検討を行うことが可能となる。その後、 V_{link} 電圧と電力損失の関係を示し、損失が最小となる点の探索を行う予定である。

また、図 1 中の PWM インバータについても同様の構成でメイン回路を構成する予定である。制御部については、PE-Expert4 の MWPE4-PEV にて実装を行う。

さらに、DCDC コンバータについては、チョップ回路による実装を行い、出力電流のフィードバック機能の実装を行う。これにより、電力を調整することが可能となるため、WPT 部分および、バッテリー部分、Motor 駆動部分の 3 つの部分をそれぞれ制御することが可能となる。

5. 助成研究による主な発表論文、著書名

国内会議

藤田稔之, 永井栄寿, 清水修, 大森洋一, 藤本博志:

“電圧検知型同期整流によるワイヤレス給電の高効率化”

自動車技術会 2020 年秋季大会, pp1-6, オンライン, (2020)