

2021 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，報告者が所属する研究室において 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．

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．

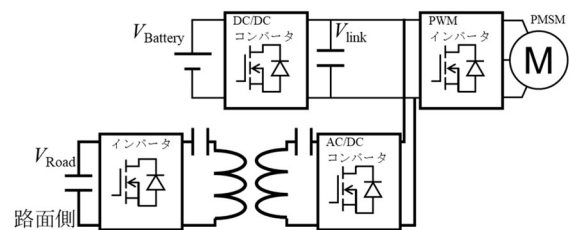


図 1 WPT と IWM を組み合わせた装置の提案

3. 研究内容及び成果

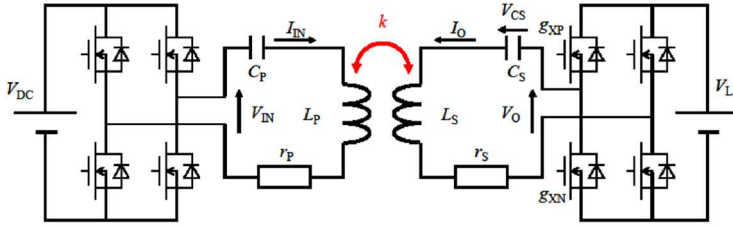


図2 文献[2]記載のシステム構成図

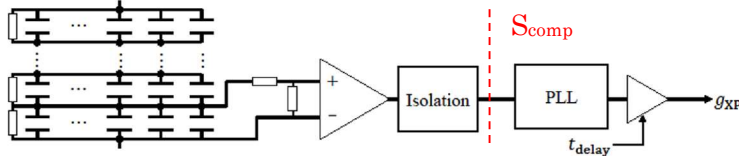


図3 同期用制御回路

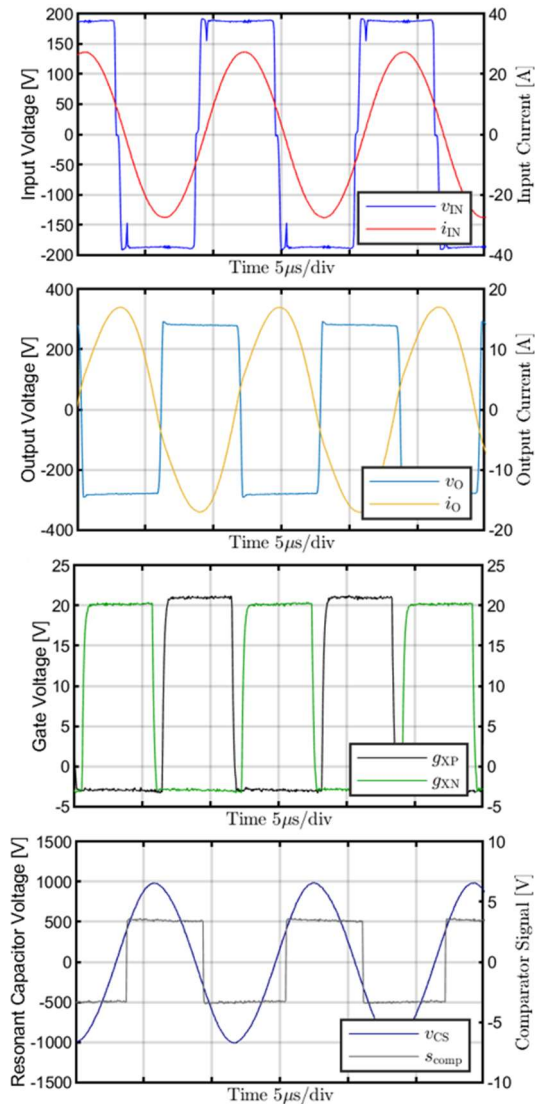


図4 図2 システムの実験結果[2]

図2に図1に示すWPTシステムの主回路図を示す．一般的には受電側のコンバータはフルブリッジダイオード回路のみの構成となっているが，MOSFETを用いることで能動的に制御することが可能となる．本年は，電力制御に必須となるパルス幅制御に先立ち，大電力による同期整流を開発した．同期整流の制御には PE-Expert4 の MWPE4-IPFPGA6 を用いている．

図3にノイズ対策用制御回路の構成図を示す．この同期用センサ基板を ACDC コンバータと別の基板として作成することで，コンバータから

発生するスイッチングノイズを低減し，高出力化が可能となった．

図4に実験結果について示す．出力電圧は EV バッテリの下限電圧である 280 V と設定した．最下段のグラフに示すように，コンデンサ電圧 V_{CS} から，同期信号 S_{comp} を生成している．この同期信号を用いることで，出力電流 i_O に同期した電圧波形 v_O をゲート信号 $g_{XP}g_{XN}$ 生成できることを示した．

また，実験結果より，負荷電力 3.0 kW，出力電流 12.0 Arms，DC-DC 変換効率 91.8% を達成した．また，開発した整流器は，従来の整流器に比べて 53.2 W 程度の損失を低減し，高効率化を実現することができた．

さらに DCDC コンバータを作成し，小電力による基礎的な制御の検証を行った．制御の実装には PE-Expert4 の MWPE4-PEV を用いて構築した．同一の Expert4 を用いることで，各システムを結合した提案システムへの拡張が容易に可能とすることが可能となる．図5には出力電流の制御結果を示す．1A の電流指令値に対して，0.03 秒後に指令値に追従していることがわかる．このことから基本的な DCDC コンバータの動作を確認することができた．

ただし，この DCDC コンバータは昇圧コンバータであるため，電流の逆応答が確認されており，制御性の向上を行う必要がある．

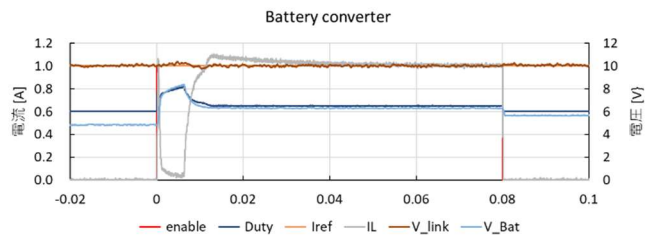


図5 DCDC コンバータの基礎実験結果

4. 今後の研究の見通し

図 1 中の V_{link} 電圧が可変であっても WPT 回路部で一定の電力を送るために、パルス幅制御の実装を行う。さらに、出力 DC 電流のフィードバック制御を実装する。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。

また、DCDC コンバータでは、 V_{link} 電圧フィードバック制御コントローラを実装する。これにより、 V_{link} 電圧の変更が任意で可能となる。電力を一定とするため、WPT 回路部は電流指令値の代わりに電力の指令値とする。DCDC コンバータと WPT 回路部を結合したシステムでの検証を行う。

また、図 1 中の Motor 駆動部については、現在立上げを行っており、PI 制御までの実装を行う予定である。PWM インバータについても DCDC コンバータと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。

5. 助成研究による主な発表論文、著書名

学術論文（査読付）

[1] D. Shirasaki, T. Fujita, H. Fujimoto, (2022). "Novel Synchronous Rectification and Receiving Power Compensation Method for WPT Only by DC Current Sensor", IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Industrial Electronics, Vol.3, Issue: 4, pp.1159-1167, Oct. 2022.

国際会議（査読付）

[2] T. Fujita, S. Nagai, O. Shimizu, H. Fujimoto and Y. Ohmori, "Resonant Capacitor Voltage Based 85-kHz 3-kW Synchronous Rectification on Wireless Power Transfer System," 2022 Wireless Power Week (WPW), 2022, pp. 634-639, Jul 2022.