

2022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。

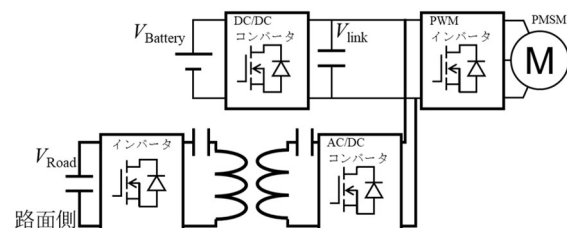


図1 WPTとIWMを組み合わせた装置の提案

3. 研究内容及び成果

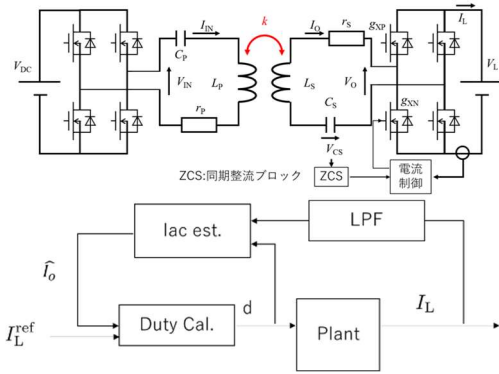
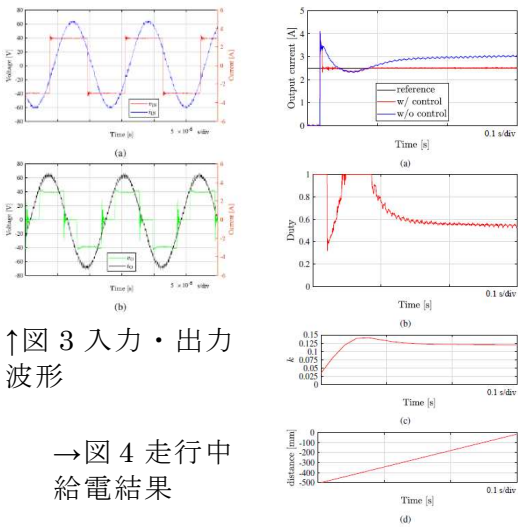


図 2 走行中 WPT システム回路図および制御概要



↑図 3 入力・出力波形

→図 4 走行中給電結果

図 2 に本報告にて使用した WPT システム部分の回路図および制御概要について示す. 昨年度同期整流について報告したが, 同期整流の信号を取得したのち PWM 制御を行うことで電流制御を行う手法を確立した. 制御ブロックについても図 2 に示す. また, この制御法は AC 側に電流センサを必要とせず, コスト低減も寄与できるのではないかと考えられる.

図 3 に負荷電流指令 2.5 A を与えた場合の電流電圧特性について示す. V_o が 3 レベルとなっており, 電流が制限されることがわかる. また, V_o, I_o の位相はずれているが制御には問題ないことを確認している.

図 4 に WPT システムを走行ベンチにて走行させた場合における実験結果について示す. 提案制御を実装すると電流の変動が起こることなく指令値に追従していることがわかる. また, 結合係数が高い領域では, 出力電流が指令値以下となっている. これは, Duty が最大となり電流がこれ以上出力できないことを意味しており, システムの制約となる部分である. 本手法によって車両側制御のみで WPT システムから電力を一定に制御しつつ受電する方法を確立した.

図 5 にバッテリーおよびモータを接続した装置について示す. DCDC コンバータは一般的な非絶縁型の昇圧チョップ, PWM インバータは 3 相インバータを構成した.

DCDC コンバータに V_{link} 電圧を指令値とした PI 制御を図 6 に示す. PI ゲインは重根となるように極配置を行い, 電流制御についても PI 制御に基づいて制御を行っている. 電圧および電流の PI ゲインの極はそれぞれ 200 Hz および 400 Hz である. DCDC コンバータおよび PWM インバータのキャリア周波数はそれぞれ 10kHz とした.

図 7 に V_{link} 電圧指令値を 150 V から 200 V にステップ入力したときの応答について示す. この時の i_d, q の指令値は 0, -4 A であり, モータの条件は 3000rpm, 0.9 Nm であった. V_{link} 電圧が変動する場合においても, 一定に追従することがわかる.

図 8 に実験に使用したモータについて示す. 供試モータは, 電気学会で提供されている D1 モータを参考に作成した.

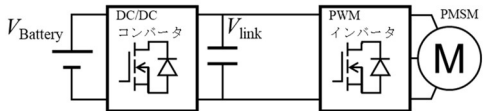


図 5 電圧可変モータ実験図

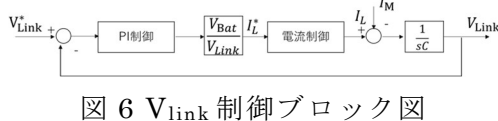


図 6 V_{link} 制御ブロック図

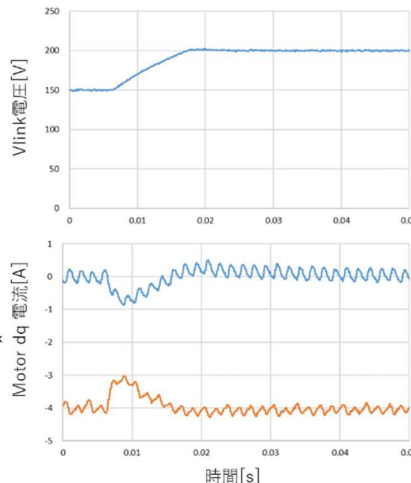


図 7 V_{link} 指令変更時の応答



図 8 実験に使用したモータ

4. 今後の研究の見通し

今後は、効率的なモータの V_{link} 動作点の導出をオフラインベースでの検討や、オンラインでの検討を行っていく予定である。

また、WPT 回路の接続を行い、安定的に駆動することを示す予定であるが、WPT 回路とモータの電圧レンジの仕様が異なるため、新たに WPT 回路を構築する必要がある。

5. 助成研究による主な発表論文, 著書名

学術論文 (査読付き)

[1] T. Fujita, H. Fujimoto, "Load current control of one pulse width modulation for dynamic wireless power transfer system using vehicular ac current estimation" IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Industrial Electronics, vol4, no.3, pp.939-947,2023.

[2] R. Matsumoto, T. Fujita, H. Fujimoto, "Communicationless Reactance Compensation Using PWM-Controlled Switched Capacitors for Wireless Power Transfer" IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 38, no. 10, pp. 13194-13206, Oct. 2023.

国際会議 (査読付き)

[3] Y. Shikauchi, R. Matsumoto, S. Nagai, T. Fujita, O. Shimizu, H. Fujimoto, "Eliminating Dead Zone in Wireless Power Transfer with Repeater Coil by Power Factor Control" IEEE Wireless Power Technology Conference and Expo 2023, San Diego, US, 2023.