

複数電力源を用いたワイヤレスインホイールモータのシステム制御に関する研究

47-156077 竹内 琢磨
(指導教員 堀 洋一 教授)

Key Words : In-Wheel Motor, Dynamic-Wireless Power Transfer, Lithium-ion capacitor, Power management.

1 はじめに

近年、電気自動車の各ホイール内部にモータ搭載することで航続距離や安全性の改善を期待できるインホイールモータ方式 (In-Wheel Motor : IWM) に注目が集まっている [1]。一方で、車体とホイール間にモータ駆動用の配線が存在し、これが走行中の振動や屈曲により断線してしまう信頼性の問題等から現在も乗用車での実用化はされていない。

この問題を磁界共振結合方式のワイヤレス電力伝送 [2] の適用により根本的に解決した先行研究としてワイヤレスインホイールモータ (Wireless In-Wheel Motor : W-IWM) がある。W-IWM は車体側のバッテリーからホイール側 DC リンクへの伝送効率で約 89 % を達成し、実車での走行試験にも成功している [3]。

本稿では、W-IWM の更なる実用性向上を目指してホイール側に LiC (Lithium-ion Capacitor : LiC) と走行中ワイヤレス電力伝送受電回路を搭載した構成 (W-IWM2) の提案とそのシステム制御を行う。これにより、従来の W-IWM より高効率な動作と走行中ワイヤレス電力伝送の適用が可能になることを実際に製作した W-IWM2 を用いて実証する。

2 W-IWM 試作 2 号機 (W-IWM2)

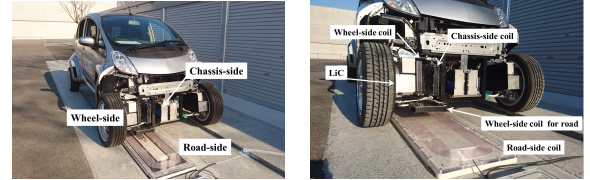
図.1 に W-IWM2 を搭載した実験車両と W-IWM2 の外観を示す。W-IWM2 の回路構成は図.2 に示す。ホイール側に LiC と走行中ワイヤレス電力伝送用のコイルが搭載されていることが確認できる。ここで、 V_{battery} : 車体側バッテリー電圧、 v_{DC} : ホイール側 DC リンク電圧、 v_c : 車体側 DC リンク電圧、 v_{LiC} : LiC 電圧、 v_r : 路面側インバータ入力電圧、 i_L : 負荷電流、 i_{WPT} : 車体用 AC/DC コンバータ出力電流、 i_{LiC} : LiC 出力電流、 i'_{LiC} : ホイール側 DC/DC コンバータ出力電流、 i_{DWPT} : 路面用 AC/DC コンバータ出力電流を示す。本稿では便宜上モータとその駆動用インバータを合わせて負荷と定義する。

3 W-IWM2 のシステム制御

本稿で提案するシステム制御について述べる。

3.1 パワーフロー制御

ホイール側 DC/DC コンバータによって v_{DC} の制御を行う。更に、車体側からの伝送電力を受電する AC/DC コンバータを用いて車体-ホイール間の伝送電力 P_{WPT} の制御を行う。これにより、ホイール側の電



(a) 実験車両 (b) W-IWM2
図 1 実験車両と W-IWM 試作 2 号機。

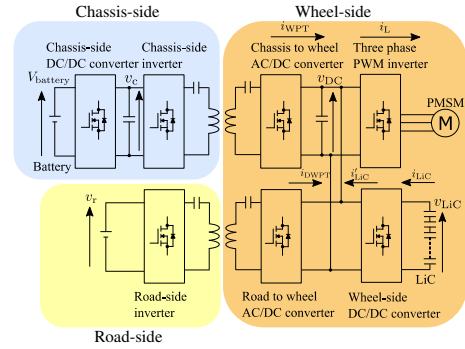


図 2 W-IWM 試作 2 号機のシステム構成。

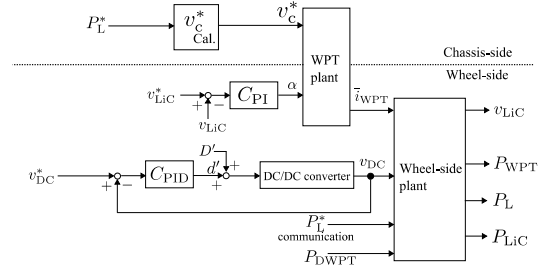


図 3 パワーマネジメントのブロック線図。

力の関係式 (1) が常に成立し、 P_{WPT} を制御することで LiC の入出力電力 P_{LiC} を間接的に制御することが可能になる。

$$P_L = P_{\text{WPT}} + P_{\text{LiC}} + P_{\text{DWPT}} \quad (1)$$

$$P_L = i_L v_{\text{DC}} \quad (2)$$

$$P_{\text{WPT}} = i_{\text{WPT}} v_{\text{DC}} \quad (3)$$

$$P_{\text{LiC}} = i'_{\text{LiC}} v_{\text{DC}} \quad (4)$$

$$P_{\text{DWPT}} = i_{\text{DWPT}} v_{\text{DC}} \quad (5)$$

ここで、 P_L は負荷電力、 P_{Dynamic} は走行中ワイヤレス電力伝送による受電電力を示す。

3.2 パワーマネジメント

図.3 にパワーマネジメントのブロック線図を示す。前章のパワーフロー制御において、ホイール側 AC/DC コンバータにホイール側 LiC の電圧 V_{LiC} を一定化する制御を適用する。これにより、回生電力は LiC 充電し、

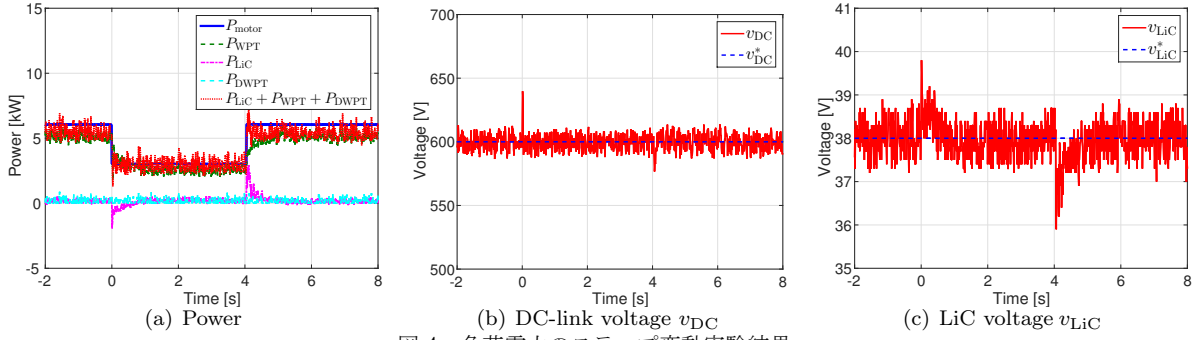


図4 負荷電力のステップ変動実験結果.

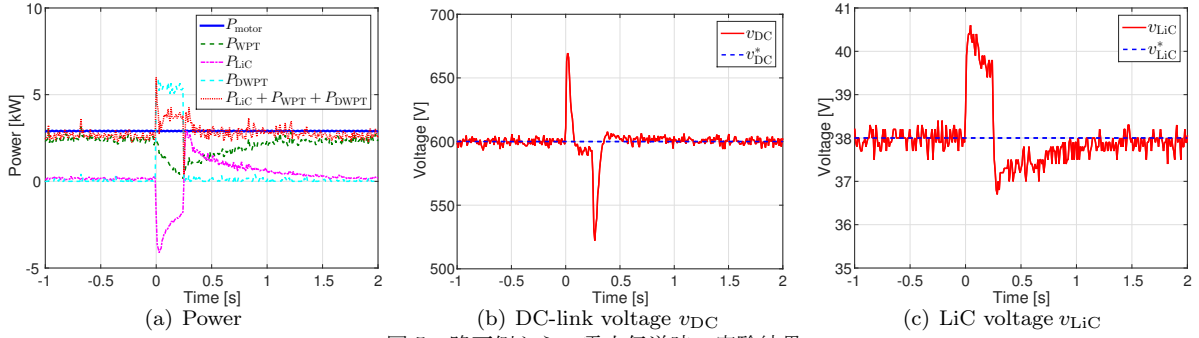


図5 路面側からの電力伝送時の実験結果.

モータを力行する際にはこの電力と車体側からの伝送電力を使用するといったパワーマネジメントが可能になる。例えば、急激な負荷の変動等により v_{LiC} が増加/減少した際には、 v_{LiC} を一定に保つために P_{WPT} が自動的に減少/増加して定常的には $P_L = P_{WPT}$ が成り立つ。つまり、負荷変動などの急峻な変化を P_{LiC} で補償し、変動の遅い v_{LiC} を P_{WPT} が一定化する制御となる。

4 実験結果

本章では、W-IWM2 のモータベンチにおける試験結果について述べる。システム制御の成立を示すために、以下に示す2つの実験を行った。

4.1 負荷電力のステップ変動

図.4に負荷電力をステップ的に変動させた場合の実験結果を示す。負荷電力 P_{rmL} の急峻な変動を P_{LiC} で補償し、これに伴う v_{LiC} の変化を P_{WPT} が補償している。図.4(a)にホイール側の電力を示す。ステップ状に増減する P_L を P_{LiC} が急速に応答することで補償していることが確認できる。図.4(b)はホイール側DCリンク電圧 v_{DC} を示しており、負荷変動の前後においても v_{DC} が安定化されていることが確認できる。図.4(c)はLiC電圧 v_{LiC} を示しており、提案のパワーマネジメントにより負荷電力減少時はLiCに充電し、急激な負荷電力増加時はLiCが放電することで減少した v_{LiC} を指令値に追従させることに成功していることが確認できる。

以上から、負荷電力の変動時におけるシステム制御が成立していることが確認できた。

4.2 路面側からの電力伝送

図.5に路面側から電力伝送を行った場合の実験結果を示す。図.5(a)はホイール側の電力を示しており、路面

側からの伝送電力 P_{DWPT} を受電している際には P_{WPT} を減少させ、 P_{DWPT} を用いて負荷を力行していることが確認できる。これにより、路面側から瞬時的に流入する伝送電力をLiCがバッファリングし、負荷に安定した電力を供給できていることがわかる。

以上から、提案のシステム制御によって走行中ワイヤレス電力伝送の適用も可能となることが確認できた。

5 結言

本稿では、W-IWMの更なる実用性の向上を目指してホイール側にLiCと走行中ワイヤレス電力伝送用の共振回路を搭載したシステムと制御法の提案を行った。提案の制御によって主に回生効率の向上と走行中ワイヤレス電力伝送の適用が可能になることを実車試験用大電力モデルを用いた実験で実証した。

参考文献

- [1] Satoshi Murata: "Innovation by in-wheel-motor drive unit, Vehicle System Dynamics," *International journal of Vehicle Mechanics and Mobility*, Vol.50, Issue.6, pp.807-830, (2012).
- [2] Siqi Li and Chunting Chris Mi: "Wireless Power Transfer for Electric Vehicle Applications," *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics*, Vol.3, No.1, pp.4-17, (2015).
- [3] Motoki Sato, Gaku Yamamoto, Takehiro Imura and Hiroshi Fujimoto: "Experimental Verification of Wireless In-Wheel Motor using Magnetic Resonance Coupling", *ECCE Asia*, (2015).