

ワイヤレスインホイールモータシステムの制御

当社では、ワイヤレスで電力を伝送するインホイールモータ搭載の電気自動車を、東京大学大学院新領域創成科学研究科の藤本博志准教授の研究グループや日本精工株式会社と共同研究している。ワイヤレスインホイールモータシステムは、図1に示されるように車体側と車輪側の双方の送受電コイルにより車体のバッテリーから変換器を介して車輪のインホイールモータへ電力を供給して走行するシステムである。両者間はBluetoothによる無線通信としているので、車体と車輪間は完全なワイヤレスであり、地上からのさまざまな障害によるワイヤ断線などの問題が解消できる。

図2は、回路構成である。変換器はSiC MOSFETのスイッチング素子で構成され、共振コンデンサ付き送受電コイルの共振周波数である約85kHzの矩形波状の電圧V1、V2を送受電コイルに印加できる。モータは、三相PWMインバータ(INV)で制御される。

加速時は、車体のバッテリーからワイヤレスでモータに電力が転送される力行モードとなり、ブレーキ操作等による減速時はモータからバッテリーへ電力が転送される回生モードとなる。従来の制御において、車体側と車輪側の各変換器は表1に示される動作となる。

力行状態では、車体側は必要電力以上の伝送能力を持つ大きさのV1を出力する。車輪側ではE2のヒステリシスフィードバック制御により、E2が低いとQ5～Q8をすべてOFFとし、E2が高いとQ5、Q7またはQ6、Q8をONして送受電コイルを短絡する。モータが回生するようになると、E2の制御ができなくなりE2がより高くなる。そうすると車輪側制御装置は、無線により車体側制御装置に回生切替要求を出し、車体側制御装置はその回生切替許可信号を出す。この期間が表1の切替状態である。

回生状態では、車体側はQ1～Q4をすべてOFFし、車輪側ではV2のパルス幅制御によりE2を所定値に制御する。その状態でモータが力行するようになると、E2の制御ができなくなりE2がより低くなる。すると車輪側制御装置は、無線により力行切替要求を出し、車体側制御装置はその力行切替許可信号を出す。この期間も表1の切替状態である。この切替状態の期間は、E2の制御不能期間であり、Bluetoothによる無線通信では100ms程度と比較的長いので、E2を所定範囲とする制御をモータ制御で補うこととなり、走行特性が悪くなる。

■ 表1 従来の各状態での動作

状態	車体	車輪
力行	必要電力以上の電圧制御	ダイオード整流と短絡制御
切替	ダイオード整流	ダイオード整流
回生	ダイオード整流	パルス幅制御

■ 表2 提案手法の各状態での動作

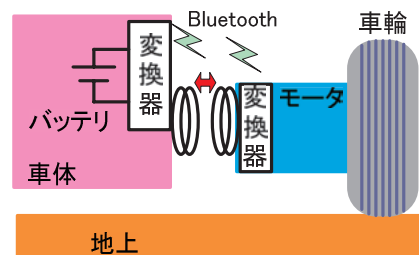
状態	車体	車輪
力行	必要電力絶対値以上の電圧制御	電流と同位相の制御
回生		電流と反位相の制御

この問題を解決するために、表2に示される手法が提案されている。この提案手法の車体側は、Q1～Q4をすべてOFFするダイオードモードを使用せずに、常に所定大きさのV1を出力する。このV1の大きさは、車輪側へ供給すべき電力をモータのトルク指令やモータの速度情報から求め、その電力の絶対値に対して十分余裕のある大きさとする。これによって電力伝送不足となる恐れがなくかつ車輪側の送受電コイル電流I2に過剰な電流を流さないで済むことから伝送損失を小さくすることができる。

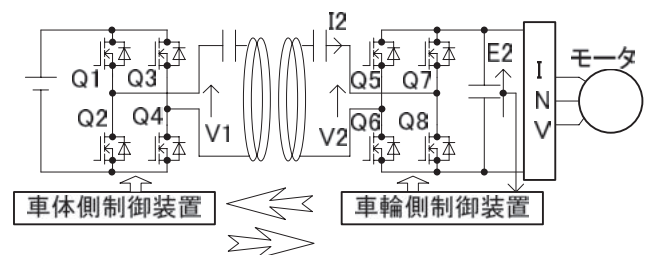
一方車輪側は、E2とその指令との偏差のPI増幅やヒステリシスコンパレータでV2の平均電圧を制御する。またI2の位相を検出して、PI増幅出力の極性やヒステリシスコンパレータの出力に応じて、V2の位相はI2と同位相か反転位相にする。

このようにすることで、力行と回生を切り替えることがなくなり、力行と回生を連続的に制御できることから、E2の制御不能期間がなくなり、それによる走行特性悪化がなくなる。

実験による検証では、モータのトルク指令の極性を反転させた時にE2が急激に上昇または低下していたものが、ヒステリシスコンパレータ方式での提案手法により解消された。また例えば力行状態では、従来はQ5～Q8をすべてOFFとしていたため電流はいつもダイオードに流れていたが、提案手法ではQ5～Q8をONしているため同期整流と等価な動作となることで導通損失が低減し、2ポイント程度の効率向上となった。



■ 図1 ワイヤレスインホイールモータ概念図



■ 図2 回路構成