

審査の結果の要旨

氏名 ロビソン ジョルジョ

本論文は、「Development of secondary-side-only simultaneous power and efficiency control in wireless power transfer system (ワイヤレス電力伝送システムにおける二次側のみの制御による電力と効率の同時制御法の開発研究)」と題し、ワイヤレス電力伝送（以下 WPT）システムの送電側（一次側）と受電側（二次側）に制御信号の交換を行わない、すなわち、二次側のみの制御によって、電力および効率の同時制御を行う手法を提案し、フィールドプログラマブルゲートアレイ（以下 FPGA）を駆使した実験装置を開発して、その優れた性能や実用性を実証したものである。

磁界共振結合による WPT は、ケーブルを必要とせず数十センチメートル以上の距離を高効率で電気エネルギーを伝送する技術である。とくに、現在の電気自動車の大きな問題である、バッテリー充電中の潜在的危険性や長い充電時間は、ワイヤレス電力伝送によって解決することができ、この技術は停車中および走行中のいずれにも適用することができる。

しかし、これまでの研究では、停車中給電のみならず、とくに走行中給電においては、システムパラメータが時々刻々大きく変動するため、電力と効率を同時に調整するには、送電側と受電側が高速度の制御信号のやり取りを行う必要があるとされていた。本研究では、負荷電力と送電効率は二次側のみで同時に制御され、高い制御性を維持しながら相互の通信が不要なシステムが提案され、実験によって提案システムの妥当性が検証されている。

第 1 章は「はじめに（序論）」であり、本研究の動機と位置づけを説明している。磁界共振結合による WPT システムの、電力変換器の制御に関する研究背景を概観している。これまでの研究では、電力変換器数や多様な負荷の種類など、全体の回路構成が考慮されていないことを指摘し、実用的なシステムの構築には相互の通信を用いない二次側のみの制御が必要であることが説明されている。

第 2 章「電気自動車用 WPT システムにおける電力・効率制御の理論」では、過去の研究で示された電力制御と効率制御の概念を検討している。効率は負荷インピーダンス整合によって、また、電力は周波数またはデューティ制御によって調整されてきたことや、停車中給電と走行中給電の違いを説明している。最後に、共振コンデンサの挿入位置による回路方式の違いを説明し、自動車用としては直列（SS）方式が適していることを示している。

第 3 章は「一定電圧負荷に対する二次側のみの電力・効率制御」と題し、定電圧負荷

への WPT システム用に、二次側に二つの電力変換器をもつ方式を提案している。送電側との通信は使用せず、二次側のみが操作される。2 自由度の制御を行うために、二つのコンバータは能動素子が含まれ、平均出力および送信効率を制御する。正しい動作のための条件を明示し、コントローラ的设计を説明し、停車中および走行中 WPT の両方で提案された制御方法の実行可能性を示している。

第 4 章「FPGA を使用したデジタル電流リミッタ制御と二次電流制御の実装」では、高周波での制御における FPGA の優位性と適合性を強調した後、例として送電側にデジタル電流リミッタを実装するためのロジック作成の例を説明している。送電側には対称位相シフト制御、受電側では簡単な PI 電流コントローラを用いて電力フローを調整する。実験により、双方の制御が正しく動作していることを示している。

第 5 章「定電力負荷における二次側電圧安定化制御」では、制御的には不安定となる定電力負荷 (CPL) への給電を行う手法を開発している。閉ループ系を安定化するために、コンバータをフルブリッジのアクティブ整流器にし、電圧は、同期整流と対称位相シフトを組み合わせて使用する必要があることを示している。こうして、過去の研究では不可能であった、二次側のみでの制御によってなめらかな過渡応答を実現できている。論文では、具体的なコントローラ的设计を説明し、安定条件も明らかにしている。さらに実験によって、停車中および走行中 WPT の両方で提案法の有効性を示している。

第 6 章は「将来の WPT 社会のビジョン」と題し、WPT が普及した未来社会を描いている。自動車、医療、産業など、多くの分野で WPT が提供する柔軟性と安全性の向上により、社会全体のクオリティオブライフが大きく向上することなどを述べている。

第 7 章「結論」では、以上のすべての章の要約を示し、WPT 技術を進歩させるために必要な将来課題を述べている。

以上これを要するに、本論文は、電気自動車への応用が期待される磁界共振結合によるワイヤレス電力伝送システムにおいて、電力変換器の回路設計と制御方式に焦点をあて、送電側と受電側の制御情報交換が不十分な条件下でも、電力と効率の同時制御を容易に実現できることを実証したものであり、先端エネルギー工学、制御工学、自動車工学、電気電子工学などの分野への貢献が少なくない。

よって本論文は博士 (科学) の学位請求論文として合格と認められる。