

論文審査の結果の要旨

氏名 郡司 大輔

本論文は「磁界共振結合ワイヤレス給電における伝送電力制御に関する研究」と題し、直列-直列 (SS) 方式の磁界共振結合によるワイヤレス給電における電力変換回路の構成を一般化することで動作条件に応じた動作点を定式化するとともに伝送電力制御手法を提案したものであり、全 8 章の構成となっている。

磁界共振結合によるワイヤレス給電は従来の電磁誘導方式に比べて長距離伝送と高い伝送効率を実現できるため様々な分野での応用が期待されている。しかし、所望の動作条件に適した回路構成の設計手法は明確化されていなかった。また、モータ等の定電力負荷へのワイヤレス給電のための伝送電力制御手法は確立されていなかった。

第 1 章「序論」ではワイヤレス給電における電力変換回路の制御に関する先行研究を振り返り、本研究の位置付けを行なっている。

第 2 章「ワイヤレス給電の自動車応用」では、自動車分野に着目して先行研究を調査し、その課題を明らかにするとともにインホイールモータのワイヤレス化について検討している。また、共振回路の構成として SS 方式が適していることを示している。

第 3 章「包絡線応答特性の解析とモデル化」では、SS 方式のワイヤレス給電回路の一次側・二次側電流の過渡応答特性を解析している。支配極の変化に着目し、回路パラメータによる包絡線応答の変化について示している。また、包絡線応答を近似的に表す伝達関数モデルを提案し、実験により妥当性を示している。さらに、共振回路の包絡線応答の時定数と負荷電圧変化の時定数の比較を行なっている。

第 4 章「電力変換回路構成の一般化」では、伝送電力制御における操作量を一次側電圧と二次側電力変換回路の変換比に帰結させることで、電力変換回路の構成を一般化している。二次側電力変換回路の動作を変換比で表記することで二次側 AC-DC コンバータと DC-DC コンバータの機能上の差異を明確化するとともに、伝送電力制御に適した電力変換回路の組み合わせについて示している。また、このような一般化をすることで等価的な交流回路によって伝送電力と伝送効率について解析できることを示している。

第 5 章「定電圧負荷における伝送電力制御」では、バッテリー等の定電圧負荷へのワイヤレス給電の伝送電力制御手法について述べている。基本波成分に着目した近似モデルによって回路を解析し、一次側・二次側電流を定式化している。また、所望の動作条件における一次側電圧と二次側変換比の動作点を定式化し、実験によりその妥当性を示している。これにより第 4 章での提案と合わせて所望の動作を実現するのに適した二次側電力変換回路の構成を容易に設計可能となることを示している。さらに、二次側電力変換回路を用いた負荷電流フィードバック制御手法を提案し、シミュレーションと実験

により有効性を示している。

第 6 章「定電力負荷における伝送電力制御」では、従来明らかでなかった定電力負荷への SS 方式の磁界共振結合ワイヤレス給電の安定性について解析し、負荷電圧が不安定であることを示している。負荷電圧を安定化する制御手法を実現する回路構成について議論し、二次側 AC-DC コンバータを用いる回路構成が適していると結論付け、一次側をフィードフォワード制御、二次側をフィードバック制御とする負荷電圧制御手法を提案している。シミュレーションと実験において提案制御法により定電力負荷への安定したワイヤレス給電を実現している。

第 7 章「相互通信を要さない伝送電力制御」では、回路パラメータ誤差・負荷変動・結合係数変動といった複数の要因に対して伝送電力の不足を生じさせないための制御手法を提案している。二次側 AC-DC コンバータの動作状態を一次側で推定可能であることを理論と実験で示すとともに、推定した情報を用いた一次側のフィードバック制御手法を提案している。これにより第 5 章と第 6 章で提案した制御手法の課題を解決している。シミュレーションと実験において定電圧負荷と定電力負荷のいずれにおいても提案制御法を用いることで安定した電力伝送が実現されることを示している。

第 8 章「結論」では本論文で提案した電力変換回路構成の一般化と伝送電力制御手法について振り返り、本論文のまとめとしている。

以上これを要するに、本論文は磁界共振結合ワイヤレス給電における電力変換回路の構成を一般化することで所望の動作条件に適した回路構成を明確化するとともに、モータをはじめとする定電力負荷へのワイヤレス給電を実現する伝送電力制御手法を確立したものであり、自動車分野に限らず幅広いアプリケーションでのワイヤレス給電の産業応用に寄与する理論を提案し、実験によりその有効性を示していることから先端エネルギー工学、電気電子工学、制御工学などの分野への貢献が少なくない。

したがって、博士（科学）の学位を授与できると認める。

以上 1,999 字