

学 位 論 文 の 要 旨

ワイヤレス電力伝送における受電装置の移動に適応して受電装置に安定的に電力を供給する技術の研究

(Research on technology to stably supply power to the power receiving device by adapting to the movement of the power receiving device in wireless power transfer)

氏 名 菊地 秀雄 印

本研究は、磁界共振結合によるワイヤレス電力伝送システムを実用化するために必要な設計技術を示し、実用化のために重要な技術課題を明らかにすることを目的として行なった。そのために、シミュレーション駆動による研究によって、シミュレーションを指針として設計し、また、実験体制を構築し、実験に連携させてシミュレーション技術を改善することで、研究のアプローチを改善・構築して研究を進めた。

本研究では、磁界共振結合によるワイヤレス電力伝送の特長である、コイルの寸法よりも大きい距離までワイヤレスで電力を伝送する特徴を發揮させるため、ワイヤレス電力伝送を行なう周波数として **2MHz** の周波数を選んで実験した。それは、電気自動車のワイヤレス電力伝送用に規格が定められている **85kHz** よりも高い周波数である。

磁界共振結合方式のワイヤレス電力伝送の機能を發揮させるためには、その主要な回路である、送電コイル共振回路、及び、受電コイル共振回路の **Q** 値を高くすること、その共振回路の等価直列抵抗を低くすることが重要な課題である。その共振回路の等価直列抵抗を生じる原因が共振用コンデンサーにあるかコイルにあるかの原因を分析した。その原因は、指針となるシミュレーション手法を整えてコイルの AC 抵抗のシミュレーションを正確に行なえるようにすることで分かった。シミュレーションと実験の連携によって、共振回路の等価直列抵抗の主要な部分がコイルの AC 抵抗であることが分かった。

また、**2MHz** の周波数での実験により、コイルの AC 抵抗が、表皮効果の表皮の厚さの導体の抵抗よりも約 **5** 倍大きくなることが分かった。その AC 抵抗が主に、コイルの巻き線のワイヤの近接効果によって生じていることが分かった。近接効果

のメカニズムを詳しく把握するための十分な情報は、コイルの AC 抵抗のシミュレーションを正確に行なえるようにすることで得られた。シミュレーションにより、コイルの近接効果は、コイルの形状に依存することが分かった。コイルの形状と近接効果の関係を調べることにより、新しい構造のコイルによって近接効果が低減できることを発見した。その新しい構造のコイルによって、コイルの AC 抵抗が小さく Q 値が高いコイルが得られた。

ワイヤレス電力伝送システムは、Q 値の大きい送電コイルと受電コイルを使って効率良くワイヤレス電力を伝送するため、強い磁界を利用してワイヤレスに電力を伝送する。その当然な論理的帰結として、その強い磁界によって電子装置が影響を受ける問題があった。その影響を受けないように測定回路を改善して実験を進めた。

4つのコイルを用いた磁界共振結合方式のワイヤレス電力伝送システムの実験から、送電コイルと受電コイルを近づけ過ぎると逆にワイヤレス電力伝送の効率が落ちることを確認した。解析の結果、その現象が、隣接しないコイル間のコイルの結合係数の影響によって生じることが分かった。

3つのコイルを用いた磁界共振結合方式のワイヤレス電力伝送システムの実験で、入力インピーダンスが 1Ω 程度の模型自動車の直流モーターの負荷に給電した。その実験で、走行中の模型自動車のモーターに直接的にワイヤレス電力伝送して模型自動車を走行させることに成功した。

学 位 論 文 の 要 旨

ワイヤレス電力伝送における受電装置の移動に適応して受電装置に安定的に電力を供給する技術の研究

(Research on technology to stably supply power to the power receiving device by adapting to the movement of the power receiving device in wireless power transfer)

氏 名 菊地 秀雄 印

The purpose of this study is to show the design technology necessary for practical use of a wireless power transfer system by magnetic field resonance coupling, and to clarify important technical issues for practical use.

Through simulation-driven research, we designed simulations as guidelines, built experimental systems, and improved simulation technology in collaboration with experiments to improve and build research approaches.

In this research, in order to demonstrate the characteristics of wireless power transfer by magnetic field resonance coupling, which transmits power wirelessly to a distance larger than the dimensions of the coil, we selected a frequency of 2 MHz as the frequency for wireless power transfer and conducted experiments. It is a frequency higher than 85kHz, which is standardized for wireless power transfer in electric vehicles.

In order to fully utilize the wireless power transfer capability of the magnetic field resonance coupling method, it is necessary to increase the quality factor of the sending coil resonance circuit and the receiving coil resonance circuit, which are the main circuits, and reducing their equivalent series resistance is an important issue. We analyzed whether the cause of the equivalent series resistance of the resonant circuit is the resonant capacitor or the coil. The cause was found by preparing a simulation method as a guideline so that the AC resistance of the coil could be simulated accurately. Through the cooperation of simulation and experiment, it was found that the main part of the equivalent series resistance of the resonant circuit is the AC resistance of the coil.

Experiments at a frequency of 2 MHz also showed that the AC resistance of the

coil was about five times greater than the resistance of the skin-thick conductor of the skin effect. It was found that the AC resistance was mainly caused by the proximity effect of the wire winding of the coil. Sufficient information to understand the mechanism of the proximity effect was obtained by accurately simulating the AC resistance of the coil. Simulations have shown that the proximity effect of the coil depends on the shape of the coil. By investigating the relationship between the shape of the coil and the proximity effect, we discovered a coil with a new structure that can reduce the proximity effect. With the coil of the new structure, a coil with lower AC resistance and higher quality factor was obtained.

Wireless power transfer systems use a strong magnetic field to wirelessly transmit power from a sending coil to a receiving coil. As a natural logical consequence, there was a problem that the electronic device was affected by the strong magnetic field. The measurement circuit was improved so as not to be affected by it, and the experiment was advanced.

From an experiment of a magnetic field resonance coupling type wireless power transfer system using four coils, it was confirmed that if the sending coil and the receiving coil are too close to each other, the efficiency of wireless power transfer decreases. As a result of the analysis, it was found that the phenomenon is caused by the influence of the coupling coefficient of the coils between the non-adjacent coils.

In an experiment of a magnetic field resonance coupling type wireless power transmission system using three coils, power was supplied to the load of a DC motor of a model car with an input impedance of about 1Ω . In that experiment, we succeeded in running the model car by wirelessly transmitting power directly to the motor of the running model car.