

巻線間の放電電圧を考慮した大電力ワイヤレス給電用伝送コイルの設計検討

山縣一輝（長岡技術科学大学）・日下佳祐（長岡技術科学大学）

1. はじめに

ワイヤレス給電用コイルの設計手法として、一般的に最大効率条件を基に結合係数とインダクタンスを決定する手法⁽¹⁾が用いられている。本手法により高効率な電力伝送が可能となるが、コイルの物理的寸法については考慮されていない。特に、コイルの巻線間隔については共振電圧による放電の観点から、検討が必要である。

そこで本研究では、最大効率条件と巻線間の放電防止に着目したコイルの設計検討を実施したので報告する。

2. 巻線間の絶縁に必要な巻線間隔の解析

図1に解析で使用した巻線モデルを示す。本研究ではコイルの巻線に水冷が可能な銅パイプを使用する。本モデルに対して電界解析を行い、巻線間の放電防止に必要な巻線間隔を導出した。なお、解析時間削減のため巻線2本分を模擬したモデルを採用した。

本解析では、モデルの巻線間隔を0.5~100 mmの間で変化させた場合の、巻線間中央部の電界強度を評価した。なお、各電圧値に対して絶縁に必要な巻線間隔は、空気絶縁破壊電界 1 kV/mm から2倍のマージンを取り、巻線間中央部の電界強度が0.5 kV/mmとなる値とした。

3. インダクタンスと結合係数の解析

コイル設計の方針として、コイルの巻数、コイル幅、巻線間隔、gap を設計パラメータとし、それらの組み合わせによる結合係数とインダクタンスの変化を電磁界解析で求め、得られた結果から最大効率条件と前節の巻線間隔の要件を満足するパラメータの組み合わせを採用する。図2に解析用の伝送コイルモデルを示す。

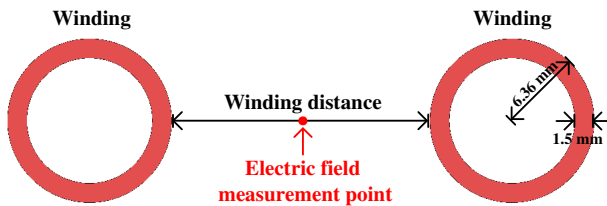


図1 電界解析用巻線モデル
Fig. 1. Winding model for electric field analysis.

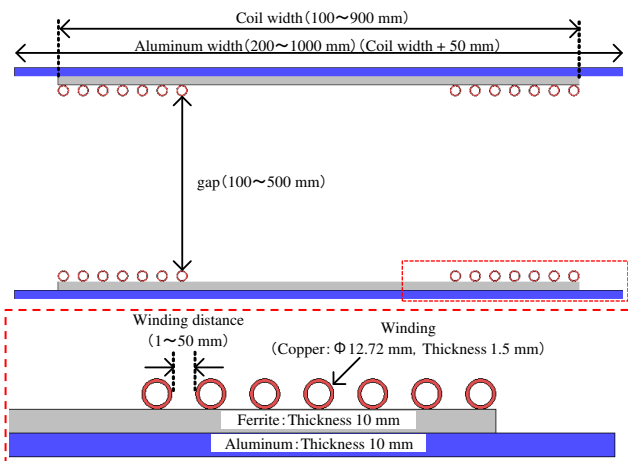


図2 解析用伝送コイルモデル
Fig. 2. Transfer coil model for analysis.

本研究では、目標の伝送電力を 500 kW、電源電圧を 600 V とした。

図3に解析結果の一例として巻数を 7turn とした場合の結果を示す。図3にはコイルの結合係数及びインダクタンス値と、最大効率条件を基に作成した曲線の比較を示している。また、前節の解析で得た巻線間隔の結果を基に導出した結合係数に対する巻線間隔の要件を満足しているものは丸、満足していないものはバツ印で示している。

図3の曲線の左下に位置する点を選ぶと、通流する電流が過剰となり伝送効率が低下する。一方、右上の点を選択すると、高効率での電力伝送が可能となるが、曲線から離れるに従い伝送電力が低下していく。また、バツ印の点を選ぶと巻線間隔が不十分だが、丸の点を選択すると絶縁可能な巻線間隔を確保していることになる。従って、巻線間の絶縁を確保して高効率で目標の電力を伝送するためには、曲線上に位置する丸印のパラメータでコイルを設計する必要がある。図4に両方の条件を満足する設計の例として図3の a, b 点のパラメータで設計したモデルを示す。設計の際は所望のコイルサイズと伝送距離を基に上記の設計パラメータを決定することになる。

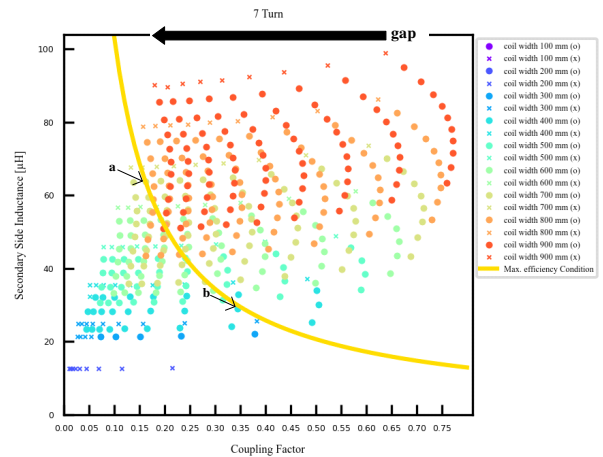


図3 解析結果と最大効率条件及び巻線間隔要件の比較結果
Fig. 3. Comparison of analysis result with max. efficiency condition and winding distance requirement.

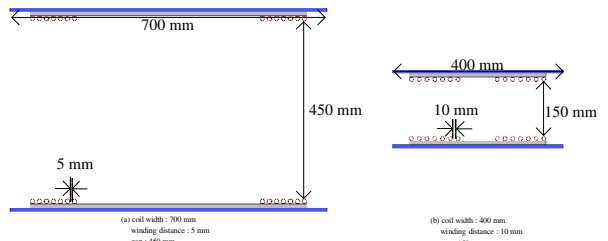


図4 両方の条件を満足する設計パラメータのコイルモデル
Fig. 4. Coil model with design parameter that satisfies both conditions.

文献

- (1) Roman Bosshard, Johann Walter Kolar, Jonas Mühlethaler, Ivica Stevanović, Bernhard Wunsch, Francisco Canales, "Modeling and η - α -Pareto Optimization of Inductive Power Transfer Coils for Electric Vehicles", vol. 3, no. 1, pp. 50-64, (2015)