

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 8 日現在

機関番号：32675

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2017

課題番号：16K18066

研究課題名(和文)フレキシブルアンテナを用いた磁界共振結合方式の無線給電に関する研究

研究課題名(英文) Research on wireless power transmission via magnetic resonance coupling using flexible antenna

研究代表者

中村 壮亮 (NAKAMURA, Sousuke)

法政大学・理工学部・講師

研究者番号：20634695

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：磁界共振結合方式の無線給電ではアンテナを始めとした構成要素は剛体が前提であり、組み込み先の柔軟性が失われるため、日常生活での用途が制限される問題があった。そこで、フレキシブルアンテナを用いた磁界共振結合方式の無線給電技術の確立を本研究の目的とした。研究成果としては、本研究の肝となるソフトスイッチングによる低消費電力での共振補償の技術を確立し、リアクタンス変動を低減するアンテナ構造に関しても模索した。また、それらに基づき、シミュレーションベースではあるが無線給電回路系を構築し、リアクタンス変動を想定した際の容量制御有無と理想共振回路における送電効率比較を行い、共振補償機能の有効性を示した。

研究成果の概要(英文)：There was a critical problem that only rigid antenna could be used for wireless power transmission via magnetic resonance coupling. Therefore, the purpose of this research is to establish the technologies for wireless power transmission via magnetic resonances using flexible antenna.

We have achieved following results. First, we established the low-energy consuming resonance compensation technique by soft switching which is the main point of this wireless power transmission system. Then, the antenna structure which enables suppression of reactance variation have been researched to some extent. Finally, although the results are only derived through simulations, we have dealt with the wireless power transmission circuit and evaluated the performance of resonance compensation in point of transmission efficiency, in case of reactance variation occurring. The result proved that the resonance compensation technique is useful for maintaining the efficiency.

研究分野：電気工学

キーワード：磁界共鳴式無線給電 フレキシブルアンテナ 共振補償制御

1. 研究開始当初の背景

モバイル・ウェアラブル機器への無線給電における次世代の主力方式として、電磁波方式より安全で電磁誘導方式より給電範囲が広い、磁界共振結合方式の無線給電が期待されている。しかし、アンテナの共振状態を維持する都合上、現状ではサイズの大部分を占めるアンテナ部は剛体が前提となっており、組み込み先の柔軟性喪失によって日常生活での用途が制限される事が、今後のモバイル機器普及の際の潜在的な問題として懸念されている。

近年では、導電性インク・導電性繊維などの技術革新によりフレキシブル回路の作成は容易となっており、フレキシブルアンテナの作成自体は可能である。従って、フレキシブルアンテナを利用した場合であっても共振状態の維持を可能とする自動共振補償機能が求められている。

そこで、アンテナのリアクタンス変動をキャパシタの容量制御によって吸収する手法が考えられるが、送電用途では通信で用いられるバリキャップが利用できないことや並列接続された容量値の異なるキャパシタの組み合わせによって所望の容量値を実現する容量制御法では高 Q 値を維持するとすると回路が肥大化するなど、既存のものでは問題があった。

2. 研究の目的

上述した通り、研究開始当初では、磁界共振結合方式の無線給電においてフレキシブルアンテナを利用するに当たって、共振補償機能の実現方法が明らかではなかった。

このような状況を受けて本研究では、フレキシブルアンテナを用いた磁界共振結合方式の無線給電技術の確立を目的とし、必須要素である共振補償機能およびリアクタンス変化を抑えたアンテナの実現方法を明らかにし、実際に給電システムを構築して給電効率測定などを行うことで有用性を確認する事とした。

そして、これらを以下の3つの課題を通して達成する事とした。

課題 I

実用的な共振補償機能の実現

課題 II

形状変化によるリアクタンス変化の少ないフレキシブルアンテナの実現

課題 III

フレキシブルアンテナ間での無線給電システムの構築と給電効率の評価

3. 研究の方法

前述の通り、3つの課題に関して取り組んできたので、それぞれに関して研究の方法を述べる。

(1) 課題 I

実用的な共振補償機能の実現

共振補償の核となる可制御容量の実現にまずは取り組む事とした。提案しているソフトスイッチングによる ZVS での等価容量制御に関して、LTSpice での回路シミュレーションと理論的定式を通して、その実現可能性の確認と回路設計を行う。そして、実際に回路を実装する事で動作確認を行う。

(2) 課題 II

形状変化によるリアクタンス変化の少ないフレキシブルアンテナの実現

形状変化による電気特性変化をリアクタンスの変動率と捉え、それを準最小化するアンテナ構造を電磁界シミュレータ JMAG などを利用して試行錯誤により求める。

時間が無い場合には、既に決め打ちで検討している、アンテナのセグメント化についてその効果を確認するに留める。

(3) 課題 III

フレキシブルアンテナ間での無線給電システムの構築と給電効率の評価

共振補償制御を取り込んだ無線給電システムをシミュレータで構築して性能評価を行う。また、時間が十分にあれば、実際のシステムを実装して評価を行う。

4. 研究成果

(1) 課題 I

まず、当初は以下の回路によって共振補償機能の実現を検討した。(図1, 2)

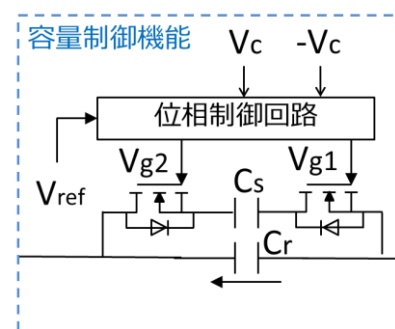


図1 大電力伝送可能な容量制御回路の構成

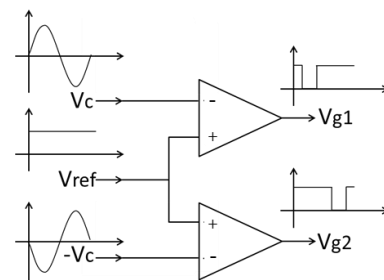


図2 位相制御回路の構成

ここで、 C_r をベースの固定容量値とし、その信号に位相同期する形で C_s を ZVS させる構成となっている。
これを単体で Spice 上に作成し、等価容量とデューティ比 (以下、D 比) との関係を導出した結果が以下になった。(図 3)

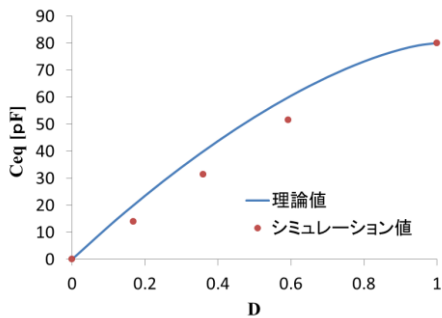


図 3 等価容量と D 比の関係

その結果、等価容量は理論値に漸近した値ではあるものの、D 比が 0.5 付近では乖離が大きくなっている事が判明した。これは、ZVS といえども高調波成分が発生するためである。しかし、共振結合型の無線給電では共振周波数においてはバンドパスフィルタ回路のように振る舞う事で、高調波成分は実質的には電力損失にならずに一次側で電源への帰還電力となる事が想定されるため、性能劣化の要因として無視し出来ると結論付けた。

そこで、この単体モジュールを以下のように回路実装して実評価を行った。(図 4)

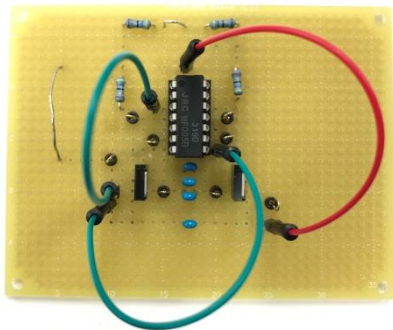


図 4 可制御容量回路

D 比 0, 0.5, 1.0 の時の結果を以下に示す。(図 5, 6, 7)

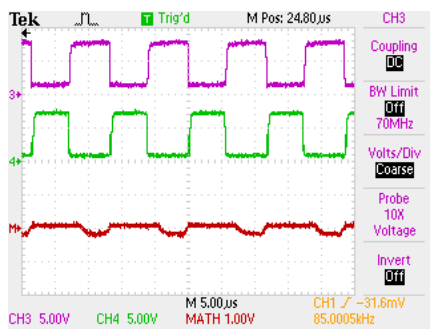


図 5

D 比 0 (完全非導通)

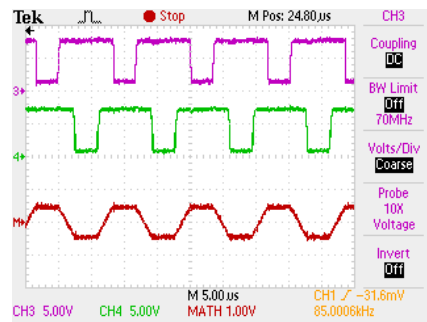


図 6 D 比 0.5 (制御)

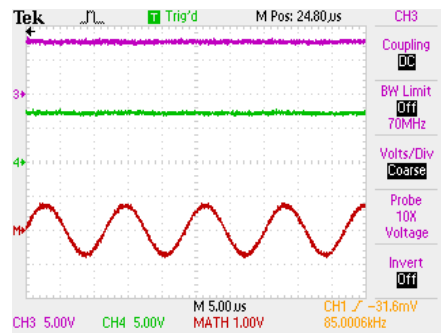


図 7 D 比 1.0 (完全導通)

このように、ほぼシミュレーション通りの結果となったが、図 5 に示すように完全非導通であってもリップルが乗る結果となった。

これに関しては、実際に組み込む際には容量制御の範囲を D 比 0~1 などとせず、波形が崩れず安定動作する D 比の範囲とすることで解決されると結論付けた。

(2) 課題 II

アンテナを以下のように 4 分割のセグメントに分けて、セグメント分けを行わない場合と、形状変化に対するリアクタンスの変動を評価した。(図 8)

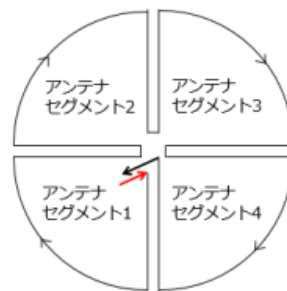


図 8 アンテナのセグメント分割イメージ

その結果、セグメント分割により、形状変化が生ずるセグメント領域にリアクタンスの変動が限定される事で、リアクタンス変動が幾分か抑制される事が分かった。しかし、時間の都合上、本課題に本格的に取り組む事は出来なかったため、アンテナ設計まで持ち込むにはさらなる調査および理論検討が必要である。

(3) 課題Ⅲ

課題Ⅰの結果により、可制御容量回路が実現できることが分かった。それを用いて、アンテナ形状変化に伴うリアクタンス変動をリアルタイムで吸収して共振を維持するという共振補償制御機能の実現と、それを用いた無線給電システムの性能評価を行った。

ここでは、時間の都合上、実システムの構築までは至らなかったが、シミュレーションモデルを構築して評価を行った。

シミュレーションモデルは、給電高効率化を目的として、以下のように2次側に共振補償制御機能を組み込んだものとした。(図9)

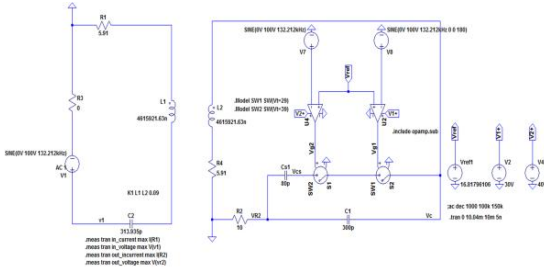


図9 二次側共振補償による高効率給電

容量値は 313.935pF を目標として設定し、シミュレーションを行った。共振補償制御を行った場合、制御を行わない場合、理想共振回路が構成出来た場合、の3通りで送電効率の結果を導出したところ、以下の通りとなった。(図10)

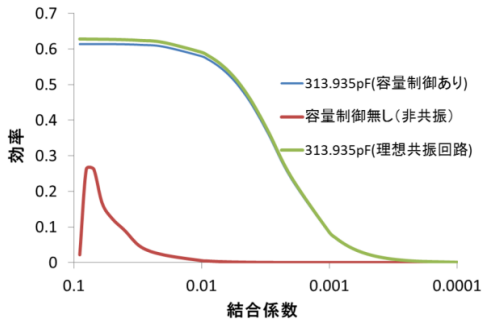


図10 共振補償有無による送電効率の比較

その結果、共振補償制御を行わない場合では、効率が著しく劣化しているのに対し、共振補償制御を行う事で、理想共振回路とほぼ同等の送電効率を得られる事が示された。

このように、課題Ⅰ～Ⅲを通して、フレキシブルアンテナを用いた磁界共振結合方式の無線給電を行うに当たって、その実現可能性を示すとともに、基本となる特性や回路及びシステムの設計指針を明らかにした。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔学会発表〕(計1件)

①宮浦 隆宏, 鶴田 義範, 中村 壮亮, “磁界共振式無線給電における容量制御機能を用いた共振補償に関する基礎検討”, 電気学会全国大会, 4-135, 2018.3.

〔産業財産権〕

○出願状況 (計1件)

名称: 受電装置、ウェアラブルデバイス、及び非接触給電システム

発明者: 中村壮亮, 宮浦隆宏, 鶴田義範

権利者: 学校法人 法政大学、株式会社 ダイヘン

種類: 特許

番号: 041691

出願年: 2018年

国内・国外: 国内

〔その他〕

ホームページ等

<http://s-nakamura-lab.ws.hosei.ac.jp/>

6. 研究組織

(1)研究代表者

中村 壮亮 (NAKAMURA, Sousuke)

法政大学・理工学部・講師

研究者番号: 20634695