

令和 4 年 6 月 15 日現在

機関番号：14603

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2021

課題番号：20K14736

研究課題名（和文）Load-Independent Output Design and Isolation Method for Multiple-Input Multiple-Output Inductive Power Transfer

研究課題名（英文）Load-Independent Output Design and Isolation Method for Multiple-Input Multiple-Output Inductive Power Transfer

研究代表者

DUONG QuangThang (DUONG, QuangThang)

奈良先端科学技術大学院大学・先端科学技術研究科・助教

研究者番号：40757811

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）：本研究は多数の送受電コイルからなる無線給電における干渉除去技術の構築を目的とし、5つの検討に分けて進めた。検討1では、伝送系に損失がない理想の条件で簡易設計を行った。検討2では、損失がある前提で設計し直した。検討3では送受電側それぞれが自分のパラメータしか把握できないと現実に近い条件で解を求めた。これらの検討は成功に終わり、特に検討3では中継コイルを用いた無線充電にも設計を拡張できた。検討4と5では、期待した電力拡大効果並びに漏洩電磁界低減効果は部分的に確認できたものの決定的な結論まで至っていない状況にある。本研究は、1件の学術論文、10件の学会発表と2件の受賞で概ね成功に終わったと思われる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は多対多無線電力伝送を利用し、多数の安価な小型電源で安全に給電電力を拡大しようとしている。この伝送形態を行う際、送電コイル間干渉また受電コイル間干渉が必然的に発生しシステムの効率と安定性を劣化させるため、本研究では干渉除去技術を提案した。提案した設計はコイルの数と配置が限定されることなく任意に定められた場合に適用でき、今までにない一般解である。これで多対多無線給電の懸念材料である干渉問題は解決され、今後この技術の幅広い応用と盛んな研究に貢献できたと思う。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this research was to develop a crosstalk mitigation method for wireless charging having arbitrary numbers of transmitters and receivers. First, we studied this problem in ideal condition of lossless transmission (work package [WP] 1), then improved the solution for lossy transmission (WP2), and refined the solution for the case when only partial transmission parameters are known (WP3). These WPs were completed. Especially, in WP 3 we successfully developed a solution that is easy to implement for a special case of relayed wireless charging. In WP4 and WP5, we confirmed the effects of enhancing power and suppressing leaked magnetic field by using multiple transmitters but these results need further analysis to draw concrete conclusions. Overall, the research purposes were accomplished with 1 journal paper, 10 conference presentations and 2 awards.

研究分野：電気情報通信

キーワード：多対多無線給電 干渉除去 安全性

1. 研究開始当初の背景

(1) 電磁誘導に基づく無線給電技術はケーブルを使わなくてもモバイル機器、無人搬送車、電気自動車等を充電できる。近年、より高い電力を無線で送るために活発な研究開発が行われている。現在では、高周波電源設備の性能向上、送受電コイルの許容電圧・許容電流の改善等を遂げて大電力ワイヤレス給電の実現は主流の動向である。中では、米国オークリッジ国立研究所の研究グループは100kW級ワイヤレス給電①を実現できている。

(2) 上述した大電力伝送は1つの送電コイルと1つの受電コイルからなる従来の伝送形態で行われており、卵を1つのカゴに盛るような伝送方法であるため安全性に問題がある。これに対して本研究は多対多伝送形態を利用し、多数の安価な小型電源で安全に大電力伝送を実現しようとしている。

(3) 多対多伝送を行う際、送電コイル間干渉また受電コイル間干渉が必然的に発生しシステムの効率と安定性を劣化させるおそれがある。送電側または受電側で干渉を回避するために、各々のコイルの配置を工夫したり、コイル形状を工夫したりすることが一般に考えられるが、これらの方法を適用すると使用できるコイルの形状、配置及び数は限定されるため、あらゆる多対多伝送形態の実装はできなくなる。

2. 研究の目的

そこで、幅広い多対多無線給電の実装のために本研究ではコイルの数と配置が任意に定められた場合に対して干渉除去技術を提案する。本提案を通じて多対多伝送を干渉問題から開放し、大電力無線給電を安全に実現する等この技術の幅広い応用に貢献することを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 本研究は次の通り5つの検討に分けて段階的に進めた。検討1では、伝送系に損失がない理想の条件で簡易な設計を行った。これを基に、検討2では損失がある前提で設計を修正し、検討3ではより現実に近い条件(送受電側それぞれが自分のパラメータしか把握できない前提)で最終解を求めた。検討3で求めた設計を適用すると複数の電源からの信号はお互いに干渉しないため使用電源の個数倍だけ電力が拡大することと、各信号の位相を調整してシステムからの漏洩電磁界を抑制できることが期待される。検討4と5ではこれらの効果を評価した。

(2) 上述した5つの検討については、まず数学モデルで最適解を解析で求め、計算機シミュレーションまたは検証実験で最適解の有効性を確認した。

4. 研究成果

(1) 検討1では干渉の逆特性を持つ回路を受電側の実装することで干渉を除去できることを明らかにした。分かりやすくするために、2つの送電コイルと2つの受電コイルからなる2対2無線給電システムを例に挙げて説明する。図1は干渉除去が施されない場合を表す。その際、干渉信号(赤い点線の部分)の影響で、負荷2の抵抗値が変動すると負荷1の電圧も変動する。また、図中には示していないが、同様負荷2の抵抗値が変動すると負荷1の電圧も変動する。図2は干渉信号の逆特性を持つ回路を受電側につけて干渉除去を施した場合を示す。この回路を実装するために受電側では干渉状況のすべて(図中の赤い点線4本)を把握していることが必須条件である。その時、負荷2の抵抗値が変動しても負荷1の電圧は変動しない。逆に負荷2の抵抗値が変動しても負荷1の電圧は変動しない。これに加え、すべての干渉部分を取り除かれたため2つのシステムが独立している。この状態では仮にシステム1が切れてもシステム2はそのまま給電でき、システムが安定に動作している。

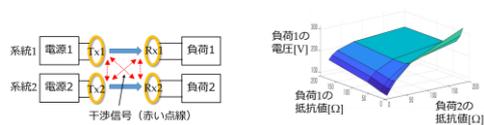


図1 干渉除去が施されない2対2無線給電

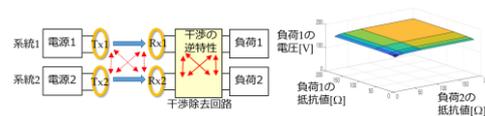


図2 干渉除去が施された2対2無線給電

(2) 検討1の方法は、伝送系に損失（コイルの内部抵抗値）が非常に小さい場合効果があるが損失が大きくなるにつれ効果を発揮できなくなる。その対策として検討2では、干渉除去回路の一部を送電側に移動させ送電側で分割することで特性改善を図った。具体的に図3に示すように送電コイル1 (Tx1) と送電コイル2 (Tx2) との干渉を送電側で除去し、それを除いたすべての干渉信号を受電側で除去する。

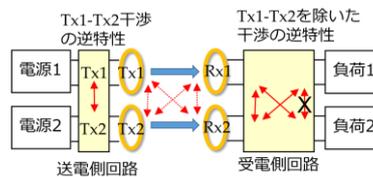


図3 干渉除去回路を送電側と受電側に分割することで損失の影響を低減する方法

(3) 検討1と2では解析が簡単になるために干渉状況のすべてを把握できていると仮定したが実際ではそのような仮定は満たされない場合が多い。実際のところ送電側では自分のコイルの間にある干渉 (Tx1-Tx2 の部分) だけ把握できる。同様に受電側では自分のコイルの間にある干渉 (Rx1-Rx2 の部分) しか把握できない。検討3では、このように干渉状況を部分的にしか把握できない実際に近い条件を仮定した。その前提では、図4に示すように、送電側では Tx1-Tx2 の干渉を除去し、受電側においては同様に Rx1-Rx2 の干渉を除去する。この時、Tx1-Rx2 の干渉と Tx2-Rx1 の干渉は残っているためシステム間の独立性は達成できないが各システムの負荷電圧あるいは負荷電流の安定性は補償できる。Tx1-Tx2 干渉が除去された2つの送電コイルは一つになり、同様に2つの受電コイルも一つになるため、負荷電流と負荷電圧の特徴でいうと1対1伝送と類似である。すなわち、2つの送電コイルに定電圧を印加すると受電側には負荷抵抗に対して安定な電流が流れる。また、2つの送電コイルに定電流を流すと受電側には負荷抵抗に対して安定な電圧がかかる。このような安定した負荷電圧・負荷電流は応用面では求められる特徴である。

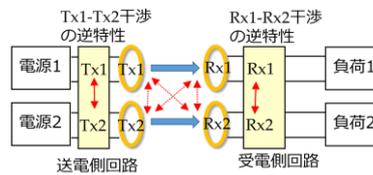


図4 干渉を部分的に把握している場合の干渉除去方法

(4) (3)の結果をM個の送電コイルとN個の受電コイルからなる伝送系に拡張した。こうすることによりコイルの個数と配置等限定されることなく、あらゆる多対多伝送形態の実装を可能にする。この成果をジャーナル論文にまとめて現在投稿中である。

(5) 上述した設計方法を図5に示す中継無線電力伝送に応用した。中継無線電力伝送は伝送距離が遠い場合送電側と受電側の間に位置する別のコイルに信号を中継してもらうことで受電電力を維持する方法である。中継コイルはこの伝送に協力するものの自分も受電対象であるため安定した電圧を必要とする。このニーズを満たすために、

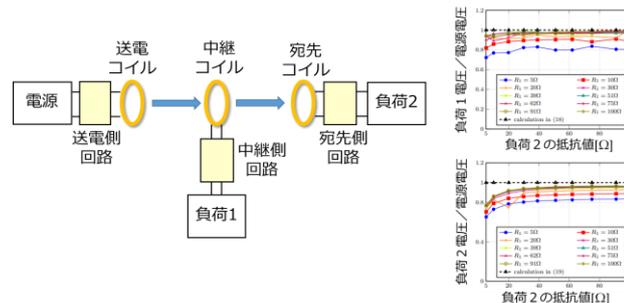


図5 中継無線電力伝送への応用

(3)で得られた知見を拡張して図5のグラフに示すように中継コイルの負荷電圧と宛先コイルの負荷電圧を安定させた回路設計を提案した。

(6) 上述した検討で求めた設計を適用すると複数の電源からの信号はお互いに干渉しないため、使用する電源の個数倍だけ電力が拡大することと、各信号の位相を調整してシステムからの漏洩電磁界を抑制できることが期待できる。検討4では電力拡大効果は確認できたが計算機シミュレーションでの確認にとどまった。検討5では漏洩電磁界低減は見られたがそれと同時に電力伝送効率の低下も観測したため、効果があると断言できない状況にある。これに関しては今後引き続き検討する予定である。

(7) 業績としては学術論文を1件と学会発表を2件行い、指導学生は学会発表で2件の受賞を受けた。

<引用文献>

① (米) オークリッジ国立研究所の100kW級ワイヤレス給電

URL:<https://www.ornl.gov/news/ornl-demonstrates-120-kilowatt-wireless-charging-vehicles>

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計8件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 7件）

1 . 発表者名 Q. T. Vo, Q. T. Duong, M. Okada
2 . 発表標題 Cross-Talk Mitigation Using Band-Stop Filters for Multiple-Frequency One-To-Multiple Inductive Power Transfer
3 . 学会等名 The 15th European Conference on Antennas and Propagation (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 Y. Sakamaki, Q. T. Duong, M. Okada
2 . 発表標題 Experimental evaluation of series resonance scheme for 2x2 MIMO IPT
3 . 学会等名 2020 International Symposium on Antennas and Propagation (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 Q. T. Vo, Q. T. Duong, M. Okada
2 . 発表標題 Two-frequency One-to-Two Inductive Power Transfer System with Load-independent Output Voltages
3 . 学会等名 2020 Asian Wireless Power Transfer Workshop (国際学会)
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 Y. Sakamaki, Q. T. Duong, M. Okada
2 . 発表標題 Investigation on Impact of Phase Difference on Series Resonant 2×2 MIMO IPT System
3 . 学会等名 2020 Asian Wireless Power Transfer Workshop (国際学会)
4 . 発表年 2020年

1. 発表者名 Q. T. Vo, Q. T. Duong, M. Okada
2. 発表標題 Efficiency Comparison of Cooperative Inductive Power Transfer Systems
3. 学会等名 2020 International Conference on Advanced Technologies for Communications (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 T. Ohashi, Q. T. Duong, M. Okada
2. 発表標題 Evaluation of Inductive Power Transfer System for Mobile Using Receiver-Side Compensation Circuit
3. 学会等名 International Symposium on Medical Information Communication Technology (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 S. Isogai, Q. T. Duong, M. Okada
2. 発表標題 A Flexible Design of Secondary-Side Compensation Circuit for Inductive Power Transfer
3. 学会等名 International Symposium on Medical Information Communication Technology (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 酒巻有吾, ズオンクアンタン, 岡田実
2. 発表標題 2×2磁界結合型ワイヤレス給電システムのための直列共振回路に関する一検討
3. 学会等名 電子情報通信学会無線電力伝送研究会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

- [1] 酒巻有吾、Student Award、2020 Asian Wireless Power Transfer Workshop、台湾、台北、2020年12月18日  
[2] 酒巻有吾、電子情報通信学会関西支部優秀論文発表賞、立命館大学びわこ・くさつキャンパス、2021年2月9日

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------