

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 14 日現在

機関番号：32644

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2015

課題番号：24760304

研究課題名(和文)ブロードバンド通信を利用した無線電力伝送システムの高効率化

研究課題名(英文)High Efficiency of Wireless Power Transfer with Broadband Communication

研究代表者

稲森 真美子(Inamori, Mamiko)

東海大学・工学部・講師

研究者番号：70571222

交付決定額(研究期間全体):(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文):現在,コードを用いずに無接点または無線で情報通信機器や電化製品へ電力を供給する無線電力伝送が注目を集めている.中でも電界・磁界共振を利用した方式は,電場または磁場のどちらか一方のみを共振させて電力を伝送し,送信距離は数十cm,電力の利用効率は50~60%であり,実用化されつつある.しかし,このシステムでは各素子や受信側負荷の値,送受信アンテナの位置ずれなどが伝送効率などの基本性能に影響を与える.そこで本研究ではアンテナ間の伝達特性の変化や歪みに強い広帯域OFDM信号を制御用データ通信に用い,無線電力伝送システムにおけるエネルギー伝送の高効率化をサポートするシステムの検討および実証を行った.

研究成果の概要(英文):Recent interest in wireless power transfer has been attracting a great deal of attention. Transmitting and receiving antennas in the resonant coupling system need to create non-radiative and induced magnetic field. A practical implementation can be applied by using the loop antennas. However, the self-resonant coils rely on the interplay between distributed conductance and distributed capacitance, which results in the effect on the power transfer efficiency. Therefore, the circuit information in the receiver such as frequency, required power and element values need to be transmitted to the transmitter according to the request of the receiver. In this research, the equivalent circuit used in the transmitting and receiving antennas is a band pass filter and its bandwidth has been evaluated through circuit simulations and experiments. The analysis of wireless power transfer by magnetic resonance is also investigated.

研究分野：無線通信

キーワード：無線電力伝送 磁界共振 データ通信 OFDM

1. 研究開始当初の背景

近年、ワイヤレス技術はその急速な発展・普及により、人々のライフスタイルを大きく変えるまでの影響力を持つに至った。その中でも無線電力伝送は革新的な技術として特に注目されており、その便利さと効率の良さから次世代を担う画期的な給電法として盛んに研究されている。

この無線電力伝送の技術には現在、(1)電磁誘導方式(2)電波受信型方式(3)電界・磁界共振方式の3つの方式が主流であるが、電力を伝送できる距離及び電力はそれぞれ異なるため用途ごとに使い分ける必要がある。特に、電界・磁界共振を利用した方式では電場または磁場のどちらか一方のみを共振させて電力を伝送し、電力を送信できる距離は数十cm、送信できる電力は数百W以下、周波数は数～数百MHz、電力の利用効率は50～60%であるため、少し離れて使えるワイヤレス給電となる。2006年にMITから発表された無線電力伝送方式「WiTricity」やQi規格もこの電界・磁界共振結合を用いており、本研究においてもこの共振型無線電力伝送を想定する。

2. 研究の目的

共振型無線電力伝送の送受信アンテナとしては、放射電力が小さく、誘導磁界を容易に作る必要があるため、アンテナとしては微小ループアンテナが考えられる。同アンテナはコイルの巻き数を変えることで、外部寸法を変えずに発生させる誘導磁界を変化させることができる。しかし、このシステムではコンデンサやインダクタンスなどの素子の値、充電中の負荷の変化および送受信アンテナ間の位置ずれが伝送効率などの基本性能に影響を与える。そのため、電力を無線により伝送するにはできるだけ高効率で電力伝送を行えるよう、事前に伝送する周波数、電力量および回路素子の値などのデータ通信を行うことが必要である。データ通信において、この送受信アンテナの等価回路はBPF(Band Pass Filter)とみなすことができ、その帯域幅は送受信アンテナ間距離によって変化する。特にアンテナ間が近い場合には共振分裂が起こる。また複数給電においては受信機間で干渉が発生し、エネルギー効率に影響を与える。そこで本研究ではデータ通信に共振分裂によるフェージングに強い広帯域 OFDM 信号を用いることにより、伝送エネルギーの高効率化をサポートする通信システムモデルを確立する。

3. 研究の方法

研究は、まず共振型無線電力伝送の磁界解析を JMAG で行う。そして回路シミュレーションおよび実際に作成した送受信ループアンテナを用いた実験による測定により評価を行う。

本研究では図1のような3巻コイルを送受信アンテナとして用いた。また、伝送系全てを考慮した等価回路は図2のように表される。 L_1 は送信側単体アンテナの自己インダクタンス、 R_r は放射抵抗、 C_1 は単体アンテナの線間浮遊容量、 C_0 は装荷キャパシタ、 k はコイル間の結合係数を表す。伝送周波数を10MHzと想定し、単体アンテナが共振周波数 $f_c=10[\text{MHz}]$ をもつように C_0 を設定する。

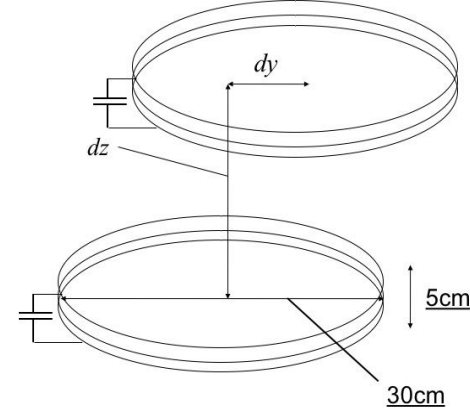


図1 電力伝送系の解析モデル

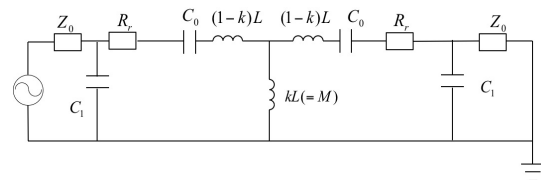


図2 電力伝送系の等価回路

本研究では、計算機シミュレーションによりベースバンドモデルにおける提案システムの特性を誤り率により評価し、その有効性および信頼性について検討を行う。また同時に複数の給電を行う場合には受信機間に干渉が発生しエネルギー伝送効率にも影響を与える。複数給電においては干渉に強い変復調方式の提案を行い、計算機シミュレーションによりその評価を行う。

4. 研究成果

(1)共振型無線電力伝送の磁界解析

磁界共振方式では磁界を介して電力の送受信を行う。その際、アンテナとしてコイルを用いる。磁界を利用した無線電力伝送の場合、磁界解析を利用したアンテナの設計が不可欠である。この際、電磁誘導方式であれば、磁界解析を直接利用して設計することができる。しかし、共振を用いた場合、磁界の特性だけでなく回路条件も必要となる。そこで実験における伝送距離に対する変化を磁界解析により再現できることを確かめた。さらに、共振時の磁界分布を解析することにより、磁界共振方式の効率が高い理由を検討した。JMAGを用いた解析により、送受信二つのコイルが一つのコイルのように動作していることがわかった。また、コイル内部の透磁率が見かけ上高くなっているように動作していることがわかった。

(2)無線電力伝送のためのデータ通信
 磁界共振型無線電力伝送技術は送受信アンテナとしてLC共振回路を用いる。この無線電力伝送システムにおけるデータ信号伝送について検討を行った。計算機シミュレーションにおいてOFDM信号を送信信号として用い、理想的なBPFとなるアンテナ間距離におけるデータ通信の誤り率の評価を行った。図3にアンテナ間距離が40cm時の周波数特性を示す。また図4にBER特性を示す。本研究において、OFDM信号は図1に示される帯域幅に収まるように送信される。この結果より、特性は理想的なBPFとなることから、回路シミュレーションと実験による測定の両方においてAWGN理論曲線とほぼ一致することが分かった。

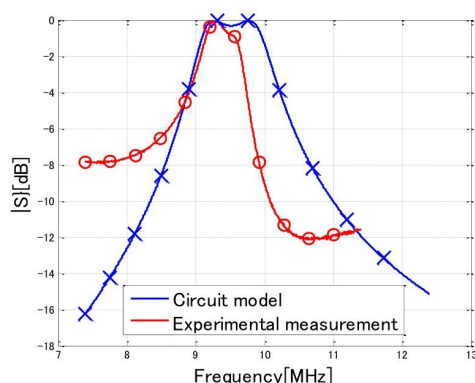


図3 アンテナ間の周波数特性 (40cm)

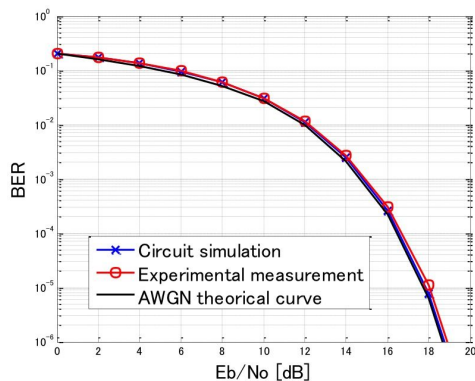


図4 64QAM+OFDMのBER特性(40cm)

(3)負荷変動におけるデータ通信の特性
 無線電力伝送システムでは充電時間の経過と共に充電側では負荷変動が生じる。この負荷変動によってBPFの帯域幅が変化するため、データ通信に電力伝送と同じアンテナを用いる場合、充電によって生じる負荷と帯域幅の変化を考慮する必要がある。そこで送受信アンテナの等価回路から回路シミュレータを用いて、 S_{21} を求め、データ通信の伝送に用いる帯域幅を決定した。また、回路シミュレータで用いる等価回路の受信側負荷を変化させることで本研究の目的である負荷変動による帯域幅の変化の影響を観察した。

S_{21} 特性を回路シミュレータを用いて導出し、図5に示す。回路シミュレータで用いた結合係数は $k=0.037$ である。帯域幅はピーク値から-3dBの位置に決めた。計算機シミュレーションを用いて算出したBER特性を図6に示す。BER特性は給電端基準では伝送効率に強い影響を受けるため、AWGN理論曲線と比較して劣化していることが分かる。

この結果より無線電力伝送におけるデータ通信においては、負荷変動によって生じる帯域幅や伝送効率を考慮に入れる必要があることがわかった。

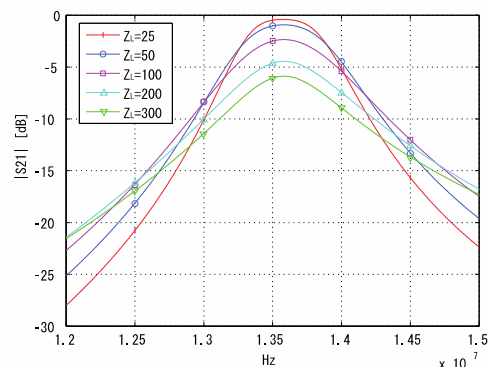


図5 アンテナ間の周波数特性 ($k=0.037$)

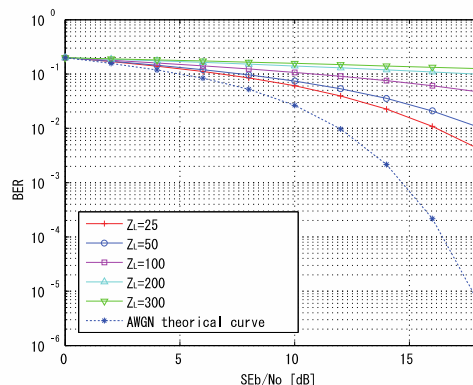


図6 64QAM+OFDMのBER特性($k=0.037$)

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)

[雑誌論文](計3件)

K. Sugeno, M. Inamori, and Y. Sanada, "Data Transmission using Transmitter Side Channel Estimation in Wireless Power Transfer System," IEICE Trans. on Fundamentals, vol. E98-A, no. 2, pp. 589-596, Feb. 2015. (査読有り)

K. Sugeno, A. Noguchi, M. Inamori, and Y. Sanada, "Effect of Load Fluctuation in Data Transmission for Wireless Power Transfer," IEICE Trans. on Fundamentals, vol. E96-A, no. 5, pp. 991-994(Letter), May 2013. (査読有り)

S. Noguchi, M. Inamori, and Y. Sanada, "Reliable Data Transmission for Resonant-type Wireless Power Transfer," IEICE Trans. on Fundamentals, vol. E96-A, no. 1, pp. 298-303, Jan. 2013. (査読有り)

[学会発表](計 11 件)

村上龍之介, 稲森真美子, 森本雅之, "共振を用いた無線電力伝送の磁界解析," 東海大学環境・エネルギー研究会, 2016年3月, 平塚.

大森俊輝, 稲森真美子, 森本雅之, "無線電力伝送の高出力化の研究," 東海大学環境・エネルギー研究会, 2016年3月, 平塚.

稲森真美子, "スマートグリッド構築のための電力供給システムの高効率化," 電子情報通信学会総合大会, BI-5-3, 2016年3月, 福岡.

村上龍之介, 稲森真美子, 森本雅之, "共振を用いた無線電力伝送の磁界解析," 半導体電力変換/家電・民生/自動車合同研究会, SPC-15-210, 2015年12月, 長岡.

菅野一樹, 眞田幸俊, 稲森真美子, "無線電力伝送システムにおける送信側チャネル推定を用いたデータ通信," 電子情報通信学会技術報告, WBS2013-67, 2014年3月, 名古屋.

K. Sugeno, Y. Sanada, and M. Inamori "Data Transmission using Transmitter Side Channel Estimation in Wireless Power Transfer System," IEEE International Symposium on Personal, Indoor, and Mobile Radio Communications, Washington DC (USA), Sept. 2014.

M. Iida, K. Sugeno, M. Inamori, and Y. Sanada, "Performance Investigation of Data Transmission in Wireless Power Transfer with Coil Displacements," in Proc. IEEE International Symposium on Personal, Indoor, and Mobile Radio Communications, London (UK), Sept. 2013.

飯田基貴, 菅野一樹, 稲森真美子, 眞田幸俊, "無線電力伝送における相対位置に応じた通信特性解析," 電子情報通信学会総合大会, A-5-6, 2013年3月, 岐阜.

野口慎平, 稲森真美子, 眞田幸俊, "磁界共振型ワイヤレス複数電力伝送における

データ通信," 電子情報通信学会技術報告, WBS2012-127, 2012年11月, 熊本.

K. Sugeno, S. Noguchi, M. Inamori, and Y. Sanada, "Effect of Load Fluctuation in Data Transmission for Wireless Power Transfer," in Proc. the 23rd IEEE International Symposium on Personal, Indoor, and Mobile Radio Communications, Sydney (Australia), Sept. 2012.

菅野一樹, 稲森真美子, 眞田幸俊, "負荷変動を考慮した無線電力伝送におけるデータ通信に関する一検討," 電子情報通信学会技術報告, WBS2012-11, 2012年7月, 名古屋.

[その他]

ホームページ等

<http://www.ei.u-tokai.ac.jp/inamorilab/contents01.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

稲森真美子 (INAMORI, Mamiko)

東海大学・工学部・講師

研究者番号: 70571222