

平成 30 年 6 月 14 日現在

機関番号：13601

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2017

課題番号：16K18058

研究課題名(和文)複数小電力デバイスに向けた低周波ワイヤレス電力伝送技術の開発

研究課題名(英文)Development of low frequency wireless power transfer technology for multiple low power devices

研究代表者

卜 穎剛 (BU, Yinggang)

信州大学・学術研究院工学系・准教授

研究者番号：70647940

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、商品の価格情報を表示する電子棚札(Electronic Shelf Label, ESL)など複数小電力デバイスに適用した低周波の50Hz電磁誘導式のユニークなワイヤレス給電装置を提案した。これにより高周波電磁漏れ問題がなくなり、ローコストで実用化が可能となる。検証実験では、一台の給電装置に最大6個の受電装置を設置した場合、最大500mWの出力電力があり、カラー液晶ESLの駆動ができた。また、各受電装置に均等に送電できる切り替え制御を提案して、従来法では、出力の変動率が30.4%に対して、切り替え制御を適用した場合は5.6%まで下げた。提案法の有用性を確認できた。

研究成果の概要(英文)：In this research, we proposed a unique wireless power transmission structure only using low frequency AC power directly from 50/60Hz electrical power line, that power supply to an electronic shelf label (ESL) which is an electrical price information device installed on the shelf to display the price of the articles for sale. As a result, high-frequency electromagnetic leakage is eliminated, and manufacturing at low cost becomes possible. We verified the feasibility to drive pluralities of ESL devices through the experiments. The maximum output power of 500 mW, when the six receiving coil devices are installed in transmitting yoke. The color liquid crystal ESL can be driven. We also proposed a switching control that can evenly output power to each power receiving ESL device. The output variation rate of the conventional method was 30.4%, and when switching control was applied, it was reduced to 5.6%. The usefulness of the proposed method was confirmed.

研究分野：工学 電気電子工学

キーワード：ワイヤレス充電 低周波数トランス

## 1. 研究開始当初の背景

### (1) ESL 無線給電の概要

ワイヤレス給電技術は、利便性と安全性があるため、電動歯ブラシや携帯電話など家電製品に実用化されている。これらの給電技術のほとんどは送電側と受電側が一对一の電磁誘導タイプである。一方、一つの送電側に対して多数の受電側を有する用途もある。一例としては、電子棚札 (Electronic Shelf Label, ESL) システムである。

ESL とは、商品棚に付けられ、商品名や単価及び産地などの情報を表示する電子表示装置である。リアルタイムでの情報更新ができるため、すでにスーパーマーケットなど小売店舗で実用されている。商品価格の設定や変動などの管理が簡単に行われ、価格の表示ミスも低減されるため、新たなマーケットとして注目されている。

### (2) ESL の現状と問題点：

これらの ESL はボタン電池で駆動され、電池の駆動能力が小さいため、モノクロの小電力液晶や簡単な表示と通信機能しか搭載できない。また、数年後に大量のボタン電池が廃棄される際の環境に負荷がかかるデメリットもある。ESL にワイヤレスで給電できれば、電池レスとなり、さらに駆動力が大幅に向上できるため、カラー液晶や、多彩な情報表示が可能になる。このような ESL ワイヤレス給電システムが実現すれば、小売分野に大変インパクトな装置になり、早急の実用化が期待されている。

### (3) 従来技術の問題点：

ESL システムに対して、従来技術では電磁界共鳴を用いたワイヤレス給電技術が開発されている。商品棚に一次側の横長のコイルを配置し、受電側(ESL)に二次側コイルを配置して、数十から数百 kHz の磁界共振を利用した回路が提案されていた。しかし、この横長のコイルでは、①開放している磁気回路のため、高周波電磁界の漏れが強く、面している人体への影響が懸念されている点、②高周波電源のコストが高価、という2つの大きな問題により実用化には至らなかった。

## 2. 研究の目的

### (1) 新しい方式の提案

上記従来技術の問題に対して、研究代表者は低電磁放射およびローコストで製造できる ESL システムに適した低周波(50/60Hz)ワイヤレス給電技術を考案し、研究を進めてきた。2本の横長の磁性レールを設置し、両端に送電コイルを設置した。レール中央に移動できる受電コアとコイルが設置されているユニークなトランス構造である。図1に提案したレールトランスの基本構造を示した。

受電コアに受電コイルが巻いてある。送電コイルに交流電流を流すと、交流磁束が発生し、磁性レールを通して受電コイルに鎖交し

て、受電コイルに誘起された電圧を負荷に電気が供給される。一般的なトランスと比べ、横方向磁気回路の長さが縦方向の十倍以上長いとの特徴があるため、レールトランスと名付けた。送電コイルは50/60Hzの商用電源ラインに直結できるため、高周波電源が不要である。低周波閉磁路のため、電磁界漏れが抑えられ、ESL システムのワイヤレス給電には十分に適用できると考える。

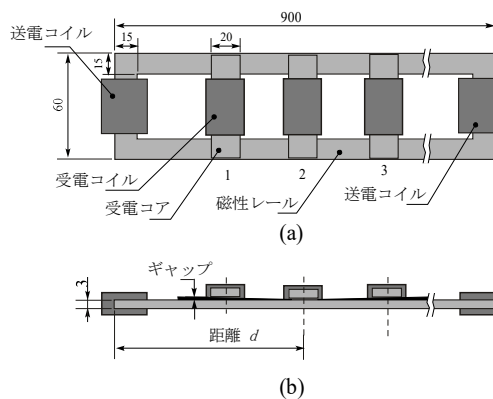


図1 提案したレールトランス構造

### (2) 受電電力の向上

研究代表者は以前の検証実験で、60~130mW 程度の電力を伝送できたが、カラー液晶の ESL と多彩な機能を実現するには、より大きな電力が必要になる。研究期間内では、3~4 インチ程度のカラー液晶 ESL を駆動できる 300~380mW 以上の電力伝送を目標とした。

### (3) 受電安定性の向上

レールトランスの中央部と両端部のコイル受電電力変動が大きい。各 ESL への安定した電力の供給が課題になる。研究期間では中央部の受電側の受電電力を向上させ、各受電側の受電電力を平均化させる制御手法を提案して、その有効性を検証することを目的とした。

## 3. 研究の方法

### (1) 受電電力向上するため

研究代表者が提案した構造は、基本的にトランスと同様な原理である。受電出力を向上させるには、受電コアに流れる磁束を増やせばよい。すなわち、磁性レールを厚くすればよい。しかし、磁性レールは電磁鋼板を使用しているため、単に厚くなると、装置全体が大きくなり重くなる。商品化には不利である。出力電力を増やすもう一つの手法は、受電側コイルにリラクタンス成分を消すための共振コンデンサを使用する。この手法は一般的な磁界共振ワイヤレス給電に使用される。しかし、研究代表者の前期試作した50/60Hzの低周波駆動では、共振効果が薄い。そこで、電磁鋼板材料で使用可能な100Hzの構造を設計

して、共振効果を高める対策をとる。

## (2)受電電力の安定化

中央部の受電コイルが、磁束の鎖交が弱い  
ため、受電電力が一番小さい。これは図2に  
示した磁束の流れから説明できる。送電コ  
イルの磁束(実線矢印)が受電コイル1と3を  
通した後、2に流れる磁束が減少した。中央  
部の受電コイルの受電電力の向上に対して、  
一番安易に考えられる方法は、磁性レールの  
厚さを増やして、磁束を増やすことである。  
しかし、レール全体が重くなり、実用的な方  
法ではない。これまでの研究から、給電コ  
イルに近い1,3番受電ヨークと磁性レール  
の間に、ギャップを設けることによって、1,  
3番に流れる磁束を減少させ、2番の磁束  
を増やそうとした。しかし、結果は2番が  
ほぼ向上しなかった。本研究では、受電  
コイルで発生した逆磁界を利用して、2番  
の磁束を増やす手法を提案する。

図2の磁束の流れを示したように、送電  
コイルで発生する磁束が受電コアに流れる。  
受電コイルに誘導電流が発生して、図中の  
破線矢印のような逆磁束が発生し、送電  
コイルの磁束が打ち消されて、受電コアに  
流れる磁束が減少する。1番と3番の逆  
磁束を強くすることで、1番と3番に流  
れる磁束が減少し、2番の磁束が増加す  
ると考える。逆磁束を強くする方法は、  
受電コイルをショートさせることで、電  
流が最大となり、逆磁束も最大となる。

図3は提案した切替原理回路を示した。各  
ESLの制御回路に受電コイルをショート  
させる切替回路(図3破線部)を設け、受  
電しないときは下の端子に切替、受電コ  
イルをショートさせ、他のコイルに磁束  
を流せる。つまり、ショートされたコ  
イルは伝送の中間コイルの役割になる。

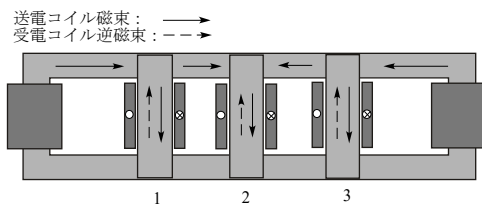


図2 磁束の流れ

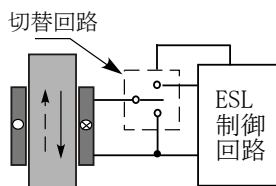


図3 提案した切替原理回路

## 4. 研究成果

### (1)受電電力の向上

受電電力を向上させるため、駆動周波数を  
100Hzに上げて再設計を行い、試作をした。  
図4に構造図を示した。

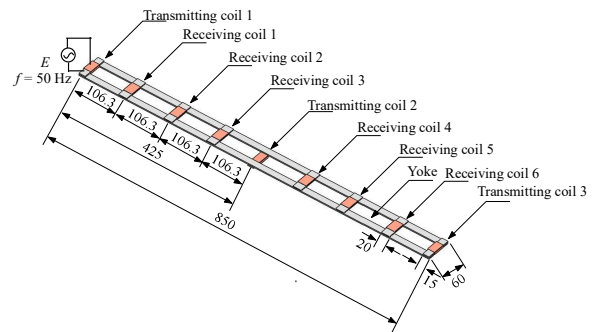


図4 レール形トランス試作の構造(単位 mm)

周波数100Hz,駆動電圧が定格の70Vで、共  
振コンデンサーを設けた場合の出力実験を  
行った。出力特性は図5に示した。定格電  
圧の70V付近で、最大出力のコイル1と6が  
500mWの出力電力があり、目標の380mW  
に達成した。しかし、レール中央のコイル2  
と5は、磁気回路上の弱い位置にあるため、  
出力は348mWしか受電できなかった。この  
出力を平均化する必要があった。

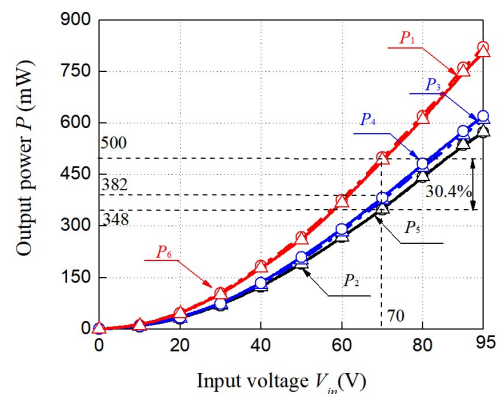


図5 出力電力- 入力電圧特性( $R_L = 70 \Omega$ ,  $f = 100 \text{ Hz}$ )

### (2)受電電力の平均化方法

上記の問題点に対して、受電電力が大きい  
コイル1と6を一定の時間間隔でショート  
させて、中間コイルの役割をさせ、他の  
コイルに電力を転送する「切り替え制御」  
手法を提案した。

提案法を検証するために、6個のESLに給  
電できるレールトランスを試作し、実験を  
行った。図6に検証実験の結果を示した。コ  
イル1と6を短絡させる時間のデューティ比  
 $d$ と出力電力特性を示した。 $d$ が0.2の時、  
すべての受電コイルが同じレベルの受電  
電力になっていることが分かった。

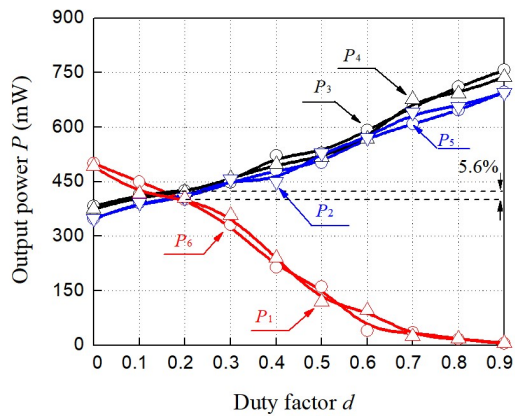


図 6 出力電力  $P_o$ - デューティ比  $d$  特性 ( $V_{in} = 70V, R_L = 70\Omega$ )

図 7 にその時の出力比較を示した。従来法では、出力の変動率が 30.4% に対して、切り替え制御を適用した場合は 5.6% まで下げることができ、提案法の有用性を確認できた。

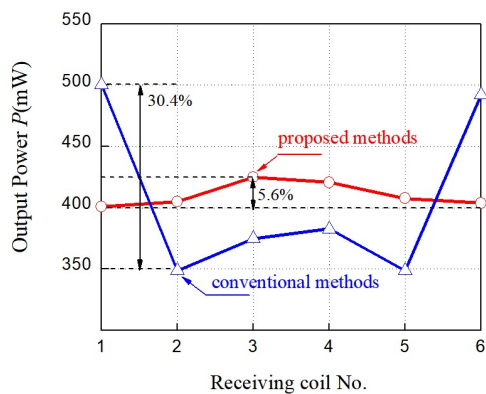


図 7 最適デューティ比の出力電力  $P$  ( $V_{in} = 70V, R_L = 70\Omega$ )

### (3) 今後の展望

提案法は、各コイルの出力電圧を計測して、デューティ比を計算しているため、各 ESL の間に通信させる機能が必要となり、今後、複数の受電端末に通信機能を持たせることを検討していく予定である。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 (計 1 件)

① Yinggang Bu and Subhas Chandra Mukhopadhyay, Equalization Method of the Wireless Power Transfer in an Electronic Shelf Label Power Supply System, IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 53, Issue 11, 2017. 査読有  
DOI 10.1109/TMAG.2017.2734921

〔学会発表〕 (計 4 件)

① 奥野 巽未, ト 穎剛, 水野 勉, 受電コイル 6 個を配置したレール形トランスにおける出力電力平均化の検討, 平成 29 年度電気学会東海支部主催学生発表会, 2018.

② Yinggang Bu and Subhas Chandra Mukhopadhyay, Equalization method of the wireless power transfer in an electronic shelf label power supply system, IEEE International Magnetics Conference 2017, 2017.

③ ト 穎剛, Mukhopadhyay Subhas Chandra, 複数受電デバイスを有する低周波ワイヤレス給電の受電電力平均化の検討, 電気学会静止器回転機合同研究会, 2017.

④ 前山拓, 成瀬 主税, ト 穎剛, 水野 勉, 電子棚札用レールトランス出力電力平均化の提案, 平成 28 年度電気学会東海支部主催学生発表会, 2017.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

ト 穎剛 (BU, Yinggang)

信州大学・学術研究院工学系・准教授

研究者番号：70647940