

中継コイルを用いた非接触コンセントの検討

柿沼 賢造*, 金子 裕良 (埼玉大学)

Study of Wireless Power Transfer Outlet with Repeater Coil
Kenzo Kakinuma*, Yasuyoshi Kaneko (Saitama University)

1. はじめに

近年、ショートによる発火や感電の危険性がない非接触給電技術を家庭内直流給電のコンセントプラグに用いる研究が進められている⁽¹⁾。非接触コンセントは定電圧入力時に定電圧出力となることが望ましい。従来、広く用いられている一次直列二次並列コンデンサ方式(SP方式)の場合、二次側装置が不在になると入力インピーダンスが低下し、過大な入力電流が流れる。このような過電流を抑制するために中継コイルを用いてインピーダンス変換を行う方法⁽²⁾が提案されている。本稿では差込式の非接触コンセントとして適応可能なコの字型ソレノイドトランスに中継コイルを応用し、SP方式と給電特性を比較することで中継コイルの有効性について検討する。

2. 非接触給電システム

図1に中継コイル方式を用いた非接触給電システムの構成を示す。フルブリッジインバータで方形波電圧を出力し、BPFを用いてトランスに正弦波電圧を入力する。二次側で全波整流器を通じ、バッテリーを模擬した抵抗負荷へ給電する。図2にSP方式を用いた非接触給電システムの構成を示す。図1とは異なり、トランスに方形波電圧を入力する。

中継コイル方式、SP方式の特性式を表1に示す。中継コイルのコンデンサ C_r は二次側装置不在時に入力インピーダンス Z_{in} が無限大になるよう、中継コイルのインダクタンス L_r と共振するよう定めている。一次側直列コンデンサ C_{s1} 、二次側直列コンデンサ C_{s2} は入出力特性として理想変圧器特性が成り立ち、一次側電源力率が1となるように定める。SP方式は二次側並列コンデンサ C_p が二次側自己インダクタンス L_2 と共振するよう、一次側直列コンデンサ C_s は一次側電源力率が1となるよう定める。このとき入出力特性に理想変圧器特性が成り立つ。これらの共振方法を取ると共振周波数において表1に示す関係式が成り立つ。

3. 非接触給電トランス

非接触コンセント用3巻線トランスの仕様を表2、外観、寸法を図3、トランス定数を表3に、2巻線トランスの仕様を表2、外観、寸法を図4、トランス定数を表3に示す。装置は一次側トランスの磁極部を拡張し、その内側に二次側トランスを挿入することで二次側装置の位置ずれによる電圧変動、効率変動を少なくするコの字型構造⁽³⁾となっている。

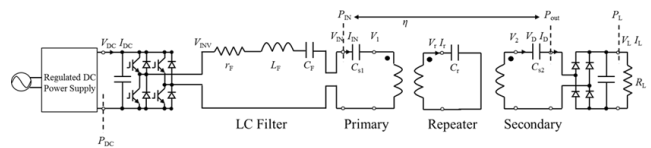


図1 非接触給電システム(中継コイル方式)
Fig.1. Wireless power transfer system for Repeater coil topology.

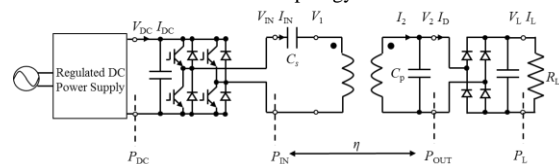


図2 非接触給電システム(SP方式)
Fig.2. Wireless power transfer system for SP topology.

表1 各コンデンサ方式の特性式

Table 1. Characteristic expression of each capacitor topology.

方式	中継コイル方式	SP方式
コンデンサ	$\begin{cases} C_r = \frac{1}{\omega^2 L_r} \\ C_{s1} = \frac{1}{\omega^2 \left(L_1 - \frac{M_{1r}^2}{M_{2r}} \right)} \\ C_{s2} = \frac{1}{\omega^2 \left(L_2 - \frac{M_{2r}^2}{M_{1r}} \right)} \end{cases}$	$\begin{cases} C_s = \frac{1}{\omega^2 \left(L_1 - \frac{M^2}{L_2} \right)} \\ C_p = \frac{1}{\omega^2 L_2} \end{cases}$
入出力特性	$V_{IN} = \frac{M_{1r}}{M_{2r}} V_L$	$V_{IN} = \frac{M}{L_2} V_L$
入力インピーダンス	$Z_{IN} = \left(\frac{M_{1r}}{M_{2r}} \right)^2 R_L$	$Z_{IN} = \left(\frac{M}{L_2} \right)^2 R_L$

表2 トランス仕様

Table 2. Specifications.

Type	3Coil	2Coil
Power	50W	
Frequency	90kHz	
Gap	1.5mm	
Primary coil	61T(0.1mmΦ×80)	61T(0.1mmΦ×30)
Secondary coil	18T(0.1mmΦ×180)	18T(0.1mmΦ×180)
Repeater coil	61T(0.1mmΦ×80)	-

装置全体は二次側コイルを挿入する面以外の5面を電磁遮蔽用アルミ板で覆った。3巻線トランスの周波数特性を図5に示す。ギャップの小さいトランスは位置ずれ、二次側コイル不在時にインダクタンス値 L の変動が大きい。二次側コイル不在時に高インピーダンス化するため、共振周波数のずれを考慮し、標準状態における駆動周波数付近のインピーダンスが低くなるような二次側巻数を選定した。

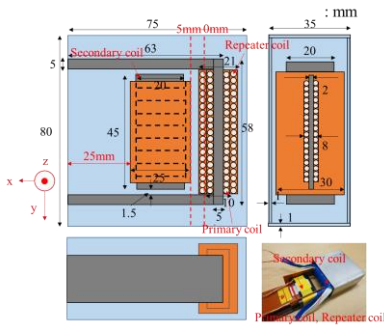


図 3 3 巻線トランス
Fig.3. Three windings transformer.

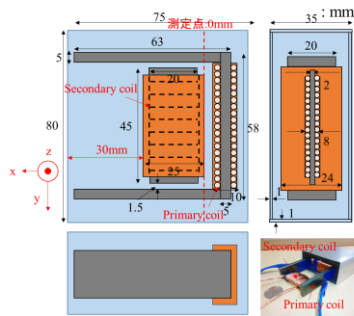


図 4 2 巻線トランス
Fig.4. Two windings transformer.

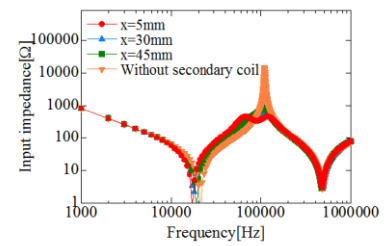


図 5 3 巻線トランスの周波数特性
Fig.5. Frequency characteristic of three windings.

表 3 トランス定数

Table 3. Transformer parameters.

	3Coil	2Coil		3Coil	2Coil
L_1 [μH]	414	405	r_1 [Ω]	2.45	2.28
L_r [μH]	412	-	r_r [Ω]	2.51	-
L_2 [μH]	17.2	17.8	r_2 [Ω]	0.0551	0.0529
M_{1r} [μH]	405	-	C_{S1} [μF]	0.179	0.0116
M_{2r} [μH]	47.2	-	C_r [μF]	0.00759	-
M_{12} [μH]	46.2	49.1	C_{S2} [μF]	0.265	-
k_{1r}	0.981	-	C_p [μF]	-	0.177
k_{2r}	0.561	-			
k_{12}	0.548	0.579			

表 4 二次側不在時の給電実験結果

Table 4. Experimental results without secondary coil.

	3Coil	2Coil(Exp)	2Coil(Sim)
V_{IN} [V]	124	4.22	78
I_{IN} [A]	0.268	1.25	20.9
I_r [A]	0.590	-	-
Z_{IN} [Ω]	461	3.39	3.73
P_{IN} [W]	1.91	4.65	1200

標準位置における 3 巻線トランスの給電効率率は 95.3% と高い値を示した。位置ずれに強い領域(位置ずれ 30mm まで)において 3 巻線トランスの給電効率の低下は 0.4% 以内であり、2 巻線トランス同様位置ずれに強い特性を維持できている。効率に関しては巻線の並列数、最大効率となる負荷抵抗値を双方の装置で揃える、など効率を比較するための条件を統一し、今後検討する必要がある。

5. まとめ

ギャップ長の小さい非接触コンセント用トランスに中継コイルを用いた場合の特性について検討した。中継コイルを巻くことで二次側装置がない場合でも標準状態より高いインピーダンスが得られ、定電圧駆動時に過電流の抑制効果があることを示した。また、給電装置の位置ずれに強い特性を維持することが可能であることを示した。中継コイルを用いたトランスのトランス効率は 95.3% であり、中継コイルを用いても高効率で給電可能であることを示した。

文 献

- (1) 小鹿他:電学論 D Vol.135,No.1,pp.49-57(2015)
- (2) 小林他:無線電力伝送研究会 WPT2014-54,pp.21-26(2014)
- (3) 吉岡他:平成 26 年電学全大 No.4-091,pp.150-151(2014)

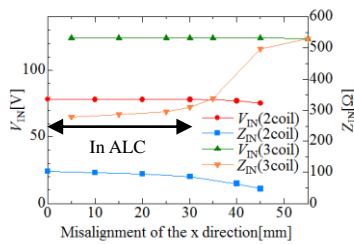


図 6 インピーダンス特性
Fig.6. Experimental results of impedance characteristic.

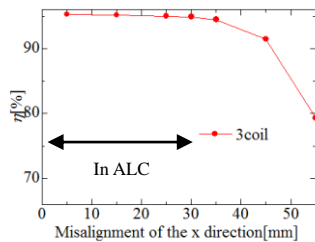


図 7 位置ずれ時の効率変動
Fig.7. Efficiency change at misalignment.

双方の装置は比較のため巻数、ギャップ長を統一している。3 巻線トランスの特性について検討するために比較実験を行った。試作した 3 巻線トランスは巻線厚みが大きい。比較位置を対等にするため 2 巻線トランスの差込側装置の位置を 0mm と定め、3 巻線トランスは 5mm の位置を標準状態とした。実験条件としてそれぞれの装置を定電圧駆動し、50W 給電を行った。このときトランス効率が最大となる負荷抵抗値を実験中に測定し、その値を電子負荷の負荷抵抗値として用いた。

4. 実験結果

図 6 より 2 巻線トランスは定電圧駆動時、位置ずれに伴いインピーダンスが低下するため、入力電流が増加するのに対し、3 巻線トランスは位置ずれに伴いインピーダンスが増加しており、定電圧駆動時においても過電流の抑制効果があることを確認できた。表 4 より 3 巻線トランスの二次側不在時のインピーダンスは 461 Ω であり、標準状態より高い値を示した。また、給電損失は 1.91W まで抑制することができた。図 7 に位置ずれに伴う給電効率の変化を示す。