

一次ラダー型・二次円形トランスを用いた 非接触給電に関する研究

高橋 明伸*, 金子 裕良 (埼玉大学)

A Study about Wireless Power Transfer System Using Primary Ladder Core and Secondary Circular Core Transformer
Akinobu Takahashi, Yasuyoshi Kaneko (Saitama University)

1. はじめに

近年環境問題や石油依存度軽減の観点から、電気自動車(EV)やプラグインハイブリッド車(PHV)の普及が進められている。現在これらの車への給電には、ケーブルを用いるコンダクティブ方式が主流だが、利便性や安全性、保守性の面から非接触給電方式が注目されている。

街中の停車中非接触給電設備では、車の駐車位置にずれが生じることや、車止めを利用して駐車したとしても車種により受電装置の位置が異なることが考えられる⁽¹⁾。そのため、地上の受電装置には大きな前後方向の給電可能範囲が求められる。

大きな給電可能範囲をもつトランスとして、埼玉大学では地上側にラダー型トランスを用いる方法を提案した⁽²⁾。ラダー型トランスでは、車載側(二次側)トランスの位置に応じて、地上側(一次側)の複数個あるコイルのうち二次側に近いコイルを選択して駆動する。車載側トランスサイズを大きくすることなく、許容位置ずれ範囲を拡大することが可能である。しかし従来の研究では、二次側がソレノイド型である場合しか検討されていない。一般乗用車への駐車中給電においては、車載側トランスは円形トランスがSAEで標準化され実用化されつつある。

本稿では一次側にラダー型を使用する給電において、二次側が円形となった場合でも給電を可能とする方法を提案し、給電実験によりその有用性を示す。

2. ラダー型トランス

<2・1>ラダー型トランスの概要 ラダー型・円形トランスの寸法を図1に示す。二次側円形トランスの位置ずれにあわせて、二次側との結合が強い(距離が近い)一次側コイルを選択して給電することで、二次側トランスサイズを大きくすることなく許容位置ずれ範囲を拡大することができる。

<2・2>駆動コイルの接続方法 トランス部の回路図を図2に示す。二次側がソレノイド型である場合、一次側コイル6個のうち2個の一次側コイルを駆動コイルとして使用し、それぞれ同じ向きの磁束が発生するように接続していた⁽²⁾。二次側が円形である場合は、結合係数向上のため駆

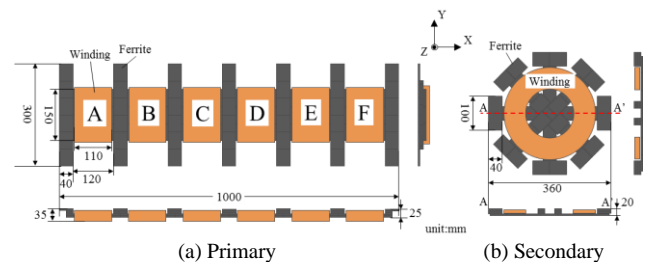


図1 トランス外形
Fig. 1. Outline of ladder core transformer

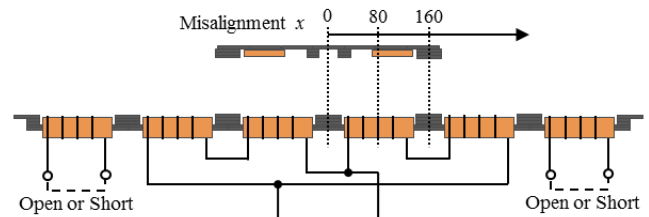


図2 ラダー型トランスコイルの接続
Fig. 2. Connection of ladder core transformer coils

動コイルを4個とし⁽³⁾、2つずつ逆向きの磁束が発生するように接続する。駆動コイル接続方法としては、4個全てを直列に接続すると位置ずれ時に漏洩電磁界が大きくなる可能性があり、全てを並列に接続すると電源側で必要な入力電流が過大になる。そのため、本稿では図2に示すように2個ずつ直列にしたものを並列に接続する。また、 x 方向位置ずれが80mm付近の場合、駆動コイルの選び方として図1に示すBC-DEあるいはCD-EFが考えられるが、いずれの場合でも結合がその他の場所に比べて小さくなることが考えられる。そこで、この位置では駆動コイルをBC-EFとして間のコイルDは不使用とすることで結合の変動を抑制する。

<2・3>不使用コイルの接続方法 駆動コイル以外の不使用コイルには、電源や力率補償用のコンデンサを接続しない。コイル端を開放状態にすると、給電に関与しない余計な磁束が不使用コイルのコア部を通り、漏洩電磁界が大きくなる恐れがある。二次側がソレノイド型の場合は、ラダー型トランスの不使用コイルを各々短絡させることにより、余計な磁束を打ち消し漏洩電磁界の増大を抑制できる⁽⁴⁾。

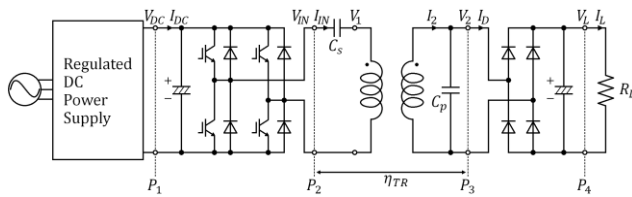


図 3 実験回路
Fig. 3. Experimental circuit

表 1 トランス定数
Table 1. Transformer parameters

Non-excitation Coils	Open			Short		
	Excitation Coils	BC-DE	BC-EF	CD-EF	BC-DE	BC-EF
Misalignment x [mm]	0	80	160	0	80	160
Mechanical gap [mm]	100					
N_1 [Turn]	14(2p)					
N_2 [Turn]	4(8p)					
r_1 [m Ω]	159.1	184.1	155.4	151.3	178.4	145.7
r_2 [m Ω]	9.51	9.63	9.48	9.54	9.53	9.42
L_1 [μ H]	105.8	126.4	101.4	94.1	118.2	93.3
L_2 [μ H]	8.39	8.36	8.38	8.37	8.36	8.37
k	0.144	0.121	0.139	0.137	0.119	0.136
R_{Dmax} [Ω]	37.3	43.8	38.8	39.9	45.3	40.0
η_{TRmax} [%]	97.3	96.8	97.2	97.0	96.6	97.0

表 2 実験条件
Table 2. Experimental conditions

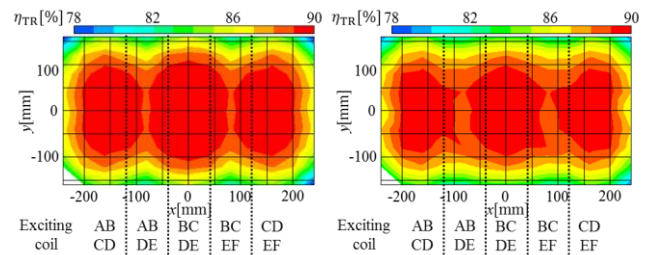
Non-excitation Coils	Open			Short		
	Excitation Coils	BC-DE	BC-EF	CD-EF	BC-DE	BC-EF
f_0 [kHz]	85.0					
R_L [Ω]	80					
C_1 [μ F]	0.0326	0.0272	0.0338	0.0361	0.0285	0.0361
C_2 [μ F]	0.419					

対円形の場合でもこの方法が有用であるか確認するため、不使用コイルを開放・短絡して給電実験を行い比較した。

3. 給電実験

実機を用いた給電実験により x , y 方向位置ずれにおけるトランス間給電効率 η_{TR} および正対時における漏洩電界強度を測定した。実験回路を図 3 に、使用したトランスの主要な位置($x=0, 80, 160$ mm, $y=0$ mm)における定数測定結果を表 1 に、給電実験時の諸条件を表 2 に示す。電源には基本周波数 $f_0=85$ kHz の方形波インバータを使用した。また整流器後の負荷抵抗 R_L の値は、正対時($x=0$ mm, $y=0$ mm)においてトランス間効率が最高になる値に定め、位置ずれ時も一定とした。いずれの位置においても R_L に出力される電力が 1.5kW になるように直流入力電圧 V_{DC} を調整した。一次側コンデンサ C_1 は駆動コイルの選択にあわせて変え、不使用コイル開放の場合は 3 種、短絡の場合は 2 種(BC-DE と CD-EF の場合で同一)とした。また、正対時で給電中のトランスの中心から x 方向に 3m 離れた地点の電界強度を、ループアンテナを使用して測定した。

トランス間効率 η_{TR} の測定結果を図 4 に示す。不使用コイルを開放とした場合、正対時においては $\eta_{TR}=90.5\%$ であり、 x 軸上での $x=\pm 200$ mm 以内、 y 軸上でも $y=\pm 120$ mm 以内の範囲では η_{TR} が 88% 以上となった。不使用コイルを短絡した



(a) Non-excitation coils: Open (b) Non-excitation coils: Short

図 4 位置ずれ時の η_{TR}
Fig. 4. η_{TR} at misalignment

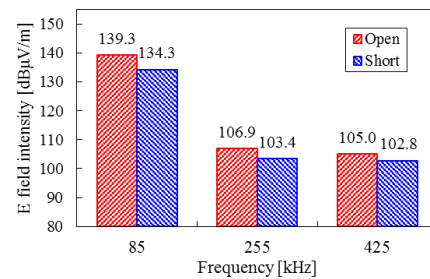


図 5 3m 地点における漏洩電界強度
Fig. 5. Leakage electric field at 3m distance

場合でも $x=\pm 200$ mm 以内、 $y=\pm 120$ mm 以内の範囲において η_{TR} が 88% 以上となり、結果に大きな変化はなかった。このことより不使用コイルの開放・短絡は給電効率には特に影響がないことがわかる。

電界強度の測定結果を図 5 に示す。不使用コイルを開放した場合に比べ、短絡した場合の方が基本波で 5.0dB 低減し、第 3 次・第 5 次高調波においてもそれぞれ 3.5dB, 2.2dB 低減した。二次側円形コイルにおいても不使用コイルを短絡することが漏洩電界強度の低減において有効であることを確認した。

4. まとめ

本稿では、一次側に大きな位置ずれを許容できるラダー型トランスを使用した非接触給電において、二次側が従来のソレノイド型でなく円形である場合でも給電を可能とする方法を提案した。実機を用いた給電実験により、許容位置ずれ範囲を拡大でき、不使用コイルを短絡することで漏洩電界を抑制できることを示した。本稿では一次側コイル数を 6 個として実験を行ったが、コイル数を増やすことで漏洩電磁界を増大させることなく x 方向の許容位置ずれ範囲を自由に拡張可能であると考えられる。

文献

- (1)三木：ワイヤレス給電 EV・PHEV 用標準化と実証実験の最新動向, pp.1-17
- (2)駒崎他：SPC-14-15, MD-14-15
- (3)山本他：平成 28 年電学産部大, 1-94, pp.327-332
- (4)高橋他：平成 29 年電学産部大, 1-28, pp.193-198