

漏れ磁束遮蔽アルミ板付き非接触給電の特性

江原 夏樹*, 岩田 卓也, 辻 俊明, 金子 裕良, 阿部 茂 (埼玉大学),
保田 富夫 ((株)テクノバ)

Characteristics of Contactless Power Transfer System Equipped with Aluminum-plate Leakage Flux Shield
Natsuki Ehara, Takuya Iwata, Toshiaki Tsuji, Yasuyoshi Kaneko, Shigeru Abe (Saitama University),
Tomio Yasuda (Technova Inc.)

1. まえがき

プラグインハイブリッド車や電気自動車への給電には、プラグの抜き忘れや急速大電力充電を考えると図 1 の非接触給電方式⁽¹⁾が有望である。図 2 の巻線方式の角形給電トランスでは背面に漏れ磁束が発生するため、自動車の鉄外板に誘導電流が流れ、損失の増加と特性の悪化が懸念される。

本稿では漏れ磁束遮蔽対策としてアルミ板を用いた場合、トランス等価回路は一部定数が変わるだけで、薄い板で十分な遮蔽効果があり、効率低下も約 1% で済むことを示す。

2. 非接触給電システム

<2.1> 一次直列二次並列コンデンサ方式⁽²⁾

一次直列二次並列コンデンサ方式の非接触給電システムの構成を図 1 に示す。給電トランスにはフェライトコアとリッツ線を用い、電源には $f_0=10\text{kHz}$ の方形波インバータを用いる。電源と一次側コイルの間に直列コンデンサ C_s を、受電部端子に並列共振コンデンサ C_p を設置すると、詳細等価回路は図 3(b) で表わされる。 C_s, C_p を(1),(2)式の値に決めると、 r_0, r_1, r_2 を無視した場合電源周波数において(3)式が成立し理想変圧器の特性が得られる。

$$\frac{1}{\omega_0 C_p} = x_p = x'_0 + x_2 \quad \dots \dots \dots (1)$$

$$\frac{1}{\omega_0 C_s} = x_s = \frac{x'_0 x_2}{x'_0 + x_2} + x'_1 \quad \dots \dots \dots (2)$$

$$V_{IN}' = bV_L, I_{IN}' = I_L / b, b = \frac{x'_0}{x'_0 + x_2} \quad \dots \dots (3)$$

<2.2> 漏れ磁束遮蔽アルミ板付きトランスの等価回路

漏れ磁束対策として図 2 のようにアルミ板を二次巻線と自動車鉄外板の間に設置すると等価回路は図 3(a)となる。二次巻線とアルミ板回路との相互リアクタンスを x_{20} 、アルミ板回路の漏れ磁束を x_{Al} 、アルミ板の抵抗を r_{Al} で示す。図 3(a)の点線内の回路は図 3(b)の点線内の回路に変換できるので、等価回路はアルミ板がない時と同じ形で x_2 と r_2 の値が変わるだけである。従って磁束遮蔽アルミ板付きの非接触給電トランスでも、一次直列二次並列コンデンサ方式非接触給電システムの設計法⁽²⁾を用いることができる。

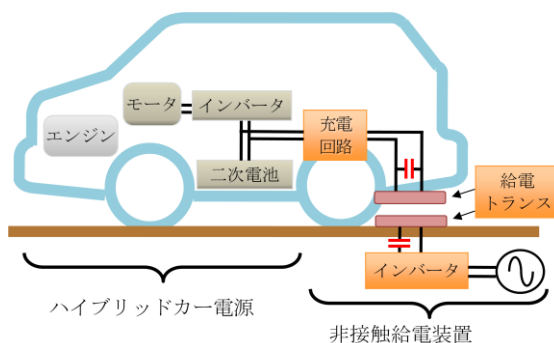


図 1 非接触給電システム

Fig.1. Contactless power transfer system.

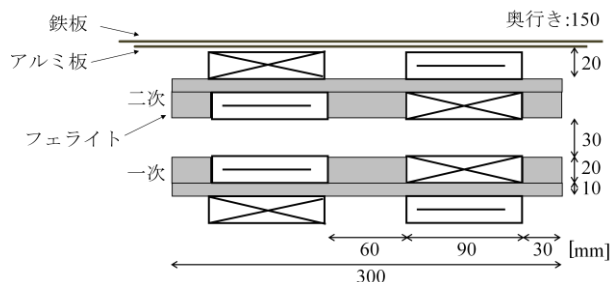


図 2 非接触給電トランス

Fig.2. Contactless power transformer.

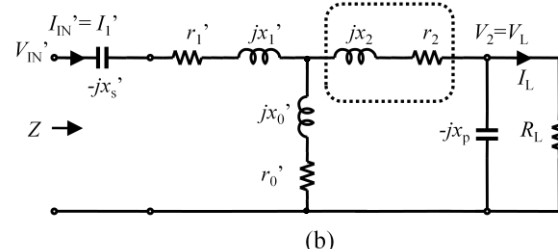
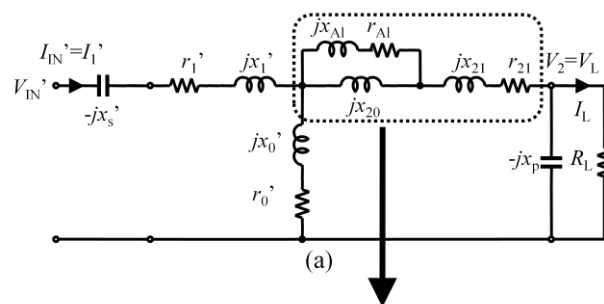


図 3 漏れ磁束遮蔽アルミ板付きトランス等価回路
Fig.3. Equivalent circuit with aluminum-plate shield.

表 1 給電トランスの仕様
Table1. Specification.

Weight	7.3kg×2
Core	FDK 6H40 Bs=0.53T μ=2400(at0.1MHz)
Primary	1p×22T(I _{max} =38A)
Secondary	2p×11T(I _{max} =75A)
Litz wire 0.25φ×24×16 (I _{max} =2A/mm ²)	
Aluminum-plate shield 400×600×1 mm	
Steel-plate 495×600×2 mm	

表 2 実験装置定数 [Ω]
Table2. Parameters of experiment. [Ω]

Case	r ₁	r ₂	r ₀	x ₁	x ₂	x ₀
(a)	0.040	0.014	0.008	11.59	2.94	8.13
(c)	0.042	0.025	0.007	11.23	1.97	8.40

3.実験

<3.1>実験装置

給電トランスの仕様を表 1 に、ギャップ長 30mm のときの等価回路定数を表 2 に示す。給電効率が高くなるように抵抗負荷は R_L=20Ω とした⁽³⁾。二次側漏れ磁束が給電特性に与える影響を調べるため、アルミ板のある場合とない場合、鉄板のある場合とない場合の 4 ケースについて給電実験を行った。入力電圧 V_{IN}は負荷電圧 V_Lが一定となるように調整した。C_S, C_Pの値は表2の値から(1)(2)式により決定した。アルミ板の厚さは表皮効果を考慮し、電源周波数 10kHz での表皮の深さから 1mm とした。

<3.2>実験結果

1kW 給電の実験結果を図 4 と表 3 に示す。入力電圧 V_{IN}, 入力電流 I_{IN},出力電圧 V_L,出力電流 I_L は基本実効値,入力電力 P_{IN},出力電力 P_{OUT} は基本波の値である。Case(a),(d)については () 内に計算値を示す。計算値は図 3(b)の詳細等価回路で負荷抵抗 R_L のインダクタンス分 L_L も入れて計算した。

Case(a)の板がない場合の効率 η は 97% であるが、Case(b)の自動車鉄外板がある場合の η は 64% と 30% 以上も低下し、実用上大きな問題となる。Case(c)のようにアルミ板を置くと η は 96% と Case(a)に比べ約 1% の低下で済み、Case(d)のように鉄外板があっても影響はほとんどなくなり、問題は解消される。磁界測定からもアルミ板による漏れ磁束の遮蔽を確認した。

図 4 で電圧電流の位相が同じで、入力力率 pf がほぼ 1 であること、実験値が()に示した計算値とよく一致することから、一次直列二次並列コンデンサ方式の特徴である理想変圧器特性が成立することも分かる。

以上のように電源周波数が 10kHz 程度の場合、アルミ板は漏れ磁束の遮蔽に大きな効果があり、損失もわずかで給電効率低下も少ない。このため非接触給電システムの漏れ磁束対策として利用価値が高い。

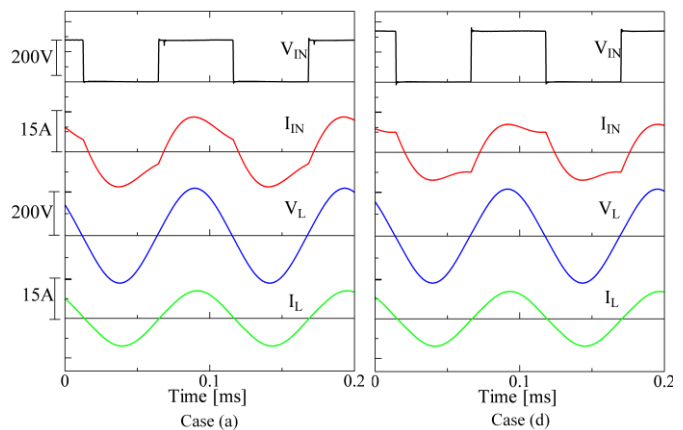


図 4 1kW 給電特性
Fig.4. 1kW power transfer characteristics.

表 3 実験結果

Table3. Experimental results.

Case	Al 板なし		Al 板あり	
	鉄板なし	鉄板あり	鉄板なし	鉄板あり
	(a)	(b)	(c)	(d)
V _{IN} [V]	124 (124)	118	152	152 (152)
I _{IN} [A]	9.23 (9.64)	12.01	7.8	7.79 (7.92)
V _L [V]	151 (153)	132	150	149 (149)
I _L [A]	7.31 (7.58)	6.38	7.23	7.21 (7.38)
P _{IN} (kW)	1.13 (1.18)	1.32	1.12	1.12 (1.14)
P _{OUT} (kW)	1.10 (1.16)	0.84	1.08	1.07 (1.10)
η [%]	0.971 (0.983)	0.635	0.96	0.959 (0.967)
pf [%]	0.993 (0.988)	0.93	0.948	0.944 (0.945)
C _S [μF]	0.97		1.04	
C _P [μF]	3.20		3.91	
R _L [Ω]	20.1			
L _L [μH]	29.4			

() : calculated value

4.むすび

自動車用非接触給電装置でコア背面に漏れ磁束が発生する給電トランスを用いる場合、自動車鉄外板に誘導電流が流れ給電効率が大幅に低下するため、漏れ磁束の遮蔽対策が必要になる。

漏れ磁束対策として薄いアルミ板を間に挿入するだけで十分に漏れ磁束は遮蔽でき、給電効率の低下も僅かで済み。また等価回路も一部の定数の値が変わるだけで従来の非接触給電システム的设计法が適用可能である。

文献

- (1) 岩田, 江原, 金子, 阿部, 保田 : 電学会自動車研資, VT-07-11.pp.7-12 (2007)
- (2) 藤田, 金子, 阿部 : 電学論 D, Vol.127,No.2,pp.174-180 (2007)
- (3) 及川, 松下, 金子, 阿部 : 平 19 電学全大, No.4-220 (2006)