

電気自動車用非接触給電トランスの長ギャップ化

佐藤 亨耶*, 高梨 浩也, 金子 裕良, 阿部 茂 (埼玉大学)

保田 富夫 ((株) テクノバ), 鈴木 明 (アイシン・エイ・ダブリュ (株))

A Large Air Gap Transformer of Contactless Power Transfer System for Electric Vehicle
 Yukiya Sato*, Hiroya Takanashi, Yasuyoshi Kaneko, Shigeru Abe (Saitama University)
 Tomio Yasuda(Technova Inc), Akira Suzuki(AISIN AW CO.,LTD.)

1. はじめに

電気自動車の非接触給電では、地上（一次側）コイルと車載（二次側）コイルとの間に、車の最低地上高程度の大きなエアギャップが必要となる。我々は設置容易性から、地上コイルは地表置きで標準ギャップ長は 70mm 程度が良いと考えてきた。しかし一次コイルを地中に埋設する用途では、車の最低地上高程度のギャップ長が求められる。今回標準ギャップ長を 160mm で給電効率>92%の長ギャップトランスを試作したところ、ギャップ長 200mm でも給電効率>90%の性能が得られた。試作トランスの設計方法と給電実験結果について報告する。

2. 非接触給電システム

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。高周波電源にはフルブリッジインバータ、二次側整流器には倍電圧整流回路を用いた。直列及び並列共振コンデンサ C_s , C_p と整流回路、抵抗負荷 R_L を加えた詳細等価回路を図 2 に示す。なお、巻数比を $a=N_1/N_2$ とし、一次側諸量は二次側に換算し' (ダッシュ) をつけて表す。 C_s, C_p の値を(1)式の値に選び、電源周波数において x_0', x_1', x_2 に比べ十分小さい r_0', r_1', r_2 を無視すると、詳細等価回路は(2)式のような巻数比 b の理想変圧器等価になる。 b は結合係数 k とほぼ等しい。銅損のみを考慮すると、トランスの最大給電効率 η_{max} とその時の抵抗負荷の値 R_{Lmax} は(3)式で表される。

$$\frac{1}{\omega_0 C_p} = x_p = x_0' + x_2, \quad \frac{1}{\omega_0 C_s'} = x_s' = x_1' + \frac{x_0' x_2}{x_0' + x_2} \dots (1)$$

$$V_{IN}' = bV_2, \quad I_{IN}' = I_D/b, \quad b = \frac{x_0'}{x_0' + x_2} \cong k \dots (2)$$

$$\eta_{max} = \frac{1}{1 + \frac{2r_2}{x_p} \sqrt{\frac{1}{b^2} \frac{r_1'}{r_2} + 1}}, \quad R_{Lmax} = x_p \sqrt{\frac{1}{b^2} \frac{r_1'}{r_2} + 1} \dots (3)$$

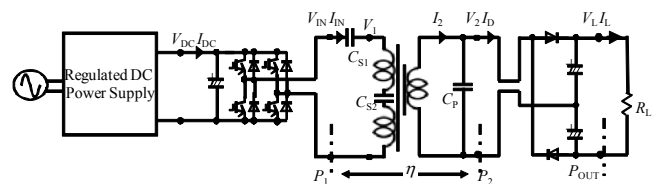


図1 非接触給電システム

Fig.1. Contactless power transfer system.

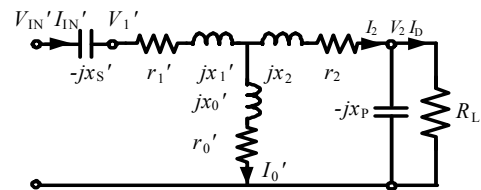


図2 詳細等価回路

Fig.2. Detailed equivalent circuit.

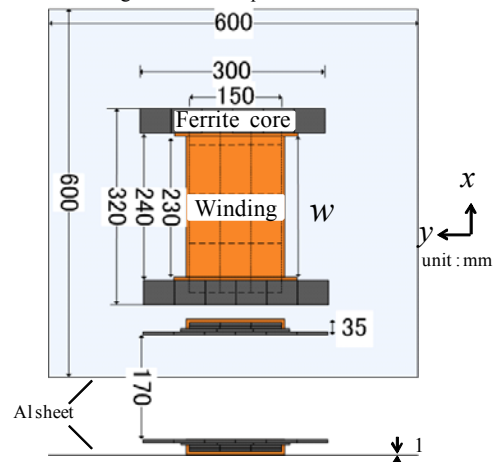


図3 3kW トランスの寸法

Fig.3. 3kW Transformer's dimension.

表1 トランスの仕様

Table 1. Transformer's specification.

	Weight of the secondary	5.5kg
Winding	Primary	20T
	Secondary	4T

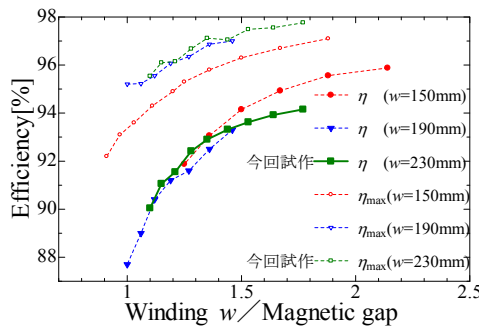


図 4 ギャップ長とコイル幅

Fig. 4. Relationship between the winding

and gap length specification.

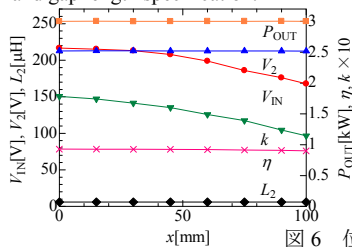


図 6

Fig. 6. Transformer parameters with change in position.

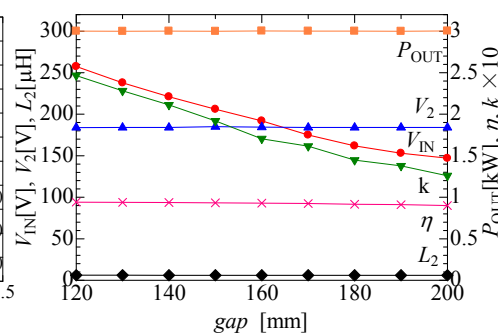


図 5 ギャップ長変動特性

Fig. 5. Transformer parameters

with change in air gap.

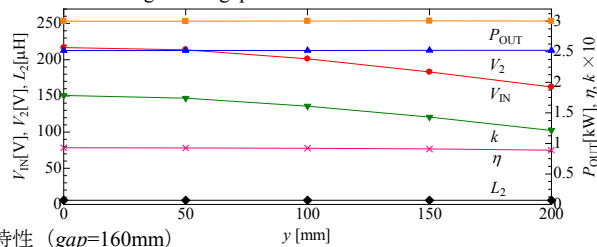


図 6

Fig. 6. Transformer parameters with change in position.

表 2 給電実験結果

Table 2. Experimental results.

P_{OUT} [W]	3000			
	160		200	
gap[mm]	0	100	0	0
x [mm]	0	0	200	0
y [mm]	0	0	0	0
V_{IN} [V]	217	168	162	167
V_1 [V]	501	621	676	643
V_2 [V]	213	213	213	213
V_L [V]	547	547	547	547
η [%]	92.9	90.1	88.9	90.0

3. 長ギャップトランスの設計

〈3・1〉コイル幅の決定 トランス効率を図 3 に示すコイル幅 w とギャップ長の比で推定できる。図 4 にこれまでに試作したコイル幅 150mm と 190mm のトランスの、(コイル幅/ギャップ長) による理論最大給電効率 η_{max} と実験効率 η の変化を示す。これよりコイル幅が異なるトランスでも実験効率 η はほぼ同じ曲線を変化することが分かる。

この関係を用いて標準ギャップ長 160mm とするコイル幅を決定する。従来のトランスは標準ギャップ長 70mm の条件においてコンダクティブ方式と同等の性能を達成するため、インバータとトランス、整流器をすべて含めた総合効率 90% 以上を目標とし、トランス効率の目標を 96% としてきた。しかし、長ギャップ化して同等のトランス効率を達成しようとする、図 4 よりギャップ長の約 2 倍のコイル幅が必要となる。二次側コイルは車載を考慮すると小型であることが望ましい。よって、標準ギャップ長 160mm ではトランス効率 92% を目標にすると、(コイル幅/ギャップ長) は約 1.4 となるためコイル幅を 230mm に設定した。

〈3・2〉長ギャップ用トランスの仕様 長ギャップ用トランスの仕様を図 3 と表 1 に示す。巻数比を決定する際に、(2)式を用いて、 k の逆数を巻数比として設計した。こうすることで入力電圧 V_{IN} と出力電圧 V_2 をほぼ等しくすることができる。今回の長ギャップ用トランスの k は、160mm で約 0.18 であるので、巻数比を 20.4 の 5 に変更し、 k の低下により V_2 が過大にならないようにした。また長ギャップ化により一次端子電圧 V_1 が過大になるのを防ぐため、一次側のコンデンサを二分割にしている。

4. 実験結果

〈4・1〉実験回路 図 1 の回路で実験を行った。電源周波数は 50kHz で、倍電圧整流器を用い、抵抗負荷は 100 Ω とした。各コンデンサの値はトランスの諸定数⁽¹⁾から決定し、3kW 給電実験に用いた。

〈4・2〉ギャップ長変動特性 ギャップ長を 160 \pm 40mm としたときのギャップ長変動特性を図 4、図 5 と表 2 に示す。ギャップ長 160mm でのトランス効率は 92.9% となり、ギャップ長 200mm でも 90% の高い効率を達成できた。また図 4 より今回試作したトランスの特性が、従来のトランスと同様のギャップ長変動特性⁽¹⁾であることが確認できた。

〈4・3〉位置ずれ特性 x 方向 \pm 100mm、 y 方向 \pm 200mm の位置ずれ特性を図 6 と表 2 に示す。 x 方向の位置ずれでの平均効率は 91.9%、 y 方向の位置ずれでの平均効率は 91.5% となり、位置ずれ特性も従来のトランスと同程度⁽¹⁾の長ギャップ給電トランス実現の見通しが得られた。

5. まとめ

トランス効率が(コイル幅/ギャップ長)で決まる特性と、巻数比は結合係数の逆数に選ぶと一次二次の電圧がほぼ同一になる特性に着目して、長ギャップトランスを設計・試作した。給電実験の結果、ギャップ長 160mm で効率 92% 以上、200mm で効率 90% 以上の特性であることを確認した。

文 献

(1) 高梨, 山中, 千明, 金子, 阿部, 保田, 鈴木: 電気学会産業応用部門大会講演論文集, 2-12, pp. II 413- II 416, (2011)