

電気自動車用モジュール型非接触給電トランス

小林 大樹*, 長塚 裕一, 金子 裕良, 阿部 茂 (埼玉大学)

Contactless Power Transfer System of Module Type for Electric Vehicle
Daiki Kobayashi, Yuichi Nagatsuka, Yasuyoshi Kaneko, Shigeru Abe (Saitama University)

1. まえがき

自動車用非接触給電装置は小型軽量で高効率が望ましい。我々はギャップ長変動や位置ずれに強い角形両側巻トランス、すのこ型トランスを提案してきた⁽¹⁾。更に軽量化と高効率化をめざし、各フェライトコア毎にリッツ線を巻いたモジュール型トランスを試作した。評価結果を報告する。

2. 非接触給電システムの軽量化と高効率化

<2.1>非接触給電システム

電源と一次巻線の間に直列コンデンサ C_S を、二次巻線に並列コンデンサ C_P を設置すると、トランス部の詳細等価回路は図1で表わされる。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。高周波電源には $f_0=20\text{kHz}$ のフルブリッジインバータを用いる。両側巻トランスではコア背面側の漏れ磁束を遮蔽し、結合係数を上げるために図2(a)のようにアルミ板を配置する。

<2.2>軽量化と高効率化

C_p, C_S の値を(1)式の値に選び、 x'_0, x'_1, x_2 に比べて十分小さい r'_0, r'_1, r_2 を無視すると、コンデンサを含む等価回路は(2)式のように巻数比 b の理想変圧器と等価になる。(2)式の電圧、電流を基に r'_1, r_2 を考慮すると、給電効率 η は(3)式で、その最大値 η_{\max} とその時の負荷抵抗の値 $R_{L\max}$ は(4)式で表される。(4)式より給電効率を上げるには、一次二次の巻線抵抗 r_1, r_2 を減らし、 b (結合係数 k と同様の性質をもつ) を上げれば良いことが分かる。

$$\frac{1}{\omega_0 C_p} = x_p = x'_0 + x_2 \quad \frac{1}{\omega_0 C'_s} = x'_s = \frac{x'_0 x_2}{x'_0 + x_2} + x'_1 \quad \dots(1)$$

$$V'_{IN} = bV_L, I'_{IN} = \frac{I_L}{b}, b = \frac{x'_0}{x'_0 + x_2} \quad \dots(2)$$

$$\eta = \frac{R_L I_L^2}{R_L I_L^2 + r'_1 I_{IN}^2 + r_2 I_2^2} = \frac{R_L}{R_L + \frac{r'_1}{b^2} + r_2 \left\{ 1 + \left(\frac{R_L}{x_p} \right)^2 \right\}} \quad \dots(3)$$

$$\eta_{\max} = \frac{1}{1 + \frac{2r_2}{x_p} \sqrt{\frac{1}{b^2} \frac{r'_1}{r_2} + 1}} \quad R_{L\max} = x_p \sqrt{\frac{1}{b^2} \frac{r'_1}{r_2} + 1} \quad \dots(4)$$

3. トランス特性

<3.1>モジュール型トランス

すのこ型トランスとモジュール型トランスの仕様を表1に、寸法を図2に示す。図2(b)右端に示すモジュール型は

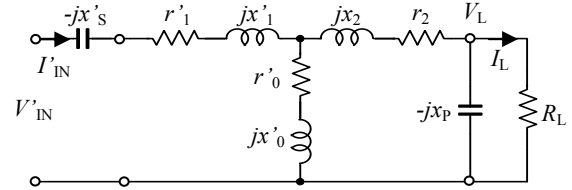
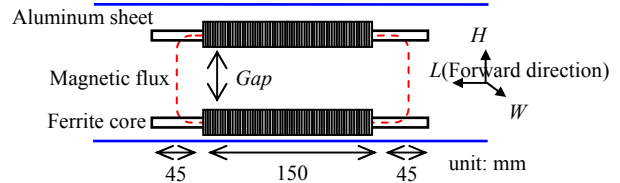
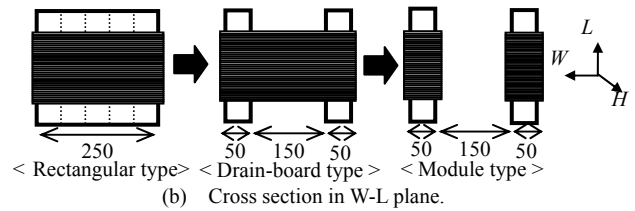


図1 詳細等価回路

Fig.1. Detailed equivalent circuit.



(a) Cross section in L-H plane(Common to all).



(b) Cross section in W-L plane.

図2 トランスの構成と寸法

Fig.2. Configuration and dimension of transformers.

表1 給電トランス仕様

Table1. Specification.

type	Drain-board	Module
Ferrite Core	FDK 6H40 t=5mm $B_s=0.53\text{T}$	
Litz wire	0.25mm ϕ ×24×16	
Gap length	70mm	
Coil turns	Primary	1p×18T
	Secondary	2p×9T
Weight	Primary	3.5kg
	Secondary	3.7kg
Aluminum sheet	600×400×1mm	

すのこ型に比べ巻線長を短くできるので、軽量化と効率向上が期待できる。

モジュール型トランスは直列接続と並列接続が可能であ

表2 トランス定数
Table2. Parameters.

type	Drain-board	Module
r_1 [mΩ]	69.8	60.0
r_2 [mΩ]	16.9	15.3
l_0 [μH]	23.0	19.9
l_1 [μH]	58.1	62.7
l_2 [μH]	15.9	17.0
C_s [μF]	0.845	0.811
C_p [μF]	2.93	2.88
η_{max} [%]	95.3	95.3
R_{Lmax} [Ω]	10.7	12.4
k	0.274	0.234
b	0.266	0.226

表3 1kW 給電実験結果($R_L=10.0\Omega$)

Table3. Experimental results by 1kW ($R_L=10.0\Omega$).

type	Drain-board	Module
R_L [Ω]	10.0	
V_{IN} [V]*	62.3	53.6
I_{IN} [A]*	16.2	18.4
V_L [V]*	104	103
I_L [A]*	9.21	9.05
P_{IN} [kW]*	0.973	0.945
P_{OUT} [kW]*	0.924	0.896
η [%]	94.9	94.9

*Fundamental component rms value

る。今回はすのこ型と巻線電流が等しく、端子電圧もほぼ等しくなる直列接続で実験を行った。

〈3.2〉トランス定数

表2にトランス定数の測定値を示す。モジュール型の巻線抵抗はすのこ型に比べて、 r_1 は0.86倍、 r_2 は0.91倍と小さいため効率の向上が期待されたが、 b が0.85倍に低下したため、トランス定数から計算した最大効率は95.3%で等しくなった。重量は一次二次とも約1kg軽くなっている。

4. 給電実験結果

〈4.1〉標準状態 (位置ずれなし: $L=0, W=0$ mm)

表2の R_{Lmax} の値から $R_L=10.0, 12.5, 15.0\Omega$ とし、約1kWの給電実験を行った。表3に $R_L=10.0\Omega$ の時の実験結果を、図3に給電効率の負荷抵抗による変化を示す。

図3の曲線は表2の定数と(3)式で計算した理論効率である。すのこ型とモジュール型の実験効率はほぼ同じ値で、理論効率より僅かに低い。直列接続のモジュール型はすのこ型とほぼ同じ特性を示すが、並列接続では R_{Lmax} が小さくなり η_{max} も低下する。

〈4.2〉位置ずれ特性 ($L=0, W=0\sim 150$ mm)

$R_L=10.0\Omega$ 一定とし、約1kWの給電実験を行った。 C_p, C_s は標準状態と同じ値を使用した。実験結果を図4に示す。

位置ずれが大きくなると、結合係数と b は低下する。二次巻線の自己インダクタンス L_2 はほぼ一定であり、(1)式より C_p の値は一定で良いことが分かる。

$W=150$ mmまでの平均効率はモジュール型92.9%、すのこ型93.8%ですのこ型の方がわずかに高い。実用的には差はない。位置ずれが大きくなるとモジュール間の結合が異なるため、各モジュールで端子電圧が異なる現象が見られた。

5. 考察

結合係数の低下の原因を調べるため磁界解析を行った。その結果から得られた模式図を図5に示す。すのこ型とモジュール型では、コア間の磁束の方向が異なる。モジュール型ではコア間に左右モジュールの漏れ磁束が発生する。

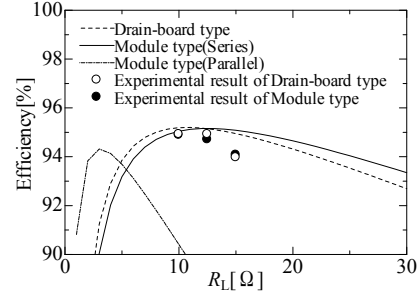
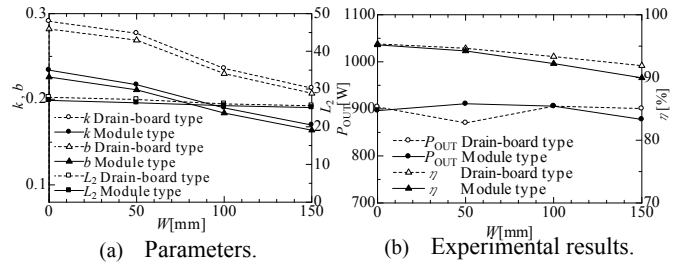


図3 給電効率の負荷抵抗による変化
Fig.3. Efficiency change with load resistance value.



(a) Parameters.

(b) Experimental results.

図4 W 方向の位置ずれ特性

Fig.4. Characteristics with W position change.

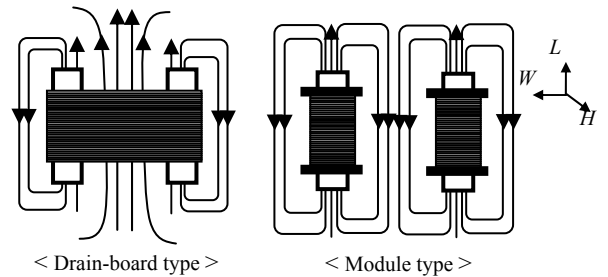


図5 磁界分布の比較

Fig.5. Comparison of the magnetic field distribution.

すのこ型ではコア間の巻線のためこの漏れ磁束は発生せず、この分結合係数や b が高くなると考えられる。

6. まとめ

巻線長を短くできれば、モジュール型はすのこ型に比べて軽量化が可能であり、巻線抵抗減少による高効率化が期待できる。しかし実際には結合係数が低下するため、高効率化が難しいことを示した。

今後はモジュール型の効率改善策を検討すると共に、特徴を活かした活用方法を検討したい。

文献

- (1) 江原, 長塚, 金子, 阿部, 保田, 井田: 電気学会産業応用部門大会講演論文集, 2-25, pp. II 343- II 348, (2009)