

直列および並列コンデンサを用いた非接触給電の効率

及川 康史*, 松下 真也, 金子 裕良, 阿部 茂 (埼玉大学)

Efficiency of Contactless Power Transfer System using Series and Parallel Resonant Capacitors
Yasuhumi Oikawa, Shinya Matsushita, Yasuyosi Kaneko, Shigeru Abe (Saitama University)

1. はじめに

非接触給電装置の二次側に並列共振コンデンサを一次側に直列共振コンデンサを設置し、これらを適切な値にするとコンデンサを含む等価回路は理想トランスとほぼ等価になる⁽¹⁾⁽²⁾。この特性を利用し二次側負荷を等価抵抗で表せば、給電効率の近似式が得られる。給電効率が最大になる等価抵抗の値を求めれば、そのときの最大効率は極めて簡単な式となり、非接触給電の効率の本質が明らかになる。

2. 移動型非接触給電システム

図 1 にシステム構成を、図 2 に詳細等価回路を示す。給電線は周波数 $f_0=20\text{kHz}$ の方形波インバータ電源で駆動し、電源と給電線の間に直列共振コンデンサ C_s を、受電部端子に並列共振コンデンサ C_p を設置し、負荷は抵抗 R_L とする。

図 2 で x_0, x_1, x_2 は励磁および漏れリアクタンスを、 r_1, r_2 は巻線抵抗を、 $a (=N_1/N_2)$ は巻数比を表し、一次側諸量は二次側に換算し $'$ を付けて表す。鉄損 r_0 は $r_0 \ll x_0$ のため無視した。

$r_1 \ll x_1, r_2 \ll x_2$ のため、図 2 の r_1, r_2 を省略した簡略等価回路で考える。 C_p は x_0' と x_2 と共振するように決める。

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

C_s はインバータ出力から見た負荷側のインピーダンス Z の虚数部が 0 になるよう(2)式の値に決める。

$$\frac{1}{\omega_0 C_s'} = x_s' = x_1' + \frac{x_2 x_0'}{x_0' + x_2} \quad \dots \dots \dots (2)$$

こうすると、 Z, V_2, I_2 は(3)(4)式で表され、巻数比 b の理想トランスと等価となる。

$$Z = b^2 R_L \quad b = \frac{x_0'}{x_0' + x_2} \quad \dots \dots \dots (3)$$

$$V_2 = \frac{V_{IN}'}{b} \quad I_2 = b I_1' \quad \dots \dots \dots (4)$$

3. 給電効率

簡略等価回路で巻線抵抗 r_1', r_2 の電流は I_1', I_2 となり、給電効率 η は(5)式で近似できる。

$$\eta = \frac{1}{1 + \frac{r_1'}{b^2 R_L} + \frac{r_2}{R_L} (1 + \frac{R_L}{x_p^2})} \quad \dots \dots \dots (5)$$

一般に $R_L \gg x_p$ であるので、 η は(6)式で近似できる。

$$\eta \cong \frac{1}{1 + \frac{r_1' (x_0' + x_2)^2}{R_L x_0'^2} + \frac{r_2 R_L}{(x_0' + x_2)^2}} \quad \dots \dots \dots (6)$$

給電効率 η が最大となる抵抗 R_{Lm} の値と、そのときの最大効率 η_m を求めると(7)式となる。

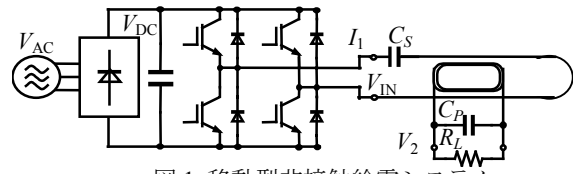


図 1 移動型非接触給電システム

Fig.1. Moving pick-up type contactless power transfer system.

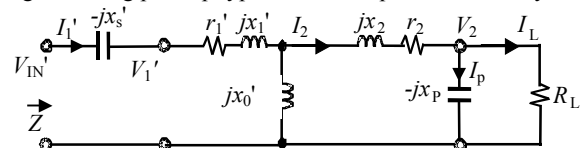


図 2 詳細等価回路

Fig. 2. Detailed equivalent circuit .

表 1 実験装置定数

Table 1. Parameters of experiment. [$\Omega, \mu\text{F}$]

x_1	x_2	x_0	R_L	r_1	r_2	C_s	C_p	$1/a$
0.33	2.06	0.086	50	0.011	0.044	21.6	1.55	6

表 2 効率結果

Table 2. Calculation results of efficiency.

case	1	2	3	4
η [%]	90.2	90.3	90.4	92.3

$$R_{Lm} = \frac{(x_0' + x_2)^2}{x_0'} \sqrt{\frac{r_1'}{r_2}} \quad \eta_m = \frac{1}{1 + \frac{2\sqrt{r_1' r_2}}{x_0'}} \quad \dots \dots \dots (7)$$

非接触給電の効率を決めるのは、 a, r_1, r_2 と x_0 で漏れリアクタンスには依らないことが分かる。

4. 計算例

表 1 の定数で、図 2 の詳細等価回路で計算した結果を表 2 の case1 に、(5)(6)式での計算結果を case2,3 に示す。また(7)式で計算すると $R_{Lm}=25.1\Omega$ となり、そのときの効率を case4 に示した。

5. むすび

直列および並列共振コンデンサを用いた非接触給電の最大効率を解析的に求めた。本方式ではコンデンサを含む等価回路が理想トランスと等価になるので最大効率は極めて簡単な近似式で表すことができる。効率を上げるには巻線抵抗 r_1, r_2 を小さくし、励磁リアクタンス x_0 を大きくすれば良く、漏れリアクタンス x_1, x_2 には関係ない。

文 献

- (1) 藤田・金子・阿部：電学研資, SPC-06-46, pp.53-58 (2006)
- (2) 松下・及川・岩田・金子・阿部：電学研資, SPC-07-29(2007)