

中継コイルを用いた三相非接触給電の基礎的検討

学生員 奈良 健司* 正員 金子 裕良 (埼玉大学)

A Basic Study about Three-phase Contactless Power Transfer System Using Repeater Coils

Kenji Nara*, Student Member, Yasuyoshi Kaneko, Member (Saitama University)

キーワード：三相非接触給電, 中継コイル, コンデンサ
(Three-phase contactless power transfer, Repeater coil, Capacitor)

1. はじめに

非接触給電の回路方式は様々であり, 中継コイル方式は受電側不在時に過電流を抑制できる[1]. また, 三相非接触給電は高効率での大電力伝送が可能である. 本研究では, 中継コイルを含む三相非接触給電回路の特性解析を行う.

2. 回路解析

中継コイルを含む三相非接触給電回路を図 1 に示す. インダクタンスを M とし, $1, 2, r, u, v, w, a, b$ (一次, 二次, 中継コイル, U, V, W 相, 正対, 非正対コイルの意) を添えて表す. $n, m=1, 2, r$ とすると, 電圧電流の関係は簡略化して(1)式で表される.

$$\begin{bmatrix} v_{nu} \\ v_{nv} \\ v_{nw} \end{bmatrix} = \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \sum_m M_{nm_a} & \sum_m M_{nm_b} & \sum_m M_{nm_c} \\ \sum_m M_{nm_b} & \sum_m M_{nm_a} & \sum_m M_{nm_c} \\ \sum_m M_{nm_c} & \sum_m M_{nm_b} & \sum_m M_{nm_a} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{nu} \\ i_{nv} \\ i_{nw} \end{bmatrix} \quad (1)$$

(1)式を単相回路に等価変換し[2], 中継コイル方式と同様に回路解析する. 共振コンデンサ, 入力インピーダンス, 入出力関係, 最適負荷, 最大効率は(2)~(5)式で表される. ただし $r_n' = (r_{nu} + r_{nv} + r_{nw})/3$, また $n = m$ のとき $L_n = M_{nm_a}, M_n = M_{nm_b}$ である.

$$\begin{cases} C_{S1} = \frac{1}{\omega^2 \left((L_1 - M_1) - \frac{M_{1r_a} - M_{1r_b}}{M_{2r_a} - M_{2r_b}} (M_{12_a} - M_{12_b}) \right)} \\ C_{S2} = \frac{1}{\omega^2 \left((L_2 - M_2) - \frac{M_{2r_a} - M_{2r_b}}{M_{1r_a} - M_{1r_b}} (M_{12_a} - M_{12_b}) \right)} \\ C_r = \frac{1}{\omega^2 (L_r - M_r)} \end{cases} \quad (2)$$

$$Z_{IN} = \left(\frac{M_{1r_a} - M_{1r_b}}{M_{2r_a} - M_{2r_b}} \right)^2 R_L \quad (3)$$

$$\begin{bmatrix} V_{IN} \\ I_{IN} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{M_{1r_a} - M_{1r_b}}{M_{2r_a} - M_{2r_b}} & 0 \\ 0 & \frac{M_{2r_a} - M_{2r_b}}{M_{1r_a} - M_{1r_b}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_L \\ I_L \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$\begin{cases} R_{L_{max,r3}} = \omega(M_{2r_a} - M_{2r_b}) \sqrt{\frac{1}{r_r} \left\{ \left(\frac{M_{2r_a} - M_{2r_b}}{M_{1r_a} - M_{1r_b}} \right)^2 r_1' + r_2 \right\}} \\ \eta_{max,r3} = \frac{1}{1 + 2 \sqrt{r_r \left\{ \left(\frac{r_1}{(\omega(M_{1r_a} - M_{1r_b}))^2} \right)^2 + (\omega(M_{2r_a} - M_{2r_b}))^2 \right\}}} \end{cases} \quad (5)$$

3. シミュレーション

シミュレーション結果を図 2~図 5 に示す. 入力力率はほぼ 1, 入出力関係は理想変圧器特性である. 効率の負荷変動特性は理論値とシミュレーション値が一致している. また, 送電側コイルと受電側コイルのギャップを大きくすると, 入力インピーダンスが大きくなり, 入力電力も低下した.

4. まとめ

中継コイルを含む三相非接触給電回路の特性解析を行い, 三相回路においても中継コイル方式の特性が得られることを示した.

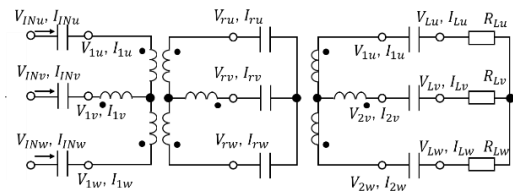


図 1 中継コイルを含む三相非接触給電回路

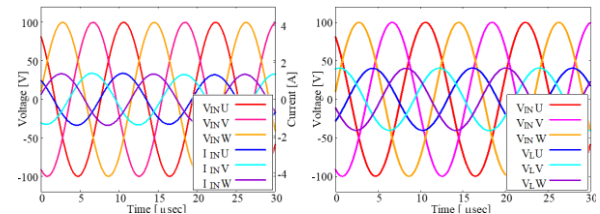


図 2 入力電圧電流

図 3 出力電圧

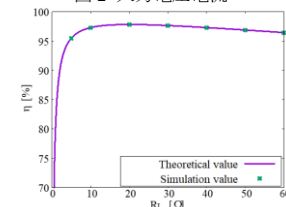


図 4 効率-負荷変動特性

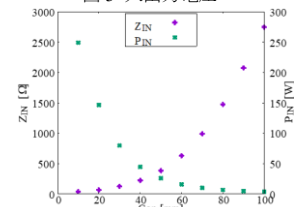


図 5 Z_{IN}, P_{IN} -Gap 特性

参考文献

[1] K.K.Ean, etc., "New Wireless Power Transfer via Magnetic Resonant Coupling for Charging Moving Electric Vehicle", *EVTeC and APE Japan*, 2014.
[2] 松本他:「相間相互インダクタンスを考慮した 3 相非接触給電システム」, 電気学会論文誌 D, Vol.130, No.8, pp.1039-1040(2010)