

直列型多段・多接続非接触給電システムの理論解析

学生員 宇野 皓* 正員 金子 裕良 (埼玉大学)

Analysis of Wireless Power Transfer System for Multistage Series Connection

Hiroshi Uno*, Student Member, Yasuyoshi Kaneko, Member (Saitama University)

キーワード：非接触給電，等価回路，力率，効率

Keywords : Wireless power transfer, Equivalent circuit, Power factor, Efficiency

1. はじめに

回転型ロボットアーム^[1]や 2 次元アクチュエータの応用を目的とした多段・多接続型非接触給電回路が提案されている。本稿では、SS 方式・SP 方式を 2 段で直列接続したシステムを設計する時に有用な、出力比を考慮した最大効率・最適負荷の理論式を導出し、その妥当性を検証した。

2. 理論解析

SS 方式を 2 段で直列接続したもの(2 段 SS 直列方式)と、2 段 SP 直列方式(Fig.1)に関して解析を行った。Fig.1 において入力電流 I_{in} から負荷抵抗 R_{L1} までを一段目、電流 I'_{in} から負荷抵抗 R_{L2} までを 2 段目と呼称する。各閉回路で共振、或いは 1・2 段目の入力力率がそれぞれ 1 となるようにコンデンサ値を決定すると、2 段 SS 直列方式では $R_{L2} \gg r_4$ 、2 段 SP 直列方式においては、 $2\omega L_4 > R_{L2}/Q_4$ (Q_4 は回路の鋭さ)を満たす場合において Table.1 に示す理論式が得られる。入出力特性は、2 段 SS 直列方式において、1 段目はイミタンス変換器特性、2 段目は理想変圧器特性となる。また、2 段 SP 直列方式においては、1・2 段目共に理想変圧器特性となる。2 段 SP 直列方式のシミュレーション結果(Fig.2)から入力波形 V_{in} と I_{in} を比較すると力率が 1 であること、 V_{in} と出力波形 V_{L1} 、 V_{L2} を比較しても、入出力特性の理論式と一致した。他

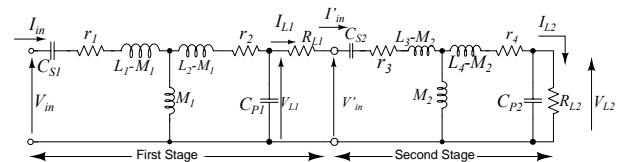
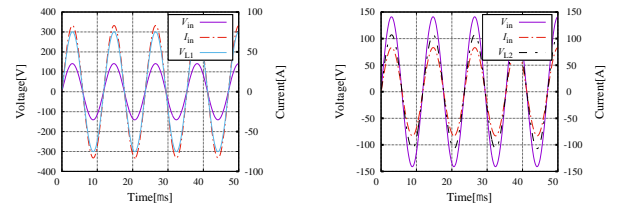


Fig.1 Equivalent circuit of double SP series topology



(a)First Stage

(b)Second Stage

Fig.2 Input and output waveform of double SP series topology の方式でも同様となり、理論式の妥当性が確認できた。

3. まとめ

2 方式での直列型多段・多接続型非接触給電回路の理論解析を行い、シミュレーションにてその妥当性が確認された。

参考文献

- [1] 河村ら “共振ポールプラス電流共振型高周波リンクインバータによるロボット関節のワイヤレス化と情報の重量”, 信学技報, PE95-2, pp.11-18, May. 1995.

Table.1 The analysis result of wireless power transfer system for multistage series connection

	2 段 SS 直列方式		2 段 SP 直列方式	
	1 段目	2 段目	1 段目	2 段目
コンデンサ値	$C_{s1} = \frac{1}{\omega^2 L_1}, C_{s2} = \frac{1}{\omega^2 L_2}$	$C_{s3} = \frac{1}{\omega^2 L_3}, C_{s4} = \frac{1}{\omega^2 L_4}$	$C_{s1} = \frac{L_2}{\omega^2(L_1 L_2 - M_1^2)}, C_{p1} = \frac{1}{\omega^2 L_2}$	$C_{s2} = \frac{L_4}{\omega^2(L_3 L_4 - M_3^2)}, C_{p2} = \frac{1}{\omega^2 L_4}$
入出力特性	$\begin{bmatrix} V_{in} \\ I_{in} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -j\omega M_1 \\ \frac{1}{j\omega M_1}(1 + \frac{Z'_{in}}{R_{L1}}) & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{L1} \\ I_{L1} \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} V_{L1} \\ I_{L1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{M_1}{M_2} & 0 \\ 0 & -\frac{M_2}{M_1}(1 + \frac{R_{L1}}{Z'_{in}}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{L2} \\ I_{L2} \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} V_{in} \\ I_{in} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{M_1(1 + \frac{Z'_{in}}{R_{L1}})}{L_2} & 0 \\ 0 & \frac{L_2}{M_1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{L1} \\ I_{L1} \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} V_{L1} \\ I_{L1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{M_3 M_2}{L_2 L_4}(1 + \frac{R_{L1}}{Z'_{in}}) & 0 \\ 0 & \frac{L_2 L_4}{M_3 M_2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{L2} \\ I_{L2} \end{bmatrix}$
出力比考慮時の負荷抵抗 ($P_{L1}:P_{L2}=m:n$)	$R_{L1} = \frac{m}{n} \frac{(\omega M_2)^2}{R_{L2}}$		$R_{L1} = \frac{m}{n} \left(\frac{M_2}{L_4}\right)^2 R_{L2}$	
条件付き最大効率 η'_{max}	$\frac{\gamma \omega M_2}{\gamma \omega M_2 + 2\sqrt{r_2 + r_3} \sqrt{\gamma^2 \left(\frac{M_2}{M_1}\right)^2 r_1 + r_4}}$		$\frac{\gamma \omega L_2 M_2}{\gamma \omega L_2 M_2 + 2\sqrt{\alpha(\gamma^2 M_2^2 r_2 + L_3^2 r_4)}}$	
条件付き最適負荷 (R_{L2} 換算時)	$R'_{L1opt} = \frac{m}{n} \omega M_2 \sqrt{\gamma^2 \left(\frac{M_2}{M_1}\right)^2 r_1 + r_4}$	$R'_{L2opt} = \omega M_2 \sqrt{\gamma^2 \left(\frac{M_2}{M_1}\right)^2 r_1 + r_4}$	$R'_{L1opt} = \frac{m}{n} \frac{\sqrt{\alpha} \omega L_2 M_2}{\sqrt{\gamma^2 M_2^2 r_2 + L_3^2 r_4}}$	$R'_{L2opt} = \frac{\sqrt{\alpha} \omega L_2 L_4^2}{M_2 \sqrt{\gamma^2 M_2^2 r_2 + L_3^2 r_4}}$
備考	$Z'_{in} := \frac{(\omega M_2)^2}{R_{L2}}, Z'_{in} := \left(\frac{M_2}{L_4}\right)^2 R_{L2}, \gamma := \frac{m+n}{n}, \alpha := r_1 \left(\frac{L_2}{M_1}\right)^2 + r_2 + r_3 + r_4 \left(\frac{M_2}{L_4}\right)^2$			