

磁界共振結合方式によるワイヤレス給電における周波数のずれによる影響の解析

Effects of the Shift in the Operating and Self Resonant Frequencies
in Wireless Power Transfer via Magnetic Resonant Coupling

平松敏幸¹ 居村岳広² 堀洋一²
Toshiyuki Hiramatsu Takehiro Imura Yoichi Hori

東京大学大学院 工学系研究科 電気系工学専攻¹
Department of Electrical Engineering, Graduate School of Engineering, The University of Tokyo
東京大学大学院 新領域創成科学科 先端エネルギー工学専攻²
Department of Advanced Energy, Graduate School of Frontier Sciences, The University of Tokyo

1 まえがき

近年、高効率で大ギャップを伝送できる磁界共振結合方式によるワイヤレス電力伝送が注目されている [1]。磁界共振結合方式は送電側と受電側のコイルの共振周波数と動作周波数を一致させる手法である。しかし、双方コイルの共振周波数を完全に一致させるのは困難である。本稿では、双方コイルの共振周波数と動作周波数のずれによる影響を等価回路を用いて解析を行った。送受電コイルのどちらが何に影響を与えるかを明らかにすれば、動作周波数の選択やコイルを設計に大変有益である。

2 磁界共振結合方式の等価回路による解析

図 1 から、伝送効率 η 、伝送電力 P_L 、電源側からみた力率 $\cos\theta$ を求めると以下ようになる。

$$\eta = \frac{(\omega L_m)^2 Z_L}{\{(R_2 + Z_L)\{R_1(Z_L + R_2) + (\omega L_m)^2\} + R_1 X_2^2}} \quad (1)$$

$$P_L = \frac{(\omega L_m)^2 Z_L}{\alpha + \beta} V_1^2 \quad (2)$$

$$\cos\theta = \frac{(\omega L_m)^2 X_2 - (R_2 + Z_L)^2 X_1 - X_1 X_2^2}{\alpha + \beta} V_1^2 \quad (3)$$

ただし、

$$X_1 = \omega L_1 - \frac{1}{\omega C_1}, \quad X_2 = \omega L_2 - \frac{1}{\omega C_2}$$

$$\alpha = \{R_1(Z_L + R_2) + (\omega_0 L_m)^2\}^2$$

$$\beta = -2(\omega L_m)^2 X_1 X_2 + X_1^2 X_2^2 + R_1^2 X_2^2 + (R_2 + Z_L)^2 X_1^2$$

とする。 X_1 と X_2 はそれぞれ送電側及び受電側コイルの抵抗分を除いたインピーダンス成分である。双方コイルの共振周波数が完全に一致している場合は、 $X_1 = X_2 = 0$ であり、それぞれのコイルの共振周波数から動作周波数のずれが大きくなるほどそれぞれの絶対値は大きくなる。

図 2 は最大効率負荷時の、図 3 は最大伝送電力負荷時の式 (1)~(3) の計算結果を示す。これらの結果から、伝送効率には受電側のコイルのずれが影響し、伝送電力は

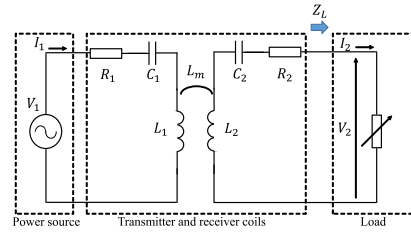


図 1 Equivalent circuit of magnetic resonant coupling.

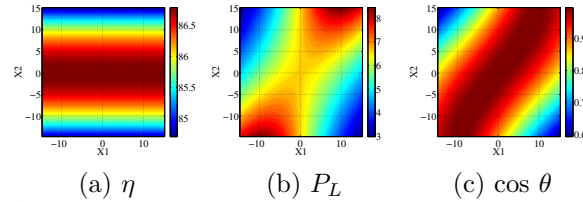


図 2 $L_m=38\mu\text{H}$ (maximum efficiency load 23Ω).

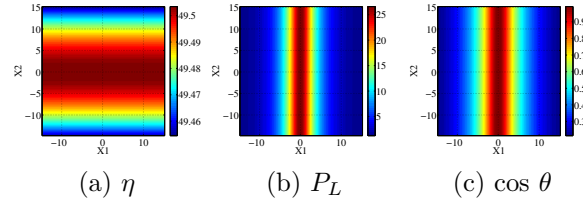


図 3 $L_m=38\mu\text{H}$ (maximum power load 340Ω).

送電側コイルのずれの影響が支配的である。とくに負荷が大きいために X_1 の影響が伝送電力に対して大きく、文献 [2] のように送電側を簡素化し、受電側で電力を制御するには $X_1 = 0$ として動作するのが望ましい。

3 まとめ

本稿では、共振周波数による磁界共振結合方式への影響を解析した。これにより、双方のコイル設計や適切な動作周波数の選定に寄与できると考える。

参考文献

- [1] 居村岳広 他共著：「等価回路から見た非接触電力伝送の磁界結合と電界結合に関する研究」, 電学論 D, vol. 130 no. 1 pp. 84-92 2010
- [2] 平松敏幸 他共著：「受電側電圧制御によるワイヤレス給電電力制御におけるフィードフォワード制御器の実験的検証」, 電気学会産業応用部門大会, pp.131-134, 2014.