

発振器融合型送信回路を用いた 共鳴型ワイヤレス給電の効率改善

7308050 梶田 青吾

1. はじめに

2006年～2007年にかけて新しい伝送方式としてMITからWiTricity (Wireless Electricity の造語) という非放射型の電磁共鳴技術が発表され、近年では、電磁共鳴型のワイヤレス電力伝送の研究が盛んに行われている [1]. 電磁共鳴の問題点として、銅損や表皮効果などの抵抗損失による効率減少や、電源の内部インピーダンスによって効率を低下させてしまうことがあげられる [2].

そこで本研究は、結合回路のコイルを発振器のインダクタと共用した共鳴型ワイヤレス給電用送信回路を提案する. この回路を用いることにより、発振器の接続条件の検討が必要なくなると共に、負性抵抗の特性により損失抵抗を打ち消すことでQを向上させ、伝送効率を向上することが予想される. 従来法である回路と提案する発振器を用いた回路をそれぞれ回路シミュレーションにより距離と効率の関係を求め、比較することによって提案する回路に優位性があるか検討を行った.

2. 電磁共鳴

2.1. 概要

電磁共鳴は、コイルとコンデンサで構成された2つの共振器が共振状態において電界または磁界で結合し、電力を伝送する現象のことをいう. 磁界で結合している場合を磁界共鳴、電界で結合している場合を電界共鳴という、本研究では磁界共鳴を用いる. 共鳴現象を利用するためには、送信側、受信側それぞれの共振周波数を合わせる事が重要である [1].

2.2. 等価回路

電磁共鳴の等価回路は2つのLC直列共振回路として表すことができ、図1のように示される. このときの共振周波数は式(1)で表される.

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \dots \dots \dots (1)$$

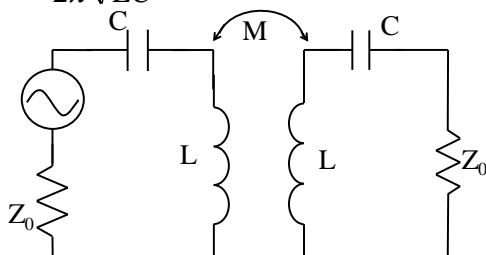


図1 電磁共鳴現象の等価回路

ここで、伝送線路の特性インピーダンスを Z_0 とし、送受信回路の相互インダクタンスを $M=k \cdot L$ (k は結合係数) とする.

3. 発振器融合型送信回路の提案

3.1. 回路モデル

従来の送信回路をコルピッツ発振器にした回路を図2に示す. コルピッツ発振器のコンデンサ C_1, C_2 が式(2)の時、式(1)と等しくなるため、共振周波数の条件は満たす. ここで、 d は伝送距離であり、結合係数 k を $0 \leq k \leq 1$ で変化させることにより伝送距離を決定することができる.

$$C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} \dots \dots \dots (2)$$

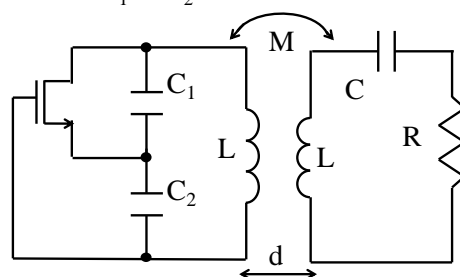


図2 発振器融合型送信回路と受信回路

3.2. 相互インダクタンス

結合係数 k と伝送距離の関係を求めるため、相互インダクタンスを求める. 相互インダクタンス M はノイマンの公式(3)で求めることができ、図2のアンテナモデルの時、式(4)が求まる [3].

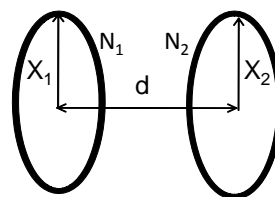


図3 アンテナのモデル図

$$M = \frac{\mu}{4\pi} \iint \frac{ds_1 ds_2}{r_{12}} \dots \dots \dots (3)$$

$$M = \frac{2\mu N_1 N_2}{m} \sqrt{x_1 x_2} \left\{ \left(1 - \frac{m^2}{2} \right) K(m) - E(m) \right\} \dots \dots \dots (4)$$

ここで、 x_1, x_2 はアンテナの半径、 N_1, N_2 はアンテナの巻き数、 ds_1, ds_2 はアンテナ上の微小線要素、 r_{12} は ds_1 と ds_2 の距離である. ただし、 $K(m), E(m)$ は式(5), 式(6)である.

$$E(m) = \int_0^{\pi/2} \sqrt{1 - m^2 \sin^2 u} du$$

$$K(m) = \int_0^{\pi/2} \frac{du}{\sqrt{1 - m^2 \sin^2 u}} \dots \dots \dots (5)$$

$$u = \frac{\theta - \pi}{2}, \quad m^2 = \frac{4x_1x_2}{(x_1 + x_2)^2 + d^2} \quad \dots (6)$$

3.3. 結合係数 k の距離特性

送受信のアンテナが共に半径が 200mm, 巻き数が 3 巻きと想定し, 式 (4) より結合係数 k の距離特性を算出し, 図 4 に示す.

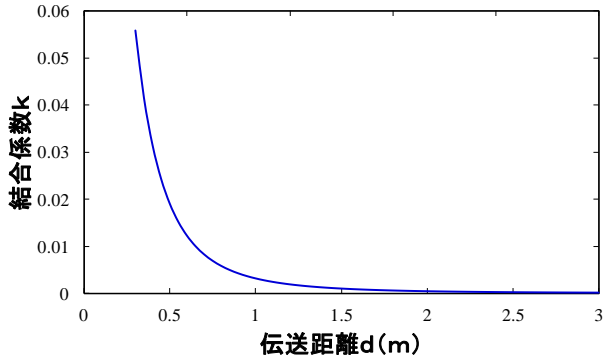


図 4 結合係数 k の距離特性

4. 回路シミュレーション

4.1. バイアスを考慮した発振器融合型回路

図 2 にバイアスを考慮したシミュレーション回路を図 5 に示す. 電源の供給電力を P_{dc} ($=I_{in} \cdot V_{dd}$), 負荷 R の消費電力を P_L とし, 効率 η を式 (7) で求めた.

$$\text{効率} \eta = \frac{P_L}{P_{dc}} \quad \dots (7)$$

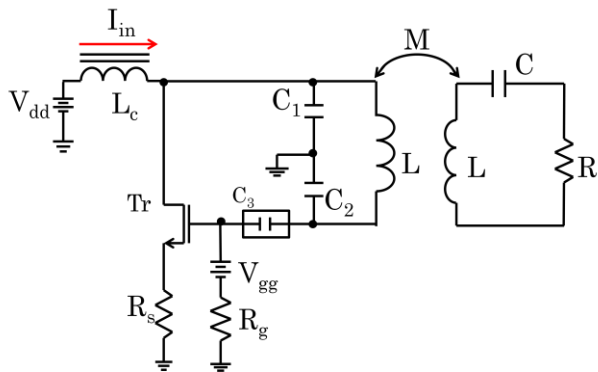


図 5 バイアスを考慮した発振器融合型回路

4.2. シミュレーション結果

シミュレーション回路の各パラメータを表 1 に示し, 図 1 と図 2 のシミュレーション結果の比較を図 5 に示す. 図 5 からわかるように 0.4m から 3m では発振器を用いた回路が従来の共振回路より高効率で伝送できることが確認できる. また, 発振器を用いた回路の最高効率の時の P_{dc} , P_L トランジスタの消費電力 P_{Tr} , R_s の消費電力 P_{rs} , R_g の消費電力 P_{rg} を表 2 に示す.

表 1 シミュレーション諸元

バイアス	Vdd	6V
	Vgg	-3.7V
	Rs	1kΩ
	Rg	200kΩ
トランジスタTr	MGF2407A (三菱電機製)	
インダクタンスL	8.5μH	
静電容量C1,C2	19.4pF	
静電容量C	9.7pF	
共振周波数f0	17.5MHz	
負荷抵抗R	50Ω	
電力伝送距離d	0.4~3[m]	

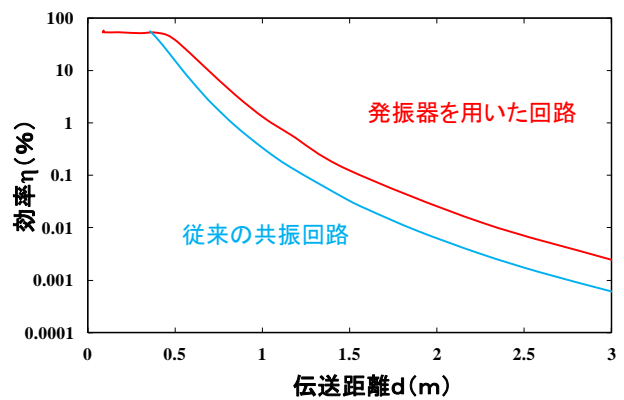


図 6 従来の共振回路と発振器を用いた回路の効率比較

表 2 伝送距離 d=0.5m の各電力 (mW)

P_{dc}	P_L	P_{Tr}	P_{rs}	P_{rg}
4.375	2.333	0.719	1.236	0.07

5. まとめ

結合回路のコイルを発振器のインダクタと共用した共鳴型ワイヤレス給電用送信回路を提案した. 提案した回路を用いることにより 0.4m 以上において, 従来の回路より高効率での伝送が可能であることを回路シミュレーションにより評価した.

今後の課題として, バイアスの抵抗やトランジスタによる損失を減少させ, より伝送効率を上げることを検討したい.

参考文献

- [1]Marin Soljačić, “電力を無線伝送する技術を開発実験で 60W の電球を点灯”, 日経エレクトロニクス, 2007, pp.117-128.
- [2]居村岳広, “等価回路から見た非接触電力伝送の磁界結合と電界に関する研究”, 電学論 D, 2010, pp.84-92.
- [3]高橋秀俊, “電磁気学”, 京裳華房, 1959