

## A-26 Q値制御による電界結合型無線電力伝送のマッチング回路の最適化

鎌塚康生\*, 古城直輝\*, 立石栄一\*\*, Hussein Mahdi\*\*\*, 服部励治\*

(\*九州大学大学院総合理工学府, \*\*ヒノデホールディングス, \*\*\*The Arctic University of Norway)

## 1. はじめに

近年、電気自動車 (EV) に対する注目が顕著である。しかし、航続距離・充電時間・車両価格が普及の阻害要因となっている。それらの課題を解決するために、我々の研究グループではワイヤレス給電 (Wireless Power Transfer; WPT), 特に電界結合方式 (Capacitive Power Transfer; CPT) による給電システムを提案している。本稿では、13.56 MHz帯のCPTシステムにおけるマッチング回路の最適化を目的として、ベクトルネットワークアナライザ (VNA) による反射特性  $S_{11}$  を用いたQ値評価を行い、結合容量の変動に対する特性を整理する。

## 2. 理論・手法

CPTは、送受電電極間の静電容量結合を介して交流電界により変位電流を流し、L/Cで共振を形成して電力を送る方式である。平行平板近似では結合容量  $C_c$  は、距離増加にしたがって反比例して減少する。 $C_c$  がいくら小さくても理論上共振条件が成立し、直列抵抗で決まる効率で電力伝送可能であるが、実際は共振ピークのQ値が極めて高くなり、共振条件の安定性が失われ電力伝送ができなくなってしまう。このQ値は共振特性の「鋭さ」(中心周波数に対する帯域の狭さ)を示す指標であり、周波数応答のピーク値とその幅から評価できる。Q値が高いほどピークは鋭く効率は上がりやすいが帯域が狭く、周波数・位置ずれに対して敏感になる。

したがって、距離を掃引しながら  $S_{11}$  の負のピークのピーク値とQ値を比べることで、距離耐性と効率のトレードオフを把握できる。

本研究では VNA の 1 ポート測定により反射係数  $S_{11}$  を評価した。反射係数は以下の式のように与えられる。

$$S_{11} = \frac{Z_{in}(f) - R_0}{Z_{in}(f) + R_0} \quad (1)$$

ここでは  $Z_{in}(f)$  は CPT 回路が  $50 \Omega$  ポートから見せる入力インピーダンスである ( $R_0 = 50 \Omega$ )。共振周波数  $f_0$  では、入力インピーダンスは

$$Z_{in}(f) \approx R_{int} + jX_{tot}(f) \quad (2)$$

と表せる。共振点では  $X_{tot}(f_0) = 0$  となるため、

$$|S_{11}|_{\min} = \left| \frac{R_{int} - R_0}{R_{int} + R_0} \right| \quad (3)$$

となり、最小反射は  $50 \Omega$  からの差 (内部シリアズ抵抗  $R_{int}$ ) で決まる。

次に、図1に本研究で使用したCPTシステムを搭載した回路を示す。直列インダクタ  $L_1$  を  $L_{1a}$ 、 $L_{1b}$  に分解する。 $L_1$  を分解することで、L型マッチング回路の理論[1]が適用でき、共振点で右側を純抵抗  $R_L'$  に等価化できるため、

$$Q = \sqrt{\frac{R_0}{R_L'} - 1} \quad (4)$$

を用いて帯域・結合を直接評価できる。また、図2にその際の等価回路を示す。

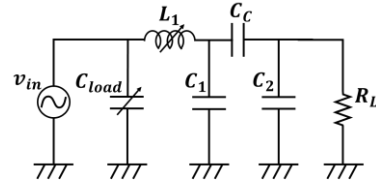


図1 回路モデル

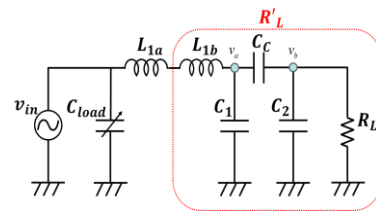
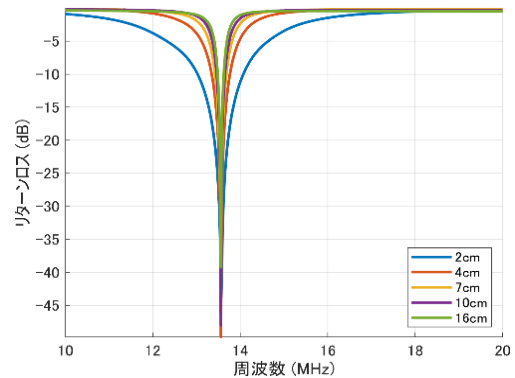


図2 等価回路

## 3. 実験結果と考察

電極間距離  $d=2\sim 16$  cm を掃引し、VNA で 13.56 MHz 近傍の  $S_{11}$  を測定した。結果、距離増加に伴い  $S_{11}$  のピークが鋭くなり、 $Q$  が増大する傾向を確認した(図3)。

図3 電極間距離による  $S_{11}$  リターンロス特性の変化

## 4. おわりに

本稿では、1ポート測定に基づく  $S_{11}$  の与え方を整理した。実測では、電極間距離の増加に伴いQ値が鋭くなり、帯域が狭くなる傾向を確認し、本モデルと整合する結果を得た。今後の研究では、受電側に直列インダクタ  $L$  を付加して、Q値を意図的に低下させる設計・評価を進める。また、20~30 cm の距離域での実機検証を行い、距離変動下でも整合が維持できる条件の探索・評価を行う。

## 参考文献

- [1] D. M. Pozar, Microwave Engineering, 4th ed., Hoboken, NJ: Wiley, 2012.