

ワイヤレス電力伝送におけるサーチコイルを用いた小型金属異物検出法の提案

上沼直輝*, 居村岳広 (東京理科大学)

Proposal of Foreign Object Detection for Small Metals Using Search Coil in Wireless Power Transfer
Naoki Kaminuma*, Takehiro Imura (Tokyo University of Science)

1. まえがき

ワイヤレス電力伝送において、金属異物による伝送効率の低下や発熱は大きな課題である⁽¹⁾⁽²⁾。現在異物検出の研究は進められているが、サーチコイル方式においては小さい金属異物が検出できないという問題がある。

本稿は、コイルサイズとパラメータ感度を考慮した異物検出法によって小さい金属を検出する方法を提案し、実際に検証を行う。

2. サーチコイルと異物の配置

本稿で提案、実証するサーチコイルは、一次側のみに検出用のコイルを設置し、小さい金属異物の有無によって変化するパラメータを測定することで、異物を検出する方法である⁽³⁾。コイルサイズは、一辺 1, 3, 5, 7, 10 cm の 5 種類のコイルをそれぞれ作成した。コイル作成において、巻かない箇所の長さと同様の幅を 1:1 となるようにする。なお、今回金属異物は、全長 3 cm のクリップを用いる。コイルサイズと異物の位置について Fig.1 に示す。またクリップはコイルに対し水平に置かれる。

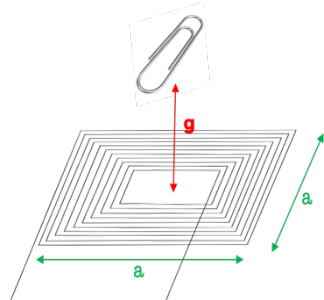


図1 コイルサイズと異物の位置

Fig.1 Coil size and small metal's position

3. f_{QMAX} を用いた方式(コイル単体)

<3-1>測定方法

上記で述べた 5 種類のコイルにインピーダンスアナライザ (Keysight Technologies E4990A) を接続し、異物を置いた場合と置かなかった場合の測定を行なった。異物の位置は、コイルの中心で、コイルと異物のギャップは 0~4 cm である。異物なしで最大の Q 値を得る周波数(以後 f_{QMAX})におけるパラメータ Q , $|Z|$, R を測定し、異物がない場合と異物がある場合でのパラメータの差 ΔQ , $\Delta|Z|$, ΔR を調べる。 Z は式

(1)と定義され、 $|Z|$ は式(2)のように表せる。 ΔQ , $\Delta|Z|$, ΔR はそれぞれ式(3), (4), (5)に示す。この時、 X はリアクタンス、 Q_0 と Q_1 はそれぞれ異物がない時とある時の Q 値、 $|Z_0|$ と $|Z_1|$ はそれぞれ異物がない時とある時のインピーダンスの絶対値、 R_0 , R_1 はそれぞれ異物がない時とある時の抵抗である。実験の様子を Fig.2 に示す。

$$Z = R + iX \quad \dots (1)$$

$$|Z| = \sqrt{R^2 + X^2} \quad \dots (2)$$

$$\Delta Q = Q_0 - Q_1 \quad \dots (3)$$

$$\Delta|Z| = |Z_0| - |Z_1| \quad \dots (4)$$

$$\Delta R = R_0 - R_1 \quad \dots (5)$$

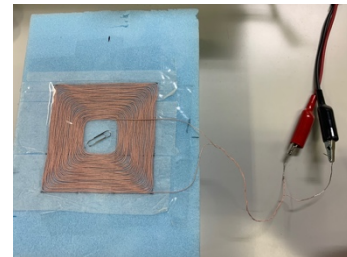


図2 実験の様子 ($a = 10$ cm, $g = 0$ cm)

Fig.2 Experiment setup ($a = 10$ cm, $g = 0$ cm)

<3-2>測定結果

測定結果をそれぞれ Fig.3 に示す。また、 f_{QMAX} の数値を Table.1 に示す

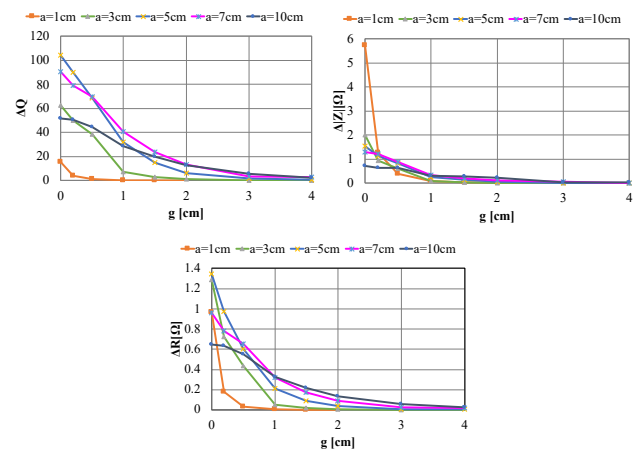


図3 ギャップと各パラメータの関係

Fig.3 Relation of gap and Each Parameter

表 1 各コイルサイズの f_{QMAX} Table.1 f_{QMAX} of Each Coil Size

Coil size (a [cm])	f_{QMAX} [MHz]
1	25.22
3	1.71
5	1.05
7	1.12
10	0.97

〈3-3〉考察

パラメータを比較すると、 ΔQ が最もパラメータ感度が大きい。 ΔQ , ΔR とともに、 $g = 0$ cm の時(ギャップがない時)の異物に対しての感度が最も大きいのは $a = 5$ cm である。また、 $a = 7, 10$ cm は、 $g = 0$ cm の時の感度は $a = 5$ cm に劣るが、 $g = 3$ cm の時も異物に反応しており、検出範囲に関しては最も大きい。

$a = 1$ cm の時の ΔZ が他に比べて値が大きくなっている原因としては、 f_{QMAX} が非常に高いため、自己共振の影響を受けていると考えられる。

4. f_{QMAX} と直列共振を用いた方式

〈4-1〉測定方法

f_{QMAX} 付近で共振する静電容量を持つコンデンサをそれぞれ選び、コイルとコンデンサを直列につないだ回路を、インピーダンスアナライザで測定した。 f_{QMAX} で共振する静電容量を求める式を式(6)に示す。 L_a は a cm のコイルのインダクタンスを表す。今回 $a = 1$ cm のコイルに f_{QMAX} で共振するコンデンサは、静電容量が非常に小さく、用意することが難しかったため、今回は、 $a = 1$ cm を除く 4 種類のコイルについて検証する。また、 Q は直列共振させた時、共振周波数で 0 となり、変化も非常に小さくなるため、今回は測定対象に含めない。ギャップは 0~5 cm の範囲で測定した。異物の位置は 3 章と同様である。

$$C = 1/(2\pi f_{QMAX})^2 L_a \quad \dots (6)$$

〈4-2〉測定結果

測定結果をそれぞれ Fig.4 に示す。また、用いた各コイルに用いたコンデンサの静電容量と、周波数を Table.2 に示す。

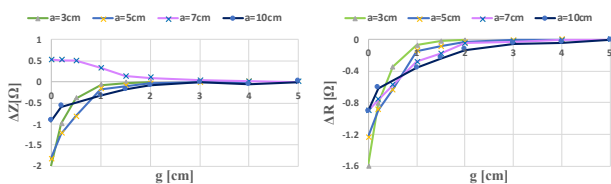


図 4 ギャップと各パラメータの関係
Fig.4 Relation of gap and Each Parameter

表 2 各コイルに用いたコンデンサの静電容量と共振周波数

Table.2 Capacitor Capacitance and Resonance Frequency

Coil Size (a[cm])	静電容量[nF]	共振周波数[MHz]
3	1.56	1.79
5	0.834	1.05
7	0.368	1.10
10	0.192	0.92

〈4-3〉考察

2 章で検証したコイル単体のサーチコイルと比較すると、異物の有無によるパラメータ感度、ギャップの検出範囲ともに大きな変化が見られなかった。コイル単体のサーチコイルでは全てのパラメータも正の値、すなわち異物なしの数値が異物ありの数値より大きかったが、直列共振を用いた方式においては、 $a = 7$ cm の時の ΔZ を除き、各パラメータにおいて負の値となった。

5. まとめ

今回は、ワイヤレス電力伝送におけるサーチコイルを用いた小型金属異物検出法を提案し、 f_{QMAX} を用いたコイル単体での方式と、 f_{QMAX} と直列共振を用いた方式の 2 つの方法を検証した。2 つの方法ともに異物の有無によってパラメータの変化が見られ異物を検出できることがわかった。また、2 つの方法を比較して、異物の有無によるパラメータ感度、検出範囲ともに大きな差はなかった。今後の課題として、本稿では 2 つの方法を比較するため、両方 f_{QMAX} に着目し、用いるパラメータも統一したが、測定する周波数帯、パラメータなどを変えることで、さらにパラメータ感度や、検出範囲が向上する可能性を検討していく。

謝 辞

本研究の一部は JSPS 科研費 17H04915 の助成を受けたものです。

文 献

- (1) Shinichi Fukuda, Hiroaki Nakano, Yuji Murayama, Tomomichi Murakami, Osamu Kozakai and Kenichi Fujimaki "A novel metal detector using the quality factor of the secondary coil for wireless power transfer systems" in IEEE International Microwave Workshop Series on Innovative Wireless Power Transmission, No.12804163 10-11 May 2012
- (2) M Gi C. Jang, Seog Y. Jeong, Hyeong G. Kwak, and Chun T. Rim, "Metal object detection circuit with non-overlapped coils for wireless EV chargers", IEEE SPEC 2016, No.16656095, 5-8 Dec 2016
- (3) 駒崎 伸也, 金子 裕良, 阿部 茂 (埼玉大学), 保田 富夫((株)テクノバ), 鈴木 明(アイシン・エイ・ダブリュ(株)) 「電気自動車用非接触給電装置のギャップ中の異物検知法」, 平成 24 年電気学会産業応用部門大会, No.4-10, p.115-120 2012