

共振回路付きサーチコイルを用いた 非接触給電における金属異物検知法

大住 征有紀*, 宮島 奈那, 金子 裕良, 阿部 茂 (埼玉大学), 保田 富夫((株)テクノバ)

Methods for Detecting Foreign Metallic Objects using Search coil in Wireless Battery Charger

Masayuki Osumi*, Nana Miyajima, Yasuyoshi Kaneko, Shigeru Abe (Saitama University), Tomio Yasuda (Technova Inc.)

1. はじめに

近年、電気自動車およびプラグインハイブリッド自動車の給電方式として、利便性や保守性に優れた非接触給電システム⁽¹⁾が期待されている。非接触給電システムの構成を図1に示す。しかし、非接触給電では車載側と地上側のトランス間に金属異物が存在した状態で給電した際、誘導加熱により異物温度が上昇する危険があるため、金属異物の検知が必要不可欠である。カメラセンサを用いることで検知が可能であるが、落ち葉などで金属異物が隠れてしまうと検知が困難である。そこで、サーチコイル等を用いる手法⁽²⁾⁽³⁾が提案されているが、切換部が必要であったり検知能力が低いなどの問題がある。本稿では、検知能力の向上を目的としたサーチコイルの異物検知の手法を報告する。

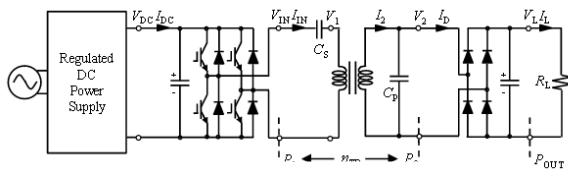


図1 非接触給電システム
Fig.1 Wireless power transfer system

2. 共振回路付きサーチコイルを用いた手法

切換部が不要な方式として、サーチコイルとコンデンサで直列共振回路を構成し、各共振回路を並列に接続する方式は有用である⁽³⁾。共振周波数は共振回路ごとに適度な間隔を隔てて設定する。このとき、回路のインピーダンスは各共振周波数で極値を持ち、異物が存在するとその下のコイルの共振周波数付近のインピーダンスが変化する。従来はサーチコイルの巻数は全て等しく(L一定)、コンデンサの値を変化させることで共振周波数を(1)式より設定している。しかし、サーチコイルは周波数を高くするまたは、巻数を多くすることで検知能力が向上する特性を持つため、巻数が一定の従来手法では金属異物の有無によるインピーダンスの変化が少ない共振周波数もあり、検知能力に差が出てしまい検知能力の低いコイルが存在してしまう。

本稿ではコンデンサの値は全て等しく(C一定)、サーチコイルの巻数を変化させることで共振周波数を設定する手法

を提案する。巻数が多いコイルではLが大きく共振周波数が低くなり、巻数が少ないコイルではLが小さく共振周波数が高くなるため、サーチコイルの特性から各コイルの検知能力の差が小さくなり最低検知能力が高くなる。さらに、本稿では、巻数の異なるコイル間の相互インダクタンスと異物検知能力の関係について、コイルの並べ方を変化させて検討した。

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

3. 異物検知回路の試作

<3.1>回路の接続方法

異物検知回路は、サーチコイルとコンデンサで直列共振回路を構成し、6個の共振回路を並列に接続することで回路を構成する。回路の構成は図2に示す。

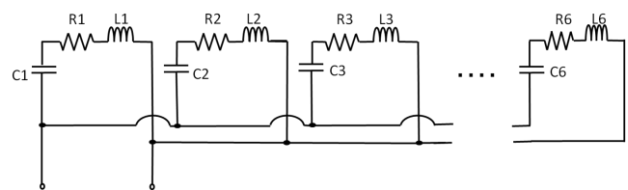


図2 直列共振並列接続
Fig.2. Series resonance circuit connected in parallel

<3.2>サーチコイルの試作

給電中にサーチコイルに大電流が流れることを防ぐためにコイルの形状を8の字型にした。8の字コイルの形状とコイルの配置を図3に示す。また、実際に試作した回路を図4に示す。

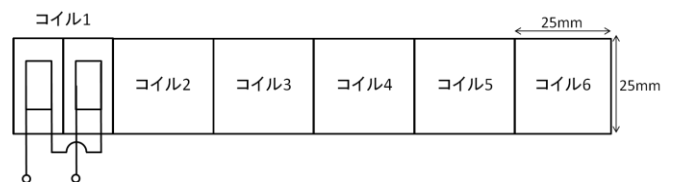


図3 サーチコイルの配置
Fig.3. Placement of search coil



図4 試作回路
Fig.4. Trial manufacture circuit

4. 異物検知実験

<4.1>実験方法

①従来手法(L 一定), ②提案手法(C 一定)の最低検知比について比較を行う。さらに, 提案手法ではサーチコイルの並べ方と検知能力の関係について検討する。実験は, サーチコイル上に異物がない状態で各コイルにおける共振周波数の正弦波の定電流を印加し, 電圧 V を測定する。次に, サーチコイル上に異物がある状態で各コイルにおける共振周波数の正弦波の定電流を印加し, 電圧 V' を測定する。測定した V と V' より検知比(V'/V)を求める。表1に各コイルの巻数を示す。本実験では100円硬貨を異物とした。

表1 各コイルの巻数
Table1. Number of turns of each coil

手法	①従来手法	②-1 提案手法	②-2 提案手法
コイルの配置	巻数	巻数	巻数
コイル 1	19	14	14
コイル 2	19	15	17
コイル 3	19	16	19
コイル 4	19	17	16
コイル 5	19	18	18
コイル 6	19	19	15

<4.2>実験結果

②-1 の測定結果を表2に, ①, ②-1, ②-2 の測定結果を比較したものを図5に示す。

表2 ②-1 の場合の測定結果
Table2. Measurement results in the case of ②-1

コイル巻数	共振周波数 [kHz]	異物なし		異物あり		検知比 V 比 (V'/V)
		V [mV]	V' [mV]	V [mV]	V' [mV]	
14	400	205	662	3.24		
15	374	131	509	3.88		
16	353	134	309	2.30		
17	330	126	295	2.34		
18	309	139	265	1.90		
19	292	79.6	157	1.97		

図5より, ①と②-1を比較したところ, 最低検知比は①は1.44であり②は1.97で最低検知比は①よりも②-1の方が36.8%程度上昇した。次に, サーチコイルの並び方による検知能力を比較する。②-1の最低検知比は1.97, 平均検知比は2.61, ②-2の最低検知比は2.19, 平均検知比は4.39

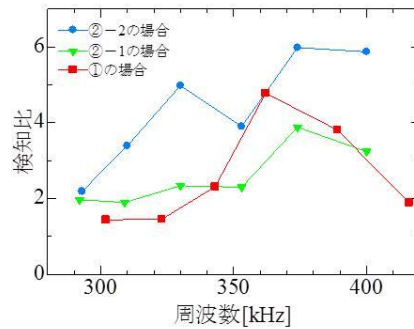


図5 検知比の比較
Fig.5. Comparison of detection ration

であることから, サーチコイルの並び方により検知能力が向上することが確認できた。また, このときの各コイル間の相互インダクタンス M を表3に示す。サーチコイルの並び方により相互インダクタンス M が変化し, ②-2の並び方の方が②-1より M が大きい。

表3 相互インダクタンス
Table3. Mutual inductance
(a)②-1の場合

隣り合うコイル巻数	14・15	15・16	16・17	17・18	18・19
M [μ H]	0.39	0.43	0.53	0.55	0.63

(b)②-2の場合

隣り合うコイル巻数	14・17	17・19	19・16	16・18	18・15
M [μ H]	0.44	0.53	0.58	0.86	0.62

表3より, 相互インダクタンスが大きくなるようにサーチコイルを並べることで検知能力が向上することが確認できた。これは, 相互インダクタンスが大きくなることにより, (2)式で表わされる磁気エネルギー U が大きくなり, 金属異物による損失が大きくなったためであると考えられる。

$$U = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^n L_k I_k^2 + \frac{1}{2} \sum_{k=1}^n \sum_{l=1}^{n'} M_{kl} I_k I_l \dots \dots \dots (2)$$

5. まとめ

共振回路付きサーチコイルを用いた異物検知の手法として, 従来手法である L 一定の手法と提案手法である C 一定の手法の比較を行った。提案手法では, 従来手法よりも最低検知比を向上できることが確認できた。また, 提案手法である C 一定の手法ではサーチコイルの並び方により検知能力が向上することが確認でき, 相互インダクタンスとの関係を確認することができた。

文献

- (1) 阿部茂・金子裕良:電気学会, Vol128, No12, pp.796-799(2008)
- (2) Witricity Corporation, S.T.Varghese, M.P.Kesler, K.L.Hall, H.T.Lou : "Foreign Object Detection in Wireless Energy Transfer Systems", U.S.Patent 2013/0069411 (2013.3.21)
- (3) 宮島奈那・金子裕良・阿部茂・保田富夫:平成 26 年電気学会産業応用部門大会, 4-7, pp.117-122