

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2016-7123  
(P2016-7123A)

(43) 公開日 平成28年1月14日(2016.1.14)

(51) Int.Cl.  
H02J 50/00 (2016.01)

F I  
H02J 17/00

テーマコード (参考)

B

審査請求 未請求 請求項の数 14 O L (全 42 頁)

(21) 出願番号 特願2015-102417 (P2015-102417)  
 (22) 出願日 平成27年5月20日 (2015. 5. 20)  
 (31) 優先権主張番号 特願2014-108817 (P2014-108817)  
 (32) 優先日 平成26年5月27日 (2014. 5. 27)  
 (33) 優先権主張国 日本国 (JP)

(71) 出願人 314012076  
 パナソニックIPマネジメント株式会社  
 大阪府大阪市中央区域見2丁目1番61号  
 (74) 代理人 100101683  
 弁理士 奥田 誠司  
 (74) 代理人 100155000  
 弁理士 喜多 修市  
 (74) 代理人 100180529  
 弁理士 梶谷 美道  
 (74) 代理人 100125922  
 弁理士 三宅 章子  
 (74) 代理人 100135703  
 弁理士 岡部 英隆  
 (74) 代理人 100188813  
 弁理士 川喜田 徹

最終頁に続く

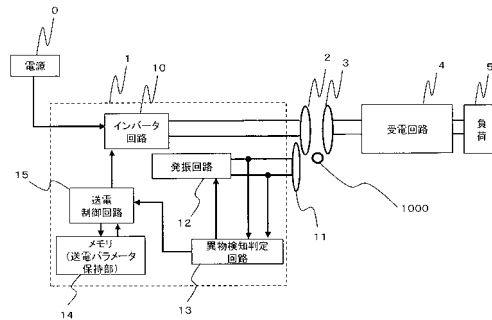
(54) 【発明の名称】 無線電力伝送システム及び無線電力伝送システムの送電装置

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 高い効率で継続して電力を送電できる送電装置を提供する。

【解決手段】 送電装置は、第1共振器と第2共振器との第1共振周波数  $f_{11}$  又は第1共振周波数  $f_{12}$  を用いて第1交流電力を生成するインバータ回路10と、第1共振器と第3共振器との第2共振周波数より低い周波数  $f_{10}$  又は第2共振周波数より高い周波数  $f_{20}$  を用いて第2交流電力を生成する発振回路12と、送電制御回路15とを備える。送電制御回路は、第1送電期間と次の第2送電期間との間に異物検知期間を設け、第1送電期間において周波数  $f_{11}$  及び周波数  $f_{12}$  のいずれか一方を用い、異物検知期間において周波数  $f_{10}$  及び周波数  $f_{20}$  のいずれか一方を用い、異物検知期間において異物が存在すると判断された場合は次の第2送電期間において、第1送電期間で用いた周波数とは別の周波数で送電を開始させる。

【選択図】 図1



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

第 1 交流電力を受電する第 1 共振器と、前記第 1 共振器が受電した前記第 1 交流電力を第 1 直流電力に変換して負荷に供給する受電回路とを備えた受電装置に対して非接触方式で前記第 1 交流電力を送電する送電装置であって、

前記第 1 共振器と電磁的に結合して前記第 1 交流電力を前記第 1 共振器に送電する第 2 共振器と、

前記第 1 共振器と電磁的に結合して第 2 交流電力を前記第 1 共振器に送電する第 3 共振器と、

前記第 1 共振器と前記第 2 共振器との間の第 1 共振周波数  $f_0$  より低い周波数  $f_{11}$  又は前記第 1 共振周波数  $f_0$  より高い周波数  $f_{12}$  を用いて前記第 1 交流電力を生成するインバータ回路と、

前記第 1 共振器と前記第 3 共振器との間の第 2 共振周波数  $f_r$  より低い周波数  $f_{10}$  又は前記第 2 共振周波数  $f_r$  より高い周波数  $f_{20}$  を用いて前記第 1 交流電力より小さい前記第 2 交流電力を生成する発振回路と、

前記発振回路に指示して前記周波数  $f_{10}$  又は前記周波数  $f_{20}$  のいずれか一方の前記第 2 交流電力を前記発振回路から生成させ、前記第 2 交流電力に応じて変化する前記第 3 共振器における物理量に基づき、前記第 1 共振器と前記第 3 共振器との間に異物が存在するか否かを判断する異物検知判定回路と、

前記周波数  $f_{11}$  又は前記周波数  $f_{12}$  のいずれか一方を前記インバータ回路に指示して前記インバータ回路に前記第 1 交流電力を生成させる送電制御回路と、を備え、

前記送電制御回路は、

前記第 2 共振器から前記第 1 共振器へ前記第 1 交流電力を送電する第 1 送電期間と前記第 1 送電期間の次の第 2 送電期間との間に前記異物検知判定回路による異物検知期間とを設け、

前記第 1 送電期間において、前記周波数  $f_{11}$  及び前記周波数  $f_{12}$  のいずれか一方を用い、前記異物検知期間において、前記周波数  $f_{10}$  及び前記周波数  $f_{20}$  のいずれか一方を用い、

前記異物検知期間において異物が存在すると判断された場合は、前記第 2 送電期間において、前記第 1 送電期間で用いた周波数とは別の前記周波数  $f_{11}$  または前記周波数  $f_{12}$  を使用することを前記インバータ回路に指示して前記第 1 交流電力の送電を開始させる

送電装置。

## 【請求項 2】

前記送電制御回路は、

前記異物検知期間において異物が存在しないと判断された場合は、前記第 2 送電期間において、前記第 1 送電期間で用いた周波数と同じ前記周波数である  $f_{11}$  または前記周波数  $f_{12}$  を使用することを前記インバータ回路に指示して前記第 1 交流電力の送電を開始させる、

請求項 1 に記載の送電装置。

## 【請求項 3】

前記送電制御回路は、

前記第 1 送電期間において前記周波数  $f_{11}$  を用い、前記異物検知期間において前記周波数  $f_{10}$  を用いた場合において、前記異物検知期間において異物が存在すると判断された場合、前記第 2 送電期間において前記周波数  $f_{12}$  を使用することを前記インバータ回路に指示して前記周波数  $f_{12}$  を用いた前記第 1 交流電力の送電を開始させる、

請求項 1 に記載の送電装置。

## 【請求項 4】

前記送電制御回路は、

前記第 1 送電期間において前記周波数  $f_{11}$  を用い、前記異物検知期間において前記周

10

20

30

40

50

波数  $f_{10}$  を用いた場合において、前記異物検知期間において異物が存在しないと判断された場合、前記第 2 送電期間において前記周波数  $f_{11}$  を使用することを前記インバータ回路に指示し、前記周波数  $f_{11}$  を用いた前記第 1 交流電力の送電を開始させる、  
請求項 2 に記載の送電装置。

【請求項 5】

前記送電制御回路は、

前記第 1 送電期間において前記周波数  $f_{12}$  を用い、前記異物検知期間において前記周波数  $f_{20}$  を用いた場合において、前記異物検知期間において異物が存在すると判断された場合、前記第 2 送電期間において前記周波数  $f_{11}$  を使用することを前記インバータ回路に指示し、前記周波数  $f_{11}$  を用いた前記第 1 交流電力の送電を開始させる、

10

請求項 1 に記載の送電装置。

【請求項 6】

前記送電制御回路は、

前記第 1 送電期間において前記周波数  $f_{12}$  を用い、前記異物検知期間において前記周波数  $f_{20}$  を用いた場合において、前記異物検知期間において異物が存在しないと判断された場合、前記第 2 送電期間において前記周波数  $f_{12}$  を使用することを前記インバータ回路に指示し、前記周波数  $f_{12}$  を用いた前記第 1 交流電力の送電を開始させる、

請求項 2 に記載の送電装置。

【請求項 7】

前記異物検知判定回路は、

前記第 2 交流電力に応じて変化する前記第 3 共振器における物理量を測定し、前記変化後の物理量と所定の基準値との差分が、所定の範囲を超えると、前記第 1 共振器と前記第 3 共振器との間に異物が存在すると判断する、

20

請求項 1 ~ 6 のいずれか 1 項に記載の送電装置。

【請求項 8】

前記異物検知判定回路は、

前記第 3 共振器における物理量を測定し、前記測定された物理量から算出した値に基づき、前記異物が存在するか否かを判断する、

請求項 1 ~ 7 のいずれか 1 項に記載の送電装置。

【請求項 9】

前記第 3 共振器における物理量は、前記第 3 共振器に印加される電圧、前記第 3 共振器に流れる電流、前記第 3 共振器に印加される周波数、前記第 3 共振器の入力インピーダンス値、又は、前記第 3 共振器の入力インダクタンス値である、

30

請求項 8 に記載の送電装置。

【請求項 10】

前記第 1 共振器は、コイル及びキャパシタを含む並列共振回路を有し、

前記異物検知判定回路は、

前記第 3 共振器における物理量が前記第 3 共振器の入力インダクタンス値である場合、前記発振回路が前記周波数  $f_{10}$  で発振しているときの前記第 3 共振器の入力インダクタンス値  $L_{in}(f_{10})$  と、前記周波数  $f_{20}$  で発振しているときの前記第 3 共振器の入力インダクタンス値  $L_{in}(f_{20})$  とを測定し、

40

$k^2 = 1 - L_{in}(f_{20}) / L_{in}(f_{10})$  の式によって結合係数  $k$  を算出し、前記算出した結合係数  $k$  に基づいて異物が存在するか否かを判断する、

請求項 1 ~ 9 のいずれか 1 項に記載の送電装置。

【請求項 11】

前記第 1 共振器は、コイル及びキャパシタを含む並列共振回路を有し、

前記異物検知判定回路は、

前記第 3 共振器における物理量が前記第 3 共振器の入力インダクタンス値である場合、前記発振回路が前記周波数  $f_{10}$  で発振しているときの前記第 3 共振器の入力インダクタンス値  $L_{in}(f_{10})$  と、前記周波数  $f_{20}$  で発振しているときの前記第 3 共振器の

50

入力インダクタンス値  $L_{in}(f_{20})$  とを測定し、

前記  $L_{in}(f_{10})$  と前記  $L_{in}(f_{20})$  との比を算出し、前記算出した比に基づいて異物が存在するか否かを判断する、

請求項 1 ~ 9 のいずれか 1 項に記載の送電装置。

【請求項 1 2】

前記第 1 共振器は、コイル及びキャパシタを含む並列共振回路を有し、

前記発振回路は、

自励式の発振回路であり、かつ、前記第 3 共振器における物理量が前記第 3 共振器の入力インダクタンス値である場合、前記発振回路の発振周波数の 2 乗は前記第 3 共振器の入力インダクタンス値に反比例し、

10

前記異物検知判定回路は、

前記発振回路が発振している前記周波数  $f_{10}$  及び前記周波数  $f_{20}$  を測定し、 $k^2 = 1 - f_{10}^2 / f_{20}^2$  の式によって結合係数  $k$  を算出し、前記算出した結合係数  $k$  に基づいて異物が存在するか否かを判断する、

請求項 1 ~ 9 のいずれか 1 項に記載の送電装置。

【請求項 1 3】

前記第 1 共振器および前記第 3 共振器は、同一の共振器であり、

前記送電制御回路の制御により、前記インバータ回路と前記同一の共振器との電気的接続と、前記発振回路と前記同一の共振器との電気的接続とを切り替えるスイッチを備え、

20

前記送電制御回路は、

前記第 1 送電期間から前記異物検知期間に変更するとき、前記スイッチを制御して、前記インバータ回路と前記同一の共振器との電気的接続から前記発振回路と前記同一の共振器との電気的接続に切り替え、

前記異物検知期間から前記第 2 送電期間に変更するとき、前記スイッチを制御して、前記発振回路と前記同一の共振器との電気的接続から前記インバータ回路と前記同一の共振器との電気的接続に切り替える、

請求項 1 ~ 12 のいずれか 1 項に記載の送電装置。

【請求項 1 4】

請求項 1 ~ 13 のいずれかに記載の送電装置と、

受電装置と、を備える、無線電力伝送システム。

30

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、コイル間の異物を検出する機能を備えた無線電力伝送システム及び無線電力伝送システムの送電装置に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、携帯電話機や電気自動車などの移動性を伴う電子機器や EV 機器が普及している。このような機器を対象とする無線電力伝送システムの開発が進められている。無線電力伝送技術には、電磁誘導方式、磁界共鳴方式（共振磁界結合方式）、および電界結合方式などの方式が知られている。

40

【0003】

電磁誘導方式および磁界共鳴方式による無線電力伝送システムは、送電コイルを備えた送電装置と、受電コイルを備えた受電装置とを備える。送電コイルによって生じた磁界を受電コイルが補足することにより、電極を直接接触させることなく電力を伝送することができる。このような無線電力伝送システムは、例えば特許文献 1 および特許文献 2 に開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

50

【特許文献1】特開2009-11129号公報

【特許文献2】特開2012-016171号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

しかし、かかる従来技術では、高い効率で継続して電力を送電する無線電力伝送システムの送電装置が求められていた。

【課題を解決するための手段】

【0006】

本開示の一態様に係る送電装置は、

10

第1交流電力を受電する第1共振器と、前記第1共振器が受電した前記第1交流電力を第1直流電力に変換して負荷に供給する受電回路とを備えた受電装置に対して非接触方式で前記第1交流電力を送電する送電装置であって、

前記第1共振器と電磁的に結合して前記第1交流電力を前記第1共振器に送電する第2共振器と、

前記第1共振器と電磁的に結合して第2交流電力を前記第1共振器に送電する第3共振器と、

前記第1共振器と前記第2共振器との間の第1共振周波数 $f_0$ より低い周波数 $f_{11}$ 又は前記第1共振周波数 $f_0$ より高い周波数 $f_{21}$ を用いて前記第1交流電力を生成するインバータ回路と、

20

前記第1共振器と前記第3共振器との間の第2共振周波数 $f_r$ より低い周波数 $f_{10}$ 又は前記第2共振周波数 $f_r$ より高い周波数 $f_{20}$ を用いて前記第1交流電力より小さい前記第2交流電力を生成する発振回路と、

前記発振回路に指示して前記周波数 $f_{10}$ 又は前記周波数 $f_{20}$ のいずれか一方の前記第2交流電力を前記発振回路から生成させ、前記第2交流電力に応じて変化する前記第3共振器における物理量に基づき、前記第1共振器と前記第3共振器との間に異物が存在するか否かを判断する異物検知判定回路と、

前記周波数 $f_{11}$ 又は前記周波数 $f_{21}$ のいずれか一方を前記インバータ回路に指示して前記インバータ回路に前記第1交流電力を生成させる送電制御回路と、を備え、

30

前記送電制御回路は、

前記第2共振器から前記第1共振器へ前記第1交流電力を送電する第1送電期間と前記第1送電期間の次の第2送電期間との間に前記異物検知判定回路による異物検知期間とを設け、

前記第1送電期間において、前記周波数 $f_{11}$ 及び前記周波数 $f_{21}$ のいずれか一方を用い、前記異物検知期間において、前記周波数 $f_{10}$ 及び前記周波数 $f_{20}$ のいずれか一方を用い、

前記異物検知期間において異物が存在すると判断された場合は、前記第2送電期間において、前記第1送電期間で用いた周波数とは別の前記周波数 $f_{11}$ または前記周波数 $f_{21}$ を使用することを前記インバータ回路に指示して前記第1交流電力の送電を開始させる。

【0007】

40

なお、これらの包括的または具体的な態様は、システム、方法、集積回路、コンピュータプログラム、または、記録媒体によって実現されてもよい。あるいは、システム、装置、方法、集積回路、コンピュータプログラムおよび記録媒体の任意な組み合わせによって実現されてもよい。

【発明の効果】

【0008】

本開示の一態様によると、高い効率で継続して電力を送電できる送電装置を提供できる。

【図面の簡単な説明】

【0009】

50

【図 1】図 1 は、本開示の第 1 の実施形態に係る無線電力伝送システムの構成図である。

【図 2】図 2 は、本開示の第 1 の実施形態に係る無線電力伝送システムの動作の概要を示す図である。

【図 3】図 3 は、本開示の第 1 の実施形態に係るインバータ回路の構成を示す図である。

【図 4 A】図 4 A は、本開示の第 1 の実施形態に係るインバータ回路の動作を説明するための図である。

【図 4 B】図 4 B は、本開示の第 1 の実施形態に係るインバータ回路の動作を説明するための図である。

【図 5 A】図 5 A は、本開示の第 1 の実施形態に係る装置の低周波数の磁界モード（奇モード）における磁束の流れを示す概略図である。

10

【図 5 B】図 5 B は、本開示の第 1 の実施形態に係る装置の高周波数の磁界モード（偶モード）における磁束の流れを示す概略図である。

【図 6】図 6 は、本開示の第 1 の実施形態に係る装置における異物検知用の周波数と送電用の周波数とを説明するための図である。

【図 7】図 7 は、本開示の第 1 の実施形態に係る異物検知判定回路を示す構成図である。

【図 8】図 8 は、本開示の第 1 の実施形態に係る発振回路の一例を示す構成図である。

【図 9】図 9 は、本開示の第 1 の実施形態に係る無線電力伝送システムの動作を示すフロー図である。

【図 10】図 10 は、本開示の第 1 の実施形態に係る無線電力伝送システムの変形例における動作を示すフロー図である。

20

【図 11】図 11 は、本開示の第 2 の実施形態に係る異物検知判定回路を示す構成図である。

【図 12】図 12 は、本開示の第 2 の実施形態に係る第 3 共振器と第 2 共振器とが電磁結合しているときの第 3 共振器の入力インダクタンスの周波数依存性を示すグラフである。

【図 13】図 13 は、本開示の第 2 の実施形態に係る無線電力伝送システムの動作を示すフロー図である。

【図 14】図 14 は、本開示の第 3 の実施形態に係る無線電力伝送システムの構成図である。

【図 15】図 15 は、本開示の第 3 の実施形態に係る異物検知判定回路を示す構成図である。

30

【図 16】図 16 は、本開示の第 4 の実施形態に係る無線電力伝送システムの構成図である。

【発明を実施するための形態】

【0010】

（本開示の基礎となった知見）

本発明者らは、「背景技術」の欄において記載した無線電力伝送システムに関し、以下の課題が生じることを見いだした。

【0011】

まず、「異物」の定義について説明する。本開示において、「異物」とは、無線電力伝送システムの送電コイル又は受電コイルの近傍に位置したときに、送電コイル及び受電コイルの間で伝送される電力に起因して発熱する、金属及び人体（動物）などの物体のことを示す。

40

【0012】

次に無線電力伝送システムの送電装置の動作について説明する。送電装置は、まず、送電装置の電源スイッチが ON されると、送電装置と受電装置との位置合せを行う。送電装置と受電装置との位置合せが完了すると、送電装置と受電装置との間に異物が存在するかどうかを判断する異物検知を行う。送電装置と受電装置との間に異物が存在しないと判断すると、送電装置から受電装置に非接触で交流電力を送電する。

【0013】

車載の肘掛部分などに搭載された送電装置は、運転中で、送電中に、送電装置と受電装

50

置との間に異物が侵入する場合がある。その場合、異物に渦電流が発生し、異物が過熱する虞がある。

【0014】

上記異物の過熱を防止するため、送電を開始した後に、異物検知を行う異物検知期間と、送電を行う送電期間とを繰り返し、異物が過熱しないように監視することが考えられる。

【0015】

特許文献1には、送電装置が異物を検出すると、送電を停止することが開示されている。特許文献1は、送電を停止することにより、異物の発熱を抑制することができる。しかし、ユーザが異物を除去しない限り送電を再開できないので、やがて受電装置の電池が消費され、受電装置が停止してしまう。運転中に、ユーザが異物を除去するのは、安全面から困難である。よって、運転中で、送電中に、送電装置と受電装置との間に異物が侵入して、異物を検出した場合でも送電を継続できることが望まれる。

10

【0016】

異物を検出した場合でも送電を継続する方法として、特許文献2の段落0080に、次のことが開示されている。まず、一列に並んで配置された複数の送電コイルと複数の送電コイルと対になるように対向する複数の受電コイルとを用いて、異物が検出された第1の送電コイルと、異物が検出されていない第2の送電コイルとを識別する。そして、異物が検出されていない第2の送電コイルを用いて電力を受電コイルに送電する。異物への誤送電を行わないように、異物が検出された第1の送電コイルを用いないで、磁束を制御して送電することが開示されている。このことにより、異物を検出した場合でも送電を継続して行うことができる。

20

【0017】

しかしながら、本発明者らは、特許文献2の方法を詳しく調査した結果、次の課題を有することを見出した。

【0018】

特許文献2の方法では、複数の送電コイルの中から異物が検出されていない第2の送電コイルを識別するのに、複数の対になった送電コイルの周波数または受電コイルの周波数を測定して、測定した双方の周波数のずれに基づいて、異物が検出されない第2の送電コイルの識別を行っている。よって、複数の送電コイルと同数で、複数の送電コイルと対向する複数の受電コイルが必要となる。

30

【0019】

例えば、スマートホンのような1つの受電装置に1つの受電コイルしか有さない場合には、特許文献2の方法においては、1つの受電コイルに対応する送電コイルは、複数の送電コイルの中の1つの送電コイルとなり、対をなすことになる。

【0020】

上記1つの受電コイルと上記1つの送電コイルとが対となっている状態で、上記1対の受電コイルと送電コイルとの間に異物を検出しても、異物の過熱を防止するために、ユーザが受電装置を動かして、異物が検出されない第2の送電コイルを探すことは運転中にはできない。従って、スマートホンのような1つの受電装置に1つの受電コイルしか有さない場合には、特許文献2の方法は、送電を継続できないという課題を有することを見出した。

40

【0021】

また、特許文献2では、複数の送電コイルを用いるので、送電装置の設置台の面積が大きくなる課題がある。また、複数の送電コイル及び複数の受電コイルを用いるので、部品点数が増加し、コストが増加するという課題がある。

【0022】

従って、例えば、スマートホンのような1つの受電コイルを有する1つの受電装置でも送電を継続でき、設置台の面積が小さい送電装置が望まれている。また、異物の過熱を防止しつつ、高い効率で継続して電力を送電する送電装置が望まれている。

50

## 【0023】

以上の考察により、本発明者らは、以下に開示する各態様を想到するに至った。

## 【0024】

本開示の一態様に係る送電装置は、

第1交流電力を受電する第1共振器と、前記第1共振器が受電した前記第1交流電力を第1直流電力に変換して負荷に供給する受電回路とを備えた受電装置に対して非接触方式で前記第1交流電力を送電する送電装置であって、

前記第1共振器と電磁的に結合して前記第1交流電力を前記第1共振器に送電する第2共振器と、

前記第1共振器と電磁的に結合して第2交流電力を前記第1共振器に送電する第3共振器と、

前記第1共振器と前記第2共振器との間の第1共振周波数 $f_0$ より低い周波数 $f_{11}$ 又は前記第1共振周波数 $f_0$ より高い周波数 $f_{21}$ を用いて前記第1交流電力を生成するインバータ回路と、

前記第1共振器と前記第3共振器との間の第2共振周波数 $f_r$ より低い周波数 $f_{10}$ 又は前記第2共振周波数 $f_r$ より高い周波数 $f_{20}$ を用いて前記第1交流電力より小さい前記第2交流電力を生成する発振回路と、

前記発振回路に指示して前記周波数 $f_{10}$ 又は前記周波数 $f_{20}$ のいずれか一方の前記第2交流電力を前記発振回路から生成させ、前記第2交流電力に応じて変化する前記第3共振器における物理量に基づき、前記第1共振器と前記第3共振器との間に異物が存在するか否かを判断する異物検知判定回路と、

前記周波数 $f_{11}$ 又は前記周波数 $f_{21}$ のいずれか一方を前記インバータ回路に指示して前記インバータ回路に前記第1交流電力を生成させる送電制御回路と、を備え、

前記送電制御回路は、

前記第2共振器から前記第1共振器へ前記第1交流電力を送電する第1送電期間と前記第1送電期間の次の第2送電期間との間に前記異物検知判定回路による異物検知期間とを設け、

前記第1送電期間において、前記周波数 $f_{11}$ 及び前記周波数 $f_{21}$ のいずれか一方を用い、前記異物検知期間において、前記周波数 $f_{10}$ 及び前記周波数 $f_{20}$ のいずれか一方を用い、

前記異物検知期間において異物が存在すると判断された場合は、前記第2送電期間において、前記第1送電期間で用いた周波数とは別の前記周波数 $f_{11}$ または前記周波数 $f_{21}$ を使用することを前記インバータ回路に指示して前記第1交流電力の送電を開始させる。

## 【0025】

上記態様によると、前記第1送電期間において、前記周波数 $f_{11}$ 及び前記周波数 $f_{21}$ のいずれか一方を用いる。前記第1送電期間において前記周波数 $f_{11}$ で送電している場合、図5Aに示すように、前記第1共振器のコイルと前記第2共振器のコイルとの間の中央部Aの磁界は密となり、周辺部Bの磁界が疎となる。よって、中央部Aの磁界が密で、周辺部Bの磁界が疎の状態を送電している。言い換えれば、ほとんど、中央部Aの磁界で送電を行っている。

## 【0026】

前記異物検知期間において、前記周波数 $f_{10}$ 及び前記周波数 $f_{20}$ のいずれか一方を用いる。前記異物検知期間において、前記周波数 $f_{10}$ で発振している場合は、図5Aに示すように、前記第2共振器のコイルと前記第3共振器のコイルとの間の中央部Aの磁界は密となり、周辺部Bの磁界が疎となる。

## 【0027】

よって、前記周波数 $f_{10}$ で発振している時、異物が存在すると判断された場合は、異物は中央部Aに存在していることが分かる。よって、前記第2送電期間では、中央部Aの磁界が疎で、周辺部Bの磁界が密となる磁界分布を有する前記周波数 $f_{21}$ で送電することにより、異物の発熱を抑制しながら、高い効率で送電できる。



## 【0028】

一方、前記第1送電期間において前記周波数 $f_{21}$ で送電している場合、図5Bに示すように、前記第1共振器のコイルと前記第2共振器のコイルとの間の中央部Aの磁界は疎となり、周辺部Bの磁界が密となる。よって、中央部Aの磁界が疎で、周辺部Bの磁界が密の状態を送電している。言い換えれば、ほとんど、周辺部Bの磁界で送電を行っている。

## 【0029】

よって、前記周波数 $f_{20}$ で発振している時、異物が存在すると判断された場合は、異物は周辺部Bに存在していることが分かる。よって、前記第2送電期間では、前記中央部Aの磁界が密で、前記周辺部Bの磁界が疎となる磁界分布を有する前記周波数 $f_{11}$ で送電することにより、異物の発熱を抑制しながら、高い効率で送電できる。

10

## 【0030】

以上まとめると、前記異物検知期間において異物が存在すると判断された場合は、前記第2送電期間において、前記第1送電期間で用いた周波数とは別の前記周波数である $f_{11}$ または前記周波数 $f_{21}$ を使用することを前記インバータ回路に指示する。そして、前記第1交流電力の送電を開始させることにより、異物の過熱を防止しつつ、高い効率で継続して送電できる。

## 【0031】

また、前記送電装置には、1つの送電コイルのみで実現できるので、スマートホンのような受電コイルが1つの受電装置でも送電でき、設置台の面積が小さい送電装置を実現できる。

20

## 【0032】

以下、図面を参照しながら、本開示の例示的な実施の形態を説明する。なお、本開示は、以下の実施の形態に限定されるものではない。各実施形態に各種の変形を施したり、複数の実施の形態を組み合わせたりすることによって新たな実施の形態を構成してもよい。以下の説明において、同一または類似する構成要素には同一の参照符号を付している。

## 【0033】

(実施の形態1)

図1は、本開示の実施の形態1における無線電力伝送システムの構成の概略を示す図である。この無線電力伝送システムは、送電回路1と、受電回路4と、負荷5と、第2共振器2と、第1共振器3と、第3共振器11とを備える。送電回路1、第2共振器2、および第3共振器11は、送電装置に搭載され得る。第1共振器3、受電回路4、および負荷5は、受電装置に搭載され得る。受電装置は、例えばスマートホン、タブレット端末、携帯端末などの電子機器、または電気自動車などの電動機械であり得る。送電装置は、受電装置に無線で電力を供給する充電器であり得る。負荷5は、例えば二次電池を備えた機器であり得る。負荷5は、無線電力伝送システムの外部の要素であってもよい。図1には、送電回路1に直流エネルギー(以後、エネルギーを電力と言い換えてもよい)を供給する電源0も描かれている。電源0は、本システムに含まれていてもよいし、本システムの外部の要素であってもよい。

30

## 【0034】

第2共振器2、第1共振器3、および第3共振器11の各々は、コイルおよびキャパシタを含む共振回路である。本システムでは、第2共振器2と第1共振器3との間で非接触の電力伝送が行われる。また、第3共振器11と第1共振器3との間の電磁結合を利用して異物を検知することができる。以下の説明では、電力伝送を行うモードを「送電モード」と呼び、異物を検知するモードを「異物検知モード」と呼ぶ。ここで、「異物」とは、第2共振器2または第1共振器3に接近したときに発熱する物体をいう。異物には、金属、および人体や動物などの生体が含まれる。

40

## 【0035】

送電回路1は、インバータ回路10と、送電制御回路15と、メモリ14と、発振回路12と、異物検知判定回路13とを備える。メモリ14は、電力伝送の際に設定される制御パラメータ(「送電パラメータ」と称することもある。)を格納する。このため、メモ

50

リ 14 を「送電パラメータ保持部」と称することがある。送電パラメータは、周波数などの送電制御に関するパラメータである。送電パラメータの詳細は後述する。送電モードでは、送電制御回路 15、インバータ回路 10、第 2 共振器 2 によって電力が無線で受電装置に伝送される。異物検知モードでは、発振回路 12 および異物検知判定回路 13 によって第 3 共振器 11 または第 1 共振器 3 の近傍の異物が検出される。

【0036】

図 2 は、送電回路 1 による処理の流れを示す図である。送電回路 1 は、送電モードと異物検知モードとを、所定の時間ごとに切り替えながら動作する。送電モードの 1 回の長さは、例えば数秒から数十秒程度に設定され得る。検知モードの 1 回の長さは、例えば数 m 秒から数秒程度に設定され得る。ただし、このような例に限定されない。

10

【0037】

インバータ回路 10 は、電源 0 と第 2 共振器 2 とに接続されている。インバータ回路 10 は、電源 0 から入力された直流エネルギーを交流エネルギーに変換して第 2 共振器 2 に供給する。送電制御回路 15 は、インバータ回路 10 に含まれる複数のスイッチング素子の切り替えを制御する。具体的には、複数のスイッチング素子の各々の導通状態を所定の周波数で切り替える制御を行う。これにより、送電制御回路 15 は、交流エネルギーをインバータ回路 10 から出力させる。送電制御回路 15 は、電力伝送を開始するとき、メモリ 14 に格納されている制御パラメータを読み出し、これに基づいてインバータ回路 10 を制御する。送電制御回路 15 は、電力伝送中、負荷 5 の状態に応じて制御パラメータを変化させる。送電制御回路 15 は、送電モードから異物検知モードに移行するとき、そのときの制御パラメータをメモリ 14 に記録する。これにより、次に送電モードを開始するとき、直前の制御パラメータに基づいて電力伝送を再開できる。

20

【0038】

第 2 共振器 2 および第 1 共振器 3 は、周波数  $f_0$  で共振するように構成されている。言い換えれば、第 2 共振器 2 および第 1 共振器 3 が共振周波数  $f_0$  をもつように、各コイルのインダクタンスおよび各キャパシタの容量が設定されている。第 2 共振器 2 に含まれるコイルは、送電回路 1 から供給された交流エネルギーを空間に送出する。第 1 共振器 3 は、第 2 共振器 2 から送出された交流エネルギーの少なくとも一部を受け取る。第 1 共振器 3 によって受け取られた交流エネルギーは、受電回路 4 に送られる。受電回路 4 は、受け取った交流エネルギーを整流して負荷 5 に供給する。

30

【0039】

送電回路 1 は、異物検知モードにおいて、発振回路 12 および異物検知判定回路 13 を駆動する。発振回路 12 は、交流成分を含む電圧を第 3 共振器 11 に出力するように構成されている。「交流成分を含む電圧」とは、周期的に変動する成分を含む電圧を意味する。交流成分を含む電圧は、正弦波状に変化する電圧に限らず、三角波や矩形波のような周期的に変化する任意の波形を有する電圧であってもよい。

【0040】

第 3 共振器 11 および第 1 共振器 3 は、周波数  $f_r$  で共振するように構成されている。言い換えれば、第 3 共振器 11 および第 1 共振器 3 が共振周波数  $f_r$  をもつように、各コイルのインダクタンスおよび各キャパシタの容量が設定されている。第 3 共振器 11 は、発振回路 12 から電圧が供給されると、周囲に磁界を形成し、第 1 共振器 3 と電磁結合する。

40

【0041】

異物検知判定回路 13 は、発振回路 12 および送電制御回路 15 に接続されている。異物検知判定回路 13 は、第 3 共振器 11 または第 1 共振器 3 の近傍に位置する異物 1000 を検出することができる。金属などの異物 1000 が第 3 共振器 11 または第 1 共振器 3 に接近すると、発振回路 12 から出力される電圧の波形が変動する。異物検知判定回路 13 は、その変動に基づいて異物の有無を判定する。異物の検知は、電圧の変動に限らず、電圧に応じて変化する他の物理量の変動に基づいて行うこともできる。本明細書において、「電圧に応じて変化する物理量」には、電圧自体のほか、例えば第 3 共振器 11 の入

50

カインピーダンスや入力インダクタンス、Q値、結合係数といった物理量が含まれる。異物検知判定回路13は、異物検知の結果に基づいて、次の電力伝送に用いる制御パラメータを決定し、送電制御回路15に指示する。これにより、異物検知後の電力伝送を高い効率で行うことができる。

【0042】

次に、各構成要素のより具体的な構成および動作を説明する。

【0043】

図3は、インバータ回路10の具体的な構成例を示す図である。この例におけるインバータ回路10は、フルブリッジ型インバータの構成を有している。このインバータ回路10は、4つのスイッチング素子21、22、23、24を有する。スイッチング素子21 ~ 24のオン(導通)・オフ(非導通)は、送電制御回路15から入力される制御信号S1 ~ S4によってそれぞれ制御される。第2共振器2および第1共振器3は共振周波数 $f_0$ をもつ。したがって、各スイッチング素子のオン・オフの切り替え周波数、すなわち送電周波数は、 $f_0$ 付近の値に設定される。各スイッチング素子のオン・オフの切り替え周波数を変化させると、第2共振器2の入力インピーダンスが変化する。その結果、第2共振器2の入力電圧 $V_1$ および第1共振器3の出力電圧 $V_2$ の大きさが変化する。

10

【0044】

図4Aは、送電制御回路15から出力される制御信号S1 ~ S4、インバータ回路10の出力電圧 $V_1$ 、および第1共振器3から出力される電圧 $V_2$ の時間変化の一例を示す図である。この例では、スイッチング素子21、24のオン・オフのタイミングをそれぞれ決定する制御信号S1、S4の位相は一致している。同様に、スイッチング素子22、23のオン・オフのタイミングをそれぞれ決定する制御信号S2、S3の位相は一致している。スイッチング素子21、24がオンになるタイミングと、スイッチング素子21、24がオフになるタイミングとは、半周期ずれている。その結果、インバータ回路10から出力される電圧 $V_1$ は、正の値 $E_0$ を有する期間と負の値 $-E_0$ を有する期間とが交互に繰り返される波形を有する。第1共振器3から出力される電圧 $V_2$ は、電圧 $V_1$ を平滑化した正弦波状の波形を有する。

20

【0045】

図4Bは、制御信号S1 ~ S4、電圧 $V_1$ 、および電圧 $V_2$ の時間変化の他の例を示す図である。この例では、制御信号S1と制御信号S4との間、および制御信号S2と制御信号S3との間に位相のずれが生じている。このため、インバータ回路10の出力時間比が、図4Aの例における出力時間比よりも小さくなっている。ここで、「出力時間比」とは、1周期のうち、所定値(例えば振幅の絶対値の数% ~ 20%程度)よりも絶対値の大きい電圧が出力される時間の割合を意味する。出力時間比が大きいほど、負荷5に与えられる電圧も大きくなる。この例では、各スイッチング素子に入力される制御信号の位相を調整することにより、出力時間比が制御される。同時にオンになる2つのスイッチング素子に入力される2つの制御信号の位相をずらすことにより、出力電圧 $V_1$ のデューティ比が変化する。その結果、第1共振器3の出力電圧 $V_2$ の大きさも変化する。

30

【0046】

電力伝送中、負荷5のインピーダンスが変化することがある。その場合、負荷5に与えられる電圧が変化する。負荷5が一定の電圧で駆動される必要がある場合、負荷5のインピーダンスが変化しても負荷5に一定の電圧が与えられるように制御する必要がある。そこで、送電制御回路15は、各スイッチング素子のスイッチングのタイミングの位相を調整することにより、負荷5に与えられる電圧が一定になるように制御する。負荷5のインピーダンスが変化した場合、最適な伝送効率を与える周波数も変化する。そこで、送電制御回路15は、各スイッチング素子のオン・オフの切り替え周波数も負荷5のインピーダンスに応じて変化させる。すなわち、送電制御回路15は、各スイッチング素子のオン・オフの切り替え周波数と制御信号の位相とを制御パラメータとして、第1共振器3の出力電圧の大きさを制御する。

40

【0047】

50

負荷 5 のインピーダンスの変化は、例えば、不図示の通信回路を介して受電回路 4 から送電回路 10 に伝達され得る。受電回路 4 から送電回路 1 への情報の伝達方法としては、例えば、受電回路 4 の出力端に負荷インピーダンスを変動させるスイッチを設け、インバータ回路 1 の周波数とは十分に異なる周波数でそのスイッチをオン/オフさせる方法がある。スイッチをオン/オフさせることにより、受電回路 4 が検出した負荷インピーダンスの変化を周波数変調して情報として送電回路 1 に伝達することができる。送電回路 1 は、スイッチのオン/オフによって生じる第 2 共振器 2 の両端電圧の変動や、インバータ回路 10 の入力端に発生する電流量の変動を検出し、検出結果を復調することにより、伝達された情報を読み取ることができる。このような方法に限らず、NFC (Near Field Communication) や Wireless LAN などの他の通信方法によって情報を送信してもよい。

10

**【0048】**

出力時間比の調整は、制御信号間の位相ずれ量に限らず、各制御信号のデューティ比を変化させることによってもよい。例えば、各制御信号のデューティ比を小さくすることにより、出力電圧 V1 のデューティ比を小さくすることができる。したがって、送電制御回路 15 は、位相の代わりに、各制御信号のデューティ比を調整するように構成されていてもよい。

**【0049】**

図 3 に示す例では、インバータ回路 10 はフルブリッジ型のインバータであるが、この例に限定されない。インバータ回路 10 は、例えば、2 個のスイッチング素子と 2 個のコンデンサとを有するハーフブリッジ型インバータであってもよい。あるいは、1 個のスイッチング素子と 2 個のインダクタと 2 個のコンデンサとを有する E 級アンプであってもよい。これらの構成であっても、送電周波数およびスイッチングタイミングの位相等を制御パラメータとして、第 1 共振器 3 の出力の大きさを制御することができる。

20

**【0050】**

電源 0 とインバータ回路 10 との間に DC / DC コンバータを設けてもよい。このような構成では、インバータ回路 10 に入力される直流電圧を DC / DC コンバータによって変化させることにより、インバータ回路 10 の出力電圧を制御することができる。DC / DC コンバータを設ける場合、インバータ回路 10 の各スイッチング素子に入力される制御信号の位相やデューティ比を調整する必要はない。この場合、DC / DC コンバータの出力電圧を決定するスイッチング素子の切り替え周波数やデューティ比が制御パラメータとして設定され得る。

30

**【0051】**

送電パラメータ保持部 14 は、送電に必要な各種の制御パラメータを格納するメモリである。送電パラメータ保持部 14 は、最初の送電を開始する際に用いられる制御パラメータの値を「グローバル初期値」として格納する。送電パラメータ保持部 14 はまた、送電が一旦停止された後、次に再開する際に必要な制御パラメータの値を「ローカル初期値」として格納する。

**【0052】**

送電制御回路 15 は、送電モードにおいて、インバータ回路 10 の動作を制御する回路である。送電制御回路 15 は、例えばゲートドライバとプロセッサとの組み合わせによって実現され得る。送電制御回路 15 は、異物検知モードにおいて、第 2 共振器 2 が電磁界を発生しないようにインバータ回路 10 の出力を止める。これにより、送電電力による磁界の影響を除去して、異物検知の感度を向上させる。送電モードから異物検知モードに移行するとき、送電制御回路 15 は、送電パラメータ保持部 14 に記録されているローカル初期値を、インバータ回路 10 の出力を停止する直前の制御パラメータの値で更新する。更新されたローカル初期値は、異物検知処理後、次に送電モードを再開するときに再設定される。

40

**【0053】**

電力伝送中に金属などの異物 1000 が第 2 共振器 2 と第 1 共振器 3 の近傍に存在する

50

と、第2共振器2から生じた磁界によって異物1000に渦電流が発生する可能性がある。その場合、そのまま電力伝送を継続すると異物1000が発熱してしまう。そこで、本実施形態の無線電力伝送システムは、発振回路12と、異物検知判定回路13と、第3共振器11とを用いて異物1000を検知する。

【0054】

発振回路12には、例えばコルピッツ発振回路、ハートレー発振回路、クラップ発振回路、フランクリン発振回路、ピラス発振回路などの、LC共振原理に基づく自励式の発振回路を用いることができる。上記のものに限定されず、他の発振回路を用いてもよい。

【0055】

異物検知判定回路13は、発振回路12の制御および異物検知処理を行うプロセッサである。異物検知判定回路13は、例えばCPUとコンピュータプログラムを格納したメモリとの組み合わせによって実現され得る。異物検知判定回路13は、後述する動作を実現するように構成された専用のハードウェアであってもよい。

10

【0056】

本実施形態における第1共振器3は、コイルおよびコンデンサを含む並列共振回路から構成されている。第3共振器11は、第1共振器3と電磁的に結合できるように構成されている。第1共振器3および第3共振器11は、ともに共振周波数 $f_r$ をもつ。異物検知判定回路13は、発振回路12が発振している状態における第3共振器11の両端電圧などの物理量に基づいて、異物の有無を判定する。

【0057】

次に、この異物検知処理について具体的に説明する。本実施例の異物検知の原理の1つは、金属などの異物1000が磁界を遮ることによって生じる、電圧などの物理量の変化を計測することで異物の有無を判定することである。

20

【0058】

図5Aおよび図5Bは、第1共振器3と第3共振器11とが結合している時の2つの磁界モードにおける磁束の流れを示す概略図である。これらの図は、第1共振器3のコイルと第3共振器11のコイルとが、中心軸を合わせて平行に置かれている場合において、コイルの面に垂直な平面で両コイルを切断したときの断面を示している。図5Aは、共振周波数 $f_r$ よりも低い周波数 $f_{10}$ で第1共振器3と第3共振器11とが電磁的に結合しているときの磁界モードを示している。このような磁界モードを、奇モード(odd mode)と呼ぶ。図5Bは、共振周波数 $f_r$ よりも高い周波数 $f_{20}$ で第1共振器3と第3共振器11とが電磁的に結合しているときの磁界モードを示している。このような磁界モードを、偶モード(even mode)と呼ぶ。

30

【0059】

図5Aに示すように、第1共振器3と第3共振器11とが、共振周波数 $f_r$ よりも低い周波数 $f_{10}$ で電磁的に結合しているとき、2つの共振器の間の磁界は、中央部Aに集中する。すなわち、2つのコイル間の中央部Aでは、磁束の向きが揃っており、強め合っている。このため、中央部Aにおける磁束は密になる。逆に、2つのコイルの内径から外径に至る部分の間の周辺部Bでは、磁束の向きが逆であり、打ち消し合っている。このため、周辺部Bにおける磁束は疎になる。一方、図5Bに示すように、第1共振器3と第3共振器11とが、共振周波数 $f_r$ よりも高い周波数 $f_{20}$ で電磁的に結合しているとき、2つの共振器の間の磁界は、周辺部Bに集中する。すなわち、コイル間の中央部Aでは磁束が疎になり、2つのコイルの内径から外径に至るまでの周辺部Bでは磁束が密になる。

40

【0060】

第1共振器3と第3共振器11との間に異物が存在するとき、その位置における磁束が密であるほど、第3共振器11の両端の電圧の変化が大きくなると考えられる。したがって、発振周波数が $f_{10}$ のときには、中央部Aに存在する異物の検出精度が向上すると考えられる。逆に、発振周波数が $f_{20}$ のときには、周辺部Bに存在する異物の検出精度が向上すると考えられる。

【0061】

50

以上のことは、第2共振器2と第1共振器3とが電磁的に結合しているときも同様である。すなわち、第2共振器2と第1共振器3とが、共振周波数 $f_0$ よりも低い周波数 $f_{11}$ で電磁的に結合しているとき、2つの共振器の間の磁界は、中央部Aに集中する。このため、中央部Aにおける磁束は密になり、周辺部Bにおける磁束は疎になる。一方、第2共振器2と第1共振器3とが、共振周波数 $f_0$ よりも高い周波数 $f_{21}$ で電磁的に結合しているとき、2つの共振器の間の磁界は、周辺部Bに集中する。このため、周辺部Bにおける磁束は密になり、中央部Aにおける磁束は疎になる。

#### 【0062】

電力伝送中に異物が第2共振器2と第1共振器3との間に混入した場合、遮られる磁束が少ないほうが異物の発熱が小さくなる。このため、第2共振器2のコイルの中央部付近に異物がある場合には、周波数 $f_{21}$ で発振させた方が周波数 $f_{11}$ で発振させた場合よりも発熱を低減できると考えられる。一方、第2共振器2のコイルの周辺部付近に異物がある場合には、周波数 $f_{11}$ で発振させた方が周波数 $f_{21}$ で発振させた場合よりも発熱を低減できると考えられる。

10

#### 【0063】

そこで、本実施形態における異物検知判定回路13は、異物検知モードにおいて、中央部Aおよび周辺部Bのいずれの近くに異物が存在するかを判定する。その後の送電モードでは、異物が存在すると考えられる位置の磁束が少なくなる周波数で送電するように送電制御回路15に指示する。より具体的には、異物検知判定回路13は、周波数 $f_{10}$ で発振しているときの電圧の変動が周波数 $f_{20}$ で発振しているときの電圧の変動よりも大きいか否かを判定する。前者が後者よりも大きく、かつ、その変動が所定の閾値を超えていれば、異物検知判定回路13は、周波数 $f_{21}$ で送電するように送電制御回路15に指示する。逆に、後者が前者よりも大きく、かつ、その変動が所定の閾値を超えていれば、異物検知判定回路13は、周波数 $f_{11}$ で送電するように送電制御回路15に指示する。このような制御により、異物による電力伝送効率の低下を抑制できる。

20

#### 【0064】

図6は、異物検知用の周波数 $f_{10}$ 、 $f_r$ 、 $f_{20}$ と、送電用の周波数 $f_{11}$ 、 $f_0$ 、 $f_{21}$ との関係を模式的に示す図である。2つの共振器が電磁的に結合すると、共振周波数が2つに分離する。図6における4つの山は、異物検知時および送電時において分離した2対の共振周波数で共振器間の結合が強くなることを表している。周波数 $f_{10}$ 、 $f_{20}$ 、 $f_{11}$ 、 $f_{21}$ を、これらの分離した共振周波数の付近の値に設定すれば、高い効率で動作させることができる。上述のように、 $f_{10} < f_r < f_{20}$ 、および $f_{11} < f_0 < f_{21}$ の関係がある。周波数 $f_0$ は、例えば100kHz～200kHzの範囲内の値に設定され得る。周波数 $f_r$ は、例えば、500kHz～1.5MHzの範囲内の値に設定され得る。周波数 $f_0$ 、 $f_r$ は、これらの範囲から外れた値に設定されてもよい。本実施形態では、周波数 $f_r$ の方が周波数 $f_0$ よりも高い。しかし、周波数 $f_0$ 、 $f_r$ は等しくてもよいし、周波数 $f_0$ が周波数 $f_r$ よりも高くてもよい。

30

#### 【0065】

図7は、異物検知判定回路13、第2共振器2、第1共振器3、および第3共振器11の具体的な構成を示す図である。異物検知判定回路13は、電圧測定回路41、周波数カウンタ42、インダクタンス測定回路43、判定回路44を備える。第2共振器2は、インダクタL1と、インダクタL1に直列に接続された共振コンデンサC1とを有する。第1共振器3は、インダクタL2と、インダクタL2に直列に接続された共振コンデンサC21と、インダクタL2に並列に接続されたコンデンサC22とを有する。第1共振器3は、インダクタL2(コイル)及びコンデンサC22(キャパシタ)を含む並列共振回路を有する。第3共振器11は、インダクタL3と、インダクタL3に直列に接続された共振コンデンサC3とを有する。以下の説明では、インダクタL1、L2、L3のインダクタンスも、それぞれ記号L1、L2、L3で表す。同様に、コンデンサC1、C21、C22、C3の容量も、それぞれ記号C1、C21、C22、C3で表す。L1とC1、お

40

50

よび  $L_2$  と  $C_{21}$  は、第 2 共振器 2 および第 1 共振器 3 の共振周波数が  $f_0$  になるように設定される。 $L_2$  と  $C_{22}$ 、および  $L_3$  と  $C_3$  は、第 1 共振器 3 および第 3 共振器 1 1 の共振周波数が  $f_r$  になるように設定される。 $C_{22}$  は、周波数  $f_0$  においてコンデンサ  $C_{22}$  が実質的に開放になるように設定される。 $C_{21}$  は、周波数  $f_r$  においてコンデンサ  $C_{21}$  が実質的に短絡になるように設定される。

#### 【0066】

異物検知判定回路 1 3 は、上述のように、CPU などのプロセッサと、本実施形態における異物検知処理を規定したコンピュータプログラムを格納したメモリとの組み合わせによって実現され得る。あるいは、同様の動作を行うように構成された専用の回路であってもよい。図 7 における電圧測定回路 4 1、周波数カウンタ 4 2、インダクタンス測定回路 4 3、判定回路 4 4 は、必ずしも分離された個別の回路要素である必要はない。1 つのプロセッサが、コンピュータプログラムにおける個別のステップを実行することによって上記の各要素の動作を実現してもよい。

10

#### 【0067】

図 8 は、発振回路 1 2 の構成例を示す回路図である。この例における発振回路 1 2 は、自励式のピアス発振回路である。この発振回路 1 2 は、2 つの共振コンデンサ  $C_x$ 、 $C_y$  と、インバータ  $INV$  と、抵抗  $R_f$ 、 $R_d$  と、バッファ回路  $BUF$  とを備えている。インバータ  $INV$  は、不図示の電源から供給された電力によって入力波形を増幅して出力する。抵抗  $R_f$  および抵抗  $R_d$  は、回路の励振レベルを調整する素子である。このような回路構成に限らず、他の構成の発振回路を用いてもよい。

20

#### 【0068】

異物検知処理を開始する際、まず、判定回路 4 4 が処理開始のトリガ信号を送電制御回路 1 5 および発振回路 1 2 に送る。このトリガ信号を受け、送電制御回路 1 5 は、前述したように第 2 共振器 2 への電力供給を停止する。トリガ信号を受けた発振回路 1 2 は、周波数  $f_{10}$  で発振を開始する。発振回路 1 2 が発振を開始して所定時間が経過すると、電圧測定回路 4 1 は、第 3 共振器 1 1 の両端電圧を測定する。電圧測定回路 4 1 は、測定結果を判定回路 4 4 および周波数カウンタ 4 2 に出力する。周波数カウンタ 4 2 は、電圧測定回路 4 1 からの入力を受けて、第 3 共振器 1 1 の両端電圧の周波数（発振周波数）を求める。そして、その結果を示す情報を判定回路 4 4 に出力する。判定回路 4 4 は、入力された電圧の情報と発振周波数の情報とに基づいて、異物の有無を判定する。

30

#### 【0069】

異物が磁界を遮蔽しやすいもの（例えばリング状の金属異物）の場合、金属表面にコイルと逆相の電流が流れる。このため、第 3 共振器 1 1 の入力インダクタンスが低下する。入力インダクタンスが低下すると、第 3 共振器 1 1 の発振周波数が高くなる。したがって、判定回路 4 4 は、入力された周波数と  $f_{10}$  とを比較し、その差が所定の閾値よりも大きいかなかを判定する。その差が閾値以上である場合には、異物があると判定できる。あるいは、入力された周波数から第 3 共振器 1 1 の入力インダクタンスを求め、その値が所定の閾値以下になれば異物があると判定してもよい。

#### 【0070】

また、金属異物が磁界を遮蔽しにくいもの（例えば、鉄など）の場合、磁界が異物を通過するために入力インダクタンス値が変化しにくい。しかし、このような異物は磁界が異物を通過する際に渦電流が発生し、第 3 共振器 1 1 の両端に電圧降下が生じる。このため、発振電圧の振幅が低下する。したがって、電圧の振幅が所定の閾値以下になれば異物が存在すると判定できる。

40

#### 【0071】

異物検知判定回路 1 3 は、発振回路 1 2 を周波数  $f_{20}$  で発振させた場合についても同様の判定を行う。これにより、コイル中心部付近の異物だけでなく、コイル周辺部付近の異物も検知することができる。判定回路 4 4 は、このようにして異物の有無の判定を行い、その結果を送電制御回路 1 5 に出力する。

#### 【0072】

50

なお、ここでは  $f_{10}$  と  $f_{20}$  の両方の周波数で異物判定を行うものとしたが、これらの一方の周波数だけを用いて異物の有無を判定してもよい。例えば、第3共振器11のコイルの中央部付近の異物の有無だけを検知したい場合には、周波数  $f_{10}$  についてのみ判定すればよい。逆に、コイルの周辺部付近の異物だけを検知したい場合には、周波数  $f_{20}$  についてのみ判定すればよい。いずれか一方の周波数だけを用いて判定を行う場合、両方の周波数を使用するよりも処理時間が短くなる。このため、送電を停止する時間を短くできるという実用的な効果がある。ここで、周波数  $f_{10}$  は共振周波数  $f_r$  の例えば85%以下に設定され得る。周波数  $f_{20}$  は共振周波数  $f_r$  の例えば115%以上に設定され得る。ただし、これに限定されるものではない。

#### 【0073】

上記の説明では、第2共振器2および第3共振器11について、コイルに直列に共振コンデンサが接続されているものとしたが、このような構成に限定されない。共振コンデンサがコイルに並列に接続されていてもよい。あるいは、第2共振器2および第3共振器11が、コイルに直列に接続された共振コンデンサと、コイルに並列に接続された共振コンデンサとを含んでいてもよい。

#### 【0074】

判定を行う計測項目として、ここでは発振電圧の振幅、発振周波数、およびインダクタンス値を想定したが、これらに限定されない。これらの物理量に基づいて算出される物理量であれば、同様に異物を検出できる。例えば、各共振器のQ値などの特性値を用いて異物の有無を判定してもよい。

#### 【0075】

以上、スマートホンのような1つの受電コイルを有する1つの受電装置でも送電を継続でき、設置台の面積が小さい送電装置を提供できる。また、高い効率で継続して電力を送電する送電装置を提供できる。

#### 【0076】

また、異物検知判定回路は、送電コイルと受電コイルとの間の異物の存在の有無を検知するだけでなく、送電コイルまたは受電コイルの近傍に異物が存在しても、異物の存在の有無を検知できる。

#### 【0077】

よって、送電コイルまたは受電コイルの近傍に異物が存在しても、異物の過熱を防止しながら電力伝送を継続できる。

#### 【0078】

次に、図9のフローチャートを参照しながら、送電および異物検知の全体の制御の流れを説明する。まず、待機状態において、ユーザによる送電開始指令があると、送電制御回路15は、送電パラメータ保持部14からグローバル初期値を読み出す(ステップS102)。そして、その制御パラメータ値で送電を開始する(ステップS103)。ここでユーザによる送電開始指令とは、例えば、ユーザが電源0のスイッチをオンにすることによって送電回路1に送電トリガがかかることである。あるいは、第1共振器3、受電回路4、負荷5を内蔵した端末が、送電回路1、第2共振器2、第3共振器11を内蔵した送電ユニットの上に置かれることによって、送電回路に送電トリガがかかるようにしてもよい。

#### 【0079】

送電開始後、送電制御回路15は、送電しながら、前述したように負荷5への出力電圧が一定になるように制御パラメータを調整する。そして、その時の制御パラメータをローカル初期値として、送電パラメータ保持部14に書き出す(ステップS104)。すでにローカル初期値が記録されているときは、そのローカル初期値を更新する。次に、送電が正常に終了したかを判定する(ステップS105)。送電の終了は、例えば、ユーザによる送電停止指令があったこと、あるいは、負荷が充電の場合に、充電が完了したことを検出することによって判定される。送電が正常に終了した場合は、再度、待機状態へ移行する。一方、送電を継続した場合において、異物検知処理を定期的に行う場合には、送電

10

20

30

40

50



開始から所定時間経過後、送電を停止し、異物検知処理に移行する（ステップS106～S108）。また、所定時間が経過していても、送電回路1や受電回路4の出力（電圧など）をモニタし、その出力が所定閾値を超える急な変動をした場合にも送電を停止し、異物検知処理に移行する。

【0080】

異物検知処理は、前述した方法で行われる。まず、判定回路44は、発振回路12を周波数 $f_{10}$ で発振させ、異物の有無を判定する（ステップS109）。ここで異物があると判定した場合、判定回路44は、送電パラメータ保持部14に格納された送電周波数のローカル初期値を $f_{21}$ に変更する（ステップS111）。送電制御回路15は、そのローカル初期値を送電パラメータ保持部14から読み出して周波数 $f_{21}$ で送電を再開する（ステップS113、S103）。

10

【0081】

ステップS109において異物がないと判定した場合、判定回路44は、発振回路12を周波数 $f_{20}$ で発振させ、異物の有無を判定する（ステップS110）。ここで異物があると判定した場合、判定回路44は、送電パラメータ保持部14に格納された送電周波数のローカル初期値を $f_{11}$ に変更する（ステップS112）。送電制御回路15は、そのローカル初期値を送電パラメータ保持部14から読み出して周波数 $f_{11}$ で送電を再開する（ステップS113、S103）。

【0082】

ステップS110において異物がないと判定された場合、送電制御回路15は、ローカル初期値を送電パラメータ保持部14から読み出して送電を再開する（ステップS113、S103）。この場合、直前の送電と同じ周波数で送電が再開される。

20

【0083】

以上の制御により、異物があると判定された場合には、異物があると考えられる位置における磁束密度が小さくなる周波数で送電を継続することができる。これにより、異物の発熱を低減しながら送電を継続できる。一方、異物がないと判定された場合には、送電を停止する直前の制御パラメータ値で送電を再開することができる。このため、負荷電圧が一定になるように再調整する必要がなくなる。グローバル初期値の制御パラメータを用いて送電を再開する場合と比較して、伝送効率の低下を抑えることができる。

【0084】

以上のように、本実施形態によれば、コイル付近に異物がある場合でも異物の発熱を低減して送電を継続できる。さらに、異物が検知されなかった場合における送電処理の初期化による効率の低下を抑えることができる。

30

【0085】

本実施形態では、異物検知処理において、2つの周波数 $f_{10}$ 、 $f_{20}$ の両方で異物の有無を判定しているが、前述のように、これらの少なくとも一方の周波数のみで異物の有無を判定してもよい。図10は、周波数 $f_{10}$ についてのみ異物検知を行う場合の動作を示すフローチャートである。この例では、ステップS109において異物がないと判定された場合、それ以上の判定は行われず、直前の送電における制御パラメータで送電が開始される。このような動作であっても、コイルの中央部付近の異物による伝送効率の低下を抑制できるため、有効である。図10におけるステップS109、S111を、周波数 $f_{20}$ で異物検知を行うステップ（図9におけるステップS110、S112）に置換してもよい。その場合、コイルの周辺部付近の異物による伝送効率の低下を抑制できる。

40

【0086】

本実施形態では、送電中の制御パラメータをローカル初期値として記録し、次の送電時に利用されるが、このような動作は必須ではない。ローカル初期値の記録を行わず、異物がないと判定された場合には、制御パラメータをグローバル初期値に戻して送電を再開してもよい。この場合でも、異物が検知されたときには、異物があると考えられる位置における磁束が小さくなる周波数で送電を再開できるという効果がある。

【0087】

50

本実施形態では、異物の検知を行うことを前提としたが、明示的に異物の有無を示す情報を出力する必要はない。発振回路 1 2 から出力される電圧、またはこれに応じて変化する物理量が、所定の基準値から大きく変化した場合に、送電周波数などの制御パラメータを適切な値に設定するように構成されていけばよい。

【 0 0 8 8 】

( 実施の形態 2 )

図 1 1 は、本開示の実施の形態 2 における異物検知判定回路 1 3 の構成を示す図である。本実施形態では、異物検出判定回路 1 3 が、第 3 共振器 1 1 と第 1 共振器 3 との間の結合係数に基づいて異物を検知する点が実施の形態 1 と異なっている。以下、実施の形態 1 と異なる点を中心に説明し、共通する事項についての説明は省略する。

10

【 0 0 8 9 】

本実施形態における異物検知判定回路 1 3 は、第 3 共振器 1 1 の入力インダクタンス値を測定するインダクタンス測定回路 4 3 と、結合係数を算出する結合係数算出回路 6 1 を有している。結合係数算出回路 6 1 は、周波数  $f_{10}$  で発振回路 1 2 が発振しているときにインダクタンス測定回路 4 3 が測定した第 3 共振器 1 1 の入力インダクタンス値  $L_{in}(f_{10})$  と、周波数  $f_{20}$  で発振回路 1 2 が発振しているときにインダクタンス測定回路 4 3 が測定した第 2 共振器 2 の入力インダクタンス値  $L_{in}(f_{20})$  との比に基づいて、結合係数  $k$  を算出する。この結合係数  $k$  に基づいて、第 3 共振器 1 1 と第 1 共振器 3 との間の異物を検出することができる。

20

【 0 0 9 0 】

結合係数  $k$  は、第 3 共振器 1 1 と第 1 共振器 3 との間の異物に依存して変化する。例えば、磁界を完全に遮蔽する金属異物がコイル間に存在し、第 2 共振器 2 と第 3 共振器 1 1 とが電磁的に結合していないとき、結合係数  $k$  はゼロまたはゼロに近似される小さな値を持つ。一方、金属異物がコイル間に存在しない場合、結合係数  $k$  はゼロより大きく 1 以下の値を持つ。このため、結合係数  $k$  の算出値または推定値に基づいて、第 3 共振器 1 1 と第 1 共振器 3 との間の金属異物の有無を決定することができる。

【 0 0 9 1 】

第 3 共振器 1 1 (コイルのインダクタンス  $L_3$ ) と周波数  $f_r$  で共振する第 1 共振器 3 (コイルのインダクタンス  $L_2$ ) とが結合係数  $k$  で電磁的に結合しているとき、第 3 共振器 1 1 のコイル  $L_3$  から見た入力インダクタンス  $L_{in}$  は次式で求められる。

30

$$L_{in}(f) = L_3 \left\{ 1 - \frac{k^2}{1 - (f_r/f)^2} \right\} \quad \dots \text{式 1}$$

【 0 0 9 2 】

図 1 2 は、式 1 を模式的に示すグラフである。

【 0 0 9 3 】

周波数  $f \ll f_r$  において、第 1 共振器 3 の両端は実質的に開放されているように見える。 $f_r$  よりも低い周波数  $f_{10}$  で測定した入力インダクタンス値を  $L_{in}(f_{10})$  とする。一方、周波数  $f \gg f_r$  において第 1 共振器 3 における並列コンデンサの両端は実質的に短絡しているように見える。 $f_r$  よりも高い周波数  $f_{20}$  で測定した入力インダクタンス値を  $L_{in}(f_{20})$  とする。

40

【 0 0 9 4 】

$f_{10}$ 、 $f_{20}$  の大きさが適切に設定されると、式 1 から以下の近似式が得られる。

$$\begin{aligned} L_{in}(f_{10}) &= L_3 \\ L_{in}(f_{20}) &= L_3 (1 - k^2) \end{aligned}$$

【 0 0 9 5 】

これらの 2 つの近似式から、以下の式 2 が得られる。

$$k^2 = 1 - L_{in}(f_{20}) / L_{in}(f_{10}) \quad \dots \text{式 2}$$

【 0 0 9 6 】

この式 2 によれば、測定値である  $L_{in}(f_{10})$  および  $L_{in}(f_{20})$  の比に基づいて結合係数  $k$  を算出することができる。ただし、式 2 は、第 1 共振器 3 のコイル端を完全に開放にした場合の入力インダクタンス  $L_{in\_open}(f)$  と受電コイル端を完

50

全に短絡にした場合の入力インダクタンス  $L_{in\_short}(f)$  との間に以下の式 3、4 の関係が成立する特殊な条件に基づく。

$$L_{in\_open}(f_{10}) = L_{in\_open}(f_{20}) \quad \dots \text{式 3}$$

$$L_{in\_short}(f_{10}) = L_{in\_short}(f_{20}) \quad \dots \text{式 4}$$

【0097】

逆に言えば、式 3、4 が成立する適切な周波数  $f_{10}$  と  $f_{20}$  を選定したうえで無線電力伝送システムを設計すれば、式 2 が成立し、結合係数  $k$  の推定が可能となる。通常、これらの周波数  $f_{10}$ 、 $f_{20}$  は、共振器の寸法が波長に比べて十分小さいとみなせる周波数の範囲に設定すれば実用上問題ない。

【0098】

なお、自励式の発振回路を用いると、入力インダクタンスの変化を発振周波数の変化に直接変換することができる。入力インダクタンスは発振周波数の 2 乗の逆数で決まるため、結合係数  $k$  は次式で書き換えることができる。

$$k^2 = 1 - f_{10}^2 / f_{20}^2 \quad \dots \text{式 5}$$

【0099】

実用上は回路の線形・非線形要素などを含むため、式 2、式 5 は補正が必要であるが、原理的にはこれらの式から結合係数  $k$  が推定可能である。

【0100】

以上のことから、 $f_{10}$  と  $f_{20}$  の各周波数で発振する動作を連続的に切り替えながら 2 つの周波数における入力インダクタンス値または発振周波数を測定すれば、測定結果から結合係数  $k$  を推定できる。結合係数  $k$  は第 3 共振器 11 と第 1 共振器 3 との間の金属異物による磁界の遮蔽状態に応じて変化する。したがって、例えば、推定した結合係数  $k$  が所定の閾値以下になった場合、第 1 共振器 3 と第 3 共振器 11 との間に金属異物が存在すると判定することができる。

【0101】

ここで、結合係数  $k$  は、金属異物の有無だけでなく、第 1 共振器 3 と第 3 共振器 11 との位置関係が変化した場合にも変化する。例えば、両者のコイルの中心軸が一致する時に結合係数が最大になるように設計されている場合、両者のコイルの中央部がずれた際には、結合係数  $k$  の値は小さくなる。したがって、異物判定処理で異物が無いと判定された場合でも、結合係数が上記閾値よりは高いものの、ある程度小さくなっていれば、受電側のコイルの位置が適正な位置からずれたと考えられる。このため、送電を再開する際には位置ずれを考慮して、送電周波数などの制御パラメータを補正して送電してもよい。これにより、送電電力や送電効率の低下を防ぐことができる。

【0102】

次に、この結合係数  $k$  に基づく異物検知および送電の全体の制御について、図 13 のフローチャートを参照して説明する。図 13 におけるステップ S102 ~ S108、S113 は、図 9 における対応するステップと同じであるため、説明を省略する。

【0103】

本実施形態における異物検知処理は、前述した処理に加えて、周波数  $f_{10}$  および周波数  $f_{20}$  でそれぞれ発振しているときの入力インダクタンス値の比から結合係数  $k$  を求め、結合係数  $k$  に基づいて異物の有無を判定するステップ S201、S202 を含む。ステップ S202 において、判定回路 44 は、例えば結合係数  $k$  が所定の閾値以下であるとき、異物があると判定する。図 13 には示されていないが、結合係数  $k$  だけでなく、電圧や周波数などの他の物理量の変動も総合的に考慮して異物の有無を判定してもよい。異物があると判定した場合、判定回路 44 は、周波数  $f_{10}$  での入力インダクタンス値  $L_{in}(f_{10})$  および周波数  $f_{20}$  での入力インダクタンス値  $L_{in}(f_{20})$  のうち、基準値からの変化量が大きい方の周波数を求める。変化量が  $f_{10}$  のほうが大きい場合には、送電パラメータ保持部 14 に格納された送電周波数のローカル初期値を  $f_{21}$  に変更する。変化量が  $f_{20}$  のほうが大きい場合には、送電パラメータ保持部 14 に格納された送電周波数のローカル初期値を  $f_{11}$  に変更する（ステップ S205）。その後、送電制御回路

10

20

30

40

50

15は、ローカル初期値を送電パラメータ保持部14から読み出し、送電を再開する(ステップS113、S103)。

【0104】

ステップS202において、異物がないと判定した場合、判定回路44は、算出された結合係数 $k$ と設計上の結合係数とを比較し、結合係数 $k$ が設計上の結合係数から変化したか否かを判定する(ステップS203)。このとき、結合係数 $k$ と設計上の結合係数(設計値)との差分が所定の閾値よりも大きいとき、結合係数 $k$ が設計上の結合係数から変化したと判定する。結合係数 $k$ が設計上の結合係数から変化している場合、その結合係数 $k$ の値が設計上の結合係数よりも小さいか否かを判定する(ステップS204)。算出された結合係数 $k$ が設計上の結合係数よりも小さければ、判定回路44は、送電電力が大きくなるように送電パラメータ保持部14に格納されたローカル初期値を変更する(ステップS206)。逆に、算出された結合係数 $k$ が設計上の結合係数より大きければ、送電電力が小さくなるように送電パラメータ保持部14に格納されたローカル初期値を変更する(ステップS207)。送電制御回路15は、変更された制御パラメータで送電を再開する(ステップS113、S103)。

10

【0105】

ローカル初期値の変更は、例えば、算出された結合係数 $k$ と設計上の結合係数との比に補正係数をかけた線形補正式を用いた演算を各制御パラメータに施すことで行われ得る。結合係数の値ごとに出力が適正となる制御パラメータのテーブルを予め用意しておき、それを参照して適正な制御パラメータを決定してもよい。

20

【0106】

以上の処理により、異物があると判定された場合には、異物があると考えられる位置における磁束密度が低くなる周波数で送電を継続することができる。これにより、異物の発熱を低減しながら送電を継続できる。一方、異物がないと判定された場合でも受電側のコイルの位置ずれが生じている場合に、位置ずれによる影響を低減することができる。

【0107】

以上のように、本実施形態によれば、コイル付近に異物がある場合でも異物の発熱を低減して送電を継続できる。さらに、異物が検知されなかった場合も送電効率の低下や電力の低下を抑えることができる。

【0108】

(実施の形態3)

図14は、本開示の実施の形態3における無線電力伝送システムの構成を示す図である。本実施の形態では、第2共振器2が第3共振器11の機能を兼ねている点で、実施の形態1、2とは異なっている。本実施形態のように、第2共振器2と第3共振器11とが1つの共振器によって実現されるシステムも、第2共振器2と第3共振器11とを備えていると言える。以下、実施の形態1または2と異なる点を中心に説明し、共通する事項についての説明は省略する。

30

【0109】

本実施形態における送電回路1は、発振回路12および異物検知判定回路13と第2共振器2との間に接続されたスイッチ91を備えている。異物検知モードでは、スイッチ91は、発振回路12および異物検知判定回路13と第2共振器2とを接続する。送電モードでは、スイッチ91は、発振回路12および異物検知判定回路13と第2共振器2とを切断する。モードの切り替えは、送電制御回路15からの指令信号によって行われる。

40

【0110】

異物検知処理は、実施の形態1、2のいずれかと同様のフローで行われる。ただし、第2共振器2が送電および異物検知の両方の機能を兼ねるため、異物検知で使用する周波数が送電周波数と異なる場合には、共振周波数を切り替える必要がある。このため、第2共振器2に、共振周波数を切り替えるためのインダクタや共振コンデンサが新たに接続され得る。

【0111】

50

図15は、本実施の形態における異物検知判定回路13の具体的な構成例を示す図である。この異物検知判定回路13は、第2共振器2にインダクタLmを接続するための接続スイッチ101を有している。接続スイッチ101がオンの状態で第2共振器2に並列にインダクタLmが接続される。インダクタLmのインダクタンス値は、接続スイッチ101がオンの状態で、第1共振器3の共振コンデンサC21が実質的に短絡に見える共振周波数frになるように設定される。これにより、第2共振器2は、接続スイッチ101がオフの状態で第1共振器3との共振周波数がf0、接続スイッチ101がオンの状態で第1共振器3との共振周波数がfrとなる。

#### 【0112】

このような構成により、異物検知処理を行う場合、スイッチ91を接続状態にして、前述した実施の形態1または2と同様の方法を適用できる。例えば、接続スイッチ101をオフの状態にして、発振回路12がfrよりも低い周波数f10で発振しているときの第2共振器2の入力インダクタンス値Lin(f10)と、接続スイッチ101をオンの状態にして、発振回路12がfrよりも高い周波数f20で発振しているときの第2共振器2から見た入力インダクタンス値Lin(f20)とに基づいて金属異物の有無を判定することができる。なお、本実施形態の構成は、周波数を切り替えるためにインダクタLmを追加できる構成であるが、他の構成であってもよい。例えば、共振コンデンサを追加できる構成、またはインダクタおよび共振コンデンサの両方を追加できる構成であってもよい。

#### 【0113】

図15に示す構成において、結合係数kに基づいて、異物を検知する場合、式5を補正した次式6を用いることができる。

$$k = 1 - f_{10}^2 / (f_{20}^2 - f_{30}^2) \cdots \text{式6}$$

#### 【0114】

ここで、周波数f30は、スイッチ91をオフ、接続スイッチ101をオンにした場合の発振周波数である。すなわち、周波数f30を測定することは、調整インダクタLmのインダクタンス値を測定していることと等価である。発振回路12が周波数f20で発振しているとき、その発振周波数には、コイルL1の入力インダクタンス値に基づく成分と、調整インダクタLmのインダクタンス値に基づく成分とが含まれている。このため、式6の第2項の分母において、調整インダクタLmの影響を取り除いた上で結合係数を算出している。このように、式5の代わりに式5に基づく補正式6によって算出される結合係数kに基づいて異物を検出してもよい。なお、自励式のLC発振回路には、種々の回路トポロジが存在するため、補正式は式6に限定されない。例えば、図8に示すコンデンサCx、Cyを異なるコンデンサに切替えることによって発振周波数を変更するような回路トポロジがある。異なる回路トポロジを採用したとしても、式5の補正式の導出は容易である。同様に、式2を用いる場合も、回路トポロジに応じて式2を補正した補正式を用いて結合係数kを算出してもよい。

#### 【0115】

本実施形態によれば、送電のためのコイルと異物検知のためのコイルとを兼用できるため、装置を小型化できる。異物がコイル付近にある場合でも発熱を低減して送電を継続できるとともに、金属異物がない場合でも送電効率低下や電力低下を抑えることができる。

#### 【0116】

(実施の形態4)

図16は、本開示の実施の形態4における無線電力伝送システムの構成を示す図である。本実施形態は、異物を検出するための構成要素が送電回路1ではなく受電回路4に搭載されている点で、実施の形態1、2、3とは異なっている。以下、実施の形態1、2、3とは異なる点を中心に説明し、共通する事項についての説明は省略する。

#### 【0117】

本実施形態では、異物検出のための構成である第3共振器11と発振回路12と異物検知判定回路13とが受電回路4に搭載されている。また、第1共振器3ではなく第2共振

10

20

30

40

50

器 2 が並列共振コンデンサを備えている。異物検知処理時には、第 2 共振器 2 と第 3 共振器 1 1 とが電磁結合している状態で、異物検知判定回路 1 3 が、第 3 共振器 1 1 の入力インピーダンスの変化に基づいて金属異物の有無を判定する。第 2 共振器 2 および第 3 共振器 1 1 の共振周波数は  $f_r$  に設定されている。第 2 共振器 2 の並列共振コンデンサは、電力伝送時の周波数では実質的に開放となる値に設定されている。

#### 【 0 1 1 8 】

送電側装置に比べ、受電側装置が大きい場合がある。例えば、タブレット端末などの大型の受電側装置を、小型の送電側装置から充電する場合がある。このような場合、送電側装置が異物の存在を通知するための表示素子を使用していると、表示素子が受電側装置で隠れてしまい、異物が存在するか否かを確認することが困難である。この課題は、受電側装置で異物判定を行い、その結果を受電側装置の表示素子に表示してユーザに知らせる構成にすることで解決できる。

10

#### 【 0 1 1 9 】

受電回路 4 は、受電出力回路 1 1 1 と、受電制御回路 1 1 2 とを備えている。受電出力回路 1 1 1 は、整流回路や周波数変換回路、定電圧・定電流制御回路などの各種の回路を含み得る。受電出力回路 1 1 1 は、受け取った交流エネルギーを負荷 5 が利用可能な直流エネルギーまたは低周波の交流エネルギーに変換する。受電制御回路 1 1 2 は、受電回路 4 全体の動作を制御する回路である。

#### 【 0 1 2 0 】

本実施の形態における異物検知処理の動作を説明する。異物検知処理を開始するまでの処理は、前述した実施の形態 1 における処理と同様である。ここでは、異物検知処理を開始する処理から説明する。

20

#### 【 0 1 2 1 】

実施の形態 1 と同様、異物検知処理を開始する際、送電制御回路 1 5 は、インバータ回路 1 0 による送電を停止する。送電の停止は、受電制御回路 1 1 2 から停止信号が通信回路 1 1 3 を介して送電制御回路 1 5 に送られることによって行われる。受電制御回路 1 1 2 からの停止信号は、受電出力回路 1 1 1 にも送られる。受電出力回路 1 1 1 は、出力インピーダンスが実質的に開放となるよう出力回路を切り替える。例えば、受電出力回路 1 1 1 がスイッチング素子で構成された同期整流回路の場合には、スイッチング素子をすべてオフ状態にする。あるいは、出力端を高インピーダンスの抵抗回路に切り替えるように構成されていてもよい。

30

#### 【 0 1 2 2 】

次に、受電制御回路 1 1 2 は、発振回路 1 2 に信号を送り、発振回路 1 2 を周波数  $f_{10}$ 、 $f_{20}$  で発振させる。その間、異物検知判定回路 1 3 は、第 3 共振器 1 1 の発振周波数を測定する。その発振周波数から求められる第 3 共振器 1 1 の入力インピーダンスに基づいて、異物の有無を判定する。次に、異物検知判定回路 1 3 は、判定結果を示す情報を、通信回路 1 1 3 を介して送電制御回路 1 5 に送る。送電制御回路 1 5 は、実施の形態 1 と同様、判定結果に従い、送電パラメータ保持部 1 4 に保持されたローカル初期値を変更して送電を開始する。

#### 【 0 1 2 3 】

本実施形態によれば、受電側装置に搭載された表示素子（ディスプレイやランプ等）を通じて、異物が存在するか否かをユーザに通知することができる。さらに、コイル近傍に異物がある場合でも発熱を低減して送電を継続できる。異物がない場合も、送電効率低下や電力低下を抑えることができる。なお、本実施形態の構成は、受電側装置が送電側装置よりも大型である場合に限定されず、小型である場合も採用可能である。

40

#### 【 0 1 2 4 】

ここに開示した実施形態は、すべての点で例示であって、限定を意図したものではない。本開示の範囲は、以上の説明によってではなく、特許請求の範囲によって決まり、特許請求の範囲と均等の意味及び範囲内での変形を含むすべての態様を包含することを意図している。

50

## 【 0 1 2 5 】

本開示は、以下の項目に記載の送電装置及び送電装置を備えた無線電力伝送システムを含む。

## 【 0 1 2 6 】

## [ 項目 1 ]

第 1 交流電力を受電する第 1 共振器と、前記第 1 共振器が受電した前記第 1 交流電力を第 1 直流電力に変換して負荷に供給する受電回路とを備えた受電装置に対して非接触方式で前記第 1 交流電力を送電する送電装置であって、

前記第 1 共振器と電磁的に結合して前記第 1 交流電力を前記第 1 共振器に送電する第 2 共振器と、

前記第 1 共振器と電磁的に結合して第 2 交流電力を前記第 1 共振器に送電する第 3 共振器と、

前記第 1 共振器と前記第 2 共振器との間の第 1 共振周波数  $f_0$  より低い周波数  $f_{11}$  又は前記第 1 共振周波数  $f_0$  より高い周波数  $f_{21}$  を用いて前記第 1 交流電力を生成するインバータ回路と、

前記第 1 共振器と前記第 3 共振器との間の第 2 共振周波数  $f_r$  より低い周波数  $f_{10}$  又は前記第 2 共振周波数  $f_r$  より高い周波数  $f_{20}$  を用いて前記第 1 交流電力より小さい前記第 2 交流電力を生成する発振回路と、

前記発振回路に指示して前記周波数  $f_{10}$  又は前記周波数  $f_{20}$  のいずれか一方の前記第 2 交流電力を前記発振回路から生成させ、前記第 2 交流電力に応じて変化する前記第 3 共振器における物理量に基づき、前記第 1 共振器と前記第 3 共振器との間に異物が存在するか否かを判断する異物検知判定回路と、

前記周波数  $f_{11}$  又は前記周波数  $f_{21}$  のいずれか一方を前記インバータ回路に指示して前記インバータ回路に前記第 1 交流電力を生成させる送電制御回路と、を備え、

前記送電制御回路は、

前記第 2 共振器から前記第 1 共振器へ前記第 1 交流電力を送電する第 1 送電期間と前記第 1 送電期間の次の第 2 送電期間との間に前記異物検知判定回路による異物検知期間とを設け、

前記第 1 送電期間において、前記周波数  $f_{11}$  及び前記周波数  $f_{21}$  のいずれか一方を用い、前記異物検知期間において、前記周波数  $f_{10}$  及び前記周波数  $f_{20}$  のいずれか一方を用い、

前記異物検知期間において異物が存在すると判断された場合は、前記第 2 送電期間において、前記第 1 送電期間で用いた周波数とは別の前記周波数  $f_{11}$  または前記周波数  $f_{21}$  を使用することを前記インバータ回路に指示して前記第 1 交流電力の送電を開始させる、送電装置。

上記態様によると、

前記第 1 送電期間において、前記周波数  $f_{11}$  及び前記周波数  $f_{21}$  のいずれか一方を用いる。

前記第 1 送電期間において前記周波数  $f_{11}$  で送電している場合、図 5 A に示すように、前記第 1 共振器のコイルと前記第 2 共振器のコイルとの間の中央部 A の磁界は密となり、周辺部 B の磁界が疎となる。よって、中央部 A の磁界が密で、周辺部 B の磁界が疎の状態を送電している。言い換えれば、ほとんど、中央部 A の磁界で送電を行っている。

前記異物検知期間において、前記周波数  $f_{10}$  及び前記周波数  $f_{20}$  のいずれか一方を用いる。

前記異物検知期間において、前記周波数  $f_{10}$  で発振している場合は、図 5 A に示すように、前記第 2 共振器のコイルと前記第 3 共振器のコイルとの間の中央部 A の磁界は密となり、周辺部 B の磁界が疎となる。

よって、前記周波数  $f_{10}$  で発振している時、異物が存在すると判断された場合は、異物は中央部 A に存在していることが分かる。よって、前記第 2 送電期間では、中央部 A の磁界が疎で、周辺部 B の磁界が密となる磁界分布を有する前記周波数  $f_{21}$  で送電すること

10

20

30

40

50

により、異物の発熱を抑制しながら、高い効率で送電できる。

一方、前記第1送電期間において前記周波数 $f_{21}$ で送電している場合、図5Bに示すように、前記第1共振器のコイルと前記第2共振器のコイルとの間の中央部Aの磁界は疎となり、周辺部Bの磁界が密となる。よって、中央部Aの磁界が疎で、周辺部Bの磁界が密の状態を送電している。言い換えれば、ほとんど、周辺部Bの磁界で送電を行っている。

よって、前記周波数 $f_{20}$ で発振している時、異物が存在すると判断された場合は、異物は周辺部Bに存在していることが分かる。よって、前記第2送電期間では、前記中央部Aの磁界が密で、前記周辺部Bの磁界が疎となる磁界分布を有する前記周波数 $f_{11}$ で送電することにより、異物の発熱を抑制しながら、高い効率で送電できる。

以上まとめると、前記異物検知期間において異物が存在すると判断された場合は、前記第2送電期間において、前記第1送電期間で用いた周波数とは別の前記周波数である $f_{11}$ または前記周波数 $f_{21}$ を使用することを前記インバータ回路に指示する。そして、前記第1交流電力の送電を開始させることにより、異物の過熱を防止しつつ、高い効率で継続して送電できる。

また、送電装置には、1つの送電コイルのみで実現できるので、スマートホンのような受電コイルが1つの受電装置でも送電でき、設置台の面積が小さい送電装置を実現できる。

#### 【0127】

##### [項目2]

前記送電制御回路は、

前記異物検知期間において異物が存在しないと判断された場合は、前記第2送電期間において、前記第1送電期間で用いた周波数と同じ前記周波数である $f_{11}$ または前記周波数 $f_{21}$ を使用することを前記インバータ回路に指示して前記第1交流電力の送電を開始させる、

項目1に記載の送電装置。

上記態様によると、

前記異物検知期間において異物が存在しないと判断された場合は、前記第2送電期間において、前記第1送電期間で用いた周波数と同じ前記周波数である $f_{11}$ または前記周波数 $f_{21}$ を使用する。

このことにより、前記第1送電期間と同じ周波数を前記第2送電期間においても用いるので、周波数を変更する必要がない。よって、前記第2送電期間の送電の開始を早く行うことができる。

#### 【0128】

##### [項目3]

前記送電制御回路は、

前記第1送電期間において前記周波数 $f_{11}$ を用い、前記異物検知期間において前記周波数 $f_{10}$ を用いた場合において、前記異物検知期間において異物が存在すると判断された場合、前記第2送電期間において前記周波数 $f_{21}$ を使用することを前記インバータ回路に指示して前記周波数 $f_{21}$ を用いた前記第1交流電力の送電を開始させる、

項目1に記載の送電装置。

上記態様によると、

前記周波数 $f_{10}$ で発振している時、異物が存在すると判断された場合は、異物は中央部Aに存在していることが分かる。よって、前記第2送電期間では、例えば、図5Bの中央部Aの磁界が疎で、周辺部Bの磁界が密となる磁界分布を有する前記周波数 $f_{21}$ で送電することにより、異物の過熱を防止しつつ、高い効率で継続して送電できる。

#### 【0129】

##### [項目4]

前記送電制御回路は、

前記第1送電期間において前記周波数 $f_{11}$ を用い、前記異物検知期間において前記周波数 $f_{10}$ を用いた場合において、前記異物検知期間において異物が存在しないと判断さ

10

20

30

40

50



れた場合、前記第 2 送電期間において前記周波数  $f_{11}$  を使用することを前記インバータ回路に指示し、前記周波数  $f_{11}$  を用いた前記第 1 交流電力の送電を開始させる、

項目 2 に記載の送電装置。

上記態様によると、

前記異物検知期間において異物が存在しないと判断された場合は、前記第 2 送電期間において、前記第 1 送電期間で用いた周波数と同じ前記周波数である  $f_{11}$  を使用する。

このことにより、前記第 1 送電期間と同じ周波数を前記第 2 送電期間においても用いるので、周波数を変更する処理が不要となる。よって、前記第 2 送電期間の送電の開始を早く行うことができる。

【 0 1 3 0 】

10

[ 項目 5 ]

前記送電制御回路は、

前記第 1 送電期間において前記周波数  $f_{21}$  を用い、前記異物検知期間において前記周波数  $f_{20}$  を用いた場合において、前記異物検知期間において異物が存在すると判断された場合、前記第 2 送電期間において前記周波数  $f_{11}$  を使用することを前記インバータ回路に指示し、前記周波数  $f_{11}$  を用いた前記第 1 交流電力の送電を開始させる、

項目 1 に記載の送電装置。

上記態様によると、

前記周波数  $f_{20}$  で発振している時、異物が存在すると判断された場合は、異物は周辺部 B に存在していることが分かる。よって、前記第 2 送電期間では、例えば、図 5 A の中央部 A の磁界が密で、周辺部 B の磁界が疎となる磁界分布を有する前記周波数  $f_{11}$  で送電することにより、異物の過熱を防止しつつ、高い効率で継続して送電できる。

20

【 0 1 3 1 】

[ 項目 6 ]

前記送電制御回路は、

前記第 1 送電期間において前記周波数  $f_{21}$  を用い、前記異物検知期間において前記周波数  $f_{20}$  を用いた場合において、前記異物検知期間において異物が存在しないと判断された場合、前記第 2 送電期間において前記周波数  $f_{21}$  を使用することを前記インバータ回路に指示し、前記周波数  $f_{21}$  を用いた前記第 1 交流電力の送電を開始させる、

項目 2 に記載の送電装置。

上記態様によると、

前記異物検知期間において異物が存在しないと判断された場合は、前記第 2 送電期間において、前記第 1 送電期間で用いた周波数と同じ前記周波数である  $f_{21}$  を使用する。

このことにより、前記第 1 送電期間と同じ周波数を前記第 2 送電期間においても用いるので、周波数を変更する処理が不要となる。よって、前記第 2 送電期間の送電の開始を早く行うことができる。

30

【 0 1 3 2 】

[ 項目 7 ]

前記異物検知判定回路は、

前記第 2 交流電力に応じて変化する前記第 3 共振器における物理量を測定し、前記変化後の物理量と所定の基準値との差分が、所定の範囲を超えると、前記第 1 共振器と前記第 3 共振器との間に異物が存在すると判断する、

項目 1 ~ 6 のいずれか 1 項に記載の送電装置。

上記態様によると、

前記第 3 共振器における物理量を測定し、前記変化後の物理量と所定の基準値との差分が大きくなる場合は、前記差分が前記所定の範囲の上限を超えると、前記第 1 共振器と前記第 3 共振器との間に異物が存在すると判断できる。一方、前記差分が小さくなる場合は、前記差分が前記所定の範囲の下限を下回ると、前記第 1 共振器と前記第 3 共振器との間に異物が存在すると判断できる。

40

【 0 1 3 3 】

50

## [ 項目 8 ]

前記異物検知判定回路は、

前記第 3 共振器における物理量を測定し、前記測定された物理量から算出した値に基づき、前記異物が存在するか否かを判断する、  
項目 1 ~ 7 のいずれかに記載の送電装置。

上記態様によると、

前記第 3 共振器における物理量を測定し、前記測定された物理量から算出した値に基づき、前記異物が存在するか否かを判断する。

例えば、前記異物が存在するか否かを判断は、前記異物を高精度で判定できる式に基づいて算出される。

例えば、前記判断する方法は、前記算出した値と基準値との差分が、所定の範囲を超えると、前記第 1 共振器と前記第 3 共振器との間に異物が存在すると判断する。前記差分が大きくなる場合は、前記差分が前記所定の範囲の上限を超えると、前記第 1 共振器と前記第 3 共振器との間に異物が存在すると判断できる。一方、前記差分が小さくなる場合は、前記差分が前記所定の範囲の下限を下回ると、前記第 1 共振器と前記第 3 共振器との間に異物が存在すると判断できる。

よって、前記第 1 共振器と前記第 3 共振器との間に異物が存在するか否かを高精度で判断できる。

## 【 0 1 3 4 】

## [ 項目 9 ]

前記第 3 共振器における物理量は、前記第 3 共振器に印加される電圧、前記第 3 共振器に流れる電流、前記第 3 共振器に印加される周波数、前記第 3 共振器の入力インピーダンス値、又は、前記第 3 共振器の入力インダクタンス値である、

項目 1 ~ 8 のいずれかに記載の送電装置。

上記態様によると、

前記物理量を測定することで、前記第 1 共振器と前記第 3 共振器との間に異物が存在するか否かを容易に判断できる。

## 【 0 1 3 5 】

## [ 項目 1 0 ]

前記第 1 共振器は、コイル及びキャパシタを含む並列共振回路を有し、

前記異物検知判定回路は、

前記第 3 共振器における物理量が前記第 3 共振器の入力インダクタンス値である場合、前記共振回路が前記周波数  $f_{10}$  で共振しているときの前記第 3 共振器の入力インダクタンス値  $L_{in}(f_{10})$  と、前記周波数  $f_{20}$  で共振しているときの前記第 3 共振器の入力インダクタンス値  $L_{in}(f_{20})$  とを測定し、

$k^2 = 1 - L_{in}(f_{20}) / L_{in}(f_{10})$  の式によって結合係数  $k$  を算出し、前記算出した結合係数  $k$  に基づいて異物が存在するか否かを判断する、

項目 1 ~ 9 のいずれかに記載の送電装置。

上記態様によると、

$k^2 = 1 - L_{in}(f_{20}) / L_{in}(f_{10})$  の式によって結合係数  $k$  を算出し、前記算出した結合係数  $k$  に基づいて異物が存在するか否かを判断する。

$L_{in}(f_{20})$  に、前記コイルの両端が短絡している状態の時の前記第 3 共振器の入力インダクタンス値を用い、 $L_{in}(f_{10})$  に前記コイルの両端が開放している状態の時の前記第 3 共振器の入力インダクタンス値を用いると高精度の結合係数  $k$  を算出でき、高精度で異物が存在するか否かを判断することができる。

前記コイル及前記コイルの両端に設けたキャパシタを含む並列共振回路を前記受電装置に設ける。このことにより、前記共振回路で前記第 2 共振周波数  $f_r$  よりも低い前記周波数  $f_{10}$  で駆動すると、前記キャパシタに電流が流れないので、前記コイルの両端が実質的に開放されている状態を作り出せる。また、前記第 2 共振周波数  $f_r$  よりも高い前記周波数  $f_{20}$  で駆動すると、前記キャパシタに電流が流れるので、前記コイルの両端が短絡

10

20

30

40

50

している状態を作り出せる。

よって、前記コイルの両端にキャパシタを設けるだけで、前記コイルの両端が実質的に開放されている状態と前記コイルの両端が短絡している状態とを作り出すことができる。そのため、通常行われているように、前記コイルの両端に短絡用スイッチを設け、設けた前記短絡用スイッチを制御する制御回路を前記受電装置に設ける必要はない。よって、通常行われているような、前記送電装置から信号を送って前記短絡用スイッチを制御するという煩わしさをなくすることができる。その結果、精度の高い前記結合係数を用いて異物検知を行うので、コスト増を招くことなく、簡易な構成で前記負荷が変動しても高精度で異物検知を行うことができる。

#### 【 0 1 3 6 】

10

##### [ 項目 1 1 ]

前記第 1 共振器は、コイル及びキャパシタを含む並列共振回路を有し、  
前記異物検知判定回路は、

前記第 3 共振器における物理量が前記第 3 共振器の入力インダクタンス値である場合、  
前記発振回路が前記周波数  $f_{10}$  で発振しているときの前記第 3 共振器の入力インダクタンス値  $L_{in}(f_{10})$  と、前記周波数  $f_{20}$  で発振しているときの前記第 3 共振器の入力インダクタンス値  $L_{in}(f_{20})$  とを測定し、

前記  $L_{in}(f_{10})$  と前記  $L_{in}(f_{20})$  との比を算出し、前記算出した比に基づいて異物が存在するか否かを判断する、

項目 1 ~ 10 のいずれかに記載の送電装置。

20

上記態様によると、

測定した前記  $L_{in}(f_{10})$  と前記  $L_{in}(f_{20})$  との比を算出し、前記算出した比に基づいて異物が存在するか否かを判断する。

「前記入力インダクタンス値  $L_{in}(f_{10})$  と前記入力インダクタンス値  $L_{in}(f_{20})$  の比に基づいて」の意味について説明する。

前記結合係数  $k$  を算出する式  $2 [ k^2 = 1 - L_{in}(f_{20}) / L_{in}(f_{10}) ]$  は、式  $[ L_{in}(f_{20}) / L_{in}(f_{10}) = 1 - k^2 ]$  に変形できる。よって、 $L_{in}(f_{20}) / L_{in}(f_{10})$  が決まると、結合係数  $k$  を一意的に決めることができる。従って、前記入力インダクタンス値  $L_{in}(f_{10})$  と前記入力インダクタンス値  $L_{in}(f_{20})$  の比に基づいて、前記第 1 共振器と前記第 3 共振器との間に異物が存在するか否かを判断できる。

30

式 1 による結合係数  $k$  を算出するには、四則演算以外の平方根の算出処理が求められる。一方、前記入力インダクタンス値  $L_{in}(f_1)$  と前記入力インダクタンス値  $L_{in}(f_2)$  の比は単純な除算であるので、処理の負荷も軽減でき、算出スピードを速くすることができる。

また、前記コイルの両端に短絡用スイッチを設ける必要はなく、前記送電装置から信号を送って前記短絡用スイッチを制御する煩わしさをなくすることができる。

#### 【 0 1 3 7 】

##### [ 項目 1 2 ]

前記第 1 共振器は、コイル及びキャパシタを含む並列共振回路を有し、  
前記発振回路は、

40

自励式の発振回路であり、かつ、前記第 3 共振器における物理量が前記第 3 共振器の入力インダクタンス値である場合、前記発振回路の発振周波数の 2 乗は前記第 3 共振器の入力インダクタンス値に反比例し、

前記異物検知判定回路は、

前記発振回路が発振している前記周波数  $f_{10}$  及び前記周波数  $f_{20}$  を測定し、 $k^2 = 1 - f_{10}^2 / f_{20}^2$  の式によって結合係数  $k$  を算出し、前記算出した結合係数  $k$  に基づいて異物が存在するか否かを判断する、

項目 1 ~ 11 のいずれかに記載の送電装置。

上記態様によると、前記発振回路が自励式の発振回路の場合、前記入力インダクタンス

50

値をLとし、前記キャパシタの容量をCとすると、前記自励式の発振回路の周波数fはLC共振原理に基づく発振回路である場合、 $f = 1 / ( 2 \times ( LC ) ^ { ( 1 / 2 ) } )$ の式で表すことができる。容量Cは回路定数で既知であるから、前記入力インダクタンス値Lが前記発振回路の周波数の2乗に反比例するので、前記結合係数の式である $k^2 = 1 - L_{in}(f_{20}) / L_{in}(f_{10})$ を $k^2 = 1 - f_{10}^2 / f_{20}^2$ の式に置き換えることができる。このことにより、前記異物検知判定回路で前記入力インダクタンスを測定する工程は不要となり、前記発振回路が発振する周波数f<sub>10</sub>及びf<sub>20</sub>の値を用いればよい。よって、前記異物検知判定回路で前記入力インダクタンスを測定する必要がなくなるので、前記結合係数を高精度で算出することができる。なお、前記周波数f<sub>1</sub>及び前記周波数f<sub>2</sub>の値は、前記第1共振器の前記周波数f<sub>1</sub>及び前記周波数f<sub>2</sub>を前記異物検知判定回路が測定してもよい。また、他の発振回路でも同様の考え方が適用でき当業者では容易に類推可能である。

10

また、前記コイルの両端に短絡用スイッチを設ける必要はなく、前記送電装置から信号を送って前記短絡用スイッチを制御する煩わしさをなくすることができる。

#### 【0138】

##### [項目13]

前記第1共振器および前記第3共振器は、同一の共振器であり、

前記送電制御回路の制御により、前記インバータ回路と前記同一の共振器との電気的接続と、前記発振回路と前記同一の共振器との電気的接続とを切り替えるスイッチを備え、前記送電制御回路は、

20

前記第1送電期間から前記異物検知期間に変更するとき、前記スイッチを制御して、前記インバータ回路と前記同一の共振器との電気的接続から前記発振回路と前記同一の共振器との電気的接続に切り替え、

前記異物検知期間から前記第2送電期間に変更するとき、前記スイッチを制御して、前記発振回路と前記同一の共振器との電気的接続から前記インバータ回路と前記同一の共振器との電気的接続に切り替える、

項目1～12のいずれかに記載の送電装置。

上記態様によると、

前記第2共振器および前記第3共振器を同一の共振器とすることで、前記第2共振器に前記第1交流電力を送電する共振器と、前記第2共振器に前記第2交流電力を送電する共振器とが同じ共振器となり、部品点数の削減することができる。そして、送電装置の小型化を図ることができる。

30

#### 【0139】

##### [項目14]

項目1～13のいずれかに記載の送電装置と、受電装置と、を備える、無線電力伝送システム。

#### 【0140】

##### [項目15]

第1交流電力を受電する第1共振器と、前記第1共振器が受電した前記第1交流電力を第1直流電力に変換して負荷に供給する受電回路とを備えた受電装置に対して非接触方式で前記第1交流電力を送電する送電装置であって、

40

前記第1共振器と電磁的に結合させて前記第1交流電力を前記第1共振器に送電する第2共振器と、

前記第1共振器と電磁的に結合させて第2交流電力を前記第1共振器に送電する第3共振器と、

前記第1共振器と前記第2共振器との間の第1共振周波数f<sub>0</sub>より低い周波数f<sub>11</sub>又は前記第1共振周波数f<sub>0</sub>より高い周波数f<sub>21</sub>を用いて前記第1交流電力を生成するインバータ回路と、

前記第1共振器と前記第3共振器との間の第2共振周波数f<sub>r</sub>より低い周波数f<sub>10</sub>又は前記第2共振周波数f<sub>r</sub>より高い周波数f<sub>20</sub>を用いて前記第1交流電力より小さい前

50

記第 2 交流電力を生成する発振回路と、

前記発振回路に指示して前記周波数  $f_{10}$  又は前記周波数  $f_{20}$  のいずれか一方の前記第 2 交流電力を前記発振回路から生成させ、前記第 2 交流電力に応じて変化する前記第 3 共振器における物理量に基づき、前記第 1 共振器と前記第 3 共振器との間に異物が存在するか否かを判断する異物検知判定回路と、

前記周波数  $f_{11}$  又は前記周波数  $f_{21}$  のいずれか一方を前記インバータ回路に指示して前記インバータ回路に前記第 1 交流電力を生成させる送電制御回路と、を備え、

前記送電制御回路は、

前記第 1 交流電力の送電を行う前に、前記異物検知判定回路に異物が存在するか否かを判断させる異物検知期間を設け、

前記異物検知期間において、前記周波数  $f_{10}$  及び前記周波数  $f_{20}$  のいずれか一方を用い、

前記第 2 共振周波数  $f_r$  より高い周波数  $f_{20}$  を用いて、前記異物検知期間において異物が存在すると判断された場合は、前記第 1 共振周波数  $f_0$  より低い周波数  $f_{11}$  を使用することを前記インバータ回路に指示し、または、

前記第 2 共振周波数  $f_r$  より低い周波数  $f_{10}$  を用いて、前記異物検知期間において異物が存在すると判断された場合は、前記第 1 共振周波数  $f_0$  より高い周波数  $f_{21}$  を使用することを前記インバータ回路に指示して前記第 1 交流電力の送電を開始させる、

送電装置。

上記項目によると、

上記第 1 の態様では、前記第 2 共振器から前記第 1 共振器へ前記第 1 交流電力を送電する第 1 送電期間と前記第 1 送電期間の次の第 2 送電期間との間に前記異物検知判定回路による異物検知期間を設けたが、前記第 1 送電期間を設けず、最初に前記異物検知期間後に、前記第 1 送電期間を設けた場合でも、本開示の発明を適用できる。

前記異物検知期間において、前記周波数  $f_{10}$  及び前記周波数  $f_{20}$  のいずれか一方を用いる。

前記異物検知期間において、前記周波数  $f_{10}$  で発振している場合は、図 5 A に示すように、前記第 2 共振器のコイルと前記第 3 共振器のコイルとの間の中央部 A の磁界は密となり、周辺部 B の磁界が疎となる。

よって、前記周波数  $f_{20}$  で発振している時、異物が存在すると判断された場合は、異物は周辺部 B に存在していることが分かる。よって、前記第 2 送電期間では、前記中央部 A の磁界が密で、前記周辺部 B の磁界が疎となる磁界分布を有する前記周波数  $f_{11}$  で送電することにより、異物の過熱を防止しつつ、高い効率で継続して送電できる。

前記異物検知期間において、前記周波数  $f_{20}$  で発振している場合は、図 5 B に示すように、前記第 2 共振器のコイルと前記第 3 共振器のコイルとの間の周辺部 B の磁界は密となり、中央部 A の磁界が疎となる。

よって、前記周波数  $f_{10}$  で発振している時、異物が存在すると判断された場合は、異物は中央部 A に存在していることが分かる。よって、前記第 2 送電期間では、中央部 A の磁界が疎で、周辺部 B の磁界が密となる磁界分布を有する前記周波数  $f_{21}$  で送電することにより、異物の過熱を防止しつつ、高い効率で継続して送電できる。

また、送電装置には、1つの送電コイルのみで実現できるので、スマートホンのような受電コイルが1つの受電装置でも送電でき、設置台の面積が小さい送電装置を実現できる。

【0141】

[項目16]

前記異物検知判定回路は、

前記第 2 交流電力に応じて変化する前記第 3 共振器における物理量を測定し、前記変化後の物理量と所定の基準値との差分が、予め設定された閾値よりも大きいとき、前記第 1 共振器と前記第 3 共振器との間に異物が存在すると判断する、

項目 15 に記載の送電装置。

上記項目によると、

前記変化後の物理量と所定の基準値との差分が、予め設定された閾値よりも大きいとき、前記第1共振器と前記第3共振器との間に異物が存在すると判断する。

このことにより、前記第1共振器と前記第3共振器との間に異物が存在するか否かを容易に判断できる。

【0142】

[項目17]

前記異物検知判定回路は、

前記第3共振器における物理量を測定し、前記測定された物理量から算出した値に基づき、前記異物が存在するか否かを判断する、

10

項目15～16のいずれかに記載の送電装置。

上記項目によると、

前記測定された物理量から算出した値に基づき、前記異物が存在するか否かを判断する。前記算出した値は、異物を高精度で判定できる式に基づいて算出される。よって、前記第1共振器と前記第3共振器との間に異物が存在するか否かを高精度で判断できる。

【0143】

[項目18]

前記第3共振器における物理量は、前記第3共振器に印加される電圧、前記第3共振器に流れる電流、前記第3共振器に印加される周波数、前記第3共振器の入力インピーダンス値、又は、前記第3共振器の入力インダクタンス値である、

20

項目15～17のいずれかに記載の送電装置。

上記項目によると、

前記物理量を測定することで、前記第1共振器と前記第3共振器との間に異物が存在するか否かを容易に判断できる。

【0144】

[項目19]

前記第1共振器は、コイル及びキャパシタを含む並列共振回路を有し、

前記異物検知判定回路は、

前記第3共振器における物理量が前記第3共振器の入力インダクタンス値である場合、前記発振回路が前記周波数 $f_{10}$ で発振しているときの前記第3共振器の入力インダクタンス値 $L_{in}(f_{10})$ と、前記周波数 $f_{20}$ で発振しているときの前記第3共振器の入力インダクタンス値 $L_{in}(f_{20})$ とを測定し、

30

$k^2 = 1 - L_{in}(f_{20}) / L_{in}(f_{10})$ の式によって結合係数 $k$ を算出し、前記算出した結合係数 $k$ に基づいて異物が存在するか否かを判断する、

項目15～18のいずれかに記載の送電装置。

上記項目によると、

$k^2 = 1 - L_{in}(f_{20}) / L_{in}(f_{10})$ の式によって結合係数 $k$ を算出し、前記算出した結合係数 $k$ に基づいて異物が存在するか否かを判断する。

$L_{in}(f_{20})$ に、前記コイルの両端が短絡している状態の時の前記第3共振器の入力インダクタンス値を用い、 $L_{in}(f_{10})$ に前記コイルの両端が開放している状態の時の前記第3共振器の入力インダクタンス値を用いると高精度の結合係数 $k$ を算出でき、高精度で異物が存在するか否かを判断することができる。

40

前記コイル及前記コイルの両端に設けたキャパシタを含む並列共振回路を前記受電装置に設ける。このことにより、前記発振回路で前記第2共振周波数 $f_r$ よりも低い前記周波数 $f_{10}$ で駆動すると、前記キャパシタに電流が流れないので、前記コイルの両端が実質的に開放されている状態を作り出せる。また、前記第2共振周波数 $f_r$ よりも高い前記周波数 $f_{20}$ で駆動すると、前記キャパシタに電流が流れるので、前記コイルの両端が短絡している状態を作り出せる。

よって、前記コイルの両端にキャパシタを設けるだけで、前記コイルの両端が実質的に開放されている状態と前記コイルの両端が短絡している状態とを作り出すことができる。

50

そのため、通常行われているように、前記コイルの両端に短絡用スイッチを設け、設けた前記短絡用スイッチを制御する制御回路を前記受電装置に設ける必要はない。よって、通常行われているような、前記送電装置から信号を送って前記短絡用スイッチを制御するという煩わしさをなくすることができる。その結果、精度の高い前記結合係数を用いて異物検知を行うので、コスト増を招くことなく、簡易な構成で前記負荷が変動しても高精度で異物検知を行うことができる。

#### 【0145】

##### [項目20]

前記第1共振器は、コイル及びキャパシタを含む並列共振回路を有し、

前記異物検知判定回路は、

10

前記第3共振器における物理量が前記第3共振器の入力インダクタンス値である場合、前記発振回路が前記周波数  $f_{10}$  で発振しているときの前記第3共振器の入力インダクタンス値  $L_{in}(f_{10})$  と、前記周波数  $f_{20}$  で発振しているときの前記第3共振器の入力インダクタンス値  $L_{in}(f_{20})$  とを測定し、

前記  $L_{in}(f_{10})$  と前記  $L_{in}(f_{20})$  との比を算出し、前記算出した比に基づいて異物が存在するか否かを判断する、

項目15～19のいずれかに記載の送電装置。

上記項目によると、

測定した前記  $L_{in}(f_{10})$  と前記  $L_{in}(f_{20})$  との比を算出し、前記算出した比に基づいて異物が存在するか否かを判断する。

20

「前記入力インダクタンス値  $L_{in}(f_{10})$  と前記入力インダクタンス値  $L_{in}(f_{20})$  の比に基づいて」の意味について説明する。

前記結合係数  $k$  を算出する式  $2 [ k^2 = 1 - L_{in}(f_{20}) / L_{in}(f_{10}) ]$  は、式  $2 [ L_{in}(f_{20}) / L_{in}(f_{10}) = 1 - k^2 ]$  に変形できる。よって、 $L_{in}(f_{20}) / L_{in}(f_{10})$  が決まると、結合係数  $k$  を一意的に決めることができる。従って、前記入力インダクタンス値  $L_{in}(f_{10})$  と前記入力インダクタンス値  $L_{in}(f_{20})$  の比に基づいて、前記第1共振器と前記第3共振器との間に異物が存在するか否かを判断できる。

式2による結合係数  $k$  を算出するには、四則演算以外の平方根の算出処理が求められる。一方、前記入力インダクタンス値  $L_{in}(f_{10})$  と前記入力インダクタンス値  $L_{in}(f_{20})$  の比は単純な除算であるので、処理の負荷も軽減でき、算出スピードを速くすることができる。

30

また、前記コイルの両端に短絡用スイッチを設ける必要はなく、前記送電装置から信号を送って前記短絡用スイッチを制御する煩わしさをなくすることができる。

#### 【0146】

##### [項目21]

前記第1共振器は、コイル及びキャパシタを含む並列共振回路を有し、

前記発振回路は、

自励式の発振回路であり、かつ、前記第3共振器における物理量が前記第3共振器の入力インダクタンス値である場合、前記発振回路の発振周波数の2乗は前記第3共振器の入力インダクタンス値に反比例し、

40

前記異物検知判定回路は、

前記発振回路が発振している前記周波数  $f_{10}$  及び前記周波数  $f_{20}$  を測定し、 $k^2 = 1 - f_{10}^2 / f_{20}^2$  の式によって結合係数  $k$  を算出し、前記算出した結合係数  $k$  に基づいて異物が存在するか否かを判断する、

項目15～20のいずれかに記載の送電装置。

上記項目によると、

前記発振回路が自励式の発振回路の場合、前記入力インダクタンス値を  $L$  とし、前記キャパシタの容量を  $C$  とすると、前記自励式の発振回路の周波数  $f$  は  $LC$  共振原理に基づく発振回路である場合、 $f = 1 / ( 2 \times ( LC ) ^{ ( 1 / 2 ) } )$  の式で表すことができる

50

。容量Cは回路定数で既知であるから、前記入力インダクタンス値Lが前記発振回路の周波数の2乗に反比例するので、前記結合係数の式である $k^2 = 1 - L \ln(f_{20}) / L \ln(f_{10})$ を $k^2 = 1 - f_{10}^2 / f_{20}^2$ の式に置き換えることができる。このことにより、前記測定回路で前記入力インダクタンスを測定する工程は不要となり、前記発振回路が発振する周波数 $f_{10}$ 及び $f_{20}$ の値を用いればよい。よって、前記測定回路で前記入力インダクタンスを測定する必要がなくなるので、前記結合係数を高精度で算出することができる。なお、前記周波数 $f_{10}$ 及び前記周波数 $f_{20}$ の値は、前記第1共振器の前記周波数 $f_{10}$ 及び前記周波数 $f_{20}$ を前記測定回路が測定してもよい。また、他の発振回路でも同様の考え方が適用でき当業者では容易に類推可能である。

また、前記コイルの両端に短絡用スイッチを設ける必要はなく、前記送電装置から信号を送って前記短絡用スイッチを制御する煩わしさをなくすることができる。

【0147】

[項目22]

前記第2共振器および前記第3共振器は、同一の共振器であり、

前記送電制御回路の制御により、前記インバータ回路と前記同一の共振器との電気的接続と、前記発振回路と前記同一の共振器との電気的接続とを切り替えるスイッチを備え、前記送電制御回路は、

前記第1送電期間から前記異物検知期間に変更するとき、前記スイッチを制御して、前記インバータ回路と前記同一の共振器との電気的接続から前記発振回路と前記同一の共振器との電気的接続に切り替え、

前記異物検知期間から前記第2送電期間に変更するとき、前記スイッチを制御して、前記発振回路と前記同一の共振器との電気的接続から前記インバータ回路と前記同一の共振器との電気的接続に切り替る、

項目15～21のいずれかに記載の送電装置。

上記項目によると、

前記第2共振器および前記第3共振器を同一の共振器とすることで、前記第2共振器に前記第1交流電力を送電する共振器と、前記第2共振器に前記第2交流電力を送電する共振器とが同じ共振器となり、部品点数の削減することができる。そして、送電装置の小型化を図ることができる。

【0148】

[項目23]

項目15～22のいずれかに記載の送電装置と、上記受電装置と、を備えた無線電力伝送システム。

【0149】

また、本開示の別の態様に係る送電装置、受電装置、及び送電装置と受電装置とを備えた無線電力伝送システムは、以下の構成を備える。

【0150】

(1)本開示の一態様に係る無線電力伝送システムは、入力された直流エネルギーを交流エネルギーに変換して出力するように構成された送電回路と、周波数 $f_0$ で共振し、前記送電回路から出力された前記交流エネルギーを送出するように構成された第1共振器と、周波数 $f_0$ および $f_r$ で共振し、前記第1共振器と電磁的に結合することによって前記第1共振器から送られた前記交流エネルギーの少なくとも一部を受け取るように構成された第2共振器と、前記第2共振器が受け取った前記交流エネルギーを直流エネルギーに変換して負荷に供給するように構成された受電回路と、周波数 $f_r$ で共振し、前記第2共振器と電磁的に結合するように構成された第3共振器とを備える。前記送電回路は、複数のスイッチを有し、入力された直流エネルギーを前記複数のスイッチの切り替えによって交流エネルギーに変換して前記第1共振器に出力するように構成されたインバータ回路と、前記インバータ回路における前記複数のスイッチの切り替えを制御するように構成された送電制御回路と、前記第3共振器に接続され、周波数 $f_r$ よりも低い周波数 $f_{10}$ 、および周波数 $f_r$ よりも高い周波数 $f_{20}$ の少なくとも一方で発振可能な発振回路と、前記発振回路から出力

10

20

30

40

50



された電圧に応じて変化する物理量を測定するように構成された測定回路と、前記発振回路が周波数  $f_{10}$  で発振しており、かつ、測定された前記物理量の基準値からの変化量が、予め設定された閾値よりも大きいとき、周波数  $f_0$  よりも高い周波数  $f_{21}$  で送電するように前記送電制御回路に指示し、前記発振回路が周波数  $f_{20}$  で発振しており、かつ、前記物理量の基準値からの変化量が、予め設定された閾値よりも大きいとき、周波数  $f_0$  よりも低い周波数  $f_{11}$  で送電するように前記送電制御回路に指示するように構成された判定回路とを有する。

【0151】

(2) ある実施形態において、前記送電制御回路は、前記発振回路を、周波数  $f_{10}$  および  $f_{20}$  の両方で発振させるように構成され、前記判定回路は、前記発振回路が周波数  $f_{10}$  で発振しているときの前記物理量の前記基準値からの変化量が、前記閾値よりも大きく、かつ、前記発振回路が周波数  $f_{20}$  で発振しているときの前記物理量の前記基準値からの変化量よりも大きいとき、周波数  $f_{21}$  で送電するように前記送電制御回路に指示し、前記発振回路が周波数  $f_{20}$  で発振しているときの前記物理量の前記基準値からの変化量が、前記閾値よりも大きく、かつ、前記発振回路が周波数  $f_{10}$  で発振しているときの前記物理量の前記基準値からの変化量よりも大きいとき、周波数  $f_{11}$  で送電するように前記送電制御回路に指示するように構成されている。

10

【0152】

(3) ある実施形態において、前記判定回路は、前記発振回路が周波数  $f_{10}$  および  $f_{20}$  の少なくとも一方で発振しているときの前記物理量の前記基準値からの変化量が前記閾値よりも大きいとき、前記第3共振器または前記第2共振器に異物が接近したことを示す情報を出力するように構成されている。

20

【0153】

(4) ある実施形態において、前記判定回路は、前記発振回路が周波数  $f_r$  よりも低い周波数  $f_{10}$  で発振しているときの前記第3共振器の入力インダクタンス値  $L_{in}(f_{10})$  と、周波数  $f_r$  よりも高い周波数  $f_{20}$  で発振しているときの前記第3共振器の入力インダクタンス値  $L_{in}(f_{20})$  との比に基づいて異物の有無を判定するように構成されている。

【0154】

(5) ある実施形態において、前記判定回路は、 $k^2 = 1 - L_{in}(f_{20}) / L_{in}(f_{10})$  の式または前記式に基づく補正式によって算出される結合係数  $k$  に基づいて異物の有無を判定するように構成されている。

30

【0155】

(6) ある実施形態において、前記発振回路は、自励式の発振回路であり、かつ、前記第3共振器の入力インダクタンス値が前記発振回路の発振周波数の2乗に反比例するように構成されており、前記判定回路は、 $k^2 = 1 - f_{10}^2 / f_{20}^2$  の式または前記式に基づく補正式によって算出される結合係数  $k$  に基づいて異物の有無を判定するように構成されている。

【0156】

(7) ある実施形態において、前記第1共振器および前記第3共振器は、1つの共振器によって構成されている。前記無線電力伝送システムは、前記発振回路と前記共振器との間に接続されたスイッチと、異物検知モードでは前記スイッチをオンにし、送電モードでは前記スイッチをオフにするように構成された制御回路とをさらに備えている。

40

【0157】

(8) 本開示の他の態様に係る無線電力伝送システムは、入力された直流エネルギーを交流エネルギーに変換して出力するように構成された送電回路と、周波数  $f_0$  で共振し、前記送電回路から出力された前記交流エネルギーを送出するように構成された第1共振器と、周波数  $f_0$  および  $f_r$  で共振し、前記第1共振器と電磁的に結合することによって前記第1共振器から送出された前記交流エネルギーの少なくとも一部を受け取るように構成された第2共振器と、前記第2共振器が受け取った前記交流エネルギーを直流エネルギーに変換して負

50

荷に供給するように構成された受電回路と、周波数  $f_r$  で共振し、前記第 2 共振器と電磁的に結合するように構成された第 3 共振器とを備える。前記送電回路は、複数のスイッチを有し、入力された直流エネルギーを前記複数のスイッチの切り替えによって交流エネルギーに変換して前記第 1 共振器に出力するように構成されたインバータ回路と、前記第 3 共振器に接続され、交流成分を含む電圧を出力する発振回路と、前記発振回路から出力された前記電圧に応じて変化する物理量を測定するように構成された測定回路と、測定された前記物理量の基準値からの変化量に基づいて、異物の有無を判定するように構成された判定回路と、送電中、前記インバータ回路から出力される電圧の周波数および前記電圧のデューティ比の少なくとも一方を制御し、前記周波数および前記デューティ比の少なくとも一方に関する制御パラメータをメモリに記録し、前記判定回路による判定処理が行われた後に送電を再開するとき、前記判定処理の結果に基づいて決定された前記制御パラメータを用いて、前記インバータ回路を制御するように構成された送電制御回路とを有する。

10

【0158】

(9) ある実施形態において、前記送電制御回路は、前記判定回路によって異物が検出されなかったとき、前記メモリに記録された前記制御パラメータを用いて、前記インバータ回路を制御するように構成されている。

【0159】

(10) ある実施形態において、前記判定回路は、前記発振回路が周波数  $f_r$  よりも低い周波数  $f_{10}$  で発振しているときに前記異物があると判定したとき、周波数  $f_0$  よりも高い周波数  $f_{21}$  で送電するように前記送電制御回路に指示するように構成されている。

20

【0160】

(11) ある実施形態において、前記判定回路は、前記発振回路が周波数  $f_r$  よりも高い周波数  $f_{20}$  で発振しているときに前記異物があると判定したとき、周波数  $f_0$  よりも低い周波数  $f_{11}$  で送電するように前記送電制御回路に指示するように構成されている。

【0161】

(12) ある実施形態において、前記判定回路は、前記発振回路が周波数  $f_{10}$  で発振しており、かつ、測定された前記物理量の基準値からの変化量が、予め設定された閾値よりも大きいとき、周波数  $f_0$  よりも高い周波数  $f_{21}$  で送電するように前記送電制御回路に指示し、前記発振回路が周波数  $f_{20}$  で発振しており、かつ、前記物理量の基準値からの変化量が、予め設定された閾値よりも大きいとき、周波数  $f_0$  よりも低い周波数  $f_{11}$  で送電するように前記送電制御回路に指示するように構成されている。

30

【0162】

(13) ある実施形態において、前記判定回路は、前記発振回路が発振しているときの前記第 3 共振器の入力インダクタンス値に基づいて異物の有無を判定するように構成されている。

【0163】

(14) ある実施形態において、前記判定回路は、前記発振回路が周波数  $f_r$  よりも低い周波数  $f_{10}$  で発振しているときの前記第 3 共振器の入力インダクタンス値  $L_{in}(f_{10})$  と、周波数  $f_r$  よりも高い周波数  $f_{20}$  で発振しているときの前記第 3 共振器の入力インダクタンス値  $L_{in}(f_{20})$  との比に基づいて異物の有無を判定するように構成されている。

40

【0164】

(15) ある実施形態において、前記判定回路は、 $k^2 = 1 - L_{in}(f_{20}) / L_{in}(f_{10})$  の式または前記式に基づく補正式によって算出される結合係数  $k$  に基づいて異物の有無を判定するように構成されている。

【0165】

(16) ある実施形態において、前記発振回路は、自励式の発振回路であり、かつ、前記第 3 共振器の入力インダクタンス値が前記発振回路の発振周波数の 2 乗に反比例するように構成されており、前記判定回路は、 $k^2 = 1 - f_{10}^2 / f_{20}^2$  の式または前記式に基づく補正式によって算出される結合係数  $k$  に基づいて異物の有無を判定するように構成

50

されている。

【0166】

(17) ある実施形態において、前記送電制御回路は、前記判定回路が異物がないと判定し、前記結合係数 $k$ と設計値との差分が所定の閾値以上であるとき、前記メモリに記録された前記制御パラメータを補正した制御パラメータを用いて送電を開始するように構成されている。

【0167】

(18) ある実施形態において、前記第1共振器および前記第3共振器は、1つの共振器によって構成されている。前記送電装置は、前記発振回路と前記共振器との間に接続されたスイッチと、異物検知モードでは前記スイッチをオンにし、送電モードでは前記スイッチをオフにするように構成された制御回路とをさらに備えている。

10

【0168】

(19) 本開示の他の態様に係る送電装置は、入力された直流エネルギーを交流エネルギーに変換して出力するように構成された送電回路と、周波数 $f_0$ で共振し、前記送電回路から出力された前記交流エネルギーを送出するように構成された第1共振器と、周波数 $f_r$ で共振し、受電装置に搭載された第2共振器と電磁的に結合するように構成された第3共振器とを備える。前記送電回路は、複数のスイッチを有し、入力された直流エネルギーを前記複数のスイッチの切り替えによって交流エネルギーに変換して前記第1共振器に出力するように構成されたインバータ回路と、前記インバータ回路における前記複数のスイッチの切り替えを制御するように構成された送電制御回路と、前記第3共振器に接続され、周波数 $f_r$ よりも低い周波数 $f_{10}$ 、および周波数 $f_r$ よりも高い周波数 $f_{20}$ の少なくとも一方で発振可能な発振回路と、前記発振回路から出力された電圧に応じて変化する物理量を測定するように構成された測定回路と、前記発振回路が周波数 $f_{10}$ で発振しており、かつ、測定された前記物理量の基準値からの変化量が、予め設定された閾値よりも大きいとき、周波数 $f_0$ よりも高い周波数 $f_{21}$ で送電するように前記送電制御回路に指示し、前記発振回路が周波数 $f_{20}$ で発振しており、かつ、前記物理量の基準値からの変化量が、予め設定された閾値よりも大きいとき、周波数 $f_0$ よりも低い周波数 $f_{11}$ で送電するように前記送電制御回路に指示するように構成された判定回路とを有する。

20

【0169】

(20) 本開示の他の態様に係る送電装置は、入力された直流エネルギーを交流エネルギーに変換して出力するように構成された送電回路と、周波数 $f_0$ で共振し、前記送電回路から出力された前記交流エネルギーを送出するように構成された第1共振器と、周波数 $f_r$ で共振し、受電装置に搭載された第2共振器と電磁的に結合するように構成された第3共振器とを備える。前記送電回路は、複数のスイッチを有し、入力された直流エネルギーを前記複数のスイッチの切り替えによって交流エネルギーに変換して前記第1共振器に出力するように構成されたインバータ回路と、前記第3共振器に接続され、交流成分を含む電圧を出力する発振回路と、前記発振回路から出力された前記電圧に応じて変化する物理量を測定するように構成された測定回路と、測定された前記物理量の基準値からの変化量に基づいて、異物の有無を判定するように構成された判定回路と、送電中、前記インバータ回路から出力される電圧の周波数および前記電圧の出力時間比の少なくとも一方を制御し、前記周波数および前記出力時間比の少なくとも一方に関する制御パラメータをメモリに記録し、前記判定回路による判定処理が行われた後に送電を再開するとき、前記判定処理の結果に基づいて決定された前記制御パラメータを用いて、前記インバータ回路を制御するように構成された送電制御回路とを有する。

30

40

【0170】

(21) 本開示の他の態様に係る無線電力伝送システムは、入力された直流エネルギーを交流エネルギーに変換して出力するように構成された送電回路と、周波数 $f_0$ および $f_r$ で共振し、前記送電回路から出力された前記交流エネルギーを送出するように構成された第1共振器と、周波数 $f_0$ で共振し、前記第1共振器と電磁的に結合することによって前記第1共振器から送出された前記交流エネルギーの少なくとも一部を受け取るように構成された

50

第2共振器と、前記第2共振器が受け取った前記交流エネルギーを直流エネルギーに変換して負荷に供給するように構成された受電回路と、周波数 $f_r$ で共振し、前記第1共振器と電磁的に結合するように構成された第3共振器とを備える。前記送電回路は、複数のスイッチを有し、入力された直流エネルギーを前記複数のスイッチの切り替えによって交流エネルギーに変換して前記第1共振器に出力するように構成されたインバータ回路と、前記インバータ回路における前記複数のスイッチの切り替えを制御するように構成された送電制御回路とを有する。前記受電回路は、前記第3共振器に接続され、周波数 $f_r$ よりも低い周波数 $f_{10}$ 、および周波数 $f_r$ よりも高い周波数 $f_{20}$ の少なくとも一方で発振可能な発振回路と、前記発振回路から出力された電圧に応じて変化する物理量を測定するように構成された測定回路と、前記発振回路が周波数 $f_{10}$ で発振しており、かつ、測定された前記物理量の基準値からの変化量が、予め設定された閾値よりも大きいとき、周波数 $f_0$ よりも高い周波数 $f_{21}$ で送電するように前記送電制御回路に指示し、前記発振回路が周波数 $f_{20}$ で発振しており、かつ、前記物理量の基準値からの変化量が、予め設定された閾値よりも大きいとき、周波数 $f_0$ よりも低い周波数 $f_{11}$ で送電するように前記送電制御回路に指示するように構成された判定回路とを有する。

10

20

30

40

50

**【0171】**

(22) 本開示の他の態様に係る無線電力伝送システムは、入力された直流エネルギーを交流エネルギーに変換して出力するように構成された送電回路と、周波数 $f_0$ および $f_r$ で共振し、前記送電回路から出力された前記交流エネルギーを送出するように構成された第1共振器と、周波数 $f_0$ で共振し、前記第1共振器と電磁的に結合することによって前記第1共振器から送出された前記交流エネルギーの少なくとも一部を受け取るように構成された第2共振器と、前記第2共振器が受け取った前記交流エネルギーを直流エネルギーに変換して負荷に供給するように構成された受電回路と、周波数 $f_r$ で共振し、前記第1共振器と電磁的に結合するように構成された第3共振器とを備える。前記受電回路は、前記発振回路から出力された前記電圧に応じて変化する物理量を測定するように構成された測定回路と、測定された前記物理量の基準値からの変化量に基づいて、異物の有無を判定するように構成された判定回路とを有する。前記送電回路は、複数のスイッチを有し、入力された直流エネルギーを前記複数のスイッチの切り替えによって交流エネルギーに変換して前記第1共振器に出力するように構成されたインバータ回路と、前記第3共振器に接続され、交流成分を含む電圧を出力する発振回路と、送電中、前記インバータ回路から出力される電圧の周波数および前記電圧の出力時間比の少なくとも一方を制御し、前記周波数および前記出力時間比の少なくとも一方に関する制御パラメータをメモリに記録し、前記判定回路による判定処理が行われた後に送電を再開するとき、前記判定処理の結果に基づいて決定された前記制御パラメータを用いて、前記インバータ回路を制御するように構成された送電制御回路とを有する。

**【0172】**

(23) 本開示の他の態様に係る受電装置は、周波数 $f_0$ で共振し、送電装置に搭載された第1共振器と電磁的に結合することによって第1共振器から送出された交流エネルギーの少なくとも一部を受け取るように構成された第2共振器と、前記第2共振器が受け取った前記交流エネルギーを直流エネルギーに変換して負荷に供給するように構成された受電回路と、周波数 $f_r$ で共振し、前記第1共振器と電磁的に結合するように構成された第3共振器とを備える。前記受電回路は、前記第3共振器に接続され、周波数 $f_r$ よりも低い周波数 $f_{10}$ 、および周波数 $f_r$ よりも高い周波数 $f_{20}$ の少なくとも一方で発振可能な発振回路と、前記発振回路から出力された電圧に応じて変化する物理量を測定するように構成された測定回路と、前記発振回路が周波数 $f_{10}$ で発振しており、かつ、測定された前記物理量の基準値からの変化量が、予め設定された閾値よりも大きいとき、周波数 $f_0$ よりも高い周波数 $f_{21}$ で送電するように前記送電制御回路に指示し、前記発振回路が周波数 $f_{20}$ で発振しており、かつ、前記物理量の基準値からの変化量が、予め設定された閾値よりも大きいとき、周波数 $f_0$ よりも低い周波数 $f_{11}$ で送電するように前記送電装置に指示するように構成された判定回路とを有する。

## 【産業上の利用可能性】

## 【0173】

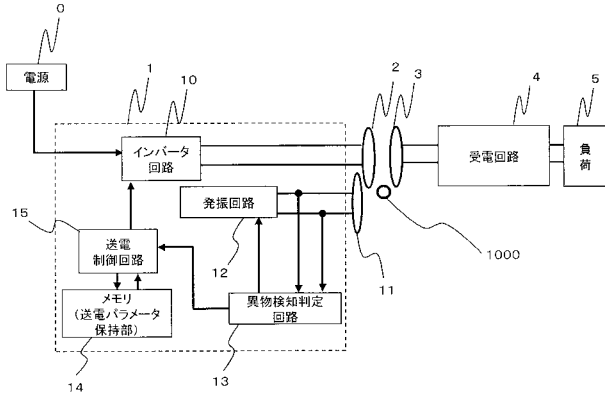
本開示の無線電力伝送システムは、例えば、電気自動車、AV機器、電池、医療機器などへの充電または給電を行う用途に広く適用できる。本開示の実施形態によれば、送受電コイル間に存在する金属の異常発熱リスクを回避することができる。異物検知処理に伴う効率低下を低減することもできる。

## 【符号の説明】

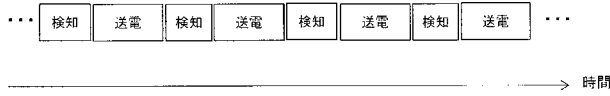
## 【0174】

0	電源	
1	送電回路	10
2	第2共振器（送電コイル、含共振コンデンサ）	
3	第1共振器（受電コイル、含共振コンデンサ）	
4	受電回路	
5	負荷	
10	インバータ回路	
11	第3共振器（異物検知用コイル、含共振コンデンサ）	
12	発振回路	
13	異物検知判定回路	
14	送電パラメータ保持部	
15	送電制御回路	20
21 ~ 24	スイッチング素子	
41	電圧測定回路	
42	周波数カウンタ	
43	インダクタンス測定回路	
44	判定回路	
61	結合係数算出部	
91	スイッチ手段	
101	接続スイッチ	
111	受電出力回路	
112	受電制御回路	30
113	通信回路	
L1 ~ L3、Lm	インダクタ	
C1、C21、C22、C3	共振コンデンサ	

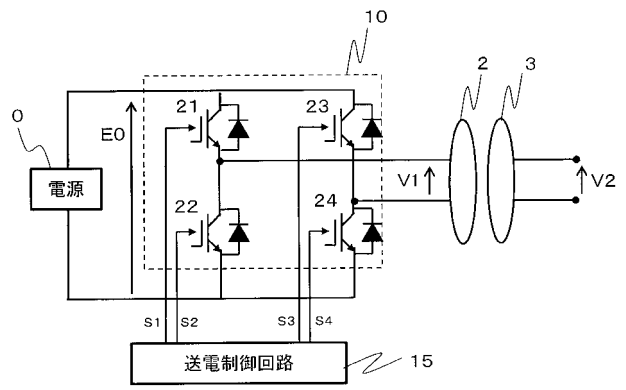
【図1】



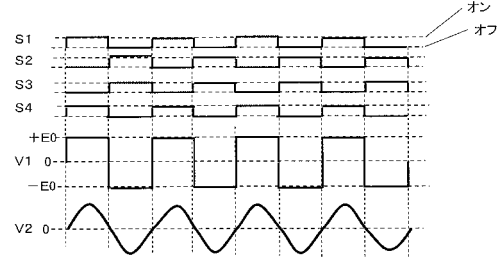
【図2】



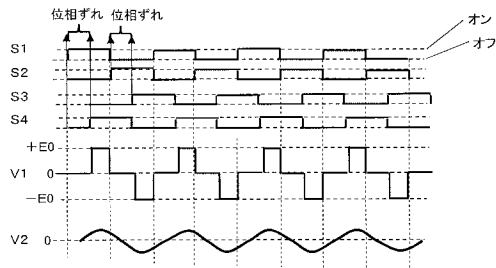
【図3】



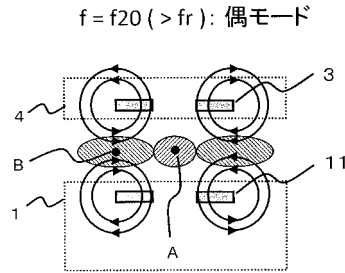
【図4A】



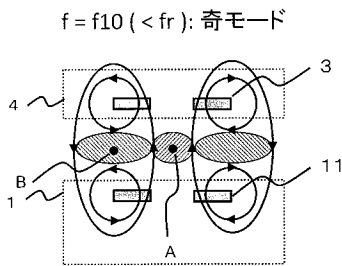
【図4B】



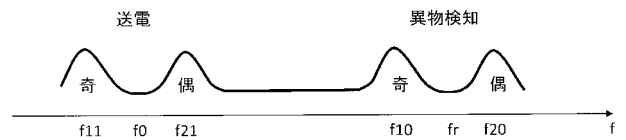
【図5B】



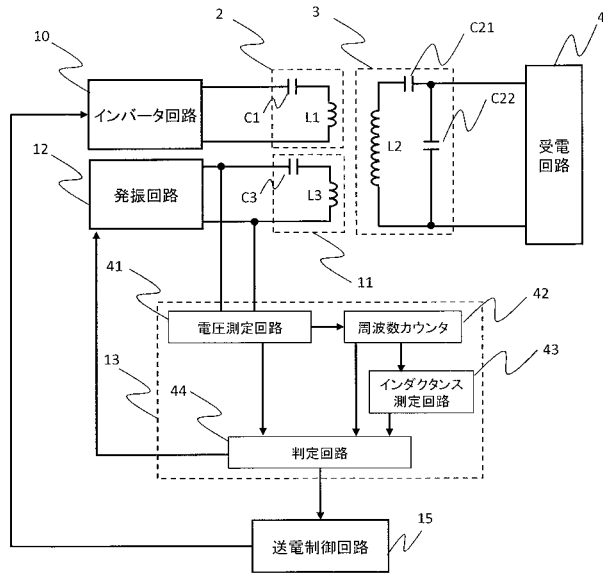
【図5A】



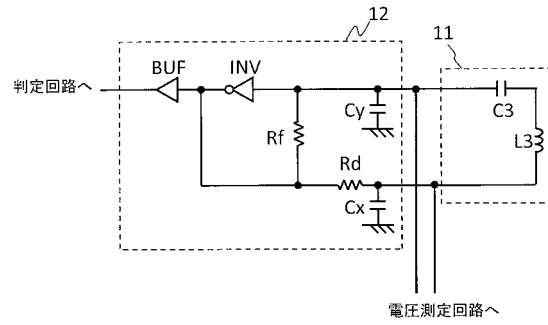
【図6】



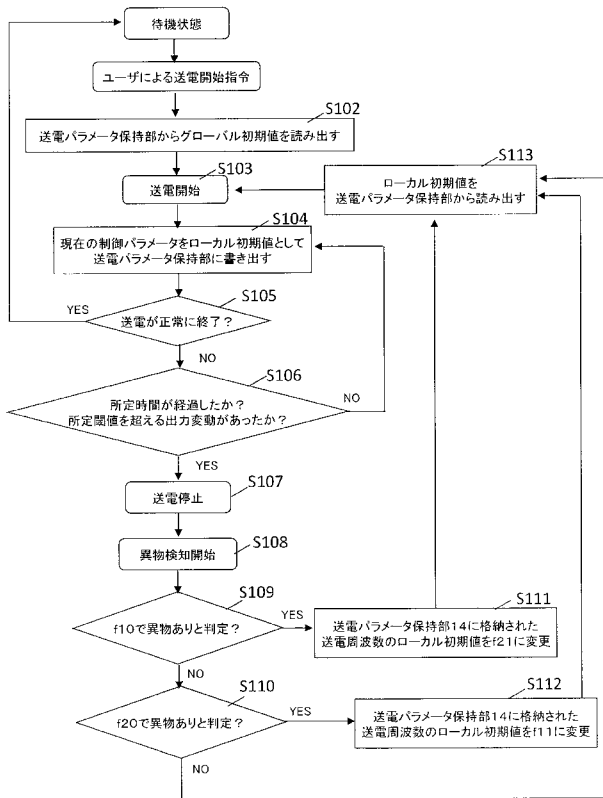
【図7】



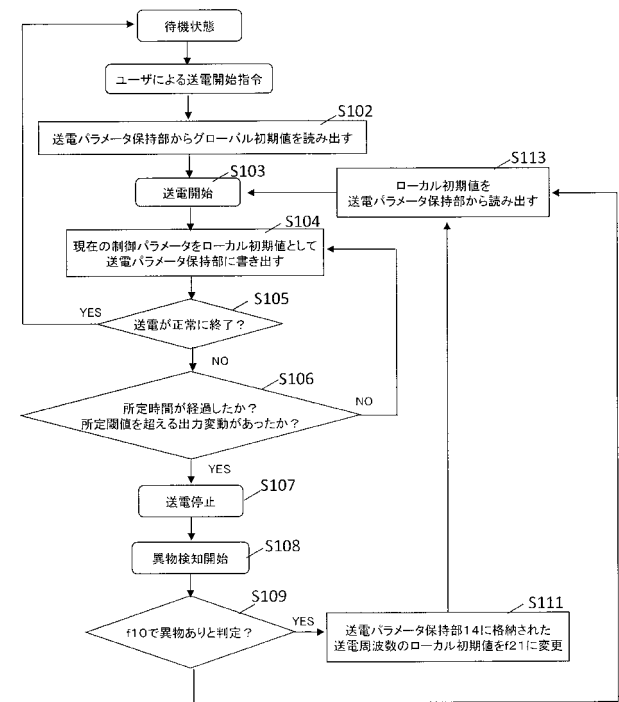
【図8】



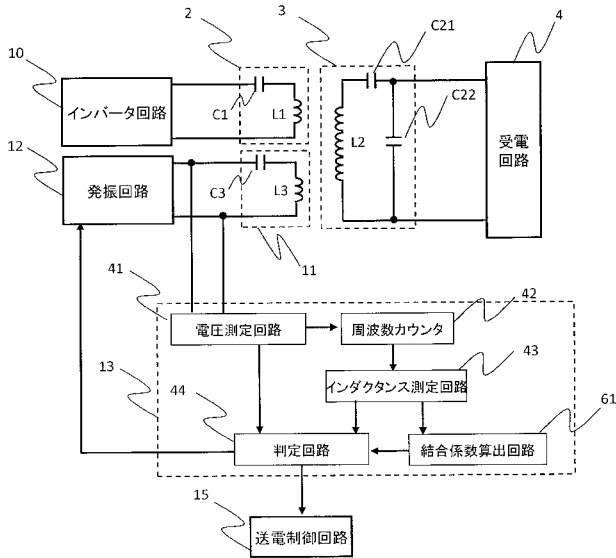
【図9】



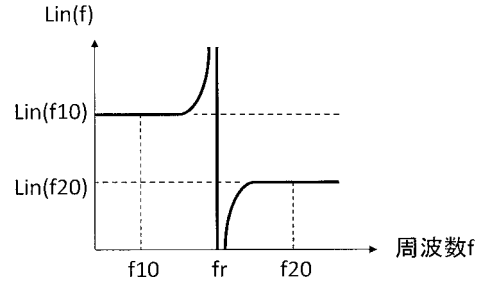
【図10】



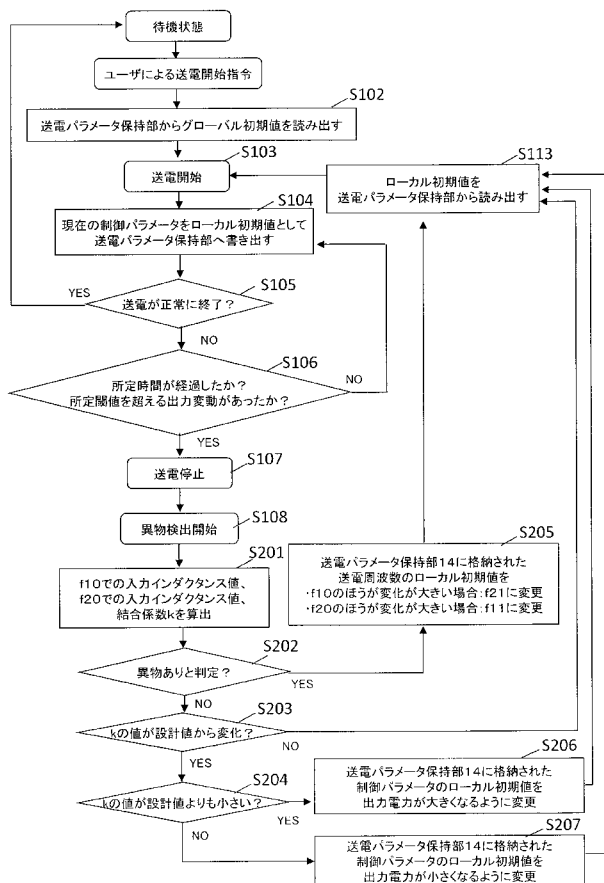
【図11】



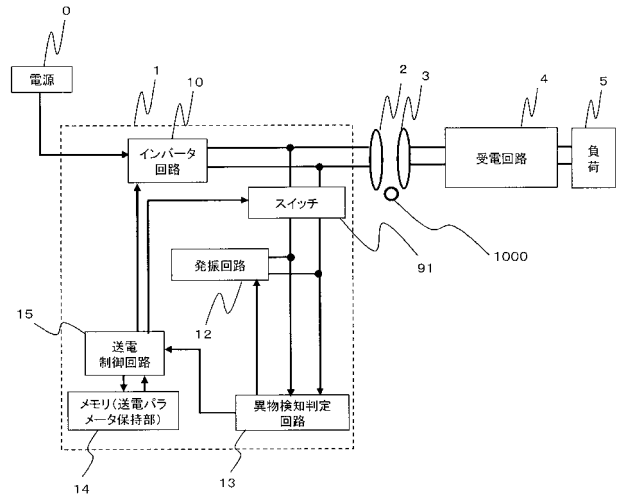
【図12】



【図13】

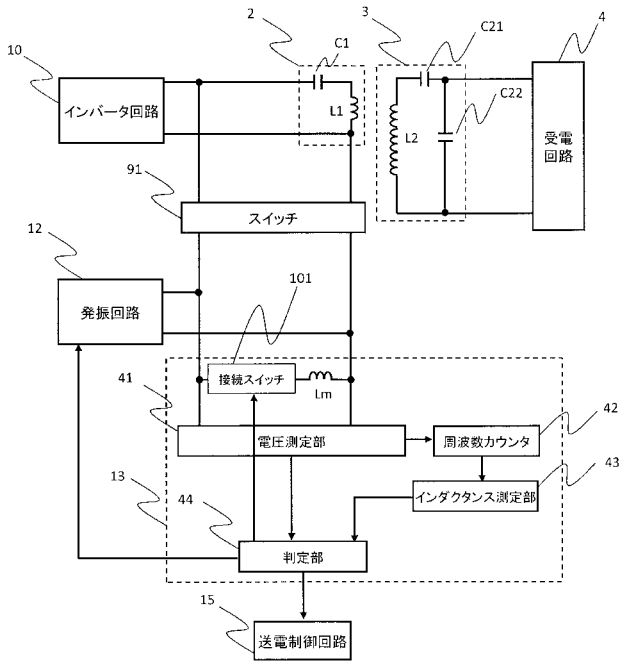


【図14】

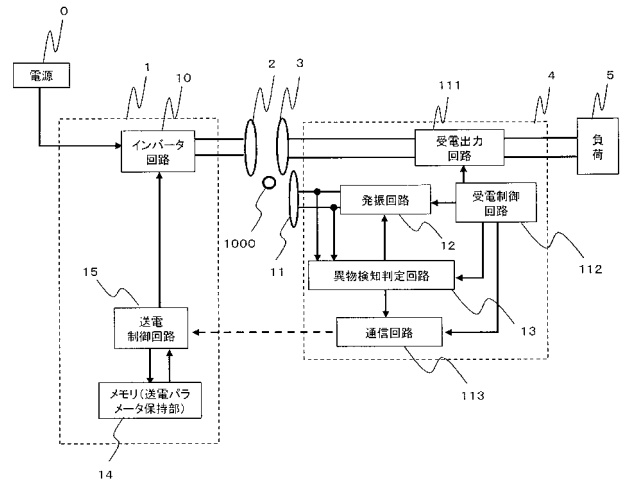




【図15】



【図16】



---

フロントページの続き

- (74)代理人 100184985  
弁理士 田中 悠
- (72)発明者 山本 浩司  
大阪府門真市大字門真 1 0 0 6 番地 パナソニック株式会社内
- (72)発明者 浅沼 健一  
大阪府門真市大字門真 1 0 0 6 番地 パナソニック株式会社内
- (72)発明者 坂田 勉  
大阪府門真市大字門真 1 0 0 6 番地 パナソニック株式会社内
- (72)発明者 菅野 浩  
大阪府門真市大字門真 1 0 0 6 番地 パナソニック株式会社内