

明 細 書

発明の名称：

無線電力伝送装置、無線電力伝送装置の供給電力制御方法、及び、無線電力伝送装置の製造方法

技術分野

[0001] 本発明は、無線電力伝送する電力の調整が可能な、無線電力伝送装置、無線電力伝送装置の供給電力制御方法、及び、無線電力伝送装置の製造方法に関する。

背景技術

[0002] 近年、ノート型ＰＣ、タブレット型ＰＣ、デジタルカメラ、携帯電話、携帯ゲーム機、イヤホン型音楽プレイヤー、無線式ヘッドセット、補聴器、レコーダーなど人が携帯しながら使用できる携帯型の電子機器が急速に普及してきている。そして、これらの携帯型の電子機器の多くには充電電池が搭載されており、定期的な充電が必要とされる。この電子機器の充電電池への充電作業を簡易にするために、給電装置と電子機器に搭載された受電装置との間で無線による電力伝送を利用した給電技術（磁界を変化させて電力伝送を行う無線電力伝送技術）により、充電電池を充電する機器が増えつつある。

[0003] 例えば、無線電力伝送技術としては、コイル間の電磁誘導を利用して電力伝送を行う技術や（例えば、特許文献１参照）、給電装置及び受電装置が備える共振器（コイル）間の共振現象（磁界共鳴状態）を利用して磁場を結合させることにより電力伝送を行う技術が挙げられる（例えば、特許文献２参照）。

[0004] このような無線電力伝送技術を使用することにより安定的に充電電池を充電するには、充電電池に供給される電力（電流）を所定の範囲内の値で供給することが求められる。その理由としては、充電電池に供給される電力（電流）が所定の範囲内の値より小さいと小電力（小電流）となり、充電電池の特性により充電ができなくなってしまうこと、一方で、充電電池に供給される電力（電

流) が所定の範囲内の値より大きいと過電流となり、充電電池や充電回路が発熱し充電電池や充電回路の寿命を縮めてしまうおそれがあることが挙げられる。

[0005] 上記要求に答えるために、無線電力伝送を行う給電装置及び受電装置における入力インピーダンスを制御することにより、充電電池に供給される電力(電流)を所定の範囲内の値にコントロールすることが考えられる。

[0006] そして、無線電力伝送を行う給電装置及び受電装置における入力インピーダンスを制御するために、別個にインピーダンス整合器を受電装置等に設けることが考えられる(例えば、特許文献3参照)。

先行技術文献

特許文献

[0007] 特許文献1: 特許第4624768号公報

特許文献2: 特開2010-239769号公報

特許文献3: 特開2011-050140号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0008] しかしながら、別個にインピーダンス整合器を受電装置等に設けることは、携帯性・コンパクト化・低コスト化が求められる携帯電子機器においては、部品点数が多くなってしまい不都合である。

[0009] 換言すれば、無線電力伝送を行う給電装置及び受電装置に新たな機器を追加せずに、入力インピーダンスを制御することが望ましい。

[0010] そこで、本発明の目的は、新たな機器を追加せずに、無線電力伝送を行う給電装置及び受電装置に設けられたコイル間における結合係数を調整することにより、入力インピーダンスの値を設定し、もって、供給する電力(電流)を制御することができる無線電力伝送装置、供給電力制御方法、及び、無線電力伝送装置の製造方法を提供することにある。

課題を解決するための手段

- [0011] 上記課題を解決するための発明の一つは、給電コイル及び給電共振器の少なくとも1つを備えた給電モジュールから、受電共振器及び受電コイルの少なくとも1つを備えた受電モジュールに対して磁界を変化させて電力を供給する無線電力伝送装置の供給電力制御方法であって、前記給電コイル、給電共振器、受電共振器、及び、受電コイルはそれぞれ少なくとも1つのコイルを有し、隣接する前記コイル間における結合係数の値をそれぞれ調整することにより、当該無線電力伝送装置の入力インピーダンスの値を設定して前記供給する電力を調整することを特徴としている。
- [0012] 上記方法によれば、給電コイル、給電共振器、受電共振器、及び、受電コイルにおいて、隣接するコイル間における結合係数の値をそれぞれ調整することにより、無線電力伝送装置の入力インピーダンスの値を設定して供給する電力を調整することができる。これにより、無線電力伝送装置の入力インピーダンスの値を設定することによる、無線電力伝送を行う際に供給する電力の調整を、新たな機器を設けずに実現することができる。即ち、無線電力伝送装置の部品点数を増やさずに、給電する電力の制御が可能となる。
- [0013] また、上記課題を解決するための発明の一つは、少なくとも給電コイル及び給電共振器を備えた給電モジュールから、少なくとも受電共振器及び受電コイルを備えた受電モジュールに対して共振現象によって電力を供給する無線電力伝送装置の供給電力制御方法であって、前記給電コイルと前記給電共振器との間における結合係数 k_{12} 、前記給電共振器と前記受電共振器との間における結合係数 k_{23} 、及び、前記受電共振器と前記受電コイルとの間における結合係数 k_{34} の値の少なくとも1つを調整することにより、当該無線電力伝送装置の入力インピーダンスの値を設定して前記供給する電力を調整することを特徴としている。
- [0014] 上記方法によれば、給電モジュールから、受電モジュールに対して共振現象によって電力を供給する無線電力伝送装置における供給電力を制御することを目的に、給電コイルと給電共振器との間における結合係数 k_{12} 、給電共振器と受電共振器との間における結合係数 k_{23} 、及び、受電共振器と受電コイル

との間における結合係数 k_{34} の値を調整することによって、無線電力伝送装置の入力インピーダンスの値を設定して無線電力伝送装置から出力される電力を調整することができる。

[0015] また、上記課題を解決するための発明の一つは、上記無線電力伝送装置の供給電力制御方法であって、前記各結合係数 k_{12} 、 k_{23} 、 k_{34} の値は、それぞれ前記給電コイルと前記給電共振器との間の距離、前記給電共振器と前記受電共振器との間の距離、及び、前記受電共振器と前記受電コイルとの間の距離の少なくとも1つを変化させることにより調整されることを特徴としている。

[0016] 上記方法によれば、給電コイルと給電共振器との間の距離を変化させることにより、結合係数 k_{12} の値を変化させることができ、給電共振器と受電共振器との間の距離を変化させることにより、結合係数 k_{23} の値を変化させることができ、受電共振器と受電コイルとの間の距離を変化させることにより、結合係数 k_{34} の値を変化させることができる。これによれば、給電コイルと給電共振器との間の距離、給電共振器と受電共振器との間の距離、及び、受電共振器と受電コイルとの間の距離を物理的に変化させるという簡易な作業により、それぞれのコイル間の結合係数の値を変えることができる。即ち、給電コイルと給電共振器との間の距離、給電共振器と受電共振器との間の距離、及び、受電共振器と受電コイルとの間の距離を物理的に変化させるという簡易な作業によって、無線電力伝送装置の入力インピーダンスの値を調整し、もって、無線電力伝送装置から出力される電力を制御することができる。

[0017] また、上記課題を解決するための発明の一つは、上記無線電力伝送装置の供給電力制御方法であって、前記給電共振器と前記受電共振器との間の距離、及び、前記受電共振器と前記受電コイルとの間の距離を固定した場合、前記共振現象によって供給される電力は、前記給電コイルと前記給電共振器との間の距離を短くするにつれて、前記給電コイルと前記給電共振器との間における前記結合係数 k_{12} の値が大きくなり、前記結合係数 k_{12} の値が大きくなるにつれて、前記無線電力伝送装置の入力インピーダンスの値が大きくなる

特性に基づいて調整されることを特徴としている。

[0018] 上記方法によれば、給電共振器と受電共振器との間の距離、及び、受電共振器と受電コイルとの間の距離を固定した場合、給電コイルと給電共振器との間の距離を短くすることにより、給電コイルと給電共振器との間における結合係数 k_{12} の値を大きくし、結合係数 k_{12} の値を大きくすることにより、無線電力伝送装置の入力インピーダンスの値を大きくすることができる。逆に、給電コイルと給電共振器との間の距離を長くすることにより、給電コイルと給電共振器との間における結合係数 k_{12} の値を小さくし、結合係数 k_{12} の値を小さくすることにより、無線電力伝送装置の入力インピーダンスの値を小さくすることができる。上記特性を利用した無線電力伝送装置の供給電力制御方法によって、給電コイルと給電共振器との間の距離を物理的に変化させるという簡易な作業によって、無線電力伝送装置の入力インピーダンスの値を調整し、もって、無線電力伝送装置から出力される電力を簡単に制御することができる。

[0019] また、上記課題を解決するための発明の一つは、上記無線電力伝送装置の供給電力制御方法であって、前記給電コイルと前記給電共振器との間の距離、及び、前記給電共振器と前記受電共振器との間の距離を固定した場合、前記共振現象によって供給される電力は、前記受電共振器と前記受電コイルとの間の距離を短くするにつれて、前記受電共振器と前記受電コイルとの間における前記結合係数 k_{34} の値が大きくなり、前記結合係数 k_{34} の値が大きくなるにつれて、前記無線電力伝送装置の入力インピーダンスの値が小さくなる特性に基づいて調整されることを特徴としている。

[0020] 上記方法によれば、給電コイルと給電共振器との間の距離、及び、給電共振器と受電共振器との間の距離を固定した場合、受電共振器と受電コイルとの間の距離を短くすることにより、受電共振器と受電コイルとの間における結合係数 k_{34} の値を大きくし、結合係数 k_{34} の値を大きくすることにより、無線電力伝送装置の入力インピーダンスの値を小さくすることができる。逆に、受電共振器と受電コイルとの間の距離を長くすることにより、受電共振器

と受電コイルとの間における結合係数 k_{34} の値を小さくし、結合係数 k_{34} の値を小さくすることにより、無線電力伝送装置の入力インピーダンスの値を大きくすることができる。上記特性を利用した無線電力伝送装置の供給電力制御方法によって、受電共振器と受電コイルとの間の距離を物理的に変化させるという簡易な作業によって、無線電力伝送装置の入力インピーダンスの値を調整し、もって、無線電力伝送装置から出力される電力を簡単に制御することができる。

[0021] また、上記課題を解決するための発明の一つは、上記無線電力伝送装置の供給電力制御方法であって、前記給電モジュールに供給する電力の駆動周波数に対する伝送特性の値が、前記給電モジュール及び受電モジュールにおける共振周波数よりも低い駆動周波数帯域及び前記共振周波数よりも高い駆動周波数帯域にそれぞれピークを有するように設定し、前記給電モジュールに供給する電力の前記駆動周波数は、前記共振周波数よりも低い駆動周波数帯域に現れる伝送特性のピーク値に対応する帯域であることを特徴としている。

[0022] 上記方法によれば、給電モジュールに供給する電力の駆動周波数に対する伝送特性の値が、給電モジュール及び受電モジュールにおける共振周波数よりも低い駆動周波数帯域及び共振周波数よりも高い駆動周波数帯域にそれぞれピークを有するように設定した場合に、給電モジュールに供給する電力の駆動周波数を、共振周波数よりも低い駆動周波数帯域に現れる伝送特性のピーク値に対応する帯域の周波数に設定することにより、比較的高い伝送特性を確保することができる。

また、給電モジュールの外周側に発生する磁界と受電モジュールの外周側に発生する磁界とが打ち消し合うことにより、給電モジュール及び受電モジュールの外周側に、磁界による影響が低減されて、給電モジュール及び受電モジュールの外周側以外の磁界強度よりも小さな磁界強度を有する磁界空間を形成することができる。これにより、形成した磁界空間に、磁界の影響を受けたくない回路等を格納することで、スペースの有効活用ができ、無線電

力伝送装置自体の小型化を図ることが可能になる。

[0023] また、上記課題を解決するための発明の一つは、上記無線電力伝送装置の供給電力制御方法であって、前記給電モジュールに供給する電力の駆動周波数に対する伝送特性の値が、前記給電モジュール及び受電モジュールにおける共振周波数よりも低い駆動周波数帯域及び前記共振周波数よりも高い駆動周波数帯域にそれぞれピークを有するように設定し、前記給電モジュールに供給する電力の前記駆動周波数は、前記共振周波数よりも高い駆動周波数帯域に現れる伝送特性のピーク値に対応する帯域であることを特徴としている。

[0024] 上記方法によれば、給電モジュールに供給する電力の駆動周波数に対する伝送特性の値が、給電モジュール及び受電モジュールにおける共振周波数よりも低い駆動周波数帯域及び共振周波数よりも高い駆動周波数帯域にそれぞれピークを有するように設定した場合に、給電モジュールに供給する電力の駆動周波数を、共振周波数よりも高い駆動周波数帯域に現れる伝送特性のピーク値に対応する帯域の周波数に設定することにより、比較的高い伝送特性を確保することができる。

また、給電モジュールの内周側に発生する磁界と受電モジュールの内周側に発生する磁界とが打ち消し合うことにより、給電モジュール及び受電モジュールの内周側に、磁界による影響が低減されて、給電モジュール及び受電モジュールの内周側以外の磁界強度よりも小さな磁界強度を有する磁界空間を形成することができる。これにより、形成した磁界空間に、磁界の影響を受けたくない回路等を格納することで、スペースの有効活用ができ、無線電力伝送装置自体の小型化を図ることが可能になる。

[0025] また、上記課題を解決するための発明の一つとして、上記供給電力制御方法により調整されたことを特徴とする無線電力伝送装置であってもよい。

[0026] 上記構成によれば、無線電力伝送装置の入力インピーダンスの値を設定することによる、無線電力伝送を行う際に供給する電力の調整を、新たな機器を設けずに実現することができる。即ち、無線電力伝送装置の部品点数を増

やさずに、給電する電力の制御が可能となる。

[0027] また、上記課題を解決するための発明の一つは、給電コイル及び給電共振器の少なくとも1つを備えた給電モジュールから、受電共振器及び受電コイルの少なくとも1つを備えた受電モジュールに対して磁界を変化させて電力を供給する無線電力伝送装置の製造方法であって、前記給電コイル、給電共振器、受電共振器、及び、受電コイルには、それぞれ少なくとも1つのコイルを設け、隣接する前記コイル間における結合係数の値をそれぞれ調整することにより、当該無線電力伝送装置の入力インピーダンスの値を設定して供給する電力を調整する設計工程を含むことを特徴としている。

[0028] 上記方法によれば、無線電力伝送装置の入力インピーダンスの値を設定することによる、無線電力伝送を行う際に供給する電力の調整を、新たな機器を設けずにできる無線電力伝送装置を製造することができる。即ち、無線電力伝送装置の部品点数を増やさずに、給電する電力の制御が可能な無線電力伝送装置を製造することができる。

発明の効果

[0029] 無線電力伝送を行う給電装置及び受電装置に設けられたコイル間における結合係数を調整することにより、入力インピーダンスの値を設定し、もって、供給する電力（電流）を制御することができる無線電力伝送装置、供給電力制御方法、及び、無線電力伝送装置の製造方法を提供することができる。

図面の簡単な説明

[0030] [図1]無線電力伝送装置の概略説明図である。

[図2]適正電流範囲の説明図である。

[図3]無線電力伝送装置の等価回路の説明図である。

[図4]駆動周波数に対する伝送特性『S 2 1』の関係を示した説明図である。

[図5]測定実験1に係る測定結果を示すグラフである。

[図6]測定実験2に係る測定結果を示すグラフである。

[図7]測定実験3に係る測定結果を示すグラフである。

[図8]測定実験4に係る測定結果を示すグラフである。

[図9]測定実験5に係る測定結果を示すグラフである。

[図10]測定実験6に係る測定結果を示すグラフである。

[図11]無線電力伝送における、コイル間距離と結合係数との関係を示すグラフである。

[図12]無線電力伝送装置の製造方法を説明する説明図である。

[図13]無線電力伝送装置を含む無線式ヘッドセット及び充電器の設計方法を説明したフローチャートである。

発明を実施するための形態

[0031] 以下に本発明に係る無線電力伝送装置、供給電力制御方法、及び、無線電力伝送装置の製造方法の実施形態について説明する。

[0032] (実施形態)

まず、無線電力伝送装置の供給電力制御方法、及び、無線電力伝送装置の製造方法を説明する前に、供給電力制御方法又は製造方法によって設計・製造される無線電力伝送装置1について説明する。

[0033] (無線電力伝送装置1の構成)

無線電力伝送装置1は、図1に示すように、給電コイル21及び給電共振器22を備える給電モジュール2と、受電コイル31及び受電共振器32を備える受電モジュール3とを備えている。そして、給電モジュール2の給電コイル21に、給電モジュール2に供給する電力の駆動周波数を所定の値に設定した発振回路を備えた交流電源6を接続し、受電モジュール3の受電コイル31に、受電された交流電力を整流化する安定回路7及び過充電を防止する充電回路8を介して充電電池9を接続している。

[0034] 給電コイル21は、交流電源6から得られた電力を電磁誘導によって給電共振器22に供給する役割を果たす。この給電コイル21は、図3に示すように、抵抗器 R_1 、コイル L_1 、及び、コンデンサ C_1 を要素とするRLC回路を構成している。なお、コイル L_1 部分は、銅線材（絶縁被膜付）を1回巻にして、コイル径を96mm ϕ に設定している。また、給電コイル21を構成する回路素子が有する合計のインピーダンスを Z_1 とし、本実施形態では、給電

コイル 2 1 を構成する抵抗器 R_1 、コイル L_1 、及び、コンデンサ C_1 を要素とする R L C 回路（回路素子）が有する合計のインピーダンスを Z_1 とする。

[0035] 受電コイル 3 1 は、給電共振器 2 2 から受電共振器 3 2 に磁界エネルギーとして伝送された電力を電磁誘導によって受電し、安定回路 7 及び充電回路 8 を介して充電電池 9 に供給する役割を果たす。この受電コイル 3 1 は、給電コイル 2 1 同様に、図 3 に示すように、抵抗器 R_4 、コイル L_4 、及び、コンデンサ C_4 を要素とする R L C 回路を構成している。なお、コイル L_4 部分は、銅線材（絶縁被膜付）を 1 回巻にして、コイル径 9 6 m m ϕ に設定している。また、受電コイル 3 1 を構成する回路素子が有する合計のインピーダンスを Z_4 とし、本実施形態では、受電コイル 3 1 を構成する抵抗器 R_4 、コイル L_4 、及び、コンデンサ C_4 を要素とする R L C 回路（回路素子）が有する合計のインピーダンスを Z_4 とする。また、図 3 では、受電コイル 3 1 に接続された安定回路 7、充電回路 8 及び充電電池 9 の負荷インピーダンスを Z_L とし、当該負荷インピーダンス Z_L 測定時に便宜的に抵抗器 R_L に置き換えている。

[0036] 給電共振器 2 2 は、図 3 に示すように、抵抗器 R_2 、コイル L_2 、及び、コンデンサ C_2 を要素とする R L C 回路を構成している。また、受電共振器 3 2 は、図 3 に示すように、抵抗器 R_3 、コイル L_3 、及び、コンデンサ C_3 を要素とする R L C 回路を構成している。そして、給電共振器 2 2 及び受電共振器 3 2 は、それぞれ共振回路となり、磁界共鳴状態を創出する役割を果たす。ここで、磁界共鳴状態（共振現象）とは、2 つ以上のコイルが共振周波数において同調することをいう。また、給電共振器 2 2 を構成する回路素子が有する合計のインピーダンスを Z_2 とし、本実施形態では、給電共振器 2 2 を構成する、抵抗器 R_2 、コイル L_2 、及び、コンデンサ C_2 を要素とする R L C 回路（回路素子）が有する合計のインピーダンスを Z_2 とする。また、受電共振器 3 2 を構成する回路素子が有する合計のインピーダンスを Z_3 とし、本実施形態では、受電共振器 3 2 を構成する、抵抗器 R_3 、コイル L_3 、及び、コンデンサ C_3 を要素とする R L C 回路（回路素子）が有する合計のインピーダンスを Z_3 とする。

[0037] また、給電共振器 2 2 及び受電共振器 3 2 における共振回路としての R L C 回路では、インダクタンスを L、コンデンサ容量を C とすると、(式 1) によって定まる f が共振周波数となる。そして、本実施形態における給電コイル 2 1、給電共振器 2 2、受電コイル 3 1、及び、受電共振器 3 2 の共振周波数は、12.8 MHz としている。

[数1]

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad \cdot \cdot \cdot \quad (\text{式 1})$$

[0038] また、給電共振器 2 2 及び受電共振器 3 2 は、銅線材（絶縁被膜付）を 4 回巻にした、コイル径 96 mm ϕ のソレノイド型のコイルを使用している。また、給電共振器 2 2 及び受電共振器 3 2 における共振周波数は一致させている。なお、給電共振器 2 2 及び受電共振器 3 2 は、コイルを使用した共振器であれば、スパイラル型やソレノイド型などのコイルであってもよい。

[0039] また、給電コイル 2 1 と給電共振器 2 2 との間の距離を d_{12} とし、給電共振器 2 2 と受電共振器 3 2 との間の距離を d_{23} とし、受電共振器 3 2 と受電コイル 3 1 との間の距離を d_{34} としている（図 1 参照）。

[0040] また、図 3 に示すように、給電コイル 2 1 のコイル L_1 と給電共振器 2 2 のコイル L_2 との間の相互インダクタンスを M_{12} 、給電共振器 2 2 のコイル L_2 と受電共振器 3 2 のコイル L_3 との間の相互インダクタンスを M_{23} 、受電共振器 3 2 のコイル L_3 と受電コイル 3 1 のコイル L_4 との間の相互インダクタンスを M_{34} としている。また、無線電力伝送装置 1 において、コイル L_1 とコイル L_2 との間の結合係数を k_{12} と表記し、コイル L_2 とコイル L_3 との間の結合係数を k_{23} と表記し、コイル L_3 とコイル L_4 との間の結合係数を k_{34} と表記する。

[0041] なお、給電コイル 2 1 の R L C 回路の R_1 、 L_1 、 C_1 、給電共振器 2 2 の R L C 回路の R_2 、 L_2 、 C_2 、受電共振器 3 2 の R L C 回路の R_3 、 L_3 、 C_3 、受電コイル 3 1 の R L C 回路の R_4 、 L_4 、 C_4 における抵抗値、インダクタンス、コンデンサ容量、及び、結合係数 k_{12} 、 k_{23} 、 k_{34} は、設計・製造段階等で変更可能なパラメータとして、後述する (式 3) の関係式を満たすように設定されて

いることが望ましい。

[0042] 上記無線電力伝送装置 1 によれば、給電共振器 2 2 の共振周波数と受電共振器 3 2 の共振周波数とを一致させた場合、給電共振器 2 2 と受電共振器 3 2 との間に磁界共鳴状態を創出することができる。給電共振器 2 2 及び受電共振器 3 2 が共振した状態で磁界共鳴状態が創出されると、給電共振器 2 2 から受電共振器 3 2 に電力を磁界エネルギーとして伝送することができる。

[0043] (供給電力制御方法)

上記無線電力伝送装置 1 の構成を踏まえて、無線電力伝送装置 1 が供給する電力を調整する供給電力制御方法について説明する。

[0044] まず、上記構成による無線電力伝送装置 1 (安定回路 7、充電回路 8 及び充電電池 9 含む) の回路図を示すと図 1 の下図のようになる。これは、無線電力伝送装置 1 全体を一つの入力インピーダンス Z_{in} に置き換えて示したものである。これによると、無線電力伝送装置 1 から出力される電力を制御するには、交流電源 6 が一般的に使用される定電圧電源だとすると電圧 V_{in} は一定に保持されるため、電流 I_{in} の値を制御する必要があることがわかる。

[0045] そして、この電流 I_{in} を電圧 V_{in} 及び入力インピーダンス Z_{in} を踏まえた関係式で表すと (式 2) のように示せる。

[数2]

$$I_{in} = \frac{V_{in}}{Z_{in}} \quad \cdot \cdot \cdot \quad (\text{式 2})$$

[0046] ここで、本実施形態に係る無線電力伝送装置 1 から充電電池 9 に電力を供給するに際して、電流 I_{in} の値は、図 2 に示すように適正電流範囲内 ($I_{in(MIN)}$ ~ $I_{in(MAX)}$) にあることが求められる。電流 I_{in} が適正電流範囲内の値で供給されることが求められる理由としては、充電電池 9 に供給される電流が $I_{in(MIN)}$ の値より小さいと小電流となり、充電電池 9 の特性により充電ができなくなってしまうこと、一方で、充電電池 9 に供給される電流が $I_{in(MAX)}$ の値より大きいと過電流となり、安定回路 7、充電回路 8 及び充電電池 9 が発熱し、寿命を縮めてしまったり、無線電力伝送装置 1 の給電モジュール 2、受電モジュール 3 を

構成するコイルの発熱により、コイルの近接に配置された電源 6、安定回路 7、充電回路 8 及び充電電池 9 等の寿命を縮めてしまったりするおそれがあることが挙げられる。

[0047] 上記理由から電流 I_{in} の値を、適正電流範囲内 ($I_{in(MIN)} \sim I_{in(MAX)}$) に制御するためには、図 2 に示すように、入力インピーダンス Z_{in} の値を $Z_{in(MIN)} \sim Z_{in(MAX)}$ の範囲内に調整する必要がある。即ち、(式 2) より、入力インピーダンス Z_{in} の値を大きくすれば、電流 I_{in} の値を小さくすることができ、入力インピーダンス Z_{in} の値を小さくすれば、電流 I_{in} の値を大きくすることができる。

[0048] そこで、無線電力伝送装置 1 の入力インピーダンス Z_{in} をより詳細に表すために、無線電力伝送装置 1 の構成を等価回路によって表すと図 3 に示すようになる。そして、図 3 の等価回路より、無線電力伝送装置 1 の入力インピーダンス Z_{in} は、(式 3) のように表記することができる。

[数 3]

$$Z_{in} = Z_1 + \frac{(\omega M_{12})^2}{Z_2 + \frac{(\omega M_{23})^2}{Z_3 + \frac{(\omega M_{34})^2}{Z_4 + Z_L}}}$$

$$M_{12} = k_{12} \sqrt{L_1 L_2} \quad M_{23} = k_{23} \sqrt{L_2 L_3} \quad M_{34} = k_{34} \sqrt{L_3 L_4}$$

(k_{ij} は L_i と L_j との間における結合係数)

・・・ (式 3)

[0049] そして、本実施形態における無線電力伝送装置 1 の給電コイル 2 1、給電共振器 2 2、受電共振器 3 2、及び、受電コイル 3 1 におけるインピーダンス Z_1 、 Z_2 、 Z_3 、 Z_4 、 Z_L は、それぞれ (式 4) のように表記することができる。

[数4]

$$\begin{aligned}
 Z_1 &= R_1 + j \left(\omega L_1 - \frac{1}{\omega C_1} \right) \\
 Z_2 &= R_2 + j \left(\omega L_2 - \frac{1}{\omega C_2} \right) \\
 Z_3 &= R_3 + j \left(\omega L_3 - \frac{1}{\omega C_3} \right) \\
 Z_4 &= R_4 + j \left(\omega L_4 - \frac{1}{\omega C_4} \right) \\
 Z_7 &= R_7
 \end{aligned}$$

・・・ (式4)

[0050] 次に、(式3)に(式4)を導入すると、(式5)のようになる。

[数5]

$$Z_s = R_1 + j \left(\omega L_1 - \frac{1}{\omega C_1} \right) + \frac{(\omega M_{12})^2}{R_2 + j \left(\omega L_2 - \frac{1}{\omega C_2} \right) + \frac{(\omega M_{23})^2}{R_3 + j \left(\omega L_3 - \frac{1}{\omega C_3} \right) + \frac{(\omega M_{34})^2}{R_4 + j \left(\omega L_4 - \frac{1}{\omega C_4} \right) + R_7}}$$

・・・ (式5)

[0051] そして、給電コイル21のRLC回路の R_1 、 L_1 、 C_1 、給電共振器22のRLC回路の R_2 、 L_2 、 C_2 、受電共振器32のRLC回路の R_3 、 L_3 、 C_3 、受電コイル31のRLC回路の R_4 、 L_4 、 C_4 における抵抗値、インダクタンス、コンデンサ容量、及び、結合係数 k_{12} 、 k_{23} 、 k_{34} を設計・製造段階等で変更可能なパラメータとして、上記(式5)の関係式から導出される無線電力伝送装置1の入力インピーダンス Z_{in} の値が $Z_{in(MIN)} \sim Z_{in(MAX)}$ の範囲内に納まるように調整することができる。

[0052] (結合係数による入力インピーダンス Z_{in} の制御)

上記のような無線電力伝送装置では、給電モジュール 2 に供給する電力の駆動周波数を、給電モジュール 2 が備える給電コイル 2 1・給電共振器 2 2 及び受電モジュール 3 が備える受電コイル 3 1・受電共振器 3 2 が有する共振周波数と一致させることにより、無線電力伝送における電力伝送効率を最大にすることができることが一般的に知られており、電力伝送効率の最大化を求めて駆動周波数を共振周波数に設定にするのが一般的である。ここで、電力伝送効率とは、給電モジュール 2 に供給される電力に対する、受電モジュール 3 が受電する電力の比率のことをいう。

[0053] そうすると、無線電力伝送装置 1 において、電力伝送効率を最大化するには、駆動周波数と、給電モジュール 2 及び受電モジュール 3 の各 R L C 回路のそれぞれが有する共振周波数とが一致するようなコンデンサやコイルなどの容量条件・共振条件 ($\omega L = 1/\omega C$) を満たすことが求められる。

[0054] 具体的に、無線電力伝送装置 1 において、電力伝送効率を最大にするために共振条件 ($\omega L = 1/\omega C$) を満たした場合における無線電力伝送装置 1 の入力インピーダンス Z_{in} を、(式 5) に当てはめてみると、($\omega L_1 - 1/\omega C_1 = 0$)、($\omega L_2 - 1/\omega C_2 = 0$)、($\omega L_3 - 1/\omega C_3 = 0$)、($\omega L_4 - 1/\omega C_4 = 0$) となり、(式 6) の関係式になる。

[数6]

$$Z_{in} = R_1 + \frac{(\omega M_{12})^2}{R_2 + \frac{(\omega M_{23})^2}{R_3 + \frac{(\omega M_{34})^2}{R_4 + R_1}}} \dots (式 6)$$

[0055] 上記関係式 (式 6) によれば、無線電力伝送装置 1 の入力インピーダンス Z_{in} の値を $Z_{in(MIN)} \sim Z_{in(MAX)}$ の範囲内に納まるように調整するために変更可能な

主なパラメータとしては、給電コイル 2 1 の R L C 回路の R_1 、給電共振器 2 2 の R L C 回路の R_2 、受電共振器 3 2 の R L C 回路の R_3 、受電コイル 3 1 の R L C 回路の R_4 などの抵抗値、及び、結合係数 k_{12} 、 k_{23} 、 k_{34} が残ることが分かる。

[0056] 上記のように、無線電力伝送装置 1 における電力伝送効率を最大化するために、給電モジュール 2 に供給する電力の駆動周波数を共振周波数に一致させた場合にも、無線電力伝送装置 1 の入力インピーダンス Z_{in} の値を $Z_{in(MIN)} \sim Z_{in(MAX)}$ の範囲内に納まるように制御するためのパラメータとして、結合係数 k_{12} 、 k_{23} 、 k_{34} を使用することができる。

[0057] また、前述したように、給電モジュール 2 に供給する電力の駆動周波数を、給電モジュール 2 が備える給電共振器 2 2 及び受電モジュール 3 が備える受電共振器 3 2 が有する共振周波数と一致させない場合にも ($\omega L \neq 1/\omega C$)、無線電力伝送装置 1 の入力インピーダンス Z_{in} の値を $Z_{in(MIN)} \sim Z_{in(MAX)}$ の範囲内に納まるように制御するためのパラメータとして、結合係数 k_{12} 、 k_{23} 、 k_{34} を使用することができる。

[0058] (結合係数の変化による入力インピーダンス Z_{in} の変化)

次に、結合係数 k_{12} 、 k_{23} 、 k_{34} を変化させた場合に、無線電力伝送装置 1 の入力インピーダンス Z_{in} がどのような変化をするかを、条件を変えた測定実験 1 ～ 6 により説明する。

[0059] 測定実験 1 ～ 6 では、図 3 に示した無線電力伝送装置 1 をネットワークアナライザ 1 1 0 (本実施形態では、アジレント・テクノロジー株式会社製の E 5 0 6 1 B を使用) に接続して、結合係数に対する入力インピーダンス Z_{in} を測定した。なお、測定実験 1 ～ 6 では、安定回路 7、充電回路 8、及び、充電電池 9 の代わりに可変抵抗器 1 1 (R_L) を接続して測定した。

[0060] また、本測定実験においては、無線電力伝送装置 1 に供給する電力の駆動周波数に対する無線電力伝送装置 1 の伝送特性『S 2 1』が、双峰性の性質を有するもので測定している。

[0061] ここで、伝送特性『S 2 1』とは、ネットワークアナライザ 1 1 0 に無線

- 電力伝送装置 1 を接続して計測される信号を表しており、デシベル表示され、数値が大きいほど電力伝送効率が高いことを意味する。そして、無線電力伝送装置 1 に供給する電力の駆動周波数に対する無線電力伝送装置 1 の伝送特性『S 2 1』は、給電モジュール 2 及び受電モジュール 3 の間の磁界による結びつき度合い（磁界結合）の強度により、単峰性の性質を有するものと双峰性の性質を有するものに分かれる。そして、単峰性とは、駆動周波数に対する伝送特性『S 2 1』のピークが一つで、そのピークが共振周波数帯域（ f_0 ）において現れるものという（図 4 の破線 5 1 参照）。一方、双峰性とは、駆動周波数に対する伝送特性『S 2 1』のピークが二つあり、その二つのピークが共振周波数よりも低い駆動周波数帯域（ f_L ）と共振周波数よりも高い駆動周波数帯域（ f_H ）において現れるものという（図 4 の実線 5 2 参照）。更に詳細に双峰性を定義すると、上記ネットワークアナライザ 1 10 に無線電力伝送装置を接続して計測される反射特性『S 1 1』が二つのピークを有する状態をいう。従って、駆動周波数に対する伝送特性『S 2 1』のピークが一見して一つに見えたとしても、計測されている反射特性『S 1 1』が二つのピークを有する場合には、双峰性の性質を有するものとする。
- [0062] 上記単峰性の性質を有する無線電力伝送装置 1 においては、図 4 の破線 5 1 に示すように、駆動周波数が共振周波数 f_0 で伝送特性『S 2 1』が最大化する（電力伝送効率が最大化する）。
- [0063] 一方、双峰性の性質を有する無線電力伝送装置 1 では、図 4 の実線 5 2 に示すように、伝送特性『S 2 1』は、共振周波数 f_0 よりも低い駆動周波数帯域（ f_L ）と共振周波数 f_0 よりも高い駆動周波数帯域（ f_H ）において最大化する。なお、一般的に、給電共振器と受電共振器との間の距離が同じであれば、双峰性における伝送特性『S 2 1』の最大値（ f_L 又は f_H での伝送特性『S 2 1』の値）は、単峰性における伝送特性『S 2 1』の最大値（ f_0 での伝送特性『S 2 1』の値）よりも低い値になる（図 4 のグラフ参照）。
- [0065] 具体的には、双峰性における低周波側のピーク付近の周波数 f_L に、給電モジュール 2 に供給する交流電力の駆動周波数を設定した場合（同相共振モー

ド)、給電共振器 2 2 及び受電共振器 3 2 が同位相で共振状態となり、給電共振器 2 2 に流れる電流の向きと受電共振器 3 2 に流れる電流の向きとが同じ向きになる。その結果、図 4 のグラフに示すように、電力伝送効率の最大化を目的にした一般的な無線電力伝送装置における伝送特性『S 2 1』(破線 5 1)には及ばないが、駆動周波数を給電モジュール 2 が備える給電共振器 2 2 及び受電モジュール 3 が備える受電共振器 3 2 が有する共振周波数と一致させない場合でも、伝送特性『S 2 1』の値を比較的高い値にすることができる。ここで、給電モジュール 2 におけるコイル(給電共振器 2 2)に流れる電流の向きと受電モジュール 3 におけるコイル(受電共振器 3 2)に流れる電流の向きとが同じ向きとなる共振状態を同相共振モードと呼ぶことにする。

[0066] また、上記同相共振モードでは、給電共振器 2 2 の外周側に発生する磁界と受電共振器 3 2 の外周側に発生する磁界とが打ち消し合うことにより、給電共振器 2 2 及び受電共振器 3 2 の外周側に、磁界による影響が低減されて、給電共振器 2 2 及び受電共振器 3 2 の外周側以外の磁界強度(例えば、給電共振器 2 2 及び受電共振器 3 2 の内周側の磁界強度)よりも小さな磁界強度を有する磁界空間を形成することができる。そして、この磁界空間に磁界の影響を低減させたい安定回路 7 や充電回路 8 や充電電池 9 などを収納した場合、安定回路 7 や充電回路 8 や充電電池 9 などに対して、磁界に起因する渦電流の発生を低減・防止して、発熱による悪影響を抑制することが可能となる。

[0067] 一方、双峰性における高周波側のピーク付近の周波数 f_H に、給電モジュール 2 に供給する交流電力の駆動周波数を設定した場合(逆相共振モード)、給電共振器 2 2 及び受電共振器 3 2 が逆位相で共振状態となり、給電共振器 2 2 に流れる電流の向きと受電共振器 3 2 に流れる電流の向きとが逆向きになる。その結果、図 4 のグラフに示すように、電力伝送効率の最大化を目的にした一般的な無線電力伝送装置における伝送特性『S 2 1』(破線 5 1)には及ばないが、駆動周波数を給電モジュール 2 が備える給電共振器 2 2 及

び受電モジュール 3 が備える受電共振器 3 2 が有する共振周波数と一致させない場合でも、伝送特性『S 2 1』の値を比較的高い値にすることができる。ここで、給電モジュール 2 におけるコイル (給電共振器 2 2) に流れる電流の向きと受電モジュール 3 におけるコイル (受電共振器 3 2) に流れる電流の向きとが逆向きとなる共振状態を逆相共振モードと呼ぶことにする。

[0068] また、上記逆相共振モードでは、給電共振器 2 2 の内周側に発生する磁界と受電共振器 3 2 の内周側に発生する磁界とが打ち消し合うことにより、給電共振器 2 2 及び受電共振器 3 2 の内周側に、磁界による影響が低減されて、給電共振器 2 2 及び受電共振器 3 2 の内周側以外の磁界強度 (例えば、給電共振器 2 2 及び受電共振器 3 2 の外周側の磁界強度) よりも小さな磁界強度を有する磁界空間を形成することができる。そして、この磁界空間に磁界の影響を低減させたい安定回路 7 や充電回路 8 や充電電池 9 などを収納した場合、安定回路 7 や充電回路 8 や充電電池 9 などに対して、磁界に起因する渦電流の発生を低減・防止して、発熱による悪影響を抑制することが可能となる。また、この逆相共振モードにより形成される磁界空間は、給電共振器 2 2 及び受電共振器 3 2 の内周側に形成されるので、この空間に安定回路 7 や充電回路 8 や充電電池 9 などの電子部品を組み込むことにより無線電力伝送装置 1 自体のコンパクト化・設計自由度の向上が実現される。

[0069] (測定実験 1 : 結合係数 k_{12} の値を変えた場合の入カインピーダンス Z_{in} の変化)

測定実験 1 に使用する無線電力伝送装置 1 では、給電コイル 2 1 は、抵抗器 R_1 、コイル L_1 を要素とする RL 回路を構成しており (共振なし)、コイル L_1 部分は、銅線材 (絶縁被膜付) を 1 回巻にして、コイル径を 9.6 mm φ に設定している。同様に、受電コイル 3 1 は、抵抗器 R_4 、コイル L_4 を要素とする RL 回路を構成しており (共振なし)、コイル L_4 部分は、銅線材 (絶縁被膜付) を 1 回巻にして、コイル径を 9.6 mm φ に設定している。また、給電共振器 2 2 は、抵抗器 R_2 、コイル L_2 、及び、コンデンサ C_2 を要素とする RL C 回路を構成しており、コイル L_2 部分は、銅線材 (絶縁被膜付) を 4 回巻に

した、コイル径96mmφのソレノイド型のコイルを使用している。また、受電共振器32は、抵抗器 R_3 、コイル L_3 、及び、コンデンサ C_3 を要素とするRLC回路を構成しており、コイル L_3 部分は、銅線材（絶縁被膜付）を4回巻にした、コイル径96mmφのソレノイド型のコイルを使用している。そして、測定実験1に使用する無線電力伝送装置1における R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 の値をそれぞれ、0.05Ω、0.5Ω、0.5Ω、0.05Ωに設定した。また、 L_1 、 L_2 、 L_3 、 L_4 の値をそれぞれ、0.3μH、4μH、4μH、0.3μHに設定した。また、給電共振器22及び受電共振器32における共振周波数は12.8MHzである。

[0070] 測定実験1では、結合係数 k_{23} を0.10、結合係数 k_{34} を0.35にそれぞれ固定したうえで、結合係数 k_{12} の値を、0.11、0.15、0.22、0.35の4つの値に設定した場合における、給電モジュール2に供給する電力の駆動周波数に対する無線電力伝送装置1の入力インピーダンス Z_{in} の値を、可変抵抗器11 (R_L) の値を51Ω、100Ω、270Ω、500Ωの値に設定した4つのケースについて測定した（結合係数の調整方法についての詳細は後述する）。そして、双峰性における低周波側のピーク付近の周波数 f_L に、給電モジュール2に供給する交流電力の駆動周波数を設定した場合（同相共振モード：12.2MHz）の測定値を図5（A）に示す。また、双峰性における高周波側のピーク付近の周波数 f_H に、給電モジュール2に供給する交流電力の駆動周波数を設定した場合（逆相共振モード：13.4MHz）の測定値を図5（B）に示す。

[0071] 図5（A）の同相共振モードの測定結果より、可変抵抗器11 (R_L) の値を51Ωに設定した場合、結合係数 k_{12} の値を0.11、→ 0.15、→ 0.22、→ 0.35の順に大きくしていくと、無線電力伝送装置1の入力インピーダンス Z_{in} の値は、31.4Ω、→ 35.9Ω、→ 47.5Ω、→ 79.0Ωという具合に大きくなった。

また、可変抵抗器11 (R_L) の値を100Ωに設定した場合、結合係数 k_{12} の値を0.11、→ 0.15、→ 0.22、→ 0.35の順に大きく

していくと、無線電力伝送装置 1 の入力インピーダンス Z_{in} の値は、 33.1Ω 、 $\rightarrow 39.0 \Omega$ 、 $\rightarrow 54.8 \Omega$ 、 $\rightarrow 97.1 \Omega$ という具合に大きくなった。

また、可変抵抗器 11 (R_L) の値を 270Ω に設定した場合、結合係数 k_{12} の値を 0.11 、 $\rightarrow 0.15$ 、 $\rightarrow 0.22$ 、 $\rightarrow 0.35$ の順に大きくしていくと、無線電力伝送装置 1 の入力インピーダンス Z_{in} の値は、 37.8Ω 、 $\rightarrow 48.2 \Omega$ 、 $\rightarrow 76.0 \Omega$ 、 $\rightarrow 148.5 \Omega$ という具合に大きくなった。

また、可変抵抗器 11 (R_L) の値を 500Ω に設定した場合、結合係数 k_{12} の値を 0.11 、 $\rightarrow 0.15$ 、 $\rightarrow 0.22$ 、 $\rightarrow 0.35$ の順に大きくしていくと、無線電力伝送装置 1 の入力インピーダンス Z_{in} の値は、 40.9Ω 、 $\rightarrow 54.5 \Omega$ 、 $\rightarrow 90.1 \Omega$ 、 $\rightarrow 183.1 \Omega$ という具合に大きくなった。

上記のように、同相共振モードにおいて、可変抵抗器 11 (R_L) の値を 51Ω 、 100Ω 、 270Ω 、 500Ω のいずれの値に設定した場合でも、結合係数 k_{12} の値が、 0.11 、 $\rightarrow 0.15$ 、 $\rightarrow 0.22$ 、 $\rightarrow 0.35$ の順に大きくなるにつれて、無線電力伝送装置 1 の入力インピーダンス Z_{in} の値が大きくなる傾向にあることが分かる。

[0072] また、図 5 (B) の逆相共振モードの測定結果においても同様に、可変抵抗器 11 (R_L) の値を 51Ω に設定した場合、結合係数 k_{12} の値を 0.11 、 $\rightarrow 0.15$ 、 $\rightarrow 0.22$ 、 $\rightarrow 0.35$ の順に大きくしていくと、無線電力伝送装置 1 の入力インピーダンス Z_{in} の値は、 27.5Ω 、 $\rightarrow 28.1 \Omega$ 、 $\rightarrow 30.2 \Omega$ 、 $\rightarrow 33.3 \Omega$ という具合に大きくなった。

また、可変抵抗器 11 (R_L) の値を 100Ω に設定した場合、結合係数 k_{12} の値を 0.11 、 $\rightarrow 0.15$ 、 $\rightarrow 0.22$ 、 $\rightarrow 0.35$ の順に大きくしていくと、無線電力伝送装置 1 の入力インピーダンス Z_{in} の値は、 28.7Ω 、 $\rightarrow 29.4 \Omega$ 、 $\rightarrow 32.6 \Omega$ 、 $\rightarrow 50.3 \Omega$ という具合に大きくなった。

また、可変抵抗器 11 (R_1) の値を $270\ \Omega$ に設定した場合、結合係数 k_{12} の値を 0.11 、 $\rightarrow 0.15$ 、 $\rightarrow 0.22$ 、 $\rightarrow 0.35$ の順に大きくしていくと、無線電力伝送装置 1 の入力インピーダンス Z_{in} の値は、 $30.7\ \Omega$ 、 $\rightarrow 33.5\ \Omega$ 、 $\rightarrow 43.0\ \Omega$ 、 $\rightarrow 80.6\ \Omega$ という具合に大きくなった。

また、可変抵抗器 11 (R_1) の値を $500\ \Omega$ に設定した場合、結合係数 k_{12} の値を 0.11 、 $\rightarrow 0.15$ 、 $\rightarrow 0.22$ 、 $\rightarrow 0.35$ の順に大きくしていくと、無線電力伝送装置 1 の入力インピーダンス Z_{in} の値は、 $31.8\ \Omega$ 、 $\rightarrow 35.8\ \Omega$ 、 $\rightarrow 49.1\ \Omega$ 、 $\rightarrow 96.7\ \Omega$ という具合に大きくなった。

上記のように、逆相共振モードにおいても、変抵抗器 11 (R_1) の値を $1\ \Omega$ 、 $100\ \Omega$ 、 $270\ \Omega$ 、 $500\ \Omega$ のいずれの値に設定した場合でも、結合係数 k_{12} の値が、 0.11 、 $\rightarrow 0.15$ 、 $\rightarrow 0.22$ 、 $\rightarrow 0.35$ の順に大きくなるにつれて、無線電力伝送装置 1 の入力インピーダンス Z_{in} の値が大きくなる傾向にあることが分かる。

[0073] (測定実験 2 : 結合係数 k_{12} の値を変えた場合の入力インピーダンス Z_{in} の変化)

測定実験 2 に使用する無線電力伝送装置 1 では、測定実験 1 と異なり、給電コイル 21 は、抵抗器 R_1 、コイル L_1 、及び、コンデンサ C_1 を要素とする RLC 回路を構成しており（共振あり）、コイル L_1 部分は、銅線材（絶縁被膜付）を 1 回巻にして、コイル径を $96\text{ mm } \phi$ に設定している。同様に、受電コイル 31 も、抵抗器 R_4 、コイル L_4 、及び、コンデンサ C_4 を要素とする RLC 回路を構成しており、コイル L_4 部分は、銅線材（絶縁被膜付）を 1 回巻にして、コイル径を $96\text{ mm } \phi$ に設定している。なお、その他の構成は、測定実験 1 と同様である。そして、測定実験 2 に使用する無線電力伝送装置 1 における R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 の値をそれぞれ、 $0.05\ \Omega$ 、 $0.5\ \Omega$ 、 $0.5\ \Omega$ 、 $0.05\ \Omega$ に設定した。また、 L_1 、 L_2 、 L_3 、 L_4 の値をそれぞれ、 $0.3\ \mu\text{H}$ 、 $4\ \mu\text{H}$ 、 $4\ \mu\text{H}$ 、 $0.3\ \mu\text{H}$ に設定した。また、給電コイル 21、

給電共振器 2 2、受電共振器 3 2、及び、受電コイル 3 1 における共振周波数は 1 2. 8 MHz である。

[0074] 測定実験 2 では、結合係数 k_{23} を 0. 1 0、結合係数 k_{34} を 0. 3 5 にそれぞれ固定したうえで、結合係数 k_{12} の値を、0. 1 1、0. 1 5、0. 2 2、0. 3 5 の 4 つの値に設定した場合における、給電モジュール 2 に供給する電力の駆動周波数に対する無線電力伝送装置 1 の入力インピーダンス Z_{in} の値を、可変抵抗器 1 1 (R_L) の値を 5 1 Ω 、1 0 0 Ω 、2 7 0 Ω 、5 0 0 Ω の値に設定した 4 つのケースについて測定した。そして、双峰性における低周波側のピーク付近の周波数 f_L に、給電モジュール 2 に供給する交流電力の駆動周波数を設定した場合（同相共振モード：1 2. 2 MHz）の測定値を図 6（A）に示す。また、双峰性における高周波側のピーク付近の周波数 f_H に、給電モジュール 2 に供給する交流電力の駆動周波数を設定した場合（逆相共振モード：1 3. 4 MHz）の測定値を図 6（B）に示す。

[0075] 図 6（A）の同相共振モードの測定結果より、可変抵抗器 1 1 (R_L) の値を 5 1 Ω に設定した場合、結合係数 k_{12} の値を 0. 1 1、→ 0. 1 5、→ 0. 2 2、→ 0. 3 5 の順に大きくしていくと、無線電力伝送装置 1 の入力インピーダンス Z_{in} の値は、6. 5 Ω 、→ 1 1. 5 Ω 、→ 2 2. 4 Ω 、→ 4 8. 8 Ω という具合に大きくなった。

また、可変抵抗器 1 1 (R_L) の値を 1 0 0 Ω に設定した場合、結合係数 k_{12} の値を 0. 1 1、→ 0. 1 5、→ 0. 2 2、→ 0. 3 5 の順に大きくしていくと、無線電力伝送装置 1 の入力インピーダンス Z_{in} の値は、1 0. 0 Ω 、→ 1 8. 1 Ω 、→ 3 5. 4 Ω 、→ 7 7. 6 Ω という具合に大きくなった。

また、可変抵抗器 1 1 (R_L) の値を 2 7 0 Ω に設定した場合、結合係数 k_{12} の値を 0. 1 1、→ 0. 1 5、→ 0. 2 2、→ 0. 3 5 の順に大きくしていくと、無線電力伝送装置 1 の入力インピーダンス Z_{in} の値は、1 7. 3 Ω 、→ 3 1. 8 Ω 、→ 6 2. 2 Ω 、→ 1 3 6. 5 Ω という具合に大きくなった。

また、可変抵抗器 11 (R_L) の値を 500 Ω に設定した場合、結合係数 k_{12} の値を 0.11、 $\rightarrow$ 0.15、 $\rightarrow$ 0.22、 $\rightarrow$ 0.35 の順に大きくしていくと、無線電力伝送装置 1 の入力インピーダンス Z_{in} の値は、21.8 Ω 、 $\rightarrow$ 40.3 Ω 、 $\rightarrow$ 79.0 Ω 、 $\rightarrow$ 173.1 Ω という具合に大きくなった。

上記のように、同相共振モードにおいて、可変抵抗器 11 (R_L) の値を 51 Ω 、100 Ω 、270 Ω 、500 Ω のいずれの値に設定した場合でも、結合係数 k_{12} の値が、0.11、 $\rightarrow$ 0.15、 $\rightarrow$ 0.22、 $\rightarrow$ 0.35 の順に大きくなるにつれて、無線電力伝送装置 1 の入力インピーダンス Z_{in} の値が大きくなる傾向にあることが分かる。

[0076] また、図 6 (B) の逆相共振モードの測定結果においても同様に、可変抵抗器 11 (R_L) の値を 51 Ω に設定した場合、結合係数 k_{12} の値を 0.11、 $\rightarrow$ 0.15、 $\rightarrow$ 0.22、 $\rightarrow$ 0.35 の順に大きくしていくと、無線電力伝送装置 1 の入力インピーダンス Z_{in} の値は、5.5 Ω 、 $\rightarrow$ 6.8 Ω 、 $\rightarrow$ 13.6 Ω 、 $\rightarrow$ 35.9 Ω という具合に大きくなった。

また、可変抵抗器 11 (R_L) の値を 100 Ω に設定した場合、結合係数 k_{12} の値を 0.11、 $\rightarrow$ 0.15、 $\rightarrow$ 0.22、 $\rightarrow$ 0.35 の順に大きくしていくと、無線電力伝送装置 1 の入力インピーダンス Z_{in} の値は、6.9 Ω 、 $\rightarrow$ 9.5 Ω 、 $\rightarrow$ 19.3 Ω 、 $\rightarrow$ 49.8 Ω という具合に大きくなった。

また、可変抵抗器 11 (R_L) の値を 270 Ω に設定した場合、結合係数 k_{12} の値を 0.11、 $\rightarrow$ 0.15、 $\rightarrow$ 0.22、 $\rightarrow$ 0.35 の順に大きくしていくと、無線電力伝送装置 1 の入力インピーダンス Z_{in} の値は、9.3 Ω 、 $\rightarrow$ 14.9 Ω 、 $\rightarrow$ 31.2 Ω 、 $\rightarrow$ 79.0 Ω という具合に大きくなった。

また、可変抵抗器 11 (R_L) の値を 500 Ω に設定した場合、結合係数 k_{12} の値を 0.11、 $\rightarrow$ 0.15、 $\rightarrow$ 0.22、 $\rightarrow$ 0.35 の順に大きくしていくと、無線電力伝送装置 1 の入力インピーダンス Z_{in} の値は、10.7

Ω 、 $\rightarrow 18.0\Omega$ 、 $\rightarrow 38.1\Omega$ 、 $\rightarrow 95.9\Omega$ という具合に大きくなった。

上記のように、逆相共振モードにおいても、変抵抗器 11 (R_1) の値を 51Ω 、 100Ω 、 270Ω 、 500Ω のいずれの値に設定した場合でも、結合係数 k_{12} の値が、 0.11 、 $\rightarrow 0.15$ 、 $\rightarrow 0.22$ 、 $\rightarrow 0.35$ の順に大きくなるにつれて、無線電力伝送装置 1 の入力インピーダンス Z_{in} の値が大きくなる傾向にあることが分かる。

[0077] (測定実験 3 : 結合係数 k_{12} の値を変えた場合の入力インピーダンス Z_{in} の変化)

測定実験 3 に使用する無線電力伝送装置 1 では、測定実験 1、2 と異なり、給電コイル 21、給電共振器 22、受電共振器 32、受電コイル 31 のコイル部分に、平面上にコイルを巻き回して作成したパターンコイルを使用している。具体的には、給電コイル 21 は、抵抗器 R_1 、コイル L_1 、及び、コンデンサ C_1 を要素とする RLC 回路を構成しており（共振あり）、コイル L_1 部分は、銅箔のエッチングにより形成した 12 回巻き、コイル径 $35\text{ mm } \phi$ のパターンコイルを使用している。同様に、受電コイル 31 は、抵抗器 R_4 、コイル L_4 、及び、コンデンサ C_4 を要素とする RLC 回路を構成しており、コイル L_4 部分は、銅箔のエッチングにより形成した 12 回巻き、コイル径 $35\text{ mm } \phi$ のパターンコイルを使用している。また、給電共振器 22 は、抵抗器 R_2 、コイル L_2 、及び、コンデンサ C_2 を要素とする RLC 回路を構成しており、コイル L_2 部分は、銅箔のエッチングにより形成した 12 回巻き、コイル径 $35\text{ mm } \phi$ のパターンコイルを使用している。また、受電共振器 32 は、抵抗器 R_3 、コイル L_3 、及び、コンデンサ C_3 を要素とする RLC 回路を構成しており、コイル L_3 部分は、銅箔のエッチングにより形成した 12 回巻き、コイル径 $35\text{ mm } \phi$ のパターンコイルを使用している。そして、測定実験 3 に使用する無線電力伝送装置 1 における R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 の値をそれぞれ、 1.8Ω 、 1.8Ω 、 1.8Ω 、 1.8Ω に設定した。また、 L_1 、 L_2 、 L_3 、 L_4 の値をそれぞれ、 $2.5\mu\text{H}$ 、 $2.5\mu\text{H}$ 、 $2.5\mu\text{H}$ 、 $2.5\mu\text{H}$ に設定し

た。また、給電コイル 2 1、給電共振器 2 2、受電共振器 3 2、及び、受電コイル 3 1 における共振周波数は 8. 0 MHz である。

[0078] 測定実験 3 では、結合係数 k_{23} を 0. 0 5、結合係数 k_{34} を 0. 0 8 にそれぞれ固定したうえで、結合係数 k_{12} の値を、0. 0 5、0. 0 6、0. 0 7、0. 0 8 の 4 つの値に設定した場合における、給電モジュール 2 に供給する電力の駆動周波数に対する無線電力伝送装置 1 の入力インピーダンス Z_{in} の値を、可変抵抗器 1 1 (R_L) の値を 5 1 Ω 、1 0 0 Ω 、2 7 0 Ω 、5 0 0 Ω の値に設定した 4 つのケースについて測定した。そして、双峰性における低周波側のピーク付近の周波数 f_L に、給電モジュール 2 に供給する交流電力の駆動周波数を設定した場合（同相共振モード：7. 9 MHz）の測定値を図 7（A）に示す。また、双峰性における高周波側のピーク付近の周波数 f_H に、給電モジュール 2 に供給する交流電力の駆動周波数を設定した場合（逆相共振モード：8. 2 MHz）の測定値を図 7（B）に示す。

[0079] 図 7（A）の同相共振モードの測定結果より、可変抵抗器 1 1 (R_L) の値を 5 1 Ω に設定した場合、結合係数 k_{12} の値を 0. 0 5、→ 0. 0 6、→ 0. 0 7、→ 0. 0 8 の順に大きくしていくと、無線電力伝送装置 1 の入力インピーダンス Z_{in} の値は、9. 1 Ω 、→ 1 8. 0 Ω 、→ 2 9. 5 Ω 、→ 3 5. 9 Ω という具合に大きくなった。

また、可変抵抗器 1 1 (R_L) の値を 1 0 0 Ω に設定した場合、結合係数 k_{12} の値を 0. 0 5、→ 0. 0 6、→ 0. 0 7、→ 0. 0 8 の順に大きくしていくと、無線電力伝送装置 1 の入力インピーダンス Z_{in} の値は、1 0. 5 Ω 、→ 2 0. 7 Ω 、→ 3 4. 1 Ω 、→ 4 2. 3 Ω という具合に大きくなった。

また、可変抵抗器 1 1 (R_L) の値を 2 7 0 Ω に設定した場合、結合係数 k_{12} の値を 0. 0 5、→ 0. 0 6、→ 0. 0 7、→ 0. 0 8 の順に大きくしていくと、無線電力伝送装置 1 の入力インピーダンス Z_{in} の値は、1 2. 3 Ω 、→ 2 4. 0 Ω 、→ 3 9. 8 Ω 、→ 4 9. 9 Ω という具合に大きくなった。

また、可変抵抗器 11 (R_L) の値を $500\ \Omega$ に設定した場合、結合係数 k_{12} の値を 0.05 、 $\rightarrow 0.06$ 、 $\rightarrow 0.07$ 、 $\rightarrow 0.08$ の順に大きくしていくと、無線電力伝送装置 1 の入力インピーダンス Z_{in} の値は、 $12.8\ \Omega$ 、 $\rightarrow 25.4\ \Omega$ 、 $\rightarrow 41.9\ \Omega$ 、 $\rightarrow 51.9\ \Omega$ という具合に大きくなった。

上記のように、同相共振モードにおいて、可変抵抗器 11 (R_L) の値を $51\ \Omega$ 、 $100\ \Omega$ 、 $270\ \Omega$ 、 $500\ \Omega$ のいずれの値に設定した場合でも、結合係数 k_{12} の値が、 0.05 、 $\rightarrow 0.06$ 、 $\rightarrow 0.07$ 、 $\rightarrow 0.08$ の順に大きくなるにつれて、無線電力伝送装置 1 の入力インピーダンス Z_{in} の値が大きくなる傾向にあることが分かる。

[0080] また、図 7 (B) の逆相共振モードの測定結果においても同様に、可変抵抗器 11 (R_L) の値を $51\ \Omega$ に設定した場合、結合係数 k_{12} の値を 0.05 、 $\rightarrow 0.06$ 、 $\rightarrow 0.07$ 、 $\rightarrow 0.08$ の順に大きくしていくと、無線電力伝送装置 1 の入力インピーダンス Z_{in} の値は、 $8.7\ \Omega$ 、 $\rightarrow 14.9\ \Omega$ 、 $\rightarrow 25.0\ \Omega$ 、 $\rightarrow 32.1\ \Omega$ という具合に大きくなった。

また、可変抵抗器 11 (R_L) の値を $100\ \Omega$ に設定した場合、結合係数 k_{12} の値を 0.05 、 $\rightarrow 0.06$ 、 $\rightarrow 0.07$ 、 $\rightarrow 0.08$ の順に大きくしていくと、無線電力伝送装置 1 の入力インピーダンス Z_{in} の値は、 $9.5\ \Omega$ 、 $\rightarrow 15.8\ \Omega$ 、 $\rightarrow 26.6\ \Omega$ 、 $\rightarrow 34.2\ \Omega$ という具合に大きくなった。

また、可変抵抗器 11 (R_L) の値を $270\ \Omega$ に設定した場合、結合係数 k_{12} の値を 0.05 、 $\rightarrow 0.06$ 、 $\rightarrow 0.07$ 、 $\rightarrow 0.08$ の順に大きくしていくと、無線電力伝送装置 1 の入力インピーダンス Z_{in} の値は、 $10.5\ \Omega$ 、 $\rightarrow 17.3\ \Omega$ 、 $\rightarrow 29.4\ \Omega$ 、 $\rightarrow 37.8\ \Omega$ という具合に大きくなった。

また、可変抵抗器 11 (R_L) の値を $500\ \Omega$ に設定した場合、結合係数 k_{12} の値を 0.05 、 $\rightarrow 0.06$ 、 $\rightarrow 0.07$ 、 $\rightarrow 0.08$ の順に大きくしていくと、無線電力伝送装置 1 の入力インピーダンス Z_{in} の値は、 10.8

$0.2 \rightarrow 1.8, 0.2 \rightarrow 3.0, 5.2 \rightarrow 3.8, 7.2$ という具合に大きく

なった。

上記のように、逆相共振モードにおいても、変抵抗器 11 (R_1) の値を 5 1Ω 、100 Ω 、270 Ω 、500 Ω のいずれの値に設定した場合でも、結合係数 k_{12} の値が、0.05、 $\rightarrow$ 0.06、 $\rightarrow$ 0.07、 $\rightarrow$ 0.08 の順に大きくなるにつれて、無線電力伝送装置 1 の入力インピーダンス Z_{in} の値が大きくなる傾向にあることが分かる。

[0081] (測定実験 4 : 結合係数 k_{34} の値を変えた場合の入力インピーダンス Z_{in} の変化)

測定実験 4 に使用する無線電力伝送装置 1 では、測定実験 1 と同様に、給電コイル 21 は、抵抗器 R_1 、コイル L_1 を要素とする RL 回路を構成しており (共振なし)、コイル L_1 部分は、銅線材 (絶縁被膜付) を 1 回巻にして、コイル径を 96 mm ϕ に設定している。同様に、受電コイル 31 は、抵抗器 R_4 、コイル L_4 を要素とする RL 回路を構成しており (共振なし)、コイル L_4 部分は、銅線材 (絶縁被膜付) を 1 回巻にして、コイル径を 96 mm ϕ に設定している。また、測定実験 4 に使用する無線電力伝送装置 1 における R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 の値をそれぞれ、0.05 Ω 、0.5 Ω 、0.5 Ω 、0.05 Ω に設定した。また、 L_1 、 L_2 、 L_3 、 L_4 の値をそれぞれ、0.3 μ H、4 μ H、4 μ H、0.3 μ H に設定した (測定実験 1 と同じ)。また、給電共振器 22 及び受電共振器 32 における共振周波数は 12.8 MHz である。

[0082] 測定実験 4 では、結合係数 k_{12} を 0.35、結合係数 k_{23} を 0.10 にそれぞれ固定したうえで、結合係数 k_{34} の値を、0.11、0.15、0.22、0.35 の 4 つの値に設定した場合における、給電モジュール 2 に供給する電力の駆動周波数に対する無線電力伝送装置 1 の入力インピーダンス Z_{in} の値を、可変抵抗器 11 (R_1) の値を 5 1Ω 、100 Ω 、270 Ω 、500 Ω の値に設定した 4 つのケースについて測定した (結合係数の調整方法についての詳細は後述する)。そして、双峰性における低周波側のピーク付近の周波

数 f_L に、給電モジュール2に供給する交流電力の駆動周波数を設定した場合（同相共振モード：12.2MHz）の測定値を図8（A）に示す。また、双峰性における高周波側のピーク付近の周波数 f_H に、給電モジュール2に供給する交流電力の駆動周波数を設定した場合（逆相共振モード：13.4MHz）の測定値を図8（B）に示す。

[0083] 図8（A）の同相共振モードの測定結果より、可変抵抗器11（ R_L ）の値を51Ωに設定した場合、結合係数 k_{34} の値を0.11、→ 0.15、→ 0.22、→ 0.35の順に大きくしていくと、無線電力伝送装置1の入力インピーダンス Z_{in} の値は、202.5Ω、→ 165.8Ω、→ 127.4Ω、→ 79.0Ωという具合に小さくなった。

また、可変抵抗器11（ R_L ）の値を100Ωに設定した場合、結合係数 k_{34} の値を0.11、→ 0.15、→ 0.22、→ 0.35の順に大きくしていくと、無線電力伝送装置1の入力インピーダンス Z_{in} の値は、228.2Ω、→ 197.7Ω、→ 152.8Ω、→ 97.1Ωという具合に小さくなった。

また、可変抵抗器11（ R_L ）の値を270Ωに設定した場合、結合係数 k_{34} の値を0.11、→ 0.15、→ 0.22、→ 0.35の順に大きくしていくと、無線電力伝送装置1の入力インピーダンス Z_{in} の値は、259.1Ω、→ 242.0Ω、→ 209.7Ω、→ 148.5Ωという具合に小さくなった。

また、可変抵抗器11（ R_L ）の値を500Ωに設定した場合、結合係数 k_{34} の値を0.11、→ 0.15、→ 0.22、→ 0.35の順に大きくしていくと、無線電力伝送装置1の入力インピーダンス Z_{in} の値は、269.2Ω、→ 259.3Ω、→ 230.2Ω、→ 183.1Ωという具合に小さくなった。

上記のように、同相共振モードにおいて、可変抵抗器11（ R_L ）の値を51Ω、100Ω、270Ω、500Ωのいずれの値に設定した場合でも、結合係数 k_{34} の値が、0.11、→ 0.15、→ 0.22、→ 0.35の

順に大きくなるにつれて、無線電力伝送装置 1 の入力インピーダンス Z_{in} の値が小さくなる傾向にあることが分かる。

[0084] また、図 8 (B) の逆相共振モードの測定結果においても同様に、可変抵抗器 11 (R_L) の値を $51\ \Omega$ に設定した場合、結合係数 k_{34} の値を 0.11 、 $\rightarrow 0.15$ 、 $\rightarrow 0.22$ 、 $\rightarrow 0.35$ の順に大きくしていくと、無線電力伝送装置 1 の入力インピーダンス Z_{in} の値は、 $117.1\ \Omega$ 、 $\rightarrow 96.1\ \Omega$ 、 $\rightarrow 66.1\ \Omega$ 、 $\rightarrow 33.3\ \Omega$ という具合に小さくなった。

また、可変抵抗器 11 (R_L) の値を $100\ \Omega$ に設定した場合、結合係数 k_{34} の値を 0.11 、 $\rightarrow 0.15$ 、 $\rightarrow 0.22$ 、 $\rightarrow 0.35$ の順に大きくしていくと、無線電力伝送装置 1 の入力インピーダンス Z_{in} の値は、 $127.4\ \Omega$ 、 $\rightarrow 112.8\ \Omega$ 、 $\rightarrow 86.8\ \Omega$ 、 $\rightarrow 50.3\ \Omega$ という具合に小さくなった。

また、可変抵抗器 11 (R_L) の値を $270\ \Omega$ に設定した場合、結合係数 k_{34} の値を 0.11 、 $\rightarrow 0.15$ 、 $\rightarrow 0.22$ 、 $\rightarrow 0.35$ の順に大きくしていくと、無線電力伝送装置 1 の入力インピーダンス Z_{in} の値は、 $138.0\ \Omega$ 、 $\rightarrow 131.1\ \Omega$ 、 $\rightarrow 115.0\ \Omega$ 、 $\rightarrow 80.6\ \Omega$ という具合に小さくなった。

また、可変抵抗器 11 (R_L) の値を $500\ \Omega$ に設定した場合、結合係数 k_{34} の値を 0.11 、 $\rightarrow 0.15$ 、 $\rightarrow 0.22$ 、 $\rightarrow 0.35$ の順に大きくしていくと、無線電力伝送装置 1 の入力インピーダンス Z_{in} の値は、 $141.3\ \Omega$ 、 $\rightarrow 137.6\ \Omega$ 、 $\rightarrow 126.5\ \Omega$ 、 $\rightarrow 96.7\ \Omega$ という具合に小さくなった。

上記のように、逆相共振モードにおいても、変抵抗器 11 (R_L) の値を $51\ \Omega$ 、 $100\ \Omega$ 、 $270\ \Omega$ 、 $500\ \Omega$ のいずれの値に設定した場合でも、結合係数 k_{34} の値が、 0.11 、 $\rightarrow 0.15$ 、 $\rightarrow 0.22$ 、 $\rightarrow 0.35$ の順に大きくなるにつれて、無線電力伝送装置 1 の入力インピーダンス Z_{in} の値が小さくなる傾向にあることが分かる。

[0085] (測定実験 5 : 結合係数 k_{34} の値を変えた場合の入力インピーダンス Z_{in} の

変化)

測定実験5に使用する無線電力伝送装置1では、測定実験4と異なり、給電コイル21は、抵抗器 R_1 、コイル L_1 、及び、コンデンサ C_1 を要素とするRLC回路を構成しており（共振あり）、コイル L_1 部分は、銅線材（絶縁被膜付）を1回巻にして、コイル径を96mm ϕ に設定している。同様に、受電コイル31も、抵抗器 R_4 、コイル L_4 、及び、コンデンサ C_4 を要素とするRLC回路を構成しており、コイル L_4 部分は、銅線材（絶縁被膜付）を1回巻にして、コイル径を96mm ϕ に設定している。なお、その他の構成は、測定実験4と同様である。そして、測定実験5に使用する無線電力伝送装置1における R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 の値をそれぞれ、0.05 Ω 、0.5 Ω 、0.5 Ω 、0.05 Ω に設定した。また、 L_1 、 L_2 、 L_3 、 L_4 の値をそれぞれ、0.3 μ H、4 μ H、4 μ H、0.3 μ Hに設定した。また、給電コイル21、給電共振器22、受電共振器32、及び、受電コイル31における共振周波数は12.8MHzである。

[0086] 測定実験5では、結合係数 k_{12} を0.35、結合係数 k_{23} を0.10にそれぞれ固定したうえで、結合係数 k_{34} の値を、0.11、0.15、0.22、0.35の4つの値に設定した場合における、給電モジュール2に供給する電力の駆動周波数に対する無線電力伝送装置1の入力インピーダンス Z_{in} の値を、可変抵抗器11 (R_L) の値を51 Ω 、100 Ω 、270 Ω 、500 Ω の値に設定した4つのケースについて測定した。そして、双峰性における低周波側のピーク付近の周波数 f_L に、給電モジュール2に供給する交流電力の駆動周波数を設定した場合（同相共振モード：12.2MHz）の測定値を図9（A）に示す。また、双峰性における高周波側のピーク付近の周波数 f_H に、給電モジュール2に供給する交流電力の駆動周波数を設定した場合（逆相共振モード：13.4MHz）の測定値を図9（B）に示す。

[0087] 図9（A）の同相共振モードの測定結果より、可変抵抗器11 (R_L) の値を51 Ω に設定した場合、結合係数 k_{34} の値を0.11、 $\rightarrow$ 0.15、 $\rightarrow$ 0.22、 $\rightarrow$ 0.35の順に大きくしていくと、無線電力伝送装置1の入

カインピーダンス Z_{in} の値は、 $170.5\ \Omega$ 、 $\rightarrow 134.9\ \Omega$ 、 $\rightarrow 94.2\ \Omega$ 、 $\rightarrow 48.8\ \Omega$ という具合に小さくなった。

また、可変抵抗器 11 (R_L) の値を $100\ \Omega$ に設定した場合、結合係数 k_{34} の値を 0.11 、 $\rightarrow 0.15$ 、 $\rightarrow 0.22$ 、 $\rightarrow 0.35$ の順に大きくしていくと、無線電力伝送装置 1 の入力インピーダンス Z_{in} の値は、 $204.9\ \Omega$ 、 $\rightarrow 176.5\ \Omega$ 、 $\rightarrow 133.4\ \Omega$ 、 $\rightarrow 77.6\ \Omega$ という具合に小さくなった。

また、可変抵抗器 11 (R_L) の値を $270\ \Omega$ に設定した場合、結合係数 k_{34} の値を 0.11 、 $\rightarrow 0.15$ 、 $\rightarrow 0.22$ 、 $\rightarrow 0.35$ の順に大きくしていくと、無線電力伝送装置 1 の入力インピーダンス Z_{in} の値は、 $238.0\ \Omega$ 、 $\rightarrow 222.8\ \Omega$ 、 $\rightarrow 193.8\ \Omega$ 、 $\rightarrow 136.5\ \Omega$ という具合に小さくなった。

また、可変抵抗器 11 (R_L) の値を $500\ \Omega$ に設定した場合、結合係数 k_{34} の値を 0.11 、 $\rightarrow 0.15$ 、 $\rightarrow 0.22$ 、 $\rightarrow 0.35$ の順に大きくしていくと、無線電力伝送装置 1 の入力インピーダンス Z_{in} の値は、 $246.7\ \Omega$ 、 $\rightarrow 239.7\ \Omega$ 、 $\rightarrow 216.2\ \Omega$ 、 $\rightarrow 173.1\ \Omega$ という具合に小さくなった。

上記のように、同相共振モードにおいて、可変抵抗器 11 (R_L) の値を $51\ \Omega$ 、 $100\ \Omega$ 、 $270\ \Omega$ 、 $500\ \Omega$ のいずれの値に設定した場合でも、結合係数 k_{34} の値が、 0.11 、 $\rightarrow 0.15$ 、 $\rightarrow 0.22$ 、 $\rightarrow 0.35$ の順に大きくなるにつれて、無線電力伝送装置 1 の入力インピーダンス Z_{in} の値が小さくなる傾向にあることが分かる。

[0088] また、図 9 (B) の逆相共振モードの測定結果においても同様に、可変抵抗器 11 (R_L) の値を $51\ \Omega$ に設定した場合、結合係数 k_{34} の値を 0.11 、 $\rightarrow 0.15$ 、 $\rightarrow 0.22$ 、 $\rightarrow 0.35$ の順に大きくしていくと、無線電力伝送装置 1 の入力インピーダンス Z_{in} の値は、 $105.5\ \Omega$ 、 $\rightarrow 86.6\ \Omega$ 、 $\rightarrow 63.0\ \Omega$ 、 $\rightarrow 35.9\ \Omega$ という具合に小さくなった。

また、可変抵抗器 11 (R_L) の値を $100\ \Omega$ に設定した場合、結合係数 k_{34}

の値を 0.11、→ 0.15、→ 0.22、→ 0.35 の順に大きくしていくと、無線電力伝送装置 1 の入力インピーダンス Z_{in} の値は、119.3 Ω 、→ 105.2 Ω 、→ 83.3 Ω 、→ 49.8 Ω という具合に小さくなった。

また、可変抵抗器 11 (R_L) の値を 270 Ω に設定した場合、結合係数 k_{34} の値を 0.11、→ 0.15、→ 0.22、→ 0.35 の順に大きくしていくと、無線電力伝送装置 1 の入力インピーダンス Z_{in} の値は、130.6 Ω 、→ 123.4 Ω 、→ 110.9 Ω 、→ 79.0 Ω という具合に小さくなった。

また、可変抵抗器 11 (R_L) の値を 500 Ω に設定した場合、結合係数 k_{34} の値を 0.11、→ 0.15、→ 0.22、→ 0.35 の順に大きくしていくと、無線電力伝送装置 1 の入力インピーダンス Z_{in} の値は、133.9 Ω 、→ 129.3 Ω 、→ 122.1 Ω 、→ 95.9 Ω という具合に小さくなった。

上記のように、逆相共振モードにおいても、変抵抗器 11 (R_L) の値を 51 Ω 、100 Ω 、270 Ω 、500 Ω のいずれの値に設定した場合でも、結合係数 k_{34} の値が、0.11、→ 0.15、→ 0.22、→ 0.35 の順に大きくなるにつれて、無線電力伝送装置 1 の入力インピーダンス Z_{in} の値が小さくなる傾向にあることが分かる。

[0089] (測定実験 6 : 結合係数 k_{34} の値を変えた場合の入力インピーダンス Z_{in} の変化)

測定実験 6 に使用する無線電力伝送装置 1 では、測定実験 4、5 と異なり、給電コイル 21、給電共振器 22、受電共振器 32、受電コイル 31 のコイル部分に、平面上にコイルを巻き回して作成したパターンコイルを使用している。具体的には、給電コイル 21 は、抵抗器 R_1 、コイル L_1 、及び、コンデンサ C_1 を要素とする RLC 回路を構成しており（共振あり）、コイル L_1 部分は、銅箔のエッチングにより形成した 12 回巻き、コイル径 35 mm ϕ のパターンコイルを使用している。同様に、受電コイル 31 は、抵抗器 R_4 、コ

イル L_4 、及び、コンデンサ C_4 を要素とするRLC回路を構成しており、コイル L_4 部分は、銅箔のエッチングにより形成した12回巻き、コイル径35mmφのパターンコイルを使用している。また、給電共振器22は、抵抗器 R_2 、コイル L_2 、及び、コンデンサ C_2 を要素とするRLC回路を構成しており、コイル L_2 部分は、銅箔のエッチングにより形成した12回巻き、コイル径35mmφのパターンコイルを使用している。また、受電共振器32は、抵抗器 R_3 、コイル L_3 、及び、コンデンサ C_3 を要素とするRLC回路を構成しており、コイル L_3 部分は、銅箔のエッチングにより形成した12回巻き、コイル径35mmφのパターンコイルを使用している。そして、測定実験6に使用する無線電力伝送装置1における R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 の値をそれぞれ、1.8Ω、1.8Ω、1.8Ω、1.8Ωに設定した。また、 L_1 、 L_2 、 L_3 、 L_4 の値をそれぞれ、2.5μH、2.5μH、2.5μH、2.5μHに設定した。また、給電コイル21、給電共振器22、受電共振器32、及び、受電コイル31における共振周波数は8.0MHzである。

[0090] 測定実験6では、結合係数 k_{12} を0.08、結合係数 k_{23} を0.05にそれぞれ固定したうえで、結合係数 k_{34} の値を、0.05、0.06、0.07、0.08の4つの値に設定した場合における、給電モジュール2に供給する電力の駆動周波数に対する無線電力伝送装置1の入力インピーダンス Z_{in} の値を、可変抵抗器11 (R_1) の値を51Ω、100Ω、270Ω、500Ωの値に設定した4つのケースについて測定した。そして、双峰性における低周波側のピーク付近の周波数 f_L に、給電モジュール2に供給する交流電力の駆動周波数を設定した場合（同相共振モード：7.9MHz）の測定値を図10（A）に示す。また、双峰性における高周波側のピーク付近の周波数 f_H に、給電モジュール2に供給する交流電力の駆動周波数を設定した場合（逆相共振モード：8.2MHz）の測定値を図10（B）に示す。

[0091] 図10（A）の同相共振モードの測定結果より、可変抵抗器11 (R_1) の値を51Ωに設定した場合、結合係数 k_{34} の値を0.05、→ 0.06、→ 0.07、→ 0.08の順に大きくしていくと、無線電力伝送装置1の

入力インピーダンス Z_{in} の値は、 $55.8\ \Omega$ 、 $\rightarrow 50.2\ \Omega$ 、 $\rightarrow 45.3\ \Omega$ 、 $\rightarrow 35.9\ \Omega$ という具合に小さくなった。

また、可変抵抗器 11 (R_L) の値を $100\ \Omega$ に設定した場合、結合係数 k_{34} の値を 0.05 、 $\rightarrow 0.06$ 、 $\rightarrow 0.07$ 、 $\rightarrow 0.08$ の順に大きくしていくと、無線電力伝送装置 1 の入力インピーダンス Z_{in} の値は、 $59.7\ \Omega$ 、 $\rightarrow 56.1\ \Omega$ 、 $\rightarrow 51.4\ \Omega$ 、 $\rightarrow 42.3\ \Omega$ という具合に小さくなった。

また、可変抵抗器 11 (R_L) の値を $270\ \Omega$ に設定した場合、結合係数 k_{34} の値を 0.05 、 $\rightarrow 0.06$ 、 $\rightarrow 0.07$ 、 $\rightarrow 0.08$ の順に大きくしていくと、無線電力伝送装置 1 の入力インピーダンス Z_{in} の値は、 $62.6\ \Omega$ 、 $\rightarrow 60.6\ \Omega$ 、 $\rightarrow 58.6\ \Omega$ 、 $\rightarrow 49.9\ \Omega$ という具合に小さくなった。

また、可変抵抗器 11 (R_L) の値を $500\ \Omega$ に設定した場合、結合係数 k_{34} の値を 0.05 、 $\rightarrow 0.06$ 、 $\rightarrow 0.07$ 、 $\rightarrow 0.08$ の順に大きくしていくと、無線電力伝送装置 1 の入力インピーダンス Z_{in} の値は、 $63.5\ \Omega$ 、 $\rightarrow 62.0\ \Omega$ 、 $\rightarrow 61.0\ \Omega$ 、 $\rightarrow 51.9\ \Omega$ という具合に小さくなった。

上記のように、同相共振モードにおいて、可変抵抗器 11 (R_L) の値を $51\ \Omega$ 、 $100\ \Omega$ 、 $270\ \Omega$ 、 $500\ \Omega$ のいずれの値に設定した場合でも、結合係数 k_{34} の値が、 0.05 、 $\rightarrow 0.06$ 、 $\rightarrow 0.07$ 、 $\rightarrow 0.08$ の順に大きくなるにつれて、無線電力伝送装置 1 の入力インピーダンス Z_{in} の値が小さくなる傾向にあることが分かる。

[0092] また、図 10 (B) の逆相共振モードの測定結果においても同様に、可変抵抗器 11 (R_L) の値を $51\ \Omega$ に設定した場合、結合係数 k_{34} の値を 0.05 、 $\rightarrow 0.06$ 、 $\rightarrow 0.07$ 、 $\rightarrow 0.08$ の順に大きくしていくと、無線電力伝送装置 1 の入力インピーダンス Z_{in} の値は、 $43.9\ \Omega$ 、 $\rightarrow 41.0\ \Omega$ 、 $\rightarrow 39.4\ \Omega$ 、 $\rightarrow 32.1\ \Omega$ という具合に小さくなった。

また、可変抵抗器 11 (R_L) の値を $100\ \Omega$ に設定した場合、結合係数 k_{34}

の値を 0.05、→ 0.06、→ 0.07、→ 0.08 の順に大きくしていくと、無線電力伝送装置 1 の入力インピーダンス Z_{in} の値は、45.6 Ω 、→ 43.7 Ω 、→ 41.2 Ω 、→ 34.2 Ω という具合に小さくなった。

また、可変抵抗器 11 (R_1) の値を 270 Ω に設定した場合、結合係数 k_{34} の値を 0.05、→ 0.06、→ 0.07、→ 0.08 の順に大きくしていくと、無線電力伝送装置 1 の入力インピーダンス Z_{in} の値は、46.8 Ω 、→ 45.7 Ω 、→ 44.6 Ω 、→ 37.8 Ω という具合に小さくなった。

また、可変抵抗器 11 (R_1) の値を 500 Ω に設定した場合、結合係数 k_{34} の値を 0.05、→ 0.06、→ 0.07、→ 0.08 の順に大きくしていくと、無線電力伝送装置 1 の入力インピーダンス Z_{in} の値は、47.1 Ω 、→ 46.2 Ω 、→ 45.1 Ω 、→ 38.7 Ω という具合に小さくなった。

上記のように、逆相共振モードにおいても、変抵抗器 11 (R_1) の値を 51 Ω 、100 Ω 、270 Ω 、500 Ω のいずれの値に設定した場合でも、結合係数 k_{34} の値が、0.05、→ 0.06、→ 0.07、→ 0.08 の順に大きくなるにつれて、無線電力伝送装置 1 の入力インピーダンス Z_{in} の値が小さくなる傾向にあることが分かる。

[0093] 上記測定実験 1～6 によれば、給電コイル 21、給電共振器 22、受電共振器 32、及び、受電コイル 31 を備えた無線電力伝送装置 1 において、隣接するコイル間における結合係数、例えば、結合係数 k_{12} の値や、結合係数 k_{34} の値をそれぞれ調整することにより、無線電力伝送装置 1 の入力インピーダンス Z_{in} の値を所望の値に設定して供給する電力を調整することができる。

[0094] (結合係数の調整方法)

次に、無線電力伝送装置 1 の入力インピーダンス Z_{in} を制御するパラメータである結合係数 k_{12} 、 k_{23} 、 k_{34} の調整方法について説明する。

[0095] 一般的に、図 11 に示すように、無線電力伝送において、コイルとコイル

との間の距離と結合係数 k との関係は、コイルとコイルとの間の距離を縮める（短くする）と結合係数 k の値が高くなる傾向にあることが分かっている。これを本実施形態に係る無線電力伝送装置 1 に当てはめると、給電コイル 2 1 と給電共振器 2 2 との間の距離 d_{12} 、給電共振器 2 2 と受電共振器 3 2 との間の距離 d_{23} 、受電共振器 3 2 と受電コイル 3 1 との間の距離 d_{34} をそれぞれ縮めることによって、給電コイル 2 1（コイル L_1 ）と給電共振器 2 2（コイル L_2 ）との間の結合係数 k_{12} 、給電共振器 2 2（コイル L_2 ）と受電共振器 3 2（コイル L_3 ）との間の結合係数 k_{23} 、受電共振器 3 2（コイル L_3 ）と受電コイル 3 1（コイル L_4 ）との間の結合係数 k_{34} を高めることができる。逆に、給電コイル 2 1 と給電共振器 2 2 との間の距離 d_{12} 、給電共振器 2 2 と受電共振器 3 2 との間の距離 d_{23} 、受電共振器 3 2 と受電コイル 3 1 との間の距離 d_{34} をそれぞれ伸ばすことによって、給電コイル 2 1（コイル L_1 ）と給電共振器 2 2（コイル L_2 ）との間の結合係数 k_{12} 、給電共振器 2 2（コイル L_2 ）と受電共振器 3 2（コイル L_3 ）との間の結合係数 k_{23} 、受電共振器 3 2（コイル L_3 ）と受電コイル 3 1（コイル L_4 ）との間の結合係数 k_{34} を低めることができる。

[0096] 上記結合係数の調整方法、及び、結合係数の変化による入力インピーダンス Z_{in} の変化の測定実験より、給電共振器 2 2 と受電共振器 3 2 との間の距離 d_{23} 、及び、受電共振器 3 2 と受電コイル 3 1 との間の距離 d_{34} を固定した場合、給電コイル 2 1 と給電共振器 2 2 との間の距離 d_{12} を短くすることにより、給電コイル 2 1 と給電共振器 2 2 との間における結合係数 k_{12} の値を大きくし、結合係数 k_{12} の値を大きくすることにより、無線電力伝送装置 1 の入力インピーダンス Z_{in} の値を大きくすることができる。逆に、給電コイル 2 1 と給電共振器 2 2 との間の距離 d_{12} を長くすることにより、給電コイル 2 1 と給電共振器 2 2 との間における結合係数 k_{12} の値を小さくし、結合係数 k_{12} の値を小さくすることにより、無線電力伝送装置 1 の入力インピーダンス Z_{in} の値を小さくすることができる。

[0097] 即ち、給電コイル 2 1 と給電共振器 2 2 との間の距離 d_{12} を短くするこ

とにより、入力インピーダンス Z_{in} の値を大きくし、（式 2）より、入力インピーダンス Z_{in} の値を大きくすることにより、無線電力伝送装置 1 に流れる電流 I_{in} の値を小さくして、無線電力伝送装置 1 から出力される電力を小さく制御することができる。逆に、給電コイル 2 1 と給電共振器 2 2 との間の距離 d_{12} を長くすることにより、入力インピーダンス Z_{in} の値を小さくし、（式 2）より、入力インピーダンス Z_{in} の値を小さくすることにより、無線電力伝送装置 1 に流れる電流 I_{in} の値を大きくして、無線電力伝送装置 1 から出力される電力を大きく制御することができる。

上記特性を利用した無線電力伝送装置 1 の供給電力制御方法によって、給電コイル 2 1 と給電共振器 2 2 との間の距離 d_{12} を物理的に変化させるという簡易な作業によって、無線電力伝送装置 1 の入力インピーダンス Z_{in} の値を調整し、もって、無線電力伝送装置 1 から出力される電力を簡単に制御することができる。

[0098] また、給電コイル 2 1 と給電共振器 2 2 との間の距離 d_{12} 、及び、給電共振器 2 2 と受電共振器 3 2 との間の距離 d_{23} を固定した場合、受電共振器 3 2 と受電コイル 3 1 との間の距離 d_{34} を短くすることにより、受電共振器 3 2 と受電コイル 3 1 との間における結合係数 k_{34} の値を大きくし、結合係数 k_{34} の値を大きくすることにより、無線電力伝送装置 1 の入力インピーダンス Z_{in} の値を小さくすることができる。逆に、受電共振器 3 2 と受電コイル 3 1 との間の距離 d_{34} を長くすることにより、受電共振器 3 2 と受電コイル 3 1 との間における結合係数 k_{34} の値を小さくし、結合係数 k_{34} の値を小さくすることにより、無線電力伝送装置 1 の入力インピーダンス Z_{in} の値を大きくすることができる。

[0099] 即ち、受電共振器 3 2 と受電コイル 3 1 との間の距離 d_{34} を短くすることにより、入力インピーダンス Z_{in} の値を小さくし、（式 2）より、入力インピーダンス Z_{in} の値を小さくすることにより、無線電力伝送装置 1 に流れる電流 I_{in} の値を大きくして、無線電力伝送装置 1 から出力される電力を大きく制御することができる。逆に、受電共振器 3 2 と受電コイル 3 1 との間の距離

d 3 4 を長くすることにより、入力インピーダンス Z_{in} の値を大きくし、（式 2）より、入力インピーダンス Z_{in} の値を大きくすることにより、無線電力伝送装置 1 に流れる電流 I_{in} の値を小さくして、無線電力伝送装置 1 から出力される電力を小さく制御することができる。

上記特性を利用した無線電力伝送装置 1 の供給電力制御方法によって、受電共振器 3 2 と受電コイル 3 1 との間の距離 d 3 4 を物理的に変化させるという簡易な作業によって、無線電力伝送装置 1 の入力インピーダンス Z_{in} の値を調整し、もって、無線電力伝送装置 1 から出力される電力を簡単に制御することができる。

[0100] なお、上記では、無線電力伝送装置 1 の入力インピーダンス Z_{in} を制御するパラメータである結合係数 k_{12} 、 k_{23} 、 k_{34} の調整方法として、給電コイル 2 1 と給電共振器 2 2 との間の距離 d 1 2、及び、受電共振器 3 2 と受電コイル 3 1 との間の距離 d 3 4 をそれぞれ変化させる方法を例示して説明した。しかし、結合係数 k_{12} 、 k_{23} 、 k_{34} の調整方法としては、これに限らず、給電共振器 2 2 の中心軸と受電共振器 3 2 の中心軸をずらす方法や、給電共振器 2 2 のコイル面と受電共振器 3 2 のコイル面に角度をつける方法や、給電コイル 2 1 ・給電共振器 2 2 や受電共振器 3 2 ・受電コイル 3 1 などの各素子（抵抗、コンデンサ、コイル）の容量を変化させる方法や、給電モジュール 2 に供給する交流電力の駆動周波数を変える方法などが挙げられる。

[0101] （製造方法）

次に、無線電力伝送装置 1 を製造する一工程である、設計方法（設計工程）について、図 1 2 及び図 1 3 を参照して説明する。本説明では、無線電力伝送装置 1 を搭載する携帯機器としてイヤホンスピーカ部 2 0 1 a を備えた無線式ヘッドセット 2 0 0、及び、充電器 2 0 1 を例にして説明する（図 1 2 参照）。

[0102] 本設計方法で設計される無線電力伝送装置 1 は、図 1 2 に示す無線式ヘッドセット 2 0 0 及び充電器 2 0 1 に、それぞれ受電モジュール 3（受電コイル 3 1 ・受電共振器 3 2）及び給電モジュール 2（給電コイル 2 1 ・給電共

振器 22) として搭載されている。また、図 12 では、説明の都合上、安定回路 7、充電回路 8 及び充電電池 9 を受電モジュール 3 の外に記載しているが、実際は、ソレノイド状の受電コイル 31 及び受電共振器 32 のコイル内周側に配置されている。即ち、無線式ヘッドセット 200 には、受電モジュール 3、安定回路 7、充電回路 8 及び充電電池 9 が搭載されており、充電器 201 には、給電モジュール 2 が搭載されており、給電モジュール 2 の給電コイル 21 に交流電源 6 が接続された状態で使用される。

[0103] (設計方法)

まず、図 13 に示すように、充電電池 9 の容量、及び、充電電池 9 の充電に必要とされる充電電流から、受電モジュール 3 が受電する受電電力量が決まる (S1)。

[0104] 次に、給電モジュール 2 と受電モジュール 3 との間の距離を決定する (S2)。これは、受電モジュール 3 を内蔵した無線式ヘッドセット 200 を、給電モジュール 2 を内蔵した充電器 201 に載置した際の給電共振器 22 と受電共振器 32 との間の距離 d_{23} であり、使用形態としては充電中の状態である。より詳細には、給電共振器 22 と受電共振器 32 との間の距離 d_{23} は、無線式ヘッドセット 200 と充電器 201 の形状・構造を考慮して決定される。

[0105] また、無線式ヘッドセット 200 の大きさ・形状・構造を踏まえて、受電モジュール 3 における受電コイル 31 及び受電共振器 32 のコイル径が決定される (S3)。

[0106] また、充電器 201 の大きさ・形状・構造を踏まえて、給電モジュール 2 における給電コイル 21 及び給電共振器 22 のコイル径が決定される (S4)。

[0107] 上記 S2～S4 の手順を経ることにより、無線電力伝送装置 1 の給電共振器 22 (コイル L_2) と受電共振器 32 (コイル L_3) との間の結合係数 k_{23} と、電力伝送効率が決まることになる。

[0108] 上記 S1 で決定した受電モジュール 3 が受電する受電電力量、及び、S2

～S 4 の手順を経て決定された電力伝送効率より、給電モジュール 2 に給電する必要最低限の給電電力量が決定される（S 5）。

[0109] そして、上記受電モジュール 3 が受電する受電電力量、電力伝送効率、及び、給電モジュール 2 に給電する必要最低限の給電電力量を踏まえて、無線電力伝送装置 1 における入力インピーダンス Z_{in} の設計値が決まる（S 6）。

[0110] そして、S 6 で決定された入力インピーダンス Z_{in} の設計値になるように、給電コイル 2 1 と給電共振器 2 2 との間の距離 d_{12} 、及び、受電共振器 3 2 と受電コイル 3 1 との間の距離 d_{34} が決められる（S 7）。具体的には、給電共振器 2 2 と受電共振器 3 2 との間の距離 d_{23} 、及び、受電共振器 3 2 と受電コイル 3 1 との間の距離 d_{34} を固定した場合、給電コイル 2 1 と給電共振器 2 2 との間の距離 d_{12} を短くすることにより、無線電力伝送装置 1 の入力インピーダンス Z_{in} の値が大きくなる特性に基づき調整をしたり、給電コイル 2 1 と給電共振器 2 2 との間の距離 d_{12} 、及び、給電共振器 2 2 と受電共振器 3 2 との間の距離 d_{23} を固定した場合、受電共振器 3 2 と受電コイル 3 1 との間の距離 d_{34} を短くすることにより、無線電力伝送装置 1 の入力インピーダンス Z_{in} の値が小さくなる特性に基づき調整をしたりすることにより、S 6 で決定された入力インピーダンス Z_{in} の設計値になるような、給電コイル 2 1 と給電共振器 2 2 との間の距離 d_{12} 、及び、受電共振器 3 2 と受電コイル 3 1 との間の距離 d_{34} が決定される。

[0111] 上記設計方法を含む無線電力伝送装置 1 の製造方法、及び、上記設計工程を経て製造された無線電力伝送装置 1 によれば、無線電力伝送装置 1 の入力インピーダンス Z_{in} の値を設定することによる、無線電力伝送を行う際に供給する電力の調整を、新たな機器を設けずにできる無線電力伝送装置 1 を製造することができる。即ち、無線電力伝送装置 1 の部品点数を増やさずに、給電する電力の制御が可能な無線電力伝送装置 1 を製造することができる。

[0112] （その他の実施形態）

上記製造方法の説明では、無線式ヘッドセット 200 を例示して説明したが、充電電池を備えた機器であれば、タブレット型 PC、デジタルカメラ、携

帯電話、イヤホン型音楽プレイヤー、補聴器、集音器などにも使用することができる。

[0113] また、上記説明では、給電モジュール 2 及び受電モジュール 3 が備える共振器（コイル）間の共振現象（磁界共鳴状態）を利用して磁場を結合させることにより電力伝送を行う無線電力伝送装置 1 を例示して説明したが、コイル間の電磁誘導を利用して電力伝送を行う無線電力伝送装置 1 においても適用可能である。

[0114] また、上記説明では、無線電力伝送装置 1 を携帯型の電子機器に搭載した場合を想定して説明したが、用途はこれら小型なものに限らず、必要電力量に合わせて仕様を変更することにより、例えば、比較的大型な電気自動車（EV）における無線充電システムや、より小型な医療用の無線式胃カメラなどにも搭載することができる。

[0115] 以上の詳細な説明では、本発明をより容易に理解できるように、特徴的部分を中心に説明したが、本発明は、以上の詳細な説明に記載する実施形態・実施例に限定されず、その他の実施形態・実施例にも適用することができ、その適用範囲は可能な限り広く解釈されるべきである。また、本明細書において用いた用語及び語法は、本発明を的確に説明するために用いたものであり、本発明の解釈を制限するために用いたものではない。また、当業者であれば、本明細書に記載された発明の概念から、本発明の概念に含まれる他の構成、システム、方法等を推考することは容易であると思われる。従って、請求の範囲の記載は、本発明の技術的思想を逸脱しない範囲で均等な構成を含むものであるとみなされるべきである。また、本発明の目的及び本発明の効果を十分に理解するために、すでに開示されている文献等を十分に参酌することが望まれる。

符号の説明

- [0116]
- 1 無線電力伝送装置
 - 2 給電モジュール
 - 3 受電モジュール

- 6 交流電源
- 7 安定回路
- 8 充電回路
- 9 充電池
- 2 1 給電コイル
- 2 2 給電共振器
- 3 1 受電コイル
- 3 2 受電共振器
- 2 0 0 無線式ヘッドセット
- 2 0 1 充電器

請求の範囲

[請求項1] 給電コイル及び給電共振器の少なくとも1つを備えた給電モジュールから、受電共振器及び受電コイルの少なくとも1つを備えた受電モジュールに対して磁界を変化させて電力を供給する無線電力伝送装置の供給電力制御方法であって、

前記給電コイル、給電共振器、受電共振器、及び、受電コイルはそれぞれ少なくとも1つのコイルを有し、

隣接する前記コイル間における結合係数の値をそれぞれ調整することにより、当該無線電力伝送装置の入力インピーダンスの値を設定して前記供給する電力を調整することを特徴とする無線電力伝送装置の供給電力制御方法。

[請求項2] 少なくとも給電コイル及び給電共振器を備えた給電モジュールから、少なくとも受電共振器及び受電コイルを備えた受電モジュールに対して共振現象によって電力を供給する無線電力伝送装置の供給電力制御方法であって、

前記給電コイルと前記給電共振器との間における結合係数 k_{12} 、前記給電共振器と前記受電共振器との間における結合係数 k_{23} 、及び、前記受電共振器と前記受電コイルとの間における結合係数 k_{34} の値の少なくとも1つを調整することにより、当該無線電力伝送装置の入力インピーダンスの値を設定して前記供給する電力を調整することを特徴とする請求項1に記載の無線電力伝送装置の供給電力制御方法。

[請求項3] 前記各結合係数 k_{12} 、 k_{23} 、 k_{34} の値は、それぞれ前記給電コイルと前記給電共振器との間の距離、前記給電共振器と前記受電共振器との間の距離、及び、前記受電共振器と前記受電コイルとの間の距離の少なくとも1つを変化させることにより調整されることを特徴とする請求項2に記載の無線電力伝送装置の供給電力制御方法。

[請求項4] 前記給電共振器と前記受電共振器との間の距離、及び、前記受電共振器と前記受電コイルとの間の距離を固定した場合、

前記共振現象によって供給される電力は、

前記給電コイルと前記給電共振器との間の距離を短くするにつれて、前記給電コイルと前記給電共振器との間における前記結合係数 k_{12} の値が大きくなり、前記結合係数 k_{12} の値が大きくなるにつれて、前記無線電力伝送装置の入力インピーダンスの値が大きくなる特性に基づいて調整されることを特徴とする請求項 3 に記載の無線電力伝送装置の供給電力制御方法。

[請求項5] 前記給電コイルと前記給電共振器との間の距離、及び、前記給電共振器と前記受電共振器との間の距離を固定した場合、

前記共振現象によって供給される電力は、

前記受電共振器と前記受電コイルとの間の距離を短くするにつれて、前記受電共振器と前記受電コイルとの間における前記結合係数 k_{34} の値が大きくなり、前記結合係数 k_{34} の値が大きくなるにつれて、前記無線電力伝送装置の入力インピーダンスの値が小さくなる特性に基づいて調整されることを特徴とする請求項 3 に記載の無線電力伝送装置の供給電力制御方法。

[請求項6] 前記給電モジュールに供給する電力の駆動周波数に対する伝送特性の値が、前記給電モジュール及び受電モジュールにおける共振周波数よりも低い駆動周波数帯域及び前記共振周波数よりも高い駆動周波数帯域にそれぞれピークを有するように設定し、

前記給電モジュールに供給する電力の前記駆動周波数は、前記共振周波数よりも低い駆動周波数帯域に現れる伝送特性のピーク値に対応する帯域であることを特徴とする請求項 2～5 の何れかに記載の無線電力伝送装置の供給電力制御方法。

[請求項7] 前記給電モジュールに供給する電力の駆動周波数に対する伝送特性の値が、前記給電モジュール及び受電モジュールにおける共振周波数よりも低い駆動周波数帯域及び前記共振周波数よりも高い駆動周波数帯域にそれぞれピークを有するように設定し、

前記給電モジュールに供給する電力の前記駆動周波数は、前記共振周波数よりも高い駆動周波数帯域に現れる伝送特性のピーク値に対応する帯域であることを特徴とする請求項 2～5 の何れかに記載の無線電力伝送装置の供給電力制御方法。

[請求項8] 請求項 1～5 のいずれかに記載の供給電力制御方法により調整されたことを特徴とする無線電力伝送装置。

[請求項9] 請求項 6 に記載の供給電力制御方法により調整されたことを特徴とする無線電力伝送装置。

[請求項10] 請求項 7 に記載の供給電力制御方法により調整されたことを特徴とする無線電力伝送装置。

[請求項11] 給電コイル及び給電共振器の少なくとも 1 つを備えた給電モジュールから、受電共振器及び受電コイルの少なくとも 1 つを備えた受電モジュールに対して磁界を変化させて電力を供給する無線電力伝送装置の製造方法であって、

前記給電コイル、給電共振器、受電共振器、及び、受電コイルには、それぞれ少なくとも 1 つのコイルを設け、

隣接する前記コイル間における結合係数の値をそれぞれ調整することにより、当該無線電力伝送装置の入力インピーダンスの値を設定して供給する電力を調整する設計工程を含むことを特徴とする無線電力伝送装置の製造方法。