

明 細 書

発明の名称：無線電力伝送装置及びその製造方法

技術分野

[0001] 本発明は、給電モジュールから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、及び、その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。この電子機器に搭載された充電電池への充電作業を簡易にするために、充電器に搭載された給電モジュールと電子機器に搭載された受電モジュール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）、給電モジュール及び受電モジュールが備える共振器（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] また、充電電池（例えば、リチウムイオン二次電池など）を充電する方式に関しては、定電流定電圧充電方式が知られている。そして、上記無線による電力伝送を行う無線電力伝送装置によって、リチウムイオン二次電池を定電流定電圧充電方式によって充電する場合、定電流充電（ＣＣ）から定電圧充電（ＣＶ）に移行したときに、充電電池に供給される電流値が減衰し、充電電池を含めた被給電機器（充電電池、安定回路、充電回路などが含まれる）の負荷

インピーダンスの値が上がることになる（負荷変動）。

[0005] そうすると、被給電機器を含めた無線電力伝送装置全体の入力インピーダンスも変動することになるが、仮に、被給電機器の負荷インピーダンスの値の上昇に応じて、被給電機器を含めた無線電力伝送装置全体の入力インピーダンスを上昇させることが実現できれば、被給電機器の負荷インピーダンスの上昇に合わせて、被給電機器を含めた無線電力伝送装置の入力電流を小さくすることができ、被給電機器を含めた無線電力伝送装置での消費電力を低減させることが可能となる。

[0006] この点、被給電機器の負荷インピーダンスの値の上昇に応じて、被給電機器を含めた無線電力伝送装置全体の入力インピーダンスを上昇させるために、別個にインピーダンス整合器を設けることが考えられる。

先行技術文献

特許文献

[0007] 特許文献1：特許第4 6 2 4 7 6 8 号公報

特許文献2：特開2 0 1 3 - 2 3 9 6 9 2 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、無線電力伝送装置に新たな機器を追加せずに、被給電機器の負荷インピーダンスの値の上昇に応じて、被給電機器を含めた無線電力伝送装置全体の入力インピーダンスを上昇させることが望ましい。

[0010] そこで、本発明の目的は、新たな機器を追加せずに、被給電機器の負荷が変動したときに、被給電機器の負荷の変動傾向に合わせて、被給電機器を含む無線電力伝送装置全体の入力インピーダンスの値を変動させることができるようにした無線電力伝送装置及びそ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、少なくとも給電共振器を備えた給電モジュールから、負荷変動する被給電機器が接続された、少なくとも受電共振器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であって、

前記給電共振器及び前記受電共振器における、電力の電源周波数に対する伝送特性の値が、二つのピーク帯域を有し、前記給電モジュールに供給する電力の電源周波数を、前記伝送特性の二つのピーク帯域の何れかに対応する電源周波数帯域に設定し、

前記被給電機器における負荷変動範囲の最高値において、少なくとも前記電力の電源周波数に対する前記被給電機器を含む前記無線電力伝送装置の入力インピーダンスの値が、二つのピーク帯域を有するように設定したことを特徴としている。

[0012] 上記構成によれば、被給電機器の負荷が変動したときに、被給電機器の負荷の変動傾向に合わせて、被給電機器を含む無線電力伝送装置全体の入力インピーダンスの値を変動させることができる。例えば、被給電機器の負荷が上昇した場合、被給電機器を含む無線電力伝送装置全体の入力インピーダンスの値を上昇させることができる。これにより、被給電機器の負荷が上昇した場合、被給電機器を含めた無線電力伝送装置の入力電流を小さくすることができ、被給電機器の負荷が上昇した際における消費電力を低減させることができる。

[0013] 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において、

前記給電モジュール及び前記受電モジュールを構成する複数の回路素子の各素子値をパラメータとして、当該パラメータをそれぞれ変えることにより、前記給電共振器及び前記受電共振器における、電力の電源周波数に対する伝送特性の値が、二つのピーク帯域を有し、且つ、前記電力の電源周波数に対する前記被給電機器を含む前記無線電力伝送装置の入力インピーダンスの

値が、二つのピーク帯域を有するように設定したことを特徴としている。

[0014] 上記構成によれば、給電モジュール及び受電モジュールを構成する複数の回路素子の各素子値を相互に調整することにより、給電共振器及び受電共振器における、電力の電源周波数に対する伝送特性の値を二つのピーク帯域を有し、且つ、無線電力伝送装置の入力インピーダンスの値が、二つのピーク帯域を有するように設定することができる。

[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において、

前記給電モジュール、及び、前記受電モジュールが有するコイル間における結合係数の値を調整することにより、前記給電共振器及び前記受電共振器における、電力の電源周波数に対する伝送特性の値が、二つのピーク帯域を有し、且つ、前記電力の電源周波数に対する前記被給電機器を含む前記無線電力伝送装置の入力インピーダンスの値が、二つのピーク帯域を有するように設定したことを特徴としている。

[0016] 上記構成によれば、給電モジュール、及び、受電モジュールが有するコイル間における結合係数の値を変えることにより、給電共振器及び受電共振器における、電力の電源周波数に対する伝送特性の値を二つのピーク帯域を有し、且つ、電力の電源周波数に対する無線電力伝送装置の入力インピーダンスの値が二つのピーク帯域を有するように設定することができる。

[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において、前記給電モジュール、及び、前記受電モジュールが有するコイル間における結合係数の値は、前記コイル間の距離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。

[0018] 上記構成によれば、給電モジュール、及び、受電モジュールが有するコイル間における結合係数の値を、コイル間の距離を変化させることにより調整することができる。これにより、コイル間の距離を物理的に変化させるという簡易な設計によって調整が可能となる。

[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に

において、前記給電モジュールに供給する電力の電源周波数を、前記伝送特性の二つのピーク帯域のうち高周波側に形成されるピーク帯域に対応する周波数帯域に設定したことを特徴としている。

[0020] 上記構成によれば、給電モジュールに供給する電力の電源周波数を、伝送特性の二つのピーク帯域のうち高周波側に形成されるピーク帯域に対応する周波数帯域に設定することにより、給電共振器と受電共振器との間に、付近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可能となる。

[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において、前記給電モジュールに供給する電力の電源周波数を、前記伝送特性の二つのピーク帯域のうち低周波側に形成されるピーク帯域に対応する周波数帯域に設定したことを特徴としている。

[0022] 上記構成によれば、給電モジュールに供給する電力の電源周波数を、伝送特性の二つのピーク帯域のうち低周波側に形成されるピーク帯域に対応する周波数帯域に設定することにより、給電共振器及び受電共振器の外側に、付近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可能となる。

[0023] また、上記課題を解決するための発明の一つは、少なくとも給電共振器を備えた給電モジュールから、負荷変動する被給電機器が接続された、少なくとも受電共振器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、

前記給電共振器及び前記受電共振器における、電力の電源周波数に対する伝送特性の値が、二つのピーク帯域を有するように設定する工程と、

前記被給電機器における負荷変動範囲の最高値において、少なくとも前記電力の電源周波数に対する前記被給電機器を含む前記無線電力伝送装置の入力インピーダンスの値が、二つのピーク帯域を有するように設定する工程と、を含むことを特徴としている。

[0024] 上記方法により製造された無線電力伝送装置によれば、被給電機器の負荷

が変動したときに、被給電機器の負荷の変動傾向に合わせて、被給電機器を含む無線電力伝送装置全体の入力インピーダンスの値を変動させることができる。例えば、被給電機器の負荷が上昇した場合、被給電機器を含む無線電力伝送装置全体の入力インピーダンスの値を上昇させることができる。これにより、被給電機器の負荷が上昇した場合、被給電機器を含めた無線電力伝送装置の入力電流を小さくすることができ、被給電機器の負荷が上昇した際における消費電力を低減させることができる。

発明の効果

[0025] 新たな機器を追加せずに、被給電機器の負荷が変動したときに、被給電機器の負荷の変動傾向に合わせて、被給電機器を含む無線電力伝送装置全体の入力インピーダンスの値を変動させることができるようにした無線電力伝送装置及びその製造方法を提供することができる。

図面の簡単な説明

[0026] [図1]本実施形態に係る無線電力伝送装置を搭載した充電器及び無線式ヘッドセットの説明図である。

[図2]無線電力伝送装置の概略説明図である。

[図3]無線電力伝送装置の等価回路の説明図である。

[図4]共振器間の伝送特性『S 2 1』が二つのピークを有するときの説明図である。

[図5]ネットワークアナライザに接続した無線電力伝送装置の説明図である。

[図6]逆相共振モードにおける磁界ベクトル図である。

[図7]同相共振モードにおける磁界ベクトル図である。

[図8A]リチウムイオン二次電池の充電特性を示すグラフである。

[図8B]リチウムイオン二次電池の充電特性を示すグラフである。

[図9]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10A]実施例1に係る測定結果を示すものであり、S 2 1 測定結果のグラフである。

[図10B]実施例1に係る測定結果を示すものであり、電源周波数に対する入力インピーダンスのグラフである。

[図10C]実施例1に係る測定結果を示すものであり、終端負荷の傾向を示す説明図である。

[図11A]実施例2に係る測定結果を示すものであり、S 2 1 測定結果のグラフである。

[図11B]実施例2に係る測定結果を示すものであり、電源周波数に対する入力インピーダンスのグラフである。

[図11C]実施例2に係る測定結果を示すものであり、終端負荷の傾向を示す説明図である。

[図12A]実施例3に係る測定結果を示すものであり、S 2 1 測定結果のグラフである。

[図12B]実施例3に係る測定結果を示すものであり、電源周波数に対する入力インピーダンスのグラフである。

[図12C]実施例3に係る測定結果を示すものであり、終端負荷の傾向を示す説明図である。

[図13A]実施例4に係る測定結果を示すものであり、S 2 1 測定結果のグラフである。

[図13B]実施例4に係る測定結果を示すものであり、電源周波数に対する入力インピーダンスのグラフである。

[図13C]実施例4に係る測定結果を示すものであり、終端負荷の傾向を示す説明図である。

[図14A]比較例に係る測定結果を示すものであり、S 2 1 測定結果のグラフである。

[図14B]比較例に係る測定結果を示すものであり、電源周波数に対する入力インピーダンスのグラフである。

[図14C]比較例に係る測定結果を示すものであり、終端負荷の傾向を示す説明図である。

[図15]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

[0027] (実施形態)

以下に本発明に係る無線電力伝送装置、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。

[0028] 本実施形態では、図1に示すように、周辺の磁界強度よりも小さな磁界強度を有する磁界空間G1 (G2)を形成する、給電共振器22を備えた給電モジュール2及び受電共振器32を備えた受電モジュール3を主な構成要素とする無線電力伝送装置1を、給電モジュール2を搭載した充電器101、及び、受電モジュール3を搭載した無線式ヘッドセット102を例に説明する。なお、図1は、充電時における充電器101及び無線式ヘッドセット102の状態を示している。

[0029] (充電器101及び無線式ヘッドセット102の構成)

充電器101は、図1に示すように、給電コイル21及び給電共振器22を有した給電モジュール2を備えている。また、無線式ヘッドセット102は、イヤホンスピーカ部102a、受電コイル31及び受電共振器32を有した受電モジュール3を備えている。そして、給電モジュール2の給電コイル21には、給電モジュール2に供給する電力の電源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が接続されている。また、受電モジュール3の受電コイル31には、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を介してリチウムイオン二次電池9が接続されている。そして、安定回路7、充電回路8及びリチウムイオン二次電池9は、受電共振器32の内周側に位置するように配置されている（なお、図面では、説明の都合上、安定回路7、充電回路8及びリチウムイオン二次電池9を受電共振器32の外に図示している）。詳細は後述するが、これら安定回路7、充電回路8及びリチウムイオン二次電池9が配置された、受電共振器32の内周側には、充電時に、周辺の磁界強度よりも小さな磁界強度を

有する磁界空間 G_1 が形成される。なお、本実施形態における安定回路 7、充電回路 8、及び、リチウムイオン二次電池 9 は、図 1 及び図 2 に示すように、最終的な電力の給電先となる被給電機器 10 であり、被給電機器 10 は、受電モジュール 3 に接続された電力の給電先の機器全体の総称である。

[0030] また、図示しないが、充電器 101 には、無線式ヘッドセット 102 を収納するための、無線式ヘッドセット 102 の形状に即した収納溝が設けられており、この充電器 101 の収納溝に無線式ヘッドセット 102 を収納することにより、充電器 101 が備える給電モジュール 2 と無線式ヘッドセット 102 が備える受電モジュール 3 とが対向配置されるように無線式ヘッドセット 102 を位置決めすることができるようになっている。

[0031] 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 、及び、コイル L_1 を要素とする RL 回路を構成している。なお、コイル L_1 部分には、ソレノイドコイルを使用している。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 としており、本実施形態では、給電コイル 21 を構成する抵抗器 R_1 、及び、コイル L_1 を要素とする RL 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。また、給電コイル 21 に流れる電流を I_1 とする。なお、電流 I_1 は、無線電力伝送装置 1 に入力される入力電流 I_{in} と同義である。また、本実施形態では、給電コイル 21 に RL 回路を例に挙げて説明しているが、 RLC 回路の構成としてもよい。

[0032] 受電コイル 31 は、給電共振器 22 から受電共振器 32 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 を介してリチウムイオン二次電池 9 に供給する役割を果たす。この受電コイル 31 は、給電コイル 21 同様に、図 3 に示すように、抵抗器 R_4 、及び、コイル L_4 を要素とする RL 回路を構成している。なお、コイル L_4 部分には、ソレノイドコイルを使用している。また、受電コイル 31 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 としており、本実施形態では、受電コ

イル31を構成する抵抗器 R_4 、及び、コイル L_4 を要素とするRL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、受電コイル31に接続された被給電機器10（安定回路7、充電回路8及びリチウムイオン二次電池9）の合計の負荷インピーダンスを Z_L とする。また、受電コイル31に流れる電流を I_4 とする。なお、被給電機器10の合計の負荷インピーダンスを Z_L としているが、便宜的に R_L と置き換えてもよい。また、本実施形態では、受電コイル31にRL回路を例に挙げて説明しているが、RLC回路の構成としてもよい。

[0033] 給電共振器22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RLC回路を構成している。また、受電共振器32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RLC回路を構成している。そして、給電共振器22及び受電共振器32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帯域において共振することをいう。また、給電共振器22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22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RLC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32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32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RLC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。また、給電共振器22に流れる電流を I_2 とし、受電共振器32に流れる電流を I_3 とする。

[0034] また、給電共振器22、及び、受電共振器32における共振回路としてのRLC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_0 が共振周波数となる。

[数1]

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

・・・ (式1)

[0035] また、給電共振器22及び受電共振器32には、ソレノイドコイルを使用している。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一致させている。なお、給電共振器22及び受電共振器32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。

[0036] また、給電コイル21と給電共振器22との間の距離を d_{12} とし、給電共振器22と受電共振器32との間の距離を d_{23} とし、受電共振器32と受電コイル31との間の距離を d_{34} としている（図2及び図3参照）。

[0037] また、図3に示すように、給電コイル21のコイル L_1 と給電共振器22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22のコイル L_2 と受電共振器32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32のコイル L_3 と受電コイル31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} と表記している。

[0038] なお、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及びリチウムイオン二次電池9含む）の回路図を示すと図2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り、無線電力伝送装置1に印加する電圧を電圧 V_{in} 、無線電力伝送装置1に入力する電流を I_{in} としている。

[0039] 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]

$$I_{in} = \frac{V_{in}}{Z_{in}}$$

・・・ (式2)

[0040] また、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)

[0041] 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]

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

・・・ (式4)

[0042] 次に、(式3)に(式4)を導入すると、(式5)のようになる。

[数5]

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

・・・ (式5)

[0043] ここで、給電コイル21のRL回路の R_1 、 L_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RL回路の R_4 、 L_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機能する。

[0044] 上記無線電力伝送装置1によれば、給電共振器22の共振周波数と受電共振器32の共振周波数とを一致させた場合、給電共振器22と受電共振器32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22及び受電共振器32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22から受電共振器32に電力を磁界エネルギーとして伝送することができる。

そして、受電共振器 3 2 で受電された電力が受電コイル 3 1、安定回路 7 及び充電回路 8 を介してリチウムイオン二次電池 9 に給電されて充電される。

[0045] (磁界空間の形成)

本実施形態の無線電力伝送装置 1 では、給電モジュール 2 及び受電モジュール 3 の内部・周辺に発生する磁界の強度を抑制するために、磁界強度を弱めた磁界空間 G 1 又は磁界空間 G 2 を形成する。具体的には、図 1 ～図 5 に示すように、給電モジュール 2 の給電共振器 2 2 から受電モジュール 3 の受電共振器 3 2 に共振現象を利用した電力供給をする際に、給電共振器 2 2 及び受電共振器 3 2 の近辺に、周辺の磁界強度よりも小さな磁界強度を有する磁界空間 G 1 又は磁界空間 G 2 を形成する。

[0046] 磁界空間 G 1 ・ G 2 を形成するためには、給電共振器 2 2 及び受電共振器 3 2 における、電源周波数に対する伝送特性『S 2 1』を示すグラフが、二つのピーク帯域を有するように設定し、給電モジュールに供給する電力の電源周波数を、二つのピーク帯域の何れかに対応する電源周波数に設定することにより実現する。本実施形態では、図 1 ～図 5 に示すように、給電共振器 2 2 と受電共振器 3 2 との間に磁界空間 G 1 を形成するために、電源周波数を、二つのピーク帯域のうち高周波側に形成されるピーク帯域に対応する電源周波数に設定する。なお、給電共振器 2 2 及び受電共振器 3 2 の外側に、磁界空間 G 2 を形成したい場合は（図 5 参照）、電源周波数を、二つのピーク帯域のうち低周波側に形成されるピーク帯域に対応する電源周波数に設定する。

[0047] ここで、伝送特性『S 2 1』とは、無線電力伝送装置 1（給電モジュール 2 及び受電モジュール 3）をネットワークアナライザ 1 1 0（例えば、アジレント・テクノロジー株式会社製の E 5 0 6 1 B など、図 5 参照）に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。また、電力伝送効率とは、ネットワークアナライザ 1 1 0 に無線電力伝送装置 1 を接続した状態で、出力端子 1 1 1 から給電モジュール 2 に供給される電力に対する入力端子 1 1 2 に出力される

電力の比率のことをいう。

[0048] 具体的には、図5に示すように、ネットワークアナライザ110を使用して、給電共振器22及び受電共振器32における、電源周波数に対する伝送特性『S21』を、給電共振器22に供給する交流電力の電源周波数を変えながら解析する。この際、図4のグラフに示すように、横軸を出力端子111から出力される交流電力の電源周波数とし、縦軸を伝送特性『S21』として解析する。ここで、給電共振器22及び受電共振器32における伝送特性『S21』を測定するにあたり、給電コイル21と給電共振器22との間の結合が強いと、給電共振器22と受電共振器32との間の結合状態に影響を与えてしまい、給電共振器22及び受電共振器32における伝送特性『S21』の正確な測定ができないため、給電コイル21と給電共振器22との間の距離d12は、給電共振器22が十分に励振でき、給電共振器22による磁界を生成させ、かつ、給電コイル21と給電共振器22とができるだけ結合しない距離に保持する必要がある。また、同様の理由で受電共振器32と受電コイル31との間の距離d34も、受電共振器32が十分に励振でき、受電共振器32による磁界を生成させ、かつ、受電共振器32と受電コイル31とができるだけ結合しない距離に保持する必要がある。そして、解析された給電共振器22及び受電共振器32における伝送特性『S21』の解析波形が、図4に示すように、低周波数側に形成されるピーク帯域($f(\text{Low P})$)と高周波数側に形成されるピーク帯域($f(\text{High P})$)との二つのピーク帯域を有するように設定される(実線150参照)。

[0049] なお、上記のように給電共振器22及び受電共振器32における伝送特性『S21』の解析波形が、低周波側と高周波側とにピークが分離して二つのピーク帯域を有するには、給電共振器22と受電共振器32との間の距離d23を調整したり、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 における抵抗値、インダクタンス、コンデンサ容量、結合係数 k_{23} などの給電共振器22及び受電共振器32を構成する変更可能なパラメータを調整したりすることにより実現される。

[0050] そして、給電共振器 2 2 及び受電共振器 3 2 における伝送特性『S 2 1』の解析波形が、二つのピーク帯域を有する場合に、高周波数側に形成されるピーク帯域 ($f(\text{High P})$) に、供給する交流電力の電源周波数を設定した場合、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、図 6 に示すように、給電共振器 2 2 に流れる電流の向き (2 2 A) と受電共振器 3 2 に流れる電流の向き (3 2 A) とが逆向きになる。その結果、図 6 の磁界ベクトル図に示すように、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 G 1 を形成することができる。ここで、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となる共振状態を逆相共振モードと呼ぶことにする。

[0051] 一方、給電共振器 2 2 及び受電共振器 3 2 における伝送特性『S 2 1』の解析波形が、二つのピーク帯域を有する場合に、低周波数側に形成されるピーク帯域 ($f(\text{Low P})$) に、供給する交流電力の電源周波数を設定した場合、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、図 7 に示すように、給電共振器 2 2 に流れる電流の向き (2 2 A) と受電共振器 3 2 に流れる電流の向き (3 2 A) とが同じ向きになる。その結果、図 7 の磁界ベクトル図に示すように、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 G 2 を形成することができる。ここで、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となる共振状態を同相共振モードと呼ぶことにする。

[0052] (被給電機器の負荷変動に伴う無線電力伝送装置の負荷変動)

ここでは、リチウムイオン二次電池を例に、リチウムイオン二次電池の負荷変動に伴う無線電力伝送装置 1 の負荷変動がどのような影響を与えるかを簡単に説明する。

[0053] 本実施形態では、電力が給電される被給電機器 10 の一つとしてリチウムイオン二次電池 9 を使用している。そして、一般的に、リチウムイオン二次電池 9 を充電するには、定電流定電圧充電方式が使用されている。この定電流定電圧充電方式によるリチウムイオン二次電池 9 の充電では、図 8 A のリチウムイオン二次電池の充電特性に示すように、充電を開始してからしばらくの間は定電流による充電が行われる (CC : コンスタントカレント)。そして、定電流による充電が行われている間に電圧 (V_{ch}) が、所定の上限電圧 (本実施形態では、4.2 V) まで上昇する。電圧が上限電圧まで上昇すると、その上限電圧に保持されたまま定電圧による充電が行われる (CV : コンスタントボルテージ)。定電圧による充電が行われると、電流値 (I_{ch}) が減衰していき、所定の電流値、又は、所定時間経過後に充電完了となる。

[0054] そして、無線電力伝送装置 1 によって、リチウムイオン二次電池 9 を上記定電流定電圧充電方式によって充電する場合、定電流による充電 (CC) から定電圧による充電 (CV) に移行したときに、図 8 B の被給電機器 10 を構成する安定回路 7、充電回路 8 及びリチウムイオン二次電池 9 に係る負荷インピーダンス Z_L の負荷変動特性に示すように、被給電機器 10 を構成する安定回路 7、充電回路 8 及びリチウムイオン二次電池 9 に供給される電流値 (I_{in}) が減衰することによって、定電圧充電 (CV) においては、負荷インピーダンス Z_L の値は上がることになる。即ち、本実施形態における被給電機器 10 (安定回路 7、充電回路 8、リチウムイオン二次電池 9) 全体としての負荷インピーダンス Z_L の値は上がることになる (負荷変動)。

[0055] そして、被給電機器 10 の負荷インピーダンス Z_L の値の上昇に伴い、被給電機器 10 を含めた無線電力伝送装置 1 全体の入力インピーダンス Z_{in} も変動することになる。ここで、被給電機器 10 の負荷インピーダンス Z_L の値の上

昇に応じて、被給電機器 10 を含めた無線電力伝送装置 1 全体の入力インピーダンス Z_{in} が下降してしまうと、一定電圧の下では、被給電機器 10 の負荷インピーダンスの上昇に合わせて、被給電機器 10 を含めた無線電力伝送装置 1 の入力電流が大きくなってしまい、被給電機器 10 を含めた無線電力伝送装置 1 での消費電力が増大してしまう。

[0056] 一方、被給電機器 10 の負荷インピーダンス Z_L の値の上昇に応じて、被給電機器 10 を含めた無線電力伝送装置 1 全体の入力インピーダンス Z_{in} を上昇させることができれば、一定電圧の下で、被給電機器 10 の負荷インピーダンスの上昇に合わせて、被給電機器 10 を含めた無線電力伝送装置 1 の入力電流を小さくすることができ、被給電機器 10 を含めた無線電力伝送装置 1 での消費電力を低減させることが可能となる。例えば、充電の際（特にコンスタントボルテージに移行後）に消費される電力量を低減することができる。

[0057] 即ち、被給電機器 10 の負荷インピーダンス Z_L の値の上昇に応じて、被給電機器 10 を含めた無線電力伝送装置 1 全体の入力インピーダンス Z_{in} を上昇させることができれば、被給電機器 10 の負荷変動に応じて被給電機器 10 を含めた無線電力伝送装置 1 での消費電力を低減させることができる。例えば、被給電機器 10 にリチウムイオン二次電池 9 が含まれる場合であれば、リチウムイオン二次電池 9 の充電の際に消費される電力量を低減することができる。また、被給電機器 10 に直接電力を消費しながら可動する駆動機器を採用した場合（例えば、二次電池等を介さずに、供給電力で機器を直接駆動させるもの）、駆動機器の負荷が上昇した場合、それに伴い、駆動機器の消費電力を低減させることができる。

[0058] 本実施形態では、被給電機器 10 の負荷インピーダンス Z_L の値の上昇に応じて、被給電機器 10 を含めた無線電力伝送装置 1 全体の入力インピーダンス Z_{in} を上昇させるために、給電共振器 22 及び受電共振器 32 における、電力の電源周波数に対する伝送特性『S21』の値が、二つのピーク帯域を有し、給電モジュール 2 に供給する電力の電源周波数を、伝送特性『S21』

の二つのピーク帯域の何れかに対応する電源周波数帯域に設定し（逆相共振モード、又は、同相共振モードに設定）、被給電機器 10 における負荷変動範囲の最高値において（例えば、負荷が $50\Omega \sim 200\Omega$ で変動するならば、 200Ω が負荷変動範囲の最高値になる）、少なくとも電力の電源周波数に対する被給電機器 10 を含む無線電力伝送装置 1 の入力インピーダンス Z_{in} の値が、二つのピーク帯域を有するように設定している。

[0059] また、本実施形態では、被給電機器 10 における負荷変動範囲の最高値において、少なくとも電力の電源周波数に対する被給電機器 10 を含む無線電力伝送装置 1 の入力インピーダンス Z_{in} の値が、二つのピーク帯域を有するように設定するために、給電モジュール 2 及び受電モジュール 3 を構成する複数の回路素子の各素子値をパラメータとして、当該パラメータをそれぞれ変えることにより実現している。

[0060] 具体的には、給電コイル 21 の RL 回路の R_1 、 L_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 RL 回路の R_4 、 L_4 における抵抗値、インダクタンス、コンデンサ容量、結合係数 k_{12} 、 k_{23} 、 k_{34} などが、設計・製造段階等で変更可能なパラメータとなる。なお、給電コイル 21 及び受電コイル 31 に RLC 回路を使用した場合には、それぞれの RLC 回路のコンデンサ容量も設計・製造段階等で変更可能なパラメータとなる。

[0061] なお、これらのパラメータは、上述した給電共振器 22 及び受電共振器 32 における伝送特性『S21』の解析波形を、低周波側と高周波側とにピークが分離して二つのピーク帯域を有するように設定するパラメータでもある。

[0062] また、給電モジュール、及び、受電モジュールが有するコイル間における結合係数 k_{12} 、 k_{23} 、 k_{34} の値を調整する手法としては、給電コイル 21 と給電共振器 22 との間の距離 d_{12} 、給電共振器 22 と受電共振器 32 との間の距離 d_{23} 、受電共振器 32 と受電コイル 31 との間の距離 d_{34} を変えること、給電コイル 21、給電共振器 22、受電共振器 32、受電コイル 3

1のコイル径を変えること、給電共振器22の中心軸と受電共振器32の中心軸をずらす方法や、給電共振器22のコイル面と受電共振器32のコイル面に角度をつける方法や、給電コイル21・給電共振器22や受電共振器32・受電コイル31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。

[0063] ここで、一般的に、図9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がある。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21と給電共振器22との間の距離 d_{12} 、給電共振器22と受電共振器32との間の距離 d_{23} 、受電共振器32と受電コイル31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21（コイル L_1 ）と給電共振器22（コイル L_2 ）との間の結合係数 k_{12} 、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} 、受電共振器32（コイル L_3 ）と受電コイル31（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21と給電共振器22との間の距離 d_{12} 、給電共振器22と受電共振器32との間の距離 d_{23} 、受電共振器32と受電コイル31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21（コイル L_1 ）と給電共振器22（コイル L_2 ）との間の結合係数 k_{12} 、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} 、受電共振器32（コイル L_3 ）と受電コイル31（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。

[0064] （実施例及び比較例）

次に、給電コイル21と給電共振器22との間の距離 d_{12} 、及び、受電共振器32と受電コイル31との間の距離 d_{34} を変えて、結合係数 k_{12} 、 k_{34} を変化させた場合に、電力の電源周波数に対する、被給電機器10を含めた無線電力伝送装置1全体の入力インピーダンス Z_{in} がどのような値を示すかを

、条件を変えた実施例 1 ～ 4 及び比較例により説明する。

[0065] 実施例 1 ～ 4 及び比較例では、無線電力伝送装置 1 をインピーダンスアナライザ（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、電源周波数に対する被給電機器 1 0 を含めた入力インピーダンス Z_{in} の値を測定する。なお、実施例 1 ～ 4 及び比較例では、被給電機器 1 0（安定回路 7、充電回路 8、及び、リチウムイオン二次電池 9）の代わりに可変抵抗器（ R_L ）を接続して測定する。ここで、可変抵抗器（ R_L ）の値を 50Ω 、 100Ω 、 200Ω の 3 つの値に変えて測定することによって、被給電機器 1 0 の負荷インピーダンス Z_L の値が変動する現象を疑似的に再現している。

[0066] また、実施例 1 ～ 4 及び比較例で使用する無線電力伝送装置 1 は、給電コイル 2 1 は、抵抗器 R_1 、及び、コイル L_1 を要素とする R L 回路であり、コイル L_1 部分は、線径 $1\text{ mm } \phi$ の銅線材（絶縁被膜付）を 1 回巻にして、コイル径 $100\text{ mm } \phi$ に設定している（共振なし）。受電コイル 3 1 は、抵抗器 R_4 、及び、コイル L_4 を要素とする R L 回路であり、コイル L_4 部分は、給電コイル 2 1 同様に、線径 $1\text{ mm } \phi$ の銅線材（絶縁被膜付）を 1 回巻にして、コイル径 $100\text{ mm } \phi$ に設定している（共振なし）。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 R L C 回路であり、コイル L_2 部分は、線径 $1\text{ mm } \phi$ の銅線材（絶縁被膜付）を 2 回巻きにしたコイル径 $100\text{ mm } \phi$ のソレノイドコイルである。受電共振器 3 2 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 R L C 回路であり、コイル L_3 部分は、線径 $1\text{ mm } \phi$ の銅線材（絶縁被膜付）を 2 回巻きにしたコイル径 $100\text{ mm } \phi$ のソレノイドコイルである。そして、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 12.63 MHz である。また、給電共振器 2 2 と受電共振器 3 2 との間の距離 d_{23} を 120 mm として、給電共振器 2 2 及び受電共振器 3 2 における、電力の電源周波数に対する伝送特性『S 2 1』の値が、低周波数側に形成されるピーク帯域（ $f(\text{Low P})$ ）と高周波数側に形成されるピーク帯域（ $f(\text{High P})$ ）との二つのピーク帯域を有す

るように設定している（図10A・図11A・図12A・図13A・図14Aの実線150参照）。なお、給電コイル21と給電共振器22との間の距離 d_{12} 、及び、受電共振器32と受電コイル31との間の距離 d_{34} を測定条件に合わせて調整している。

[0067] （実施例1）

実施例1では、給電コイル21と給電共振器22との間の距離 d_{12} を40mm、受電共振器32と受電コイル31との間の距離 d_{34} を40mmに設定したうえで、可変抵抗器（ R_L ）の値を50 Ω 、100 Ω 、200 Ω の3つの値に変えた場合における、電源周波数に対する可変抵抗（被給電機器10に相当）を含めた無線電力伝送装置1の入力インピーダンス Z_{in} の値を測定した（図10B参照）。また、給電モジュール2に供給する交流電力の電源周波数を、低周波側のピーク帯域（ $f(\text{Low P})$ ）に設定した場合（同相共振モード：12.53MHz）の測定値、共振周波数 f_0 に設定した場合（共振周波数12.63MHz）の測定値、高周波数側のピーク帯域（ $f(\text{High P})$ ）に設定した場合（逆相共振モード：12.73MHz）の測定値を図10Cの表にまとめて示す。なお、実施例1では、図10Aに示すように、給電共振器22及び受電共振器32における、電力の電源周波数に対する伝送特性『S21』の値（実線150）、及び、給電コイル21、給電共振器22及び受電共振器32、受電コイル31における伝送特性『S21』の値（実線151）も測定している。その測定結果を図10Aに示す。

[0068] 図10Bに示すように、電源周波数を共振周波数 f_0 に設定した場合、 R_L を50 Ω にしたときは入力インピーダンス $Z_{in}=25.0\Omega$ であり、 R_L を100 Ω にしたときは入力インピーダンス $Z_{in}=24.4\Omega$ であり、 R_L を200 Ω にしたときは入力インピーダンス $Z_{in}=23.9\Omega$ であり、負荷 R_L の上昇に応じて、無線電力伝送装置1全体の入力インピーダンス Z_{in} が下降していると言える。従って、電源周波数を共振周波数 f_0 に設定した場合は、負荷 R_L の上昇に応じて、被給電機器10を含めた無線電力伝送装置1の入力電流が大きくなってしまい、被給電機器10を含めた無線電力伝送装置1での消費電

力が増大してしまうことが分かる。

- [0069] 一方、電源周波数を低周波側のピーク帯域 ($f(\text{Low P})$) に設定した場合、 R_L を $50\ \Omega$ にしたときは入力インピーダンス $Z_{in} = 40.6\ \Omega$ であり、 R_L を $100\ \Omega$ にしたときは入力インピーダンス $Z_{in} = 41.8\ \Omega$ であり、 R_L を $200\ \Omega$ にしたときは入力インピーダンス $Z_{in} = 43.1\ \Omega$ であり、負荷 R_L の上昇に応じて、無線電力伝送装置 1 全体の入力インピーダンス Z_{in} が上昇していると言える。従って、電源周波数を低周波側のピーク帯域 ($f(\text{Low P})$) に設定した場合は、負荷 R_L の上昇に応じて、被給電機器 10 を含めた無線電力伝送装置 1 の入力電流を小さくすることができ、被給電機器 10 を含めた無線電力伝送装置 1 での消費電力を低減することができることが分かる。
- [0070] また、電源周波数を高周波側のピーク帯域 ($f(\text{High P})$) に設定した場合、 R_L を $50\ \Omega$ にしたときは入力インピーダンス $Z_{in} = 32.7\ \Omega$ であり、 R_L を $100\ \Omega$ にしたときは入力インピーダンス $Z_{in} = 35.6\ \Omega$ であり、 R_L を $200\ \Omega$ にしたときは入力インピーダンス $Z_{in} = 37.3\ \Omega$ であり、負荷 R_L の上昇に応じて、無線電力伝送装置 1 全体の入力インピーダンス Z_{in} が上昇していると言える。従って、電源周波数を高周波側のピーク帯域 ($f(\text{High P})$) に設定した場合は、負荷 R_L の上昇に応じて、被給電機器 10 を含めた無線電力伝送装置 1 の入力電流を小さくすることができ、被給電機器 10 を含めた無線電力伝送装置 1 での消費電力を低減することができることが分かる。
- [0071] また、実施例 1 では、被給電機器 10 における負荷を $50\ \Omega$ 、 $100\ \Omega$ 、 $200\ \Omega$ の 3 つの値に設定し、被給電機器 10 の負荷インピーダンス Z_L の値が $50\ \Omega \sim 200\ \Omega$ の間で負荷変動する現象を疑似的に再現している。そして、この負荷変動の最高値である $200\ \Omega$ において、電源周波数に対する被給電機器 10 を含む無線電力伝送装置 1 の入力インピーダンス Z_{in} の値が、二つのピーク帯域を有している（図 10 B の電源周波数に対する入力インピーダンスの項目の $200\ \Omega$ のグラフ参照）。なお、実施例 1 では、給電コイル 21 と給電共振器 22 との間の距離 d_{12} を $40\ \text{mm}$ 、受電共振器 32 と受電コイル 31 との間の距離 d_{34} を $40\ \text{mm}$ に設定することにより、負荷を

50Ω、及び、100Ωにしたときでも、電源周波数に対する被給電機器10を含む無線電力伝送装置1の入力インピーダンス Z_{in} の値が、二つのピーク帯域を有している（図10B参照）。

[0072] （実施例2）

実施例2では、給電コイル21と給電共振器22との間の距離 d_{12} を30mm、受電共振器32と受電コイル31との間の距離 d_{34} を30mmに設定したうえで、可変抵抗器（ R_L ）の値を50Ω、100Ω、200Ωの3つの値に変えた場合における、電源周波数に対する可変抵抗（被給電機器10に相当）を含めた無線電力伝送装置1の入力インピーダンス Z_{in} の値を測定した（図11B参照）。また、給電モジュール2に供給する交流電力の電源周波数を、低周波側のピーク帯域（ $f(\text{Low P})$ ）に設定した場合（同相共振モード：12.53MHz）の測定値、共振周波数 f_0 に設定した場合（共振周波数12.63MHz）の測定値、高周波数側のピーク帯域（ $f(\text{High P})$ ）に設定した場合（逆相共振モード：12.73MHz）の測定値を図11Cの表にまとめて示す。なお、実施例2では、図11Aに示すように、給電共振器22及び受電共振器32における、電力の電源周波数に対する伝送特性『 S_{21} 』の値（実線150）、及び、給電コイル21、給電共振器22及び受電共振器32、受電コイル31における伝送特性『 S_{21} 』の値（実線152）も測定している。その測定結果を図11Aに示す。

[0073] 図11Bに示すように、電源周波数を共振周波数 f_0 に設定した場合、 R_L を50Ωにしたときは入力インピーダンス $Z_{in}=33.5\Omega$ であり、 R_L を100Ωにしたときは入力インピーダンス $Z_{in}=29.0\Omega$ であり、 R_L を200Ωにしたときは入力インピーダンス $Z_{in}=26.7\Omega$ であり、負荷 R_L の上昇に応じて、無線電力伝送装置1全体の入力インピーダンス Z_{in} が下降していると言える。従って、電源周波数を共振周波数 f_0 に設定した場合は、負荷 R_L の上昇に応じて、被給電機器10を含めた無線電力伝送装置1の入力電流が大きくなってしまい、被給電機器10を含めた無線電力伝送装置1での消費電力が増大してしまうことが分かる。

- [0074] 一方、電源周波数を低周波側のピーク帯域 ($f(\text{Low P})$) に設定した場合、 R_L を $50\ \Omega$ にしたときは入力インピーダンス $Z_{in} = 55.2\ \Omega$ であり、 R_L を $100\ \Omega$ にしたときは入力インピーダンス $Z_{in} = 57.5\ \Omega$ であり、 R_L を $200\ \Omega$ にしたときは入力インピーダンス $Z_{in} = 60.4\ \Omega$ であり、負荷 R_L の上昇に応じて、無線電力伝送装置 1 全体の入力インピーダンス Z_{in} が上昇していると言える。従って、電源周波数を低周波側のピーク帯域 ($f(\text{Low P})$) に設定した場合は、負荷 R_L の上昇に応じて、被給電機器 10 を含めた無線電力伝送装置 1 の入力電流を小さくすることができ、被給電機器 10 を含めた無線電力伝送装置 1 での消費電力を低減することができることが分かる。
- [0075] また、電源周波数を高周波側のピーク帯域 ($f(\text{High P})$) に設定した場合、 R_L を $50\ \Omega$ にしたときは入力インピーダンス $Z_{in} = 40.0\ \Omega$ であり、 R_L を $100\ \Omega$ にしたときは入力インピーダンス $Z_{in} = 47.7\ \Omega$ であり、 R_L を $200\ \Omega$ にしたときは入力インピーダンス $Z_{in} = 52.4\ \Omega$ であり、負荷 R_L の上昇に応じて、無線電力伝送装置 1 全体の入力インピーダンス Z_{in} が上昇していると言える。従って、電源周波数を高周波側のピーク帯域 ($f(\text{High P})$) に設定した場合は、負荷 R_L の上昇に応じて、被給電機器 10 を含めた無線電力伝送装置 1 の入力電流を小さくすることができ、被給電機器 10 を含めた無線電力伝送装置 1 での消費電力を低減することができることが分かる。
- [0076] また、実施例 2 では、被給電機器 10 における負荷を $50\ \Omega$ 、 $100\ \Omega$ 、 $200\ \Omega$ の 3 つの値に設定し、被給電機器 10 の負荷インピーダンス Z_L の値が $50\ \Omega \sim 200\ \Omega$ の間で負荷変動する現象を疑似的に再現している。そして、この負荷変動の最高値である $200\ \Omega$ において、電源周波数に対する被給電機器 10 を含む無線電力伝送装置 1 の入力インピーダンス Z_{in} の値が、二つのピーク帯域を有している (図 11 B の電源周波数に対する入力インピーダンスの項目の $200\ \Omega$ のグラフ参照)。なお、実施例 2 では、給電コイル 21 と給電共振器 22 との間の距離 d_{12} を $30\ \text{mm}$ 、受電共振器 32 と受電コイル 31 との間の距離 d_{34} を $30\ \text{mm}$ に設定することにより、負荷を $50\ \Omega$ 、及び、 $100\ \Omega$ にしたときでも、電源周波数に対する被給電機器 1

0を含む無線電力伝送装置1の入力インピーダンス Z_{in} の値が、二つのピーク帯域を有している（図11B参照）。

[0077] （実施例3）

実施例3では、給電コイル21と給電共振器22との間の距離 d_{12} を20mm、受電共振器32と受電コイル31との間の距離 d_{34} を20mmに設定したうえで、可変抵抗器（ R_L ）の値を50Ω、100Ω、200Ωの3つの値に変えた場合における、電源周波数に対する可変抵抗（被給電機器10に相当）を含めた無線電力伝送装置1の入力インピーダンス Z_{in} の値を測定した（図12B参照）。また、給電モジュール2に供給する交流電力の電源周波数を、低周波側のピーク帯域（ $f(\text{Low P})$ ）に設定した場合（同相共振モード：12.53MHz）の測定値、共振周波数 f_0 に設定した場合（共振周波数12.63MHz）の測定値、高周波数側のピーク帯域（ $f(\text{High P})$ ）に設定した場合（逆相共振モード：12.73MHz）の測定値を図12Cの表にまとめて示す。なお、実施例3では、図12Aに示すように、給電共振器22及び受電共振器32における、電力の電源周波数に対する伝送特性『S21』の値（実線150）、及び、給電コイル21、給電共振器22及び受電共振器32、受電コイル31における伝送特性『S21』の値（実線153）も測定している。その測定結果を図12Aに示す。

[0078] 図12Bに示すように、電源周波数を共振周波数 f_0 に設定した場合、 R_L を50Ωにしたときは入力インピーダンス $Z_{in}=84.8\Omega$ であり、 R_L を100Ωにしたときは入力インピーダンス $Z_{in}=63.0\Omega$ であり、 R_L を200Ωにしたときは入力インピーダンス $Z_{in}=48.5\Omega$ であり、負荷 R_L の上昇に応じて、無線電力伝送装置1全体の入力インピーダンス Z_{in} が下降していると言える。従って、電源周波数を共振周波数 f_0 に設定した場合は、負荷 R_L の上昇に応じて、被給電機器10を含めた無線電力伝送装置1の入力電流が大きくなってしまい、被給電機器10を含めた無線電力伝送装置1での消費電力が増大してしまうことが分かる。

[0079] 一方、電源周波数を低周波側のピーク帯域（ $f(\text{Low P})$ ）に設定した場合、

R_L を $50\ \Omega$ にしたときは入力インピーダンス $Z_{in} = 74.3\ \Omega$ であり、 R_L を $100\ \Omega$ にしたときは入力インピーダンス $Z_{in} = 77.7\ \Omega$ であり、 R_L を $200\ \Omega$ にしたときは入力インピーダンス $Z_{in} = 84.1\ \Omega$ であり、負荷 R_L の上昇に応じて、無線電力伝送装置 1 全体の入力インピーダンス Z_{in} が上昇していると言える。従って、電源周波数を低周波側のピーク帯域 ($f(\text{Low P})$) に設定した場合は、負荷 R_L の上昇に応じて、被給電機器 10 を含めた無線電力伝送装置 1 の入力電流を小さくすることができ、被給電機器 10 を含めた無線電力伝送装置 1 での消費電力を低減することができることが分かる。

[0080] また、電源周波数を高周波側のピーク帯域 ($f(\text{High P})$) に設定した場合、 R_L を $50\ \Omega$ にしたときは入力インピーダンス $Z_{in} = 61.3\ \Omega$ であり、 R_L を $100\ \Omega$ にしたときは入力インピーダンス $Z_{in} = 74.7\ \Omega$ であり、 R_L を $200\ \Omega$ にしたときは入力インピーダンス $Z_{in} = 87.0\ \Omega$ であり、負荷 R_L の上昇に応じて、無線電力伝送装置 1 全体の入力インピーダンス Z_{in} が上昇していると言える。従って、電源周波数を高周波側のピーク帯域 ($f(\text{High P})$) に設定した場合は、負荷 R_L の上昇に応じて、被給電機器 10 を含めた無線電力伝送装置 1 の入力電流を小さくすることができ、被給電機器 10 を含めた無線電力伝送装置 1 での消費電力を低減することができることが分かる。

[0081] また、実施例 3 では、被給電機器 10 における負荷を $50\ \Omega$ 、 $100\ \Omega$ 、 $200\ \Omega$ の 3 つの値に設定し、被給電機器 10 の負荷インピーダンス Z_L の値が $50\ \Omega \sim 200\ \Omega$ の間で負荷変動する現象を疑似的に再現している。そして、この負荷変動の最高値である $200\ \Omega$ において、電源周波数に対する被給電機器 10 を含む無線電力伝送装置 1 の入力インピーダンス Z_{in} の値が、二つのピーク帯域を有している（図 12 B の電源周波数に対する入力インピーダンスの項目の $200\ \Omega$ のグラフ参照）。なお、実施例 3 では、給電コイル 21 と給電共振器 22 との間の距離 d_{12} を $20\ \text{mm}$ 、受電共振器 32 と受電コイル 31 との間の距離 d_{34} を $20\ \text{mm}$ に設定することにより、 $100\ \Omega$ にしたときでも、電源周波数に対する被給電機器 10 を含む無線電力伝送装置 1 の入力インピーダンス Z_{in} の値が、二つのピーク帯域を有している（図

1 2 B 参照)。ただし、負荷を 50Ω にしたときは、電源周波数に対する被給電機器 10 を含む無線電力伝送装置 1 の入力インピーダンス Z_{in} の値は、一つのピーク帯域しか有していない（図 1 2 B 参照）。

[0082] （実施例 4）

実施例 4 では、給電コイル 2 1 と給電共振器 2 2 との間の距離 d_{12} を 10 mm 、受電共振器 3 2 と受電コイル 3 1 との間の距離 d_{34} を 10 mm に設定したうえで、可変抵抗器 (R_L) の値を 50Ω 、 100Ω 、 200Ω の 3 つの値に変えた場合における、電源周波数に対する可変抵抗（被給電機器 10 に相当）を含めた無線電力伝送装置 1 の入力インピーダンス Z_{in} の値を測定した（図 1 3 B 参照）。また、給電モジュール 2 に供給する交流電力の電源周波数を、低周波側のピーク帯域 ($f(\text{Low P})$) に設定した場合（同相共振モード： 12.53 MHz ）の測定値、共振周波数 f_0 に設定した場合（共振周波数 12.63 MHz ）の測定値、高周波数側のピーク帯域 ($f(\text{High P})$) に設定した場合（逆相共振モード： 12.73 MHz ）の測定値を図 1 3 C の表にまとめて示す。なお、実施例 4 では、図 1 3 A に示すように、給電共振器 2 2 及び受電共振器 3 2 における、電力の電源周波数に対する伝送特性『 S_{21} 』の値（実線 1 5 0）、及び、給電コイル 2 1、給電共振器 2 2 及び受電共振器 3 2、受電コイル 3 1 における伝送特性『 S_{21} 』の値（実線 1 5 4）も測定している。その測定結果を図 1 3 A に示す。

[0083] 図 1 3 B に示すように、電源周波数を共振周波数 f_0 に設定した場合、 R_L を 50Ω にしたときは入力インピーダンス $Z_{in} = 267.4 \Omega$ であり、 R_L を 100Ω にしたときは入力インピーダンス $Z_{in} = 203.5 \Omega$ であり、 R_L を 200Ω にしたときは入力インピーダンス $Z_{in} = 149.5 \Omega$ であり、負荷 R_L の上昇に応じて、無線電力伝送装置 1 全体の入力インピーダンス Z_{in} が下降していると言える。従って、電源周波数を共振周波数 f_0 に設定した場合は、負荷 R_L の上昇に応じて、被給電機器 10 を含めた無線電力伝送装置 1 の入力電流が大きくなってしまい、被給電機器 10 を含めた無線電力伝送装置 1 での消費電力が増大してしまうことが分かる。

- [0084] 一方、電源周波数を低周波側のピーク帯域 ($f(\text{Low P})$) に設定した場合、 R_L を $50\ \Omega$ にしたときは入力インピーダンス $Z_{in} = 144.1\ \Omega$ であり、 R_L を $100\ \Omega$ にしたときは入力インピーダンス $Z_{in} = 146.5\ \Omega$ であり、 R_L を $200\ \Omega$ にしたときは入力インピーダンス $Z_{in} = 156.4\ \Omega$ であり、負荷 R_L の上昇に応じて、無線電力伝送装置 1 全体の入力インピーダンス Z_{in} が上昇していると言える。従って、電源周波数を低周波側のピーク帯域 ($f(\text{Low P})$) に設定した場合は、負荷 R_L の上昇に応じて、被給電機器 10 を含めた無線電力伝送装置 1 の入力電流を小さくすることができ、被給電機器 10 を含めた無線電力伝送装置 1 での消費電力を低減することができることが分かる。
- [0085] また、電源周波数を高周波側のピーク帯域 ($f(\text{High P})$) に設定した場合、 R_L を $50\ \Omega$ にしたときは入力インピーダンス $Z_{in} = 170.5\ \Omega$ であり、 R_L を $100\ \Omega$ にしたときは入力インピーダンス $Z_{in} = 172.2\ \Omega$ であり、 R_L を $200\ \Omega$ にしたときは入力インピーダンス $Z_{in} = 181.9\ \Omega$ であり、負荷 R_L の上昇に応じて、無線電力伝送装置 1 全体の入力インピーダンス Z_{in} が上昇していると言える。従って、電源周波数を高周波側のピーク帯域 ($f(\text{High P})$) に設定した場合は、負荷 R_L の上昇に応じて、被給電機器 10 を含めた無線電力伝送装置 1 の入力電流を小さくすることができ、被給電機器 10 を含めた無線電力伝送装置 1 での消費電力を低減することができることが分かる。
- [0086] また、実施例 4 では、被給電機器 10 における負荷を $50\ \Omega$ 、 $100\ \Omega$ 、 $200\ \Omega$ の 3 つの値に設定し、被給電機器 10 の負荷インピーダンス Z_L の値が $50\ \Omega \sim 200\ \Omega$ の間で負荷変動する現象を疑似的に再現している。そして、この負荷変動の最高値である $200\ \Omega$ において、電源周波数に対する被給電機器 10 を含む無線電力伝送装置 1 の入力インピーダンス Z_{in} の値が、二つのピーク帯域を有している（図 13 B の電源周波数に対する入力インピーダンスの項目の $200\ \Omega$ のグラフ参照）。なお、実施例 4 では、給電コイル 21 と給電共振器 22 との間の距離 d_{12} を $10\ \text{mm}$ 、受電共振器 32 と受電コイル 31 との間の距離 d_{34} を $10\ \text{mm}$ に設定することにより、負荷を

50 Ω 、100 Ω にしたときは、電源周波数に対する被給電機器10を含む無線電力伝送装置1の入力インピーダンス Z_{in} の値は、一つのピーク帯域しか有していない（図13B参照）。

[0087] (比較例)

比較例では、給電コイル21と給電共振器22との間の距離 d_{12} を5 mm、受電共振器32と受電コイル31との間の距離 d_{34} を5 mmに設定したうえで、可変抵抗器(R_L)の値を50 Ω 、100 Ω 、200 Ω の3つの値に変えた場合における、電源周波数に対する可変抵抗(被給電機器10に相当)を含めた無線電力伝送装置1の入力インピーダンス Z_{in} の値を測定した(図14B参照)。また、給電モジュール2に供給する交流電力の電源周波数を、低周波側のピーク帯域($f(\text{Low P})$)に設定した場合(同相共振モード: 12.53 MHz)の測定値、共振周波数 f_0 に設定した場合(共振周波数12.63 MHz)の測定値、高周波数側のピーク帯域($f(\text{High P})$)に設定した場合(逆相共振モード: 12.73 MHz)の測定値を図14Cの表にまとめて示す。なお、比較例では、図14Aに示すように、給電共振器22及び受電共振器32における、電力の電源周波数に対する伝送特性『S21』の値(実線150)、及び、給電コイル21、給電共振器22及び受電共振器32、受電コイル31における伝送特性『S21』の値(実線155)も測定している。その測定結果を図14Aに示す。

[0088] 図14Bに示すように、電源周波数を共振周波数 f_0 に設定した場合、 R_L を50 Ω にしたときは入力インピーダンス $Z_{in}=565.5 \Omega$ であり、 R_L を100 Ω にしたときは入力インピーダンス $Z_{in}=485.9 \Omega$ であり、 R_L を200 Ω にしたときは入力インピーダンス $Z_{in}=387.1 \Omega$ であり、負荷 R_L の上昇に応じて、無線電力伝送装置1全体の入力インピーダンス Z_{in} が下降していると言える。従って、電源周波数を共振周波数 f_0 に設定した場合は、負荷 R_L の上昇に応じて、被給電機器10を含めた無線電力伝送装置1の入力電流が大きくなってしまい、被給電機器10を含めた無線電力伝送装置1での消費電力が増大してしまうことが分かる。

- [0089] 一方、電源周波数を低周波側のピーク帯域 ($f(\text{Low P})$) に設定した場合、 R_L を $50\ \Omega$ にしたときは入力インピーダンス $Z_{in} = 241.7\ \Omega$ であり、 R_L を $100\ \Omega$ にしたときは入力インピーダンス $Z_{in} = 241.6\ \Omega$ であり、 R_L を $200\ \Omega$ にしたときは入力インピーダンス $Z_{in} = 247.1\ \Omega$ であり、負荷 R_L が上昇したとしても、無線電力伝送装置 1 全体の入力インピーダンス Z_{in} は、ほぼ変わらない値を示した。従って、電源周波数を低周波側のピーク帯域 ($f(\text{Low P})$) に設定した場合は、負荷 R_L が上昇したとしても、被給電機器 10 を含めた無線電力伝送装置 1 の入力電流はほぼ変わらないと言える。
- [0090] また、電源周波数を高周波側のピーク帯域 ($f(\text{High P})$) に設定した場合、 R_L を $50\ \Omega$ にしたときは入力インピーダンス $Z_{in} = 347.3\ \Omega$ であり、 R_L を $100\ \Omega$ にしたときは入力インピーダンス $Z_{in} = 338.0\ \Omega$ であり、 R_L を $200\ \Omega$ にしたときは入力インピーダンス $Z_{in} = 333.6\ \Omega$ であり、負荷 R_L の上昇に応じて、無線電力伝送装置 1 全体の入力インピーダンス Z_{in} が下降していると言える。従って、電源周波数を高周波側のピーク帯域 ($f(\text{High P})$) に設定した場合は、負荷 R_L の上昇に応じて、被給電機器 10 を含めた無線電力伝送装置 1 の入力電流が大きくなってしまい、被給電機器 10 を含めた無線電力伝送装置 1 での消費電力が増大してしまうことが分かる。
- [0091] また、比較例では、被給電機器 10 における負荷を $50\ \Omega$ 、 $100\ \Omega$ 、 $200\ \Omega$ の 3 つの値に設定し、被給電機器 10 の負荷インピーダンス Z_L の値が $50\ \Omega \sim 200\ \Omega$ の間で負荷変動する現象を疑似的に再現している。そして、この負荷変動の最高値である $200\ \Omega$ において、電源周波数に対する被給電機器 10 を含む無線電力伝送装置 1 の入力インピーダンス Z_{in} の値は、一つのピーク帯域しか有していない (図 14 B の電源周波数に対する入力インピーダンスの項目の $200\ \Omega$ のグラフ参照)。なお、比較例では、負荷を $50\ \Omega$ 、 $100\ \Omega$ にしたときも、電源周波数に対する被給電機器 10 を含む無線電力伝送装置 1 の入力インピーダンス Z_{in} の値は、一つのピーク帯域しか有していない (図 14 B 参照)。
- [0092] 上記のように、実施例 1 ～ 4 と比較例を比べると、給電共振器 22 及び受

電共振器 32 における、電力の電源周波数に対する伝送特性『S 2 1』の値が、二つのピーク帯域を有し、給電モジュール 2 に供給する電力の電源周波数を、伝送特性『S 2 1』の二つのピーク帯域の何れかに対応する電源周波数帯域に設定し ($f(\text{High P})$ 、又は、 $f(\text{Low P})$ に設定)、被給電機器 10 における負荷変動範囲の最高値 (実施例 1 ~ 4 では $200\ \Omega$) において、電力の電源周波数に対する被給電機器 10 を含む無線電力伝送装置 1 の入力インピーダンス Z_{in} の値が、二つのピーク帯域を有するように設定することにより、負荷 R_L の上昇に応じて、無線電力伝送装置 1 全体の入力インピーダンス Z_{in} が上昇していると言える。従って、電源周波数を高・低周波側のピーク帯域 ($f(\text{High P})$ 、又は、 $f(\text{Low P})$) に設定した場合は、負荷 R_L の上昇に応じて、被給電機器 10 を含めた無線電力伝送装置 1 の入力電流を小さくすることができ、被給電機器 10 を含めた無線電力伝送装置 1 での消費電力を低減することができることが分かる。

[0093] また、実施例 1 ~ 4 及び比較例より、電源周波数を共振周波数 f_0 に設定した場合は、負荷 R_L の上昇に応じて、無線電力伝送装置 1 全体の入力インピーダンス Z_{in} が下降し、被給電機器 10 を含めた無線電力伝送装置 1 の入力電流が大きくなってしまい、被給電機器 10 を含めた無線電力伝送装置 1 での消費電力が増大してしまう。このため、給電モジュール 2 に供給する電力の電源周波数を、伝送特性『S 2 1』の二つのピーク帯域の何れかに対応する電源周波数帯域 ($f(\text{High P})$ 、又は、 $f(\text{Low P})$) に設定する必要があることが分かる。

[0094] (効果)

上記構成によれば、被給電機器 10 の負荷が変動したときに、被給電機器 10 の負荷の変動傾向に合わせて、被給電機器 10 を含む無線電力伝送装置 1 全体の入力インピーダンス Z_{in} の値を変動させることができる。例えば、被給電機器 10 の負荷が上昇した場合、被給電機器 10 を含む無線電力伝送装置 1 全体の入力インピーダンス Z_{in} の値を上昇させることができる。これにより、被給電機器 10 の負荷が上昇した場合、被給電機器 10 を含めた無線電

力伝送装置 1 の入力電流を小さくすることができ、被給電機器 10 の負荷が上昇した際における消費電力を低減させることができる。

[0095] また、上記構成によれば、給電モジュール 2 及び受電モジュール 3 を構成する複数の回路素子の各素子値を相互に調整することにより、給電共振器 2 2 及び受電共振器 3 2 における、電力の電源周波数に対する伝送特性『S 2 1』の値を二つのピーク帯域を有し、且つ、無線電力伝送装置 1 の入力インピーダンス Z_{in} の値が、二つのピーク帯域を有するように設定することができる。

[0096] また、上記構成によれば、給電モジュール 2、及び、受電モジュール 3 が有するコイル間における結合係数 k_{12} 、 k_{23} 、 k_{34} の値を変えることにより、給電共振器 2 2 及び受電共振器 3 2 における、電力の電源周波数に対する伝送特性『S 2 1』の値を二つのピーク帯域を有し、且つ、電力の電源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} の値が二つのピーク帯域を有するように設定することができる。

[0097] また、上記構成によれば、給電モジュール 2、及び、受電モジュール 3 が有するコイル間における結合係数 k_{12} 、 k_{23} 、 k_{34} の値を、コイル間の距離を変化させることにより調整することができる。これにより、コイル間の距離を物理的に変化させるという簡易な設計によって調整が可能となる。

[0098] また、上記構成によれば、給電モジュール 2 に供給する電力の電源周波数を、伝送特性『S 2 1』の二つのピーク帯域のうち高周波側に形成されるピーク帯域 ($f(\text{High P})$) に対応する周波数帯域に設定することにより、給電共振器 2 2 と受電共振器 3 2 との間に、付近の磁界強度よりも小さな磁界強度を有する磁界空間 G 1 を形成することが可能となる。

[0099] また、上記構成によれば、給電モジュール 2 に供給する電力の電源周波数を、伝送特性『S 2 1』の二つのピーク帯域のうち低周波側に形成されるピーク帯域 ($f(\text{Low P})$) に対応する周波数帯域に設定することにより、給電共振器 2 2 及び受電共振器 3 2 の外側に、付近の磁界強度よりも小さな磁界強度を有する磁界空間 G 2 を形成することが可能となる。

[0100] (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 及び図 15 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無線式ヘッドセット 102、及び、充電器 101 を例にして説明する（図 1 参照）。

[0101] (設計方法)

まず、図 15 に示すように、リチウムイオン二次電池 9 の容量、及び、リチウムイオン二次電池 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（S 1）。

[0102] 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（S 2）。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 102 を、給電モジュール 2 を内蔵した充電器 101 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 102 と充電器 101 の形状・構造を考慮して決定される。

[0103] また、無線式ヘッドセット 102 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（S 3）。

[0104] また、充電器 101 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（S 4）。

[0105] 上記 S 2～S 4 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、電力伝送効率が想定されることになる。

[0106] 上記 S 1 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、S 2～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）。

- [0107] 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、給電共振器 2 2 及び受電共振器 3 2 における電源周波数に対する伝送特性『S 2 1』の値が二つのピーク帯域を有する設計値の範囲が決まる（S 6）。
- [0108] また、被給電機器 1 0 である安定回路 7、充電回路 8、リチウムイオン二次電池 9 の想定される負荷変動範囲の最高値において、少なくとも電力の電源周波数に対する被給電機器 1 0 を含む無線電力伝送装置 1 の入力インピーダンス Z_{in} の値が二つのピーク帯域を有する設計値が決まる（S 7）。
- [0109] ここで、被給電機器 1 0 で想定される負荷変動範囲の少なくとも最高値において、電力の電源周波数に対する被給電機器 1 0 を含む無線電力伝送装置 1 の入力インピーダンス Z_{in} の値が二つのピーク帯域を有するように設計することにより、被給電機器 1 0 で想定される負荷変動範囲の全て（あるいは、ある程度の範囲）において電力の電源周波数に対する被給電機器 1 0 を含む無線電力伝送装置 1 の入力インピーダンス Z_{in} の値が二つのピーク帯域を有するように設計する場合に比べて、設計自由度の向上が実現される。
- [0110] そして、S 5 及び S 7 で決定された設計値を満たすように給電コイル 2 1 と給電共振器 2 2、及び、受電共振器 3 2 と受電コイル 3 1 に関する最終的なパラメータを決定する（S 8）。ここで、給電コイル 2 1 と給電共振器 2 2、及び、受電共振器 3 2 と受電コイル 3 1 に関するパラメータとしては、給電コイル 2 1 の R L 回路の R_1 、 L_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 回路の R_4 、 L_4 における抵抗値、インダクタンス、コンデンサ容量や、結合係数 k_{12} 、 k_{23} 、 k_{34} や、更には、給電コイル 2 1 と給電共振器 2 2 との間の距離 d_{12} 、受電共振器 3 2 と受電コイル 3 1 との間の距離 d_{34} などが挙げられる。なお、給電コイル 2 1 及び受電コイル 3 1 に R L C 回路を使用した場合には、それぞれの R L C 回路のコンデンサ容量も設計・製造段階等で変更可能なパラメータとなる。
- [0111] （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 102 を例示して説明したが、負荷変動する機器であれば、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。

[0112] 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。

[0113] 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。

[0114] 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

[0115] 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 リチウムイオン二次電池
- 10 被給電機器
- 21 給電コイル
- 22 給電共振器
- 31 受電コイル
- 32 受電共振器
- 101 充電器
- 102 無線式ヘッドセット
- G1・G2 磁界空間

請求の範囲

[請求項1] 少なくとも給電共振器を備えた給電モジュールから、負荷変動する被給電機器が接続された、少なくとも受電共振器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であって、

前記給電共振器及び前記受電共振器における、電力の電源周波数に対する伝送特性の値が、二つのピーク帯域を有し、前記給電モジュールに供給する電力の電源周波数を、前記伝送特性の二つのピーク帯域の何れかに対応する電源周波数帯域に設定し、

前記被給電機器における負荷変動範囲の最高値において、少なくとも前記電力の電源周波数に対する前記被給電機器を含む前記無線電力伝送装置の入力インピーダンスの値が、二つのピーク帯域を有するように設定したことを特徴とする無線電力伝送装置。

[請求項2] 前記給電モジュール及び前記受電モジュールを構成する複数の回路素子の各素子値をパラメータとして、当該パラメータをそれぞれ変えることにより、前記給電共振器及び前記受電共振器における、電力の電源周波数に対する伝送特性の値が、二つのピーク帯域を有し、且つ、前記電力の電源周波数に対する前記被給電機器を含む前記無線電力伝送装置の入力インピーダンスの値が、二つのピーク帯域を有するように設定したことを特徴とする請求項1に記載の無線電力伝送装置。

[請求項3] 前記給電モジュール、及び、前記受電モジュールが有するコイル間における結合係数の値を調整することにより、前記給電共振器及び前記受電共振器における、電力の電源周波数に対する伝送特性の値が、二つのピーク帯域を有し、且つ、前記電力の電源周波数に対する前記被給電機器を含む前記無線電力伝送装置の入力インピーダンスの値が、二つのピーク帯域を有するように設定したことを特徴とする請求項1に記載の無線電力伝送装置。

[請求項4] 前記給電モジュール、及び、前記受電モジュールが有するコイル間

における結合係数の値は、前記コイル間の距離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 3 に記載の無線電力伝送装置。

[請求項5] 前記給電モジュールに供給する電力の電源周波数を、前記伝送特性の二つのピーク帯域のうち高周波側に形成されるピーク帯域に対応する周波数帯域に設定したことを特徴とする請求項 1 に記載の無線電力伝送装置。

[請求項6] 前記給電モジュールに供給する電力の電源周波数を、前記伝送特性の二つのピーク帯域のうち低周波側に形成されるピーク帯域に対応する周波数帯域に設定したことを特徴とする請求項 1 に記載の無線電力伝送装置。

[請求項7] 少なくとも給電共振器を備えた給電モジュールから、負荷変動する被給電機器が接続された、少なくとも受電共振器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、

前記給電共振器及び前記受電共振器における、電力の電源周波数に対する伝送特性の値が、二つのピーク帯域を有するように設定する工程と、

前記被給電機器における負荷変動範囲の最高値において、少なくとも前記電力の電源周波数に対する前記被給電機器を含む前記無線電力伝送装置の入力インピーダンスの値が、二つのピーク帯域を有するように設定する工程と、を含むことを特徴とする無線電力伝送装置の製造方法。