

明 細 書

発明の名称：

無線電力伝送に用いる給電モジュール及び給電モジュールの電力供給方法 技術分野

[0001] 本発明は、無線電力伝送に用いる給電モジュール及び給電モジュールの電力供給方法に関する。

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] 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（給電モジュール）及び受電装置（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] 例えば、上記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無線電力伝送をするときには、受電モジュールを給電モジュールに近づけて、給電モジュールから受電モジュールに対して給電できる距離（給電可能領域）になるように配置して使用する必要がある。このような使用過程において、給電モジュールと受電モジュールとが給電可能領域内にない場合、給電モ

ジュールでは、受電ジュールが給電可能領域に近接配置されるのに備えて常に電力が供給され続け、無駄に電力が消費されてしまう問題がある（待機電力が大きくなる）。

[0005] この問題に対して、何らかの検出部（センサ等）を給電ジュール又は受電ジュールに設け、その検出部が、給電ジュールと受電ジュールとが給電可能領域内に配置されたことによる各種の変化を検出し、その検出結果をトリガーとして給電ジュールに電力供給を開始する対処法が提案されている。

[0006] 例えば、特許文献3の給電システムの給電装置（給電ジュール）には、検出部（電流・電圧検出部113）が設けられ、この検出部で測定した電流値・電圧値に基づきインピーダンスを求め、このインピーダンスの変化（インピーダンスの増加量など：段落[0047]等参照）を予め設定した閾値と比較することにより、給電装置（給電ジュール）と2次側機器（受電ジュール）とが給電可能領域にあるか否かを判断する構成が記載されている。

[0007] 確かに、上記のように検出部を設けて、給電ジュールと受電ジュールとが給電可能領域にあるか否かを判断すれば、給電ジュールと受電ジュールとが給電可能領域にないと判断した場合は、給電ジュールへの電力供給を止めて無駄に電力が消費されるのを防ぐことができる。

先行技術文献

特許文献

[0008] 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2013-62895号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0009] しかしながら、上記のように検出部を新たに設けることは、コストが掛かるうえに、給電ジュールの小型化の点からも不都合である。

また、検出部を設けた場合でも、所定の時間間隔を空けて（間欠的に）検出部を動作させる必要があり、この検出部の動作に電力が必要となり、給電モジュールと受電モジュールとが給電可能領域にない場合でも電力は消費されることになる（特許文献3の段落[0044]参照）。

[0010] そこで、本発明の目的は、新たな機器を設けずに、給電モジュールと受電モジュールとが給電可能領域にない場合（待機状態）における給電モジュールの消費電力を低減することができる給電モジュール及び給電モジュールの電力供給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、電源に接続された給電モジュールから、受電モジュールに対して共振現象を利用して電力を供給する給電モジュールであって、

前記給電モジュールから前記受電モジュールに対して電力が供給されていない待機状態における前記給電モジュールの入力インピーダンスが、前記給電モジュールから前記受電モジュールに対して電力が供給されている給電状態における前記給電モジュール及び前記受電モジュールの入力インピーダンスよりも大きくなる、前記電源の電源周波数で作動させることを特徴としている。

[0012] 上記構成によれば、待機状態における給電モジュールの入力インピーダンスが、給電状態における給電モジュール及び受電モジュールの入力インピーダンスよりも大きくなるため、待機状態における給電モジュールの消費電力を給電状態における消費電力よりも低減することができる。

[0013] また、上記課題を解決するための発明の一つは、前記給電モジュールは、給電コイル、給電共振器、及び、受電共振器を有し、前記受電モジュールは、受電コイルを有し、前記給電共振器と前記受電共振器との間で起こる共振現象を利用して電力を供給する上記に記載の給電モジュールである。

[0014] 上記構成によれば、待機状態における給電モジュールの入力インピーダンスを、給電コイル、給電共振器、及び、受電共振器を有する給電モジュール

の入力インピーダンスとして構成することができる。

これによれば、給電モジュールは、少なくとも給電コイル、給電共振器、及び、受電共振器の3つの要素によって構成されているため、給電モジュールの入力インピーダンスを決定するための要素が多くなる。そして、給電モジュールの入力インピーダンスを決定するための要素が多くなるということは、電源の電源周波数に対する給電モジュールの入力インピーダンスの関係を決定するための要素も多くなるため、給電モジュールの設計自由度を高めることができる。

また、受電モジュールを、受電コイルを有する構成としているため、受電モジュールのコンパクト化を実現することができる。

[0015] また、上記課題を解決するための発明の一つは、前記給電モジュールは、給電コイル、及び、給電共振器を有し、前記受電モジュールは、受電共振器、及び、受電コイルを有し、前記給電共振器と前記受電共振器との間で起こる共振現象を利用して電力を供給する上記に記載の給電モジュールである。

[0016] 上記構成によれば、待機状態における給電モジュールの入力インピーダンスを、給電コイル、及び、給電共振器を有する給電モジュールの入力インピーダンスとして構成することができる。

これによれば、給電モジュールは、少なくとも給電コイル、及び、給電共振器の2つの要素によって構成されているため、給電モジュールの入力インピーダンスを決定するための要素が多くなる。そして、給電モジュールの入力インピーダンスを決定するための要素が多くなるということは、電源の電源周波数に対する給電モジュールの入力インピーダンスの関係を決定するための要素も多くなるため、給電モジュールの設計自由度を高めることができる。

また、受電モジュールを、受電共振器、受電コイルを有する構成としているため、受電モジュールのコンパクト化を実現することができる。

[0017] また、上記課題を解決するための発明の一つは、前記給電モジュールは、給電コイルを有し、前記受電モジュールは、給電共振器、受電共振器、及び

、受電コイルを有し、前記給電共振器と前記受電共振器との間で起こる共振現象を利用して電力を供給する上記に記載の給電モジュールである。

[0018] 上記構成によれば、待機状態における給電モジュールの入力インピーダンスを、給電コイルの入力インピーダンスとして構成することができる。

これによれば、給電モジュールは、主に給電コイルの1つの要素によって構成されているため、給電モジュールの入力インピーダンスを決定するための要素を単一化することができる。そして、給電モジュールの入力インピーダンスを決定するための要素を単一化することができるということは、電源の電源周波数に対する給電モジュールの入力インピーダンスの関係を決定するための要素も単一化することができるため、給電モジュールの設計の簡素化を図ることができる。

[0019] また、上記課題を解決するための発明の一つは、電源に接続された給電モジュールから、受電モジュールに対して共振現象を利用して電力を供給する給電モジュールの電力供給方法であって、

前記電源の電源周波数を、前記給電モジュールから前記受電モジュールに対して電力が供給されていない待機状態における前記給電モジュールの入力インピーダンスが、前記給電モジュールから前記受電モジュールに対して電力が供給されている給電状態における前記給電モジュール及び前記受電モジュールの入力インピーダンスよりも大きくなる帯域に調整することを特徴としている。

[0020] 上記方法によれば、待機状態における給電モジュールの入力インピーダンスが、給電状態における給電モジュール及び受電モジュールの入力インピーダンスよりも大きくなるため、待機状態における給電モジュールの消費電力を給電状態における消費電力よりも低減することができる。

発明の効果

[0021] 新たな機器を設けずに、給電モジュールと受電モジュールとが給電可能領域にない場合（待機状態）における給電モジュールの消費電力を低減することができる給電モジュール及び給電モジュールの電力供給方法を提供するこ

とができる。

図面の簡単な説明

[0022] [図1]給電モジュールを搭載した充電器、及び、受電モジュールを搭載した無線式ヘッドセットの説明図である。

[図2]待機状態における給電モジュール及び受電モジュールの説明図である。

[図3]給電状態における給電モジュール及び受電モジュールを等価回路で示した説明図である。

[図4]電源周波数に対する伝送特性『S 2 1』の関係を示したグラフである。

[図5]実施例 1 - 1 に係る給電モジュールを等価回路で示した説明図である。

[図6]実施例 1 - 1 に係る解析結果を示すグラフである。

[図7]実施例 1 - 2 に係る給電モジュールを等価回路で示した説明図である。

[図8]実施例 1 - 2 に係る解析結果を示すグラフである。

[図9]実施例 1 - 3 に係る給電モジュールを等価回路で示した説明図である。

[図10]実施例 1 - 3 に係る解析結果を示すグラフである。

[図11]実施例 2 - 1 に係る給電モジュールを等価回路で示した説明図である。
。

[図12]実施例 2 - 1 に係る解析結果を示すグラフである。

[図13]実施例 2 - 2 に係る給電モジュールを等価回路で示した説明図である。
。

[図14]実施例 2 - 2 に係る解析結果を示すグラフである。

[図15]実施例 2 - 3 に係る給電モジュールを等価回路で示した説明図である。
。

[図16]実施例 2 - 3 に係る解析結果を示すグラフである。

[図17]実施例 3 - 1 に係る解析結果を示すグラフである。

[図18]実施例 3 - 2 に係る解析結果を示すグラフである。

[図19]実施例 3 - 3 に係る解析結果を示すグラフである。

[図20]実施例 4 - 1 に係る解析結果を示すグラフである。

[図21]実施例 4 - 2 に係る解析結果を示すグラフである。

[図22]実施例４－３に係る解析結果を示すグラフである。

[図23]給電モジュールを搭載した充電器、及び、受電モジュールを搭載した無線式ヘッドセット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

[0023] 以下に本発明である無線電力伝送に用いる給電モジュール、及び、給電モジュールの電力供給方法の実施形態について説明する。

[0024] (実施形態)

まず、本実施形態では、無線電力伝送を実現する、給電モジュール２を備えた充電器１０１、及び、受電モジュール３を備えた無線式ヘッドセット１０２を例に説明する。

[0025] (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、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を介して充電電池９が接続されている。なお、図１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。また、本実施形態における安定回路７、充電回路８、及び、充電電池９は、図１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。

[0026] また、図示しないが、充電器１０１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。

[0027] 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、線径 0.4 mm ϕ の銅線材（絶縁被膜付）を 18 回巻きにしたコイル径 15 mm ϕ のソレノイドコイルである。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 、コイル L_1 、及び、コンデンサ C_1 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_1 とする。また、給電コイル 21 に流れる電流を I_1 とする。

[0028] 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 を介して充電電池 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 、コイル L_4 、及び、コンデンサ C_4 を要素とする RLC 回路を構成している。なお、コイル L_4 部分は、線径 0.4 mm ϕ の銅線材（絶縁被膜付）を 18 回巻きにしたコイル径 15 mm ϕ のソレノイドコイルである。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 、コイル L_4 、及び、コンデンサ C_4 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_4 とする。また、受電コイル 31 に接続された被給電機器 10 の合計のインピーダンスを Z_L とするが、本実施形態では、図 3 に示すように、受電コイル 31 に接続された安定回路 7、充電回路 8 及び充電電池 9（被給電機器 10）の各負荷インピーダンスを合わせたものを便宜的に抵抗器 R_L （ Z_L に相当）としている。また、受電コイル 31 に流れる電流を I_4 とする。

[0029] 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帯域において共振することをいう。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。また、給電共振器 2 2 に流れる電流を I_2 とし、受電共振器 3 2 に流れる電流を I_3 とする。

[0030] 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、受電共振器 3 2、及び、受電コイル 3 1 の共振周波数は、1. 0 MHz としている。

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

・・・（式 1）

[0031] また、給電共振器 2 2 及び受電共振器 3 2 は、線径 0. 4 mm ϕ の銅線材（絶縁被膜付）を 1 8 回巻きにしたコイル径 1 5 mm ϕ のソレノイドコイルである。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上

記のように一致させている。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。

[0032] 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）。

[0033] 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、給電モジュール 2 及び受電モジュール 3 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。

[0034] また、給電コイル 2 1 の RLC 回路の R_1 、 L_1 、 C_1 、給電共振器 2 2 の RLC 回路の R_2 、 L_2 、 C_2 、受電共振器 3 2 の RLC 回路の R_3 、 L_3 、 C_3 、受電コイル 3 1 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} は、設計・製造段階等で変更可能なパラメータとして設定される。

[0035] 上記給電モジュール 2 及び受電モジュール 3 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可能となり、給電モジュール 2 を備えた充電器 1 0 1 から、受電モジュール 3 を備えた無線式ヘッドセット 1 0 2 に電力が無線伝送され、無線式ヘッドセット 1 0 2 内に設けられた充電電池 9 が充電される。

[0036] ここで、図 1 及び図 3 に示すように、給電モジュール 2 から受電モジュール

ル 3 に対して電力が供給されている状態を給電状態とする。この給電状態は、給電モジュール 2 及び受電モジュール 3 が備える給電共振器 2 2 と受電共振器 3 2 とが磁界共鳴状態を創出したときとも言える。また、給電状態は、給電共振器 2 2 と受電共振器 3 2 との間の距離 d_{23} がある程度近接配置された場合（給電可能領域）に成立する状態でもある。また、本実施形態では、無線式ヘッドセット 1 0 2 における充電電池 9 に充電がなされている状態が給電状態といえる。

[0037] 一方、図 2 に示すように、給電モジュール 2 から受電モジュール 3 に対して電力が供給されていない状態を待機状態とする。この待機状態は、給電モジュール 2 及び受電モジュール 3 が備える給電共振器 2 2 と受電共振器 3 2 とが磁界共鳴状態を創出していないときとも言える。また、待機状態は、給電共振器 2 2 と受電共振器 3 2 との間の距離 d_{23} が、上記磁界共鳴状態を創出しない程度の配置関係にある場合に成立する状態でもある。また、本実施形態では、無線式ヘッドセット 1 0 2 における充電電池 9 に充電がなされていない状態が待機状態といえる。

[0038] （待機状態の入力インピーダンスと給電状態の入力インピーダンスの関係）

次に、上記待機状態、及び、給電状態の概念を踏まえて、待機状態における給電モジュール 2 の消費電力を低減するための、給電モジュール 2 及び受電モジュール 3 に関する、待機状態の入力インピーダンスと給電状態の入力インピーダンスとの関係を説明する。

[0039] まず、無線電力伝送を利用した電力伝送において、待機状態における消費電力を低減させる必要性を説明する。上述したように、給電モジュール 2 及び受電モジュール 3 が備える給電共振器 2 2 と受電共振器 3 2 との間の共振現象（磁界共鳴状態）を利用して磁場を結合させることにより無線電力伝送をするときには、受電モジュール 3 を給電モジュール 2 に近づけて、給電モジュール 2 から受電モジュール 3 に対して給電できる距離（給電可能領域）になるように配置して使用する必要がある。このような使用過程において、給電モジュールと受電モジュールとが給電可能領域内にない場合（待機状態

）、給電モジュールでは、受電モジュールが給電可能領域に近接配置される（給電状態）のに備えて常に電力が供給され続けた状態になる。

そうすると、待機状態における給電モジュール2の消費電力は無駄になってしまう。

一方、待機状態では、受電モジュールが給電可能領域に近接配置された際に、すぐに給電状態に移行できるように給電モジュール2に電力を供給され続ける必要がある。

そうすると、待機状態における消費電力は、給電状態における消費電力よりも抑制されることが求められる。

そこで、待機状態における消費電力を、給電状態における消費電力よりも抑制するためには、消費電力 P は下記（式2）により算出されることから、待機状態における入力インピーダンス Z_{in} の値を、給電状態における入力インピーダンス Z_{in} の値よりも大きくすればよいことが分かる。なお、交流電源6によって給電モジュール2に印加される電圧 V （実効値）は一定に保持されるため、電圧 V は可変要素とはしていない。

$$P = \frac{V^2}{|Z_{in}|}$$

・・・（式2）

[0040] 従って、本実施形態に係る給電モジュール2は、待機状態における給電モジュール2の入力インピーダンス Z_{in} が、給電状態における給電モジュール2及び受電モジュール3の入力インピーダンス Z_{in} よりも大きくなるように設定され、待機状態における給電モジュール2の入力インピーダンス Z_{in} が、給電状態における給電モジュール2及び受電モジュール3の入力インピーダンス Z_{in} よりも大きくなる電源周波数で作動させることにより実現される。そして、このように構成することにより、待機状態における給電モジュール2の入力インピーダンス Z_{in} が、給電状態における給電モジュール2及び受電モジュール3の入力インピーダンス Z_{in} よりも大きくなるため、待機状態における給

電モジュール 2 の消費電力を給電状態における消費電力よりも低減することができる。

[0041] 以下実施例を示して説明する。以下の実施例では、様々な構成をした給電モジュール 2 及び受電モジュール 3 を用いて、待機状態（OFF）における電源周波数に対する入力インピーダンス Z_{in} と給電状態（ON）における電源周波数に対する入力インピーダンス Z_{in} を解析した。なお、実施例では、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 11（ R_1 ）を接続して解析している。

[0042] また、実施例 1-1～実施例 2-3 では、給電状態における、給電モジュール 2 及び受電モジュール 3 に供給する電力の電源周波数に対する伝送特性『S21』が、双峰性の性質を有するもので解析している。また、実施例 3-1～実施例 4-3 では、給電状態における、給電モジュール 2 及び受電モジュール 3 に供給する電力の電源周波数に対する伝送特性『S21』が、単峰性の性質を有するもので解析している。

[0043] ここで、伝送特性『S21』とは、ネットワークアナライザを給電モジュール 2 及び受電モジュール 3 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。そして、給電モジュール 2 及び受電モジュール 3 に供給する電力の電源周波数に対する伝送特性『S21』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、電源周波数に対する伝送特性『S21』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をいう（図 4 の破線 51 参照）。一方、双峰性とは、電源周波数に対する伝送特性『S21』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電源周波数帯域（ f_L ）と共振周波数よりも高い電源周波数帯域（ f_H ）において現れるものをいう（図 4 の実線 52 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に給電モジュール 2 及び受電モジュール 3 を接続して計測される反射特性『S

11』が二つのピークを有する状態をいう。従って、電源周波数に対する伝送特性『S21』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『S11』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。

[0044] 上記単峰性の性質を有する給電モジュール2及び受電モジュール3においては、図4の破線51に示すように、電源周波数が共振周波数 f_0 で伝送特性『S21』が最大化する（電力伝送効率が最大化する）。

[0045] 一方、双峰性の性質を有する給電モジュール2及び受電モジュール3では、図4の実線52に示すように、伝送特性『S21』は、共振周波数 f_0 よりも低い電源周波数帯域(f_L)と共振周波数 f_0 よりも高い電源周波数帯域(f_H)において最大化する。

[0046] なお、一般的に、給電共振器22と受電共振器32との間の距離が同じであれば、双峰性における伝送特性『S21』の最大値(f_L 又は f_H での伝送特性『S21』の値)は、単峰性における伝送特性『S21』の最大値(f_0 での伝送特性『S21』の値)よりも低い値になる（図4のグラフ参照）。

[0047] 例えば、伝送特性『S21』が双峰性の性質を有する場合に、共振周波数 f_0 よりも低い周波数帯域に現れるピーク(f_L)付近の周波数帯域に給電モジュール2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22及び受電共振器32が同位相で共振状態となり、給電共振器22に流れる電流の向きと受電共振器32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『S21』（破線51）には及ばないが、電源周波数を給電共振器22及び受電共振器32が有する共振周波数と一致させない場合でも、伝送特性『S21』の値を比較的高い値にすることができる（実線52）。ここで、給電共振器22に流れる電流の向きと受電共振器32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。また、同相共振モードにおいて、伝送特性『S21』が双峰性の性質を有する場合に、共振周波数 f_0 よりも低い周波数帯域に給電モ

ジュール 2 に供給する交流電力の電源周波数を設定することを広義の同相共振モードと定義し、更に、『S 2 1』の共振周波数 f_o よりも低い周波数帯域に現れるピーク (f_L) 付近 (『S 2 1』の値がおよそ -10 dB 以上となる範囲) の周波数帯域に給電モジュール 2 に供給する交流電力の電源周波数を設定することを狭義の同相共振モードと定義する。なお、狭義の同相共振モードにおいて、『S 2 1』の共振周波数 f_o よりも低い周波数帯域に現れるピーク (f_L) に給電モジュール 2 に供給する交流電力の電源周波数を設定することを最狭義の同相共振モードとする。

[0048] 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。

[0049] 一方、例えば、伝送特性『S 2 1』が双峰性の性質を有する場合に、共振周波数 f_o よりも高い周波数帯域に現れるピーク (f_H) 付近の周波数帯域に給電モジュール 2 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、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、電源周波数を給電共振器 2 2 及び受電共振器 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(実線 5 2)。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 32 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。また、逆相共振モードにおいて、伝送特性『S 2 1』が双峰性の性質を有する場合に、共振周波数 f_0 よりも高い周波数帯域に給電モジュール 2 に供給する交流電力の電源周波数を設定することを広義の逆相共振モードと定義し、更に、『S 2 1』の共振周波数 f_0 よりも高い周波数帯域に現れるピーク (f_H) 付近 (『S 2 1』の値がおよそ -10 dB 以上となる範囲) の周波数帯域に給電モジュール 2 に供給する交流電力の電源周波数を設定することを狭義の逆相共振モードと定義する。なお、狭義の逆相共振モードにおいて、『S 2 1』の共振周波数 f_0 よりも高い周波数帯域に現れるピーク (f_H) に給電モジュール 2 に供給する交流電力の電源周波数を設定することを最狭義の逆相共振モードとする。

[0050] また、上記逆相共振モードでは、給電共振器 22 の内周側に発生する磁界と受電共振器 32 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 22 及び受電共振器 32 の内周側に、磁界による影響が低減されて、給電共振器 22 及び受電共振器 32 の内周側以外の磁界強度 (例えば、給電共振器 22 及び受電共振器 32 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 22 及び受電共振器 32 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給電モジュール 2 及び受電モジュール 3 自体のコンパクト化・設計自由度の向上が実現される。

[0051] (実施例 1-1)

実施例 1-1 に係る給電モジュール 2 は、図 5 に示すように、給電コイル 21 及び給電共振器 22 を備えた構成をしている。一方、受電モジュール 3

は、受電共振器 3 2 及び受電コイル 3 1 を備えた構成をしている。そして、給電コイル 2 1 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 直列回路を構成しており（共振あり）、コイル L_1 部分は、線径 0.4 mm ϕ の銅線材（絶縁被膜付）を 18 回巻きにしたコイル径 15 mm ϕ のソレノイドコイルである。同様に、受電コイル 3 1 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 直列回路を構成しており、コイル L_4 部分は、線径 0.4 mm ϕ の銅線材（絶縁被膜付）を 18 回巻きにしたコイル径 15 mm ϕ のソレノイドコイルである。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 RLC 直列回路を構成しており、コイル L_2 部分は、線径 0.4 mm ϕ の銅線材（絶縁被膜付）を 18 回巻きにしたコイル径 15 mm ϕ のソレノイドコイルである。また、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 RLC 直列回路を構成しており、コイル L_3 部分は、線径 0.4 mm ϕ の銅線材（絶縁被膜付）を 18 回巻きにしたコイル径 15 mm ϕ のソレノイドコイルである。そして、実施例 1-1 における R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 の値をそれぞれ、0.5 Ω に設定した。また、 L_1 、 L_2 、 L_3 、 L_4 の値をそれぞれ、4.5 μ H に設定した。また、被給電機器 10 の R_L は 100 Ω である。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 1.0 MHz である。また、各結合係数 k_{12} 、 k_{23} 、 k_{34} は 0.3 である（なお、給電状態での結合係数の値である）。

[0052] 待機状態では、図 5 に示すように、給電モジュール 2 を構成する給電コイル 2 1 及び給電共振器 2 2 における入力インピーダンスを Z_{in} としている。また、図 3 に示すように、給電状態では、給電モジュール 2 を構成する給電コイル 2 1、給電共振器 2 2、及び、受電モジュール 3 を構成する受電共振器 3 2、受電コイル 3 1 における入力インピーダンスを Z_{in} としている。

[0053] 実施例 1-1 における給電モジュール 2 及び受電モジュール 3 に関する、待機状態における電源周波数に対する入力インピーダンス Z_{in} （図 6 の破線）と給電状態における電源周波数に対する入力インピーダンス Z_{in} （図 6 の実線

）の解析結果を図6に示す。これを見ると、待機状態における給電モジュール2の入力インピーダンス Z_{in} （図6の破線）が、給電状態における給電モジュール2及び受電モジュール3の入力インピーダンス Z_{in} （図6の実線）よりも大きくなる電源周波数帯域は、約0.78～0.84MHzの帯域A1、約0.92～1.09MHzの帯域A2、及び、約1.28～1.5（解析上限）MHzの帯域A3の3つの帯域があることが分かる。

[0054] 実施例1-1において、電源周波数を帯域A1又は帯域A3に設定したときよりも、帯域A2、特に1.0MHzに設定したときに、待機状態における給電モジュール2の入力インピーダンス Z_{in} と、給電状態における給電モジュール2及び受電モジュール3の入力インピーダンス Z_{in} との差が最も大きくなるため、待機状態における給電モジュール2の消費電力を、電源周波数を帯域A1又は帯域A3に設定したときよりも低減することができる。もっとも、前述したように、双峰性の性質を有する給電モジュール2及び受電モジュール3では、図4の実線52に示すように、伝送特性『S21』は、共振周波数帯域において低い値を示すため給電状態における電力伝送効率は低くなる傾向にある。

[0055] （実施例1-2）

実施例1-2に係る給電モジュール2は、図7に示すように、給電コイル21、給電共振器22、及び受電共振器32を備えた構成をしている。一方、受電モジュール3は、受電コイル31を備えた構成をしている。なお、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それぞれの構成は実施例1-1と同様である。

[0056] 待機状態では、図7に示すように、給電モジュール2を構成する給電コイル21、給電共振器22、及び、受電共振器32における入力インピーダンスを Z_{in} としている。また、図3に示すように、給電状態では、給電モジュール2を構成する給電コイル21、給電共振器22、受電共振器32、及び、受電モジュール3を構成する受電コイル31における入力インピーダンスを Z_{in} としている。

[0057] 実施例 1 - 2 における給電モジュール 2 及び受電モジュール 3 に関する、待機状態における電源周波数に対する入力インピーダンス Z_{in} (図 8 の破線) と給電状態における電源周波数に対する入力インピーダンス Z_{in} (図 8 の実線) の解析結果を図 8 に示す。これを見ると、待機状態における給電モジュール 2 の入力インピーダンス Z_{in} (図 8 の破線) が、給電状態における給電モジュール 2 及び受電モジュール 3 の入力インピーダンス Z_{in} (図 8 の実線) よりも大きくなる電源周波数帯域は、約 0.87 ~ 0.89 MHz の帯域 B 1、及び、約 1.14 ~ 1.22 MHz の帯域 B 2 の 2 つの帯域があることが分かる。

[0058] 実施例 1 - 2 において、電源周波数を帯域 B 1 に設定したとき、又は、帯域 B 2、特に 1.19 MHz 付近に設定したときに、待機状態における給電モジュール 2 の入力インピーダンス Z_{in} と、給電状態における給電モジュール 2 及び受電モジュール 3 の入力インピーダンス Z_{in} との差が大きくなるため、待機状態における給電モジュール 2 の消費電力を低減することができる。更に、前述したように、双峰性の性質を有する給電モジュール 2 及び受電モジュール 3 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 よりも低い電源周波数帯域 (f_L : 最狭義の同相共振モード) と共振周波数 f_0 よりも高い電源周波数帯域 (f_H : 最狭義の逆相共振モード) において最大化する。そして、実施例 1 - 2 では、帯域 B 1 と狭義の同相共振モードにおける電源周波数帯域とがほぼ一致し、また、帯域 B 2 と狭義の逆相共振モードにおける電源周波数帯域とがほぼ一致するため、電源周波数を帯域 B 1 又は帯域 B 2 に設定した場合には、給電状態における電力伝送効率を比較的高くすることができる。

[0059] (実施例 1 - 3)

実施例 1 - 3 に係る給電モジュール 2 は、図 9 に示すように、給電コイル 2 1 を備えた構成をしている。一方、受電モジュール 3 は、給電共振器 2 2、受電共振器 3 2、及び、受電コイル 3 1 を備えた構成をしている。なお、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

それぞれの構成は実施例 1-1 と同様である。

[0060] 待機状態では、図 9 に示すように、給電モジュール 2 を構成する給電コイル 21 における入力インピーダンスを Z_{in} としている。また、図 3 に示すように、給電状態では、給電モジュール 2 を構成する給電コイル 21、及び、受電モジュール 3 を構成する給電共振器 22、受電共振器 32、受電コイル 31 における入力インピーダンスを Z_{in} としている。

[0061] 実施例 1-3 における給電モジュール 2 及び受電モジュール 3 に関する、待機状態における電源周波数に対する入力インピーダンス Z_{in} (図 10 の破線) と給電状態における電源周波数に対する入力インピーダンス Z_{in} (図 10 の実線) の解析結果を図 10 に示す。これを見ると、待機状態における給電モジュール 2 の入力インピーダンス Z_{in} (図 10 の破線) が、給電状態における給電モジュール 2 及び受電モジュール 3 の入力インピーダンス Z_{in} (図 10 の実線) よりも大きくなる電源周波数帯域は、約 0.60~0.85 MHz の帯域 C1、及び、約 1.25~1.5 (解析上限) MHz の帯域 C2 の 2 つの帯域があることが分かる。

[0062] 実施例 1-3 において、電源周波数を帯域 C1 の 0.84 MHz 付近に設定したとき、又は、帯域 C2 の 1.32 MHz 付近に設定したときに、待機状態における給電モジュール 2 の入力インピーダンス Z_{in} と、給電状態における給電モジュール 2 及び受電モジュール 3 の入力インピーダンス Z_{in} との差が比較的大きくなるため、待機状態における給電モジュール 2 の消費電力を低減することができる。更に、前述したように、双峰性の性質を有する給電モジュール 2 及び受電モジュール 3 では、図 4 の実線 52 に示すように、伝送特性『S21』は、共振周波数 f_0 よりも低い電源周波数帯域 (fL) と共振周波数 f_0 よりも高い電源周波数帯域 (fH) において最大化する。そして、実施例 1-3 では、帯域 C1 (特に 0.84 MHz 付近) に狭義の同相共振モードの電源周波数帯域が含まれ、また、帯域 C2 (特に 1.32 MHz 付近) に狭義の逆相共振モードの電源周波数帯域が含まれるため、電源周波数を狭義の同相共振モード、又は、狭義の逆相共振モードに設定した場合、帯域 C1 又

は帯域C 2を含むことになり、給電状態における電力伝送効率を比較的高くすることができる。

[0063] (実施例2-1)

実施例2-1～実施例2-3は、実施例1-1～実施例1-3とは異なり、給電モジュール2に含まれる給電コイル21を構成するRLC回路(抵抗器 R_1 、コイル L_1 、及び、コンデンサ C_1)のコンデンサ C_1 が、図11、図13、図15に示すように、並列接続されている。

[0064] 実施例2-1に係る給電モジュール2は、図11に示すように、給電コイル21及び給電共振器22を備えた構成をしている。一方、受電モジュール3は、受電共振器32及び受電コイル31を備えた構成をしている。そして、前述したように給電コイル21は、抵抗器 R_1 、コイル L_1 、及び、コンデンサ C_1 を要素としたRLC回路であり、コンデンサ C_1 が並列接続されている。なお、他の構成は実施例1-1と同様である。

[0065] 待機状態では、図11に示すように、給電モジュール2を構成する給電コイル21及び給電共振器22における入力インピーダンスを Z_{in} としている。また、給電状態では、給電モジュール2を構成する給電コイル21、給電共振器22、及び、受電モジュール3を構成する受電共振器32、受電コイル31における入力インピーダンスを Z_{in} としている。

[0066] 実施例2-1における給電モジュール2及び受電モジュール3に関する、待機状態における電源周波数に対する入力インピーダンス Z_{in} (図12の破線)と給電状態における電源周波数に対する入力インピーダンス Z_{in} (図12の実線)の解析結果を図12に示す。これを見ると、待機状態における給電モジュール2の入力インピーダンス Z_{in} (図12の破線)が、給電状態における給電モジュール2及び受電モジュール3の入力インピーダンス Z_{in} (図12の実線)よりも大きくなる電源周波数帯域は、約0.84～0.93MHzの帯域D1、及び、約1.12～1.30MHzの帯域D2の2つの帯域があることが分かる。

[0067] 実施例2-1において、電源周波数を帯域D1、特に0.88MHz付近

に設定したとき、又は、帯域D 2に設定したときに、待機状態における給電モジュール2の入力インピーダンス Z_{in} と、給電状態における給電モジュール2及び受電モジュール3の入力インピーダンス Z_{in} との差が最も大きくなるため、待機状態における給電モジュール2の消費電力を低減することができる。更に、前述したように、双峰性の性質を有する給電モジュール2及び受電モジュール3では、図4の実線52に示すように、伝送特性『S 2 1』は、共振周波数 f_0 よりも低い電源周波数帯域(f_L : 最狭義の同相共振モード)と共振周波数 f_0 よりも高い電源周波数帯域(f_H : 最狭義の逆相共振モード)において最大化する。そして、実施例2-1では、帯域D 1と狭義の同相共振モードにおける電源周波数帯域とがほぼ一致し、また、帯域D 2と狭義の逆相共振モードにおける電源周波数帯域とがほぼ一致するため、電源周波数を帯域D 1又は帯域D 2に設定した場合には、給電状態における電力伝送効率を比較的高くすることができる。

[0068] (実施例2-2)

実施例2-2に係る給電モジュール2は、図13に示すように、給電コイル21、給電共振器22、及び受電共振器32を備えた構成をしている。一方、受電モジュール3は、受電コイル31を備えた構成をしている。なお、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それぞれの構成は実施例2-1と同様である。

[0069] 待機状態では、図13に示すように、給電モジュール2を構成する給電コイル21、給電共振器22、及び、受電共振器32における入力インピーダンスを Z_{in} としている。また、給電状態では、給電モジュール2を構成する給電コイル21、給電共振器22、受電共振器32、及び、受電モジュール3を構成する受電コイル31における入力インピーダンスを Z_{in} としている。

[0070] 実施例2-2における給電モジュール2及び受電モジュール3に関する、待機状態における電源周波数に対する入力インピーダンス Z_{in} (図14の破線)と給電状態における電源周波数に対する入力インピーダンス Z_{in} (図14の実線)の解析結果を図14に示す。これを見ると、待機状態における給電モ

ジュール 2 の入力インピーダンス Z_{in} (図 14 の破線) が、給電状態における給電モジュール 2 及び受電モジュール 3 の入力インピーダンス Z_{in} (図 14 の実線) よりも大きくなる電源周波数帯域は、約 0.83 ~ 0.84 MHz の帯域 E 1、約 0.98 ~ 1.02 MHz の帯域 E 2、及び、約 1.30 ~ 1.35 MHz の帯域 E 3 の 3 つの帯域があることが分かる。

[0071] 実施例 2-2 において、電源周波数を帯域 E 2、特に 1.0 MHz 付近に設定したときに、待機状態における給電モジュール 2 の入力インピーダンス Z_{in} と、給電状態における給電モジュール 2 及び受電モジュール 3 の入力インピーダンス Z_{in} との差が最も大きくなるため、待機状態における給電モジュール 2 の消費電力を、低減することができる。もっとも、前述したように、双峰性の性質を有する給電モジュール 2 及び受電モジュール 3 では、図 4 の実線 52 に示すように、伝送特性『S 2 1』は、共振周波数帯域において低い値を示すため給電状態における電力伝送効率は低くなる傾向にある。また、前述したように、双峰性の性質を有する給電モジュール 2 及び受電モジュール 3 では、図 4 の実線 52 に示すように、伝送特性『S 2 1』は、共振周波数 f_0 よりも低い電源周波数帯域 (f_L : 最狭義の同相共振モード) と共振周波数 f_0 よりも高い電源周波数帯域 (f_H : 最狭義の逆相共振モード) において最大化する。そして、帯域 E 1 (特に 0.84 MHz 付近) が狭義の同相共振モードの電源周波数帯域に含まれ、また、帯域 E 3 (特に 1.32 MHz 付近) が狭義の逆相共振モードの電源周波数帯域に含まれるため、電源周波数を帯域 E 1 又は帯域 E 3 に設定した場合には、給電状態における電力伝送効率を比較的高くすることができる。

[0072] (実施例 2-3)

実施例 2-3 に係る給電モジュール 2 は、図 15 に示すように、給電コイル 21 を備えた構成をしている。一方、受電モジュール 3 は、給電共振器 22、受電共振器 32、及び、受電コイル 31 を備えた構成をしている。なお、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 それぞれの構成は実施例 2-1 と同様である。

[0073] 待機状態では、図15に示すように、給電モジュール2を構成する給電コイル21における入力インピーダンスを Z_{in} としている。また、給電状態では、給電モジュール2を構成する給電コイル21、及び、受電モジュール3を構成する給電共振器22、受電共振器32、受電コイル31における入力インピーダンスを Z_{in} としている。

[0074] 実施例2-3における給電モジュール2及び受電モジュール3に関する、待機状態における電源周波数に対する入力インピーダンス Z_{in} （図16の破線）と給電状態における電源周波数に対する入力インピーダンス Z_{in} （図16の実線）の解析結果を図16に示す。これを見ると、待機状態における給電モジュール2の入力インピーダンス Z_{in} （図16の破線）が、給電状態における給電モジュール2及び受電モジュール3の入力インピーダンス Z_{in} （図16の実線）よりも大きくなる電源周波数帯域は、約0.86～1.28MHzの帯域F1があることが分かる。

[0075] 実施例2-3において、電源周波数を帯域F1、特に1.0MHzに設定したときに、待機状態における給電モジュール2の入力インピーダンス Z_{in} と、給電状態における給電モジュール2及び受電モジュール3の入力インピーダンス Z_{in} との差が最も大きくなるため、待機状態における給電モジュール2の消費電力を、最も低減することができる。

[0076] （実施例3-1）

前述したように実施例3-1～実施例4-3では、給電状態における、給電モジュール2及び受電モジュール3に供給する電力の電源周波数に対する伝送特性『S21』が、単峰性の性質を有するもので解析している。具体的には、実施例3-1～実施例4-3で使用する給電モジュール2及び受電モジュール3は、実施例1-1～実施例2-3で使したものとはほぼ同じであり、相違するのは、給電共振器22におけるコイル L_2 と受電共振器32におけるコイル L_3 との間の結合係数 k_{23} を0.03に設定した点である（結合係数 k_{23} を変えて、伝送特性『S21』が、単峰性の性質を有するように設定）。

- [0077] 実施例 3-1 に係る給電モジュール 2 は、給電コイル 21 及び給電共振器 22 を備えた構成をしている。一方、受電モジュール 3 は、受電共振器 32 及び受電コイル 31 を備えた構成をしている。そして、結合係数 k_{23} を 0.03 に設定（単峰性に設定）した以外の構成は実施例 1-1 と同様である。
- [0078] 実施例 3-1 における給電モジュール 2 及び受電モジュール 3 に関する、待機状態における電源周波数に対する入力インピーダンス Z_{in} （図 17 の破線）と給電状態における電源周波数に対する入力インピーダンス Z_{in} （図 17 の実線）の解析結果を図 17 に示す。これを見ると、待機状態における給電モジュール 2 の入力インピーダンス Z_{in} （図 17 の破線）が、給電状態における給電モジュール 2 及び受電モジュール 3 の入力インピーダンス Z_{in} （図 17 の実線）よりも大きくなる電源周波数帯域は、約 0.99 ~ 1.01 MHz の帯域 G1 があることが分かる。
- [0079] 実施例 3-1 において、電源周波数を帯域 G1、特に 1.0 MHz 付近（共振周波数帯域）に設定したときに、待機状態における給電モジュール 2 の入力インピーダンス Z_{in} と、給電状態における給電モジュール 2 及び受電モジュール 3 の入力インピーダンス Z_{in} との差が最も大きくなるため、待機状態における給電モジュール 2 の消費電力を、最も低減することができる。しかも、前述したように、単峰性の性質を有する給電モジュール 2 及び受電モジュール 3 においては、図 4 の破線 51 に示すように、電源周波数が共振周波数 f_0 で伝送特性『S21』が最大化する（電力伝送効率が最大化する）。従って、実施例 3-1 では、電源周波数を帯域 G1、特に 1.0 MHz 付近（共振周波数帯域）に設定したときに、伝送特性『S21』は、共振周波数帯域において最も高い値を示すため給電状態における電力伝送効率が高くなる。
- [0080] （実施例 3-2）
- 実施例 3-2 に係る給電モジュール 2 は、給電コイル 21、給電共振器 22、及び受電共振器 32 を備えた構成をしている。一方、受電モジュール 3 は、受電コイル 31 を備えた構成をしている。そして、前述したように結合係数 k_{23} を 0.03 に設定（単峰性に設定）した以外の構成は実施例 1-2

と同様である。

[0081] 実施例 3-2 における給電モジュール 2 及び受電モジュール 3 に関する、待機状態における電源周波数に対する入力インピーダンス Z_{in} (図 18 の破線) と給電状態における電源周波数に対する入力インピーダンス Z_{in} (図 18 の実線) の解析結果を図 18 に示す。これを見ると、待機状態における給電モジュール 2 の入力インピーダンス Z_{in} (図 18 の破線) が、給電状態における給電モジュール 2 及び受電モジュール 3 の入力インピーダンス Z_{in} (図 18 の実線) よりも大きくなる電源周波数帯域は、0.96~0.98 MHz の帯域 H1、及び、約 1.02~1.04 MHz の帯域 H2 の 2 つの帯域があることが分かる。

[0082] 実施例 3-2 において、電源周波数を帯域 H1、又は、帯域 H2 に設定したときに、待機状態における給電モジュール 2 の入力インピーダンス Z_{in} と、給電状態における給電モジュール 2 及び受電モジュール 3 の入力インピーダンス Z_{in} との間に差が生じるため、待機状態における給電モジュール 2 の消費電力を低減することができる。

[0083] (実施例 3-3)

実施例 3-3 に係る給電モジュール 2 は、給電コイル 21 を備えた構成をしている。一方、受電モジュール 3 は、給電共振器 22、受電共振器 32、及び、受電コイル 31 を備えた構成をしている。そして、前述したように結合係数 k_{23} を 0.03 に設定 (単峰性に設定) した以外の構成は実施例 1-3 と同様である。

[0084] 実施例 3-3 における給電モジュール 2 及び受電モジュール 3 に関する、待機状態における電源周波数に対する入力インピーダンス Z_{in} (図 19 の破線) と給電状態における電源周波数に対する入力インピーダンス Z_{in} (図 19 の実線) の解析結果を図 19 に示す。これを見ると、待機状態における給電モジュール 2 の入力インピーダンス Z_{in} (図 19 の破線) が、給電状態における給電モジュール 2 及び受電モジュール 3 の入力インピーダンス Z_{in} (図 19 の実線) よりも大きくなる電源周波数帯域は、約 0.60~0.91 MHz の

帯域 I 1、及び、約 1.13 ~ 1.5 (解析上限) MHz の帯域 I 2 の 2 つの帯域があることが分かる。

[0085] 実施例 3-3 において、電源周波数を帯域 I 1、又は、帯域 I 2 に設定したときに、待機状態における給電モジュール 2 の入力インピーダンス Z_{in} と、給電状態における給電モジュール 2 及び受電モジュール 3 の入力インピーダンス Z_{in} との間に差が生じるため、待機状態における給電モジュール 2 の消費電力を、低減することができる。もっとも、前述したように、単峰性の性質を有する給電モジュール 2 及び受電モジュール 3 では、図 4 の破線 51 に示すように、伝送特性『S 21』は、共振周波数帯域において高い値を示し、それ以外の帯域は比較的低い値になるため給電状態における電力伝送効率は低くなる傾向にある。

[0086] (実施例 4-1)

実施例 4-1 ~ 実施例 4-3 は、実施例 3-1 ~ 実施例 3-3 とは異なり、給電モジュール 2 に含まれる給電コイル 21 を構成する RLC 回路 (抵抗器 R_1 、コイル L_1 、及び、コンデンサ C_1) のコンデンサ C_1 が、実施例 2-1 ~ 実施例 2-3 同様に、並列接続されている。

[0087] 実施例 4-1 に係る給電モジュール 2 は、給電コイル 21 及び給電共振器 22 を備えた構成をしている。一方、受電モジュール 3 は、受電共振器 32 及び受電コイル 31 を備えた構成をしている。そして、前述したように給電コイル 21 は、抵抗器 R_1 、コイル L_1 、及び、コンデンサ C_1 を要素とした RLC 回路であり、コンデンサ C_1 が並列接続されている。また、実施例 3-1 同様に、給電共振器 22 におけるコイル L_2 と受電共振器 32 におけるコイル L_3 との間の結合係数 k_{23} を 0.03 に設定している (単峰性に設定)。なお、他の構成は実施例 3-1 と同様である。

[0088] 実施例 4-1 における給電モジュール 2 及び受電モジュール 3 に関する、待機状態における電源周波数に対する入力インピーダンス Z_{in} (図 20 の破線) と給電状態における電源周波数に対する入力インピーダンス Z_{in} (図 20 の実線) の解析結果を図 20 に示す。これを見ると、待機状態における給電モ

ジュール 2 の入力インピーダンス Z_{in} (図 20 の破線) が、給電状態における給電モジュール 2 及び受電モジュール 3 の入力インピーダンス Z_{in} (図 20 の実線) よりも大きくなる電源周波数帯域は、0.88~0.99 MHz の帯域 J 1、及び、約 1.06~1.19 MHz の帯域 J 2 の 2 つの帯域があることが分かる。なお、図 20 には、グラフだけでは分かりにくいので、帯域 J 1 及び帯域 J 2 における、給電状態の電源周波数に対する入力インピーダンス Z_{in} 及び待機状態の電源周波数に対する入力インピーダンス Z_{in} の数値データを記載している。

[0089] 実施例 4-1 において、電源周波数を帯域 J 1、又は、帯域 J 2 に設定したときに、待機状態における給電モジュール 2 の入力インピーダンス Z_{in} と、給電状態における給電モジュール 2 及び受電モジュール 3 の入力インピーダンス Z_{in} との間に差が生じるため、待機状態における給電モジュール 2 の消費電力を、低減することができる。

[0090] (実施例 4-2)

実施例 4-2 に係る給電モジュール 2 は、給電コイル 2 1、給電共振器 2 2、及び受電共振器 3 2 を備えた構成をしている。一方、受電モジュール 3 は、受電コイル 3 1 を備えた構成をしている。なお、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 それぞれの構成は実施例 4-1 と同様である。

[0091] 実施例 4-2 における給電モジュール 2 及び受電モジュール 3 に関する、待機状態における電源周波数に対する入力インピーダンス Z_{in} (図 21 の破線) と給電状態における電源周波数に対する入力インピーダンス Z_{in} (図 21 の実線) の解析結果を図 21 に示す。これを見ると、待機状態における給電モジュール 2 の入力インピーダンス Z_{in} (図 21 の破線) が、給電状態における給電モジュール 2 及び受電モジュール 3 の入力インピーダンス Z_{in} (図 21 の実線) よりも大きくなる電源周波数帯域は、約 0.87~0.88 MHz の帯域 K 1、約 1.00~1.03 MHz の帯域 K 2、及び、約 1.19~1.21 MHz の帯域 K 3 の 3 つの帯域があることが分かる。

[0092] 実施例4-2において、電源周波数を帯域K1、帯域K2、又は、帯域K3に設定したときに、待機状態における給電モジュール2の入力インピーダンス Z_{in} と、給電状態における給電モジュール2及び受電モジュール3の入力インピーダンス Z_{in} との間に差が生じるため、待機状態における給電モジュール2の消費電力を、低減することができる。

[0093] (実施例4-3)

実施例4-3に係る給電モジュール2は、給電コイル21を備えた構成をしている。一方、受電モジュール3は、給電共振器22、受電共振器32、及び、受電コイル31を備えた構成をしている。なお、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それぞれの構成は実施例4-1と同様である。

[0094] 実施例4-3における給電モジュール2及び受電モジュール3に関する、待機状態における電源周波数に対する入力インピーダンス Z_{in} (図22の破線)と給電状態における電源周波数に対する入力インピーダンス Z_{in} (図22の実線)の解析結果を図22に示す。これを見ると、待機状態における給電モジュール2の入力インピーダンス Z_{in} (図22の破線)が、給電状態における給電モジュール2及び受電モジュール3の入力インピーダンス Z_{in} (図22の実線)よりも大きくなる電源周波数帯域は、約0.92~1.14MHzの帯域L1があることが分かる。

[0095] 実施例4-3において、電源周波数を帯域L1、特に1.0MHz (共振周波数帯域)に設定したときに、待機状態における給電モジュール2の入力インピーダンス Z_{in} と、給電状態における給電モジュール2及び受電モジュール3の入力インピーダンス Z_{in} との差が最も大きくなるため、待機状態における給電モジュール2の消費電力を、最も低減することができる。更に、前述したように、単峰性の性質を有する給電モジュール2及び受電モジュール3では、図4の破線51に示すように、伝送特性『S21』は、共振周波数帯域において最も高い値を示すため給電状態における電力伝送効率は高くなる。

[0096] 上記実施例 1-1～実施例 4-3 で説明したように、本実施形態に係る給電モジュール 2 は、待機状態における給電モジュール 2 の入力インピーダンス Z_{in} が、給電状態における給電モジュール 2 及び受電モジュール 3 の入力インピーダンス Z_{in} よりも大きくなるように設定され、待機状態における給電モジュール 2 の入力インピーダンス Z_{in} が、給電状態における給電モジュール 2 及び受電モジュール 3 の入力インピーダンス Z_{in} よりも大きくなる電源周波数帯域で作動させることにより実現される。そして、このように構成することにより、待機状態における給電モジュール 2 の入力インピーダンス Z_{in} が、給電状態における給電モジュール 2 及び受電モジュール 3 の入力インピーダンス Z_{in} よりも大きくなるため、待機状態における給電モジュール 2 の消費電力を給電状態における消費電力よりも低減することが可能となる。

[0097] なお、給電モジュール 2 及び受電モジュール 3 を、待機状態における給電モジュール 2 の入力インピーダンス Z_{in} が、給電状態における給電モジュール 2 及び受電モジュール 3 の入力インピーダンス Z_{in} よりも大きくなるように設定する要素（パラメータ）としては、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、結合係数 k_{12} 、 k_{23} 、 k_{34} 、負荷インピーダンス（負荷抵抗）などの設定値が挙げられる。また、給電コイル 21、給電共振器 22、受電共振器 32、受電コイル 31 における RLC 回路を直列にするか並列にするかコンデンサを接続しないかも、上記要素（パラメータ）となる。また、給電モジュール 2 に、給電コイル 21、給電共振器 22、受電共振器 32 の何れかを盛り込むか否かも上記要素（パラメータ）となる。

[0098] また、実施例 1-2、実施例 2-2、実施例 3-2、実施例 4-2 の構成によれば、待機状態における給電モジュール 2 の入力インピーダンス Z_{in} を、給電コイル 21、給電共振器 22、及び、受電共振器 32 を有する給電モジュール 2 の入力インピーダンスとして構成することができる。

これによれば、給電モジュール2は、少なくとも給電コイル21、給電共振器22、及び、受電共振器32の3つの要素によって構成されているため、給電モジュール2の入力インピーダンス Z_{in} を決定するための要素が多くなる。そして、給電モジュール2の入力インピーダンス Z_{in} を決定するための要素が多くなるということは、交流電源6の電源周波数に対する給電モジュール2の入力インピーダンス Z_{in} の関係を決定するための要素も多くなるため、給電モジュール2の設計自由度を高めることができる。

また、受電モジュール3は、受電コイル31を有する構成とすることができるため、受電モジュール3のコンパクト化を実現することができる。

[0099] また、実施例1-1、実施例2-1、実施例3-1、実施例4-1の構成によれば、待機状態における給電モジュール2の入力インピーダンス Z_{in} を、給電コイル21、及び、給電共振器22を有する給電モジュール2の入力インピーダンス Z_{in} として構成することができる。

これによれば、給電モジュール2は、少なくとも給電コイル21、及び、給電共振器22の2つの要素によって構成されているため、給電モジュール2の入力インピーダンス Z_{in} を決定するための要素が多くなる。そして、給電モジュール2の入力インピーダンス Z_{in} を決定するための要素が多くなるということは、交流電源6の電源周波数に対する給電モジュール2の入力インピーダンス Z_{in} の関係を決定するための要素も多くなるため、給電モジュール2の設計自由度を高めることができる。

また、受電モジュール3を、受電共振器32、受電コイル31を有する構成としているため、受電モジュール3のコンパクト化を実現することができる。

[0100] また、実施例1-3、実施例2-3、実施例3-3、実施例4-3の構成によれば、待機状態における給電モジュール2の入力インピーダンス Z_{in} を、給電コイル21の入力インピーダンス Z_{in} として構成することができる。

これによれば、給電モジュール2は、主に給電コイル21の1つの要素によって構成されているため、給電モジュール2の入力インピーダンス Z_{in} を決

定するための要素を単一化することができる。そして、給電モジュール 2 の入力インピーダンス Z_{in} を決定するための要素を単一化することができるということは、交流電源 6 の電源周波数に対する給電モジュール 2 の入力インピーダンス Z_{in} の関係を決定するための要素も単一化することができるため、給電モジュール 2 の設計の簡素化を図ることができる。

[0101] (設計方法)

次に、給電モジュール 2 及び受電モジュール 3 を製造する一工程である、設計方法 (調整) について、図 23 を参照して説明する。

[0102] 本設計方法で設計されるのは、図 1 に示す給電モジュール 2 を備えた充電器 101、及び、受電モジュール 3 を備えた無線式ヘッドセット 102 である。

[0103] まず、図 23 に示すように、充電池 9 の容量、及び、充電池 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、給電共振器 22 と受電共振器 32 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 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、使用形態としては給電状態である。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。

[0105] また、無線式ヘッドセット 102 及び充電器 101 の大きさ・形状・構造を踏まえて、給電コイル 21、給電共振器 22、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] 上記 S2～S3 の手順を経ることにより、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。

[0107] 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 3 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 4）。

[0108] 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、給電状態における給電モジュール 2 及び受電モジュール 3 の入力インピーダンス Z_{in} の設計値が決まる（S 5）。

[0109] そして、S 5 で決定された給電状態における給電モジュール 2 及び受電モジュール 3 の入力インピーダンス Z_{in} の設計値に基づき、待機状態における給電モジュール 2 の入力インピーダンス Z_{in} が、給電状態における給電モジュール 2 及び受電モジュール 3 の入力インピーダンス Z_{in} よりも大きくなるように、各要素（パラメータ）を決定する。具体的に、給電モジュール 2 及び受電モジュール 3 を、待機状態における給電モジュール 2 の入力インピーダンス Z_{in} が、給電状態における給電モジュール 2 及び受電モジュール 3 の入力インピーダンス Z_{in} よりも大きくなるように設定する要素（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 、 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、結合係数 k_{12} 、 k_{23} 、 k_{34} 、負荷インピーダンス（負荷抵抗）などの設定値が挙げられる。また、給電コイル 2 1、給電共振器 2 2、受電共振器 3 2、受電コイル 3 1 における R L C 回路を直列にするか並列にするかコンデンサを接続しないかも、上記要素（パラメータ）となる。また、給電モジュール 2 に、給電コイル 2 1、給電共振器 2 2、受電共振器 3 2 の何れかを盛り込むか否かも上記要素（パラメータ）となる。

[0110] 上記方法によれば、待機状態における給電モジュール 2 の入力インピーダンス Z_{in} が、給電状態における給電モジュール 2 及び受電モジュール 3 の入力インピーダンス Z_{in} よりも大きくなるため、待機状態における給電モジュール 2 の消費電力を給電状態における消費電力よりも低減することができる。

[0111] （その他の実施形態）

上記の説明では、無線式ヘッドセット 102 を例示して説明したが、充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。

[0112] また、上記では、被給電機器 10 に充電池 9 を含む受電モジュール 3 として説明したが、これに限らず、被給電機器 10 に直接電力を消費しながら可動する機器を採用してもよい。

[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 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] 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
- 10 被給電機器
- 11 可変抵抗器
- 21 給電コイル
- 22 給電共振器
- 31 受電コイル
- 32 受電共振器
- 102 無線式ヘッドセット
- 101 充電器

請求の範囲

- [請求項1] 電源に接続された給電モジュールから、受電モジュールに対して共振現象を利用して電力を供給する給電モジュールであって、
- 前記給電モジュールから前記受電モジュールに対して電力が供給されていない待機状態における前記給電モジュールの入力インピーダンスが、前記給電モジュールから前記受電モジュールに対して電力が供給されている給電状態における前記給電モジュール及び前記受電モジュールの入力インピーダンスよりも大きくなる、前記電源の電源周波数で作動させることを特徴とする給電モジュール。
- [請求項2] 前記給電モジュールは、給電コイル、給電共振器、及び、受電共振器を有し、
- 前記受電モジュールは、受電コイルを有し、
- 前記給電共振器と前記受電共振器との間で起こる共振現象を利用して電力を供給する請求項1に記載の給電モジュール。
- [請求項3] 前記給電モジュールは、給電コイル、及び、給電共振器を有し、
- 前記受電モジュールは、受電共振器、及び、受電コイルを有し、
- 前記給電共振器と前記受電共振器との間で起こる共振現象を利用して電力を供給する請求項1に記載の給電モジュール。
- [請求項4] 前記給電モジュールは、給電コイルを有し、
- 前記受電モジュールは、給電共振器、受電共振器、及び、受電コイルを有し、
- 前記給電共振器と前記受電共振器との間で起こる共振現象を利用して電力を供給する請求項1に記載の給電モジュール。
- [請求項5] 電源に接続された給電モジュールから、受電モジュールに対して共振現象を利用して電力を供給する給電モジュールの電力供給方法であって、
- 前記電源の電源周波数を、前記給電モジュールから前記受電モジュールに対して電力が供給されていない待機状態における前記給電モジ

ジュールの入力インピーダンスが、前記給電モジュールから前記受電モジュールに対して電力が供給されている給電状態における前記給電モジュール及び前記受電モジュールの入力インピーダンスよりも大きくなる帯域に調整することを特徴とする給電モジュールの電力供給方法。