

明 細 書

発明の名称：

無線電力伝送装置及び無線電力伝送装置の供給電力制御方法

技術分野

[0001] 本発明は、電源に接続された給電モジュールから、定電流・定電圧充電方式により充電可能な二次電池を含む被給電機器が接続され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及び無線電力伝送装置の供給電力制御方法に関する。

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] 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。定電流定電圧充電方式では、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。そして、定電流による充電が行われている間に印加される電圧が、所定の上限電圧まで上昇したら、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。

先行技術文献

特許文献

[0005] 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 0－2 3 9 7 6 9号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] もっとも、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、定電流充電から定電圧充電に移行したときに、図5に示すように、充電池に供給される電流値が減衰してしまう。その結果、定電圧充電時には、充電時間に対する充電量が低下してしまい、満充電までに時間を要していた。

[0007] また、一般に、リチウムイオン二次電池等の二次電池は満充電を繰り返すことにより、二次電池の寿命が短くなる傾向にある。

[0008] そこで、本発明の目的は、充電時間の短縮及び二次電池の寿命を縮めるのを防止することができる無線電力伝送装置を提供することにある。

課題を解決するための手段

[0009] 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、定電流・定電圧充電方式により充電可能な二次電池を含む被給電機器が接続され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であって、前記無線電力伝送装置は、前記被給電機器を含む無線電力伝送装置の入カインピーダンスを測定する入カインピーダンス測定器と、前記入カインピーダンス測定器が測定した入カインピーダンスの変化を利用して、前記定電流充電期間が終了したか否かを判定し、前記定電流充電期間が終了したと判定した場合に、充電を終了させる制御機器と、を備えたことを特徴としている。

[0010] 上記構成によれば、定電流充電から定電圧充電に移行して充電可能な二次

電池に、共振現象を利用した充電をするに際して、入力インピーダンス測定器が測定した入力インピーダンスの変化があったときに、定電流充電期間が終了したと判定させて、この定電流充電期間の終了をもって充電を終了させることができる。

一般に、二次電池は満充電を繰り返すより、満充電せずにある程度の容量を残して充電を終えるような充電を繰り返す方が、二次電池の寿命を延ばすことができる。このため、上記のように二次電池に対して定電流充電期間のみの充電で終了させることにより、満充電せずにある程度の容量を残した充電が可能となり、二次電池の寿命を延ばすことができる。なお、一般に、定電流・定電圧充電方式により充電可能な二次電池は、定電流充電期間のみの充電で満充電の約80%の充電が可能であるため十分な充電量を確保することができる。

また、定電圧充電を経ずに、定電流充電期間の終了をもって充電を終了させることができるので、充電時間の短縮を図ることができる。

[0011] 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、前記制御機器は、前記入力インピーダンス測定器が測定した前記入力インピーダンスが、所定の閾値を、上回る又は下回ったときに、前記定電流充電期間が終了したと判定することを特徴としている。

[0012] 上記構成によれば、入力インピーダンス測定器が測定した入力インピーダンスが、所定の閾値を、上回る又は下回ったときに、定電流充電期間が終了したと判定することができる。

[0013] また、上記課題を解決するための発明の一つは、上記無線電力伝送装置において、前記制御機器は、前記入力インピーダンス測定器が測定した、充電時間に対する前記入力インピーダンスの変化量である負荷変動特性が、所定の閾値を、上回る又は下回ったときに、前記定電流充電期間が終了したと判定することを特徴としている。

[0014] 上記構成によれば、入力インピーダンス測定器が測定した、充電時間に対する入力インピーダンスの変化量である負荷変動特性が、所定の閾値を、上

回る又は下回ったときに、定電流充電期間が終了したと判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のモジュールは、少なくとも給電コイル、給電共振器、受電共振器及び受電コイルを備え、前記給電コイルと前記給電共振器との間の結合係数、前記給電共振器と前記受電共振器との間の結合係数、及び、前記受電共振器と前記受電コイルとの間の結合係数の少なくとも一つを調整することにより、前記負荷変動特性が調整可能であることを特徴としている。

[0016] 上記構成によれば、給電コイルと給電共振器との間の結合係数、給電共振器と受電共振器との間の結合係数、及び、受電共振器と受電コイルとの間の結合係数の少なくとも一つを調整することにより、負荷変動特性を調整することができる。

これにより、例えば、負荷変動特性を大きくすれば、短時間での負荷変動特性の変化が大きくなるため、入力インピーダンス測定器での測定精度を上げることができる。

[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、前記給電コイルと前記給電共振器との間の結合係数を大きくすることにより、前記負荷変動特性を大きくすることを特徴としている。

[0018] 上記構成によれば、給電コイルと給電共振器との間の結合係数を大きくすることにより、負荷変動特性を大きくすることができる。これにより、短時間での負荷変動特性の変化が大きくなるため、入力インピーダンス測定器での測定精度を上げることができる。

[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において、前記受電共振器と前記受電コイルとの間の結合係数を大きくすることにより、前記負荷変動特性を大きくすることを特徴としている。

[0020] 上記構成によれば、受電共振器と受電コイルとの間の結合係数を大きくすることにより、負荷変動特性を大きくすることができる。これにより、短時

間での負荷変動特性の変化が大きくなるため、入力インピーダンス測定器での測定精度を上げることができる。

[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において、前記給電コイルと前記給電共振器との間の結合係数、及び、前記受電共振器と前記受電コイルとの間の結合係数を大きくすることにより、前記負荷変動特性を大きくすることを特徴としている。

[0022] 上記構成によれば、給電コイルと給電共振器との間の結合係数、及び、受電共振器と受電コイルとの間の結合係数を大きくすることができる。これにより、短時間での負荷変動特性の変化が大きくなるため、入力インピーダンス測定器での測定精度を上げることができる。

[0023] 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、定電流・定電圧充電方式により充電可能な二次電池を含む被給電機器が接続され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、前記無線電力伝送装置は、前記電力伝送装置の入力インピーダンスを測定する入力インピーダンス測定器と、前記制御機器と、を備え、前記制御機器は、前記入力インピーダンス測定器が測定した入力インピーダンスの変化を利用して、前記定電流充電期間が終了したか否かを判定する処理と、前記定電流充電期間が終了したと判定した場合に、充電を終了させる処理と、を実行することを特徴としている。

[0024] 上記方法によれば、定電流充電から定電圧充電に移行して充電可能な二次電池に、共振現象を利用した充電をするに際して、入力インピーダンス測定器が測定した入力インピーダンスの変化があったときに、定電流充電期間が終了したと判定させて、この定電流充電期間の終了をもって充電を終了させることができる。

一般に、二次電池は満充電を繰り返すより、満充電せずにある程度の容量を残して充電を終えるような充電を繰り返す方が、二次電池の寿命を延ばすことができる。このため、上記のように二次電池に対して定電流充電期間の

みの充電で終了させることにより、満充電せずにある程度の容量を残した充電が可能となり、二次電池の寿命を延ばすことができる。なお、一般に、定電流・定電圧充電方式により充電可能な二次電池は、定電流充電期間のみの充電で満充電の約80%の充電が可能であるため十分な充電量を確保することができる。

また、定電圧充電を経ずに、定電流充電期間の終了をもって充電を終了させることができるので、充電時間の短縮を図ることができる。

発明の効果

[0025] 充電時間の短縮及び二次電池の寿命を縮めるのを防止することができる無線電力伝送装置を提供することができる。

図面の簡単な説明

[0026] [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]無線電力伝送装置のブロック図である。

[図3]無線電力伝送装置の概略説明図である。

[図4]無線電力伝送装置を等価回路で示した説明図である。

[図5]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6]電源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7]電源周波数に対する入力インピーダンス Z_{in} の関係を示したグラフである。

[図8]測定実験 1 - 1 に係る測定結果を示すグラフである。

[図9]測定実験 1 - 2 に係る測定結果を示すグラフである。

[図10]測定実験 1 - 3 に係る測定結果を示すグラフである。

[図11]測定実験 2 - 1 及び測定実験 2 - 2 に係る測定結果を示すグラフである。

[図12]測定実験 2 - 3 及び測定実験 2 - 4 に係る測定結果を示すグラフである。

[図13]測定実験 2 - 5 に係る測定結果を示すグラフである。

[図14]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15]制御機器が実行する充電動作フロー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] 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供給電力制御方法の実施形態について説明する。

[0028] (実施形態)

まず、本実施形態では、図1に示すように、無線電力伝送装置1として、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。

[0029] (無線電力伝送装置1の構成)

図1に示すように、無線電力伝送装置1は、充電器101及び無線式ヘッドセット102によって構成されている。そして、充電器101は、図2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と、電流・電圧検出部4（入力インピーダンス測定器に相当）と、制御機器5とを備えている。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と、受電された交流電力を整流化する安定回路7と、過充電を防止する充電回路8と、リチウムイオン二次電池とを備えている（なお、音響機器としての装置は省略している）。そして、給電モジュール2の給電コイル21には、制御機器5を介して、給電モジュール2に電力を供給する交流電源6（外部の電力供給源61、発振回路62）が接続され、受電モジュール3の受電コイル31には、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が接続されている。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、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 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 4 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）を使用して、コイル径を 15 mm 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 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 としている。また、給電コイル 21 に流れる電流を I_1 する。

[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 4 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、銅線材（絶縁被膜付）を使用して、コイル径 11 mm ϕ に設定している。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、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 としている。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 としている。また、受電コイル 31 に流れる電流を I_4 としている。なお、被給電機器 10 の合計のインピーダンスを Z_L としているが、便宜的に R_L と置き換えてもよい。

[0033] 給電共振器 22 は、図 4 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 4 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 としている。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 としている。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 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 21、給電共振器 22、受電コイル 31、及び、受電共振器 32 の共振周波数は、970 kHz としている。

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

・・・（式 1）

[0035] また、給電共振器 22 は、銅線材（絶縁被膜付）により構成したコイル径 15 mm ϕ 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、銅線材（絶縁被膜付）により構成したコイル径 11 mm 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。

[0036] 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）。

[0037] また、図 4 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} と表記している。

[0038] また、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 3 の下図のようになる。これは、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）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] なお、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 4 に示すようになる。そして、図 4 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 2）のように表記することができる。

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

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

(k_{ij} は L_i と L_j との間における結合係数)

・・・ (式2)

[0040] 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3)のように表記することができる。

$$Z_1 = R_1 + j \left(\omega L_1 - \frac{1}{\omega C_1} \right)$$

$$Z_2 = R_2 + j \left(\omega L_2 - \frac{1}{\omega C_2} \right)$$

$$Z_3 = R_3 + j \left(\omega L_3 - \frac{1}{\omega C_3} \right)$$

$$Z_4 = R_4 + j \left(\omega L_4 - \frac{1}{\omega C_4} \right)$$

$$Z_L = R_L$$

・・・ (式3)

[0041] 次に、(式2)に(式3)を導入すると、(式4)のようになる。

$$Z_{in} = R_1 + j\left(\omega L_1 - \frac{1}{\omega C_1}\right) + \frac{(\omega M_{12})^2}{R_2 + j\left(\omega L_2 - \frac{1}{\omega C_2}\right) + \frac{(\omega M_{23})^2}{R_3 + j\left(\omega L_3 - \frac{1}{\omega C_3}\right) + \frac{(\omega M_{34})^2}{R_4 + j\left(\omega L_4 - \frac{1}{\omega C_4}\right) + R_4}} \dots \quad (\text{式 4})$$

[0042] そして、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・製造段階等に変更可能なパラメータとして、上記（式 4）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。

[0043] また、充電器 1 0 1 が備える、電流・電圧検出部 4 は、電流検出部及び電圧検出部を有しており、それぞれ、無線電力伝送装置 1 に印加される電圧 V_{in} 、無線電力伝送装置 1 に入力される電流 I_{in} を検出する。

[0044] 制御機器 5 は、詳細は後述するが、電流・電圧検出部 4 が検出した電圧 V_{in} 及び電流 I_{in} に基づいて入力インピーダンス Z_{in} を求め（式 5 参照）、求められた入力インピーダンス Z_{in} の変化に従い、交流電源 6 から給電モジュール 2 に電力を供給するか否かを判断する機能を有し、電力を供給しない旨の判断がなされた場合には、交流電源 6 から給電モジュール 2 への電力の供給を遮断する機能を有する。なお、制御機器 5 は、例えばマイクロコンピュータ・記憶装置等によって構成される。また、電圧 V_{in} 及び電流 I_{in} を検出する電流・電圧検出部 4 は、入力インピーダンス測定器に相当する。

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

... (式 5)

[0045] （リチウムイオン二次電池 9 の充電時における充電特性）

次に、本実施形態に係る無線電力伝送装置 1 を使用した際の電力の給電先

であるリチウムイオン二次電池 9 の充電時における充電特性を踏まえた対処方法について説明する。

[0046] 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採用されている。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 5 のリチウムイオン二次電池 9 の充電特性のグラフに示すように、充電を開始してからしばらくの間は、リチウムイオン二次電池 9 に対して定電流 (I_{CH}) 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リチウムイオン二次電池 9 に印加される電圧 (V_{CH}) が、所定の上限電圧 (本実施形態では、4.2V) まで上昇する。電圧 (V_{CH}) 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に移行する (CV: コンスタントボルテージ)。定電圧 (CV) による充電が行われると、リチウムイオン二次電池 9 に入力される電流値 (I_{CH}) が減衰していき、所定の電流値、又は、所定時間経過後に満充電となる。

[0047] もっとも、定電流充電 (CC) から定電圧充電 (CV) に移行したときに、図 5 に示すように、リチウムイオン二次電池 9 に供給される電流値 (I_{CH}) が減衰してしまう。その結果、定電圧充電時 (CV) には、充電時間に対する充電量が低下してしまい、満充電までに時間を要することになる。

[0048] 上記充電特性より、定電流充電 (CC) の終了をもって、リチウムイオン二次電池 9 への充電を終了させることにより、充電時間の短縮を図ることができる。なお、定電流・定電圧充電方式により充電可能なリチウムイオン二次電池 9 は、定電流充電期間 (CC) のみの充電で満充電の約 80% の充電が可能であるため、定電流充電 (CC) の終了をもって、リチウムイオン二次電池 9 への充電を終了させても、十分な充電量を確保することができる。更に、一般に、リチウムイオン二次電池 9 は満充電を繰り返すことにより、寿命が短くなる傾向にあることが知られているため、満充電せず

電を終了させることにより、リチウムイオン二次電池 9 の寿命を延ばすことができる。

[0049] そこで、定電流充電 (CC) から定電圧充電 (CV) に移行したか否かを判定し、定電流充電 (CC) から定電圧充電 (CV) に移行したと判定した場合に定電流充電 (CC) が終了したとして、リチウムイオン二次電池 9 への充電を終了させることにより上記目的を達成することが可能である。

[0050] 具体的には、定電流充電 (CC) から定電圧充電 (CV) に移行した際に、リチウムイオン二次電池 9 に入力される電流値 (I_{ch}) が減衰するのに伴い、リチウムイオン二次電池 9 を含めた被給電機器 10 の負荷インピーダンスの値が上がることになる。

[0051] そうすると、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 (図 8 参照)。

[0052] そこで、本実施形態に係る無線電力伝送装置 1 の充電動作では、定電流充電 (CC) から定電圧充電 (CV) に移行した際の被給電機器 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} の変化を測定して、入力インピーダンス Z_{in} の変化が測定された場合に、定電流充電 (CC) 期間が終了したとして、リチウムイオン二次電池 9 への充電を終了させている。

[0053] (入力インピーダンス Z_{in} の変化)

本実施形態では、入力インピーダンス Z_{in} の変化を測定して定電流充電 (CC) 期間が終了したか否かを判定しているが、この入力インピーダンス Z_{in} の変化としては、入力インピーダンス Z_{in} が、所定の閾値を、上回る又は下回ったときに、定電流充電期間が終了したと判定する方法と、充電時間に対する入力インピーダンス Z_{in} の変化量である負荷変動特性が、所定の閾値を、上回る又は下回ったときに、定電流充電期間が終了したと判定する方法を採用している。いずれの方法を採用するにしても、定電流充電 (CC) から定電圧充電 (CV) に移行した際に、入力インピーダンス Z_{in} がどのように変化をするのかを予め知った上で所定の閾値を設定する必要がある。そこで、以下に入力インピーダンス Z_{in} の変化の設定について測定実験を参照して説明する。

[0054] ここで、負荷変動特性とは、定電流充電から定電圧充電に移行した時における充電時間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} の値の変化量であり、この負荷変動特性は、X軸を充電時間、Y軸を入力インピーダンス Z_{in} 値とした場合における（図 8 の入力インピーダンス Z_{in} 参照）、X軸の所定の変化量（ ΔX ）に対するY軸の所定の変化量（ ΔY ）であり、傾きを意味する。従って、負荷変動特性が大きくなると、充電時間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} の値の変化量が大きくなり、傾きが急になる。

[0055] （定電圧充電移行時の入力インピーダンス Z_{in} の増減傾向の設定）

本実施形態では、無線電力伝送装置 1 を使用して、リチウムイオン二次電池 9 に定電流定電圧充電を行う場合、定電圧充電移行時（C V）の入力インピーダンス Z_{in} の値を大きくするために、後述する無線電力伝送装置 1 に供給する電力の電源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ように、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} などの給電モジュール 2 及び受電モジュール 3 を構成する変更可能なパラメータを設定する。そして、無線電力伝送装置 1 に供給する電力の電源周波数に対する無線電力伝送装置 1 の伝送特性『S 2 1』を双峰性の性質を有するようにしたうえで、無線電力伝送装置 1 に供給する電力の電源周波数を調整することによって、定電圧充電時における無線電力伝送装置 1 の入力インピーダンス値の増減傾向を設定している。

[0056] （測定実験 1 - 1 ~ 1 - 3）

上記無線電力伝送装置 1 に供給する電力の電源周波数に対する無線電力伝送装置 1 の伝送特性『S 2 1』を双峰性の性質を有するように設定した場合に、無線電力伝送装置 1 に供給する電力の電源周波数を調整することによって、定電圧充電移行時における無線電力伝送装置 1 の入力インピーダンス値

がどのような増減傾向を示すのかを、測定実験 1-1~1-3 により説明する。

[0057] 測定実験 1-1~1-3 で使用する無線電力伝送装置 1 では、給電コイル 21 は、抵抗器 R_1 、コイル L_1 、コンデンサ C_1 を要素とする RLC 回路を構成しており、コイル L_1 部分は、コイル径を $15\text{ mm } \phi$ 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 、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、コイル径を $11\text{ mm } \phi$ に設定している。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、コイル径 $15\text{ mm } \phi$ 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、コイル径 $11\text{ mm } \phi$ 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 1-1~1-3 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、 $0.65\ \Omega$ 、 $0.65\ \Omega$ 、 $2.47\ \Omega$ 、 $2.0\ \Omega$ に設定した。また、 L_1 、 L_2 、 L_3 、 L_4 の値をそれぞれ、 $3.1\ \mu\text{H}$ 、 $3.1\ \mu\text{H}$ 、 $18.4\ \mu\text{H}$ 、 $12.5\ \mu\text{H}$ に設定した。また、結合係数 k_{12} 、 k_{23} 、 k_{34} をそれぞれ、 0.46 、 0.20 、 0.52 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 970 kHz である。

[0058] そして、測定実験 1-1~1-3 では、上記構成により、無線電力伝送装置 1 を双峰性の性質に設定したうえで、給電モジュール 2 に供給する交流電力の電源周波数を、後述する同相共振モード (fL)、逆相共振モード (fH)、及び、共振周波数 (f_0) の 3 つの状態 (図 6 参照) に変えて、リチウムイオン二次電池 9 に充電 (給電) を行った際の電流 I_{in} 、及び入力インピーダンス Z_{in} を測定する。なお、測定実験 1-1~1-3 では、無線電力伝送装置 1 への交流電源 6 からの入力電圧 $V_{in} = 5\text{ V}$ のときの充電時間 (Charging Time (min)) に対する電流 I_{in} 、及び、入力インピーダンス Z_{in} を測定する。

[0059] (双峰性の性質)

ここで、本測定実験においては、無線電力伝送装置 1 に供給する電力の電源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。そして、伝送特性『S 2 1』とは、ネットワークアナライザ（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）を無線電力伝送装置 1 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、無線電力伝送装置 1 に供給する電力の電源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、電源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をいう（図 6 の破線 5 1 参照）。一方、双峰性とは、電源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 6 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に無線電力伝送装置 1 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、電源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。なお、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。

[0060] 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 6 の破線 5 1 に示すように、電源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）。

[0061] 一方、双峰性の性質を有する無線電力伝送装置 1 では、図 6 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)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。

- [0062] 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6のグラフ参照)。
- [0063] 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電源周波数を設定した場合(同相共振モード)、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6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51)には及ばないが、電源周波数を給電モジュール2が備える給電共振器22及び受電モジュール3が備える受電共振器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『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22)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。
- [0064] また、上記同相共振モードでは、給電共振器22の外周側に発生する磁界と受電共振器32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22及び受電共振器32の外周側に、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の外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やリチウムイオン二次電池9などを収納した場合、安定回路7や充電回路8やリチウムイオン二次電池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。
- [0065] 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

ル 2 に供給する交流電力の電源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 6 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。

[0066] 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 やリチウムイオン二次電池 9 などを収納した場合、安定回路 7 や充電回路 8 やリチウムイオン二次電池 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 やリチウムイオン二次電池 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。

[0067] また、上記のように無線電力伝送装置 1 に供給する電力の電源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場合、給電モジュール 2 に供給する交流電力の電源周波数を同相共振モード（f

L)、又は、逆相共振モード(fH)に設定した際に、図7に示すように、電力伝送効率を高い値に維持した状態で、無線電力伝送装置1の入力インピーダンス Z_{in} の値の最大化を図ることができる(実線55参照)。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共振周波数(f_0)に設定した際に、図7に示すように、無線電力伝送装置1の入力インピーダンス Z_{in} の値の最小化を図ることができる(実線55参照)。そして、本測定実験1-1~1-3では、給電モジュール2に供給する交流電力の電源周波数を同相共振モード(fL)、逆相共振モード(fH)、及び、共振周波数(f_0)の3つの状態で、リチウムイオン二次電池9に充電(給電)を行った際の電流 I_{in} 、及び入力インピーダンス Z_{in} を測定している。

[0068] なお、本実施形態では、無線電力伝送装置1に供給する電力の電源周波数に対する無線電力伝送装置1の伝送特性『S21』が双峰性の性質を有するものであれば、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} などの給電モジュール2及び受電モジュール3を構成する変更可能なパラメータの設定・組み合わせは設計事項であり自由に設定することができる。

[0069] (測定実験1-1：電源周波数を同相共振モードに設定した場合)

測定実験1-1では、双峰性における低周波側のピーク付近の周波数fL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(同相共振モード： $fL=870kHz$)の充電時間(Charging Time(min))に対する入力電流 I_{in} 、及び、入力インピーダンス Z_{in} を測定し、その測定結果を図8に示す。なお、入力電圧 V_{in} は5V(一定)である。

[0070] 図8の測定結果より、定電流による充電(CC)から定電圧による充電(CV)に移行してからの入力インピーダンス Z_{in} の値が増加傾向になっているのが分かる。

[0071] 上記測定実験1-1より、無線電力伝送装置1に供給する電力の電源周波

数に対する無線電力伝送装置 1 の伝送特性『S 2 1』を双峰性の性質を有するように設定したうえで、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電源周波数を設定した場合、定電流充電（CC）から定電圧充電（CV）に移行してからの入力インピーダンス Z_{in} の値を増加傾向にすることができる。これにより、定電流充電期間が終了したと判定するための所定の閾値を、定電流充電時の入力インピーダンス Z_{in} よりも高い値にすることにより、判定可能となる。同様に、定電流充電期間が終了したと判定するための所定の閾値を、定電流充電時の負荷変動特性よりも高い値にすることにより、判定可能となる。

[0072] （測定実験 1 - 2 : 電源周波数を逆相共振モードに設定した場合）

測定実験 1 - 2 では、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電源周波数を設定した場合（逆相共振モード： $f_H = 1070\text{ kHz}$ ）の充電時間（Charging Time(min)）に対する入力電流 I_{in} 、及び、入力インピーダンス Z_{in} を測定し、その測定結果を図 9 に示す。なお、入力電圧 V_{in} は 5 V（一定）である。

[0073] 図 9 の測定結果より、定電流充電（CC）から定電圧充電（CV）に移行してからの入力インピーダンス Z_{in} の値が増加傾向になっているのが分かる。

[0074] 上記測定実験 1 - 2 より、無線電力伝送装置 1 に供給する電力の電源周波数に対する無線電力伝送装置 1 の伝送特性『S 2 1』を双峰性の性質を有するように設定したうえで、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電源周波数を設定した場合、定電流充電（CC）から定電圧充電（CV）に移行してからの入力インピーダンス Z_{in} の値を増加傾向にすることができる。これにより、定電流充電期間が終了したと判定するための所定の閾値を、定電流充電時の入力インピーダンス Z_{in} よりも高い値にすることにより、判定可能となる。同様に、定電流充電期間が終了したと判定するための所定の閾値を、定電流充電時の負荷変動特性よりも高い値にすることにより、判定可能となる。

[0075] （測定実験 1 - 3 : 電源周波数を共振周波数に設定した場合）

測定実験 1 - 3 では、双峰性における共振周波数 f_0 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（共振周波数： $f_0 = 970 \text{ kHz}$ ）の充電時間（Charging Time(min)）に対する入力電流 I_{in} 、及び、入力インピーダンス Z_{in} を測定し、その測定結果を図 10 に示す。なお、入力電圧 V_{in} は 5 V（一定）である。

[0076] 図 10 の測定結果より、定電流充電（CC）から定電圧充電（CV）に移行してからの入力インピーダンス Z_{in} の値が減少傾向になっているのが分かる。

[0077] 上記測定実験 1 - 3 より、無線電力伝送装置 1 に供給する電力の電源周波数に対する無線電力伝送装置 1 の伝送特性『S21』を双峰性の性質を有するように設定したうえで、双峰性における共振周波数 f_0 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、定電流充電（CC）から定電圧充電（CV）に移行してからの入力インピーダンス Z_{in} の値を減少傾向にすることができる。これにより、定電流充電期間が終了したと判定するための所定の閾値を、定電流充電時の入力インピーダンス Z_{in} よりも低い値にすることにより、判定可能となる。同様に、定電流充電期間が終了したと判定するための所定の閾値を、定電流充電時の負荷変動特性よりも低い値にすることにより、判定可能となる。

[0078] （負荷変動特性の設定）

次に、例えば、上記測定実験 1 - 1 のように定電圧充電時（CV）における無線電力伝送装置 1 の入力インピーダンス値の増減傾向を増加傾向に設定した場合、充電時間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} の値の変化量である負荷変動特性を大きくすることができれば、短時間での負荷変動特性の変化が大きくなるため、電圧検出部 4（制御機器 5 含む）での測定精度を上げることができる。ここで測定精度としては、定電流充電（CC）から定電圧充電時（CV）に移行したことを短時間で判断することが挙げられる。

[0079] （結合係数による負荷変動特性の調整）

本実施形態では、結合係数 k_{12} 、 k_{23} 、 k_{34} 、を変えることにより、上記負荷変動特性を調整する。そして、結合係数 k_{12} 、 k_{23} 、 k_{34} 、をどのように変えることにより、負荷変動特性がどのように変わるのかを、測定実験 2-1 ~ 2-5 により説明する。

[0080] (測定実験 2-1)

測定実験 2-1 で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、 0.65Ω 、 0.65Ω 、 2.47Ω 、 2.0Ω に設定した。また、 L_1 、 L_2 、 L_3 、 L_4 の値をそれぞれ、 $3.1 \mu\text{H}$ 、 $3.1 \mu\text{H}$ 、 $18.4 \mu\text{H}$ 、 $12.5 \mu\text{H}$ 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 970 kHz である。

[0081] そして、測定実験 2-1 では、上記構成により、無線電力伝送装置 1 を双峰性の性質に設定したうえで、給電モジュール 2 に供給する交流電力の電源周波数を、逆相共振モード (fH) に設定している。そして、結合係数 k_{23} 、 k_{34} をそれぞれ、 0.20 、 0.52 に固定したうえで、結合係数 k_{12} を 0.3 にした場合と、結合係数 k_{12} を 0.46 にした場合における、リチウムイオン二次電池 9 に充電 (給電) を行った際の入力インピーダンス Z_{in} を測定した。なお、測定実験 2-1 では、無線電力伝送装置 1 への交流電源 6 からの入力電圧 $V_{in} = 5 \text{ V}$ のときの充電時間 (Charging Time(min)) に対する入力インピーダンス Z_{in} を測定している。

[0082] 図 11 の測定実験 2-1 の測定結果より、結合係数 k_{12} を 0.3 にした場合は、定電圧充電時 (CV) における充電時間に対する入力インピーダンス Z_{in} の値の変化量はおよそ 10Ω であるのに対して、結合係数 k_{12} を 0.46 にした場合は、定電圧充電時 (CV) における充電時間に対する入力インピーダンス Z_{in} の値の変化量はおよそ 20Ω である。従って、結合係数 k_{12} を 0.3 にした場合よりも、結合係数 k_{12} を 0.46 にした場合の方が、負荷変動特性が大きいことが分かる。

[0083] (測定実験 2-2)

測定実験 2-2 で使用する無線電力伝送装置 1 は、測定実験 2-1 と同じ

ものである。そして、測定実験 2-2 では、無線電力伝送装置 1 を双峰性の性質に設定したうえで、給電モジュール 2 に供給する交流電力の電源周波数を、給電共振器 3 2 が有する共振周波数 (f_0) に設定して、給電共振器 3 2 及び受電共振器 2 2 及び受電共振器 3 2 が有する共振周波数 (f_0) に設定することにより、定電流による充電 (CC) から定電圧による充電 (CV) に移行してからの入力インピーダンス Z_{in} の値が減少傾向になるようにしている。

[0084] 図 11 の測定実験 2-2 の測定結果より、結合係数 k_{12} を 0.3 にした場合、定電圧充電時 (CV) における充電時間に対する入力インピーダンス Z_{in} の値の変化量はおよそ 3 Ω であるのに対して、結合係数 k_{12} を 0.46 にした場合は、定電圧充電時 (CV) における充電時間に対する入力インピーダンス Z_{in} の値の変化量はおよそ 6 Ω である。従って、結合係数 k_{12} を 0.3 にした場合よりも、結合係数 k_{12} を 0.46 にした場合の方が、負荷変動特性が大きいことが分かる。なお、この場合の定電圧充電時における充電時間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} の値の変化量である傾きはマイナス (ー) であるが、負荷変動特性を絶対値で評価して、測定実験 2-2 の場合も負荷変動特性が大きいと評価する。

[0085] (測定実験 2-3)

測定実験 2-3 で使用する無線電力伝送装置 1 は、測定実験 2-1 と同じものである。そして、測定実験 2-2 では、無線電力伝送装置 1 を双峰性の性質に設定したうえで、給電モジュール 2 に供給する交流電力の電源周波数を、逆相共振モード (FH) に設定している。そして、結合係数 k_{12} 、 k_{23} をそれぞれ、0.46、0.20 に固定したうえで、結合係数 k_{34} を 0.25 にした場合と、結合係数 k_{34} を 0.52 にした場合における、リチウムイオン

二次電池 9 に充電（給電）を行った際の入力インピーダンス Z_{in} を測定した。

[0086] 図 12 の測定実験 2-3 の測定結果より、結合係数 k_{34} を 0.25 にした場合は、定電圧充電時（C V）における充電時間に対する入力インピーダンス Z_{in} の値の変化量はおよそ 15 Ω であるのに対して、結合係数 k_{34} を 0.52 にした場合は、定電圧充電時（C V）における充電時間に対する入力インピーダンス Z_{in} の値の変化量はおよそ 20 Ω である。従って、結合係数 k_{34} を 0.25 にした場合よりも、結合係数 k_{34} を 0.52 にした場合の方が、負荷変動特性が大きいことが分かる。

[0087] （測定実験 2-4）

測定実験 2-4 で使用する無線電力伝送装置 1 は、測定実験 2-1 と同じものである。そして、測定実験 2-4 では、無線電力伝送装置 1 を双峰性の性質に設定したうえで、給電モジュール 2 に供給する交流電力の電源周波数を、給電共振器 22 及び受電共振器 32 が有する共振周波数 (f_0) に設定している。そして、結合係数 k_{12} 、 k_{23} をそれぞれ、0.46、0.20 に固定したうえで、結合係数 k_{34} を 0.25 にした場合と、結合係数 k_{34} を 0.52 にした場合における、リチウムイオン二次電池 9 に充電（給電）を行った際の入力インピーダンス Z_{in} を測定した。なお、測定実験 2-4 では、測定実験 2-2 同様に、給電モジュール 2 に供給する交流電力の電源周波数を、給電共振器 22 及び受電共振器 32 が有する共振周波数 (f_0) に設定することにより、定電流による充電（C C）から定電圧による充電（C V）に移行してからの入力インピーダンス Z_{in} の値が減少傾向になるようにしている。

[0088] 図 12 の測定実験 2-4 の測定結果より、結合係数 k_{34} を 0.25 にした場合は、定電圧充電時（C V）における充電時間に対する入力インピーダンス Z_{in} の値の変化量はおよそ 1.5 Ω であるのに対して、結合係数 k_{34} を 0.52 にした場合は、定電圧充電時（C V）における充電時間に対する入力インピーダンス Z_{in} の値の変化量はおよそ 6 Ω である。従って、結合係数 k_{34} を 0.25 にした場合よりも、結合係数 k_{34} を 0.52 にした場合の方が、負荷変動特性が大きいことが分かる。

[0089] (測定実験 2-5)

測定実験 2-5 で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、 $0.7\ \Omega$ 、 $0.7\ \Omega$ 、 $2.5\ \Omega$ 、 $2.0\ \Omega$ に設定した。また、 L_1 、 L_2 、 L_3 、 L_4 の値をそれぞれ、 $3.1\ \mu\text{H}$ 、 $3.1\ \mu\text{H}$ 、 $18.4\ \mu\text{H}$ 、 $12.5\ \mu\text{H}$ に設定した。また、 C_1 、 C_2 、 C_3 、 C_4 の値をそれぞれ、 $8.7\ \text{nF}$ 、 $8.7\ \text{nF}$ 、 $1.5\ \text{nF}$ 、 $2.3\ \text{nF}$ 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 $970\ \text{kHz}$ である。

[0090] そして、測定実験 2-5 では、上記構成により、無線電力伝送装置 1 を双峰性の性質に設定したうえで、給電モジュール 2 に供給する交流電力の電源周波数を、逆相共振モード (fH) に設定している。そして、結合係数 k_{23} を、 0.20 に固定したうえで、結合係数 k_{12} を 0.38 、及び、結合係数 k_{34} を 0.37 にした場合と、結合係数 k_{12} を 0.46 、及び、結合係数 k_{34} を 0.52 にした場合における、リチウムイオン二次電池 9 に充電（給電）を行った際の入力インピーダンス Z_{in} 、及び、入力電流 I_{in} (I_1) を測定した。なお、測定実験 2-5 でも、無線電力伝送装置 1 への交流電源 6 からの入力電圧 $V_{in} = 5\ \text{V}$ のときの充電時間 (Charging Time(min)) に対する入力インピーダンス Z_{in} 、及び、入力電流 I_{in} を測定する。

[0091] 図 13 の測定実験 2-5 の入力インピーダンス Z_{in} の測定結果より、結合係数 k_{12} を 0.38 、及び、結合係数 k_{34} を 0.37 にした場合は、定電流充電 (CC) から定電圧充電 (CV) に移行した際における充電時間に対する入力インピーダンス Z_{in} の値の変化量はおよそ $12\ \Omega$ ($41\ \Omega - 29\ \Omega$) であるのに対して、結合係数 k_{12} を 0.46 、及び、結合係数 k_{34} を 0.52 にした場合は、定電圧充電時 (CV) における充電時間に対する入力インピーダンス Z_{in} の値の変化量はおよそ $17\ \Omega$ ($47\ \Omega - 30\ \Omega$) である。従って、結合係数 k_{12} を 0.38 、及び、結合係数 k_{34} を 0.37 にした場合よりも、結合係数 k_{12} を 0.46 、及び、結合係数 k_{34} を 0.52 にした場合の方が、負荷変動特性が大きいことが分かる。

[0092] 上記のように、負荷変動特性を大きくすれば、短時間での負荷変動特性の変化が大きくなるため、電圧検出部 4（制御機器 5 含む）での測定精度を上げることができる。

[0093] （結合係数の調整方法）

次に、上記負荷変動特性を調整するためのパラメータである結合係数の調整方法について説明する。

[0094] 図 1 4 に示すように、無線電力伝送において、コイル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 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。

[0095] （無線電力伝送装置 1 の充電動作：充電動作フロー）

上記無線電力伝送装置 1 の構成等を踏まえて、無線電力伝送装置 1 を利用したリチウムイオン二次電池 9 の充電動作について説明する（供給電力制御方法）。具体的には、無線電力伝送装置 1 において、主に制御機器 5 が実行する充電動作フロー（処理）を、図 1 5 を参照して説明する。

- [0096] まず、無線式ヘッドセット 102 が充電器 101 に載置されることにより、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、給電共振器 22 から受電共振器 32 に電力が磁界エネルギーとして伝送される。そして、受電共振器 32 で受電された電力が受電コイル 31、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 に給電されて定電流充電 (CC) が開始される。なお、本説明では、無線式ヘッドセット 102 が充電器 101 に載置したときのリチウムイオン二次電池 9 の充電量は 0% として説明する。
- [0097] 次に、制御機器 5 は、電流・電圧検出部 4 によって、無線電力伝送装置 1 に印加される電圧 V_{in} 、無線電力伝送装置 1 に入力される電流 I_{in} が検出されたか否かを判定する (S1)。なお、電流・電圧検出部 4 による電流 I_{in} 、電圧 V_{in} の検出は、所定の時間間隔を空けて行なわれる (この所定の時間間隔は、任意に設定可能なものである)。
- [0098] そして、電圧 V_{in} 、電流 I_{in} が検出されない場合 (S1: NO)、電圧 V_{in} 、電流 I_{in} が検出されるまで待機状態となる。
- [0099] 一方、電圧 V_{in} 、電流 I_{in} が検出された場合 (S1: YES)、制御機器 5 は、電流・電圧検出部 4 が検出した電圧 V_{in} 及び電流 I_{in} に基づいて入力インピーダンス Z_{in} を算出する (式 5 参照) (S2)。
- [0100] そして、制御機器 5 は、S2 で算出した入力インピーダンス Z_{in} が、予め設定された閾値を超えたか否かを判定する (S3)。そして、S2 で算出した入力インピーダンス Z_{in} が、予め設定された閾値を超えていない場合 (S3: NO)、S1 の処理に移行する。
- [0101] 一方、S2 で算出した入力インピーダンス Z_{in} が、予め設定された閾値を超えた場合 (S3: YES)、制御機器 5 は、交流電源 6 から給電モジュール 2 への電力の供給を遮断する (S4)。即ち、リチウムイオン二次電池 9 に対する充電を終了させる。そして、本フローは終了される。
- [0102] 例えば、図 8 に示す測定実験 1-1 で使用した無線電力伝送装置 1 の場合で説明すると、閾値を $25\ \Omega$ に設定していた場合、定電流充電 (CC) の間

は、入力インピーダンス Z_{in} が $22\ \Omega$ でほぼ維持されているが、定電圧充電（ CV ）に移行すると、入力インピーダンス Z_{in} が増加していく。すると、充電時間がおよそ 45 min のところで、入力インピーダンス Z_{in} が $25\ \Omega$ に達する。そこで、制御機器 5 は、 $S2$ で算出した入力インピーダンス Z_{in} が、予め設定された閾値（ $25\ \Omega$ ）を超えたと判断し、交流電源 6 から給電モジュール 2 への電力の供給を遮断することで、リチウムイオン二次電池 9 に対する充電を終了させる。

[0103] なお、上記では、入力インピーダンス Z_{in} が、所定の閾値を超えたときに、定電流充電期間が終了したと判定する場合の充電動作フローである。一方、負荷変動特性が、所定の閾値を超えたときに、定電流充電期間が終了したと判定する場合は、 $S2$ において、負荷変動特性を算出し、それが、所定の閾値を超えた場合に（ $S3$ ）、制御機器 5 が交流電源 6 から給電モジュール 2 への電力の供給を遮断することで（ $S4$ ）、リチウムイオン二次電池 9 に対する充電を終了させる。

[0104] （効果）

上記構成・方法によれば、定電流充電（ CC ）から定電圧充電（ CV ）に移行することにより充電可能なリチウムイオン二次電池 9 に、共振現象を利用した充電をするに際して、制御機器 5 は、電流・電圧検出部 4 が測定した電流 I_{in} 及び電圧 V_{in} に基づいて算出された入力インピーダンス Z_{in} の値に変化があったときに、定電流充電期間（ CC ）が終了したと判定して、この定電流充電期間（ CC ）の終了をもってリチウムイオン二次電池 9 に対する充電を終了させることができる。

一般に、リチウムイオン二次電池 9 は、満充電を繰り返すより、満充電せずにある程度の容量を残して充電を終えるような充電を繰り返す方が、リチウムイオン二次電池 9 の寿命を延ばすことができる。このため、上記のようにリチウムイオン二次電池 9 に対して定電流充電期間（ CC ）のみの充電で終了させることにより、満充電せずにある程度の容量を残した充電が可能となり、リチウムイオン二次電池 9 の寿命を延ばすことができる。なお、一般

に、定電流・定電圧充電方式により充電可能なりチウムイオン二次電池 9 は、定電流充電期間 (CC) のみの充電で満充電の約 80% の充電が可能であるため十分な充電量を確保することができる。

また、定電圧充電 (CV) を経ずに、定電流充電期間 (CC) の終了をもってリチウムイオン二次電池 9 に対する充電を終了させることができるので、充電時間の短縮を図ることができる。

[0105] また、上記構成によれば、電流・電圧検出部 4 が測定した電流 I_{in} 及び電圧 V_{in} に基づいて算出された入力インピーダンス Z_{in} の値が、所定の閾値を、上回る又は下回ったときに、定電流充電期間 (CC) が終了したと判定することができる。

[0106] また、上記構成によれば、電流・電圧検出部 4 が測定した電流 I_{in} 及び電圧 V_{in} に基づいて算出された負荷変動特性が、所定の閾値を、上回る又は下回ったときに、定電流充電期間 (CC) が終了したと判定することができる。

[0107] また、上記構成によれば、給電コイル 21 と給電共振器 22 との間の結合係数 k_{12} 、給電共振器 22 と受電共振器 32 との間の結合係数 k_{23} 、及び、受電共振器 32 と受電コイル 31 との間の結合係数 k_{34} の少なくとも一つを調整することにより、負荷変動特性を調整することができる。これにより、例えば、負荷変動特性を大きくすれば、短時間での負荷変動特性の変化が大きくなるため、電圧検出部 4 (制御機器 5 含む) での測定精度を上げることができる。

[0108] また、上記構成によれば、給電コイル 21 と給電共振器 22 との間の結合係数 k_{12} を大きくすることにより、負荷変動特性を大きくすることができる。これにより、短時間での負荷変動特性の変化が大きくなるため、電圧検出部 4 (制御機器 5 含む) での測定精度を上げることができる。

[0109] また、上記構成によれば、受電共振器 32 と受電コイル 31 との間の結合係数 k_{34} を大きくすることにより、負荷変動特性を大きくすることができる。これにより、短時間での負荷変動特性の変化が大きくなるため、電圧検出部 4 (制御機器 5 含む) での測定精度を上げることができる。

[0110] また、上記構成によれば、給電コイル 2 1 と給電共振器 2 2 との間の結合係数 k_{12} 、及び、受電共振器 3 2 と受電コイル 3 1 との間の結合係数 k_{34} を大きくすることができる。これにより、短時間での負荷変動特性の変化が大きくなるため、電圧検出部 4（制御機器 5 含む）での測定精度を上げることができる。

[0111] （その他の実施形態）

上記説明では、無線式ヘッドセット 1 0 2 を例示して説明したが、二次電池を備えた機器であれば、タブレット型 P C、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、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（E V）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。

[0113] 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

- [0114] 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
- 4 電流・電圧検出部
- 5 制御機器
- 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
- 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、定電流・定電圧充電方式により充電可能な二次電池を含む被給電機器が接続され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であって、

前記無線電力伝送装置は、

前記被給電機器を含む無線電力伝送装置の入力インピーダンスを測定する入力インピーダンス測定器と、

前記入入力インピーダンス測定器が測定した入力インピーダンスの変化を利用して、前記定電流充電期間が終了したか否かを判定し、前記定電流充電期間が終了したと判定した場合に、充電を終了させる制御機器と、を備えたことを特徴とする。

[請求項2] 前記制御機器は、前記入入力インピーダンス測定器が測定した前記入入力インピーダンスが、所定の閾値を、上回る又は下回ったときに、前記定電流充電期間が終了したと判定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。

[請求項3] 前記制御機器は、前記入入力インピーダンス測定器が測定した、充電時間に対する前記入入力インピーダンスの変化量である負荷変動特性が、所定の閾値を、上回る又は下回ったときに、前記定電流充電期間が終了したと判定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。

[請求項4] 前記給電モジュール及び前記受電モジュールは、少なくとも給電コイル、給電共振器、受電共振器及び受電コイルを備え、

前記給電コイルと前記給電共振器との間の結合係数、前記給電共振器と前記受電共振器との間の結合係数、及び、前記受電共振器と前記受電コイルとの間の結合係数の少なくとも一つを調整することにより、前記負荷変動特性が調整可能であ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] 前記給電コイルと前記給電共振器との間の結合係数を大きくすることにより、前記負荷変動特性を大きくすることを特徴とする請求項4に記載の無線電力伝送装置。
- [請求項6] 前記受電共振器と前記受電コイルとの間の結合係数を大きくすることにより、前記負荷変動特性を大きくすることを特徴とする請求項4に記載の無線電力伝送装置。
- [請求項7] 前記給電コイルと前記給電共振器との間の結合係数、及び、前記受電共振器と前記受電コイルとの間の結合係数を大きくすることにより、前記負荷変動特性を大きくすることを特徴とする請求項4に記載の無線電力伝送装置。
- [請求項8] 電源に接続された給電モジュールから、定電流・定電圧充電方式により充電可能な二次電池を含む被給電機器が接続され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、
前記無線電力伝送装置は、
前記電力伝送装置の入力インピーダンスを測定する入力インピーダンス測定器と、
前記制御機器と、を備え、
前記制御機器は、
前記入力インピーダンス測定器が測定した入力インピーダンスの変化を利用して、前記定電流充電期間が終了したか否かを判定する処理と、
前記定電流充電期間が終了したと判定した場合に、充電を終了させる処理と、を実行する。