

(19) 日本国特許庁(JP)

再公表特許(A1)

(11) 国際公開番号

W02014/057959

発行日 平成28年9月5日 (2016.9.5)

(43) 国際公開日 平成26年4月17日 (2014.4.17)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
HO 2 J 50/00 (2016.01)	HO 2 J 17/00 B	
HO 1 F 38/14 (2006.01)	HO 1 F 23/00 B	

審査請求 有 予備審査請求 未請求 (全 37 頁)

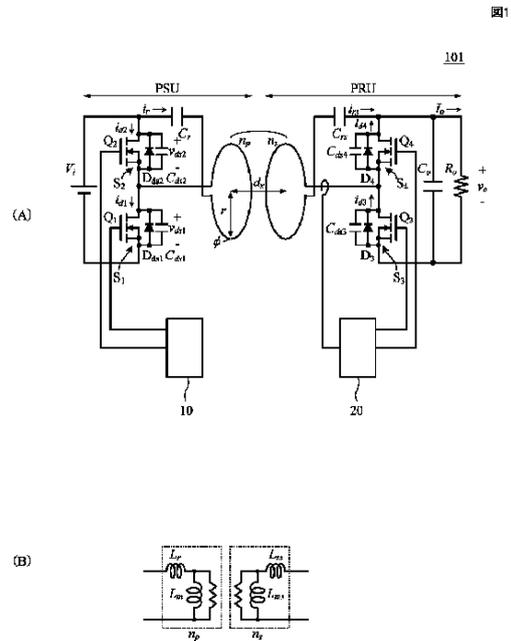
出願番号 特願2014-540860 (P2014-540860)	(71) 出願人 000006231 株式会社村田製作所 京都府長岡京市東神足1丁目10番1号
(21) 国際出願番号 PCT/JP2013/077431	
(22) 国際出願日 平成25年10月9日 (2013.10.9)	
(31) 優先権主張番号 特願2012-225917 (P2012-225917)	(74) 代理人 110000970 特許業務法人 楓国際特許事務所
(32) 優先日 平成24年10月11日 (2012.10.11)	
(33) 優先権主張国 日本国 (JP)	(72) 発明者 細谷 達也 京都府長岡京市東神足1丁目10番1号 株式会社村田製作所内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ワイヤレス給電装置

(57) 【要約】

送電装置 (PSU) に設けられている送電ループコイル (np) は、直流電源から電気エネルギーを取り出して、周期的に変化する電磁界共鳴エネルギーを空間に発生させる。受電装置 (PRU) に設けられている受電ループコイル (ns) は、周期的に変化する電磁界共鳴エネルギーを空間から電気エネルギーとして取り出して負荷に電力を供給する。送電ループコイル (np) と受電ループコイル (ns) とは電磁界共鳴結合し、送電装置 (PSU) から受電装置 (PRU) へワイヤレスで電力が給電される。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

送電コイルを備えた送電装置と、受電コイルを備えた受電装置とで構成されるワイヤレス給電装置において、

前記送電コイルと等価的に直列接続されて送電側共振回路を構成する少なくとも 1 つの共振キャパシタと、

前記送電側共振回路と接続され、オンオフさせることにより直流電源を前記送電側共振回路に断続的に加えて送電側共振回路に共振電流を発生させるスイッチ素子とこのスイッチ素子を制御するスイッチング制御回路とを備えた送電側スイッチング回路と、

前記受電コイルと等価的に直列に接続され受電側共振回路を構成する少なくとも 1 つの共振キャパシタと、

前記受電側共振回路に接続され、共振電流を整流して負荷に電流を供給する整流素子を備えた受電側整流回路と、

を備え、

前記送電コイルまたは前記受電コイルの少なくとも一方はループコイルであり、

前記送電コイルは、前記直流電源から電気エネルギーを取り出して、周期的に変化する電磁界共鳴エネルギーを空間に発生させ、

前記受電コイルは、周期的に変化する電磁界共鳴エネルギーを空間から電気エネルギーとして取り出して負荷に電力を供給し、

前記送電コイルと前記受電コイルとの間で、相互誘導により等価的に相互インダクタンスを形成し、前記送電側共振回路と前記受電側共振回路とが共鳴して、前記相互インダクタンスに共振電流が流れる電磁界共鳴結合により前記送電装置から前記受電装置へ電力を伝送することを特徴とするワイヤレス給電装置。

【請求項 2】

前記ループコイルは、2次元平面に形成されている、請求項 1 に記載のワイヤレス給電装置。

【請求項 3】

前記ループコイルは、互いに直交する 2 つの 2次元平面上に形成され、3次元空間のループコイルが構成されている、請求項 1 に記載のワイヤレス給電装置。

【請求項 4】

前記ループコイルは、相互に直交する 3 つの 2次元平面上に形成され、3次元空間のループコイルが構成されている、請求項 1 に記載のワイヤレス給電装置。

【請求項 5】

前記ループコイルは、同一 2次元平面上に複数旋回形成されている、請求項 1 ~ 4 のいずれかに記載のワイヤレス給電装置。

【請求項 6】

前記受電装置の出力に適当な負荷を接続した場合に、前記送電側スイッチング回路に接続される送電側共振回路の入力から負荷側全体をみた入力インピーダンスが極小となる共振周波数を f_r 、スイッチング周波数を f_s で表すと、

前記スイッチング制御回路は、 $f_s = f_r \pm 20\%$ で動作するように構成されている、請求項 1 ~ 5 のいずれかに記載のワイヤレス給電装置。

【請求項 7】

前記受電装置の出力に適当な負荷を接続した場合に、前記送電側スイッチング回路に接続される送電側共振回路の入力から負荷側全体をみた入力インピーダンスが極小となる共振周波数を f_r 、スイッチング周波数を f_s で表すと、

前記スイッチング制御回路は、 $f_s > f_r$ で動作するように構成されている、請求項 1 ~ 5 のいずれかに記載のワイヤレス給電装置。

【請求項 8】

前記スイッチング制御回路は、前記スイッチ素子の両端電圧がゼロ電圧付近に低下した際に前記スイッチ素子をターンオンするように制御してゼロ電圧スイッチング動作するよ

10

20

30

40

50

うに構成されている、請求項 1 ~ 7 のいずれかに記載のワイヤレス給電装置。

【請求項 9】

前記受電側整流回路は、前記受電側共振回路を構成する共振キャパシタに対して直列に接続され、前記共振キャパシタに流れる電流を取り出すように整流して前記負荷に電力を供給する、請求項 1 ~ 8 のいずれかに記載のワイヤレス給電装置。

【請求項 10】

前記受電側整流回路は、前記受電側共振回路を構成する共振キャパシタに対して並列に構成され、前記共振キャパシタに加えられる電圧から電流を取り出すように整流して前記負荷に電力を供給する、請求項 1 ~ 8 のいずれかに記載のワイヤレス給電装置。

【請求項 11】

前記受電側整流回路はブリッジ整流回路である、請求項 1 ~ 10 のいずれかに記載のワイヤレス給電装置。

【請求項 12】

前記受電側整流回路は半波整流回路である、請求項 1 ~ 10 のいずれかに記載のワイヤレス給電装置。

【請求項 13】

前記受電側整流回路は倍電圧整流回路である、請求項 1 ~ 10 のいずれかに記載のワイヤレス給電装置。

【請求項 14】

前記送電側共振回路の共振周波数と前記受電側共振回路の共振周波数とは、 $\pm 20\%$ の範囲内で一致している、請求項 1 ~ 13 のいずれかに記載のワイヤレス給電装置。

【請求項 15】

前記整流素子の接合容量を前記共振キャパシタまたは共振キャパシタの一部として利用する、請求項 1 ~ 14 のいずれかに記載のワイヤレス給電装置。

【請求項 16】

前記ループコイルの浮遊容量を前記共振キャパシタの全部または一部として用いた、請求項 1 ~ 15 のいずれかに記載のワイヤレス給電装置。

【請求項 17】

前記スイッチ素子はFETであり、前記送電側スイッチング回路は前記FETの寄生容量、および逆並列ダイオードを含む、請求項 1 ~ 16 のいずれかに記載のワイヤレス給電装置。

【請求項 18】

前記送電側スイッチング回路はハーフブリッジ構成である、請求項 1 ~ 17 のいずれかに記載のワイヤレス給電装置。

【請求項 19】

前記送電側スイッチング回路はフルブリッジ構成である請求項 1 ~ 17 のいずれかに記載のワイヤレス給電装置。

【請求項 20】

前記受電側整流回路はスイッチ素子を備えた同期整流回路である、請求項 1 ~ 19 のいずれかに記載のワイヤレス給電装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、電力送電装置と電力受電装置とで構成されるワイヤレス給電装置に関するものである。

【背景技術】

【0002】

近年、電子機器の小型軽量化および低消費電力化、さらには電池容量の増大化に伴い、電池駆動の電子機器が増加している。また、近距離では機器間のデータ通信を無線で行う利用形態も増えている。これらの事情に伴って電力についても非接触での伝送技術が要求されている。

10

20

30

40

50

【 0 0 0 3 】

例えば、従来の非接触型の充電システムは、特許文献 1 に示されるように、充電台等に一次側コイルを備える送電装置と、二次コイルおよび充電電池を備えた携帯電子機器とで構成されていて、ユーザは携帯電子機器を送電装置に載置する。これにより、送電装置の一次側コイルと携帯電子機器の二次側コイルとが電磁誘導結合（磁界結合）して充電装置側へ電力が供給され、二次電池が充電される。

【 先行技術文献 】

【 特許文献 】

【 0 0 0 4 】

【 特許文献 1 】 特開 2 0 0 8 - 2 0 6 3 2 7 号 公 報

10

【 発明の概要 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 0 5 】

特許文献 1 の非接触型の充電システムにおいては、送電コイルと受電コイルとは電磁誘導を利用した絶縁トランスとして作用し、磁気結合を利用した変圧器として利用しているに過ぎない。電磁誘導を利用したトランスでは、1 次巻線に流れる電流により発生した磁束を 2 次巻線に鎖交させて電流を流し、電気から磁気、そして電気へと効率よく変換することが重要となっている。

【 0 0 0 6 】

電磁誘導を利用したワイヤレス給電装置においては、電力変換効率を高めるために、1 次巻線と 2 次巻線との磁気結合度を如何に高めるかが重要となっている。しかしながら、磁気飽和を防止するため、または物理的な制約により、トランスの磁気結合度を大きくすることが困難な場合も多く、結果的に高い電力変換効率を得られない。

20

【 0 0 0 7 】

また、近年、共鳴方式を用いたワイヤレス給電技術の研究開発が活発化している。2007 年に MIT (マサチューセッツ工科大学) より報告され注目を集めた、周波数 10MHz、伝送距離 2m での電力伝送実験では、電力効率が約 15% と非常に低い。その主な理由は、コルピッツ発振回路を用いて高周波交流電流を発生させたためと推察される。コルピッツ発振回路における電力増幅回路において、交流電流を発生させる段階で多くの電力を失っていると考えられる。ワイヤレス給電における最重要課題は、高効率な高周波交流電流の発生であるといっても過言ではない。

30

【 0 0 0 8 】

本発明は電磁界共鳴結合を形成してワイヤレス給電を行う装置に関する。電磁界共鳴結合でワイヤレス給電を行う場合には次のような課題がある。

【 0 0 0 9 】

(1) 磁界共鳴結合を形成してワイヤレス給電を行う装置においては、電力伝送デバイスを用いて電力の送電、受電が行われるが、これまでの電力伝送デバイスには、複雑な構造を有するヘリカルコイルなどが用いられてきた。しかしながら、高い周波数で共鳴して結合を形成する電磁界共鳴結合においては、電力伝送デバイスが構造的に有する容量成分である浮遊容量が共鳴周波数に大きく影響を与える。しかし、構造的に決まる浮遊容量を産業応用上において、管理、調整することは非常に困難であり、シンプルな構造により構成される電力伝送デバイスを用いた電磁界共鳴結合を形成してワイヤレス給電を行う技術が求められている。

40

【 0 0 1 0 】

(2) 電力源において発生する電力に対する目的とする負荷での消費電力の割合である電力効率に関し、巻き数の多いコイルを電力伝送デバイスとすると、等価直列交流抵抗が大きくなるので電力効率が大きく低下する。

【 0 0 1 1 】

(3) 電磁界共鳴結合を形成するための交流電力発生源に電力増幅回路を用いると、その電力増幅回路での電力損失が大きく、例えば A 級増幅回路では、交流電力を発生させるた

50

めの電力効率は、理論上の最高でも50%となる。このため、電力増幅回路を用いると電力効率の非常に悪いワイヤレス給電システムしか構成できない。

【0012】

本発明は、電力伝送デバイスとしてループコイルを用い、非常にシンプルなワイヤレス給電装置を提供することを目的としている。

【課題を解決するための手段】

【0013】

本発明のワイヤレス給電装置は次のように構成される。

【0014】

(1) 送電コイルを備えた送電装置と、受電コイルを備えた受電装置とで構成されるワイヤレス給電装置において、

前記送電コイルと等価的に直列接続されて送電側共振回路を構成する少なくとも1つの共振キャパシタ C_r と、

前記送電側共振回路と接続され、オンオフさせることにより直流電源を前記送電側共振回路に断続的に加えて送電側共振回路に共振電流を発生させるスイッチ素子とこのスイッチ素子を制御するスイッチング制御回路とを含む送電側スイッチング回路と、

前記受電コイルと等価的に直列に接続され受電側共振回路を構成する少なくとも1つの共振キャパシタ C_{rs} と、

前記受電側共振回路に接続され、共振電流を整流して負荷に電流を供給する整流素子を含む受電側整流回路と、

を備え、

前記送電コイルまたは前記受電コイルの少なくとも一方はループコイル(送電ループコイル n_p または受電ループコイル n_s)であり、

前記送電コイルは、前記直流電源から電気エネルギーを取り出して、周期的に変化する電磁界共鳴エネルギーを空間に発生させ、

前記受電コイルは、周期的に変化する電磁界共鳴エネルギーを空間から電気エネルギーとして取り出して負荷に電力を供給し、

前記送電コイルと前記受電コイルとの間で、相互誘導により等価的に相互インダクタンス L_m を形成し、前記送電側共振回路と前記受電側共振回路とが共鳴して、前記相互インダクタンス L_m に共振電流が流れる電磁界共鳴結合により前記送電装置から前記受電装置へ電力を伝送することを特徴とする。

【0015】

上記構成により、複雑なコイルを用いることなく、シンプルなループコイルを用いて、電磁界共鳴結合を形成することができ、シンプルなスイッチングワイヤレス給電装置を構成することができる。また、ループコイルは、等価直列交流抵抗が小さいため、ループコイルでの電力損失は小さく、磁界共振結合により送電回路から受電回路へ効率良く電力を伝送することができ、ワイヤレス給電装置の高効率化を図ることができる。

【0016】

(2) 前記ループコイルは2次元平面に形成されていることが好ましい。これにより、シンプルで薄型のワイヤレス給電装置を構成することができる。

【0017】

(3) 必要に応じて、前記ループコイルは互いに直交する2つの2次元平面上に形成され、3次元空間のループコイルが構成されていることが好ましい。この構造により、xyz軸の3つの軸のうち2つの軸方向でエネルギーを容易に送受電することができ、送受電装置の位置関係に関して自由度が大幅に向上する。

【0018】

(4) 前記ループコイルは、相互に直交する3つの2次元平面上に形成され、3次元空間のループコイルが構成されていることが好ましい。この構造により、xyz軸の3つの法線方向について容易にエネルギーを送受電することができ、送受電装置の位置関係に関して自由度が大幅に拡大する。

10

20

30

40

50

【0019】

(5) 必要に応じて、前記ループコイルは同一2次元平面上に複数旋回形成されていることが好ましい。この構成により、ループコイルが形成する磁気的エネルギーが大きくなり、単位周期あたりの電磁界共鳴エネルギーが大きくなり、電力送電量を大きくすることができる。これによりワイヤレス給電装置の小型軽量化を図ることができる。

【0020】

(6) 前記受電装置の出力に適切な負荷を接続した場合に、前記送電側スイッチング回路に接続される送電側共振回路の入力から負荷側全体をみた入力インピーダンスが極小となる共振周波数を f_r 、スイッチング周波数を f_s で表すと、

前記スイッチング制御回路は、 $f_s = f_r \pm 20\%$ で動作するように構成されていることが好ましい。この構成により、スイッチング周波数 f_s が共振周波数 f_r 付近にて動作するので、共鳴エネルギーが大きくなり、エネルギー送電量を大きくすることができる。これによりワイヤレス給電装置の小型軽量化を図ることができる。

10

【0021】

(7) 前記受電装置の出力に適切な負荷を接続した場合に、前記送電側スイッチング回路に接続される送電側共振回路の入力から負荷側全体をみた入力インピーダンスが極小となる共振周波数を f_r 、スイッチング周波数を f_s で表すと、

前記スイッチング制御回路は、 $f_s > f_r$ で動作するように構成されていることが好ましい。この構成により、スイッチング回路から見た複共振回路の入力インピーダンスは誘導性となり、そのことで、送電回路を構成するスイッチ素子においてゼロ電圧スイッチングZVS動作を実現することができる。また、全負荷範囲に亘ってスイッチ素子のZVS動作を行うことが可能となる。このZVS動作により、スイッチング損失を低減することで高効率化を図ることができ、ワイヤレス給電装置の小型軽量化を図ることができる。

20

【0022】

(8) 前記スイッチング制御回路は、前記スイッチ素子の両端電圧がゼロ電圧付近に低下した際に前記スイッチ素子をターンオンするように制御してゼロ電圧スイッチング動作するように構成されていることが好ましい。この構成により、両端電圧がゼロ電圧付近に低下した際にターンオンすることで、スイッチング損失をより少なく低減することができる。また、ZVS動作によりスイッチング損失を低減することで高効率化を図ることができ、ワイヤレス給電装置の小型軽量化を図ることができる。

30

【0023】

(9) 前記受電側整流回路は、前記受電側共振回路を構成する共振キャパシタに対して例えば直列に接続され、前記共振キャパシタに流れる電流を取り出すように整流して前記負荷に電力を供給するようにしてもよい。この構成により、キャパシタに流れる電流を整流することで負荷に大きな電流を供給できる。また、整流素子の耐圧を低くすることができ、整流損失を低減し、ワイヤレス給電装置の高効率化、小型軽量化を図ることができる。

【0024】

(10) 前記受電側整流回路は、前記受電側共振回路を構成する共振キャパシタに対して例えば並列に構成され、前記共振キャパシタに加えられる電圧から電流を取り出すように整流して前記負荷に電力を供給するようにしてもよい。この構成により、共振キャパシタに加えられる電圧から電流を取り出して整流することで負荷に大きな電圧を供給できる。また、整流素子の耐電流値を低くすることができ、整流損失を低減し、ワイヤレス給電装置の高効率化、小型軽量化を図ることができる。

40

【0025】

(11) 前記受電側整流回路は例えばブリッジ整流回路であることが好ましい。これにより、受電ループコイルに発生する双方向の電流を整流することができる。また、整流素子の耐電流値を低くすることができ、ワイヤレス給電装置の高効率化、小型化を図ることができる。

【0026】

(12) 前記受電側整流回路は例えば半波整流回路であることが好ましい。これにより、1

50

つの整流素子で構成することができ、ワイヤレス給電装置の小型軽量化を図ることができる。

【0027】

(13) 前記受電側整流回路は例えば倍電圧整流回路であることが好ましい。これにより、ループコイルに発生する電圧に対してより高い電圧を負荷に供給できる。

【0028】

(14) 前記送電側共振回路の共振周波数と前記受電側共振回路の共振周波数とは $\pm 20\%$ の範囲内で一致していることが好ましい。これにより、スイッチング周波数と共振周波数とが同調して電磁界共鳴エネルギーを大きくすることができ、送電回路から受電回路へ大きな電力を送電することができる。

10

【0029】

(15) 前記整流素子の接合容量を前記共振キャパシタまたは共振キャパシタの一部として利用することが好ましい。これにより、電力伝送動作の不具合を防止することができる。また、部品数を削減することでワイヤレス給電装置の小型軽量化を図ることができる。

【0030】

(16) 前記ループコイルの浮遊容量を前記共振キャパシタの全部または一部として用いることが好ましい。これにより、不要な電磁波の放射を抑制することができる。また、部品数を削減することでワイヤレス給電装置の小型軽量化を図ることができる。

【0031】

(17) 前記スイッチ素子はFETであり、前記送電側スイッチング回路は前記FETの寄生容量および逆並列ダイオードを含むことが好ましい。これにより、部品数を削減して、ワイヤレス給電装置の高効率化、小型軽量化を図ることができる。

20

【0032】

(18) 前記送電側スイッチング回路は例えばハーフブリッジ構成であることが好ましい。これにより、1石式の構成に比べてスイッチ素子に加えられる電圧が低減され、ワイヤレス給電装置の高効率化、小型軽量化を図ることができる。

【0033】

(19) 前記送電側スイッチング回路は例えばフルブリッジ構成であることが好ましい。これにより、ハーフブリッジの構成に比べてさらにスイッチ素子に加えられる電圧が低減され、ワイヤレス給電装置の高効率化、小型軽量化を図ることができる。

30

【0034】

(20) 前記受電側整流回路は例えばスイッチ素子を備えた同期整流回路であることが好ましい。これにより、整流損失の低減を図ることができる。

【発明の効果】

【0035】

本発明によれば、次の効果を奏する。

【0036】

(1) 複雑なコイルを用いることなく、シンプルなループコイルを用いて、電磁界共鳴結合を形成することができ、シンプルなスイッチングワイヤレス給電装置を構成することができる。

40

【0037】

(2) ループコイルは、等価直列交流抵抗が小さいため、ループコイルでの電力損失は小さく、磁界共振結合により送電回路から受電回路へ効率良く電力を伝送することができ、ワイヤレス給電装置の高効率化を図ることができる。

【0038】

(3) スwitching動作を制御するスイッチング制御回路により伝送電力が制御できる。

【図面の簡単な説明】

【0039】

【図1】図1(A)は第1の実施形態のワイヤレス給電装置101の回路図である。

【図2】図2は図1(A)の各部の波形図である。

50

【図3】図3は第2の実施形態に係るワイヤレス給電装置の送電ループコイルおよび受電ループコイルの構造を示す図である。

【図4】図4は第3の実施形態に係るワイヤレス給電装置の送電ループコイルおよび受電ループコイルの構造を示す図である。

【図5】図5は第4の実施形態に係るワイヤレス給電装置が備える送電ループコイル n_p および受電ループコイル n_s の構造を示す図である。

【図6】図6は第4の実施形態に係るワイヤレス給電装置が備える別の送電ループコイル n_p および受電ループコイル n_s の構造を示す図である。

【図7】図7は、第5の実施形態に係るワイヤレス給電装置の、送電側共振回路の入力から負荷側全体をみた入力インピーダンスの周波数特性を示す図である。

10

【図8】図8は、第6の実施形態に係るワイヤレス給電装置の、送電側共振回路の入力から負荷側全体をみた入力インピーダンスのリアクタンスの周波数特性を示す図である。

【図9】図9は第7の実施形態に係るワイヤレス給電装置の回路図である。

【図10】図10は第7の実施形態に係る別のワイヤレス給電装置の回路図である。

【図11】図11は第7の実施形態に係る別のワイヤレス給電装置の回路図である。

【図12】図12は第7の実施形態に係る別のワイヤレス給電装置の回路図である。

【図13】図13は第7の実施形態に係る別のワイヤレス給電装置の回路図である。

【図14】図14は第7の実施形態に係る別のワイヤレス給電装置の回路図である。

【図15】図15は第7の実施形態に係る更に別のワイヤレス給電装置の回路図である。

【図16】図16は第8の実施形態に係るワイヤレス給電装置の回路図である。

20

【図17】図17は第8の実施形態に係る別のワイヤレス給電装置の回路図である。

【図18】図18は第8の実施形態に係る別のワイヤレス給電装置の回路図である。

【図19】図19は第8の実施形態に係る別のワイヤレス給電装置の回路図である。

【図20】図20は第8の実施形態に係る別のワイヤレス給電装置の回路図である。

【図21】図21は第8の実施形態に係る更に別のワイヤレス給電装置の回路図である。

【図22】図22は第9の実施形態に係るワイヤレス給電装置の回路図である。

【図23】図23は第9の実施形態に係る別のワイヤレス給電装置の回路図である。

【図24】図24は第10の実施形態に係るワイヤレス給電装置の回路図である。

【図25】図25は第11の実施形態に係るワイヤレス給電装置の回路図である。

【図26】図26は第12の実施形態のワイヤレス給電装置の回路図である。

30

【発明を実施するための形態】

【0040】

《第1の実施形態》

図1(A)は第1の実施形態のワイヤレス給電装置101の回路図である。図1(B)は図1(A)の一部の等価回路図である。

【0041】

ワイヤレス給電装置101は送電ループコイル n_p を備える送電装置PSUと受電ループコイル n_s を備える受電装置PRUとで構成されている。このワイヤレス給電装置101は、送電装置PSUの入力部に入力電源 V_i を備え、受電装置PRUの負荷 R_o へ安定した直流のエネルギーをワイヤレス給電するシステムである。

40

【0042】

送電装置PSUは、送電ループコイル n_p と、共振キャパシタ C_r と、スイッチ素子 Q_1, Q_2 と、これらスイッチ素子 Q_1, Q_2 を制御するスイッチング制御回路10を含む送電側スイッチング回路とを備えている。

【0043】

送電ループコイル n_p と共振キャパシタ C_r とで「送電側共振回路」が構成されている。

【0044】

スイッチ素子 Q_1 、逆並列ダイオード D_{ds1} および寄生キャパシタ C_{ds1} の並列接続回路でスイッチ回路 S_1 が構成されている。同様に、スイッチ素子 Q_2 、逆並列ダイオード D_{ds2} および寄生キャパシタ C_{ds2} の並列接続回路でスイッチ回路 S_2 が構成されている。以下、逆並列ダ

50

イオード（寄生ダイオード）を単に「ダイオード」という。

【0045】

スイッチング制御回路10は送電側共振回路に接続され、スイッチ回路S1，S2を所定のスイッチング周波数で交互にオンオフさせることにより、直流電源を送電側共振回路に断続的に加えて送電側共振回路に共振電流を発生させる。

【0046】

この例では、送電側スイッチング回路は2つのスイッチ回路S1，S2を備えたハーフブリッジ回路を構成している。

【0047】

受電装置PRUは、受電ループコイル n_s と、共振キャパシタ C_{rs} と、スイッチ素子Q3，Q4と、スイッチ素子Q3，Q4を制御するスイッチング制御回路20を含む受電側スイッチング回路と、平滑キャパシタ C_o とを備えている。

【0048】

受電ループコイル n_s と、それに等価的に直列に接続された共振キャパシタ C_{rs} とで「受電側共振回路」が構成されている。

【0049】

スイッチ素子Q3、ダイオード D_{ds3} およびキャパシタ C_{ds3} の並列接続回路でスイッチ回路S3が構成されている。同様に、スイッチ素子Q4、ダイオード D_{ds4} およびキャパシタ C_{ds4} の並列接続回路でスイッチ回路S4が構成されている。

【0050】

スイッチング制御回路20は受電ループコイル n_s に流れる電流を検出し、その極性反転に同期してスイッチ素子Q3，Q4を交互にオンオフする。これにより、受電側共振回路に流れる共振電流が電流の流れる方向の変化に同期して整流されて、負荷に電流が供給される。これらのスイッチ回路S3，S4およびスイッチング制御回路20で受電側整流回路が構成されている。平滑キャパシタ C_o は受電側整流回路で整流された電圧を平滑する。

【0051】

送電側のスイッチング制御回路10は入力電源 V_i を電源にして動作する。受電側のスイッチング制御回路20は、受電側共振回路に発生する電圧、負荷への出力電圧、または別途設けられた電力供給源などを電源にして動作する。

【0052】

図1(B)は送電ループコイル n_p および受電ループコイル n_s により構成される回路の等価回路図である。送電ループコイル n_p および受電ループコイル n_s はいずれも、理想トランス、相互インダクタンスおよび漏れインダクタンスによる等価回路で表している。すなわち、送電ループコイル n_p は相互インダクタンス L_m および漏れインダクタンス L_r で表される。同様に、受電ループコイル n_s は相互インダクタンス L_{ms} および漏れインダクタンス L_{rs} で表される。なお、図1(B)では明示していないが、送電ループコイル n_p と受電ループコイル n_s との間には等価的な相互キャパシタンスも生じると考えることもできる。

【0053】

送電ループコイル n_p と受電ループコイル n_s との間に等価的に形成される相互インダクタンス（および相互キャパシタンス）で電磁界共鳴結合が生じ、送電側共振回路と受電側共振回路とが共鳴して、送電装置から受電装置へ電力が伝送される。一方、送電装置から送電されずに反射したエネルギー（無効電力）は送電側共振回路に共振エネルギーとして保存される。また、受電装置が受電したエネルギーのうち出力に供給されずに反射したエネルギー（無効電力）も受電側共振回路に共振エネルギーとして保存される。このように入射電力に対して透過電力とならない反射電力をエネルギー損失とすることなく、共振エネルギーとして保存することができる。

【0054】

共鳴現象により、電磁界共鳴結合回路への入力電流 $i_{ac\ i_n}(t)$ は、共振電流の振幅を i_{ac} として、近似的に次式で表すことができる。

【0055】

10

20

30

40

50

$$i_{ac_in}(t) = I_{ac} \sin(\omega t)$$

但し、 $\omega = 2\pi / T_r$ (T_r : 共振周期)

送電装置の直流電源入力端子間に正弦波電流 $i_{ac_in}(t)$ が与えられる。この入力端子間には各周波数成分を含む電流が流入しようとするが、電磁界共鳴結合回路によってインピーダンスが大きくなる高次の周波数成分の電流(波形)はカットされ、共鳴動作を行なうことで、主にスイッチング周波数成分の共鳴電流波形のみが流れ、効率良く電力を伝送することができる。また、高調波成分による不要輻射も殆ど生じない。

【0056】

例えば、7~13MHzで0.1~80Wの電力を2~50mmの距離でワイヤレス給電する場合、送電ループコイル np は例えば半径 $r=25\sim75\text{mm}$ 、導体線の線径 $\phi=1\sim2\text{mm}$ のオーダーである。

10

【0057】

前記ループコイルは、金属線をループ状に成形することで、または回路基板にループ状の導体パターンを形成することで構成できる。

【0058】

図1(A)に示したワイヤレス給電装置101の特徴的な作用は次のとおりである。

【0059】

(1) 送電ループコイル np の漏れインダクタンス L_r と、この漏れインダクタンス L_r に等価的に直列接続される共振キャパシタ C_r とにより送電側共振回路が構成される。

【0060】

送電ループコイル np に対して電氣的に直接的に接続されたスイッチ素子 $Q1, Q2$ をスイッチング制御回路によりオンオフさせることにより、上記送電側共振回路に、直流電源を断続的に加えることによる共振電流が発生する。これにより、送電ループコイル np は、直流電源から電気エネルギーを取り出して、周期的に変化する電磁界共鳴エネルギーを空間に発生させる。

20

【0061】

受電ループコイル ns の漏れインダクタンス L_{rs} と、この漏れインダクタンス L_{rs} に等価的に直列接続される共振キャパシタ C_{rs} とにより受電側共振回路が構成される。

【0062】

送電側共振回路の共振周波数と受電側共振回路の共振周波数とは $\pm 20\%$ の範囲内で一致している。送電側共振回路の共振周波数と受電側共振回路の共振周波数を精度良く一致をさせておくことで、電磁界共鳴を形成する共鳴周波数を特定しやすくなり、不要な周波数成分の電磁雑音の発生を防止することができ、また、ワイヤレス給電装置の設計も容易となる。

30

【0063】

受電ループコイル ns は、周期的に変化する電磁界共鳴エネルギーを空間から電気エネルギーとして取り出して負荷に電力を供給する。送電ループコイル np と受電ループコイル ns との間に電磁界共鳴結合が形成され、送電ループコイル np と受電ループコイル ns との間では、相互誘導により等価的に相互インダクタンスが形成され、送電側共振回路と受電側共振回路とが共鳴して、相互インダクタンスに共振電流が流れる電磁界共鳴結合により、送電装置 PSU から受電装置 PRU へ電力が伝送される。

40

【0064】

送電側共振回路と受電側共振回路とが電磁界共鳴結合することにより形成される複共振回路の共振周波数 f_r にスイッチング周波数 f_s を同調させることにより、電磁界共鳴結合が形成され、送電装置 PSU から受電装置 PRU へ電力がワイヤレスで伝送される。

【0065】

(2) スwitching動作を制御するスイッチング制御回路10により伝送電力を制御する。

【0066】

(3) スwitch素子 $Q1, Q2, Q3, Q4$ はそれぞれの両端電圧がゼロ電圧付近に低下した際にターンオンするZVS動作を行う。

【0067】

50

次に、図1(A)に示したワイヤレス給電装置101の詳細な動作を、図2を参照して説明する。図2は図1(A)の各部の波形図である。

【0068】

送電ループコイルnpの相互インダクタンスを L_m 、送電ループコイルnpの漏れインダクタンスを L_r 、受電ループコイルnsの相互インダクタンスを L_{ms} 、受電ループコイルnsの漏れインダクタンスを L_{rs} とする。また、スイッチ素子 Q_1 、 Q_2 のゲート・ソース間電圧を v_{gs1} 、 v_{gs2} 、ドレイン・ソース間電圧を v_{ds1} 、 v_{ds2} とする。

【0069】

スイッチ素子 Q_1 、 Q_2 は、両スイッチ素子がオフとなる短いデットタイムを挟んで交互にオンオフされ、デットタイム期間に Q_1 、 Q_2 に流れる電流をそれぞれ転流させてZVS動作を行う。1スイッチング周期における各状態での動作は次のとおりである。

10

【0070】

(1) 状態1 時刻 $t_1 \sim t_2$

まず、ダイオード D_{ds1} は導通する。ダイオード D_{ds1} の導通期間においてスイッチ素子 Q_1 をターンオンすることでZVS動作が行われ、スイッチ素子 Q_1 は導通する。送電ループコイルnpと受電ループコイルnsとの間に相互誘導によって等価的な相互インダクタンス L_m 、 L_s が形成され、 C_r 、 L_r 、 L_m 、 L_{ms} 、 C_{rs} 、 L_{rs} からなる複共振回路において、送電共振回路と受電共振回路とが共鳴して、相互インダクタンス L_m 、 L_{ms} に共振電流が流れ、電磁界共鳴結合を形成して、送電回路から受電回路へ電力が伝送される。送電側では、キャパシタ C_r 、漏れインダクタンス L_r に共振電流が流れる。受電側では、キャパシタ C_{rs} および漏れインダクタンス L_{rs} に共振電流が流れ、スイッチ素子 Q_3 、 Q_4 により整流されて負荷に電力が供給される。

20

【0071】

スイッチ素子 Q_1 がターンオフすると状態2となる。

【0072】

(2) 状態2 時刻 $t_2 \sim t_3$

送電装置PSU側では、漏れインダクタンス L_r に流れていた電流 i_r により、寄生キャパシタ C_{ds1} は充電され、寄生キャパシタ C_{ds2} は放電される。電圧 v_{ds1} が電圧 V_i 、電圧 v_{ds2} が0Vになるとダイオード D_{ds2} が導通して状態3となる。

【0073】

30

(3) 状態3 時刻 $t_3 \sim t_4$

まず、ダイオード D_{ds2} は導通する。ダイオード D_{ds2} の導通期間においてスイッチ素子 Q_2 をターンオンすることでZVS動作が行われ、スイッチ素子 Q_2 は導通する。送電ループコイルnpと受電ループコイルnsとの間に相互誘導によって等価的な相互インダクタンス L_m 、 L_s が形成され、 C_r 、 L_r 、 L_m 、 L_{ms} 、 C_{rs} 、 L_{rs} からなる複共振回路において、送電共振回路と受電共振回路とが共鳴して、相互インダクタンス L_m 、 L_{ms} に共振電流が流れ、電磁界共鳴結合を形成して送電回路から受電回路へ電力が伝送される。送電側では、キャパシタ C_r 、漏れインダクタンス L_r に共振電流が流れる。受電側では、キャパシタ C_{rs} 、漏れインダクタンス L_{rs} に共振電流が流れ、スイッチ素子 Q_3 、 Q_4 により整流されて負荷に電力が供給される。

40

【0074】

スイッチ素子 Q_2 がターンオフすると状態4となる。

【0075】

(4) 状態4 時刻 $t_4 \sim t_1$

送電装置PSU側では、漏れインダクタンス L_r に流れていた電流 i_r により、寄生キャパシタ C_{ds1} は放電され、寄生キャパシタ C_{ds2} は充電される。電圧 v_{ds1} が0V、電圧 v_{ds2} が V_i になるとダイオード D_{ds1} は導通して再び状態1となる。

【0076】

以後、状態1～4を周期的に繰り返す。

【0077】

50

第1の実施形態によれば次のような効果を奏する。

【0078】

(1) 複雑なコイルを用いることなく、シンプルなループコイルを用いて、電磁界共鳴結合を形成することができ、シンプルなスイッチングワイヤレス給電装置を構成することができる。

【0079】

(2) ループコイル n_p 、 n_s は、等価直列交流抵抗が小さいため、ループコイルでの電力損失は小さく、磁界共振結合により送電回路から受電回路へ効率良く電力を伝送することができ、ワイヤレス給電装置の効率化を図ることができる。

【0080】

(3) スwitching周波数 f_s を共振周波数 f_r に同調させることにより電磁界共鳴結合を形成し、送電装置から受電装置へ無線により効率よく電力を伝送することができる。

【0081】

(4) スwitching動作を制御するスイッチング制御回路10により、例えばスイッチング周波数の調整、スイッチング周期における時比率の調整、スイッチング動作の間欠による調整などにより、伝送電力が制御できる。

【0082】

(5) スwitching素子がZVS動作を行うことでスイッチング素子の電力損失を大きく低減することができる。

【0083】

(6) 受電装置側のオン抵抗の小さなスイッチング素子を用いた同期整流回路により、順方向電圧降下の大きいダイオードを用いた場合と比較して整流損失を低減できる。

【0084】

(7) スwitching制御回路20で受電装置側の同期整流回路の動作を制御することができ、例えば、受電装置側の同期整流回路の動作周波数を制御すること、整流する期間を調整すること、同期整流回路の動作そのものを間欠的に調整すること等で、送電装置側ではなく受電装置側でも伝送電力の調整が可能となる。

【0085】

(8) 受電装置側は、受電した電力により制御回路を動作させることができる。受電装置側に電源を備える必要がなく、装置の小型軽量化を図ることができる。

【0086】

なお、図1(A)に示した例では、スイッチング制御回路20は受電ループコイル n_s に流れる電流を検出し、その極性反転に同期してスイッチ素子Q3、Q4を交互にオンオフするようにしたが、送電装置側のスイッチ素子Q1、Q2のスイッチングタイミング信号を送電装置PSUから受電装置PRUへ伝送し、受電装置PRU側で、スイッチ素子Q1、Q2のスイッチングタイミングに同期してスイッチ素子Q3、Q4を駆動するように構成してもよい。

【0087】

《第2の実施形態》

第2の実施形態に係るワイヤレス給電装置においては、送電ループコイルと受電ループコイルの他方または双方は、互いに直交する2つの2次元平面上に形成され、3次元空間のループコイルを構成する。

【0088】

図3は第2の実施形態に係るワイヤレス給電装置の送電ループコイルおよび受電ループコイルの構造を示す図である。送電ループコイル n_p は、x軸を法線とする平面(y-z面)に形成されたループコイル n_{px} およびz軸を法線とする平面(x-y面)に形成されたループコイル n_{pz} で構成されている。同様に、受電ループコイル n_s は、x軸を法線とする平面(y-z面)に形成されたループコイル n_{sx} およびz軸を法線とする平面(x-y面)に形成されたループコイル n_{sz} で構成されている。

【0089】

第2の実施形態においては、互いに直交する2つの2次元平面上に構成された3次元空

10

20

30

40

50

間のループコイルに共振電流が流れることにより、互いに直交しながら周期的に変化する電磁場、すなわち直交変動電磁界を2つの平面に形成される。そのため、xyz軸の3つの軸のうち2つの軸についてエネルギーを容易に送受電することができ、送電装置および受電装置の、特に2つの軸に対しての位置自由度を大きく拡大することができる。

【0090】

なお、送電ループコイルまたは受電ループコイルの一方のみが、互いに直交する2つの2次元平面上に形成され、3次元空間のループコイルを構成するようにし、他方は1つの2次元平面上に形成されたループコイルであってもよい。

【0091】

また、図3に示した例では、ループ面が互いに直交する2つのループコイルを直列接続したが、必要に応じてこれを並列接続してもよい。

10

【0092】

《第3の実施形態》

第3の実施形態に係るワイヤレス給電装置においては、送電ループコイルと受電ループコイルの他方または双方は、互いに直交する3つの2次元平面上に形成され、3次元空間のループコイルを構成する。

【0093】

図4は第3の実施形態に係るワイヤレス給電装置の送電ループコイルおよび受電ループコイルの構造を示す図である。送電ループコイルnpは、x軸を法線とする平面(y-z面)に形成されたループコイルnp_x、y軸を法線とする平面(x-z面)に形成されたループコイルnp_yおよびz軸を法線とする平面(x-y面)に形成されたループコイルnp_zで構成されている。同様に、受電ループコイルnsは、x軸を法線とする平面(y-z面)に形成されたループコイルns_x、y軸を法線とする平面(x-z面)に形成されたループコイルns_yおよびz軸を法線とする平面(x-y面)に形成されたループコイルns_zで構成されている。

20

【0094】

第3の実施形態においては、互いに直交する3つの2次元平面上に構成された3次元空間のループコイルに共振電流が流れることにより、互いに直交しながら周期的に変化する直交変動電磁界を3つの平面に形成される。そのため、xyz軸の3つの軸についてエネルギーを容易に送受電することができ、送受電装置の位置関係に関して自由度が大幅に拡大する。

30

【0095】

なお、送電ループコイルまたは受電ループコイルの一方のみが、互いに直交する3つの2次元平面上に形成され、3次元空間のループコイルを構成するようにし、他方は1つの2次元平面上に形成されたループコイルまたは2つの平面上に形成された3次元空間のループコイルであってもよい。

【0096】

また、図4に示した例では、ループ面が互いに直交する3つのループコイルを直列接続したが、必要に応じてこれらを並列接続してもよい。

【0097】

《第4の実施形態》

第4の実施形態に係るワイヤレス給電装置においては、送電ループコイルおよび受電ループコイルが同一2次元平面上に複数旋回形成されている。

40

【0098】

図5は第4の実施形態に係るワイヤレス給電装置が備える送電ループコイルnpおよび受電ループコイルnsの構造を示す図である。送電ループコイルnpおよび受電ループコイルnsは、いずれも同一平面内で2回旋回形成されている。送電ループコイルおよび受電ループコイルが複数旋回形成されることにより、旋回されるピッチ幅に応じてループコイルに浮遊容量を形成することができる。この浮遊容量を共振キャパシタの全部または一部として用いることにより、別途部品として必要な共振キャパシタを不要としたり、容量値を低減したりすることが可能となる。

50

【 0 0 9 9 】

図 6 は第 4 の実施形態に係るワイヤレス給電装置が備える別の送電ループコイル n_p および受電ループコイル n_s の構造を示す図である。この例では、送電ループコイルと受電ループコイルの他方または双方は、互いに直交する 2 つの 2 次元平面上に形成され、3 次元空間のループコイルを構成する。

【 0 1 0 0 】

この構成により、ループコイルが形成する磁気的エネルギーが大きくなり、単位周期あたりの電磁界共鳴エネルギーが大きくなり、電力送電量を大きくすることができる。これによりワイヤレス給電装置の小型軽量化を図ることができる。

【 0 1 0 1 】

《 第 5 の実施形態 》

第 5 の実施形態に係るワイヤレス給電装置のスイッチング制御回路は、受電回路の出力に適当な負荷を接続した場合に、送電側スイッチング回路に接続される送電側共振回路の入力から負荷側全体をみた入力インピーダンスが極小となる共振周波数（共鳴周波数）を f_r で表し、スイッチング周波数を f_s で表すと、 $f_s=f_r \pm 20\%$ で動作させる。すなわち、スイッチング周波数 f_s を共振周波数 f_r 付近にて動作させる。電磁界共鳴方式では、共振周波数 f_r 付近にて入力インピーダンスが急激に小さくなるために、共振電流の振幅を大きくすることができる。このため単位発振あたりに扱う電磁界エネルギーを大きくすることができ、大きな電力を伝送すること、電力効率よく電力を伝送することなどが可能となる。実用的な動作を考えれば、入力インピーダンスが極小となる共振周波数 f_r に対して、スイッチング周波数 f_s を、 $f_s=f_r \pm 20\%$ 程度で動作させることが好ましいと言える。

【 0 1 0 2 】

図 7 は、第 5 の実施形態に係るワイヤレス給電装置の、送電側共振回路の入力から負荷側全体をみた入力インピーダンスの周波数特性を示す図である。ここで共振キャパシタ C_r 、 C_{rs} は共振周波数が 10MHz 付近となる値である。負荷抵抗 $R_o=10$ とし、距離 dx を 0.15, 0.5, 2.0, 5.0, 7.0cm と変化させたとき、前記入力インピーダンスおよび入力インピーダンスが極小となる共振周波数 f_r は、図中矢印で示すように推移する。

【 0 1 0 3 】

例えば電力伝送距離 $dx=7\text{cm}$ (70mm) のとき、共振周波数 f_r 10MHz であるので、スイッチング周波数 f_s は例えば 10MHz とする。

【 0 1 0 4 】

このように、スイッチング周波数 f_s を共振周波数 f_r 付近にて動作させることにより、入力インピーダンスの大きさが最も小さくなる共振周波数 f_r とスイッチング周波数 f_s とが近づいて共振することにより、送電側共振回路および受電側共振回路の共鳴エネルギーが大きくなり、エネルギー送電量を大きくすることができる。そのため、ワイヤレス給電装置の小型軽量化を図ることができる。

【 0 1 0 5 】

《 第 6 の実施形態 》

第 6 の実施形態に係るワイヤレス給電装置のスイッチング制御回路は、前記共振周波数 f_r がスイッチング周波数 f_s より低い状態で動作させる。すなわち、スイッチング回路から見た複共振回路の入力インピーダンスを誘導性とする。

【 0 1 0 6 】

図 8 は、第 6 の実施形態に係るワイヤレス給電装置の、送電側共振回路の入力から負荷側全体をみた入力インピーダンスのリアクタンスの周波数特性を示す図である。ここで共振キャパシタ C_r 、 C_{rs} は共振周波数が 10MHz 付近となる値である。負荷抵抗 $R_o=10$ とし、距離 dx を 0.15, 0.5, 2.0, 5.0, 7.0cm と変化させたとき、前記リアクタンスは図 8 に示すように変位する。

【 0 1 0 7 】

距離 dx の変化に伴い、リアクタンスが 0 となる周波数が 2 つである双峰特性から、リアクタンスが 0 となる周波数が 1 つである単峰特性になることが分かる。入力インピーダン

10

20

30

40

50

スのリアクタンスに注目すると3つの周波数を境に誘導性と容量性が入れ替わることが分かる。図8中の3つの丸印は $dx=0.5\text{cm}$ において、誘導性と容量性が入れ替わる周波数を示している。ZVS動作を実現するためには、入力インピーダンスを誘導性にして、電圧に対する遅れ電流を生成することが必要である。この遅れ電流によりデッドタイムにおいてスイッチ素子(FET)の寄生キャパシタ C_{ds1} 、 C_{ds2} の充放電を行う。このため、例えば磁気結合が大きい双峰特性においては、動作スイッチング周波数 f_s は前記入力インピーダンスが誘導性となる周波数範囲内であることが必要である。

【0108】

このようにして、スイッチング周波数を定めることで、全負荷範囲に亘ってスイッチング素子のZVS動作を行うことが可能となる。したがって、スイッチング素子の電力損失を大きく低減できる。また、スイッチング損失を低減することで高効率化を図ることができ、ワイヤレス給電装置を小型軽量化できる。

10

【0109】

《第7の実施形態》

第7の実施形態では、受電側整流回路が、受電側共振回路を構成する共振キャパシタ C_{rs} に対して直列接続され、共振キャパシタ C_{rs} に流れる電流を取り出すように整流して負荷に電力を供給する構成であるワイヤレス給電装置について、特に第1の実施形態で示したものは別のワイヤレス給電装置について図9～図15を参照して示す。

【0110】

図9～図15はいずれも第7の実施形態に係るワイヤレス給電装置の回路図である。スイッチ素子の逆並列ダイオードおよび寄生キャパシタの図示は省略している。

20

【0111】

図9において、受電側整流回路は半波整流回路である。ダイオード D_s は共振キャパシタ C_{rs} に流れる電流を整流して負荷へ電流を供給する。

【0112】

図10において、受電側整流回路はダイオード D_{s1} 、 D_{s2} 、 D_{s3} 、 D_{s4} によるダイオードブリッジ回路である。

【0113】

図11において、受電側整流回路は倍電圧同期整流回路である。共振キャパシタ C_r 、 C_s は第1の実施形態とは異なる位置に構成している。同期整流用のスイッチ素子 Q_{s1} 、 Q_{s2} に対して並列に共振キャパシタ C_{sds1} 、 C_{sds2} を接続している。この構成によれば、倍電圧整流により高い出力電圧を得ることができ、また、スイッチ素子 Q_{s1} 、 Q_{s2} の寄生キャパシタを共振キャパシタ C_{s1} 、 C_{s2} として用いることができる。

30

【0114】

図12において、受電側整流回路は倍電圧整流回路である。ダイオード D_{s1} 、 D_{s2} は共振キャパシタ C_{rs1} 、 C_{rs2} に流れる電流を整流し、負荷へ倍電圧を供給する。

【0115】

図13、図14において、受電側整流回路は倍電圧整流回路である。ダイオード D_{s1} 、 D_{s2} は共振キャパシタ C_{rs} に流れる電流を倍電圧整流し、負荷へ倍電圧を供給する。図13の例では、入力される直流電圧から、送電ループコイル n_p に流す交流電流に対して相対的に直流電流とみなせる電流源を生成できる大きさのインダクタンス値をもつインダクタ L_f を備え、送電側には1つのスイッチ素子 Q_1 のみを設けている。インダクタ L_f のインダクタンス値は、送電ループコイル n_p のインダクタンス値よりも十分に大きく、スイッチング周波数において高インピーダンスとなるものであり、流れる電流の変動は十分に小さい。

40

【0116】

図15の例では、送電側に、図13に示した送電装置の回路を2組設けて、プッシュプル回路を構成している。受電側はダイオードブリッジ整流回路を構成している。送電ループコイル n_{p1} 、 n_{p2} のコイル開口面は平行で、互いに同相で結合している。送電ループコイル n_{p1} 、 n_{p2} と受電ループコイル n_s は電磁界共鳴結合する。これにより、1つのスイッチ素子を用いてプッシュプル構成にした場合に比べて、大きな電力を給電することが可能とな

50

る。また、2つのスイッチ素子 $Q1$ 、 $Q2$ が交互にスイッチング動作を行うことにより等価的に2倍の周波数の電磁界共鳴結合回路を形成することができる。

【0117】

なお、送電ループコイル $np1$ 、 $np2$ は必ずしも結合している必要はないので、送電ループコイル $np1$ 、 $np2$ は互いに直交していてもよい。そのことにより、送電ループコイル $np1$ 、 $np2$ と受電ループコイル ns との結合可能な方位角範囲（指向性）が広がる。

【0118】

以上に示した第7の実施形態によれば、受電側整流回路を共振キャパシタに対して直列接続して、共振キャパシタに流れる電流を整流して負荷に電流を供給するようにしているので、共振キャパシタに流れる電流を整流することで負荷に大きな電流を供給できる。また、整流素子の耐圧を低くすることができ、整流損失を低減し、ワイヤレス給電装置の高効率化、小型軽量化を図ることができる。

10

【0119】

《第8の実施形態》

第8の実施形態では、受電側整流回路が、受電側共振回路を構成する共振キャパシタ Crs に対して並列接続され、共振キャパシタ Crs に加えられる電圧から電流を取り出すように整流して負荷に電力を供給する構成であるワイヤレス給電装置について図16～図21を参照して示す。

【0120】

図16～図21はいずれも第8の実施形態に係るワイヤレス給電装置の回路図である。スイッチ素子の逆並列ダイオードおよび寄生キャパシタの図示は省略している。

20

【0121】

図16において、受電側整流回路は半波整流回路である。ダイオード Ds は共振キャパシタ Crs に流れる電流を整流して負荷へ電流を供給する。

【0122】

図17において、受電側整流回路はダイオード $Ds1$ 、 $Ds2$ 、 $Ds3$ 、 $Ds4$ によるダイオードブリッジ回路である。

【0123】

図18において、受電側整流回路はダイオード $Ds1$ 、 $Ds2$ 、 $Ds3$ 、 $Ds4$ によるダイオードブリッジ回路である。図17の例と異なり、受電側に2つの共振キャパシタ $Crs1$ 、 $Crs2$ を備え、この2つの共振キャパシタ $Crs1$ 、 $Crs2$ の分圧電圧を整流するように構成されている。

30

【0124】

図19において、受電装置はセンタータップを有する受電ループコイル $ns1$ 、 $ns2$ を備えている。この2つの受電ループコイル $ns1$ 、 $ns2$ にそれぞれ整流回路が接続されている。これによりセンタータップ方式の整流回路が構成されている。受電ループコイル $ns1$ 、 $ns2$ は必ずしもセンタータップを引き出すことで設けなくてもよく、2つのループコイルを直列接続してもよい。また、この2つのループコイル同士は必ずしも結合している必要はないので、受電ループコイル $ns1$ 、 $ns2$ は互いに直交していてもよい。そのことにより、送電ループコイル np と受電ループコイル $ns1$ 、 $ns2$ との結合可能な方位角範囲（指向性）が広がる。

40

【0125】

図20において、受電装置はセンタータップを有する受電ループコイル $ns1$ 、 $ns2$ を備えている。図19に示した例と異なり、受電ループコイル $ns1$ に2つの共振キャパシタ $Crs1$ 、 $Crs3$ が接続され、この2つの共振キャパシタ $Crs1$ 、 $Crs3$ の分圧電圧を整流するように構成されている。同様に、受電ループコイル $ns2$ に2つの共振キャパシタ $Crs2$ 、 $Crs4$ が接続され、この2つの共振キャパシタ $Crs2$ 、 $Crs4$ の分圧電圧を整流するように構成されている。

【0126】

図21において、受電側整流回路はダイオード $Ds1$ 、 $Ds2$ 、 $Ds3$ 、 $Ds4$ によるダイオードブリッジ回路である。図18に示した例と異なり、送電装置はインダクタ Lf を備え、送電側

50

には1つのスイッチ素子Q1のみを設けている。インダクタLfのインダクタンス値は、送電ループコイルnpのインダクタンス値よりも十分に大きく、スイッチング周波数において高インピーダンスとなるものであり、流れる電流の変動は十分に小さい。

【0127】

《第9の実施形態》

第9の実施形態では、整流素子の接合容量を共振キャパシタまたは共振キャパシタの一部として利用したワイヤレス給電装置について図22、図23を参照して示す。

【0128】

図22において、受電装置にはダイオードDs1, Ds2, Ds3, Ds4によるダイオードブリッジ回路を備えている。ダイオードDs1, Ds2, Ds3, Ds4は接合容量Cs1, Cs2, Cs3, Cs4をそれぞれ備えていて、これらの接合容量が共振キャパシタとして利用される。ここでは、接合容量Cs1, Cs2, Cs3, Cs4を回路素子として明示しているが実際にはダイオードDs1, Ds2, Ds3, Ds4の寄生容量である。この例では特別な共振キャパシタ(Crs)は備えていない。

10

【0129】

図23において、受電装置はセンタータップを有する受電ループコイルns1, ns2を備えている。この2つの受電ループコイルns1, ns2にそれぞれ整流回路が接続されている。

【0130】

ダイオードDs1, Ds2に並列接続されているキャパシタCrs3, Crs4はダイオードDs1, Ds2の接合容量である。受電ループコイルns1に直列接続されたキャパシタCrs1と接合容量Crs5との直列回路が共振キャパシタとして作用する。同様に、受電ループコイルns2に直列接続されたキャパシタCrs2と接合容量Crs6との直列回路が共振キャパシタとして作用する。

20

【0131】

《第10の実施形態》

図24は第10の実施形態に係るワイヤレス給電装置の回路図である。図24においては、送電ループコイルnpおよび受電ループコイルnsを、理想トランス、相互インダクタンスLm, Lms、漏れインダクタンスLr, Lrsおよび浮遊容量Cp, Csによる等価回路で表している。

【0132】

この例では、送電ループコイルnpまたは受電ループコイルnsの浮遊容量Cp, Csを共振キャパシタまたは共振キャパシタの一部として利用している。

30

【0133】

このようにループコイルの浮遊容量を共振キャパシタまたは共振キャパシタの一部として利用することで電磁界共鳴エネルギーを大きくすることができる。また、部品数を削減することでワイヤレス給電装置の小型軽量化を図ることができる。

【0134】

《第11の実施形態》

図25は第11の実施形態に係るワイヤレス給電装置の回路図である。図25においては、受電側整流回路はダイオードDs1, Ds2, Ds3, Ds4によるダイオードブリッジ回路である。図18に示した例と異なり、送電装置に4つのスイッチ素子Q1~Q4によるブリッジ回路が構成されている。スイッチ素子Q1, Q4は共にオンオフし、スイッチ素子Q2, Q3は共にオフオンする。そして、スイッチ素子Q1, Q2は交互にオンオフする。このように、送電側スイッチング回路をフルブリッジ構成とし、ブリッジ接続された4つのスイッチ素子を2組ずつ交互にオンオフすることで共振電流を発生させるようにしてもよい。

40

【0135】

このように、送電装置側のスイッチ素子をブリッジ構成とすることで、各スイッチ素子に印加される電圧が低減され、ワイヤレス給電装置の効率化、小型軽量化を図ることができる。

【0136】

《第12の実施形態》

50

図26は第12の実施形態のワイヤレス給電装置の回路図である。このワイヤレス給電装置は、送電装置PSU、受電装置PRU、リピータ装置RPUを備えている。

【0137】

リピータ装置RPUはループコイルnrと共振キャパシタCrとで構成されている。送電装置PSUの送電ループコイルnpとリピータ装置RPUのループコイルnrとは電磁界共鳴結合し、リピータ装置RPUのループコイルnrと送電装置PSUの送電ループコイルnpとは電磁界共鳴結合する。このように、送電ループコイルnpと受電ループコイルnsとの間にリピータ装置RPUのループコイルnrを配置することで、送電装置PSUと受電装置PRUとの電力伝送可能最大距離を拡大できる。リピータ装置RPUを多段に配置すれば、電力伝送可能最大距離をさらに拡大することもできる。

10

【0138】

なお、以上に示した各実施形態では、送電コイルおよび受電コイルの両方がループコイルである例を示したが、送電コイルまたは受電コイルの一方のみがループコイルであってもよい。例えば他方は開口径の大きなノーマルモード・ヘリカルアンテナ状のコイルやコア付きのコイルであってもよい。

【0139】

また、以上に示した各実施形態では、1つの送電装置と1つの受電装置とで1組のワイヤレス給電装置を構成する例を示したが、共通の送電装置からそれぞれ受電する複数の受電装置を備えてもよい。また、共通の受電装置に対して複数の送電装置から給電するようにしてもよい。

20

【符号の説明】

【0140】

Cds1, Cds2, Cds3, Cds4... 寄生キャパシタ

Co... 平滑キャパシタ

Cp, Cs... 浮遊容量

Cr, Crs... 共振キャパシタ

Crs1, Crs2, Crs3, Crs4... 共振キャパシタ

Crs5, Crs6... 接合容量

Cs1... 共振キャパシタ

Cs1, Cs2, Cs3, Cs4... 接合容量

30

Csds1, Csds2... 共振キャパシタ

Dds1, Dds2, Dds3, Dds4... 逆並列ダイオード

Ds... ダイオード

Ds1, Ds2, Ds3, Ds4... ダイオード

Lf... インダクタ

Lm, Lms... 相互インダクタンス

Lr, Lrs... インダクタンス

ns, ns1, ns2... 受電ループコイル

np, np1, np2... 送電ループコイル

npx, npy, npz... ループコイル

40

nr... ループコイル

nsx, nsy, nsz... ループコイル

PRU... 受電装置

PSU... 送電装置

Q1, Q2, Q3, Q4... スイッチ素子

Qs1, Qs2... スイッチ素子

Ro... 負荷

RPU... リピータ装置

Vi... 入力電源

10, 20... スイッチング制御回路

50

101... ワイヤレス給電装置

【 図 1 】

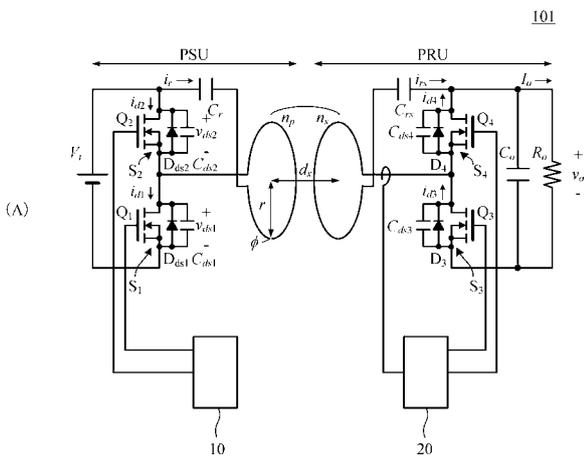


図1

【 図 2 】

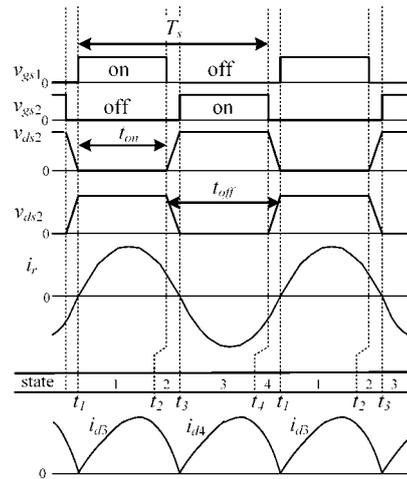
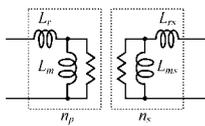


図2

(B)



【 図 3 】

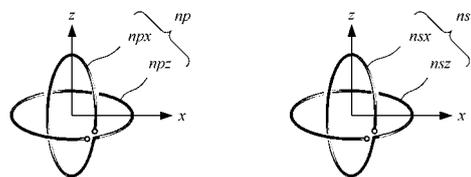


図3

【 図 4 】

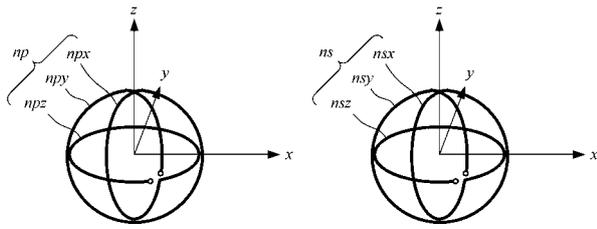


図4

【 図 6 】

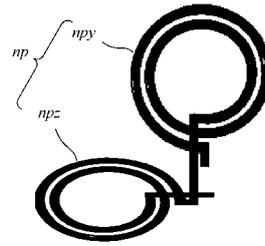


図6

【 図 5 】

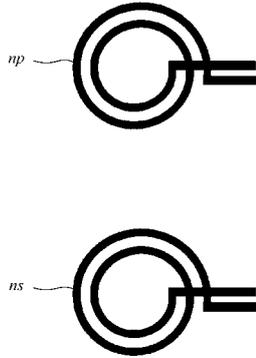
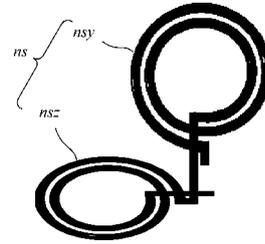


図5



【 図 7 】

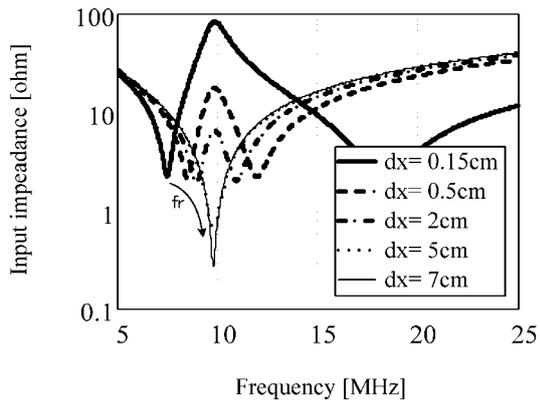


図7

【 図 8 】

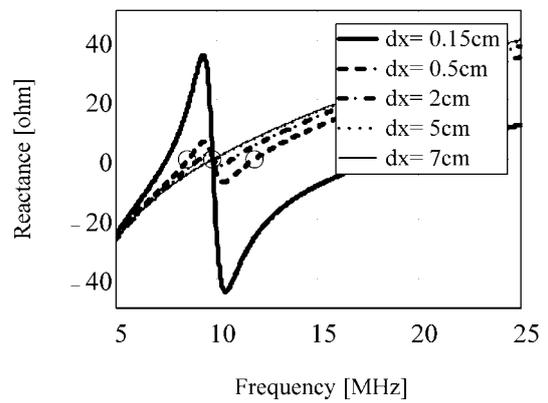


図8

【 図 9 】

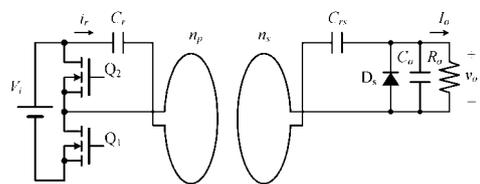
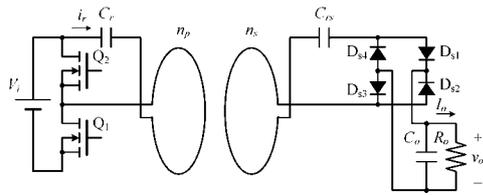


図9

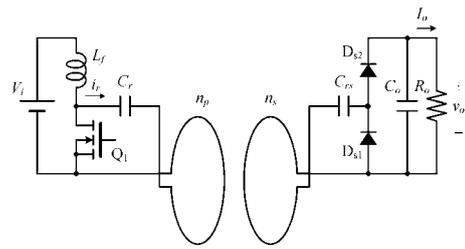
【 図 1 0 】



【 図 1 3 】

図10

図13



【 図 1 1 】

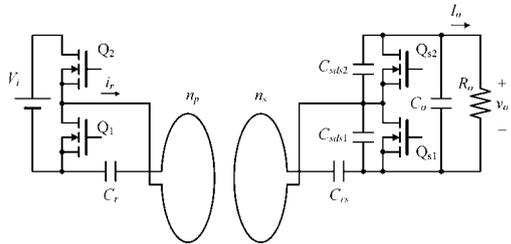
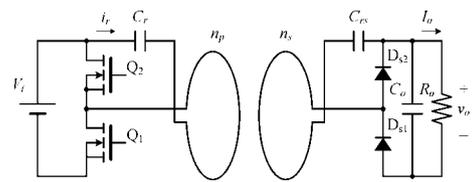


図11

【 図 1 4 】

図14



【 図 1 2 】

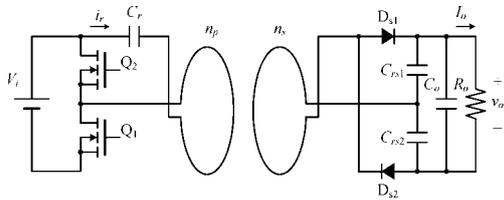
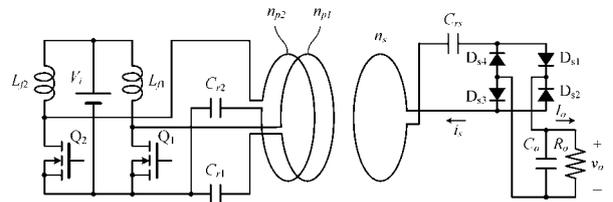


図12

【 図 1 5 】

図15



【 図 1 6 】

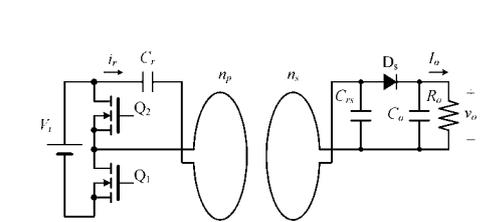
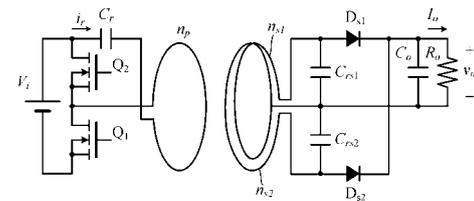


図16

【 図 1 9 】

図19



【 図 1 7 】

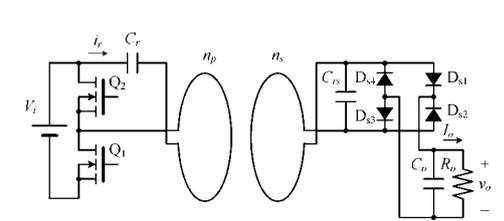
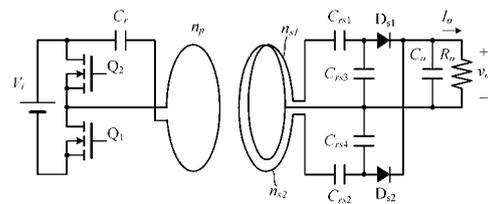


図17

【 図 2 0 】

図20



【 図 1 8 】

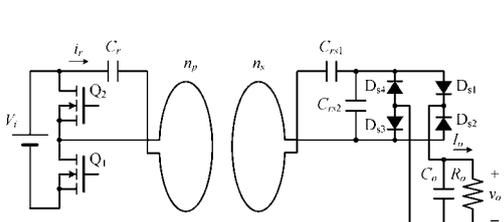
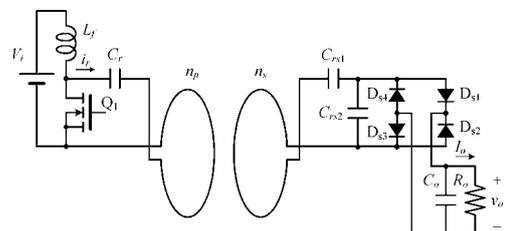


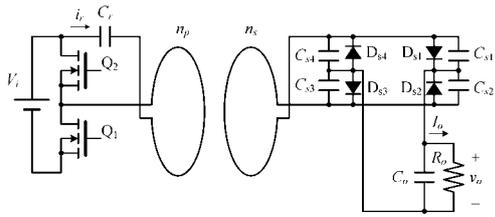
図18

【 図 2 1 】

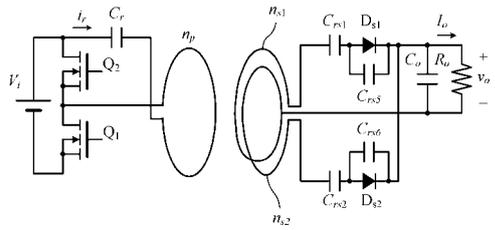
図21



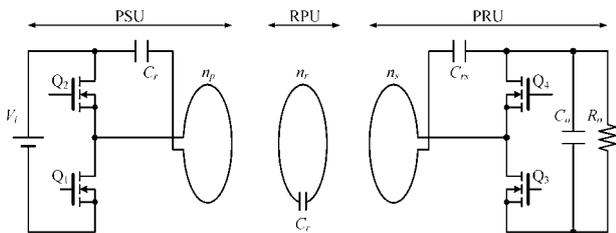
【 图 2 2 】



【 图 2 3 】



【 图 2 6 】



【 图 2 4 】

图22

图24

图23

【 图 2 5 】

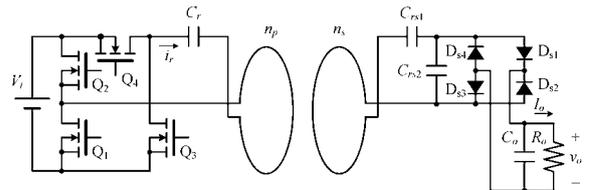


图25

图26

【手続補正書】

【提出日】平成27年3月26日(2015.3.26)

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0087

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0087】

《第2の実施形態》

第2の実施形態に係るワイヤレス給電装置においては、送電ループコイルと受電ループコイルのいずれか一方または双方は、互いに直交する2つの2次元平面上に形成され、3次元空間のループコイルを構成する。

【手続補正2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0092

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0092】

《第3の実施形態》

第3の実施形態に係るワイヤレス給電装置においては、送電ループコイルと受電ループコイルのいずれか一方または双方は、互いに直交する3つの2次元平面上に形成され、3次元空間のループコイルを構成する。

【手続補正3】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0099

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0099】

図6は第4の実施形態に係るワイヤレス給電装置が備える別の送電ループコイルnpおよび受電ループコイルnsの構造を示す図である。この例では、送電ループコイルと受電ループコイルのいずれか一方または双方は、互いに直交する2つの2次元平面上に形成され、3次元空間のループコイルを構成する。

【手続補正4】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0113

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0113】

図11において、受電側整流回路は倍電圧同期整流回路である。共振キャパシタ C_r 、 $C_r s$ 、は第1の実施形態とは異なる位置に構成している。同期整流用のスイッチ素子 Q_{s1} 、 Q_{s2} に対して並列に共振キャパシタ C_{sds1} 、 C_{sds2} を接続している。この構成によれば、倍電圧整流により高い出力電圧を得ることができ、また、スイッチ素子 Q_{s1} 、 Q_{s2} の寄生キャパシタを共振キャパシタ C_{sds1} 、 C_{sds2} として用いることができる。

【手続補正5】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0130

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0130】

ダイオード D_{s1} 、 D_{s2} に並列接続されているキャパシタ C_{rs5} 、 C_{rs6} はダイオード D_{s1} 、 D_{s2}

の接合容量である。受電ループコイル $ns1$ に直列接続されたキャパシタ $Crs1$ と接合容量 $Crs5$ との直列回路が共振キャパシタとして作用する。同様に、受電ループコイル $ns2$ に直列接続されたキャパシタ $Crs2$ と接合容量 $Crs6$ との直列回路が共振キャパシタとして作用する。

【手続補正6】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0137

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0137】

リピータ装置RPUはループコイル nr と共振キャパシタ Cr とで構成されている。送電装置PSUの送電ループコイル np とリピータ装置RPUのループコイル nr とは電磁界共鳴結合し、リピータ装置RPUのループコイル nr と受電装置PRUの受電ループコイル ns とは電磁界共鳴結合する。このように、送電ループコイル np と受電ループコイル ns との間にリピータ装置RPUのループコイル nr を配置することで、送電装置PSUと受電装置PRUとの電力伝送可能最大距離を拡大できる。リピータ装置RPUを多段に配置すれば、電力伝送可能最大距離をさらに拡大することもできる。

【手続補正7】

【補正対象書類名】特許請求の範囲

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【特許請求の範囲】

【請求項1】

送電コイルを備えた送電装置と、受電コイルを備えた受電装置とで構成されるワイヤレス給電装置において、

前記送電コイルと等価的に直列接続されて送電側共振回路を構成する少なくとも1つの共振キャパシタと、

前記送電側共振回路と接続され、オンオフさせることにより直流電源を前記送電側共振回路に断続的に加えて送電側共振回路に共振電流を発生させるスイッチ素子とこのスイッチ素子を制御するスイッチング制御回路とを備えた送電側スイッチング回路と、

前記受電コイルと等価的に直列に接続され受電側共振回路を構成する少なくとも1つの共振キャパシタと、

前記受電側共振回路に接続され、共振電流を整流して負荷に電流を供給する整流素子を備えた受電側整流回路と、

を備え、

前記送電コイルまたは前記受電コイルの少なくとも一方は、導体線に比べて十分に大きな径をもつ1回巻き相当のループコイルであり、

前記ループコイルは電氣的に直接的に、前記スイッチング素子または前記整流素子と接続され、

前記送電コイルは、前記直流電源から電気エネルギーを取り出して、周期的に変化する電磁界共鳴エネルギーを空間に発生させ、

前記受電コイルは、周期的に変化する電磁界共鳴エネルギーを空間から電気エネルギーとして取り出して負荷に電力を供給し、

前記送電コイルと前記受電コイルとの間で、相互誘導により等価的に相互インダクタンスを形成し、前記送電側共振回路と前記受電側共振回路とが共鳴して、前記相互インダクタンスに共振電流が流れる電磁界共鳴結合により前記送電装置から前記受電装置へ電力を伝送し、

前記電磁界共鳴結合する回路のインピーダンスが大きくなる高次の周波数成分がカットされ、前記共鳴による、主にスイッチング周波数成分の、共鳴電流が前記ループコイルに流れることを特徴とするワイヤレス給電装置。

【請求項 2】

前記ループコイルは、2次元平面に形成されている、請求項1に記載のワイヤレス給電装置。

【請求項 3】

前記ループコイルは、互いに直交する2つの2次元平面上に形成され、3次元空間のループコイルが構成されている、請求項1に記載のワイヤレス給電装置。

【請求項 4】

前記ループコイルは、相互に直交する3つの2次元平面上に形成され、3次元空間のループコイルが構成されている、請求項1に記載のワイヤレス給電装置。

【請求項 5】

前記ループコイルは、同一2次元平面上に複数旋回形成されている、請求項1～4のいずれかに記載のワイヤレス給電装置。

【請求項 6】

前記受電装置の出力に適当な負荷を接続した場合に、前記送電側スイッチング回路に接続される送電側共振回路の入力から負荷側全体をみた入力インピーダンスが極小となる共振周波数を f_r 、スイッチング周波数を f_s で表すと、

前記スイッチング制御回路は、 $f_s = f_r \pm 20\%$ で動作するように構成されている、請求項1～5のいずれかに記載のワイヤレス給電装置。

【請求項 7】

前記受電装置の出力に適当な負荷を接続した場合に、前記送電側スイッチング回路に接続される送電側共振回路の入力から負荷側全体をみた入力インピーダンスが極小となる共振周波数を f_r 、スイッチング周波数を f_s で表すと、

前記スイッチング制御回路は、 $f_s > f_r$ で動作するように構成されている、請求項1～5のいずれかに記載のワイヤレス給電装置。

【請求項 8】

前記スイッチング制御回路は、前記スイッチ素子の両端電圧がゼロ電圧付近に低下した際に前記スイッチ素子をターンオンするように制御してゼロ電圧スイッチング動作するように構成されている、請求項1～7のいずれかに記載のワイヤレス給電装置。

【請求項 9】

前記受電側整流回路は、前記受電側共振回路を構成する共振キャパシタに対して直列に接続され、前記共振キャパシタに流れる電流を取り出すように整流して前記負荷に電力を供給する、請求項1～8のいずれかに記載のワイヤレス給電装置。

【請求項 10】

前記受電側整流回路は、前記受電側共振回路を構成する共振キャパシタに対して並列に構成され、前記共振キャパシタに加えられる電圧から電流を取り出すように整流して前記負荷に電力を供給する、請求項1～8のいずれかに記載のワイヤレス給電装置。

【請求項 11】

前記受電側整流回路はブリッジ整流回路である、請求項1～10のいずれかに記載のワイヤレス給電装置。

【請求項 12】

前記受電側整流回路は半波整流回路である、請求項1～10のいずれかに記載のワイヤレス給電装置。

【請求項 13】

前記受電側整流回路は倍電圧整流回路である、請求項1～10のいずれかに記載のワイヤレス給電装置。

【請求項 14】

前記送電側共振回路の共振周波数と前記受電側共振回路の共振周波数とは、 $\pm 20\%$ の範囲内で一致している、請求項1～13のいずれかに記載のワイヤレス給電装置。

【請求項 15】

前記整流素子の接合容量を前記共振キャパシタまたは共振キャパシタの一部として利用

する、請求項 1 ~ 1 4 のいずれかに記載のワイヤレス給電装置。

【請求項 1 6】

前記ループコイルの浮遊容量を前記共振キャパシタの全部または一部として用いた、請求項 1 ~ 1 5 のいずれかに記載のワイヤレス給電装置。

【請求項 1 7】

前記スイッチ素子はFETであり、前記送電側スイッチング回路は前記FETの寄生容量、および逆並列ダイオードを含む、請求項 1 ~ 1 6 のいずれかに記載のワイヤレス給電装置。

【請求項 1 8】

前記送電側スイッチング回路はハーフブリッジ構成である、請求項 1 ~ 1 7 のいずれかに記載のワイヤレス給電装置。

【請求項 1 9】

前記送電側スイッチング回路はフルブリッジ構成である請求項 1 ~ 1 7 のいずれかに記載のワイヤレス給電装置。

【請求項 2 0】

前記受電側整流回路はスイッチ素子を備えた同期整流回路である、請求項 1 ~ 1 9 のいずれかに記載のワイヤレス給電装置。

【手続補正 8】

【補正対象書類名】図面

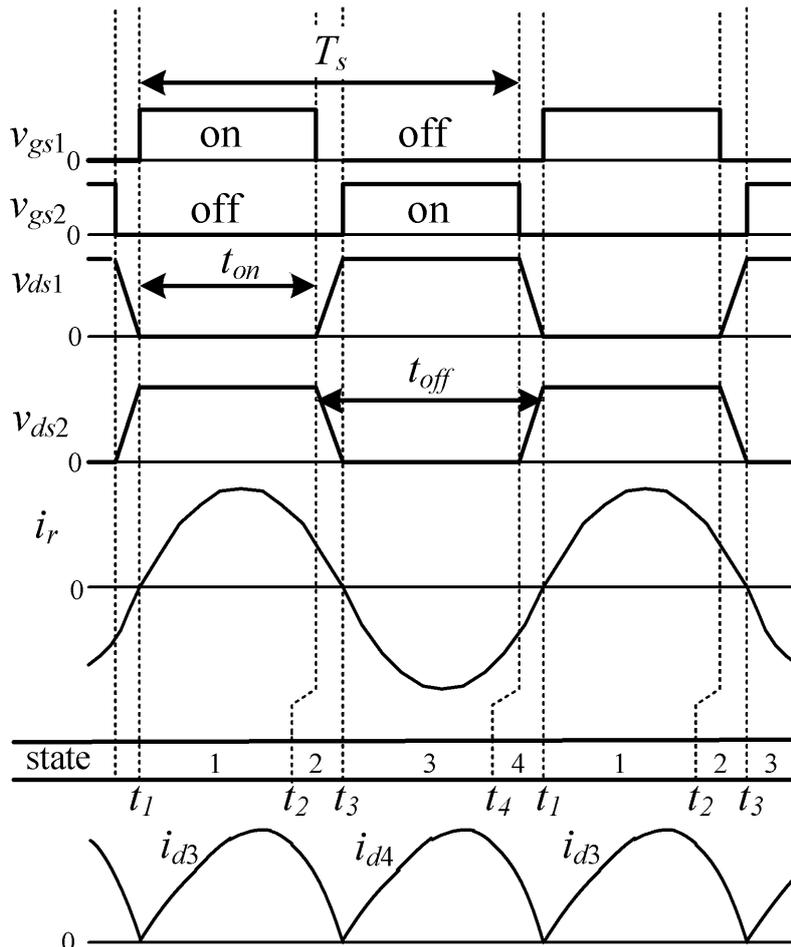
【補正対象項目名】図 2

【補正方法】変更

【補正の内容】

【図 2】

図2



【手続補正書】

【提出日】平成28年5月27日(2016.5.27)

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0014

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0014】

(1) 送電コイルを備えた送電装置と、受電コイルを備えた受電装置とで構成されるワイヤレス給電装置において、

前記送電コイルと等価的に直列接続されて送電側共振回路を構成する少なくとも1つの共振キャパシタと、

前記送電側共振回路と接続され、オンオフさせることにより直流電源を前記送電側共振回路に断続的に加えて送電側共振回路に共振電流を発生させるスイッチ素子とこのスイッチ素子を制御するスイッチング制御回路とを備えた送電側スイッチング回路と、

前記受電コイルと等価的に直列に接続され受電側共振回路を構成する少なくとも1つの共振キャパシタと、

前記受電側共振回路に接続され、共振電流を整流して負荷に電流を供給する整流素子を備えた受電側整流回路と、

を備え、

前記送電コイルまたは前記受電コイルの少なくとも一方は、導体線に比べて10倍以上の径をもつ、磁束のみを発生させるに相当するループコイルであり、

前記ループコイルは電氣的に直接的に、前記スイッチ素子または前記整流素子と接続され、

前記送電コイルは、前記直流電源から電気エネルギーを取り出して、周期的に変化する電磁界共鳴エネルギーを空間に発生させ、

前記受電コイルは、周期的に変化する電磁界共鳴エネルギーを空間から電気エネルギーとして取り出して負荷に電力を供給し、

前記送電コイルと前記受電コイルとの間で、相互誘導により等価的に相互インダクタンスを形成し、前記相互誘導に関与しない前記ループコイルの漏れインダクタンスは、前記送電側共振回路または前記受電側共振回路の一部を構成し、前記送電側共振回路と前記受電側共振回路とが容量結合することなく電磁界共鳴結合することにより形成される複共振回路の共振周波数にスイッチング周波数を同調させることにより電磁界共鳴結合が形成され、

前記送電側共振回路と前記受電側共振回路とが共鳴して、前記相互インダクタンスに共振電流が流れる電磁界共鳴結合により前記送電装置から前記受電装置へ電力を伝送し、

前記電磁界共鳴結合する回路のインピーダンスが大きくなる高次の周波数成分がカットされ、前記共鳴による、主にスイッチング周波数成分の、共鳴電流のみが前記ループコイルに流れ、前記ループコイルは、電磁界共鳴結合を形成し、前記ループコイルからの反射電力をエネルギー損失とすることなく共振エネルギーとして保存できることを特徴とする

。

【手続補正2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0020

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0020】

(6) 前記受電装置の出力に適当な負荷を接続した場合に、前記送電側スイッチング回路に接続される送電側共振回路の入力から負荷側全体をみた入力インピーダンスが極小となる共振周波数を f_r 、スイッチング周波数を f_s で表すと、

前記スイッチング制御回路は、 $0.8f_s \sim f_r \sim 1.2f_s$ で動作するように構成されていることが好ましい。この構成により、スイッチング周波数 f_s が共振周波数 f_r 付近にて動作するので、共鳴エネルギーが大きくなり、エネルギー送電量を大きくすることができる。これによりワイヤレス給電装置の小型軽量化を図ることができる。

【手続補正3】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0028

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0028】

(14) 前記送電側共振回路の共振周波数は前記受電側共振回路の共振周波数に対して $\pm 20\%$ の範囲内で一致していることが好ましい。これにより、スイッチング周波数と共振周波数とが同調して電磁界共鳴エネルギーを大きくすることができ、送電回路から受電回路へ大きな電力を送電することができる。

【手続補正4】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0101

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0101】

《第5の実施形態》

第5の実施形態に係るワイヤレス給電装置のスイッチング制御回路は、受電回路の出力に適当な負荷を接続した場合に、送電側スイッチング回路に接続される送電側共振回路の入力から負荷側全体をみた入力インピーダンスが極小となる共振周波数（共鳴周波数）を f_r で表し、スイッチング周波数を f_s で表すと、 $0.8f_s \sim f_r \sim 1.2f_s$ で動作させる。すなわち、スイッチング周波数 f_s を共振周波数 f_r 付近にて動作させる。電磁界共鳴方式では、共振周波数 f_r 付近にて入力インピーダンスが急激に小さくなるために、共振電流の振幅を大きくすることができる。このため単位発振あたりに扱う電磁界エネルギーを大きくすることができ、大きな電力を伝送すること、電力効率よく電力を伝送することなどが可能となる。実用的な動作を考えれば、入力インピーダンスが極小となる共振周波数 f_r に対して、スイッチング周波数 f_s を、 $0.8f_s \sim f_r \sim 1.2f_s$ 程度で動作させることが好ましいと言える。

【手続補正5】

【補正対象書類名】特許請求の範囲

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【特許請求の範囲】

【請求項1】

送電コイルを備えた送電装置と、受電コイルを備えた受電装置とで構成されるワイヤレス給電装置において、

前記送電コイルと等価的に直列接続されて送電側共振回路を構成する少なくとも1つの共振キャパシタと、

前記送電側共振回路と接続され、オンオフさせることにより直流電源を前記送電側共振回路に断続的に加えて送電側共振回路に共振電流を発生させるスイッチ素子とこのスイッチ素子を制御するスイッチング制御回路とを備えた送電側スイッチング回路と、

前記受電コイルと等価的に直列に接続され受電側共振回路を構成する少なくとも1つの共振キャパシタと、

前記受電側共振回路に接続され、共振電流を整流して負荷に電流を供給する整流素子を備えた受電側整流回路と、

を備え、

前記送電コイルまたは前記受電コイルの少なくとも一方は、導体線に比べて10倍以上の径をもつ、磁束のみを発生させるに相当するループコイルであり、

前記ループコイルは電氣的に直接的に、前記スイッチ素子または前記整流素子と接続され、

前記送電コイルは、前記直流電源から電気エネルギーを取り出して、周期的に変化する電磁界共鳴エネルギーを空間に発生させ、

前記受電コイルは、周期的に変化する電磁界共鳴エネルギーを空間から電気エネルギーとして取り出して負荷に電力を供給し、

前記送電コイルと前記受電コイルとの間で、相互誘導により等価的に相互インダクタンスを形成し、前記相互誘導に関与しない前記ループコイルの漏れインダクタンスは、前記送電側共振回路または前記受電側共振回路の一部を構成し、前記送電側共振回路と前記受電側共振回路とが容量結合することなく電磁界共鳴結合することにより形成される複共振回路の共振周波数にスイッチング周波数を同調させることにより電磁界共鳴結合が形成され、

前記送電側共振回路と前記受電側共振回路とが共鳴して、前記相互インダクタンスに共振電流が流れる電磁界共鳴結合により前記送電装置から前記受電装置へ電力を伝送し、

前記電磁界共鳴結合する回路のインピーダンスが大きくなる高次の周波数成分がカットされ、前記共鳴による、主にスイッチング周波数成分の、共鳴電流のみが前記ループコイルに流れ、前記ループコイルは、電磁界共鳴結合を形成し、前記ループコイルからの反射電力をエネルギー損失とすることなく共振エネルギーとして保存できることを特徴とするワイヤレス給電装置。

【請求項2】

前記ループコイルは、2次元平面に形成されている、請求項1に記載のワイヤレス給電装置。

【請求項3】

前記ループコイルは、互いに直交する2つの2次元平面上に形成され、3次元空間のループコイルが構成されている、請求項1に記載のワイヤレス給電装置。

【請求項4】

前記ループコイルは、相互に直交する3つの2次元平面上に形成され、3次元空間のループコイルが構成されている、請求項1に記載のワイヤレス給電装置。

【請求項5】

前記ループコイルは、同一2次元平面上に複数旋回形成されている、請求項1～4のいずれかに記載のワイヤレス給電装置。

【請求項6】

前記受電装置の出力に適切な負荷を接続した場合に、前記送電側スイッチング回路に接続される送電側共振回路の入力から負荷側全体をみた入力インピーダンスが極小となる共振周波数を f_r 、スイッチング周波数を f_s で表すと、

前記スイッチング制御回路は、 $0.8f_s < f_r < 1.2f_s$ で動作するように構成されている、請求項1～5のいずれかに記載のワイヤレス給電装置。

【請求項7】

前記受電装置の出力に適切な負荷を接続した場合に、前記送電側スイッチング回路に接続される送電側共振回路の入力から負荷側全体をみた入力インピーダンスが極小となる共振周波数を f_r 、スイッチング周波数を f_s で表すと、

前記スイッチング制御回路は、 $f_s > f_r$ で動作するように構成されている、請求項1～5のいずれかに記載のワイヤレス給電装置。

【請求項8】

前記スイッチング制御回路は、前記スイッチ素子の両端電圧がゼロ電圧付近に低下した際に前記スイッチ素子をターンオンするように制御してゼロ電圧スイッチング動作するように構成されている、請求項1～7のいずれかに記載のワイヤレス給電装置。

【請求項9】

前記受電側整流回路は、前記受電側共振回路を構成する共振キャパシタに対して直列に接続され、前記共振キャパシタに流れる電流を取り出すように整流して前記負荷に電力を供給する、請求項 1 ~ 8 のいずれかに記載のワイヤレス給電装置。

【請求項 10】

前記受電側整流回路は、前記受電側共振回路を構成する共振キャパシタに対して並列に構成され、前記共振キャパシタに加えらる電圧から電流を取り出すように整流して前記負荷に電力を供給する、請求項 1 ~ 8 のいずれかに記載のワイヤレス給電装置。

【請求項 11】

前記受電側整流回路はブリッジ整流回路である、請求項 1 ~ 10 のいずれかに記載のワイヤレス給電装置。

【請求項 12】

前記受電側整流回路は半波整流回路である、請求項 1 ~ 10 のいずれかに記載のワイヤレス給電装置。

【請求項 13】

前記受電側整流回路は倍電圧整流回路である、請求項 1 ~ 10 のいずれかに記載のワイヤレス給電装置。

【請求項 14】

前記送電側共振回路の共振周波数は前記受電側共振回路の共振周波数に対して $\pm 20\%$ の範囲内で一致している、請求項 1 ~ 13 のいずれかに記載のワイヤレス給電装置。

【請求項 15】

前記整流素子の接合容量を前記共振キャパシタまたは共振キャパシタの一部として利用する、請求項 1 ~ 14 のいずれかに記載のワイヤレス給電装置。

【請求項 16】

前記ループコイルの浮遊容量を前記共振キャパシタの全部または一部として用いた、請求項 1 ~ 15 のいずれかに記載のワイヤレス給電装置。

【請求項 17】

前記スイッチ素子はFETであり、前記送電側スイッチング回路は前記FETの寄生容量、および逆並列ダイオードを含む、請求項 1 ~ 16 のいずれかに記載のワイヤレス給電装置。

【請求項 18】

前記送電側スイッチング回路はハーフブリッジ構成である、請求項 1 ~ 17 のいずれかに記載のワイヤレス給電装置。

【請求項 19】

前記送電側スイッチング回路はフルブリッジ構成である請求項 1 ~ 17 のいずれかに記載のワイヤレス給電装置。

【請求項 20】

前記受電側整流回路はスイッチ素子を備えた同期整流回路である、請求項 1 ~ 19 のいずれかに記載のワイヤレス給電装置。

【 国際調査報告 】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International application No. PCT/JP2013/077431
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER H02J17/00 (2006.01) i		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) H02J17/00		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2013 Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2013 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2013		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) JSTPlus/JMEDPlus/JST7580 (JDreamIII), CiNii, Thomson Innovation		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	WO 2012/101907 A1 (Murata Mfg. Co., Ltd.), 02 August 2012 (02.08.2012), entire text; all drawings	1-20
Y	JP 2012-049434 A (Sony Corp.), 08 March 2012 (08.03.2012), paragraphs [0032] to [0049], [0058] to [0066]; fig. 3, 4, 16	1-20
Y	JP 2007-521642 A (Access Business Group International L.L.C.), 02 August 2007 (02.08.2007), paragraph [0013]; fig. 1a to d	3, 4
Y	WO 2006/022365 A1 (Hokushin Denki Co., Ltd.), 02 March 2006 (02.03.2006), paragraph [0029]	6
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents:		
"A"	document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"E"	earlier application or patent but published on or after the international filing date	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"L"	document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"O"	document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	"&" document member of the same patent family
"P"	document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	
Date of the actual completion of the international search 08 November, 2013 (08.11.13)		Date of mailing of the international search report 19 November, 2013 (19.11.13)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office		Authorized officer
Facsimile No.		Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2013/077431

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2010-147420 A (Mitsubishi Electric Corp.), 01 July 2010 (01.07.2010), paragraph [0041]; fig. 8	12
Y	US 2012/0106103 A1 (Tanios Nohra), 03 May 2012 (03.05.2012), paragraph [0040]	15

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2013/077431

WO 2012/101907 A1	2012.08.02	(Family: none)
JP 2012-049434 A	2012.03.08	US 2012-0049645 A1 CN 102386684 A
JP 2007-521642 A	2007.08.02	US 2004-0232845 A1 EP 001593133 A WO 2004/073283 A2 DE 602004028439 D KR 10-2005-0099612 A CN 001771570 A TW 000832459 A MY 00145263 A HK 001089552 A CA 002483519 A RU 2004134576 A AU 2002259342 A AT 000528970 T NZ 00534330 A PL 002106676 T
WO 2006/022365 A1	2006.03.02	US 2007-0252441 A1 US 007782633 B2
JP 2010-147420 A	2010.07.01	(Family: none)
US 2012/0106103 A1	2012.05.03	(Family: none)

国際調査報告		国際出願番号 PCT/J P 2 0 1 3 / 0 7 7 4 3 1									
A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. H02J17/00(2006.01)i											
B. 調査を行った分野 調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. H02J17/00											
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの <table border="0"> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>1922-1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971-2013年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996-2013年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994-2013年</td> </tr> </table>				日本国実用新案公報	1922-1996年	日本国公開実用新案公報	1971-2013年	日本国実用新案登録公報	1996-2013年	日本国登録実用新案公報	1994-2013年
日本国実用新案公報	1922-1996年										
日本国公開実用新案公報	1971-2013年										
日本国実用新案登録公報	1996-2013年										
日本国登録実用新案公報	1994-2013年										
国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語) JSTPlus/JMEDPlus/JST7580(JDreamIII), CiNii, Thomson Innovation											
C. 関連すると認められる文献											
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号									
Y	WO 2012/101907 A1 (株式会社村田製作所) 2012.08.02, 全文, 全図	1-20									
Y	JP 2012-049434 A (ソニー株式会社) 2012.03.08, 段落【0032】 -【0049】、【0058】-【0066】、図3、図4、図16	1-20									
Y	JP 2007-521642 A (アクセス ビジネス グループ インターナシ ョナル リミテッド ライアビリティ カンパニー) 2007.08.02, 段落【0013】、図1a-d	3, 4									
C欄の続きにも文献が列挙されている。		C欄の続きにも文献が列挙されている。									
* 引用文献のカテゴリー 「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの 「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの 「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す) 「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願		の日の後に公表された文献 「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの 「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの 「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの 「&」同一パテントファミリー文献									
国際調査を完了した日 08.11.2013		国際調査報告の発送日 19.11.2013									
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/J P) 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号		特許庁審査官 (権限のある職員) 赤穂 嘉紀	5 T 5379								
		電話番号 03-3581-1101 内線	3568								

国際調査報告		国際出願番号 PCT/J P 2 0 1 3 / 0 7 7 4 3 1
C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	WO 2006/022365 A1 (北伸電機株式会社) 2006.03.02, 段落【0029】	6
Y	JP 2010-147420 A (三菱電機株式会社) 2010.07.01, 段落【0041】, 図8	1 2
Y	US 2012/0106103 A1 (Tanios Nohra) 2012.05.03, 段落【0040】	1 5

国際調査報告
 パテントファミリーに関する情報

国際出願番号 PCT/JP2013/077431

WO 2012/101907 A1	2012.08.02	ファミリーなし
JP 2012-049434 A	2012.03.08	US 2012-0049645 A1 CN 102386684 A
JP 2007-521642 A	2007.08.02	US 2004-0232845 A1 EP 001593133 A WO 2004/073283 A2 DE 602004028439 D KR 10-2005-0099612 A CN 001771570 A TW 000832459 A MY 00145263 A HK 001089552 A CA 002483519 A RU 2004134576 A AU 2002259342 A AT 000528970 T NZ 00534330 A PL 002106676 T
WO 2006/022365 A1	2006.03.02	US 2007-0252441 A1 US 007782633 B2
JP 2010-147420 A	2010.07.01	ファミリーなし
US 2012/0106103 A1	2012.05.03	ファミリーなし

フロントページの続き

(81)指定国 AP(BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), EP(AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US

(注) この公表は、国際事務局(WIPO)により国際公開された公報を基に作成したものである。なおこの公表に係る日本語特許出願(日本語実用新案登録出願)の国際公開の効果は、特許法第184条の10第1項(実用新案法第48条の13第2項)により生ずるものであり、本掲載とは関係ありません。