

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2012 年 6 月 21 日(21.06.2012)



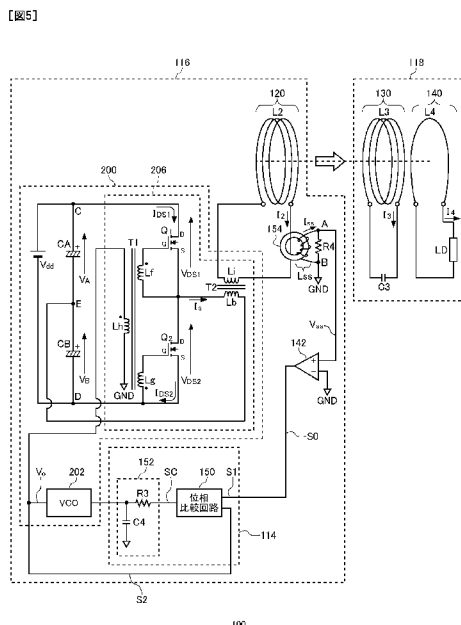
(10) 国際公開番号
WO 2012/081424 A1

- (51) 国際特許分類:
H02J 17/00 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2011/077927
- (22) 国際出願日: 2011 年 12 月 2 日(02.12.2011)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2010-277724 2010 年 12 月 14 日(14.12.2010) JP
12/979896 2010 年 12 月 28 日(28.12.2010) US
13/018919 2011 年 2 月 1 日(01.02.2011) US
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): TDK 株式会社(TDK Corporation) [JP/JP]; 〒1038272 東京都中央区日本橋一丁目 13 番 1 号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 浦野 高志 (URANO Takashi) [JP/JP]; 〒1038272 東京都中央区日本橋一丁目 13 番 1 号 TDK 株式会社内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 鷲頭 光宏, 外 (WASHIZU Mitsuhiro et al.); 〒1040061 東京都中央区銀座一丁目 5 番 1 号 第三太陽ビル 7 F Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, 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, IS, JP, KE, KG, KM, 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, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ユーロッパ (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),

[続葉有]

(54) Title: WIRELESS POWER FEEDING DEVICE, AND WIRELESS POWER TRANSMISSION SYSTEM

(54) 発明の名称: ワイヤレス給電装置およびワイヤレス電力伝送システム



150 Phase comparison circuit

(57) Abstract: A wireless power feeding device (116) can perform the wireless power feeding from a power feeding coil (L2) to a power receiving coil (L3) on the basis of a magnetic resonance phenomenon between the power feeding coil (L2) and the power receiving coil (L3). A power feeding control circuit (200) feeds an alternate current to the power feeding coil (L2) at a driving frequency (f_0). The power feeding coil (L2) outputs the alternate current electric power while being not substantially resonated with a circuit element on the power feeding side. An electric power is fed to a power receiving coil circuit (130) by the action of the magnetic resonance between the power feeding coil (L2) and the power receiving coil (L3).

(57) 要約: ワイヤレス給電装置 116 は、給電コイル L2 と受電コイル L3 の磁場共振現象に基づき、給電コイル L2 から受電コイル L3 にワイヤレス給電する。送電制御回路 200 は、駆動周波数 f_0 にて交流電流を給電コイル L2 に供給する。給電コイル L2 は給電側の回路要素とは実質的に非共振の状態のまま交流電力を出力する。そして、給電コイル L2 と受電コイル L3 の磁場共振により、受電コイル回路 130 に電力が供給される。

WO 2012/081424 A1

WO 2012/081424 A1



OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML,
MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称：

ワイヤレス給電装置およびワイヤレス電力伝送システム

技術分野

[0001] 本発明は、ワイヤレス給電に関し、特に、そのパワー制御に関する。

背景技術

[0002] 電源コードなしで電力を供給するワイヤレス給電技術が注目されつつある。現在のワイヤレス給電技術は、(A) 電磁誘導を利用するタイプ（近距離用）、(B) 電波を利用するタイプ（遠距離用）、(C) 磁場の共振現象を利用するタイプ（中距離用）の3種類に大別できる。

[0003] 電磁誘導を利用するタイプ(A)は、電動シェーバーなどの身近な家電製品において一般的に利用されているが、距離を大きくすると電力伝送効率が急激に低下してしまうため数cm程度の近距離でしか使えないという課題がある。電波を利用するタイプ(B)は、遠距離で使えるが電力が小さいという課題がある。磁場共振現象を利用するタイプ(C)は、比較的新しい技術であり、数m程度の中距離でも高い電力伝送効率を実現できることから特に期待されている。たとえば、EV (Electric Vehicle) の車両下部に受電コイルを埋め込み、地中の給電コイルから非接触にて電力を送り込むという案も検討されている。ワイヤレスであるため完全に絶縁されたシステム構成が可能であり、特に、雨天時の給電に効果的であると考えられる。以下、タイプ(C)を「磁場共振型」とよぶ。

[0004] 磁場共振型は、マサチューセッツ工科大学が2006年に発表した理論をベースとしている（特許文献1参照）。磁場共振型においては、給電側と受電側それぞれに共振回路（LC回路）が形成される。ここで、給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一致させておく。給電側共振回路を共振周波数 f_{r1} で共振させると、受電側共振回路も共振周波数 f_{r1} で共振する。このとき、最大の電力伝送効率にて交流電力を送電できる

(特許文献6参照)。

特許文献1：米国公開2008/0278264号公報

特許文献2：特開2006-230032号公報

特許文献3：国際公開2006/022365号公報

特許文献4：米国公開2009/0072629号公報

特許文献5：米国公開2009/0015075号公報

特許文献6：米国特許7741734号公報

発明の開示

発明が解決しようとする課題

[0005] しかし、本発明者の検証の結果、給電側共振回路は、共振周波数 f_{r1} だけでなく、別の共振周波数 f_{r2} でも共振することが判明した。給電側共振回路（LC回路）と受電側共振回路（LC回路）が磁場成分による結合（磁場結合）することにより、給電コイルと受電コイルの間に相互インダクタンス M が形成される。そして、この相互インダクタンス M 、給電側共振回路および受電側共振回路により形成される新たな共振回路が、共振周波数 f_{r1} とは異なる共振周波数 f_{r2} を持つためではないかと考えられる。

[0006] 給電コイルと受電コイルの距離（以下、「コイル間距離」とよぶ）を大きくすると f_{r1} と f_{r2} が接近する。したがって、給電側共振回路に供給される交流電力の駆動周波数 f_o を共振周波数 f_{r1} に追従させようとする場合、駆動周波数 f_o が本来のターゲットである共振周波数 f_{r1} ではなく共振周波数 f_{r2} の方に追従してしまう可能性がある。共振周波数 f_{r2} はワイヤレス給電の副作用として発生した望まざる共振点であるため、除去することが望ましい。もちろん、駆動周波数 f_o を共振周波数 f_{r2} に追従させてもよいが、その場合には共振周波数 f_{r1} が不要となる。

[0007] また、共振周波数 f_{r1} を低周波数帯に設定する場合には、給電側共振回路（LC回路）に含まれるキャパシタの静電容量を大きくする必要がある。しかし、静電容量を大きくするとキャパシタのサイズが大きくなってしまう。また、キャパシタが大きくなれば誘電損失が大きくなるというデメリット

がある。

課題を解決するための手段

- [0008] 本発明におけるワイヤレス給電装置は、給電コイルと受電コイルの磁場共振現象に基づき、給電コイルから受電コイルにワイヤレス給電する。この装置は、給電コイルと、駆動周波数にて交流電流を給電コイルに供給することにより、実質的に非共振の状態のまま給電コイルから交流電力を給電させる送電制御回路と、を備える。
- [0009] このワイヤレス給電装置は、給電コイルを実質的に非共振の状態では交流電力を給電する。ここでいう「実質的に非共振」とは、給電コイルの共振をワイヤレス給電の必須構成要件としないことを意味する。給電コイルがなんらかの回路要素と偶発的に共振することまでも排除する意味ではない。また、「給電コイルと受電コイルの磁場共振現象」とは、給電コイルが発生させる交流磁場に基づく受電コイル回路の共振現象を意味する。給電コイルに駆動周波数の交流電流を供給すると、給電コイルは駆動周波数の交流磁場を発生させる。この交流磁場により、給電コイルおよび受電コイルを主として磁場成分により結合（磁場結合）させることにより受電コイル回路を共振させる。このとき、受電コイルに大きな交流電流が流れる。受電コイル回路の共振周波数に駆動周波数を一致させれば、給電コイル自体が共振しなくても、高効率の磁場共振型ワイヤレス給電が可能であることがわかった。送電制御回路は、受電コイル回路の共振周波数にて交流電流を給電コイルに供給してもよい。
- [0010] この装置は、給電コイルへの第1の方向からの電流の供給を制御する第1のスイッチと、給電コイルへの第2の方向からの電流の供給を制御する第2のスイッチを備えてもよい。送電制御回路は、第1および第2のスイッチを交互に導通させることにより給電コイルに交流電流を供給してもよい。
- [0011] 第1および第2のスイッチを流れる電流は、結合トランスを介することなく給電コイルに直接的に供給されてもよい。給電コイルにより共振回路を形成する必要がないので、給電コイルに高電圧を印加しやすくなるためである。

。

[0012] この装置は、交流電力の電圧位相と電流位相の位相差を検出する位相検出回路を備えてもよい。また、交流電力が発生させる磁場により誘導電流を発生させる検出コイルを備えてもよい。位相検出回路は、誘導電流の位相を計測することにより、交流電力の電流位相を計測してもよい。

[0013] 送電制御回路は、検出された位相差が減少するように駆動周波数を調整してもよい。これにより、駆動周波数を受電コイル回路の共振周波数に追従させてもよい。

[0014] 給電コイルは受電コイルと対向する位置に設けられてもよい。そして、給電コイルの非対向面には、磁性体板や電界遮蔽板が取り付けられてもよい。

[0015] 本発明の別側面におけるワイヤレス給電装置は、給電コイルと受電コイルの磁場共振現象に基づき、給電コイルから受電コイルにワイヤレス給電する。この装置は、給電コイルと、駆動周波数にて交流電流を給電コイルに供給することにより、給電コイルから交流電力を給電させる送電制御回路を備える。給電コイルは、給電側の回路要素とは、受電コイルの共振周波数を共振点とする共振回路を形成しない。

[0016] 給電コイルは、ワイヤレス給電装置に含まれるその他の回路要素とは共振回路を形成しないように構成されればよい。少なくとも、受電コイルの共振周波数を共振点とする共振回路は給電側において形成されない。

[0017] 本発明の更に別側面におけるワイヤレス給電装置は、給電コイルと受電コイルの磁場共振現象に基づき、給電コイルから受電コイルにワイヤレス給電するための装置である。この装置は、給電コイルと、駆動周波数にて交流電流を給電コイルに供給することにより、給電コイルから交流電力を給電させる送電制御回路を備える。ここで給電コイルに対して直列または並列にキャパシタが挿入されない構成となっている。

[0018] 本発明におけるワイヤレス電力伝送システムは、ワイヤレス給電装置とワイヤレス受電装置を備える。ワイヤレス給電装置は、給電コイルと、駆動周波数にて交流電流を給電コイルに供給することにより、実質的に非共振の状

態のまま給電コイルから受電コイルに交流電力を給電させる送電制御回路を含む。ワイヤレス受電装置は、受電コイルと、受電コイルと磁気結合し、受電コイルが給電コイルから受電した交流電力を供給されるロードコイルを含む。ワイヤレス受電装置は、受電コイルと共振回路を形成するキャパシタを含んでもよい。

[0019] なお、以上の構成要素の任意の組み合わせ、本発明の表現を方法、装置、システムなどの間で変換したものもまた、本発明の態様として有効である。

図面の簡単な説明

[0020] [図1]一般的なワイヤレス電力伝送システムの原理図である。

[図2]一般的なワイヤレス電力伝送システムにおける駆動周波数と出力電力の関係を示すグラフである。

[図3]第1実施形態におけるワイヤレス電力伝送システムの原理図である。

[図4]第1実施形態におけるワイヤレス電力伝送システムの模式図である。

[図5]第1実施形態におけるワイヤレス電力伝送システムのシステム構成図である。

[図6]給電コイル、受電コイルおよびロードコイルの側断面図である。

[図7]受電LC共振回路のインピーダンスと駆動周波数の関係を示すグラフである。

[図8]駆動周波数と共振周波数が一致するときの電圧および電流の変化過程を示すタイムチャートである。

[図9]駆動周波数が共振周波数よりも大きい場合の電圧および電流の変化過程を示すタイムチャートである。

[図10]駆動周波数が共振周波数よりも小さい場合の電圧および電流の変化過程を示すタイムチャートである。

[図11]位相検出回路へ入力される各種電圧の変化過程を示すタイムチャートである。

[図12]位相差指示電圧と駆動周波数の関係を示すグラフである。

[図13]第1実施形態における駆動周波数と出力電力の関係を示すグラフであ

る。

[図14]コイル間距離と出力電力効率の関係を示すグラフである。

[図15]第2実施形態におけるワイヤレス電力伝送システムのシステム構成図である。

[図16]第3実施形態におけるワイヤレス電力伝送システムのシステム構成図である。

[図17]第4実施形態におけるワイヤレス電力伝送システムのシステム構成図である。

発明を実施するための最良の形態

[0021] 図1は、一般的なワイヤレス電力伝送システム308の原理図である。具体的には、図1は、特許文献6に開示されるワイヤレス電力伝送システムの原理を模式的に示すものである。ワイヤレス電力伝送システム308は、ワイヤレス給電装置310とワイヤレス受電装置312を含む。ワイヤレス給電装置310は給電LC共振回路300を含む。ワイヤレス受電装置312は受電LC共振回路302を含む。給電LC共振回路300は、給電キャパシタCSと給電コイルLSを含む。受電LC共振回路302は、受電キャパシタCRと受電コイルLRを含む。給電コイルLSと受電コイルLRの磁場結合を無視できるほど両者が十分に離れた状態において給電LC共振回路300および受電LC共振回路302それぞれの共振周波数が同一となるように、給電キャパシタCS、給電コイルLS、受電キャパシタCR、受電コイルLRが設定される。この共通の共振周波数を f_{r0} とする。

[0022] 給電コイルLSと受電コイルLRを十分に磁場結合できる程度に近づけた状態では、給電LC共振回路300、受電LC共振回路302およびその間に発生する相互インダクタンスMにより新たな共振回路が形成される。ワイヤレス給電装置310においては、給電源VGからこの新共振回路の共振周波数 f_{r1} にて交流電力が給電LC共振回路300に供給される。新共振回路の一部である給電LC共振回路300は共振点1（共振周波数 f_{r1} ）で共振する。給電LC共振回路300が共振すると、給電コイルLSは共振周

波数 f_{r1} の交流磁場を発生させる。同じく新共振回路の一部である受電 LC 共振回路 302 もこの交流磁場により共振する。給電 LC 共振回路 300 と受電 LC 共振回路 302 が同一の共振周波数 f_{r1} にて共振するとき、給電コイル L S から受電コイル L R に最大の電力伝送効率にてワイヤレス給電がなされる。ワイヤレス受電装置 312 の負荷 L D から受電電力が出力電力として取り出される。

[0023] 新共振回路は、給電 LC 共振回路 300 と受電 LC 共振回路 302 それぞれの共振周波数 f_{r0} よりも低い上記共振周波数 f_{r1} だけでなく、共振周波数 f_{r0} よりも高い共振周波数 f_{r2} も発生する。すなわち、給電コイル L S と受電コイル L R とが磁場結合することにより、給電コイル L S と受電コイル L R との間に相互インダクタンス M が生じ、給電 LC 共振回路 300 と受電 LC 共振回路 302、相互インダクタンス M とから構成される新共振回路が形成される。新共振回路は、共振点 1（共振周波数 f_{r1} ）だけでなく共振点 2（共振周波数 f_{r2} ）でも共振する。共振周波数 f_{r1} により電力伝送する場合でも、本来の目的である共振点 1（共振周波数 f_{r1} ）だけでなく、不要な共振点 2（共振周波数 f_{r2} ）が生じてしまうことになる。

[0024] また、当然ながら、給電キャパシタ C S は誘電損失を発生させる。特に、共振周波数 f_{r1} が低周波数帯にあるときには誘電損失が大きくなる。低周波数帯では給電キャパシタ C S のサイズも大きくなりやすい。

[0025] 図 2 は、一般的なワイヤレス電力伝送システム 308 における駆動周波数と出力電力の関係を示すグラフである。給電源 V G は、駆動周波数 f_o の交流電流を給電 LC 共振回路 300 に流す。給電源 V G は、駆動周波数 f_o を調整して、共振周波数 f_{r1} に一致させる機能を備えるものとする。もっとも、完全に一致させることが望ましいが、少なくとも、完全一致するように駆動周波数 f_o を調整することが重要であるため、厳密には常に完全一致するとは限らないことはいうまでもない。

[0026] 中距離特性 304 は、コイル間距離 D が小さいときの駆動周波数 f_o と出力電力の関係を示す。中距離特性 304 の場合、相互インダクタンス M の影

響により、2つの共振点（共振周波数 f_{r1} 、 f_{r2} ）は互いに離れている。したがって、共振周波数 f_{r1} の近辺に駆動周波数 f_o の制御範囲を限定しておけば、共振点1（共振周波数 f_{r1} ）を検出して、駆動周波数 f_o と共振周波数 f_{r1} に一致させやすくなる。

[0027] 遠距離特性306は、コイル間距離Dが大きくなったときの駆動周波数 f_o と出力電力の関係を示す。相互インダクタンスMの影響が小さくなるため2つの共振点（共振周波数 f_{r1} 、 f_{r2} ）は接近する。この場合、駆動周波数 f_o は、共振周波数 f_{r1} ではなく共振周波数 f_{r2} の方に一致してしまう可能性がある。あるいは、共振周波数 f_{r1} と共振周波数 f_{r2} の間で追従目標が揺れてしまう可能性がある。

[0028] コイル間距離Dが更に大きくなれば、相互インダクタンスMの影響をほとんど無視できるため共振周波数 f_{r1} と共振周波数 f_{r2} はほぼ同一となる。すなわち、共振周波数 f_{r1} と共振周波数 f_{r2} は、どちらも共振周波数 f_{r0} に近づく。

[0029] [第1実施形態]

図3は、第1実施形態におけるワイヤレス電力伝送システム100の原理図である。ワイヤレス電力伝送システム100は、ワイヤレス給電装置116とワイヤレス受電装置118を含む。ワイヤレス受電装置118は受電LC共振回路302を含むが、ワイヤレス給電装置116は給電LC共振回路300を含まない。すなわち、給電コイルLSは、LC共振回路の一部とはなっていない。より具体的には、給電コイルLSは、ワイヤレス給電装置116に含まれる他の回路要素とは共振回路を形成しない。給電コイルLSに対しては、直列・並列のいずれにもキャパシタが挿入されない。したがって、電力を伝送するときの周波数においては、給電コイルLSは非共振となる。

[0030] 給電源VGは、共振周波数 f_{r1} の交流電流を給電コイルLSに供給する。ここでいう共振周波数 f_{r1} は、給電コイルLSおよび受電LC共振回路302により形成される新たな共振回路の共振周波数である。給電コイルL

Sは共振しないが、共振周波数 f_{r1} の交流磁場を発生させる。受電LC共振回路302は、この交流磁場により図1に示したワイヤレス受電装置312と同様共振する。この結果、受電LC共振回路302には大きな交流電流が流れる。本発明者による検証の結果、給電コイルLSの共振はワイヤレス給電の必須要件ではないことが判明した。給電コイルLSは、給電LC共振回路の一部ではないため、ワイヤレス給電装置116としては共振周波数 f_{r1} にて共振状態には移らない。一般的には、磁場共振型のワイヤレス給電は、給電側と受電側双方に共振回路を形成し、それぞれの共振回路を同一の共振周波数 f_{r1} で共振させることにより、大電力の送電が可能となると解釈されている。しかし、給電LC共振回路300を含まないワイヤレス給電装置116であっても、ワイヤレス受電装置118が受電LC共振回路302を含んでさえいれば、磁場共振型のワイヤレス給電を実現可能であることがわかった。

[0031] 給電コイルLSと受電側コイルLRが磁場結合しても、給電キャパシタCSが省略されているため新たな共振回路が形成されない。この場合、電力を伝送するときの周波数では給電コイルLSは非共振となるので、磁場結合により2つ目の共振点を生じることがなくなる。給電キャパシタCSが不要であるためサイズやコスト面でも有利となる。

[0032] 図4は、第1実施形態におけるワイヤレス電力伝送システム100の模式図である。VCO (Voltage Controlled Oscillator) 202は、駆動周波数 f_o の交流電流を増幅回路206に供給する。増幅回路206は、交流電流を増幅して給電コイルL2に供給する。電流検出回路204は、給電コイルL2に流れる交流電流の電流位相を計測する。位相比較回路150は、VCO 202が発生させる電圧 V_o の電圧位相と電流検出回路204により検出される電流位相を比較する。駆動周波数 f_o が共振周波数 f_{r1} と一致していれば、電流位相と電圧位相も一致する。電流位相と電圧位相のずれ（位相差）を検出することにより、駆動周波数 f_o と共振周波数 f_{r1} のずれを検出し、周波数のずれが解消されるようにVCO 202の駆動周波数 f_o を調

整する。このような構成により、ワイヤレス給電装置 116 は駆動周波数 f_o を共振周波数 f_{r1} に追従させる。

[0033] ワイヤレス受電装置 118 は、受電コイル回路 130 とロード回路 140 を含む。受電コイル回路 130 においては、受電コイル L_3 とキャパシタ C_3 により受電 LC 共振回路 302 が形成される。受電コイル回路 130 とロード回路 140 の詳細については次の図 5 に関連して説明する。

[0034] 図 5 は、第 1 実施形態におけるワイヤレス電力伝送システム 100 のシステム構成図である。ワイヤレス給電装置 116 は、基本構成として、送電制御回路 200、給電コイル回路 120 および位相検出回路 114 を含む。送電制御回路 200 は、増幅回路 206 と VCO 202 を含む。ワイヤレス受電装置 118 は、受電コイル回路 130 とロード回路 140 を含む。

[0035] 給電コイル回路 120 が有する給電コイル L_2 と、受電コイル回路 130 が有する受電コイル L_3 の間には 0.02 ~ 1.0 m 程度の距離（コイル間距離）がある。ワイヤレス電力伝送システム 100 の主目的は、給電コイル L_2 から受電コイル L_3 にワイヤレスにて交流電力を送ることである。本実施形態においては共振周波数 $f_{r1} = 100 \text{ kHz}$ であるとして説明する。なお、本実施形態におけるワイヤレス電力伝送システムは、たとえば、ISM (Industry-Science-Medical) 周波数帯のような高周波数帯にて動作させることも可能である。低周波数帯には、スイッチングトランジスタ（後述）のコストおよびスイッチング損失を抑制しやすい、電波法の規制が緩いといったメリットがある。

[0036] 給電コイル回路 120 は、給電コイル L_2 とトランス T2 二次コイル L_i が直列接続された回路である。トランス T2 二次コイル L_i は、トランス T2 一次コイル L_b と共に結合トランス T2 を形成し、電磁誘導により送電制御回路 200 から交流電力を供給される。給電コイル L_2 の巻き数は 7 回、導体直径は 5 mm、給電コイル L_2 自体の形状は 280 mm × 280 mm の正方形である。図 5 では、わかりやすさのため、給電コイル L_2 を円形に描いている。他のコイルについても同様である。図 5 に示す各コイルの材質は

いずれも銅である。コイルは、アルミニウムなどの他の材質により形成されてもよい。給電コイル回路120には交流電流 I_2 が流れる。

[0037] 受電コイル回路130は、受電コイル L_3 とキャパシタ C_3 が直列接続されたLC共振回路である。給電コイル L_2 と受電コイル L_3 は互いに向かい合っている。受電コイル L_3 の巻き数は7回、導体直径は5mm、受電コイル L_3 自体の形状は280mm×280mmの正方形である。受電コイル回路130単体の共振周波数 f_{r0} が100kHzとなるように、受電コイル L_3 とキャパシタ C_3 それぞれの値が設定されている。給電コイル L_2 と受電コイル L_3 は同一形状である必要はない。給電コイル L_2 が周波数 $f_r = 100\text{kHz}$ にて交流磁場を発生させると、給電コイル L_2 と受電コイル L_3 が磁場結合し、受電コイル回路130に大きな電流 I_3 が流れる。このとき、給電コイル L_2 が発生させる交流磁場によって受電コイル回路130も共振する。

[0038] ロード回路140は、ロードコイル L_4 と負荷 LD が直列接続された回路である。受電コイル L_3 とロードコイル L_4 は互いに向かい合っている。図6に関連して詳述するように、受電コイル L_3 とロードコイル L_4 の距離はゼロである。このため、受電コイル L_3 とロードコイル L_4 は電磁的に強く結合（電磁誘導による結合）している。ロードコイル L_4 の巻き数は1回、導体直径は5mm、ロードコイル L_4 自体の形状は300mm×300mmである。受電コイル L_3 に電流 I_3 が流れることにより、ロード回路140に起電力が発生し、ロード回路140に交流電流 I_4 が流れる。交流電流 I_4 は負荷 LD を流れる。

[0039] ワイヤレス給電装置116の給電コイル L_2 から送電された交流電力は、ワイヤレス受電装置118の受電コイル L_3 により受電され、負荷 LD から取り出される。

[0040] 負荷 LD を受電コイル回路130に直接接続すると、受電コイル回路130のQ値が悪くなる。このため、受電用の受電コイル回路130と電力取り出し用のロード回路140を分離している。電力伝送効率を高めるためには

、給電コイル L_2 、受電コイル L_3 およびロードコイル L_4 の中心線を揃えることが好ましい。

[0041] 次に、送電制御回路200の構成を説明する。まず、ゲート駆動用トランス T_1 の一次側に $VCO202$ が接続される。 $VCO202$ は、駆動周波数 f_o の交流電圧 V_o を発生させる「オシレータ」として機能する。交流電圧 V_o の波形は正弦波でもよいが、ここでは矩形波（デジタル波形）であるとして説明する。交流電圧 V_o により、トランス T_1 一次コイル L_h には正負両方向に交互に電流が流れる。トランス T_1 一次コイル L_h とトランス T_1 二次コイル L_f 、トランス T_1 二次コイル L_g はゲート駆動用の結合トランス T_1 を形成する。電磁誘導により、トランス T_1 二次コイル L_f とトランス T_1 二次コイル L_g にも正負の両方向に交互に電流が流れる。

[0042] 本実施形態における $VCO202$ は、モトローラ社：製品番号MC14046Bの内蔵ユニットを利用している。 $VCO202$ は、位相比較回路150から出力される位相差指示電圧 SC （後述）に基づいて駆動周波数 f_o を動的に変化させる機能も備える。

[0043] 送電制御回路200の電源となるのは、直流電源 V_{dd} により充電されるキャパシタ C_A 、 C_B である。キャパシタ C_A は図1に示す点 C と点 E の間、キャパシタ C_B は点 E と点 D の間に設けられる。キャパシタ C_A の電圧（ CE 間の電圧）を V_A 、キャパシタ C_B の電圧（ ED 間の電圧）を V_B とすると、 $V_A + V_B$ （ CD 間の電圧）が入力電圧となる。キャパシタ C_A および C_B は直流電圧源として機能する。

[0044] トランス T_1 二次コイル L_f の一端は、スイッチングトランジスタ Q_1 のゲートと接続され、他端はスイッチングトランジスタ Q_1 のソースと接続される。トランス T_1 二次コイル L_g の一端は、別のスイッチングトランジスタ Q_2 のゲートと接続され、他端はスイッチングトランジスタ Q_2 のソースと接続される。 $VCO202$ が駆動周波数 f_o にて交流電圧 V_o を発生させると、スイッチングトランジスタ Q_1 とスイッチングトランジスタ Q_2 の各ゲートには、電圧 V_x （ $V_x > 0$ ）が駆動周波数 f_o にて交互に印加される

。このため、スイッチングトランジスタQ1とスイッチングトランジスタQ2は駆動周波数 f_o にて交互にオン・オフする。スイッチングトランジスタQ1とスイッチングトランジスタQ2は同一特性のエンハンスメント型MOSFET (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor) であるが、バイポーラ・トランジスタなど他のトランジスタでもよい。トランジスタの代わりにリレースイッチ等、他のスイッチを用いてもよい。

[0045] スwitchングトランジスタQ1のドレインは、キャパシタCAの正極に接続される。キャパシタCAの負極は、トランスT2一次コイルLbを介してスイッチングトランジスタQ1のソースに接続される。スイッチングトランジスタQ2のソースは、キャパシタCBの負極に接続される。キャパシタCBの正極は、トランスT2一次コイルLbを介して、スイッチングトランジスタQ2のドレインに接続される。

[0046] スwitchングトランジスタQ1のソース・ドレイン間の電圧をソース・ドレイン電圧 V_{DS1} 、スイッチングトランジスタQ2のソース・ドレイン間の電圧をソース・ドレイン電圧 V_{DS2} とよぶ。また、スイッチングトランジスタQ1のソース・ドレイン間を流れる電流をソース・ドレイン電流 I_{DS1} 、スイッチングトランジスタQ2のソース・ドレイン間を流れる電流をソース・ドレイン電流 I_{DS2} とする。ソース・ドレイン電流 I_{DS1} 、 I_{DS2} については、同図矢印に示す方向を正方向、反対方向を負方向とする。

[0047] スwitchングトランジスタQ1が導通（オン）するとき、スイッチングトランジスタQ2は非導通（オフ）となる。このときのメインの電流経路（以下、「第1電流経路」とよぶ）は、キャパシタCAの正極から点C、スイッチングトランジスタQ1、トランスT2一次コイルLb、点Eを経由して負極に帰還する経路となる。スイッチングトランジスタQ1は、第1電流経路の導通・非導通を制御するスイッチとして機能する。

[0048] スwitchングトランジスタQ2が導通（オン）するとき、スイッチングトランジスタQ1は非導通（オフ）となる。このときのメインの電流経路（以

下、「第2電流経路」とよぶ)は、キャパシタC Bの正極から点E、トランスT 2一次コイルL b、スイッチングトランジスタQ 2、点Dを經由して負極に帰還する経路となる。スイッチングトランジスタQ 2は、第2電流経路の導通・非導通を制御するスイッチとして機能する。

[0049] 送電制御回路200においてトランスT 2一次コイルL bを流れる電流を「電流I S」とよぶ。電流I Sは交流電流であり、第1電流経路を流れるときを正方向、第2電流経路を流れるときを負方向とよぶ。

[0050] VCO202が駆動周波数 f_o にて交流電圧 V_o を供給すると、第1電流経路と第2電流経路が駆動周波数 f_o にて交互に切り替わる。駆動周波数 f_o の交流電流I SがトランスT 2一次コイルL bを流れるため、給電コイル回路120にも駆動周波数 f_o にて交流電流I 2が流れる。駆動周波数 f_o が共振周波数 f_{r1} に近いほど、電力伝送効率は高くなる。駆動周波数 f_o =共振周波数 f_{r1} であれば、給電コイルL 2と受電コイルL 3は強く磁場結合する。このとき、電力伝送効率は最大となる。

[0051] 共振周波数 f_{r1} は、受電コイル回路130の使用状態や使用環境によって微妙に変化する。受電コイル回路130を交換した場合にも共振周波数 f_{r1} は変化する。あるいは、キャパシタC 3の静電容量を可変とすることにより共振周波数 f_{r1} を積極的に変化させたい場合もあるかもしれない。また、本発明者の実験により、給電コイルL 2と受電コイルL 3のコイル間距離Dをある程度近づけると共振周波数 f_{r0} に比べて共振周波数 f_{r1} が上昇し始めることがわかっている。共振周波数 f_{r1} と駆動周波数 f_o の差が変化すると電力伝送効率が変化する。電力伝送効率が変化すると、負荷LDの電圧(出力電圧)が変化する。したがって、負荷LDの出力電圧を最大化・安定化するためには、共振周波数 f_{r1} が変化したときでも、共振周波数 f_{r1} に駆動周波数 f_o を追従させる必要がある。

[0052] 給電コイル回路120には検出コイルL S Sが設けられる。検出コイルL S Sは、貫通孔を有するコア154(トロイダルコア)に N_s 回巻き付けられたコイルである。コア154の材質はフェライト、珪素鋼板、パーマロイ

(permalloy)等の既知材料である。本実施形態における検出コイルL S Sの巻き数 N_s は100回である。

[0053] 給電コイル回路120の電流経路の一部もコア154の貫通孔を貫通している。これは、コア154に対する給電コイル回路120の巻き数 N_p が1回であることを意味する。このような構成により、検出コイルL S Sと給電コイルL 2は結合トランスを形成する。給電コイルL 2の交流電流 I_2 が発生させる交流磁場により、検出コイルL S Sには同相の誘導電流 I_{SS} が流れる。等アンペア・ターンの法則により、誘導電流 I_{SS} の大きさは、 $I_2 \cdot (N_p / N_s)$ となる。

[0054] 検出コイルL S Sの両端には抵抗 R_4 が接続される。抵抗 R_4 の一端Bは接地され、他端Aの電位 V_{SS} はコンパレータ142を介して位相比較回路150に接続される。

[0055] 電位 V_{SS} は、コンパレータ142によって2値化され、S0信号となる。コンパレータ142は電位 V_{SS} が所定の閾値、たとえば、0.1(V)より大きくなると飽和電圧3.0(V)を出力する。電位 V_{SS} は、コンパレータ142によってデジタル波形のS0信号に変換される。電流 I_2 と誘導電流 I_{SS} は同相であり、誘導電流 I_{SS} と電位 V_{SS} (S0信号)は同相である。また、送電制御回路200を流れる交流電流 I_S は電流 I_2 と同相である。したがって、S0信号の波形を観察することにより交流電流 I_S の電流位相を計測できる。

[0056] 検出コイルL S S、抵抗 R_4 およびコンパレータ142は、図4の電流検出回路204に相当する。

[0057] 共振周波数 f_{r1} と駆動周波数 f_o が一致するときには電流位相と電圧位相も一致する。共振周波数 f_{r1} と駆動周波数 f_o のずれは、電流位相と電圧位相の位相差から計測できる。本実施形態におけるワイヤレス電力伝送システム100は、この位相差に基づいて、共振周波数 f_{r1} と駆動周波数 f_o のずれを計測することにより、共振周波数 f_{r1} の変化に対して駆動周波数 f_o を自動的に追従させる。

[0058] 位相検出回路 114 は、位相比較回路 150 とローパスフィルタ 152 を含む。ローパスフィルタ 152 は、抵抗 R3 とキャパシタ C4 を含む既知の回路であり、位相差指示電圧 SC の高周波数成分をカットするために挿入される。本実施形態における位相比較回路 150 は、VCO202 と同じくモトローラ社：製品番号 MC14046B の内蔵ユニット（Phase Comparator）を利用している。したがって、位相比較回路 150 と VCO202 は、ワンチップにて実現可能である。

[0059] 電流位相を示す S0 信号は位相比較回路 150 に入力される。また、VCO202 が発生させる交流電圧 Vo も、電圧位相を示す S2 信号として位相比較回路 150 に入力される。位相比較回路 150 は、S0、S2 信号から電流位相と電圧位相のずれ（位相差）を検出し、位相差の大きさを示す位相差指示電圧 SC を生成する。位相差の検出により、共振周波数 fr1 と駆動周波数 fo のずれの大きさを検出する。位相差指示電圧 SC にしたがって駆動周波数 fo を制御することにより、駆動周波数 fo を共振周波数 fr1 に追従させることができる。

[0060] たとえば、駆動周波数 fo と共振周波数 fr1 が乖離すると位相差が大きくなるため、位相比較回路 150 はこの位相差を小さくするように位相差指示電圧 SC を発生させればよい。したがって、共振周波数 fr1 が変化しても、電力伝送効率を一定に保ち、負荷 LD の出力電圧を安定させることができる。

[0061] 図 6 は、給電コイル L2、受電コイル L3 およびロードコイル L4 の側断面図である。給電コイル L2 と受電コイル L3 は、互いに対向するように設置される。給電コイル L2 の非対向面側には磁性体板 208 および電界遮蔽板 212 が設けられる。また、受電コイル L3 の外縁にロードコイル L4 が設けられる。そして、受電コイル L3、ロードコイル L4 にも、非対向面側に磁性体板 210、電界遮蔽板 214 が設けられる。

[0062] 本実施形態における磁性体板 208、210 の材質はフェライトである。磁性体板 208、210 は、給電コイル L2 や受電コイル L3 が発生させる

磁束を集約するために設けられる。磁束集約により、電力伝送効率を高めている。本実施形態における電界遮蔽板 212, 214 の材質はアルミニウムである。電界遮蔽板 212, 214 は、給電コイル L2 等による不要な電界放射を防ぐために設けられる。

[0063] 図 7 は、受電 LC 共振回路 302 のインピーダンス Z と駆動周波数 f_o の関係を示すグラフである。縦軸は、受電コイル回路 130（キャパシタ C3 と受電コイル L3 の直列回路）のインピーダンス Z を示す。横軸は駆動周波数 f_o を示す。インピーダンス Z は、共振時において最低値 Z_{min} となる。共振時に $Z_{min} = 0$ となるのが理想であるが、受電コイル回路 130 には若干の抵抗成分が含まれるため、 Z_{min} は通常ゼロとはならない。

[0064] 図 7 においては、駆動周波数 $f_o =$ 共振周波数 f_{r1} となると、インピーダンス Z は最低となり、受電コイル回路 130 は共振状態となる。駆動周波数 f_o と共振周波数 f_{r1} がずれると、インピーダンス Z における容量性リアクタンスまたは誘導性リアクタンスが優勢となるためインピーダンス Z も大きくなる。

[0065] 駆動周波数 f_o が共振周波数 f_{r1} と一致するとき、給電コイル L2 には共振周波数 f_{r1} にて交流電流 I_2 が流れ、受電コイル回路 130 にも共振周波数 f_{r1} にて交流電流 I_3 が流れる。受電コイル回路 130 の受電コイル L3 およびキャパシタ C3 は、共振周波数 f_{r1} にて共振するため、給電コイル L2 から受電コイル L3 への電力伝送効率は最大となる。

[0066] 駆動周波数 f_o と共振周波数 f_{r1} がずれると、給電コイル L2 には非共振周波数の交流電流 I_2 が流れる。このため、給電コイル L2 と受電コイル L3 は磁氣的に共振できなくなるため、電力伝送効率は急速に悪化する。

[0067] 図 8 は、駆動周波数 f_o と共振周波数 f_{r1} が一致するときの電圧および電流の変化過程を示すタイムチャートである。時刻 $t_0 \sim$ 時刻 t_1 の期間（以下、「第 1 期間」とよぶ）は、スイッチングトランジスタ Q1 がオン、スイッチングトランジスタ Q2 がオフとなる期間である。時刻 $t_1 \sim$ 時刻 t_2 の期間（以下、「第 2 期間」とよぶ）は、スイッチングトランジスタ Q1 がオフ

、スイッチングトランジスタQ2がオンとなる期間、時刻 t_2 ～時刻 t_3 の期間(以下、「第3期間」とよぶ)は、スイッチングトランジスタQ1がオン、スイッチングトランジスタQ2がオフとなる期間、時刻 t_3 ～時刻 t_4 の期間(以下、「第4期間」とよぶ)は、スイッチングトランジスタQ1がオフ、スイッチングトランジスタQ2がオンとなる期間であるとする。

[0068] スwitchングトランジスタQ1のゲート・ソース電圧 V_{GS1} が所定の閾値 V_x を超えたとき、スイッチングトランジスタQ1は飽和状態となる。したがって、第1期間の開始タイミングである時刻 t_0 にスイッチングトランジスタQ1がオン(導通)となると、ソース・ドレイン電流 I_{DS1} が流れ始める。いいかえれば、正方向(第1電流経路)に電流 I_S が流れ始める。

[0069] 第2期間の開始タイミングである時刻 t_1 にスイッチングトランジスタQ1がオフ(非導通)となると、ソース・ドレイン電流 I_{DS1} は流れなくなる。代わりに、スイッチングトランジスタQ2がオン(導通)となり、ソース・ドレイン電流 I_{DS2} が流れはじめる。すなわち、負方向(第2電流経路)に電流 I_S が流れ始める。

[0070] 電流 I_S と誘導電流 I_{SS} は同相であり、 S_0 信号は誘導電流 I_{SS} と同相である。このため、電流 I_S の電流波形と S_0 信号の電圧波形は同期する。 S_0 信号を観察することにより、電流 I_S (ソース・ドレイン電流 I_{DS1} 、 I_{DS2})の電流位相を計測できる。第3期間、第4期間以降は、第1期間、第2期間と同様の波形を繰り返す。

[0071] 図9は、駆動周波数 f_o が共振周波数 f_{r1} よりも大きい場合の電圧および電流の変化過程を示すタイムチャートである。駆動周波数 f_o が共振周波数 f_{r1} よりも大きい場合、受電コイル回路130のインピーダンス Z には誘導性リアクタンス成分が現れ、交流電流 I_S の電流位相は電圧位相に対して遅れる。上述のように、電流 I_S と S_0 信号は同相であるから、 S_0 信号と S_2 信号の電圧波形を比較すれば、供給電力における電流位相と電圧位相の位相差 t_d を検出できる。

[0072] 図8に示したように、駆動周波数 f_o =共振周波数 f_{r1} のときには、第

1 期間の開始タイミングである時刻 t_0 から電流 I_S が流れ始め $V_{SS} > 0$ となる。この場合には、位相差 $t_d = 0$ である。駆動周波数 $f_o >$ 共振周波数 f_{r1} の場合、電流 I_S は時刻 t_0 よりも遅い時刻 t_5 から流れ始め $V_{SS} > 0$ となるため、位相差 $t_d = t_0 - t_5 < 0$ となる。駆動周波数 f_o と共振周波数 f_{r1} がずれると、電力伝送効率が悪化し、電流 I_S や V_{SS} の振幅は共振時に比べて小さくなる。

[0073] 図 10 は、駆動周波数 f_o が共振周波数 f_{r1} よりも小さい場合の電圧および電流の変化過程を示すタイムチャートである。駆動周波数 f_o が共振周波数 f_{r1} よりも小さい場合、インピーダンス Z に容量性リアクタンス成分が現れ、電流 I_S の電流位相は電圧位相に対して進む。電流 I_S は時刻 t_0 よりも早い時刻 t_6 から流れ始めるため、位相差 $t_d = t_0 - t_6 > 0$ となる。電流 I_S や V_{SS} の振幅は共振時に比べて小さくなる。

[0074] 図 11 は、位相検出回路 150 へ入力される各種電圧の変化過程を示すタイムチャートである。S2 信号は V_{CO202} の交流電圧 V_o に同期して変化する。第 1 期間と第 3 期間において $V_o > 0$ となる。コンパレータ 142 は、電位 V_{SS} が所定値、たとえば、0.1 (V) 以上となると 3.0 (V) に飽和する。このため、電位 V_{SS} がアナログ波形となる場合にも、コンパレータ 142 はデジタル波形の S0 信号を生成できる。

[0075] 電位 V_{SS} は、電流 I_S に同期して変化する。図 11 では、駆動周波数 $f_o <$ 共振周波数 f_{r1} の場合の波形を示している。したがって、電流位相が電圧位相よりも進んでいる。

[0076] 位相検出回路 150 は、S2 信号（駆動電圧 V_o ）の立ち上がりエッジ時刻 t_0 と、S0 信号の立ち上がりエッジ時刻 t_6 を比較し、 $t_0 - t_6$ により位相差 t_d を求める。コンパレータ 142 が V_{SS} をデジタル波形に変換（整形）するため、位相検出回路 150 は位相差 t_d を検出しやすくなる。もちろん、位相検出回路 150 は、 V_{SS} と V_o を直接比較して位相差 t_d を検出してもよい。

[0077] 図 12 は、位相差指示電圧 S_C と駆動周波数 f_o の関係を示すグラフであ

る。図12に示す関係は、VCO202において設定されている。位相差 t_d の大きさは、共振周波数 f_{r1} の変化量に比例する。そこで、位相検出回路150は、位相差 t_d に応じて位相差指示電圧SCの変化量を決定し、その変化量に応じて駆動周波数 f_o を決定する。

[0078] まず、初期状態では共振周波数 f_{r1} ($=f_{r0}$) = 100 kHzなので、駆動周波数 f_o = 100 kHzに設定される。位相差指示電圧SC = 3.0 (V) に初期設定される。共振周波数 f_{r1} が100 kHzから90 kHzに変化した場合を想定する。駆動周波数 f_o ($=100$ kHz) > 共振周波数 f_{r1} ($=90$ kHz) となるため、位相差 $t_d < 0$ となる。位相差 t_d は、共振周波数 f_{r1} の変化量 (-10 kHz) に比例する。位相検出回路150は、位相差 t_d に応じて位相差指示電圧SCの変化量を決定する。上記設例では、位相検出回路150は位相差指示電圧SCの変化量を -1 (V) とし、新たな位相差指示電圧SC = 2 (V) を出力する。VCO202は、図12のグラフに示す関係にしたがって、位相差指示電圧SC = 2.0 (V) に対応する駆動周波数 f_o = 90 kHzを出力する。このような処理により、共振周波数 f_{r1} が変化しても駆動周波数 f_o を自動的に追従させることができる。

[0079] 図13は、第1実施形態における駆動周波数 f_o と出力電力の関係を示すグラフである。コイル間距離Dが短いほど、共振点（共振周波数 f_{r1} ）は高くなる。給電コイル回路120が給電キャパシタCSを含まない非共振回路であるため、共振点は1つだけとなる。なお、図13は、受電コイル回路130の共振周波数 f_{r0} を70 kHzに設定した場合を示している。

[0080] 図14は、コイル間距離Dと出力電力効率の関係を示すグラフである。非共振型特性216は、第1実施形態におけるワイヤレス電力伝送システム100におけるコイル間距離Dと出力電力効率の関係を示す。共振型特性218は、給電LC共振回路300を含むワイヤレス電力伝送システム308におけるコイル間距離Dと出力電力効率の関係を示す。いずれも、駆動周波数 f_o を共振周波数 f_{r1} に自動追従させている。ここでいう出力電力効率と

は、理論上最大の電力伝送効率に対して実際に達成された電力伝送効率の割合を示す。

[0081] 図14によれば、従来の共振型特性218よりも第1実施形態における非共振型特性216の方が高い出力電力効率を達成できている。これは、給電LC共振回路300に含まれる給電キャパシタCSの誘電損失が存在しないためではないかと考えられる。

[0082] [第2実施形態]

図15は、第2実施形態におけるワイヤレス電力伝送システム100のシステム構成図である。変形例における給電コイルL2は、結合トランスT2を介することなく、送電制御回路200と直接接続されている。いいかえれば、給電コイルL2は、実質的には送電制御回路200の一部となっている。このため、交流電流I1と交流電流I2は同一となる。

[0083] 給電コイル回路120がLC共振回路である場合、給電コイル回路120には低電圧・大電流にて電力を供給することが望ましい。そのためには結合トランスT2により、電圧および電流を調整する必要がある。しかし、第1、第2実施形態におけるワイヤレス給電装置116の場合、給電コイルL2を共振させる必要がないため、給電コイルL2に大電圧を印加可能である。この結果、結合トランスT2を不要化できるため、ワイヤレス給電装置116をいっそう省サイズ化できる。

[0084] [第3実施形態]

図16は、第3実施形態におけるワイヤレス電力伝送システム100のシステム構成図である。全般的な構成は第1実施形態と同様であるが、増幅回路206の構成が異なる。第1実施形態における増幅回路206は、いわゆるハーフブリッジ回路として構成されるが、第3実施形態における増幅回路206はプッシュプル回路として構成されている。

[0085] VCO202により、トランスT1一次コイルLhには正負の両方向に交互に電流が流れる。トランスT1一次コイルLhとトランスT1二次コイルLf、Lgはゲート駆動用の結合トランスT1を形成する。電磁誘導により

、トランスT1二次コイルL_f、L_gには交互に電流が流れ、スイッチングトランジスタQ1、Q2は交互にオン・オフする。トランスT1の二次コイルは中点接地される。

[0086] スwitchングトランジスタQ1が導通（オン）するとき、スイッチングトランジスタQ2は非導通（オフ）となる。このときのメインの電流経路（以下、「第1電流経路」とよぶ）は、電源V_{dd}から平滑用のインダクタL_a、トランスT2一次コイルL_d、スイッチングトランジスタQ1を経由してグランドへ至る経路となる。スイッチングトランジスタQ1は、第1電流経路の導通・非導通を制御するスイッチとして機能する。

[0087] スwitchングトランジスタQ2が導通（オン）するとき、スイッチングトランジスタQ1は非導通（オフ）となる。このときのメインの電流経路（以下、「第2電流経路」とよぶ）は、電源V_{dd}から平滑用のインダクタL_a、トランスT2一次コイルL_b、スイッチングトランジスタQ2を経由してグランドへ至る経路となる。スイッチングトランジスタQ2は、第2電流経路の導通・非導通を制御するスイッチとして機能する。

[0088] 給電コイル回路120は、増幅回路206からトランスT2二次コイルL_iを介して交流電力を供給される。トランスT2二次コイルL_iは、増幅回路206のトランスT2一次コイルL_dおよびトランスT2一次コイルL_bと共に結合トランスT2を形成し、電磁誘導により交流電力を供給される。

[0089] なお、VCO202が生成する交流電圧V_oの代わりに、トランスT1二次コイルL_f、L_gの両端の電圧から電圧位相を計測してもよい。あるいは、スイッチングトランジスタQ1、Q2のソース・ドレイン間の電圧を計測することにより、交流電力の電圧位相を計測してもよい。

[0090] また、検出コイルL_{SS}に流れる誘導電流I_{SS}の代わりに、スイッチングトランジスタQ1またはスイッチングトランジスタQ2のソース・ドレイン間の通過電流を計測することにより、交流電力の電流位相を計測してもよい。例えば、スイッチングトランジスタQ1のソースとグランドとの間、またはスイッチングトランジスタQ2のソースとグランドとの間に抵抗を直列

接続し、その抵抗に印加される電圧の変化から電流位相を計測してもよい。

[0091] [第4実施形態]

図17は、第4実施形態におけるワイヤレス電力伝送システム100のシステム構成図である。全般的な構成は第2実施形態と同様であるが、増幅回路206の構成が異なる。第2実施形態における増幅回路206は、いわゆるハーフブリッジ回路として構成されるが、第4実施形態における増幅回路206はフルブリッジ回路として構成されている。

[0092] VCO202により、トランスT1一次コイルLhには正負の両方向に交互に電流が流れる。トランスT1一次コイルLhとトランスT1二次コイルLa、Lb、Lc、Ldはゲート駆動用の結合トランスT1を形成する。電磁誘導により、トランスT1二次コイルLa、LdのグループとトランスT1二次コイルLb、Lcのグループには交互に電流が流れる。トランスT1二次コイルLa、Ldは、スイッチングトランジスタQ1、Q4を制御し、トランスT1二次コイルLb、Lcは、スイッチングトランジスタQ2、Q3を制御する。

[0093] スwitchングトランジスタQ1、Q4が導通（オン）するとき、スイッチングトランジスタQ2、Q3は非導通（オフ）となる。このときのメインの電流経路（以下、「第1電流経路」とよぶ）は、電源Vddから、スイッチングトランジスタQ1、給電コイルL2、スイッチングトランジスタQ4を経由してグランドへ至る経路となる。スイッチングトランジスタQ1、Q4は、第1電流経路の導通・非導通を制御するスイッチとして機能する。

[0094] スwitchングトランジスタQ2、Q3が導通（オン）するとき、スイッチングトランジスタQ1、Q4は非導通（オフ）となる。このときのメインの電流経路（以下、「第2電流経路」とよぶ）は、電源Vddから、スイッチングトランジスタQ3、給電コイルL2、スイッチングトランジスタQ2を経由してグランドへ至る経路となる。スイッチングトランジスタQ2、Q3は、第2電流経路の導通・非導通を制御するスイッチとして機能する。

[0095] なお、VCO202が生成する交流電圧Voの代わりに、トランスT1二

次コイル L_a 、 L_b 、 L_c 、 L_d の両端の電圧から電圧位相を計測してもよい。あるいは、スイッチングトランジスタ Q_1 、 Q_2 、 Q_3 、 Q_4 のソース・ドレイン間の電圧を計測することにより、交流電力の電圧位相を計測してもよい。

[0096] 以上、本実施形態におけるワイヤレス電力伝送システム100について説明した。本実施形態におけるワイヤレス電力伝送システム100は、磁場共振型のワイヤレス給電において暗黙の前提とされてきたワイヤレス給電装置116の共振を不要化している。これにより、不要な共振点を除去できる。また、給電キャパシタ C_S の不要化により、低周波数化や低コスト化、省サイズ化が可能となる。図14に関連して説明したように、出力電力効率の向上というメリットもある。

[0097] 磁場共振型のワイヤレス給電の場合、共振周波数 f_{r1} と駆動周波数 f_o の一致度が電力伝送効率に大きく影響する。位相検出回路150や $VC0202$ 等を設ければ、共振周波数 f_{r1} が変化しても駆動周波数 f_o を自動的に追従させることができるため、使用条件が変化しても、電力伝送効率を最大値に維持しやすくなる。

[0098] 以上、本発明を実施の形態をもとに説明した。実施の形態は例示であり、いろいろな変形および変更が本発明の特許請求範囲内で可能なこと、またそうした変形例および変更も本発明の特許請求の範囲にあることは当業者に理解されるところである。従って、本明細書での記述および図面は限定的ではなく例証的に扱われるべきものである。

[0099] ワイヤレス電力伝送システム100において伝送される「交流電力」は、エネルギーに限らず、信号として伝送されてもよい。アナログ信号やデジタル信号をワイヤレスにて送電する場合にも、本発明におけるワイヤレス電力伝送方法を適用可能である。

請求の範囲

- [請求項1] 給電コイルと、
- 駆動周波数にて交流電流を前記給電コイルに供給することにより、前記給電コイルと受電コイルの磁場共振現象に基づき、かつ、前記給電コイルが実質的に非共振の状態で、前記給電コイルから前記受電コイルに交流電力をワイヤレス給電させる送電制御回路と、を備えることを特徴とするワイヤレス給電装置。
- [請求項2] 前記給電コイルへの第1の方向からの電流の供給を制御する第1のスイッチと、
- 前記給電コイルへの第2の方向からの電流の供給を制御する第2のスイッチと、を備え、
- 前記送電制御回路は、前記第1および第2のスイッチを交互に導通させることにより前記給電コイルに交流電流を供給することを特徴とする請求項1に記載のワイヤレス給電装置。
- [請求項3] 前記第1および第2のスイッチを流れる電流は、結合トランスを介することなく前記給電コイルに直接的に供給されることを特徴とする請求項2に記載のワイヤレス給電装置。
- [請求項4] 前記交流電力の電圧位相と電流位相の位相差を検出する位相検出回路と、を更に備えることを特徴とする請求項1に記載のワイヤレス給電装置。
- [請求項5] 前記交流電力が発生させる磁場により誘導電流が発生させる検出コイル、を更に備え、
- 前記位相検出回路は、前記誘導電流の位相を計測することにより、前記交流電力の電流位相を計測することを特徴とする請求項4に記載のワイヤレス給電装置。
- [請求項6] 前記送電制御回路は、前記検出された位相差が減少するように前記駆動周波数を調整することを特徴とする請求項4に記載のワイヤレス給電装置。

- [請求項7] 前記給電コイルは前記受電コイルと対向する位置に設けられ、
前記給電コイルの非対向面には、磁性体板が取り付けられることを
特徴とする請求項1に記載のワイヤレス給電装置。
- [請求項8] 前記給電コイルの非対向面には、更に、電界遮蔽板が取り付けられ
ることを特徴とする請求項7に記載のワイヤレス給電装置。
- [請求項9] 前記送電制御回路は、前記受電コイルの共振周波数にて交流電流を
前記給電コイルに供給することを特徴とする請求項1に記載のワイヤ
レス給電装置。
- [請求項10] 給電コイルと、
駆動周波数にて交流電流を前記給電コイルに供給することにより、
前記給電コイルと受電コイルの磁場共振現象に基づき、前記給電コイ
ルから前記受電コイルに交流電力をワイヤレス給電させる送電制御回
路と、を備え、
前記給電コイルは、給電側の回路要素とは、前記受電コイルの共振
周波数を共振点とする共振回路を形成しないことを特徴とするワイヤ
レス給電装置。
- [請求項11] 給電コイルと、
駆動周波数にて交流電流を前記給電コイルに供給することにより、
前記給電コイルと受電コイルの磁場共振現象に基づき、前記給電コイ
ルから前記受電コイルに交流電力をワイヤレス給電させる送電制御回
路と、を備え、
前記給電コイルに対して直列または並列にキャパシタが挿入されな
い構成であることを特徴とするワイヤレス給電装置。
- [請求項12] ワイヤレス給電装置とワイヤレス受電装置を備え、
前記ワイヤレス給電装置は、
給電コイルと、
駆動周波数にて交流電流を前記給電コイルに供給することにより、
実質的に非共振の状態のまま前記給電コイルから受電コイルに交流電

力を給電させる送電制御回路と、を含み、

前記ワイヤレス受電装置は、

前記受電コイルと、

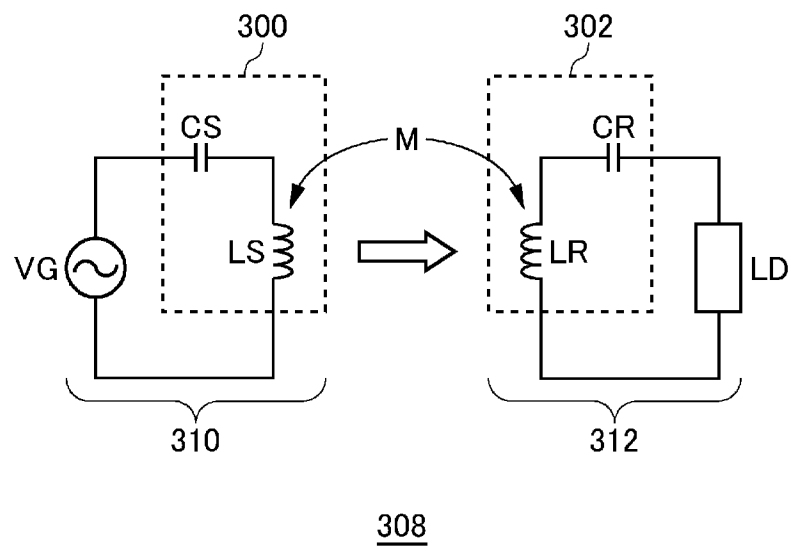
前記受電コイルと磁気結合し、前記受電コイルが前記給電コイルから受電した交流電力を供給されるロードコイルと、を含むことを特徴とするワイヤレス電力伝送システム。

[請求項13]

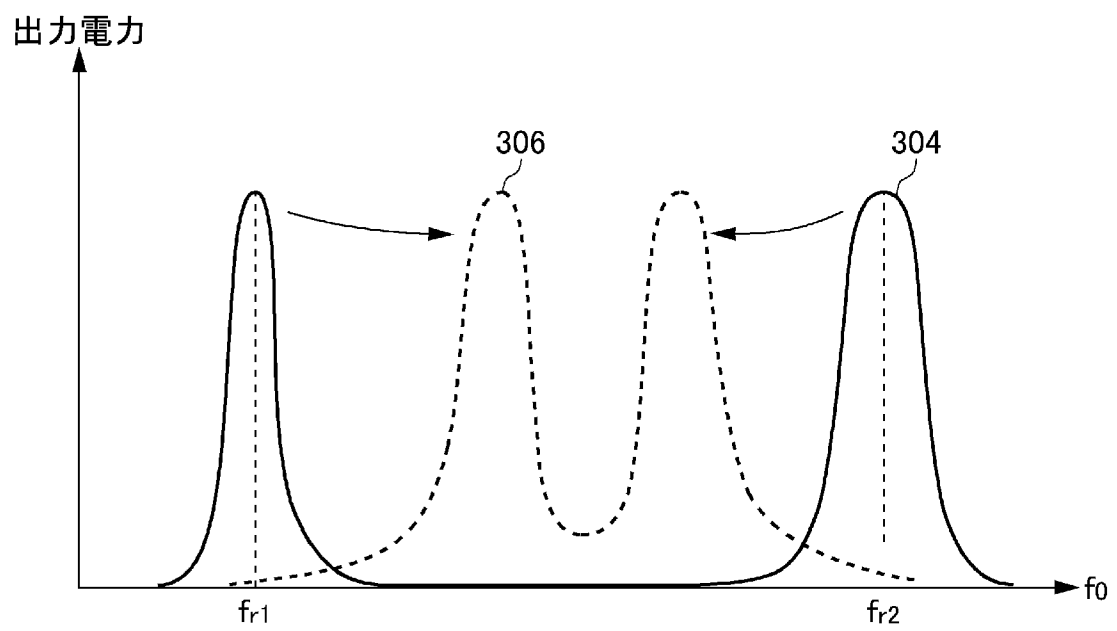
前記ワイヤレス受電装置は、

前記受電コイルと共振回路を形成するキャパシタ、を更に含むことを特徴とする請求項12に記載のワイヤレス電力伝送システム。

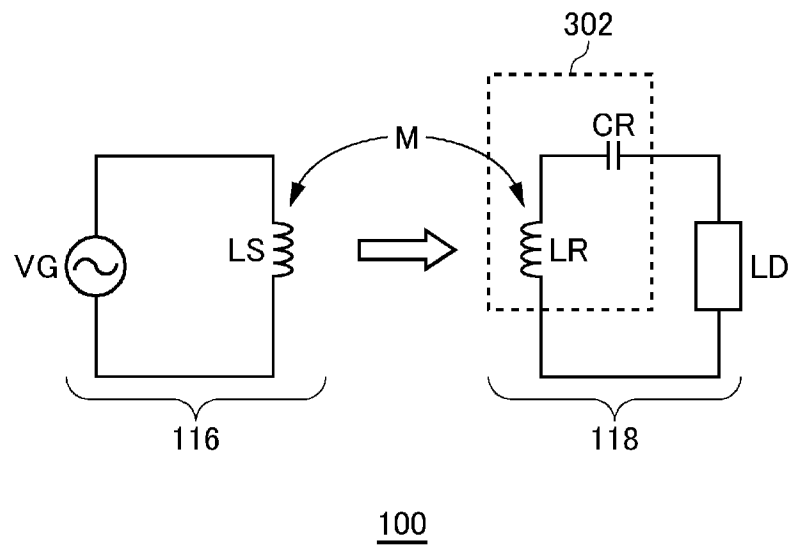
[図1]



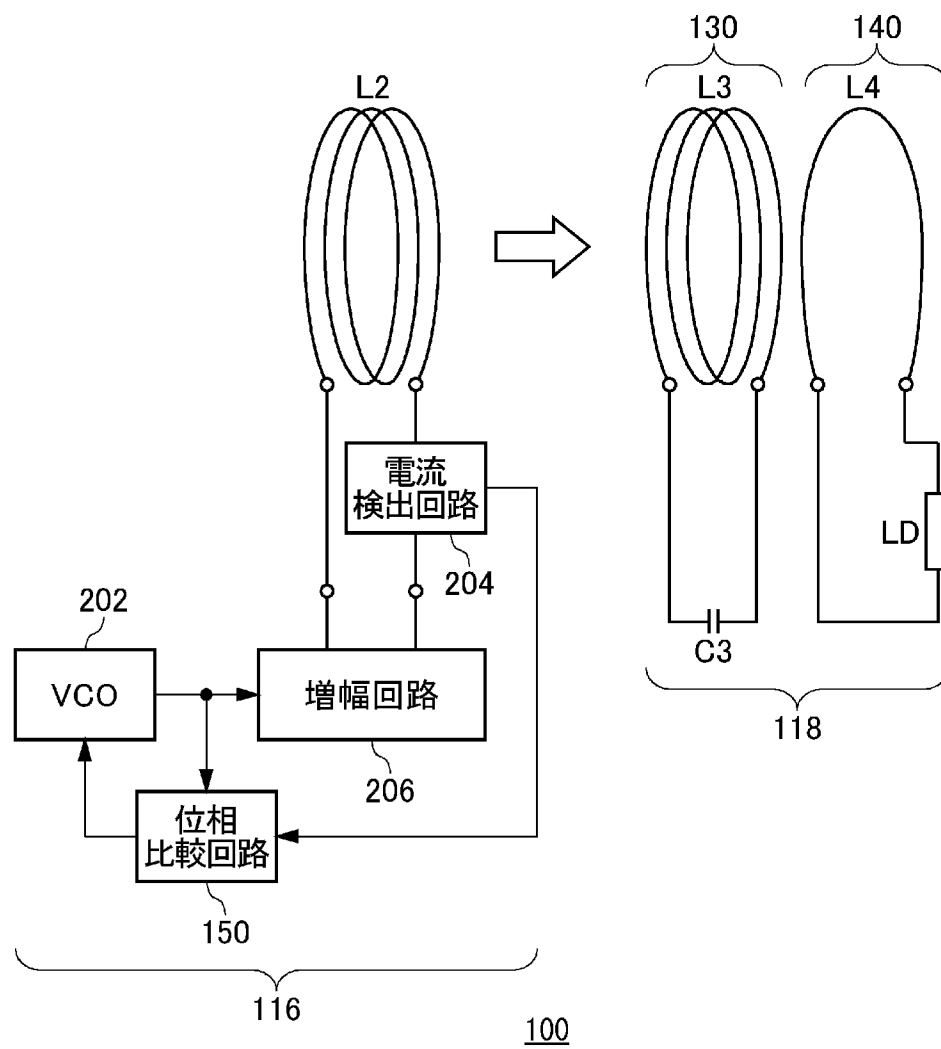
[図2]



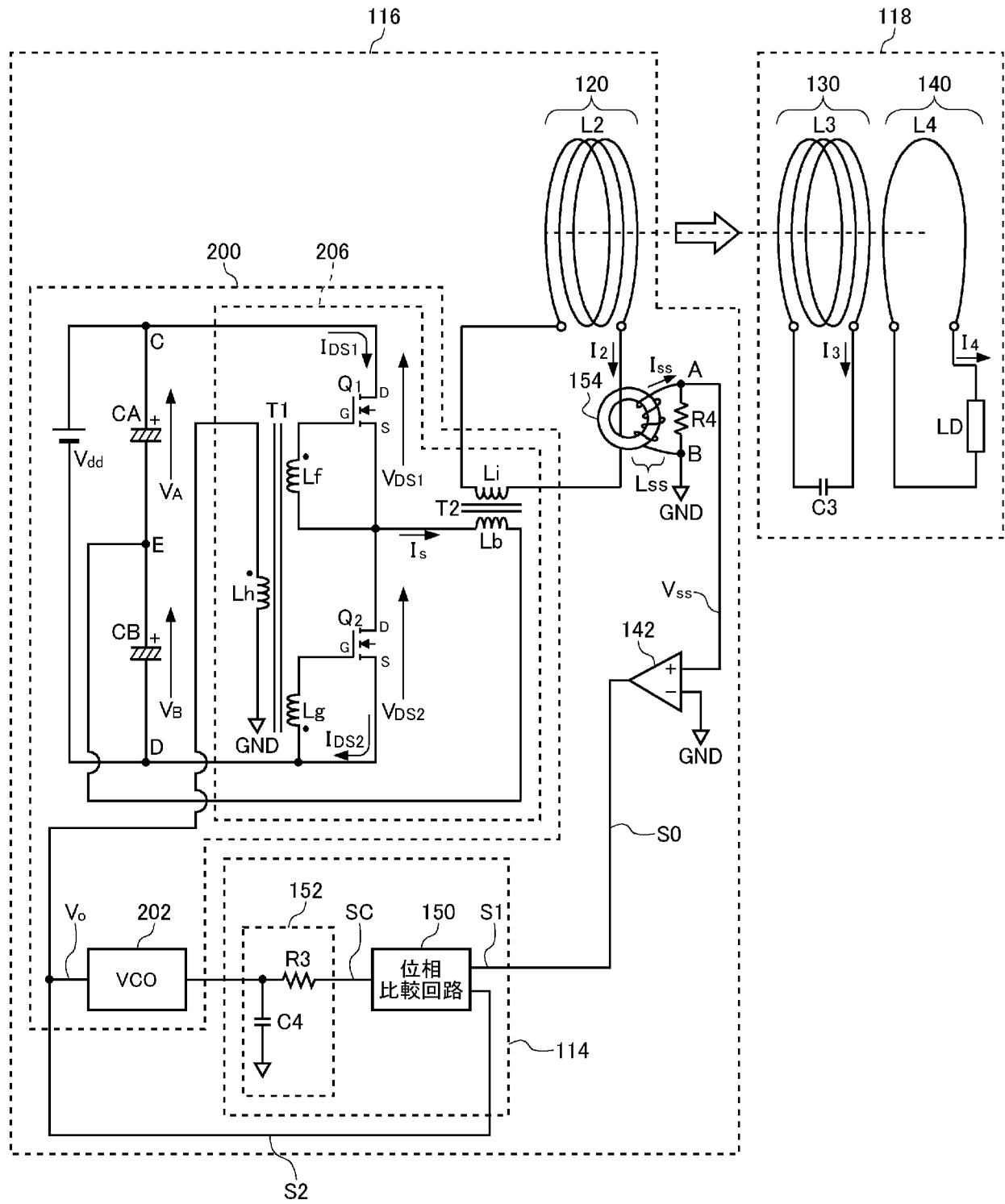
[図3]



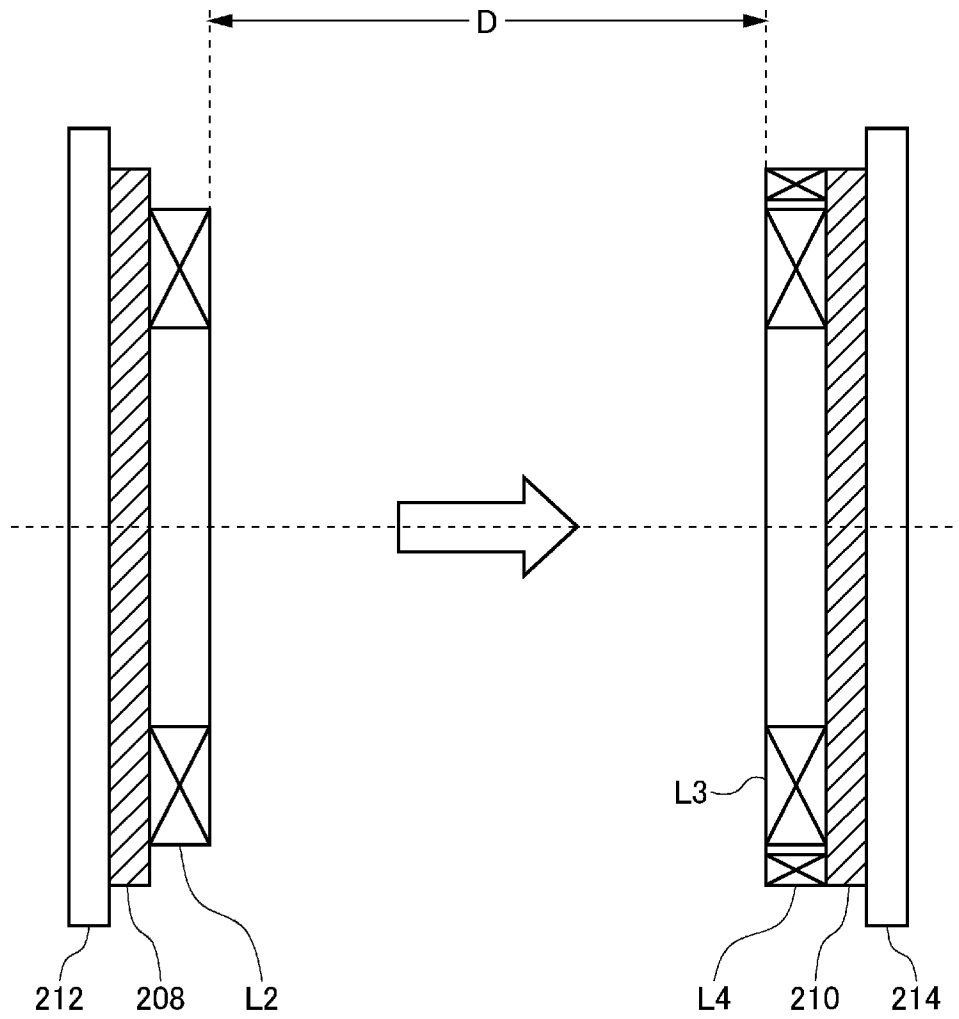
[図4]



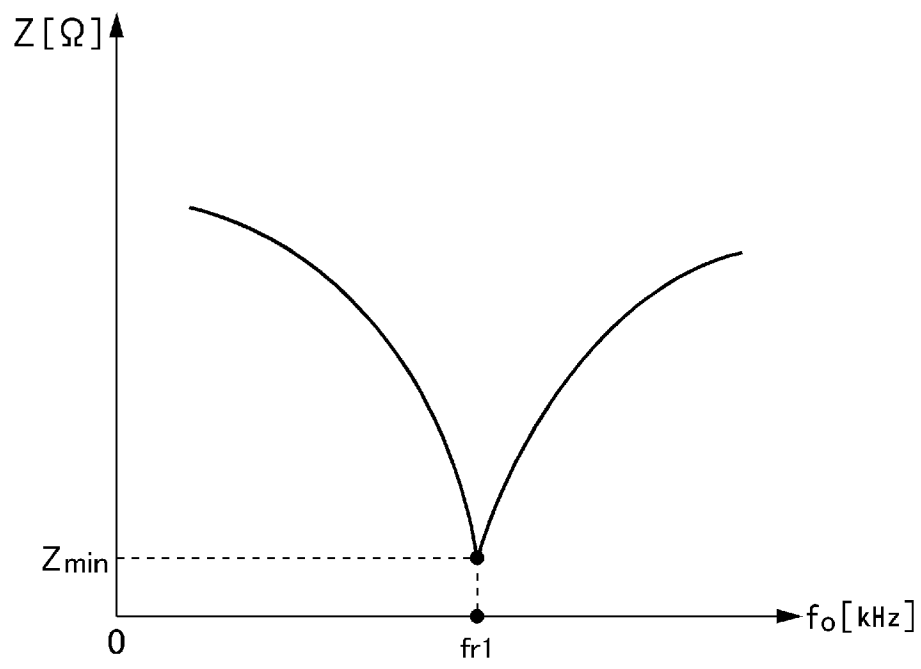
[図5]



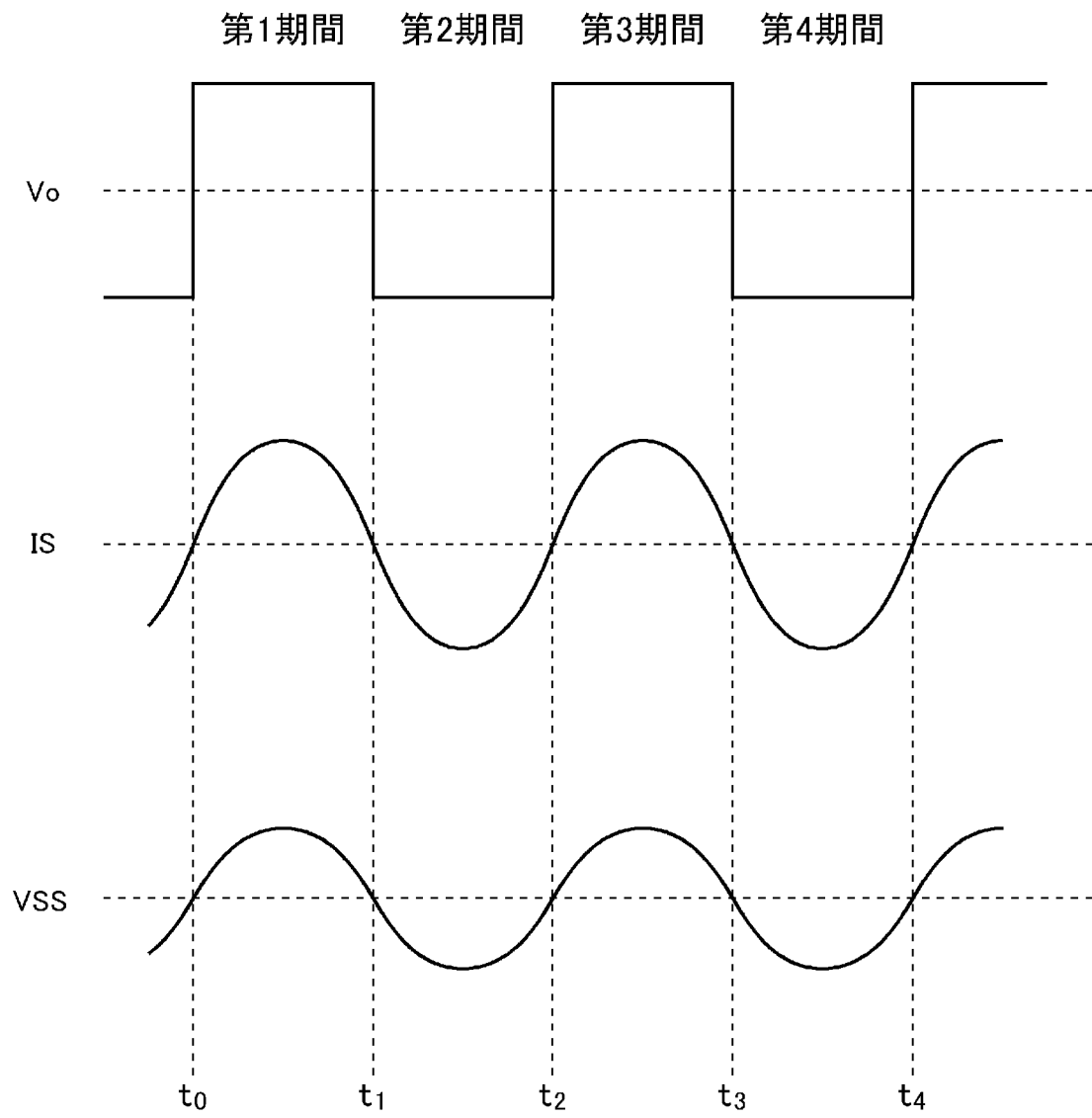
[図6]



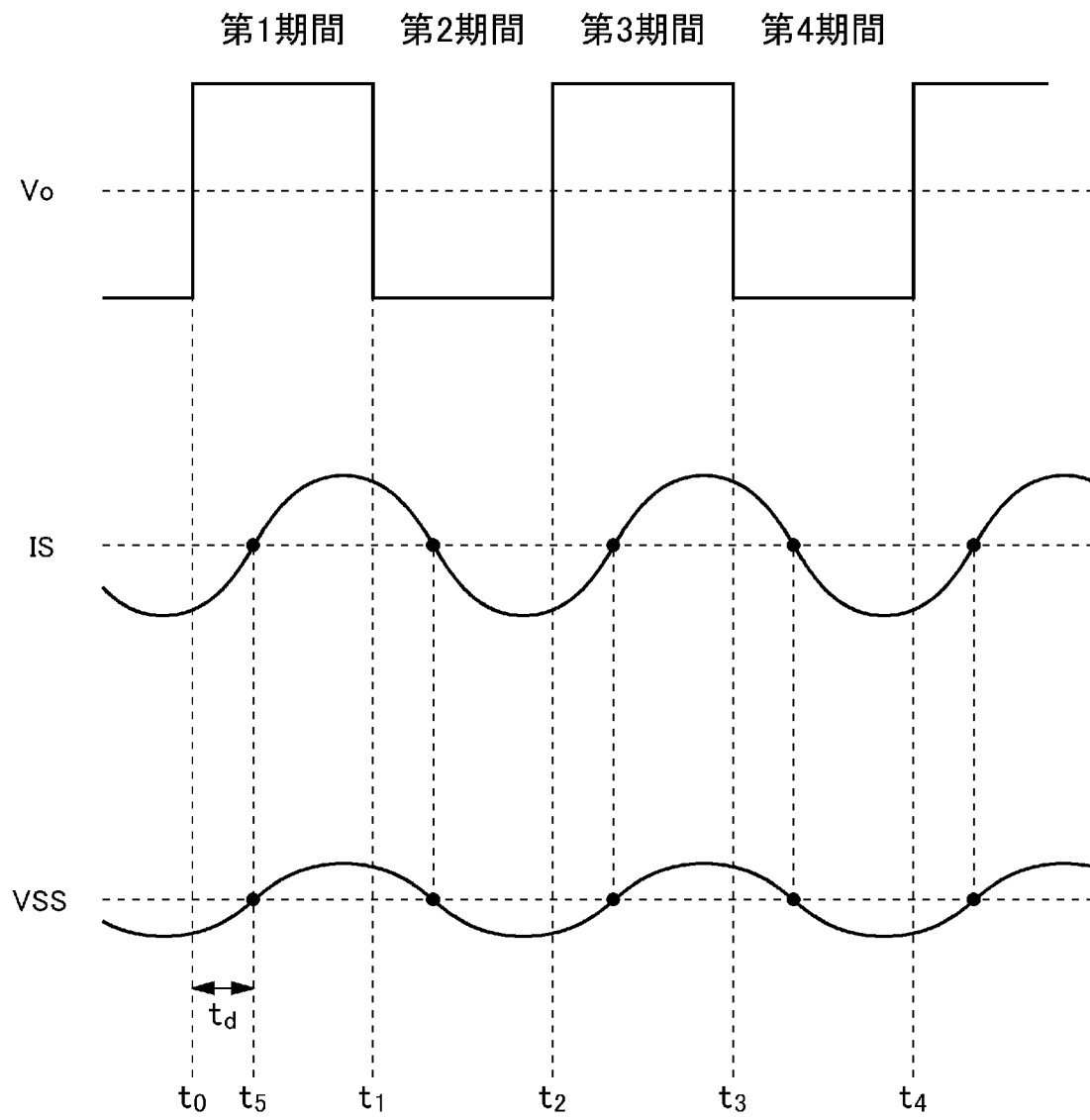
[図7]



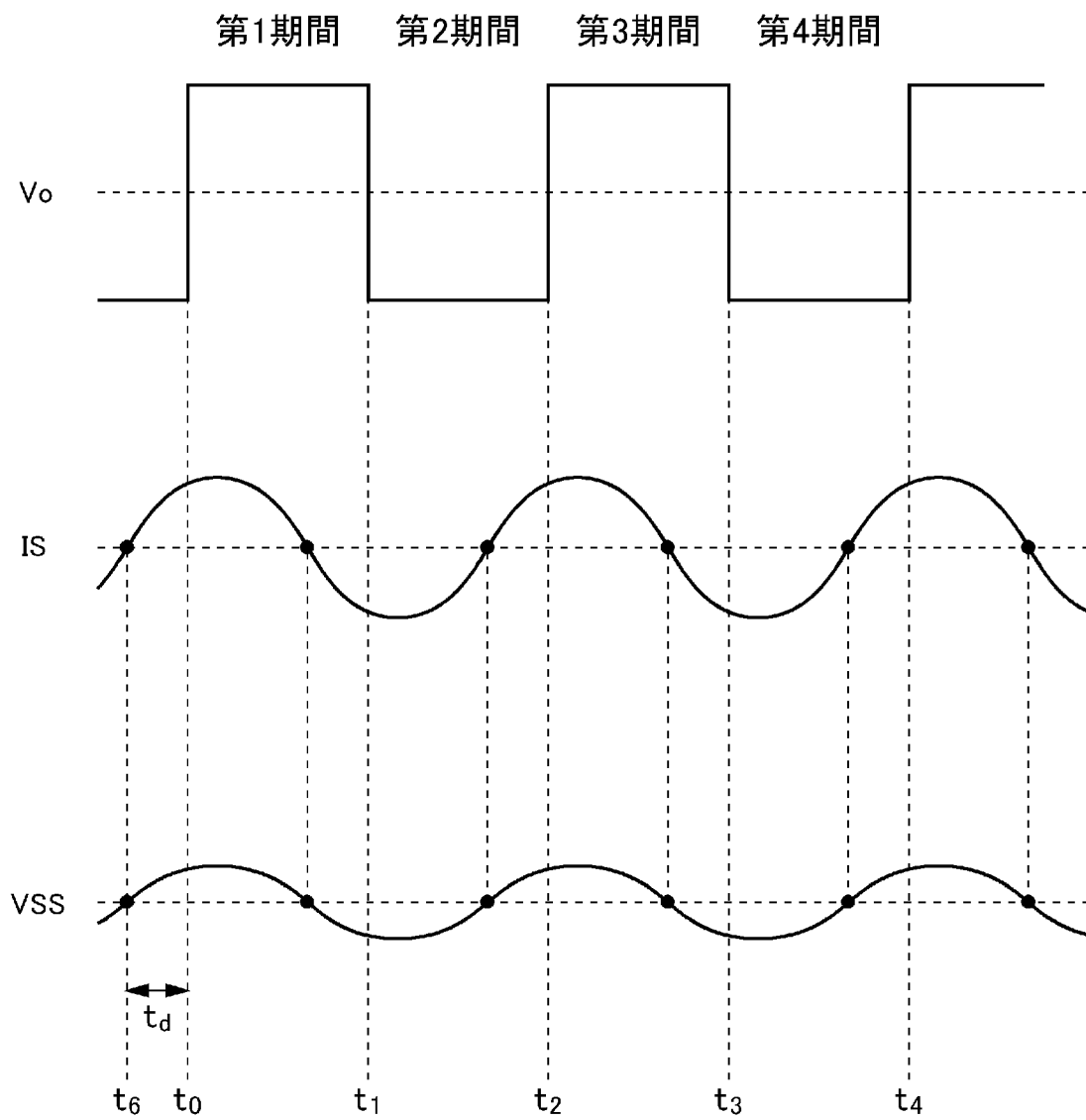
[図8]



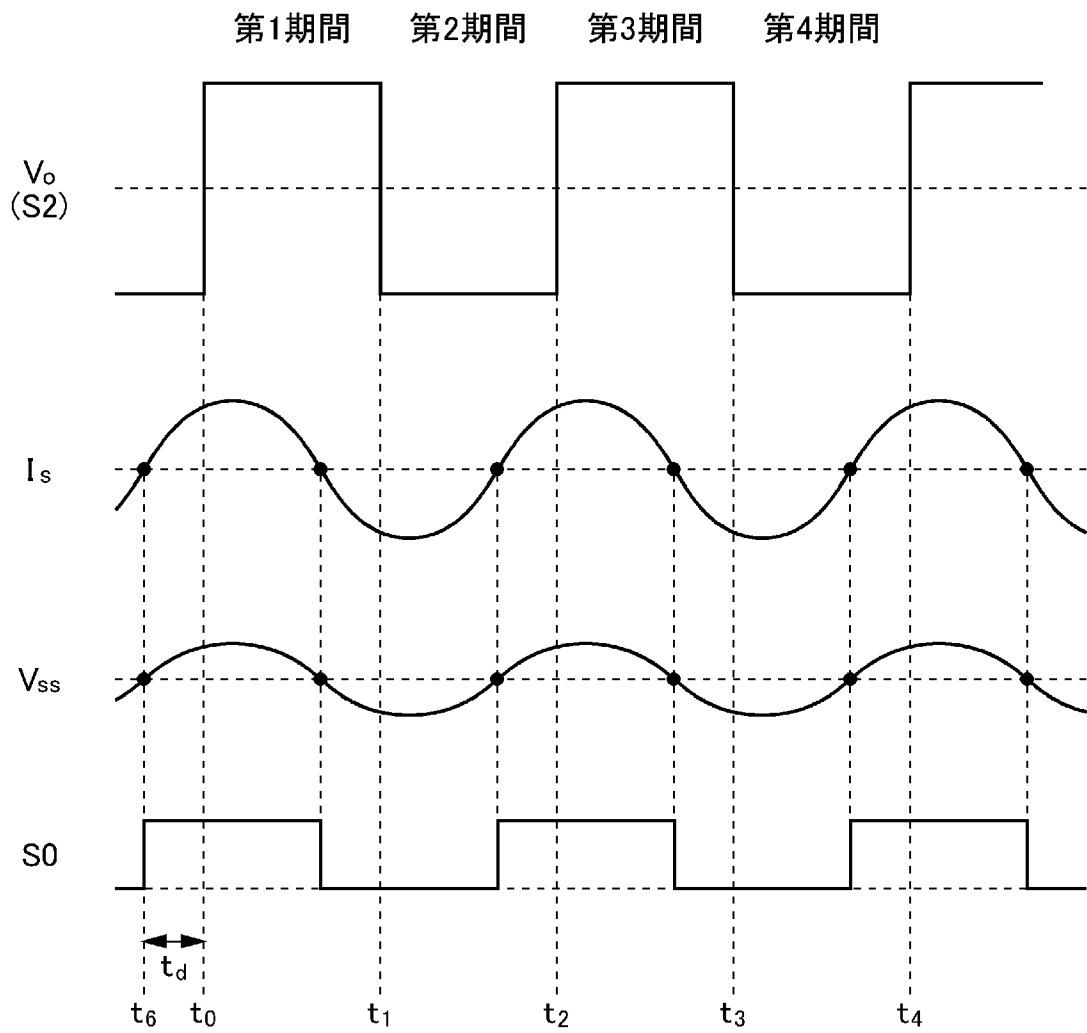
[図9]



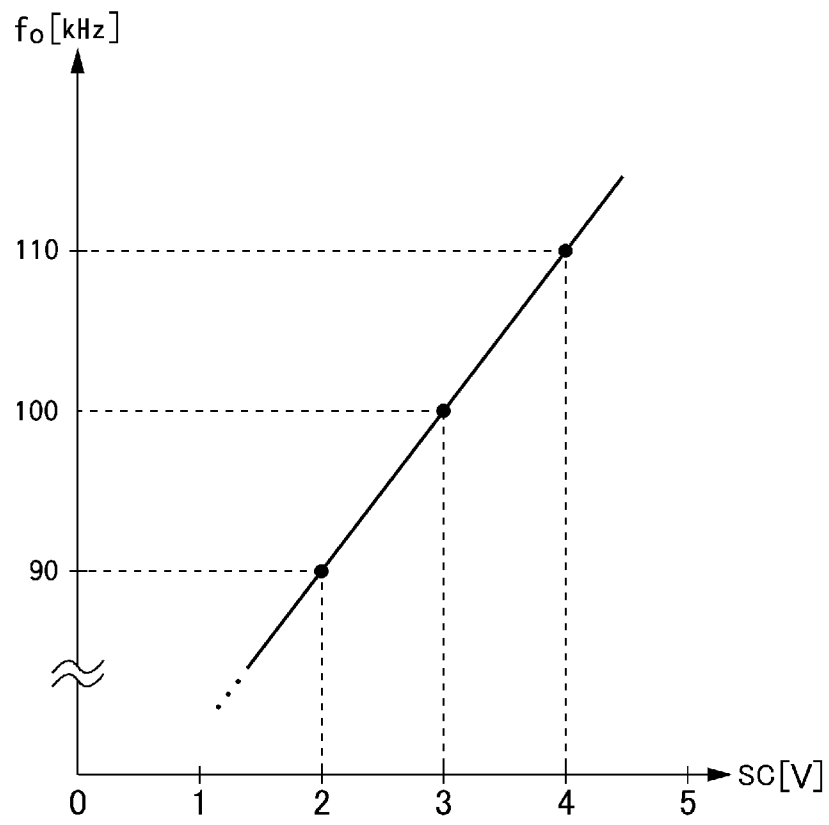
[図10]



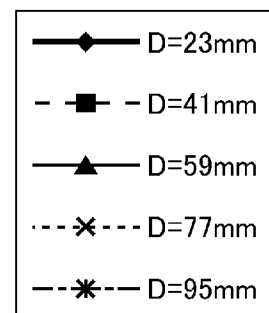
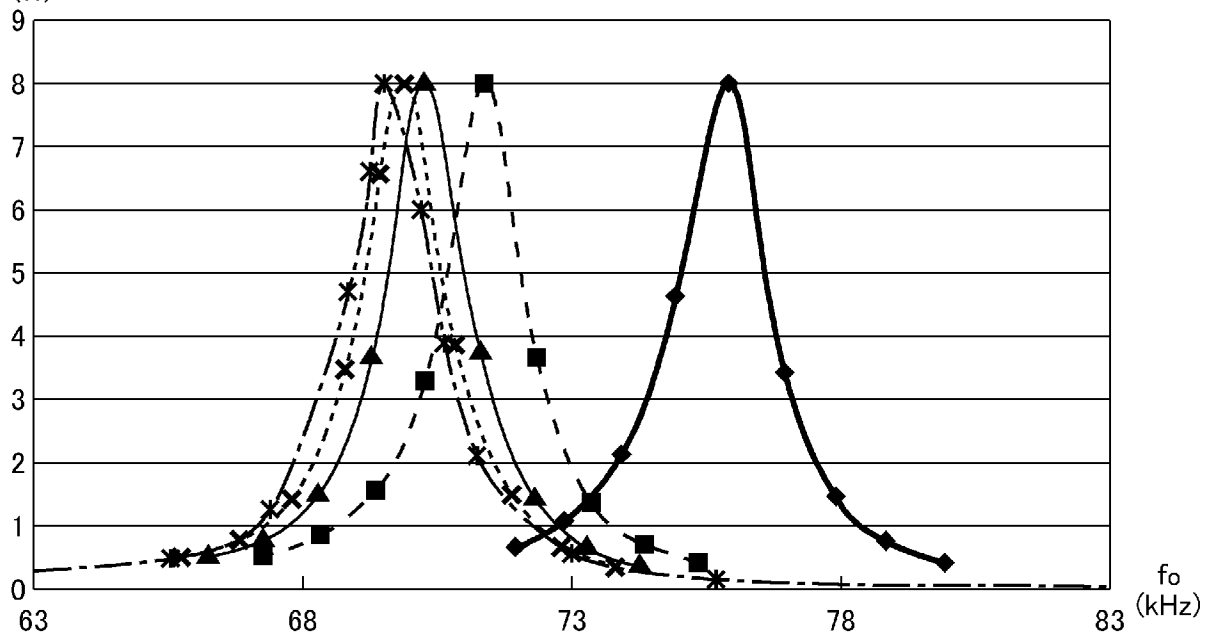
[図11]



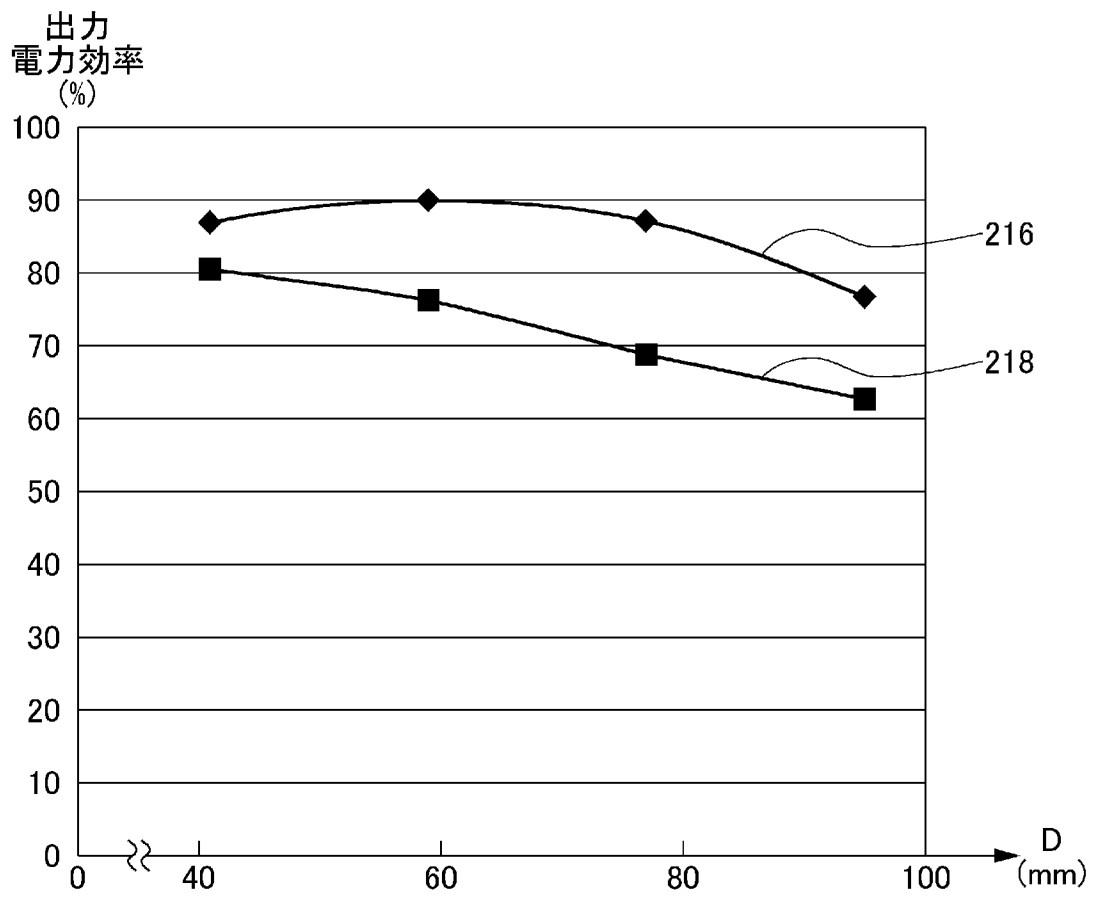
[図12]



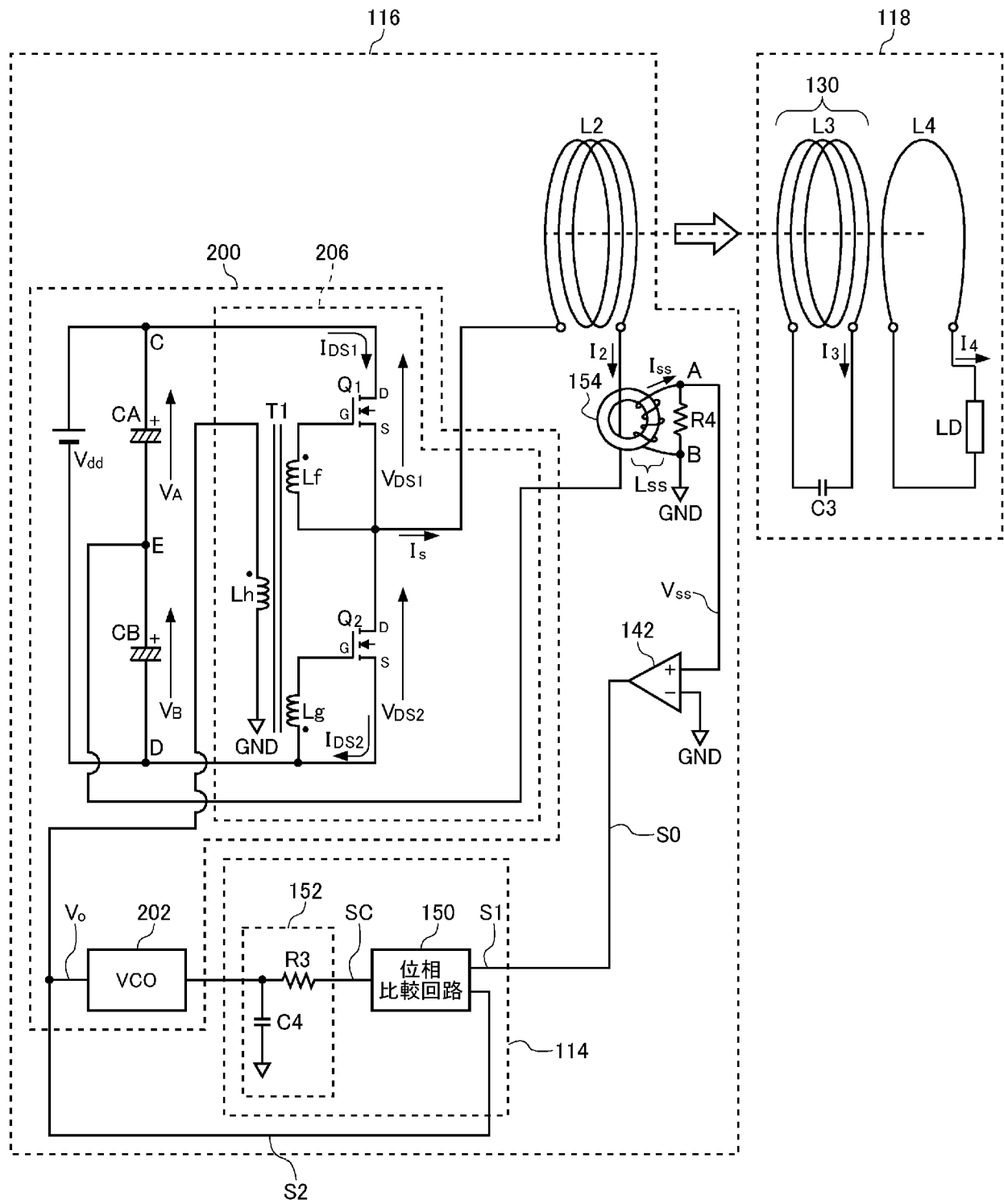
[図13]

出力電力
(W)

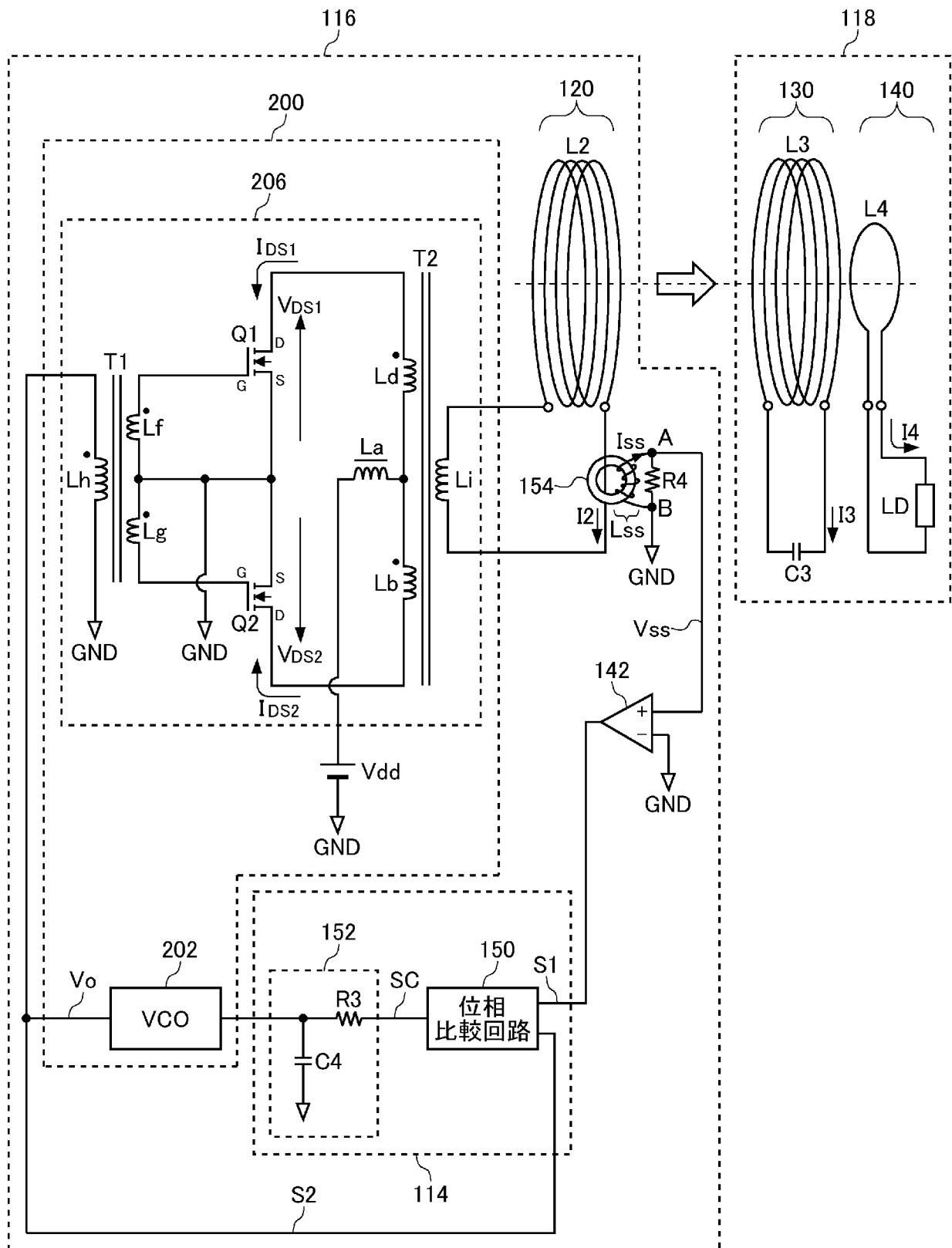
[図14]



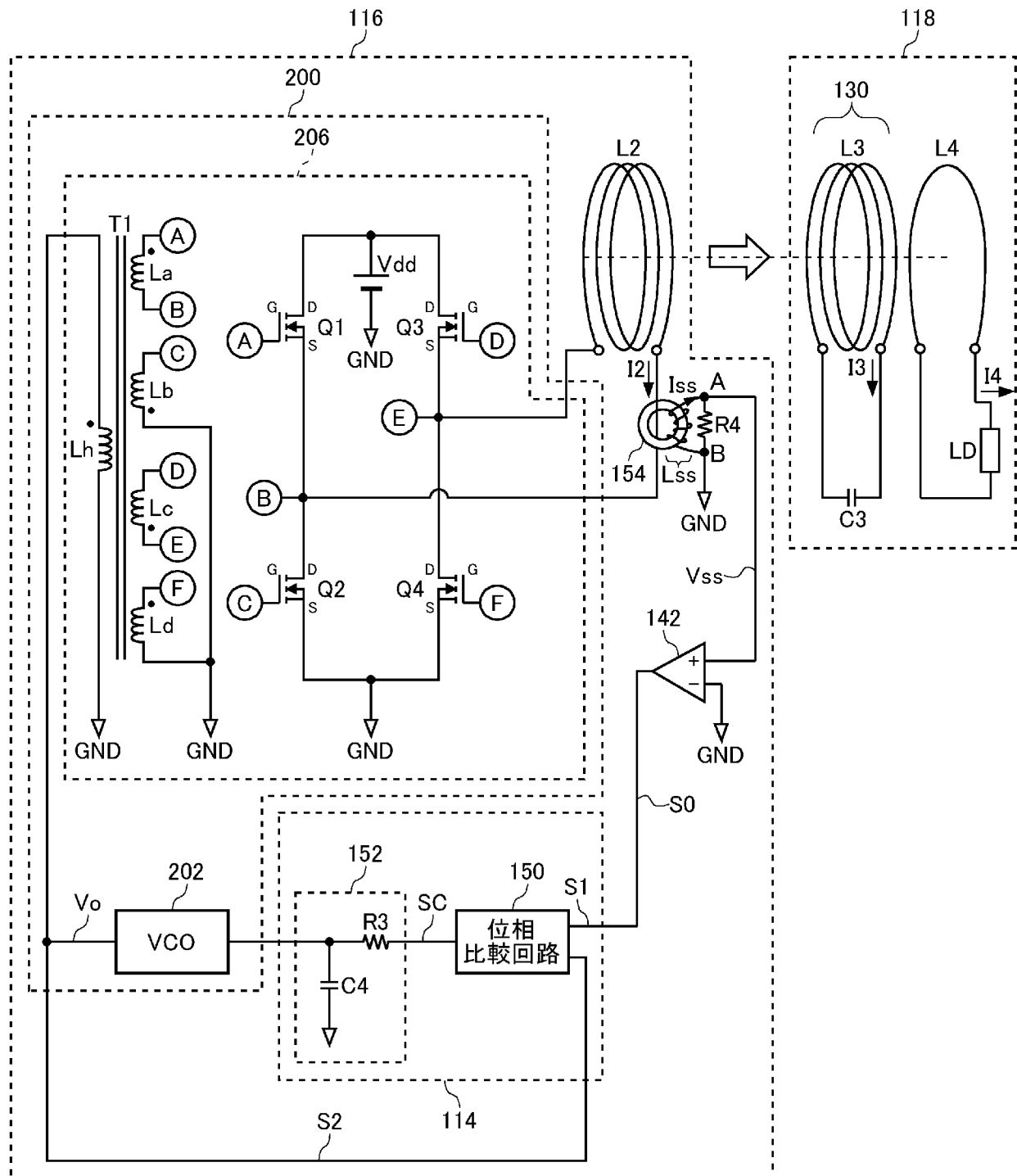
[図15]



[図16]



[図17]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2011/077927

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 1996-2011

Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2011 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2011

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	JP 2010-183757 A (Sanyo Electric Co., Ltd.), 19 August 2010 (19.08.2010), paragraph [0044]; fig. 11 (Family: none)	1-3, 9-13 4-8
Y	JP 2010-166693 A (Nissan Motor Co., Ltd.), 29 July 2010 (29.07.2010), paragraphs [0025] to [0026] (Family: none)	4-6
Y	JP 2009-124878 A (Meleagros Corp.), 04 June 2009 (04.06.2009), paragraph [0270]; fig. 35 & WO 2009/063975 A1	7-8



Further documents are listed in the continuation of Box C.



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

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“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)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“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

“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

“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

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

28 December, 2011 (28.12.11)

Date of mailing of the international search report

17 January, 2012 (17.01.12)

Name and mailing address of the ISA/

Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2011/077927

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2010-252497 A (Fujitsu Ten Ltd.), 04 November 2010 (04.11.2010), paragraphs [0053] to [0054]; fig. 6 to 9 (Family: none)	1-13

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C）） 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（I P C）） 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 日本国実用新案公報 1 9 2 2 - 1 9 9 6 年 日本国公開実用新案公報 1 9 7 1 - 2 0 1 1 年 日本国実用新案登録公報 1 9 9 6 - 2 0 1 1 年 日本国登録実用新案公報 1 9 9 4 - 2 0 1 1 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）			
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	
X	JP 2010-183757 A (三洋電機株式会社) 2010.08.19, [0044], 図 11 (ファミリーなし)	1-3, 9-13	
Y		4-8	
Y	JP 2010-166693 A (日産自動車株式会社) 2010.07.29, [0025]-[0026] (ファミリーなし)	4-6	
Y	JP 2009-124878 A (メレアグロス株式会社) 2009.06.04, [0270], 図 35 & WO 2009/063975 A1	7-8	
A	JP 2010-252497 A (富士通テン株式会社) 2010.11.04, [0053]-[0054], 図 6-9 (ファミリーなし)	1-13	
☐ C 欄の続きにも文献が列挙されている。 ☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。			
* 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 2 8 . 1 2 . 2 0 1 1		国際調査報告の発送日 1 7 . 0 1 . 2 0 1 2	
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁（I S A / J P） 郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5 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） 小林 勝広 電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 5 2 6	5 G 9 0 6 1