

(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
2015 年 2 月 5 日(05.02.2015)



(10) 国際公開番号
WO 2015/015771 A1

- (51) 国際特許分類:
H02J 17/00 (2006.01) **H02J 7/00** (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2014/003894
- (22) 国際出願日: 2014 年 7 月 24 日(24.07.2014)
- (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 2013-159150 2013 年 7 月 31 日(31.07.2013) JP
特願 2014-028576 2014 年 2 月 18 日(18.02.2014) JP
- (71) 出願人: パナソニック株式会社 (PANASONIC CORPORATION) [JP/JP]; 〒5718501 大阪府門真市大字門真 1 〇 〇 6 番地 Osaka (JP).
- (72) 発明者: 山本 浩司(YAMAMOTO, Hiroshi). 坂田 勉(SAKATA, Tsutomu). 菅野 浩(KANNO, Hiroshi). 松本 啓(MATSUMOTO, Hiromu).
- (74) 代理人: 徳田 佳昭, 外(TOKUDA, Yoshiaki et al.); 〒5718501 大阪府門真市大字門真 1 〇 〇 6 番地 パナソニック株式会社内 Osaka (JP).

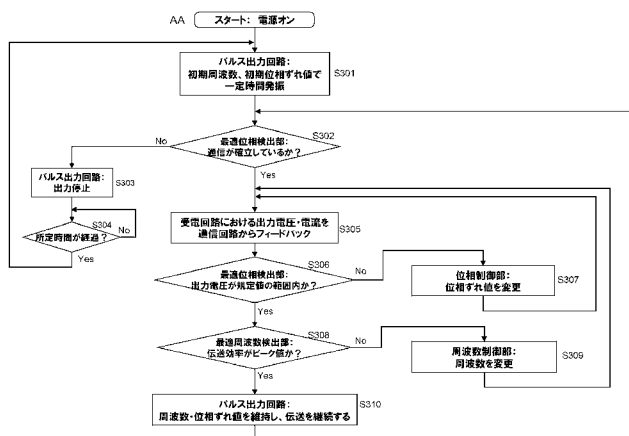
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, 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, 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, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (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), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

(54) Title: WIRELESS POWER-TRANSFER SYSTEM AND POWER-TRANSMISSION DEVICE

(54) 発明の名称: 無線電力伝送システムおよび送電装置



S301 Pulse output circuit: output for prescribed length of time at initial frequency with initial phase offset
S302 Optimal-phase detection unit: communication established?
S303 Pulse output circuit: stop output
S304 Prescribed length of time elapsed?
S305 Receive feedback from communication circuit, namely output voltage/current in power-reception circuit
S306 Optimal-phase detection unit: output voltage within range indicated by prescribed value?
S307 Phase control unit: change phase offset
S308 Optimal-frequency detection unit: transfer efficiency at peak?
S309 Frequency control unit: change frequency
S310 Pulse output circuit: maintain frequency and phase offset and continue transfer
AA Start: power supply turned on

(57) Abstract: The power-transmission device in the disclosed wireless power-transfer system is provided with an oscillator circuit, a power-transmission antenna, a memory, a reception circuit, and a control circuit. The oscillator circuit outputs AC power converted from DC power supplied by a DC power supply. The power-transmission antenna transmits the AC power outputted by the oscillator circuit in order to output said AC power to a power-reception-device load. The memory holds a prescribed value that indicates the voltage requested by the power-reception device. The reception circuit receives the voltage being supplied to the power-reception-device load. The control circuit: uses a first switching element and a second switching element to vary the time at which to set a first output terminal of the oscillator circuit and a second output terminal of the oscillator circuit to the same potential, thereby varying the output time ratio of the AC voltage outputted by the oscillator circuit; varies the frequency of the AC voltage outputted by the oscillator circuit and determines the AC frequency that maximizes the efficiency of the AC power; brings the received voltage to within the range indicated by the abovementioned prescribed value; and outputs, to the load, AC power that maximizes the aforementioned efficiency.

(57) 要約:

[続葉有]

WO 2015/015771 A1



本開示に係る無線電力伝送システムの送電装置は、直流電源から供給される直流電力から変換された交流電力を出力する発振回路と、前記発振回路から出力された前記交流電力を、受電装置の負荷に出力するために送出する送電アンテナと、前記受電装置の要求電圧を示す規定値を保持するメモリと、前記受電装置の負荷に供給されている電圧を受信する受信回路と、前記第1スイッチング素子と前記第2スイッチング素子とを用いて、前記発振回路の前記第1出力端の電圧と前記第2出力端の電圧とを同電位にする時間を変えて前記発振回路から出力される交流電力の電圧の出力時間比を変更し、前記発振回路から出力される交流電力の電圧の周波数を変えて前記交流電力の効率が最大となる交流電力の周波数を決定し、前記受信した電圧を前記規定値の範囲に収束させ、前記効率が最大の交流電力を前記負荷に出力する制御回路と、を備えている。

明 細 書

発明の名称：無線電力伝送システムおよび送電装置

技術分野

[0001] 本開示は、無線で電力を伝送する無線電力伝送システムおよび送電装置に関する。

背景技術

[0002] 近年、共振磁界結合方式と呼ばれる新たな方式を用いて無線（非接触）で電力を伝送する技術が提案されている。例えば、特許文献1に開示された無線電力伝送システムは、共振器（アンテナ）の周辺の空間に生じる振動エネルギーのしみ出し（エバネッセント・テール）を介して2つの共振器を磁気的に結合することにより、振動エネルギーを無線で伝送する。このような共振磁界結合方式の無線電力伝送は、従来の電磁誘導を利用した方式と比較して、伝送距離の飛躍的な増大を可能とする。共振器間の結合係数 k が各共振器の減衰定数 Γ_1 、 Γ_2 の積の平方根と比較して大きい場合、良好なエネルギー伝送が可能であるとされている。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：米国特許出願公開第2008/0278264号明細書

特許文献2：特開2010-68657号公報

特許文献3：特開昭62-135270号公報

発明の概要

[0004] しかし、かかる従来技術では、負荷が変動したり、アンテナ周辺の環境が変化したりする場合でも、負荷に一定電圧を出力し、かつ電力を高効率で伝送できることが求められていた。

[0005] 本開示の一態様に係る無線電力伝送システムの送電装置は、

第1スイッチング素子と接続された第1出力端と第2スイッチング素子と接続された第2出力端を介して、直流電源から供給される直流電力から変換

された交流電力を出力する発振回路と、

前記発振回路から出力された前記交流電力を、受電装置の負荷に出力するために送出する送電アンテナと、

前記受電装置の要求電圧、要求電流または要求電力の少なくとも 1 つを示す規定値を保持するメモリと、

前記受電装置の負荷に供給されている電圧、電流または電力の少なくとも 1 つを受信する受信回路と、

前記第 1 スwitchング素子と前記第 2 スwitchング素子とを用いて、前記発振回路の前記第 1 出力端の電圧と前記第 2 出力端の電圧とを同電位にする時間を変えて前記発振回路から出力される交流電力の電圧の出力時間比を変更し、

前記発振回路から出力される交流電力の電圧の周波数を変えて前記交流電力の効率が最大となる交流電力の周波数を決定し、

前記受信した電圧、電流または電力の少なくとも 1 つを前記規定値の範囲に収束させ、前記効率が最大の交流電力を前記負荷に出力する制御回路と、を具備するものである。

[0006] 本開示の一態様によると、負荷が変動したり、アンテナ周辺の環境が変化したりする場合でも、負荷に一定電圧を出力し、かつ電力を高効率で伝送できる送電装置を提供する。

[0007] なお、これらの包括的または具体的な態様は、システム、方法、集積回路、コンピュータプログラム、または、記録媒体で実現されてもよく、システム、装置、方法、集積回路、コンピュータプログラムおよび記録媒体の任意な組み合わせで実現されてもよい。

図面の簡単な説明

[0008] [図1A]図 1 A は、本開示の一態様における比較例の無線電力伝送システムの伝送周波数と、負荷に供給される電圧（出力電圧）との関係の例を示すグラフである。

[図1B]図 1 B は、本開示の一態様における比較例の無線電力伝送システムの

伝送周波数と伝送効率との関係の例を示すグラフである。

[図2A]図2 Aは、実施の形態1における無線電力伝送システムのハードウェア構成を示す図である。

[図2B]図2 Bは、実施の形態1における無線電力伝送システムの概略構成を示す図である。

[図3]図3は、実施の形態1における発振部を示すブロック図である。

[図4A]図4 Aは、実施の形態1における位相を変化させる場合のスイッチング素子S1～S4の各々に入力されるパルスのタイミングを模式的に示す図である。

[図4B]図4 Bは、実施の形態1におけるデューティ比を変化させる場合のスイッチング素子S1～S4の各々に入力されるパルスのタイミングを模式的に示す図である。

[図5A]図5 Aは、実施の形態1における位相のずれがない場合におけるパルス電圧および出力電圧の波形の例を示す図である。

[図5B]図5 Bは、実施の形態1における位相が90度ずれている場合におけるパルス電圧および出力電圧の波形の例を示す図である。

[図6]図6は、実施の形態1における送電アンテナおよび受電アンテナの等価回路の例を示す図である。

[図7]図7は、実施の形態1における制御方式の第1の例の処理を示すフローチャートである。

[図8]図8は、実施の形態1における負荷のインピーダンス、伝送周波数、および位相ずれ値に対応する出力電圧の変化を示すテーブルである。

[図9]図9は、実施の形態1における負荷のインピーダンスおよび伝送周波数に対応する伝送効率を示すテーブルである。

[図10]図10は、実施の形態1における制御方式の第2の例の処理を示すフローチャートである。

[図11A]図11 Aは、実施例1における負荷5Ω時の定電圧化、伝送効率の改善効果を示す図である。

[図11B]図 1 1 B は、実施例 1 における負荷 1 0 Ω 時の定電圧化、伝送効率の改善効果を示す図である。

[図11C]図 1 1 C は、実施例 1 における負荷 2 0 Ω 時の定電圧化、伝送効率の改善効果を示す図である。

[図12]図 1 2 は、実施の形態 1 における発振回路の構成を変更した変形例を示すブロック図である。

[図13]図 1 3 は、実施の形態 2 における送電装置の概略構成を示す図である。

[図14A]図 1 4 A は、実施の形態 2 における受電装置の概略構成を示す図である。

[図14B]図 1 4 B は、実施の形態 2 における受電装置の概略構成を示す図である。

[図14C]図 1 4 C は、実施の形態 2 における受電装置の概略構成を示す図である。

[図15]図 1 5 は、実施の形態 2 における制御方式の第 3 の例の処理を示すフローチャートである。

[図16A]図 1 6 A は、実施例 2 における伝送周波数と受電電圧の関係を示す図である。

[図16B]図 1 6 B は、実施例 2 における伝送周波数と位相ずれ量の関係を示す図である。

[図16C]図 1 6 C は、実施例 2 における伝送周波数と入力電流の関係を示す図である。

[図16D]図 1 6 D は、実施例 2 における伝送周波数と伝送効率の関係を示す図である。

[図17]図 1 7 は、実施の形態 2 における探索制御の一例を示す模式図である。

[図18A]図 1 8 A は、図 1 7 の探索制御における時間と制御誤差の関係を示す図である。

[図18B]図18Bは、図17の探索制御における時間と周波数の関係を示す図である。

[図18C]図18Cは、図17の探索制御における時間と位相ずれ量の関係を示す図である。

[図18D]図18Dは、図17の探索制御における時間と電流の関係を示す図である。

[図19A]図19Aは、図17とは異なる探索制御における制御誤差情報の時間経過の関係を示す図である。

[図19B]図19Bは、図17とは異なる探索制御における制御した周波数の時間経過の関係を示す図である。

[図19C]図19Cは、図17とは異なる探索制御における制御した位相ずれ量の時間経過の関係を示す図である。

[図19D]図19Dは、図17とは異なる探索制御における制御誤差が0に十分近くなったときに入力検出回路によって検出される電流の時間経過を示す図である。

[図20]図20は、前回の値と前々回の値から予測した位相ずれ量で出力調整を開始する方式における制御の例を示す図である。

[図21]図21は、実施の形態2における制御方式の第4の例の処理を示すフローチャートである。

[図22A]図22Aは、デューティ比が50%の場合において、スイッチング素子S1～S4にそれぞれ印加される信号の図である。

[図22B]図22Bは、デューティ比が25%の場合において、スイッチング素子S1～S4にそれぞれ印加される信号の図である。

[図23]図23は、実施の形態2における制御方式の第5の例の処理を示すフローチャートである。

発明を実施するための形態

[0009] (本開示の基礎となった知見)

本発明者らは、「背景技術」の欄において記載した無線電力伝送システム

に関し、以下に述べる検討を行った。

[0010] 特許文献 1 のような共振磁界結合方式の無線電力伝送システムでは、高い伝送効率を維持するために、伝送経路上の各回路ブロックの入出力インピーダンスを予め整合させている。しかし、実際には、アンテナ周辺環境が変化、即ち、送電および受電アンテナ間の配置関係が変化することによって、2つのアンテナのインピーダンスが変化してしまう。その結果、特許文献 1 では、最適な伝送効率となる周波数の変化に追従できない。また、特許文献 1 では、負荷のインピーダンスが変化した場合も、最適な伝送効率となる周波数の変化に追従できない。

[0011] 特許文献 2 は、電力伝送を行う際に、最適な伝送効率を与えるために、周波数をスイープして最適な周波数を決定する無線電力伝送システムを開示している。しかし、特許文献 2 は、伝送効率の調整を出力電力の周波数制御のみで行っている。

[0012] また、伝送系のインピーダンスが変化するということは、無線電力伝送システムへの入力電圧が一定の場合には、出力電圧が変化することを意味する。このような場合の対応として、特許文献 3 は、軽負荷時はインバータの周波数を調整する周波数制御を行う電源システムを開示している。また、特許文献 3 は、出力電圧を一定にするために、定常時はインバータの制御パルスのオン時間比（以後、交流電圧の出力時間比と呼ぶ）を調整する。しかし、特許文献 3 は、出力電圧の調整を、出力電力の周波数制御のみで行うか、また、交流電圧の出力時間比を制御することのみで行っている。

[0013] 上記のように、特許文献 2 及び特許文献 3 のいずれも、出力電圧及び伝送効率の両方の調整を、出力電力の周波数制御及び交流電圧の出力時間比の制御の双方を用いて行うものではない。

[0014] 以下、出力電力の周波数を制御することのみで、出力電圧と伝送効率とを調整した場合の課題について、まず説明する。

[0015] 図 1 A は、本開示の一態様の無線電力伝送システムの比較例における、送電装置から受電装置に供給する交流電力の周波数（伝送周波数）と、負荷に

供給される電圧（出力電圧）との関係の例を示すグラフである。本例は、回路シミュレータを用いて解析したものである。上記無線電力伝送システムの構成は、後述する図2Aと同様である。また、送電装置から受電装置に供給する交流電力を制御する制御回路は、特許文献2及び特許文献3と同様に、周波数制御のみを使用している。また、送電アンテナ及び受電アンテナの構成は、後述する図6と同様である。

[0016] 送電アンテナの仕様として、例えば、インダクタンス値を 40 (mF) 、周波数 f_0 に対する抵抗値を $1.86 f_0\text{ (m}\Omega\text{)}$ 、共振コンデンサ容量を 73 (pF) とし、受電アンテナの仕様として、インダクタンス値を 25.84 (mF) 、周波数 f_0 に対する抵抗値を $2.22 f_0\text{ (m}\Omega\text{)}$ 、共振コンデンサ容量を 750 (pF) とした。次に、DC電源1030の直流電圧 V_{dc} を 12 V 、受電装置1020の目標電圧を 5 V 、周波数スイープ範囲を $110\text{ kHz} \sim 140\text{ kHz}$ とし、負荷のインピーダンス R_L が 5Ω 、 10Ω 、 20Ω の各場合における例を示している。

[0017] このグラフに示されるように、出力電圧は負荷のインピーダンスおよび伝送周波数に依存して変化する。従って、負荷のインピーダンスが変化した場合には、出力電圧を一定にするため、伝送周波数を変化させるのがよい。例えば、図示される例において、負荷のインピーダンスが $5\Omega \sim 20\Omega$ の範囲で変動する場合、出力電圧を 5 V に維持するためには、伝送周波数を $130\text{ kHz} \sim 150\text{ kHz}$ の範囲で変動させるのがよい。

[0018] しかしながら、特許文献2及び特許文献3のように、出力電圧を一定に維持するために伝送周波数を変化させた場合、必ずしも伝送効率が最適化されない。図1Bは、伝送周波数と伝送効率との関係の例を示すグラフである。図1Bについて詳しく述べると、図1Bは、図1Aにおける $R_L = 5\Omega$ の場合における送電装置の伝送効率 E_{ff_Tx} 、送受電アンテナの伝送効率 E_{ff_RF} 、および全体の伝送効率 E_{ff} を示している。このグラフに示されるように、伝送周波数が約 110 kHz のときに伝送効率が最大になり、 $130\text{ kHz} \sim 150\text{ kHz}$ の範囲では伝送効率が最大にならないことが分かる。

。

[0019] このように、特許文献2及び特許文献3は、目標電圧5Vに対しては周波数130kHz～150kHzの範囲がよいので、この範囲で伝送周波数を決めることになる。しかし、実際は、この伝送周波数130kHz～150kHzでは伝送効率は最大より低くなってしまう。伝送周波数が約110kHzのときに伝送効率が最大である。

[0020] 以上により、周波数制御のみでは、負荷に一定電圧で出力することと伝送効率の高い周波数で伝送することを両立することが難しいことが分かる。

[0021] 次に、交流電圧の出力時間比のみで、出力電圧と伝送効率とを調整した場合は、交流電圧の出力時間比のみの調整で、出力電圧を調整することは可能であるが、負荷に一定電圧で出力することと、伝送効率の高い周波数で伝送することとを両立することは困難である。出力電圧を一定にした状態では、交流電圧の出力時間比を調整しても、出力電力の周波数も一定であるので、送電および受電アンテナ間の配置関係が変化した後に最適な伝送効率となる周波数に対応できない。

[0022] 本発明者らは、鋭意検討の結果、上記課題を見いだした。上記の課題は以下の理由によるものと考えられる。

[0023] 即ち、無線電力伝送システムは、2つの共振器（送電アンテナ及び受電アンテナ）を磁氣的に共振結合することにより、振動エネルギーを共振周波数で無線伝送している。そして、送電アンテナと受電アンテナとが共振している共振周波数付近では、送電受電時の電力ロスが最小となる。よって、伝送効率は、2つの共振器の共振周波数の付近（約110kHz）で最大となる。一方、負荷から要求される電圧は、機器（受電装置）により様々な電圧が要求される。従って、必ずしも、伝送効率が最大となる共振周波数の付近（約110kHz）の出力電圧は、受電装置が要求する電圧になるとは限らない。例えば、ある負荷、例えば、10Ωに対して、伝送効率が最大となる伝送周波数が1つ決まる。この場合、前記決定された伝送周波数は約110kHzである。図1Aに示すように、この伝送周波数（約110kHz）に対応す

る負荷の出力電圧も1つ決まり、それは8 Vであることが分かる。

[0024] しかし、スマートフォン、タブレット端末、携帯電話または電気自動車といった非接触充電が可能な機器（受電装置）への充電の要求電圧は、様々である。例えば、スマートフォンが5 Vを要求する場合、上述の8 Vでは要求電圧より高い電圧になってしまう。その結果、スマートフォンの要求電圧（5 V）をオーバしており、8 Vの電圧の電力をスマートフォンに与えると、スマートフォンの回路が損傷してしまう虞がある。

[0025] 従って、上記課題は、送電及び受電アンテナの共振周波数付近で最大効率となる伝送周波数と、受電装置が要求する電圧の伝送周波数とが、一致していないために起こると考えられる。また、最大効率となる伝送周波数と、受電装置が要求する電圧の伝送周波数とが仮に一致していたとしても、アンテナ周辺の環境が変化、例えば、送電及び受電アンテナの距離が変化すると、送電アンテナ及び受電アンテナの共振周波数が変化し、伝送効率が最大となる伝送周波数が変化する。この場合、送電アンテナ及び受電アンテナの変化した後の共振周波数付近で伝送効率が最大となる。このため、伝送効率が最大となる伝送周波数と受電装置が要求する電圧の伝送周波数とにずれが生じてしまう。また、負荷が変動する場合も、アンテナ周辺の環境が変化する場合と同じで送電アンテナ及び受電アンテナの共振周波数が変化し、伝送効率が最大となる伝送周波数が変化する。そのため、伝送効率が最大となる伝送周波数と受電装置が要求する電圧の伝送周波数とにずれが生じてしまう。これらの場合も、上記の場合同様、受電装置の目標電圧になる伝送周波数に合わせると、伝送効率が最大の電力で伝送できない。一方、伝送効率が最大となる伝送周波数に合わせると、目標電圧にならない。

[0026] 上記課題も、送電アンテナ及び受電アンテナの共振周波数付近で最大効率となる伝送周波数と、受電装置が要求する電圧の伝送周波数とが、一致していないために起こると考えられる。

[0027] よって、無線電力伝送システムの送電装置では、負荷が変動し、アンテナ周辺の環境が変化する場合でも、負荷に一定電圧を出力しながら、電力を高

効率で伝送できることが望まれている。また、様々な受電装置の要求電圧を満たしながら、電力を高効率で伝送することが望まれている。

[0028] 以上の考察により、本発明者らは、以下の発明の各態様を想到するに至った。

[0029] 本開示にかかる送電装置の一態様は、

直流電源から供給される直流電力の高電位側に接続された第1スイッチング素子と前記直流電力の低電位側に接続された第2スイッチング素子とを有し、前記第1スイッチング素子と接続された第1出力端と前記第2スイッチング素子と接続された第2出力端を介して、前記直流電力から変換された交流電力を出力する発振回路と、

前記発振回路から出力された前記交流電力を、受電装置の負荷に出力するために送出する送電アンテナと、

前記受電装置の要求電圧、要求電流または要求電力の少なくとも1つを示す規定値を保持するメモリと、

前記受電装置の負荷に供給されている電圧、電流または電力の少なくとも1つを受信する受信回路と、

前記第1スイッチング素子と前記第2スイッチング素子とを用いて、前記発振回路の前記第1出力端の電圧と前記第2出力端の電圧とを同電位にする時間を変えて前記発振回路から出力される交流電力の電圧の出力時間比を変更し、

前記発振回路から出力される交流電力の電圧の周波数を変えて前記交流電力の効率が最大となる交流電力の周波数を決定し、

前記受信した電圧、電流または電力の少なくとも1つを前記規定値の範囲に収束させ、前記効率が最大の交流電力を前記負荷に出力する制御回路と、を備える。

[0030] 従来の送電装置においては、前記受信した電圧、電流または電力の少なくとも1つを、前記受電装置の要求電圧、要求電流または要求電力の少なくとも1つを示す規定値の範囲に収束させたとしても、効率が最大となる交流電

力とはならない。一方、前記送電装置が前記受電装置に、効率が最大となる交流電力を出力としたとしても、前記送電装置が前記受電装置から受信した電圧、電流または電力の少なくとも1つは、前記受電装置の要求電圧、要求電流または要求電力の少なくとも1つを示す規定値の範囲外となってしまう。

[0031] 本態様によれば、効率が最大となる交流電力の周波数を決定しながら、前記送電装置が前記受電装置から受信した電圧、電流または電力の少なくとも1つを前記規定値の範囲に収束させるように、記送電装置発振回路から出力される交流電力の電圧の出力時間比を変更する。

[0032] そのため、前記送電装置から出力され、効率が最大となる前記交流電力の周波数と、前記受電装置から要求される前記交流電力の電圧の周波数とが、一致しない状態であっても、前記送電装置が前記受電装置から受信した電圧、電流または電力の少なくとも1つを前記規定値の範囲に収束させ、前記受電装置で受電される前記交流電力の効率を最大とすることができる。

[0033] 以下、添付の図面を参照しながら、本開示のより具体的な実施形態を説明する。以下の説明において、同一または対応する要素には同一の参照符号を付している。

[0034] (実施の形態1)

図2Aは、本開示の実施の形態1による無線電力伝送システムのハードウェア構成を示すブロック図である。本実施形態の無線電力伝送システムは、直流(DC)電源1030から入力される直流(DC)エネルギーを交流エネルギーに変換して出力する送電装置1000と、送電装置1000から出力された交流エネルギーを無線で伝送する送受電アンテナ1010と、送受電アンテナ1010によって伝送された交流エネルギーを直流エネルギーに変換して負荷1040に供給する受電装置1020とを備えている。送受電アンテナ1010は、送電アンテナ1010aと受電アンテナ1010bとの対からなり、各アンテナは、コイルおよびコンデンサを含む共振回路によって構成される。送受電アンテナ1010は、共振磁界結合によって送電装置1000か

ら出力された交流エネルギーを無線で受電装置１０２０に伝送する。伝送された交流エネルギーは、受電装置１０２０内の整流回路１０２１によって直流（ＤＣ）エネルギーに変換され、負荷１０４０に供給される。

[0035] 送電装置１０００および送電アンテナ１０１０aは、送電装置に搭載され、受電アンテナ１０１０b、受電装置１０２０、負荷１０４０は、受電装置に搭載され得る。受電装置は、例えばスマートフォン、タブレット端末、携帯端末などの電子機器、または電気自動車などの電動機械であり得る。送電装置は、受電装置に無線で電力を供給する充電器であり得る。負荷１０４０は、例えば二次電池であり、受電装置１０２０から出力された直流エネルギーによって充電され得る。

[0036] 受電装置１０２０は、受電アンテナ１０１０bから伝送された交流エネルギーを直流エネルギーに変換して負荷１０４０に出力する整流回路１０２１と、負荷１０４０に出力する電圧および電流を検出する出力検出回路１０２２と、出力検出回路１０２２による検出結果を送電装置１０００に伝達する通信回路１０２３とを有している。

[0037] 送電装置１０００は、ＤＣ電源１０３０から入力された直流電圧および電流を検出する入力検出回路１００２と、入力された直流エネルギーを複数のスイッチング素子によって交流エネルギーに変換する発振回路１００１と、発振回路１００１に含まれる複数のスイッチング素子にパルスを送出するパルス出力回路１００７と、パルス出力回路１００７にパルス生成指示を出す制御回路１００９と通信回路１０２３からの信号を受信する受信回路１１０３とを有している。発振回路１００１は、入力されたパルスに応じて導通状態を変化させる複数のスイッチング素子を有し、各スイッチング素子の導通状態を変化させることによって入力された直流エネルギーを交流エネルギーに変換することができる。受信回路１１０３は、通信回路１０２３から伝達される出力検出回路１０２２の検出結果、および入力検出回路１００２の検出結果を受信し、制御回路１００９へ出力する。制御回路１００９は、伝達された出力検出回路１０２２の検出結果、および入力検出回路１００２の検出結果に

基づいて、発振回路 1001 から出力される電圧の周波数および出力時間比を決定する。ここで、電圧の「出力時間比」とは、1 周期のうち、所定値（例えば最大振幅の数%～20%程度）よりも大きい電圧が出力される時間の割合を意味し、前記時間以外の時間では送電アンテナ 1010a の両端電圧を同じ電位で固定する。出力時間比及び、送電アンテナ 1010a の両端電圧を同じ電位で固定することは、スイッチング素子に入力するパルスのデューティ比および位相の少なくとも一方を調整することによって制御され得る。本実施形態では、パルスの位相を調整することによって出力時間比を調整するとともに送電アンテナ 1010a の両端電圧を同じ電位で固定するように制御する例を説明する。制御回路 1009 は、発振回路 1001 から出力される電圧の周波数および出力時間比が、決定した周波数および出力時間比にそれぞれなるように、パルス出力回路 1007 を制御する。より具体的には、決定した周波数および出力時間比に応じたパルスを各スイッチング素子に出力するようにパルス出力回路 1007 を制御する。

[0038] このような構成により、本実施形態の無線電力伝送システムは、送電装置 1000 における出力特性を変化させて、負荷 1040 に供給する電圧を一定にするとともに、伝送効率を最大に近づけることができる。このため、負荷 1040 が例えば二次電池の場合において、充電量に応じてインピーダンスが変動したり、受電アンテナ 1010b の位置がずれて系全体のインピーダンスが変動したとしても高効率な充電を持続することができる。

[0039] なお、図 2A では、前記送電アンテナと前記受電アンテナと同じサイズを有するように描かれているが、本開示はこのような例に限られない。前記送電アンテナの方が前記受電アンテナよりも小型であってもよいし、その逆であってもよい。また、送受電コイル 1010 には、前記送電アンテナおよび前記受電アンテナの一方または両方が複数含まれていてもよい。無線電力伝送システムは、図示される構成要素以外の要素を備えていてもよい。

[0040] 以下、各構成要素をより詳細に説明する。

[0041] 図 2B は、図 2A における制御回路 1009 が有する機能的な構成を示す

ブロック図である。図2Aと共通する構成要素には同じ参照符号を付している。図2Bには、制御回路1009によって実現される4つの機能ブロックが記載されている。具体的には、位相制御部1003、最適位相検出部1004、周波数制御部1005、最適周波数検出部1006である。制御回路1009は、例えばCPU (Central Processing Unit) と、メモリに格納されたコンピュータプログラムとの組み合わせによって実現され得る。CPUがコンピュータプログラムに記述された命令群を実行することにより、図2Bに示す各機能ブロックの機能を実現する。あるいは、1つの半導体回路にコンピュータプログラムを組み込んだDSP (Digital Signal Processor) 等のハードウェアによって同様の機能が実現されてもよい。

- [0042] 最適位相検出部1004は、通信回路1023から伝達された出力検出回路1022の検出結果と、入力検出回路1002の検出結果とに基づいて、負荷1040に出力される電圧を一定にする最適なパルスの位相を決定する。位相制御部1003は、最適位相検出部1004によって決定されたパルスの位相をパルス出力回路1007に通知する。一方、最適周波数検出部1006は、通信回路1023から伝達された出力検出回路1022の検出結果と、入力検出回路1002の検出結果とに基づいて、伝送効率を最大にする最適なパルスの周波数を決定する。周波数制御部1005は、最適周波数検出部1006によって決定された周波数をパルス出力回路1007に通知する。上記決定された周波数は、所定の周波数の幅で伝送効率が最大となる周波数を探索して決定しているので、厳密な意味では、上記周波数は伝送効率が最大となる周波数ではない場合も含まれる。あくまで伝送効率が最大付近(最大点を含む)の周波数である。また、上記伝送効率が最大となる周波数は、伝送効率の値が予め設定した閾値以上となった周波数であっても良い。
- [0043] 上記実施の形態1では、通信回路1023は、出力検出回路1022の検出結果を最適位相検出部1004と最適周波数検出部1006に伝達している。

[0044] ここで、受電装置 1020 と送電装置 1000 の通信について説明する。

図 2 B に示すように、送電装置のいずれかの場所に受信回路 1103 を設けて、通信回路 1023 から出力検出回路 1022 の検出結果を受信回路が受信する。そして、受信回路が最適位相検出部 1004 と最適周波数検出部 1006 に検出結果を伝達してもよい。また、最適位相検出部 1004 と最適周波数検出部 1006 が受信回路を有していて、直接も検出結果を受信してもよい。

[0045] 受信装置 1020 が受信する情報は、図 15 で説明される受電装置の要求電圧、要求電流または要求電力の要求値及びそれらの規定値、さらに規定値の範囲であってもよい。次に、要求値、要求値の規定値、及び規定値の範囲の例について述べる。例えば、スマートフォンの場合、負荷に対する目標電圧は、5 V である。そのときの許容される要求電圧の規定値は、例えば、 ± 0.04 V 又は、 -0.04 V $\sim$ $+0.04$ V である。さらに、電圧の規定値の範囲は、例えば、 $5\text{ V} \pm 0.04$ V 又は、 4.96 V $\sim$ 5.04 V である。

[0046] また、受信装置 1020 が受信する情報は、負荷に供給されている電圧、電流または電力の実測値であってもよい。また、受信装置 1020 が受信する情報は、図 15 で説明される負荷に出力された交流電力の電圧、電流又は電力の誤差情報（要求値－実測値）であってもよい。図 2 B に示すように、上記受信回路が受信する情報は、送電装置のいずれかの場所に配置されたメモリに格納して、取り出して利用してもよい。また、上記受信回路が受信する情報少なくとも 1 つは、予め送電装置のメモリに格納していて、受電装置からの何らかの信号で、上記情報を取り出して利用してもよい。

[0047] また、上記受電装置が送信する情報は、受電装置のいずれかの場所に配置されたメモリに、格納されていてもよい。

[0048] パルス出力回路 1007 は、例えば公知のゲートドライバであり、位相制御部 1003 および周波数制御部 1005 から入力された位相および周波数の情報に基づき、発振回路 1001 の各スイッチング素子に入力するパルス

を生成する。

[0049] 図3は、本実施形態における発振回路1001の構成を示すブロック図である。発振回路1001は、4つのスイッチング素子(S1～S4)を有する。各スイッチング素子は、例えばMOSFET(Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor)などの電界効果トランジスタによって実現され得る。

[0050] スwitchング素子S1およびS3の片端は、配線によってDC電源1030の電圧の高い側と接続され、スイッチング素子S2およびS4の片端は、配線によってDC電源1030の電圧の低い側と接続されている。なお、この時に入力フィルタとして、DC電源1030とスイッチング素子の間にLC型またはCLC型フィルタが挿入されていてもよい。また、上記片端の意味は、スイッチング素子の入力端子のことである。

[0051] スwitchング素子S1およびS2の間と、スイッチング素子S3およびS4の間とから延びる配線によって発振回路1001および送電アンテナ1010aは接続されている。パルス出力回路1007が各スイッチング素子のゲートにパルスを入力する(電圧を印加する)ことにより、各スイッチング素子を導通状態にすることができる。本明細書では、各スイッチング素子のゲートに電圧が印加され、電流が流れる状態を「オン」と呼び、電圧が印加されずに電流が流れない状態を「オフ」と呼ぶことがある。

[0052] 4つのスイッチング素子S1～S4は、DC電源1030からの入力電圧と同じ極性の電圧を導通時に出力するスイッチング素子対(S1およびS4)と、入力電圧と逆の極性の電圧を導通時に出力するスイッチング素子対(S2およびS3)とによって構成される。スイッチング素子S1およびS4をオンにしている状態と、スイッチング素子S2およびS3をオフにしている状態とを周波数f0で交互に繰り返すことにより、入力された直流電圧を周波数f0の交流電圧に変換することができる。

[0053] 本実施形態における制御回路1009は、電力伝送中、各スイッチング素子に入力するパルスの周波数、および各スイッチング素子対を構成する2つ

のスイッチング素子に入力する2つのパルス間の位相差（「位相ずれ値」と呼ぶこともある。） $\Delta\theta$ を制御する。すなわち、ある時刻にスイッチング素子S1、S2に入力されるパルスの位相をそれぞれ θ_1 、 θ_2 とすると、スイッチング素子S1、S2に入力されるパルスの位相は、それぞれ $\theta_2 - \Delta\theta$ 、 $\theta_1 - \Delta\theta$ と表すことができる。最適位相検出部1004および位相制御部1003は、位相差 $\Delta\theta$ を、入力検出回路1002および出力検出回路1022のそれぞれの検出結果に応じて最適な値に変化させる。ここで、スイッチング素子S2のパルスは、典型的には、スイッチング素子S1のパルスに対して反転したパルスとし、スイッチング素子S2のパルスの位相は、スイッチング素子S1のパルスの位相に対して半周期ずれた位相に設定される。すなわち、 $\theta_2 = \theta_1 + 180^\circ$ に設定される。

[0054] 図4Aは、スイッチング素子S1～S4の各々に入力されるパルスのタイミングを模式的に示す図である。パルス出力部1007は、スイッチング素子S1への出力パルスに対して、一定時間の同時オフ時間（「デッドタイム」と称する。）を設けた反転パルスをスイッチング素子S2に出力する。同様に、スイッチング素子S3への出力パルスに対して、前記一定時間の同時オフ時間を設けた反転パルスをスイッチング素子S4に出力するパルス出力部1007は、さらに、位相ずれ値 $\Delta\theta$ が0の場合に、スイッチング素子S1とスイッチング素子S4とを同時にオンにし、スイッチング素子S2とスイッチング素子S3とを同時にオンにするように各パルスを出力する。スイッチング素子S1およびS2に入力する2つのパルス間と、スイッチング素子S3およびS4に入力する2つのパルス間にデッドタイムを設ける理由は、パルスの立ち上がりおよび立ち下りの瞬間にスイッチング素子S1およびS2、またはスイッチング素子S3およびS4が同時にオンになって、負荷短絡が生じてスイッチング素子が破壊されることを防止するためである。このため、図4Aに示す例では、各パルスのデューティ比は50%よりも小さい値に設定されている。

[0055] 図5Aは、位相のずれがない場合（ $\Delta\theta = 0$ ）におけるスイッチング素子

S 1 ～ S 4 にそれぞれ印加されるパルス電圧 $V_{gs1} \sim V_{gs4}$ 、発振回路 1001 から出力される電圧 V_a 、および電圧 V_a を正弦波に変換したときの電圧 V_o の波形の例を示す図である。図 5 B は、位相が 90 度ずれている場合 ($\Delta \theta = 90^\circ$) におけるこれらの電圧の波形の例を示す図である。これらの図に示されるように、位相ずれ値 $\Delta \theta$ を 0 よりも大きくすることにより、発振回路 1001 から出力される出力時間比が小さくなり、それとともなって、出力される交流電圧の振幅を小さくすることができる。

[0056] この時、位相ずれ値 $\Delta \theta$ の期間は、スイッチング素子 S 1 と S 3 が同時にオンしているか、スイッチング素子 S 2 と S 4 が同時にオンしている状態になっており、その結果、送電アンテナ 1010a の両端電圧はスイッチング素子 S 1 と S 3 が同時にオンしている場合には、DC 電源 1030 の高いほうの電圧に固定され、またスイッチング素子 S 2 と S 4 が同時にオンしている場合には、DC 電源 1030 の低いほうの電圧に固定される。

[0057] これにより、すべてのスイッチング素子をオフすることで前記出力時間比を小さくする場合に比べて、送電アンテナ 1010a の両端電圧が不定状態にならないため、還流電流の発生を抑えることができる。

[0058] なお、ここではスイッチング素子 S 1 と S 4、スイッチング素子 S 2 と S 4 への制御パルスの位相にずれを与える方式で説明したが、図 4 B に示すように制御パルスをスイッチング素子 S 1 と S 3 の対、スイッチング素子 S 2 と S 4 の対で同じデューティ比であり、かつスイッチング素子 S 1 と S 2 の対、スイッチング素子 S 3 と S 4 の対でデッドタイムを加えて互いに位相が反転するように与えることで、送電アンテナ 1010a の両端電圧を DC 電源 1030 の電圧の低い側に固定する時間を設ける方式で実現してもよい。また、図 4 B では、スイッチング素子 S 1 と S 3 の対のデューティ比がスイッチング素子 S 2 と S 4 の対のデューティ比よりも小さくなるような例で説明したが、逆に大きくなるようにして、送電アンテナ 1010a の両端電圧を DC 電源 1030 の電圧の高い側に固定する時間を設けるようにしてもよい。

[0059] 続いて、送電アンテナ 1010a および受電アンテナ 1010b の構成例を説明する。

[0060] 送電アンテナ 1010a および受電アンテナ 1010b は、共振磁界結合によって非接触で周波数 f_0 の高周波電力を伝送することができる。受電アンテナ 1010b は、送電アンテナ 1010a に接触しておらず、送電アンテナ 1010a から例えば数ミリメートル～数十センチメートル程度離間している。伝送される高周波電力の周波数（伝送周波数） f_0 は、例えば 50 Hz～300 GHz の範囲に設定され得る。伝送周波数は、20 kHz～10 GHz の範囲内に設定されてもよく、20 kHz～20 MHz の範囲内に設定されてもよく、20 kHz～1 MHz の範囲内に設定されてもよい。

[0061] 本実施形態の無線電力伝送システムにおける「アンテナ」は、放射電磁界の送受信を行うための通常のアンテナではなく、共振器の電磁界の近傍成分（エバネッセント・テール）の結合を利用して 2 つの物体間でエネルギー伝送を行うための要素である。共振磁界を利用した無線電力伝送によれば、電磁波を遠方に伝搬させるときに生じるエネルギー損失（放射損失）が生じないため、極めて高い効率で電力を伝送することが可能である。このような共振電磁界（近接場）の結合を利用したエネルギー伝送では、ファラデーの電磁誘導の法則を利用した公知の無線電力伝送に比べて損失が少ないだけではなく、例えば数メートルも離れた 2 つの共振器（アンテナ）間で高効率にエネルギーを伝送することが可能になる。

[0062] このような原理に基づく無線電力伝送を行うには、2 つの共振アンテナ間で結合を生じさせるのがよい。このため、送電アンテナ 1010a および受電アンテナ 1010b の共振周波数は、伝送周波数 f_0 に実質的に同一の周波数に設定される。ただし、これらの共振周波数が伝送周波数と完全に一致しなくてよい。

[0063] 一般に、固有の共振周波数を有する二つの共振器が電氣的に結合した場合、共振周波数が変化することが知られている。仮に 2 つの共振器の共振周波数が同一であったとしても、上記結合により共振器対としての共振周波数は

2つの周波数に分離する。結合共振器対が示す2つの共振周波数の内、周波数が高いものを偶モードの共振周波数（ f_H ）、周波数が低いものを奇モードの共振周波数（ f_L ）と呼ぶ。このとき、共振器間の結合係数 k は、以下の式1で表される。

[0064] $k = (f_H^2 - f_L^2) \div (f_H^2 + f_L^2) \quad \dots (式1)$

結合が強いほど、 k は大きい値となり、2つの共振周波数の分離量が増大する。本実施形態では、 k の値は比較的低い値、例えば、 $0.1 < k < 0.5$ 、ある例では $0.2 < k < 0.4$ の範囲内に設定され得る。 k の値は 0.5 を超えてもよいが、 k の値を 0.5 よりも小さい値に設定することにより、送受アンテナ間の距離の増大や、送受アンテナ間のサイズの非対称性などの影響を受けにくいという、共振磁界結合方式ならではの効果を得ることができる。

[0065] 各アンテナを構成する共振器の Q 値は、システムが要求するアンテナ間電力伝送の伝送効率、及び結合係数 k の値にも依存するが、例えば数十～100、ある例では100よりも大きい値に設定され得る。

[0066] 図6は、送電アンテナ1010aおよび受電アンテナ1010bの等価回路の例を示す図である。図6に示す例では、送電アンテナ1010aは、インダクタ1011aおよびコンデンサ1012aが直列に接続された直列共振回路である。受電アンテナ1010bは、インダクタ1011bおよびコンデンサ1012bが並列に接続された並列共振回路である。送電アンテナ1010aおよび受電アンテナ1010bは、寄生抵抗も有している。送電アンテナ1010aおよび受電アンテナ1010bは、図示される例に限らず、直列共振回路および並列共振回路のいずれであってもよい。

[0067] なお、本実施形態では、送受電アンテナ1010は、共振磁界結合によって電力を伝送するが、従来の電磁誘導方式によって電力を伝送してもよい。その場合、これらのアンテナの結合係数は、1に近い値に設定される。

[0068] 続いて、本実施形態における制御回路1009による制御方式を説明する。本実施形態では、以下の2種類の制御方式のいずれかを採用することがで

きる。

[0069] <制御方式１：位相制御⇒周波数制御>

まず、本実施形態における制御方式の第１の例を説明する。

[0070] 図７は、本制御方式の処理を示すフローチャートである。DC電源１０３０から直流（DC）エネルギーを受けると、送電装置１０００における入力検出回路１００２は、DC電源１０３０から入力される電圧および電流を検出し、検出結果を最適位相検出部１００４および最適周波数検出部１００６に出力する。位相制御部１００３および周波数制御部１００５は、それぞれ、予め決められた初期の周波数と位相ずれ値を示す情報をパルス出力部１００７に出力する。これに基づいて、パルス出力回路１００７は、発振回路１００１の各スイッチング素子のゲートに、当該周波数および位相ずれ値を有する発振制御パルスを出力する（初期伝送）。これにより、発振回路１００１は、DC電源１０３０から供給された直流エネルギーを交流エネルギーに変換し、送受電コイル１０１０を通じて受電装置１０２０に送出する（ステップＳ３０１）。

[0071] 続いて、最適位相検出部１００４は、受電装置１０２０との間で通信が確立しているか否かを判断する（ステップＳ３０２）。通信の確立は、後述するように、受電側の通信回路１０２３から出力検出回路１０２２による検出結果が伝達されたか否かによって判断される。通信が確立していない場合、位相制御部１００３および周波数制御部１００５は、パルス出力回路１００７にパルスの出力を停止させる（ステップＳ３０３）。その後、所定時間が経過するまで待機し（ステップＳ３０４）、所定時間経過後、再びステップＳ３０１に戻る。

[0072] ステップＳ３０２において通信が確立していると判断した場合、最適位相検出部１００４および最適周波数検出部１００６は、通信回路１０２３から受電装置における出力電圧および電流についてのフィードバックを受ける（ステップＳ３０５）。具体的には、DC電源１０３０から発振回路１００１および送受電アンテナ１０１０を介して送られてきたエネルギーを受電装置１０

20が受けると、まず、出力検出回路1022が、負荷1040に供給される電圧および電流を検出し、その検出結果を通信回路1023に出力する。通信回路1023は、出力検出回路1022による検出結果を最適位相検出部1004および最適周波数検出部1006に伝達する。

[0073] この時の伝達方法としては、例えば、整流回路1021の出力端に負荷インピーダンスを変動させるスイッチを設け、発振回路1001とは十分に異なる周波数でそのスイッチをオン／オフさせる方法がある。すなわち、負荷に対して並列に抵抗や容量を入れて、その結線の導通を切り替えることで負荷インピーダンスを変化させる。負荷インピーダンスの変化により、送電装置1000の入出力も変動するため、スイッチをオン／オフさせることにより、出力検出回路1022の検出結果を周波数変調して情報として送電装置1000に伝達することができる。送電装置1000では、スイッチのオン／オフによって生じる送電アンテナ1010aの両端電圧の変動や、発振回路1001の入力端に発生する電流量の変化を検出し、検出結果を復調することによって伝達された情報を読み取ることができる。情報の伝達方法は上記の方法に限らず、NFC (Near Field Communication) やWireless LANなどのまったく別の通信方法によって情報を送信してもよい。

[0074] このような方法により、最適位相検出部1004は、ステップS302において、通信が確立しているか否かを判断できる。すなわち、受電側からの情報を復調できたとき、通信が確立したと判断する。逆に、受電側からの情報を復調できなかったとき、通信が確立していないと判断する。

[0075] 受電装置からのフィードバックを受けた後、最適位相検出部1004は、負荷1040に出力される電圧が規定値の範囲内か否かを判定する（ステップS306）。

[0076] 通信が確立したとき、上述のメモリに格納されている目標電圧と許容される電圧の規定値の範囲の情報は、通信回路から送電回路の受信回路に送信される。そして、負荷に対する目標電圧と許容される電圧の規定値の範囲の情

報が、送電回路のいずれかに配置されているメモリに格納される。なお、負荷に対する目標電圧と許容される電圧の規定値の範囲は、受電回路から送電回路に送られるとしたが、予め、送電回路内のいずれかのメモリに格納されているものとしてもよい。

[0077] この判定は、不図示のメモリなどの記録媒体に予め格納されたテーブルを参照して行われる。本実施形態では、記録媒体に、負荷 1040 のインピーダンス、伝送周波数、および位相ずれ値に対応する出力電圧の変化を示すテーブルが格納されている。また、後述するステップ S 309 において参照される、負荷 1040 のインピーダンスおよび伝送周波数に対応する伝送効率を示すテーブルも同様に格納されている。図 8、9 は、そのようなテーブルの一例を示している。このようなテーブルが、送電側の入力電圧の値ごとに予め実験やシミュレーションに基づいて作成される。なお、図 8、9 に示すテーブルは、1 つのテーブルに統合されていてもよいし、さらに細分化されていてもよい。最適位相検出部 1004 は、図 8 に示すようなテーブルを参照することにより、通信回路 1023 から伝達された出力電圧および出力電流の値と、入力検出回路 1002 によって検出された入力電圧の値とに基づいて、最適な位相ずれ値を検出する。最適位相検出部 1004 は、まず、受電側で検出された出力電圧と、予め設定された出力すべき目標電圧との差を算出し、その差が所定の範囲内か否かを判断する（ステップ S 306）。その差が所定の範囲内であれば、最適周波数検出部 1006 へ処理を移行させる。また、その差が所定値の範囲外であれば、位相ずれ値を変更する処理を行う（ステップ S 307）。このとき、最適周波数検出部 1006 は、出力電圧・電流値から算出した負荷インピーダンス値と、上記電圧の差と、上記のテーブルとに基づき、位相ずれ値の変化幅 $\Delta \theta'$ を決定し、その情報を位相制御部 1003 に出力する。ここで、現在の出力電圧値が目標電圧値よりも高い場合には、 $\Delta \theta'$ は正の値、低い場合には、 $\Delta \theta'$ は負の値となる。

[0078] 位相制御部 1003 は、前記位相ずれ値の変化幅 $\Delta \theta'$ と現在の位相ずれ値 $\Delta \theta_t$ とから新しい位相ずれ値 ($\Delta \theta_t + \Delta \theta'$) を求め、その情報をパル

ス出力部 1007 に出力する。パルス出力部 1007 は、新しい位相ずれ値 ($\Delta \theta_t + \Delta \theta'$) に対応する発振制御パルスを発振回路 1001 に入力する。具体的には、スイッチング素子 S3、S4 に入力するパルスの位相が、スイッチング素子 S1、S2 に入力するパルスの位相に比べ、それぞれ ($\Delta \theta_t + \Delta \theta'$) だけずれるように、各パルスの位相を変更する。その後、ステップ S305 に戻り、ステップ S306 において、最適位相検出部 1004 が、出力電圧と目標電圧値との差が所定の範囲内であると判定するまで、位相ずれ値を変更する処理が行われる。

[0079] なお、本説明では、位相ずれ値をテーブルに基づき決定するとしたが、テーブルで格納せずに、目標値との差分に対する変化式として表現され、前記変化式から求めることとしても良い。また、さらに位相ずれ値の変化幅 $\Delta \theta'$ を事前に設定された一定値として位相ずれ値を求めることとしても良い。

[0080] ステップ S306 において、最適位相検出部 1004 が、出力電圧が規定値の範囲内にあると判定すると、最適周波数検出部 1006 は、伝送効率がピーク値に達したか否かを判定する（ステップ S308）。送電装置 100 は、負荷インピーダンス値と周波数に対応する伝送効率のテーブル（図 9）と、周波数を変化させる前の伝送効率とを記憶保持するメモリを有している。最適周波数検出部 1006 は、通信回路 1023 からの入力と入力電力検出回路 1002 からの入力とを受けて、両者の電力の比を計算することによって現在の伝送効率を算出し、メモリに記憶保持された前回の伝送効率と比較する。比較した結果、現在の伝送効率が前回の伝送効率よりも高い場合は、まだピーク値には達していないと判断し、周波数を変更する処理を行う（ステップ S309）。具体的には、最適周波数検出部 1006 は、負荷インピーダンス値と伝送周波数に対応する伝送効率のテーブルに基づいて周波数の変化幅を決定し、その結果を周波数制御部 1005 に出力する。周波数制御部 1005 は、決定された周波数の変化幅と現在の周波数とから新しい周波数を求め、パルス出力部 1007 に通知する。パルス出力部 1007 は、新しく決定された周波数の発振制御パルスを発振回路 1001 に出力する。

このようにして、新しい周波数で発振した結果、受電装置 1020 の出力電圧が変化する。このため、再度ステップ S305～S307 の処理を行い、最適位相ずれ検出部 1004 と位相制御部 1003 によって、出力電圧が目標電圧値に近づくように位相ずれ値を調整する。その後、ステップ S308 において、最適周波数検出部 1006 が、新規の伝送効率が前回の伝送効率よりも低くなり、ピークを迎えたと判断するまで、周波数制御と位相制御とが繰り返される。このようにして、最適周波数検出部 1006 は、伝送効率のピーク点を検出し、同時に最適位相検出部 1004 によって、受電装置 1020 の出力電圧を目標電圧値に近づけることができる。最終的に新規の伝送効率が前回の伝送効率よりも低くなると（ステップ S308 における Yes）、位相制御部 1003 および周波数制御部 1005 は、それぞれ前回の位相ずれ値および前回の周波数をパルス出力部 1007 へ通知し、パルス出力部 1007 は、その周波数および位相ずれ値に応じたパルスを出力して伝送を継続する（ステップ S310）。このようにして、最適周波数検出部 1006 は、伝送効率が最も高くなる周波数を検出し、同時に最適位相検出部 1004 は、受電装置 1020 の出力電圧を目標電圧値にする位相差を検出することができる。これにより、受電側の目標電圧値を維持しながら伝送効率を高く維持することが可能である。

[0081] <制御方式 2：周波数制御⇒位相制御>

次に、本実施形態の制御方式の第 2 の例を説明する。図 10 は、本制御方式の処理を示すフローチャートである。本制御方式では、上記第 1 の例におけるステップ S306～S309 の代わりに、ステップ S406～S410 が行われる点を除いて、上記第 1 の例と共通である。このため、第 1 の例と異なる点を中心に説明する。本制御方式では、周波数制御を行った後、位相制御が行われる点が第 1 の例と異なっている。

[0082] 上記第 1 の例と同様に、ステップ S301 における初期伝送が行われた後、ステップ S302～S305 の処理を経て、最適周波数検出部 1006 は、現在の伝送効率がピーク値に達したか否かを判断する（ステップ S406

）。具体的には、通信回路１０２３からの入力と入力電力検出部１００２からの入力を受けて、両者の電力の比を計算することにより、現在の伝送効率を算出し、メモリに記憶保持された値と比較する。比較した結果、新しい伝送効率が前回の伝送効率よりも高い場合は、周波数を変更する処理を行う（ステップＳ４０７）。この際、最適周波数検出部１００６は、負荷インピーダンス値と伝送周波数に対応する伝送効率のテーブル（図８）を参照して周波数の変化幅を決定し、その情報を周波数制御部１００５に出力する。周波数制御部１００５は、決定された周波数の変化幅と現在の周波数とから新しい周波数を求め、パルス出力部１００７に通知する。パルス出力部１００７は、通知された新しい周波数に応じた発振制御パルスを発振回路１００１に入力する。その後、再びステップＳ３０５に戻り、ステップＳ４０６において、新規の伝送効率が前回の伝送効率よりも低くなったことを最適周波数検出部１００６が検出するまで、同様の周波数制御が繰り返される。このようにして、最適周波数検出部１００６は、伝送効率のピーク点をとる伝送周波数を決定する。

[0083] ステップＳ４０６において伝送効率のピーク点をとる伝送周波数が決定されると、最適位相検出部１００４は、出力電圧が規定値の範囲内か否かを判定する（ステップＳ４０８）。上記第１の例と同様、通信回路１０２３から入力された出力電圧と、出力すべき所定の目標電圧との差を算出し、その差が所定値の範囲であれば、出力電圧が規定値の範囲内であると判定する。このとき、位相制御部１００３および周波数制御部１００５は、現在の位相ずれ値と周波数をパルス出力部１００７へ出力し、伝送を継続する（ステップＳ３１０）。一方、出力電圧と目標電圧との差が所定値の範囲外であれば、位相ずれ値を変更する処理を行う（ステップＳ４０９）。具体的には、出力電圧・電流値から算出した負荷インピーダンス値と、上記電圧の差と、図８に示すテーブルとに基づき、位相ずれ値の変化幅を決定し、その情報を位相制御部１００３へ出力する。位相制御部１００３は、位相ずれ値の変化幅と現在の位相ずれ値とから新しい位相ずれ値を求め、その情報をパルス出力部

1007に出力する。パルス出力部1007は、新たに決定された位相ずれ値に応じた発振制御パルスを発振回路1001に出力する。その後、最適位相検出部1004は、再度、受電装置1020における出力電圧および電流を通信回路からフィードバックし（ステップS410）、ステップS408の判定処理を行う。最適位相検出部1004は、現在の出力電圧と目標電圧値との差が上記所定値の範囲になるまで、位相ずれ値を変化させる制御を行う。

[0084] 以上のように、本制御方式では、まず最適周波数検出部1006が伝送効率のピーク点をとる伝送周波数検出し、次に最適位相検出部1004が、受電装置1020の出力電圧を目標電圧値に近づける位相ずれ値を検出する。これにより、伝送効率と定電圧出力とを両立できる。

実施例 1

[0085] 次に、無線電力伝送システムの上記の制御方式の実施例1について説明する。本実施例では、回路シミュレータを用いて、上記制御を行う回路モデルを用いて伝送効率の変化を比較することにより、本開示の実施形態の効果を検証した。本実施例では、実施形態1と同様の構成を採用し、送電アンテナの仕様として、インダクタンス値を40(mF)、周波数 f_0 に対する抵抗値を $1.86f_0(\text{m}\Omega)$ 、共振コンデンサ容量を73(pF)とし、受電アンテナの仕様として、インダクタンス値を25.84(mF)、周波数 f_0 に対する抵抗値を $2.22f_0(\text{m}\Omega)$ 、共振コンデンサ容量を750(pF)とした。次に、DC電源1030の直流電圧 V_{dc} を12V、受電装置1020の目標電圧を5V、周波数スイープ範囲を110kHz~140kHz、負荷インピーダンスを5 Ω 、10 Ω 、20 Ω とした。

[0086] 図11Aは、負荷5 Ω 時の伝送周波数と位相ずれ値に対する伝送効率の変動を示すグラフである。同様に図11B、図11Cに、それぞれ、負荷10 Ω 時、負荷20 Ω 時のグラフを示す。

[0087] 図11A~11Cに示すように、実施形態1の制御を行った場合のシステム全体の伝送効率は、周波数のみでの制御（位相ずれ0度の場合）よりも、

負荷 5 Ω、負荷 10 Ω、負荷 20 Ω 時でそれぞれ最大で約 4.6%、約 2.9%、約 1% 向上した。図 11A~11C に示すように、本開示の実施形態による制御の効果は、顕著であることがわかった。

[0088] 本開示の実施の形態 1 の変形例について説明する。

[0089] 図 12 は、発振回路の構成を変更した例を示すブロック図である。この例では、発振回路が 4 つではなく 2 つのスイッチング素子を有し、制御回路が 2 つのパルス間の位相差（位相ずれ値）を制御する代わりに各パルスのデューティ比を制御する点が実施の形態 1 とは異なっている。その他の構成については、実施の形態 1 と同様である。

[0090] 図 12 の発振回路 1101 は、2 つのスイッチング素子 S1、S2 と、2 つのコンデンサ C1、C2 とを有している。2 つのスイッチング素子 S1、S2 のペア、および 2 つのコンデンサ C1、C2 のペアは、DC 電源 1030 に対して並列に接続されている。スイッチング素子 S1 および S2 の間と、コンデンサ C1、C2 の間とから延びる配線によって発振回路 1001 および送電アンテナ 1010a は接続されている。パルス出力回路 1007 が各スイッチング素子のゲートにパルスを交互に入力することにより、直流電力が交流電力に変換される。

[0091] 図 2 の制御回路 1209 は、実施の形態 1 における最適位相検出部 1004 および位相制御部 1003 の代わりに、最適デューティ検出部 1204 およびデューティ制御部 1203 を備えている。これらの要素が、スイッチング素子 S1、S2 に入力するパルスのデューティ比を変化させることによって発振回路 1001 から出力される電圧の出力時間比を変化させる。これにより、負荷の出力電圧を一定に近づけることができる。

[0092] 実施の形態 1 の制御では、例えば図 7 におけるステップ S307 または図 10 におけるステップ S409 の代わりに、パルスのデューティ比を変更する処理が行われる。このため、図 8 に示すテーブルにおける位相ずれ値の代わりにデューティ比の変化量を記録したテーブルが予め用意される。このような制御により、実施形態 1 と同様に、出力電圧を一定に維持しながら、高

い伝送効率を維持することができる。

[0093] なお、実施の形態1のような4つのスイッチング素子を用いた構成においても、位相制御の代わりにデューティ制御を行ってもよい。また、位相制御とデューティ制御とを併用してもよい。但し、デューティ制御を行う場合には、すべてのスイッチング素子がオフの状態の際に発生する還流電流によるノイズを低減するために、デューティ比が45%以上の範囲内になるように行うことが望ましい。位相制御とデューティ制御を併用する場合においても同様の理由で位相制御の比率を高くすることが望ましい。さらに、スイッチング素子の数は2個や4個に限られず、さらに多くのスイッチング素子を設けてもよい。本開示の無線電力伝送システムは、送電装置に入力される電圧および電流と、受電装置から出力される電圧および電流とに基づいて、発振回路から出力される電圧の周波数および出力時間比を調整するパルス制御を行う限り、どのように構成されていてもよい。

[0094] (実施の形態2)

＜制御方式3＞

次に、実施の形態2について説明する。本開示の実施形態の制御方式は第3の例となる。実施の形態1では、受電装置1020からフィードバックされる情報は、負荷1040に対する出力電圧及び電流の値としていた。しかし、予め設定された出力電圧及び電流値と出力検出回路が検出した値の差（誤差の値）をフィードバックされる情報としてもよい。実施の形態2では、誤差の値をフィードバックする場合の例で説明する。

[0095] 図13は、本実施の形態の概略的な構成要素を示すブロック図であり、図2Aと共通する構成要素には同じ参照符号を付している。図13には、制御回路1009によって実現される4つの機能ブロックが記載されている。具体的には、制御誤差判定部1105、最適制御判定部1106、周波数制御部1005、および位相制御部1003である。制御回路1009は、例えばCPU (Central Processing Unit) と、メモリに格納されたコンピュータプログラムとの組み合わせによって実現され得る

。CPUがコンピュータプログラムに記述された命令群を実行することにより、図513に示す各機能ブロックの機能を実現する。あるいは、1つの半導体回路にコンピュータプログラムを組み込んだDSP (Digital Signal Processor) 等のハードウェアによって同様の機能が実現されていてもよい。

[0096] 制御誤差判定部1105は、受信回路1103から伝達された制御誤差情報が示す誤差の値が所定の範囲内にあるか否かを判定する。最適制御判定部1106は、制御誤差判定部1105の判定結果と入力検出回路1002の検出結果とに基づいて、負荷に入力される電圧を所望の値に維持し、かつ、伝送効率を最大に近づける最適なパルスのタイミングを決定する。具体的には、出力するパルスの周波数および位相ずれ量を決定し、それらの情報を、周波数制御部1005および位相制御部1003にそれぞれ送信する。位相制御部1003および周波数制御部1005は、最適制御判定部1106から送られた情報に基づいてパルス出力回路1007を駆動する。

[0097] パルス出力回路1004は、例えば公知のゲートドライバであり、位相制御部1003および周波数制御部1005からそれぞれ入力された位相ずれ量および周波数の情報に基づき、発振回路1001の各スイッチング素子に inputsするパルスを生成する。

[0098] パルス出力回路1007は、DC電源1030から入力される電流および電圧の少なくとも一方を検出する。DC電源1030が定電圧源である場合には、入力検出回路1002は、少なくとも電流を検出するように構成され得る。DC電源1030が定電流源である場合には、入力検出回路1002は、少なくとも電圧を検出するように構成され得る。これにより、送電装置1000の消費電力が最小に近づくようにパルス出力回路1007から発振回路1001の各スイッチング素子に inputsされるパルスを制御することが可能となる。以下の説明では、DC電源1030は定電圧源であるものとする。

[0099] 図14Aは、受電装置1020における出力検出回路1022の構成例を

示す図である。この例では、出力検出回路 1022 は、出力電圧検出回路 1022a によって実現されている。出力電圧検出回路 1022a は、負荷 1040 に供給される電圧を検出して、誤差算出回路 1024 に検出結果を出力する。誤差算出回路 1024 は、検出された電圧と、受電装置 1020 が要求する所定の電圧との差分を示す制御誤差情報を生成する。

[0100] 通信回路 1023 は、その制御誤差情報を送電装置 1000 内の受信回路 1103 へ伝達する。

[0101] なお、図 14A に示す例では、負荷に供給される電圧に基づいて制御誤差情報を算出しているが、電流や電力に基づいて制御誤差情報を算出してもよい。図 6B14B は、受電装置 1020 における出力検出回路 1022 の他の構成例を示す図である。この例では、出力検出回路 1022 は、出力電流検出回路 1022b によって実現されている。出力電流検出回路 1022b は、負荷 1040 に供給される電流を検出し、検出結果を誤差算出回路 1024 に出力する。誤差算出回路 1024 は、検出された電流と、受電装置 1020 が要求する所定の電流との差分を示す制御誤差情報を生成する。通信回路 1023 は、その制御誤差情報を送電装置 1000 内の受信回路 1103 へ送信する。

[0102] 図 14C は、受電装置 1020 における出力検出回路 1022 の他の構成例を示す図である。この例では、出力検出回路 1022 は、出力電圧検出回路 1022a および出力電流検出回路 1022b によって実現されている。出力電圧検出回路 1022a および出力電流検出回路 1022b は、負荷 1040 に供給される電圧および電流をそれぞれ検出し、検出結果を誤差算出回路 1024 にそれぞれ出力する。誤差算出回路 1024 は、検出された電圧および電流の情報から電力を算出し、その電力と受電装置 1020 が要求する所定の電力との差分を示す制御誤差情報を生成する。通信回路 1023 は、その制御誤差情報を送電装置 1000 内の受信回路 1103 に伝達する。

[0103] 受電装置 1020 における送信回路 1023 から送電装置 1000 におけ

る受信回路 1003 への情報の伝達方法は、これまで説明した実施の形態 1 と同様の方式でよいので、ここでは説明を割愛する。

[0104] 制御誤差情報は、例えば下記の演算によって求めることができる。

[0105] (制御誤差情報の値) = (要求値) - (検出値)

ここで、検出値は、受電装置 1020 が受け取った交流エネルギーを直流エネルギーに変換した後、負荷 1040 に入力される電圧、電流、または電力の値である。要求値は、受電装置 1020 が要求する電圧、電流、または電力の値である。制御誤差情報が正の値ならば、受電装置 1020 の要求に対して供給が不足していることを示し、負の値ならば過剰供給を示し、制御誤差が 0 ならば、適切な供給量であることを示す。制御誤差情報の値の決め方は上記の例に限定されず、検出値と要求値との差分を示す情報であればよい。これは、差分そのものを示す数値に限らず、差分から換算される数値であってもよい。

[0106] 上記のように、出力検出回路 1022 は、負荷 1040 に与えられる電圧および負荷 1040 を流れる電流の少なくとも一方を検出するように構成されていればよい。ここで、「負荷 1040 に与えられる電圧」とは、負荷 1040 に直接入力される電圧のみならず、その電圧に連動して変化する電圧であってもよい。同様に、「負荷 1040 を流れる電圧」とは、負荷 1040 に直接流れる電流のみならず、その電流に連動して変化する電流であってもよい。例えば、整流回路 1021 と負荷 1040 との間に不図示の回路素子や分岐点がある場合、それらの回路素子や分岐点と整流回路 1021 との間で電圧や電流を検出してもよい。

[0107] 続いて、本実施形態における制御回路 1009 による動作を説明する。以下の説明では、図 6A14A に示すように電圧に基づいて制御誤差情報を生成する場合を想定するが、電流または電力に基づいて制御誤差情報を生成する場合も以下の動作は同様である。

[0108] 図 15 は、制御回路 1009 の処理を示すフローチャートである。送電装置 1000 が DC 電源 1030 から直流 (DC) エネルギーを受けると、位相

制御部１００３および周波数制御部１００５は、それぞれ、予め決められた初期の周波数および位相ずれ量を示す情報をパルス出力部１００４に出力する。これに基づいて、パルス出力回路１００４は、発振回路１００１の各スイッチング素子のゲートに、当該周波数および位相ずれ量を有する発振制御パルスを出力する（初期伝送）。これにより、発振回路１００１は、ＤＣ電源１０３０から供給された直流エネルギーを交流エネルギーに変換し、送受電アンテナ１０１０を通じて受電装置１０２０に送出する（ステップＳ４００）。

[0109] 次に、制御誤差判定部１１０５は、受信回路１００３から受電装置１０２０で生成された制御誤差情報を取得する（ステップＳ４０１）。上記のように、ＤＣ電源１０３０から発振回路１００１および送受電アンテナ１０１０を介して送られてきたエネルギーを受電装置１０２０が受けると、まず、出力検出回路１０２２が、負荷１０４０に供給される出力電圧を検出し、検出結果と所望の値との差分を示す制御誤差情報を送信回路１０２３に送出する。送信回路１０２３は、制御誤差情報を受信回路１００３に伝達する。

[0110] 受電装置から制御誤差情報のフィードバックを受けた後、制御誤差判定部１１０５は、制御誤差情報が所定の範囲内か否かを判定する（ステップＳ４０２）。誤差が所定の範囲外であれば、最適制御判定部１１０６は、制御誤差が減少するように周波数を所定の値だけ変更するように周波数制御部１００５に指示する（ステップＳ４０３）。その後、ステップＳ４０１に戻り、制御誤差判定部１１０５は、受信回路１００３を介して制御誤差情報を再度取得する。ステップＳ４０２において、制御誤差情報が所定の範囲内であると判定するまで、ステップＳ４０３の周波数を変更する処理が行われる。ステップＳ４０２において、制御誤差が所定の範囲内にあると判定すると、制御回路１００９は、ステップＳ５０１以降の効率探索ステップへ処理を移行させる。

[0111] ステップＳ４０１からステップＳ４０３までは、出力電圧を所定の範囲内にするためのステップであり、効率探索前の前準備である。位相ずれ量の制

御による出力電圧の調整は降圧機能しかもたないため、位相ずれ量が0度のときに特定の周波数で受電装置が要求する所定の電圧値に満たない場合、その周波数では位相制御による出力調整ができない。このため、制御回路1009は、周波数を変化（本実施形態では低下）させたときに出力電圧が所定の電圧値以上になるように、上限となる周波数を決定するための準備ステップとしてステップS401からS403を実行する。

[0112] なお、使用するすべての周波数帯において、あらかじめ受電電圧が十分に高くなるように各アンテナのコイルを設計していた場合には、ステップS401からステップS403を省略してもよい。また、本実施形態ではステップS403において制御誤差が減少するように周波数のみを変更したが、受電電圧の要求値が高すぎて周波数の変更だけでは制御誤差を所定の範囲内にするという条件を満足できない場合は周波数に加えて位相ずれ量を変更してもよい。

[0113] 以下、効率探索ステップについて説明する。効率探索ステップでは、制御誤差情報が示す誤差が所定の範囲内に納まるように位相ずれ量を所定の値ずつ変化させる第1の動作（ステップS502～S504）と、第1の動作完了後、入力検出回路の検出結果が示す値（ここでは電流の値）が最小値に近づくように周波数を所定の値だけ変化させる第2の動作（ステップS505、S506）とを繰り返す。より詳細には、制御回路1009は、周波数を変化させる第2の動作を実行した後、位相ずれ量を変化させずに制御誤差情報を再度取得し、制御誤差情報が示す誤差が上記の所定の範囲内にないとき、そのときの位相ずれ量の値を初期値として第1の動作を再度実行する。以上の動作を繰り返すことにより、負荷への出力電圧を一定に維持しながら、伝送効率を最適化できる。以下、個々の具体的な処理を説明する。

[0114] まず、周波数制御部1005は、入力検出回路の検出値を暫定最小値として、不図示のメモリなどの記録媒体に記録するとともに、周波数を所定の値だけ変更する（ステップS501）。次に、制御誤差判定部1105は、受信回路1103から送信された制御誤差情報を取得する（ステップS502

）。続いて、制御誤差判定部 1105 は、制御誤差情報の値が所定の範囲内か否かを判定する（ステップ S503）。誤差が所定の範囲外であれば、制御誤差が減少するように位相ずれ量を所定の値だけ変更する（ステップ S504）。その後、ステップ S502 に戻り、ステップ S503 において、制御誤差情報が所定の範囲内であると判定するまで、位相ずれ量を変更する処理を継続する。

[0115] ステップ S503 において、制御誤差が所定の範囲内にあると判定すると、最適制御判定部 1106 へ処理を移行させ、送電装置 1000 の入力検出回路 1002 により検出された電流の値が前回の値よりも大きいかなんかを判定する（ステップ S505）。言い換えれば、電流の値が最小値に達したかなんかを判定する。現在の電流の値がメモリなどの記録媒体に記録されている前回の電流の値よりも大きい場合、それは前回の電流の値が極小値であったことを意味する。逆に、現在の電流の値が前回の電流の値以下である場合、まだ極小値（最小値）には達していないと判断できる。そこで、記録媒体に格納されている値と現在の電流値とを比較し、現在の電流値が前回の電流値よりも低い場合は、まだ最小値には達していないと判断し、その電流値を新たな暫定最小値として記録媒体に記録し、所定のステップ量だけ周波数を変更する（ステップ S506）。このようにして、新しい周波数で発振すると、受電装置 1020 の出力電圧が変化する。このため、制御回路 1009 は、再度ステップ S502～S505 の処理を行い、制御誤差情報が示す誤差が所定の範囲内であると判定するまで、位相ずれ量を変更する処理を行う。ステップ S504 の位相ずれ量の調整の結果、ステップ S503 において、制御誤差が所定の範囲内にあると判定すると、再度、送電装置の入力電流（すなわち消費電力）が最小かどうかを判定する（ステップ S505）。最終的に新規の消費電力が前回の消費電力よりも高くなると、前回の周波数における消費電力が最小と判断し（ステップ S505 の Yes）、最小であったときの周波数および位相ずれ量に設定して一定時間、送電を継続する（S507）。その後、所定の時間（例えば数秒～数十秒）が経過したとき、ステ

ップS502に戻り、再びステップS502からステップS507の探索を繰り返し、負荷の変化に常に追従させる。これにより、受電側の要求する目標電圧値を維持しながら伝送効率を高く維持することが可能である。

実施例 2

[0116] 次に、上述した第3の方式である実施例2について説明する。実施例2の無線電力伝送システムにおいて、制御誤差情報が所定の範囲内に維持される条件を満足し、制御誤差が限りなく小さい場合の諸特性の一例を図16Aから図16Dに示す。図16Aから図16Dは、横軸を周波数として、縦軸にそれぞれ受電電圧、位相ずれ量、送電装置1000の消費電流、伝送効率をプロットした図である。制御誤差が所定の範囲内に維持されているとき、図16Aに示すように周波数を f_1 、 f_2 、 f_3 、 f_4 の順で変化させたとしても、受電電圧は一定の目標電圧に維持される。制御誤差が所定の範囲内に維持するためには、各周波数において、図8Bに示すように位相ずれ量を周波数に応じて変化させるのがよい。このように位相ずれ量を制御したとき、送電装置1000の消費電流は図16Cに示すように変化し、周波数 f_3 で最も電流が小さくなる。一方、伝送効率は図16Dのように変化し、周波数 f_3 で最も効率が高くなる。以上のことから、送電側の消費電流が最も小さくなる周波数で伝送効率が最も高くなることがわかる。

[0117] 制御誤差情報が所定の範囲内にあれば、負荷に与えられる電圧も所定の範囲内に維持され、負荷の変動の間隔に比べて十分に短い時間で見たときには、負荷で消費される受電電力は一定とみなせる。その場合、送電側の消費電力が最も小さくなる周波数で伝送効率が最も高くなることは明らかである。一方、電力は電圧×電流で表される。本実施形態では、DC電源1030が定電圧源であるため、送電装置1000に入力される電圧が一定となる。すなわち、送電装置1000の消費電流が最も小さいときが、送電側での消費電力が最も小さくなり、結果、伝送効率が最も高くなる。

[0118] 図17は本実施例における探索制御の一例を示す模式図である。図18Aは図17に示す探索制御を行ったときの制御誤差情報が示す誤差の時間変化

を示す図である。同じく、図 18 B は探索制御を行ったときの周波数の時間経過を示す図である。図 18 C は探索制御を行ったときの位相ずれ量の時間経過を示す図である。図 18 D は、制御誤差が 0 に十分近くなったときに入力検出回路 1002 によって検出される電流の時間経過を示す図である。

[0119] この例では、まず、図 17 に示すように、時刻 t_0 において初期周波数 f_0 および初期位相ずれ量 ϕ_0 で制御を開始したとき、受電電圧が目標電圧よりも低いため、制御誤差は正の値を示す。そこで、制御誤差が 0 に近づくように周波数を変更する。この例では、周波数が低下するほど受電電圧は増加するため、周波数を f_0 から f_1 まで減少させて制御誤差を 0 に近づける。この処理は、前述の準備ステップ S401 から S403 に対応する。時間 t_1 において制御誤差が 0 になり、受電電圧を目標電圧に調整できたら、効率探索ステップに入り、周波数を f_1 から f_2 に変更する。周波数の変更により、受電電圧が目標電圧からずれた分を、位相ずれ量を ϕ_0 から ϕ_1 に変更して再び受電電圧を目標電圧に一致させる。このような動作を繰り返した結果、周波数 f_3 で最も電流が低くなり、伝送効率が高いと判断できたとする。この場合、時刻 t_4 以降は周波数 f_3 で伝送を継続する。

[0120] 本実施例では、周波数を変更するときに出力調整を開始する位相ずれ量を ϕ_0 に戻さずに、前回の周波数における制御誤差が所定の範囲内であったときの位相ずれ量を保持したままにする。このため、周波数を変更したときに受電側が要求する目標電圧とのずれを抑えることができる。

[0121] 制御方法は上記の例に限定されず、例えば、図 19 A から図 19 D に示す方法を採用してもよい。図 19 A から図 19 D は、周波数を変更する際に、図 20 に示すような前回の値と前々回の値から予測した位相ずれ量で出力調整を開始する方式における制御の例を示している。

[0122] 図 19 A は制御誤差情報の時間経過を示す図である。同じく、図 19 B は制御した周波数の時間経過を示す図である。図 19 C は制御した位相ずれ量の時間経過を示す図である。図 19 D は、制御誤差が 0 に十分近くなったときに入力検出回路 1002 によって検出される電流の時間経過を示す図であ

る。

[0123] 時刻 t_1 で周波数 f_1 のときに制御誤差が 0 になる位相ずれ量が ϕ_0 、時間 t_2 で周波数 f_2 のときに制御誤差が 0 になる位相ずれ量が ϕ_1 だった場合、図 20 に示すように、周波数を f_3 に変更する際、下記の (式 2) によって位相ずれ量 ϕ_{20} を予測することができる。

$$\phi_{20} = (\phi_1 - \phi_0) * (f_3 - f_1) / (f_2 - f_1) + \phi_0 \quad \cdot$$

(式 2)

このため、図 19C に示す例では、周波数 f_3 における出力調整は位相ずれ量 ϕ_{20} の状態から開始するように制御される。時刻 t_3 において、周波数を f_4 に変更する際にも、同様の式に基づいて位相ずれ量 ϕ_{30} を予測することができる。このような制御によれば、図 17、18 に示す制御に比べて、出力電圧の調整に要する時間を短縮でき、より高速な制御が可能である。

[0125] なお、上記の式は単純な例にすぎず、他の方式によって位相ずれ量の初期値 ϕ_{20} 、 ϕ_{30} などを求めてもよい。例えば、前々回以前の位相ずれ量も考慮して位相ずれ量の予測値を算出してもよい。これらの予測制御では、制御回路 1009 は、周波数を変更する際、少なくとも前回および前々回の位相ずれ量に基づいて位相ずれ量の予測値を求め、その予測値を初期値として、ステップ S502 から S504 の動作を実行すればよい。

[0126] なお、本実施形態例では、ステップ S505 における判定は、送電側の電流を用いて説明したが、DC 電源 1030 が定電圧源であるために電流が判断基準になりえた。すなわち、DC 電源 1030 が定電流源であるならば、判定基準に電圧を用いてもよい。また、ステップ S505 における判定は、送電側の消費電力に基づいて行ってもよい。その場合、入力検出回路は、送電装置内の電流および電圧の両方を検出して消費電力を算出すればよい。DC 電源 1030 の出力電圧が、負荷が大きい場合に低下してしまうような場合には、電力そのものを判定基準とすることにより、精度を向上させることができる。

[0127] また、上記の説明では、図 17 に示す受電電圧一周波数特性を前提にしたため、高い周波数から低い周波数に変更しながら受電電圧を一定に近づけているが、このような制御に限定されない。システムの受電電圧一周波数特性に応じて最適な方法で周波数および出力時間比を制御すればよい。

[0128] 本実施例によれば、受電側の電力そのものの情報を必要とせず、制御誤差情報から効率が最も高い周波数を探索する。WPC (Wireless Power Consortium) が策定したワイヤレス給電の国際標準規格である Qi 規格では、無線電力伝送システムにおける受電装置からフィードバックされる情報として、制御誤差情報のほかにも、受電側の電力情報も規定されている。Qi 規格では、受電装置からフィードバックされる電力情報の送信頻度は 1500 msec と規定され、制御誤差情報の送信頻度は 250 msec と規定されている。このため、受電側の電力情報と送電側で検出される電力情報とから伝送効率を算出し、伝送効率が最高になる周波数を探索した場合、最適な周波数を見つけるまでに要する時間が長くなる。本実施形態では、制御誤差情報を用いているため、最適な周波数をより高速に探索することができる。

[0129] また、本実施形態例における制御は、受信回路 1003 が所定の範囲内の制御誤差情報を受信したときに、送電側の消費電流が最も小さくなる条件を探索する方式であるため、必要な情報は、受電側の電圧などから算出される制御誤差情報と送電側の電流などの情報だけで良い。このため、伝送効率を直接算出する場合（送電側の電流と電圧の情報、および、受電側の電流と電圧の情報が必要）に比べて必要な情報の数が少なく、制御にかかる負担を軽くすることができる。

[0130] <制御方式 4>

次に、本開示の実施形態の制御方式の第 4 の例を説明する。図 21 は制御方式 4 における送電装置 1000 の機能的な構成を示すブロック図である。図 2B, 13 と共通する構成要素には同じ参照符号を付している。制御方式 4 では、位相制御部 1003 の代わりにパルスのデューティ比を制御するデ

ューティ制御部 1203 を備える。この点を除けば、上述の制御方式 3 と共通である。このため、上述の制御方式 3 と異なる点を中心に説明する。

[0131] 制御方式 4 では、制御回路 1009 は、各スイッチング素子に入力するパルスのデューティ比を変化させることによって出力時間比を調整する。図 22A および図 22B は、発振回路に入力されるパルス波形の例を示す図である。図 22A は、デューティ比が 50% の場合において、スイッチング素子 S1 ~ S4 にそれぞれ印加されるパルス電圧、発振回路 1001 から出力される電圧 V_a 、および電圧 V_a を正弦波に変換したときの電圧 V_{out} の波形の一例を示している。図 22B は、デューティ比が 25% の場合におけるこれらの電圧の波形の一例を示している。これらの図に示されるように、デューティ比を 50% からずらすことにより、出力される交流電圧 V_a の出力時間比、および正弦波電圧 V_{out} の振幅を小さくすることができる。言い換えれば、デューティ比が 50% のときに最大出力が得られ、デューティ比を 50% よりも小さい任意の値に下げることによって出力調整を行うことができる。

[0132] 制御方式 4 における制御フローは、上述の制御方式 3 における制御フローにおいて、位相制御に関する部分がデューティ制御部 1103 によるデューティ制御に置き換わる点を除いて同じである。このため、詳細な動作の説明は省略する。

[0133] なお、図 2B に示す発振回路 1001 は、4 個のスイッチング素子を有するフルブリッジ構成の回路であるが、本実施形態では、図 12 に示すような 2 個のスイッチング素子を有するハーフブリッジ構成の回路を用いてもよい。これにより、より簡単な構成で本実施形態における高効率かつ安定な動作を実現できる。

[0134] <制御方式 5>

次に、本開示の実施形態の制御方式の第 5 の例を説明する。図 23 は本実施例における送電装置 1000 の機能的な構成を示すブロック図である。図 2B 及び図 13 と共通する構成要素には同じ参照符号を付している。本実施

例では、DC電源1030と発振回路1001との間にDC/DCコンバータ1011が接続されている。そして、制御回路1009が位相制御部1003やデューティ制御部1103の代わりに電圧制御部1203を備える点で、実施の形態1及び実施の形態2とは異なる。電圧制御部1303は、DC/DCコンバータ1011の出力電圧を制御するように構成されている。それ以外は実施の形態1及び実施の形態2と共通である。制御方式5では、パルス出力回路1004およびDC/DCコンバータ1011が、発振回路1001から出力される電圧の周波数および振幅を調整する調整回路を構成している。

[0135] また、制御方式5では、発振回路1001の各スイッチング素子に入力されるパルスは、所定の位相ずれ量およびデューティ比で固定されており、発振回路1001に供給する直流電圧をDC/DCコンバータ1011によって変化させることにより、発振回路1001から出力される電圧の振幅を調整する。DC/DCコンバータ1011は、例えば、チョークコイルを用いた非絶縁型のコンバータや、トランスを用いた絶縁型のコンバータなど、公知の構成を採用することができる。制御回路1009における電圧制御部1008cは、DC/DCコンバータ1011に含まれるスイッチング素子へのパルスの入力タイミングを調整するなどの方法により、DC/DCコンバータ1011の出力電圧を変化させることができる。

[0136] また、制御方式5における制御フローは実施形態1における制御フローにおいて、位相制御に関する部分が電圧制御部1303によるDC/DCコンバータ1011の出力電圧を変化させる制御に置き換わる点を除いて同じである。このため、詳細な動作の説明は省略する。

[0137] また、制御方式5でも、第2の実施形態と同じく図12に示すようなハーフブリッジ構成の発振回路1001を用いてもよい。これにより、フルブリッジ構成よりも簡単な構成で本実施形態における高効率かつ安定な動作を実現できる。

[0138] 以上のように、本開示の技術の例示として、実施の形態1～2を説明した

。しかしながら、本開示における技術は、これらに限定されず、適宜、変更、置き換え、付加、省略などを行った実施の形態にも適用可能である。また、上記実施の形態１～２で説明した各構成要素を組み合わせ、新たな実施の形態とすることも可能である。以下、他の実施例を例示する。

[0139] 実施例３では、図１５に示す動作を説明したが、これは一例である。上述のように、準備ステップ（Ｓ４０１～Ｓ４０３）を省略し、効率探索ステップ（Ｓ５０１～Ｓ５０７）のみを実行してもよい。また、制御回路は、制御誤差情報が示す誤差が所定の範囲内に納まるように発振回路から出力される電圧の出力時間比または振幅を所定の値だけ変化させる第１の動作と、入力検出回路の検出結果が示す値が最小値に近づくように発振回路から出力される電圧の周波数を所定の値だけ変化させる第２の動作とを実行するように構成されていればよい。

[0140] 上記の各実施例では、受電装置１０２０が整流回路１０２１を有し、負荷１０４０に直流エネルギーを供給することを前提としているが、本開示の技術はそのような構成に限定されない。例えば交流電動機などの交流負荷にエネルギーを無線で供給する用途では、受電装置１０２０が整流回路１０２１を有しない構成も考えられる。その場合、負荷１０４０に与えられる電圧または負荷を流れる電流の実効値と所定の目標値との差分を示す情報を制御誤差情報として上記のいずれかの制御を行ってもよい。

[0141] （本開示の第１側面にかかる送電装置）

本開示の第１側面にかかる送電装置は、

直流電源から供給される直流電力の高電位側に接続された第１スイッチング素子と前記直流電力の低電位側に接続された第２スイッチング素子とを有し、前記第１スイッチング素子と接続された第１出力端と前記第２スイッチング素子と接続された第２出力端を介して、前記直流電力から変換された交流電力を出力する発振回路と、

前記発振回路から出力された前記交流電力を、受電装置の負荷に出力するために送出する送電アンテナと、

前記受電装置の要求電圧、要求電流または要求電力の少なくとも1つを示す規定値を保持するメモリと、

前記受電装置の負荷に供給されている電圧、電流または電力の少なくとも1つを受信する受信回路と、

前記第1スイッチング素子と前記第2スイッチング素子とを用いて、前記発振回路の前記第1出力端の電圧と前記第2出力端の電圧とを同電位にする時間を変えて前記発振回路から出力される交流電力の電圧の出力時間比を変更し、

前記発振回路から出力される交流電力の電圧の周波数を変えて前記交流電力の効率が最大となる交流電力の周波数を決定し、

前記受信した電圧、電流または電力の少なくとも1つを前記規定値の範囲に収束させ、前記効率が最大の交流電力を前記負荷に出力する。

[0142] 上記側面によると、前記送電装置は、前記発振回路から出力される交流電力の電圧の周波数を変えて前記交流電力の効率が最大となる交流電力の周波数を決定する。前記送電装置は、前記交流電力の電圧の周波数だけを調整するのではなく、前記送電装置発振回路から出力される交流電力の電圧の出力時間比を変更する。

[0143] 即ち、前記送電装置において、前記受信した電圧、電流または電力の少なくとも1つを、前記受電装置の要求電圧、要求電流または要求電力の少なくとも1つを示す規定値の範囲に収束させたとしても、効率が最大となる交流電力とはならない。

[0144] 一方、前記送電装置が前記受電装置に、効率が最大となる交流電力を出力としたとしても、前記送電装置が前記受電装置から受信した電圧、電流または電力の少なくとも1つは、前記受電装置の要求電圧、要求電流または要求電力の少なくとも1つを示す規定値の範囲外となってしまう。

[0145] 本態様によれば、効率が最大となる交流電力の周波数を決定しながら、前記送電装置が前記受電装置から受信した電圧、電流または電力の少なくとも1つを前記規定値の範囲に収束させるように、前記送電装置発振回路から出力

される交流電力の電圧の出力時間比を変更する。

[0146] そのため、前記送電装置から出力される前記交流電力の電圧の周波数と、前記受電装置で受電される前記交流電力の電圧の周波数とが、一致しない状態であっても、前記送電装置が前記受電装置から受信した電圧、電流または電力の少なくとも1つを前記規定値の範囲に収束させ、前記受電装置で受電される前記交流電力の効率を最大とすることができる。

[0147] 上記側面において、例えば、前記受信回路は、前記受電装置から、前記要求電圧、前記要求電流または前記要求電力の少なくとも1つを示す前記規定値を受信し、前記制御回路は、前記受信した規定値を前記メモリに格納してもよい。

[0148] 上記側面において、例えば、前記制御回路は、前記発振回路から出力される交流電力の周波数を高周波から低周波に変化させて前記交流電力の効率が最大となる交流電力の周波数を決定してもよい。

[0149] 上記側面によると、前記交流電力の電圧の周波数を高周波から低周波に変化させることで、前記受電装置の負荷に供給する電圧を徐々に上げることができる。その結果、瞬時に高電圧になるのを防ぎ、前記受電装置の内部回路が損傷することを回避できる。

[0150] 上記側面において、例えば、前記効率が最大となる交流電力が決定された際の前記交流電力の周波数において、前記発振回路から出力される交流電力の電圧の出力時間比を変更してもよい。

[0151] 上記側面によると、前記効率が最大となる交流電力の周波数を決定した後、前記発振回路から出力される交流電力の電圧の出力時間比を変更するので、交流電力の電圧の出力時間比を変化する工程が1回で終了できる。その結果、短時間で要求値の規定値を満足しつつ最大効率の交流電力を負荷に出力することができる。

[0152] 上記側面において、例えば、前記制御回路は、前記交流電力の電圧の出力時間比を変更して、前記負荷に供給される電圧を前記規定値に収束させた後、前記交流電力の電圧の周波数を変えて前記交流電力の効率が最大となる交

流電力の周波数を決定荷に供給される電圧を前記規定値に収束させた後、前記交流電力の電圧の周波数を変えて前記交流電力の効率が最大となる交流電力の周波数を決定してもよい。

[0153] 上記側面によると、まず、前記送電装置が前記受電装置から受信した電圧、電流または電力の少なくとも1つを前記規定値の範囲に収束させる。その後、前記交流電力の電圧の周波数を変えて前記交流電力の効率が最大となる交流電力を探索する。そのため、前記規定値の範囲付近において、前記交流電力の電圧の周波数を変えるので、例えば、前記受電装置の内部回路の破壊等の悪影響を低減できる。

[0154] 上記側面において、例えば、前記受信回路は、前記負荷に出力された交流電力、前記負荷に出力された交流電力の電圧、電流又は電力の少なくとも一つと、前記規定値との誤差を示す誤差情報を、前記受電装置から受信し、前記制御回路は、前記誤差情報が示す前記誤差を用いて、前記受信した電圧、電流又は電力の少なくとも1つを前記規定値の範囲に収束させてもよい。

[0155] 上記側面によると、前記受電装置において、前記負荷に出力された交流電力、前記負荷に出力された交流電力の電圧、電流又は電力の少なくとも一つと前記規定値との誤差を算出する。そのため、前記送電装置では、前記誤差を算出しなくても、前記受信した誤差情報が示す前記誤差を用いて、前記受信した電圧、電流又は電力の少なくとも1つを前記規定値の範囲に収束できればよく、前記送電装置側での計算負荷を低減できる。

[0156] 上記側面において、例えば、前記発振回路は、前記第1出力端と前記第2出力端が前記送電アンテナに接続され、前記直流電源の電圧の高い側に接続された2つの前記第1スイッチング素子と低い側に接続された2つの前記第2スイッチング素子の4つスイッチング素子からなり、前記制御回路から供給されるパルスに応じて前記スイッチング素子の導通状態を変化させて、前記直流エネルギーを前記交流エネルギーに変換する発振回路であって、前記4つのスイッチング素子は、前記直流電力と同じ極性の電圧を導通時に出力する前記第1スイッチング素子と前記第2スイッチング素子からなるスイッチン

グ素子対、および前記直流電力と逆の極性の電圧を導通時に出力する前記第 1 スイッチング素子と前記第 2 スイッチング素子からなるスイッチング素子対によって構成され、前記スイッチング素子対の 2 つの前記第 1 スイッチング素子と前記第 2 スイッチング素子に前記制御回路から供給される前記パルスの位相差を変更し、前記発振回路から出力される交流電力の電圧の前記出力時間比を変えてもよい。

[0157] 上記側面によると、デューティ制御に比べて、第 1 スイッチング素子と第 2 スイッチング素子とを同時に OFF する場合が少ないので、ノイズが少ない電力を受電装置に供給できる。

[0158] なお、上記の側面は、無線電力伝送システムとして実現されてもよい。

[0159] (本開示の第 2 側面にかかる送電装置)

本開示の第 2 側面にかかる送電装置は、

直流電源から供給される直流電力の高電位側に接続された第 1 スイッチング素子と前記直流電力の低電位側に接続された第 2 スイッチング素子とを有し、前記第 1 スイッチング素子と接続された第 1 出力端と前記第 2 スイッチング素子と接続された第 2 出力端を介して、前記直流電力から変換された交流電力を出力する発振回路と、

前記直流電源から前記発振回路に供給される直流電力の電流値を検出する入力検出回路と、

前記発振回路から出力された前記交流電力を、受電装置の負荷に出力するために送出する送電アンテナと、

前記受電装置の要求電圧、または要求電流または要求電力の少なくとも 1 つを示す規定値を保持するメモリと、

前記受電装置の負荷に供給されている電圧または電流のいずれか一つを継続して受信する受信回路と、

前記第 1 スイッチング素子と前記第 2 スイッチング素子とを用いて、前記発振回路の前記第 1 出力端の電圧と前記第 2 出力端の電圧とを同電位にする時間を変えて前記発振回路から出力される交流電力の電圧の出力時間比を変

更し、前記継続して受信した電圧または電流のいずれか一つを前記規定値の範囲に収束させ、前記直流電源から前記発振回路に供給される直流電力の電流値が最小となる交流電力の周波数を決定し、

前記要求電力を前記直流電力の電流値が最小となる交流電力で除算した値に対応する効率を有する交流電力を、前記効率が最大の交流電力として前記負荷に出力する制御回路と、

を具備する。

[0160] 上記側面によると、例えば、前記交流電力の効率が最大となる交流電力の周波数を決定するのではなく、前記入力検出回路が検出する電流値が最小となる交流電力の周波数を決定する。

[0161] 即ち、前記直流電源から前記発振回路に供給される直流電力の電流値が最小となる場合、前記発振回路から出力される交流電力の効率は最大となる。そのため、前記受電装置の負荷が必要とする要求電圧、要求電流または要求電力の少なくとも1つを示す規定値を1回は受信し、それらを送電装置のメモリに保持する。前記要求電圧、前記要求電流から前記要求電力は容易に算出可能である。そして、交流電力の電圧の出力時間比を変更し、継続して受信した電圧または電流のいずれか一つを前記規定値の範囲に収束させながら、直流電力の電流値が最小となる交流電力の周波数を決定する。前記要求電力を前記直流電力の電流値が最小となる交流電力で除算した値が効率であるので、前記直流電力の電流値が最小となる値が、交流電力の最大効率点となる。

[0162] このようにすることで、比較的短期間に、前記発振回路から出力される交流電力の効率を最大化できる。

[0163] 上記側面において、例えば、前記発振回路は、前記第1出力端と前記第2出力端が前記送電アンテナに接続され、前記直流電源の電圧の高い側に接続された2つの前記第1スイッチング素子と低い側に接続された2つの前記第2スイッチング素子の4つスイッチング素子からなり、前記制御回路から供給されるパルスに応じて前記スイッチング素子の導通状態を変化させて、前

記直流エネルギーを前記交流エネルギーに変換する発振回路であって、前記4つのスイッチング素子は、前記直流電源と同じ極性の電圧を導通時に出力する前記第1スイッチング素子と前記第2スイッチング素子からなるスイッチング素子対、および前記直流電力と逆の極性の電圧を導通時に出力する前記第1スイッチング素子と前記第2スイッチング素子からなるスイッチング素子対によって構成され、前記スイッチング素子対の2つの前記第1スイッチング素子と前記第2スイッチング素子に前記制御回路から供給される前記パルスの位相差を変更し、前記発振回路から出力される交流電力の電圧の前記出力時間比を変えてもよい。

[0164] 上記側面によると、デューティ制御に比べて、第1スイッチング素子と第2スイッチング素子とを同時にOFFする場合が少ないので、ノイズが少ない電力を受電装置に供給できる。

[0165] なお、上記の側面は、無線電力伝送システムとして実現されてもよい。

[0166] (本開示の第3側面にかかる送電装置)

本開示の第3側面にかかる送電装置は、

第1スイッチング素子と接続された第1出力端と第2スイッチング素子と接続された第2出力端を介して、直流電源から供給される直流電力から変換された交流電力を出力する発振回路と、

前記発振回路から出力された前記交流電力を、受電装置の負荷に出力するために送出する送電アンテナと、

前記受電装置の要求電圧、要求電流または要求電力の少なくとも1つを示す規定値を保持するメモリと、

前記受電装置の負荷に供給されている電圧、電流または電力の少なくとも1つを受信する受信回路と、

前記第1スイッチング素子と前記第2スイッチング素子とを用いて、前記発振回路の前記第1出力端の電圧と前記第2出力端の電圧とを同電位にする時間を変えて前記発振回路から出力される交流電力の電圧の出力時間比を変更し、

前記発振回路から出力される交流電力の電圧の周波数を変えて前記交流電力の効率が最大となる交流電力の周波数を決定し、

前記受信した電圧、電流または電力の少なくとも1つを前記規定値の範囲に収束させ、前記効率が最大の交流電力を前記負荷に出力する制御回路と、を具備している。

[0167] 上記側面によると、効率が最大となる交流電力の周波数を決定しながら、前記送電装置が前記受電装置から受信した電圧、電流または電力の少なくとも1つを前記規定値の範囲に収束させるように、前記送電装置発振回路から出力される交流電力の電圧の出力時間比を変更する。

[0168] そのため、前記送電装置から出力される前記交流電力の電圧の周波数と、前記受電装置で受電される前記交流電力の電圧の周波数とが、一致しない状態であっても、前記送電装置が前記受電装置から受信した電圧、電流または電力の少なくとも1つを前記規定値の範囲に収束させ、前記受電装置で受電される前記交流電力の効率を最大とすることができる。

[0169] (本開示の第4側面にかかる送電装置のプログラム)

本開示の第4側面にかかる送電装置のプログラムは、

第1スイッチング素子と接続された第1出力端と第2スイッチング素子と接続された第2出力端を介して、直流電源から供給される直流電力から変換された交流電力を出力する発振回路と、前記発振回路から出力された前記交流電力を、受電装置の負荷に出力するために送出する送電アンテナと、前記受電装置の要求電圧、要求電流または要求電力の少なくとも1つを示す規定値を保持するメモリと、前記受電装置の負荷に供給されている電圧、電流または電力の少なくとも1つを受信する受信回路と、を備えた送電装置において実行されるプログラムであって、

前記送電装置のコンピュータに対して、

前記第1スイッチング素子と前記第2スイッチング素子とを用いて、前記発振回路の前記第1出力端の電圧と前記第2出力端の電圧とを同電位にする時間を変えて前記発振回路から出力される交流電力の電圧の出力時間比を変

更させる処理と、

前記発振回路から出力される交流電力の電圧の周波数を変えて前記交流電力の効率が最大となる交流電力の周波数を決定させる処理と、

前記受信した電圧、電流または電力の少なくとも1つを前記規定値の範囲に収束させ、前記効率が最大の交流電力を前記負荷に出力させる処理と、を実行させるプログラム。

[0170] 上記側面によると、効率が最大となる交流電力の周波数を決定しながら、前記送電装置が前記受電装置から受信した電圧、電流または電力の少なくとも1つを前記規定値の範囲に収束させるように、前記送電装置発振回路から出力される交流電力の電圧の出力時間比を変更する。

[0171] そのため、前記送電装置から出力される前記交流電力の電圧の周波数と、前記受電装置で受電される前記交流電力の電圧の周波数とが、一致しない状態であっても、前記送電装置が前記受電装置から受信した電圧、電流または電力の少なくとも1つを前記規定値の範囲に収束させ、前記受電装置で受電される前記交流電力の効率を最大とすることができる。

[0172] 上記側面において、例えば、前記送電装置のコンピュータに実現させるための前記プログラムを記録した、前記コンピュータで読み取り可能な記録媒体としてもよい。

[0173] (本開示の第5側面にかかる送電装置を有する無線電力伝送システム)

本開示の第5側面にかかる無線電力伝送システムは、

入力された直流エネルギーを交流エネルギーに変換して出力する送電回路と、前記送電回路から出力された前記交流エネルギーを送出する送電アンテナと、

前記送電アンテナによって送出された前記交流エネルギーの少なくとも一部を受け取る受電アンテナと、

前記受電アンテナが受け取った前記交流エネルギーを直流エネルギーに変換して負荷に供給

する受電回路と、

を備え、

前記受電回路は、

前記負荷に出力する電圧および電流を検出する出力検出回路と、

前記出力検出回路による検出結果を前記送電回路に伝達する通信回路と、
を有し、

前記送電回路は、

入力された直流電圧および直流電流を検出する入力検出回路と、

入力されたパルスに応じて導通状態を変化させる複数のスイッチング素子
を有し、各ス
イッチング素子の導通状態を変化させることによって前記直流エネルギーを前
記交流エネ
ルギに変換する発振回路と、

前記パルスを生成して各スイッチング素子に出力するパルス出力回路と、

前記発振回路から出力される電圧の周波数および出力時間比が、前記通信
回路から伝達

された前記出力検出回路の検出結果、および前記入力検出回路の検出結果に
基づいて決定

される周波数および出力時間比にそれぞれなるように前記パルス出力回路を
制御する制御

回路と、を有する。

[0174] 上記側面において、例えば、前記制御回路は、前記出力検出回路および前
記入力検出回路の各々の検出結果に基づいて、伝送効率が最大に近づくよう
に前記周波数を変化させてもよい。

[0175] 上記側面において、例えば、前記制御回路は、前記出力検出回路および前
記入力検出回路の各々の検出結果に基づいて、前記受電回路から前記負荷に
供給される電圧が所定値に近づくように、前記発振回路から出力される前記
電圧の出力時間比を変化させてもよい。

[0176] 上記側面において、例えば、前記制御回路は、各スイッチング素子に入力する前記パルスのデューティ比を変化させるように前記パルス出力回路に指示することによって前記発振回路から出力される前記電圧の出力時間比を変化させてもよい。

[0177] 上記側面において、例えば、前記複数のスイッチング素子は、入力電圧と同じ極性の電圧を導通時に出力するスイッチング素子と、入力電圧と逆の極性の電圧を導通時に出力するスイッチング素子とによって構成されてもよい。

[0178] 上記側面において、例えば、前記複数のスイッチング素子は、入力電圧と同じ極性の電圧を導通時に出力するスイッチング素子対、および入力電圧と逆の極性の電圧を導通時に出力するスイッチング素子対によって構成されてもよい。

[0179] (本開示の第6側面にかかる送電装置を有する無線電力伝送システム)
本開示の第6側面にかかる無線電力伝送システムは、
入力された直流エネルギーを交流エネルギーに変換して出力する送電回路と、
前記送電回路から出力された前記交流エネルギーを送出する送電アンテナと、
前記送電アンテナによって送出された前記交流エネルギーの少なくとも一部を受け取る受電アンテナと、
前記受電アンテナが受け取った前記交流エネルギーを直流エネルギーに変換して負荷に供給する受電回路と、
を備え、
前記受電回路は、
前記負荷に出力する電圧および電流を検出する出力検出回路と、
前記出力検出回路による検出結果を前記送電回路に伝達する通信回路と、
を有し、
前記送電回路は、
入力された直流電圧および直流電流を検出する入力検出回路と、
入力されたパルスに応じて導通状態を変化させる4つのスイッチング素子

を有し、各スイッチング素子の導通状態を変化させることによって前記直流エネルギーを前記交流エネルギーに変換する発振回路であって、前記4つのスイッチング素子は、入力電圧と同じ極性の電圧を導通時に出力するスイッチング素子対、および入力電圧と逆の極性の電圧を導通時に出力するスイッチング素子対によって構成される発振回路と、

前記パルスを生成して各スイッチング素子に出力するパルス出力回路と、

前記通信回路から伝達された前記出力検出回路の検出結果、および前記入力検出回路の検出結果に基づいて、前記複数のスイッチング素子の各々に入力する前記パルスの周波数、および各スイッチング素子対を構成する2つのスイッチング素子に inputs する2つのパルスの間の位相差を決定し、決定した前記周波数および前記位相差に応じたパルスを各スイッチング素子に出力するように前記パルス出力回路を制御する制御回路と、
を有する。

[0180] 上記側面によると、前記制御回路は、前記出力検出回路および前記入力検出回路の各々の検出結果に基づいて、伝送効率が最大に近づくように前記周波数を変化させてもよい。

[0181] 上記側面によると、前記制御回路は、前記出力検出回路および前記入力検出回路の各々の検出結果に基づいて、前記受電回路から前記負荷に供給される電圧が所定値に近づくように、各スイッチング素子対を構成する2つのスイッチング素子に inputs する前記2つのパルスの間の位相差を変化させてもよい。

[0182] 上記側面によると、前記制御回路は、前記負荷に供給される電圧が前記所定値に維持されるように前記位相差を調整しながら、前記伝送効率が最大に近づくように前記周波数を調整してもよい。

[0183] 上記側面によると、前記制御回路は、前記伝送効率を最大に近づける制御を行った後、前記出力電圧を前記所定値に近づける制御を行ってもよい。

[0184] 上記側面によると、前記制御回路は、伝送開始時に、前記位相差を予め定められた値に設定した上で前記周波数を調整する制御を行ってもよい。

[0185] 上記側面によると、前記送電アンテナおよび前記受電アンテナの結合係数を k とするとき、 $0.1 < k < 0.5$ を満足してもよい。

[0186] 上記側面によると、前記負荷は二次電池であり、前記受電アンテナおよび前記受電回路は、前記二次電池を備える電子機器に搭載されてもよい。

[0187] なお、上記の側面は、無線電力伝送システムの送電装置として実現されてもよい。

[0188] (本開示の第7側面にかかる送電装置を有する無線電力伝送システム)
本開示の第7側面にかかる無線電力伝送システムは、
入力された直流エネルギーを交流エネルギーに変換して出力する送電回路と、
前記送電回路から出力された前記交流エネルギーを送出する送電アンテナと、
、
前記送電アンテナによって送出された前記交流エネルギーの少なくとも一部を受け取る受電アンテナと、
前記受電アンテナが受け取った前記交流エネルギーを直流エネルギーに変換して負荷に供給する受電回路と、を備え、
前記受電回路は、
前記負荷に与えられる電圧および前記負荷を流れる電流の少なくとも一方を検出する出力検出回路と、
前記出力検出回路による検出結果が示す値と、予め設定された目標値との誤差を示す制御誤差情報を算出する誤差算出回路と、前記制御誤差情報を前記送電回路に伝達する送信回路と、を有し、
前記送電回路は、前記送電回路に入力される電圧および電流の少なくとも一方を検出する入力検出回路と、
入力された直流エネルギーを交流エネルギーに変換して出力する発振回路と、
前記発振回路から出力される電圧の周波数、および前記電圧の出力時間比または振幅を調整する調整回路と、
前記送信回路から伝達された前記制御誤差情報を受信する受信回路と、
前記発振回路から出力される電圧の周波数、および前記電圧の出力時間比

または振幅が、前記制御誤差情報、および前記入力検出回路の検出結果に基づいて決定される周波数、および出力時間比または振幅にそれぞれなるように前記調整回路を制御する制御回路と、
を有する。

[0189] 上記側面によると、前記制御回路は、前記制御誤差情報が示す誤差が所定の範囲内に納まるように前記発振回路から出力される電圧の出力時間比または振幅を所定の値だけ変化させる第1の動作と、前記入力検出回路の検出結果が示す値が最小値に近づくように前記電圧の周波数を所定の値だけ変化させる第2の動作とを実行してもよい。

[0190] 上記側面によると、前記制御回路は、前記第1の動作を実行した後、前記入力検出回路の検出結果が示す値がまだ最小値に達していない場合に前記第2の動作を実行し、前記第2の動作を実行した後、前記制御誤差情報を再度取得し、取得した前記制御誤差情報が示す誤差が前記所定の範囲内にないとき、前記第1の動作を再度実行してもよい。

[0191] 上記側面によると、前記発振回路は、入力されたパルスに応じて導通状態を変化させる複数のスイッチング素子を有し、各スイッチング素子の導通状態を変化させることによって前記直流エネルギーを前記交流エネルギーに変換するように構成され、前記調整回路は、前記発振回路の各スイッチング素子に前記パルスを出力するパルス出力回路を有し、前記制御回路は、前記パルス出力回路から出力される各パルスの周波数を変化させることにより、前記発振回路から出力される前記電圧の周波数を変化させせてもよい。

[0192] 上記側面によると、前記複数のスイッチング素子は、導通時に入力電圧と同じ極性の電圧を出力するスイッチング素子対と、導通時に入力電圧と逆の極性の電圧を出力するスイッチング素子対とを含み、前記制御回路は、前記制御誤差情報、および前記入力検出回路の検出結果に基づいて、前記複数のスイッチング素子の各々に入力すべきパルスの周波数、および各スイッチング素子対を構成する2つのスイッチング素子に入力すべき2つのパルスとの位相ずれ量を決定し、決定した前記周波数および前記位相ずれ量に応じた

パルスを各スイッチング素子に出力するように前記パルス出力回路に指示することにより、前記発振回路から出力される前記電圧の周波数および出力時間比を制御してもよい。

[0193] 上記側面によると、前記制御回路は、前記制御誤差情報が示す誤差が所定の範囲内に納まるように前記位相ずれ量を所定の値ずつ変化させる第1の動作と、第1の動作完了後、前記入力検出回路の検出結果が示す値が最小値に近づくように前記周波数を所定の値だけ変化させる第2の動作とを繰り返してもよい。

[0194] 上記側面によると、前記制御回路は、前記第2の動作を実行した後、前記位相ずれ量を変化させずに前記制御誤差情報を再度取得し、前記制御誤差情報が示す誤差が前記所定の範囲内にないとき、前記位相ずれ量の値を初期値として前記第1の動作を再度実行してもよい。

[0195] 上記側面によると、前記制御回路は、前記第2の動作において前記周波数を変更する際、少なくとも前回および前々回の前記位相ずれ量に基づいて決定される値に前記位相ずれ量を変更して前記制御誤差情報を再度取得し、前記制御誤差情報が示す誤差が前記所定の範囲内にないとき、変更後の前記位相ずれ量の値を初期値として前記第1の動作を再度実行してもよい。

[0196] 上記側面によると、前記制御回路は、各スイッチング素子に入力する前記パルスのデューティ比を変化させるように前記パルス出力回路を制御することにより、前記発振回路から出力される前記電圧の出力時間比を変化させてもよい。

[0197] 上記側面によると、前記調整回路は、前記発振回路に入力される直流電圧の大きさを変化させるDC／DCコンバータをさらに有し、前記制御回路は、前記DC／DCコンバータから出力される電圧を変化させることによって前記発振回路から出力される前記電圧の振幅を変化させてもよい。

[0198] なお、上記の側面は、無線電力伝送システムの送電装置として実現されてもよい。

[0199] なお、上記の側面は、無線電力伝送システムの送電装置に搭載されたコン

ピュータによって実行されるコンピュータプログラムとして実現されてもよい。

産業上の利用可能性

[0200] 本開示の技術は、例えばスマートフォンやタブレット端末、ノートPCなどの電子機器や、電気自動車などの電動機械に充電を行う充電システムに利用可能である。

符号の説明

- [0201] 1 0 0 0 送電装置
 1 0 0 1 発振回路
 1 0 0 2 入力検出回路
 1 0 0 3 位相制御部
 1 0 0 4 最適位相検出部
 1 0 0 5 周波数制御部
 1 0 0 6 最適周波数検出部
 1 0 0 7 パルス出力回路
 1 0 1 0 送受電アンテナ
 1 0 2 0 受電装置
 1 0 2 1 整流回路
 1 0 2 2 出力検出回路
 1 0 2 2 a 出力電圧検出回路
 1 0 2 2 b 出力電流検出回路
 1 0 2 3 通信回路
 1 0 2 4 誤差算出回路
 1 0 3 0 DC電源
 1 0 4 0 負荷
 1 1 0 3 受信回路
 1 1 0 5 制御誤差判定部
 1 1 0 6 最適制御判定部

- 1 2 0 3 デューティ制御部
- 1 2 0 4 最適デューティ検出部
- 1 3 0 3 電圧制御部

請求の範囲

- [請求項1] 直流電源から供給される直流電力の高電位側に接続された第1スイッチング素子と前記直流電力の低電位側に接続された第2スイッチング素子とを有し、前記第1スイッチング素子と接続された第1出力端と前記第2スイッチング素子と接続された第2出力端を介して、前記直流電力から変換された交流電力を出力する発振回路と、
- 前記発振回路から出力された前記交流電力を、受電装置の負荷に出力するために送出する送電アンテナと、
- 前記受電装置の要求電圧、要求電流または要求電力の少なくとも1つを示す規定値を保持するメモリと、
- 前記受電装置の負荷に供給されている電圧、電流または電力の少なくとも1つを受信する受信回路と、
- 前記第1スイッチング素子と前記第2スイッチング素子とを用いて、前記発振回路の前記第1出力端の電圧と前記第2出力端の電圧とを同電位にする時間を変えて前記発振回路から出力される交流電力の電圧の出力時間比を変更し、
- 前記発振回路から出力される交流電力の電圧の周波数を変えて前記交流電力の効率が最大となる交流電力の周波数を決定し、
- 前記受信した電圧、電流または電力の少なくとも1つを前記規定値の範囲に収束させ、前記効率が最大の交流電力を前記負荷に出力する制御回路と、
- を具備した送電装置。
- [請求項2] 前記受信回路は、前記受電装置から、前記要求電圧、前記要求電流または前記要求電力の少なくとも1つを示す前記規定値を受信し、
- 前記制御回路は、前記受信した規定値を前記メモリに格納する、
- 請求項1記載の送電装置。
- [請求項3] 前記制御回路は、
- 前記発振回路から出力される交流電力の周波数を高周波から低周波

に変化させて前記交流電力の効率が最大となる交流電力の周波数を決定する、

請求項 1 または請求項 2 のいずれかに記載の送電装置。

[請求項4] 前記効率が最大となる交流電力が決定された際の前記交流電力の周波数において

前記発振回路から出力される交流電力の電圧の出力時間比を変更する、

請求項 3 記載の送電装置。

[請求項5] 前記制御回路は、前記交流電力の電圧の出力時間比を変更して、前記負荷に供給される電圧を前記規定値に収束させた後、前記交流電力の電圧の周波数を変えて前記交流電力の効率が最大となる交流電力の周波数を決定する、

請求項 1 から 3 のいずれかに記載の送電装置。

[請求項6] 前記受信回路は、前記負荷に出力された交流電力、前記負荷に出力された交流電力の電圧、電流又は電力の少なくとも一つと、前記規定値との誤差を示す誤差情報を、前記受電装置から受信し、

前記制御回路は、前記誤差情報が示す前記誤差を用いて、前記受信した電圧、電流又は電力の少なくとも 1 つを前記規定値の範囲に収束させる、

請求項 1 から 5 のいずれかに記載の送電装置。

[請求項7] 前記発振回路は、

前記第 1 出力端と前記第 2 出力端が前記送電アンテナに接続され、前記直流電源の電圧の高い側に接続された 2 つの前記第 1 スイッチング素子と低い側に接続された 2 つの前記第 2 スイッチング素子の 4 つスイッチング素子からなり、前記制御回路から供給されるパルスに応じて前記スイッチング素子の導通状態を変化させて、前記直流エネルギーを前記交流エネルギーに変換する発振回路であって、

前記 4 つのスイッチング素子は、前記直流電力と同じ極性の電圧を

導通時に出力する前記第1スイッチング素子と前記第2スイッチング素子からなるスイッチング素子対、および前記直流電力と逆の極性の電圧を導通時に出力する前記第1スイッチング素子と前記第2スイッチング素子からなるスイッチング素子対によって構成され、前記スイッチング素子対の2つの前記第1スイッチング素子と前記第2スイッチング素子に前記制御回路から供給される前記パルスの位相差を変更し、前記発振回路から出力される交流電力の電圧の前記出力時間比を変える、

請求項1から6のいずれかに記載の送電装置。

[請求項8] 請求項1から7のいずれかーに記載の送電装置と、前記受電装置とを有する、

無線電力伝送システム。

[請求項9] 直流電源から供給される直流電力の高電位側に接続された第1スイッチング素子と前記直流電力の低電位側に接続された第2スイッチング素子とを有し、前記第1スイッチング素子と接続された第1出力端と前記第2スイッチング素子と接続された第2出力端を介して、前記直流電力から変換された交流電力を出力する発振回路と、

前記直流電源から前記発振回路に供給される直流電力の電流値を検出する入力検出回路と、

前記発振回路から出力された前記交流電力を、受電装置の負荷に出力するために送出する送電アンテナと、

前記受電装置の要求電圧、または要求電流または要求電力の少なくとも1つを示す規定値を保持するメモリと、

前記受電装置の負荷に供給されている電圧または電流のいずれか一つを継続して受信する受信回路と、

前記第1スイッチング素子と前記第2スイッチング素子とを用いて、前記発振回路の前記第1出力端の電圧と前記第2出力端の電圧とを同電位にする時間を変えて前記発振回路から出力される交流電力の電

圧の出力時間比を変更し、前記継続して受信した電圧または電流のいずれか一つを前記規定値の範囲に収束させ、前記直流電源から前記発振回路に供給される直流電力の電流値が最小となる交流電力の周波数を決定し、

前記要求電力を前記直流電力の電流値が最小となる交流電力で除算した値に対応する効率を有する交流電力を、前記効率が最大の交流電力として前記負荷に出力する制御回路と、

を具備した送電装置。

[請求項10]

前記発振回路は、

前記第1出力端と前記第2出力端が前記送電アンテナに接続され、前記直流電源の電圧の高い側に接続された2つの前記第1スイッチング素子と低い側に接続された2つの前記第2スイッチング素子の4つスイッチング素子からなり、前記制御回路から供給されるパルスに応じて前記スイッチング素子の導通状態を変化させて、前記直流エネルギーを前記交流エネルギーに変換する発振回路であって、

前記4つのスイッチング素子は、前記直流電源と同じ極性の電圧を導通時に出力する前記第1スイッチング素子と前記第2スイッチング素子からなるスイッチング素子対、および前記直流電力と逆の極性の電圧を導通時に出力する前記第1スイッチング素子と前記第2スイッチング素子からなるスイッチング素子対によって構成され、前記スイッチング素子対の2つの前記第1スイッチング素子と前記第2スイッチング素子に前記制御回路から供給される前記パルスの位相差を変更し、前記発振回路から出力される交流電力の電圧の前記出力時間比を変える、

請求項9に記載の送電装置。

[請求項11]

請求項9または請求項10のいずれかに記載の送電装置と、前記受電装置とを有する、

無線電力伝送システム。

[請求項12] 第1スイッチング素子と接続された第1出力端と第2スイッチング素子と接続された第2出力端を介して、直流電源から供給される直流電力から変換された交流電力を出力する発振回路と、

前記発振回路から出力された前記交流電力を、受電装置の負荷に出力するために送出する送電アンテナと、

前記受電装置の要求電圧、要求電流または要求電力の少なくとも1つを示す規定値を保持するメモリと、

前記受電装置の負荷に供給されている電圧、電流または電力の少なくとも1つを受信する受信回路と、

前記第1スイッチング素子と前記第2スイッチング素子とを用いて、前記発振回路の前記第1出力端の電圧と前記第2出力端の電圧とを同電位にする時間を変えて前記発振回路から出力される交流電力の電圧の出力時間比を変更し、

前記発振回路から出力される交流電力の電圧の周波数を変えて前記交流電力の効率が最大となる交流電力の周波数を決定し、

前記受信した電圧、電流または電力の少なくとも1つを前記規定値の範囲に収束させ、前記効率が最大の交流電力を前記負荷に出力する制御回路と、

を具備した送電装置。

[請求項13] 第1スイッチング素子と接続された第1出力端と第2スイッチング素子と接続された第2出力端を介して、直流電源から供給される直流電力から変換された交流電力を出力する発振回路と、前記発振回路から出力された前記交流電力を、受電装置の負荷に出力するために送出する送電アンテナと、前記受電装置の要求電圧、要求電流または要求電力の少なくとも1つを示す規定値を保持するメモリと、前記受電装置の負荷に供給されている電圧、電流または電力の少なくとも1つを受信する受信回路と、を備えた送電装置において実行されるプログラムであって、

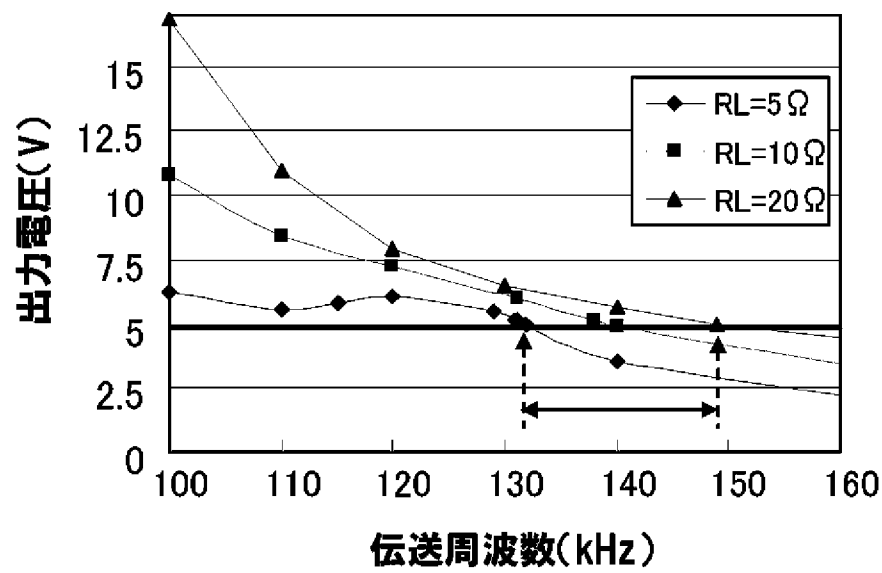
前記送電装置のコンピュータに対して、

前記第1スイッチング素子と前記第2スイッチング素子とを用いて、前記発振回路の前記第1出力端の電圧と前記第2出力端の電圧とを同電位にする時間を変えて前記発振回路から出力される交流電力の電圧の出力時間比を変更させる処理と、

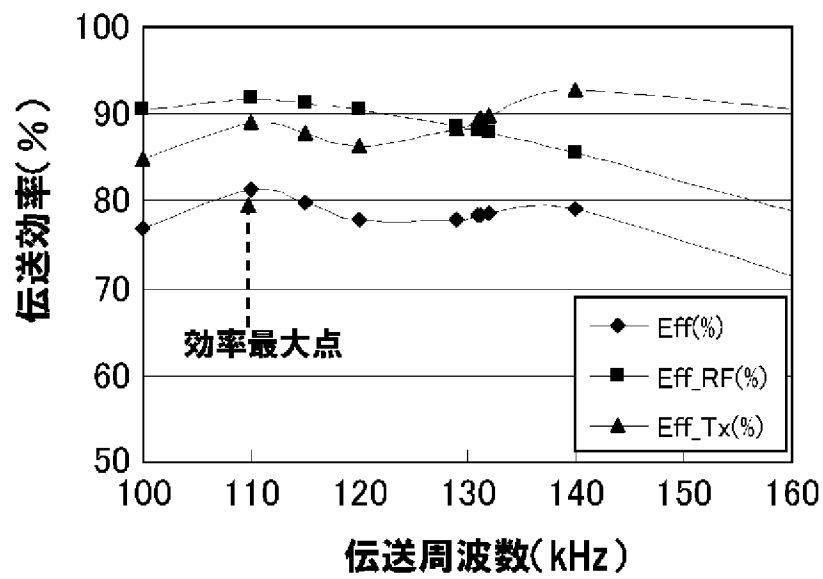
前記発振回路から出力される交流電力の電圧の周波数を変えて前記交流電力の効率が最大となる交流電力の周波数を決定させる処理と、

前記受信した電圧、電流または電力の少なくとも1つを前記規定値の範囲に収束させ、前記効率が最大の交流電力を前記負荷に出力させる処理と、を実行させるプログラム。

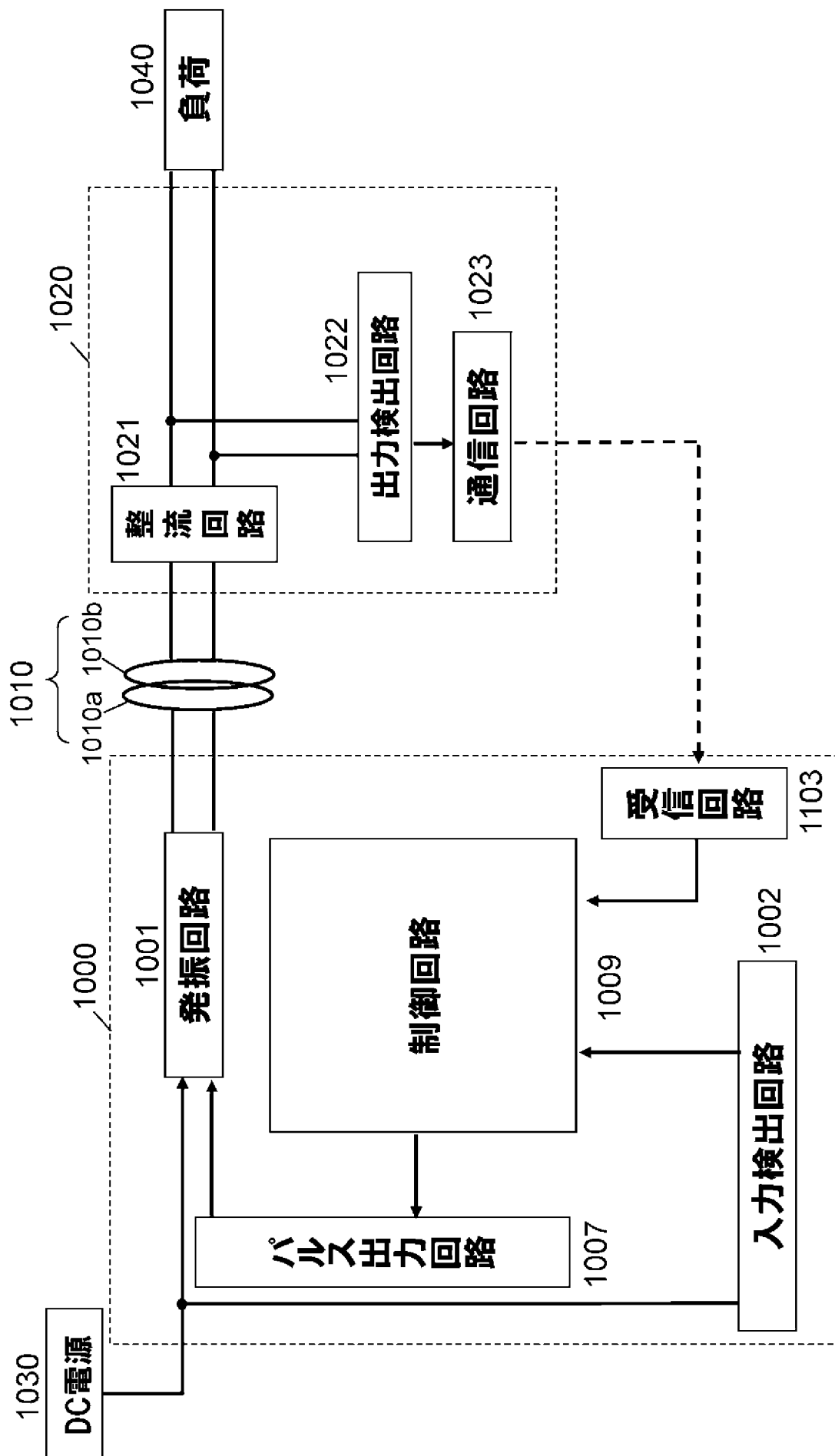
[図1A]



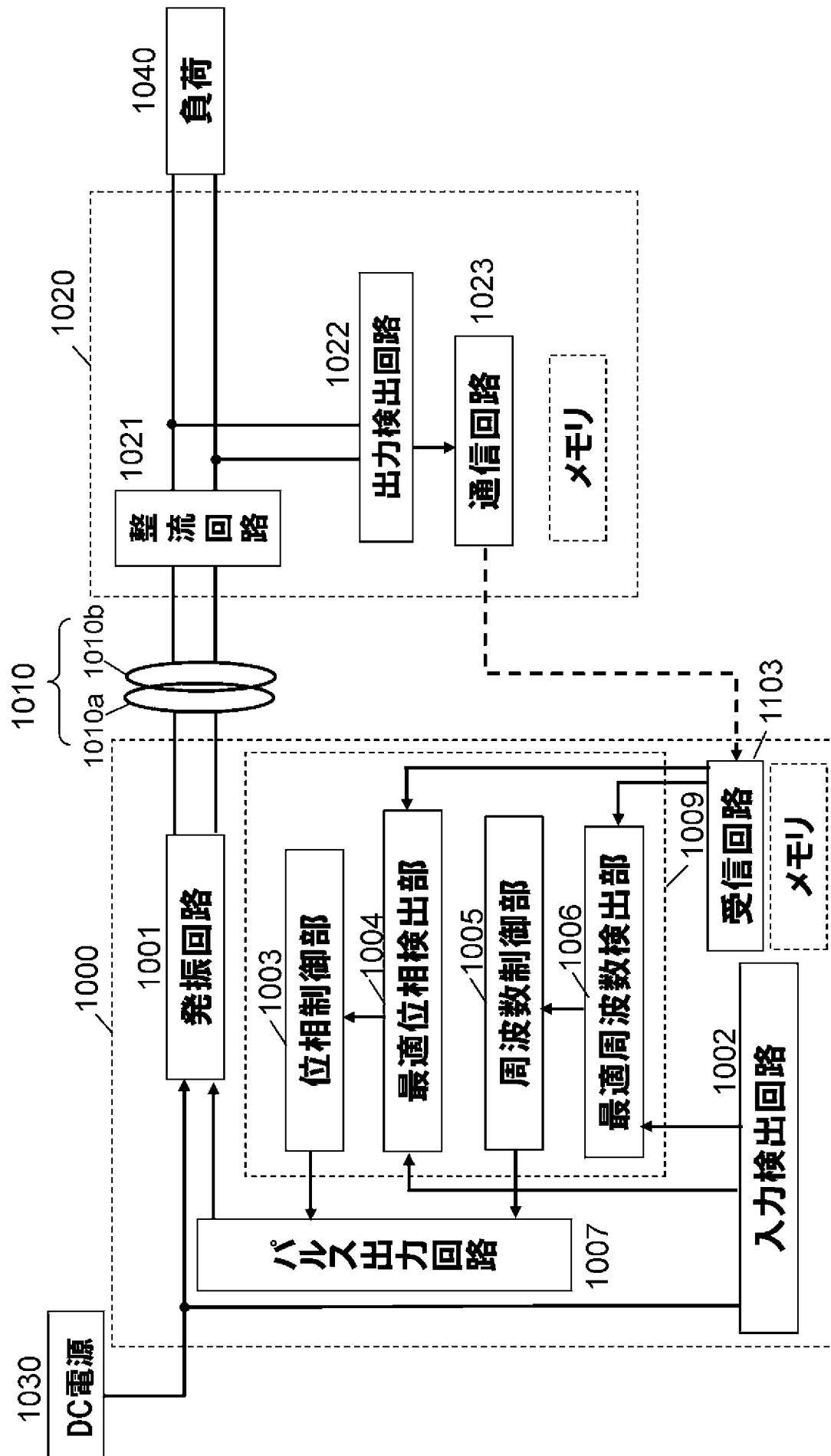
[図1B]



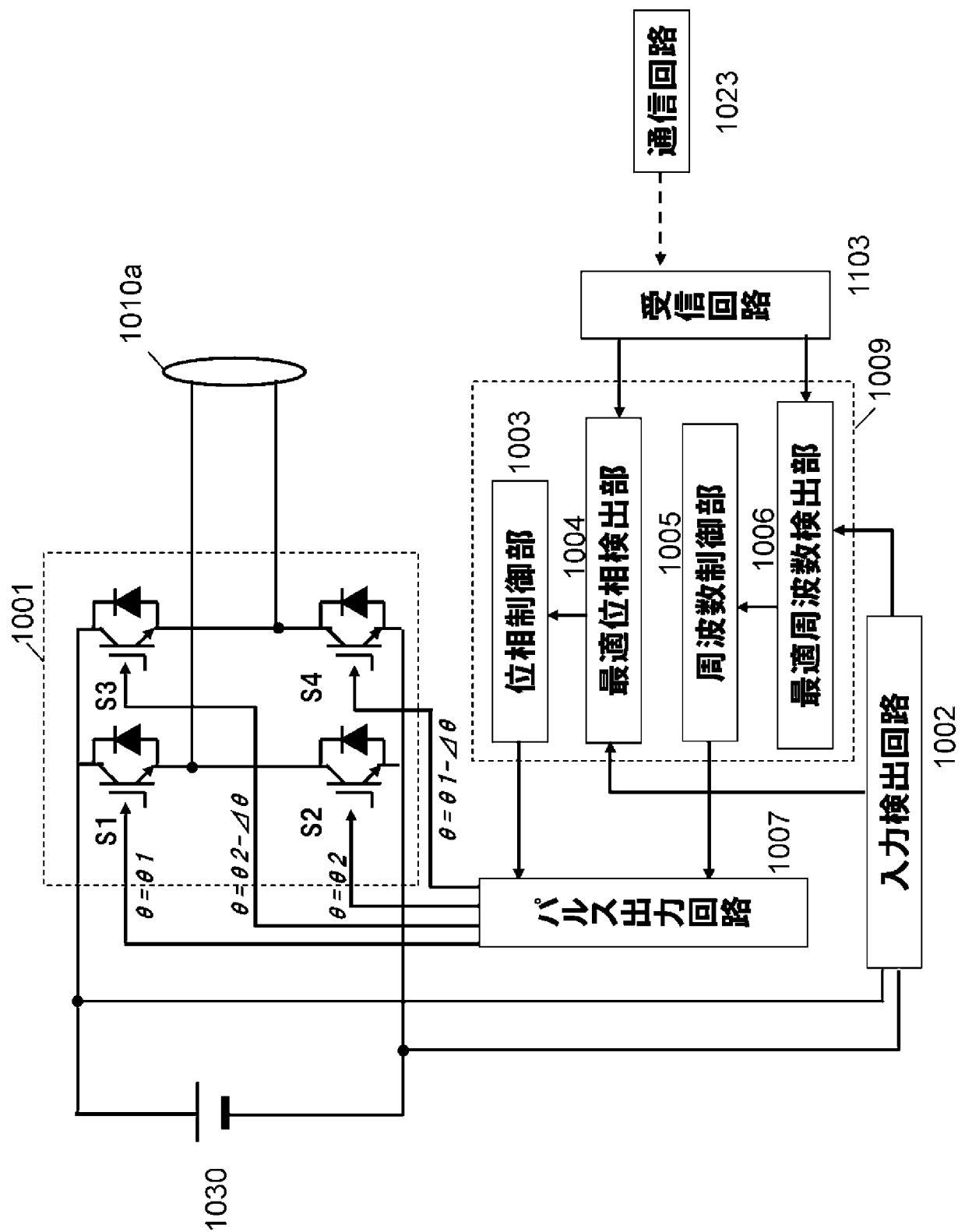
[図2A]



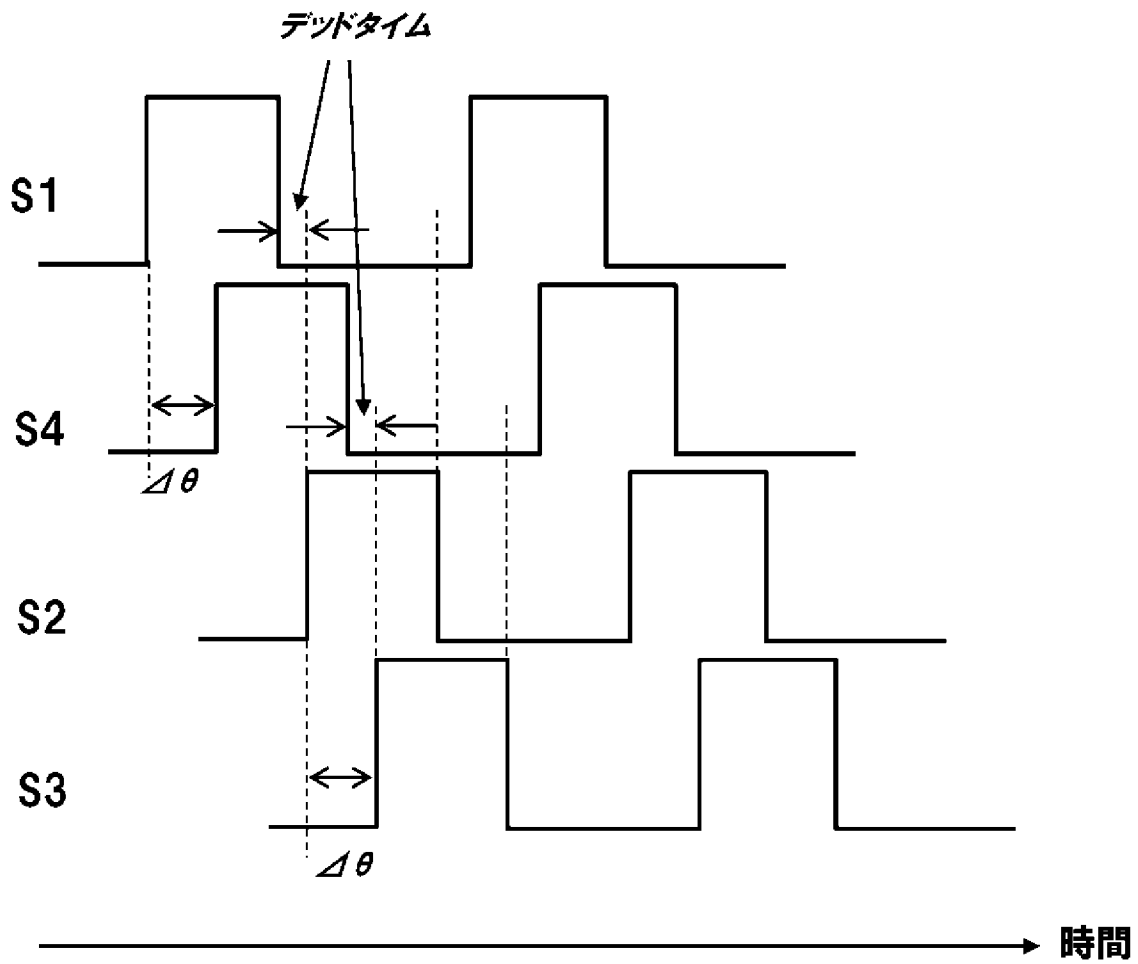
[図2B]



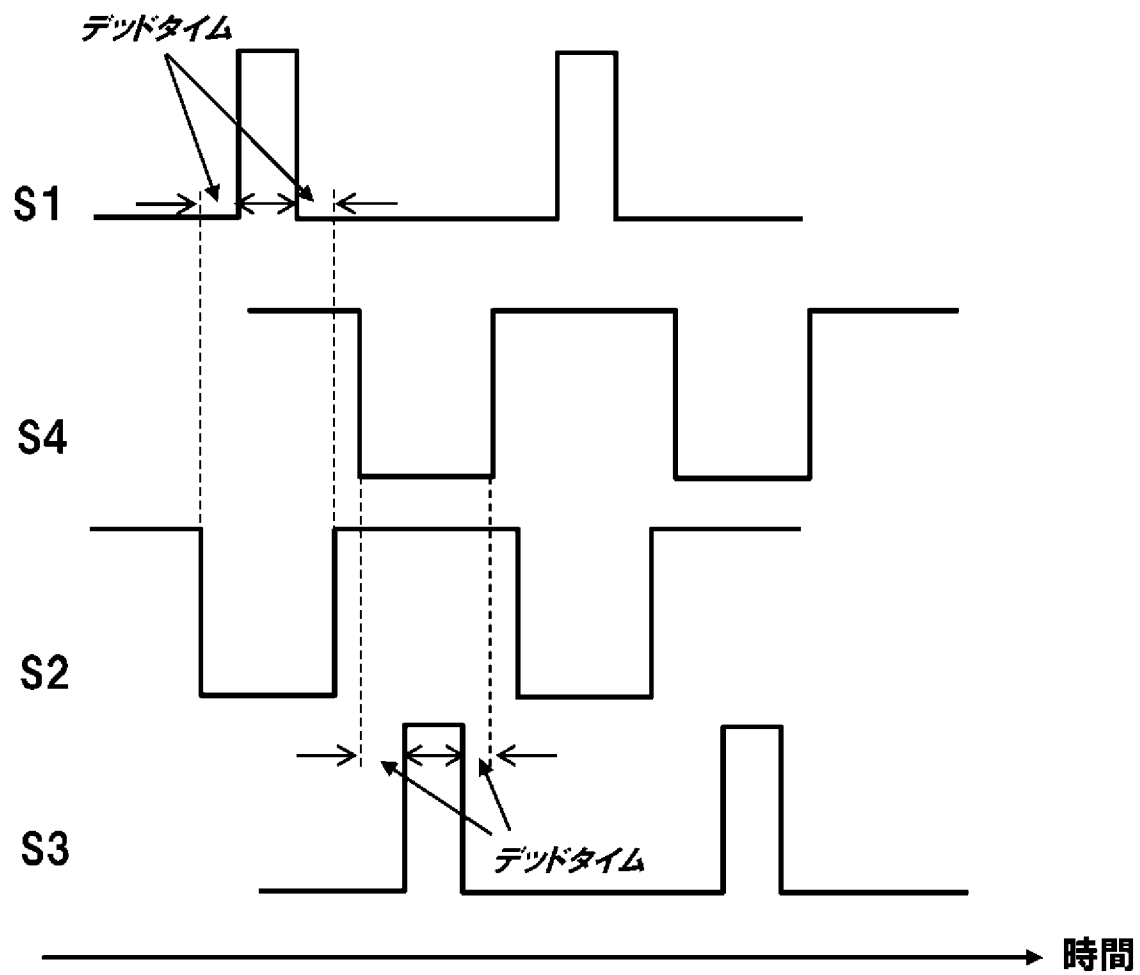
[図3]



[図4A]

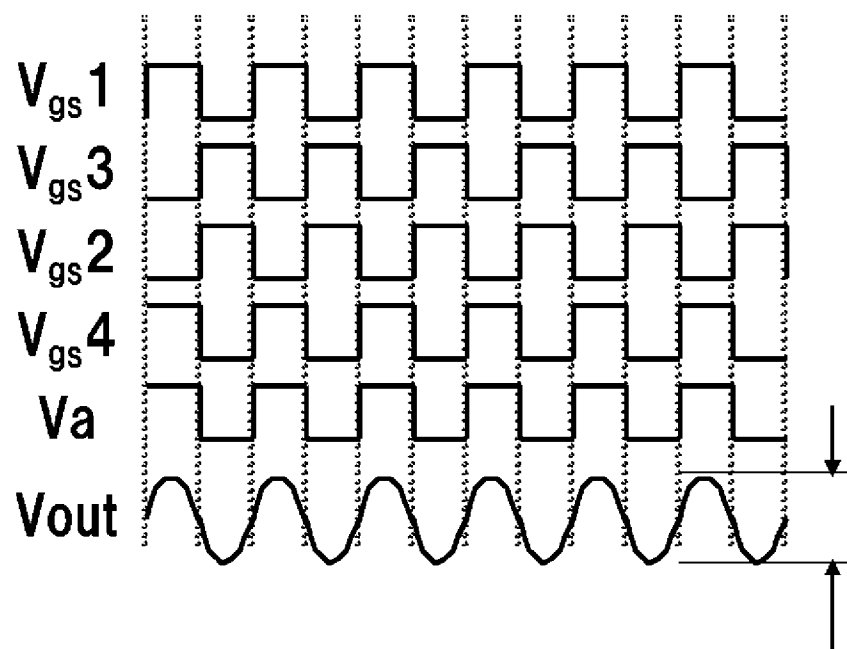


[図4B]

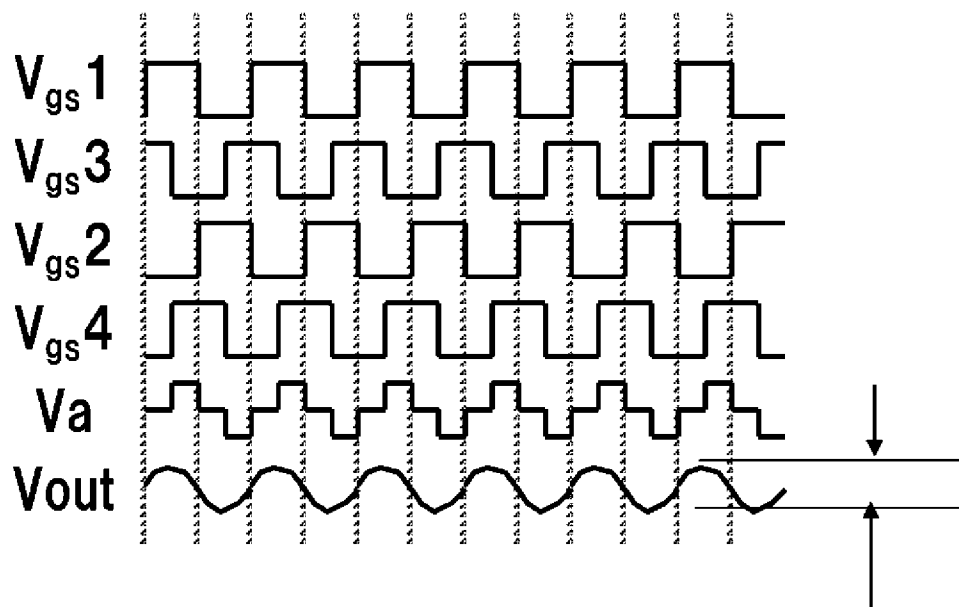


[図5A]

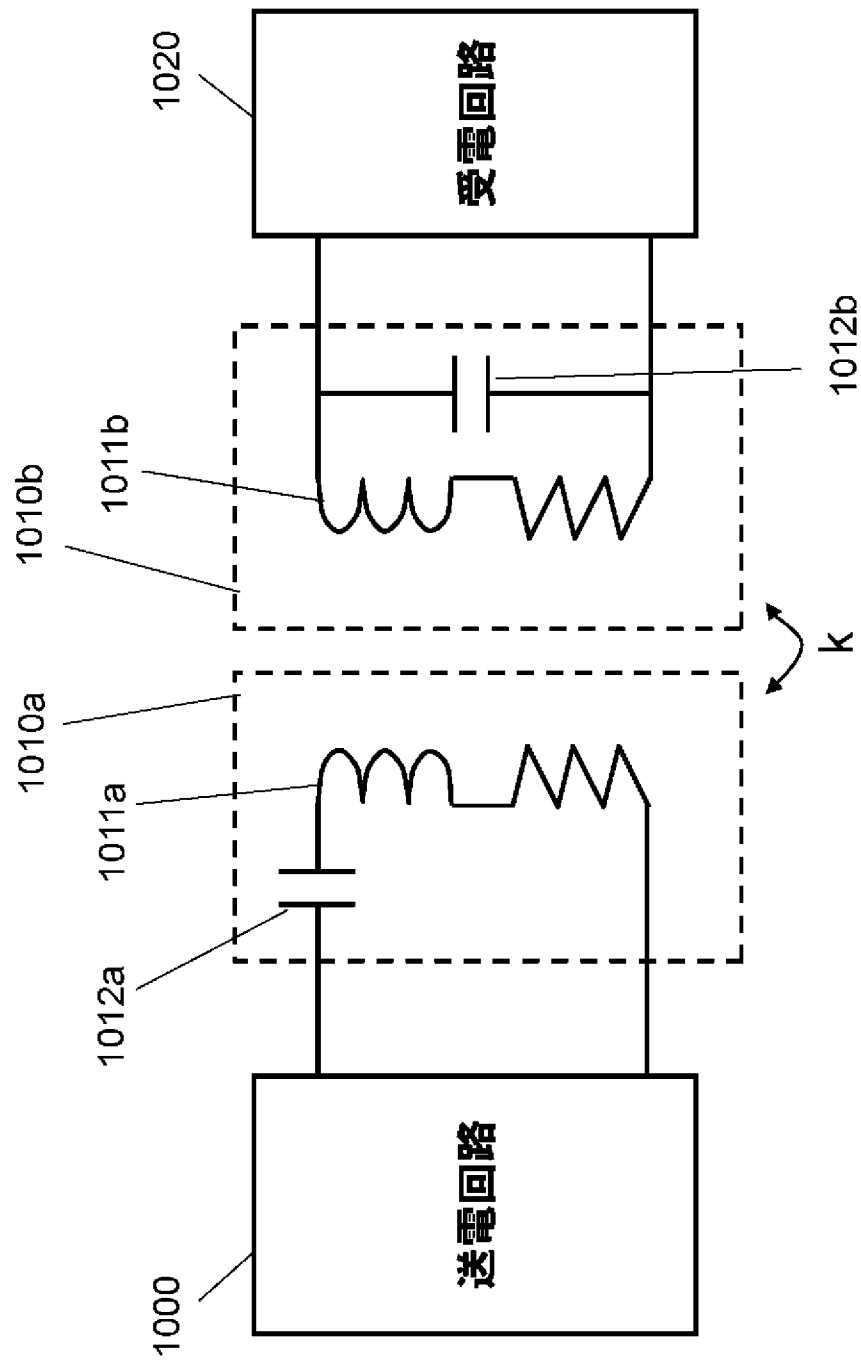
位相ずれなし



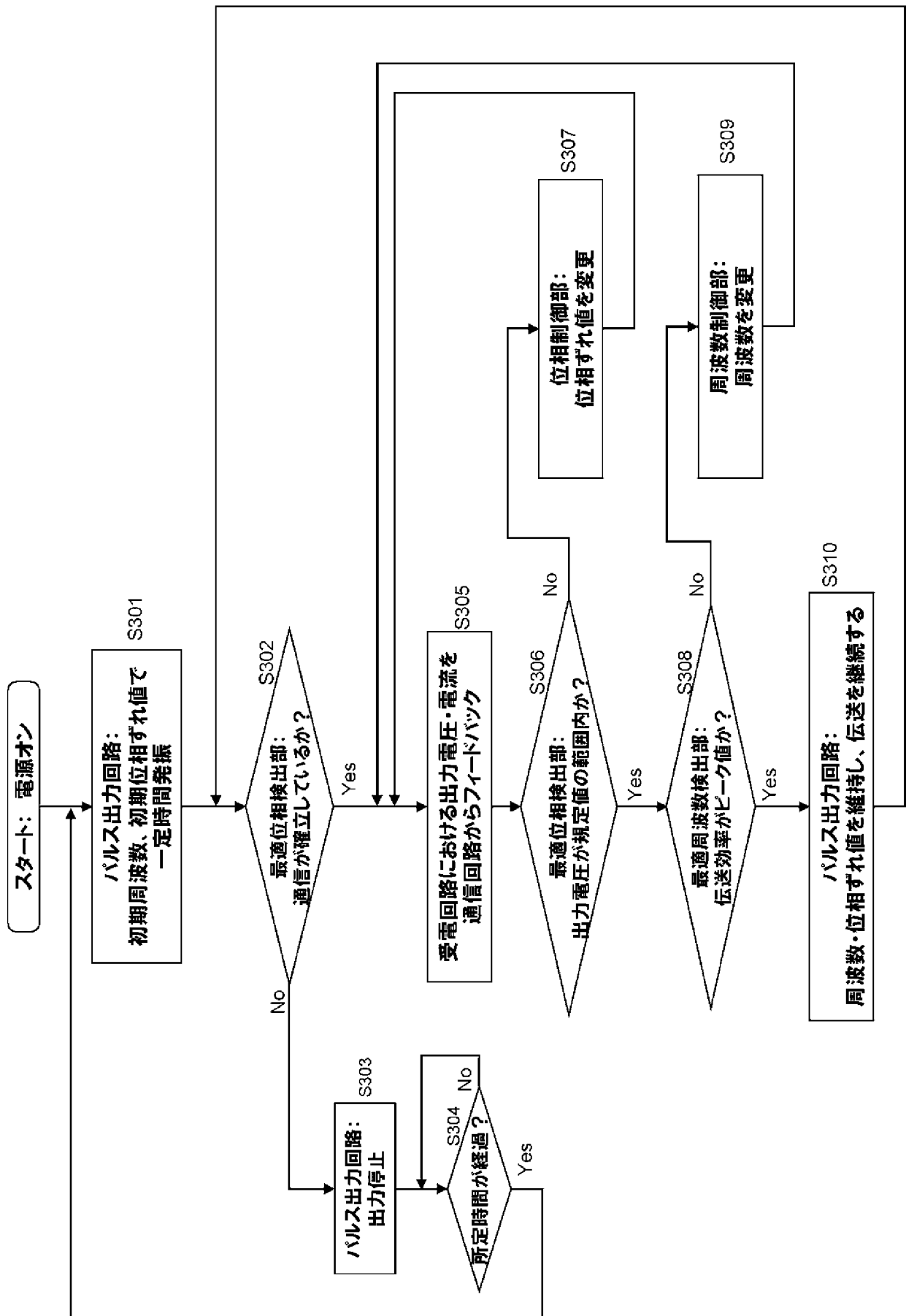
[図5B]

位相が90度ずれ

[図6]



[図7]



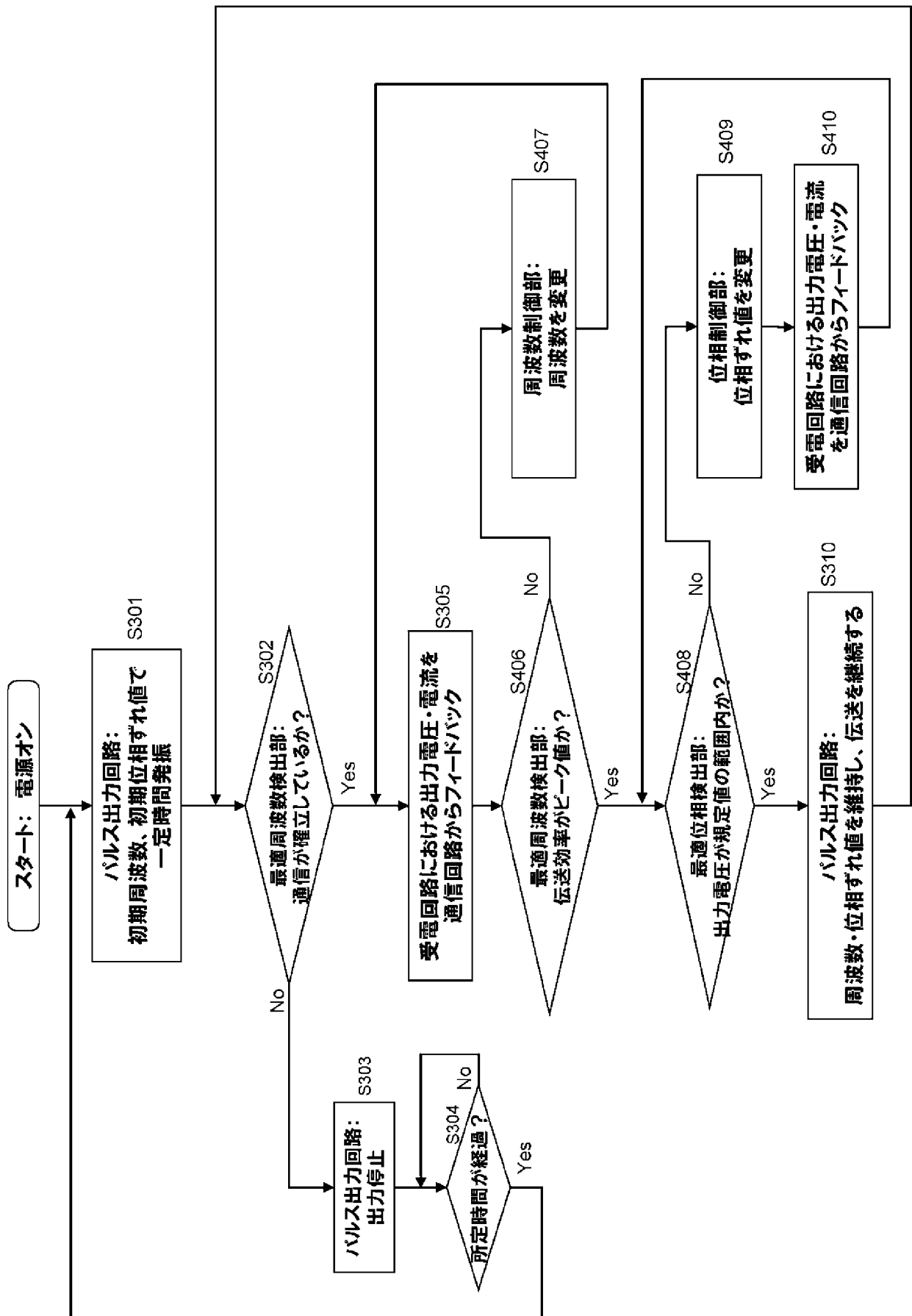
[図8]

負荷インピーダンス	周波数	位相ずれ値	出力電圧
Z1	f1	$\Delta\theta_{11}$	V11
		$\Delta\theta_{12}$	V12
		.	.
	f2	$\Delta\theta_{21}$	V21
Z2	f1	$\Delta\theta_{22}$	V22
		.	.
		.	.
	f2	.	.

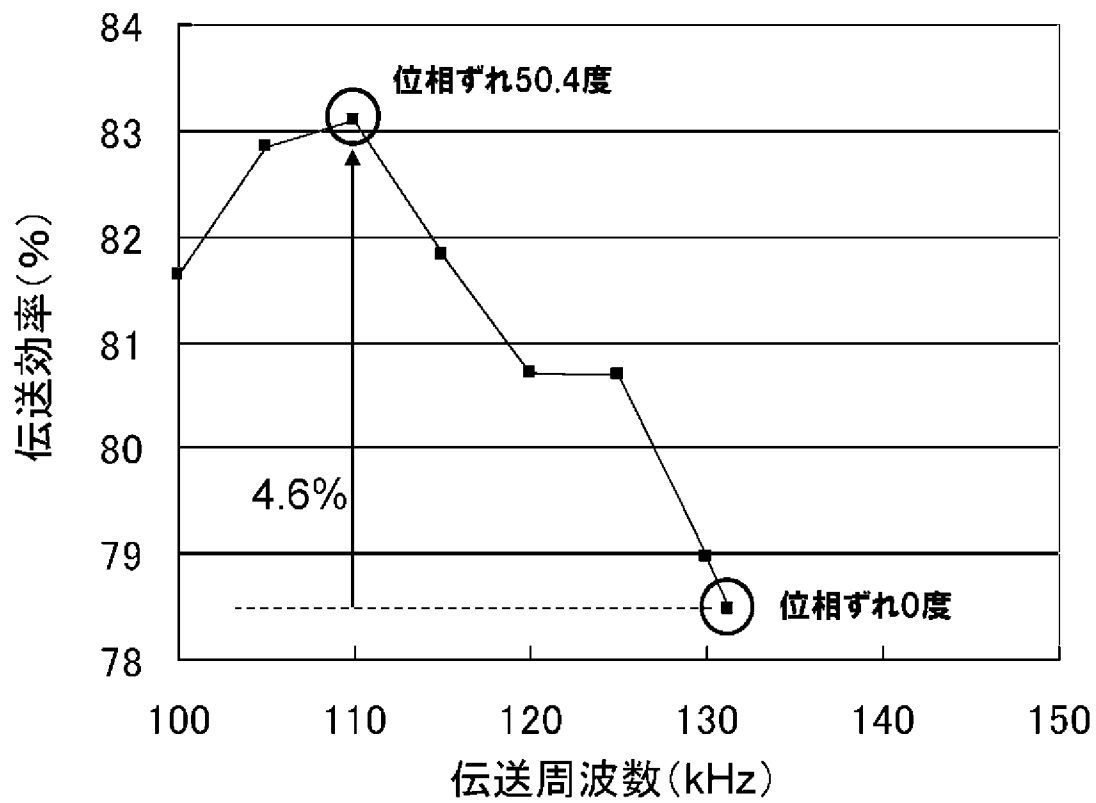
[図9]

負荷インピーダンス	周波数	伝送効率
Z1	f1	η_{11}
	f2	η_{12}
	f3	η_{13}
	.	.
	.	.
Z2	f1	η_{21}
	f2	η_{22}
	f3	η_{23}
	.	.
	.	.

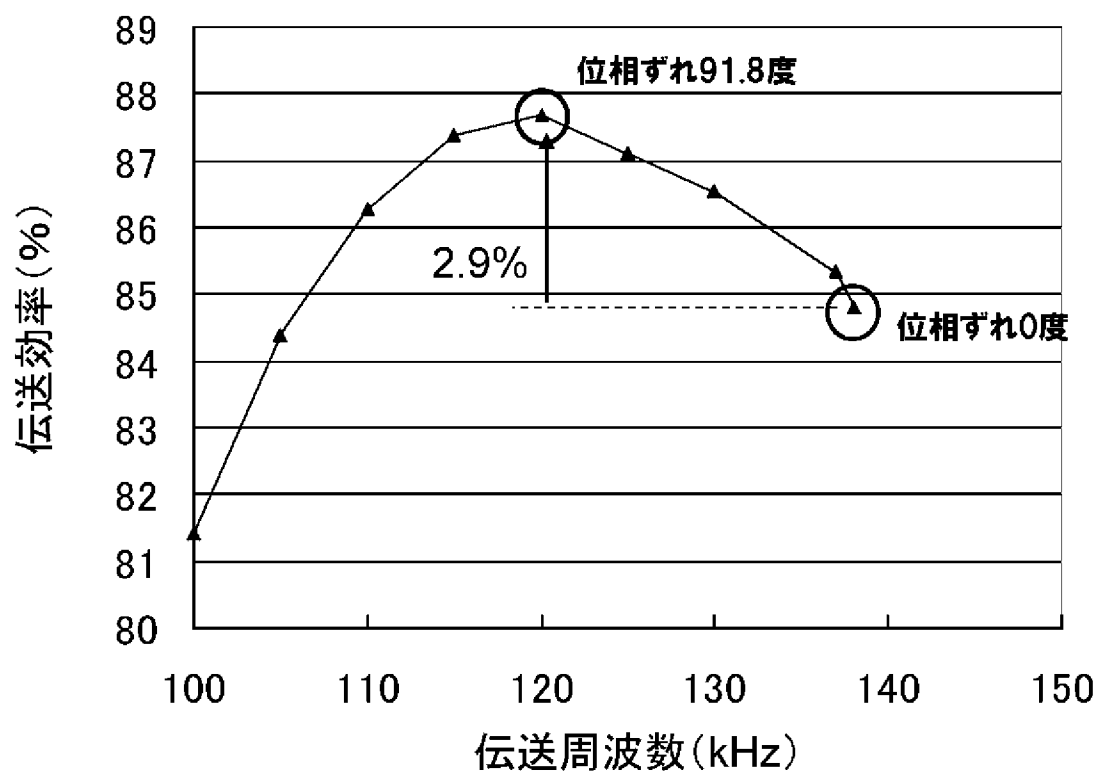
[図10]



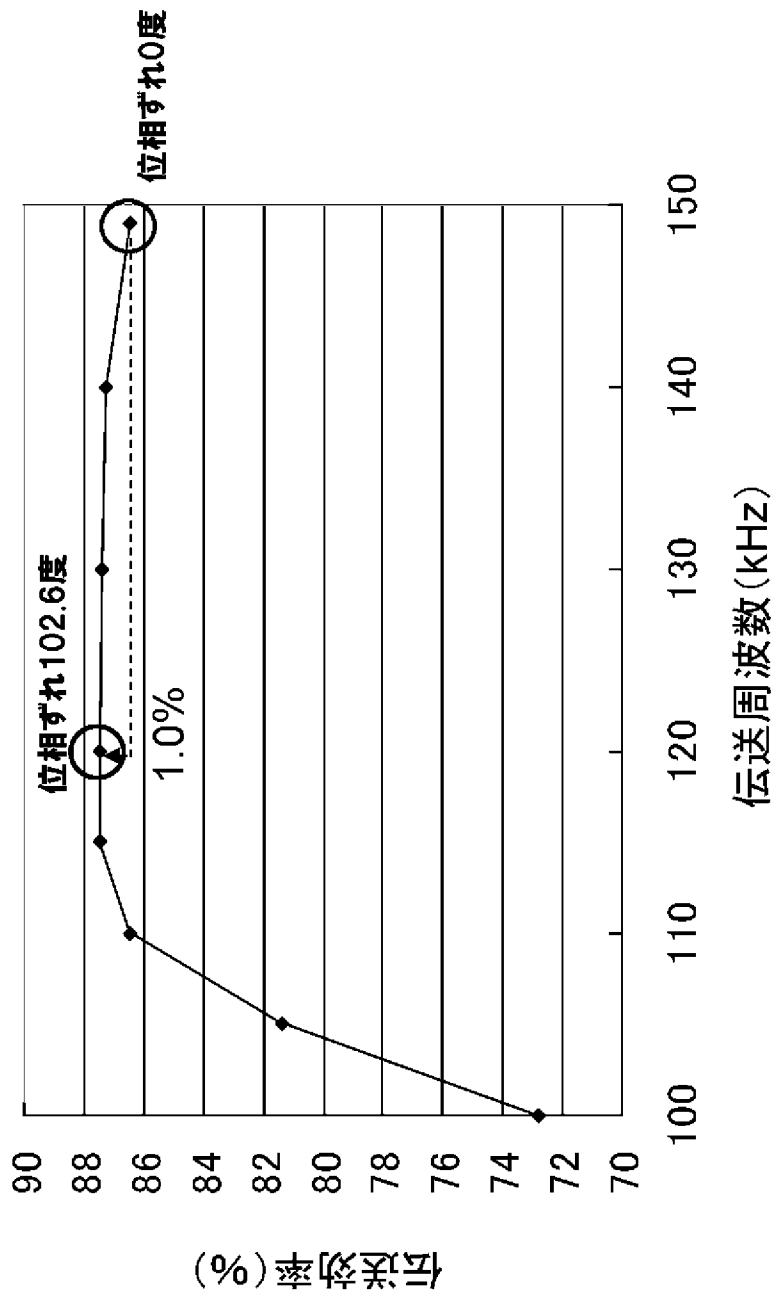
[図11A]



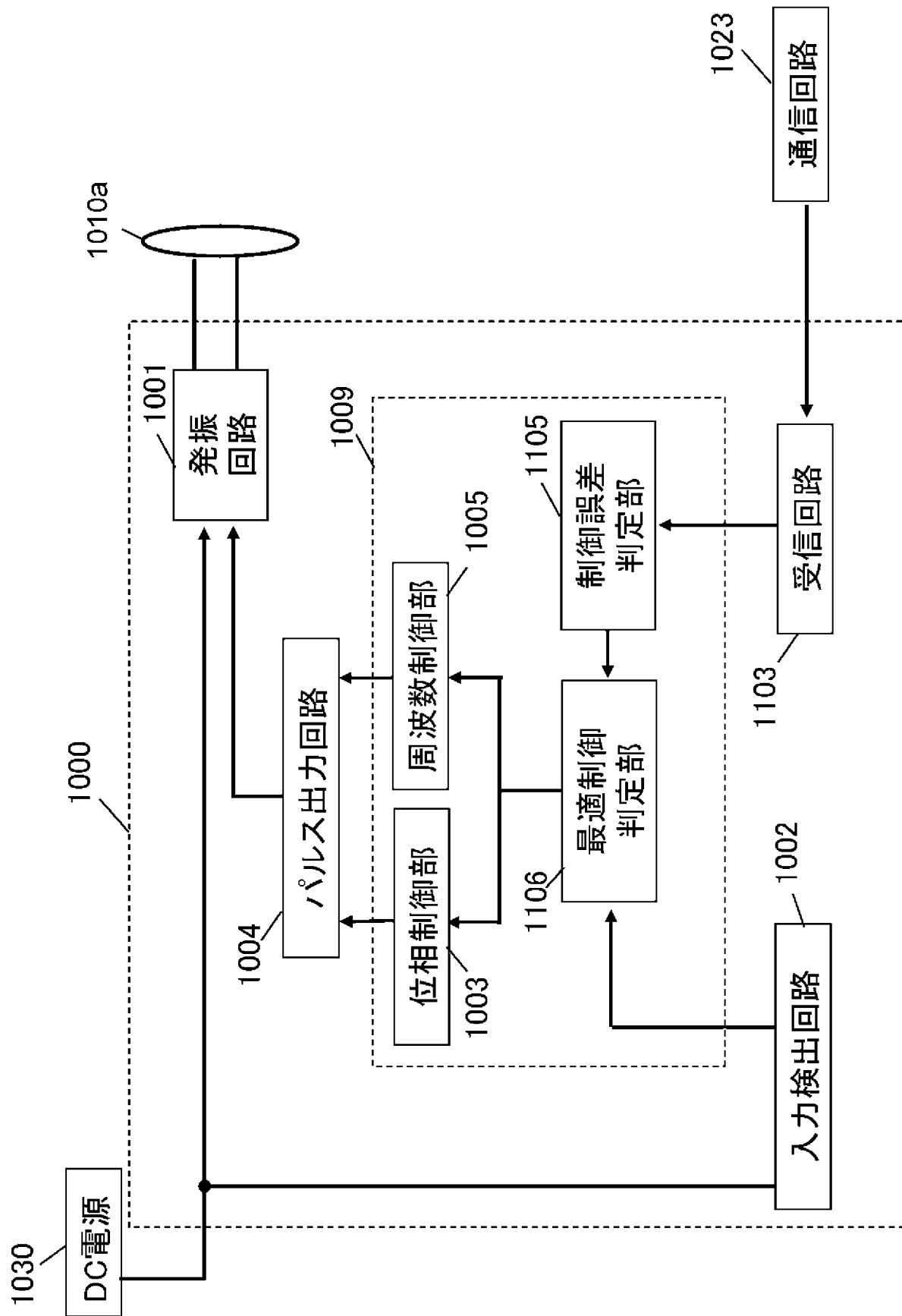
[図11B]



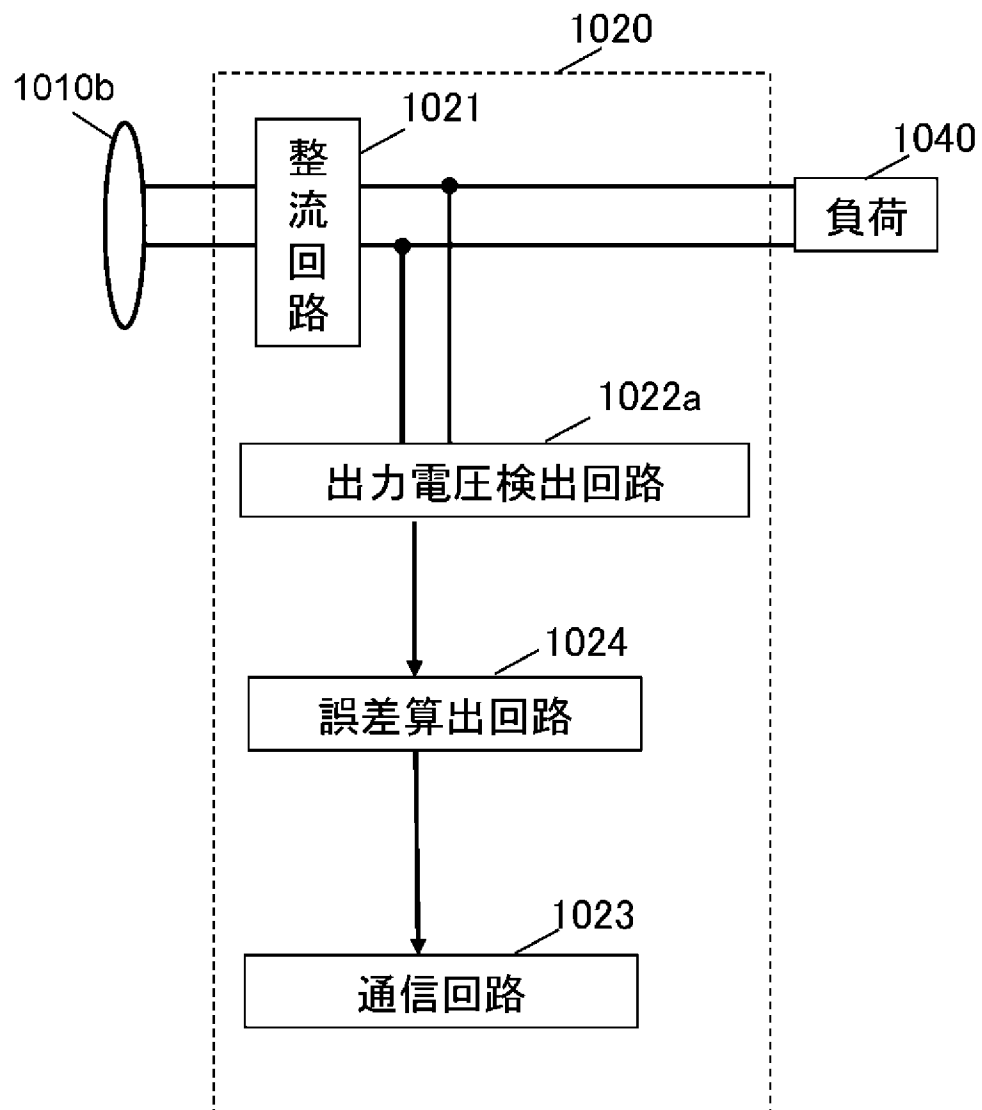
[図11C]



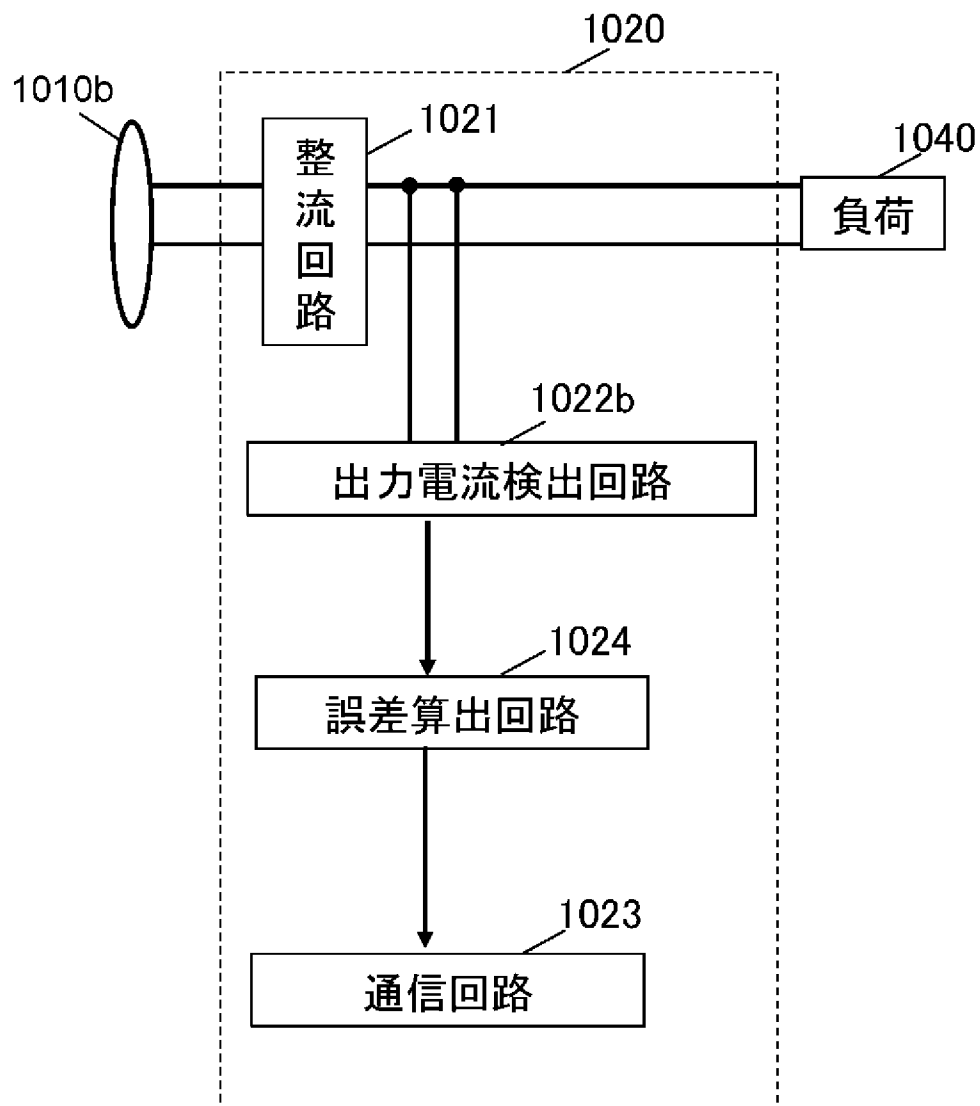
[図13]



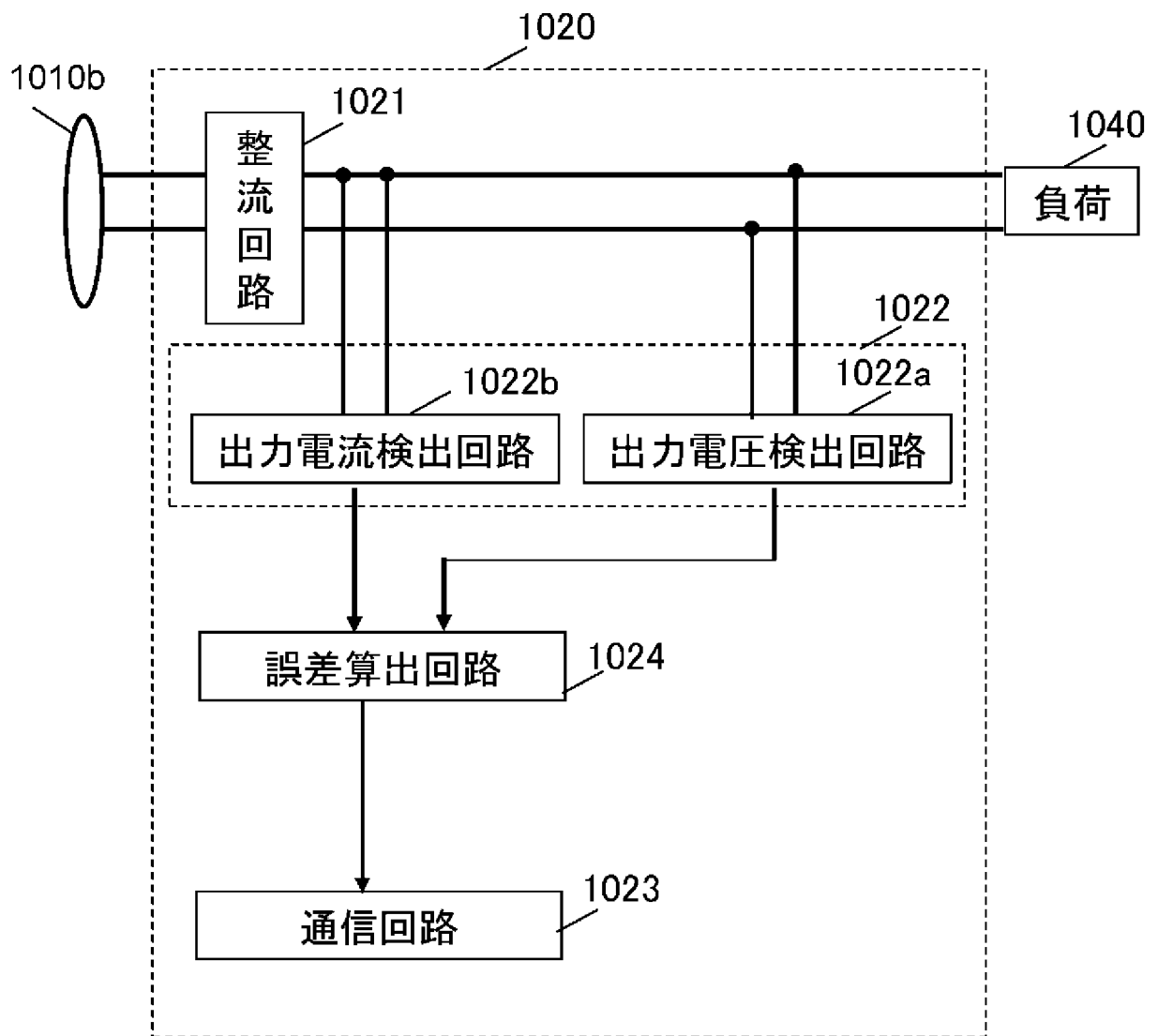
[図14A]



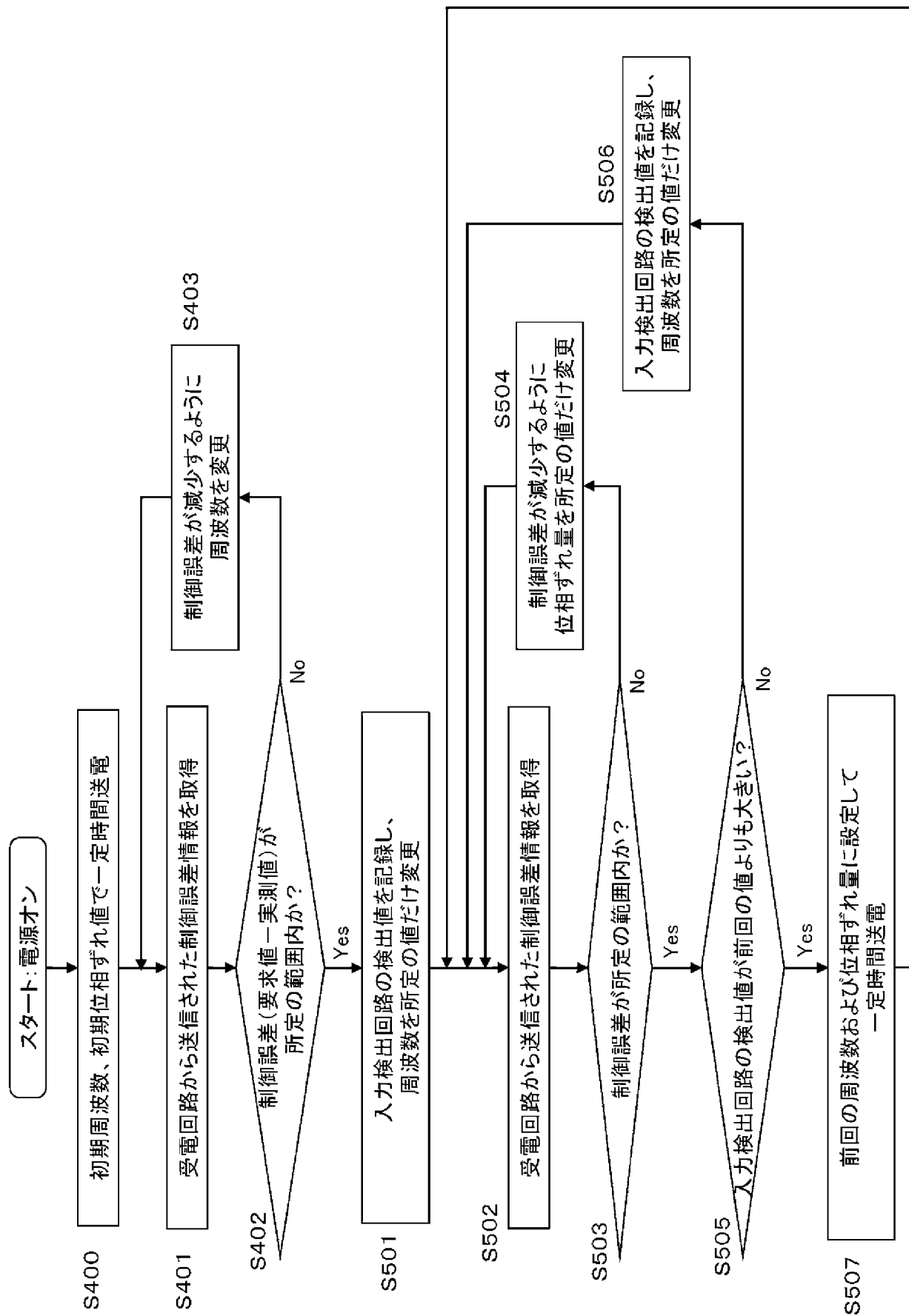
[図14B]



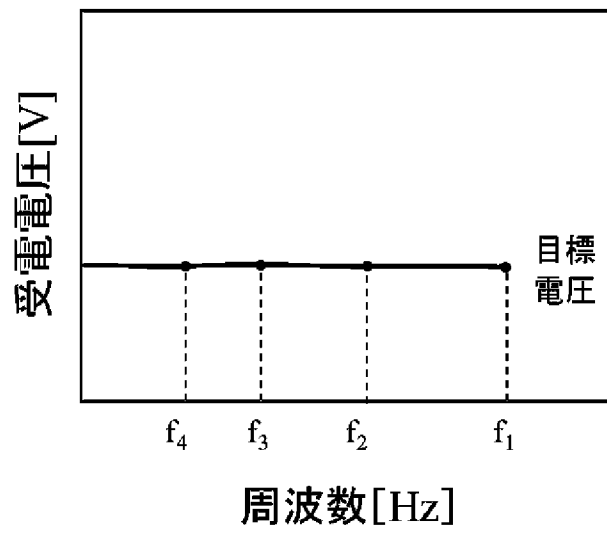
[図14C]



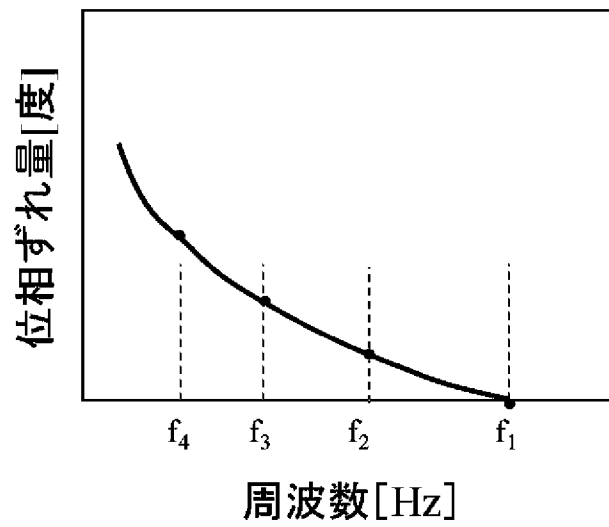
[図15]



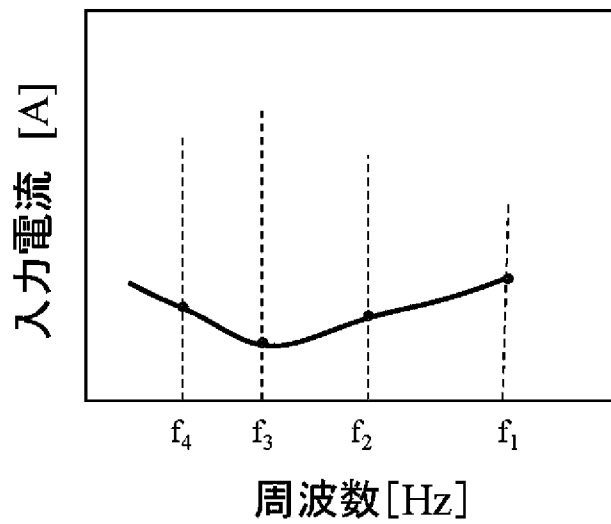
[図16A]



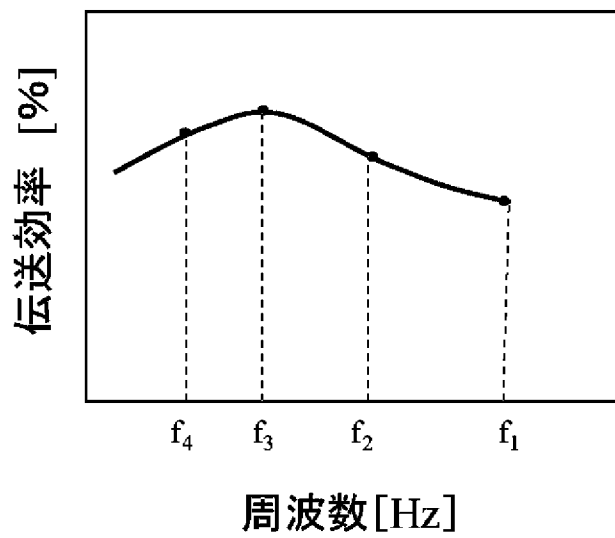
[図16B]



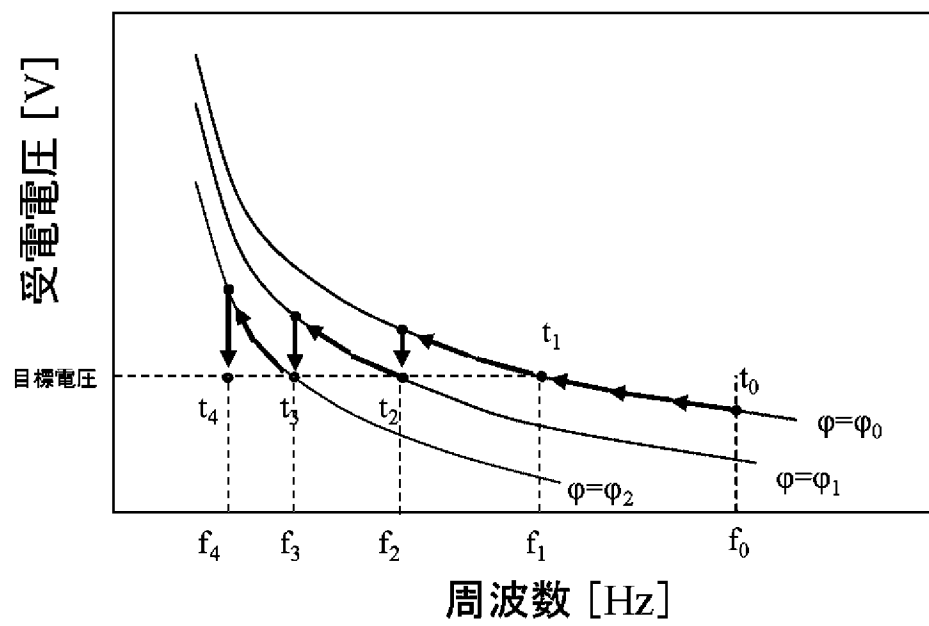
[図16C]



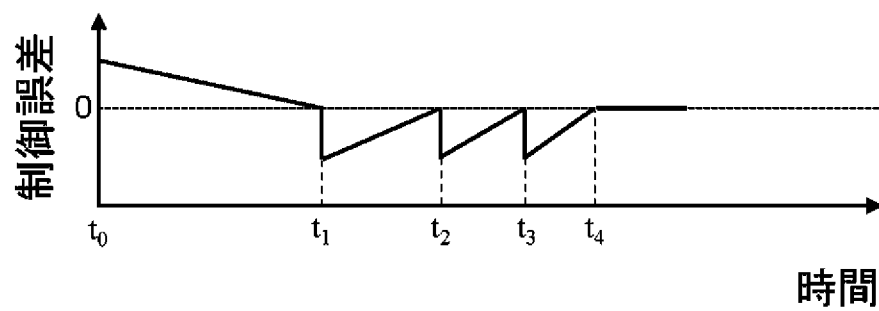
[図16D]



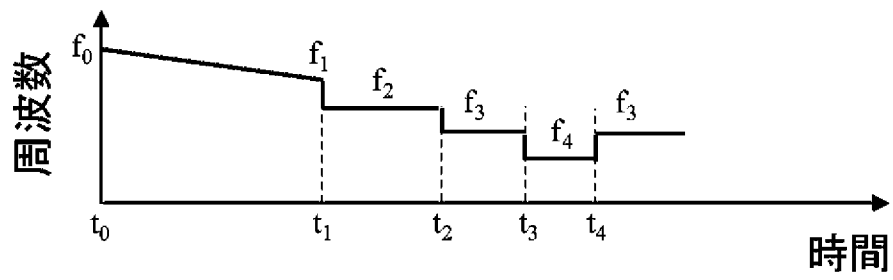
[図17]



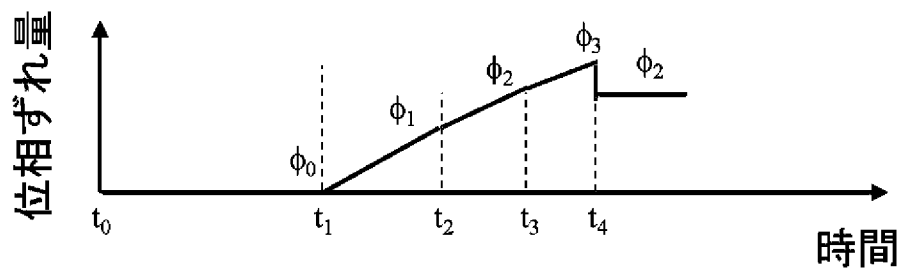
[図18A]



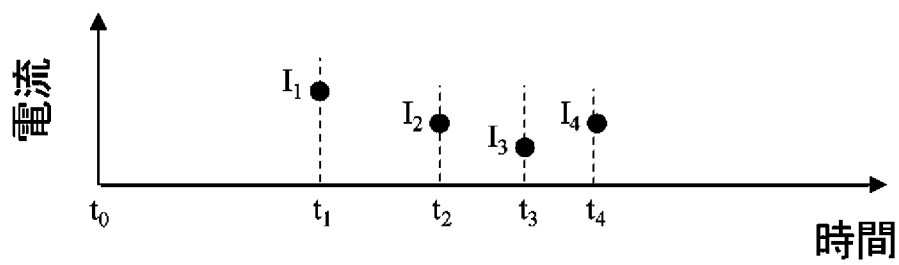
[図18B]



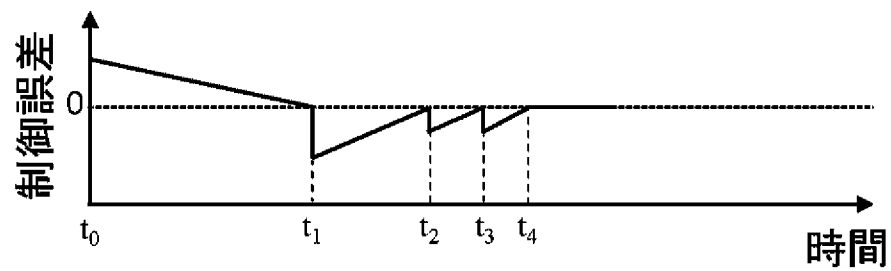
[図18C]



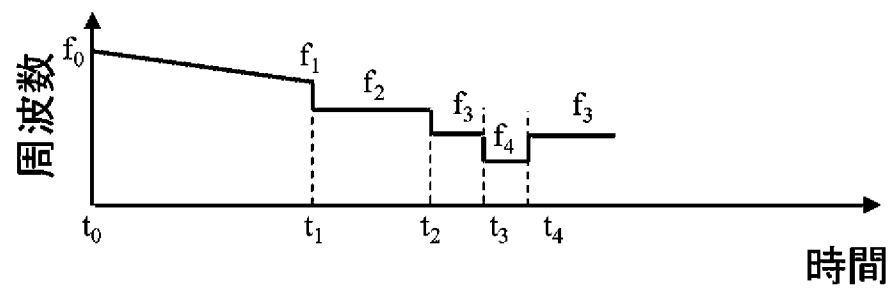
[図18D]



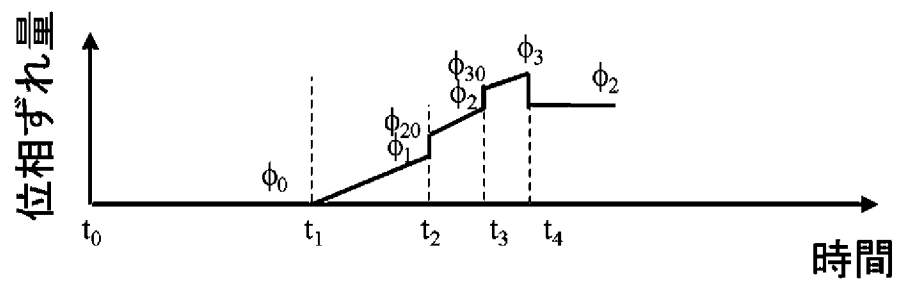
[図19A]



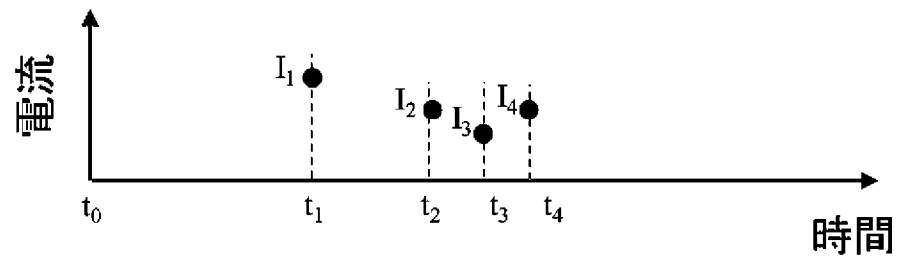
[図19B]



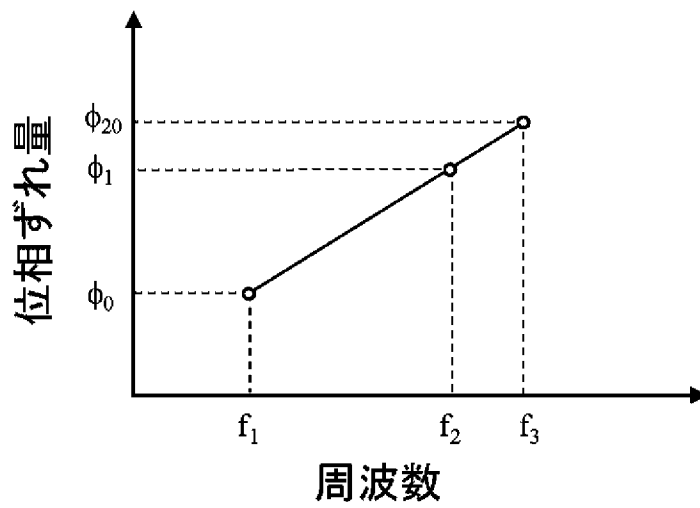
[図19C]



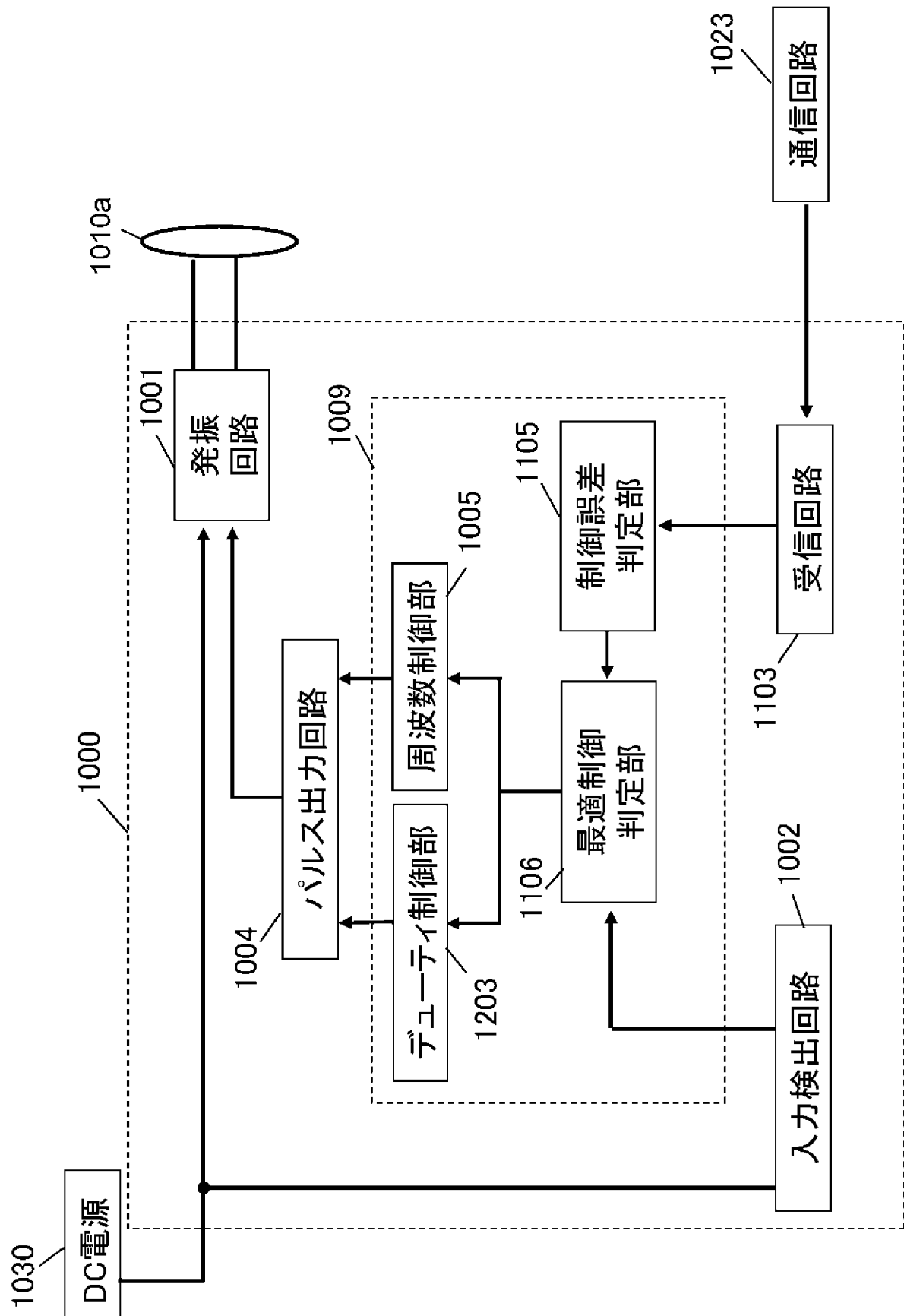
[図19D]



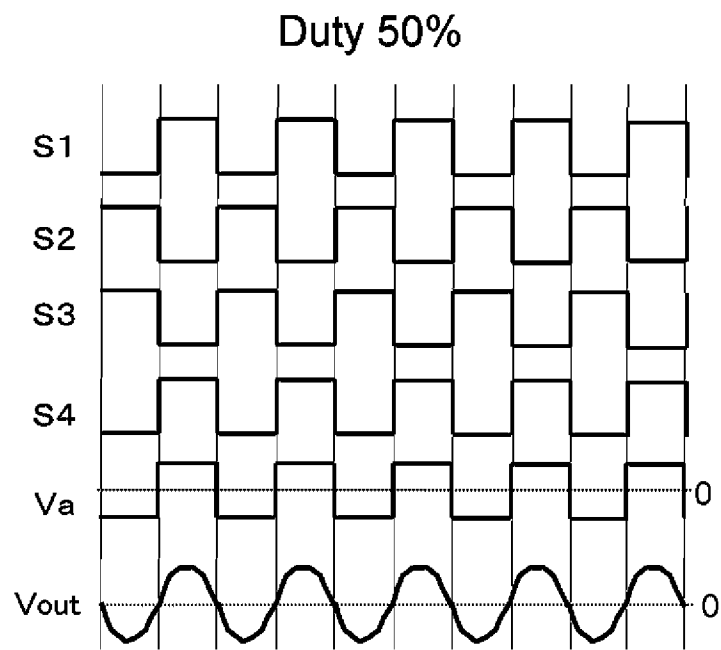
[図20]



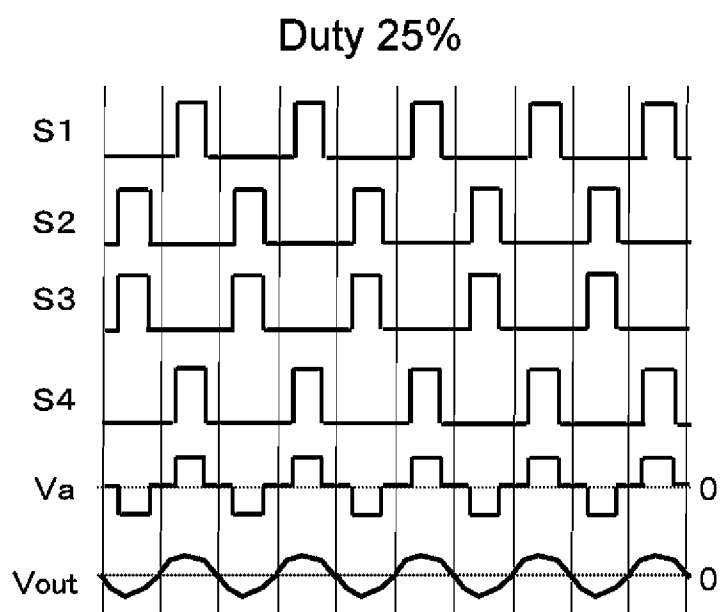
[図21]



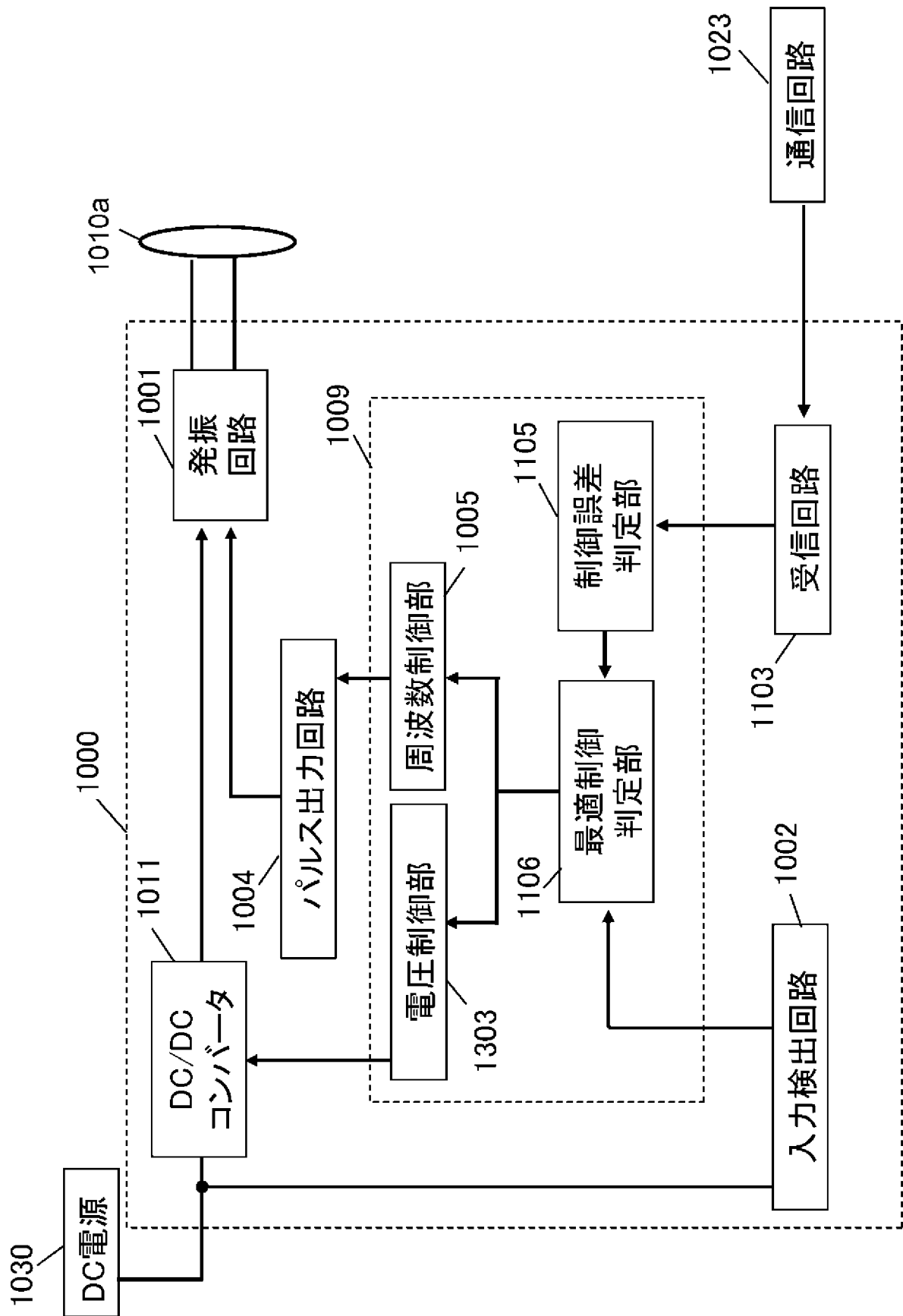
[図22A]



[図22B]



[図23]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2014/003894

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H02J17/00(2006.01)i, H02J7/00(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, H02J7/00

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	1996-2014
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2014	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2014

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.
Y	JP 2011-509067 A (Access Business Group International L.L.C.), 17 March 2011 (17.03.2011), paragraphs [0005] to [0042]; fig. 1 to 8 & US 2009/0174263 A1 & WO 2009/089253 A1 & AU 2009204283 A1 & CA 2711489 A1 & KR 10-2010-0110356 A & TW 200950249 A & RU 2010133059 A	1-13
Y	JP 2010-213414 A (Seiko Epson Corp.), 24 September 2010 (24.09.2010), paragraphs [0049] to [0092]; fig. 1 to 8 & US 2010/0225173 A1	1-13

☒ 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
21 August, 2014 (21.08.14)

Date of mailing of the international search report
02 September, 2014 (02.09.14)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2014/003894

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 2007-336717 A (Sharp Corp.), 27 December 2007 (27.12.2007), paragraphs [0028] to [0060]; fig. 1 to 5 (Family: none)	6
Y	JP 2012-130173 A (Aisin AW Co., Ltd.), 05 July 2012 (05.07.2012), paragraphs [0075] to [0086]; fig. 8 to 10 (Family: none)	9-11
Y	JP 2008-109762 A (Olympus Imaging Corp.), 08 May 2008 (08.05.2008), paragraphs [0032] to [0041]; fig. 8, 10 (Family: none)	9-11

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, H02J7/00(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, H02J7/00

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 4 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 4 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 4 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
Y	JP 2011-509067 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）2011.03.17, 段落【0005】－【0042】、図1－8 & US 2009/0174263 A1 & WO 2009/089253 A1 & AU 2009204283 A1 & CA 2711489 A1 & KR 10-2010-0110356 A & TW 200950249 A & RU 2010133059 A	1-13
Y	JP 2010-213414 A（セイコーエプソン株式会社）2010.09.24, 段落【0049】－【0092】、図1－8 & US 2010/0225173 A1	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

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

2 1 . 0 8 . 2 0 1 4

国際調査報告の発送日

0 2 . 0 9 . 2 0 1 4

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）

相澤 祐介

5 T

3 4 6 0

電話番号 03-3581-1101 内線 3568

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	JP 2007-336717 A (シャープ株式会社) 2007. 12. 27, 段落【0028】－【0060】、図1－5 (ファミリーなし)	6
Y	JP 2012-130173 A (アイシン・エイ・ダブリュ株式会社) 2012. 07. 05, 段落【0075】－【0086】、図8－10 (ファミリーなし)	9-11
Y	JP 2008-109762 A (オリンパスイメージング株式会社) 2008. 05. 08, 段落【0032】－【0041】、図8, 10 (ファミリーなし)	9-11