

(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
2019年5月9日(09.05.2019)



(10) 国際公開番号

WO 2019/088161 A1

(51) 国際特許分類:

H02M 3/28 (2006.01) *H02M 7/48* (2007.01)
B60L 1/00 (2006.01)

INFRASTRUCTURE SYSTEMS & SOLUTIONS CORPORATION [JP/JP]; 〒2120013 神奈川県川崎市幸区堀川町7番地34 Kanagawa (JP).

(21) 国際出願番号: PCT/JP2018/040485

(22) 国際出願日: 2018年10月31日(31.10.2018)

(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 2017-212151 2017年11月1日(01.11.2017) JP

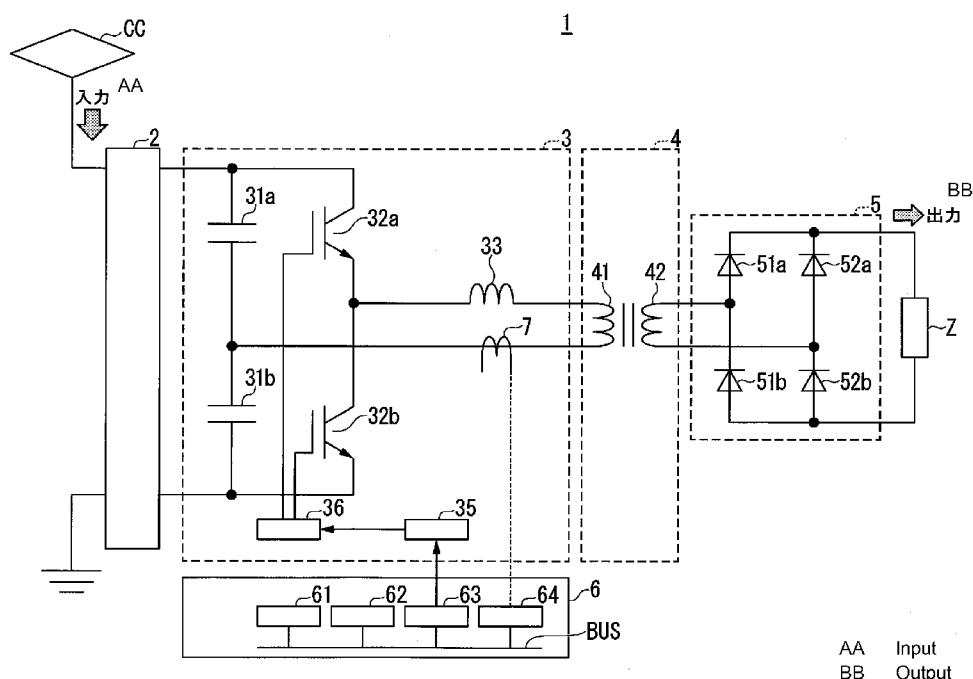
(71) 出願人: 株式会社東芝 (**KABUSHIKI KAISHA TOSHIBA**) [JP/JP]; 〒1050023 東京都港区芝浦一丁目1番1号 Tokyo (JP). 東芝インフラシステムズ株式会社 (**TOSHIBA**

(72) 発明者: 白 沢 佑 樹 (**SHIRASAWA Yuki**); 〒2120013 神奈川県川崎市幸区堀川町7番地34 東芝インフラシステムズ株式会社内 Kanagawa (JP). 真木 康臣 (**MAKI Yasuomi**); 〒2120013 神奈川県川崎市幸区堀川町7番地34 東芝インフラシステムズ株式会社内 Kanagawa (JP).

(74) 代理人: 特許業務法人 志賀国際特許事務所 (**SHIGA INTERNATIONAL PATENT OFFICE**); 〒1006620 東京都千代田区丸の内一丁目9番2号 Tokyo (JP).

(54) Title: POWER SUPPLY DEVICE FOR ELECTRIC VEHICLE

(54) 発明の名称: 電気車用電源装置



(57) Abstract: A resonant inverter of this power supply device for an electric vehicle includes a first resonance capacitor and a switching element for cutting off a current flowing through a resonance circuit, and generates a first alternating current power from a direct current power. A transformer is included in a portion of the resonance circuit, a first alternating current power generated by the resonant inverter is supplied to a first winding, and a second alternating current power after the conversion of the first alternating current power is supplied to a load from a second winding. A control unit

[続葉有]

(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, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, 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, ST, 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:

一 国際調査報告(条約第21条(3))

soft-switches the resonant inverter by setting the difference between a resonance frequency of the resonance circuit and a switching frequency of the switching element within a predetermined range such that a current flowing when the switching element is switched to at least the first winding or the second winding is equal to or less than a predetermined value.

(57) 要約: 電気車用電源装置の共振型インバータは、第1共振コンデンサと、共振回路に流れる電流を遮断するスイッチング素子とを有し、直流電力から第1交流電力を生成する。変圧器は、前記共振回路の一部に含まれ、第1巻線には前記共振型インバータによって生成された第1交流電力が供給され、前記第1交流電力を変換した後の第2交流電力を第2巻線から負荷に供給する。制御部は、少なくとも前記第1巻線又は前記第2巻線に前記スイッチング素子がスイッチングされる際に流れる電流が所定値以下になるように、前記共振回路の共振周波数と前記スイッチング素子のスイッチング周波数との差を所定の範囲に収めて前記共振型インバータをソフトスイッチングさせる。

明 細 書

発明の名称：電気車用電源装置

技術分野

[0001] 本発明の実施形態は、電気車用電源装置に関する。

本願は、2017年11月1日に提出された日本国特願2017-212151号に基づき優先権を主張し、その内容をここに援用する。

背景技術

[0002] 共振型インバータを備える電気車用電源装置がある。共振型インバータの共振回路の共振周波数の値は、主にコンデンサの容量と変圧器等のインダクタンスとに依存して定まる。共振型インバータの共振回路に流れる電流を遮断する半導体スイッチング素子をソフトスイッチングさせる場合、実際の共振回路の共振周波数は、半導体スイッチング素子を周期的に遮断する周波数（スイッチング周波数）よりも高く設定される。実際の共振回路の共振周波数がスイッチング周波数よりも低くなると、半導体スイッチング素子は、所定値を超える電流が流れた状態で電流を遮断するため、電流が流れている間に動作状態を切替えるハードスイッチングで動作する。電気車用電源装置から負荷に供給する電力量に変動があると、共振周波数の値が変動するために、電気車用電源装置における電力損失が意図せずに増大することがある。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開2015-139264号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 本発明が解決しようとする課題は、負荷に供給する電力量の変動によって生じる電力損失の増大を抑制することができる電気車用電源装置を提供することである。

課題を解決するための手段

[0005] 実施形態の電気車用電源装置は、共振型インバータと、変圧器と、影響抑制部と、制御部とを持つ。共振型インバータは、共振回路に含まれる第1共振コンデンサと、前記共振回路に流れる電流を遮断するスイッチング素子とを有し、電源から直流電力が供給され、前記共振回路の共振と前記スイッチング素子の周期的なスイッチングにより前記直流電力から第1交流電力を生成する。変圧器は、少なくとも互いに電氣的に絶縁され磁気結合された第1巻線と第2巻線とを備え、前記共振回路の一部に含まれ、前記第1巻線には前記共振型インバータ3によって生成された第1交流電力が供給され、前記第1交流電力を変換した後の第2交流電力を前記第2巻線から負荷に供給する。制御部は、少なくとも前記第1巻線又は前記第2巻線に前記スイッチング素子がスイッチングされる際に流れる電流が所定値以下になるように、前記共振回路の共振周波数と前記スイッチング素子のスイッチング周波数との差を所定の範囲に収めて前記共振型インバータをソフトスイッチングさせる。

図面の簡単な説明

[0006] [図1A]第1の実施形態の電気車用電源装置の全体構成を示す図。

[図1B]第1の実施形態のスイッチング周波数の調整処理を示すフローチャート。

[図1C]第1の実施形態のスイッチング周波数の調整処理を説明するための図。

[図1D]第1の実施形態のスイッチング周波数の調整処理を説明するための図。

[図2]第2の実施形態の電気車用電源装置の全体構成を示す図。

[図3A]第3の実施形態の電気車用電源装置の全体構成を示す図。

[図3B]第3の実施形態のスイッチング周波数の調整処理を示すフローチャート。

[図3C]第3の実施形態のスイッチング周波数の調整処理を説明するための図。

[図4A]第4の実施形態の電気車用電源装置の全体構成を示す図。

[図4B]第4の実施形態の変形例のコンデンサの構成図。

[図5A]第5の実施形態の電気車用電源装置の全体構成を示す図。

[図5B]第5の実施形態の変形例の抵抗の構成図。

[図6A]第6の実施形態のリアクトルを示す図。

[図6B]第6の実施形態のスイッチング周波数の調整処理を示すフローチャート。

発明を実施するための形態

[0007] 以下、実施形態の電気車用電源装置を、図面を参照して説明する。なお以下の説明では、同一又は類似の機能を有する構成に同一の符号を付す。そして、それらの構成の重複する説明は省略する場合がある。

[0008] 実施形態に示す電気車用電源装置1は、電気車用電源装置の一例である。本願でいう「ソフトスイッチング」とは、電力の変換に利用されるスイッチング素子において、スイッチングする際にスイッチング素子に流れる電流が、予め定められる微小な値（所定値）以下になった状態で導通状態と遮断状態とを切替える（スイッチングする）スイッチング素子の駆動方法のことである。「ソフトスイッチング」であれば、例えば、スイッチングする際にスイッチング素子に流れる電流が約0 A（アンペア）になっている。スイッチング素子をソフトスイッチングによって駆動することにより、スイッチング素子における損失の発生を抑制できる。これに対して、スイッチングする際にスイッチング素子に流れる電流が所定値を超える状態でスイッチングさせるスイッチング素子の駆動方法のことを「ハードスイッチング」という。本願でいう「接続」は、電気的な接続を含む。

[0009] （第1の実施形態）

図1 Aは、第1の実施形態の電気車用電源装置の全体構成を示す図である。電気車用電源装置1は、架線（き電線）F（不図示）から電力が供給される集電装置CCと、線路R（不図示）を介して接地された車輪W（不図示）と、の間の電流経路に直列に接続される。図1 Aにおいて線路Rと車輪W側

の電位と略同電位になる極を接地極の記号で示す。

[0010] 電気車用電源装置 1 は、例えば、電力変換回路 2 と、共振型インバータ 3 と、変圧器 4 と、整流器 5（整流回路）と、制御部 6 と、電流検出器 7（第 1 電流検出器）とを備える。符号 Z は、負荷を示す。

[0011] 電力変換回路 2 は、集電装置 C C の後段に接続され、集電装置 C C が受電した電力を所定の電圧の直流電力に変換する。電力変換回路 2 の後段には、直流を入力とする共振型インバータ 3 が接続されている。例えば、電力変換回路 2 は、交直流電力変換器として集電装置 C C が受電した交流電力から直流電力に変換してもよく、或いは、直流電圧変換器として集電装置 C C が受電した第 1 直流電力から第 2 直流電力に変換してもよい。以下の説明では、集電装置 C C が第 1 直流電力を受電する場合を例に挙げて説明する。

[0012] 共振型インバータ 3 は、電力変換回路 2 の出力である第 2 直流電力を第 1 交流電力に変換して出力する。例えば、第 1 交流電力の周波数は、後述するスイッチング素子 3 2 a とスイッチング素子 3 2 b のスイッチング周波数に一致する。共振型インバータ 3 の組を成す出力端子には、変圧器 4 の組を成す 1 次側端子が接続されている。

[0013] 変圧器 4 は、少なくとも互いに電氣的に絶縁され磁気結合された 1 次巻線 4 1（第 1 巻線）と 2 次巻線 4 2（第 2 巻線）とを備える。変圧器 4 は、共振回路に含まれており、1 次巻線 4 1 に接続される 1 次側端子には共振型インバータ 3 によって生成された第 1 交流電力が供給される。変圧器 4 は、共振型インバータ 3 から出力される第 1 交流電圧を、1 次巻線 4 1 及び 2 次巻線 4 2 の巻数比で変換して、変換した後の第 2 交流電力を 2 次巻線 4 2 に接続される 2 次側端子から供給する。変圧器 4 の組を成す 2 次側端子には、整流器 5 が接続されている。

[0014] 整流器 5 は、変圧器 4 が出力した第 2 交流電力を全波整流する。例えば、整流器 5 は、上アームを構成するダイオード 5 1 a、5 2 a と、下アームを構成するダイオード 5 1 b、5 2 b と、を備え、ダイオード 5 1 a 及びダイオード 5 1 b は直列接続され、ダイオード 5 2 a 及びダイオード 5 2 b は、

それぞれ直列に接続されている。整流器 5 の後段には、負荷 Z が接続され、整流器 5 が整流した後の電力が負荷 Z に供給される。なお、整流器 5 の出力から高周波成分（ノイズ）を除去して負荷 Z に出力するフィルタ（不図示）が接続されていてもよい。さらに、負荷が交流負荷である場合、整流器 5 の出力部と負荷の入力部の間に電力変換回路（不図示）が接続されていてもよい。

[0015] 制御部 6 は、例えば、記憶部 6 1 と、CPU (central processing unit) 6 2 と、駆動部 6 3 と、電流値取得部 6 4 とを備える。記憶部 6 1 と、CPU 6 2 と、駆動部 6 3 と、電流値取得部 6 4 は、BUS を介して接続されている。記憶部 6 1 は、半導体メモリを含む。CPU 6 2 は、ソフトウェアプログラムに従い、所望の処理を実行するプロセッサを含む。駆動部 6 3 は、CPU 6 2 の制御に従い、共振型インバータ 3 の制御信号を生成する。電流値取得部 6 4 は、電流検出器 7 の検出結果を取得する。例えば、制御部 6 の CPU 6 2 は、電流値取得部 6 4 によって取得した電流検出器 7 の検出結果に基づいて、駆動部 6 3 によって共振型インバータ 3 を制御する。以下、CPU 6 2 と駆動部 6 3 と電流値取得部 6 4 が実行する処理を纏めて、単に制御部 6 の処理として説明することがある。この場合、上記に代えて、例えば、制御部 6 は、電流検出器 7 の検出結果に基づいて、共振型インバータ 3 を制御する、と説明する。制御部 6 は、上記の他、当該電気車用電源装置 1 全体を制御する。

[0016] ここで、実施形態の共振型インバータ 3 の一例について説明する。共振型インバータ 3 は、例えば、コンデンサ 3 1 a、3 1 b と、スイッチング素子 3 2 a、3 2 b と、共振リアクトル 3 3 と、制御周波数調整部 3 5 と、ドライブ回路 3 6 とを備える。

[0017] コンデンサ 3 1 a、3 1 b は、互いに直列に接続され、フィルタコンデンサを形成する。直列に接続されるコンデンサ 3 1 a、3 1 b の組の第 1 端が、電力変換回路 2 の出力端子の第 1 極に接続され、第 2 端が、電力変換回路 2 の出力端子の第 2 極に接続される。例えば、コンデンサ 3 1 a、3 1 b は

、容量が同じで、特性が揃ったものであって良い。

[0018] スイッチング素子 3 2 a とスイッチング素子 3 2 b は、互いに直列に接続される。スイッチング素子 3 2 a は、電力変換回路 2 の出力端子の第 1 極に接続され、所謂上アームを形成する。スイッチング素子 3 2 b は、電力変換回路 2 の出力端子の第 2 極に接続され、所謂下アームを形成する。例えば、スイッチング素子 3 2 a とスイッチング素子 3 2 b は、自励型の制御に適用可能な、I G B T (Insulated Gate Bipolar Transistor)、I E G T (Injection Enhanced Gate Transistor)、M O S F E T (Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor) などである。例えば、スイッチング素子 3 2 a とスイッチング素子 3 2 b は、制御周波数調整部 3 5 が生成するタイミングで導通状態と遮断状態とが切替えられる。

[0019] 制御周波数調整部 3 5 は、制御部 6 の駆動部 6 3 からの制御信号を受け、ドライブ回路 3 6 に供給する制御パルスの周波数を調整し、周波数が調整された制御パルスをドライブ回路 3 6 に供給する。例えば、制御周波数調整部 3 5 は、図示しない発信器と、分周比を変更可能な分周器とを備える。制御周波数調整部 3 5 は、制御部 6 からの制御により分周比を調整して、予め定められた周波数の制御パルスを生成する。その周波数は、予め定められた複数の周波数の候補のうちから選択された周波数になる。制御周波数調整部 3 5 は、上記の周波数を、スイッチング素子 3 2 a とスイッチング素子 3 2 b を制御するスイッチング周波数とする。

[0020] ドライブ回路 3 6 は、制御周波数調整部 3 5 から供給される制御パルスに対応するゲート信号を、スイッチング素子 3 2 a とスイッチング素子 3 2 b に供給する。スイッチング素子 3 2 a とスイッチング素子 3 2 b は、ドライブ回路 3 6 から供給されるゲート信号に基づいて導通状態と遮断状態を切替える。

[0021] 上記の通り、制御周波数調整部 3 5 は、スイッチング周波数を切替えることにより、共振回路の共振周波数とスイッチング素子 3 2 a とスイッチング素子 3 2 b のスイッチング周波数との差を調整することができる。以下の説

明では、制御周波数調整部 35 は、スイッチング周波数として、比較的周波数が低い周波数 f_L と、周波数 f_L よりも高い周波数 f_H を選択できるものとする。制御周波数調整部 35 は、影響抑制部の一例である。

[0022] 共振リアクトル 33 は、スイッチング素子 32 a とスイッチング素子 32 b との接続点と、変圧器 4 の 1 次側端子の第 1 端との間に接続される。変圧器 4 の 1 次側端子の第 2 端が、コンデンサ 31 a、31 b の接続点（中点）に接続される。なお、変圧器 4 のインダクタンスが必要とされるインダクタンスを充足する場合には、共振リアクトル 33 を省略してもよい。

[0023] 制御部 6 は、変圧器 4 に流れる電流を電流検出器 7 によって検出する。図 1 A に示す電流検出器 7 は、変圧器 4 の 1 次巻線に流れる電流を検出する。例えば、変圧器 4 からの電力の供給（出力）が停止すると、その電力の供給停止の影響が変圧器 4 の 1 次側に影響することがある。制御部 6 は、変圧器 4 の 1 次巻線に流れる電流の検出電流値に応じてスイッチング素子 32 a、32 b のゲート電圧を制御することにより、その影響を抑制する。

[0024] 例えば、実施形態の制御部 6 は、変圧器 4 の 1 次巻線に流れる電流の検出電流値に基づいて、共振型インバータ 3 のスイッチング周波数を調整する。その詳細については後述する。

[0025] なお、図 1 A に示す共振型インバータ 3 は、ハーフブリッジタイプの電圧型インバータの一例である。なお、共振型インバータ 3 は、図 1 A に記載のものに制限されず、例えば、フルブリッジタイプの電圧型インバータや、電流型インバータであってよい。

[0026] 図 1 B から図 1 D を参照して、実施形態のスイッチング周波数の調整処理について説明する。図 1 B は、実施形態のスイッチング周波数の調整処理を示すフローチャートである。

[0027] 電流検出器 7 は、変圧器 4 の 1 次巻線の電流を検出する。制御部 6 の CPU 62 は、電流検出器 7 によって検出された電流値を、電流値取得部 64 によって取得して記憶部 61 に時系列データとして記録する（ステップ S11）。制御部 6 の CPU 62 は、取得した電流値が閾値 I_{TH} を超えるか否かを

判定する（ステップS 1 2）。例えば、閾値 I_{TH} は、共振型インバータ 3 の定格電流値などを基準に定められる。閾値 I_{TH} の値は、共振型インバータ 3 の定格電流以下で、平時の負荷電流の変動幅を超える値にする。

[0028] その電流値が閾値 I_{TH} を超える場合、制御部 6 は、スイッチング周波数の値を調整前の値よりも低くするように調整する（ステップS 1 3）。例えば、制御部 6 は、スイッチング周波数として周波数 f_L を指定する制御信号を制御周波数調整部 3 5 に送り、制御周波数調整部 3 5 が生成するスイッチング周波数を調整させる。この場合のスイッチング周波数の値は、予め定められた値であってよい。また、スイッチング周波数の下限値を設定し、下限値に至るまで予め定められたステップで徐々にスイッチング周波数の値を調整してもよい。これにより、図に示す一連の処理を終える。

[0029] その電流値が閾値 I_{TH} 以下の場合、制御部 6 は、スイッチング周波数の値を調整前の値よりも高くするように調整する（ステップS 1 4）。例えば、制御部 6 は、スイッチング周波数として周波数 f_H を指定する制御信号を制御周波数調整部 3 5 に送り、制御周波数調整部 3 5 が生成するスイッチング周波数を調整させる。この場合のスイッチング周波数の値は、スイッチング素子 3 2 a、3 2 b のスイッチングがソフトスッチングになる周波数範囲で予め定められた値であってよい。また、スイッチング素子 3 2 a、3 2 b のスイッチングがソフトスッチングになるスイッチング周波数の上限値を設定しておき、制御部 6 は、上記の上限値に至るまでの範囲でスイッチング周波数の値を調整してもよい。また、制御部 6 は、スイッチング周波数の値が上記の上限値に近づくように、予め定められたステップで徐々にスイッチング周波数の値を調整してもよい。図に示す一連の処理を終える。

[0030] 図 1 C は、実施形態のスイッチング周波数の調整処理を説明するための図である。図 1 C に示されるタイミングチャートには、電流検出器 7 によって検出された電流値と、スイッチング周波数の変化の一例が描かれている。 I_{TH} は、電流値の判定に利用する閾値である。例えば、制御部 6 は、周波数 f_H と周波数 f_L の何れかをスイッチング周波数（ f_s ）として選択可能である。

[0031] 図に示す初期段階は、電流検出器 7 によって検出された電流値が、閾値 I_{TH} よりも低い状態にあり、スイッチング素子 32 a、32 b のスイッチングがソフトスイッチングになっている。この場合、制御部 6 は、スイッチング周波数として周波数 f_H を選択している。なお、制御部 6 は、所定の周期で、共振型インバータ 3 の状態を識別する。図に示す時刻 t_1 と時刻 t_2 は、上記の所定の周期によって規定されるタイミングである。時刻 t_1 から時刻 t_2 までの時間（所定の周期）は、スイッチング素子 32 a、32 b のスイッチング周期（周波数 f_H と周波数 f_L に基づき規定される周期）に比べて十分長い。

[0032] 時刻 t_1 になるまでに、電流検出器 7 によって検出される電流値が、閾値 I_{TH} よりも高くなったと仮定する。時刻 t_1 になると、制御部 6 は、電流検出器 7 によって検出された電流値が、閾値 I_{TH} よりも大きいことを識別し、スイッチング周波数として周波数 f_L を選択する。例えば、制御部 6 は、共振型インバータ 3 のスイッチング時の電流値が閾値 I_{TH} を超えていると識別した結果に基づいて、スイッチング素子 32 a、32 b のスイッチングがハードスイッチングであると判定し、自動で共振型インバータ 3 のスイッチング周波数の値を周波数 f_L にする。これにより、スイッチング素子 32 a、32 b のスイッチングは、ハードスイッチングからソフトスイッチングに移行する。制御部 6 は、次の検出時刻である時刻 t_2 まで、スイッチング周波数の値を維持して周波数 f_L を継続させる。

[0033] 例えば、時刻 t_2 になるまでに、電流検出器 7 によって検出される電流値が、閾値 I_{TH} よりも小さくなったと仮定する。時刻 t_2 になると、制御部 6 は、電流検出器 7 によって検出された電流値が、閾値 I_{TH} よりも小さいことを識別し、スイッチング周波数として周波数 f_H を選択する。

制御部 6 は、次の検出タイミングになるまで、スイッチング周波数の値を維持して周波数 f_H を継続させる。

[0034] なお、スイッチング周波数の値を下げる際に制御部 6 によって選択される周波数は、上記のように予め定められている値であってもよく、或いは、現

在の周波数から所定量ずつ下げるように周波数の差分値が予め定められ、現在の周波数と上記の差分値とに基づいて算出される値であってもよい。

[0035] 図1Dは、実施形態のスイッチング周波数の調整処理を説明するための図である。図1D中に(a)から(c)に、条件が互いに異なる3つのタイミングチャートが描かれている。例えば、図1D中の(a)のタイミングチャートには、制御部6がスイッチング周波数として周波数 f_H を選択した状態で、スイッチング素子32a、32bのスイッチングが、ソフトスイッチングが成立している状況の一例が描かれている。この場合の制御周期は、 T_1 になる。

[0036] 図1D中の(a)のタイミングチャートの最上段と第2段には、スイッチング素子32a、32bのゲート信号(32a、32b)がそれぞれ描かれている。なお、本図におけるゲート信号間のガードタイムの表記を省略する。スイッチング素子32a、32bは、ゲート信号の信号レベルがHレベルにあると導通状態に、Lレベルにあると遮断状態になる。図1D中の(a)のタイミングチャートの第3段から第5段には、スイッチング素子32a、32bに流れる電流の波形(i_{32a} 、 i_{32b})と、共振リアクトル33に流れる電流の波形(i_{33})とを模式化した波形が描かれている。コンデンサ31a、31bは等しく充電されていて、それぞれの端子電圧が略等しくなっているものとする。なお、共振リアクトル33に流れる電流の波形(i_{33})は、変圧器4の1次巻線に流れる電流(i_{33})に等価である。共振リアクトル33に流れる電流の波形(i_{33})は、負荷電流の波形の一例である。

[0037] 時刻 t_{10} から時刻 t_{12} まで、スイッチング素子32aが導通状態に、スイッチング素子32bが遮断状態になるように、制御部6によってそれぞれが制御される。この期間における、電流 i_{32a} は、スイッチング素子32aが導通状態になってから、共振回路の共振周期の半分までの期間に流れるが、その期間を過ぎるとスイッチング素子32aが逆バイアスされて電流の流れが止まる(時刻 t_{11})。時刻 t_{11} から時刻 t_{12} までは、電流が流れない期間である。時刻 t_{10} から時刻 t_{12} まで、スイッチング素子32b

は遮断状態にあるため、第5段目に示す電流 I_{33} の波形は、電流 I_{32a} の波形と同じ形になる。

[0038] 時刻 t_{12} から時刻 t_{14} まで、スイッチング素子 $32b$ が導通状態に、スイッチング素子 $32a$ が遮断状態になるように、制御部 6 によってそれぞれが制御される。時刻 t_{12} から時刻 t_{14} までの各信号の波形は、時刻 t_{10} から時刻 t_{12} までの電流波形と比べると極性が異なるが、前述の時刻 t_{10} から時刻 t_{12} までの各信号の波形と同様に生成される。なお、電流 I_{32b} は、電流検出器 7 によって負の極性を持つ信号として検出される。

[0039] 上記の通り、スイッチング素子 $32a$ が遮断状態になる時刻 t_{11} と、スイッチング素子 $32b$ が遮断状態になる時刻 t_{13} の時点で、電流 I_{32a} と電流 I_{32b} は、略 0 になっている。時刻 t_{14} から時刻 t_{15} までの期間では、導通状態に制御されるスイッチング素子 $32a$ が電流 I_{32a} を流す。時刻 t_{16} 以降も同様に繰り返される。この図 1 D 中の (a) に描かれた波形は、スイッチング素子 $32a$ 、 $32b$ のスイッチングが、ソフトスイッチングが成立している場合のものである。

[0040] 図 1 D 中の (b) のタイミングチャートには、制御部 6 がスイッチング周波数として周波数 f_L を選択した状態に関する一例が描かれている。この場合も、上記図 1 D 中の (a) の場合と同様に、スイッチング素子 $32a$ 、 $32b$ のスイッチングが、ソフトスイッチングが成立している状況の一例が描かれている。時刻 t_{20} 、 t_{21} 、 t_{22} 、 t_{23} 、 t_{24} 、及び t_{25} は、記載の順に経過する時刻を示し、前述の時刻 t_{10} 、 t_{11} 、 t_{12} 、 t_{13} 、 t_{14} 、及び t_{15} にそれぞれ対応する。図 1 D 中の (b) に示す場合の制御周期は、 T_1 より長い T_2 になる。共振回路の共振条件が上記図 1 D 中の (a) の場合と同じであれば、電流が流れる期間の長さは、図 1 D 中の (a) の場合と同じ長さになり、電流が流れない期間の長さは、図 1 D 中の (a) の場合に比べて長くなる。

[0041] これに対して、図 1 D 中の (c) のタイミングチャートには、共振回路の共振条件が上記図 1 D 中の (a) の場合と異なり、電流が流れる期間が、図

1 D中の (a) の場合より長くなっている状況の一例が描かれている。この、図 1 D中の (c) 場合も、上記図 1 D中の (a) の場合と同様に、制御部 6 がスイッチング周波数として周波数 f_H を選択した状態を例示する。ただし、図示される波形は、スイッチング素子 3 2 a、3 2 b のスイッチングが、ソフトスイッチングが成立していない状況の一例が描かれている。時刻 t_{30} 、 t_{32} 、 t_{34} 、及び t_{36} は、記載の順に経過する時刻を示し、前述の時刻 t_{10} 、 t_{12} 、 t_{14} 、及び t_{16} にそれぞれ対応する。時刻 t_{31} 、 t_{33} 、及び t_{35} は、時刻 t_{32} 、 t_{34} 、及び時刻 t_{36} よりも後の時刻を示す。図 1 D中の (c) に示す場合の制御周期は、 T_1 と同等の T_3 になる。

[0042] 時刻 t_{30} から時刻 t_{32} まで、スイッチング素子 3 2 a が導通状態に、スイッチング素子 3 2 b が遮断状態になるように、制御部 6 によってそれぞれが制御されることは、上記図 1 D中の (a) の場合と同様である。図 1 D中の (c) の電流 I_{32a} の波形で、時刻 t_{32} の時点に着目する。この事例の場合、時刻 t_{32} においてスイッチング素子 3 2 a が遮断状態に遷移しても、時刻 t_{32} から時刻 t_{31} まで共振回路の作用によって、電流 I_{32a} と同方向の電流を共振リアクタンス 3 3 が流す。この起電力により、共振リアクタンス 3 3 のスイッチング素子 3 2 a、3 2 b 側の電位が高まる。

[0043] 一方で、時刻 t_{32} から時刻 t_{34} まで、スイッチング素子 3 2 b が導通状態になるが、上記の起電力により、スイッチング素子 3 2 b に過大な電流が流れることがある。例えば、時刻 t_{32} から時刻 t_{31} までの電流は、起電力がない状態に本来共振回路が作る波形の電流値より多くなることがある。以降も同様の事象が生じるため、電流 I_{33} は、ソフトスイッチングが成立している場合に比べて、瞬時値（絶対値）、実効値、平均値がともに大きくなる。なお、条件によりピーク値も、ソフトスイッチングが成立している場合に比べて大きくなることもある。

[0044] 上記の波形は一例を示したものであるが、図 1 D中の (c) に示した状態に共振回路がある場合に、制御部 6 は、図 1 D中の (b) に示したように制

御周期を T_2 に伸ばすことにより、ソフトスイッチングが成立する状態にすることができる。

[0045] 実施形態によれば、電気車用電源装置 1 から負荷 Z に流れる負荷電流の値が変動する範囲には、前記負荷電流の値の変動による影響を抑制する所望の処置を講じないと、意図せずに電力の変換損失が増大することにつながる所定の範囲が含まれている。また、電気車用電源装置 1 に用いられるコンデンサ、共振リアクトル、変圧器の特性の個体差が所望の範囲を超えると、実際の共振周波数の値が設計値から外れて、共振型インバータ 3 における変換損失が増大することもある。実施形態の電気車用電源装置 1 の制御部 6 は、共振型インバータ 3 のスイッチング素子 32 a、32 b がスイッチングされる際にスイッチング素子 32 a、32 b に流れる電流が所定値以下となるように、共振回路の共振周波数とスイッチング周波数との差を所定の範囲に収めて共振型インバータ 3 のスイッチング素子 32 a、32 b をソフトスイッチングさせる。これにより、スイッチング素子 32 a、32 b をスイッチングさせるようにスイッチング周波数を調整することで、スイッチング素子 32 a、32 b のスイッチングをソフトスイッチングさせる状態を維持する。これによって、共振型インバータ 3 は、スイッチング素子 32 a、32 b のスイッチング損失を低減できる。仮に、共振型インバータ 3 の共振周波数の値が設計値から外れて、上記の共振周波数の値とスイッチング素子 32 a、32 b をスイッチングさせるスイッチング周波数との値が共振型インバータを構成する条件を満たさなくなると、スイッチング素子 32 a、32 b がハードスイッチングになる。このような条件に、共振型インバータ 3 を適用することにより、上記と同様の方法で、スイッチング素子 32 a、32 b をソフトスイッチングさせる状態に導くことができ、スイッチング素子 32 a、32 b のスイッチング損失を低減できる。

また、制御部 6 は、スイッチング周波数の値を最適化することにより、共振型インバータ 3 の冷却システムの簡素化を図り、その小型化・軽量化を実現できる。上記の制御部 6 のスイッチング周波数の値の最適化処理を、制御

周波数調整部 35 が実施してもよい。なお、上記の変圧器 4 に流れる電流値を判定するための閾値を、スイッチング素子 32 a、32 b にハードスイッチングが生じない電流値の範囲内に予め定めるとよい。

[0046] このように、制御部 6 が共振型インバータ 3 のスイッチング周波数の値の可変機能を持つことにより、共振型インバータ 3 の共振周波数の値とスイッチング素子 32 a、32 b をスイッチングさせるスイッチング周波数の値との整合が取れずにスイッチング素子 32 a、32 b のスイッチングがハードスイッチングになる場合も、スイッチング素子 32 a、32 b のスイッチング周波数の値を変化させることで、スイッチング素子 32 a、32 b のスイッチングをソフトスイッチングに移行させることが可能となる。

[0047] なお、実施形態の負荷 Z は、負荷 Z に電氣的に並列接続される蓄電部を備えてもよい。この場合、充電されたことにより蓄電部の電位が、整流器 5 が出力する電位よりも高くなると、整流器 5 から負荷 Z に対する電力の供給が停止する。このように、負荷 Z を機械的なスイッチなどで切離す場合の他にも整流器 5 から負荷 Z に対する電力の供給が停止する場合がある。本実施形態によれば、上記のような負荷 Z は、蓄電部を構成に含むものである場合にも、電力の供給停止の影響を抑制することができる。

[0048] (第 1 の実施形態の第 1 変形例)

第 1 の実施形態の共振型インバータ 3 は、予め定められたスイッチング周波数に固定的或いは半固定的に共振型インバータのスイッチング周波数を調整するものであった。これに代え、第 1 変形例では、共振型インバータのスイッチング周波数を、最適化するように調整する事例について説明する。

[0049] 共振型インバータの場合、電流波形を、より正弦波に近い波形にすることにより、効率をより高めることができる。そこで、制御部 6 は、スイッチング素子 32 a、32 b のスイッチングがソフトスイッチングになる共振周波数の上限値を探し出し、変圧器 4 の 1 次側に流れる電流の波形が、より正弦波に近い波形にして出力する。

[0050] 例えば、電気車用電源装置 1 は、変圧器 4 の 1 次巻線 41 に流れる電流を

検出する電流検出器 7 を備えている。制御部 6 は、電流検出器 7 によって検出された電流値に基づいて、スイッチング素子 3 2 a、3 2 b を周期的にスイッチングさせる制御に許容されるスイッチング周波数の範囲内から、共振型インバータ 3 のスイッチングがソフトスイッチングになるスイッチング周波数を検索する。さらに、制御部 6 は、より高いスイッチング周波数を選択する。

[0051] 上記の第 1 変形例によれば、第 1 の実施形態と同様の効果を奏することの他、共振型インバータのスイッチング素子 3 2 a、3 2 b のスイッチングがソフトスイッチングになる周波数よりも高いスイッチング周波数を制御部 6 が探知することにより、スイッチング周波数を最適化して、出力電圧の波形が正弦波に近づけることが可能になる。例えば、共振回路の共振周波数に対応する半周期にハードスイッチングを防止するためのデッドタイミングを加算した期間が、スイッチング周波数の半周期に一致する場合が、実現可能な最高のスイッチング周波数になる。

[0052] (第 1 の実施形態の第 2 変形例)

実施形態の共振型インバータ 3 は、ハーフブリッジタイプの電圧型インバータの一例である。共振型インバータ 3 は、図 1 A に記載のものに制限されず、これに代えて、例えば、フルブリッジタイプの電圧型インバータや、電流型インバータであってよい。なお、電流型インバータの場合は、制御部 6 は、上記のように電流を測定する代わりに電圧を測定し、その電圧に基づいて同様に制御することができる。

[0053] (第 2 の実施形態)

第 2 の実施形態について図を参照し、詳細に説明する。図 2 は、第 2 の実施形態の電気車用電源装置の全体構成を示す図である。本実施形態は、前述の図 1 A に示す第 1 の実施形態とは、変圧器 4 の出力系統が複数系統存在する点が異なっている。以下、その点を中心に詳細に説明する。

[0054] 電気車用電源装置 1 A は、例えば、電力変換回路 2 と、共振型インバータ 3 と、変圧器 4 A と、整流器 5 - 1 (整流回路) と、整流器 5 - 2 (整流回

路)と、制御部6Aと、電流検出器7と、電流検出器8-1(第2電流検出器)と、電流検出器8-2(第3電流検出器)とを備える。

[0055] 変圧器4Aは、少なくとも互いに電氣的に絶縁され磁気結合された1次巻線41と2次巻線42(第2巻線)と3次巻線43(第3巻線)とを備える。変圧器4Aは、共振型インバータ3から出力される交流電圧を、1次巻線41及び2次巻線42の巻数比で変換して、変換した後の第2交流電力を2次巻線42に接続される2次側端子から供給する。変圧器4Aの2次側端子には、整流器5-1が接続されている。

[0056] 変圧器4Aは、共振型インバータ3から出力される交流電圧を、1次巻線41及び3次巻線43の巻数比で変換して、変換した後の第3交流電力を3次巻線43に接続される3次側端子から供給する。変圧器4Aの3次側端子には、整流器5-2が接続されている。

[0057] 整流器5-1と整流器5-2は、前述の整流器5と同様に変圧器4Aが出力した交流電力の全波整流を行う。

[0058] 図2に示す整流器5-1の後段には、電流検出器8-1と負荷Z-1とが設けられている。負荷Z-1には、第2交流電力(出力1)が供給される。電流検出器8-1は、整流器5-1から負荷Z-1に流れる負荷電流(第2負荷電流)を検出する。同様に整流器5-2の後段には、電流検出器8-2と負荷Z-2とが設けられている。負荷Z-2には、第3交流電力(出力2)が供給される。電流検出器8-2は、整流器5-2から負荷Z-2に流れる負荷電流(第3負荷電流)を検出する。

[0059] なお、整流器5-1の後段に、整流器5-1の出力から高周波成分(ノイズ)を除去して負荷Z-1に出力するフィルタ(不図示)などが接続されていてもよい。また、整流器5-2の後段に、整流器5-2の出力から高周波成分(ノイズ)を除去して負荷Z-2に出力するフィルタ(不図示)などが接続されていてもよい。

[0060] 制御部6Aは、前述の制御部6に相当する。制御部6Aは、前述の制御部6の電流値取得部64に代え、電流値取得部64Aを備える。電流値取得部

64Aは、前述の電流値取得部64に相当する。電流値取得部64Aは、電流検出器7と、電流検出器8-1と、電流検出器8-2の検出結果をそれぞれ取得する。例えば、制御部6のCPU62は、電流値取得部64によって取得した電流検出器7と電流検出器8-1と電流検出器8-2の検出結果に基づいて、駆動部63によって共振型インバータ3を制御する。例えば、制御部6Aは、電流検出器7と電流検出器8-1と電流検出器8-2の検出結果に基づいて、負荷電流を算出する。制御部6Aは、少なくとも負荷電流が所定値を超える場合、スイッチング周波数を比較的低くする。

[0061] 前述の図1Bを参照して、実施形態のスイッチング周波数の調整処理について説明する。

[0062] 実施形態の場合、電流検出器7、8-1、8-2の3つの電流検出器を備えている。電流検出器7、8-1、8-2は、それぞれの位置で変圧器4Aの巻線に流れる電流を検出する。制御部6Aは、上記の3つの電流検出器によって検出された電流値を取得して記憶部61に時系列データとして記録する（ステップS11）。

[0063] 制御部6Aは、例えば、取得した電流値のなかの何れかが閾値を超えるか否かを判定する（ステップS12）。

[0064] 電流値が閾値を超えるものがあった場合、制御部6Aは、スイッチング周波数を比較的低くするように調整し（ステップS13）、図に示す一連の処理を終える。

[0065] 全ての電流値がそれぞれ閾値以下の場合、制御部6Aは、スイッチング周波数を比較的高くするように調整し（ステップS14）、図に示す一連の処理を終える。

[0066] 上記の処理を繰り返すことにより、制御部6Aは、変圧器4Aが複数の2次側の系統を有する場合にも、実施形態の手法を適用できる。図2に示した2次巻線と3次巻線の場合だけでなく4次巻線などそれ以上の巻線を備える場合にも適用可能である。なお、電流値の調整は、第1の実施形態の手法を適用してもよい。

[0067] 実施形態のように変圧器 4 A に複数の 2 次側系統にそれぞれ負荷 $Z-1$ 、 $Z-2$ が接続されていると、例えば、何れかの系統の負荷 $Z-1$ 、 $Z-2$ の電力消費に変動が生じることにより電力の供給が停止することがある。変圧器 4 A の合成インダクタンスを 1 次側換算するうえで、上記のような電力の供給が停止する系統があると、その系統の巻線が有するインダクタンスが見かけ上無効になる。その結果、変圧器 4 A の 1 次側換算による合成インダクタンスが、その系統の出力が有効な状態に比べて大きくなる。このとき、共振回路の共振周波数は低くなるため、共振型インバータ 3 がソフトスイッチングからハードスイッチングに移行する可能性がある。例えば、上記の処理により、それぞれの系統に備える電流検出器 8-1、8-2 を用いて、何れかの系統の電流が一定値を下回ったことを制御部 6 A が判断し、共振型インバータのスイッチング周波数を変化させることで、ハードスイッチングを防ぐことができる。

[0068] 実施形態によれば、第 1 の実施形態と同様の効果を奏することの他、電気車用電源装置 1 A の制御部 6 A は、それぞれの電流検出器によって検出された負荷電流の何れかがスイッチングされる際に所定値以下である場合、共振回路の共振周波数と、スイッチング周波数との差が所定の範囲に収まるように、共振回路の共振周波数とスイッチング周波数の少なくとも何れかを調整する。これにより、電気車用電源装置 1 A は、何れかの系統の出力が止まり共振型インバータの共振周波数とスイッチング周波数の整合性が取れずハードスイッチングとなった場合も、第 1 の実施形態と同様に、スイッチング周波数を調整することでソフトスイッチングを維持し、スイッチング損失の増大を防ぐことができる。

制御部 6 A は、共振回路の共振周波数の値とスイッチング周波数の値の少なくとも何れかを調整することにより、スイッチング素子 32 a、32 b のスイッチングにより流れる上記の第 2 負荷電流と第 3 負荷電流の値を所定値以下にすることで、スイッチング素子 32 a、32 b のソフトスイッチングを維持することができる。

[0069] (第3の実施形態)

第3の実施形態について図を参照し、詳細に説明する。図3Aは、第3の実施形態の電気車用電源装置の全体構成を示す図である。本実施形態は、前述の図2に示す第2の実施形態とは、コンデンサの構成が異なっている。以下、その点を中心に詳細に説明する。

[0070] 電気車用電源装置1Bは、例えば、電力変換回路2と、共振型インバータ3Bと、変圧器4Aと、整流器5-1と、整流器5-2と、制御部6Bと、電流検出器7と、電流検出器8-1と、電流検出器8-2とを備える。

[0071] 共振型インバータ3Bは、例えば、コンデンサ31a、31b、31c、31dと、スイッチング素子32a、32bと、共振リアクトル33と、接触器34a、34b(第1接触器)とを備える。

[0072] コンデンサ31a、31b(第1共振コンデンサ)は、互いに直列に接続される。直列に接続されるコンデンサ31a、31bの組の第1端が、電力変換回路2の出力端子の第1極に接続され、第2端が、電力変換回路2の出力端子の第2極に接続される。

[0073] コンデンサ31c、31d(第2共振コンデンサ)は、互いに直列に接続される。直列に接続されるコンデンサ31c、31dの組の第1端が、電力変換回路2の出力端子の第1極に接続され、第2端が、電力変換回路2の出力端子の第2極に接続される。コンデンサ31c、31dの接続点(中点)が、コンデンサ31a、31bの接続点(中点)と変圧器4Aの1次側端子の第2端とに接続される。コンデンサ31c、31dの組は、コンデンサ31a、31bの組と組み合わせられて、フィルタコンデンサを形成する。以下の説明において、コンデンサ31a、31b、31c、31dを纏めて、コンデンサ31と呼ぶことがある。

[0074] さらに、直列に接続されたコンデンサ31c、31dの組には、コンデンサ31cに対応付けられた接触器34aと、コンデンサ31dに対応付けられた接触器34bが設けられている。接触器34aは、コンデンサ31cに直列接続されて、電力変換回路2の出力端子の第1極と中点の間に配置され

ている。接触器 34 b は、コンデンサ 31 d に直列接続されて、電力変換回路 2 の出力端子の第 2 極と中点の間に配置されている。接触器 34 a、34 b は、半導体のスイッチング素子等、回路を開閉できるものであればよい。

[0075] 接触器 34 a、34 b を閉じると、コンデンサ 31 c、31 d がコンデンサ 31 a、31 b に電氣的に並列に接続され、コンデンサ 31 の容量がコンデンサ 31 a、31 b の組だけの場合と比べて増加する。コンデンサ 31 c をコンデンサ 31 a に、コンデンサ 31 d をコンデンサ 31 b に、それぞれ並列に接続することにより、コンデンサ 31 の容量が増加した分だけ、共振周波数の値を低くすることができる。例えば、コンデンサ 31 c、31 d の容量を、コンデンサ 31 a、31 b の容量に対して少なくすることにより、コンデンサ 31 c、31 d を共振周波数の微調整用に利用することができる。或いは、各コンデンサ 31 の容量を同じにしてもよい。

[0076] 制御部 6 B は、前述の制御部 6、6 A に相当する。制御部 6 B は、例えば、記憶部 61 と、CPU 62 と、駆動部 63 と、電流値取得部 64 A と、スイッチ駆動部 65 とを備える。記憶部 61 と、CPU 62 と、駆動部 63 と、電流値取得部 64 A と、スイッチ駆動部 65 は、BUS を介して接続されている。スイッチ駆動部 65 は、接触器 34 a、34 b に制御信号を送り、接触器 34 a、34 b の接点の開状態と閉状態とを切替える。例えば、以下、CPU 62 と駆動部 63 と電流値取得部 64 とスイッチ駆動部 65 とが実行する処理を纏めて、単に制御部 6 B の処理として説明することがある。制御部 6 B は、少なくとも負荷電流が所定値を超える場合、接触器 34 a、34 b を開いてコンデンサ 31 c、31 d の並列接続を解く。

[0077] 図 3 B を参照して、実施形態のスイッチング周波数の調整処理について説明する。図 3 B は、実施形態のスイッチング周波数の調整処理を示すフローチャートである。

[0078] 制御部 6 B は、電流検出器 7 によって検出された電流値を取得して記憶部 61 に時系列データとして記録する（ステップ S 31）。制御部 6 B は、取得した電流値が閾値を超えるか否かを判定する（ステップ S 32）。

[0079] その電流値が閾値を超える場合、制御部 6 B は、接触器 3 4 a、3 4 b（スイッチ）を開き（ステップ S 3 3）、図に示す一連の処理を終える。

[0080] その電流値が閾値以下の場合、制御部 6 B は、接触器 3 4 a、3 4 b（スイッチ）を閉じて（ステップ S 3 4）、図に示す一連の処理を終える。

[0081] 例えば、上記の処理を繰り返すことにより、制御部 6 B は、共振型インバータの共振周波数を変化させることで、ハードスイッチングを防ぐことができる。

[0082] 上記の通り、共振型インバータ 3 B のスイッチング時の電流値が一定値を超えている場合には、制御部 6 B は、ハードスイッチングであると判断し、自動で共振型インバータのスイッチング周波数を下げる。これにより、ハードスイッチングからソフトスイッチングに移行する。

[0083] なお、本実施形態の場合には、下記のような制御も可能である。本実施形態の場合も、第 2 の実施形態と同様に、共振型インバータ 3 B がソフトスイッチングからハードスイッチングに移行する可能性がある。

図 3 C は、実施形態のスイッチング周波数の調整処理を説明するための図である。図 3 C に示されるタイミングチャートには、電流検出器 7 によって検出された電流値と、遮断機の状態と、共振回路の共振周波数の変化の一例が描かれている。

[0084] 図に示す初期段階は、電流検出器 7 によって検出された電流値が、閾値 I_{TH} よりも低い状態にあり、スイッチング素子 3 2 a、3 2 b のスイッチングがソフトスイッチングになっている。この場合、制御部 6 B は、共振周波数として周波数 f_1 を選択している。なお、制御部 6 は、所定の周期で、共振型インバータ 3 の状態を識別する。図に示す時刻 t_1 と時刻 t_2 は、上記の所定の周期によって規定されるタイミングである。時刻 t_1 から時刻 t_2 までの時間（所定の周期）は、スイッチング素子 3 2 a、3 2 b のスイッチング周期（共振周波数 f_1 と共振周波数 f_2 に基づき規定される周期）に比べて十分長い。共振周波数 f_1 は、共振周波数 f_2 に比べて、周波数が低いものとする。

時刻 t_1 になるまでに、電流検出器 7 によって検出される電流値が、閾値

I_{TH} よりも高い状態に遷移したと仮定する。時刻 t_1 になると、制御部 6 は、電流検出器 7 によって検出された電流値が、閾値 I_{TH} よりも高い状態に遷移したことを識別する。制御部 6 は、スイッチング周波数として共振周波数 f_2 を選択する。例えば、制御部 6 B は、それぞれの系統に備える電流検出器 7、8-1、8-2 を用いて、何れかの系統の電流値が閾値 I_{TH} を超えたことを識別する。この電流値がそれぞれ予め定められたその閾値 I_{TH} を超えている場合は、制御部 6 B は、スイッチング素子 32 a、32 b のスイッチングがハードスイッチングであると判定し、その判定の結果に基づいて接触器 34 a、34 b を開状態に制御する。制御部 6 B は、自動で共振型インバータ 3 のスイッチング周波数の値を周波数 f_1 にすることにより、共振型インバータの共振回路の共振周波数を高めることができ、ハードスイッチング状態が継続することを防ぐことができる（時刻 t_2 ）。時刻 t_2 以降の処理は、前述の説明を参照する。

[0085] 実施形態によれば、共振型インバータ 3 のコンデンサ 31 c、31 d（第 2 並列共振コンデンサ）のコンデンサ 31 a、31 b（第 1 並列共振コンデンサ）に対する並列接続を解く接触器 34 a、34 b を含む。制御部 6 B は、負荷電流が所定値を超える場合、接触器 34 a、34 b を制御する。これにより、第 1 の実施形態と同様の効果を奏することの他、変圧器 4 A の 2 次側の系統の何れかの系統の電力供給が止まり共振型インバータ 3 B の共振周波数とスイッチング周波数の整合性が崩れてハードスイッチングになる条件のもとであっても、コンデンサ 31 の容量を変化させることで共振回路の共振周波数を調整できる。これにより、ソフトスイッチングを維持し、スイッチング損失の増大を防ぐことができる。

[0086] なお、接触器 34 a、34 b の配置は上記の事例に限らない。例えば、共振型インバータ 3 のコンデンサ 31 a、31 b とコンデンサ 31 c、31 d の一方又は両方に、それぞれの並列接続を解く接触器 34 a、34 b など設けてもよい。ただし、両方に接触器を設ける場合には、制御部 6 B は、コンデンサ 31 a、31 b の組とコンデンサ 31 c、31 d の組の少なくとも

何れかが変圧器 4 A の 1 次側に接続されるように制御する。これにより、例えば、コンデンサ 3 1 a、3 1 b の組の容量とコンデンサ 3 1 c、3 1 d の組の容量を異なる値にすることにより、共振周波数の切換段数を少なくとも 3 段階にすることができる。

[0087] (第 4 の実施形態)

第 4 の実施形態について図を参照し、詳細に説明する。図 4 A は、第 4 の実施形態の電気車用電源装置の全体構成を示す図である。本実施形態は、図 2 に示す第 2 の実施形態とは、変圧器 4 A の出力側にコンデンサを備える点が異なっている。以下、その点について詳細に説明する。

[0088] 電気車用電源装置 1 C は、例えば、電力変換回路 2 と、共振型インバータ 3 と、変圧器 4 A と、整流器 5 - 1 と、整流器 5 - 2 と、制御部 6 C と、電流検出器 7 と、コンデンサ 9 - 1 (並列コンデンサ) と、コンデンサ 9 - 2 (並列コンデンサ) とを備える。

[0089] コンデンサ 9 - 1 は、変圧器 4 A の 2 次巻線 4 2 に並列に接続されている。コンデンサ 9 - 1 は、変圧器 4 の 2 次巻線 4 2 の並列回路になる。コンデンサ 9 - 2 は、変圧器 4 A の 3 次巻線 4 3 に並列に接続されている。コンデンサ 9 - 2 は、変圧器 4 の 3 次巻線 4 2 の並列回路になる。

[0090] 上記の通り電気車用電源装置 1 C は、第 2 の実施形態に対し、変圧器 4 A の出力側にコンデンサ 9 - 1、9 - 2 が付加されている。コンデンサ 9 - 1、9 - 2 は、影響抑制部の一例である。

[0091] 制御部 6 C は、前述の制御部 6 に相当する。制御部 6 C は、例えば、記憶部 6 1 と、CPU 6 2 と、駆動部 6 3 と、電流値取得部 6 4 と、スイッチ駆動部 6 6 とを備える。記憶部 6 1 と、CPU 6 2 と、駆動部 6 3 と、電流値取得部 6 4 と、スイッチ駆動部 6 6 は、BUS を介して接続されている。例えば、以下、CPU 6 2 と駆動部 6 3 と電流値取得部 6 4 とスイッチ駆動部 6 6 とが実行する処理を纏めて、単に制御部 6 B の処理として説明することがある。スイッチ駆動部 6 6 については、後述する。なお、実施形態の制御部 6 C は、共振型インバータ 3 のスイッチング周波数を調整するための機能

を備えることは必須ではない。

[0092] 上記のように変圧器 4 A の出力側にコンデンサ 9-1、9-2 を設けたことにより、変圧器 4 A の複数の 2 次側系統の内、何れかの系統の電力供給が止まる場合に、その系統に設けられたコンデンサ 9-1、9-2 に交流電流が流れることで、変圧器 4 A の巻線が持つインダクタンスが有効化されるため、共振型インバータ 3 の共振周波数は変化しない。

[0093] 実施形態によれば、変圧器 4 A の 2 次巻線 4 2 には、整流器 5-1 を経て負荷 Z-1 が接続されており、3 次巻線 4 3 には、整流器 5-2 を経て負荷 Z-2 が接続されている。電気車用電源装置 1 C は、さらに変圧器 4 A の 2 次巻線 4 2 に並列に接続される並列回路であるコンデンサ 9-1 と、3 次巻線 4 3 に並列に接続される並列回路であるコンデンサ 9-2 と、を備える。これにより、何れかの系統の負荷への電力供給が止まった場合が生じて、その系統に設けられたコンデンサ 9-1、9-2 に交流電流が流れることで、ソフトスイッチングを維持し、変圧器 4 A の各系統の負荷が消費する電力が変動することにより生じるスイッチング損失の増大を防ぐことができる。また、上記の構成により、制御部 6 C による出力停止の検知を不要とすることができる。

[0094] なお、コンデンサ 9-1、9-2 は、電力の供給が止まる状態が発生する系統にのみ設けることで十分である。

[0095] (第 4 の実施形態の変形例)

実施形態のコンデンサ 9-1、9-2 は、変圧器 4 A の 2 次側に固定的に接続されている。これに対し、変形例のコンデンサ 9-1、9-2 は、変圧器 4 A の 2 次側に適宜接続される。

[0096] 図 4 B は、第 4 の実施形態の変形例のコンデンサの構成図である。図 4 B に示すコンデンサ 9-1 は、例えば、コンデンサ本体 9 a と、コンデンサ本体 9 a に直列に接続される接触器 9 b を備える。接触器 9 b は、例えば、半導体のスイッチング素子等、回路を開閉することのできるものであればよい。

[0097] 変形例における制御部 6 C のスイッチ駆動部 6 6 は、コンデンサ 9 - 1、9 - 2 にそれぞれ設けられている接触器 9 b に制御信号を送り、接触器 9 b の接点の開状態と閉状態とを切替える。例えば、制御部 6 C は、前述の図 3 B と同様に電流検出器 7 によって検出された電流値が予め定められた値（閾値 I_{TH} ）を超える場合に、接触器 9 b を開く。制御部 6 C は、電流検出器 7 によって検出された電流値が予め定められた値（閾値 I_{TH} ）以下の場合に、接触器 9 b を閉じる。

[0098] このように、制御部 6 C は、電流検出器 7 によって検出された電流値に基づいて、その電流値が閾値を超える場合にハードスイッチングが生じていると識別して、共振周波数を下げるように制御する。

[0099] 上記の変形例によれば、第 4 の実施形態と同様の効果を奏することの他、コンデンサ 9 - 1 等を変圧器 4 A に常時接続しておく必要がなく、制御部 6 C は、ハードスイッチングが生じていることが検出された場合に接続する。なお、コンデンサ 9 - 1 等は、変圧器 4 A の負荷になることから、接続時にはコンデンサ 9 - 1 等による損失が発生する。変形例であれば、コンデンサ 9 - 1 等を変圧器 4 A に常時接続しておく必要がなく、常時接続しておく場合に比べ変換損失を低減することができる。制御部 6 C のスイッチ駆動部 6 6、コンデンサ 9 - 1、9 - 2 は、影響抑制部の一例である。

[0100] （第 5 の実施形態）

第 5 の実施形態について図を参照し、詳細に説明する。図 5 A は、第 5 の実施形態の電気車用電源装置の全体構成を示す図である。本実施形態は、第 4 の実施形態のコンデンサ 9 - 1 等に替えて抵抗器 10 - 1 等を備えている点が、第 4 の実施形態とは異なっている。以下、その点について詳細に説明する。

[0101] 電気車用電源装置 1 D は、例えば、電力変換回路 2 と、共振型インバータ 3 と、変圧器 4 A と、整流器 5 - 1 と、整流器 5 - 2 と、制御部 6 D と、電流検出器 7 と、抵抗器 10 - 1（並列抵抗）と、抵抗器 10 - 2（並列抵抗）とを備える。

- [0102] 抵抗器 10-1、10-2 は、電気抵抗器である。
- [0103] 第4の実施形態と対比すると、第4の実施形態の場合には変圧器 4A の 2 次側にコンデンサ 9-1、9-2 を設けていたが、本実施形態の電気車用電源装置 1D は、これに替えて抵抗器 10-1、10-2 が設けられている。これ以外の点は、第4実施形態と同様である。
- [0104] なお、第2の実施形態と対比すると、本実施形態の電気車用電源装置 1D は、変圧器 4A の出力側に抵抗器 10-1、10-2 が付加されている。抵抗器 10-1、10-2 は、影響抑制部の一例である。
- [0105] なお、制御部 6D は、前述の制御部 6C に相当する。制御部 6D は、前述の制御部 6C のスイッチ駆動部 66 に代え、スイッチ駆動部 67 を備える。スイッチ駆動部 67 は、前述のスイッチ駆動部 66 に相当する。スイッチ駆動部 67 については、後述する。なお、実施形態の制御部 6D は、共振型インバータ 3 のスイッチング周波数を調整するための機能を備えることは必須ではない。
- [0106] 上記のように変圧器 4A の出力側に抵抗器 10-1、10-2 を設けたことにより、変圧器 4A の複数の 2 次側系統の内、何れかの系統の電力供給が止まる場合が生じて、その系統に設けられた抵抗器 10-1、10-2 に交流電流が流れることで、変圧器 4A の巻線が持つインダクタンスが有効化されるため、共振型インバータ 3 の共振周波数は変化しない。
- [0107] 実施形態によれば、変圧器 4A の 2 次巻線 42 には、整流器 5-1 と整流器 5-1 を経て負荷が接続されており、3 次巻線 43 には、整流器 5-2 と整流器 5-2 を経て負荷が接続されている。電気車用電源装置 1D は、さらに変圧器 4A の 2 次巻線 42 に並列に接続される並列回路である抵抗器 10-1 と、3 次巻線 43 に並列に接続される並列回路である抵抗器 10-2 と、を備える。これにより、何れかの系統の負荷への電力供給出力が止まる場合も、ソフトスイッチングを維持し、変圧器 4A の各系統の負荷の電力変動により生じるスイッチング損失の増大を防ぐことができる。また、上記の通り、制御部 6D による出力停止の検知を不要とすることができる。

[0108] なお、抵抗器 10-1、10-2 は、電力の供給が止まる状態が発生する系統にのみ設けることで十分である。

[0109] (第5の実施形態の変形例)

実施形態の抵抗器 10-1、10-2 は、変圧器 4A の 2 次側に固定的に接続されている。これに対し、変形例の抵抗器 10-1、10-2 は、変圧器 4A の 2 次側に適宜接続されるものとした。

[0110] 図 5B は、第4実施形態の変形例の抵抗器の構成図である。図 5B に示す抵抗器 10-1 は、抵抗器本体 10a と、抵抗器本体 10a に直列に接続される接触器 10b を備える。接触器 10b は、例えば、半導体のスイッチング素子等、回路を開閉することのできるものであればよい。

[0111] 変形例における制御部 6D のスイッチ駆動部 67 は、抵抗器 10-1、10-2 にそれぞれ設けられている接触器 10b に制御信号を送り、接触器 10b の接点の開状態と閉状態とを切替える。例えば、変形例における制御部 6D は、電流検出器 7 によって検出された電流値が予め定められた値（閾値）を超える場合に、接触器 10b を開く。制御部 6D は、電流検出器 7 によって検出された電流値が予め定められた値（閾値）以下の場合に、接触器 10b を閉じる。

[0112] このように、制御部 6D は、電流検出器 7 によって検出された電流値に基づいて、その電流値が閾値を超える場合にハードスイッチングが生じていると識別して、共振周波数を下げるように制御する。

[0113] 上記の変形例によれば、第5の実施形態と同様の効果を奏することの他、抵抗器 10-1 等を変圧器 4A に常時接続しておく必要がなく、制御部 6D は、ハードスイッチングが生じていることが検出された場合に接続する。なお、抵抗器 10-1 等は、変圧器 4A の負荷になることから、接続時には抵抗器 10-1 等による損失が発生する。変形例であれば、抵抗器 10-1 等を変圧器 4A に常時接続しておく必要がなく、常時接続しておく場合に比べ変換損失を低減することができる。制御部 6C のスイッチ駆動部 67、抵抗器 10-1、10-2 は、影響抑制部の一例である。

[0114] (第6の実施形態)

第6の実施形態について図を参照し、詳細に説明する。図6Aは、第6の実施形態のリアクトルを示す図である。本実施形態は、前述の図2に示す第2の実施形態とは、リアクトルの構成が異なっている。以下、その点を中心に詳細に説明する。

[0115] 実施形態の電気車用電源装置1Eは、例えば、電力変換回路2と、共振型インバータ3と、変圧器4Aと、整流器5-1と、整流器5-2と、制御部6Eと、電流検出器7と、電流検出器8-1と、電流検出器8-2とを備える。

[0116] 共振型インバータ3は、例えば、コンデンサ31a、31bと、スイッチング素子32a、32bと、共振リアクトル33と、を備える。

[0117] 実施形態の共振リアクトル33は、図6Aに示すように、共振リアクトル33は、例えば、リアクトル33aと、リアクトル33bと、接触器33c(第2接触器)とを備える。

[0118] リアクトル33-1とリアクトル33-2は、電氣的に直列に接続されており、組み合わせて共振リアクトル33として機能する。

[0119] 接触器33cは、閉じた状態でリアクトル33aを短絡するように設けられている。

[0120] 制御部6Eは、前述の制御部6Cに相当する。制御部6Eは、前述の制御部6Cのスイッチ駆動部66に代え、スイッチ駆動部68を備えるスイッチ駆動部68は、前述のスイッチ駆動部66に相当する。なお、実施形態の制御部6Eは、共振型インバータ3のスイッチング周波数を調整するための機能を備えることは必須ではない。

[0121] 制御部6Eのスイッチ駆動部68は、リアクトル33aに設けられている接触器33cに制御信号を送り、接触器33cの接点の開状態と閉状態とを切替える。制御部6Eは、少なくともスイッチング素子32a、32bのスイッチングにより流れる負荷電流が、スイッチング素子32a、32bがスイッチングされる際に所定値以下である場合、接触器33cを開いてリアクト

ル 3 3 a の短絡を解く。制御部 6 は、少なくとも上記の負荷電流が所定値を超える場合、接触器 3 3 c を閉じてリアクトル 3 3 a を短絡する。例えば、制御部 6 E は、少なくとも負荷電流がスイッチングされる際に所定値を超える場合、接触器 3 3 c を閉じてリアクトル 3 3 a を短絡してもよい。この場合、制御部 6 は、少なくとも負荷電流がスイッチングされない期間を接触器 3 3 c の制御の条件から除くことができる。

[0122] 図 6 B を参照して、実施形態のスイッチング周波数の調整処理について説明する。図 6 B は、実施形態のスイッチング周波数の調整処理を示すフローチャートである。

[0123] 制御部 6 E は、電流検出器 7 によって検出された電流値を取得して記憶部 6 1 に時系列データとして記録する（ステップ S 6 1）。制御部 6 E は、負荷電流がスイッチングされる際に取得した電流値が閾値を超えるか否かを判定する（ステップ S 6 2）。

[0124] その電流値が閾値を超える場合、制御部 6 E は、接触器 3 3 c（スイッチ）を閉じて（ステップ S 6 3）、図に示す一連の処理を終える。

[0125] その電流値が閾値以下の場合、制御部 6 E は、接触器 3 3 c（スイッチ）を開き（ステップ S 6 4）、図に示す一連の処理を終える。

[0126] 例えば、上記の処理を繰り返すことにより、制御部 6 E は、共振型インバータの共振周波数を変化させることで、ハードスイッチングを防ぐことができる。

[0127] 上記の処理を繰り返すことにより、制御部 6 は、共振型インバータ 3 のスイッチング時の電流値が一定値を超えている場合は、ハードスイッチングであると判断し、自動で共振回路の共振周波数を上げる。これにより、ハードスイッチングからソフトスイッチングに移行する。

[0128] 実施形態によれば、第 1 の実施形態と同様の効果を奏することの他、少なくとも負荷 Z-1、Z-2 の電流がスイッチングされる際に所定値以下である場合、接触器 3 3 c を開いて少なくとも共振リアクトル 3 3 の一部の短絡を解くことにより、ハードスイッチングになることを防ぐことができる。制

御部 6 E のスイッチ駆動部 6 8、リアクトル 3 3 a、接触器 3 3 c は、影響抑制部の一例である。

[0129] 上記各実施形態の制御部 6 から 6 E は、その少なくとも一部をソフトウェア機能部で実現してもよく、全てを L S I 等のハードウェア機能部で実現してもよい。

[0130] 以上述べた少なくともひとつの実施形態の電気車用電源装置によれば、共振回路に含まれる第 1 共振コンデンサと、前記共振回路に流れる電流を遮断するスイッチング素子とを有し、電源から直流電力が供給され、前記共振回路の共振と前記スイッチング素子の周期的なスイッチングとにより前記直流電力から第 1 交流電力を生成する共振型インバータと、少なくとも互いに電氣的に絶縁され磁気結合された第 1 巻線と第 2 巻線とを備え、前記共振回路の一部に含まれ、前記第 1 巻線には前記共振型インバータによって生成された第 1 交流電力が供給され、前記第 1 交流電力を変換した後の第 2 交流電力を前記第 2 巻線から負荷に供給する変圧器と、少なくとも前記第 1 巻線又は前記第 2 巻線に、前記スイッチング素子がスイッチングされる際に流れる電流が所定値以下になるように、前記共振回路の共振周波数と前記スイッチング素子のスイッチング周波数との差を所定の範囲に収めて前記共振型インバータをソフトスイッチングさせる影響抑制部とを備えることにより、負荷に供給する電力の変動によって生じる損失の増大を抑制することが可能になる。

[0131] 上記で説明された全ての実施形態は、例として提示したものであり、発明の範囲を限定するものではない。そのため、その他の様々な形態で実施されることが可能であり、発明の要旨を逸脱しない範囲で、種々の省略、置き換え、変更を行うことができる。これら実施形態やその変形は、特許請求の範囲に記載された発明とその均等の範囲に含まれる。

[0132] 例えば、共振回路の共振周波数とスイッチング素子 3 2 a、3 2 b のスイッチング周波数との差を調整する影響抑制部を設けてもよい。例えば、制御周波数調整部 3 5、コンデンサ 9 - 1、9 - 2、抵抗器 1 0 - 1、1 0 - 2

、リアクトル 33 a、接触器 33 c などは影響抑制部の一例である。このような影響抑制部に対して、制御部 6 は、制御することにより、スイッチング素子 32 a、32 b のスイッチングにより少なくとも第 1 巻線又は第 2 巻線に流れる電流が所定値以下になる所定の範囲内に、共振回路の共振周波数とスイッチング素子 32 a、32 b のスイッチング周波数との差を収めて、スイッチング素子 32 a、32 b をソフトスイッチングさせるとよい。

[0133] 制御周波数調整部 35 などの影響抑制部は、制御部 6 等の一部であってもよい。

符号の説明

[0134] 1、1 A、1 B、1 C、1 D…電気車用電源装置、2…電力変換回路、3、3 B…共振型インバータ、31 a、31 b、31 c、31 d…コンデンサ、32 a、32 b…スイッチング素子、33…共振リアクトル、34 a、34 b…接触器（第 1 接触器）、35…制御周波数調整部、36…ドライブ回路、4、4 A…変圧器、5、5-1、5-2…整流器（整流回路）、6、6 A、6 B、6 C、6 D…制御部、7…電流検出器（第 1 電流検出器）、8-1、8-2…電流検出器、9-1、9-2…コンデンサ（並列コンデンサ）、10-1、10-2…抵抗器（並列抵抗）、CC…集電装置

請求の範囲

[請求項1]

共振回路に含まれる第1共振コンデンサと、前記共振回路に流れる電流を遮断するスイッチング素子とを有し、電源から直流電力が供給され、前記共振回路の共振と前記スイッチング素子の周期的なスイッチングにより前記直流電力から第1交流電力を生成する共振型インバータと、

少なくとも互いに電氣的に絶縁され磁気結合された第1巻線と第2巻線とを備え、前記共振回路の一部に含まれ、前記第1巻線には前記共振型インバータによって生成された第1交流電力が供給され、前記第1交流電力を変換した後の第2交流電力を前記第2巻線から負荷に供給する変圧器と、

少なくとも前記第1巻線又は前記第2巻線に前記スイッチング素子がスイッチングされる際に流れる電流が所定値以下になるように、前記共振回路の共振周波数と前記スイッチング素子のスイッチング周波数との差を所定の範囲に収めて前記共振型インバータをソフトスイッチングさせる制御部と

を備える電気車用電源装置。

[請求項2]

前記変圧器に流れる電流を検出する第1電流検出器

を備え、

前記制御部は、

前記第1電流検出器により検出された電流値に基づいて、前記スイッチング素子を周期的にスイッチングさせるためのスイッチング制御周波数の範囲内から、前記共振型インバータのスイッチングがソフトスイッチングになるスイッチング制御周波数であって、より高いスイッチング制御周波数を選択する、

請求項1に記載の電気車用電源装置。

[請求項3]

前記変圧器は、少なくとも互いに電氣的に絶縁され磁気結合された第1巻線と第2巻線と第3巻線とを備え、

前記変圧器の第2巻線に流れる第2負荷電流を検出する第2電流検出器と、

前記変圧器の第3巻線に流れる第3負荷電流を検出する第3電流検出器と、を備え、

前記制御部は、

前記第2負荷電流と前記第3負荷電流の何れかがスイッチングされる際に所定値以下である場合、前記共振回路の共振周波数と、前記スイッチング周波数との差が所定の範囲に収まり、前記共振型インバータのスイッチングがソフトスイッチングになるように、前記共振回路の共振周波数と前記スイッチング周波数の少なくとも何れかを調整する、

請求項1又は請求項2に記載の電気車用電源装置。

[請求項4] 前記共振型インバータの前記第1共振コンデンサに電氣的に並列に接続される第2共振コンデンサと、

前記第1共振コンデンサと前記第2共振コンデンサの並列接続を解く第1接触器と

をさらに備え、

前記制御部は、

前記第2負荷電流と前記第3負荷電流の何れかがスイッチングされる際に所定値以下である場合、前記共振型インバータのスイッチングがソフトスイッチングになるように、前記第1接触器を制御する、

請求項3に記載の電気車用電源装置。

[請求項5] 前記変圧器の第2巻線には、整流回路と前記整流回路を経て前記負荷が接続されており、

前記変圧器の第2巻線に並列に接続される並列回路

をさらに備える請求項1に記載の電気車用電源装置。

[請求項6] 前記並列回路は、前記変圧器の2次巻線の並列回路になる並列コンデンサと並列抵抗の何れかを備える、

請求項 5 に記載の電気車用電源装置。

[請求項7]

前記並列回路の並列接続を解く第 2 接触器

をさらに備え、

前記制御部は、

少なくとも前記第 2 巻線に流れる電流がスイッチングされる際に所定値以下である場合、前記第 1 接触器を閉じて前記並列回路を並列接続にする、

請求項 5 又は請求項 6 に記載の電気車用電源装置。

[請求項8]

前記共振型インバータの出力と前記変圧器の第 1 巻線とに電氣的に直列に接続されるリアクトルと、

前記リアクトルを短絡する第 3 接触器と、

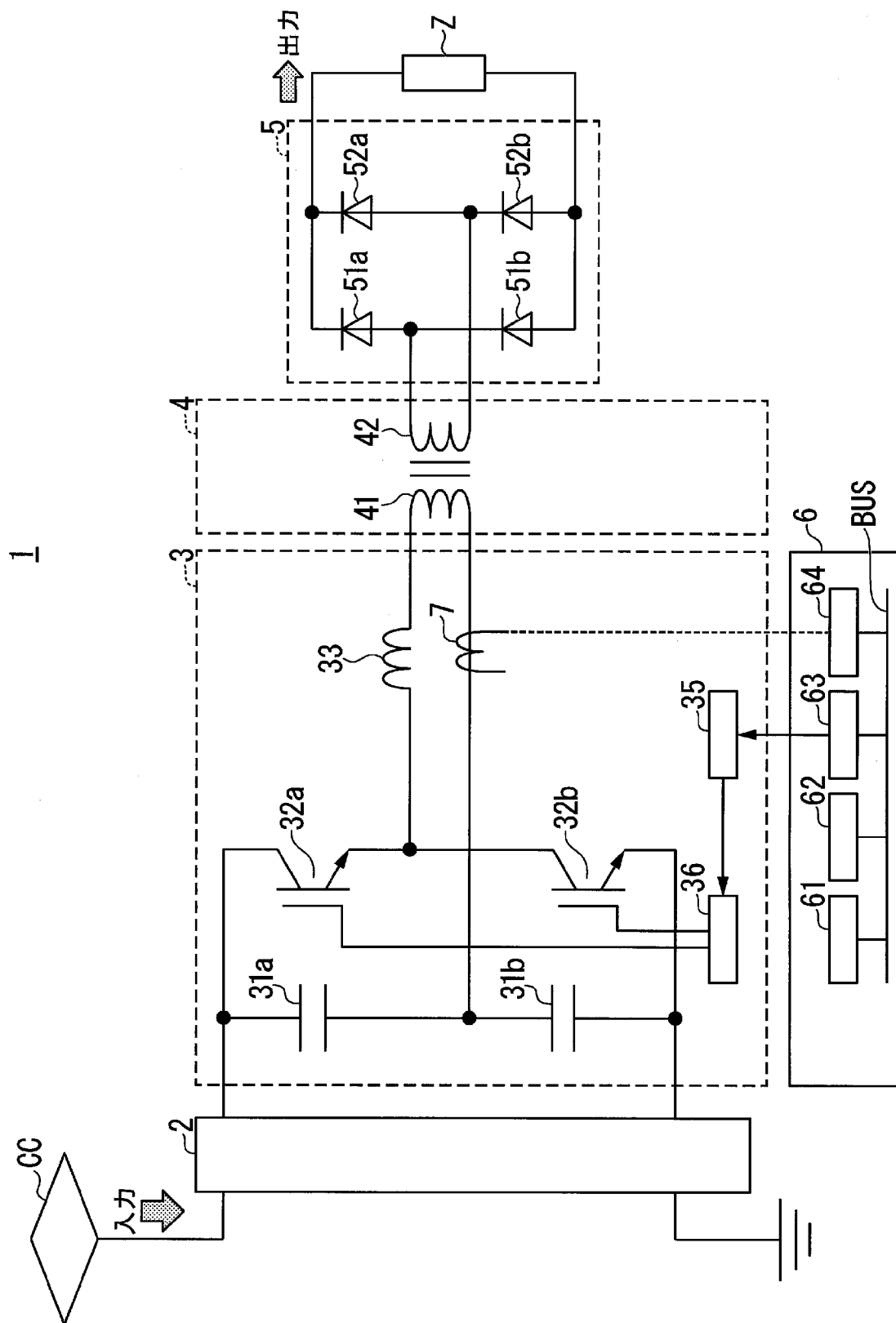
をさらに備え、

前記制御部は、

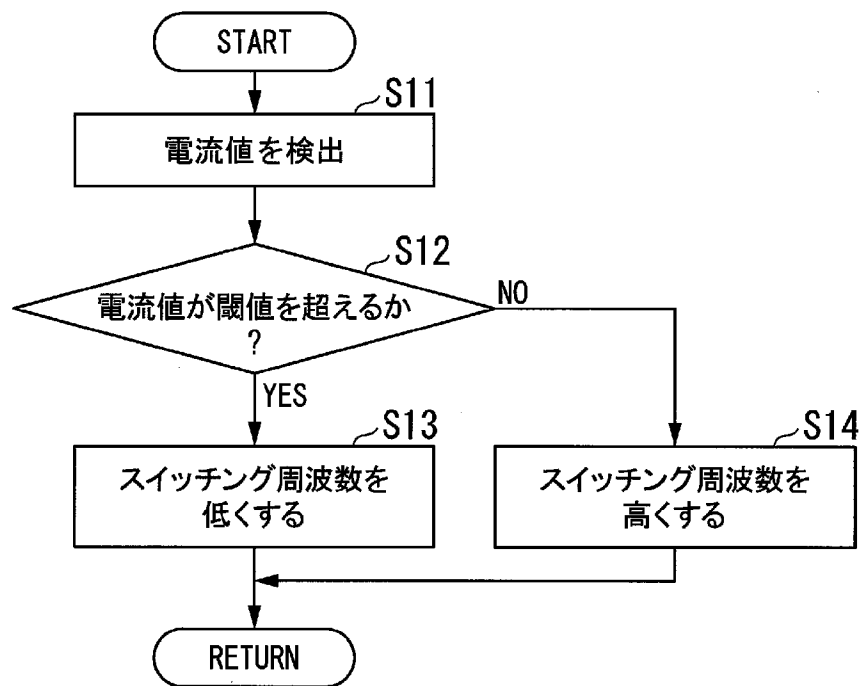
少なくとも前記第 1 巻線に流れる電流がスイッチングされる際に所定値以下である場合、前記第 3 接触器を開いて前記リアクトルの短絡を解く、

請求項 1 に記載の電気車用電源装置。

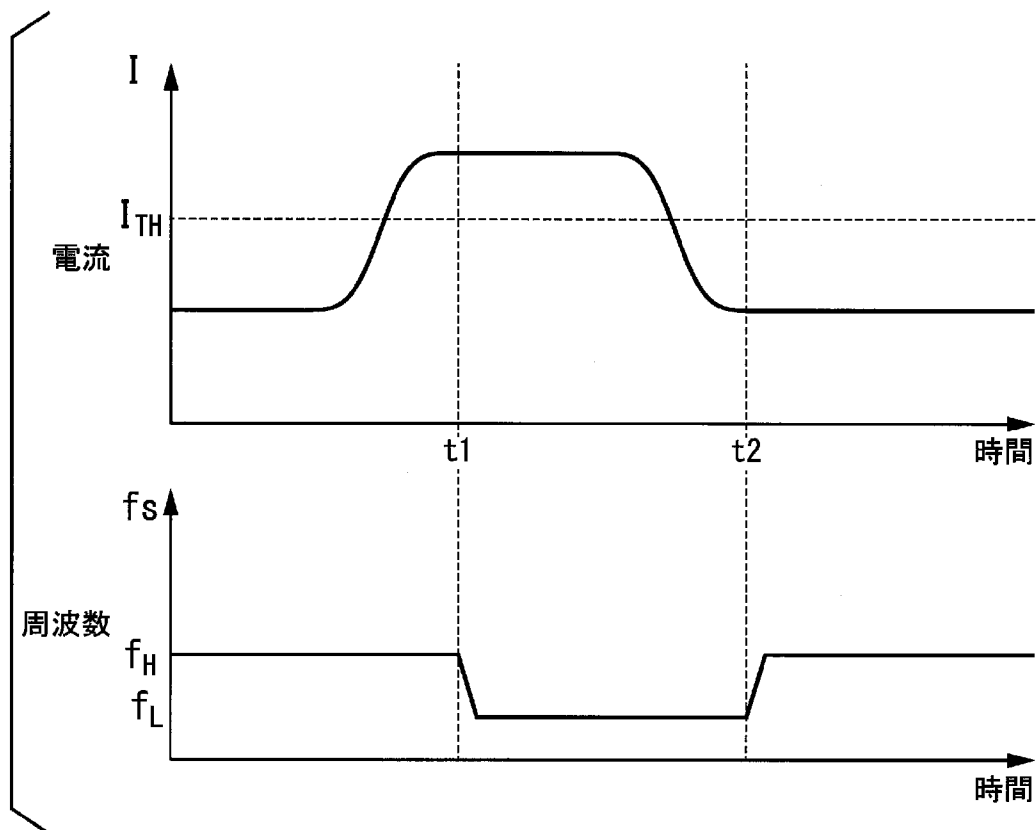
[図1A]



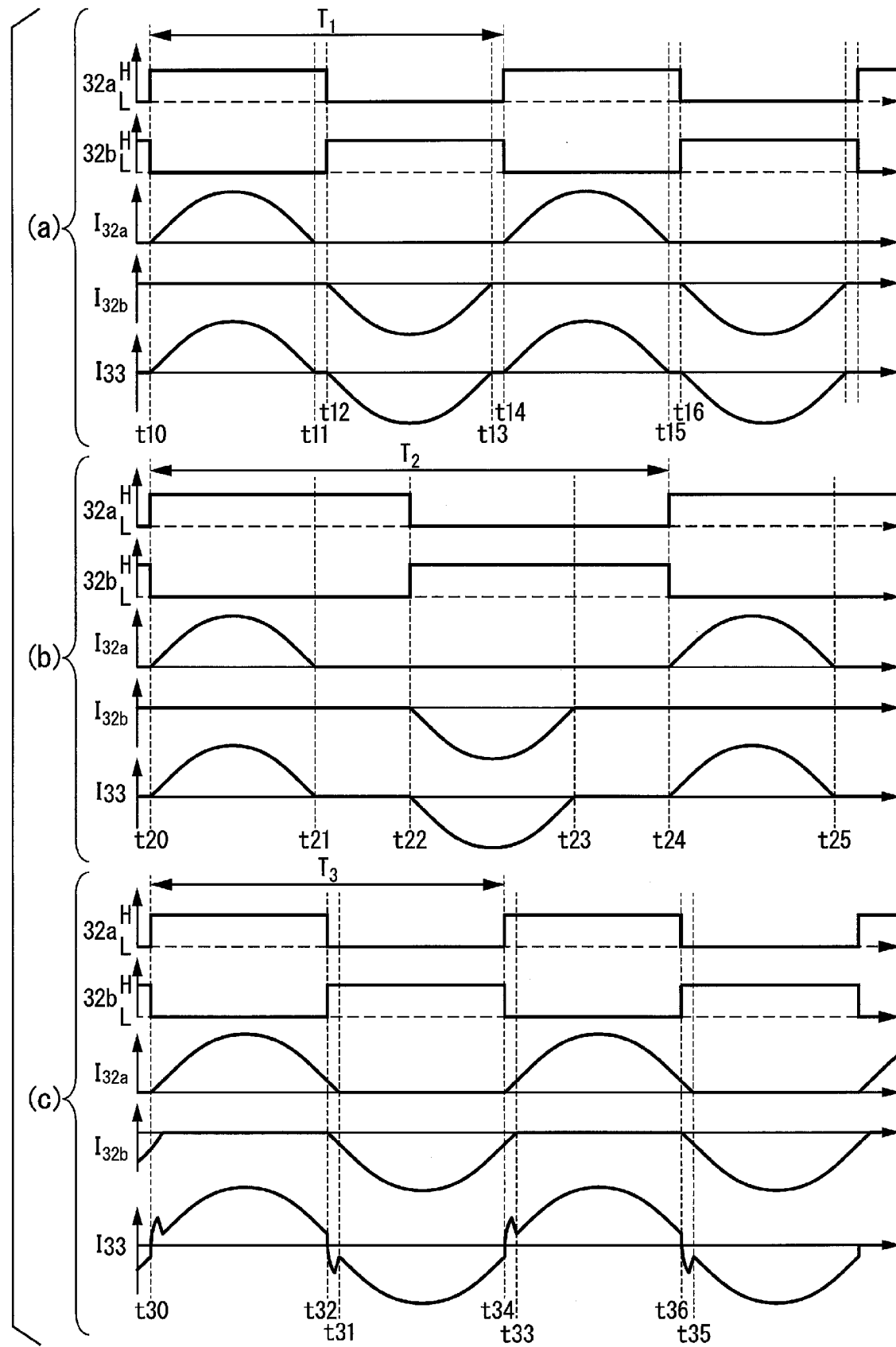
[図1B]



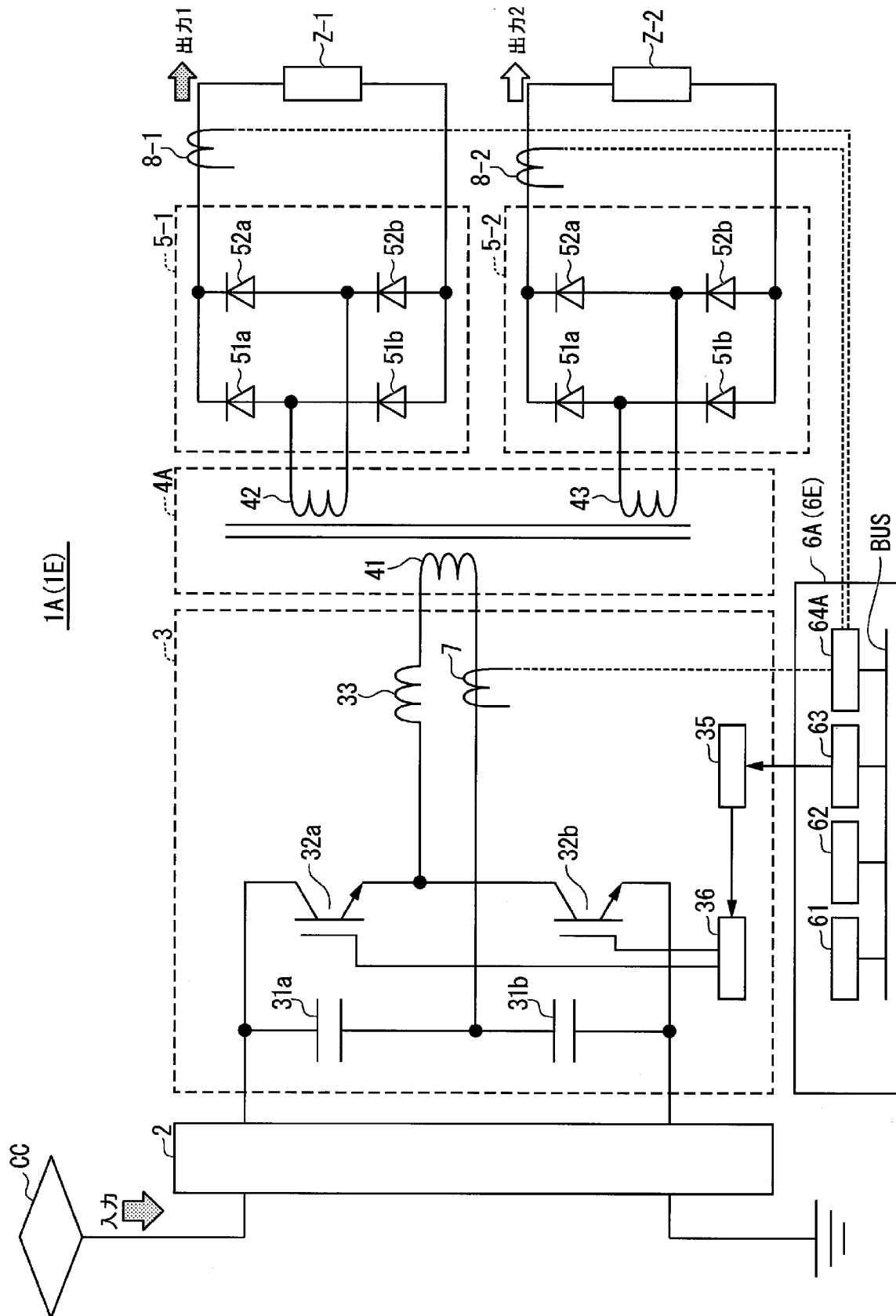
[図1C]



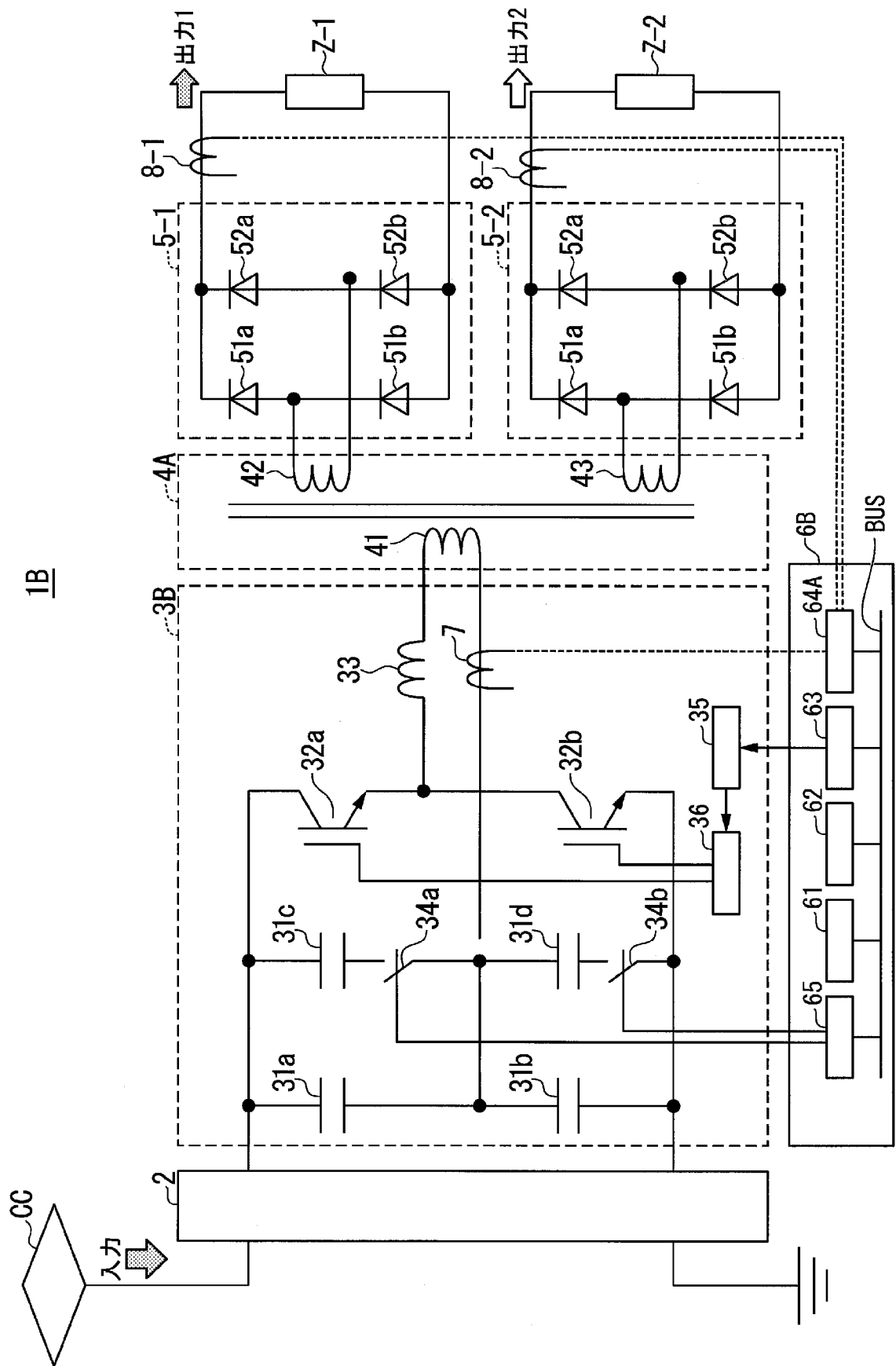
[図1D]



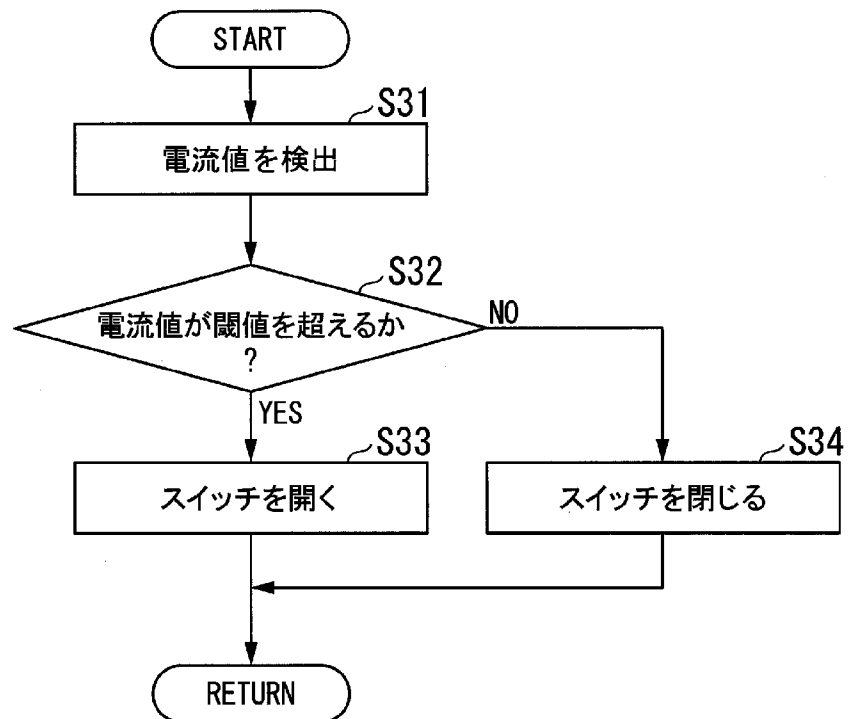
[図2]



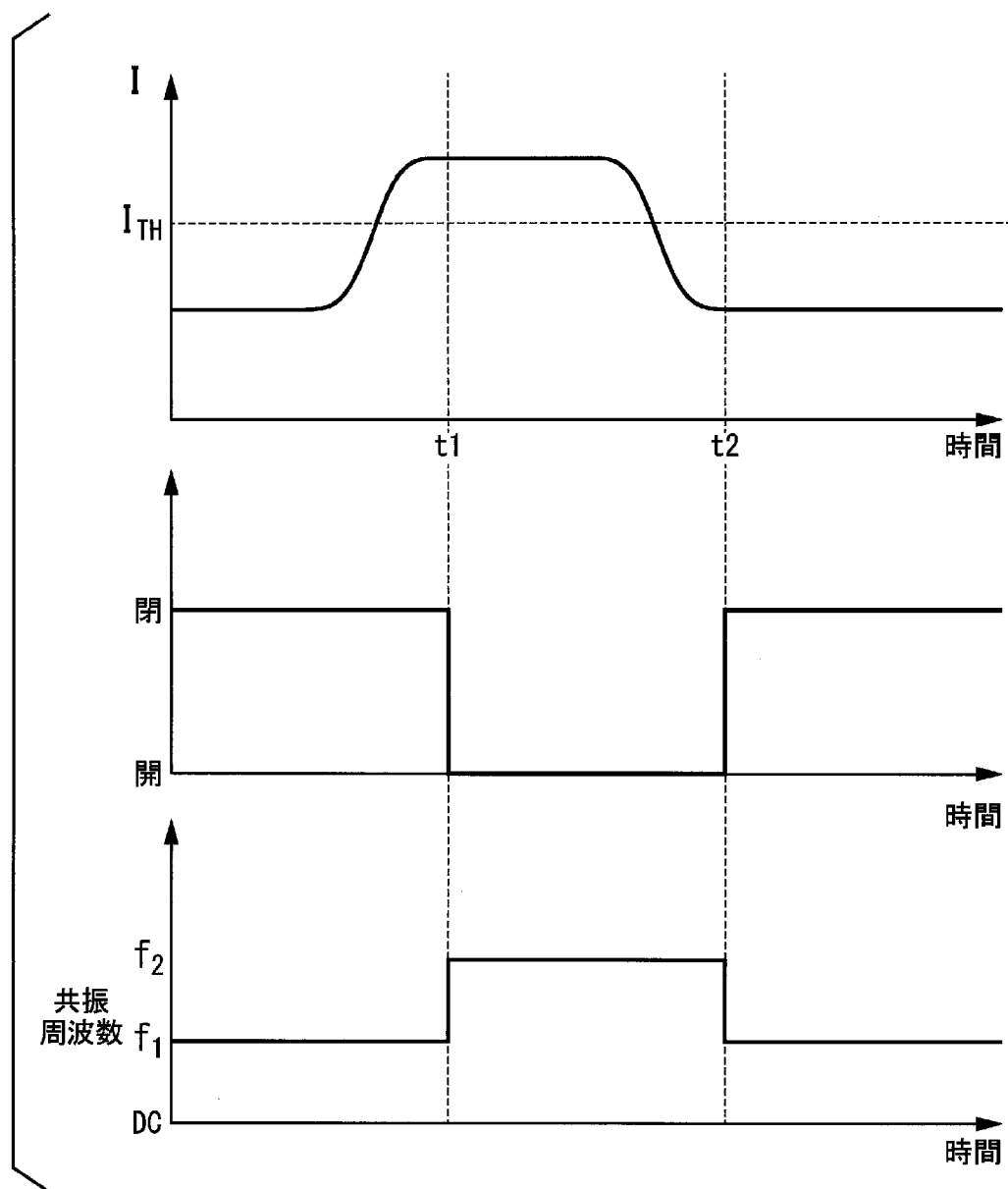
[図3A]



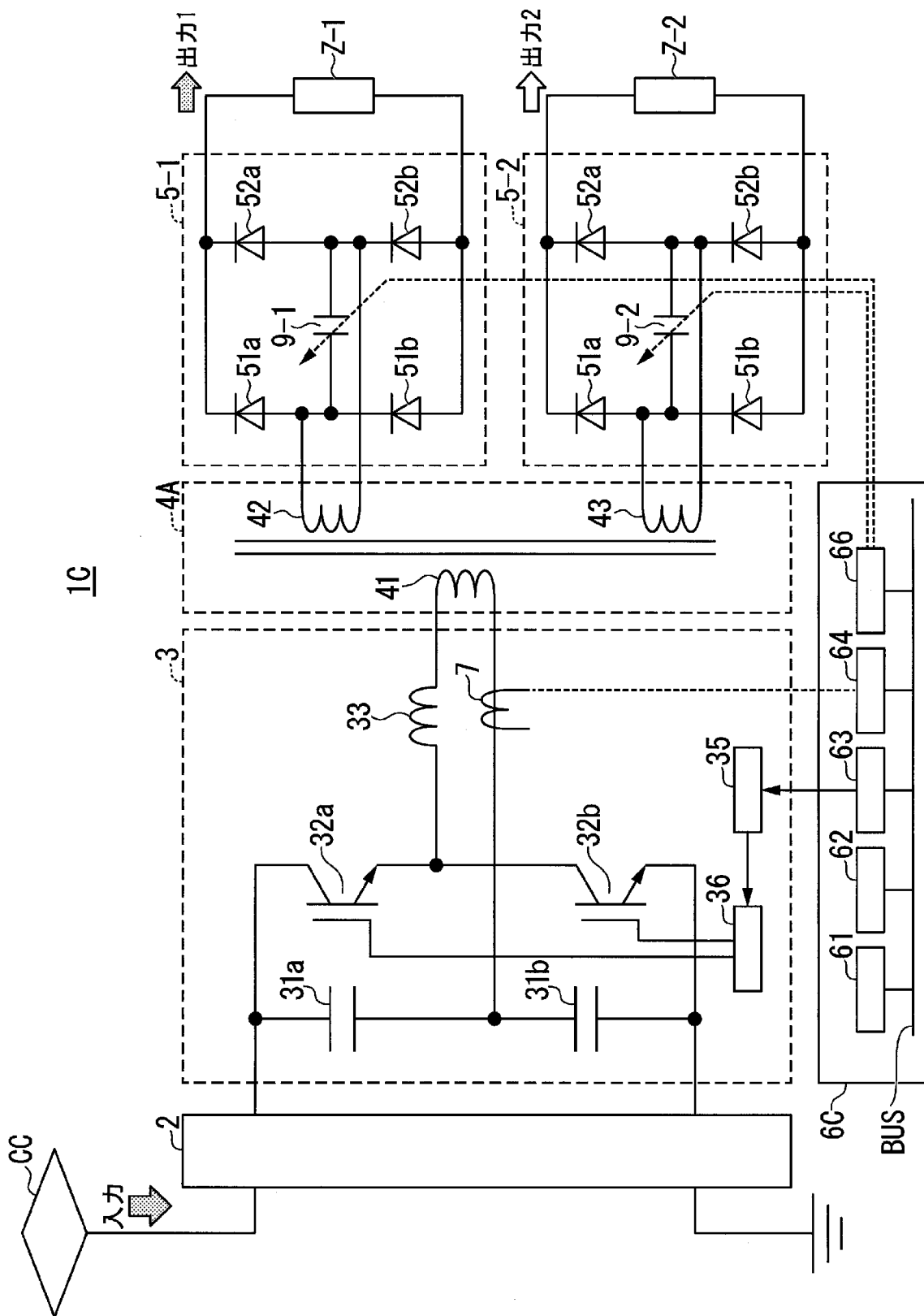
[図3B]



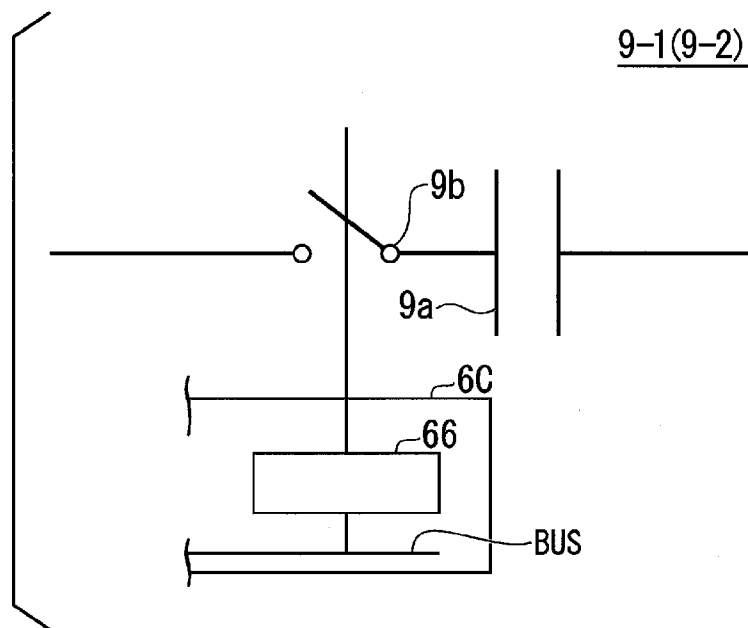
[図3C]



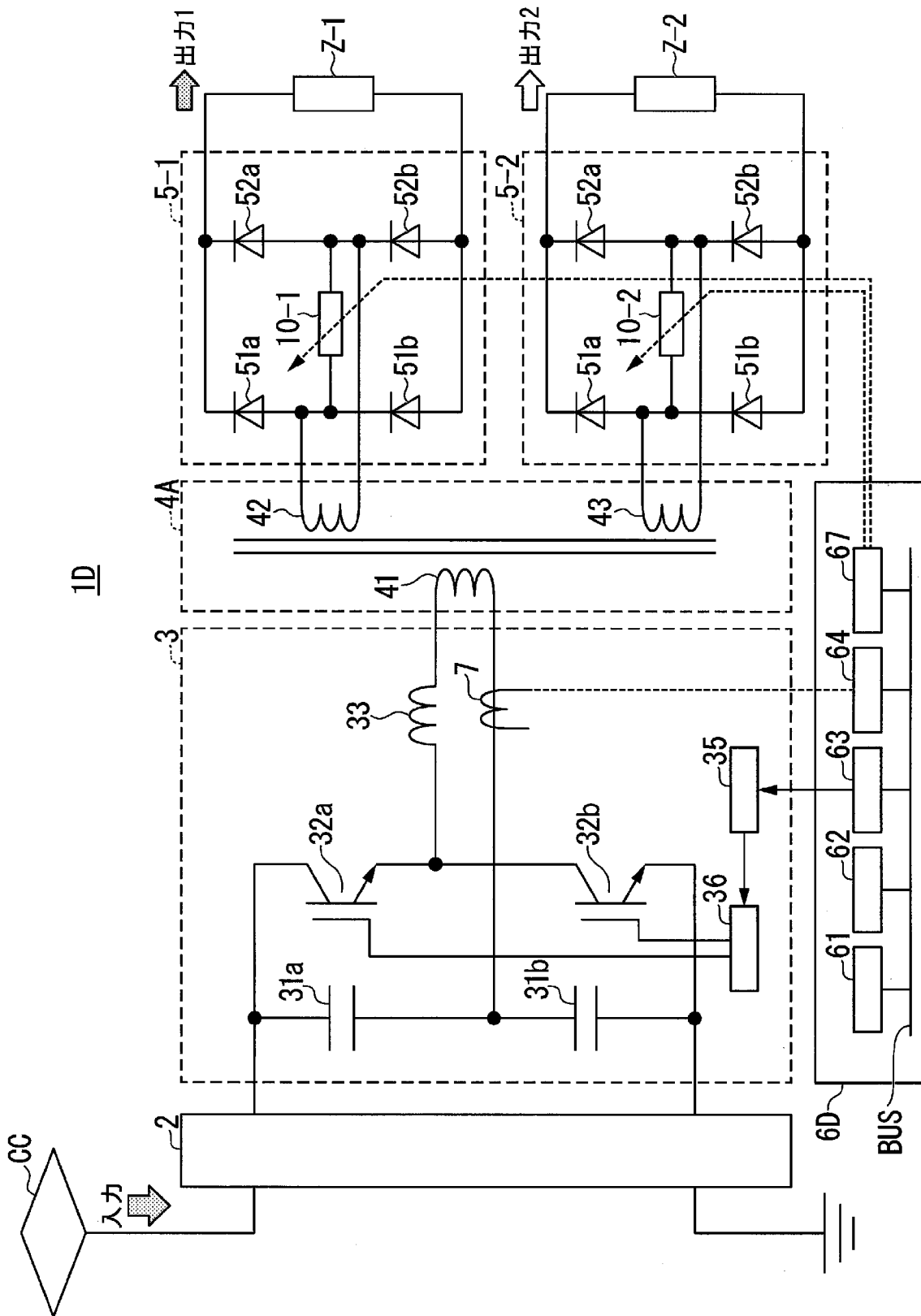
[図4A]



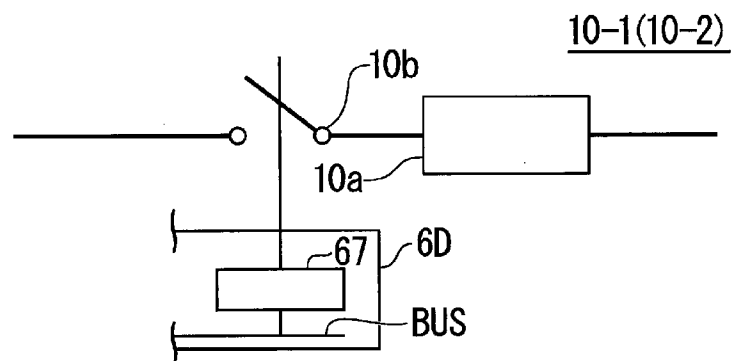
[図4B]



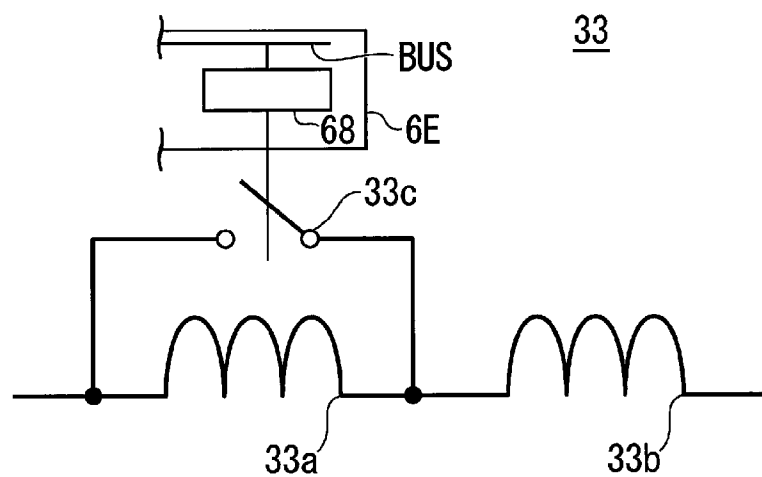
[図5A]



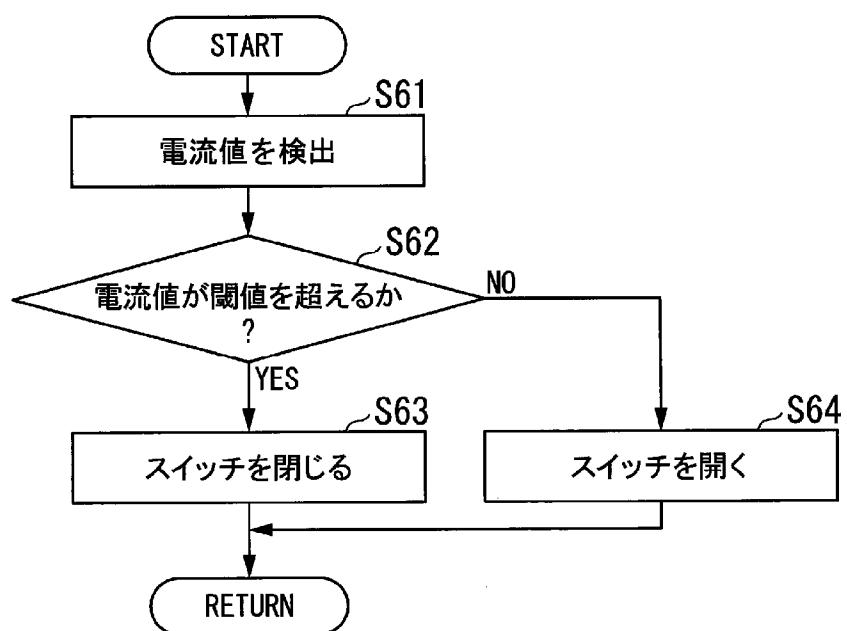
[図5B]



[図6A]



[図6B]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2018/040485

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int. Cl. H02M3/28 (2006.01) i, B60L1/00 (2006.01) i, H02M7/48 (2007.01) 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)

Int. Cl. H02M3/28, B60L1/00, H02M7/48

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Published examined utility model applications of Japan 1922-1996

Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2018

Registered utility model specifications of Japan 1996-2018

Published registered utility model applications of Japan 1994-2018

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 A	JP 2003-47245 A (TOSHIBA CORP.) 14 February 2003, paragraphs [0112]-[0123], fig. 7 (Family: none)	1 2-8
Y	JP 2005-151608 A (HITACHI, LTD.) 09 June 2005, paragraphs [0016]-[0018], fig. 1, 2 & US 2005/0099827 A1, paragraphs [0032]-[0034], fig. 1, 2	1
Y	JP 2012-253968 A (DAIHEN CORP.) 20 December 2012, paragraphs [0022]-[0031], fig. 1 (Family: none)	1
A	JP 2015-177595 A (OMRON CORP.) 05 October 2015, entire text, all drawings (Family: none)	1-8



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
07.12.2018

Date of mailing of the international search report
18.12.2018

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2018/040485

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 2017-192281 A (FUJI ELECTRIC CO., LTD.) 19 October 2017, entire text, all drawings & US 2017/0294844 A1, entire text, all drawings	1-8

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. H02M3/28(2006.01)i, B60L1/00(2006.01)i, H02M7/48(2007.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. H02M3/28, B60L1/00, H02M7/48

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	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2018年
日本国実用新案登録公報	1996-2018年
日本国登録実用新案公報	1994-2018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 A	JP 2003-47245 A（株式会社東芝）2003.02.14, [0112] - [0123], 図7（ファミリーなし）	1 2-8
Y	JP 2005-151608 A（株式会社日立製作所）2005.06.09, [0016] - [0018], 図1-2 & US 2005/0099827 A1, [0032] - [0034], 図1-2	1
Y	JP 2012-253968 A（株式会社ダイヘン）2012.12.20, [0022] - [0031], 図1（ファミリーなし）	1

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

07.12.2018

国際調査報告の発送日

18.12.2018

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（ISA/J P）
郵便番号100-8915
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

高野 誠治

5G

3567

電話番号 03-3581-1101 内線 3526

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
A	JP 2015-177595 A (オムロン株式会社) 2015. 10. 05, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-8
A	JP 2017-192281 A (富士電機株式会社) 2017. 10. 19, 全文, 全図 & US 2017/0294844 A1, 全文, 全図	1-8