

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2017-139855  
(P2017-139855A)

(43) 公開日 平成29年8月10日 (2017.8.10)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
<b>HO2J 50/00 (2016.01)</b>	HO2J 17/00 B	5G503
<b>HO2J 7/00 (2006.01)</b>	HO2J 17/00 X	5H770
<b>HO2M 7/48 (2007.01)</b>	HO2J 7/00 301D	
	HO2M 7/48 M	

審査請求 有 請求項の数 4 O L (全 25 頁)

(21) 出願番号 特願2016-17838 (P2016-17838)  
(22) 出願日 平成28年2月2日 (2016.2.2)

(71) 出願人 000003207  
トヨタ自動車株式会社  
愛知県豊田市トヨタ町1番地  
(74) 代理人 110001195  
特許業務法人深見特許事務所  
(72) 発明者 三澤 崇弘  
愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動車株式会社内  
Fターム(参考) 5G503 AA01 BA01 BB01 CA01 CA11  
CB09 CC02 FA16 FA17 GA01  
GB03 GB06 GB08 GD04 GD06

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 送電装置及び電力伝送システム

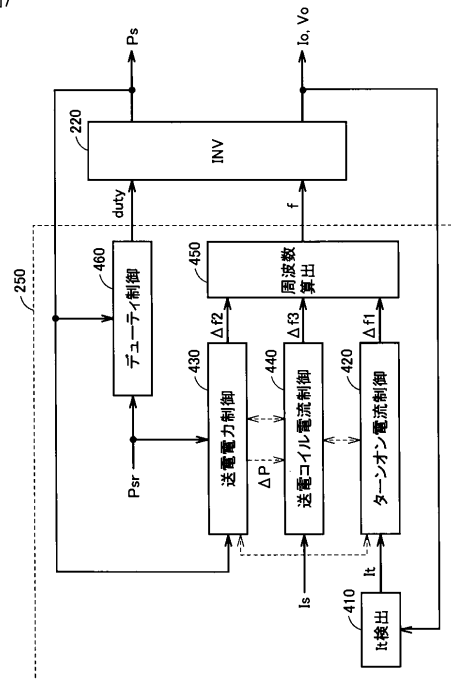
(57) 【要約】

【課題】受電装置へ非接触で送電する送電装置及びそれを備える電力伝送システムにおいて、送電電力制御、ターンオン電流制御、及び送電コイル電流制御が実装される場合に、部品保護（インバータの保護）を確実に図る。

【解決手段】ターンオン電流制御部420は、ターンオン電流  $I_t$  に基づいてターンオン電流制御を実行する。送電電力制御部430は、送電電力  $P_s$  の大きさが目標に近づくように送電電力制御を実行する。送電コイル電流制御部440は、送電コイルに流れる電流  $I_s$  が最小となるように送電コイル電流制御を実行する。ターンオン電流制御の実行中は、送電電力制御及び送電コイル電流制御は実行されない。ターンオン電流制御の非実行時は、送電電力制御及び送電コイル電流制御の少なくとも一方が実行される。

【選択図】 図7

図7



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

受電装置へ非接触で送電する送電コイルと、  
交流の送電電力を生成して前記送電コイルへ供給する電圧形のインバータと、  
前記インバータを制御することによって前記送電電力の周波数を調整する制御装置とを  
備え、

前記制御装置は、

前記インバータの出力電圧の位相に対して前記インバータの出力電流の位相が進んでい  
る場合に、前記出力電流の位相を遅らせる方向に前記周波数を調整する第 1 の制御を実行  
する第 1 の制御部と、

前記送電電力の大きさが目標に近づくように前記周波数を調整する第 2 の制御を実行す  
る第 2 の制御部と、

前記送電電力が維持される下で前記送電コイルに流れる電流が最小となるように前記周  
波数を調整する第 3 の制御を実行する第 3 の制御部とを含み、

前記第 1 の制御の実行中は、前記第 2 及び第 3 の制御は実行されず、

前記第 1 の制御の非実行時は、前記第 2 及び第 3 の制御の少なくとも一方が実行される  
、送電装置。

10

## 【請求項 2】

前記インバータの起動後に前記送電電力が前記目標に一旦到達した後であって、前記第  
1 の制御が非実行のときは、

前記第 2 の制御の実行中は、前記第 3 の制御は実行されず、

前記第 3 の制御の実行中は、前記第 2 の制御は実行されない、請求項 1 に記載の送電装  
置。

20

## 【請求項 3】

前記インバータの起動後に前記送電電力が前記目標に一旦到達した後であって、前記第  
1 の制御が非実行のときは、

前記目標と前記送電電力の検出値との差がしきい値以上の場合に、前記第 2 の制御が実  
行され、

前記差が前記しきい値よりも小さい場合に、前記第 3 の制御が実行される、請求項 2 に  
記載の送電装置。

30

## 【請求項 4】

送電装置と、

前記送電装置から非接触で受電する受電装置とを備え、

前記送電装置は、

前記受電装置へ非接触で送電する送電コイルと、

交流の送電電力を生成して前記送電コイルへ供給する電圧形のインバータと、

前記インバータを制御することによって前記送電電力の周波数を調整する制御装置とを  
含み、

前記制御装置は、

前記インバータの出力電圧の位相に対して前記インバータの出力電流の位相が進んでい  
る場合に、前記出力電流の位相を遅らせる方向に前記周波数を調整する第 1 の制御を実行  
する第 1 の制御部と、

前記送電電力の大きさが目標に近づくように前記周波数を調整する第 2 の制御を実行す  
る第 2 の制御部と、

前記送電電力が維持される下で前記送電コイルに流れる電流が最小となるように前記周  
波数を調整する第 3 の制御を実行する第 3 の制御部とを含み、

前記第 1 の制御の実行中は、前記第 2 及び第 3 の制御は実行されず、

前記第 1 の制御の非実行時は、前記第 2 及び第 3 の制御の少なくとも一方が実行される  
、電力伝送システム。

40

## 【発明の詳細な説明】

50

## 【技術分野】

## 【0001】

この発明は、送電装置及び電力伝送システムに関し、特に、受電装置へ非接触で送電する送電装置及びそれを備える電力伝送システムに関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

送電装置から受電装置へ非接触で電力を伝送する電力伝送システムが知られている（たとえば特許文献1～6参照）。このような電力伝送システムについて、特開2014-207795号公報（特許文献1）は、給電装置（送電装置）から車両（受電装置）へ非接触で給電する非接触給電システムを開示する。この非接触給電システムでは、給電装置は、送電コイルと、インバータと、制御部とを備える。送電コイルは、車両に搭載された受電コイルへ非接触で送電する。インバータは、駆動周波数に応じた交流電流を生成して送電コイルへ出力する。制御部は、バッテリーへの充電電力指令とバッテリーへの出力電力とを車両側から取得し、出力電力が充電電力指令に追従するようにインバータの駆動周波数をフィードバック制御する（特許文献1参照）。

10

## 【先行技術文献】

## 【特許文献】

## 【0003】

【特許文献1】特開2014-207795号公報

【特許文献2】特開2013-154815号公報

【特許文献3】特開2013-146154号公報

【特許文献4】特開2013-146148号公報

【特許文献5】特開2013-110822号公報

【特許文献6】特開2013-126327号公報

20

## 【発明の概要】

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0004】

特許文献1に記載の非接触給電システムのように、周波数を調整することによって送電電力の大きさを制御することができ、電力の追従性を確保することができる（以下、この制御を「送電電力制御」とも称する。）。

30

## 【0005】

また、周波数を調整することによって、インバータの出力電圧に対する出力電流の位相を制御することができる。電圧形のインバータにおいては、電圧の位相に対して電流の位相が進むと、インバータの還流ダイオードにリカバリー電流が流れ、インバータが故障するおそれがある。そこで、電圧の位相に対して電流の位相が進んでいる場合に、電流の位相を遅らせる方向に周波数を調整することによってインバータを保護することができる。なお、電圧の位相に対する電流の位相の進みは、電圧の立上り時に正の電流（正のターンオン電流）が流れるか否かで検知することができる。したがって、ターンオン電流の検出値に基づいて、電流の位相を遅らせる方向に周波数を調整することができる（以下、このターンオン電流の検出値に基づく制御を「ターンオン電流制御」とも称する。）。

40

## 【0006】

さらに、周波数を調整することによって、電力が維持される下で送電コイルに流れる電流を制御することもできる。そして、送電コイルに流れる電流が最小となるように周波数を調整することによって、送電コイルと受電コイルとの間の電力伝送効率を高めることができる（以下、この制御を「送電コイル電流制御」とも称する。）。

## 【0007】

上記の各制御は、いずれも周波数を操作するものである。そのため、上記3つの制御が併せて実装される場合、ある制御の出力（周波数操作）が他の制御の目的に対して悪影響を与える可能性がある。各制御の目的のうち、ターンオン電流制御による部品保護（インバータの保護）は、送電電力制御による電力追従、及び送電コイル電流制御による電力伝

50

送効率向上よりも優先されるべきである。

【0008】

この発明は、かかる課題を解決するためになされたものであり、その目的は、受電装置へ非接触で送電する送電装置及びそれを備える電力伝送システムにおいて、送電電力制御、ターンオン電流制御、及び送電コイル電流制御が実装される場合に、部品保護（インバータの保護）を確実に図ることである。

【課題を解決するための手段】

【0009】

この発明に従う送電装置は、受電装置へ非接触で送電する送電コイルと、電圧形のインバータと、制御装置とを備える。インバータは、交流の送電電力を生成して送電コイルへ供給する。制御装置は、インバータを制御することによって送電電力の周波数を調整する。制御装置は、第1の制御部と、第2の制御部と、第3の制御部とを含む。第1の制御部は、インバータの出力電圧の位相に対してインバータの出力電流の位相が進んでいる場合に、出力電流の位相を遅らせる方向に周波数を調整する第1の制御（ターンオン電流制御）を実行する。第2の制御部は、送電電力の大きさが目標に近づくように周波数を調整する第2の制御（送電電力制御）を実行する。第3の制御部は、送電電力が維持される下で送電コイルに流れる電流が最小となるように周波数を調整する第3の制御（送電コイル電流制御）を実行する。そして、第1の制御の実行中は、第2及び第3の制御は実行されず、第1の制御の非実行時は、第2及び第3の制御の少なくとも一方が実行される。

10

【0010】

また、この発明に従う電力伝送システムは、送電装置と、送電装置から非接触で受電する受電装置とを備える。送電装置は、受電装置へ非接触で送電する送電コイルと、電圧形のインバータと、制御装置とを含む。インバータは、交流の送電電力を生成して送電コイルへ供給する。制御装置は、インバータを制御することによって送電電力の周波数を調整する。制御装置は、第1の制御部と、第2の制御部と、第3の制御部とを含む。第1の制御部は、インバータの出力電圧の位相に対してインバータの出力電流の位相が進んでいる場合に、出力電流の位相を遅らせる方向に周波数を調整する第1の制御（ターンオン電流制御）を実行する。第2の制御部は、送電電力の大きさが目標に近づくように周波数を調整する第2の制御（送電電力制御）を実行する。第3の制御部は、送電電力が維持される下で送電コイルに流れる電流が最小となるように周波数を調整する第3の制御（送電コイル電流制御）を実行する。そして、第1の制御の実行中は、第2及び第3の制御は実行されず、第1の制御の非実行時は、第2及び第3の制御の少なくとも一方が実行される。

20

30

【0011】

上記のような構成とすることにより、第1の制御（ターンオン電流制御）が第2の制御（送電電力制御）及び第3の制御（送電コイル電流制御）に対して優先して動作する。したがって、上記の送電装置及び電力伝送システムによれば、第1から第3の制御が実装される場合に、部品保護（インバータの保護）を確実に図ることができる。

【0012】

好ましくは、インバータの起動後に送電電力が目標に一旦到達した後であって、第1の制御が非実行のときは、第2の制御の実行中は第3の制御は実行されず、第3の制御の実行中は第2の制御は実行されない。

40

【0013】

このような構成とすることにより、第2の制御の実行中に、第3の制御が第2の制御に悪影響を与えるのを防止することができる。また、第3の制御の実行中に、第2の制御が第3の制御に悪影響を与えるのを防止することができる。

【0014】

さらに好ましくは、インバータの起動後に送電電力が目標に一旦到達した後であって、第1の制御が非実行のときは、送電電力の目標と検出値との差（電力偏差）がしきい値以上の場合に第2の制御が実行され、電力偏差がしきい値よりも小さい場合に第3の制御が実行される。

50

## 【0015】

このような構成とすることにより、電力偏差が大きいときは、第2の制御が第3の制御に対して優先して動作する。一方、電力偏差が小さいときは、第3の制御が第2の制御に対して優先して動作する。これにより、電力偏差が大きいときは、第2の制御による電力追従性が確保され、電力偏差が小さいときは、第3の制御による電力伝送効率向上を図ることができる。

## 【発明の効果】

## 【0016】

この発明によれば、受電装置へ非接触で送電する送電装置及びそれを備える電力伝送システムにおいて、第1から第3の制御（送電電力制御、ターンオン電流制御、及び送電コイル電流制御）が実装される場合に、部品保護（インバータの保護）を確実に図ることができる。

10

## 【図面の簡単な説明】

## 【0017】

【図1】この発明の実施の形態に従う送電装置が適用される電力伝送システムの全体構成図である。

【図2】図1に示す送電部及び受電部の回路構成の一例を示した図である。

【図3】図1に示すインバータの回路構成を示した図である。

【図4】インバータのスイッチング波形と、出力電圧及び出力電流の波形とを示した図である。

20

【図5】送電部から受電部への電力伝送効率を説明するための等価回路図である。

【図6】送電電力一定下における、送電コイルに流れる電流の周波数依存性を例示した図である。

【図7】電源ECUにより実行される制御の制御ブロック図である。

【図8】ターンオン電流制御の動作領域を示した図である。

【図9】インバータの起動後に、送電電力が目標電力に到達するまでの送電電力制御の動作領域を示した図である。

【図10】インバータの起動後に、送電電力が目標電力に一旦到達した後の送電電力制御の動作領域を示した図である。

【図11】インバータの起動後に、送電電力が目標電力に一旦到達した後の送電コイル電流制御の動作領域を示した図である。

30

【図12】インバータが起動してからの動作点の推移の一例を示した図である。

【図13】図7に示すターンオン電流制御部における処理手順を説明するフローチャートである。

【図14】図7に示す送電電力制御部における処理手順を説明するフローチャートである。

【図15】図14のステップS180において実行される電力到達前制御の処理手順を説明するフローチャートである。

【図16】図14のステップS200において実行される電力到達後制御の処理手順を説明するフローチャートである。

40

【図17】図7に示す送電コイル電流制御部における処理手順を説明するフローチャートである。

【図18】図17のステップS490において実行される送電コイル電流制御の制御ブロック図である。

## 【発明を実施するための形態】

## 【0018】

以下、本発明の実施の形態について、図面を参照しながら詳細に説明する。なお、図中同一又は相当部分には同一符号を付してその説明は繰返さない。

## 【0019】

（電力伝送システムの全体構成）

50

図1は、この発明の実施の形態に従う送電装置が適用される電力伝送システムの全体構成図である。図1を参照して、この電力伝送システムは、送電装置10と、受電装置20とを備える。受電装置20は、たとえば、送電装置10から供給され蓄えられた電力を用いて走行可能な車両等に搭載される。

【0020】

送電装置10は、力率改善(PFC(Power Factor Correction))回路210と、インバータ220と、フィルタ回路230と、送電部240とを含む。また、送電装置10は、電源ECU(Electronic Control Unit)250と、通信部260と、電圧センサ270と、電流センサ272, 274とをさらに含む。

【0021】

PFC回路210は、商用系統電源等の交流電源100から受ける電力を整流及び昇圧してインバータ220へ供給するとともに、入力電流を正弦波に近づけることで力率を改善する。このPFC回路210には、公知の種々のPFC回路を採用し得る。なお、PFC回路210に代えて、力率改善機能を有しない整流器を採用してもよい。

【0022】

インバータ220は、電源ECU250によって制御され、PFC回路210から受ける直流電力を、所定の周波数(たとえば数十kHz)を有する送電電力(交流)に変換する。インバータ220は、電源ECU250からの制御信号に従ってスイッチング周波数を変更することにより、送電電力の周波数を調整することができる。インバータ220によって生成された送電電力は、フィルタ回路230を通じて送電部240へ供給される。インバータ220は、たとえば単相フルブリッジ回路によって構成される。

【0023】

フィルタ回路230は、インバータ220と送電部240との間に設けられ、インバータ220から発生する高調波ノイズを抑制する。フィルタ回路230は、たとえば、インダクタ及びキャパシタを含むLCフィルタによって構成される。

【0024】

送電部240は、インバータ220により生成される交流電力(送電電力)をインバータ220からフィルタ回路230を通じて受け、送電部240の周囲に生成される磁界を通じて受電装置20の受電部310へ非接触で送電する。送電部240は、受電部310へ非接触で送電するための共振回路を含む(図示せず)。共振回路は、コイルとキャパシタとによって構成され得るが、コイルのみで所望の共振状態が形成される場合には、キャパシタを設けなくてもよい。

【0025】

電圧センサ270は、インバータ220の出力電圧 $V_o$ を検出し、その検出値を電源ECU250へ出力する。電流センサ272は、インバータ220に流れる電流すなわちインバータ220の出力電流 $I_o$ を検出し、その検出値を電源ECU250へ出力する。なお、電圧センサ270及び電流センサ272の検出値に基づいて、インバータ220から送電部240へ供給される送電電力を検出することができる。電流センサ274は、送電部240に流れる電流 $I_s$ を検出し、その検出値を電源ECU250へ出力する。

【0026】

電源ECU250は、CPU(Central Processing Unit)、処理プログラム等を記憶するROM(Read Only Memory)、データを一時的に記憶するRAM(Random Access Memory)、各種信号を入出力するための入出力ポート等を含み(いずれも図示せず)、上述の各センサ等からの信号を受けるとともに、送電装置10における各種機器の制御を実行する。たとえば、電源ECU250は、送電装置10から受電装置20への電力伝送が行なわれるときに、送電電力(交流)をインバータ220が生成するようにインバータ220のスイッチング制御を実行する。なお、各種制御については、ソフトウェアによる処理に限られず、専用のハードウェア(電子回路)で処理することも可能である。

【0027】

この実施の形態に従う送電装置10では、電源ECU250により実行される主要な制

10

20

30

40

50

御として、電源 ECU 250 は、ターンオン電流の検出値に基づいて、インバータ 220 のスイッチング周波数を操作して送電電力の周波数を調整する制御（ターンオン電流制御）を実行する。すなわち、電源 ECU 250 は、ターンオン電流の検出値に基づいて、インバータ 220 の出力電圧  $V_o$  の位相に対して出力電流  $I_o$  の位相が進んでいるかを検知し、電流の位相の進みが検知された場合に、電流の位相を遅らせる方向に周波数を調整する。

【0028】

また、電源 ECU 250 は、送電装置 10 から受電装置 20 への送電中に、インバータ 220 により生成される送電電力（交流）の大きさが目標に近づくように周波数を調整する制御（送電電力制御）を実行する。さらに、電源 ECU 250 は、送電電力が維持される下で、送電部 240 に含まれる送電コイル（後述）に流れる電流  $I_s$  が最小となるように周波数を調整する制御（送電コイル電流制御）を実行する。

10

【0029】

これらの各制御は、いずれも周波数を調整する（周波数を操作量とする）ものであり、ある制御の出力（周波数操作）が他の制御の目的に悪影響を与える可能性がある。そこで、この実施の形態に従う送電装置 10 では、電源 ECU 250 は、部品保護（インバータ 220 の保護）を目的とするターンオン電流制御を、送電電力制御及び送電コイル電流制御に対して優先して動作させる。電源 ECU 250 により実行される制御の詳細については後ほど説明する。

【0030】

通信部 260 は、受電装置 20 の通信部 370 と無線通信するように構成される。通信部 260 は、受電装置 20 から送信される送電電力の目標（目標電力）を受信するほか、電力伝送の開始/停止に関する情報を受電装置 20 とやり取りしたり、受電装置 20 の受電状況（受電電圧や受電電流、受電電力等）を受電装置 20 から受信したりする。

20

【0031】

一方、受電装置 20 は、受電部 310 と、フィルタ回路 320 と、整流部 330 と、リレー回路 340 と、蓄電装置 350 とを含む。また、受電装置 20 は、充電 ECU 360 と、通信部 370 と、電圧センサ 380 と、電流センサ 382 とをさらに含む。

【0032】

受電部 310 は、送電装置 10 の送電部 240 から出力される電力（交流）を、磁界を通じて非接触で受電する。受電部 310 は、たとえば、送電部 240 から非接触で受電するための共振回路を含む（図示せず）。共振回路は、コイルとキャパシタとによって構成され得るが、コイルのみで所望の共振状態が形成される場合には、キャパシタを設けなくてもよい。

30

【0033】

フィルタ回路 320 は、受電部 310 と整流部 330 との間に設けられ、受電部 310 による受電時に発生する高調波ノイズを抑制する。フィルタ回路 320 は、たとえば、インダクタ及びキャパシタを含む LC フィルタによって構成される。整流部 330 は、受電部 310 によって受電された交流電力を整流して蓄電装置 350 へ出力する。整流部 330 は、整流器とともに平滑用のキャパシタを含んで構成される。

40

【0034】

蓄電装置 350 は、再充電可能な直流電源であり、たとえばリチウムイオン電池やニッケル水素電池などの二次電池を含んで構成される。蓄電装置 350 は、整流部 330 から出力される電力を蓄える。そして、蓄電装置 350 は、その蓄えられた電力を図示しない負荷駆動装置等へ供給する。なお、蓄電装置 350 として電気二重層キャパシタ等も採用可能である。

【0035】

リレー回路 340 は、整流部 330 と蓄電装置 350 との間に設けられる。リレー回路 340 は、送電装置 10 による蓄電装置 350 の充電時にオン（導通状態）にされる。電圧センサ 380 は、整流部 330 の出力電圧（受電電圧）を検出し、その検出値を充電 E

50

C U 3 6 0 へ出力する。電流センサ 3 8 2 は、整流部 3 3 0 からの出力電流（受電電流）を検出し、その検出値を充電 E C U 3 6 0 へ出力する。電圧センサ 3 8 0 及び電流センサ 3 8 2 の検出値に基づいて、受電部 3 1 0 による受電電力（蓄電装置 3 5 0 の充電電力に相当する。）を検出することができる。電圧センサ 3 8 0 及び電流センサ 3 8 2 は、受電部 3 1 0 と整流部 3 3 0 との間（たとえば、フィルタ回路 3 2 0 と整流部 3 3 0 との間）に設けてもよい。

#### 【 0 0 3 6 】

充電 E C U 3 6 0 は、C P U、R O M、R A M、入出力ポート等を含み（いずれも図示せず）、上記の各センサ等からの信号を受けるとともに、受電装置 2 0 における各種機器の制御を行なう。各種制御については、ソフトウェアによる処理に限られず、専用のハードウェア（電子回路）で処理することも可能である。

10

#### 【 0 0 3 7 】

充電 E C U 3 6 0 により実行される主要な制御として、充電 E C U 3 6 0 は、送電装置 1 0 からの受電中に、受電装置 2 0 における受電電力が所望の目標となるように、送電装置 1 0 における送電電力の目標（目標電力）を生成する。具体的には、充電 E C U 3 6 0 は、受電電力の目標と検出値との偏差に基づいて、送電装置 1 0 における送電電力の目標を生成する。そして、充電 E C U 3 6 0 は、生成された送電電力の目標（目標電力）を通信部 3 7 0 によって送電装置 1 0 へ送信する。

#### 【 0 0 3 8 】

通信部 3 7 0 は、送電装置 1 0 の通信部 2 6 0 と無線通信するように構成される。通信部 3 7 0 は、充電 E C U 3 6 0 において生成される送電電力の目標（目標電力）を送電装置 1 0 へ送信するほか、電力伝送の開始/停止に関する情報を送電装置 1 0 とやり取りしたり、受電装置 2 0 の受電状況（受電電圧や受電電流、受電電力等）を送電装置 1 0 へ送信したりする。

20

#### 【 0 0 3 9 】

図 2 は、図 1 に示した送電部 2 4 0 及び受電部 3 1 0 の回路構成の一例を示した図である。図 2 を参照して、送電部 2 4 0 は、送電コイル 2 4 2 と、キャパシタ 2 4 4 とを含む。キャパシタ 2 4 4 は、送電コイル 2 4 2 に直列に接続されて送電コイル 2 4 2 と共振回路を形成する。キャパシタ 2 4 4 は、送電部 2 4 0 の共振周波数を調整するために設けられる。送電コイル 2 4 2 及びキャパシタ 2 4 4 によって構成される共振回路の共振強度を示す Q 値は、1 0 0 以上であることが好ましい。

30

#### 【 0 0 4 0 】

受電部 3 1 0 は、受電コイル 3 1 2 と、キャパシタ 3 1 4 とを含む。キャパシタ 3 1 4 は、受電コイル 3 1 2 に直列に接続されて受電コイル 3 1 2 と共振回路を形成する。キャパシタ 3 1 4 は、受電部 3 1 0 の共振周波数を調整するために設けられる。受電コイル 3 1 2 及びキャパシタ 3 1 4 によって構成される共振回路の Q 値も、1 0 0 以上であることが好ましい。

#### 【 0 0 4 1 】

なお、送電部 2 4 0 及び受電部 3 1 0 の各々において、キャパシタは、コイルに並列に接続されてもよい。また、キャパシタを備えることなく所望の共振周波数を達成できる場合には、キャパシタを備えない構成としてもよい。

40

#### 【 0 0 4 2 】

また、特に図示しないが、送電コイル 2 4 2 及び受電コイル 3 1 2 の構造は特に限定されない。たとえば、送電部 2 4 0 と受電部 3 1 0 とが正対する場合に、送電部 2 4 0 と受電部 3 1 0 とが並ぶ方向に沿う軸に巻回される渦巻形状やらせん形状のコイルを送電コイル 2 4 2 及び受電コイル 3 1 2 の各々に採用することができる。或いは、送電部 2 4 0 と受電部 3 1 0 とが正対する場合に、送電部 2 4 0 と受電部 3 1 0 とが並ぶ方向を法線方向とするフェライト板に電線を巻回して成るコイルを送電コイル 2 4 2 及び受電コイル 3 1 2 の各々に採用してもよい。

#### 【 0 0 4 3 】

50



再び図1を参照して、この電力伝送システムにおいては、送電装置10において、インバータ220からフィルタ回路230を通じて送電部240へ交流の送電電力が供給される。送電部240及び受電部310の各々は、共振回路を含み、送電電力の周波数において共振するように設計されている。

【0044】

インバータ220からフィルタ回路230を通じて送電部240へ交流の送電電力が供給されると、送電部240の送電コイル242と、受電部310の受電コイル312との間に形成される磁界を通じて、送電部240から受電部310へエネルギー（電力）が移動する。受電部310へ移動したエネルギー（電力）は、フィルタ回路320及び整流部330を通じて蓄電装置350へ供給される。

10

【0045】

（インバータの電流位相及びターンオン電流の説明）

図3は、図1に示したインバータ220の回路構成を示した図である。図3を参照して、インバータ220は、電圧形のインバータであり、電力用半導体スイッチング素子（以下、単に「スイッチング素子」とも称する。） $Q_1 \sim Q_4$ と、還流ダイオード $D_1 \sim D_4$ とを含む。直流側の端子 $T_1, T_2$ には、PFC回路210（図1）が接続され、交流側の端子 $T_3, T_4$ には、フィルタ回路230（図1）が接続される。

【0046】

スイッチング素子 $Q_1 \sim Q_4$ は、たとえば、IGBT（Insulated Gate Bipolar Transistor）、バイポーラトランジスタ、MOSFET（Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor）、GTO（Gate Turn Off thyristor）等によって構成される。還流ダイオード $D_1 \sim D_4$ は、それぞれスイッチング素子 $Q_1 \sim Q_4$ に逆並列に接続される。

20

【0047】

端子 $T_1, T_2$ 間には、PFC回路210から出力される直流電圧 $V_1$ が印加される。スイッチング素子 $Q_1 \sim Q_4$ のスイッチング動作に伴って、端子 $T_3, T_4$ 間に出力電圧 $V_o$ 及び出力電流 $I_o$ が生じる（図中、矢印で示される方向を正值とする）。この図3では、一例として、スイッチング素子 $Q_1, Q_4$ がONであり、スイッチング素子 $Q_2, Q_3$ がOFFである状態が示されており、この状態では出力電圧 $V_o$ はほぼ電圧 $V_1$ （正值）となる。

30

【0048】

図4は、インバータ220のスイッチング波形と、出力電圧 $V_o$ 及び出力電流 $I_o$ の波形とを示した図である。図4とともに図3を参照して、スイッチング素子 $Q_1 \sim Q_4$ を図示のようにON/OFFさせることにより、スイッチング周波数で変動する方形波の出力電圧 $V_o$ が生成される。すなわち、インバータ220のスイッチング周波数を操作することにより、インバータ220によって生成される送電電力の周波数を調整することができる。

【0049】

点線で示される電流波形は、出力電圧 $V_o$ との位相差が0であるときの出力電流 $I_o$ を示す。一方、実線で示される電流波形は、電圧 $V_o$ の位相に対して電流の位相が進んでいるときの出力電流 $I_o$ を示す。電圧 $V_o$ に対して電流 $I_o$ の位相が進むと、スイッチング素子 $Q_1$ のターンオン時に、スイッチング素子 $Q_3$ に逆並列に接続される還流ダイオード $D_3$ （図3）に逆方向の電流すなわちリカバリ電流が流れる。還流ダイオード $D_3$ にリカバリ電流が流れると、還流ダイオード $D_3$ が破損するおそれがある。電圧 $V_o$ と電流 $I_o$ との位相差が0のとき（点線）、或いは電圧 $V_o$ に対して電流 $I_o$ の位相が遅れているときは（図示せず）、還流ダイオード $D_3$ にリカバリ電流は流れない。

40

【0050】

電圧 $V_o$ に対する電流 $I_o$ の位相は、インバータ220のスイッチング周波数（送電電力の周波数）を調整（操作）することによって制御することができる。そこで、この実施の形態では、電圧 $V_o$ に対して電流 $I_o$ の位相が進んでいる場合には、電流の位相を遅ら

50

せる方向にインバータ 220 のスイッチング周波数（送電電力の周波数）が調整される。

【0051】

電圧  $V_o$  の立上り時（時刻  $t_4$  や時刻  $t_8$ ）における電流  $I_o$  の瞬時値はターンオン電流  $I_t$  を示し、図から理解されるように、電圧  $V_o$  の位相に対する電流  $I_o$  の位相の進みは、正のターンオン電流  $I_t$  が流れるか否かで検知することができる。そこで、この実施の形態では、ターンオン電流  $I_t$  が検出され、ターンオン電流  $I_t$  が 0 よりも大きくなる場合に、ターンオン電流  $I_t$  が小さくなる方向に周波数が調整される（ターンオン電流制御）。

【0052】

なお、ターンオン電流  $I_t$  は、電圧センサ 270 及び電流センサ 272（図 1）によってそれぞれ検出される電圧  $V_o$  及び電流  $I_o$  に基づいて検出することができる。具体的には、電圧  $V_o$  の立上り時における電流  $I_o$  を検出することによってターンオン電流  $I_t$  を検出することができる。

10

【0053】

なお、図中、 $T$  はインバータ 220 のスイッチング周期を示し、 $T_d$  は電圧  $V_o$  の出力時間を示す。周期  $T$  に対する  $T_d$  の期間比は、インバータ出力電圧のデューティとして定義される。スイッチング素子  $Q_1$ 、 $Q_3$  のオン/オフタイミング（オン/オフ期間比 0.5）に対してスイッチング素子  $Q_2$ 、 $Q_4$  のオン/オフタイミング（オン/オフ期間比 0.5）を変化させることによって、インバータ出力電圧のデューティを調整することができる。

20

【0054】

（送電コイルに流れる電流と電力伝送効率との関係）

図 5 は、送電部 240 から受電部 310 への電力伝送効率を説明するための等価回路図である。図 5 を参照して、送電部 240 において、送電コイル 242 のインダクタンスは  $L_1$  であり、キャパシタ 244 のキャパシタンスは  $C_1$  であるものとする。抵抗成分 246 は、送電コイル 242 の巻線抵抗を示し、その抵抗値は  $r_1$  であるものとする。なお、この等価回路図では、送電装置 10 のフィルタ回路 230（図 1）は省略されている。

【0055】

一方、受電部 310 において、受電コイル 312 のインダクタンスは  $L_2$  であり、キャパシタ 314 のキャパシタンスは  $C_2$  であるものとする。抵抗成分 316 は、受電コイル 312 の巻線抵抗を示し、その抵抗値は  $r_2$  であるものとする。負荷 390 は、受電装置 20 において、フィルタ回路 320（図 1）以降の回路を統括的に示したものであり、そのインピーダンスを  $RL$  とする。

30

【0056】

このような回路構成において、送電コイル 242 と受電コイル 312 との間の電力伝送効率  $\eta$  は、次式にて表される。

【0057】

【数 1】

$$\eta = \frac{RL}{RL + r_2 + r_1 \left| \frac{I_1}{I_2} \right|^2} \quad \dots(1)$$

40

【0058】

ここで、 $I_1$  は送電コイル 242 に流れる電流（すなわち電流  $I_s$ ）を示し、 $I_2$  は受電コイル 312 に流れる電流を示す。負荷 390 の電圧は、蓄電装置 350（図 1）によって拘束されるので、電力が維持される下では電流  $I_2$  及びインピーダンス  $RL$  は略一定となる。したがって、式（1）から、電力伝送効率  $\eta$  は電流  $I_1$  の 2 乗に反比例することが理解される。すなわち、送電コイル 242 に流れる電流が小さいほど電力伝送効率  $\eta$  は高くなる。

【0059】

50

図6は、送電電力一定下における、送電コイル242に流れる電流 $I_s$ の周波数依存性を例示した図である。

【0060】

図6を参照して、横軸は、インバータ220のスイッチング周波数を操作することによって調整可能な送電電力の周波数を示す。周波数 $f_a$ は、周波数の調整可能範囲の下限を示し、周波数 $f_b$ は、周波数の調整可能範囲の上限を示す。なお、周波数の調整可能範囲は、送電部240と受電部310との間の電力伝送効率を考慮する等して予め定められる。

【0061】

図示されるように、この例では、周波数の調整可能範囲において、電流 $I_s$ は周波数変化に対して下に凸の曲線となっている。周波数 $f_e$ は、周波数の調整可能範囲において電流 $I_s$ の大きさが最小となる周波数である。

10

【0062】

このような電流 $I_s$ の大きさの周波数依存性から、送電電力が一定の下でも、送電電力の周波数を調整することによって電流 $I_s$ を小さくできることが理解される。たとえば、周波数が $f_b$ の場合、周波数を $f_e$ に調整することによって、送電電力を下げることなく、送電コイル242に流れる電流 $I_s$ を下げるができる。

【0063】

そこで、この実施の形態では、上述のように、送電電力が維持される下で、送電コイル242に流れる電流 $I_s$ が最小となるように、インバータ220のスイッチング周波数を操作して送電電力の周波数が調整される（送電コイル電流制御）。

20

【0064】

（各制御の説明）

この実施の形態に従う送電装置10では、送電電力制御、送電コイル電流制御、及びターンオン電流制御が実行される。送電電力制御は、受電装置20において所望の充電電力を得るために実行される。送電コイル電流制御は、送電部240と受電部310との間の電力伝送効率を高めるために実行される。ターンオン電流制御は、インバータ220の部品保護（還流ダイオードD3の破損防止）のために実行される。

【0065】

これらの制御は、いずれも周波数を操作するものである。そのため、これらの制御が併せて実装される場合、ある制御の出力（周波数操作）が他の制御に悪影響を与える可能性がある。各制御の目的のうち、ターンオン電流制御による部品保護（インバータ220の保護）は、送電電力制御による電力追従、及び送電コイル電流制御による電力伝送効率向上よりも優先されるべきである。

30

【0066】

そこで、この実施の形態に従う送電装置10では、ターンオン電流制御の実行中は、送電電力制御及び送電コイル電流制御が実行されないようにし、ターンオン電流制御の非実行時に、送電電力制御及び送電コイル電流制御を実行可能とする。すなわち、ターンオン電流制御が送電電力制御及び送電コイル電流制御に対して優先して動作する。これにより、部品保護（インバータ220の保護）を確実に図ることができる。

40

【0067】

また、この実施の形態に従う送電装置10では、インバータ220の起動後に送電電力が目標に一旦到達した後は、ターンオン電流制御の非実行時であって送電電力制御の実行中は、送電コイル電流制御は実行されず、ターンオン電流制御の非実行時であって送電コイル電流制御の実行中は、送電電力制御は実行されない。

【0068】

これにより、送電電力制御の実行中に、送電コイル電流制御が送電電力制御に悪影響を与えるのを防止することができる。また、送電コイル電流制御の実行中に、送電電力制御が送電コイル電流制御に悪影響を与えるのを防止することができる。

【0069】

50

さらに、この実施の形態に従う送電装置 10 では、インバータ 220 の起動後に送電電力が目標に一旦到達した後は、ターンオン電流制御の非実行時であって送電電力の目標と検出値との差（電力偏差）がしきい値以上（しきい値  $> 0$ ）の場合に送電電力制御が実行され、ターンオン電流制御の非実行時であって電力偏差が上記しきい値よりも小さい場合に送電コイル電流制御が実行される。

【0070】

これにより、電力偏差が大きいときは、送電電力制御が送電コイル電流制御に対して優先して動作する。一方、電力偏差が小さいときは、送電コイル電流制御が送電電力制御に対して優先して動作する。したがって、電力偏差が大きいときは、送電電力制御による電力追従性が確保され、電力偏差が小さいときは、送電コイル電流制御による電力伝送効率向上を図ることができる。

10

【0071】

図 7 は、電源 ECU 250 により実行される制御の制御ブロック図である。図 7 を参照して、電源 ECU 250 は、ターンオン電流検出部（以下「 $I_t$  検出部」とも称する。）410 と、ターンオン電流制御部 420 と、送電電力制御部 430 と、送電コイル電流制御部 440 と、周波数算出部 450 と、デューティ制御部 460 とを含む。

【0072】

$I_t$  検出部 410 は、インバータ 220 の出力電圧  $V_o$  及び出力電流  $I_o$  の検出値に基づいてターンオン電流  $I_t$  を検出する。具体的には、 $I_t$  検出部 410 は、出力電圧  $V_o$  の立上り時における出力電流  $I_o$  の検出値をターンオン電流  $I_t$  として検出する。

20

【0073】

ターンオン電流制御部 420 は、ターンオン電流  $I_t$  が 0 よりも大きい場合（すなわちインバータ 220 の出力電圧  $V_o$  の位相に対して出力電流  $I_o$  の位相が進んでいる場合）に、電流の位相を遅らせる方向に送電電力の周波数を調整する。具体的には、ターンオン電流制御部 420 は、ターンオン電流  $I_t$  が 0 よりも大きい場合に、ターンオン電流  $I_t$  が小さくなる方向の周波数操作量  $f_1$  を出力する。

【0074】

また、ターンオン電流制御部 420 は、ターンオン電流制御の実行時、すなわちターンオン電流  $I_t$  が 0 よりも大きいとき、ターンオン電流制御が動作中であることを、送電電力制御部 430 及び送電コイル電流制御部 440 へ通知する。ターンオン電流制御部 420 の詳細については、後ほど説明する。

30

【0075】

送電電力制御部 430 は、送電電力  $P_s$  の目標を示す目標電力  $P_{sr}$  と、送電電力  $P_s$  の検出値とを受け取る。目標電力  $P_{sr}$  は、たとえば、受電装置 20 の受電状況に基づいて生成される。この実施の形態では、受電装置 20 において、受電電力の目標と検出値との偏差に基づいて送電電力  $P_s$  の目標電力  $P_{sr}$  が生成され、受電装置 20 から送電装置 10 へ送信される。送電電力  $P_s$  は、電圧センサ 270 及び電流センサ 272（図 1）の検出値に基づいて算出される。

【0076】

そして、送電電力制御部 430 は、送電電力  $P_s$  の大きさが目標電力  $P_{sr}$  に近づくように送電電力の周波数を調整する。具体的には、送電電力制御部 430 は、送電電力  $P_s$  の大きさが目標電力  $P_{sr}$  に近づくように、インバータ 220 のスイッチング周波数の操作量  $f_2$  を出力する。

40

【0077】

ここで、送電電力制御部 430 は、ターンオン電流制御が動作中である旨の通知をターンオン電流制御部 420 から受けているときは、送電電力制御を停止する。すなわち、送電電力制御部 430 は、ターンオン電流制御が動作中のときは、操作量  $f_2$  を 0 で出力する。ターンオン電流制御の実行中は、送電電力制御よりもターンオン電流制御を優先させるためである。

【0078】

50

また、送電電力制御部 430 は、インバータ 220 の起動後、目標電力  $P_{sr}$  と送電電力  $P_s$  との偏差  $P (= P_{sr} - P_s)$  が略 0 となるまでは、送電電力制御を実行する（ターンオン電流制御が動作した場合は停止）。そして、送電電力  $P_s$  が目標電力  $P_{sr}$  に一旦到達すると、送電電力制御部 430 は、電力偏差  $P$  しきい値（しきい値  $> 0$ ）の範囲で送電電力制御を実行する（ターンオン電流制御が動作した場合は停止）。電力偏差  $P$  が小さい範囲では、送電電力制御を停止して送電コイル電流制御を優先させることとしたものである。なお、送電電力制御部 430 は、電力偏差  $P (= P_{sr} - P_s)$  の値を送電コイル電流制御部 440 へ出力する。送電電力制御部 430 の詳細についても、後ほど説明する。

#### 【0079】

送電コイル電流制御部 440 は、送電コイル 242 に流れる電流  $I_s$  の検出値を受ける。そして、送電コイル電流制御部 440 は、送電電力が維持される下で電流  $I_s$  が最小となるように送電電力の周波数を調整する。具体的には、送電コイル電流制御部 440 は、電流  $I_s$  が最小となるように、インバータ 220 のスイッチング周波数の操作量  $f_3$  を算出する。

#### 【0080】

ここで、送電コイル電流制御部 440 も、ターンオン電流制御が動作中である旨の通知をターンオン電流制御部 420 から受けているときは、送電コイル電流制御を停止する。すなわち、送電コイル電流制御部 440 も、ターンオン電流制御が動作中のときは、操作量  $f_3$  を 0 で出力する。ターンオン電流制御の実行中は、送電コイル電流制御よりもターンオン電流制御を優先させるためである。

#### 【0081】

また、送電コイル電流制御部 440 は、電力偏差  $P (= P_{sr} - P_s)$  を送電電力制御部 430 から受け、電力偏差  $P < \text{しきい値}$ （送電電力制御部 430 において用いられるしきい値と同値）の範囲で送電コイル電流制御を実行する（ターンオン電流制御が動作した場合は停止）。電力偏差  $P$  が大きい範囲では、送電コイル電流制御を停止して送電電力制御による電力追従を優先させることとしたものである。

#### 【0082】

なお、この実施の形態では、送電コイル電流制御部 440 には、制御対象に振動信号を与えることにより制御量の極値を探索する公知の極値探索制御が適用される。すなわち、制御の詳細については後述するが、送電コイル電流制御部 440 は、公知の極値探索制御を用いて、送電電力の周波数を微小振動させることによって、送電コイル 242 に流れる電流  $I_s$  が最小となる最適周波数を探索する。送電コイル電流制御部 440 の詳細についても、後ほど説明する。

#### 【0083】

周波数算出部 450 は、ターンオン電流制御部 420 の操作量  $f_1$ 、送電電力制御部 430 の操作量  $f_2$ 、及び送電コイル電流制御部 440 の操作量  $f_3$  を受ける。そして、周波数算出部 450 は、操作量  $f_1 \sim f_3$  を加算することによって周波数のトータル操作量を算出し、その算出されたトータル操作量だけ周波数を変更するように周波数指令値  $f$  を算出する。

#### 【0084】

デューティ制御部 460 は、目標電力  $P_{sr}$  と送電電力  $P_s$  との偏差（電力偏差）に基づいて、インバータ 220 の出力電圧のデューティ（duty）指令値を生成する。たとえば、デューティ制御部 460 は、電力偏差を入力とする PI 制御等を実行することによって操作量を算出し、その算出された操作量をデューティ指令値とする。このデューティ制御部 460 によって、送電電力  $P_s$  が目標電力  $P_{sr}$  に近づくようにインバータ出力電圧のデューティが調整される。

#### 【0085】

図 8 ~ 図 11 は、ターンオン電流制御、送電電力制御、及び送電コイル電流制御の各々の動作領域を示す。図 8 は、ターンオン電流制御の動作領域を示した図である。図 8 を参

10

20

30

40

50

照して、横軸は送電電力の周波数（インバータ 220 のスイッチング周波数）を示し、縦軸はインバータ 220 の出力電圧のデューティを示す。

【0086】

線 PL1, PL2 の各々は、送電電力の等高線を示す。点線 PL1 によって示される送電電力は、一点鎖線 PL2 によって示される送電電力よりも大きい。なお、この図 8 から以下に説明される図 12 までにおいて、線 PL1 は、目標電力  $P_{sr}$  の等高線を示し、線 PL2 は、目標電力  $P_{sr}$  よりもしきい値 ( $> 0$ ) だけ小さい送電電力の等高線を示しているものとする。なお、二点鎖線 IL は、送電コイル 242 に流れる電流  $I_s$  の等高線の一例を示す。

【0087】

斜線で示される領域 S1 は、インバータ 220 の出力電圧  $V_o$  の位相に対して出力電流  $I_o$  の位相が進む領域である。すなわち、この領域 S1 は、ターンオン電流  $I_t$  が 0 よりも大きくなる領域であり、ターンオン電流制御の動作領域を示す。

【0088】

図 9 は、インバータ 220 の起動後に、送電電力  $P_s$  が目標電力  $P_{sr}$  に到達するまでの送電電力制御の動作領域を示した図である。図 9 を参照して、斜線で示される領域 S2 は、インバータ 220 の起動後、目標電力  $P_{sr}$  と送電電力  $P_s$  との電力偏差  $P (= P_{sr} - P_s)$  が略 0 となるまでの送電電力制御の動作領域を示す。

【0089】

図 10 は、インバータ 220 の起動後に、送電電力  $P_s$  が目標電力  $P_{sr}$  に一旦到達した後の送電電力制御の動作領域を示した図である。図 10 を参照して、斜線で示される領域 S3 は、インバータ 220 の起動後に電力偏差  $P$  が一旦略 0 となった後の送電電力制御の動作領域を示す。上述のように、インバータ 220 の起動後に、送電電力  $P_s$  が目標電力  $P_{sr}$  に到達した後は、電力偏差  $P$  しきい値 (しきい値  $> 0$ ) の範囲で送電電力制御が実行される。

【0090】

なお、図 9, 図 10 の非斜線領域では、周波数操作に基づく送電電力制御は動作しないけれども、デューティ制御部 460 (図 7) によるデューティ制御が動作しているので、電力偏差  $P$  に応じてインバータ出力電圧のデューティが制御される。

【0091】

図 11 は、インバータ 220 の起動後に、送電電力  $P_s$  が目標電力  $P_{sr}$  に一旦到達した後の送電コイル電流制御の動作領域を示した図である。図 11 を参照して、斜線で示される領域 S4 が、インバータ 220 の起動後に電力偏差  $P$  が一旦略 0 となった後の送電コイル電流制御の動作領域を示す。なお、点  $P_m$  は、送電電力  $P_s$  の大きさが目標電力  $P_{sr}$  であるときに (線 PL1 上)、送電コイル 242 に流れる電流  $I_s$  が最小となる最適動作点を示す。ここに示される例では、最適動作点  $P_m$  は、領域 S1 内すなわちターンオン電流制御の動作領域内にあるので、動作点は領域 S1 外において最適動作点  $P_m$  に最も近い位置まで推移する。

【0092】

図 12 は、インバータ 220 が起動してからの動作点の推移の一例を示した図である。なお、この図 12 では、インバータ 220 の起動時における送電電力の周波数 (インバータ 220 のスイッチング周波数) が調整範囲上限の周波数  $f_b$  である場合について代表的に説明される。

【0093】

インバータ 220 の起動直後は、電力偏差に基づくデューティ制御によってインバータ出力電圧のデューティが急上昇する。デューティが上限 (0.5) に到達した後は、周波数操作による送電電力制御によって、目標電力  $P_{sr}$  を示す線 PL1 に向けて動作点が推移する。なお、この段階では、送電電力制御と送電コイル電流制御との双方が動作するが、周波数の調整方向が同じ (周波数を下げる方向) であるので、双方が動作することによる悪影響はない。

10

20

30

40

50

## 【0094】

動作点が線 PL1 上に到達すると（電力偏差  $P$  が略 0）、送電電力制御の動作領域が  $P$  しきい値（しきい値  $> 0$ ）の範囲（図 10）に切替わることにより送電電力制御が停止する。そうすると、動作点が最適動作点  $P_m$  に向けて推移するように、送電コイル電流制御によって周波数が調整される。なお、動作点が線 PL1 上を推移しているのは、送電コイル電流制御によって周波数が調整（低下）されるとともに、デューティ制御によって電力偏差に基づきデューティが調整（減少）されるからである。

## 【0095】

なお、ここでは、最適動作点  $P_m$  が領域 S1 内すなわちターンオン電流制御の動作領域内にある場合が示されている。動作点が領域 S1 に入ると、送電電力制御及び送電コイル電流制御に対してターンオン電流制御が優先して動作するので、動作点は領域 S1 外に向けて推移する。その結果、動作点は、領域 S1 の境界の点 P1 近傍で落ち着く。

10

## 【0096】

（ターンオン電流制御部 420 の詳細説明）

図 13 は、図 7 に示したターンオン電流制御部 420 における処理手順を説明するフローチャートである。なお、このフローチャートに示される処理は、所定時間毎又は所定条件の成立時にメインルーチンから呼び出されて実行される。

## 【0097】

図 13 を参照して、電源 ECU250 は、インバータ 220 の出力電圧  $V_o$  及び出力電流  $I_o$  の各検出値を取得する（ステップ S10）。次いで、電源 ECU250 は、検出された出力電圧  $V_o$  及び出力電流  $I_o$  に基づいてターンオン電流  $I_t$  を検出する（ステップ S20）。そして、電源 ECU250 は、ターンオン電流  $I_t$  が 0 よりも大きいか否か（すなわち電流の位相進みが検知されたか否か）を判定する（ステップ S30）。

20

## 【0098】

ターンオン電流  $I_t$  が 0 よりも大きいと判定されると（ステップ S30 において YES）、電源 ECU250 は、インバータ 220 の起動時の周波数（起動周波数）が調整可能範囲下限の  $f_a$  であるか、それとも調整可能範囲上限の  $f_b$  であるかを判定する（ステップ S40）。

## 【0099】

起動周波数が  $f_b$  であると判定されると（ステップ S40 において「 $f_b$ 」）、電源 ECU250 は、周波数の操作量  $f_1$  として A（正值）を出力する（ステップ S50）。調整可能範囲上限の  $f_b$  から周波数を下げる方向へ周波数の調整が行なわれ、その調整の過程で電流位相が進んだ場合（ターンオン電流  $I_t$  が 0 を超えた場合）は、正值の操作量  $f_1$  を出力することにより周波数を上げることで電流の位相進みを速やかに解消できるからである。

30

## 【0100】

一方、ステップ S40 において起動周波数が  $f_a$  であると判定されると（ステップ S40 において「 $f_a$ 」）、電源 ECU250 は、周波数の操作量  $f_1$  として -A（負値）を出力する（ステップ S60）。調整可能範囲下限の  $f_a$  から周波数を上げる方向へ周波数の調整が行なわれ、その調整の過程で電流位相が進んだ場合は、負値の操作量  $f_1$  を出力することにより周波数を下げることで電流の位相進みを速やかに解消できるからである。

40

## 【0101】

ステップ S50 又は S60 の処理が実行されると、電源 ECU250 は、ターンオン電流制御が動作中であることを示す第 1 動作中フラグをオンにする（ステップ S70）。なお、第 1 動作中フラグをオンにすることは、図 7 において、ターンオン電流制御が動作中であることをターンオン電流制御部 420 から送電電力制御部 430 及び送電コイル電流制御部 440 へ通知することに相当する。

## 【0102】

ステップ S30 において、ターンオン電流  $I_t$  が 0 以下であると判定されると（ステッ

50

ブ S 3 0 において N O )、電源 E C U 2 5 0 は、操作量  $f 1$  を 0 で出力する (ステップ S 8 0 )。すなわち、ターンオン電流制御は非実行とされる。そして、電源 E C U 2 5 0 は、第 1 動作中フラグをオフにする (ステップ S 9 0 )。

#### 【 0 1 0 3 】

(送電電力制御部 4 3 0 の詳細説明)

図 1 4 は、図 7 に示した送電電力制御部 4 3 0 における処理手順を説明するフローチャートである。なお、このフローチャートに示される処理も、所定時間毎又は所定条件の成立時にメインルーチンから呼び出されて実行される。

#### 【 0 1 0 4 】

図 1 4 を参照して、電源 E C U 2 5 0 は、ターンオン電流制御が動作中であることを示す第 1 動作中フラグがオンであるか否かを判定する (ステップ S 1 1 0 )。第 1 動作中フラグがオンであると判定されると (ステップ S 1 1 0 において Y E S )、電源 E C U 2 5 0 は、周波数の操作量  $f 2$  を 0 で出力する (ステップ S 1 2 0 )。すなわち、ターンオン電流制御の実行中は、送電電力制御よりもターンオン電流制御が優先され、送電電力制御は非実行とされる。そして、電源 E C U 2 5 0 は、送電電力制御が動作中であることを示す第 2 動作中フラグをオフにする (ステップ S 1 3 0 )。

10

#### 【 0 1 0 5 】

ステップ S 1 1 0 において第 1 動作中フラグがオフであると判定されると (ステップ S 1 1 0 において N O )、すなわちターンオン電流制御は動作していないと判定されると、電源 E C U 2 5 0 は、出力電圧  $V o$  及び出力電流  $I o$  の各検出値に基づいて送電電力  $P s$  を検出する (ステップ S 1 4 0 )。次いで、電源 E C U 2 5 0 は、目標電力  $P s r$  から送電電力  $P s$  の検出値を差引くことによって送電電力の偏差  $P (= P s r - P s)$  を算出し、電力偏差  $P$  が判定値 よりも小さいか否かを判定する (ステップ S 1 5 0 )。この判定値 は、電力偏差  $P$  が略 0 になったか否かを判定するためのものであり、ごく小さい値である。

20

#### 【 0 1 0 6 】

電力偏差  $P$  が判定値 よりも小さいと判定されると (ステップ S 1 5 0 において Y E S )、インバータ 2 2 0 の起動後に送電電力  $P s$  が目標電力  $P s r$  に到達したものと判断され、電源 E C U 2 5 0 は、電力到達フラグをオンにする (ステップ S 1 6 0 )。ステップ S 1 5 0 において電力偏差  $P$  が判定値 以上であると判定されたときは (ステップ S 1 5 0 において N O )、ステップ S 1 6 0 の処理は実行されない。なお、送電電力  $P s$  が目標電力  $P s r$  に一旦到達した後は、電力偏差  $P$  が判定値 以上になっても電力到達フラグのオン状態は維持され、インバータ 2 2 0 が停止すると電力到達フラグはオフになる。

30

#### 【 0 1 0 7 】

次いで、電源 E C U 2 5 0 は、電力到達フラグがオンであるか否かを判定する (ステップ S 1 7 0 )。電力到達フラグがオフであると判定されると (ステップ S 1 7 0 において N O )、電源 E C U 2 5 0 は、送電電力  $P s$  が目標電力  $P s r$  に一旦到達するまでの制御である電力到達前制御 (後述) を実行する (ステップ S 1 8 0 )。

#### 【 0 1 0 8 】

一方、ステップ S 1 7 0 において電力到達フラグはオンであると判定されると (ステップ S 1 7 0 において Y E S )、電源 E C U 2 5 0 は、送電コイル電流制御が動作中であることを示す第 3 動作中フラグ (後述) がオンであるか否かを判定する (ステップ S 1 9 0 )。第 3 動作中フラグがオンであると判定されると (ステップ S 1 9 0 において Y E S )、電源 E C U 2 5 0 は、ステップ S 1 2 0 へ処理を移行し、操作量  $f 2$  を 0 で出力する。すなわち、送電コイル電流制御の実行中は、送電電力制御は非実行とされる。

40

#### 【 0 1 0 9 】

ステップ S 1 9 0 において第 3 動作中フラグはオフであると判定されると (ステップ S 1 9 0 において N O )、電源 E C U 2 5 0 は、送電電力  $P s$  が目標電力  $P s r$  に一旦到達した後の制御である電力到達後制御 (後述) を実行する (ステップ S 2 0 0 )。

50



## 【0110】

図15は、図14のステップS180において実行される電力到達前制御の処理手順を説明するフローチャートである。図15を参照して、電源ECU250は、電力偏差  $P (= P_{sr} - P_s)$  が0以上であるか否かを判定する(ステップS210)。インバータ220の起動後に送電電力  $P_s$  が目標電力  $P_{sr}$  に一旦到達するまでは(電力到達フラグがオフ)、送電電力制御の動作領域は  $P = 0$  に設定される(図9の領域S2)。

## 【0111】

ステップS210において電力偏差  $P$  が0よりも小さいと判定されると(ステップS210においてNO)、電源ECU250は、周波数の操作量  $f_2$  を0で出力する(ステップS220)。すなわち、送電電力  $P_s$  が目標電力  $P_{sr}$  に到達したものと判断され、送電電力制御は非実行とされる。そして、電源ECU250は、送電電力制御が動作中であることを示す第2動作中フラグをオフにする(ステップS260)。

10

## 【0112】

ステップS210において電力偏差  $P$  が0以上であると判定されると(ステップS210においてYES)、電源ECU250は、インバータ220の起動周波数が調整可能範囲下限の  $f_a$  であるか、それとも調整可能範囲上限の  $f_b$  であるかを判定する(ステップS230)。

## 【0113】

起動周波数が  $f_b$  であると判定されると(ステップS230において「 $f_b$ 」)、電源ECU250は、周波数の操作量  $f_2$  として  $-B$  (負値)を出力する(ステップS240)。調整可能範囲上限の  $f_b$  から周波数を下げる方向へ周波数の調整が行なわれる場合は、負値の操作量  $f_2$  を出力することにより周波数を下げることで送電電力  $P_s$  を目標電力  $P_{sr}$  へ近づけることができるからである。

20

## 【0114】

一方、ステップS230において起動周波数が  $f_a$  であると判定されると(ステップS230において「 $f_a$ 」)、電源ECU250は、周波数の操作量  $f_2$  として  $B$  (正值)を出力する(ステップS250)。調整可能範囲下限の  $f_a$  から周波数を上げる方向へ周波数の調整が行なわれる場合は、正值の操作量  $f_2$  を出力することにより周波数を上げることで送電電力  $P_s$  を目標電力  $P_{sr}$  へ近づけることができるからである。

## 【0115】

ステップS240又はS250の処理が実行されると、電源ECU250は、ステップS260へ処理を移行し、第2動作中フラグをオフにする。インバータ220の起動後に送電電力  $P_s$  が目標電力  $P_{sr}$  に一旦到達するまでは、送電電力制御とともに送電コイル電流制御が動作することを許容するためである。

30

## 【0116】

図16は、図14のステップS200において実行される電力到達後制御の処理手順を説明するフローチャートである。図16を参照して、電源ECU250は、電力偏差  $P (= P_{sr} - P_s)$  がしきい値以上(しきい値  $> 0$ ) であるか否かを判定する(ステップS310)。インバータ220の起動後に送電電力  $P_s$  が目標電力  $P_{sr}$  に一旦到達した後は(電力到達フラグがオン)、送電電力制御の動作領域は  $P =$  しきい値に設定される(図10の領域S3)。

40

## 【0117】

ステップS310において電力偏差  $P$  がしきい値よりも小さいと判定されると(ステップS310においてNO)、電源ECU250は、周波数の操作量  $f_2$  を0で出力する(ステップS320)。すなわち、電力偏差  $P$  が小さいので、送電電力制御は非実行とされる。そして、電源ECU250は、第2動作中フラグをオフにする(ステップS330)。

## 【0118】

ステップS310において電力偏差  $P$  がしきい値以上であると判定されると(ステップS310においてYES)、電源ECU250は、インバータ220の起動周波数が調

50

整可能範囲下限の  $f_a$  であるか、それとも調整可能範囲上限の  $f_b$  であるかを判定する（ステップ S 3 4 0）。

【0119】

起動周波数が  $f_b$  であると判定されると（ステップ S 3 4 0 において「 $f_b$ 」）、電源 ECU 2 5 0 は、周波数の操作量  $f_2$  として  $-B$ （負値）を出力する（ステップ S 3 5 0）。一方、ステップ S 3 4 0 において起動周波数が  $f_a$  であると判定されると（ステップ S 3 4 0 において「 $f_a$ 」）、電源 ECU 2 5 0 は、周波数の操作量  $f_2$  として  $B$ （正値）を出力する（ステップ S 3 6 0）。

【0120】

ステップ S 3 5 0 又は S 3 6 0 の処理が実行されると、電源 ECU 2 5 0 は、第 2 動作中フラグをオンにする（ステップ S 3 7 0）。なお、第 2 動作中フラグをオンにすることは、図 7 において、送電電力制御が動作中であることを送電電力制御部 4 3 0 から送電コイル電流制御部 4 4 0 へ通知することに相当する。

10

【0121】

（送電コイル電流制御部 4 4 0 の詳細説明）

図 1 7 は、図 7 に示した送電コイル電流制御部 4 4 0 における処理手順を説明するフローチャートである。なお、このフローチャートに示される処理も、所定時間毎又は所定条件の成立時にメインルーチンから呼び出されて実行される。

【0122】

図 1 7 を参照して、電源 ECU 2 5 0 は、ターンオン電流制御が動作中であることを示す第 1 動作中フラグがオンであるか否かを判定する（ステップ S 4 1 0）。第 1 動作中フラグがオンであると判定されると（ステップ S 4 1 0 において YES）、電源 ECU 2 5 0 は、周波数の操作量  $f_3$  を 0 で出力する（ステップ S 4 2 0）。すなわち、ターンオン電流制御の実行中は、送電コイル電流制御よりもターンオン電流制御が優先され、送電コイル電流制御は非実行とされる。そして、電源 ECU 2 5 0 は、送電コイル電流制御が動作中であることを示す第 3 動作中フラグをオフにする（ステップ S 4 3 0）。

20

【0123】

ステップ S 1 1 0 において第 1 動作中フラグがオフであると判定されると（ステップ S 4 1 0 において NO）、すなわちターンオン電流制御は動作していないと判定されると、電源 ECU 2 5 0 は、電力到達フラグがオンであるか否かを判定する（ステップ S 4 4 0）。電力到達フラグがオフであると判定されると（ステップ S 4 4 0 において NO）、以降のステップ S 4 5 0 ~ S 4 7 0 の処理は実行されず、電源 ECU 2 5 0 は、ステップ S 4 8 0 へ処理を移行する（後述）。

30

【0124】

ステップ S 4 4 0 において電力到達フラグがオンであると判定されると（ステップ S 4 4 0 において YES）、電源 ECU 2 5 0 は、送電電力制御が動作中であることを示す第 2 動作中フラグがオンであるか否かを判定する（ステップ S 4 5 0）。第 2 動作中フラグがオンであると判定されると（ステップ S 4 5 0 において YES）、電源 ECU 2 5 0 は、ステップ S 4 2 0 へ処理を移行し、周波数の操作量  $f_3$  を 0 で出力する。すなわち、送電電力制御の実行中は、送電コイル電流制御は非実行とされる。

40

【0125】

ステップ S 4 5 0 において第 2 動作中フラグはオフであると判定されると（ステップ S 4 5 0 において NO）、電源 ECU 2 5 0 は、目標電力  $P_{sr}$  と送電電力  $P_s$  との電力偏差  $P (= P_{sr} - P_s)$  を取得する（ステップ S 4 6 0）。そして、電源 ECU 2 5 0 は、電力偏差  $P$  がしきい値（しきい値  $> 0$ ）よりも小さいか否かを判定する（ステップ S 4 7 0）。このしきい値は、図 1 6 に示したステップ S 3 1 0 において用いられるしきい値と同じ値である。

【0126】

ステップ S 4 7 0 において電力偏差  $P$  がしきい値以上であると判定されると（ステップ S 4 7 0 において NO）、電源 ECU 2 5 0 は、ステップ S 4 2 0 へ処理を移行し、周

50

波数の操作量  $f_3$  を 0 で出力する。すなわち、送電コイル電流制御は非実行とされる。一方、ステップ S 4 7 0 において電力偏差  $P$  がしきい値よりも小さいと判定されると (ステップ S 4 7 0 において YES)、電源 ECU 2 5 0 は、送電コイル 2 4 2 に流れる電流  $I_s$  の検出値を取得する (ステップ S 4 8 0)。そして、電源 ECU 2 5 0 は、送電コイル電流制御を実行する (ステップ S 4 9 0)。送電コイル電流制御の詳細については、後ほど説明する。

#### 【0127】

送電コイル電流制御が実行されると、電源 ECU 2 5 0 は、送電コイル電流制御が動作中であることを示す第 3 動作中フラグをオンにする (ステップ S 5 0 0)。なお、第 3 動作中フラグをオンにすることは、図 7 において、送電コイル電流制御が動作中であることを送電コイル電流制御部 4 4 0 から送電電力制御部 4 3 0 へ通知することに相当する。

10

#### 【0128】

図 1 8 は、図 1 7 のステップ S 4 9 0 において実行される送電コイル電流制御の制御ブロック図である。なお、この処理は、図 7 に示した送電コイル電流制御部 4 4 0 により実行される。図 1 8 を参照して、送電コイル電流制御部 4 4 0 は、振動信号生成部 4 4 1 と、ハイパスフィルタ (HPF (High Pass Filter)) 4 4 2 と、乗算部 4 4 3 と、ローパスフィルタ (LPF (Low Pass Filter)) 4 4 4 と、コントローラ 4 4 5 と、加算部 4 4 6 とを含む。これらによって極値探索制御が実現される。

#### 【0129】

振動信号生成部 4 4 1 は、振幅が十分小さく、かつ低周波数の振動信号を生成する。極値探索制御では、このような振動信号を用いることによって、送電電力の周波数の、最適周波数 (送電コイル 2 4 2 に流れる電流  $I_s$  が最小となる周波数) への移行が監視される。

20

#### 【0130】

HPF 4 4 2 は、送電コイル 2 4 2 に流れる電流  $I_s$  の検出値を受け、電流  $I_s$  の直流成分を除去した信号を出力する。この HPF 4 4 2 は、振動信号生成部 4 4 1 により生成される振動信号に基づいて送電電力の周波数を振動させたときの電流  $I_s$  の傾き (微分係数) を抽出するものである。

#### 【0131】

乗算部 4 4 3 は、HPF 4 4 2 から出力される信号 (電流  $I_s$  の微分係数) に、振動信号生成部 4 4 1 により生成される振動信号を乗算し、振動信号と電流  $I_s$  との相関係数を算出する。この相関係数は、周波数を変化させたときの電流  $I_s$  の増減方向を示すものである。

30

#### 【0132】

LPF 4 4 4 は、乗算部 4 4 3 によって演算された相関係数の直流成分を抽出する。この LPF 4 4 4 の出力は、周波数を最適周波数へ移行させるための周波数の操作方向 (増減方向) を示す。なお、この LPF 4 4 4 は、省略することも可能である。

#### 【0133】

コントローラ 4 4 5 は、LPF 4 4 4 の出力に基づいて、周波数を最適周波数へ移行させるための周波数の操作量を算出する。コントローラ 4 4 5 は、たとえば、LPF 4 4 4 の出力信号を入力とする I 制御 (積分制御) を実行することによって、周波数の操作量を算出する。

40

#### 【0134】

加算部 4 4 6 は、コントローラ 4 4 5 の出力に、振動信号生成部 4 4 1 によって生成される振動信号を加算し、その演算値を最終的な周波数の操作量  $f_3$  とする。このような制御構造によって、送電コイル 2 4 2 に流れる電流  $I_s$  を最小にする最適周波数が探索され、電流  $I_s$  を最小にするための操作量  $f_3$  を算出することができる。

#### 【0135】

以上のように、この実施の形態においては、ターンオン電流  $I_t$  が 0 よりも大きくなったときのターンオン電流制御の実行中は、送電電力制御及び送電コイル電流制御が実行さ

50

れないようにし、ターンオン電流制御の非実行時に、送電電力制御及び送電コイル電流制御を実行可能とする。すなわち、ターンオン電流制御が送電電力制御及び送電コイル電流制御に対して優先して動作する。したがって、この実施の形態によれば、ターンオン電流制御による部品保護（インバータ220の保護）を確実に図ることができる。

【0136】

また、この実施の形態においては、インバータ220の起動後に送電電力が目標に一旦到達した後は、ターンオン電流制御の非実行時であって送電電力制御の実行中は、送電コイル電流制御は実行されず、ターンオン電流制御の非実行時であって送電コイル電流制御の実行中は、送電電力制御は実行されない。したがって、この実施の形態によれば、送電電力制御の実行中に、送電コイル電流制御が送電電力制御に悪影響を与えるのを防止することができる。また、送電コイル電流制御の実行中に、送電電力制御が送電コイル電流制御に悪影響を与えるのを防止することができる。

10

【0137】

さらに、この実施の形態においては、インバータ220の起動後に送電電力が目標に一旦到達した後は、ターンオン電流制御の非実行時であって送電電力の目標と検出値との差（電力偏差） $P$ がしきい値以上（しきい値 $>0$ ）の場合に、送電電力制御が実行され、ターンオン電流制御の非実行時であって電力偏差 $P$ がしきい値よりも小さい場合に、送電コイル電流制御が実行される。これにより、電力偏差 $P$ が大きいときは、送電電力制御が送電コイル電流制御に対して優先して動作し、送電電力制御による電力追従性を確保することができる。一方、電力偏差 $P$ が小さいときは、送電コイル電流制御が送電電力制御に対して優先して動作し、送電コイル電流制御による電力伝送効率向上を図ることができる。

20

【0138】

なお、上記の実施の形態においては、ターンオン電流 $I_t$ が0よりも大きいときにターンオン電流制御が動作するものとしたが、ターンオン電流制御が動作するしきい値は、必ずしも厳密に0でなくてもよい。たとえば、インバータ220（還流ダイオードD3）の破損には至らない程度に電圧 $V_o$ に対する電流 $I_o$ の位相の進みを許容して、ターンオン電流制御が動作するしきい値を小さい正值としてもよい。或いは、正のターンオン電流 $I_t$ が流れるのをできる限り防止するために、ターンオン電流制御が動作するしきい値は、マージンをとって負値としてもよい。

30

【0139】

なお、上記において、電源ECU250は、この発明における「制御装置」の一実施例に対応する。また、ターンオン電流制御は、この発明における「第1の制御」の一実施例に対応し、ターンオン電流制御部420は、この発明における「第1の制御部」の一実施例に対応する。

【0140】

さらに、送電電力制御は、この発明における「第2の制御」の一実施例に対応し、送電電力制御部430は、この発明における「第2の制御部」の一実施例に対応する。また、さらに、送電コイル電流制御は、この発明における「第3の制御」の一実施例に対応し、送電コイル電流制御部440は、この発明における「第3の制御部」の一実施例に対応する。

40

【0141】

今回開示された実施の形態は、すべての点で例示であって制限的なものではないと考えられるべきである。本発明の範囲は、上記した実施の形態の説明ではなくて特許請求の範囲によって示され、特許請求の範囲と均等の意味及び範囲内でのすべての変更が含まれることが意図される。

【符号の説明】

【0142】

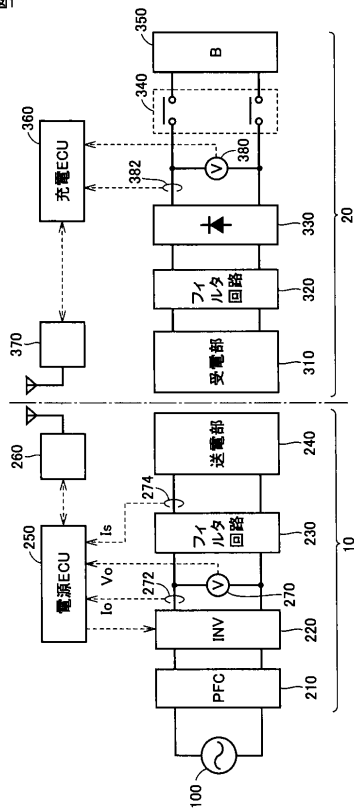
10 送電装置、20 受電装置、100 交流電源、210 PFC回路、220 インバータ、230, 320 フィルタ回路、240 送電部、242, 312 コイル

50

、 244, 314 キャパシタ、 246, 316 抵抗成分、 250, 250A 電源 ECU、 260, 370 通信部、 270, 380 電圧センサ、 272, 274, 382 電流センサ、 310 受電部、 330 整流部、 340 リレー回路、 350 蓄電装置、 360 充電 ECU、 390 負荷、 410 It 検出部、 420 ターンオン電流制御部、 430 送電電力制御部、 440 送電コイル電流制御部、 441 振動信号生成部、 442 HPF、 443 乗算部、 444 LPF、 446 加算部、 450 周波数算出部、 460 デューティ制御部、 Q1 ~ Q4 スwitching素子、 D1 ~ D4 整流ダイオード、 T1 ~ T4 端子。

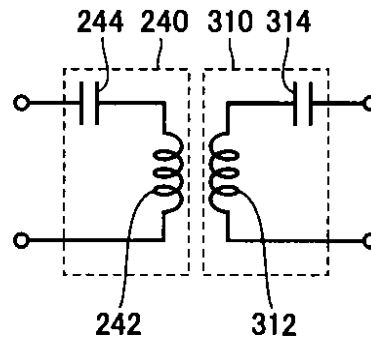
【図1】

図1



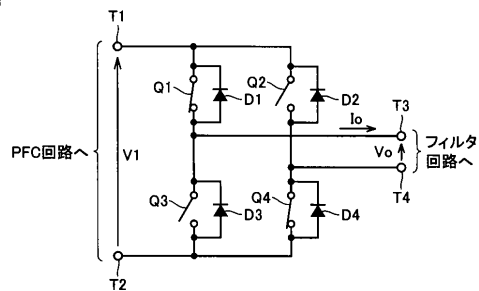
【図2】

図2

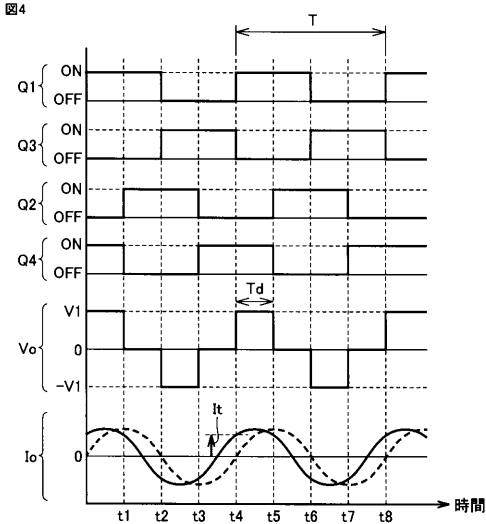


【図3】

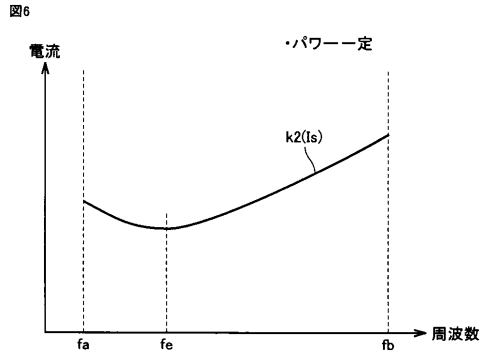
図3



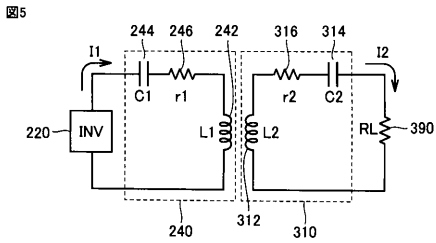
【図4】



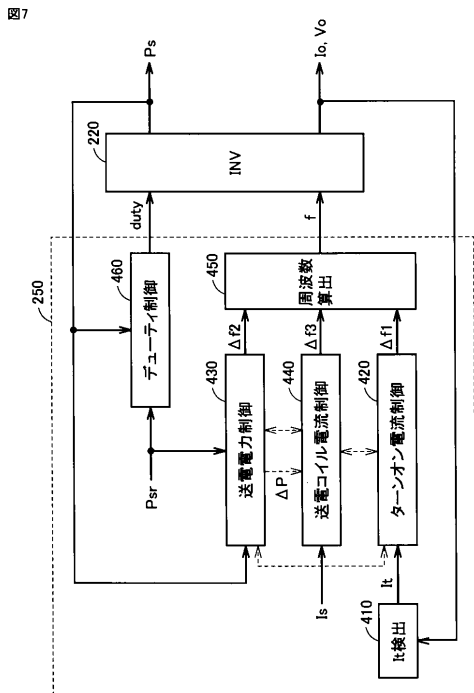
【図6】



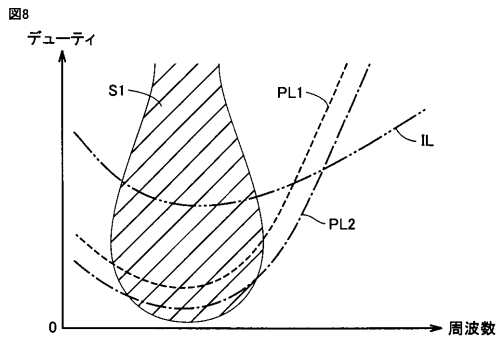
【図5】



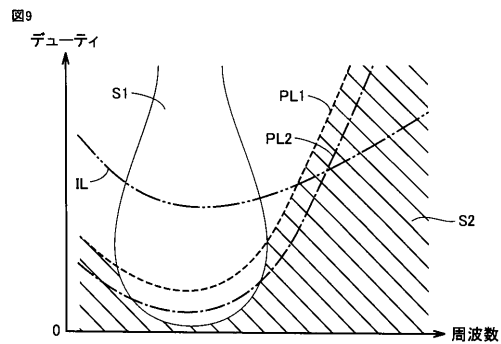
【図7】



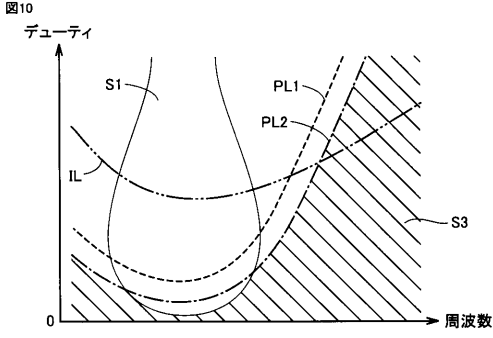
【図8】



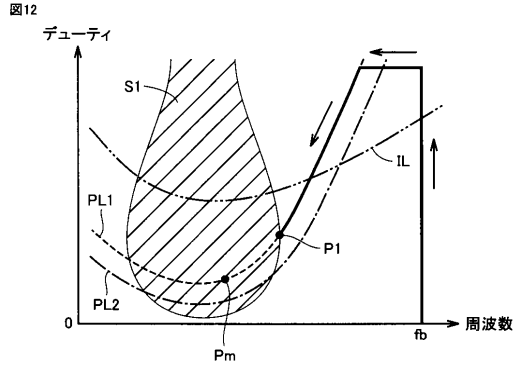
【図9】



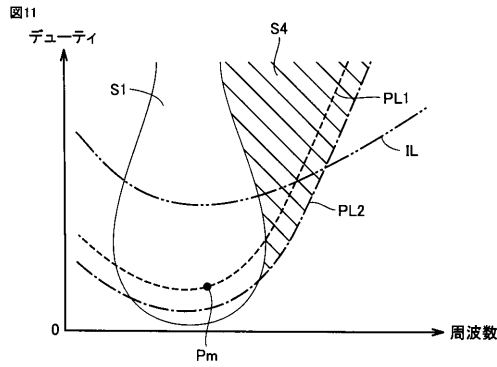
【図10】



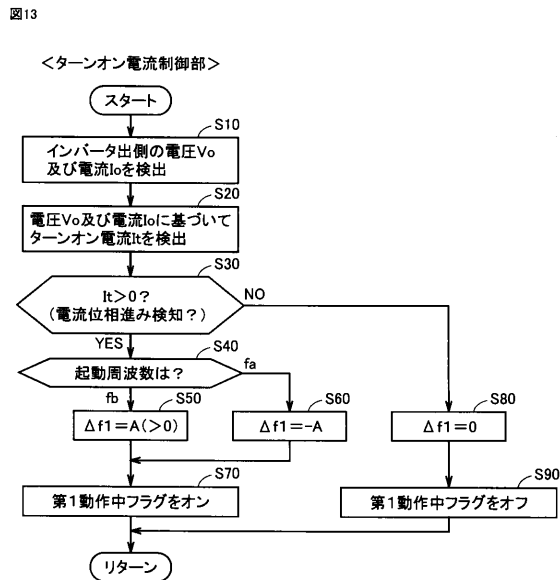
【図12】



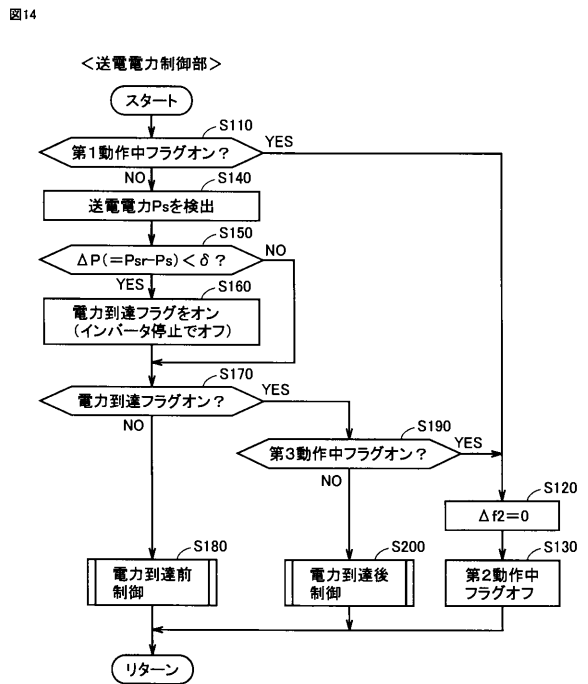
【図11】



【図13】

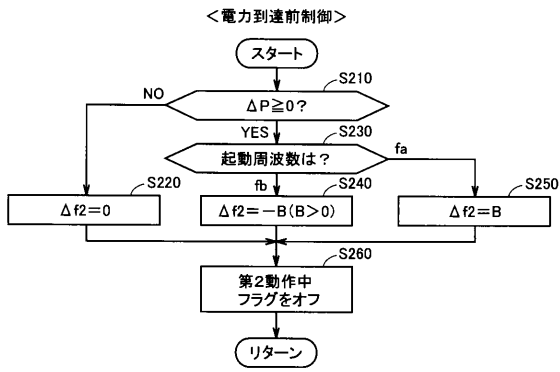


【図14】



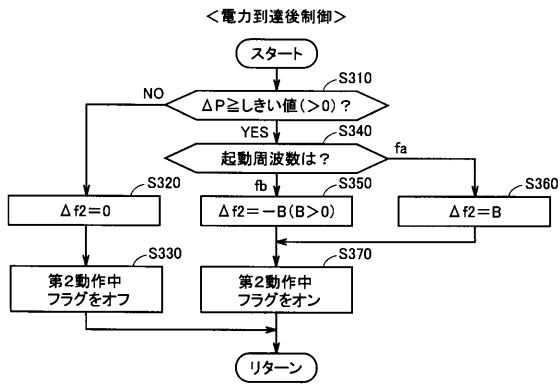
【 図 1 5 】

図15



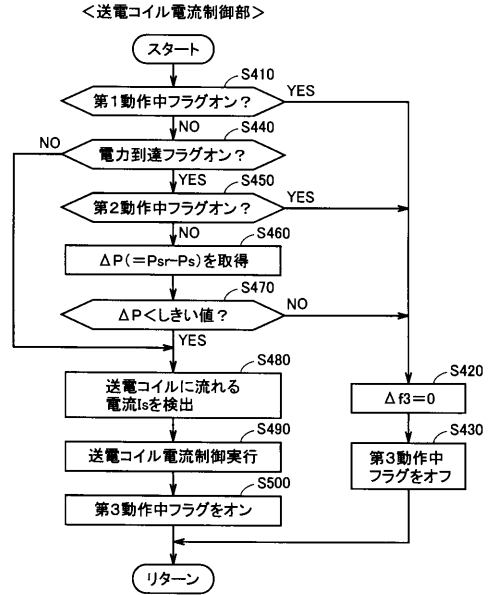
【 図 1 6 】

図16



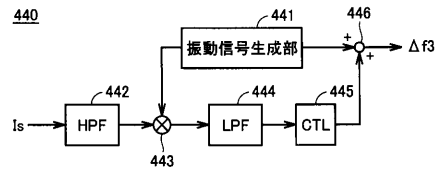
【 図 1 7 】

図17



【 図 1 8 】

図18





---

フロントページの続き

Fターム(参考) 5H770 AA05 AA09 AA29 BA20 CA01 CA02 DA01 DA18 DA41 EA01  
EA27 EA30 HA02Y HA02Z HA03Y HA03Z HA04Z HA05Y HA19Y JA11Y  
JA11Z JA13Y JA13Z JA14Y JA17Z KA01Y KA01Z LA02X LB09 QA25