

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7592187号
(P7592187)

(45)発行日 令和6年11月29日(2024.11.29)

(24)登録日 令和6年11月21日(2024.11.21)

(51)国際特許分類 F I
H 0 2 P 27/06 (2006.01) H 0 2 P 27/06

請求項の数 5 (全23頁)

(21)出願番号	特願2023-554218(P2023-554218)	(73)特許権者	000006013 三菱電機株式会社 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号
(86)(22)出願日	令和3年10月22日(2021.10.22)	(74)代理人	100118762 弁理士 高村 順
(86)国際出願番号	PCT/JP2021/039142	(72)発明者	堤 翔英 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内
(87)国際公開番号	WO2023/067810	(72)発明者	豊留 慎也 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内
(87)国際公開日	令和5年4月27日(2023.4.27)	(72)発明者	畠山 和徳 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内
審査請求日	令和5年10月3日(2023.10.3)	審査官	保田 亨介

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 電力変換装置、モータ駆動装置および冷凍サイクル適用機器

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

商用電源から供給される第1の交流電力を整流する整流部と、
前記整流部の出力端に接続されるコンデンサと、
前記コンデンサの両端に接続され、第2の交流電力を生成して負荷に含まれるモータに出力するインバータと、
前記インバータの動作を制御する制御装置と、
を備え、
前記制御装置は、前記モータの振動を低減する振動抑制制御、および前記コンデンサの出力電流である負荷電流を所望の値に近付けるように制御する負荷電流制御を行い、前記負荷電流制御として、前記負荷で発生する負荷トルクに対して、前記モータで発生するモータトルクの正負のピーク値の差の絶対値が小さく、かつ正のピークの位相が遅れ位相となるように前記インバータが出力する電圧を制御する、
電力変換装置。

10

【請求項2】

前記制御装置は、前記負荷電流制御として、前記モータで消費される瞬時電力の正負のピーク値の差の絶対値が小さくなるように前記インバータが出力する電圧を制御する、
請求項1に記載の電力変換装置。

【請求項3】

商用電源から供給される第1の交流電力を整流する整流部と、

20

前記整流部の出力端に接続されるコンデンサと、
 前記コンデンサの両端に接続され、第2の交流電力を生成して負荷に含まれるモータに出力するインバータと、
 前記インバータの動作を制御する制御装置と、
 を備え、

前記制御装置は、前記モータの振動を低減する振動抑制制御、および前記コンデンサの出力電流である負荷電流を所望の値に近付けるように制御する負荷電流制御を行い、前記負荷電流制御として、前記負荷電流の正側の波形および負側の波形が異なる状態を前記負荷電流の正側の波形および負側の波形が等しい状態にするため前記モータで消費される瞬時電力の正負のピーク値の差の絶対値が小さくなるように前記インバータが出力する電圧を制御する、
 電力変換装置。

10

【請求項4】

請求項1から3のいずれか1つに記載の電力変換装置を備えるモータ駆動装置。

【請求項5】

請求項1から3のいずれか1つに記載の電力変換装置を備える冷凍サイクル適用機器。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、交流電力を所望の電力に変換する電力変換装置、モータ駆動装置および冷凍サイクル適用機器に関する。

20

【背景技術】

【0002】

従来、電動機の動作を制御する電動機制御装置などの装置は、シングルロータリ圧縮機、ツインロータリ圧縮機などを駆動する電動機の状態に応じて、トルクの脈動成分を適切に補償することで、騒音の原因となる振動の発生を抑制している。このような技術が特許文献1において開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

30

【文献】国際公開第2021/059350号

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

しかしながら、上記従来技術によれば、騒音、振動などの低減を目的にトルク脈動成分を補償するものであるが、電源周波数と非同期の周波数とで電動機のトルク脈動を発生させると、平滑コンデンサの充放電電流が電源電流の正側と負側とでアンバランス状態となり、偶数次高調波成分が増加してしまうおそれがある、という問題があった。

【0005】

本開示は、上記に鑑みてなされたものであって、接続される負荷での振動の発生を抑制しつつ、高調波成分の発生を抑制可能な電力変換装置を得ることを目的とする。

40

【課題を解決するための手段】

【0006】

上述した課題を解決し、目的を達成するために、本開示に係る電力変換装置は、商用電源から供給される第1の交流電力を整流する整流部と、整流部の出力端に接続されるコンデンサと、コンデンサの両端に接続され、第2の交流電力を生成して負荷に含まれるモータに出力するインバータと、インバータの動作を制御する制御装置と、を備える。制御装置は、モータの振動を低減する振動抑制制御、およびコンデンサの出力電流である負荷電流を所望の値に近付けるように制御する負荷電流制御を行い、負荷電流制御として、負荷で発生する負荷トルクに対して、モータで発生するモータトルクの正負のピーク値の差の

50

絶対値が小さく、かつ正のピークの位相が遅れ位相となるようにインバータが出力する電圧を制御する。

【発明の効果】

【0007】

本開示に係る電力変換装置は、接続される負荷での振動の発生を抑制しつつ、高調波成分の発生を抑制できる、という効果を奏する。

【図面の簡単な説明】

【0008】

【図1】実施の形態1に係る電力変換装置の構成例を示す図

【図2】実施の形態1に係る電力変換装置が備えるインバータの構成例を示す図

10

【図3】実施の形態1に係る電力変換装置が備える制御装置の構成例を示すブロック図

【図4】実施の形態1に係る制御装置が備える電圧指令値演算部の構成例を示すブロック図

【図5】実施の形態1に係る電圧指令値演算部が備える負荷電流制御部の構成例を示すブロック図

【図6】実施の形態1に係る電圧指令値演算部が備える振動抑制制御補償値演算部の構成例を示すブロック図

【図7】実施の形態1に係る電圧指令値演算部が備える振動抑制制限制御部の構成例を示すブロック図

【図8】実施の形態1に係る振動抑制制限制御部が備える電源高調波規格値計算部の構成例を示すブロック図

20

【図9】実施の形態1に係る振動抑制制限制御部が備える次数成分演算部の構成例を示すブロック図

【図10】実施の形態1に係る電圧指令値演算部が備える速度制御部および振動抑制制御部の構成例を示すブロック図

【図11】実施の形態1に係る電力変換装置において振動を抑制するための振動抑制制御を行った場合のモータトルク、負荷トルク、および負荷電流の各波形の例を示す図

【図12】実施の形態1に係る電力変換装置において電源高調波を抑制するための負荷電流制御を行った場合のモータトルク、負荷トルク、および負荷電流の各波形の例を示す図

【図13】実施の形態1に係る電力変換装置が備える制御装置の動作を示すフローチャート

【図14】実施の形態1に係る電力変換装置が備える制御装置を実現するハードウェア構成の一例を示す図

30

【図15】実施の形態2に係る冷凍サイクル適用機器の構成例を示す図

【発明を実施するための形態】

【0009】

以下に、本開示の実施の形態に係る電力変換装置、モータ駆動装置および冷凍サイクル適用機器を図面に基づいて詳細に説明する。

【0010】

実施の形態1 .

図1は、実施の形態1に係る電力変換装置200の構成例を示す図である。図2は、実施の形態1に係る電力変換装置200が備えるインバータ30の構成例を示す図である。電力変換装置200は、商用電源1および圧縮機8に接続される。電力変換装置200は、商用電源1から供給される電源電圧 V_s の第1の交流電力を所望の振幅および位相を有する第2の交流電力に変換し、圧縮機8に供給する。電力変換装置200は、リアクタ2と、整流部3と、平滑コンデンサ5と、インバータ30と、母線電圧検出部10と、負荷電流検出部40と、制御装置100と、を備える。なお、電力変換装置200、および圧縮機8が備えるモータ7によって、モータ駆動装置400を構成している。

40

【0011】

商用電源1は、周波数が50Hzまたは60Hzを想定しているがこれらに限定されない。また、商用電源1は、交流電力を出力できればよいので、分散電源などであってもよい。リアクタ2は、商用電源1と整流部3との間に接続される。リアクタ2は、電磁鋼板

50

などを積層した EI 形状、EE 形状などの形状のものであり、フェライト、アモルファスなどの鉄心を用いたものであり、巻線は銅、アルミなどである。整流部 3 は、整流素子 131 ~ 134 によって構成されるブリッジ回路を有し、商用電源 1 から供給される電源電圧 V_s の第 1 の交流電力を整流して出力する。整流部 3 は、全波整流を行うものである。整流素子 131 ~ 134 は、例えばダイオードであるが、MOSFET (Metal - Oxide - Semiconductor Field - Effect Transistor) などのパワー半導体であってもよい。

【0012】

平滑コンデンサ 5 は、整流部 3 の出力端に接続され、整流部 3 によって整流された電力を平滑化する平滑素子である。平滑コンデンサ 5 は、例えば、電解コンデンサ、フィルムコンデンサなどのコンデンサである。平滑コンデンサ 5 は、整流部 3 によって整流された電力を平滑化するような容量を有し、平滑化により平滑コンデンサ 5 に発生する電圧は商用電源 1 の全波整流波形形状ではなく、直流成分に商用電源 1 の周波数に応じた電圧リップルが重畳した波形形状となり、大きく脈動しない。この電圧リップルの周波数は、商用電源 1 が単相の場合は電源電圧 V_s の周波数の 2 倍成分となり、商用電源 1 が三相の場合は 6 倍成分が主成分となる。商用電源 1 から入力される電力とインバータ 30 から出力される電力が変化しない場合、この電圧リップルの振幅は平滑コンデンサ 5 の容量によって決まる。例えば、平滑コンデンサ 5 に発生する電圧リップルの最大値が最小値の 2 倍未満となるような範囲で脈動している。

【0013】

母線電圧検出部 10 は、平滑コンデンサ 5 の両端電圧、すなわち直流母線 12a, 12b 間の電圧を母線電圧 V_{dc} として検出し、検出した電圧値を制御装置 100 に出力する検出部である。負荷電流検出部 40 は、平滑コンデンサ 5 からインバータ 30 に流入される直流電流である負荷電流 I_{dc} を検出し、検出した電流値を制御装置 100 に出力する検出部である。

【0014】

インバータ 30 は、平滑コンデンサ 5 の両端に接続され、整流部 3 および平滑コンデンサ 5 から出力される電力を所望の振幅および位相を有する第 2 の交流電力に変換、すなわち第 2 の交流電力を生成して、モータ 7 に出力する。具体的には、インバータ 30 は、母線電圧 V_{dc} を受けて、周波数および電圧値が可変の 3 相交流電圧を発生して、出力線 331 ~ 333 を介してモータ 7 に供給する。インバータ 30 は、図 2 に示すように、インバータ主回路 310 と、駆動回路 350 と、を備える。インバータ主回路 310 の入力端子は、直流母線 12a, 12b に接続されている。インバータ主回路 310 は、スイッチング素子 311 ~ 316 を備える。スイッチング素子 311 ~ 316 の各々には、還流用の整流素子 321 ~ 326 が逆並列接続されている。

【0015】

駆動回路 350 は、制御装置 100 から出力される PWM (Pulse Width Modulation) 信号 $S_{m1} \sim S_{m6}$ に基づいて、駆動信号 $S_{r1} \sim S_{r6}$ を生成する。駆動回路 350 は、駆動信号 $S_{r1} \sim S_{r6}$ によってスイッチング素子 311 ~ 316 のオンオフを制御する。これにより、インバータ 30 は、周波数可変かつ電圧可変の 3 相交流電圧を、出力線 331 ~ 333 を介してモータ 7 に供給することができる。

【0016】

PWM 信号 $S_{m1} \sim S_{m6}$ は、論理回路の信号レベル、すなわち 0V ~ 5V の大きさを持つ信号である。PWM 信号 $S_{m1} \sim S_{m6}$ は、制御装置 100 の接地電位を基準電位とする信号である。一方、駆動信号 $S_{r1} \sim S_{r6}$ は、スイッチング素子 311 ~ 316 を制御するのに必要な電圧レベル、例えば、-15V ~ +15V の大きさを持つ信号である。駆動信号 $S_{r1} \sim S_{r6}$ は、それぞれ対応するスイッチング素子 311 ~ 316 の負側の端子、すなわちエミッタ端子の電位を基準電位とする信号である。

【0017】

圧縮機 8 は、圧縮駆動用のモータ 7 を有する負荷である。モータ 7 は、インバータ 30

から供給される第2の交流電力の振幅および位相に応じて回転し、圧縮動作を行う。例えば、圧縮機8が空気調和機などで使用される密閉型圧縮機の場合、圧縮機8の負荷トルクは定トルク負荷とみなせる場合が多い。モータ7について、図1ではモータ巻線がY結線の場合を示しているが、一例であり、これに限定されない。モータ7のモータ巻線は、結線であってもよいし、Y結線と結線とが切り替え可能な仕様であってもよい。本実施の形態では、圧縮機8として、シングルロータリ圧縮機、スクロール圧縮機などを想定しているが、これらに限定されない。

【0018】

なお、電力変換装置200において、図1に示す各構成の配置は一例であり、各構成の配置は図1で示される例に限定されない。例えば、リアクタ2は、整流部3の後段に配置されてもよい。また、電力変換装置200は、昇圧部を備えてもよいし、整流部3に昇圧部の機能を持たせるようにしてもよい。以降の説明において、母線電圧検出部10および負荷電流検出部40をまとめて検出部と称することがある。また、母線電圧検出部10で検出された電圧値、および負荷電流検出部40で検出された電流値を、検出値と称することがある。

10

【0019】

制御装置100は、母線電圧検出部10から母線電圧 V_{dc} を取得し、負荷電流検出部40から負荷電流 I_{dc} を取得する。制御装置100は、各検出部によって検出された検出値を用いて、インバータ主回路310の動作、具体的には、インバータ主回路310が有するスイッチング素子311～316のオンオフを制御する。本実施の形態において、制御装置100は、電力変換装置200で発生する電源高調波の発生を抑制するように、インバータ30の動作を制御する。なお、制御装置100は、各検出部から取得した全ての検出値を用いなくてもよく、一部の検出値を用いて制御を行ってもよい。

20

【0020】

制御装置100の構成について説明する。図3は、実施の形態1に係る電力変換装置200が備える制御装置100の構成例を示すブロック図である。制御装置100は、運転制御部102と、インバータ制御部110と、を備える。

【0021】

運転制御部102は、外部から指令情報 Q_e を受け、指令情報 Q_e に基づいて、周波数指令値 ω_e^* を生成する。周波数指令値 ω_e^* は、下記の式(1)に示すように、モータ7の回転速度の指令値である回転角速度指令値 ω_m^* にモータ7の極対数 P_m を乗算することで求めることができる。

30

【0022】

【数1】

$$\omega_e^* = \omega_m^* \times P_m \quad \dots (1)$$

【0023】

制御装置100は、冷凍サイクル適用機器として空気調和機を制御する場合、指令情報 Q_e に基づいて空気調和機の各部の動作を制御する。指令情報 Q_e は、例えば、図示しない温度センサで検出された温度、図示しない操作部であるリモコンから指示される設定温度を示す情報、運転モードの選択情報、運転開始及び運転終了の指示情報などである。運転モードとは、例えば、暖房、冷房、除湿などである。なお、運転制御部102については、制御装置100の外部にあってもよい。すなわち、制御装置100は、外部から周波数指令値 ω_e^* を取得する構成であってもよい。

40

【0024】

インバータ制御部110は、電流復元部111と、3相2相変換部112と、励磁電流指令値生成部113と、電圧指令値演算部115と、電気位相演算部116と、2相3相変換部117と、PWM信号生成部118と、を備える。

【0025】

50

電流復元部 111 は、負荷電流検出部 40 で検出された負荷電流 I_{dc} に基づいてモータ 7 に流れる相電流 i_u, i_v, i_w を復元する。電流復元部 111 は、負荷電流検出部 40 で検出された負荷電流 I_{dc} を、PWM 信号生成部 118 で生成された PWM 信号 $S_{m1} \sim S_{m6}$ に基づいて定められるタイミングでサンプリングすることによって、相電流 i_u, i_v, i_w を復元することができる。

【0026】

3相2相変換部 112 は、電流復元部 111 で復元された相電流 i_u, i_v, i_w を、後述する電気位相演算部 116 で生成された電気位相 e を用いて、軸電流である励磁電流 i 、および軸電流であるトルク電流 i 、すなわち軸の電流値に変換する。

【0027】

励磁電流指令値生成部 113 は、前述の回転座標系における励磁電流指令値 i^* を生成する。具体的には、励磁電流指令値生成部 113 は、トルク電流 i に基づいて、モータ 7 を駆動するために最も効率が良くなる最適な励磁電流指令値 i^* を求める。励磁電流指令値生成部 113 は、トルク電流 i に基づいて、モータ 7 の出力トルク T_m が規定された値以上または最大になる、すなわち電流値が規定された値以下または最小になる電流位相 m となる励磁電流指令値 i^* を出力する。なお、ここでは、励磁電流指令値生成部 113 が、トルク電流 i に基づいて励磁電流指令値 i^* を求めているが、一例であり、これに限定されない。励磁電流指令値生成部 113 は、励磁電流 i 、周波数指令値 e^* などに基づいて励磁電流指令値 i^* を求めても、同様の効果を得ることができる。また、励磁電流指令値生成部 113 は、弱め磁束制御などによって励磁電流指令値 i^* を決定してもよい。以降の説明において、励磁電流指令値を軸電流指令値と称することがある。

【0028】

電圧指令値演算部 115 は、負荷電流検出部 40 から取得した負荷電流 I_{dc} と、運転制御部 102 から取得した周波数指令値 e^* と、3相2相変換部 112 から取得した励磁電流 i およびトルク電流 i と、励磁電流指令値生成部 113 から取得した励磁電流指令値 i^* とに基づいて、軸電圧指令値 V^* および軸電圧指令値 V^* を生成する。さらに、電圧指令値演算部 115 は、軸電圧指令値 V^* と、軸電圧指令値 V^* と、励磁電流 i と、トルク電流 i とに基づいて、周波数推定値 e_{st} を推定する。

【0029】

電気位相演算部 116 は、電圧指令値演算部 115 から取得した周波数推定値 e_{st} を積分することで、電気位相 e を演算する。

【0030】

2相3相変換部 117 は、電圧指令値演算部 115 から取得した軸電圧指令値 V^* および軸電圧指令値 V^* 、すなわち2相座標系の電圧指令値を、電気位相演算部 116 から取得した電気位相 e を用いて、3相座標系の出力電圧指令値である3相電圧指令値 V_u^*, V_v^*, V_w^* に変換する。

【0031】

PWM 信号生成部 118 は、2相3相変換部 117 から取得した3相電圧指令値 V_u^*, V_v^*, V_w^* と、母線電圧検出部 10 で検出された母線電圧 V_{dc} とを比較することによって、PWM 信号 $S_{m1} \sim S_{m6}$ を生成する。なお、PWM 信号生成部 118 は、PWM 信号 $S_{m1} \sim S_{m6}$ を出力しないようにすることによって、モータ 7 を停止することも可能である。

【0032】

本実施の形態において、制御装置 100 は、軸および軸を有する回転座標系において制御を行う。以降の説明において、軸電流、軸電流などを励磁電流、トルク電流などと称することがある。

【0033】

電圧指令値演算部 115 の構成について説明する。図 4 は、実施の形態 1 に係る制御装置 100 が備える電圧指令値演算部 115 の構成例を示すブロック図である。電圧指令値

10

20

30

40

50

演算部 115 は、周波数推定部 501 と、速度制御部 502 と、振動抑制制御補償値演算部 503 と、振動抑制制限制御部 504 と、振動抑制制御部 505 と、積分制御部 506 と、機械角位相演算部 507 と、負荷電流制御部 508 と、加算部 509 と、減算部 510, 511 と、軸電流制御部 512 と、軸電流制御部 513 と、を備える。

【0034】

周波数推定部 501 は、励磁電流 i と、トルク電流 i と、軸電圧指令値 V^* と、軸電圧指令値 V^* とに基づいて、モータ 7 に供給される電圧の周波数を推定し、周波数推定値 e_{st} として出力する。

【0035】

速度制御部 502 は、電力変換装置 200 が圧縮機 8 の備えるモータ 7 に第 2 の交流電力を出力する場合において、モータ 7 の回転速度が所望の回転速度になるようにインバータ 30 の動作を制御する定電流負荷制御を行う。具体的には、速度制御部 502 は、周波数指令値 e^* に対する、周波数推定部 501 で推定された周波数推定値 e_{st} の差分 ($e^* - e_{st}$) を算出する。速度制御部 502 は、差分 ($e^* - e_{st}$) に対して比例制御を行って得られた比例項、および差分 ($e^* - e_{st}$) に対して積分制御を行って得られた積分項を加算して、差分 ($e^* - e_{st}$) をゼロに近付ける第 1 のトルク電流指令値 i^* を生成する。速度制御部 502 は、このようにして第 1 のトルク電流指令値 i^* を生成することで、周波数推定値 e_{st} を周波数指令値 e^* に一致させるための制御を行う。

【0036】

振動抑制制御補償値演算部 503 は、モータ 7 の出力トルク T_m が負荷トルク T_L の周期的変動に追従するように振動抑制制御補償値であるトルク電流補償値 i_{trq}^* を生成する。具体的には、振動抑制制御補償値演算部 503 は、周波数推定部 501 から取得した周波数推定値 e_{st} に基づいて、トルク電流補償値 i_{trq}^* を生成する。トルク電流補償値 i_{trq}^* は、周波数推定値 e_{st} の脈動成分、特に周波数が m_n である脈動成分を抑制するためのものである。ここで、「周波数推定値 e_{st} の脈動成分、特に周波数が m_n である脈動成分」とは、周波数推定値 e_{st} を表す値である直流量の脈動成分、特に脈動周波数が m_n である脈動成分を意味する。なお、 m は直流量に関するパラメータであり、 n はモータ 7 が駆動する負荷を示すパラメータである。 n については、例えば、モータ 7 が駆動する負荷が、シングルロータリ圧縮機の場合は 1 とし、ツインロータリ圧縮機の場合は 2 とする。また、 n は 3 以上であってもよい。

【0037】

振動抑制制限制御部 504 は、負荷電流検出部 40 から取得した負荷電流 I_{dc} 、3 相 2 相変換部 112 から取得した励磁電流 i およびトルク電流 i 、軸電流制御部 512 から取得した軸電圧指令値 V^* 、および軸電流制御部 513 から取得した軸電圧指令値 V^* に基づいて、振動抑制制限トルク電流指令値 i_{trqlim}^* を生成する。

【0038】

振動抑制制御部 505 は、圧縮機 8 で発生する振動を抑制するため、電力変換装置 200 において圧縮機 8 の負荷トルクに一致するように出力トルク T_m を補償し、振動を抑制する振動抑制制御を行う。具体的には、振動抑制制御部 505 は、速度制御部 502 から取得した第 1 のトルク電流指令値 i^* 、振動抑制制御補償値演算部 503 から取得したトルク電流補償値 i_{trq}^* 、および振動抑制制限制御部 504 から取得した振動抑制制限トルク電流指令値 i_{trqlim}^* に基づいて、第 2 のトルク電流指令値 i^{***} を生成する。振動抑制制御部 505 は、第 1 のトルク電流指令値 i^* をトルク電流補償値 i_{trq}^* を用いて補償することによって、負荷トルクの脈動により発生する速度脈動を抑制することができる。

【0039】

積分制御部 506 は、周波数推定部 501 から取得した周波数推定値 e_{st} に対して積分制御を行う。

10

20

30

40

50

【 0 0 4 0 】

機械角位相演算部 5 0 7 は、積分制御部 5 0 6 で得られた値に $1 / P_m$ を乗算する、すなわち積分制御部 5 0 6 で得られた値をモータ 7 の極対数 P_m で除算することで、機械角位相 θ_m を演算する。

【 0 0 4 1 】

負荷電流制御部 5 0 8 は、負荷電流 I_{dc} の脈動を低減するモータ制御、すなわち負荷電流制御を行う。具体的には、負荷電流制御部 5 0 8 は、負荷電流検出部 4 0 から取得した負荷電流 I_{dc} 、および機械角位相演算部 5 0 7 から取得した機械角位相 θ_m に基づいて、トルク電流補償値 i_{lcc}^* を生成する。負荷電流制御部 5 0 8 は、例えば、ノッチフィルタによって構成される。

10

【 0 0 4 2 】

加算部 5 0 9 は、振動抑制制御部 5 0 5 で生成された第 2 のトルク電流指令値 i^{***} と、負荷電流制御部 5 0 8 で生成されたトルク電流補償値 i_{lcc}^* とを加算して、第 3 のトルク電流指令値 i^{****} を生成する。

【 0 0 4 3 】

減算部 5 1 0 は、励磁電流指令値 i^* に対する励磁電流 i の差分 ($i^* - i$) を算出する。

【 0 0 4 4 】

減算部 5 1 1 は、第 3 のトルク電流指令値 i^{****} に対するトルク電流 i の差分 ($i^{****} - i$) を算出する。

20

【 0 0 4 5 】

軸電流制御部 5 1 2 は、減算部 5 1 0 で算出された差分 ($i^* - i$) に対して比例積分演算を行って、差分 ($i^* - i$) をゼロに近付ける軸電圧指令値 V^* を生成する。軸電流制御部 5 1 2 は、このようにして軸電圧指令値 V^* を生成することで、励磁電流 i を励磁電流指令値 i^* に一致させるための制御を行う。

【 0 0 4 6 】

軸電流制御部 5 1 3 は、減算部 5 1 1 で算出された差分 ($i^{****} - i$) に対して比例積分演算を行って、差分 ($i^{****} - i$) をゼロに近付ける軸電圧指令値 V^* を生成する。軸電流制御部 5 1 3 は、このようにして軸電圧指令値 V^* を生成することで、トルク電流 i を第 3 のトルク電流指令値 i^{****} に一致させるための制御を行う。

30

【 0 0 4 7 】

負荷電流制御部 5 0 8 の構成について説明する。図 5 は、実施の形態 1 に係る電圧指令値演算部 1 1 5 が備える負荷電流制御部 5 0 8 の構成例を示すブロック図である。負荷電流制御部 5 0 8 は、乗算部 5 2 1 と、正弦演算部 5 2 2 と、余弦演算部 5 2 3 と、ローパスフィルタ 5 2 4、5 2 5 と、減算部 5 2 6、5 2 7 と、積分制御部 5 2 8、5 2 9 と、正弦演算部 5 3 0 と、余弦演算部 5 3 1 と、加算部 5 3 2 と、を備える。

【 0 0 4 8 】

乗算部 5 2 1 は、機械角位相 θ_m を n 倍し、制御対象となる周波数成分 $n \times \theta_m$ を演算する。

40

【 0 0 4 9 】

正弦演算部 5 2 2 は、負荷電流 I_{dc} に制御対象となる周波数成分 $n \times \theta_m$ の正弦 $\sin(n \times \theta_m)$ を乗算する。ローパスフィルタ 5 2 4 は、時定数 T_{fs} のローパスフィルタリングを行って、正弦演算部 5 2 2 で得られた演算値から交流成分を除去し、直流成分を抽出する。ここで、 s はラプラス演算子である。減算部 5 2 6 は、ローパスフィルタ 5 2 4 で得られた直流成分が 0 になるように直流成分と 0 との差分を算出する。積分制御部 5 2 8 は、減算部 5 2 6 で得られた差分に対して積分制御を行い、差分を 0 に近付ける電流指令値の正弦成分を算出する。正弦演算部 5 3 0 は、積分制御部 5 2 8 で演算された電流指令値の正弦成分に正弦 $\sin(n \times \theta_m)$ を乗算し、複素平面上の虚軸方向の交流成分を演算する。

50

【 0 0 5 0 】

余弦演算部 5 2 3 は、負荷電流 I_{dc} に制御対象となる周波数成分 $n \times m$ の余弦 $\cos(n \times m)$ を乗算する。ローパスフィルタ 5 2 5 は、時定数 T_{fs} のローパスフィルタリングを行って、余弦演算部 5 2 3 で得られた演算値から交流成分を除去し、直流成分を抽出する。減算部 5 2 7 は、ローパスフィルタ 5 2 5 で得られた直流成分が 0 になるように直流成分と 0 との差分を算出する。積分制御部 5 2 9 は、減算部 5 2 7 で得られた差分に対して積分制御を行い、差分を 0 に近付ける電流指令値の余弦成分を算出する。余弦演算部 5 3 1 は、積分制御部 5 2 9 で演算された電流指令値の余弦成分に余弦 $\cos(n \times m)$ を乗算し、複素平面上の実軸方向の交流成分を演算する。

【 0 0 5 1 】

加算部 5 3 2 は、正弦演算部 5 3 0 で演算された複素平面上の虚軸方向の交流成分と、余弦演算部 5 3 1 で演算された複素平面上の実軸方向の交流成分とを加算し、機械角周波数の n 倍成分に起因する交流量であるトルク電流補償値 i_{1cc}^* を生成する。

【 0 0 5 2 】

なお、 n は機械 $1f$ 周期で負荷変動が起きる回数を表し、例えば、シングルロータリ圧縮機の場合 $n = 1$ である。特に、電力変換装置 2 0 0 に接続される負荷がモータ 7 を含む圧縮機 8 の場合、商用電源 1 の電源周波数の 0.6 倍および 1.4 倍のモータ運転周波数において、電源高調波規格に対して NG となりやすい。そのため、制御装置 1 0 0 は、商用電源 1 の電源周波数の 0.6 倍および 1.4 倍のモータ運転周波数においてモータ 7 に供給する電流の機械周波数の $1f$ 成分が顕著となるように電力変換装置 2 0 0 の動作を制御することで、電源高調波規格を満たす運転が可能となる。制御装置 1 0 0 は、商用電源 1 の電源周波数について、負荷電流検出部 4 0 から取得した負荷電流 I_{dc} の値およびインバータ 3 0 に対する制御内容から把握してもよいし、接続される商用電源 1 が固定の場合は予め商用電源 1 の電源周波数の情報を保持していてもよい。また、制御装置 1 0 0 は、モータ 7 の運転周波数である機械周波数について、インバータ 3 0 に対する制御内容から把握することが可能である。

【 0 0 5 3 】

振動抑制制御補償値演算部 5 0 3 の構成について説明する。図 6 は、実施の形態 1 に係る電圧指令値演算部 1 1 5 が備える振動抑制制御補償値演算部 5 0 3 の構成例を示すブロック図である。振動抑制制御補償値演算部 5 0 3 は、演算部 5 5 0 と、余弦演算部 5 5 1 と、正弦演算部 5 5 2 と、乗算部 5 5 3, 5 5 4 と、ローパスフィルタ 5 5 5, 5 5 6 と、減算部 5 5 7, 5 5 8 と、周波数制御部 5 5 9, 5 6 0 と、乗算部 5 6 1, 5 6 2 と、加算部 5 6 3 と、を備える。

【 0 0 5 4 】

演算部 5 5 0 は、周波数推定値 e_{st} を積分し、極対数で除算することによってモータ 7 の回転位置を示す機械角位相 m_n を算出する。余弦演算部 5 5 1 は、機械角位相 m_n に基づいて、余弦 $\cos m_n$ を算出する。正弦演算部 5 5 2 は、機械角位相 m_n に基づいて、正弦 $\sin m_n$ を算出する。

【 0 0 5 5 】

乗算部 5 5 3 は、周波数推定値 e_{st} に余弦 $\cos m_n$ を乗算し、周波数推定値 e_{st} の余弦成分 $e_{st} \cdot \cos m_n$ を算出する。乗算部 5 5 4 は、周波数推定値 e_{st} に正弦 $\sin m_n$ を乗算し、周波数推定値 e_{st} の正弦成分 $e_{st} \cdot \sin m_n$ を算出する。乗算部 5 5 3, 5 5 4 で算出される余弦成分 $e_{st} \cdot \cos m_n$ および正弦成分 $e_{st} \cdot \sin m_n$ には、周波数が m_n である脈動成分の他、周波数が m_n より高い周波数の脈動成分、すなわち高調波成分が含まれている。

【 0 0 5 6 】

ローパスフィルタ 5 5 5, 5 5 6 は、伝達関数が $1 / (1 + s \cdot T_f)$ で表される一次遅れフィルタである。 T_f は時定数であり、周波数 m_n よりも高い周波数の脈動成分を除去するように定められる。なお、「除去」には、脈動成分の一部が減衰、すなわち低減される場合が含まれるものとする。時定数 T_f については、速度指令値に基づいて運転制御

10

20

30

40

50

部 102 で設定され、運転制御部 102 がローパスフィルタ 555, 556 に通知してもよいし、ローパスフィルタ 555, 556 が保持していてもよい。ローパスフィルタ 555, 556 については、一次遅れフィルタは一例であって、移動平均フィルタなどであってもよいし、高周波側の脈動成分を除去できればフィルタの種類は限定されない。

【0057】

ローパスフィルタ 555 は、余弦成分 $e_{st} \cdot \cos m_n$ に対してローパスフィルタリングを行なって、周波数 m_n よりも高い周波数の脈動成分を除去し、低周波数成分 $e_{st} \cos$ を出力する。低周波数成分 $e_{st} \cos$ は、周波数推定値 e_{st} の脈動成分のうち、周波数が m_n である余弦成分を表す直流量である。

【0058】

ローパスフィルタ 556 は、正弦成分 $e_{st} \cdot \sin m_n$ に対してローパスフィルタリングを行なって、周波数 m_n よりも高い周波数の脈動成分を除去し、低周波数成分 $e_{st} \sin$ を出力する。低周波数成分 $e_{st} \sin$ は、周波数推定値 e_{st} の脈動成分のうち、周波数が m_n である正弦成分を表す直流量である。

【0059】

減算部 557 は、ローパスフィルタ 555 から出力された低周波数成分 $e_{st} \cos$ と 0 との差分 ($e_{st} \cos - 0$) を算出する。減算部 558 は、ローパスフィルタ 556 から出力された低周波数成分 $e_{st} \sin$ と 0 との差分 ($e_{st} \sin - 0$) を算出する。

【0060】

周波数制御部 559 は、減算部 557 で算出された差分 ($e_{st} \cos - 0$) に対して比例積分演算を行って、差分 ($e_{st} \cos - 0$) をゼロに近付ける電流指令値の余弦成分 $i_{trq \cos}$ を算出する。周波数制御部 559 は、このようにして余弦成分 $i_{trq \cos}$ を生成することで、低周波数成分 $e_{st} \cos$ を 0 に一致させるための制御を行う。

【0061】

周波数制御部 560 は、減算部 558 で算出された差分 ($e_{st} \sin - 0$) に対して比例積分演算を行って、差分 ($e_{st} \sin - 0$) をゼロに近付ける電流指令値の正弦成分 $i_{trq \sin}$ を算出する。周波数制御部 560 は、このようにして正弦成分 $i_{trq \sin}$ を生成することで、低周波数成分 $e_{st} \sin$ を 0 に一致させるための制御を行う。

【0062】

乗算部 561 は、周波数制御部 559 から出力された余弦成分 $i_{trq \cos}$ に余弦 $\cos m_n$ を乗算して $i_{trq \cos} \cdot \cos m_n$ を生成する。 $i_{trq \cos} \cdot \cos m_n$ は、周波数 $n \cdot e_{st}$ を持つ交流成分である。

【0063】

乗算部 562 は、周波数制御部 560 から出力された正弦成分 $i_{trq \sin}$ に正弦 $\sin m_n$ を乗算して $i_{trq \sin} \cdot \sin m_n$ を生成する。 $i_{trq \sin} \cdot \sin m_n$ は、周波数 $n \cdot e_{st}$ を持つ交流成分である。

【0064】

加算部 563 は、乗算部 561 から出力された $i_{trq \cos} \cdot \cos m_n$ と、乗算部 562 から出力された $i_{trq \sin} \cdot \sin m_n$ との和を求める。振動抑制制御補償値演算部 503 は、加算部 563 で求められたものを、トルク電流補償値 i_{trq}^* として出力する。

【0065】

振動抑制制御部 505 は、振動抑制制御補償値演算部 503 において上記のようにして求められたトルク電流補償値 i_{trq}^* を演算途中のトルク電流指令値に加算し、加算結果を、補正された第 2 のトルク電流指令値 i^{***} として用いることで、脈動成分を抑制することができる。

【0066】

振動抑制制限制御部 504 の構成について説明する。図 7 は、実施の形態 1 に係る電圧指令値演算部 115 が備える振動抑制制限制御部 504 の構成例を示すブロック図である

10

20

30

40

50

。振動抑制制限制御部 5 0 4 は、電源高調波規格値計算部 6 0 1 と、次数成分演算部 6 0 2 と、減算部 6 0 3 と、積分制御部 6 0 4 と、設定部 6 0 5 と、を備える。

【 0 0 6 7 】

電源高調波規格値計算部 6 0 1 は、電源高調波において各次数に対する電源高調波規格値を計算する。図 8 は、実施の形態 1 に係る振動抑制制限制御部 5 0 4 が備える電源高調波規格値計算部 6 0 1 の構成例を示すブロック図である。電源高調波規格値計算部 6 0 1 は、電力計算部 6 1 1 と、電力乗算部 6 1 2 と、限度値換算部 6 1 3 と、係数乗算部 6 1 4 と、を備える。

【 0 0 6 8 】

電力計算部 6 1 1 は、軸電圧指令値 V^* 、軸電圧指令値 V^* 、励磁電流 i_f 、およびトルク電流 i_t を用いて、軸電圧指令値 $V^* \times$ 励磁電流 $i_f +$ 軸電圧指令値 $V^* \times$ トルク電流 i_t の計算式で電力 W を計算する。

10

【 0 0 6 9 】

電力乗算部 6 1 2 は、電力 W から規定された 6 0 0 ワットを超える電力を $(W - 6 0 0)$ として算出し、算出した値を次数ごとに規定されている最大許容高調波電流の第 2 項に乘算する。6 0 0 ワットは、JIS (Japanese Industrial Standards) C 6 1 0 0 0 - 3 - 2 で規定された値である。図 8 の例では「1.08 + 0.00033」は電源高調波の次数が 2 のときの最大許容高調波電流であるので、電力乗算部 6 1 2 は、「1.08 + 0.00033 (W - 6 0 0)」のように計算する。電力乗算部 6 1 2 は、電源高調波の他の次数についても同様の計算を行う。

20

【 0 0 7 0 】

限度値換算部 6 1 3 は、電力乗算部 6 1 2 で得られた各次数の値に対して $(230 /$ 電源電圧) を乗算し、各次数についての限度値を計算する。なお、230 は、前述の JIS C 6 1 0 0 0 - 3 - 2 で規定された、電源が単相の場合の値である。電源電圧は、一般的な使用環境であれば 1 0 0 V または 2 0 0 V となる。

【 0 0 7 1 】

係数乗算部 6 1 4 は、限度値換算部 6 1 3 で得られた各次数についての限度値に対してマージンを設定するため、 $0 < K \leq 1$ の係数 K を乗算し、電源高調波において各次数に対する電源高調波規格値を得る。例えば、 $k = 0.5$ の場合は電源高調波規格値に対して 5 0 % のマージンを持たせる場合であり、 $k = 1$ の場合は電源高調波規格値に対してマージンを持たせない場合である。

30

【 0 0 7 2 】

図 7 の説明に戻る。次数成分演算部 6 0 2 は、負荷電流 I_{dc} を用いて、電源高調波の各次数成分を演算する。図 9 は、実施の形態 1 に係る振動抑制制限制御部 5 0 4 が備える次数成分演算部 6 0 2 の構成例を示すブロック図である。次数成分演算部 6 0 2 は、乗算部 6 2 1、6 2 2 と、ローパスフィルタ 6 2 3、6 2 4 と、ピーク値演算部 6 2 5 と、実効値演算部 6 2 6 と、2 乗部 6 2 7 と、除算部 6 2 8、6 2 9 と、加算部 6 3 0 と、1 / 2 乗部 6 3 1 と、を備える。ここで、次数成分演算部 6 0 2 は、電源高調波の各次数について、整数値のみを対象とせず、前後の次数と連携することで全ての範囲を対象とする。次数成分演算部 6 0 2 は、例えば、2 次を対象にする場合は 1.5 ~ 2.5 次を対象とし、3 次を対象にする場合は 2.5 ~ 3.5 次を対象とする。具体的には、商用電源 1 の電源周波数が 5 0 Hz の場合、次数成分演算部 6 0 2 は、次数が 2 次の場合、7 5 Hz から 1 2 5 Hz の範囲において 5 Hz 単位で演算を行う。そのため、次数成分演算部 6 0 2 は、乗算部 6 2 1、6 2 2、ローパスフィルタ 6 2 3、6 2 4、ピーク値演算部 6 2 5、および実効値演算部 6 2 6 を、対象の次数分 \times 各次数での演算対象の周波数成分の数分備える。

40

【 0 0 7 3 】

乗算部 6 2 1 は、負荷電流 I_{dc} に演算対象となる周波数成分 x の余弦 $\cos x$ を乗算する。乗算部 6 2 2 は、負荷電流 I_{dc} に演算対象となる周波数成分 x の正弦 $\sin x$ を乗算する。ローパスフィルタ 6 2 3 は、乗算部 6 2 1 で得られた演算値から交流成分

50

を除去し、直流成分を抽出する。ローパスフィルタ 6 2 4 は、乗算部 6 2 2 で得られた演算値から交流成分を除去し、直流成分を抽出する。ピーク値演算部 6 2 5 は、ローパスフィルタ 6 2 3 から取得した $I_{dc cos x}$ およびローパスフィルタ 6 2 4 から取得した $I_{dc sin x}$ を用いて、演算対象となる周波数成分 x のピーク値を演算する。実効値演算部 6 2 6 は、ピーク値演算部 6 2 5 で得られた演算対象となる周波数成分 x のピーク値を (2) で除算することで、演算対象となる周波数成分 x の実効値を演算する。なお、(2) は 2 の平方根を表している。

【0074】

2乗部 6 2 7 は、演算対象の次数の各周波数で演算された実効値を 2 乗する。なお、図 9 では、周波数成分のうち、最小周波数を $(n - 1) \cdot 5$ 次と記載し、 $0 \cdot 1$ 次ずつ大きくして、最大周波数を $n \cdot 5$ 次と記載している。例えば、次数が 2 のとき、最小周波数は $1 \cdot 5$ 次となり、最大周波数は $2 \cdot 5$ 次となる。ここで、各次数で演算される対象の周波数成分のうち、最小周波数は 1 つ下の次数の最大周波数と同一となり、最大周波数は 1 つ上の次数の最小周波数と同一となる。除算部 6 2 8 は、重複する部分の影響を排除するため、2乗部 6 2 7 で得られた最小周波数の実効値の 2 乗値を $1/2$ にする。除算部 6 2 9 は、重複する部分の影響を排除するため、2乗部 6 2 7 で得られた最大周波数の実効値の 2 乗値を $1/2$ にする。加算部 6 3 0 は、演算対象の次数の各周波数で演算された実効値を 2 乗した値、または 2 乗した値を $1/2$ にした値を加算して合計値を求める。 $1/2$ 乗部 6 3 1 は、加算部 6 3 0 で得られた合計値の平方根を取って演算対象の次数成分の大きさを求める。次数成分演算部 6 0 2 は、同様の演算を次数分行う。

【0075】

図 7 の説明に戻る。減算部 6 0 3 は、電源高調波規格値裕度を計算する。具体的には、減算部 6 0 3 は、各次数について、電源高調波規格値計算部 6 0 1 で演算された電源高調波規格値と、次数成分演算部 6 0 2 で演算された電源高調波の次数成分との差分を計算する。減算部 6 0 3 は、計算した差分を電源高調波規格値裕度として積分制御部 6 0 4 に出力する。

【0076】

積分制御部 6 0 4 は、減算部 6 0 3 で計算された電源高調波規格値裕度に対して積分制御を行い、差分を 0 に近付ける、すなわち次数成分演算部 6 0 2 で演算された電源高調波の次数成分を電源高調波規格値計算部 6 0 1 で演算された電源高調波規格値に近付ける電流値 i_{dck} を演算する。

【0077】

設定部 6 0 5 は、積分制御部 6 0 4 で演算された電流値 i_{dck} が 0 以上か 0 未満によって、振動抑制制限トルク電流指令値 i_{trqlim}^* を設定する。具体的には、設定部 6 0 5 は、式 (2) のように、振動抑制制限トルク電流指令値 i_{trqlim}^* を設定する。

【0078】

【数 2】

if $i_{dck} < 0$

then $\Delta i_{\delta trqlim}^* = \Delta i_{dck}$; ... (2)

else $\Delta i_{\delta trqlim}^* = 0.0$;

【0079】

速度制御部 5 0 2 および振動抑制制御部 5 0 5 の構成について説明する。図 10 は、実施の形態 1 に係る電圧指令値演算部 1 1 5 が備える速度制御部 5 0 2 および振動抑制制御部 5 0 5 の構成例を示すブロック図である。速度制御部 5 0 2 は、減算部 7 1 1 と、比例制御部 7 1 2 と、積分制御部 7 1 3 と、加算部 7 1 4 と、を備える。振動抑制制御部 5 0 5 は、加算部 7 2 1 と、制限部 7 2 2 と、減算部 7 2 6 と、加算部 7 2 7 と、リミッタ 7

10

20

30

40

50

28と、加算部729と、を備える。制限部722は、記憶部723と、選択部724と、リミッタ725と、を備える。

【0080】

速度制御部502において、減算部711は、周波数指令値 e^* に対する、周波数推定部501で推定された周波数推定値 e_{st} の差分 ($e^* - e_{st}$) を算出する。比例制御部712は、減算部711から取得した、周波数指令値 e^* と周波数推定値 e_{st} との差分 ($e^* - e_{st}$) に対して比例制御を行い、比例項 i_p^* を出力する。積分制御部713は、減算部711から取得した、周波数指令値 e^* と周波数推定値 e_{st} との差分 ($e^* - e_{st}$) に対して積分制御を行い、積分項 i_i^* を出力する。加算部714は、比例制御部712から取得した比例項 i_p^* と、積分制御部713から取得した積分項 i_i^* とを加算して、第1のトルク電流指令値 i^* を生成する。

10

【0081】

振動抑制制御部505において、加算部721は、速度制御部502で生成された第1のトルク電流指令値 i^* と、振動抑制制御補償値演算部503から取得したトルク電流補償値 i_{trq}^* とを加算して、中間トルク電流指令値 i^{**} を生成する。

【0082】

制限部722は、中間トルク電流指令値 i^{**} に対するリミット値を設定する。一般的に、冷凍サイクル適用機器を制御する電力変換装置200では、振動抑制制御などを目的として、中間トルク電流指令値 i^{**} に対してリミット値を設定している。本実施の形態において、振動抑制制御部505は、中間トルク電流指令値 i^{**} に対するリミット値として、軸電流リミット値 i_{lim1} , i_{lim2} , i_{trqlim} を用いる。軸電流リミット値 i_{lim1} は式(3)で表すことができ、軸電流リミット値 i_{lim2} は式(4)で表すことができ、軸電流リミット値 i_{trqlim} は式(5)で表すことができる。

20

【0083】

【数3】

$$i_{\delta lim1} = \sqrt{3I_e^2 - i_{\gamma}^2} \quad \dots(3)$$

30

【0084】

【数4】

$$i_{\delta lim2} = \sqrt{\left(\frac{V_{om}}{\omega_e L_{\delta}}\right)^2 - \left(\frac{\phi_a + L_{\gamma} i_{\gamma}}{L_{\delta}}\right)^2} \quad \dots(4)$$

【0085】

【数5】

$$i_{\delta trqlim} = i_{\delta lim} - i_{\delta lim}^* \quad \dots(5)$$

40

【0086】

軸電流リミット値 i_{lim2} は、モータ7の回転速度が中高速領域の場合において、モータ7の電圧値に基づいて制限をかけることを想定したものである。式(4)において、 L_{γ} は軸インダクタンスであり、 L_{δ} は軸インダクタンスである。一般的に、インバータ30がモータ7に出力できる交流電圧の最大電圧には制限があるので、軸電圧の制限値を V_{om} とした場合、励磁電流 i_{γ} とトルク電流 i_{δ} との関係は、式(6)のように表される。なお、制限値 V_{om} については、例えば、モータ7の巻線抵抗、インバータ30のスイッチング素子311~316などの電圧降下分を差し引いた値にしてもよい。

50

インバータ30の出力限界範囲は、厳密には六角形状であるが、ここでは円で近似して考えている。本実施の形態では、円で近似することを前提として議論するが、厳密に六角形を考えて議論してもよいことは言うまでも無い。

【0087】

【数6】

$$(\phi_a + L_\gamma i_\gamma)^2 + (L_\delta i_\delta)^2 = \left(\frac{V_{om}}{\omega_e L_\delta} \right)^2 \quad \dots (6)$$

【0088】

式(6)をトルク電流*i*について解くと、式(4)を導出することができる。式(4)の軸電流指令値は、電圧限界および弱め磁束制御の効き具合を考慮できている。軸電流リミット値*i_{lim2}*は、インバータ30がモータ7に出力可能な電圧に基づく制限値*V_{om}*である電圧制限値、モータ7の回転速度である電気角速度*ω_e*、モータ7の軸磁束鎖交数*φ_a*、軸インダクタンス*L_γ*、軸インダクタンス*L_δ*から既定される。

【0089】

図10において、制限部722の記憶部723は、軸電流リミット値*i_{lim1}*、*i_{lim2}*を記憶している。すなわち、制限部722は、軸電流リミット値*i_{lim1}*、*i_{lim2}*を有している。選択部724は、記憶部723に記憶されている軸電流リミット値*i_{lim1}*、*i_{lim2}*のいずれかを選択し、軸電流リミット値*i_{lim}*として出力する。軸電流リミット値*i_{lim}*は、中間トルク電流指令値*i^{**}*に対する電流リミット値である。リミッタ725は、中間トルク電流指令値*i^{**}*に対して軸電流リミット値*i_{lim}*で制限したものを制限トルク電流指令値*i_{lim}^{*}*として出力する。なお、制限部722は、軸電流リミット値*i_{lim1}*、*i_{lim2}*について、自身で演算して求めたものを記憶部723に記憶させてもよいし、外部、例えば、運転制御部102から取得して記憶部723に記憶させてもよい。

【0090】

減算部726は、制限部722から取得した軸電流リミット値*i_{lim}*と制限トルク電流指令値*i_{lim}^{*}*との差分を算出する。リミッタ725が軸電流リミット値*i_{lim}*の範囲内で制限した場合、*i^{**} > i_{lim}*、*i_{lim}^{*} < i_{lim}*となる。リミッタ725が軸電流リミット値*i_{lim}*を使い切らないケースもあるため、使い切らなかった分を軸電流リミット値*i_{lim}*と制限トルク電流指令値*i_{lim}^{*}*との差分として算出する。加算部727は、減算部726で算出された差分と、振動抑制制限制御部504で演算された振動抑制制限トルク電流指令値*i_{trqlim}^{*}*とを加算し、トルク電流補償値*i_{trq}^{*}*に対する軸電流リミット値*i_{trqlim}*を算出する。リミッタ728は、トルク電流補償値*i_{trq}^{*}*に対して軸電流リミット値*i_{trqlim}*で制限したものをリミッタ後のトルク電流補償値*i_{trqlim}^{*}*として出力する。加算部729は、制限トルク電流指令値*i_{lim}^{*}*と、リミッタ後のトルク電流補償値*i_{trqlim}^{*}*とを加算して、第2のトルク電流指令値*I^{***}*を生成する。

【0091】

ここまで詳細に説明してきた構成および制御内容に基づいて、本実施の形態で得られる効果について説明する。図1に示す電力変換装置200において、平滑コンデンサ5の両端に接続された負荷は、例えば、インバータ30およびモータ7などで構成される負荷などが挙げられるが、ここでは周期的に脈動が発生するような負荷の接続を想定する。モータ7の機械角1周期中に1回脈動が大きく起きるような機器では、機器の振動、振動に起因する騒音などを防ぐ必要があるため、制御装置100が行う制御として、前述したような振動抑制制御、すなわち機械1f補償が広く使われている。振動抑制制御は、脈動する負荷トルクに出力トルク*T_m*を追従させることで、振動の原因となる速度むらを抑制する制御である。なお、機械1fは、モータ7の運転周波数である機械周波数の1倍成分を表している。

10

20

30

40

50

【 0 0 9 2 】

図 1 1 は、実施の形態 1 に係る電力変換装置 2 0 0 において振動を抑制するための振動抑制制御を行った場合のモータトルク、負荷トルク、および負荷電流 I_{dc} の各波形の例を示す図である。図 1 1 において、上段はモータトルクおよび負荷トルクの各波形を示し、下段は負荷電流 I_{dc} の波形を示している。なお、横軸はいずれも時間を示している。図 1 1 の例では、負荷トルクに対して、モータトルクが追従している様子が見てとれる。なお、このときの特徴として、図 1 1 の下段に示すように電源側で発生する負荷電流 I_{dc} が正負にアンバランスするといった現象が起きる。これはつまり、制御装置 1 0 0 が振動抑制制御を行うことで、振動の抑制効果を得られる一方で、電源側の負荷電流 I_{dc} の機械 1 f 成分の脈動は大きくなってしまい電源高調波規格に適合しない可能性が生じるとい

10

【 0 0 9 3 】

図 1 2 は、実施の形態 1 に係る電力変換装置 2 0 0 において電源高調波を抑制するための負荷電流制御を行った場合のモータトルク、負荷トルク、および負荷電流 I_{dc} の各波形の例を示す図である。図 1 2 において、上段はモータトルクおよび負荷トルクの各波形を示し、下段は負荷電流 I_{dc} の波形を示している。なお、横軸はいずれも時間を示している。電源高調波が増大する原理として、負荷電流 I_{dc} が正負にアンバランス状態となることが起因しているため、図 1 2 の下段の波形のように負荷電流 I_{dc} の正負がバランス状態となっている場合は、電源高調波を抑え込むことができていると言える。このとき、図 1 2 の上段のモータトルクおよび負荷トルクの波形をみると、図 1 1 と比較して、モータトルクが負荷トルクに対して小振幅で遅れ位相となっていることがわかる。そのため、負荷電流制御というのは、すなわち、モータトルクを生成するトルク電流に対して、モータトルクを振幅が小さく、かつ位相が遅れ位相となるようにシフトするような補償量を加算することに他ならない。本実施の形態では、モータトルクの振幅および位相を徐々にシフトするトルク電流補償値 i_{trq}^* を生成する振動抑制制御補償演算部 5 0 3 を備えている。

20

30

【 0 0 9 4 】

なお、ここで、モータ 7 のイナーシャが十分に大きい場合、トルクの振幅を小さくすることで、モータ 7 で消費される電力の瞬時電力振幅もまた小さくなるため、制御装置 1 0 0 がこの瞬時電力を制御するようにしてもよい。モータトルクの振幅および位相を徐々にシフトさせる方法として、前述した電源高調波規格値と次数成分との差分を計算する演算部を制御装置 1 0 0 の内部に持たせ、次数成分が電源高調波規格値を超えた範囲で負荷電流制御を動作させる振動抑制制限制御部 5 0 4 を用いることで達成できる。本実施の形態のような制御を行うことによって、高調波規格適合の課題に対して、コンバータ回路の回路定数、スイッチング方法などを変更する必要がなく、制御によってのみ解決を図ることができ、開発負荷が小さくかつ安価かつ信頼性の高い電力変換装置 2 0 0 を得ることが出来る。

40

【 0 0 9 5 】

このように、制御装置 1 0 0 は、モータ 7 の振動を低減する振動抑制制御、および平滑コンデンサ 5 の出力電流である負荷電流 I_{dc} を所望の値に近付けるように制御する負荷電流制御を行う。制御装置 1 0 0 は、負荷電流制御として、モータ 7 で消費される瞬時電力の正負のピーク値の差の絶対値が小さくなるようにインバータ 3 0 が出力する電圧を制御する。このような制御は、制御装置 1 0 0 が、モータ 7 で消費される瞬時電力の正負のピークについてピーク to ピークの値が小さくなるようにインバータ 3 0 が出力する電圧を制御することと同じである。制御装置 1 0 0 は、負荷電流制御として、負荷で発生する負荷トルクに対して、モータ 7 で発生するモータトルクの正負のピーク値の差の絶対値が

50

小さく、かつ正のピークの位相が遅れ位相となるようにインバータ30が出力する電圧を制御するとも言える。

【0096】

制御装置100の動作を、フローチャートを用いて説明する。図13は、実施の形態1に係る電力変換装置200が備える制御装置100の動作を示すフローチャートである。制御装置100において、速度制御部502は、定電流負荷制御用の第1のトルク電流指令値 i^* を生成する(ステップS1)。振動抑制制御補償演算部503は、モータ7の出力トルク T_m が負荷トルク T_l の周期的変動に追従するように振動抑制制御補償値であるトルク電流補償値 i_{trq}^* を生成する(ステップS2)。振動抑制制限制御部504は、振動抑制制限トルク電流指令値 i_{trqlim}^* を生成する(ステップS3)。振動抑制制御部505は、第1のトルク電流指令値 i^* 、トルク電流補償値 i_{trq}^* 、および振動抑制制限トルク電流指令値 i_{trqlim}^* に基づいて、第2のトルク電流指令値 i^{***} を生成する(ステップS4)。負荷電流制御部508は、負荷電流 I_{dc} 、および機械角位相 θ_m に基づいて、トルク電流補償値 i_{lcc}^* を生成する(ステップS5)。加算部509は、第2のトルク電流指令値 i^{***} とトルク電流補償値 i_{lcc}^* とを加算し、第3のトルク電流指令値 i^{***} を生成する(ステップS6)。

10

【0097】

つづいて、電力変換装置200が備える制御装置100のハードウェア構成について説明する。図14は、実施の形態1に係る電力変換装置200が備える制御装置100を実現するハードウェア構成の一例を示す図である。制御装置100は、プロセッサ91およびメモリ92により実現される。

20

【0098】

プロセッサ91は、CPU(Central Processing Unit、中央処理装置、処理装置、演算装置、マイクロプロセッサ、マイクロコンピュータ、プロセッサ、DSP(Digital Signal Processor)ともいう)、またはシステムLSI(Large Scale Integration)である。メモリ92は、RAM(Random Access Memory)、ROM(Read Only Memory)、フラッシュメモリー、EPROM(Erasable Programmable Read Only Memory)、EEPROM(登録商標)(Electrically Erasable Programmable Read Only Memory)といった不揮発性または揮発性の半導体メモリを例示できる。またメモリ92は、これらに限定されず、磁気ディスク、光ディスク、コンパクトディスク、ミニディスク、またはDVD(Digital Versatile Disc)でもよい。

30

【0099】

以上説明したように、本実施の形態によれば、電力変換装置200において、制御装置100は、モータ7の振動を低減する振動抑制制御、および平滑コンデンサ5の出力電流である負荷電流 I_{dc} を所望の値に近付けるように制御する負荷電流制御を行う。制御装置100は、モータ7に第2の交流電力を出力するインバータ30の動作状態、すなわちインバータ30に対する制御内容に応じて、振動抑制制御および負荷電流制御の各制御内容を調整する。これにより、電力変換装置200は、接続されるモータ7などの負荷での振動の発生を抑制しつつ、高調波成分の発生を抑制することができる。

40

【0100】

なお、電力変換装置200において、制御装置100は、有効電流である軸電流の代わりに無効電流である軸電流を用い、モータ7の巻線抵抗による有効電力の変化を利用して、インバータ30に流入される直流電流である負荷電流 I_{dc} が規定された値、すなわち一定の値に近づくよう制御することで、本実施の形態と同様の効果を得ることができる。以降の実施の形態についても同様である。

【0101】

実施の形態2.

図15は、実施の形態2に係る冷凍サイクル適用機器900の構成例を示す図である。

50

実施の形態 2 に係る冷凍サイクル適用機器 900 は、実施の形態 1 で説明した電力変換装置 200 を備える。実施の形態 2 に係る冷凍サイクル適用機器 900 は、空気調和機、冷蔵庫、冷凍庫、ヒートポンプ給湯器といった冷凍サイクルを備える製品に適用することが可能である。なお、図 15 において、実施の形態 1 と同様の機能を有する構成要素には、実施の形態 1 と同一の符号を付している。

【0102】

冷凍サイクル適用機器 900 は、実施の形態 1 におけるモータ 7 を内蔵した圧縮機 8 と、四方弁 902 と、室内熱交換器 906 と、膨張弁 908 と、室外熱交換器 910 とが冷媒配管 912 を介して取り付けられている。

【0103】

圧縮機 8 の内部には、冷媒を圧縮する圧縮機構 904 と、圧縮機構 904 を動作させるモータ 7 とが設けられている。

【0104】

冷凍サイクル適用機器 900 は、四方弁 902 の切替動作により暖房運転又は冷房運転をすることができる。圧縮機構 904 は、可変速制御されるモータ 7 によって駆動される。

【0105】

暖房運転時には、実線矢印で示すように、冷媒が圧縮機構 904 で加圧されて送り出され、四方弁 902、室内熱交換器 906、膨張弁 908、室外熱交換器 910 及び四方弁 902 を通って圧縮機構 904 に戻る。

【0106】

冷房運転時には、破線矢印で示すように、冷媒が圧縮機構 904 で加圧されて送り出され、四方弁 902、室外熱交換器 910、膨張弁 908、室内熱交換器 906 及び四方弁 902 を通って圧縮機構 904 に戻る。

【0107】

暖房運転時には、室内熱交換器 906 が凝縮器として作用して熱放出を行い、室外熱交換器 910 が蒸発器として作用して熱吸収を行う。冷房運転時には、室外熱交換器 910 が凝縮器として作用して熱放出を行い、室内熱交換器 906 が蒸発器として作用し、熱吸収を行う。膨張弁 908 は、冷媒を減圧して膨張させる。

【0108】

以上の実施の形態に示した構成は、一例を示すものであり、別の公知の技術と組み合わせることも可能であるし、実施の形態同士を組み合わせることも可能であるし、要旨を逸脱しない範囲で、構成の一部を省略、変更することも可能である。

【符号の説明】

【0109】

1 商用電源、2 リアクタ、3 整流部、5 平滑コンデンサ、7 モータ、8 圧縮機、10 母線電圧検出部、12a, 12b 直流母線、30 インバータ、40 負荷電流検出部、100 制御装置、102 運転制御部、110 インバータ制御部、111 電流復元部、112 3相2相変換部、113 励磁電流指令値生成部、115 電圧指令値演算部、116 電気位相演算部、117 2相3相変換部、118 PWM信号生成部、131~134, 321~326 整流素子、200 電力変換装置、310 インバータ主回路、311~316 スイッチング素子、331~333 出力線、350 駆動回路、400 モータ駆動装置、501 周波数推定部、502 速度制御部、503 振動抑制制御補償値演算部、504 振動抑制制限制御部、505 振動抑制制御部、506, 528, 529, 604, 713 積分制御部、507 機械角位相演算部、508 負荷電流制御部、509, 532, 563, 630, 714, 721, 727, 729 加算部、510, 511, 526, 527, 557, 558, 603, 711, 726 減算部、512 軸電流制御部、513 軸電流制御部、521, 553, 554, 561, 562, 621, 622 乗算部、522, 530, 552 正弦演算部、523, 531, 551 余弦演算部、524, 525, 555, 556, 623, 624 ローパスフィルタ、550 演算部、559, 560 周波数制御部、601 電源高調波規格値計算部

10

20

30

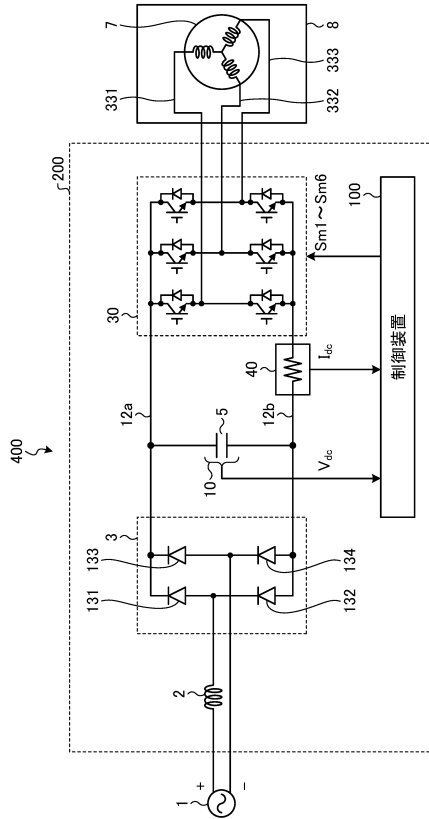
40

50

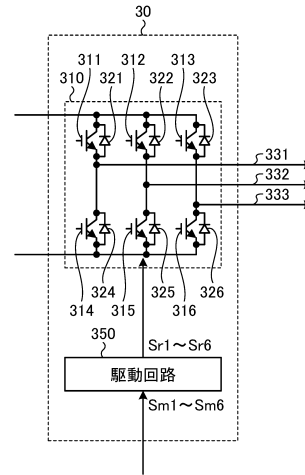
、 6 0 2 次数成分演算部、 6 0 5 設定部、 6 1 1 電力計算部、 6 1 2 電力乗算部、
 6 1 3 限度値換算部、 6 1 4 係数乗算部、 6 2 5 ピーク値演算部、 6 2 6 実効値演
 算部、 6 2 7 2乗部、 6 2 8 , 6 2 9 除算部、 6 3 1 1 / 2乗部、 7 1 2 比例制御
 部、 7 2 2 制限部、 7 2 3 記憶部、 7 2 4 選択部、 7 2 5 , 7 2 8 リミッタ、 9 0
 0 冷凍サイクル適用機器、 9 0 2 四方弁、 9 0 4 圧縮機構、 9 0 6 室内熱交換器、
 9 0 8 膨張弁、 9 1 0 室外熱交換器、 9 1 2 冷媒配管。

【図面】

【図 1】



【図 2】



10

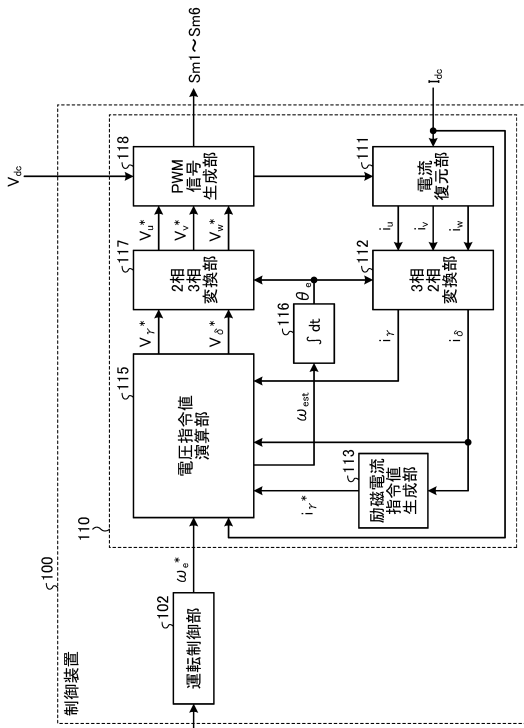
20

30

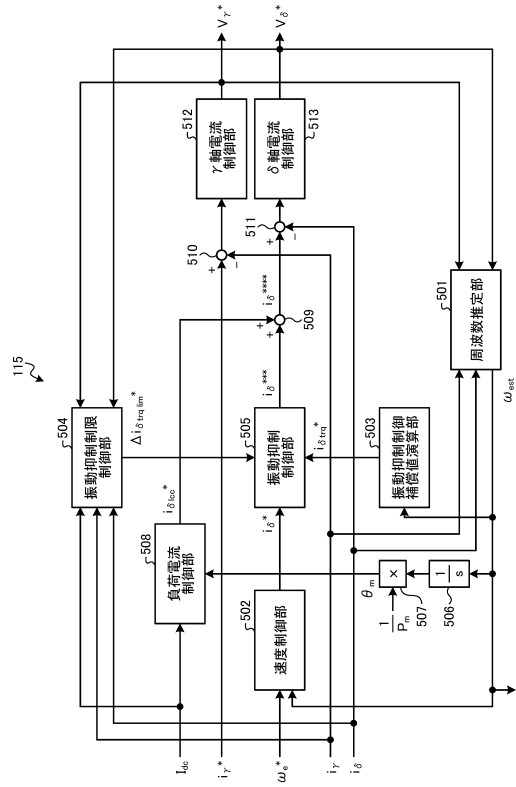
40

50

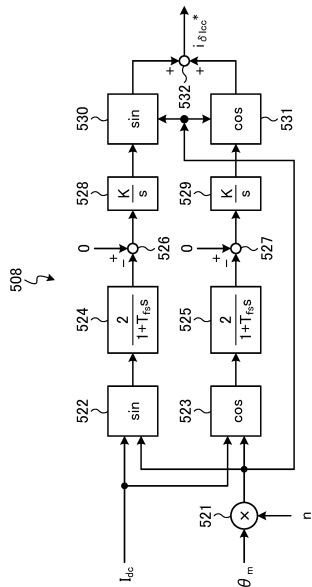
【図 3】



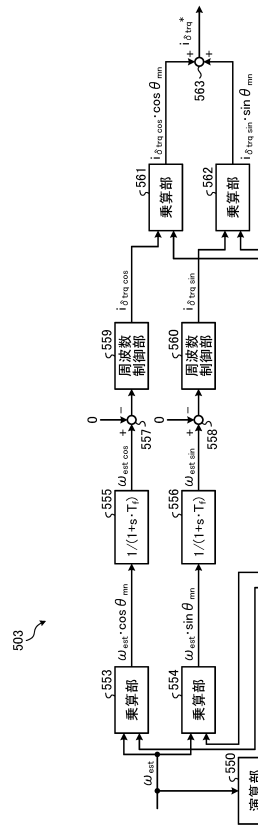
【図 4】



【図 5】



【図 6】



10

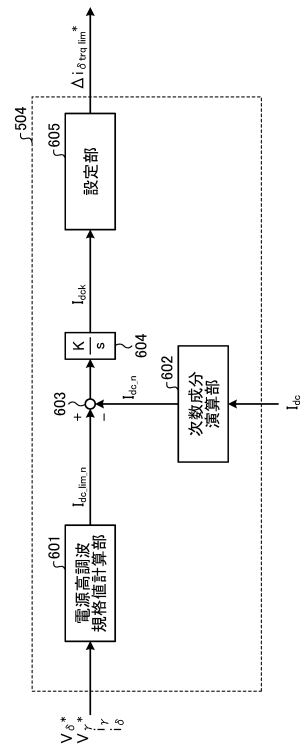
20

30

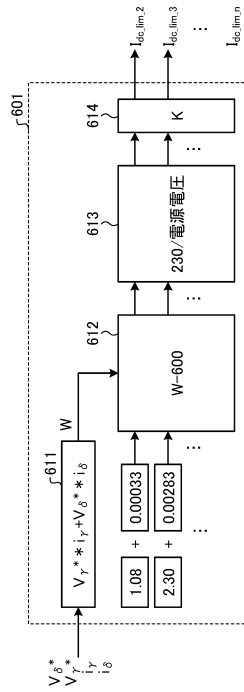
40

50

【図7】



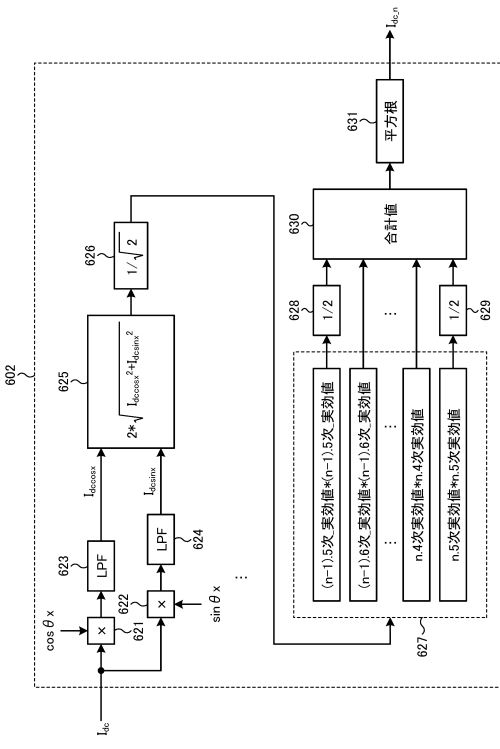
【図8】



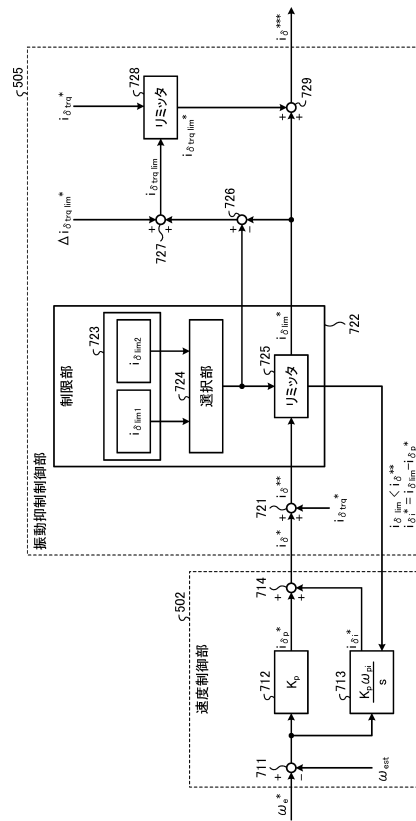
10

20

【図9】



【図10】

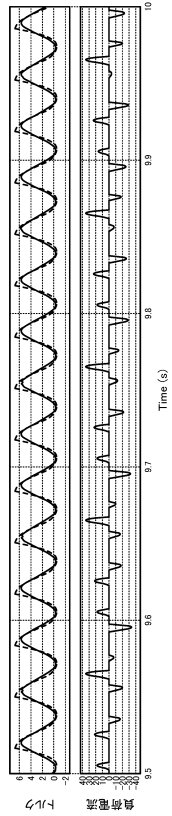


30

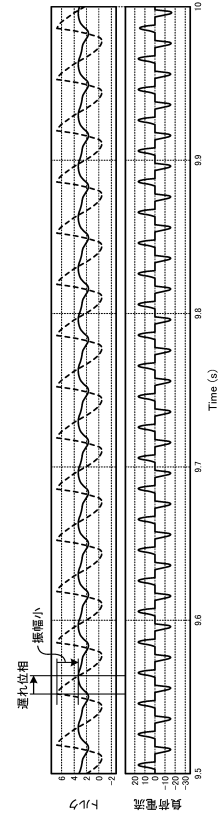
40

50

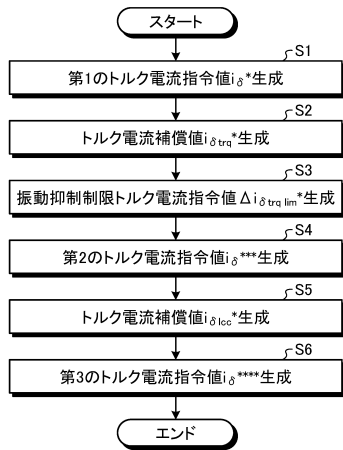
【図 1 1】



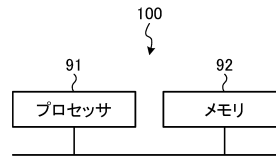
【図 1 2】



【図 1 3】



【図 1 4】



10

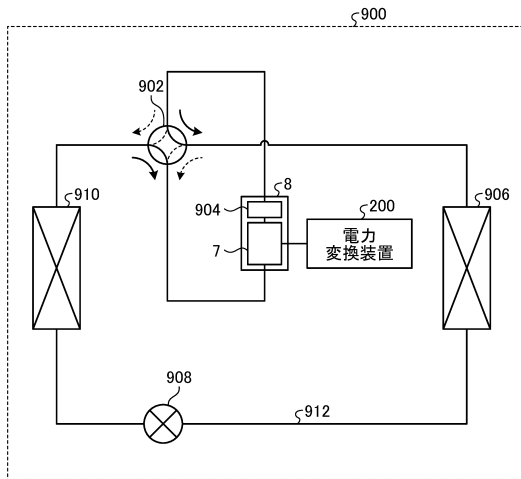
20

30

40

50

【 図 15 】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開 2 0 0 9 - 2 3 2 5 9 1 (J P , A)
特開 2 0 2 0 - 0 5 8 1 8 4 (J P , A)
特開 2 0 1 7 - 1 1 2 7 5 5 (J P , A)
- (58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)
H 0 2 P 2 1 / 0 0 - 2 5 / 0 3
2 5 / 0 4
2 5 / 1 0 - 2 7 / 1 8