

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

二次電池と電力変換機とを有する蓄電設備を連系する電源系統において、
前記電源系統の周波数を計測する周波数計測手段と、
前記電源系統の電圧を計測する電圧計測手段と、
前記周波数計測手段の出力をプロセス量とし、前記周波数計測手段の出力に時間遅れ演算を施して目標値として、制御演算により有効電力の目標値を出力する系統周波数制御回路と、
前記電圧計測手段の出力をプロセス量とし、前記電圧計測手段の出力に時間遅れ演算を施して目標値として、制御演算により無効電力の目標値を出力する系統電圧制御回路と、
前記有効電力の目標値および前期無効電力の目標値に応じて、有効電力および無効電力を出力する前記電力変換機を備えた系統安定化装置。

【請求項 2】

前記二次電池に取り付けられた電池状態検出器と、
前記電池状態検出器から前記二次電池の S O C を計算する S O C 計測手段と、
前記 S O C 計測手段からの出力とあらかじめ定めた S O C 目標値との偏差により、前記有効電力の目標値を補正する手段を有する請求項 1 に記載の系統安定化装置。

【請求項 3】

前記周波数計測手段および前記電圧計測手段が、
前記電源系統の電圧を計測する電圧計と、
前記電圧計の出力を位相同期演算する P L L 演算部とを有する請求項 1 または請求項 2 に記載の系統安定化装置。

【請求項 4】

前記系統周波数制御回路および系統電圧制御回路における制御演算が比例制御である請求項 1 ~ 請求項 3 のいずれか 1 項に記載の系統安定化装置。

【請求項 5】

前記電源系統に自然エネルギーを利用した発電機が接続された請求項 1 ~ 請求項 4 のいずれか 1 項に記載の系統安定化装置。

【請求項 6】

二次電池と電力変換機とを有する蓄電設備を連系する電源系統において、
前記電源系統の周波数と電圧を計測して、
前記電圧をプロセス量とし、前記電圧に時間遅れ演算を施して目標値として、制御演算により無効電力の目標値を計算し、
前記周波数をプロセス量とし、前記周波数に時間遅れ演算を施して目標値として、制御演算により求めた値を、前記二次電池の電池状態から求めた S O C とあらかじめ定めた S O C 目標値との偏差により補正して、有効電力の目標値を計算し、
前記有効電力の目標値と、前記無効電力の目標値に応じて、前記電力変換機からの有効電力および無効電力を出力する系統安定方法。

【請求項 7】

前記電源系統の瞬時電圧値を位相同期演算することにより電源系統の周波数と電圧とを算出する請求項 6 に記載の系統安定化方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0 0 0 1】

本発明は、自然エネルギーを用いた電源や電力変動を伴う負荷を連系した電源系統の安定化と電源品質に関し、電源系統の安定化装置およびその方法に関する。

【背景技術】

【0 0 0 2】

風力発電機などの自然エネルギーを用いた電源を系統電源に連系させた電力系統において、その風力発電機などの出力変動により電力系統に発生する電圧および周波数変動を抑

10

20

30

40

50

制するために系統安定化装置を設ける技術が公表されている（例えば、特許文献1、特許文献2）。

【0003】

すなわち、電力変動を伴う風力発電機などの自然エネルギーを用いた電源や電力変動を伴う間欠負荷を系統電源に連系させた電力系統では、電力変動による電力系統の電圧および周波数変動を抑制するための系統安定化装置を設置するのが一般的である。

【0004】

図10は係る系統安定化装置の概略構成を示す。この系統安定化装置は、同図に示すように例えば風力発電機103系統電源101との間に設置され、系統母線102に電力変換機106を接続し、その直流側に鉛電池などの二次電池105を配設した構成を具備する。

10

【0005】

前記電力変換機106は、インバータ機能とコンバータ機能を有する双方向形交直変換機で、系統母線102からの交流電力を直流変換して二次電池105に充電するコンバータ運転と、二次電池105に充電された直流電力を交流変換して系統母線102に供給するインバータ運転とに切り換え制御される。この切り換え制御は、計器用変圧器や変流器により検出された風力発電機103の発電量に基づいて行われる。

【0006】

ここで、風力発電機103の出力は風速などの自然条件に応じて時々刻々と変動する。一方、風力発電機103は、ディーゼル発電機107を系統電源101として持つ小規模な電力系統と連系することが多い。この種の小規模な電力系統では、前述したように風力発電機103の出力変動が頻繁に現出すると、その風力発電機103の出力変動により電力系統に電圧または周波数変動を招く影響が大きい。

20

【0007】

そのため、系統安定化装置では、前述した風力発電機103の出力変動を計器用変圧器や変流器により検出し、その風力発電機103の出力変動を打ち消すように電力変換機106のコンバータ運転またはインバータ運転により二次電池105を充放電させ、この電力変換機106のコンバータ運転またはインバータ運転による電力系統との電力のやり取りでもって、電力系統の電圧または周波数変動を抑制するように電力補償動作させている。

30

【0008】

また、自然エネルギーを利用した発電として太陽光発電機の出力変動の影響を低減する制御方法が提案されている。例えば、特公平2-61227号公報（特許文献3）には、太陽電池を利用した太陽光発電機を電力系統に連系する際に、太陽光発電機の出力変動が電力系統に及ぼす影響を抑制するために、太陽光発電機の出力を二次電池に蓄電して、太陽光発電機の出力が低下したときに二次電池から電力を供給して、日射条件により変動を受ける太陽光発電機の出力を補償する技術が開示されている。

【0009】

更に、特開昭63-186538号公報（特許文献4）には、電力系統に二次電池と電力変換機からなる系統安定化装置を設けて、負荷変動が生じたときに、系統安定化装置からの出力を調整する方法が開示されている。

40

【0010】

また、特開2010-116071号公報（特許文献5）には、船舶の離接岸時に用いられるバウスラスタの運転時に、二次電池と電力変換機から電力を供給して、容量の誘導電動機の運転による船内電力系統の影響を抑制して省エネを図る技術が開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0011】

【特許文献1】特開2001-286062号公報

【特許文献2】特開2001-101557号公報

50

【特許文献3】特公平2-61227号公報

【特許文献4】特開昭63-186538号公報

【特許文献5】特開2010-116071号公報

【特許文献6】特開2005-312163号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0012】

上述したように、従来技術において、二次電池と電力変換機からなる蓄電設備を用いて、電力系統の安定化を図り、電源系統の品質の維持管理を行っている。しかし、二次電池の容量は有限であり、その容量を超えて使用しようとすると、二次電池は過充電もしくは過放電状態となる。二次電池は過充電もしくは過放電状態になれば、二次電池は劣化して、電池寿命を短くする。これを避けるために二次電池の容量を大きくすれば、コストアップとなる。

【0013】

また、適正な充電状態を維持していないと、過充電もしくは過放電に陥りやすい。すなわち、電池残量が少ない状態で二次電池を使用すれば過放電になりやすいし、満充電に近い状態で二次電池を使用すれば過充電になりやすい。

【0014】

電力系統の安定化のために、風力発電機等の出力変動や、モータの負荷変動を計測して、適宜、発電機の運転／停止を行う技術が提案されている（例えば、特許文献6）。この方法によれば、発電機やモータ毎にその電力を計測する必要があり、制御が煩雑となる。更に、電力の計測は周波数や電圧の計測に比べて時間がかかるので、電力計測に遅れが生じて安定で正確な制御を阻害する。

【0015】

本発明は係る課題を解決するためになされたものであり、一義的には、二次電池の過充電および過放電を防止しつつ電力系統の安定化を図ることにあり、二義的には、煩雑な計測を行うことなく、計測の遅れが生じない電力系統の安定化装置およびその方法を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0016】

上記の目的を達成するために本発明に係る系統安定化装置は、二次電池と電力変換機とを有する蓄電設備を連系する電源系統において、前記電源系統の周波数を計測する周波数計測手段と、前記電源系統の電圧を計測する電圧計測手段と、前記周波数計測手段の出力をプロセス量とし、前記周波数計測手段の出力に時間遅れ演算を施して目標値として、制御演算により有効電力の目標値を出力する系統周波数制御回路と、前記電圧計測手段の出力をプロセス量とし、前記電圧計測手段の出力に時間遅れ演算を施して目標値として、制御演算により無効電力の目標値を出力する系統電圧制御回路と、前記有効電力の目標値および前期無効電力の目標値に応じて、有効電力および無効電力を出力する前記電力変換機を備えている。（請求項1）

【0017】

この構成によれば、二次電池と電力変換機とからなる蓄電設備において電力変換機から出力される有効電力および無効電力を制御して、電源系統の周波数と電圧を調整する。ここに有効電力、無効電力を出力するとは、その符号を含んでいて流入と流出を特に区別しないで説明することがある。

【0018】

蓄電設備において、二次電池の代わりにキャパシタを用いてもよい。キャパシタを用いれば蓄電設備として応答性が向上する。

【0019】

この構成によれば、時間遅れ演算器は、好ましくは、一次遅れであってもよい。移動平均や二次遅れであってもよい。

10

20

30

40

50

【0020】

本発明に係る系統安定化装置は、前記二次電池に取り付けられた電池状態検出器と、前記電池状態検出器から前記二次電池のS O Cを計算するS O C計測手段と、前記S O C計測手段からの出力とあらかじめ定めたS O C目標値との偏差により、前記有効電力の目標値を補正する手段を有する。(請求項2)

【0021】

この構成によれば、二次電池の端子電圧や充放電電流、電池温度やセル圧力などの電池状態を検出する検出器を設けてもよい。電池状態検出器からの検出値に異常がないか監視するために電池監視装置を設けてもよく、当該電池監視装置で電池のS O C (S t a t e of Charge)を計算してもよい。

10

【0022】

ここにS O Cは二次電池の充電状態を示す値であって、満充電された状態を100%S O Cといい、二次電池に電気量がない状態を0%S O Cという。二次電池を過充電や過放電状態にすると、電池寿命に影響を与えて好ましくないので、一般に、電池は20%S O Cと80%S O Cとの間で使用される場合が多い。

【0023】

本発明に係る系統安定化装置は、前記周波数計測手段および前記電圧計測手段が、前記電源系統の電圧を計測する電圧計と、前記電圧計の出力を位相同期演算するP L L演算部とを有する。(請求項3)

20

【0024】

この構成によれば、三相交流の電源系統に接続された変成器を介して特定の2相(例えば、R S相、S T相)の電圧の瞬時値を検出する。これを例えれば計算機に取り込みP L L演算(Phase Locked Loop; 位相同期演算)を施して、周波数と電圧を計算する。よって、電力計のような計測遅れが発生しないので制御遅れが生じない。

【0025】

本発明に係る系統安定化装置は、前記系統周波数制御回路および系統電圧制御回路における制御演算が比例制御である。(請求項4)

【0026】

この構成によれば、有効電力調整ループおよび無効電力調整ループにおいて、制御演算は好ましくは比例制御となる。比例制御演算を行うことにより、他の発電設備と安定に負荷分担を行うことができる。

30

【0027】

本発明に係る系統安定化装置は、前記電源系統に自然エネルギーを利用した発電機が接続されてなる。(請求項5)

【0028】

この構成によれば、自然エネルギーを利用した発電機として、太陽電池を用いた太陽光発電機であってもよく、風力エネルギーを利用した風力発電機であってもよい。海洋を航海する船舶にとって太陽光や風力の自然エネルギーに恵まれている。自然エネルギーの有効活用を図れば省エネルギーとC O 2削減に寄与することができる。

【0029】

本発明に係る系統安定方法は、二次電池と電力変換機とを有する蓄電設備を連系する電源系統において、前記電源系統の周波数と電圧を計測して、前記電圧をプロセス量とし、前記電圧に時間遅れ演算を施して目標値として、制御演算により無効電力の目標値を計算し、前記周波数をプロセス量とし、前記周波数に時間遅れ演算を施して目標値として、制御演算により求めた値を、前記二次電池の電池状態から求めたS O Cとあらかじめ定めたS O C目標値との偏差により補正して、有効電力の目標値を計算し、前記有効電力の目標値と、前記無効電力の目標値に応じて、前記電力変換機からの有効電力および無効電力を出力する。

40

【0030】

本発明に係る系統安定化方法は、前記電源系統の瞬時電圧値を位相同期演算することに

50

より電源系統の周波数と電圧とを算出する。

【発明の効果】

【0031】

本発明は、以上に説明した構成を有し、簡便でかつ計測に遅れの生じない系統周波数と系統電圧の調整を行うことができる。そして、負荷変動や自然エネルギー発電による擾乱を抑制して電源品質の維持を図り、電源系統の電源品質の向上を図ることができる。更には、電源品質維持のために余分に運転されるディーゼル発電機を減らすことにより省エネルギーの実現を図ることができる。

【図面の簡単な説明】

【0032】

【図1】本発明の実施形態にかかる電源系統線図である。

【図2】本発明の実施形態にかかる系統安定化装置の制御ブロックを示す図である。

【図3】図2の制御ブロックにおいて、系統電圧及び系統周波数を算出するPLL演算部の説明図である。

【図4】図2の制御ブロックにおいて、系統制御部内の電圧安定化制御回路を示すブロック図である。

【図5】図2の制御ブロックにおいて、系統制御部内の周波数電圧安定化制御回路を示すブロック図である。

【図6】図2の制御ブロックにおいて、系統制御部内のSOC補正制御回路を示すブロック図である。

【図7】図2の制御ブロックにおいて、電力制御部の詳細を説明する図である。

【図8】SOCの計算方法を説明する図である。

【図9】本発明に係る系統制御装置のシミュレーション試験結果を示す図である。

【図10】従来技術による船舶内の電源系統を示す図である。

【図11】従来技術による制御ループを説明する図である。

【発明を実施するための最良の形態】

【0033】

以下、本発明に係る実施形態を図面に従って説明する。本実施形態は、船舶内の電力系統を例にとり説明するが、本発明はこの実施形態に限定されるものではない。

【0034】

図1に本発明の実施形態に係る電源系統図を示す。電源系統(1)は、特に実体があるというものでなく、強いていえば、配線とこれにつながる各種の発電機や負荷設備等から構成されているということができる。

【0035】

電源系統(1)には3相交流電力が流れるところ、表記を簡単化するために単線系統図として表されている。図1に示す電源系統は、船舶内におけるものであるが、船舶以外の電源系統であっても本発明の適用が可能である。

【0036】

電源系統(1)は、公称電圧440V、公称周波数60Hzの三相交流であって、その系統には、各種の設備が接続されている。すなわち、太陽電池ユニット(3)と電力変換装置(4)とからなる太陽光発電機(10)、二次電池(5)と電力変換制御装置(6)とからなる蓄電設備(11)および3台のディーゼル発電機(7a, 7b, 7c)とが、図1の左側に接続されている。

【0037】

図1の右側には船内電力負荷(2)とバウスラスタ(8)とが接続されている。船内の照明や空調のほか船内で消費される電力が船内電力負荷(2)となる。バウスラスタ(8)は、タグボートの助けを借りずに入港時に船舶を岸壁に移動するために設けられており、大型の誘導電動機により駆動される。バウスラスタの起動時には大きな起動電流が流れ、船内電圧の低下等の電源系統(1)に大きな影響を与える。

【0038】

10

20

30

40

50

バウスラスタ（8）の運転が行われない場合は、通常、1台のディーゼル発電機（例えば7a）が運転され、船内に必要な電力を供給する。

【0039】

ディーゼル発電機（7）の定格出力は1,080kWであって、バウスラスタ（8）を駆動する図示しない誘導電動機の定格出力は1,350kWである。

【0040】

バウスラスタ（8）の運転前に、その所要電力を供給するために1台のディーゼル発電機（7）が運転され、誘導電動機の始動時の電源系統の安定化のために更に1台のディーゼル発電機（7）が運転されるところ、本発明に係る系統安定化装置が設置されている場合は、余分なディーゼル発電機（7）は運転されず、船内の必要電力を供給するために運転される1台と合わせて、合計2台のディーゼル発電機（7）の運転で済むことになる。

10

【0041】

本発明の実施形態に係る系統安定化装置について、図2に示す制御ブロックを用いて説明する。図2において、ディーゼル発電機（7）や太陽光発電機（10）やバウスラスタ（8）等は省略してある。

【0042】

二次電池（5）は直流電力ライン（25）を介して、電力変換制御装置（6）の電力変換回路（20）に接続されている。この電力変換回路（20）は図示しないパワー半導体素子を高速にON/OFFを行うことにより、二次電池（5）からの直流電力を所定の交流電力に変換して電源系統（1）に出力する、もしくは電源系統（1）からの交流電力を直流電力に変換して二次電池（5）を充電する。

20

【0043】

電源系統（1）には電源系統電圧を検出するために電圧検出器（14）が設置されており、電圧検出器（14）の出力は配線（24）を介して、システム制御装置（15）のPLL演算部（16）に接続されている。電圧検出器（14）はPTとして知られる変成器である。

【0044】

システム制御装置（15）は、PLL演算部（16）、系統制御部（17）と電力制御部（18）から構成されており、PLL演算部（16）からの系統状態信号（27）は系統制御部（17）に送られ、系統制御部（17）からの電力指令信号（28）は電力制御部（18）に送られる。

30

【0045】

電力制御部（18）からのゲート駆動信号（29）は電力変換回路（19）に送られる。ゲート駆動信号（29）は、パワー半導体素子のゲートをPWM制御することにより、二次電池（5）の直流電力は所望の電圧、周波数、位相の交流電力に変換されるとともに電源系統（1）からの交流電力は直流電力に変換されて、二次電池（5）を充電する。

【0046】

二次電池（5）には二次電池の状態を検出するための電圧、電流、温度、圧力等の電池状態検出器（19）が取り付けられており、二次電池監視装置（22）において二次電池の状態を監視する他、二次電池（5）のSOCの計算を行う。

40

【0047】

二次電池監視装置（22）は配線26aを介してシステム制御装置（15）の系統制御部（17）に接続され、二次電池監視装置（22）で算出されたSOCが系統制御部（17）に送出される。また、二次電池の異常信号は配線26bを介して二次電池監視装置（22）から電力制御部（18）に送られる。

【0048】

次に、図3～図8を用いて本発明の実施形態に係る系統安定化装置の動作について説明をする。

【0049】

（1）PLL演算

50

図3は、電源系統(1)の電圧及び周波数を算出するPLL演算部について説明する図である。すなわち、図3(a)は、PLL演算ブロック図であり、図3(b)は、PLL演算部(16)における演算処理を示すブロック図である。

【0050】

電源系統(1)の周波数・位相は電圧検出器(14)からの電圧値に基づき、PLL演算部(16)において計算で求められる。すなわち、電力変換制御装置(6)内に設置された電圧検出器(14)により電源系統(1)の線間電圧の瞬時値 V_{RS} 、 V_{ST} が計測され、PLL演算部(16)に入力される(図7参照)。PLL演算部(16)において、この電圧の瞬時値 V_{RS} 、 V_{ST} を用いて電源系統(1)の周波数・位相の推定が行われる。

【0051】

PLL演算部(16)の演算ブロック図を図3に示す。PLL演算部(16)は、線間電圧値(V_{RS} 、 V_{ST})から位相 θ を算出する部分とPLL演算部(16)内で推定された位相 θ' との偏差を求める位相比較器(32)と、位相偏差から電源系統(1)の角速度(周波数)を推定するループフィルタ(34)および推定された角速度を積算し、推定位相 θ' を算出する積算器(35)とで構成されている。

【0052】

電源系統の位相は、電圧検出器(14)から得られた系統線間電圧の瞬時値 v_{ab} ($= V_{RS}$)と v_{bc} ($= V_{ST}$)を変換することで求める。系統側の各相の相電圧の瞬時値を v_a 、 v_b 、 v_c とし、瞬時値ベクトル v を次式のように定義する。

【0053】

【数1】

$$v_{\alpha\beta} = \sqrt{\frac{2}{3}} \left(v_a + v_b e^{j\frac{2\pi}{3}} + v_c e^{j\frac{4\pi}{3}} \right)$$

【0054】

オイラーの式($e^{j\theta} = \cos\theta + j\sin\theta$)より瞬時値ベクトル v は以下のように表現することができる。

【0055】

【数2】

$$v_{\alpha\beta} = v_\alpha + jv_\beta = \sqrt{\frac{2}{3}} \left\{ \left(v_a - \frac{1}{2}v_b - \frac{1}{2}v_c \right) + j \left(\frac{\sqrt{3}}{2}v_b - \frac{\sqrt{3}}{2}v_c \right) \right\}$$

【0056】

【数3】

$$\begin{bmatrix} v_\alpha \\ v_\beta \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & -1/2 & -1/2 \\ 0 & \sqrt{3}/2 & -\sqrt{3}/2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_a \\ v_b \\ v_c \end{bmatrix}$$

【0057】

ここで瞬時値ベクトル v はa相を基準にした固定座標系(α軸)を角速度 ω で回転するベクトルとなる。実際の電力変換制御装置(6)内の電圧検出器(14)で計測された系統瞬時線間電圧 v_{ab} 、 v_{bc} と瞬時相電圧 v_a 、 v_b 、 v_c は次のような関係にある。

【0058】

【数4】

$$v_{ab} = v_a - v_b$$

【0059】

10

20

30

40

50

【数5】

$$v_{bc} = v_b - v_c$$

【0060】

従って瞬時値ベクトルは瞬時線間電圧から

【0061】

【数6】

$$v_{\alpha} = \sqrt{\frac{2}{3}} \left(v_a - \frac{1}{2}v_b - \frac{1}{2}v_c \right) = \sqrt{\frac{2}{3}} \left(v_a - v_b + \frac{1}{2}v_b - \frac{1}{2}v_c \right) = \sqrt{\frac{2}{3}} (v_{ab} + v_{bc})$$

10

【0062】

【数7】

$$v_{\beta} = \sqrt{\frac{2}{3}} \left(\frac{\sqrt{3}}{2}v_b - \frac{\sqrt{3}}{2}v_c \right) = \frac{1}{\sqrt{2}} v_{bc}$$

【0063】

で求められる。また、次式より $\cos \theta$ と $\sin \theta$ が計算されて、位相 θ が求まる。

【0064】

【数8】

20

$$\cos \theta = \frac{v_{\alpha}}{\sqrt{v_{\alpha}^2 + v_{\beta}^2}}$$

【0065】

【数9】

$$\sin \theta = \frac{v_{\beta}}{\sqrt{v_{\alpha}^2 + v_{\beta}^2}}$$

30

【0066】

位相比較器(32)は、系統電圧の瞬時値から求めた位相 θ と PLL 演算部(16)内で推定された推定位相 θ' の偏差を求める。位相偏差 $\theta - \theta'$ はオイラーの式より

【0067】

【数10】

$$\sin(\theta - \theta') = \sin \theta \cos \theta' - \cos \theta \sin \theta'$$

【0068】

 $\theta - \theta'$ が十分小さい場合、この値がほぼ位相差と判断される。ループフィルタ(34)は、位相比較器(32)で求められた位相偏差から、系統の角速度 ω を求める。系統周波数は、ループフィルタ(34)の出力 ω から求まる。ループフィルタの伝達関数 $G(s)$ は次式で表される。

40

【0069】

【数11】

$$G(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{sT_I} \right)$$

【0070】

推定位相 θ を積算器(35)にて積算して、推定位相 θ' の推定を行う。

50

系統電圧 V は、瞬時値ベクトル
【 0 0 7 1 】 $\sqrt{v_\alpha^2 + v_\beta^2}$ から次式で求められる。
【 数 1 2 】

$$V = \sqrt{v_\alpha^2 + v_\beta^2}$$

【 0 0 7 2 】

以上に述べた電圧、周波数の検出方法は電源系統に連系する電力変換制御装置に組み込まれているものであることから、本発明を実施するにあたり、新たに検出装置を追加する必要がない。

10

【 0 0 7 3 】

また、周波数、位相がコンピュータプログラムでの計算により求められているので、応答速度が速い。本発明では周波数・電圧計測の応答速度が設備の性能に影響するが、本方式により、十分な性能が得られる。

【 0 0 7 4 】

P L L 演算部 (1 6) で算出された系統電圧 V は系統電圧信号 (4 1) として、また、系統周波数 F は系統周波数信号 (5 1) として系統制御部 (1 7) に送られる。更に、推定位相 θ' が P L L 演算部 (1 6) から電力制御部 (1 8) に送られる。

【 0 0 7 5 】

(2) 電圧安定化制御

20

本発明の実施形態に係る系統安定化装置は、電源系統 (1) の電圧変動を監視し、その変動を抑制するように充放電電力 (無効電力) を算出する。

【 0 0 7 6 】

電源系統 (1) の電圧はディーゼル発電機 (7) の電圧制御 (A V R) により一定に維持されているが、負荷変動や他の発電機の発電電力変動があった場合、電圧が変動する。また負荷が消費する無効電力によっても電圧は変動する。

【 0 0 7 7 】

系統制御部 (1 7) の内部回路である電圧安定化制御回路 (4 0) の制御ブロック (図 4) を用いて、電圧安定化制御の動作について説明する。

【 0 0 7 8 】

図 4 に示す電圧安定化制御回路 (4 0) は電圧の変動を検知して、蓄電設備 (1 1) からの無効電力を調整することにより系統電圧の変動を抑制する。

30

【 0 0 7 9 】

電圧安定化制御回路 (4 0) には P L L 演算部 (1 6) で算出された系統電圧信号 (4 1) が入力される。系統電圧信号 (4 1) は、遅れ演算器 (4 2) において時間遅れ処理が施されて系統電圧目標値 V_{ref} となり、減算器 (4 3) に送出される。遅れ演算器 (4 2) の出力は系統電圧の目標値 (V_{ref}) を与えることとなる。

【 0 0 8 0 】

減算器 (4 3) は系統電圧目標値 V_{ref} から系統電圧 V を減算して、比例制御器 (4 4) に出力する。比例制御器 (4 4) は、減算器 (4 3) の出力 ($= V_{ref} - V$) に比例定数 K_v を乗じて、次段の上下限リミッタ (4 5) に送る。そして、上下限リミッタ (4 5) にて比例制御器 (4 4) の出力は Q_{bat_max} と Q_{bat_min} の間に制限されて、無効電力指令信号 (4 6) として出力される。

40

【 0 0 8 1 】

遅れ演算器 (4 2) は系統電圧目標値 V_{ref} を系統電圧の整定値に漸近させる。これにより、電圧安定化制御は電圧の過渡的な変動のみに応答し、定常的に無効電力を出力しつづけることがない。

【 0 0 8 2 】

ここで遅れ演算器 (4 2) は、好ましくは一次遅れ演算により構成されている。その時定数 T は試験運転時に調整されるのであるが本実施形態においては 1 分とした。なお、遅

50

れ演算器（42）は二次遅れ演算であってもよく、時間遅れ処理を施すものであれば他の演算であってもよい。系統電圧目標値 V_{ref} とプロセス量である系統電圧 V との差が制御誤差 v となる。制御誤差 v の算出に当り、系統電圧信号（41）に高域通過フィルタ演算を施しても求めてもよい。

【0083】

（3）周波数安定化制御部

本発明の実施形態に係る系統安定化装置は、電源系統（1）の周波数変動を監視し、その変動を抑制するように充放電電力（有効電力）を算出する。

【0084】

電源系統（1）の周波数はディーゼル発電機（7）の回転速度制御装置（ガバナ）により一定に維持されているが、負荷変動や他の発電装置の発電電力に変動があった場合、ディーゼル発電機（7）の出力と負荷電力がバランスしなくなり、結果として周波数が一時的に変動する。

【0085】

系統制御部（17）の内部回路である周波数安定化制御回路（50）の制御ブロック（図5）を用いて、周波数安定化制御の動作について説明する。図5に示す周波数安定化制御回路（50）は周波数の変動を検知し、ディーゼル発電機（7）の出力と負荷電力のアンバランス分を、蓄電設備（11）の発生する有効電力で補償することにより一時的な周波数変動を抑制する。

【0086】

周波数安定化制御回路（50）にはPLL演算部（16）で算出された系統周波数信号（51）が入力される。系統周波数信号（51）は、遅れ演算器（52）において時間遅れ処理が施されて系統周波数目標値 F_{ref} となり、減算器（53）に送出される。遅れ演算器（52）の出力は系統周波数の目標値（ F_{ref} ）を与えることとなる。

【0087】

減算器（53）は系統周波数目標値 F_{ref} から系統周波数 F を減算して、比例制御器（54）に出力する。比例制御器（54）は、減算器の出力（= $F_{ref} - F$ ）に比例定数 K_f を乗じて、次段の上下限リミッタ（55）に送る。そして、上下限リミッタ（55）にて比例制御器（54）の出力は P_{bat_max} と P_{bat_min} の間に制限される。この上下限リミッタ（55）の出力は、加算器（57）にてSOC補正制御回路（60）からの有効電力補正 P_{soc_cmp} が加算されて、有効電力指令信号（56）として周波数安定化制御回路（50）から出力される。

【0088】

遅れ演算器（52）は周波数安定化制御回路（50）の周波数目標値を系統周波数の整定値に漸近させる。これにより、周波数安定化制御は周波数の過渡的な変動のみに応答し、定常的に有効電力を出力しつづけることがない。

【0089】

ここで遅れ演算器（52）は、好ましくは一次遅れ演算により構成されている。その時定数 T は試験運転時に調整されるのであるが本実施形態においては1分とした。なお、遅れ演算器（42）は二次遅れ演算であってもよく、時間遅れ処理を施すものであれば他の演算であってもよい。系統周波数目標値 F_{ref} とプロセス量である系統周波数 F との差が制御誤差 f となる。制御誤差 f の算出に当り、系統周波数信号（51）に高域通過フィルタ演算を施しても求めてもよい。

【0090】

（4）二次電池の保護制御

二次電池（5）には二次電池の状態を検出するための電圧計、電流計、温度計、圧力計等の電池状態検出器（21）が取り付けられており、二次電池監視装置（22）で、二次電池の状態監視を行うとともに、二次電池のSOCが計算される。二次電池（5）に異常が発生すれば、電力変換回路（20）の作動を停止させて、二次電池（5）の保護を図る。

10

20

30

40

50

【0091】

電池の充電状態（S O C）を計算する方法として、充放電電流を積算する方法（積算S O C法）と電池電圧・電流・温度等から充電状態を推定する方法（瞬時S O C法）がある。

【0092】

ここで、積算S O C法は短期間の運用では精度良く計測できる反面、電流の計測誤差、自己放電の影響が累積され、長時間運用した場合、誤差が拡大する問題がある。

【0093】

一方、瞬時S O C法は累積誤差の影響はない反面、充放電電流の時間変化等により、誤差が生じる。

10

【0094】

本発明に係る実施形態においては、補正S O C法を用いてS O Cの計算を行っている（図8参照）。すなわち、積算S O C法でS O Cを計算して、瞬時S O Cとの偏差を求め、その偏差を補正するように充放電電流値に補正を加えて、補正S O Cを求める。本方式は、積算S O C法で生じる累積誤差を瞬時S O C法で補正することにより、長期間の使用により誤差の累積が抑制され、長期運用を可能としている。

【0095】

ディーゼル発電機（7）の周波数と電圧は、必ずしも定格値で整定するとは限らず、系統周波数と系統電圧に定常的に偏差が残る場合がある。

20

【0096】

系統電圧は配電線の電圧降下により、場所により偏差が残る。また、ディーゼル発電機（7）の出力電圧も所定の電圧を維持しているとは限らないことから、定常的な制御偏差により、充電や放電が継続することとなり、二次電池が過充電状態や過放電状態となる恐れがある。

【0097】

電圧安定化制御回路（40）では遅れ演算器（42）を用いることにより、電圧目標値を系統電圧の定常値に漸近させて、定常的に無効電力を出力しないようにしている。同様に、定常的な周波数偏差により、充電や放電が継続することとなり、二次電池が過充電状態や過放電状態となる恐れがある。

30

【0098】

本発明の実施形態において、遅れ演算器（42、52）を設けて、電圧目標値を系統電圧の定常値に漸近させ、かつ、周波数目標値を系統周波数の定常値に漸近させて、定常的に無効電力および有効電力が出力されることにより、充電や放電が継続されないようにして、二次電池（5）の保護を図っている。

【0099】

ここで、遅れ演算器（42、52）を用いずに、周波数および電圧の各計測手段に低周波信号を遮断する高域通過フィルタ処理演算を施して、これに比例定数を乗じて有効電力および無効電力の目標値としてもよい。

【0100】

次に、二次電池（5）が適正な充電状態を維持するためのS O C補正制御について説明する。あらかじめ定められたS O Cの目標値（S O C_{ref}）と二次電池監視装置（22）で計算された充電状態（S O C）の偏差から、S O C補正電力を計算する。

40

【0101】

二次電池は過充電（S O C > 100%）や過放電（S O C < 0%）になると、電池性能の劣化を招く恐れがあるし、電池電圧が下がり過ぎると、装置が停止する恐れがある。そこで電池使用範囲の上限80%とし、下限を20%として二次電池の運用を図っている。このため、80%と20%の中間の値（50%）をS O C目標値S O C_{ref}としている。

【0102】

図6は系統制御部（17）の内部回路であるS O C補正制御回路（60）の制御プロックを示す図である。図6を用いてS O C補正制御の動作について説明する。減算器（63

50

) の出力が上下限リミッタ (64) にて、単位変換と上下限制限を受ける。そして上下限リミッタ (64) の出力は一次遅れ演算器 (66) にて時定数が 1 分の一次遅れ処理が施されて、S O C 補正信号 (65) として周波数安定化制御回路 (50) に送出される。

【 0103 】

S O C 補正制御回路 (60) には二次電池監視装置 (22) で算出された二次電池の S O C が配線 (26) を介して入力される。この S O C が S O C 補正制御回路 (60) の内部に設定された S O C 目標値 S O C ref と減算器 (63) にて比較減算される。

【 0104 】

S O C が目標値 (S O C ref) を下回っている場合、周波数安定化制御回路 (50) から出力される有効電力指令値 (P bat_ref) が充電側となるよう補正する (P soc_cmp < 0)。

10

【 0105 】

逆に S O C が目標値 (S O C ref) を上回っている場合、有効電力指令値 (P bat_ref) が放電側となるよう補正する (P soc_cmp > 0)。このように、S O C 補正制御により二次電池の充電状態を一定に保つように制御される。

【 0106 】

従来技術からなる電力系統の安定化装置において、二次電池が過充電もしくは過放電となる原因の考察を行ったところ、常に電力変換機が作動するためであるとの結論に到達した。すなわち、通常の制御装置において、与えられた目標値に対してプロセス量との差が少なくなるように操作量が計算されて、その操作量に対してプラントが応答してプロセス量の変化となって現れて、フィードバック制御が行われる。図 11 に示す従来の制御ループにおいて、周波数の目標値は規格等で定められた値、例えば 60 Hz であり、プロセス量は電力系統の変成器から計測された系統周波数である。制御ループが比例制御であれば、制御偏差が残り、操作量はゼロとなることはない。つまり、電力変換機は何がしかの出力を出し続けることとなる。

20

【 0107 】

ところが、電力系統に連系した二次電池と電力変換機とからなる蓄電設備において、突発的に生じた電圧や周波数の変動に対して、電力系統の安定化を図るために動作する。当該蓄電設備は電力系統を支配するだけの容量を有していないので、恒常的な変動（時間スパンの長い変動）に対しては、応答は遅いが容量の大きな発電機の運転で対応して系統の安定化を図ることになる。

30

【 0108 】

このような電力系統の安定化に対する考察から、当該蓄電装置は、発電機が対応できない比較的時間の短い瞬時的な変動に対応すればよく、長期的な変動に対しては応答感度を落として、二次電池の充放電を抑えることにより、二次電池の過充電と過放電を防止することを考えた。目標値を規格で定められた 60 Hz とせずに、プロセス量の時間遅れを目標値とすれば、瞬時的な変動には対応するが恒常的な変動にはほとんど出力応答のない制御を実現できることに気付いた。

【 0109 】

(5) 電力制御

以上のように電圧検出器 (14) からの信号に基づき P L L 演算部 (16) で系統周波数と系統電圧とが算出され、系統制御部 (17) で有効電力指令 P bat_ref と無効電力指令 Q bat_ref が算出されて、電力指令信号 (28) として電力制御部 (18) に送られる。

40

【 0110 】

電力制御部 (18) は、有効電力指令 P bat_ref と無効電力指令 Q bat_ref に基づき、電力変換回路 (20) にパワー半導体素子の O N / O F F を行うゲート駆動信号 (29) を送出する。パワー半導体は、有効電力および無効電力が、それぞれ有効電力指令 P bat_ref と無効電力指令 Q bat_ref になるよう P W M 制御される。

【 0111 】

電力制御の詳細について、図 7 に示す電力制御ブロック図を用いて説明する。電力変換

50

制御装置(6)内に設置された電流検出器(13)により蓄電設備(11)に流れる線電流の瞬時値が計測され、電力制御部(18)に伝えられる。この電流値についてPLL演算部(16)から送られてくる位相に基づきd q変換をして、d軸電流とq軸電流が計算される。

【0112】

一方、系統制御部(17)から送られてきた有効電力指令Pbat_refと無効電力指令Qbat_refはd軸電流目標値とq軸電流目標値とに変換されて、電流検出器(13)から求めたd軸電流およびq軸電流と比較され、PI制御器を通り、d q逆変換されて、ゲート駆動信号(29)となり電力変換回路(20)に送られる。

【0113】

電池状態検出器(21)において、二次電池(5)に異常が見つかれば、電池異常信号を配線26bにて、システム制御装置(15)の電力制御部(18)に送り、ゲート駆動信号(29)の送出を停止して、電力変換回路(20)の作動を停止させて、二次電池(5)の保護を図る。二次電池の異常としては、過電流、電圧低下、過電圧、過充電、過放電、電池温度異常、電池圧力異常、装置異常等がある。

10

【0114】

(8) 試験結果

図9に電源系統(1)において負荷が400kW(力率0.8)から600kW(力率0.8)に急変し、その後400kW(力率0.8)に減少した場合について、本発明に係る系統安定化装置による制御がある場合とない場合の電圧および周波数変動の差異を示す。図9(a)は系統電圧を縦軸にとり、時間(秒)を横軸にとり、負荷投入の影響を示している。図9(b)は系統周波数を縦軸にとり、時間(秒)を横軸にとり、負荷投入の影響を示している。系統安定化制御を行う蓄電設備(11)を導入することにより、電圧および周波数の変動が抑制され、系統の電源品質が向上して、系統安定度が増していることがわかる。

20

【0115】

電源系統(1)の安定度が増していることから、系統安定度を確保するため、余分に運転しているディーゼル発電機を停止させることができるとなり、燃料消費効率を改善することを可能としている。

30

【産業上の利用可能性】

【0116】

本発明に係る電力系統安定化装置は、二次電池の過充電および過放電を防止しつつ、船舶内における電源系統の品質の維持管理の制御装置として好適に用いることができる。また、陸上の一般的な電力系統にも活用することができる。

【符号の説明】

【0117】

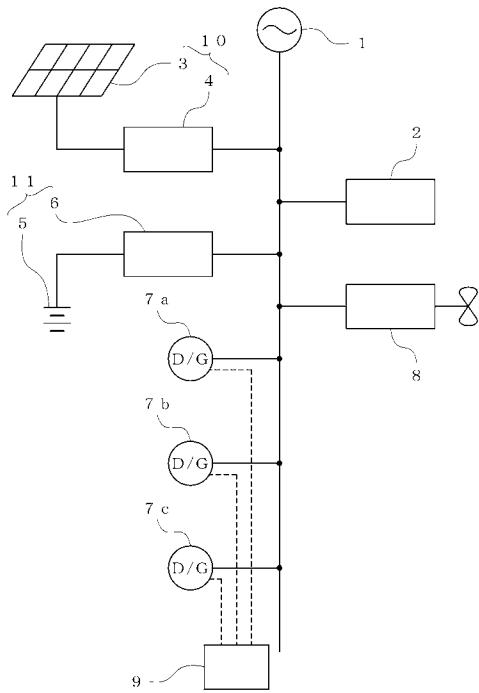
- 1 電源系統
- 2 船内電力負荷
- 3 太陽電池ユニット
- 4 電力変換装置
- 5 二次電池
- 6 電力変換制御装置
- 7 ディーゼル発電機
- 8 バウスラスター
- 9 D/G台数制御装置(ディーゼル発電機台数制御装置)
- 10 太陽光発電機
- 11 蓄電設備
- 13 電流検出器
- 14 電圧検出器
- 15 システム制御装置

40

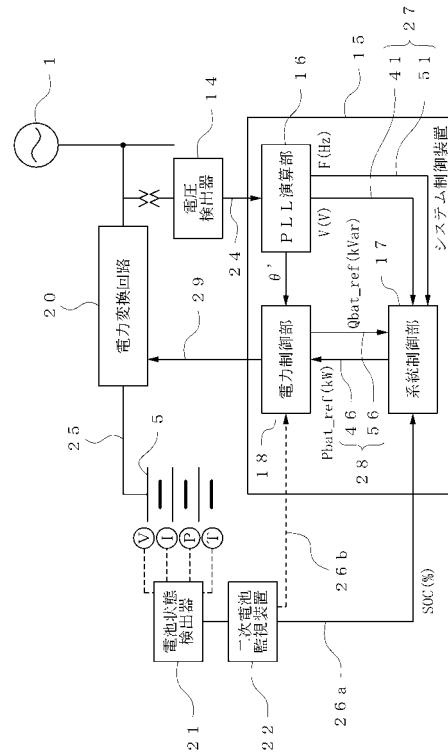
50

| | | |
|-------|--------------------|----|
| 1 6 | P L L 演算部 | |
| 1 7 | 系統制御部 | |
| 1 8 | 電力制御部 | |
| 2 0 | 電力変換回路 | |
| 2 1 | 電池状態検出器 | |
| 2 2 | 二次電池監視装置 | |
| 2 4 | 配線 | |
| 2 5 | 直流電力ライン | 10 |
| 2 6 | 配線 | |
| 2 7 | 系統状態信号 | |
| 2 8 | 電力指令信号 | |
| 2 9 | ゲート駆動信号 (PWM 信号) | |
| 3 2 | 位相比較器 | |
| 3 4 | ループフィルタ | |
| 3 5 | 積算器 | |
| 4 0 | 電圧安定化制御回路 | |
| 4 1 | 系統電圧信号 | |
| 4 2 | 遅れ演算器 | |
| 4 3 | 減算器 | |
| 4 4 | 比例制御器 | 20 |
| 4 5 | 上下限リミッタ | |
| 4 6 | 無効電力指令 | |
| 5 0 | 周波数安定化制御回路 | |
| 5 1 | 系統周波数信号 | |
| 5 2 | 遅れ演算器 | |
| 5 3 | 減算器 | |
| 5 4 | 比例制御器 | |
| 5 5 | 上下限リミッタ | |
| 5 6 | 有効電力指令 | |
| 5 7 | 加算器 | 30 |
| 6 0 | S O C 補正制御回路 | |
| 6 1 | S O C 目標値 | |
| 6 3 | 減算器 | |
| 6 4 | 上下限リミッタ | |
| 6 5 | S O C 補正信号 | |
| 6 6 | 一次遅れ演算器 | |
| 1 0 1 | 系統電源 | |
| 1 0 2 | 系統母線 | |
| 1 0 3 | 風力発電機 | |
| 1 0 5 | 二次電池 | |
| 1 0 6 | 電力変換機 | 40 |
| 1 0 7 | ディーゼル発電機 | |

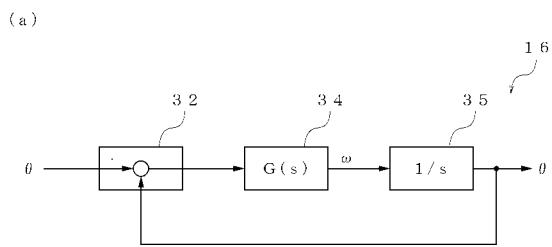
【図1】



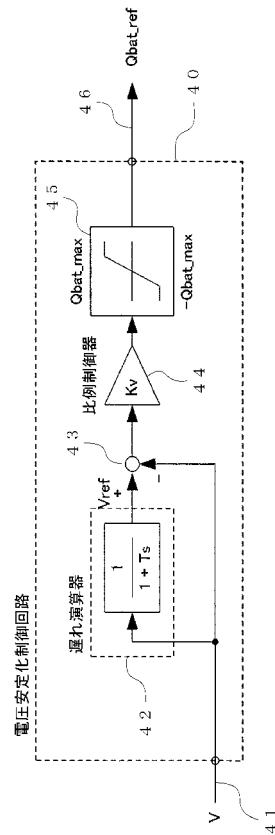
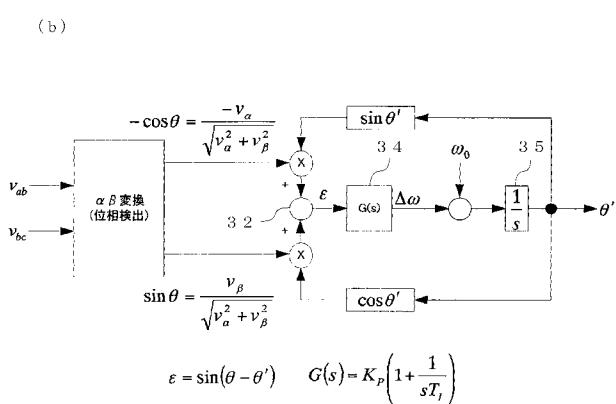
【図2】



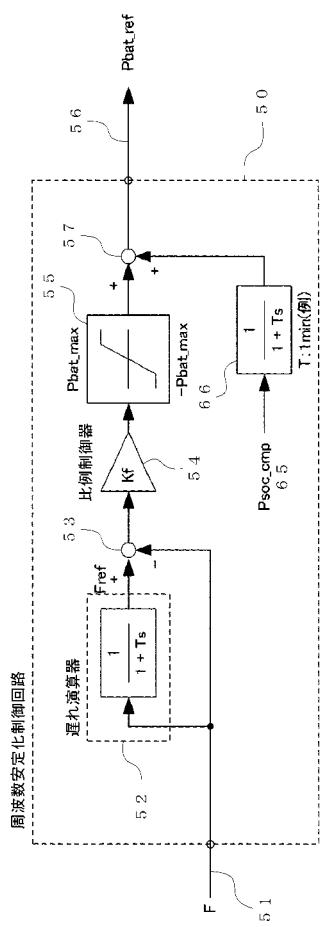
【図3】



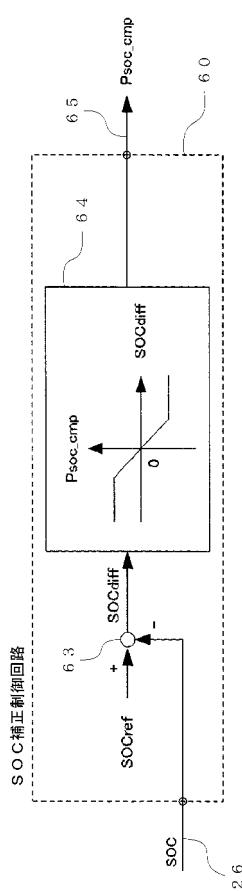
【図4】



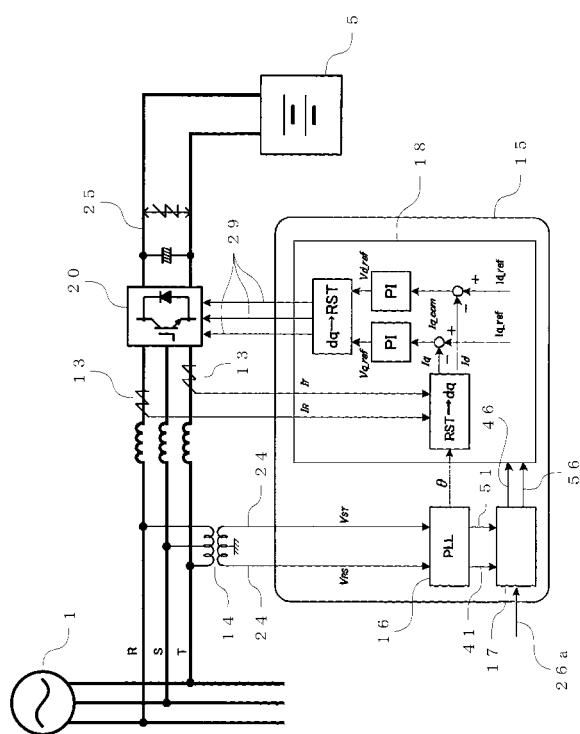
【図 5】



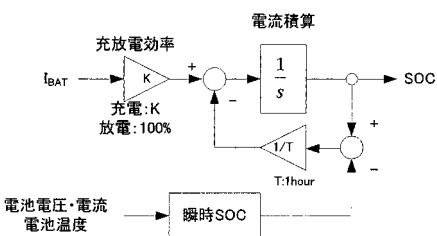
【図 6】



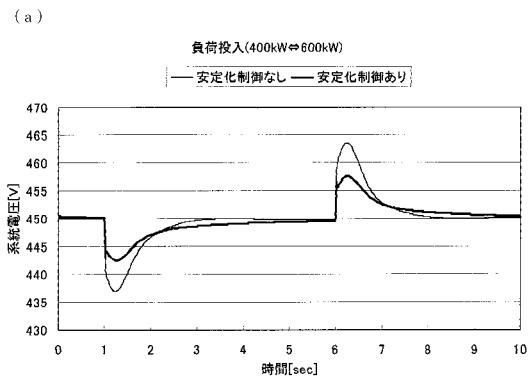
【図 7】



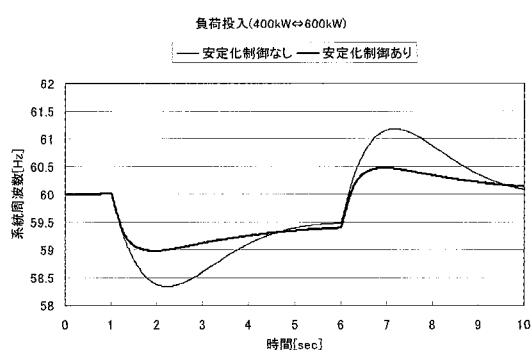
【図 8】



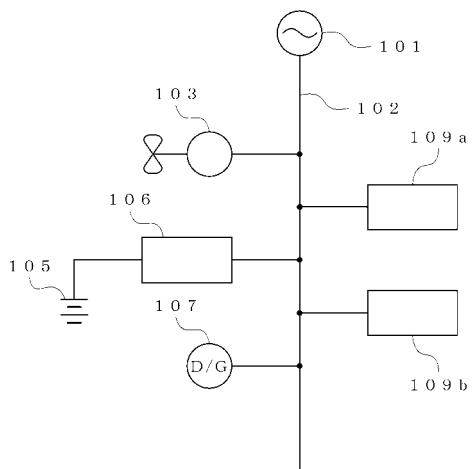
【図 9】



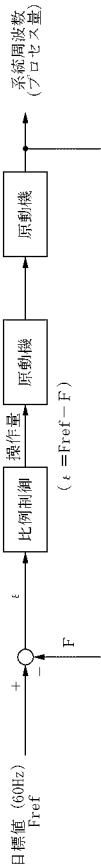
(b)



【図 10】



【図 11】



フロントページの続き

(72)発明者 川村 正英
兵庫県明石市川崎町 1番 1号 川崎重工業株式会社明石工場内

(72)発明者 古賀 賢
兵庫県明石市川崎町 1番 1号 川崎重工業株式会社明石工場内

(72)発明者 坂田 健太郎
兵庫県明石市川崎町 1番 1号 川崎重工業株式会社明石工場内

(72)発明者 小川 光哉
兵庫県神戸市中央区東川崎町 3丁目 1番 1号 川崎重工業株式会社神戸工場内

(72)発明者 津田 健太郎
兵庫県神戸市中央区東川崎町 3丁目 1番 1号 川崎重工業株式会社神戸工場内

(72)発明者 飯坂 豪文
兵庫県神戸市中央区東川崎町 3丁目 1番 1号 川崎重工業株式会社神戸工場内

F ターム(参考) 5G066 JA05 JB03
5G503 AA07 BA01 BB01 EA05