

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7330817号
(P7330817)

(45)発行日 令和5年8月22日(2023.8.22)

(24)登録日 令和5年8月14日(2023.8.14)

(51)国際特許分類	F I
H 0 2 J 7/00 (2006.01)	H 0 2 J 7/00 B
H 0 2 H 7/18 (2006.01)	H 0 2 J 7/00 S
B 6 4 D 41/00 (2006.01)	H 0 2 H 7/18
	B 6 4 D 41/00

請求項の数 6 (全21頁)

(21)出願番号 特願2019-153703(P2019-153703)	(73)特許権者 000006208 三菱重工業株式会社 東京都千代田区丸の内三丁目2番3号
(22)出願日 令和1年8月26日(2019.8.26)	(74)代理人 110002147 弁理士法人酒井国際特許事務所
(65)公開番号 特開2021-35177(P2021-35177A)	(72)発明者 稲岡 喬生 東京都千代田区丸の内三丁目2番3号 三菱重工業株式会社内
(43)公開日 令和3年3月1日(2021.3.1)	(72)発明者 南田 靖人 東京都千代田区丸の内三丁目2番3号 三菱重工業株式会社内
審査請求日 令和4年5月19日(2022.5.19) (出願人による申告)平成27年度、防衛装備庁、請負事業、産業技術力強化法第17条の適用を受ける特許出願	(72)発明者 山本 学 名古屋市中区栄二丁目1番1号日土地名 古屋ビル6階 株式会社第一システムエンジニアリング内

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 配電システムおよび配電方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

航空機に搭載され、前記航空機が有する電動アクチュエータおよび電力機器へと配電を行う配電システムであって、

発電機を有し、直流バスに接続された第一直流電源部と、

前記直流バスおよび前記電動アクチュエータに接続された電力ライン、前記電力ラインに接続された蓄電器、前記蓄電器の充放電を制御する充放電制御回路、前記電動アクチュエータから前記電力ラインへと供給される回生電力の有無を検出する検出センサ、並びに、前記充放電制御回路を制御する制御部を有する第二直流電源部と、

前記第二直流電源部から前記直流バスへと流れる電流を遮断するダイオードと、
を備え、

前記直流バスには、前記第一直流電源部と、前記電力機器と、前記第二直流電源部とが接続され、

前記電力機器には、前記直流バスを介して電力が供給され、

前記電動アクチュエータには、前記第二直流電源部を介して電力が供給され、

前記制御部は、

前記検出センサが前記回生電力を検出していないとき、前記充放電制御回路により前記蓄電器の蓄電率が所定範囲内に維持されるように前記蓄電器を充放電させながら、前記第一直流電源部で発電された発電電力を前記直流バスから前記電力ラインを介して前記電動アクチュエータに供給する力行電力処理モードを実行し、

前記検出センサが前記回生電力を検出したとき、前記充放電制御回路により前記回生電力を前記第二直流電源部を介して前記蓄電器に充電する回生電力処理モードを実行し、
前記回生電力処理モードの実行中に前記検出センサが前記回生電力を検出しない状態となつたとき、所定待機時間が経過するまで前記回生電力処理モードを継続し、前記検出センサが前記回生電力を検出しない状態が所定待機時間にわたって継続されると、前記力行電力処理モードへと移行する、

ことを特徴とする配電システム。

【請求項 2】

前記制御部は、前記力行電力処理モードにおいて、前記蓄電率が第一蓄電率以上となると、前記第一蓄電率よりも低い第二蓄電率未満となるまで前記発電電力に加えて前記蓄電器からの電力を前記電動アクチュエータに供給する力行アシストモードを継続し、前記蓄電率が前記第二蓄電率未満となると、前記第一蓄電率以上となるまで前記発電電力の一部を前記蓄電器に充電させる充電モードを継続することを特徴とする請求項 1 に記載の配電システム。

10

【請求項 3】

前記制御部は、前記第一直流電源部が正常に使用できないとき、前記充放電制御回路により前記蓄電器を充放電させながら、前記蓄電器と前記電動アクチュエータとの間で電力のやり取りを行う非常用電力処理モードを実行することを特徴とする請求項 1 または請求項 2 に記載の配電システム。

【請求項 4】

前記第二直流電源部は、所定値以上の電流が所定時間以上流れたときに、前記電動アクチュエータとの接続を遮断する過電流遮断回路を有することを特徴とする請求項 1 から請求項 3 のいずれか一項に記載の配電システム。

20

【請求項 5】

前記第二直流電源部は、前記電力ラインに複数の電動アクチュエータが並列に接続されており、

前記過電流遮断回路は、前記電動アクチュエータの一つずつに対応して設けられることを特徴とする請求項 4 に記載の配電システム。

【請求項 6】

発電機を有し、直流バスに接続された第一直流電源部と、

前記直流バスおよび電動アクチュエータに接続された電力ライン、前記電力ラインに接続された蓄電器、前記蓄電器の充放電を制御する充放電制御回路、並びに、前記電動アクチュエータから前記電力ラインへと供給される回生電力の有無を検出する検出センサを有する第二直流電源部と、

30

前記第二直流電源部から前記直流バスへと流れる電流を遮断するダイオードと、

を備え、航空機に搭載された配電システムから、前記航空機が有する前記電動アクチュエータおよび電力機器へと配電を行う配電方法であって、

前記直流バスには、前記第一直流電源部と、前記電力機器と、前記第二直流電源部とが接続され、

前記電力機器には、前記直流バスを介して電力が供給され、

40

前記電動アクチュエータには、前記第二直流電源部を介して電力が供給され、

前記検出センサが前記回生電力を検出していないとき、前記充放電制御回路により前記蓄電器の蓄電率が所定範囲内に維持されるように前記蓄電器を充放電させながら、前記第一直流電源部で発電された発電電力を前記直流バスから前記電力ラインを介して前記電動アクチュエータに供給する力行電力処理モードを実行するステップと、

前記検出センサが前記回生電力を検出したとき、前記充放電制御回路により前記回生電力を前記第二直流電源部を介して前記蓄電器に充電する回生電力処理モードを実行するステップと、

を備え、

前記回生電力処理モードの実行中に前記検出センサが前記回生電力を検出しない状態と

50

なったとき、所定待機時間が経過するまで前記回生電力処理モードを継続し、前記検出センサが前記回生電力を検出しない状態が所定待機時間にわたって継続されると、前記力行電力処理モードへと移行することを特徴とする配電方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、配電システムおよび配電方法に関する。

【背景技術】

【0002】

従来、動力システムの多くを電気システムとした電動化航空機の配電システムに関する技術が知られている。例えば、特許文献1には、発電機およびPWMコンバータを含む第一直流電源部と、バッテリーおよび昇圧コンバータを含む第二直流電源部とを備え、直流バスを介して第一直流電源部および第二直流電源部とアクチュエータとの間で電力のやり取りを行う電動化航空機の電源システムが開示されている。この電源システムでは、第一直流電源部と第二直流電源部とのそれぞれで、電力供給安定化動作の分担量を調整している。

10

【0003】

また、特許文献2には、発電機に接続された中央配電盤と、中央配電盤および電気式アクチュエータに接続された遠隔配電盤とを備えた電動化航空機の配電装置が開示されている。この配電装置は、蓄電器が設けられており、遠隔配電盤によって、電気式アクチュエータで発生した回生電力を蓄電器に出力可能とされている。なお、電気式アクチュエータと遠隔配電盤との間には、所定値以上の電流を遮断するスイッチ（継電器）が設けられている。

20

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【文献】特開2017-005944号公報

特開2015-112002号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

上記特許文献1に記載の電源システムでは、アクチュエータで回生電力が発生した場合、第一直流電源部と第二直流電源部とで回生電力を分担して処理することになる。しかしながら、例えば、信頼性を高めるために第一直流電源部が複数の発電機を備える場合、第一直流電源部における回生電力の処理が複雑になってしまう。また、急峻な回生電力が発生した場合、第一直流電源部での応答性が問題となる。さらに、回生電力が直流バスを経由して第一直流電源部および第二直流電源部で処理されるため、処理に際して直流バスに電圧変動が生じることになり、直流バスに接続された他の電気機器に電圧変動の影響が生じる可能性がある。

30

【0006】

また、上記特許文献2に記載の配電装置では、アクチュエータで発生した回生電力を蓄電器に充電可能であるものの、蓄電器の蓄電率を考慮していない。そのため、蓄電器の蓄電率が高くなりすぎた場合、回生電力を蓄電器で処理することができない可能性がある。また、蓄電器が過充電されてしまうと、蓄電器の劣化につながってしまう。

40

【0007】

本発明は、上記に鑑みてなされたものであって、航空機の電動アクチュエータで発生した回生電力を応答性良く、かつ、安定的に処理可能であり、回生電力の処理に際して直流バスの電圧変動を防止可能な配電システムの提供を目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0008】

上述した課題を解決し、目的を達成するために、本発明は、航空機に搭載され、前記航

50

空機が有する電動アクチュエータへと配電を行う配電システムであって、発電機を有し、直流バスに接続された第一直流電源部と、前記直流バスおよび前記電動アクチュエータに接続された電力ライン、前記電力ラインに接続された蓄電器、前記蓄電器の充放電を制御する充放電制御回路、前記電動アクチュエータから前記電力ラインへと供給される回生電力の有無を検出する検出センサ、並びに、前記充放電制御回路を制御する制御部を有する第二直流電源部と、前記第二直流電源部から前記直流バスへと流れる電流を遮断するダイオードと、を備え、前記制御部は、前記検出センサが前記回生電力を検出していないとき、前記充放電制御回路により前記蓄電器の蓄電率が所定範囲内に維持されるように前記蓄電器を充放電させながら、前記第一直流電源部で発電された発電電力を前記直流バスおよび前記電力ラインを介して前記電動アクチュエータに供給する力行電力処理モードを実行し、前記検出センサが前記回生電力を検出したとき、前記充放電制御回路により前記回生電力を前記蓄電器に充電する回生電力処理モードを実行する、ことを特徴とする。

10

【0009】

この構成により、発電機を電力源とする第一直流電源部を用いることなく、電動アクチュエータで生じた回生電力を蓄電器に充電することで処理するため、回生電力の処理応答性を高め、急峻な回生電力の発生にも対応することが可能となる。また、第二直流電源部から直流バスへと流れる電流をダイオードで遮断することで、回生電力の処理に際して、直流バスの電圧が変動しない。さらに、電動アクチュエータで回生電力が生じていない場合、すなわち電動アクチュエータに電力を供給している場合には、蓄電率が所定範囲内に維持されるように蓄電器を充放電させておく。その結果、電動アクチュエータで回生電力が生じたときに、蓄電器の蓄電率が高すぎることで回生電力を処理できなくなったり、蓄電器の過充電が生じたりすることを抑制することができる。したがって、本発明にかかる配電システムによれば、航空機の電動アクチュエータで発生した回生電力を応答性良く、かつ、安定的に処理可能であり、回生電力の処理に際して直流バスの電圧変動を防止することができる。

20

【0010】

また、前記制御部は、前記力行電力処理モードにおいて、前記蓄電率が第一蓄電率以上となると、前記第一蓄電率よりも低い第二蓄電率未満となるまで前記発電電力に加えて前記蓄電器からの電力を前記電動アクチュエータに供給する力行アシストモードを継続し、前記蓄電率が前記第二蓄電率未満となると、前記第一蓄電率以上となるまで前記発電電力の一部を前記蓄電器に充電させる充電モードを継続することが好ましい。

30

【0011】

この構成により、電動アクチュエータに電力を供給している間に、蓄電器の蓄電率を第一蓄電率と第二蓄電率との間の所定範囲内に維持することができる。その結果、電動アクチュエータで回生電力が生じたときに、蓄電器の蓄電率が高すぎることで回生電力を処理できなくなったり、蓄電器の過充電が生じたりすることを抑制することができる。さらに、蓄電器の蓄電率を十分に維持し、余裕をもって蓄電器から電動アクチュエータへと電力を供給することが可能となる。また、第一蓄電率以上になると第二蓄電率未満となるまで力行アシストモードを継続し、第一蓄電率未満になると第二蓄電率以上となるまで充電モードを継続することで、力行アシストモードと充電モードとが頻繁に切り替わることを抑制することができる。

40

【0012】

また、前記制御部は、前記第一直流電源部が正常に使用できないとき、前記充放電制御回路により前記蓄電器を充放電させながら、前記蓄電器と前記電動アクチュエータとの間で電力のやり取りを行う非常用電力処理モードを実行することが好ましい。

【0013】

この構成により、第一直流電源部と電動アクチュエータとの電力のやり取りができない場合にも、第二直流電源部から電動アクチュエータに電力を供給し、電動アクチュエータからの回生電力を第二直流電源部で処理することができる。また、上述したように、第一直流電源部から電動アクチュエータに電力を供給している間に、蓄電器の蓄電率を所定範

50

圏内に維持させるため、非常用電力処理モードの際に蓄電器からの電力が不足することを抑制することができる。

【0014】

また、前記制御部は、前記回生電力処理モードの実行中に前記検出センサが前記回生電力を検出しない状態となったとき、所定待機時間が経過するまで前記回生電力処理モードを継続し、前記検出センサが前記回生電力を検出しない状態が所定待機時間にわたって継続されると、前記力行電力処理モードへと移行することが好ましい。

【0015】

この構成により、回生電力処理モードと力行電力処理モードとが頻繁に切り替わることを抑制することができる。

10

【0016】

また、前記第二直流電源部は、所定値以上の電流が所定時間以上流れたときに、前記電動アクチュエータとの接続を遮断する過電流遮断回路を有することが好ましい。

【0017】

この構成により、例えば電動アクチュエータ側で短絡が生じたとき等に、配電システムに過電流が流れこむことを抑制し、直流バスの電圧低下を抑制することができる。

【0018】

また、前記第二直流電源部は、前記電力ラインに複数の電動アクチュエータが並列に接続されており、前記過電流遮断回路は、前記電動アクチュエータの一つずつに対応して設けられることが好ましい。

20

【0019】

この構成により、一つの電動アクチュエータで発生した回生電力の一部を、他の電動アクチュエータへと供給することができる。その結果、回生電力のすべてを蓄電器に充電させる場合に比べて、充放電制御回路および蓄電器への充電において発生し得る電力損失を低減させることができ、電力効率を向上させることが可能となる。また、特に非常用電力処理モードにおいて、駆動する必要がない電動アクチュエータがある場合には、当該電動アクチュエータに対応する過電流遮断回路をオフすれば、バッテリーから当該電動アクチュエータへの電力の持ち出しを抑制することができる。したがって、バッテリーの蓄電率の低下を抑制することが可能となる。

【0020】

30

上述した課題を解決し、目的を達成するために、本発明は、発電機を有し、直流バスに接続された第一直流電源部と、前記直流バスおよび電動アクチュエータに接続された電力ライン、前記電力ラインに接続された蓄電器、前記蓄電器の充放電を制御する充放電制御回路、並びに、前記電動アクチュエータから前記電力ラインへと供給される回生電力の有無を検出する検出センサを有する第二直流電源部と、前記第二直流電源部から前記直流バスへと流れる電流を遮断するダイオードと、を備え、航空機に搭載された配電システムから、前記航空機が有する前記電動アクチュエータへと配電を行う配電方法であって、前記検出センサが前記回生電力を検出していないとき、前記充放電制御回路により前記蓄電器の蓄電率が所定範囲内に維持されるように前記蓄電器を充放電させながら、前記第一直流電源部で発電された発電電力を前記直流バスおよび前記電力ラインを介して前記電動アクチュエータに供給する力行電力処理モードステップと、前記検出センサが前記回生電力を検出したとき、前記充放電制御回路により前記回生電力を前記蓄電器に充電する回生電力処理モードステップと、を備えることを特徴とする。

40

【0021】

この構成により、発電機を電力源とする第一直流電源部を用いることなく、電動アクチュエータで生じた回生電力を蓄電器に充電することで処理するため、回生電力の処理応答性を高め、急峻な回生電力の発生にも対応することが可能となる。また、第二直流電源部から直流バスへと流れる電流をダイオードで遮断することで、回生電力の処理に際して、直流バスの電圧が変動しない。さらに、電動アクチュエータで回生電力が生じていない場合、すなわち電動アクチュエータに電力を供給している場合には、蓄電率が所定範囲内に

50

維持されるように蓄電器を充放電させておく。その結果、電動アクチュエータで回生電力が生じたときに、蓄電器の蓄電率が高すぎることによって回生電力を処理できなくなったり、蓄電器の過充電が生じたりすることを抑制することができる。したがって、本発明にかかる配電方法によれば、航空機の電動アクチュエータで発生した回生電力を応答性良く、かつ、安定的に処理可能であり、回生電力の処理に際して直流バスの電圧変動を防止することができる。

【図面の簡単な説明】

【0022】

【図1】図1は、実施形態にかかる配電システムの構成の一例を示す説明図である。

【図2】図2は、二次配電制御器の構成の一例を説明図である。

10

【図3】図3は、昇降圧コンバータを示す説明図である。

【図4】図4は、実施形態にかかる配電システムにおける各電力処理モードの別を示す説明図である。

【図5】図5は、各電力処理モードの切替手順の一例を示すフローチャートである。

【図6】図6は、直流バスの電圧が正常であるか否かを判定するための手順の一例を示すフローチャートである。

【図7】図7は、直流バスの電圧が正常であるか否かを判定するための判定値の一例を示す説明図である。

【図8】図8は、バッテリーの充電が必要であるか否かを判定するための手順の一例を示すフローチャートである。

20

【図9】図9は、第一直流電源部が正常に使用できる通常動作時における昇降圧コンバータの制御ブロックの一例を示す説明図である。

【図10】図10は、第一直流電源部が正常に使用できない非常用動作時における昇降圧コンバータの制御ブロックの一例を示す説明図である。

【発明を実施するための形態】

【0023】

以下に、本発明にかかる配電システムおよび配電方法の実施形態を図面に基づいて詳細に説明する。なお、この実施形態によりこの発明が限定されるものではない。

【0024】

図1は、実施形態にかかる配電システムの構成の一例を示す説明図である。実施形態にかかる配電システム100は、動力系統（油圧系統、電気系統、抽気系統など）の多くを電気系統とした図示しない航空機（電動化航空機）に搭載され、航空機が有する複数の電動アクチュエータ80に配電を行うためのシステムである。また、航空機は、図1に示すように、電動アクチュエータ80以外にも、複数の電力機器90を備えている。複数の電力機器90は、配電システム100の直流バスL1に接続されている。配電システム100は、直流バスL1を介して複数の電力機器90に対しても電力を供給する。

30

【0025】

本実施形態において、電動アクチュエータ80は、航空機の翼に設けられた舵面制御用のアクチュエータである。舵面制御用のアクチュエータは、航空機の飛行中において舵面が空気抵抗の外力を受けることにより、回生電力を発生することがある。なお、電動アクチュエータ80は、舵面制御用に限られず、回生電力を発生しうるものであれば、いかなる装置を駆動させるためのアクチュエータであってもよい。例えば、電動アクチュエータ80は、車輪を駆動させる駆動機構に用いられるもの等であってもよい。

40

【0026】

本実施形態において、配電システム100は、複数の配電部1を有する。すなわち、配電システム100は、図1に示すように、配電部1Lと、配電部1Rとを含む。配電部1L、1Rは、基本的に同じ構成であるため、配電部1L、1Rを区別する必要がない場合、単に配電部1と称して説明する。

【0027】

配電部1は、図1に示すように、第一直流電源部10と、第二直流電源部20と、ダイ

50

オード50とを備えている。なお、配電部1は、第一直流電源部10が正常に機能しないときに、電動アクチュエータ80との間で電力のやり取りを行う非常用の直流電源部をさらに備えてもよい。非常用の直流電源部は、直流バスL1に接続され、第二直流電源部20を介して電動アクチュエータ80に電力を供給するものであればよい。

【0028】

第一直流電源部10は、発電機11と、PWMコンバータ12とを有する。発電機11は、航空機の図示しないエンジンからの動力によって発電する交流電源として機能する。PWMコンバータ12は、発電機11に接続され、発電機11で発電された交流の発電電力を直流の発電電力へと変換する。PWMコンバータ12は、直流バスL1に接続され、一定電圧（本実施形態では270V）の直流電力を直流バスL1へと供給する。直流バスL1の電圧VL1は、電圧センサ13（図2参照）により検出することができる。PWMコンバータ12で一定電圧とされた発電電力は、図1に示すように、一次配電制御器15により、直流バスL1を介して、第二直流電源部20や複数の電力機器90に接続された図示しない配電制御器といった、配電システム100内の各構成要素へと分配される。図1に示すように、配電部1L、1Rとは、PWMコンバータ12の下流側および一次配電制御器15の下流側などにおいて、直流バスL1を介して接続されている。それにより、配電部1L、1Rは、第一直流電源部10での発電電力を互いに利用し合うことができる。

10

【0029】

第二直流電源部20は、バッテリー（蓄電器）30と、二次配電制御器40とを備えている。バッテリー30は、例えばリチウムイオン蓄電池といった電力を蓄電可能な周知の蓄電池である。なお、第二直流電源部20は、バッテリー30に限らず、例えばキャパシタといった電力を蓄電可能な蓄電器を備えるものであればよい。また、蓄電器は、複数設けられてもよいし、異なる蓄電器を複数組み合わせ構成してもよい。本実施形態において、配電システム100は、バッテリー30の端子間電圧を検出する電圧センサ14と、バッテリー30の充放電電流を検出する電流センサ16とを備えている。

20

【0030】

二次配電制御器40は、電力ラインL2を介して直流バスL1に接続されている。ただし、図1に示すように、電力ラインL2と直流バスL1の間には、ダイオード50が設けられている。ダイオード50は、アノード側が直流バスL1に接続され、カソード側が電力ラインL2に接続されている。そのため、ダイオード50は、第二直流電源部20から直流バスL1へと流れる電流を遮断する。また、二次配電制御器40は、複数の電力ラインL3を介して各電動アクチュエータ80に並列に接続されている。さらに、二次配電制御器40は、電力ラインL4を介してバッテリー30に接続されている。なお、本実施形態では、例示として、2つの電動アクチュエータ80が第二直流電源部20に並列に接続された例を示しているが、電動アクチュエータ80は、3つ以上が並列に接続されてもよいし、少なくとも1つ接続されていればよい。

30

【0031】

二次配電制御器40は、第一直流電源部10で発電されて一次配電制御器15で分配された発電電力が直流バスL1を介して供給される。二次配電制御器40は、第一直流電源部10からの発電電力およびバッテリー30に蓄電された電力を各電動アクチュエータ80へと供給する。また、二次配電制御器40は、各電動アクチュエータ80で発生した回生電力をバッテリー30に充電させる。

40

【0032】

二次配電制御器40の構成について、より詳細に説明する。図2は、二次配電制御器の構成の一例を説明図である。二次配電制御器40は、図2に示すように、昇降圧コンバータ41と、複数の過電流遮断回路42と、電圧センサ43と、制御部44とを有する。

【0033】

昇降圧コンバータ41は、電力ラインL2と電力ラインL4との間に設けられ、電力ラインL2とバッテリー30との間でやり取りされる直流電力の電圧を調整するPWMコンバータである。昇降圧コンバータ41は、バッテリー30の充放電を制御する充放電制御回路

50

として機能する。

【0034】

図3は、昇降圧コンバータを示す説明図である。昇降圧コンバータ41は、複数のスイッチング素子411(411A、411B、411C、411D、411E、411F)を備えた3相式のDC/DCコンバータである。スイッチング素子411は、例えばMOSFETといった周知のスイッチング素子である。なお、スイッチング素子411は、IGBT等であってもよい。スイッチング素子411A、411B、スイッチング素子411C、411D、およびスイッチング素子411E、411Fは、3相式の昇降圧コンバータ41の各相に流れる電流をオンオフする。昇降圧コンバータ41には、各相の電流値を検出する電流センサ46が設けられている。本実施形態では、昇降圧コンバータ41は、各相の電圧の位相を120(°)ずつ、ずらしてスイッチングを行った後、各相の電流の位相を結合する。それにより、出力電圧の波形のリプルを抑制することができる。なお、昇降圧コンバータ41は、3相式に限らず、単相式、2相式または4相以上の多相式であってもよい。

10

【0035】

昇降圧コンバータ41は、各スイッチング素子411を所定のスイッチング周期(例えば1/40(kHz))でオンオフすることで、電力ラインL2の電力を降圧させてバッテリー30に供給することができる。また、昇降圧コンバータ41は、各スイッチング素子411を所定のスイッチング周期でオンオフすることで、バッテリー30からの電力を昇圧させて電力ラインL2へと供給することができる。昇降圧コンバータ41の各スイッチング素子411は、制御部44により制御される。

20

【0036】

過電流遮断回路42は、各電動アクチュエータ80に対応して、電力ラインL2と電力ラインL3との間に1つずつ設けられている。過電流遮断回路42は、電力ラインL3に所定値以上の電流が所定時間以上流れたときに電流を遮断可能なスイッチ回路である。図2に示すように、電力ラインL3には、電流値を検出する電流センサ48が設けられている。電流センサ48で検出された電流値は、過電流遮断回路42に入力される。過電流遮断回路42は、電流センサ48で検出された電流値が所定時間以上にわたって所定値以上である場合に、各電動アクチュエータ80と第二直流電源部20との接続を遮断する。なお、電流センサ48で検出された電流値によるオンオフとは別に、過電流遮断回路42を任意のタイミングでオンオフする場合には、制御部44により制御される。

30

【0037】

電圧センサ43は、電力ラインL2の電圧VL2を検出するセンサである。電圧センサ43で検出された電力ラインL2の電圧VL2は、制御部44へと出力される。本実施形態において、電圧センサ43は、電動アクチュエータ80から電力ラインL2へと供給される回生電力の有無を検出する検出センサとして機能する。

【0038】

制御部44は、例えば、CPU(Central Processing Unit)などで構成された演算処理装置である。制御部44には、図2に示すように、電圧センサ13で検出された直流バスL1の電圧VL1が入力される。制御部44は、入力した電圧VL1の値に基づいて、電圧VL1が正常であるか否か、すなわち第一直流電源部10が正常に使用できるか否かを判定する。第一直流電源部10が正常に使用できるか否かの判定処理の詳細については、後述する。

40

【0039】

また、制御部44には、図2に示すように、電圧センサ43で検出された電力ラインL2の電圧VL2が入力される。制御部44は、入力された電圧VL2の値に基づいて、電動アクチュエータ80から電力ラインL2に回生電力が供給されているか否かを判定する。電動アクチュエータ80から電力ラインL2に回生電力が供給されているか否かの判定処理の詳細については、後述する。

【0040】

50

また、制御部 44 は、図 2 に示すように、バッテリー 30 の端子間電圧を検出する電圧センサ 14 と、バッテリー 30 の充放電電流を検出する電流センサ 16 とに接続されている。制御部 44 は、電圧センサ 14 から入力されたバッテリー 30 の端子間電圧と、電流センサ 16 から入力されたバッテリー 30 の充放電電流とに基づいて、バッテリー 30 の蓄電率 A を算出する。

【 0 0 4 1 】

なお、制御部 44 には、昇降圧コンバータ 41、過電流遮断回路 42、バッテリー 30 において、図示しない温度検出センサで検出された温度の情報が入力される。また、制御部 44 は、図示しない通信部を有しており、通信部を介して一次配電制御器 15 と通信可能とされている。

【 0 0 4 2 】

また、制御部 44 は、昇降圧コンバータ 41 に接続されている。制御部 44 は、昇降圧コンバータ 41 の各スイッチング素子 411 を所定のスイッチング周期でオンオフさせるゲート信号を生成し、各スイッチング素子 411 へと出力する。それにより、バッテリー 30 の充放電状態が制御される。その結果、配電部 1 は、電動アクチュエータ 80 と第一直流電源部 10 および第二直流電源部 20 との間で電力をやり取りする複数の電力処理モードを切り替えることができる。以下、図 4 を参照しながら、各電力処理モードについて説明する。図 4 は、実施形態にかかる配電システムにおける各電力処理モードの別を示す説明図である。

【 0 0 4 3 】

配電部 1 は、図 4 に示すように、第一直流電源部 10 が正常に使用できる通常動作時、すなわち直流バス L1 の電圧 V_{L1} が正常であるときに、力行アシストモード、定電流充電モード（充電モード）および回生電力処理モードを実行する。力行アシストモードおよび定電流充電モードは、通常動作時において、第一直流電源部 10 で発電された発電電力を直流バス L1 および電力ライン L2 を介して複数の電動アクチュエータ 80 に供給する力行電力処理モードの一部である。通常動作時において、直流バス L1 の電圧 V_{L1} は、第一直流電源部 10 からの電力によって一定電圧（本実施形態では、270（V））に維持されている。

【 0 0 4 4 】

力行アシストモードは、第一直流電源部 10 からの発電電力に加えて、バッテリー 30 に蓄電された電力を複数の電動アクチュエータ 80 に供給するモードである。制御部 44 は、昇降圧コンバータ 41 を制御して、要求される電力に応じて設定される電流値で、バッテリー 30 からの電力を電力ライン L2 へと供給する。

【 0 0 4 5 】

定電流充電モードは、第一直流電源部 10 からの発電電力の一部をバッテリー 30 に充電させつつ、残りの発電電力を複数の電動アクチュエータ 80 へと供給するモードである。制御部 44 は、昇降圧コンバータ 41 を制御して電力ライン L2 から発電電力の一部を、所定の一定電流値（本実施形態では、12（A））でバッテリー 30 へと充電させる。なお、充電モードは、電流値を変化させながらバッテリー 30 を充電するモードであってもよい。

【 0 0 4 6 】

回生電力処理モードは、通常動作時において、複数の電動アクチュエータ 80 で回生電力が発生したときに、発生した回生電力をバッテリー 30 に充電させるモードである。制御部 44 は、昇降圧コンバータ 41 を制御して、電力ライン L2 から回生電力をバッテリー 30 へと充電させる。上述したように、第二直流電源部 20 と直流バス L1 との間には、ダイオード 50 が設けられている。そのため、複数の電動アクチュエータ 80 で回生電力が発生した場合、回生電力が直流バス L1 に流れることはなく、昇降圧コンバータ 41 の制御によりバッテリー 30 に充電させることができる。

【 0 0 4 7 】

また、配電部 1 は、電力処理モードとして、第一直流電源部 10 が正常に使用できない非常動作時、すなわち直流バス L1 の電圧 V_{L1} が異常であるときに、非常用電力処理モ

10

20

30

40

50

ードを実行する。非常用電力処理モードは、第一直流電源部 10 を用いることなく、バッテリー 30 と複数の電動アクチュエータ 80 との間で電力のやり取りを行うモードである。第一直流電源部 10 が正常に使用できない場合、直流バス L1 に一定電圧 (270 (V)) が印加されないことになる。このとき、制御部 44 は、昇降圧コンバータ 41 を制御して、バッテリー 30 の電力を電動アクチュエータ 80 へと供給し、また、電動アクチュエータ 80 からの回生電力をバッテリー 30 へと充電させる。

【0048】

次に、実施形態にかかる配電方法としての各電力処理モードの切替手順について、図 5 を参照しながら説明する。図 5 は、各電力処理モードの切替手順の一例を示すフローチャートである。図 5 に示すフローチャートは、制御部 44 により予め定められた時間で繰り返し実行される。

10

【0049】

制御部 44 は、ステップ S10 として、直流バス L1 の電圧 V_{L1} が正常であるか否かを判定する。制御部 44 は、電圧センサ 13 から直流バス L1 の電圧 V_{L1} を入力しており、入力した電圧 V_{L1} の値に基づいて正常性を判定する。図 6 は、直流バスの電圧が正常であるか否かを判定するための手順の一例を示すフローチャートである。図 6 に示すフローチャートは、制御部 44 により実行される。また、図 7 は、直流バスの電圧が正常であるか否かを判定するための判定値の一例を示す説明図である。図 7 において、縦軸は、直流バス L1 の電圧 V_{L1} 値であり、横軸は、言い換えると、各電圧における許容時間である。

20

【0050】

制御部 44 は、図 6 に示すように、まずステップ S11 として、電圧 V_{L1} が第一判定値 V_1 以上であるか否かを判定する。本実施形態において、第一判定値 V_1 は、直流バス L1 の電圧範囲として予め定められる上限値 V_{limit1} と下限値 V_{limit2} との間の値であり、通常動作時の直流バス L1 の電圧 V_{L1} (例えば 270 (V)) よりも低い値とされる。第一判定値 V_1 は、例えば 255 (V) である。制御部 44 は、電圧 V_{L1} が第一判定値 V_1 以上であると判定した場合 (ステップ S11 で Yes)、ステップ S12 に進み、電圧 V_{L1} が正常であると判定する。

【0051】

一方、制御部 44 は、電圧 V_{L1} が第一判定値 V_1 未満であると判定した場合 (ステップ S11 で No)、ステップ S13 に進み、電圧 V_{L1} が第二判定値 V_2 未満であるか否かを判定する。第二判定値 V_2 は、第一判定値 V_1 よりも低い値である。なお、図 7 では、第二判定値 V_2 が下限値 V_{limit2} よりも低い値である例を示しているが、第二判定値 V_2 は、下限値 V_{limit2} 以上の値であってもよい。第二判定値 V_2 は、例えば 195 (V) ~ 245 (V) である。制御部 44 は、電圧 V_{L1} が第二判定値 V_2 未満であると判定した場合 (ステップ S13 で Yes)、ステップ S14 に進み、電圧 V_{L1} が異常であると判定する。

30

【0052】

また、制御部 44 は、電圧 V_{L1} が第二判定値 V_2 以上であると判定した場合 (ステップ S13 で No)、ステップ S15 に進み、前回の判定を維持する。つまり、電圧 V_{L1} が第一判定値 V_1 未満の状態 (ステップ S11 で No) となると、電圧 V_{L1} が第二判定値 V_2 未満の状態 (ステップ S13 で Yes) となるまで、電圧 V_{L1} は正常であると判定される。したがって、いったん電圧 V_{L1} が正常であると判定された場合、電圧 V_{L1} が第二判定値 V_2 未満まで減少しない限りは、電圧 V_{L1} は正常であるという判定が継続される。また、電圧 V_{L1} が第二判定値 V_2 未満の状態 (ステップ S13 で Yes) となると、電圧 V_{L1} が第一判定値 V_1 以上の状態 (ステップ S11 で Yes) となるまでは、電圧 V_{L1} は異常であると判定される。したがって、いったん電圧 V_{L1} が異常と判定された場合、電圧 V_{L1} が第一判定値 V_1 以上まで回復しない限りは、電圧 V_{L1} が異常であるという判定が継続される。

40

【0053】

50

図5の説明に戻る。制御部44は、直流バスL1の電圧VL1が正常であると判定した場合(ステップS10でYes)、ステップS20に進み、電動アクチュエータ80からの回生電力があるか否かを判定する。より詳細には、制御部44は、電圧センサ43で検出された電力ラインL2の電圧VL2が、予め設定される閾値Vr未満であるとき、回生電力なしと判定し、電圧VL2が予め設定される閾値Vr以上であるとき、回生電力ありと判定する。予め設定される閾値Vrは、通常動作時の電圧VL2(直流バスL1の電圧VL1と一致。例えば270(V))よりも高い値とされる。閾値Vrは、例えば275(V)である。通常動作時の電圧VL2(通常動作時の電圧VL1)よりも高い閾値Vr以上の電圧が電力ラインL2に生じたときには、電動アクチュエータ80から電力ラインL2に電流が供給されていることになるため、回生電力が発生していると判定することができる。

10

【0054】

制御部44は、電動アクチュエータ80からの回生電力があると判定した場合(ステップS20でYes)、ステップS30に進み、回生電力処理モードを実行する(回生電力処理モードステップ)。制御部44は、昇降圧コンバータ41を制御して電力ラインL4から回生電力をバッテリー30へと充電させる。このとき、上述したように、電動アクチュエータ80からの回生電力は、ダイオード50によって直流バスL1側に流れることが防止される。なお、一つの電動アクチュエータ80で発生した回生電力のすべてをバッテリー30に充電させる必要はない。つまり、一つの電動アクチュエータ80で発生した回生電力の一部をバッテリー30に充電させ、回生電力の残りを他の電動アクチュエータ80へと供給してもよい。

20

【0055】

一方、制御部44は、電動アクチュエータ80からの回生電力がないと判定した場合(ステップS20でNo)、ステップS40に進み、回生電力処理モードの実行中であるか否かを判定する。制御部44は、回生電力処理モードの実行中でないと判定した場合(ステップS40でNo)、ステップS60に進む。一方、制御部44は、回生電力処理モードの実行中であると判定した場合(ステップS40でYes)、ステップS50に進み、所定待機時間が経過したか否かを判定する。所定待機時間は、回生電力処理モードの実行中に、ステップS20で回生電力がないと最初に判定されたタイミングから計時が開始される。また、所定待機時間は、いったん計時が開始されてからステップS20で回生電力があると判定された場合、および、ステップS60以降の処理に進んだ場合にリセットされる。所定待機時間は、例えば、150(ms)である。

30

【0056】

制御部44は、所定待機時間が経過していないと判定した場合(ステップS50でNo)、ステップS30に進み、回生電力処理モードを実行する。したがって、回生電力処理モードの実行中に、電圧VL2が閾値Vr未満となったと判定されても、所定待機時間が経過するまでは回生電力処理モードが継続される。また、所定待機時間が経過するまでの間に、電圧VL2が閾値Vr以上の状態に戻った場合(ステップS20でYes)には、電動アクチュエータ80で回生電力が発生している状態であるため、回生電力処理モードの実行が継続される(ステップS30)。このとき、所定待機時間は、上述したようにリセットされ、改めてステップS20で回生電力がないと最初に判定されたタイミングから、計時が開始される。そして、制御部44は、所定待機時間が経過したと判定した場合(ステップS50でYes)、ステップS60に進む。つまり、制御部44は、回生電力処理モードの実行中に、電圧VL2が閾値Vr未満となった状態が所定待機時間にわたって継続すると、ステップS60に進む。

40

【0057】

制御部44は、ステップS60として、バッテリー30の充電が必要であるか否かを判定する。図8は、バッテリーの充電が必要であるか否かを判定するための手順の一例を示すフローチャートである。図8に示すフローチャートは、制御部44により実行される。制御部44は、図8に示すように、まずステップS61として、バッテリー30の蓄電率Aが第

50

一蓄電率 A 1 以上であるか否かを判定する。バッテリー 30 の蓄電率 A は、上述したように、バッテリー 30 の端子間電圧と充放電電流とに基づいて算出される。第一蓄電率 A 1 は、バッテリー 30 が過充電状態となることを抑制可能な値であり、例えば 80 (%) とされる。制御部 44 は、蓄電率 A が第一蓄電率 A 1 以上であると判定した場合 (ステップ S 6 1 で Y e s)、ステップ S 6 2 に進み、バッテリー 30 の充電が不要であると判定する。

【 0 0 5 8 】

一方、制御部 44 は、蓄電率 A が第一蓄電率 A 1 未満であると判定した場合 (ステップ S 6 1 で N o)、ステップ S 6 3 に進み、蓄電率 A が第二蓄電率 A 2 未満であるか否かを判定する。第二蓄電率 A 2 は、第一蓄電率 A 1 よりも低い値である。第二蓄電率 A 2 は、非常用電力処理モードとなった場合にも、バッテリー 30 から余裕をもって電動アクチュエータ 80 に電力を供給可能な値であり、例えば 60 (%) とされる。制御部 44 は、蓄電率 A が第二蓄電率 A 2 未満であると判定した場合 (ステップ S 6 3 で Y e s)、ステップ S 6 4 に進み、バッテリー 30 の充電が必要であると判定する。

【 0 0 5 9 】

また、制御部 44 は、蓄電率 A が第二蓄電率 A 2 以上であると判定した場合 (ステップ S 6 3 で N o)、ステップ S 6 5 に進み、前回の判定を維持する。つまり、蓄電率 A が第一蓄電率 A 1 未満の状態 (ステップ S 6 1 で N o) となると、蓄電率 A が第二蓄電率 A 2 未満の状態 (ステップ S 6 3 で Y e s) となるまで、バッテリー 30 の充電が不要であると判定される。したがって、いったんバッテリー 30 の充電が不要と判定された場合、蓄電率 A が第二蓄電率 A 2 未満まで減少しない限りは、バッテリー 30 の充電が不要であるという判定が継続される。また、蓄電率 A が第二蓄電率 A 2 未満の状態 (ステップ S 6 3 で Y e s) となると、蓄電率 A が第一蓄電率 A 1 以上の状態 (ステップ S 6 1 で Y e s) となるまで、バッテリー 30 の充電が必要であると判定される。したがって、いったんバッテリー 30 の充電が必要と判定された場合、蓄電率 A が第一蓄電率 A 1 以上まで回復しない限りは、バッテリー 30 の充電が必要であるという判定が継続される。

【 0 0 6 0 】

再び図 5 の説明に戻る。制御部 44 は、バッテリー 30 の充電が必要であると判定した場合 (ステップ S 6 0 で Y e s)、ステップ S 7 0 に進み、定電流充電モードを実行する (力行電力処理モードステップ、定電流充電モードステップ)。制御部 44 は、昇降圧コンバータ 41 を制御して、第一直流電源部 10 からの発電電力の一部を電力ライン L 4 からバッテリー 30 へと充電させる。なお、残りの発電電力は、電動アクチュエータ 80 へと供給される。一方、制御部 44 は、バッテリー 30 の充電が不要であると判定した場合 (ステップ S 6 0 で N o)、ステップ S 8 0 に進み、力行アシストモードを実行する (力行電力処理モードステップ、力行アシストモードステップ)。制御部 44 は、昇降圧コンバータ 41 を制御して、第一直流電源部 10 からの発電電力に加えて、バッテリー 30 に蓄電された電力を電動アクチュエータ 80 に供給する。

【 0 0 6 1 】

上述したように、いったんバッテリー 30 の充電が不要と判定された場合、蓄電率 A が第二蓄電率 A 2 未満まで減少しない限りは、バッテリー 30 の充電が不要であるという判定が継続される。つまり、バッテリー 30 の蓄電率 A が第一蓄電率 A 1 以上となると (図 8 のステップ S 6 1 で Y e s)、蓄電率 A が第二蓄電率 A 2 未満となるまで (図 8 のステップ S 6 3 で Y e s)、力行アシストモードが継続される。また、上述したように、いったんバッテリー 30 の充電が必要と判定された場合、蓄電率 A が第一蓄電率 A 1 以上まで回復しない限りは、バッテリー 30 の充電が必要であるという判定が継続される。つまり、バッテリー 30 の蓄電率 A が第二蓄電率 A 2 未満となると (図 8 のステップ S 6 3 で Y e s)、蓄電率 A が第一蓄電率 A 1 以上となるまで (図 8 のステップ S 6 1 で Y e s)、定電流充電モードが継続される。

【 0 0 6 2 】

制御部 44 は、直流バス L 1 の電圧 V L 1 が異常であると判定した場合 (ステップ S 1 0 で N o) には、ステップ S 9 0 に進み、非常用電力処理モードを実行する。制御部 44

は、昇降圧コンバータ41の制御によって、バッテリー30から電動アクチュエータ80へと電力を供給し、また、電動アクチュエータ80からの回生電力をバッテリー30へと充電する。なお、非常用電力処理モードにおいて、バッテリー30から電動アクチュエータ80へと電力を供給するか、電動アクチュエータ80からの回生電力をバッテリー30へと充電するかは、ステップS20と同様の判定処理を行うことによって切り替えることができる。

【0063】

また、非常用電力処理モードの実行中において、バッテリー30から電力を放電している場合、電力ラインL2の電圧は、基本的に直流バスL1の電圧 V_{L1} の正常値(270(V))より高くない。そのため、直流バスL1の電圧 V_{L1} が正常値(270(V))に復帰した場合には、直流バスL1からの電流がダイオード50を介して第二直流電源部20へと供給されるため、速やかに通常動作時の電力処理モードへと移行することができる。

10

【0064】

次に、昇降圧コンバータ41の具体的な制御手順の一例について、図9および図10を参照しながら説明する。図9は、第一直流電源部が正常に使用できる通常動作時における昇降圧コンバータの制御ブロックの一例を示す説明図であり、図10は、第一直流電源部が正常に使用できない非常用動作時における昇降圧コンバータの制御ブロックの一例を示す説明図である。図9および図10に示す一連の処理は、昇降圧コンバータ41の所定のスイッチング周期(例えば1/40(kHz))ごとに繰り返し実施される。

【0065】

20

図9を参照しながら、通常動作時、つまり直流バスL1の電圧 V_{L1} が正常であると判定した場合(図5のステップS10でYes)の昇降圧コンバータ41の制御手順について説明する。制御部44は、電圧フィードバック部451において電力ラインL2の電圧指令 V^* を予め設定される閾値 V_r (本実施形態では275V)に設定する。次に、制御部44は、設定した電圧指令 V^* と、実際の電力ラインL2の電圧 V_{L2} (直流バスL1の電圧 V_{L1} と一致)との差分($V_{L2} - V^*$)を算出する。さらに、制御部44は、差分($V_{L2} - V^*$)をPIDブロック451Aに入力する。PIDブロック451Aは、予め設定される比例ゲイン、積分時間および微分時間を用いて、電流指令値 I_1^* を生成する。そして、制御部44は、生成した電流指令値 I_1^* をLimitブロック451Bに入力して制限をかける。それにより、制限された電流指令値 I_2^* が生成される。

30

【0066】

次に、制御部44は、電流指令加算部452において、定電流充電モード時、力行アシストモード時に必要となるバッテリー30の充放電電流の値である電流指令値 I_3^* を、電流指令値 I_2^* に加算する。制御部44は、定電流充電モードを実行するとき(図5のステップS70)、図中の切替回路452Aに1:充電の切替信号を出力する。そして、制御部44は、電流指令値 I_3^* を所定の一定電流値(本実施形態では、12A)に設定し、この値を電流指令値 I_2^* に加算して電流指令値 I_4^* を生成する。一方、制御部44は、力行アシストモードを実行するとき(図5のステップS80)、図中の切替回路452Aに2:放電の切替信号を出力する。そして、制御部44は、電流指令値 I_3^* を力行アシストモード時の電流指令値に設定し、この値を電流指令値 I_2^* に加算して電流指令値 I_4^* を生成する。なお、力行アシストモード時の電流指令値 I_3^* は、電動アクチュエータ80で要求される電力に応じて設定されればよい。これにより、定電流充電モード、力行アシストモードを実行する場合のバッテリー30の充放電電流を設定することができる。また、制御部44は、定電流充電モード時、力行アシストモード時のいずれも実行しない場合、すなわち回生電力処理モードを実行する場合(図5のステップS30)には、本ブロックにおいて電流指令値 I_3^* を加算することなく、もとの電流指令値 I_2^* を電流指令値 I_4^* として生成する。それにより、回生電力処理モードを実行する場合のバッテリー30の充電電流を設定することができる。

40

【0067】

次に、制御部44は、電流フィードバック部454において、電流指令値 I_4^* を1 /

50

3倍とした電流指令値 I_5^* を生成する。この電流指令値 I_5^* が、昇降圧コンバータ41の各相の電流指令値となる。制御部44は、電流指令値 I_5^* と、電流センサ46(図3参照)で検出された昇降圧コンバータ41の各相の電流値 I_1 、 I_2 、 I_3 との差分($I_5^* - I_1$)、($I_5^* - I_2$)、($I_5^* - I_3$)を算出する。そして、算出した差分($I_5^* - I_1$)、($I_5^* - I_2$)、($I_5^* - I_3$)をPIDブロック454A、454B、454Cに入力する。PIDブロック454A、454B、454Cは、予め設定される比例ゲイン、積分時間および微分時間を用いて、各相の電圧指令値 V_1^* 、 V_2^* 、 V_3^* を生成する。

【0068】

そして、制御部44は、PWM指令変換部455において、各相の電圧指令値 V_1^* 、 V_2^* 、 V_3^* をPWM変換指令ブロック455A、455B、455Cに入力し、各相のゲート信号P(PA、PB、PC、PD、PE、PF)を生成する。すなわち、電圧指令の振幅である電圧指令値 V_1^* 、 V_2^* 、 V_3^* を、昇降圧コンバータ41の各スイッチング素子411をオンオフする時間としてのパルス信号であるゲート信号Pに変換する。生成されたゲート信号PAは、スイッチング素子411Aに入力される。ゲート信号PBは、スイッチング素子411Bに入力される。ゲート信号PCは、スイッチング素子411Cに入力される。ゲート信号PDは、スイッチング素子411Dに入力される。ゲート信号PEは、スイッチング素子411Eに入力される。ゲート信号PFは、スイッチング素子411Fに入力される。

【0069】

以上の処理を所定のスイッチング周期ごとに繰り返し実行することで、各ゲート信号Pに基づいて昇降圧コンバータ41の各スイッチング素子411が所定のスイッチング周期でオンオフ制御される。その結果、通常動作時において、力行アシストモード、定電流充電モードおよび回生電力処理モードに対応して、バッテリー30の充放電を制御することができる。

【0070】

図10を参照しながら、非常用動作時、つまり直流バスL1の電圧 V_{L1} が異常であると判定した場合(図5のステップS10でNo)に、バッテリー30の電力を電動アクチュエータ80に供給するための昇降圧コンバータ41の制御手順について説明する。制御部44は、図10に示すように、電圧フィードバック部451において電力ラインL2の電圧指令 V^* を、通常動作時の電圧 V_{L2} (直流バスL1の電圧 V_{L1} と一致。本実施形態では270(V))に設定する。次に、制御部44は、設定した電圧指令 V^* と実際の電圧 V_{L2} (直流バスL1の電圧 V_{L1} と一致)との差分($V_{L2} - V^*$)を算出する。さらに、制御部44は、差分($V_{L2} - V^*$)をPIDブロック451Aに入力する。PIDブロック451Aは、予め設定される比例ゲイン、積分時間および微分時間を用いて、電流指令値 I_1^* を生成する。そして、制御部44は、生成した電流指令値 I_1^* をLimitブロック451Bに入力して制限をかける。それにより、制限された電流指令値 I_2^* が生成される。

【0071】

次に、制御部44は、電流フィードバック部454において、電流指令値 I_2^* を1/3倍とした電流指令値 I_3^* を生成する。この電流指令値 I_3^* が、昇降圧コンバータ41の各相の電流指令値となる。制御部44は、電流指令値 I_3^* と、電流センサ46(図3参照)で検出された昇降圧コンバータ41の各相の電流値 I_1 、 I_2 、 I_3 との差分($I_3^* - I_1$)、($I_3^* - I_2$)、($I_3^* - I_3$)を算出する。そして、算出した差分($I_3^* - I_1$)、($I_3^* - I_2$)、($I_3^* - I_3$)をPIDブロック454A、454B、454Cに入力する。PIDブロック454A、454B、454Cは、予め設定される比例ゲイン、積分時間および微分時間を用いて、各相の電圧指令値 V_1^* 、 V_2^* 、 V_3^* を生成する。

【0072】

そして、制御部44は、PWM指令変換部455において、各相の電圧指令値 V_1^* 、

V2*、V3*をPWM変換指令ブロック455A、455B、455Cに入力し、各相のゲート信号P(PA、PB、PC、PD、PE、PF)を生成する。すなわち、電圧指令の振幅である電圧指令値V1*、V2*、V3*を、昇降圧コンバータ41の各スイッチング素子411をオンオフする時間としてのパルス信号であるゲート信号Pに変換する。生成されたゲート信号PAは、スイッチング素子411Aに入力される。ゲート信号PBは、スイッチング素子411Bに入力される。ゲート信号PCは、スイッチング素子411Cに入力される。ゲート信号PDは、スイッチング素子411Dに入力される。ゲート信号PEは、スイッチング素子411Eに入力される。ゲート信号PFは、スイッチング素子411Fに入力される。

【0073】

以上の処理を所定のスイッチング周期ごとに繰り返し実行することで、各ゲート信号Pに基づいて昇降圧コンバータ41の各スイッチング素子411が所定のスイッチング周期でオンオフ制御される。その結果、非常動作時において、バッテリー30の放電を制御することができ、また、電動アクチュエータ80で回生電力が生じた場合にも、回生電力をバッテリー30に充電することができる。

【0074】

以上説明したように、実施形態にかかる配電システム100は、発電機11を有し、直流バスL1に接続された第一直流電源部10と、直流バスL1および電動アクチュエータ80に接続された電力ラインL2、L3と、電力ラインL2に接続されたバッテリー30と、バッテリー30の充放電を制御する昇降圧コンバータ41と、電動アクチュエータ80から電力ラインL2へと供給される回生電力の有無を検出する電圧センサ43と、昇降圧コンバータ41を制御する制御部44とを有する第二直流電源部20と、第二直流電源部20から直流バスL1へと流れる電流を遮断するダイオード50とを備える。制御部44は、電圧センサ43が回生電力を検出していないとき、昇降圧コンバータ41によりバッテリー30の蓄電率Aが所定範囲内に維持されるようにバッテリー30を充放電させながら、第一直流電源部10で発電された発電電力を直流バスL1および電力ラインL2、3を介して電動アクチュエータ80に供給する力行電力処理モードを実行する。制御部44は、電圧センサ43が回生電力を検出したとき、昇降圧コンバータ41により回生電力をバッテリー30に充電する回生電力処理モードを実行する。

【0075】

この構成により、実施形態にかかる配電システム100および配電方法では、発電機11を電力源とする第一直流電源部10を用いることなく、電動アクチュエータ80で生じた回生電力をバッテリー30に充電することで処理するため、回生電力の処理応答性を高め、急峻な回生電力の発生にも対応することが可能となる。また、第二直流電源部20から直流バスL1へと流れる電流をダイオード50で遮断することで、回生電力の処理に際して、直流バスL1の電圧が変動しない。さらに、電動アクチュエータ80で回生電力が生じていない場合、すなわち電動アクチュエータ80に電力を供給している場合には、蓄電率Aが所定範囲内に維持されるようにバッテリー30を充放電させておく。その結果、電動アクチュエータ80で回生電力が生じたときに、バッテリー30の蓄電率Aが高すぎることで回生電力を処理できなくなったり、バッテリー30の過充電が生じたりすることを抑制することができる。したがって、実施形態にかかる配電システム100および配電方法によれば、電動アクチュエータ80で発生した回生電力を応答性良く、かつ、安定的に処理可能であり、回生電力の処理に際して直流バスL1の電圧変動を防止することができる。

【0076】

また、制御部44は、力行電力処理モードにおいて、蓄電率Aが第一蓄電率A1以上となると、第一蓄電率A1よりも低い第二蓄電率A2未満となるまで発電電力に加えてバッテリー30からの電力を電動アクチュエータ80に供給する力行アシストモードを継続し、蓄電率Aが第二蓄電率A2未満となると、第一蓄電率A1以上となるまで発電電力の一部をバッテリー30に充電させる定電流充電モード(充電モード)を継続する。

【0077】

10

20

30

40

50

この構成により、電動アクチュエータ 80 に電力を供給している間に、バッテリー 30 の蓄電率 A を第一蓄電率 A 1 と第二蓄電率 A 2 との間の所定範囲内に維持することができる。その結果、電動アクチュエータ 80 で回生電力が生じたときに、バッテリー 30 の蓄電率 A が高すぎること回生電力を処理できなくなったり、バッテリー 30 の過充電が生じたりすることを抑制することができる。さらに、バッテリー 30 の蓄電率 A を十分に維持し、余裕をもってバッテリー 30 から電動アクチュエータ 80 へと電力を供給することが可能となる。また、第一蓄電率 A 1 以上になると第二蓄電率 A 2 未満となるまで力行アシストモードを継続し、第一蓄電率 A 1 未満になると第二蓄電率 A 2 以上となるまで定電流充電モードを継続することで、力行アシストモードと定電流充電モードとが頻繁に切り替わることを抑制することができる。

10

【 0 0 7 8 】

また、制御部 44 は、第一直流電源部 10 が正常に使用できないとき、すなわち直流バス L1 の電圧 V L1 が予め定められた閾値 V r 未満のとき、昇降圧コンバータ 41 によりバッテリー 30 を充放電させながら、バッテリー 30 と電動アクチュエータ 80 との間で電力のやり取りを行う非常用電力処理モードを実行する。

【 0 0 7 9 】

この構成により、第一直流電源部 10 と電動アクチュエータ 80 との間で電力のやり取りができない場合にも、第二直流電源部 20 から電動アクチュエータ 80 に電力を供給し、電動アクチュエータ 80 からの回生電力を第二直流電源部 20 で処理することができる。また、上述したように、第一直流電源部 10 から電動アクチュエータ 80 に電力を供給している間に、バッテリー 30 の蓄電率 A を所定範囲内に維持させるため、非常用電力処理モードの際にバッテリー 30 からの電力が不足することを抑制することができる。

20

【 0 0 8 0 】

また、制御部 44 は、回生電力処理モードの実行中に、電圧センサ 43 が回生電力を検出しない状態となったとき、所定待機時間が経過するまで回生電力処理モードを継続し、電圧センサ 43 が回生電力を検出しない状態が所定待機時間にわたって継続されると、力行電力処理モード（力行アシストモードまたは定電流充電モード）へと移行する。

【 0 0 8 1 】

回生電力処理モードの実行により、電力ライン L2 の電圧がいったん低下して電圧センサ 43 が回生電力を検出しない状態となった場合にも、電動アクチュエータ 80 から回生電力が継続している場合には、再び電力ライン L2 の電圧が上昇することがある。このとき、電力ライン L2 の電圧がいったん低下するごとに力行電力処理モード（力行アシストモードまたは定電流充電モード）に移行すると、回生電力処理モードと力行電力処理モードとが頻繁に切り替わってしまう可能性がある。本実施形態の構成によれば、所定待機時間が経過するまで力行電力処理モードへの切替を行わないため、回生電力処理モードと力行電力処理モード（力行アシストモードまたは定電流充電モード）とが頻繁に切り替わることを抑制することができる。なお、本実施形態では、回生電力処理モードから力行アシストモードまたは定電流充電モードに切り替えるときに所定待機時間の経過を待つものとしたが、回生電力処理モードから力行アシストモードに切り替えるときにのみ、所定待機時間の経過を待つものとしてもよい。

30

40

【 0 0 8 2 】

また、第二直流電源部 20 は、所定値以上の電流が所定時間以上流れたときに、電動アクチュエータ 80 との接続を遮断する過電流遮断回路 42 を有する。

【 0 0 8 3 】

この構成により、例えば電動アクチュエータ 80 側で短絡が生じたとき等に、配電システム 100 に過電流が流れこむことを抑制し、直流バス L1 の電圧低下を抑制することができる。

【 0 0 8 4 】

また、第二直流電源部 20 は、電力ライン L2 に複数の電動アクチュエータ 80 が並列に接続されており、過電流遮断回路 42 は、電動アクチュエータ 80 の一つずつに対応し

50

て設けられる。

【 0 0 8 5 】

この構成により、一つの電動アクチュエータ 8 0 で発生した回生電力の一部を、他の電動アクチュエータ 8 0 へと供給することができる。その結果、回生電力のすべてをバッテリー 3 0 に充電させる場合に比べて、昇降圧コンバータ 4 1 およびバッテリー 3 0 への充電において発生し得る電力損失を低減させることができ、電力効率を向上させることが可能となる。また、特に非常用電力処理モードにおいて、駆動する必要がない電動アクチュエータ 8 0 がある場合には、対応する過電流遮断回路 4 2 をオフすれば、バッテリー 3 0 から当該電動アクチュエータ 8 0 への電力の持ち出しを抑制することができる。したがって、バッテリー 3 0 の蓄電率 A の低下を抑制することが可能となる。

10

【 0 0 8 6 】

本実施形態では、直流バス L 1 の電圧 V L 1 が予め定められた閾値 V r 未満のとき、第一直流電源部 1 0 が正常に使用できないと判定するものとした。このように、ダイオード 5 0 のアノード側である直流バス L 1 の電圧 V L 1 をモニタすることで、第一直流電源部 1 0 の正常性および非常用電力処理モードへの移行を容易に判定することができる。ただし、第一直流電源部 1 0 が正常に使用できるか否かは、ダイオード 5 0 のカソード側、すなわち電力ライン L 2 を流れる電流値に基づいて判定してもよい。それにより、直流バス L 1 から第二直流電源部 2 0 までの間で電圧をモニタする必要がなくなり、配電システム 1 0 0 の簡易化を図ることが可能となる。

20

【 0 0 8 7 】

本実施形態では、配電部 1 ごとに、第一直流電源部 1 0 および第二直流電源部 2 0 をひとつずつ備えるものとしたが、冗長性を確保するため、予備となる第一直流電源部 1 0 および第二直流電源部 2 0 を別に備えてもよい。

【 0 0 8 8 】

本実施形態では、電動アクチュエータ 8 0 から電力ライン L 2 へと供給される回生電力の有無を、電力ライン L 2 の電圧 V L 2 を検出する電圧センサ 4 3 で検出するものとした。ただし、回生電力の有無は、例えば電力ライン L 2 を流れる電流値を検出する電流センサとしてもよい。

【 符号の説明 】

【 0 0 8 9 】

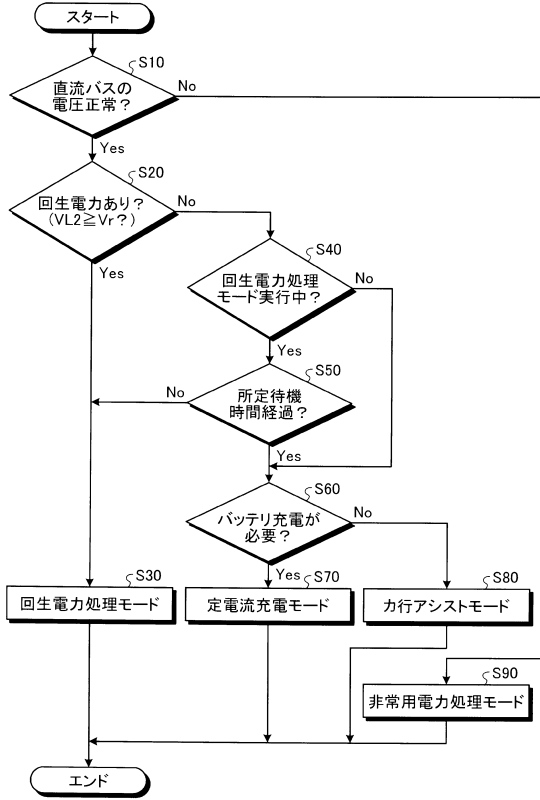
- 1、 1 L、 1 R 配電部
- 1 0 第一直流電源部
- 1 1 発電機
- 1 2 PWMコンバータ
- 1 3、 1 4、 4 3 電圧センサ
- 1 5 一次配電制御器
- 2 0 第二直流電源部
- 3 0 バッテリ
- 4 0 二次配電制御器
- 4 1 昇降圧コンバータ
- 4 1 1 スイッチング素子
- 4 2 過電流遮断回路
- 4 4 制御部
- 1 6、 4 6、 4 8 電流センサ
- 5 0 ダイオード
- 8 0 電動アクチュエータ
- 9 0 電力機器
- 1 0 0 配電システム
- L 1 直流バス
- L 2、 L 3、 L 4 電力ライン

30

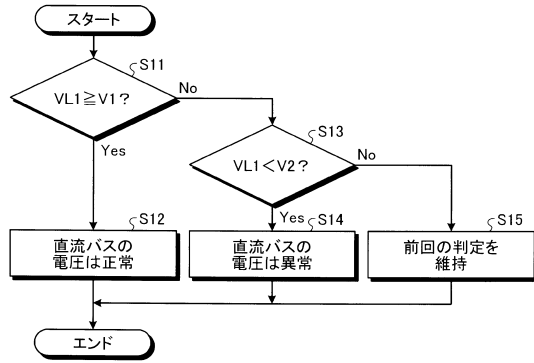
40

50

【図5】



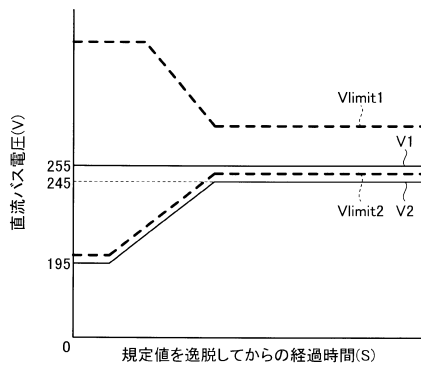
【図6】



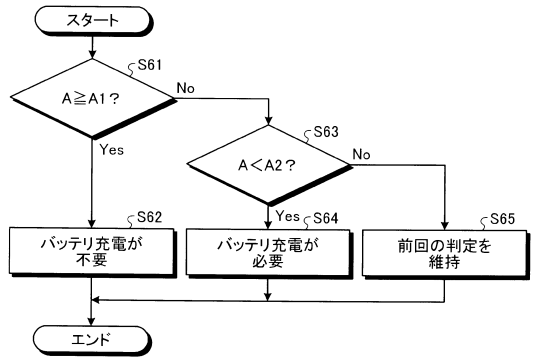
10

20

【図7】



【図8】

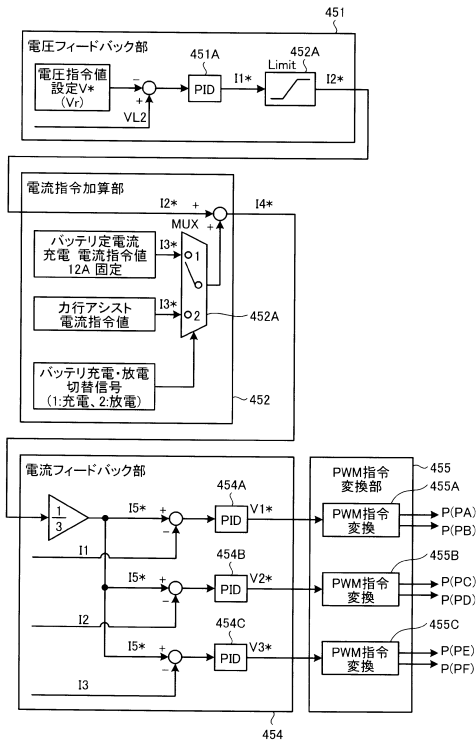


30

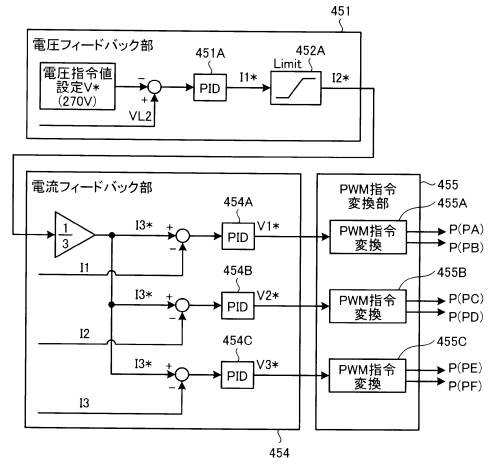
40

50

【図 9】



【図 10】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

審査官 山本 賢明

- (56)参考文献 特開 2 0 1 5 - 1 1 2 0 0 2 (J P , A)
特開 2 0 1 7 - 0 0 5 9 4 4 (J P , A)
特開昭 6 1 - 0 8 1 1 3 2 (J P , A)
特開 2 0 1 9 - 1 2 2 1 2 2 (J P , A)
国際公開第 2 0 1 8 / 0 4 7 2 2 4 (W O , A 1)
- (58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)
H 0 2 J 7 / 0 0
H 0 2 H 7 / 1 8
B 6 4 D 4 1 / 0 0