

(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2007-195298

(P2007-195298A)

(43) 公開日 平成19年8月2日(2007.8.2)

(51) Int. Cl.	F I			テーマコード (参考)	
H02J 7/00 (2006.01)	H02J	7/00	P	5G003	
B60L 11/18 (2006.01)	B60L	11/18	A	5H115	
B60L 9/18 (2006.01)	B60L	9/18	A		
	H02J	7/00	S		
	H02J	7/00	A		

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 14 頁)

(21) 出願番号 特願2006-9408 (P2006-9408)
 (22) 出願日 平成18年1月18日 (2006.1.18)

特許法第30条第1項適用申請有り 2005年7月21日・22日 社団法人電気学会主催の「電気学会研究会」において文書をもって発表

(71) 出願人 000173784
 財団法人鉄道総合技術研究所
 東京都国分寺市光町2丁目8番地38

(71) 出願人 000196587
 西日本旅客鉄道株式会社
 大阪府大阪市北区芝田2丁目4番24号

(74) 代理人 100100413
 弁理士 渡部 温

(72) 発明者 田口 義晃
 東京都国分寺市光町二丁目8番地38 財団法人鉄道総合技術研究所内

(72) 発明者 小笠 正道
 東京都国分寺市光町二丁目8番地38 財団法人鉄道総合技術研究所内

最終頁に続く

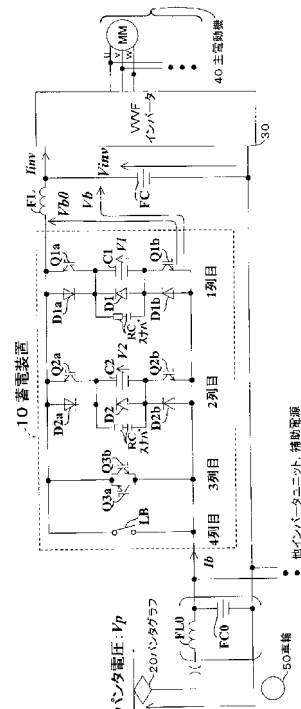
(54) 【発明の名称】 電気車両の蓄電装置及び蓄電装置システム

(57) 【要約】

【課題】 直列蓄電装置が安定動作可能となり、EDLCの円滑な充放電とインバータ電圧の昇圧ができ、回生失効や回生絞り込みを軽減し、回生エネルギーの一部を蓄電して力行時に再利用して電気車両の走行エネルギーを削減し、さらに省エネルギー・省保守性が向上し、力行アシスト時の時分短縮が可能な電気車両の蓄電装置を提供する。

【解決手段】 本発明の電気車両の蓄電装置10は、架線側のパンタグラフ20と、フィルタリアクトルFL及びフィルタコンデンサFCの間に接続され、パンタグラフ20側から順に、1列の短絡用の機械的スイッチLB(4列目)と、1列の双方向スイッチQ3a, Q3b(3列目)と、1列以上の蓄電素子(EDLC)を中間に挟んだ双方向スイッチQ2a, Q2b(2列目)及びQ1a, Q1b(1列目)と、を並列に接続して構成される。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

電源を供給する架線側のパンタグラフと、グラウンドである帰線側の車輪と、前記パンタグラフに接続されたフィルタリアクトルと、前記フィルタリアクトルに接続されたインバータと、前記フィルタリアクトルと前記インバータの間に並列に接続されるフィルタコンデンサと、を備える電気車両の回路に接続される蓄電装置であって、

前記蓄電装置は、

架線側の前記パンタグラフと、前記フィルタリアクトル及び前記フィルタコンデンサの間に接続され、

1列の短絡用の機械的スイッチと、

1列の双方向スイッチと、

1列以上の蓄電素子を中間に挟んだ双方向スイッチと、

を並列に接続して構成される、

ことを特徴とする電気車両の蓄電装置。

10

【請求項 2】

前記蓄電素子は、

前記双方向スイッチの間に接続される蓄電素子コンデンサと、

前記蓄電素子コンデンサに並列に接続され、前記蓄電素子コンデンサが逆極性にチャージされるのを防ぐためのダイオードと、

前記蓄電素子コンデンサに並列に接続され、該蓄電素子に内在するインダクタンス成分によって発生する転流時の過電圧を低減するためのRCスナバと、

20

を備え、

前記双方向スイッチは、

前記蓄電素子コンデンサの充電電流を制御する第1のスイッチと、

前記蓄電素子コンデンサの放電電流を制御する第2のスイッチと、

を備える、

ことを特徴とする請求項1記載の電気車両の蓄電装置。

【請求項 3】

前記蓄電素子は、前記双方向スイッチの前記第1のスイッチ及び前記第2のスイッチとそれぞれ並列に接続されたダイオードを備える、ことを特徴とする請求項2記載の電気車両の蓄電装置。

30

【請求項 4】

前記蓄電装置は、1以上のインバータに接続される、ことを特徴とする請求項1から3何れか記載の電気車両の蓄電装置。

【請求項 5】

前記蓄電装置は、架線側の前記パンタグラフの代わりに、帰線側の前記車輪と、前記フィルタリアクトル及び前記フィルタコンデンサの間に接続される、ことを特徴とする請求項1から4何れか記載の電気車両の蓄電装置。

【請求項 6】

電源を供給する架線側のパンタグラフと、グラウンドである帰線側の車輪と、前記パンタグラフに接続されたフィルタリアクトルと、前記フィルタリアクトルに接続されたインバータと、前記フィルタリアクトルと前記インバータの間に並列に接続されるフィルタコンデンサと、を備える電気車両の回路に接続される蓄電装置システムであって、

40

前記請求項1から5何れか記載の蓄電装置と、

前記蓄電装置に接続され、前記1列の短絡用の機械的スイッチを開閉するための開閉信号と、昇圧電圧を決定する昇圧指令値と、力行昇圧と回生昇圧の移行を行なう動作モードと、を出力する指令値演算・シーケンス制御手段と、

前記指令値演算・シーケンス制御手段から入力された前記昇圧指令値及び前記動作モードに基づいて、1列以上の蓄電素子のうち通電する列を決定して、適切な通流率を算出して出力する通流率制御手段と、

50

前記通流率制御手段から入力された前記通流率に基づいて、前記蓄電装置の前記機械的スイッチ及び双方向スイッチを制御するゲート信号を出力するゲート制御手段と、を備える、ことを特徴とする電気車両の蓄電装置システム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、電気車両の列車に搭載される蓄電装置及び蓄電装置システムに関する。特に、直列蓄電装置が安定動作可能となり、蓄電媒体の電気二重層キャパシタ（以下、「EDLC」ともいう）の円滑な充放電とインバータ電圧の昇圧ができ、回生失効や回生絞り込みを軽減し、回生エネルギーの一部を蓄電して力行時に再利用して電気車両の走行エネルギーを削減し、さらに省エネルギー・省保守性が向上し、力行アシスト時の時分短縮が可能な電気車両の蓄電装置及び蓄電装置システムに関する。

10

【背景技術】

【0002】

近年、電気車両において架線などの外部からの電源による電気車両の運行に加えて、電気車両内部に設けられたバッテリーなどの蓄電部からの電源で電気車両を運行する方式が考えられている。

【0003】

例えば、並列蓄電装置の場合、インバータ制御の電気車両に関して、ブレーキ時の回生失効を防止する有効な手段は、インバータ入力段に並列に、蓄電装置を挿入することである。これにより、架線に返らない回生電力を吸収し、力行時に放出することができる。

20

【0004】

また、直列蓄電装置の場合、低い電圧定格（昇圧分の2倍程度）で小型に蓄電装置を構成することができる。さらに、インバータ電圧を昇圧してモータパワーを増大できるため、高速域において電気ブレーキ力を増加し、力行加速度を向上することができる。

【特許文献1】小笠、田口、上園、丸山：車載高性能電池による架線ハイブリッド回生失効防止定置試験結果：2004-12-17 電気学会研究会資料SPC-04-177

【特許文献2】関島、乾、戸田、門田、長谷部：電気二重層キャパシタを適用した直流用電力貯蔵装置の開発：2005-3-17 電気学会全国大会5-176

30

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

しかしながら、従来からの並列蓄電装置によれば、電圧定格はVVVFインバータと同等であるため、装置が大型となる。

【0006】

また、従来直列蓄電装置によれば、高速スイッチングは行わずに、通電する列を数秒オーダーで切替えていたため、安定した昇圧電圧が確保できないという問題があった。

【0007】

従って、本発明の目的は、直列蓄電装置が安定動作可能となり、蓄電媒体の電気二重層キャパシタ（EDLC）の円滑な充放電とインバータ電圧の昇圧ができ、回生失効や回生絞り込みを軽減し、回生エネルギーの一部を蓄電して力行時に再利用して電気車両の走行エネルギーを削減し、さらに省エネルギー・省保守性が向上し、力行アシスト時の時分短縮が可能な電気車両の蓄電装置及び蓄電装置システムを提供することである。

40

【課題を解決するための手段】

【0008】

上記課題を解決するため、本発明の電気車両の蓄電装置は、電源を供給する架線側のパンタグラフと、グランドである帰線側の車輪と、パンタグラフに接続されたフィルタリアクトルと、フィルタリアクトルに接続されたインバータと、フィルタリアクトルとインバ

50

ータの間に並列に接続されるフィルタコンデンサと、を備える電気車両の回路に接続される蓄電装置であって、蓄電装置は、架線側のパンタグラフと、フィルタリアクトル及びフィルタコンデンサの間に接続され、1列の短絡用の機械的スイッチと、1列の双方向スイッチと、1列以上の蓄電素子を中間に挟んだ双方向スイッチと、を並列に接続して構成される、ことを特徴とする。

【0009】

ここで、蓄電素子は、双方向スイッチの間に接続される蓄電素子コンデンサと、蓄電素子コンデンサに並列に接続され、蓄電素子コンデンサが逆極性にチャージされるのを防ぐためのダイオードと、蓄電素子コンデンサに並列に接続され、該蓄電素子に内在するインダクタンス成分によって発生する転流時の過電圧を低減するためのRCスナバと、を備え、双方向スイッチは、蓄電素子コンデンサの充電電流を制御する第1のスイッチと、蓄電素子コンデンサの放電電流を制御する第2のスイッチと、を備える。

10

【0010】

また、蓄電素子は、双方向スイッチの第1のスイッチ及び第2のスイッチとそれぞれ並列に接続されたダイオードを備える。

【0011】

また、蓄電装置は、1以上のインバータに接続される、ことができる。

【0012】

また、蓄電装置は、架線側のパンタグラフの代わりに、帰線側の車輪と、フィルタリアクトル及びフィルタコンデンサの間に接続される、ようにしてもよい。

20

【0013】

また、上記課題を解決するため、本発明の電気車両の蓄電装置システムは、電源を供給する架線側のパンタグラフと、グラウンドである帰線側の車輪と、パンタグラフに接続されたフィルタリアクトルと、フィルタリアクトルに接続されたインバータと、フィルタリアクトルとインバータの間に並列に接続されるフィルタコンデンサと、を備える電気車両の回路に接続される蓄電装置システムであって、上述の蓄電装置と、蓄電装置に接続され、1列の短絡用の機械的スイッチを開閉するための開閉信号と、昇圧電圧を決定する昇圧指令値と、力行昇圧と回生昇圧の移行を行なう動作モードと、を出力する指令値演算・シーケンス制御手段と、指令値演算・シーケンス制御手段から入力された昇圧指令値及び動作モードに基づいて、1列以上の蓄電素子のうち通電する列を決定して、適切な通流率を算出して出力する通流率制御手段と、通流率制御手段から入力された通流率に基づいて、蓄電装置の前記機械的スイッチ及び双方向スイッチを制御するゲート信号を出力するゲート制御手段と、を備える、ことを特徴とする。

30

【発明の効果】

【0014】

本発明の電気車両の蓄電装置及び蓄電装置システムによれば、EDLCとその周辺の回路構成を改良して高速スイッチング動作を可能とし、EDLCに通電する電流を通流率制御することによって、EDLCの充電量を制御し、直列蓄電装置が安定動作可能となり、蓄電媒体のEDLCの円滑な充放電とインバータ電圧の昇圧ができ、回生失効や回生絞り込みを軽減し、回生エネルギーの一部を蓄電して力行時に再利用して電気車両の走行エネルギーを削減し、さらに省エネルギー・省保守性が向上し、力行アシスト時の時分短縮が可能とすることができる。

40

【発明を実施するための最良の形態】

【0015】

以下、図面を参照して本発明の電気車両の蓄電装置及び蓄電装置システムの実施の形態を説明する。

【0016】

図1は、本発明の電気車両の蓄電装置を備える電気車両の回路を示す図である。この電気車両の回路は、電源を供給する架線側のパンタグラフ20と、グラウンドである帰線側の車輪50と、パンタグラフ20に接続されたフィルタリアクトルFL0及びフィルタコン

50

デンサFC0と、フィルタリアクトルFL0に接続された蓄電装置10と、蓄電装置10に接続されたフィルタリアクトルFLと、フィルタリアクトルFLに接続されたVVVFインバータ30と、フィルタリアクトルFLとVVVFインバータ30の間に並列に接続されるフィルタコンデンサFCと、VVVFインバータ30に接続された駆動源の主電動機40と、を備えている。また、フィルタリアクトルFL0と蓄電装置10の間の架線側とVVVFインバータ30の帰線側には他のインバータユニットや補助電源が接続される。

【0017】

ここで、フィルタリアクトルFL、フィルタコンデンサFCは、VVVFインバータ30のフィルタリアクトル、フィルタコンデンサであり、フィルタリアクトルFLとパンタグラフ20の間に蓄電装置を挿入する。基本的に1つのVVVFインバータ20につき蓄電装置10を1つ挿入するが、蓄電装置10の電流容量が許容するならば複数のVVVFインバータにつき蓄電装置10を1つとしてもよい。

10

【0018】

図1では、蓄電装置10とパンタグラフ20の間にはフィルタリアクトルFL0とフィルタコンデンサFC0が挿入されているが、なくともよい。これは、架線・帰線に流出する高調波電流が問題となる場合に、これを抑制するためのフィルタ回路である。1つのパンタグラフ20につき複数台のVVVFインバータ30が接続される場合には、フィルタリアクトルFL0とフィルタコンデンサFC0の負荷側から分岐させる。その際には、昇圧装置スイッチング用の三角波キャリアに位相差を与えることで、架線・帰線に流出する高調波電流を低減できる。

20

【0019】

また、蓄電装置10は、架線側のパンタグラフ20と、フィルタリアクトルFL及びフィルタコンデンサFCの間に接続され、短絡用の機械的スイッチLB(4列目)を1列と、双方向スイッチQ3a, Q3b(3列目)を1列と、蓄電素子(EDLC)を中間に挟んだ双方向スイッチQ2a, Q2b(2列目)及びQ1a, Q1b(1列目)を1列以上と、を並列に接続して構成される。

【0020】

ここで、蓄電素子(2列目)は、双方向スイッチQ2a, Q2bの間に接続される蓄電素子コンデンサC2と、蓄電素子コンデンサC2に並列に接続され、蓄電素子コンデンサC2が逆極性にチャージされるのを防ぐためのダイオードD2と、蓄電素子コンデンサC2に並列に接続され、該蓄電素子コンデンサC2に内在するインダクタンス成分によって発生する転流時の過電圧を低減するためのRCスナバと、を備え、双方向スイッチQ2a, Q2bは、蓄電素子コンデンサの充電電流を制御する第1のスイッチQ2aと、蓄電素子コンデンサの放電電流を制御する第2のスイッチQ2bと、を備える。また、蓄電素子は、双方向スイッチの第1のスイッチQ2a及び第2のスイッチQ2bとそれぞれ並列に接続されたダイオードD2a, D2bを備える。

30

【0021】

同様に、蓄電素子(1列目)は、双方向スイッチQ1a, Q1bの間に接続される蓄電素子コンデンサC1と、蓄電素子コンデンサC1に並列に接続され、蓄電素子コンデンサC1が逆極性にチャージされるのを防ぐためのダイオードD1と、蓄電素子コンデンサC1に並列に接続され、該蓄電素子コンデンサC1に内在するインダクタンス成分によって発生する転流時の過電圧を低減するためのRCスナバと、を備え、双方向スイッチQ1a, Q1bは、蓄電素子コンデンサの放電電流を制御する第1のスイッチQ1aと、蓄電素子コンデンサの充電電流を制御する第2のスイッチQ1bと、を備える。また、蓄電素子は、双方向スイッチの第1のスイッチQ1a及び第2のスイッチQ1bとそれぞれ並列に接続されたダイオードD1a, D1bを備える。

40

【0022】

蓄電装置10の内部は、上述のように短絡用の機械的スイッチLBを1列、双方向スイッチQ3a, Q3bを1列、蓄電素子を中間に挟んだ双方向スイッチQ2a, Q2b(Q

50

1 a , Q 1 b) を 1 列 以 上 の、 合 計 3 列 以 上 を 並 列 接 続 し て 構 成 さ れ る。 蓄 電 素 子 を 含 む 列 の 列 数 は 図 3 で は 2 列 (1 列 目、 2 列 目) と し た が、 必 要 な 蓄 電 容 量 に 応 じ て 増 減 可 能 で あ る。 増 加 し た ほ う が E D L C の 電 圧 範 囲 を 広 範 に 使 用 で き て 容 量 を 有 効 利 用 で き る が、 制 御 は 複 雑 と な り ス イ ッ チ 数 が 増 加 す る。 双 方 向 ス イ ッ チ Q 2 a , Q 2 b (Q 1 a , Q 1 b) を O N - O F F さ せ る こ と に よ り、 並 列 さ れ た 列 間 で 電 流 I b を 転 流 さ せ る。

【 0 0 2 3 】

1 列 目 を 例 に と る と、 E D L C で あ る 蓄 電 素 子 コ ン デ ン サ C 1 の 充 電 電 流 を 制 御 す る の が 第 2 ス イ ッ チ ン グ Q 1 b、 放 電 電 流 を 制 御 す る の が 第 1 ス イ ッ チ Q 1 a、 蓄 電 素 子 コ ン デ ン サ C 1 が 逆 極 性 に チャ ー ジ さ れ る の を 防 ぐ の が ダイ オ ード D 1、 素 子 コ ン デ ン サ C 1 に 内 在 す る イ ン ダ ク タ ン ス 成 分 に よ っ て 発 生 す る 転 流 時 の 過 電 圧 を 低 減 す る の が R C ス ナ バ で あ り、 こ れ は 他 の 素 子 に 付 随 す る ス ナ バ (図 3 で は 省 略) よ り 大 容 量 で あ る。

10

【 0 0 2 4 】

回 生 時 に は 1 ~ 3 列 目 の Q 1 b , Q 2 b , Q 3 b の 各 素 子 を、 力 行 時 に は 1 ~ 3 列 目 の Q 1 a , Q 2 a , Q 3 a の 各 素 子 を 適 宜 高 速 ス イ ッ チ ン グ す る こ と で 所 定 の 昇 圧 電 圧 V b を 確 保 す る。

【 0 0 2 5 】

図 2 は、 本 発 明 の 電 気 車 両 の 蓄 電 装 置 を 備 え る 電 気 車 両 の 回 路 を 示 す 図 で あ る。 図 2 に お い て、 蓄 電 装 置 1 0 は、 V V V F イ ン バ ー タ 3 0 の 架 線 側 で は な く、 帰 線 側 に 挿 入 す る。 こ れ に よ り、 蓄 電 装 置 の 対 地 絶 縁 耐 圧 を 下 げ る こ と が で き る。

【 0 0 2 6 】

図 3 は、 本 発 明 の 電 気 車 両 の 蓄 電 装 置 シ ス テ ム を 備 え る 電 気 車 両 の 回 路 を 示 す 図 で あ る。 図 3 に お い て、 こ の 蓄 電 装 置 シ ス テ ム は、 図 1 に 示 し た 電 気 車 両 の 回 路 の 蓄 電 装 置 1 0 に 接 続 さ れ、 1 列 の 短 絡 用 の 機 械 的 ス イ ッ チ L B を 開 閉 す る た め の 開 閉 信 号 と、 昇 圧 電 圧 を 決 定 す る 昇 圧 指 令 値 V b r e f と、 力 行 昇 圧 と 回 生 昇 圧 の 移 行 を 行 な う 動 作 モ ー ド と、 を 出 力 す る 指 令 値 演 算 ・ シ ー ケ ン ス 制 御 部 6 0 と、 指 令 値 演 算 ・ シ ー ケ ン ス 制 御 部 6 0 か ら 入 力 さ れ た 昇 圧 指 令 値 V b r e f 及 び 動 作 モ ー ド に 基 づ い て、 1 列 以 上 の 蓄 電 素 子 (E D L C) の う ち 電 圧 を 通 流 さ せ る 蓄 電 素 子 (E D L C) を 決 定 し て 通 流 率 d 1 a , d 2 a , d 3 a , d 1 b , d 2 b , d 3 b (制 御 周 期 に 対 す る ゲ ー ト オ ン 時 間 の 割 合 : d 1 a は ス イ ッ チ Q 1 a、 d 2 a は ス イ ッ チ Q 2 a、 d 3 a は ス イ ッ チ Q 3 a、 d 1 b は ス イ ッ チ Q 1 b、 d 2 b は ス イ ッ チ Q 2 b、 d 3 b は ス イ ッ チ Q 3 b を 制 御 す る) を 算 出 し て 出 力 す る 通 流 率 制 御 部 7 0 と、 通 流 率 制 御 部 7 0 か ら 入 力 さ れ た 通 流 率 d 1 a , d 2 a , d 3 a , d 1 b , d 2 b , d 3 b に 基 づ い て、 蓄 電 装 置 1 0 の 機 械 的 ス イ ッ チ L B 及 び 双 方 向 ス イ ッ チ Q 1 a , Q 2 a , Q 3 a , Q 1 b , Q 2 b , Q 3 b を 制 御 す る ゲ ー ト 信 号 を 出 力 す る ゲ ー ト 制 御 部 8 0 と、 を 備 え る。

20

30

【 0 0 2 7 】

こ こ で、 指 令 値 演 算 ・ シ ー ケ ン ス 制 御 部 6 0 で は、 架 線 側 電 流 I b、 架 線 電 圧 V p、 V V V F イ ン バ ー タ 電 圧 指 令 値 V i n v、 1 列 目 蓄 電 素 子 (E D L C) 電 圧 V 1、 2 列 目 蓄 電 素 子 (E D L C) 電 圧 V 2 を 入 力 と し、 機 械 的 ス イ ッ チ L B (4 列 目) の 開 閉 を 制 御 す る L B 開 閉 指 令、 蓄 電 装 置 1 0 へ の 昇 圧 指 令 値 V b r e f お よ び 動 作 モ ー ド を 出 力 す る。

【 0 0 2 8 】

通 流 率 制 御 部 7 0 で は、 昇 圧 指 令 値 V b r e f、 動 作 モ ー ド、 1 列 目 蓄 電 素 子 (E D L C) 電 圧 V 1、 2 列 目 蓄 電 素 子 (E D L C) 電 圧 V 2、 架 線 側 電 流 I b を 入 力 と し、 通 流 率 d 1 a ~ d 3 b を 決 定 す る。

40

【 0 0 2 9 】

ゲ ー ト 駆 動 部 8 0 は、 通 流 率 制 御 部 7 0 か ら の 通 流 率 d 1 a ~ d 3 b に 基 づ き、 ゲ ー ト 信 号 を 蓄 電 装 置 1 0 へ 発 生 す る。

【 0 0 3 0 】

こ こ で、 車 両 1 編 成 に 複 数 台 の 蓄 電 装 置 1 0 を 搭 載 す る 場 合 は、 動 作 モ ー ド と 昇 圧 電 圧 指 令 値 V b r e f が 同 一 と な る よ う に 動 作 協 調 す る。

【 0 0 3 1 】

50

図4は、指令値演算・シーケンス制御部60からの動作モードの遷移図を示す。動作モードの決定を以下に説明する。各モード毎に、点弧する素子や、昇圧指令値 V_{bref} 、通流率算出式が異なる。

【0032】

遷移条件は、EDLC電圧 V_1 、 V_2 と架線側電流 I_b である。EDLC電圧 V_1 、 V_2 が中間領域にある場合、架線側電流 I_b を監視して回生電流($I_b <$)を検知すれば回生昇圧に遷移し、電流がなくなれば待機モードに遷移する。力行電流($I_b >$)を検知すれば力行昇圧に遷移して、電流がなくなれば待機状態に遷移する。

【0033】

EDLC電圧 V_1 、 V_2 は、常に $V_1 > V_2$ となるように制御する。 $V_1 < V_2$ となった場合は、1列目と2列目を入れ替えて考えれば、同一の制御が適用できる。力行昇圧モードではEDLCの放電が進み、 $V_1 < V_{1min}$ (V_1 の所定の最小値)となると待機モードに遷移する。次に昇圧モードとなる場合に、 V_{1min} 以上の昇圧電圧を即座に確保するために、 V_{1min} 以下には放電しない。

10

【0034】

回生昇圧モードでEDLCの充電が進み、 V_{max} (EDLC電圧 V_1 、 V_2 の所定の最大値) $< V_1$ 且つ $V_{max} < V_2$ となると、待機モードに遷移する。これは過充電を避けるためである。なお、定期的にEDLCの列を入れ替えて制御することにより、使用程度に差が生じない工夫が可能である。これを容易にするため、各列のEDLC容量は同一が望ましい。

20

【0035】

待機モードは、機械的スイッチLBを閉じて装置を短絡するため、蓄電装置10の非設置と同等な状態となる。回生昇圧モードでは昇圧しながらEDLCの充電、力行昇圧モードでは昇圧しながらEDLCの放電を行う。なお、すべてのモード遷移条件にはヒステリシスを設け、不必要にモードが遷移するハンチングを避ける。

【0036】

図4において、具体例としては、 I_b は -30 [A]程度、 V_{max} はVVVFインバータ30が特性領域(1パルスモード)に移行する少し前に対応した電流値であり、VVVFインバータ特性に応じて決定される。昇圧効果がない多パルスモードでは昇圧せず、1パルスモードから昇圧するための条件であり、厳密に設定しなくてよい。また、 V_{max} はキャパシタの電圧定格と余裕を考慮して決定する。 V_{min} はこれ以下には放電せず、常時残しておきたい電圧値とする。

30

【0037】

図5は、昇圧電圧指令値 V_{bref} の演算方法を示す図である。VVVFインバータ電圧指令値 V_{invr} は、力行昇圧モード、回生昇圧モードそれぞれに固有の値である。例えば、力行昇圧モードでは 1800 [V]、回生昇圧モードでは 1900 [V]等と定める。これらと架線電圧 V_p の差分(V_{bref}')にRIDロップ補償部61で架線側電流 I_b 及び R_d (EDLC、スイッチング素子、フィルタリアクトル等の等価抵抗)などでRIDロップ補償を施し、昇圧電圧指令値 V_{bref} が0~昇圧電圧指令値最大値(V_{bref_max})の範囲内になるようにリミッタ62を介し、ソフトスタート・ストップ63の制御によって出力されたものが昇圧電圧指令値 V_{bref} となる。

40

【0038】

リミッタ62は、 0 [V]~ V_{bref_max} [V]に設定する。 V_{bref_max} は、蓄電装置10への要求によって様々であるが、既存のインバータ車両への適用を前提とした場合は 200 [V]~ 400 [V]程度と考えられる。また、ソフトスタート・ストップ63のランプ関数は0~1の値を出力し、立上がり・立下り時間は 0.2 [秒]前後とする。これによってモードが変化した際の昇圧電圧 V_b の変化を滑らかとし、リアクトルFLとコンデンサFCの共振発生を防止する。

【0039】

次に、図1に基づいて、昇圧原理を述べる。簡単のため、EDLCの内部抵抗やインダ

50

クタンズは無視し、スイッチング素子 $Q1a \sim Q3b$ を理想スイッチと扱い、1制御周期の間に1列目EDLC電圧 $V1$ 、1列目EDLC電圧 $V2$ 、昇圧電圧 Vb は一定と仮定する。1制御周期は三角波キャリアの周期と同期し、ゲート信号は三角波キャリア比較方式で出力する。すると、コンデンサ $C1$ に通流する期間はフィルタリアクトル電圧 $Vb0 = V1$ 、コンデンサ $C2$ に通流する期間はフィルタリアクトル電圧 $Vb0 = V2$ 、双方向スイッチに通流する期間はフィルタリアクトル電圧 $Vb0 = 0$ となる。フィルタリアクトル FL の作用によって、定常的にはフィルタリアクトル電圧 $Vb0$ の時間平均値が昇圧電圧 Vb となるため、次に示す<式1>が成立する。通流率 d^* は、 $0 < d^* < 1$ の値をとる。

【0040】

10

<式1>

回生時： $Vb = d1b \times V1 + d2b \times V2 + d3b \times 0$

(但し、 $d1b + d2b + d3b = 1$)

力行時： $Vb = d1a \times V1 + d2a \times V2 + d3a \times 0$

(但し、 $d1a + d2a + d3a = 1$)

これらより、昇圧電圧 Vb の出力可能範囲は、 $0 < Vb < \max(V1, V2)$ である。

【0041】

通流率の決定は、まずEDLCの電圧 $V1$ 、 $V2$ に応じて通流させる列を1～2列に決定する。これには、EDLCの過電圧を避けること、所要電圧を出力可能なこと、各EDLCが望ましい充放電経過をたどることを考慮して決定する。次に<式1>の関係をを用いて、 $Vbref = Vb$ となるように演算する。例として、回生時に1列目と2列目に通流させる場合は、 $d3b = 0$ 、 $Vbref = Vb$ を代入し、次のように求まる。

20

<式2>

$Vbref = (1 - d2b) \times V1 + d2b \times V2$

従って、

$d2b = (V1 - Vbref) / (V1 - V2)$

【0042】

図6～11は、回生昇圧モードと力行昇圧モードにおける電流経路を示す図である。上述において、 $d1b = 1 - d2b$ と求まるが、ゲート制御を容易にするために $d1b = 1$ とする。これによってスイッチ $Q2b$ がOFFの期間は必ずスイッチ $Q1b$ に通流できるようにする。他方、常に $V1 > V2$ となるよう制御するため、 $Q2b$ がONの期間は必ず第2列に通流する。つまり、 $d1b = 1$ としても実質的な通流率は $d1b = 1 - d2b$ となり、なおかつ必ずいずれかの列が通流可能となる(図6、図7参照)。

30

【0043】

以下、図6～8を参照して、回生昇圧モードにおける電流経路を説明する。図6において、スイッチ $Q1b$ がONとなっているときに、スイッチ $Q2b$ をONすると、 $V1 > V2$ のため、1列目の電流は減少し、2列目に自然転流する(図7)。 $Q2b$ をOFFすると、強制転流によって図6の状態に戻る。この際、 $V2$ 、 $V1$ にはサージ電圧が現れる。次に、図7においてスイッチ $Q3b$ をONすると、 $V2 > 0$ のため、2列目の電流は減少し、3列目に自然転流する(図8)。ここで、スイッチ $Q3b$ をOFFすると、強制転流によって図7の状態に戻る。この際、 $V2$ にはサージ電圧が現れる。

40

【0044】

次に図9～11を参照して、力行昇圧モードにおける電流経路を説明する。図9において、スイッチ $Q3a$ がONとなっているときに、スイッチ $Q2a$ をONすると、 $V2 > 0$ のため、3列目の電流は減少し、2列目に自然転流する(図10)。スイッチ $Q2a$ をOFFすると、強制転流によって図9の状態に戻る。この際、 $V2$ にはサージ電圧が現れる。次に、スイッチ $Q2a$ がON(図10)となっているときに、 $Q1a$ をONすると、 $V1 < V2$ のため、2列目の電流は減少し、1列目に自然転流する(図11)。ここで、スイッチ $Q1a$ をOFFすると、強制転流によって図10の状態に戻る。この際、 $V1$ 、 $V2$ にはサージ電圧が現れる。

50

【 0 0 4 5 】

図 1 2 は、通流率演算式を整理した図である。図 1 2 (A) は、回生昇圧モードにおける通流率演算を、図 1 2 (B) は、力行昇圧モードにおける通流率演算を示す。矢印は、蓄電や放電が進む経過を示している。塗りつぶした矢印が望ましい経過である。図 1 2 (A) において 印を付した領域では、所定の昇圧電圧が出力できないため、この領域は避けるべきである。

【 0 0 4 6 】

E D L C 列が 3 列以上の場合、充放電経過に応じて通電対象の列を 2 列選定することで、本提案の通流率制御を準用可能である。また、1 列のみの場合には V 2 を無視して V 1 のみに着目し、本提案の通流率制御を適用可能である。

10

【 0 0 4 7 】

図 1 3 は、回生昇圧モードで、 $V_{bref} < V_1$ 、 $V_2 < V_{bref}$ の場合の各部波形の概略である。図 1 3 (A) は、ゲート制御、(B) は、ゲート信号、(C) は E D L C 電流、(D) は、E D L C 電圧を示す。以下、ゲート駆動部 8 0 の動作について説明する。図 1 3 (A)、(B) に示すように、ゲート信号は三角波比較によって生成する。三角波 V_{tri} の周波数は、数百 [Hz] ~ 1 0 0 0 [Hz] 程度が妥当と考えられ、E D L C の発熱や高調波電流の許容値等を考慮して決定する必要がある。制御周期は三角波と同期させるのが望ましい。

【 0 0 4 8 】

図 1 3 (C) に示すように、1 列目と 2 列目に交互に通流し、V 1、V 2 を交互に充電して行く。この際、出力電圧 V b は指令値 V_{bref} と等しくなるよう制御されている。

20

【 0 0 4 9 】

以上のように、本発明の電気車両の蓄電装置及び蓄電装置システムによれば、E D L C とその周辺の回路構成を改良して高速スイッチング動作を可能とし、E D L C に通電する電流を通流率制御することによって、E D L C の充電量を制御し、直列蓄電装置が安定動作可能となり、蓄電媒体の E D L C の円滑な充放電とインバータ電圧の昇圧ができ、回生失効や回生絞り込みを軽減し、回生エネルギーの一部を蓄電して力行時に再利用して電気車両の走行エネルギーを削減し、さらに省エネルギー・省保守性が向上し、力行アシスト時の時分短縮が可能とすることができる。

【 図面の簡単な説明 】

30

【 0 0 5 0 】

【 図 1 】 本発明の電気車両の蓄電装置を備える電気車両の回路を示す図である。

【 図 2 】 本発明の電気車両の蓄電装置を備える電気車両の回路を示す図である。

【 図 3 】 本発明の電気車両の蓄電装置システムを備える電気車両の回路を示す図である。

【 図 4 】 指令値演算・シーケンス制御部 6 0 からの動作モードの遷移図を示す。

【 図 5 】 昇圧電圧指令値 V_{bref} の演算方法を示す図である。

【 図 6 】 回生昇圧モードにおける電流経路を示す図である。

【 図 7 】 回生昇圧モードにおける電流経路を示す図である。

【 図 8 】 回生昇圧モードにおける電流経路を示す図である。

【 図 9 】 力行昇圧モードにおける電流経路を示す図である。

40

【 図 1 0 】 力行昇圧モードにおける電流経路を示す図である。

【 図 1 1 】 力行昇圧モードにおける電流経路を示す図である。

【 図 1 2 】 通流率演算式を整理した図である。

【 図 1 3 】 回生昇圧モードで、 $V_{bref} < V_1$ 、 $V_2 < V_{bref}$ の場合の各部波形の概略である。

【 符号の説明 】

【 0 0 5 1 】

1 0 蓄電装置

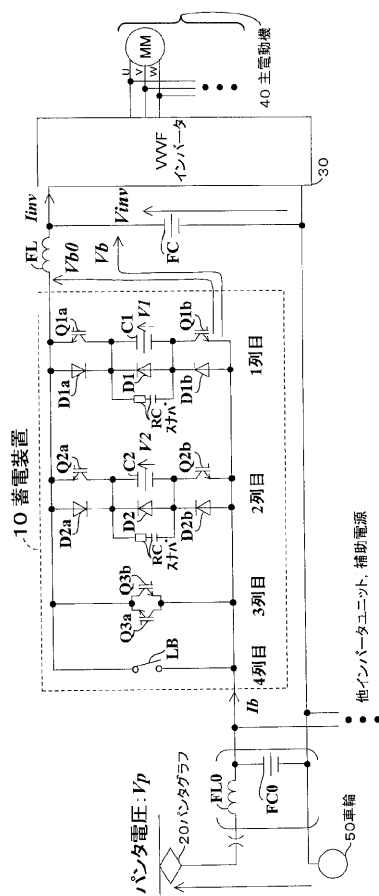
2 0 パンタグラフ

3 0 V V V F インバータ

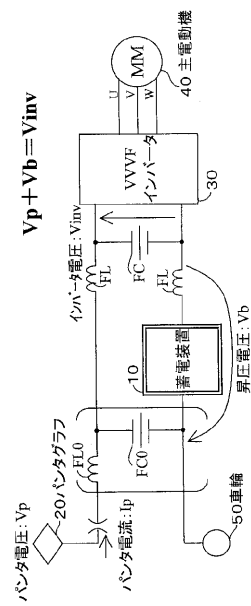
50

- 4 0 主電動機
- 5 0 車輪
- 6 0 指令値演算・シーケンス制御部
- 6 1 R Iドロップ補償部
- 6 2 リミッタ
- 6 3 ソフトスタート・ストップ
- 7 0 流通制御部
- 8 0 ゲート駆動部

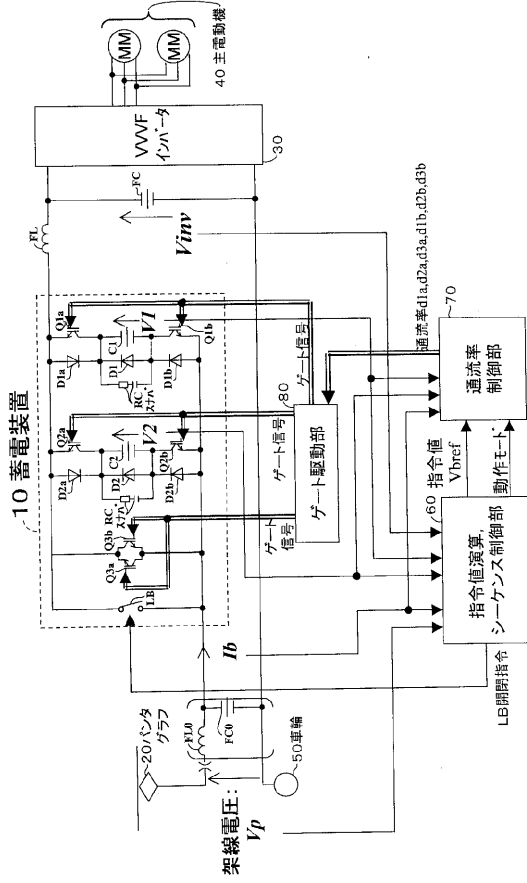
【 図 1 】



【 図 2 】



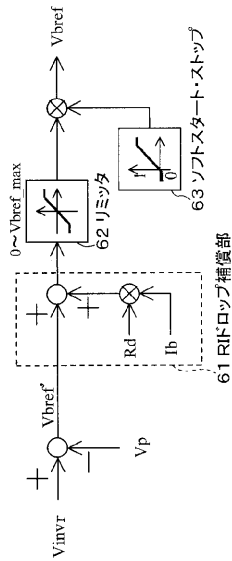
【 図 3 】



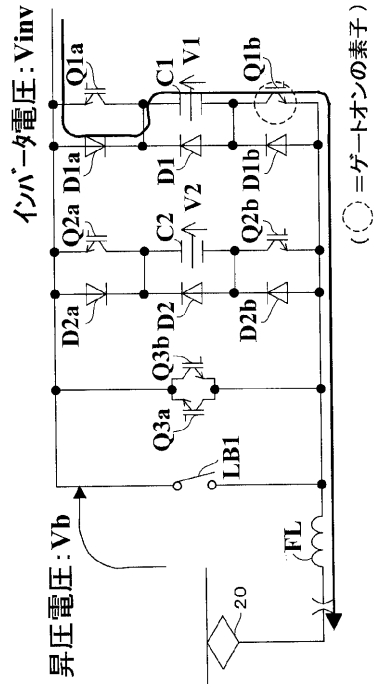
【 図 4 】

$V1, V2$	$V1 < V1min$	$V1min < V1$ かつ $V2 < Vmax$	$Vmax < V2$ かつ $Vmax < V1$
lb	待機	力行昇圧	力行昇圧
$(0 <) \beta < lb$	待機	待機	待機
$\alpha < lb < \beta$	待機	待機	待機
$lb < \alpha (< 0)$	回生昇圧	回生昇圧	待機

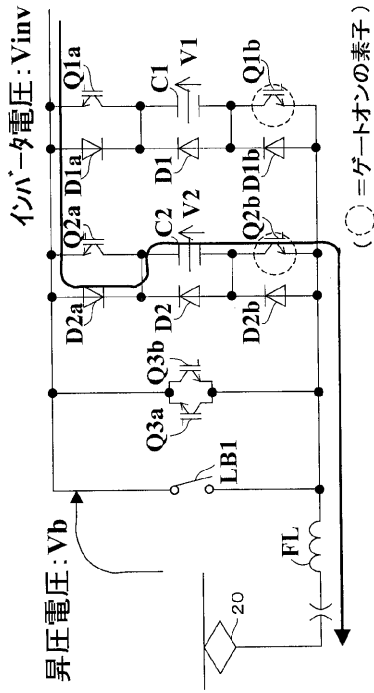
【 図 5 】



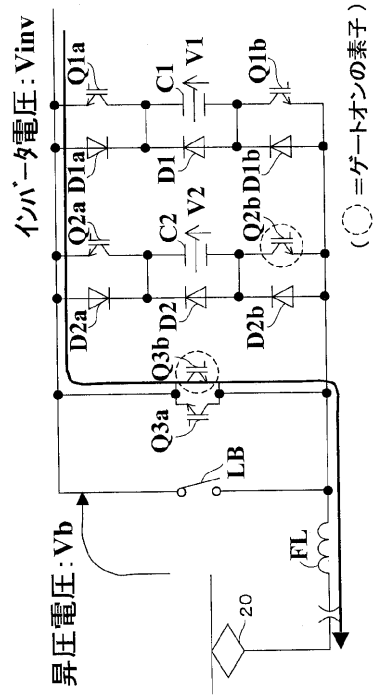
【 図 6 】



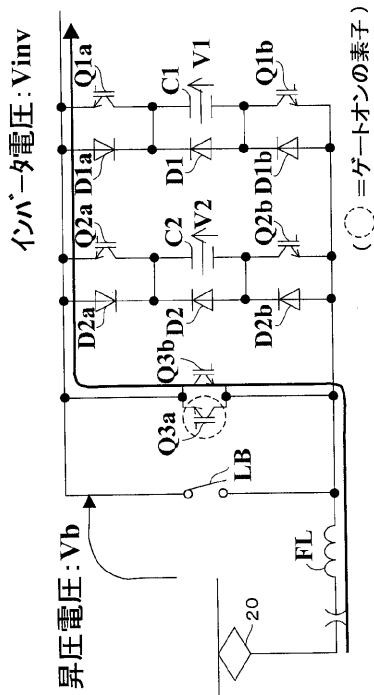
【 図 7 】



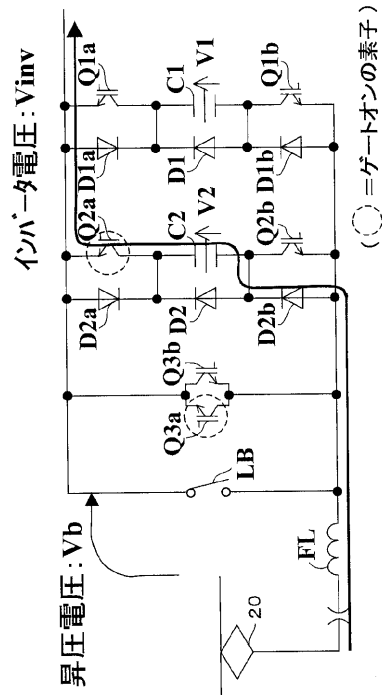
【 図 8 】



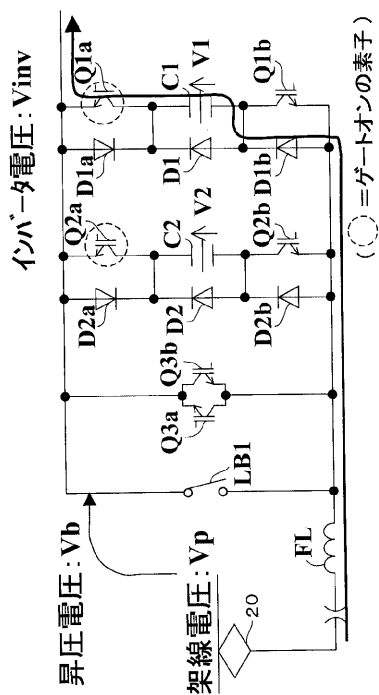
【 図 9 】



【 図 10 】



【 図 1 1 】



【 図 1 2 】

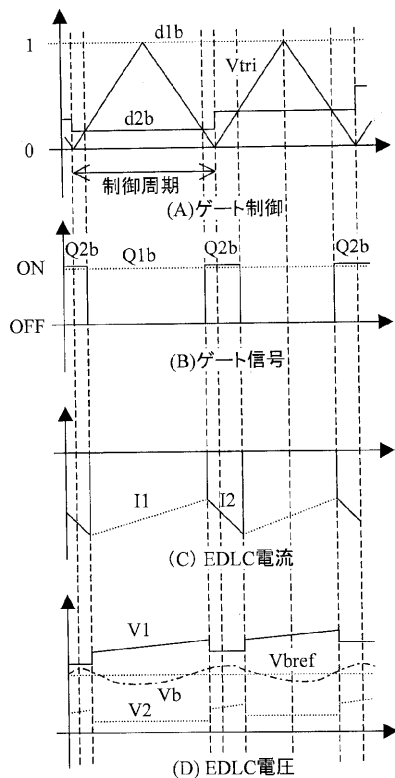
$V1$	$V2$	$\sim V_{bref}$	$V_{bref} \sim V_{max}$	$V_{max} \sim$
$V_{max} \sim$	$V_{bref} \sim V_{max}$	$\sim V_{bref}$	$V_{bref} \sim V_{max}$	$V_{max} \sim$
$V_{bref} \sim V_{max}$	$\sim V_{bref}$	$\sim V_{bref}$	$V_{bref} \sim V_{max}$	$V_{max} \sim$
$\sim V_{bref}$	$\sim V_{bref}$	$\sim V_{bref}$	$V_{bref} \sim V_{max}$	$V_{max} \sim$

(A)

$V1$	$V2$	$\sim V_{bref}$	V_{bref}	V_{bref}
$V_{min} \sim$	V_{min}	$\sim V_{bref}$	V_{min}	V_{bref}
$\sim V_{min}$	$\sim V_{min}$	$\sim V_{bref}$	V_{min}	V_{bref}
$\sim V_{min}$	$\sim V_{min}$	$\sim V_{bref}$	V_{min}	V_{bref}

(B)

【 図 1 3 】



フロントページの続き

(72)発明者 秦 広

東京都国分寺市光町二丁目8番地38 財団法人 鉄道総合技術研究所内

(72)発明者 平元 忠雄

大阪府大阪市北区芝田二丁目4番24号 西日本旅客鉄道株式会社内

(72)発明者 真野 辰哉

大阪府大阪市北区芝田二丁目4番24号 西日本旅客鉄道株式会社内

Fターム(参考) 5G003 AA01 BA04 DA04 DA16 FA04 FA06 GB06

5H115 PA11 PC02 PG01 P116 P129 P017 PU08 PV02 PV09 PV27

QE08 QH03 QI04 RB25 SE06 T013 TR02 TR14