

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5919092号
(P5919092)

(45) 発行日 平成28年5月18日(2016.5.18)

(24) 登録日 平成28年4月15日(2016.4.15)

(51) Int.Cl.

B60M 3/06 (2006.01)

F1

B60M 3/06

B

請求項の数 18 (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願2012-118887 (P2012-118887)	(73) 特許権者	000005108
(22) 出願日	平成24年5月24日(2012.5.24)		株式会社日立製作所
(65) 公開番号	特開2013-244799 (P2013-244799A)		東京都千代田区丸の内一丁目6番6号
(43) 公開日	平成25年12月9日(2013.12.9)	(74) 代理人	110000350
審査請求日	平成27年2月9日(2015.2.9)		ポレール特許業務法人
		(72) 発明者	伊藤 智道
			茨城県日立市大みか町七丁目1番1号 株
			式会社日立製作所 日立研究所内
		(72) 発明者	阪東 明
			茨城県日立市大みか町五丁目2番1号 株
			式会社日立製作所 情報制御システム社内
		(72) 発明者	伊藤 直人
			茨城県日立市大みか町五丁目2番1号 株
			式会社日立製作所 情報制御システム社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 電力貯蔵式回生電力吸収装置およびその制御方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

直流き電区間のき電線とレールの間に接続された電力変換装置と、該電力変換装置に接続された電力貯蔵要素とを備え、

電力貯蔵要素の充放電によりき電線電圧を第1の範囲内に制御する電圧制御モードと、前記き電線電圧が前記第1の範囲内にありかつ電力貯蔵要素の充電率が第2の範囲外にあるときに該充電率を前記第2の範囲内に近づけるように制御する充電率制御モードにより前記電力変換装置に与えるゲート信号を制御する電力貯蔵式回生電力吸収装置であって、

前記電圧制御モードと前記充電率制御モードとの切り替わりに伴い、前記電力貯蔵要素の充放電が切り替わる段階において、前記電力変換装置に与えるゲート信号をオフにするサプレスマードを備えることを特徴とする電力貯蔵式回生電力吸収装置。

10

【請求項2】

請求項1記載の電力貯蔵式回生電力吸収装置において、

前記き電線電圧と前記充電率とから、電圧制御モードと充電率制御モードの切り替えを定める切り替え手段を備えることを特徴とする電力貯蔵式回生電力吸収装置。

【請求項3】

請求項1記載の電力貯蔵式回生電力吸収装置において、

電圧制御モードは、高すぎるき電線電圧を、電力吸収開始電圧まで引き下げるための第1の電圧制御モードと低すぎるき電線電圧を、電力放電運転開始電圧まで引き上げるための第2の電圧制御モードを備え、

20

充電率制御モードは、充電率が第1の充電率よりも高いときに放電を行う第1の充電率制御モードと前記第1の充電率よりも低い第2の充電率よりも低いときに充電を行う第2の充電率制御モードとを備え、

前記第1の電圧制御モードから前記第1の充電率制御モードに切り替わる段階、及び前記第2の電圧制御モードから前記第2の充電率制御モードに切り替わる段階において、前記電力変換装置に与えるゲート信号をオフにするサプレスマードを備えることを特徴とする電力貯蔵式回生電力吸収装置。

【請求項4】

請求項1乃至請求項3のいずれか1項に記載の電力貯蔵式回生電力吸収装置において、前記サプレスマードの実行期間は、前記電線電圧の変化幅により定められることを特徴とする電力貯蔵式回生電力吸収装置。

10

【請求項5】

請求項1乃至請求項3のいずれか1項に記載の電力貯蔵式回生電力吸収装置において、前記サプレスマードの実行期間は、予め定めた継続時間により定められることを特徴とする電力貯蔵式回生電力吸収装置。

【請求項6】

請求項1乃至請求項5のいずれか1項に記載の電力貯蔵式回生電力吸収装置において、前記電線電圧と前記充電率との関係において、前記サプレスマードを実行する領域は、前記充電率が高いほど高い前記電線電圧により定められていることを特徴とする電力貯蔵式回生電力吸収装置。

20

【請求項7】

請求項1乃至請求項6のいずれか1項に記載の電力貯蔵式回生電力吸収装置において、前記電線電圧が前記第1の範囲内にありかつ電力貯蔵要素の充電率が第2の範囲内にあるときに前記電力変換装置に与えるゲート信号をオフにすることを特徴とする電力貯蔵式回生電力吸収装置。

【請求項8】

請求項7に記載の電力貯蔵式回生電力吸収装置において、前記第1の範囲と前記第2の範囲は、それぞれ一定値の電線電圧とそれぞれ一定の充電率により設定されていることを特徴とする電力貯蔵式回生電力吸収装置。

【請求項9】

30

直流電区間の電線とレールの間に接続された電力変換装置と、該電力変換装置に接続された電力貯蔵要素とを備え、

電力貯蔵要素の充放電により電線電圧を第1の範囲内に制御する電圧制御モードと、前記電線電圧が前記第1の範囲内にありかつ電力貯蔵要素の充電率が第2の範囲外にあるときに該充電率を前記第2の範囲内に近づけるように制御する充電率制御モードにより前記電力変換装置に与えるゲート信号を制御する電力貯蔵式回生電力吸収装置であって、

前記電圧制御モードと前記充電率制御モードとの切り替わりに伴い、前記電力貯蔵要素の充放電が切り替わる段階において、前記電力変換装置は運転停止状態を経ることを特徴とする電力貯蔵式回生電力吸収装置。

【請求項10】

40

直流電区間の電線とレールの間に接続された電力変換装置と、該電力変換装置に接続された電力貯蔵要素とを備えた電力貯蔵式回生電力吸収装置の制御方法であって、

前記電力貯蔵要素の充放電により電線電圧を第1の範囲内に制御する電圧制御モードと、前記電線電圧が前記第1の範囲内にありかつ電力貯蔵要素の充電率が第2の範囲外にあるときに該充電率を前記第2の範囲内に近づけるように制御する充電率制御モードを有し、

前記電圧制御モードと前記充電率制御モードとの切り替わりに伴い、前記電力貯蔵要素の充放電が切り替わる段階において、前記電力変換装置に与えるゲート信号をオフにするサプレスマードを備えることを特徴とする電力貯蔵式回生電力吸収装置の制御方法。

【請求項11】

50

請求項 1 0 記載の電力貯蔵式回生電力吸収装置の制御方法において、

前記電線電圧と前記充電率とから、電圧制御モードと充電率制御モードの切り替えを定めることを特徴とする電力貯蔵式回生電力吸収装置の制御方法。

【請求項 1 2】

請求項 1 0 記載の電力貯蔵式回生電力吸収装置の制御方法において、

電圧制御モードは、高すぎる電線電圧を、電力吸収開始電圧まで引き下げるための第 1 の電圧制御モードと低すぎる電線電圧を、電力放電運転開始電圧まで引き上げるための第 2 の電圧制御モードを備え、

充電率制御モードは、充電率が第 1 の充電率よりも高いときに放電を行う第 1 の充電率制御モードと前記第 1 の充電率よりも低い第 2 の充電率よりも低いときに充電を行う第 2 の充電率制御モードとを備え、

前記第 1 の電圧制御モードから前記第 1 の充電率制御モードに切り替わる段階、及び前記第 2 の電圧制御モードから前記第 2 の充電率制御モードに切り替わる段階において、前記電力変換装置に与えるゲート信号をオフにするサブレスモードを備えることを特徴とする電力貯蔵式回生電力吸収装置の制御方法。

【請求項 1 3】

請求項 1 0 乃至請求項 1 2 のいずれか 1 項に記載の電力貯蔵式回生電力吸収装置の制御方法において、

前記サブレスモードの実行期間は、前記電線電圧の変化幅により定められることを特徴とする電力貯蔵式回生電力吸収装置の制御方法。

【請求項 1 4】

請求項 1 0 乃至請求項 1 2 のいずれか 1 項に記載の電力貯蔵式回生電力吸収装置の制御方法において、

前記サブレスモードの実行期間は、予め定めた継続時間により定められることを特徴とする電力貯蔵式回生電力吸収装置の制御方法。

【請求項 1 5】

請求項 1 0 乃至請求項 1 4 のいずれか 1 項に記載の電力貯蔵式回生電力吸収装置の制御方法において、

前記電線電圧と前記充電率との関係において、前記サブレスモードを実行する領域は、前記充電率が高いほど高い前記電線電圧により定められていることを特徴とする電力貯蔵式回生電力吸収装置の制御方法。

【請求項 1 6】

請求項 1 0 乃至請求項 1 5 のいずれか 1 項に記載の電力貯蔵式回生電力吸収装置の制御方法において、

前記電線電圧が前記第 1 の範囲内にありかつ電力貯蔵要素の充電率が第 2 の範囲内にあるときに前記電力変換装置に与えるゲート信号をオフにすることを特徴とする電力貯蔵式回生電力吸収装置の制御方法。

【請求項 1 7】

請求項 1 6 に記載の電力貯蔵式回生電力吸収装置の制御方法において、

前記第 1 の範囲と前記第 2 の範囲は、それぞれ一定値の電線電圧とそれぞれ一定の充電率により設定されていることを特徴とする電力貯蔵式回生電力吸収装置の制御方法。

【請求項 1 8】

直流電区間の電線とレールの間に接続された電力変換装置と、該電力変換装置に接続された電力貯蔵要素とを備えた電力貯蔵式回生電力吸収装置の制御方法であって、

電力貯蔵要素の充放電により電線電圧を第 1 の範囲内に制御する電圧制御モードと、前記電線電圧が前記第 1 の範囲内にありかつ電力貯蔵要素の充電率が第 2 の範囲外にあるときに該充電率を前記第 2 の範囲内に近づけるように制御する充電率制御モードを備え、

前記電圧制御モードと前記充電率制御モードとの切り替わりに伴い、前記電力貯蔵要素の充放電が切り替わる段階において、前記電力変換装置は運転停止状態を経ることを特徴

10

20

30

40

50

とする電力貯蔵式回生電力吸収装置の制御方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、車両減速時に車両からの回生電力を充電し、車両加速時に放電する蓄電池を用いた回生電力吸収装置およびその制御方法に係り、特にDC/DC電力変換器を介して蓄電池に充放電する電力を制御する電力貯蔵式回生電力吸収装置およびその制御方法に関する。

【背景技術】

【0002】

直流の電気鉄道システムは、送電網であるき電線とレール、交流系統の電力を直流に変換して直流電力をき電線に供給する整流器、そして車両により構成される。

【0003】

近年、電気鉄道システムでは、省エネを目的とし、車両減速時に車両の運動エネルギーをインバータにより電力に変換し（回生電力）、送電線であるき電線に送電する回生車両の導入が増えている。車両は加速時に同一のき電線より直流電力を得るため、他の車両の回生電力の一部は加速のために活用可能であり、エネルギーの有効活用が可能である。

【0004】

しかしながら、回生電力を消費する加速車両が該回生電力を発生する他の車両の近くにいない場合、回生車両のフィルタコンデンサが充電され、回生車両のパンタグラフ点電圧が上昇する。この電圧上昇が著しい場合、車両を過電圧から保護するために、減速中の車両は減速手段を回生ブレーキから機械ブレーキに変更する。そのため、乗り心地が悪化し、機械ブレーキの摩耗が進むことになる。

【0005】

特許文献1には、余剰電力を電力貯蔵要素に貯蔵し、車両加速時のエネルギーとして放電する方法が記載されている。この方法によれば、余剰電力を電力貯蔵要素に貯蔵するので、回生車両のフィルタコンデンサの充電に伴うパンタグラフ点電圧上昇の問題を回避できる。また車両間での電力融通の自由度を高くすることができる。

【0006】

また具体的な運転方法に関して特許文献2には、き電線電圧と蓄電池の充電率により運転モードを切り替え、き電線電圧の安定化と電池充電率制御を両立する方法が開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0007】

【特許文献1】特開平11-91415号

【特許文献2】特許第4238190号

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

回生電力吸収装置が特許文献2で開示される運転方法にて運用された場合、電圧制御を実施する領域と、充電率制御を実施する領域の間でハンチングを起こす可能性がある。

【0009】

この場合の具体的なハンチング発生原理は、以下のように説明できる。

【0010】

充電率制御では電池はき電線電圧の状態に依存せず、充電率SOCとその指令値SOC_{ref}の偏差により決まる放電電流指令値に応じて放電する。

【0011】

上記特許文献2の図2に示される電圧制御（充電）領域と充電率制御領域の境界付近にき電線電圧Vsが位置した場合、充電率制御が実施されると、充電率SOCの値により定

10

20

30

40

50

められる放電電力により、き電線電圧 V_s が持ち上げられる。き電線電圧 V_s が設定電圧 V_{abs} より高くなると、制御が電圧制御（充電）に切り替えられ、き電線からの充電が始まり、き電線電圧 V_s が下がる。き電線電圧 V_s が設定電圧 V_{abs} より低くなると、再び充電率制御が実施される。

以上の原理により、運転状態が電圧制御（充電）と充電率制御（放電）との間を行き来し、制御的なハンチングが起きる。

【0012】

上記ハンチングを繰り返すことにより、き電線にはDC/DC電力変換器のスイッチング周波数と無関係な非論理リプル電流が流出し、車両信号系に重畳するノイズが増える虞がある。この結果、電池には不要な充放電が繰り返されることになり、電池内部温度上昇で寿命が短くなる可能性がある。

10

【0013】

さらに、DC/DC電力変換器では、き電線電圧安定化にも充電率制御にも寄与しない運転が継続し、その間もスイッチング損失が発生することから、DC/DC電力変換器の不要な温度上昇を引き起こすことになる。これは、そのまま電力貯蔵式回生電力吸収装置における損失であり、この損失は無視できない大きさである。

【0014】

以上のことから本発明においては、き電線電圧の安定化、蓄電池の過充電・過放電防止、さらに制御ハンチングを防止してDC/DC電力変換器の不要な損失発生を回避することができる電力貯蔵式回生電力吸収装置およびその制御方法を提供することを目的とする。

20

【課題を解決するための手段】

【0015】

電圧制御領域と充電率制御領域の間に、DC/DC電力変換器のスイッチングを停止させるサプレス領域を設ける。

【0016】

具体的には、直流き電区間のき電線とレールの間に接続された電力変換装置と、電力変換装置に接続された電力貯蔵要素とを備え、電力貯蔵要素の充放電によりき電線電圧を第1の範囲内に制御する電圧制御モードと、き電線電圧が前記第1の範囲内にありかつ電力貯蔵要素の充電率が第2の範囲外にあるときに充電率を第2の範囲内に近づけるように制御する充電率制御モードにより電力変換装置に与えるゲート信号を制御する電力貯蔵式回生電力吸収装置であって、電圧制御モードから充電率制御モードに切り替わる段階において、電力変換装置に与えるゲート信号をオフにするサプレスモードを備える。

30

【発明の効果】

【0017】

本発明によれば、制御ハンチングを防止することができる。また、DC/DC電力変換器の不要な温度上昇を回避できる。さらに、き電線への非論理ノイズの発生回避と、蓄電池の不要発熱による寿命劣化も回避可能となる。

【図面の簡単な説明】

【0018】

40

【図1】本発明の実施例1による電力貯蔵式回生電力吸収装置を含むき電システムの全体構成図。

【図2】充電率SOCとき電線電圧 V_s の関係を示した図。

【図3】本発明第一実施例の動作波形説明図。

【図4】本発明の実施例2による電力貯蔵式回生電力吸収装置を含むき電システムの全体構成図。

【図5】充電率SOCとき電線電圧 V_s の関係を示した図。

【発明を実施するための形態】

【0019】

以下、本発明の実施例を、図面を用いて説明する。

50

【実施例 1】

【0020】

本発明の実施例 1 を、図 1 を用いて説明する。

【0021】

図 1 は、本発明の実施例 1 による電力貯蔵式回生電力吸収装置を含む電システムの全体構成図である。本実施例では、電力貯蔵装置として二次電池を用いる。

【0022】

まず、電力系統から説明する。交流系統 10 から変圧器 9 及びダイオード整流器 8 を介して、き電線 6 とレール 7 間に、例えば 1500 [V] の直流電力を供給している。このき電線 6 とレール 7 間（以下、単にき電線 6、7 と記す）に、本実施例の電力貯蔵式回生電力吸収装置 500 が接続される。電力貯蔵式回生電力吸収装置 500 は、電力主回路部分と、その制御装置部分で構成されている。

10

【0023】

このうちまず電力貯蔵式回生電力吸収装置 500 の電力主回路部分は、主に双方向チョップ装置に代表される DC / DC 電力変換器 20、二次電池 1 により構成され、二次電池 1 は DC / DC 電力変換器 20 を通して、き電線 6 とレール 7 に接続される。

【0024】

この実施例における DC / DC 電力変換器 20 は、双方向チョップ装置であり、スイッチング部 22 を 2 つのフィルタ部 21 と 23 で挟む形に構成されている。

【0025】

20

スイッチング部 22 は、IGBT 11 と IGBT 12 の直列体からなり、それぞれの IGBT にはフリーホイールダイオード 13、14 が逆並列接続されている。

【0026】

2 つのフィルタ部 21、23 は、それぞれリアクトル 2 及び 4 と、コンデンサ 3 からなる。良く知られているように、双方向チョップ装置 20 は、その PWM 制御により、二次電池 1 の端子電圧を昇圧してき電線 6、7 に放電させ、また、き電線 6、7 の電圧を降圧して二次電池 1 に充電する機能を有す。

【0027】

なお本実施例では電力貯蔵装置として二次電池 1 を用いるが、二次電池の代わりに電気二重層キャパシタやフライホイール発電機を用いても同様の効果を奏することができる。

30

【0028】

次に、電力貯蔵式回生電力吸収装置 500 の制御装置部分について説明する。制御装置部分では、電力主回路部分に設置された各種検出器から電流、電圧信号を導入し、最終的に DC / DC 電力変換器 20 のスイッチング部 22 の IGBT 11 と IGBT 12 の点弧位相を制御する。

【0029】

なお、制御装置部分に導入される電流、電圧信号は、直流電圧検出器 15 からの二次電池 1 の端子電圧 V_{bat} 、直流電流検出器 16 からの二次電池 1 の充放電電流 I_{bat} 、直流電圧検出器 17 からのき電線の端子電圧 V_s などである。

【0030】

40

電力貯蔵式回生電力吸収装置 500 の制御装置部分は、最終段ではサプレス制御部 104 から IGBT 11 と IGBT 12 に対する点弧信号を与えるが、本発明においては後述する条件が成立するときに、スイッチングの停止信号を与える。サプレス制御部 104 において、停止信号は電流制御系 103 からの信号と、き電線電圧 V_s と、二次電池 1 の充電率により決定される。以下、各信号がどのようにして定められるかを説明する。

【0031】

まず電流制御系 103 側について説明する。電流制御系 103 では、直流電流検出器 16 からの二次電池 1 の充放電電流 I_{bat} を帰還信号とする電流制御が実行される。その電流指令値 I_{ref} は複数の制御系からの信号により定められ、運転状態に応じてこれらが適宜切り替え使用される。

50

【0032】

この実施例において、電流指令値 I_{ref} を定めるための制御系は、充電率制御系 100 と、放電時電圧制御系 101 と、充電時電圧制御系 102 である。運転状態に応じてこれらを適宜切り替え使用するために、電流指令値切り替え判定器 128 と、この判定によって切り替えられる切り替えスイッチ 120 とを備える。

【0033】

まず、充電時電圧制御系 102 について説明する。充電時電圧制御系 102 は、直流電圧検出器 17 からのき電線の端子電圧 V_s を帰還信号とする制御を実行する。き電線端子電圧 V_s に対する目標値は充電時電圧指令値 V_{abs} である。 V_{abs} は電力吸収運転開始電圧である。

10

【0034】

充電時電圧制御系 102 では、まず減算器 116 において、き電線電圧 V_s から電力吸収運転開始電圧 V_{abs} を減算し、偏差である超過電圧を小さくすべく制御する電圧制御器 117 に与える。リミッタ 118 は、き電線電圧 V_s が、電力吸収運転開始電圧 V_{abs} より小さい ($V_{abs} > V_s$) とき、二次電池 1 からき電線へ放電する放電方向の電圧制御動作を禁止するために設けられたものである。このときに充電時電圧制御系 102 が与える電流指令値が I_{abs} である。

【0035】

以上により、高すぎるき電線電圧 V_s を、電力吸収開始電圧 V_{abs} まで引き下げるための充電時の電圧制御系 102 を構成している。

20

【0036】

次に、放電時電圧制御系 101 について説明する。放電時電圧制御系 101 は、直流電圧検出器 17 からのき電線の端子電圧 V_s を帰還信号とする制御を実行する。き電線端子電圧 V_s に対する目標値は放電時電圧指令値 V_{dis} である。 V_{dis} は電力放電運転開始電圧である。

【0037】

放電時電圧制御系 101 では、まず減算器 113 において、き電線電圧 V_s から電力放電運転開始電圧 V_{dis} を減算し、偏差である不足電圧を小さくすべく制御する電圧制御器 114 に与える。リミッタ 115 は、き電線電圧 V_s が電力放電運転開始電圧 V_{dis} より大きいとき、き電線から二次電池 1 へ電力を吸収する充電方向の電圧制御動作を禁止するために設けられたものである。このときに放電時電圧制御系 101 が与える電流指令値が I_{dis} である。

30

【0038】

以上により、低すぎるき電線電圧 V_s を、電力放電運転開始電圧 V_{dis} まで引き上げるための放電時の電圧制御系 101 を構成している。

【0039】

なお、放電時電圧制御系 101 の最終段では、加算回路 119 において 2 つの電流指令値 I_{abs} と I_{dis} を加算している。然るに 2 つの電流指令値 I_{abs} と I_{dis} は、異なるき電線電圧 V_s のときに発生する信号であるので、実際には同時に出力されることがない。このため理論上は電流指令値 I_{abs} と I_{dis} のいずれか、あるいは無信号が出力されていると考えてよい。

40

【0040】

次に、充電率制御系 100 について説明する。充電率制御系 100 は、充電率 SOC を帰還信号とする制御を実行する。充電率 SOC は、充電率算出器 110 において、二次電池 1 の電圧 V_{bat} と充電電流 I_{bat} から算出される。

【0041】

充電率制御系 100 では、減算器 111 において、充電率指令値 SOC_{ref} から充電率 SOC を減算し、その偏差を小さくすべく制御する充電率制御器 112 に与える。充電率制御器 112 の出力もまた、電流制御系 103 に対する電流指令値である。これにより、充電率 SOC をその指令値 SOC_{ref} に一致させるための充電率制御系 100 を構成

50

している。

【 0 0 4 2 】

次に、電流指令値切り替え判定器 1 2 8 について説明する。電流指令値切り替え判定器 1 2 8 では、3 組の電流指令値のいずれかを選択する。3 組の電流指令値は、充電時電圧制御系 1 0 2 が与える電流指令値 $I_{a b s}$ と、放電時電圧制御系 1 0 1 が与える電流指令値 $I_{d i s c}$ と、充電率制御器 1 1 2 が与える電流指令値である。

【 0 0 4 3 】

電流指令値切り替え判定器 1 2 8 は、き電線電圧 V_s を指標として D C / D C 電力変換器 2 0 がき電線電圧維持制御をするか、二次電池 1 の充電率の制御をするかを判定する。

【 0 0 4 4 】

具体的には、き電線電圧 V_s が基準値 $V_{d i s c}$ 以上、基準値 $V_{a b s}$ 以下であれば充電率制御系 1 0 0 からの電流指令値を電流制御系 1 0 3 の電流指令値 $I_{r e f}$ とし、それ以外であれば放電時電圧制御系 1 0 1 の電流指令値 $I_{d i s c}$ と充電時電圧制御系 1 0 2 の電流指令値 $I_{a b s}$ の和を電流制御系 1 0 3 の電流指令値 $I_{r e f}$ とする。なお先にも述べたように、電流指令値 $I_{d i s c}$ と電流指令値 $I_{a b s}$ の和は、これら指令値のいずれかであることを意味している。以上により、き電線 V_s に応じて、D C / D C 電力変換器 2 0 の動作を切り替える。

【 0 0 4 5 】

次に、電流制御系 1 0 3 について説明する。減算器 1 2 1 では、電流指令値 $I_{r e f}$ と二次電池 1 の充電電流 $I_{b a t}$ との偏差を電流制御器 1 2 2 に出力し、電流制御器 1 2 2 は、この偏差を低減するように D C / D C 電力変換器 2 0 のスイッチング部 2 2 内の I G B T 1 1、1 2 を P W M 制御するためのゲート信号を算出する。

【 0 0 4 6 】

図 2 は、充電率 S O C (横軸)とき電線電圧 V_s (縦軸)の関係を示した図であり、この図の上で上記の各種制御系による制御領域を説明する。この制御領域の切り替えは電流指令値切り替え判定器 1 2 8 により定められる。

【 0 0 4 7 】

まず充電時の電圧制御系 1 0 2 は、高すぎるき電線電圧 V_s を、電力吸収開始電圧 $V_{a b s}$ まで引き下げるための機能を果たす。従って、図 2 においてき電線電圧 V_s が電力吸収開始電圧 $V_{a b s}$ よりも大きい領域 A がその作動領域であり、矢印 a の方向に電圧低下させる働きをする。

【 0 0 4 8 】

放電時の電圧制御系 1 0 1 は、低すぎるき電線電圧 V_s を、電力放電運転開始電圧 $V_{d i s c}$ まで引き上げるための機能を果たす。従って、図 2 においてき電線電圧 V_s が電力放電運転開始電圧よりも小さい領域 B がその作動領域であり、矢印 b の方向に電圧上昇させる働きをする。

【 0 0 4 9 】

また電流指令値切り替え判定器 1 2 8 は、き電線電圧 V_s が基準値 $V_{d i s c}$ 以上、基準値 $V_{a b s}$ 以下であれば充電率制御系 1 0 0 からの電流指令値を電流制御系 1 0 3 の電流指令値 $I_{r e f}$ とするので、領域 C が充電率制御系 1 0 0 による作動領域といえることができる。

【 0 0 5 0 】

本発明ではこの充電率制御領域をさらに充電率制御 (充電) 領域 C 1、充電率制御 (放電) 領域 C 2、サプレス領域 C 3 に区分して制御する。さらにサプレス領域 C 3 は、電圧制御 (充電) 領域 A と充電率制御 (放電) 領域 C 2 が接する境界領域 C 3 a、電圧制御 (放電) 領域 B と充電率制御 (充電) 領域 C 1 が接する境界領域 C 3 b に跨って設定されている。

【 0 0 5 1 】

本発明のサプレス制御系 1 0 4 では、図 2 の領域 C について充電率制御とサプレス制御を切り替え運用して図 2 の特性を実現する。

10

20

30

40

50

【 0 0 5 2 】

サブレス制御系 1 0 4 は、サブレス条件判定部 1 2 4 およびゲートサブレス部 1 2 7 により構成される。サブレス制御系 1 0 4 は、き電線電圧 V_s 、充電率 $SO C$ 、電流制御系 1 0 3 により出力されるゲート信号を入力とし、以下の条件が成立するとき $D C / D C$ 電力変換器 2 0 へのゲート信号をすべて $O F F$ とする。

【 0 0 5 3 】

この条件は、 $D C / D C$ 電力変換器 2 0 が、き電線電圧維持制御と二次電池 1 の充電率制御を切り替えたことに伴って成立し、その切り替えにより二次電池 1 の充電と放電が切り替わる場合である。また、き電線電圧 V_s が放電時電圧指令値 $V_{d i s c}$ 以上、充電時電圧指令値 $V_{a b s}$ 以下であり、なおかつ充電率 $SO C$ と充電率指令値 $SO C_{r e f}$ の偏差の絶対値が基準値 $\Delta SO C$ 以下となった場合である。

10

【 0 0 5 4 】

具体的には、サブレス条件判定部 1 2 4 が、き電線電圧 v_s 、放電開始電圧 $V_{d i s c}$ 、充電開始電圧 $V_{a b s}$ 、充電率 $SO C$ と充電率指令値 $SO C_{r e f}$ の偏差である減算器 1 1 1 の出力を入力し、上記 3 つの条件、つまり

条件 1 : $V_{d i s c} < V_s < V_{d i s c} + \Delta V_s$ かつ $SO C < SO C_{r e f} - \Delta SO C_{r e f}$

条件 2 : $V_{a b s} - \Delta V_s < V_s < V_{a b s}$ かつ $SO C_{r e f} + \Delta SO C < SO C$

条件 3 : $V_{d i s c} < V_s < V_{a b s}$ かつ $|SO C - SO C_{r e f}| > \Delta SO C$

の真偽を判定し、条件 1 ~ 3 のうちいずれかが真であればゲートサブレス部 1 2 7 にサブレス信号を出力する。

20

【 0 0 5 5 】

条件 1、2、3 を、図 2 と対比して明らかなように、条件 1 は電圧制御（放電）領域 B と充電率制御（充電）領域 C 1 が接する境界領域 C 3 b を設定したものである。条件 2 は、電圧制御（充電）領域 A と充電率制御（放電）領域 C 2 が接する境界領域 C 3 a を設定したものである。条件 3 は、サブレス領域 C 3 の残余の部分 C 3 c である。

【 0 0 5 6 】

本発明では、この境界領域にもサブレス領域を設定している点が特徴である。サブレス領域では、電力変換装置は運転停止状態におかれる。

【 0 0 5 7 】

ゲートサブレス部 1 2 7 は、サブレス条件判定部 1 2 4 からサブレス指令が出力された場合は、電流制御系 1 0 3 より出力されたゲート信号を全て $O F F$ にし、 $I G B T 1 1$ 、 $1 2$ のスイッチングを停止させる。サブレス条件判定部 1 2 4 からサブレス信号が出力されない場合は、電流制御系 1 0 3 より出力されたゲート信号を $I G B T 1 1$ 、 $1 2$ に伝え、スイッチングを行う。

30

【 0 0 5 8 】

以上により、き電線電圧 V_s が $V_{d i s c}$ 以上 $V_{a b s}$ 以下であり、なお且つ充電率 $SO C$ と充電率 $SO C_{r e f}$ の偏差の絶対値が基準値 $\Delta SO C$ 以内であれば $I G B T 1 1$ 、 $1 2$ のスイッチングを停止し、 $D C / D C$ 電力変換器 2 0 の待機時損失を低減することができる。この状態は、条件 3 であり、あるいはサブレス領域 C 3 の残余の部分 C 3 c である。

40

【 0 0 5 9 】

さらに、き電線電圧 V_s が $V_{a b s}$ もしくは $V_{d i s c}$ 近傍でとどまった場合（条件 1、2 あるいはサブレス領域（C 3 a、C 3 b）でも、 $D C / D C$ 電力変換器のゲート信号をサブレスすることにより、き電線と電力貯蔵式回生電力吸収装置 5 0 0 との間の電力授受を停止させることができるため、制御的なハンチングを回避できる。

【 0 0 6 0 】

さらにスイッチングを停止することで、き電線への非論理電流リプル注入の回避、電池への不要な充放電による発熱回避、 $D C / D C$ 電力変換器の不要な損失発生回避が可能となる。

50

【 0 0 6 1 】

電力貯蔵式回生電力吸収装置 5 0 0 の運転条件を判定する基準電圧 V_{abs} 、 V_{dis} およびスイッチングを停止する条件を定める SOC_{ref} 、 ΔSOC の設定範囲について以下に記す。

【 0 0 6 2 】

基準電圧 V_{abs} が、無負荷時のダイオード整流器 8 の出力電圧より低い場合、き電線電圧 V_s が適正であるにも関わらず、ダイオード整流器 8 を介して交流系統 1 から二次電池 1 へ電力を吸収し、回生車両から吸収できる電力が減る可能性がある。このため、基準電圧 V_{abs} は回生車両が無い状態でのダイオード整流器 8 の無負荷時出力電圧以上とすべきである。

10

【 0 0 6 3 】

逆に、基準電圧 V_{abs} が高すぎると回生電力の吸収が遅れるため、基準電圧 V_{abs} は、回生車両のいない状態でのダイオード整流器 8 の無負荷時出力電圧から数十 [V] 高い電圧に設定するのが望ましい。

【 0 0 6 4 】

また、基準電圧 V_{dis} は、無負荷時のき電線電圧に比べて低すぎるとき電線電圧の低下を抑制する効果が出ないため、 V_{dis} はダイオード整流器 8 の無負荷時出力電圧より数十 V 低い値にするべきである。

【 0 0 6 5 】

基準値 SOC_{ref} は、限られた電力貯蔵容量でできるだけ多い回生電力を吸収するため、5 0 % よりも低い値とすべきである。しかし、 SOC_{ref} が低すぎるとき電線電圧が低下を抑制できないため、 SOC_{ref} は 1 0 % ~ 4 0 % 程度とするのが望ましい。

20

【 0 0 6 6 】

基準値 ΔSOC については、小さすぎるとスイッチングを停止する状態が長く続かないため、待機時損失の低減効果が減る。また、基準値 ΔSOC が大きすぎると充電率制御が実施できる範囲が低下し、電力貯蔵要素の利用効率向上に支障が出る。ゆえに、基準値 ΔSOC は満充電を 1 0 0 % とすると数 % 程度にするべきである。

【 0 0 6 7 】

基準値 ΔV_s については、値が小さすぎるとき電線電圧検出用の電圧検出器値に重畳するノイズ成分によりハンチング回避効果が得られない。また ΔV_s が V_{abs} と V_{dis} の差より大きくなると、 V_s が V_{dis} より低い場合もしくは V_s が V_{abs} より高い場合でも DC / DC 電力変換器がサプレスされてしまい、き電線電圧 V_s を V_{dis} 以上 V_{abs} 以下に制御することができなくなる。そのため、 ΔV_s はき電線電圧の定格値の数 % 以上、 $V_{abs} - V_{dis}$ 以下とすべきである。

30

【 0 0 6 8 】

以上のように規定した基準値を元に、本発明の DC / DC 電力変換器 2 0 は図 2 に示すようにき電線電圧 V_s と充電率 SOC により、運転状態を変化させる。

【 0 0 6 9 】

また、本実施例ではサプレスする領域を、充電率指令値 $SOC_{ref} \pm \Delta SOC$ 以内としているが、非対称でも良い。

40

【 0 0 7 0 】

次に本実施例の動作例を、図 3 を用いて説明する。

【 0 0 7 1 】

図 3 は横軸を時間にとり、上から順にき電線電圧 V_s 、二次電池 1 の充電電流 I_{bat} 、二次電池 1 の充電率 SOC 、そして DC / DC 電力変換器 2 0 のサプレス信号を示す。ここで、初期状態として充電率 SOC が指令値と一致しており、き電線電圧 V_s はダイオード整流器 8 の無負荷時出力電圧にほぼ等しいとする。

【 0 0 7 2 】

時刻 t_1 以前の初期状態において、サプレス条件判定部 1 2 4 よりサプレス指令が出力されており、IGBT 1 1、1 2 のスイッチングは停止している。この状態は図 2 のサブ

50

レス領域 C 3 C に位置付けられる。

【 0 0 7 3 】

時刻 t_1 において、回生車両から発生する回生電力により、き電線電圧 V_s が電力吸収運転開始電圧 V_{abs} より高くなる。そのため、充電時電圧制御系 102 の電流指令値 I_{abs} が、電流制御系 103 の帰還信号である充電電流 I_{bat} の指令値 I_{ref} となる。

【 0 0 7 4 】

このとき、サプレス条件判定部 124 の出力はサプレス指令解除となるため、電流制御系 103 から発せられるゲート信号に基づき IGBT 11、12 がスイッチングされる。これにより、二次電池 1 はき電線 6、7 から充電され、き電線電圧の上昇が抑制される。また、二次電池 1 への充電により、充電率 SOC が $SOC_{ref} + \Delta SOC$ より高くなる。この状態は図 2 の電圧制御（充電）領域 A に位置付けられる。

10

【 0 0 7 5 】

時刻 t_2 において、き電線電圧が V_{abs} より低くなる。このとき、充電率制御系 100 からの電流指令値が充電電流指令値 I_{ref} となる。

【 0 0 7 6 】

このときにはき電線電圧 V_s と充電率 SOC は、サプレス条件判定部 124 の条件 2 が真となるため、DC/DC 電力変換器 20 のゲート信号は OFF となる。この状態は図 2 のサプレス領域 C 3 a に位置付けられる。

【 0 0 7 7 】

時刻 t_3 において、き電線電圧 V_s が $V_{abs} - \Delta V_s$ より低くなるため、サプレス条件判定部 124 の条件 2 が、真から偽となるため、DC/DC 電力変換器 20 のサプレスが解除され、充電率 SOC が、充電率指令値 $SOC_{ref} + \Delta SOC$ に等しくなるまで充電率制御系により放電運転が継続される。この状態は図 2 の充電率制御（放電）領域 C 2 に位置付けられる。

20

【 0 0 7 8 】

時刻 t_4 において、充電率 SOC が充電率指令値 $SOC_{ref} + \Delta SOC$ と等しくなると、サプレス条件判定部 124 の条件 3 が真となり、サプレス指令が出力されるため、IGBT 11、13 のスイッチングが停止する。ゆえに、 I_{bat} はゼロとなり、充電率 SOC は $SOC_{ref} + \Delta SOC$ でとどまる。この状態は図 2 のサプレス領域 C 3 C に位置付けられる。

30

【 0 0 7 9 】

時刻 t_5 で、き電線電圧 V_s が電力放電運転開始電圧 V_{disc} より低くなる。このとき、サプレス条件判定部 124 の条件 3 が真から偽に変わるため、DC/DC 電力変換器 20 のサプレスが解除され、IGBT 11、12 のスイッチングが始まる。

【 0 0 8 0 】

放電時電圧制御系 101 からの指令値 I_{disc} が電流指令値 I_{ref} となり、二次電池 1 よりき電線 6、7 へ電力が放電される。これによりき電線電圧 V_s の低下が抑制される。また、この放電により、二次電池 1 の充電率 SOC は、 $SOC_{ref} - \Delta SOC$ より低くなる。この状態は図 2 の電圧制御（放電）領域 B に位置付けられる。

40

【 0 0 8 1 】

時刻 t_6 においてき電線電圧 V_s が V_{disc} より高くなり、充電率制御系 100 の指令値が電流指令値 I_{ref} となる。

【 0 0 8 2 】

しかし、時刻 t_6 において、き電線電圧 V_s が $V_{disc} + \Delta V_s$ より低いため、サプレス条件判定部 124 の条件 1 が真となり、IGBT 11、13 のスイッチングが停止する。ゆえに、 I_{bat} はゼロとなる。この状態は図 2 のサプレス領域 C 3 b に位置付けられる。

【 0 0 8 3 】

時刻 t_7 において、き電線電圧 V_s が $V_{disc} + \Delta V_s$ より高くなるため、サプレス

50

条件判定部 124 の条件 1 が真から偽となり、DC / DC 電力変換器 20 のサブレスが解除され、IGBT 11、13 のスイッチングが始まる。この状態は図 2 の充電率制御（充電）領域 C1 に位置付けられる。

【0084】

時刻 t_7 から t_8 にかけて充電率 SOC と充電率指令値 SOC_{ref} の偏差を減らすよう、充電率制御系 100 から充電電流指令値が出力される。

【0085】

時刻 t_8 において、充電率 SOC が充電率指令値 $SOC_{ref} - \Delta SOC$ 以上となるため、サブレス条件判定部 124 の条件 3 が真となるため、DC / DC 電力変換器 20 はサブレスされ、IGBT 11、12 のスイッチングは停止される。この状態は図 2 のサブレス領域 C3C に位置付けられる。

10

【0086】

以上のように、本実施例の電力変換器はき電線電圧の変動を抑制し、充電率 SOC も所定の範囲内に抑制できる。また、 $SOC_{ref} - \Delta SOC < SOC < SOC_{ref} + \Delta SOC$ かつ $V_{dis} < V_s < V_{abs}$ のとき（領域 C3C）は、IGBT 11、12 のスイッチングが停止される。

【0087】

また、充放電の方向が異なる運転条件の遷移中に IGBT 11、12 のスイッチングを停止する領域（C3a、C3b）を設けることにより、き電線電圧 V_s が運転条件の境界付近にあった場合でも制御的なハンチングを回避することが可能である。結果としてき電線側への非論理リプル電流流出防止による車両制御信号へのノイズ重畳抑制、不要な充放電による二次電池 1 の発熱および寿命劣化の回避、そして不要な充放電による DC / DC 電力変換器 20 の損失低減が可能となる。

20

【0088】

本実施例では、き電線電圧 V_s をき電線 6 とレール 7 間の電圧としたが、リアクトル 4 での電圧降下は比較的小さいため、き電線電圧 V_s としてコンデンサ 3 の端子電圧を用いても良い。

【実施例 2】

【0089】

また本発明は、図 4 に示すように構成してもよい。図 4 は、本発明の実施例 2 による電力貯蔵式回生電力吸収装置を含むき電システムの全体構成図を示している。図 4 が図 1 と相違しているのは、充放電開始電圧補正器 125 を備えた点である。

30

【0090】

この変形実施例では、電力貯蔵式回生電力吸収装置 500 が、充電開始電圧 V_{abs} と放電開始電圧 V_{dis} を、二次電池 1 の充電率 SOC を元に補正する充放電開始電圧補正器 125 を備えている。補正後の充電開始電圧 V_{abs2} 、放電開始電圧 V_{dis2} を元にサブレス条件を判定し充放電を制御する。

【0091】

二次電池 1 の過充電・過放電を回避するシステムにおいても、サブレス条件判定部 124 の入力を V_{abs} 、 V_{dis} から V_{abs2} 、 V_{dis2} に変更することにより、同様の効果を奏す。このときの電力貯蔵式回生電力吸収装置 500 は、図 5 に示されるように運転状態を変化させることとなる。

40

【0092】

図 2 と図 5 を比較して明らかなように、図 5 では境界領域 C3a、C3b が充電率 SOC に対して一定ではなく、充電率 SOC に対して可変に設定されている。例えば境界領域 C3a は、充電率 SOC が高いほど充電開始電圧 V_{abs2} が高くなるように設定されている。また境界領域 C3b は、充電率 SOC が低いほど充電開始電圧 V_{dis2} が低くなるように設定されている。

【0093】

本実施例によれば、き電線電圧が上昇したときに回生電力を吸収することができ、き電

50

線電圧の安定化が図れる。また、電力貯蔵要素の充電率を所望の範囲に保つことができるため、電力貯蔵要素の利用率を向上することができ、電力貯蔵式回生電力吸収装置の低コスト化ができる。

【 0 0 9 4 】

さらに、充放電方向の異なる制御切り替えを行う際には D C / D C 電力変換器を一度サプレスする領域を設けることにより制御的なハンチングを避け、き電線側への非論理リップル電流流出、二次電池への不要な充放電による発熱・寿命劣化回避、そして D C / D C 電力変換器の損失低減を実現できる。

【 0 0 9 5 】

なお、図 2、図 5 の説明では、境界領域 C 3 a と C 3 b はき電線電圧の設定幅 ΔV_s により定められており、運転状態の切り替えはこの設定幅 ΔV_s 以上の電圧変化が生じたことを条件としている。

10

【 0 0 9 6 】

然るに本発明では、運転状態の切り替え時にサプレス状態を経てから移行させることに意味があるので、例えば十分なサプレス時間の経過後に制御運転状態を変更させるようにすることもできる。この十分なサプレス時間の経過後には、設定幅 ΔV_s 以上の電圧変化が生じるとの確証のもとに係る制御手法を採用することも可能である。

【 符号の説明 】

【 0 0 9 7 】

- 1 : 二次電池
- 2、4 : リアクトル
- 3 : コンデンサ
- 6 : き電線
- 7 : レール
- 8 : ダイオード整流器
- 9 : 変圧器
- 10 : 交流系統
- 11、12 : I G B T
- 13、14 : フリーホイールダイオード
- 15 : 直流電圧検出器
- 16 : 直流電流検出器
- 17 : 直流電圧検出器
- 20 : D C / D C 電力変換器
- 21、23 : フィルタ部
- 22 : スイッチング部
- 100 : 充電率制御系
- 101 : 放電時電圧制御系
- 102 : 充電時電圧制御系
- 103 : 電流制御系
- 104 : サプレス制御部
- 114 : 電圧制御器
- 117 : 電圧制御器
- 119 : 加算回路
- 120 : 切り替えスイッチ
- 128 : 電流指令値切り替え判定器
- 500 : 電力貯蔵式回生電力吸収装置

20

30

40

【図 1】

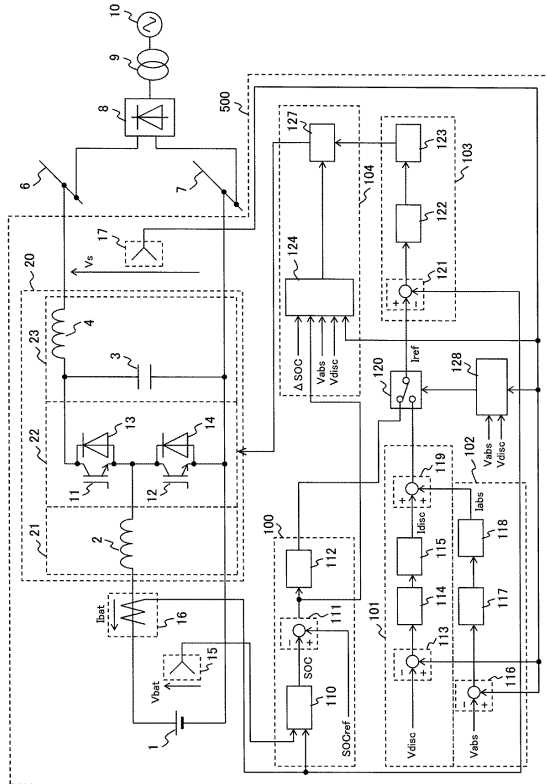


図 1

【図 2】

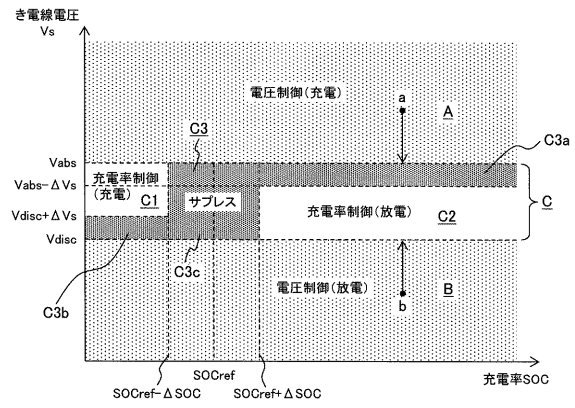


図 2

【図 3】

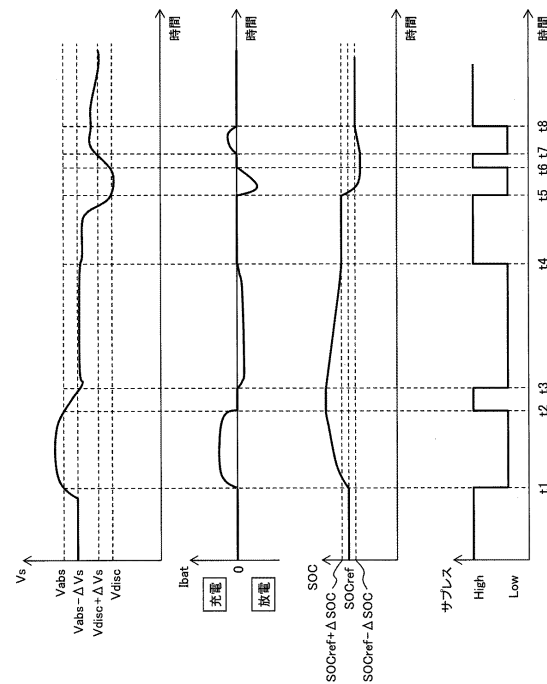


図 3

【図 4】

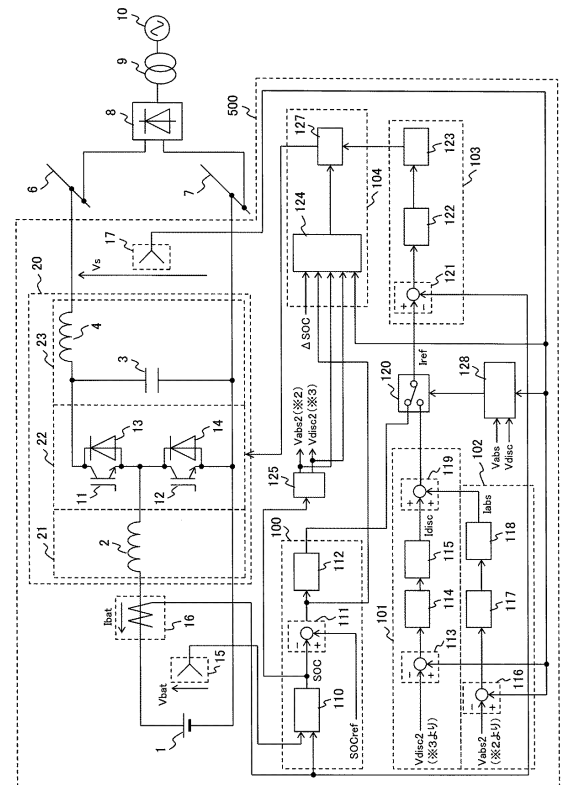
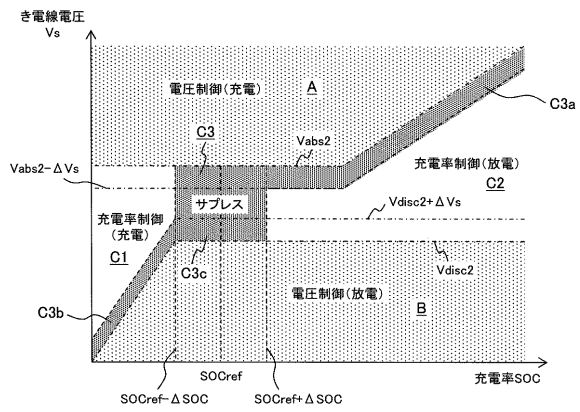


図 4

【図 5】

図 5



フロントページの続き

(72)発明者 真岡 明洋

茨城県日立市大みか町五丁目2番1号 株式会社日立製作所 情報制御システム社内

審査官 清水 康

(56)参考文献 特許第4238190(JP, B2)

特開2011-016393(JP, A)

特開2012-005270(JP, A)

特開2010-040348(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

B60M 3/00 - 3/06