

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5511951号
(P5511951)

(45) 発行日 平成26年6月4日(2014.6.4)

(24) 登録日 平成26年4月4日(2014.4.4)

(51) Int. Cl.			F I		
GO 1 R	31/36	(2006.01)	GO 1 R	31/36	A
HO 1 M	10/48	(2006.01)	HO 1 M	10/48	P
HO 1 M	10/44	(2006.01)	HO 1 M	10/44	P
HO 2 J	7/00	(2006.01)	HO 2 J	7/00	X

請求項の数 8 (全 17 頁)

(21) 出願番号	特願2012-519152 (P2012-519152)	(73) 特許権者	000006013 三菱電機株式会社 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号
(86) (22) 出願日	平成22年6月7日(2010.6.7)	(74) 代理人	100089118 弁理士 酒井 宏明
(86) 国際出願番号	PCT/JP2010/059626	(72) 発明者	吉岡 省二 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三 菱電機株式会社内
(87) 国際公開番号	W02011/155017	(72) 発明者	田淵 朗子 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三 菱電機株式会社内
(87) 国際公開日	平成23年12月15日(2011.12.15)	(72) 発明者	島中 啓太 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三 菱電機株式会社内
審査請求日	平成24年6月1日(2012.6.1)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 充電状態推定装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

電池を複数接続した電力貯蔵装置に接続され、前記電力貯蔵装置の残存容量を示す充電状態値を推定する充電状態推定装置であって、

電池容量と、充電状態推定値の前回値と、前記電力貯蔵装置の充放電量を制御する電流制御装置と前記電力貯蔵装置との間で流出入する電流と、に基づいて演算した充電状態推定値の今回値を第1の充電状態推定値として算出する第1の演算部と、

前記電力貯蔵装置を一定の電流で充電する定電流制御時には、前記電池の等価回路モデルと前記電池の電圧とに基づいて演算した充電状態推定値を第2の充電状態推定値の今回値として算出する一方で、前記電力貯蔵装置を一定の電圧で充電する定電圧制御時には、前記電池の等価回路モデルと前記電池の電圧とに基づいて、電池の抵抗変化を考慮して演算した充電状態推定値の今回値を第2の充電状態推定値として算出する第2の演算部と、

前記第1の充電状態推定値を第2の充電状態推定値で定期的に補正する補正演算部と、を備えたことを特徴とする充電状態推定装置。

【請求項 2】

前記電池の等価回路モデルは、コンデンサと非線形抵抗の並列回路を1つ有してなる等価回路モデル、または、コンデンサと非線形抵抗の並列回路を複数有してなる等価回路モデルで構成されていること、を特徴とする請求項1に記載の充電状態推定装置。

【請求項 3】

前記第2の演算部は、コンデンサに蓄えられた電荷と、前記コンデンサの静電容量値と

10

20

、前記電池の抵抗値と、前記電池の電圧とに基づいて前記第2の充電状態推定値を算出すること、を特徴とする請求項1に記載の充電状態推定装置。

【請求項4】

前記第2の演算部は、電流が変化した後計測された連続する複数の電圧計測値と、前記電荷と前記静電容量値と前記抵抗値とに基づいて算出された電圧計算値と、の差の総和が所定の値になるまで前記静電容量値および前記抵抗値を計算し、前記電圧計測値と前記電圧計算値と差の総和が前記所定の値と一致したときの前記コンデンサの静電容量値と前記電池の抵抗値とを、電池の劣化状態を推定する指標として出力する劣化量算出部を有すること、を特徴とする請求項3に記載の充電状態推定装置。

【請求項5】

前記劣化量算出部は、前記コンデンサの静電容量値と前記電池の抵抗値との積に基づいて電池容量を算出すること、を特徴とする請求項4に記載の充電状態推定装置。

【請求項6】

前記第2の演算部は、可動リチウムイオン濃度とリチウムイオンの活物質内の拡散定数とに基づいて、前記定電圧制御時における電池の抵抗値を算出する抵抗値算出部を有すること、を特徴とする請求項1に記載の充電状態推定装置。

【請求項7】

前記第2の演算部は、前記劣化量算出部で算出された静電容量値および抵抗値を用いて第2の充電状態推定値を算出すること、を特徴とする請求項4に記載の充電状態推定装置。

【請求項8】

前記第2の演算部は、前記抵抗値算出部で算出された電池の抵抗値を用いて前記第2の充電状態推定値を算出すること、を特徴とする請求項6に記載の充電状態推定装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、充電と放電を繰り返し行う、例えばリチウムイオン二次電池等の電池の充電状態値（SOC: State Of Charge）の推定を行う充電状態推定装置に関するものである。

【背景技術】

【0002】

自動車や鉄道車両システムにおいて、電池を電力バッファとして、車両運行時の駆動モータへの電力供給、減速または停止時の電気エネルギー回収を行う蓄電システムでは、車両運行時における電池の充電状態を正確に把握する必要がある。

【0003】

従来、充電状態値を推定する方式としては、充放電電流値の積算値から計算する方式と、電池の開回路電圧から推定する方式が知られており、これらを併用する従来技術では、電池が充放電している際には電流積算から充電状態値を推定し、待機時には開回路電圧を推定することで充電状態値を推定するという方法が採用されていた（例えば下記特許文献1）。また、充電状態値は開回路電圧からは推定可能であるが、充放電を行っている閉回路において開回路電圧を予測する技術が必要となる。これについては、閉回路時の通電電流と電池電圧の測定値から、電池の等価回路モデルを用いて内部抵抗を算出する方法がある（例えば下記特許文献1、2、3）。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開2008-199723号公報

【特許文献2】特開平8-140270号公報

【特許文献3】特開2003-75518号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

10

20

30

40

50

【 0 0 0 5 】

蓄電システムを搭載した鉄道車両などの走行可能距離は、充電状態値から推定されるため、蓄電システムにおける電池充電状態値の正確な把握は、機器の効率的運用を可能にする。直並列した多数の電池で構成される電力貯蔵装置の充電状態値を推定する場合、電力貯蔵装置を構成する電池すべての電圧、電流、充電状態値を測定または推定することが望ましい。そして、電池の充電状態は、一般に開回路電圧と一对一の関係にあるため、開回路電圧から推定することが可能である。

【 0 0 0 6 】

特許文献 1 は、開回路電圧の推定に際して電池の単純化した等価回路モデルを用いているが、開回路電圧を演算で求めるために、電圧、電流の他、温度、抵抗、静電容量などの制御情報と電池特性を表すパラメータの情報とを用いているが、定電圧制御と定電流制御とで同じ電池パラメータを利用しているため、すべての制御条件に対応できないという課題があった。

10

【 0 0 0 7 】

特許文献 2、3 についても同様に、測定電流と電圧から等価回路モデルを用いて開回路電圧から充電状態値を推定できるが、推定する充電状態値の精度に大きく影響する内部抵抗は、電流、電圧に対して非線形特性を示す拡散抵抗や電極反応抵抗で構成されるため、線形抵抗で記述された従来の等価回路モデルによる充電状態値の推定は困難である。

【 0 0 0 8 】

本発明は、上記に鑑みてなされたものであって、電池の充電状態および劣化状態を精度よく推定することが可能な充電状態推定装置を得ることを目的とする。

20

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 9 】

上述した課題を解決し、目的を達成するために、本発明は、電池を複数接続した電力貯蔵装置に接続され、前記電力貯蔵装置の残存容量を示す充電状態値を推定する充電状態推定装置であって、電池容量と、前記充電状態推定値の前回値と、前記電力貯蔵装置の充放電量を制御する電流制御装置と前記電力貯蔵装置との間で流出入する電流値と、に基づいて演算した充電状態推定値の今回値を第 1 の充電状態推定値として算出する第 1 の演算部と、前記電力貯蔵装置を一定の電流で充電する定電流制御時には、前記電池の等価回路モデルと前記電池の電圧値とに基づいて演算した充電状態推定値を第 2 の充電状態推定値の今回値として算出する一方で、前記電力貯蔵装置を一定の電圧で充電する定電圧制御時には、前記電池の等価回路モデルと前記電池の電圧値とに基づいて、電池の抵抗変化を考慮して演算した充電状態推定値の今回値を第 2 の充電状態推定値として算出する第 2 の演算部と、前記第 1 の充電状態推定値を第 2 の充電状態推定値で定期的に補正する補正演算部と、を備えたことを特徴とする。

30

【発明の効果】

【 0 0 1 0 】

この発明によれば、通電時の温度、電流変化、電圧変化から電池の開回路電圧および充電状態を、定電圧制御時に非線形抵抗を含む等価回路モデルから推定するようにしたので、電池の充電状態および劣化状態を精度よく推定することができるという効果を奏する。

40

【図面の簡単な説明】

【 0 0 1 1 】

【図 1】図 1 は、本発明の実施の形態にかかる充電状態推定装置が適用される電力貯蔵装置の構成図である。

【図 2】図 2 は、本発明の実施の形態にかかる充電状態推定装置が適用される電力貯蔵システムの構成図である。

【図 3】図 3 は、本発明の実施の形態にかかる充電状態推定装置による SOC 推定処理を説明するためのフローチャートである。

【図 4】図 4 は、本実施の形態にかかる第 1 の演算部の構成図である。

【図 5】図 5 は、本実施の形態にかかる第 2 の演算に適用可能な蓄電デバイスの分布定数

50

系等価回路モデルを示す図である。

【図6】図6は、本実施の形態にかかる第2の演算に適用可能な蓄電デバイスの集中定数系等価回路モデルを示す図である。

【図7-1】図7-1は、第2の演算部31とデータバンク202との関係を示す図である。

【図7-2】図7-2は、第2の演算部31による第2の推定処理の動作を説明するための図である。

【図8-1】図8-1は、劣化量算出部35の構成を示すものである。

【図8-2】図8-2は、電圧シミュレーション部231および抵抗/容量算出部232の動作を説明するための図である。

10

【図9】図9は、抵抗とコンデンサの静電容量との積と、電池容量との関係を説明するための図である。

【図10】図10は、本実施の形態にかかる抵抗値算出部の動作を説明するための図である。

【図11】図11は、定電圧制御時における抵抗の変化を説明するための図である。

【図12】図12は、劣化した電池におけるSOC演算精度を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0012】

以下に、本発明にかかる充電状態推定装置の実施の形態を図面に基づいて詳細に説明する。なお、この実施の形態によりこの発明が限定されるものではない。

20

【0013】

実施の形態

図1は、本発明の実施の形態にかかる充電状態推定装置が適用される電力貯蔵装置1の構成図である。

【0014】

電力貯蔵装置1は、k個の単電池を直列に接続した電池モジュール11-1~1n-mを有して構成されている。例えば、電池モジュール11-1は、1列1番目の電池モジュールであり、単電池1-1~1-kを直列接続したものである。以下同様に、電池モジュール12-1は、1列2番目の電池モジュール、電池モジュール1n-1は、1列n番目の電池モジュールである。電池モジュール11-2は、2列1番目の電池モジュール、電池モジュール12-2は、2列2番目の電池モジュール、電池モジュール1n-2は、2列n番目の電池モジュールである。電池モジュール11-mは、m列1番目の電池モジュール、電池モジュール12-mは、m列2番目の電池モジュール、電池モジュール1n-mは、m列n番目の電池モジュールである。従って、単電池の総数は $n \times m \times k$ 個である。

30

【0015】

各単電池1-1~1-kは、リチウムイオン二次電池等の繰り返し充放電が可能な蓄電デバイスであり、開回路電圧値から充電状態値が観測可能なものである。ニッケル水素電池、鉛蓄電池、電気二重層キャパシタ、リチウムイオンキャパシタなども本電力直貯蔵装置を構成する蓄電デバイスとして使用可能である。電力貯蔵装置1には他にブレーカ、電池監視装置等が設けられることがあるが、ここでは省略する。

40

【0016】

電力貯蔵装置全体の端子間電圧を総電圧 V_{all} 、充放電電流の総電流を I_{all} とし、充電方向を正とする。なお、充放電中は端子間の接続に用いられる導体やケーブルの抵抗成分に起因する電圧が V_{all} に加算される。

【0017】

通電していない充放電前の充電状態値を求めるため、電流ゼロの時の電圧を開回路電圧とする。リチウムイオン二次電池などの蓄電デバイスでは、一定温度環境下において、開回路電圧とSOCは一对一の関係にあり、SOCは開回路電圧に関して一般に単調増加関数を示す。

50

【0018】

以下、電力貯蔵装置1を用いた電力貯蔵システムを説明した上で、本実施の形態にかかる充電状態推定装置の構成を説明する。

【0019】

図2は、本発明の実施の形態にかかる充電状態推定装置が適用される電力貯蔵システムの構成図である。電力貯蔵装置1は、コントローラ2からの指令に基づいて電流制御装置3によって制御される。このコントローラ2は、A/Dコンバータ203とデータバンク202とパラメータ演算部201とを有して構成されている。なお、コントローラ2は、本実施の形態にかかる充電状態推定装置である。

【0020】

A/Dコンバータ203は、電力貯蔵システム内の総電圧センサ4a、総電流検出センサ4b、および温度センサ4cから送られるアナログ信号と、電力貯蔵装置1内の各セル電圧センサ(図示せず)から送られるアナログ信号4dとをデジタル信号に変換する。

【0021】

データバンク202には、電池データを格納すると共に、開回路電圧とSOCの関係を示した式、あるいはこの関係を示すデータテーブルなどが格納されている。開回路電圧とSOCの関係は、使用する蓄電デバイスの種類、正極、負極の電極材料種によって異なるため、予めインプットするか測定で求める。求める方法としては、一定の温度に管理された環境において、既知の定電流を一定時間通電させてSOCを一定間隔で変化させたときの開回路電圧データを取得する。開回路電圧は、電流ゼロの状態を数時間程度保持した後に測定することが望ましい。また、開回路電圧は、電力貯蔵装置1をシステムに組み込んだ状態から求めることも可能であり、制御プログラムの先頭で実行し、または長期の未使用期間、メンテナンス期間を利用してプログラムの実行をマニュアルで行うことも可能である。

【0022】

開回路電圧とSOCとの関係を求める方法には、完全放電状態から求める方法と、満充電状態から求める方法とがある。完全放電状態から求める方法は、電池の下限電圧まで放電した完全放電時の充電状態値をゼロとして、一定SOC間隔で充電してSOCに対する開回路電圧を求める方法である。また、満充電状態からの方法は、電池の上限電圧まで定電流定電圧充電で充電した状態のSOCを100%として一定SOC間隔で放電し、SOCを変化させる方法である。両者を比較すると充電状態から測定した方が安定した状態を得られ、データの精度は高い。

【0023】

電流制御装置3は、コントローラ2内のパラメータ演算部201からの指令によって電力貯蔵装置1の充放電量を制御する。電力が不足する場合、電流制御装置3は、交流グリッド7から電力変換装置6を介して供給される電力と、電力貯蔵装置1に貯蔵された電力と、を合わせてモータ5へ出力する。また、電流制御装置3は、モータ/発電機5で発電された電力を電力貯蔵装置1に貯蔵し、電力貯蔵装置1の容量をオーバーする電力に関しては、電力変換装置6を介して交流グリッド7に回生させる。なお、交流グリッド7は、例えば、鉄道車両に電力を供給する交流電力供給網である。

【0024】

パラメータ演算部201は、図2に示すように、第1の演算部30、第2の演算部31、および補正演算部32を有して構成されている。第1の演算部30は、電池容量(Ah)と電池充放電時の通電電気量の積算値とに基づいて第1の充電状態推定値(以下単に「(第1のSOC)」と称する)を演算する。第2の演算部31は、抵抗成分とコンデンサ成分を有する等価回路モデルから算出した開回路電圧と、開回路電圧と充電状態推定値の関係と、を用いて第2の充電状態推定値(以下単に「(第2のSOC)」と称する)を演算する。具体的には、第2の演算部31は、電流ゼロの状態において充電状態推定値を推定する第2の推定処理と、電圧が変化する定電流制御時において開回路電圧から充電状態推定値を推定する第3の推定処理と、一定の電圧で制御する定電圧制御時において開回路

10

20

30

40

50

電圧から充電状態推定値を推定する第4の推定処理とを実行する。補正演算部32は、第1の演算部30で推定されたSOCを第2の演算部31で推定されたSOCで定期的に補正する。

【0025】

次に、図3を用いて、パラメータ演算部201で実行されるSOCの推定動作を概説する。図3は、本発明の実施の形態にかかる充電状態推定装置によるSOC推定処理を説明するためのフローチャートである。図3に示されるフローチャートは、データを取得する間隔と同じ時間間隔で繰り返される。この時間間隔は電流、電圧、温度の各データの取得インターバルを意味し、ミリ秒間隔から数分間隔が適当である。

【0026】

データバンク202には、例えば、1つ前の計算フローで得たSOC(N-1)、電子・イオン抵抗 $R_0(N-1)$ 、電極反応抵抗 $R(N-1)$ 、および静電容量成分 $C(N-1)$ などが記録されている(ステップS10)。

【0027】

第2の演算部31は、まず、定電流制御時であるか定電圧制御時であるかによって第2~第4の推定処理方法を切り替える。例えば、第2の演算部31は、電流ゼロの開回路状態では(ステップS12、No~S13、Yes)、第2の推定処理を実行する(ステップS14)。また、第2の演算部31は、電圧が変化する定電流制御時には(ステップS12、No~S13、No)、第3の推定処理を実行する(ステップS15)。さらに、第2の演算部31は、一定の電圧で制御する定電圧制御時には(ステップS12、Yes)、第4の推定処理を実行する(ステップS16)。補正演算部32は、第1のSOCを第2のSOCで補正する。

【0028】

データバンク202には、第1の演算部30および第2の演算部31で演算されたSOC(N)、電子・イオン抵抗 $R_0(N)$ 、電極反応抵抗 $R(N)$ 、および静電容量成分 $C(N)$ が記録される(ステップS18)。

【0029】

次に、図4~図11を用いて、第1の演算部30および第2の演算部31の構成および動作を詳細に説明する。

【0030】

まず、第1の演算部30の構成および動作を説明する。図4は、本実施の形態にかかる第1の演算部30の構成図である。第1の演算部30は、主たる構成として、平均電流算出部211、通電電気量算出部212、SOC変化量算出部213、およびSOC算出部214を有して構成されている。

【0031】

電力貯蔵装置1を流れる総電流 I_{all} は、平均電流算出部211に入力され、平均電流算出部211では、総電流 I_{all} に所定のゲインを乗じて電流平均値を求める。すなわち、総電流 I_{all} を電池モジュール11-1~1n-mの並列数mで割ることで、電流の平均値を得ている。通電電気量算出部212は、演算周期を t として、充電および放電時の通電電流を積分し、一定時間通電後の電気量を算出する。SOC変化量算出部213は、通電電気量算出部212で得られた電気量(クーロン)を電池容量(Ah)および3600(s)で除して、100を乗じて変化量SOC(%)を算出する。

【0032】

SOC算出部214は、充電時には1つ前の計算フローで得られたSOC(N-1)に変化量SOCを加算し、放電時にはSOC(N-1)から変化量SOC減算することで充電状態値の今回値SOC(N)を得る。なお、SOC(N-1)は、データバンク202に格納されており、SOC算出部214は、データバンク202からのSOC(N-1)を用いてSOC(N)を推定する。これはSOCを求める最も簡単な方法であるが、電流測定値の誤差を含むことが多い。また、電池の長期使用による劣化によって、SOCの100%容量値の低下も誤差要因となるため、データバンク202に電池容量(Ah)

10

20

30

40

50

の現在値情報を変更入力する。なお、演算周期 t は、パラメータ演算部 201 の内部で生成されたものでもよいし、パラメータ演算部 201 の外部で生成されたものでもよい。

【0033】

次に、第2の演算部31に関して説明する。図5は、本実施の形態にかかる第2の演算部31に適用可能な蓄電デバイスの分布定数系等価回路モデルを示す図である。第2の演算部31は、等価回路モデルに基づいてSOC、抵抗、コンデンサの静電容量を推定する。厳密には、第2の演算部31は、図5に示す分布定数系等価回路に基づいて離散化した数値モデルに、電流の計測値および電圧の計測値をフィッティングさせることで開回路電圧を求める。計算式には、図5に示される分布定数系等価回路モデルの負極端子の抵抗8a、正極端子の抵抗8b、負極電極層の電子抵抗9a、正極電極層の電子抵抗9b、負極界面のコンデンサの静電容量10a、正極界面のコンデンサの静電容量10b、負極界面の抵抗成分11a、正極界面の抵抗成分11b、負極界面に発生する電位差12a、正極界面に発生する電位差12b、負極内電解質の抵抗13a、正極内電解質の抵抗13b、およびセパレータ内電解液の抵抗14が含まれる。実際に計測される電流値および電圧の時間変化実測データと、計算値と、をフィッティングさせることで複数の抵抗値、静電容量値、および開回路電圧を求める。

10

【0034】

負極界面のコンデンサの静電容量10aおよび正極界面のコンデンサの静電容量10bは、電極活物質と電解液界面に形成される電気二重層によるものであり、ファラッドの単位で表される。負極界面のコンデンサの静電容量10aおよび正極界面のコンデンサの静電容量10bは、電極活物質の表面積に比例し、電解液の性状や電極電位によっても変化する。

20

【0035】

負極界面の抵抗成分11aおよび正極界面の抵抗成分11bは、イオンから電子、電子からイオンへ電荷担体に変化する時の抵抗であり、電極と電解液界面に発生する抵抗であり、電荷移動抵抗と拡散抵抗を含む。

【0036】

このような分布定数系等価回路モデルによれば、厳密な計算が可能であるが、モデル規模が大きくなるというデメリットがあるため、計算周期を長くとる必要が生じ、電流、電圧の速い変化に対する応答が困難になる。また、多くの計算リソースが必要になるという問題も発生する。なお、図5に示される分布定数系等価回路モデルは、図1に示される1つの単電池(例えば1-1)を示すものであり、この分布定数系等価回路モデルに流れる電流Iは、総電流Iallを電池モジュール11-1~1n-mの並列数で除した値である。

30

【0037】

一方、計算周期を短縮して計算リソースが節約できる集中定数系等価回路モデルを図6に示す。図6は、本実施の形態にかかる第2の演算部31に適用可能な蓄電デバイスの集中定数系等価回路モデルを示す図である。集中定数系等価回路モデルは、図5の分布定数系等価回路モデルを簡素化したものであり、この集中定数系等価回路モデルに流れる電流Iは、上述同様に、総電流Iallを電池モジュール11-1~1n-mの並列数で除した値である。このモデルにおける各要素は、以下のように構成されている。すなわち、図6に示される集中定数系等価回路モデルは、電極反応に関する抵抗15(以下単に「抵抗15」と称する)、電極界面に発生するコンデンサの静電容量18(以下単に「静電容量18」と称する)、電子・イオンに関する抵抗16(以下単に「抵抗16」と称する)、開回路電圧に相当する起電力部17とを有し、抵抗15と静電容量18は並列に接続されている。

40

【0038】

抵抗15の値はR、静電容量18の静電容量値はC、抵抗16の値はR0(電子・イオン抵抗)とする。抵抗15を流れる電流をI1とし、静電容量18を流れる電流をI2とすると、これらの和は電流Iである。コンデンサ(静電容量18)にかかる電圧は、電流

50

I₁が流れる抵抗15の両端電圧に等しく、またコンデンサ(静電容量18)に蓄えられる電荷Qの時間変化が電流I₂に相当することから、(1)式の電荷Qに関する微分方程式が得られる。

【0039】

【数1】

$$\frac{dQ}{dt} + \frac{1}{CR}Q + I = 0$$

【0040】

計算周期を t とし、(1)式を電荷Qに関して離散化すると(2)式が得られる。時刻Nにおける電荷Q(N)は、一つ前の時刻(N-1)における電荷Q(N-1)と電流Iとを用いることで、(2)式のように表すことができる。

10

【0041】

【数2】

$$Q_{(N)} = Q_{(N-1)} \cdot \left(1 - \frac{\Delta t}{C(N-1) \cdot R(N-1)} \right) + \Delta t \cdot I$$

【0042】

また、コンデンサ(静電容量18)を流れる電流I₂は、(3)式に示す電荷Qの時間変化で表すことができる。

20

【0043】

【数3】

$$I_2 = \frac{Q_{(N)} - Q_{(N-1)}}{\Delta t}$$

【0044】

(1)式と、(2)式と、電池電圧Vとを用いて、(4)式から開回路電圧V_{oc}を計算する。

30

【0045】

【数4】

$$V_{oc} = V + I \cdot R_0(N) + I_1 \cdot R(N)$$

【0046】

図7は、本実施の形態にかかる第2の演算部31の構成および動作を説明するための図である。図7-1は、第2の演算部31とデータバンク202との関係を示す図であり、図7-2は、第2の演算部31による第2の推定処理の動作を説明するための図である。

【0047】

図7-1に示される第2の演算部31は、電圧変化判定部221と、通電判定部222と、電荷/電流値算出部223と、開回路電圧算出部224と、SOC算出部214と、抵抗値算出部36とを有して構成され、さらに抵抗値算出部36は、劣化量算出部35と、拡散種濃度算出部225と、電流値算出部226と、拡散抵抗算出部227とを有して構成されている。

40

【0048】

電圧変化判定部221は、演算周期 t における電池電圧Vの変化の有無を判定する。すなわち、電圧変化判定部221は、図3におけるステップS12の判定を行う。

【0049】

通電判定部222は、電池電圧Vが変化している場合(ステップS12、Noであるとき)、電流Iがゼロであるか否かを判定する。すなわち、通電判定部222は、図3にお

50

けるステップ S 1 3 の判定を行う。

【 0 0 5 0 】

電荷 / 電流値算出部 2 2 3 は、計算の初期値としてコンデンサ 1 8 に蓄電されていた電荷 $Q(N-1)$ と、電極反応抵抗 $R(N-1)$ と、静電容量値 $C(N-1)$ と、電流 I と、演算周期 t とから、(2) 式を用いて電荷 $Q(N)$ を求めると共に、(3) 式を用いて電流 I_2 を求める。なお、電荷 $Q(N-1)$ 、電極反応抵抗 $R(N-1)$ 、および静電容量値 $C(N-1)$ は、データバンク 2 0 2 に格納されているものとする。さらに、電荷 / 電流値算出部 2 2 3 は、 $I = I_1 + I_2$ の関係から電流 I_1 を求める。

【 0 0 5 1 】

開回路電圧算出部 2 2 4 は、電池電圧 V と、データバンク 2 0 2 に格納されている抵抗 1 6 の値 $R_0(N-1)$ とから (4) 式を用いて開回路電圧 V_{oc} を算出する。なお、抵抗 1 6 の値 $R_0(N-1)$ は、データバンク 2 0 2 に格納されているものとする。

【 0 0 5 2 】

S O C 算出部 2 1 4 は、開回路電圧算出部 2 2 4 からの開回路電圧 V_{oc} を取り込み、データバンク 2 0 2 に格納されている開回路電圧 V_{oc} と S O C との関係を用いて、S O C (N) を推定する。

【 0 0 5 3 】

以下、第 2 の演算部 3 1 による第 2 の推定処理および第 3 の推定処理を説明する。通電状態から電流ゼロのとき、分極緩和現象によって大きく電圧が変化し、その後徐々にある一定電圧に漸近する。開回路電圧算出部 2 2 4 は、電池電圧 V と、データバンク 2 0 2 に格納されている抵抗 1 6 の値 $R_0(N-1)$ とに基づいて、(4) 式から電池電圧 V 、抵抗 1 5、抵抗 1 6、および電流 I をゼロとして、開回路電圧 V_{oc} を求める。S O C 算出部 2 1 4 は、開回路電圧算出部 2 2 4 からの開回路電圧 V_{oc} を取り込み、データバンク 2 0 2 に格納されている開回路電圧 V_{oc} と S O C との関係を用いて、第 2 の S O C を推定する。

【 0 0 5 4 】

電流値一定のとき、開回路電圧算出部 2 2 4 は、(4) 式から電池電圧 V 、抵抗 1 5、抵抗 1 6、および電流 I に基づいて開回路電圧 V_{oc} を求める。S O C 算出部 2 1 4 は、上述同様に、開回路電圧 V_{oc} と S O C との関係を用いて第 2 の S O C を推定する。なお、電流を流さずに S O C を求める第 2 の推定処理の方が精度は高い。

【 0 0 5 5 】

次に、図 8 および図 9 を用いて、劣化量算出部 3 5 の構成および動作を説明する。図 8 は、本実施の形態にかかる劣化量算出部 3 5 の構成図である。図 8 - 1 は、劣化量算出部 3 5 の構成を示すものであり、図 8 - 2 は、電圧シミュレーション部 2 3 1 および抵抗 / 容量算出部 2 3 2 の動作を説明するための図である。また、図 9 は、抵抗とコンデンサの静電容量との積と、電池容量との関係を説明するための図である。

【 0 0 5 6 】

図 8 - 1 に示される劣化量算出部 3 5 は、主たる構成として、電圧シミュレーション部 2 3 1 と抵抗 / 容量算出部 2 3 2 を有して構成されている。劣化量算出部 3 5 は、ある一定時間の電流、電圧データから抵抗 1 5、抵抗 1 6、静電容量 1 8 の変化によって電池の劣化状態を推定するものである。具体的には、劣化量算出部 3 5 は、想定される制御モードにおける抵抗成分、コンデンサの静電容量成分を逐次算出することにより、電池劣化状態の進行度を推定し、例えば、複数の電圧データと計算値をフィッティングさせることで、抵抗 1 5、抵抗 1 6、静電容量 1 8 の値それぞれを、電極反応抵抗 $R(N)$ 、電子・イオン抵抗 $R_0(N)$ 、静電容量成分 $C(N)$ として特定する。

【 0 0 5 7 】

フィッティングさせる電圧データは、時間 t_1 から t_p までの p 個であり、個々のデータ時間間隔は t である。参照するデータ数が多いほど計算精度は向上するが、計算負荷を考慮すると 1 0 個以内のデータ数が好ましい。以下、実際の計算手順を示す。電圧シミュレーション部 2 3 1 は、時間 t_1 の 1 つ前のコンデンサ 1 8 に蓄えられた電荷を $Q(k)$

10

20

30

40

50

- 1) とし、電極反応抵抗 $R(N)$ 、電子・イオン抵抗 $R_0(N)$ 、および静電容量成分 $C(N)$ のそれぞれに直前の値を代入し、電流 I および開回路電圧 V_{oc} に図 7 - 1 の SOC 算出時に使用した値を代入して、(5) 式を用いて時間 t_1 に対する電圧 V_k を算出する。なお、(5) 式内の電荷 $Q(N)$ は(2) 式を用いて計算する。

【 0 0 5 8 】

【 数 5 】

$$V = V_{oc} - I \cdot R_0(N) - \frac{Q(N)}{C(N)}$$

10

【 0 0 5 9 】

同様に、電圧シミュレーション部 2 3 1 は、 t_2 から t_p までを計算する。

【 0 0 6 0 】

抵抗 / 容量算出部 2 3 2 は、電圧シミュレーション部 2 3 1 で算出されたこれらの計算値 (電圧 V_k) と実測データ (V_p) とを比較して、実測値と計算値の差の総和 V が、判定値 とデータ数 p との積未満の場合には一致と見なす。一方、実測値と計算値の差の総和 V が、判定値 とデータ数 p との積以上の場合、抵抗 / 容量算出部 2 3 2 は、電極反応抵抗 $R(N)$ 、電子・イオン抵抗 $R_0(N)$ 、静電容量成分 $C(N)$ の値を変更する。例えば、抵抗 / 容量算出部 2 3 2 は、放電電圧が計算値より低ければ電極反応抵抗 $R(N)$ 、電子・イオン抵抗 $R_0(N)$ 、静電容量成分 $C(N)$ を大きく、逆に高ければ

20

【 0 0 6 1 】

フィッティングパラメータには、抵抗 1 5 と静電容量 1 8 との積を用いると便利である。抵抗 / 容量算出部 2 3 2 は、この積と劣化した電池の容量との関係 (図 9 参照) を用いて、電池容量を算出する。ただし、電池劣化は、急激に進行する反応ではないため、劣化の計算をデータ取得周期で行う必要はなく、起動直後または停止直前に 1 回の頻度で十分である。

【 0 0 6 2 】

次に、第 4 の推定処理に関して説明する。定電圧制御時の抵抗 1 5 は、時間経過とともに上昇して一定の値をとらない。抵抗 1 5 の値が上量する理由は、ネルンストアインシュ

30

タインの式である (6) 式に示されるように、この抵抗値が電極活物質内のリチウムイオン濃度 $C_{Li}(N)$ の逆数に比例するためであり、定電圧制御では可動リチウムイオン数の減少に起因する。

【 0 0 6 3 】

【 数 6 】

$$R(N) = \frac{A \cdot T}{C_{Li} \cdot D_{Li}}$$

【 0 0 6 4 】

ここで、 D_{Li} はリチウムイオンの活物質内の拡散定数、 T はモジュール温度、 A は比例定数である。リチウムイオン濃度 $C_{Li}(N)$ の時間変化は、拡散方程式である (7) 式を含む物質移動式を数値的に解き、抵抗 1 5 を算出する。

40

【 0 0 6 5 】

【 数 7 】

$$\frac{\partial C_{Li}}{\partial t} = D_{Li} \frac{\partial^2 C_{Li}}{\partial x^2}$$

【 0 0 6 6 】

50

以下、図10および図11を用いて抵抗値算出部36の構成および動作を説明する。図10は、本実施の形態にかかる抵抗値算出部36の動作を説明するための図であり、図11は、定電圧制御時における抵抗の変化を説明するための図である。

【0067】

拡散種濃度算出部225は、定電圧制御に入る直前の活物質内の可動リチウムイオン濃度である $C_{Li}(N-1)$ と拡散定数 D_{Li} とから、(7)式を境界条件の元で解いて、演算周期 t 時間後のリチウムイオン濃度 $C_{Li}(N)$ を算出する。

【0068】

電流値算出部226は、電池電圧 V の変化から電流値を逆算する。拡散抵抗算出部227は、電流値算出部226で算出された電流値と、定電流制御時における電圧と、に基づいて、電圧が一定ではない場合(CC充電：constant current充電)における抵抗15の値を推定する。さらに拡散抵抗算出部227は、(6)式を用いて、電圧が一定の場合(CV充電：constant voltage充電)における抵抗15の値を推定する。

10

【0069】

電極反応に関する抵抗15の値は、CC充電時においては変化しないが、CV充電時においては図11のように増加する。この抵抗増加は、定電圧制御条件下における数秒から数時間の間に発生する一時的なものである。第2の演算部31は、電池の劣化による抵抗増加をリアルタイムに評価するとき、図11に示すような定電圧時の抵抗増加を、容量劣化推定のための計算から除外するという処理も実行する。

【0070】

20

また、ここで算出した短期的な抵抗の増加速度、すなわち、図11の抵抗値上昇量を定電圧制御時間で除した値は、物質移動に関わる電池の劣化を示している。このように、本実施の形態にかかる第2の演算部31は、劣化の進行と共にこの値が大きくなることを利用して、長期的劣化による電池寿命を予測する。

【0071】

図12は、劣化した電池におけるSOC演算精度を示す図である。比較例1は、通電電気量の積算による第1の演算部30で算出された第1のSOCの推移である。計算に用いる電流値には、一般に誤差が含まれるので、SOCが真値からずれることとなる。

【0072】

比較例2は、この誤差を、等価回路モデルによる従来のSOC推定処理で補ったものであり、フレッシュな初期の電池においては、良好なSOC推定値が得られる。しかしながら、長期間使用して劣化が進行したりリチウムイオン電池のSOC推定においては、大きな誤差が生じる。

30

【0073】

実施例1は、本実施の形態にかかる充電状態推定装置によって推定されたSOCの推移を示すものである。

【0074】

充放電開始点19と充放電終了点20においては、開回路で3日以上放置して求めた正しいSOCである。ここで、比較例1によるSOC推定方法では、電流値が実際より充電時に小さく検知積算され、放電時に大きく検知積算されて、充放電全体にわたり真値を下まわる結果となる。一方、比較例2によるSOC推定方法では、劣化による容量低下を考慮しないままSOCを算出するため、充電、放電ともにSOCの真値より大きく算出されるため、過剰に変化することになる。

40

【0075】

実施例1によるSOC推定方法では、劣化量算出部35によって、電池劣化による容量低下を考慮していることに加え、抵抗値算出部36によって、定電圧時の抵抗増加を容量劣化推定のための計算から除外するようにしたので、SOC演算精度を向上させることが可能である。

【0076】

以上に説明したように、本実施の形態にかかる充電状態推定装置は、電池容量と、充電

50

状態推定値の前回値 $SO C(N-1)$ と、電力貯蔵装置 1 の充放電量を制御する電流制御装置 3 と電力貯蔵装置 1 との間で流し出入する電流と、に基づいて演算した充電状態推定値の今回値を第 1 の充電状態推定値として算出する第 1 の演算部 30 と、定電流制御時には、電池の等価回路モデルと電池の電圧とに基づいて演算した充電状態推定値を第 2 の充電状態推定値の今回値として算出する一方で、定電圧制御時には、電池の等価回路モデルと電池の電圧とに基づいて、電池の抵抗変化を考慮して演算した充電状態推定値の今回値を第 2 の充電状態推定値として算出する第 2 の演算部 31 と、第 1 の充電状態推定値を第 2 の充電状態推定値で定期的に補正する補正演算部 32 と、を備えるようにしたので、電池容量と電池充放電時の通電電気量の積算値とに基づく第 1 の $SO C$ と、電流ゼロの状態における第 2 の $SO C$ と、定電流制御時における第 3 の $SO C$ と、定電圧制御時における第 4 の $SO C$ とを推定することができ、従来技術に比して電池の充電状態および劣化状態を精度よく推定することが可能である。

10

【0077】

また、第 2 の演算部 31 で用いられる電池の等価回路モデルは、コンデンサと非線形抵抗の並列回路を 1 つ有してなる集中定数系等価回路モデル、または、コンデンサと非線形抵抗の並列回路を複数有してなる分布定数系等価回路モデルで構成するようにしたので、集中定数系等価回路モデルを用いて計算リソースが節約することもできるし、分布定数系等価回路モデルを用いて厳密な計算を行うことも可能である。

【0078】

また、本実施の形態にかかる第 2 の演算部 31 は、コンデンサに蓄えられた電荷 $Q(N-1)$ と、コンデンサの静電容量値 $C(N-1)$ と、電池の抵抗値 $R(N-1)$ 、 $R_0(N-1)$ と、電池の電圧 V と、に基づいて第 2 の充電状態推定値を算出するようにしたので、簡単な構成で第 2 の充電状態推定値を推定可能である。

20

【0079】

また、第 2 の演算部 31 は、電流が変化した後計測された連続する複数の電圧計測値 (V_p) と、電荷 $Q(N-1)$ と静電容量値 $C(N-1)$ と抵抗値 $R(N-1)$ 、 $R_0(N-1)$ とに基づいて算出された電圧計算値 (V_k) と、の差の総和 V が所定の値 (判定値 とデータ数 p との積) になるまで静電容量値 $C(N)$ および抵抗値 $R(N)$ 、 $R_0(N)$ を計算し、電圧計測値 (V_p) と電圧計算値 (V_k) と差の総和 V が所定の値と一致したときの静電容量 $C(N)$ と抵抗値 $R(N)$ 、 $R_0(N)$ とを、電池の劣化状態を推定する指標として出力する劣化量算出部 35 を有するようにしたので、従来技術に比して、等価回路モデルによる充電状態値を精度よく推定することが可能である。

30

【0080】

また、静電容量 $C(N)$ と抵抗値 $R(N)$ 、 $R_0(N)$ との積に基づいて電池容量を算出するようにしたので、第 1 の演算部 30 は、劣化量算出部 35 で算出された電池容量を用いて第 1 の充電状態推定値を精度よく算出することが可能である。

【0081】

また、第 2 の演算部 31 は、可動リチウムイオン濃度 $C_{Li}(N-1)$ とリチウムイオンの活物質内の拡散定数 D_{Li} とに基づいて、定電圧制御時における電池の抵抗値 $R(N)$ を算出する抵抗値算出部 36 を有するようにしたので、定電圧時の抵抗増加を容量劣化推定のための計算から除外することができ、 $SO C$ 演算精度を向上させることが可能である。

40

【産業上の利用可能性】

【0082】

以上のように、本発明は、二次電池等の蓄電池における $SO C$ を推定する充電状態推定装置に適用可能であり、特に、 $SO C$ の推定精度を向上させることができる発明として有用である。

【符号の説明】

【0083】

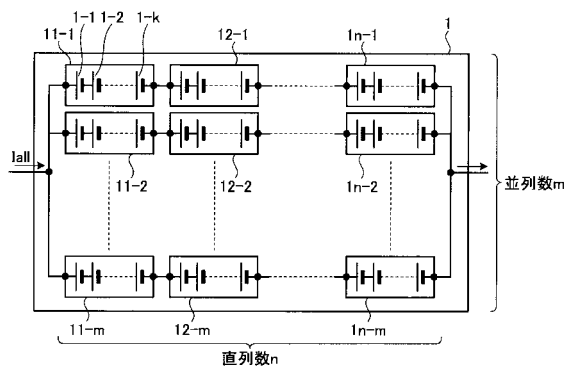
1 電力貯蔵装置

50

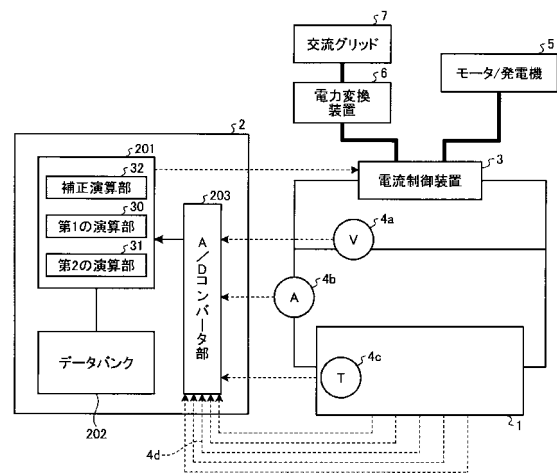
1 - 1、1 - 2、1 - k	単電池	
2	コントローラ	
3	電流制御装置	
4 a	総電圧センサ	
4 b	総電流検出センサ	
4 c	温度センサ	
4 d	電圧センサから送られるアナログ信号	
5	モータ/発電機	
6	電力変換装置	
7	交流グリッド	10
8 a	負極端子の抵抗	
8 b	正極端子の抵抗	
9 a	負極電極層の電子抵抗	
9 b	正極電極層の電子抵抗	
10 a	負極界面のコンデンサの静電容量	
10 b	正極界面のコンデンサの静電容量	
11 - 1、12 - 1、1n - 1、11 - 2、12 - 2、1n - 2、11 m、12 m		
、1n m	電池モジュール	
11 a	負極界面の抵抗成分	
11 b	正極界面の抵抗成分	20
12 a	負極界面に発生する電位差	
12 b	正極界面に発生する電位差	
13 a	負極内電解質の抵抗	
13 b	正極内電解質の抵抗	
14	セパレータ内電解液の抵抗	
15	電極反応に関する抵抗	
16	電子・イオンに関する抵抗	
17	開回路電圧に相当する起電力部	
18	電極界面に発生するコンデンサの静電容量	
19	充放電開始点	30
20	充放電終了点	
30	第1の演算部	
31	第2の演算部	
32	補正演算部	
35	劣化量算出部	
36	抵抗値算出部	
201	パラメータ演算部	
202	データバンク部	
203	A/Dコンバータ	
211	平均電流算出部	40
212	通電電気量算出部	
213	SOC変化量算出部	
214	SOC算出部	
221	電圧変化判定部	
222	通電判定部	
223	電荷/電流値算出部	
224	開回路電圧算出部	
225	拡散種濃度算出部	
226	電流値算出部	
227	拡散抵抗算出部	50

- 2 3 1 電圧シミュレーション部
- 2 3 2 抵抗/容量算出部
- I a l l 総電流
- T モジュール温度
- V a l l 総電圧
- V o c 開回路電圧

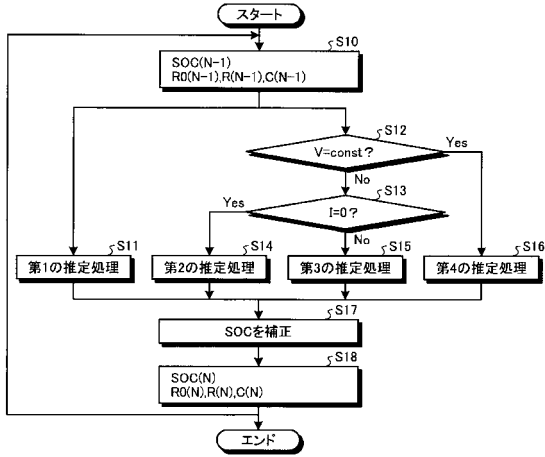
【図1】



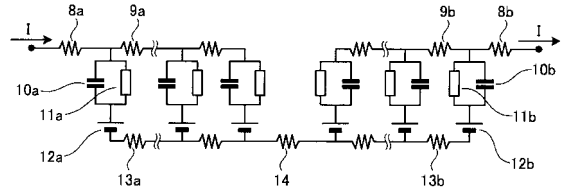
【図2】



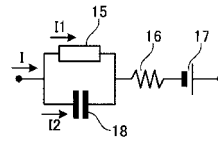
【図3】



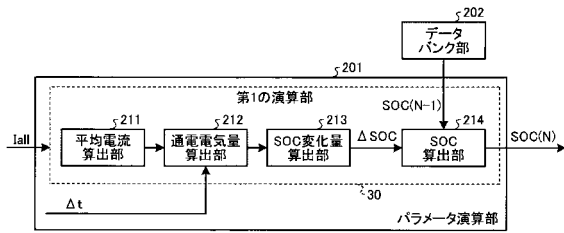
【図5】



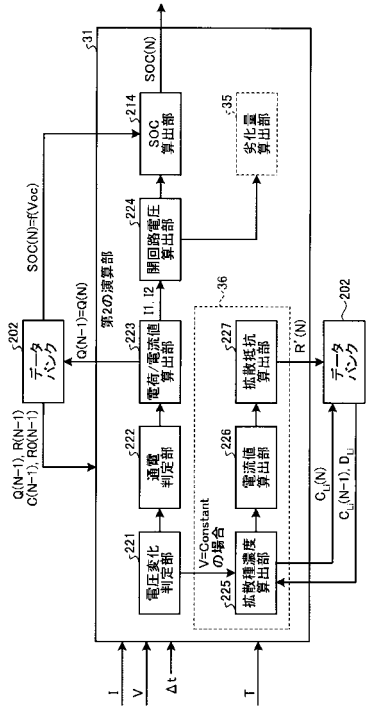
【図6】



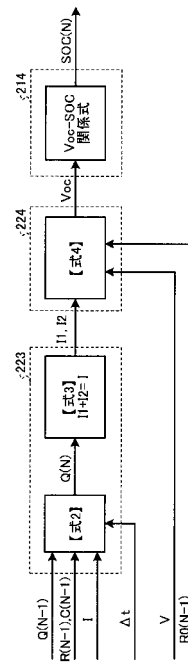
【図4】



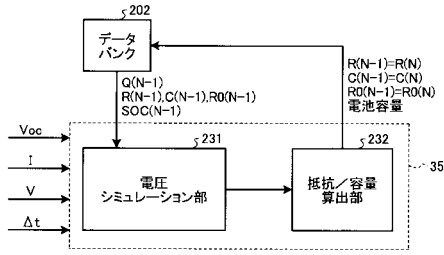
【図7 - 1】



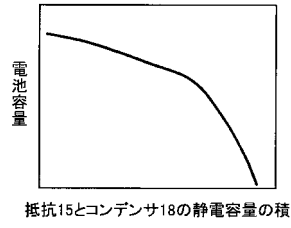
【図7 - 2】



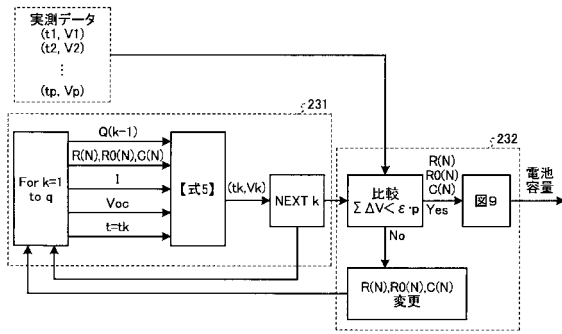
【図8-1】



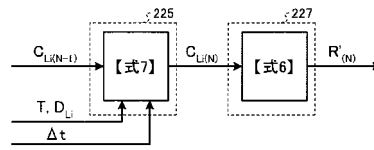
【図9】



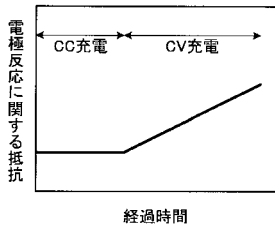
【図8-2】



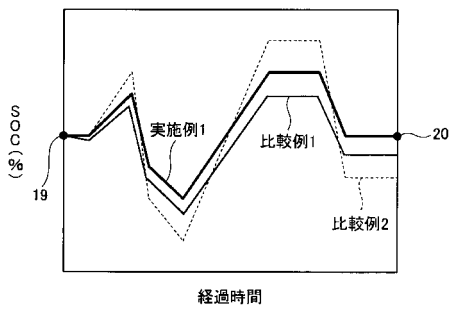
【図10】



【図11】



【図12】



フロントページの続き

(72)発明者 北中 英俊
東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内

審査官 武田 知晋

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G 0 1 R	3 1 / 3 6
H 0 1 M	1 0 / 4 4
H 0 1 M	1 0 / 4 8
H 0 2 J	7 / 0 0