

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号
特許第6450565号
(P6450565)

(45) 発行日 平成31年1月9日 (2019.1.9)

(24) 登録日 平成30年12月14日 (2018.12.14)

(51) Int.Cl.	F I				
GO 1 R 31/36 (2019.01)	GO 1 R	31/36	Z H V A		
HO 1 M 10/48 (2006.01)	HO 1 M	10/48	P		
HO 2 J 7/00 (2006.01)	HO 2 J	7/00	Y		
	HO 2 J	7/00	X		

請求項の数 5 (全 15 頁)

(21) 出願番号	特願2014-222959 (P2014-222959)	(73) 特許権者	000004765
(22) 出願日	平成26年10月31日 (2014.10.31)		カルソニックカンセイ株式会社
(65) 公開番号	特開2016-90322 (P2016-90322A)		埼玉県さいたま市北区日進町二丁目191
(43) 公開日	平成28年5月23日 (2016.5.23)		7番地
審査請求日	平成29年8月3日 (2017.8.3)	(73) 特許権者	899000079
			学校法人慶應義塾
			東京都港区三田2丁目15番45号
		(74) 代理人	100147485
			弁理士 杉村 憲司
		(74) 代理人	100164471
			弁理士 岡野 大和
		(74) 代理人	100195534
			弁理士 内海 一成

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 バッテリーのパラメータ推定装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

バッテリーの電圧及びバッテリーの電流のうち少なくともも一方に基づき、前記バッテリーの等価回路モデルにおける抵抗および容量を含むパラメータを逐次推定するバッテリーのパラメータ推定装置において、

バッテリーの充電状態と開回路電圧との特性において発生するヒステリシスを表すヒステリシスモデルにおける、電圧降下の最大範囲および入力電流の特性により関係づけられる前記抵抗によって前記バッテリーの等価回路モデルを形成し、

前記ヒステリシスモデルにおける前記電圧降下の最大範囲、およびヒステリシスモデルにおける電圧降下の速さの特性により関連付けられる前記容量を用いて前記バッテリーの等価回路モデルを形成することを特徴とするバッテリーのパラメータ推定装置。

10

【請求項2】

請求項1に記載のバッテリーのパラメータ推定装置において、

前記電圧降下の最大範囲を $M(t)$ 、前記入力電流を $u(t)$ とした場合に、前記抵抗 $R_h(t)$ を式

【数1】

$$R_h(t) = \frac{M(t)}{f(|u(t)|)}$$

で表すことを特徴とするバッテリーのパラメータ推定装置。

20

【請求項 3】

請求項 1 に記載のバッテリーのパラメータ推定装置において、
前記電圧降下の最大範囲を $M(t)$ 、前記電圧降下の速さを $\Gamma(t)$ とした場合に、前記容量 $C_h(t)$ を式

【数 2】

$$C_h(t) = \frac{1}{\Gamma(t)M(t)}$$

で表すことを特徴とするバッテリーのパラメータ推定装置。

【請求項 4】

10

請求項 2 に記載のバッテリーのパラメータ推定装置において、
前記抵抗 $R_h(t)$ を式

【数 3】

$$R_h(t) = \frac{M(t)}{\alpha|u(t)| + \beta}$$

で表すことを特徴とするバッテリーのパラメータ推定装置。

【請求項 5】

請求項 2 に記載のバッテリーのパラメータ推定装置において、
前記抵抗 $R_h(t)$ を式

20

【数 4】

$$R_h(t) = \frac{M(t)}{|u(t)|}$$

で表すことを特徴とするバッテリーのパラメータ推定装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、バッテリーの等価回路モデルのパラメータをカルマンフィルタで逐次推定可能なバッテリーのパラメータ推定装置に関する。

30

【背景技術】

【0002】

従来のバッテリーの内部状態・パラメータ推定装置としては、例えば特許文献 1 に記載のものが知られている。この従来のバッテリーのパラメータ推定装置は、バッテリーの充放電電流および端子電圧を検出し、これらを入力として、抵抗と容量を含むバッテリーの等価回路モデルを用いてカルマンフィルタでそのパラメータやバッテリーの内部状態量、開放電圧値を推定（算出）する。

【0003】

上述のバッテリーの等価回路モデルにおいて、バッテリーの SOC - OCV 特性を表すことができる。しかしながら、実際のバッテリーでは充電後と放電後とで SOC - OCV 特性が異なるヒステリシス現象が発生することがある。この場合にはバッテリーの SOC - OCV 特性を正確に表すことができない。ヒステリシス現象は電極の材料により発生し、特にリチウムイオン酸リチウムを用いた場合にはヒステリシス現象の影響が大きく出る。

40

【0004】

ここで、バッテリーのヒステリシス現象を取り扱うためにバッテリーの等価回路にヒステリシスによる電圧降下を表すヒステリシス素子を付け加えたモデルが提案されている。例えば特許文献 2、非特許文献 1 - 2 に記載のバッテリーの内部状態・パラメータ推定装置が知られている。なおバッテリーのヒステリシス現象とは、バッテリーの充放電に伴う状態の変動において、その変動履歴によってバッテリーの平衡状態が変動することを言う。つまりヒステリシスのないバッテリーではバッテリーの充放電の履歴にかかわらず、ある程度の時間放置

50

することによって元の平衡状態に戻るが、ヒステリシスのあるバッテリーではバッテリーの充放電の履歴によりいくら放置しても元の平衡状態に戻らないことがある。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献1】特開2014-74682号公報

【特許文献2】特許第4511600号公報

【非特許文献】

【0006】

【非特許文献1】G. L. Plett: "Extended Kalman filtering for battery management systems of LiPB-based HEV battery packs Part 2. Modeling and identification", Journal of Power Sources 134 (2004) 262-276

10

【非特許文献2】Mark Verbrugge, Edward Tate: "Adaptive state of charge algorithm for nickel metal hydride batteries including hysteresis phenomena", J. Appl. Electrochem. (2007) 37:605-616

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

本来、バッテリーのヒステリシス現象はバッテリー内部の電気化学反応の結果としてあらわれてくるもので、バッテリー内部の電荷移動過程やイオンの拡散過程と密接な関係がある。しかし、特許文献1、非特許文献1-2では、開放電圧のヒステリシスを扱うものとして、バッテリー内部の電荷移動過程やイオンの拡散過程に対応した抵抗や容量とは別に、独立した反応(ダイナミクス)を追加している。そのためバッテリーの等価回路にヒステリシス素子が増えてしまう。また、このヒステリシス素子は電荷移動過程やイオンの拡散過程に関連付けられていないという問題点がある。

20

【0008】

かかる事情に鑑みてなされた本発明の目的は、バッテリーの等価回路にヒステリシス素子を増やすことなくヒステリシスを扱うことができるバッテリーのパラメータ推定装置を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

30

【0009】

上記課題を解決するために、第1の発明に係るバッテリーのパラメータ推定装置は、バッテリーの電圧及びバッテリーの電流のうち少なくとも一方に基づき、前記バッテリーの等価回路モデルにおける抵抗および容量を含むパラメータを逐次推定するバッテリーのパラメータ推定装置において、

バッテリーの充電状態と開回路電圧との特性において発生するヒステリシスを表すヒステリシスモデルにおける、電圧降下の最大範囲および入力電流の特性により関係づけられる前記抵抗によって前記バッテリーの等価回路モデルを形成し、

前記ヒステリシスモデルにおける前記電圧降下の最大範囲、およびヒステリシスモデルにおける電圧降下の速さの特性により関連付けられる前記容量を用いて前記バッテリーの等価回路モデルを形成することを特徴とする。

40

【0010】

上記課題を解決するために、第2の発明に係るバッテリーのパラメータ推定装置は、前記抵抗 $R_h(t)$ を式

【数3】

$$R_h(t) = \frac{M(t)}{\alpha|u(t)| + \beta}$$

で表すことを特徴とする。

【0011】

50

上記課題を解決するために、第3の発明に係るバッテリーのパラメータ推定装置は、
前記抵抗 $R_h(t)$ を式

【数4】

$$R_h(t) = \frac{M(t)}{|u(t)|}$$

で表すことを特徴とする。

【発明の効果】

【0012】

第1の発明に係るバッテリーのパラメータ推定装置によれば、バッテリーの等価回路にヒステリシス素子を増やすことなくヒステリシスを扱うことができる。 10

【0013】

第2の発明に係るバッテリーのパラメータ推定装置によれば、ヒステリシスを正確に扱えるため、より早く正確な推定値を得ることができる。

【0014】

第3の発明に係るバッテリーのパラメータ推定装置によれば、モデル構成が簡易であり容易にヒステリシス現象を取り扱うことができる。

【図面の簡単な説明】

【0015】

【図1】バッテリーに接続した本発明の実施の形態に係るバッテリーのパラメータ推定装置の機能ブロックを示す図である。 20

【図2】バッテリーの等価回路モデルを説明する図である。

【図3】バッテリーの開放電圧と充電率との関係を示す図である。

【図4】(a)ワールブルグインピーダンスを近似したn次のフォスタ型RC梯子回路を示す図である。(b)ワールブルグインピーダンスを近似したn次のカウエル型RC梯子回路を示す図である。

【図5】リン酸鉄リチウムイオン電池のSOC-OCV特性の測定結果を示すグラフである。

【図6】Plettによるヒステリシスモデルの等価回路を示す図である。

【図7】可変抵抗 R_h と可変容量 C_h によって構成されるRC並列回路を表す図である。 30

【図8】電荷移動過程をモデル化した電荷移動抵抗 R_{ct} と電気二重層容量 C_{dl} からなるヒステリシスモデルに対応したRC並列回路を表す図である。

【図9】イオンの拡散過程をモデル化し、ヒステリシスモデルに対応したフォスタ型回路を表す図である。

【発明を実施するための形態】

【0016】

以下、本発明に係る実施形態について、図面を参照しながら詳細に説明する。

【0017】

(第1の実施形態)

第1の実施形態のバッテリーのパラメータ推定装置は、電気自動車やハイブリッド電気自動車などの車両に用いられる。このような車両には、車両を駆動する電気モータ、バッテリー、これらのコントローラなどが搭載され、電気モータへの電力の供給(放電)や制動時における電気モータからの制動エネルギーの回生、地上充電設備からのバッテリーへの電力回収(充電)が行われる。このような充放電電流のバッテリーへの出入りがあると、バッテリー内部の状態が変化していき、この内部状態をバッテリーのパラメータ推定装置で推定しながらモニタしていくことで、バッテリーの残量など必要な情報を収集している。 40

【0018】

図1に示すように、バッテリー1のパラメータ推定装置は、電圧センサ(端子電圧検出部)2と、電流センサ(充放電電流検出部)3と、推定部4と、電荷量算出部5と、充電率算出部6と、健全度算出部7と、を備える。推定部4、電荷量算出部5、充電率算出部6 50

、及び健全度算出部 7 は、例えば車載のマイクロ・コンピュータで構成される。

【 0 0 1 9 】

バッテリー 1 は、例えばリチャージャブル・バッテリー（二次電池）である。バッテリー 1 は、本実施の形態においてリチウム・イオン・バッテリーであるものとして説明するが、他の種類のバッテリーを用いてもよい。

【 0 0 2 0 】

端子電圧検出部 2 は、例えば電圧センサであって、バッテリー 1 の端子電圧値 v を検出する。端子電圧検出部 2 は、検出した端子電圧値 v を推定部 4 へ入力する。

【 0 0 2 1 】

充放電電流検出部 3 は、例えば電流センサであって、バッテリー 1 の充放電電流値 i を検出する。充放電電流検出部 3 は、検出した充放電電流値 i を推定部 4 へ入力する。

10

【 0 0 2 2 】

推定部 4 は、バッテリー 1 のバッテリー等価回路モデル 4 1 と、カルマンフィルタ 4 2 と、を有する。推定部 4 は、カルマンフィルタ 4 2 を用いて、バッテリー等価回路モデル 4 1 のパラメータ値と、バッテリー 1 の開放電圧 OCV (Open Circuit Voltage) と、バッテリー 1 の内部状態量と、を推定（算出）可能である。本実施の形態において、推定部 4 は、端子電圧検出部 2 からの端子電圧 v 及び充放電電流検出部 3 からの充放電電流 i に基づいて、パラメータ値及び内部状態量を同時に推定し、推定したパラメータ値に基づいて開放電圧 OCV を算出する。推定部 4 が行う推定・算出の処理の詳細については後述する。また、推定部 4 は、算出した開放電圧 OCV を、充電率算出部 6 と健全度算出部 7 へ入力する。

20

【 0 0 2 3 】

バッテリー等価回路モデル 4 1 は、後述するように、抵抗とコンデンサとの並列回路を接続した、無限級数の和による近似で表されるフォスタ型 RC 梯子回路や、直列接続した抵抗間をコンデンサで接地した、連分数展開による近似で表されるカウエル型 RC 梯子回路等で構成する。なお、抵抗やコンデンサは、バッテリー等価回路モデル 4 1 のパラメータとなる。

【 0 0 2 4 】

カルマンフィルタ 4 2 では、対象となるシステムのモデル（本実施形態の場合、バッテリー等価回路モデル 4 1）を設計し、このモデルと実システムに同一の入力信号を入力し、その場合の両者の出力を比較してそれらに誤差があれば、この誤差にカルマン・ゲインをかけてモデルへフィードバックすることで、両者の誤差が最小になるようにモデルを修正する。これを繰り返すことで、モデルのパラメータを推定する。

30

【 0 0 2 5 】

電荷量算出部 5 は、充放電電流検出部 3 で検出したバッテリー 1 の充放電電流値 i が入力され、この値を逐次積算していくことでバッテリー 1 から出入りした電荷量を求める。電荷量算出部 5 は、出入りした電荷量を、逐次積算演算前に記憶した残存電荷量から減算することで、現在のバッテリー 1 が有する電荷量 Q を算出する。この電荷量 Q は、健全度算出部 7 へ出力される。

【 0 0 2 6 】

充電率算出部 6 は、開放電圧値と充電率との関係が温度やバッテリー 1 の劣化に影響されにくいことから、これらの関係を予め実験等で求めて得た関係データを、例えば特性表として記憶している。そして、この特性表に基づき、推定部 4 で推定した開放電圧推定値からそのときの充電率 SOC (State of Charge) を推定する。この充電率 SOC は、バッテリー 1 のバッテリー・マネジメントに利用される。

40

【 0 0 2 7 】

健全度算出部 7 は、所定幅で区分けした健全度 SOH (State of Health) ごとに電荷量 Q と開放電圧 OCV の関係を表わす特性表を有する。この特性表の詳細については、例えば、本出願人の出願による特開 2012 - 57956 号公報に開示されている。健全度算出部 7 には、推定部 4 で推定した開放電圧 OCV と電荷量算出部 5 で算出した電荷量 Q とが入力されて、これらが上記特性表のいずれの健全度 SOH の範囲に入るのかが算出され

50

て、当てはまる健全度 S O H が出力される。

【 0 0 2 8 】

ここで、バッテリー 1 の等価回路モデル 4 1 について説明する。一般に、バッテリーの電極反応には、電解液と活物質との界面における電荷移動過程と、電解液又は活物質におけるイオンの拡散過程と、が含まれる。例えばリチウム・イオン・バッテリー等の物理過程(non-Faradaic process)バッテリー、即ち拡散現象が支配的なバッテリーにおいて、拡散過程に起因するインピーダンスであるワールブルグインピーダンスの影響が支配的となる。

【 0 0 2 9 】

はじめに、図 2 に示すように、バッテリーのモデルとして、開放電圧（開回路電圧）O C V を有し、内部抵抗 R_0 とワールブルグインピーダンス Z_w とが直列に接続される開回路を

10

【 0 0 3 0 】

開放電圧 O C V は、図 3 に示すような充電率 S O C の非線形関数となる。充電率 S O C は、充放電電流値 i と満充電容量 F C C (Full Charge Capacity) を用いて、式 (1) で表される。

【数 5】

$$\frac{d}{dt}SOC = \frac{i}{FCC} \quad (1)$$

【 0 0 3 1 】

20

また、ワールブルグインピーダンス Z_w の伝達関数は、式 (2) により表される。

【数 6】

$$Z_w(s) = \frac{R_d}{\sqrt{\tau_d s}} \tanh \sqrt{\tau_d s} \quad (2)$$

ただし、 s はラプラス演算子、拡散抵抗 R_d は $Z_w(s)$ の低周波極限 (0) である。また、拡散時定数 τ_d は、拡散反応の速度を意味する。拡散抵抗 R_d および拡散時定数 τ_d を用いて、式 (3) により拡散容量 C_d を定義する。

【数 7】

$$C_d := \frac{\tau_d}{R_d} \quad (3)$$

30

【 0 0 3 2 】

式 (2) において、ラプラス演算子 s の平方根が存在するため、そのままではワールブルグインピーダンス Z_w を時間領域へ変換することは困難である。このため、ワールブルグインピーダンス Z_w の近似を考える。ワールブルグインピーダンス Z_w は、例えば、無限級数の和による近似、又は連分数展開による近似が可能である。

【 0 0 3 3 】

まず、無限級数の和による近似について説明する。ワールブルグインピーダンス Z_w は、式 (4) に示すように、無限級数の和として表すことができる。

【数 8】

40

$$Z_w(s) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{R_n}{sC_n R_n + 1} \quad (4)$$

ただし、

【数 9】

$$C_n = \frac{C_d}{2} \quad (5)$$

$$R_n = \frac{8R_d}{(2n-1)^2 \pi^2} \quad (6)$$

50

である。上述の近似式を回路図で表すと、抵抗とコンデンサとの並列回路が n 個直列に接続された n 次フォスタ型回路である（図 4（a）参照）。式（5）及び式（6）から明らかなように、ワールブルグインピーダンス Z_w を近似した n 次のフォスタ型等価回路モデルによれば、拡散容量 C_d 及び拡散抵抗 R_d を用いて、等価回路の他のパラメータ（抵抗 R_n 、コンデンサ C_n ）を算出可能である。

【0034】

次に、連分数展開による近似について説明する。ワールブルグインピーダンス Z_w は、式（7）に示すように、連分数展開により表すことができる。

【数10】

$$Z_w(s) = \lim_{n \rightarrow \infty} \left[0; \frac{1}{R_1}, \frac{1}{sC_1}, \dots, \frac{1}{R_n}, \frac{1}{sC_n} \right] \quad (7)$$

$$= \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{\frac{1}{\frac{1}{sC_1} + \frac{1}{\frac{1}{R_2} + \frac{1}{\frac{1}{sC_2} + \dots}}}}}$$

ただし、

【数11】

$$C_n = \frac{C_d}{4n-1} \quad (8)$$

$$R_n = \frac{R_d}{4n-3} \quad (9)$$

である。上述の近似式を回路図で表すと、並列接続された n 個の抵抗 R のそれぞれが、直列接続された n 個のコンデンサ C の間に接続された n 次カウエル型回路である（図 4（b）参照）。式（8）及び式（9）から明らかなように、ワールブルグインピーダンス Z_w を近似した n 次のカウエル型等価回路モデルによれば、拡散容量 C_d 及び拡散抵抗 R_d を用いて、回路の他のパラメータ（抵抗 R_n 、コンデンサ C_n ）を算出可能である。

【0035】

次に、推定部 4 の処理について説明する。本実施の形態において、推定部 4 は、上記フォスタ型及びカウエル型の何れかのバッテリー等価回路モデル 41 において、カルマンフィルタ 42 を用いてバッテリーの内部状態量とパラメータ値とを同時に推定する。好適には、バッテリーの内部状態量にはバッテリーの SOC を含み、パラメータ値には拡散容量 C_d 又は拡散抵抗 R_d の少なくとも 1 つを含む。本実施の形態において、カルマンフィルタ 42 には無香料カルマンフィルタ（UKF: Unscented Kalman Filter）を用いるが、他のものでもよい。UKF は、シグマ・ポイントという重み付きサンプル点を使って、確率分布を近似し、それぞれの重み付き遷移を計算する。具体的には、シグマ・ポイントごとに遷移後の平均値と分散を計算し、それらを重みに従って加算する。このようにすることで、遷移後の確率分布をより真値に近く、また計算量も増え過ぎない近似を行うことができる。また、システムを近似するのではなく、確率分布をシグマ・ポイントで近似しているので、システムの非線形性について制約がない。

【0036】

上述のバッテリーの等価回路モデルにおいて、バッテリーの SOC - OCV 特性を表すことができる。しかしながら、実際のバッテリーでは充電後と放電後とで SOC - OCV 特性が異なるヒステリシス現象が発生することがあり、この場合にはバッテリーの SOC - OCV 特性を正確に表すことができない。ヒステリシス現象は電極の材料により発生し、特にリン酸リチウムを用いた場合にはヒステリシス現象の影響が大きく出る。

【 0 0 3 7 】

図 5 はリン酸鉄リチウムイオン電池の SOC - OCV 特性の測定結果である。図 5 (a) によれば充電時の特性と放電時の特性との間で OCV の差が生じていることが分かる。また図 5 (a) の破線囲み部を拡大した図 5 (b) において、SOC が約 30 % の時点で放電するようにしてもヒステリシス特性を示すことが分かる。上述のバッテリーの等価回路モデルでは、このようにヒステリシス現象が発生するバッテリーの SOC - OCV 特性を正確に取り扱うことができない。

【 0 0 3 8 】

このようなヒステリシス現象を表すモデルの一つである Plett によるヒステリシスモデルは、図 6 の等価回路で表される。ここで素子 V_h がヒステリシス電圧を表す素子である。このヒステリシスモデルは、以下の式 (10) で表される。

【 数 1 2 】

$$\frac{dv_h(t)}{dt} = -\Gamma(t)|u(t)|v_h(t) + \Gamma(t)M(t)u(t) \quad (10)$$

ここで、 $v_h(t)$ はヒステリシス電圧、 $\Gamma(t)$ はヒステリシスモデルの電圧降下の速さ (SOC - OCV 曲線の傾きに相当)、 $M(t)$ はヒステリシスモデルの電圧降下の最大範囲、 $u(t)$ は入力電流を表すパラメータである。

【 0 0 3 9 】

本来、バッテリーのヒステリシスはバッテリー内部の電気化学反応の結果としてあらわれてくるもので、バッテリー内部の電荷移動過程やイオンの拡散過程と密接な関係が有る。しかしながら Plett によるヒステリシスモデルは、電荷移動過程やイオンの拡散過程とは独立した反応を追加して $v_h(t)$ を表している。そのため、式 (10) に基づいてバッテリー状態を推定する場合には、RC 並列回路の抵抗及び容量の推定に加え、ヒステリシス電圧を表す $\Gamma(t)$ 及び $M(t)$ を推定する必要がある。つまりヒステリシスを考えないバッテリーモデルの推定と比較して、推定すべきパラメータが 2 つ (Γ と M) 増加する。

【 0 0 4 0 】

ここで、本実施形態においては、かかる独立した反応を電荷移動過程やイオンの拡散過程に対応したモデルに統合する。ヒステリシスモデルを表す式 (10) において、

【 数 1 3 】

$$R_h(t) = \frac{M(t)}{|u(t)|} \quad (11)$$

$$C_h(t) = \frac{1}{\Gamma(t)M(t)} \quad (12)$$

と置く。このとき、ヒステリシスモデルを表す式 (10) は、以下の式 (13) のように書き換えることができる。

【 数 1 4 】

$$\frac{dv_h(t)}{dt} = -\frac{1}{R_h(t)C_h(t)}v_h(t) + \frac{1}{C_h(t)}u(t) \quad (13)$$

これは、図 7 に示す可変抵抗 R_h と可変容量 C_h によって構成される RC 並列回路を表す式と同等であると解釈できる。特に式 (11) で表されるように、モデルの抵抗は電流の大きさによって可変となる可変抵抗であることが特徴である。

【 0 0 4 1 】

第 1 の実施形態のヒステリシスモデルの可変抵抗及び可変容量を、電荷移動過程をモデル化した電荷移動抵抗 R_{ct} と電気二重層容量 C_{dl} からなる RC 並列回路に適用することができる。Plett のヒステリシスモデルでは図 8 左のような RC 並列回路にヒステリシス素子を加えた等価回路で表される。一方、本実施形態のヒステリシスモデルを用いれば図 8 右のような可変抵抗及び可変容量の並列回路で表される。この等価回路において、可変抵抗 $R_{ct,h}(t)$ 及び可変容量 $C_{dl,h}(t)$ は、以下の式 (14) (15) のように表され

る。

【数 1 5】

$$R_{ct,h}(t) = \frac{M_{ct}(t)}{|u(t)|} \quad (14)$$

$$C_{dl,h}(t) = \frac{1}{\Gamma_{ct}(t)M_{ct}(t)} \quad (15)$$

ここで、 $M_{ct}(t)$ は電荷移動過程によって生じるヒステリシス電圧降下の最大範囲を示し、 $\Gamma_{ct}(t)$ は電荷移動過程によって生じるヒステリシス電圧降下の速さ（SOC - OCCV特性の傾きに相当）を示す。このように本変形例のヒステリシスモデルを用いれば、
10 バッテリーの等価回路にヒステリシス素子を増やすことなくヒステリシスを扱うことができる。したがって、ヒステリシスを考えないバッテリーモデルの推定と同数のパラメータ（抵抗と容量）を推定することによってヒステリシス現象を扱うことができる。また、電荷移動過程やイオンの拡散過程に合わせた時定数の中で、すなわちヒステリシスを考えないバッテリーモデルの抵抗と容量にヒステリシス現象を統合した形でパラメータを求めることができるので、精度が向上する。また、式（14）のように可変抵抗 R_h を表す式の分母が
入力電流 $u(t)$ の絶対値 $|u(t)|$ であるモデルによれば、モデル構成が簡易であり、容易にヒステリシス現象を取り扱うことができる。

【0042】

また第1の実施形態のヒステリシスモデルの可変抵抗及び可変容量を、イオンの拡散過程を表すフォスタ型回路に適用することができる。Plettのヒステリシスモデルでは図9
20 上のような n 次フォスタ型回路にヒステリシス素子を加えた等価回路で表される。一方、本実施形態のヒステリシスモデルを用いれば図9下のような n 次フォスタ回路を可変抵抗及び可変容量で構成した等価回路でヒステリシスモデルを表すことができる。ここで、可変抵抗及び可変容量を適用する前のフォスタ型回路（図9上）の回路パラメータは、

【数 1 6】

$$R_n = \frac{8R_d}{(2n-1)^2 \pi^2} \quad (16)$$

$$C_n = \frac{C_d}{2} \quad (17) \quad 30$$

であり、可変抵抗及び可変容量を適用した後のフォスタ型回路（図9下）の回路パラメータは、

【数 1 7】

$$R_{n,h} = \frac{8R_{d,h}}{(2n-1)^2 \pi^2} \quad (18)$$

$$C_{n,h} = \frac{C_{d,h}}{2} \quad (19) \quad 40$$

$$R_{d,h}(t) = \frac{M_d(t)}{|u(t)|} \quad (20)$$

$$C_{d,h}(t) = \frac{1}{\Gamma_d(t)M_d(t)} \quad (21)$$

である。すなわち、拡散抵抗 R_d 及び拡散容量 C_d を推定する代わりに、ヒステリシス現象を取り入れた可変抵抗 $R_{d,h}$ 及び可変容量 $C_{d,h}$ を推定すればよい。

【0043】

第1の実施形態のヒステリシスモデルの可変抵抗及び可変容量を、イオンの拡散過程を表すカウエル型回路に適用することもできる。この場合はフォスタ型回路に適用した場合
50

と同様、回路パラメータを可変抵抗及び可変容量の値に置き換えればよい。このように第 1 の実施形態に係るバッテリーのパラメータ推定装置によれば、バッテリー等価回路の形式にかかわらず、等価回路の抵抗及び容量を可変抵抗及び可変容量に置き換えることによって簡単に本変形例のヒステリシスモデルを適用することができる。これによって、バッテリーの等価回路にヒステリシス素子を増やすことなくヒステリシスを扱うことができる。したがって、ヒステリシスを考えないバッテリーモデルの推定と同数のパラメータ（抵抗と容量）を推定することによってヒステリシス現象を扱うことができる。また、電荷移動過程やイオンの拡散過程に合わせた時定数の中で、すなわちヒステリシスを考えないバッテリーモデルの抵抗と容量にヒステリシス現象を統合した形でパラメータを求めることができるので、精度が向上する。

10

【 0 0 4 4 】

（第 2 の実施形態）

第 1 の実施形態では、ヒステリシスモデルの抵抗を可変抵抗 R_h として式（ 1 1 ）の形式で表すことにより、バッテリーの等価回路にヒステリシス素子を増やすことなくヒステリシスを扱うことができた。第 2 の実施形態では、ヒステリシスモデルの可変抵抗 R_h を表す形式として式（ 1 1 ）以外の形式を用いる場合について説明する。第 1 の実施形態と重複する説明については省略する。

【 0 0 4 5 】

式（ 1 1 ）ではヒステリシスモデルの可変抵抗 R_h が入力電流 $u(t)$ の絶対値 $|u(t)|$ を分母とする関数で表される。一方、ヒステリシス現象をさらに正確に取り扱うために、可変抵抗 R_h を表す式の分母を入力電流 $u(t)$ の関数として拡張して表すことが考えられる。ここで、入力電流 $u(t)$ の関数として、 $f(|u(t)|)$ を定義する。一般に関数 $f(x)$ は入力 x に対する出力を表し、入力 x と出力 $f(x)$ の関係は任意に定められる。関数 $f(|u(t)|)$ を用いて可変抵抗 R_h を表すと、以下の式（ 2 2 ）のようになる。

20

$$R_h(t) = \frac{M(t)}{f(|u(t)|)} \quad (22)$$

式（ 2 2 ）においても、モデルの抵抗は電流の大きさによって可変となる可変抵抗であることが特徴である。

30

【 0 0 4 6 】

関数 $f(x)$ の形式の一つに一次関数がある。これは、 $f(x) = x + \beta$ と表す形式であり、 β は定数である。この形式で可変抵抗 R_h を表すと、式（ 2 3 ）のようになる。

【 数 1 9 】

$$R_h(t) = \frac{M(t)}{\alpha|u(t)| + \beta} \quad (23)$$

式（ 2 3 ）において $\alpha > 0$ であれば、 $u(t) = 0$ の場合に可変抵抗 R_h は有限の値をとる。すなわち可変抵抗 R_h を推定するときに無限大に発散することがなくモデルが安定し、実際のモデルに近づく。また式（ 2 3 ）において $\alpha = 1$ であれば、 $u(t) = 0$ の場合に $R_h(t) = M(t)$ となるため、モデルのパラメータの理解が容易になる。このように本実施形態に係るバッテリーのパラメータ推定装置によれば、ヒステリシスを正確に扱えるため、より早く正確な推定値を得ることができる。特に、 $f(|u(t)|) = |u(t)| + \beta$ と表す形式とした式（ 2 3 ）のモデルによれば、より早く正確な推定値を得ることができる。

40

【 0 0 4 7 】

さらに式（ 2 3 ）において $\alpha = 1$ 、 $\beta = 0$ とすれば、 $f(|u(t)|) = |u(t)|$ であり、式（ 1 1 ）の形式でモデルを表すこととなる。これによりモデル構成がより簡

50

易にできるため、より容易にヒステリシス現象を取り扱うことができる。

【0048】

以上、関数 $f(x)$ の形式として一次関数について説明したが、これに限られない。二次関数などの多項式であってもよいし、有理関数、無理関数、対数関数や指数関数などであってもよい。いずれの形式であっても、バッテリーの等価回路にヒステリシス素子を増やすことなくヒステリシスを扱うことができ、ヒステリシス特性に則したモデルとして係数を選ぶことにより正確な推定値を得ることができる。

【0049】

以上のように、第2の実施形態に係るバッテリーのパラメータ推定装置は、バッテリーの電圧及びバッテリーの電流のうち少なくとも一方に基づき、前記バッテリーの等価回路モデルにおける抵抗又は容量を含むパラメータを逐次推定するバッテリーのパラメータ推定装置において、ヒステリシスによる電圧降下の最大範囲を $M(t)$ 、電圧降下の速さを $\frac{dM}{dt}(t)$ 、入力電流を $u(t)$ とした場合に、抵抗 $R_h(t)$ を前記入力電流の関数として式 $R_h(t) = M(t) / f(|u(t)|)$ で表し、容量 $C_h(t)$ を式 $C_h(t) = 1 / (\frac{dM}{dt}(t) M(t))$ で表すことを特徴とする。第2の実施形態に係るバッテリーのパラメータ推定装置によれば、等価回路の抵抗及び容量を可変抵抗及び可変容量に置き換えることによって、バッテリーの等価回路にヒステリシス素子を増やすことなくヒステリシスを扱うことができる。

【0050】

また第2の実施形態の中でも、 $f(|u(t)|) = |u(t)| + 1$ と表す実施形態が考えられる。この実施形態に係るバッテリーのパラメータ推定装置は、バッテリーの電圧及びバッテリーの電流のうち少なくとも一方に基づき、前記バッテリーの等価回路モデルにおける抵抗又は容量を含むパラメータを逐次推定するバッテリーのパラメータ推定装置において、ヒステリシスによる電圧降下の最大範囲を $M(t)$ 、電圧降下の速さを $\frac{dM}{dt}(t)$ 、入力電流を $u(t)$ とした場合に、抵抗 $R_h(t)$ を前記入力電流の関数として式 $R_h(t) = M(t) / (|u(t)| + 1)$ で表し、容量 $C_h(t)$ を式 $C_h(t) = 1 / (\frac{dM}{dt}(t) M(t))$ で表すことを特徴とする。この実施形態に係るバッテリーのパラメータ推定装置によれば、実際のモデルに近づき、より早く正確な推定値を得ることができる。

【0051】

さらに $f(|u(t)|) = |u(t)| + 1$ と表す実施形態の中でも、 $\frac{dM}{dt} = 1$ 、 $\frac{dM}{dt} = 0$ として、 $f(|u(t)|) = |u(t)|$ と表す実施形態が考えられる。この実施形態に係るバッテリーのパラメータ推定装置は、バッテリーの電圧及びバッテリーの電流のうち少なくとも一方に基づき、前記バッテリーの等価回路モデルにおける抵抗又は容量を含むパラメータを逐次推定するバッテリーのパラメータ推定装置において、ヒステリシスによる電圧降下の最大範囲を $M(t)$ 、電圧降下の速さを $\frac{dM}{dt}(t)$ 、入力電流を $u(t)$ とした場合に、抵抗 $R_h(t)$ を前記入力電流の関数として式 $R_h(t) = M(t) / |u(t)|$ で表し、容量 $C_h(t)$ を式 $C_h(t) = 1 / (\frac{dM}{dt}(t) M(t))$ で表すことを特徴とする。この実施形態に係るバッテリーのパラメータ推定装置によれば、モデル構成が簡易であり容易にヒステリシス現象を取り扱うことができる。

【0052】

本発明を諸図面および実施例に基づき説明してきたが、当業者であれば本開示に基づき種々の変形または修正をおこなうことが容易であることに注意されたい。従って、これらの変形または修正は本発明の範囲に含まれることに留意されたい。例えば、各構成部、各ステップなどに含まれる機能などは論理的に矛盾しないように再配置可能であり、複数の構成部およびステップなどを1つに組み合わせたり、或いは分割したりすることが可能である。

【0053】

例えば、上述の実施の形態において、ワールブルグインピーダンス Z_w を無限級数展開又は連分数展開により近似したが、任意の方法で近似してもよい。例えば、無限乗積展開を用いて近似することが考えられる。

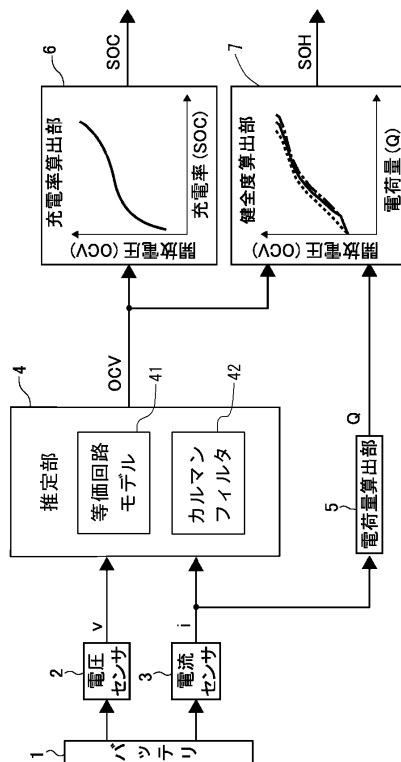
【符号の説明】

【 0 0 5 4 】

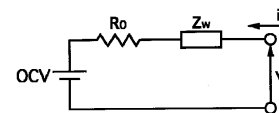
- 1 バッテリ
- 2 電圧センサ（端子電圧検出部）
- 3 電流センサ（充放電電流検出部）
- 4 推定部
- 4 1 バッテリ等価回路モデル
- 4 2 カルマンフィルタ
- 5 電荷量算出部
- 6 充電率算出部
- 7 健全度算出部

10

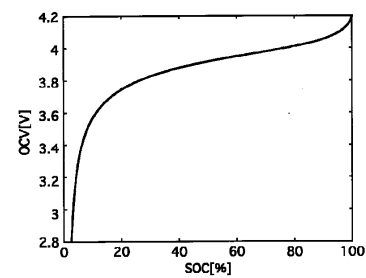
【図 1】



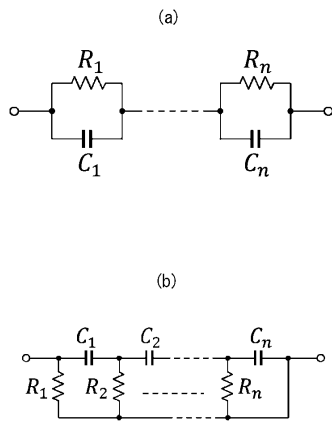
【図 2】



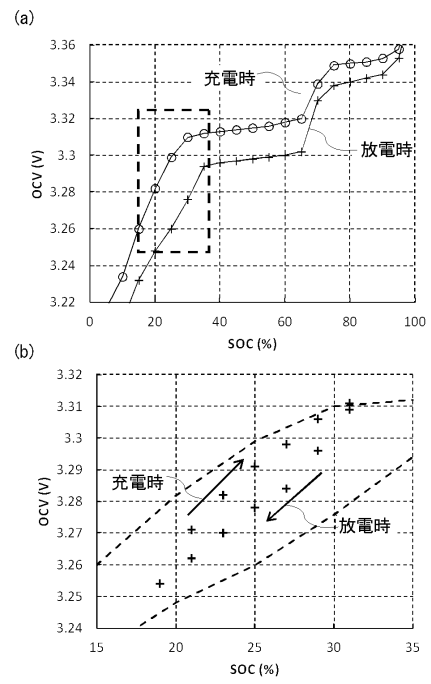
【図 3】



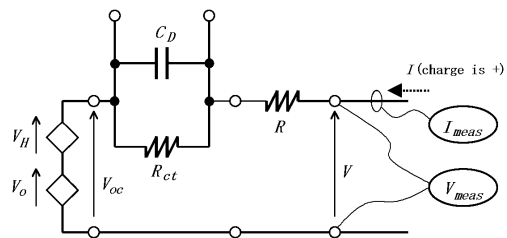
【図 4】



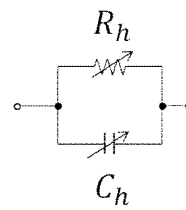
【図 5】



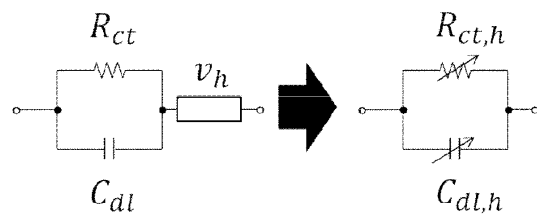
【図 6】



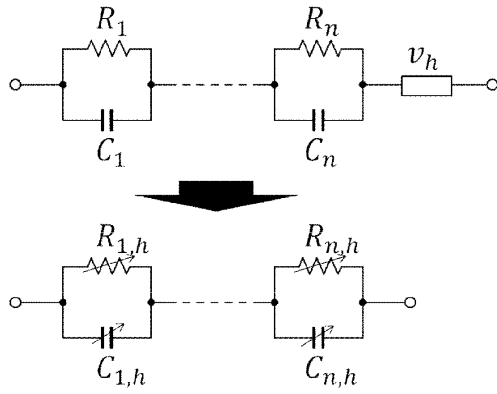
【図 7】



【図 8】



【図 9】



フロントページの続き

(72)発明者 馬場 厚志

埼玉県さいたま市北区日進町2丁目1917番地 カルソニックカンセイ株式会社内

(72)発明者 足立 修一

神奈川県横浜市港北区日吉三丁目14番1号 慶應義塾大学 理工学部内

審査官 菅藤 政明

(56)参考文献 特表2013-500487(JP, A)

米国特許出願公開第2013/0218496(US, A1)

特開2003-157912(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01R 31/36

H01M 10/48

H02J 7/00