

(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2017-138128
(P2017-138128A)

(43) 公開日 平成29年8月10日(2017.8.10)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
GO 1 R 31/36 (2006.01)	GO 1 R 31/36 A	2 G 2 1 6
HO 1 M 10/48 (2006.01)	HO 1 M 10/48 3 O 1	5 G 5 0 3
HO 2 J 7/00 (2006.01)	HO 1 M 10/48 P	5 H 0 3 0
	HO 2 J 7/00 Q	

審査請求 未請求 請求項の数 10 O L (全 31 頁)

(21) 出願番号 特願2016-17527 (P2016-17527)
(22) 出願日 平成28年2月1日 (2016.2.1)

(71) 出願人 000004260
株式会社デンソー
愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地
(74) 代理人 100121821
弁理士 山田 強
(74) 代理人 100139480
弁理士 日野 京子
(74) 代理人 100125575
弁理士 松田 洋
(74) 代理人 100175134
弁理士 北 裕介
(72) 発明者 河合 利幸
愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式会
社デンソー内

最終頁に続く

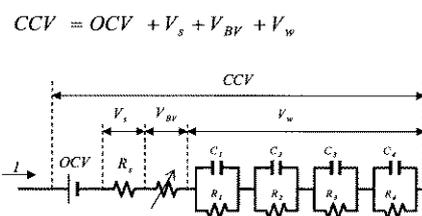
(54) 【発明の名称】 電池状態推定装置

(57) 【要約】

【課題】 2次電池の低温時における2次電池の状態の推定精度の低下と、電池モデルを構成する電池パラメータの同定精度の低下とを回避できる電池状態推定装置を提供する。

【解決手段】 電池モデルには、直流抵抗モデル、バトラー-ボルマー式から導かれた電荷移動抵抗モデル、及び拡散抵抗モデルの直列接続体が含まれている。推定装置は、記憶部及びパラメータ算出部を備えている。記憶部は、拡散抵抗モデルの抵抗成分に係る抵抗パラメータ、拡散抵抗モデルの時定数に係る時定数パラメータ及び電荷移動抵抗モデルの電荷パラメータのそれぞれの情報を2次電池の温度情報と関係付けて記憶している。パラメータ算出部は、2次電池の温度検出値と、記憶されている情報とに基づいて、温度検出値に対応する各パラメータを算出する。パラメータ算出部は、算出した各パラメータを初期値として、状態の推定に用いられる各パラメータをカルマンフィルタにより逐次同定する。

【選択図】 図2



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

2次電池(20a)の電池モデルに基づいて、前記2次電池の状態を推定する電池状態推定装置において、

前記電池モデルには、

前記2次電池の直流抵抗(R_s)を表す直流抵抗モデルと、

前記2次電池の電荷移動抵抗を表すモデルであって、バトラーボルマー式から導かれ、交換電流密度と相関のある電荷パラメータを含む電荷移動抵抗モデルと、

抵抗及びキャパシタを含む少なくとも1つのRC等価回路モデルであって、前記2次電池の拡散抵抗を表す拡散抵抗モデルと、の直列接続体が含まれており、

前記拡散抵抗モデルの抵抗成分に係るパラメータが抵抗パラメータとして定義され、前記拡散抵抗モデルの時定数に係るパラメータが時定数パラメータとして定義されており、

前記抵抗パラメータ、前記時定数パラメータ及び前記電荷パラメータのそれぞれの情報を前記2次電池の温度情報と関係付けて予め記憶している記憶部(31)と、

前記2次電池の温度検出値と、前記記憶部に記憶されている情報とに基づいて、前記温度検出値に対応する前記抵抗パラメータ(R_{dm})、前記時定数パラメータ(τ_{dm})及び前記電荷パラメータ(m)のそれぞれを算出するパラメータ算出部(40)と、

前記パラメータ算出部により算出された前記抵抗パラメータ、前記時定数パラメータ及び前記電荷パラメータに基づいて、前記2次電池の状態を推定する状態推定部(34~36)と、を備え、

前記パラメータ算出部は、該パラメータ算出部により算出された前記抵抗パラメータ及び前記時定数パラメータのそれぞれを初期値として、前記状態推定部において前記2次電池の状態の推定に用いられる前記抵抗パラメータ及び前記時定数パラメータのそれぞれをカルマンフィルタにより逐次同定する同定部(42)を含む電池状態推定装置。

【請求項 2】

前記抵抗パラメータ及び前記時定数パラメータは、前記2次電池の温度の逆数が大きくなるほど指数関数的に大きくなるパラメータであり、

前記記憶部は、前記抵抗パラメータ及び前記時定数パラメータのそれぞれの自然対数値を前記2次電池の温度の逆数と関係付けた情報を記憶しており、

前記状態推定部は、前記抵抗パラメータに第1補正係数(R_k)を乗算した値と、前記時定数パラメータに第2補正係数(τ_k)を乗算した値とに基づいて、前記2次電池の状態を推定し、

前記同定部は、

前記パラメータ算出部により算出された前記抵抗パラメータ及び前記時定数パラメータのそれぞれを前記初期値として、前記第1補正係数及び前記第2補正係数のそれぞれをカルマンフィルタにより逐次同定する第1処理部と、

前記第1処理部により同定された前記第1補正係数を前記抵抗パラメータに乗算することにより前記状態推定部において用いられる前記抵抗パラメータを更新して、かつ、前記第1処理部により同定された前記第2補正係数を前記時定数パラメータに乗算することにより前記状態推定部において用いられる前記時定数パラメータを更新する第2処理部と、を含む請求項1に記載の電池状態推定装置。

【請求項 3】

前記同定部は、前記パラメータ算出部により算出された前記抵抗パラメータ、前記時定数パラメータ及び前記電荷パラメータのそれぞれを初期値として、前記状態推定部において用いられる前記電荷パラメータをカルマンフィルタにより逐次同定する請求項1又は2に記載の電池状態推定装置。

【請求項 4】

前記電荷パラメータは、前記2次電池に流れる電流を独立変数とし、前記電荷移動抵抗の電位差を従属変数とする逆双曲線正弦関数において前記2次電池に流れる電流と前記電荷移動抵抗の電位差との関係を定めるパラメータであって、かつ、前記2次電池の温度の

逆数が大きくなるほど指数関数的に大きくなるパラメータであり、

前記記憶部は、前記電荷パラメータの自然対数値を前記 2 次電池の温度の逆数と関係付けた情報を記憶しており、

前記状態推定部は、前記電荷パラメータに電荷補正係数 (k) を乗算した値に基づいて、前記 2 次電池の状態を推定し、

前記同定部は、

前記パラメータ算出部により算出された前記抵抗パラメータ、前記時定数パラメータ及び前記電荷パラメータのそれぞれを初期値として、前記電荷補正係数をカルマンフィルタにより逐次同定する第 1 処理部と、

前記第 1 処理部により同定された前記電荷補正係数を前記電荷パラメータに乗算することにより前記状態推定部において用いられる前記電荷パラメータを更新する第 2 処理部と、を含む請求項 3 に記載の電池状態推定装置。

10

【請求項 5】

前記拡散抵抗モデルは、抵抗及びキャパシタを含む伝送線路回路モデルを、複数の RC 並列回路の直列接続体を含むフォスター型の RC 等価回路モデルに変換したモデルであり、

前記パラメータ算出部は、

該パラメータ算出部により算出された前記抵抗パラメータに基づいて前記各 RC 並列回路を構成する抵抗の抵抗値 ($R_1 \sim R_4$) を算出して、かつ、該パラメータ算出部により算出された前記時定数パラメータに基づいて前記各 RC 並列回路の時定数 ($\tau_1 \sim \tau_4$) を算出する定数算出部と、

20

前記定数算出部により算出された前記抵抗値及び前記時定数に基づいて、前記拡散抵抗モデルの分極電圧 (V_w) を算出する分極電圧算出部と、を含み、

前記同定部は、前記分極電圧算出部により算出された分極電圧に基づいて、前記抵抗パラメータ及び前記時定数パラメータのそれぞれをカルマンフィルタにより逐次同定する請求項 1 ~ 4 のいずれか 1 項に記載の電池状態推定装置。

【請求項 6】

前記状態推定部は、前記パラメータ算出部により算出された前記抵抗パラメータ、前記時定数パラメータ及び前記電荷パラメータのそれぞれと、前記 2 次電池に流れる電流検出値 (I_s) とに基づいて前記 2 次電池の端子間電圧 (V_e) を推定する電圧推定部 (3 4)、及び前記パラメータ算出部により算出された前記抵抗パラメータ、前記時定数パラメータ及び前記電荷パラメータのそれぞれと、前記 2 次電池の端子間電圧検出値 (CCV) とに基づいて前記 2 次電池に流れる電流 (I_e) を推定する電流推定部 (3 5) のうち少なくとも一方を含む請求項 1 ~ 5 のいずれか 1 項に記載の電池状態推定装置。

30

【請求項 7】

前記状態推定部は、前記電流推定部を含み、

前記状態推定部は、前記 2 次電池の端子間電圧を検出する電圧検出部 (2 1) に係る異常が生じていると判定した場合、前記電流推定部により推定された電流に代えて、前記電流検出値に基づいて前記 2 次電池の充電率を算出する電圧異常代替部を含む請求項 6 に記載の電池状態推定装置。

40

【請求項 8】

前記状態推定部は、前記電流推定部を含み、

前記状態推定部は、前記 2 次電池に流れる電流を検出する電流検出部 (2 3) に係る異常が生じていると判定した場合、前記電流検出値に代えて、前記電流推定部により推定された電流に基づいて前記 2 次電池の充電率を算出する電流異常代替部を含む請求項 6 又は 7 に記載の電池状態推定装置。

【請求項 9】

前記状態推定部は、前記電流推定部により推定された電流及び前記電流検出値の差分にゲイン (B) を乗算した値と、前記電流検出値とに基づいて、前記 2 次電池の充電率を算出する充電率算出部 (3 6 d) を含み、

50

前記電流異常代替部は、前記電流検出部に係る異常が生じていると判定した場合、前記充電率の算出に用いられる前記電流検出値が0となるように前記ゲインの値を切り替える請求項8に記載の電池状態推定装置。

【請求項10】

前記状態推定部は、前記電流推定部を含み、

前記状態推定部は、前記電流推定部により推定された電流及び前記電流検出値の差分にゲイン(B)を乗算した値と、前記電流検出値とに基づいて、前記2次電池の充電率を算出する充電率算出部(36d)を含む請求項6~8のいずれか1項に記載の電池状態推定装置。

【発明の詳細な説明】

10

【技術分野】

【0001】

本発明は、2次電池の電池モデルに基づいて、前記2次電池の状態を推定する電池状態推定装置に関する。

【背景技術】

【0002】

この種の装置としては、下記特許文献1に見られるように、直流抵抗と、複数のRC並列回路の直列接続体とからなる2次電池の電池モデルにおいて、無香カルマンフィルタ(UKF: Unscented Kalman Filter)により、RC並列回路を構成する抵抗成分及び容量成分である電池パラメータを逐次同定するものが知られている。

20

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】特開2014-74682号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

ここで、上記特許文献1に記載された電池モデルは、2次電池の電流-電圧の非線形領域の特性を表現できる構成にはなっていない。これは、2次電池の電流-電圧の非線形特性が、2次電池が低温になるほど支配的になっていくためであり、特に0以下の領域では、非線形特性が無視できないためである。このため、上記特許文献1に記載された電池モデルでは、2次電池の低温時において、2次電池の状態の推定精度が低下するおそれがある。

30

【0005】

また、上記特許文献1に記載された装置では、カルマンフィルタによる同定対象となる電池パラメータの適正な初期値を設定しない場合、最適解から大きくずれた局所解に解が収束する等、電池パラメータの同定精度が低下するおそれもある。

【0006】

本発明は、2次電池の低温時における2次電池の状態の推定精度の低下と、電池モデルを構成する電池パラメータの同定精度の低下とを回避できる電池状態推定装置を提供することを主たる目的とする。

40

【課題を解決するための手段】

【0007】

以下、上記課題を解決するための手段、及びその作用効果について記載する。

【0008】

本発明は、2次電池(20a)の電池モデルに基づいて、前記2次電池の状態を推定する電池状態推定装置である。前記電池モデルには、前記2次電池の直流抵抗(R_s)を表す直流抵抗モデルと、前記2次電池の電荷移動抵抗を表すモデルであって、バトラーボルマー式から導かれ、交換電流密度と相関のある電荷パラメータを含む電荷移動抵抗モデルと、抵抗及びキャパシタを含む少なくとも1つのRC等価回路モデルであって、前記2次

50

電池の拡散抵抗を表す拡散抵抗モデルと、の直列接続体が含まれている。また、前記拡散抵抗モデルの抵抗成分に係るパラメータが抵抗パラメータとして定義され、前記拡散抵抗モデルの時定数に係るパラメータが時定数パラメータとして定義されている。

【0009】

そして本発明は、前記抵抗パラメータ、前記時定数パラメータ及び前記電荷パラメータのそれぞれの情報を前記2次電池の温度情報と関係付けて予め記憶している記憶部(31)と、前記2次電池の温度検出値と、前記記憶部に記憶されている情報とに基づいて、前記温度検出値に対応する前記抵抗パラメータ(R_{dm})、前記時定数パラメータ(τ_{dm})及び前記電荷パラメータ(Q_m)のそれぞれを算出するパラメータ算出部(40)と、前記パラメータ算出部により算出された前記抵抗パラメータ、前記時定数パラメータ及び前記電荷パラメータに基づいて、前記2次電池の状態を推定する状態推定部(34~36)と、を備え、前記パラメータ算出部は、該パラメータ算出部により算出された前記抵抗パラメータ及び前記時定数パラメータのそれぞれを初期値として、前記状態推定部において前記2次電池の状態の推定に用いられる前記抵抗パラメータ及び前記時定数パラメータのそれぞれをカルマンフィルタにより逐次同定する同定部(42)を含む。

10

【0010】

2次電池の内部抵抗は、直流抵抗、電荷移動抵抗、及び拡散抵抗に大きく分けられる。このため上記発明では、電池モデルを、直流抵抗モデル、電荷移動抵抗モデル、及び拡散抵抗モデルの直列接続体を含むモデルとしている。

【0011】

ここで2次電池の低温時には、電荷移動抵抗に起因する電流-電圧の非線形特性が支配的となる。このため上記発明では、電荷移動抵抗モデルを、電気化学におけるバトラーボルマー式から導かれ、2次電池の非線形特性を表現するモデルとする。詳しくは、このモデルは、バトラーボルマー式の交換電流密度に相当するパラメータであって、2次電池の温度と相関のある電荷パラメータを含む。電荷パラメータが2次電池の温度に依存することから、電荷パラメータを用いることにより、上記特許文献1に記載された技術では表現できなかった低温時における電流-電圧の非線形特性を精度よく表すことができる。

20

【0012】

上記発明では、拡散抵抗モデルの抵抗パラメータ及び時定数パラメータの情報に加え、電荷パラメータの情報が2次電池の温度情報と関係付けられて予め記憶部に記憶されている。パラメータ算出部は、2次電池の温度検出値と、記憶部に記憶されている情報とに基づいて、温度検出値に対応する抵抗パラメータ、時定数パラメータ及び電荷パラメータのそれぞれを算出する。状態推定部は、算出された抵抗パラメータ、時定数パラメータ及び電荷パラメータに基づいて、2次電池の状態を推定する。電荷パラメータを用いる上記発明によれば、2次電池の低温時における2次電池の状態の推定精度が低下することを回避できる。

30

【0013】

ところで、抵抗パラメータ及び時定数パラメータは、例えば、2次電池の劣化により変化したり、拡散抵抗モデルのモデル誤差によって適切な値からずれたり、2次電池の個体差によって異なったりし得る。この場合、電池モデルに基づく2次電池の状態の推定精度が低下するおそれがある。

40

【0014】

そこで上記発明は、抵抗パラメータ及び時定数パラメータをカルマンフィルタにより逐次同定する同定部を備えている。ただし、カルマンフィルタによる抵抗パラメータ及び時定数パラメータの同定において適正な初期値を設定しない場合には、最適解から大きくずれた局所解に解が収束する等、抵抗パラメータ及び時定数パラメータの同定精度が低下するおそれがある。ここで、記憶部に予め記憶されている情報から定まる抵抗パラメータ及び時定数パラメータは、2次電池の現在の温度に対応する現在の抵抗パラメータ及び時定数パラメータから大きくずれていない。このため、記憶部に予め記憶されている情報から定まる抵抗パラメータ及び時定数パラメータは、カルマンフィルタで用いられる初期値と

50

して適正な値となることに本発明者は着目した。

【0015】

そこで上記発明の同定部は、記憶部に予め記憶されている情報に基づいて算出された抵抗パラメータ及び時定数パラメータを初期値として、抵抗パラメータ及び時定数パラメータのそれぞれをカルマンフィルタにより逐次同定する。このため、カルマンフィルタにおいて用いられる初期値を適正に設定することができ、解が局所解に収束する等、適正な解を求めることができなくなるリスクを低減できる。これにより、抵抗パラメータ及び時定数パラメータの同定精度の低下を回避でき、ひいては2次電池の状態の推定精度の低下を回避できる。

【図面の簡単な説明】

10

【0016】

【図1】第1実施形態に係る車載電池パックの構成図。

【図2】電池モデルを示す図。

【図3】演算部の処理を示すブロック図。

【図4】SOCと開放端電圧OCVとの関係を規定するOCVマップを示す図。

【図5】パラメータ算出部の処理を示すブロック図。

【図6】直流抵抗と電池温度との関係を規定するRsマップを示す図。

【図7】電荷パラメータと電池温度との関係を規定するマップを示す図。

【図8】電荷移動抵抗における電流-電圧特性の温度依存性を示す図。

【図9】パトラーボルマー式と0A近傍の近似式とを示す図。

20

【図10】パトラーボルマー式と適合係数との関係を示す図。

【図11】ラダー回路を示す図。

【図12】フォスター型のRC等価回路を示す図。

【図13】拡散現象の概要を説明するための図。

【図14】ラダー回路に基づく等価回路モデルが拡散現象を模擬できることを説明するための図。

【図15】抵抗パラメータ R_d 及び時定数パラメータ τ_d と各抵抗値 $R_1 \sim R_4$ 及び各時定数 $\tau_1 \sim \tau_4$ との関係を規定する変換表を示す図。

【図16】時定数パラメータと電池温度との関係を規定する τ_d マップを示す図。

【図17】抵抗パラメータと電池温度との関係を規定する R_d マップを示す図。

30

【図18】電流推定手法の概要を説明するための図。

【図19】第1補正係数 R_k が電池劣化等により変化したことを示す図。

【図20】電池セルの検出電圧、推定電圧、及び電圧誤差の推移を示すタイムチャート。

【図21】検出電流に対する検出電圧及び推定電圧の相関を示す図。

【図22】SOC推定結果を示すタイムチャート。

【図23】第2実施形態に係るSOC演算部の処理を示すブロック図。

【図24】ゲイン設定処理の手順を示すフローチャート。

【図25】ゲインBの大小とSOC推定結果との関係を示すタイムチャート。

【図26】第3実施形態に係るパラメータ算出部の処理を示すブロック図。

【図27】演算部の処理を示すブロック図。

40

【図28】その他の実施形態に係る抵抗パラメータ R_d 及び時定数パラメータ τ_d と各抵抗値 $R_1 \sim R_3$ 及び各時定数 $\tau_1 \sim \tau_3$ との関係を規定する変換表を示す図。

【図29】その他の実施形態に係る抵抗パラメータ R_d 及び時定数パラメータ τ_d と各抵抗値 R_1, R_2 及び各時定数 τ_1, τ_2 との関係を規定する変換表を示す図。

【発明を実施するための形態】

【0017】

(第1実施形態)

以下、本発明に係る電池状態推定装置を具体化した第1実施形態について、図面を参照しつつ説明する。本実施形態では、電池状態推定装置を車両に適用する。

【0018】

50

図 1 に示すように、電池パック 10 は、車両に搭載され、組電池 20 と、電池 ECU 30 とを備えている。組電池 20 は、複数の電池セル 20 a の直列接続体から構成されている。本実施形態では、車両として、車載主機としての回転電機を備える車両を想定しており、具体的には例えば、ハイブリッド車や電気自動車を想定している。組電池 20 は、回転電機等と電力の授受を行う。電池セル 20 a は、2 次電池であり、本実施形態では、リチウムイオン 2 次電池を用いている。なお、車両は、車載主機としての回転電機を備える車両に限らず、例えば、アイドリングストップシステムなど車載補機電池を活用する車両であってもよい。

【0019】

電池パック 10 は、電圧センサ 21、温度センサ 22、及び電流センサ 23 を備えている。電圧センサ 21 は、各電池セル 20 a の端子間電圧を検出する電圧検出部である。温度センサ 22 は、組電池 20 の温度を検出する温度検出部である。本実施形態において、温度センサ 22 は、各電池セル 20 a の温度を検出する。電流センサ 23 は、各電池セル 20 a に流れる充放電電流を検出する電流検出部である。なお以降、電流センサ 23 により検出された電流を検出電流 I_s と称し、温度センサ 22 により検出された温度を検出温度 T_s と称すこととする。また、電圧センサ 21 により検出された電圧を検出電圧 $C V$ と称すこととする。

【0020】

電池 ECU 30 は、CPU、記憶部としてのメモリ 31、及び図示しない I/O 等を備えるコンピュータとして構成されている。CPU は、複数の電池セル 20 a のそれぞれに対応した演算部 32 を含む。電池 ECU 30 には、電圧センサ 21、温度センサ 22 及び電流センサ 23 の検出値が入力される。なお、メモリ 31 としては、例えば EEPROM を用いることができる。

【0021】

演算部 32 は、電池セル 20 a の電池モデルに基づいて種々の演算処理を行う。演算処理の説明に先立ち、図 2 を用いて、本実施形態に係る電池モデルについて説明する。図 2 は、内部インピーダンス等を表現する電池モデルである。本実施形態において、電池モデルは、基本的には、開放端電圧 $O C V$ 、直流抵抗モデル、電荷移動抵抗モデル、及び拡散抵抗モデルの直列接続体として表されている。図 2 において、 R_s は、溶液中や電極の通電抵抗を表す直流抵抗を示し、 V_s は、直流抵抗 R_s における電位差（以下「直流抵抗電圧」という。）を示す。 $V B V$ は、正極及び負極における電極界面反応を表す電荷移動抵抗における電位差（以下「電荷移動抵抗電圧」という。）を示す。 $R_1 \sim R_4$ は、活物質中や溶液中のイオン拡散を表す拡散抵抗における抵抗成分項の抵抗値を示し、 $C_1 \sim C_4$ は、経過時間とともに抵抗が変化することを表現するための容量成分項の静電容量を示し、 V_w は、拡散抵抗における分極電圧を示す。

【0022】

なお本実施形態では、拡散抵抗モデルとして、複数の RC 並列回路の直列接続体を含むモデルを用いており、具体的には 4 つの RC 並列回路の直列接続体を含むモデルを用いている。また本実施形態において、図 2 に示す電荷移動抵抗モデルは、便宜的に直流抵抗のみで表され、モデルにおける時定数が無視されている。これは、本実施形態において、演算部 32 の 1 演算周期が、電荷移動抵抗における時定数よりも十分長く設定されているためである。

【0023】

続いて、演算部 32 について説明する。

【0024】

図 3 に示すように、演算部 32 は、 $O C V$ 推定部 33 を備えている。 $O C V$ 推定部 33 は、後述する SOC 演算部 36 により算出された前回の演算周期における電池セル 20 a の充電率 (SOC) に基づいて、電池セル 20 a の開放端電圧 $O C V$ を算出する。本実施形態において、 $O C V$ 推定部 33 は、例えば図 4 に示すように、SOC 及び開放端電圧 $O C V$ が予め関係付けられた $O C V$ マップを用いて、開放端電圧 $O C V$ を算出する。本実施

10

20

30

40

50

形態において、OCVマップは、メモリ31に記憶されている。なお、OCV推定部33において前回の演算周期におけるSOC(k-1)を用いてもよいのは、1演算周期におけるSOCの変化量が非常に小さいためである。

【0025】

演算部32は、パラメータ算出部40を備えている。パラメータ算出部40は、図5に示すように、初期値演算部41を備えている。初期値演算部41は、Rs演算部41aを備えている。Rs演算部41aは、検出温度Tsに基づいて、下式(eq1)で表わされる直流抵抗電圧Vsを算出するための直流抵抗Rsを算出する。

【0026】

【数1】

$$Vs = Rs \cdot I \quad \dots \quad (eq1)$$

10

上式(eq1)において、Iは電池セル20aに流れる電流を示す。本実施形態において、Rs演算部41aは、直流抵抗Rs及び検出温度Tsが予め関係付けられたRsマップを用いて直流抵抗Rsを算出する。Rsマップは、メモリ31に記憶されており、例えば図6に示すように、検出温度Tsが高いほど直流抵抗Rsが低くなるように適合されている。なおRsマップは、例えば、インピーダンスアナライザを用いて直流抵抗Rsを測定することにより作成されればよい。

【0027】

初期値演算部41は、演算部41bを備えている。演算部41bは、検出温度Tsに基づいて、電荷移動抵抗モデルを構成する電荷パラメータmを算出する。以下、電荷移動抵抗モデルについて説明する。

20

【0028】

電気化学におけるバトラーボルマー式は、下式(eq2)で表される。

【0029】

【数2】

$$i = i_o \left\{ \exp\left(\frac{\alpha_s NF\eta}{R_a T}\right) - \exp\left(\frac{-(1-\alpha_s) NF\eta}{R_a T}\right) \right\} \quad \dots \quad (eq2)$$

上式(eq2)において、iは電流密度を示し、i_oは交換電流密度を示し、sは電極反応(具体的には酸化反応)の移動係数を示し、Nは電荷数を示し、Fはファラデー定数を示し、ηは過電圧を示し、R_aは気体定数を示し、Tは電池セルの温度(絶対温度)を示す。

30

【0030】

上式(eq2)において、簡素化のために正負極を等価、すなわち充放電効率が同一として「a = s = 1 - s」とすると、上式(eq2)は下式(eq3)となる。

【0031】

【数3】

$$i = i_o \left\{ \exp\left(\frac{aNF\eta}{R_a T}\right) - \exp\left(\frac{-aNF\eta}{R_a T}\right) \right\} \quad \dots \quad (eq3)$$

双曲線正弦関数と指数関数との関係を用いて、上式(eq3)を下式(eq4)のように変形する。

【0032】

【数4】

$$i = 2 \cdot i_o \cdot \sinh\left(\frac{aNF\eta}{R_a T}\right) \quad \dots \quad (eq4)$$

上式(eq4)を過電圧ηについて解くと、下式(eq5)となる。

【0033】

50

【数 5】

$$\eta = \frac{R_a T}{aNF} \sinh^{-1} \left(\frac{1}{2 \cdot i_o} i \right) \dots (eq5)$$

一方、過電圧 と電荷移動抵抗電圧 V_{BV} との関係を、比例係数である適合係数 を用いて下式 (eq 6) で表す。また、電流密度 i と電池セルに流れる電流 I との関係を、適合係数 を用いて下式 (eq 7) で表す。

【0034】

【数 6】

$$\eta = \gamma \cdot V_{BV} \dots (eq6)$$

【0035】

【数 7】

$$i = \gamma \cdot I \dots (eq7)$$

上式 (eq 5) に上式 (eq 6) , (eq 7) を代入すると、下式 (eq 8) が導かれる。

【0036】

【数 8】

$$\gamma \cdot V_{BV} = \frac{R_a T}{aNF} \sinh^{-1} \left(\frac{1}{2 \cdot i_o} \gamma \cdot I \right) \dots (eq8)$$

ここで、上式 (eq 8) を下式 (eq 9) のように整理する。

【0037】

【数 9】

$$V_{BV} = \frac{\alpha}{\gamma} T \cdot \sinh^{-1} (\gamma \cdot \beta \cdot I) \dots (eq9)$$

$$\text{ただし、} \quad \alpha = \frac{R_a}{aNF}, \quad \beta = \frac{1}{2 \cdot i_o}$$

上式 (eq 9) において、 α は電荷パラメータを示し、 β は物理定数を示す。上式 (eq 9) は、電池セルに流れる電流 I と電荷移動抵抗電圧 V_{BV} とを電荷パラメータ によって関係付けることが可能なことを示している。具体的には、バトラーボルマー式から導かれる電荷パラメータ α は、電池セルに流れる電流を独立変数とし、電荷移動抵抗電圧 V_{BV} を従属変数とする逆双曲線正弦関数において、逆双曲線正弦関数と電荷移動抵抗電圧 V_{BV} との関係を定める係数となる。

【0038】

ここで交換電流密度 i_o は、絶対温度に対して下式 (eq 10) に従う。なお、下式 (eq 10) において、 K_b , i_a は定数を示す。なお、定数 K_b は、活性化エネルギー E と気体定数 R_a とを用いて「 $K_b = E / R_a$ 」とも記載できる。

【0039】

【数 10】

$$i_o = i_a \cdot \exp \left(-\frac{K_b}{T} \right) \dots (eq10)$$

このため、電荷パラメータ の温度特性は下式 (eq 11) で表すことができる。

【0040】

【数 1 1】

$$\beta \propto \frac{1}{i_0} \propto \beta_0 \cdot \exp\left(\frac{K_b}{T}\right) \dots (eq11)$$

本実施形態では、上式 (eq 1 1) の両辺を対数化した下式 (eq 1 2) で表されるアレニウスプロットに従って、電荷パラメータの自然対数を、検出温度 T_s の逆数に対する 1 次式となる形で適合したマップを予めメモリ 3 1 に記憶させている。以降、メモリ 3 1 に記憶されている電荷パラメータを m とする。

【0 0 4 1】

【数 1 2】

$$\ln(\beta_m) = \ln(\beta_0) + \frac{K_b}{T} \dots (eq12)$$

10

ここで図 7 には、マップを示した。図 7 の直線式の傾きは定数 K_b になり、Y 切片は $\ln(\beta_0)$ になる。演算部 4 1 b は、検出温度 T_s 及びマップに基づいて、電荷パラメータの自然対数値 $\ln(\beta_m)$ を算出する。演算部 4 1 b は、算出した自然対数値 $\ln(\beta_m)$ を指数関数に変換することにより、電荷パラメータ m を算出する。これにより、電池 ECU 3 0 の起動時において、電荷パラメータ m の初期値を正確に設定することができる。なお、上式 (eq 1 2) において、 K_b は物理定数から定まる定数を示す。このため、図 7 の直線式の傾きは、電池セルの劣化等の前後で変化しない。

20

【0 0 4 2】

ちなみに、上式 (eq 9) は、図 8 に示すように、低温になると電流 I に対して電荷移動抵抗電圧 V_{BV} が非線形になる式である。電池セルの温度が低い場合には、電荷パラメータを用いることにより、電流 - 電圧の非線形特性を精度よく表現した電荷移動抵抗電圧 V_{BV} を算出することができる。

【0 0 4 3】

また、電荷パラメータは、図 9 に示すように、電流 $I = 0$ A 近傍の電流 I に対する電荷移動抵抗電圧 V_{BV} の傾きを定めるパラメータである。また、上式 (eq 9) の適合係数は、電荷移動抵抗電圧 V_{BV} と電池セルに流れる電流 I との関係を規定する比例係数である。適合係数を変化させることにより、電流 $I = 0$ A 近傍の傾きを変えことなく、図 1 0 に示すように、電流 I が大きい領域の電荷移動抵抗電圧 V_{BV} を適合することができる。なお本実施形態では、適合係数が固定値に設定されている。また、電池セル 2 0 a が充電される場合の適合係数 c と、電池セル 2 0 a が放電される場合の適合係数 d とを分けて設定してもよい。充電側の適合係数 c は例えば 0 . 2 5 に設定され、放電側の適合係数 d は例えば 0 . 1 4 に設定される。

30

【0 0 4 4】

先の図 5 の説明に戻り、初期値演算部 4 1 は、拡散抵抗モデルを構成するパラメータを算出する R 演算部 4 1 c 及び演算部 4 1 d を備えている。以下、本実施形態に係る拡散抵抗モデルについて説明する。

【0 0 4 5】

本実施形態では、拡散抵抗モデルを、図 1 1 に示すように、伝送線路回路モデルから導かれるラダー回路に基づいて導出する。具体的には、拡散抵抗モデルとして、図 1 2 に示すように、ラダー回路を変換して得られるモデルであって、複数 (4 つ) の RC 並列回路の直列接続体からなるフォスター型等価回路モデルを用いる。ラダー回路を構成する各抵抗の抵抗値 R は互いに同一であり、各キャパシタの静電容量 C は互いに同一である。

40

【0 0 4 6】

なお、ラダー回路に基づく等価回路モデルが拡散現象を模擬できる理由について説明する。電池の拡散現象は、拡散方程式に基づいて説明できる。図 1 3 に示すように、電池セルの活物質内の位置 i の濃度 C_i と、位置 $i + 1$ の濃度 $C(i + 1)$ との濃度差に応じて、濃度が高い位置 $i + 1$ から低い位置へと活物質が移動する。この場合の活物質の移動量

50

Cは、拡散係数Dを用いて、下式（eq 13）のように表される。

【0047】

【数13】

$$\Delta C = D \times \{C_{i+1}(k) - C_i(k)\} \quad \dots \quad (eq13)$$

一方、拡散現象をラダー回路及びキルヒホッフ則を用いて表現すると、図14に示すように、濃度をキャパシタCの電位差V、移動量Cを電流Iで置き換えることができる。これにより、拡散現象を伝送線路回路モデルに基づくラダー回路で模擬することができる。すなわちこの場合、下式（eq 14）が成立する。

【0048】

【数14】

$$I = \frac{1}{R} \times \{V_{i+1}(k) - V_i(k)\} \quad \dots \quad (eq14)$$

上式（eq 13）、（eq 14）によれば、抵抗Rに流れる電流Iは、抵抗Rに隣接するキャパシタCの電位差に比例する。比例係数は1/Rとなり、「1/R D」の関係が成立する。

【0049】

ラダー回路をフォスター型等価回路に変換できることについて説明する。ラダー回路で表されるワールブルグインピーダンスは、下式（eq 15）で表される。

【0050】

【数15】

$$Zw(s) = \frac{1}{sC + \frac{1}{R + \frac{1}{sC + \frac{1}{R + \frac{1}{sC + \frac{1}{R + \frac{1}{sC + \frac{1}{R}}}}}}}} \quad \dots \quad (eq15)$$

$$= \frac{R^4 C^3 s^3 + 6R^3 C^2 s^2 + 10R^2 C s + 4R}{R^4 C^4 s^4 + 7R^3 C^3 s^3 + 15R^2 C^2 s^2 + 10R C s + 1} \quad \dots \quad (eq15)$$

上式（eq 15）において、sはラプラス演算子を示し、Cはラダー回路のキャパシタの静電容量を示し、Rはラダー回路の抵抗の抵抗値を示す。上式（eq 15）を部分分数分解すると、下式（eq 16）が導かれる。

【0051】

【数 1 6】

$$\begin{aligned}
 Zw(s) &\cong \frac{0.052R}{RCs+3.5321} + \frac{0.1836R}{RCs+2.3473} + \frac{0.3333R}{RCs+1} + \frac{0.431R}{RCs+0.1206} \\
 &= \frac{0.0147R}{\frac{RC}{3.5321}s+1} + \frac{0.0782R}{\frac{RC}{2.3473}s+1} + \frac{0.3333R}{RCs+1} + \frac{3.5738R}{\frac{RC}{0.1206}s+1} \\
 &= \frac{R_1}{\tau_1s+1} + \frac{R_2}{\tau_2s+1} + \frac{R_3}{\tau_3s+1} + \frac{R_4}{\tau_4s+1} \quad \dots \quad (eq16)
 \end{aligned}$$

ただし、

$$R_1 = 0.0147R, \quad R_2 = 0.0782R, \quad R_3 = 0.3333R, \quad R_4 = 3.5738R$$

$$\tau_1 = \frac{\tau_d}{3.5321}, \quad \tau_2 = \frac{\tau_d}{2.3473}, \quad \tau_3 = \frac{\tau_d}{1.0000}, \quad \tau_4 = \frac{\tau_d}{0.1206}, \quad \tau_d = RC$$

上式 (eq 1 6) において、 $\tau_1, \tau_2, \tau_3, \tau_4$ は、図 1 2 に示す各 RC 並列回路のパラメータである $R_1 \times C_1, R_2 \times C_2, R_3 \times C_3, R_4 \times C_4$ に相当する。本実施形態において、上式 (eq 1 6) の τ_d を時定数パラメータと称することとする。各時定数 $\tau_1 \sim \tau_4$ と時定数パラメータ τ_d との関係は、図 1 5 に示すものとなる。各時定数 $\tau_1 \sim \tau_4$ は、図 1 2 に示す各 RC 並列回路に対応する係数「 $1/3.5321, 1/2.3473, 1/1.0000, 1/0.1206$ 」と、共通の時定数パラメータ τ_d とに基づいて設定できる。

20

【0 0 5 2】

一方、本実施形態では、図 1 2 に示す 4 つの RC 並列回路を用いた。このため、「 $4 \times R = R_d$ 」の関係を満たす抵抗パラメータ R_d を定義すると、各抵抗値 $R_1 \sim R_4$ と抵抗パラメータ R_d との関係は、図 1 5 に示すものとなる。各抵抗値 $R_1 \sim R_4$ は、図 1 2 に示す各 RC 並列回路に対応する係数と、共通の抵抗パラメータ R_d とに基づいて設定できる。

【0 0 5 3】

抵抗パラメータ R_d 及び時定数パラメータ τ_d は、下式 (eq 1 7), (eq 1 8) に示すように、検出温度 T_s に依存する。なお下式 (eq 1 7), (eq 1 8) において、 R_0, K_r, τ_0, K_t は定数を示す。

30

【0 0 5 4】

【数 1 7】

$$R_d = R_0 \cdot \exp\left(\frac{K_r}{T_s}\right) \quad \dots \quad (eq17)$$

【0 0 5 5】

【数 1 8】

$$\tau_d = \tau_0 \cdot \exp\left(\frac{K_t}{T_s}\right) \quad \dots \quad (eq18)$$

本実施形態では、上式 (eq 1 7) の両辺を対数化した下式 (eq 1 9) で表されるアレニウスプロットに従って、抵抗パラメータ R_d の自然対数値を、検出温度 T_s の逆数に対する 1 次式となる形で適合した R_d マップを予めメモリ 3 1 に記憶させている。以降、メモリ 3 1 に記憶されている抵抗パラメータを R_{dm} とする。

【0 0 5 6】

【数 19】

$$\ln(R_{dm}) = \ln(R_0) + \frac{K_r}{T_s} \dots \quad (eq19)$$

ここで図 17 には、R d マップを示した。図 17 の直線式の傾きは定数 K_r になり、Y 切片は $\ln(R_0)$ になる。R 演算部 41c は、検出温度 T_s 及び R d マップに基づいて、抵抗パラメータ R_{dm} の自然対数値を算出する。R 演算部 41c は、算出した自然対数値 $\ln(R_{dm})$ を指数関数に変換して抵抗パラメータ R_{dm} を算出する。これにより、電池 ECU30 の起動時において、抵抗パラメータ R_{dm} の初期値を正確に設定することができる。なお、上式 (eq19) において、 K_r は物理定数から定まる定数を示す。このため、図 17 の直線式の傾きは、電池セルの劣化等の前後で変化しない。

10

【0057】

また本実施形態では、上式 (eq18) の両辺を対数化した下式 (eq20) で表されるアレニウスプロットに従って、時定数パラメータ d の自然対数値を、検出温度 T_s の逆数に対する 1 次式となる形で適合した d マップを予めメモリ 31 に記憶させている。以降、メモリ 31 に記憶されている時定数パラメータを d_m とする。

【0058】

【数 20】

$$\ln(\tau_{dm}) = \ln(\tau_0) + K_t \times \frac{1}{T_s} \dots \quad (eq20)$$

ここで図 16 には d マップを示した。図 16 の直線式の傾きは定数 K_t になり、Y 切片は $\ln(\tau_0)$ になる。演算部 41d は、検出温度 T_s 及び d マップに基づいて、時定数パラメータ d_m の自然対数値を算出する。演算部 41d は、算出した自然対数値 $\ln(d_m)$ を指数関数に変換して時定数パラメータ d_m を算出する。これにより、電池 ECU30 の起動時において、時定数パラメータ d_m の初期値を正確に設定することができる。なお、上式 (eq20) において、 K_t は物理定数から定まる定数を示す。このため、図 16 の直線式の傾きは、電池セルの劣化等の前後で変化しない。

【0059】

先の図 5 の説明に戻り、同定部 42 は、抵抗パラメータ R_{dm} を補正するための第 1 補正係数 R_k と、時定数パラメータ d_m を補正するための第 2 補正係数 k とを無香カルマンフィルタ (UKF) により逐次同定する。第 1 補正係数 R_k は、下式 (eq21) の関係を示すパラメータである。下式 (eq21) において、 R_{dc} は補正抵抗パラメータを示す。本実施形態において、第 1 補正係数 R_k は、その初期値が 1 に設定されており、その値がメモリ 31 に予め記憶されている。

30

【0060】

【数 21】

$$R_{dc} = R_k \times R_{dm} \dots \quad (eq21)$$

第 2 補正係数 k は、下式 (eq22) を満たすパラメータである。下式 (eq22) において、 τ_{dc} は補正時定数パラメータを示す。本実施形態において、第 2 補正係数 k は、その初期値が 1 に設定されており、その値がメモリ 31 に予め記憶されている。

40

【0061】

【数 22】

$$\tau_{dc} = \tau_k \times \tau_{dm} \dots \quad (eq22)$$

同定部 42 により同定された各補正係数 R_k 、 k は、メモリ 31 に逐次記憶される。なお、同定部 42 については、後に詳述する。また本実施形態において、同定部 42 が第 1 処理部及び第 2 処理部に相当する。

【0062】

50

先の図3の説明に戻り、演算部32は、電圧推定部34を備えている。電圧推定部34は、OCV推定部33により推定された現在の演算周期における開放端電圧OCV(k)、現在の演算周期における直流電圧抵抗Vs(k)、現在の演算周期における電荷移動抵抗電圧VBV(k)、及び現在の演算周期における分極電圧Vw(k)の加算値として、下式(eq23)に示すように、電池セル20aの端子間電圧の推定値である推定電圧Ve(k)を算出する。

【0063】

【数23】

$$V_e(k) = OCV(k) + V_s(k) + V_{BV}(k) + V_w(k) \quad \dots \quad (eq23)$$

上式(eq23)において、直流抵抗電圧Vs(k)は、上式(eq1)に示すように、パラメータ算出部40により算出された直流抵抗Rsに現在の演算周期における検出電流Is(k)を乗算することにより算出される。また、電荷移動抵抗電圧VBV(k)は、パラメータ算出部40により算出された電荷パラメータm、検出電流Is(k)及び検出温度Ts(k)を、上式(eq9)に代入することにより算出される。

【0064】

また、上式(eq23)において、分極電圧Vw(k)は以下のように算出される。詳しくは、まず、R演算部41cにより算出された抵抗パラメータRdmと、同定部42により同定された第1補正係数Rkとが乗算されることにより、上式(eq21)に示す補正後抵抗パラメータRdcが算出される。そして、算出された補正後抵抗パラメータRdcが図15に示すRdに入力されることにより、各抵抗値R1~R4が算出される。

20

【0065】

また、演算部41dにより算出された時定数パラメータdmと、同定部42により同定された第2補正係数kとが乗算されることにより、上式(eq22)に示す補正後時定数パラメータdcが算出される。そして、算出された補正後時定数パラメータdcが図15に示すdに入力されることにより、各時定数τ1~τ4が算出される。

【0066】

そして、算出された各抵抗値R1~R4、各時定数τ1~τ4、現在の演算周期における検出電流Is(k)、及び前回の演算周期における検出電流Is(k-1)に基づいて、下式(eq24)から分極電圧Vw(k)が算出される。

30

【0067】

【数24】

$$V_w(k) = V_1(k) + V_2(k) + V_3(k) + V_4(k) \quad \dots \quad (eq24)$$

ただし、

$$V_1(k) = \frac{2\tau_1 - dT}{2\tau_1 + dT} V_1(k-1) + \frac{R_1 \times dT}{2\tau_1 + dT} (I_s(k) + I_s(k-1))$$

$$V_2(k) = \frac{2\tau_2 - dT}{2\tau_2 + dT} V_1(k-1) + \frac{R_2 \times dT}{2\tau_2 + dT} (I_s(k) + I_s(k-1))$$

$$V_3(k) = \frac{2\tau_3 - dT}{2\tau_3 + dT} V_1(k-1) + \frac{R_3 \times dT}{2\tau_3 + dT} (I_s(k) + I_s(k-1))$$

$$V_4(k) = \frac{2\tau_4 - dT}{2\tau_4 + dT} V_1(k-1) + \frac{R_4 \times dT}{2\tau_4 + dT} (I_s(k) + I_s(k-1))$$

なお、上式(eq24)のV1~V4は、図12に示すRC並列回路の伝達関数を双一次変換で離散化した式であり、dTは演算部32の1演算周期を示す。また、各パラメータの(k)は、現在の演算周期における値であることを示し、(k-1)は、前回の演算周期における値であることを示す。また、上式(eq24)は、簡素化のため後退オイラー法などで離散化してもよい。

50

【 0 0 6 8 】

先の図3の説明に戻り、演算部32は、電流推定部35を備えている。電流推定部35は、電池セル20aに流れる電流の推定値である推定電流 $I_e(k)$ を算出する。本実施形態では、電池モデルに上式(eq9)で表される非線形式が含まれているため、電圧から電流を直接推定することができない。そこで本実施形態では、探索法を用いて推定電流 $I_e(k)$ を算出する。本実施形態では、探索法として2分法を用いる。

【 0 0 6 9 】

詳しくは、電流推定部35は、下式(eq25)に基づいて目標電圧 V_{tgt} を算出する。

【 0 0 7 0 】

【 数 2 5 】

$$V_{tgt} = CCV(k) - OCV(k) - V_w(k) \quad \dots \quad (eq25)$$

上式(eq25)では、現在の演算周期における検出電圧 $CCV(k)$ 、 OCV 推定部33により算出された開放端電圧 OCV が用いられる。また上式(eq25)の分極電圧 $V_w(k)$ は、電圧推定部34における分極電圧の算出手法と同様な手法で算出される。

【 0 0 7 1 】

電流推定部35は、図18に示すように、下式(eq26)に基づいて算出される「 $V_s + V_{BV}$ 」と、上式(eq25)で表される目標電圧 V_{tgt} とが一致する電流 I を探索し、その電流 I を推定電流 $I_e(k)$ として算出する。

【 0 0 7 2 】

【 数 2 6 】

$$V_s + V_{BV} = R_s \times I + \frac{\alpha}{\gamma} T_s \cdot \sinh^{-1}(\gamma \cdot \beta_m \cdot I) \quad \dots \quad (eq26)$$

上式(eq26)において、直流抵抗 R_s 及び電荷パラメータ m はパラメータ算出部40により算出されたものが用いられる。

【 0 0 7 3 】

なお、上式(eq25)において、分極電圧 V_w 及び開放端電圧 OCV は、電流の大きさに対する変動が無いため、演算を簡素化すべく固定値に設定されてもよい。また、探索法としては、2分法に限らず、例えば黄金分割法であってもよい。

【 0 0 7 4 】

先の図3の説明に戻り、演算部32は、SOC演算部36を備えている。SOC演算部36は、電流推定部35によって算出された推定電流 I_e に基づいて、電池セル20aのSOCを算出する。本実施形態では、SOCの初期値である初期SOC0、SOCが初期SOC0である時からの電流推定部35によって算出された推定電流 I_e の積算値、及び電池セル20aの定格容量 $Ah0$ に基づいて、SOC[%]を算出する。具体的には例えば、下式(eq27)によってSOCを算出すればよい。

【 0 0 7 5 】

【 数 2 7 】

$$SOC = SOC0 + \frac{\sum I_e \cdot dT}{Ah0} \times 100 \quad \dots \quad (eq27)$$

なお、初期SOC0は、例えば以下のように算出すればよい。詳しくは、組電池20の充放電が停止されていることを条件として電池セル20aの端子間電圧を電圧センサ21によって開放端電圧 OCV として検出する。そして、検出された開放端電圧 OCV を入力として、上記 OCV マップを用いて初期SOC0を算出する。

【 0 0 7 6 】

続いて、図5に示す同定部42について説明する。

【 0 0 7 7 】

10

20

30

40

50

同定部 4 2 は、U K F により、第 1 補正係数 R_k 及び第 2 補正係数 k を逐次同定する同定処理を行う。この処理は、電池セル 2 0 a の劣化等に起因して抵抗パラメータ R_{dm} 及び時定数パラメータ τ_{dm} が設計時に想定した適切な値からずれることに鑑みてなされる処理である。これにより、電池セル 2 0 a に劣化等が生じた場合であっても、電圧推定部 3 4 による電圧の推定精度及び電流推定部 3 5 による電流の推定精度の低下の回避を図る。

【 0 0 7 8 】

本実施形態では、同定対象を、抵抗パラメータ R_{dm} 及び時定数パラメータ τ_{dm} ではなく、第 1 補正係数 R_k 及び第 2 補正係数 k とする。つまり、抵抗パラメータ R_{dm} 、時定数パラメータ τ_{dm} は、上式 (e q 1 7)、(e q 1 8) に示すように、電池セルの温度に対して指数関数的に変化するパラメータであり、具体的には例えば、電池セルの使用温度範囲において桁が大きく変わるような変化をし得る。このため、U K F を用いる際は、抵抗パラメータ R_{dm} 、時定数パラメータ τ_{dm} を直接の同定対象とせず、抵抗パラメータ R_{dm} 、時定数パラメータ τ_{dm} を規格化した値である第 1、第 2 補正係数 R_k 、 k を同定対象とすることが望ましい。これにより、演算部 3 2 における最小演算単位 (L S B) に起因した抵抗パラメータ R_{dm} 、時定数パラメータ τ_{dm} の同定精度の低下を回避できる。

10

【 0 0 7 9 】

詳しくは、抵抗パラメータ R_{dm} 、時定数パラメータ τ_{dm} を直接の同定対象とする構成を考える。電池セルの使用温度によって各パラメータ R_{dm} 、 τ_{dm} が大きく異なるため、車両停止中に電池セルの温度が著しく変化して初期値が著しくずれていたり、車両の走行中の温度変化により各パラメータ R_{dm} 、 τ_{dm} が収束する時間が変化したりして、同定精度が低下する懸念がある。これに対し、本実施形態では、第 1、第 2 補正係数 R_k 、 k が正規化されており、また、各補正係数 R_k 、 k が車両停止時においてもメモリ 3 1 に記憶されている。これにより、次の車両走行開始直後からマップデータの初期のずれを補正でき、安定した係数を演算することが可能になる。また、第 1、第 2 補正係数 R_k 、 k で正規化することにより、桁落ちなどの懸念点も回避できるため、同定精度の低下を回避できる。

20

【 0 0 8 0 】

抵抗パラメータ R_{dm} を例にして説明すると、電池セル 2 0 a の劣化等によって適切な値からずれた抵抗パラメータ R_{dm} を補正するために、第 1 補正係数 R_k を同定する。図 1 9 に、実線にて R_{dm} マップを示す。上式 (e q 2 1) の両辺を対数化すると、下式 (e q 2 8) が導かれる。

30

【 0 0 8 1 】

【 数 2 8 】

$$\ln(R_{dc}) = \ln(R_k) + \ln(R_{dm}) \quad \dots \quad (eq28)$$

第 1 補正係数 R_k がその初期値である 1 の場合、下式 (e q 2 8) における $\ln(R_k)$ は 0 となる。すなわち、図 1 9 に示す実線と一点鎖線とが一致する。一方、電池セル 2 0 a の劣化等に起因して、同定された第 1 補正係数 R_k が 1 以外の値をとり得る。この場合、図 1 9 に一点鎖線にて示すように、同定後の一点鎖線は、実線からずれ得る。このずれは、第 1 補正係数 R_k により補正できる。すなわち、劣化等に起因してアレニウスプロットの Y 切片が変化するため、この変化を第 1 補正係数 R_k によって補正する。

40

【 0 0 8 2 】

同定部 4 2 の同定処理について詳しく説明する。

【 0 0 8 3 】

状態変数 $X(k)$ は、下式 (e q 2 9) のように定義される。

【 0 0 8 4 】

【数 2 9】

$$X(k) = [VV(k) \quad R_k(k) \quad \tau_k(k)] \dots \quad (eq29)$$

同定部 4 2 は、状態変数 $X(k)$ を構成する電池セル 2 0 a の端子間電圧 $VV(k)$ を下式 (eq 3 0) に基づいて算出する。

【0 0 8 5】

【数 3 0】

$$\begin{aligned} VV(k) &= OCV(k) + V_s(k) + V_{BV}(k) + V_w(k) \\ &= OCV(k) + R_s(k) \cdot I_s(k) + \frac{\alpha}{\gamma} T_s \cdot \sinh^{-1}(\gamma \cdot \beta_m \cdot I_s(k)) + V_w(k) \dots \quad (eq30) \end{aligned}$$

上式 (eq 2 9) において、開放端電圧 $OCV(k)$ は OCV 推定部 3 3 から入力され、直流抵抗 $R_s(k)$ は R_s 演算部 4 1 a から入力され、電荷パラメータ $m(k)$ は演算部 4 1 b から入力される。また、分極電圧 $V_w(k)$ は、 R 演算部 4 1 c から入力された抵抗パラメータ R_{dm} 及び演算部 4 1 d から入力された時定数パラメータ τ_{dm} を入力として、電圧推定部 3 4 における分極電圧の算出手法と同様な手法で算出される。

【0 0 8 6】

観測値 $Y(k)$ は、下式 (eq 3 1) のように定義される。すなわち本実施形態において、観測値 $Y(k)$ は検出電圧 $CCV(k)$ である。

【0 0 8 7】

【数 3 1】

$$Y(k) = CCV(k) \dots \quad (eq31)$$

状態変数 $X(k)$ 及び観測値 $Y(k)$ は、下式 (eq 3 2) の非線形状態空間表現に従うとする。

【0 0 8 8】

【数 3 2】

$$\left. \begin{aligned} X(k+1) &= f(X(k)) + v(k) \\ Y(k) &= h(X(k)) + w(k) \end{aligned} \right\} \dots \quad (eq32)$$

上式 (eq 3 2) において、 f はベクトル値をとる非線形関数を示し、 h はスカラー値をとる非線形関数を示す。また、 $v(k)$ はシステム雑音を示し、 $w(k)$ は観測雑音を示す。なお、システム雑音 $v(k)$ は、その平均値が 0 であり、その共分散行列が Q であるとする。また、観測雑音 $w(k)$ は、その平均値が 0 であり、その共分散行列が R であるとする。

【0 0 8 9】

まず、同定部 4 2 は、状態変数 X の推定値 (以下「状態推定値 X_h 」という。) の初期値 $X_h(0)$ を設定する初期化処理を行う。この処理は、上式 (eq 2 9) に基づいて、電池 $ECU 3 0$ の起動後の最初の状態推定値 X_h を設定する処理である。ここで、状態推定値の初期値 $X_h(0)$ において、端子間電圧の初期値 $VV(0)$ は、検出温度 T_s に基づいて各演算部 4 1 a ~ 4 1 により算出された各パラメータ R_s , m , R_{dm} , τ_{dm} 、検出温度 T_s 、検出電流 I_s 及びメモリ 3 1 に記憶されている最新の第 1, 第 2 補正係数 R_k , τ_k を入力として、上式 (eq 3 0) を用いて算出される。また、第 1, 第 2 補正係数の初期値 $R_k(0)$, $\tau_k(0)$ は、メモリ 3 1 に記憶されている最新の第 1, 第 2 補正係数 R_k , τ_k に設定される。

【0 0 9 0】

なお、第 1, 第 2 補正係数の初期値 $R_k(0)$, $\tau_k(0)$ は、同定処理が過去に一度も実施されていない場合、1 に設定され、同定処理が過去に実施された場合、電池 $ECU 3 0$ の前回の動作終了直前にメモリ 3 1 に記憶された値に設定される。

【0 0 9 1】

続いて同定部 4 2 は、シグマポイントの算出処理を行う。ここでシグマポイントは、前回の演算周期における状態推定値 $Xh(k-1)$ 及び共分散行列 $P(k-1)$ を用いて下式 (eq 3 3) のように表される。

【 0 0 9 2 】

【 数 3 3 】

$$\left. \begin{aligned} \chi_0(k-1) &= Xh(k-1) \\ \chi_i(k-1) &= Xh(k-1) + \left(\sqrt{(n+\kappa)P(k-1)} \right)_i \quad i=1, \dots, n \\ \chi_{n+i}(k-1) &= Xh(k-1) - \left(\sqrt{(n+\kappa)P(k-1)} \right)_i \quad i=n+1, \dots, 2n+1 \end{aligned} \right\} \dots \quad (eq33)$$

ただし、

κ : スケーリングパラメータ

$\left(\sqrt{(n+\kappa)P(k-1)} \right)_i$: 行列 $(n+\kappa)P(k-1)$ の平方根行列 L の i 番目の行成分

$$L^T L = (n+\kappa)P(k-1)$$

なお、シグマポイントに対する重み付けは、例えば下式 (eq 3 4) に基づいて行うことができる。ここで、 Wm_i は平均に対する重みを示し、 Wc_i は分散に対する重みを示す。

【 0 0 9 3 】

【 数 3 4 】

$$\left. \begin{aligned} Wm_0 &= \frac{\lambda}{n+\lambda} \\ Wc_0 &= \frac{\lambda}{n+\lambda} + 1 - d^2 - e \quad d, e > 0 \\ Wm_i &= Wc_i = \frac{1}{2(n+\lambda)} \quad i \neq 0 \end{aligned} \right\} \dots \quad (eq34)$$

ただし、

$$\lambda = d^2(n+\kappa) - n, \quad \sum_{i=0}^{2n} Wm_i = 1, \quad \sum_{i=0}^{2n} Wc_i = 1$$

続いて同定部 4 2 は、時間更新処理を行う。この処理には、シグマポイントの算出処理、状態推定値 Xbh の算出処理、共分散行列 Pb の算出処理、及び観測値 Y の推定値 (以下「観測推定値 Ybh 」という。) の算出処理を含む。シグマポイントの算出処理は、下式 (eq 3 5) に基づいて行われる。状態推定値 Xbh の算出処理は、下式 (eq 3 6) に基づいて行われる。共分散行列 Pb の算出処理は、下式 (eq 3 7) に基づいて行われる。観測推定値 Ybh の算出処理は、下式 (eq 3 8) に基づいて行われる。

【 0 0 9 4 】

【 数 3 5 】

$$\chi b_i(k) = f(\chi_i(k-1)) \quad \dots \quad (eq35)$$

【 0 0 9 5 】

【 数 3 6 】

$$Xbh(k) = \sum_{i=0}^{2n} Wm_i \cdot \chi b_i(k) \quad \dots \quad (eq36)$$

【 0 0 9 6 】

【数 3 7】

$$Pb(k) = \sum_{i=0}^{2n} Wc_i \{ \chi b_i(k) - \chi bh(k) \} \{ \chi b_i(k) - Xbh(k) \}^T + Q \quad \dots \quad (eq37)$$

【0 0 9 7】

【数 3 8】

$$Ybh(k) = \sum_{i=0}^{2n} Wm_i \cdot \phi_i(k) \quad \dots \quad (eq38)$$

ただし、 $\phi_i(k) = h(\chi b_i(k))$

続いて同定部 4 2 は、観測値更新処理を行う。この処理には、共分散行列 P_{byy} 、 P_{bxy} の算出処理、カルマンゲイン G の算出処理、状態推定値 Xh の更新処理、及び共分散行列 P の更新処理を含む。共分散行列 P_{byy} 、 P_{bxy} の算出処理は、下式 (eq 39)、(eq 40) に基づいて行われる。カルマンゲイン G の算出処理は、下式 (eq 41) に基づいて行われる。状態推定値 Xh の更新処理は、下式 (eq 42) に基づいて行われる。共分散行列 P の更新処理は、下式 (eq 43) に基づいて行われる。

【0 0 9 8】

【数 3 9】

$$P_{byy}(k) = \sum_{i=0}^{2n} Wc_i \{ \phi_i(k) - Ybh(k) \} \{ \phi_i(k) - Ybh(k) \}^T + R \quad \dots \quad (eq39)$$

【0 0 9 9】

【数 4 0】

$$P_{bxy}(k) = \sum_{i=0}^{2n} Wc_i \{ \chi b_i(k) - Xbh(k) \} \{ \phi_i(k) - Ybh(k) \}^T \quad \dots \quad (eq40)$$

【0 1 0 0】

【数 4 1】

$$G(k) = P_{bxy}(k) P_{byy}(k)^{-1} \quad \dots \quad (eq41)$$

【0 1 0 1】

【数 4 2】

$$Xh(k) = Xbh(k) + G(k) \{ Y(k) - Ybh(k) \} \quad \dots \quad (eq42)$$

【0 1 0 2】

【数 4 3】

$$P(k) = Pb(k) - G(k) P_{byy}(k) G(k)^T \quad \dots \quad (eq43)$$

同定部 4 2 による同定処理によれば、観測推定値 $Ybh(k)$ と検出電圧 $CCV(k)$ とが一致するように、第 1 補正係数 $Rk(k)$ 及び第 2 補正係数 $k(k)$ が逐次同定される。換言すれば、観測推定値 $Ybh(k)$ と検出電圧 $CCV(k)$ との誤差を最小とする最適解として第 1 補正係数 $Rk(k)$ 及び第 2 補正係数 $k(k)$ が同定される。

【0 1 0 3】

本実施形態では、第 1、第 2 補正係数 $Rk(k)$ 、 $k(k)$ が同定されるたびに第 1、第 2 補正係数 $Rk(k)$ 、 $k(k)$ がメモリ 3 1 に記憶される。これにより、メモリ 3 1 に記憶されている第 1、第 2 補正係数 $Rk(k)$ 、 $k(k)$ が更新される。この構成によれば、電池 ECU 3 0 の次の起動時において、起動時の検出温度 Ts に基づく各パラメータ Rs 、 m 、 Rdm 、 dm と、メモリ 3 1 に記憶されている第 1、第 2 補正係数 Rk 、 k とに基づいて、上記初期化処理において適正な状態推定値の初期値 $Xh(0)$ を設定することができる。これにより、電池セル 2 0 a の温度が、電池 ECU 3 0 の

前回の動作終了時点と今回の起動時とで大きく異なっている場合であっても、適正な状態推定値の初期値 $X_h(0)$ を設定できる。したがって、UKFにおいて解が局所解に収束するリスクを低減できる。

【0104】

図20に、所定の走行モードにおける検出電圧 CCV 、電圧推定部34により算出された推定電圧 V_e 、及び推定電圧 V_e と検出電圧 CCV との誤差 V_{rr} の推移を示す。なお、図20における所定の走行モードは、LA#4モードである。

【0105】

図示される例は、誤差 V_{rr} が大きくなりやすい低温時（例えば -20 ）の推移を示す。低温時においても、誤差 V_{rr} が非常に小さい状態に維持されている。このため図20では、検出電圧 CCV の推移と推定電圧 V_e の推移とがほぼ一致している。

10

【0106】

なお図21に、図20において示したデータ期間における検出電流 I_s と推定電圧 V_e 、検出電圧 CCV との相関図を示した。このように本実施形態では、BV式を含んでいるため低温時においても、電流及び電圧の非線形特性を高精度に表現でき、さらに、UKFにより同定しているため、電池セル20aの端子間電圧を高精度に推定できる。これに対し、抵抗及びコンデンサを組合せただけの従来の電池モデルでは、上記非線形特性を表現することはできない。

【0107】

図22に、高いSOC領域から低いSOC領域まで組電池20を放電させるパターンが実施される場合において、SOC演算部36により算出されたSOCの推移を実線にて示す。図22において、1点鎖線はSOCの真値を示し、破線は算出されたSOCと真値との誤差 SOC を示す。

20

【0108】

高いSOC領域から低いSOC領域まで放電させるパターンでは、複数のRC回路で電池セル20aの拡散現象を模擬することがSOCの演算精度の向上に寄与する。図示されるように、算出されたSOCと真値とがほぼ一致している。

【0109】

以上説明した本実施形態によれば、以下の効果が得られるようになる。

【0110】

メモリ31に予め記憶されている直流抵抗 R_s 、電荷パラメータ m 、抵抗パラメータ R_{dm} 及び時定数パラメータ d_m を初期値として、状態推定値の初期値 $X_h(0)$ を設定した。メモリ31に記憶されている各パラメータ R_s 、 m 、 R_{dm} 、 d_m は、設計時に適合されたものであるため、電池セル20aの現在の温度に対応する現在の各パラメータ R_s 、 m 、 R_{dm} 、 d_m から大きくずれていない。このため、メモリ31に記憶されている各パラメータ R_s 、 m 、 R_{dm} 、 d_m に基づいて算出された観測推定値 Y_{bh} と検出電圧 CCV との誤差は大きくなる。したがって、メモリ31に記憶されている各パラメータ R_s 、 m 、 R_{dm} 、 d_m は、状態推定値の初期値 $X_h(0)$ の演算にとって適正な値となる。このため本実施形態によれば、UKFによる第1、第2補正係数 R_k 、 k の同定において各パラメータ R_s 、 m 、 R_{dm} 、 d_m の適正な初期値が設定でき、ひいては状態推定値の初期値 $X_h(0)$ を適正に設定できる。これにより、解が局所解に収束する等、解を求めることができなくなるリスクを低減できる。したがって、第1、第2補正係数 R_k 、 k の同定精度の低下を回避でき、ひいては推定電圧 V_e 、推定電流 I_e 及び充電率 SOC の算出精度の低下を回避できる。

30

40

【0111】

UKFによる同定対象を、抵抗パラメータ R_{dm} 、時定数パラメータ d_m を規格化した値である第1、第2補正係数 R_k 、 k とした。このため、電池セル20aの温度によって各パラメータ R_{dm} 、 d_m が大きく異なる場合であっても、桁落ち等を回避でき、ひいては同定精度の低下を回避できる。

【0112】

50

伝送線路回路モデルから変換されたフォスター型のRC等価回路モデルに基づいて、抵抗パラメータ R_{dm} 及び時定数パラメータ τ_{dm} を定めた。このため、RC等価回路モデルを構成するRC並列回路の数が増加する場合であっても、 R 、 C の2変数で表現できるため、電池モデルを表すパラメータ数を削減できる。

【0113】

(第2実施形態)

以下、第2実施形態について、上記第1実施形態との相違点を中心に図面を参照しつつ説明する。本実施形態では、SOC演算部36における演算手法を変更する。なお本実施形態では、先の図3に示すSOC演算部36に、検出電流 I_s が入力される。

【0114】

図23に、本実施形態に係るSOC演算部36のブロック図を示す。

【0115】

偏差算出部36aは、電流推定部35により算出された推定電流 I_e から検出電流 I_s を減算して出力する。ゲイン乗算部36bは、偏差算出部36aの出力値にゲイン B を乗算する。加算部36cは、ゲイン乗算部36bの出力値に検出電流 I_s を加算する。算出部36dは、加算部36cの出力値 I_g に基づいて、電池セル20aのSOCを算出する。本実施形態では、上式(eq27)の推定電流 I_e を I_g に変更することにより、SOCが算出される。

【0116】

ゲイン設定部36eは、ゲイン乗算部36bにおいて用いられるゲイン B を設定するゲイン設定処理を行う。図24に、ゲイン設定処理の手順を示す。この処理は、ゲイン設定部36eにより例えば所定周期毎に繰り返し実行される。

【0117】

この一連の処理では、まずステップS10において、電流判定フラグ F_I の値が1であるか否かを判定する。電流判定フラグ F_I は、1によって電流センサ23に係る異常が生じていることを示し、0によって異常が生じていないことを示す。なお本実施形態において、電流センサ23に係る異常には、電流センサ23自体の故障に加え、電流センサ23と電池ECU30とを接続する信号線の断線も含まれる。

【0118】

ステップS10において電流判定フラグ F_I の値が1であると判定した場合には、電流センサ23に係る異常が生じている旨判定し、ステップS11に進む。ステップS11では、ゲイン B を1に設定する。これにより、算出部36dにおいてSOCの算出に用いられる電流が推定電流 I_e のみとなる。したがって、電流センサ23に係る異常が生じた場合であっても、SOCの算出を継続できる。なお本実施形態において、ステップS11の処理が電流異常代替部に相当する。

【0119】

一方、ステップS10において電流判定フラグ F_I の値が0であると判定した場合には、ステップS12に進み、電圧判定フラグ F_V の値が1であるか否かを判定する。電圧判定フラグ F_V は、1によって電圧センサ21に係る異常が生じていることを示し、0によって異常が生じていないことを示す。なお本実施形態において、電圧センサ21に係る異常には、電圧センサ21自体の故障に加え、電圧センサ21と電池ECU30とを接続する信号線の断線も含まれる。

【0120】

ステップS12において電圧判定フラグ F_V の値が1であると判定した場合には、電圧センサ21に係る異常が生じている旨判定し、ステップS13に進む。ステップS13では、ゲイン B を0に設定する。これにより、算出部36dにおいてSOCの算出に用いられる電流が検出電流 I_s のみとなる。この構成によれば、電圧センサ21の信頼性が低下した状況において、検出電流 I_s を用いたSOC演算に切り替えることができる。なお本実施形態において、ステップS12の処理が電圧異常代替部に相当する。

【0121】

10

20

30

40

50

一方、ステップS 1 2において電圧判定フラグF Vの値が0であると判定した場合には、ステップS 1 4に進み、ゲインBを0よりも大きくてかつ1以外の任意の値に設定する。ゲインBの調整により、SOCの演算誤差が0に収束するまでの時間を調整できる。

【0122】

図25に、ゲインBを1, 2に設定した場合におけるSOCの推移を示す。図25に示す例では、SOCの収束性を確認するため、初期SOC0に真値に対して-10%の誤差を与えた。

【0123】

算出されたSOCとSOCの真値との間に誤差があると、その誤差を収束させる方向に推定電流I_eの誤差が発生する。このため、ゲインBが1に設定されると、SOCの誤差は徐々に収束していく。また、ゲインBが2に設定されると、推定電流I_eと実際の電流との誤差が2倍になるので、ゲインBが1に設定される場合の2倍の速度でSOCの誤差が収束する。なお、ゲインBを大きくしすぎると、算出されたSOCが変動しやすくなるため、適正なゲインBを適合により定めればよい。

10

【0124】

ちなみに、車両の状況に応じてゲインBを設定する手法として、例えば、停車中において算出されたSOCの変化を緩慢にすべくゲインBを1よりも小さい値に設定する手法を採用できる。つまり、停車中であってかつ組電池20が充電されていない場合、実際のSOCは上昇しないものの、電圧検出誤差に起因して算出部36dにより算出されたSOCが上昇する懸念がある。このため、停車中であってかつ組電池20が充電されていない場合には、SOCの変化を緩慢にするようなゲインBを設定することにより、算出されたSOCの上昇を抑制できる。これにより、実際のSOCと算出されたSOCとの乖離を抑制する。

20

【0125】

以上説明した本実施形態によれば、以下の効果が得られるようになる。

【0126】

電圧センサ21に係る異常が生じていると判定された場合、推定電流I_eに代えて、検出電流I_sの積算値に基づいて電池セル20aのSOCを算出した。このため、電圧センサ21に異常が生じた場合であっても、SOCの算出を継続でき、例えば車両を適正に回避走行させることができる。

30

【0127】

電流センサ23に係る異常が生じていると判定された場合、検出電流I_sに代えて、推定電流I_eの積算値に基づいて電池セル20aのSOCを算出した。このため、電流センサ23に異常が生じた場合であっても、SOCの算出を継続でき、例えば車両を適正に回避走行させることができる。

【0128】

ゲインBを可変とすることにより、SOCの収束性を調整できる構成とした。このため、組電池20及び車両の使用状況に応じたSOCの収束性を得ることができる。

【0129】

(第3実施形態)

以下、第3実施形態について、上記第1実施形態との相違点を中心に図面を参照しつつ説明する。本実施形態では、抵抗パラメータR_{dm}及び時定数パラメータτ_{dm}に加えて、電荷パラメータQ_mをUKFによって逐次同定して更新する。これは、電池セル20aの劣化等に起因して、電荷パラメータが適切な値からずれることに鑑みたものである。

40

【0130】

図26に示すように、パラメータ算出部40を構成する同定部42は、電荷パラメータQ_mを補正するための電荷補正係数としての第3補正係数kを逐次同定する。同定部42により同定された第3補正係数kは、メモリ31に逐次記憶される。なお図26において、先の図5に示した構成については、便宜上、同一の符号を付している。

【0131】

50

第3補正係数 k は、下式 (eq 44) の関係を示すパラメータである。下式 (eq 44) において、 c は補正後電荷パラメータを示す。本実施形態において、第3補正係数 k は、その初期値が1に設定されており、その値がメモリ31に記憶されている。なお、本実施形態に係る同定部42については、後に詳述する。

【0132】

【数44】

$$\beta_c = \beta_k \times \beta_m \quad \dots \quad (eq44)$$

図27に示すように、同定部42により同定された第3補正係数 k は、電圧推定部34及び電流推定部35に入力される。電圧推定部34及び電流推定部35は、演算部41bにより算出された電荷パラメータ m に第3補正係数 k を乗算することにより、補正電荷パラメータ c を算出する。電圧推定部34及び電流推定部35は、各種演算において、電荷パラメータ m に代えて、補正後電荷パラメータ c を用いる。

【0133】

なお、電荷パラメータは、上式 (eq 11) に示すように、電池セル20aの温度に対して指数関数的に変化するパラメータである。このため、UKFを用いる際は、電荷パラメータを直接の同定対象とせず、電荷パラメータを規格化した値である第3補正係数 k を同定対象とすることが望ましい。これは、上記第1実施形態と同様に、演算部32における最小演算単位に起因した電荷パラメータの同定精度の低下を回避するためである。

【0134】

続いて、本実施形態に係る同定部42について、上記第1実施形態との相違点を中心に説明する。

【0135】

本実施形態において、状態変数 $X(k)$ は、下式 (eq 45) のように定義される。

【0136】

【数45】

$$X(k) = [VV(k) \quad R_s(k) \quad \tau_k(k) \quad \beta_k(k)] \quad \dots \quad (eq45)$$

同定部42は、状態変数 $X(k)$ を構成する電池セル20aの端子間電圧 $VV(k)$ を下式 (eq 46) に基づいて算出する。

【0137】

【数46】

$$VV(k) = OCV(k) + R_s(k) \cdot I_s(k) + \frac{\alpha}{\gamma} T_s \cdot \sinh^{-1}(\gamma \cdot \beta_k \cdot \beta_m \cdot I_s(k)) + V_w(k) \quad \dots \quad (eq46)$$

以上説明した本実施形態によれば、電池セル20aの劣化等により変化する電荷パラメータを逐次更新することができる。これにより、SOC等の算出精度を高めることができる。

【0138】

(その他の実施形態)

なお、上記各実施形態は、以下のように変更して実施してもよい。

【0139】

・拡散抵抗モデルとしては、抵抗とキャパシタとの並列接続体を4つ備えるRC等価回路モデルに限らず、上記並列接続体を1~3つ又は5つ以上備えるものであってもよい。ここで図28には、3つ備える場合における各抵抗 $R_1 \sim R_3$ 及び抵抗パラメータ R_d の関係と、各時定数 $\tau_1 \sim \tau_3$ 及び時定数パラメータ d の関係を示す。この場合、「 $3 \times R = R_d$ 」の関係を満たす抵抗パラメータ R_d が定義される。また図29には、2つ備える場合における各抵抗 R_1, R_2 及び抵抗パラメータ R_d の関係と、各時定数 τ_1, τ_2 及び時定数パラメータ d の関係を示す。この場合、「 $2 \times R = R_d$ 」の関係を満たす抵抗パラメータ R_d が定義される。

10

20

30

40

50

【 0 1 4 0 】

・上記第1実施形態において、上式 (e q 1 7) に従う形で抵抗パラメータ R_{dm} をメモリ31に記憶させ、上式 (e q 1 8) に従う形で時定数パラメータ τ_{dm} をメモリ31に記憶させてもよい。そして、同定処理による直接の同定対象を、第1補正係数 R_k 及び第2補正係数 k に代えて、抵抗パラメータ R_{dm} 及び時定数パラメータ τ_{dm} そのものとしてもよい。また上記第2実施形態において、上式 (e q 1 1) に従う形で電荷パラメータ q_m をメモリ31に記憶させてもよい。そして、同定処理による直接の同定対象を、第3補正係数 k に代えて、電荷パラメータ q_m そのものとしてもよい。

【 0 1 4 1 】

・上記第1実施形態では、抵抗パラメータ R_{dm} の自然対数値を検出温度 T_s の逆数に対する1次式となる形で数式化してメモリ31に記憶させたがこれに限らない。例えば、抵抗パラメータ R_{dm} の自然対数値を検出温度 T_s の逆数に対する1次式となる形でマップ化してメモリ31に記憶させてもよい。この場合、記憶されている抵抗パラメータ R_{dm} の自然対数値の中から、検出温度 T_s に対応する自然対数値を選択する。そして、選択した自然対数値を抵抗パラメータ R_{dm} に変換し、上式 (e q 2 1) に基づいて補正後抵抗パラメータ R_{dc} を算出する。なお、マップ化してメモリ31に記憶させる構成を採用する場合、電池セル20aの温度を少なくとも3点計測することにより、マップを作成することができる。このため、マップの適合作業を容易に行うことができる。なお、時定数パラメータ τ_{dm} 及び電荷パラメータ q_m についても同様である。

【 0 1 4 2 】

拡散抵抗モデルを構成する各パラメータの算出手法としては、上記第1実施形態の図15に示したものに限らない。例えば、下式 (e q 4 7) に基づいて各抵抗値 $R_1 \sim R_4$ を算出し、下式 (e q 4 8) に基づいて各静電容量 $C_1 \sim C_4$ を算出してもよい。

【 0 1 4 3 】

【 数 4 7 】

$$R_m = \frac{8 \cdot R_d}{(2m-1)^2 \pi^2} \quad \dots \quad (eq47)$$

【 0 1 4 4 】

【 数 4 8 】

$$C_m = \frac{\tau_d}{2 \cdot R_d} \quad \dots \quad (eq48)$$

上式 (e q 4 7) , (e q 4 8) において、 m は正の整数を示し、具体的には1~4の値をとる。上式 (e q 4 7) , (e q 4 8) に基づいて算出された各抵抗値 $R_1 \sim R_4$ 及び各静電容量 $C_1 \sim C_4$ に基づいて、上式 (e q 2 4) の分極電圧 V_w を算出すればよい。ここで、上式 (e q 2 4) では、「 $m = R_m \times C_m$ ($m = 1, 2, 3, 4$) 」の関係に基づいて、各時定数 $\tau_1 \sim \tau_4$ を算出すればよい。

【 0 1 4 5 】

なお、上式 (e q 4 7) , (e q 4 8) は、ワールブルグインピーダンスに合致する等価回路と、ワールブルグインピーダンスと等価になる級数化された等価回路の定数の法則性を、本発明者が文献等によって調べた結果に基づくものである。なお、上記文献としては、例えば、「Modelling Ni-mH battery using Cauer and Foster structures. E. Kuhn et al. JOURNAL of Power Sources 158 (2006)」がある。

【 0 1 4 6 】

・上記第2実施形態の図23において、偏差算出部36aは、検出電流 I_s から、電流推定部35により算出された推定電流 I_e を減算した値「 $I_s - I_e$ 」を出力してもよい。この場合、ゲイン設定部36eによるゲイン設定処理を以下のように実施すればよい。詳しくは、ステップS11の処理を、ゲイン B を - 1 に設定する処理に置き換え、ステッ

プ S 1 4 の処理を、ゲイン B を 0 よりも小さくしてかつ - 1 以外の任意の値に設定する処理に置き換える。

【 0 1 4 7 】

・電池セル 2 0 a としては、リチウムイオン 2 次電池に限らず、ニッケル水素電池等、他の 2 次電池であってもよい。

【 0 1 4 8 】

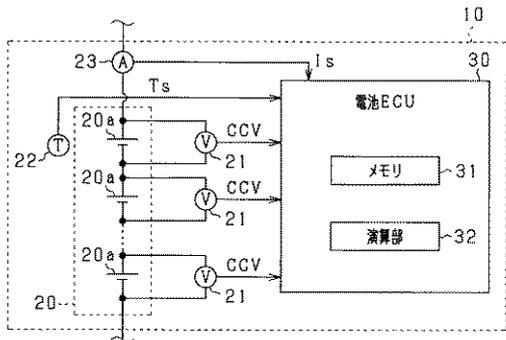
・本発明の適用対象としては、車両に限らない。

【 符号の説明 】

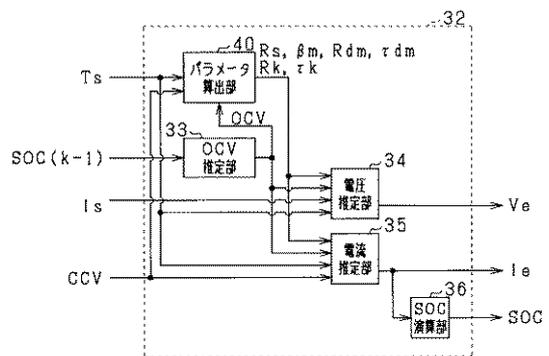
【 0 1 4 9 】

2 0 a 電池セル、 3 0 電池 E C U 。

【 図 1 】

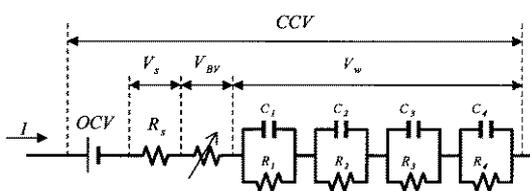


【 図 3 】

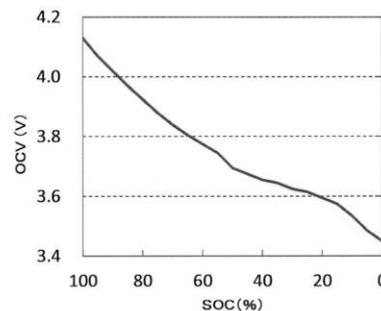


【 図 2 】

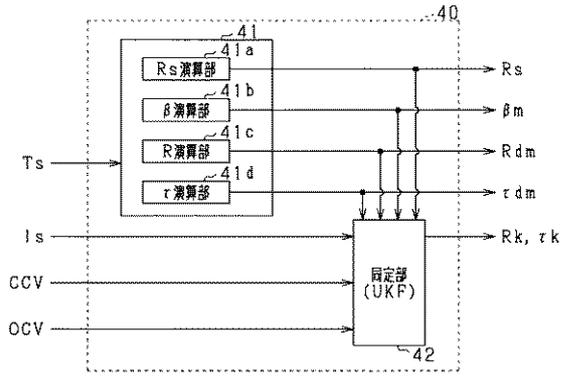
$$CCV = OCV + V_s + V_{BV} + V_w$$



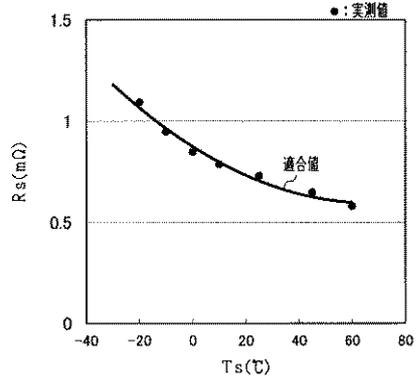
【 図 4 】



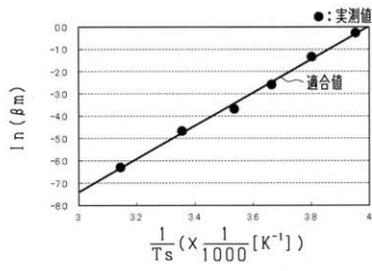
【 図 5 】



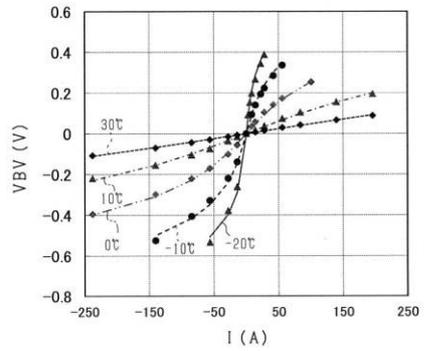
【 図 6 】



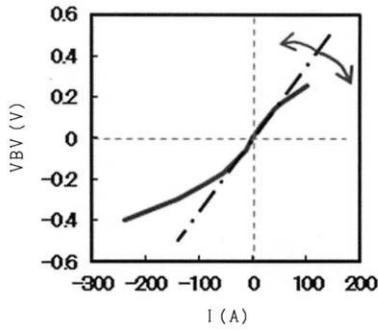
【 図 7 】



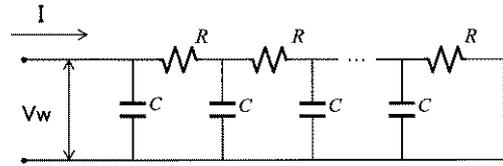
【 図 8 】



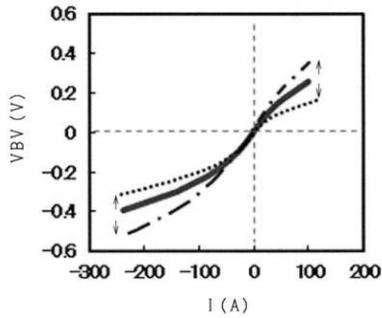
【 図 9 】



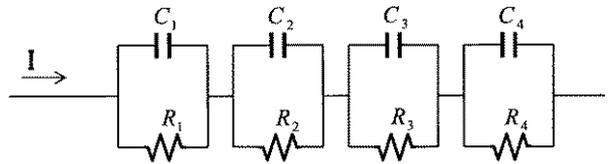
【 図 1 1 】



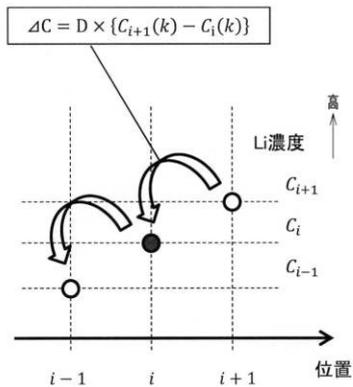
【 図 1 0 】



【 図 1 2 】



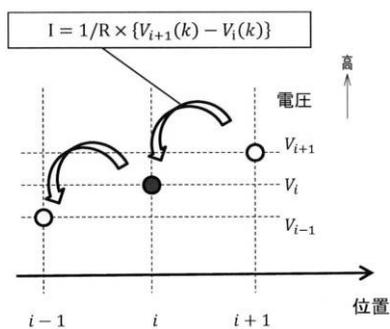
【 図 1 3 】



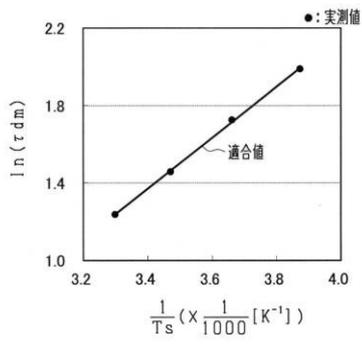
【 図 1 5 】

	R	τ
第1RC回路	$R_1 = 0.0147/4 \times R_d$	$\tau_1 = 1/3.5321 \times \tau_d$
第2RC回路	$R_2 = 0.0782/4 \times R_d$	$\tau_2 = 1/2.3473 \times \tau_d$
第3RC回路	$R_3 = 0.3333/4 \times R_d$	$\tau_3 = 1/1.0000 \times \tau_d$
第4RC回路	$R_4 = 3.5738/4 \times R_d$	$\tau_4 = 1/0.1206 \times \tau_d$

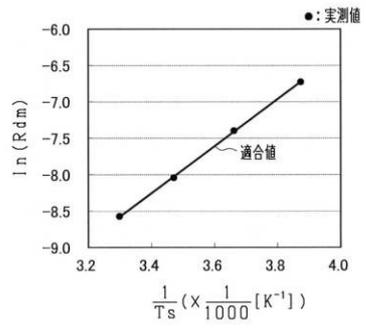
【 図 1 4 】



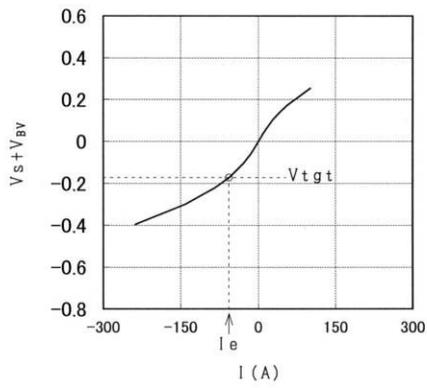
【 図 1 6 】



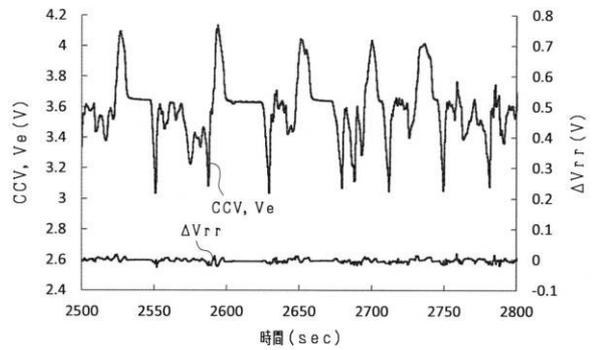
【 図 1 7 】



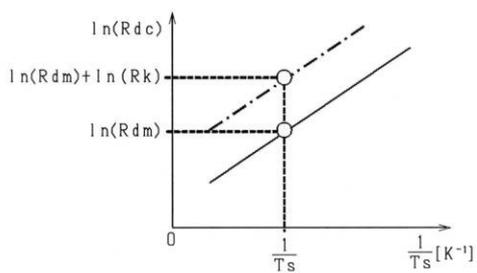
【 図 1 8 】



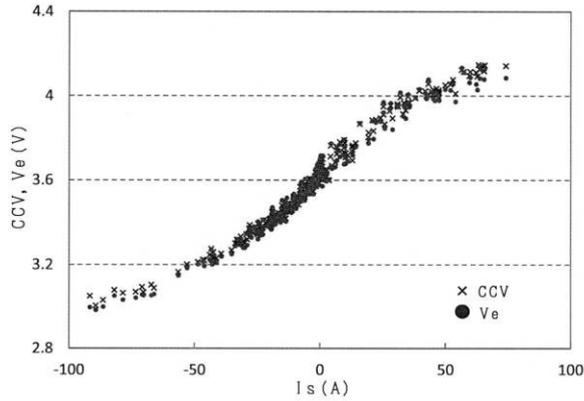
【 図 2 0 】



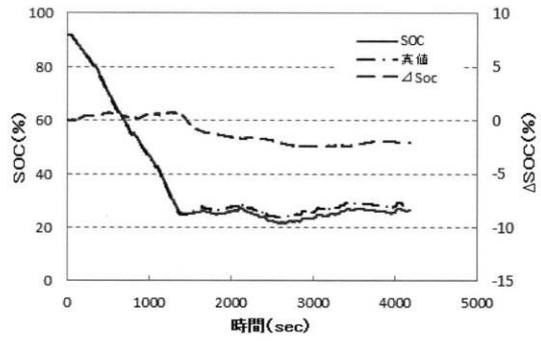
【 図 1 9 】



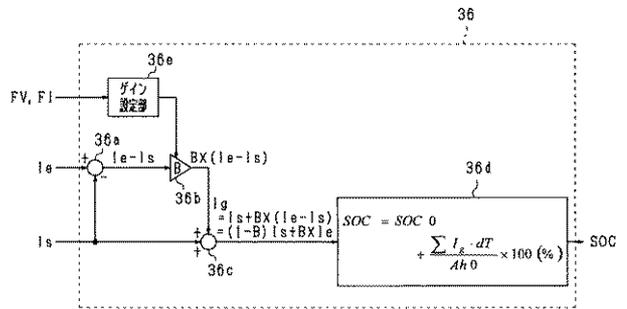
【図 2 1】



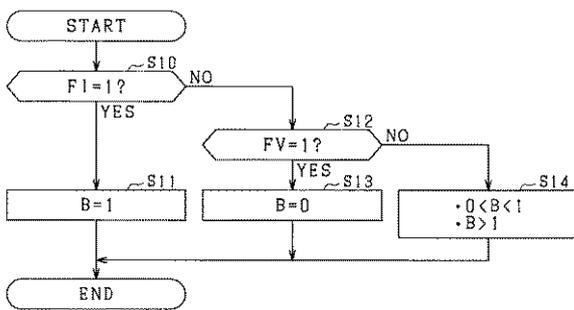
【図 2 2】



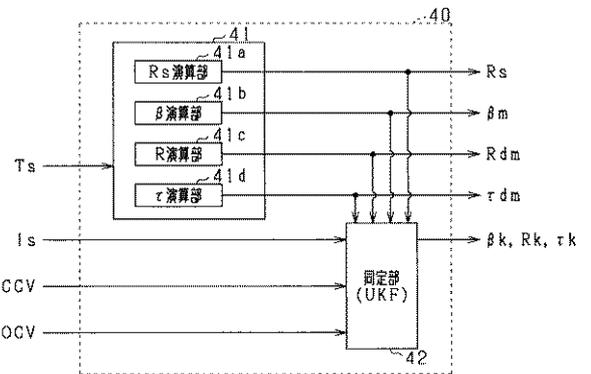
【図 2 3】



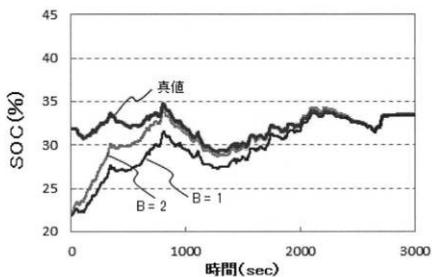
【図 2 4】



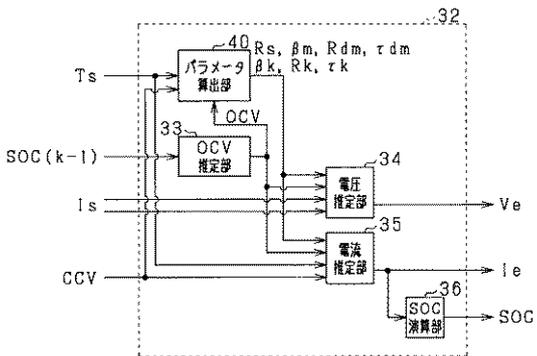
【図 2 6】



【図 2 5】



【図 2 7】



【図 28】

	R	τ
第1RC回路	$R1 = 0.0331/3 \times Rd$	$\tau 1 = 1/3.247 \times \tau d$
第2RC回路	$R2 = 0.2246/3 \times Rd$	$\tau 2 = 1/1.555 \times \tau d$
第3RC回路	$R3 = 2.7415/3 \times Rd$	$\tau 3 = 1/0.1981 \times \tau d$

【図 29】

	R	τ
第1RC回路	$R1 = 0.1056/2 \times Rd$	$\tau 1 = 1/2.618 \times \tau d$
第2RC回路	$R2 = 1.8942/2 \times Rd$	$\tau 2 = 1/0.382 \times \tau d$

フロントページの続き

(72)発明者 加藤 恵一

愛知県刈谷市昭和町 1 丁目 1 番地 株式会社デンソー内

(72)発明者 小池 佑治

愛知県刈谷市昭和町 1 丁目 1 番地 株式会社デンソー内

(72)発明者 田中 英明

愛知県刈谷市昭和町 1 丁目 1 番地 株式会社デンソー内

(72)発明者 河野 俊太郎

愛知県刈谷市昭和町 1 丁目 1 番地 株式会社デンソー内

F ターム(参考) 2G216 AB01 BA02 BA03 BA07 BA17 BA18 BA44 BA55 BA57 BA59

CB12 CB14 CB34 CB42

5G503 AA01 BA03 BB02 CA01 CA11 CB11 EA09 FA06

5H030 AA10 AS08 FF22 FF41 FF42 FF43 FF44 FF51