

(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2012-133757

(P2012-133757A)

(43) 公開日 平成24年7月12日(2012.7.12)

(51) Int.Cl.
G06F 17/50 (2006.01)F I
G06F 17/50 662 Gテーマコード (参考)
5B046

審査請求 未請求 請求項の数 13 O L (全 13 頁)

(21) 出願番号 特願2011-247760 (P2011-247760)
(22) 出願日 平成23年11月11日 (2011.11.11)
(31) 優先権主張番号 10 2010 062 838.7
(32) 優先日 平成22年12月10日 (2010.12.10)
(33) 優先権主張国 ドイツ (DE)

(71) 出願人 506012213
ディスペース デジタル シグナル プロ
セッシング アンド コントロール エン
지니어リング ゲゼルシャフト ミット
ベシュレンクテル ハフツング
dspace digital sign
al processing and c
ontrol engineering
GmbH
ドイツ連邦共和国 パデルボルン ラーテ
ナウシュトラーク 26
Rathenaustr. 26, D-33
102 Paderborn, Germ
any

最終頁に続く

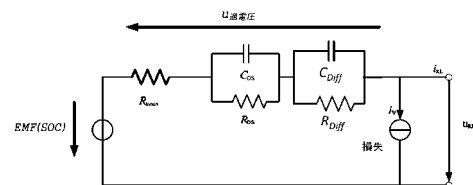
(54) 【発明の名称】 バッテリーをリアルタイムにシミュレーションする方法および装置

(57) 【要約】

【課題】従来技術の欠点を低減した方法を提供すること。

【解決手段】ここに記載されているのは、計算ユニット上の全体モデルを用いて、複数の個別セルからなるセル結合体を含むバッテリーをリアルタイムにシミュレーションする方法である。上記の全体モデルには第1モデルが含まれており、この第1モデルを用い、第1個別セルを基準セルとして、セル結合体に典型的なセルパラメタによってモデル化し、上記の第1モデルには、入力量として前記のセル結合体の全体入力電流が供給され、この第1モデルを用いて、上記の基準セルの端子電圧を計算し、上記の全体モデルには第2モデルが含まれており、この第2モデルを用いて少なくとも1つの別の個別セルの端子電圧と、基準セルの端子電圧との偏差を計算し、上記の基準セルの端子電圧と、別の個別セルの端子電圧の偏差とから当該の別の個別セルの端子電圧を計算する。

【選択図】図1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

計算ユニット上の全体モデルを用いて、複数の個別セルからなるセル結合体を含むバッテリーをリアルタイムにシミュレーションする方法であって、

前記の計算ユニットは、セル電圧エミュレータを介して制御装置システムに接続されており、

前記の全体モデルを用い、個別セルの端子電圧を前記の計算ユニット上で計算し、

前記のセル電圧エミュレータを用い、前記の個別セルの計算した端子電圧を前記の制御装置システムに供給する、方法において、

前記の全体モデルには第 1 モデルが含まれており、当該の第 1 モデルを用い、第 1 個別セルを基準セルとして、セル結合体に典型的なセルパラメタによってモデル化し、

前記の第 1 モデルには、入力量として前記のセル結合体の全体入力電流が供給され、当該の第 1 モデルを用いて、前記の基準セルの端子電圧を計算し、

前記の全体モデルには第 2 モデルが含まれており、当該の第 2 モデルを用いて少なくとも 1 つの別の個別セルの端子電圧と、基準セルの端子電圧との偏差を計算し、

前記の基準セルの端子電圧と、別の個別セルの端子電圧の偏差とから当該の別の個別セルの端子電圧を計算することを特徴とする、

複数の個別セルからなるセル結合体を含むバッテリーをリアルタイムにシミュレーションする方法。

【請求項 2】

それぞれの別の個別セルの端子電圧と、基準セルの端子電圧との偏差を計算する、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

前記の別の個別セルの端子電圧と、基準セルの端子電圧との偏差を計算するため、少なくとも 1 つの偏差を第 2 モデルに設定し、ここで当該の少なくとも 1 つの偏差は、基準セルを基準にした量またはセルパラメタについての、殊に抵抗、温度または端子電流についての個別セルの偏差である、

請求項 1 または 2 に記載の方法。

【請求項 4】

計算時間を低減するため、前記の基準セルに対して第 1 モデルを用いて計算した量と、基準セルを基準にしかつ別の個別セルに対してあらかじめ設定した相応する量の偏差とから、少なくとも 1 つの量を、殊にセル温度を求め、

個別セル毎に当該の量を別個にはシミュレーションしない、

請求項 1 から 3 までのいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 5】

入力量を前記の第 2 モデルにベクトルの形であらかじめ設定し、

前記の考察する別の個別セルの個数によって当該のベクトルの長さを決定する、

請求項 1 から 4 までのいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 6】

前記の第 2 モデルは第 1 部分モデルを有しており、前記の第 1 部分モデルを用いて、基準セルを基準にして前記の個別セルの起電力の偏差を計算し、および / または

前記の第 2 モデルは第 2 部分モデルを有しており、当該の第 2 部分モデルを用いて、基準セルの過電圧を基準にして前記の別の個別セルの過電圧の偏差を計算する、

請求項 1 から 5 までのいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 7】

前記のシミュレーションの精度を高めるため、少なくとも 1 つの別の部分モデルを第 2 モデルに付け加えて前記の少なくとも 1 つの別の個別セルを基準にして別の量をシミュレーションする、

請求項 6 に記載の方法。

【請求項 8】

10

20

30

40

50

前記の第 2 モデルから第 2 部分モデルを除去し、

前記の全体モデルによってバッテリーをシミュレーションする際、前記の除去した部分モデルにおいてシミュレーションによって求めた量を、基準セルに対する量の対応する値と、別の個別セルに対する値のあらかじめ設定した対応する偏差とによって考慮する、請求項 6 または 7 に記載の方法。

【請求項 9】

少なくとも 1 つの量をテーブルの形式で記憶するかまたは近似する、

請求項 1 から 8 までのいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 10】

前記のバッテリーの複数の個別セルの回路接続を直列接続としてシミュレーションする、

請求項 1 から 9 までのいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 11】

前記のバッテリーの個別セルの回路接続を並列接続としてシミュレーションし、

当該シミュレーションは、並列接続された複数の別の個別セルを、対応の大きさのキャパシタンスを有する 1 つの別の個別セルとしてモデル化することによって行われる、

請求項 1 から 10 までのいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 12】

計算ユニットおよび当該計算ユニットに接続されたセル電圧エミュレータを有する全体モデルを用いて、複数の個別セルからなるセル結合体を含むバッテリーをシミュレーションするシステムであって、

前記の計算ユニットを構成して、前記の個別セルの端子電圧を計算する前記全体モデルが実施されるようにし、

前記のセル電圧エミュレータを構成して、当該セル電圧エミュレータが制御装置システムと接続されかつ前記の個別セルの計算した端子電圧が当該の制御装置システムに供給されるようにした、複数の個別セルからなるセル結合体を含むバッテリーをシミュレーションする、システムにおいて、

前記全体モデルには第 1 モデルが含まれており、当該第 1 モデルは、第 1 個別セルを基準セルとして、典型的なセルパラメタによってモデル化し、前記セル結合体の全体入力電流を入力量として受け取り、また基準セルの端子電圧を計算するように構成されており、

前記の全体モデルには第 2 モデルが含まれており、当該第 2 モデルは、少なくとも 1 つの別の個別セルの端子電圧と、基準セルの端子電圧との偏差を計算して、当該偏差と、基準セルの端子電圧とから前記の複数の個別セルの端子電圧を計算するように構成されていることを特徴とする

複数の個別セルからなるセル結合体を含むバッテリーをシミュレーションするシステム。

【請求項 13】

前記のシステムによって請求項 1 から 11 までのいずれか 1 項に記載の方法を実行する、

請求項 12 に記載の複数の個別セルからなるセル結合体を含むバッテリーをシミュレーションするシステム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、制御装置をテストするためにバッテリーセルをシミュレーションする方法と、複数の個別セルからなるセル結合体を含むバッテリーをシミュレーションするシステムとに関する。

【背景技術】

【0002】

例えば自動車分野において制御装置の機能を早期にテストして検証するための広く知られたテクノロジーは、HIL (Hardware-in-the-Loop) である。ここでは実際の制御装置は、リアルタイムでシミュレーションされるコンポーネントとの相互作用において、これら

10

20

30

40

50

の制御装置が、指定した要求をどの程度満足するかについてテストされる。車両内の複数のプロセス、アクチュエータおよびセンサからなる、テストすべき制御装置の周辺環境は、リアルタイムにシミュレーションされ、このシミュレーションされた周辺環境においてこの制御装置の挙動が調べられる。

【 0 0 0 3 】

上記の H I L シミュレーションによって可能になるのは、開発ステージの早い段階において制御装置をテストし、例えばセンサ故障時のその挙動をテストすることである。H I L シミュレーションを用いてハイブリッド車両において制御装置をテストしようとする場合、バッテリーをシステムコンポーネントとしてシミュレーションしなければならない。ハイブリッド車両では、バッテリーは多くの個別セルから組み立てられる。殊にバッテリーコントロールに対する制御装置、いわゆるバッテリーマネジメントシステム (B M S) も H I L シミュレーションによってテストされる。B M S の役割は、セル結合体の複数のセルを監視し、これによってこのセル結合体の確実であり、信頼性が高くかつ可能な限りに長い動作を保証することである。H I L シミュレーションによって B M S をテストするためにはセル結合体の特性をシミュレーションしなければならない。上記のような理由から、個別セルをシミュレーションするモデルも、大きなセル結合体をシミュレーションするモデルも共に必要なのである。

【 0 0 0 4 】

車載電源シミュレーションに使用される従来型のバッテリーモジュールに比べ、バッテリーマネジメントシステム用のモデルは、複数の個別セルの接続体としてのバッテリーの挙動をシミュレーションしなければならない。ここでは個別セルモデルにより、1 バッテリーセルのセル電圧および充電状態および場合によっては温度特性が模擬される。L i イオン、N i - M H または鉛などの異なるセル技術の典型的なセル特性を考慮することができる。これに含まれるのは、充電および放電時の違い、ならびに例えばガス発生作用による損失電流および負荷跳躍における動的な特性である。この場合にこのバッテリーのモデルはふつう、複数の個別セルモデルからまとめられる。

【 0 0 0 5 】

ここで内部抵抗または初期充電状態などの個々のセル状態およびセルパラメータは個々に設定可能のままにしなければならない。また結果的に得られるセル電圧も個別に上記の B M S に供給できなければならない。これは、例えばセル電圧エミュレータによって行われ、このことは第10201004376.1号のドイツ特許明細書に記載されている。この場合には上記のセルの充電を調整するために B M S によって調整される電流も同様に考慮される。

【 0 0 0 6 】

ハイブリッド車両、電気車両または B M S の分野における H I L 応用の枠内において、殊に関心の対象となるのは、バッテリーの電気端子特性である。

【 0 0 0 7 】

セルの電氣的な端子特性をモデル化するためにしばしば選択されるアプローチは、上記の端子特性を電氣的な等価回路によって表すことである。これは、1 つのセルにおける電気化学プロセスの複雑さと、例えばセルモデルのリアルタイム性を保証するために必要な簡略化との間で良好な 1 つの妥協点をなしている。等価電気回路を用いてバッテリーセルをモデル化することの別の利点は、回路シミュレータによってシミュレーションする際に、整流器などの別のコンポーネントの分だけ、観察対象の装置を拡張できることがある。

【 0 0 0 8 】

例えば本願出願人が販売している自動車シミュレーションモデル用の個別セルモデルは、セル電圧モデルと、充電状態用のモデルとから構成される。上記のセル電圧モデルによって可能になるのは、内部抵抗、拡散および二重層キャパシタンスなどの個別の物理的な作用をパラメータ化することである。上記の充電状態モデルにより、個別セルの充電および放電電流も、例えば N i - M H セルを充電する際のガス発生作用によって生じる損失電流なども共に考慮される。このような個別モデルから出発して、n 個の個別セルモデルを互いに接続することにより、n 個のセルからなる 1 つセル結合体を得ることができる。しか

しながら個別セルの数が大きい場合、モデルを容易に取り扱うことは容易ではなく、また所定の数の個別セル以上ではもはやリアルタイムではなくなってしまうのである。このことが意味するのは、たとえHILシミュレーションに特化したハードウェアであっても、上記のモデルの実行時間についての要求をもはや維持することはできないことである。したがって例えば制御装置の応答時間もテストしなければならない制御装置のテストは、実際の状態を反映する条件下では行うことができないのである。

【0009】

ただ1つの個別セルだけをシミュレーションし、セル数nで掛けることによって出力量を作成するという選択肢は、BMSのテストに対しては実行することができない。それは、この場合に個別セルの種々異なる充電状態およびパラメタのばらつきをもはや模擬することはできないからである。

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【0010】

【特許文献1】ドイツ特許明細書第10201004376.1号

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0011】

本発明の課題は、従来技術の欠点を低減した方法を提供することである。

【課題を解決するための手段】

20

【0012】

上記の課題は、本発明の請求項1により、計算ユニット上の全体モデルを用いて、複数の個別セルからなるセル結合体を含むバッテリーをリアルタイムにシミュレーションする方法であって、上記の計算ユニットは、セル電圧エミュレータを介して制御装置システムに接続されており、上記の全体モデルを用い、個別セルの端子電圧を前記の計算ユニット上で計算し、上記の前記のセル電圧エミュレータを用い、上記の個別セルの計算した端子電圧を前記の制御装置システムに供給する方法において、上記の全体モデルには第1モデルが含まれており、この第1モデルを用い、第1個別セルを基準セルとして、セル結合体に典型的なセルパラメタによってモデル化し、上記の第1モデルには、入力量として前記のセル結合体の全体入力電流が供給され、この第1モデルを用いて、上記の基準セルの端子電圧を計算し、上記の全体モデルには第2モデルが含まれており、この第2モデルを用いて少なくとも1つの別の個別セルの端子電圧と、基準セルの端子電圧との偏差を計算し、上記の基準セルの端子電圧と、別の個別セルの端子電圧の偏差とから当該の別の個別セルの端子電圧を計算することによって解決され、また請求項12に記載した、複数の個別セルからなるセル結合体を含むバッテリーをシミュレーションするシステムによって解決される。

30

【図面の簡単な説明】

【0013】

【図1】電気化学セルの電気等価回路図である。

【図2】Liイオンセルに対してEMFとSOCとの関係を略示するグラフである。

40

【図3】本発明による全体モデルの構造を示す図である。

【図4】第1部分モデルおよび第2部分モデルを有する差分モデルの構造を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0014】

本発明では、計算ユニット上で動作する全体モデルにより、複数の個別セルからなるセル結合体を含むバッテリーをリアルタイムシミュレーションする方法が提供される。ここでこの計算ユニットは、セル電圧エミュレータを介して制御装置システムに接続される。上記の全体モデルにより、個別セルの端子電圧が計算ユニット上で計算され、また上記のセル電圧エミュレータにより、上記の個別セルの計算した端子電圧が制御装置システムに供

50

給される。上記の全体モデルには第 1 モデル（基準モデルとも称される）が含まれており、この第 1 モデルにより、第 1 個別セルが基準セルとして、セル結合体に典型的なセルパラメタによってモデル化される。第 1 モデルには入力量としてセル結合体の全体入力電流が供給され、この第 1 モデルを用いて基準セルの端子電圧が計算される。さらに上記の全体モデルには第 2 モデル（差分モデルとも称される）が含まれており、この第 2 モデルにより、少なくとも 1 つの別の個別セルの端子電圧と、基準セルの端子電圧との偏差が計算される。この別の個別セルの端子電圧は、上記の基準セルの端子電圧と、別の個別セルの端子電圧の偏差とから計算される。

【0015】

全体バッテリーならびに個別セルの端子電圧、および / またはバッテリーおよび個別セルの充電状態、および / またはバッテリー温度は、バッテリーの充放電電流の、すなわち全体電流の関数として計算される。

【0016】

本発明の有利な 1 実施形態では、第 2 モデルを用いて、それぞれの別の個別セルの端子電圧と、基準セルの端子電圧との偏差を計算する。上記の基準セルの端子電圧および計算した偏差から、それぞれの別の個別セルのそれぞれの端子電圧を計算することができる。

【0017】

本発明による方法の 1 つの利点は、基準セルと、別の個別セルのすべての関連する量を計算するための計算コストが、本発明による方法を用いれば、 n 個の個別のモデルによる同じ量の計算に比べて大きく低減されることである。これにより、個別セル数が格段に多いバッテリーに対してリアルタイムシミュレーションが可能になる。またメモリ消費も最適化される。

【0018】

有利には少なくとも 1 つの量ないしはパラメタが基準セルから上記の差分モデルに供給される。これらの量ないしはパラメタは、例えばセル温度、オーム抵抗 R_{innen} または充電状態である。初期充電状態、公称キャパシタンス C_{Nenn} （すなわち公称条件下で新たなセルにおいて求めることのできる充電状態）、ならびに抵抗、温度および / または端子電圧の偏差などの、少なくとも 1 つの別の個別セルの量のうちの少なくとも 1 つが上記の差分モデルに供給される。上記のあらかじめ設定した量に依存して、端子電圧偏差が計算される。ここで量とは、個別セルまたはセル結合体の一般的な特性のことであり、これは例えば個別セルの充電状態のことである。殊に量とは、計算した量または計算しようとする量、すなわちシミュレーション量またはシミュレーション変数のことである。ここでパラメタまたはセルパラメタとは同様に量のことであるが、この量は、例えば個別セルの物理的な特性または物理的な状態を特徴付けるあらかじめ設定される物理量のことである。

【0019】

計算時間の低減は、殊につぎのようにして得られる。すなわち、例えばセル温度などの量を個別セル毎に別個にシミュレーションするのではなく、基準セルのシミュレーションと、基準セルを基準にした各個別セルのあらかじめ得られた温度偏差とから求めることによって得られるのである。これによって計算時間が節約される。計算時間の低減が必要であるのは、リアルタイムでシミュレーションを行うことができるようにするか、ないしはつぎのことを保証できるようにするためである。すなわち、上記のモデルがテスト対象の制御装置の信号にリアルタイムに反応し、上記のセル電圧エミュレータにより、制御装置に現実のものに近い応答を見せかけることが保証できるようにするために必要である。

【0020】

殊に有利には上記の差分モデルに対する入力量は、ベクトルの形で、例えば $n \times 1$ ベクトルの形で設定され、ここで n は、観察対象の別のセルの数である。これによって差分モデルの複雑さは、観察すべきセルの数には依存しない。したがって n 個の別の個別セル毎に 1 つの第 2 モデルしか必要でない。観察対象の別の個別セルの数は、上記のあらかじめ設定されるベクトルの幅から得られる。

【0021】

10

20

30

40

50

上記の差分モデルを部分モデルに分けるのにはさまざまな選択肢がある。

【0022】

有利な1実施形態において上記の差分モデルは2つの部分モデルを有する。

【0023】

第1部分モデルでは、基準セルと比較して異なる起電力(E M F)に結び付く偏差が考慮されるのに対し、第2部分モデルでは、過電圧における違いに結び付く偏差が考慮される。

【0024】

ここでE M Fとは、静止状態にある電気化学セルにおける2つの電極間の電圧差分のことである。過電圧とは、端子電圧と、例えば充電または放電時に発生するE M Fと間の差分のことである。この過電圧は、セルのオーム抵抗の両端において、ないしはセルの等価回路図における全ての受動素子において降下する。バッテリーレベルからセルレベルにモデル記述を移行させることにより、パラメタ化に対する要求も増大する。有利にはユーザフレンドリな入力部が接続される。

【0025】

全体モデルを用いて、複数の個別セルからなるセル結合体を含むバッテリーをシミュレーションする本発明のシステムは、計算ユニットと、この計算ユニットに接続されたセル電圧エミュレータを有しており、ここでこの計算ユニットは、個別セルの端子電圧を計算する全体モデルを実施するように構成されており、また上記のセル電圧エミュレータは、制御装置システムに接続されかつ個別セルの計算した端子電圧をこの制御装置システムに供給するように構成されている。本発明では上記の全体モデルには第1モデルと第2モデルが含まれている。第1モデルは、第1個別セルを基準セルとして、典型的なセルパラメタによってモデル化し、上記のセル結合体の全体入力電流を入力量として受け取り、また基準セルの端子電圧を計算するように構成されている。第2モデルは、少なくとも1つの別の個別セルの端子電圧と、基準セルの端子電圧との偏差を計算して、この偏差と、基準セルの端子電圧とから上記の別の個別セルの端子電圧を計算するように構成されている。

【実施例】

【0026】

制御装置をテストするためにバッテリーセルをシミュレーションする本発明の方法およびシステムを以下、実施例に基づき、概略図面に関連して説明する。ここで機能が同じ回路部材については同じ参照符号が付されている。

【0027】

図1には電気化学セルに対する等価回路図が示されており、ここでこの電気化学セルは、従来技術において個別バッテリーセルのモデルに対するベースとして使用されているものである。この等価回路図を用いてセルの端子電圧を計算する。本発明による方法は、選択したパラメタ化には依存せず、このパラメタ化に対しては種々異なる実施の選択肢があることを注意しておく。また上記のモデル化に対して基本的には、別の等価回路に基づく別のモデルを使用することも可能である。

【0028】

まず図1には、1つのセルの端子において測定可能な端子電圧 u_{KL} および端子電流 i_{KL} の量が示されており、ここではさらに正の端子電流がセルの充電に相応し、負の端子電流がセルの放電に相応する。さらにこの等価回路図にはE M Fと記される電圧を有する電圧源が含まれている。これによってセルの起電力(E M F)が表される。図1の等価回路図における別の重要な側面は、上記のネットワークが、セルの過電圧を表すための受動素子から構成されていることである。充電時にはセルの2つの電極間よりもセルの端子においてより大きな電圧が降下し、放電時にも上記の端子電圧は、2つの電極間の電圧よりも低くなる。上記の端子電圧のこの成分は、複数の受動素子からなる上記のネットワークによってモデル化される。

【0029】

図1に示した電流 i_v を有する電流源により、電気化学セルに発生する損失電流がモデ

10

20

30

40

50

ル化される。

【 0 0 3 0 】

電極の電位は、各電極の標準レドックス電位と、ネルンストの式にしたがって還元種および酸化種の活動に依存し、ひいてはそれらの濃度に依存する部分とから得られる。

【 0 0 3 1 】

さらにリチウム - イオンセルでは、例えばつぎのような作用が発生する。すなわち、使用される電極材料に応じて、リチウム原子が堆積する格子構造が、堆積したリチウムの所定の量以上で変化し、このことも電極電位の変化に結び付くのである。このセルの充電状態に応じて、一方または他方の電極において、堆積するリチウムの量が多くなる。つぎに堆積したリチウムのこの量は、一方では上記のリチウム量に対する格子構造の上記の依存性によって、また他方では酸化または還元されたリチウムの活動によって電極の電位に影響を与える。ここで上記の活動は、リチウムの濃度に依存する。このような材料固有の作用は、どの技術を記述しようとするかに応じて上記のバッテリーモデルに取り入れることができる。

【 0 0 3 2 】

したがって 1 つの電気化学セルの電極の電位と、ひいては 1 つのセルの起電力とは、このセル充電状態 (SOC) に依存する。セル充電状態は、SOC (State of Charge) と称され、パーセントで示される。この SOC は、このセルの公称キャパシタンスを基準にしたセルの充電状態から得られる。したがってフルに充電されたセルは、100% の SOC を有しており、完全に放電されたセルは 0% の SOC を有するのである。

【 0 0 3 3 】

図 2 には EMF と SOC との関係が示されており、この関係は、単調に増加して経過している。これによれば最大 EMF には SOC = 100% において到達する。つぎにセルの充電状態が小さくなると、まずやや大きく EMF が低下することが確認される。その後、EMF がわずかにしか変化しない領域があり、つぎにセルの充電状態が小さくなると EMF は大きく低下する。電極に使用した材料に応じて、上記の経過についてある程度の変化が生じ、例えば中央領域の形状が変化する。この依存性は、図 1 の電気等価回路図により、被制御の電圧源 EMF (SOC) によってモデル化される。

【 0 0 3 4 】

従来技術では一部分に SOC に対する EMF の依存性に対して定式的な関係が使用され、また別の一部分ではこの関係が、被制御の電圧源、特性マップに記憶されたデータ、または EMF と SOC と関係の近似によってモデル化される。EMF と SOC との関係の近似に対しては種々異なる手法が使用される。例えば線形補完法、線形補外法またはこれらの混合形態も使用される。セルの実際の充電状態は、有効充電または放電電流を積分することによって求められる。

【 0 0 3 5 】

【 数 1 】

$$SOC = SOC_0 + \frac{1}{C_{Nem}} \int i_{kl} - i_v dt$$

(式 1)

【 0 0 3 6 】

この電気等価回路図における抵抗 R_{innen} は、この電気化学セルのオーム抵抗を表す。この内部抵抗は、電極材料の抵抗と電解質の抵抗とから合成される。使用される材料に応じて電極の抵抗が充電状態に依存することもある。したがって抵抗 R_{innen} が SOC に依存することがあり得るのである。抵抗 R_{innen} についての別の重要な側面は、これが温度に依存することである。この温度依存性は主に、温度に依存する電解質の抵抗成分によって生じる。刊行物には電気化学セルの内部抵抗について種々異なる定式化を確認することができる。上記の等価回路では内部抵抗は、一定の抵抗、温度に依存する抵抗、または S

10

20

30

40

50

OCに依存する抵抗とされる。これらのような依存性を記述するため、パラメタ特性マップを拡張することができる。このモデルの拡張は必要ない。しかしながら内部抵抗の電流依存性を考慮することも可能である。

【0037】

図1の電気等価回路図に示されている抵抗 R_{DS} およびキャパシタンス C_{DS} とからなるRC素子は、過電圧の動的な経過を考慮するために使用される。これらの動的な経過は、電極と電解質との間の境界における過程に起因するものとみなすことができる。極性の異なる相対した電荷と、誘電体として配向された電解質双極子の層とは、いわゆる二重層キャパシタンスを構成し、この二重層キャパシタンスは、2つの電荷層間の間隔が小さくかつ電極表面積が大きいことに起因して無視することができない。ここでこの大きな電極表面積は、電極材料の多孔性によって生じるものである。この二重層キャパシタンスに起因し、上記の電気等価回路図においてキャパシタンス C_{DS} を挿入する。上記のセルモデルに基づく等価回路図は、さらに付加的なRC素子(R_{Diff} , C_{Diff})の分だけ拡張することができ、これによって比較的大きな時定数を有する動的な過電圧成分を考慮することができる。比較的大きな時定数を有するこの電圧成分は、電解質における拡散プロセスに起因するものとみなすことができる。しかしながら拡散プロセスは、択一的に拡散層モデルによって考慮することも可能である。

10

【0038】

電気化学セルに発生する上記の損失は、上記の等価回路図において電流源によって考慮される。この損失電流 i_v が発生することにより、セルの充電時には端子電流全体が、セルに蓄積されたエネルギーを高めるのに貢献しないことになり、また放電時には、化学的な形態から電氣的な形態に変換される全エネルギーを上記のセルの端子において取り出すことができないことになる。上記のセルの損失電流 i_v は、セル端子電圧および温度に依存する。上記の損失電流の考慮は、すべてのセル技術に関連するものではない。

20

【0039】

図3には、複数の($n+1$)の個別セルを含むバッテリーに対して本発明の全体モデルが示されている。この基準モデルは、従来技術から公知の個別セルモデルによって得られる。この個別セルモデルはセル結合体の入力電流を受け取る。すなわちバッテリーの充電ないしは放電電流を、入力量として受け取られるのである。ここでこの電流はふつう別のシミュレーションモデルにおいて計算される。この基準モデルを用いて上記のセル結合体における第1個別セルの特性がシミュレーションされる。第1個別セルは、セルパラメタおよび充電状態について、シミュレーションしようとするセル結合体の基準値を有する。上記の結合体における複数のセルに対する基準値は、キャパシタンスまたは内部抵抗などの典型的なセルパラメタに対し、バッテリーの相応するデータシートから読み取ることができるか、また1つの個別セルにおける複数の測定から求めることができる。

30

【0040】

上記の全体モデルの第2の部分により、第2モデル、すなわち差分モデルが形成される。この第2モデルでは、基準セルの端子電圧と、 i 番目の別の個別セルの端子電圧との偏差 $U_{zelle, i}$ が計算される。別の個別セルの端子電圧と、基準セルの端子電圧との偏差は、内部抵抗またはキャパシタンスなどの別の個別セルのセルパラメタの偏差から得られ、または別の充電状態、別のセル温度または端子電流における偏差から得られる。端子電流におけるこのような偏差は、例えば、セルの充電を補償するためのBMS(いわゆる「セルバランシング」)により、それぞれの別の個別セルに対して異なる電流が生じることによって発生する。したがって第2モデルにより、セル結合体における別の個別セルと、上記の基準セルとの上記のような偏差が考慮されるのである。このため、このモデルが差分モデルとも称されるのである。上記の差分モデルには、上記のシミュレーション中、変更可能な複数の入力量が含まれており、これらの入力量は、例えば、端子電流、すなわち全体電流と、別の個別セル毎の端子電流の偏差、基準セルの充電状態、セル温度、またはオーム抵抗 R_{innen} とである。有利には、以下のパラメタのうちの少なくとも1つが上記の差分モデルにあらかじめ設定される。すなわち、初期充電状態、公称キャパシタンス、

40

50

およびそれぞれの別の個別セルの抵抗および / または温度の偏差が設定されるのである。上記のパラメタおよびシミュレーション量に依存して上記の別の個別セルに対する端子電圧の偏差が計算される。基準セルの端子電圧と、 i 番目のセルについての偏差とから、この i 番目のセルの端子電圧が求められる。

【 0 0 4 1 】

有利な 1 実施形態において上記の差分モデルは、変更可能な入力量として端子電流の偏差を受け取り、また上記のあらかじめ設定可能なパラメタをベクトルの形で、例えば $n \times 1$ ベクトルとして受け取る。別の有利な 1 実施形態では、上記の全体モデルは、例えば MathWorks 社の Simulink 等のグラフィックなプログラミング言語によって実現される。

【 0 0 4 2 】

図 4 には上記の差分モデルの構造が示されている。この差分モデルは、2 つの部分モデルに分けられる。第 1 部分モデルは、基準セルと比較して、少なくとも 1 つの別のセルの異なる EMF を生じさせる偏差が考慮されるモデルであり、また第 2 部分モデルは、別の個別セルの量の偏差が考慮されるモデルであり、ここでこれらの量は、基準セルを基準にして、別の個別セルの過電圧の違いを生じさせる量である。

【 0 0 4 3 】

第 1 部分モデルにより、セル結合体の別の個別セルの端子電流と、初期充電状態 SOC_0 と、公称キャパシタンス C_{Nenn} とから、基準セルの EMF を基準にした別の個別セルの EMF の差分 (EMF) を求める (ただし別の個別セルの端子電流は、この別の個別セルのあらかじめ設定した差分端子電流 i_{KL} とこの別の基準セルの端子電流 i_{KL} とから合成される)。ここで初期充電状態 SOC_0 および公称キャパシタンス C_{Nenn} は、有利な 1 実施形態では、すべてのセルに対してそれぞれ、共通の 1 つの値によって設定される。 EMF をどのように近似するかに応じて、さらに別のシミュレーション量またはパラメタを、例えば基準セルの充電状態 SOC_{Ref} を渡すことが可能である。

【 0 0 4 4 】

まずそれぞれの別の個別セルの SOC が、式 1 にしたがって、あらかじめ設定した初期充電状態から、またそれぞれの別の個別セルの端子電流を積分することによって求められる。これにしたがって確認されるのは、 $EMF(SOC)$ 曲線のどの領域に基準セルと、セル結合体のそれぞれの別の個別セルとがあるかである。つぎに例えば近似した EMF と SOC との関係から、基準セルおよび別の個別セルの EMF が決定される。上記のモデルの関係がテーブルに記憶されていない場合、近似を行うことができる。

【 0 0 4 5 】

上記の差分モデルの第 2 部分モデルでは、基準セルの端子電圧を基準にした偏差が求められ、これらの偏差は、それぞれの別の個別セルの端子電流の差分 i_{KL} と、オーム抵抗の差分 R_{innen} とによって生じるものである。別の個別セルにおける端子電流の差分は、大きさの異なる損失電流により、または BMS の介入によって発生し得る。バッテリーの個別セル間の内部抵抗 R_{innen} の差分は、製造時のばらつきまたはセル温度の違いに起因し得る。したがって基準セルの過電圧 u_{innen} を基準にした別の個別セルの観察すべき偏差 u_{innen} は、式 2、すなわち、

$$u_{innen} = R_{innen} i_{KL} + R_{innen} i_{KL} + R_{innen} i_{KL}$$

(式 2)

によって得られる。

【 0 0 4 6 】

第 2 部分モデルは、基準モデルから基準セルの端子電流 i_{KL} と、セル温度 T_{Ref} と、オーム内部抵抗 $R_{innen, Ref}$ とを受け取る。セル結合体の別の個別セルのこれらの量と、基準セルのそれとの差分 (R_{innen}, T, i_{KL}) は有利には外部から設定される。上記の抵抗成分は、2 つの部分からなる。すなわち、

$$R_{innen} = R_{innen}(T) + R_0$$

(式 3)

10

20

30

40

50

である。

【0047】

上記の抵抗 R_0 は、別の個別セルの抵抗と、基準セルの抵抗 R_{innen} との差分を表しており、この差分は、製造プロセスに起因して発生し得るものである。 $R(T)$ はここでも複数の抵抗差分をモデル化しており、ここでこれらの抵抗差分は、基準セルと、セル結合体の別の個別セルとの間の温度の差分から、オーム内部抵抗の温度依存性によって発生する。値 $R(T)$ は、ここでも第1部分モデルにおける $\Delta E M F$ 値と同じように求めることができる。例えば、基準モデルに対するモデルにおいて、テーブルを介して2つの値を求めることができる。基準セル温度と差分 T との合計から得られる基準セルおよび別の個別セルの温度に基づき、内部抵抗温度特性曲線のどの領域に基準セルおよび別の個別セルがあるかが求められる。基準セルおよび別の個別セルの内部抵抗は、近似された内部抵抗 - 温度特性曲線から求めることができる。

10

【0048】

この近似は、例えば $E M F$ の近似の場合と同様に、領域によっては直線方程式を用いて行うことができ、または傾きをあらかじめ設定してつぎに直線補間することによって行われる。

【0049】

第2部分モデルでは R_0 を介して、パラメタ R_{DS} および R_{Diff} における差分を観察することが可能である。ここで R_{Diff} は、上記の等価回路図における第2 $R C$ 素子の抵抗を示しており、この抵抗によって拡散プロセスが考慮される。ここで注意すべきであるのは、 R_{DS} および R_{Diff} に対する値の偏差に起因するものとみなし得る端子電圧の差分は、直ちに得られるものであり、個別セルモデルにおける $R C$ 素子の整定時間後にはじめて得られるものではないことである。

20

【0050】

上記の差分モデルの1つの利点は、セル結合体を全体モデルによってシミュレーションしようとする詳細度に応じて、差分モデルの別の部分に影響を与えることなく、別の部分モデルをこの差分モデルに追加するか、またはこの差分モデルから除去することである。セル結合体のシミュレーションが詳細であれば詳細であるほど、第1モデルのより多くのモデル部分が上記の差分モデルに挿入される。

【0051】

30

本発明の1実施形態では、上記の全体モデルによるバッテリーシミュレーションの際、セル結合体における別の個別セルの温度が第1モデルに転送される。したがってシミュレーションされる時間のはじめに基準セルに対して温度差分 T を有していた、セル結合体の別の個別セルは、シミュレーションされる全体時間中、この温度差分を有する。しかしながらこれは実際状態ないしは個別セルモデルによるシミュレーションには相応しない。それは個別セルから放射される熱出力は、セル温度が高ければ一層大きいからである。セル結合体の個別セルをシミュレーションする際に基準セルの温度を使用する場合、熱出力の比較的大きな放射は一定の温度差分 T によって考慮されない。セル結合体をシミュレーションする際にこのような温度作用を含めて観察しようとする場合、本発明の別の実施形態では、別の個別セルに対するそれぞれの温度（ないしはその温度と、基準セルの温度との偏差）を求める差分モデルを、個別セルの1温度モデルの分だけ、すなわち別の部分モデルの分だけ（ $E F M$ の偏差を求めるための第1部分モデルまたは過電圧の偏差を求める第2部分モデルと類似に）拡張する。

40

【0052】

1実施形態では上記の全体モデルにより、直列接続されるバッテリーセルを明示的にシミュレーションする。

【0053】

別の実施形態では並列接続されたセルをシミュレーションする。ここでこれは相応の大きなキャパシタンスを有する1つの個別セルに、複数の個別セルの並列回路をまとめることによって行われる。

50

【 0 0 5 4 】

基準セルの端子電圧と、それぞれの別の個別セルの端子電圧との電圧偏差は、上記の差分モデルの個別の部分モデルにおいて別の個別セルに対して計算した電圧偏差を合計することによって計算される。さらに別の1実施形態では、別の個別セルの付加的な外部セル電流に起因する電圧偏差が考慮される。別の1実施形態では別の個別セルのインダクタンスならび熱損失が考慮される。

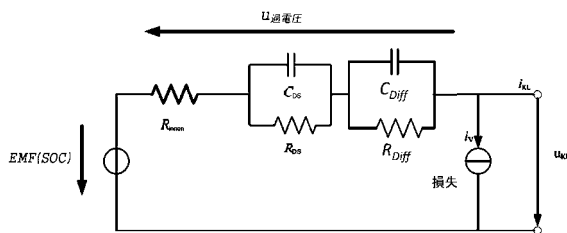
【 符号の説明 】

【 0 0 5 5 】

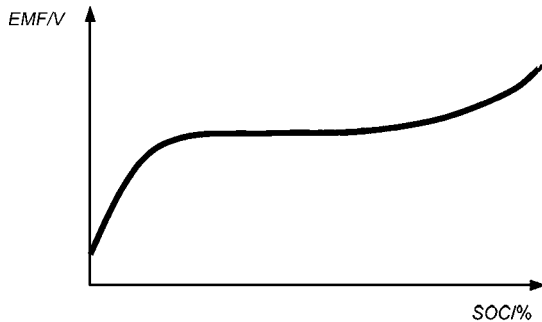
R_{innen} セルの内部抵抗、 C_{DS} 過電圧の動的な経過を考慮するためのキャパシタンス、 R_{DS} 過電圧の動的な経過を考慮するための抵抗、 C_{Diff} 動的な過電圧成分を考慮するためのキャパシタンス、 R_{Diff} 動的な過電圧成分を考慮するための抵抗、 i_v 損失電流、 i_{KL} 端子電流、 u_{KL} 端子電圧、 $EMF(SOC)$ 起電力、 u_{Ref} 基準セルの電圧、 T_{Ref} 基準セルの温度、 $R_{innen Ref}$ 基準セルの内部抵抗、 SOC_{Ref} 基準セルのSOC、 SOC_0 初期SOC、 C_{Nenn} 公称キャパシタンス、 i_{KL} 差分端子電流、 R_{innen} 差分内部抵抗、 T 差分温度、 u_{Zelle} 端子電圧の差分、 u_{innen} 過電圧差分

10

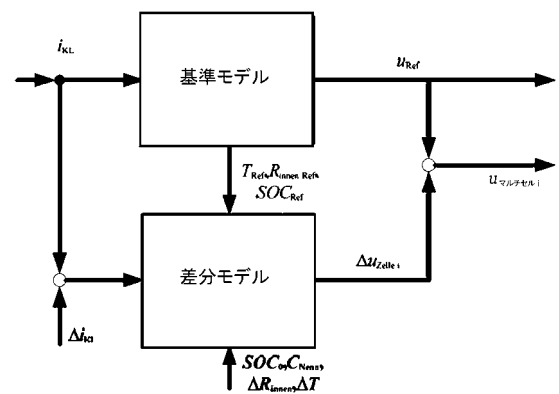
【 図 1 】



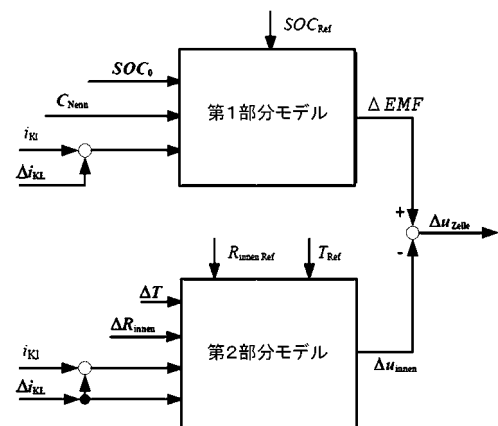
【 図 2 】



【 図 3 】



【 図 4 】



フロントページの続き

(74)代理人 100099483
弁理士 久野 琢也

(74)代理人 100112793
弁理士 高橋 佳大

(74)代理人 100114292
弁理士 来間 清志

(74)代理人 100128679
弁理士 星 公弘

(74)代理人 100135633
弁理士 二宮 浩康

(74)代理人 100143959
弁理士 住吉 秀一

(74)代理人 100156812
弁理士 篠 良一

(74)代理人 100162880
弁理士 上島 類

(74)代理人 100167852
弁理士 宮城 康史

(74)代理人 100114890
弁理士 アインゼル・フェリックス＝ラインハルト

(72)発明者 ハーゲン ハウプト
ドイツ連邦共和国 アルテンベーケン プファラー - ダルクマン - ヴェーク 2 4

(72)発明者 トーマス シュルテ
ドイツ連邦共和国 エーリングハウゼン ビーレフェルダー シュトラーセ 3 8

(72)発明者 クリスティアン フォルブレヒト
ドイツ連邦共和国 ブリュール クラフトフェルトシュトラーセ 1

F ターム(参考) 5B046 AA08 JA04