

(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2016-156771
(P2016-156771A)

(43) 公開日 平成28年9月1日(2016.9.1)

(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	2GO16
HO 1 M 10/44 (2006.01)	HO 1 M 10/44 P	5G503
HO 1 M 10/42 (2006.01)	HO 1 M 10/42 P	5H030
HO 1 M 10/48 (2006.01)	HO 1 M 10/48 P	
HO 2 J 7/00 (2006.01)	HO 1 M 10/48 301	

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 21 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2015-36468 (P2015-36468)
(22) 出願日 平成27年2月26日 (2015.2.26)

(71) 出願人 593006630
学校法人立命館
京都府京都市中京区西ノ京東梅尾町8番地
(74) 代理人 100084375
弁理士 板谷 康夫
(74) 代理人 100121692
弁理士 田口 勝美
(74) 代理人 100125221
弁理士 水田 慎一
(74) 代理人 100142077
弁理士 板谷 真之
(72) 発明者 福井 正博
滋賀県草津市野路東1丁目1番1号 立命館大学 びわこ・くさつキャンパス内

最終頁に続く

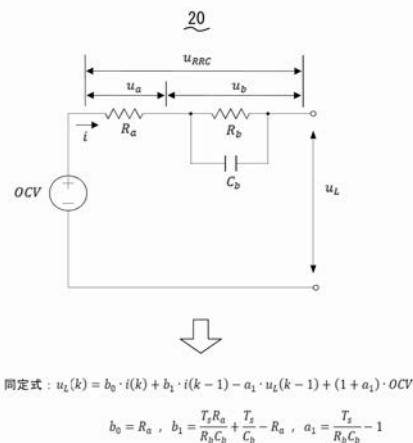
(54) 【発明の名称】 蓄電池劣化診断方法及び蓄電池劣化診断装置

(57) 【要約】

【課題】蓄電池の残寿命を高精度に予測する。

【解決手段】蓄電池の蓄電池残量SOCと開放電圧OCVとの関係を示すSOC-OCV曲線を求めるステップと、蓄電池の等価回路モデル20に蓄電池の端子間電圧 u_L と放電電流 i とを適用してOCVを同定するステップと、OCVとSOC-OCV曲線とを用いてSOCを推定するステップと、SOCを用いて電池容量を推定するステップと、電池容量に基づいて残寿命を予測するステップとを備える。OCVの同定において、蓄電池の等価回路モデル20からOCVを一定として導出される所定の同定式を用いて内部インピーダンス R_a 、 R_b 、 C_b を同定し、その同定した内部インピーダンス R_a 、 R_b 、 C_b を所定の同定式に当て嵌めてOCVを同定する。これにより、蓄電池の電池容量を高精度に推定ことができ、蓄電池のSOC及び電池容量の推定精度を高めることができ、蓄電池の残寿命を高精度に予測することができる。

【選択図】図2



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

蓄電池の電池容量を推定し、その電池容量に基いて、蓄電池の残寿命を予測する蓄電池劣化診断方法において、

蓄電池が全放電状態から満充電状態に充電される間の各時点における蓄電池の充電電流積算値、蓄電池が満充電状態から全放電状態に放電される間の各時点における蓄電池の放電電流積算値、及びそれらの各時点における蓄電池の端子間電圧に基いて、蓄電池の蓄電池残量 SOC (State of Charge) と開放電圧 OCV (Open Circuit Voltage) との関係を示す SOC - OCV 曲線を求める SOC - OCV 曲線取得ステップと、

蓄電池の端子間電圧と放電電流又は充電電流とを蓄電池の等価回路モデルに適用して蓄電池のある時点における OCV を同定する OCV 同定ステップと、

前記 OCV 同定ステップで同定した OCV と前記 SOC - OCV 曲線取得ステップで求めた SOC - OCV 曲線とを用いて蓄電池のある時点における SOC を推定する SOC 推定ステップと、

前記 OCV 同定ステップ及び前記 SOC 推定ステップを繰り返して、蓄電池の SOC の推移を観測し、SOC が所定の第 1 の基準 SOC と所定の第 2 の基準 SOC とを推移する間の蓄電池の放電電流積算値又は充電電流積算値に基いて、蓄電池のある時点における電池容量を求め、これを繰り返して、蓄電池の複数の異なる時点における電池容量を求める電池容量取得ステップと、

蓄電池の初期時の電池容量及び前記電池容量取得ステップで求めた複数の異なる時点における電池容量に基いて蓄電池の残寿命を予測する残寿命予測ステップと、を備え、

前記 OCV 同定ステップにおいて、蓄電池の等価回路モデルから蓄電池の OCV を一定として導出される所定の同定式を用いて蓄電池の内部インピーダンスを同定し、その同定した内部インピーダンスを前記所定の同定式に当て嵌めて蓄電池の OCV を同定する、

ことを特徴とする蓄電池劣化診断方法。

【請求項 2】

前記所定の同定式は、以下の式であることを特徴とする請求項 1 に記載の蓄電池劣化診断方法。

【数 1】

$$u_L(k) = b_0 \cdot i(k) + b_1 \cdot i(k-1) - a_1 \cdot u_L(k-1) + (1 + a_1) \cdot OCV$$

$$b_0 = R_a, \quad b_1 = \frac{T_s R_a}{R_b C_b} + \frac{T_s}{C_b} - R_a, \quad a_1 = \frac{T_s}{R_b C_b} - 1$$

$u_L(k)$: k 回目にサンプリングした蓄電池の端子間電圧

$i(k)$: k 回目にサンプリングした蓄電池の放電電流 (又は充電電流)

$u_L(k-1)$: k-1 回目にサンプリングした蓄電池の端子間電圧

$i(k-1)$: k-1 回目にサンプリングした蓄電池の放電電流 (又は充電電流)

OCV : 蓄電池の開放電圧

R_a 、 R_b 、 C_b : 蓄電池の内部インピーダンス

T_s : サンプリング周期

【請求項 3】

前記残寿命予測ステップは、初期時の電池容量及び複数の異なる時点における電池容量に加え、初期時の内部インピーダンス及び前記 OCV 同定ステップで同定した内部インピーダンスに基いて、蓄電池の残寿命を予測する、

ことを特徴とする請求項 1 又は請求項 2 に記載の蓄電池劣化診断方法。

【請求項 4】

前記 OCV 同定ステップは、蓄電池の端子間電圧と放電電流又は充電電流を計測するサンプリング周期を変動させる、

ことを特徴とする請求項 1 乃至請求項 3 のいずれか一項に記載の蓄電池劣化診断方法。

【請求項 5】

10

20

30

40

50

蓄電池が接続されて使用され、蓄電池の電池容量を推定し、その電池容量に基いて、蓄電池の残寿命を予測する蓄電池劣化診断装置において、

蓄電池の端子間電圧を計測する電圧センサと、

蓄電池の放電電流又は充電電流を計測する電流センサと、

前記電圧センサの計測電圧及び前記電流センサの計測電流に基いて、所定のプログラムによる演算処理により蓄電池の劣化を診断するマイクロコンピュータと、

前記マイクロコンピュータによる演算処理により得られた各種データを表示する表示部と、を備え、

前記マイクロコンピュータは、

蓄電池が全放電状態から満充電状態に充電される間、蓄電池の充電電流積算値を前記電流センサの計測電流に基いて所定時間間隔で算出し、また、蓄電池が満充電状態から全放電状態に放電される間、蓄電池の放電電流積算値を前記電流センサの計測電流に基いて所定時間間隔で算出し、それらの電流積算値、及びそれらの各電流積算値の算出時点における前記電圧センサの計測電圧に基いて、蓄電池の蓄電池残量SOC (State of Charge) と開放電圧OCV (Open Circuit Voltage) との関係を示すSOC - OCV曲線を求めるSOC - OCV曲線取得ステップと、

前記電圧センサの計測電圧と前記電流センサの計測電流とを蓄電池の等価回路モデルに適用して蓄電池のある時点におけるOCVを同定するOCV同定ステップと、

前記OCV同定ステップで同定したOCVと前記SOC - OCV曲線取得ステップで求めたSOC - OCV曲線とを用いて蓄電池のある時点におけるSOCを推定するSOC推定ステップと、

前記OCV同定ステップ及び前記SOC推定ステップを繰り返して、蓄電池のSOCの推移を観測し、SOCが所定の第1の基準SOCと所定の第2の基準SOCとを推移する間の蓄電池の放電電流積算値又は充電電流積算値を前記電流センサの計測電流に基いて算出し、その電流積算値に基いて蓄電池のある時点における電池容量を求め、これを繰り返して、蓄電池の複数の異なる時点における電池容量を求める電池容量取得ステップと、

蓄電池の初期時の電池容量及び前記電池容量取得ステップで求めた複数の異なる時点における電池容量に基いて蓄電池の残寿命を予測する残寿命予測ステップと、を実行し、

前記OCV同定ステップにおいて、蓄電池の等価回路モデルから蓄電池のOCVを一定として導出される所定の同定式を用いて蓄電池の内部インピーダンスを同定し、その同定した内部インピーダンスを前記所定の同定式に当て嵌めて蓄電池のOCVを同定する、

ことを特徴とする蓄電池劣化診断装置。

【請求項6】

前記所定の同定式は、以下の式であることを特徴とする請求項5に記載の蓄電池劣化診断装置。

【数2】

$$u_L(k) = b_0 \cdot i(k) + b_1 \cdot i(k-1) - a_1 \cdot u_L(k-1) + (1 + a_1) \cdot OCV$$

$$b_0 = R_a, \quad b_1 = \frac{T_s R_a}{R_b C_b} + \frac{T_s}{C_b} - R_a, \quad a_1 = \frac{T_s}{R_b C_b} - 1$$

$u_L(k)$: k回目にサンプリングした蓄電池の端子間電圧

$i(k)$: k回目にサンプリングした蓄電池の放電電流 (又は充電電流)

$u_L(k-1)$: k-1回目にサンプリングした蓄電池の端子間電圧

$i(k-1)$: k-1回目にサンプリングした蓄電池の放電電流 (又は充電電流)

OCV : 蓄電池の開放電圧

R_a 、 R_b 、 C_b : 蓄電池の内部インピーダンス

T_s : サンプリング周期

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

10

20

30

40

50

本発明は、例えばリチウムイオン蓄電池などの蓄電池の残寿命を予測する蓄電池劣化診断方法及び蓄電池劣化診断装置に関するものである。

【背景技術】

【0002】

近年、リチウムイオン蓄電池は、電気エネルギー貯蔵の有望な技術として注目されている。リチウムイオン蓄電池は、時間の経過につれて劣化していき、充電可能な容量である電池容量が減少していく。一般に、リチウムイオン蓄電池は、電池容量がある容量（例えば新品時の電池容量の50%の容量）以下になると、寿命の終わりであるとされる。リチウムイオン蓄電池の残寿命を知ることは、リチウムイオン蓄電池を使用するうえで、有用なことである。

10

【0003】

リチウムイオン蓄電池の残寿命は、電池容量が時間の経過につれて減少していくことから、電池容量の経時変化すなわち複数の異なる時点での電池容量に基いて予測することができる。電池容量を求めるには、蓄電池残量SOC (State of Charge) を用いる必要がある。蓄電池残量SOCと開放電圧OCV (Open Circuit Voltage) との間には対応関係があり、この対応関係は、リチウムイオン蓄電池の劣化状態によって変化しないことが知られている。従って、OCVを知ることができれば、SOCとOCVとの対応関係からSOCを推定することができ、そのSOCを用いて電池容量を推定することができる。

【0004】

OCVを知る方法には、リチウムイオン蓄電池の等価回路モデルからOCVの同定式を導出し、その同定式を用いて、計測した端子間電圧及び放電電流からOCVを同定する方法がある。この方法では、どのような等価回路モデルを採用するかによって、また、どのような同定式を導出するかによって、OCVの同定精度に影響を及ぼす。この方法として、非特許文献1に記載されている方法が知られている。

20

【先行技術文献】

【非特許文献】

【0005】

【非特許文献1】福永しおり、外5名、「等価回路を用いたリチウムイオン2次電池のパラメータ推定」、[No. 10-253]第53回自動制御連合講演会(2010.11.4~6 高知市)、p. 577-580

30

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

しかしながら、上述した非特許文献1に記載の方法は、OCVと内部インピーダンスの両方を同時に同定する方法であるため、OCVを精度良く同定することができない。OCVの同定精度は、SOCの推定精度につながり、電池容量の推定精度につながる。ひいては、残寿命の予測精度につながる。

【0007】

本発明は、上記課題を解決するものであり、蓄電池のOCVを高精度に同定し、蓄電池の残寿命を高精度に予測することができる蓄電池劣化診断方法及び蓄電池劣化診断装置を提供することを目的とする。

40

【課題を解決するための手段】

【0008】

上記目的を達成するために本発明の蓄電池劣化診断方法は、蓄電池の電池容量を推定し、その電池容量に基いて、蓄電池の残寿命を予測する蓄電池劣化診断方法において、蓄電池が全放電状態から満充電状態に充電される間の各時点における蓄電池の充電電流積算値、蓄電池が満充電状態から全放電状態に放電される間の各時点における蓄電池の放電電流積算値、及びそれらの各時点における蓄電池の端子間電圧に基いて、蓄電池の蓄電池残量SOC (State of Charge) と開放電圧OCV (Open Circuit Voltage) との関係を示すSOC-OCV曲線を求めるSOC-OCV曲線取得ステップと、蓄電池の端子間電圧と

50

放電電流又は充電電流とを蓄電池の等価回路モデルに適用して蓄電池のある時点におけるOCVを同定するOCV同定ステップと、OCV同定ステップで同定したOCVとSOC-OCV曲線取得ステップで求めたSOC-OCV曲線とを用いて蓄電池のある時点におけるSOCを推定するSOC推定ステップと、OCV同定ステップ及びSOC推定ステップを繰り返して、蓄電池のSOCの推移を観測し、SOCが所定の第1の基準SOCと所定の第2の基準SOCとを推移する間の蓄電池の放電電流積算値又は充電電流積算値に基いて、蓄電池のある時点における電池容量を求め、これを繰り返して、蓄電池の複数の異なる時点における電池容量を求める電池容量取得ステップと、蓄電池の初期時の電池容量及び電池容量取得ステップで求めた複数の異なる時点における電池容量に基いて蓄電池の残寿命を予測する残寿命予測ステップと、を備え、OCV同定ステップにおいて、蓄電池の等価回路モデルから蓄電池のOCVを一定として導出される所定の同定式を用いて蓄電池の内部インピーダンスを同定し、その同定した内部インピーダンスを所定の同定式に当て嵌めて蓄電池のOCVを同定する、ものである。

10

【0009】

本発明の蓄電池劣化診断方法において、所定の同定式は、以下の式である、ことが好ましい。

【数1】

$$u_L(k) = b_0 \cdot i(k) + b_1 \cdot i(k-1) - a_1 \cdot u_L(k-1) + (1 + a_1) \cdot OCV$$

$$b_0 = R_a, \quad b_1 = \frac{T_s R_a}{R_b C_b} + \frac{T_s}{C_b} - R_a, \quad a_1 = \frac{T_s}{R_b C_b} - 1$$

20

$u_L(k)$: k回目にサンプリングした蓄電池の端子間電圧

$i(k)$: k回目にサンプリングした蓄電池の放電電流 (又は充電電流)

$u_L(k-1)$: k-1回目にサンプリングした蓄電池の端子間電圧

$i(k-1)$: k-1回目にサンプリングした蓄電池の放電電流 (又は充電電流)

OCV : 蓄電池の開放電圧

R_a 、 R_b 、 C_b : 蓄電池の内部インピーダンス

T_s : サンプリング周期

【0010】

また、本発明の蓄電池劣化診断方法において、残寿命予測ステップは、初期時の電池容量及び複数の異なる時点における電池容量に加え、初期時の内部インピーダンス及びOCV同定ステップで同定した内部インピーダンスに基いて、蓄電池の残寿命を予測する、ことが好ましい。

30

【0011】

また、本発明の蓄電池劣化診断方法において、OCV同定ステップは、蓄電池の端子間電圧と放電電流又は充電電流を計測するサンプリング周期を変動させる、ことが好ましい。

【0012】

また、本発明の蓄電池劣化診断装置は、蓄電池が接続されて使用され、蓄電池の電池容量を推定し、その電池容量に基いて、蓄電池の残寿命を予測する蓄電池劣化診断装置において、蓄電池の端子間電圧を計測する電圧センサと、蓄電池の放電電流又は充電電流を計測する電流センサと、電圧センサの計測電圧及び電流センサの計測電流に基いて、所定のプログラムによる演算処理により蓄電池の劣化を診断するマイクロコンピュータと、マイクロコンピュータによる演算処理により得られた各種データを表示する表示部と、を備え、マイクロコンピュータは、蓄電池が全放電状態から満充電状態に充電される間、蓄電池の充電電流積算値を電流センサの計測電流に基いて所定時間間隔で算出し、また、蓄電池が満充電状態から全放電状態に放電される間、蓄電池の放電電流積算値を電流センサの計測電流に基いて所定時間間隔で算出し、それらの電流積算値、及びそれらの各電流積算値の算出時点における電圧センサの計測電圧に基いて、蓄電池の蓄電池残量SOC (State of Charge) と開放電圧OCV (Open Circuit Voltage) との関係を示すSOC-OCV

40

50

曲線を求めるSOC-OCV曲線取得ステップと、電圧センサの計測電圧と電流センサの計測電流とを蓄電池の等価回路モデルに適用して蓄電池のある時点におけるOCVを同定するOCV同定ステップと、OCV同定ステップで同定したOCVとSOC-OCV曲線取得ステップで求めたSOC-OCV曲線とを用いて蓄電池のある時点におけるSOCを推定するSOC推定ステップと、OCV同定ステップ及びSOC推定ステップを繰り返して、蓄電池のSOCの推移を観測し、SOCが所定の第1の基準SOCと所定の第2の基準SOCとを推移する間の蓄電池の放電電流積算値又は充電電流積算値を電流センサの計測電流に基いて算出し、その電流積算値に基いて蓄電池のある時点における電池容量を求め、これを繰り返して、蓄電池の複数の異なる時点における電池容量を求める電池容量取得ステップと、蓄電池の初期時の電池容量及び電池容量取得ステップで求めた複数の異なる時点における電池容量に基いて蓄電池の残寿命を予測する残寿命予測ステップと、を実行し、OCV同定ステップにおいて、蓄電池の等価回路モデルから蓄電池のOCVを一定として導出される所定の同定式を用いて蓄電池の内部インピーダンスを同定し、その同定した内部インピーダンスを所定の同定式に当て嵌めて蓄電池のOCVを同定する、ものである。

10

【0013】

また、本発明の蓄電池劣化診断装置において、所定の同定式は、以下の式である、ことが好ましい。

【数2】

$$u_L(k) = b_0 \cdot i(k) + b_1 \cdot i(k-1) - a_1 \cdot u_L(k-1) + (1 + a_1) \cdot OCV$$

20

$$b_0 = R_a, \quad b_1 = \frac{T_s R_a}{R_b C_b} + \frac{T_s}{C_b} - R_a, \quad a_1 = \frac{T_s}{R_b C_b} - 1$$

$u_L(k)$: k回目にサンプリングした蓄電池の端子間電圧

$i(k)$: k回目にサンプリングした蓄電池の放電電流 (又は充電電流)

$u_L(k-1)$: k-1回目にサンプリングした蓄電池の端子間電圧

$i(k-1)$: k-1回目にサンプリングした蓄電池の放電電流 (又は充電電流)

OCV : 蓄電池の開放電圧

R_a 、 R_b 、 C_b : 蓄電池の内部インピーダンス

T_s : サンプリング周期

30

【発明の効果】

【0014】

本発明によれば、蓄電池のOCVを一定として蓄電池の内部インピーダンスが同定され、蓄電池の内部インピーダンスを一定として蓄電池のOCVが同定される。これにより、蓄電池のOCVを高精度に同定することができ、蓄電池のSOCの推定精度を高めることができる。従って、蓄電池の電池容量の推定精度を高めることができ、蓄電池の残寿命を高精度に予測することができる。

【図面の簡単な説明】

【0015】

【図1】本発明の一実施形態に係る蓄電池劣化診断装置の構成を示す電気的ブロック構成図。

40

【図2】同蓄電池劣化診断装置に接続されるリチウムイオン蓄電池の等価回路モデルを示す電気回路図。

【図3】同リチウムイオン蓄電池のSOC-OCV曲線を示す図。

【図4】同蓄電池劣化診断装置のリチウムイオン蓄電池の使用におけるOCVの同定とOCVからのSOCの推定の様子を示す図。

【図5】同リチウムイオン蓄電池の容量劣化の法則を説明する図。

【図6】同蓄電池劣化診断装置の動作を示すフローチャート。

【図7】同動作におけるSOC-OCV曲線取得処理を示すフローチャート。

【図8】同動作におけるOCV同定処理を示すフローチャート。

50

【図 9】同動作における残寿命予測処理を示すフローチャート。

【発明を実施するための形態】

【0016】

以下、本発明を具体化した実施形態による蓄電池劣化診断方法及び蓄電池劣化診断装置について図面を参照して説明する。図 1 は、蓄電池劣化診断装置 1 の構成を示す。蓄電池劣化診断装置 1 は、リチウムイオン蓄電池 2（以下、蓄電池 2 と記す）の残寿命を予測する装置である。蓄電池劣化診断装置 1 は、蓄電池 2、負荷 3、及び充電器 4 を着脱可能になっている。

【0017】

蓄電池劣化診断装置 1 は、蓄電池 2 の端子間電圧を計測する電圧センサ 5 と、蓄電池 2 の放電電流及び充電電流を計測する電流センサ 6 と、蓄電池 2 を接続する電池接続端子 7 a、7 b と、負荷 3 を接続する負荷接続端子 8 a、8 b と、充電器 4 を接続する充電器接続端子 9 a、9 b と、蓄電池 2 を充放電させるための充電スイッチ 10 及び放電スイッチ 11 とを備える。また、蓄電池劣化診断装置 1 は、新しい蓄電池 2 を使用開始するときにユーザが操作する初期化スイッチ 12 と、蓄電池 2 を充電するときにユーザが操作する充電指示スイッチ 13 と、現在時刻を計測する時計 14 と、各種情報を表示する表示部 15 と、マイクロコンピュータ 16（以下、マイコン 16 と記す）とを備える。

10

【0018】

蓄電池 2 は、電池接続端子 7 a、7 b に接続される。負荷 3 は、負荷接続端子 8 a、8 b に接続される。負荷 3 は、例えば、電気自動車や持ち運び可能な電気機器である。負荷接続端子 8 a は、電流センサ 6 を介して電池接続端子 7 a に接続されており、負荷接続端子 8 b は、電池接続端子 7 b に接続されている。従って、電池接続端子 7 a、7 b に蓄電池 2 が接続され、負荷接続端子 8 a、8 b に負荷 3 が接続された状態では、蓄電池 2 は、電流センサ 6 及び負荷 3 を経由して放電され、負荷 3 は、蓄電池 2 の電力によって動作する。

20

【0019】

充電器 4 は、充電器接続端子 9 a、9 b に接続される。充電器接続端子 9 a は、充電スイッチ 10 及び電流センサ 6 を介して電池接続端子 7 a に接続されており、充電器接続端子 9 b は、電池接続端子 7 b に接続されている。充電スイッチ 10 は、一端側が電流センサ 6 を介して電池接続端子 7 a に接続されており、他端側が充電器接続端子 9 a に接続されている。従って、電池接続端子 7 a、7 b に蓄電池 2 が接続され、充電器接続端子 9 a、9 b に充電器 4 が接続されて充電スイッチ 10 が閉じた状態では、蓄電池 2 は、充電スイッチ 10 及び電流センサ 6 を経由して充電される。充電スイッチ 10 は、マイコン 16 による制御のもと開閉される。

30

【0020】

放電スイッチ 11 は、一端側が電流センサ 6 を介して電池接続端子 7 a に接続されており、他端側が電池接続端子 7 b に接続されている。従って、放電スイッチ 11 が閉じた状態では、蓄電池 2 は、電流センサ 6 及び放電スイッチ 11 を経由して放電される。放電スイッチ 11 は、マイコン 16 による制御のもと開閉される。

【0021】

電圧センサ 5 は、電池接続端子 7 a、7 b 間に接続されており、蓄電池 2 の端子間電圧を計測して、その計測電圧をマイコン 16 に入力する。電流センサ 6 は、電池接続端子 7 a と負荷接続端子 8 a との間に接続されており、蓄電池 2 の放電電流及び充電電流を計測して、その計測電流をマイコン 16 に入力する。マイコン 16 は、所定のプログラムを実行して、蓄電池劣化診断装置 1 の各種動作を制御する。また、マイコン 16 は、電圧センサ 5 の計測電圧及び電流センサ 6 の計測電流に基いて、所定のプログラムによる演算処理により蓄電池 2 の劣化を診断する。表示部 15 は、マイコン 16 による制御のもと、マイコン 16 による演算処理により得られた各種データを表示する。

40

【0022】

蓄電池劣化診断装置 1 は、新しい蓄電池 2 の使用開始時に、蓄電池 2 の蓄電池残量 S O

50

C (State of Charge) と開放電圧 O C V (Open Circuit Voltage) との関係を示す S O C - O C V 曲線を求め、また、蓄電池 2 の初期時の電池容量を求める。そして、蓄電池 2 の使用中において、蓄電池 2 の所定の等価回路モデルから導出した所定の同定式を用いて O C V を同定して、その O C V と S O C - O C V 曲線とを用いて S O C を推定し、その S O C に基いて蓄電池 2 の電池容量を求めて、初期時の電池容量及び蓄電池 2 の使用中に求めた電池容量に基いて蓄電池 2 の残寿命を予測する。

【 0 0 2 3 】

図 2 は、本発明において採用する蓄電池 2 の等価回路モデル 2 0 を示す。この等価回路モデル 2 0 は、開放電圧 O C V と内部インピーダンス R_a 、 R_b 、 C_b とによって蓄電池 2 を表している。O C V は、蓄電池 2 の起電力（無負荷状態の蓄電池電圧）を表している。 R_a は、蓄電池 2 の溶液抵抗と電気二重層の合成抵抗を表しており、 R_b 及び C_b は、蓄電池 2 の電極内部の拡散現象を表す抵抗及びコンデンサを表している。抵抗 R_a 、抵抗 R_b 、及びコンデンサ C_b を内部インピーダンスと総称する。 u_L は、蓄電池 2 の端子間電圧であり、 i は、蓄電池 2 に流れる電流である。

10

【 0 0 2 4 】

等価回路モデル 2 0 において、 R_a 、 R_b 、 C_b の両端電圧を u_{RCC} とし、 R_a の両端電圧を u_a とし、 R_b 、 C_b の両端電圧を u_b とし、時間を t とすると、以下の式 (1) (2) (3) が成り立つ。

【 数 3 】

$$u_{RRC}(t) = u_a(t) + u_b(t) \quad \dots (1)$$

$$u_a(t) = i(t) \cdot R_a \quad \dots (2)$$

$$\frac{u_b(t)}{R_b} + C_b \cdot \frac{du_b(t)}{dt} = i(t) \quad \dots (3)$$

20

【 0 0 2 5 】

式 (1) に式 (2) (3) を代入して、式 (1) をラプラス変換すると、以下の式 (4) が得られる。

【 数 4 】

$$u_{RRC}(s) = i(s) \cdot (R_a + R_b) + s \cdot i(s) \cdot (R_a R_b C_b) - s \cdot u_{RRC}(s) \cdot (R_b C_b) \quad \dots (4)$$

30

【 0 0 2 6 】

式 (4) を以下の式 (5) を用いて離散化 (変数変換) する。 T_s は、サンプリング周期である。

【 数 5 】

$$s = \frac{1 - z^{-1}}{T_s z^{-1}} \quad \dots (5)$$

【 0 0 2 7 】

これにより、式 (4) は、以下の式 (6) となる。

40

【 数 6 】

$$u_{RRC}(z^{-1}) = R_a \cdot i(z^{-1}) + z^{-1} \cdot \left(\frac{T_s R_a}{R_b C_b} + \frac{T_s}{C_b} - R_a \right) \cdot i(z^{-1}) - z^{-1} \cdot \left(\frac{T_s}{R_b C_b} - 1 \right) \cdot u_{RRC}(z^{-1}) \quad \dots (6)$$

【 0 0 2 8 】

式 (6) を差分方程式で表すと、以下の式 (7) となる。 k は、サンプリングステップであり、 $k = 1, 2, \dots$ である。

【数 7】

$$u_{RRC}(k) = R_a \cdot i(k) + \left(\frac{T_s R_a}{R_b C_b} + \frac{T_s}{C_b} - R_a \right) \cdot i(k-1) - \left(\frac{T_s}{R_b C_b} - 1 \right) \cdot u_{RRC}(k-1) \quad \dots (7)$$

【0029】

式(7)を以下の式(8)に代入する。なお、OCVの変化は遅いので、式(8)において、OCVは一定値であるとしている。

【数 8】

$$u_L(k) = u_{RRC}(k) + OCV \quad \dots (8)$$

10

【0030】

これにより、以下の式(9)が得られる。

【数 9】

$$u_L(k) = R_a \cdot i(k) + \left(\frac{T_s R_a}{R_b C_b} + \frac{T_s}{C_b} - R_a \right) \cdot i(k-1) - \left(\frac{T_s}{R_b C_b} - 1 \right) \cdot u_{RRC}(k-1) + OCV \quad \dots (9)$$

【0031】

式(9)に以下の式(10)を代入する。なお、OCVの変化は遅いので、式(10)において、OCVは一定値であるとしている。

【数 10】

$$u_{RRC}(k-1) = u_L(k-1) - OCV \quad \dots (10)$$

20

【0032】

これにより、式(9)は、以下の式(11)となる。

【数 11】

$$u_L(k) = R_a \cdot i(k) + \left(\frac{T_s R_a}{R_b C_b} + \frac{T_s}{C_b} - R_a \right) \cdot i(k-1) - \left(\frac{T_s}{R_b C_b} - 1 \right) \cdot u_L(k-1) + \left(\frac{T_s}{R_b C_b} - 1 \right) \cdot OCV + OCV \quad \dots (11)$$

【0033】

式(11)を整理すると、以下の式(12)となる。

【数 12】

$$u_L(k) = R_a \cdot i(k) + \left(\frac{T_s R_a}{R_b C_b} + \frac{T_s}{C_b} - R_a \right) \cdot i(k-1) - \left(\frac{T_s}{R_b C_b} - 1 \right) \cdot u_L(k-1) + \frac{T_s}{R_b C_b} \cdot OCV \quad \dots (12)$$

30

【0034】

式(12)を簡略化して表すと、以下の式(13)となる。

【数 13】

$$u_L(k) = b_0 \cdot i(k) + b_1 \cdot i(k-1) - a_1 \cdot u_L(k-1) + (1 + a_1) \cdot OCV \quad \dots (13)$$

40

$$b_0 = R_a \quad \dots (14)$$

$$b_1 = \frac{T_s R_a}{R_b C_b} + \frac{T_s}{C_b} - R_a \quad \dots (15)$$

$$a_1 = \frac{T_s}{R_b C_b} - 1 \quad \dots (16)$$

【0035】

式(14)(15)(16)から内部インピーダンス R_a 、 R_b 、 C_b を逆算すると、以下の式(17)(18)(19)となる。

【数 1 4】

$$R_a = b_0 \cdots (17)$$

$$R_b = \frac{b_1 - a_1 b_0}{1 + a_1} \cdots (18)$$

$$C_b = \frac{T_s}{b_1 - a_1 b_0} \cdots (19)$$

【0036】

式(13)は、蓄電池2の端子間電圧 u_L 、電流 i 、開放電圧OCV、及び内部インピーダンス R_a 、 R_b 、 C_b の関係を示す関係式であって、端子間電圧 u_L 及び電流 i から内部インピーダンス R_a 、 R_b 、 C_b 及び開放電圧OCVを同定するための同定式である。この同定式(13)は、蓄電池2の等価回路モデル20からOCVを一定として導出した同定式である。

【0037】

本発明では、同定式(13)を用いて、蓄電池2の開放電圧OCVを同定する。すなわち、同定式(13)を用いて、内部インピーダンス R_a 、 R_b 、 C_b を同定し、その同定した内部インピーダンス R_a 、 R_b 、 C_b を同定式(13)に当て嵌めて、開放電圧OCVを同定する。具体的には、同定式(13)を忘却機能付き最小二乗法に適用して、内部インピーダンス R_a 、 R_b 、 C_b を同定し、その同定した内部インピーダンス R_a 、 R_b 、 C_b を同定式(13)に当て嵌めて、開放電圧OCVを同定する。同定式(13)を忘却機能付き逐次最小二乗法に適用した場合の b_0 、 a_0 、 a_1 の推定式は、以下の式(20)となる。式(20)の導出方法については、周知であるので、説明を省略する。

【数 1 5】

$$\hat{\theta}(k) = \hat{\theta}(k-1) + \frac{P(k-1)\varphi(k)}{\lambda + \varphi^T(k)P(k-1)\varphi(k)} \varepsilon(k) \cdots (20)$$

$$\hat{\theta}(k) = \begin{bmatrix} b_0(k) \\ b_1(k) \\ a_1(k) \\ 1 \end{bmatrix}, \quad \hat{\theta}(k-1) = \begin{bmatrix} b_0(k-1) \\ b_1(k-1) \\ a_1(k-1) \\ 1 \end{bmatrix}, \quad \hat{\theta}(0) = \mathbf{0} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\varphi(k) = \begin{bmatrix} i(k) \\ i(k-1) \\ -u_L(k-1) \\ (1+a_1) \cdot OCV \end{bmatrix}$$

$$\varepsilon(k) = u_L(k) - \varphi^T(k)\hat{\theta}(k-1)$$

$$P(k) = \frac{1}{\lambda} \left\{ P(k-1) - \frac{P(k-1)\varphi(k)\varphi^T(k)P(k-1)}{\lambda + \varphi^T(k)P(k-1)\varphi(k)} \right\}$$

$$P(0) = \gamma I, \quad \gamma = 10^5, \quad I = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\lambda = 0.98$$

【0038】

図3は、蓄電池2のSOC-OCV曲線を示す。蓄電池2のSOCとOCVの間には、SOC-OCV曲線で表される対応関係がある。SOCとは、充電率のことであり、「満充電時の電荷蓄積量(=電池容量)」に対する「その時点での電荷蓄積量」の比率である。SOCは、1.0~0.0で表され、満充電状態がSOC=1.0であり、全放電状態がSOC=0.0である。なお、満充電状態は、蓄電池2の端子間電圧 u_L が所定の上

限電圧 $u_L \text{max}$ となるまで充電された状態であり、全放電状態は、蓄電池 2 の端子間電圧 u_L が所定の下限電圧（終止電圧） $u_L \text{min}$ となるまで放電された状態である。OCV は、SOC が 0.0（全放電状態）のときに $OCV \text{min}$ であり、SOC が 0.0 から増加するにつれて、 $OCV \text{min}$ から SOC - OCV 曲線に従って上昇し、SOC が 1.0（満充電状態）のときに $OCV \text{max}$ になる。また、OCV は、SOC が 1.0 から減少するにつれて、 $OCV \text{max}$ から SOC - OCV 曲線に従って低下し、SOC が 0.0 のときに $OCV \text{min}$ になる。SOC と OCV のこの対応関係（SOC - OCV 曲線）は、蓄電池 2 の劣化状態によって変化しないことが知られている。従って、OCV から、SOC - OCV 曲線を用いて、SOC を推定することができる。

【0039】

SOC - OCV 曲線は、蓄電池 2 が全放電状態（SOC = 0.0）から満充電状態（SOC = 1.0）に充電される間の各時点における充電電流積算値、蓄電池 2 が満充電状態から全放電状態に放電される間の各時点における放電電流積算値、及びそれらの各時点における蓄電池 2 の端子間電圧に基いて求められる。すなわち、蓄電池 2 の充電時における各時点での全放電状態からの充電電流積算値を $Qa(j)$ ($j = 1, 2, \dots$) とし、充電電流積算値が $Qa(j)$ のときの端子間電圧を $u_{La}(j)$ とし、満充電時点での全放電状態からの充電電流積算値を Q_{max} とする。また、蓄電池 2 の放電時における各時点での満充電状態からの放電電流積算値を $Qb(j)$ ($j = 1, 2, \dots$) とし、放電電流積算値が $Qb(j)$ のときの端子間電圧を $u_{Lb}(j)$ とする。充電時における各時点での SOC (j) は、 $SOC(j) = Qa(j) / Q_{max}$ であり、また、放電時における各時点での SOC (j) は、 $SOC(j) = (Q_{max} - Qb(j)) / Q_{max}$ である。任意の SOC を SOC_n とし、 SOC_n のときの OCV を OCV_n とし、充電時における SOC_n のときの端子間電圧を u_{La_n} とし、放電時における SOC_n のときの端子間電圧を u_{Lb_n} とすると、 $OCV_n = (u_{La_n} + u_{Lb_n}) / 2$ の関係がある。従って、 $Qa(j)$ 、 $u_{La}(j)$ 、 Q_{max} 、 $Qb(j)$ 、 $u_{Lb}(j)$ ($j = 1, 2, \dots$) に基いて、所定の演算を行って各 SOC_n 及び各 SOC_n のときの $OCV_n = (u_{La_n} + u_{Lb_n}) / 2$ を算出することにより、SOC - OCV 曲線が求められる。

【0040】

蓄電池 2 の電池容量 C は、SOC と放電電流積算値又は充電電流積算値とに基いて求められる。電池容量 C とは、充電可能な容量のことであり、満充電時（SOC = 1.0 のときの）電荷蓄積量である。2 つの異なる任意の SOC を SOC_a 、 SOC_b ($SOC_b < SOC_a$) とすると、SOC が SOC_a のときの電荷蓄積量 Qa は、 $Qa = C \times SOC_a$ であり、SOC が SOC_b のときの電荷蓄積量 Qb は、 $Qb = C \times SOC_b$ である。この関係から、SOC が SOC_a と SOC_b との間を推移する間の電荷放出量又は電荷蓄積量を Qab ($Qab = Qa - Qb$) とすると、 $C = Qab / (SOC_a - SOC_b)$ の関係式が成り立つ。電荷放出量又は電荷蓄積量 Qab は、SOC が SOC_a と SOC_b との間を推移する間の放電電流積算値又は充電電流積算値である。従って、2 つの異なる SOC_a 、 SOC_b と、それらの間の放電電流積算値又は充電電流積算値 Qab とから、 $C = Qab / (SOC_a - SOC_b)$ によって、電池容量 C が求められる。

【0041】

図 4 は、蓄電池 2 の使用中における OCV の同定と OCV からの SOC の推定の様子を示す。蓄電池 2 が満充電状態（SOC = 1.0）から使用されると、電力の消費につれて、SOC は 1.0 から減少していき、OCV は $OCV \text{max}$ から低下していく。蓄電池 2 の満充電後の使用開始から継続的に OCV の同定を行っていくと、時点 t_1 での OCV (t_1)、時点 t_2 での OCV (t_2)、 \dots 、時点 t_j での OCV (t_j)、 \dots を求めることができ、これらの OCV と SOC - OCV 曲線を用いて、時点 t_1 での SOC (t_1)、時点 t_2 での SOC (t_2)、 \dots 、時点 t_j での SOC (t_j)、 \dots を求めることができる。従って、蓄電池 2 の満充電後の使用開始から継続的に OCV の同定を行っていくことにより、SOC が所定の第 1 の基準 SOC_1 （例えば 0.9）になったこと及び所定の第 2 の基準 SOC_2 （例えば 0.2）になったことを知ることができ、

10

20

30

40

50

その間の放電電流積算値 Q_r を求めて、 $C = Q_r / (SOC_1 - SOC_2)$ を算出することによって、電池容量 C を求めることができる。また、蓄電池 2 の満充電後の使用開始毎に、同様に電池容量 C を求めることにより、複数の異なる時点における電池容量 C を求めることができる。

【0042】

図 5 は、蓄電池 2 の容量劣化の法則を示す。蓄電池 2 の電池容量 C は、蓄電池 2 の新品からの使い始めにおいては、ルート則と呼ばれる規則に従って減少（容量劣化）していくこと、及び、その後においては、線形則と呼ばれる規則に従って減少していく場合があることが知られている。ルート則とは、初期時の電池容量 $C(0)$ からの電池容量 C の容量減少量を $C(C = C(0) - C)$ とし、初期時からの経過時間を t とすると、 $t = a \times C^2 + b \times C + c$ (a 、 b 、 c は定数、 $t = 0$ のとき $C = 0$) の関係式を満たすように、容量減少量 C が増加していく法則である。また、線形則とは、 $t = b \times C + c$ の関係式を満たすように、容量減少量 C が増加していく法則である。電池容量 C が所定の容量（一般に、初期時の電池容量 $C(0)$ の $1/2$ ）に減少すると、蓄電池 2 の寿命の終わりであるとされる。現在から寿命の終わりまでの時間、すなわち、現在から電池容量 C が所定の容量に減少するまでの時間が残寿命 t_z である。従って、初期時の電池容量 $C(0)$ 及び複数の異なる時点における電池容量 C から、ルート則の関係式又は線形則の関係式に基いて、蓄電池 2 の残寿命 t_z を予測することができる。

10

【0043】

図 6 は、蓄電池劣化診断装置 1 の動作のフローチャートを示し、図 7、図 8、及び図 9 は、各々、同動作における $SOC - OCV$ 曲線取得処理、 OCV 同定処理、及び残寿命予測処理のフローチャートを示す。まず、ユーザは、新しい蓄電池 2 を使用開始するとき、蓄電池 2 を電池接続端子 7 a、7 b に接続し、充電器 4 を充電器接続端子 9 a、9 b に接続し、初期化スイッチ 1 2 を操作する。

20

【0044】

マイコン 1 6 は、初期化スイッチ 1 2 が操作されると、まず、 $SOC - OCV$ 曲線取得処理を行う（# 1）。 $SOC - OCV$ 曲線取得処理において（図 7 参照）、マイコン 1 6 は、まず、蓄電池 2 の全放電状態からの充電電流積算値 Q_a の初期値 $Q_a(0)$ を $Q_a(0) = 0$ とし（# 3 1）、カウンタ j の値を $j = 1$ とする（# 3 2）。続いて、マイコン 1 6 は、蓄電池 2 を全放電状態から充電開始する（# 3 3）。すなわち、放電スイッチ 1 1 を閉じて蓄電池 2 を全放電状態にした後、放電スイッチ 1 1 を開き、充電スイッチ 1 0 を閉じる。これにより、蓄電池 2 は、全放電状態から充電されていく。なお、マイコン 1 6 は、蓄電池 2 の端子間電圧 u_L （電圧センサ 5 の計測電圧）が所定の下限電圧 u_{Lmin} まで低下したことによって、蓄電池 2 が全放電状態になったことを判断する。そして、マイコン 1 6 は、蓄電池 2 の充電電流 i （電流センサ 6 の計測電流）を読み取り、蓄電池 2 の全放電状態からの充電電流積算値 $Q_a(j)$ を $Q_a(j) = Q_a(j) + 充電電流 i \times 計測時間間隔 t$ によって算出する（# 3 4）。ここで、計測時間間隔 t は、# 3 3 で充電を開始してから # 3 4 で充電電流 i を読み取るまでの時間間隔（次回以降は、# 3 4 ~ # 3 7 の繰り返しにおいて充電電流 i を読み取る時間間隔）であり、所定時間間隔である。また、マイコン 1 6 は、蓄電池 2 の端子間電圧 u_L を読み取り、その電圧 u_L を充電電流積算値 $Q_a(j)$ のときの端子間電圧 $u_{La}(j)$ とする（# 3 5）。

30

40

【0045】

蓄電池 2 が満充電完了するまで（# 3 6 で NO ）、マイコン 1 6 は、カウンタ j の値を 1 ずつ増加させて（# 3 7）、# 3 4、# 3 5 の処理を繰り返す。# 3 4、# 3 5 の処理が繰り返されることにより、全放電状態からの各時点での充電電流積算値 $Q_a(j)$ ($j = 1, 2, \dots$)、及び、各電流積算値 $Q_a(j)$ のときの端子間電圧 $u_{La}(j)$ が得られる。蓄電池 2 が満充電完了すると（# 3 6 で YES ）、マイコン 1 6 は、 $Q_{max} = Q_a(j)$ とする（# 3 8）。ここで、 Q_{max} は、蓄電池 2 が全放電状態から満充電状態に充電されたときの充電電流積算値である。すなわち、 Q_{max} は、 SOC が 0.0 から 1.0 に増加する間の充電電流積算値である。なお、マイコン 1 6 は、蓄電池 2 の端

50

子間電圧 u_L が所定の上限電圧 u_{Lmax} に達したことによって、蓄電池 2 が満充電状態になったことを判断する。

【0046】

続いて、マイコン 16 は、蓄電池 2 の満充電状態からの放電電流積算値 Q_b の初期値 $Q_b(0)$ を $Q_b(0) = 0$ とし (#39)、カウンタ j の値を $j = 1$ とする (#40)。続いて、マイコン 16 は、蓄電池 2 を満充電状態から放電開始する (#41)。すなわち、充電スイッチ 10 を開き、放電スイッチ 11 を閉じる、これにより、蓄電池 2 は、満充電状態から放電されていく。そして、マイコン 16 は、蓄電池 2 の放電電流 i (電流センサ 6 の計測電流) を読取り、蓄電池 2 の満充電状態からの放電電流積算値 $Q_b(j)$ を $Q_b(j) = Q_b(j) + \text{放電電流 } i \times \text{計測時間間隔 } t$ によって算出する (#42)。ここで、計測時間間隔 t は、#41 で充電を開始してから #42 で放電電流 i を読取るまでの時間間隔 (次回以降は、#42 ~ #45 の繰り返しにおいて放電電流 i を読取る時間間隔) であり、所定時間間隔である。また、マイコン 16 は、蓄電池 2 の端子間電圧 u_L を読取り、その電圧 u_L を放電電流積算値 $Q_b(j)$ のときの端子間電圧 $u_{Lb}(j)$ とする (#43)。

10

【0047】

蓄電池 2 が全放電完了するまで (#44 で NO)、マイコン 16 は、カウンタ j の値を 1 ずつ増加させて (#45)、#42、#43 の処理を繰り返す。#42、#43 の処理が繰り返されることにより、満充電状態からの各時点での放電電流積算値 $Q_b(j)$ ($j = 1, 2, \dots$)、及び、各電流積算値 $Q_b(j)$ のときの端子間電圧 $u_{Lb}(j)$ が得られる。蓄電池 2 が全放電完了すると (#44 で YES)、マイコン 16 は、充電電流積算値 $Q_a(j)$ 、充電時の端子間電圧 $u_{La}(j)$ 、満充電状態に充電されたときの電流積算値 Q_{max} 、放電電流積算値 $Q_b(j)$ 、及び放電時の端子間電圧 $u_{Lb}(j)$ ($j = 1, 2, \dots$) に基いて、所定の演算を行って、SOC-OCV 曲線を作成し (#46)、SOC-OCV 曲線取得処理を終了する。

20

【0048】

#1 の SOC-OCV 曲線取得処理を終えると、マイコン 16 は、蓄電池 2 の初期時の電池容量 $C(0)$ を算出する (#2)。すなわち、マイコン 16 は、#1 の SOC-OCV 曲線取得処理において求めた Q_{max} (SOC が 0.0 から 1.0 に増加する間の充電電流積算値) を初期時の電池容量 $C(0)$ とする。また、マイコン 16 は、時計 14 の計測する現在時刻を読取り、その時刻を電池容量算出時刻 $T(0)$ とする (#3)。また、マイコン 16 は、初期時以降の電池容量 C の算出回数 m を $m = 0$ に設定する (#4)。#1 ~ #4 の処理は、初期化の動作であり、#1 ~ #4 の処理が終了すると、マイコン 16 は、放電スイッチ 11 を開き、充電スイッチ 10 を閉じて、蓄電池 2 を充電し、蓄電池 2 が満充電完了すると、充電スイッチ 10 を開き、蓄電池 2 を使用開始できる旨を表示部 15 に表示する。ここで、ユーザは、充電器 4 を充電器接続端子 9a、9b から取外し、負荷 3 を負荷接続端子 8a、8b に接続する。これにより、蓄電池 2 は、満充電後の使用開始となり、負荷 3 は、蓄電池 2 の電力によって動作可能な状態となる。

30

【0049】

マイコン 16 は、蓄電池 2 の満充電後の使用開始になると (#5 で YES)、OCV 同定処理を行う (#6)。OCV 同定処理において (図 8 参照)、マイコン 16 は、まず、蓄電池 2 の端子間電圧 u_L 及び放電電流 i のサンプリング回数 k を $k = 1$ に設定する (#51)。続いて、マイコン 16 は、蓄電池 2 の端子間電圧 $u_L(k)$ 及び放電電流 $i(k)$ をサンプリングする (#52)。すなわち、電圧センサ 5 の計測電圧及び電流センサ 6 の計測電流をサンプリングする。そして、マイコン 16 は、同定式 (13) を忘却機能付き逐次最小二乗法に適用して、 $u_L(k)$ 、 $i(k)$ 、 $u_L(k-1)$ 、 $i(k-1)$ から同定式 (13) のパラメータ $b_0(k)$ 、 $a_0(k)$ 、 $a_1(k)$ を推定する (#53)。すなわち、同定式 (13) を忘却機能付き逐次最小二乗法に適用した場合の b_0 、 a_0 、 a_1 の推定式 (20) を用いて、 $u_L(k)$ 、 $i(k)$ 、 $u_L(k-1)$ 、 $i(k-1)$ から推定値 $b_0(k)$ 、 $a_0(k)$ 、 $a_1(k)$ を算出する。なお、 $u_L(k)$ の初

40

50

期値 $u_L(0)$ 、 $i(k)$ の初期値 $i(0)$ 、 $b_0(k)$ の初期値 $b_0(0)$ 、 $a_0(k)$ の初期値 $a_0(0)$ 、 $a_1(k)$ の初期値 $a_1(0)$ は、各々、0 とする。

【0050】

ここで、マイコン16は、算出した推定値 $b_0(k)$ 、 $a_0(k)$ 、 $a_1(k)$ が適正であるか否かを判断する(#54)。この判断は、式(18)の右辺の分母「 $1 + a_1$ 」を検査することで行われる。すなわち、 $1 + a_1(k)$ が非常に小さい値の場合には、推定値 $b_0(k)$ 、 $a_0(k)$ 、 $a_1(k)$ が適正でないと判断する。これは、内部インピーダンス R_b の誤算を防ぐためである。算出した推定値 $b_0(k)$ 、 $a_0(k)$ 、 $a_1(k)$ が適正であれば(#54でYES)、その推定値 $b_0(k)$ 、 $a_0(k)$ 、 $a_1(k)$ をそのまま採用し(#55)、適正でなければ(#54でNO)、前回の推定値 $b_0(k-1)$ 、 $a_0(k-1)$ 、 $a_1(k-1)$ を今回の推定値 $b_0(k)$ 、 $a_0(k)$ 、 $a_1(k)$ として置換える(#56)。

10

【0051】

サンプリング回数 k が300になるまで(#57でNO)、マイコン16は、サンプリング回数 k を1ずつ増加させて(#58)、サンプリング周期 T_s が経過する毎に(#59でYES)、#52~#56の処理を繰り返す。サンプリング回数 k が300になると(#57でYES)、マイコン16は、 $b_0(k)$ 、 $a_0(k)$ 、 $a_1(k)$ から内部インピーダンス R_a 、 R_b 、 C_b を算出する(#60)。すなわち、 $b_0(k)$ 、 $a_0(k)$ 、 $a_1(k)$ を b_0 、 a_0 、 a_1 として、式(17)(18)(19)から R_a 、 R_b 、 C_b を算出する。続いて、マイコン16は、算出した R_a 、 R_b 、 C_b を同定式(13)に当て嵌めて($b_0(k)$ 、 $a_0(k)$ 、 $a_1(k)$ を b_0 、 a_0 、 a_1 として同定式(13)に当て嵌めて)、 $u_L(k)$ 、 $i(k)$ 、 $u_L(k-1)$ 、 $i(k-1)$ から $O_C V$ を同定し(#61)、 $O_C V$ 同定処理を終了する。

20

【0052】

#6の $O_C V$ 同定処理を終えると、マイコン16は、同定した $O_C V$ から、#1の $SOC - O_C V$ 曲線取得処理で作成した $SOC - O_C V$ 曲線に基づいて、蓄電池2の SOC を推定する(#7)。推定した SOC が所定の第1の基準 SOC_1 でなく(#8でNO)、また、第2の基準 SOC_2 でなければ(#9でNO)、マイコン16は、#6、#7の処理を繰り返す。#6、#7の処理が繰り返されることにより、蓄電池2の満充電後の使用開始から継続的に $O_C V$ が同定されて SOC が推定されていき、 SOC の推移(経時変化)が観測される。蓄電池2の電力が消費されて SOC が減少していくと、#6で同定される $O_C V$ が低下していき、#7で推定される SOC が減少していく。#7で推定した SOC が所定の第1の基準 SOC_1 (例えば0.9)になると(#8でYES)、マイコン16は、蓄電池2の放電電流積算値 Q_r (電流センサ6の計測電流の積算値)の積算を開始し(#10)、引き続き、#6、#7の処理を繰り返す。

30

【0053】

その後、#7で推定した SOC が所定の第2の基準 SOC_2 (例えば0.2)になると(#9でYES)、マイコン16は、放電電流積算値 Q_r の積算を終了する(#11)。放電電流積算値 Q_r は、 SOC が所定の第1の基準 SOC_1 から所定の第2の基準 SOC_2 に推移する間の蓄電池2の放電電流積算値となる。そして、マイコン16は、電池容量 C の算出回数 m を1だけ増加させ(#12)、電池容量 $C(m)$ を $C(m) = Q_r / (SOC_1 - SOC_2)$ によって算出する(#13)。また、マイコン16は、時計14の計測する現在時刻を読み取り、その時刻を電池容量算出時刻 $T(m)$ とする(#14)。

40

【0054】

ここで、電池容量 C の算出回数 m が2未満であれば(#15でNO)、マイコン16は、#5以降の処理を繰り返す。すなわち、マイコン16は、その後、蓄電池2の SOC が残り少なくなると(例えば SOC が0.1になると)、その旨を表示部15に表示する。ここで、ユーザは、充電器4を接続して、充電指示スイッチ13を操作する。マイコン16は、充電指示スイッチ13が操作されると、充電スイッチ10を閉じて、蓄電池2を充電し、蓄電池2が満充電完了すると、充電スイッチ10を開き、充電を完了した旨を表示

50

部 15 に表示する。ここで、ユーザは、充電器 4 を取外す。これにより、蓄電池 2 は、満充電後の使用開始となり、マイコン 16 は、# 6 以降の処理を繰り返す。# 6 以降の処理が繰り返されることにより、蓄電池 2 が満充電されて使用される毎に電池容量 C が算出され、電池容量 C の算出回数 m が増加し、蓄電池 2 の複数の異なる時点における電池容量 $C(1)$ 、 $C(2)$ 、 \dots が算出されていく。

【0055】

電池容量 C の算出回数 m が 2 以上になると (# 15 で YES)、マイコン 16 は、残寿命予測処理を行う (# 16)。残寿命予測処理において (図 9 参照)、マイコン 16 は、まず、電池容量 C の算出回数 m が 10 未満の場合には (# 71 で YES)、 $C(0) = 0$ 、 $t(0) = 0$ として (# 72)、カウンタ j の値を $j = 1$ とし (# 73)、電池容量 C の算出回数 m が 10 以上の場合には (# 71 で NO)、カウンタ j の値を $j = m - 9$ とする (# 74)。これは、電池容量 C の算出回数 m が 10 未満の場合には、これまでに算出した全ての電池容量 $C(0)$ 、 $C(1)$ 、 \dots 、 $C(m)$ を用いて蓄電池 2 の残寿命を予測し、一方、電池容量 C の算出回数 m が 10 以上の場合には、近い過去に算出した 10 回分の電池容量 $C(m-9)$ 、 $C(m-8)$ 、 \dots 、 $C(m)$ を用いて蓄電池 2 の残寿命を予測するためである。

10

【0056】

続いて、マイコン 16 は、 $C(j) =$ 初期時の電池容量 $C(0) -$ 電池容量 $C(j)$ 、及び $t(j) =$ 電池容量算出時刻 (j) - 初期時の電池容量算出時刻 $T(0)$ を算出する (# 75)。ここで、 $C(j)$ は、初期時からの容量減少量であり、 $t(j)$ は、容量減少量が $C(j)$ になるまでの初期時からの経過時間である。カウンタ j の値が電池容量 C の算出回数 m になるまで (# 76 で NO)、マイコン 16 は、カウンタ j の値を 1 ずつ増加させて (# 77)、# 75 の処理を繰り返す。これにより、電池容量 C の算出回数 m が 10 未満の場合には、これまでに算出した全ての電池容量 $C(0)$ 、 $C(1)$ 、 \dots 、 $C(m)$ に基づく初期時からの容量減少量 $C(0)$ 、 $C(1)$ 、 \dots 、 $C(m)$ と、それらの容量減少量 $C(0)$ 、 $C(1)$ 、 \dots 、 $C(m)$ になるまでの初期時からの経過時間 $t(0)$ 、 $t(1)$ 、 \dots 、 $t(m)$ が得られる。一方、電池容量 C の算出回数 m が 10 以上の場合には、近い過去に算出した 10 回分の電池容量 $C(m-9)$ 、 $C(m-8)$ 、 \dots 、 $C(m)$ に基づく初期時からの容量減少量 $C(m-9)$ 、 $C(m-8)$ 、 \dots 、 $C(m)$ と、それらの容量減少量 $C(m-9)$ 、 $C(m-8)$ 、 \dots 、 $C(m)$ になるまでの初期時からの経過時間 $t(m-9)$ 、 $t(m-8)$ 、 \dots 、 $t(m)$ が得られる。

20

30

【0057】

続いて、電池容量 C の算出回数 m が 10 未満の場合には (# 78 で YES)、マイコン 16 は、ルート則を適用し、ルート則の劣化予測式 $t = a \times C^2 + b \times C + c$ を最小二乗法に適用して、 $C(0)$ 、 $t(0)$ 、 $C(1)$ 、 $t(1)$ 、 \dots 、 $C(m)$ 、 $t(m)$ から残寿命 t_z を算出する (# 79)。残寿命 t_z は、現時点から電池容量 C が所定の容量 (例えば初期時の電池容量 $C(0)$ の半分) に減少するまでの時間である。電池容量 C の算出回数 m が 10 未満の場合にルート則を適用するのは、一般に、蓄電池 2 の新品からの使い始めにおいては、電池容量 C がルート則に従って減少していくためである。# 79 では、残寿命 t_z は、これまでに算出した全ての電池容量 $C(0)$ 、 $C(1)$ 、 \dots 、 $C(m)$ とそれらの算出時刻 $T(0)$ 、 $T(1)$ 、 \dots 、 $T(m)$ とに基いて算出されることになる。

40

【0058】

一方、電池容量 C の算出回数 m が 10 以上の場合には (# 78 で NO)、前回、ルート則を適用していれば (# 80 で YES)、マイコン 16 は、ルート則の劣化予測式 $t = a \times C^2 + b \times C + c$ を最小二乗法に適用して、 $C(m-9)$ 、 $t(m-9)$ 、 $C(m-8)$ 、 $t(m-8)$ 、 \dots 、 $C(m)$ 、 $t(m)$ から a 、 b 、 c を算出し (# 81)、 a 、 b 、 c が前回から大きく変化しているか否かを判断する (# 82)。これは、一般に、蓄電池 2 の新品からの使い始めからある程度時間が経過すると、電池容量 C が

50

線形則に従って減少していく（ルート則に従った減少から線形則に従った減少に変化する）ことがあり、電池容量 C の減少が線形則に従った減少に変化したか否かを判断するためである。ここで、 a 、 b 、 c が前回から大きく変化していなければ（# 82 で NO）、マイコン 16 は、ルート則を適用し、ルート則の劣化予測式 $t = a \times C^2 + b \times C + c$ を最小二乗法に適用して、 $C(m-9)$ 、 $t(m-9)$ 、 $C(m-8)$ 、 $t(m-8)$ 、 \dots 、 $C(m)$ 、 $t(m)$ から、残寿命 t_z を算出する（# 83）。一方、 a 、 b 、 c が前回から大きく変化していれば（# 82 で YES）、マイコン 16 は、電池容量 C の減少が線形則に従った減少に変化したと判断し、線形則を適用し、線形則の劣化予測式 $t = b \times C + c$ を最小二乗法に適用して、 $C(m-9)$ 、 $t(m-9)$ 、 $C(m-8)$ 、 $t(m-8)$ 、 \dots 、 $C(m)$ 、 $t(m)$ から、残寿命 t_z を算出する（# 84）。# 83 及び # 84 では、残寿命 t_z は、近い過去に算出した 10 回分の電池容量 $C(m-9)$ 、 $C(m-8)$ 、 \dots 、 $C(m)$ とその算出時刻 $T(m-9)$ 、 $T(m-8)$ 、 \dots 、 $T(m)$ に基いて算出されることになる。

10

20

30

40

50

【0059】

80 において、前回、ルート則を適用していなければ（線形則を適用していれば）（# 80 で NO）、マイコン 16 は、線形則の劣化予測式 $t = b \times C + c$ を最小二乗法に適用して、 $C(m-9)$ 、 $t(m-9)$ 、 $C(m-8)$ 、 $t(m-8)$ 、 \dots 、 $C(m)$ 、 $t(m)$ から b 、 c を算出して（# 85）、 b 、 c が前回から大きく変化しているか否かを判断する（# 86）。そして、 b 、 c が前回から大きく変化していなければ（# 86 で NO）、マイコン 16 は、線形則を適用して、残寿命 t_z を算出し（# 84）、一方、 b 、 c が前回から大きく変化していれば（# 86 で YES）、マイコン 16 は、電池容量 C の減少がルート則に従った減少に変化したと判断し、ルート則を適用して、残寿命 t_z を算出する（# 83）。

【0060】

79、# 83、又は # 84 で残寿命 t_z を算出した後、マイコン 16 は、その算出した残寿命 t_z を表示部 15 に表示し（# 87）、残寿命予測処理を終了する。残寿命予測処理を終えると、マイコン 16 は、# 5 以降の処理を繰り返す。これにより、蓄電池 2 が満充電されて使用される毎に、新たに電池容量 C が算出されて、新たに残寿命 r_z が予測され、その残寿命 t_z が表示部 15 に表示される。

【0061】

本発明によれば、蓄電池 2 の OCV を一定として蓄電池 2 の内部インピーダンスが同定され、蓄電池 2 の内部インピーダンスを一定として蓄電池 2 の OCV が同定される。これにより、蓄電池 2 の OCV を高精度に同定することができ、蓄電池 2 の SOC の推定精度を高めることができる。従って、蓄電池 2 の電池容量 C の推定精度を高めることができ、蓄電池 2 の残寿命 t_z を高精度に予測することができる。

【0062】

なお、本発明は、上記実施形態の構成に限られず、種々の変形が可能である。例えば、OCV の同定において、蓄電池 2 の端子間電圧 u_L と放電電流 i のサンプリング周期 T_s を変動させるようにしてもよい。このようにすれば、計算量を増やすことなく、速い時定数を持った内部インピーダンスと遅い時定数を持った内部インピーダンスの両方を観測できるため、低価格のマイコン 16 でも、OCV の同定精度を高めることができる。また、OCV の同定において、同定式 (13) を、忘却機能付き最小二乗法に代えて、忘却機能付でない逐次最小二乗法や一括最小二乗法に適用してもよい。また、初期時の電池容量 $C(0)$ 及び初期時以降の電池容量 $C(1)$ 、 $C(2)$ 、 \dots の算出において、放電電流積算値に代えて、充電電流積算値を用いてもよい。また、残寿命 T_z の予測において、初期時の電池容量 $C(0)$ 及び初期時以降の電池容量 $C(1)$ 、 $C(2)$ 、 \dots に加え、蓄電池 2 の初期時の内部インピーダンス及び初期時以降に同定式 (13) を用いて同定した内部インピーダンスに基いて、残寿命 t_z を予測するようにしてもよい。

【0063】

また、蓄電池 2 の放電電流又は充電電流にパルスを発生させて、その応答波形を参考情

報として加味して、蓄電池 2 の内部インピーダンスを同定するようにしてもよい。また、蓄電池 2 の放電電流又は充電電流に交流電流を重畳させて、その応答を参考情報として加味して、蓄電池 2 の内部インピーダンスを同定するようにしてもよい。また、蓄電池 2 の充放電回数に基いて残寿命 t_z を予測するようにしてもよい。すなわち、蓄電池 2 の充放電回数を N とし、 $N = a \times C^2 + b \times C + c$ 又は $N = b \times C + c$ のいずれかに従うと仮定して、残寿命 t_z を予測するようにしてもよい。また、蓄電池 2 の温度依存の劣化傾向を加味して、残寿命 t_z を予測するようにしてもよい。また、本発明は、リチウムイオン蓄電池以外の蓄電池にも適用可能である。

【符号の説明】

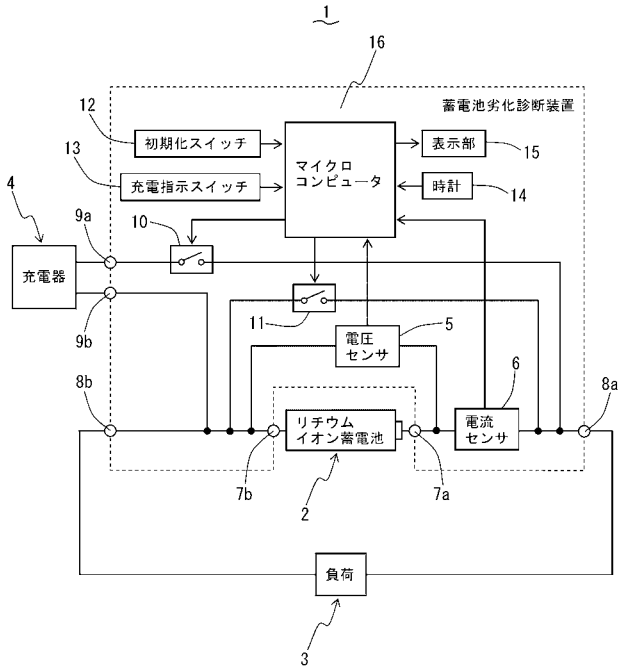
【0064】

- 1 蓄電池劣化診断装置
- 2 リチウムイオン蓄電池
- 3 負荷
- 4 充電器
- 5 電圧センサ
- 6 電流センサ
- 7 a、7 b 電池接続端子
- 8 a、8 b 負荷接続端子
- 9 a、9 b 充電器接続端子
- 10 充電スイッチ
- 11 放電スイッチ
- 12 初期化スイッチ
- 13 充電指示スイッチ
- 14 時計
- 15 表示部
- 16 マイクロコンピュータ
- 20 リチウムイオン蓄電池の等価回路モデル

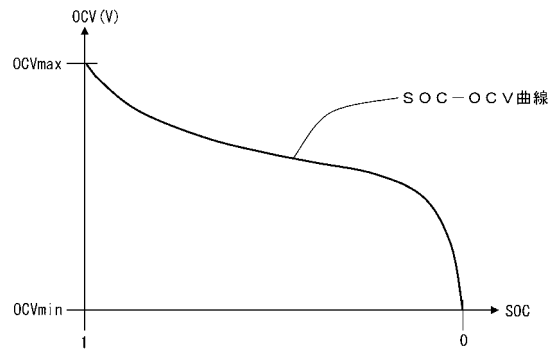
10

20

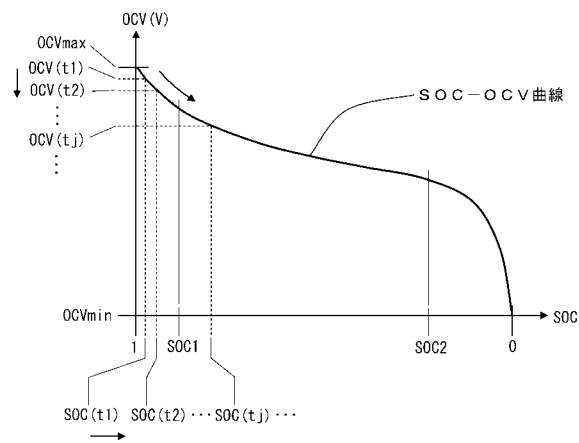
【図1】



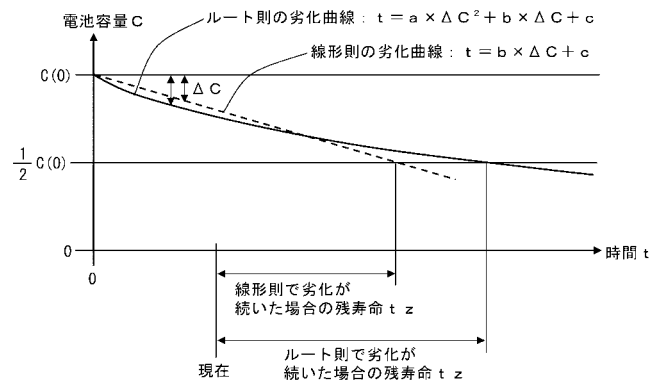
【図3】



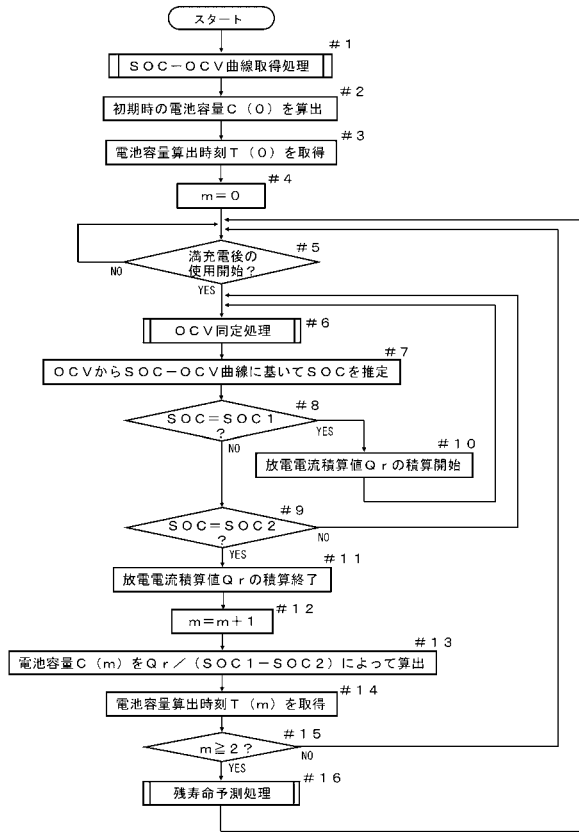
【図4】



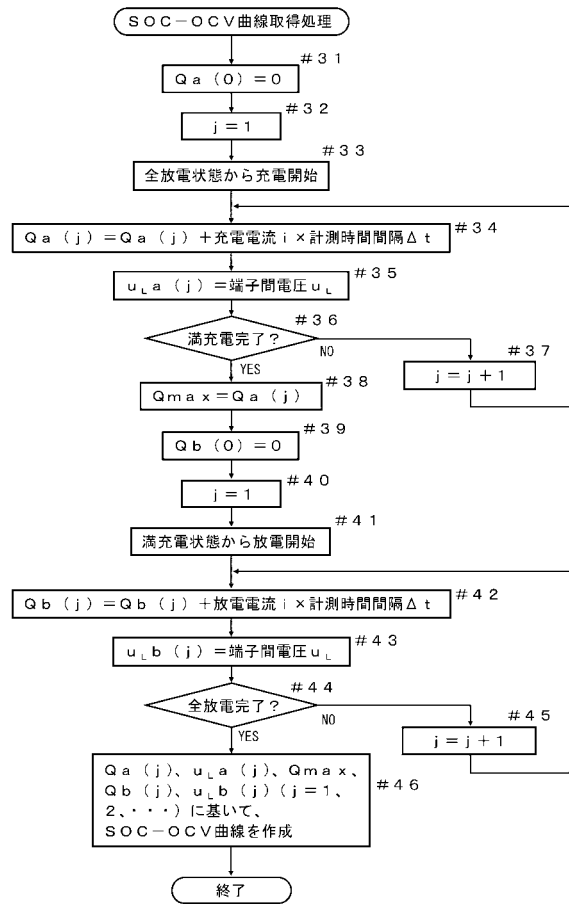
【図5】



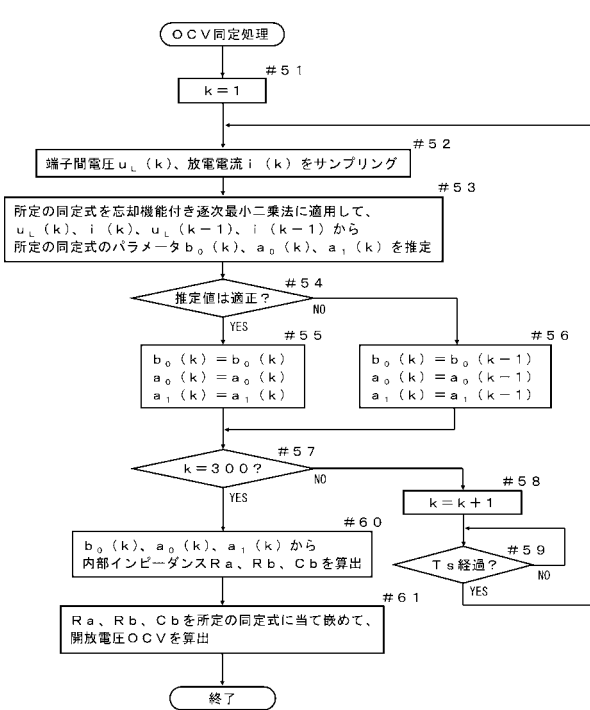
【図6】



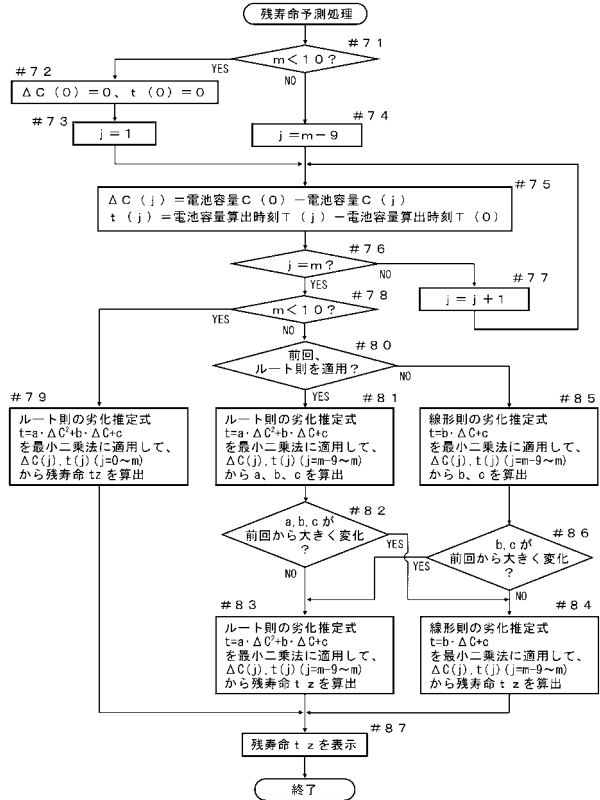
【図7】



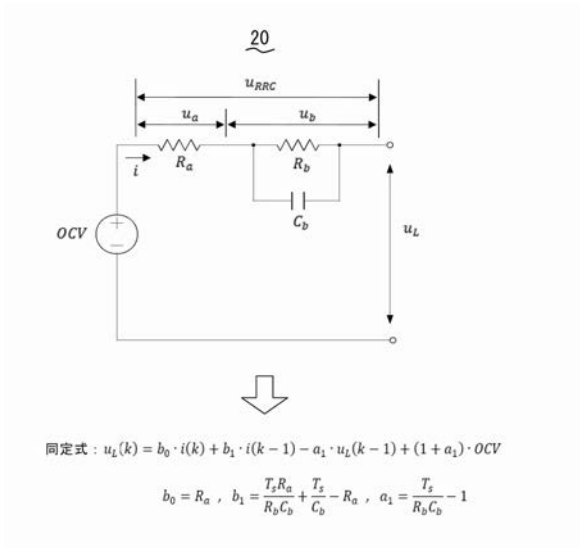
【図8】



【図9】



【 図 2 】



フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I テーマコード(参考)
H 0 2 J 7/00 Q

Fターム(参考) 2G016 CA03 CB00 CB05 CB06 CB11 CB21 CB22 CB31 CB32 CC01
CC02 CC04 CC06 CC07 CC10 CC12 CC24 CC25 CC27 CD00
CD10 CD14
5G503 BB01 EA09 GD03
5H030 AA10 AS06 AS08 AS11 BB01 BB21 BB27 FF21 FF42 FF43
FF44 FF52