

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3714321号
(P3714321)

(45) 発行日 平成17年11月9日(2005. 11. 9)

(24) 登録日 平成17年9月2日(2005. 9. 2)

(51) Int.Cl.⁷

F I

GO 1 R 31/36

GO 1 R 31/36

A

HO 1 M 10/48

HO 1 M 10/48

P

請求項の数 4 (全 15 頁)

(21) 出願番号	特願2002-340803 (P2002-340803)	(73) 特許権者	000003997
(22) 出願日	平成14年11月25日 (2002. 11. 25)		日産自動車株式会社
(65) 公開番号	特開2004-178848 (P2004-178848A)		神奈川県横浜市神奈川区宝町2番地
(43) 公開日	平成16年6月24日 (2004. 6. 24)	(74) 代理人	100075753
審査請求日	平成15年12月22日 (2003. 12. 22)		弁理士 和泉 良彦
		(72) 発明者	湯本 大次郎
			神奈川県横浜市神奈川区宝町2番地
			日産自動車株式会社内
		(72) 発明者	中村 英夫
			神奈川県横浜市神奈川区宝町2番地
			日産自動車株式会社内
		審査官	高木 正博

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 二次電池の充電率推定装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

二次電池の電流 I と端子電圧 V とを計測し、適応デジタルフィルタを用いて、前記電流 I と端子電圧 V の計測値から開路電圧 V_0 を推定し、予め求めた開路電圧 V_0 と充電率 $SO C$ との関係に基づいて充電率を推定する充電率推定装置において、

下記(数1)式に示す連続時間系の電池モデルを用いて、適応デジタルフィルタ演算を行い、(数1)式中のオフセット項である V_0 および過渡項である $A(s)$ 、 $B(s)$ 、 $C(s)$ の係数に対応するパラメータを一括推定するパラメータ推定手段と、
上記の推定した開路電圧 V_0 を用いて、予め求めた開路電圧 V_0 と充電率 $SO C$ の関係から充電率を推定する充電率推定手段と、

を備えたことを特徴とする二次電池の充電率推定装置。

【数1】

$$V = \frac{B(s)}{A(s)} \cdot I + \frac{1}{C(s)} \cdot V_0 \quad \dots (数1)$$

ただし、 s はラプラス演算子、 $A(s)$ 、 $B(s)$ 、 $C(s)$ は s の多項式関数

【請求項2】

前記(数1)式に示した連続時間系の電池モデルの開路電圧 V_0 を、下記(数2)式で近似することで下記(数3)式とし、下記(数3)式と等価な下記(数4)式を用いて適応

デジタルフィルタ演算を行い、少なくとも（数４）式中の h を推定し、その推定した h を前記（数２）式に代入することによって開路電圧 V_0 を求め、求めた V_0 を用いて、予め求めた開路電圧 V_0 と充電率SOCの関係から充電率を推定することを特徴とする請求項１に記載の二次電池の充電率推定装置。

【数２】

$$V_0 = \frac{h}{s} \cdot I \quad \dots (\text{数 } 2)$$

10

【数３】

$$V = \left(\frac{B(s)}{A(s)} + \frac{1}{C(s)} \cdot \frac{h}{s} \right) \cdot I = \frac{s \cdot B(s) \cdot C(s) + h \cdot A(s)}{s \cdot A(s) \cdot C(s)} \cdot I \quad \dots (\text{数 } 3)$$

【数４】

$$\frac{s \cdot A(s) \cdot C(s)}{G_1(s)} \cdot V = \frac{s \cdot B(s) \cdot C(s) + h \cdot A(s)}{G_1(s)} \cdot I \quad \dots (\text{数 } 4)$$

20

ただし、 s はラプラス演算子、 $A(s)$ 、 $B(s)$ 、 $C(s)$ は s の多項式関数、 h は変数、 $1/G_1(s)$ はローパスフィルタ特性を持つ伝達関数

【請求項３】

前記（数１）式に示した連続時間系の電池モデルの開路電圧 V_0 を、下記（数２）式で近似することで下記（数３）式とし、（数３）式と等価な下記（数４）式を用いて適応デジタルフィルタ演算を行い、（数４）式から $A(s)$ 、 $B(s)$ 、 $C(s)$ を推定し、その推定した $A(s)$ 、 $B(s)$ 、 $C(s)$ を下記（数５）式に代入することによって $V_0/G_2(s)$ を求め、求めた $V_0/G_2(s)$ を開路電圧 V_0 の代わりに用いて、予め求めた開路電圧 V_0 と充電率SOCの関係から充電率を推定することを特徴とする請求項１に記載の二次電池の充電率推定装置。

30

【数２】

$$V_0 = \frac{h}{s} \cdot I \quad \dots (\text{数 } 2)$$

【数３】

$$V = \left(\frac{B(s)}{A(s)} + \frac{1}{C(s)} \cdot \frac{h}{s} \right) \cdot I = \frac{s \cdot B(s) \cdot C(s) + h \cdot A(s)}{s \cdot A(s) \cdot C(s)} \cdot I \quad \dots (\text{数 } 3)$$

40

【数４】

$$\frac{s \cdot A(s) \cdot C(s)}{G_1(s)} \cdot V = \frac{s \cdot B(s) \cdot C(s) + h \cdot A(s)}{G_1(s)} \cdot I \quad \dots (\text{数 } 4)$$

50

【数 5】

$$\frac{V_0}{G_2(s)} = \frac{C(s)}{G_2(s)} \cdot \left(V - \frac{B(s)}{A(s)} \cdot I \right) \quad \dots (\text{数 } 5)$$

ただし、 s はラプラス演算子、 $A(s)$ 、 $B(s)$ 、 $C(s)$ は s の多項式関数、 h は変数、 $1/G_1(s)$ および $1/G_2(s)$ はローパスフィルタ特性を持つ伝達関数

【請求項 4】

電池モデルを下記（数 6）式として演算することの特徴する請求項 1 乃至請求項 3 の何れかに記載の二次電池の充電率推定装置。 10

【数 6】

$$V = \frac{K \cdot (T_2 \cdot s + 1)}{T_1 \cdot s + 1} \cdot I + \frac{1}{T_3 \cdot s + 1} \cdot V_0 \quad \dots (\text{数 } 6)$$

ただし、 K は内部抵抗、 T_1 、 T_2 、 T_3 は時定数、 $1/G_1(s)$ は 3 次以上のローパスフィルタ、 $1/G_2(s)$ は 2 次以上のローパスフィルタ

【発明の詳細な説明】 20

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、二次電池の充電率（SOC）を推定する装置に関する。

【0002】

【従来の技術】

【特許文献 1】

特開 2000-323183 号公報

【特許文献 2】

特開 2000-268886 号公報

【非特許文献 1】 30

「論文“適応デジタルフィルタを用いた鉛電池の開路電圧と残存容量の推定”四国総研、四国電力、湯浅電池 T.IEEE Japan Vol.112-C, No.4 1992」

二次電池の充電率 SOC（充電状態とも言う）は開路電圧 V_0 （通電遮断時の電池端子電圧であり、起電力、開放電圧とも言う）と相関があるので、開路電圧 V_0 を求めれば充電率を推定することが出来る。しかし、二次電池の端子電圧は、通電を遮断（充放電を終了）した後も安定するまでに時間を要するので、正確な開路電圧 V_0 を求めるには、充放電を終了してから所定の時間が必要である。したがって充放電中や充放電直後では、正確な開路電圧 V_0 を求めることが出来ない。上記の方法で充電率 SOC を求めることが出来ない。そのため、従来は、たとえば上記非特許文献 1 に記載のような方法を用いて開路電圧 V_0 を推定している。 40

【発明が解決しようとする課題】

しかし、上記のごとき従来例においては、実際の電池の物理特性とは全く異なる「非回帰型の電池モデル（出力値が入力値の現在値および過去値だけで決まるモデル）」に「適応デジタルフィルタ（逐次型のモデルパラメータ同定アルゴリズム）」を用いて開路電圧を算出し、この値から充電率 SOC を算出している。そのため、実際の電池特性（入力：電流、出力：電圧）に応用した場合、電池特性によっては推定演算が全く収束しなかったり、真値に収束しないため、正確な充電率 SOC を推定することが困難である、という問題があった。

本発明は上記のごとき従来技術の問題を解決するためになされたものであり、充電率 SOC およびその他のパラメータを正確に推定することの出来る二次電池の充電率推定装置を 50

提供することを目的とする。

【0003】

【課題を解決するための手段】

上記の目的を達成するため、本発明においては、前記（数1）式に示した連続時間系の電池モデルを用いて、適応デジタルフィルタ演算を行い、（数1）式中のオフセット項である V_0 および過渡項である $A(s)$ 、 $B(s)$ 、 $C(s)$ の係数に対応するパラメータを一括推定するパラメータ推定手段を備え、それによって推定した開路電圧 V_0 を用いて、予め求めた開路電圧 V_0 と充電率SOCの関係から充電率を推定するように構成している。なお、電池の種類によっては $A(s)$ と $C(s)$ の時定数が異なるものがあるので、本発明では $A(s)$ と $C(s)$ を別個に推定するように構成している。

10

【0004】

【発明の効果】

二次電池の電流 I と端子電圧 V と開路電圧 V_0 の関係を、（数1）式のような伝達関数で近似する構成であるため、最小二乗法等の適応デジタルフィルタ（公知の推定アルゴリズム）を適用することが可能になる。その結果、式中のパラメータ（オフセット項である開路電圧 V_0 および多項式 $A(s)$ 、 $B(s)$ 、 $C(s)$ の係数）を一括推定することが可能になる。これらのパラメータは充電率や温度や劣化度などに影響され、時々刻々と変化するものであるが、適応デジタルフィルタにより精度良く逐次推定することが可能である。そして開路電圧 V_0 と充電率の一意的な相関を記憶しておけば、推定した開路電圧から充電率に換算できる。そのため、充電率についても式中のパラメータ同様に、精度良く逐次推定することが可能である。

20

【0005】

【発明の実施の形態】

（実施例1）

図1は、本発明の実施例1を機能ブロックで表した図である。図1において、1はパラメータ推定手段であり、開路電圧 $V_0(k)$ をオフセット項とする電池モデルに基づいたものである。また、2は開路電圧 $V_0(k)$ 演算手段、3は開路電圧から充電率を演算する充電率推定手段である。また、4は電池から充放電される電流を検出する電流 $I(k)$ 計測手段、5は電池の端子電圧を検出する端子電圧 $V(k)$ 計測手段である。

【0006】

30

図2は、実施例1の具体的な構成を示すブロック図である。この実施例は、二次電池でモータ等の負荷を駆動したり、モータの回生電力で二次電池を充電するシステムに、二次電池の充電率推定装置を設けた例を示す。

図2において、10は二次電池（単に電池とも言う）、20はモータ等の負荷、30は電池の充電状態を推定するバッテリーコントローラ（電子制御ユニット）で、プログラムを演算するCPUやプログラムを記憶したROMや演算結果を記憶するRAMから成るマイクロコンピュータと電子回路等で構成される。40は電池から充放電される電流を検出する電流計、50は電池の端子電圧を検出する電圧計、60は電池の温度を検出する温度計であり、それぞれバッテリーコントローラ30に接続される。上記のバッテリーコントローラ30は前記図1のパラメータ推定手段1、開路電圧 $V_0(k)$ 演算手段2および充電率推定手段3の部分に相当する。また、電流計40は電流 $I(k)$ 計測手段4に、電圧計50は端子電圧 $V(k)$ 計測手段5に、それぞれ相当する。

40

【0007】

まず、本実施例で用いる「電池モデル」を説明する。図3は、二次電池の等価回路モデルを示す図であり、下記（数7）式（＝前記数6式）で表わすことが出来る。

【0008】

【数7】

$$V = \frac{K \cdot (T_2 \cdot s + 1)}{T_1 \cdot s + 1} \cdot I + \frac{1}{T_3 \cdot s + 1} \cdot V_0 \quad \dots (\text{数 } 7)$$

ただし、モデル入力は電流 I [A]（正值は充電、負値は放電）、モデル出力は端子電圧 V [V]、 V_0 [V] は開路電圧、 K は内部抵抗、 $T_1 \sim T_3$ は時定数、 s はラプラス演算子である。

本モデルは、正極、負極を特に分離していないリダクションモデル（一次）であるが、実際の電池の充放電特性を比較的正確に示すことが可能である。（数 7）式は前記（数 1）式において、 $A(s) = T_1 \cdot s + 1$ 、 $B(s) = K \cdot (T_2 \cdot s + 1)$ 、 $C(s) = T_3 \cdot s + 1$ と置いたものである。

【0009】

以下、前記（数 7）式の電池モデルから適応デジタルフィルタまでの導出を、最初に説明する。

開路電圧 V_0 は、電流 I に可変な効率 A を乗じた値を、或る初期状態から積分したものと考えれば、（数 8）式で書ける。

【0010】

【数 8】

$$V_0 = \frac{A}{s} \cdot I \quad \dots (\text{数 } 8)$$

なお、（数 8）式は前記（数 2）式における h を上記 A に置き換えたものに相当する。

（数 8）式を（数 7）式に代入すれば（数 9）式になる。

【0011】

【数 9】

$$V = \frac{K \cdot (T_2 \cdot s + 1)}{T_1 \cdot s + 1} \cdot I + \frac{1}{T_3 \cdot s + 1} \cdot \frac{A}{s} \cdot I \quad \dots (\text{数 } 9)$$

なお、（数 9）式は前記（数 3）式に相当するものであり、（数 3）式中の $A(s)$ 、 $B(s)$ 、 $C(s)$ について前記（数 7）式と同様に下記の式を代入したものである。

$$A(s) = T_1 \cdot s + 1$$

$$B(s) = K \cdot (T_2 \cdot s + 1)$$

$$C(s) = T_3 \cdot s + 1$$

つまり、（数 3）式が一般式であり、それを一次モデルに適用したものが（数 9）式である。

上記の（数 9）式を整理すれば（数 10）式になる。

【0012】

【数 10】

10

20

30

40

$$\begin{aligned}
s \cdot (T_1 \cdot s + 1)(T_3 \cdot s + 1) \cdot V &= K \cdot (T_2 \cdot s + 1)(T_3 \cdot s + 1) \cdot s \cdot I + A \cdot (T_1 \cdot s + 1) \cdot I \\
\{T_1 \cdot T_3 \cdot s^3 + (T_1 + T_3) \cdot s^2 + s\} \cdot V &= \{K \cdot T_2 \cdot T_3 \cdot s^3 + K \cdot (T_2 + T_3) \cdot s^2 + (K + A \cdot T_1) \cdot s + A\} \cdot I \\
(a \cdot s^3 + b \cdot s^2 + s) \cdot V &= (c \cdot s^3 + d \cdot s^2 + e \cdot s + f) \cdot I \quad \dots (\text{数 } 10)
\end{aligned}$$

なお、(数 10) 式の最後の式においては、パラメータを下記 (数 11) 式に示すように書き直している。

【0013】

【数 11】

$$a = T_1 \cdot T_3 \quad b = T_1 + T_3 \quad c = K \cdot T_2 \cdot T_3 \quad d = K \cdot (T_2 + T_3) \quad e = K + A \cdot T_1 \quad f = A$$

… (数 11)

安定なローパスフィルタ $G_1(s)$ を (数 10) 式の両辺に導入して、整理すれば (数 12) 式になる。

【0014】

【数 12】

$$\frac{1}{G_1(s)} (a \cdot s^3 + b \cdot s^2 + s) \cdot V = \frac{1}{G_1(s)} (c \cdot s^3 + d \cdot s^2 + e \cdot s + f) \cdot I$$

… (数 12)

つまり、(数 10) 式において、前記 (数 7) 式と逆に

$$T_1 \cdot s + 1 = A(s)$$

$$K \cdot (T_2 \cdot s + 1) = B(s)$$

$$T_3 \cdot s + 1 = C(s)$$

を代入すると、

$$s \cdot A(s) \cdot C(s) \cdot V = B(s) \cdot C(s) \cdot s \cdot I + A \cdot A(s) \cdot I$$

となり、これを変形すると、

$$s \cdot A(s) \cdot C(s) \cdot V = [B(s) \cdot C(s) \cdot s + A \cdot A(s)] \cdot I$$

となる。上式の両辺にローパスフィルタ $G_1(s)$ を導入すると前記 (数 4) 式となる。

つまり、(数 4) 式が一般式であり、それを一次モデルに適用したものが (数 12) 式である。

【0015】

実際に計測可能な電流 I や端子電圧 V を、ローパスフィルタやバンドパスフィルタで処理した値を下記 (数 13) 式のように定義する。ただし、 p_1 は、 $G_1(s)$ の応答性を決める定数である。

【0016】

【数 13】

10

20

30

40

$$\left. \begin{aligned}
 I_0 &= \frac{1}{G_1(s)} \cdot I \\
 I_1 &= \frac{s}{G_1(s)} \cdot I \quad V_1 = \frac{s}{G_1(s)} \cdot V \\
 I_2 &= \frac{s^2}{G_1(s)} \cdot I \quad V_2 = \frac{s^2}{G_1(s)} \cdot V \\
 I_3 &= \frac{s^3}{G_1(s)} \cdot I \quad V_3 = \frac{s^3}{G_1(s)} \cdot V
 \end{aligned} \right\} \frac{1}{G_1(s)} = \frac{1}{(p_1 \cdot s + 1)^3} \quad \dots (\text{数 } 13)$$

10

上記（数 13）式に示した変数を用いて（数 12）式を書き直せば（数 14）式になり、変形すれば、（数 15）式になる。

【0017】

【数 14】

$$\begin{aligned}
 a \cdot V_3 + b \cdot V_2 + V_1 &= c \cdot I_3 + d \cdot I_2 + e \cdot I_1 + f \cdot I_0 \\
 V_1 &= -a \cdot V_3 - b \cdot V_2 + c \cdot I_3 + d \cdot I_2 + e \cdot I_1 + f \cdot I_0
 \end{aligned} \quad \dots (\text{数 } 14)$$

20

【0018】

【数 15】

$$V_1 = \begin{bmatrix} V_3 & V_2 & I_3 & I_2 & I_1 & I_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -a \\ -b \\ c \\ d \\ e \\ f \end{bmatrix} \quad \dots (\text{数 } 15)$$

30

（数 15）式は、計測可能な値と未知パラメータの積和式になっているので、一般的な適応デジタルフィルタの標準形（数 16）式と一致する。

なお、 ω^T は、ベクトル ω の行と列を入れ替えた転置ベクトルを意味する。

【0019】

【数 16】

$$y = \omega^T \cdot \theta \quad \dots (\text{数 } 16)$$

ただし、（数 16）式において、 y 、 ω^T 、 θ はそれぞれ下記（数 17）式で示される。

【0020】

【数 17】

$$y = V_1 \cdot \omega^T = \begin{bmatrix} V_3 & V_2 & I_3 & I_2 & I_1 & I_0 \end{bmatrix} \theta = \begin{bmatrix} -a \\ -b \\ c \\ d \\ e \\ f \end{bmatrix} \quad \dots (\text{数} 17)$$

10

したがって、電流 I と端子電圧 V にフィルタ処理を施した信号を、適応デジタルフィルタ演算に用いることで、未知パラメータベクトル θ を推定することが出来る。

本実施例では、単純な「最小二乗法による適応フィルタ」の論理的な欠点（一度推定値が収束すると、その後パラメータが変化しても再度正確な推定ができないこと）を改善した「両限トレースゲイン方式」を用いる。前記（数 16）式を前提にした未知パラメータベクトル θ を推定するためのパラメータ推定アルゴリズムは（数 18）式に示すようになる。ただし、 k 時点のパラメータ推定値を $\theta(k)$ とする。

【0021】

【数 18】

20

$$\begin{aligned} \gamma(k) &= \frac{\lambda_3(k)}{1 + \lambda_3(k) \cdot \omega^T(k) \cdot P(k-1) \cdot \omega(k)} \\ \theta(k) &= \theta(k-1) - \gamma(k) \cdot P(k-1) \cdot \omega(k) \cdot [\omega^T(k) \cdot \theta(k-1) - y(k)] \\ P(k) &= \frac{1}{\lambda_1(k)} \left\{ P(k-1) - \frac{\lambda_3(k) \cdot P(k-1) \cdot \omega(k) \cdot \omega^T(k) \cdot P(k-1)}{1 + \lambda_3(k) \cdot \omega^T(k) \cdot P(k-1) \cdot \omega(k)} \right\} = \frac{P'(k)}{\lambda_1(k)} \\ \lambda_1(k) &= \left[\begin{aligned} &\frac{\text{trace}\{P'(k)\}}{\gamma_U} : \lambda_1 \leq \frac{\text{trace}\{P'(k)\}}{\gamma_U} \\ &\lambda_1 : \frac{\text{trace}\{P'(k)\}}{\gamma_U} \leq \lambda_1 \leq \frac{\text{trace}\{P'(k)\}}{\gamma_L} \\ &\frac{\text{trace}\{P'(k)\}}{\gamma_L} : \frac{\text{trace}\{P'(k)\}}{\gamma_L} \leq \lambda_1 \end{aligned} \right] \end{aligned}$$

... (数 18)

30

40

ただし、 λ_1 、 $\lambda_3(k)$ 、 γ_U 、 γ_L は初期設定値で、 $b < \lambda_1 < 1$ 、 $0 < \lambda_3(k) < \infty$ とする。 $P(0)$ は十分大きな値、 $\theta(0)$ は非ゼロの十分小さな値を初期値とする。 $\text{trace}\{P\}$ は行列 P のトレースを意味する。

以上が、電池モデルから適応デジタルフィルタまでの導出である。

【0022】

図 5 は、バッテリーコントローラ 30 のマイクロコンピュータが行う処理のフローチャートであり、同図のルーチンは一定周期 T_0 毎に実施される。例えば、 $I(k)$ は今回の値、 $I(k-1)$ は 1 回前の値を意味する。

ステップ S10 では、電流 $I(k)$ 、端子電圧 $V(k)$ を計測する。

50

ステップS20では、二次電池の遮断リレーのオン・オフ判断を行う。つまりバッテリーコントローラ30は二次電池の遮断リレーの制御も行っており、リレー遮断時（電流 $I = 0$ ）はステップS30へ進む。リレー締結時はステップS40へ進む。

ステップS30では、端子電圧 $V(k)$ を端子電圧初期値 V_{ini} として記憶する。

ステップS40では、端子電圧差分値 $\Delta V(k)$ を算出する。

ただし、 $\Delta V(k) = V(k) - V_{ini}$

これは、適応デジタルフィルタ内の推定パラメータの初期値を約0としているので、推定演算開始時に推定パラメータが発散しないように、入力を全て0とするためである。リレー遮断時はステップS30を通るので、 $I = 0$ かつ $\Delta V(k) = 0$ のため、推定パラメータは初期状態のままである。

10

【0023】

ステップS50では、電流 $I(k)$ と端子電圧差分値 $\Delta V(k)$ に、(数13)式に基づきローパスフィルタ、バンドパスフィルタのフィルタ処理を施し、 $I_0(k) \sim I_3(k)$ および $V_1(k) \sim V_3(k)$ を(数19)式から算出する。この際、(数18)式のパラメータ推定アルゴリズムの推定精度を良くするために、観測ノイズを低減するようローパスフィルタ $G_1(s)$ の応答性を遅く設定する。ただし、電池の応答特性（時定数 T_1 の概略値は既知である）よりも速い特性でないと、電池モデルの各パラメータを精度良く推定できない。(数19)式の p_1 は、 $G_1(s)$ の応答性を決める定数である。

【0024】

【数19】

20

$$\left. \begin{aligned} I_0 &= \frac{1}{G_1(s)} \cdot I \\ I_1 &= \frac{s}{G_1(s)} \cdot I & V_1 &= \frac{s}{G_1(s)} \cdot V \\ I_2 &= \frac{s^2}{G_1(s)} \cdot I & V_2 &= \frac{s^2}{G_1(s)} \cdot V & \frac{1}{G_1(s)} &= \frac{1}{(p_1 \cdot s + 1)^3} \\ I_3 &= \frac{s^3}{G_1(s)} \cdot I & V_3 &= \frac{s^3}{G_1(s)} \cdot V \end{aligned} \right\} \dots (\text{数19})$$

30

ステップS60では、ステップS50で算出した $I_0(k) \sim I_3(k)$ および $V_1(k) \sim V_3(k)$ を(数18)式に代入する。そして適応フィルタでのパラメータ推定アルゴリズムである(数18)式を実行し、パラメータ推定値 $\theta(k)$ を算出する。 $y(k)$ 、 $\omega^T(k)$ 、 $\theta(k)$ は下記(数20)式で示される。

【0025】

【数20】

$$y(k) = V_1(k)$$

$$\omega^T(k) = [V_3(k) \quad V_2(k) \quad I_3(k) \quad I_2(k) \quad I_1(k) \quad I_0(k)]$$

$$\theta(k) = \begin{bmatrix} -a(k) \\ -b(k) \\ c(k) \\ d(k) \\ e(k) \\ f(k) \end{bmatrix} \quad \dots (\text{数 } 20) \quad 10$$

ステップ S 7 0 では、ステップ S 6 0 で算出したパラメータ推定値 $\theta(k)$ の中から $a \sim e$ を、電池モデルである前記 (数 7) 式を変形した下記 (数 2 2) 式に代入して、開路電圧 V_0 の代用として V_0' を算出する。開路電圧 V_0 は変化が緩やかなので、 V_0' で代用できる。ただし、ここで求まるのは推定演算開始時からの開路電圧推定値の変化分 $\Delta V_0(k)$ である。 20

ここで、下記 (数 2 1) 式中の $[1/G_2(s)]I$ 等を下記 (数 2 4) 式に示すように置き換えたものが (数 2 2) 式に相当する。また、(数 2 2) 式の導出において、(数 2 1) 式の K と (数 2 2) 式の e は厳密には異なるけれども、物理的に $K \gg A \cdot T_1$ であるため、 $e = K$ と近似している。また、(数 2 2) 式中の各係数 $a \sim e$ は下記 (数 2 3) 式に示す内容である。

【0 0 2 6】

【数 2 1】

$$\frac{1}{T_3 \cdot s + 1} \cdot V_0 = V - \frac{K \cdot (T_2 \cdot s + 1)}{T_1 \cdot s + 1} \cdot I \quad 30$$

$$(T_1 \cdot s + 1) \cdot V_0 = (T_1 \cdot s + 1)(T_3 \cdot s + 1) \cdot V - K \cdot (T_2 \cdot s + 1)(T_3 \cdot s + 1) \cdot I$$

$$(T_1 \cdot s + 1) \cdot V_0 = \{T_1 \cdot T_3 \cdot s^2 + (T_1 + T_3) \cdot s + 1\} \cdot V - \{K \cdot T_2 \cdot T_3 \cdot s^2 + K \cdot (T_2 + T_3) \cdot s + K\} \cdot I$$

$$\frac{(T_1 \cdot s + 1)}{G_2(s)} \cdot V_0 = \frac{1}{G_2(s)} (a \cdot s^2 + b \cdot s + 1) \cdot V - \frac{1}{G_2(s)} (c \cdot s^2 + d \cdot s + K) \cdot I \quad \dots (\text{数 } 21) \quad 40$$

【0 0 2 7】

【数 2 2】

$$V_0' = \frac{(T_1 \cdot s + 1)}{G_2(s)} \cdot V_0 = a \cdot V_6 + b \cdot V_5 + V_4 - c \cdot I_6 - d \cdot I_5 - e \cdot I_4 \quad \dots (\text{数 } 22)$$

【0 0 2 8】

【数 2 3】

$$a = T_1 \cdot T_3 \quad b = T_1 + T_3 \quad c = K \cdot T_2 \cdot T_3 \quad d = K \cdot (T_2 + T_3) \quad e = K + A \cdot T_1 \approx K$$

… (数23)

【0029】

【数24】

$$\left. \begin{aligned} I_4 &= \frac{1}{G_2(s)} \cdot I & V_4 &= \frac{1}{G_2(s)} \cdot V \\ I_5 &= \frac{s}{G_2(s)} \cdot I & V_5 &= \frac{s}{G_2(s)} \cdot V & \frac{1}{G_2(s)} &= \frac{1}{p_2 \cdot s + 1} \cdot \frac{1}{T_1' \cdot s + 1} \\ I_6 &= \frac{s^2}{G_2(s)} \cdot I & V_6 &= \frac{s^2}{G_2(s)} \cdot V \end{aligned} \right\}$$

… (数24)

10

20

(数24)式の p_2 は $G_2(s)$ の応答性を決める定数である。電池パラメータの T_1 は概略値が数秒と判っているため、(数24)式中の T_1' は T_1 に近い値に設定する。それにより(数22)式中の分子に残る「 $T_1 \cdot s + 1$ 」を相殺できるため、開路電圧 V_0 の推定精度を向上できるからである。

なお、(数21)式は前記(数5)式に相当する。つまり、(数21)式は、

$$(T_1 \cdot s + 1) \cdot V_0 =$$

$$(T_1 \cdot s + 1)(T_3 \cdot s + 1) \cdot V - K \cdot (T_2 \cdot s + 1)(T_3 \cdot s + 1) \cdot I$$

から導出されており、この式に前記(数10)式と同様に、

30

$$T_1 \cdot s + 1 = A(s)$$

$$K \cdot (T_2 \cdot s + 1) = B(s)$$

$$T_3 \cdot s + 1 = C(s)$$

を代入すると、

$$A(s) \cdot V_0 = A(s) \cdot C(s) \cdot V - B(s) \cdot C(s) \cdot I$$

となる。これを変形すると、

$$V_0 = C(s) \cdot V - B(s) \cdot C(s) \cdot I / A(s)$$

$$V_0 = C(s) \cdot [V - B(s) \cdot I / A(s)]$$

となり、この両辺にローパスフィルタ $G_2(s)$ を導入すると(数5)式になる。つまり、

(数5)式が一般式であり、それを一次モデルに適用したものが(数21)式である。 40

【0030】

ステップS80では、ステップS70で算出した $\Delta V_0(k)$ はパラメータ推定アルゴリズム開始時からの開路電圧の変化分であるから、開路電圧初期値すなわち端子電圧初期値 V_{ini} を加算して開路電圧推定値 $V_0(k)$ を下記(数25)式から算出する。

$$V_0(k) = \Delta V_0(k) + V_{ini} \quad \dots (数25)$$

ステップS90では、図4に示す開路電圧と充電率の相関マップを用いて、ステップS80で算出した $V_0(k)$ から充電率SOC(k)を算出する。

なお、図4において、 V_L はSOC=0%に、 V_H はSOC=100%に相当する開路電圧である。

ステップS100では、次回演算に必要な数値を保存して、今回演算を終了する。以上を 50

、実施例 1 の動作の説明とする。

【0031】

(1) 上記のように、二次電池の電流 I と端子電圧 V と開路電圧 V_0 の関係を、一般式では(数1)式、実施例では(数7)式(=数6式)のような伝達関数で近似する構成であるため、最小二乗法等の適応デジタルフィルタ(公知の推定アルゴリズム)を適用することが可能になる効果がある。その結果、式中のパラメータ(オフセット項である開路電圧 V_0 および多項式 $A(s)$ 、 $B(s)$ 、 $C(s)$ の係数)を一括推定することが可能になる。これらのパラメータは充電率や温度や劣化度などに影響され、時々刻々と変化するものであるが、適応デジタルフィルタにより精度良く逐次推定することが可能である。そして図4に示したような開路電圧 V_0 と充電率の一意的な相関を記憶しておけば、推定した開路電圧から充電率に換算できる。そのため、充電率についても式中のパラメータ同様に、精度良く逐次推定することが可能である。

10

【0032】

(2) また、二次電池の電流 I と端子電圧 V の関係式である(数1)式を、(数4)式のように近似した場合には、開路電圧 V_0 (オフセット項)を含まない構成になるため、計測可能な電流 I と端子電圧 V を各々フィルタ処理した値と、未知パラメータ(多項式 $A(s)$ 、 $B(s)$ 、 $C(s)$ の係数パラメータおよび h) との積和式が得られるので、通常の適応デジタルフィルタ(最小二乗法などで、公知のパラメータ推定アルゴリズム)を連続時間系のまま適用することが可能になるという効果がある。

その結果、未知パラメータを一括推定することができ、推定したパラメータ h を(数2)式に代入することで、開路電圧 V_0 の推定値を容易に算出できる。これら未知パラメータは、SOCや温度や劣化度などに影響され時々刻々と変化する事が分かっているけれども、適応デジタルフィルタにより精度良く逐次推定できる。そして、開路電圧 V_0 と充電率 SOC の関係(図4)は一定の関係があるため、これを予め記憶しておけば開路電圧 V_0 の推定値から充電率 SOC を推定できる。

20

図6は、電流 I と端子電圧 V を適応フィルタに入力して、各パラメータを推定したシミュレーション結果を示す図である。(数6)式の1次遅れの時定数に関しては、 $T_1 < T_0$ に設定している。全てのパラメータ $a \sim f$ (前記(数11)式を参照)が良好に推定できているため、開路電圧 V_0 の推定値は真値と良く一致する。この開路電圧が図4のマップからSOCに換算されるため、SOCの推定値も真値と良く一致すると言える。

30

なお、図6において、開路電圧の欄に(数6)式の右辺第2項を併記しているのは、適応フィルタに入力される端子電圧上には、時定数 T_3 の遅い項を計測しているにも係わらず、開路電圧推定値は殆ど遅れなく真値に一致していることを示すためである。つまり、(数6)式の電池モデルを定式化した適応デジタルフィルタでパラメータ推定する構成であるため、全てのパラメータ $a \sim f$ を良好に推定でき、開路電圧 V_0 の推定値は真値と良く一致するという効果がある。

【0033】

(3) また、上記(2)のように(数2)式から開路電圧 V_0 を算出する構成では、推定値 h が真値に収束する前の値も積分してしまうので、その誤差を解消できないが、積分を含まない(数5)式を用いる構成においては、パラメータ推定値が真値に収束する前の誤差は、収束後には影響を及ぼさないという効果がある。

40

図6中▲1▼部分では、推定値 f が真値に収束する前に、一瞬だけ誤推定しているのが分かる。前記(2)では、この値も積分しているため誤差は解消されない。しかし、(数5)式を用いる構成においては、積分を含まない式から開路電圧 V_0 を算出するため、パラメータ推定値が真値に収束した後は、この誤推定部分は解消される。

【0034】

(4) また、(数1)式の代わりに(数6)式を用いる場合には、上記と同様の効果を持ちながら、演算時間やプログラム容量を必要最小限に抑えることができるという効果がある。

【図面の簡単な説明】

50

【図 1】 本発明の実施例 1 を機能ブロックで表した図。

【図 2】 実施例 1 の具体的な構成を示すブロック図。

【図 3】 二次電池の等価回路モデルを示す図。

【図 4】 開路電圧と充電率の相関マップ。

【図 5】 バッテリーコントローラ 30 のマイクロコンピュータが行う処理のフローチャート。

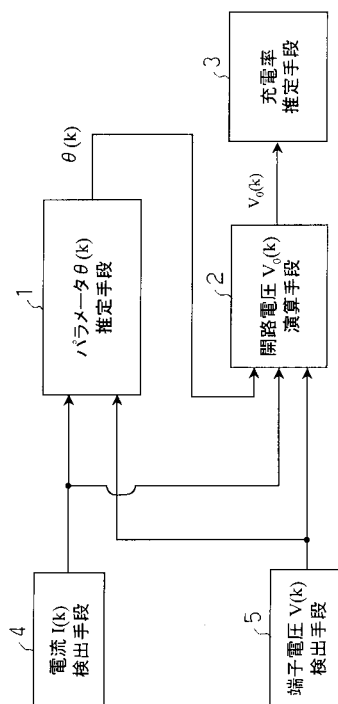
【図 6】 電流 I と端子電圧 V を適応フィルタに入力して、各パラメータを推定したシミュレーション結果を示す図。

【符号の説明】

- | | | |
|----------------------|------------------------|----|
| 1 … パラメータ推定手段 | 2 … 開路電圧 $V_0(k)$ 演算手段 | 10 |
| 3 … 充電率推定手段 | 4 … 電流 $I(k)$ 計測手段 | |
| 5 … 端子電圧 $V(k)$ 計測手段 | 10 … 二次電池 | |
| 20 … 負荷 | 30 … バッテリーコントローラ | |
| 40 … 電流計 | 50 … 電圧計 | |
| 60 … 温度計 | | |

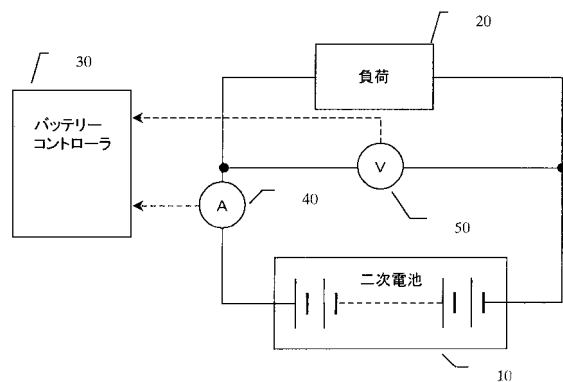
【図 1】

(図 1)



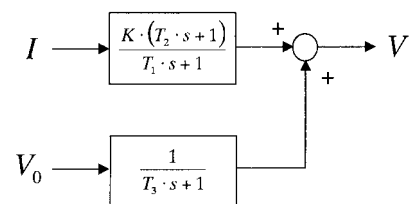
【図 2】

(図 2)



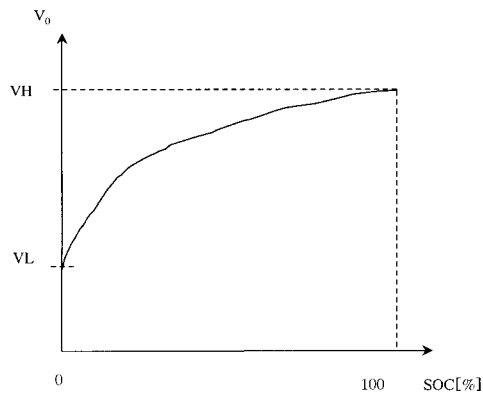
【図 3】

(図 3)



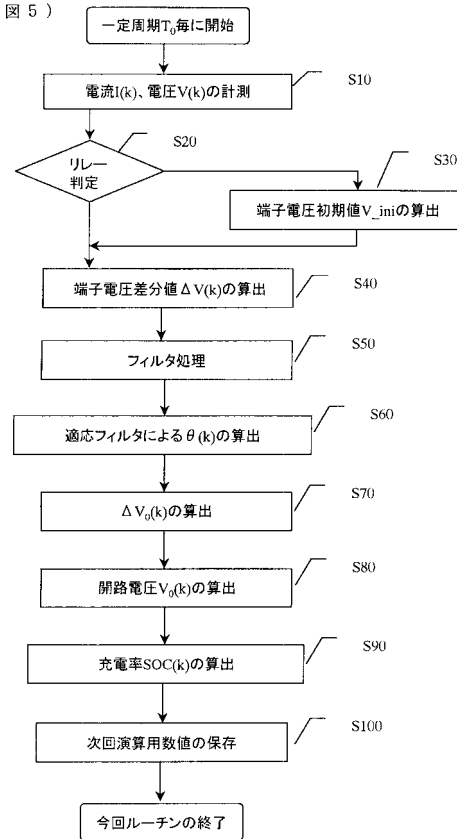
【図 4】

(図 4)



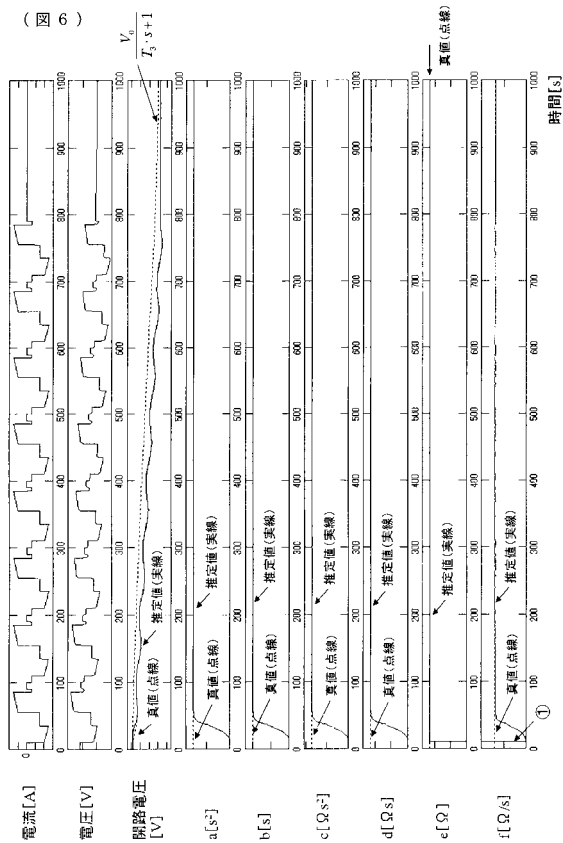
【図 5】

(図 5)



【図 6】

(図 6)



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2003-185719 (JP, A)
特開2001-223033 (JP, A)
特開2003-75517 (JP, A)
特開2003-75518 (JP, A)

- (58)調査した分野(Int.Cl.⁷, DB名)
G01R 31/36
H01M 10/42 - 10/48