

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第3550160号  
(P3550160)

(45) 発行日 平成16年8月4日(2004.8.4)

(24) 登録日 平成16年4月30日(2004.4.30)

(51) Int. Cl.<sup>7</sup>

F I

HO 1 M 10/48  
GO 1 R 31/36

HO 1 M 10/48 P  
GO 1 R 31/36 A

請求項の数 8 (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願平4-321482	(73) 特許権者	000164391 株式会社キューキ
(22) 出願日	平成4年11月6日(1992.11.6)		福岡県福岡市南区清水4丁目19番18号
(65) 公開番号	特開平6-150981	(74) 代理人	100079289 弁理士 平木 道人
(43) 公開日	平成6年5月31日(1994.5.31)	(74) 代理人	100084870 弁理士 田中 香樹
審査請求日	平成11年10月12日(1999.10.12)	(74) 代理人	100102336 弁理士 久保田 直樹
		(72) 発明者	鳥飼 孝幸 福岡県福岡市南区清水4丁目19番18号 九州電機製造株式会社内
		(72) 発明者	武末 高明 福岡県福岡市南区清水4丁目19番18号 九州電機製造株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 電池の残存容量計

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

電池の充放電電流およびそのときの端子電圧を測定する手段と、  
電池の残存容量をパラメータとして、その充放電電流および端子電圧の関係を代表する電池モデルと、  
前記充放電電流および端子電圧の一方の実測値を前記電池モデルに代入して充放電電流および端子電圧の他方の推測値を演算する演算手段と、  
前記推測値の実測値に対する偏差に基づいて、前記偏差が小さくなるようにパラメータを修正する手段と、  
前記偏差が十分に小さくなってパラメータが収束したことを判定する収束判定手段と、  
収束したときのパラメータ値を、電池の残存容量として出力する手段とを具備し、  
前記充放電電流は電流実測値であり、ある時刻 t における電流実測値を  $i(t)$ 、そのときの電池の残存容量を、推測端子電圧を  $V_{es}(t, )$  としたときの電池モデルは次の2次式で表わされることを特徴とする電池の残存容量計。

$$V_{es}(t, ) = a_0 ( ) + a_1 ( ) \cdot i(t) + a_2 ( ) \cdot i^2(t)$$

ここで、 $a_0 \sim a_2$  は の関数である。

【請求項2】

前記  $a_0 \sim a_2$  が次の式で表わされることを特徴とする請求項1記載の電池の残存容量計。

$$a_0 = b_{00} + b_{01} \cdot \quad + b_{02} \cdot \quad ^2$$

10

20

$$a_1 = b_{10} + b_{11} \cdot \quad + b_{12} \cdot \quad ^2$$

$$a_2 = b_{20} + b_{21} \cdot \quad + b_{22} \cdot \quad ^2$$

ここで、 $b_{00} \sim b_{22}$  は定数である。

【請求項3】

( $t - T$ ) と  $t$  との間のある時刻における電圧実測値を  $v(\quad)$ 、電流実測値  $i(\quad)$  に基づいて演算された推測端子電圧を  $V_{es}(\quad, \quad_0)$  としたときのパラメータの修正量  $\delta \theta_{es}$  が、

【数1】

$$\delta \theta_{es} = \left[ \int_{t-T}^t \left[ \frac{\partial V_{es}}{\partial \theta} \right]_{\theta = \theta_0}^2 d\tau \right]^{-1} \quad 10$$

$$\times \left[ \int_{t-T}^t \left[ \frac{\partial V_{es}}{\partial \theta} \right]_{\theta = \theta_0} \{ v(\tau) - V_{es}(\tau, \theta_0) \} d\tau \right]$$

で演算されることを特徴とする請求項1または2に記載の電池の残存容量計。

【請求項4】

ある時点  $j$  での実測電流値を  $i_j$ 、時点  $k$  (ただし、 $0 \leq k \leq j$ ) での実測電流値を  $i_k$ 、また  $C_1$ 、 $C_2$  を定数とし、時点  $j$  での推定端子電圧を  $V_{dj}$  としたとき、次の式で表わされる第2の電池モデルと、

【数2】

$$V_{dj} = d_{00} + d_{01} \left[ C_0 + \sum_{k=0}^j (C_1 \cdot i_k + C_2 \cdot i_k^2) \right]$$

$$+ d_{02} \left[ C_0 + \sum_{k=0}^j (C_1 \cdot i_k + C_2 \cdot i_k^2) \right]^2 \quad 30$$

$$+ \left\{ d_{10} + d_{11} \left[ C_0 + \sum_{k=0}^j (C_1 \cdot i_k + C_2 \cdot i_k^2) \right] \right.$$

$$\left. + d_{12} \left[ C_0 + \sum_{k=0}^j (C_1 \cdot i_k + C_2 \cdot i_k^2) \right]^2 \right\} i_j \quad 40$$

$$+ \left\{ d_{20} + d_{21} \left[ C_0 + \sum_{k=0}^j (C_1 \cdot i_k + C_2 \cdot i_k^2) \right] \right.$$

$$\left. + d_{22} \left[ C_0 + \sum_{k=0}^j (C_1 \cdot i_k + C_2 \cdot i_k^2) \right]^2 \right\} i_j^2 \quad 50$$

電池の各充放電サイクルごとに上記式中の係数  $d_{00} \sim d_{22}$  を求める手段と、

$i$  回目（ただし、 $1 \leq i \leq n$ ）の充放電サイクルで求められた各係数を  $d_{00}^{(i)} \sim d_{22}^{(i)}$  としたとき、少なくとも一部の係数の  $(n - r)$  回目から  $n$  回目までの変化状態を監視する手段と、

前記係数の変化状態が予定量を超えた時、前記係数  $d_{00}^{(i)} \sim d_{22}^{(i)}$  に基づいて前記係数  $b_{00} \sim b_{22}$  を修正する手段とをさらに具備したことを特徴とする請求項 2 または 3 記載の電池の残存容量計。

【請求項 5】

使用開始初期状態での前記係数  $b_{00} \sim b_{22}$  を  $b_{00}^{(1)} \sim b_{22}^{(1)}$ 、 $i$  回目（ただし、 $1 \leq i \leq n$ ）の充放電サイクルにおける係数を  $d_{00}^{(i)} \sim d_{22}^{(i)}$ 、初期状態での前記係数  $b$  に対する 1 回目の放電サイクルでの係数  $d$  の比  $k$  および 1 回目と  $n$  回目の放電サイクルでの各パラメータ  $d$  の比をそれぞれ、

$$k_{00} = d_{00}^{(1)} / b_{00}^{(1)} \sim k_{22} = d_{22}^{(1)} / b_{22}^{(1)}$$

$$k_{00}^{(n)} = d_{00}^{(n)} / d_{00}^{(1)} \sim k_{22}^{(n)} = d_{22}^{(n)} / d_{22}^{(1)}$$

とすると、経時変化補正後のパラメータ  $b_{00}^{(n)} \sim b_{22}^{(n)}$  が次の式で演算されることを特徴とする請求項 4 記載の電池の残存容量計。

【数 3】

$$b_{00}^{(n)} = b_{00}^{(1)} \times \alpha_{00}^{(n)} / k_{00}$$

$$b_{01}^{(n)} = b_{01}^{(1)} \times \alpha_{01}^{(n)} / k_{01}$$

...

...

$$b_{22}^{(n)} = b_{22}^{(1)} \times \alpha_{22}^{(n)} / k_{22}$$

【請求項 6】

電池の充放電電流およびそのときの端子電圧を測定する手段と、

電池の残存容量をパラメータとして、その充放電電流および端子電圧の関係を代表する電池モデルと、

前記充放電電流および端子電圧の一方の実測値を前記電池モデルに代入して充放電電流および端子電圧の他方の推測値を演算する演算手段と、

前記推測値の実測値に対する偏差に基づいて、前記偏差が小さくなるようにパラメータを修正する手段と、

前記偏差が十分に小さくなってパラメータが収束したことを判定する収束判定手段と、

収束したときのパラメータ値を、電池の残存容量として出力する手段とを具備し、

前記端子電圧は電圧実測値であり、ある時刻  $t$  における電圧実測値を  $v(t)$

、そのときの電池の残存容量を、推測充放電電流を  $I_{es}(t, \quad)$  としたときの電池モデルは次の 2 次式で表わされることを特徴とする電池の残存容量計。

$$I_{es}(t, \quad) = p_0(\quad) + p_1(\quad) \cdot v(t) + p_2(\quad) \cdot v^2(t)$$

ここで、 $p_0 \sim p_2$  は  $\quad$  の関数である。

【請求項 7】

$(t - T)$  と  $t$  との間のある時刻  $\quad$  における電流実測値を  $i(\quad)$ 、電圧実測値  $v(\quad)$  に基づいて演算された推測電流値を  $I_{es}(\quad, \quad_0)$  としたときのパラメータ  $\quad$  の修正量  $\quad_{es}$  が、

10

20

30

40

【数4】

$$\delta \theta_{es} = \left[ \int_{t-T}^t \left[ \frac{\partial I_{es}}{\partial \theta} \right]_{\theta = \theta_0}^2 d\tau \right]^{-1} \\ \times \left[ \int_{t-T}^t \left[ \frac{\partial I_{es}}{\partial \theta} \right]_{\theta = \theta_0} \{ i(\tau) - I_{es}(\tau, \theta_0) \} d\tau \right]$$

10

で演算されることを特徴とする請求項6記載の電池の残存容量計。

【請求項8】

電池の残存容量をパラメータとして、その充放電電流および端子電圧の関係を代表する電池モデルは、標準温度における電池特性に基づくものであり、さらに、ある周囲温度での、残存容量をパラメータとする電圧電流特性と標準温度での電圧電流特性との間の座標変換式を記憶する手段と、前記ある周囲温度で実測された充放電電流および端子電圧を、前記座標変換式によって標準温度での値に変換する手段と、変換された標準温度での充放電電流および端子電圧実測値に基づいて、電池の残存容量を演算することを特徴とする請求項1～7のいずれかに記載の電池の残存容量計。

20

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】

本発明は電池の残存容量計に関し、特に負荷を遮断することなくリアルタイムで、しかも温度補償や経時変化補正も容易な電池の残存容量計に関する。

【0002】

【従来の技術】

最近エネルギー問題や環境保護に関連して電気自動車が注目を浴びている。また電力系統の有効運用や自然エネルギー利用のための電力貯蔵用電池、または各種制御装置の非常用電源としての電池も注目されている。その他の分野でも、電池を利用した分散電源が実用されるようになっており、これらの場合の電池の効率的な運用のためには、電池の充放電制御を的確に行なう必要がある。これに伴って、電池の残存容量をなるべく高い精度で、しかも運転状態に影響を与えないことなしに常時測定することが望まれている。

30

【0003】

電池の残存容量計としては、従来より、(1)電解液の比重が鉛蓄電池の残存容量と比例関係にあることを利用する比重計方式、(2)放電電流の積算値を使用開始時の電池容量から減算して残存容量を求める電流積算方式、(3)無負荷時の電池の端子電圧すなわち開路電圧が鉛蓄電池の残存容量と比例関係にあることに基づいて残存容量を推定する開路電圧方式、(4)放電(負荷)電流とその時の電池端子電圧との関係を利用する電圧電流方式などが知られている。

40

【0004】

比重計方式は鉛電池にしか使えず、また振動に弱いので、特に自動車用などには不適である。電流積算方式は、使用開始時の電池容量を正確に測定するのが難しく、また経年変化などの影響が大きいという難点がある。開路電圧方式は、無負荷時の電池の端子電圧すなわち開路電圧が残存容量の関数になるという電池特性を利用したもので、負荷電流を遮断した後ある程度の時間をおいてから開路電圧を測定しなければならない点で、実用上の難点がある。

【0005】

これを解決するために、時間的に変動するパラメータを持ったモデルで鉛電池を代表させ、その負荷電流および端子電圧の計測値と電池の電流電圧特性とから、そのときの開路電

50

圧を推定し、このように推定した開路電圧を開路電圧対残存容量の関係特性に当てはめて残存容量を推定することが提案されている（平成4年4月発行の電気学会誌、第112巻第4号、第259～267頁）。

【0006】

電圧電流方式は、電池の残存容量がその電圧電流特性に関係するという電池特性を利用するものである。具体的には、測定対象の電池の標準温度（摂氏30度）における電圧対電流特性曲線またはテ-ブルを、電池残存容量をパラメ-タとして準備しておく。測定時の温度における電流および電圧のサンプル値を、標準温度における値に補正した後、前記電圧対電流特性曲線またはテ-ブルに当てはめて測定時の温度における残存容量を求める。なお必要に応じて、補間演算を行なうこともできる。

10

【0007】

このように電圧電流方式は、回路電圧の推定値を用いたり負荷電流を遮断したりすることなしに、しかも連続的かつリアルタイムに残存容量を検知できるので、多くの用途に対して実用的であり、特に電気自動車のように振動の多い対象に用いるものとしては好ましいと考えられる。なお電圧電流方式の詳細については、例えば実願平3-18430号の明細書に記載されている。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】

上述の開路電圧方式では、負荷時の実測端子電圧から電池モデルを用いて開路電圧を推定し、このように推定した開路電圧を用いてさらに残存容量を推定するので、推定が多重になり、また前記モデルが電池の物理的特性と関連付けられていないので、経年変化や温度変化などに対する補正が容易でなく、高い測定精度が期待できないという問題が予想される。

20

【0009】

また従来電圧電流方式では、標準として使用される電圧対電流特性曲線またはテ-ブル自体がある特定の動作条件下で得られた電圧、電流から作られたものであるから、これと異なる条件下で得た電圧、電流をこの特性曲線またはテ-ブルに適用した場合、必ずしも残存容量の真値が得られず、大きな誤差を生ずる恐れがあり、また電池特性の経年変化や温度変化に対する補正が十分できないという問題がある。さらに、測定電流、電圧に重畳する雑音が大きく、したがって求める残存容量の変動も大きい時に、移動平均フィルタで平均化しようとする、位相遅れによる誤差を避けるのが困難になる。

30

【0010】

本発明の目的は、上述の諸問題を解決できる電圧電流方式による電池の残存容量計を提供することにある。

【0011】

【課題を解決するための手段】

電池の物理的特性に適合するような、その残存容量をパラメ-タとし、その放電電流および端子電圧の関係を代表する電池モデルを準備しておき、放電電流および端子電圧の一方の実測値を前記電池モデルに代入して放電電流および端子電圧の他方の推測値を演算し、前記推測値の実測値に対する偏差に基づいて、前記偏差が小さくなるようにパラメ-タを修正し、前記偏差が十分に小さくなったときのパラメ-タ値を、電池の残存容量として出力する。

40

温度変化に対する補正として、ある周囲温度での、残存容量をパラメ-タとする電圧電流特性と標準温度での電圧電流特性との間の座標変換式を記憶しておき、前記ある周囲温度で実測された放電電流および端子電圧を、前記座標変換式によって標準温度での値に変換した後、変換された標準温度での放電電流および端子電圧実測値に基づいて、電池の残存容量を演算する。また電池モデルを表わす諸係数の、初回充放電時の値を基準としたn回目放電時の値の変化量または変化率が予定の閾値を超えた時は、前記諸係数を修正して電池モデルの経時変化を補正できる。

【0012】

50

## 【作用】

電池の残存容量をより正確にしかもリアルタイムで監視することができ、さらに温度変化や経年変化の影響を加味した残存容量の監視も可能となるのみならず、異常状態の検知も可能である。また、電池の残存容量がデジタル量として演算できるので、これを遠方の中央装置に伝送して集中管理することも容易になる。

## 【0013】

## 【実施例】

以下に、図面を参照して本発明を詳細に説明する。図1は本発明の原理的構成を示すブロックである。測定対象の電池1には負荷2（例えば、電気自動車の駆動用モータなど）が接続され、負荷電流すなわち電池1の放電電流*i*は電流計3で検出される。負荷2の大きさが負荷制御部4（例えば、電気自動車のアクセルペダル）によって制御されると、放電電流*i*が変化し、これに応じて電池1の端子電圧*v*も変化する。電圧*v*は電圧計10で測定される。電池モデル5としては、後述する(1)式のような、電池1の推定端子電圧*V<sub>es</sub>*とそのときの放電電流*i*および電池1の残存容量（モデルのパラメータとなる）の間の関係式が用いられる。検出された放電電流*i*の値が前記モデルの式に代入されて推定端子電圧*V<sub>es</sub>*が演算される。

10

## 【0014】

得られた推定端子電圧*V<sub>es</sub>*は比較器6に供給されて実測端子電圧*v*と比較される。比較器6の出力すなわち、推定端子電圧*V<sub>es</sub>*と実測端子電圧*v*との差は電池モデル5の電池1に対する近似度すなわち収束度合いを表わす。したがって、前記差を収束判定部7に供給してこれが閾値以下に十分収束しているか否かを判定し、収束していないときは、前記差を電池モデルにフィードバックしてそのパラメータを修正する。図1の例では、残存容量修正部8で前記差が小さくなるように電池モデル5のパラメータすなわち残存容量を修正する。電池モデル5では、修正された残存容量と実測電流値*i*を用いて推定端子電圧*V<sub>es</sub>*を演算し直す。

20

## 【0015】

上記のような電流、電圧の測定、推定端子電圧*V<sub>es</sub>*の演算およびパラメータの修正を繰り返し、推定端子電圧*V<sub>es</sub>*と実測端子電圧*v*との差が十分小さくなったときは、電池モデル5が電池1の実態を代表していると考えられるので、収束判定部7は出力制御部9を制御してそのときの電池モデル5のパラメータを残存容量として出力する。以上のようにして、本発明によれば、電池1の負荷を遮断することなく、その放電電流と端子電圧を測定するだけで、電池モデル5を電池1の実態に整合するように修正して残存容量を検知することができる。

30

## 【0016】

つぎに電池モデル5について詳細に説明する。本発明では、上述のように、電池1の端子電圧*v*が、そのときの放電電流*i*と電池1の残存容量との関数であること、および電池の物理的諸性質を考慮し、この実施例では、ある時刻*t*における電池モデル5をつぎの2次式(1)で表わすこととした。

$$\begin{aligned} V_{es}(t, \theta) &= g\{i(t), \theta\} \\ &= a_0(\theta) + a_1(\theta) \cdot i(t) \\ &\quad + a_2(\theta) \cdot i^2(t) \dots \quad (1) \end{aligned}$$

40

式(1)において、 $a_0(\theta)$ 、 $a_1(\theta)$ 、 $a_2(\theta)$ は電流*i*に対しては定数であるが、パラメータである残存容量に対しては変化するものである。なお以下においては、定数に付けた $(\theta)$ は省略し、単に $a_0$ 、 $a_1$ 、 $a_2$ と表記する。

## 【0017】

定数 $a_0$ は、放電電流*i*が0のときの端子電圧であるから、いわゆる無負荷開路電圧に相当するもので、電池の残存容量や、経年変化、周囲温度などに関係する。何故ならば、電池の反応が進むにつれて電解液の濃度が低下し、極板に反応物質が溜って実効的な極板面

50

積が減少するので、残存容量は減少する傾向にあるからである。一方、周囲温度が上昇すれば、反応が活性化するので無負荷開路電圧は上昇する。本発明者らの考察によれば、定数  $a_0$  は残存容量の減少に伴って減少する。

【0018】

定数  $a_1$  は、電流  $i$  との積が電圧降下を示すので、電池の内部電気抵抗に相当すると考えられる。残存容量の低下や経年変化にともなう電解液の濃度低下、極板中の不活性物質の蓄積、および極板の充填物質の脱落などによって、電圧降下は増加するので、電池の内部電気抵抗は増大する。したがって定数  $a_1$  の極性は負であり、絶対値は残存容量の減少に伴って増大する。また温度変化に対しては、定数  $a_0$  と同様に、周囲温度が上昇すれば反応が活性化するので、電圧降下を減少させる方向に作用する。

10

【0019】

定数  $a_2$  は、電流  $i$  の2乗との積が電圧降下に影響するので、電池の分極作用に依存するものと解され、やはり残存容量に関係する。本発明者らの考察によれば、定数  $a_2$  は、放電の初期と末期で比較的大きく、その中間では小さい。すなわち電池の残存容量が十分大きい時には定数  $a_2$  は幾分大きく、残存容量の減少に伴って徐々に小さくなり、残存容量がさらに少なくなると再び徐々に増加する傾向が見られた。

【0020】

以上のような各係数と電池の物理的特性との関連性、ならびに各係数の変化傾向に関する考察に基づき、この実施例では、各係数  $a_0 \sim a_2$  を残存容量に関する2次曲線で代表させ、それぞれつぎの(2)～(4)式で表わすことにした。

20

$$a_0 = b_{00} + b_{01} \cdot \quad + b_{02} \cdot \quad ^2 \quad \dots \quad (2)$$

$$a_1 = b_{10} + b_{11} \cdot \quad + b_{12} \cdot \quad ^2 \quad \dots \quad (3)$$

$$a_2 = b_{20} + b_{21} \cdot \quad + b_{22} \cdot \quad ^2 \quad \dots \quad (4)$$

そして、電池残存容量に対する各係数の具体的数値例を図2の(A)～(C)に示したようにした。もっとも、これは単なる1例であって適宜に変更可能であり、また明らかのように、特に電池の種類が変われば当然に変わるものである。またこれらの係数  $a_0 \sim a_2$  は、測定対象の電池について残存容量をパラメータとした電圧電流特性曲線が分かれば実験的に求め得るものである。

【0021】

上述のような電池モデルを用いて、図1の構成によって電池1の残存容量を計測または推定する。このために、ある時点( $t - T$ )から時点 $t$ までの離散的サンプリングデータを用い、推定理論によって時点 $t$ における残存容量を求める方法を以下に説明する。

30

【0022】

まず時点( $t - T$ )から時点 $t$ までの間の時点における電池1の実測端子電圧を $v(\quad)$ 、この時の残存容量を $\quad$ 、実測放電電流を $i(\quad)$ とし、これらを(1)式に代入して得られた端子電圧推定値を $V_{es}(\quad, \quad)$ とする。さらに、前記時点( $t - T$ )から時点 $t$ までのサンプリングデータを用い、非線形の最適化の方法を適用すると、つぎの(5)式の評価関数を最小にする $\quad$ を求めることに帰する。この式は、非線形の最適化の方法としてガウス・ニュートン法を適用した例である。

【0023】

40

【数5】

$$I(\theta) = \int_{t-T}^t \{v(\tau) - V_{es}(\tau, \theta)\}^2 d\tau \quad \dots \quad (5)$$

(5)式は $\quad$ に関して非線形であるので、端子電圧推定値 $V_{es}(\quad, \quad)$ をある基準値 $\quad$ のまわりでテラ展開し、2次以上の項を省略して線形化すると(6)式になり、

【0024】

【数6】

$$V_{es}(\tau, \theta) \doteq V_{es}(\tau, \theta_0) + [\partial V_{es} / \partial \theta]_{\theta = \theta_0} \cdot \delta \theta \quad \dots (6)$$

(6) 式を(5)式に代入すると(7)式の線形評価関数が得られる。

【0025】

【数7】

$$J(\delta \theta) = \int_{t-T}^t \{v(\tau) - V_{es}(\tau, \theta_0) - [\partial V_{es} / \partial \theta]_{\theta = \theta_0} \cdot \delta \theta\}^2 d\tau \quad \dots (7)$$

つぎに、 $\theta$  が変化したときに(7)式を最小にするような  $\delta \theta$ 、すなわち(7)式に関する偏微分係数を零にする  $\delta \theta$  を求める。この  $\delta \theta$  は、残存容量の基準値として先に仮定した初期値  $\theta_0$  に対する修正量であり、推定値として得られるので、以下では  $\delta \theta_{es}$  と表記する。修正量  $\delta \theta_{es}$  は、つぎの(8)式で表わされる。

【0026】

【数8】

$$\delta \theta_{es} = \left[ \int_{t-T}^t [\partial V_{es} / \partial \theta]_{\theta = \theta_0}^2 d\tau \right]^{-1} \times \left[ \int_{t-T}^t [\partial V_{es} / \partial \theta]_{\theta = \theta_0} \{v(\tau) - V_{es}(\tau, \theta_0)\} d\tau \right] \quad \dots (8)$$

修正量  $\delta \theta_{es}$  が求められたならば、そのときの  $\theta_0$  を  $\theta_{es}$  だけ修正(加減算)して新たな残存容量を仮定し、(1)式によって再度推定端子電圧  $V_{es}$  を演算する。そして前記推定端子電圧  $V_{es}$  ( ) と実測端子電圧  $v$  ( ) との差が十分小さくなるまで、換言すれば、仮定残存容量  $\theta_0$  が収束するまで(8)式の演算を繰り返す。このとき(k+1)番目の仮定残存容量  $\theta_0(k+1)$  は、残存容量修正部8において、k番目の仮定残存容量  $\theta_0(k)$  を  $\delta \theta_{es}(k)$  だけ修正することによって得られるので、つぎの(9)式で表わすことができる。

$$\theta_0(k+1) = \theta_0(k) + \delta \theta_{es}(k) \quad \dots (9)$$

(9)式の  $\theta_0(k+1)$  が収束したこと(例えば、比  $|\delta \theta_{es}(k) / \theta_0(k+1)|$  の値が予め決めた閾値よりも小さくなったこと)が収束判定部7で判定されると、出力制御部9が付勢され、そのときの仮定残存容量  $\theta_0(k+1)$  または  $\theta_0(k)$  が電池の残存容量を示す信号として出力される。

【0027】

図3は、図1の電池モデルのハード構成および上述した演算における信号の流れを示すブロック図である。その内容は上述の説明から自明であり、容易に理解できるので重複した説明は省略する。

【0028】

10

20

30

40

50

図4の(A)は、上記実施例の電池モデルを用いて推定した端子電圧 $V_{es}$ (点線)と実測した端子電圧 $v$ (実線)との比較を示す図であり、両曲線の対比の便宜上、同図の(B)にその一部を拡大して示している。これらの図から、本発明によれば、電池の物理的特性に基づいたモデルを用いたので、良好な精度で電池の残存容量を推定できること、および実測値には観測ノイズが重畳しているが推定値はこのようなノイズの影響を受けていないことが分かる。また、(5)式の評価関数は常に単峰性となり、初期値 $\theta_0$ をどのような値に設定しても、必ず真値に収束することが、本発明者らのシミュレーションによっても確認された。

【0029】

残存容量の温度補正

電池モデルに関して前述したように、電池の残存容量をパラメータとする放電電流対端子電圧の特性曲線は周囲温度に応じて変化する。すなわち、周囲温度が高いと電池反応が活性化するので、発生電圧が高くなり、曲線は全体として電圧軸の正方向に上昇する。また電池内部抵抗は温度が高いほど小さくなるので、内部抵抗に相当する曲線の傾斜は、温度が高いほど緩く、反対に温度が下がると急峻になり、したがって曲線は全体として立ってくる。

【0030】

以上の考察から、ある電池の摂氏0度における放電電流対端子電圧特性曲線が、例えば図5(A)に示すようなものであると仮定すると、この特性曲線を電圧軸(縦軸)および電流軸(横軸)の方向に平行移動し、かつ反時計方向に回転すれば、より高い温度、例えば摂氏30度における同電池の放電電流対端子電圧特性曲線に近似できることが分る。図5(B)は、図5(A)の曲線を平行移動および反時計方向回転して得られたものであり、実質上摂氏30度における同電池の放電電流対端子電圧特性曲線と見做すことができる。

【0031】

明らかのように、上記のような特性曲線の平行移動および回転は座標軸変換操作に他ならないから、ある電池の標準温度(例えば、30)における放電電流対端子電圧特性曲線(以下、標準曲線という)と、他の任意の温度での放電電流対端子電圧特性曲線を標準曲線に合致させるための座標変換の式とが知られてさえおれば、これと異なる周囲温度 $T$ での残存容量を上述した本発明の手法で容易に求めることができる。

【0032】

すなわち、周囲温度 $T$ での実測によって得られた放電電流および端子電圧を、予め準備された座標変換の式またはテ-ブルに代入して標準温度での座標系の値に変換し、変換後の放電電流および端子電圧値を標準曲線に適用して残存容量 $Q$ を求めれば、この値が周囲温度 $T$ での残存容量になる。

【0033】

このための座標変換の式は、周知のように、周囲温度 $T$ で実測された放電電流値を $I(T)$ 、端子電圧値を $V(T)$ とし、温度 $T$ での放電電流対端子電圧特性曲線を標準曲線に合致させるために必要な座標軸の回転角を $\alpha$ (ラジアン)、横軸(電流軸)および縦軸(電圧軸)方向の平行移動量をそれぞれ $x$ 、 $y$ とし、さらに標準曲線の座標上での放電電流および端子電圧の実測値をそれぞれ $I(30)$ 、 $V(30)$ とすれば、これらはつぎの(10)および(11)式で表わされる。

【0034】

$$I(30^\circ\text{C}) = \{I(T^\circ\text{C}) - y\} \cos \alpha + \{V(T^\circ\text{C}) - x\} \sin \alpha \quad \dots (10)$$

$$V(30^\circ\text{C}) = -\{I(T^\circ\text{C}) - y\} \sin \alpha + \{V(T^\circ\text{C}) - x\} \cos \alpha \quad \dots (11)$$

ここで、回転角 $\alpha$ 、横軸(電流軸)および縦軸(電圧軸)方向の平行移動量 $x$ 、 $y$ は、もちろん予め種々の温度について実測して求めることもできる。

10

20

30

40

50

## 【0035】

またはその代わりに、これら  $x$  および  $y$  が実質上温度に比例することに基づき、例えば2つの相異なる温度  $0$  および  $30$  における2種の特性格線が既知であり、かつこれら両曲線が  $\theta$  の座標軸回転、 $x(30 \cdot 0)$  および  $y(30 \cdot 0)$  の軸平行移動で重なると仮定すると、つぎの内挿式(12)~(14)によって、 $T$  に対する  $x$  および  $y$  の値を予め求めておいたり、その都度計算で求めたりすることができる。

$$\text{回転角 } \theta = \left\{ \frac{y(30 \cdot 0) - y(0 \cdot 0)}{30 \cdot 0 - 0 \cdot 0} \right\} (30 - T) \quad \dots (12)$$

$$\text{平行移動量 } x = \left\{ \frac{x(30 \cdot 0) - x(0 \cdot 0)}{30 \cdot 0 - 0 \cdot 0} \right\} (30 - T) \quad \dots (13)$$

$$\text{平行移動量 } y = \left\{ \frac{y(30 \cdot 0) - y(0 \cdot 0)}{30 \cdot 0 - 0 \cdot 0} \right\} (30 - T) \quad \dots (14)$$

以上のようにして、標準温度での放電電流対端子電圧特性格線および座標変換の式を準備しておくだけで、任意の周囲温度における残存容量を容易に求めることができる。 10

## 【0036】

残存容量の経時変化補正

以上においては、電池モデル5を代表する(1)式の各係数  $a_0$  ( )、 $a_1$  ( )、 $a_2$  ( )、したがって係数  $b_{00} \sim b_{22}$  は電池の残存容量のみに依存し、電流  $i$  に対しては変化しないものと仮定した。しかし厳密には、これら係数は電池の充放電回数に応じて経時的にも変化するので、残存容量をより厳密に監視するためには、前記各係数  $a_0 \sim a_2$ 、 $b_{00} \sim b_{22}$  を経時的に(充放電回数に応じて)補正することが望ましい。

## 【0037】

一般に知られているように、電池の残存容量は充電を完了して使用を開始した時の容量から、放電電流の時間積分値に大きく依存して減少する。既知の電流積算方式の残存容量計は、このことを利用したものである。 20

## 【0038】

しかし厳密には、残存容量は放電電流のあり方によっても影響され、大電流による急放電の場合の方が小電流による緩放電の場合に較べて小さくなる。その主な原因は、放電電流によるジュール熱損失  $R i^2$  に相当するエネルギー損失を生じるためと考えられる。したがって、残存容量の減少速度は放電電流  $i$  に比例すると共に、その比例係数もまた放電電流に比例すると推測でき、

$$\frac{dQ}{dt} = f(i) \cdot i$$

と表わすことができる。 30

## 【0039】

ここで上記  $f(i)$  は、厳密には、一般的な多項式

$$f(i) = C_1 + C_2 \cdot i + \dots + C_n \cdot i^n + \dots$$

ただし、 $C_1$ 、 $C_2 \dots C_n$  は定数

であるから、これを上式に代入すると、

$$\frac{dQ}{dt} = C_1 \cdot i + C_2 \cdot i^2 + \dots + C_n \cdot i^{n+1} + \dots$$

となる。

## 【0040】

しかし、電池の物理的性質に対応させ易い最初の2項、すなわち電流積分値(アンペア時間)に対応する  $C_1 \cdot i$  の項および、電流の放電時の電流二乗損失に相当するエネルギー積分値(ワット時間)に対応する  $C_2 \cdot i^2$  を用いれば、実用上十分な精度で残存容量を把握できると考えられる。すなわち、 40

$$\frac{dQ}{dt} = C_1 \cdot i + C_2 \cdot i^2$$

とすれば、実用上は十分である。上記の関係式を積分すると次の(15)式が得られる。

## 【0041】

【数9】

$$\theta = C_0 - \int (C_1 \cdot i + C_2 \cdot i^2) dt \quad \dots (15)$$

(15)式において、定数項 $C_0$ は使用(放電)開始時の残存容量であり、積分項はそれからの電池消費容量と見ることができる。(15)式の を前掲の(2)~(4)式に代入し、得られた係数 $a_0 \sim a_2$ をさらに(1)式に代入して離散形で表わすと、時点 $j$ での推定端子電圧 $V_{dj}$ を表わす式として下記の(16)式が得られる。(16)式による推定端子電圧 $V_{dj}$ は、前掲(1)式で定義された電池モデルの各係数 $a_0 \sim a_2$ が(2)~(4)式で残存容量 の関数として定義されたのに対し、電流 $i$ のみの関数として定義される点で相違する。(1)式の は、前述のように残存容量そのものであったが、(15)式の は、明らかなように、これと幾分その定義を異にするので、以下の説明ではこれを別の記号 で表わし、またその係数も(2)~(4)式の $b_{00} \sim b_{22}$ と区別して $d_{00} \sim d_{22}$ で表わすことにする。

10

【0042】

【数10】

$$\begin{aligned}
 V_{dj} = & d_{00} + d_{01} \left[ C_0 + \sum_{k=0}^j (C_1 \cdot i_k + C_2 \cdot i_k^2) \right] \\
 & + d_{02} \left[ C_0 + \sum_{k=0}^j (C_1 \cdot i_k + C_2 \cdot i_k^2) \right]^2 \\
 & + \left\{ d_{10} + d_{11} \left[ C_0 + \sum_{k=0}^j (C_1 \cdot i_k + C_2 \cdot i_k^2) \right] \right. \\
 & \quad \left. + d_{12} \left[ C_0 + \sum_{k=0}^j (C_1 \cdot i_k + C_2 \cdot i_k^2) \right]^2 \right\} i_j \\
 & + \left\{ d_{20} + d_{21} \left[ C_0 + \sum_{k=0}^j (C_1 \cdot i_k + C_2 \cdot i_k^2) \right] \right. \\
 & \quad \left. + d_{22} \left[ C_0 + \sum_{k=0}^j (C_1 \cdot i_k + C_2 \cdot i_k^2) \right]^2 \right\} i_j^2
 \end{aligned}$$

20

30

40

… (16)

ここで、 $i_k$ は時点 $k$ (ただし、 $0 \leq k \leq j$ )での実測電流値、また $i_j$ は時点 $j$ での実測電流値である。

【0043】

前記(16)式中の係数 $d_{00} \sim d_{22}$ および $C_0 \sim C_2$ は、前述の(1)式において係数 $a_0 \sim a_2$ を既知として残存容量 を求めたときと同様に、時点 $j$ までの実測電流値 $i_j$ 、および時点 $j$ での電圧値 $v_j$ を用いて、上記(16)式の $V_{dj}$ に推定理論を適用して求めることができる。具体的には、電圧の推定値 $V_{dj}$ と実測値 $v_j$ の差の二乗和を $n$ 個のデ -

50

タ組について求め、これを評価関数  $I ( d_{00} \sim d_{22}、 C_0 \sim C_2 )$  とする。評価関数  $I$  はつぎの ( 17 ) 式で表わされる。

【 0 0 4 4 】

【 数 1 1 】

$$I ( d_{00}、 d_{01} \dots C_0、 C_1、 C_2 ) = \sum_{j=0}^n ( V_{dj} - V_j )^2$$

… ( 17 )

10

( 17 ) 式に  $v_j$  (  $j$  時点での実測電圧値 ) および前記 ( 16 ) 式の電圧推定値  $V_{dj}$  を代入して得られる評価関数  $I$  が最小になるような係数  $d_{00} \sim d_{22}、 C_0 \sim C_2$  を求める。このためには、上記評価関数を各パラメータ  $d_{00} \sim d_{22}、 C_0 \sim C_2$  について偏微分して得られる各式を 0 と置くと、パラメータ数と同数の連立方程式が得られるので、これを解いて各パラメータを求める。

【 0 0 4 5 】

具体的には、先に ( 1 ) ないし ( 8 ) 式に関して行なったのと同じ手法を適用して各パラメータ ( 係数 ) の初期値からの修正量を求める。修正量が十分小さくなったとき、各パラメータが収束したと判断してそれぞれのパラメータすなわち係数  $d_{00} \sim d_{22}、 C_0 \sim C_2$  を推定することができる。このようにして求めた係数  $C_0 \sim C_2$  を ( 15 ) 式に代入すると、残存容量を表わす指標 を求めることもできる。

20

【 0 0 4 6 】

以下に、上述の係数  $d_{00} \sim d_{22}、 C_0 \sim C_2$  を用いて前記定数  $a_0 \sim a_2、 b_{00} \sim b_{22}$  の経年変化を補正するための具体的手法を説明する。電池の使用に際し、充放電の各サイクルごとに、前述の方法で係数  $d_{00} \sim d_{22}、 C_0 \sim C_2$  を求め、第  $i$  回目 ( ただし、  $1 \leq i \leq n$  ) の充放電サイクルで得られた係数の推定値を  $d_{00}^{(i)} \sim d_{22}^{(i)}、 C_0^{(i)} \sim C_2^{(i)}$  で表わす。1 回目の充放電サイクルで得られた各係数  $d_{00}^{(1)} \sim d_{22}^{(1)}、 C_0^{(1)} \sim C_2^{(1)}$  に対する、 $n$  回目の充放電サイクルでの各係数  $d_{00}^{(n)} \sim d_{22}^{(n)}、 C_0^{(n)} \sim C_2^{(n)}$  の比  $d_{00}^{(n)} \sim d_{22}^{(n)}、 C_0^{(n)} \sim C_2^{(n)}$ 、またはこれらの差、一般的には、 $n$  回目と  $( n - r )$  回目との差または比などを演算して監視すれば、これらの値の変化状態 ( 例えば、前記差あるいは比が予め定めた閾値を超えたこと ) からパラメータすなわち電池モデルの経年変化を知ることができる。また変化状態が著しいとき ( 異常に早い、大幅であるなどのとき ) は、電池の異常と判定することもできる。

30

【 0 0 4 7 】

前記のような複数の係数の変化状態の判定のためには、例えば、株式会社日科技連出版社 1989 年 4 月 10 日発行、奥野忠一他著『多変量解析法』第 278 頁 ( 多変数による判別 )、東京図書株式会社 1989 年 11 月 30 日発行、養谷千鳳彦著『統計的仮説検定』145 頁 ( 推定と検定のはなし )、株式会社培風館昭和 36 年 9 月 30 日発行、浅井ノ村上訳『初等統計学』158 頁 ( 仮説の検定 ) などに詳述されている手法を利用することができる。

40

【 0 0 4 8 】

このような手法によって、 $n$  回目の放電で電池モデルに修正を要するような経年変化が生じたと判定されたときは、前記 ( 2 ) 式のパラメータすなわち係数  $b_{00} \sim b_{22}$  を修正し、電池モデル 5 を代表する ( 1 ) 式の各係数  $a_0 ( )、 a_1 ( )、 a_2 ( )$  を修正する。そのための具体的手法の 1 例は次の通りである。

【 0 0 4 9 】

新規に使用を開始する初期状態での電池モデルのパラメータは既知であるので、これらを  $b_{00}^{(1)} \sim b_{22}^{(1)}$  で表わす。一方、 $i$  回目 ( ただし、  $1 \leq i \leq n$  ) の充放電サイクルにおけるパラメータ  $d_{00}^{(i)} \sim d_{22}^{(i)}$  は上述のようにして求められる。まず初期状態での

50

パラメ - タ b に対する 1 回目の放電サイクルでのパラメ - タ d の比 k を下記の ( 1 8 ) 式のように求めておくと共に、1 回目と n 回目の放電サイクルでの各パラメ - タ d の比 をつぎの ( 1 9 ) 式のように求める。

$$k_{00} = d_{00}^{(1)} / b_{00}^{(1)} \sim k_{22} = d_{22}^{(1)} / b_{22}^{(1)} \dots (18)$$

$$k_{00}^{(n)} = d_{00}^{(n)} / d_{00}^{(1)} \sim k_{22}^{(n)} = d_{22}^{(n)} / d_{22}^{(1)} \dots (19)$$

( n + 1 ) 回目以降の放電サイクルの残存容量計測に用いるパラメ - タ  $b_{00}^{(n)} \sim b_{22}^{(n)}$  は次の ( 2 0 ) 式で得られる。

【 0 0 5 0 】

【 数 1 2 】

$$\left. \begin{aligned} b_{00}^{(n)} &= b_{00}^{(1)} \times \alpha_{00}^{(n)} / k_{00} \\ b_{01}^{(n)} &= b_{01}^{(1)} \times \alpha_{01}^{(n)} / k_{01} \\ &\dots \\ &\dots \\ b_{22}^{(n)} &= b_{22}^{(1)} \times \alpha_{22}^{(n)} / k_{22} \end{aligned} \right\} \dots (20)$$

10

このようにして得られたパラメ - タ  $b_{00}^{(n)} \sim b_{22}^{(n)}$  を用いて電池モデルを修正し、これに基づいてその後の残存容量を演算すれば経年変化の影響のない、より正確な残存容量の監視が可能となる。

20

【 0 0 5 1 】

以上では、測定対象の電池の残存容量をパラメ - タとして、その放電電流および端子電圧の関係を数式化した電池モデルを用いる際に、前記放電電流の実測値を前記電池モデルの数式に代入してその端子電圧の推測値を演算し、前記推測端子電圧値の実測電圧に対する偏差に基づいて、前記偏差が小さくなるようにパラメ - タである残存容量を修正し、前記偏差が十分に小さくなってパラメ - タが収束した時、これを求める残存容量として出力するようにした。

【 0 0 5 2 】

しかし明らかなように、前記電池モデルの数式に、実測電流ではなくて、実測端子電圧の値を代入して放電電流の推測値を求め、推測放電電流値の実測値に対する偏差を 0 に近づけるようにして残存容量を求めることもできる。このために用いる数式は、前述の ( 1 ) , ( 5 ) ~ ( 8 ) 式において、電圧と電流とを入れ替えれば良いことは自明であるので、その詳細説明は省略し、電流推定値  $I_{es}$  およびパラメ - タ修正量  $\theta_{es}$  がそれぞれ次の ( 2 1 ) , ( 2 2 ) 式で求められることを示すに止める。

30

$$I_{es}(t, \theta) = p_0(\theta) + p_1(\theta) \cdot v(t) + p_2(\theta) \cdot v^2(t) \dots (21)$$

ここで、 $p_0 \sim p_2$  は  $\theta$  の関数である。

【 0 0 5 3 】

【 数 1 3 】

$$\begin{aligned} \delta \theta_{es} &= \left[ \int_{t-T}^t \left[ \frac{\partial I_{es}}{\partial \theta} \right]_{\theta = \theta_0}^2 d\tau \right]^{-1} \\ &\times \left[ \int_{t-T}^t \left[ \frac{\partial I_{es}}{\partial \theta} \right]_{\theta = \theta_0} \{ i(\tau) - I_{es}(\tau, \theta_0) \} d\tau \right] \dots (22) \end{aligned}$$

40

さらに、温度変化や経時変化の影響を考慮した場合も、同様に類推して前述の補正手法を適用できることは明らかであろう。また以上では、電池モデルを数式化した例に付いて説明したが、その代わりにテ - プル ( グラフ ) 化したモデルを用いても同様の残存容量計を構成できることは、容易に理解されるであろう。

【 0 0 5 4 】

【 発明の 効果 】

本発明によれば、電池モデルをその物理的特性と関連付けたので、電池の残存容量をより正確にしかもリアルタイムで監視することができ、さらに温度変化や経年変化の影響を加味した残存容量の監視も可能となるのみならず、異常状態の検知も可能である。また、電池の残存容量がデジタル量として演算できるので、これを遠方の中央装置に伝送して集中管理することも容易になる。

10

【 図面の 簡単な 説明 】

【 図 1 】 本発明の原理的構成を示すブロックである。

【 図 2 】 本発明の 1 実施例におけるモデルの電池残存容量に対する各係数の具体的数値例を示す図である。

【 図 3 】 図 1 の電池モデルのハ - ド構成および信号の流れを示すブロック図である。

【 図 4 】 上記実施例の電池モデルを用いて推定した端子電圧端子電圧と実測した端子電圧との比較を示す図である。

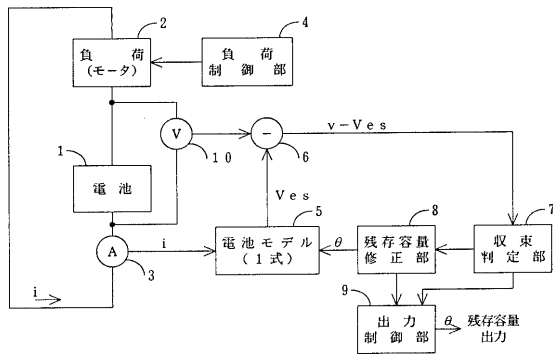
【 図 5 】 電池の電圧電流特性の周囲温度による変化と、温度変化による座標軸変換の関係を示す図である。

20

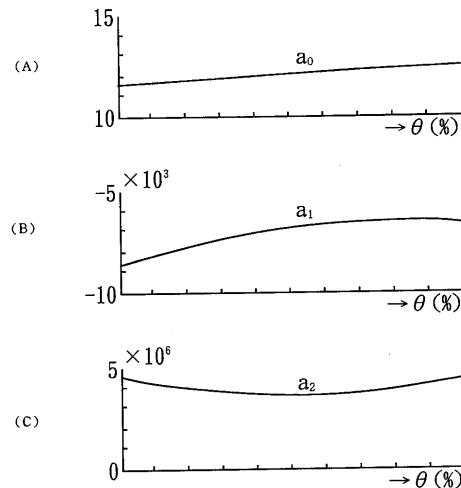
【 符号の 説明 】

1 ... 電池    2 ... 負荷    4 ... 負荷制御部    5 ... 電池モデル    7 ... 収束判定部    8 ... 残存容量修正部  
3 ... 電流計    6 ... 減算部    9 ... 出力制御部

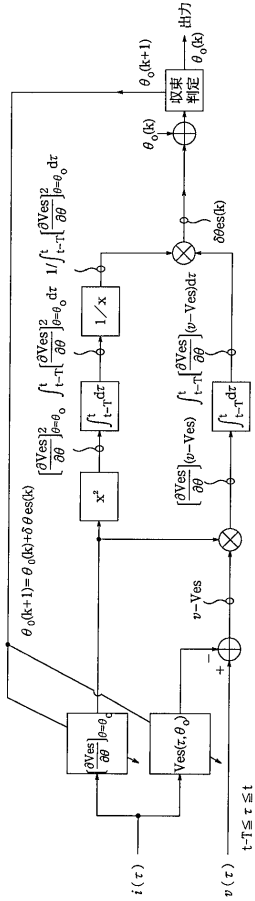
【 図 1 】



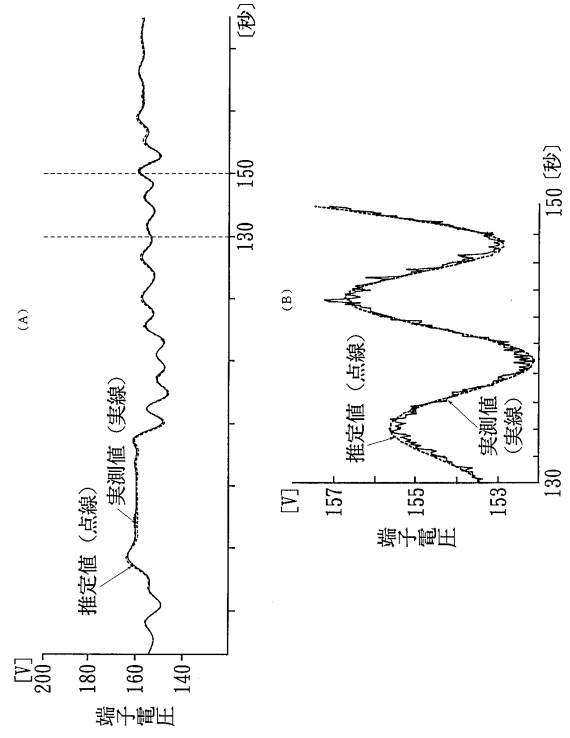
【 図 2 】



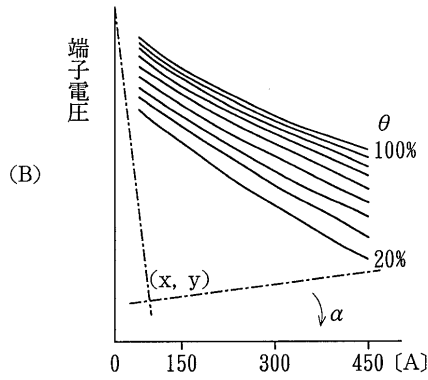
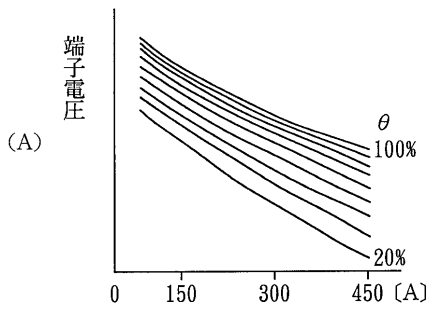
【 図 3 】



【 図 4 】



【 図 5 】



---

フロントページの続き

(72)発明者 豊田 幸裕

福岡県福岡市南区清水4丁目19番18号 九州電機製造株式会社内

審査官 天野 斉

(56)参考文献 実開平04-115084(JP,U)

(58)調査した分野(Int.Cl.<sup>7</sup>, DB名)

H01M 10/42-48

G01R 31/36