

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4038788号
(P4038788)

(45) 発行日 平成20年1月30日(2008.1.30)

(24) 登録日 平成19年11月16日(2007.11.16)

(51) Int. Cl. F I
 HO 1 M 10/48 (2006.01) HO 1 M 10/48 Z H V P
 GO 1 R 31/36 (2006.01) GO 1 R 31/36 A

請求項の数 7 (全 11 頁)

(21) 出願番号	特願2002-47209 (P2002-47209)	(73) 特許権者	591198364
(22) 出願日	平成14年2月22日(2002.2.22)		アクソンデータマシン株式会社
(65) 公開番号	特開2003-249271 (P2003-249271A)		石川県河北郡津幡町字南中条チ85番地3
(43) 公開日	平成15年9月5日(2003.9.5)	(74) 代理人	100090712
審査請求日	平成17年1月6日(2005.1.6)		弁理士 松田 忠秋
		(72) 発明者	山崎 努
			石川県河北郡津幡町字南中条チ85番地3
			アクソンデータマシン株式会社内
		審査官	前田 寛之

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 バッテリーの残存容量判定方法と、その装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

稼働中のバッテリーの残存容量を自動判定するに際し、バッテリーの劣化状態の判定論理を第1のニューラルネットワークに学習させ、バッテリーの残存容量の判定論理を第2のニューラルネットワークに学習させ、バッテリーの稼働パラメータとしての電圧、電流、内部インピーダンス、温度に基づき、第1のニューラルネットワークによってバッテリーの劣化状態を判定し、バッテリーの稼働パラメータと第1のニューラルネットワークの判定結果とに基づき、第2のニューラルネットワークによってバッテリーの残存容量を判定することを特徴とするバッテリーの残存容量判定方法。

【請求項2】

バッテリーの稼働パラメータとしての電圧、電流、内部インピーダンス、温度を計測する計測ユニットと、バッテリーの劣化状態の判定論理を学習させた第1のニューラルネットワークと、バッテリーの残存容量の判定論理を学習させた第2のニューラルネットワークとを備えてなり、前記第1のニューラルネットワークは、前記計測ユニットからの稼働パラメータに基づいてバッテリーの劣化状態を判定し、前記第2のニューラルネットワークは、前記計測ユニットからの稼働パラメータと前記第1のニューラルネットワークの判定結果とに基づいてバッテリーの残存容量を判定することを特徴とするバッテリーの残存容量判定装置。

【請求項3】

前記第1、第2のニューラルネットワークは、それぞれ応答関数をシグモイド関数とす

る 3 層フィードフォワードネットワークとし、学習則としてバックプロパゲーション法を適用することを特徴とする請求項 2 記載のバッテリーの残存容量判定装置。

【請求項 4】

前記第 1 のニューラルネットワークは、出力層のニューロン数を 3 に設定することを特徴とする請求項 3 記載のバッテリーの残存容量判定装置。

【請求項 5】

前記第 2 のニューラルネットワークは、出力層のニューロン数を 10 に設定することを特徴とする請求項 3 または請求項 4 記載のバッテリーの残存容量判定装置。

【請求項 6】

前記第 1、第 2 のニューラルネットワークは、それぞれの中間層のニューロン数を 20 ~ 80 に設定することを特徴とする請求項 3 ないし請求項 5 のいずれか記載のバッテリーの残存容量判定装置。

10

【請求項 7】

前記計測ユニットは、バッテリーの稼動パラメータを周期的にサンプリングして計測することを特徴とする請求項 2 ないし請求項 6 のいずれか記載のバッテリーの残存容量判定装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

この発明は、バッテリーの稼動パラメータを計測し、バッテリーの劣化状態、残存容量をリアルタイムに適確に自動判定することができるバッテリーの残存容量判定方法と、その装置に関する。

20

【0002】

【従来の技術】

人力による駆動力を電氣的に補助する電動自転車や、エンジンによる駆動力を電氣的に補助する電気自動車（いわゆるハイブリッドカー）が普及しつつある。

【0003】

一方、電動自転車や電気自動車に使用されるバッテリーは、密閉構造のシール形鉛蓄電池が主流となって来ている。シール形鉛蓄電池は、液漏れがないので、設置方向を問わず、メンテナンスフリーの運転が可能であるからである。

30

【0004】

【発明が解決しようとする課題】

かかる従来技術によるときは、シール形鉛蓄電池は、電解液の比重測定が不可能であるため、その劣化状態や残存容量を判定することが容易でないという問題があった。なお、バッテリーの劣化状態や残存容量の判定ができないと、バッテリーの交換時期や充電時期を誤るおそれがあり、システムの円滑な稼動を阻害する可能性がある。

【0005】

そこで、この発明の目的は、かかる従来技術の問題に鑑み、ニューラルネットワークを使用することによって、稼動中のバッテリーの劣化状態、残存容量をリアルタイムに適確に自動判定することができるバッテリーの残存容量判定方法と、その装置を提供することにある。

40

【0006】

【課題を解決するための手段】

かかる目的を達成するためのこの出願に係る第 1 発明の構成は、稼動中のバッテリーの残存容量を自動判定するに際し、バッテリーの劣化状態の判定論理を第 1 のニューラルネットワークに学習させ、バッテリーの残存容量の判定論理を第 2 のニューラルネットワークに学習させ、バッテリーの稼動パラメータとしての電圧、電流、内部インピーダンス、温度に基づき、第 1 のニューラルネットワークによってバッテリーの劣化状態を判定し、バッテリーの稼動パラメータと第 1 のニューラルネットワークの判定結果とに基づき、第 2 のニューラルネットワークによってバッテリーの残存容量を判定することをその要旨とする。

50

【 0 0 0 7 】

第2発明の構成は、バッテリーの稼動パラメータとしての電圧、電流、内部インピーダンス、温度を計測する計測ユニットと、バッテリーの劣化状態の判定論理を学習させた第1のニューラルネットワークと、バッテリーの残存容量の判定論理を学習させた第2のニューラルネットワークとを備えてなり、第1のニューラルネットワークは、計測ユニットからの稼動パラメータに基づいてバッテリーの劣化状態を判定し、第2のニューラルネットワークは、計測ユニットからの稼動パラメータと第1のニューラルネットワークの判定結果とに基づいてバッテリーの残存容量を判定することをその要旨とする。

【 0 0 0 8 】

なお、第1、第2のニューラルネットワークは、それぞれ応答関数をシグモイド関数とする3層フィードフォワードネットワークとし、学習則としてバックプロパゲーション法を適用することができる。

10

【 0 0 0 9 】

また、第1のニューラルネットワークは、出力層のニューロン数を3に設定してもよく、第2のニューラルネットワークは、出力層のニューロン数を10に設定してもよく、第1、第2のニューラルネットワークは、それぞれの中間層のニューロン数を20～80に設定してもよい。

【 0 0 1 0 】

さらに、計測ユニットは、バッテリーの稼動パラメータを周期的にサンプリングして計測することができる。

20

【 0 0 1 1 】

【作用】

かかる第1発明の構成によるときは、バッテリーの稼動パラメータに基づいて、第1のニューラルネットワークによってバッテリーの劣化状態を判定し、第2のニューラルネットワークによってバッテリーの残存容量を判定することができる。ただし、第1、第2のニューラルネットワークは、それぞれ事前にバッテリーの劣化状態、残存容量の判定論理を学習させるものとする。ちなみに、バッテリーの劣化状態、残存容量は、一般にバッテリーの電圧、電流、内部インピーダンス、温度をパラメータとして判定することができるが、それぞれのパラメータの相関関係が複雑であり、数式化が困難である。そこで、ニューラルネットワークに対し、さまざまな劣化状態、残存容量のバッテリーのパラメータを組合せパターンとして入力させることにより、バッテリーの劣化状態、残存容量の判定論理を個別に学習させ、学習済みのニューラルネットワークにバッテリーの稼動パラメータを入力することにより、稼動中のバッテリーの劣化状態、残存容量をリアルタイムに自動判定することができる。

30

【 0 0 1 2 】

なお、バッテリーの残存容量は、バッテリーのパラメータに加えて、バッテリーの劣化状態によっても大きく左右されるから、ニューラルネットワークは、劣化状態判定用の第1のニューラルネットワークと、第1のニューラルネットワークの判定結果を利用する残存容量判定用の第2のニューラルネットワークとを準備するものとする。また、ニューラルネットワークの学習の際には、バッテリーの実際の稼働状況を模擬するようにバッテリーの負荷状態を変化させ、バッテリーのパラメータの組合せパターンを時系列的にサンプリングして、十分多くのデータを集積する。ただし、データ集積に使用するバッテリーは、自動判定の対象となるバッテリーと同一メーカー、同一形式のものについて、種々の劣化状態、残存容量のものを集めることが好ましい。

40

【 0 0 1 3 】

第2発明の構成によるときは、劣化状態判定用の第1のニューラルネットワーク、残存容量判定用の第2のニューラルネットワークは、それぞれバッテリーの劣化状態、残存容量の判定論理を学習済みであるから、計測ユニットからの稼動パラメータを入力することにより、稼動中のバッテリーの劣化状態、残存容量をリアルタイムに自動判定することができる。

【 0 0 1 4 】

50

第1、第2のニューラルネットワークは、3層フィードフォワードネットワークとし、各層のニューロンの応答関数をシグモイド関数とし、学習則としてバックプロパゲーション法を適用することによって、計算手法が確立されているたとえば最急降下法による前向き演算、後向き演算を実行して劣化状態、残存容量の各判定論理を速やかに学習させることができる。ただし、各ニューラルネットワークの入力層には、計測ユニットからの稼動パラメータなどを実数0～1に正規化して与えるものとする。各ニューラルネットワークを学習させる際のバッテリーのパラメータなどについても、全く同様である。

【0015】

第1のニューラルネットワークの出力層のニューロン数を3に設定すれば、出力層の各ニューロンをバッテリーの劣化状態の「正常」、「注意」、「劣化」の3段階に対応させることができる。ただし、劣化状態の「正常」、「注意」、「劣化」とは、満充電したバッテリーの放電終止電圧までの放電容量が新品のバッテリーのたとえば80%超過、60～80%、60%未満の場合をいう。

10

【0016】

第2のニューラルネットワークの出力層のニューロン数を10に設定すれば、出力層の各ニューロンに対し、バッテリーの残存容量の0～100%を10%ごとの帯域に分割して対応させることができる。

【0017】

第1、第2のニューラルネットワークは、それぞれの中間層のニューロン数を20～80に設定することが好ましい。ニューロン数が20未満では、バッテリーの劣化状態、残存容量の判定精度が実用レベルを割り込むおそれがあり、80超過では、学習や判定の際の計算時間が過大になるからである。なお、一般に、中間層のニューロン数は、約50が最適である。ニューロン数50以上としても、計算時間が増大するだけで判定精度の顕著な向上を期待することができないからである。

20

【0018】

計測ユニットは、バッテリーの稼動パラメータを周期的にサンプリングして計測することによって、第1のニューラルネットワークに対して稼動パラメータの時系列的な組合せパターンを入力し、第1のニューラルネットワークによるバッテリーの劣化状態の判定精度を一層向上させることができる。

【0019】

計測ユニットは、バッテリーの内部インピーダンスを計測することにより、劣化の進行によって増大する内部インピーダンスの影響を劣化状態、残存容量の判定結果に適切に反映させることができる。なお、このときの第1、第2のニューラルネットワークは、それぞれの判定論理の学習の際にも、バッテリーのパラメータとして内部インピーダンスを入力させることは、いうまでもない。

30

【0020】

【発明の実施の形態】

以下、図面を以って発明の実施の形態を説明する。

【0021】

バッテリーの残存容量判定装置10は、第1のニューラルネットワーク11、第2のニューラルネットワーク12に対し、計測ユニット13を前置してなる(図1)。なお、第1、第2のニューラルネットワーク11、12の出力には、それぞれ表示手段11a、12aが接続されている。

40

【0022】

稼動中のバッテリーBは、コントローラCを介し、負荷としてのモータMに給電している。ただし、バッテリーBは、図示しない発電機、充電器を介し、随時フローティング充電されていてもよい。

【0023】

計測ユニット13は、稼動中のバッテリーBの稼動パラメータとして、バッテリーBの電圧V、電流I、内部インピーダンスZ、温度Tを周期的にサンプリングして計測することがで

50

きる。なお、バッテリーBの内部インピーダンスZは、たとえばAC 1kHz、100mAの測定信号をバッテリーBに加えて計測する。また、温度Tは、バッテリーBの内部温度に代えて、表面温度または周囲温度を使用してもよい。

【0024】

計測ユニット13からの稼動パラメータは、第1、第2のニューラルネットワーク11、12に並列に分岐入力されている。また、第1のニューラルネットワーク11の出力は、バッテリーBの劣化状態Dとして、表示手段11a、第2のニューラルネットワーク12に分岐入力されており、第2のニューラルネットワーク12の出力は、バッテリーBの残存容量Rとして、表示手段12aに入力されている。

【0025】

第1のニューラルネットワーク11は、十分多数のニューロンを備える入力層L1と、ニューロン数50の中間層L2と、ニューロン数3の出力層L3とを有する3層フィードフォワードネットワークである(図2)。なお、各ニューロンの応答関数は、シグモイド関数とし、ネットワークの学習則は、バックプロパゲーション法を適用するものとする。

【0026】

入力層L1の各ニューロンには、計測ユニット13によって周期的にサンプリングして計測されるバッテリーBの稼動パラメータ、すなわち電圧V、電流I、内部インピーダンスZ、温度Tがそれぞれ実数0~1に正規化され、時刻t、(t-1)、(t-2)...ごとの時系列的な組合せパターンとして入力されている。ただし、 Δt は、計測ユニット13のサンプル周期であり、図2の符号13a、13a...は、サンプル周期 Δt を表わす仮想の時間遅れである。また、出力層L3の各ニューロンは、バッテリーBの劣化状態Dの「正常」、「注意」、「劣化」に対応付けられている。そこで、表示手段11aは、第1のニューラルネットワーク11によるバッテリーBの劣化状態Dの判定結果を「正常」、「注意」、「劣化」に区分して表示することができる。

【0027】

第2のニューラルネットワーク12は、ニューロン数5の入力層L1と、ニューロン数50の中間層L2と、ニューロン数10の出力層L3とを有する3層フィードフォワードネットワークである(図3)。ただし、各ニューロンの応答関数、ネットワークの学習則は、第1のニューラルネットワーク11のそれらと同一である。入力層L1の各ニューロンには、時刻tにおけるバッテリーBの稼動パラメータと、第1のニューラルネットワーク11からのバッテリーBの劣化状態Dとがそれぞれ実数0~1に正規化されて入力されており、出力層L3の各ニューロンには、バッテリーBの残存容量R=0~100%が10%ごとの帯域に分割されて対応付けられている。そこで、表示手段12aは、第2のニューラルネットワーク12によるバッテリーBの残存容量R(%)の判定結果を10%ごとに区分して表示することができる。

【0028】

第1、第2のニューラルネットワーク11、12には、それぞれバッテリーBの劣化状態D、残存容量Rの判定論理を学習させる必要がある。ただし、以下の説明において、バッテリーBは、電動自転車に使用するアメリカHawker Batteries社製シール形鉛蓄電池CYCLON X(12V、5Ah)とする。なお、このバッテリーの定格容量0.5A×10h=5.0Ah、満充電電圧13.8V、放電終止電圧10.8Vである。

【0029】

バッテリーBと同一メーカー、同一形式であって、劣化状態Dが「正常」、「注意」、「劣化」相当のバッテリーを各50個、10個、10個、計70個を用意し、稼動中のバッテリーBの負荷状態を模擬した変動負荷を印加して(図4)、バッテリーのパラメータ、すなわち電圧V、電流I、内部インピーダンスZ、温度Tの組合せパターンを時系列的にサンプリングして計測し、第1、第2のニューラルネットワーク11、12の各入力層L1に与えるとともに、「正常」、「注意」、「劣化」の劣化状態Dと、各バッテリーの残存容量R(%)とを教師信号として第1、第2のニューラルネットワーク11、12の各出力層L3に与え、第1、第2のニューラルネットワーク11、12を学習させた。ただし、図4は、

10

20

30

40

50

時刻 t の経過に対する電流 I (A) の変化パターンを示し、同図において、 $T1 = T2 = 30$ 秒、 $T3 = 90$ 秒、 $T4 = 6$ 秒、 $T = T1 + T2 + T3 = 150$ 秒である。また、図 5 は、3 秒ごとに通電、無通電を繰り返す電流 I の各通電サイクルにおける電圧 V 、電流 I 、内部インピーダンス Z 、温度 T の計測タイミングを示している。

【0030】

図 6 は、このようにして 3 秒ごとにパラメータをサンプリングして集積した場合、サンプリング数 n に対する「正常」なバッテリーの電圧 V 、内部インピーダンス Z の変化の一例である。ただし、同図には、電流 I の通電パターンも、負極性にして併せて図示されている。図 6 によれば、サンプリング数 $n = 1500$ において、内部インピーダンス Z が過大になり、電圧 V が放電終止電圧に到達している。そこで、劣化状態 D が「正常」なバッテリーの理論的な残存容量 R (%) は、サンプリング数 n に対し、図 7 のように規定することができる。また、劣化状態 D が「注意」、「劣化」のバッテリーの残存容量 R (%) は、充電電流 0.5 A にて満充電になるまでに要する時間 (h) を測定し、電流 0.5 A における定格容量 10 h に対する割合を求めて実測することができる。

10

【0031】

以上のようにしてバッテリー B の劣化状態 D の判定論理を学習させた第 1 のニューラルネットワーク 11 を使用して、稼働中のバッテリー B の劣化状態 D を判定した (図 8)。ただし、同図において、「単発」とは、図 2 において、バッテリー B の電圧 V 、電流 I 、内部インピーダンス Z 、温度 T の稼働パラメータとして、特定の時刻 t における 1 組の組合せパターンのみを使用した場合を示し、「15 秒間」、「30 秒間」とは、計測ユニット 13 のサンプル周期 = 3 秒として、それぞれ 15 秒間、30 秒間における稼働パラメータの連続的な 5 組、10 組の組合せパターンを使用した場合を示している。図 8 によれば、第 1 のニューラルネットワーク 11 は、バッテリー B の稼働パラメータを 30 秒間に亘って周期的にサンプリングすることにより、稼働中のバッテリー B の劣化状態 D を殆ど誤りなく判定可能であることがわかる。

20

【0032】

バッテリー B の残存容量 R の判定論理を学習させた第 2 のニューラルネットワーク 12 による稼働中のバッテリー B の判定試験結果を図 9 に示す。なお、このとき、第 2 のニューラルネットワーク 12 には、第 1 のニューラルネットワーク 11 によるバッテリー B の劣化状態 D の判定結果が併せ入力されている (図 1、図 3)。図 9 において、横軸は、3 秒ごとのサンプリング数 n を示し、縦軸は、残存容量 R (%) を示している。また、同図 (A)、(B)、(C) は、それぞれ劣化状態 D が「正常」、「注意」、「劣化」のバッテリー B についての試験結果であり、影付きのパターンは、それぞれのバッテリー B の理論的な残存容量 R (%) を示し、実線は、第 2 のニューラルネットワーク 12 による判定結果を示す。

30

【0033】

なお、図 9 の残存容量 R (%) は、第 2 のニューラルネットワーク 12 に入力される稼働パラメータとしての電流 $I = 5$ A のとき、第 2 のニューラルネットワーク 12 によって算出された残存容量 R_c (%) を電流 $I = 5$ A における残存容量 R (%) に換算して示している (図 10)。たとえば、稼働パラメータとしての電流 $I = 7.5$ A のとき、第 2 のニューラルネットワーク 12 からの残存容量 $R_c = 20$ % であると、電流 $I = 5$ A における残存容量 $R = 30$ % である。

40

【0034】

図 9 によれば、「正常」なバッテリー B については、その容量の全領域について十分正確な残存容量 R (%) の判定が可能である。一方、「注意」、「劣化」のバッテリー B については、それぞれサンプリング数 $n = 400$ 、 600 付近、サンプリング数 $n = 250$ 、 400 付近において判定結果が部分的に乱れる他、同様の良好な判定が可能である。しかしながら、このような特定領域における乱れは、適当なフィルタ処理を行なって簡単に除去することができる。

【0035】

以上の説明において、第 1、第 2 のニューラルネットワーク 11、12 には、それぞれバ

50

ッテリBの劣化状態D、残存容量Rの判定論理が事前に記憶されていれば十分である。よって、第1、第2のニューラルネットワーク11、12は、それぞれに対して判定論理を実際に学習させる必要はなく、事前に確立された判定論理をそのまま記憶させ、学習済みのネットワークとして、バッテリーBを使用する電動自転車や電気自動車などに計測ユニット13とともに搭載して使用すればよい。

【0036】

また、第1、第2のニューラルネットワーク11、12は、計測ユニット13を使用して集積する稼働中のバッテリーBの稼働パラメータを利用して、既に記憶している判定論理を修正学習させてもよい。新品のバッテリーBを満充電した場合、計測ユニット13は、「正常」なバッテリーBの任意の残存容量Rに対する稼働パラメータと教師信号とを容易に計測して取得することができるから、これを利用して判定論理を修正すれば、第1、第2のニューラルネットワーク11、12は、バッテリーBの製品ばらつきや、判定論理を確立した際の模擬負荷状態と現実の負荷状態との差などに基づく判定精度の低下要因を有効に是正することができる。

10

【0037】

なお、この発明は、シール形鉛蓄電池の他、開放形鉛蓄電池、ニッケル-カドミウム電池、カーボンリチウム二次電池（電気二重層電池）、ナトリウム-硫黄電池（セラミック電池）などの他の形式のバッテリーに対しても広く適用することができる。

【0038】

【発明の効果】

以上説明したように、この出願に係る第1発明によれば、第1、第2のニューラルネットワークにそれぞれバッテリーの劣化状態、残存容量の判定論理を学習させることによって、第1のニューラルネットワークは、バッテリーの稼働パラメータに基づいてバッテリーの劣化状態を判定することができ、第2のニューラルネットワークは、バッテリーの稼働パラメータと第1のニューラルネットワークの判定結果とに基づいてバッテリーの残存容量を判定することができるから、稼働中のバッテリーの劣化状態、残存容量をリアルタイムに適確に自動判定することができるという優れた効果がある。

20

【0039】

第2発明によれば、計測ユニットと、学習済みの第1、第2のニューラルネットワークとを組み合わせることによって、第1発明を容易に実施することができる。

30

【図面の簡単な説明】

【図1】 全体構成ブロック系統図

【図2】 第1のニューラルネットワークの構成概念図

【図3】 第2のニューラルネットワークの構成概念図

【図4】 試験データを示す線図(1)

【図5】 試験データを示す線図(2)

【図6】 試験データを示す線図(3)

【図7】 試験データを示す線図(4)

【図8】 試験データを示す図表

【図9】 試験データを示す線図(5)

【図10】 試験データを示す線図(6)

40

【符号の説明】

B ... バッテリ

D ... 劣化状態

R ... 残存容量

Z ... 内部インピーダンス

L1 ... 入力層

L2 ... 中間層

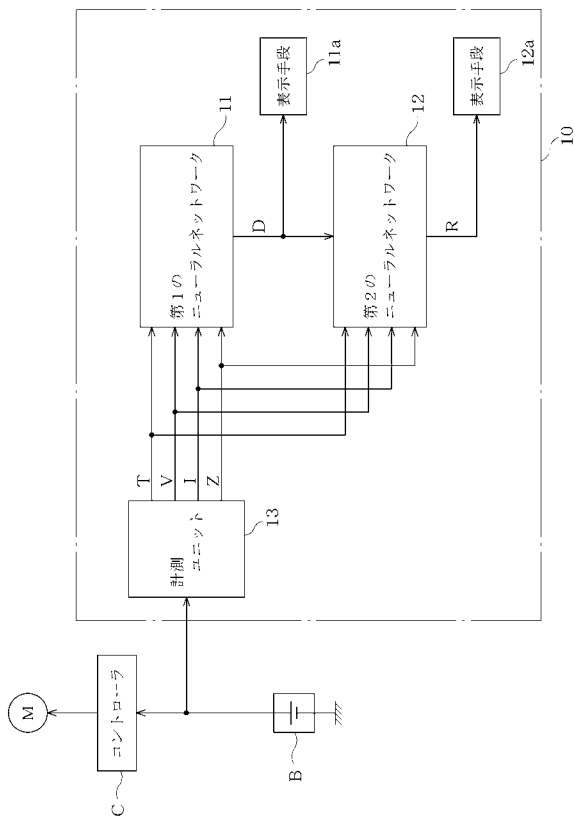
L3 ... 出力層

10 ... 残存容量判定装置

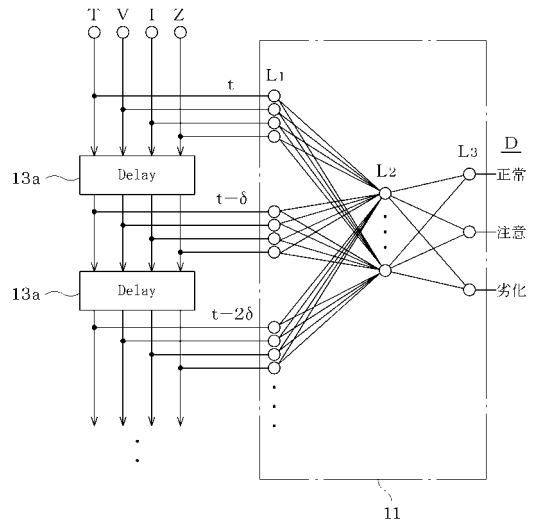
50

- 1 1 ... 第1のニューラルネットワーク
- 1 2 ... 第2のニューラルネットワーク
- 1 3 ... 計測ユニット

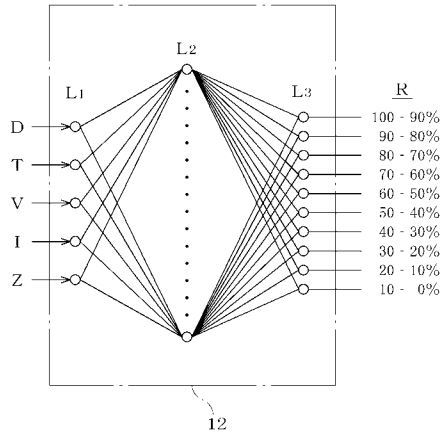
【図1】



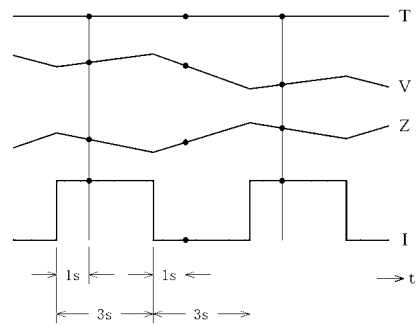
【図2】



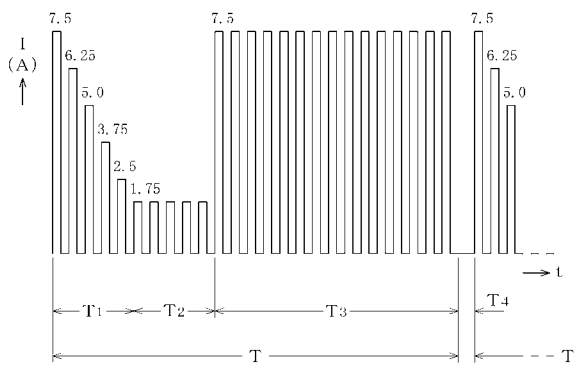
【図3】



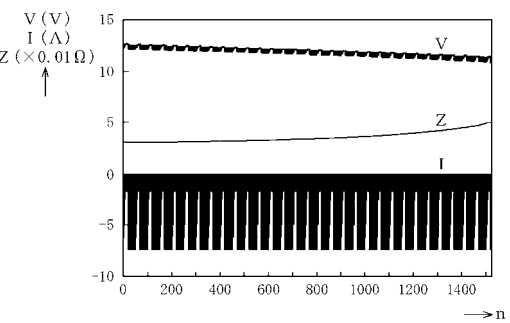
【図5】



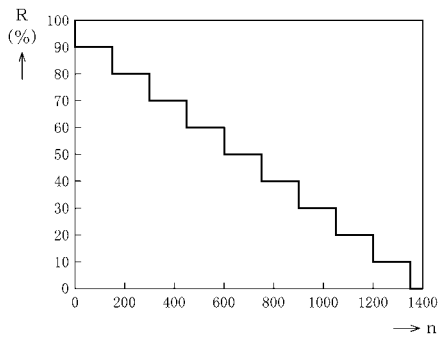
【図4】



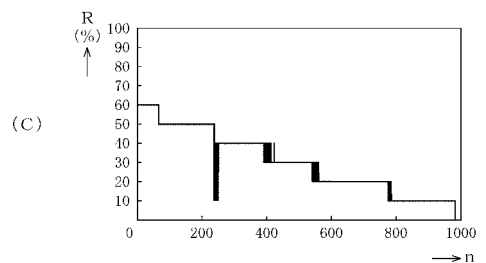
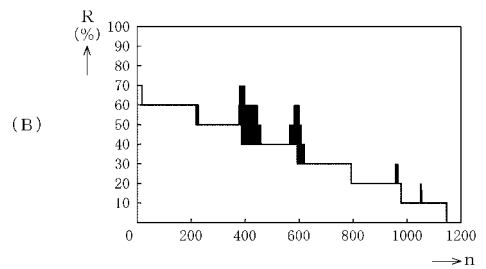
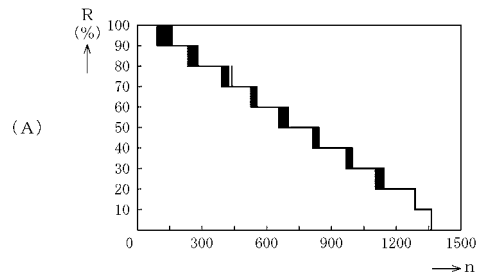
【図6】



【図7】



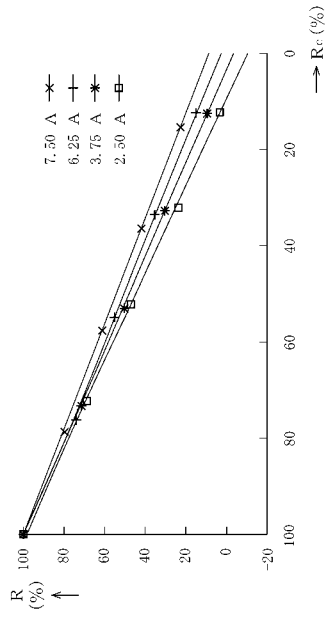
【図9】



【図8】

劣化状態	誤判定率(%)		
	単発	15秒間	30秒間
正常	71.4	24.4	0.0
注意	19.4	20.6	6.4
劣化	99.7	8.1	2.0

【 図 10 】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開平09-236641(JP,A)
特開平09-243716(JP,A)
特開平11-032442(JP,A)
特開平08-077283(JP,A)
特開平05-281199(JP,A)
特開平07-121494(JP,A)
特開平06-331756(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01M 10/48

G01R 31/36