

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6824275号
(P6824275)

(45) 発行日 令和3年2月3日 (2021. 2. 3)

(24) 登録日 令和3年1月14日 (2021. 1. 14)

(51) Int. Cl.	F I	
GO 1 R 31/385 (2019. 01)	GO 1 R 31/385	
GO 1 R 31/378 (2019. 01)	GO 1 R 31/378	
GO 1 R 27/02 (2006. 01)	GO 1 R 27/02	R
HO 1 M 10/48 (2006. 01)	HO 1 M 10/48	P
HO 1 M 10/44 (2006. 01)	HO 1 M 10/44	P
請求項の数 15 (全 15 頁) 最終頁に続く		

(21) 出願番号	特願2018-531571 (P2018-531571)	(73) 特許権者	315014590
(86) (22) 出願日	平成28年11月30日 (2016. 11. 30)		オキシス エナジー リミテッド
(65) 公表番号	特表2019-507321 (P2019-507321A)		イギリス国 オックスフォード オーエック
(43) 公表日	平成31年3月14日 (2019. 3. 14)		クス14 3ディービー アビンドン カ
(86) 国際出願番号	PCT/EP2016/079172		ルハム サイエンス センター イー1
(87) 国際公開番号	W02017/102318	(74) 代理人	100147485
(87) 国際公開日	平成29年6月22日 (2017. 6. 22)		弁理士 杉村 憲司
審査請求日	令和1年9月26日 (2019. 9. 26)	(74) 代理人	230118913
(31) 優先権主張番号	15201034.4		弁護士 杉村 光嗣
(32) 優先日	平成27年12月18日 (2015. 12. 18)	(74) 代理人	100198568
(33) 優先権主張国・地域又は機関	欧州特許庁 (EP)		弁理士 君塚 絵美
		最終頁に続く	

(54) 【発明の名称】 リチウム-硫黄電池管理システム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

リチウム - 硫黄電池の充電状態を決定するためのリチウム - 硫黄電池管理システムであって、

少なくとも1つのリアクティブ素子を有し、前記少なくとも1つのリアクティブ素子を介して、前記電池から及び前記電池に一定量の電荷を放電及び充電するよう構成される第1の回路と、

前記放電及び充電を監視し、前記一定量の電荷の放電時間及び充電時間を計測し、それらの時間に基づいて充電状態を決定するように構成される、第2の回路と、
を備えるリチウム - 硫黄電池管理システム。

【請求項 2】

前記少なくとも1つのリアクティブ素子は、ストレージキャパシタを含み、前記ストレージキャパシタのサイズが、前記電池から及び前記電池に放電及び充電される前記一定量の電荷を固定する、請求項1に記載のリチウム - 硫黄電池管理システム。

【請求項 3】

前記少なくとも1つのリアクティブ素子は、前記ストレージキャパシタに接続されるインダクタを含む、請求項2に記載のリチウム - 硫黄電池管理システム。

【請求項 4】

前記第1の回路は、前記ストレージキャパシタに接続されるスイッチングネットワークを含み、

10

20

前記スイッチングネットワークは、前記ストレージキャパシタの第 1 端子を低電位と高電位との間で切り替え、前記ストレージキャパシタの第 2 端子を介して前記電池の前記放電及び充電を行うよう構成される、請求項 2 又は 3 に記載のリチウム - 硫黄電池管理システム。

【請求項 5】

前記第 1 の回路は、リザーバキャパシタを含み、前記スイッチングネットワークは、前記リザーバキャパシタを前記ストレージキャパシタから切り離したり、前記リザーバキャパシタを前記ストレージキャパシタに直列に切り替えたりして、前記電池の前記放電及び充電をそれぞれ行うよう構成される、請求項 4 に記載のリチウム - 硫黄電池管理システム。

10

【請求項 6】

前記第 1 の回路は、前記リザーバキャパシタを前記ストレージキャパシタから切り離したり、前記リザーバキャパシタを前記ストレージキャパシタに直列に切り替えたりして、前記電池の前記放電及び充電を行う前に、前記電池で前記リザーバキャパシタを充電するためのスイッチを含む、請求項 5 に記載のリチウム - 硫黄電池管理システム。

【請求項 7】

前記第 2 の回路は、前記第 1 の回路の 2 点間の電圧差を監視し、前記電圧差が所定レベル以下に低下したときに放電又は充電が十分に完了したと判定し、それに応じて、前記第 1 の回路を放電から充電に、あるいは充電から放電にそれぞれ切り替えるように構成される、請求項 1 から 3 のいずれか一項に記載のリチウム - 硫黄電池管理システム。

20

【請求項 8】

前記第 2 の回路は、前記第 1 の回路の 2 点間の電圧差を監視し、前記電圧差が所定レベル以下に低下したときに放電又は充電が十分に完了したと判定し、それに応じて、前記第 1 の回路を放電から充電に、あるいは充電から放電にそれぞれ切り替えるように構成されており、

前記第 2 の回路は、前記 2 点間の前記電圧差を決定するための差動増幅器を含み、前記差動増幅器の出力は、前記スイッチングネットワークの制御端子に接続され、前記制御端子は、前記差動増幅器の出力に基づいて前記電池の放電及び充電を切り替える、請求項 4 から 6 のいずれか一項に記載のリチウム - 硫黄電池管理システム。

【請求項 9】

30

前記第 2 の回路は、放電時間と充電時間の複数の組み合わせのそれぞれについての充電状態値を提供するルックアップテーブルに基づいて前記充電状態を決定するよう構成される、請求項 1 から 8 のいずれか一項に記載のリチウム - 硫黄電池管理システム。

【請求項 10】

前記第 2 の回路は、前記差動増幅器の前記出力に基づいて、前記放電及び充電時間を計時し、前記ルックアップテーブルに基づいて前記充電状態を決定するよう構成されるマイクロコントローラを含む、請求項 8 に付随する場合の請求項 9 に記載のリチウム - 硫黄電池管理システム。

【請求項 11】

前記第 2 の回路は、前記第 1 の回路を繰り返し切り替え、繰り返し回数の間、前記電池を放電及び充電し、前記放電時間の合計、前記充電時間の合計、及び任意選択的に、前記放電時間と前記充電時間の合計に基づいて、前記充電状態を判定するよう構成される、請求項 1 から 10 のいずれか一項に記載のリチウム - 硫黄電池管理システム。

40

【請求項 12】

前記第 2 の回路は、前記放電時間と前記充電時間の前記合計に基づいて、前記電池の健全性を決定するよう構成される、請求項 11 に記載のリチウム - 硫黄電池管理システム。

【請求項 13】

前記電池の温度を検出するよう構成される第 3 回路をさらに備え、

前記第 2 の回路は、さらに前記電池の前記温度に基づいて前記充電状態を決定するよう構成される、請求項 1 から 12 のいずれか一項に記載のリチウム - 硫黄電池管理システム

50

。

【請求項 1 4】

前記一定量の電荷は、前記放電時間中に前記電池から放電される第 1 の一定量の電荷と、前記充電時間中に前記電池に充電される第 2 の一定量の電荷とを含み、

前記放電及び充電が前記電池の前記充電状態に全体的に大きな影響を及ぼさないように、前記第 1 の一定量の電荷と前記第 2 の一定量の電荷は、互いに実質的に同じ値である、請求項 1 から 1 3 のいずれか一項に記載のリチウム - 硫黄電池管理システム。

【請求項 1 5】

リチウム - 硫黄電池の充電状態を決定する方法であって、

第 1 のリアクティブ素子を介して、前記リチウム - 硫黄電池を第 1 の一定量の電荷で放電する第 1 時間を計測するステップと、 10

第 2 のリアクティブ素子を介して、前記リチウム - 硫黄電池を第 2 の一定量の電荷で充電する第 2 時間を計測するステップと、

前記第 1 及び第 2 時間に基づいて前記充電状態を決定するステップと、を含み、

前記第 1 のリアクティブ素子は、任意選択的に、前記第 2 のリアクティブ素子と同一のリアクティブ素子であり、前記第 1 の一定量の電荷は、任意選択的に、前記第 2 の一定量の電荷と同じ電荷量である、リチウム - 硫黄電池の充電状態を決定するための方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

20

【0001】

本発明は、概して、リチウム - 硫黄電池の充電状態を決定するためのリチウム - 硫黄電池管理システムに関する。

【背景技術】

【0002】

例えば、携帯可能な電子製品及び電気走行自動車において、電源として使用するために、電池の残りの充電量を確実に決定する能力は、残りの使用時間又は車両の走行可能距離を算出する上で製造業者及び消費者によって高く評価されている。

【0003】

ガソリン車の場合、燃料レベルは簡単に計測することができるが、電気自動車及びハイブリッド自動車、並びに電子機器では、電池はそれらの電源として用いられるため、電池に蓄積されている残存エネルギーを計測することはより難しい。電池の充電状態 (SOC) は、例えば、その電池によって提供される総容量に対する、再充電が必要となるまでに電池内に残っている容量のパーセンテージインジケータとして表すことができる。 30

【0004】

時刻 t_0 での初期 SOC パーセンテージを SOC_0 とすると、時刻 t での電池の SOC パーセンテージは次のように定義される。

【数 1】

$$SOC = SOC_0 + 100 * \int_{t_0}^t \frac{I(t)}{Qt} dt$$

40

ここで、 I は電流であり、放電では負、充電では正と定義され、 Q_t は、Ah での電池の最大容量である。

【0005】

電池が完全に充電されているとみなされる初期 SOC₀ は、電池を放電する前の最大开路電圧 (OCV) を参照して、任意選択的には、抵抗計測値及び温度計測値を参照して設定し、精度を向上させることができる。

【0006】

様々な化学物質からなる電池の SOC を測定する一般的な方法は、電圧計測値に基づいており、通常、電池の電圧はその残存容量との関連で低下する。しかし、リチウム - 硫黄 50

電池の電圧は、電池が放電するにつれて直線的には降下せず、通常、放電特性の大部分が平坦になり、これは、電圧の使用が、リチウム - 硫黄電池のSOCを決定するのに適していないことを意味する。

【0007】

電池のSOCを決定する他の公知の方法は、電池が放電し始める瞬間からクーロンカウントを行うことであり、電池によって出力される電荷をカウントし、電池内にまだ残っている電荷を算出することができる。どんな電池でも、クーロンカウントは、放電が開始する前に初期容量値が分かっている場合にのみ実用的であり、容量推定の他の方法が用いられない場合、クーロンカウントは、実際上は、電池が100%SOCから開始するときに行うことができるだけである。実際には、電池は、部分放電しているか、完全には充電されてい

10

【0008】

SOC決定手段として研究されている、リチウム - 硫黄電池の1つの特性は、米国特許出願第2009/0055110号（Sion Power社）のような先の特許出願で確認されているように、電池の内部抵抗とそのSOCとの間の計測可能な関係である。通常、電池の抵抗の決定は、充電又は放電時のいずれかにおいて既知の電流を印加し、電圧の変化を監視し、電池のSOCを予測するための特定のアルゴリズムを適用することによるものである。

【0009】

実際には、電流源の印加による電池の抵抗の決定は、その抵抗の決定に用いられる、印加電流パルスの持続時間及び電池の応答に関連する他の要因があるため、欧州特許出願第1506497.5号（OXIS Energy社他）で確認されているようにそれほど単純ではない。これらの要因は、通常、負荷（又は充電）下でのリチウム - 硫黄電池の特性に基づいている。負荷がかかっている間におけるリチウム - 硫黄電池の特性の問題に対処しようとする試みは、予測誤差最小化及び適応ニューロファジィ推論システムのSOC推定のプロセスを用い、容量決定における5%の潜在的な平均誤差、及び14%の最大誤差を求める、上述した欧州特許出願第1506497.5号（OXIS Energy社他）に記載されている。しかし、この技術の実施には、必要とされる計算数を処理するためにかなり精緻なアルゴリズムと適切な処理力とを必要とする。

20

【0010】

従って、本発明の目的は、リチウム - 硫黄電池のSOCを決定するための改良されたシステムを提供することにある。

【発明の概要】

【0011】

本発明の様々な実施形態によれば、添付の請求項1から14のいずれか一項による、リチウム - 硫黄電池の充電状態を決定するためのリチウム - 硫黄電池管理システムが提供される。管理システムは、少なくとも1つのリアクティブ素子を有する第1の回路を備え、第1の回路は、少なくとも1つのリアクティブ素子を介して、電池から及び電池に一定量の電荷を放電及び充電するよう構成される。管理システムは、放電及び充電を監視するための第2の回路も備え、第2の回路は、一定量の電荷の放電時間及び充電時間を計測し、それらの時間に基づいて充電状態を決定するように構成される。

40

【0012】

一定の電荷が少なくとも1つのリアクティブ素子を介して電池へ、及び電池から印加されるので、一定量の電荷で電池を放電/充電する時間は、少なくとも1つのリアクティブ素子を通しての放電/充電の割合が内部抵抗値によって調整されるから、電池の内部抵抗の関数である。上述したように、SOCと内部抵抗との間にはある関係がある。従って、SOCと放電/充電時間との間にもある関係があり、放電/充電時間からSOCを決定することができる。

【0013】

所与のSOCにとっての充電電流に対するリチウム - 硫黄電池の内部抵抗は、同じSOC

50

Cにおける放電電流に対するその内部抵抗とは異なる。加えて、充電下での内部抵抗は、全てのSOCにとって常に正確なSOCを提供するとは限らず、また、放電下での内部抵抗は、全てのSOCにとって常に正確なSOCを提供するとは限らないが、（放電時間による）放電時の内部抵抗と（充電時間による）充電時の内部抵抗との組合せによって、全てのSOCにとって正確なSOCを求めることができる。これについては、図1に示す放電及び充電の特性を参照して後に詳しく説明する。

【0014】

好ましくは、一定量の電荷は、放電時間中に電池から放電される第1の一定量の電荷と、充電時間中に電池内に充電される第2の一定量の電荷とを含み、放電及び充電が電池の充電状態に大きな影響を及ぼさないように、第1の一定量の電荷及び第2の一定量の電荷は、互いに実質的に同じ値にする。このプロセスは、電池の容量に大きな影響を及ぼすことなく、電子機器によって自動的に制御され、容量推定の精度を向上させることができる。

10

【0015】

有利には、少なくとも1つのリアクティブ素子は、ストレージキャパシタを含み、ストレージキャパシタのサイズは、電池から放電される、及び電池に充電される一定量の電荷を固定することができる。例えば、キャパシタのサイズを2倍にすると、全ての要素が変更されないとき、一定量の電荷は2倍になる。一定量の電荷は、例えば、キャパシタがその充電容量の90%から10%の間で充電及び放電される場合に、キャパシタが蓄えることのできる電荷の最大量よりも少なくてもよい。好ましくは、キャパシタは、過度に長い充電及び放電時間を避けるために、その容量の98%未満から2%以上までの間で充電及び放電させる。当業者に明らかなように、電池が、該電池の内部抵抗を介して、キャパシタをその容量の100%と0%との間で充放電させるのに用いられる場合、これには、充電及び放電の特性の指数関数的な性質のために非常に長い時間がかかる。

20

【0016】

キャパシタの充電時定数は、そのキャパシタとインライン直列抵抗（RC時定数）、この場合には、電池の内部抵抗と直列のストレージキャパシタに基づいているので、2つの充電状態の間、例えば、10%と90%との間でストレージキャパシタを充電する時間は内部抵抗を表す。

【0017】

任意選択的に、少なくとも1つのリアクティブ素子は、ストレージキャパシタに接続されるインダクタを含んでもよい。この場合、インダクタを介してストレージキャパシタに、及びストレージキャパシタから流れる電流を計測することができる。この電流の変化率は、電池内部抵抗に依存するため、電流が2つの値の間で遷移する時間を計測して、内部抵抗、従ってSOCを決定することができる。好ましくは、電流検出抵抗器をインダクタに直列に接続し、インダクタを流れる電流に対応する電圧を電流検出抵抗器の両端間に発生させ、電流を容易に計測することができる。

30

【0018】

有利には、第1の回路は、昇圧コンバータを含むのがよい。この場合、ストレージキャパシタは、放電時間を計測中に電池から充電することができ、次に、昇圧コンバータを用いて、充電時間の計測中にキャパシタ内のエネルギーを電池に戻し放電させることができる。例えば、第1の回路は、ストレージキャパシタに接続されるスイッチングネットワークを含んでもよい。スイッチングネットワークは、ストレージキャパシタの第1端子を低電位と高電位との間で切り替え、ストレージキャパシタの第2端子を介して電池の放電及び充電を行うよう構成される。この切り替えは、リザーバキャパシタをストレージキャパシタから切り離す、及びリザーバキャパシタをストレージキャパシタに直列に接続する切り替えを含み、電池の放電及び充電をそれぞれ行う。リザーバキャパシタのサイズは、好ましくは、ストレージキャパシタの容量より遥かに大きくし、例えば、20倍大きく、より好ましくは50倍大きく、又は100倍大きくする。

40

【0019】

50

時間計測値の精度を向上させ、システム内のノイズの影響を低減するために、第2の回路は、スイッチングネットワークを繰り返し切り替え、繰り返し回数、電池を放電及び充電し、放電時間の合計、充電時間の合計、及び任意選択的に放電時間と充電時間の合計に基づいてSOCを決定するよう構成される。この繰り返し回数は、例えば10回、あるいは100回であってもよい。容量の推定の精度をさらに向上させるためには、不使用中の電池のSOCを絶えず監視し、自己放電の期間中の電池の容量の低下を追跡するためのアルゴリズム、及び平均化技術を用いるのがよい。

【0020】

第2の回路は、放電時間と充電時間の複数の組み合わせのそれぞれの充電状態値を提供するルックアップテーブルに基づいてSOCを決定するよう構成することができる。このため、リチウム-硫黄電池管理システムは、SOCを決定するために複雑な計算を実行する必要はなく、放電時間と充電時間とに基づいてルックアップテーブルから正しいSOCを簡単に調べることができる。好ましくは、ルックアップテーブルは、電池の温度を考慮して修正することができ、そのため、リチウム-硫黄電池管理システムは、電池の温度を検出するよう構成される第3の回路をさらに備えることができる。ルックアップテーブルは、電池の経年劣化を考慮して修正することもでき、上の段落で説明したように追跡することができる。

10

【0021】

有利には、第2の回路は、放電時間と充電時間の合計に基づいて電池の健全性を判定するよう構成するのがよい。電池の健全性は、放電時間及び充電時間を、メモリに保持されている以前の、SOCに対する放電/充電時間のログだけでなく公称基準のルックアップ値と比較することによって判定することができる。

20

【0022】

放電時間及び充電時間が、固定キャパシタンスの放電及び充電電流に対する、電池抵抗に正比例すると仮定すると、放電時間、充電時間の合計、並びに放電時間と充電時間の合計を、ルックアップテーブルと比較してSOCを決定することができる。明らかなことに、温度及び電池の経年劣化に従ってルックアップテーブルを修正する代わりに、ルックアップテーブルは、同じままとし、ルックアップテーブルと比較する前に、温度及び電池の経年劣化に従って充電及び放電時間の合計を修正することができる。リチウム-硫黄電池における温度及び電池の経年劣化の影響は当該技術分野において周知であるので、ここでは詳細に説明しない。

30

【0023】

代替的に、SOCは、ルックアップテーブルを使用するのではなく、SOCと放電時間及び充電時間との関係を特定する所定の公式に基づいて計算することもできる。

【0024】

第2の回路は、第1の回路の2点間の電圧差を監視し、電圧差が所定レベルを下回ったときに放電及び充電が十分に完了したと判定し、それに応じて、第1の回路を放電から充電に、あるいは充電から放電にそれぞれ切り替えるよう構成することができる。例えば、第2の回路は、2つの点が電流検出抵抗器の両端間か、又はストレージキャパシタの両端間であるかどうかに応じて、インダクタに直列に接続された電流検出抵抗器の両端間の電圧が所定レベルを下回ったときに放電が完了したと判定してもよく、あるいは、ストレージキャパシタの両端間の電圧が所定レベルを下回ったときに充電が完了したと判定してもよい。逆に、第2の回路は、ストレージキャパシタの両端間の電圧が所定レベルを上回ったときに放電が完了したと判定してもよく、あるいは、インダクタに直列に接続された電流検出抵抗器の両端間の電圧が所定レベルを上回ったときに充電が完了したと判定してもよく、なお、電流検出抵抗器を流れる電流の向きが、放電時と比べて充電時には反対方向であることからして、電圧は負の値からゼロに向かって上昇することに留意されたい。明らかなことに、差動増幅器は、2つの点が少なくとも1つのリアクティブ素子の時定数に対応する電圧差の変化を示すとすると、ストレージキャパシタの両端間、あるいは電流検出抵抗器の両端間の代わりに、第1の回路の他の2点間に接続することができる。

40

50

【0025】

有利には、差動増幅器の出力は、スイッチングネットワークの制御端子に接続して、差動増幅器の出力に基づいて電池の放電と充電を切り替えることができる。このことは、スイッチングネットワークへのアナログで、それゆえに高速のフィードバックを提供し、放電と充電との間の切り替えが遅延なく実行される。

【0026】

さらに、添付の請求項15に記載のリチウム - 硫黄電池のSOCを決定するための方法が提供される。本方法は、第1のリアクティブ素子を介して、リチウム - 硫黄電池を第1の一定量の電荷で放電する第1時間を計測するステップと、第2のリアクティブ素子を介して、リチウム - 硫黄電池を第2の一定量の電荷で充電する第2時間を計測するステップと、第1及び第2時間に基いて充電状態を決定するステップと、を含む。第1のリアクティブ素子は、任意選択的に、第2のリアクティブ素子と同一のリアクティブ素子であり、第1の一定量の電荷は、任意選択的に、第2の一定量の電荷と同じ電荷量である。任意選択的に、第2時間は、第1時間より早い時間に起こってもよい。

10

【0027】

本開示は、電池を放電及び充電することについて述べるが、充電の前に放電が起きることを何ら要求することを意味するものではなく、所望であれば、放電の前に充電が起こってもよい。慣例により、電荷は、比較的高い電位から比較的低い電位に流れることとする。

【0028】

20

本発明の実施形態を、非制限的な例のみによって、添付の図面を参照して説明する。

【図面の簡単な説明】

【0029】

【図1】典型的なりチウム硫黄電池の充電及び放電中の電池内部抵抗特性のグラフを示す図である。

【図2】本発明の第1実施形態による電池管理システムの概略図である。

【図3】電池の充電及び放電中に、図2のシステムのキャパシタによって保持される充電レベルのタイミング図である。

【図4】本発明の第2実施形態による電池管理システムのより詳細な概略図である。

【図5】典型的なりチウム硫黄電池を様々な温度で充電している間の電池抵抗のグラフを示す図である。

30

【図6】典型的なりチウム硫黄電池を様々な温度で放電している間の電池抵抗のグラフを示す図である。

【図7】本発明の第3実施形態による電池管理システムの概略図である。

【発明を実施するための形態】

【0030】

図面は縮尺通りではなく、同一又は類似の参照符号は、同一又は類似の特徴を示す。

【0031】

図1を参照するに、SOCに対する電池内部抵抗のグラフが示され、これは、SOCが0(0%充電)から1.0(100%充電)まで増加するにつれて、典型的なりチウム硫黄電池の内部抵抗が、一般的に、どのように低下するかを示している。グラフは、電池を充電しているときの計測結果の曲線4と、電池を放電しているときの計測結果の曲線6とを含む。電池の内部抵抗は、電池を充電しているときより電池を放電しているときの方が高いことが分かる。

40

【0032】

充電曲線4は、60%SOCあたりにキンク(kink)5を有し、これは、充電曲線だけでは、所与の計測抵抗値でSOCを明確に決定することができないことを意味し、例えば、充電下での0.11オームの計測抵抗値は、計測結果が実際にはキンク5のどちら側に対応しているかに応じて、およそ50%のSOC、又はおよそ62%のSOCに対応し得る。放電曲線6は、80%SOCのあたりにキンク7を有し、キンク5と同様の問題を引

50

き起こす。しかし、これらのキंकは、SOC曲線4及び6に沿った異なる点で生じるため、本発明者らは、充電下と放電下との両方で得られた抵抗計測値を互いに組み合わせて用いることで試験される電池のSOCを明確に特定することができることを認識した。例えば、充電下での0.11オームの計測結果の例に戻ると、充電下での0.11オームの計測結果が、50% SOC又は62% SOCのいずれかに対応するキंक5の前か後のどちらの点に対応するのかを判定するために、放電下での抵抗も同じように計測することができる。本発明で計測される充電時間及び放電時間は、電池の充電内部抵抗の放電内部抵抗に正比例し、充電及び放電時間に基づいてSOCを決定することができる。

【0033】

そこで、本発明の第1実施形態を、図2及び図3を参照して説明する。図2は、リチウム硫黄電池LS1の正極端子T1及び負極端子T2に接続された電池管理システムの概略図である。本実施形態では、リチウム硫黄電池LS1は、単一のセルで構成されるが、代替の実施形態では、電池LS1内で複数のセルを互いに直列及び/又は並列に組み合わせることができることを理解されたい。電池管理システムは、抵抗器Ra及びRb、キャパシタCa及びCb、スイッチSWa及びSWb、並びにダイオードD1によって形成される第1の回路を備える。キャパシタCbは、電池LS1から放電された電荷を電池LS1に戻して充電する前に、その電荷を蓄えるために用いられるので、ストレージキャパシタとみなされる。ストレージキャパシタCbは、2つの端子N1及びN2を有する。端子N1は、抵抗器Rbを介して正極電池端子T1に接続され、スイッチSWbは、端子N2を(ダイオードD1を介して)負極電池端子T2、あるいはキャパシタCaの端子N3のいずれかに接続する。

【0034】

キャパシタCaは、ストレージキャパシタが電荷を電池LS1に送るか、電池LS1から電荷を受け取るかを制御するために、ストレージキャパシタ端子N2の電圧を上昇及び降下させるための比較的大量の電荷を蓄積するために用いられるので、リザーバキャパシタとみなされる。

【0035】

抵抗器Ra、スイッチSWa、及びリザーバキャパシタCaは、いずれも電池端子T1とT2との間に互いに直列に接続されるので、スイッチSWaは、リザーバキャパシタCaを電池LS1と同じ電圧にまで充電するために、リザーバキャパシタCa及び抵抗器Raを電池端子T1とT2との間の接続に切り替えるのに用いることができる。抵抗器Raは、スイッチSWaが最初に閉じるときに、過大電流がリザーバキャパシタCaに流れるのを防ぐのに十分な小さい値を有する。スイッチSWaは、リザーバキャパシタCaと正極電池端子T1との間の、リザーバキャパシタCaの端子N3に接続される。

【0036】

電池管理システムは、差動増幅器DA1及びマイクロコントローラMC1によって形成される第2の回路も備える。差動増幅器は、ストレージキャパシタの端子N1及びN2に接続される2つの入力をも有し、これら2つの端子N1とN2と間の電圧差を監視し、マイクロコントローラMC1に接続される出力をも有する。マイクロコントローラMC1は、差動増幅器DA1の出力を受け取り、その出力に基づいて、スイッチSWa及びSWbを制御するためのスイッチ制御信号M0を生成する。

【0037】

使用において、マイクロコントローラのスイッチ制御信号M0は、最初に、スイッチSWaを閉じ、ストレージキャパシタ端子N2をリザーバキャパシタ端子N3に接続するようスイッチSWbを設定する。そして、計測すべき電池LS1の端子T1及びT2が、図示のように、回路に接続され、電池LS1は、抵抗器Raを介して、リザーバキャパシタCaを電池電圧まで充電する。ストレージキャパシタCb内の残留電荷は、該ストレージキャパシタの端子N1及びN2がスイッチSWa及びSWbと、抵抗器Ra及びRbとを介して一緒に接続されるため、放電する。

【0038】

10

20

30

40

50

リザーバキャパシタ C a が実質上、完全に充電されると、時刻 0 T において、スイッチ S W a が開き、スイッチ S W b はストレージキャパシタの端子 N 2 を、ダイオード D 1 を介して電池の負極端子 T 2 に接続するよう切り替えられる。これにより、ストレージキャパシタの端子 N 1 と N 2 との間の電圧を示す図 3 のタイミング図に示すように、ストレージキャパシタ C b は抵抗器 R b を介して充電される。抵抗器 R b の抵抗値は小さく、その目的は、ストレージキャパシタが充電し始めるときに、過度に大きい電流が電池 L S 1 から流れるのを防ぐことにある。この充電速度も、当業者に明らかなように、電池 L S 1 の内部抵抗によって制限され、この内部抵抗は抵抗 R b と相俟って、これも当業者に明らかなように、 $T = (\text{内部抵抗} + R b) * C b$ の時定数を有する直列 R C 回路を形成する。図 3 の x 軸は、この時定数によって表して示されており、図 3 において、ストレージキャパシタ C b は、2 . 2 T が経過した後に 9 0 % 充電 (電池電圧の 9 0 % の電圧) に達することがわかる。

10

【 0 0 3 9 】

ストレージキャパシタ C b の両端間のこの電圧は、差動増幅器 D A 1 によって計測され、マイクロコントローラ M C 1 によって検出される。この電圧が、図 3 に示す 0 . 1 T でキャパシタ C b が 1 0 % 充電されていることを示すとき、マイクロコントローラ M C 1 は計時を開始する。この電圧が、図 3 に示す 2 . 2 T でキャパシタが 9 0 % 充電されていることを示すとき、マイクロコントローラは計時を停止し、この時間を、電池がストレージキャパシタを 1 0 % から 9 0 % にまで充電するために放電に費やした放電時間として記憶する。加えて、マイクロコントローラ M C 1 は、ストレージキャパシタ C b の端子 N 2 をリザーバキャパシタ C a の端子 N 3 に接続するようにスイッチ制御出力 M 0 を変更する。リザーバキャパシタ C a は、既に電池電圧にまで充電されているため、これは、ストレージキャパシタ C b の端子 N 2 の電圧を電池電圧の 1 0 0 % にまでステップアップさせ、そのため、ストレージキャパシタの端子 N 1 を、電池電圧の 1 9 0 % にまでステップアップさせる。そして、ストレージキャパシタ C b は、抵抗器 R b を介して電池 L S 1 内に放電し始め、電池 L S 1 を充電する。マイクロコントローラは、この充電時間を図 3 に示す 2 . 2 T から計時し始める。

20

【 0 0 4 0 】

4 . 3 T 後、差動増幅器 D A 1 の出力電圧は、ストレージキャパシタ C b の電圧が 1 0 % 充電 (電池電圧の 1 0 %) にまで低下したことをマイクロコントローラに知らせ、マイクロコントローラは、充電時間の計時を停止する。この時点で、マイクロコントローラは、0 . 1 T から 2 . 2 T までの放電時間、及び 2 . 2 T から 4 . 3 T までの充電時間を用い、ルックアップテーブルと比較して、電池の S O C を決定することができる。放電下と充電下とにおいて電池の内部抵抗が異なるために、0 . 1 T から 2 . 2 T までの間の T の値は、2 . 2 T から 4 . 3 T までの間の T の値とは異なることに留意されたい。したがって、図 3 のグラフの x 軸は、完全には線形ではない。

30

【 0 0 4 1 】

本実施形態において、放電時間と充電時間を一度だけ取る代わりに、同じ放電及び充電サイクルを何度も繰り返し回数、実行してもよい。この場合、全ての放電時間を合計し、全ての充電時間を合計し、さらに、全ての充電時間と放電時間とを合計して、ルックアップテーブルと比較する 3 つの値を生成することができる。これにより、ノイズや計測誤差の影響が平均化され、より正確な結果が得られる。S O C 算出を行う放電 / 充電サイクルの回数は、必要とされる精度、互いに並列に接続される電池セルの数、及びシステムのインピーダンスによるが、例えば、1 0 回から 1 0 0 回までの放電 / 充電サイクルとすることができる。リザーバキャパシタ C a のサイズは、好ましくはストレージキャパシタ C b のサイズより遥かに大きく、例えば、リザーバキャパシタ C a は約 1 F であり、ストレージキャパシタ C b は約 1 0 m F であってよい。この場合、複数の放電 / 充電サイクルは、リザーバキャパシタの両端間の電圧が大幅に変化することなく実行することができる。

40

【 0 0 4 2 】

ルックアップテーブルは、S O C が例によって、どの放電及び充電時間に対応するかを

50

決定するために用いられるクーロンカウントなどの技術を用いてリチウム硫黄電池の典型的な計測結果のセットから最初に構築することができる。あるいは、放電時間と及び充電時間との各対を計測したときに電池のSOCがどんな状態にあるかを補間するために100%及び0%のSOC状態を用いることで、完全な放電サイクルを計測することができる。

【0043】

そこで、本発明の第2実施形態を、図2より詳細な概略図を示す図4を参照して説明する。第2実施形態の主要な動作原理は、第1実施形態と同じであり、ストレージキャパシタC2の端子N5がリザーバキャパシタC1に接続、及びリザーバキャパシタC1から切り離されて、リチウム硫黄電池LS2をそれぞれ充放電する。

10

【0044】

図4の概略図は、電池LS2の内部抵抗を、抵抗器R1で明示しており、この内部抵抗は、図1に示すように放電下及び充電下で変化する。抵抗器R1は、正極電池端子T3と負極電池端子T4との間に直列に接続される。マイクロコントローラMC2は、放電/充電サイクルの前にリザーバキャパシタC1が抵抗器R3を介して充電されるときを制御するための出力M3と、ストレージキャパシタC2の端子N4とN5との間の電圧差を計測するための差動増幅器を形成するオペアンプOP1からの入力M1とを有する。マイクロコントローラMC2は入力M1を監視し、放電及び充電時間の長さを計測し、それらの時間に基づいて電池LS2のSOCを算出する。

【0045】

20

リザーバキャパシタC1の、ストレージキャパシタC2からの切り離し、及びストレージキャパシタC2との直列接続の切替えは、オペアンプOP1の出力からのフィードバックによって制御される。オペアンプOP1の出力は、スイッチングトランジスタSW3のゲートに直接接続され、かつNOTゲートNG1を介してスイッチングトランジスタSW2のゲートに接続され、スイッチングトランジスタSW2及びSW3はまとめて、図2のSWbと同様の単極双投スイッチを形成する。

【0046】

ストレージキャパシタC2が、電池LS2の時限放電期間の開始時に、10%充電状態にあると、端子N5の電圧は0Vであり、端子N4の電圧は電池電圧の10%である。オペアンプOP1の出力は電池電圧と同じであり、スイッチSW2は開き、スイッチSW3は閉じる。ストレージキャパシタC2が90%充電状態にあるときの、電池の時限放電期間の終わりに、端子N5の電圧は0Vであり、端子N4の電圧は電池電圧の90%であり、これにより、オペアンプOP1は、その出力を電池電圧から0Vにフリップさせ、スイッチSW2を閉じ、スイッチSW3を開き、端子N5の電圧を電池電圧と同じにして、端子N4の電圧を電池電圧の190%にシフトさせて、電池LS2の時限充電期間を開始する。

30

【0047】

電池が充電されるにつれて、ストレージキャパシタC2の充電レベルが低下し、その充電レベルが、端子N4の電池電圧の110%の電圧で、10%充電に達すると、オペアンプOP1の出力は、電池電圧にまでフリップバックする。このサイクルは連続的に繰り返され、マイクロコントローラMC2は、オペアンプOP1の出力のフリップに対応する放電時間と充電時間との境界を計測する。これらの時間を用いて、マイクロコントローラMC2は、電池LS2のSOCを算出する。マイクロコントローラMC2は、断続的にスイッチSW1を閉じて、リザーバキャパシタC1内に電荷を補給することができる。

40

【0048】

インダクタL1及び抵抗R2は、ストレージキャパシタC2への電流サージを制限し、本実施形態では、それぞれ1 μ H及び0.03オームの値を有する。この抵抗器R2は、計測目的のために最適な時定数を提供するように調整することのできる平衡抵抗器としても作用し、意図したシステムの分解能及び精度や、及び並列に接続される電池セルの数によって異なる。本実施形態では、リザーバキャパシタC1は1Fであり、ストレージキャパ

50

シタC2は10mFである。本実施形態において、オペアンプOP1とともに差動増幅器を形成する抵抗は $Rd1 = 12\text{ K}$ オーム、 $Rd2 = 1.2\text{ K}$ オーム、 $Rc1 = 10\text{ K}$ オーム、 $Rc2 = 1.1\text{ K}$ オームの値を有する。ダイオードD2は、導通したときにその両端間の電圧が下降しない理想的なダイオードであるとみなすが、抵抗 $Rd1$ 、 $Rd2$ 、 $Rc1$ 、 $Rc2$ は、当業者に明らかなように、現実のダイオードの電圧下降を考慮して調整することができる。

【0049】

電池LS2の内部抵抗を、単純化のためにR1の固定抵抗として表しているが、実際には、電池は、放電/充電時間にわたって実効抵抗に何らかの変化を生じさせるインパルス応答を有する。しかし、これは、電池の放電/充電時間とSOCとの関係を損ねるものではない。

10

【0050】

電池LS2が50%の充電状態で単一のセルを有するとき、放電時間の典型的な値は、ストレージキャパシタCの充電に相当する2.74msであり、充電時間の典型的な値は、ストレージキャパシタC2の放電中における3.46msである。

【0051】

100回の放電/充電サイクルが行われる場合、放電期間(dp)0.1Tから2.2Tまで、充電期間(cp)2.2Tから4.3Tまで、及び全期間(op)0.1Tから4.3Tまでの間の計時の累積値は、本実施形態では、20%のSOCに対しては280ms(dp)、300ms(cp)、及び580ms(op)の値を、40%のSOCに対しては267ms(dp)、348ms(cp)、及び615ms(op)の値を、60%のSOCに対しては280ms(dp)、348ms(cp)、及び628ms(op)の値を提供する。

20

【0052】

典型的なりチウム硫黄電池の放電及び充電抵抗は、電池の温度が何度であるかによって変化する。そのため、電池管理システムがある温度範囲にわたって動作する場合、ルックアップテーブルか、又はルックアップテーブルと比較される時間のいずれかの温度ベースの修正が望ましい。したがって、マイクロコントローラは、電池管理システムの温度センサTS1に接続された入力M2をさらに備える。温度センサTS1は、電池LS2の近傍に配置され、電池LS2の温度を計測する。

30

【0053】

図5のグラフは、異なる温度の様々な曲線を示しており、充電中の典型的なりチウム硫黄電池内部抵抗が、電池に加えられる電荷が増えるにつれてどのように変化するかを示している。加えて、図6のグラフも、異なる温度での様々な曲線を示し、放電中の典型的なりチウム硫黄電池内部抵抗が、電池から放電される電荷が増えるにつれてどのように変化するかを示している。温度は明らかに抵抗に大きな影響を及ぼすが、抵抗と温度との関係は当該技術分野ではよく知られており、そのため、マイクロコントローラMC2は、既知の関係に基づいて計測された放電及び充電時間を容易に修正して、温度補償することができる。

【0054】

40

異なる充電の状態で得られた3セットの計測値を用いて、cp、dp、及びopの絶対値を、任意の所与の充電状態に対する理想的な基準値と比較することによって、温度、経年劣化、外部負荷による電池の内部抵抗の変化を補償することも可能である。例えば、図5及び図6のグラフでは、電池の温度に対する抵抗の変化が、充電時よりも放電時の方が大きいことがわかる。特定の温度で抵抗値が変化する割合は、電池の健全状態、ひいては電池の容量の劣化を示すために用いることができる。Li-S電池の温度に起因する容量の変化を補償するために、及び電池の経年劣化又は負荷に起因する容量の変化を理想的な値に対して補償するために、温度、並びにcp、dp、及びopの値に基づくアルゴリズムを適用することができる。

【0055】

50

さらに、電池の抵抗を、印加される負荷の大きさ、及びその負荷が印加される周波数の関数としても計測することができる。例えば、C 2 及び / 又は L 1 の値を変化させ、電池が受けるインパルス負荷、及び放電 / 充電周波数を変えて計測結果の異なるセットを生成することができる。例えば、C 2 及び / 又は L 1 には可変構成要素を用いることができ、あるいは、異なる値に設定された C 2 及び / 又は L 1 を有する追加の回路を電池管理システムに組み込むことができる。これらの追加の計測結果によって得られた結果は、精度を向上させ、元の計測結果を検証し、より具体的には、複数の回路の可変負荷条件によってみられるような抵抗変化を検証することによって温度及び電池経年劣化の影響を補償するために用いることができる。例えば、C 2 は、第 1 セットの計測には設定では 10 mF に設定し、第 2 セットの計測には設定では 20 mF に設定することができる。

10

【0056】

本発明の第 3 実施形態が図 7 に示され、これは、オペアンプ OP 1 によって形成される差動増幅器が抵抗器 R 2 の端子 N 6 と N 7 との間の電圧を計測することを除いて第 2 の実施形態と同一である。このため、抵抗器 R 2 は、電流検出抵抗器として作用し、キャパシタ C 2 に流れる電流、及びキャパシタから流出する電流を計測することができる。電池 LS 2 の放電中に、端子 N 7 は、N 6 よりも高い電圧になるが、ストレージキャパシタが 90 % 充電に達するにつれて、電流レベルが十分に低下すると、オペアンプ OP 1 の出力は、電池電圧から 0 V に遷移し、電池 LS 2 の充電を開始する。そして、端子 N 6 は、N 7 より高い電圧になるが、ストレージキャパシタが 10 % 充電に降下するにつれて、電流レベルが十分に低下すると、オペアンプ OP 1 の出力は、0 V から電池電圧に遷移し、電池 LS 2 の放電期間を開始する。マイクロコントローラ MC 2 は、第 2 実施形態で前述したのと同じ方法で入力 M 1 におけるオペアンプの出力の遷移を計測する。

20

【0057】

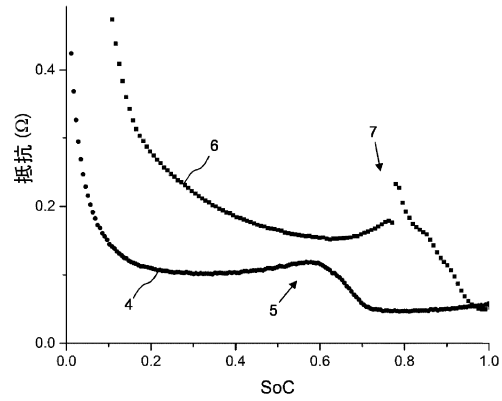
計測可能な放電 / 充電期間を有する回路を提供するために、リアクティブ素子の他の多くの配置を実装することができ、これらの回路の様々な点間の電圧を計測して、これらの回路を通して電池から及び電池への一定量の電荷の放電 / 充電を決定することができることを理解されたい。

【0058】

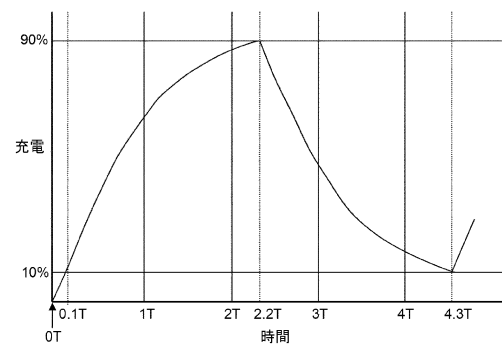
本発明の範囲内での、説明した実施形態の他の多くの変形は当業者にとって明らかである。

30

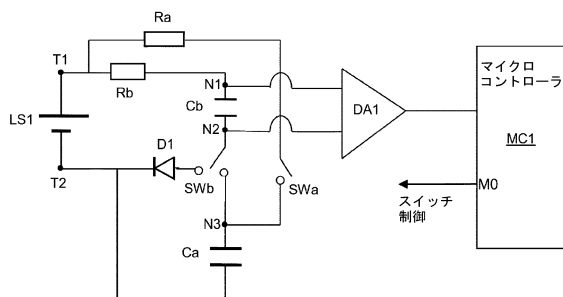
【 図 1 】



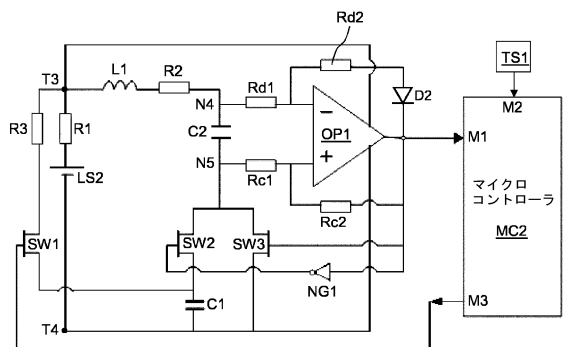
【 図 3 】



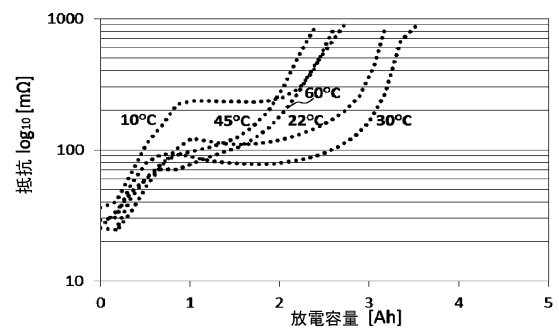
【圖 2】



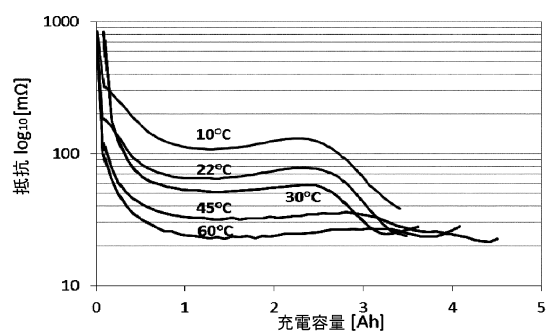
【圖 4】



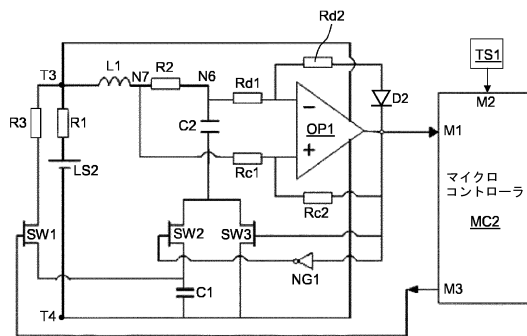
【 図 6 】



【 図 5 】



【 図 7 】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.		F I	
H 0 2 J	7/00	(2006.01)	H 0 1 M 10/48 3 0 1
H 0 1 G	17/00	(2006.01)	H 0 2 J 7/00 X
			H 0 1 G 17/00

(72)発明者 クリストファー ホール
 イギリス国 オーエックス14 3ディービー オックスフォードシャー アビンドン カルハム
 サイエンス センター イー1 オキシス エナジー リミテッド内

審査官 島 崎 純一

(56)参考文献 特開2005-057826(JP,A)
 特表2008-538608(JP,A)
 特表2018-520343(JP,A)
 米国特許出願公開第2010/0121591(US,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G 0 1 R	3 1 / 3 8 5
G 0 1 R	2 7 / 0 2
G 0 1 R	3 1 / 3 7 8
H 0 1 G	1 7 / 0 0
H 0 1 M	1 0 / 4 4
H 0 1 M	1 0 / 4 8
H 0 2 J	7 / 0 0