



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2022-0147686
(43) 공개일자 2022년11월03일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01R 31/367 (2019.01) B60R 16/033 (2006.01)
G01R 31/36 (2019.01) G01R 31/3842 (2019.01)
G01R 31/392 (2019.01) G08B 21/18 (2006.01)
H01M 10/052 (2010.01) H01M 10/48 (2021.01)
H02J 7/00 (2006.01)
- (52) CPC특허분류
G01R 31/367 (2019.01)
G01R 31/3646 (2019.01)
- (21) 출원번호 10-2022-7035547
(22) 출원일자(국제) 2021년03월10일
심사청구일자 2022년10월13일
(85) 번역문제출일자 2022년10월12일
(86) 국제출원번호 PCT/US2021/021709
(87) 국제공개번호 WO 2021/183648
국제공개일자 2021년09월16일
- (30) 우선권주장
62/988,853 2020년03월12일 미국(US)
17/196,848 2021년03월09일 미국(US)
- (71) 출원인
위스크 에어로 엘엘씨
미국 캘리포니아 94043 마운틴 뷰 브로데릭 웨이 2700
- (72) 발명자
홈 루이스 로미오
미국 캘리포니아 94043 마운틴 뷰 브로데릭 웨이 2700 위스크 에어로 엘엘씨
- (74) 대리인
리앤목특허법인

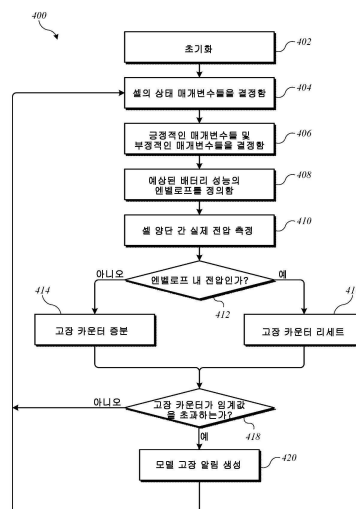
전체 청구항 수 : 총 60 항

(54) 발명의 명칭 실시간 배터리 고장 검출 및 건강 상태 모니터링

(57) 요약

배터리 관리 시스템 및 방법은 배터리 건강 및 작동의 다양한 실시형태에 대한 실시간 자동 모니터링을 제공할 수 있다. 일부 배터리 관리 시스템은 등가 셀 회로 모델을 사용하여 실제 작동 조건하에서 배터리 셀의 예상 거동 범위를 실시간으로 예측할 수 있다. 상기 예측은 셀의 실제 거동과 비교되어 비정상성이 존재하는지의 여부를 결정할 수 있게 된다. 일부 배터리 관리 시스템은 충전 용량 및 내부 저항과 같은 배터리 건강 상태 매개변수들의 추정치를 유지할 수 있으며 배터리가 방전 및/또는 충전되고 있는 동안 이러한 추정치들을 실시간으로 업데이트할 수 있다. 모니터링되는 매개변수의 비정상적인 변화들은 실시간 고장 알람을 트리거할 수 있다.

대표도 - 도4



(52) CPC특허분류

G01R 31/3648 (2013.01)
G01R 31/3842 (2019.01)
G01R 31/392 (2019.01)
G08B 21/182 (2013.01)
G08B 21/185 (2013.01)
H01M 10/486 (2021.01)
H02J 7/0048 (2020.01)
H02J 7/005 (2020.01)
H02J 7/0071 (2020.01)

명세서

청구범위

청구항 1

배터리 셀의 충전 용량을 모니터링하는 방법에 있어서,

상기 방법은,

상기 배터리 셀이 아이들(idle) 상태에 있는 동안, 상기 배터리 셀의 초기 충전 상태를 결정하는 단계; 그 후에
상기 배터리 셀이 활성 상태인 동안 상기 배터리 셀로부터 또는 상기 배터리 셀로 전달되는 총 전하량을 모니터링하는 단계;

상기 배터리 셀이 아이들 상태로 복귀한 후에, 상기 배터리 셀의 최종 충전 상태를 결정하는 단계;

상기 초기 충전 상태, 상기 최종 충전 상태, 및 상기 전달되는 총 충전량을 사용하여 필터링되지 않은 충전 용량 값을 계산하는 단계; 및

상기 필터링되지 않은 충전 용량 값을 사용하여 충전 용량 추정치를 업데이트하는 단계;

를 포함하는, 배터리 셀의 충전 용량을 모니터링하는 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 배터리 셀의 충전 용량을 모니터링하는 방법은,

이전 추정치에 대한 상기 충전 용량 추정치의 변화 크기를 계산하는 단계; 및

상기 충전 용량의 변화 크기가 임계값을 초과하는 경우에 셀 용량 고장 알림을 생성하는 단계;

를 더 포함하는, 배터리 셀의 충전 용량을 모니터링하는 방법.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 초기 충전 상태를 결정하는 단계는,

상기 배터리 셀이 초기 아이들 상태에 있는 동안 상기 배터리 셀의 초기 셀 전위 및 초기 셀 온도를 측정하는 단계; 및

상기 초기 셀 전위 및 상기 초기 셀 온도를 사용하여 등가 셀 회로 모델에 기초하여 이루어지는 상기 배터리 셀에 대한 충전 상태를 계산하는 단계;

를 포함하는, 배터리 셀의 충전 용량을 모니터링하는 방법.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 최종 충전 상태를 결정하는 단계는,

상기 배터리 셀이 아이들 상태로 복귀될 때 상기 배터리 셀의 최종 셀 전위 및 최종 셀 온도를 측정하는 단계; 및

상기 최종 셀 전위 및 상기 최종 셀 온도를 사용하여 상기 등가 셀 회로 모델에 기초하여 이루어지는 상기 배터리 셀에 대한 충전 상태를 계산하는 단계;

를 포함하는, 배터리 셀의 충전 용량을 모니터링하는 방법.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 배터리 셀이 활성 상태에 있는 동안 전달되는 총 전하량을 모니터링하는 단계는,

일정한 시간 간격들로 상기 배터리 셀을 통한 전류를 측정하는 단계; 및

상기 측정된 전류와 상기 일정한 시간 간격들에 의해 정의된 시간 스텝의 곱을 전송되는 누적 총 전하에 가산하는 단계;

를 포함하는, 배터리 셀의 충전 용량을 모니터링하는 방법.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 활성 상태는 전하가 상기 배터리 셀로부터 부하로 전달되는 방전 상태인, 배터리 셀의 충전 용량을 모니터링하는 방법.

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 충전 용량 추정치를 업데이트하는 단계는,

상기 필터링되지 않은 충전 용량 값과 이전에 저장된 충전 용량 추정치에 무한 임펄스 응답 필터를 적용하는 단계;

를 포함하는, 배터리 셀의 충전 용량을 모니터링하는 방법.

청구항 8

배터리 모니터링 시스템에 있어서,

상기 배터리 모니터링 시스템은,

배터리 셀의 배터리 센서로부터 센서 데이터를 수신하는 배터리 인터페이스;

제어 시스템에 출력 데이터를 제공하는 제어 시스템 인터페이스;

메모리; 및

상기 메모리, 상기 배터리 인터페이스, 및 상기 제어 시스템에 연결된 프로세서;

를 포함하며, 상기 프로세서는,

상기 배터리 셀이 유휴 상태에 있는 동안 상기 배터리 셀의 초기 충전 상태를 결정하는 동작을 수행하고, 그 후에

상기 배터리 셀이 활성 상태인 동안 상기 배터리 셀로부터 또는 상기 배터리 셀로 전달되는 총 전하량을 모니터링하는 동작을 수행하며,

상기 배터리 셀이 유휴 상태로 복귀된 후에, 상기 배터리 셀의 최종 충전 상태를 결정하는 동작을 수행하고,

상기 초기 충전 상태, 상기 최종 충전 상태, 및 상기 전송되는 총 충전량을 사용하여 필터링되지 않은 충전 용량 값을 계산하는 동작을 수행하며, 그리고

상기 필터링되지 않은 충전 용량 값을 사용하여 상기 메모리에 저장된 충전 용량 추정치를 업데이트하는 동작을 수행하도록 구성되는, 배터리 모니터링 시스템.

청구항 9

제8항에 있어서,

상기 프로세서는,

이전 추정치에 대한 상기 충전 용량 추정치의 변화 크기를 계산하는 동작을 수행하고, 그리고

상기 충전 용량의 변화 크기가 임계값을 초과하는 경우 셀 용량 고장 알람을 생성하는 동작을 수행하도록 더 구성되는, 배터리 모니터링 시스템.

청구항 10

제8항에 있어서,

상기 프로세서는,

상기 초기 충전 상태를 결정하는 동작이,

상기 배터리 셀이 초기 아이들 상태에 있는 동안 상기 배터리 셀의 초기 셀 전위 및 초기 셀 온도를 측정하는 동작; 및

상기 초기 셀 전위 및 상기 초기 셀 온도를 사용하여 등가 셀 회로 모델에 기초하여 이루어지는 상기 배터리 셀에 대한 충전 상태를 계산하는 동작;

을 포함하도록 더 구성되는, 배터리 모니터링 시스템.

청구항 11

제10항에 있어서,

상기 프로세서는,

최종 충전 상태를 결정하는 동작이,

상기 배터리 셀이 아이들 상태로 복귀될 때 상기 배터리 셀의 최종 셀 전위 및 최종 셀 온도를 측정하는 동작; 및

상기 최종 셀 전위 및 상기 최종 셀 온도를 사용하여 등가 셀 회로 모델에 기초하여 이루어지는 상기 배터리 셀에 대한 충전 상태를 계산하는 동작;

을 포함하도록 더 구성되는, 배터리 모니터링 시스템.

청구항 12

제8항에 있어서,

상기 프로세서는,

상기 배터리 셀이 활성 상태에 있는 동안 전달되는 총 전하량을 모니터링하는 동작이,

일정한 시간 간격들로 상기 배터리 셀을 통한 전류를 측정하는 동작; 및

상기 측정된 전류와 상기 일정한 시간 간격들에 의해 정의된 시간 스텝의 곱을 전송되는 누적 총 전하에 가산하는 동작;

을 포함하도록 더 구성되는, 배터리 모니터링 시스템.

청구항 13

제8항에 있어서,

상기 활성 상태는 외부 전력 소스로부터 상기 배터리 셀로 전하가 전달되는 충전 상태인, 배터리 모니터링 시스템.

청구항 14

제8항에 있어서,

상기 프로세서는,

상기 충전 용량 추정치를 업데이트하는 동작이,

상기 필터링되지 않은 충전 용량 값과 이전에 저장된 충전 용량 추정치에 무한 임펄스 응답 필터를 적용하는 동작;

을 포함하도록 더 구성되는, 배터리 모니터링 시스템.

청구항 15

배터리 셀에 연결된 배터리 모니터링 시스템 내 프로세서에 의해 실행될 때, 상기 프로세서로 하여금 이하의 단계들을 포함하는 방법을 수행하게 하는 프로그램 명령어들이 저장된 컴퓨터-판독가능 저장 매체로서, 상기 이하의 단계들은,

상기 배터리 셀이 아이들 상태에 있는 동안, 상기 배터리 셀의 초기 충전 상태를 결정하는 단계; 그 후에

상기 배터리 셀이 활성 상태인 동안 상기 배터리 셀로부터 또는 상기 배터리 셀로 전달되는 총 전하량을 모니터링하는 단계;

상기 배터리 셀이 아이들 상태로 복귀된 후에, 상기 배터리 셀의 최종 충전 상태를 결정하는 단계;

상기 초기 충전 상태, 상기 최종 충전 상태, 및 상기 전송되는 총 충전량을 사용하여 필터링되지 않은 충전 용량 값을 계산하는 단계; 및

상기 필터링되지 않은 충전 용량 값을 사용하여 충전 용량 추정치를 업데이트하는 단계;

를 포함하는, 컴퓨터-판독가능 저장 매체.

청구항 16

제15항에 있어서,

상기 방법은,

이전 추정치에 대한 상기 충전 용량 추정치의 변화 크기를 계산하는 단계; 및

상기 충전 용량의 변화 크기가 임계값을 초과하는 경우에 셀 용량 고장 알람을 생성하는 단계;

를 더 포함하는, 컴퓨터-판독가능 저장 매체.

청구항 17

제15항에 있어서,

상기 초기 충전 상태를 결정하는 단계는,

상기 배터리 셀이 초기 아이들 상태에 있는 동안 상기 배터리 셀의 초기 셀 전위 및 초기 셀 온도를 측정하는 단계; 및

상기 초기 셀 전위 및 상기 초기 셀 온도를 사용하여 등가 셀 회로 모델에 기초하여 이루어지는 상기 배터리 셀에 대한 충전 상태를 계산하는 단계;

를 포함하는, 컴퓨터-판독가능 저장 매체.

청구항 18

제17항에 있어서,

상기 최종 충전 상태를 결정하는 단계는,

상기 배터리 셀이 아이들 상태로 복귀될 때 상기 배터리 셀의 최종 셀 전위 및 최종 셀 온도를 측정하는 단계; 및

상기 최종 셀 전위 및 상기 최종 셀 온도를 사용하여 등가 셀 회로 모델에 기초하여 이루어지는 상기 배터리 셀에 대한 충전 상태를 계산하는 단계;

를 포함하는, 컴퓨터-판독가능 저장 매체.

청구항 19

제15항에 있어서,

상기 배터리 셀이 활성 상태에 있는 동안 전달되는 총 전하량을 모니터링하는 단계는,

일정한 시간 간격들로 상기 배터리 셀을 통한 전류를 측정하는 단계; 및

상기 측정된 전류와 상기 일정한 시간 간격들에 의해 정의된 시간 스텝의 곱을 전송되는 누적 총 전하에 가산하는 단계;

를 포함하는, 컴퓨터-판독가능 저장 매체.

청구항 20

제15항에 있어서,

상기 충전 용량 추정치를 업데이트하는 단계는,

상기 필터링되지 않은 충전 용량 값과 이전에 저장된 충전 용량 추정치에 무한 임펄스 응답 필터를 적용하는 단계;

를 포함하는, 컴퓨터-판독가능 저장 매체.

청구항 21

배터리 셀의 내부 저항을 모니터링하는 방법에 있어서,

상기 방법은,

배터리 셀의 아이들 상태로부터 활성 상태로의 전이를 검출함에 응답하여, 저장된 값을 사용하여 내부 저항의 누적 추정치를 초기화하는 단계;

를 포함하며,

상기 방법은,

상기 배터리 셀이 활성 상태에 있는 동안:

상기 배터리 셀의 전위, 전류 및 온도를 측정하는 단계; 및

상기 측정된 전위, 전류 및 온도에 기초하여 상기 내부 저항의 누적 추정치를 반복적으로 업데이트하는 단계;

를 포함하고,

상기 방법은,

상기 배터리 셀의 활성 상태로부터 아이들 상태로의 전이를 검출함에 응답하여:

상기 저장된 값과 상기 누적 추정치의 최종값에 기초하여 내부 저항의 변화를 계산하는 단계; 및

상기 누적 추정치의 최종 값을 사용하여 상기 저장된 값을 업데이트하는 단계;

를 포함하는, 배터리 셀의 내부 저항을 모니터링하는 방법.

청구항 22

제21항에 있어서,

상기 배터리 셀의 내부 저항을 모니터링하는 방법은,

내부 저항의 변화가 임계값을 초과하는 경우 셀 저항 고장 알람을 생성하는 단계;

를 더 포함하는, 배터리 셀의 내부 저항을 모니터링하는 방법.

청구항 23

제21항에 있어서,

상기 측정된 전위, 전류 및 온도에 기초하여 상기 내부 저항의 누적 추정치를 반복적으로 업데이트하는 단계는, 각각의 반복적인 업데이트에 대해 상기 측정된 전위, 전류 및 온도가 사전에 정의된 유효 범위들 내에 있게 되는지의 여부를 결정하는 단계;

상기 측정된 전위, 전류 및 온도가 상기 사전에 정의된 유효 범위들 내에 있게 되는 경우:

등가 셀 회로 모델에 기초하여 상기 내부 저항의 원시 추정치를 계산하고, 그리고

상기 원시 추정치 및 이전 시간 스텝으로부터의 이전 누적 추정치를 사용하여 상기 누적 추정치를 업데이트하는 단계; 및

상기 측정된 전위, 전류 또는 온도 중 하나 이상이 상기 사전 정의된 유효 범위들 내에 있지 않게 되는 경우, 상기 누적 추정치를 업데이트하지 않고 다음 시간 스텝을 대기하는 단계;

를 포함하는, 배터리 셀의 내부 저항을 모니터링하는 방법.

청구항 24

제23항에 있어서,

상기 누적 추정치를 업데이트하는 단계는,

상기 원시 추정치와 상기 이전 누적 추정치에 무한 임펄스 응답 필터를 적용하는 단계;

를 포함하는, 배터리 셀의 내부 저항을 모니터링하는 방법.

청구항 25

제21항에 있어서,

상기 측정된 전위, 전류 및 온도에 기초하여 상기 내부 저항의 누적 추정치를 반복적으로 업데이트하는 단계는, 각각의 반복적인 업데이트에 대해, 상기 측정된 전위, 전류 및 온도가 사전에 정의된 유효 범위들 내에 있게 되는지의 여부를 결정하는 단계;

상기 측정된 전위, 전류 및 온도가 상기 사전에 정의된 유효 범위 내에 있게 되는 경우:

등가 셀 회로 모델에 기초하여 상기 내부 저항의 원시 추정치를 계산하고,

상기 원시 추정치가 논리에 맞는 값들의 범위를 벗어나게 되는 경우, 상기 원시 추정치를 폐기하며, 그리고

상기 원시 추정치가 논리에 맞는 값들의 범위 내에 있게 되는 경우 상기 원시 추정치 및 이전 시간 스텝으로부터의 이전 누적 추정치를 사용하여 상기 누적 추정치를 업데이트하는 단계; 및

상기 측정된 전위, 전류 또는 온도 중 하나 이상이 상기 사전 정의된 유효 범위들 내에 있지 않게 되는 경우, 상기 누적 추정치를 업데이트하지 않고 다음 시간 스텝을 대기하는 단계;

를 포함하는, 배터리 셀의 내부 저항을 모니터링하는 방법.

청구항 26

제25항에 있어서,

상기 누적 추정치를 업데이트하는 단계는,

상기 원시 추정치와 상기 이전 누적 추정치에 무한 임펄스 응답 필터를 적용하는 단계;

를 포함하는, 배터리 셀의 내부 저항을 모니터링하는 방법.

청구항 27

제21항에 있어서,

상기 활성 상태는 충전 상태인, 배터리 셀의 내부 저항을 모니터링하는 방법.

청구항 28

제21항에 있어서,

상기 활성 상태는 방전 상태인, 배터리 셀의 내부 저항을 모니터링하는 방법.

청구항 29

배터리 모니터링 시스템에 있어서,

상기 배터리 모니터링 시스템은,

배터리 셀의 배터리 센서로부터 센서 데이터를 수신하는 배터리 인터페이스;

제어 시스템에 출력 데이터를 제공하는 제어 시스템 인터페이스;

메모리; 및

상기 메모리, 상기 배터리 인터페이스, 및 상기 제어 시스템에 연결된 프로세서;

를 포함하며, 상기 프로세서는,

배터리 셀의 아이들 상태에서부터 활성 상태로의 전이를 검출함에 응답하여, 저장된 값을 사용하여 내부 저항의 누적 추정치를 초기화하는 동작;

상기 배터리 셀이 활성 상태에 있는 동안:

상기 배터리 셀의 전위, 전류 및 온도를 측정하고, 그리고

상기 측정된 전위, 전류 및 온도에 기초하여 상기 내부 저항의 누적 추정치를 반복적으로 업데이트하는 동작; 및

상기 배터리 셀의 활성 상태에서부터 아이들 상태로의 전이를 검출함에 응답하여:

상기 저장된 값과 상기 누적 추정치의 최종값에 기초하여 내부 저항의 변화를 계산하고, 그리고

상기 누적 추정치의 최종 값을 사용하여 상기 저장된 값을 업데이트하는 동작;

을 수행하도록 구성된, 배터리 모니터링 시스템.

청구항 30

제29항에 있어서,

상기 프로세서는,

내부 저항의 변화가 임계값을 초과하는 경우 셀 저항 고장 알림을 생성하는 동작;

을 수행하도록 더 구성되는, 배터리 모니터링 시스템.

청구항 31

제29항에 있어서,

상기 프로세서는,

상기 측정된 전위, 전류 및 온도에 기초하여 상기 내부 저항의 누적 추정치를 반복적으로 업데이트하는 동작이,

각각의 반복적인 업데이트에 대해 상기 측정된 전위, 전류 및 온도가 사전에 정의된 유효 범위들 내에 있게 되는지의 여부를 결정하는 동작;

상기 측정된 전위, 전류 및 온도가 상기 사전에 정의된 유효 범위들 내에 있게 되는 경우:

등가 셀 회로 모델에 기초하여 상기 내부 저항의 원시 추정치를 계산하고,

상기 원시 추정치가 논리에 맞는 값들의 범위를 벗어나게 되는 경우, 상기 원시 추정치를 폐기하며, 그리고

상기 원시 추정치가 논리에 맞은 값들의 범위 내에 있게 되는 경우, 상기 원시 추정치 및 이전 시간 스텝으로부터

터의 이전 누적 추정치를 사용하여 상기 누적 추정치를 업데이트하는 동작; 및

상기 측정된 전위, 전류 또는 온도 중 하나 이상이 상기 사전 정의된 유효 범위들 내에 있지 않게 되는 경우, 상기 누적 추정치를 업데이트하지 않고 다음 시간 스텝을 대기하는 동작;

을 포함하도록 더 구성되는, 배터리 모니터링 시스템.

청구항 32

제31항에 있어서,

상기 프로세서는,

상기 누적 추정치를 업데이트하는 동작이,

상기 원시 추정치와 상기 이전 누적 추정치에 무한 임펄스 응답 필터를 적용하는 동작;

을 포함하도록 더 구성되는, 배터리 모니터링 시스템.

청구항 33

제29항에 있어서,

상기 활성 상태는 충전 상태인, 배터리 모니터링 시스템.

청구항 34

제29항에 있어서,

상기 활성 상태는 방전 상태인, 배터리 모니터링 시스템.

청구항 35

배터리 셀에 연결된 배터리 모니터링 시스템 내 프로세서에 의해 실행될 때, 상기 프로세서로 하여금 이하의 단계들을 포함하는 방법을 실행하게 하는 프로그램 명령어들이 저장된 컴퓨터 판독-가능 저장 매체로서, 상기 이하의 단계들은,

상기 배터리 셀의 아이들 상태로부터 활성 상태로의 전이를 검출함에 응답하여, 저장된 값을 사용하여 내부 저항의 누적 추정치를 초기화하는 단계;

상기 배터리 셀이 활성 상태에 있는 동안:

상기 배터리 셀의 전위, 전류 및 온도를 측정하고, 그리고

상기 측정된 전위, 전류 및 온도에 기초하여 상기 내부 저항의 누적 추정치를 반복적으로 업데이트하는 단계; 및

상기 배터리 셀의 활성 상태로부터 아이들 상태로의 전이를 검출함에 응답하여:

상기 저장된 값과 상기 누적 추정치의 최종값에 기초하여 내부 저항의 변화를 계산하고, 그리고

상기 누적 추정치의 최종 값을 사용하여 상기 저장된 값을 업데이트하는 단계;

포함하는, 컴퓨터 판독-가능 저장 매체.

청구항 36

제35항에 있어서,

상기 방법은,

내부 저항의 변화가 임계값을 초과하는 경우 셀 저항 고장 알림을 생성하는 단계;

를 더 포함하는, 컴퓨터 판독-가능 저장 매체.

청구항 37

제35항에 있어서,

상기 측정된 전위, 전류 및 온도에 기초하여 상기 내부 저항의 누적 추정치를 반복적으로 업데이트하는 단계는, 각각의 반복적인 업데이트에 대해 상기 측정된 전위, 전류 및 온도가 사전에 정의된 유효 범위들 내에 있게 되는지의 여부를 결정하는 단계;

상기 측정된 전위, 전류 및 온도가 상기 사전에 정의된 유효 범위들 내에 있게 되는 경우:

등가 셀 회로 모델에 기초하여 상기 내부 저항의 원시 추정치를 계산하고, 그리고

상기 원시 추정치 및 이전 시간 스텝으로부터의 이전 누적 추정치를 사용하여 상기 누적 추정치를 업데이트하는 단계; 및

상기 측정된 전위, 전류 또는 온도 중 하나 이상이 상기 사전 정의된 유효 범위들 내에 있지 않게 되는 경우, 상기 누적 추정치를 업데이트하지 않고 다음 시간 스텝을 대기하는 단계;

를 포함하는, 컴퓨터 판독-가능 저장 매체.

청구항 38

제37항에 있어서,

상기 누적 추정치를 업데이트하는 단계는,

상기 원시 추정치와 상기 이전 누적 추정치에 무한 임펄스 응답 필터를 적용하는 단계;

를 포함하는, 컴퓨터 판독-가능 저장 매체.

청구항 39

제35항에 있어서,

상기 활성 상태는 충전 상태인, 컴퓨터 판독-가능 저장 매체.

청구항 40

제35항에 있어서,

상기 활성 상태는 방전 상태인, 컴퓨터 판독-가능 저장 매체.

청구항 41

배터리 셀의 상태를 모니터링하는 방법에 있어서,

상기 방법은,

상기 배터리 셀의 하나 이상의 건강 상태 매개변수들의 현재 값들을 결정하는 단계;

상기 배터리 셀의 실제 전위를 측정하는 것을 포함해, 상기 배터리 셀의 복수 개의 작동 상태 매개변수들의 값들을 측정하는 단계;

셀 상태 모델, 제1 서브세트의 상기 작동 상태 매개변수들의 측정된 값들, 및 상기 하나 이상의 건강 상태 매개변수들에 대한 긍정적인 값들에 기초하여 긍정적인 전위를 계산하는 단계 - 상기 긍정적인 값들은 상기 하나 이상의 건강 상태 매개변수들의 현재 값들보다 양호한 건강 상태에 상응하는 것임 -;

상기 셀 상태 모델, 상기 제1 서브세트의 작동 상태 매개변수들의 측정된 값들, 및 상기 하나 이상의 건강 상태 매개변수들에 대한 부정적인 값들에 기초하여 부정적인 전위를 계산하는 단계 - 상기 부정적인 값들은 상기 하나 이상의 건강 상태 매개변수들의 현재 값들보다 불량한 것임 -;

상기 배터리 셀의 실제 전위가 실질적으로 상기 긍정적인 전위와 상기 부정적인 전위에 의해 정의된 엔벨로프 내에 있게 되는지의 여부를 결정하는 단계; 및

상기 실제 전위가 실질적으로 상기 엔벨로프 내에 있지 않게 되는 경우 모델 고장 알림을 생성하는 단계;

를 포함하는, 배터리 셀의 상태를 모니터링하는 방법.

청구항 42

제41항에 있어서,

상기 배터리 셀의 상태를 모니터링하는 방법은 상기 배터리 셀이 부하에 전력을 공급하고 있는 동안 실시간으로 수행되는, 배터리 셀의 상태를 모니터링하는 방법.

청구항 43

제41항에 있어서,

상기 배터리 셀의 상태를 모니터링하는 방법은 상기 배터리 셀이 충전되고 있는 동안 실시간으로 수행되는, 배터리 셀의 상태를 모니터링하는 방법.

청구항 44

제41항에 있어서,

상기 모델 고장 알림은 상기 배터리 셀이 활성적인 사용 중에 있는 동안 실시간으로 생성되는, 배터리 셀의 상태를 모니터링하는 방법.

청구항 45

제41항에 있어서,

상기 작동 상태 매개변수들은 상기 배터리 셀을 통한 전류 및 상기 배터리 셀의 온도를 포함하는, 배터리 셀의 상태를 모니터링하는 방법.

청구항 46

제41항에 있어서,

상기 하나 이상의 건강 상태 매개변수들은,

상기 배터리 셀의 내부 저항; 및

상기 배터리 셀의 충전 용량;

을 포함하는, 배터리 셀의 상태를 모니터링하는 방법.

청구항 47

제46항에 있어서,

상기 배터리 셀의 상태를 모니터링하는 방법은,

상기 배터리가 활성적인 사용 중에 있는 동안 상기 건강 상태 매개변수들 중 하나 이상의 값들을 추정하는 단계; 및

상기 추정된 값들을 상기 건강 상태 매개변수들의 현재 값들로서 저장하는 단계;

를 더 포함하는, 배터리 셀의 상태를 모니터링하는 방법.

청구항 48

제41항에 있어서,

상기 셀 상태 모델은 등가 셀 회로 모델인, 배터리 셀의 상태를 모니터링하는 방법.

청구항 49

제41항에 있어서,

상기 배터리 셀의 상태를 모니터링하는 방법은,

셀 상태 모델, 제1 서브세트의 상기 작동 상태 매개변수들의 측정된 값들, 및 상기 하나 이상의 건강 상태 매개변수들의 현재 값들에 기초하여 상기 배터리 셀의 예측된 전위를 계산하는 단계;

를 더 포함하는, 배터리 셀의 상태를 모니터링하는 방법.

청구항 50

배터리 모니터링 시스템에 있어서,

상기 배터리 모니터링 시스템은,

배터리 셀의 배터리 센서로부터 센서 데이터를 수신하는 배터리 인터페이스;

제어 시스템에 출력 데이터를 제공하는 제어 시스템 인터페이스;

메모리; 및

상기 메모리, 상기 배터리 인터페이스, 및 상기 제어 시스템에 연결된 프로세서;

를 포함하며, 상기 프로세서는,

배터리 셀의 하나 이상의 건강 상태 매개변수들의 현재 값들을 결정하는 동작;

상기 배터리 셀의 복수 개의 작동 상태 매개변수들의 값들을 포함하는 센서 데이터를 수신하는 동작 - 상기 복수 개의 작동 상태 매개변수들은 상기 배터리 셀의 실제 전위를 포함하는 것임 -;

셀 상태 모델, 제1 서브세트의 상기 작동 상태 매개변수들의 값들, 및 상기 하나 이상의 건강 상태 매개변수들에 대한 긍정적인 값들에 기초하여 긍정적인 전위를 계산하는 동작 - 상기 긍정적인 값들은 상기 하나 이상의 건강 상태 매개변수들의 현재 값들보다 양호한 건강 상태에 상응하는 것임 -;

상기 셀 상태 모델, 상기 제1 서브세트의 작동 상태 매개변수들의 값들, 및 상기 하나 이상의 건강 상태 매개변수들에 대한 부정적인 값들에 기초하여 부정적인 전위를 계산하는 동작 - 상기 부정적인 값들은 상기 하나 이상의 건강 상태 매개변수들의 현재 값들보다 불량한 건강 상태에 상응하는 것임 -;

상기 배터리 셀의 실제 전위가 실질적으로 상기 긍정적인 전위와 상기 부정적인 전위에 의해 정의된 엔벨로프 내에 있게 되는지의 여부를 결정하는 동작; 및

상기 실제 전위가 실질적으로 상기 엔벨로프 내에 있지 않게 되는 경우 모델 고장 알람을 생성하는 동작;

을 수행하도록 구성되는, 배터리 모니터링 시스템.

청구항 51

제50항에 있어서,

상기 프로세서는 상기 센서 데이터를 수신하는 동작, 상기 긍정적인 전위를 계산하는 동작, 상기 부정적인 전위를 계산하는 동작, 상기 배터리 셀의 실제 전위가 실질적으로 상기 엔벨로프 내에 있게 되는지의 여부를 결정하는 동작, 및 상기 배터리 셀이 활성적인 이용 중에 있는 동안 상기 모델 고장 알람을 실시간으로 생성하는 동작을 수행하도록 구성되는, 배터리 모니터링 시스템.

청구항 52

제50항에 있어서,

상기 센서 데이터는 상기 배터리 셀을 통한 전류 및 상기 배터리 셀의 온도를 포함하는, 배터리 모니터링 시스템.

청구항 53

제50항에 있어서,

상기 하나 이상의 건강 상태 매개변수들은,

상기 배터리 셀의 내부 저항; 및
상기 배터리 셀의 충전 용량;
을 포함하는, 배터리 모니터링 시스템.

청구항 54

제53항에 있어서,

상기 프로세서는 상기 배터리 셀이 부하에 전력을 공급하고 있는 센서 데이터를 사용하여 상기 건강 상태 매개변수들 중 하나 이상의 값들을 추정하는 동작 및 상기 추정된 값을 상기 건강 상태 매개변수들의 현재 값들로서 저장하는 동작을 수행하도록 더 구성되는, 배터리 모니터링 시스템.

청구항 55

배터리 모니터링 시스템 내 프로세서에 의해 실행될 때, 상기 프로세서로 하여금 이하의 단계들을 포함하는 방법을 실행하게 하는 프로그램 명령어들이 저장된 컴퓨터 판독가능 저장 매체로서, 상기 이하의 단계들은,

배터리 셀의 하나 이상의 건강 상태 매개변수들의 현재 값들을 결정하는 단계;

상기 배터리 셀의 실제 전위를 측정하는 것을 포함해, 상기 배터리 셀의 복수 개의 작동 상태 매개변수들의 값들을 측정하는 단계;

셀 상태 모델, 제1 서브세트의 상기 작동 상태 매개변수들의 측정된 값들, 및 상기 하나 이상의 건강 상태 매개변수들에 대한 긍정적인 값들에 기초하여 긍정적인 전위를 계산하는 단계 - 상기 긍정적인 값들은 상기 하나 이상의 건강 상태 매개변수들의 현재 값들보다 양호한 건강 상태에 상응하는 것임 -;

상기 셀 상태 모델, 상기 제1 서브세트의 작동 상태 매개변수들의 측정된 값들, 및 상기 하나 이상의 건강 상태 매개변수들에 대한 부정적인 값들에 기초하여 부정적인 전위를 계산하는 단계 - 상기 부정적인 값들은 상기 하나 이상의 건강 상태 매개변수들의 현재 값들보다 불량한 건강 상태에 상응하는 것임 -;

상기 배터리 셀의 실제 전위가 실질적으로 상기 긍정적인 전위와 상기 부정적인 전위에 의해 정의된 엔벨로프 내에 있게 되는 지의 여부를 결정하는 단계; 및

상기 실제 전위가 실질적으로 상기 엔벨로프 내에 있지 않게 되는 경우 모델 고장 알람을 생성하는 단계;

를 포함하는, 컴퓨터 판독가능 저장 매체.

청구항 56

제55항에 있어서,

상기 방법은 상기 배터리 셀이 활성적인 사용 중에 있는 동안 실시간으로 실행되는, 컴퓨터 판독가능 저장 매체.

청구항 57

제55항에 있어서,

상기 하나 이상의 건강 상태 매개변수들은,

상기 배터리 셀의 내부 저항; 및

상기 배터리 셀의 충전 용량;

을 포함하는, 컴퓨터 판독가능 저장 매체.

청구항 58

제57항에 있어서,

상기 방법은,

상기 배터리가 활성적인 사용 중에 있는 동안 상기 건강 상태 매개변수들 중 하나 이상의 값들을 추정하는

단계; 및

상기 추정된 값을 상기 건강 상태 매개변수들의 현재 값들로서 저장하는 단계;

를 더 포함하는, 컴퓨터 판독가능 저장 매체.

청구항 59

제55항에 있어서,

상기 방법은 셀 상태 모델, 제1 서브세트의 상기 작동 상태 매개변수들의 측정된 값들, 및 상기 하나 이상의 건강 상태 매개변수들의 현재 값들에 기초하여 상기 배터리 셀의 예측 전위를 계산하는 단계를 더 포함하는, 컴퓨터 판독가능 저장 매체.

청구항 60

제55항에 있어서,

상기 작동 상태 매개변수들은 상기 배터리 셀을 통한 전류 및 상기 배터리 셀의 온도를 포함하는, 컴퓨터 판독가능 저장 매체.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 관련 출원에 대한 상호 참조

[0002] 본원은 2020년 3월 12일자 출원된 미국 임시출원 제62/988,853호, 및 2021년 3월 9일자에 출원된 미국 특허출원 제17/196,848호를 기초로 우선권을 주장한 것이며, 상기 미국 임시출원 및 상기 미국 특허출원의 개시내용은 인용에 의해 여기에 보완된다.

[0003] 기술분야

[0004] 본 개시내용은 일반적으로 기술하면 배터리 모니터링에 관한 것이며, 구체적으로 기술하면 실시간 배터리 건강 및 성능 모니터링을 위한 시스템 및 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0005] 배터리는 저장된 화학 에너지를 전기 에너지로 변환할 수 있는 전기화학 장치이다. 리튬 이온 배터리, 니켈-금속-수소화물 배터리, 납산 배터리, 니켈-카드뮴 배터리, 알카라인 배터리 등을 포함한 배터리 기술의 수많은 예가 당 업계에 공지되어 있다. 배터리들은 다양한 크기와 다양한 작동 특성(예컨대, 전압(또는 전위), 최대 전류, 충전 용량 등)으로 이루어질 수 있다. 고전압 또는 고 충전 용량을 지원하기 위해, 여러 배터리 셀을 직렬로 그리고/또는 병렬로 전기 접속함으로써 배터리 팩들이 이루어질 수 있다. 배터리 기술에 따라, 일부 타입의 배터리들은 충전 전류 소스에 접속함으로써 충전될 수 있다.

[0006] 배터리(특히 리튬 이온 배터리)에는 자동차, 항공기, 선박 등과 같은 차량의 모터를 구동하기 위한 휴대용 전원으로서의 용도를 포함한 다양한 여러 용도가 있음을 발견하였다. 경우에 따라, 배터리 또는 배터리 팩은 차량의 유일한 전원일 수 있다. 동력을 위해 배터리 전력에만 의존하는 차량은 배터리가 불량하게 되면 갑자기 차량의 동력을 상실할 수 있다. 배터리 불량이 생기면 차량의 상태에 따라 그 결과는 불편한 결과에서부터 참담한 결과에 이르기까지 다양할 수 있다. 따라서, 배터리 성능을 모니터링하며 문제를 나타낼 수 있는 조건들을 검출하고, 그럼으로써 배터리가 불량해지기 전에 서비스를 받거나 또는 교체될 수 있게 하는 것이 바람직할 수 있다.

발명의 내용

[0007] 배터리 건강 및 작동의 다양한 실시형태의 실시간 자동 모니터링을 제공할 수 있는 배터리 모니터링 시스템 및 방법의 예들(또는 실시 예들)이 여기에 기재되어 있다. 다양한 실시 예에서, 배터리 건강 및 작동의 상이한 실시형태들이 모니터링될 수 있다. 예를 들어, 배터리 모니터링 시스템은 등가 셀 회로 모델을 사용하여 실제 작동 조건들(예컨대, 특정 부하 전류 또는 특정 온도에서의 충전 전류) 하에서의 배터리 셀의 예상된 동작(예컨대, 배터리 셀의 전위 또는 전압)을 정의하는 범위(또는 "엔벨로프(envelope)")를 실시간으로 예측할

수 있다. 상기 예측은 여기에서 "모델 고장(model fault)" 조건으로서 언급되는 잠재적인 문제가 존재하는지의 여부를 결정하기 위해 배터리 셀의 실제 동작(예컨대, 배터리 셀의 측정 전위)과 비교될 수 있다. 다른 일 예로서, 배터리 모니터링 시스템은 충전 용량 및 내부 저항과 같은 배터리 건강 상태 매개변수들의 추정치들을 유지할 수 있는데, 이러한 추정치들은 배터리가 방전 및/또는 충전되는 동안 실시간으로 업데이트될 수 있으며 배터리 건강 상태 매개변수들의 비정상적인 변화들은 "의심스러운 매개변수(suspicious parameter)" 고장을 나타낼 수 있다. 배터리 모니터링 시스템은 검출된 고장의 알람을 실시간으로 제공하여 즉각적인 수정 조치가 취해지는 것을 허용할 수 있다.

[0008] 일부 실시 예들에 의하면, 배터리 셀의 충전 용량을 모니터링하는 방법은 배터리 셀이 유휴(idle) 상태에 있는 동안 배터리 셀의 초기 충전 상태를 결정하는 단계; 그 후 배터리 셀이 활성 상태(예컨대, 배터리 셀로부터 부하로 전하가 전달되는 방전 상태, 또는 외부 전원으로로부터 배터리 셀로 전하가 전달되는 충전 상태)인 동안 배터리 셀로부터나 또는 배터리 셀로 전달되는 총 전하량을 모니터링하는 단계; 배터리 셀이 상기 유휴 상태로 복귀한 후에, 배터리 셀의 최종 충전 상태를 결정하는 단계; 상기 초기 충전 상태, 상기 최종 충전 상태 및 상기 전달된 총 전하량을 이용하여 필터링되지 않은 충전 용량 값을 계산하는 단계; 및 필터링되지 않은 충전 용량 값을 사용하여 충전 용량 추정치를 업데이트하는 단계를 포함할 수 있다.

[0009] 일부 실시 예들에서, 이전 추정치에 대해 상기 충전 용량 추정치의 변화 크기가 계산될 수 있고, 상기 충전 용량 추정치의 변화 크기가 임계값을 초과하는 경우에 셀 용량 고장 알람이 생성될 수 있다.

[0010] 일부 실시 예들에서, 상기 초기 충전 상태를 결정하는 단계는, 배터리 셀이 초기 유휴 상태에 있는 동안 배터리 셀의 초기 셀 전위 및 초기 셀 온도를 측정하는 단계; 및 상기 초기 셀 전위 및 상기 초기 셀 온도를 사용하여 등가 셀 회로 모델에 기초하여 상기 배터리 셀의 충전 상태를 계산하는 단계를 포함할 수 있다.

[0011] 일부 실시 예들에서, 상기 최종 충전 상태를 결정하는 단계는, 배터리 셀이 상기 유휴 상태로 복귀할 때 배터리 셀의 최종 셀 전위 및 최종 셀 온도를 측정하는 단계; 및 상기 최종 셀 전위 및 상기 최종 셀 온도를 사용하여 상기 등가 셀 회로 모델에 기초하여 배터리 셀에 대한 충전 상태를 계산하는 단계를 포함할 수 있다.

[0012] 일부 실시 예들에서, 상기 배터리 셀이 활성 상태에 있는 동안 전달된 총 전하량을 모니터링하는 단계는, 일정한 시간 간격들로 배터리 셀을 통한 전류를 측정하는 단계; 및 상기 측정된 전류와 상기 일정한 시간 간격에 의해 정의된 시간 스텝의 곱을 전달된 전하의 누적 합계에 가산하는 단계를 포함할 수 있다.

[0013] 일부 실시 예들에서, 상기 충전 용량 추정치를 업데이트하는 단계는 필터링되지 않은 충전 용량 값 및 이전에 저장된 충전 용량 추정치에 무한 임펄스 응답 필터를 적용하는 단계를 포함할 수 있다.

[0014] 일부 실시 예들에 의하면, 배터리 셀의 내부 저항을 모니터링하기 위한 방법은, 배터리 셀이 유휴 상태로부터 활성 상태(예컨대, 충전 상태 또는 방전 상태일 수 있음)로 전이됨을 검출함에 응답하여, 저장된 값을 사용하여 내부 저항의 누적 추정치를 초기화하는 단계; 배터리 셀이 활성 상태에 있는 동안, 배터리 셀의 전위, 전류 및 온도를 측정하고, 측정된 전위, 전류 및 온도에 기초하여 상기 내부 저항의 누적 추정치를 반복적으로 업데이트하는 단계; 및 배터리 셀이 활성 상태로부터 유휴 상태로 전이됨을 검출함에 응답하여, 저장된 값 및 상기 누적 추정치의 최종 값에 기초하여 내부 저항의 변화를 계산하고, 상기 누적 추정치의 최종 값을 사용하여 상기 저장된 값을 업데이트하는 단계를 포함할 수 있다.

[0015] 일부 실시 예들에서, 내부 저항의 변화가 임계값을 초과하는 경우에 셀 저항 고장 알람이 생성될 수 있다.

[0016] 일부 실시 예들에서, 상기 측정된 전위, 전류 및 온도에 기초하여 상기 내부 저항의 누적 추정치를 반복적으로 업데이트하는 단계는 각각의 반복적인 업데이트에 대해 상기 측정된 전위, 전류 및 온도가 사전에 정의된 유효 범위 내에 있는지의 여부를 결정하는 단계를 포함할 수 있다. 상기 측정된 전위, 전류 및 온도가 사전에 정의된 유효 범위 내에 있는 경우, 등가 셀 회로 모델에 기초하여 상기 내부 저항의 원시 추정치(raw estimate)가 계산될 수 있으며 상기 누적 추정치는 상기 원시 추정치 및 이전 시간 스텝으로부터의 이전 누적 추정치를 사용하여 업데이트될 수 있다. 일부 실시 예들에서, 상기 원시 추정치는 실행 가능한 범위의 값들과 비교되고 상기 원시 추정치가 실행 가능한 범위의 값들에 속하는 경우에만 상기 누적 추정치를 업데이트하는 데 사용된다. 상기 측정된 전위, 전류 또는 온도 중 하나 이상이 사전에 정의된 유효 범위 내에 있지 않을 경우, 상기 방법은 상기 누적 추정치를 업데이트하지 않고 다음 시간 스텝을 대기하는 단계를 포함할 수 있다.

[0017] 일부 실시 예들에서, 상기 누적 추정치를 업데이트하는 단계는 상기 원시 추정치 및 상기 이전 누적 추정치에 무한 임펄스 응답 필터를 적용하는 단계를 포함할 수 있다.

[0018] 일부 실시 예들에 의하면, 배터리 셀의 상태를 모니터링하기 위한 방법은, 배터리 셀의 하나 이상의 건강 상태 매개변수들(예컨대, 배터리 셀의 내부 저항, 배터리 셀의 충전 용량)의 현재 값들을 결정하는 단계; 배터리 셀의 실제 전위를 측정하는 단계를 포함해, 배터리 셀의 복수 개의 작동 상태 매개변수들(예컨대, 배터리 셀을 통한 전류, 배터리 셀의 온도)의 값들을 측정하는 단계; 셀 상태 모델(예컨대, 등가 셀 회로 모델), 상기 작동 상태 매개변수들의 제1 서브세트의 측정된 값들, 및 상기 하나 이상의 건강 상태 매개변수들에 대한 긍정적인 값(optimistic value)에 기초하여 긍정적인 전위를 계산하는 단계 - 상기 긍정적인 값은 상기 하나 이상의 건강 상태 매개변수들의 현재 값보다 양호한 건강 상태에 상응하는 것임 -; 상기 셀 상태 모델, 작동 상태 매개변수들의 제1 서브세트의 측정된 값들, 및 상기 하나 이상의 건강 상태 매개변수들에 대한 부정적인 값에 기초하여 부정적인 전위를 계산하는 단계 - 상기 부정적인 값은 상기 하나 이상의 건강 상태 매개변수들의 현재 값들보다 불량한 건강 상태에 상응하는 것임 -; 배터리 셀의 실제 전위가 실질적으로 긍정적인 전위와 부정적인 전위에 의해 정의된 엔벨로프에 속하는지의 여부를 결정하는 단계; 및 상기 실제 전위가 실질적으로 엔벨로프에 속하지 않는 경우에 모델 고장 알람을 생성하는 단계를 포함할 수 있다. 여러 실시 예에서, 상기 방법은 배터리 셀이 부하에 전력을 공급하고 있는 동안 그리고/또는 배터리 셀이 충전되고 있는 동안 실시간으로 수행될 수 있다. 배터리가 활성적인 사용(부하 전력 공급 및/또는 충전)에 있는 동안 모델 오류 알람이 실시간으로 생성될 수 있다. 일부 실시 예들에서, 배터리 셀의 예측 전위는 또한 셀 상태 모델, 작동 상태 매개변수들의 제1 서브세트의 측정된 값들, 및 하나 이상의 건강 상태 매개변수들의 현재 값들에 기초하여 계산될 수 있다. 일부 실시 예들에서, 배터리 셀의 충전 용량 및/또는 내부 저항의 추정치들은 배터리가 여기에 기재되어 있는 기법들에 따라 활성적인 사용에 있는 동안 결정될 수 있고, 이러한 추정치들은 상태 모니터링 방법에서 사용될 수 있다.

[0019] 위의 방법 또는 다른 방법 중 어느 하나 또는 전부, 또는 이들의 임의의 조합은 배터리가 부하에 전력을 공급하고 있는 동안 그리고/또는 배터리가 충전되고 있는 동안에 포함하는 활성적인 사용에 배터리가 있는지의 여부에 관계없이 작동 가능한(하드웨어, 소프트웨어/펌웨어, 또는 이들의 임의의 조합을 사용하는) 실시간 배터리 모니터링 시스템에서 구현될 수 있다. 일부 실시 예들에서, 상기 배터리 모니터링 시스템은 상기 방법 또는 다른 방법 중 어느 하나의 결과에 기초하여 경보를 생성하거나 다른 동작들을 수행할 수 있다.

[0020] 첨부도면들과 함께 이하의 상세한 설명은 청구된 발명의 특성 및 이점에 대한 이해를 좀더 양호하게 해 줄 것이다.

도면의 간단한 설명

[0021] 도 1은 일부 실시 예들에 따른 배터리 모니터링을 위한 작동 환경을 높은 수준으로 보여주는 블록도이다.

도 2는 일부 실시 예들에 따른 배터리 뱅크를 간략하게 보여주는 개략도이다.

도 3은 일부 실시 예들에 따른 배터리 모니터링 시스템의 일 예를 보여주는 도면이다.

도 4는 일부 실시 예들에 따른, 셀 거동을 모델링하고 모델 고장을 검출하기 위한 프로세스의 흐름도이다.

도 5는 일부 실시 예들에 따른, 항공기에 전력을 공급하는 데 사용되는 배터리 셀에 대한 시간의 함수로서 셀 전위를 나타내는 대표적인 선도들을 보여주는 도면이다.

도 6은 일부 실시 예들에 따른, 방전 이벤트들에 기초하여 셀의 충전 용량을 추정하기 위한 프로세스의 흐름도이다.

도 7은 일부 실시 예들에 따른, 방전 이벤트에 기초하여 셀의 내부 저항을 추정하기 위한 프로세스의 흐름도이다.

도 8은 일부 실시 예들에 따른, 내부 저항의 누적 추정치를 반복적으로 업데이트하기 위한 프로세스의 흐름도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0022] 본 발명의 대표적인 실시 예들의 이하 내용은 예시 및 설명의 목적으로 제공된 것이다. 청구된 발명을 설명된 정확한 형태로 총망라하거나 국한하려는 의도가 아니며, 당업자라면 이해하겠지만 많은 수정 및 변형이 이루어질 수 있다. 상기 실시 예들은 본 발명의 원리들 및 그의 실제 적용들을 가장 잘 설명하기 위해 선택 및 설명된 것이고, 그럼으로써 당업자들이 다양한 실시 예에서 그리고 고려되는 특정 용도에 적합한 다양한 수정으로 본 발명을 가장 잘 이용할 수 있게 한 것이다.

[0023] 시스템 개요

[0024] 도 1은 일부 실시 예들에 따른 배터리 모니터링을 위한 작동 환경(100)을 높은 수준으로 보여주는 블록도이다. 환경(100)은 예를 들어 항공기, 선박, 철도 차량, 자동차, 트럭, 오프로드 차량 등과 같은 동력 차량일 수 있다. 환경(100)은 전기 부하(104)에 전력을 제공하는 배터리(102)를 포함한다. 배터리(102)는 리튬이온 배터리, 납산 배터리, 니켈-금속-수소화물 배터리 등을 포함하는 임의 타입의 배터리일 수 있다. 배터리(102)는 단일 배터리 셀로서 또는 필요에 따라 직렬 및/또는 병렬로 함께 접속되는 다수의 배터리 셀을 포함하는 배터리 팩으로서 구현될 수 있다. (여기에 사용되는 용어 "배터리 셀" 또는 "셀"은 독립형 배터리, 또는 배터리 팩의 경우 배터리 팩 내 독립적으로 교체 가능한 몇 개의 배터리 유닛 중 하나를 포함하는 것으로 이해될 수 있다.) 전기 부하(104)는 예를 들어 차량의 모터(또는 엔진), 또는 임의의 다른 배터리 구동 메커니즘 또는 장치를 포함할 수 있다. 전기 부하(104)는 상이한 시간에 배터리(102)로부터 다양한 전력량을 소비할 수 있다. 예를 들어, 차량의 모터는 차량이 정지해 있거나 일정한 속도로 이동할 때보다 차량이 가속 중일 때 더 많은 전력을 소비할 수 있다.

[0025] 제어 시스템(106)은 부하(104)와 통신한다. 예를 들어, 제어 시스템(106)은 예컨대 모터 속도를 증가 또는 감소 하거나 임의의 전력 소비 구성요소의 작동 상태를 인에이블(enable), 디스에이블(disable), 또는 변경하기 위한 명령어들을 부하(104)에 보낼 수 있다. 제어 시스템(106)은 또한 부하(104)로부터 그의 작동 상태, 발생할 수 있는 비정상적인 조건 등을 나타내는 피드백(feedback)을 수신할 수 있다. 제어 시스템(106)은 또한 디스플레이 스크린, 표시등, 스피커, 수동 제어 장치(예컨대, 키보드, 마우스, 터치 스크린 또는 터치 패드, 조이스틱, 제어 휠, 풋 페달(foot pedal) 등)와 같은 휴먼 인터페이스 구성요소를 포함할 수 있다. 제어 시스템(106)은 (예컨대, 부하(104)가 모터를 포함하는 차량 내) 부하(104)에 근거리에 위치할 수도 있고 부하(104)로부터 원거리에 위치할 수도 있어서 근거리 또는 원거리 네트워크 접속을 포함하는 적절한 접속을 통해 통신할 수 있다. 일부 실시 예들에서, 제어 시스템(106)은 근거리 요소 및 원거리 요소 양자 모두를 포함할 수 있다. 예를 들어, 환경(100)은 자율 또는 원격 조종 차량일 수 있으며 상기 자율 또는 원격 조종 차량은 이 차량이 작동하는 위치가 아닌 다른 위치로부터 모니터링되고 안내되는 것이다.

[0026] 일부 실시 예들에서, 배터리(102)는 배터리(102)를 충전기(110)와 같은 충전 소스에 접속함으로써 충전될 수 있는 충전 배터리이다. 충전기(110)는 배터리(102)에 의해 저장될 외부 소스(예컨대, 표준 벽면 콘센트 또는 배터리(102) 외부의 임의의 다른 전력 소스)로부터 전력(또는 충전)을 제공할 수 있는 임의의 시스템 또는 장치를 포함할 수 있는데, 많은 예가 당업계에 공지되어 있다. 충전기(110)는 또한 언제 그리고 얼마나 많은 전력을 공급해야 할지를 포함해, 충전기(110)의 작동을 제어하기 위한 제어 회로를 포함할 수 있다. 일부 실시 예들에서, 배터리(102)는 특정 시간에 충전기(110)에 연결될 수 있고 다른 시간에 충전기(110)로부터 연결해제될 수 있으므로, 충전기(110)는 파선을 사용하여 도시되어 있다. 구현 예에 따라, 배터리(102)는 충전기(110)로부터 전력을 수신하는 동안 부하(104)에 전력을 제공할 수도 있고 제공하지 않을 수도 있다. 일부 실시 예들에서, 제어 시스템(106)은 배터리(102)의 부하 구동 작동과 충전기(110)의 작동을 조정할 수 있다.

[0027] 배터리 모니터링 시스템(108)은 배터리(102), 제어 시스템(106) 및 충전기(110)에 연결될 수 있다. 배터리(102)에는 전위, (배터리가 충전 또는 방전되는 지의 여부에 따라 어느 방향으로도 흐를 수 있는) 전류 및 작동 온도와 같은 배터리 또는 개별 셀의 다양한 상태 매개변수를 측정하기 위한 센서가 장착될 수 있다. 배터리 모니터링 시스템(108)은 (예컨대, 부하(104)가 배터리(102)로부터 전력을 소비하고 있는 동안) 배터리(102)로부터 측정된 상태 매개변수들을 실시간으로 수신할 수 있다. 상기 상태 매개변수들에 기초하여, 배터리 모니터링 시스템(108)은 배터리 또는 개별 셀에 대한 건강 상태 매개변수들(예컨대, 충전 용량 및/또는 내부 저항)의 값들을 결정하고 그리고/또는 배터리 성능이 예상되는 거동과 일치하는지의 여부를 검출하도록 다양한 계산을 수행할 수 있다. 배터리 모니터링 시스템(108)에서 구현될 수 있는 계산들의 예들이 이하에서 설명된다. 상기 계산들의 결과들에 기초하여, 배터리 모니터링 시스템(108)은 배터리 상태 정보를 제어 시스템(106) 및/또는 충전기(110)에 제공할 수 있다. 상기 배터리 상태 정보는 예를 들어 배터리(102)로부터 보고되는 측정된 상태 매개변수들, 배터리 모니터링 시스템(108)에 의해 계산되는 건강 상태 매개변수들의 값들, 실제 배터리 거동을 예상되는 배터리 거동의 모델과 비교하는 정보, 배터리 성능의 일부 실시형태가 예상치에서 벗어났음을 나타내는 "고장" 알림 및/또는 배터리 모니터링 시스템(108)에서 이용할 수 있는 기타 정보의 임의의 조합을 포함할 수 있다. 제어 시스템(106) 및/또는 충전기(110)는 이러한 정보를 사용하여 환경(100)의 조작자에게 경보를 생성하고, 배터리 상태 정보에 기초하여 부하(104)의 작동을 변경하며, 배터리 상태 정보에 기초하여 충전기(110)의 작동(예컨대, 배터리(102)에 충전 전력이 공급되는 비율)을 변경하고, 배터리(102)에 대한 배터리 이력 정보를 유지하며, 그리고/또는 제어 시스템(106)에 프로그래밍될 수 있는 다른 응답 동작을 취할 수 있다.

- [0028] 한 특정 예에서, 작동 환경(100)은 근거리 또는 원거리 제어 하에 비행 가능한 배터리 구동 항공기에 상응한다. 부하(104)는 항공기의 모터를 포함할 수 있고 배터리(102)는 상기 모터의 전력 소스일 수 있다. 이러한 환경에서, 배터리(102)의 신뢰도는 항공기가 안전하게 비행을 완수할 수 있게 하는 데 중요하다. 높은 신뢰도로 필요한 전력량을 제공하기 위해, 배터리(102)는 (중복성을 제공할 수 있는) 병렬로 이루어진 다중 배터리 팩으로 구성된 고전압 배터리 뱅크를 포함할 수 있으며, 각각의 배터리 팩은 직렬로 그리고/또는 병렬로 이루어진 다중 셀을 통합하고 있다. 배터리 모니터링 시스템(108)은 각각의 배터리 팩의 상태에 대한 실시간 정보를, 예컨대 셀 단위로 또는 셀 그룹에 대해 제공하여, 배터리 불량 발생하기 전에 문제가 검출 및 처리되는 것을 허용할 수 있다. 예를 들어, 배터리 모니터링 시스템(108)이 고장 알람을 생성할 때, 서비스 기술자는 알람을 받을 수 있고, 배터리(102)는 다음 비행 전에 수리를 받거나 또는 교체될 수 있다. 이러한 예에서, 배터리(102)는 비행들 간 충전을 위해 충전기(110)에 연결될 수 있고, 배터리 모니터링 시스템(108)은 충전 동안 각각의 배터리 팩의 상태에 관한 정보를 계속 제공할 수 있다.
- [0029] 여기서 이해하여야 할 점은 작동 환경(100)이 예시적이며 제한적이지 않다는 것이다. 임의 타입의 부하를 구동하는 임의 타입의 배터리(배터리 셀들의 임의의 개수 및 구성을 포함함)는 여기에 기재되어 있는 종류의 시스템 및 방법을 사용하여 모니터링될 수 있다.
- [0030] 도 2는 일부 실시 예들에 따른 배터리 뱅크(200)를 간략하게 보여주는 개략도이다. 배터리 뱅크(200)는 상기 배터리 뱅크 내 임베디드 시스템으로서 배터리 모니터링 시스템을 통합한 것이다. 배터리 뱅크(200)는 위에서 설명한 작동 환경(100)과 같은 작동 환경에서 배터리(102)로서 사용될 수 있다. 이러한 예에서, 배터리 뱅크(200)는 (부하에 접속될 수 있는) 단자(204)와 접지(206) 간에 병렬 접속된 3개의 고전압(high-voltage; HV) 배터리 팩(202a-c)을 포함한다. 배터리 팩들(202a-c)은 충전 가능하고, 각각의 배터리 팩(202a-c)을 충전기에 연결하기 위한 충전 단자들(208)이 제공된다.
- [0031] 배터리 팩들(202a-c) 각각은 병렬 접속된 2개의 HV 배터리(210a-b)를 포함한다. 각각의 HV 배터리(210a-b)는 개별 배터리 셀들(212)을 포함하며, 이들은 예컨대 리튬이온 셀들일 수 있다. 예를 들어, 각각의 셀은 3-5V의 작동 전압, 1-50mΩ의 내부 저항, 0-200mA의 작동 전류 범위를 지닐 수 있는데, 이러한 매개변수들은 다양할 수 있다. 셀들(212)의 개수는 상당히 많을 수 있다. 이러한 예에서, 각각의 HV 배터리(210a-b) 내 배터리 셀들(212)은 많은 개수의 셀들(212)(예컨대, 스트링(string)당 144개의 셀)을 지니는 스트링들을 형성하기 위해 직렬 접속되고, 3개의 직렬 스트링은 각각의 HV 배터리(210a-b) 내에 병렬로 함께 접속된다. 배터리 뱅크(200)는 높은 작동 전압(예컨대, 약 400 내지 800V 범위의 전체 시스템 전압)과 높은 수준의 중복성 양자 모두를 제공할 수 있으며, 그럼으로써 배터리 뱅크(200)는 비록 셀들(212) 중 일부 셀들이 불량하더라도 계속 전력을 공급할 수 있게 된다.
- [0032] 각각의 HV 배터리(210)는 또한 도 1의 배터리 모니터링 시스템(108)의 구성요소들일 수 있는 배터리 모니터링 시스템(battery monitoring system; BMS) 보드들(220)을 포함한다. 각각의 BMS 보드(220)는 상기 HV 배터리(210) 내 하나 이상의 셀들의 상태를 모니터링하도록 구성된 회로를 지니는 인쇄 회로 보드일 수 있다. 일부 실시 예들에서, BMS 보드(220)는 각각의 HV 배터리(210)의 모든 셀을 모니터링할 수 있다. 예를 들어, 각각의 HV 배터리(210)는 12개의 BMS 보드(220)를 포함할 수 있으며, 각각의 BMS 보드는 36개의 셀을 모니터링할 수 있다. BMS 보드(220)에서 구현될 수 있는 구성요소들 및 작동들의 예들은 이하에서 설명된다.
- [0033] 여기서 이해하여야 할 점은 배터리 뱅크(200)가 예시적이며 제한적이지 않다는 것이다. 배터리 시스템은 임의 개수의 배터리들을 포함할 수 있고, 각각의 배터리는 임의 개수의 셀들을 포함할 수 있다. 여기에 기재한 바와 같은 배터리 모니터링은 개별 셀들의 수준에서 수행될 수 있거나 원하는 경우 한 그룹의 셀들이 하나의 단위로 모니터링될 수 있다.
- [0034] 도 3은 일부 실시 예들에 따른 배터리 모니터링 시스템(300)의 일 예를 보여준다. 배터리 모니터링 시스템(300)은, 예를 들어, 도 1의 배터리 모니터링 시스템(108)을 구현하기 위해 사용될 수 있다. 일부 실시 예들에서, 도 2의 배터리 뱅크(200)의 각각의 BMS 보드(220)는 배터리 모니터링 시스템(300)의 구성요소들의 하나 이상의 인스턴스(instance)들을 포함할 수 있다.
- [0035] 배터리 모니터링 시스템(300)은 프로세서(302), 메모리(304), 배터리 인터페이스(306), 및 제어 시스템 인터페이스(308)를 포함한다. 프로세서(302)는 마이크로프로세서, 마이크로컨트롤러, ASIC(application specific integrated circuit), FPGA(field programmable gate array), 또는 여기에 기재한 바와 같은 논리 작동들을 구현하는 다른 회로일 수 있다. 일부 실시 예에서, 배터리 모니터링 시스템(300)은 임베디드 시스템일 수 있고, 이하에서 설명되는 바와 같이, 소형의 저전력 프로세서를 사용하여 실시간으로 수행될 수 있는 방식으로 계산들

이 구현될 수 있다. 메모리(304)는 반도체 기반 메모리(예컨대, DRAM, SRAM), 플래시 메모리, 자기 저장 장치, 광학 저장 장치, 또는 다른 컴퓨터 판독가능 저장 매체를 포함할 수 있다. 메모리(304)는 배터리 모니터링 시스템(300)이 모니터링하는 각각의 배터리 셀에 대한 정보를 저장할 수 있다. 예를 들어, 메모리(304)는 셀 구성 매개변수들(310) 및 셀 상태 매개변수들(312)을 저장할 수 있다. 셀 구성 매개변수들(310)은 특정 셀의 수명에 걸쳐 정적이거나 느리게 변하는 매개변수들을 포함할 수 있는 반면에, 셀 상태 매개변수들(312)은 배터리가 사용됨에 따라 동적으로 변하는 매개변수들을 포함할 수 있다. 메모리(304)는 또한 반복 방식으로 셀의 상태 매개변수들을 예측하는 데 사용될 수 있는 셀 상태 모델(예컨대, 등가 셀 회로 모델)을 저장할 수 있다. 예를 들어, 상기 셀 상태 모델은 소비 전류, 온도, 내부 저항, 충전 용량 및 이전 시간 스텝에서의 충전 상태에 기초하여 주어진 시간 스텝에서 셀의 충전 상태 및 극성(또는 전압) 상태를 예측할 수 있다. 일부 실시 예들에서, 동일한 셀 상태 모델은 모든 셀에 적용되지만, 상이한 셀들에 대한 예측들은 구성 및/또는 상태 매개변수 값들에 대한 셀들 간 차이들로 인해 상이할 수 있다. 다른 일 예로서, 셀 상태 모델은 충전 용량 및 내부 저항과 같이 시간 경과에 따라 진화할 수 있는 셀 구성 매개변수들을 추정하는 데 사용될 수 있다. 구체적인 예들은 이하에서 설명된다.

[0036] 배터리 인터페이스(306)는 프로세서(302)가 배터리 인터페이스(306)에 접속된 셀(또는 배터리)의 센서로부터 상태 정보를 획득할 수 있게 하는 하드웨어 및/또는 소프트웨어 구성요소들을 포함할 수 있다. 상기 상태 정보는 예컨대 전류, 전위 및 상기 셀의 작동 온도에 대한 측정치들을 포함할 수 있다. 일부 실시 예들에서, 배터리 인터페이스(306)는 규칙적인 시간 간격으로 상태 정보를 제공한다. 원하는 경우 현재 작동 모드에 따라 상기 간격이 변하게 될 수 있다. 예를 들어, 상태 정보는 배터리가 활성적인 사용 중인 동안 초당 한 번 또는 두 번 제공될 수 있고, 배터리가 유휴 상태일 경우 시간당 세 번 또는 네 번 제공될 수 있다. 일부 실시 예들에서, 배터리 인터페이스(306)는 원하는 간격으로 배터리에 상태 정보에 대한 요청들을 전송할 수 있다. 대안으로, 배터리 셀들은 (예컨대, 아날로그 신호들로서) 데이터를 지속적으로 제공하는 센서들을 지닐 수 있고, 배터리 인터페이스(306)는 적절한 시간에 아날로그 신호들을 샘플링하고 디지털화할 수 있다. 프로세서(302)는 예컨대 이하에서 설명되겠지만 다양한 상태 매개변수 값을 계산하기 위해 결과적으로 획득된 센서 데이터를 사용할 수 있다.

[0037] 제어 시스템 인터페이스(308)는 프로세서(302)가 배터리 상태 정보를 제어 시스템(예컨대, 도 1의 제어 시스템(106))에 제공할 수 있게 하는 하드웨어 및/또는 소프트웨어 구성요소들을 포함할 수 있다. 다양한 실시 예에서, 상기 배터리 상태 정보는 상기 배터리 셀들로부터 수신된 데이터, 상기 데이터로부터 계산된 상태 매개변수들, 상기 데이터로부터 계산된 구성 매개변수들, 및/또는 고장 알림 또는 다른 경보를 포함할 수 있으며, 이러한 예들은 이하에서 설명된다.

[0038] 여기서 이해하여야 할 점은 배터리 모니터링 시스템(300)이 예시적이며 변형들 및 수정들이 가능하다는 것이다. 일부 실시 예들에서, 배터리 모니터링 시스템(300)은 모니터링되고 있는 각각의 셀에 대한 상기 배터리 모니터링 시스템(300)의 구성요소들의 개별 인스턴스를 포함할 수 있거나, 단일의 프로세스를 연관된 메모리 장치(들)와 함께 사용하여 다수의 셀이 모니터링될 수 있다. 여기에 기재되어 있는 예들에서, 배터리 모니터링은 하나의 셀에 대해 수행되지만, 높은 수준(예컨대, 직렬 접속된 셀들의 그룹 또는 전체 배터리 팩 또는 배터리 뱅크)에서의 배터리 모니터링은 배제되는 것이 아니다. 배터리 모니터링 시스템(300)은 이하에서 설명되는 예들 중 임의의 하나 이상의 예들을 포함하지만 이들에 국한되지 않는 모니터링 작동들의 임의의 개수 및 조합을 구현할 수 있다. 일부 실시 예들에서, 배터리 모니터링 시스템은 또한 캘리브레이션, 자체 테스트 등과 같은 다른 배터리 관리 작동들을 지원할 수 있다.

[0039] 작동 시, 배터리 모니터링 시스템(300)과 같은 배터리 모니터링 시스템은 배터리 상태를 모니터링하고 배터리 상태를 실시간으로 평가하여 배터리(또는 특정 셀)가 (성능을 천천히 저하할 수 있는) 배터리 셀들의 자연적인 노화 및 배터리 성능에 영향을 미치는 다른 고려사항들을 고려하여 예상대로 수행하고 있는지의 여부를 결정할 수 있다. 지금부터 배터리 모니터링 프로세스들의 예들이 설명될 것이다.

[0040] 모델 고장 검출

[0041] 한 타입의 배터리 모니터링 프로세스는 정상 사용 동안 배터리 셀 거동의 예측 및 관측에 기초하여 이루어질 수 있다. 배터리 셀들은 일반적으로 사실상 전기화학적인 것들이며, 특정 조건들, 예컨대 전류의 함수로서의 전위 또는 주어진 작동 전위에서의 전류에 대한 셀의 응답은 등가 셀 회로 모델 등을 사용하여 정량적으로 모델링될 수 있다. 따라서, 배터리 모니터링 시스템의 일부 실시 예들은 배터리 작동 중 임의의 주어진 시간에 셀 전위를 예측하기 위해 모니터링되는 셀의 정량적 모델(여기서 "셀 상태 모델"로서 언급됨)로부터 획득되는 예측 기능들을 사용할 수 있다. 실제(측정) 셀 전위는 예측치와 비교될 수 있으며 실제 셀 전위가 예측치와 일치하지

않을 경우 "모델 고장(model fault)" 알림이 생성될 수 있다.

[0042] 도 4는 일부 실시 예들에 따른, 셀 거동을 모델링하고 모델 고장들을 검출하기 위한 프로세스(400)의 흐름도이다. 프로세스(400)는 예컨대 배터리 모니터링 시스템(300) 또는 위에서 설명한 다른 배터리 모니터링 시스템들에서 구현될 수 있다. 프로세스(400)는 실시간으로 작동하여 셀의 상태를 모니터링하고 상기 셀 상태가 셀 상태 모델의 예측치와 일치하는지의 여부를 결정할 수 있다. 일부 실시 예들에서, 프로세스(400)는 배터리로부터 수신된 측정 데이터에 기초하여 규칙적인 시간 간격으로 동적으로 업데이트되는 각각의 셀에 대한 추정된(또는 예측된) 셀 상태를 유지한다. 상기 셀 상태는 표 1에 정의된 변수들을 사용하여 정의 및 모니터링될 수 있으며, 여기서 첨자 k 는 시간 스텝을 나타낸다.

표 1

변수	정의(단위들)
$V_{pred,k}$	예측된 셀 전위(볼트(V))
$V_{actual,k}$ (또는 V_k)	측정된 셀 전위(V)
V_p	세포 분극(V)
C_o	셀 최대 충전 용량(암페어 시간(Ah)) - 구성 매개변수
SOC_k	셀 충전 상태(C_o 비율)
U_k	최대 에너지 셀은 기준 온도 T_{ref} 에서 현재 SOC로부터 방전할 수 있음
$Q_{discharge,k}$	시간 스텝 k 에서 전달되는 충전량. 부호 규약이 사용될 수 있는데, 예컨대 $Q_{discharge,k} > 0$ 은 방전을 나타내고 $Q_{discharge,k} < 0$ 은 충전을 나타냄
I_k	측정된 셀 전류(A)(방전의 경우 $I_k > 0$, 충전의 경우 $I_k < 0$)
R_i	셀 내부 저항(ohm) - 구성 매개변수
T_k	측정된 셀 온도($^{\circ}C$)
μ_k	$[V_p, SOC_k]$ 로 정의된 셀 상태를 나타내는 표기법
dt	시간 스텝(초)

[0044] 일부 실시 예들에서, 표 1의 표기법을 사용하여, 셀 상태 모델 업데이트 함수는 다음과 같이 정의된다:

$$[\mu_k, V_{pred,k}] = modelUpdate(\mu_{k-1}, I_k, C_o, R_i, T_k, dt) \quad (1)$$

[0046] $modelUpdate()$ 함수는 이전 셀 상태, 측정된 전류 및 온도, 충전 용량(C_o) 및 내부 저항(R_i)의 추정값들, 및 시간 스텝에 기초하여 시간 스텝 k 에 대한 셀의 SOC 및 예측 전위를 계산한다. $modelUpdate()$ 함수는 등가 셀 회로 모델을 사용하는 셀 거동의 기존 모델들에 기초하여 이루어질 수 있다. 이러한 모델들의 예들은 당업계에 공지되어 있으며, 특정 유형의 셀에 기초하여 적절한 모델이 선택될 수 있다.

[0047] 시간 스텝(dt)은 상기 셀의 현재 작동 상태에 기초하여 선택될 수 있다. 예를 들어, 상기 셀은 이하의 상태들을 포함하는 유한 상태 모델을 지닐 수 있다: "방전중"(배터리로부터 전류가 소비되고 있음); "충전 중"(배터리의 충전을 위해 전류가 인가되고 있음); "릴렉싱(relaxing)"(배터리 외부로 나가는(또는 배터리 내부로 들어가는) 전류가 비활성을 나타내는 임계값 미만임); 및 "아이들(idle)"(전류가 비활성 임계값 미만으로 유지되고 전압이 장기간, 예컨대 적어도 15분에 걸쳐 안정적으로 유지되는 경우 릴렉싱 상태에서부터 진입됨). 일부 실시 예들에서, 프로세스(400)는 방전중, 충전중 또는 릴렉싱 상태에 있을 때 높은 비율(예컨대, $dt \sim 1$ 초)로 그리고 아이들 상태에 있을 때 낮은 비율(예컨대, $dt \sim 900$ 초)로 배터리 상태를 업데이트할 수 있다. 다른 상태 모델들도 사용될 수 있다.

[0048] 일부 실시 예들에서, 상기 등가 셀 회로 모델은 충전 용량(C_o) 및 내부 저항(R_i)과 같은 건강 상태 매개변수들에 의존한다. 여기서 예상되는 점은 이러한 매개변수들이 시간의 경과에 따라 상기 셀의 노화로 인해 저하하게 되어, 최대 충전 용량이 천천히 감소하게 되고 내부 저항이 천천히 증가하게 된다는 것이다. 일부 실시 예들에서, 배터리 모니터링 시스템은 셀 센서 데이터에 기초하여 이루어지는 수동-실시간 프로세스를 사용하여 C_o 및 R_i 를 추정할 수 있는데, 이러한 프로세스들의 예들은 이하에서 설명된다. 다른 실시 예들에서, C_o 및 R_i 는 때때로 (예

컨대, 배터리가 장기간 동안 아이들 상태일 것으로 예상되는 경우 테스트 절차를 수행함으로써) 측정될 수 있고 측정들 간 상수들로서 취급될 수 있다.

[0049] 프로세스(400)는 블록(402)에서 초기화로부터 시작될 수 있다. 예를 들어 배터리 관리 시스템에 전원이 공급되거나 배터리 관리 시스템이 리셋될 경우나, 또는 배터리가 아이들 상태에서부터 다른 어느 상태로 전환될 경우 초기화가 이루어질 수 있다. 초기화는 초기화가 이루어질 때 셀이 사용되고 있지 않다는 가정하에 셀 상태 모델의 다양한 매개변수의 초기 값을 확립하는 것을 포함할 수 있다. 예를 들어, V_p 는 0으로 초기화될 수 있다. C_0 및 R_i 는 마지막 측정 또는 추정 값들에 기초하여 초기화될 수 있다. SOC_0 는 마지막 추정된 SOC로 초기화될 수 있거나, 또는 초기화 중에 배터리가 분극화되지 않을 경우 SOC_0 은 셀 충전 상태를 등가 전지 회로 모델에 기초하여 셀 전위 및 온도의 함수로서 계산하는 $getSOC(V, T)$ 함수를 사용한 $V_{actual,0}$ 및 T_0 의 측정치들로부터 계산될 수 있다. 일부 실시 예들에서, $getSOC()$ 는 개별 세트의 전위 및 온도 값들에 대해 미리 계산될 수 있고 실시간 계산을 용이하게 하기 위해 룩업 테이블(lookup table)에 저장될 수 있다. 다른 매개변수들 및 플래그들도 초기화할 수 있다. 예를 들어 $Q_{discharge,0}$ 은 0으로 초기화될 수 있다.

[0050] 블록(404)에서, (시간 스텝 k 에서의) 프로세스(400)의 각각의 반복에 대해, 상기 셀에 대한 상태 매개변수들의 새로운 값들이 결정된다. 일부 실시 예들에서, 새로운 상태 매개변수들을 결정하는 것은 소비되고 있는 전류(I_k), 상기 셀 양단 간 실제 전위($V_{actual,k}$), 및 셀 온도(T_k)를 측정하고 수학적(1)을 적용하여 SOC_k 및 예측 전위 V_p 및 $V_{pred,k}$ 를 결정하는 것을 포함할 수 있다.

[0051] 일부 실시 예들에서, 새로운 상태 매개변수들을 결정하는 것은 또한 셀 에너지(U_k) 및 셀 방전 $Q_{discharge,k}$ 를 추정하는 것을 포함할 수 있다. 예를 들어 이하의 수학적들

[0052]
$$U_k = \int_0^{C_k} getOCV\left(\frac{C}{C_0}, T_{ref}\right) dC \quad (2)$$

[0053]
$$Q_{discharge,k} = Q_{discharge,k-1} + I_k dt \quad (3)$$

[0054] 이 사용될 수 있는데, 여기서 수학적(2)에서의 $getOCV(SOC, T)$ 는 셀 전위(특히 개방 회로 전압)를 등가 셀 회로 모델에 기초하여 셀 온도와 SOC의 함수로 계산하는 $getSOC(V, T)$ 를 보완하는 함수이다. $getSOC()$ 함수와 마찬가지로, $getOCV()$ 는 개별 세트의 SOC 및 온도 값들에 대해 미리 계산될 수 있으며 실시간 계산을 용이하게 하기 위해 룩업 테이블에 저장될 수 있다. 여기서 이해하여야 할 점은 U_k 가 각각의 반복에서 계산되어 적분을 일련의 시간 스텝들로서 근사화할 수 있게 된다는 것이다.

[0055] 블록(406)에서, 블록(404)에서 결정된 상태 매개변수들은 한 세트의 "긍정적인" 셀 매개변수들 및 한 세트의 "부정적인" 셀 매개변수들, 특히 긍정적인 셀 전위(V_{opt}) 및 부정적인 셀 전위(V_{pess})를 계산하는 데 사용된다. 상기 긍정적인 셀 매개변수들은 모델링되는 셀과 동일한 충전 또는 방전 이벤트를 겪는, (C_0 및 R_i 의 현재 추정치에 비해) 충전 용량이 증가되고 내부 저항이 감소된 가상 셀에 대한 상태 매개변수들을 나타낸다. 이와는 반대로, 상기 부정적인 셀 매개변수들은 모델링되는 셀과 동일한 충전 또는 방전 이벤트를 겪는 (다시, C_0 및 R_i 의 현재 추정치들에 비해) 충전 용량이 감소되고 내부 저항이 증가된 가상 셀에 대한 상태 매개변수들을 나타낸다. 일부 실시 예들에서, 상기 긍정적인 셀 매개변수들 및 상기 부정적인 셀 매개변수들은 블록(404)에서 결정된 상태 매개변수들 주변의 고정된 오류 마진으로서 정의되는 것이 아니고, 그 대신에 상기 긍정적인 셀 매개변수들 및 상기 부정적인 셀 매개변수들은 셀 상태 모델을 사용하여 동적으로 계산된다.

[0056] 예시로서, 일부 실시 예들에서, 긍정적인 셀 전위(V_{opt})는 이하의 가정들에 따라 정의된다: 상기 셀의 최대 충전 용량(C_0)은 양($K_{co,opt}$)만큼 과소평가되고; 상기 셀의 내부 저항(R_i)은 $K_{co,opt}$ 만큼 과대평가되며; 그리고 상기 셀의 과전위는 $K_{n,opt}$ 의 스케일링 인자에 의해 오프(off)된다. 이러한 가정에 따라, 이하의 계산들

[0057]
$$C_{0,opt} = C_0 + K_{C0,opt} \quad (4)$$

[0058]
$$C_{init,opt} = C_{0,opt} SOC_0 \quad (5)$$

$$[0059] \quad C_{opt,k} = C_{init,opt} - Q_{discharge,k} \quad (6)$$

$$[0060] \quad SOC_{opt,k} = \frac{C_{opt,k}}{C_{0,opt}} \quad (7)$$

$$[0061] \quad \eta_{ec,opt} = K_{\eta,opt}(V_c + V_s) \quad (8)$$

$$[0062] \quad R_{i,opt,k} = (R_i - K_{Ri,opt}) \exp(-E_{Ro}(T_k - T_{ref})) \quad (9)$$

$$[0063] \quad V_{opt,k} = getOCV(SOC_{opt,k}, T_k) - \eta_{ec,opt} - I_k R_{i,opt,k} \quad (10)$$

[0064] 이 V_{opt} 를 결정하는데 사용될 수 있는데, 여기서 E_{Ro} 는 활성화 에너지이다. K 인자들은 예컨대 양호하게 거동되는 셀들에 대한 설계 사양들로부터의 셀 간 변동성의 경험적 관측들에 기초하여 필요에 따라 선택될 수 있다. 일부 실시 예들에서 도 2를 참조하여 위에서 설명한 종류의 배터리뱅크에 대해, $K_{C0,opt} \sim 0.1$ Ah(예컨대, 0.2 Ah), $K_{Ri,opt} \sim 0.0001$ Ω(예컨대, 0.0003 Ω), 그리고 $K_{\eta,opt} \sim 0.7$ (예컨대, 0.75)이다.

[0065] 마찬가지로, 일부 실시 예들에서, 부정적인 셀 전위(V_{pess})는 이하의 가정들에 따라 정의된다: 상기 셀의 최대 충전 용량(C_0)은 양($K_{C0,pess}$)만큼 과대평가되고; 상기 셀의 내부 저항(R_i)은 $K_{C0,pess}$ 만큼 과소평가되며, 그리고 상기 셀의 과전위는 $K_{\eta,opt}$ 의 스케일링 인자에 의해 오프된다. 이러한 가정에 따라, 이하의 계산들

$$[0066] \quad CF = \begin{cases} 1, & I \geq 0 \\ K_{charge}, & I < 0 \end{cases} \quad (11)$$

$$[0067] \quad C_{0,pess} = C_0 + K_{C0,pess} \quad (12)$$

$$[0068] \quad C_{init,pess} = C_{0,pess} SOC_0 \quad (13)$$

$$[0069] \quad C_{pess,k} = C_{init,pess} - Q_{discharge,k} \quad (14)$$

$$[0070] \quad SOC_{pess,k} = \frac{C_{pess,k}}{C_{0,pess}} \quad (15)$$

$$[0071] \quad \eta_{ec,pess} = K_{\eta,pess}(V_c + V_s) \quad (16)$$

$$[0072] \quad R_{i,pess,k} = (R_i + K_{Ri,pess}) \exp(-E_{Ro}(T_k - T_{ref})) \quad (17)$$

$$[0073] \quad V_{pess,k} = getOCV(SOC_{pess,k}, T_k) - CF * (\eta_{ec,pess} - I_k R_{i,pess,k}) \quad (18)$$

[0074] 이 V_{pess} 를 결정하는데 사용될 수 있다. 상기 긍정적인 셀과 마찬가지로, 상기 부정적인 셀에 대한 K 인자들은 셀 매개변수들(및 그들의 변동성)의 경험적 관측들에 기초하여 그리고/또는 전기적 불량을 나타내게 하는 특정 변화들에 기초하여 필요에 따라 선택될 수 있다. 일부 실시 예들에서 도 2를 참조하여 위에서 설명한 종류의 배터리뱅크에 대해, $K_{C0,pess} \sim -0.1$ Ah(예컨대, 0.2 Ah), $K_{Ri,pess} \sim 0.0003$ Ω(예컨대, 0.0001 Ω) 그리고 $K_{\eta,pess} \sim 0.7$ (예컨대, 0.75)이다. 수학적식(11) 및 수학적식(18)에서, CF 는 상기 셀이 충전중일 때 상기 셀의 총 과전압에 적용되는 스케일링 인자이며, 충전중인 동안 셀 전위의 변동성이 증가하게 됨을 설명한다. (분명하게 되겠지만, 상기 부정적인 전위 추정에만 또는 상기 긍정적인 전위 추정에만 스케일링 인자를 적용하면 셀이 충전중일 때 허용 가능한 전위들의 엔벨로프를 넓히는 효과가 있다.)

[0075] 여기서 유념하여야 할 점은 "긍정적인" 그리고 "부정적인"이라는 라벨들이 $V_{opt,k} > V_{pess,k}$ 임을 의미하는 것이 아니며, 그러할 필요가 없다는 것이다. 예를 들어, 수학적식(4)-수학적식(10) 및 수학적식(11)-수학적식(18)은 상기 셀이 방전 중일 때 $V_{opt,k} > V_{pess,k}$ 이지만 상기 셀이 충전중일 때 $V_{pess,k} > V_{opt,k}$ 인 결과를 가져온다. 일부 실시 예들에서, 상기 엔벨로프가 적어도 최소 폭을 지니는 것을 보장하기 위해, 패딩 전위(padding potential)(V_{pad})는 $V_{opt,k}$ 및 $V_{pess,k}$ 를 미세조정하는데 사용될 수 있다. 예를 들어, $V_{opt,k} > V_{pess,k}$ 이면 이하의 수학적식들

[0076] $V_{opt,k} = V_{opt,k} + V_{pad}$ (19)

[0077] $V_{pess,k} = V_{pess,k} - V_{pad}$ (20)

[0078] 이 미세조정에 사용될 수 있다. 마찬가지로, $V_{pess,k} \geq V_{opt,k}$ 이면 이하의 수학적식들

[0079] $V_{opt,k} = V_{opt,k} - V_{pad}$ (21)

[0080] $V_{pess,k} = V_{pess,k} + V_{pad}$ (22)

[0081] 이 미세조정에 사용될 수 있다. V_{pad} 는 필요에 따라 선택될 수 있는데, 예컨대 $V_{pad} = 0.01V$ 이다.

[0082] 블록(408)에서, 긍정적인 매개변수들 및 부정적인 매개변수들은 허용 가능한 전위 범위와 같은 허용 가능한 배터리 성능의 엔벨로프를 정의하는 데 사용된다. 예를 들어 $V_{opt,k} > V_{pess,k}$ 이면, 상기 엔벨로프는 하기 수학적식

[0083] $V_{opt,k} \geq V_k \geq V_{pess,k}$ (23)

[0084] 으로서 정의될 수 있으며, $V_{pess,k} \geq V_{opt,k}$ 이면, 상기 엔벨로프는 하기 수학적식

[0085] $V_{pess,k} \geq V_k \geq V_{opt,k}$

[0086] 으로서 정의될 수 있는데, 여기서 V_k 는 시간 스텝 k 에서의 셀 전위이다.

[0087] 블록(410)에서, 상기 셀 양단 간 실제 전위($V_{actual,k}$)가 측정된다. 일부 실시 예들에서, 상기 측정은 블록(404)에서 상기 셀의 상태 매개변수들을 결정하는 것의 일부로서 이루어질 수 있다.

[0088] 블록(412)에서, 측정된 전위($V_{actual,k}$)가 예컨대, 적절한 경우 수학적식(23) 또는 수학적식(24)을 사용하여 허용 가능한 배터리 성능의 엔벨로프 내에 속하는지의 여부가 결정될 수 있다. 일부 실시 예들에서, 추가 조건들이 적용될 수 있다. 예를 들어, 상기 엔벨로프를 정의하는 데 사용되는 등가 셀 회로 모델은 상기 셀 SOC가 임계값(예컨대, 0.1) 미만일 경우 또는 전류(I_k)가 임계값(예컨대, 한 타입의 셀에 대해 70A)을 초과할 경우 신뢰할 수 없게 될 수 있다. 상기 셀 상태 모델이 신뢰할 수 없는 조건들에서는, 상기 셀 상태 모델에 의해 정의된 엔벨로프가 무시될 수 있다(예컨대, 측정된 $V_{actual,k}$ 는 항상 상기 엔벨로프 내에 속하는 것으로 취급될 수 있다).

[0089] 상기 엔벨로프 외부에 있는 측정된 전위($V_{actual,k}$)는 상기 셀에 문제가 있음을 나타낼 수 있으며, 모델 고장 알림이 생성될 수 있다. 일부 실시 예들에서, 측정된 전위($V_{actual,k}$)가 상기 엔벨로프 외부에 있는 임의의 인스턴스에는 모델 고장 알림을 생성하는 결과가 초래될 수 있다. 다른 실시 예들에서, 상기 엔벨로프 외부의 일시적인 편위(transient excursion)들은 미미한 변동들로서 무시되지만, 고장 카운터는 상기 엔벨로프 외부의 편위가 상기 엔벨로프 외부에 있는 것으로 간주하게 될 때를 결정하는 데 사용될 수 있다. 따라서, 블록(414)에서, 측정된 전위가 상기 엔벨로프 내에 속하지 않는다면, 고장 카운터가 증분하게 될 수 있고, 블록(416)에서, 측정된 전위가 상기 엔벨로프 내에 속한다면 고장 카운터가 리셋될 수 있다. 블록(418)에서, 고장 카운터가 임계값을 초과하였는지의 여부가 결정되고, 고장 카운터가 임계값을 초과하였다면, 블록(420)에서 모델 고장 알림이 생성된다. 일부 실시 예들에서, 도 1의 배터리 관리 시스템(108)과 같은 배터리 관리 시스템에서 모델 고장 알림을 생성하는 것은 제어 시스템(106)(및/또는 필요에 따라 다른 시스템 구성요소들)에 상기 알림을 전송하는 것을 포함할 수 있다. 여러 실시 예에서, 모델 고장 알림은 온-배터리 고장 표시등을 조명하는 것, 다음 기회에 배터리의 서비스를 요청하기 위해 유지보수 서비스에 메시지를 전송하는 것 등과 같은 다른 동작들을 포함할 수 있다.

[0090] 모델 고장 알림을 생성하기 위한 카운터 임계값은 민감도(문제 검출 능력)와 특이성(실제 문제가 없는 경우 고장 알림 생성의 회피) 간 트레이드오프(tradeoff)들에 기초하여 정의되는 상수일 수 있다. 일 예에서, 상기 실제 셀 전위가 상기 엔벨로프 내에 있는지의 여부에 대한 결정은 1Hz의 비율로 수행되고 고장 카운터에 대한 임계값은 30으로 설정되고, 그럼으로써 실제 전위가 30초 이상 상기 엔벨로프 외부에 있게 된다면 모델 고장 이벤트가 생성된다. 다른 임계값들이 또한 선택될 수 있다.

[0091] 프로세스(400)의 작동을 부연 설명하기 위해, 도 5는 일부 실시 예들에 따른, 항공기에 전력을 공급하는 데 사

용되는 배터리 셀에 대한 시간의 함수로서의 셀 전위의 대표적인 선도들을 보여준다. 이러한 예에서, 항공기는 시간 1000초 직전까지 아이들 상태이며, 이러한 시간에 항공기는 순항 고도(cruising altitude)로 상승하여 순항을 시작한다. 시간 3000초 직전에는, 항공기가 하강한다. 실선(502)은 측정된 셀 전위($V_{\text{actual},k}$)에 상응한다. 라인(504)은 실제 셀 매개변수에 적용된 셀 상태 모델을 사용하여 예측된 예측 전위($V_{\text{pred},k}$)에 상응한다. (이러한 예에서, 라인(504)은 측정된 전위를 밀접하게 추적한다.)

[0092] 라인(506)은 (라인(504)과 동일한 셀 상태 모델을 지니는) 위에서 설명한 바와 같은 긍정적인 셀 매개변수들을 사용하여 예측된 예측 전위($V_{\text{opt},k}$)에 상응하고, 라인(508)은 (다시 라인(504)과 동일한 셀 상태 모델을 지니는) 위에서 설명한 바와 같은 부정적인 셀 매개변수들을 사용하여 예측된 예측 전위($V_{\text{pess},k}$)에 상응한다. 볼 수 있는 바와 같이, 라인들(506, 508)에 의해 정의된 엔벨로프의 폭은 시간의 함수로서 변한다. 폭은 히스테리시스(hysteresis) 뿐만 아니라 현재 셀 거동(예컨대, 얼마나 많은 전류가 소비되고 있는지)에 의해 영향을 받는다. 이러한 예에서, 상기 실제 전위(라인(502))는 라인들(506, 508) 또는 측정된 기간에 의해 정의된 엔벨로프 내에 있게 되고, 그래서 모델 고장 이벤트가 생성되지 않게 된다.

[0093] 여기서 이해할 점은 프로세스(400)가 예시적인 것이며 변형들 및 수정들이 가능하다는 것이다. 논리가 허용하는 범위 내에서, 순차적으로 설명한 작동들이 병렬로 실행될 수도 있고 작동들이 상이한 순서로 실행될 수도 있다. 구체적으로 설명되지 않은 다른 작동들이 수행될 수도 있으며, 필요한 경우 구체적으로 설명한 작동들이 생략될 수도 있다. 상기 셀 상태 모델 및 다른 매개변수 값들(예컨대, 긍정적인 전위 및 부정적인 전위를 결정하기 위한 매개변수들)은 상기 배터리 셀의 타입 및 특성에 기초하여 그리고 필요한 특정 민감도 및 특이성에 기초하여 특정 구현을 위해 최적화될 수 있다. 상기 모니터링 프로세스는 임의 개수의 셀들에 대해 병렬로나 또는 순차적으로 수행될 수 있다. 프로세스(400) 또는 유사한 프로세스들을 사용하여 이루어지는 모니터링은 배터리가 임의의 상태에 있는 동안 수행될 수 있다. 대안으로, 필요한 경우 모니터링은 특정 상태들에 있는 동안에만(예컨대, 방전 이벤트들 동안에만 또는 충전 이벤트들 동안에만) 수행될 수 있다.

[0094] 셀 건강 상태 추정

[0095] 위에서 설명한 바와 같이, 모델 고장 검출은 활성적인 사용 중에 배터리 또는 셀의 비정상적인 거동을 검출하는 것에 관련된다. 임의의 비정상들과는 별개로, 배터리 또는 배터리 셀(특히 충전 배터리 또는 셀)의 전체 성능은 배터리 또는 셀이 쓸모없는 지점에 도달될 때까지 전기화학 및 열역학으로 인해 시간 경과에 따라 천천히 저하될 것으로 예상할 수 있다. 따라서, 비정상적인 거동의 검출에 더하여 또는 비정상적인 거동의 검출 대신에, 배터리 모니터링 시스템의 일부 실시 예들은 또한 배터리 또는 다중 셀 배터리의 개별 셀들의 "건강 상태"를 모니터링할 수 있다. 여기의 예들에서, 건강 상태는 상기 셀의 최대 충전 용량(C_0) 및 상기 셀의 내부 저항(R_i)에 의해 특징화된다. 셀의 성능이 저하되면, 최대 충전 용량이 감소하는 반면 내부 저항이 증가하는 경향이 있다. 다른 실시 예들에서, C_0 및 R_i 에 더하여 또는 C_0 및 R_i 대신에 다른 매개변수들이 건강 상태에 연관될 수 있다.

[0096] 일부 시스템들에서, C_0 및 R_i 의 모니터링은 배터리가 달리 아이들 상태에 있고 충전기 또는 부하에 접속되어 있는 동안 수행되는 능동 테스트 프로세스의 일부일 수 있다. 그러한 능동 테스트 프로세스의 예들은 당업계에 공지되어 있다. 그러나 활성 테스트 프로세스에서는 일반적으로 배터리가 아이들 상태로 유지되고 장시간(몇 시간이 될 수 있음) 동안 충전기 또는 부하에 접속되어 있어야 한다. 높은 듀티 사이클에서 작동하는 배터리들의 경우에는, 대체 프로세스가 선호될 수 있다.

[0097] 따라서, 배터리 모니터링 시스템의 일부 실시 예들은 "수동" 프로세스를 사용하여 셀의 C_0 및 R_i 를 모니터링할 수 있다. 상기 수동 프로세스는 전압, 전류 및 온도의 실시간 모니터링(위에서 설명한 모델 고장 검출 프로세스들 동안 측정된 동일한 상태 매개변수들)에 의존하며 상기 측정된 매개변수들로부터 C_0 및 R_i 가 정량적으로 추정될 수 있다. 일부 실시 예들에서, C_0 및 R_i 를 추정하는 것은 또한 상기 추정의 변동을 평활화하기 위해 필터링 함수(예컨대, 이동 평균)를 사용하는 것을 포함할 수 있다. 상기 프로세스는 배터리 성능에 영향을 주지 않고 배터리의 사용 중에 수행될 수 있기 때문에 "수동" 프로세스로서 언급된다. 지금부터 C_0 및 R_i 를 추정하기 위한 수동 프로세스들의 예들이 설명될 것이다.

[0098] 여기에 기재되어 있는 예들에서, C_0 는 기준 전류(예컨대, 1A) 및 기준 온도(예컨대, $T_{\text{ref}} = 25^\circ\text{C}$)에서 셀이 방전할 수 있는 최대 충전량으로 정의된다. 일부 실시 예들에서, 비록 방전 이벤트가 C_0 추정치의 신뢰도 및 안정

도에 관련된 특정 기준을 충족하더라도, 원시 충전 용량 값($C_{0,raw}$)은 방전 이벤트의 종료시 계산될 수 있다. 예를 들어, 방전 이벤트의 $C_{0,raw}$ 는 이하의 수학적

$$C_{0,raw} = \frac{Q_{discharge}}{\Delta SOC} \quad (25)$$

으로서 정의될 수 있으며, $Q_{discharge}$ 는 방전 이벤트 중에 상기 셀에 의해 방전되는 총 전하이고 ΔSOC 는 방전 이벤트 중에 상기 셀의 충전 상태 변화이다. 수학적(25)의 원시 값은 (예컨대, 이동 평균 또는 다른 필터 함수를 사용해) 필터링되어 C_0 추정치를 제공할 수 있게 된다.

도 6은 일부 실시 예들에 따른 방전 이벤트들에 기초하여 셀의 C_0 를 추정하기 위한 프로세스(600)의 흐름도이다. 프로세스(600)는 예컨대 배터리 모니터링 시스템(300) 또는 위에서 설명한 다른 배터리 모니터링 시스템들에서 구현될 수 있다. 프로세스(600)는 배터리가 아이들 상태에 있는 동안 C_0 추정을 수행할 수 있다. 프로세스(600)는 정상 작동들(다시 말하면, 부하에의 전력 공급 및/또는 충전) 이외에 어떠한 배터리 활동도 포함하지 않으므로 수동 모니터링 프로세스의 일 예이다.

프로세스(600)는 배터리가 아이들 상태에 있는 동안 시작될 수 있다. 블록(602)에서, 프로세스(600)는 상기 셀에 대한 초기 SOC(SOC_{init})를 결정할 수 있다. 일부 실시 예들에서, 상기 초기 SOC는 이하의 수학적

$$SOC_{init} = getSOC(V_h, T_h) \quad (26)$$

으로서 계산될 수 있으며, 여기서 V_h 는 초기화 시간에 측정된 셀 전위이고, T_h 는 초기화 시간에 측정된 온도이며, 그리고 $getSOC()$ 는 도 4를 참조하여 위에서 설명한 동일한 함수이다.

일부 실시 예들에서, SOC_{init} 는 상기 셀 전위(V_h) 및 온도(T_h)가 특정 범위들 내에 있는 경우에만 확립된다. 상기 범위들은 $getSOC()$ 함수가 셀 거동의 신뢰할 수 있는 모델인 전위들 및 온도들의 범위에 기초하여 선택될 수 있다. V_h 또는 T_h 가 적절한 범위를 벗어나게 되면 SOC_{init} 가 확립되지 않는다.

SOC_{init} 를 확립하는 것에 추가하여, 블록(602)에서의 처리는 또한 C_0 모니터링에 사용되는 다른 매개변수들을 초기화하는 것을 포함할 수 있다. 예를 들어, 상기 셀에 의해 방전된 전하의 누적 합계(위에서 정의된 바와 같은 $Q_{discharge,k}$)는 0으로 초기화될 수 있으며, C_0 모니터링에 연관된 런타임 매개변수($t_{run,C0}$)도 0으로 리셋될 수 있다.

블록(604)에서, 배터리는 방전 상태에 진입하고, 프로세스(600)는 방전 이벤트를 모니터링할 수 있다. (프로세스(400)가 또한 구현되는 경우, 이러한 모니터링은 블록(404)에서 상태 매개변수들의 결정의 일부로서 이루어질 수 있다.) 예를 들어, 방전된 총 전하($Q_{discharge,k}$)는 위 수학적(3)에 따라 각각의 시간 스텝에서(예컨대, 초당 한 번) 업데이트될 수 있고, 런타임 매개변수($t_{run,C0}$)는 각각의 시간 스텝에서 증분하게 될 수 있다. 블록(606)에서, 상기 방전 이벤트가 종료되고 배터리가 아이들 상태로 재진입된다(이러한 시점에서 $Q_{discharge,k}$ 및 런타임 매개변수($t_{run,C0}$)의 업데이트가 중단될 수 있다).

블록(608)에서, 프로세스(600)는 상기 셀에 대한 최종 SOC(SOC_{final})를 확립할 수 있다. 일부 실시 예들에서, 최종 SOC는 이하의 수학적

$$SOC_{final} = getSOC(V_l, T_l) \quad (27)$$

으로서 계산될 수 있으며, 여기서 V_l 은 방전 이벤트의 종료 시 측정된 셀 전위이고 T_l 은 방전 이벤트의 종료 시 측정된 온도이다. 수학적(26) 및 수학적(27)의 결과들은 일반적으로 V_l 및/또는 T_l 의 방전 후 측정값들이 V_h 및 T_h 의 방전 전 측정값들과는 다르기 때문에 일반적으로 서로 다르게 된다.

블록(610)에서, 프로세스(600)는 모든 측정값들이 SOC_{final} 이 신뢰할 수 있는 것으로 간주될 수 있게 하는 범위들 내에 속하는지의 여부를 결정할 수 있다. 예를 들어, 일부 실시 예들에서, SOC_{final} 은 셀 전위(V_l) 및 온도

(T_1)가 특정 범위들 내에 속하는 경우에만 확립된다. 상기 범위들은 $getSOC()$ 함수가 셀 거동의 신뢰할 수 있는 모델인 전위들 및 온도들의 범위에 기초하여 선택될 수 있다. V_1 또는 T_1 이 적절한 범위를 벗어나게 되면 SOC_{final} 이 확립되지 않고, 그 대신에, 계산이 블록(612)에서 리셋될 수 있으며, 프로세스(600)는 재시작을 위해 블록(602)으로 복귀될 수 있다.

[0112] SOC_{final} 의 신뢰도에 관련된 다른 요구사항들도 적용될 수 있다. 예를 들어, 일부 실시 예들에서 런타임 매개변수($t_{run,C0}$)가 상한(upper limit)을 초과하는 경우, 결과는 (예컨대, $Q_{discharge,k}$ 가 전류 센서 오프셋 오류로 인해) 신뢰할 수 없게 될 수 있고, 프로세스(600)는 블록(612)에서 정지되고 재시작을 위해 블록(602)으로 복귀될 수 있다.

[0113] 다른 일 예로서, 블록(610)은 이하의 수학적식

$$\Delta SOC = |SOC_{init} - SOC_{final}| \quad (28)$$

[0115] 으로서 정의되는 SOC의 변경이 신뢰도에 대한 최소 임계값을 초과할 것을 요구할 수 있다. 상기 임계값은 상기 방전 이벤트가 상기 셀의 충전 용량의 상당 부분을 소비할 것을 요구하도록 선택될 수 있는데, 예를 들어, 상기 임계값은 0.4 또는 0.5 등일 수 있다. 그러하지 않다면, 상기 계산이 블록(612)에서 리셋될 수 있고, 프로세스(600)는 재시작을 위해 블록(602)으로 복귀될 수 있다.

[0116] 블록(614)에서, 프로세스(600)는 수학적식(25)에 따라 필터링되지 않은 C_0 값($C_{0,raw}$)을 계산할 수 있으며, 여기서 $Q_{discharge}$ 는 블록(604)에서의 방전 이벤트로부터의 $Q_{discharge,k}$ 의 최종값이고, ΔSOC 는 수학적식(25)에 의해 주어진 것이다. 블록(616)에서, 프로세스(600)는 이하의 수학적식

$$C_{0,fit} = \gamma C_{0,raw} + (1 - \gamma) C_{0,prev} \quad (29)$$

[0118] 과 같이 이동 평균을 근사하는 무한 임펄스 응답 필터를 사용하여 필터링된 C_0 값을 계산할 수 있으며, 여기서 $C_{0,prev}$ 는 (예컨대, 프로세스(600)의 이전 반복으로부터) C_0 의 저장된 추정치이고 γ 는 업데이트된 값들에 대한 원하는 민감도에 기초하여 선택될 수 있는 필터 감쇠 상수이다. 일 예에서, $\gamma = 0.05$ 이지만, 다른 값들이 선택될 수 있다. 이동 평균, 가중 이동 평균(최근 추정치들에 큰 가중치가 부여됨), 재귀 이동 평균 등을 포함해 새로 계산된 $C_{0,raw}$ 를 C_0 의 이전 추정치와 결합하기 위한 다른 기법들이 사용될 수 있다. 일부 실시 예들에서, 상기 셀에 대한 C_0 의 최근 추정치들의 분포의 통계적 분석은, 예컨대, 가장 최근의 $C_{0,raw}$ 값이 예상 분포를 얼마나 벗어나게 되는지를 결정하기 위해 수행되고, 그럼으로써 랜덤 측정 노이즈가 평활화되는 것을 허용하게 될 수 있다. 일부 실시 예들에서, 새로운 셀에 대한 프로세스(600)의 첫 번째 반복 이전에, $C_{0,prev}$ 는 상기 셀의 테스트 중에 측정된 충전 용량, (예컨대, 상기 셀의 설계 사양에 기초하여 이루어지는) 공칭 값, 또는 필요한 다른 값을 사용하여 초기화될 수 있다.

[0119] 블록(618)에서, 프로세스(600)는 예컨대 $C_{0,fit}$ 를 임계값과 비교함으로써 $C_{0,fit}$ 가 믿을 수 없을 정도로 높은지의 여부를 결정할 수 있다. 이러한 임계값은 상기 셀이 지닐 것으로 예상 가능한 최대 충전 용량에 상응하도록 (또는 그를 초과하도록) 설정될 수 있다. 일부 실시 예들에서, 상기 최대 충전 용량은 설계보다 양호한 성능에 대한 약간의 허용과 함께 상기 셀의 설계 사양에 기초하여 결정될 수 있다. 다른 실시 예들에서, 특정 셀에 대한 최대 충전 용량은 셀의 충전 용량이 사용에 따라 증가하지 않는다는 가정 하에 사전 설치 테스트 중에 상기 셀의 충전 용량을 능동적으로 측정함으로써 결정될 수 있다. $C_{0,fit}$ 가 임계값보다 높으면, 블록(620)에서 $C_{0,fit}$ 가 폐기되고 프로세스(600)가 리셋되어 블록(602)으로 복귀될 수 있다. 일부 실시 예들에서, 믿을 수 없을 정도로 높은 $C_{0,fit}$ 는 수치적 인공물(numerical artifact)로 가정되어 단순히 무시된다. 다른 실시 예들에서, 프로세스(600)는 C_0 오류 알림을 생성할 수 있다. 또 다른 실시 예들에서, 프로세스(600)는 믿을 수 없을 정도로 높은 $C_{0,fit}$ 가 반복적으로 이루어지는지의 여부를 추적하고 이러한 경우에 C_0 오류 알림을 생성할 수 있다.

[0120] 일부 실시 예들에서, 상기 C_0 추정치($C_{0,fit}$)는 셀 용량 고장 알림을 트리거하는데 사용될 수 있다. 예를 들어, C_0 는 시간 경과에 따라 천천히 변경될 것으로 예상되며 예기치 않게 급격한 변경들은 문제를 나타낼 수 있다.

따라서, 블록(622)에서, 프로세스(600)는 예컨대, 이하의 수학적

$$\Delta C_0 = |C_{0,prev} - C_{0,fill}| \quad (30)$$

을 사용하여 C_0 의 변경을 계산할 수 있으며, ΔC_0 이 임계값을 초과하면, 상기 결과가 의심스러운 것으로 취급된다. 예를 들어, 블록(624)에서, 프로세스(600)는 "셀 용량 고장" 알람을 생성할 수 있다. 일부 실시예들에서, 다중 임계값이 정의될 수 있고, 임계값(들)이 초과된 것에 기초하여 상이한 고장 알람이 생성될 수 있다. 예를 들어, ΔC_0 가 첫 번째 임계값(예컨대, 0.4Ah)을 초과하면 "의심스러운 셀 용량" 고장 알람이 생성될 수 있고 ΔC_0 이 두 번째로 높은 임계값(예: , 0.8 Ah)을 초과하면 "매우 의심스러운 셀 용량" 고장 알람이 생성될 수 있다. 블록(624)에서 셀 용량 고장 알람이 생성될 때, 프로세스(600)는 리셋됨으로써, C_0 계산의 결과를 폐기하게 되고 블록(602)으로 복귀될 수 있다.

블록(626)에서, 저장된 $C_{0,prev}$ 값은 예컨대, 블록(616)에서 계산된 $C_{0,fill}$ 로 저장된 값을 대체함으로써 업데이트될 수 있다. 상기 업데이트된 $C_{0,prev}$ 값은 제어 시스템(106) 또는 다른 시스템 구성요소들에 보고될 수 있다. 일부 실시예들에서, 제어 시스템(106)은 상기 추정된 충전 용량을 (예컨대, 서비스 기술자들에 의한 검토를 위한) 배터리 상태 보고에 통합할 수 있다.

프로세스(600)는 배터리가 방전 이벤트들 간 아이들 상태에 진입된다고 가정하면 모든 방전 이벤트에 대해 반복될 수 있다. 일부 실시예들에서, 배터리가 아이들 상태에 진입될 때마다, 배터리 관리 시스템은 유효한 SOC_{high} 가 현재 저장되어 있는지의 여부를 결정할 수 있다. 그러하지 않다면, 블록(602)이 수행될 수 있고, 그러하다면, 블록(608) 및 후속 블록들이 수행될 수 있다. 일부 실시예들에서, 프로세스(600) 또는 유사한 프로세스는 또한 충전 이벤트 중의 측정들에 기초하여 C_0 를 추정하기 위해 사용될 수 있다. (이는 예컨대, 배터리 시스템 설계가 전류 또는 기타 관련 매개변수들의 측정들이 방전 이벤트들 중보다 충전 이벤트들 중에 덜 신뢰할 수 있도록 이루어진 경우에 바람직하지 않을 수 있다.)

여기서 이해할 점은 프로세스(600)가 예시적인 것이며 변형들 및 수정들이 가능하다는 것이다. 논리가 허용하는 범위 내에서 순차적으로 설명된 작동들은 병렬로 실행될 수도 있고 다른 순서로 작동들이 실행될 수도 있다. 구체적으로 설명되지 않은 다른 작동들이 수행될 수도 있으며, 필요한 경우 구체적으로 설명된 작동들이 생략될 수도 있다. 예를 들어, 설명된 예들에서, 현재 추정치 및 이전 추정치를 나타내는 단일 값이 사용되지만, 다른 구현들에서는, 프로세스(600)의 다중 반복으로부터의 이전 추정치들이 저장될 수 있고, 한 세트의 추정치들의 통계적 분석이 수행될 수 있다. (이러한 통계 분석은 정확도를 높이고 변동들을 줄일 수 있지만 이전 추정치들을 저장하는 데 필요한 메모리의 양을 증가시키게 된다.) 특정 구현에서 셀 상태 모델 및 기타 매개변수 값들은 배터리 셀의 타입 및 특성, 필요한 특정 민감도 및 특이성에 기초하여 최적의 결과들을 위해 선택될 수 있다. C_0 추정 프로세스는 임의의 개수의 셀들에 대해 병렬로나 또는 순차적으로 수행될 수 있다. 일부 실시예들에서, (필터링 후) 추정된 C_0 가 하한(lower limit) 미만으로 떨어지면 낮은 C_0 고장 알람이 생성될 수 있고, 이는 상기 셀이 교체 예정이라는 표시일 수 있다.

일부 실시예들에서, 셀의 내부 저항(R_i)은 C_0 에 추가하여 또는 C_0 대신에 추정될 수 있다. 내부 저항(R_i)은 표준 SOC, 전류 및 온도에서 그리고 어떠한 셀 분극도 없이 상기 셀의 임피던스의 저항(오염) 성분으로서 정의될 수 있다. 임피던스의 오염 성분은 전류에 대한 전위에서의 순간적인 변화로서 이해될 수 있지만, 순간적인 변화 측정들은 작동 중인 셀에 대해 실용적이지 않을 수 있다. 또한, 내부 저항은 일반적으로 SOC, 온도 및 방전 전류에 따라 달라지고, 그래서 단기간에 $\Delta V/\Delta I$ 를 측정하는 것만으로는 신뢰할 수 있는 추정치를 얻을 수 없다. 따라서, 일부 실시예들은 R_i 추정치를 개선하기 위해 보상 인자들을 도입한다.

도 7은 일부 실시예들에 따른 방전 이벤트에 기초하여 셀의 R_i 를 추정하기 위한 프로세스(700)의 흐름도이다. 프로세스(700)는 예컨대 배터리 모니터링 시스템(300) 또는 위에서 설명한 다른 배터리 모니터링 시스템들에서 구현될 수 있다. 프로세스(700)는 배터리가 (예컨대, 방전 또는 충전 상태에서) 능동적으로 작동하는 동안 반복적인 (누적) R_i 계산을 수행할 수 있고 배터리가 아이들 상태에 진입될 때 누적 계산을 사용하여 R_i 추정치를 업데이트할 수 있다. 프로세스(700)는 정상 작동 이외에 어떠한 배터리 활동도 포함하지 않는 수동 모니터링 프로세스의 다른 일 예이다.

[0128] 프로세스(700)는 블록(702)에서 배터리가 아이들 상태로부터 활성 상태(예컨대, 충전 또는 방전 상태)로 전이할 때 시작될 수 있다. 상기 전이에 응답하여, 블록(704)에서, 프로세스(700)는 내부 저항의 누적 추정치($R_{i,run}$)를 초기화할 수 있다. 예를 들어, 상기 누적 추정치는 프로세스(700)의 이전 실행으로부터 결정된 R_i 값으로 초기화될 수 있다. 일부 실시 예들에서, 새로운 셀에 대한 프로세스(700)의 첫 번째 반복 중에, $R_{i,run}$ 은 상기 셀의 테스트 중에 측정된 내부 저항, (예컨대, 상기 셀의 설계 사양에 기초하여 이루어지는) 공칭 값, 또는 필요한 다른 값에 기초하여 초기화될 수 있다.

[0129] 블록(706)에서, 배터리가 활성 상태에 있게 되는 동안, $R_{i,run}$ 은 반복적으로 업데이트된다. (프로세스(400)가 또한 구현되는 경우, 이러한 업데이트는 블록(404)에서 상태 매개변수들의 결정의 일부로서 이루어질 수 있다.) 도 8은 일부 실시 예들에 따른 $R_{i,run}$ 을 반복적으로 업데이트하기 위한 프로세스(800)의 흐름도이다. 프로세스(800)는 예컨대 프로세스(700)의 블록(704)을 구현하기 위해 사용될 수 있고, 프로세스(800)는 배터리가 활성 상태에 있게 되는 동안 규칙적인 시간 간격들(시간 인덱스 k)로 수행될 수 있다.

[0130] 블록(802)에서, 프로세스(800)는 상기 전지의 전류(I_k), 전위(V_k), 및 온도(T_k)를 측정할 수 있다. 블록(804)에서, 프로세스(800)는 전류, 전위 및 온도에 대한 신뢰도 조건이 충족되는지의 여부를 검사할 수 있다. 예를 들어 이하의 신뢰도 조건들

[0131] $|I_k - I_{k-1}| > \Delta I_{min}$ (31)

[0132] $|V_k - V_{k-1}| > \Delta V_{min}$ (32)

[0133] $T_{max} \geq \text{mean}(T_k, T_{k-1}) \geq T_{min}$ (33)

[0134] 이 적용될 수 있다. 수학적식(31) 및 수학적식(32)은 한 시간 스텝으로부터 다음 한 시간 스텝으로의 전위 및 전류 변화가 측정하기에 충분히 커야 할 것을 요구한다. 수학적식(33)은 $R_{i,run}$ 을 업데이트하는데 사용되는 저항성 거동 모델들이 신뢰할 수 있는 것으로 간주되는 범위에 온도가 있게 될 것을 요구한다. 제한 매개변수들(ΔI_{min} , ΔV_{min} , T_{max} , T_{min})은 특정 시스템에 대해 필요에 따라 선택될 수 있다. 도 2의 배터리 뱅크(200)의 구현을 사용하는 일 예에서, $\Delta I_{min} = 2 \text{ A}$ 이고, $\Delta V_{min} = 0.010 \text{ V}$ 이며, $T_{max} = 50^\circ\text{C}$ 이고, 그리고 $T_{min} = 20^\circ\text{C}$ 이다. 다른 조건들, 예컨대 전류 및/또는 전위의 변화에 대한 상한과 온도 변화에 대한 한도들이 또한 적용될 수 있다.

[0135] 블록(806)에서, 블록(804)의 신뢰도 조건들 중 적어도 하나가 충족되지 않으면, 프로세스(800)는 블록(808)에서 다음 시간 스텝을 대기하고 다시 시도할 수 있다. 블록(806)에서 모든 신뢰도 조건이 충족되면, 블록(810)에서 프로세스(800)는 시간 스텝 k 에 대한 "원시" 추정치($R_{i,raw}$)를 계산할 수 있다. 일부 실시 예들에서, 이하의 수학적식

[0136] $R_{i,raw} = \frac{V_k - V_{k-1}}{I_k - I_{k-1}} + \text{IRComp}(SOC_k, I_k, T_k)$ (34)

[0137] 과 같은 계산이 사용될 수 있는데, 여기서 SOC_k 는 수학적식(26)을 참조하여 위에서 설명한 함수($\text{getSOC}(V_k, T_k)$)를 사용하여 결정될 수 있고, $\text{IRComp}()$ 는 SOC, 전류, 및 온도에 따라 달라지는 내부 저항 보상 계수를 복귀시키는 함수이다. 예를 들어 $\text{IRComp}()$ 는 이하의 수학적식

[0138] $\text{IRComp}(SOC, I, T) = \text{calcRI}(SOC_{ref}, I_{ref}, T_{ref}) - \text{calcRI}(SOC, I, T)$ (35)

[0139] 으로서 정의될 수 있다. 상기 함수($\text{calcRI}()$)는 이하의 수학적식

[0140] $\text{calcIR}(SOC, I, T) = A(SOC, I) * \exp\left(-B(SOC, I) * (T + 20)^{\frac{1}{3}}\right)$ (36)

[0141] 으로서 정의될 수 있으며, 여기서 $A()$ 및 $B()$ 는 제어된 조건하에서 주어진 설계 사양의 다수의 셀을 테스트함으로써 경험적으로 정의될 수 있는 함수이다. 일부 구현들에서, SOC 및 I 의 다양한 조합에 상응하는 $A()$ 및 $B()$ 의 값으로 룩업 테이블을 채우기 위해 경험적 분석이 사용될 수 있다. 수학적식(35)에서, SOC_{ref} , I_{ref} , 및 T_{ref} 는 SOC, 전류 및 온도에 대한 상수 기준 값들이며, 이들은 수학적식(36)에서 함수들($A()$, $B()$)을 정의하

는 것과 관련하여 미리 선택될 수 있다. 예를 들어, 이하의 기준 값들, $SOC_{ref} = 1$, $I_{ref} = 22 \text{ A}$, $T_{ref} = 25^\circ\text{C}$ 가 선택될 수 있다.

[0142] 블록(812)에서, 프로세스(800)는 블록(810)에서 계산된 $R_{i,raw}$ 가 논리에 맞는 범위 내에 있게 되는지의 여부를 결정할 수 있다. 일 예에서, 상기 논리에 맞는 범위는 0.005Ω 과 0.03Ω 사이인 것으로 정의되며, 상기 셀의 설계에 따라 다른 범위들이 사용될 수 있다. $R_{i,raw}$ 가 상기 논리에 맞는 범위에 있지 않게 된다면, 블록(814)에서, 프로세스(800)는 상기 계산된 $R_{i,raw}$ 값을 폐기하거나 무시하고 다시 시도할 다음 시간 스텝을 대기할 수 있다. 다른 실시 예들에서, 프로세스(800)는 R_i 오류 알림을 생성할 수 있다. 또 다른 실시 예들에서, 프로세스(800)는 논리에 맞지 않는 $R_{i,raw}$ 가 반복적으로 이루어지는지의 여부를 추적하고 이 경우에 R_i 오류 알림을 생성할 수 있다.

[0143] $R_{i,raw}$ 가 상기 논리에 맞는 범위 내에 있게 되는 경우, 블록(816)에서 프로세스(800)는 이하의 수학적

[0144]
$$R_{i,run} = \gamma R_{i,raw} + (1 - \gamma) R_{i,run} \quad (37)$$

[0145] 과 같은 이동 평균에 근사하게 하는 무한 임펄스 응답 필터를 사용하여 $R_{i,raw}$ 을 업데이트할 수 있으며, 여기서 γ 는 업데이트된 값들에 대해 필요한 민감도에 기초하여 선택될 수 있는 필터 감쇠 상수이다. 일 예에서, $\gamma = 0.01$ 이지만, 다른 값도 선택될 수 있다. 여기서 이해하여야 할 점은 프로세스들(600, 800) 양자 모두를 구현하는 실시 예들에서, 수학적식(37)에서의 R_i 추정치를 위한 감쇠 상수가 수학적식(29)에서의 C_0 추정을 위한 감쇠 상수와 같은 값을 지닐 수 있지만 반드시 그러할 필요가 없다는 것이다. 이동 평균, (최근 추정치들에 큰 가중치가 부여되는) 가중 이동 평균, 재귀 이동 평균 등을 포함해 새로 계산된 $R_{i,raw}$ 를 R_i 의 이전 추정치들과 결합하기 위한 다른 기법들이 사용될 수 있다. 일부 실시 예들에서, 상기 셀에 대한 R_i 의 최근 추정치들의 분포에 대한 통계적 분석은, 예컨대 가장 최근의 $R_{i,raw}$ 값이 예상 분포를 얼마나 벗어나게 되는지를 결정하기 위해 수행되고, 그 결과로써 랜덤 측정 노이즈가 평활화되는 것을 허용할 수 있게 된다.

[0146] 일부 실시 예들에서, (프로세스(700)의 블록(704)에 상응하는) 프로세스(800)는 배터리가 활성 상태로 유지되는 한 반복적으로 수행될 수 있다. 도 7을 다시 참조하면, 블록(708)에서 배터리는 아이들 상태로 전이된다. 배터리가 아이들 상태에 진입된 후에, (프로세스(800)로부터의) $R_{i,run}$ 의 최종 값이 새로운 R_i 추정치로서 사용될 수 있다. 일부 실시 예들에서, 상기 R_i 추정치는 고장 알림들을 트리거하기 위해 사용될 수 있다. 예를 들어 R_i 는 시간 경과에 따라 천천히 변경될 것으로 예상되며 예기치 않게 급격한 변경은 문제를 나타낼 수 있다. 따라서, 블록(710)에서, 프로세스(700)는 예컨대, 이하의 수학적

[0147]
$$\Delta R_i = |R_{i,run} - R_i| \quad (38)$$

[0148] 을 사용하여 R_i 의 변화를 계산할 수 있으며, 여기서 R_i 는 블록(702)의 R_i 값이다. ΔR_i 가 임계값을 초과하면, 상기 결과가 의심스러운 것으로 취급된다. 예를 들어, 블록(714)에서, 프로세스(700)는 "셀 저항 고장" 알림을 생성할 수 있다. 일부 실시 예들에서, 다수의 임계값이 정의될 수 있고, 어떤 임계값(들)이 초과되었는지에 기초하여 상이한 고장 알림이 구별될 수 있다. 예를 들어, ΔR_i 가 첫 번째 임계값(예컨대, 0.002Ω)을 초과하면 "셀 저항 의심스러운(cell resistance suspicious)" 고장 알림이 생성될 수 있고, ΔR_i 가 두 번째로 높은 임계값(예컨대, 0.01Ω)을 초과하면, "셀 저항 의심스러운" 고장 알림이 생성될 수 있다. 블록(714)에서 셀 저항 고장 알림이 생성될 때, 프로세스(700)는 결과적인 $R_{i,run}$ 값을 폐기하고 활성 상태로의 다음 전이를 대기하기 위해 블록(702)으로 복귀하게 될 수 있다.

[0149] 블록(716)에서, 저장된 R_i 값은 예컨대 상기 저장된 R_i 값을 $R_{i,run}$ 으로 대체함으로써 업데이트될 수 있다. 상기 업데이트된 R_i 값은 제어 시스템(106) 또는 다른 시스템 구성요소들에 보고될 수 있다. 일부 실시 예들에서, 제어 시스템(106)은 추정된 내부 저항을 (예컨대, 서비스 기술자들에 의한 검토를 위한) 배터리 상태 보고에 통합할 수 있다.

[0150] 프로세스(700)는 배터리가 활성 상태에 진입될 때마다 새로운 $R_{i,run}$ 이 (예컨대, 프로세스(800)를 사용하여) 계

산되고 배터리가 아이들 상태일 때 (조건들이 충족되면) R_i 가 업데이트되면서 반복될 수 있다. 일부 실시 예들에서, 프로세스(700) 또는 유사한 프로세스는 충전 이벤트 또는 방전 이벤트에 기초하여 R_i 를 추정하는 데 사용될 수도 있고, 필요한 경우 프로세스(700)는 방전 이벤트들과 관련해서만(또는 충전 이벤트들과 관련해서만) 선택적으로 호출될 수 있다.

[0151] 여기서 이해할 점은 프로세스들(700, 800)이 예시적인 것이며 변형들 및 수정들이 가능하다는 것이다. 논리가 허용하는 범위 내에서 순차적으로 설명된 작동들은 병렬로 실행될 수도 있고 다른 순서로 작동들이 실행될 수도 있다. 구체적으로 설명되지 않은 다른 작업들이 수행될 수 있으며, 필요한 경우 구체적으로 설명된 작동들이 생략될 수 있다. 예를 들어, 설명된 예들에서, 현재 추정치 및 이전 추정치를 나타내는 단일 값이 사용되지만, 다른 구현들에서, 프로세스(800)의 다중 반복으로부터의 이전 추정치들이 저장될 수 있고, 한 세트의 추정치들에 대한 통계적 분석이 수행될 수 있다. (이러한 통계 분석은 정확도를 높이고 변동들을 줄일 수 있지만 이전 추정치들을 저장하는 데 필요한 메모리의 양을 증가시키게 된다.) 특정 구현에서의 셀 상태 모델 및 기타 매개변수 값들은 배터리 셀의 타입 및 특성들 및 필요한 특정 민감도 및 특이성에 기초하여 최적의 결과들을 위해 선택될 수 있다. R_i 추정 프로세스는 병렬로나 또는 순차적으로 임의 개수의 셀들에 대해 수행될 수 있다. 일부 실시 예들에서, 추정된 R_i 가 상한을 초과하면, 높은 R_i 고장 알림이 생성될 수 있고, 이는 상기 셀이 교체 예정이라는 표시일 수 있다.

[0152] **추가 실시 예**

[0153] 지금까지 본 발명이 특정 실시 예들을 참조하여 설명되었지만, 본 개시내용에 접근할 수 있는 당업자라면 변형들 및 수정들이 가능함을 인식할 것이다. 여기에 기재되어 있는 종류의 배터리 모니터링 시스템 및 프로세스는 임의 개수의 배터리를 또는 임의 개수의 배터리 셀들을 모니터링하는 데 사용될 수 있으며, 상기 시스템들 및 프로세스들은 다양한 배터리 기술을 사용하여 구현된 셀들에 적용될 수 있다. 배터리 모니터링 중에 생성되는 알림들은 위에서 제공한 예들에 국한되지 않으며 알림의 사용은 위에서 설명한 사용 사례에 국한되지 않는다. 모니터링 프로세스들의 임의 조합은 위에서 설명한 프로세스들 중 하나 이상을 포함해 특정 시스템에서 구현될 수 있다. 셀 상태 모델(예컨대, 등가 셀 회로 모델)에 기초하여 이루어지는 것으로 설명된 함수들은 셀 상태 매개변수들의 측정들의 분해능(예컨대, 전위, 전류 및 온도 센서들의 분해능)에 기초한 적절한 세분성을 함수 입력들에 키가 지정된 룩업 테이블에 제공함으로써 구현될 수 있다. 일부 실시 예들에서, 모니터링 매개변수들의 결정은 상기 룩업 테이블에 의해 커버되는 범위들 내에 있게 되는 함수 입력들에 대해 조건부일 수 있다.

[0154] 여기에 기재되어 있는 종류의 계산 작동들은 데스크톱 컴퓨터, 랩톱 컴퓨터, 태블릿 컴퓨터, 모바일 장치(예컨대, 스마트폰) 등과 같은 일반적으로 통상적인 설계로 이루어질 수 있는 컴퓨터 시스템들에서 구현될 수 있다. 이러한 시스템들은 프로그램 코드를 실행하기 위한 하나 이상의 프로세서들(예컨대, 중앙 처리 유닛(CPU))으로서 사용 가능한 범용 마이크로프로세서들 및/또는 향상된 병렬 처리 기능을 제공할 수 있는 그래픽 프로세서들(GPU들)과 같은 특수 목적 프로세서들; 프로그램 코드 및 데이터를 저장하기 위한 메모리 및 기타 저장 장치들; 사용자 입력 장치들(예컨대, 키보드들, 마우스 또는 터치패드와 같은 포인팅 장치들, 마이크로폰들); 사용자 출력 장치들(예컨대, 디스플레이 장치들, 스피커들, 프린터들); 조합된 입력/출력 장치들(예컨대, 터치스크린 디스플레이들); 신호 입력/출력 포트들; 네트워크 통신 인터페이스들(예컨대, 인터넷 인터페이스들과 같은 유선 네트워크 인터페이스들 및/또는 Wi-Fi와 같은 무선 네트워크 통신 인터페이스들) 등등을 포함할 수 있다. 청구된 발명의 다양한 특징을 포함하는 컴퓨터 프로그램들은 다양한 컴퓨터 판독가능 저장 매체상에 인코딩 및 저장될 수 있으며, 적합한 매체에는 자기 디스크 또는 테이프, 콤팩트 디스크(CD) 또는 DVD(digital versatile disk)와 같은 광학 저장 매체, 플래시 메모리 및 기타 비-일시적 매체가 포함된다. (여기서 이해하여야 할 점은 데이터의 "저장"이 반송파들과 같은 일시적인 매체를 사용한 데이터 전파와는 구별된다는 것이다.) 프로그램 코드로 인코딩된 컴퓨터 판독가능 매체는 호환 가능한 컴퓨터 시스템 또는 다른 전자 장치와 함께 패키징될 수도 있고, 프로그램 코드는 (예컨대, 인터넷 다운로드를 통해 또는 별도로 패키징된 컴퓨터 판독가능 저장 매체로서) 전자 장치들과는 별도로 제공될 수도 있다.

[0155] 여기서 이해하여야 할 점은 여기에 사용된 모든 수치들이 예시를 위한 것이며 변경될 수 있다는 것이다. 일부 경우에, 범위들은 규모감(sense of scale)을 제공하기 위해 지정된 것이지만 개시된 범위를 벗어난 수치들이 배제되는 것은 아니다.

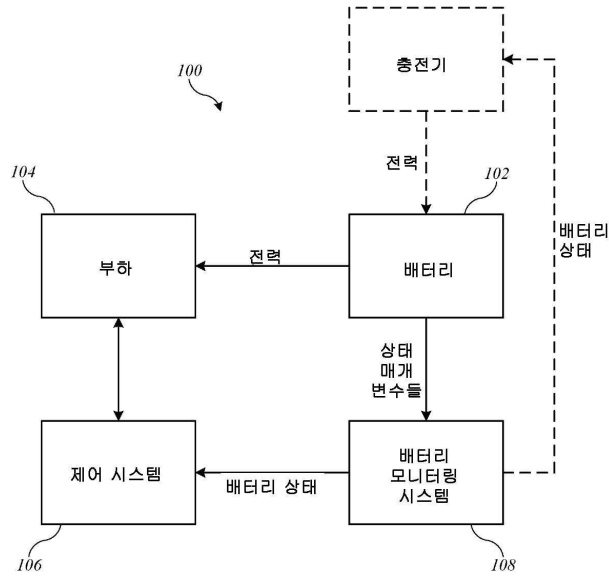
[0156] 여기서 또한 이해하여야 할 점은 여기서의 모든 도면들이 개략적으로 의도되어 있다는 것이다. 달리 구체적으로 나타내지 않는 한, 도면들은 도면들에 도시된 요소들의 임의의 특정한 물리적 배치를 의미하도록 또는 도시된

모든 요소들이 필요하도록 의도된 것이 아니다. 본 개시내용에 접근할 수 있는 당업자라면 도면들에 도시되거나 본 개시내용에 달리 설명된 요소들이 수정 또는 생략될 수 있고 도시 또는 설명되지 않은 다른 요소들이 추가될 수 있음을 이해할 것이다.

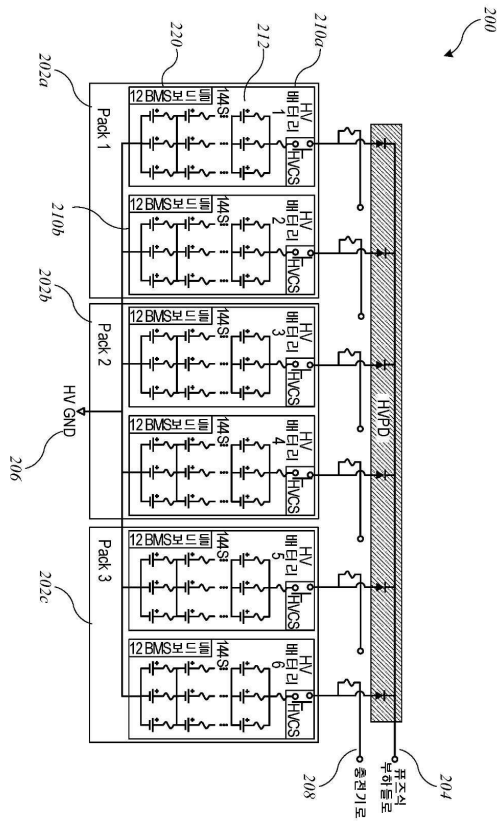
[0157] 위의 설명은 예시적인 것이며 제한적인 것이 아니다. 본 발명의 많은 변형은 본 개시내용을 검토하면 당업자에게 명백해질 것이다. 따라서 특허보호범위는 위의 설명을 참조하지 않고 결정되어야 하며 대신 전체 범위 또는 등가물과 함께 이하의 청구범위를 참조하여 결정되어야 한다.

도면

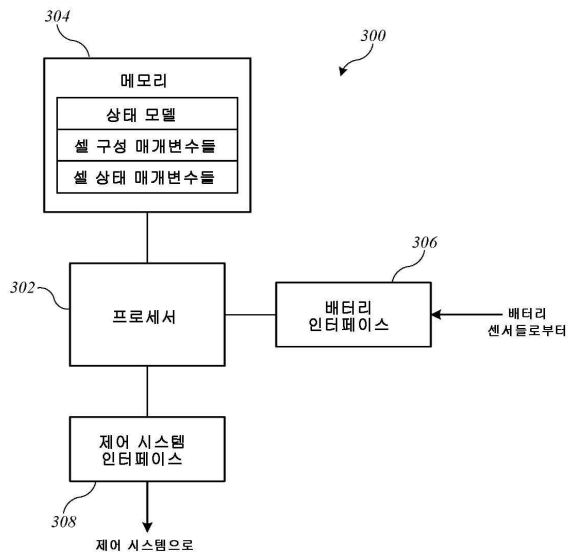
도면1



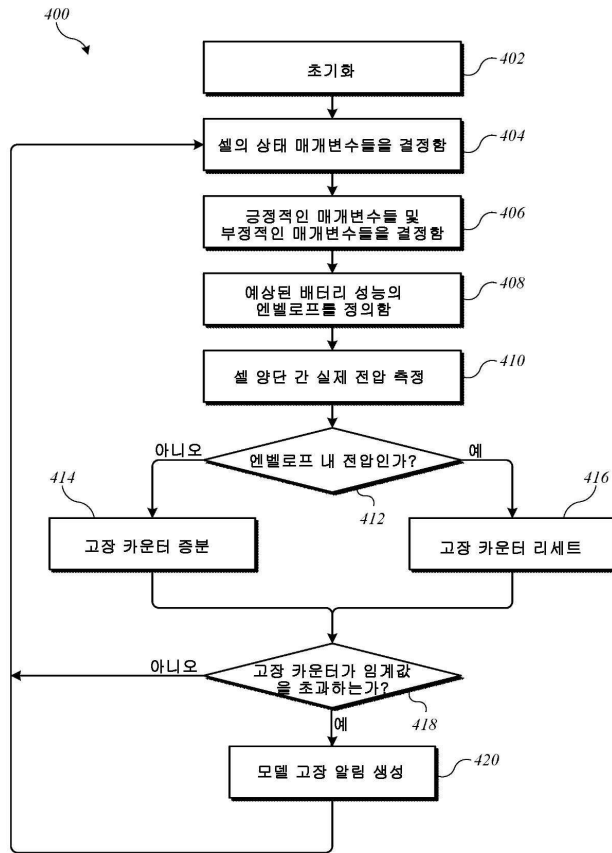
도면2



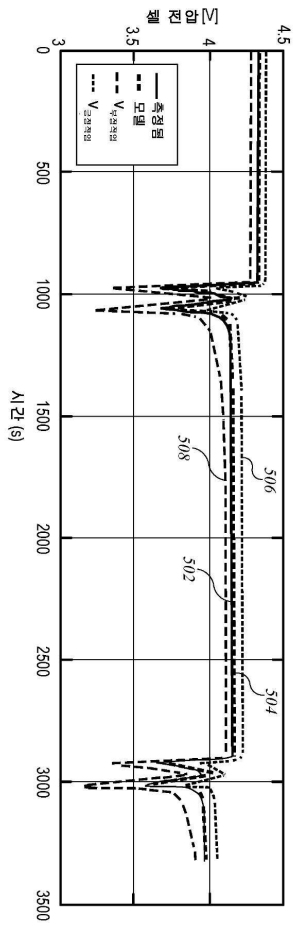
도면3



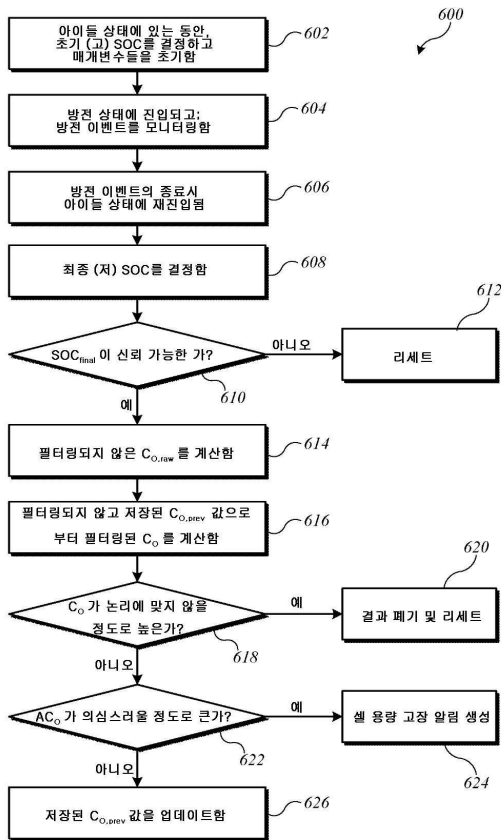
도면4



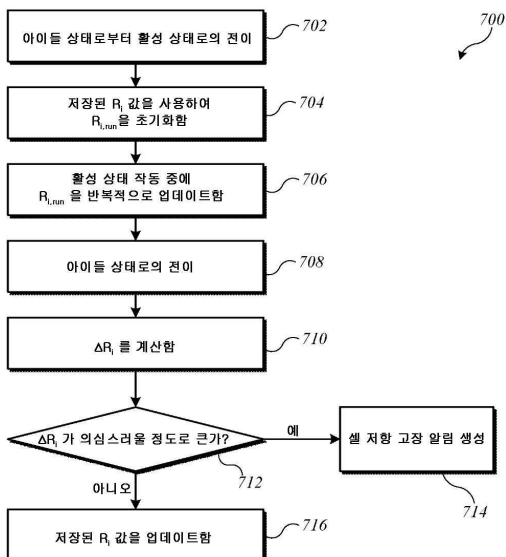
도면5



도면6



도면7



도면8

