



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2025-0017832
(43) 공개일자 2025년02월04일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

H02J 7/00 (2006.01) G06N 3/08 (2023.01)
G06N 3/092 (2023.01) H01M 10/44 (2006.01)
H02J 3/32 (2006.01)

(52) CPC특허분류

H02J 7/0014 (2023.08)
G06N 3/092 (2023.01)

(21) 출원번호 10-2023-0098725

(22) 출원일자 2023년07월28일

심사청구일자 2023년07월28일

(71) 출원인

울산대학교 산학협력단

울산광역시 남구 대학로 93(무거동)

(72) 발명자

권성오

울산광역시 남구 문수로409번길 20, 203동 803호
(신정동, 문수로1차아이파크 1단지)

도안 낮 팡

울산광역시 남구 대학로52번길 5-16, 105호 (무거동)

샤히드 사이예드마즈

울산광역시 남구 대학로 93 (무거동)

(74) 대리인

특허법인태백

전체 청구항 수 : 총 8 항

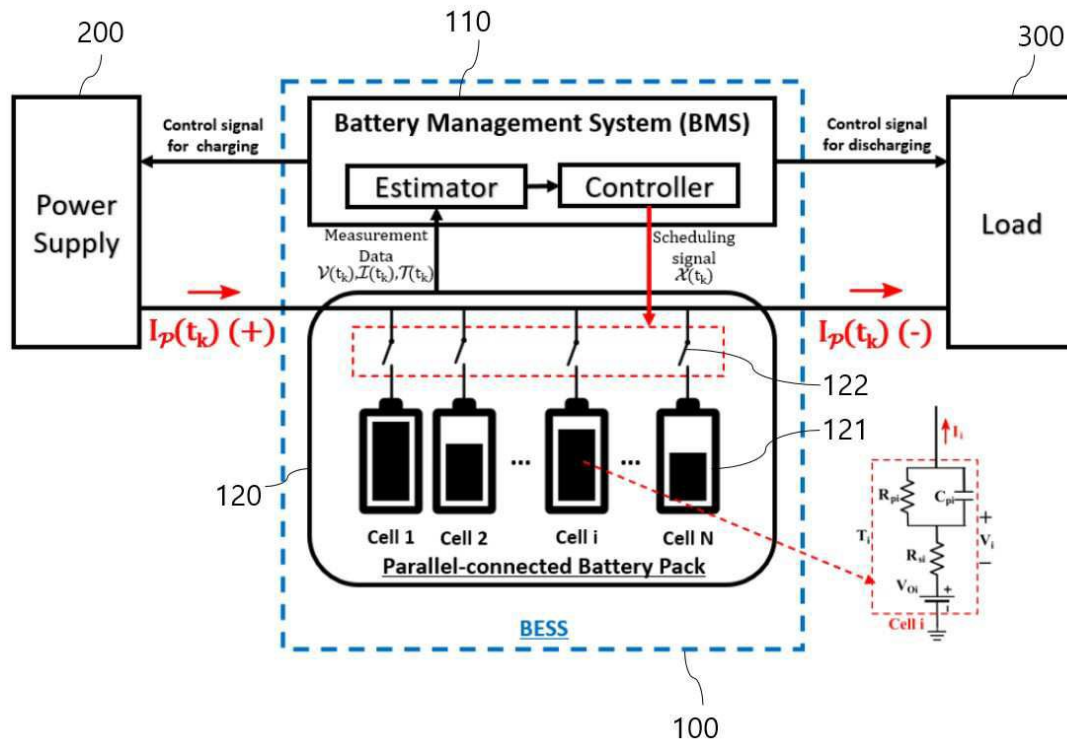
(54) 발명의 명칭 배터리 수명 최대화를 위한 배터리 관리 시스템 및 그 방법

(57) 요약

본 발명은, 전원공급장치와 부하 사이에 연결된 BESS의 배터리 수명 최대화를 위한 배터리 관리 시스템에 있어서, 배터리 팩 내에서 전원선로에 병렬 연결된 복수의 셀에 대한 전압, 전류 및 온도 중 적어도 하나에 대한 측정 데이터를 매 시간 별로 수집하는 데이터 수집부; 상기 측정 데이터를 이용하여 각 셀의 SOC 및 SOH 값을 추

(뒷면에 계속)

대표도 - 도3



정하여 SOC 데이터셋과 SOH 데이터셋을 획득하는 추정부; 및 상기 SOC 데이터셋과 SOH 데이터셋을 포함한 상태 벡터를 기반으로 딥러닝 기반의 스케줄링 모델을 통해 각 셀과 전원선로 사이에 설치된 복수의 셀 스위치 각각의 온오프 동작을 매 시간 별로 스케줄링하여 상기 배터리 팩의 셀 스위칭을 실시간 제어하는 제어부를 포함한다.

본 발명에 따르면, BESS 내 배터리 팩의 각 셀에 대한 SOC와 SOH 추정 값을 바탕으로 딥러닝 기반의 스케줄링 모델을 이용하여 각 셀들에 연결된 셀 스위치의 온오프 동작을 효율적으로 스케줄링하여 BESS의 성능을 최적화하고 배터리의 수명을 연장시킬 수 있다.

(52) CPC특허분류

H01M 10/441 (2013.01)

H02J 3/32 (2023.08)

H02J 7/0048 (2023.08)

H02J 7/005 (2023.08)

H02J 7/0071 (2023.08)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1345365358
과제번호	2021R1I1A3A04037415
부처명	교육부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	이공학학술연구기반구축
연구과제명	5GB/6G환경에서 초밀집 소형셀 네트워크 최적화 방안연구
기 여 율	1/1
과제수행기관명	울산대학교
연구기간	2023.03.01 ~ 2024.02.29

명세서

청구범위

청구항 1

전원공급장치와 부하 사이에 연결된 BESS의 배터리 수명 최대화를 위한 배터리 관리 시스템에 있어서,

배터리 팩 내에서 전원선로에 병렬 연결된 복수의 셀에 대한 전압, 전류 및 온도 중 적어도 하나에 대한 측정 데이터를 매 시간 별로 수집하는 데이터 수집부;

상기 측정 데이터를 이용하여 각 셀의 SOC 및 SOH 값을 추정하여 SOC 데이터셋과 SOH 데이터셋을 획득하는 추정부; 및

상기 SOC 데이터셋과 SOH 데이터셋을 포함한 상태 벡터를 기반으로 딥러닝 기반의 스케줄링 모델을 통해 각 셀과 전원선로 사이에 설치된 복수의 셀 스위치 각각의 온오프 동작을 매 시간 별로 스케줄링하여 상기 배터리 팩의 셀 스위칭을 실시간 제어하는 제어부를 포함하는 배터리 관리 시스템.

청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 추정부는,

확장 칼만 필터(Extended Kalman Filter, EKF)를 사용하여 각 셀의 측정 데이터로부터 SOC 및 SOH 값을 추정하는 배터리 관리 시스템.

청구항 3

청구항 1에 있어서,

상기 상태 벡터는 상기 배터리 팩의 전류값 및 부하의 전력 수요량을 더 포함하는 배터리 관리 시스템.

청구항 4

청구항 1에 있어서,

상기 스케줄링 모델은 DQN(Deep Q-Network) 알고리즘을 기반으로 기 학습된 배터리 관리 시스템.

청구항 5

청구항 4에 있어서,

상기 제어부는,

현재 시간에 관측된 상기 상태 벡터를 상태 값으로 설정하고, 해당 상태에서 선택한 동작인 각 셀 스위치의 온오프 동작 정보를 행동 값으로 설정하여, 해당 상태에서 선택한 행동에 따른 보상을 수행하면서 상기 DQN 알고리즘 기반의 스케줄링 모델을 사전 학습시키는 배터리 관리 시스템.

청구항 6

청구항 1에 있어서,

상기 제어부는,

상기 각 셀의 측정 데이터를 기초로 연산한 배터리 팩의 전류값과 상기 부하의 전력 수요량을 기반으로 상기 배터리 팩의 충전이 필요한 상황으로 판단되면, 상기 배터리 팩을 상기 전원공급장치에 연결하여 충전 프로세스를 실행하고, 상기 배터리 팩의 방전이 필요한 상황으로 판단되면, 상기 배터리 팩을 상기 부하에 연결하여 방전 프로세스를 실행하되,

상기 스케줄링 정보에 따라 각각의 셀 스위치에 대한 셀 스위칭을 제어하면서 상기 충전 또는 방전 프로세스를

수행하는 배터리 관리 시스템.

청구항 7

청구항 1에 있어서,

상기 제어부는,

현재 사이클에서 측정된 상기 배터리 팩의 전류값과 부하의 전력 수요량을 기반으로 결정되는 상기 배터리 팩의 충전 또는 방전 필요 여부에 따라 다음 사이클에서 상기 배터리 팩에 대한 충전 또는 방전 프로세스를 실행시키는 배터리 관리 시스템.

청구항 8

전원공급장치와 부하 사이에 연결된 BESS의 배터리 관리 시스템에 의해 수행되는 배터리 관리 방법에 있어서,

배터리 팩 내에서 전원선로에 병렬 연결된 복수의 셀에 대한 전압, 전류 및 온도 중 적어도 하나에 대한 측정 데이터를 매 시간 별로 수집하는 단계;

상기 측정 데이터를 이용하여 각 셀의 SOC 및 SOH 값을 추정하여 SOC 데이터셋과 SOH 데이터셋을 획득하고, 상기 배터리 팩의 전류값과 상기 부하의 전력 수요량을 기반으로 상기 배터리 팩을 상기 전원공급장치 또는 부하와 연결하여 충전 또는 방전 프로세스를 실행시키는 단계; 및

상기 SOC 데이터 셋, SOH 데이터셋, 상기 배터리 팩의 전류값 및 전력 수요량을 포함한 상태 벡터를 기반으로 딥러닝 기반의 스케줄링 모델을 통해 각 셀과 전원선로 사이에 설치된 복수의 셀 스위치 각각의 온오프 동작을 매 시간 별로 스케줄링하여 상기 배터리 팩의 셀 스위칭을 실시간 제어하는 단계를 포함하는 배터리 관리 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 배터리 수명 최대화를 위한 배터리 관리 시스템 및 그 방법에 관한 것으로서, 보다 상세하게는 폐 리튬 이온 배터리를 활용한 배터리 에너지 저장 시스템(Battery Energy Storage System, BESS)의 배터리 수명을 최대화하기 위한 배터리 관리 시스템 및 방법에 관한 것이다.

[0002] "본 연구는 한국수력원자력(주)의 재원으로 RE100 에너지 관리 시스템을 위한 무선 IOT 네트워크 연구 과제의 지원에 의하여 이루어진 것임(2022-0932)."

배경 기술

[0003] 리튬 이온 배터리는 스마트폰에서 전기 자동차(EV)에 이르기까지 모든 것에 전력을 공급하면서 현대 생활의 필수 구성 요소가 되었다. 리튬 이온 배터리는 최소 메모리 효과, 연장된 수명, 낮은 자가 방전율의 이점으로 다른 배터리 유형에 비해 널리 사용되고 있다. 다만, 전기자동차용 리튬 이온 배터리는 안전의 이유로 수명이 제한적이며 수명이 80% 이하로 떨어지면 교체가 요구된다.

[0004] 수명이 다한 배터리 팩의 전력 총량은 2030년까지 전 세계적으로 120 GWh에 이를 것으로 예측된다는 연구 결과가 있다. 또한, 리튬 이온 배터리에 대한 수요가 지속적으로 증가함에 따라 상당한 양의 폐기물과 재정적 부담을 야기할 것으로 보고 있다. 따라서, 80% 이하로 수명이 다한 폐기된 리튬 이온 배터리를 재사용할 수 있는 솔루션이 점점 더 시급해지고 있다.

[0005] 폐기된 리튬 이온 배터리의 유망한 응용 분야는 가정, EV 충전소, 또는 통신 및 데이터 센터 시스템에서 백업 전력으로 사용할 수 있는 배터리 에너지 저장 시스템(BESS)이 있다.

[0006] BESS는 새 배터리에 대한 수요를 크게 줄일 수 있는 잠재력을 가지고 있으며 배터리 생산의 환경적 영향을 줄이는 데 도움이 될 수 있다

[0007] BESS는 배터리 팩의 용량 또는 전압을 증가시키기 위해 다수의 배터리 셀이 병렬 또는 직렬로 연결된 구조의 배터리 팩을 포함하여 구성된다. 배터리 셀에는 스위치가 추가되며, 이러한 스위치를 통해서 각 셀을 배터리 팩에 전기적으로 연결 또는 분리할 수 있다.

[0008] 그런데, 배터리 팩 내의 각 셀들은 서로 용량 수준(예: 수명)이 상이하며, 이러한 점은 배터리 팩의 효율을 저

하시키고, 결론적으로 배터리 팩의 성능에 크게 영향을 미친다.

- [0009] 따라서, BESS 내 배터리 팩의 수명을 연장시키고, 배터리 셀의 불균형 용량을 감소시키기 위해서는 셀 스위칭을 위한 스케줄링 정책이 필요하다.
- [0010] BESS에서 최적의 스케줄링 정책을 위해서는 SOC(State of Charge) 및 SOH(State of Health)를 포함한 배터리 특성의 정확한 식별이 중요하다.
- [0011] 도 1은 배터리의 충전 상태(SOC)와 수명(SOH) 간의 관계를 표현한 도면이다. 배터리의 SOC는 배터리의 용량에 대한 충전 수준(충전 상태)인 반면, SOH는 정격 용량에 대한 최대 배터리 충전의 비율로, 배터리 수명을 의미한다.
- [0012] 스케줄링 정책에서 SOC 및 SOH에 대한 정보는 배터리 셀의 과충전 또는 방전을 방지하여 배터리 셀을 보호하고 BESS의 용량을 증가시킨다. 여기서 SOC 및 SOH 파라미터는 각 셀에서 직접 측정되는 값은 아니나, 각 셀에 대한 전압, 전류 및 온도와 같은 측정 가능한 매개 변수를 통해서 추정 가능하다.
- [0013] 이러한 배터리 팩 내 배터리 셀들의 상태(SOC, SOH)를 기준으로 배터리 팩 내 각 셀들에 연결된 셀 스위치의 온/오프 스위칭을 효율적으로 스케줄링하여 모든 배터리 셀의 상태가 균형을 이루도록 하면, 배터리 팩의 수명이 연장될 수 있다.
- [0014] 따라서, BESS의 성능을 최적화하기 위해서는 셀 스위칭의 스위칭 동작에 대한 효율적인 스케줄링과 함께 각 셀에 대한 SOC 및 SOH의 정확한 추정이 필요하다.
- [0015] 본 발명의 배경이 되는 기술은 한국공개특허 제10-2023-0034546호(2023.03.10. 공개)에 개시되어 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0016] 본 발명은 배터리 팩 내의 각 셀에 대한 SOC와 SOH 추정 값을 바탕으로 딥러닝 기반의 스케줄링 모델을 이용하여 각 셀에 대한 셀 스위칭 동작을 효율적으로 스케줄링하여 배터리 팩의 수명을 연장시킬 수 있는 배터리 수명 최대화를 위한 배터리 관리 시스템을 제공하는데 목적이 있다.

과제의 해결 수단

- [0017] 본 발명은, 전원공급장치와 부하 사이에 연결된 BESS의 배터리 수명 최대화를 위한 배터리 관리 시스템에 있어서, 배터리 팩 내에서 전원선로에 병렬 연결된 복수의 셀에 대한 전압, 전류 및 온도 중 적어도 하나에 대한 측정 데이터를 매 시간 별로 수집하는 데이터 수집부; 상기 측정 데이터를 이용하여 각 셀의 SOC 및 SOH 값을 추정하여 SOC 데이터셋과 SOH 데이터셋을 획득하는 추정부; 및 상기 SOC 데이터셋과 SOH 데이터셋을 포함한 상태 벡터를 기반으로 딥러닝 기반의 스케줄링 모델을 통해 각 셀과 전원선로 사이에 설치된 복수의 셀 스위치 각각의 온오프 동작을 매 시간 별로 스케줄링하여 상기 배터리 팩의 셀 스위칭을 실시간 제어하는 제어부를 포함한다.
- [0018] 또한, 상기 추정부는, 확장 칼만 필터(Extended Kalman Filter, EKF)를 사용하여 각 셀의 측정 데이터로부터 SOC 및 SOH 값을 추정할 수 있다.
- [0019] 또한, 상기 상태 벡터는 상기 배터리 팩의 전류값 및 부하의 전력 수요량을 더 포함할 수 있다.
- [0020] 또한, 상기 스케줄링 모델은 DQN(Deep Q-Network) 알고리즘을 기반으로 학습될 수 있다.
- [0021] 또한, 상기 제어부는, 현재 시간에 관측된 상기 상태 벡터를 상태 값으로 설정하고, 해당 상태에서 선택한 동작인 각 셀 스위치의 온오프 동작 정보를 행동 값으로 설정하여, 해당 상태에서 선택한 행동에 따른 보상을 수행하면서 상기 DQN 알고리즘 기반의 스케줄링 모델을 사전 학습시킬 수 있다.
- [0022] 또한, 상기 제어부는, 상기 각 셀의 측정 데이터를 기초로 연산한 배터리 팩의 전류값과 상기 부하의 전력 수요량을 기반으로 상기 배터리 팩의 충전이 필요한 상황으로 판단되면, 상기 배터리 팩을 상기 전원공급장치에 연결하여 충전 프로세스를 실행하고, 상기 배터리 팩의 방전이 필요한 상황으로 판단되면, 상기 배터리 팩을 상기 부하에 연결하여 방전 프로세스를 실행하되, 상기 스케줄링 정보에 따라 각각의 셀 스위치에 대한 셀 스위칭을 제어하면서 상기 충전 또는 방전 프로세스를 수행할 수 있다.

[0023] 또한, 상기 제어부는, 현재 사이클에서 측정된 상기 배터리 팩의 전류값과 부하의 전력 수요량을 기반으로 결정되는 상기 배터리 팩의 충전 또는 방전 필요 여부에 따라 다음 사이클에서 상기 배터리 팩에 대한 충전 또는 방전 프로세스를 실행시킬 수 있다.

[0024] 그리고, 본 발명은, 전원공급장치와 부하 사이에 연결된 BESS의 배터리 관리 시스템에 의해 수행되는 배터리 관리 방법에 있어서, 배터리 팩 내에서 전원선로에 병렬 연결된 복수의 셀에 대한 전압, 전류 및 온도 중 적어도 하나에 대한 측정 데이터를 매 시간 별로 수집하는 단계; 상기 측정 데이터를 이용하여 각 셀의 SOC 및 SOH 값을 추정하여 SOC 데이터셋과 SOH 데이터셋을 획득하고, 상기 배터리 팩의 전류값과 상기 부하의 전력 수요량을 기반으로 상기 배터리 팩을 상기 전원공급장치 또는 부하와 연결하여 충전 또는 방전 프로세스를 실행시키는 단계; 및 상기 SOC 데이터 셋, SOH 데이터셋, 상기 배터리 팩의 전류값 및 전력 수요량을 포함한 상태 벡터를 기반으로 딥러닝 기반의 스케줄링 모델을 통해 각 셀과 전원선로 사이에 설치된 복수의 셀 스위치 각각의 온오프 동작을 매 시간 별로 스케줄링하여 상기 배터리 팩의 셀 스위칭을 실시간 제어하는 단계를 포함한다.

발명의 효과

[0025] 본 발명에 따르면, BESS 내 배터리 팩의 각 셀에 대한 SOC와 SOH 추정 값을 바탕으로 딥러닝 기반의 스케줄링 모델을 이용하여 각 셀들에 연결된 셀 스위치의 온오프 동작을 효율적으로 스케줄링하여 BESS의 성능을 최적화하고 배터리의 수명을 연장시킬 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0026] 도 1은 배터리의 충전 상태와 수명 간의 관계를 표현한 도면이다.

도 2는 본 발명의 실시예에 따른 배터리 관리 시스템의 구성을 나타낸 도면이다.

도 3은 도 2의 배터리 관리 시스템이 포함된 BESS가 전원공급장치와 배터리 사이에서 동작하는 모습을 설명한 도면이다.

도 4는 본 발명의 실시예에서 DQN 알고리즘으로 구현된 스케줄링 알고리즘의 훈련 프로세스를 설명한 도면이다.

도 5는 본 발명의 실시예에 따른 배터리 관리 방법을 설명하는 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0027] 그러면 첨부한 도면을 참고로 하여 본 발명의 실시 예에 대하여 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 상세히 설명한다. 그러나 본 발명은 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며 여기에서 설명하는 실시 예에 한정되지 않는다. 그리고 도면에서 본 발명을 명확하게 설명하기 위해서 설명과 관계없는 부분은 생략하였으며, 명세서 전체를 통하여 유사한 부분에 대해서는 유사한 도면 부호를 붙였다.

[0028] 명세서 전체에서, 어떤 부분이 다른 부분과 "연결"되어 있다고 할 때, 이는 "직접적으로 연결"되어 있는 경우뿐 아니라, 그 중간에 다른 소자를 사이에 두고 "전기적으로 연결"되어 있는 경우도 포함한다. 또한 어떤 부분이 어떤 구성요소를 "포함"한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니라 다른 구성요소를 더 포함할 수 있는 것을 의미한다.

[0029] 본 발명은 배터리 수명 최대화를 위한 배터리 관리 시스템에 대한 것으로, 배터리 에너지 저장 시스템(BESS)에 포함된 배터리 팩 내 모든 배터리 셀(이하, 셀)에 대한 충전 상태와 수명을 추정하고 이를 심층 강화학습(Deep Reinforcement Learning, DRL) 기반의 스케줄링 알고리즘에 적용하여 배터리 수명 최대화를 위한 효율적 셀 스위칭을 스케줄링함으로써, BESS의 성능 최적화 및 배터리 팩 내 모든 셀의 상태 균형을 도모함으로써 배터리 수명을 연장할 수 있다.

[0030] 도 2는 본 발명의 실시예에 따른 배터리 관리 시스템의 구성을 나타낸 도면이고, 도 3은 도 2의 배터리 관리 시스템이 포함된 BESS가 전원공급장치와 배터리 사이에서 동작하는 모습을 설명한 도면이다.

[0031] 도 2 및 도 3을 참조하면, 배터리 관리 시스템(110)은 BESS(100)에 포함되어 배터리 팩(120)의 상태를 모니터링하여 배터리 팩(120)의 충방전 동작을 제어한다. BESS(100)는 전원공급장치(200)와 부하(300) 사이에 연결되며, 배터리 관리 시스템(110)과 배터리 팩(120)을 포함하여 구성된다.

[0032] 배터리 팩(120)은 전원선로에 복수의 셀(121)(Cells; Cell 1 ~ N)이 병렬 연결된 구조를 가진다. 여기서, 복수

의 셀(121)은 80% 이하로 수명이 다한 페 리튬 이온 배터리 셀에 해당할 수 있다.

- [0033] 도 3에서와 같이, 각 셀(121)과 전원선로 사이에는 셀 스위치(122)가 개별 설치되어 셀 스위칭을 수행하며, 셀 스위치(122)의 턴 온 시 해당 셀(121)이 전원선로에 전기적으로 접속되고 턴 오프 시 접속 해제된다. 셀 스위치(122)는 배터리 관리 시스템(110)의 제어 신호(scheduling signal)에 따라 셀 스위칭을 수행한다.
- [0034] 배터리 팩(120)에 포함된 각 셀(121)의 충전 상태(State of Charge, SOC)나 수명(State of Health, SOH)은 각 기 상이할 수 있는데, 배터리 관리 시스템(110)은 각 셀들의 상태 균형 및 이를 통한 배터리 수명 최대화를 위하여, 각 셀(121)에 연결된 셀 스위치(122)의 온오프 타이밍을 효율적으로 계획하여 각 셀(121) 별로 셀 스위칭 동작을 제어할 수 있다.
- [0035] 배터리 관리 시스템(110)은 배터리 팩(120)에 포함된 각 셀(121)의 전압, 전류, 온도를 포함한 측정 데이터 ($\mathcal{V}(t_k), \mathcal{I}(t_k), \mathcal{T}(t_k)$)를 이용하여 SOC 및 SOH 값을 추정하고, 추정한 SOC와 SOH 값을 바탕으로 각각의 셀 스위치(122)의 온오프 동작을 시간 별로 계획한 스케줄링 정보(scheduling signal)를 생성함으로써, 각 셀의 상태를 균일화하고, BESS의 성능을 최적화할 수 있다.
- [0036] 이하에서는 배터리 관리 시스템(110)의 구성에 대해 보다 상세히 설명한다.
- [0037] 도 2에 도시된 것과 같이, 배터리 관리 시스템(110)은 데이터 수집부(111), 추정부(112) 및 제어부(113)를 포함한다. 여기서 각 부(110, 120)의 동작과 각 부 간의 데이터 흐름은 제어부(113)에 의해 제어될 수 있다.
- [0038] 데이터 수집부(111)는 배터리 팩(120) 내에서 전원선로에 병렬 연결된 복수의 셀(121)에 대한 전압, 전류 및 온도 중 적어도 하나에 대한 측정 데이터를 매 시간(타임슬롯) 별로 수집한다. 데이터 수집부(111)는 수집한 데이터를 추정부(112)로 전달할 수 있다.
- [0039] 추정부(112)는 측정 데이터를 이용하여 각 셀에 대한 SOC 값 및 SOH 값을 추정하여, 전체 셀의 SOC 값에 해당하는 SOC 데이터셋과 전체 셀의 SOH 값에 해당하는 SOH 데이터셋을 생성할 수 있다. 추정부(112)는 셀의 측정 데이터를 이용해서 해당 셀의 SOC 값을 먼저 추정하고, 추정한 SOC 값을 기반으로 SOH 값을 추정할 수 있다.
- [0040] 추정부(112)는 확장 칼만 필터(Extended Kalman Filter, EKF)를 사용하여 각 셀의 측정 데이터(예: 전압, 전류, 온도)로부터 SOC 값과 SOH 값을 추정할 수 있다. 이때, 추정부(112)는 배터리 셀(121)의 측정 정보를 토대로 확장 칼만 필터를 이용하여 SOC 값을 먼저 추정 후 SOC를 기반으로 SOH를 추정할 수 있으며, 추정한 SOH에 기반하여 확장 칼만 필터의 파라미터를 조정할 수 있다. 본 발명의 실시예에 사용되는 SOC 및 SOH 값 추정 알고리즘은 반드시 상술한 방식으로 제한되지 않으며 보다 다양한 추정 기법이 적용될 수 있다.
- [0041] 이하의 본 발명의 실시예에서 SOC 및 SOH 추정 알고리즘은 알고리즘 1로 명명하고, 제어부(113)에 의한 배터리 팩 충전 프로세스는 알고리즘 2로 명명한다. 추정부(112)는 기 저장된 알고리즘 1을 통해서 SOC, SOH를 추정하고, 제어부(113)는 기 저장된 알고리즘 2를 통해서 현재 배터리 팩의 전류값(부하 전류)과 부하 수요량에 따라서 충전 프로세스 혹은 방전 프로세스를 수행할 수 있다.
- [0042] 제어부(113)는 배터리 팩(120)의 전류값($I_P(t_k)$)과 부하(300)의 전력 수요량($d(t_k)$)을 기반으로 배터리 팩(120)을 전원공급장치(200) 또는 부하(300)와 연결하여 충전 프로세스 또는 방전 프로세스를 실행시킬 수 있다.
- [0043] 여기서, 배터리 팩(120)의 전류값은 각 셀(121)에서 수집한 측정 데이터를 이용하여 획득될 수 있으며, 부하(300)의 전력 수요량은 부하(300)에서 전달한 값 혹은 기 설정된 값을 토대로 획득할 수 있다.
- [0044] 이하의 본 발명의 실시예에서 심층 강화학습 기반의 스케줄링 알고리즘은 알고리즘 3으로 명명한다. 제어부(113)는 기 저장된 알고리즘 3을 통해서 각 셀에 대한 SOC와 SOH 값을 기반으로 각각의 셀 스위치의 온/오프 동작을 최적 스케줄링할 수 있다.
- [0045] 구체적으로, 제어부(113)는 SOC 데이터셋($\mathcal{C}(t_k)$)과 SOH 데이터셋($\mathcal{H}(t_k)$)을 포함하여 이루어진 상태 벡터를 기반으로 딥러닝 기반의 스케줄링 모델을 통해서 복수의 셀 스위치(122) 각각의 온오프 동작을 매 시간(타임슬롯) 별로 스케줄링하여 배터리 팩의 셀 스위칭 동작을 실시간 제어할 수 있다.
- [0046] 여기서, 상태 벡터($\mathcal{S}(t_k)$)는 아래 수학적 식 1과 같이, SOC 데이터셋 $\mathcal{C}(t_k)$, SOH 데이터셋 $\mathcal{H}(t_k)$ 뿐만 아니라, 배터리 팩(120)의 전류값 $I_P(t_k)$ 과 전력 수요량 $d(t_k)$ 을 포함하는 4가지 인자로 이루어질 수 있다.

수학식 1

$$s(t_k) = [C(t_k), \mathcal{H}(t_k), I\varphi(t_k), d(t_k)]$$

여기서, $C(t_k)$ 는 SOC 데이터셋, $\mathcal{H}(t_k)$ 는 SOH 데이터셋, $I\varphi(t_k)$ 은 배터리 팩(120)의 전류, $d(t_k)$ 는 전력 수요량을 나타낸다.

본 발명의 실시예에서 스케줄링 모델은 심층 강화학습(Deep Reinforcement Learning, DRL) 기반의 스케줄링 알고리즘으로 구현될 수 있다. 여기서, 본 발명의 실시예는 배터리 팩(120)의 ON/OFF 셀 스위칭을 위한 DQN(Deep Q-Network) 기반의 스케줄링 알고리즘을 사용할 수 있다.

도 4는 본 발명의 실시예에서 DQN 알고리즘으로 구현된 스케줄링 알고리즘의 훈련 프로세스를 설명한 도면이다. 도 4와 같이, 본 발명의 실시예에 따른 스케줄링 모델은 DQN(Deep Q-Network) 알고리즘을 기반으로 제어부(113)에 의해 사전 학습될 수 있다.

스케줄링 알고리즘은 배터리 팩(120)의 현재 상태를 표현한 상태 벡터 $s(t_k)$, 복수의 셀 스위치(122)의 온 또는 오프 동작 상태를 표현한 액션 벡터 $\mathcal{X}(t_k)$, 그리고 해당 상태에서 선택한 행동(동작)에 따라 주어지는 보상을 표현한 보상 함수 $r(t_k)$ 를 포함한 세 가지 요소를 가진다.

이를 기반으로, 제어부(113)는 현재 시간에 관측된 상태 벡터를 상태 값(state)으로 설정하고, 해당 상태에서 선택한 동작인 각 셀 스위치의 온오프 동작 정보를 행동 값(action)으로 설정하여, 해당 상태에서 선택한 행동에 따른 보상(reward)을 즉각적으로 수행하면서 DQN 알고리즘 기반의 스케줄링 모델을 사전 학습시킬 수 있다.

DQN 스케줄링 모델은 환경(Environment; 배터리 팩)과의 상호 작용을 통해 배터리 팩(120)의 상태 $s(t_k)$ 를 인식하고 배터리 팩(120)의 SOH 값의 감소를 최소화하면서 보상 $r(t_k)$ 을 최대화하기 위한 액션 $\mathcal{X}(t_k)$ 을 선택할 수 있다.

또한, DQN 기반 스케줄링 모델은 상태 $s(t_k)$ 에 대한 최적의 액션 $\mathcal{X}(t_k)$ 을 스케줄링하기 위해서 심층 강화 학습을 이용하여 획득한 지식(knowledge) $\mathcal{K}$ 를 활용하고 업데이트할 수 있다. 이러한 지식에는 주어진 배터리 상태에 대한 셀 스위치의 스케줄링 정책과 이에 상응하는 보상 스케줄링이 포함될 수 있다. 스케줄링 알고리즘은 획득한 지식을 업데이트하여 과거 경험을 바탕으로 액션을 탐색할 수 있다.

이때, DQN 기반 스케줄링 알고리즘은 과거 경험을 활용하기 위해서 상태 $s(t_k)$ 가 지식 $\mathcal{K}$ 내에 있는지를 파악하고, $s(t_k)$ 가 $\mathcal{K}$ 에 존재하면, 임실론-탐욕(ϵ -greedy) 정책을 기반으로 행동 $\mathcal{X}(t_k)$ 을 선택할 수 있다. 임실론-탐욕 정책은 강화 학습 기법에서 행동을 결정할 때 널리 사용되는 방법이다.

DQN 기반 스케줄링 알고리즘은 경사 하강법(gradient descent)을 사용하여 손실 함수를 최소화하면서 지식 $\mathcal{K}$ 를 업데이트할 수 있다. 손실 함수 $\mathcal{L}(\phi(t_k))$ 는 수학식 2와 같이 정의될 수 있다.

수학식 2

$$\mathcal{L}(\phi(t_k)) \leftarrow \mathbb{E} \left[\left(\bar{Q}(t_{k-1}) - Q(t_{k-1}) \right)^2 \right]$$

여기서, $\phi(t_k)$ 는 DQN 네트워크의 매개변수(메인 네트워크의 가중치)이며, 수학식 3과 같이 정의될 수 있다.

수학식 3

$$\phi(t_k) = \phi(t_{k-1}) + \alpha \nabla \mathcal{L}(\phi(t_{k-1}))$$

여기서, $\alpha \in (0, 1]$ 는 learning factor이며, $Q(t_{k-1})$ 는 메인 네트워크(Q)에서 선택한 동작 값이고, $\bar{Q}(t_{k-1})$ 는 배터리 팩(120)의 SOH 값의 감소를 최소화하기 위한 최대 누적 보상을 나타내는 목표 네트워크($\bar{Q}$)의 목표 동작 값을 나타낸다.

제어부(113)는 $Q(t_{k-1})$ 값이 $\bar{Q}(t_{k-1})$ 값을 추종하도록 손실함수를 설정 오차 이내로 최소화시키면서 DQN 기반 스케줄링 모델을 학습시킬 수 있다. 손실함수의 최소화는 배터리 팩(120)의 SOH가 최적화됨을 의미한다.

한편, 제어부(113)는 각 셀(121)의 측정 데이터를 기초로 연산한 배터리 팩의 전류값과 상기 부하의 전력 수요량을 기반으로 배터리 팩(120)의 충전이 필요한 상황으로 판단되면, 배터리 팩(120)을 전원공급장치(200)에 연결하여 충전 프로세스를 실행하고, 배터리 팩(120)의 방전이 필요한 상황으로 판단되면, 배터리 팩을 부하(300)에 연결하여 방전 프로세스를 실행한다.

아울러, 제어부(113)는 DQN 기반 스케줄링 모델에서 도출되는 스케줄링 정보에 따라 각각의 셀 스위치(122)에 대한 셀 스위칭을 제어하면서 충전 또는 방전 프로세스를 수행하도록 한다.

예를 들어, 제어부(113)는 배터리 팩(120)의 전류값($I_P(t_k)$)이 양수인지 혹은 음수인지에 따라 현재 사이클에서 진행 중인 프로세스가 방전 또는 충전 상태인 여부를 확인한다. 배터리 전류는 방전 시에는 양수, 충전 시에는 음수를 가진다. 이하의 본 발명의 실시예에서 j는 사이클 인덱스, k는 시간슬롯 인덱스를 나타내며, 하나의 사이클은 여러 개의 타임슬롯으로 이루어진다.

만일, 현재 사이클에서 방전 프로세스가 진행 중인 경우 방전된 총 전력량($I_D(t_k^j)$)을 연산하고 해당 값이 부하(300)의 전력 수요량($d(t_k)$)에 도달하면, 다음 사이클에 대해 충전 프로세스로 전환할 수 있다. 이때 방전된 총 전력량이 전력 수요량에 도달하지 않았다면 방전 프로세스를 그대로 유지한다. 반대로, 충전 프로세스가 진행 중인 경우 충전된 총 충전량($I_C(t_k^j)$)을 연산하여 해당 값이 부하의 수요량 $d(t_k)$ 에 도달하면 다음 사이클에 대해 방전 프로세스로 전환할 수 있다.

이와 같이, 제어부(113)는 현재 사이클에서 측정된 배터리 팩의 전류값과 부하의 전력 수요량을 기반으로 결정되는 배터리 팩의 충전 또는 방전 필요 여부에 따라서, 다음 사이클에서 배터리 팩에 대한 충전 또는 방전 프로세스를 실행시킬 수 있다. 이때, 제어부(113)는 DQN 기반 스케줄링 모델에서 도출되는 스케줄링 정보에 따라 각각의 셀 스위치(122)에 대한 온/오프 상태를 매 타임슬롯마다 제어하면서 충전 또는 방전 프로세스를 수행할 수 있다.

도 5는 본 발명의 실시예에 따른 배터리 관리 방법을 설명하는 도면이다.

먼저, 배터리 관리 시스템(110)는 BESS(100)의 배터리 팩(120) 내 복수의 셀(121)에 대한 전압, 전류 및 온도 중 적어도 하나에 대한 측정 데이터를 매 시간 별로 수집한다(S510).

이때, 시간이란 시간 슬롯을 의미하며, S510 단계에서는 현재의 k번째 시간 슬롯 t_k 에서의 측정 데이터를 수집한다. 본 발명의 실시예에서 동작 시간(W; working time)은 복수의 타임 슬롯으로 이루어지고 $\mathcal{W} = \{t_k \mid k = 1, 2, \dots, w\}$ 로 표현된다. 여기서, $k=1, 2, \dots, w$ 이므로, 마지막 w는 동작 시간을 구성한 타임 슬롯의 총 개수를 의미한다.

다음으로, 배터리 관리 시스템(110)는 확장 칼만 필터(알고리즘 1)를 기반으로 각 셀(121)의 측정 데이터를 통해 각 셀 별로 SOC 값과 SOH 값을 추정하여 SOC 데이터셋 $\mathcal{C}(t_k)$ 과 SOH 데이터셋 $\mathcal{H}(t_k)$ 을 획득한다(S520).

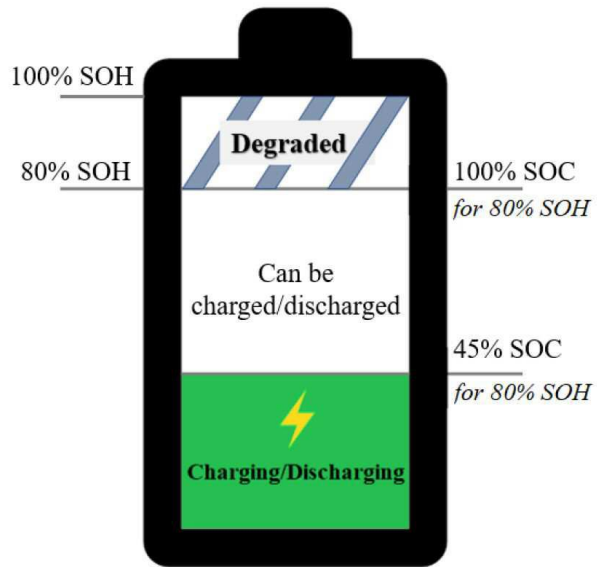
- [0071] 아울러, 배터리 관리 시스템(110)은 배터리 팩의 전류값 $I_P(t_k)$ 과 부하의 전력 수요량 $d(t_k)$ 을 기반으로 배터리 팩에 대한 충전 프로세스를 실행하거나 방전 프로세스를 실행시킨다(S525). 이러한 S520 및 S525 단계는 동시에 진행될 수 있다.
- [0072] 다음으로, 배터리 관리 시스템(110)은 현재 시간슬롯 t_k 에서 대한 상태 벡터를 획득한다(S530). 상태 벡터는 수학적 식 1과 같이 $[C(t_k) \ H(t_k) \ I_P(t_k) \ d(t_k)]$ 로 정의될 수 있다.
- [0073] 이와 같이, 배터리 관리 시스템(110)은 배터리 팩(120) 내의 각 셀의 전압, 전류 및 온도를 포함한 측정 데이터를 수집한 후에 알고리즘 1을 이용하여 각 셀의 SOC 및 SOH를 추정하고, 알고리즘 2를 이용하여 부하 수요량에 따라 배터리 팩(120)의 충전 또는 방전 과정을 제어할 수 있다. 이러한 알고리즘 1,2는 상태 벡터의 구성 인자들을 알고리즘 3으로 반환하여 딥러닝 기반의 배터리 스케줄링이 가능하게 한다.
- [0074] 이후, 배터리 관리 시스템(110)은 획득한 상태 벡터를 기반으로 딥러닝 기반의 스케줄링 모델을 통해 셀 스위칭을 스케줄링하여 각각의 셀 스위치의 동작을 제어한다(S540).
- [0075] 이러한 S540 단계에서, 배터리 관리 시스템(110)은 현재 시간슬롯에서 얻은 상태 벡터를 바탕으로 각 셀(121)과 전원선로 사이에 설치된 복수의 셀 스위치(122) 각각의 온오프 동작을 스케줄링하여 배터리 팩의 셀 스위칭을 제어할 수 있다. 이때 스케줄링 모델은 DQN 기반의 알고리즘에 의해 사전에 학습될 수 있다.
- [0076] 아울러, 상술한 과정은 매 시간 슬롯에 대해 반복적으로 수행될 수 있고, 시간 슬롯 인덱스 값 k 가 w 를 만족할 때까지 수행될 수 있다.
- [0077] 이상과 같은 본 발명에 따르면, BESS 내 배터리 팩의 각 셀에 대한 SOC와 SOH 추정 값을 바탕으로 딥러닝 기반의 스케줄링 모델을 이용하여 각 셀들에 연결된 셀 스위치의 온오프 동작을 효율적으로 스케줄링하여 BESS의 성능을 최적화하고 배터리의 수명을 연장시킬 수 있다.
- [0078] 본 발명은 도면에 도시된 실시 예를 참고로 설명되었으나 이는 예시적인 것에 불과하며, 본 기술 분야의 통상의 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 다른 실시 예가 가능하다는 점을 이해할 것이다. 따라서, 본 발명의 진정한 기술적 보호 범위는 첨부된 특허청구범위의 기술적 사상에 의하여 정해져야 할 것이다.

부호의 설명

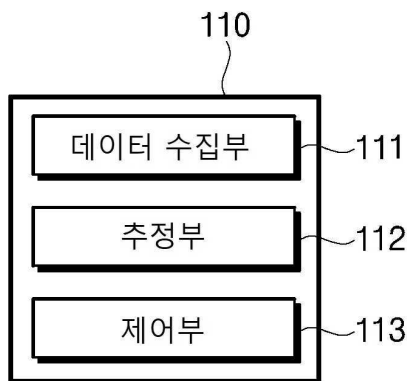
- [0079] 100: BESS 110: 배터리 관리 시스템
111: 데이터 수집부 112: 추정부
113: 제어부 120: 배터리 팩
121: 셀 122: 셀 스위치
200: 전원공급장치 300: 부하

도면

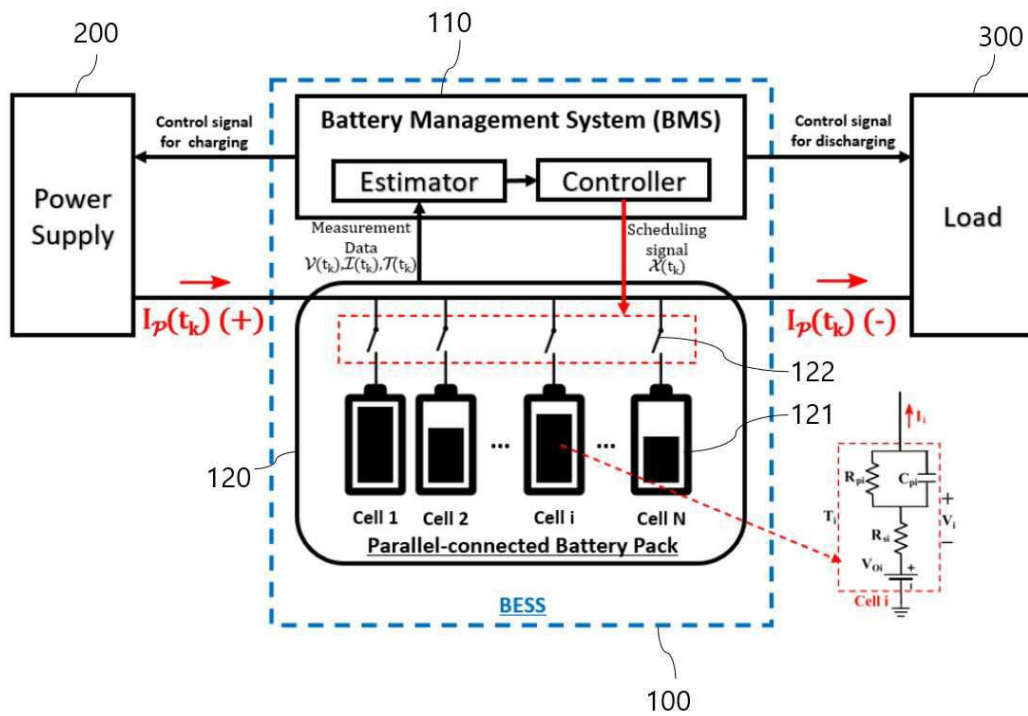
도면1



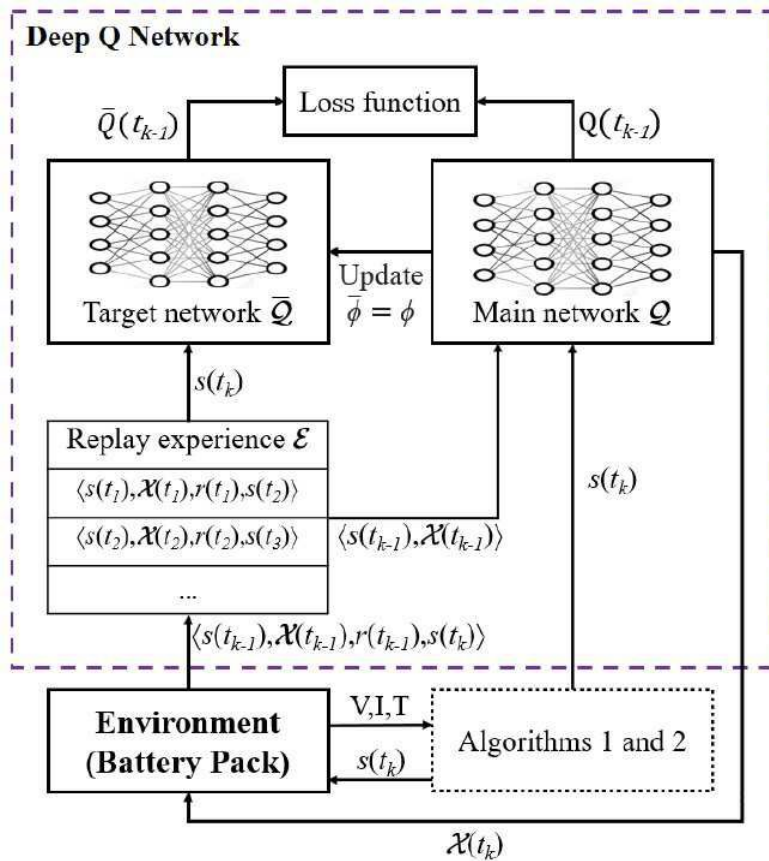
도면2



도면3



도면4



도면5

