(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2024-0123071
(43) 공개일자 2024년08월13일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H02J 7/00 (2006.01) *B60L 58/19* (2019.01)
G01R 31/382 (2019.01)
(52) CPC특허분류
H02J 7/0014 (2023.08)
B60L 58/19 (2019.02)
(21) 출원번호 10-2023-0015572
(22) 출원일자 2023년02월06일
심사청구일자 2023년02월06일

(71) 출원인
울산대학교 산학협력단
울산광역시 남구 대학로 93(무거동)
주식회사 인터맥
울산광역시 북구 중산산업로 31-7 (중산동)
(72) 발명자
최성진
울산광역시 남구 동산로69번길 13, 101동 802호(신정동, 문수로2차아이파크1단지)
웬 웬 안
울산 남구 대학로21번길 22-1 (무거동) 101호
천성관
울산광역시 북구 호계매곡1로 31, 110동 2201호(매곡동, 드림인시티 에일린의뜰 1차)
(74) 대리인
특허법인태백

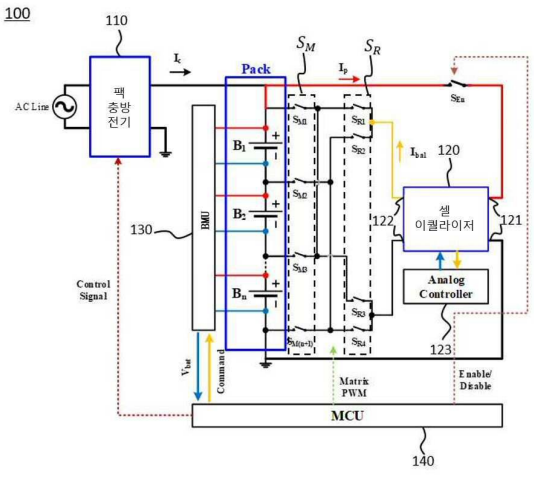
전체 청구항 수 : 총 10 항

(54) 발명의 명칭 **고전압 배터리의 고속 타겟 밸런싱 방법 및 시스템**

(57) 요 약

본 발명은 고전압 배터리의 고속 타겟 밸런싱 방법 및 시스템에 관한 것이다. 본 발명에 따르면, 배터리 셀들의 초기 SOC 레벨을 결정하는 단계; 상기 배터리 셀들의 상기 초기 SOC 레벨의 오름차순으로 상기 배터리 셀들을 정렬하는 단계; 목표 SOC 레벨을 달성하기 위해 팩 충방전기의 처리 시간 및 양 방향 셀 이퀄라이저의 각 배터리 셀 별 처리 시간을 계산하고, 알고리즘 운영전략 파라미터를 통해 총 처리시간을 최소화 하도록 팩 충방전 전류와 셀 밸런싱 전류의 극성을 결정하는 단계; 및 총 처리 시간 동안 상기 배터리 셀들의 정렬 순서로 셀 밸런싱 동작을 수행하는 단계를 포함한다

대 표 도 - 도1



(52) CPC특허분류
G01R 31/382 (2019.01)
H02J 7/0048 (2023.08)
H02J 7/00712 (2023.08)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 1425158230
과제번호 S3088812
부처명 중소벤처기업부
과제관리(전문)기관명 중소기업기술정보진흥원
연구사업명 지역특화산업육성+(R&D)
연구과제명 차량용 재사용 배터리를 이용한 해상풍력발전기용 비상전원장치 개발
기 여 율 50/100
과제수행기관명 (주)인터맥
연구기간 2021.04.01 ~ 2021.12.31
이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 1711156986
과제번호 2020R1A2C2009303
부처명 과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명 한국연구재단
연구사업명 개인기초연구(과기정통부)
연구과제명 불균일한 특성의 재사용 배터리로 구성된 에너지저장장치를 위한 공생형 배터리관리 시스템 요소기술 연구
기 여 율 50/100
과제수행기관명 울산대학교
연구기간 2022.03.01 ~ 2023.02.28

명 세 서

청구범위

청구항 1

배터리 셀들의 초기 SOC 레벨을 결정하는 단계;

상기 배터리 셀들의 상기 초기 SOC 레벨의 오름차순으로 상기 배터리 셀들을 정렬하는 단계;

목표 SOC 레벨을 달성하기 위해 팩 충방전기의 처리 시간 및 양 방향 셀 이퀄라이저의 각 배터리 셀 별 처리 시간을 계산하고, 알고리즘 운영전략 파라미터를 통해 총 처리 시간을 최소화 하도록 팩 충방전 전류와 셀 밸런싱 전류의 극성을 결정하는 단계; 및

총 처리 시간 동안 상기 배터리 셀들의 정렬 순서로 셀 밸런싱 동작을 수행하는 단계를 포함하는 고전압 배터리의 고속 타겟 밸런싱 방법.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 팩 충방전 전류와 셀 밸런싱 전류의 극성을 결정하는 단계는,

상기 셀 이퀄라이저의 전력 손실을 고려하여 상기 셀 이퀄라이저의 총 처리 시간과 상기 알고리즘 운영전략 파라미터에 대한 최적화 곡선을 통해 총 처리 시간을 최소로 만드는 값을 상기 알고리즘 운영전략 파라미터로 선택하는 고전압 배터리의 고속 타겟 밸런싱 방법.

청구항 3

제 2 항에 있어서,

상기 총 처리 시간은 상기 팩 충방전기의 처리 시간 및 상기 양 방향 셀 이퀄라이저의 각 배터리 셀 별 처리 시간을 모두 합하여 산출되는 고전압 배터리의 고속 타겟 밸런싱 방법.

청구항 4

제 3 항에 있어서,

상기 팩 충방전기의 처리 시간은 하기의 수학식

$$T_c = \frac{(SOC_{tg} - SOC_{avg})Q_{A_i}}{I_c}$$

에 따라 결정되고,

T_c는 상기 팩 충방전기의 처리 시간, SOC_{tg}는 목표 SOC 레벨, SOC_{avg}는 평균 초기 SOC 레벨, Q_{A_i}은 각 배터리 셀의 가용 용량 및 I_C는 상기 팩 충방전기의 전류를 의미하는 고전압 배터리의 고속 타겟 밸런싱 방법.

청구항 5

제 4 항에 있어서,

상기 양 방향 셀 이퀄라이저의 각 배터리 셀 별 처리 시간은 하기의 수학식

$$T_i = |\alpha_i T_i| = \left| \frac{(SOC_{avg} - SOC_i(t_0) - SOC_{L_i})Q_{A_i} + SI_p}{I_{bal}} \right|$$

에 따라 계산되며,

T_i은 i번째 단계의 처리 시간, α_i는 i번째 배터리 셀의 셀 밸런싱 전류의 극성, $SOC_i(t_0)$는 to 시점에서의 초기 SOC 레벨, SOC_{Li}는 i번째 배터리 셀에 대한 SOC 손실, S는 알고리즘 운영전략 파라미터, I_p는 배터리 팩 방전전류 및 I_{bal}는 셀 밸런싱 전류를 의미하는 고전압 배터리의 고속 타겟 밸런싱 방법.

청구항 6

제 5 항에 있어서,

상기 셀 밸런싱 전류의 극성은 하기의 수학식

$$\alpha_i = sign(I_i) = \begin{cases} -1, & \text{for charging} \\ +1, & \text{for discharging} \end{cases}$$

으로 표현되며,

α_i는 i번째 배터리 셀의 셀 밸런싱 전류의 극성을 나타내는 고전압 배터리의 고속 타겟 밸런싱 방법.

청구항 7

제 5 항에 있어서,

상기 i번째 배터리 셀에 대한 SOC 손실은 하기의 수학식

$$SOC_{L_i} = \frac{(\frac{1}{\eta} - 1)\frac{v_i}{v_{pack}} I_{bal} T_{total}}{Q_{A_i}}$$

에 따라 결정되며, η는 상기 양 방향 셀 이퀄라이저의 변환 효율, v_i는 i번째 셀의 전압, v_{pack}은 배터리 팩의 전압 및 T_{total}은 총 처리 시간을 의미하는 고전압 배터리의 고속 타겟 밸런싱 방법.

청구항 8

제 4 항에 있어서,

상기 목표 SOC 레벨과 평균 초기 SOC 레벨을 비교하고, 비교 결과에 따라 상기 팩 충방전기로부터 출력되는 팩 충방전기 전류 방향을 결정하는 단계를 더 포함하는 고전압 배터리의 고속 타겟 밸런싱 방법.

청구항 9

제 1 항에 있어서,

상기 셀 밸런싱 동작을 수행하는 단계는,

상기 배터리 셀들의 정렬 순서로 상기 양 방향 셀 이퀄라이저의 저전압 단자쌍에 하나씩 연결되는 단계;

상기 저전압 단자쌍에 연결된 배터리 셀이 계산된 처리 시간 동안 충전 또는 방전되는 단계; 및

상기 팩 충방전기가 외부 전원으로부터 에너지를 배터리 팩으로 동시에 충전하거나, 상기 배터리 팩으로부터 외부전원으로 에너지를 방전하는 단계를 포함하는 고전압 배터리의 고속 타겟 밸런싱 방법.

청구항 10

배터리 팩에 포함된 배터리 셀들을 동시에 충전하거나 방전하는 팩 충방전기;

상기 배터리 팩으로부터 상기 배터리 셀들 중 하나의 배터리 셀로 전하를 이동시키거나, 또는 상기 배터리 셀들 중 하나의 배터리 셀로부터 상기 배터리 팩으로 전하를 이동시키는 양 방향 셀 이퀄라이저;

상기 양 방향 셀 이퀄라이저의 저전압 단자쌍과 상기 배터리 셀들 사이에 연결되어 상기 배터리 셀들 중 하나의 배터리 셀을 선택하고, 선택된 배터리 셀을 상기 셀 이퀄라이저의 저전압 단자쌍에 연결하는 제1 스위치 매트릭스 및 제2 스위치 매트릭스;

상기 배터리 셀들의 개방 회로 전압을 모니터링하는 배터리 모니터링 장치(Battery Monitoring Unit, BMU); 및

상기 BMU로부터 상기 개방 회로 전압을 수신하고, 상기 개방 회로 전압을 이용하여 상기 배터리 셀들의 초기 SOC 레벨을 계산하며, 계산된 상기 초기 SOC 레벨의 오름차순으로 상기 배터리 셀들을 정렬하고, 목표 SOC 레벨을 달성하기 위해 상기 팩 충방전기의 처리 시간 및 상기 양 방향 셀 이퀄라이저의 각 배터리 셀 별 처리 시간을 계산하고, 셀 밸런싱 전류와 팩 충방전 전류의 극성을 결정하는 연산장치(Micro Controller Unit, MCU)를 포함하는 고전압 배터리의 고속 타겟 밸런싱 시스템.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 고전압 배터리의 고속 타겟 밸런싱 방법 및 시스템에 관한 것으로서, 더욱 상세하게 설명하면 재사용 배터리 팩 내부의 개별 셀들의 충전량(State of Charge, SOC) 레벨을 목표 SOC 레벨로 조정하면서 균등화하기 위해서 셀의 SOC 레벨에 따라 셀 이퀄라이저와 팩 충방전기가 협력하여 고속으로 SOC 밸런싱을 수행하는 고전압 배터리의 고속 타겟 밸런싱 방법 및 시스템에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 최근 배터리 에너지 저장 시스템(battery energy storage system, BESS)에 대한 투자가 크게 증가하고 있다. 전기차의 배터리 팩은 폐기된 후에도 사용 가능한 용량의 80%가 남아 있어서 다른 용도로 재사용할 수 있다. 따라서, 재사용 (second-life) 배터리를 이용한 에너지 저장시스템(SL-BESS)에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

[0003] 노후된 배터리 셀들의 특성 차이로 인해 배터리의 재사용은 배터리 유지 보수시에 보다 집중적인 관리가 필요하다. 따라서, SOC(state of charge) 임의 정렬은 재사용 배터리의 유지 보수 및 다른 장소로의 운송 등의 전기차 사용 후 배터리의 전반적인 재사용 과정에 필수적이다.

[0004] 일반적으로 종래의 배터리 팩 충방전기의 경우 개별 셀 단위를 선택적으로 충전하지 못하기 때문에, 개별 셀들의 SOC 균등화 기능을 제공할 수 없다.

[0005] 한편, 개별 셀을 균등화하기 위한 종래의 방법의 일례로 이른바 "최소 셀 균등화 방식"을 예를 들면, 예를 들어 가장 낮은 SOC 레벨의 배터리 셀에 저장된 에너지를 셀 이퀄라이저를 통해 방전시키는 식으로 나머지 셀들에 균등하게 밸런싱한 후에 팩 충방전기를 통해 팩 전체의 에너지에 대한 충방전을 수행한다. 이 경우 개별 셀들의 특성 편차에 의해 다시 셀들의 SOC의 밸런싱이 필요하게 되므로, 다시 가장 낮은 SOC 레벨의 셀을 선택하여 이러한 단계를 반복한다. 따라서, 배터리 셀들 모두의 SOC 레벨이 목표 값에 도달할 때까지 배터리 셀들의 전압에 기초하여 이러한 충방전 패턴이 무질서하게 계속 변경되므로 불필요하고 중복적인 스위칭 패턴이 사용될 수 있으며, 이러한 방법으로는 최적의 동작시간을 얻을 수 없다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 본 발명에 따르면, 재사용 배터리 팩 내부의 개별 셀들의 충전량(State of Charge, SOC) 레벨을 목표 SOC 레벨

로 조정하면서 균등화하기 위해서 셀의 SOC 레벨에 따라 셀 이퀄라이저와 팩 충방전기가 협력하여 고속으로 SOC 밸런싱을 수행하는 고전압 배터리의 고속 타겟 밸런싱 방법 및 시스템을 제공하기 위한 것이다.

과제의 해결 수단

[0007] 이러한 기술적 과제를 이루기 위한 본 발명의 실시예에 따르면 고전압 배터리의 고속 타겟 밸런싱 방법에 있어서, 배터리 셀들의 초기 SOC 레벨을 결정하는 단계; 상기 배터리 셀들의 상기 초기 SOC 레벨의 오름차순으로 상기 배터리 셀들을 정렬하는 단계; 목표 SOC 레벨을 달성하기 위해 팩 충방전기의 처리 시간 및 양 방향 셀 이퀄라이저의 각 배터리 셀 별 처리 시간을 계산하고, 알고리즘 운영전략 파라미터를 통해 총 처리 시간을 최소화하도록 팩 충방전 전류와 셀 밸런싱 전류의 극성을 결정하는 단계; 및 총 처리 시간 동안 상기 배터리 셀들의 정렬 순서로 셀 밸런싱 동작을 수행하는 단계를 포함한다.

[0008] 한편, 본 발명의 실시예에 따르면 고전압 배터리의 고속 타겟 밸런싱 시스템에 있어서, 배터리 팩에 포함된 배터리 셀들을 동시에 충전하거나 방전하는 팩 충방전기; 상기 배터리 팩으로부터 상기 배터리 셀들 중 하나의 배터리 셀로 전하를 이동시키거나, 또는 상기 배터리 셀들 중 하나의 배터리 셀로부터 상기 배터리 팩으로 전하를 이동시키는 양 방향 셀 이퀄라이저; 상기 양 방향 셀 이퀄라이저의 저전압 단자쌍과 상기 배터리 셀들 사이에 연결되어 상기 배터리 셀들 중 하나의 배터리 셀을 선택하고, 선택된 배터리 셀을 상기 셀 이퀄라이저의 저전압 단자쌍에 연결하는 제1 스위치 매트릭스 및 제2 스위치 매트릭스; 상기 배터리 셀들의 개방 회로 전압을 모니터링하는 배터리 모니터링 장치(Battery Monitoring Unit, BMU); 및 상기 BMU로부터 상기 개방 회로 전압을 수신하고, 상기 개방 회로 전압을 이용하여 상기 배터리 셀들의 초기 SOC 레벨을 계산하며, 계산된 상기 초기 SOC 레벨의 오름차순으로 상기 배터리 셀들을 정렬하고, 목표 SOC 레벨을 달성하기 위해 상기 팩 충방전기의 처리 시간 및 상기 양 방향 셀 이퀄라이저의 각 배터리 셀 별 처리 시간을 계산하고, 셀 밸런싱 전류와 팩 충방전 전류의 극성을 결정하는 연산장치(Micro Controller Unit, MCU)를 포함한다.

발명의 효과

[0009] 이와 같이 본 발명에 따르면, 총 처리시간을 최소화할 수 있고 이에 따라 에너지 손실을 줄일 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0010] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 고전압 배터리의 고속 타겟 밸런싱 시스템을 도시하는 도면이다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 고전압 배터리의 고속 타겟 밸런싱 방법을 도시하는 흐름도이다.

도 3a 및 도 3b는 본 발명의 일 실시예에 따른 양방향 셀 이퀄라이저의 작동 원리를 나타내는 회로도이다.

도 4a 내지 도 4c는 본 발명의 일 실시예에 따른 양방향 셀 이퀄라이저의 작동 원리를 설명하기 위한 도면이다.

도 5는 셀 이퀄라이저의 에너지 손실과 총 처리 시간의 관계를 도시하는 도면이다.

도 6은 셀 이퀄라이저의 총 처리 시간과 알고리즘 운영전략 파라미터 S에 대한 최적화 곡선을 도시하는 도면이다.

도 7은 알고리즘 운영전략 파라미터 S에 따른 처리 시간을 도시하는 도면이다.

도 8은 본 발명자에 의해 제안된 선행기술의 시뮬레이션 파형을 도시하는 도면이다.

도 9는 본 발명의 실시예의 시뮬레이션 파형을 도시하는 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0011] 이하 첨부된 도면을 참조하여 본 발명에 따른 바람직한 실시예를 상세히 설명하기로 한다. 이 과정에서 도면에 도시된 선들의 두께나 구성요소의 크기 등은 설명의 명료성과 편의상 과장되게 도시되어 있을 수 있다.

[0012] 또한 후술되는 용어들은 본 발명에서의 기능을 고려하여 정의된 용어들로서, 이는 사용자, 운용자의 의도 또는 관례에 따라 달라질 수 있다. 그러므로 이러한 용어들에 대한 정의는 본 명세서 전반에 걸친 내용을 토대로 내려져야 할 것이다.

[0013] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 고전압 배터리의 고속 타겟 밸런싱 시스템을 도시하는 도면이다.

[0014] 도 1을 참조하면, 배터리 팩(PACK)은 직렬로 연결된 복수의 배터리 셀들(B1~Bn)을 포함할 수 있다. 여기서, n은

1보다 큰 자연수이다. 일 예로, 전기 자동차에는 복수의 배터리 팩들을 포함할 수 있다. 전기 자동차 사용 후 배터리의 셀 하나의 전압은 3.6V 내지는 4V일 수 있고, 배터리 팩 하나의 전압은 약 80V일 수 있다.

[0015] 고전압 배터리의 고속 타겟 밸런싱 시스템(100)은 팩 충방전기(110), 셀 이퀄라이저(120), 배터리 모니터링 장치(Battery Monitoring Unit, BMU; 130), 연산장치(Micro Controller Unit, MCU; 140), 및 제1 스위치 매트릭스(S_M) 및 제2 스위치 매트릭스(S_R)를 포함할 수 있다.

[0016] 팩 충방전기(110)는 외부 전원으로부터 배터리 팩(PACK)을 충전 또는 방전하는 양방향 직류변환장치일 수 있다. 팩 충방전기(110)는 배터리 팩(PACK)에 포함된 복수의 배터리 셀들(B_1~B_n)을 동시에 충전하거나 또는 방전할 수 있다. 따라서, SOC 정렬 프로세스의 속도를 높일 수 있고, 배터리 셀의 평균 SOC 레벨을 목표 SOC 레벨로 상향 또는 하향 재조정할 수 있다. 팩 충방전기(110)는 셀 이퀄라이저(120)의 동작에 따라 배터리 팩(PACK)에 일정한 전류를 충전하거나, 방전할 수도 있다. 이 경우 충전 전류는 양의 전류로 방전 전류는 음의 전류로 정의한다.

[0017] 셀 이퀄라이저(120)는 배터리 팩(PACK)으로부터 배터리 셀들(B_1~B_n) 중 하나의 배터리 셀로 전하를 이동시키거나 또는 배터리 셀들(B_1~B_n) 중 하나의 배터리 셀로부터 배터리 팩(PACK)로 전하를 이동시키는 양방향 DC-직류변환 장치일 수 있다. 일 예로, 셀 이퀄라이저(120)는 복수의 배터리 셀을 일정한 전류로 충전할 수 있는 정전류형 충전기일 수 있으며, 셀 이퀄라이저(120)에 의해 배터리 셀들(B_1~B_n)이 균등화될 수 있다. 셀 이퀄라이저(120)의 고전압 단자쌍(121)은 배터리 팩(PACK)과 연결될 수 있고, 셀 이퀄라이저(120)의 저전압 단자쌍(122)은 제1 스위치 매트릭스(S_{M1}~$S_{M(n+1)}$)와 제2 스위치 매트릭스(S_{R1}~S_{R4})를 통해 배터리 셀들(B_1~B_n) 중 하나의 배터리 셀과 연결될 수 있다.

[0018] BMU(130)는 개별 배터리 셀들(B_1~B_n)의 개방 회로 전압(V_{bat})을 항상 모니터링할 수 있다. BMU(130)는 배터리 셀들(B_1~B_n)의 개방 회로 전압(V_{bat})을 출력할 수 있다.

[0019] MCU(140)는 BMU(130)로 개별 배터리 셀들(B_1~B_n)의 개방 회로 전압(V_{bat})을 출력하라는 명령(Command)을 전송할 수 있다. MCU(140)는 BMU(130)로부터 배터리 셀들(B_1~B_n)의 개방 회로 전압(V_{bat})을 입력 받을 수 있다. MCU(140)는 배터리 셀들(B_1~B_n)의 개방 회로 전압(V_{bat})을 이용하여 배터리 충전량에 해당하는 SOC 레벨을 배터리 셀들(B_1~B_n)마다 분석할 수 있다. MCU(140)는 분석 결과에 기초하여 제1 스위치 매트릭스(S_{M1}~$S_{M(n+1)}$)와 제2 스위치 매트릭스(S_{R1}~S_{R4})의 선택 신호들을 생성하고, 출력할 수 있다.

[0020] 제1 스위치 매트릭스(S_M)와 제2 스위치 매트릭스(S_R)는 셀 이퀄라이저(120)의 저전압 단자쌍(122)과 배터리 셀들(B_1~B_n) 사이에 연결될 수 있다. 제1 스위치 매트릭스(S_M)와 제2 스위치 매트릭스(S_R)는 배터리 셀들(B_1~B_n) 중 하나의 배터리 셀을 선택하고, 선택된 배터리 셀을 셀 이퀄라이저(120)의 저전압 단자쌍(122)에 연결할 수 있다. 제1 스위치 매트릭스(S_M)는 복수의 제1 스위치들(S_{M1}~$S_{M(n+1)}$)을 포함할 수 있고, 제2 스위치 매트릭스(SR)는 복수의 제2 스위치들(S_{R1}~S_{R4})을 포함할 수 있다. 일 예로, 배터리 셀들(B_1~B_n)의 개수가 n개일 때, 제1 스위치들의 개수는 n+1개일 수 있고, 제2 스위치들의 개수는 4개일 수 있다. 제1 스위치 매트릭스(S_M)와 제2 스위치 매트릭스(S_R)의 구성은 고전압 배터리의 고속 타겟 밸런싱 시스템(100)에서 필요한 스위치들의 개수를 감소시킬 수 있는 효과가 있다.

[0021] 제1 선택 신호는 제1 스위치 매트릭스(S_M)의 스위칭 패턴을 결정할 수 있고, 제2 선택 신호는 제2 스위치 매트릭스(S_R)의 스위칭 패턴을 결정할 수 있다. 제1 스위치 매트릭스(S_M)는 제1 선택 신호에 응답하여 배터리 셀들(B_1~B_n) 중 하나의 배터리 셀을 선택할 수 있고, 제2 스위치 매트릭스(S_R)는 제2 선택 신호에 응답하여 선택된 배터리 셀의 연결 극성을 결정할 수 있다. 일 예로, 제1 배터리 셀(B_1)을 셀 이퀄라이저(120)의 저전압 단자쌍(122)에 연결하기 위해서, 제1 선택 신호에 응답하여 제1 스위치 중 일부(S_{M1}, S_{M2})가 턴 온 될 수 있고, 제2 선택 신호에 응답하여 제2 스위치 중 일부(S_{R1}, S_{R4})가 턴 온 될 수 있다.

[0022] 고전압 배터리의 고속 타겟 밸런싱 시스템(100)은 활성화 스위치(S_{En})를 더 포함할 수 있다. 활성화 스위치(S_{En})는 비상상황에서 셀 이퀄라이저(120)로 입력되는 전류를 차단하기 위한 스위치일 수 있다. 활성화 스위치(S_{E}

$_n$)는 MCU(140)로부터 출력되는 활성화 신호(Enable/Disable)에 응답하여 제어될 수 있다.

[0023] 본 발명의 일 실시예에 따르면, MCU(140)는 배터리 셀들(B_1~B_n)의 초기 SOC 레벨에 기초하여 배터리 셀들(B_1~B_n)을 정렬할 수 있다. 일 예로, MCU(140)는 배터리 셀들(B_1~B_n)의 초기 SOC 레벨의 오름차순으로 배터리 셀들(B_1~B_n)을 정렬할 수 있다. 초기 SOC 레벨이 낮을수록 해당 배터리 셀에 충전되는 전하량이 많아져야 하므로, MCU(140)는 배터리 셀의 초기 SOC 레벨이 낮을수록 해당 배터리 셀이 셀 이퀄라이저(120)에 연결되는 시간이 길어지도록 제1 선택 신호 및 제2 선택 신호들을 생성할 수 있다. 이에 따라, MCU(140)는 배터리 셀들(B_1~B_n)의 초기 SOC 레벨에 기초하여, 제1 스위치 매트릭스(S_M)와 제2 스위치 매트릭스(S_R)에 포함된 스위치들이 턴 온 되는 시간을 조절함으로써 배터리 셀이 셀 이퀄라이저(120)에 연결되는 시간을 조절할 수 있다.

[0024] 이하에서는, 본 발명의 일 실시예에 따른 고전압 배터리의 고속 타겟 밸런싱 시스템(100)의 작동 원리를 설명하기로 한다.

[0025] 먼저, 팩 충방전기(110)는 활성화되고, 셀 이퀄라이저(120)는 비활성화될 때의 동작을 설명한다, 이때, 팩 충방전기(110)는 제어신호(Control Signal)에 의해서 활성화되는 반면, 제1 선택 신호 및 제2 선택 신호에 의해 제1 스위치 매트릭스(S_M)와 제2 스위치 매트릭스(S_R)에 포함된 스위치들이 모두 턴 오프 되어 셀 이퀄라이저가 비활성화되는 상태가 된다. 팩 충방전기(110)는 정전류인 팩 충방전 전류(I_c)로 전체 배터리 팩(PACK)을 직접 충전 또는 방전할 수 있다. 팩 충방전 전류(I_c)는 외부 전원으로부터 배터리 팩(PACK)에 포함된 배터리 셀들(B_1~B_n)로 동시에 에너지를 공급하거나, 배터리 팩(PACK)에 포함된 배터리 셀들(B_1~B_n)의 에너지를 외부전원으로 동시에 방출하기 위한 전류일 수 있다. 따라서, 팩 충방전기(110)는 전체 배터리 팩(PACK)의 평균적인 SOC 레벨을 조절할 수 있다.

[0026] 제어 신호(Control Signal)는 팩 충방전기(110)를 팩 충방전기 처리 시간 동안 활성화시키기 위한 활성화 신호일 수 있다. 또한, 제어 신호(Control Signal)에 응답하여 팩 충방전기(110)는 팩 충방전 전류(Ic)의 방향을 바꿀 수 있다. 다시 말해, 팩 충방전기(110)는 제어 신호(Control Signal)에 응답하여 전체 배터리 팩(PACK)으로 에너지를 공급하거나, 전체 배터리 팩(PACK)의 에너지를 방출할 수 있다.

[0027] MCU(140)는 전체 배터리 팩(PACK)의 충전량(SOC)을 파악하고, 전체 배터리 팩(PACK)을 충전 또는 방전하는데 필요한 에너지를 계산할 수 있다. MCU(140)는 계산 결과에 기초하여 제어 신호(Control Signal)를 생성하고 출력할 수 있다.

[0028] 다음으로, 셀 이퀄라이저(120)는 활성화되고, 팩 충방전기(110)는 비활성화될 때의 동작을 설명한다. 이때, 제1 선택 신호 및 제2 선택 신호에 의해 제1 스위치 매트릭스(S_M)와 제2 스위치 매트릭스(S_R)에 포함된 스위치들이 상술한 패턴으로 턴 온 되어 하나의 셀이 선택되고, 팩 충방전기(110)는 제어신호(Control Signal)에 의해서 비활성화 된 상태가 된다. 셀 이퀄라이저(120)의 고전압 단자쌍(121)에 연결된 배터리 팩으로부터 에너지를 전달받아 저전압 단자쌍(122)을 통해 미리 정해진 셀 밸런싱 전류(I_{bal})를 출력할 수 있다. 이때, 셀 이퀄라이저(120)의 고전압 단자쌍(121)으로 흘러 들어가는 배터리 팩 방전전류를 Ip라고 정의하면, 선택된 셀에 흐르는 전류는 키르히호프의 전류법칙(Kirchoff's Current Law, KCL)에 의해 I_{bal}-I_p가 되고 선택되지 않은 나머지 셀에 흐르는 전류는 (-I_p)가 된다. 따라서, 제1 스위치 매트릭스(S_M)와 제2 스위치 매트릭스(S_R)를 통해 선택된 배터리 셀은 셀 밸런싱 전류(I_{bal})를 통해 SOC 레벨이 조절될 수 있다. 이로 인해 배터리 셀들(B_1~B_n) 간 SOC 차이를 균등화할 수 있다. 다시 말해, 셀 이퀄라이저(120)는 전체 배터리 팩(PACK)의 에너지를 개별 배터리 셀에 분배할 수 있다.

[0029] 한편, 셀 이퀄라이저(120)와 팩 충방전기(110)가 모두 활성화되어 있는 보다 일반적인 경우의 동작원리를 설명한다, 이때, 제1 선택 신호 및 제2 선택 신호에 의해 제1 스위치 매트릭스(S_M)와 제2 스위치 매트릭스(S_R)에 포함된 스위치들이 상술한 패턴으로 턴 온 되어 하나의 셀이 선택되고, 팩 충방전기(110)는 제어신호(Control Signal)에 의해서 활성화된 상태가 된다. 이때, 셀 이퀄라이저(120)는 고전압 단자쌍(121)에 연결된 배터리 팩(PACK)으로부터 에너지를 전달받아 저전압 단자쌍(122)을 통해 미리 정해진 셀 밸런싱 전류(I_{bal})를 출력할 수 있다. 또한, 팩 충방전기(110)도 정해진 전류인 팩 충방전 전류(I_c)를 배터리 팩에 공급한다. 앞서 상술한 바와 같이, 셀 이퀄라이저의 고전압 단자쌍(121)으로 흘러 들어가는 배터리 팩 방전전류를 I_p라고 정의하였기 때문에,

선택된 셀에 흐르는 전류는 키르히호프의 전류법칙(Kirchoff's Current Law, KCL)에 의해 $I_{bal}-I_p+I_c$가 되고 선택되지 않은 나머지 셀에 흐르는 전류는 $-I_p+I_c$가 된다. 따라서, 제1 스위치 매트릭스(S_M)와 제2 스위치 매트릭스(S_R)를 통해 선택된 배터리 셀은 팩 충방전 전류(I_c)와 셀 밸런싱 전류(I_{bal})를 통해 SOC 레벨이 조절될 수 있다. 이로 인해 배터리 셀들(B_1~B_n) 간 SOC 차이를 균등화할 수 있다. 다시 말해, 팩 충방전기(110)와 셀 이퀄라이저(120)는 협력 제어하여 전체 배터리 팩(PACK)의 에너지를 개별 배터리 셀에 재분배하여 각 셀 SOC가 목표 SOC에 이르도록 할 수 있다.

[0030] 셀 이퀄라이저(120)는 저전압 단자쌍(122) 전류인 셀 밸런싱 전류(I_{bal})를 일정하게 하기 위한 아날로그 컨트롤러(123)를 내부 또는 외부에 포함할 수 있다. 예컨대, 셀 이퀄라이저(120)는 듀티비 제어 내지는 주파수 제어 등을 통하여 셀 밸런싱 전류(I_{bal})를 일정하게 할 수 있다.

[0031] 본 발명의 일 실시예에 따르면, SOC 조정 과정에서 팩 충방전기(110)와 셀 이퀄라이저(120)가 협력하여 동작함으로써 목표 SOC 레벨을 달성할 수 있다. 이로 인해, 배터리 셀들(B_1~B_n)의 용량은 균등화될 수 있다. 배터리 셀들(B_1~B_n)은 팩 충방전기(110)와 셀 이퀄라이저(120)로부터 동시에 전류를 받을 수 있다. 충전 과정에서든 방전 과정에서든 두 전류의 합은 배터리의 허용한계 내에서 유지될 수 있다.

[0032] 또한, 팩 충방전기(110)와 셀 이퀄라이저(120)는 조정된 동작 알고리즘에 의해 동작할 수 있다. 다시 말해, 배터리 셀 밸런싱과 배터리 팩의 충전 또는 방전 과정이 동시에 수행될 수 있다. 따라서, 셀 밸런싱 시간을 최적화할 수 있다.

[0033] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 고전압 배터리의 고속 타겟 밸런싱 방법을 도시하는 흐름도이다.

[0034] 도 1 및 도 2를 함께 참조하면, 먼저, BMU(130)는 초기에 배터리 셀들의 개방 회로 전압(V_{bat})을 측정할 수 있다(S210).

[0035] 이후, MCU(140)는 BMU(130)로부터 배터리 셀들의 개방 회로 전압(V_{bat})을 수신할 수 있다. MCU(140)는 배터리의 기 설정된 셀 SOC 레벨과 셀 개방 전압 간 매핑 곡선(SOC-OCV 곡선)을 이용하여 배터리 셀들의 개방 회로 전압(V_{bat})에 대응하는 초기 SOC 레벨값을 토대로 전체 초기 SOC 레벨의 평균값을 계산할 수 있다(S220).

[0036] MCU(140)는 배터리 셀들(B_1~B_n)의 초기 SOC 레벨의 오름차순으로 배터리 셀들(B_1~B_n)을 정렬할 수 있다(S230). 이때, 정렬 순서에 따라 배터리 셀들에 인덱스가 부여된다. 충전 전략이 수립된 후, 셀 밸런싱 수행 시에도 배터리 셀들(B_1~B_n)은 상술한 정렬 순서로 셀 밸런싱 동작을 수행할 수 있다.

[0037] 이후, MCU(140)는 팩 충방전기(110) 및 셀 이퀄라이저(120)의 처리 시간을 계산하고 셀 밸런싱 전류(I_{bal})의 극성을 결정하여 충전 전략을 수립할 수 있다(S240). 총 처리 시간은 팩 충방전기(110)의 처리 시간(T_c)과 배터리 셀들(B_1~B_n) 각각에 대한 셀 이퀄라이저(120)의 처리 시간(T_i)(i는 셀 인덱스로 1에서 n까지의 정수를 가진다. 여기서, i는 배터리 셀의 충전량을 오름차순으로 정리한 순서로 할당된다.)을 모두 합한 값이다.

[0038] 다시 말해, 상술한 충전 전략에 기초하여 제1 스위치 매트릭스(S_M)와 제2 스위치 매트릭스(S_R)의 스위칭 패턴이 결정될 수 있다. 또한, 배터리 셀이 충전되는 시간이 길수록 배터리 셀에 충전되는 전하량이 늘어난다. 따라서, MCU(140)는 SOC 레벨이 상대적으로 낮은 배터리 셀에 대한 셀 이퀄라이저(120)의 처리 시간은 상대적으로 길게 설정하고, SOC 레벨이 상대적으로 높은 배터리 셀에 대한 셀 이퀄라이저(120)의 처리 시간은 상대적으로 짧게 설정할 수 있다.

[0039] 이후, MCU(140)는 목표 SOC와 평균 SOC를 비교하고, 비교 결과에 따라 팩 충방전기(110)로부터 출력되는 팩 충방전 전류의 방향을 결정할 수 있다.

[0040] 구체적으로, MCU(140)는 목표 SOC와 평균 SOC를 비교할 수 있다(S250). 목표 SOC가 평균 SOC보다 낮으면(S250의 예), 배터리 팩(PACK)에 포함된 배터리 셀들(B_1~B_n)의 전체 에너지를 방출해야 한다. 따라서, MCU(140)는 팩 충방전 전류(I_c)의 방향을 제1 방향(예컨대, 음의 방향)으로 설정하도록 제어 신호(Control Signal)를 생성할 수 있다(S260). 충전 전략 수립 이후 셀 밸런싱 수행시 팩 충방전기(110)는 제어 신호(Control Signal)에 응답

하여 배터리 팩(PACK)에 포함된 배터리 셀들(B_1~B_n)의 에너지를 동시에 방출할 수 있다.

[0041] 목표 SOC가 평균 SOC보다 높으면(S250의 아니오), 배터리 팩(PACK)에 포함된 배터리 셀들(B_1~B_n)의 전체에 에너지를 공급해야 한다. 따라서, MCU(140)는 팩 충방전기(100)는 팩 충방전 전류(I_c)의 방향을 제2 방향(예컨대, 양의 방향)으로 설정하도록 제어 신호(Control Signal)를 생성할 수 있다(S270). 충전 전략 수립 이후 셀 밸런싱 수행시 팩 충방전기(100)는 제어 신호(Control Signal)에 응답하여 배터리 팩(PACK)에 포함된 배터리 셀들(B_1~B_n)로 동시에 에너지를 공급할 수 있다.

[0042] 이후, 셀 밸런싱 동작이 수행될 수 있다(S280). 셀 밸런싱 동작은 총 처리 시간 동안 상기 정렬된 순서로 수행될 수 있다. 총 처리 시간 동안 배터리 셀들(B_1~B_n)은 정렬된 순서대로 셀 이퀄라이저(120)의 저전압 단자쌍(122)에 하나씩 연결될 수 있고, 셀 이퀄라이저(120)의 저전압 단자쌍(122)에 연결된 배터리 셀은 해당 배터리 셀에 대한 셀 이퀄라이저(120)의 처리 시간 동안 충전 또는 방전될 수 있다. 팩 충방전기(110)의 동작은 총 처리 시간의 마지막에 배치한 팩 충방전기(110)의 처리 시간 동안 수행될 수 있다. 알고리즘의 선정에 따라 마지막 배터리 셀의 셀 이퀄라이저 처리 시간은 0초일 수 있다. 따라서, 실질적으로 (n-1)개의 셀 밸런싱 동작 단계(T_1~$T_{(n-1)}$)와 하나의 팩 충방전기 동작단계(T_c)를 고려한다면, 배터리의 SOC를 재정렬하는데 총 n개의 단계만 필요하며, 여기서, n은 배터리 팩(PACK)에 포함된 배터리 셀들의 총 개수를 의미한다.

[0043] 상술한 셀 밸런싱 동작이 종료되면, 고전압 배터리의 고속 타겟 밸런싱 시스템의 동작이 종료된다.

[0044] 이하에서는, 본 발명의 실시예에 따른 협력 알고리즘에 대해 이론적인 분석 내용에 0대해 설명한다. 이때, 전류의 기준방향은 도 3에 도시하였으며, 상세한 내용은 후술하도록 한다.

[0045] 먼저, 팩 충방전기가 활성화되지 않고, 셀 이퀄라이저만 활성화 되었을 때, 셀 이퀄라이저(120)의 손실을 고려한 입출력 전력의 비로 정의되는 전력변환 효율을 0보다 크고 1보다 작은 상수인 η라고 가정하도록 한다. 이때, 셀 이퀄라이저의 고전압 단자쌍에 흐르는 팩 전류(I_p)는 하기의 수학식 1과 같이 계산한다.

수학식 1

[0046] $$I_p = \frac{v_i . I_{bal}}{\eta . v_{pack}}$$

[0047] 여기서, I_{bal}은 셀 이퀄라이저의 저전압 단자쌍에 흐르는 셀 밸런싱 전류이고, v_{pack}은 팩의 전압이며, v_i는 스위치 매트릭스에 의해 선택된 i번째 셀의 전압이다.

[0048] 목표 셀을 흐르는 전류 I_i는 하기의 수학식 2에 따라 결정된다.

수학식 2

[0049] $$I_i = I_{bal} - I_p$$

[0050] 이때, 팩의 다른 셀을 흐르는 전류는 팩 전류와 동일하다($I_1 = I_2 = \ldots = I_n = -I_p$, n은 셀의 개수이다). 여기서, I_i, I_p, I_{bal}은 동작모드에 따라 모두 양과 음의 값을 가질 수 있다.

[0051] 반면, 팩 충방전기(110)의 주된 기능은 전체 팩의 평균적인 SOC 레벨을 목표 레벨로 조정하는 것이다. 배터리 팩은 정전류 I_c의 극성이 양수이면 충전되고 정전류 I_c의 극성이 음수이면 방전된다. 이때, 셀 이퀄라이저(120)와 팩 충방전기(110)가 협력하여 동작하는 동안 각 셀의 동작 전류는 제조사에서 제공하는 최대 전류 정격인

I_{max}보다 낮아야 한다.

[0052] 셀의 SOC가 모두 같은 이상적인 조건에서는 배터리 팩의 전체의 SOC 레벨을 조정하려면 팩 충방전기만 SOC 레벨이 목표에 도달할 때까지 작동하면 될 것이다. 그러나 실제 셀의 SOC가 모두 다른 불일치 조건에서는 팩 충방전기(110)와 셀 이퀄라이저(120) 간의 협력 동작이 필수적이다.

[0053] 팩 충방전기(110)와 셀 이퀄라이저(120)의 협력 동작을 분석하기 위하여 각 배터리 셀의 최대 용량을 Q_{A_i} (i = 1, 2, ..., n; n은 직렬 연결된 셀의 개수)로 표시한다. 이는 각 배터리 셀이 다른 최대 용량을 가질 수 있음을 의미한다. 셀 인덱스 i는 배터리 셀의 충전 용량 즉, 셀 SOC의 오름차순으로 할당된다.

[0054] 배터리 셀의 충전 용량 $Q_i(t)$은 하기의 수학식 3에 따라 계산된다.

수학식 3

[0055]
$$Q_i(t) = SOC_i(t).Q_{A_i}$$

[0056] 여기서, $SOC_i(t)$는 t 시점에서의 단일 셀의 SOC이다. 이때, 배터리의 화학적인 충방전 에너지 효율을 나타내는 쿨롱 효율(Coulomb efficiency)이 1이라고 가정하면, 임의의 시각 t시점에서의 i번째 셀의 SOC 레벨은 하기의 수학식 4에 따라 결정된다.

수학식 4

[0057]
$$SOC_i(t) = SOC_i(t_0) + \frac{I_i(t-t_0)}{Q_{A_i}}100\%$$

[0058] 여기서, $SOC_i(t_0)$는 t_o 시점에서의 초기 SOC이고, I_i는 셀을 흐르는 충전 전류로서 일정하다고 가정하였다.

[0059] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 초기 SOC 추정을 위해서 하기의 수학식 5와 같은 OCV(Open Circuit Voltage) 곡선 모델링 방법을 사용한다.

수학식 5

[0060]
$$SOC_i(t_0) = f^{-1}(OCV_i)$$

[0061] 여기서, $f(SOC_i)$는 SOC 에서 OCV로의 매핑 함수이며, f^{-1}는 그 역 매핑함수이다. 각 셀 간 SOC 불일치에 의하여 초기 SOC들이 다르므로, 하기의 수학식 6과 같은 평균 초기 SOC 레벨인 SOC_{avg}를 도입한다.

수학식 6

[0062]
$$SOC_{avg} = \frac{\sum_{i=1}^{n} SOC_i(t_0)}{n}$$

[0063] 따라서, 팩 충방전기(110)에 의해 배터리 팩으로 전달되어야 하는 에너지의 양은 목표 SOC 레벨인 SOC_{tg}와 평균

초기 SOC 레벨인 SOC_{avg} 사이의 차이며, 수학식 4로부터 하기의 수학식 7과 같이 계산된다.

수학식 7

$$SOC_{tg} - SOC_{avg} = \frac{I_c T_c}{Q_{A_i}}$$

[0064]

[0065] 여기서, T_c는 팩 충방전기(110)의 작동에 필요한 시간으로, 수학식 7을 다시 표현한 하기의 수학식 8에 따라 결정된다.

수학식 8

$$T_c = \frac{(SOC_{tg} - SOC_{avg})Q_{A_i}}{I_c}$$

[0066]

[0067] 셀 이퀄라이저(120)의 동작을 위한 협력 알고리즘은 에너지 흐름의 양방향 방식을 고려하므로, 양의 I_c는 배터리 팩의 충전 과정을 의미하고, 음의 I_c는 배터리 팩의 방전 과정을 의미한다. 따라서, 양의 I_{bal}은 팩-투-셀(pack-to-cell) 모드를 나타내고 음의 I_{bal}은 셀-투-팩(cell-to-pack) 모드에 해당한다.

[0068] 도 3a 및 도 3b는 본 발명의 일 실시예에 따른 양방향 셀 이퀄라이저의 작동 원리를 나타내는 회로도이고, 도 4a 내지 도 4c는 본 발명의 일 실시예에 따른 양방향 셀 이퀄라이저의 작동 원리를 설명하기 위한 도면이다.

[0069] 도 3a 내지 도 4c를 참조하면, α_i는 i번째 셀을 흐르는 전류의 극성을 나타내며 하기의 수학식 9와 같이 표현된다.

수학식 9

$$\alpha_i = sign(I_i) = \begin{cases} -1, & \text{for charging} \\ +1, & \text{for discharging} \end{cases}$$

[0070]

[0071] 하나의 배터리에 n개의 배터리 셀이 있는 경우 동작은 n개의 동작 단계로 나누어진다. 각 단계에서는 팩 충방전기가 비활성화된다고 가정하면 도 1의 I_c=0이므로 팩 충전기의 영향을 고려하지 않아도 되며, 하나의 셀만 셀 이퀄라이저(120)에 연결되고 각 셀에 대해 미리 계산된 시간 동안 팩-투-셀(pack-to-cell) 또는 셀-투-팩(cell-to-pack) 에너지 교환이 이루어진다. 따라서, 해당 시간 동안 셀 이퀄라이저의 저전압 단자에서 선택된 배터리 셀로 들어가는 전류는 그 극성을 고려할 때 αI_{bal}이 되고 팩에서 빠져나가는 전류는 αI_p가 된다. 따라서 i번째 배터리 셀의 전하 이동량은 하기의 수학식 10과 같이 표현된다.

수학식 10

$$SOC_{avg} - SOC_i(t_0) = \frac{\alpha_i I_{bal} T_i - \alpha_1 I_p T_1 - \ldots - \alpha_n I_p T_n}{Q_{A_i}}$$

[0072]

[0073] 여기서, T_i는 i번째 단계의 처리 시간이고 α_i는 수학식 9에서 정의된 바와 같이 i번째 단계의 각 셀의 충전 또는 방전 상태를 나타내는 전류의 극성이다. 이때, 총 처리 시간 최적화를 위해 알고리즘 운영전략 파라미터 S를 하기의 수학식 11과 같이 처리 시간의 가중 합으로 정의할 수 있다.

수학식 11

[0074] $$S = \sum_{i=1}^{n} \alpha_i T_i$$

[0075] 이에 따라, 수학식 10은 수학식 11에 의해 하기의 수학식 12와 같이 다시 표현된다.

수학식 12

[0076] $$SOC_{avg} - SOC_i(t_0) = \frac{\alpha_i I_{bal} T_i - S I_p}{Q_{A_i}}$$

[0077] 한편, 수학식 1에서 언급한 셀 이퀄라이저(120)의 전력손실을 고려할 때 각 처리 시간 각 셀에 대한 SOC 손실은 하기의 수학식 13에 따라 결정된다.

수학식 13

[0078] $$SOC_{L_i} = \frac{(\frac{1}{\eta} - 1)\frac{v_i}{v_{pack}} I_{bal} T_{total}}{Q_{A_i}}$$

[0079] 여기서, SOC_{Li}는 i번째 배터리 셀에 대한 SOC 손실이고, T_{total}은 균등화 동작의 총 처리 시간이며 하기의 수학식 14와 같이 표현된다.

수학식 14

[0080] $$T_{total} = \sum_{i=1}^{n} T_i$$

[0081] 마지막으로, 수학식 12 및 수학식 13을 결합함으로써, i번째 셀에 대한 SOC 손실 내 처리 시간 Ti은 하기의 수학식 15에 따라 계산되며, 이는 처리 시간 최적화를 위한 핵심 방정식으로 사용된다.

수학식 15

[0082]
$$T_i = |\alpha_i T_i| = \left| \frac{(SOC_{avg} - SOC_i(t_0) - SOC_{L_i})Q_{A_i} + SI_p}{I_{bal}} \right|$$

[0083] 이하에서는, 셀 이퀄라이저(120)의 처리 시간 최적화에 대해 구체적으로 설명한다.

[0084] 배터리 재사용 시스템(Second Life Battery Energy Storage System, SL-BESS)에서는 재사용 배터리의 사용연한에 따라 내부 저항이 상승하는 경향을 나타내는 것이 일반적이므로, 같은 충방전 전류에 대해서도 신규 배터리보다 더 많은 에너지 손실이 발생한다. 따라서, 총 처리시간 동안의 손실도 적극적으로 고려할 필요가 있다. 배터리의 총 내부 저항을 R_b로 나타내면, 총 처리시간 동안 n개 셀을 가진 배터리 팩의 내부저항으로 인하여 생기는 본 발명의 알고리즘 총 처리 시간 동안의 에너지 손실은 하기의 수학식 16에 따라 계산된다.

수학식 16

[0085]
$$E_{loss} = \int_0^{T_{total}} P_{loss}(\tau)d\tau = |nR_b(I_c - I_p|)^2 T_c + nR_b I_b^2 (T_{total} - T_c) + R_b I_{bal}^2 T_{total}$$

[0086] 도 5는 셀 이퀄라이저의 에너지 손실과 총 처리 시간의 관계를 도시하는 도면이다.

[0087] 도 5를 참조하면, 총 처리 시간 T_{total}이 작을수록 배터리의 에너지 손실 E_{loss}가 감소함을 알 수 있다. 따라서, 처리 시간을 최소화함으로써 협력 알고리즘은 높은 에너지 효율성을 달성할 수 있다.

[0088] 수학식 11, 수학식 14 및 수학식 15로부터 각 처리 시간은 알고리즘 운영전략 파라미터 S에 크게 의존함을 알 수 있다. 따라서, 알고리즘 운영전략 파라미터 S를 최적으로 선택함으로써 총 처리 시간 T_{total}이 최소화되도록 T_i가 정해질 수 있다.

[0089] 도 6은 셀 이퀄라이저의 총 처리 시간과 알고리즘 운영전략 파라미터 S에 대한 최적화 곡선을 도시하는 도면으로, 하기의 표 1의 테스트 설정값을 기반으로 한다.

[0090] 도 6을 참조하면, 곡선은 강한 양의 S로 알고리즘이 동작하는 경우 셀 이퀄라이저가 대부분 팩-투-셀 모드로 동작하기 때문에 더 높은 총 처리시간 T_{total}을 유발함을 보여준다. 이와 대조적으로, 강한 음의 S로 알고리즘이 동작하는 경우 셀 이퀄라이저가 대부분 셀-투-팩 모드로 동작하기 때문에 더 높은 총 처리시간 T_{total}을 유발함을 보여준다. 대부분의 SOC 초기 시나리오에서 S 대 T_{total} 곡선은 아래로 볼록한 함수이며 총 처리 시간을 최소로 만드는 S 값이 항상 존재한다. 일 예로, 도 6에서 초기 SOC는 30%에서 60%로 무작위로 분산되어 있을때 T_{total}은 S가 0.3일 때 최소값 3.2h를 가진다.

[0091] 상술한 본 발명의 실시예의 검증을 위해서 20셀-배터리(18650-3.6V/2.9Ah)를 직렬로 연결한 시뮬레이션을 실행하였다. 종래기술(N.-A. Nguyen, P.-H. La, and S.-J. Choi, "Coordinated operation algorithm of pack-chargers and cell-equalizers for soc adjustment in secondlife batteries," Journal of Power Electronics, vol. 22, no. 1, pp. 105-115, 2022.)과 본 발명의 비교를 위해 아래의 표 1의 동일 조건으로 실험 조건을 다음과 같이 구현하였다. 즉, 목표 SOC 포인트는 25%로 고정한 상태에서 각 셀의 초기 SOC 레벨을 30%에서 60% 사이로 분산시켜 놓고 테스트하였다. 특히 본 발명의 방법의 알고리즘 운영전략 파라미터 S는 도 5 및 도 6과 같은 최적화 과정을 거쳐 0.3으로 설정하였다.

표 1

[0092]

Configuration	$20S1P$ $(18650-3.6V/2.9Ah)$
$\lvert I_c \rvert$ $[A]$	1.5
$\lvert I_{bal} \rvert$ $[A]$	2
$\lvert I_p \rvert$ $[A]$	0.1
SOC target [%]	25
Efficiency of cell-equalizer [%]	80
Initial SOC of the cells [%] (according to physical layout)	47, 32, 48, 34, 36, 54, 37, 30, 39, 41, 56, 43, 60, 44, 46, 49, 50, 33, 52, 58

[0093] 본 발명과 종래기술의 두 방법의 효과와 차이점을 알아보기 위해 배터리 셀의 SOC 오름차순으로 셀 인덱스를 설정하였다.

[0094] 도 7은 알고리즘 운영전략 파라미터 S에 따른 처리 시간을 도시하는 도면이다.

[0095] 도 7을 참조하면, 본 발명은 종래기술을 더욱 일반화 한 것임을 알 수 있다. 다시 말하면, S=6인 경우 셀은 팩에 의해 단방향으로만 충전되므로 종래기술과 같은 동작을 나타내게 된다. 한편, S=0인 경우 셀 이퀄라이저의 전반부 단계는 팩-투-셀 모드로 동작하고 후반부 단계는 셀-투-팩 모드로 동작하며, S=-6인 경우 셀 이퀄라이저는 모든 단계에서 셀-투-팩 모드로 동작한다.

[0096] 도 8은 본 발명자에 의해 제안된 선행기술의 시뮬레이션 파형을 도시하는 도면이고, 도 9는 본 발명의 실시예의 시뮬레이션 파형을 도시하는 도면이다.

[0097] 도 8 및 도 9를 참조하면, 선행기술과 본 발명의 실시예 모두 SOC 레벨의 3% 내에서 셀의 SOC를 균등화하고 전체 팩의 SOC 레벨을 목표 지점인 25%로 조정할 수 있다. 그러나, 선행기술에 따르면 6시간이 소요되는 반면, 본 발명의 실시예에 따르면, 대략 3시간 만에 셀 밸런싱을 완료할 수 있다.

[0098] 특히, 도 8의 (a) 및 (b)와 도 9의 (a) 및 (b)에 각각 도시된 SOC 및 전압 프로파일은 두 방법 간의 차이를 비교하여 보여준다. 다시 말해, 선행기술에 따르면 팩 충방전기가 팩 전체를 방전하고 모든 셀을 충전만 하게 되어 처리 시간이 최적화 되지 못하고 있다. 반면에, 본 발명의 실시예에 따르면 셀 이퀄라이저는 필요에 따라 SOC가 낮은 셀은 충전하고 SOC가 높은 셀을 방전하는 식으로 좀더 유연하게 SOC 밸런싱을 수행한다.

[0099] 도 8의 (c)와 도 9의 (c)에 도시된 전류 프로파일 현재 방향과 작동 모드 변경을 보여준다.

[0100] 시뮬레이션 동안 선행기술과 본 발명의 실시예에서 계산된 에너지 손실은 각각 2.54Wh와 1.28Wh이다. 즉, 본 발명의 실시예에 따르면, 셀 이퀄라이저의 양방향 에너지 흐름 특성 덕분에 처리 시간이 절반 가까이 단축되며 에너지 손실도 종래기술에 비해 50% 적다.

[0101] 본 발명은 도면에 도시된 실시예를 참고로 하여 설명되었으나 이는 예시적인 것에 불과하며, 당해 기술이 속하는 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 타 실시예가 가능하다는 점을 이해할 것이다. 따라서 본 발명의 진정한 기술적 보호범위는 아래의 특허청구범위의 기술적 사상에 의하여 정해져야 할 것이다.

부호의 설명

[0102] 100: 고전압 배터리의 고속 타겟 밸런싱 시스템

110: 팩 충방전기

120: 셀 이퀄라이저

121: 고전압 단자쌍

122: 저전압 단자쌍

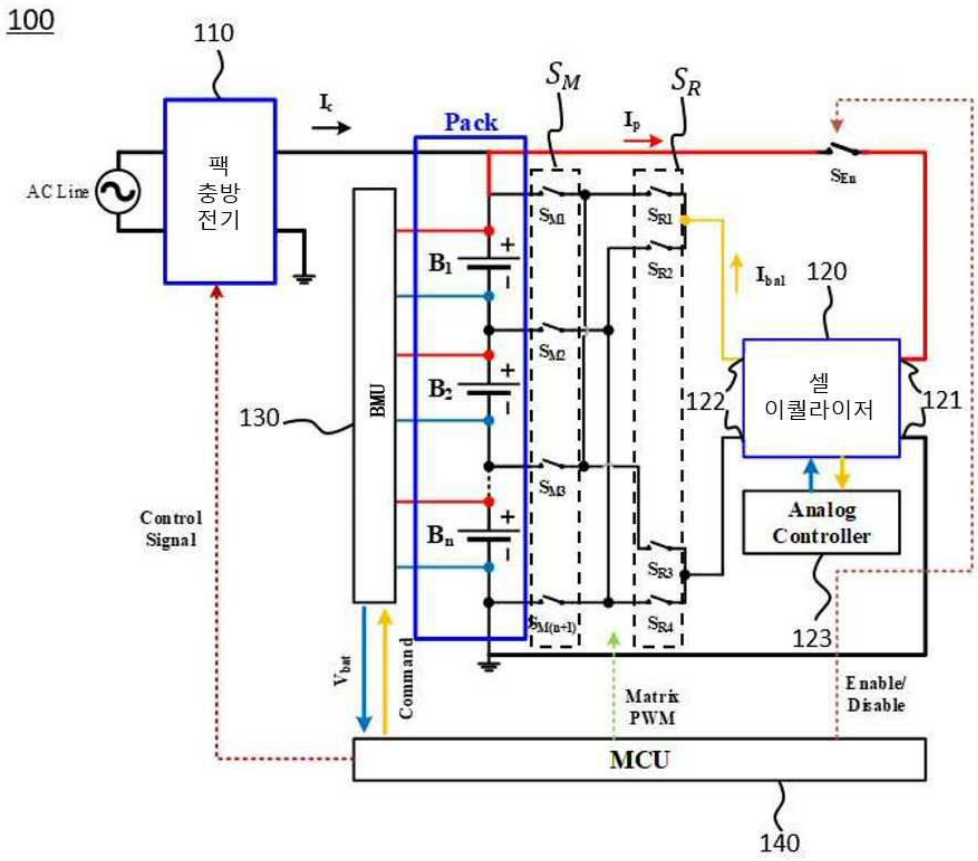
123: 아날로그 컨트롤러

130: BMU

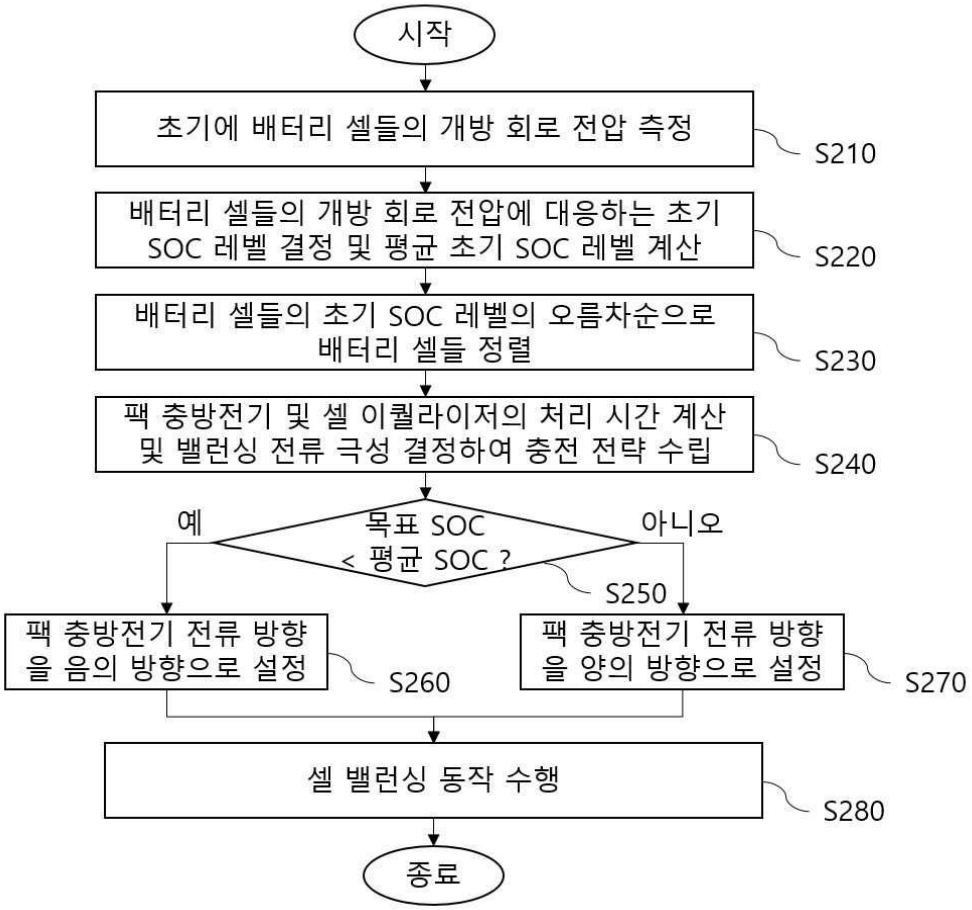
140: MCU

도면

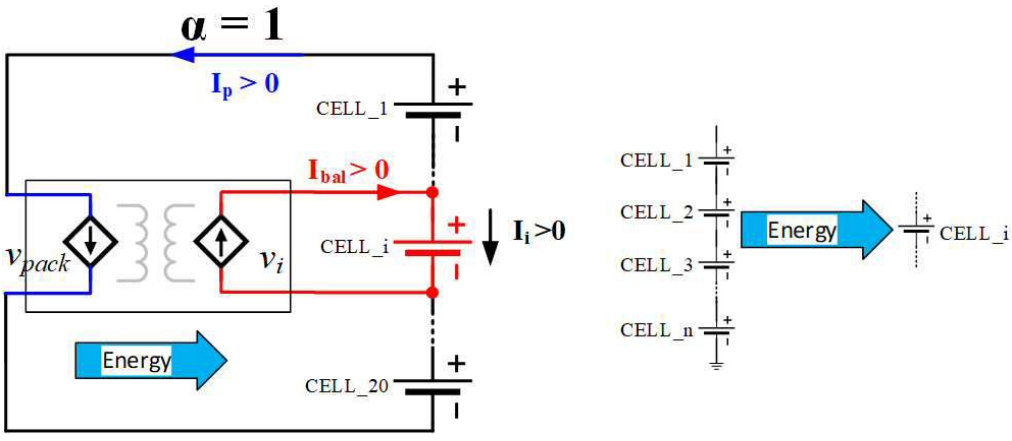
도면1


100
110
팩
충방
전기
AC Line
I_c
Pack
S_M
I_p
S_R
S_{En}
S_{M1}
S_{R1}
S_{R2}
I_{bal}
120
B_1
S_{M2}
B_2
130
BMU
122
셀
이퀄라이저
121
S_{M3}
Analog
Controller
Control
Signal
B_n
S_{R3}
$S_{M(n+1)}$
S_{R4}
123
V_{bat}
Command
Matrix
PWM
Enable/
Disable
MCU
140

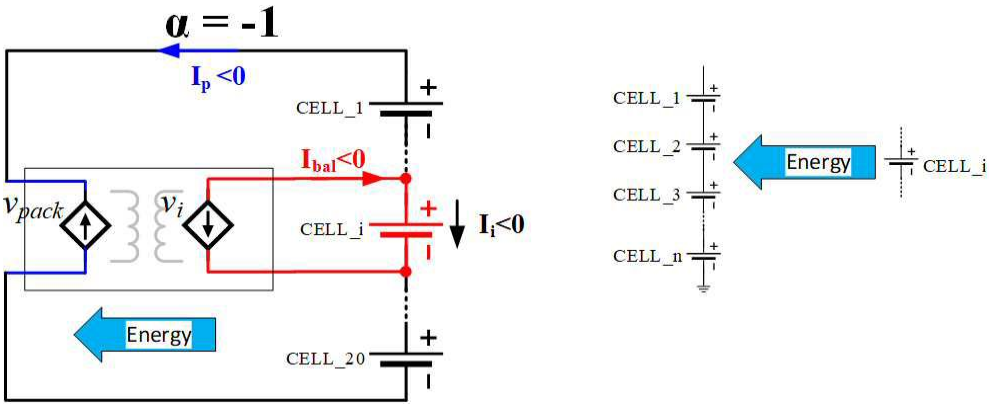
도면2


시작
초기에 배터리 셀들의 개방 회로 전압 측정
S210
배터리 셀들의 개방 회로 전압에 대응하는 초기 SOC 레벨 결정 및 평균 초기 SOC 레벨 계산
S220
배터리 셀들의 초기 SOC 레벨의 오름차순으로 배터리 셀들 정렬
S230
팩 충방전기 및 셀 이퀄라이저의 처리 시간 계산 및 밸런싱 전류 극성 결정하여 충전 전략 수립
S240
예
목표 SOC < 평균 SOC ?
아니오
S250
팩 충방전기 전류 방향을 음의 방향으로 설정
S260
팩 충방전기 전류 방향을 양의 방향으로 설정
S270
셀 밸런싱 동작 수행
S280
종료

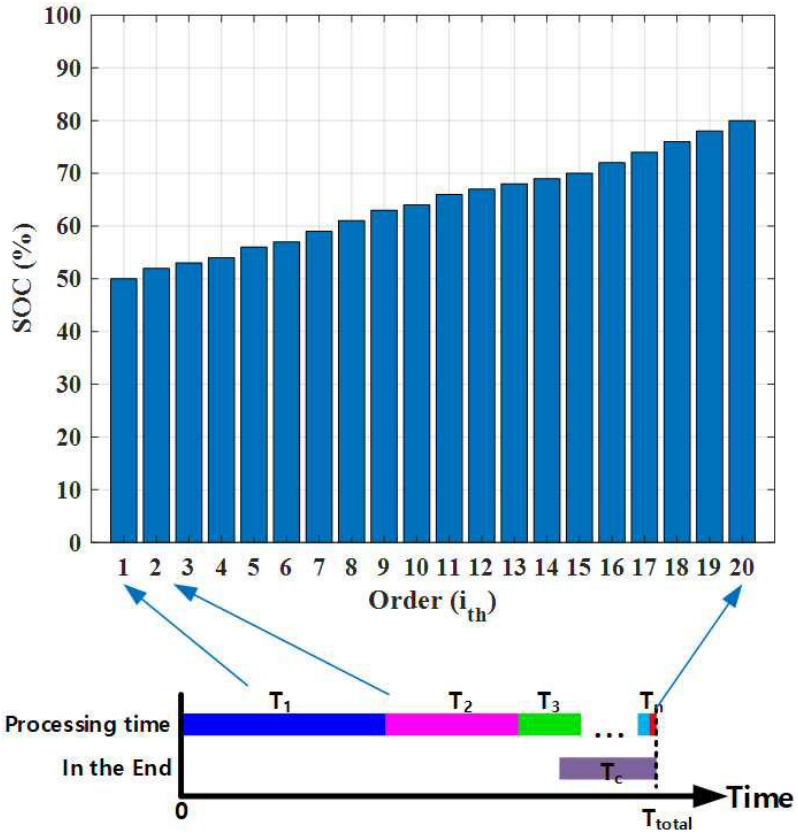
도면3a


α = 1
Ip > 0
CELL_1
Ibal > 0
CELL_i
Ii >0
vpack
vi
Energy
CELL_20
CELL_1
CELL_2
CELL_3
CELL_n
Energy
CELL_i

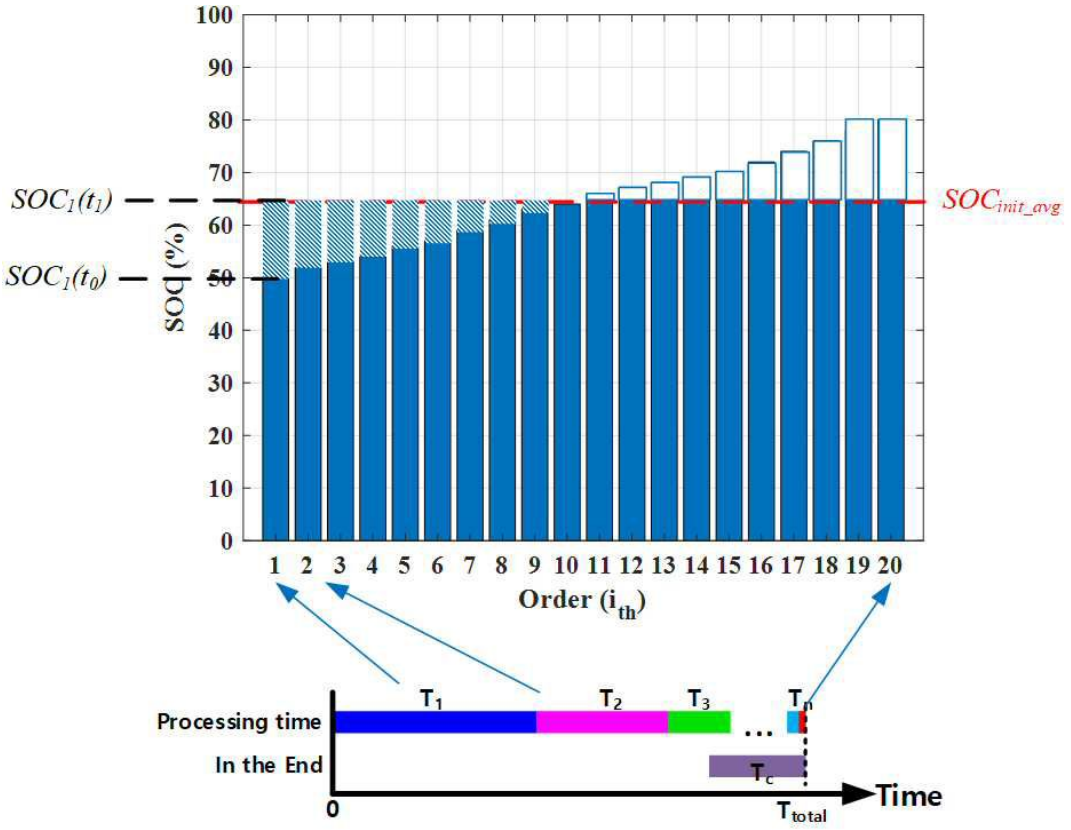
도면3b


α = -1
I_p <0
CELL_1
I_{bal}<0
v_{pack}
v_i
CELL_i
I_i<0
Energy
CELL_20
CELL_1
CELL_2
CELL_3
CELL_n
Energy
CELL_i

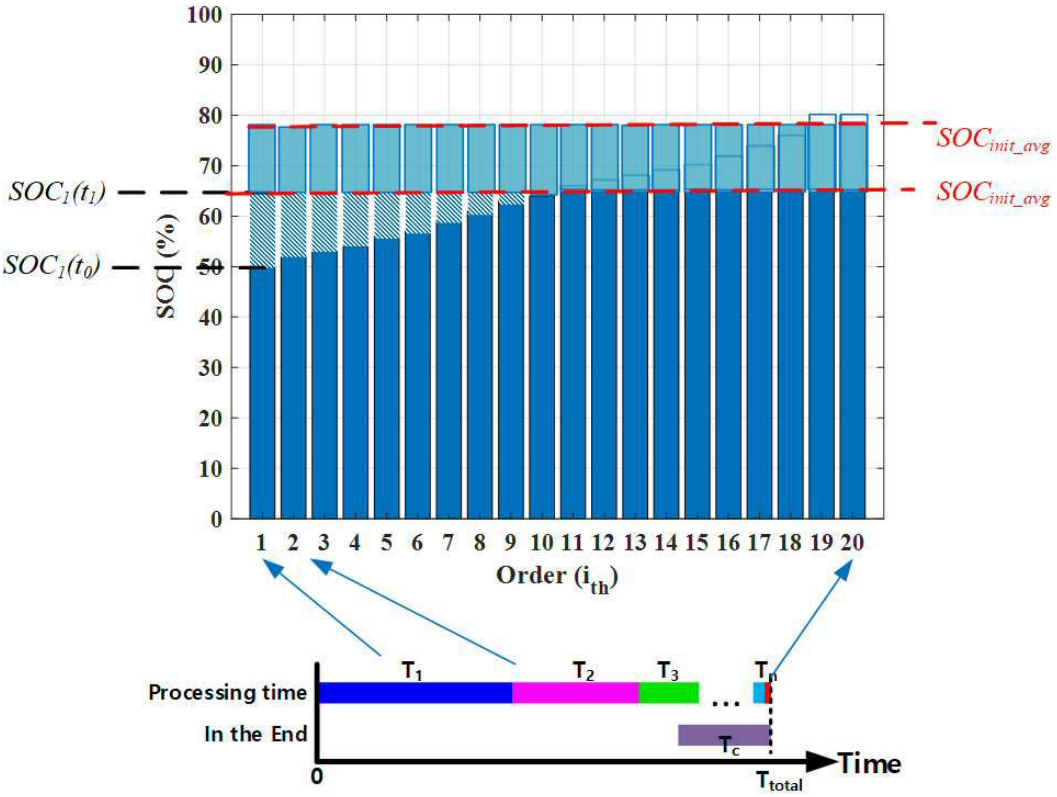
도면4a


SOC (%)
Order (i_{th})
Processing time
In the End
T_1
T_2
T_3
T_n
T_c
0
Time
T_{total}

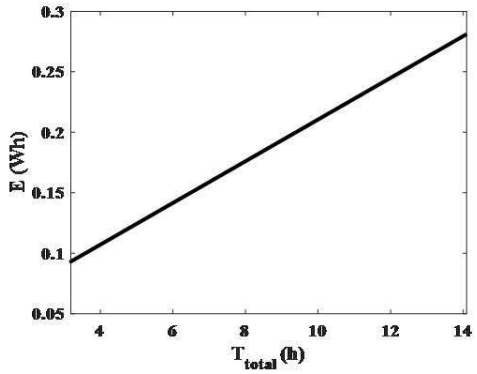
도면4b


100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
SOC (%)
$SOC_1(t_1)$
$SOC_1(t_0)$
SOC_{init_avg}
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20
Order (i_{th})
Processing time
In the End
T_1
T_2
T_3
T_n
T_c
0
T_{total}
Time

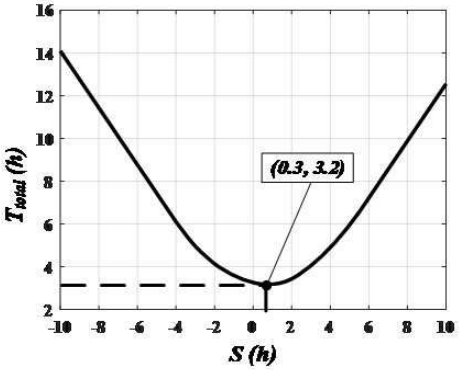
도면4c


100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
SOC (%)
$SOC_1(t_1)$
$SOC_1(t_0)$
SOC_{init_avg}
SOC_{init_avg}
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20
Order (i_{th})
Processing time
In the End
T_1
T_2
T_3
T_n
T_c
0
T_{total}
Time

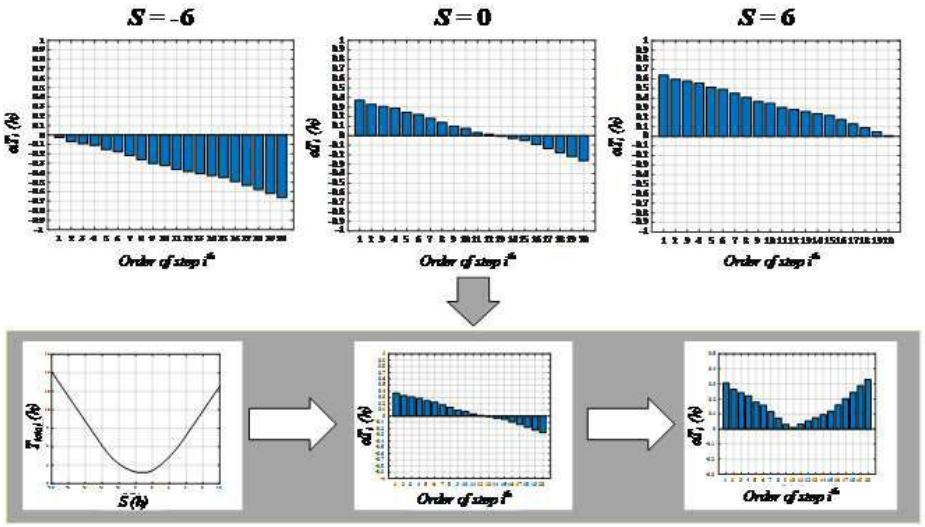
도면5



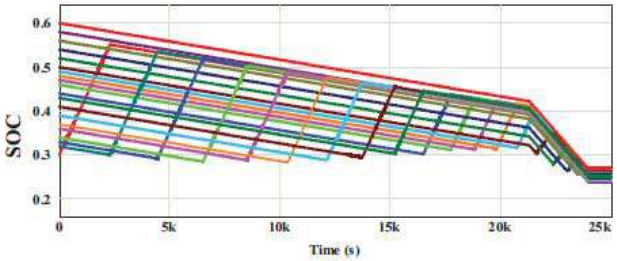
도면6



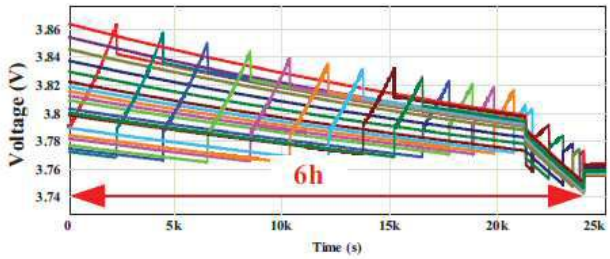
도면7



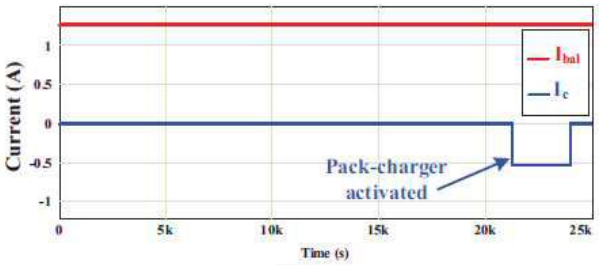
도면8


SOC
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0
5k
10k
15k
20k
25k
Time (s)

(a)

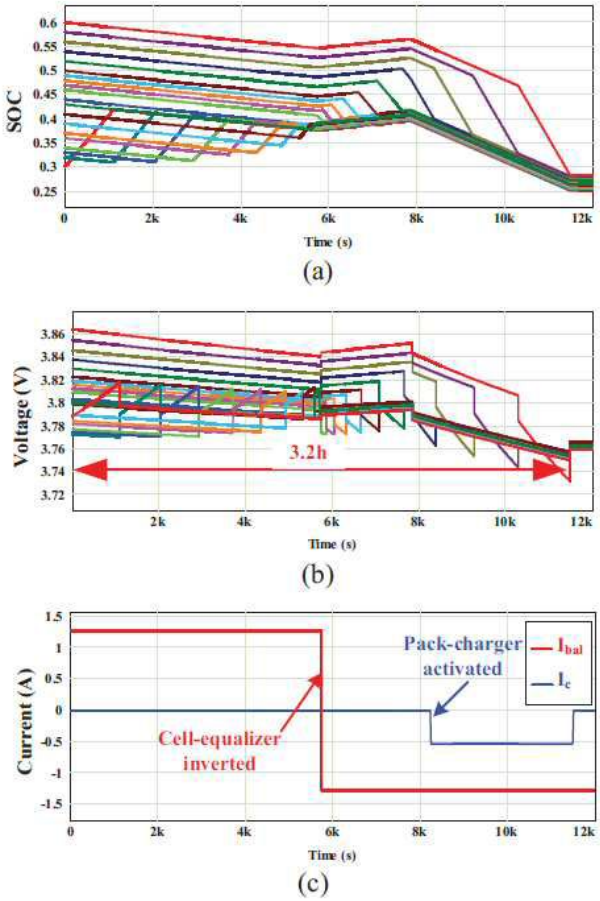

Voltage (V)
3.86
3.84
3.82
3.8
3.78
3.76
3.74
6h
0
5k
10k
15k
20k
25k
Time (s)

(b)


Current (A)
1
0.5
0
-0.5
-1
I_{bal}
I_c
Pack-charger
activated
0
5k
10k
15k
20k
25k
Time (s)

(c)

도면9


SOC
Time (s)
(a)
Voltage (V)
3.2h
Time (s)
(b)
Current (A)
Pack-charger activated
Cell-equalizer inverted
I_{bal}
I_c
Time (s)
(c)