

단일전류센서를 이용한 양방향 배터리 충전 시스템의 제어기법

이영진, 한동화, 조영훈, 최규하
 건국대학교

A Control Method of Bidirectional Battery Charger Using Single Current Sensor.

Young Jin Lee, Younghoon Cho*, Gyu Ha Choe
 Konkuk University, Virginia Tech*

ABSTRACT

본 논문에서는 ESS를 위한 3상 인터리브 양방향 DC DC 컨버터의 단일 전류센서 기반 상전류 검출 방법을 제안한다. 제안하는 방법은 직류 링크 단에 하나의 전류 센서를 이용하여 전류를 측정하고 스위칭 상태에 따라 각 상의 전류를 복원한다. 따라서 기존의 각 상 전류 센서 이용 시 잠재적으로 내포하고 있는 센서 간 출력특성 불균일 문제에서 자유롭고, 보다 경제적인 시스템 구성이 가능하다. 제안한 방법을 3kW ESS용 컨버터에 적용하여 실험적으로 그 유용성을 검증하였다.

1.서론

지난 2011년 9월 대한민국은 대규모 지역적 정전상황에 놓이게 되었다. 이는 급작스런 전기부하의 증가에 즉각적인 대응을 하지 못하여 발생하였으며, 이로 전기의 원활한 공급과 정전시 백업 가능한 ESS(Energy Storage System)의 필요성이 대두되었다. ESS란 전력 수요가 적을 때 전력을 저장해 두었다가 수요가 많을 때나 비상시 저장된 전력을 사용함으로써 에너지 효율 향상 및 전력 계통의 안정적 운영을 높이는 것을 말한다.

ESS는 그림 1과 같은 구조로 구성되며, 인버터와 배터리 사이에 배터리를 충전 또는 방전할 수 있는 양방향 DC DC 컨버터를 필요로 한다. 현재 양방향 DC DC 컨버터로 적용 가능한 시스템중 대용량 시스템 또는 배터리로 인가되는 리플전류를 줄이기 위해 3상 인터리브드 DC DC 컨버터가 많이 이용되고 있다. 3상 인터리브드 DC DC 컨버터는 구성이 간단하고 제어가 쉬우나 각상의 전류를 측정하기 위해 3개의 전류센서가 필요하다. 이로 인해 시스템의 비용이 증가하게 되며, 또한 각각의 전류센서에 측정 에러와 옵셋이 존재하게 된다.^[1]

본 논문에서 제안하는 방식은 기존의 4상 인터리브 양방향 컨버터에서 사용된 기법을 수정한 방식이며, 한 개의 전류 센서를 사용하여 3상 양방향 DC DC 컨버터의 각상에 흐르는 전류를 복원한다. 3kW 시스템을 구성하고 복원된 전류를 이용하여 양방향 DC DC 컨버터의 양방향 충방전 동작^[2]을 실험을 통해 검증한다.

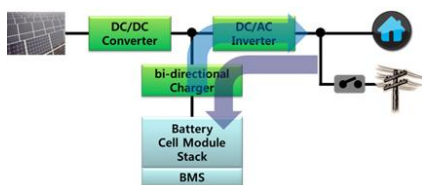


그림 1. ESS의 구성.

2. 제안하는 전류복원 방식

2.1 직류링크의 전류분석,

그림 2는 제안하는 전류복원 방식의 제어선도를 나타낸다. 한 개의 전류센서가 스위치와 직류링크 사이에 놓이게 되며, 직류링크의 전류를 측정하여 각상의 전류를 복원하게 된다. 그림 2로부터 직류링크에 흐르는 전류와 각상에 흐르는 전류의 관계식은 다음과 식과 같이 정리 할 수 있다.

$$I_{dc} = S_a I_a + S_b I_b + S_c I_c \quad (1)$$

여기서 S_a, S_b, S_c 는 시스템의 스위칭 함수를 나타내며, I_a, I_b, I_c 는 각상의 전류 정보를 나타낸다.

식(1)에서 스위칭 함수 값(S)이 0이 되면 아래 레그의 스위치가 켜지고($\bar{S}=1$), 스위칭 함수(S) 값이 1이 되면 위쪽 레그의 스위치가 켜진다($\bar{S}=0$). 이와 같이 각상의 스위칭 함수와 직류링크에 흐르는 전류를 통해 각상의 인덕터 전류정보를 얻을 수 있다. 그림3의 (a)는 듀티(Duty)가 0.34보다 작은 경우에 직류링크에 나타는 전류 파형으로 스위칭 함수에 따라 각상의 전류가 주기적으로 중복되어 흐른다. 그림3의 (b)는 듀티가 0.34보다 큰 경우로 직류링크에 각상의 전류가 한쌍씩 주기적으로 흐름을 볼 수 있다. 본 연구에서는 직류링크 전류의 이러한 기본적인 특성을 이용하여 기존의 각상 전류를 측정하는 대신 직류링크 전류만을 측정하여 각상의 전류를 복원한다.

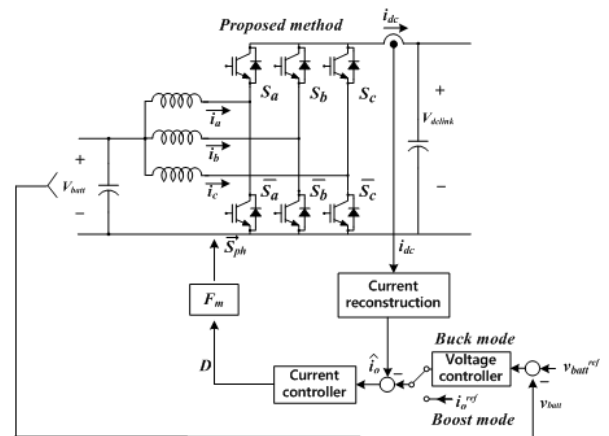


그림 2. 제안하는 전류 복원방식의 제어선도.

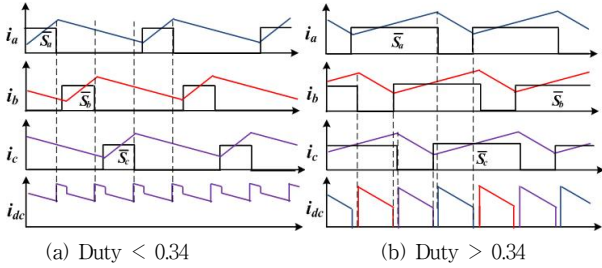


그림 3. Duty에 따른 직류링크의 전류파형.

2.2 전류복원 방식

3상 인터리브드 컨버터의 경우 각상의 위상을 120도씩 차이를 두고 스위칭 하기 때문에 PWM 주기에 120도씩 위상 차이가 나타난다. 직류링크 전류를 가지고 각상 전류를 복원 하기 위해서는 듀티에 따라 전류 검출 시점을 바꿔야 하며, 그림 4는 3상 인터리브드 컨버터의 각상 PWM 주기와 듀티에 따른 전류 검출 시점을 나타낸다. 출력 듀티의 값이 0.34이하 일 경우는 그림 4의 (a)와 같이 제어 주기 동안 각상 반송파의 최저점에서 전류를 검출하고, 듀티가 0.34보다 큰 경우에는 그림4의 (b)와 같이 각상 반송파의 최저점에서 전류를 검출한다. 검출된 직류링크 출력전류는 i_1, i_2, i_3 의 순서대로 저장된다. 만약 듀티가 0.34보다 큰 경우에는 오직 한 상의 전류($S=1$)만 직류링크에 나타나므로, 검출한 직류링크 전류가 각상의 전류가 된다. 그리고 듀티가 0.34보다 작은 경우에는 두상의 전류가 직류링크에 나타나게 되므로 검출한 직류링크 전류를 바로 사용할 수 없고 식(2)와 (3)과 같은 변환과정을 통해 각상의 전류를 PWM 한주기 내에 복원한다.

$$i_1 = i_b + i_c, \quad i_2 = i_c + i_a, \quad i_3 = i_a + i_b \quad (2)$$

$$i_a = 0.5 \times (i_3 + i_2 - i_1) \quad (3)$$

$$i_b = i_3 - i_a$$

$$i_c = i_1 - i_b$$

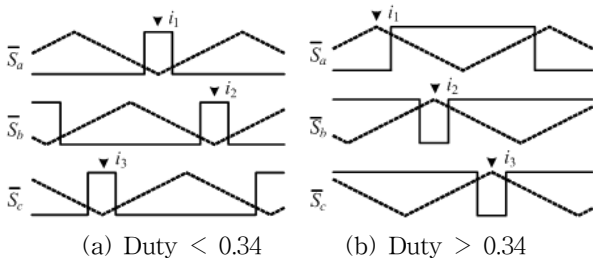


그림 4. Duty에 따른 전류 센싱 방식.

3. 배터리의 충방전 제어

직류링크 전류를 이용하여 복원된 각상의 전류를 이용하여 양방향 DC DC컨버터의 충방전 제어는 그림 2와 같다. 계통에 이상이 발생하거나 전력이 부족할 경우 배터리는 방전을 한다. 이 때 시스템은 부스트 컨버터로 동작을 하게 되며, 배터리는 그림5의 (a)와 같이 설정된 SOC(State Of Charge)까지 부족한 전력은 CC(Constant Current)모드로 방전하게 된다. 또한 배터리가 완전 방전되었거나, 계통의 전력공급이 원활 할 경우 배터리를 충전하게 된다. 충전시에 시스템은 벡 컨버터로 동작을 하게 되며, 충전은 그림5의 (b)와 같이 설정된 SOC까지 CC모드로 충전을 하고, 설정된 값 이상에서는 CV(Constant Voltage)모드로 충전을 완료하게 된다.

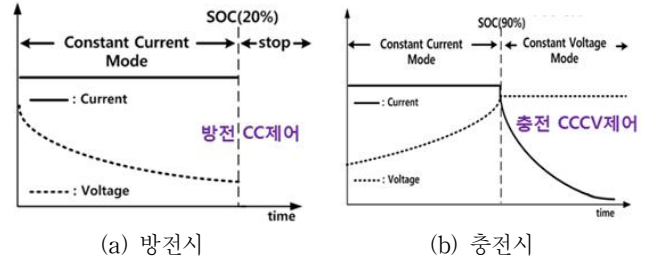


그림 5. 충방전 프로파일.

4. 실험 결과

3kW 단일전류 센서를 사용한 양방향 컨버터를 구성하여 전류 복원을 통한 각상 전류제어와 배터리의 충방전을 확인하였다. 시스템의 입력단은 40[AH], 58[V]의 정격을 갖는 리튬폴리머 배터리를 사용하였으며, 출력단은 단상 PWM컨버터를 직류링크에 연계하였다. 그림 6은 제안하는 전류복원 방식을 통해 제어되는 각상의 전류 파형을 나타내며, 정상상태와 과도상태에서 각상 전류가 모두 안정되게 제어됨을 확인 할 수 있다. 또한 그림 7은 충방전 모드 변환시 배터리 전류로 단일전류센서로 모드변환이 원활하게 이루어짐을 확인 할 수 있다.

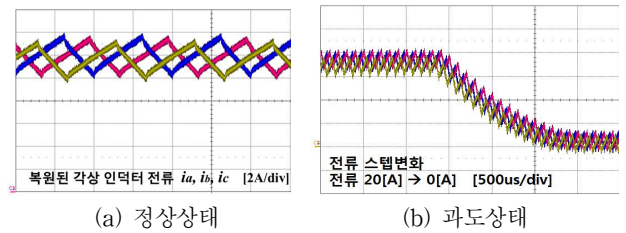


그림 6. 단일 전류센서를 사용한 전류파형.



그림 7. 충방전 모드 변환.

5. 결론

본 논문에서는 단일 전류센서를 사용하여 3상 양방향 DC DC 컨버터의 각상 전류를 복원하는 방법을 제안하였으며, 복원된 전류를 바탕으로 배터리의 양방향 충방전 제어를 통해 그 타당성을 검증하였다.

참고 문헌

- [1] Y. Cho, and *et al*, "An Active Current Reconstruction and Balancing Strategy with DC link Current Sensing for a Multi Phase Coupled Inductor Converter," *IEEE Trans. Power Electron.*, 2011
- [2] Young jin Lee, DH Han, GH Choe "A study on Li Battery Charge Control based on DC Grid". 8th International Conference on Power Electronics ECCE