

단일 전류센서를 이용한 배터리 충방전용 양방향 3상 인터리브드 컨버터 제어

한정호, 최유현, 송중호
서울과학기술대학교

Control of a Bidirectional Three-phase Interleaved Converter for Battery Charging and Discharging Using Single Current Sensor

Han Junggho, Choi Yuhyon, Song Joongho
Seoul National University of Science and Technology

ABSTRACT

본 논문은 단일 전류 센서를 이용한 배터리 충방전용 양방향 3상 인터리브드 컨버터의 전류 제어 방법을 제안한다. 기존의 3상 인터리브드 컨버터 전류 제어는 각 상의 인덕터 전류를 센싱해야만 하는 방식이다. 본 논문에서 제안한 전류 제어 방법은 각 상의 인덕터 전류 센싱없이 단일 전류 센싱만으로 인덕터 전류를 제어 할 수 있다. 시뮬레이션을 통하여 본 논문이 제안한 제어 방법의 타당성과 실효성을 증명한다.

1. 서론

3상 인터리브드 컨버터는 각 상의 인덕터 전류 위상을 조절하여 인덕터 전류 간 리플을 줄일 수 있는 장점이 있다. 또한, 각 상의 인덕터에 흐르는 전류 크기가 단일 인덕터를 사용할 때보다 1/3로 줄기 때문에 컨버터의 용량 증대를 효과적으로 구현할 수 있다.^[1] 이러한 3상 인터리브드 컨버터는 각 인덕터에 전류를 센싱하여 개별 제어하는 방법을 사용해 왔다.^[2] 하지만 이러한 제어방법은 전류센서 3개가 필요하기 때문에 컨버터의 비용 증가를 야기한다. 이러한 이유로 본 논문은 각 상의 인덕터 전류 센싱없이 단일 전류 센싱만으로 인덕터 전류를 균형 제어 할 수 있는 방법을 제안한다. 시뮬레이션을 통하여 본 논문이 제안한 각 상의 인덕터 전류 제어 방법의 타당성과 실효성을 증명한다.

2. 양방향 3상 인터리브드 컨버터

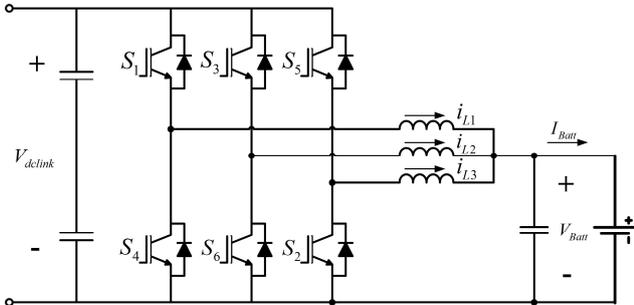


그림 1 양방향 3상 인터리브드 컨버터
Fig. 1 A Bidirectional Three-phase Interleaved Converter

양방향 3상 인터리브드 컨버터는 그림 1과 같이 6개의 스위치를 통하여 배터리 충·방전 동작을 결정하게 된다. 먼저, 배터리를 충전 할 경우 상단 스위치 S1, S3, S5를 스위칭하고 하단 스위치 S2, S4, S6은 다이오드만 동작하도록 스위칭을 하지 않는다. 이러한 동작으로 인해 DC Link의 높은 전압이 배터리 전압으로 강압된다. 이와는 반대로 배터리를 방전 할 경우 하단 스위치 S2, S4, S6을 스위칭하고 상단 스위치 S1, S3, S5는 다이오드만 동작하도록 스위칭을 하지 않는다. 이러한 동작으로 인해 배터리의 낮은 전압이 DC Link 전압으로 승압된다. 이때, 각 상의 인덕터 설계 값은 식 (1)과 같다.^[3]

$$L = \frac{V_{batt}}{\Delta I_{batt}} \left(\frac{2-3D}{1-D} \right) \frac{T}{3} d \quad (1)$$

여기서, d는 배터리 전류 듀티비, D는 각 상의 인덕터 전류 듀티비, V_{batt}은 배터리 전압, ΔI_{batt}은 배터리 전류를 나타낸다.

3. 제안한 양방향 3상 인터리브드 컨버터 제어 방법

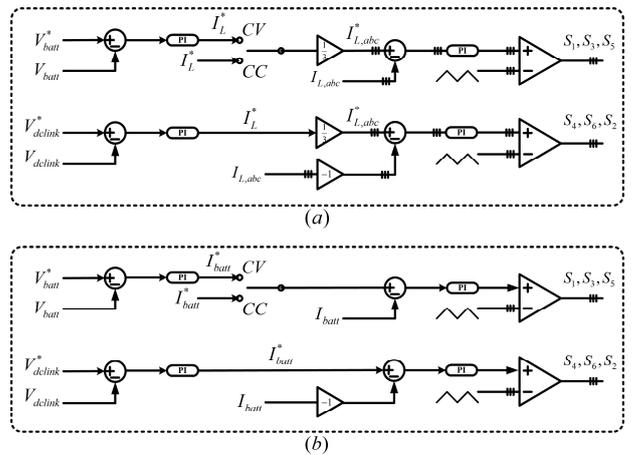


그림 2 양방향 3상 인터리브드 컨버터 제어 방법 (a) 기존 제어 방법, (b) 제안한 제어 방법

Fig. 2 Control method of a Bidirectional Three-phase Interleaved Converter (a) Conventional control method, (b) Proposed control method

그림 2는 양방향 3상 인터리브드 컨버터의 배터리 충전,방전 모드 제어 방법을 나타낸다. 기존 제어기는 그림 2(a) 각 상의 인덕터 전류를 센싱하여 제어하기 때문에 전류 제어기가 3개 필요하다. 하지만 제안한 제어기는 그림 2(b)와 같이 배터리 전류만 센싱하여 제어하기 때문에 전류 제어기가 1개이고 따라서 전류 센서가 1개만 필요하게 된다. 제안한 제어기와 기존 제어기의 차이점은 그림 3과 같이 삼각파와 기준전압의 비교로 의하여 발생하는 스위칭 시퀀스에서 나타난다. 기존의 제어기는 그림 3(a)와 같이 삼각파의 크기가 기준 전압의 크기보다 적을때 스위치가 켜지고, 그 반대의 경우 꺼지게 된다. 하지만 제안한 제어기는 기준전압의 크기를 삼각파의 주기로 환산하여 삼각파의 크기가 0이 되는 시점부터 환산된 기준전압의 시간만큼 스위치를 켜고, 그 반대의 경우 스위치를 끈다. 이 경우, 스위칭 패턴의 위상은 기존의 방법하고 다르게 되지만 그림 3과 같이 듀티비는 동일하기 때문에 기존의 제어 방법과 동일한 효과를 얻을 수 있다.

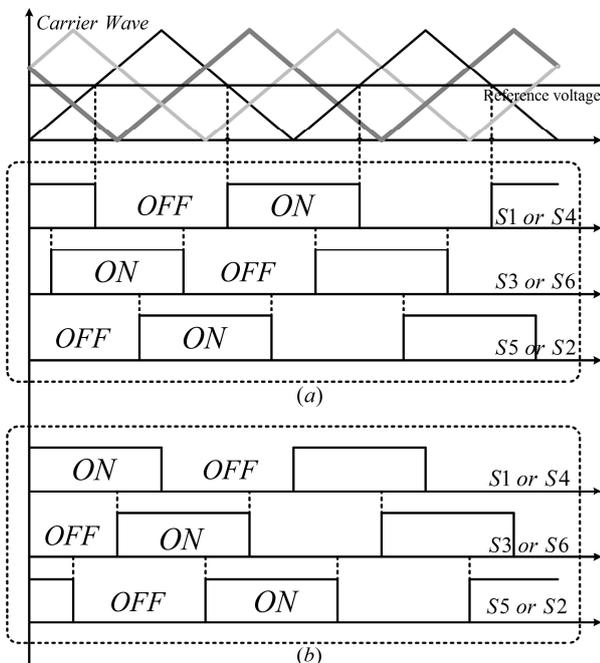


그림 3 기준전압에 따른 스위칭 시퀀스
(a) 기존 제어 방법, (b) 제안한 제어 방법
Fig. 3 Switching sequence according to reference voltage (a) Conventional control method, (b) Proposed control method

4. 시뮬레이션

본 논문에서 제안한 양방향 3상 인터리브드 컨버터 제어 방법을 이용하여 시뮬레이션을 수행한다. 시뮬레이션 수행조건은 컨버터 용량 10kW, 배터리 전압 300V, 직류링크전압 700V, 각 상의 인덕터 값 1.5mH, 직류링크측 커패시터 값과 배터리측 커패시터 값은 2350uF, 스위칭 주파수는 10kHz이다. 시뮬레이션을 통하여 제안한 제어기는 배터리 충전,방전시 기존의 제어기를 사용했을 때와 마찬가지로 각 인덕터 전류의 상의 균형이 일정하며, 부하 변동 시에도 전압제어가 잘되고 있음을 알 수 있다.

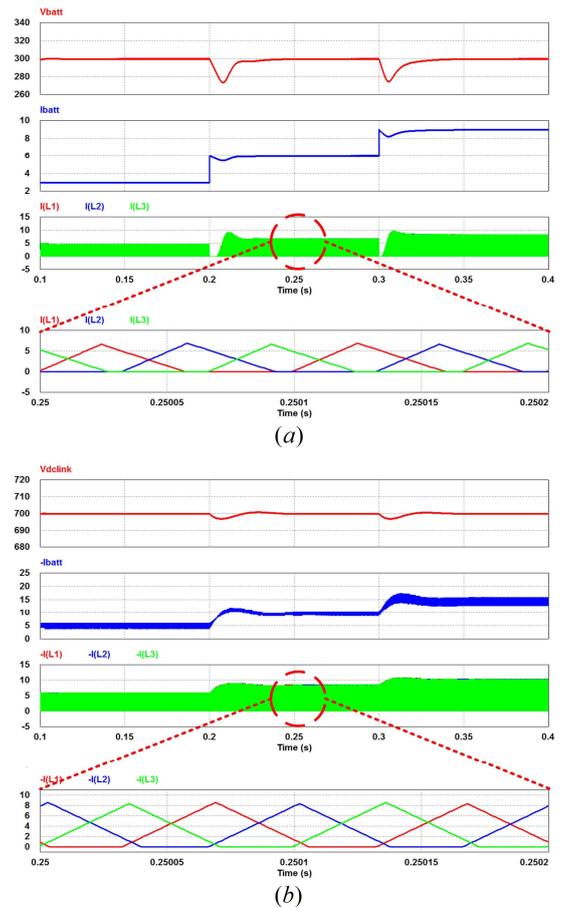


그림 4 시뮬레이션 파형 (a) 충전 상태일 때, (b) 방전 상태일 때
Fig. 4 Simulation waveform (a) Charging mode (b) Discharging mode

5. 결론

본 논문은 각 상의 인덕터 전류 센싱없이 단일 전류 센싱만으로 인덕터 전류를 균형 제어 할 수 있는 방법을 제안하였다. 시뮬레이션을 통하여 본 논문이 제안한 각 상의 인덕터 전류 제어 방법이 단일 전류센서만으로 기존의 제어기와 동등한 제어 성능을 가지고 있음을 하였다.

참고 문헌

[1] H. Higure, N. Hoshi and J. Haruna, "Inductor current control of three phase interleaved DC DC converter using single DC link current sensor," IEEE Int. Conf. PEDES, pp. 1 5, 2012.
[2] C. Gavriluta, C. Citro, K. Nisak and H. Beltran San Segundo, "A simple approach for fast controller prototyping for a three phase interleaved DC DC converter," IEEE Int. Symposium on. ISIE, pp. 2015 2019, 2012.
[3] 이우중, 엄주경, 한병문, 차한주, "5kW 배터리 충전기용 양방향 3상 인터리브드 DC DC 컨버터 설계 및 실험," 전력 전자학회 논문지, vol. 16, no. 3, pp. 227-233, 2011.