

Four Phase 형태의 레독스 흐름전지용 인터리브드 양방향 DC-DC컨버터에 관한 연구

박지호*, 오승열*, 박병철*, 최정식*, 차대석*, 송성근*
전자부품연구원*

A Study on Interleaved Bi-directional DC-DC converter for Redox Flow Battery of Four Phase type

Ji Ho Park*, Seung Yeol Oh*, Byung Chul Park*, Jung Sik Choi*, Dae Seak Cha*,
Sung Geun Song*
Korea Electronics Technology Institute*

ABSTRACT

최근 화석에너지 고갈과 환경문제, 전력대란을 격음으로써 신재생 에너지에 관한 관심이 많아지고 있다. 특히 연료전지를 이용하여 높은 신뢰성의 양방향 DC DC컨버터가 요구되어 많은 연구개발이 진행되고 있다. 그중 컨버터를 병렬로 구동하여 전류리플을 줄이는 인터리브드 방식을 많이 사용하지만 인덕터의 부피, 비용이 증가하는 단점이 있다. 본 논문에서는 결합 인덕터를 이용한 Four Phase 형태의 인터리브드 양방향 DC DC 컨버터를 제안하고, 최적의 결합계수와 인덕터에 흐르는 전류리플 저감을 PSIM 시뮬레이션을 통해 검증한다.

1. 서론

최근 지구온난화 및 환경규제 강화에 따라 풍력, 태양광, 연료전지 및 이차전지 등의 개발이 주목받고 있다. 이차전지 시스템은 배터리에서 DC DC컨버터와 DC AC인버터를 통해 계통에 연계된다. 출력 50V의 레독스 흐름전지는 방전 시 DC DC컨버터가 고압의 DC Link전압을 제어하는 Boost모드로 동작되고, 반대로 DC Link전압을 레독스 흐름전지로 충전 시 Buck모드로 동작해야하며, 모두 만족시킬 수 있는 양방향 컨버터회로를 구성해 주어야 한다. 양방향 DC DC컨버터는 절연형과 비절연형으로 나뉜다. 절연형 컨버터는 변압기 턴수비로 고승압에 장점이 있는 반면 고주파 변압기에 의한 손실이 발생하여, 손실을 최소화 할 수 있는 비절연형 DC DC컨버터를 많이 사용하게 된다. 그림 1은 인덕턴스가 가장 작고, 스위치 전압, 전류정격이 낮아 많이 사용되는 Half Bridge 양방향 DC DC컨버터를 나타낸다.

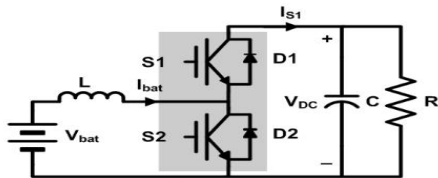


그림 1 하프브릿지 양방향 DC-DC컨버터
Fig. 1 Half Bridge Bidirectional DC-DC Converter

본 논문에서는 효율을 높이기 위해 비절연형의 Half Bridge를 이용하여 병렬로 구성한 Four Phase 형태의 인터리브드 방식을 적용 하였으며, 결합인덕터를 사용하여 컨버터의 크기를

줄일 수 있다. 또한 결합계수의 변화로 인덕터에 흐르는 피크 전류가 선형적이지 않기 때문에 최적의 결합계수를 찾아 입력 리플전류의 감소를 PSIM시뮬레이션을 통해 검증한다.

2. 제안하는 양방향 컨버터

2.1 결합인덕터를 이용한 인터리브드 양방향 컨버터

그림 2는 본 논문에서 제안하는 결합인덕터를 이용한 인터리브드 양방향 DC DC 컨버터의 회로도이다. 비절연형 Half Bridge컨버터 4개를 병렬로 연결하는 구조로 부품수가 증가 하였으나 입력전류의 분배로 소자의 정격용량을 낮추고, 스위칭주파수의 증가로 리플을 저감할 수 있다. 또한 단일 인덕터를 결합된 하나의 인덕터로 사용하여 인덕턴스 요건이 더 낮아지고, 집적도가 우수하다. 결합인덕터는 자속이 서로 감쇠되는 감극성으로 결선되었으며, 병렬 연결된 4쌍의 스위치는 90° 위상차를 가지도록 제어한다.

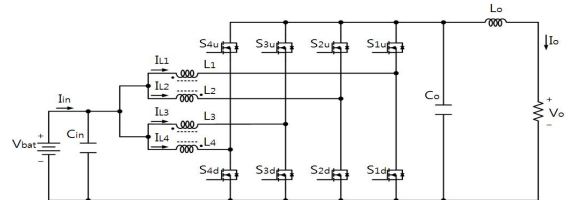


그림 2 제안된 결합인덕터를 이용한 인터리브드 양방향 DC-DC컨버터 회로도

Fig. 2 Proposed Interleaved Bi-directional DC-DC converter using coupled inductor circuit

2.2 결합인덕터

그림 2처럼 스위치 도통구간동안 결합인덕터 코일에 흐르는 전류는 서로 다른 도트로 흐르는 감극성일 때 각 코일에 걸리는 전압은 식 (1)과 같다. 이때 L_m 상호인덕턴스를 나타낸다.

$$\begin{aligned} V_{L1} &= L_1 \frac{di_1}{dt} - L_m \frac{di_2}{dt} \\ V_{L2} &= L_2 \frac{di_2}{dt} - L_m \frac{di_1}{dt} \\ V_{L3} &= L_3 \frac{di_3}{dt} - L_m \frac{di_4}{dt} \\ V_{L4} &= L_4 \frac{di_4}{dt} - L_m \frac{di_3}{dt} \end{aligned} \quad (1)$$

인덕턴스 $L_1 = L_2 = L$ 이라고 가정하면, $L_m = kL$ 이 되고, 식 (1)을 이용하여 입력전류 리플 값으로 식을 정리하면, 다음 식 (2)와 같이 표현할 수 있다.

$$\Delta i_1 = \frac{1 - \frac{d_1}{1-d_1}k}{L(1-k^2)} V_1 d_1 t \quad (2)$$

$$\Delta i_2 = \frac{1 - \frac{d_2}{1-d_2}k}{L(1-k^2)} V_2 d_2 t$$

$$\Delta i_3 = \frac{1 - \frac{d_3}{1-d_3}k}{L(1-k^2)} V_3 d_3 t$$

$$\Delta i_4 = \frac{1 - \frac{d_4}{1-d_4}k}{L(1-k^2)} V_4 d_4 t$$

위 수식을 이용하여 리플전류가 가장 낮은 최적의 결합계수는 약 0.35가 된다.

3. 시뮬레이션 결과

그림 3은 본 논문에서 제안한 결합인덕터를 이용한 인터리브드 양방향 DC DC컨버터의 PSIM 회로도를 나타낸다.

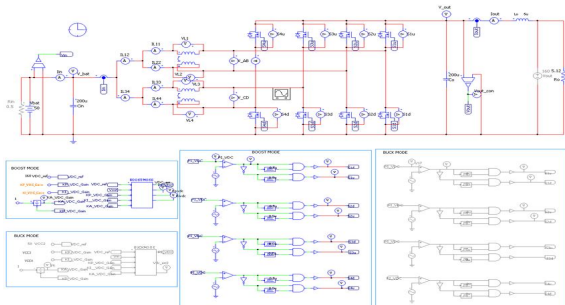
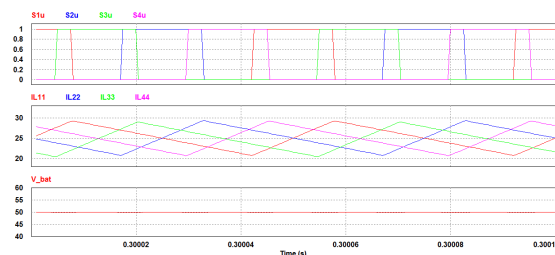


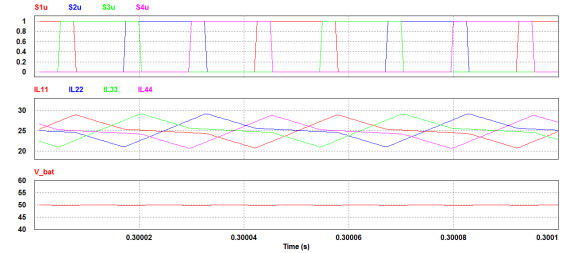
그림 3 제안된 결합인덕터를 이용한 인터리브드 양방향 DC-DC컨버터 시뮬레이션 회로도

Fig. 3 Proposed Interleaved Bi-directional DC-DC converter using coupled inductor simulation circuit

그림 4와 그림 5는 결합계수가 0일 때와 최적의 결합계수가 0.35일 때 Buck모드, Boost모드 시 시뮬레이션 응답파형을 나타내며, 결합계수가 0.35일 때 약 0.5A 정도의 전류리플이 감소하는 것을 확인하였다.

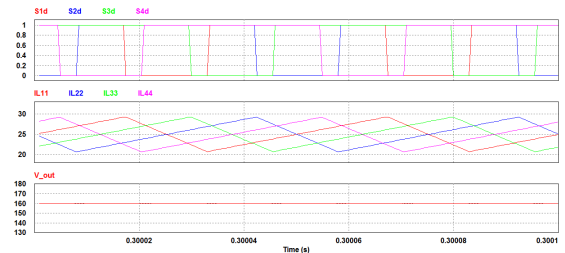


(a) k=0일 때 Buck 모드

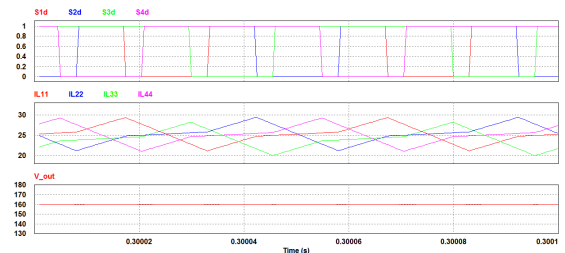


(b) k=0.35일 때 Buck 모드

그림 4 Buck모드 시뮬레이션 파형
Fig. 4 Buck mode simulation waveforms



(a) k=0일 때 Boost 모드



(a) k=0.35일 때 Boost 모드

그림 5 Boost모드 시뮬레이션 파형
Fig. 5 Boost mode simulation waveforms

4. 결론

본 논문에서는 결합인덕터를 이용한 인터리브드 양방향 DC DC컨버터를 제안하였다. 4개의 Half Bridge 병렬구조로 두 개의 인덕터를 하나의 결합인덕터로 사용하여 최적의 결합계수를 선정하여 전류리플을 줄일 수 있음을 시뮬레이션을 통해 검증하였다.

본 연구는 전자정보디바이스 산업융합원천기술개발 사업의 일환(10041942)으로 수행되었습니다.

참고 문헌

- [1] Wensong Yu, Hao Qian, jih Sheng Lai "Design of High Efficiency Bidirectional DC DC Converter and High Precision Efficiency Measurement", IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 25, No. 3, pp. 650 658, 2010, March.