

결합 인덕터를 이용한 다단 듀얼 벡 인버터

김상훈, 김흥근, 차헌녕
경북대학교

Cascade Dual Buck Inverter with Coupled Inductors

Sanghun Kim, Heung Geun Kim, Honnyong Cha
Kyungpook National University

ABSTRACT

본 논문에서는 결합 인덕터를 이용한 새로운 다단 듀얼 벡 인버터를 제안한다. 제안한 인버터는 기존 다단 듀얼 벡 인버터의 장점인 압단락 방지, MOSFET 이용, 고주파 동작, 스위칭 손실감소 등을 그대로 갖고 있고, 기존과 다른 점은 제한 인덕터들을 출력전류 극성에 따라 결합시켜서 총 2개의 코어로 구성된다. 이로 인해 셀 수가 많이 필요한 대용량 시스템에서 기존 인버터에 비해 제한 인덕터의 셀프 인덕턴스 양을 획기적으로 줄일 수 있고 결과적으로 총 자기소자 부피가 감소하게 된다. 따라서 전체 효율면에서 향상된다. 제안한 인버터의 성능 검증에 위해 2 셀 구조로 된 인버터를 구축하여 실험을 통해 성능을 검증하였다.

1. 서론

최근 벡 컨버터의 기본 스위칭 셀을 이용해서 인버터를 구성한 듀얼 벡 인버터에 대한 연구가 많이 진행되고 있다. 기존 하프/풀 브릿지 인버터를 듀얼 벡 인버터 형태로 변환한 것으로 다음과 같은 장점이 있다. 구조상 MOSFET 스위칭 소자의 바디 다이오드가 도통되지 않고 이로 인해 바디 다이오드 역회복 특성으로 인한 스위칭 손실이 발생하지 않아서 MOSFET으로 구성이 가능하다. 결과적으로 기존 IGBT로 구동하던 시스템에 비해 고주파 동작이 가능하고, 기존 PWM 방식과 다른 하이브리드 쌍극성 전압 PWM을 사용하여 스위칭 손실이 감소한다. 또한 스위치와 다이오드로 구성된 스위칭 암 사이에 제한 인덕터가 삽입되어 압단락을 방지할 수 있어 신뢰성이 크게 향상되고, 데드타임이 필요없다. 이러한 장점을 활용하여 3상 인버터, 단상 ac dc 컨버터, 다단 멀티레벨 인버터에 적용되고 있다^{[1][3]}. 현재 개발된 다단 듀얼 벡 인버터는 각 셀의 인버터 입력부의 dc 전원을 분산된 태양광 발전 시스템으로부터 공급받아 계통으로 연계하는 시스템에 사용되고 있다. 하프 브릿지 인버터를 기본 셀로 하는 다단 듀얼 벡 인버터의 단점은 셀 수가 많아짐에 따라 제한 인덕터의 개수가 증가하게 되고 결과적으로 총 자기소자 부피가 증가하게 된다. 본 논문에서는 결합인덕터를 이용해서 제한 인덕터의 부피를 줄일 수 있는 새로운 다단 듀얼 벡 인버터를 제안한다. 출력전류 극성에 따라서 전류 경로를 공유하는 개별 제한 인덕터들을 모두 결합하여 셀 수에 관계없이 총 2개의 코어로 구성된다. 결과적으로 총 자기소자 부피가 감소하고 시스템 효율이 향상된다.

2. 제안한 다단 듀얼 벡 인버터

2.1 회로구성

그림 1에서 제안한 다단 듀얼 벡 인버터를 나타내었다. 이 인버터는 단상 하프 브릿지 듀얼 벡 인버터를 기본 셀로 하는 다단 멀티레벨 인버터와 LC 필터로 구성된다. 기본 셀은 2개의 스위치, 2개의 다이오드, 제한 인덕터, 입력 커패시터로 구성된다. 다단 구조를 통해서 감압 변압기를 사용하지 않고 직접 고전압 시스템에 적용 가능하다. 제한 인덕터로 인해서 압단락 상황 시, 전류 제한되고 기존 멀티레벨 인버터 시스템에 비해서 높은 신뢰성을 가지게 된다. 제한 인덕터는 그림 1과 같이 결합되어 총 2개의 코어로 구성된다. 회로 동작 시, 출력전류 극성이 양일 경우 p셀(입력 dc 전압을 기준으로 스위칭 소자가 플러스 단자 쪽에 있으면 p셀, 마이너스 단자 쪽에 있으면 n셀)에 연결된 인덕터로만 전류가 흐르게 된다. 따라서 그 경로에 있는 인덕터는 모두 이론적으로 결합 가능하다. 출력전류 극성이 음일 경우도 마찬가지이다.

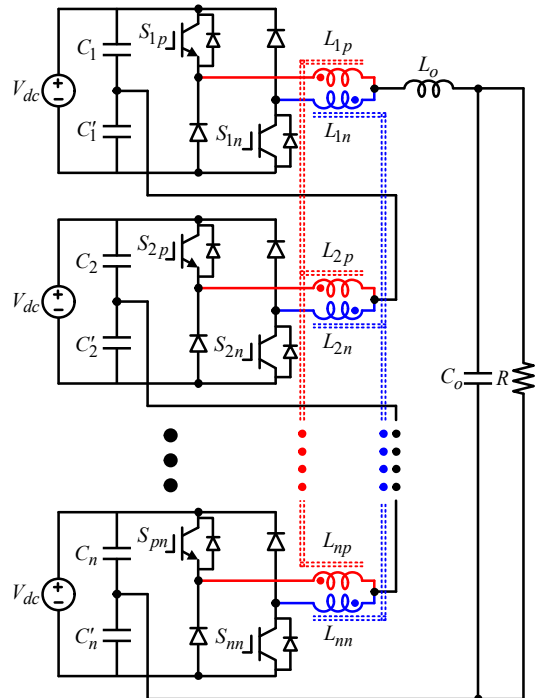


그림 1 제안한 다단 듀얼 벡 인버터.

따라서 기존 분리된 제한 인덕터를 사용하는 구조와는 다르게 제안한 인버터는 셀 수에 관계없이 총 2개의 코어만 가지고 구성된다. 결과적으로 총 자기소자 부피가 감소한다.

2.2 동작원리 및 필터 인덕터 전류 리플 분석

제안한 인버터의 기본 셀은 그림 2에 제시된 하이브리드 쌍극성 전압 PWM을 사용한다. 기존 하프 브릿지 PWM 방식과 다르게 레퍼런스 전압의 극성(PF=1 가정)에 따라 스위칭 방식이 변경된다. 예를 들면, 출력 전압이 양일 경우 p셀의 스위치가 고주파 스위칭 하고 n셀 스위치는 off 상태를 유지한다. 따라서 한 스위칭 주기마다 하나의 스위치만 스위칭을 하게 되어서 스위칭 손실이 감소하게 된다. 각 셀은 위상이동 PWM (Phase shifted PWM)방식을 적용하여 출력 주파수가 스위칭 주파수의 n배로(n:총 셀 개수) 증가한다.

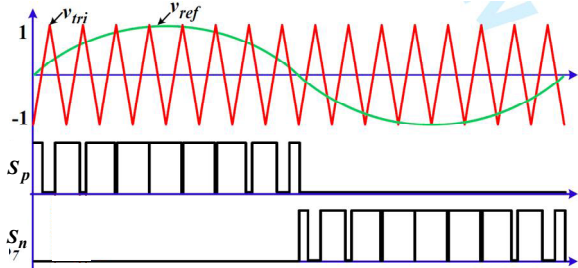


그림 2 하이브리드 쌍극성 전압 PWM.

제안한 인버터의 감소되는 총 인덕턴스 양을 검증하기 위해서는 필터 인덕터 전류 리플 식을 비교해야 한다. 제안한 인버터와 기존 인버터에서 제한 인덕터의 셀프 인덕턴스를 L_l 이라고 가정하면, 제안한 방법에서는 제한 인덕터가 결합되어 있으므로 하나의 제안 인덕터의 셀프 인덕턴스가 기존 방법에 비해 $(1+(n-1)k)L_l$ 로 증가하게 된다. (k 는 결합도, $0 < k < 1$) 따라서 기존/제안한 인버터의 필터 인덕터 전류 리플식을 구하면 다음과 같다.

$$\Delta i_{L_o \text{ 기존}} = \frac{(n \frac{V_{dc}}{2} - v_o)(D - \frac{n-1}{n})T_s}{(\frac{n+1}{2})L_l + L_o} \quad (1)$$

$$\Delta i_{L_o \text{ 제안}} = \frac{(n \frac{V_{dc}}{2} - v_o)(D - \frac{n-1}{n})T_s}{(\frac{n(1+(n-1)k)}{2})L_l + L_o} \quad (2)$$

$$\frac{\Delta i_{L_o \text{ 제안}}}{\Delta i_{L_o \text{ 기존}}} = \frac{n(1+(n-1)k)}{n+1} \quad (3)$$

식 3은 L_o 를 제거했을 때 기존 리플식에 대한 제안한 리플식의 비이다. 결합도를 높게 설정하고 셀 수가 늘어날수록 총 인덕턴스 양이 획기적으로 감소한다는 것을 알 수 있다.

3. 실험결과

제안한 인버터의 성능검증을 위해, 기존 및 제안한 2단 듀얼 벡 인버터를 제작하여서 비교실험을 하였다. 실험 조건은 기존 및 제안한 인버터가 동일하며, $V_{dc}=190V$, $f_{sw}=20 \text{ kHz}$, $L_{limit}=230 \mu H$, $L_o=75 \mu H$, $C_o=3 \mu F$, $C_n=2.2 \text{ mF}$, $ma=0.8$, $k=0.7$, $P_o=600$

W 이고 저항부하를 사용하였다. 그림 3(a)에 기존 인버터의 V_{dc} , v_o , i_{L_o} 의 실험파형을 나타내었다. 그림 3(b)는 제안한 인버터의 V_{dc} , v_o , i_{L_o} 의 실험파형을 나타내었다. 제한 인덕터의 셀프 인덕턴스 값이 같을 경우, 제안한 방법이 출력전류 리플이 적음을 알 수 있다. 그림 3(c), (d)는 전류 리플 확인을 위해 그림 3(a), (b)를 출력전류 최대값 부근에서 각각 확대한 파형이다. 앞서 설명한 이론적 리플식과 파형이 일치됨을 확인할 수 있다.

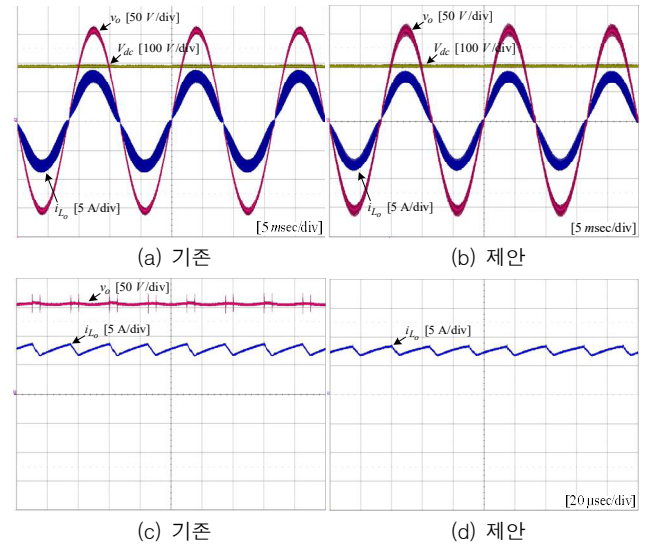


그림 3 기존 및 제안한 2단 듀얼 벡 인버터의 실험파형 (2 cell).

4. 결론

본 논문에서 결합인덕터를 이용한 새로운 2단 듀얼 벡 인버터를 제안하였다. 기존 2단 듀얼 벡 인버터에서 분리된 개별 제한 인덕터를 사용하는 방법과 다르게, 제안한 인버터는 전류 극성에 따라서 전류 경로를 공유한 인덕터들을 결합시킴으로써 총 자기소자 부피를 줄일 수 있다. 2단 듀얼 벡 인버터를 대용량 시스템에 적용하여 셀 수가 많이 필요할 때, 제안한 방법이 기존 방법에 비해 필요한 총 사용되는 인덕턴스 양이 획기적으로 감소한다. 2단 셀로 구성된 제안한 인버터를 제작하여 기존 방법과 비교실험을 통해 출력전류 리플 비교 및 성능을 검증하였다.

참고 문헌

- [1] P. Sun, C. Liu, J. S. Lai, C. L. Chen, and N. Kees, "Three phase dual buck inverter with unified pulse width modulation," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 27, no. 3, pp. 1159–1167, Mar. 2012.
- [2] C. Liu, P. Sun, J. S. Lai, Y. Ji, M. Wang, C. L. Chen, and G. Cai, "Cascaded dual boost/buck active front end converter for intelligent universal transfer," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 59, no. 12, pp. 4671–4680, Dec. 2012.
- [3] P. W. Sun, C. Liu, J. S. Lai, and C. L. Chen, "Cascade dual buck inverter with phase shift control," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 27, no. 4, Apr. 2012.