

포워드 컨버터를 응용한 Cascaded H-Bridge 멀티레벨 인버터의 단일 입력전원 구동

김선필, 강필순
한밭대

Single input source driving of cascaded H-bridge multilevel inverter by using forward converter

Sun Pil Kim, Feel-Soon Kang
Hanbat National University

Abstract - 본 논문에서는 독립된 DC 입력전원을 요구하는 Cascaded H-bridge 멀티레벨 인버터를 단일 입력전원으로 구동시키기 위한 회로 구조를 제안한다. 변압기 포화를 방지하기 위해 채용되는 리센 권선을 가지는 포워드 컨버터의 구조를 변경한 것으로 리센 권선에 의해 전원으로 회생되는 에너지가 출력단으로 전달되도록 변경된다. 제안된 회로 구조의 입력력전압과 스위치의 도통비와의 관계를 이론적으로 분석하고 시뮬레이션을 통해 타당성을 검증한다.

$$V_{Cx} = \frac{N_{s1}}{N_p} \cdot D \cdot V_{in} \tag{1}$$

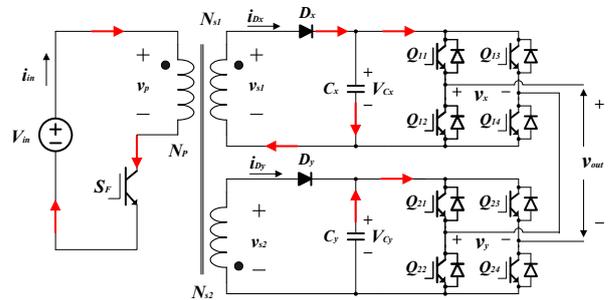
식(1)에서 알 수 있듯이 권선비를 제외한 입력력전압과 도통비의 관계가 Buck 컨버터와 동일함을 알 수 있다.

1. 서 론

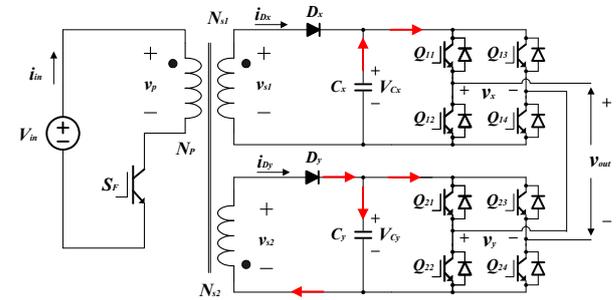
기존의 Cascaded H-bridge 멀티레벨 인버터는 다수의 독립된 DC 입력전원을 기반으로 하는 다단으로 결합된 H-bridge cell의 스위치를 제어하여 사인파에 근접한 출력전압을 형성한다[1],[2]. 회로구조가 간단하고 모듈화 특성이 우수하지만, 각 H-bridge 모듈은 독립된 입력전원을 요구한다. 그러나 독립된 입력전원을 확보하기 어려운 경우, 그 응용에 한계가 있다[3]. 이러한 문제를 해결하기 위해 본 논문에서는 포워드 컨버터를 응용하여 단일 입력 전원으로부터 독립된 다수의 DC전원을 생성시킬 수 있는 회로를 제안한다.

2. 단일 전원 구동을 위한 포워드 컨버터 기반의 보조 회로

포워드 컨버터는 스위치가 ON 상태가 되면 변압기 1차 권선과 2차 권선을 통해 입력 전원으로부터 부하로 에너지가 전달된다. 스위치 ON 구간 동안 변압기 1차 권선의 자화 인덕턴스에 저장된 에너지는 스위치 OFF 구간 동안 반다이 전원으로 회수되거나 부하를 통해 방출되어야 한다. 일반적인 경우 하나의 추가적인 리센 권선과 다이오드를 추가하여 입력전원으로 회생시키는 보조회로가 사용된다. 그림 1은 제안하는 단일 전원 구동을 위한 포워드 컨버터 기반의 회로의 구조를 보여준다. 변압기 1차측은 기존 포워드 컨버터의 회로 구조와 동일하며 리센 권선을 변압기 2차측 하단 부분에 위치시킴써 출력단의 인덕터와 휠링 다이오드는 포함하지 않는다. 스위치가 ON 상태인 경우, 상단 커패시터를 충전시키고 스위치 OFF 구간에 변압기 자화 인덕턴스에 저장된 에너지가 2차측 하단 권선을 통해 하단 커패시터를 충전시키게 된다.



(a)



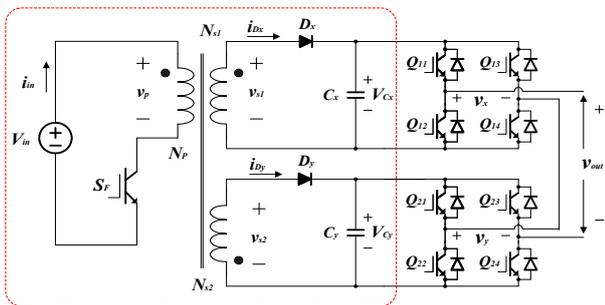
(b)

<그림 2> 동작모드, (a) 모드 1, (b) 모드 2

그림 2(b)는 하단 커패시터(C_y)를 충전시키는 모드로 스위치(S_F)가 OFF가 되면 모드 1 구간동안 변압기의 자화 인덕턴스에 저장된 에너지가 변압기 하단 2차측 권선을 통해 감자되는 구간이다. 하단 변압기 2차 권선(N_{s2})과 다이오드(D_y)를 통하여 커패시터(C_y)를 충전한다. 변압기 1차 권선(N_p)과 N_{s2} 권선 사이에 Volt·Sec 평형조건을 적용시켜 입력전압(V_{in}), 하단 커패시터 전압(V_{Cy}), 스위치(S_F) 도통비와의 관계를 식(2)와 같이 구할 수 있다.

$$V_{Cy} = \frac{N_{s2}}{N_p} \cdot \frac{D}{(1-D)} \cdot V_{in} \tag{2}$$

식(2)로부터 하단 커패시터는 Flyback 컨버터의 동작에 의해 충전됨을 알 수 있으며 Flyback 입력력전압과 도통비와의 관계는 턴수비를 제외한 Buck-boost 컨버터와 특성이 동일하다. 따라서 도통비가 50 % 이상인 경우에는 승압, 50 % 이하인 경우에는 강압 특성을 가지므로 제안된 컨버터를 도통비 50 % 이하에서 동작시키면 식(1)과 식(2)로부터 동일한 출력전압을 얻을 수 있다는 결론을 얻을 수 있다. 그러나 하단 커패시터의 충전은 변압기 자화 인덕턴스에 저장된 에너지로 제한되고 변압기 누설 인덕턴스에 의한 손실분의 영향으로 상단 커패시터 전압에



<그림 1> Cascaded H-bridge 멀티레벨인버터의 단일 전원 구동

제안하는 회로는 스위치(S_F)의 ON/OFF 동작에 따라 그림 2와 같이 두 개의 동작모드를 가진다. 그림 2(a)의 모드 1은 상단 커패시터(C_x)를 충전시키는 모드로 스위치(S_F)가 ON이 되면 입력 전압이 1차측 양단에 인가되고 동일 극성을 가지는 상단 변압기 2차권선(N_{s1})과 다이오드(D_x)를 통하여 커패시터(C_x)를 충전한다.

스위치(S_F)의 도통 구간 동안 변압기 1차측 양단에는 입력전압이 인가되고 변압기 2차측의 상단 커패시터를 충전하게 되므로 입력전압(V_{in}), 상단 커패시터 출력전압(V_{Cx}), 스위치(S_F) 도통비의 관계는 다음과 같이 정의된다.

비해 상대적으로 낮은 전압을 가지게 되므로 변압기 2차권선 N_{s1} 과 N_{s2} 의 턴수비 조정을 통해 보상해야 한다.

제안하는 회로 구조에서 스위치(S_F)의 OFF 구간 이내에 자화 인덕턴스에 저장된 에너지가 모두 하단 커패시터로 전달되어 자화 인덕턴스가 감자되는 구간(T_m)은 식(3)으로 정의된다.

$$T_m = \frac{N_{s2}}{N_p} \cdot D \cdot T_s \quad (3)$$

변압기의 감자는 스위치(S_F)의 OFF 구간 이내에 이루어져야 하므로 식(4)의 관계가 성립되어야 한다.

$$T_m \leq (1-D)T_s \quad (4)$$

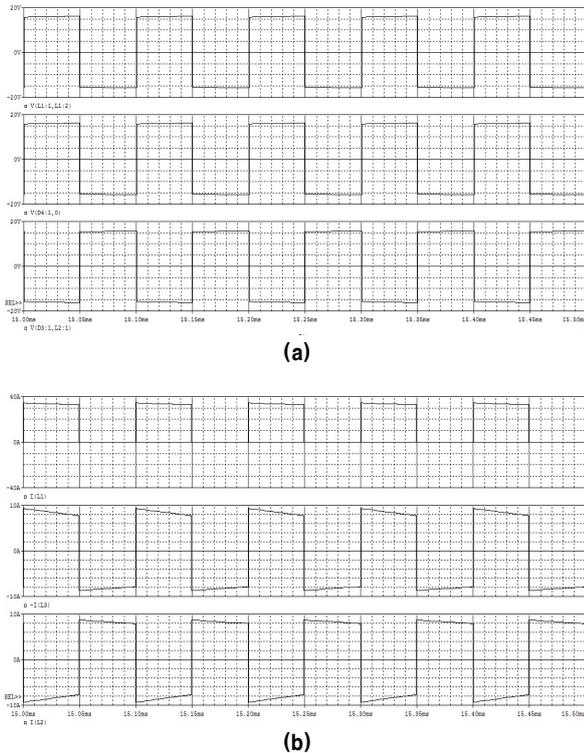
식(3)과 식(4)로부터 스위치(S_F) 도통비와 권선비의 관계를 구하면 식(5)와 같다.

$$D \leq \frac{1}{1 + \frac{N_{s2}}{N_p}} \quad (5)$$

식(5)로부터 변압기 1차권선과 2차측 하단 권선비가 동일한 경우 도통비가 50 % 이하로 제한됨을 알 수 있다. 그러나 멀티레벨인버터의 입력 전압으로 사용하기 위한 커패시터 전압을 승압시키기 위해서는 2차측 권선비가 1차측에 비해 증가해야 하므로 실제 도통비는 50 % 이하로 제한이 된다.

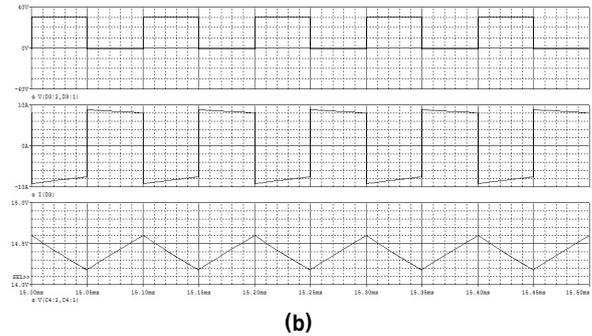
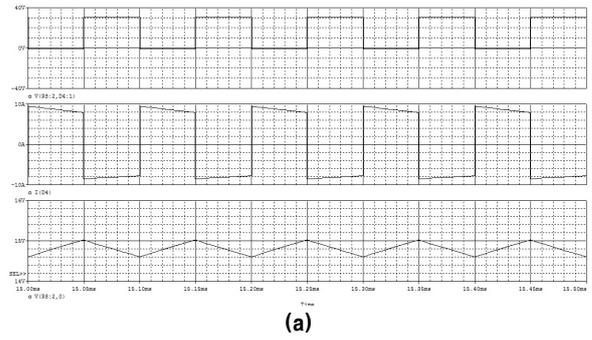
3. 시뮬레이션 분석

제안한 단일 입력 구동방식의 타당성을 검증하기 위해서 PSpice 기반의 시뮬레이션을 수행하였다. 입력 전압 24[V], 변압기의 권선비는 1:1로 동일하며, 스위칭 주파수는 10 kHz로 설정하고 도통비가 50 % 인 경우에 대한 결과 파형을 제시한다.

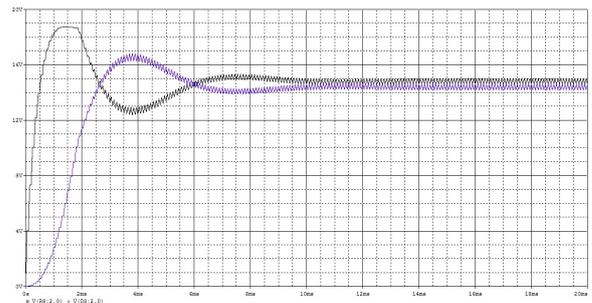


〈그림 3〉 시뮬레이션, (a) V_p, V_{s1}, V_{s2} , (b) i_m, i_{dx}, i_{dy}

그림3은 변압기 양단 전압과 전류를 보여준다. 스위치가 ON 상태에서 변압기 1차 권선(N_p)에서 2차 권선(N_{s1})으로 에너지가 전달되고 스위치가 OFF가 되면 3차 권선(N_{s2})으로 에너지가 전달이 됨을 확인할 수 있다. 그림 4는 변압기 2차측 상하단의 다이오드 양단전압, 다이오드 전류, 커패시터 전압 파형을 보여준다. 두 커패시터 전압이 180도 위상차를 가지면 충전되고 있음을 확인할 수 있다.



〈그림 4〉 시뮬레이션, (a) V_{DX}, I_{DX}, V_{cX} , (b) V_{DY}, I_{DY}, V_{cY}



〈그림 5〉 상하단 커패시터 양단 전압 비교

그림 5는 상단과 하단의 커패시터의 양단전압을 나타낸다. 스위치의 도통비가 50 %인 경우의 출력이며 변압기의 턴수비가 동일하지만 변압기의 누설 인덕턴스 성분으로 인하여 최대 1 V 정도의 전압차이가 발생함을 확인할 수 있다.

4. 결 론

본 논문은 독립된 입력 전압원을 요구하는 Cascaded H-bridge 멀티레벨 인버터를 단일 입력전원으로 구동시키기 위해 포워드 컨버터를 응용한 단일 입력전원 구동 회로를 제안하고 시뮬레이션을 통해 타당성을 검증한 결과 도통비 50 % 미만에서 동일한 출력전압을 얻을 수 있음을 확인하였다.

이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.2010-0009504)

[참 고 문 헌]

- [1] L. G. Franquelo, J. Rodriguez, S. Kouro, R. Portillo, and M. A. M. Prats, "The age of multilevel converter arrives", IEEE Ind. Electron. Magazine, pp.28-39, 2008.
- [2] J. Rodriguez, J. S. Lai, and F. Z. Peng, "Multilevel Inverter: A survey of topologies, controls, and applications," IEEE Trans. Ind. Electron, Vol. 49, no. 4, pp. 724-738, aug. 2002.
- [3] 권철순, 최원근, 홍운택, 현석환, 강필순, "다단출력전압 형성을 위한 절연방식과 비절연방식 멀티레벨 인버터의 특성비교," 전력전자 학계 학술대회 논문집, pp. 500-501, 2010년 7월 6일 - 9일