

Buck-boost 컨버터와 Flyback 컨버터의 결합을 이용한 Cascaded H-bridge 멀티레벨인버터의 단일 입력전원 구동

권철순, 강필순
한밭대학교

Single input source driving of Cascaded H-bridge multilevel inverter by integrating buck-boost and flyback converter

Cheol soon Kwon, Feel-soon Kang
Hanbat National University

Abstract - Cascaded H-bridge 멀티레벨인버터의 구동을 위해서는 독립된 입력전압원의 확보가 필요하다. 본 논문에서는 이러한 Cascaded H-bridge 멀티레벨 인버터의 구조적 제약을 극복하기 위해 Buck-boost 컨버터와 Flyback 컨버터의 결합을 이용한 단일입력전원 구동 방법을 제안한다. 제안된 회로의 이론적 분석을 수행하고 시뮬레이션을 통하여 타당성을 검증한다.

스위치(Q_B)가 차단될 때의 동작을 보여준다. 스위치(Q_B)가 차단되면 2차측 권선에는 전 상태와 반대 극성의 전압이 유도되어 다이오드 D_x 와 D_y 를 도통시킴으로써 변압기의 자화 인덕턴스에 의해 축적된 에너지가 상, 하단 모듈의 커패시터 (C_x, C_y)를 충전시킨다.

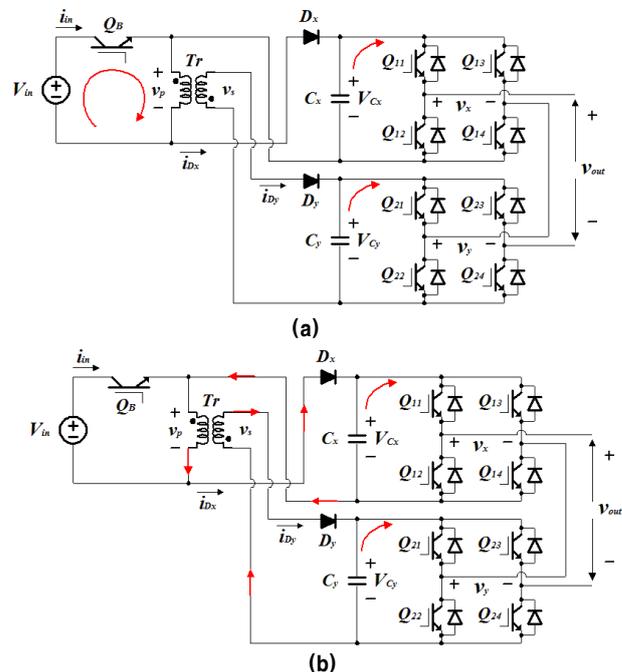
1. 서 론

Cascaded H-bridge 멀티레벨인버터는 풀-브리지 인버터의 출력을 다단으로 결합시켜 출력전압에 다수의 레벨을 형성함으로써 사인파에 근접한 출력전압을 형성시킨다. 동일한 전압격의 H-bridge 모듈을 사용하여 확장, 유지보수가 용이하다는 장점이 있으나 각 H-bridge 모듈의 입력으로 독립 전압원이 필요한 구조적 제약을 가진다 [1]-[6].

본 논문에서는 두 개의 H-bridge 모듈로 구성되어 두 개의 독립된 입력전압원을 필요로 하는 Cascaded H-bridge 멀티레벨인버터를 단일 전원으로 구동시키기 위한 회로 구성을 제안한다. 제안된 회로 구조는 Buck-boost 컨버터와 Flyback 컨버터를 혼합한 구조로서 Buck-boost 컨버터의 인덕터를 변압기로 대체하여 구성한다. 상단 H-bridge 모듈의 입력전압은 Buck-boost 컨버터의 동작을 통해 확보하고 하단 H-bridge 모듈의 입력전압은 Flyback 동작을 통해 전기적 절연을 확보한다. 제안된 회로의 동작 성능을 검증하기 위한 시뮬레이션을 수행하고 타당성을 검증한다.

2. Cascaded H-bridge 멀티레벨인버터의 단일 전원 기반 구동

두 개의 풀-브리지 인버터의 출력을 직렬 결합한 Cascaded H-bridge 멀티레벨인버터는 두 개의 독립된 입력전압원이 필요하다 [6]. 단일 입력전원 구동을 위해 본 논문에서는 Buck-boost 컨버터와 Flyback 컨버터를 결합시킨 회로 구조를 제안한다. 그림 1과 같이 제안된 회로는 한 개의 스위치(Q_B), 두 개의 다이오드(D_x, D_y), 한 개의 고주파 변압기(Tr)를 가지며 Buck-boost 컨버터의 인덕터를 고주파 변압기로 대체시켜 변압기 2차측을 Flyback 형태로 구성한다. 상단 모듈의 커패시터 전압 (V_{Cx})은 Buck-boost 컨버터의 동작에 의해 충전되고, 하단 모듈의 커패시터 전압 (V_{Cy})은 Flyback 컨버터의 동작에 의해 충전된다.



<그림 2> 동작모드, (a) 모드 1, (b) 모드 2

제안된 회로의 변압기 1차측 권선에 Volt·Sec 평형조건을 적용시키면 입력전압(V_{in}), 스위치(Q_B)의 도통비(D)와 상단 커패시터 전압(V_{Cx}), 하단 커패시터 전압(V_{Cy})과의 관계를 각각 식(1)과 식(2)로 유도할 수 있다. 단, 변압기 1차측 자화인덕턴스에 흐르는 전류는 연속적이고, 모든 소자는 이상적으로 가정한다.

$$V_{Cx} = \frac{D}{1-D} V_{in} \tag{1}$$

$$V_{Cy} = \frac{N_2}{N_1} \frac{D}{1-D} V_{in} \tag{2}$$

식(1)은 Buck-boost 컨버터, 식(2)는 Flyback 컨버터의 입력전압과 도통비와의 관계식과 동일함을 알 수 있다.

$$\frac{V_{Cy}}{V_{Cx}} = \frac{N_2}{N_1} \tag{3}$$

동일한 크기의 커패시터 전압을 확보하기 위해서는 식(3)의 조건을 만족해야 하므로 변압기 1차측과 2차측의 턴수비가 동일하게 설정되어야 하지만 실제 구현에 있어서는 변압기의 누설성분으로 인한 손실을 고려하여 2차측 턴수비를 증가시켜야 한다.

<그림 1> 제안하는 단일 입력전원 기반 구동 회로

2.1 동작모드

그림 2는 Cascaded H-bridge 멀티레벨 인버터의 상단, 하단 커패시터의 충전을 위한 Buck-boost와 Flyback 컨버터의 동작을 보여준다. 그림 2(a)에서 스위치(Q_B)가 도통되면 변압기의 2차측 권선에는 1차측의 반대 극성의 전압이 유도되므로 다이오드 D_y 는 역바이어스 되어 차단되고 2차측에 흐르는 전류는 없다. 다이오드 D_x 도 역바이어스 되어 차단이 되며, 변압기 1차측의 자화인덕턴스에 에너지가 충전된다. 그림 2(b)는

$$\Delta v_{Cx} = \frac{\Delta Q_{Cx}}{C_x} = \frac{I_x DT_s}{C_x} = \frac{V_{Cx} D}{R_x C_x f_s} \quad (4)$$

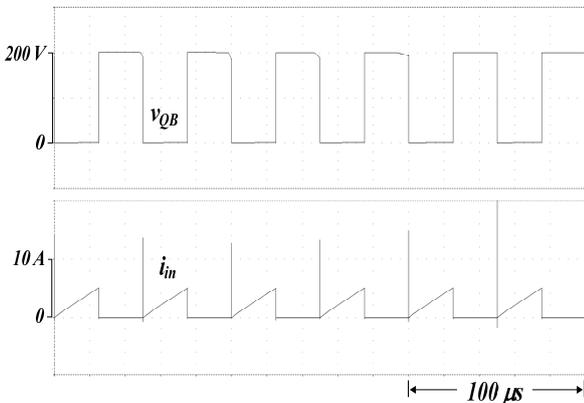
$$\Delta v_{Cy} = \frac{\Delta Q_{Cy}}{C_y} = \frac{I_y DT_s}{C_y} = \frac{V_{Cy} D}{R_y C_y f_s} \quad (5)$$

$$R_x > R_y \quad (6)$$

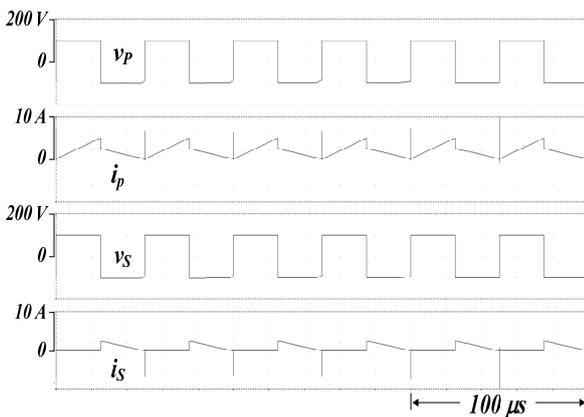
상단, 하단 커패시터의 전압 리플은 식(4)와 식(5)에 의해 구할 수 있다. Cascaded H-bridge 멀티레벨인버터의 일반적인 스위칭 패턴에 따른 동작에서는 상단, 하단 모듈이 담당하는 부하량이 식(6)과 같은 차이를 가지게 되어 하단 모듈이 담당하는 부하전류가 상단 모듈의 부하전류 보다 약간 크다. 따라서 하단 커패시터의 전압리플이 상단 커패시터 보다 약간 증가하게 된다.

3. 시뮬레이션 결과

제안하는 회로의 타당성을 검증하기 위해 PSpice기반의 시뮬레이션을 수행하였다. 입력전압(V_{in})은 DC 100 V, 출력전압(v_{out})은 60 Hz, AC 200 V_{peak}에 5 레벨을 가지며, 변압기의 권선비는 1:1, 스위치(Q_B)는 20 kHz로 동작시킨다.

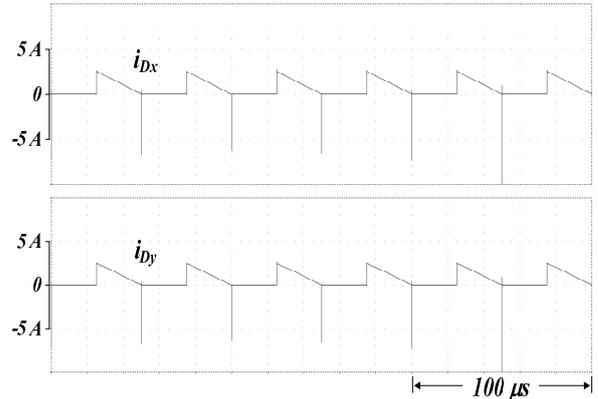


〈그림 3〉 스위치(Q_B) 양단전압과 전류

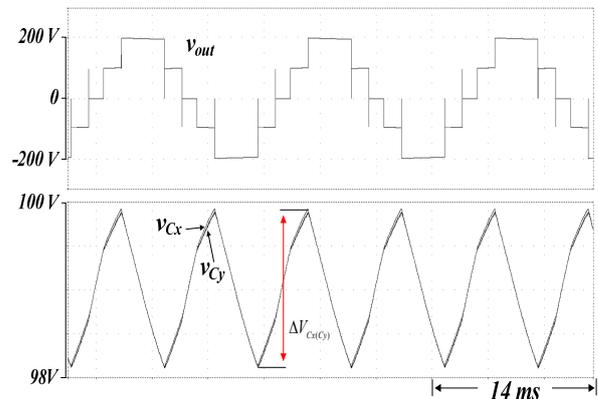


〈그림 4〉 변압기(Tr) 양단 전압과 전류

그림 3은 스위치(Q_B)가 50 %의 도통비로 동작할 때의 스위치 양단전압과 전류 파형을 나타낸다. 스위치 양단 전압은 200 V로 입력전압과 변압기 2차측으로 부터 유도되는 전압의 합이 인가된다. 변압기 양단의 전압과 전류 파형은 그림 4에 나타낸다. 스위치 ON 구간 동안은 변압기 1차측의 자화인덕턴스에 에너지가 저장되고 스위치가 OFF 된 구간엔 변압기 2차측으로 전달된다. 그림 5는 변압기 2차측 다이오드에 흐르는 전류 파형으로 상단 커패시터를 충전시키는 전류와 하단 커패시터를 충전시키는 전류가 동일함을 확인할 수 있다. 그림 6은 5레벨을 가지는 출력전압 파형과 상단, 하단 커패시터 전압 파형을 나타낸다. 커패시터의 전압 리플은 약 1.8 V로 측정되었으며 두 커패시터 사이의 전압 차이는 거의 없음을 알 수 있다. 그러나 만약 변압기의 누설 인덕턴스를 고려한다면 하단 커패시터 전압이 상단 커패시터 전압 보다 떨어지게 된다.



〈그림 5〉 변압기 2차측 다이오드 전류



〈그림 6〉 멀티레벨인버터 출력전압과 상/하단 커패시터 양단 전압

3. 결 론

본 논문에서는 두 개의 독립된 입력전압원을 필요로 하는 Cascaded H-bridge 멀티레벨 인버터를 단일 입력 전원으로 구동시키기 위한 목적으로 Buck-boost 컨버터와 Flyback 컨버터의 결합을 이용한 회로 구조를 제안하였다. 제안된 회로의 입출력 전압과 도통비와의 관계를 유도하고 시뮬레이션을 통하여 타당성을 검증하였다.

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

[참 고 문 헌]

- [1] H. Abu-Rub, J. Holtz, J. Rodriguez, and Ge Baoming, "Medium-Voltage Multilevel Converters State of the Art, Challenges, and Requirements in Industrial Applications," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 57, no. 8, pp. 2581-2596, Aug. 2010.
- [2] M. Malinowski, K. Gopakumar, J. Rodriguez, and M. A. Pérez, "A Survey on Cascaded Multilevel Inverters," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 57, no. 7, pp. 2197-2206, July 2010.
- [3] L. G. Franquelo, J. L. Rodriguez, J. Leon, S. Kouro, R. Portillo, and M. A. Prats, "The age of multilevel converters arrives," *IEEE Ind. Electron. Mag.*, vol.2, no.2, pp.28-39, Jun.2008.
- [4] W. K. Choi, C. S. Kwon, U. T. Hong, and F. S. Kang, "Cascaded H-bridge Multilevel Inverter Employing Bidirectional Switches," *Proc. ICEMS 2010*, Oct. 2010, pp.102-106.
- [5] S. J. Park, F. S. Kang, M. H. Lee, and C. U. Kim, "A new single-phase five-level PWM inverter employing a deadbeat control scheme," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol.18, no.18, pp.831-843, May2003.
- [6] 최원균, 권철순, 홍운택, 강필순, "두 대의 5-레벨 인버터의 직렬 결합을 이용한 멀티레벨인버터," *전력전자학회 논문지*, 제 15권, 제 5호, pp. 376-380, 2010년 10월.