

Cascaded Buck-Boost 컨버터 병렬 구성에 따른 동작특성 분석

김민중, 김동희, 이병국[†]
 성균관대학교 정보통신대학

Analysis of Operation Characteristic of Parallel Cascade Buck-Boost Converter

Min Jung Kim, Dong Hee Kim, and Byoung Kuk Lee[†]
 College of Information & Communication Engineering, Sungkyunkwan University

ABSTRACT

비반전 승강압형 토폴로지인 Cascaded Buck Boost는 크게 Buck단과 Boost단으로 나눌 수 있다. 2상 병렬로 연결되는 Cascaded Buck Boost 컨버터는 병렬로 연결되는 소자에 따라서 총 3가지의 회로 구성이 가능하며, 제어방법에 따라 1개의 스위치로도 Interleaved 회로처럼 동작이 가능하다. 본 논문에서는 각각의 Cascade Buck Boost 컨버터의 병렬 구성에 따른 입출력 전압비, 전류리플, 시스템 효율 등을 분석한다.

1. 서론

고효율, 고전력밀도를 만족하는 비절연 승강압 DC DC 컨버터 중에서 Cascaded Buck Boost 컨버터는 Buck 컨버터와 Boost 컨버터를 직렬로 연결하여 출력이 반전되지 않는 특성을 가지기 때문에 태양광 발전, 연료전지, 전기자동차 충전기 등에 널리 사용되고 있다^[1].

Cascaded Buck Boost 컨버터를 다상으로 연결하여 위상차를 두고 각 상을 제어하는 Interleaved Cascaded Buck Boost (ICBB) 컨버터는 입력과 출력 전류 리플 성분을 감소시킬 수 있으며, 동작 주파수가 증가하는 효과를 통해 수동소자의 크기도 줄일 수 있는 장점을 가진다. 그림 1은 2상 ICBB 컨버터의 경우 Buck단과 Boost단을 모두 병렬로 구성하는 구조 외에도 병렬로 연결되는 부분에 따라서 단일 Buck 스위치 ICBB 구조와 단일 Boost 스위치 ICBB 구조를 나타낸다. 구조에 따라 입출력 전달비가 다르며 제어방법에 따라서 3개의 스위치로도 Interleaved 제어의 효과를 얻을 수 있다.

본 논문에서는 3가지 ICBB 구조에 따른 동작원리와 입출력 관계식 및 주요 동작파형을 분석하고, 시뮬레이션 툴을 이용하여 전체 시스템의 효율을 도출한다.

2. ICBB 컨버터 동작 분석

일반적인 2상 Interleaved 컨버터의 경우 각 상의 위상차가 180°가 되도록 스위치 신호를 인가하여 입출력 전류의 리플을 줄이고, 동작 주파수를 증가시키는 효과를 얻는다^[2]. 단상 Cascaded Buck Boost 컨버터의 경우 Buck단 스위치와 Boost단 스위치를 같은 턴 온 듀티로 제어하여 출력전압을 가변한다. 일반적인 ICBB 컨버터는 각 상의 Buck, Boost단의 스위치를 동시에 같은 듀티로 턴 온 시키고, 두 상의 스위치의 턴 온 신호가 180° 차이를 가지도록 제어한다.

단일 Buck 스위치 ICBB 컨버터는 1개로 구성된 Buck단 스위치를 한주기 내에 두 번 턴 온 시키면서 Boost단 스위치와 같은 듀티로 제어하면 스위치 4개로 구성된 ICBB 컨버터와 마찬가지로 입출력 전류 리플을 줄이면서 Interleaved 제어 효과를 얻을 수 있다. 마찬가지로 단일 Boost 스위치 ICBB 컨버터도 1개의 Boost단 스위치를 한주기 내에 두 번 턴 온 시키면서 Buck단 스위치와 같은 듀티로 제어하면 Interleaved 제어 효과를 얻을 수 있다. 그림 2는 각각의 구성에 따른 ICBB 컨버터의 게이트 신호와 인덕터 전류파형을 나타낸다.

반도체소자와 수동소자가 모두 이상적이며 출력전압이 리플이 없다고 가정하고 구조별 인덕터에 인가되는 전압을 통해 입출력 전압관계식을 구하면 각각 아래 식 (1)~(3)과 같으며, 각 상의 인덕터 전류의 최댓값은 식 (4)~(6)과 같다.

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{D_{buck}}{1 - D_{boost}} : \text{일반적인 ICBB 컨버터} \quad (1)$$

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{2D_{buck}}{1 - D_{boost}} : \text{단일 Buck 스위치 ICBB 컨버터} \quad (2)$$

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{D_{buck}}{1 - 2D_{boost}} : \text{단일 Boost 스위치 ICBB 컨버터} \quad (3)$$

(단, $D_{buck} = D_{boost}$)

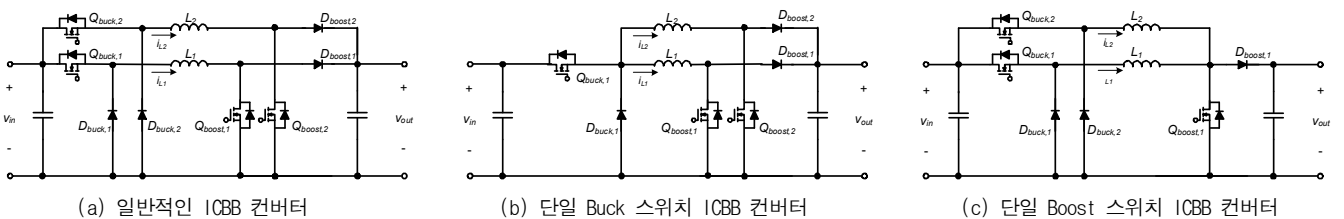


그림 1. 2상 ICBB 컨버터 토폴로지.

Fig. 1. Topologies of 2-phase ICBB converter.

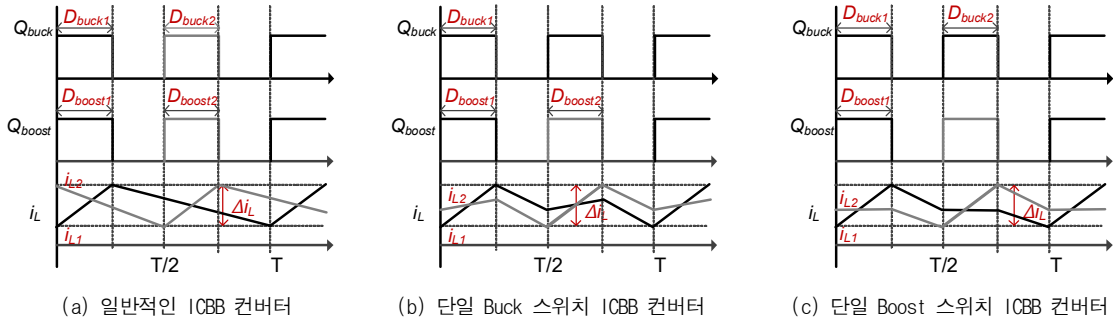


그림 2. 2상 ICBB 컨버터 주요 파형.
Fig. 2. Key waveforms of 2-phase ICBB converter.

$$\Delta i_{L,max} = \frac{V_o(1-D_{min})}{Lf} : \text{일반적인 ICBB 컨버터} \quad (4)$$

$$\Delta i_{L,max} = \frac{V_o(1-2D_{min})}{Lf} : \text{단일 Buck 스위치 ICBB 컨버터} \quad (5)$$

$$\Delta i_{L,max} = \frac{V_o(1-2D_{min})}{Lf} : \text{단일 Boost 스위치 ICBB 컨버터} \quad (6)$$

구조별 입출력 전압 이득은 그림 3과 같다. 단일 Buck 구조와 단일 Boost 구조는 턴 온 듀티가 0.5 이상이 되게 되면 Buck 또는 Boost 스위치가 항상 턴 온 되기 때문에 Interleaved 제어를 위해서는 최대 듀티 D_{max} 는 0.5이다. 만약 0.5 이상의 듀티를 인가하게 되면 병렬로 구성된 Buck 또는 Boost 컨버터로 동작하게 된다. 따라서 단일 Buck 스위치 ICBB 컨버터의 최대 전압이득은 2보다 작다. 단일 스위치 구성 컨버터를 0.5에 가까운 듀티로 동작시키기 위해서는 단일 스위치의 턴 온 증가 시간 (t_r)과 턴 오프 감소 시간 (t_f)이 짧은 소자를 선택해야 한다. 또한 단일 스위치 구조로 ICBB 컨버터를 구성할 때 듀티가 너무 작거나 크게 되면 짧은 시간 동안에 에너지를 출력측으로 전달하기 위해서 입력측 스위치 또는 출력측 다이오드에 큰 전류가 인가될 수 있으므로 설계 시 고려가 필요하다.

표 1 2상 ICBB 컨버터 특성값
Table 1 Parameters of 2-phase ICBB converter

Parameter	Value	Parameter	Value
V_{in}	15 40 [V]	V_o	25 [V]
P_o	250 [W]	f_{sw}	50 [kHz]
L (Conventional ICBB)		77 (CM467125) [uH]	
L (Single Buck ICBB)		65 (CM343125) [uH]	
L (Single Boost ICBB)		56 (CM610125) [uH]	

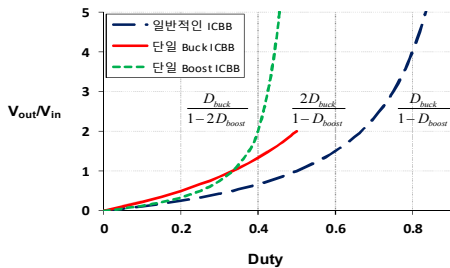


그림 3. 2상 ICBB 컨버터 전압 이득 곡선.
Fig. 3. Voltage gain curves of 2-phase ICBB converter.

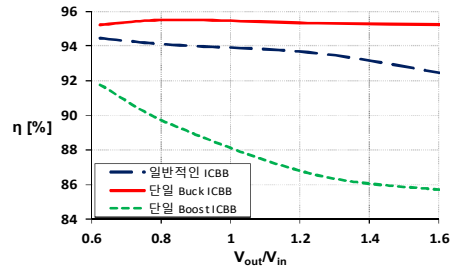


그림 4. 2상 ICBB 컨버터 전압 이득 별 효율 곡선.
Fig. 4. Efficiency versus voltage gain of 2-phase ICBB converter.

본 논문에서는 각각의 ICBB 컨버터 구성에 따라 250 W급 태양광 발전 시스템용 DC MIC를 설계하였으며, 설계사양은 표 1과 같다. 각각의 토폴로지에 대한 반도체 소자와 보조전원의 전력소모량은 5 W로 동일하다고 가정하였다. 설계된 사양에 따라 시뮬레이션 프로그램인 PSIM의 Thermal module 기능을 이용하여 250 W 동작 시 입출력 전압 이득 별 각 토폴로지의 효율을 계산하면 그림 4와 같다. 3가지 토폴로지 모두 승압영역보다 입력 전류가 작은 강압 또는 전압전달비가 비슷한 영역에서 효율이 높았고, 각 토폴로지 별 최대 효율은 일반적인 ICBB 컨버터는 94%, 단일 Buck 스위치 ICBB 컨버터는 95%, 단일 Boost 스위치 ICBB 컨버터는 92% 이다. 단일 Boost 스위치 ICBB 컨버터의 경우 다이오드에서 발생하는 손실이 커서 다른 토폴로지에 비해 효율이 전체적으로 낮다.

3. 결론

본 논문에서는 병렬로 구성되는 소자에 따른 총 3가지 종류의 2상 ICBB 컨버터에 대하여 제어방법, 동작 특성, 효율 등을 분석하였다. 단일 Buck 스위치 ICBB 컨버터의 경우 제어 가능한 입출력 전압 범위가 한정되지만, Interleaved 제어의 효과를 기존의 ICBB 컨버터보다 작은 스위치 개수로도 얻을 수 있는 장점을 가진다.

참고 문헌

[1] H. Cheng, K. Smedley, A. Abramovitz, "A Wide Input wide Output (WIWO) DC DC Converter," *IEEE Trans. Power Electr.*, Vol. 25, No. 2, pp. 280 289, Aug. 2009.
[2] 최규영, 김종수, 강현수, 이병국, "연료전지용 다상부스트 컨버터 최적 설계기법," *대한전기학회 학술지*, Vol.57, No. 6, pp. 1003 1011, Jun. 2008.