

# 안정적인 동작 모드 변경을 위한 동기정류방식 Cascade Buck-Boost 컨버터 제어 비교

이희서, 김동희, 김옥진, 이병국\*  
성균관대학교 정보통신대학

## Comparison of Synchronous Rectification Cascade Buck-Boost Converter Control for Stable Operation Mode Changes

Hee Seo Lee, Dong Hee Kim, Og Jin Kim, and Byoung Kuk Lee\*  
College of Information & Communication Engineering, Sungkyunkwan University

### ABSTRACT

본 논문에서는 동기정류 및 부트스트랩 회로를 이용한 Cascade Buck Boost 컨버터의 전압 제어 및 동작 모드 변경 기법을 제안한다. 제안한 방법은 기존의 제어 방법에 비해 모든 전압 영역에서 안정적으로 승·강압 모드 변경이 가능하며 높은 효율을 갖는다. 이의 검증을 위해 우선 다양한 제어 기법을 소개하고, 각각을 전압 제어 특성 및 효율 측면에서 실험적으로 비교한다.

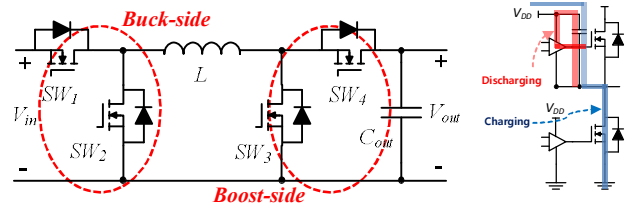
### 1. 서 론

Cascade Buck Boost 컨버터는 Buck 컨버터와 Boost 컨버터가 직렬 연결된 형태의 단순한 구조를 가지므로 제어가 간편하며 출력 전압이 반전되지 않는다<sup>[1]</sup>. 따라서 출력 승강압이 필요한 DC DC 응용 분야에 널리 응용되며 특히 높은 효율이 요구되는 응용에서는 동기정류 및 부트스트랩 회로를 이용하여 효율을 높일 수 있다. 그러나 부트스트랩 회로를 이용하면 입출력 전압 전달비가 비슷한 영역에서는 플로팅 스위치의 턴온을 위한 부트스트랩 커패시터가 충분히 충전되지 않을 수 있는 문제점이 있다. 그러므로 승압 혹은 강압뿐만 아니라 모드 변경 또한 안정적으로 구현할 수 있는 별도의 모드 변경 제어 방법이 필요하다.

본 논문에서는 모드 변경이 원활하며 모든 전압 영역에서 높은 효율로 안정적으로 동작할 수 있는 새로운 모드 변경 제어 기법을 제안하였다. 이를 위해 우선 입출력 전압 전달비가 비슷한 영역에서 Cascade Buck Boost 컨버터의 부트스트랩 커패시터가 충분히 충전되지 않는 문제점을 확인하였다. 그리고 이를 해결할 수 있는 기존의 제어 방법을 소개하며 제안한 방법과 장단점을 비교하였다. 마지막으로 실험을 통해 새로운 제어 방법의 우수성을 검증하였다.

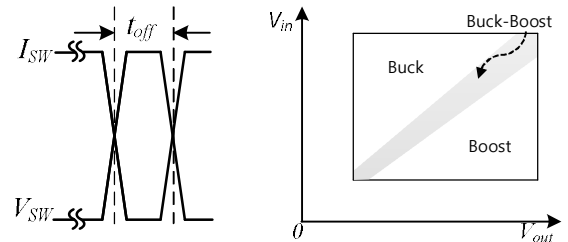
### 2. 전압 제어 방법 비교

그림 1은 동기정류 Cascade Buck Boost 컨버터 토폴로지와 위쪽 스위치의 턴온에 필요한 전위를 생성해주는 부트스트랩 회로이다. 개별 모드로 동작할 때 Buck 모드인 경우 SW<sub>1</sub>, SW<sub>2</sub>가 교번하며 Boost 모드인 경우에는 SW<sub>3</sub>, SW<sub>4</sub>가 교번하여 온, 오프 한다.



(a) Cascade Buck-Boost 컨버터 토폴로지 (b) 부트스트랩 회로  
그림 1 Cascade Buck-Boost 컨버터 토폴로지와 부트스트랩 회로  
Fig. 1 Cascade Buck-Boost converter topology, bootstrap circuit

이때 위쪽 스위치에 필요한 전위는 아래쪽 스위치가 켜져 있을 때 부트스트랩 커패시터에 충전된 전하가 공급한다. 부트스트랩 회로를 사용하면 별도의 전원이 필요 없는 장점이 있지만 위쪽 스위치 켜기 위한 전하를 얻기 위해 아래쪽 스위치를 주기적으로 온, 오프 해야 한다. 또한 이는 Buck 모드일 때의 SW<sub>4</sub>와 Boost 모드일 때의 SW<sub>1</sub>에도 해당되며 스위칭 주파수의 1/10 정도씩 아래쪽 스위치를 켜주어 온 상태를 유지한다.



(a) 플로팅 스위치 V/I 리플 (b) Cascade Buck-Boost 컨버터 동작모드  
그림 2 Cascade Buck-Boost 컨버터 전압 및 전류 파형과 동작모드  
Fig. 2 Cascade Buck-Boost converter V/I wave and operation mode

Buck, Boost 개별 모드의 입력 및 출력 전압이 비슷한 구간에서는 그림 2 (a)와 같이 위쪽 스위치가 오프 되는 구간이 매우 적어질 수 있다. 이는 곧 부트스트랩 커패시터가 충분히 충전될 수 있는 시간이 부족하게 됨을 의미한다.

전압 전달비가 비슷한 영역에서의 부트스트랩 커패시터를 충전하기 위해서는 전체 전압영역을 Buck Boost 모드로 동작하거나 그림 2 (b)와 같이 동작 모드를 세 영역으로 나눌 수 있다. 그러므로 본 논문에서는 기본적으로 Buck, Boost의 개별 모드로 동작하며 그림 2의 Buck Boost 영역을 구현할 수 있는 방법에 대해 비교한다.

첫 번째로 생각해 볼 수 있는 방법은 Buck Boost 영역에서 SW<sub>1</sub>, SW<sub>3</sub>과 SW<sub>2</sub>, SW<sub>4</sub>를 동시 온, 오프 하는 방법이다. 이 방법은 일부 구간에서 효율의 감소가 있지만 부트스트랩 회로의 단점을 보완할 수 있다. 하지만 특정 전압에서 동작 모드가 비선형적으로 변하여 과도상태에서의 문제가 발생할 수 있다.

이에 대한 해결책으로 델타 시그마 기법을 이용하여 선형적으로 동작 모드를 변경하는 방법이 제안되었다<sup>[2]</sup>. 이 방법은 Buck Boost 영역에서 SW<sub>1</sub>의 듀티는 0.9로, SW<sub>3</sub>의 듀티는 0.1로 고정하고 스위칭 빈도를 조절하여 전압을 선형적으로 제어한다. 이 방법을 사용하면 선형 모드 변경이 가능하며 스위칭이 중첩되는 영역이 없으므로 효율 또한 높다. 하지만 교번 스위칭을 하기 때문에 전압 리플이 비교적 큰 단점이 있다.

본 논문에서는 개별 스위칭 제어와 델타 시그마 제어를 결합한 합성 제어를 구현하였다. 이 방법은 기본적으로 델타 시그마 제어를 사용하되 스위칭을 일부 중첩시키는 방법이다. 구현 방법은 0.9에서 1.0까지의 전압 전달 비에서는 SW<sub>1</sub>을 0.1 듀티 200kHz로 유지하며 SW<sub>3</sub>의 스위칭 빈도는 델타 시그마 기법을 이용하여 변경한다. 또한 1.0에서 1.1의 전압 전달 비에서는 SW<sub>3</sub>을 0.1 듀티 200kHz로 유지하며 SW<sub>1</sub>의 스위칭 빈도를 변경한다. 합성 제어는 동작 모드를 선형 변환하여 개별 스위칭 제어의 과도상태가 없고, 델타 시그마 제어의 교번 스위칭으로 인한 전압 리플을 줄일 수 있다.

두 가지 제어 방법의 동작 모드별 스위칭 주파수 및 듀티를 표 1에 나타낸다. V<sub>CONT</sub>는 제어 신호를 나타낸다.

표 1 델타-시그마 제어와 제안하는 방법 비교

Table 1 Comparison of delta-sigma and proposed control method

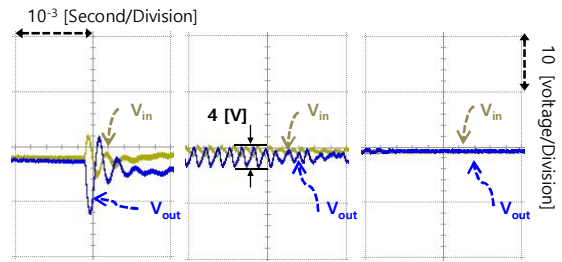
Mode	Voltage Transfer Ratio	Delta-sigma Method		Proposed Method	
		SW <sub>1</sub>	SW <sub>3</sub>	SW <sub>1</sub>	SW <sub>3</sub>
Buck	0~0.9	200 [kHz] D V <sub>CONT</sub>	20 [kHz] D 0.1	200 [kHz] D V <sub>CONT</sub>	20 [kHz] D 0.1
Buck-Boost	0.9~1.0	200 [kHz] D 0.9	20 [kHz] D 0.1	200 [kHz] D 0.9	20 [kHz] D 0.1
	1.0~1.1	20 [kHz]	200 [kHz]	200 [kHz] D 0.9	20 [kHz]
Boost	1.1~2.5	20 [kHz] D 0.1	200 [kHz] D V <sub>CONT</sub>	20 [kHz] D 0.1	200 [kHz] D V <sub>CONT</sub>

### 3. 실험 및 결과

실험은 표 1에서의 델타 시그마 제어 방법과 제안하는 방법을 구현하여 그 특성을 비교하였다. 비교 요인은 Buck Boost 영역에서 동작할 때의 전압 리플, 효율의 두 가지 측면에서 수행하였다. 제어기는 TI 사의 TMS320F28035로 구현하였다.

#### 3.1 Buck-Boost 영역 전압 리플 비교

그림 3은 Buck Boost 모드로 동작할 때의 전압 리플을 비교한 파형이다. 그림 3 (a)는 비선형적으로 모드를 변경할 경우의 과도상태 문제점을 나타낸다. 델타 시그마 방법은 이 문제점을 해결할 수 있지만 SW<sub>1</sub>과 SW<sub>4</sub>가 교번하기 때문에 1:1 전압 전달비에서 4[V] 정도의 출력 전압 리플이 존재하는 것을 확인할 수 있다. 이에 비해 제안한 방법은 두 전압의 차이를 구분하기 어려울 정도로 리플이 적은 것을 확인할 수 있다.



(a) 동시 스위칭 (b)델타-시그마 (c)제안한 기법

그림 3 각 제어 방법의 Buck-Boost 모드 전압 파형

Fig. 3 Buck-Boost mode voltage waveform of each control method

### 3.2 효율 비교

그림 4는 전압 전달비가 Buck Boost 모드로 동작할 때의 전력변환 효율을 나타낸다. 제안한 방법은 부분 중첩 스위칭을 하기 때문에 델타 시그마 방법보다 효율이 최대 1.2% 정도 낮다. 하지만 전체 동작에서 차지하는 비중이 적으므로 실제 효율 감소는 적고, SW<sub>1, 3</sub>을 동시 온, 오프 하는 방법에 비해서는 모든 구간에서 효율이 좋다.

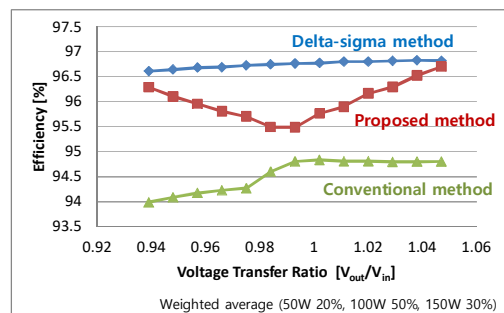


그림 4 각 제어 방법의 전력 변환 효율

Fig. 4 Power conversion efficiency of each control method

## 4. 결론

본 논문에서는 부트스트랩 회로를 사용한 동기정류 방식의 Cascade Buck Boost 컨버터에서 사용 가능한 모드 변경 방법을 제안하였다. 제안한 방법은 기존의 방법과 실험적으로 비교하여 우수성을 검증하였다. 특히 전반적인 동작전압의 효율이 유지되며 기존 방법에 비해 전압 리플이 작으므로 필터 설계 및 고조파 특성에 장점을 가질 수 있을 것으로 예상된다.

### Acknowledgment

이 논문은 지식경제부 지원 하에 수행된 신재생에너지융합원천기술개발사업 (No.20113010030020 12 2 200) 의 연구 결과입니다.

### 참고 문헌

- [1] Jingquan Chen, Dragan Maksimovic, Robert W. Erickson, "Analysis and Design of a Low Stress Buck Boost Converter in Universal Input PFC Applications", IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 21, No. 2, pp. 320-329, 2006, March.
- [2] Mark Gaboriault, Andrew Notman, "A high efficiency, noninverting, buck boost DC DC converter", APEC 2004, Vol 3, pp. 1411-1415, 2004.