

비절연형 인터리브드 3-레벨 고승압 부스트 컨버터

남현택, 김흥근, 차헌녕
경북대학교

A Non-isolated Interleaved 3-Level High Step-Up Boost Converter

HyunTaek Nam, Heung-Geun Kim, Honnyong Cha
Kyungpook National University

ABSTRACT

본 논문에서는 새로운 비절연형 3-레벨 고승압 부스트 컨버터를 제안한다. 제안한 컨버터는 기존의 출력 전압 밸런싱 기능을 가지는 3-레벨 고승압 부스트 컨버터에서 스위치와 인덕터의 위치를 변경하여 인터리브드 구조를 적용함으로써 출력전압 밸런싱 기능을 유지하면서 입력 전류의 리플 저감이 가능한 구조이다. 제안한 컨버터를 시뮬레이션을 통해서 검증하였다.

1. 서 론

기존의 3-레벨 부스트 컨버터는 기존 부스트 컨버터 대비해서 스위치의 전압 스트레스가 절반으로 줄어드는 장점이 있지만, 전압 이득의 제한이 있고, 부하가 불평형한 상태에서는 두 출력 전압의 차이가 발생한다. 이러한 단점을 극복하기 위해 개선된 3-레벨 고승압 부스트 컨버터가 제안되었다^[1]. 개선된 3-레벨 고승압 부스트 컨버터는 기존 3-레벨 부스트 컨버터보다 2배 높은 전압이득을 가지며, 불평형 부하에서 출력 전압의 평형 유지가 가능하다. 개선된 3-레벨 고승압 부스트 컨버터에 인터리브드 구조를 적용하게 되면, 입력전류의 리플의 크기를 줄일 수 있게 되며, 이로 인해 인덕터의 용량과 크기를 감소시켜 시스템의 경량화와 가격저하가 가능하게 한다^[2]. 본 논문에서는 개선된 3-레벨 고승압 부스트에서 인덕터를 병렬로 연결하고 스위치의 위치를 변경하여 인터리브드 구조를 구현하였다. 인터리브드 구조를 적용한 새로운 3-레벨 고승압 부스트 컨버터를 제안함으로써 개선된 3-레벨 고승압 부스트 컨버터의 장점들을 유지하면서 입력 전류의 리플 저감이 가능하도록 하였다.

2. 제안한 3-레벨 고승압 부스트 컨버터

2.1 비절연형 인터리브드 3-레벨 고승압 부스트 컨버터

그림 1은 본 논문에서 제안한 비절연형 인터리브드 3-레벨 고승압 부스트 컨버터를 나타낸다. 제안한 컨버터는 기존의 개선된 3-레벨 부스트 고승압 부스트 컨버터와 동일한 부품 수를 가진다. 두 개의 인덕터, 네 개의 스위치와 두 개의 출력 커패시터로 구성된다. (S₁, S₃)와 (S₂, S₄)는 각각 상보적으로 동작하고 (S₁, S₂)는 180°의 위상차를 가진다. 시비율은 0.5보다 크며(D>0.5), (S₁, S₂)가 동시에 켜지는 구간이 존재하게 된다.

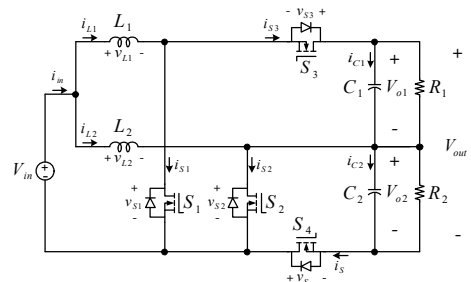


그림 1 제안한 인터리브드 3-레벨 고승압 부스트 컨버터

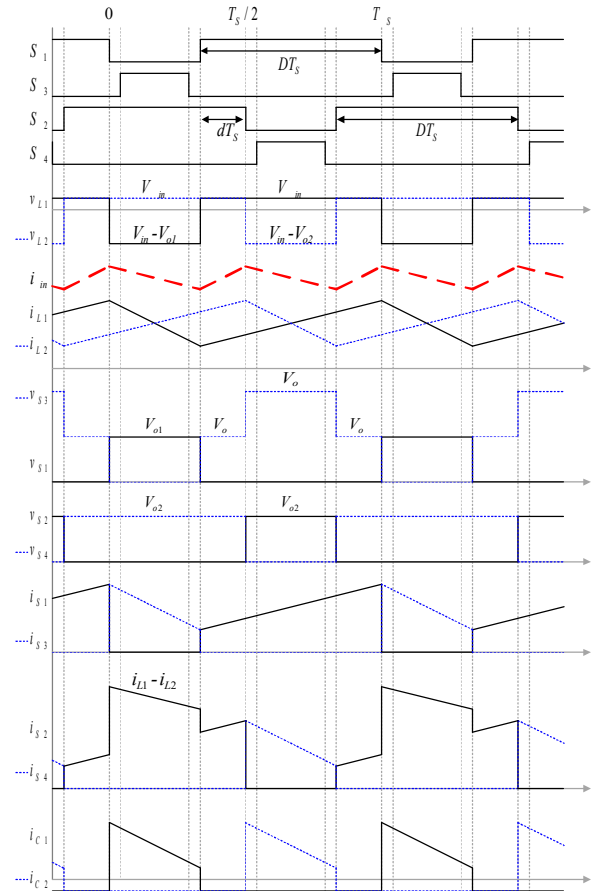


그림 2 제안한 컨버터의 주요 동작 파형

개선된 3-레벨 고승압 부스트 컨버터와의 차이점은 그림 1과 같이 인덕터를 병렬로 연결하여 인터리브드 구조를 적용하였으며, 이를 통해 입력 전류 리플의 저감이 가능하게 된다.

그림 2는 제안한 컨버터의 주요 동작 파형을 나타낸다. 전압 이득은 그림 2의 인덕터 전압과 시비율(D)을 사용하여, 인덕터 L₁, L₂의 Flux balance 조건 및 출력 전압 조건을 적용하면 아래와 같은 식으로 유도할 수 있다.

$$\frac{V_{o1}}{V_{in}} = \frac{1}{1-D}, \quad \frac{V_{o2}}{V_{in}} = \frac{1}{1-D}, \quad V_o = V_{o1} + V_{o2} \quad (1)$$

$$\frac{V_o}{V_{in}} = \frac{2}{1-D} \quad (2)$$

제안한 컨버터는 기존의 개선된 3-레벨 고승압 컨버터와 동일한 전압 이득을 가진다. 그리고, 시비율(D)이 0.5보다 크고 (S₁, S₂)가 동시에 켜지는 구간이 존재하게 되면, 출력전압 V_{o1}, V_{o2}는 다른 출력 전압의 부하 변동에 영향을 받지 않고 독립적으로 시비율에 의해 출력 전압 유지가 가능하게 되므로, 불평형 부하조건 (R₁ ≠ R₂) 에서도 출력 전압 밸런싱이 가능함을 알 수 있다.

2.1 입력 전류 리플 저감

입력 전류 리플은 제안한 컨버터에서는 2상 인터리브드 동작에 의해서 스위치 S₁, S₂가 동시에 켜지는 구간 (dT_S)에 의해 결정된다^[2]. 기존의 3-레벨 고승압 부스트 컨버터와 제안한 컨버터의 전류 리플은 동일한 시비율과 전압 조건에 대해서 각각 아래 식 (3)과 같이 표현된다.

$$\Delta i_m @ \text{conventional} = \frac{V_{in}}{L} DT_s \quad (3)$$

$$\Delta i_m @ \text{proposed} = \frac{V_{in}}{L} \left(DT_s - \frac{T_s}{2} \right) = \frac{V_{in}}{L} dT_s$$

표 1의 시뮬레이션 파라미터에 대해서 제안한 컨버터는 기존 3-레벨 고승압 부스트 대비하여 입력전류 리플이 1/3로 줄어들게 된다.

3. 시뮬레이션 결과

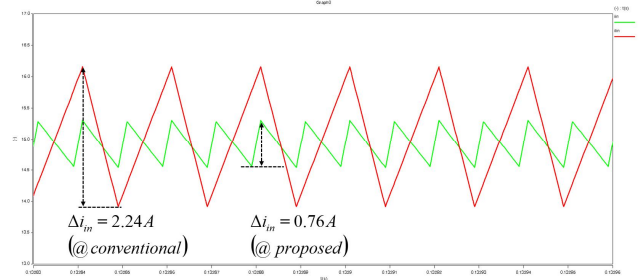
제안한 컨버터의 성능을 PSIM을 사용하여 시뮬레이션을 하여 검증하였다. 표 1은 시뮬레이션에 적용된 파라미터를 나타낸다.

표 1 시뮬레이션 파라미터

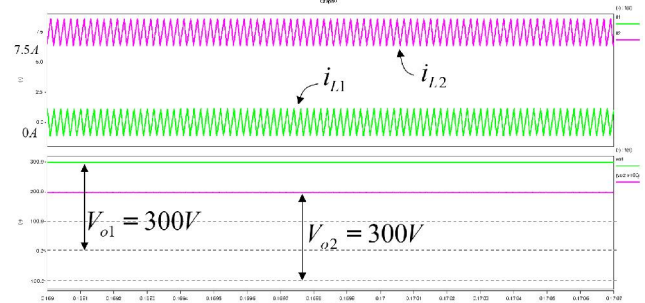
Parameter	Symbol	Value
입력 전압	V _{in}	120 [V]
출력 전압	V _o	600 [V]
	V _{o1} , V _{o2}	300 [V]
스위칭 주파수	F _s	50 [kHz]
인덕터	L ₁ , L ₂	640 [uH]
출력 커패시터	C ₁ , C ₂	188 [uF]
부하 저항	R ₁ , R ₂	100 [Ω]

그림 3의 (a)는 기존의 3-레벨 고승압 부스트 컨버터와 제안한 컨버터의 입력 전류 리플을 나타낸다. 제안한 컨버터의 입력 전류 리플이 기존 컨버터 대비 1/3로 줄어들고 주파수가 두 배 빠른 것을 확인할 수 있다. 그림 3의 (b)와 (c)는 불평형

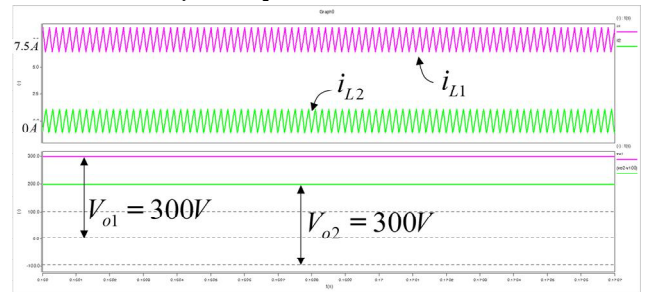
부하 조건에서의 인덕터 전류(i_{L1}, i_{L2})와 출력전압(V_{o1}, V_{o2})을 나타낸다. 시뮬레이션 결과 불평형 부하 조건에서 두 출력 전압이 평형을 이루는 것을 확인할 수 있다.



(a) 입력 전류 리플 (L = 640uH)



(b) 출력전압 (R₁ = ∞, R₂ = 100Ω)



(c) 출력전압 (R₁ = 100Ω, R₂ = ∞)

그림 3 제안한 컨버터의 시뮬레이션 결과

4. 결론

본 논문에서는 기존의 개선된 3-레벨 고승압 부스트 컨버터에 인터리브드 구조를 적용한 새로운 3-레벨 고승압 부스트 컨버터를 제안하였다. 제안한 구조는 불평형 부하상태에서 출력 전압 밸런싱이 가능하며, 입력 전류의 리플 저감이 가능하다. 이러한 장점을 시뮬레이션을 통해 그 타당성을 검증하였다.

참고 문헌

- [1] 윤성현, 강해민, 차현녕, 김흥근, "출력 전압 밸런싱 기능을 가진 비절연형 3-레벨 고승압 부스트 컨버터", 2015 전력전자학회 논문지 20(5), page(s) 464-470
- [2] 최규영, 김중우, 강현수, 이병국, "연료전지용 다상부스트 컨버터의 최적 설계기법" 2008 대한전기학회 논문지 57(6), page(s) 1003-1011