

커플링 인덕터가 사용된 인터리브드 부스트 컨버터 연구

유영도*, 황순상*, 윤병철*, 박귀철*, 김학원**
 동아일렉콤*, 한국교통대**

A Study on Interleaved Boost Converter Using Coupling Inductor

Young-Do Yoo*, Soon-Sang Hwang*, Byung-Chul Yoon*, Gwi-Cheol Park*, Hag-Wone Kim**
 Dongahelecomm*, Korea National Univ of Transportatn**

Abstract - 인터리브드 부스터 컨버터는 주로 대용량 정격에 사용되며, 출력전류 리플저감으로 인한 커패시터 수명증가, EMI 감소 등의 장점이 있다. 하지만 모듈의 사이즈가 커지며, 회로 내에 존재하는 소자들의 임피던스 성분들의 비대칭으로 각 상의 전류 불평형 문제가 발생할 수 있다. 본 논문에서는 입력 저전압 대전류 사양의 부스터 컨버터 시제품을 제작하여 기존의 인터리브드 부스터 컨버터와의 비교 분석을 통해 각 상의 전류 불평형 및 사이즈 문제 등을 개선한다.

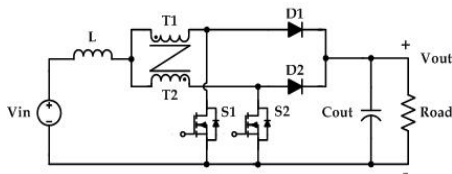
1. 서 론

일반적으로 비절연형 승압회로에는 부스터 컨버터(Boost Converter)가 많이 사용되고 있으며, 그 중 인터리빙(Interleaving)기법이 적용된 부스터 컨버터는 대용량 정격에 주로 선정되고 있다. 인터리빙(Interleaving)은 두개 이상의 컨버터를 병렬동작 시키면서 각 위상을 $360^\circ/\text{number of module}$ 만큼 스위칭 위상을 지연시켜 운전하는 방법이다. 스위칭 주파수 성분은 두 배가 되고 전류 리플이 감소됨에 따라 EMI 특성이 개선될 뿐만 아니라 출력 커패시터의 수명도 늘어나는 장점이 있다.

하지만 모듈의 사이즈가 커지게 되며, 회로를 구성하는 각 요소들(인덕턴스, 스위칭 소자의 임피던스 및 기생성분, PCB의 패턴 등)의 비대칭 또는 제이기 및 PWM 시그널 타입의 오차로 인해 각 상의 입력전류 불평형 현상이 발생할 수 있다. 특히 대전류 정격의 경우 문제가 심각해질 수 있으므로 전류센서를 이용한 제어알고리즘이 필요하게 되어 회로가 복잡해진다. 이러한 문제들을 해결하기 위해 커플링 인덕터를 사용한 새로운 방식의 인터리브드 부스터 컨버터 연구가 소개되었고, 승압용 인덕터 사이즈 감소, 입/출력 전류 리플 저감, 인덕터 전류 제어가 없이도 각 상의 전류는 평형을 이루 수 있도록 하였다.^[1] 본 논문에서는 커플링 인덕터를 사용한 입력 저전압 대전류 ($V_{in} : 18[V]$, $I_{in} : 200[A]$ $V_{out} : 60[V]$) 사양의 인터리브드 부스터 컨버터의 시제품을 제작하여, 실험을 통해 그 특성을 검증하였다.

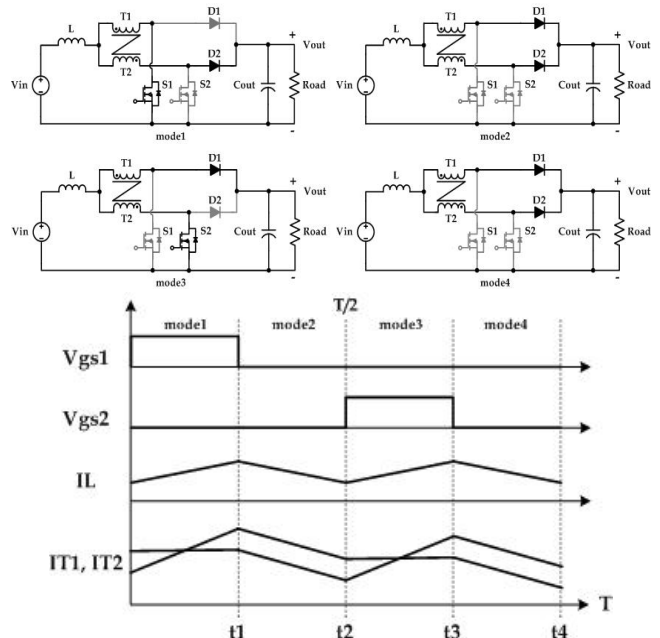
2. 본 론

2.1 커플링 인덕터가 사용된 인터리브드 부스트 컨버터

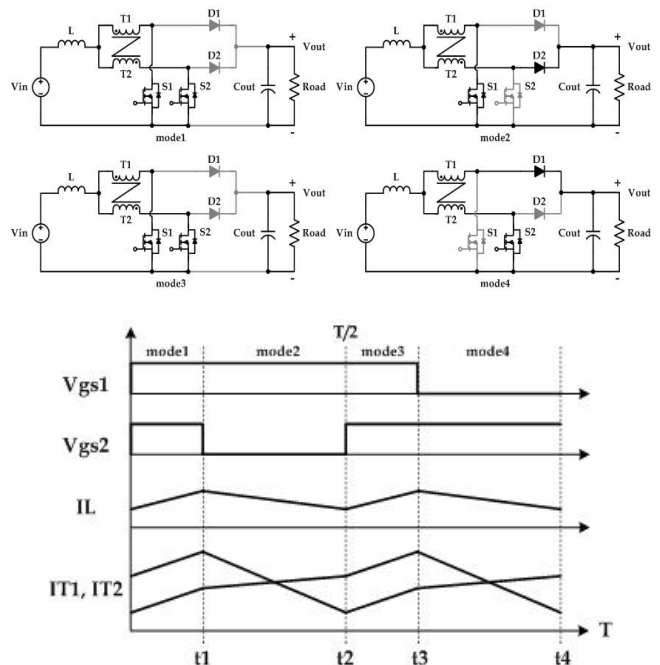


<그림 1> 커플링 인덕터가 사용된 인터리브드 부스트 컨버터

그림 1은 커플링 인덕터가 사용된 인터리브드 부스트 컨버터 회로를 나타낸다. 인터리브드 부스터 컨버터와 같이 스위치 S1, S2에 각각 180° 지연된 PWM 시그널에 의해 동작한다. 그리고 각 상에는 도트 방향이 반대인 커플링 인덕터로 대체되고, 입력 DC 전원라인에 L(승압용 인덕터)이 위치한다는 점이 기존의 인터리브드 부스터 컨버터와 차이점이다. 전압 전달비 Gv는 식 (1)과 같다. 그림 2는 $D < 0.5$ 일 때이며, V_{gs1} , V_{gs2} 신호가 on 상태인 구간에서 입력전류의 상승, off인 구간에서 전류의 하강이 나타난다. 그림 3은 $D > 0.5$ 이상일 때이며, V_{gs1} , V_{gs2} PWM 시그널이 동시에 on상태인 구간에서 입력 에너지가 저장되었다가 off 구간에서 출력측으로 함께 에너지가 전달되어 승압되는 방식이다.



<그림 2> 동작루프 및 전류파형 ($D < 0.5$)



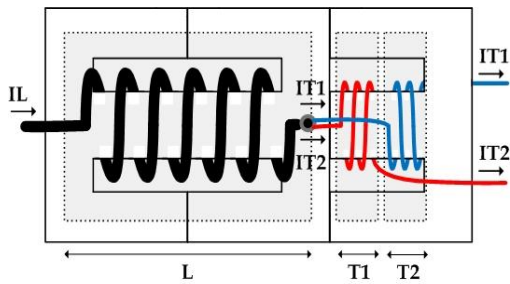
<그림 3> 동작루프 및 전류파형 ($D > 0.5$)

$$G = \frac{V_o}{V_i} = \frac{1}{1-D} \quad (1)$$

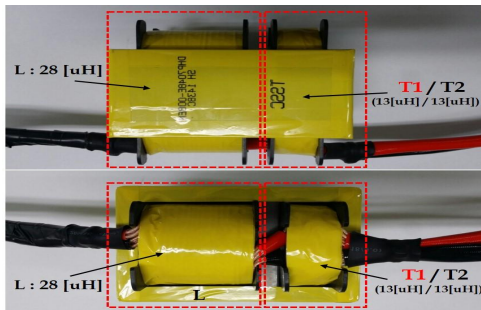
2.2 커플링 인덕터

그림 4는 본 논문에서 사용된 인덕터의 구조를 나타낸다. 그림 4와 같이 L(승압용 인덕터)과 권선방향이 서로 반대인 커플링 인덕터(T1/T2)가 하나의 코어에 결합된 구조이다.

인터리브드 부스트 컨버터에서 커플링 인덕터(T1/T2)만을 사용할 경우, 각 상의 입력 전류의 최대치가 커지고 이는 회로 구성 소자들에 발열 및 수명에 영향을 미친다. 각 상의 전류 최대치를 줄이기 위한 커플링 인덕턴스 값의 증가는 오히려 코어의 사이즈 증가를 가져온다. 따라서 DC 입력전원 라인에 직렬로 연결되는 승압용 인덕터를 전단에 위치시키고, 후단에 각 상에 에너지가 전달되도록 권선방향이 반대인 커플링 인덕터를 배치하였다. L(승압용 인덕터)과 커플링 인덕터(T1/T2)를 개별로 사용하지 않고 그림 4의 구조와 같이 하나의 코어를 공유하는 구조로 설계함에 따라 모듈의 전체적인 사이즈를 줄일 수 있으며, 인터리브드 부스트 컨버터의 입/출력 전류 리플도 저감되어 입/출력 커패시터의 수명이 증가된다. 또한 인터리브드 부스트 컨버터에서 발생하는 각 상전류 불평형 현상도 커플링 인덕터를 사용함에 따라 개선됨을 확인할 수 있다. 그림 5는 실제로 제작된 인덕터의 실제모델이며, C사의 meag-flux 재질의 EE4321C 제품 4.5조로 구성된 사진이다.



〈그림 4〉 커플링 인덕터 구조



〈그림 5〉 실제 제작된 커플링 인덕터 사진

2.3 실험결과

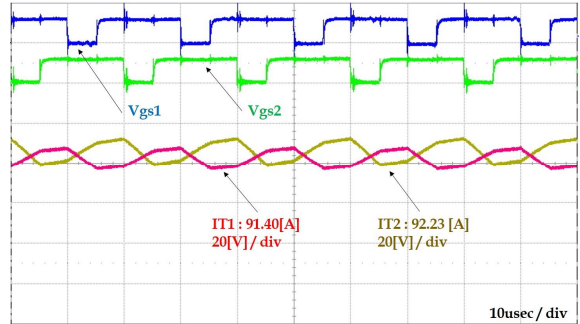
표 1은 본 논문에서 제안된 입력 저전압 대전류 사양의 인터리브드 부스트 컨버터 사양표이다. 표 2는 커플링 인덕터의 유무에 따른 각 상의 전류값이다. 커플링 인덕터를 사용하였을 때 각 상의 전류가 0.83[A] 차이가 나며, 커플링 인덕터를 사용하지 않았을 때 각 상의 전류가 6.52[A] 차이가 남을 확인할 수 있다.

〈표 1〉 인터리브드 부스트 컨버터 사양

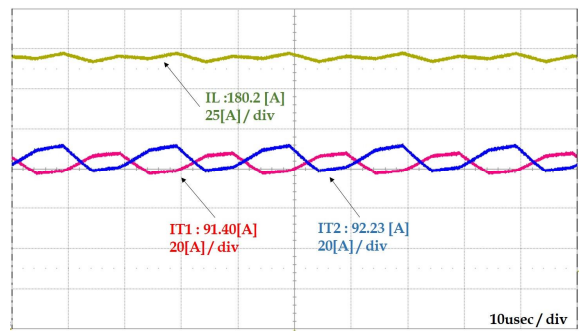
사양	
Vin [V]	18
Iin[A]	200
Vout[V]	60
Iout [A]	60
Switching frequency [kHz]	50
Boost inductor[uH]	28
coupling inductor T1[uH] /turn ratio	13 /4
coupling inductor T2[uH] /turn ratio	13 /4

〈표 2〉 전류 특성

	전류	전류값 [A] (90[%] load)
인터리브드 부스트	L1	87.16
	L2	93.68
커플링 인덕터	IT1	91.40
	IT2	92.23



〈그림 6〉 PWM 시그널 및 IT1/IT2 전류



〈그림 7〉 커플링 인덕터가 사용된 인터리브드 부스트 컨버터 입력 전류 파형

3. 결 론

본 논문에서는 커플링 인덕터를 사용한 인터리브드 부스트 컨버터에 대해서 연구하였다. 기존의 인터리브드 부스트 컨버터와 비교분석을 하였으며, 시제품을 제작하였다. 커플링 인덕터를 사용하여 입/출력 전류 리플 저감을 확인하였으며, 이로 인한 회로구성 소자들의 발열 저감, 스트레스가 감소됨을 확인하였다. 또한, 각 상의 전류 불평형 문제도 개선됨을 확인 하였다. 그리고 부스트 인덕터와 커플링 인덕터를 하나로 결합하여 사용함으로써 인덕터의 전체 사이즈를 줄일 수 있어 공간을 효율적으로 활용할 수 있었다.

[참 고 문 헌]

- [1] 김윤호, 김지민, 문현욱, 정은진, 원충연, “고전력 연료전지 시스템을 위한 커플링 인덕터를 사용한 DC/DC 부스트 컨버터”, 전력전자학회 논문집, P489~493, 07. 2004.
- [2] X Huang, X Wang, “Parasitic Ringing and Design Issue of High power interleaved boost converter”, Power Electronics Specialists Conference, 2002 IEEE 33rd Annual, Vol. 1, pp30~pp35, July. 2002
- [3] G. V. Torrico-bascope, and Ivo Barbi, “A Single Phase PFC 3kW Converter Using a Three-State Switching Cell”, 2004 35th Annual IEEE Power Electronics Specialists Conference, pp4037~pp4042, 2004