

다중 결합 인덕터를 적용한 Floating-Output Interleaved-Input Boost 컨버터에 관한 연구

김요환, 차헌녕

경북대학교

A Study on Floating-Output Interleaved-Input Boost Converter with Multi-Winding-Coupled-Inductor

Yohwan Kim, Honnyong Cha

Kyungpook National University

ABSTRACT

기존의 floating-output interleaved-input boost 컨버터(이하 FOII boost 컨버터)는 결합 인덕터 기반의 clamp-mode boost 컨버터가 병렬 연결된 구조로, 단일 clamp-mode boost 컨버터에 비해 큰 전압이득을 얻을 수 있으며 전력반도체의 전압 스트레스가 낮은 장점이 있다. 반면, 두 개의 결합 인덕터가 요구되므로 자기소자의 부피가 증가한다. 본 논문에서는 FOII boost 컨버터의 두 결합 인덕터를 하나의 코어로 구성함으로써 자기소자의 부피와 인덕터에 흐르는 전류 리플을 감소시킬 수 있는 multi-winding-coupled-inductor 구조를 제안한다.

1. 서론

일반적인 부스트 컨버터는 높은 전압이득이 필요할 때, 과도한 시비율에 의해서 스위치 및 반도체 소자에 손실이 발생한다. 이를 보완하기 위해 결합 인덕터를 사용하여 보다 높은 전압이득을 갖는 전력변환 장치들이 연구되었으며, 결합 인덕터를 사용할 때 누설 인덕턴스에 의한 서지전압과 스위치 및 반도체 소자의 높은 전압 스트레스의 저감 방안에 대한 연구 또한 진행되고 있다^{[1],[2]}.

본 논문에서는 앞서 언급된 연구중 하나인 FOII boost 컨버터^[2]에 적용 가능한 다중 결합 인덕터를 제안하며 제안하는 결합 인덕터의 전류 리플저감 효과를 분석하고 시뮬레이션을 통해 검증한다.

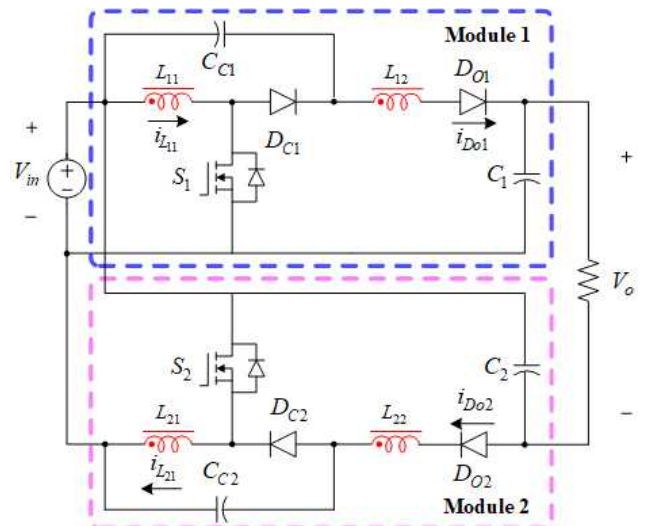
2. 본론

2.1 회로 구조 및 인덕터 결합 시 효과

그림 1은 각 모듈의 결합 인덕터를 하나로 결합한 FOII boost 컨버터를 나타낸다. 컨버터의 전압 이득은 식 (1)과 같다.

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

그림 2는 제안하는 FOII boost 컨버터의 스위치 신호와 인덕터 전류 파형으로 각 모듈의 스위치는 180°의 위상 차를 가지고 동작하며 시비율이 0.5보다 작은 경우를 나타낸다.



1 제안하는 구조의 다중 결합 인덕터를 적용한 FOII boost 컨버터의 구조

Fig. 1 Configuration of the FOII boost converter with proposed multi-winding-coupled inductor

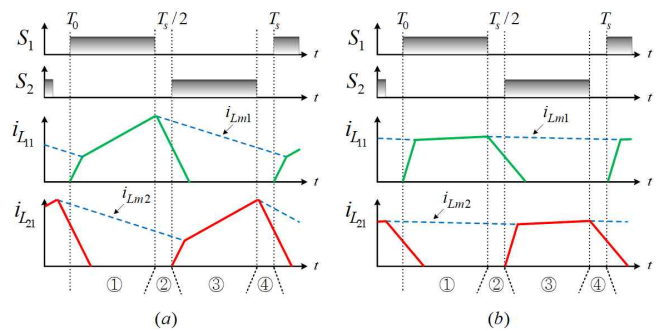


그림 2 인덕터 전류 파형 (a) 결합 전, (b) 결합 후
Fig. 2 Current waveforms of coupled inductor (a)non-coupled, (b)coupled

결합 인덕터의 전류(i_{L_i})는 식 (2)를 통해 자화전류(i_{Lm1})와 권선비가 반영된 출력측 다이오드 전류(ni_{D_o})의 관계로 나타낼 수 있으며, 그림 2와 같이 인덕터 전류 파형에 반영된 자화전류의 리플을 확인할 수 있다.

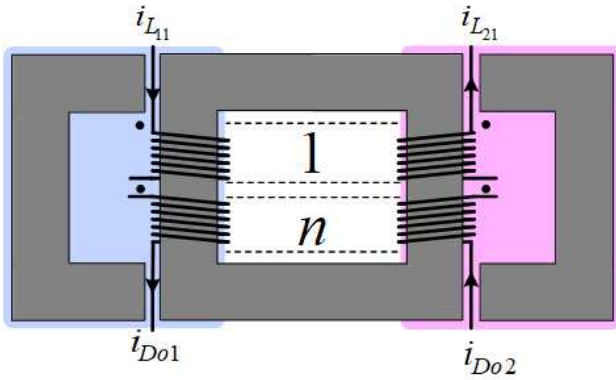


그림 3 제안하는 구조의 다중 결합 인덕터
Fig. 3 Configuration of proposed multi-winding coupled-inductor

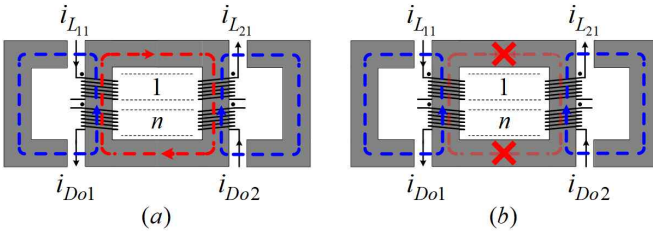


그림 4 회로 동작시 코어에서의 자속 방향 (a) 구간 ①, ③, (b) 구간 ②, ④
Fig. 4 Flux direction at (a) mode ①, ③, (b) mode ②, ④

$$i_L = i_{Lm} - n i_{Do} \quad (2)$$

그림 3은 4개의 U core로 구성된 다중 결합 인덕터이다. 제안하는 구조는 각 모듈에서의 전력전달 기능을 유지하면서 포화를 방지하는 권선 수와 전류 방향이 고려되었다.

그림 2에 나타난 것과 같이 각 모듈의 스위치가 켜져있는 동안 자화전류는 증가하고 스위치가 꺼지는 순간부터 감소하기 시작한다. 이에 따라서 결합 된 인덕터 코어에 흐르는 자속도 증감한다.

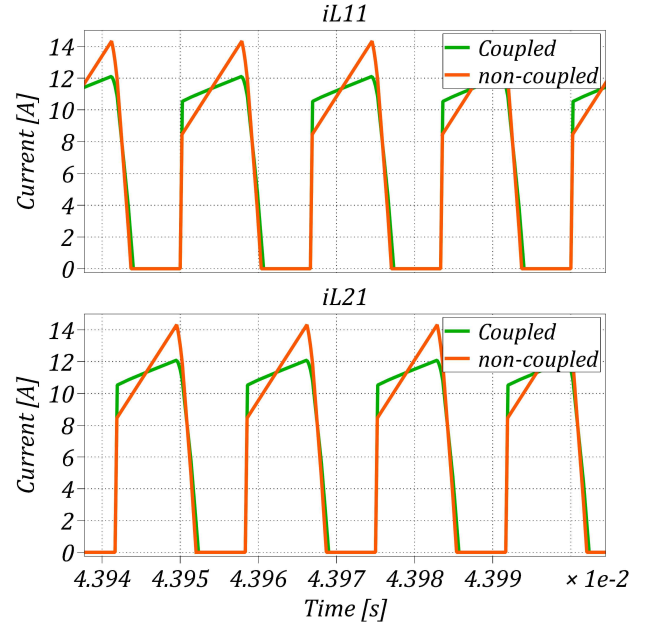
그림 4(a)는 그림 2에 표시한 S_1 이 켜지고 S_2 은 꺼져있는 상태에서 코어에 흐르는 자속의 방향을 나타낸다. 각 모듈에서 발생하는 자속의 방향이 서로 같아 구간①에서는 인덕턴스가 증가하며 이에 따라 인덕터 전류 리플이 저감된다. 동일한 원리가 S_1 이 꺼지고 S_2 은 켜져있는 구간③에서도 적용된다.

그림 4(b)는 각 모듈의 스위치가 모두 켜져있거나 꺼져있는 상태에서 코어에 흐르는 자속이 서로 상쇄됨을 나타낸다. 따라서 각 모듈에서 발생하는 자속은 각 모듈의 결합 인덕터를 하나로 결합하기 전과 동일한 인덕턴스를 가지며 인덕터 전류 리플에 영향을 주지 않는다.

2.2 시뮬레이션 결과 및 분석

제안하는 구조의 다중 결합 인덕터의 전류 리플 저감 효과를 확인하기 위해 PLECS 시뮬레이션을 진행하였다. 그림 3과 같은 구조를 적용하기 위해 자기모델을 사용하였고 각 모듈의 결합하기 전 인덕턴스를 동일하게 $50 \mu H$ 가 되도록 권선 수와 코어의 사양을 설정하였다.

그림 5는 시뮬레이션 결과를 나타낸다. 인덕터 전류를 통해서 보이는 자화전류의 리플은 결합하기 전보다 결합한 후 약 74% 감소하였다.



5 인덕터 결합 유무에 따른 인덕터 전류파형
Fig. 5 Current waveforms when inductors are coupled and non-coupled

3. 결론

본 논문에서는 floating-output interleaved-input boost 컨버터에 적용 가능한 다중 결합 인덕터를 제안하였다. 기존의 FOII boost 컨버터는 높은 전압 이득과 낮은 전압 스트레스를 갖지만 두 개의 결합 인덕터를 사용하므로 자기소자의 부피가 크다. 제안하는 구조의 다중 결합 인덕터는 회로 동작 시, 인덕턴스가 증가하는 동작상태가 존재하기 때문에 기존의 결합 인덕터보다 인덕터 전류 리플이 작다. 따라서 동일한 인덕터 전류 리플이 발생하는 경우 자기소자의 부피를 감소시킬 수 있다.

시뮬레이션 프로그램을 통해 각 모듈의 인덕터 전류를 결합하기 전후로 비교하였으며, 제안하는 구조의 다중 결합 인덕터를 회로에 적용하였을 때 효과적으로 인덕터 전류 리플이 저감되는 것을 검증하였다.

이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임.
(NRF-2021R1A2C2007879)

참고 문헌

- [1] Qun Zhao, Fengfeng Tao and F. C. Lee, "A front-end DC/DC converter for network server applications," *2001 IEEE 32nd Annual Power Electronics Specialists Conference*, Vancouver, BC, Canada, 2001, pp. 1535-1539 vol. 3
- [2] A. Kianpour, M. Jabbari and G. Shahgholian, "High step-up floating-output interleaved-input coupled-inductor-based boost converter," *2016 24th Iranian Conference on Electrical Engineering (ICEE)*, Shiraz, Iran, 2016, pp. 1088-1093