

결합인덕터 방식을 이용한 비절연형 2단 부스트 컨버터 설계

김규동¹, 김준구¹, 황선희¹, 원중연¹, 정용채²
 성균관대학교¹, 남서울대학교²

Design of Non-isolated 2-stage Boost Converter Using Coupled Inductors

Kyu Dong Kim¹, Jun Gu Kim¹, Sun Hee Hwang¹, Chung Yuen Won¹, Yong Chae Jung²
¹Sungkyunkwan University, ²Namseoul University

ABSTRACT

In some cases of grid connected system using photovoltaic modules, high voltage step up ratio is required. In this paper, non isolated 2 stage cascaded boost converter with coupled inductor is proposed. Due to reduce the input current ripple and size of the inductor by using coupled inductor method, this topology is suitable for MIC(Module Integrated Converter). The operational characteristic of the proposed topology is verified through the theoretical analysis, simulation and experimental waveform.

1. 서 론

계통 연계형 태양광 발전시스템의 경우 220V의 교류전압을 얻기 위하여 DC Link 단에 380V 전압이 인가되어야 한다. 이때 태양전지의 20~30V의 낮은 출력 전압을 승압하기 위한 방법이 요구된다. 고승압을 위한 DC DC 컨버터는 절연형 방식과 비 절연형 방식이 있는데 절연형 방식은 변압기를 사용함으로써 전기적인 절연과 승압비를 높일 수 있다는 장점이 있지만 부피가 크고 변압기의 손실이 발생한다는 단점이 있다. 따라서 비 절연형 방식으로 부피도 저감하고 고승압을 얻기 위한 2단 부스트 컨버터 방식이 연구되고 있다. 하지만 기존의 2단 부스트 방식 또한 2개의 인덕터를 직렬로 가져가기 때문에 부피가 커지고 손실이 증가하게 된다.^[1] 본 논문에서는 제안하는 결합인덕터 방식을 사용하여 인덕터의 크기를 줄일 수 있다. 또한 인덕터 설계를 통하여 최적화된 결합계수를 산정할 수 있고 그에 따라 입력 및 출력 전류 리플을 저감시킬 수 있기 때문에 안정된 출력을 얻을 수 있다.

2. 결합인덕터를 사용한 2단 부스트 컨버터

2.1 기존의 2단 부스트 컨버터

그림 1은 고 승압비를 가져가기 위한 방법으로 부스트 컨버터를 직렬로 연결한 비절연형 2단 부스트 컨버터 방식이다.^[1] 2단 부스트 컨버터에서 DC Link 전압을 380V 까지 승압하려면 0.72 정도의 높은 승압비를 필요로 하는데 이는 기생성분에 의한 손실을 가져오므로 원하는 전압전달비를 얻기 어렵다. 따라서 출력 단에 DEC(Double Enhanced Circuit)를 추가하여 2배

의 전압전달비를 가져갈 수 있고 승압비를 0.608까지 낮출 수 있다.

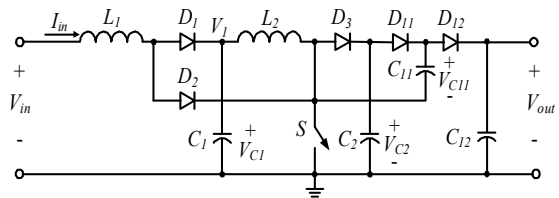


그림 1 기존의 2단 부스트 컨버터
 Fig. 1 Conventional 2-stage boost converter

2.2 제안하는 토폴로지

그림 2의 제안하는 결합 인덕터 방식의 부스트 컨버터는 기존의 시스템과 동일한 입출력 조건에서 더 작은 인덕턴스를 갖고 입력전류 리플을 감소시킬 수 있다는 장점을 가진다.

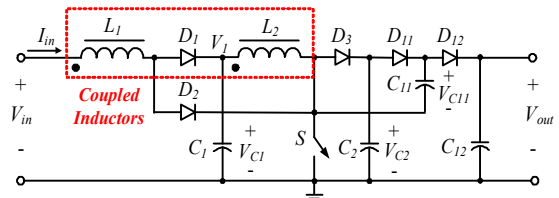


그림 2 제안하는 결합 인덕터 방식의 2단 부스트 컨버터
 Fig. 2 Proposed 2-stage boost converter with coupled inductor

2.3 최적의 결합계수 선정

입력전류 리플과 결합 계수와의 관계를 알기 위하여 등가회로 모델링을 적용하였다.^[2] 아래의 그림 3은 스위치 턴 온, 오프 시 등가회로이고 결과 식을 정리하면 식 (1), (2)와 같다.

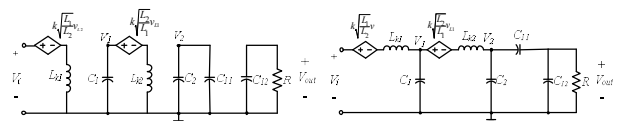


그림 3 스위치 턴 온, 오프 시 등가회로
 Fig. 3 Equivalent circuit at the switch turn on and off

$$\begin{cases} \Delta i_{L1} = \frac{v_{in} - k\sqrt{\frac{L_1}{L_2}}v_{L2}}{L_{k1}}DT = \frac{\left(1 - k\sqrt{\frac{L_1}{L_2}}\frac{1}{(1-D)}\right)v_{in}}{(1-k^2)L_1}DT \\ \Delta i_{L2} = \frac{v_1 - k\sqrt{\frac{L_2}{L_1}}v_{L1}}{L_{k2}}DT = \frac{\left(\frac{1}{(1-D)} - k\sqrt{\frac{L_2}{L_1}}\right)v_{in}}{(1-k^2)L_2}DT \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} \Delta i_{L1} = \frac{\left(1 + \left(k\sqrt{\frac{L_1}{L_2}}D - (1-D)\right)\frac{1}{(1-D)^2}\right)v_{in}}{(1-k^2)L_1}(1-D)T \\ \Delta i_{L2} = \frac{\left(\frac{1}{(1-D)} - \frac{1}{(1-D)^2} + k\sqrt{\frac{L_2}{L_1}}\frac{D}{1-D}\right)v_{in}}{(1-k^2)L_2}(1-D)T \end{cases} \quad (2)$$

위의 수식을 MATLAB을 통하여 최적의 결합계수 k 값을 찾는다.

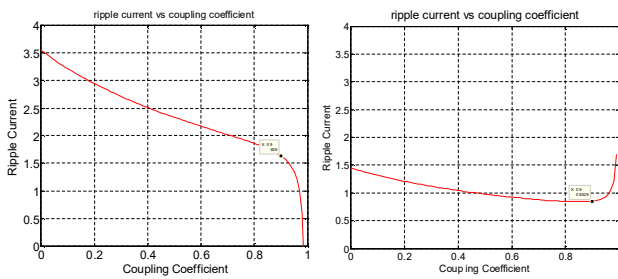


그림 4 전류 리플과 결합 계수와의 관계
Fig. 4 Relation between the input current ripple and the coupling coefficient k

위의 과정을 확인해 보면 결합계수가 0.9 일 때 L_2 전류 리플이 최소값 0.8529A를 갖고 0.9 이상에서는 전류 리플이 다시 상승하므로 최적의 결합 계수 값을 0.9 로 선정한다.

2.4 결합 인덕터 설계

위 방법으로 결정한 결합계수를 통하여 L_1 과 L_2 인덕터의 누설 인덕턴스를 산정하고 이 값을 맞추기 위해 공극과 턴 수를 조절하여 인덕터를 설계하였다. 본 논문에서는 요구하는 누설 인덕턴스 값을 맞추기 위하여 Section Winding 기법을 사용하여 인덕터를 설계 하였다. 누설 인덕턴스는 식 (3)과 같이 권선 수와 1차 축과 2차 축 사이의 절연층의 크기에 비례한다. MIC에 적용하기 위하여 최대한 부피가 작아야 하고 높이에 제한이 있기 때문에 EFD 코어를 선정하였다. EFD 코어를 사용하고 공극과 권선 수, 절연층의 두께를 조절하여 원하는 값의 인덕터를 설계 하였다.^{[3][4]}

$$L_k = \frac{4\pi(MLT)N_p^2}{b} \left(c + \frac{\Sigma a}{3}\right) (10^{-9}) [H] \quad (3)$$

표 1 설계된 결합 인덕터 파라미터 값
Table 1 Designed coupled inductor parameters

	1차축	2차축	단위
절연층 두께	2	2	[mm]
공극	0.22	0.22	[mm]
턴수	21	52	[turns]
인덕턴스	160.5	950	[μH]
누설 인덕턴스	33.5	241	[μH]

3. 시뮬레이션

그림 5는 인덕터 전류리플과 출력 전압 리플을 시뮬레이션을 통하여 표 2에 기술하였고 그 결과로 제안하는 결합인덕터 방식은 기존의 방식보다 전류 리플이 각 인덕터에서 0.789A, 0.378A 정도 감소한다는 것을 확인하였다.

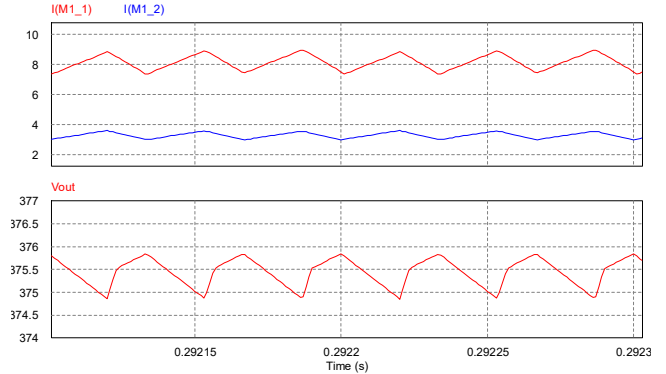


그림 5 제안된 토폴로지의 인덕터 전류, 출력 전압 파형
Fig. 5 Input current and output voltage of proposed two-stage boost converter

표 2 기존 방식과 제안하는 방식의 전류 리플 비교
Table 2 Comparison of inductor current ripple between each case of 2-stage boost converter

	기존 방식	제안하는 방식	단위
Δi_{L1}	2.387	1.598	[A]
Δi_{L2}	0.951	0.573	[A]

4. 결론

본 논문은 기존의 2단 부스트 컨버터의 입력 전류 리플을 저감하기 위하여 결합 인덕터를 사용하였고, 결합 인덕터를 설계하는 방법을 제안한다. 첫 번째단과 두 번째단의 인덕터를 결합시켜 하나의 코어를 공유함으로써 전체적인 인덕터 크기를 줄일 수 있고 입력전류 리플을 줄일 수 있다. 위의 과정은 일반적인 등가회로를 통해서 수식적인 유도도 증명이 되었고 또한 시뮬레이션을 통하여 검증하였다.

본 논문은 교육과학기술부의 지원으로 수행한 중견 연구자 지원사업(2011 0015584)의 연구 결과입니다.

참고 문헌

- [1] F.L Luo and H. Ye, "Positive output cascade boost converters" Electric Power Applications, IEE Proceedings, 2004, pp. 590 606.
- [2] G. Zhu, B. McDonald, and K. Wang, "Modeling and analysis of coupled inductors in power converters" Proc. of IEEE APEC 2009, pp. 83 89.
- [3] L. H. Dixon, "Coupled Inductor Design" Unitrode Seminar Manual SEM900, Topic 8, 1993.
- [4] Colonel WM. T. McLyman, *Transformer And Inductor Design Handbook*, Third Edition, MARCEL DEKKER, Inc, pp. 17 2 7.