

태양광 발전 PCS에 적용되는 부스트 컨버터 효율 분석

이희서, 김동희, 최규영, 이병국
 성균관대학교 정보통신공학부

Analysis of PV PCS Boost Converter Efficiency

Hee Seo Lee, Dong Hee Kim, Gyu Yeong Choe, Byoung Kuk Lee
 School of Information & Communication Engineering, Sungkyunkwan University

ABSTRACT

본 논문에서는 전력반도체 소자의 다양한 파라메타를 적용하여 주파수의 변화에 따른 부스트 컨버터의 효율 변화를 분석한다. 적용 대상은 3kW급 태양광 발전 PCS 내부의 부스트 컨버터이며 실제적인 사용환경을 고려하기 위하여 하드 스위칭과 소프트 스위칭 토폴로지, 입력 전압, 작동 온도를 고려한다. 그리하여 효율 측면에서 최적화된 부스트 컨버터 토폴로지 설계를 위한 손실 분석을 수행한다.

1. 서론

최근 화석연료 고갈과 지구 온난화 현상에 따른 대책이 절실해지고 있다. 특히 지난 3월 일본 대지진에 기인한 후쿠시마 원전 피해로 인해 발전 과정에서 오염물질 배출이 없는 태양광 발전이 주목받고 있다. 하지만 한정된 대지 면적을 사용하는 태양광 발전 시스템이 기존의 상용 발전 시스템을 대체할 정도의 많은 전력을 얻기 위해서는 효율 개선이 필요하다. 효율 개선을 위해서는 태양광 PCS를 설계 할 때 최적 효율을 갖는 토폴로지 선정이 중요하다. 최적의 토폴로지 선정을 위해서는 다양한 토폴로지에 대하여 여러 손실 요소를 고려한 효율 분석이 필요하다.

그러므로 본 논문에서는 태양광 발전 PCS에 적용되는 부스트 컨버터를 설계할 때 최고 효율을 갖는 토폴로지를 선정하기 위한 효율 분석 과정에 대하여 알아보았다. 손실 분석 방법으로는 1)동작 모드에서 각 소자에서 발생하는 손실 2)일사량의 변화에 따른 태양광 모듈 출력전압 가변 3)스위칭 주파수의 변화에 따른 효율 변화 4)DCM과 CCM 제어의 손실 분석 차이^[1] 5)작동온도에 따른 소자의 파라메타 변화의 다섯 가지를 고려하였다.

2. 부스트 컨버터 효율 분석

2.1 부스트 컨버터 토폴로지

그림 1은 태양광 모듈로부터 직류 전압을 입력받아서 승압한 뒤 인버터에 공급하는 부스트 컨버터 토폴로지를 나타낸다. 토폴로지는 두 가지를 선택하였는데 스위칭 주파수에 따른 효율 변화를 고려하기 위하여 기본적인 하드스위칭 토폴로지와 단일 스위치와 추가 소자를 사용하여 ZVS/ZCS를 구현한 소프트 스위칭 토폴로지를 비교한다.^[2]

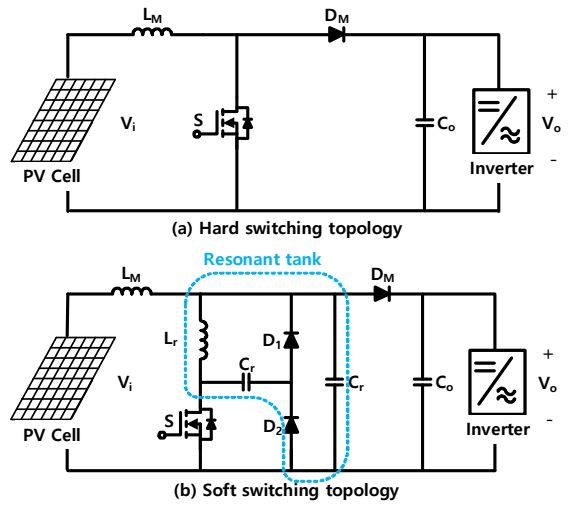


그림 1 부스트 컨버터 토폴로지 (Hard/Soft switching)
 Fig. 1 Boost converter topology (Hard/Soft switching)

하드 스위칭 방식은 소자 수가 적고 구조가 간단하므로 가격과 모드 분석 및 부피 면에서 장점을 갖는다. 반면에 스위칭 주파수가 증가할수록 손실이 선형적으로 증가하는 단점이 있다. 소프트 스위칭 방식은 스위칭 주파수가 증가함에 따르는 손실 증가가 적다. 하지만 ZVS/ZCS를 구현하기 위해 추가되는 소자들로 인해 도통 손실이 증가하며 동작 모드가 복잡하므로 제어가 어려워진다.

2.2 손실 분석 요소

토폴로지 효율을 분석하기 위해 우선 각 토폴로지의 소자를 적절하게 선택한다. 본 논문에서는 스위치, 다이오드, 커패시터는 일정하게 고정하고 승압용 인덕터를 스위칭 주파수의 가변과 CCM/DCM의 각 경우에 따라 각각 일련의 과정을 거쳐 설계하였다^[3]. 표 1은 본 논문에서 선택한 부스트 컨버터의 정격과 소자 목록을 나타낸다.

표 1 부스트 컨버터 정격 및 소자특성
 Table 1 Boost converter specification and device parameter

Parameter	Value, Type	Parameter	Value, Type
정격 용량	3300 [W]	출력전압	400 [V]
입력전압	150~300 [V]	스위칭주파수	10~100 [kHz]
스위치	IPW60R045CS (CoolMOS)	다이오드	IDT16S60C (SiC DIODE)
인덕터코어	HighFlux	출력커패시터	680uF

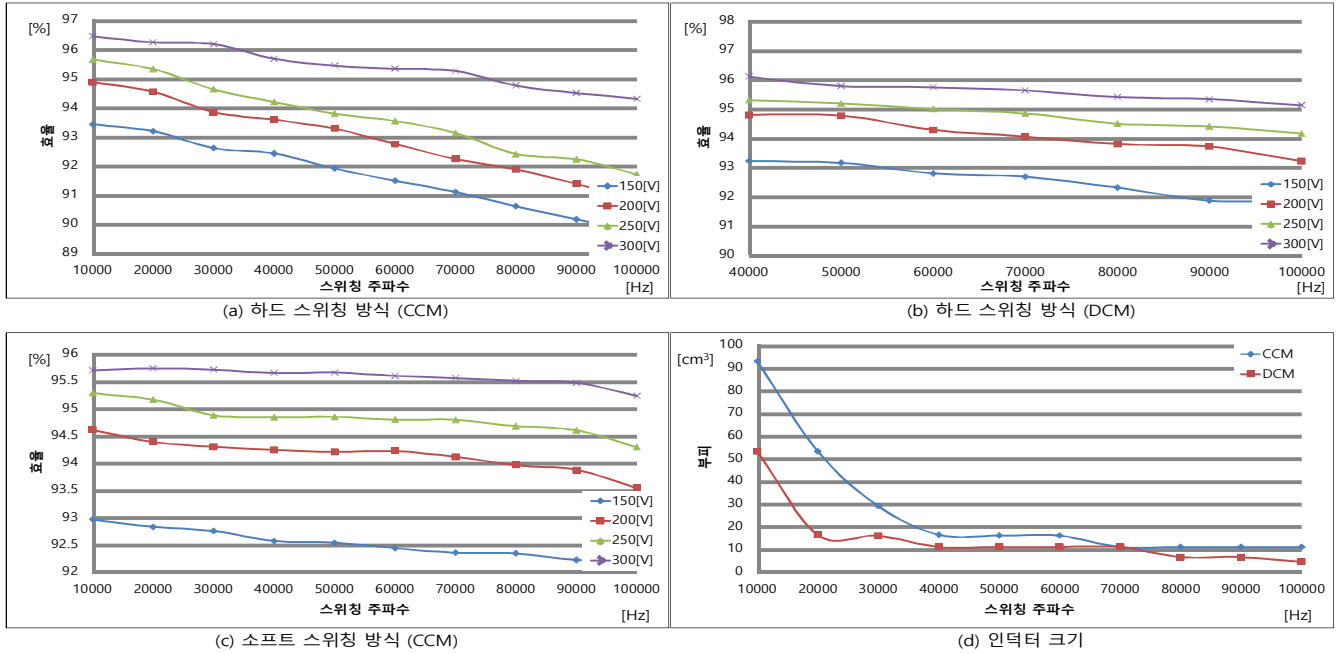


그림 2 부스트 컨버터의 효율 및 인덕터 크기 변화
Fig. 2 Hard switching boost converter efficiency and inductor size variation

토폴로지에서 발생하는 손실 계산은 식 (1) (4)의 각 소자에서 발생하는 손실 수식을 토대로 다양한 변수를 고려하여 손실을 계산한다. 첫째 하드 스위칭 방식과 소프트 스위칭 방식의 차이를 고려한다. 즉 소프트 스위칭 방식은 식 (1)의 도통손실이 증가하는 반면 스위칭 주파수 증가에 따른 스위칭 손실은 거의 없다. 둘째 태양광 모듈의 출력 전압 가변을 고려한다. 태양광 모듈은 일사량에 따라 출력 전압이 달라지므로 이를 고려해야 한다. 셋째 DCM과 CCM의 모드 분석이 달라진다. DCM 동작은 인덕터 전류가 0이 되는 구간이 존재하므로 스위칭 손실이 줄어드는 반면 전류 리플이 커져 소자 스트레스가 증가한다. 온도 특성은 각 소자에서의 손실 발생과 외부 환경으로 인한 작동 온도를 50°C를 기준으로 하여 온도에 따른 파라미터 변화를 고려한다.

$$P_{FET} = P_{SW} + P_{COND} \quad (1)$$

$$P_{DIODE} = P_{tfr} + P_{trr} + P_{COND} \quad (2)$$

$$P_{fe} = \alpha \times \Delta B^{\beta} \times f^{\gamma}, P_{cu} = I_w^2 \times R_w \quad (3)$$

$$P_{cap} = I_{cap}^2 \times ESR \quad (4)$$

2.3 손실 분석 결과

그림 2는 태양광 PCS에서 승압용 DC DC 컨버터에서의 효율을 분석한 그래프와 주파수에 따른 메인 인덕터 코어의 크기 변화를 나타낸다. 손실 계산은 표 1에 나타난 정격의 태양광 발전 시스템을 기준으로 하였다.

그림 2 (a) 및 (b)는 하드스위칭 토폴로지의 CCM과 DCM 각각의 주파수와 입력전압을 가변 하였을 경우 효율이 변화하는 것을 나타낸 그래프이다. 그래프를 보면 전반적으로 입력전압이 높아질수록 효율이 좋아지는 것을 확인 할 수 있다. 또한 인덕터는 코어 크기에 손실이 큰 영향을 받는데 코어를 설계할 때 상용품을 이용하였기 때문에 효율 특성이 선형적으로 변화하지 않는다. CCM과 DCM의 효율을 비교하면 DCM은 인덕터

전류 리플이 크기 때문에 CCM보다 철손이 크지만 소자 사이즈가 작아지므로 동손이 작아져서 손실은 줄어든다.

그림 2 (c) 및 (d)는 소프트 스위칭 토폴로지의 효율과 CCM과 DCM의 주파수에 따른 메인 인덕터 코어의 크기 변화를 나타낸다. 전체적인 손실은 하드 스위칭 CCM 방식에서 추가된 소자들로 인해 도통 손실이 증가하였고, 스위칭 손실은 매우 작으므로 무시되었다. 그러므로 30kHz 이하의 저주파수에서는 하드 스위칭 방식이 효율이 더 좋으나 각 입력 전압마다 특정 주파수를 지나면 소프트 스위칭 방식이 더 좋다.

이처럼 모든 환경에서 가장 효율이 좋은 토폴로지를 선택하기는 매우 어렵지만 다양한 변수를 고려하여 균형을 유지한다면 특정 환경에서 최적의 토폴로지를 선택할 수 있음을 알 수 있다.

3. 결론

본 논문에서는 비절연 태양광 발전 PCS에 적용되는 다양한 부스트 컨버터 토폴로지에 대한 손실을 다양한 측면에서 분석하였다. 이러한 분석 과정을 통해 태양광 PCS 설계에서 특정 환경에 최적화된 효율을 갖는 토폴로지를 선정할 수 있게 된다.

참고 문헌

- [1] W. Aloisi, G. Palumbo, "Efficiency model of boost dc dc PWM converters", International Journal of Circuit Theory and Applications, Vol. 33, No. 5, pp. 419-432, 2005, October.
- [2] Doo Yong Jung, Jae Hyeng Kim, Young Hyok Ji, Chung Yuen Won, Yong Chae Jung, "Soft Switching Boost Converter using a Single Switch", 전력전자학회 논문지 Vol.14, No.3, pp. 211-219, 2009, June.
- [3] ChangSung Corporation, "MAGNETIC POWDER CORES," Ver. 08.