

# 부스트 컨버터 토폴로지의 스위칭 주파수에 따른 손실 분석

김동희\*, 최규영\*, 이병국\*, 이태원\*\*

\*성균관대학교

\*\*삼성전기

## Loss Analysis of According to Switching-Frequency for Boost Converter Topology

Dong-Hee Kim\*, Gyu-Yeong Choe\*, Byoung-Kuk Lee\* and Tae-Won Lee\*\*

\*School of Information & Communication Engineering, Sungkyunkwan University

\*\*Samsung Electro-Mechanics

### ABSTRACT

본 논문에서는 부스트 컨버터 토폴로지의 하드스위칭 기법과 소프트스위칭 기법의 주파수에 따른 손실을 분석한다. 이에 따라 스위칭 주파수에 따른 최소의 손실이 발생하는 토폴로지를 도출한다. 각각의 손실 분석은 실제 소자의 파라미터를 동일하게 적용하여 이론적으로 분석 한다.

### 1. 서론

지구 온난화 및 화석연료 소진으로 인해 신재생에너지에 대한 연구가 활발히 진행되고 있고, 다른 한편으로는 만들어져 있는 전기 에너지를 효율적으로 활용할 수 있는 고효율 전력변환 장치에 대한 연구도 주목받고 있다. 고효율 전력변환 장치는 주로 스위칭 손실을 저감할 수 있는 기법, 방열설계 최적화 및 수동 소자 최적화로 이루어질 수 있다<sup>[1]</sup>. 이 중 스위칭 손실을 저감할 수 있는 기법인 Soft Switching 기법에 대한 연구는 많이 이루어져있지만 이러한 토폴로지가 기본적인 구조의 전력변환 장치보다 항상 효율이 높지 않게 된다. 이는 스위칭 손실을 저감하지만 추가적인 부품을 사용함에 따라 추가적인 손실이 기본적인 토폴로지보다 더 클에서 기인하기 때문이다.

따라서 본 논문은 일반적인 Hard Switching 동작을 하는 부스트 컨버터와 소프트 스위칭을 하는 부스트컨버터를 단상 및 2상 인터리브드 방식으로 구현하였을 시 주파수에 따른 효율을 분석 하였다. 각각의 분석은 실제 소자의 파라미터를 이용하여 계산하였다.

### 2. 토폴로지에 따른 손실 계산

#### 2.1 부스트 컨버터 토폴로지

그림 1은 일반적인 부스트 컨버터의 토폴로지로서 사용되는 소자의 수가 적지만 스위치의 On, Off에 따른 손실이 발생하는 단점을 가지고 있어, 고주파로 갈수록 효율 및 방열 문제로 인해 사용하기 힘들다.

그림 2는 ZCS (Zero Current Switching) 및 ZVS (Zero Voltage Switching)이 가능한 토폴로지로서 추가적인 스위치, 다이오드, 공진 인덕터 및 캐패시터를 추가하여 동작된다. 일반적인 부스트 컨버터보다 많은 소자를 사용하였기 때문에 가격

적인 측면에서 약점을 가지고 있으며, 만약 동작하는 스위칭 주파수에서 저감할 수 있는 스위칭 손실보다 추가적인 소자로 인한 손실이 더 큰 상황이 발생할 수 있다.

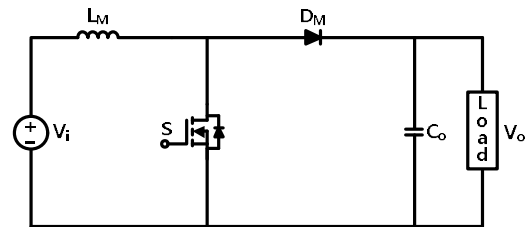


그림 1 일반적인 hard switching 부스트 컨버터  
Fig. 1 Hard switching boost converter topology

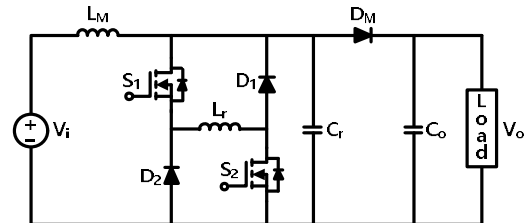


그림 2 Soft switching 기능을 갖는 컨버터<sup>[2]</sup>  
Fig. 2 Soft switching converter topology

#### 2.2 손실 계산<sup>[3]</sup>

본 논문에서는 스위칭 주파수에 따른 토폴로지별 효율 분석을 수행 하므로 스위치, 공진 인덕터, 공진 캐패시터 및 다이오드에서 발생되는 손실을 비교하였다. 각각의 토폴로지에서의 메인 인덕터  $L_M$  및 출력 캐패시터  $C_O$ 에서 발생 되는 손실은 동일하다고 가정하였기 때문에 고려하지 않았다.

##### 2.2.1 스위치 손실

스위치의 전력 손실은 크게 스위칭 손실 ( $P_{SW}$ ) 도통 손실 ( $P_{COND}$ ) 및 스위치 내부 캐패시턴스 충전 손실 ( $P_{COSS}$ )로 나눌 수 있다. 일반 하드 스위칭 기법의 경우 스위치 On, Off에 따른 스위치의 드레인-소스간 전압과 전류가 겹치게 되면서 생기는 손실이고 주파수에 따라 스위칭 손실이 선형적으로 증가하는 특징이 있으며, ZVS-ZCS 스위칭을 하는 토폴로지의 경우는 스위칭 손실을 0에 가깝게 제어 할 수 있는 장점을 가진다. 도통 손실은 스위치가 도통 되었을 때 흐르는 전류가 스

위치의 내부저항 ( $R_{DS(ON)}$ )에 의해 손실되는 전력을 의미하므로 스위칭 주파수에 영향이 없고 식 (1)과 같이 표현된다. 캐패시터 충전 손실은 스위치 On이 되는 과정에서 스위치 내부에 존재하는 캐패시턴스 ( $C_{OSS}$ )가 충전되면서 생기는 손실로 스위치가 On 될 때마다 생기는 손실이므로 스위칭 주파수 및 출력 캐패시턴스에 영향을 받게 되고, 이에 따라 스위치에서 발생하는 총 손실은 식 (2)와 같이 표현되며 스위치에서 발생하는 총 손실은 식 (3)과 같다.

$$P_{COND\_FET} = I_{IN\_RMS}^2 \times R_{DS(ON)} \times D_{on} \quad (1)$$

$$P_{COSS} = \frac{C_{OSS} \times V_{IN}^2 \times F_{SW}}{2} \quad (2)$$

$$P_{FET} = P_{SW} + P_{COND} + P_{COSS} \quad (3)$$

### 2.2.2 다이오드 손실

다이오드에서 발생하는 손실은 크게 역회복 손실 ( $P_{trr}$ )과 도통 손실 ( $P_{COND\_DIODE}$ )로 이루어진다. 역회복 손실은 다이오드 Off시 역회복 시간에 의해 발생하는 손실로 스위치에 인가되는 역전압 ( $V_R$ ), 역회복 최대전류 ( $I_{RRM}$ ), 다이오드 자체의 역회복 시간 ( $t_{rr}$ ) 및 스위칭 주파수가 변함에 따라 손실도 따라서 변하게 되고 식 (4)와 같이 표현된다. 도통 손실은 다이오드 On 시 내부저항에 의해 발생하는 내부 등가저항 손실 ( $P_{RD}$ ) 및 정방향 전압강하로 인해 발생하는 손실 ( $P_{VF}$ )이 있고 식 (5), (6) 같이 표현된다. 전체 손실은 이들의 합으로 표현된다.

$$P_{trr} = \frac{V_R \times I_{RRM}}{2} \times t_{rr} \times F_{SW} \quad (4)$$

$$P_{RD} = R_D \times I_{RMS}^2 \quad (5)$$

$$P_{VF} = V_F \times I_S \times (1 - D_{ON}) \quad (6)$$

### 2.2.3 부스트 컨버터 사양

표 1은 논문에서 사용된 부스트 컨버터의 전체적인 사양이고 손실계산에 필요한 파라미터만 표기하였다. 스위치는 IXFN 48N60P MOSFET의 데이터를 사용하였고, 메인다이오드 및 공진 다이오드는 30EPF06PbF FR타입 다이오드의 데이터를 사용하였다.

표 1 부스트 컨버터 사양

Table 1 Specification of boost converter

Parameter	Value, Type	Parameter	Value, Type
정격 용량	3000 [W]	출력전압	380 [V]
입력전압	200 [V]	스위칭 주파수	5~100 [kHz]
스위치	IXFN 48N60P	다이오드	30EPF06PbF

### 2.3 손실 분석

표 1의 사양을 이용하여 일반적인 부스트 컨버터의 단상 및 2상 인터리브드 타입의 컨버터의 스위치 및 다이오드에서 발생하는 손실을 계산하였고, 소프트 스위칭 동작을 하는 컨버터의 단상 및 2상으로 구성된 컨버터의 스위치, 다이오드, 공진 인덕터, 공진 다이오드에서 발생하는 전력을 계산하였다.

그림 3은 이에 따른 각각의 토폴로지에서 발생하는 전력 손실량으로 스위칭 주파수를 5-100kHz로 변화시켰을 때 결과 그래프다. 하드스위칭을 하는 일반 부스트 컨버터의 경우는 단상과 2상에서 발생하는 손실은 거의 차이가 없으며 2상 인터리브드 타입이 손실이 상대적으로 낮은 것을 알 수 있다. 이러한 차이가 나는 이유는 스위치 및 다이오드에 흐르는 전류의 크기가 반으로 줄어들기 때문에 식 (1)과 (5)에 의해 차이가 발생한다. 소프트 스위칭을 하는 토폴로지의 경우는 단상으로 사용하였을 경우와 2상으로 사용하였을 때 손실의 차이가 크게 남을 수 있다. 이는 스위치 2개를 사용함에 따라 스위치에서 발생하는 도통손실이 그만큼 커지기 때문이다. 하지만 2상 구조의 소프트 스위칭 동작을 하여도 효율 계산에 사용된 소자를 사용하게 된다면 일반적인 하드 스위칭 토폴로지 보다 45-50kHz 이상의 스위칭 주파수에서 동작해야지 상대적으로 높은 효율로 동작함을 알 수 있다. 따라서 시스템 구현 시 소프트 스위칭의 선택은 시스템의 스위칭 주파수가 낮을수록 선택의 고려가 이루어져야 할 것이며 방열 설계 및 수동 소자의 최적 설계로 신뢰성 있는 일반적인 하드스위칭 토폴로지의 사용이 선호 될 수 있음을 알 수 있다.

### 3. 결론

본 논문에서는 실제 소자의 파라미터를 이용하여 주파수에 따른 단상, 2상 하드스위칭 및 소프트 스위칭 토폴로지에서 발생하는 전력 손실을 분석하였다. 이 결과로 주파수에 따른 스위칭 방법이 고려되어야 하며 주파수가 낮다면 하드스위칭 토폴로지의 최적 설계를 통해 고효율화를 꾀할 수 있으며 높은 주파수로 갈수록 소프트 스위칭 기법을 고려하여 고효율화를 이루어져야 할 것이다.

### 참고 문헌

- [1] 김종수, 최규영, 정혜만, 이병국, 조영진, "전기자동차용 3.3kW 탑재형 배터리 충전기 설계 및 제작," 전력전자학회논문지, Vol.15, No.5, pp.369-375, 10.2010.
- [2] J.S Kim, Y.C Jung, S.W, Lee, T.W Lee, C.Y Won, "Power Loss Analysis of Interleaved Soft Switching Boost Converter for Single-Phase PV-PCS," JPE, Vol.10, No.4, pp.335-341, 2010.
- [3] 김재형, 원충연, 이태원, "고효율 파워소자를 이용한 3kW PV-PCS의 Boost Converter 효율 개선," 전력전자학회지, Vol.14, No.1, pp.40-44. 02.2010.

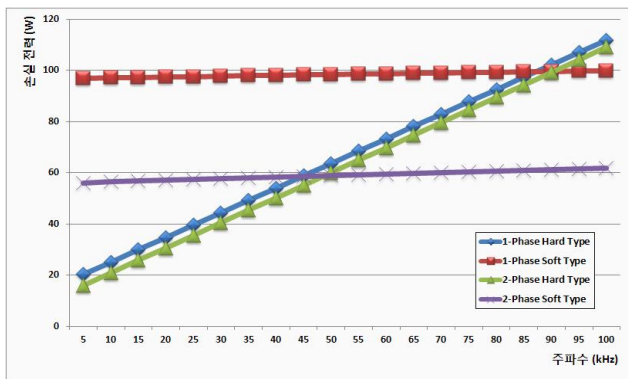


그림 3 스위칭 주파수에 따른 각 토폴로지의 손실 전력  
Fig. 3 Power loss of according to switching frequency