

# 작은 필터 사이즈를 갖는 고효율의 PWM 3레벨 컨버터

김선태, 김덕유, 김재국, 문건우  
KAIST

## ABSTRACT

본 논문에서는 작은 필터 사이즈를 갖는 영전압 스위칭이 가능한 PWM 3레벨 컨버터를 제안한다. 제안하는 컨버터의 모든 스위치의 전압 스트레스는 입력 전압의 반으로 제한되고, 2차측의 필터 앞단 전압이 3레벨 형태로 나타나 기존보다 작은 출력 필터 사이즈가 필요하다는 장점을 갖는다. 또한 두 개의 변압기로 전류를 분할함으로써 도통 손실을 줄일 수 있다. 효과를 확인하기 위해 500-600V의 입력 전압과 60V의 출력 전압을 갖는 500W 컨버터를 제작하여 실험하였다.

## 1. 서론

높은 입력 전압을 갖는 중용량급 이상의 전원 장치 사양에서 3레벨 컨버터는 많은 장점을 가지고 연구가 되어 왔다. 3레벨 컨버터는 낮은 스위치의 전압 스트레스를 가짐으로써 저가격과 낮은 도통 저항을 갖는 스위치를 사용할 수 있다<sup>[1]</sup>.

또한 필터 사이즈를 줄이기 위한 많은 컨버터들이 제안되었지만 높은 전압 스트레스를 갖는 스위치가 추가되거나 변압기와 스위치 두 개가 추가되는 등 많은 소자의 추가가 필요하다<sup>[2],[3]</sup>.

이런 단점들을 극복하기 위해 이 논문에서는 새로운 영전압 스위칭 3레벨 컨버터를 제안한다. 모든 스위치 전압 스트레스는 입력 전압의 절반으로 유지되고, 한 개의 추가 변압기와 기존의 플라잉 캐패시터를 두 개로 나눔으로써 필터 전압을 3레벨로 만들 수 있어 필터 사이즈를 줄일 수 있다. 또한 두 변압기로 전류가 나누어져 흐르는 형태이기 때문에 도통 손실을 줄여 높은 효율을 얻을 수 있다.

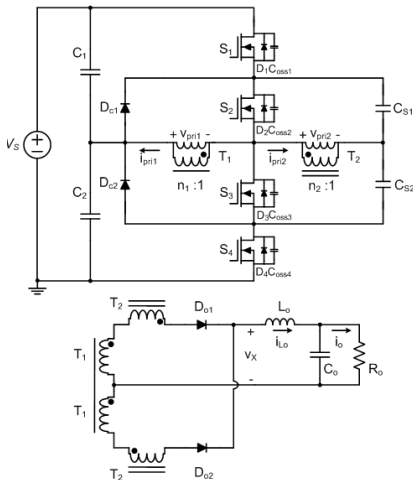


그림 1 제안하는 컨버터의 회로도

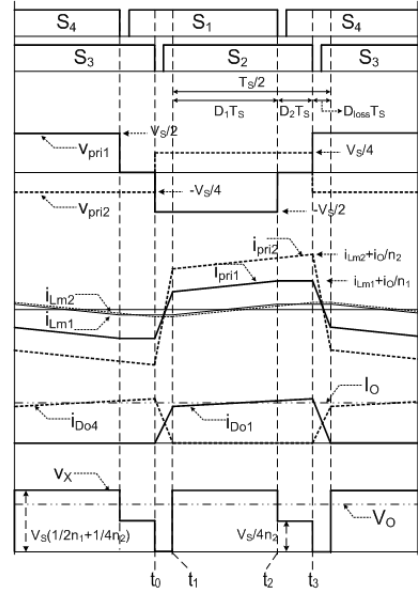


그림 2 제안하는 컨버터의 주요 파형

## 2. 제안하는 컨버터

그림 1은 제안하는 컨버터의 회로도이다. 기존의 3레벨 컨버터에 플라잉 캐패시터를 둘로 나누고 사이에 변압기가 연결된 형태이다. 스위치는 위상을 천이하는 방식으로 제어된다. 두 개의 변압기는 2차측에서 직렬 연결되어 있어 필터의 전압을 3레벨 파형으로 만든다. 그림 2는 제안하는 컨버터의 주요 파형을 나타낸다.

### A. 전압 이득과 변압기의 턴 비

제안하는 컨버터의 전압 이득 식은 아래와 같다.

$$\frac{V_o}{V_s} = D_1 \left( \frac{1}{n_1} + \frac{1}{2n_2} \right) + D_2 \frac{1}{2n_2}.$$

(1)

$D_1$ 은 실효 시비율,  $D_2 = 0.5 - D_1 - D_{loss}$ ,  $D_{loss}$ 는 시비율의 손실을 나타낸다. 변압기의 턴비는 입력 전압의 범위에 따라 정해진다. 입력 전압이 최대와 최소일 때  $D_1$ 이 최대와 최소가 되도록 아래 식들에 의해  $n_1$ ,  $n_2$ 가 결정된다.

$$\frac{V_o}{V_{S,\min}} = D_{1,\max} \left( \frac{1}{n_1} + \frac{1}{2n_2} \right),$$

(2)

$$\frac{V_o}{V_{S,\max}} = D_{1,\min} \left( \frac{1}{n_1} + \frac{1}{2n_2} \right) + D_2 \frac{1}{2n_2}.$$

(3)

입력 전압이 500V-600V, 출력 전압이 60V일 때  $n_1, n_2$ 는 각각 13, 2.5로 결정된다.

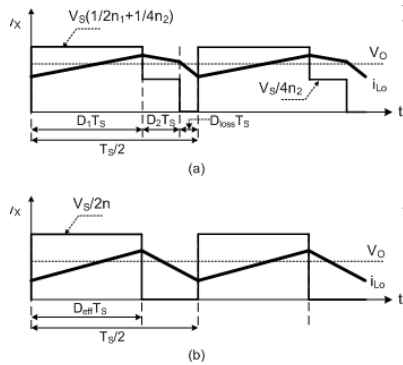


그림 3 필터 전압과 출력 필터 인덕터의 전류 파형, (a) 제안하는 컨버터, (b) 기존의 컨버터

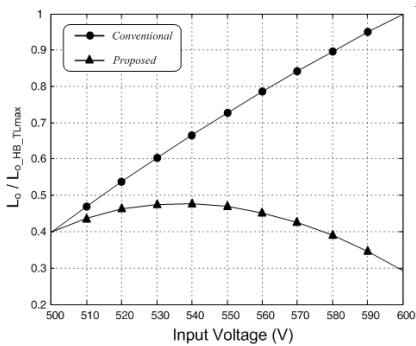


그림 4 입력 전압에 따른 필요 출력 인덕턴스

### B. 출력 필터 인덕터

그림 3은 제안하는 컨버터와 기존의 컨버터의 필터 전압과 출력 필터 인덕터의 전류 파형을 나타낸다. 제안하는 컨버터의 경우 출력 필터 인덕턴스가 아래 식과 같이 나타난다.

$$L_o = \frac{V_s \left( \frac{1}{2n_1} + \frac{1}{4n_2} \right) - V_o}{\Delta i_{L_o}} D_1 T_s \quad (4)$$

위의 식을 이용해 같은 리플 전류 조건을 만족하기 위해 입력 전압에 따라 필요 출력 인덕턴스 커브를 그리면 그림 4와 같이 나타난다. 제안하는 컨버터는 기존 3레벨 컨버터에 비해서 같은 출력 전류 리플값을 만족하기 위해 필요한 출력 필터 인덕턴스 값이 약 48% 정도로 감소한다.

### 3. 실험 결과

제안하는 컨버터의 검증을 위해 500W의 전원 장치를 구성하였다. 입력 전압,  $V_s=500-600V$ , 출력 전압,  $V_o=60V$ , 턴 비,  $n_1=13, n_2=2.5$ , 출력 필터 인덕턴스,  $L_o=18\mu H$ , DC/DC 단 스위칭 주파수,  $f_s=100kHz$ .

그림 5는 입력 전압 600V, 최고 부하에서 주요 실험 파형을 나타낸 것이고, 출력 필터가 줄어들도록 필터 전압 파형이 3레벨로 나타나는 것을 확인할 수 있다.

그림 6은 입력 전압이 600V일 때 부하별로 제안하는 컨버터의 효율을 나타낸 것이다. 전부하에서 88% 이상, 30% 부하 조

건 이상에서는 94%가 넘는 높은 효율을 나타내었다.

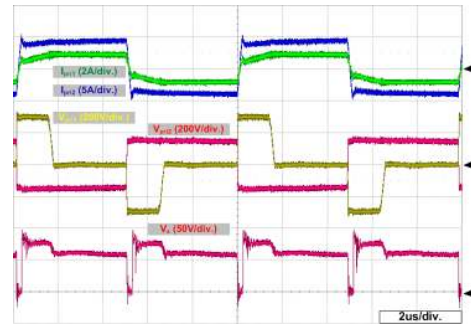


그림 5 제안하는 컨버터의 주요 실험 파형

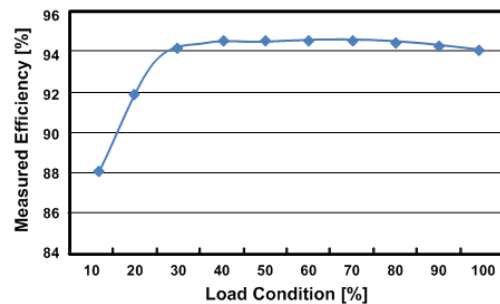


그림 6 제안하는 컨버터의 부하에 따른 효율 곡선

### 4. 결론

출력 필터 크기를 줄일 수 있는 새로운 영전압 스위칭 3레벨 컨버터를 제안하였다. 모든 스위치의 전압 스트레스가 입력 전압의 반으로 제한되고, 필터 전압을 3레벨 파형으로 만듦으로써 출력 필터 크기를 줄일 수 있고, 도통 손실을 감소시킬 수 있다. 따라서 제안하는 컨버터는 고효율, 고전력밀도의 높은 입력 전압의 전원 장치 사양에 적합하다.

### Acknowledgement

이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 20100009888)

### 참고 문헌

- [1] J. R. Pinheiro and I. Barbi, "The three-level zvs pwm converter—a new concept in high-voltage dc-to-dc conversion," in Proc. Annu. Conf. IEEE Industrial Electronics Soc., 1992, pp. 173–178.
- [2] X. Ruan, Z. Chen, and W. Chen, "Zero-voltage-switching PWM hybrid full-bridge three-level converter," IEEE Trans. Power Electron., vol. 20, no. 2, pp. 395–404, Mar. 2005.
- [3] F. Liu and X. Ruan, "ZVS combined three-level converter—A topology suitable for high input voltage with wide range applications," IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 54, no. 2, pp. 1061–1072, Apr. 2007.