

# 2 스위치 방식 포워드 컨버터의 설계 및 주파수 응답 특성 분석

이일용\*, 이병하\*\*, 차한주\*  
충남대학교 전기공학과\*, 국방과학연구소\*\*

## Design and Frequency Analysis of Two Switch-Forward Converter

Ilyong Lee\*, Byungha Lee\*\*, Hanju Cha\*  
Department of Electrical Engineering, Chungnam National University\*,  
Agency for Defense Development\*\*

### ABSTRACT

본 논문에서는 2스위치 방식의 포워드 컨버터의 설계 및 주파수 응답 특성에 대해 분석한다. 2스위치 방식의 포워드 컨버터는 변압기 리셋을 위한 보조 권선 및 보조 회로를 제하고 보조 스위치를 추가하여 상기 효과를 얻는 방식으로 파워 스위치의 전압 스트레스를 반으로 줄일 수 있는 가장 큰 장점이 있다. 이러한 컨버터의 경우 부하의 변동과 입력 전원의 변화에 대해 안정적으로 동작해야 한다. 특히 설계된 컨버터는 높은 전압 안정성을 가져야 하므로 컨버터 설계의 올바름과 안정성을 판단하기 위해 컨버터의 입력과 출력에 대해 주파수 특성 분석을 수행하며 안정성을 검증하였다.

### 1. 서론

최근 전력산업의 추세는 전력 안정화와 신뢰성 있는 전력 공급이다 이러한 전력 공급 장치들은 주로 인버터와 컨버터 등의 다양한 토폴로지로 이루어져 있고, 이러한 전력 변환 장치들은 안정적이고 효율적이며 경제적인 전원 공급 장치에 대한 조건이 요구된다 다양한 전력 변환 장치들이 요구되는 만큼 이러한 전력 변환기의 전원 공급 장치의 제작 기술도 다방면으로 함께 발전하고 있으며, 앞으로도 우수한 제품을 생산하기 위한 기술 개발은 꾸준히 진행될 것이다 예상된다 이런 전원 장치의 품질은 전자회로의 동작에 대한 안정성과 정밀도를 좌우하는 중요한 요소임이 틀림없다 전원 장치는 크게 두 가지로 나뉘는데, 첫 번째로 기존에 사용하던 정류기 등을 사용하는 리니어 방식의 전원 공급 장치이다 리니어 방식은 60Hz용 변압기를 사용하여 전압을 다운시키고, 정류회로와 평활 회로를 통해 정전압 회로를 거치는 원리이다 이 방식은 회로가 간단하고 가격이 저렴하지만, 주파수가 낮기 때문에 변압기의 크기와 커패시터의 용량이 커지고 열이 발생하여 효율이 떨어지는 단점이 있다

반면에 SMPS(Switched mode Power Supply) 방식은 반도체 소자의 스위칭 회로를 이용한 것으로 효율이 높고, 내구성이 강하다 그리고 스위칭 주파수를 증가시키면 인덕터와 평활 커패시터의 크기가 감소하므로 소형, 경량화에 유리하다 이러한 장점으로 인해 SMPS는 통신 장치나, 산업용, PC, OA 기기, 가전제품 등 다양한 분야에서 사용되고 있다 다만, 주변 회로가 복잡하고, 고속 스위칭으로 인한 스위칭 손실, 인

덕터 손실 등 전력 손실과 노이즈가 증가하므로 이에 대한 대책이 필요하다 [1][2]

본 논문에서는 이러한 SMPS의 설계 방식 중의 하나인 고주파 변압기를 사용하는 포워드 컨버터의 구조와 동작 원리를 다루었으며, 변압기 및 컨버터의 설계 절차에 대한 설명을 하였다 또한 PWM 제어 IC, 출력 전압 제어를 위한 피드백 루프 회로를 사용하여 원하는 출력 전압을 실제 하드웨어를 구성하여 확인하였다

### 2. 2스위치 방식 포워드 컨버터

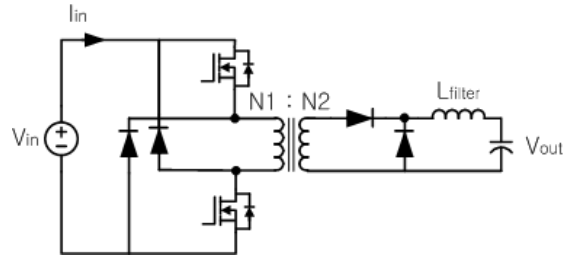


그림 1 2스위치 방식 포워드 컨버터 등가 회로

본 논문에서 사용한 2스위치 방식의 포워드 컨버터의 등가 회로를 그림 1에 나타낸다. 2스위치 방식의 포워드 컨버터는 DC 입력 전압과 입력 전류를 변압기를 통해 전력을 전송하는 방식으로 2개의 MOSFET과 2개의 다이오드로 변압기 1차 측을 구성하고 2개의 다이오드와 출력 필터로 변압기의 2차 측을 구성한다. 포워드 컨버터는 변압기의 자화 인덕터의 포화 자속을 리셋하는 방식으로 보조 권선법과 RCD 스누버 리셋 방식이 있다. 하지만 이러한 방법들은 입력 전압보다 높은 전압 스트레스를 발생하기 때문에 소자 선정에 있어 사용 전압보다 높은 전압의 소자를 사용해야 하고, 보조 권선을 사용할 경우 추가 권선으로 인해 변압기의 크기가 커지기 때문에 전체적으로 시스템의 소형화에 불리한 조건이 있다. 또한 RCD 스누버를 사용할 경우 변압기의 리셋 에너지 회수가 이루어지지 않으므로 매우 낮은 효율을 갖게 된다. 하지만 2스위치 방식을 사용할 경우 전압 스트레스가 감소하고 변압기 회로가 추가되지 않으므로 변압기의 소형화가 가능하며, 변압기 리셋 에너지의 회수 역시 가능하므로 보다 높은 효율을 기대할 수 있다.[2]

#### 2.1 2스위치 방식 포워드 컨버터 설계

본 논문에서는 2 스위치 방식 포워드 컨버터 설계 절차에 대

해 서술한다.

우선 2스위치 파워드컨버터를 설계하려면, 적절한 변압기를 선정하여야 한다. 변압기의 설계 조건에서 고려해야 할 사항으로는 크게 2가지가 될 수 있다. 첫 번째는 변압기의 코어 포화를 막기 위한 적절한 포화자속밀도와 코어의 크기를 정하는 것이다. 코어의 크기를 정하기 위해서는 다음과 같은 수식이 필요하다.

$$K_g = \frac{P_t}{2K_e\alpha} \quad (1)$$

$$\text{단, } K_e = 0.145K_f^2 f^2 \Delta B^2 \times 10^{-4}$$

여기서,  $P_t$  는 변압기의 입출력 용량,  $K_f$ 는 파워드컨버터에서 DC전압이 구형파로 입력되므로 4,  $f$ 는 스위칭 주파수,  $\Delta B$ 는 포화자속밀도로 일반적으로 사용되는 값은 0.2~0.4 사이의 값이며,  $\alpha$ 는 regulation factor로 일반적으로 1~5%의 값을 사용하며,  $10^{-4}$ 은 mm단위와 cm단위의 변환에 의한 수치이다. 위의 계산에 의한  $K_g$  값을 구한 후 제조사의 제공 데이터에서 계산된 코어 사이즈보다 큰 코어로 삼화 페라이트코어의 (EI5040S)를 사용하였다

다음으로 고려해야 할 사항으로 코어의 적절한 턴 비를 산정해야 한다 코어의 1차측 턴비는 다음과 같은 수식으로 산정 가능하다

$$N_p = \frac{V_p \times 10^4}{K_f \Delta B f A_c} \quad (2)$$

여기서,  $A_c$ 는 코어의 창 면적이다. 위의 수식에 의해 변압기 1차측의 적절한 턴 비를 구하고 2차 턴 비를 구한다. 2차 턴 비는 다음과 같은 수식으로 구할 수 있다.

$$N_s = N_p \frac{V_{DCmin} D_{max}}{V_o + V_F} \quad (3)$$

여기서,  $V_o$ 는 출력전압,  $V_F$ 는 2차측 다이오드의 전압 드롭 성분,  $D_{max}$ 는 컨버터의 최대 듀티,  $V_{DCmin}$ 은 컨버터의 최소 입력전압이다. 위와 같은 수식을 통해 2차측 권선 비 까지 설계를 완료한 후, 변압기의 창 면적과 전류용량을 고려해 적절한 변압기를 설계 하였다.

다음으로 출력의 안정화를 위한 출력 필터를 설계하였으며, 출력 필터는 출력측 리플을 고려하여 다음과 같은 수식으로 설계가 가능하다.

$$L_{filter} = \frac{V_o(1-D)T}{\Delta I_L} \quad (4)$$

본 논문에서는 부하의 리플을 고려하여 5%의 리플을 갖도록 필터를 설계하였다.

## 2.1 2스위치 파워드컨버터 제작.

본 논문에서는 앞서 언급한 2스위치방식 파워드컨버터 설계 절차에 따라 실제 하드웨어를 제작하였다. 제작된 파워드컨버터는 그림1과 같다. 제어를 위해 UC3844 Current Control IC를 사용하였으며, 2개 스위치를 동시에 작동시키기 위해 UC3705 Driver를 사용하였다. 표1에 설계된 파워드컨버터의 파라미터를 나타낸다.

그림3은 파워드컨버터의 실험 결과이다. 파워드컨버터의 일반 동작영역인 15V에서 5W의 작은 부하가 걸린 경우에도 제어가 이루어지는 것을 확인할 수 있다.

표1 제작된 파워드컨버터 파라미터

설계 변수	값
입력전압 $V_i$	8V~35V
출력전압 $V_o$	5V
출력전류 $I_o$	8A
출력전력 $P_o$	40W
변압기 턴 비	0.66 (N1/N2)
스위칭 주파수 $f$	70kHz
필터 인덕턴스 $L_{filter}$	150uH
최대 시비율 $D_{max}$	0.5

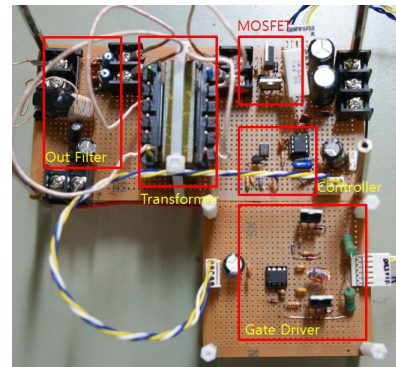


그림 2 제작된 파워드컨버터

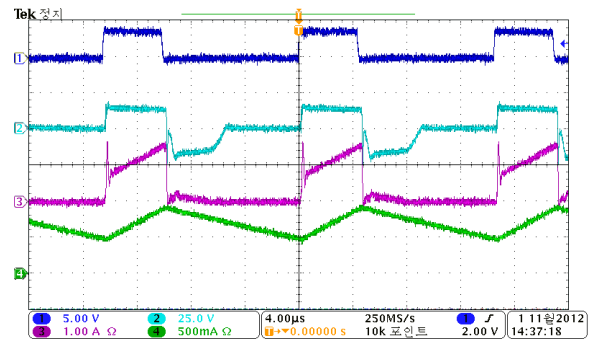


그림 3 2 스위치방식 파워드컨버터 동작파형  
(a)UC3844 제어 출력(duty), (b)변압기 1차측 양단전압, (c)변압기 입력전류, (d) 필터 인덕터 출력전류

## 3. 결론

본 논문에서는 안정성과 효율 면에서 유리한 SMPS에 주로 사용하는 파워드 컨버터의 토폴로지 중에서 2스위치 방식의 파워드컨버터를 설계하고 실제 하드웨어를 구성하여 출력전압과 전류가 제어되어 안정된 동작을 함을 확인하였다.

## 참고 문헌

- [1] Fairchild, "Application Note AN4134 Design Guidelines for Off line Forward Converters Using Fairchild Power Switch(FPS<sup>TM</sup>)"
- [2] ON Semiconductor, "2 Switch Forward Current Mode Converter"