

## Flat Transformer 적용한 고밀도 전원장치

류명호, 백주원, 김종현, 유동욱, 임근희  
한국전기연구원

### High Density Power Supply with Flat Transformer

M.H. Ryu, J.W. Baek, J.H. Kim, D.W. Yoo, G.H. Rim  
Korea Electrotechnology Research Institute

#### ABSTRACT

본 논문에서는 고밀도 전원 장치에 적합한 플랫 트랜스포머(Flat Transformer)를 사용하여 다양한 출력을 갖는 AC/DC 변환장치의 설계 예를 제시하였다. 기존의 트랜스포머에 비해 플랫 트랜스포머는 다수의 트랜스포머를 병렬로 구성하여 제작하고, 이차 권선이 항상 1턴으로 구성되므로 누설 인덕턴스가 크게 감소하게 되어 고주파 스위칭에 적합한 형태를 가지고 있다. 일차측 AC/DC 변환기는 고조파 규제를 만족시키기 위해 경계 모드(Boundary Mode)에서 동작하는 역률 보상회로로 구성하여 설계하였으며, 이차측 DC/DC 변환기는 플랫 트랜스포머에 적당한 하프 브리지(Half-Bridge) 컨버터를 적용하였다. 본 논문에서는 500W급 AC/DC 변환기를 구성하여 다양한 출력을 갖는 전원 장치를 설계/제작하였다

#### 1. 서 론

현재 산업분야에서는 저전압/대전류, 고효율/고밀도 전원장치의 요구가 증대되고 있다. 전원 장치의 전력 밀도를 높이기 위해서는 트랜스포머나 인덕터와 같은 자기 소자와 필터 커패시터의 크기를 충분히 작게 하여야 하며 이를 위해서는 고주파 스위칭이 필수적이다. 전원장치의 동작 주파수를 증가할수록 트랜스포머나 인덕터 등의 자기 소자와 필터 커패시터의 크기를 크게 감소시킬 수 있으나 스위치의 스위칭 손실과 자기 소자의 누설 인덕턴스에 의한 손실과 코어 손실이 증가하므로 이에 대한 대책이 마련되어야 한다.

스위치의 스위칭 손실을 줄이기 위해서는 소프트 스위칭 방식을 채택함으로써 가능하고, 자기 소자의 손실을 줄이기 위해서는 기존의 트랜스포머를 사용하는 것으로는 충분하지 않으므로 특수한 트랜

스포머가 요구되고 있다. 본 논문에서는 중, 대용량에 사용 가능하고 고주파 스위칭에 적합한 플랫 트랜스포머를 적용하였다.

기존의 트랜스포머는 일차권선과 이차 권선을 하나의 코어에 감아 권선의 수가 많아지므로 일, 이차 누설 인덕턴스가 상당히 커지는 단점이 있다. 또한 하나의 트랜스포머를 사용하므로 부피가 커지고 열이 한 곳에 집중하는 현상을 피할 수 없다. 이에 비해 본 논문에서 사용한 플랫 트랜스포머는 여러 개의 트랜스포머를 병렬로 구성하여 사용하고, 1차 권선의 수가 작으므로 누설 인덕턴스가 크게 감소한다. 아래 그림 1은 기존의 트랜스포머, 그림 2는 플랫 트랜스포머를 나타내고 있다.

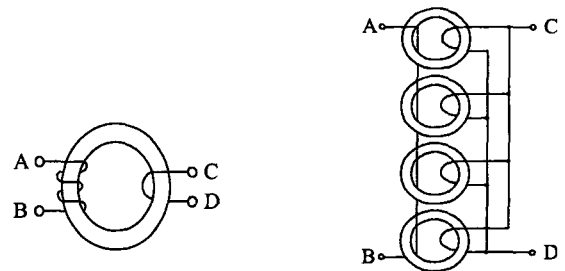


그림 1. 기존 트랜스포머    그림 2. 플랫 트랜스포머

Fig. 1 Conventional Transformer

Fig. 2 Flat Transformer

기존의 트랜스포머와 플랫 트랜스포머의 특징을 간략하게 비교하면 아래와 같다.

○ 기존의 트랜스포머(그림 1)

- 1개의 코어를 사용
- 다수의 일차 권선 수
- 높은 누설 인덕턴스
- 낮은 고주파 특성
- 부피가 크며, 패키지가 어렵다.
- 열 집중(hot spot) 현상이 크다.

- 플랫 트랜스포머(그림 2)
  - 여러 개의 코어 사용
  - 소수의 일차 권선 수
  - 낮은 누설 인덕턴스
  - 높은 고주파 특성
  - Low Profile
  - 열 집중(hot spot) 현상이 적다.

뿐만 아니라, 플랫 트랜스포머는 여러 개의 트랜스포머를 병렬로 구성하여 사용하더라도 하나의 일차 권선에 이차 권선이 병렬로 구성되므로, 일, 이차 커플링이 좋아 전류분배가 자동으로 이루어지게 된다. 따라서 이차측의 전류 분배를 위하여 다른 소자를 사용할 필요가 없다.

## 2. 본 론

### 2.1 역률 보상 회로

AC/DC 변환기는 고조파 규제를 만족하기 위해 역률보상 승압형 컨버터를 적용하였다. 간단한 제어와 스위치 온일 때, 스위칭 노이즈를 감소시키기 위하여 본 논문에서는 경계모드에서 동작하도록 하였다. 아래 그림 3은 역률보상 승압형 컨버터를 나타내고 있다.

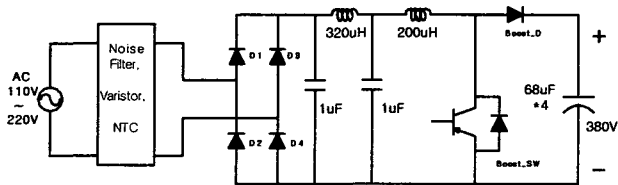


그림 3. 역률보상 승압형 컨버터

Fig. 3 Boost Converter with Power Factor Correction

경계모드 역률보상 승압형 컨버터의 인덕터에 흐르는 전류 파형은 다음 그림 4와 같다. 인덕터에 흐르는 전류를 필터링하게 되면 점선과 같이 입력 전류파형을 얻을 수 있다. 경계모드로 동작하기 위해서는 인덕터에 흐르는 전류가 0이 되는 시점을 정확하게 알아내어 스위치를 턴온 시켜주는 것이 중요하다. 요즘은 경계모드에서 동작하는 전용 IC가 많이 출시되어 응용의 폭이 크게 증가하였다.

경계모드에서 동작하도록 하는 것은 불연속모드에서 동작하는 것보다는 제어가 복잡하지만 연속모드에서 동작하는 것보다 제어가 훨씬 수월하다. 또한 연속모드에서 동작할 경우, 스위치 온시에 다이오드 역회복 전류에 의한 스위치 노이즈가 심하게 발생하고 이는 입력측 EMI 노이즈 발생량을 증가시켜 노이즈 대책이 강조된다. 이를 방지하기 위하

여 보통 소프트 스위칭 방법을 많이 채택하여 발생하는 노이즈를 감소시키고 있다. 그러나 경계모드에서 동작할 경우, 다이오드 역회복 전류가 상당히 작아지므로 노이즈 발생이 줄어들고, 따라서 충분한 노이즈 필터만 구성하면 EMI 노이즈 대책을 쉽게 마련할 수 있다. 또한 경계 모드로 동작할 경우, 인덕턴스 값이 작아지므로 인덕터 크기도 연속 모드에 비해 상대적으로 줄어들어 전체적인 부피도 줄어드는 장점이 있어 중용량의 전원장치에서 많이 사용되고 있다.

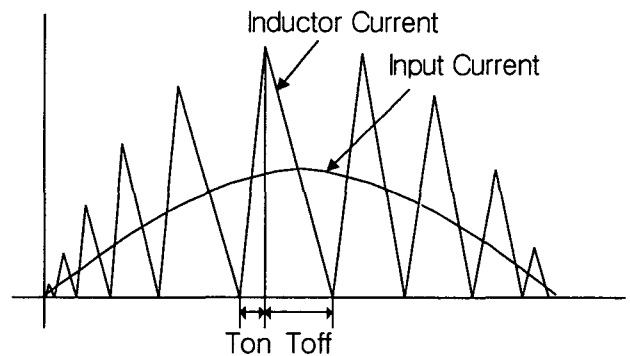


그림 4. 인덕터 전류 파형

Fig. 4 Current Waveform of the Inductor

### 2.2 DC/DC 컨버터

이차측 DC/DC 컨버터는 플랫 트랜스포머를 적용하기에 적당한 하프 브리지 컨버터를 채택하였다. 아래 그림 5는 플랫 트랜스포머 모듈 3개를 적용한 하프 브리지 컨버터와 그 동작모드를 나타내고 있다.

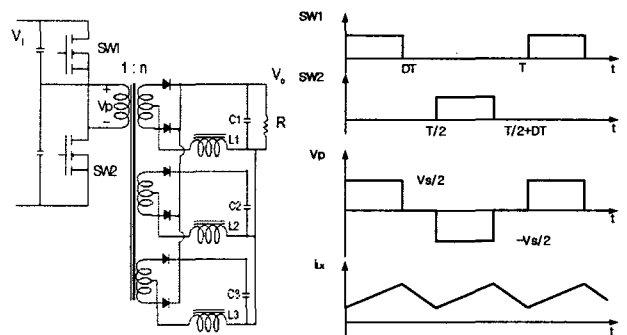


그림 5. 하프 브리지 컨버터

Fig. 5 Half-Bridge Converter

병렬로 구성된 플랫 트랜스포머는 하나의 일차권선에 여러 개의 이차 권선이 병렬로 감겨 있는 구조로 일, 이차 커플링이 뛰어나다. 따라서 별도의 전류 분배를 위한 소자를 사용하지 않더라도 전류 분배가 자동으로 이루어진다. 그리고 일차 권선의 수가 적어 일, 이차 누설 인덕턴스가 기존의 인덕

턴스에 비해 상당히 적으므로 손실 또한 현저히 줄어든다. 아래 그림 6은 플랫 트랜스포머 모듈과 트랜스포머, 인덕터 사진을 나타내고 있다.

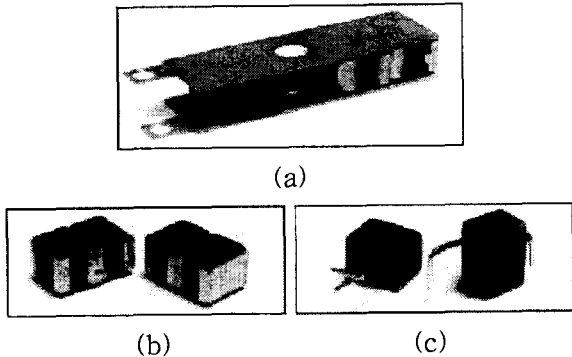


그림 6. 플랫 트랜스포머 모듈, 트랜스포머, 인덕터  
(a) 모듈 (b) 플랫 트랜스포머 (c) 인덕터  
Fig. 6 Flat Transformer Module, Transformer, and Inductor  
(a) Module (b) Flat Transformer (c) Inductor

### 2.3 실험 결과

제안한 시스템의 특성을 검증하기 위하여 300W 급 전원장치를 설계/제작하였다. 아래 그림 7은 제작한 역률보상 승압형 컨버터와 DC/DC 컨버터 사진을 나타내고 있다.

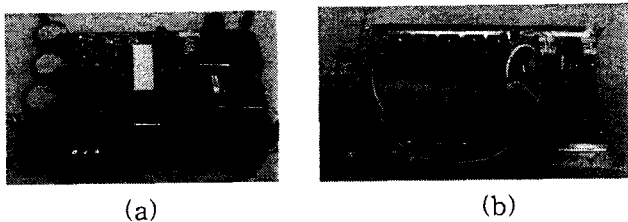


그림 7. 전체 시스템  
(a) 역률보상 승압형 컨버터 (b) DC/DC 컨버터  
Fig. 7 Overall System  
(a) PFC Boost Converter (b) DC/DC Converter

역률보상 승압형 컨버터는 연구실에서 직접 제작하였고, 플랫 트랜스포머를 적용한 DC/DC 컨버터는 제작상의 어려움 때문에 샘플을 구매하여 실험 용도에 맞게 변경하여 사용하였다. 출력 정격은 출력 전압 5V, 전류 60A이다. 아래 그림 8과 9는 역률보상 승압형 컨버터와 DC/DC 컨버터의 실험 파형을 나타내고 있다. 역률보상 승압형 컨버터는 그림 8(d)에서처럼 경계모드에서 동작하고 입력 전류는 입력 전압 파형을 잘 추종하고 있는 것을 알 수 있다. DC/DC 컨버터는 스위칭 주파수 약 200kHz에서 동작하도록 설계하였고 입력 전압은 380V이다.

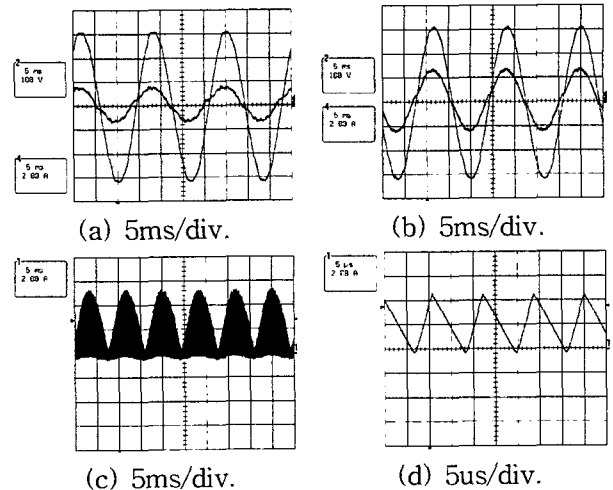


그림 8. 역률보상 승압형 컨버터 동작 파형  
(a) 입력전압, 전류(50% 부하) (b) 입력전압, 전류(100% 부하) (c) 인덕터 전류(100% 부하) (d) 인덕터 전류(확대 파형)  
Fig. 8 Operational Waveform of the PFC Boost Converter (a) Input Voltage and Current(50% Load) (b) Input Voltage and Current(100% Load) (c) Inductor Current(100% Load) (d) Inductor Current(magnified)

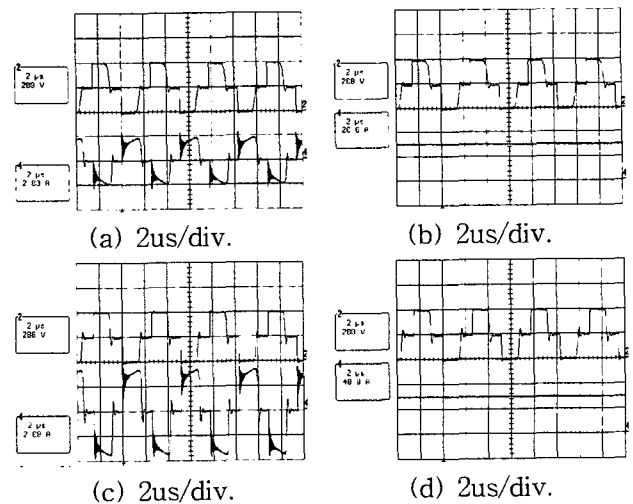


그림 9. DC/DC 컨버터 동작 파형  
(a) 스위치 전압, 트랜스포머 일차측 전류(50% 부하) (b) 출력 전류(50% 부하) (c) 스위치 전압, 트랜스포머 일차측 전류(100% 부하) (d) 출력 전류(100% 부하)  
Fig. 9 Operational Waveform of the DC/DC Converter  
(a) Switch Voltage and Transformer Primary Current(50% Load) (b) Output Current(50% Load) (c) Switch Voltage and Transformer Primary Current(100% Load) (d) Output Current(100% Load)

### 3. 결 론

본 논문에서는 고밀도 전원장치에 적합한 플랫폼 트랜스포머를 적용하여 다양한 출력을 갖는 AC/DC 컨버터를 제작/실험하였다. 입력측 AC/DC 변환기는 고조파 규제를 만족시키기 위하여 경계모드 역률보상 승압형 컨버터를 제작하였고, 이차측 DC/DC 컨버터는 플랫폼 트랜스포머를 적용한 하프 브리지 방식의 컨버터를 제작하였다. 제작한 300W 급 AC/DC 컨버터는 실험을 통하여 안정된 특성을 나타냄을 알 수 있었다.

### 참 고 문 헌

- [1] E. Herbert, "Design and Application of Matrix Transformers and Symmetrical Converters", Fifth International High Frequency Power Conversion Conference '90 Santa Clara, California, MAY 11, 1990.
- [2] J. Lau, K. K. Sum, K. Baker, "Transformer-Inductor Module For Half Bridge, Full Bridge and Push Pull Circuits", Flat Transformer Technology Corp. Application Note AN01.
- [3] Kwang-Hwa Liu and Yung-Lin Lin, "Current Waveform Distortion Power Factor Correction Circuits Employing Discontinuous-Mode Boost Converters", IEEE Power Electronics Specialists Conf.(PESC) Record, pp.825-829, June, 1989
- [4] J.L Lau, K.K Sum, "Flat Transformer Power Converter for Low Voltage, High Current Application"