

고전압 펄스트랜스의 설계에 관한 기초 연구

정현주\*, 정영환, 이동훈, 홍정환, 김희재, 조정수  
 부산대학교 전기공학과

A Basic Study about Design of High Voltage Pulse Transformer

H. J. Chung\*, Y. H. Chung, D. H. Lee, J. H. Hong, H. J. Kim and J. S. Cho  
 Dept. of Electrical Eng., Pusan national Univ..

**Abstract** - In this study, it is the purpose to study about design and manufacture of a pulse transformer for using in pulse generator and a pulse laser system

In this experiment, a ferite core in transformer instead of air core is used. The performance of the transformer is demonstrated by a voltage pulse waveform according to inductance of primary and secondary in transformer.

As a result, the voltage pulse width is increased as increasement of inductance in transformer. And the voltage rate between primary and secondary is almost same with rate of inductance between primary and secondary.

기  $I_{max}$ 와  $di/dt$  가 제한되어 있다.

최근까지 고반복의 펄스power를 얻기 위해 공심 core를 사용한 펄스 트랜스가 많이 개발되었다. 하지만 이것은 1차측과 2차측간의 결합도가 낮은 단점을 가지고 있다.

본 연구에서는 스위칭 소자인 SCR을 사용한 SMPS 전원원에서 발생된 저압의 펄스 에너지를 실험실에서 설계 및 제작한 펄스트랜스를 이용하여 고압의 펄스로 변화시킨 후 부하에 인가하였다. 펄스 변압기는 페라이트 코어를 사용하였고, 1차측과 2차측 각각의 인덕턴스 비에 따른 전압비와 L값에 따른 1, 2차측 펄스 형상 등을 측정하여 펄스 트랜스 설계 및 제작에 관한 기초 연구를 수행하였다.

1. 서 론

2. 이론적 배경

최초의 펄스 트랜스 기술은 레이더 시스템에 사용하기 위해 개발되었다. 레이더에는 기존의 사인파의 전압을 변환시키는데 사용되었던 전력용 트랜스와는 다른 새로운 방식, 즉 거의 구형파(rectangular)에 가깝고 1[ $\mu$ s]의 펄스폭을 가지는 에너지 전달을 위한 새로운 타입의 트랜스의 필요성이 대두되었는데 이것이 펄스 트랜스의 시초이다. 그 후 펄스 트랜스는 펄스 에너지 전달뿐만 아니라 트랜스 1, 2차측의 극성변환, 전원과 부하사이의 절연 내력 향상에 따른 요량증대가 이루어지게 됨으로써 여러 산업의 응용분야에서 다양하게 사용되고 있다.

대전류 펄스는 콘덴서의 방전으로부터 발생된다고 알려져 있다. 무엇보다도 최대전류  $I_{max}$ 는 사용되어지는 스위치의 피크전류 특성에 의해 결정되어진다.

매우 큰  $I_{max}$ 는 스파크 갭 스위치를 사용함으로써 얻을 수가 있다. 그러나, 이것은 매우 불안정한 동작 특성을 보이고 있다. 대전류 스위치로서 이그나이트론(Ignitron)은 연속된 동작에서 수명이 짧은 경향이 있다. Peak 전류 스위치로서 사이리스트(thyristors)는 최대 크

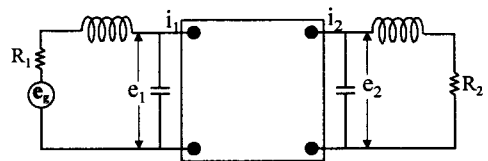


그림 1 이상적인 변압기에 인가된 전원-부하 시스템  
 Fig. A source-load system employing a perfect transformer

$$e_1 = e_2 i_2$$

$$e_2 = n e_1 \quad (n = \text{권선비})$$

$$i_2 = \frac{i_1}{n}$$

그림 1은 1차측으로부터 2차측에 대한 임피던스 값, 그리고 2차측에서 1차측에 대한 임피던스 값으로 접속되는 회로이다. 예를 들어 그림 1에서  $R_1$ 은 2차측의  $R_2$ 를 1차

측으로 옮겨 환산한 값  $R_2'$ 로 단순화 되어질 수 있다. 따라서, 다음과 같은 식이 성립한다.

$$i_1^2 R_2' = i_2^2 R_2 \quad (1)$$

$$\frac{1}{2} C_2' e_1^2 = \frac{1}{2} C_2 e_2^2 \quad \text{혹은} \quad C_2' = n^2 C_2$$

$$R_2' = \frac{R_2}{n^2} \quad (2)$$

$$\frac{1}{2} L_2' i_1^2 = \frac{1}{2} L_2 i_2^2 \quad \text{혹은} \quad n = \sqrt{\frac{L_2}{L_1}} \quad (3)$$

그림 2는 입력 펄스로 구형파를 펄스 변압기 1차측에 인가하였을 경우 변압기 2차측의 펄스 형상이다. 펄스 폭은 일반적으로 펄스의 반치폭의 값으로 나타내며 펄스의 상승과 하강시간은 전체 펄스 크기의 10%와 90%사이의 시간으로 정의한다.

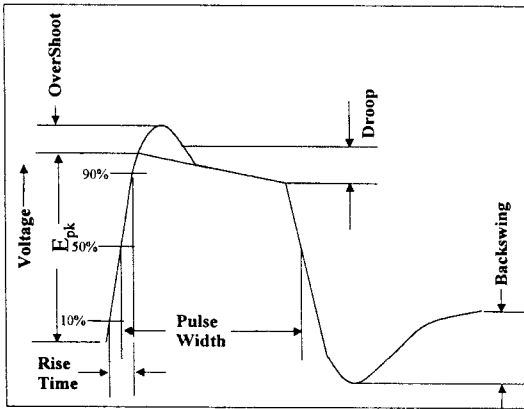


그림 2 펄스 형상 명명법  
Fig. 2 Pulse shape nomenclature.

### 3. 실험장치 및 실험방법

실험 장치는 크게 펄스발생기로서의 SMPS전원과 저압의 펄스를 고압의 펄스로 변환시키기 위한 펄스 변압기로 구성된다.

#### 3-1. 펄스 전원 장치

본 연구에서 사용된 펄스 발생기는 실험실에서 직접 설계 및 제작한 SMPS방식의 전원을 사용하였다. 1차측 콘덴서(10 $\mu$ F)에 충전된 에너지를 수 십 Hz에서 수 백 Hz의 반복율에 적합한 스위칭 소자인 고속SCR(AEG T46F1600CEC-5VN)을 사용하여 발생된 저압의 펄스를 고압·고주파 펄스 트랜스를 사용하여 고압의 펄스로 변환시켜 부하에 인가하였다. 펄스반복율은 1[pps]~

120[pps] 까지 가변할 수 있도록 설계하였고, 전원에서의 얻을 수 있는 최대 펄스 전압은 약 1 [kW] 이고, 변압기를 통해 2차측에서 얻을 수 있는 최대 펄스 전압은 25 [kW]이다.

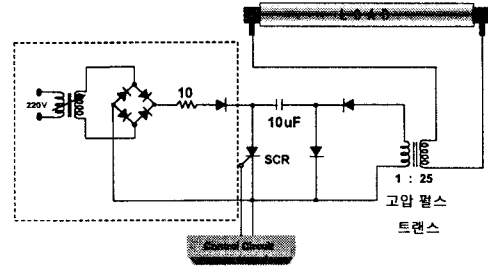


그림 3 고압 펄스 전원의 개략도  
Fig. 3 Schematic diagram of the high voltage Pulsed Power Supply

#### 3-2. 펄스변압기

E.E 형의 페라이트 코어(TDK(3415))를 사용하였다. 1차측의 권선으로는  $\phi$ 0.55의 에나멜선을 사용하였고 2차측은  $\phi$ 0.2의 에나멜선을 사용하였다. 특히 고압 변압기에 있어서는 다음과 같은 절연이 가장 중요하다.

1. 공간, 연면거리 (1차 - 2차간, 2차 코어간 등)
2. 절연 내전압 (1차 - 2차간, 1차, 2차- 코어간 등)
3. 절연물의 두께 (절연 테이프, 보빈 등의 성형품)
4. 난열등급
5. 내열등급

제작한 변압기는 사이즈가 큰 코아를 사용하여 공간 연면 거리를 확보하였고, 내열성과 절연내력이 뛰어난 테프론 테이프로 코일간의 절연을, 보빈에 의해 코일과 코어간의 절연을 확보하였다. 마지막으로 절연유를 사용하여 변압기의 절연내력과 내열성을 강화하였다.

변압기의 권선비는 모두 1:25로 하였고 1차측과 2차측의 인덕턴스 값을 달리하여 실험을 하였다. 변압기 2차측을 부하에 연결하여 각각의 L값에 따른 변압기 1차측과 2차측 부하에 인가되는 전압파형과 1,2차측 인덕턴스비와 전압비와의 상관관계를 고찰하였다. 부하는 기체 펄스 레이저에 사용되는 저기압의 방전관을 사용하였고 전압파형은 1000:1 프로브를 사용하여 측정하였다.

#### 4. 실험결과 및 고찰

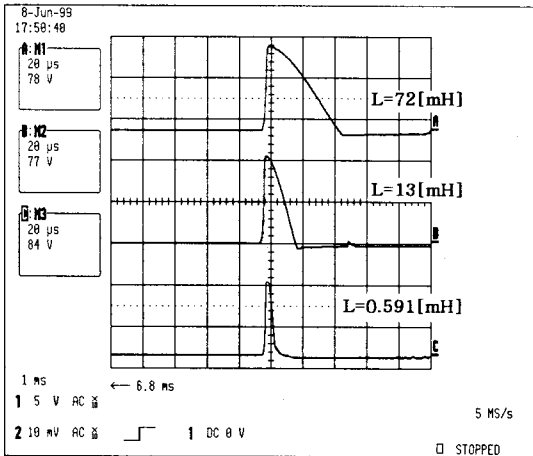


그림 4 변압기 1차측 펄스 형상

Fig. 4 Pulse waveform at primary

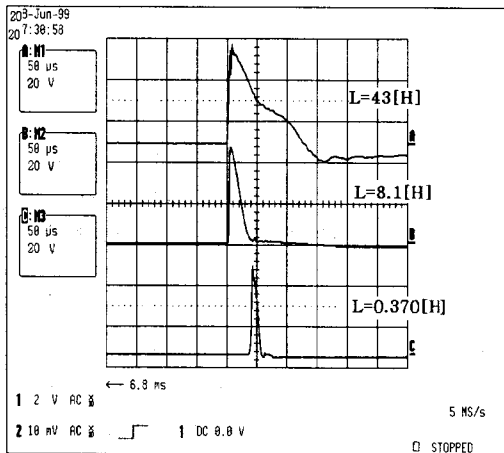


그림 5 변압기 2차측 펄스 형상

Fig. 5 Pulse waveform at secondary

그림 4와 5는 변압기 1,2차측의 전압 파형이다. 1차측과 2차측의 인덕턴스 값에 따른 펄스 형상과 인덕턴스 비에 따른 전압비를 고찰하였다.

- (1). 1차측의 인덕턴스가 72[mH]일 때 전압 펄스 폭은 약 35[ $\mu$ s], 13[mH]일 때 약 18[ $\mu$ s], 0.591[mH]일 때 약 6[ $\mu$ s]였다. 인덕턴스 값이 클수록 전압 펄스폭이 증가하였다.
- (2). 2차측의 인덕턴스는 L이 43[H]일 때 전압 펄스폭은 약 80[ $\mu$ s]였고 8.1[H]일 때 약 20[ $\mu$ s], 0.370[H]일 때 약 12[ $\mu$ s]였다. 인덕턴스 값이 클수록 전압 펄스폭이 증가하였다.
- (3). 1,2차측의 전압비와 인덕턴스 비와의 상관 관

계는 다음과 같다.

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{4200 \text{ V}}{172 \text{ V}} \approx \sqrt{\frac{L_2}{L_1}} = \sqrt{\frac{43 \text{ [H]}}{72 \text{ [mH]}}} \approx 25$$

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{4421 \text{ V}}{177 \text{ V}} \approx \sqrt{\frac{L_2}{L_1}} = \sqrt{\frac{8.1 \text{ [H]}}{13 \text{ [mH]}}} \approx 25$$

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{3978 \text{ V}}{148 \text{ V}} \approx \sqrt{\frac{L_2}{L_1}} = \sqrt{\frac{0.370 \text{ [H]}}{0.591 \text{ [mH]}}} \approx 25$$

식 (1)의 이론적인 값  $\frac{V_2}{V_1} = \sqrt{\frac{L_2}{L_1}} = n$ 와 실험치가 거의 일치하였다.

#### 4. 결 론

전원장치의 고주파화 및 소형 경량화의 추세에 따라 그 중요성이 증대되고 있는 펄스 트랜스의 설계 및 제작에 관한 지식이 요구되고 있다. 본 연구에서는 펄스 트랜스에 대한 기초 연구를 통하여 1차, 2차측의 인덕턴스 값이 증가함에 따라 전압 펄스폭도 증가함을 확인하였고, 1차 2차측의 전압비는 변압기 인덕턴스의 비와 일치하였다.

향후 고주파 펄스 레이저 개발에 직접 활용할 수 있는 펄스 트랜스 개발을 위해 주파수에 따른 전압 펄스 형상 또는 코어의 종류에 따른 변압기 효율성 등을 고려하여 보다 심도 깊은 연구를 수행할 계획이다.

#### (참 고 문 헌)

- [1]. G.N.Glasoe, J.V. Lebacqz, "Pulse Generators", McGRAW- HILL BOOK COMPANY, 499~P.598
- [2]. Willam M. Flanagan, "Handbook of Transformer Application", McGRAW- HILL BOOK COMPANY, p.5.1~p.5.20
- [3]. E. Steingroever and G. Ross, " A 42-Tesla pulse transformer with a Mechanically High Resistant Field Former", IEEE TRANDACTIONS ON MAGNETICS, VOL.34, NO.4, JULY 1998
- [4]. P. N. Graneau, " A high-voltage transmission-line puls transformer with with very low droop, American Institute of Physics, Rev. Sci. Instrum. 67(7), July 1996
- [5]. Katsumi Masugata, " High Voltage, Low Inductance Pulse Transformer Using Ferromagnetic Core", JIEE, Vol.117, No1, 1998