

MOS-GTO 를 이용한 고주파, 고전압 전력변환기 설계에 관한 연구

· 노 진 입 성 세 진

충남대학교 전기공학과

A study on the PWM power converter with high frequency and high voltage using MOS-GTO

Jin Eep Roh Se Jin Seong

Dept. of Electrical Eng. Chungnam Nat'l Univ.

Abstract

This paper describes a study on the bridge type power converter for laser high power generator with high frequency and high voltage using MOS-GTO.

This converter effectively makes the best of the high frequency HV transformer and input-side equivalent parasitic capacitance of high voltage feeding cable in place of DC output smoothing filter.

The circuit configuration and performance are discussed and design criteria are given. The prototype rated of 10 KW, 100 KHz is implemented and experimental results are given.

1. 서 론

최근 산업의 발전에 따른 다양한 전력의 수요를 충족시키기 위하여 전력용 반도체 소자의 개발과 전력변환기의 전력 변환 방식에 대한 많은 연구가 진행되고 있다.

일반적으로 전력변환기는 사용하고자하는 장소와 목적에 따라서 전력변환 방식, 용량, 주파수 및 전압 등이 결정되고 이에 적합한 전력용 반도체가 선정된다. 이동식 산업기계(레이저 발생장치나 로봇터 팔(Arm)에 부착 등)에 사용되는 전력변환기인 경우 무게와 부피가 작을수록 유리하다. 전력변환기에서 무게와 부피를 줄이기 위한 방법으로는 전력변환 주파수를 높여서 사용 변압기의 크기와 필터회로의 크기를 줄일수 있다.

본 연구는 Laser 구동용 전원을 목적으로 하고 있으나 양자가속기, 반도체 제조기, X-선 발생기, 고출력 레이더용 전원등 직류 또는 교류 고전압이 요구되는곳에 응용을 목적으로 하였다. 본 연구에서 채택한 전력변환 방식은 브리지(Bridge) 방식으로 출력용량 10 KW(20 KV, 0.5 A), 스위칭 주파수 100 KHz 의 고주파, 고전압 전력변환기의 설계시 고려할 사항과 시제품(Prototype) 제작 및 실험내용을 위주로 하였다. 설계시 고려사항으로서는 스위칭소자의 스위칭 특성 분석과 이 소자를 Gate Drive 하기 위한 회로 설계를 비롯하여 각종 소자(Capacitor, Diode, Inductor)들의 특

성을 조사하고 용도에 적합한 소자를 선정하여야 한다. 또한 변압기 설계시 철심의 손실을 줄이기위한 철심(core) 및 절연재의 선정, 그리고 변압기의 도선과 권선방법, 고전압, 고속 정류 Diode의 선정과 고압 Capacitor, Inductor 등이 전력변환기의 설계시 중요한 변수로 작용한다.

2. 전력변환기의 구성 및 작동원리

그림 1 은 PWM Bridge AC/DC 전력변환기의 기본 구성도이다. 구성요소로는 PWM 제어회로, MOS-GTO의 Gate Drive 회로, 정류 및 평활회로, Bridge DC/AC 변환회로, 고주파, 고전압 변압기, 고주파, 고전압 정류 및 평활회로 와 출력전압 개환회로로 구성된다.

작동 흐름을 살펴보면 3상 교류 60 Hz, 440 V를 입력받아 정류 및 평활회로에 의해 직류전압으로 변환되고, 이 직류전원은 브리지 DC/AC 변환기에 의해서 고주파 교류전원으로 변환된후 고주파 승압변압기로 승압된다. 승압된 교류전원은 고전압 정류기와 출력단 Capacitor에서 고전압의 직류전원으로 최종 변환된다. 이 출력전압은 Isolation Transformer 를 통하여 PWM 제어회로로 개환된다.

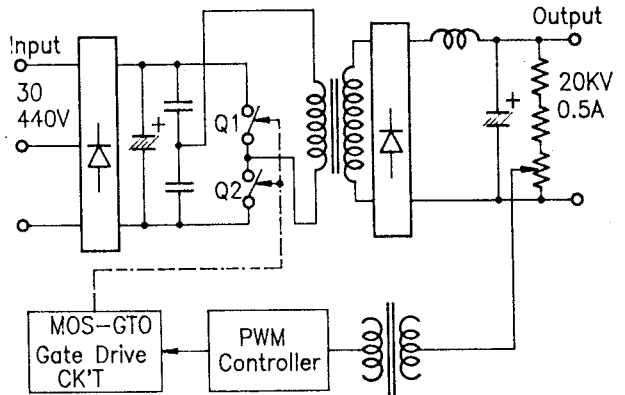


그림 1. Bridge PWM 전력변환기의 구성도

3. 고주파, 고전압 변압기의 설계

1) 철심(Core)의 선정

변압기의 설계에서 철심의 재질, 크기, 종류등의 선정은 매우 중요하며 특별히 고주파, 고전압, 대용량의 변압기 설계에서는 변압기의 효율에 많은 영향을 미치므로 다음과 같은 사항을 고려하여야 한다.

- (1) Magnetization Curve 에서 자속 밀도 B 와 자계 H 와의 관계.
- (2) 주파수 변화에 따른 철심의 손실
- (3) 철심의 재질과 유효 대역폭
- (4) 철심의 형태(종류)
- (5) 철심의 온도특성 등

2) 변압기의 동가 해석

그림 2는 고주파, 고전압 변압기를 동가회로로 나타낸것으로서 그 구성은 1차측의 Magnetization 인덕턴스 L_{mag} , 누설 인덕턴스 L_{11} , L_{12} 와 변압기의 각 권선간 또는 각 권선층간에 Stray Capacitance 를 들수 있다.

실제로 고전압 변압기인 경우 Magnetization 인덕턴스는 누설 인덕턴스에 비해서 무시할수있을 정도의 작은 값으로 변압기의 인덕턴스는 누설인덕턴스 L_{11} , L_{12} 에 의존한다고 볼수있다. 또한 변압기의 Stray Capacitance 는 권선 방법 및 권선층간의 절연물의 재질에 따라 많이 달라지게된다. 고전압 변압기의 경우 Stray Capacitance 는 1차측 권선과 철심사이 존재하는 C_{1a} 와 1차측 권선과 2차측권선과의 용량 C_{12} , 2차측 권선과 철심사이의 용량 C_{2a} 및 2차측 권선의 각 권선층간에 존재하는 용량 C_2 로 구분할수 있는데, 여기서 C_{1a} , C_{12} , C_{2a} 는 C_2 에 비하여 상대적으로 작은값을 가지므로 변압기의 Stray Capacitance 는 C_2 에 의존한다고 볼수있다. 즉 고전압 변압기의 동가회로는 그림 2 와 같이 간략화 할수있다.

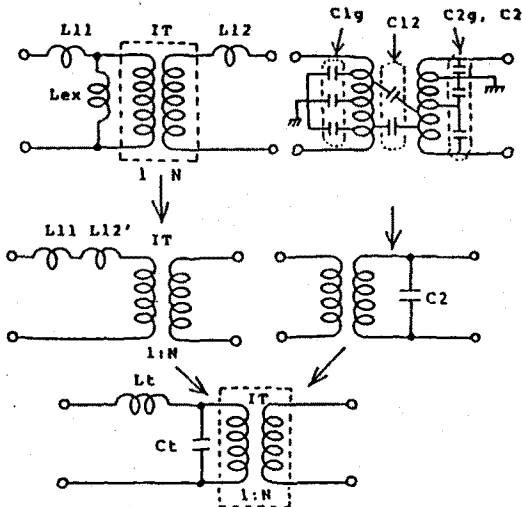


그림 2. 고전압, 고주파 변압기의 동가회로

3) 고주파 변압기의 권선 방법

고주파 자기회로의 설계시 가장 중요한것은 철심의 와전류(Eddy Current)를 최소화 하는것과 권선의 표피효과(Skin Effects) 에 의하여 동손의 증가를 줄이는 것이다.

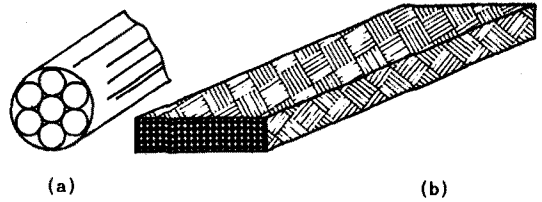


그림 3. 고주파용 도선의 모양

100 ° C 의 동선인경우 주피수에 따른 표피의 두께는 다음과 같이 주어진다.

$$d = \frac{7.5}{(f)^{1/2}} \text{ cm}$$

100 KHz 에서 표피의 두께는 0.23 mm 정도이므로 이보다 큰 반경의 동선을 사용할 경우 고주파에서 동선의 저항이 증가함을 뜻한다. 그러므로 같은 단면적일 경우에 단선 보다는 절연된 소선으로 구성된 연선을 사용하는것이 효율의 증가 측면에서 매우 중요하다.

절연된 소선으로 연선을 제작하는 방법으로는 크게 2가지로 나눌수 있다. 그림 3 은 두 권선의 형태를 나타내고 있는데 그림(a)는 일반 연선을 제작하는 방법과 같이 소선을 꼬아서 만든경우이고, 그림(b) 는 철을 자듯이 소선으로 도선을 짜서 제작한 것이다. 일반적으로 소선이 가늘고 소선수가 많을 경우에 후자의 방법을 택하고 도선의 직경이 비교적 크고 소선수가 적을경우에는 전자의 방법을 택한다.

4) 변압기의 절연

고주파, 고전압 변압기의 설계에서 절연방법 및 절연재의 선정시 고려하여야 할 사항은 다음과 같다.

- (1) 냉각 방법
- (2) 절연 방법
- (3) 절연재의 특성

- 절연 내압, 유전체의 손실, 사용온도, 유전율, 기계적 강도 등

4. DC/AC 변환 및 Gate Drive 회로

본 연구에서는 스위칭 소자로 비교적 고주파 대용량 소자인MOS-GTO 를 선정하였으며, 이를 Gate Drive 하기 위하여 Gate 특성(전압, 전류, 스위칭 시간등)을 분석하고, 이 특성을 충족시킬수 있는 Gate Drive 회로를 설계 및 제작하였다. MOS-GTO 를 이용한 Half Bridge DC/AC 변환회로에서 고려할 사항으로 사용되는 Capacitor의 고주파 특성과 적열동가저항 및 Power Dissipation 등을 고려한 Capacitor의 선정과 선로의 Inductance의 값을 줄이는것을 들수있다.

스위칭 소자에서 요구되는 전기적 특성을 만족시키기 위한 회로의 구성은 B 급 Push - Pull 전력용 증폭기로 구성하였으며, 증폭기의 특성은 Gain Bandwidth (Hz) 와 slew rate (V/ μ s) 가 높을수록 스위칭 시간이 빠르므로 증폭기의 선정시 이와같은 특성을 고려하여야 한다.

또한 본 회로에 사용되는 transistor 와 diode 등은 요구되는 전압과 전류를 만족시키면서 고속 스위칭 특성을 갖는 device 의 선정이 중요하다.

5. 제작 및 실험

앞에서 설계한 회로를 기초로하여 제작한 고주파 전력변환기에 대하여 전기적 특성시험을 수행 하였다. 그림 4에는 MOS-GTO의 Gate Drive 파형을 나타내었고, 그림 5는 변압기의 1차측 파형을, 그림 6은 출력단의 전압 및 전류 파형을 측정하였다.

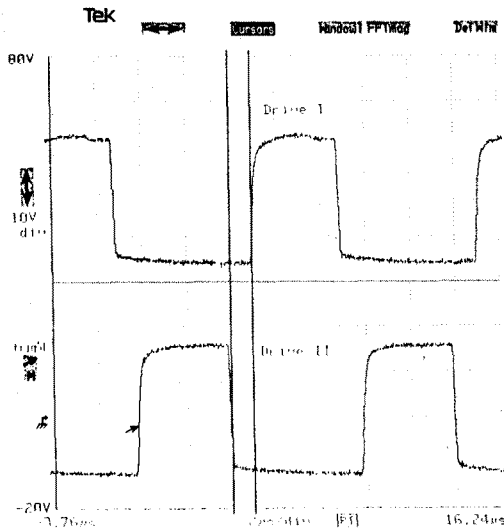


그림 4. MOS-GTO의 Gate Drive 파형

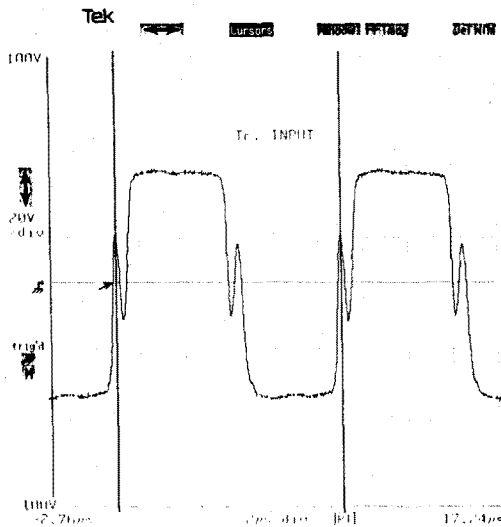


그림 5. 변압기의 1차측 파형

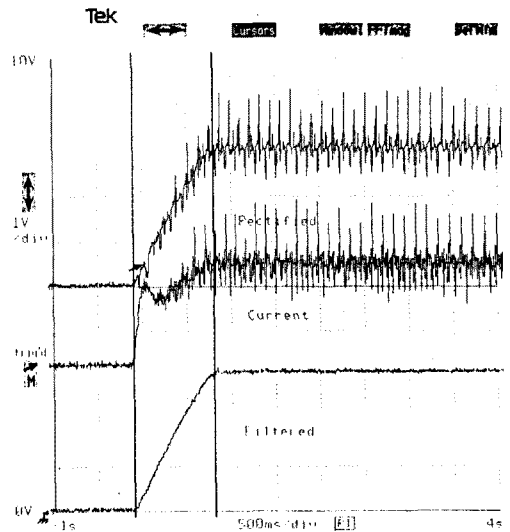


그림 6. 출력단의 전압 및 전류 파형

실험결과 부하전류의 증가에 따라 스파이크 전압이 매우 크게 발생하는것을 볼수 있었는데 이는 선로 및 변압기의 누설 인덕턴스에 의해서 발생하는것으로 Half Bridge 회로에 사용되는 Capacitor의 용량과 인덕턴스 성분을 적절히 조정하므로 이를 크게 줄일수가 있었다.

5. 결 론

본 연구에서 고효율, 소형, 경량의 레이저 구동전원용 고주파, 고전압 PWM AC/DC 전력변환기를 설계하고 시제품 (Prototype)을 제작하여 시험한 결과 주파수 100 KHz, 출력 10 Kw를 실용화 할수있는 가능성을 확인 하였고, 고주파, 고전압이면서 비교적 대용량의 변압기를 설계하고 제작해봄으로 인해 앞으로 이와 유사한 전원장치의 개발에 많은 도움이 될것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- 1) WILLIAM M. FLANAGAN " Handbook of Transformer Application ", McGAW-HILL BOOK COMPANY, 1986
- 2) " PDBS 150 型 MOS-GTO Data " 日本 インター株式会社
- 3) Unirode IC Handbook " Linear Intergrated Circuit Data and Applications ", Application Note P.9-122 - 9-133, 1990
- 4) J.Holtz, S.Salama " A Nondissipative Snubber Circuit for high-power GTO Inverters " IEEE Transactions on Industry Applications, Vol.25, No4, July/August 1989
- 5) ISPE'92 " 1992 International Symposium on Power Electronics " P.104-110, P.117-126, P.183-188', Seoul Korea, April 9-11, 1992