

충전전압 가변방식을 이용한 펄스형 Nd:YAG 레이저의 출력특성에 관한 연구

문동성, : 홍정환, 송금영, 송우정, 김강호, 김희재  
부산대학교 전기공학과

The output characteristics of pulsed Nd:YAG laser with voltage variable capacitor-charging system

D.S. Moon, : J.H. Hong, K.Y. Song, W.J. Song, K.H. Kim, H.J. Kim  
Department of Electrical Engineering, Pusan National University

**Abstract** - The pulsed Nd:YAG laser is used widely for materials processing and medical instrument etc. It is important to control the laser energy in those fields using a pulsed Nd:YAG laser. In this paper, constant-frequency current resonant half-bridge inverter and Cockcroft-Walton circuit are used to charge the energy storage capacitor variably. This laser power supply is designed and fabricated which has no high-voltage transformer, less switching losses, compact size and capability in varying the laser output power. Also, the output characteristics of this Nd:YAG laser system are investigated. The tested results are described.

레이저 발진기는 타원형 구조의 레이저 헤드와 그 양쪽에 위치한 두 개의 반사경으로 구성된다. 양쪽의 반사경은 99.5% 이상의 반사율에 곡률반경 2m의 오목거울인 전반사경(full mirror)과, 85%의 반사율에 곡률반경 ∞의 평면 거울인 부분반사경(partial mirror)이다. 냉각장치는 냉각효율이 좋도록 수냉식을 채택하였다.

1. 서 론

플래쉬램프-여기 펄스형 Nd:YAG 레이저의 전원장치는 일반적으로, 에너지저장 콘덴서를 충전시킨 다음, 콘덴서에 저장된 에너지를 펄스성형회로를 거쳐 램프로 전달하여 점등시키는 구조로 되어있다. 기존의 Nd:YAG 레이저 전원장치는 승압용 변압기, 변압기 2차측의 고압용 정류부와 평활용 콘덴서가 필요하다. 이렇게 얻어진 고압의 직류전원을 스위칭하여 에너지저장 콘덴서를 충전시키게 된다. 이때 충전경로에 있는 저항에 의해 손실이 발생하며, 또한 충전전압을 조절할 수 없으므로 레이저의 단펄스 출력에너지의 가변도 불가능하다.[1]

본 연구에서는 승압용 변압기를 사용하지 않아 부피와 무게를 줄인 소형이며, 전류공진형 인버터를 적용하여 스위칭 손실을 줄이고 에너지저장 콘덴서의 충전 전압과 펄스반복률도 동시에 가변할 수 있는 레이저 전원장치를 이용한 Nd:YAG 레이저의 출력특성을 조사하였다.

2. 본 론

2.1 레이저 시스템의 구성

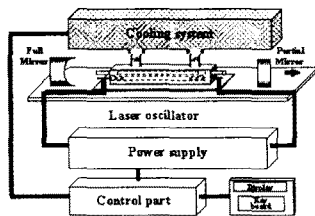


그림 1. Nd:YAG 레이저 시스템

그림 1은 Nd:YAG 레이저 시스템의 개략도를 나타낸다. 레이저 시스템은 크게 레이저 발진기, 냉각장치, 전원장치와 제어장치로 구성된다.

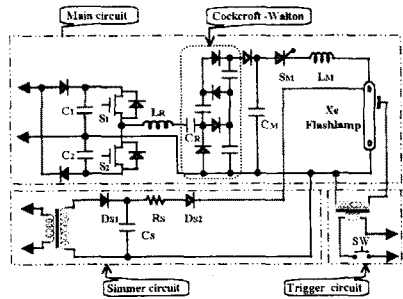


그림 2. 반파브리지 인버터와 Cockcroft-Walton 회로를 이용한 레이저 전원회로

그림 2는 전류공진형 반파브리지 인버터와 Cockcroft-Walton 회로를 이용한 에너지저장 콘덴서 충전방식의 레이저 전원장치이다.

전원장치는 주(Main) 회로, 시머(Simmer) 회로, 시머 트리거(Trigger)회로로 구성된다. 트리거회로에 의해 플래쉬램프(flashlamp)가 일단 트리거 되면 시머회로에 의해 램프에 스트리머 방전이 유지된다. 이는 플래쉬램프의 방전개시 전압을 저하시켜 쉽게 방전이 일어날 수 있게 하며 램프의 수명 연장과 광효율의 개선 등을 가능하게 한다. 주 회로는 다시 정류부, 전류공진형 반파브리지 인버터, Cockcroft 회로와 펄스성형 회로로 구성된다. 정류부에 의해 정류된 직류전원이 S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>의 순차적 스위칭에 의해 전류공진이 일어나며, 이때 Cockcroft 회로에 의해 정류·승압이 동시에 이루어지며 콘덴서를 충전시킨다. 원하는 전압까지 충전이 완료되면 S<sub>M</sub>을 스위칭하여 콘덴서의 에너지를 펄스성형회로를 거쳐 플래쉬램프로 전달하며 램프를 점등시키게 된다.

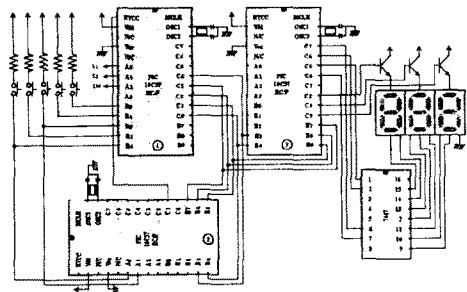


그림 3. 제어회로

제어장치는 PIC 원칩 마이크로 프로세서(one chip micro processor)를 이용하여, 키보드 입력을 받아 반파 브리지  $S_1$ ,  $S_2$  제어신호와 램프점등용  $S_M$  제어신호를 발생시키도록 하였다. 그림 3은 제어회로도이며 PIC ①이 키보드 입력을 받아 디스플레이 신호를 발생시키고, 이 신호에 의해 PIC ②는 타이밍 신호를 발생시키며 PIC ③이 디스플레이 하도록 각각 프로그램 하였다.

## 2.2 실험결과 및 검토

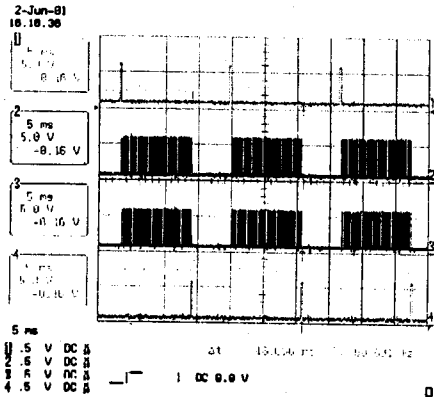


그림 4. 제어신호 파형

그림 4는 PIC에서 출력되는 제어신호를 나타낸다. 파형 1은 PIC ②에서 출력되는 타이밍 신호이며 파형 2, 3, 4는 각각 PIC ①에서 출력되는  $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_M$  제어신호이다.  $S_M$  신호가 약 16.67ms의 시간 간격을 가지고 발생하므로, Nd:YAG 레이저 시스템이 60pps(pulse per second)로 동작하고 있음을 알 수 있다.

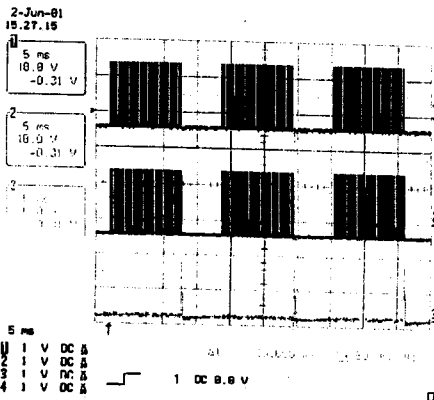


그림 5. IGBT 와 SCR 구동 신호

그림 5는 PIC에서 나온 제어신호를 이용해 발생시킨, 반파브리지 IGBT(BSM75GB120DN2 : Eupec Co.)  $S_1$ ,  $S_2$ 의 구동신호와 SCR(SC30C-120 : Sanrex Co.)  $S_M$ 의 구동 신호이다. 파형 1, 2는 각각  $S_1$ ,  $S_2$ 의 구동 신호이고 파형 3은  $S_M$ 의 구동 신호이다. 반파 브리지 IGBT의 구동 신호는 PIC의 제어신호를 받은 2개의 EXB841(Fuji Co.)에서 각각 발생한 것이고, SCR 구동 신호는 PIC의 제어신호를 증폭회로에 의해 증폭시킨 것이다.

그림 6은  $L_R$ 를 통해 흐르는 인버터 출력전류파형, 반파브리지 IGBT의 구동신호와 SCR의 구동신호이다. 파형 A는 인버터 출력전류파형이고 파형 B, C는 각각 IGBT  $S_1$ ,  $S_2$ 의 구동신호이며, 파형 D는 SCR  $S_M$ 의

구동 신호이다. 인버터 출력전류는 초기에 첨두치가 다소 상승하였다가 충전이 진행되어 갈수록 점차 안정적으로 된다. 또한 IGBT와 병렬로 연결된 환류다이오드를 통해 흐르는 인버터전류의 첨두치는 점진적으로 감소할 수 있다. 이는  $C_M$ 이 점차 충전되기 때문이다.

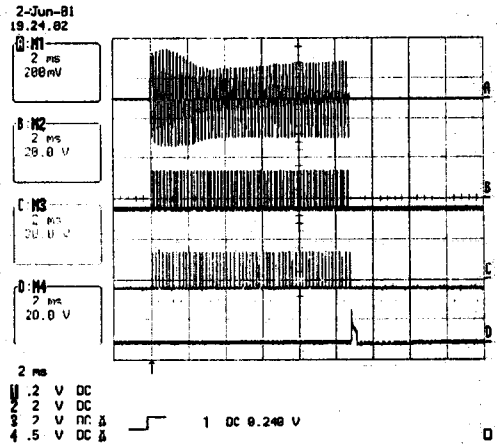


그림 6. 인버터 출력전류파형과 구동신호

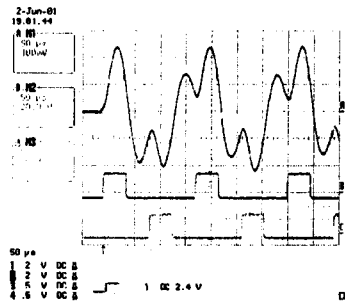


그림 7. 초기 인버터 출력전류와 구동신호

그림 7의 파형 A는 반파브리지 스위칭 시작부분의 인버터 출력전류파형이고, 파형 B, C는 각각 IGBT  $S_1$ ,  $S_2$ 의 구동 신호를 시간축으로 확대한 것이다.  $S_1$ ,  $S_2$ 의 구동신호는 전류공진 시간에 맞추어 순차적으로 On·Off 하도록 하였으며, 인버터 출력전류가 공진하고 있음을 알 수 있다.

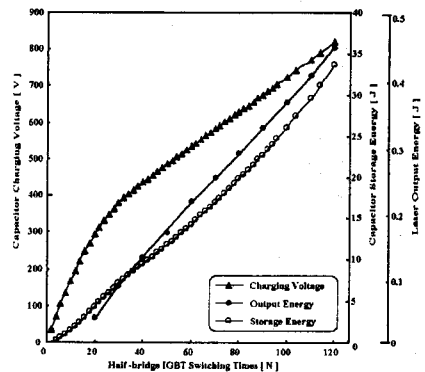


그림 8. 스위칭에 따른 충전전압과 레이저 출력

그림 8은 스위칭 횟수에 따른 콘덴서 충전 전압, 그에 따른 충전에너지와 단펄스 레이저 출력에너지를 나타낸

다. 충전 전압은 처음에는 가파르게 상승하다가 점차 완만해지며 선형적으로 상승한다. 또한 충전에너지도 선형적으로 증가하며, 출력 에너지도 이와 비례하여 선형적으로 증가한다. 즉, 스위칭횟수의 제어를 통해 레이저 단펄스 출력에너지의 선형적 가변이 가능함을 보인다.

가 가능함을 알 수 있다.

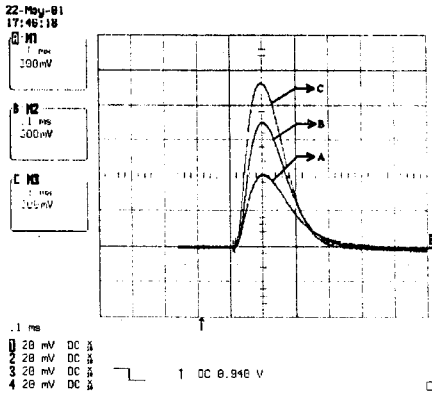


그림 9. 스위칭 횟수 40, 80, 120의 램프 전류파형

그림 9의 신호 A, B, C는 각각 인버터의 스위칭 횟수가 40, 80, 120 일때 펄스성형 인덕터  $L_M$ 을 거쳐서 플래시램프를 통해 흐르는 전류파형을 나타낸다. 스위칭 횟수가 증가 하면 충전전압이 높아져서 에너지가 커지므로 전류의 피크치도 증가함을 보인다. 따라서 레이저 단펄스 출력에너지도 증가하게 된다. 충전전압만 가변시키고 콘덴서 용량과 펄스성형 인덕터  $L_M$ 의 값은 일정하게 두었기때문에, 전류 펄스의 반치폭(FWHM)은 모두 약 130( $\mu$ s)로 일정함을 볼 수 있다.

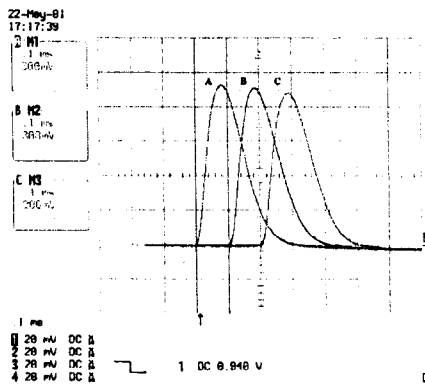


그림 10. 스위칭 횟수 120일때 1, 30, 60pps의 플래시램프 전류파형

그림 10은 반파브리지 인버터의 스위칭 횟수가 120회일때의 플래시램프 전류파형을 나타낸다. 신호 A, B, C는 각각 1, 30, 60pps의 플래시램프 전류파형이다. 펄스반복률(pps)이 증가할수록 전류의 피크치도 다소 감소하게 되며, 이로 인해 펄스반복률이 높을수록 레이저 단펄스당의 효율의 저하가 일어난다. 따라서 펄스반복률 증가에 따른 레이저 출력의 곡선은 점차 기울기가 감소하는 경향을 나타내게 된다.

그림 11은 각 스위칭과 펄스반복률에 따른 레이저 출력특성을 나타낸다. 출력은 0에서 21[W]까지 가변하여 얻을 수 있었다. 또한 펄스반복률과 스위칭횟수의 두 가지 인자를 동시에 제어가 가능하므로, 이들 두 값을 조절하면 그림의 곡선 내부 공간에 위치하는 어떤 값의 출력도 얻을 수 있기 때문에 레이저 출력의 정밀한 제어

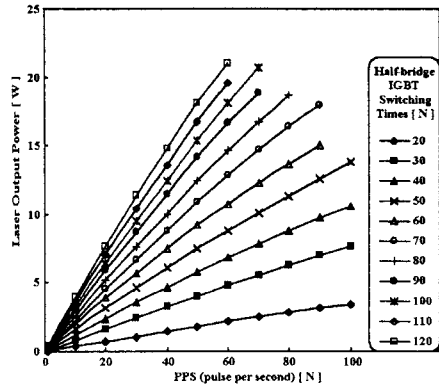


그림 11. 스위칭횟수와 펄스반복률에 따른 레이저 출력

### 3. 결 론

본 연구에서는 승압용 변압기를 사용하지 않아 소형이며, 정류한 직류전원을 전류공진형 반파브리지 인버터와 Cockcroft-Walton 회로를 이용하여 0에서부터 820[V]까지 에너지 저장 콘덴서를 가변하여 충전시킬 수 있고, 동시에 펄스반복률(pps)도 조절이 가능한 Nd:YAG 레이저 전원장치를 구성하였다.

반파브리지 인버터의 스위칭횟수를 조절하면 콘덴서 충전 전압·에너지 및 단펄스 레이저 출력에너지도 선형적으로 가변할 수 있음을 알았다. 따라서 스위칭횟수 조절에 따른 단펄스 레이저 출력에너지 제어와, 펄스반복률 제어의 두 가지 출력조절 인자를 동시에 조절할 수 있으므로 정밀한 레이저 출력의 가변이 가능함을 파악하였다.

### (참 고 문 헌)

- [1] J.H. Hong, et al, "A new proposal of high repetitive Nd:YAG laser power supply adopted the sequential charge and discharge circuit", Optics & Laser Technology, 31, pp. 397-400, 1999
- [2] Albright, C. "Laser welding, machining and materials processing", IFS Publication, pp. 8-12, 1996
- [3] T. G. Barton, "Effects of simmer current on flash-lamp impedance and their combined influence on the output of the HoCrTm:YAG laser", Applied Optics, vol. 34 no. 12, pp.2004-2011, 1995
- [4] R. M. Nelms, et al. "High voltage capacitor charging power supplies for repetitive rate loads" IEEE Industry Application Society Proceedings, pp. 1281-1285, 1990
- [5] A. C. Lippincott, "A series resonant converter with constant on-time control for capacitor charging applications", Master's Thesis, Auburn Univ., 147-154, 1990
- [6] J. Tanaka, "The high frequency drive of a new multi-stage rectifier circuit", Proc. IEEE-PESC Conf. vol.2, pp.1031-1037, 1998
- [7] Rahul S. Chokhawala, "Switching voltage transient protection schemes for high-current IGBT modules", IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 33, no. 6, 1997
- [8] W. Koechner, "Solid-state laser engineering", Springer, Fifth revised and updated edition, 1999