

Feedback 제어를 통한 고체 레이저의 출력특성 안정화에 관한 연구

송금영, 궤수영, 홍정환, 노기경, 김희영, 강욱, 김희재  
 부산대학교 전기공학과, \*동주대학 컴퓨터정보통신과, \*\*한국전기연구원

A study of stable output of solid-state laser through feedback control

K. Y. Song, S. Y. Kwak, J. H. Hong, K. K. Noh, W. Y. Kim, U. Kang, H. J. Kim  
 Pusan National Univ., \*Dong-Ju College, \*\*KERI

**Abstract** - A pulsed Nd:YAG laser is used widely in many applications such as materials processing, communications, military and medical instruments. It is important to control the laser energy in those fields with using a pulsed Nd:YAG laser. In this paper, constant-frequency current resonant half-bridge inverter and feedback control circuit are used to have output stable.

This laser power supply is designed and fabri which was isolated. Also, this study is used an one-chip microprocessor, SCR, current transform A stable output of this Nd:YAG laser system investigated. The tested results are described.

1. 서 론.

최근 재료가공, 산업계측, 의료용 기기등의 응용기술분야에 레이저가 널리 활용되고 있다. 본 연구에서 대상으로 하는 펄스형 Nd:YAG 레이저는 효율이 높고, 침투출력이 높아 재료가공이나, 의료용등에 널리 쓰고 있다.

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 콘덴서에 에너지를 저장시켰다가 방전할 때에 출력의 변동이 생기게 된다. 이 현상의 경우는 초기에 콘덴서의 충전 시에 발생하게 된다. 이 경우 재료 가공이라든지, 의료용의 경우 불안정적인 성형이 이루어지게 된다. [1]

본 연구에서는 에너지저장 콘덴서의 충전전압의 가변과 동시에 C.T.를 통한 방전전류의 Feedback신호를 검출하여 일정한 출력이 나오도록 레이저 전원장치를 연구하였다.

2. 본 론

2.1 레이저 시스템의 구성

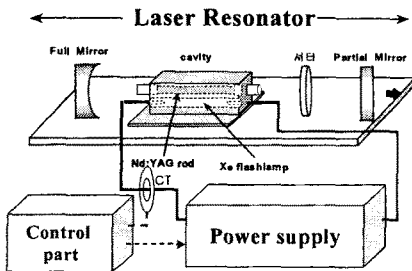


그림 1 레이저 개략도

그림 1은 Nd:YAG 레이저 시스템의 개략도를 나타낸다. 레이저 시스템은 크게 레이저 발전기, 전원장치와 제어장치로 구성된다. 레이저 발전기는 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. 전류CT의 경우 레이저 발전시의 전류파형을 측정하기 위하여 ABB사의 ES300C의 CT를 사용하였다. 그리고 서터는 레이저 출력이 안정화되기 전까지 레이저 빔이 출력되는 것을 방지해 주는 역할을 하게된다. 레이저빔이 출력된 이후로, 출력이 안정화되면 서터는 전기적인 신호가 인가되어 레이저 빔이 발전된다.

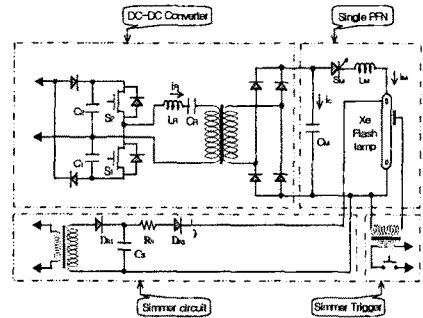


그림 2 Half-Bridge 컨버터를 이용한 절연형 Nd:YAG 레이저의 전원회로

그림 2는 전류공진형 반파브리지 인버터를 이용한 CCPS(Capacitor Charge Power Supply)방식의 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, pulse transformer회로와펄스성형 회로로 구성된다. 정류부에 의해 정류된 직류전원이 S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>의 순차적 스위칭에 의해 전류공진이 일어나며, 이때 pulse transformer회로에 의해 승압이 이루어져 2차측 콘덴서를 충전시킨다. 일정 전압까지 충전이 완료되면 S<sub>M</sub>을 스위칭하여 콘덴서의 에너지를 펄스성형회로를 거쳐 플래쉬램프로 전달하여 레이저를 발전시키게 된다.

제어장치는 PIC one-chip 마이크로 프로세서(PIC one-chip micro processor)를 이용하여, 키보드 입력을 받아 반파브리지 S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub> 제어신호와 램프점등용 S<sub>M</sub> 제어신호를 발생시키도록 하였다. 그림 3은 제어회로도이며

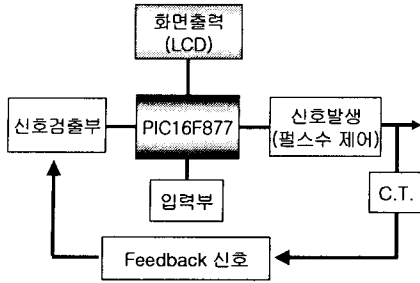


그림 3 controller 원리도

신호를 입력받아서 PIC에서 display시키고, 타이밍 신호를 출력하고 난 후, C.T.를 이용하여 feedback 신호를 발생시켜서 PIC로 입력되면, PIC에서는 입력신호를 검출하여 출력을 일정하게 유지시킨다.

## 2.2 실험결과 및 검토

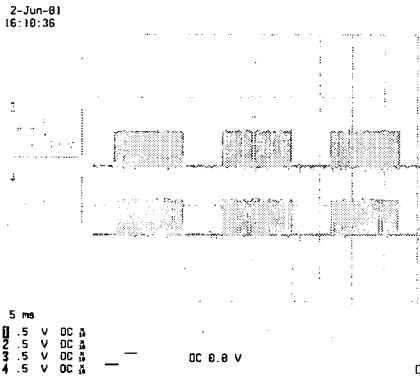


그림 4. 제어신호 파형

그림 4는 PIC에서 출력되는 제어신호를 나타낸다. 출력신호  $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_M$ 은 제어신호이다.  $S_M$  신호가 약 16.67ms의 시간 간격을 가지고 발생하므로, Nd:YAG 레이저 시스템의 signal이 출력된다는 것을 알 수 있다.

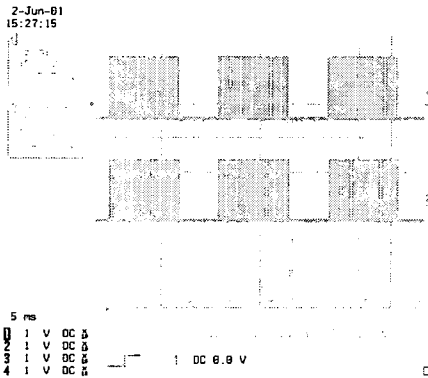


그림 5. IGBT 와 SCR 구동 신호

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. 반파브리지 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  $L_R$ 을 통해 흐르는 인버터 출력전류파형, 반파브리지 IGBT의 구동신호와 SCR의 구동신호이다. 파형 A는 인버터 출력전류 파형이고 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 감소함을 볼 수 있다. 이는  $C_M$ 이 점차 충전되기 때문이다.

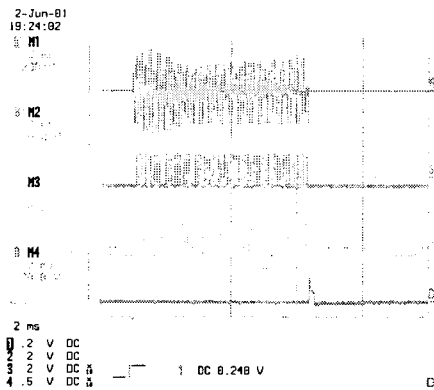


그림 6. 인버터 출력전류파형과 구동신호

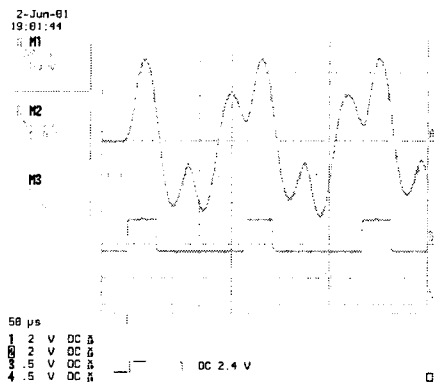


그림 7. 초기 인버터 출력전류파형과 구동신호

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

그림8은 IGBT스위칭 회수에 따른 커패시터 충전전압과 출력을 나타내고 있다. 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. 그리고 출력의 안정성을 얻기 위해서

feedback된 신호를 측정하여 커패시터에 충전되는 전압을 조정하여 출력의 안정성을 구하였다

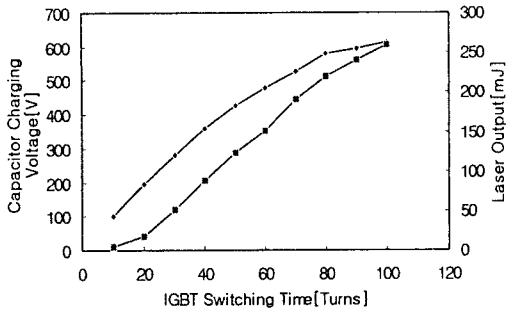


그림 8 스위칭에 따른 충전전압과 레이저 출력

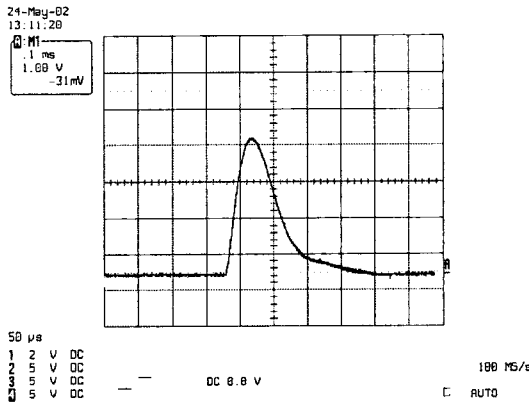


그림 9 플래쉬 램프의 전류파형

그림 9는 플래쉬 램프의 전류파형으로서 1:2000의 ABB 사의 ES300C의 전류 C.T.로서 측정 한 파형으로써 충전전압은 600[V]이다. 이 경우 출력의 안정성은 이 전류파형의 첨두치를 기준으로 하여, feedback된 신호를 one-chip 마이크로 프로세서 PIC16F877에서 측정하여 신호를 처리하게 된다. 만약 입력된 신호의 첨두치가 이 첨두치 값을 초과할 경우 커패시터 충전전압을 낮추고, 이 값 이하로 나올 경우에는 커패시터 충전전압을 상승시켜서 플래쉬램프의 전류파형의 첨두치가 일정하도록 유지시킨다.

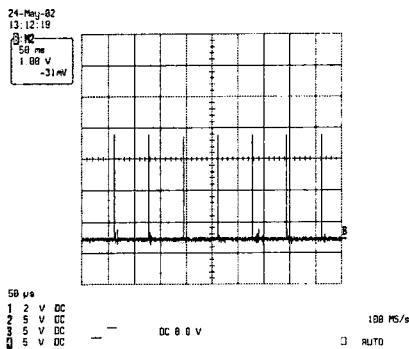


그림 10 출력안정화 전류파형

위 그림은 플래쉬램프의 방전전류 파형을 나타낸다. 그림 10에서 오실로스코프의 전류파형의 변화는 미세하지만 권수비가 1:2000이므로 실제적으로는 큰 전류변화가 발생하게 되므로, 이를 적절히 제어함으로써 레이저의 출력을 안정화시킬 수 있다. 이때 이용하는 방법으로써 파형의 첨두치를 일정하게 하는 것이다. 즉, 커패시터의 충전전압을 가변시켜서 방전전류의 첨두치를 일정하게 유지함으로써 레이저의 출력을 일정하게 유지하였다. 이 경우 입력전압은 600[V]로 고정하였다. 이는 출력의 안정성과 기존의 레이저 출력시스템과의 비교를 위해서 선택한 전압이다.

### 3. 결 론

본 연구에서는 정류된 직류전원을 전류공진형 반파브리치 인버터와 Pulse Transformer를 이용하여 에너지 저장 콘덴서의 충전전압을 가변시켜 레이저 출력을 일정하게 하였다.

반파브리치 인버터의 IGBT 출력 펄스 수를 조절함으로써, 레이저의 미세한 출력의 변화를 일정한 값으로 조절할 수 있음을 알았다. 이는 기존의 레이저 출력의 변동을 방지할 수 있다. 따라서 물질의 가공이나 의료용의 경우 출력을 조정하여 안정적인 가공이나 치료를 할 수 있음을 연구했다.

차후 더 많은 실험을 진행하여 정확한 레이저 출력의 안정화와 함께 높은 주파수에서도 동작할 수 있도록 연구해 나갈 것이다.

### {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
- [9] Matsuo, H. "Analysis of the improved soft-commutated PWM inverter by using an AC current transformer", Power Electronics Specialists Conference, PESC '94 Record., 25th Annual IEEE, 1994
- [10] Abdel-Rahim, N. "Multiple feedback loop control strategy for single-phase voltage-source UPS inverter", Power Electronics Specialists Conference, PESC '94 Record., 25th Annual IEEE, 1994