

Zero Crossing 방식을 이용한 펄스형 Nd:YAG 레이저의 출력 특성

홍정환*, 운동성, 노기경, 김취영*, 강욱*, 김희재, 조정수
 부산대학교 전기공학과, 동주대학 컴퓨터정보통신학과*, 한국전기연구소*

The output characteristics of pulsed Nd:YAG laser using Zero Crossing method

J. H Hong*, D. S Moon, K. K Noh, W. Y Kim*, Uk Kang*, and H. J Kim, J. S Cho
 Dept. of Electrical Eng. Pusan national Univ., Dept. of I.C.C. Dong-Ju college*, KERI**

Abstract - For general laser power supply, output of the secondary of the power transformer is connected to the rectifier and filter capacitor. The output of a rectifier is applied to a switching element in the secondary of the transformer. So, power supply is complicated and the loss of switching is considerably. In addition, according to increasing pulse repetition, charged energy of energy storage capacitor is not transferred sufficiently to flashlamp, and laser output efficiency decreases.

In this paper, to improve laser efficiency, we designed and fabricated the power supply in which the SCR was turned on in zero point by the method of ZCC(zero crossing control)in result, laser output efficiency in creased by about 3.5% other than conventional supply, when a repetition rate was increased by 10(pps). In 60(pps), efficiency was about 20%.

1. 서 론

가공용 레이저로는 CO₂, 루비, Nd:YAG, 아르곤 이온 레이저 등이 이용되고 있으며, 이중 펄스형 Nd:YAG 레이저는 CO₂ 레이저와 함께 레이저 가공에 널리 사용되는 고체 레이저로서 마킹(making), 트리밍(trimming), 리페어링(repairing) 등의 정밀 가공 분야에서 많은 실용화가 이루어져 왔다.[1-3]

CO₂ 레이저의 경우 매질가스로 CO₂, N₂, He 등을 사용해야하므로 취급 및 유지보수가 불편하지만, 열전도율이 높고, 기계적 광학적으로 안정된 Nd:YAG 레이저는 램프에 의한 광 여기 방식이므로 유지 보수가 쉽다. 또한 광 출력의 제어가 용이하며, 광파이버에 의한 빔 전송이 가능하여 산업기술 및 의료분야에서의 적용이 더욱 더 확대되고 있다.[4,5]

펄스형 Nd:YAG 레이저 시스템의 효율개선을 위해서는 공진기 및 레이저 전원장치의 효율개선이 필수적이다. 현재 가공용 레이저의 공진기는 주로 페브리페로 공진기 형태를 취하고 있으며 광학적으로 안정된 출력 특성을 보이고 있다. 하지만 레이저 전원장치는 아직 개선되어야 할 부분이 많다.[6, 7]

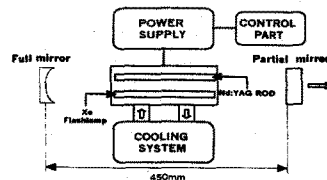
기존의 스위칭 전원은 변압기 2차측에 정류부 및 평활용 콘덴서가 필수적으로 포함되어 있으며, 이렇게 얻어진 직류전압의 후단부를 스위칭하게 되므로 전원장치가 복잡하다. 또한 스위칭에 의한 손실이 크고, 펄스반복율(pulse repetition rate)이 증가할수록 콘덴서에 저장된 에너지가 램프로 충분히 전달되지 못하여 레이저 출력 효율이 저감되는 단점이 있다. 이러한 점을 보완하기 위한 방법으로 변압기 2차측을 PWM(pulse width modulation)제어하는 방식과 ZVS(zero voltage switching) 및 ZCS(zero current switching)방식 등

을 사용하여 전원장치의 효율을 향상시키고 있다. 하지만 이러한 방식도 정류부 및 평활용 콘덴서가 필수적이므로 전원장치가 복잡하고, 고가라는 단점이 있다.[8-12]

본 연구에서는 정류부 및 평활용 콘덴서를 사용하지 않고, 교류전압의 영점(ZERO)을 ZCC(zero crossing control)방식으로 검출하여 변압기 2차측 교류전압의 영점에서 SCR을 턴-온(turn-on)시킴으로서 스위칭에 의한 손실을 줄일 수 있는 성능이 우수한 레이저 전원장치를 소개하고자 한다.

2. 본 론

2.1 레이저 시스템



전반사거울(곡률반경 : 2m, 반사율 : 99.5%)
 출력거울(곡률반경 : ∞, 반사율 : 85%)
 Nd:YAG 로드 (도평율 : 1.1%, 길이 : 76.2mm, 반경 : 6mm)
 Xe 플래쉬램프 : (방전길이 : 76.2mm, 반경 : 6mm)

그림 1. 레이저 시스템 개략도
 Fig. 1 The schematic diagram of laser system

그림 1은 Nd:YAG 레이저 시스템의 구성도를 나타낸다. 레이저 시스템은 레이저 발진기와 냉각장치 및 전원회로 등으로 구성된다. 레이저 발진기는 중앙에 단일 타원형 구조의 레이저 헤드와 있고, 그 양가에 레이저 발진을 유도하기 위한 두 개의 거울, 즉 전반사경(반사율 99.5% 이상, 곡률반경 2m인 오목거울) 및 부분 반사경(반사율 85%의 평면거울)으로 구성하였다. 냉각장치(DRS-160A)는 냉각효율을 증대하고자 수냉식을 사용하여 로드(Rod), 램프, 레이저 헤드를 냉각시키므로 안정된 레이저 동작을 유지하도록 하였다.

2.2 ZCC방식의 전원장치 및 제어부

2.2.1 전원장치

그림 2는 변압기 2차측 교류 전압의 영점(ZERO)에서 SCR1이 스위칭하여 콘덴서에 에너지를 충전하므로

고조파에 의한 손실 및 스위칭에 의한 손실을 줄일 수 있는 간단한 ZCC(zero crossing control)방식의 전원장치이다.

동작원리는 다음과 같다.

1. simmer 회로로 플래쉬 램프의 양단에 직류 1kV를 가한 후 trigger 회로의 스위치(SW)를 턴-온하면 플래쉬 램프의 양단에 예비방전인 스트리머 방전(streamer discharge)이 유기된다.
2. SCR1이 턴-온(turn-on)하면 콘덴서(C_M)에 에너지를 충전
3. SCR1이 턴-오프(turn-off) → SCR2가 턴-온되어 콘덴서에 충전된 에너지를 플래쉬 램프에 전달하는 [First-charge, Last discharge] 방식으로 동작한다.

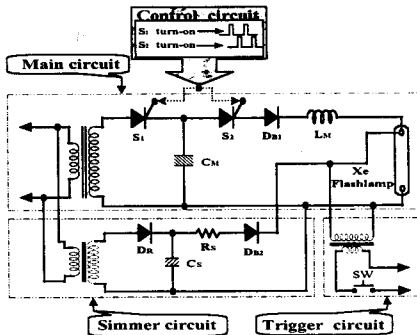


그림 2. ZCC 방식의 레이저 전원회로
Fig.2 The laser power supply of ZCC method

2.2.2 제어부

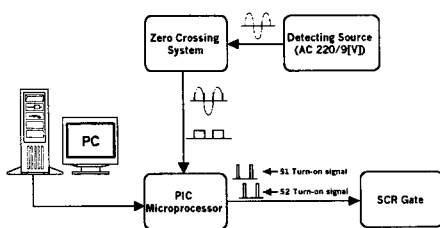


그림 3. 영점(zero) 검출부 및 SCR 제어부의 개략도

Fig. 3 The schematic diagram of zero detect and SCR control part

그림 3은 영점(zero) 검출부 및 SCR 제어부의 개략도를 나타낸다. 먼저 ZC(Zero Crossing)시스템이 교류 입력전압의 영점을 검출한 신호(signal)를 PIC microprocessor로 전송하면, PIC가 이 신호를 감지하여 주전원의 SCR1과 SCR2에 턴온 신호를 보내어 순차적으로 SCR를 턴-온 시켜 1pps에서 60pps까지 동작하게 된다.

2.2.2 실험결과 및 검토

그림 4는 60pps로 동작했을 때의 영점 검출 신호 및 SCR 게이트 턴온 신호를 나타낸다. B신호가 교류 입력전압(A파형)의 영점을 검출하여 마이크로프로세서에 전송하면 C, D 신호가 지연시간 약 8.4ms 간격으로 순차적으로 SCR를 턴-온(turn-on)하게 된다.

그림 5는 콘덴서 충전전압 약850(V), 펄스반복을

1pps일때의 플래쉬램프의 전류파형 및 레이저 빔 프로파일(laser beam profile)을 나타낸다. 플래쉬램프의 전류파형은 Current transformer(감도 0.001 [V/A])의 Pearson Electronics Co.)로 측정하였고, 레이저 빔 프로파일은 APD(Model : Hamamatsu C5331)로 측정하였다. 플래쉬램프의 상승시간(rising time)의 약 70% 지점에서 문턱치(Threshold)에 도달하였다. 이때의 전류 및 프로파일 파형의 FWHM(full width at half maximum)은 100 μ s로 거의 동일하다.

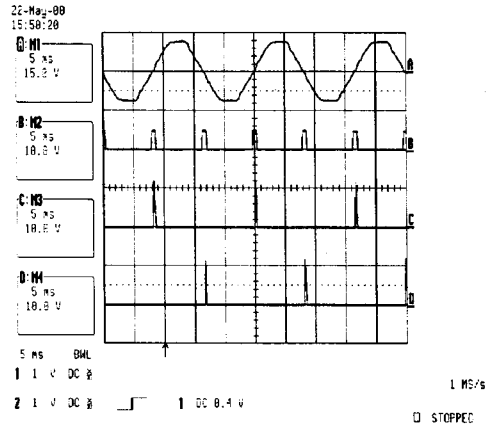


그림 4. 영점 검출신호 및 SCR 게이트 턴온 신호
Fig. 4 Zero detect and SCR gate turn-on signal

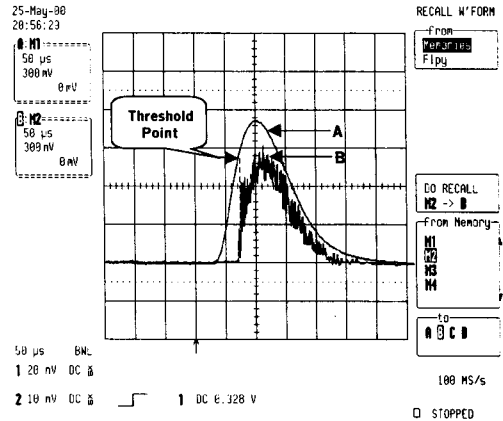


그림 5. 펄스반복율 1pps일때의 플래쉬램프의 전류파형 및 레이저 빔 프로파일
Fig. 5 A current waveform of flashlamp and laser beam profile at the pulse repetition rate of 1(pps)

그림 6은 펄스반복율 1pps, 30pps, 60pps일때의 플래쉬램프의 전류파형을 나타낸다. 파형 A, B, C의 전류피크치는 각각 1130(A), 1020(A), 990(A)를 나타낸다. 펄스반복율이 증가할수록 콘덴서에 충전된 에너지가 램프로 충분히 전달되지 못하므로 전류피크치가 다소 감소하게 된다

그림 7은 펄스반복율 60pps일 때의 플래쉬램프의 전류파형을 나타낸다. 부족제동(under damping)이 거의 없는 임계제동(critical damping)에 가깝기 때문에 램프에 손상을 주지 않고, 안정된 출력특성을 나타낸다.

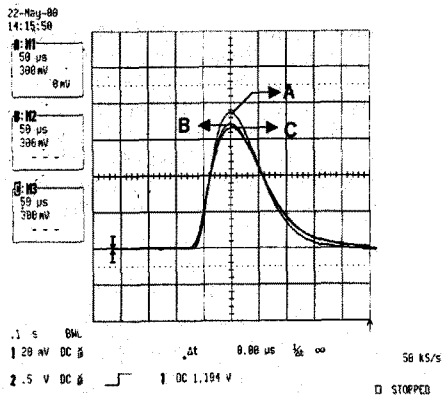


그림 6. 펄스반복율 1, 30, 60(pps) 일때의 플래쉬램프의 전류파형
 Fig. 6 A current waveforms of flashlamp at the pulse repetition rate 1, 30, 60(pps)

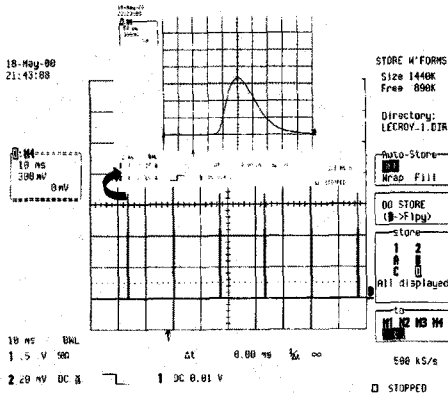


그림 7. 펄스반복율 60(pps)일 때의 플래쉬램프의 전류파형
 Fig.7 A current waveform of flashlamp at the pulserepetition rate 60(pps)

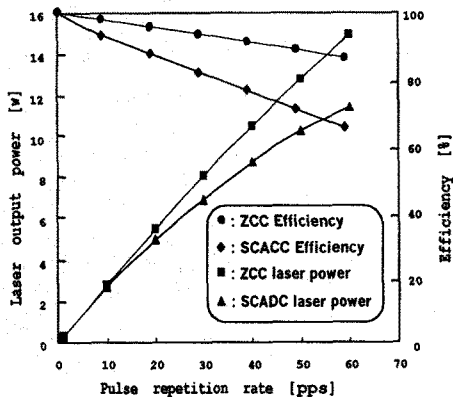


그림 8은 펄스반복율에 따른 레이저 출력특성
 Fig. 8 The characteristics of laser output vs. pulse repetition rate

그림 8은 펄스반복율에 따른 레이저 출력특성을 나타낸다. 기존의 전원장치인 SCADC(sequential charge and discharge circuit)는 반복율이 상승할수록 출력이 약 6%씩 감소하여 60(pps)에서 약 11W의 출력을 나타내었다. [12] 반면 본 논문의 새로운 방식인 ZCC방식은 펄스반복율이 증가할수록 2.3%씩 감소하여 60pps에서는 약 15W를 나타낸다. 따라서 기존의 방식보다는 약 20%의 효율이 상승하였다.

3. 결 론

본 연구에서는 교류전압의 ZERO점에서 SCR을 온-오프(on-off)시키는 ZCC(zero crossing control)방식의 펄스형 레이저 전원장치를 설계 및 제작하여 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

- (1) 2차측 교류전압의 영점(ZERO)에서 SCR을 턴-온(turn-on)시켜 스위칭에 의한 손실을 줄일 수 있었고, 평활용 콘덴서 및 정류부를 생략함으로써 전원장치의 단순화 및 저 가격화를 실현하였다.
- (2) 펄스반복율 60pps까지 플래쉬램프의 전류파형이 임계제동(critical damping)에 가까운 동작을 보이므로 램프에 손상을 주지 않으며, 안정된 출력특성을 보였다.
- (3) ZCC방식의 레이저 전원회로가 평활용 콘덴서 및 정류부를 이용한 SCADC 방식보다 60(pps)에서 레이저 효율이 20[%] 상승하였다.

(참 고 문 헌)

- [1] Kenichi Iga et al., "Fundamentals Laser Optics", Plenum Press, New York and London, pp. 13-15 (1994).
- [2] Yasutomo Fujimori, "Laser Material Processing in Electric Industries", Proceeding of Lamp '92, Nagaoka, pp. 981-986, (1992).
- [3] Albright, C. "Laser Welding, Machining and Materials Processing", IFS Publication, pp.8-12, (1996).
- [4] Orazio Svelto, "Principles of Lasers", Plenum Press, New York, Chap. 9, (1982).
- [5] A. L. Petrov et al. "New Advances in Industry Application of YAG Pulse Lasers", Proceeding of Lamp '92, Nagaoka, pp. 993-997, (1992).
- [6] Christopher C. Davis, "Lasers and Electro-Optics Fundamentals and Engineering", Cambridge university press, Chap. 5, (1996)
- [7] W. Koehner, "Solid-State Laser Engineering", Springer-Verlag, New York, Heidelberg, pp.118-126, 189-201, (1995).
- [8] Muhammad H. Rashid, "Power electronics", Prentice Hall, Inc., pp.83-128, (1992).
- [9] Daniel W. Hart, "Introduction to Power electronics", Prentice Hall, Inc. pp.162-182, 185-230, 291-333, 338-375, (1997).
- [10] Hee-Je Kim, Eun-Soo Kim, Dong-Hoon Lee, "The development of a high repetitive and high power Nd:YAG laser by using a zero-current switching resonant converter", Optics & Laser Technology 30, pp. 199-203, (1998).
- [11] Hee-Je Kim, Jon-Han Joung, Dong-Hoon Lee, and Dong-Hyun Kim, "Active two-pulse superposition technique of a pulsed Nd:YAG laser", Optical Engineering, Vol 37, Issue 6, pp.1780-1784, June 1998
- [12] Jung-Hwan 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).