ISSN 1975-8359(Print) / ISSN 2287-4364(Online)
The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers Vol. 63, No. 7, pp. 924~928, 2014
http://dx.doi.org/10.5370/KIEE.2014.63.7.924

LLC 공진형 컨버터를 적용한 의료용 루비 레이저 전원장치 개발

Development of Medical Ruby Laser Power Supply using LLC Resonant Converter

김 동 현* · 정 재 훈* · 김 희 제†
(Dong-Hyun Kim · Jae-Hun Jung · Hee-Je Kim)

Abstract - LLC resonant converter is used to control laser power density in ruby laser power supply. Zero voltage switching(ZVS) is implemented to minimize the switching loss by the LLC resonant converter. Laser output power is investigated and experimented by changing the output current. That current is controled by the charging voltage of capacitor. From those results, we obtained the maximum laser output of 1.94J at the discharge current of 860A and the pulse repetition rate of 1Hz.

Key Words : BIST, LFSR, CAM, Test pattern generator, FSM Ruby laser, LLC resonant converter, Zero voltage switching

1. 서 론

레이저의 의료분야에 대한 응용은 레이저가 거의 모든 산업 전반에 걸쳐서 발전되어온 것과 발맞추어 빠르게 확대되어 왔으며, 광 도파로를 이용함으로써, 인체의 닿기 힘든 부분까지 전달이 가능해졌다. 더욱이 레이저는 임상용으로 가장 강력하고 편리한 의료기기의 하나로 자리 잡게 되었다. 이러한 이유로 현재 난치성 전문 의학 연구는 물론 질병의 진단과 진료 등 임상분야에서의 사용범위가 점점 더 광범위하여지고 있으며 사용 빈도도 더욱 증가하는 추세이다[1].

루비레이저는 1980년대부터 의료용에 적용되어 사용되었다. 의료용 루비레이저는 개발 초기에 주로 혈관성 병변에 사용되었으나 현재는 사용되지 않고, 레이저의 강도를 높이면서 조사시간을 단축시킨 Q-스위치 펄스를 이용하여 피부의 기미, 주근깨, 잡티 등 색소 침착 질환 및 문신제거 등에 폭넓게 사용된다[2].

그러나 1990년대 후반 Q-스위치 Nd:YAG 레이저가 등장하면서 루비레이저는 오타모반 등 전반적인 색소질환에 더 큰 효과를 보임에도 불구하고 비효율적인 펌핑효율, 낮은 펄스 반복률, 큰 부피, 무게의 단점으로 인해 거의 자취를 감추었다. 하지만 레이저를 이용하여 피부를 개선하는 수요가 많아지게 되면서, 색소 질환에 특히 효과가 좋은 루비레이저는 과거에 비하여 작은 크기와 가벼워진 형태로 개선되어 사용자들에게 다시 사랑받게 되었다[3].

현재 독일 및 이탈리아에서 제작된 루비레이저 제품이 여러 피부과에서 사용되고 있으나, 국내에서 제작된 사례는 아직까지 없는 실정이다. 따라서, 레이저빔 출력향상은 물론, 출력 펄스의 반복율을 조금이라도 개선시켜서 국산화 개발한다면, 국제적인 경쟁력을 갖출 수 있을 것이다.

본 연구에서는 1Hz/1J 레이저 출력 동작을 위한 전원장치의 개발을 목표로 하였다. 2kW급 LLC 공진형 컨버터를 적용하여 전원장치를 설계하였고, 충전전압을 가변시켜 가며 방전전류에 따른 레이저 출력 변화를 확인하였다.

2. 본 론

2.1 레이저 전원장치

고체 레이저의 전원장치는 그림 1과 같이 트리거전원, 시머전원, 그리고 주 전원으로 구성된다. 고체 레이저는 제논 램프에서 발생되는 강한 가시광선에 의해서 발생되고, 제논 램프에 순간적으로 대전류를 도통시켜 강한 가시광선을 발생시킨다. 대전류를 흘려주기 위해서는 제논 플래쉬 램프의 임피던스가 낮아져야 한다. 이렇게 제논 플래쉬 램프 의 임피던스를 낮추는 것을 시머 트리거링이라 하고, 이러한 방법을 통해 상대적으로 낮은 전압으로 제논 플래쉬 램프에서 가시광선을 발생시킬 수 있다[4].

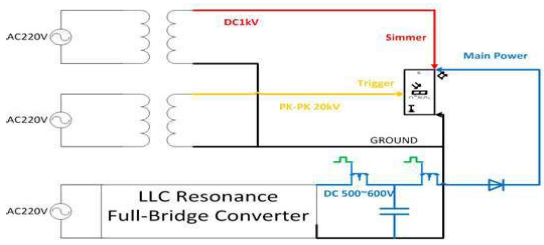

그림 1 레이저 전원장치
Fig. 2 Laser power supply

† Corresponding Author : Dept. of Electrical Engineering, Pusan National University, Korea
E-mail : heeje@pusan.ac.kr
* Dept. of interdisciplinary program in robotics, Pusan National University, Korea
Received : January 21, 2014; Accepted : June 12, 2014

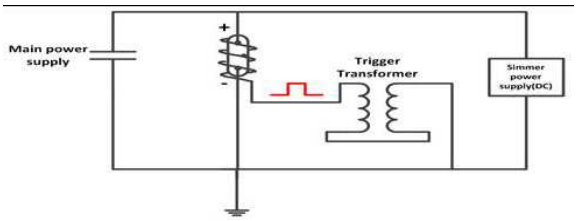

그림 2 시머 트리거링 회로
Fig. 2 simmer and Trigger circuit

본 논문에서는 그림 2의 시머 트리거링 회로를 적용하였다. 이 방식은 회로를 소형화할 수 있으며, 가장 큰 장점은 주전원과 시머 트리거 전원을 분리하여 회로의 안정성을 확보할 수 있다는 것이다. 제논 플래쉬램프에 저전류 DC전압을 항상 일정하게 유지함으로써, 제논 플래쉬 램프를 안정적으로 이온화시킨다[5, 6].

제논 플래쉬 램프의 특성에 따라 시머 트리거링 시, 램프에 인가되는 전압과 전류가 달라진다. 일반적으로 100~150V / 0.1~10A가 제논램프에 인가된다. 본 실험에서는 그림 3과 같이 램프에 186V / 77mA가 인가되었다.

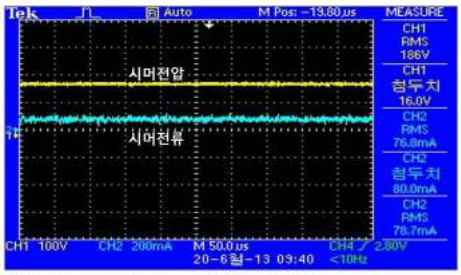

그림 3 시머 트리거링 후 입력전압 및 전류
Fig. 3 Input Voltage and Current after simmer triggering

그림 4 제논플래쉬 램프의 시머 트리거링 동작
Fig. 4 simmer triggering operation of zenon flash lamp

그림 4와 같이 시머 트리거링이 동작하면, 제논 플래쉬램프에 스트리머 방전이 발생한다. 스트리머 방전에 의해서 램프 양단의 임피던스가 낮아지므로, 상대적으로 낮은 전압으로 아크방전을 발생시킬 수 있다.

2.2 LLC 공진 컨버터 설계

주 전원장치는 LLC 공진 컨버터를 적용하여 설계하였다. 즉 고용량 커패시터에 전압을 연속적으로 충전하고, 커패시터 방전 시에 제논램프에 대전류가 도통되어 아크방전을 발생시키는 것을 목표로 한다. 1Hz / 1J 루비 레이저 구동을 위한 충전 에너지 및 커패시터의 용량은 식(1)에 의해 결정된다[7].

$$P_{peak} = \frac{0.5 \times C_{load} \times (V_{charge})^2}{T_C} = \frac{0.5 \times 30,000 \times 10^{-6} \times 80^2}{900 \times 10^{-3}} = 106.6J/\sec$$

(C_{load} = 충전캐패시터, V_{charge} = 캐패시터충전전압, T_C = 캐패시터충전시간)

광펌핑에 의한 루비레이저의 광 에너지 효율은 0.5~1%이고, 커패시터가 30,000µF, 충전전압 80V, 충전시간 900ms일 때, 식(1)에 의해 초당 충전에너지를 계산하였다. 커패시터 충전에너지는 약 106J/sec이고, 광 에너지로 변환하면 1J의 광 에너지를 발생시킨다. 충전 및 방전시간은 IGBT 제어에 의해서 결정된다. LLC 공진 컨버터는 2kW급으로 설계되었고, 설계는 Infineon 社의 AN2012-09를 참고하여 설계하였다[8].

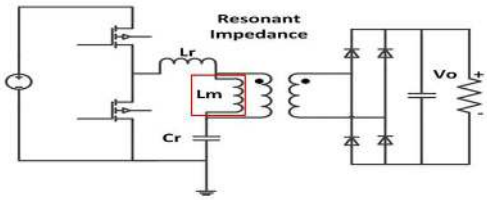

그림 5 LLC 공진 컨버터
Fig. 5 LLC resonant converter

LLC 공진 컨버터는 LC 직렬공진 컨버터에 비해 Lr과 Lm의 값의 차이를 작게 함으로써, Lm이 공진탱크에 관여하도록 한다. LLC 공진컨버터는 넓은 입력전압범위에서 정전압 구현이 가능하고, 상대적으로 작은 주파수 변동으로 정전압을 구현한다. 또한 ZVS(Zero Voltage Switching)을 통해서 스위칭 손실을 감소시켜 컨버터의 효율을 향상시킨다.

표 1 컨버터 설계 사양
Table 1 parameter of converter design

최대입력전압	310V
최소입력전압	270V
평균입력전압	290V
출력전압	600V
출력저류	3.5A
최대전력	2.1kW

표 2 트랜스포머 설계 사양
Table 2 Parameter of Transformer

공진주파수	54kHz
최소주파수	28kHz
공진 커패시터	190nF
턴수비	1:2
공진 인덕터	48uH
자화 인덕터	250uH

2.3 UCC25600을 적용한 소프트 스타트 동작

레이저 전원공급장치는 레이저 발진 시, 커패시터에 충전된 전압이 방전되고 이를 충전하기 위해서 과도한 돌입전류가 발생하게 된다. 따라서 Soft Start를 초기동작에만 적용하는 것이 아니라, 레이저 발진시마다 동작시킴으로써 돌입전류가 발생하지 않도록 하여, 전원공급장치의 안정성을 확보하였다. 이는 UCC25600의 소프트 스타트 동작을 제어하는 SS pin에 커패시터와 포토커플러를 결합함으로써 구현하였다[9].

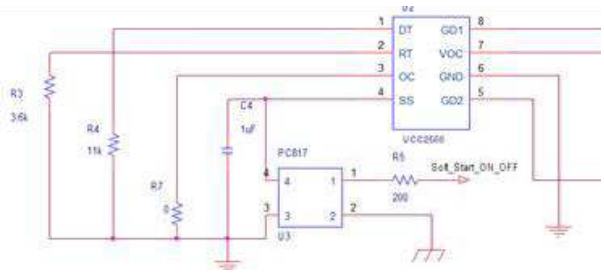

그림 6 UCC25600의 소프트 스타트 회로
Fig. 6 soft start circuit using UCC25600

그림 6과 같이 포토커플러가 동작하면 커패시터는 방전을 개시하고, 방전 후 다시 충전할 때, 소프트 스타트가 동작하게 된다.

2.4 실험결과

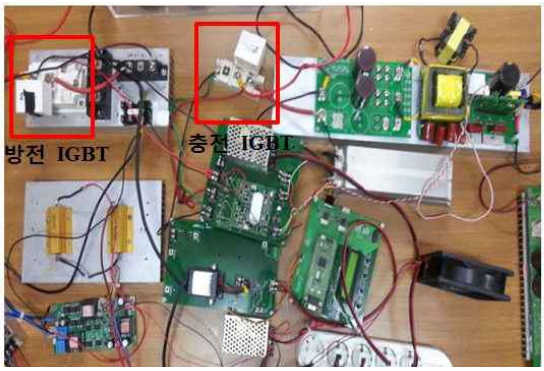

그림 7 루비 레이저 전원공급장치
Fig. 7 ruby laser power supply

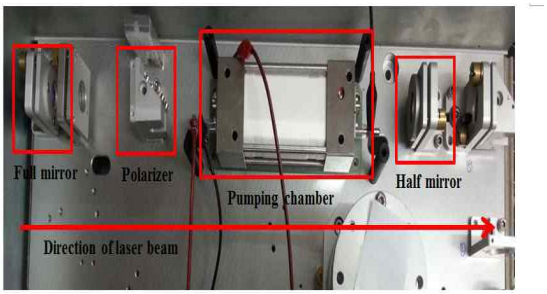

그림 8 루비레이저 공진기
Fig. 8 Resonator of ruby laser

그림 7은 시머 트리거링 및 주 전원장치, 그리고 IGBT 제어 회로로 구성된 루비 레이저 전원공급장치이다. 본 연구에서는 그림 8의 Quanta社의 공진기를 이용하여 실험을 수행하였다.

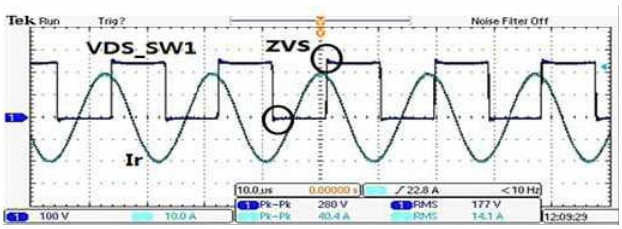

그림 9 ZVS 동작파형
Fig. 9 Waveform of ZVS

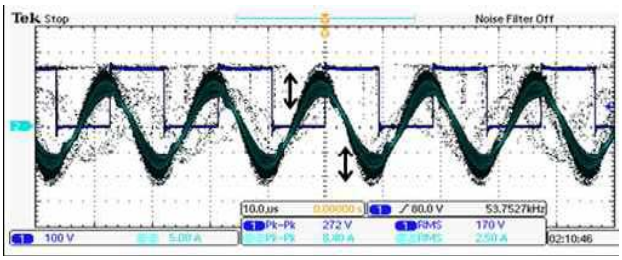

그림 10 소프트 스타트 동작파형
Fig. 10 Waveform of soft start

그림 9과 같이 ZVS동작을 통해 컨버터의 MOSFET의 스위칭 손실을 최소화하였다. 그림 10은 소프트 스타트 동작 파형을 나타낸다. 초기 스위칭 주파수일 때, 공진이득이 낮기 때문에 입력전류가 감소하고, 주파수가 감소하면서 전류가 상승한다. 즉 레이저 방전 시, 소프트 스타트 동작을 통해 돌입전류가 방지됨을 확인하였다. 충전전압을 500~620V까지 가변시키면서 전압에 따른 레이저 출력의 변화를 측정하였다. 표 3은 전압에 따른 제논 플래쉬 램프 전류이고, 커패시터 전압 방전 시에, 제논 플래쉬 램프의 저항을 직접 측정할 수 없기 때문에, 커패시터 충전전압과 도통되는 전류값을 측정하여 실험적으로 제논램프의 저항 값을 계산할 수 있다. 제논램프 저항은 약 0.7옴(Ω)이다.

표 3 광출력 및 제논램프 등가저항

Table 3 Optical power and equivalent resistance of zenon lamp

충전전압(V)	제논램프 전류 (A)	제논램프 저항 (Ω)	레이저 출력 (J)
560	777	0.734	0.159
570	791	0.728	0.256
580	805	0.729	0.568
590	819	0,728	0.907
600	833	0.725	1.251
610	847	0.716	1.679
620	861	0.726	1.943

1Hz 실험 시, 충전전압 560V부터 레이저빔이 발진하였고 충전전압 620V일 때 최대 1.9J의 레이저 출력을 얻었다. 설계된 LLC 공진 풀브릿지 컨버터를 적용하여 최대 2J의 레이저 출력을 얻었다. 입력전압 DC 288V / RMS 4.2A 일 때, 1Hz / 2J의 레이저 출력이 얻어졌다. 즉, 그림 13에서 알 수 있듯이 충전전압이 증가함에 따라 레이저빔 출력도 증가한다.

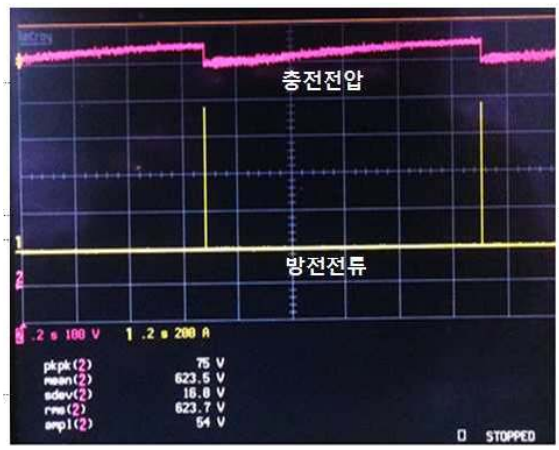

그림 11 1Hz 동작 시 커패시터 충·방전 전압 및 제논 플래쉬램프의 전류 파형

Fig. 11 In case of 1Hz operation, current waveform of flash lamp and voltage waveform of the capacitor when it operates a charge and discharge

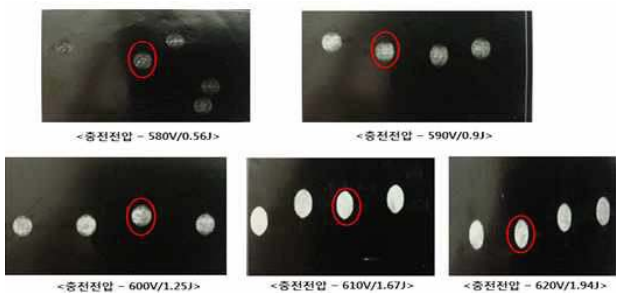

그림 12 1Hz 동작시의 레이저빔 패턴

Fig. 12 pattern of laser bem during 1Hz operation

3. 결 론

현재 의료용 레이저는 가장 활발하게 활용되는 레이저 응용분야로서, 전원장치의 국산화가 시급한 실정이다. 본 연구에서는 1Hz / 1J의 레이저 출력을 가지는 루비 레이저 전원장치를 설계하여 충전전압에 따른 레이저 출력의 변화를 측정하였다. 레이저 전원장치의 주 전원으로 2kW급 LLC 공진 풀브릿지 컨버터를 적용하여 설계하였으며, ZVS 동작을 구현하였고, 이를 통해 스위칭 손실을 최소화하였다. 또한 레이저 발진 시 마다 소프트 스타트를 동작시켜 커패시터 충전 시 발생되는 돌입전류를 최소화시켜 시스템을 안정화시켰다. 레이저빔의 출력은 충전전압에 비례하여 전압이 상승함에 따라 빔출력은 증가하였고, 최대 충전전압인 620V에서 1.9J의 빔출력을 얻었다. 본 시스템은 최대 2J의 레이저 빔 출력을 얻을 수 있으므로, 반복률을 상승시켜 1.5Hz 동작에 활용하게 된다면, 최대 1J의 빔출력을 얻을 수 있다.

감사의 글

본 연구는 2013년도 강원 광역경제권 지원사업에 의하여 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사 드립니다.

References

[1] Optical Society of Korea, Optical and technology Volume 14 edition 2, 2010. 4.

[2] Song Sundal, “medicine application of laser”, publisher of dasuong, 2001.

[3] Ministry of industry and energy, “direction of improvement and strategy of electronic medical equipment”, 1998.12.

[4] Darnikosi Ginji(jeong haesang translator), “basics and application of laser”, publisher of Iljin, 2012.

[5] A. Papoulis, Probability, Random Variables, and Stochastic Processes, 3rd Edition, New York: McGraw-Hill, 1991.

[6] Alex D. McLeod, “Design Consideration for Triggering of Flashlamps”, PerkinElmer, 1998.

[7] “App Note 500 - Calculating Capacitor Charge Time”, TDK-Lambda, 2009.

[8] Sam Abdel-Rahman, “Resonant LLC Converter : Operation and Design”, Infineon, 2012.

저 자 소 개

김 동 현 (金 東 賢)

2013년 부산대학교 전자전기공학부 졸업
현 부산대학교 대학원 로봇관련협동과정 재학 중

정 재 훈 (鄭 在 勳)

2012년 부산대학교 전자전기공학부 졸업
현 부산대학교 대학원 로봇관련협동과정 재학 중

김 희 제 (金 熙 濟)

1955년 10월 23일 1980년 부산대학교 공과대학 전기공학과 졸업 1982년 부산대학교 대학원 전기공학과 석사 졸업 1990년 일본 큐슈대학교 대학원 에너지공학과 박사 졸업. 현재 부산대학교 전자전기컴퓨터 공학과 교수 재직 중