1999년도 대한전기학회 정기총회 및 추계학술대회 논문집 1999. 11. 20

고출력 펄스 반도체 레이저의 드라이버 모듈에 관한 연구

정인석 김호성
중앙대학교 전기공학과

A study on Driver module for a high-power pulsed laser diode

In-Suk Jung Hoseong Kim
Dept. of Electrical Eng. Chung Ang Univ

Abstract - A laser pulse generator which consists of charging resistor, energy storage capacitor, laser diode, and switching elements was designed in order to generate 15ns, 20W laser pulses. And the effects of performances of SCR and FET as switching elements are compared. When SCR is used, the SCR's low maximum voltage makes the circuit so complicated, and when FET is used, the FET needs the special gate driver which improves the FET's operation.

1. 서 론

레이저를 이용한 Rangefinder, velocimetry, Lidar등의 거리측정을 목적으로 하는 계측기들이 현재 많은 곳에서 상용화되어 있다.[1] 국내에서는 산업체에서 많은 관심을 가지고 있는 계측분야의 하나지만 아직까지 연구단계에 있는 실정이다. 거리측정을 목적으로 하는 EDM(Electronic Distance Measurement) 계측기는 송신부의 carrier를 레이저, 적외선, Microwave등을 사용한다. EDM은 carrier를 생성하는 송신부, 반사체의 표면에 맞고 돌아오는 신호를 감지, 증폭하는 수신부, 수신된 신호를 디지털 방식으로 처리하는 신호처리부로 구성되어 있다. EDM을 구현하는 방법으로 Phase Difference Method, Doppler Method, Interference Method, Pulse Method가 있다.[2]

Phase Difference Method는 연속적인 파동을 사용하며, 송신된 파동과 수신된 파동의 위상차를 비교하여 거리를 측정하는 방법으로 항해 시스템에 사용된다. Doppler Method는 거리 측정을 위해 Doppler 효과를 이용하며 인공위성을 이용하여 전세계의 어떤 곳에서도 위치를 파악할 수 있는 측지시스템의 개발에 응용된다. Interference Method는 광 간섭의 원리를 이용하여 짧은 거리에서의 정밀한 계측을 위해 사용된다. 정교한 거리 측정뿐 아니라 직진성, 평행성, 평탄도와, 각도 파악에도 응용이 된다.

Pulse Method는 송신된 신호와 반사체를 맞고 돌아와 수신되는 신호의 비행 시간을 측정하여 거리를 알 수 있게 된다. 그 때 비행시간을 얼마나 정밀하게 측정하느냐에 따라 거리의 정확도가 결정된다. 응용분야로는 인공위성의 위치를 측정하는 Satellite Laser Ranging(SLR), 달의 구조와 궤도 연구를 위해 사용하는 Lunar Laser Range(LLR), 지도를 만드는데 사용하는 airborne Laser Terrain Profiler, 대륙붕의 해도를 만들기 위해 바다의 깊이를 측정하는 Laser airborne Depth Sounder(SADS), 토목공학에서 정확한 측량을 위해 사용하는 Pulsed Distance Meters가 있다. 또한 군사용의 레이저 거리 측정기는 배터리로 동작하며 portable한 쌍안경 모양이다. 송신부의 펄스폭은 10ns에서 20ns사이이며 repetition rate는 0.5Hz에서 1Hz이다. 측정거리는 최대 20㎞, 최소 50m이고 정확도는 ±5m이다. 이밖에 전자파를 carrier로 하여 Pulse Method를 응용한 것으로 등대를 이용한 짧은 거리의 비행 이동, 인공위성을 이용한 고도 측정과 해면의 자오선 측정이 있다. Pulse Method의 장점은 에너지를 충방전하는 pulsed laser 방식으로 continuous laser 방식보다 많은 에너지를 방출할 수 있어 고출력의 극초단 레이저 펄스(30ns이하)의 발생을 가능케하고 가장 많이 사용되며 정교한 장거리측정에도 유용하다.[3]

본 연구는 Pulse Method를 사용한 EDM에 응용하기 위해서 극초단 펄스를 발생하는 고효율의 레이저 송수신 모듈을 제작하는데 목적이 있다. 레이저 펄스를 생성해내는 레이저 송신부 시스템은 Trigger를 위한 Pulse Generator, FET의 고속 스위칭을 위한 Gate Driver와 레이저 다이오드에 전류를 공급하는 고전압 레이저 Driver의 세 부분으로 나누어진다. 수신부는 송신된 레이저의 파장과 일치한 미세한 신호를 검출하기 위해 interference filter를 이용하고 Avalanche Photodiode를 사용하여 감지, 증폭시켰다.

본 연구에서는 SCR과 FET를 이용하여 각각의 레이저 Driver를 제작하고 그 장단점을 비교하였다. 이 광학장치의 송신부는 PRF 1㎑, 펄스폭 15ns와 peak 출력이 25[W]의 레이저 펄스 발생을 목적으로 하였다. 수신부는 렌즈와 필터로 이루어진 광학부와 APD로 구성되어 있다.

2. 본 론

2.1 SCR을 이용한 레이저 Driver

가장 간단한 충방전회로인 저항(Resistor)형 Driver를 그림1에 도시하였다. 이 회로에서 SCR을 holding current이하로 유지하기 위해 저항값을 크게 정해야 한다. 하지만 큰 저항값은 회로의 RC 시정수를 증가시켜 충전 시간을 길어지게 하기 때문에 높은 PRF(Pulse Repetition Frequency)가 필요한 고속의 스위칭 회로에 응용하기 위해서는 충전 주기를 결정하는 저항값을 되도록 작게 선정해야한다.[3]

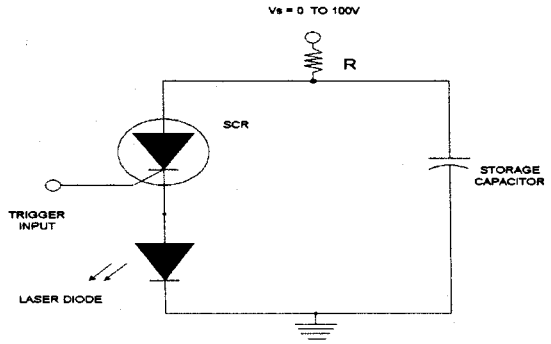

그림1. 저항(Resistor)형 Driver의 Diagram

레이저 펄스의 출력을 증가시키기 위해 용량이 큰 에너지 저장 커패시터를 선정하면 레이저 펄스의 출력은 증가되나 방전 시 RC 시정수가 커져 레이저 펄스폭이 넓어진다. 에너지 저장 커패시터의 용량을 증가시키지 않고 보다 높은 레이저 펄스의 출력을 얻기 위해서 blocking 전압이 100V인 SCR을 series로 두 개이상 연결하는 방법이 있다. 하지만 이 방법은 출력은 높아지나 증가된 SCR 의 R_{DS}(on time resistance)에 의해 방전 시 회로의 RC 시정수가 높아지고 길어진 방전루프에 의해 회로의 inductance도 증가하기 때문에 펄스폭은 더욱 넓어진다. 따라서 두 개 이상의 SCR을 series로 사용하여 원하는 극초단의 펄스폭을 얻기 어렵다. 그림2에 SCR 두 개를 사용한 Driver를 도시하였다.

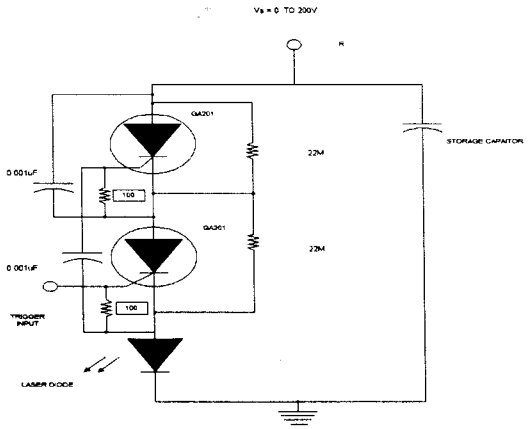

그림2. SCR 두개를 series로 연결한 저항형 Driver

그림3(a)에 한 개의 SCR을 사용한 회로의 출력을 도시하였으며 그림3(b)에 두 개의 SCR을 series로 연결한 Driver의 출력을 도시하였다. 높은 인가전압을 가하면 출력[V]은 증가하나 펄스폭[ns]은 넓어진다는 것을 확인할 수 있다.

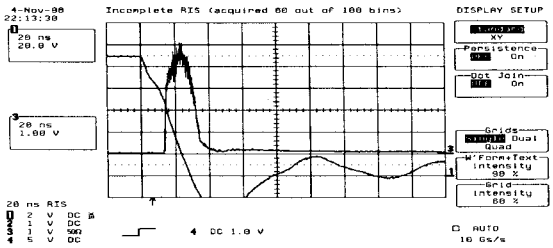

그림3. (a)SCR 한개를 사용할 때 측정된 파형

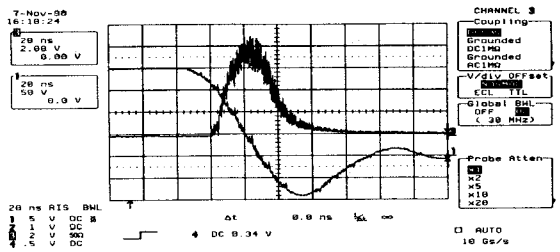

그림3(b) SCR 두개를 series로 연결한 회로의 파형

2.2 FET를 이용한 레이저 Driver

본 연구에서 사용된 FET는 maximum voltage rating이 400~500V이기 때문에 회로를 간단하게 꾸밀 수 있으며, FET 소자의 특성상 높은 PRF를 기대할 수 있다. 또한 전압으로 구동되기 때문에 보다 높은 효율을 기대할 수 있다. 낮은 주파수나 rise time이 중요하지 않은 경우 일반적으로 FET는 전압펄스로 쉽게 구동할 수 있다. 하지만 스위칭 주파수가 몇 ㎑이상이 되면 Miller Effect[4]에 의한 영향으로 ns대의 짧은 rise time을 얻기가 대단히 어렵다. 따라서 FET gate에 인가되는 전압펄스의 에너지나 전류에 대한 세심한 주의가 요구된다. FET의 Miller effect에 의해 존재하는 capacitance(C_{gd}, C_{gs}, C_{ds}), FET 소자의 device parameter(R_{DS}, V_T)와 FET 주변 회로와의 동작에 의한 영향이 FET gate의 파형을 왜곡시킨다.

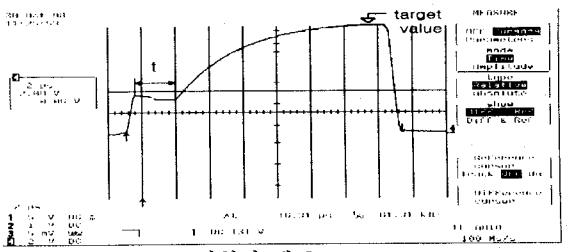

그림4. FET gate 파형의 왜곡

그림 4에 왜곡된 gate의 파형을 나타내었다. FET gate 파형이 왜곡되는 이유는 다음과 같다. FET gate에는 $W = C_{iss} \times \upsilon_{GS}^2/2$ 만큼의 에너지가 공급되어야 하는데 구간 t 동안 FET의 Drain 전압이 증가하면 C_{iss}(input capacitance)가 FET Drain 전압에 따라 증가되어 보다 많은 에너지의 공급을 필요하게된다. 따라서 충분히 에너지를 공급받지 못한 FET gate 전압은 지수함수 모양의 curve를 그리며 변하고 target value까지 도달하기까지 시간이 많이 걸려, 스위칭 손실의 주범이 된다. 또한 이 문제는 레이저 펄스의 펄스폭을 늘리는 심각한 원인을 유발시킨다. C_{iss}의 변화량을 수식으로 표시하면 $C_{iss} = C_{GS} + C_{GD}(1 + |\partial V_{DS}/\partial V_{GS}|)$이며, $\partial V_{DS}/\partial V_{GS}$는 voltage amplification factor이다.

FET의 C_{iss}에 대한 영향을 최소한으로 하며 고속의 스위칭 동작을 위해서 FET gate에 순간적으로 impulse 전류를 공급할 수 있도록 트랜지스터를 사용한 Gate Driver 회로를 고안하였고 전체적인 회로의 구성도를 그림5에 도시하였다.

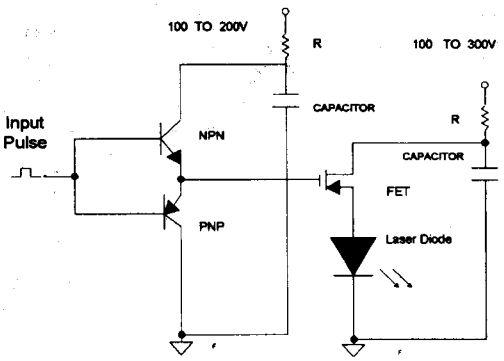

그림5. 상보적 emitter follower 구조의 트랜지스터를 Gate Driver로 장착 한 레이저 Driver의 구성도

Gate Driver는 npn, pnp 두 개의 트랜지스터가 상보적으로 결합된 형태이다. Gate Driver의 역할은 FET gate에 수 ns의 짧은 시간동안 충분한 에너지를 공급하여 FET gate capacitance의 충방전을 가능한 빨리 이루어지게 하고 짧은 상승시간을 가지는 구형펄스를 공급하기 때문에 고속 스위칭을 가능하게 한다.

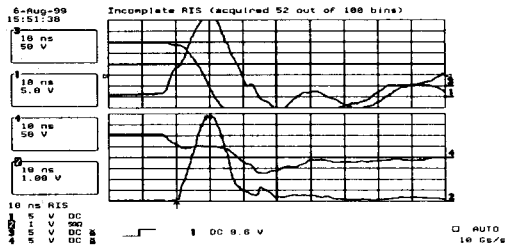

그림6. FET 레이저 Driver의 출력

그림6의 trace 2는 APD로 측정한 레이저의 출력이며 Gate Driver에 100V, FET Drain에 100V를 인가하였을 때 최대출력 25W, 펄스폭 10ns의 레이저 펄스를 얻을 수 있다. 높은 출력의 극초단 레이저펄스를 얻기 위해서 낮은 Gate Driver 전압과 높은 Drain 전압을 인가해야하는데, 적절한 펄스모양과 출력이 최대가 되는 최적의 전압은 실험을 통해 결정할 수 있다. 그림7에 Drain 전압[V]을 가변 하였을 때 detector에 감지된 펄스의 출력[V]과 펄스폭[ns]을 나타내었다. 출력[V]이 어느 정도 이상이 되면 그래프의 기울기가 선형적으로 증가하지 못한다는 것을 알 수 있다. 그러나 펄스폭은 선형적으로 증가하므로 높은 전압에서는 큰 C_{iss}에 의해 많은 스위칭 손실이 일어나고 있다는 것을 알 수 있다. FET를 사용한 회로는 SCR을 사용한 회로보다 더 높은 최대출력 전압을 얻을 수 있다.

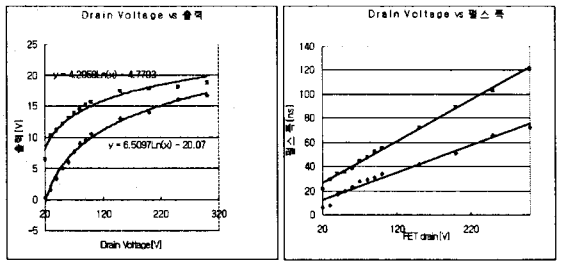

그림7.
(a)FET Drain 전압에 따른 출력
(b)FET Drain 전압에 따른 펄스 폭

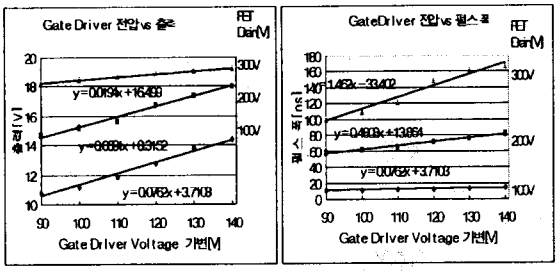

그림8.(a)Gate Driver 전압에 따른 출력 (b)Gate Driver 전압에 따른 펄스폭

그림8에 Gate Driver의 전압을 가변하였을 때의 각각의 출력[V]과 펄스 폭[ns]을 나타내었다.

2.3 수신부

그림 9에 APD회로 구성에 대해 도시하였다. 수신부는 광축정렬을 위한 렌즈와 물체에 맞고 돌아오는 미세한 빛의 파장만을 통과시키고 노이즈 제거를 위한 interference filter를 장착하였다. 감지된 신호는 APD에 의해 증폭된다. APD와 렌즈는 F.L(focal length)만큼 떨어진 곳에 위치하면 가장 높은 출력을 얻을 수 있다.

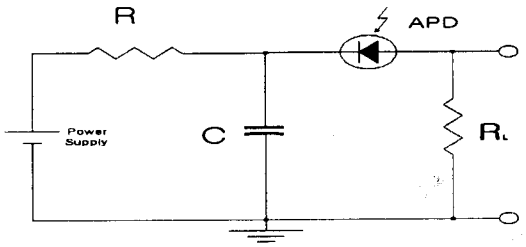

그림9. 수신부의 APD 회로구성

3. 결 론

EDM에 응용하기 위해 각각의 레이저 송신부의 Driver를 제작하였으며 그에 따른 결과를 측정하여 비교, 분석하였다. SCR 레이저 Driver는 Gate Driver가 없어도 된다는 장점이 있으나 low PRF, 복잡한 회로의 구성을 단점으로 들 수 있다. FET 레이저 Driver는 high PRF, 간단한 회로의 구성과 높은 출력을 장점으로 들 수 있으나 Gate Driver가 필요하다는 단점이 있다.

[참 고 문 헌]

[1]ArecchiF,T, "laserhandbook", volume2,1745~1804, 1972
[2]J.M Rueger, M.Rueger Electronic Distance Measurement: An Introduction 4th, 11~30, 1996
[3]EG&G CANADA LTD "A High-speed pulser For Injection-Laser Diode", AN-4741
[4]The influence of Parastic Network Parameters on the Switching Behavior of Power MOSFETs When Switching Ohmic/Inductive Loads, SIMENS
[4]MILLAN and TAUB ", Digital and Switching Waveforms", international student edition McGRAW-HILL, p50~54, p302~305, 1986