

논문 2005-42TC-6-8

반도체 레이저의 이득스위칭을 이용한 UWB 임펄스 발생기 설계

(Design of Impulse generator Using Gain-Switched Semiconductor Laser for UWB)

권순영*, 김범주*, 박종대*

(Soon-young Kwon, Bum-joo Kim, and Chong-dae Park)

요 약

본 논문에서는 Step recovery diode와 반도체 레이저의 이득 스위칭을 이용하여 UWB(Ultra WideBand) 통신 시스템의 구성요소 중 하나인 임펄스 발생기를 설계하였다. 구현된 임펄스 발생기는 4부분으로 구성하였으며, 1번째는 SRD를 이용하여 반도체 레이저의 이득스위칭을 위한 1차 임펄스 발생기, 2번째는 출력된 1차 임펄스를 이득 스위칭을 조건에 맞추기 위한 전류 조절기, 3번째는 1차 임펄스 발생기에서 출력된 임펄스를 반도체 레이저의 이득 스위칭을 이용하여 가우시안 펄스를 발생하는 2차 임펄스 발생기, 4번째는 구현된 가우시안 펄스를 UWB를 위한 가우시안 모노펄스로 변환하는 펄스 변환부로 구성되어 있다. 측정된 가우시안 모노펄스는 시간상에서 360 psec의 펄스폭과 -70 mV에서 +50 mV의 크기를 가지며, 주파수상에서 -41 dBm의 크기와 3.6 GHz의 대역폭을 가짐으로써 UWB를 위한 임펄스에 적합함을 확인하였다.

Abstract

In this paper, we implemented a impulse generator, the one of the part in UWB(Ultra Wideband) system, using step recovery diode(SRD) and gain-switched semiconductor laser. The impulse generator was consisted of four stages; The first stage used SRD to generate the first impulse for gain switching. The second stage controled current for the suitable gain switching condition. The third was the second impulse generator to generate gaussian pulse. For gain switching, the first impulse was applied to semiconductor laser. In the last stage the gain switched impulse was converted into mono-gaussian pulse. The measured mono-gaussian pulse was 360 psec pulse-width and -70mV ~ +50mV amplitude in time domain. In frequency domain its magnitude and bandwidth was , respectively, -41dBm and 3.6GHz. Accordingly, the impulse generator that we suggested was suitable for UWB systems.

Keywords: UWB, Impulse, Gain-switching, Gaussian mono pulse, SRD

I. 서 론

전파통신 기술의 급속한 발전으로 인하여 블루투스, 셀룰라폰, PCS, Wireless LAN등 다양한 근거리용 무선 기술들이 출현하고 있으며, 현재 음성신호의 전달을 벗어나 인터넷 통신 및 동영상 등의 전송이 가능한 수준

에 이르게 되었다. 그러나 새로운 서비스와 기기들이 등장할 때마다 주파수 자원의 한계라는 문제점이 제기 되었으며 새로운 방법으로 UWB(Ultra wideband)가 제안되었다^[1]. UWB는 중심주파수로부터 fractional 대역폭이 20%이상 혹은 500Mhz 이상의 대역폭을 가지고 고속으로 데이터를 전송하는 무선통신 기술로서 FCC는 2002년 기존 무선통신과의 간섭이 없는 수준에서 기술을 허가하였다. FCC는 UWB의 사용대역을 3.1 GHz ~ 10.6 GHz로 제한하고, 방사제한을 -41.25 dBm/Mhz로 두었으며, 100 Mbps 이상의 데이터 전송률을 권고하고 있다^[1]. 이와 같은 FCC 규격에 맞추어 제안 및 연

* 정회원, 명지대학교 전자공학과
(Department of Electronic Engineering, Myongji University)

※ 이 논문은 학술진흥재단 선도연구과제
[KRF-2004-041-D00488]의 지원결과입니다.
접수일자:2005년 1월 13일, 수정완료: 2005년6월14일

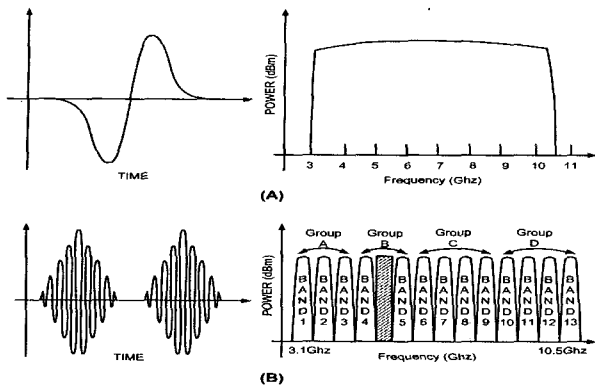


그림 1. 단일밴드 UWB(A)와 멀티밴드 UWB(B)의 펄스 파형과 스펙트럼
 Fig. 1. Pulse shape and spectrum of Single-band UWB(A) and Multi-band UWB(B).

구되는 UWB 시스템 구조는 단일밴드 UWB와 멀티밴드 UWB의 2가지 방식으로 구분되며, 그림 1은 두 방식의 시간상의 펄스와 주파수상의 스펙트럼을 나타낸다. 단일밴드 UWB는 그림 1에서 나타낸 바와 같이 매우 좁은 임펄스를 사용하여 반송파 없이 데이터를 전송하는 기술로서 시스템의 구성이 기존의 통신시스템보다 간단하며, 또한 위치추적에 탁월한 장점을 가지는 반면 멀티밴드 UWB 시스템은 3.1 GHz에서 10.6 GHz의 UWB 대역을 500 MHz 대역폭을 가진 여러개의 서브밴드로 나누어 OFDM 방식을 이용하여 통신함으로써 기존의 통신시스템에 적용할 수 있는 장점을 가지고 있다. 현재 IEEE 산하 802.15 TG3a에서 하나의 표준화를 위해 DS-UWB와 멀티밴드 UWB의 2가지 방식으로 좁혀지고 있으나, 현재 표준화 방식은 정해지지 않았다. 그러나 두 방식 모두 초광대역 주파수에서 매우 좁은 펄스를 전송하여 대역폭 7.5 GHz의 주파수 대역에 걸쳐 전력 스펙트럼이 존재하며 이를 이용해 정보를 송신한다.

그림 2는 임펄스를 이용하는 UWB 통신 시스템의 기능 블록도를 나타낸다^[8]. 송신부는 신호의 양과 음에 따라 PPM 또는 Bi-phase modulation 후에 임펄스를 발생시켜 안테나를 통해 송신하고, 수신부는 안테나를 통해 수신하여 상관기에서 신호를 복원하여 양 또는 음의 신호를 판단한다. 이러한 UWB 통신 시스템에서 임펄스 발생기는 시스템의 부피와 전력소모 및 직접화에 큰 영향을 미친다. 기존의 연구에서는 SRD(Step Recovery Diode)의 바이어스 변화에 따른 임피던스와 커패시턴스 변화특성을 이용한 방법^[24], 트랜지스터의 스위칭 특성을 이용한 방법^[5], 스파크갭을 이용한 방법^[6]들이 연구되어 왔다. 그러나 위의 방법들은 전자소자들의 속도에

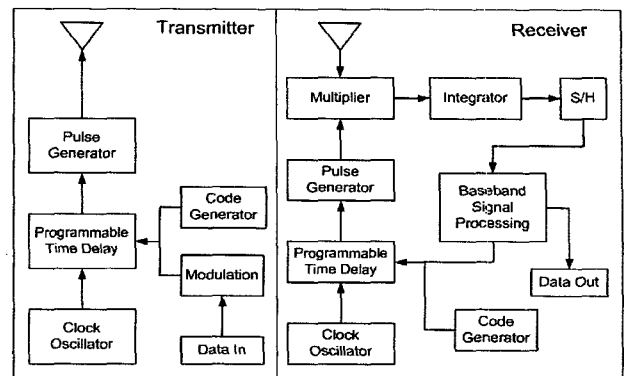


그림 2. UWB 통신 시스템 블록도
 Fig. 2. UWB system Block Diagram.

대한 제한으로 인하여 발생시킬 수 있는 임펄스의 펄스 폭 및 펄스 발생 속도의 한계성을 가지는 문제점들을 가지고 있다.

본 논문에서 제안 및 구현된 임펄스 발생기는 반도체 레이저의 이득 스위칭을 이용하기 위하여 SRD를 이용하여 1 nsec 이하의 1차 임펄스를 발생시켰다. 그리고 이를 다시 반도체 레이저의 이득스위칭 방법을 이용하여 360 psec 이하의 가우시안 펄스를 발생하였다. 가우시안 펄스의 모노펄스로의 변환을 위하여 HPF(High-Pass Filter)의 미분 특성을 이용한 펄스 변환부를 구현하여 360 psec 이하의 가우시안 모노펄스를 구현하였다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. II장에서는 SRD의 특성 및 이득스위칭의 원리와 제안된 임펄스 발생기의 구조에 대해 설명하고, III장에서는 제안된 UWB 임펄스 발생기의 각 부분별로 실험 전 확인을 위한 시뮬레이션과 실험결과에 관하여 설명을 하였다. 마지막으로 IV장에서 결론을 맺는다.

II. 임펄스 발생기 설계

본 논문에서 사용된 UWB용 임펄스 발생기를 구현하기 위하여 레이저 다이오드의 이득 스위칭을 이용하였다. 이득 스위칭은 광펄스를 생성시키기 위해 침투값이 높고 속도가 빠른 전기적 펄스를 이용하여 직접적으로 반도체 레이저를 구동시키는 방법으로 이완발전의 첫 번째 침투값과 주입되는 직류전류의 상호작용을 이용하는 방법이다. 이득 스위칭 방법은 고정밀도의 광학적인 기술이나 복잡한 레이저의 구조가 요구되지 않고, 외부 공진기나 다른 장치들이 필요하지 않으며 임의의 반복률에서도 펄스를 손쉽게 생성할 수 있는 장점을 가

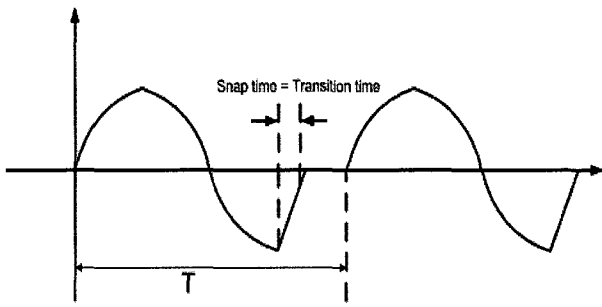


그림 3. SRD의 바이어스 특성
Fig. 3. Characteristic of SRD bias.

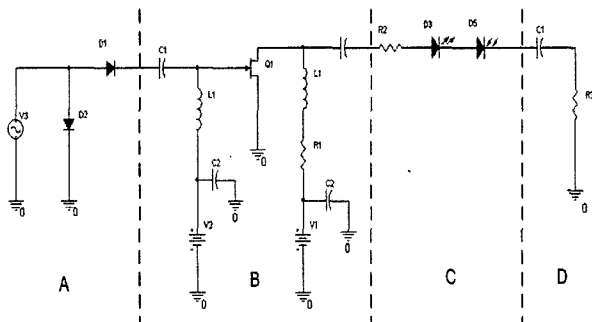


그림 4. UWB 임펄스 발생기
Fig. 4. Impulse Generator for UWB.

지고 있다. 이완발전의 첫 번째 침두값을 여기시키기 위하여 상승시간이 빠른 전기 펄스를 가지고 반도체 레이저를 구동시키고 두 번째 침두값이 여기되기 전에 전기펄스는 차단된다. 이득 스위칭을 위해서는 반도체 레이저의 문턱 전류값보다 낮은 직류전류를 공급하다가 문턱 전류값을 넘는 전류펄스를 가함으로써 매우 좁은 가우시안 펄스를 생성시킬 수 있다. 최적의 이득스위칭 조건을 위하여 반도체 레이저에 주입되는 직류전류와 교류전류의 크기를 결정해야 한다. 그러나, 본 논문에서 사용된 신호원인 100 MHz의 주파수로는 반도체 레이저 다이오드의 이득스위칭 조건을 만족하는 빠른 전기 펄스를 생성하기는 어렵기 때문에 반도체 레이저 다이오드의 이득 스위칭 조건에 맞는 전기펄스를 만들기 위하여 SRD를 사용한 1차 임펄스 발생기를 설계하여 1 nsec 이하의 이득 스위칭을 위한 전기적 펄스를 발생시켜야 한다.

SRD는 그림 3과 같이 순방향 바이어스 동안에는 전자가 충전되고 역방향 바이어스 동안에는 순방향 바이어스 시에 충전된 전자를 방전시키는 특성을 가지고 있다. 즉, 순방향 바이어스와 역방향 바이어스의 변화로 인한 급격한 임피던스와 캐패시턴스의 변화가 일어나게 되며 이때 SRD의 snap time에 해당하는 시간의 펄스폭에 해당하는 전기적 펄스를 얻을 수 있으며, 이득스위칭에 필요한 매

우 좁은 펄스를 발생시킬 수 있다.

그림 4는 본 논문에서 제안된 UWB 임펄스 발생기의 회로도로서 4부분으로 구성되어 있다. A부분은 SRD를 사용하여 반도체 레이저의 이득 스위칭을 위한 1 nsec 이하의 펄스를 발생시킨다. 출력된 펄스는 역방향 바이어스 동안에 방전하는 SRD의 snap time에 해당하는 펄스로서 음전압으로 출력된다. B부분은 반도체 레이저의 이득 스위칭 조건을 위한 전류조절부로서 반도체 레이저에 주입을 위하여 A부분에서 출력된 1차 임펄스를 반전시키는 동시에 FET의 게이트 바이어스 전압 조절로서 1차 임펄스의 크기를 조절할 수 있다. A부분에서 출력된 임펄스의 펄스폭이 1 nsec 이하이기 때문에 사용된 FET는 상승시간과 하강시간이 빠른 광대역 FET를 사용하였다. 또한 광대역 매칭의 어려움으로 인하여 FET의 포화영역을 사용하였으며 그림 4의 V_2 전압인 게이트 바이어스 전압을 조절하여 출력전압 크기를 조절하였다. C부분은 반도체 레이저를 이용한 이득 스위칭 부분으로 가우시안 펄스를 출력한다. 반도체 레이저의 앞단에 위치한 직렬 저항은 반도체 레이저와 B부분까지의 매칭을 위한 저항이다. 또한 이득 스위칭 된 광 펄스의 전기적 변환을 위하여 사용된 검출기는 상승시간이 빠른 PD(Photodiode)를 사용하여야 한다. D부분은 미분기로서 동작하여 이득 스위칭 후 광·전 변환되어 출력된 가우시안 펄스를 UWB를 위한 모노펄스 변환하고, UWB대역에 맞는 HPF로서 동작한다.

III. Simulation 및 실험 결과

1. 임펄스 발생기 구현을 위한 Simulation

1차 임펄스 발생기와 이득 스위칭을 위한 전류조절기 제작을 위하여 Ansoft사의 Designer를 사용하여 Transient 모드에서 확인하였다. 시뮬레이션 및 실험에 사용된 SRD는 Metelics사의 SMMD-835를 사용하였고 시뮬레이션을 위하여 Spice 모델링을 하였다. 전류조절기의 FET는 NEC사의 NE76084를 사용하였다. 사용된 기판은 0.4mm의 두께와 유전율 4.6의 FR4를 사용하여 하였으며, 입력신호는 실험과 동일한 100 MHz의 1.6 Vp-p를 사용하였다. 그림 5는 Designer를 사용하여 1차 임펄스 발생기부터 전류조절기까지의 Transient 시뮬레이션 결과이다. 이득 스위칭을 위한 전류조절기의 출력 조절 가능 범위는 FET의 게이트 바이어스 전압을 0 V에서 -0.6 V까지 조절하였을 때 최대전압은 820 mV, 최소전압은 180 mV였고, 이득 스위칭을 위한 전

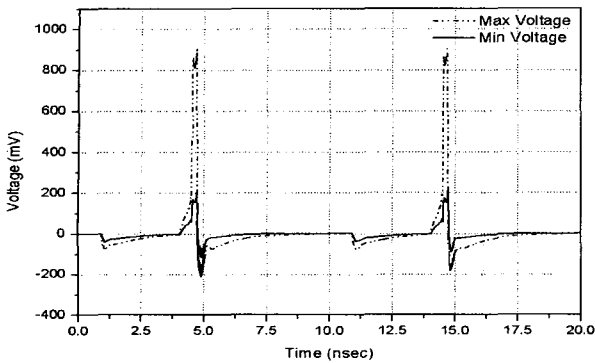


그림 5. 전류조절기의 최대·최소 시뮬레이션 결과
Fig. 5. Result of simulation for current control circuit.

류조절범위는 3.6 mA에서 16.4 mA까지 조절되었으며, 출력된 펄스폭은 600 psec 정도로 이득 스위칭을 위한 전류 조건에 만족하였다.

2. 임펄스 발생기 구현 및 측정결과

측정에 사용된 시간축상의 분석을 위해 Tektronics사의 3 dB 대역폭 2.5 GHz의 TDS7254와 3 dB 대역폭 20 GHz의 CSA8000 오실로스코프를 사용하였고, 주파수상의 분석을 위해 26.5 GHz까지 측정 가능한 Agilent의 E4408 스펙트럼 분석기를 사용하였다. 사용된 신호원은 2.08 GHz까지 출력 가능한 Anritsu의 MG3642를 사용하였다. 현재 구현중인 데이터 발생기의 출력범위에 맞추어 1차 임펄스 발생기의 입력 신호는 100 MHz의 1.6Vp-p를 사용하였다.

그림 7은 측정된 1차 임펄스 발생기의 출력파형으로, 측정된 임펄스는 1.5 nsec의 펄스폭과 -1.1 V의 크기로 측정되었다. 출력된 1차 임펄스의 펄스폭은 1.5 nsec이지만 이득 스위칭에 필요한 반치선폭은 500 psec 정도로 이득 스위칭을 위한 조건에 만족한다. 그림 8은 1차 임펄스 발생기부터 전류조절기까지의 출력 결과로서 조절 가능한 최대·최소 출력전압을 보여준다. FET의 게이트 바이어스 전압을 0 V로 인가하였을 때 680 mV의 최대전압이 출력되었으며, -0.54 V로 인가하였을 때 240 mV의 최소전압이 출력되었다. 측정된 펄스폭은 1 nsec 정도였다.

전류조절기부분에서 출력된 임펄스의 음의 영역부분 제거와 펄스폭을 줄이기 위하여 반도체 레이저의 이득 스위칭을 이용하여 2차 임펄스 발생기를 구현하였다. 사용된 반도체 레이저는 1550 nm의 중심파장과 9.5 mA의 문턱값을 가지는 2.5 Gbps의 DFB-LD를 사용하였다. 반도체 레이저의 이득 스위칭을 위하여 문턱값

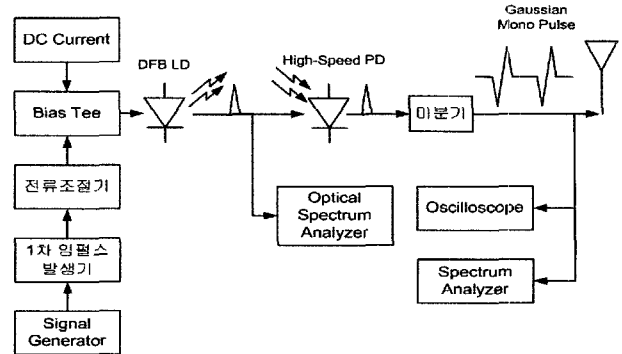


그림 6. 임펄스 발생기 블록도와 측정시스템
Fig. 6. Result of measurement 1st impulse generator.

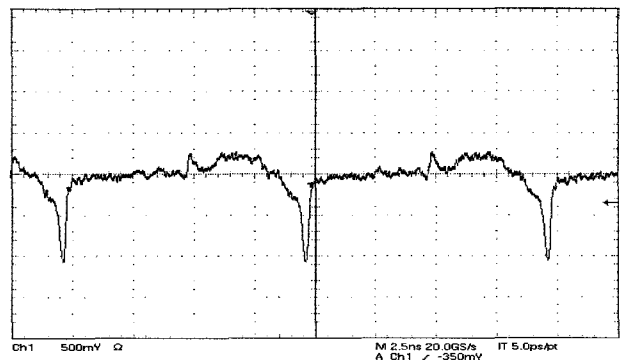


그림 7. 1차 임펄스 발생기 측정결과
Fig. 7. Result of measurement 1st impulse generator.

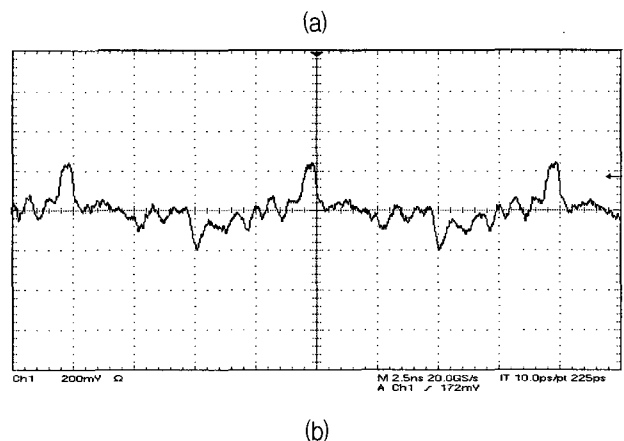
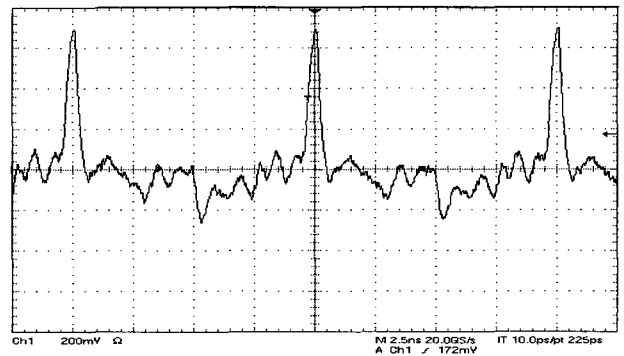


그림 8. 측정된 전류조절기 최대(a)·최소(b)출력전압
Fig. 8. Max(a)·Min(b) voltage of current control circuit.

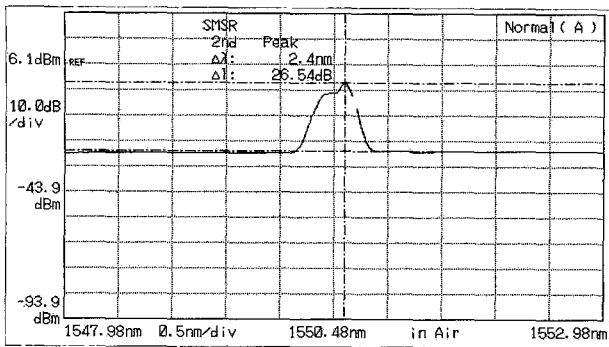


그림 9. 측정된 광 스펙트럼
Fig. 9. Optical spectrum of Gain-switched DFB-LD.

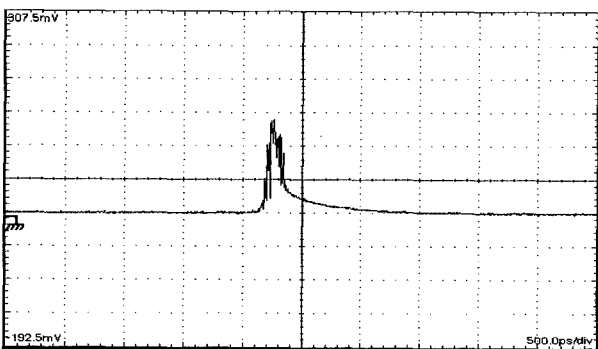


그림 10. 가우시안 펄스 출력파형
Fig. 10. Output Waveform of Gaussian Pulse.

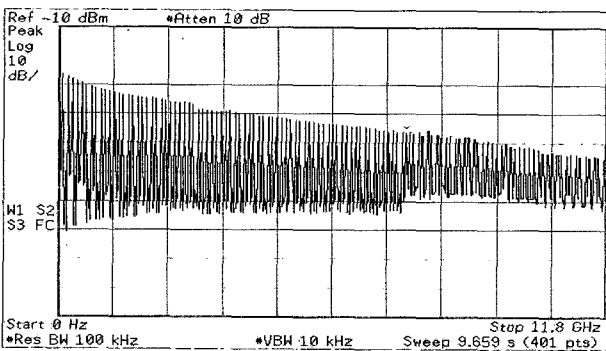


그림 11. 가우시안 펄스의 출력 스펙트럼
Fig. 11. Output Spectrum of Gaussian pulse.

아래로 인가된 DC전류는 3.8 mA에서 8.6 mA까지 조절하였으며, 전류조절기 출력은 4.8 mA에서 12.6 mA까지 조절하였다. 최적의 이득 스위칭은 5.4 mA의 DC 전류와 전류조절기 출력이 7.3 mA에서 확인되었다. 그림 9는 이득 스위칭 된 반도체 레이저의 광 스펙트럼 특성을 보여준다.

이득 스위칭 된 반도체 레이저의 광 펄스의 광·전 변환을 위해서는 펄스의 상승시간과 하강시간을 고려하여 17psec의 상승시간과 하강시간을 갖고 400 nm에서 1600nm의 파장까지 광·전 변환 가능한 대역폭 26.5GHz의 High-Speed Photodiode를 사용하였다. 그림

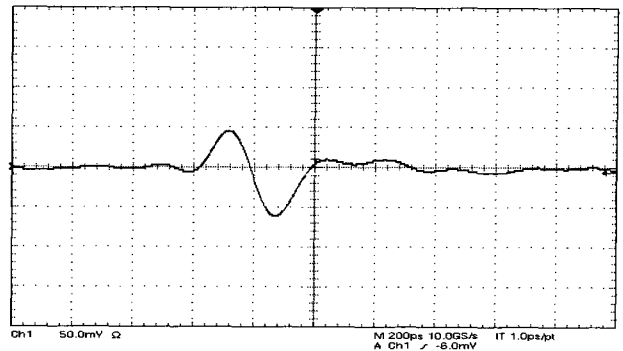


그림 12. 가우시안 모노펄스 출력파형
Fig. 12. Output waveform of Gaussian mono Pulse.

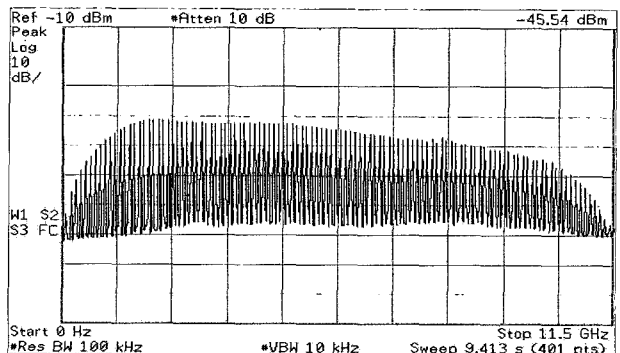


그림 13. 가우시안 모노펄스의 측정 스펙트럼
Fig. 13. Spectrum of Gaussian mono pulse.

10은 이득 스위칭 된 반도체 레이저에서 출력된 광펄스를 전기펄스로 변환 후 오실로스코프로 측정된 결과로서, 크기가 +150 mV였고, 펄스폭은 400 psec으로 확인되었고 약간의 DC성분이 추가되어 있음을 알 수 있다. 반도체 레이저의 특성으로 이득 스위칭에 필요한 전류조절기 출력의 임펄스 부분을 제외한 음의 영역의 신호가 제거되었음을 확인할 수 있다. 그림 11은 측정된 가우시안 펄스의 스펙트럼 특성은 0 GHz에서 11.8 GHz까지의 스펙트럼 특성을 보여주며 100 MHz의 입력신호로 인하여 100 MHz 주기의 스펙트럼 peak 현상을 볼 수 있다.

반도체 레이저의 이득 스위칭 후 출력된 가우시안 펄스를 UWB를 위한 가우시안 모노펄스로 변환하고 UWB 대역에 맞는 펄스를 출력하기 위하여 미분기로서의 HPF를 구현하였다. 그림 12는 시간상의 측정결과이며, 측정된 가우시안 모노펄스는 360 psec의 펄스폭과 -70 mV에서 +50 mV 정도의 크기로 측정되었으며 미분기의 커패시터에 의해서 DC 성분이 제거되었음을 알 수 있다. 미분기의 부정합으로 인한 양과 음의 부분이 약간 불일치 하였으며 링현상이 발생하였다. 그림 13은 가우시안 모노펄스의 주파수상에서의 측정결과를 보여

주며 3 dB 대역은 1.15 GHz에서 4.75 GHz까지 대역폭 3.6 GHz였으며, 크기는 -41 dBm의 측정되었다.

IV. 결 론

본 논문에서는 반도체 레이저의 이득 스위칭을 이용하여 UWB 임펄스 발생기를 구현하였다. 최종 출력된 가우시안 모노펄스는 시간상에서 -70 mV ~ +50 mV의 크기와 360 psec의 펄스폭으로 측정되었으며, 주파수상에서 3.6 GHz의 대역폭과 -41 dBm의 크기로서 FCC의 규정에 맞는 우수한 특성을 보였다. 실험결과와 예측을 위하여 Designer를 사용하여 Transient 모드에서 시뮬레이션을 진행하였고, 측정결과와 유사함을 알 수 있었으며 시뮬레이션과의 오차는 Designer에서 SRD의 Spice 모델링과의 오차에서 비롯됨을 알 수 있다. 출력된 펄스의 링현상은 High speed Photodiode의 특성에 의존하였으며, 미분기의 부정합으로 인한 출력된 펄스의 양과 음의 비대칭성이 나타났다.

UWB대역인 3.1 GHz에서 10.6 GHz까지의 7.5 GHz 대역폭을 갖는 가우시안 모노펄스를 만들기 위해서 미분기의 특성 보완 및 펄스폭을 줄이는 과정이 필요하며 후속 연구로 진행할 예정이다.

참 고 문 헌

- [1] Terence W. Barrett, "History of Ultra Wideband Communication and Raders", Microwave journal, Jan. 2001.
- [2] J. S. Lee, C. Nguyen, "Unipolar picosecond pulse generator using step-recovery diode", Electronics letters, vol 37, No. 8, pp. 504-505, April. 2001.
- [3] Jeongwoo Han., Cam. Nguyen, "A New Ultra-Wideband, Ultra-Short Monocycle Pulse generator With Reduced Ringing", IEEE Microwave and Wireless components letters, vol 12, No. 6, pp. 206-208, June. 2002.
- [4] 김기남, 김인석, "Step recovery diode를 이용한 UWB용 Impulse Generator의 설계" 레이저공학, vol. 14, pp. 53-58, 2003.
- [5] 이승식, 김재영, 이형수 "트랜지스터를 이용한 임펄스 발생기의 설계", 전자과학회논문지, 제14권 11편, pp. 1121-1126, 2003년 11월
- [6] 김윤정, 김동각, 김창민 "LD Gain-Switching에 의한 초단 광 펄스 발생 해석", 전자공학회논문지, 제34권 D편, 제10호, pp. 85-93, 1997년 10월
- [7] 오광환, 채정해, 이용탁, 백운출, 김덕영, "이득스위

칭을 이용한 650nm InGaAIP FP LD의 광펄스 파라미터 분석 및 CW 발진과의 비교", 한국광학회 논문지, vol 12, 제2호, pp. 135-141, 2001년 4월

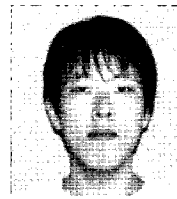
[8] www.Time-domain.com

[9] www.ieee802.org

저 자 소 개



권 순 영(정회원)
 2003년 2월 명지대학교
 전자공학과 학사졸업.
 2005년 2월 명지대학교
 전자공학과 석사졸업.
 2004년 12월~현재(주)MODMEN
 <주관심분야 : 통신, UWB, 마이크로파 회로설계>



김 범 주(정회원)
 2004년 2월 명지대학교
 전자공학과 학사졸업.
 2005년 3월~현재 명지대학교
 전자공학과 석사과정.
 <주관심분야 : 통신, 디지털 회로설계, UWB, 마이크로파 회로설계>



박 종 대(정회원)
 1983년 2월 연세대학교
 전자공학과 학사졸업.
 1985년 2월 연세대학교
 전자공학과 석사졸업.
 1992년 12월 University of
 Arizona 공학박사
 1986년~1996년 전자통신 연구소 전임연구원
 1996년~현재 명지대학교 전자공학과 교수
 <주관심분야 : 광소자, OCDMA, UWB, 마이크로파 회로설계>