

레이저 다이오드의 광신호 전달 특성 분석

Analysis of Optical Signal Transmission Characteristics of Laser Diodes

김도균, 윤영설, 이준재, 최영완
중앙대학교 전파광파통신연구실

Do-Gyun Kim, Young-Sul Yun, Joon-Jae Lee and Youg-Wan Choi
Microwave & Lightwave Telecommunication Lab. Chung-Ang University

Abstract

고속 데이터 전송을 함에 있어서 레이저 다이오드(LD)를 이용한 광접속 시스템은 최근 중요한 화두가 되고 있다. LD에 의하여 변조된 광신호는 광자와 캐리어의 동역학적 특성에 영향을 받으며, 이와 같은 LD의 동작 특성을 이해하기 위해서는 율방정식(Rate Equation)을 분석해야만 한다.

본 논문에서는 유한차분법(FDM)을 이용하여 율방정식을 분석하기 위한 모델을 제시하였으며, 이때 주입되는 전류부분에 디지털 혹은 아날로그 신호를 인가함으로써, 광접속 시스템에서 LD의 대역폭, SFDR (Spurious Free Dynamic Range) 그리고 비선형 특성을 분석하였다.

Keywords

LD, rate equation, nonlinearity, optical interconnection

I. 서 론

정보 통신망의 초고속화와 대용량화는 광대역 통신망 구축에 있어서 단순한 음성 정보 뿐 아니라 영상 정보 등 멀티미디어 서비스의 요구가 증대됨에 따라 날로 그 중요성이 증대되고 있다. 이러한 시대적 요구에 따라 광통신이 차

지하는 비중은 날로 커지고 있는 실정이며, 광접속 기술은 전기적인 접속 기술에서 나타나고 있는 한계를 극복할 수 있는 가장 유력한 방법 중의 하나이다. 더욱이 기존의 초고속 정보통신망이 동선에서 광섬유로 변화되어 가면서, 광통신의 중요성은 더욱 강조되고 있으며, LD는 광통신 시스템에서 광원으로 사용되고 있다. [1] 전기신호를 광신호로 직접 변조를 할 경우, LD에 전송을 위한 전기신호는 전류로써 주입이 되며, 이는 LD의 출력 광파워를 변화시킨다. 그러나, 고속의 광변조의 경우, LD의 활성영역에서 전자 밀도의 급속한 변화로, 대역폭의 제한이 발생한다. Rate equation은 LD에서 광자와 전자의 변화를 표현한 수식으로, LD 내의 광자와 전자의 동적 변화를 포함하고 있다. 따라서 고속의 광변조시 입력 전류와 출력 광파워의 관계를 계산할 수 있다.

본 논문에서는 다양한 입력 신호에 따른 LD의 출력 광신호의 특성을 분석하기 위하여, 유한 차분법을 이용하여 입력전류를 가변할 수 있는 rate equation 모델을 제시함으로써, 광통신 시스템을 설계하는데 있어서 유용하다.

II. 본 론

2. 1 LD의 Rate Equation

LD의 동작특성을 표현하는 가장 기본적인 모델링은 LD의 rate equation 이다. 이는 LD의 변수들을 바탕으로 하여 전자밀도 (electron density), N ($1/m^3$) 과 광자 밀도 (photon density), S ($1/m^3$) 가 시간 영역에서 어떻게 변하는가를 보여준다. LD의 rate equation은 식(1)과 같다.[2]

$$\frac{dS}{dt} = \{G(N)[1 - \epsilon S] - 1/\tau_p\}S + \beta \frac{N}{\tau_n} \quad (1)$$

$$\frac{dN}{dt} = \frac{I}{\alpha} - \frac{N}{\tau_n} - G(N)[1 - \epsilon S]S \quad (2)$$

S 는 단위부피당 광자밀도, N 은 단위부피당 전자밀도, I 는 LD에 주입되는 전류, $\alpha = qv_a$, v_a 는 활성영역의 부피, G 는 이득 상수, N_0 는 carrier transparency number, τ_p 는 광자의 수명 시간, τ_n 은 전자의 수명 시간, β 는 자연 방출 상수, ϵ 는 이득 압축 요소이다. [3][4]

2. 2 유한차분법을 이용한 rate equation의 시간 영역 해석

LD에서 입력신호를 가변하기 위하여 식(2)에서 전류에 해당하는 I 를 변형할 수 있다. 즉, I 를 시간영역의 함수로 표현하여, 식(1)과 (2)에 대입함으로써, rate equation의 시간영역의 해석이 가능하다. 이때 유한차분법을 이용하여 수식을 전개하면 다음과 같다.

$$N_{n+1} = N_n + \Delta t \left[\frac{\eta_i \cdot I}{q \cdot v_{active}} - \frac{N_n}{\tau_n} - G_0(N_n - N_0)\{1 - \epsilon S_n\} \cdot S_n \right] \quad (3)$$

$$S_{n+1} = S_n + \Delta t \left[G_0(N_n - N_0)\{1 - \epsilon S_n\} \cdot S_n - \frac{S_n}{\tau_p} + \frac{\beta \cdot N_n}{\tau_n} \right] \quad (4)$$

$$I = I_{bias} + I_{mod} \cdot \sin(\omega t) \quad (5)$$

이때 주입전류 I 는 식 (5)와 같이 sinewave를

입력하였고, 이를 통하여 LD의 주파수 응답 특성을 분석하였다. 식 (3)과 (4)에서 모의실험을 하기 위해서 Δt 는 10^{-12} s로 설정하였으며, 모의 실험에 사용한 rate equation의 파라미터는 표 (1)과 같다.[3] LD의 E/O response를 측정하기 위하여, 입력 전류 신호의 주파수에 따른 광출력의 주파수 성분을 분석하였다. 이때, 입력 전류의 주입되는 순간 광자와 전자의 비율의 변화에 따른 relaxation oscillation이 발생하게 된다. relaxation oscillation의 경우 바이어스 전류값에 따라 광출력에 공진주파수 성분이 포함되게 된다.[5] LD의 E/O response를 계산하기 위하여 바이어스 전류에 의한 relaxation oscillation의 배제를 위하여 바이어스 전류를 인가 후, 20ns의 시간 지연을 가진 후에 전류 신호를 인가하였다. 또한 계산 결과는 상온(300K)으로 가정하였고, 온도 변화에 따른 문턱전류의 변화는 고려하지 않았다. 모의 실험 결과와 측정결과는 그림 (1)과 그림 (2)에 각각 나타내었다.

표 1. rate equation parameter

Parameter	Symbol	Value
wavelength	λ	1550 nm
transparency carrier density	N_0	1.2×10^{18}
spontaneous emission factor	β	1×10^{-4}
quantum efficiency	η_i	0.107
gain coefficient	G_0	2.8×10^{-6}
photon life time	τ_p	2 ps
carrier life time	τ_n	2.2 ns
gain compression factor	ϵ	3.8×10^{-17}
threshold current	I_{th}	7.2 mA
active layer volume	V_a	$7.2 \times 10^{-11} \text{ cm}^3$

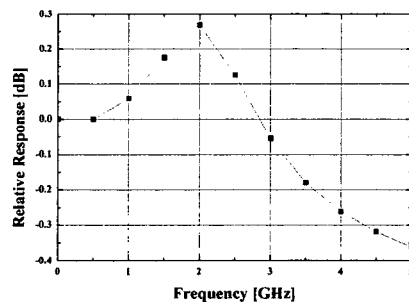


그림 1. E/O response 모의실험결과

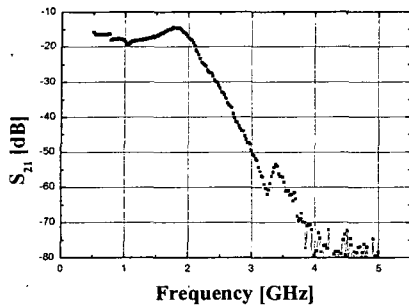


그림 2. E/O response 측정결과

2. 3 비선형특성 분석 및 SFDR

LD의 광신호의 출력은 광자와 전자의 동역학 특성에 의하여 결정이 된다. 이때 입력 전자에 의하여 생성된 광자는 비례하지 않고, 비선형적으로 발생하게 되며, 이는 광신호의 비선형성에 영향을 주게 된다. 따라서, 아날로그 광 전송을 위한 링크에서는 이와 같은 비선형성이 중요한 문제가 된다.

LD의 비선형성을 분석하기 위하여 식 (5)의 주입전류를 100 MHz의 주파수 차이를 가지며, 동일한 크기를 갖도록 하였다. LD의 SFDR (Spurious Free Dynamic Range)는 그림 (3)와 같다.

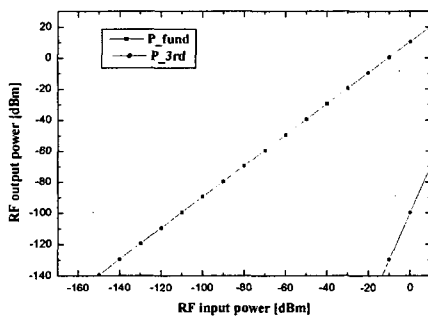


그림 3. SFDR 모의 실험 결과

SFDR의 모의 실험에 사용된 잡음레벨은 -144 dBc이며, 이는 열잡음, 산탄잡음 그리고 상대 강도잡음을 고려한 값이며, 이때 SFDR 값은 117 dB이다.

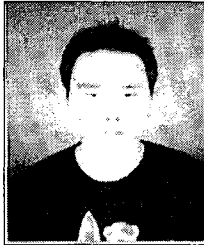
III. 결 론

본 논문에서는 rate equation을 이용하여 시간 영역에서 출력 광신호를 분석하였다. 유한 차분법을 이용하여 rate equation을 해석하였고, 이를 통하여 LD의 주파수 응답특성과 SFDR을 측정하였다. 또한, 입력신호에 따른 LD의 특성을 분석하기 위하여 주입전류를 임의의 신호로 인가함으로써, 차후 아날로그 및 디지털 신호를 LD를 이용하여 출력 광신호를 분석이 가능하다.

[참고 문헌]

- [1] Davis H. Hartman, Gail R. Lalk, James W. Howse, and Robert R. Krchnavek, "Radiant Cured polymer optical waveguides on printed circuit boards for photonic interconnection use", *Applied Optics*, Vol. 23, No. 1, January 1989.
- [2] P.V. Mena, J.J. Morikuni, and S.-M. Kang, "A Simple Rate-Equation-Based Thermal VCSEL Model", *Journal of Lightwave Tehnology*, vol. 17, No. 5, May 1999
- [3] Leif Bjerkan, Arne Royset, Lars Hafaskjae r, and Dagfinn Myhre, "Measurement of Laser Parameter for Simulation of high-Speed Fiberoptic Systems", *Journal of Lightwave Technology*, Vol. 13, no. 5, May 1996
- [4] J. E. Bowers, "High Speed Semiconductor Laser Design and Performance", *Solid-State Electronics*, Vol. 30, No. 1, pp. 1-11, 1987
- [5] B. J. Thibeault, K. Bertilsson, E. R. Hegblom, E. Strzelecka, P. D. Floyd, R. Naone, and L. A. Coldren, "High-Speed Characteristics of Low-Optical Loss Oxide-Apertured Vertical-Cavity Lasers", *IEEE Photonics Technology Letters*, Vol. 9, No. 1, January 1997
- [6] 박상현, "광 전송 마이크로셀룰라 시스템을 위한 피드포워드 아날로그 광 송신기에 관한 연구", 중앙대학교, 2003

Biography



김도균

2003년 중앙대학교 전자전기공학부 졸업

2005년 중앙대학교 대학원 전자전기공학부(공학석사)

2005년~현재 중앙대학교 대학원 전자전기공학부 박사과정

<주관심분야> optical interconnection, optical 송수신 모듈, CMOS 설계

<이메일> kdk2327@nate.com



최영완

1985년 서강대학교 전자공학과 졸업

1987년 버팔로 뉴욕주립대 대학원 전기 및 컴퓨터공학과(공학석사)

1992년 버팔로 뉴욕주립대 대학원 전기 및 컴퓨터공학과(공학박사)

1993년 한국전자통신연구원(ETRI) 선임연구원

1995년~현재 중앙대학교 전자전기공학부 교수

<주관심분야> 광전자, 광통신, 광스위칭 시스템 및 소자, Microwave-Photonics, Optical-CDMA

<이메일> wchoi@cau.ac.kr



윤영설

1998년 중앙대학교 전자공학과 졸업

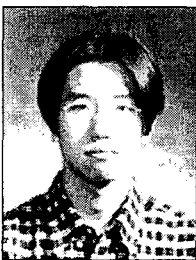
2000년 중앙대학교 첨단영상대학원 (공학석사)

2005년 ~현재 중앙대학교 전자전기공학부(박사과정)

<주관심분야> FDTD, Numerical

Analysis, Microwave-Photonics

<이메일> duddnd@empal.com



이준재

2004년 중앙대학교 전자전기공학부 졸업

2005년 중앙대학교 대학원 전자전기공학부 재학

<주관심분야> Microwave-Photonics, 광통신

<이메일> neonpooh@wm.cau.ac.kr

kr