

# 케스코드 증폭기와 인덕터 피킹기술을 이용한 광통신용 광 수신기의 설계

\*박정식, 이강승, 정 윤 하,  
포항공과대학교 전자전기공학과  
경북 포항시 효자동 산 31번지  
\*pjungs@postech.ac.kr

## Optical Receiver Design For Optical Communication Using Cascoded Amplifier with Inductor Peaking Technique

\*J. S. Park, K. S. Lee and Y. H. Jeong

Department of Electronic and Electrical Engineering, Pohang University of Science and Technology  
San 31, Hyojadong, Nam-ku, Pohang, Kyungbuk, 790-784, Korea

\*pjungs@postech.ac.kr

### Abstract

In this paper, a transimpedance optical receiver based on PIN/P-HEMT with cascoded input stage and inductor peaking technique was designed for several giga bits optical communication. Analysis of the receiver shows that cascoded input stage with inductor peaking increase bandwidth without sacrificing low frequency gain. The receiver achieved a low noise characteristic and maximally flat frequency response. It is shown that the 3-dB bandwidth of the designed receiver is 8.3 GHz and input equivalent noise current is as low as  $16pA/\sqrt{Hz}$  to 10GHz.

### I. 서론

광 수신기(optical receiver)는 광섬유를 통해서 들어오는 광 신호를 전기 신호로 재생시키는 역할을 하기 때문에, 광통신 시스템의 성능을 결정하는 중요한 요소들 중의 하나이다[1]. 따라서, 광 수신기는 넓은

주파수대역 특성과 낮은 잡음 특성을 가지는 것이 요구된다. 광 수신기는 광 검출기와 전치증폭기로 구성되며, 고속소자 이면서 잡음 특성이 좋은 HEMT, HBT를 이용한 PIN/HEMT[2], MSM/HEMT[3], MSM/HBT[4] 등의 연구가 주로 보고되었다. 광 수신기에 사용되는 전치증폭기는 크게 고 임피던스(high impedance)형 전치증폭기와 트랜스 임피던스(transimpedance)형 전치증폭기로 나눌 수 있다. 고 임피던스형 전치증폭기는 높은 수신감도(high sensitivity)를 가지지만, 입력 단의 높은 저항 때문에 주파수 특성이 좋지 않고, 동작범위(dynamic range)가 작아 수신기의 출력 단계 등화기(equalizer)를 사용해야 하는 불편이 있다. 따라서, 1 Gbps 이하의 수신기에 주로 사용된다. 트랜스 임피던스형 전치증폭기는 피드백 저항을 사용하기 때문에, 수신감도는 전자에 비해 조금 떨어지지만, 넓은 주파수대역과 동작범위(dynamic range)의 특성을 가지므로, 1 Gbps 이상의 수신기에 주로 사용된다[5].

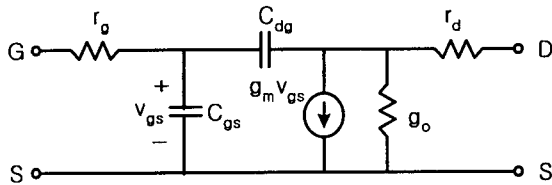
본 연구에서는 트랜스임피던스형 전치증폭기를 사용하였으며, 주파수 특성과 잡음특성을 증가시키기 위해서, 입력 단을 케스코드(cascode)구조[6]로 하고, 게이트에 인덕터 피킹(inductor peaking)기술[7][8]을 사용함으로써, 10Gbps에서 동작하는 PIN/HEMT형 광

수신기를 설계하였다. 또한, 설계된 광 수신기의 주파수 특성과 잡음특성을 조사하였으며, 실제 PIN/HEMT 광 수신기 제작을 할 수 있도록 레이아웃(layout)을 하였다.

## II. 광 수신기의 설계 및 특성분석

### II-1. 광 수신기의 주파수 특성

본 논문의 광 수신기 설계에 사용된 수광 소자로 InGaAs PIN-PD를 사용하였으며, 능동소자로 GEC-Marconi에서 제공하는 foundary 용 AlGaAs/InGaAs/GaAs P-HEMT를 사용하였다. 그림 1은 광 수신기의 입력 단의 소신호 등가모델을 나타낸 것이다.



$$r_g = 3.15 \Omega, r_d = 0.01 \Omega, r_s = 0.142 \Omega, g_m = 43.5 \text{ mS}$$

$$g_o = 4 \text{ mS}, c_{gs} = 0.115 \text{ pF}, c_{dg} = 0.013 \text{ pF}$$

그림 1. P-HEMT의 소신호 등가 모델

위의 등가모델을 파라미터 값들을 이용해서 그림 2-(a)와 같은 CS(common source) 회로에 대해서, 최적의 피드백 저항과 3-dB 주파수를 수식으로 나타내면 다음과 같다[6].

$$R_f = \frac{2\tau(c_{dg} + c_L)}{(2g_o\tau + c_{dg})^2} \quad (1)$$

$$f_{3-dB} \cong \frac{1}{2\pi\sqrt{\tau(c_{dg} + c_L)R_f}} \quad (2)$$

여기서,  $\tau \cong \frac{c_g + c_p + 2c_{dg}}{g_m} + r_d c_{dg}$  이다.

그림 2-(b)와 같은 케스코드 형태의 경우, 밀러 효과(Miller effect)에 의한  $c_{dg}$ 의 영향을 무시할 수 있으므로, 위 식에서 bandwidth가 증가하고,  $R_f$ 가 증가함에 따라, 수신감도가 증가하게 된다. 실제 두 회로

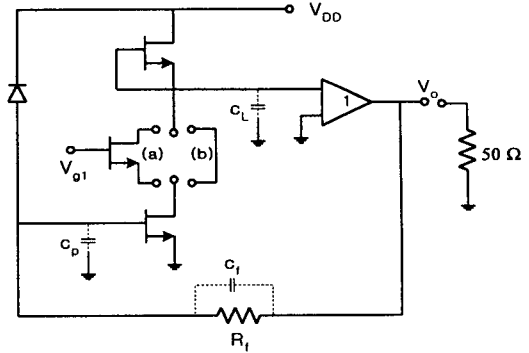


그림 2. (a) CS 형태 (b) Cascoded 형태

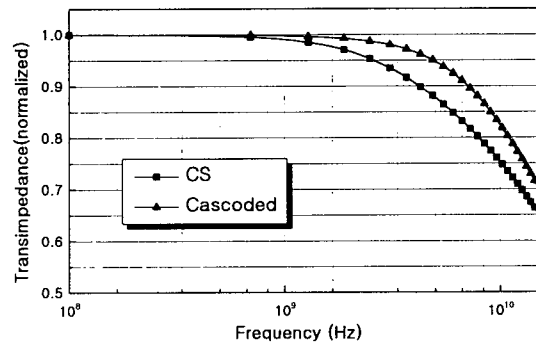


그림 3. CS 와 Cascoded의 주파수 대역 비교

의 주파수 특성을 그림 3에 보였다. 그림 3에서 볼 수 있듯이 입력 단을 케스코드 형태로 사용할 경우 주파수 대역이 2.6GHz 정도 더 증가함을 볼 수 있다. 그림 4는 케스코드 입력단을 가진 트랜스임피던스형 광수신기 회로도이다. 설계된 광수신기는 1단 증폭기와 2개의 버퍼로 이루어져 있다. 첫 번째 버퍼는 피드백 저항 양단의 전위를 맞추므로써, 광 수신기의 개방 루프이득의 변화를 막기 위해 사용되었으며, 두 번째 버퍼는 출력단의 임피던스를 맞추기 위해서 사용되었다. 피드백 저항  $R_f$ 는 800  $\Omega$ 을 사용하였으며, 입력단의 게이트에 인덕터피킹 기술을 이용해서 주파수 대역을 증가시켰다. 인덕터피킹 기술은 게이트에 인덕터를 삽입 하므로써, 입력 정전용량  $c_{pd} + c_{gs}$ 과 RLC 공진을 일으켜서, 저주파 이득의 감소없이 주파수대역을 증가시키는 기술이다[9]. 그림 5에 인덕터값의 변화에 따른 주파수 특성을 보였으며, 3nH 일 때 좋은 특성을 보였다. 이러한 인덕터 삽입은 주파수 대역 뿐만 아니라, 잡음 특성에도 영향을 미치므로, 인덕터의 값을 선택할 때, 두가지 특성이 동시에 고려되어야 한다.

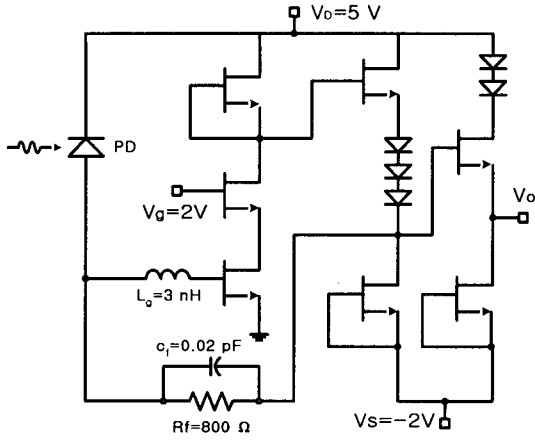


그림 4. 트랜스임피던스 광 수신기의 회로도

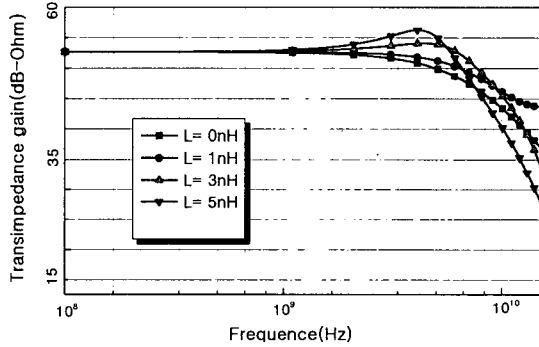


그림 5.  $L_g$  크기에 따른 트랜스임피던스 이득 변화

## II-2. 광 수신기의 잡음 특성

광 수신기의 잡음 특성은 수신감도(sensitivity)로 나타낸다. 수신 감도는 광 수신기가 원하는 에러(error)보다 작은 에러를 가지기 위해서 입력 단에 요구되는 최소 입력 power를 나타낸다. 일반적으로 수신감도  $\eta P_{min} (dB_m)$ 은 식 (3)으로 주어진다[5].

$$\eta P_{min} (dB_m) = 10 \log \left[ \frac{h\nu}{q} \langle i_{total} \rangle^2 \right] \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \langle i_{total} \rangle^2 &= \left( 2q I_o + \frac{4kT}{R_f} + \frac{4kT}{g_m R_f^2} \right) \\ &\times \left( 1 - \frac{I_3^2}{I_2 I_4} \right) I_2 B + \frac{4kT}{g_m} (2\pi C_{total})^2 \\ &\times \left( 1 - \frac{I_4^2}{I_3 I_6} \right) I_3 B^3 \end{aligned} \quad (4)$$

여기서, Q는 bit 에러율(bit error rate)이  $10^{-9}$ 일 때, 6 이고, 등가입력 잡음전류인  $\langle i_{total} \rangle^2$ 는 인덕터 피킹을 했을 때의 값을 나타낸다. 등가입력 잡음전류는 시스템의 전달함수에 크게 의존하기 때문에, 인덕터를 적절히 사용함으로써 크기를 줄일 수 있다. 그림 6은 인덕터 변화에 따른 등가입력 잡음전류의 변화를 보였다. 인덕터 값이 3nH 일 때, 10GHz 까지  $16 pA/\sqrt{Hz}$  이하의 값을 보였다.

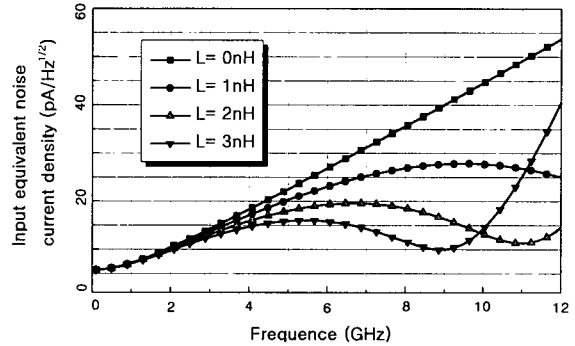


그림 6.  $L_g$  크기에 따른 등가입력 잡음전류 변화

## II-3. Eye-Pattern 다이어그램(Diagram)

아이-패턴 다이어그램 기술은 간단하면서도 디지털 데이터 광통신 시스템의 성능을 평가하는 우수한 방법이다. 그림 7은 3-bit-long NRZ 신호를 사용하여, 10Gbps에서의 아이패턴을 시뮬레이션 한 것이다.

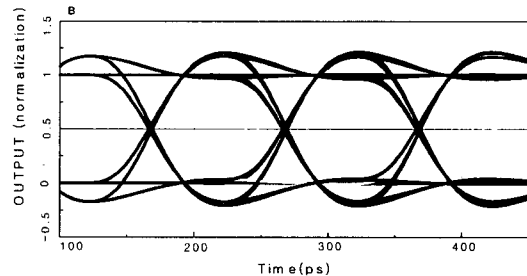


그림 7. 10Gbps에서의 아이 패턴(Eye pattern)

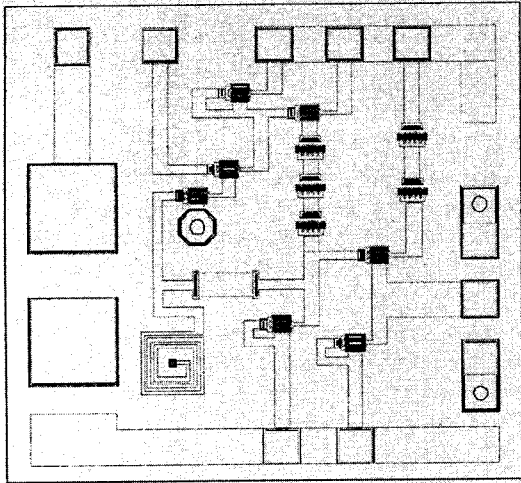


그림 8. 설계한 광 수신기의 레이아웃(layout)

### III. 결론

본 연구에서는, 입력 단을 캐스코드(cascode) 구조로 해서 입력 커패시턴스를 줄이고, 게이트에 인덕터 피킹기술을 이용함으로써, 주파수 특성과 잡음 특성을 동시에 증가시켰다. 설계된 광 수신기의 주파수대역은 8.3GHz 이고, 등가입력 잡음 전류는 10GHz 까지  $16 \text{ pA}/\sqrt{\text{Hz}}$  를 넘지 않았다. 또한, 아이패턴 시뮬레이션을 통해서, 설계된 광 수신기가 10Gbps에서, 동작이 가능함을 보였으며, 그림 8.에 실제 제작이 가능하도록 레이아웃(layout)을 하였다.

### 참고문헌

[1] Mike Brain, T.P.Lee, "Optical Receiver For Lightwave Communication Systems", IEEE Trans. on Electronic Devices, vol. ED-32, no. 12, pp.2673 - 2692, 1985

[2] Hiroshi yano et. al "An ultra-high-speed optoelectronics integrated receiver for fiber-optic communication", IEEE Trans. on Electronic Devices, vol. 39, no.10, pp. 2254 - 2259, 1992

[3] W.P.Hong, G.K.Chang et. al, "Monolithically integrated waveguide-MSM detector-HEMT amplifier receiver for long-wavelength lightwave systems", IEEE Photonics Technology Letters, vol.

3, no. 2, pp. 156 -158, 1991

[4] Eugene John and Mukuda D. Dsa, "Design and performance analysis of InP-based high speed and high-sensitivity optoelectronic integrated receivers", IEEE Tran. on Electronic Devices, vol. 41, no. 2, pp. 162 - 172, 1994

[5] Tran van Muoi, "Receiver Design For High-speed Optical-Fiber Systems", Journal of Lightwave Technol., vol. LT-2, no. 3, pp. 243 - 267, 1984

[6] Mukunda B. Das, "Designing Optoelectronic Integrated Circuit(OEIC) Receivers for High Sensitivity and Maximally Flat Frequency Response", Journal of Lightwave Technol., vol. 13, no 9, pp. 1876 - 1883, 1995

[7] 이봉훈, 전영진, 정문영, 정윤하, "인덕터 피킹 기술을 이용한 광 통신용 PIN/HEMT 수신기의 전치증폭기의 설계", 전자공학회 추계 종합 학술대회 논문집, vol. 18, no. 2, pp. 945 - 948, 1995

[8] James J. Morikuni, S.M.Kang, "An Analysis of Inductive Peaking in Photoreceiver Design", Journal of Lightwave Technol., vol. 10, no. 10, pp. 1426 - 1436, 1992

[9] 김태경, 이봉훈, 전영진, 정윤하, "게이트/소오스 인덕터 피킹기술을 이용한 광대역 전치증폭기의 설계에 관한 연구", 전자공학회 추계 종합 학술대회 논문집, vol. 20, no. 2, pp. 961 - 964, 1997