

광수신기를 위한 2.5Gbps CMOS Transimpedance 증폭기 설계

전지호, 이은영, 심상미, 박강엽* 전석희, 유종근
 인천대학교 전자공학과, *연세대학교 전자공학과

Design of a 2.5Gbps CMOS Transimpedance Amplifier for Optical Receivers

J. H. Jeon, E. Y. Lee, S. M. Sim, K. Y. Park*, S. H. Jeon, C. G. Yu
 Dept. of Electronics Engineering, University of Incheon, *Yonsei University

Abstract - 요즘 데이터의 양이 많아지고 마이크로프로세서의 속도가 빨라짐에 따라 광통신이 각광받고 있다. 광통신이란 전류신호를 광 신호로 변환하여 송신하고 광섬유를 통해 전달된 광신호가 포토다이오드를 통해 전류신호로 변환되어 수신하는 통신방법이다. TIA는 이런 광통신의 수신부의 첫 단계에 오는 블록으로서 전류신호를 사용가능한 전압신호로 바꾸어주는 역할을 한다. 본 논문에서는 포토다이오드의 커패시턴스 성분을 효과적으로 차단하고 노이즈 특성을 향상시킬 수 있는 방법을 제안하고, 1.8V 0.18um CMOS공정을 사용하여 2.5Gbps TIA 블록을 설계하였다..

1. 서 론

최근 인터넷 사용이 늘어나고 메모리와 마이크로프로세서의 속도가 빨라짐에 따라 데이터의 양이 급속하게 증가하고 있다. 이를 위해 광섬유를 통한 광통신 기술이 기존의 구리선을 통한 xDSL 기술을 대체하고 있다. 광통신이 높은 전송속도에서 각광을 받는 이유는, 광섬유가 수직에서 수백기가에 이르는 넓은 대역폭을 가지며, 0.15dB/km의 매우 적은 데이터 손실을 보이기 때문이다. 광섬유는 부피가 매우 작고 가벼우며, 외부 환경 변화에 훨씬 덜 민감하고, 가격도 기존의 전송선보다 저가이기 때문에 경제적인 효용도 또한 매우 높다.

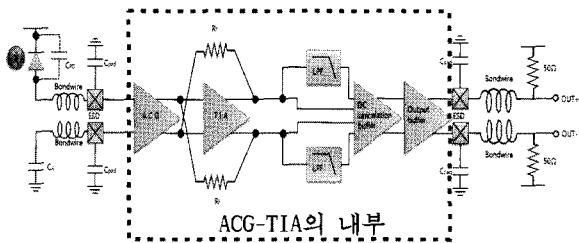
광통신에 사용되는 수신기는 광섬유에서 들어온 빛 정보를 처리해야 하는데 빛 정보는 포토다이오드라는 소자를 통해 전기적 '전류'신호로 변환된다. 이 신호는 매우 미약하기 때문에 증폭을 해줄 필요가 있다. 또한 수신기의 모든 동작은 '전압' 신호에 의해 이루어지므로 전류신호가 전압신호로 바뀌어 증폭이 되어야 한다. 이 역할을 하는 소자가 바로 Trans-Impedance Amplifier이다(이하 TIA).

본 논문에서는 대역폭 확보를 위해 포토다이오드의 커패시터 성분을 효과적으로 차단하고 노이즈 특성을 향상시킬 수 있는 방법을 제안하고, 0.18um CMOS 공정을 사용하여 2.5Gbps TIA 블록을 설계하였다.

2. 본 론

2.1 Transimpedance Amplifier 개요

본 논문에서 제안하는 TIA 블록을 <그림 1>에 보였다. TIA는 광 수신기의 가장 앞단에 위치하기 때문에 전체 광 수신기의 수신 감도를 결정하게 된다. TIA를 설계 할 때 2.5Gbps 신호를 처리할 수 있는 넓은 대역폭과 input referred 잡음을 고려하여야 한다. TIA 앞에 위치한 포토다이오드는 이러한 특성에 직접적인 영향을 끼치므로 이를 효과적으로 차단하기 위해 TIA 전에 Advanced Common-Gate(ACG)를 추가하였다.

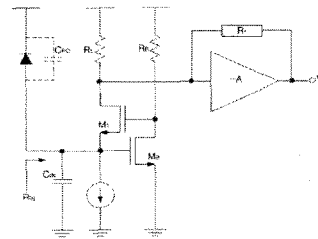


<그림 1> ACG-TIA의 블록다이아그램

2.2 Advanced Common-Gate (ACG)

포토다이오드의 커패시터 성분은 TIA의 대역폭을 줄이고, 노이즈전력을 크게 만드는 등 TIA의 성능을 저하 시킨다. ACG는 이러한 포토다이오드의 커패시터 성분을 TIA로부터 격리 시키고자 하여 TIA 앞에 위치시킨 블록이다. 본 논문에서는 ACG-TIA Topology를 사용하여 Common-Gate TIA Topology보다 더 효과적으로 포토다이오드의 커패시터 성분을 격리시킴으로써 잡음 전력을 줄이고 동시에 대역폭을 넓혔다.

본 논문은 정보통신연구진흥원의 NEXT 사업 지원에 의한 연구결과이며, IDEC 지원에 의해서도 일부 수행되었음.



<그림 2> ACG-TIA 회로

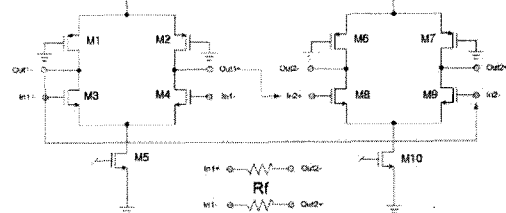
$$f_{-3dB} \cong \frac{g_m(1+g_{mB}R_B)}{2\pi(C_{PD}+C_{in})} \quad (1)$$

$$i_{n_{eq}}^2 \cong \frac{4kT}{R_f} + \frac{4kT}{R_g} + \frac{4kT\omega^2(C_{gs1}+C_{gs2})^2}{g_{m1}^2} \left(\frac{1}{R_f} + \Gamma_{Ed0,1} \right) + \frac{4kT\omega^2(C_{PD}+C_{gsB}+C_{db1})^2}{\left(g_{mB} + \frac{1}{R_B} \right)^2} \left(\frac{1}{R_B} + \Gamma_{Ed0,B} \right) \quad (2)$$

식(1)의 분자부분을 살펴보면 대역폭이 Advanced Common-Gate에 의해 $(1+g_{mB}R_B)$ 만큼 넓어진 것을 확인할 수 있다. 대역폭에 있어서 ACG단은 포토다이오드 커패시터의 영향을 줄이고 ACG의 게인 만큼 대역폭을 늘리는 역할을 한다. 식(2)는 노이즈 측면에서 g_{mB} 과 R_B 를 통해 전력조절이 가능하다는 장점을 보여준다.

2.3 Transimpedance Amplifier Core

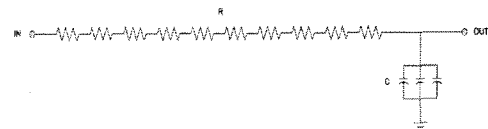
<그림 3>은 ACG-TIA에 사용된 TIA Core 부분이다. common-mode의 잡음을 최대한 줄이기 위하여 차동 구조를 사용하였다. 그리고 좀 더 큰 이득을 얻기 위하여 두 증폭기를 cascade 구조로 연결하였고 R_f 의 노이즈가 다시 입력 쪽으로 feedback되어 TIA Core의 전압이 R_f 에 의해 나눠진다.



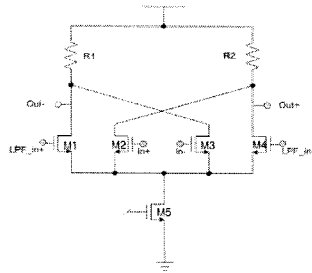
<그림 3> 차동구조의 TIA Core 회로

2.4 Output-Stage

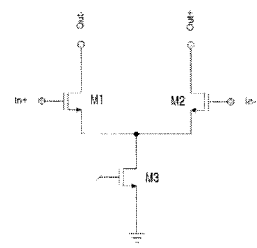
Output-stage는 <그림 4> LPF와 <그림 5> DC Cancellation에 의해 DC 레벨을 off-set 시킨다. 다른 DC 레벨을 타고 넘어온 두 차동 출력은 이 두 회로를 지난 후(약 2us 후) 같은 DC off-set 전압을 갖게 된다. <그림 6>의 회로는 측정 시 50Ω 매칭을 하기 위한 Buffer이다.



<그림 4> Low Pass Filter 회로



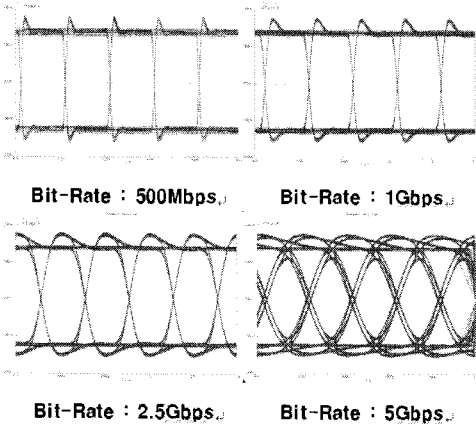
〈그림 5〉 DC Cancellation 회로



〈그림 6〉 Output buffer 회로

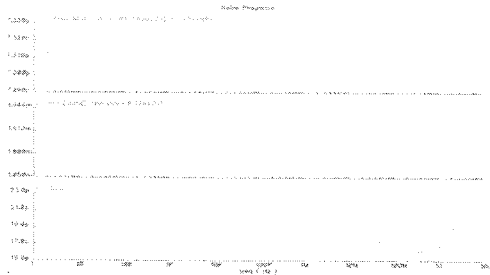
2.5 전체회로 시뮬레이션 및 레이아웃

〈그림 7〉은 데이터 Bit-rate에 따른 Eye diagram을 나타낸 것이다. 목표 rate인 2.5Gbps이하의 Bit-rate에서는 좋은 성능을 보였다.



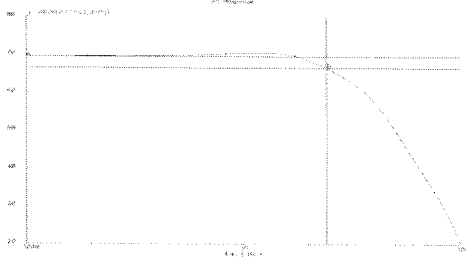
〈그림 7〉 Bit-rate에 따른 eye diagram

〈그림 8〉은 설계한 ACG-TIA의 평균 노이즈 전류 스펙트럼 밀도 및 광 민감도의 모의실험 결과이다. 실험결과 평균 노이즈 전류 스펙트럼 밀도는 17.3pA/√Hz, 광 민감도는 -17.7dBm의 성능을 보였다.



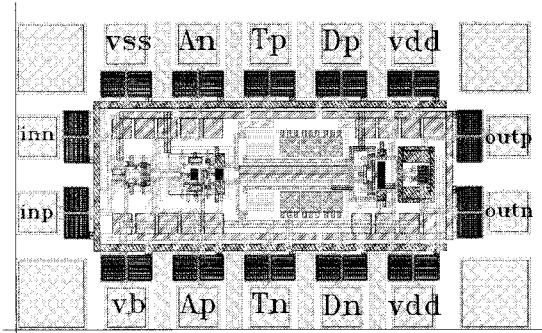
〈그림 8〉 평균 노이즈 전류 스펙트럼 밀도 및 광민감도

〈그림 9〉는 설계한 ACG-TIA의 전체 트랜스 임피던스 이득과 대역폭을 모의실험을 한 결과이다. 목표 사항은 트랜스 임피던스 이득 60dBΩ 이상과 대역폭 1.75GHz이상이었으며, 시뮬레이션 결과 69.6dBΩ의 트랜스 임피던스 이득과 2.42GHz의 대역폭을 얻을 수 있었다.



〈그림 9〉 이득과 대역폭

〈그림 10〉은 Magna 0.18um MPW공정으로 제작한 ACG-TIA의 전체 레이아웃 모습이다.



〈그림 10〉 ACG-TIA의 레이아웃

〈표 1〉은 기존 논문들의 TIA와 본 논문에서 설계한 TIA의 성능을 비교한 표이다. 논문[7]의 성능과 비교해 볼 때 모든 부분에서 성능향상을 보였으며 논문[8]과의 비교에서도 대역폭의 향상을 볼 수 있었다. 하지만 평균 노이즈 전류 스펙트럼 밀도와 광 민감도에서는 다소 낮은 성능을 보이고 전력소모가 큰 편이다.

〈표 1〉 기존 회로들과의 성능비교

	[7]	[8]	This Work
Topology	CG-TIA	ACG-TIA	ACG-TIA
Technology	0.18 CMOS	0.18 CMOS	0.18 CMOS
VDD (V)	1.8	1.8	1.8
Transimpedance Gain (dBΩ)	63	65	69.6
Target Bit-Rate (Gbps)	3.125	2.5	2.5
Bandwidth (GHz)	2	2.08	2.42
Input Noise Spectral Density (pA/sqrt(Hz))	34.37	11.9	17.3
Sensitivity (0.7-A/W responsivity)	-18	-23.1	-17.7
Power Consumption (mW)	30.6	5.5	36.32

3. 결 론

본 논문에서는 0.18um CMOS 공정을 이용하여 향상된 공통 게이트 (Advanced Common-Gate) 를 입력단에 추가한 TIA를 설계하였다. 설계한 ACG-TIA는 기존의 TIA에 비해 입력 임피던스가 피드백의 전압이득만큼 작아져 입력단의 큰 기생 캐패시턴스 성분을 효과적으로 격리시켜 대역폭을 증가시키는 장점을 갖는다. ACG-TIA는 0.5pF의 광 다이오드 캐패시턴스에 대해 약 69.6dBΩ의 트랜스 임피던스 이득, 2.42GHz의 대역폭을 얻었으며 평균 노이즈 전류 스펙트럼 밀도는 17.3pA/√Hz의 결과를 보였다. 또한, BER을 10⁻¹²이라 예상할 경우 -17.7dBm의 광민감도를 얻을 수 있었다. 설계한 ACG-TIA 회로는 충분한 대역폭을 갖고 우수한 광민감도와 높은 이득을 갖기 때문에 광수신기에 응용 시 많은 장점이 있을 것으로 예상된다.

[참 고 문 헌]

- [1] Behzad Razavi, "Design of Integrated Circuits for Optical Communications," Mc Graw Hill, 2002.
- [2] Phillip E.Allen and Douglas R.Holberg, "CMOS Analog Circuit Design," Oxford, 1996.
- [3] K.Park, W.S .Oh, B.Y.Choi, J.W. Han, S.M. Park "A 4-channel 12.5Gb/s Common-Gate Transimpedance Amplifier Array for DVI/HDMI Applications," IEEE International Symposium, Circuits and Systems, 2007. ISCAS, pp.2192 - 2195, May. 2007.
- [4] S.J. Sim, "10Gbps CMOS Transimpedance Amplifiers for Optical Communications," Master's dissertation, 2006.
- [5] J.J. Lee, "Design of a CMOS Optical Receiver for Giga-Bit PON System," Master's dissertation, 2007.
- [6] S.M. Park, "2.5Gbit/s CMOS transimpedance amplifier for optical communication applications" Electronics Letters, Volume 39, Issue 2, pp.211-212, Jan. 2003.
- [7] K.Park, "TIA using CG-stage" SoC Research Center, KETI, Report, 2006.
- [8] K.J. Lee , "Design of 1.25Gbps and 2.5Gbps Transimpedance Amplifier for Optical Receiver," Master's dissertation, 2007.