

<http://dx.doi.org/10.7236/JIIBC.2013.13.5.49>

JIIBC 2013-5-6

## 1.25Gbps PON용 버스트 모드 광 수신기

### A Burst-mode Optical Receiver for 1.25Gbps PON

기현철\*

Hyeon-Cheol Ki

**요약** 1.25Gbps PON(Passive Optical Network)용 버스트 모드 광 수신기를 설계하고 0.8 $\mu$  m BiCMOS공정을 사용해 제작하였다. 지수함수 증폭기를 이용하여 AGC(Automatic Gain Control) 신호 생성 소요 시간을 단축시켜 버스트 앞부분의 데이터 손실을 최소화하였다. 측정결과 버스트 모드 광 수신기의 AGC 기능은 정상적으로 잘 동작하고 특성도 양호함을 확인하였다. 한편, 아이패턴의 아이는 열려있기는 하나 심한 파형 왜곡이 있고, 이로 인해 지터 특성 저하되고 있었다.

**Abstract** We designed a burst mode optical receiver for 1.25Gbps PON(Passive Optical Network), fabricated it using 0.8 $\mu$  m BiCMOS foundry. We minimized the loss of the data in the front of the burst by reducing AGC(Automatic Gain Control) signal generation time using an exponential amplifier. We confirmed that AGC of the burst mode optical receiver functioned well and showed good performance in measurement. However, although the eye of the eye pattern was opened the jitter characteristic was deteriorated due to the heavy waveform distortion.

**Key Words** : PON, optical receiver, burst-mode, AGC, FTTH

## 1. 서론

증가하는 네트워크 트래픽을 해소하기 위한 광대역 통신을 제공하기 위해서 액세스 네트워크를 광 선로로 전환하는 것이 바람직하다. 광액세스 네트워크에는 두 가지 형태가 있다. 하나는 점대점 접속(point-to-point link)으로서 비싼 가격으로 인해 임대용 회선 정도로 사용이 제한적이다. 다른 하나는 점대 다중접속(point-to-multipoint link)을 하는 PON(Passive Optical Network)이다. PON은 데이터 전송 속도와 가격 면에서 큰 장점을 갖고 있어 매우 적합한 기술로 평가된다<sup>[1-3]</sup>. 한편, 현재 많은 부분의 데이터가 연속모드

(continuous-mode)가 아닌 버스트 모드(burst-mode)로 되어있으며 다양한 품질이 요구되는 버스트 모드 데이터를 효과적으로 전달하기 위한 네트워크 형태의 전환을 위해서도 PON(Passive Optical Network)이 가장 현실적인 기술로 평가된다<sup>[4]</sup>. 그림 1은 PON을 이용한 다중 접속 망의 구조를 보여준다. 가입자에 해당하는 여러 ONU(Optical Network Unit)가 하나의 광선로를 시분할로 다중화하여 전송하고 있다. 이 경우 수신부인 전화국(central office)내의 OLT(Optical Line Terminator)는 각 가입자까지의 경로차에 의해 도착하는 각 버스트 신호의 크기가 랜덤(random)하게 변하고 그 크기 편차도 매우 심한 일련의 버스트 데이터를 수신해야 한다. 또한 송신

\*정회원, 가천대학교 전자공학과

접수일자 : 2013년 8월 19일, 수정완료 : 2013년 9월 20일

게재확정일자 : 2013년 10월 11일

Received: 19 August, 2013 / Revised: 20 September, 2013 /

Accepted: 11 October, 2013

\*Corresponding Author: hcki@gachon.ac.kr

Dept. of Electronic Engineering, Gachon University, Korea

을 함에 있어서도 버스트와 버스트 사이에서 누설되는 광 출력의 엄격한 제한을 받게 된다. 따라서 송수신기의 형태도 기존의 연속 모드 구조와 달라질 수밖에 없다. 특히, 기존의 연속 모드 송수신기에서 일반적으로 사용되던 ac-결합(ac-coupling) 방식은 신호 크기의 변화무쌍하고 순간적으로 발생하는 버스트 모드에서는 허용될 수 없으며 따라서 모든 신호는 dc-결합(direct-coupling) 방식에 의해 전달되어야 한다. 또한, 데이터의 검출과 복원을 위한 판별 및 임계값의 조정이 수신 데이터의 크기에 따라 매우 짧은 시간에 자동적으로 이루어져야 하는 등 버스트 모드 광 송수신기를 구현하기 위해서는 극복해야 할 여러 난관들이 존재한다<sup>[5-6]</sup>.

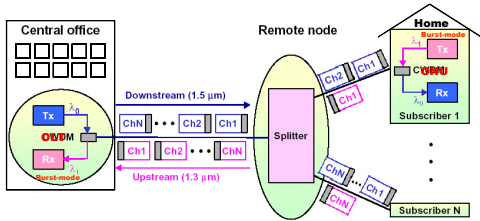


그림 1. PON을 이용한 다중 접속 망의 구조  
Fig. 1. structure of the multiple access network using PON

본 연구에서는 OLT에서 사용될 1.25Gbps PON용 버스트 모드 광 수신기를 설계하고 0.8μm BiCMOS공정을 사용해 제작하고자한다.

## II. 버스트 모드 광 수신기의 설계

그림 2는 버스트 모드 광 수신기의 블록도를 보여준다. TIA(Trans-Impedance Amplifier)블록은 PD(Photo Detector)에서 검출된 전류신호를 증폭하여 전압신호로 출력한다. 한편 PON시스템에서 수신되는 신호강도는 경로에 따라 큰 차를 보이게 되므로 TIA는 매우 큰 입력 다이내믹 레인지(input dynamic range)를 갖도록 설계되어야한다. 본 연구에서 TIA는 39dB의 입력 다이내믹 레인지를 갖고 77dBΩ의 이득을 낼 수 있도록 설계하였다. 한편, 입력 신호가 큰 경우 TIA의 큰 이득으로 인해 출력이 클리핑되면서 신호가 심하게 왜곡되어 수신 에러(error)를 야기하게 된다. 이를 방지하기 위해 TIA에는

AGC(Automatic Gain Control) 기능을 추가하였다. 그림 2의 버스트 모드 광 수신기 블록도에서 침두검출기의 출력이 두 경로를 통해 TIA의 이득을 자동 조절하도록 설계되었음을 보여준다. 여기서 귀환 조정 신호는 TIA의 귀환회로에 작용하여 증폭기의 부귀환을 조정함으로써 이득을 조절하고, 부하조정 신호는 TIA의 부하를 가변시킴으로써 이득을 조절한다. 이와 같이 두 경로를 통해 TIA의 이득을 조절하는 것은 출력 신호의 위상 왜곡을 최소화 하여 에러율을 개선하기 위함이다.

한편, 버스트 모드 광수신기에서 수신채널이 바뀌면서 순간적으로 AGC동작이 이루어져야하는데, AGC의 정착시간(settle time)이 TIA 성능을 결정하는 한 요소가 된다. 기존의 AGC 회로는 신호 크기에 따라 생성된 AGC 제어 신호가 증폭된 후 저역통과필터(low pass filter)를 거쳐 이득조정단자에 인가된다. 이때에 저역통과필터의 큰 시상수에 의해 AGC의 정착시간이 매우 길어지게 된다. 이 경우 수신하는 버스트 데이터 초기 부분의 많은 수의 비트를 소실시키게 된다. 반면에 저역통과필터의 시상수를 작게 할 경우 초기 과도상태에서 AGC 제어 신호의 크기가 시간에 따라 단조함수 특성을 띠지 못하고 맥동할 수 있어 다음 단의 ATC (Automatic Threshold Control) 동작을 어렵게 할 수도 있다.

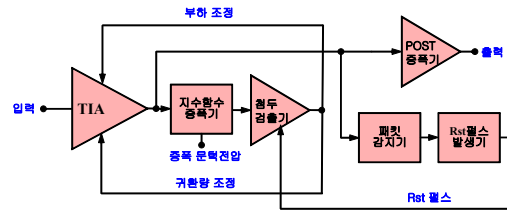


그림 2. 버스트 모드 광 수신기 블록도  
Fig. 2. Block diagram of the burst-mode optical receiver

본 연구에서는 AGC 제어 신호가 단조함수 특성을 갖고 동시에 빠른 정착시간을 갖도록 하기 위해 그림 2에 보인 바와 같이 TIA출력신호를 지수함수증폭기를 통해 증폭한 후 침두치를 검출하여 이득조절을 하도록 설계하였다. 지수함수증폭기는 그림 3에서 보였듯이 증폭 문턱 전압을 설정할 수 있도록 하여 일정 신호레벨 이하는 클리핑(clipping)하고 크기가 그 이상인 신호만 증폭되어 AGC 제어 신호를 생성하도록 하였다. 따라서 지수함수 증폭기에서 AGC 작동여부를 판단하여 기존의 진폭검출



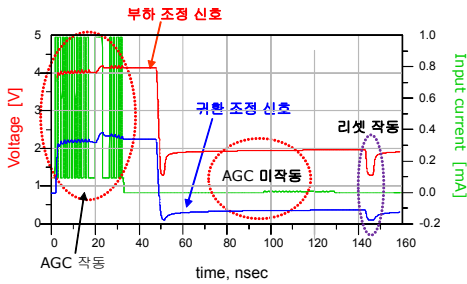


그림 6. AGC 제어 신호의 특성  
Fig. 6. Characteristics of the AGC control signal

10 $\mu$ A<sub>p-p</sub> 입력에 대해서 자동 생성되는 AGC 제어 신호 중 귀환 조정 신호 전압이 0.5V 미만이고, 부하조정 신호 전압이 2.0V 미만으로서 AGC가 작동하지 않는 AGC 미작동 상태이다. 반면에 900 $\mu$ A<sub>p-p</sub> 입력에 대해서는 자동 생성되는 AGC 제어 신호 중 귀환 조정 신호 전압이 2.2V 이고, 부하조정 신호 전압이 4.1V 로서 AGC가 작동하는 AGC 작동 상태에 있음을 보여준다. 특히, 900 $\mu$ A<sub>p-p</sub> 버스트 입력이 인가된 후 1ns 이내에 귀환 조정 신호 전압이 2.2V에 도달하고, 부하조정 신호 전압이 4.1V에 도달하여 정상적인 AGC 작동 상태에 도달하고 있어 매우 빠른 AGC동작이 이루어지고 있음을 보여주고 있다. 또한, 버스트 데이터와 다음 버스트 데이터 사이에서는 Rst 리셋 펄스를 발생시키도록 하여 AGC 신호가 리셋되도록 하였는데 그림 6에서 귀환량조정 신호와 부하조정 신호 모두가 버스트 데이터 사이마다 정확히 리셋되고 있어 설계된 버스트모드 광 수신기의 모든 동작이 정상적으로 잘 이루어지고 있음을 보여준다.

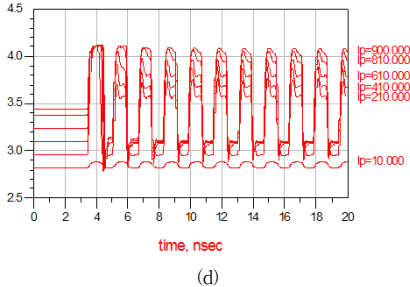
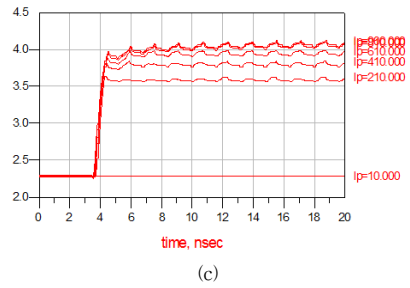
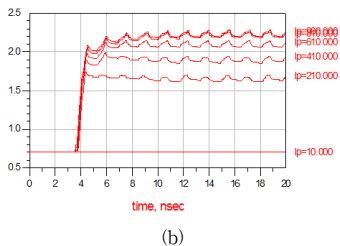
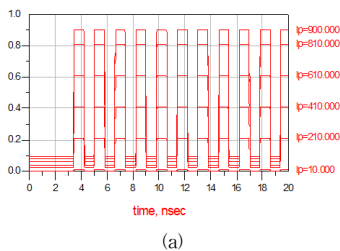


그림 7. 입력 레벨에 따른 AGC 제어신호와 TIA출력 특성  
(a)입력 전류 레벨 (b)귀환 조정 신호 (c)부하조정 신호 (d)TIA 출력

Fig. 7. Characteristics of AGC control signals and TIA outputs depend on input level  
(a)Input current levels (b)Feedback rate control signal (c)Load control signal 부하조정 신호 (d)Outputs of TIA

그림 7은 입력 전류를 10 $\mu$ A<sub>p-p</sub>로부터 900 $\mu$ A<sub>p-p</sub>까지 200 $\mu$ A간격으로 증가 시키면서 얻어지는 AGC 제어 신호 전압과 TIA 출력 특성을 보여준다. 그림 7(a)는 전류 레벨에 따른 입력 신호를 보여준다. 입력은 구형파와 토글신호로 주어졌다. 그림 7(b)는 입력 레벨에 따라 귀환 조정 신호의 레벨이 변하는 양상을 보여준다. 입력 전류가 대략 200 $\mu$ A<sub>p-p</sub> 근처에서 귀환 조정에 의한 AGC 제어가 이루어지기 시작하며 제어 신호 신호레벨은 로그함수 형태로 증가함을 보여준다. 그림 7(c)는 입력 레벨에 따라 부하조정 신호의 레벨이 변하는 양상을 보여주며 귀환 조정 신호와 마찬가지로 입력 전류가 대략 200 $\mu$ A<sub>p-p</sub> 근처에서 부하조정에 의한 AGC 제어가 이루어지기 시작하며 제어 신호 신호레벨도 로그함수 형태로 증가함을 보여준다. 그림 7(d)는 AGC 조정 결과에 따른 TIA 출력 특성을 보여준다. 출력은 입력에 따라 선형적으로 증가하다가 AGC 제어가 시작되는 입력레벨 210 $\mu$ A<sub>p-p</sub> 이후에는 입력 레벨의 증가에도 불구하고 거의 일정한 출력을 내고 있음을 보여준다.



### IV. 실험 및 측정

제작된 버스트 모드 광 수신기를 측정하기 위해 TIA의 입력에 1300nm파장에서 변환효율이 0.95인 PIN-PD(Photo Detector)를 연결하여 유사랜덤 광 신호를 직접 받도록 함으로써 가능한 실제 상황과 유사한 조건에서 특성을 측정할 수 있도록 하였다.

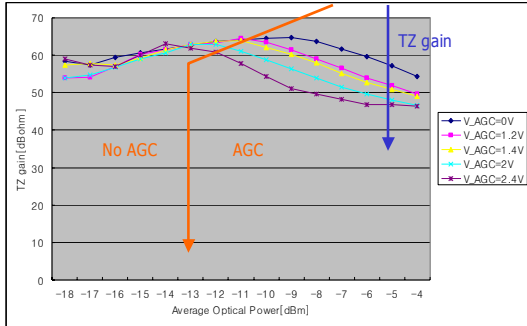


그림 8. 제작된 버스트 모드 광 수신기의 AGC 동작 특성  
Fig. 8. AGC characteristics of the fabricated burst mode optical receiver

그림 8은 입력 광신호를 -18dBm부터 -3.5dBm까지 증가시켜가면서 TIA의 이득 특성을 측정한 결과를 보여준다. AGC동작 시작레벨을 조절하는 증폭문턱전압(V\_AGC)도 0V부터 2.4V까지 변화시켜가며 측정하였다. 우선, 그림 8의 이득특성 곡선들은 모두 같은 경향의 특성을 보이는데 입력 전력이 증가함에 따라 비교적 일정하게 유지되던 이득이 특정 지점을 경계로 감소하기 시작한다는 것이다. 예를 들어 증폭문턱전압(V\_AGC)이 2.4V인 이득특성곡선은 입력전력이 -13dBm이상으로 증가하면 이득이 감소하기 시작한다. 이는 증폭문턱전압이 2.4V인 경우 입력전력이 -13dBm이상으로 증가하면 AGC기능이 활성화되기 시작함을 의미하며 AGC기능이 잘 작동함을 보여준다. 한편, 증폭문턱전압(V\_AGC)이 2.4V에서 감소함에 따라 AGC기능이 활성화되기 시작하는 입력전력 레벨이 증가하는 특성을 보여주고 있다. 그림 3의 지수함수 증폭기에서 증폭문턱전압이 감소하면 트랜지스터 Q<sub>T</sub>가 턴온되기 위한 임미터 전압은 더욱 낮아져야한다. 지수함수 증폭기의 입력에는 광 수신기에 입력되는 신호가 반전 된 후 인가되므로 신호의 크기가 클수록 Q<sub>T</sub>를 더 세게 턴온시키게 된다. 지수함수 증폭기는 Q<sub>T</sub>가 턴온되는 정도에 비례하는 출력 신호를 내고 이

것이 AGC 제어 신호가 된다. 결과적으로 증폭문턱전압이 2.4V에서 감소하면 같은 크기의 AGC 신호를 발생시키기 위해 더 큰 입력신호가 필요하게 된다. 따라서 증폭문턱전압 감소함에 따라 AGC가 작동하기 시작하는 입력전력 레벨은 증가하게 된다. 결과적으로 그림 8에서 보인 것처럼 주황색의 꺾어진 화살표를 경계로 하여 좌측은 AGC동작이 시작되기 전, 우측은 AGC동작이 시작된 상태로 나타나게 된다. 결과적으로 제작된 버스트 모드 광 수신기는 AGC기능에 있어서 매우 양호하게 잘 동작하고 있음이 확인되었다.

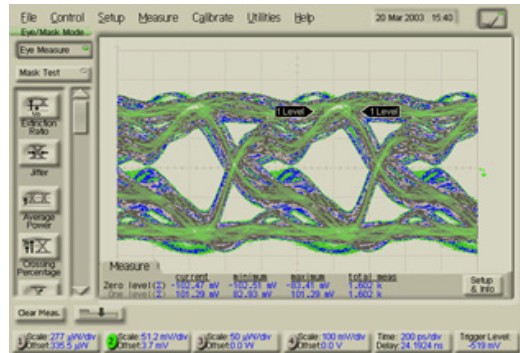


그림 9. 제작된 버스트 모드 광 수신기의 아이패턴  
Fig. 9. Eye pattern of the fabricated burst mode optical receiver

그림 9는 1.25Gbps에서 PRBS=2<sup>7</sup>-1의 랜덤입력을 인가했을 때의 TIA 출력의 아이패턴을 보여준다. 아이가 열려있기는 하나 심한 파형 왜곡이 있고, 이로 인해 지터 특성도 저하되고 있음을 볼 수 있다.

### V. 결론

전화국 내의 OLT에서 사용될 1.25Gbps PON용 버스트 모드 광 수신기를 설계하고 0.8μm BiCMOS공정을 사용해 제작한 후 성능을 측정하였다. 지수함수 증폭기를 이용하여 AGC 제어신호 생성 소요 시간을 단축시켜 버스트 모드 수신에서 버스트 초기의 데이터 손실을 최소화 하였다. 제작된 버스트 모드 광 수신기는 AGC기능에 있어서 매우 양호하게 잘 동작하고 있음이 확인되었다. 한편, 아이패턴의 아이는 열려있기는 하나 심한 파형 왜곡이 있고, 이로 인해 지터 특성도 저하되고 있어 파형 왜곡을 개선해야할 문제가 남아있다.

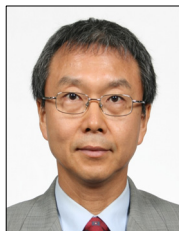
## References

- [1] C. Su, L. Chen, and K. Cheung, "Theory of Burst-Mode Receiver and Its Applications in Optical Multiaccess Networks," *Journal of Lightwave Technology*, Vol. 15, No. 4, pp.590-606, April 1997.
- [2] M. Nakamura, Y. Imai, Y. Umeda, J. Endo, and Y. Akatsu "1.25-Gb/s Burst-Mode Receiver ICs With Quick Response for PON Systems," *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, Vol. 40, No. 12, pp.2680-2688, December 2005.
- [3] K. Masuko<sup>1</sup>, K. Nishide, S. Nakaya, T. Ori, O. Kikuchi, R. Sekikawa and D. Shimura "Low - Cost Optical Transceiver for PON Using Micro-BOSA," *Fujikura Technical Review*, pp.11-14, 2007.
- [4] V. Joyner "A CMOS Analog Front-end Receiver with Desensitization to Input Capacitance for Broadband Optical Wireless Communication," *Journal of Communications*, Vol 4, No.8, pp.572-581, September 2009.
- [5] H. Ki, "A Contactless Microwave Sensor for Detection of particular Materials," *The Journal of The Institute of Internet Broadcasting and Communication*, Vol.12, No.4, pp1-61, 2012.
- [6] S.Jang and T. son, "Fiber to The Home based on WCDMA Passive Optical Network," *Journal of Korean Institute of Information Technology*, Vol.6, pp90-95, 2007.

※ 이 논문은 2013년도 가천대학교 교내연구비 지원에 의한 결과임. (GCU-2013-R243)

## 저자 소개

### 기 현 철(정회원)



- 1984년 2월 : 한양대학교 전자공학과 졸업.(공학사)
- 1986년 8월 : 한양 대학교 대학원 전자공학과 졸업.(공학석사)
- 1992년 2월 : 한양대학교 대학원 전자공학과 졸업.(공학박사)
- 1986년~1989년 : 한국 전자통신연구원 연구원

• 1996년~1997년 : 미국 조지아공대 post.doc

• 2010년~2012년 : 미국 UCLA 객원교수

• 1992년 3월~현재 : 가천대학교 전자공학과 교수.

<주관심분야 : RFIC설계, Meta-material 응용, 아날로그 회로 설계, 광통신용고속IC설계>