

전기적 외부 광변조기의 자동 오프레벨 바이어싱

정회원 양 충 열*, 고 제 수**

Automatic Off Level Biasing for Electro Optic Mach-Zehnder Modulator

Choong-reol Yang*, Je-soo Ko** *Regular Members*

요 약

전광 EO-MZ 광변조기의 바이어스를 안정화함으로써 버스트 모드 패킷 트래픽 조건에서도 스위칭 소광비를 최대화하는 방법을 제안하고 입증하였다. 광변조기의 오프 레벨 출력 전력을 샘플링하고 최소화함으로써 패킷 트래픽 밀도의 변화에 무관하게 높은 소광비를 갖는 광 게이트로서 동작한다.

Key Words : 광게이트, 샘플 앤드 홀드, 바이어스 안정화, 버스트 모드

ABSTRACT

A novel method for stabilizing the bias of an Electro-Optic Mach-Zehnder modulator has been proposed and demonstrated to maximize the switching extinction ratio in burst mode packet traffic. By sampling and minimizing the off-level output power of the modulator, a high extinction optical gate switch in obtain regardless of the variation of the packet traffic density.

I. 서 론

광패킷스위치는 미래 전광망(All-optical networks)^[1-3]의 잠재성 때문에 적극적으로 연구되어 왔다. 그러한 시스템을 구축하기 위하여 고속 다파장 레이저 소스 및 고속 파장 선택기를 포함하는 몇몇 핵심모듈이 병합되어야 한다^[4,5]. 광게이트 스위치는 그러한 기능 모듈의 핵심부품이다. 반도체 광증폭기(SOA Semiconductor Optical Amplifier)는 광증폭성질 및 타 디바이스^[6]와 융합 가능성 때문에 그러한 목적으로 고려되어 왔다. 반면, EO-MZ(Electro-optic Mach-Zehnder) 변조기는 낮은 chirp과 저잡음 특성때문에 10Gbps 까지에서 동작하는 것으로 이미

생산되어 와서 상업적으로 이용 가능한 버전이기 때문에 게이트 스위치로 될 수 있다.

몇 가지의 드리프트 메커니즘이 동작중인 EO-MZ 에 존재한다. 기존에 많이 사용되어 온 디더링 신호와 lock-in detection을 이용한 광변조기의 바이어스 안정화 방법은 바이어스 전압 제어를 위해 추 출되는 출력광 신호^[6]의 트래픽 특성에 따라서 달라지는 단점 때문에 광변조기를 버스트 모드 광게이트 응용에 사용하기에는 부적절하다. 바이어스 안정화의 또 다른 기존바이어스 안정화 방법으로 전기적 입력신호와 광출력신호의 유효직류성분을 비교하여 동일한 트래픽 특성을 갖도록 바이어스를 조절하는 방법이 있는데 전기적 신호의 기준 전압과 광

* 본 논문은 본 논문은 정통부 및 정보통신연구진흥원의 IT원천기술개발사업중 OTH 기반 40G 다중서비스 전송 기술 개발 과제의 연구 결과로 수행되었습니다.

* 한국전자통신연구원 TDM기술팀 책임연구원(cryang@etri.re.kr)

** 한국전자통신연구원 TDM기술팀 책임연구원 TDM기술팀장(jdko@etri.re.kr)

논문번호 : KICS2006-12-522, 접수일자 : 2006년 12월 8일, 최종논문접수일자 : 2007년 6월 20일

출력의 전압 타이틀을 에러신호로 사용하여 입력되는 전기적 신호와 동일하게 변조된 광출력을 얻을 수 있으므로 버스트한 트래픽 특성에 적용이 가능하다. 그러나 직류전압의 절대값에 비례하는 에러신호를 사용하기 때문에 주변온도, 습도 및 스트레스 등에 의한 회로소자의 불안정성에 영향을 받기 쉬운 단점이 있어 역시 광변조기의 버스트 모드 광게이트 응용에 사용하기에는 부적절하다.

II. 최소화된 오프레벨 홀딩을 이용한 외부 변조기 안정화

2.1 기존방법

기존에 많이 사용되어온 디더링 신호(Dithering signal)과 Lock-in detection을 이용한 광변조기의 안정화 방법은 바이어스 전압 제어를 위해 추출되는 에러신호가 출력 광신호의 트래픽 특성에 따라서 달라지는 단점 때문에 광변조기를 버스트 모드 광게이트 응용에 사용하기에는 부적절하다. 또한, 기존의 광변조기 바이어스 안정화 방법은 DC 드리프트 및 열 드리프트 등의 문제가 있다. 그러므로 변조기가 외부변조기로 사용되든 광게이트 스위치로 사용되든 동작점 안정화 방법이 필요하다. 작은 디더링 신호와 lock-in 증폭기를 사용하는 PSD(Phase sensitive detection)가 안정되고 소신호 검출 특성 때문에 광파 전송시스템에서 동작점 제어를 위해 사용되어 왔다. 그러나 그 방법은 PSD 방법에서 에러신호가 트래픽밀도에 의존하기 때문에 균일하고 스크램블한 데이터에만 유용하다. 이 의존성은 입력신호에 의해 도입되는 광고조파의 크기가 EO-MZ 변조기의 sinusoidal 전송 특성 때문에 오프출력과 온출력 레벨에서 다른 데에 기인한다. 광망에서 트래픽 특성은 버스트하다. 그래서 트래픽 밀도가 시간에 따라 시시각각 변하는 경우에도 최대 소광비를 얻기 위해 이상적인 안정화 방법이 필요하다.

본 논문에서는 광패킷 스위칭시스템에서 광게이트 스위치로서 변조기를 사용할 목적으로 S&H (Sample and hold) 디바이스와 마이크로프로세서를 이용한 바이어스 안정화 방법을 제안하고 입증한다.

2.2 제안된 방법

제안된 방법의 기본 아이디어는 변조된 출력 데이터 스트림에서 오프 레벨 출력 파워만 샘플하여 피드백 제어함으로써 그 값 레벨을 최소화하는 것이다. 변조기의 오프 레벨 출력 파워를 샘플링하여

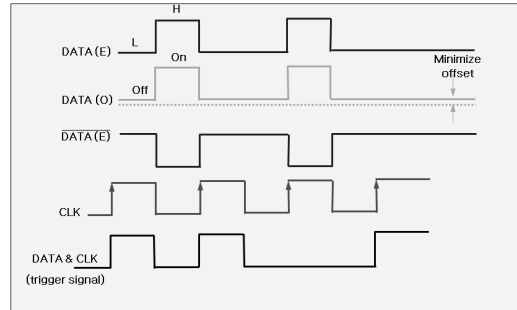


그림 1. 샘플링 트리거 소스 발생 타이밍도 DATA(E); the electrical input data, DATA(O); the optical output data, CLK; the system clock.
Fig. 1 Timing diagram for the generation of the sampling trigger source.

최소화함으로써 패킷트래픽 밀도의 변화에 무관하게 높은 소광비를 갖는 광게이트 스위치로 동작한다. 바이어스 안정화를 구현하기 위하여 필요한 시간은 시스템에 요구되는 특성에 따라 밀리초 단위까지 조정 가능하다. 이는 오프레벨 출력파워가 트래픽 밀도의 기능이 아니기 때문이다. 오프레벨 파워를 선택적으로 샘플하기 위하여 먼저 샘플 트리거 신호가 생성되어야 한다. 그림 1은 전기적 입력 데이터와 시스템 클럭에서 오프 레벨 샘플링 트리거 소스의 생성을 위한 타이밍도를 보여준다. 전기적 입력 데이터가 논리 low 일 때 최대 스위칭 소광비가 필요하다면 광출력은 그림 1에 나타난 바와 같이 오프상태에 있어야 한다. 오프레벨 샘플링 트리거 소스는 데이터 정보에서 생성될 수 있다. 이를위해 먼저 입력데이터가 ECL 논리디바이스를 사용하여 반전시킨다. 전기적 입력이 논리 low 일 때 시스템 클럭과 CLK와 DATA(E)간에 AND 하면, OFF 상태 레벨 샘플링 트리거 소스가 생성된다. 샘플링 트리거 소스는 트리거소스의 상승엣지에서 OFF 레벨 출력 파워를 검출하는데 사용된다.

제안된 방법이 고속 전기 논리처리를 필요로 해도 수 Gbps 이상의 높은 비트 레이트 시스템에 적용할 수 없다. 그러나 광패킷 스위칭시스템에서 데이터 반복율은 그리 높지 않다. 이는 광게이팅이나 기타 광패킷 처리가 단일패킷 안에서 수행되지 않는다는 것을 의미한다. 예를들면, 하나의 패킷이 ATM 셀 포맷과 같은 56~64byte 라 가정하면 10Gbps 비트 레이트는 약 20Mbps에 불과하다. 그러므로 제안된 방법은 광패킷 스위칭 및 프로세싱 시스템에 적용 가능하다.

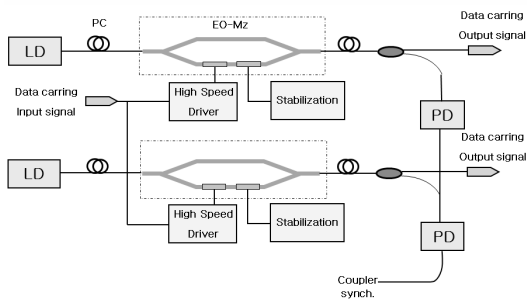


그림 2. 고속 가변 파장 광원
Fig. 2 High speed tunable wavelength light source

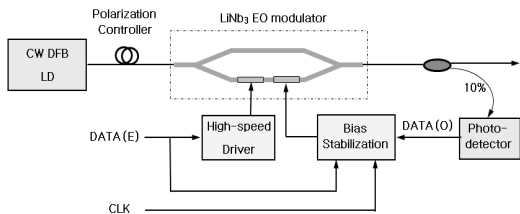


그림 3. 실험 셋업
Fig. 3 Experimental setup

2.3 실험셋업

그림 2는 안정화회로를 탑재한 고속광원모듈의 예로서 DFB-LD로부터 온 CW 광원이 EO-MZ 변조기에 의해 게이트된다.

그림 3은 제안된 안정화 방법을 입증하기 위한 실험 셋업이다. 광원으로 1548.25nm에서 0dBm 출력과위를 갖는 CW DFB LD가 사용되었다. LiNbO₃ EO-MZ 변조기가 광게이트로 사용되고 스위칭 시간은 150 psec 이내이다. RF의 반파 전압과 바이어스 포트는 각각 3.7V와 6V이다. TM 편광(polarized light)에서 DC 소광비와 삽입손실은 각각~ 27dB and 4.5dB로 측정되었다. 광출력의 10%가 탭(tapped)되고 피드백 바이어스 제어를 위해 PD(Photo Diode)에 의해 전기적 신호로 변환되었다. EO-MZ 변조기를 구동하기 위해서 3~5ns의 스위칭 타임을 갖는고속 TTL 소자를 사용하여 DC에서 100Mbps 범위의 저주파수 응답을 개선하였다. 바이어스 안정화 회로는 외부바이어스 제어 유닛를 포함하여 시험목적에 위한 바이어스 전압섭동을 인가하였다.

2.4 바이어스 안정화 설계

그림 4는 제안된 바이어스 안정화 회로 블록도이다. 주로오프레벨 샘플링 트리거 소스 제네레이터, 250Mbps 추적대역을 갖는 S&H 디바이스, LPF 및

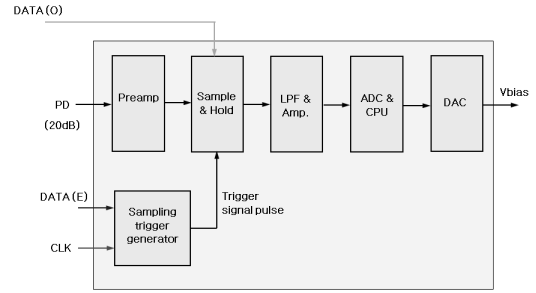


그림 4. 제안된 안정화 회로 블록도
Fig. 4 Block diagram of the proposed bias stabilization circuit

8비트 마이크로 프로세서로 구성된다. S&H 디바이스는 트리거 신호의 상승엣지에서 PD로부터 오프레벨 출력전압을 샘플하고 다음 샘플링 트리거 신호로 업데이트될 때까지 그 값을 유지한다. 바이어스 전압은 on 상태동안 최종값으로 유지된다. LPF는 S&H 및 회로로부터 높은 주파수 성분을 제거한다. 샘플된 신호는 ADC(Analogue-to-Digital Conversion) 후 8 비트마이크로프로세서에 의해 처리되고 그것이 최소값인지 아닌지 체크된다.

제안된 방법의 기본 아이디어는 변조된 출력 데이터 스트림에서 off 레벨 출력과위만 샘플하여 피드백 제어에 의해 그 값을 최소화하기 위한 것이다. 트래픽 밀도의 변화를 무시하지 않고 최대 스위칭 소광비를 유지할 수 있다.

2.5 오프레벨 최소화 방법

그림 5에 나타낸 과정과 같이 출력광 신호의 오프레벨을 최소화 한다. MZ 변조기는 일반적으로 바이어스 전압(up or down) 증가 및 감소에 대하여 주기적으로 동작하기 때문에 오프레벨을 최소화하기 위해서는 오프레벨의 출력값과 이 출력값을 최소화 하기 위한 바이어스 전압의 변화방향을 알 필요가

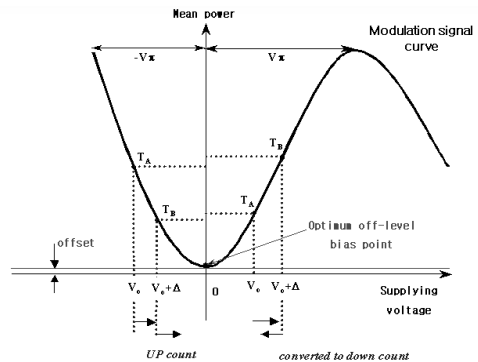


그림 5. 오프 레벨 검출 개념
Fig. 5 Principle of off-level detection

있다. 이는 현재의 출력값에서 변조기 투과 곡선의 바이어스 전압에 대한 기울기를 검사하여 알 수 있으며 출력광 신호에 섭동으로 스텝입력전압(Step input voltage)을 지속적으로 인가함으로써 기울기를 추적할 수 있다.

20dB 이상의 소광비를 얻기 위하여 전송 곡선으로부터 V 는 바이어스 포트의 반과전압이 6V일 때 1.2V 이하가 되도록 계산된다. 실험에서 V 는 가능한 소광비 불안정을 최소화하도록 150mV가 되게 설계하였다.

2.6 최소화 알고리즘

V_0 바이어스 전압에서 처음 입력신호의 출력값이 T_A 라 하고, 두번째 입력신호의 출력값 $T_A + V$ 인 곳이 T_B 라 할 때, $T_A > T_B$ 이면, OFF 레벨은 -V 지역에 있고, 바이어스전압은 업카운트(0) 방향으로 이동한다. 반대로, $T_A < T_B$ 이면, 출력레벨은 +V 지역에 있고, 피드백 바이어스 전압은 다운카운트 방향으로 반전한다. 이처럼 스텝입력전압 +V가 앞에서처럼 연속적으로 적용되어 출력전압이 역으로 증가한다면, 스텝 입력전압의 방향이 반전되고 바이어스 전압은 최소 동작점에 도달하므로 그림 5와 같이 출력 광신호의 오프레벨이 최소화된다.

III. 성능시험결과 및 고찰

그림 3의 실험셋업에서 펄스 패턴 제너레이터 (PPG)를 이용하여 CW 신호를 PD 입력에 인가하여 10Gbps속도의 최대 광패킷 반복도에 해당하는 20Mbps에서 출력광의 소광비를 최대화하기 위한 바이어스 안정화를 통하여 트래픽 패턴에 무관하게 23dB 이상의 출력광 소광비를 얻을 수 있었다. 그림 6에 출력광 신호의 high level 및 low level을 갖는 파형을 보였다. 그림 6은 EO-MZ 변조기에 25Mbps 클럭과 함께 “..1010..” NRZ(Non-return-to-zero) 신호가 적용될 때 시간에 따라 측정된 소광비의 예를 나타내었다. 이 때 소광비란 광변조기의 성능 척도로서 광변조에서 투과광의 강도를 변화시킨 경우 변조기 출력단의 최소 투과광과 최대 투과광 간의 강도의 비로 정의된다. 소광비는 20Gbps 오실로스코프를 이용하여 변조된 출력으로부터 on-level(P_{out}^{on}) 및 off-level(P_{out}^{off}) 전압을 측정하여 얻을 수 있다.

안정화에 필요한 시간은 수초이지만 시스템에 필요한 특성에 따라 수 밀리초까지 조정 가능하다. 만

약 본 실험에 사용된 S & H 디바이스가 250MHz를 사용하면 EO-MZ 변조기는 광패킷 반복율이 약 200 MHz인 100 Gbps 고속 광신호 링크에 사용될 수 있다.

$$\text{Extinction ratio (dB)} = 10 \log \frac{P_{out}^{off}}{P_{out}^{on}} \quad [1]$$

그림 6은 EO-MZ 변조기에 10MHz 클럭을 갖는 NRZ 디지털 입력 데이터(11110000)를 인가하였을 때, 그리고 25MHz 클럭을 갖는 NRZ 디지털 입력 데이터(11110000)를 인가하였을 때 시간에 따라 각각 측정된 소광비를 보여준다. 높은 주파수 쪽으로 통과대역을 조정하면 응답속도가 증가할 수 있다. 데이터패턴과 100M 까지의 시스템 클럭에 따라 비슷한 결과를 갖는 몇 개의 실험이 수행되었다. 변조기 소광비는 20GHz 디지털 샘플링 오실로스코프를 사용하여 변조된 출력으로부터 on, off 레벨 전압을 측정함으로써 계산된다. ±5dB 편차 내에서 정상 동작함으로써 안정화된다.

그림 7에 나타낸 바와 같이 전자회로 불안정과 주변 온도 스트레스 등 같은 환경영향 때문에 시간에 따라 전압이 변화하는 외부 섭동을 화살표로 표시된 시간 간격 동안 바이어스 전압에 인가하였다. 안정화 시험 목적으로 피드백 신호에 인위적인 섭동 전압을 더하거나 빼기 위해 회로에 외부 섭동을 병

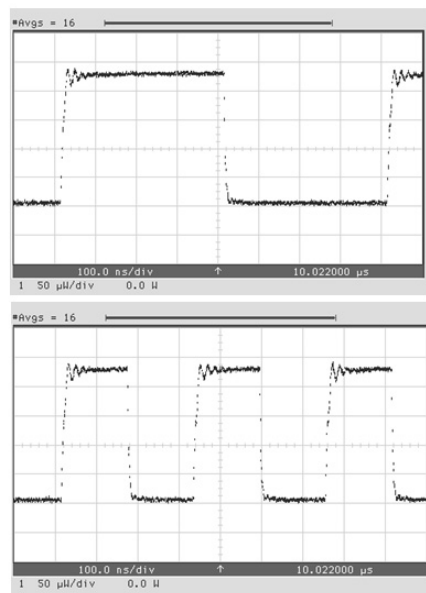


그림 6. EO-MZ modulator 출력파형
Fig. 6 Output wave of EO-MZ modulator

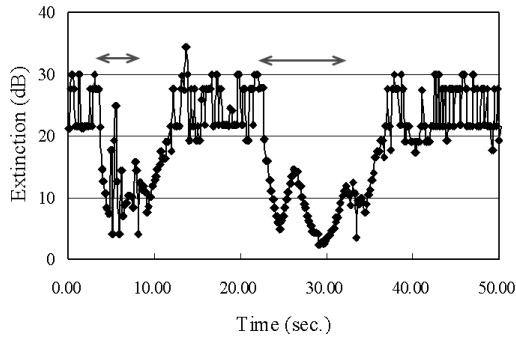


그림 7. 시간에 따른 스위칭 소광비 측정. 외부섭동을 바이어스 전압에 인가
 Fig. 7 Measurement of the switching extinction ratio with time

합하였다. 변조기 소광비는 5dB 편차를 갖고 정상 상태에서 ~25 dB에서 안정되었다. 오히려 커다란 불안정이 입력 극성 및 회로 잡음으로부터 올 수 있다. 외부 섭동이 화살표로 나타낸 시간 간격 동안 바이어스 포트에 적용될 때 스위칭 소광은 최악이 되지만, 수 초 내에 복구된다. 바이어스 안정화를 구현하는데 필요한 시간은 시스템에 요구되는 특성에 따라 밀리 초 단위까지 조정이 가능하다. 시스템 응답은 LPF의 차단주파수에 의해 결정되며 실험에서 3 dB 차단주파수는 10Hz이고 높은 주파수 쪽으로 통과대역을 조정하면 응답속도는 증가한다. 100Mbps 까지 데이터 패킷과 시스템 클럭에 따라서 수 차례 실험이 수행되었고 비슷한 결과를 얻었다.

IV. 결론

전광 EO-MZ 광변조기의 바이어스를 안정화함으로써 버스트 모드패킷 트래픽 조건에서도 스위칭 소광비를 최대화하는 방법을 개발하였다. 광변조기의 오프레벨 출력 전력을 샘플링하고 최소화함으로써 패킷 트래픽 밀도의 변화에 무관하게 높은 소광비를 갖는 광 게이트로서 동작한다. 제안된 방법의 기본 아이디어는 변조된 출력 데이터 스트림에서 오프 레벨 출력 파워만 샘플하여 피드백 제어함으로써 그 값 레벨을 최소화하는 것이다. 변조기의 오프 레벨 출력 파워를 샘플링하여 최소화함으로써 패킷 트래픽 밀도의 변화에 무관하게 높은 소광비를 갖는 광게이트 스위치로 동작한다.

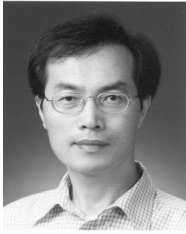
제안된 방법은 고속 전기적 프로세싱(computation)을 필요로 하기 때문에 수 기가 이상의 높은 비트레이트 시스템에는 적용할 수 없으나 WDM 기반의 광패킷 스위칭 및 프로세싱 시스템, 고속 파장 광소스, 광버퍼 및 고속 다파장 변환에 필요한 10Gbps 이상의 광신호 링크에 유용하다.

참고 문헌

- [1] C. Guillemot, F. Clerot, M. Henry, A. Le Corre, J. Kervarec, A. Dupas, L. Billes, "Optical packet switching for WDM high speed backbones," ECOC 98, Vol.2, pp.83-85, Madrid (Spain), 1998.
- [2] K.-I. Yukimatsu, T. Matsunaga and A. Hiramatsu, "Hyper-media Photonic Information Network," Photonics in Switching '97, paper PWC4, Stockholm (Sweden), 1997.
- [3] M. Renaud, "Keys to Optical Packet Switching : The ACTS KEOPS Project," Photonics in Switching '97, paper PWB1, Stockholm (Sweden), 1997.
- [4] T. Maeda, K. Hironishi, S. Kuroyanagi, Y. Kondo, I. Tsuyama and K. Murakami, "Experimental High-Speed Optical Cell Selector for Photonic ATM switch," Photonics in Switching '97, paper PFB1, Stockholm (Sweden), 1997.
- [5] M. Renaud, "Key Components for Optical Switching," Photonics in Switching '97, paper EFD1, Stockholm (Sweden), 1997.
- [6] F. Masetti, et al, "High Speed, High Capacity ATM Optical Switches for Future Telecommunication Transport Networks," pp. 979-998, IEEE JSAC, VOL. 14, NO.5, JUNE 1996.

양 충 열 (Choong-reol Yang)

정회원



1983년 2월 건국대학교 전자공학과(학사)

1998년 8월 충남대학교 대학원 전자공학과(석사)

2007년 8월 충남대학교 대학원 전자공학과(박사)

1992년 6월~현재 한국전자통신연구원, 책임연구원

<관심분야> 신호처리, 광패킷스위칭, TDM기술, OTH 신호전달

고 제 수 (Je-soo Ko)

정회원

1981년 2월 울산대학교 전자공학과(학사)

1983년 2월 고려대학교 대학원 전자공학과(석사)

1983년 3월~현재 한국전자통신연구원, 책임연구원 TDM 기술팀장

<관심분야> 광전송, TDM/SDH/WDM 전송방식, OTH 신호전달