

논문 2006-43TC-5-1

PON 기반 광가입자망에서 방송 신호 전송을 위한 단일 LD를 이용한 디지털/SCM 신호 동시 변조기술

(Simultaneous modulation of digital/SCM signal using a single LD for broadcasting in PON based optical access network)

김 태 영*, 김 경 현*, 한 상 국**

(Tae-Young Kim, Kyung-Hyun Kim, and Sang-Kook Han)

요 약

PON기반 광가입자망에서 방송신호 전송을 위한 방법으로써 단일 LD를 이용한 디지털/SCM신호 동시 변조방식의 성능을 파장이 다른 두개의 LD에 디지털 및 SCM신호를 각각 변조한 방식과 비교하였다. 실험을 통해, 변조를 위해 인가되는 전류의 최소값이 LD의 threshold 전류의 약 1.5배 이상인 경우 디지털 및 SCM신호의 상호간섭이 최소화됨을 확인하였다. 또한 LD의 anode 단자와 cathode 단자에 각각 디지털 및 SCM신호를 인가함으로써 효율적으로 회로설계가 가능한 광송신기 구조를 제안하고 실험적으로 검증하였다.

Abstract

By comparing video-overlay method where digital and SCM signal are modulated in different optical source, we experimentally investigated the performance of simultaneous modulation of data and broadcasting signals using a single LD for broadcasting in PON based optical access network. The experimental results show that by increasing the minimum value of injected current for LD modulation above about 1.5 times of threshold current of LD, data and broadcasting signals can modulate without mutual interference. We also proposed and demonstrated the scheme of optical transmitter optimized for simultaneous modulation of data and broadcasting signals where anode and cathode of LD are separately used as signal interface for data and broadcasting signals, respectively.

Keywords : passive optical network, broadcasting, optical transmitter

I. 서 론

인터넷의 급속한 확산과 고품질 멀티미디어 서비스의 보급은 통신과 방송이 융합된 다기능의 광가입자망의 출현을 전망하게 한다. 이를 위해 광가입자망에 방송기능을 추가하기 위한 다양한 기법이 연구되고 있으며, 이 중 데이터서비스를 제공하는 기저대역의 디지털 신호와 주파수영역에서 중복되지 않는 대역에 SCM (subcarrier multiplexing) 기술을 이용하여 방송서비스

를 함께 제공하는 방식이 주목받고 있다. 이 방식은 데이터서비스 전송량에 따라 사용할 수 있는 방송채널 용량의 제약이 생기지만 단일광원으로 데이터서비스와 방송서비스를 함께 제공할 수 있기 때문에 사용가능한 파장이 제한되는 WDM-PON 시스템에 적합한 방식이다. 구체적인 방법으로써 외부변조기를 이용하여 데이터신호로 변조된 광원을 방송신호로 재변조하는 기술이 제안되었다^[1]. 이 방법은 재변조시 디지털 및 SCM신호의 상호 간섭에 의한 성능 저하와 외부변조기의 큰 삽입손실의 문제점을 갖고 있다. 보다 간단한 방법으로써 디지털신호와 SCM신호를 주파수 다중화하여 단일 laser diode (LD)에 함께 변조하는 기술이 제안되었다^[2-4]. 이 방법은 LD의 주파수 응답에 따라 사용가능한 SCM신

* 학생회원, ** 정회원, 연세대학교 전기전자공학과
(Dept. of Electrical and Electronic Eng., Yonsei Univ.)
접수일자: 2006년4월12일, 수정완료일: 2006년5월15일

호의 주파수대역이 제한되지만 간단한 전기적 소자들을 이용하여 적은 신호간섭의 광송신기를 꾸밀 수 있어 기존의 PON구조에 쉽게 적용될 수 있는 장점을 갖는다.

본 연구에서는 단일 LD를 이용한 디지털/SCM신호 동시 변조방식의 성능을 파장이 다른 두개의 LD에 디지털 및 SCM신호를 각각 변조하는 video-overlay 방식과 비교하여 알아보았다. 또한 효율적인 회로설계를 위해 LD의 anode 단자와 cathode 단자에 각각 디지털 및 SCM신호를 인가하는 광송신기 구조를 제안하고 이를 제작을 통해 검증하였다.

II. 단일 LD를 이용한 데이터 및 방송 신호 동시 변조기법

그림 1은 단일 LD를 이용한 디지털 및 SCM신호의 동시변조의 동작 원리를 나타낸다. 기저대역 디지털신호와 RF 대역의 SCM신호가 더해진 후 LD에 직접변조된다. 여기서 디지털신호와 SCM신호를 주파수대역에서 완벽히 분리시키기 위해 디지털신호의 고주파성분을 저역통과필터(LPF)를 사용하여 제거한다. 직접변조시 LD에 인가되는 전류의 최저값(I_L) 또는 최고값(I_H)이 LD의 비선형영역인 threshold 전류(I_{th})나 LD 출력이 포화되는 전류값에 접근하게 되면 변조된 신호는 비선형 왜곡을 겪게 된다. 예를 들어, 디지털신호의 소광비를 높여 수신감도를 높이기 위해 bias 전류를 낮춰 I_L 이 I_{th} 에 접근한 경우, 디지털신호의 off-state에 함께 실린 SCM신호는 LD의 비선형 영역에서 변조되어 SCM신호의 왜곡이 발생한다. 또한 변조된 디지털신호의 크기를

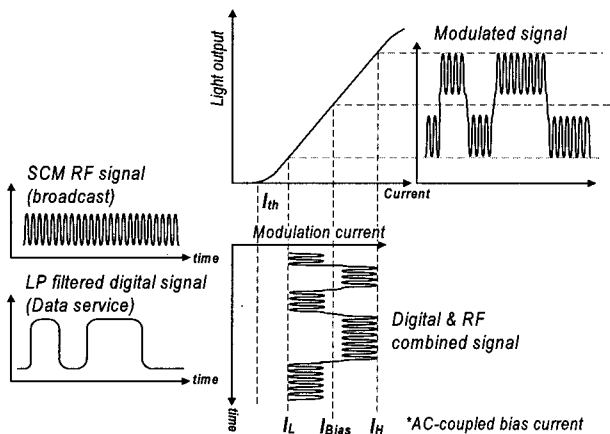


그림 1. 단일 LD를 이용한 디지털/SCM 신호 동시 변조 기법의 개념도

Fig. 1. Schematic diagram of simultaneous modulation of digital/SCM signal using a single LD.

증가시키기 위해 디지털신호의 on-state 전류를 높여 I_H 가 LD출력이 포화되는 전류값에 접근한 경우, 디지털신호의 on-state에 함께 실린 SCM신호는 LD의 비선형 영역에서 변조되어 SCM신호의 왜곡이 발생한다. 반대로 bias 전류를 증가시켜 SCM신호가 선형영역에서 변조되도록 한 경우, I_L 와 I_{th} 의 차이만큼 디지털신호의 소광비가 감소하여 디지털신호의 수신감도가 저하된다. 이러한 디지털 광변조와 SCM 광변조의 특성을 동시에 만족시키기 위해 SCM신호의 신호왜곡을 최소화 하면서 디지털신호의 소광비를 크게 확보 할 수 있는 I_L 의 최소값을 찾는 것이 중요하다.

단일 LD를 이용한 디지털/SCM신호 동시 변조의 성능을 분석하기 위해 두개의 LD를 사용하여 디지털 및 SCM신호를 각각 변조하는 방법(video-overlay)과 비교 실험을 수행하였다. 그림 2는 실험 셋업을 나타낸다. 실험에서 PRBS23의 622Mbps NRZ (non-return to zero) 신호와 4MSps의 32QAM SCM신호가 사용되었다. vector signal generator (VSG)를 이용하여 0.8~2GHz의 carrier 주파수를 갖는 SCM신호를 생성하였다. 단일 LD구조의 실험을 위해서 광대역 RF 결합기가 사용되었으며 광대역 RF 결합기의 주파수 손실 특성을 고려하여 DFB-LD에 전달되는 SCM신호의 세기가 video-overlay 구조에서와 같이 -10dBm이 되도록 조절하였다. video-overlay 구조의 실험을 위해서는 변조특성이 동일하고 파장이 12.6nm 떨어진 두개의 DFB-LD를 각각 디지털 및 SCM신호로 변조한 후 optical coupler로 결합하였다. 동등한 성능비교를 위해 가변 광감쇄기를 이용하여 LD와 PD사이의 손실이 18dB가 되도록 조절하였다. 변조된 신호의 성능분석을 위해

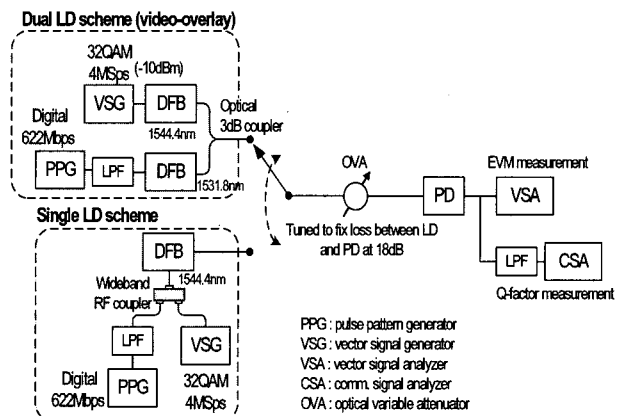


그림 2. 단일 LD구조와 이중 LD구조의 비교 실험셋업

Fig. 2. Experimental setup for comparing the performance of single LD scheme and dual LD scheme.

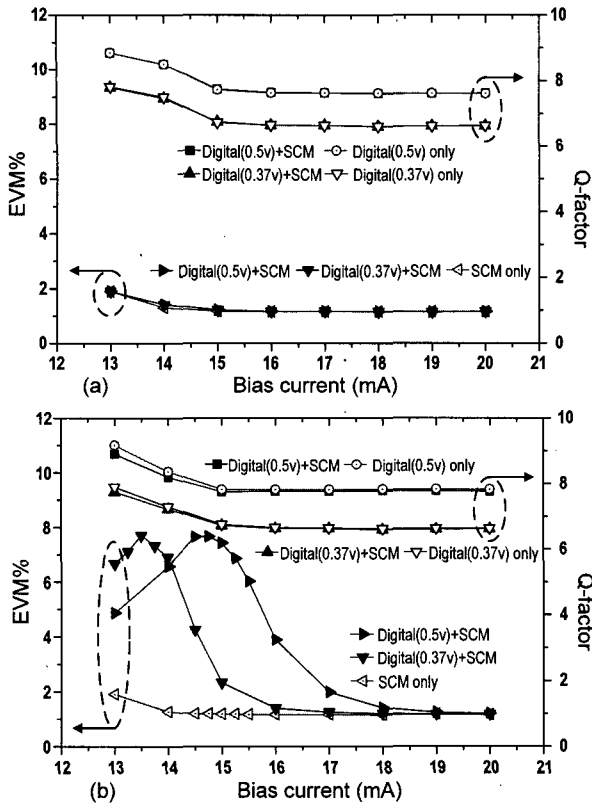


그림 3. Bias 전류에 따른 디지털 및 SCM신호의 성능 변화 (a) 이중 LD 구조 (b) 단일 LD 구조
 Fig. 3. Modulation performance of digital and SCM signal for various bias current in (a) dual LD scheme (b) single LD.

communication signal analyzer (CSA)로 변조된 디지털신호의 Q-factor를 측정하였고, vector signal analyzer (VSA)를 이용하여 변조된 SCM신호의 error vector magnitude (EVM)를 측정하였다.

그림 3은 LD bias 전류에 따른 디지털 및 SCM신호의 성능변화를 나타낸다. 여기서 SCM신호의 carrier 주파수는 1.8GHz로 고정하였다. video-overlay 구조의 경우, 두 LD의 출력파장 차이가 크고 디지털신호와 SCM신호의 주파수대역이 겹치지 않기 때문에 그림 3(a)에서와 같이 디지털신호와 SCM신호가 서로 간섭을 거의 주지 않는다. 그림 3(b)과 같이 단일 LD 구조에서 bias 전류가 낮은 경우, 동시 변조에 의한 디지털신호의 성능 열화는 작지만 SCM신호의 성능 열화는 크게 일어난다. 그림 3(b)에서 0.5V 및 0.37V의 디지털신호에 대해 bias 전류가 각각 약 14.75mA 및 13.5mA일 때 EVM이 최대가 되었다. 이는 I_L 과 I_{TH} 가 거의 같아진 경우로 그림 4와 같이 SCM신호 주변으로 디지털신호가 up-mixing되어 잡음으로 작용한 것이다. bias 전류가 증가함에 따라 SCM신호만 변조된 경우와 동일한

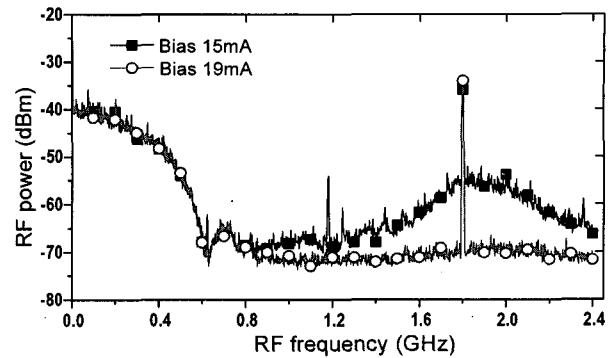


그림 4. 단일 LD 구조에서 디지털/SCM 동시 변조된 신호의 spectrum
 Fig. 4. RF spectrum of simultaneously modulated signal in single LD scheme.

성능을 갖게 됨을 알 수 있다. 본 실험에서 I_L 이 I_{TH} 의 약 1.5배 이상이 되면 디지털신호에 의한 성능저하가 거의 없는 것으로 나타났다. 이 값은 사용된 LD의 특성에 따라 달라지기 때문에 사용하는 LD마다 최적의 I_L 값을 찾는 과정이 필요하다.

그림 4에서 알 수 있듯이, 디지털 및 SCM신호가 LD에 동시 변조된 경우 발생하는 주된 잡음 성분은 SCM신호의 carrier 주변으로 디지털신호가 up-mixing된 성분이다. 이 잡음성분은 그림 3에서와 같이 LD에 인가되는 bias 전류가 작은 경우에 발생하며, up-mixing이 일어나지 않는 경우(그림 4에서 bias 전류가 19mA인 경우)에는 변조된 디지털신호와 SCM신호가 주파수영역에서 완전히 분리된다. Up-mixing이 일어나지 않는 bias 조건에서 SCM신호를 제거하기 위해 수신단에서 사용되는 LPF의 성능이 이상적이라고 가정할 경우, SCM신호의 carrier 주파수 변화가 디지털신호의 성능에 미치는 영향은 거의 없다고 할 수 있다. 그림 5는 carrier 주파수에 따른 SCM신호의 성능변화를 나타낸다. 비교를 위해 0.5V의 디지털신호를 사용한 단일 LD 구조에서 SCM신호의 성능이 최저에 가까운 15mA와 디지털신호의 영향을 거의 받지 않는 19mA의 경우를 비교 측정하였다. 그림 3에서처럼 video-overlay 구조에서는 SCM신호의 성능이 디지털신호에 영향을 받지 않는다. 단일 LD를 사용한 경우 bias 전류가 작을 때는 up-mixing 현상으로 EVM이 커지지만 bias 전류가 증가하면 video-overlay 구조에서와 거의 같은 성능을 보여주었다. 실험결과를 통해 디지털 및 SCM신호를 LD에 동시 변조하는 경우 사용할 수 있는 SCM신호의 carrier 주파수의 최소값은 송수신단에서 사용되는 LPF의 성능에 따라 결정되고, carrier 주파수의 최대값은

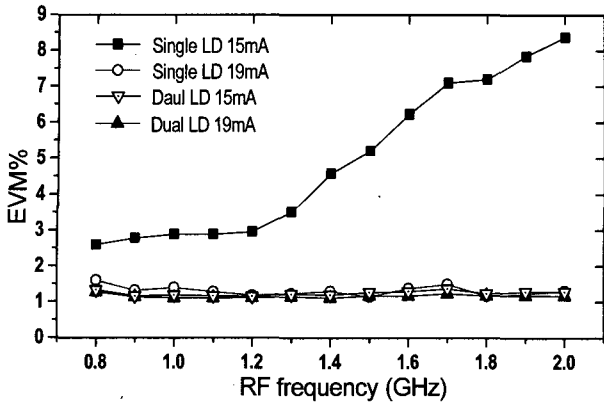


그림 5. Carrier 주파수에 따른 SCM신호의 성능변화
Fig. 5. Performance of SCM signal for various carrier frequency in single and dual LD scheme.

LD의 주파수응답 특성에 따라 제한될 것으로 예상할 수 있다. 하지만, 일반적인 저가의 LD로도 약 3GHz까지 변조가능하기 때문에 단일 LD를 이용한 디지털/SCM신호 동시변조 기법은 WDM기반 PON망에서 방송서비스를 제공하기에 충분하다고 할 수 있다.

III. 단일 LD를 이용한 동시 변조 광송신기 제안

단일 LD를 이용하여 디지털 및 SCM신호를 동시에 변조하기 위해서는 디지털 신호를 low-pass 필터링하고 이를 SCM신호와 함께 LD에 인가하는 과정이 필요하다. 디지털 및 SCM신호의 결합을 위해 앞선 실험에서 사용된 광대역 RF 결합기나 도파로 구조의 결합기 등이 사용할 수 있다^[5,6]. 하지만 광송신기 제작을 위해 디지털용 광송신기에 사용되는 범용 LD 구동칩을 적용할 경우, 외부에서 RF 소자를 이용하여 신호를 결합한 후 LD 구동칩을 통하여 LD를 변조할 수 없기 때문에 LD 구동칩의 디지털신호 출력단과 LD의 변조신호 입력단 (cathode단자 또는 anode단자) 사이에서 디지털신호의 필터링과 SCM신호의 결합이 함께 수행되어야 한다. 이 경우, 각 신호의 bit-rate 및 주파수가 증가하면 주파수에 따른 임피던스 특성의 변화가 증가되어 보다 변조신호의 성능열화를 가져온다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 본 연구에서는 LD의 cathode 단자와 anode 단자에 각각 디지털 및 SCM신호를 인가하여 LD를 광변조하는 방법을 제안한다. 제안하는 광송신기의 개념도는 그림 6과 같다. SCM신호는 사용하는 주파수 대역에 맞게 임피던스 matching된 입력선로를 따라 LD의 anode에 인가된다. 디지털용 LD 구동칩은 기본적인 LD의 구동 전류와 변조를 위한 디지털신호의

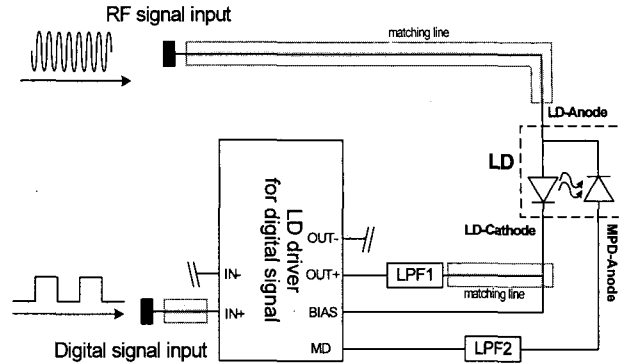


그림 6. 제안하는 단일 LD 동시 변조 광송신기의 개념도
Fig. 6. Schematic diagram of proposed optical transmitter in single LD scheme.

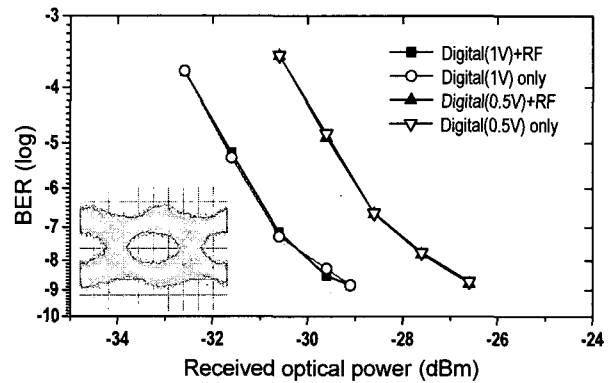


그림 7. 제안된 광송신기로 변조된 디지털 신호의 BER 및 eye-diagram
Fig. 7. BER and eye-pattern of digital signal modulated by proposed optical transmitter.

처리를 수행한다. LD 구동칩을 통해 나온 디지털신호는 low-pass 필터링 후 bias 전류와 함께 LD의 cathode에 인가된다. 이 때, LD 구동칩의 변조신호 출력단과 LD의 cathode단자 사이는 고속 디지털신호가 전송되는 선로로 임피던스에 민감하기 때문에, 가능한 짧은 거리로 설계되어야 하며 디지털신호의 고주파성분을 제거하기 위한 LPF1은 RLC 필터보다는 증폭대역이 디지털신호의 bit-rate에 적절히 맞춰진 단일 RF 증폭소자로 구현한다. 그림 6에서와 같이 LD의 anode단자와 모니터링 PD(MPD)의 cathode단자가 단일 핀으로 제공되는 3-핀 형태의 LD모듈에서는 MPD 출력에 SCM신호가 함께 나타나기 때문에 정확한 모니터링을 위해 SCM신호를 제거하는 추가적인 필터(LPFP2)가 필요하다.

제안된 구조를 이용해 광송신기를 제작하고 실험적으로 성능을 알아보았다. 일반적인 14핀 butterfly 패키징과 달리 LD의 anode단자가 case 접지와 연결되지 않

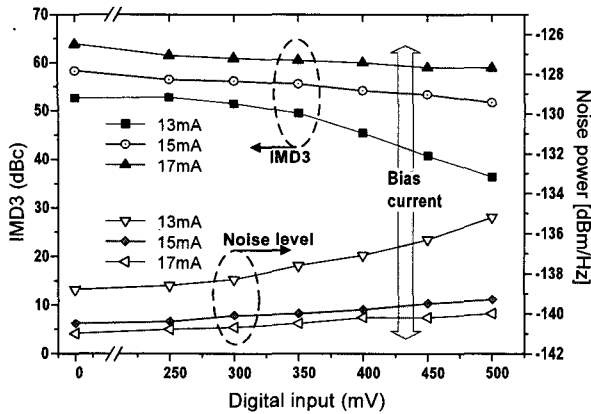


그림 8. 제안된 광송신기로 변조된 아날로그 신호의 IMD3 및 잡음 세기

Fig. 8. IMD3 and noise power of analog signal modulated by proposed optical transmitter.

은 DFB-LD 모듈이 광송신기 제작에 사용되었다. 실험에서는 디지털신호로 PRBS7 622Mbps의 NRZ신호와 SCM신호로 2GHz와 2.01GHz의 RF 신호들이 사용되었다. 제작된 광송신기의 성능평가를 위해 디지털신호의 BER과 eye-pattern, 그리고 SCM신호의 IMD3 (inter-modulation distortion 3차성분)과 RF two-tone 사이 (2.005GHz)에서의 잡음세기가 측정되었다.

그림 7은 제안된 구조로 제작된 광송신기의 디지털 신호 변조성능을 나타낸다. 앞선 실험결과와 같이 디지털신호의 성능은 SCM신호에 영향 받지 않음을 알 수 있다. 디지털신호 입력단과 SCM신호 입력단의 임피던스 문제로 그림 7의 eye-diagram에 나타난 것처럼 약간의 잡음 성분이 발생하였지만 이는 회로설계의 보완으로 해결할 수 있을 것이다. 그림 8은 제작된 광송신기의 SCM신호 변조성능을 나타낸다. 그림 3(b)에서와 같이 bias 전류가 낮을 때는 디지털신호의 영향을 많이 받아 IMD 특성이 나빠지고 잡음 크기가 증가한다. 하지만 bias 전류가 증가함에 따라 디지털신호가 인가되지 않은 경우에 근접하는 성능을 나타냈다.

제안된 광송신기 구조가 효과적으로 디지털 및 SCM 신호를 동시에 변조할 수 있음을 실험을 통해 확인하였다. 제작된 광송신기 모듈에서는 LD가 접지 없이 anode와 cathode를 모두 신호입력단자로 사용하기 때문에 신호 입력단에서 발생한 잡음이 충분히 억제되지 못하였지만 디지털/SCM를 동시에 변조하기에 충분한 성능을 보여주었다. 제안된 광송신기 구조는 범용 디지털 LD 구동칩을 사용하여 방송기능이 부가된 광송신기를 제작할 수 있는 효율적인 구조라 할 수 있다.

IV. 결 론

PON 기반 광가입자망에서 방송서비스를 제공하기 위한 기술로써 단일 LD를 이용한 디지털/SCM신호 동시 변조방식의 성능을 파장이 다른 두개의 LD에 디지털 및 SCM신호를 각각 변조한 방식과 비교하였다. 실험 결과를 통해, 인가되는 변조 전류의 최소값이 LD의 threshold 전류의 약 1.5배 이상인 경우 디지털 및 SCM신호의 상호간섭이 최소화되며 사용할 수 있는 SCM신호 carrier 주파수가 송수신단에서 사용되는 LPF의 성능과 LD의 주파수응답 특성에 따라 제한됨을 확인하였다. 또한 LD의 anode 단자와 cathode 단자에 각각 디지털 및 SCM신호를 인가함으로써 효율적으로 범용 디지털 LD 구동칩을 적용한 회로설계가 가능한 광송신기 구조를 제안하였다.

참 고 문 헌

- [1] M. Khanal, C. J. Chae and R. S. Tucker, "Selective broadcasting of digital video signals over a WDM passive optical network," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, Vol. 17, No. 9, pp. 1992-1994, Sept. 2005.
- [2] N. Chand, P. D. Magill, S. V. Swaminathan and T. H. Daugherty, "Delivery of digital video and other multimedia services (>1Gb/s bandwidth) in passband above the 155 Mb/s baseband services on a FTTx full service access network," *J. Lightwave Technol.*, Vol. 17, No. 12, pp. 2449-2460, Dec. 1999.
- [3] W. L. Way and C. Castelli, "Simultaneous transmission of 2Gbit/s digital data and ten FM-TV analogue signal over 16.5km SM fibre," *Electron. Lett.*, Vol. 24, No. 10, pp. 611-613, May 1988.
- [4] R. D. Feldman, T. H. Wood, J. P. Meester and R. F. Austin, "Broadband upgrade of operating narrowband single-fiber passive optical network using coarse wavelength division multiplexing and subcarrier multiple access," *J. Lightwave Technol.*, Vol. 16, No. 1, pp. 1-8, Jan. 1998.
- [5] M. Maeng, K. Lim, Y. Hur, M. Davis, N. Lal, S. W. Yoon and J. Laskar, "Novel combiner for hybrid digital/RF fiber-optic application," *Radio and Wireless Conference (RAWCON) 2002*, pp. 193-195, Boston, USA, Aug. 2000.
- [6] S. H. Lee, Y. Y. Won, H. D. Jung, H. J. Lim, S. B. Nam and S. K. Han, "CNR enhancement

using mach zehnder filter (MZF) with tunable phase shifter in a digital/RF optical-transmission link," Microwave and Optical Technol. Lett., Vol. 45, No. 6, pp. 531-533, June 2005.

저 자 소 개



김 태 영(학생회원)
1998년 연세대학교 전파공학과 학사
2000년 연세대학교 전기전자공학과 석사
2006년 현재 연세대학교 전기전자공학과 박사과정

<주관심분야 : 광통신, 광소자>

김 경 현(학생회원)
1996년 홍익대학교 전파공학과 학사
1998년 연세대학교 전파공학과 석사
2006년 현재 연세대학교 전기전자공학과 박사과정
<주관심분야 : 광통신, 광송수신기 회로설계>



한 상 국(정회원)
1986년 연세대학교 전자공학과 학사
1988년 University of Florida 전기전자공학과 석사
1994년 University of Florida 전기전자공학과 박사

1994년~1996년 현대전자(주) 선임연구원
1996년~현재 연세대학교 전기전자공학과 교수
<주관심분야 : 광통신, 광 네트워크>