

論文2000-37SD-5-4

# 반도체 광증폭기를 이용한 전계흡수 광변조기 비선형성 보상 (Nonlinearity Compensation of Electroabsorption Modulator by using Semiconductor Optical Amplifier)

李昌炫\*, 孫星一\*, 韓相國\*

(Chang-Hyun Lee, Sung-Il Sohn, and Sang-Kook Han)

## 요약

지수함수형태의 전달함수를 갖는 전계흡수 광변조기(electroabsorption modulator : EAM)의 비선형성 보상을 위해 로그함수형태의 전달함수를 갖는 반도체 광증폭기(semiconductor optical amplifier : SOA)를 이용한다. 우선 SOA의 전달함수는 EAM의 전달함수와 역함수 관계를 갖기 때문에 EAM의 상호변조왜곡(intermodulation distortion : IMD)을 보상한다. 더불어 SOA가 제공하는 이득에 의해 변조신호는 증폭되어진다. 이 두 가지에 의해 EAM의 SFDR(spurious free dynamic range)은 증가한다. 이때 SOA는 EAM 뒷단에 직렬로 연결되어 이득포화영역에서 동작되어진다. EAM의 IMD 보상을 향상시키기 위해서는 SOA의 이득을 증가시켜 이득포화영역 기울기를 증가시켜야 한다. 하지만 SOA의 이득 증가에 따라 ASE 잡음도 증가하여 시스템의 잡음레벨을 높여 EAM의 SFDR은 감소한다. 즉 SOA의 이득포화영역 기울기와 ASE 잡음은 이득에 대해 trade-off를 가지게 되고 모의실험 결과 이득이 약 8dB일 때 최적화 된다. 이 지점에서 EAM의 SFDR 향상은 약 9dB였다. SOA를 사용한 EAM 선형성 향상 방법은 구성이 간편하고 3개의 소자를 집적할 경우 낮은 삽입손실, 낮은 편광의존성, 낮은 처핑 등 효율적인 아날로그 광변조기로 이용될 수 있다.

## Abstract

To compensate the nonlinearity of electroabsorption modulator(EAM) resulting from its near exponential transfer function, a semiconductor optical amplifier(SOA) that has a log transfer function is used. Since the transfer function of SOA is inverse to that of EAM, the intermodulation distortion(IMD) of EAM can be reduced by cascading SOA to EAM. Also, the RF gain can be increased by the optical gain of SOA. For these reasons, spurious free dynamic range(SFDR) of EAM is enhanced by connecting SOA to EAM in series and operating in gain saturation region. To improve the nonlinearity compensation of EAM, the increased gain of SOA is required and the slope of gain saturation, the ratio of gain to input SOA power, needs to be steep. However, signal spontaneous beat noise that is the dominant system noise increases in proportion to the gain such that the SFDR of EAM is reduced. The higher the gain of SOA is, the more ASE is increased. Thus the noise level of system is increased and the following SFDR of EAM is decreased. The slope of gain saturation region and ASE of have trade-off relation and the optimization is achieved at 8dB optical gain. 9dB enhancement of SFDR of EAM is obtained. This scheme is easy to embody the linear EAM and the integration with three components (DFB-LD, EAM and SOA) offers many merits, such as low insertion loss, low chirping and low polarization sensitivity.

\* 正會員, 延世大學教 電氣·컴퓨터工學科  
(Dept. of Electrical and Computer Engineering,  
Yonsei University)

※ 본 연구는 한국 학술진흥재단 98년도 과학기술 기  
초연구(98-E-3208) 지원에 의해서 수행되었음  
接受日字:1999年9月6日, 수정완료일:2000年3月20日

## I. 서론

아날로그 광섬유 링크(analog fiber-optic links)는 CATV, 안테나 리모팅(antenna remoting), 능동 위상 배열(active phased array)등의 응용에서 마이크로파 신호를 경제적으로 전송하는데 사용되어진다. 전계흡수 광변조기는 저전력동작, 작은 크기, 넓은 대역폭, 다른 반도체 소자와의 집적용이 등의 이점으로 이러한 링크에서 유용하지만 지수함수형태의 전달함수에 의해 비선형성을 갖는다. 이러한 비선형성은 여러 채널의 변조 신호들(subcarriers)을 섞이게 하여 상호변조왜곡성분(intermodulation distortion)을 유발하고 채널 용량을 제한한다. 지금까지 상용화되어 있는 전계흡수 광변조기의 선형화 방법은 전기 회로를 이용한 방법에 제한되어 있다. 그러나 전기회로를 이용하는 경우 주파수 응답에 제한을 받게 되므로 고속동작 시 제한을 받게 된다. optical domain에서의 전계흡수 광변조기의 선형화에 대한 논문은 Franz-Keldysh 효과를 이용한 것과<sup>[1]</sup> QCSE(quantum confined Stark effect) 효과를 이용하여<sup>[2]</sup> 만든 것이 발표되었고, 전계흡수 광변조기의 선형화기법은 전광 광변조기(electrooptic modulator)를 사용한 선형화기법들을 응용하는데 머무르고 있다.<sup>[3]-[7]</sup>

본 논문에서는 지수함수형태의 전달함수를 갖는 전계흡수 광변조기의 뒷단에 직렬로 로그함수형태의 전달함수를 갖는 반도체 광증폭기를 연결하여 전계흡수 광변조기의 비선형 성분을 보상한다. 역함수 관계의 전달함수 성질과 반도체 광증폭기가 제공하는 이득에 의해 전계흡수 광변조기의 SFDR(spurious free dynamic range)을 높인다. SFDR은 광신호의 전력에 비례하게 되는데 반도체 광 증폭기가 단지 증폭만을 하는 것이 아니라 전계흡수 광변조기와의 서로 상반되는 전달함수의 관계를 이용하기 위해서 이득 포화 영역에서의 동작되므로 비선형 성분을 억제하게 된다. 이러한 모델은 지금까지 발표된 전계흡수 광변조기 선형화 기법보다<sup>[1], [8]-[10]</sup> 상대적으로 간단한 방법이다. 본 논문은 2장에서 전계흡수 광변조기를 선형화 시키기 위해 반도체 광증폭기를 사용하는 이유를 알아보고 3장에서 비선형성 보상원리를 기술한다. 4장에서는 반도체 광증폭기의 ASE 잡음을 고려한 전계흡수 광변조기 비선형 보상정도를 알아보고 5장에서 결과를 고찰하고 6장에서 결론을 맺는다.

## II. 선형화 개념

전계흡수 광변조기의 전달함수는 지수함수 형태를 나타낸다. 그림 1에서는 광변조기의 bandgap의 변화에 따른 전달함수를 보여주고 있다. 여기서 입력 광파장은  $1.55\mu\text{m}$ 이다. 지수함수형태의 전달함수를 선형화 시키기 위해 역함수인 로그함수형태의 소자가 필요하다. 입출력 전력에 대한 전달함수가 로그함수 형태인 소자 중에 WDM 광네트워크에서 많은 수요가 예상되는 반도체 광증폭기가 있다. 그림 2는 바이어스 전류가  $60\text{mA}$ 일 경우, 입력 광파장과 물질최고이득파장(material peak gain wavelength)이  $1.55\mu\text{m}$ 일 때 반도체 광증폭기의 입출력관계를 나타낸다. 계산에 사용된 SOA는 BH(Buried-Hetro)구조이고 bulk InGaAsP 활성영역의 두께는  $0.15\mu\text{m}$ , 길이는  $500\mu\text{m}$ , 광 구속성은 0.308이다. 이후 특별한 언급이 없으면 입력파장과 물질최고이득파장은  $1.55\mu\text{m}$ 로 고정한다. 그림 2에서 반도체 광증폭기의 전달함수가 로그함수형태임을 알 수 있다. 또한 반도체 광증폭기 입력전력과 출력전력의 비율이 이득인데 바이어스 전류가 높을수록 커진다. 여기서 반도체 광증폭기의 정도방정식과 사용된 parameter는 [11]-[13]을 참조하였고 반사율이 없는 완벽한 진행파 증폭기(travelling wave amplifier)이며 도파로 손실이 없다고 가정하였고 반도체 광 증폭기의 정적인 특성만을 고려하여 계산되었다.

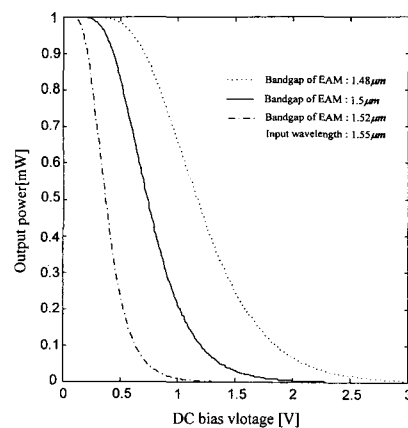


그림 1. 전계흡수 광변조기의 bandgap 변화에 따른 전달함수의 변화

Fig. 1. Change of transfer function due to variable bandgap energy in electroabsorption modulator(EAM).

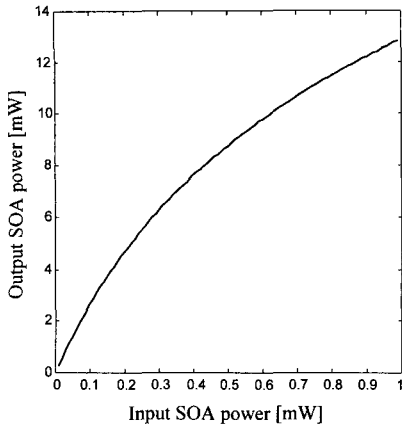


그림 2. 반도체 광증폭기의 입출력 광 전력의 관계, bias current 60mA

Fig. 2. The input vs. output optical power relation in semiconductor optical amplifier at 60mA current injection.

전계흡수 광변조기의 비선형성을 보상하는데 반도체 광증폭기를 사용하는 개략도는 그림 3과 같다. 그림에서 반도체 레이저는 연속 광전력을 내고 전계흡수 광변조기에서 변조신호에 의해 연속 광전력을 전광변환하게 된다. 지수함수형태의 전달함수에 기인한 비선형 소자인 전계흡수 광변조기를 통과한 전광변환된 광신호는 harmonic 및 변조신호의 intermodulation 등의 비선형 주파수 성분을 갖게되어 보상이 필요하다. 이러한 비선형 성분의 보상은 로그함수형태의 전달함수를 갖는 반도체 광증폭기에서 이뤄진다. 또한 반도체 광증폭

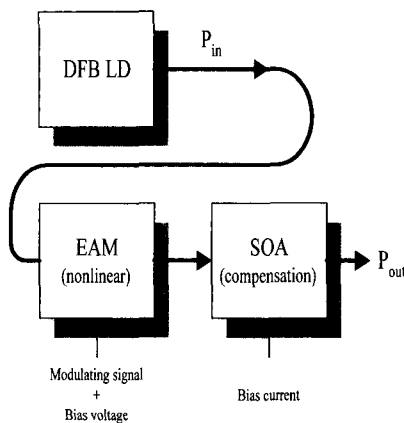


그림 3. 전계흡수 광변조기의 비선형성을 보상하는 반도체 광증폭기와의 결합도

Fig. 3. Schematic of nonlinearity compensation of EAM using SOA.

기가 제공하는 이득에 의해 변조신호는 증폭되어진다. 비선형 성분의 보상과 변조신호의 증폭에 의해 전계흡수 광변조기의 선형성은 향상된다. 이때 반도체 광증폭기의 주파수 응답이 변조속도보다 커야 하는데 반도체 광증폭기는 10GHz 이상의 주파수 응답을 가질 수 있음이 알려져 있다. 그러므로 본 논문에서 제안한 구조는 기존에 발표된 EAM의 주파수 응답(10GHz)에 영향을 미치지 않는 고속 동작이 가능할 것이라 예상된다.<sup>[11]</sup>

### III. 반도체 광증폭기 보상 원리

지수함수형태의 전달함수에 기인한 전계흡수 광변조기의 비선형 성분을 감소시키기 위해서 반도체 광증폭기에 입사되는 전력이 상대적으로 작을 때는 증폭하고 클 때는 감쇄시킨다. 이러한 것을 하기 위해 반도체 광증폭기는 이득포화영역에서 동작되어야 한다. 그림 3에서 DFB-LD의 동작 파장이 1.55 $\mu$ m이고 전계흡수 광변조기의 밴드갭 파장이 1.5 $\mu$ m일 때 2차 상호변조왜곡 성분(second order intermodulation distortion : IMD2)을 억제시키는 바이어스 전압은 약 0.6V이다. 바이어스 전압이 0.6V일 때 전계흡수 광변조기의 전달함수 기울기를 갖는 직선이 반도체 광증폭기의 전달함수가 되기 위해 이득포화영역의 기울기가 -1dB/dBm 이어야 한다. 즉, 반도체 광증폭기에 입사되는 전력이 1dBm 변화할 때 반도체 광증폭기의 이득은 -1dB 변해야 한다. 반도체 광증폭기의 이득포화영역 기울기는 바이어스 전류가 커짐에 따라 급해진다.<sup>[14]</sup> 좀더 일반적으로 이득포화

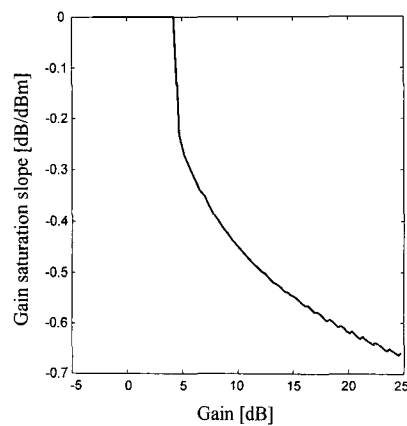


그림 4. 이득에 대한 이득포화영역 기울기  
Fig. 4. Slope of gain saturation region vs gain.

영역 기울기는 이득이 커질수록 증가한다. 그림 4는 포화되기 이전의 이득에 대한 이득포화영역 기울기를 나타낸다.

그림 4에서 이득이 클수록 이득포화영역 기울기가 -1dB/dBm에 가까워져 전계흡수 광변조기의 비선형성을 더욱 보상할 것이다. 이득의 증가는 바이어스 전류의 증가로 가능하므로 바이어스 전류를 증가시키면 전계흡수 광변조기의 선형성이 향상될 것으로 예상된다. 그림 5는 반도체 광증폭기로 전계흡수 광변조기의 비선형 성분을 얼마나 보상할 수 있는가를 SFDR의 변화에 의해 나타내고 있다. 본 논문에서 모의 실험한 SFDR은 광검출기를 거친 후의 광대역 특성을 알아보기 위해서 IMD2를 억제시키는 bias voltage에서의 fundamental 성분의 증가에 따른 IMD3 성분의 증가를 알아보기 위해서 계산되었다. SFDR은 광신호의 전력에 비례하게 된다. 그래서 광증폭기를 사용하지 않은 경우를 광증폭기를 사용할 경우 제공되는 이득에 비례하여 광신호의 전력을 크게 설정한 후 모의 실험을 하여 광증폭기를 사용할 경우 단지 증폭만을 해주는 것이 아니라 이득 포화 영역에서 동작시킴으로서 비선형 성분을 감소시키는 것을 알 수가 있었다. 또한 다음 장에서 다루겠지만 반도체 광증폭기의 ASE 잡음은 고려되지 않았다. 그림 5에서 예상대로 바이어스 전류가 증가하면 SFDR은 증가하게 되고 바이어스 전 구간에서 약 5~20dB의 SFDR의 향상을 얻었다. 위에서 언급한

것과 같이 EAM만을 사용한 경우에는 광 출력전력을 SOA가 제공하는 gain에 비례하여 증가시키면서 SFDR을 측정하였다. 모의실험에서 사용된 광검출기의 응답도(responsivity)는 0.8A/W, 사용한 전계흡수 광변조기 흡수층의 두께는 0.25 $\mu$ m, 길이는 200 $\mu$ m, 광구속성은 0.684이다. 이 값들은 이후 모의실험에서 동일하게 사용된다.

#### IV. ASE 잡음을 고려한 비선형성 보상

광증폭기는 ASE(amplified spontaneous emission) 잡음을 가진다. 반도체 광증폭기 또한 ASE 잡음을 가지고 있는데 수신단의 광검출기를 통과하면 두 가지로 분류된다. 신호-자연발생 혼합잡음(signal-spontaneous beat noise)과 자연발생-자연발생 혼합잡음(spontaneous-spontaneous beat noise)이 그것이다. 신호-자연발생 혼합잡음 변동(variance)을  $\sigma_{sig-sp}^2$ 로 표기하고 자연발생-자연발생 혼합잡음 변동을  $\sigma_{sp-sp}^2$ 로 표기할 때 식(1)과 식(2)로 각각 나타난다<sup>[15]</sup>.

$$\sigma_{sig-sp}^2 = 4e \left( \frac{e}{h\nu} \right) P_{SOA in} G(G-1) n_{sp} B_e \quad (1)$$

$$\sigma_{sp-sp}^2 = 4e^2 (G-1)^2 n_{sp}^2 B_e B_o \quad (2)$$

여기서  $\nu$ 는 입력 주파수,  $P_{SOA in}$ 은 반도체 광증폭기 입력전력,  $G$ 는 이득,  $n_{sp}$ 는 자연발생 방출지수(spontaneous emission factor),  $B_e$ 는 광검출기 대역폭(electrical detector bandwidth),  $B_o$ 는 광필터 대역폭(optical filter bandwidth)을 나타낸다<sup>[16]</sup>.  $\sigma_{sig-sp}^2$ 는 입력 신호의 세기와 반도체 광증폭기가 제공하는 이득에 비례한다. 광필터를 사용하여 이 값을 줄이기 위해 변조된 광신호의 대역폭이 1GHz라 하면 밴드패스 광필터(band-pass optical filter)의 대역폭이 0.008nm 이하여야 한다. 하지만 이렇게 협대역 광필터는 구현이 어렵다. 따라서 기존의 서브nm 밴드패스 광필터를 사용해도 ASE 잡음과 섞인 변조신호의 대역폭은 밴드패스 광필터를 통과하게 되어  $\sigma_{sig-sp}^2$ 는 줄일 수 없다. 반면에  $\sigma_{sp-sp}^2$ 는 반도체 광증폭기 대역폭 전체에 넓게 분포한다. 일반적으로 반도체 광증폭기의 대역폭은 수십 nm이므로 광필터를 사용하여  $\sigma_{sp-sp}^2$ 를 상대적으로 줄일 수 있다.

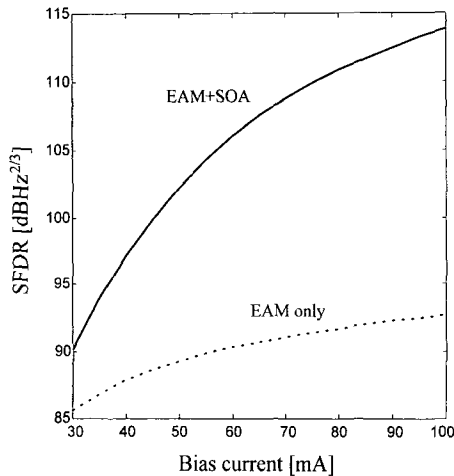


그림 5. ASE 잡음을 고려하지 않은 반도체 광증폭기에 의한 비선형성 보상정도

Fig. 5. Nonlinearity compensation by SOA without considering ASE noise.

그림 6은 반도체 레이저의 출력전력이 0dBm 일 때 바이어스 전류를 높여 이득을 증가시키며 여러 잡음 전력밀도를 알아본 것이다. 그림에서 자연발생-자연발생 혼합잡음 전력밀도는 광필터의 대역폭이 작을수록 감소함을 알 수 있다. 또한 이득이 제공되는 영역에서 신호-자연발생 혼합잡음 전력밀도가 우세한 잡음임을 알 수 있다. 산탄잡음(shot noise) 전력밀도보다도 신호-자연발생 혼합잡음 전력밀도가 우세한 잡음전력밀도가 되고 시스템의 잡음레벨은 SOA가 제공하는 이득에 비례해서 증가하게 되므로 SFDR은 감소하여, 반도체 광증폭기를 사용하여 비선형 성분을 보상하는데 저해 요인이 된다.

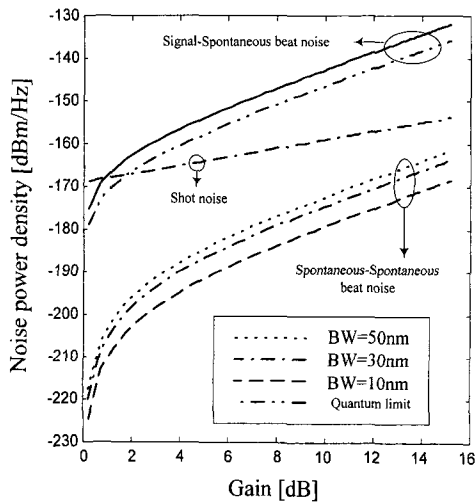


그림 6. 반도체 광증폭기 이득에 대한 3가지 잡음전력 밀도  
Fig. 6. Three noise power densities vs SOA gain.

비선형 성분 보상을 위한 반도체 광증폭기의 사용에 저해 요인이 되는 신호-자연발생 혼합잡음 전력밀도를 줄여야 하는데 반도체 광증폭기의 잡음지수(noise figure) 때문에 줄이는 것에 한계가 있다. 반도체 광증폭기의 잡음지수가 1일 때 신호-자연발생 혼합잡음 전력밀도가 제일 작는데 그림 6의 양자한계(quantum limit)가 그것이다<sup>[17]</sup>. 모의실험에서 온도는 일정하고 열 잡음 전력밀도는 -175dBm/Hz로 가정했다.

ASE 잡음을 고려하지 않을 때 반도체 광증폭기의 보상정도는 이득을 높여 이득포화영역 기울기가 -1dB/dBm에 근접할수록 좋아지는 것을 앞에서 살펴보았다. 하지만 그림 6에서 보듯이 이득이 커질수록 잡음전력

밀도도 증가하여 반도체 광증폭기의 보상정도를 저해한다. ASE 잡음을 고려한 반도체 광증폭기의 보상정도를 그림 7에서 나타내었고 그림 5에서 계산한 것처럼 SOA를 사용한 경우와 EAM만을 사용한 경우의 광신호의 출력을 같게 놓아서 SFDR을 계산하였다. 그림에서 반도체 광증폭기를 사용했을 때 바이어스 전류가 약 45mA일 때 최고의 SFDR을 갖는다. 여기서 반도체 광증폭기를 사용했을 때와 안 했을 때 광검출기에 입력되는 광전력을 같게 놓고 비교하므로 이득증가에 따른 광검출기에 입사되는 광전력도 커져 전계흡수 광변조기만의 SFDR도 증가한다. 따라서 바이어스 전류가 39mA정도 일 때 반도체 광증폭기의 보상정도는 최대가 된다. 이 지점에서 약 3.7dB의 SFDR 향상을 얻었다.

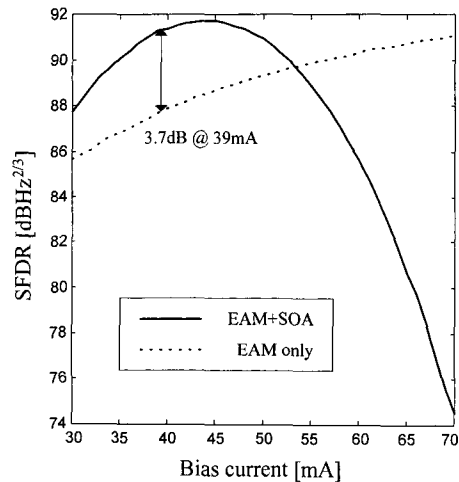


그림 7. ASE 잡음을 고려한 반도체 광증폭기에 의한 비선형성 보상정도  
Fig. 7. Nonlinearity compensation by SOA considering ASE noise.

앞에서 밝혔듯이 반도체 광증폭기를 사용하여 전계흡수 광변조기의 선형성을 향상시키는 원리는 두 가지이다. 역함수의 전달함수 관계를 이용한 비선형 성분의 보상과 반도체 광증폭기의 이득에 의한 것이 그것이다. 역함수 관계에 의한 전계흡수 광변조기의 비선형 성분의 보상은 그림 5와 그림 7에서 알 수 있었다. 그림 8은 반도체 광증폭기를 사용했을 때와 안 사용했을 때, 전계흡수 광변조기에 입력되는 광전력을 0dBm로 고정시키고 반도체 광증폭기의 바이어스 전류를 변화시켜 반도체 광증폭기가 제공하는 이득까지 고려한 SFDR의 증가를 보았다. 그림에서 바이어스 전류가 약 45mA일

때, 이득으로 말하면 약 8dB 일 때 9dB 정도의 SFDR 향상을 얻을 수 있었다.

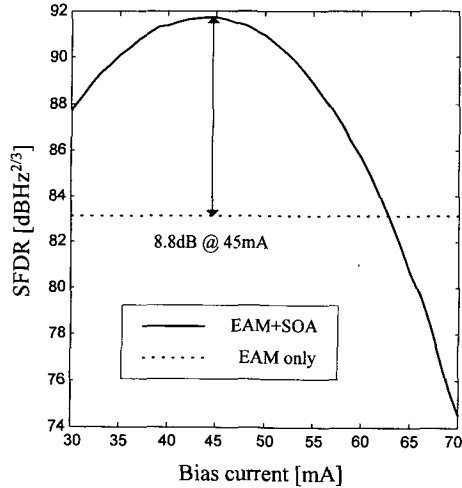


그림 8. 반도체 광증폭기의 ASE 잡음과 이득이 고려된 전계흡수 광변조기 선형성 향상

Fig. 8. Linearity enhancement of EAM considering ASE and gain SOA.

## V. 고찰

전계흡수 광변조기의 비선형 성분을 보상하여 선형성을 향상시키기 위해 반도체 광증폭기를 사용했다. 반도체 광증폭기의 보상정도는 이득포화영역 기울기가  $-1\text{dB/dBm}$ 에 근접할수록 향상된다. 이득포화영역 기울기는 반도체 광증폭기의 이득에 비례하여 급해진다. 반도체 광증폭기의 보상정도를 결정하는 또 다른 변수는 ASE 잡음이다. 그림 6에서 보듯이 ASE 잡음도 반도체 광증폭기의 이득에 비례하여 증가한다.

이득포화영역 기울기와 ASE 잡음이 반도체 광증폭기의 보상정도를 결정하는 변수지만 기여하는 것은 정반대이다. 이득포화영역 기울기는  $-1\text{dB/dBm}$ 에 근접하도록 급할수록 좋지만 ASE 잡음은 작을수록 좋다. 하지만 이 두 변수는 반도체 광증폭기가 제공하는 이득에 관련되어 있다. 이득이 커질수록 이득포화영역 기울기는 급해지지만 ASE 잡음도 증가하게 된다. 따라서 반도체 광증폭기의 보상정도는 이 두 가지 변수가 최적화 되는 이득에서 최고의 선형성 향상을 얻을 수 있다. 모의실험 결과 최적화 되는 이득은 대략 8dB 정도였다.

반도체 광증폭기의 이득은 입력전력, 입력파장, 물질 최고이득파장, 바이어스 전류 등 크게 4가지 변수에 의해 정해진다. 좀 더 향상된 선형성을 얻기 위해 4가지 변수들의 최적값들을 찾는 것은 무의미한데 그 이유는 8dB 정도의 이득에서 최적의 선형성을 갖기 때문이다. 따라서 그림 8의 선형성 향상보다 더 향상된 선형성을 얻기 위해서 낮은 이득에서 상대적으로 높은 이득포화영역 기울기를 갖는 반도체 광증폭기를 설계해야 한다. 이런 특성은 일반적으로 광증폭 및 광 논리소자로 사용되는 SOA의 요구특성과는 구별된다.

본 논문에서는 반도체 광증폭기의 편광 의존성에 의한 이득변화를 고려하지 않았는데 이는 최적화 되는 이득이 수 dB로 작아 편광에 따른 이득포화영역 기울기의 변화 차이가 미미하기 때문이다. 또한 DFB 레이저, 전계흡수 광변조기, 반도체 광증폭기, 이 세 가지 소자간에 존재하는 삽입손실을 고려하지 않았는데 이는 삽입손실이 생기면 캐리어 전력, IMD3 전력, 잡음 레벨이 모두 감소하기 때문에 선형성에는 영향을 미치지 않기 때문이다.

## VI. 결론

반도체 광증폭기를 사용한 전계흡수 광변조기의 선형성 향상개념은 지수함수형태의 전달함수에 의한 전계흡수 광변조기의 비선형 성분을 보상하기 위해 지수함수에 역함수인 로그함수형태를 갖는 반도체 광증폭기를 연계 사용하는 것이다. 반도체 광증폭기는 이득포화영역에서 동작된다. 반도체 광증폭기를 사용하여 전계흡수 광변조기의 상호변조왜곡 보상정도는 이득포화영역 기울기가  $-1\text{dB/dBm}$ 에 근접하도록 급할수록 많이 보상된다. 이득포화영역 기울기는 반도체 광증폭기에 인가되는 전류가 클수록 급해진다. 전류가 커져 이득이 커지면 더불어 ASE 잡음도 커진다. 그 중 우세한 잡음이 신호-자연발생 혼합잡음인데 신호의 대역폭이 작아 광필터를 사용해도 낮아지지 않는다. 더욱이 양자한계까지 가져 어느 이상 낮게 할 수가 없다. 따라서 반도체 광증폭기의 선형성 향상 정도는 이득포화영역 기울기와 신호-자연발생 혼합잡음, 이 두 가지 변수가 최적화 되는 이득에서 최고의 선형성 향상을 얻을 수 있다. 모의실험 결과 이득이 약 8dB 일 때 최적화 되는데 그 지점에서 약 9dB의 SFDR 향상을 얻었다. 이보다 더 큰 SFDR 향상을 위해서는 낮은 이득에서 상대적으로

높은 이득포화영역 기울기를 갖는 반도체 광증폭기가 필요하다. 덧붙여 반도체 레이저, 전계흡수 광변조기, 반도체 광증폭기는 하나의 웨이퍼에서 단일집적이 가능하므로 낮은 삽입손실, 낮은 처핑, 낮은 편광의존성, 높은 변조효율등 집적에 의한 많은 이점을 갖게 된다.

### 참 고 논 문

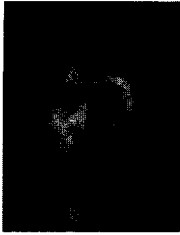
- [1] R. B. Welstand, C. K. Sun, S. A. Pappert, Y. Z. Liu, J. M. Chen, J. T. Zhu, A. L. Kellner, and P. K. L. Yu, "Enhanced Linear Dynamic Range Property of Franz-Keldysh Effect Waveguide Modulator", *IEEE Photonics Technology Letters*, Vol. 7, pp. 751-753, 1995.
- [2] Shin-ichi Kaneko, Masaki Noda, Yasunori Miyazaki, Hiromitsu Watanabe, Kumio Kasahara, and Yoru Tajime, "An Electroabsorption Modulator Module for Digital and Analog Applications", *Journal of Lightwave Technology*, Vol. 17, pp. 669-676, 1999.
- [3] G. E. Betts, L. M. Walpita, W. S. C. Chang, and R. F. Mathis, "On the Linear Dynamic Range of Integrated Electrooptical Modulators", *IEEE Journal of Quantum Electronics*, Vol. 22, pp. 1009-1011, 1986.
- [4] B. H. Kolner and D. W. Dolfi, "Intermodulation distortion and compression in an integrated electrooptic modulator", *Applied Optics*, Vol. 26, pp. 3676-3680, 1987.
- [5] L. M. Johnson and H. V. Rousell, "Reduction of intermodulation distortion in interferometric optical modulators", *Optics Letters*, Vol. 13, pp. 928-930, 1988.
- [6] M. L. Farwell, Z. Q. Lin, E. Wooten, and W. S. C. Chang, "An Electrooptic Intensity Modulator with Improved Linearity", *IEEE Photonics Technology Letters*, Vol. 3, pp. 792-795, 1991.
- [7] W. B. Bridges, and J. H. Schaffner, "Distortion in Linearized Electrooptic Modulators", *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, Vol. 43, pp. 2184-2197, 1995.
- [8] G. C. Wilson, T. H. Wood, and U. Koren, "Integrated Electroabsorption Modulator/DBR Laser Linearized by RF Current Modulation", *IEEE Photonics Technology Letters*, Vol. 7, pp. 1154-1156, 1995.
- [9] T. Iwai, K. Sato, and K. I. Suto, "Reduction of Dispersion-Induced Distortion in SCM Transmission Systems by Using Predistortion-Linearized MQW-EA Modulators", *Journal of Lightwave Technology*, Vol. 15, pp. 169-178, 1997.
- [10] K. K. Loi, J. H. Hodiak, X. B. Mei, C. W. Tu, and W. S. C. Chang, "Linearization of 1.3- $\mu$ m MQW Electroabsorption Modulators Using an All Optical Frequency-Insensitive Technique", *IEEE Photonics Technology Letters*, Vol. 10, pp. 964-966, 1998.
- [11] M. Asghari, I. H. White, and R. V. Penty, "Wavelength Conversion Using Semiconductor Optical Amplifiers", *Journal of Lightwave Technology*, Vol. 15, pp. 1181-1190, 1997.
- [12] K. Obermann, S. Kindt, D. Breuer, and K. Petermann, "Performance Analysis of Wavelength Converters Based on Cross-Gain Modulation in Semiconductor-Optical Amplifiers", *Journal of Lightwave Technology*, Vol. 16, pp. 78-85, 1998.
- [13] I. D. Henning, M. J. Adams, and J. V. Collins, "Performance Predictions from a New Optical Amplifier Model", *IEEE Journal of Quantum Electronics*, Vol. 21, pp. 609-613, 1985.
- [14] M. J. Adams, J. V. Collins, and I. D. Henning, "Analysis of semiconductor laser optical amplifiers", *IEE Proceedings*, Vol. 132, pp. 58-63, 1985.
- [15] L. Kazovsky, S. Benedetto, and A. Willner, *Optical Fiber Communication Systems*, Artech House, Boston · London, 1996.
- [16] M. G. Oberg, and N. A. Olsson, "Wavelength dependence of noise figure of a travelling-wave GaInAsP/InP Laser Amplifier", *Electronics Letters*, Vol. 24, pp. 99-100, 1988.
- [17] T. Mukai and T. Saitoh, "5.2dB Noise Figure

in a 1.5 $\mu$ m InGaAsP Travelling-wave Laser Amplifier", Electronics Letters, Vol. 23, pp. 216-218, 1987.

---

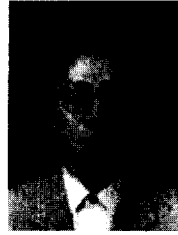
 저 자 소 개
 

---



李昌炫(正會員)

1974년 12월 16일생. 1997년 2월 경희대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1997년 9월~1999년 8월 연세대학교 전기·컴퓨터공학과 졸업(공학석사). 1999년 9월~현재 삼성전자 정보통신총괄 광소재 연구소 연구원



韓相國(正會員)

第36卷 D編, 第6號 參照. 현재 : 연세대학교 기계·전자공학부 전기공학 전공 부교수



孫星一(正會員)

1974년 10월 28일 생. 1999년 2월 광운대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1999년 3월~현재 연세대학교 전기·컴퓨터공학과 재학중