

반도체광증폭기의 상호 이득 변조를 이용한 소광비 향상기 Extinction Ratio Enhancer Based on Cross Gain Modulation Using Semiconductor Optical Amplifiers

정영진, 박남규

서울대학교 전기 컴퓨터공학부 광통신 시스템 연구실

nkpark@plaza.snu.ac.kr

빛으로 신호를 다루는 것이 유리한 광통신을 포함한 다양한 응용 분야에서 파장 변환, 신호 재생, 논리 회로, 광 신호 저장 등 광 신호 처리가 활발하게 연구 되고 있다. 그러나 광 신호는 여러 가지 많은 신호처리 과정들을 거치는 동안 왜곡되어 특성이 나빠지게 된다. 특히 EPON 시스템에서는 소광비 조건을 'IEEE 802.3ah'에서 6dB로 낮게 잡고 있는데, 한 발표에 의하면 burst-mode 수신기에서 6dB의 소광비에 대해 소광비에 의한 추가적인 8dB의 SNR 페널티가 발생한다고 한다⁽¹⁾. 한편 어느 NOR 게이트에 대한 발표에 의하면 연속적으로 연결된 두 개의 반도체광증폭기를 이용하여 한 개의 반도체광증폭기로 구현한 것보다 소광비가 향상된 NOR 게이트를 구현하였다⁽²⁾. 이를 역으로 응용하면 일반적인 입력 신호를 받아 소광비를 향상 시킨 신호를 얻을 수 있는데 본 연구에서는 일반적인 신호의 소광비를 향상시키기 위한 목적으로 연속적인 두 개의 반도체광증폭기를 이용하여 소광비 향상기를 설계하였다. 규격화 되어있지 않은 일반적인 신호에 맞추어서 소광비 향상기를 설계하기 위해 입력 신호에 따라 여러 가지 변수와 상황을 고려하여 소광비가 향상되는 영역을 찾는 과정이 필요했다.

먼저 구조를 보면 그림. 1과 같다. 반도체광증폭기2(SOA2)에서 연속파에 대해 상호이득변조(XGM)을 통해 소광비를 향상 시키고자 하는 입력 신호(Original input signal) P_{in} 의 역신호를 만들어 준다. 이렇게 만들어진 역신호가 다시 반도체광증폭기1(SOA1)에서 입력 신호 P_{in} 에 대해 상호이득변조를 일으키게 된다. 이때의 상호이득변조 때문에 입력 신호 P_{in} 이 클 때 반도체광증폭기1의 이득이 커지고, 작을 때 이득이 작아지는 조건을 만족하는 경우가 있다. 이 경우에 출력으로 얻는 신호 P_{out} 의 소광비는 입력신호 P_{in} 과 비교할 때 이득의 변화량만큼 커지게 된다. 먼저 수식적으로 분석해 보면, 증폭기의 P_{out} 는 소광비는 입력신호 P_{in} 에 대해 $P_{out}=GP_{in}$ 의 관계를 갖는 이득 G 는 이득포화를 고려하여 식(1)과 같이 쓸 수 있다. 여기서 P_s 는 포화된 출력 파워이고, G_0 는 포화되지 않은 이득을 나타낸다.

$$G = G_0 \exp\left(-\frac{(G-1)P_{in}}{P_s}\right) \text{-----(1)}$$

이 기본 식을 바탕으로 그림. 1의 반도체 광증폭기를 이용한 소광비 향상기에 적용시켜 보면 식 (2),(3)의 비선형 연립 방정식을 얻게 된다. 여기서 아래첨자는 반도체광증폭기1과 반도체광증폭기2를 구별하기 위하여 쓰였고 CW 는 연속파이다. 필요할 경우 이 두식을 연립하여 풀게 되면, 입력 신호에 대해 반도체광증폭기1의 이득을 얻을 수 있으며 따라서 출력 파워도 얻을 수 있다.

$$(P_{in} + G_2 \cdot CW/2) = \frac{\ln(G_1/G_{01})}{(1-G_1)} P_{s1} \text{-----(2)}$$

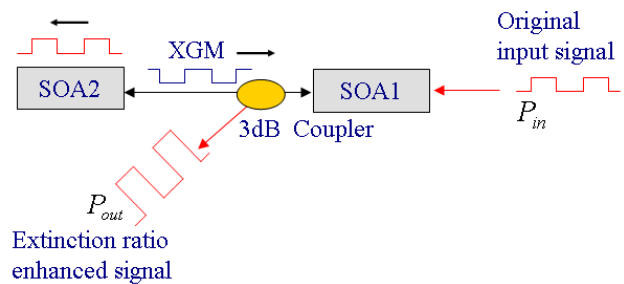


그림 1. 반도체 광증폭기를 이용한 소광비 향상기의 구조

$$(G_1 \cdot P_{in}/2 + CW) = \frac{\ln(G_2/G_{02})}{(1-G_2)} P_{s2} \text{-----(3)}$$

다루기 편한 구조로 만들기 위해 반도체광증폭기1과 반도체광증폭기2는 서로 같은 특성을 갖도록 하였다. 구동 전류, 포화된 출력파워 그리고 포화되지 않은 이득을 서로 같게 해주었다. 두 개의 반도체 증폭기의 이득이 서

로 어떤 관계를 가지는지 분석하기 위해 $G_1 = G_2$ 가 되는 지점을 찾아보았다. 두 곳을 생각할 수 있는데 먼저 식 (2),(3)에서 $G_1 = G_2 = G$, $P_{s1} = P_{s2} = P_s$ 로 놓고 연립하여 조건을 찾으면, $G_1 = G_2$ 가 되는 지점은 식 (4)와 같이 입력파워 P_m 이 연속파 CW와 같은 때임을 알 수 있다.

$$P_{in} = CW \text{ -----(4)}$$

그리고 또 다른 한 경우는 입력파워 P_m 이 매우 커져서 식 (3), (4)의 이득이 모두 없어져서 같아지는 경우이다. 이득이 서로 같은 지점이 두 곳 존재하므로 $\frac{\partial G_2}{\partial G_1} < 0$ 인 영역이 존재함을 생각할 수 있다. 따라서 식 (2)를

G_1 으로 미분하여 얻은 식 (5)로부터 $\frac{\partial G_1}{\partial P_{in}} > 0$ 인 영역이 존재함을 알 수 있다.

$$\frac{\partial G_1}{\partial P_{in}} = \frac{1}{\left\{ \frac{1}{G_1(1-G_1)} + \frac{\ln(G_1/G_{01})}{(1-G_1)^2} \right\} P_{s1} - \frac{\partial G_2}{\partial G_1} \cdot CW/2} \approx - \frac{\partial G_2}{\partial G_1} \cdot CW/2 \text{ {여기서 } } G_1 \gg 1 \text{ } \text{-----(5)}$$

이러한 분석적인 가능성을 바탕으로 우리는 반도체광증폭기 전산모사를 통해 그림. 1의 구조를 모델링 해보았다. 전산모사는 유한차분법(Finite Difference Method)을 기반으로 구현하였다.⁽³⁾ 길이 $500\mu\text{ m}$, 구동전류가 300mA인 서로 같은 두 개의 반도체 광증폭기를 이용한 소광비 향상기를 전산모사 하여 입력 파워에 대한 이득 곡선을 얻을 수 있었다. 그림. 2는 반도체광증폭기1의 이득이고, 그림. 3은 반도체광증폭기2의 이득이다. 앞의 식 (4)에서 예상 하였듯이 입력파워가 CW파워와 같은 지점에서 이득이 서로 교차하고 있는 것을 확인 할 수 있다. 따라서 향상 시키고자 하는 입력신호의 중심 파워와 같은 CW파워를 넣어 주면 동작 점을 맞출 수 있게 된다. 그림. 4는 입력에 대한 출력 파워 곡선으로 CW=-10dBm(1550nm)의 경우 -12dBm ~ -8dBm(1550nm)으로 입력을 넣어주면 출력 파워는 -21dBm ~ 0dBm으로 얻어진다. 즉, 4dB의 소광비 입력에서 21dB의 소광비 출력으로 16dB만큼 소광비가 향상의 효과가 있음을 볼 수 있다.

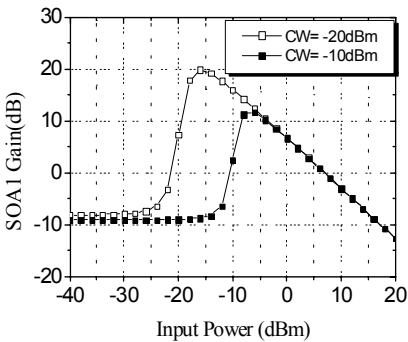


그림 2. 증폭기1 이득곡선

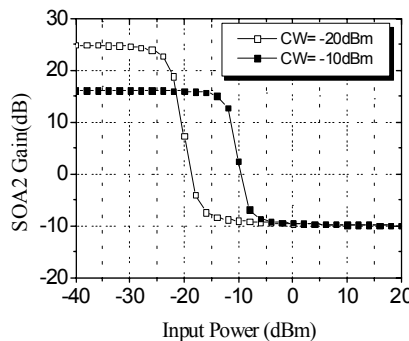


그림 3. 증폭기2 이득곡선

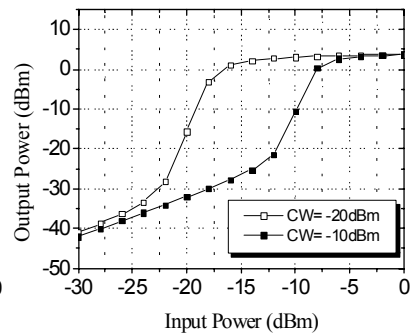


그림 4. 입력 대 출력곡선

본 연구에서는 다양한 응용 분야에 사용될 수 있도록 입력이 증가함에도 불구하고 이득을 동시에 증가시키는 소광비 향상기를 설계하고, 수식과 전산 모사를 통해 그 특성을 분석하였다.

참고문헌

1. S. Han, J. Seo, T. Yoo, M.Lee “ Additional Sensitivity Penalty of Burst Mode Receivers in Ethernet PON due to Extinction Ratio”, OECC 2003, 2003. 10. 13~16, China
2. Ali Hamié, Ammar Sharaiha, Mikael Guégan, and Benoît Pucel “All-Optical Logic NOR Gate Using Two-Cascaded Semiconductor Optical Amplifiers” IEEE PTL, VOL. 14, NO. 10, OCTOBER 2002
3. C. Y. J Chu, H. Ghafouri-Shiraz, “Analysis of Gain and Saturation Characteristics of a Semiconductor Laser Optical Amplifier Using Transfer Matrices,” IEEE JLT, VOL 12, NO 8, August 1994.