

직접 변조된 DFB 레이저 다이오드의 광섬유 색분산에 의한 비선형성
Fiber Dispersion Induced Nonlinear Distortion of directly modulated DFB LD

이기혁*, 최현용, 최우영
연세대학교 전기 전자 공학과, 초고속정보전송연구실

Abstract

Using the rate equation model we analytically obtained relative magnitude and phase of fundamental and 2nd harmonic component. With that results we numerically estimated dispersion induced 2nd harmonic distortion. And we compared that with the results that are obtained considering only fundamental component.

Introduction

신기적인 변조와 복조 방법을 추가함으로써 optical bandwidth를 효율적으로 이용할 수 있는 방법으로 Subcarrier multiplexing (SCM) 이 CATV 와 같은 analog 광통신망에 많이 사용되고 있다. 그리고 최근에는 비교적 간단하고 저렴한 방법인 직접 변조된 레이저 다이오드를 이용한 변조 방식이 metropolitan area의 가입자망 application으로 제안되고 있다 [1].

지금까지 직접 변조된 Laser Diode를 이용한 analog optical link에서의 비선형성에 대한 연구가 많이 되어 왔다 [2-4]. 먼저 반도체 Laser Diode는 intrinsic한 dynamic인 resonance에 의해 생기는 nonlinear distortion을 갖는다 [2]. 그리고 직접변조에 의해 생기는 chirp이 fiber dispersion을 겪으면서 chirp induced distortion이 나타나게 된다 [3-4].

따라서 보다 정확한 distortion에 대한 분석을 위해서는 intrinsic한 LD의 distortion과 chirp induced distortion이 함께 고려되어야 한다. 그리고 그러기 위해서는 fundamental 성분과 distortion 성분들의 상대적인 크기와 위상 정보가 필요하게 된다 [5].

여기서 우리는 rate equation model을 이용해 LD의 intrinsic한 distortion의 크기와 위상을 분석하고 이에 따른 dispersion induced distortion의 전송 거리와 주파수에 따른 특성을 fundamental 성분만 고려한 결과와 비교 분석을 하였다.

Theory

다음은 여러 다른 논문에서 소개되고 있는 rate equation model이다 [1,2].

$$\frac{dS}{dt} = \Gamma g_0(N - N_t)(1 - \epsilon)S - \frac{S}{t_p} + \frac{\Gamma b}{t_n}N$$

$$\frac{dN}{dt} = \frac{I}{qV} - \frac{N}{t_n} - g_0(N - N_t)(1 - \epsilon)S$$

$$\frac{df}{dt} = \frac{a}{2}[\Gamma g_0(N - N_t) - \frac{1}{t_p}]$$

rate equation에 다음과 같이 small signal을 가정해 다음식을 대입하고 Perturbation 방법을 이용해 주파수별로 분석해보면 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$I = I_0 + \text{Re}\{\Delta I_1 e^{j\omega t}\}$$

$$S = S_0 + \text{Re}\{\Delta S_1 e^{j\omega t}\} + \text{Re}\{\Delta S_2 e^{j2\omega t}\}$$

$$N = N_0 + \text{Re}\{\Delta N_1 e^{j\omega t}\} + \text{Re}\{\Delta N_2 e^{j2\omega t}\}$$

$$v = v_0 + \text{Re}\{\Delta v_1 e^{j\omega t}\} + \text{Re}\{\Delta v_2 e^{j2\omega t}\}$$

먼저 (1)에 대한 항을 정리해보면 (1-3)식을 얻을 수 있고 이식에서 intensity와 chirp의 fundamental 성분의 크기와 위상을 구할 수 있다.

$$a_{11} \times \Delta S_1 + a_{12} \times \Delta N_1 = 0L \quad (1)$$

$$a_{21} \times \Delta S_1 + a_{22} \times \Delta N_1 = \Delta I_1 L \quad (2)$$

$$\Delta v_1 = -a_{32} \times \Delta N_1 L \quad (3)$$

$$a_{11} = j\omega - \Gamma g_0(N_0 - 2\epsilon N_0 S_0 - N_t + 2\epsilon N_t S_0) + \frac{1}{t_p}$$

$$a_{12} = -\Gamma g_0(S_0 - \epsilon S_0^2) - \frac{\Gamma b}{t_n}$$

$$a_{21} = qV \cdot g_0(N_0 - 2\epsilon N_0 S_0 - N_t + 2\epsilon N_t S_0)$$

$$a_{22} = qV \cdot (j\omega + \frac{1}{t_n} + g_0(S_0 - \epsilon S_0^2))$$

$$a_{32} = -\frac{1}{2D} \frac{a}{2} \Gamma g_0 \Delta N_2$$

(4-6)식은 2에 대한 항을 정리한 식으로 intensity와 chirp의 2nd harmonic 성분의 크기와 위상을 구할 수 있다.

$$b_{11} \times \Delta S_2 + b_{12} \times \Delta N_2 = K_1 L \quad (4)$$

$$b_{21} \times \Delta S_2 + b_{22} \times \Delta N_2 = K_2 L \quad (5)$$

$$\Delta v_2 = -b_{32} \times \Delta N_2 L \quad (6)$$

위에서 구한 perturbation 성분들은 (7)과 같은 IM, FM 변조된 E-field의 형태로 나타낼 수 있다.

$$b_{11} = j2W - \Gamma g_0 (N_0 - 2\alpha V_0 S_0 - N_1 + 2\alpha V_1 S_0) + \frac{1}{t_p}$$

$$b_{12} = -\Gamma g_0 (S_0 - \alpha S_0^2) - \frac{\Gamma b}{t_n}$$

$$b_{21} = g_0 (N_0 - 2\alpha V_0 S_0 - N_1 + 2\alpha V_1 S_0)$$

$$b_{22} = j2W + \frac{1}{t_n} + g_0 (S_0 - \alpha S_0^2)$$

$$b_{32} = -\frac{1}{2D} \frac{a}{2} \Gamma g_0 \Delta N_2$$

$$K_1 = \Gamma g_0 / 2 \cdot (\Delta N_1 \Delta S_1 - \alpha (N_0 \Delta S_1^2 + 2S_0 \Delta N_1 \Delta S_1) + \alpha V_1 \Delta S_1^2)$$

$$K_2 = -g_0 / 2 \cdot (\Delta N_1 \Delta S_1 - \alpha (N_0 \Delta S_1^2 + 2S_0 \Delta N_1 \Delta S_1) + \alpha V_1 \Delta S_1^2)$$

$$E(t, z=0) \cong P_0^{1/2} (1 + m_{IM1} \cos(W \cdot t + j_{IM1})) L (7) \\ + m_{IM2} \cos(2W \cdot t + j_{IM2})^{1/2} \\ \cdot \exp(i \cdot m_{FM1} \cos(W \cdot t + j_{FM1})) \\ + i \cdot m_{FM2} \cos(2W \cdot t + j_{FM2})$$

$$P_0 = \frac{1}{2} S_0 h\nu \cdot V \cdot \eta_{sp} / t_p \Gamma$$

$$m_{IM1} = \Delta S_1 / S_0, m_{IM2} = \Delta S_1 / S_0$$

$$j_{IM1} = \arg(\Delta S_1), j_{IM2} = \arg(\Delta S_2)$$

$$m_{FM1} = \Delta v_1 / f_1, m_{FM2} = \Delta v_1 / 2f_1$$

$$j_{FM1} = \arg(\Delta v_1), j_{FM2} = \arg(\Delta v_2)$$

여기서 dispersion induced distortion 은 위와 같은 E-field 형태를 이용해 [3,4]와 같이 numerical 한 방법이나 [5]와 같이 Bessel function 을 이용한 analytic 한 form 으로 구할 수 있다. 본 논문에서는 FFT 와 주파수 축에서의 phase 변화 ^{2D/LC} 이용한 numerical 한 방법을 사용하였다.

그림 1 은 20km 전송했을 때 fundamental 성분과 2nd harmonic 성분을 주파수 축에 따라 simulation 결과와 비교한 결과이다. 그리고 그림 2 는 3GHz 주파수로 변조했을 때 전송 거리에 따라 simulation 과 비교한 결과이다. 그리고 기존의 fundamental 만을 고려한 논문과 비교하기 위해 (8) 같은 E-field 형태를 고려해 점선으로 표시하였다.

위의 결과에서 우리는 다음과 같은 사실을 확인할 수 있다. 먼저 주파수나 거리가 클수록

$$E(t, z=0) \cong P_0^{1/2} (1 + m_{IM1} \cos(W \cdot t + j_{IM1}))^{1/2} L (8) \\ \cdot \exp(i \cdot m_{FM1} \cos(W \cdot t + j_{FM1}))$$

fundamental chirp 에 의해 생긴 distortion 이 dominant 해 지므로 2nd harmonic 을 고려한 분석과 거의 차이를 보이지 않게 된다. 그러나 그림 1 과 같이 resonance frequency 의 반 부근에서는 chirp 의 2nd harmonic 성분이 크므로 dispersion induced distortion 에 큰 차이를 보이게 된다. 그리고 그림 2 에서처럼 intensity 의 2nd harmonic 성분이 짧은 거리에서

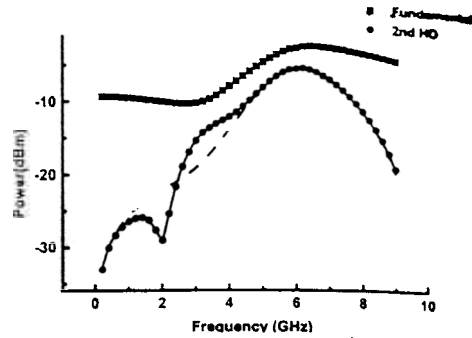


그림 1. Fundamental, 2nd Harmonic Distortion vs Frequency

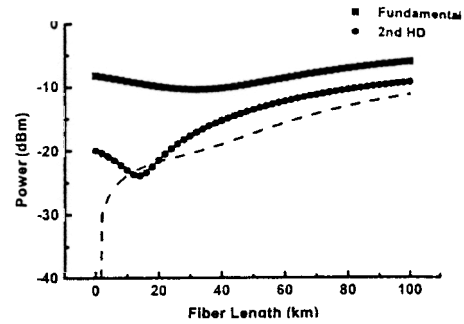


그림 2. Fundamental, 2nd Harmonic distortion vs Fiber length

dominant 하므로 fundamental 만 고려한 식과 는 잘 맞지 않음을 알 수 있다.

Conclusion

Rate equation model 을 이용해 LD 의 intrinsic 한 dynamic 에 의한 intensity 성분과 chirp 성분의 fundamental 과 2nd harmonic distortion 의 크기와 위상차를 구함으로써 LD 의 intrinsic 한 distortion 과 chirp induced distortion 를 모두 고려한 보다 정확한 analog optical link 에서의 distortion modeling 이 가능함을 확인하였다.

Reference

- [1] Tomkos, et al., *LEOS 2000*, vol.2 pp. 692-693.
- [2] Bihan, et al., *IEEE Journal of Quantum Electronics*, vol.40, no. 4, 1994
- [3] Meslener, et al., *IEEE Journal of Quantum Electronics*, vol. 20, no.10, pp.1208-1216, 1984.
- [4] Ih, et al., *IEEE Journal of Selected Areas in Communications*, vol. 8, no. 7, pp. 1296-1303, 1990.
- [5] Peral, et al., *Journal Lightwave Technology*, vol. 18, no. 1, pp.84-89, 2000.