

論文 90-27-4-17

# LD-FM 회로모델을 이용한 광 FSK 송신기 설계

## (Design of Optical FSK Transmitter Using LD-FM Circuit Model)

蘇俊鎬,\*\* 朴相泳,\*\* 李揆松,\*\* 林鎬根,\*\* 金成煥\*, 洪玩憲\*

(Joon Ho So, Sang Young Park, Kyu Song Lee, Ho Geun Lim,  
Sung Hwan Kim, and Woan Hue Hong)

### 要 約

본 논문은 코히어런트 광통신 시스템에서 반도체 레이저 다이오드의 FM 응답에 대한 (LD-FM) 회로 모델을 이용하여 광 FSK (frequency shift keying) 송신기를 설계하는 방법을 제시하였다.

광 FSK 송신기의 설계에 있어서 레이저다이오드의 주파수변조특성을 회로모델링한 회로모델을 이용하여 최적의 바이어스 전류를 선택하고 선택된 바이어스 전류에 대한 반도체 레이저 FM응답의 전달함수를 구하였다. 구해진 LD-FM 특성을 균일하게 개선하기 위하여 수동소자로 이루어지는 이퀄라이저를 설계하였다. 설계된 광 FSK 송신기 시스템은 펄스 입력에 대한 과도응답과 소신호 주파수 편이응답을 시뮬레이션하여 성능을 예측하였다.

### Abstract

In this paper, a design method of optical FSK transmitter is described using LD-FM circuit model.

In the design of optical FSK transmitter, an optimum bias current was chosen using LD-FM circuit model, and an unequalized FM transfer function was determined at this current. The equalizers that can make this transfer function uniform were designed by use of a simple passive network.

For the designed optical FSK transmitter, the pulse-transient and small-signal frequency-deviation responses were simulated and discussed.

### I. 서 론

최근의 코히어런트 광통신시스템은 지상과 해저의 장거리 광섬유 전송 시스템이나 우주나 지구 가까이 의 위성 간의 전송방식으로 응용이 활발하다. 특히

단일모드 반도체 레이저다이오드를 코히어런트 광통신 방식에 사용하고자 하는 연구는 수 차례 발표된 바 있다.<sup>[1-4]</sup>

반도체 레이저 다이오드(LD)의 직접주파수변조 능력은 코히어런트 광 송신 시스템에 있어서 송신단에서의 외부 변조기가 필요하지 않아 광전적으로 쉽게 송신기를 구성할 수 있다는 장점이 있다. LD는 변조 주파수에 따른 광 주파수편이가 균일하지는 않지만 구동 전류에 의한 직접주파수변조가 된다.<sup>[5]</sup> 그

\*正會員, \*\*準會員, 서울시立大學校 電子工學科  
(Dept. of Elec. Eng., Seoul City Univ.)

接受日字: 1990年 2月 22日

(※ 본 연구는 한국과학재단의 연구비로 수행되었음.)

러나 LD의 주입전류에 따른 주파수변조 특성의 전달함수가 균일하지 않기 때문에 직접주파수 변조된 LD를 이용한 광 헤테로다인 통신 시스템의 성능은 저하된다.

FSK 시스템에 있어서 균일하지않은 FM 전달함수는 두 신호 주파수의 변화(tone drift)의 원인이 되며 이로 인해 신호주파수구간(tone slot)에서의 누화(crosstalk)가 증가하고 시스템의 BER(Bit-Error-Rate)를 저하시킨다. LD를 코히어런트 광 FSK 시스템으로 사용하기 위해서는 FM 전달함수의 불균일함을 제거하여야만 한다.<sup>[6]</sup>

직접주파수변조된 LD의 FM 특성의 불균일함으로 인한 FM 신호 주파수의 변화(tone frequency drift)를 해결하기 위한 세가지의 방법들이 제시되어져 왔다. 가장 좋은 해결 방법은 FM응답이 일정한 LD를 설계 제작하는 것이나 단일모드로 동작하고, 좁은 선폭, 긴 수명을 가지며 일정한 FM 응답을 갖는 적합한 LD를 개발하는데는 꽤 오랜 시일을 요한다. 두번째 방법은 불균일한 FM 응답에 영향을 받지않는 주파수 대역에서의 선택적인 변조나 코팅 방법에 의한 변조를 하는 것이다. 그러나 이러한 방법들을 사용하면 시스템에 새로운 제한조건들이 발생하게 된다. 선택적인 변조방법은 일반적으로 비싸고 복잡한 변조기와 복조기가 필요하게 된다. 세번째 방법은 능동소자나 수동소자를 이용하여 LD의 FM 응답을 이퀄라이제이션하는 회로를 설계하여 사용하는 것이다.<sup>[7,8]</sup>

본 논문에서는 LD의 직접주파수변조특성을 이용한 광 FSK 송신기를 설계하기 위하여 발광원으로 CSP(Channeled Substrate Planar) 레이저다이오드를 사용한 설계과정을 제시하였다. 따라서 저자가 이미 제시발표한 CSP형 레이저다이오드의 LD-FM 회로 모델<sup>[9,10]</sup>을 이용하여 최적의 바이어스 전류를 선택하고, 선택된 바이어스 전류에 대한 LD-FM 응답 전달함수를 균일하게 개선하기 위하여 저가로 실현 가능한 수동소자로 된 이퀄라이저를 설계하여 부가함으로써 개선된 광 FSK 송신기를 설계하였다. 설계된 광 FSK 송신기에 대하여 펄스 입력에 대한 과도 응답과 소신호 주파수편이 특성을 시뮬레이션하였다.

## II. 광 FSK 송신기 설치

### 1. LD-FM 회로모델과 최적 바이어스 설정

광 FSK 송신기의 대표적인 개략도가 그림1에 보여지고 있다. 광 FSK 송신기는 LD의 주입전류에 의한 직접변조로 실현할 수 있다. LD는 변조파형의

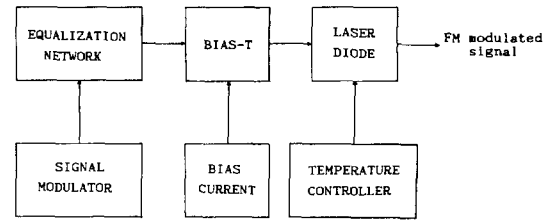


그림 1. 이퀄라이저를 사용한 광 FSK 송신기의 개략도

Fig. 1. Schematic diagram of optical FSK transmitter using an equalizer.

스펙트럼에서 나타나는 모든 주파수 영역에서 일정한 변조특성을 지니고 있어야만 한다. FSK 주입전류 변조기를 100Mbit/sec에서 동작시킬 때 LD는 DC에서 수백 MHz 까지의 FM응답의 전달함수가 일정하여야 한다.

반도체 레이저의 FM 전달함수는 온도변조효과와 캐리어농도변조 효과에 의존하는 것으로 알려져 있다.<sup>[6,7]</sup> 대표적인 반도체 레이저의 FM 변조특성을 살펴보면 DC에서 10MHz 까지는 온도특성에 의해 지배되고 10MHz 이상에서는 캐리어 농도에 의해 지배되는 것으로 알려져 있으며 특히 온도변조특성이 지배하는 구간은 캐리어 농도가 지배적인 구간에 비해 FM 변조특성이 수십배 이상 크게 나타나며, 캐리어 농도가 지배적인 구간에서는 수 GHz 근처에서 공진특성을 보여주고 있다. 이같은 공진특성은 바이어스 전류의 증가에 따라 공진 피크가 감소하고 공진피크 주파수가 고주파 쪽으로 이동한다.<sup>[6]</sup>

이상적인 광 FSK 송신기의 주파수 변조특성을 얻기 위해서는 전 주파수대역에 대해서 FM 특성이 균일하게 얻어져야 하며 이같은 균일한 특성을 얻기 위해서는 공진특성이 나타나지 않는 바이어스에서 온도특성에 의한 효과를 균일하게 개선함으로써 가능하다. 따라서 최적의 바이어스 전류를 예측하여 결정하기 위해서 저자가 참고문헌[9, 10]에서 발표 제시한 바 있는 그림2와 같은 온도와 캐리어 농도변조효과가 모두 고려된 LD-FM 회로 모델을 이용한다. 표 1은 3가지 바이어스 전류에 대한 등가회로 소자값을 보여주고 있으며, 그림 3은 3가지의 바이어스 전류에 대한 LD-FM 회로 모델로부터 예측한 LD-FM 응답을 보여주고 있다. 바이어스 전류가 1.15I<sub>th</sub>일 때 FM 응답은 낮은 변조주파수대역에서는 저역통과필터 특성을 나타내고 높은 변조주파수대역에서는 공진피크를 갖는다. 고주파특성은 그림3에서

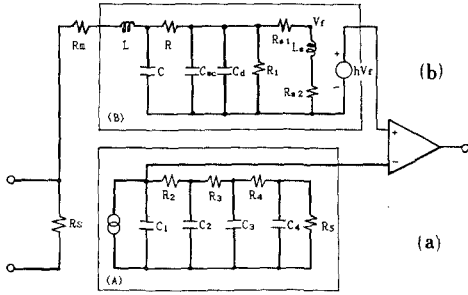


그림 2. LD의 주파수변조응답 시스템의 등가회로 모델

- (a) 온도변조효과의 회로 모델
- (b) 캐리어농도변조효과의 회로 모델

Fig. 2. Equivalent circuit model for complete FM response of LD.

- (a) circuit model for temperature modulation effect,
- (b) circuit model for carrier modulation effect.

표 1. 능동층의 회로소자값

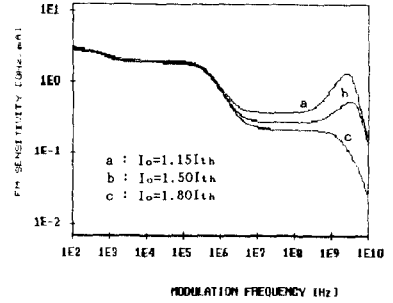
Table 1. The element value of the active layer.

$I_{th}$	$I/I_{th}$	$C_{sc}$	$C_d$	$R_1$	$R_{s1}$	$R_{s2}$	$L_s$
mA	times	nF	nF	$\Omega$	m $\Omega$	m $\Omega$	pH
69	1.15	1.0	1.73	0.41	10.5	6.20	1.42
69	1.50	1.0	1.74	0.20	14.3	0.62	0.46
69	1.80	1.0	1.75	0.14	15.5	0.26	0.31

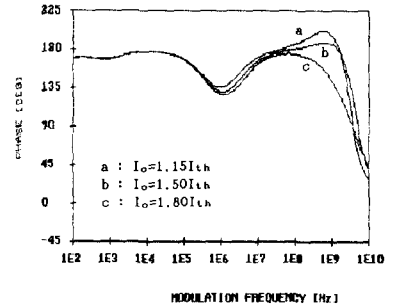
보인 것과 같이 바이어스 전류를 증가시킴으로써 점 차 제거할 수 있다. 바이어스 전류를  $1.80I_{th}$ 까지 증가시키면 FM 응답은 고주파 대역에서도 공진피크가 없는 저역통과필터특성을 나타낸다. 공진피크를 갖지 않는 응답특성 때문에 LD-FM 특성을 쉽게 개선할 수 있고 따라서 최적의 바이어스 전류를  $1.80I_{th}$  이상 값으로 취할 수 있다. 그러나  $1.80I_{th}$  이상의 바이어스 전류로 LD를 구동하면 LD의 수명이 짧아질 뿐만 아니라 LD의 손상이 예상되어 낮은 바이어스 전류가 요구되므로 공진피크가 나타나지 않는 최저 바이어스 전류를 최적치로 취할 수 있다.

2. 이퀄라이저의 전달함수

앞에서 얻은 최적 바이어스 전류에서의 LD-FM 전달특성을 전 주파수대역에 걸쳐 균일한 특성을 갖게 하기 위해서는 고역통과응답을 갖는 회로망을 직렬로 연결함으로써 가능하다. 최적 바이어스 상태에서 얻어진 그림 3의 (c)에 대한 FM 전달함수는 패키지의



(a)



(b)

그림 3. LD의 소신호회로 모델을 이용하여 시뮬레이션한 결과

- (a) FM 응답
- (b) 위상 응답

Fig. 3. Simulated result using small signal circuit model of LD.

- (a) FM response,
- (b) Phase response.

기생 리액턴스에 의해 CSP-LD의 경우 변조 대역폭을 1GHz로 제한시켜주게 된다.

따라서 이 등가 전달함수 모델은 DC에서 1GHz 사이에서의 FM 전달함수  $H_{fm}(s)$ 로 다시 쓸 수 있다.

$$H_{fm}(s) = H_c + H_v / (1 + \sqrt{s/p}) \tag{1}$$

여기서  $H_c$ 는 캐리어 농도에 따른 FM 성분,  $H_v$ 는 온도에 따른 FM 성분,  $s$ 는 라플라스 변수, 그리고  $p$ 는 온도효과의 차단주파수이다.

LD-FM 전달함수를 이상적으로 같게하기 위한 전달함수  $H_{eq}(\sigma)$ 는 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$H_{fm}(\sigma) H_{eq}(\sigma) = K \tag{2}$$

여기서  $K$ 는 주파수에 독립적인 상수이다. (1)식에서 단일 주파수 pole로 정규화 하기 위해 변수  $\sigma = s/p$ 를 대입하고  $H_{eq}(\sigma)$ 에 대하여 (2)식을 풀면

$$H_{eq}(\sigma) = A \frac{(\sqrt{\sigma} + 1)}{(\sqrt{\sigma} + C)} \tag{3}$$

여기서  $A=K/H_c$ ,  $C=(H_c+H_t)/H_c$ 이다.

적당한 이퀄라이저를 설계하기 위해서는 이퀄라이저의 전달함수  $H_{eq}(s)$ 를 근사화기법인 변분수방법 식(4)를 이용하여 구할 수 있다.

$$(\sqrt{\sigma + \alpha}) = (1 + \alpha) + \frac{\sigma - 1}{2 + \frac{\sigma - 1}{2 + \frac{\sigma - 1}{2 + \dots}}} \quad (4)$$

증가한 차수의 이퀄라이저 회로의 조합은  $M(\sigma)/N(\sigma)$  형태를 갖는 비례함수들의 곱으로 생성된다. 다시 변수  $\sigma=s/p$ 를 대입하고 함수  $H_{eq}(s)$ 에 대하여 풀면 몇개의 고차항 이퀄라이저 전달함수를 얻을 수 있다.

$$A \frac{s+3p}{s+(2C+1)p}$$

$$A \frac{s^2+10sp+5p^2}{s^2+(6+4C)sp+(1+4C)p^2} \quad (5)$$

$$A \frac{s^3+21s^2p+35sp^2+7p^3}{s^3+(15+6C)s^2p+(15+20C)sp^2+(1+6C)p^3}$$

(5)식의 전달함수는 (1)식의 FM 전달함수에 대한 1차에서 3차 까지의 이퀄라이저 회로를 설계하는데 쓰이게 된다.

### 3. 수동 소자를 사용한 이퀄라이저 설계

이퀄라이저 회로의 전기적 설계는 원하는 전달함수를 알 때 다음과 같은 절차에 의해 직접 이루어진다. 본 논문에서는 Darlington 합성방법으로 불리는 일반적인 RC 사다리회로 (ladder circuit) 설계기법이 사용되었다. 회로의 구조는 이중으로 정합된 RC 회로가 되도록하여 그림 4와 같이  $50\Omega$ 의 source로부터 구동되고  $50\Omega$ 의 부하로 정합되도록 하였다.  $R_s$ 는 source 저항이고  $R_o$ 은 부하저항이며  $Z_{in}(s)$ 는 구동점 임피던스 함수이다.

전달함수를 이중 정합을 가지는 무손실의 2 포트 수동회로로 구현하는데 있어서의 첫번째 단계로 다

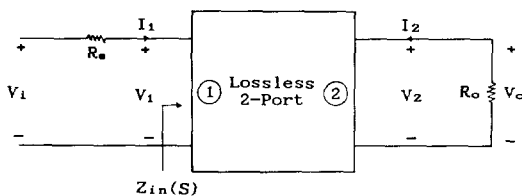


그림 4. Darlington 회로 구조  
Fig. 4. A Darlington circuit structure.

음의 식으로 부터 최소 위상해  $\rho(s)$ 를 찾는다.

$$\rho(s) \rho(-s) = 1 - 4(R_s/R_o)H(s)H(-s) \quad (6)$$

여기서  $\rho(s)$ 는 반사 계수이다.

두번째 단계로 정합하고자하는 부하저항을 가지는 구동점 임피던스  $Z_{in}(s)$ 를 선택한다.

$$Z_{in}(s) = (1 + \rho(s))/(1 - \rho(s)) \quad (7)$$

세번째 단계는 Cauer의 두번째 형태를 이용하여  $Z_{in}(s)$ 를 구현한다. 이상의 세가지 단계를 종합하여 컴퓨터에 의해서 RC회로의 소자 값을 결정하였다.

(5)식의 전달함수를 가지는 이퀄라이저 회로를 그림 5에 보였다. 이 회로에 RC회로를 부가함으로써 간단하게 더 높은 차수로 확장시킬 수 있다. 회로에서 저주파대역에서의 감쇠는 반사되는 에너지가  $50\Omega$ 의 source 임피던스에 흡수되어 일어난다.

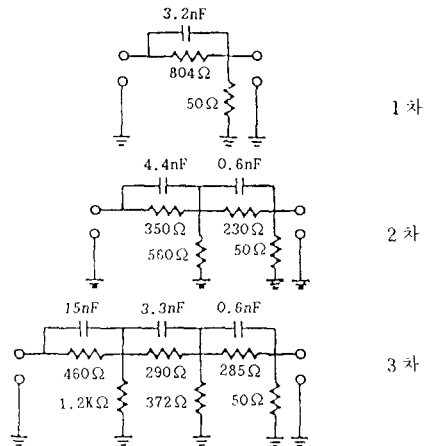


그림 5. 설계된 이퀄라이저 회로의 구조  
Fig. 5. Candidate equalization circuit architecture.

### III. 시뮬레이션 및 결과

그림 1의 개략도와 같이 설계한 광 FSK 송신기의 특성을 알아보기 위하여 LD-FM 특성이 unequalized 된 상태와 equalized된 상태에서의 LD-FM 전달특성 펄스입력에 대한 과도 주파수편이응답특성에 대하여 시뮬레이션하였다.

먼저 그림 3의 바이어스 전류 1.80I<sub>th</sub>에 대한 전달함수와 위상응답을 보면 FM 응답은 낮은 변조 주파수 대역에서 강하게 나타나고 위상응답은 1MHz부근에서 함곡점을 갖는다. 이러한 FM 전달함수를 unequalized 전달함수라 하고 equalized 전달함수와 비교

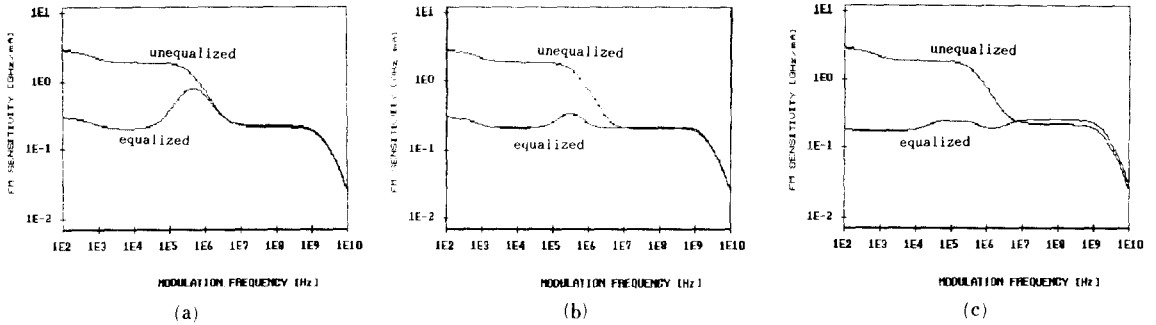


그림 6. 이퀄라이저를 사용하여 시뮬레이션한 FM 전달함수

(a) 1차 (b) 2차 (c) 3차

Fig. 6. Simulated result of the FM transfer function model using.

(a) first, (b) second, (c) third order equalizer.

하였다.

1차 2차 3차의 이퀄라이저와 LD를 조합한 송신기의 시뮬레이션 결과인 equalized FM 전달함수를 그림 6(a)-(c)에 보였다. 1차의 이퀄라이저에 의해서도 온도에 의한 FM 응답영역에서 현저한 감쇄현상이 있으나 1MHz 근처에서 작은 피크가 있다. 그러나 2차 이상의 이퀄라이저를 사용한 송신기의 FM 응답에서 그러한 피크가 없다. 따라서 이퀄라이저의 차수를 증가시킴에 따라 LD-FM 특성을 현저하게 개선할 수 있으며 3차의 이퀄라이저를 사용하면 송신기가 거의 일정한 FM 전달함수를 갖도록 할 수 있다.

그림 7은 3차의 이퀄라이저를 사용한 경우의 FM 위상응답을 보이고 있다. 위상은 1GHz 이하에서 180°에 이퀄라이즈되었다. 1GHz 이상에서는 위상이 90°로 점차로 떨어지고 있다. 이러한 높은 변조주파수에서 주파수변화가 거의 일정한 군지연(group delay)을 가져 위상변화는 거의 선형적이므로 이러한 위상변화는 실제적으로 레이저의 변조특성에는 거의 영향을 미치지 못한다.

이퀄라이저가 없을 때 LD에 전류 펄스를 인가함으로써 시간에 따른 과도 첩핑(chirping)을 시뮬레이션할 수 있다. 그림 8(a)는 진폭이 10mA이고 주기가 1μsec, 10nsec, 1nsec인 변조전류 펄스를 LD에 인가하였을 때의 과도 첩핑을 시뮬레이션한 것이다.

진폭이 10mA이고 주기가 1μsec, 10nsec, 1nsec인 변조전류 펄스를 이퀄라이저를 포함한 LD에 인가한 경우의 시간에 따른 과도 첩핑을 1차, 2차, 3차의 이퀄라이저에 대하여 시뮬레이션하였다. 그림 8의 (a)와 (b)-(d)를 비교해 보면 1μsec의 펄스에 대한 주파

수편오차가 1차, 2차, 3차 이퀄라이저에 의해 급격히 줄어들 것을 알 수가 있다. 100Mbit/sec의 랜덤한 데이터를 진폭이 2mA인 전류펄스로 변조하여 이퀄라이저를 사용한 경우와 사용하지않은 경우의 LD에 인가하였을 때의 주파수응답을 시뮬레이션하여 그 결과를 그림 9에 보였다. 2차 이상의 이퀄라이저를 사용하면 주파수편이 편차가 광 FSK 코히어런트 통신에 충분할 정도로 작아진다.

#### IV. 결 론

광 FSK 송신 시스템에서 LD-FM 변조특성에 의해 누화의 증가와 시스템 BER의 증가가 따르므로 이를 개선하기 위한 광 FSK 송신기의 설계가 요구된다. 따라서 본 논문에서는 개선된 광 FSK 송신기 설계를 위하여 저자가 이미 제시하여 발표한 바 있

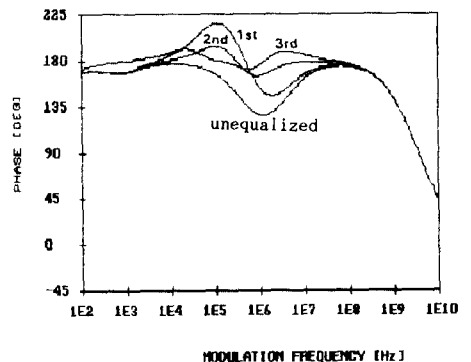


그림 7. 이퀄라이저를 사용한 경우의 FM 위상응답  
Fig. 7. FM phase response using equalizer.

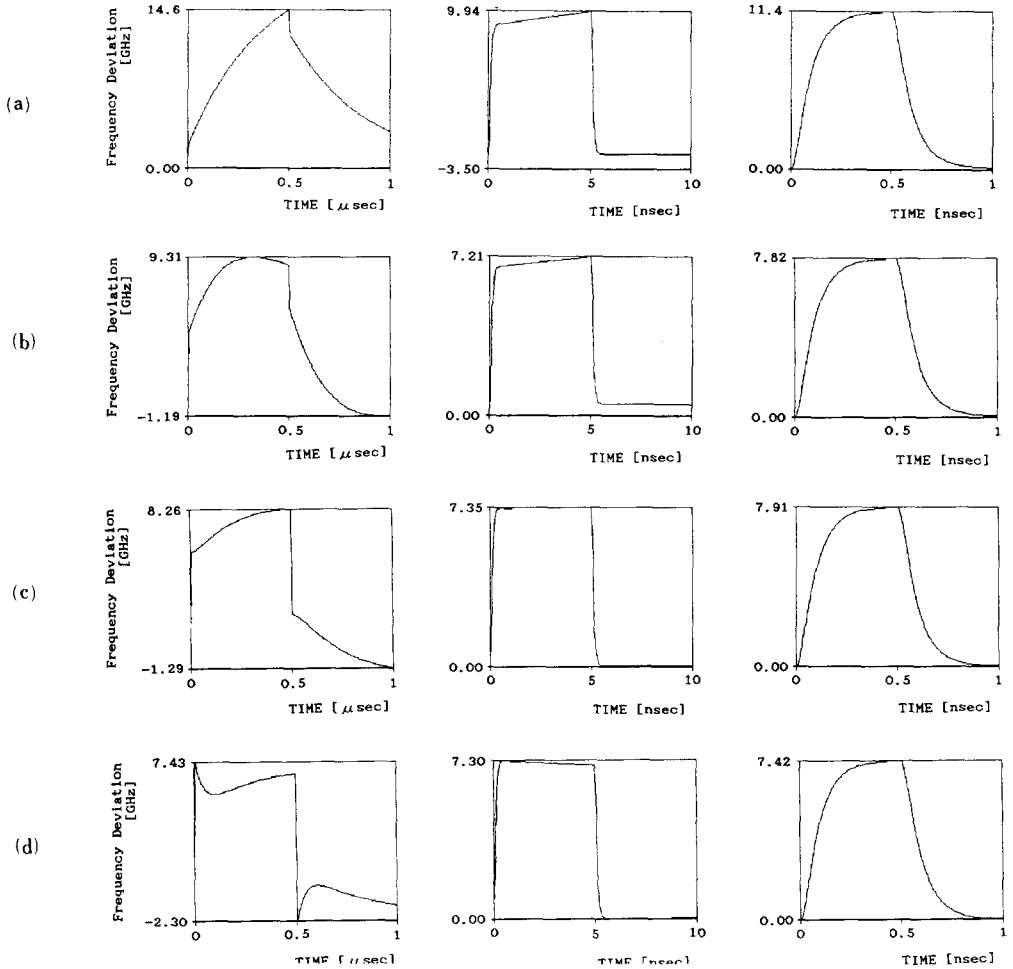


그림 8. 진폭이 10mA인 전류 펄스에 의한 주파수편이의 과도응답

- (a) 이퀄라이저를 사용하지 않은 경우
- (b) 1차 이퀄라이저를 사용한 경우
- (c) 2차 이퀄라이저를 사용한 경우
- (d) 3차 이퀄라이저를 사용한 경우

Fig. 8. Transient frequency deviation responses.

- (a) without equalizer,
- (b) with first order equalizer,
- (c) with second order equalizer,
- (d) with third order equalizer.

는 LD-FM 회로 모델을 이용하여 최적 바이어스 전류를 설정하고, 설정된 바이어스 전류에 대한 LD-FM 응답특성 개선을 위한 이퀄라이저를 설계하여 부가하므로써 광 FSK 송신기를 설계하였다. 설계된 광 FSK 송신기 시스템에 대하여 펄스 입력에 대한 과도응답, 소신호 주파수편이응답 및 의사 랜덤주기

의 펄스열에 대한 응답을 시뮬레이션하였다. 시뮬레이션 결과 이퀄라이저의 차수가 증가할수록 FM응답특성이 개선됨을 알 수 있었다. 2차 이상의 이퀄라이저이면 거의 일정한 FM 전달함수를 얻을 수 있으며 FM 전달함수의 위상이 보상되어짐을 보였다. 이퀄라이저를 사용하지 않은 경우에 비해 2차 이상의

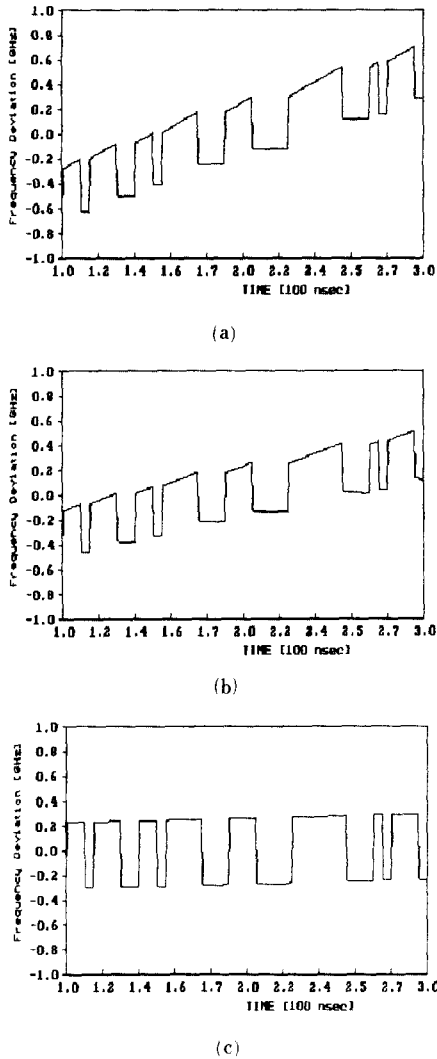


그림 9. 진폭이 2mA인 전류 펄스 데이터에 대한 주파수 응답  
 (a) 이퀄라이저를 사용하지 않은 경우  
 (b) 1차 이퀄라이저를 사용한 경우  
 (c) 2차 이퀄라이저를 사용한 경우

Fig. 9. Frequency response for current pulse data.  
 (a) without equalizer,  
 (b) with first order equalizer,  
 (c) with second order equalizer.

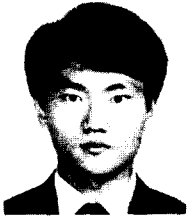
이퀄라이저를 사용하였을 때 변조 전류 펄스에 대한 FM응답 또한 매우 개선되었다. 따라서 본 연구에서 설계 제시한 광 FSK 송신기는 이퀄라이저가 사용되

지 않은 경우에 비하여 대단히 개선된 결과를 예측할 수 있었다.

參 考 文 獻

- [1] K. Emura, et al, "Novel optical FSK heterodyne single filter detection system, using a directly modulated DFB laser diode," *Electron. Lett.*, vol. 20, pp. 1022-1023, Nov., 1984.
- [2] S. Saito, et al, "Optical FSK signal detection in a heterodyne system using semiconductor lasers," *Electron. Lett.*, vol. 18, pp. 470-471, 1982.
- [3] J. Salz, "Coherent lightwave communications," *AT&T Technical Journal*, vol. 64, no. 10, pp. 2153-2209, Dec. 1985
- [4] T. Okoshi, "Recent advances in coherent optical fiber communication systems," *IEEE J. Lightwave Tech.*, vol. 5, no. 1, pp. 44-52, 1987.
- [5] R.S. Vodhanel, et al, "Bipolar optical FSK transmission experiments at 150Mbit/s and 1Gbit/s," *IEEE J. Lightwave Tech.*, vol. 6, no. 10, pp. 1549-1553, Oct., 1988.
- [6] S. Kobayashi, et al, "Direct frequency modulation in AlGaAs semiconductor lasers," *IEEE J. Quantum Elec.*, vol. 18, no. 4, pp. 582-595, Apr., 1982.
- [7] S.B. Alexander, et al, "Equalization of semiconductor diode laser frequency modulation with a passive network," *Electron. Lett.*, vol. 21, no. 9, pp. 361-362, Apr., 1985.
- [8] S.B. Alexander, et al, "Passive equalization of semiconductor diode laser frequency modulation," *IEEE J. Lightwave Tech.*, vol. 7, no. 1, pp. 11-23, Jan., 1989.
- [9] W.H. Hong, et al, "Circuit models for frequency modulation response of semiconductor lasers," *Electron. Lett.*, vol. 25, no. 9, pp. 591-592, 1989.
- [10] 소준호, 송우영, 김성환, 홍완희, "반도체 레이저의 주파수변조특성에 대한 등가회로 모델," *대한전자공학회지*, 제26권, 제6호, pp. 102-107, 1989.

著 者 紹 介



**朴 相 泳** (準會員)  
 1965年 9月 11日生. 1989年 2月  
 서울시립대학교 전자공학과 졸업.  
 1989年 3月~현재 서울시립대학  
 교 석사과정. 주관심분야는 코히  
 어런트 광통신 등임.

**蘇 俊 鎬** (準會員) 第26卷 第6號 參照  
 현재 국방과학연구소 근무

**洪 玩 憲** (正會員) 第25卷 第2號 參照  
 현재 서울시립대학교 전자공  
 학과 부교수



**李 揆 松** (準會員)  
 1965年 8月 16日生. 1989年 2月  
 서울시립대학교 전자공학과 졸업.  
 1989年 3月~현재 서울시립대학  
 교 석사과정. 주관심분야는 코히  
 어런트 광통신 등임.

**金 成 煥** (正會員) 第25卷 第2號 參照  
 현재 서울시립대학교 전자공  
 학과 부교수



**林 鎬 根** (準會員)  
 1964年 3月 7日生. 1989年 2月  
 서울시립대학교 전자공학과 졸업.  
 1989年 3月~현재 서울시립대학  
 교 석사과정. 주관심분야는 코히  
 어런트 광통신 및 신호처리 등임.