

論文2001-38SD-7-4

Mach-Zehnder 변조기를 이용한 Loop-back System (Loop-back System Using Mach-Zehnder Modulator)

金熙周*, 姜東星*, 田金洙*, 潘在景*

(Hee-Ju Kim, Dong-Sung Kang, Keum-Soo Jeon, and Jae-Kyung Pan)

요약

본 논문에서는 광원이 불필요하며 단일 광섬유를 통하여 양방향 전송이 가능한 BS(base station)용 광송수신기 모듈을 제안한다. 본 논문에서 제안하는 방식에서는 BS의 송신단에서 Ring type으로 구성된 Mach-Zehnder 변조기의 양방향 변조를 이용하여 CO(central office)에서 제공된 광원을 변조하여 다시 CO로 전송한다. Ring 타입으로 구성된 변조기의 등가모형을 도출하였으며, 등가모형과 측정결과가 매우 잘 일치함을 확인할 수 있었다. 또한 Ring type에서 Mach-Zehnder 변조기의 광학적인 대칭이 RF 신호 전송 특성에 중요한 영향을 미침을 확인할 수 있었다.

Abstract

In this paper, we propose optical subcarrier multiplexing(SCM) transceiver module for base station(BS) that has no optical source and can be used for full-duplex communication over single optical fiber. In this method we retransmit optical modulated signal to the central office(CO) using loop-back system with a ring type Mach-Zehnder modulator(MZM) in BS, where optical source is transmitted from the CO. We have modeled the ring type MZM and were conformed that the measured results were in good agreement with the modeling. In the ring type MZM, the optical symmetric position of the MZM is very important in RF signal transmission.

I. 서론

광섬유통신은 장거리 전송분야에서 괄목할만한 성장을 이루고 있으며 현재는 LAN, CATV망 및 다중가입자망 등의 광대역 신호 전송에 적용하기 위한 많은 연구가 이루어지고 있다. 특히, 이동통신과 같은 무선 데이터 전송에 전기적으로 주파수 다중화된 초고주파나 밀리미터파 대역 신호를 광을 이용하여 전송하는 광 SCM(subcarrier multiplexing)에 대해 많은 연구가 이

루어지고 있다.^[1,2]

이동통신용으로 광 SCM을 이용하여 무선 데이터를 전송하는 시스템의 경우, 무선 광대역 전송과 늘어나는 가입자를 수용하기 위해서는 안테나에서 송수신되는 전력을 낮추어 기존의 macrocell을 microcell로 구현하거나 반송주파수를 수십 GHz 대역의 밀리미터파를 이용하여 microcell 또는 picocell로 구현해야 한다.^[3] 이와 같이 cell이 작아질 경우 하나의 CO(central office)에 많은 수의 BS(base station)이 연결된다. 따라서 BS의 구조를 간단하게 하여 설치 단가를 낮추는 일은 시스템 구성에 매우 중요하다.^[4,5] 광섬유를 이용하여 CO와 BS를 연결할 경우 중요 신호처리 장비를 CO에 중앙집중화 함으로써 BS의 설치 단가를 낮출 수 있는 매우 큰 장점이 있다.

BS의 구조를 간략화 할 수 있는 송수신 방식에 대해 많은 연구가 이루어지고 있으며, 그 중의 하나로 BS에서 광원을 제거할 수 있는 방식이 제안되고 있다. 이

* 正會員, 全北大學校 電子情報工學部

(Division of Electronics and Information Engineering Chonbuk National Univ.)

※ 본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(2000-1-30200-007-3)지원으로 수행되었음.

接受日字:2001年2月22日, 수정완료일:2001年6月11日

경우 BS에서 필요한 광원은 CO에서 제공되며 이 때 사용되는 광원은 EDFA등을 통해 고출력으로 증폭되어 BS에 분배된다. 광 SCM과 WDM을 결합한 WDM/SCM은 각 파장별로 광 SCM을 이용하여 데이터를 송수신할 수 있어 사용된 파장만큼 전송용량을 증가시킬 수 있으며, 시스템의 유지, 보수, 관리가 수월해진다.⁶⁾ 고밀도 파장 다중화 방식인 Dense WDM(DWDM)을 이용하여 시스템 용량을 증가시킬 경우 이에 필요한 광원은 온도 변화와 같은 외부환경 변화에도 안정된 광파장을 제공해야 하므로 광원 자체와 부가적인 안정화 시스템으로 인해 시스템 비용이 증가한다. 이를 이용하여 microcell 또는 picocell에 기반한 이동통신에 적용할 경우 cell 반경의 감소에 따른 수많은 BS에 DWDM용 광원을 갖추어야 하는데 이것은 매우 비경제적이 된다. 따라서 광원을 제거할 수 있는 BS의 구현은 고밀도 WDM/SCM 구현에도 매우 중요한 역할을 할 것이다.

현재까지 BS에서 광원을 제거하기 위한 제안된 방식들은 CO와 BS사이에 양방향 통신을 하기 위해서는 두 가닥의 광섬유를 필요로 한다. 본 논문에서는 단일 광섬유를 이용해 full-duplex 통신이 가능한 새로운 BS용 광송수신기 모듈을 제안한다.

본 논문에서 제안하는 방식은 반전력 분배기와 MZM(Mach-Zehnder modulator)을 Ring type으로 구성하여 CO에서 BS에 제공된 광원을 변조하여 이를 다시 동일 광섬유를 거쳐 CO에 전송한다. 특히 이 방식에서는 MZM의 순방향과 역방향 변조 방식을 동시에 이용함으로써 광전력 손실을 최소화할 수 있다. Ring type의 구성을 해석하기 위해 등가모델을 도출하였으며, 실험결과와 등가모델에 의한 결과가 매우 잘 일치함을 확인할 수 있었다. 또한 Ring type 구조에서 MZM의 광학적 대칭위치가 RF 신호 전송특성에 중요한 영향을 미침을 확인할 수 있었다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서 본 연구에서 제안하고자 하는 BS용 광송수신기 모듈 구조에 대한 이론적 배경과 모델링에 대해 설명하고, 3절에서는 모델링과 실험결과의 비교를 보이고, 끝으로 4절에서 결론을 맺는다.

II. BS용 광송수신기의 구조 및 모델링

그림 1은 하나의 광섬유를 이용하여 CO와 BS 사이의 데이터 전송을 위한 loop-back 시스템의 개략적인

구성도이다. CO에서 하향 데이터는 MZM에 의해 하향 데이터 전송용 광원 λ_1 을 변조하여 BS으로 전송하고, 상향 데이터 전송을 위해 BS에서 필요한 광원 λ_2 는 그림에서 보는 것처럼 CO에서 반전력 분배기를 이용하여 BS로 전송한다. BS에서는 WDM 소자에 의해 하향 데이터를 포함한 λ_1 은 수신기로 입사되어 RF 신호로 복원되고, 상향 데이터는 CO에서 보내진 λ_2 를 이용하여 BS용 광송수신기에서 변조되어 CO로 다시 전송된다.

그림 2는 본 논문에서 제안하는 BS에서 적용 가능한 광원이 없는 광송수신기 구조(그림 1의 점선 부분을) 보이고 있다. 그림 2는 MZM의 양방향 변조를 이용하는 방식으로, 하향데이터를 전송하는 λ_1 은 WDM을 거쳐 PD로 바로 수신되고, 상향데이터용 광파장은 CO에서 λ_2 로 전송하고 BS에서 WDM에 의해 반전력 분배기로 진행하고 MZM의 양방향으로 진행하면서 RF에 의해 변조된다. 변조된 광신호는 다시 반전력 분배기를 통해 결합하여 CO로 전송된다. 따라서 BS에서는 광원이 제거되고 하나의 광섬유로 양방향 전송이 가능하게 된다.

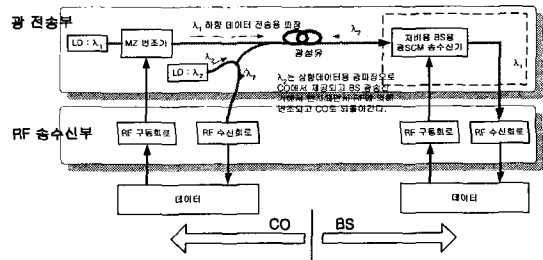


그림 1. 광섬유를 이용한 CO와 BS의 데이터 전송 시스템

Fig. 1. Data transmission system between CO and BS over optical fiber.

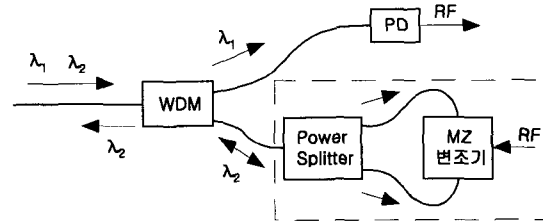


그림 2. 본 연구에서 제안하는 양방향 변조를 이용한 BS용 송수신기 구조

Fig. 2. Proposed transceiver module for BS using bidirectionally-modulation of MZM.

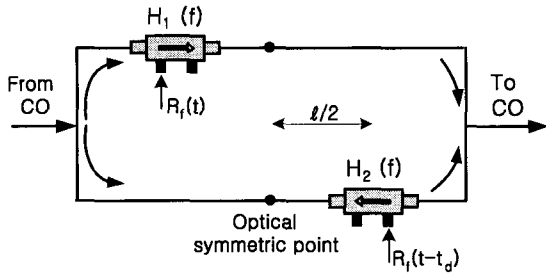


그림 3. 양방향 변조를 이용한 광송신기의 등가 모델
Fig. 3. Equivalent model for optical transmitter using bidirectionally-modulation.

그림 2의 점선부분의 변조과정은 등가적으로 그림 3과 같이 생각할 수 있다. 그림 2에서 시계방향으로 진행하면서 변조되는 광은 그림 3에서 위 부분에 해당하고 반시계 방향은 그림 3의 아래부분에 해당된다. 따라서 변조기가 2개 있는 것으로 생각할 수 있다. 여기에서 사용된 변조기는 진행파형 MZM^[7]이며 그림에서 MZM 내부의 화살표 방향은 진행파형 MZM이 설계된 입력단을 나타내며 화살표 방향으로 광이 입력되면 순방향 변조를 하게된다. 시계 방향으로 진행하는 광은 RF와 같은 방향으로 진행하는 순방향 변조가 되고 반시계 방향으로 진행하는 광은 RF와 서로 반대로 진행하는 역방향 변조 상태가 된다. 일반적으로 주파수가 낮을 때 순방향이나 역방향의 경우 비슷한 변조특성을 보이고, 주파수가 증가하면 순방향에 비해 역방향의 변조 특성이 -15dB 이하로 떨어진다.

광학적인 관점에서 반대 방향으로 진행하는 두 광은 동일한 경로를 진행하므로 광 전력 분배기에서 상호 결합하면서 보강간섭을 일으키게 된다. 그러나 RF 주파수 영역에서 살펴보면 MZM의 위치에 따라 변조 특성이 크게 변하게 된다. 만약 MZM이 Ring type에서 정확히 대칭적 위치에 있지 않을 경우는, 그림 3과 같이 시계 방향으로 진행하는 광은 R₁(t) 신호에 의해 변조되고 반시계 방향으로 진행하는 광은 비대칭 길이에 해당하는 t_d만큼 지연된 R₁(t-t_d)에 의해 변조된다. 따라서 Ring type 에서 MZM을 거쳐 R₁(t)에 의해 변조된 출력 C(t)의 주파수 영역에서의 C(f)는 식 (1)과 같이 쓸 수 있다.

$$C(f) = R_f(f)H_1(f) + R_f(f)e^{-j2\pi ft_d}H_2(f) \quad (1)$$

$$= R_f(f)[H_1(f) + e^{-j2\pi ft_d}H_2(f)]$$

여기에서 H₁(f)는 MZM의 순방향 변조 전달함수이고 H₂(f)는 MZM의 역방향 변조 전달함수이다. 식 (1)에서 Ring type의 전체 등가 전달함수는 식 (2)와 같다.

$$H(f) = H_1(f) + e^{-j2\pi ft_d}H_2(f) \quad (2)$$

변조 주파수가 낮은 경우 그림 3의 두 MZM의 전달함수, 즉 순방향과 역방향 전달함수는 동일하다고 가정할 수 있다. 만약 그림 2에서 MZM의 위치가 대칭되는 위치에 있다고 한다면, 전체 전달함수는 식 (3)과 같다. 따라서 전달함수의 형태는 변하지 않는다.

$$H(f) = H_1(f) + H_2(f) = 2H_1(f) \quad (3)$$

그러나 MZM이 대칭되는 위치에 있지 않을 경우 그림 3에서 보는 것처럼 한 쪽 변조기의 출력은 다른 쪽에 비해 t_d만큼 지연된 신호에 의해 변조된다. 식 (2)에서, t_d는 그림 3의 위 부분과 아래부분의 RF 신호의 경로차에 의한 시간 지연을 나타내고 있으며, 식 (4)와 같은 관계를 갖고 있다.

$$t_d = \frac{l}{v} = \frac{n_{eff} l}{c} \quad (4)$$

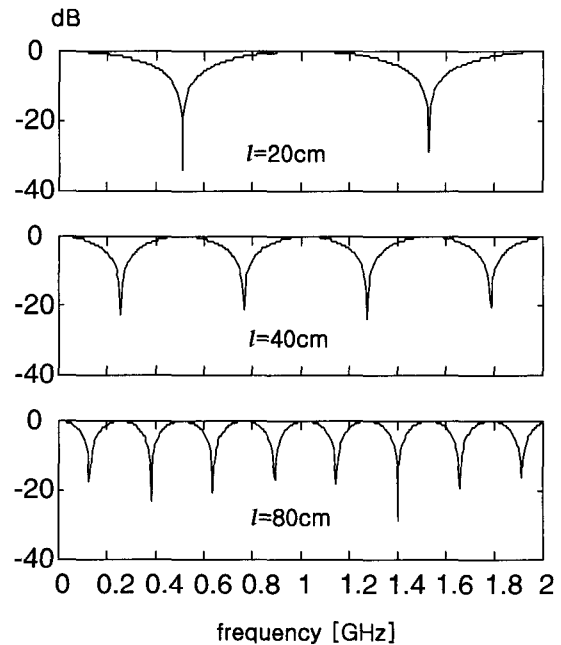


그림 4. 광경로차에 의한 전달함수특성
Fig. 4. Transfer characteristics for optical path differences.

식 (4)에서, l 은 광경로차에 해당하는 광섬유의 길이이고, n_{eff} 는 광섬유 내에서 광이 느끼는 유효굴절률, c 는 진공에서 빛의 속도이다. 식 (2)에서 전달함수 $H_1(f)$ 와 $H_2(f)$ 가 동일하지 않은 경우에는 지연이 어느 쪽에 있는가에 따라 전체 전달함수 $H(f)$ 는 다른 모양이 된다. 그림 4는 $H_1(f)$ 와 $H_2(f)$ 가 동일한 경우 대칭점에서 어긋난 정도 l 에 따른 전달함수 $(1 + e^{-j\omega l})$ 의 크기를 보여주고 있다. 그림에서 볼 수 있는 것처럼 MZM의 위치가 대칭에서 벗어나는 경우 전달함수에서 ripple이 발생함을 알 수 있다. 따라서 MZM의 위치는 매우 중요하다.

III. 실험 결과 및 고찰

본 논문에서 양방향 변조를 이용한 송수신을 실험하기 위하여 광원은 1550nm를 이용하였고, MZM은 Sumitomo에서 제작한 변조기로, 1550nm에서 $V_{\pi}=3.8V$, 삽입 손실이 약 5dB 특성을 나타내었다. 광수신기로는 1.5 μm 대역에서 20GHz까지 수신이 가능한 PIN-PD를 이용하였으며, 수신된 신호는 20dB증폭기를 이용하여 증폭하였다. RF 주파수는 50MHz에서 6GHz까지 측정하였다. 그림 5는 가변파장레이저(tunable laser source : TLS)와 편광조절기(polarization controller : PC), MZM, 광수신기(photo detector : PD)와 회로망 분석기로 구성된 MZM의 변조특성 측정 시스템을 보이고 있다.

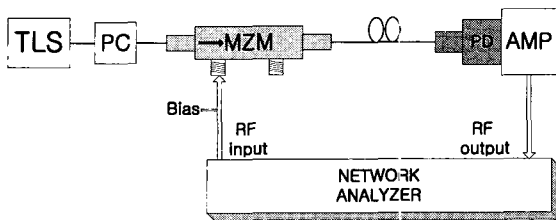
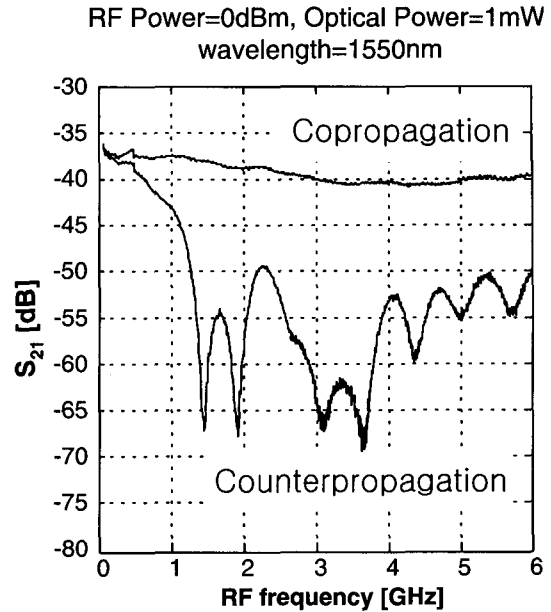
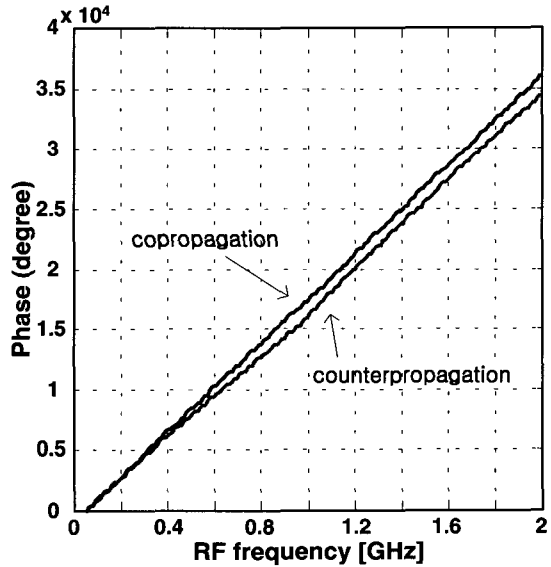


그림 5. MZM의 변조특성 측정 시스템
Fig. 5. Setup for modulation characteristics measurement of Mach-Zehnder modulator.

그림 6(a)는 MZM의 순방향과 역방향의 변조특성 (S_{21})을 측정한 결과이다. 그림에서 보면 주파수가 증가할수록 순방향에 비해 역방향의 변조특성이 급격히 감소함을 알 수 있다. 또한 500MHz이하에서 순방향과 역방향에 대해 거의 동일한 전달 특성을 보인다. 그림 6(b)는 순방향과 역방향의 위상특성을 나타내고 있다.



(a)



(b)

그림 6. MZ 변조기의 순방향 및 역방향 변조 특성 (a) 크기특성 (b) 위상특성

Fig. 6. Co- and counterpropagation modulation characteristics of Mach-Zehnder modulator. (a) Magnitude spectrum (b) Phase spectrum.

그림 7(a)는 광섬유 방향성 결합기와 MZM으로 구성된 Ring type의 MZM 구조를 보이고 있다. TLS에서 제공된 광은 서큘레이터에 의해 Ring type MZM로 진행하고 Ring type MZM에서 변조된 광은 다시 이 서큘

레이터에 의해 PD로 수신된다. 그림 7(b)에서 실선은 회로망 분석기를 이용하여 측정된 전체전달 함수의 크기특성을 나타내고, 원점은 그림 6의 결과인 순방향과 역방향 변조의 전달함수 $H_1(f)$ 와 $H_2(f)$ 을 이용하여 식 (2)에 의해 계산한 값을 나타내고 있다. 그리고 실선은 측정된 위상특성을 나타내며 측정된 주파수 영역에서 선형적으로 양호한 특성을 보임을 확인할 수 있다. 식 (2)를 이용하여 전체 전달함수를 계산하는 과정에서 t_d 값을 변화시켜 가며 측정치와 상관계수가 가장 클 때의 값을 구하여 전달함수를 계산했다. 계산 결과 가장 큰 상관계수 값은 $t_d=4.7 \times 10^{-12}$ s 일 때였다. 그림 7(a)는 대칭적인 구조를 이루고 있으나 MZM의 입력측에 사용된 편광유지(PM) 광섬유와 출력측에 사용된 일반 단일모드 광섬유의 유효굴절률차와 광섬유 방향성 결합기를

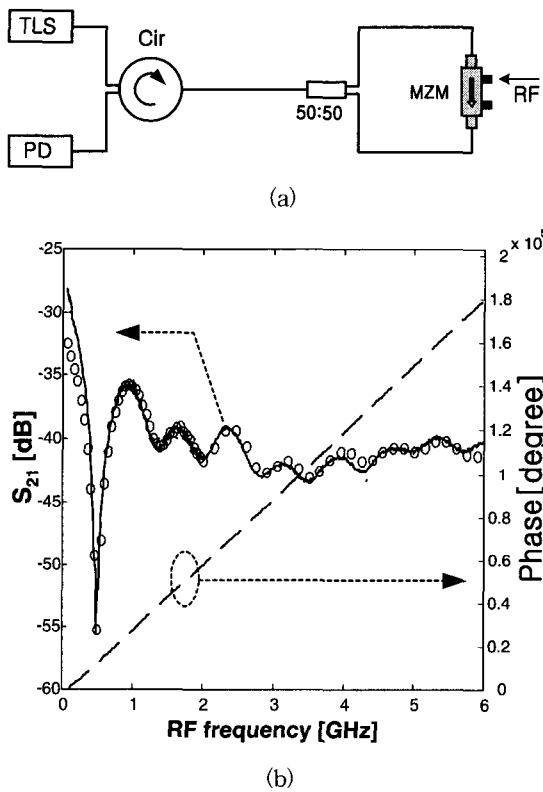


그림 7. (a) Ring type 송신기 변조 특성 측정 시스템 (b) 변조 크기특성 측정결과(실선), 계산결과 (o) 및 위상특성(점선)

Fig. 7. (a) Setup for ring type transmitter modulation characteristics (b) Measured (solid line) and calculated(o) magnitude spectrum, and measured phase spectrum(dashed line).

구성하고 있는 광섬유의 길이 차에 의해 정확하게 광학적으로 대칭되는 위치에 있지 못해 발생하는 지연값이다.

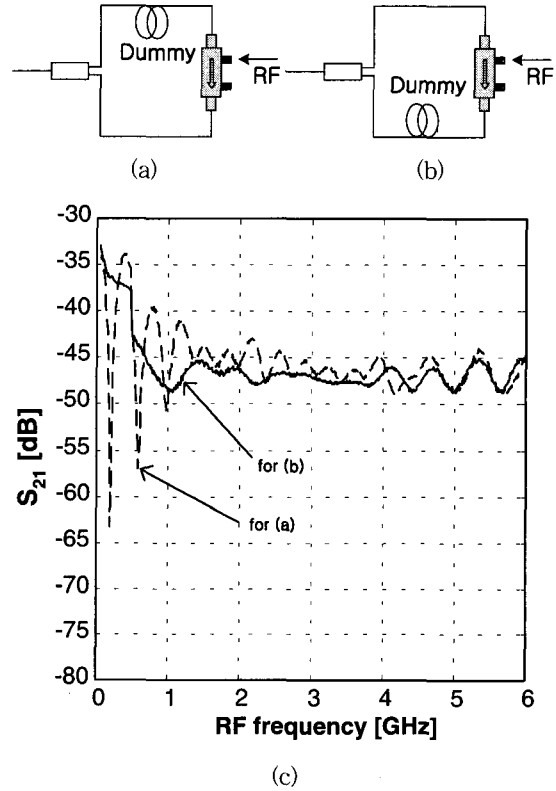


그림 8. (a) MZM의 입력측에 dummy fiber를 첨가한 Ring type 송신기 (b) MZM의 출력측에 dummy fiber를 첨가한 Ring type 송신기 (c) 측정결과

Fig. 8. (a) Ring type transmitters with dummy fiber in input of MZM (b) Ring type transmitters with dummy fiber in output of MZM (c) Measured results.

그림 8은 양방향 변조에서 30cm 길이의 다중모드 광섬유를 한쪽에 첨가하여 지연값 t_d 를 크게 한 경우의 측정치를 보이고 있다. 그림 8(a)는 입력측에 그림 8(b)는 출력측에 dummy 광섬유를 첨가하였으며, 두 경우 MZM의 대칭점에서 어긋난 정도는 같다. 즉 t_d 값은 같은 값을 갖는다. 그러나 2절에서 설명한 것처럼 $H_1(f)$ 와 $H_2(f)$ 의 전달함수가 다르기 때문에 지연값을 어디에 주는가에 따라 전체 전달함수의 모양은 달라진다. 그림 8(c)에서 점선은 그림 8(a), 실선은 그림 8(b)의 전체 전달 함수 $H(f)$ 의 측정된 결과를 보이고 있다. 두 경우가 똑같은 지연값을 갖지만 전체 전달함수 $H(f)$ 가

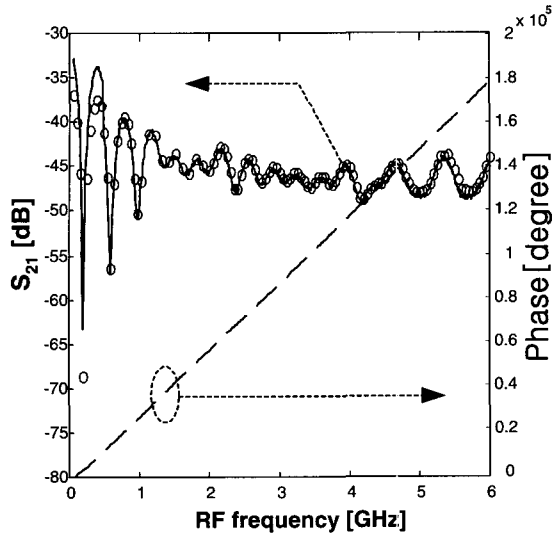


그림 9. 그림 8(a)에 대한 변조 크기특성 측정결과(실선), 계산결과(o) 및 측정된 위상특성(점선)
 Fig. 9. Measured(solid line) and calculated(o) magnitude spectrum, and measured phase spectrum(dashed line) of setup for figure 8(a).

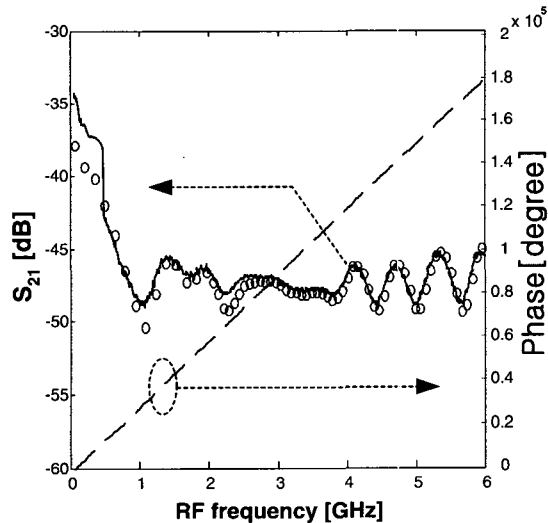


그림 10. 그림 8(b)에 대한 변조 크기특성 측정결과(실선), 계산결과(o) 및 측정된 위상특성(점선)
 Fig. 10. Measured(solid line) and calculated(o) magnitude spectrum, and measured phase spectrum(dashed line) of setup for figure 8(b).

크게 다른 특성을 갖는다. 그 이유는 식 (2)의 전체 전달함수 $H(f) = H_1(f) + e^{-j2\pi f t_d} H_2(f)$ 에서 위상지연 성분인 $e^{-j2\pi f t_d}$ 가 순방향 및 역방향 전달함수의 어느 쪽에 위치하는가에 따라 전체 전달함수의 특성이 달라지게

때문이다. 즉 그림 8(a)는 $e^{-j2\pi f t_d}$ 가 순방향 전달함수 $H_1(f)$ 에 곱해진 경우이며, 그림 8(b)는 $e^{-j2\pi f t_d}$ 가 역방향 전달함수 $H_2(f)$ 에 곱해진 경우이다. 그림 6(a)에서 순방향 전달함수 $H_1(f)$ 가 역방향 전달함수 $H_2(f)$ 보다 매우 큰 값을 가지기 때문에, 위상지연 성분 $e^{-j2\pi f t_d}$ 가 더 큰 전달함수 $H_1(f)$ 에 곱해질 경우(dummy 광섬유를 입력측력 삽입한 경우) 그림 8(c)에서처럼 더 큰 리플이 발생하게 된다.

그리고 그림 8(a)의 비대칭형으로 구성된 Ring type에서 그림 7(b)의 dummy 파이버가 첨가되지 않은 대칭형의 경우보다 리플이 적게 나타나는 현상을 확인할 수 있다. 특히 그림 7(b) 측정치와 계산치 결과의 500MHz 주파수 근방에서 변조특성이 크게 줄어든다. 이것은 비대칭성의 경로차에 의해 발생하는 t_d 에 의한 ripple이 아니라, 변조기의 순방향과 역방향 변조특성에서 주파수에 따른 위상변화의 기울기가 그림 6(b)에서처럼 다르기 때문에 발생하는 현상이다. S_{21} 의 크기가 동일하고 $t_d=0$ 이더라도 순방향과 역방향의 위상이 180°만큼 차이가 나면 식 (2)에서 $H_2(f) = -H_1(f)$ 가 되므로 이 주파수에서 전달함수의 크기특성이 크게 줄어들게 된다. 나머지 주파수에서도 비슷한 현상이 발생한다. 그러나 그림 8(b)의 경우에는 식 (2)의 $H(f) = H_1(f) + e^{-j2\pi f t_d} H_2(f)$ 에서 $H_1(f)$ 와 $H_2(f)$ 의 특성이 매우 다르기 때문에 나타나는 현상이다.

그림 9와 그림 10은 각각 그림 8(a)와 그림 8(b)의 측정치에 대해 가장 상관계수 값이 클 때의 t_d 를 이용하여 계산한 전달함수와 측정된 전달함수를 비교한 것이다. 계산된 t_d 는 첨가된 30cm의 다중모드 광섬유에 의한 시간 지연과 같은 값을 얻을 수 있었다. 그림 9와 그림 10의 결과에서 측정치와 등가모델이 매우 잘 일치함을 알 수 있고, 측정된 위상특성도 선형적으로 양호한 결과를 보이고 있다. 그림 8과 같이 MZM이 광학적 대칭점에서 어긋나는 정도가 커지게 되면 ripple의 주기가 감소하여 더 많은 ripple이 발생하게 된다. 또한 Ring type 구조에서 MZM의 광학적 대칭위치가 RF 신호 전송특성에 중요한 영향을 미침을 확인할 수 있다.

IV. 결론

본 논문에서는 BS의 송신단에서 Ring type으로 구성

된 MZM의 양방향 변조를 이용하여 광원이 불필요하며 단일 광섬유를 통하여 양방향 전송이 가능한 BS용 광 송수신기 모듈을 제안하였다. 또한 Ring type으로 구성된 변조기의 동작모형을 도출하였다. 실험결과, 동작모형과 측정결과가 매우 잘 일치함을 확인할 수 있었으며, Ring type에서 MZM의 광학적인 대칭이 RF 신호 전송 특성에 중요한 영향을 미침을 확인할 수 있었다. 향후 본 연구에서 제안한 방식을 이용하여 CNR, BER 등 RF 신호전송 특성에 대한 연구와 편광이 시스템 성능에 미치는 영향 등의 연구를 수행할 예정이다.

참 고 문 헌

[1] B. Wilson, Z. Ghassenlooy, and I. Darwazeh, Analogue Optical Fibre Communications, IEE Telecommunications series 32, 1995.
 [2] T. E. Darcie, "Subcarrier Multiplexing for Multiple-Access Lightwave Networks," J. Lightwave Technol., vol. 5, no. 8, Aug. 1987.
 [3] T. Kuri, K. Kitayama, A. Stöhr, and Y. Ogawa, "Fiber-Optic Millimeter-Wave Downlink System Using 60 GHz-Band External Modulation," J. Lightwave Technol., vol. 17, no. 5, pp. 799~806, May 1999.

[4] A. Nirmalathas, C. Lim, D. Novak, and R. Waterhouse, "Optical Interfaces without Light Sources for Base-Station Designs in Fiber-Wireless Systems Incorporating WDM," Proceedings of the International Topical Meeting on Microwave Photonics, pp. 119~122, 1999.
 [5] T. Kuri, K. Kitayama, and Y. Takahashi, "60-GHz-Band Full-Duplex Radio-On-Fiber System Using Two-RF-Port Electroabsorption Transceiver," IEEE Photon. Technol. Lett., vol. 12, no. 4, pp. 419~421, Apr. 2000.
 [6] H. Wojtunik, "Apply Optical WDM To Wireless Systems," Microwaves & RF, vol. 38, no. 13, pp. 177~183, Dec. 1999.
 [7] G. K. Gopalakrishnan, W. K. Burns, R. W. McElhannon, C. H. Bulmer, and A. S. Greenblatt, "Performance and modeling of broadband LiNbO₃ traveling wave optical intensity modulators" J. Lightwave Technol., vol. 12, no. 10, pp. 1807~1819, Oct. 1994.

저 자 소 개

金 熙 周(正會員)

1971년 1월 23일생. 1993년 2월 전북대학교 전기공학과 학사. 1995년 2월 동대학원 전기공학과 석사. 현재 동대학원 전기공학과 박사과정. 주관심분야는 광통신용 광 집적소자 설계 및 제작, 광전송시스템, 광/무선 통신시스템 등임

姜 東 星(正會員)

1968년 9월 26일생, 1993년 2월 전북대학교 전기공학과 학사. 1995년 2월 동대학원 전기공학과 석사. 1999년 8월 동대학원 전기공학과 박사과정 수료, 현재 (주)젠포토닉스 주임연구원. 주관심 분야는 광통신용 폴리머 광 집적소자 설계 및 제작, 유리집적광학, 광도파로 해석 등임

田 金 洙(正會員)

1972년 7월 16일생. 1995년 2월 전북대학교 전기공학과 학사. 1997년 2월 동대학원 전기공학과 석사. 현재 동대학원 전기공학과 박사과정. 주관심분야는 광통신용 광 집적소자 설계 및 제작, 광도파로 해석, 광전송시스템, 광/무선 통신시스템 등임

潘 在 景(正會員)

1956년 2월 19일생. 1980년 2월 연세대학교 전기공학과(공학사). 1982년 2월 연세대학교 대학원 전자공학과(공학석사). 1987년 8월 동대학원 전자공학과(공학박사). 1987년 5월-현재 전북대학교 전자정보공학부 교수, 전북대학교 전기전자회로합성연구소 연구원, 전북대학교 정보통신연구소 연구원. 1991년 1월-1992년 1월 미국 Ohio 주립대 전기공학과 객원연구원. 주관심 분야는 광통신용 소자, 집적광학소자, 광/무선 통신시스템 등임