

피드포워드 보상기법을 이용한 2.4 GHz 대역용 FP-LD 광송신기 제작 및 송신기 집적화를 위한 CMOS 회로 설계

Fabrication of Feedforward Optical Transmitter for WLAN and Design of CMOS Circuit for Integration

장준우*, 문연태, 김도균, 최영완
(Jun Woo Jang, Yon Tae Moon, Do-Kyun Kim and Young-Wan Choi)

Abstract: RoF 링크 시스템을 적용한 무선 근거리 통신망(IEEE 802.11b/g)의 중심 주파수 대역인 2.4 GHz에서 저가의 Febr-Perot 레이저 다이오드를 이용한 피드포워드 광송신기를 제작 및 측정 하였다. 제작된 피드포워드 광송신기의 측정 결과는 2.4 GHz에서 주신호의 간격이 10 MHz이고 크기가 -4 dBm인 입력 신호에서 피드포워드 보상기법을 적용하기 전보다 3차 상호 변조 왜곡 신호가 22.9 dB 개선되었다. 제작된 피드포워드 광송신기의 전자소자의 사양을 바탕으로 송신기 집적을 위한 RFIC회로(감쇄기, 증폭기)를 0.18 μm 공정을 이용하여 설계하였다.

Keywords: Radio-over-Fiber, analog optic link, Feedforward compensation, optical transmitter

I. 서론

통신 시스템 그리고 노트북이나 핸드폰 같은 통신 기기의 발전에 따라 사용자들은 높은 Data rate와 넓은 대역폭을 가진 고속의 통신 서비스를 요구하고 있다. 높은 속도와 쉽고 편리한 서비스 접속을 제공하는 근거리 무선 통신망(WLAN)은 이러한 서비스들 중 하나이다. WLAN의 중계기는 많은 지역에 설치 되었지만 IEEE802.11a, 11b, 11e, 그리고 11i와 같은 여러 가지 표준을 동시에 사용하고 있어서 동축 케이블에서 사용 될 때 심각한 상호 신호 간섭을 일으킬 수 있다. RoF 링크를 이용한 WLAN 시스템은 이 문제를 해결 할 뿐만 아니라 높은 가격 및 장비의 분산화에 따른 문제를 해결 할 수 있는 대안으로 제안되었다. [1]

RoF 링크 시스템의 특성은 광 소자의 선형성에 의해 큰 영향을 받는다. 그리고 광 소자의 가격은 전체 시스템의 가격을 결정하는 중요한 요소로 작용한다. 그러므로 RoF 링크 시스템 구축에 있어 동작 특성이 뛰어나고 낮은 가격을 가진 광 소자를 사용하는 것이 중요하다. WLAN처럼 송신기의 동작 범위가 넓지 않은 서비스에서는 광송신기의 사이즈 역시 중요한 요소로 작용한다.

Distributed feedback laser diode(DFB-LD)는 높은 선형성과 잡음 특성으로 인해 기존의 RoF 링크 시스템에서 광/전 소자로 선호 되어왔지만 DFB-LD는 여전히 높은 가격을 유지하고 있다. 따라서 낮은 가격의 Febr-Perot laser diode(FP-LD)를 사용하는 것은 RoF링크를 기반으로 하는 WLAN 시스템 구축 비용 감소 효과를 가져올 수 있다. 하지만 Uncooled FP-LD의 성능은 DFB-LD의 성능만큼 좋지 않다. 직접 변조하는 FP-LD의 L-I곡선은 비선형적인 특성을 가지고 있기 때문에 기준 주파수 성분의 고조파 왜곡(HD) 또는 상호변조 왜곡(IMD) 성분이 발생하여 신호를 수신 할 때 간섭 잡음으로 발생하여 성능을 저하 시킨다. 이러한 레이저 다이오드의 선형성 문제를 개선하기 위해 백오프(Back-off), 전치왜곡(Predistortion), 그리고 피드포워드 보상 기법(Feedforward

Compensation) 등이 사용 된다. 피드포워드 방식은 광 대역에 걸쳐 높은 수준의 선형성 개선을 가져오고 외부 환경의 변화에도 강한 특성을 보이고 있다. 광 피드포워드 기법은 이미 여러 문헌을 통해 소개된바 있다. [2, 3]

광 피드포워드 기법은 비선형적인 광 신호를 전자소자들을 이용하여 전기적으로 신호를 상쇄하여 선형성을 개선하는 방식이다. 각각의 신호들은 송신기 내부에서 각각 시간적인 지연 특성을 가지면서 합쳐지게 된다. 이 때 정확한 결과를 얻기 위해서는 각각의 지연특성이 같아야 하므로 광 소자와 전자 소자 중 한 부분에서 큰 지연 특성을 가지고 있다면 다른 소자 역시 같은 지연 특성을 갖게 설계되어야 한다. 이러한 지연 특성들은 신호가 통과하는 길이로 나타나고, 광 송신기의 전체적인 크기에 영향을 미치게 된다.

기존의 제작된 피드포워드 광송신기는 감쇄기와 증폭기 같은 전자소자들을 하이브리드 형태로 제작 하였고 이로 인해 작지 않은 지연 시간을 가지고 있었다. 전자소자들을 CMOS 회로를 이용하여 RFIC로 설계 하는 것은 전자소자들의 크기를 획기적으로 줄여 지연특성을 작게 만들어 줄 수 있고, 결과적으로 광 송신기의 크기를 기존의 것보다 작게 제작 할 수 있는 이점을 얻을 수 있다.

본 논문에서는 FP-LD의 성능 개선을 위해 피드포워드 보상 기법을 적용한 광 송신기를 제작 하였고, 제작된 광 송신기의 결과를 바탕으로 광 송신기 제작에 필요한 전자소자들을 0.18 μm CMOS 공정을 이용하여 설계 하였다.

II. 본론

광 피드포워드 송신기

피드포워드 광 송신기는 신호 상쇄 루프와 에러 상쇄 루프, 두 개의 상쇄 루프를 가지고 있다. 신호 상쇄 루프는 임의의 크기를 가진 RF 입력 신호가 임의의 인가전류 조건에 의하여 첫 번째 레이저 다이오드(LD1)에서 출력된 비선형 왜곡

성분을 포함한 광 신호를 광 커플링 한 후 변환된 RF 신호와 LD1에 입력되기 전의 RF 신호를 벡터적으로 결합함으로써 LD1으로 인하여 발생한 성분들 중 비선형 왜곡 성분만을 추출하는 역할을 한다. 여러 상쇄 루프에서는 신호 상쇄 루프를 거친 비선형 왜곡 성분만을 두 번째 레이저 다이오드(LD2)를 이용하여 전/광 변환하여 LD1에서 출력된 비선형 왜곡 성분을 포함한 광 신호와 광 커플링을 통하여 결합하여 송신한다. 이 실험에서 최대의 3rd-IMD 개선 효과를 보이기 위해서는 LD1으로부터 발생하는 비선형 왜곡 성분과 출력된 선형화 보상을 위한 여러 신호 성분이 같은 크기와 180도 위상 차이를 가져야 하고, 두 신호가 벡터적으로 합성되어야 비로소 비선형 왜곡 성분을 감소 혹은 제거할 수 있게 된다. 또한 제안된 광 송신기에서는 레이저 다이오드 고유의 잡음 성분도 제거된다.

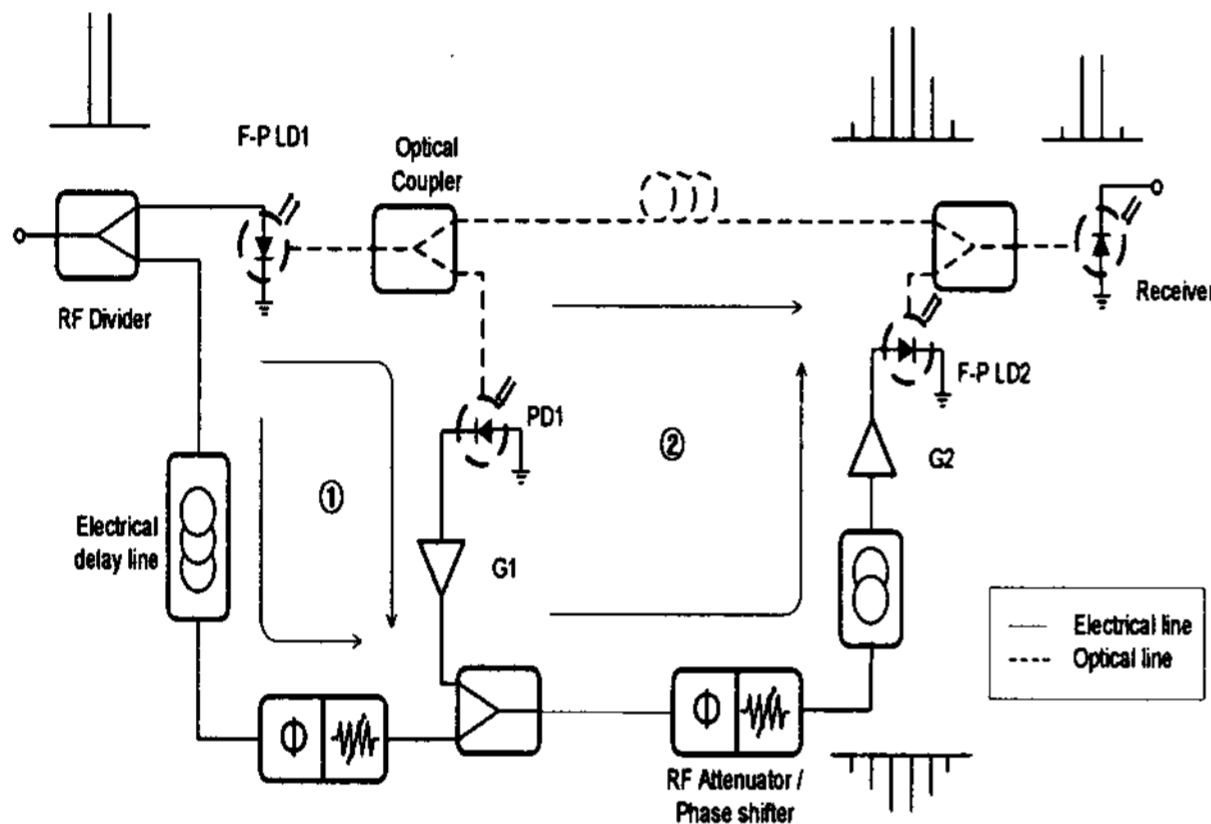


그림 1. 피드포워드 선형화 기법의 구조

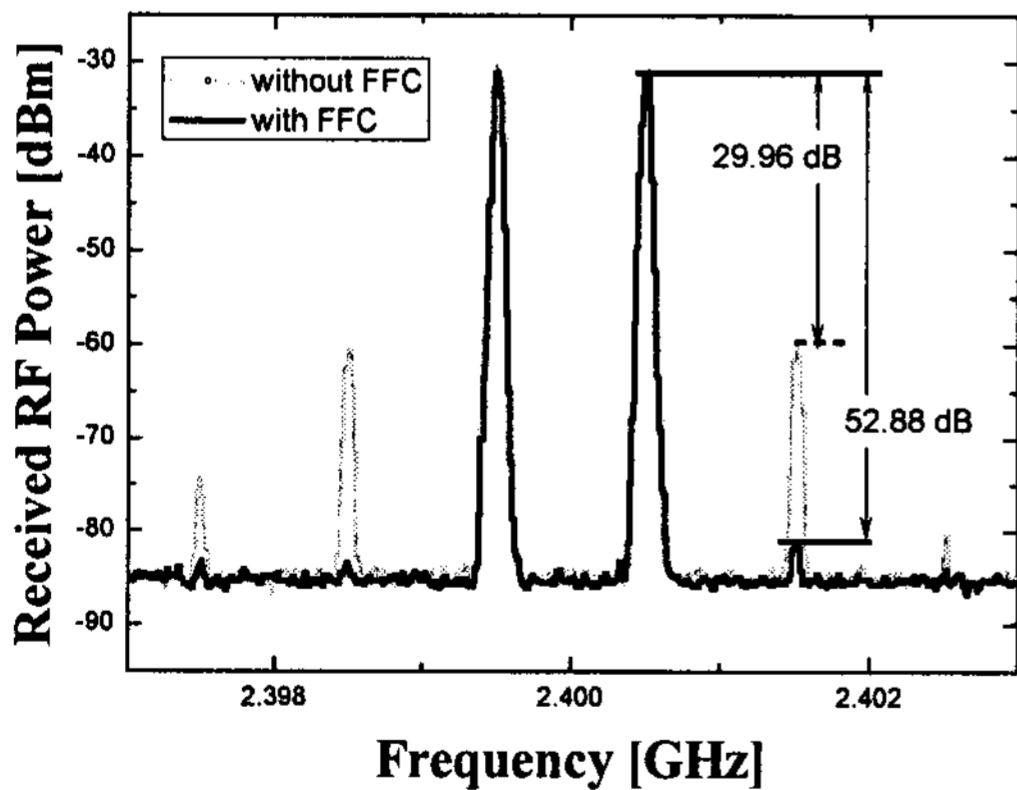


그림 2. 선형화 기법 적용 전/후의 출력 신호

그림 2는 제작된 피드포워드 보상 기법을 적용하기 전과 적용한 후의 투-톤 실험 출력 신호이다. 이 때 실험조건은 LD1과 LD2가 동작전류 20, 17.54 mA에서 출력 광 파워 -4.39, -3.1 dBm 이고 파장은 각각 1547.2, 1550.9 nm이다. RF 입력 신호는 중심주파수 2.4 GHz에서 주신호의 주파수 간격이 1 MHz 이고, RF 입력신호 -4 dBm이다. 두 그림에서 보인 것 같이 상호 변조 왜곡 신호가 22.9 dB 상쇄되는 결과

를 얻었다.

전압 가변 감쇄기

전압 가변 감쇄기는 통신 시스템에서 수신기나 송신기의 이득 컨트롤, RF 신호원의 크기 조정과 같은 목적으로 많이 사용되고 있다. 피드포워드 광 송신기에서는 신호 상쇄 루프와 여러 상쇄 루프에서 커플러를 통해 RF 신호와 광 신호를 합성한다. 이 때 정확한 합성 결과를 얻기 위해서는 합성되는 두 가지의 신호는 같은 크기를 가져야 하므로 신호의 크기 조정을 위해 전압 가변 감쇄기가 사용되어야 한다. 전압 가변 감쇄기는 일반적으로 π 네트워크 방식과 T 네트워크 방식을 이용하여 제작한다. 본 논문에서는 Active Balun과 2개의 nmos를 결합하는 방식을 이용하였다.

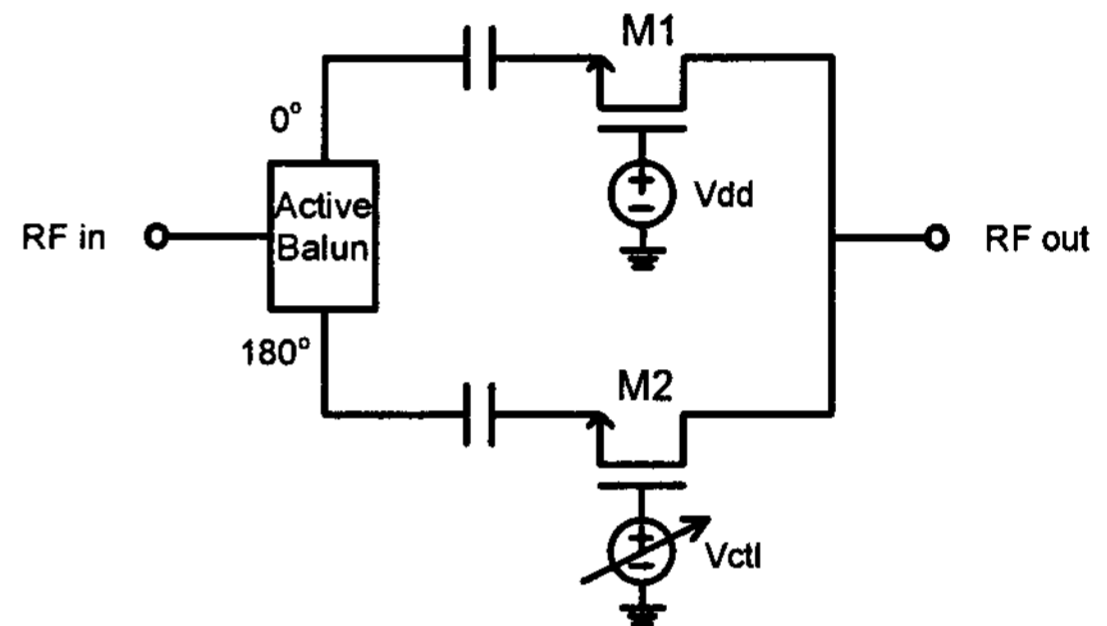


그림 3. 전압 가변 감쇄기

그림 3은 설계된 전압 가변 감쇄기의 회로도이다. 입력된 RF 신호는 Active Balun을 통해 같은 크기지만 위상이 정반대인 신호로 나누어져 두 개의 서로 다른 common-gate transistor로 입력된다. 위상이 변하지 않은 신호는 gate에 Vdd가 입력되어 켜져 있는 상태의 Common-gate transistor M1으로 입력된다. 위상이 반대로 뒤집힌 또 하나의 신호는 Vctl 전압이 gate에 인가되어 있는 또 다른 transistor M2로 입력된다. 여기서 M2는 Vctl에 의해 다른 크기를 가지는 전압 가변 직렬 저항처럼 동작을 하게 되므로 M2를 통과하는 신호는 Vctl의 크기에 따라 변하게 된다. 이렇게 M1, M2 두 개의 transistor를 통과한 신호를 다시 합치게 되면 서로 반대인 위상을 가지고 있기 때문에 통과한 신호가 감쇄되는 효과를 얻을 수 있다. M2가 완전히 켜진 상태(Vctl=1.8 V)일 때 가장 큰 감쇄 효과를 얻을 수 있고, M2가 켜져 있지 않는(Vctl=0 V) 상태에서는 감쇄 효과를 기대할 수 없다.

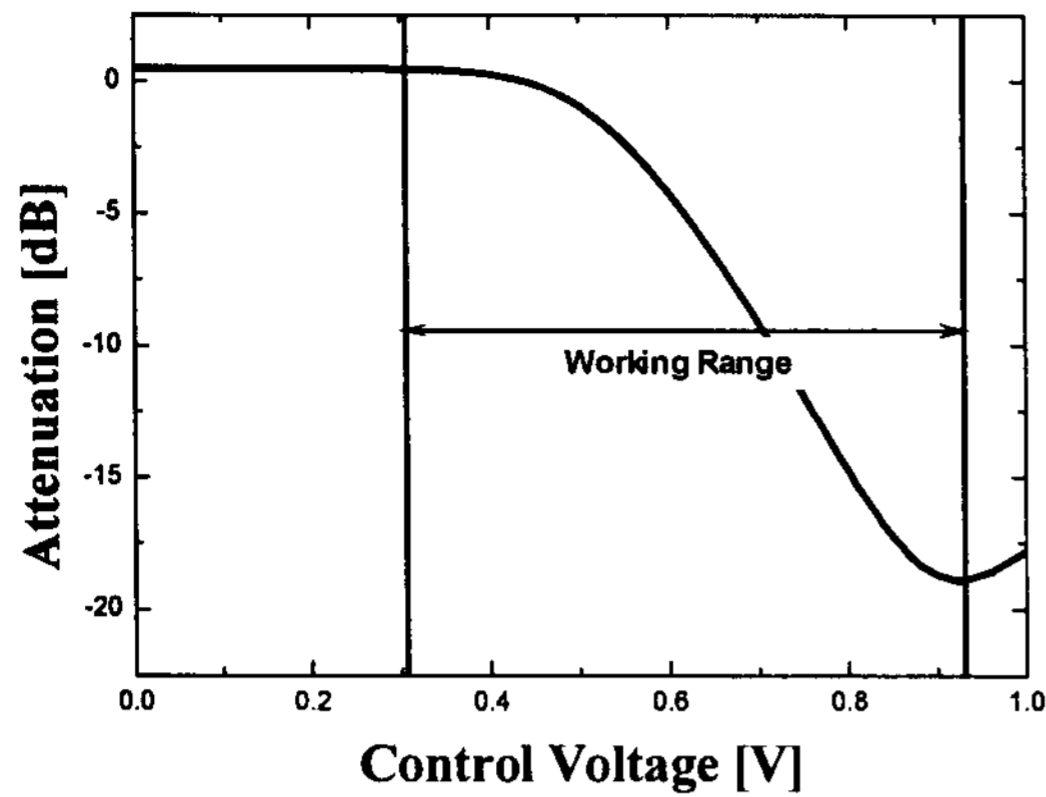


그림 4. 전압 가변 감쇄기의 전압에 따른 감쇄량

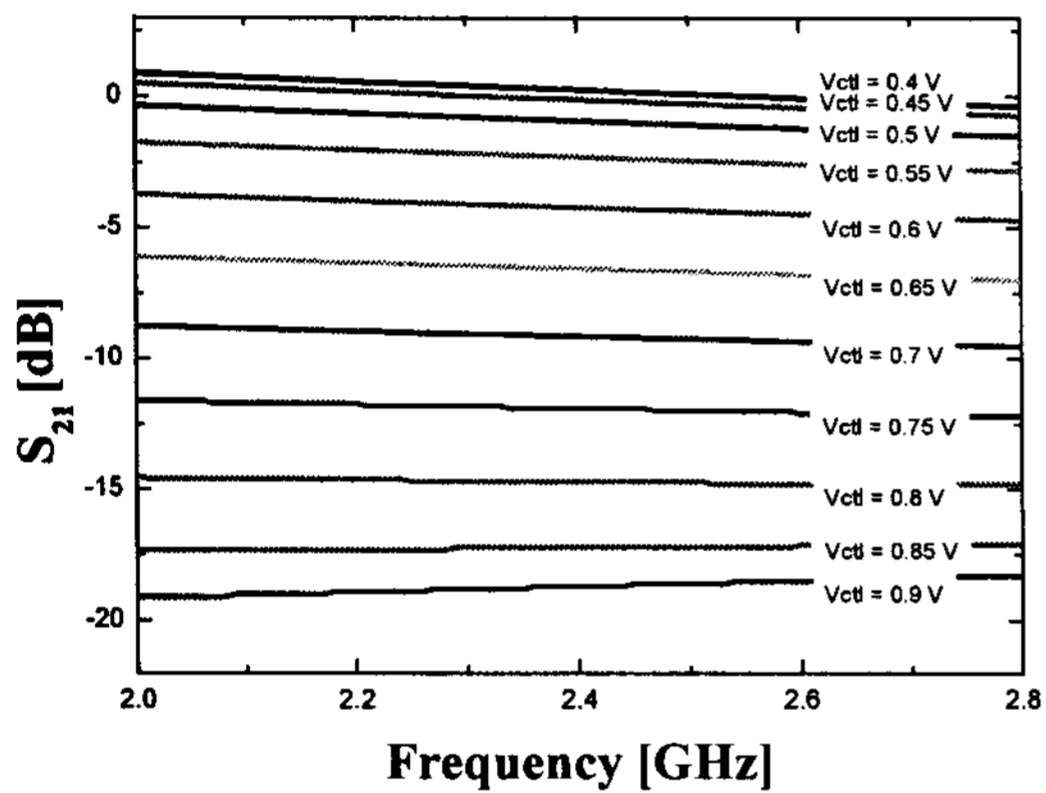


그림 5. Control Voltage에 따른 감쇄기의 주파수 응답

그림 4는 2.4 GHz에서 전압에 따른 감쇄량의 변화를 나타낸 그래프이다. 그림에서 알 수 있듯이 최대 감쇄량은 18 dB, 최소 감쇄량은 M2가 Off 상태인 $V_{ctl} \leq 0.45$ V인 구간에서 나타난다. 여기서 0 dB보다 큰 값을 보이는 이유는 전압 가변 감쇄기에서 사용된 Active Balun의 이득으로 인한 것이다.

가변 이득 증폭기

제작된 피드포워드 광 송신기에서 사용되는 증폭기는 20 dB 이상의 이득을 가지고 증폭 구간에서의 선형성이 보장되었지만 이득이 고정되어 있는 증폭기가 사용되었다. 이득을 가변 할 수 없었기 때문에 각각의 루프에서 두 경로의 신호를 합성할 때 전압 가변 감쇄기의 성능과 광 커플러의 비율에 의존해야만 했다. 그러나 전압 가변 감쇄기와 함께 가변 이득 증폭기를 사용함으로써 더 넓은 범의에서 신호 레벨의 조정이 가능해질 뿐 아니라 전압 가변 감쇄기와 고정 이득 증폭기를 1개의 가변이득 증폭기로 대체가 가능해진다.

가변 이득 증폭기는 구동전압을 가변 하는 구조, 피드백 저항을 가변 하는 구조, cascode 증폭기의 트랜지스터 폭을 조정하는 구조, 그리고 cascode 증폭기의 트랜지스터 폭이나 구동 전압을 가변하는 구조가 많이 사용된다. 피드포워드 광 송신기에서는 20 dB 이상의

이득을 요구 하기 때문에 cascode 증폭기 구조를 사용 하였다. 그림 6은 설계된 증폭기의 회로도이다. 2개의 common-source 증폭기가 결합되어있는 구조에서 2번째 단인 M2의 구동전압을 조정하여 전체 증폭기의 이득을 가변 한다.

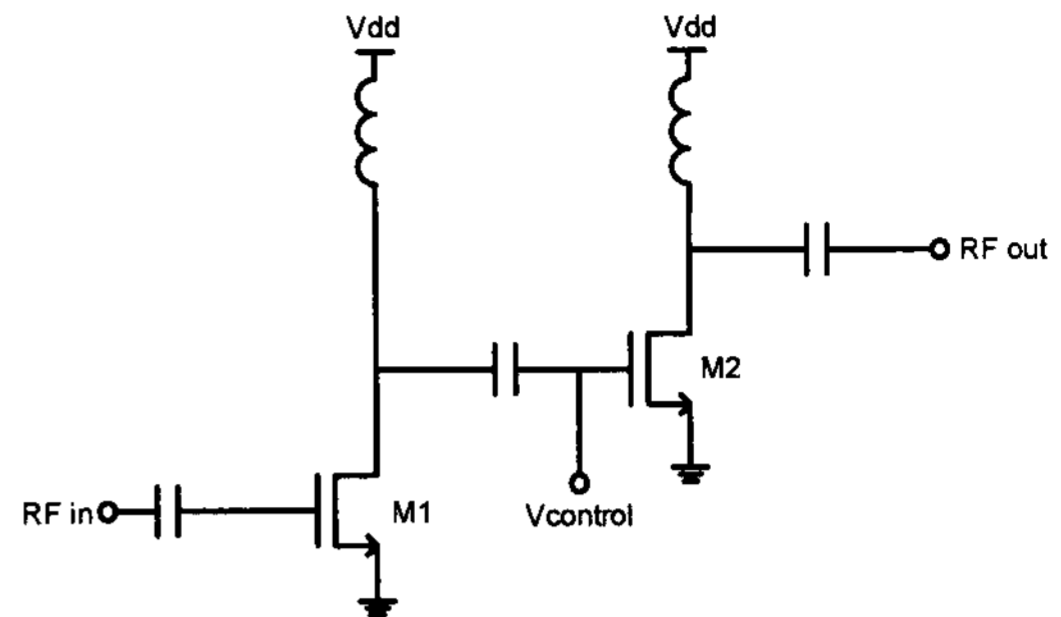


그림 6. 가변 이득 증폭기의 회로도

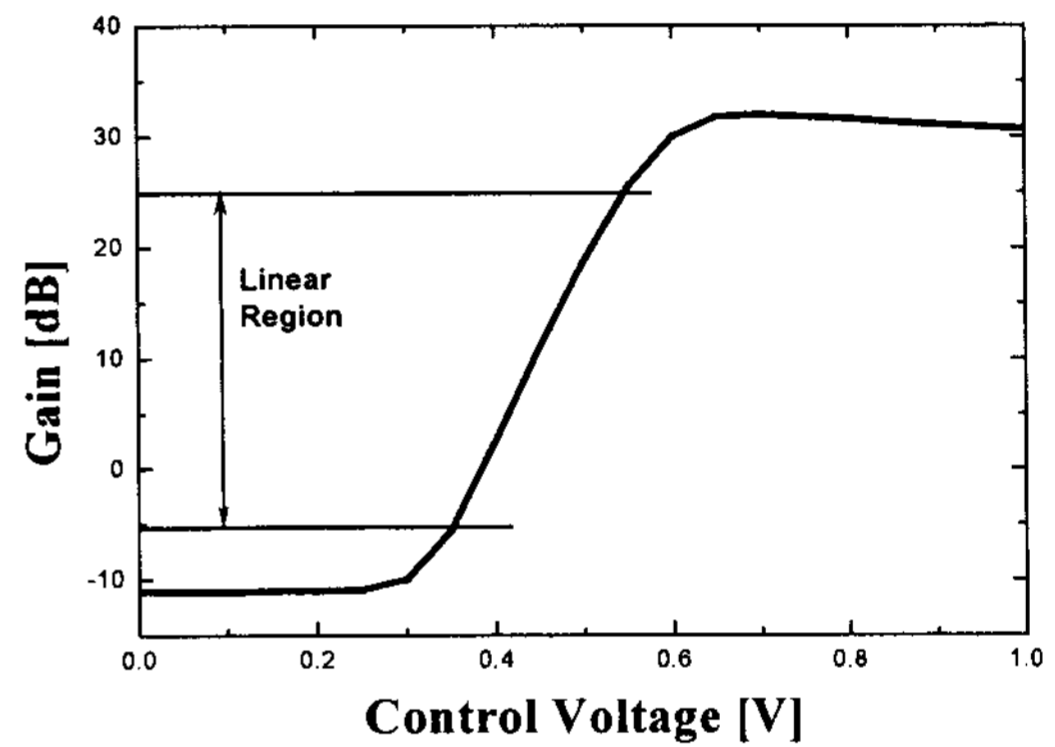


그림 7. 전압에 따른 가변 이득 증폭기의 증폭 특성

그림 7은 2.4 GHz에서 측정된 가변 전압에 따른 가변 이득 증폭기의 이득을 나타낸 그림이다. M2의 구동전압에 따라 -10 dB에서 33 dB까지 총 44 dB의 변화가 가능한 출력을 얻을 수 있다.

III. 결론

WLAN 서비스를 중심을 2.4 GHz 대역에서 사용 가능한 FP-LD를 이용한 피드포워드 광 송신기를 제작 하였고 투-톤 실험을 수행하여 IMD3가 22.9 dB 개선되는 결과를 얻었다. 피드포워드 보상기법은 정밀한 조정 기술이 사용되었기 때문에 두 개의 FP-LD의 특성이 동일하지 않았음에도 불구하고 충분히 비선형 왜곡 성분을 감소시킬 수 있었다. 제작된 송신기를 바탕으로 송신기 집적화를 위한 0.18 um CMOS 공정을 이용하여 전압 가변 감쇄기와 가변 이득 증폭기를 설계 하였다.

참고문헌

- [1] Tsutomu Niiho, Mariko Nakaso, Koichi Masuda, Hiroyuki Sasaki, and Masaru Fuse, "Transmission Performance of Multichannel Wireless LAN System Based on Radio-Over-Fiber Techniques", IEEE Transactions on Microwave Theory and

Techniques, Vol. 54, No. 2 Feb 2006

- [2] L. -S. Fock, A. Kwan, and R. S. Tucker, "Reduction of Semiconductor Laser intensity Noise by Feedforward Compensation: Experiment and Theory", *Journal of Lightwave Technology*, vol. 10, No.12, pp. 1919-1925, Dec. 1992.
- [3] D.Hassin and R. Vahldieck, "Feedforward Linearization of Analog Modulated LDs-Theoretical Analysis and Experimental Verification," *IEEE Trans. On MTT*, Vol.14, No.12, pp. 2376 - 2382, DEC. 1993.



장 준 우

2006 년 중앙대학교 전자전기공학부 (공학사), 2006 년~ 현재 중앙대학교 일반대학원 석사과정 재학 중. 관심 분야는 Analog optical system, Feedforward linearization, Analog circuit design.



문 연 태

2003 년 중앙대학교 전자전기공학부(공학사). 2005 년 중앙대학교 전자전기공학부(공학석사). 2005 년 ~ 현재 중앙대학교 일반대학원 박사과정 재학 중. 관심 분야는 Analog optical system, Feedforward linearization, Optical Device(Photodetector, Modulator)



김 도 균

2003 년 중앙대학교 전자전기공학부 (공학사). 2005 년 중앙대학교 전자전기공학부(공학석사). 2005 년 ~ 현재 중앙대학교 일반대학원 박사과정 재학 중. 관심 분야는 Analog optical system, CMOS IC Design, Analog &

Digital circuit for Communication.



최 영 완

1985 년 서강대학교 전자공학과(공학사). 1987 년 SUNY at Buffalo, 전기 및 컴퓨터공학과(공학석사). 1992 년 SUNY at Buffalo, 전기 및 컴퓨터공학과(공학박사). 1992 년 ~ 1995 년 한국전자통신연구원(ETRI), 선임 연구원. 1995 년 ~

현재 중앙대학교 전자전기공학부 교수. <주관심 분야: Microwave-Photonics, Optical interconnection, 광스위칭 시스템 및 소자>