

# CMOS를 이용한 MB-OFDM UWB용 LNA/Down-Mixer 설계

## A Design on LNA/Down-Mixer for MB-OFDM UWB Using 0.18 $\mu\text{m}$ CMOS

박봉혁 · 이승식 · 김재영 · 최상성

Bong-Hyuk Park · Seung-Sik Lee · Jae-Young Kim · Sang-Sung Choi

### 요 약

본 논문에서는 CMOS 0.18  $\mu\text{m}$  공정을 이용하여 MB-OFDM UWB용 RF 수신기의 광대역 LNA와 Down-mixer를 설계하였다. 광대역 LNA는 3~5 GHz의 대역에서 전력이득은 12.8~15 dB, 잡음지수는 2.6 dB 이하, 그리고 입력 IP3는 4 GHz에서 -8 dBm의 특성을 나타내고, 입출력 반사손실은 10 dB 이하의 특성을 보인다. Down-mixer는 3개의 채널에서 2 dB 이하의 gain flatness를 나타내고, 변환이득은 -2.9~0.4 dB의 특성을 나타낸다. 또한 LO의 leakage와 feedthrough는 각각 30 dB 이상의 특성을 나타내도록 설계하였다.

### Abstract

In this paper, we propose the design on LNA and Down-mixer for MB-OFDM UWB using 0.18  $\mu\text{m}$  CMOS. LNA, Down-mixer design result shows that it covers the frequency range from 3 GHz to 5 GHz. The LNA gain is larger than 12.8 dB, and noise figure about 2.6 dB. Double balanced differential down-mixer is designed less than 2 dB gainflatness, and it has over 30 dB LO leakage, feedthrough characteristics.

Key words : UWB, MB-OFDM, LNA, Down-Mixer, CMOS

### I. 서 론

IEEE802.15.3a 표준화 그룹에서 추진 중인 UWB (Ultra wideband)용 PHY layer 표준화에 현재까지 MB-OFDM 방식과 DS-SS 방식의 표준이 경합을 벌이고 있다. 이 두 가지 방식은 펄스 방식이 주류를 이루던 기존의 UWB 시스템과는 달리 현재 무선 LAN과 셀룰라에서 주로 사용하고 있는 OFDM과 CDMA의 변복조 방식을 사용하고 있는 점에서 큰 차이를 보인다. MB-OFDM UWB는 다중 대역을 사용하여 주파수 호핑 방법으로 통신을 하는 것으로서 528 MHz의 채널 대역폭을 갖는다. Frame의 구조는 IEEE802.11a OFDM 방식에서 제안하고 있는 것보다 크게 다르지 않으며 동기를 위한 Preamble 구조에

차이가 있다. UWB 시스템에서 RF의 주요 특징은 광대역 특성을 갖도록 하면서 채널 대역 내에서  $\pm 1$  dB의 평탄도를 나타내도록 하는 것이다.

### II. MB-OFDM 규격 및 RF 송수신기 구조

MB-OFDM UWB에서 제안하는 채널 numbering은 다음 수식과 같다.

$$\begin{aligned} \text{Center frequency} &= 2904 + 528 \times nb \quad (nb=1\cdots 4) \\ &3168 + 528 \times nb \\ &(nb=5\cdots 13) \quad (\text{MHz}) \end{aligned}$$

채널 numbering으로 할당된 채널에서 Mode 1은 3,168~4,752 MHz 대역폭에서 3개의 채널을 Mode 2는 Mode 1을 포함한 6,072~8,184 MHz 대역폭에서

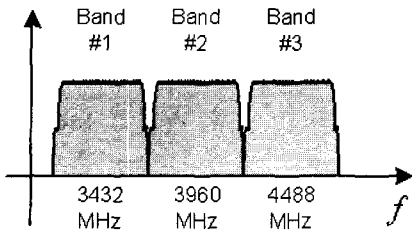


그림 1. Mode 1의 채널할당  
Fig. 1. Channel allocation of Mode 1.



그림 2. Mode 2의 채널할당  
Fig. 2. Channel allocation of Mode 2.

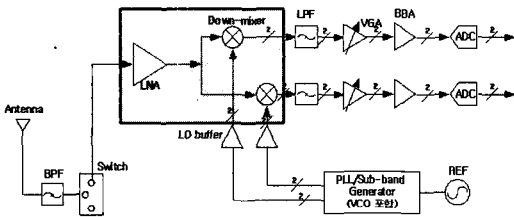


그림 3. RF 송수신기 구조  
Fig. 3. RF transceiver architecture.

7개의 채널을 점유한다.

그림 1은 Mode 1에 대한 채널 할당이고, 그림 2는 Mode 2에 대한 채널 할당을 나타낸다<sup>[1]</sup>.

본 논문에서 설계한 LNA, Down-mixer는 Mode 1을 지원할 수 있도록 설계하였다.

그림 3은 MB-OFDM UWB에 적용하는 RF 송수신기 구조이다. 구조가 간단하고 제작 비용도 적게 드는 Direct-conversion 구조로 설계하였으며, 송신과 수신에 동일한 주파수를 사용하는 TDD 방식을 운용하기 위해 송수신 선택 스위치를 두었다.

LNA 입력은 송수신 스위치와의 임피던스 정합을 위해서 single-ended로 구성하였고, Down-mixer 출력은 differential 구조로 설계하였다.

### III. Low Noise Amplifier 구조 및 설계

LNA는 수신단의 제일 앞에 위치하여 잡음 성분

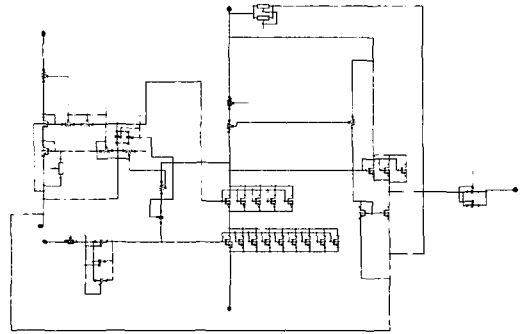


그림 4. 광대역 LNA core 회로  
Fig. 4. Wideband LNA core circuit.

을 작게 하고 신호성분을 증폭시키는 역할을 한다. MB-OFDM UWB 시스템에서는 대역폭이 2 GHz 되는 광대역 LNA가 필요하다. 따라서 기존의 협대역 증폭기에서 많이 사용되는 inductive source degeneration 형태를 기본으로 하고 이 구조에 광대역 특성을 얻기 위해서 RC 부성 피드백을 적용하여 설계하였다. 입출력을 모두 single-ended 50 Ω으로 구성하였다<sup>[2]</sup>.

그림 4는 광대역 LNA의 core 회로를 나타낸다.

그림 4는 바이어스 회로가 포함된 LNA의 구조를 나타내며 출력에는 source follower를 이용하여 버퍼를 구성하였다. 입력은 인덕터와 부성 RC 피드백 소자를 이용하여 정합을 하였다. Source degeneration 인덕터는 그림 5에 나타난 것처럼 와이어 본딩을 이용하여 구성하였고, 패키지 모델을 포함하여 설계하

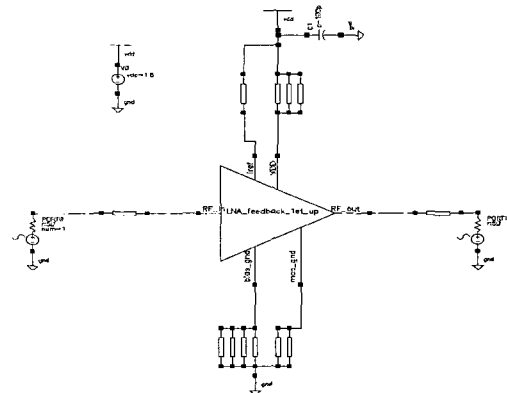


그림 5. 패키지가 포함된 LNA 테스트 회로  
Fig. 5. LNA test circuit including the package modeling.

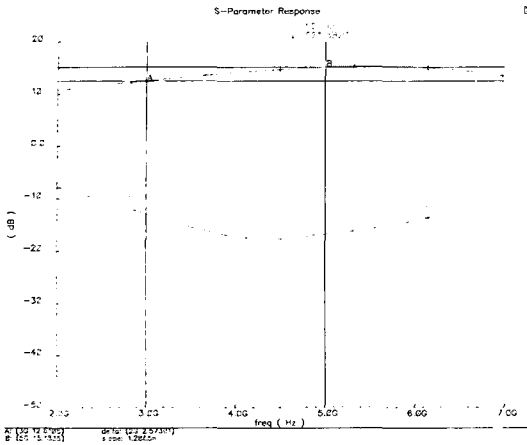


그림 6. S-parameter 특성  
Fig. 6. S-parameter characteristic.

였다.

LNA에 공급된 전원은 1.8 V를 사용하였으며, 그림 6은 LNA의 S-parameter 특성을 나타낸다.

3~5 GHz의 대역에서 이득은 12.8 dB 이상의 특성을 나타내고 반사 손실은 10 dB 이하의 특성을 나타낸다. 그림 7은 광대역 LNA의 전력 이득과 잡음지수 특성을 나타낸다. 잡음지수는 2.6 dB 이하의 특성을 보인다.

LNA의 입력 단에 인가되는 전력의 크기에 따라서 LNA가 포화되는 것을 방지하기 위해서 선형 특성이 좋아야 한다. Link budget을 설계한 결과 LNA 입력 단에 최대 유입되는 전력은 -37.5 dBm이다.

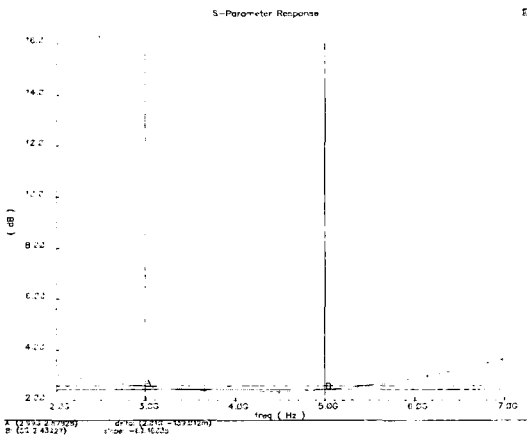


그림 7. 전력이득 및 잡음지수 특성  
Fig. 7. Power gain and noise figure.

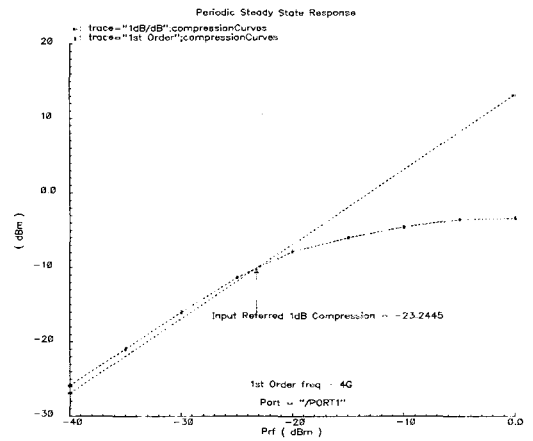


그림 8. 광대역 LNA의 Linearity 특성  
Fig. 8. Linearity characteristic of wideband LNA.

그림 8은 LNA의 입력 P1 dB 특성을 나타낸다. 입력 P1 dB는 4 GHz의 주파수에서 -23.2 dBm의 특성을 보인다.

#### IV. Down-Mixer 구조 및 설계

LNA의 출력에서 나오는 신호를 베이스밴드 신호로 변환시키는 역할을 하는 Down-mixer는 Single-ended 입력을 differential로 변환하는 trans-conductance stage와 스위칭 stage, 이득을 높이기 위한 current bleeding 부분으로 구성된다. 또한 전원 on/off를 위해서 power-down mode도 설계하였다.

그림 9는 Down-mixer의 핵심 회로이다.

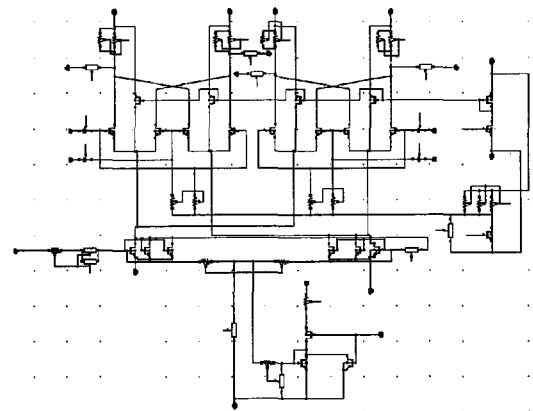


그림 9. Down-mixer의 핵심 회로  
Fig. 9. Down-mixer core circuit.

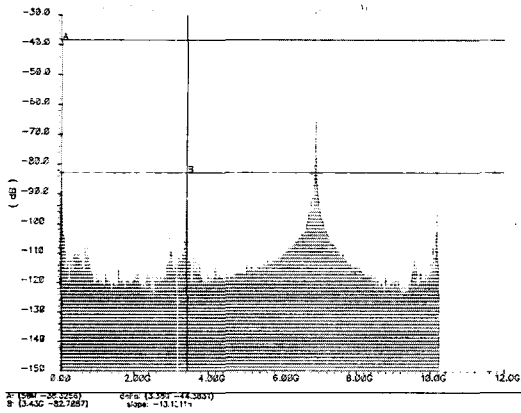


그림 10. IF가 50 MHz일 때(LO-IF isolation: 44 dB)  
Fig. 10. IF=50 MHz(LO-IF isolation: 44 dB).

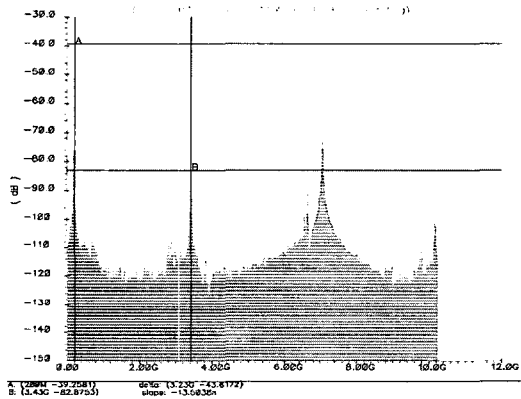


그림 11. IF가 200 MHz일 때(LO-IF isolation: 43 dB)  
Fig. 11. IF=200 MHz(LO-IF isolation: 43 dB).

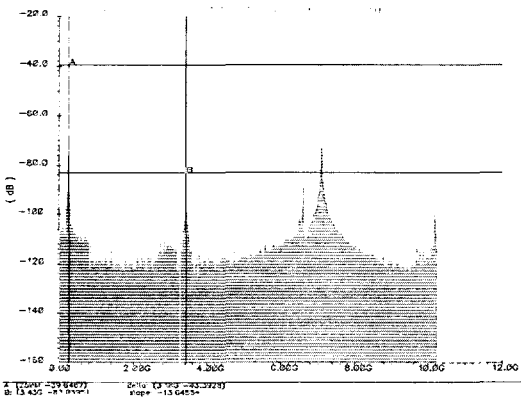


그림 12. IF가 250 MHz일 때(LO-IF isolation: 43 dB)  
Fig. 12. IF=250 MHz(LO-IF isolation: 43 dB).

Single-balanced mixer는 출력에 local 신호가 나타

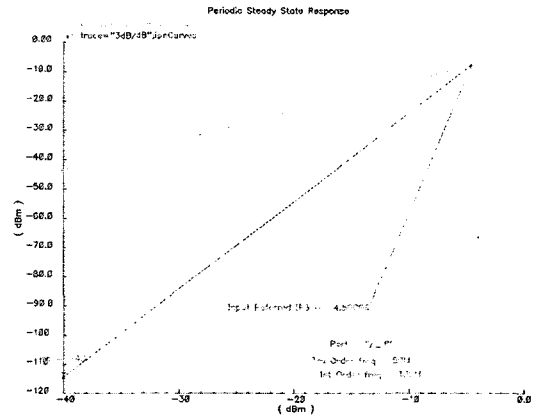


그림 13. Down-mixer의 IIP3 특성  
Fig. 13. IIP3 characteristic for Down-mixer.

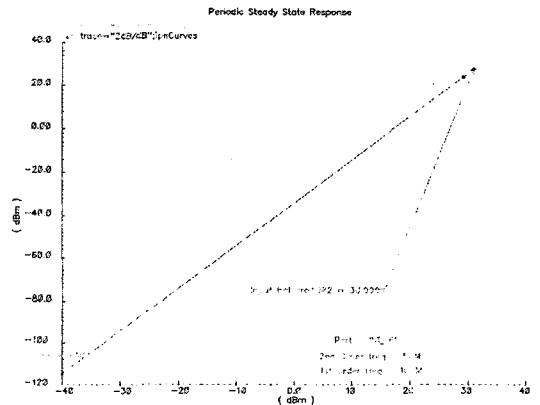


그림 14. Down-mixer의 IIP2 특성  
Fig. 14. IIP2 characteristic for Down-mixer.

나기 때문에 local 신호를 나오지 않게 하고 선형성을 증가시키기 위해서 Double-balanced 구조로 설계하였다<sup>[3]</sup>.

그림 10~12는 채널 1번에서 IF가 각각 50, 200, 250 MHz일 때의 주파수 응답 특성을 나타낸다.

그림 13과 14는 Down-mixer의 선형성 특성을 나타낸다. 입력 IP3와 입력 IP2는 각각 -4.5 dBm, 30.9 dBm이다.

## V. 결 론

본 논문에서는 MB-OFDM UWB용 광대역 LNA와 Down-mixer를 설계하였고, LNA는 광대역 특성을 얻기 위해서 부성 피드백 회로를 적용하였으며, Down-mixer는 Double-balanced 구조를 사용하였으며 single-

ended를 differential로 변환하는 회로를 추가하였다. MB-OFDM UWB에서 제시하는 평탄도를 만족하도록 설계하였다.

참 고 문 헌

[1] Multi-band OFDM Physical Layer Proposal for IEEE802.15 Task Group 3a, IEEE P802.15-03/

268r1.

[2] Derek K. Shaeffer, Thomas H. Lee, "A 1.5 V, 1.5 GHz CMOS low noise amplifier", *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, vol. 32, no. 5, May 1997.  
 [3] Keng Leong Fong, Robert G. Meyer, "Monolithic RF active mixer design", *IEEE Transactions on Circuits and Systems*, vol. 46, no. 3, Mar. 1999.

박 봉 혁



1996년 2월: 경북대학교 전기공학과 (공학사)  
 1998년 8월: 광주과학기술원 기전공학과 (공학석사)  
 1998년 8월~1999년 6월: Ansoft Co. Application Engineer  
 1999년 6월~현재: 한국전자통신연구원

연구원 선임연구원

[주 관심분야] RF Transceiver architecture, RFIC

김 재 영

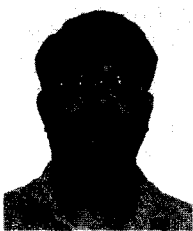


1990년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학사)  
 1992년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)  
 1996년 8월: 연세대학교 전자공학과 (공학박사)  
 1996년 8월: 대우전자 선임연구원

1999년 3월~현재: 한국전자통신연구원 선임연구원

[주 관심분야] UWB 통신 시스템, RFIC 설계

이 승 식



1996년 2월: 경북대학교 전자공학과 (공학사)  
 1998년 2월: 경북대학교 전자공학과 (공학석사)  
 1998년 3월~2000년 7월: LG전자 연구원  
 2000년 8월~현재: 한국전자통신연구원

연구원 선임연구원

[주 관심분야] RF Transceiver architecture, RFIC

최 상 성



1977년 2월: 한양대학교 무선통신공학과 (공학사)  
 1979년 2월: 고려대학교 전자공학과 (공학석사)  
 1991년 6월: Ohio University (이학석사)  
 2000년 5월: University of Wyoming

(공학박사)

2000년 11월~현재: 한국전자통신연구원 무선홈네트워크 연구팀 팀장

[주 관심분야] UWB 통신 시스템, 신호처리, 스펙트럼공학, 전파간섭분석