

# LNA를 포함하는 4채널 DBF 수신기용 Low IF Resistive FET 믹서

민 경 식,<sup>0</sup>고 지원, 박 진 생

한국해양대학교 전파공학과

E-mail : ksmin@hanara.kmaritime.ac.kr

## Low IF Resistive FET Mixer for the 4-Ch DBF Receiver with LNA

Kyeong-Sik Min, Jee-Won Ko, Jin-Saeng Park

Department of Radio Sciences & Engineering,

College of Sciences and Engineering, Korea Maritime University

### Abstract

This paper describes the resistive FET mixer with low IF for the 4-Ch DBF(Digital Beam Forming) receiver with LNA(Low Noise Amplifier). This DBF receiver based on the direct conversion method is generally suitable for high-speed wireless mobile communications. A radio frequency(RF), a local oscillator(LO) and an intermediate frequency(IF) considered in this research are 2.09 GHz, 2.08 GHz and 10 MHz, respectively. The RF input power, LO input power and  $V_{GS}$  are used -10 dBm, 6 dBm and -0.4 V, respectively. In the 4-Ch resistive FET mixer with LNA, the measured IF and harmonic components of 10 MHz, 20 MHz, 2.09 GHz and 4.17 GHz are about -12.5 dBm, -57 dBm, -40 dBm and -54 dBm, respectively. The IF output power observed at each channel of 10 MHz is about -12.5 dBm and it is higher 27.5 dBm than the maximum harmonic component of 2.09 GHz. Each IF output spectrum of the 4-Ch is observed almost same value and it shows a good agreement with the prediction.

**Key words** : DBF, Receiver, Mixer, Direct conversion, FET.

### I. 서론

최근 휴대전화로 대표되는 이동통신의 급속한 발전과 더불어 이용자의 수요가 폭발적으로 증가하고 있으며, 고성능의 통신품질, 신뢰성의 향상, 실시간의 초고속·대용량의 멀티미디어 이동통신 서비스 등의 제공이 강하게 요구되고 있는 실정이다.

슈퍼헤테로다인 수신방식은 잡음특성이나 안정성이 우수한 반면 주파수 다운을 위한 IF 단이 여러 개 필요하며, 이로 인해 회로의 규모가 커지는 단점이 있다. 하지만, 본 연구에서 제안한 Low IF 방식은 안정도가 개선되어야 하는 단점이 있지만, 직접변환 방식으로서의 접근이 쉽고, IF 단을 대폭 줄일 수 있어서 수신기의 저가격, 소형화라는 측면과 멀티밴드화의

관점에서 유리하며, 수신된 RF 신호는 베이스밴드로 신호가 직접 변환된다[1]. Resistive FET 믹서는 간단한 바이어스 구조 때문에 직접변환 방식의 적용에 많이 연구되고 있다. Resistive FET 믹서는 단지 Negative gate bias만을 필요로 하고 드레인 바이어스가 필요 없기 때문에 베이스밴드 신호와 DC 바이어스 전압 사이의 분리문제가 제거되고, 회로가 단순화되는 이점이 있으며, LO 입력신호는 게이트 단에, RF 입력신호는 드레인 단에 인가되고, IF 출력신호는 드레인 단에서 출력된다[2].

본 논문에서는 LNA를 포함하는 1채널과 4채널 DBF 수신기용 Low IF Resistive FET 믹서를 설계 및 제작하였다. 또한, FET 믹서에 대해서 RF 설계 툴인 MWO(MicroWave Office)의 계산결과와 실험결

과를 비교·검토하였다[3].

## II. 1채널 Resistive FET 믹서

### 2-1. 1채널 FET 믹서의 설계 및 측정

그림 1은 4채널 DBF 수신기의 구성도를 나타낸다 [4]. 믹서는 대역통과 필터, 저역통과 필터, DC 바이어스 회로와 NE3210S01의 Super low noise HJ FET로 구성되어 있다[5].

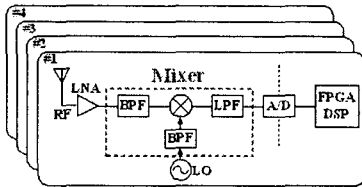


Fig. 1. Block diagram of the 4-Ch DBF receiver.

그림 2는 Resistive FET 믹서의 설계모델을 나타낸다. LO와 RF 신호는 각각 FET의 게이트와 드레인 단으로 유입되고, IF 신호는 저역통과 필터에 의해 드레인 단으로부터 출력된다. RF 입력신호, LO 입력신호, IF 출력신호는 각각 2.09 GHz, 2.08 GHz, 10 MHz로 하여 설계하였다.

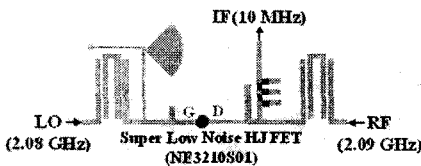


Fig. 2. Design model of the resistive FET mixer.

그림 3은 비유전율이 2.5이고, 유전체의 두께가 0.7874 mm인 테프론 기판을 사용하여 제작한 1채널 Resistive FET 믹서의 사진을 나타낸다. FET는 NE3210S01의 super low noise HJ FET를 사용하였으며, DC 바이어스는 1/4 파장 Open radial stub를 이용하여 공급된다. 제작된 전체 회로의 크기는 96.5 mm×38.6 mm이다.

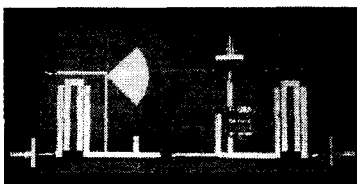


Fig. 3. Photograph of the fabricated 1-Ch resistive FET mixer.

RF 입력신호, LO 입력신호,  $V_{GS}$ 가 각각 -10 dBm, 6 dBm, -0.4 V일 때, 그림 3에 나타난 1채널 Resistive FET 믹서에 대한 IF 스펙트럼 파워의 계산 결과와 측정결과는 표 1과 같다[6]. 측정된 IF 스펙트럼 파워가 참고문헌 [6]의 결과보다 증가한 이유는 제작상의 오차를 줄였기 때문에 상대적으로 IF 스펙트럼 파워가 증가하였다.

Table 1. The comparison between calculation and measurement of the IF spectrum power for the 1-Ch resistive FET mixer.

	Calculation [dBm]	Measurement [dBm]
10 MHz	-16.4	-18.6
20 MHz	-70.9	-67.3
2.09 GHz	-133.0	-47.5

### 2-2 LNA를 포함하는 1채널 FET 믹서 측정

그림 4는 LNA를 포함하는 제작한 1채널 Resistive FET 믹서의 사진을 나타낸다. LNA는 안테나에 수신된 미약한 RF 신호를 증폭시키기 위해 사용되며, 그림 4에 나타난 LNA는 2.09 GHz에서 약 10 dB의 이득을 가지며, 믹서의 RF 입력단에 연결된다.

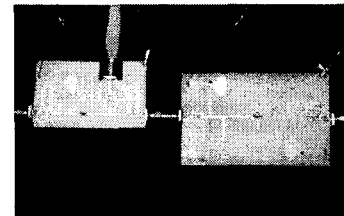


Fig. 4. Photograph of the fabricated 1-Ch resistive FET mixer with LNA.

그림 5 (a)와 (b)는 LNA를 포함하는 1채널 Resistive FET 믹서의 IF 스펙트럼을 나타낸다. RF 입력신호, LO 입력신호,  $V_{GS}$ 가 각각 -10 dBm, 6 dBm, -0.4 V일 때, 계산한 10 MHz의 IF 출력파워는 -9.5 dBm이고, 20 MHz, 2.09 GHz, 4.17 GHz에서의 고조파 성분들은 각각 -56.5 dBm, -126.0 dBm, -116.0 dBm이다. 그리고, 측정된 10 MHz의 IF 출력 파워는 -11.0 dBm이고, 20 MHz, 2.09 GHz, 4.17 GHz에서의 고조파 성분들은 각각 -55.8 dBm, -39 dBm, -40 dBm이다. 계산결과와 측정결과 사이에 전송선의 손실로 인하여 오차가 발생하였지만, 측정된 10 MHz의 IF 출력파워는 인접한 20 MHz의 출력파워보다 44.8 dBm, 그리고, 2.09 GHz의 최대 고조파 성분보다 28 dBm 더 높은 양호한 IF 신호를

얻을 수 있었다.

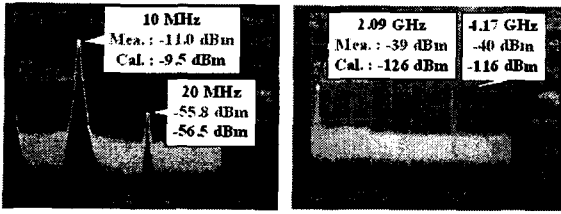
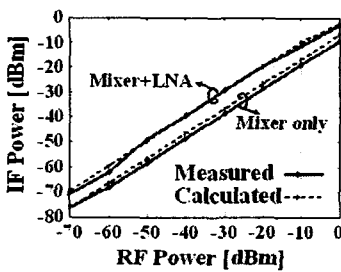


Fig. 5. IF spectrum of the 1-Ch resistive FET mixer with LNA.

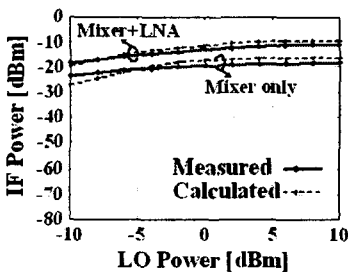
그림 6 (a)~(d)는 그림 3과 4에 나타낸 1채널 Resistive FET 믹서와 LNA를 포함하는 1채널 Resistive FET 믹서에 대해서 10 MHz에서의 계산결과와 측정결과를 나타낸다.

그림 6 (a), (b), (c)는 각각 RF 입력파워, LO 입력파워,  $V_{GS}$ 의 변화에 대한 IF 출력파워를 나타낸다. IF 출력파워는 RF 입력파워에 대해서 선형적인 특징을 가지며, LO 입력파워나  $V_{GS}$ 의 변화보다 RF 입력파워의 변화에 영향을 더 많이 받는다. 계산결과와 측정결과는 서로 잘 일치하며, RF 입력파워, LO 입력파워,  $V_{GS}$ 가 각각 -10 dBm, 6 dBm, -0.4 V일 때, 10 MHz에서 LNA를 포함하는 1채널 FET 믹서의 측정결과는 -11.0 dBm으로 1채널 FET 믹서의 측정결과인 -18.6 dBm보다 7.6 dBm 높게 측정되었다.

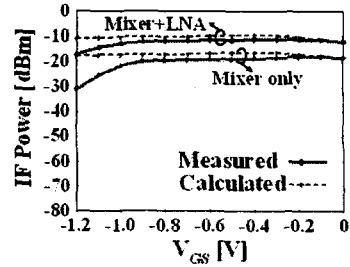
그림 6 (d)는 LO 입력파워의 변화에 대한 변환손실을 나타낸다. LO 입력파워가 증가하면 측정된 변환손실은 감소한다. LO 입력파워가 6 dBm일 때, 1채널 FET 믹서와 LNA를 포함하는 1채널 FET 믹서의 측정결과는 각각 -24.6 dB와 -17 dB이다.



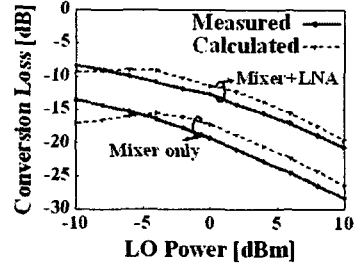
(a) IF output power versus RF input power.



(b) IF output power versus LO input power.



(c) IF output power versus  $V_{GS}$ .



(d) Conversion loss versus LO input power.

Fig. 6. Calculated and measured results of the 1-Ch resistive FET mixer with LNA.

### III. 4채널 Resistive FET 믹서

#### 3-1. 4채널 FET 믹서의 측정

그림 7은 제작한 4채널 Resistive FET 믹서의 사진을 나타낸다. RF 입력신호, LO 입력신호, IF 출력신호는 각각 2.09 GHz, 2.08 GHz, 10 MHz로 설정하였으며, 안테나에 의해 수신된 2.09 GHz의 신호는 4개의 믹서의 RF 입력단으로 입력되고, 2.08 GHz의 LO 신호는 5포트 전력분배기에 의해 분배되어 4개의 믹서의 LO 입력단으로 입력된다.

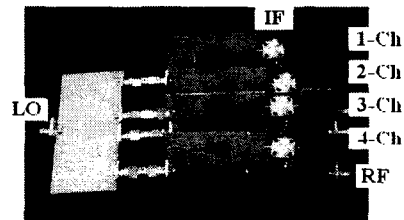


Fig. 7. Photograph of the fabricated 4-Ch resistive FET mixer.

RF 입력파워, LO 입력파워,  $V_{GS}$ 가 각각 -10 dBm, 6 dBm, -0.4 V일 때, 그림 7에 나타낸 4채널 Resistive FET 믹서에 대해 4채널의 IF 스펙트럼 파워의 계산결과와 측정결과를 표 2에 나타내었다[6]. 1채널 Resistive FET 믹서에 대한 IF 스펙트럼 파워의

결과와 마찬가지로, 각 채널에서 측정된 IF 스펙트럼 파워가 참고문헌 [6]의 결과보다 증가한 이유는 제작상의 오차를 줄였기 때문이다.

Table 2. The comparison between calculation and measurement of the IF spectrum power for the 4-Ch resistive FET mixer.

	Calculation [dBm]	Measurement [dBm]			
		1-Ch	2-Ch	3-Ch	4-Ch
10 MHz	-17.3	-19.1	-19.2	-19.2	-19.2
20 MHz	-67.8	-65.7	-65.7	-66.2	-66.2
2.087 GHz	-132.0	-48.1	-47.9	-48.1	-47.7

### 3-2. LNA를 포함하는 4채널 FET 믹서 측정

그림 8은 LNA를 포함하는 제작한 4채널 Resistive FET 믹서의 사진을 나타낸다. 2.09 GHz에서 약 10 dB의 이득을 가지는 4개의 LNA는 4채널 믹서의 RF 입력단에 연결된다.

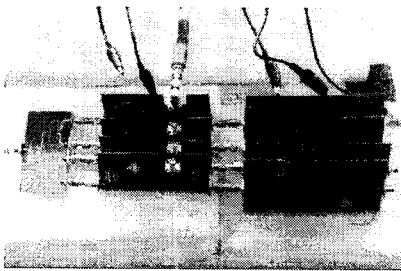


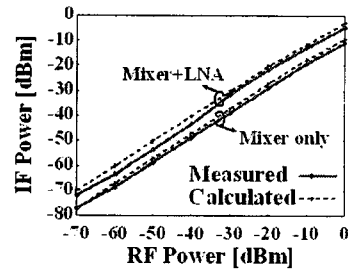
Fig. 8. Photograph of the fabricated 4-Ch resistive FET mixer with LNA.

그림 9 (a)~(d)는 그림 7과 8에 나타난 4채널 Resistive FET 믹서와 LNA를 포함하는 4채널 Resistive FET 믹서에 대해서 10 MHz에서의 계산결과와 측정결과의 평균값을 나타낸다.

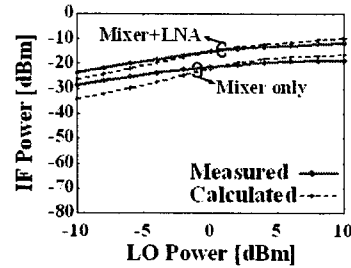
그림 9 (a), (b), (c)는 각각 RF 입력파워, LO 입력파워,  $V_{GS}$ 의 변화에 대한 IF 출력파워를 나타낸다. 그림 6의 1채널 Resistive FET 믹서의 결과와 마찬가지로 IF 출력파워는 RF 입력파워에 대해서 선형적인 특징을 가지며, LO 입력파워나  $V_{GS}$ 의 변화보다 RF 입력파워의 변화에 영향을 더 많이 받는다. 계산결과와 측정결과는 서로 잘 일치하며, RF 입력파워, LO 입력파워,  $V_{GS}$ 가 각각 -10 dBm, 6 dBm, -0.4 V일 때, 10 MHz에서 LNA를 포함하는 4채널 FET 믹서의 측정결과는 약 -12.5 dBm으로 4채널 FET 믹서의 측정결과인 -19.2 dBm보다 6.7 dBm 높게 측정되었다.

그림 9 (d)는 LO 입력파워의 변화에 대한 변환손실을 나타낸다. LO 입력파워가 증가하면 측정된 변환손실은 감소한다. LO 입력파워가 6 dBm일 때, 4

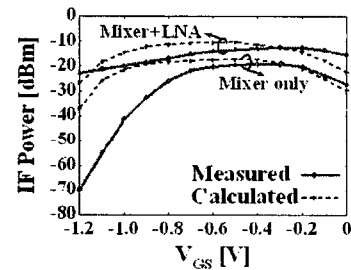
채널 FET 믹서와 LNA를 포함하는 4채널 FET 믹서의 측정결과는 각각 -25.2 dB와 -18.67 dB이다.



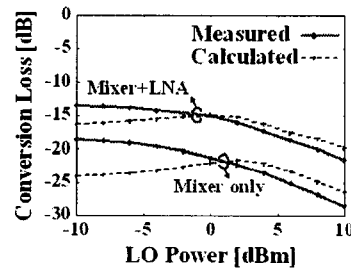
(a) IF output power versus RF input power.



(b) IF output power versus LO input power.



(c) IF output power versus  $V_{GS}$ .



(d) Conversion loss versus LO input power.

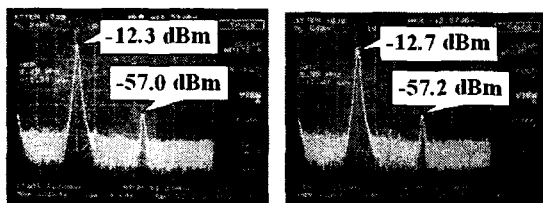
Fig. 9. Calculated and measured results of the 4-Ch resistive FET mixer with LNA.

그림 10은 LNA를 포함하는 4채널 Resistive FET 믹서의 1채널 믹서와 4채널 믹서에서 측정된 IF 스펙트럼을 나타낸다. RF 입력파워, LO 입력파워,  $V_{GS}$ 는 각각 -10 dBm, 6 dBm, -0.4 V이다. 그림 10 (a)와 (c)는 각각 1채널 믹서에서 10 MHz, 20 MHz와 2.09 GHz, 4.17 GHz의 IF 스펙트럼을 나타내며, 그림 10 (b)와 (d)는 각각 4채널 믹서에서 10 MHz, 20 MHz

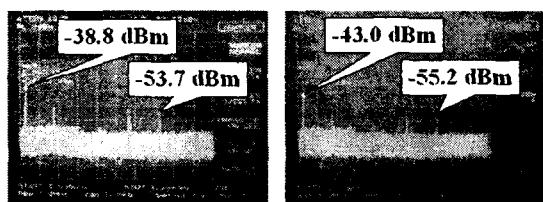
와 2.09 GHz, 4.17 GHz의 IF 스펙트럼을 나타낸다. 1채널 믹서에서 측정된 10 MHz, 20 MHz, 2.09 GHz, 4.17 GHz의 IF 출력파워는 각각 -12.3 dBm, -57.0 dBm, -38.8 dBm, -53.7 dBm이고, 4채널 믹서에서 측정된 IF 출력파워는 각각 -12.7 dBm, 57.2 dBm, -43.0 dBm, -55.2 dBm이다. 1채널 믹서와 4채널 믹서의 IF 출력파워는 서로 잘 일치하며, 이것은 4채널 Resistive FET 믹서의 각 채널이 거의 같은 성능을 가진다는 것을 나타낸다.

#### IV. 결론

본 논문은 LNA를 포함하는 4채널 DBF 수신기용 Low IF Resistive FET 믹서에 대해 나타내었다. FET 믹서의 RF 입력파워, LO 입력파워,  $V_{GS}$ 가 각각 -10 dBm, 6 dBm, -0.4 V일 때, LNA를 포함하는 1채널 Resistive FET 믹서의 10 MHz의 IF 출력파워는 -11.0 dBm으로 2.09 GHz에서 나타나는 최대 고조파 성분보다 28 dBm 더 높게 측정되어 10 MHz에서 양호한 IF 신호를 얻을 수 있었다. 그리고, LNA를 포함하는 4채널 Resistive FET 믹서의 각 채널에서 10 MHz의 IF 출력파워는 약 -12.5 dBm으로 2.09 GHz에서의 최대 고조파 성분보다 약 27.5 dBm 더 높은 양호한 IF 신호를 얻을 수 있었고, 4개의 채널에서 거의 일정한 IF 출력스펙트럼을 얻을 수 있었다.



(a) 10&20 MHz(1-Ch) (b) 10&20 MHz(4-Ch)



(c) 2.09&4.17 GHz(1-Ch) (d) 2.09&4.17 GHz(4-Ch)

Fig. 10. IF spectrum of the 1-Ch and 4-Ch resistive FET mixer with LNA.

표 3은 LNA를 포함하는 4채널 Resistive FET 믹서에 대해서 IF 출력 스펙트럼의 계산결과와 측정결과를 나타낸다. RF 입력파워, LO 입력파워,  $V_{GS}$ 가 각각 -10 dBm, 6 dBm, -0.4 V일 때, 각 채널의 10 MHz, 20 MHz, 2.09 GHz, 4.17 GHz에서 측정된 IF 출력파워의 평균값은 각각 약 -12.5 dBm, -57 dBm, -40 dBm, -54 dBm이다. 측정된 10 MHz의 IF 출력파워는 인접한 20 MHz의 출력파워보다 44.5 dBm, 그리고, 2.09 GHz의 최대 고조파 성분보다 27.5 dBm 더 높은 양호한 IF 신호를 얻을 수 있었다.

Table 3. The comparison between calculation and measurement of the IF spectrum power for the 4-Ch mixer with LNA.

	Calculation [dBm]	Measurement [dBm]			
		1-Ch	2-Ch	3-Ch	4-Ch
10 MHz	-11.6	-12.3	-12.8	-12.5	-12.7
20 MHz	-63.3	-57.0	-56.7	-56.8	-57.2
2.09 GHz	-124.0	-38.8	-37.2	-42.2	-43.0
4.17 GHz	118.0	-53.7	-54.3	-54.2	-55.2

#### 참고문헌

- [1] M. Hasegawa, T. Fukagawa, M. Mimura, M. Makimoto, "Homodyne Receiver Technology for Small and Low Power Consumption Mobile Communications Equipment," *Proceedings 1995 URSI International Symposium on Signals, Systems, and Electronics*, 1995, pp. 259-262.
- [2] Stephen. A. Maas, "A GaAs MESFET Mixer with Very Low Intermodulation," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 35, no. 4, April. 1987, pp. 425-429.
- [3] Applied Wave Research, inc., [www.mwoffice.com](http://www.mwoffice.com).
- [4] Shigeru, "Research of direct conversion receiver for digital beam forming," *Thesis, Yokohama National University*, Mar. 2001.
- [5] David M. Pozar, *Microwave Engineering*, John Wiley & Sons, Inc., second edition, 1998.
- [6] 민경식, 고지원, "4채널 DBF 수신기용 Low IF Resistive FET 믹서", *추계 마이크로파 및 전파학술대회 논문집*, vol. 25, no. 2, pp. 11-14, 2002. 9.