

C-Band 용 서브-하모닉 FET 믹서의 설계 및 제작

*명칭식, *전병휘, **정영준, ***임인성, *오승엽

충남대학교, 한국전자통신연구원, 한국천문연구원

Design and Implementation of the sub-harmonically pumped FET Mixer for C-Band Application

Byeong-hwi Jeon, Young-jun Chong, In-sung Yim, Seung-hyeub Oh

Dept. of Electronic Engineering, Chungnam National University

Advanced Radio Tech. Dept, ETRI

Dept. of Electronic Engineering, Korea Astronomy Observatory

Abstract

본 논문에서는 직접 변환 방식의 가장 큰 문제점 중 하나인 DC 오프셋 문제를 개선하기 위한 방안으로, 서브 하모닉 저항성 믹서를 GaAs FET 소자를 이용하여 제작하였다. 측정된 결과 LO 주파수의 2 차 하모닉 성분을 이용하는 특성상 변환이득은 일반 믹서보다 큰 -15.0dB 의 특성을 얻었다. 또한 별도의 대역통과 여과기를 사용하지 않고도 LO-IF 및 LO-RF 분리도 특성은 최소 48.2dB 와 77.8dB 의 양호한 특성을 나타내었다.

I. 서론

최근 무선 이동통신 분야의 발전에 힘입어 무선 단말기들은 점차 저가격, 저전력 및 경량화에 목표를 두고 개발이 진행되고 있다. 이를 위해서는 단말기의 RF와 IF 부를 구성하는 IC의 칩 수를 줄이기 위하여, 기존의 헤테로다인(Heterodyne) 구조 대신 RF(Radio Frequency) 입력 신호를 직접 기저 대역(Base-band) 신호로 변환하여 처리하는 직접 변환(Direct-Conversion) 방식에 대한 연구 개발이 활발하게 이루어지고 있다.

현재 상용화된 대부분의 이동통신 단말기 구조는 슈퍼 헤테로다인 방식으로 수신 감도 및

선택도 특성 등의 장점이 있으나, IF(Intermediate Frequency) 신호 처리에 따른 구성 칩의 증가로 가격 및 전력소비 면에 많은 단점을 가지고 있다.

직접변환 방식은 슈퍼 헤테로다인 방식에 비해 다음과 같은 장점이 있다. [1,2]

첫째, 영상주파수에 의한 수신 성능 열화가 거의 없으므로 대역통과 필터의 규격이 엄격하지 않다.

둘째, 주파수 직접변환에 따른 IF 단의 불필요로 경량화와 저전력화 측면에서 유리하다.

셋째, 아날로그 신호의 처리 및 제어를 디지털 신호 처리부에서 수행이 가능하므로 시스템 원칩(one-chip) 구현이 편리 하다.

넷째, QPSK나 QAM과 같은 디지털 직교변조 방식을 사용하는 통신방식에 유리하다.

하지만 직접변환 방식은 장점에 비해 DC 오프셋, 짝수 항에 의한 왜곡, I/Q 채널간의 불균형, 플리커 잡음, 위상 잡음과 같은 단점도 존재하게 된다.

본 논문에서는 이러한 짝수 항에 의해 발생하는 왜곡 및 DC 오프셋 문제를 해결하기 위한 하나의 방안으로 LO의 2차 고주파 성분을 이용하는 서브-하모닉 방식을 이용한 혼합기 중 평형 형태의 저항성 혼합기의 구조 및 특성을 연구하여 제작하였다. [3~5]

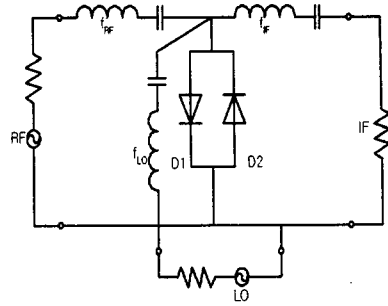
II. 서브-하모닉 믹서의 동작 원리

서브-하모닉(Sub-harmonic) 혼합기는 RF 신호의 $\frac{1}{2}$ 주파수에 해당하는 LO 신호의 제 2차 고조파와 RF 신호를 혼합한다. 따라서 국부 발진기를 이용하므로 국부 발진기의 구현이 어려운 밀리미터파 혼합기에 주로 사용되며, 서브-하모닉 구조는 다음과 같은 장점이 있다.

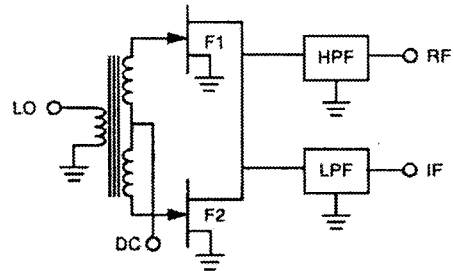
첫째는 신호의 혼합 과정에서 발생하는 짝수 차 항에 의한 왜곡을 줄일 수 있다.

둘째는 불완전한 격리도 특성에 의해 발생하는 LO 누설전류가 RF와 IF 단자로의 유입되는 것을 쉽게 제거할 수 있다

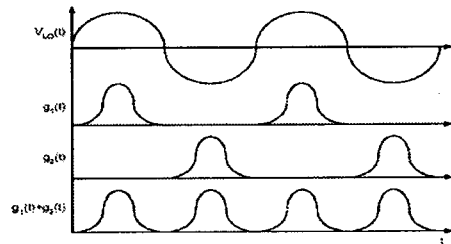
그림 1과 그림 2는 각각 다이오드와 FET 소자를 사용하여 구성한 서브-하모닉 혼합기이다. 혼합기를 구성하고 있는 각각의 비선형 소자에 나타나는 컨덕턴스의 파형을 나타낸 그림 3에서 보는 바와 같이 RF 주파수의 1/2인 LO 신호를 사용하여도 혼합기로 동작됨을 알 수 있다.



[그림 1] Anti-parallel 다이오드 혼합기



[그림 2] FET 혼합기



[그림 3] 각 비선형 소자의 컨덕턴스 파형

주파수가 ω_{LO} 인 LO 신호에 의해 각 비선형 소자에 나타나는 컨덕턴스와 ω_{RF} 인 RF 신호에 의해 각 비선형 소자 양단에 나타나는 전압은 다음과 같다.

$$g_1(t) = \sum g_m \exp(j\omega_{LO}t) \quad (1)$$

$$g_2(t) = \sum g_m \exp(j\omega_{LO}t - jn\pi)$$

$$v_{RF1}(t) = \sum V_{RF} \exp(jm\omega_{RF}t) \quad (2)$$

$$v_{RF2}(t) = \sum V_{RF} \exp(jm\omega_{RF}t - jm\pi)$$

여기서 n은 LO 신호의 고조파 차수의 계수를

나타내고, m 은 RF 신호의 고조파 차수의 계수를 나타낸다.

따라서 IF 단에 흐르는 전류는 식 (4)와 같다.

$$i(t) = \sum \left\{ I_{nm} \exp(jm\omega_{RF}t + jn\omega_{LO}t) \times [1 - \exp(-jn\pi - im\pi)] \right\} \quad (4)$$

식 (4)에서 보는 바와 같이 고조파 차의 계수가 짝수이면, 즉 (m+n)이 짝수인 고조파 신호 성분들은 모두 제거됨을 알 수 있다.

LO의 AM(Amplitude modulation)에 의한 잡음 성분은 식 (5)와 같이 나타낼 수 있는데, LO 신호의 2 차 고주파 항을 이용하므로 서브-하모닉 구조에서는 잡음 성분이 제거됨을 알 수 있다.

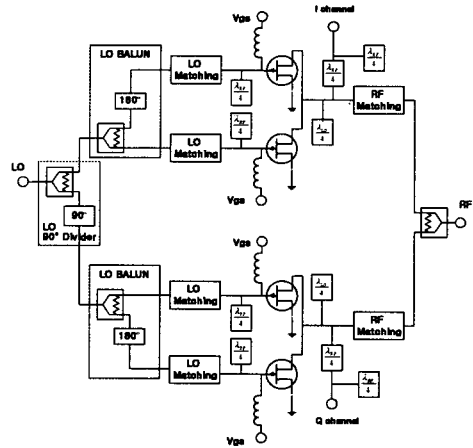
$$i_n(t) = \sum \left\{ V_n \exp(jn\omega_{LO}t) \times [1 - \exp(-jn\pi)] \right\} \quad (5)$$

직접 변환 수신기의 경우 LO 신호가 RF 단으로 노출되어 다시 혼합기로 유입될 경우 발생하는 혼합기의 성능 저하를 초래하게 된다. 그러나 서브-하모닉 구조의 혼합기인 경우는 LO의 주파수가 1/2 RF 주파수이므로 이러한 성능저하를 방지할 수 있는 구조의 혼합기이다.

III. 혼합기의 제작 및 성능 측정

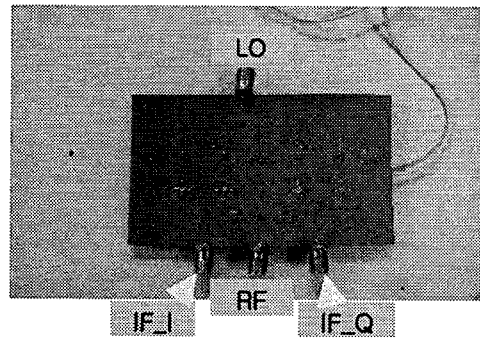
혼합기는 비유전율이 6.15 이고 두께가 25 mil 인 Rogers 사의 RT Duroid 6006 기판에 그림 4 와 같이 구성하여 설계하였다. 사용한 비선형 소자는 동작 주파수와 선형성을 고려하여 NEC사의 NE72084 GaAs FET를 선정하였고, Agilent 사의 ADS 2002 를 이용하여 시뮬레이션 하였다.

RF 주파수는 IEEE 802.11a 에서 규정된 무선랜 사용대역인 5.725~5.825GHz 로 설정하였다.



[그림 4] 서브-하모닉 혼합기의 구성도

제작된 서브-하모닉 혼합기를 그림 5 에 나타내었다.

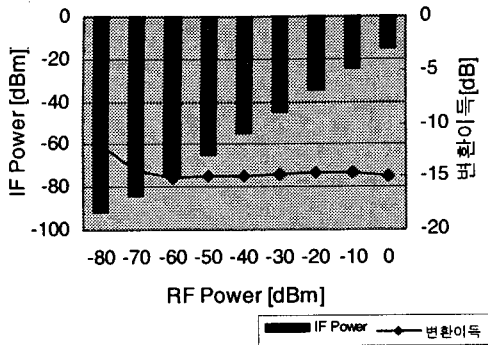


[그림 5] 제작된 혼합기 실물도 (80*57mm)

혼합기의 특성을 측정한 결과 1dB Gain compression point 는 10dBm 이었다.

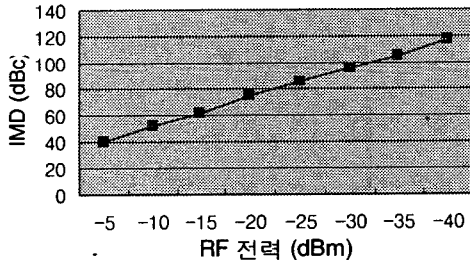
이러한 LO 신호 전력에서 제작된 혼합기는 15.0dB(RF@-50dBm)의 변환손실을 나타내었고, Spurious response 는 매우 우수하였다. 또한 규정된 무선 랜용 주파수 대역 내에서의 ± 0.75dB 의 평탄도 특성을 나타내었다.

RF 신호 전력의 변동에 따른 혼합기의 성능 특성 변화를 그림. 6 에 도식하였는데, 변화되는 주변의 전파환경에 거의 무관하게 동작된다고 할 수 있다.



[그림 6] RF 신호 전력에 따른 성능 특성

그림 7과 같이 제작된 혼합기의 3차 상호변조 왜곡 특성이 측정되었는데, 억압 특성이 40dBc 이상으로 선형동작 영역이 넓음을 알 수 있다.



[그림 7] RF 신호 전력에 따른 IMD 특성

V. 결론

본 논문에서는 서브-하모닉 구조를 사용하여 RF 주파수의 1/2인 국부 반송파와 혼합하여 Zero IF를 얻도록 하는 직접변환 수신기용 혼합기를 제작하였다. 서브-하모닉 구조를 이용하여 별도의 대역통과 여파기를 사용하지 않고도 LO 단과 RF 단 사이의 분리도를 향상시켰으며, 직접 변환 방식의 가장 큰 문제점 중 하나인 DC offset 문제를 해결하는데 접근하였다.

그러나 일반 혼합기에 비해 다소 큰 변환손실을 줄이기 위한 연구가 조금 더 필요하다.

References

- [1] A.A. Abidi, "Direct-Conversion Radio Transceivers for Digital Communications", IEEE Journal of Solide-Stste Circuits, Vol. 30, No. 12, pp. 1399-1409, Dec. 1995.
- [2] B. Razavi, "Design Considerations for Direct-Conversion Receivers", IEEE Transactions on Circuit and System-II, Vol. 44, No. 6, pp. 428-435, June 1997.
- [3] M. Shimozawa, K. Kawakami, H. Ikcmatau, K. Itoh, N. Kasai Y. Isota, and O. Ishida, "A Monolithic Even Harmonic Quardratur Mixer Using a Balance Type 90 Degree Phase-shifter for Direct Conversion Reccivers," in 1998 IEEE Microwave Symposium Digest, 1998, pp. 175-178.
- [4] M. Shimozawa, K. Kawakami, H. Ikcmatau, K. Itoh, N. Kasai Y. Isota, and O. Ishida, "A Novel Subharmonic Pumping Direct Conversion Receiver with High Instantaneous Dynamic Range," in 1996 IEEE Microwave Symposium Digest, 1998, pp. 819-822.
- [5] B. Matinpour, C. Chun, S. Han, C.H. Lee, and 1.Laskar, "A Compact Monolithic C-Band Direct Conversion Receiver", IEEE microwave and Guided Wave Letters, vol. 10, no. 2, Feb. 2000.