

# 마이크로웨이브 수신기용 다기능 주파수 변환 블록 설계 및 제작

## Design and Implementation of Multi-Function Conversion Block for Microwave Receiver

김재현 · 고민호\* · 박효달

Jae-Hyun Kim · Min-Ho Go\* · Hyo-Dal Park

### 요약

본 논문은 마이크로웨이브 수신기 구성을 위한 다기능 주파수 변환 블록을 설계 및 제작하였다. 제안한 다기능 주파수 변환 블록은 광대역 전압제어발진기와 이중모드 주파수 혼합기로 구성되어, 바이어스 전압 인가 여부에 따라 마이크로웨이브 수신기에 필요한 첫 번째 IF(Intermediate Frequency) 출력 주파수 4,595 MHz / 6,045 MHz는 720 MHz로 주파수 변환을 하고, Ku-대역 수신을 위한 IF 출력 주파수 720 MHz는 주파수 변환을 하지 않고 통과(bypass) 및 감쇄시키는 이중모드의 다기능 동작을 한다. 제작 및 측정결과, 각 중간주파수에서 LO 전력에 따른 변환손실 특성은 2~4 dBm의 LO 레벨에서 4,595 MHz는 13 dB, 6,035 MHz에서 12 dB, 720 MHz에서는 7.0 dB의 변환손실 특성을 나타내었다.

### Abstract

In this paper, we proposed a multi-function conversion block for microwave receiver. The proposed multi-function conversion block is composed of a broadband voltage controlled oscillator and a dual-mode mixer. Depending on whether the bias voltage is supplied, the first IF(Intermediate Frequency) output frequency(4,595 MHz/ 6,045 MHz) needed in microwave receiver is converted to 720 MHz and the another IF output frequency(720 MHz) for receiving Ku-band has the multi-functional operations of the dual mode that are bypass and attenuation without frequency conversion. Implementation and measurement results show that each intermediate frequency has conversion loss characteristic according to the LO power. The LO power conversion loss of 4,595 MHz at the LO levels from 2 dBm to 4 dBm is 13 dB, another of 6,035 MHz is 12 dB and the other of 720 MHz is 7.0 dB.

Key words: RF Amplifier, IF, Receiver, Microwave

### I. 서론

마이크로웨이브 대역을 사용하는 대표적 시스템인 레이더 탐지기(radar detector)는 차량의 불법 과속 단속장비인 스피드건(speed gun)을 운전자에게 인지시킴으로써 충돌 방지 또는 스피드 미터의 존재 여부를 감지하여 안전

하게 속도를 줄이도록 도와주는 보조 수단으로 활용되고 있다<sup>[1]</sup>. 현대의 무선 통신 시스템은 초광대역, 초저전력, 초저가 및 초소형화에 맞춰 발전하고 있으며, 레이더 탐지기에서 활용되는 마이크로웨이브 수신기 전단부 역시 다양한 종류의 스피드건에서 발사되는 신호 감지와 제작에 소요되는 생산단가 절감을 위하여 광대역 특성 및 소

인하대학교 전자공학과(Department of Electronic Engineering, INHA University)

\*삼성탈레스(Samsung Thales)

· Manuscript received June 17, 2015 ; July 22, 2015 ; Accepted July 24, 2015. (ID No. 20150617-044)

· Corresponding Author: Hyo-Dal Park (e-mail: hdpark@inha.ac.kr)

형화가 요구된다.

## II. 마이크로웨이브 광대역 수신기 구조

X-대역, Ku-대역, K-대역 및 Ka-대역에서 동작하는 마이크로웨이브 광대역 수신기 전단부는 고조파 신호 변환(harmonic signal conversion) 및 영상 신호 변환(image signal conversion)에 의해 발생하는 수신 성능의 저하 문제를 극복할 수 있어야 하고, 단일의 LO(Local Oscillator) 회로만으로 광대역 튜닝 대역폭을 갖는 LO 신호를 구현할 수 있어야 한다. 또한 다중 대역 수신을 위해 필요한 회로의 개수를 최소화하여 저전력 특성을 구현할 수 있어야 한다. 기존의 직접 변환(direct-conversion) 방식 또는 Low-IF 변환 방식의 RF 전단부는 고조파 신호 변환과 영상 신호 변환에 의한 성능 저하를 보상하기 위해 복잡한 디지털 신호 처리 기술을 적용하고, 광대역 LO 신호의 구현을 위해 다중의 LO 회로를 사용하며, 다중 대역 구현을 위해 대역별로 별개의 회로를 사용하기 때문에 복잡하고, 전력 효율이 저하되는 단점을 갖는다<sup>[2]-[5]</sup>. 그림 1은 이러한 단점을 보완하는 마이크로웨이브 광대역 수신기 전단부 구조를 나타내었다.

역병렬다이오드(Anti-Parallel Diode: APD)를 이용하여 제어전압 인가에 따라 1차 주파수 변환부, 주파수 변환 및 통과(bypass) 동작하는 2차 주파수 변환부를 통하여 삼중변환(triple-conversion) 및 이중변환(double-conversion) 구조의 이중모드로 광대역 동작하도록 구성된다. 저잡음 증폭기는 단가 절감 및 회로 구성 단순화를 위해 생략하고, 타 구성단에서 이를 보상하도록 하였다.

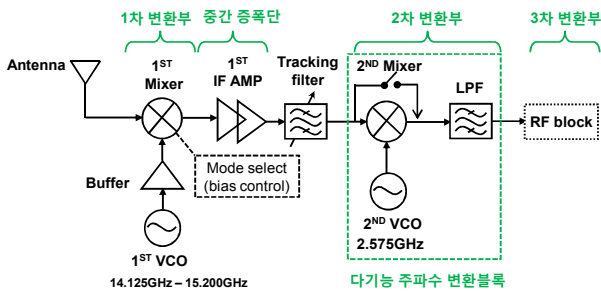


그림 1. 마이크로웨이브 광대역 수신기 전단부  
Fig. 1. M/W front-end for broadband receiver.

## III. 제안하는 다기능 주파수 변환 블록 설계

2장에서 설명한 광대역 수신기 구조는 X/K/Ka-대역 신호 수신 시 혼합기로 동작하고, Ku-대역 신호를 수신하는 경우, 감쇄기로 동작하는 다기능 주파수 변환 블록을 요구한다. 본 논문에서는 이중모드의 변환방식을 구현할 수 있는 다기능 주파수 변환(Multi-Function Conversion, MFC) 블록을 제안하였다.

### 3-1 다기능 주파수 변환 블록의 동작 원리

그림 2는 제안한 다기능 주파수 변환 블록의 구조이다. 4.6 GHz 및 6.0 GHz IF 출력 주파수는 주파수 변환을 하고, Ku-대역 수신을 위한 720 MHz IF 출력 주파수는 주파수 변환을 하지 않고 통과하는 구조이다.

마이크로웨이브 광대역 수신기에서 광대역 신호수신 및 변환된 IF 주파수 대역인 720 MHz, 4.6 GHz, 6.0 GHz 신호를 720 MHz로 변환하도록 하였으며, APD를 이용한 바이어스 제어를 통하여 바이어스 전압을 인가한 경우, 순방향 바이어스 조건인 다이오드  $D_1$ 은 단락회로로 동작하고, 역방향 바이어스 조건인 다이오드  $D_2$ 는 개방회로로 동작하게 되므로 다이오드  $D_1$ 의 전달 특성에 의해 주파수 변환이 발생하는 기본과 혼합기로 동작하게 된다. 하지만 바이어스 전원을 인가하는 동시에 국부발진기를 동작하지 않도록 하면 다이오드  $D_1$ 은 비선형 동작을 하지 않게 되므로, 주파수 혼합 특성을 나타내지 않고 단순한 단락 회로로 동작하여 다음 단으로 통과(bypass) 동작을 하게 된다.

### 3-2 다기능 주파수 변환 블록의 설계

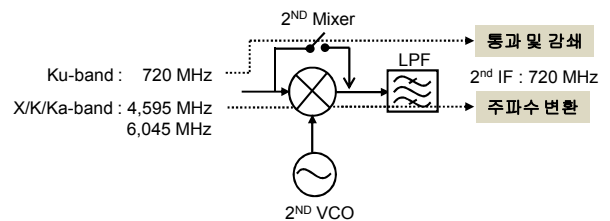
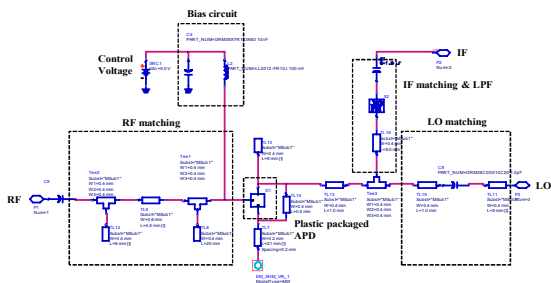
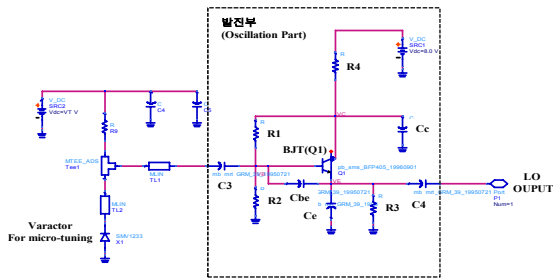


그림 2. 제안한 다기능 주파수 변환 블록 구조  
Fig. 2. The structure of multi-function conversion block.



(a) 이중모드 주파수 혼합기  
(a) Dual-mode mixer



(b) 광대역 전압제어발진기  
(b) Broadband voltage controlled oscillator

그림 3. 다기능 주파수 변환 블록  
Fig. 3. Schematic of multi-function conversion block.

제안하는 다기능 주파수 변환 블록의 회로설계는 Agilent사의 ADS(Advanced Design System)를 이용하였고, APD 소자는 패키징 기생성분이 없는 Infineon사의 BAT15-04W GaAs Flip-chip 역병렬 다이오드를 사용하였다. 그림 3은 다기능 주파수 변환 블록을 구성하는 주파수 혼합기와 전압제어발진기의 설계 회로를 나타내었으며, 전압제어발진기는 다른 3 단자 능동소자들보다 설계 대역에서  $1/f$  잡음 특성이 우수한 BJT 계열의 트랜지스터를 이용하였다.

다기능 주파수 변환 블록을 구성하는 전압제어발진기의 낮은 위상잡음 특성을 위해서는 능동소자의 잡음지수가 최소가 되는 콜렉터 전류를 선택해야 한다. 그림 4는 콜렉터 전류  $I_C$ 의 변화에 따른 능동소자의 최소 잡음지수와 이득특성을 나타낸 것으로 콜렉터 전류가 감소할수록 잡음지수 특성은 개선되지만, 이득 특성은 저하된다. 낮은 이득특성은 전압제어발진기의 출력 레벨의 감소시

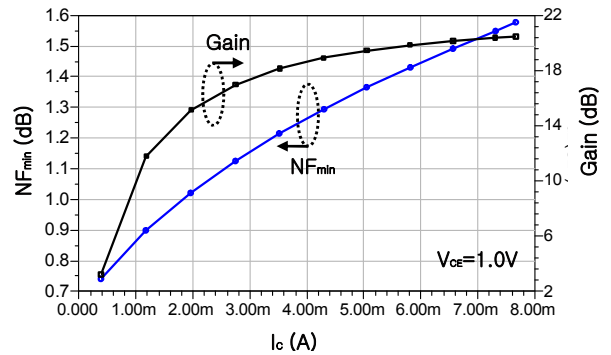


그림 4. 콜렉터 전류의 최소 잡음지수 및 이득 특성  
Fig. 4. The NF and gain with respect to collector current.

키기 때문에 적절한 이득 및 잡음특성을 고려해 콜렉터 전류  $I_C$ 는 5 mA로 결정하였다.

#### IV. 다기능 주파수 변환 블록 제작 및 측정

그림 5는 마이크로웨이브 광대역 수신기 전단부에 적용하기 위해 제작한 다기능 주파수 변환 블록의 실물도이며, 유전율 2.5, 높이 0.5 mm 테프론 기판을 사용하였다.

그림 6은 제작한 MFC의 전압제어발진기 고조파 억압 특성을 나타내었다. 측정 결과,  $-24$  dBc의 2차 고조파 억압 성능과  $-50$  dBc의 3차 고조파 억압 성능을 갖는다.

MFC의 혼합기는 LO 레벨에 따른 변환손실, RF 레벨에 따른 변환손실, 단자간 격리도 특성, 동작 모드에 따른

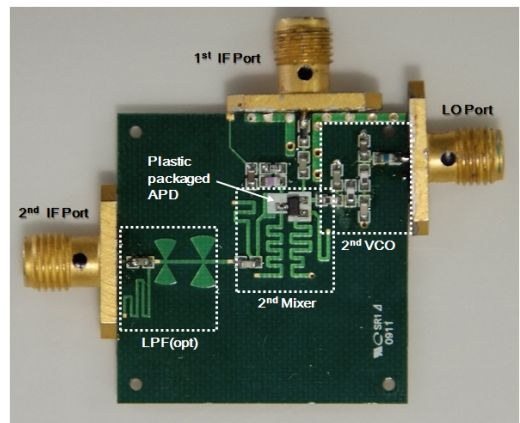


그림 5. 제작된 다기능 주파수 변환 블록 실물도  
Fig. 5. The photograph of the fabricated MFC block.

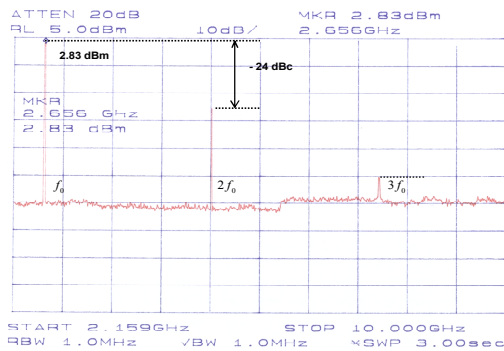


그림 6. 고조파 억압 특성  
Fig. 6. The harmonic suppression characteristic.

스프리얼스 응답 특성 등이 있으며, 실제 측정 시 많은 시간이 소요되므로, 본 논문에서는 대표적인 동작 특성인 LO 레벨에 따른 변환손실 특성만을 나타내었다. 표 1은 RF 전력이 -30 dBm일 때 세 개의 중간주파수에서 LO 전력에 따른 변환손실 특성을 나타낸 것으로 2~4 dBm의 LO 레벨에서 4,595 MHz는 13 dB 변환손실 특성, 6,035 MHz에서 12 dB 변환손실 특성을 나타내고 있으며, 720 MHz에서는 7.0 dB의 변환손실 특성을 나타내었다.

표 1. 각 중간주파수의 변환손실 특성  
Table 1. The characteristic of IF conversion gain.

LO전력 (dBm)	BIAS=ON		BIAS=OFF
	IF(4,595)	IF(6,035)	IF(720)
	LO(2,657)	LO(2,657)	LO(OFF)
-5	-70.00	-69.17	-37.17
-4	-66.50	-63.00	
-3	-62.00	-58.67	
-2	-57.30	-54.00	
-1	-52.70	-49.80	
0	-48.50	-46.20	
1	-45.50	-44.40	
2	-43.70	-42.80	
3	-43.70	-42.50	
4	-43.00	-42.50	
5	-43.80	-42.70	

## V. 결 론

본 논문은 마이크로웨이브 광대역(X-대역, Ku-대역, K-대역 및 Ka-대역) 수신기 구성을 위한 다기능 주파수 변환 블록을 설계 및 제작하였다. 제안한 다기능 주파수 변환 블록은 광대역 전압제어발진기와 이중모드 주파수 혼합기로 구성되어, 바이어스 전압 인가 여부에 따라 주파수 변환 및 통과(bypass)의 동작을 하도록 설계하였으며, 제작 및 측정결과, 각 중간주파수에서 LO 전력에 따른 변환손실 특성은 2~4 dBm의 LO 레벨에서 4,595 MHz는 13 dB, 6,035 MHz에서 12 dB, 720 MHz에서는 7.0 dB의 변환손실 특성을 나타내었다. 이와 같은 결과로 활용하고자 하는 마이크로웨이브 광대역 수신기와 다른 응용 분야에 다양하게 활용이 가능할 것으로 사료된다.

## References

- [1] Merrill I. Skolnik, *Introduction to Radar Systems*, McGraw Hill, 2001.
- [2] Kenneth Barnett, Harish Muthali, Susanta Sengupta, Yunfei Feng, Bo Yang, Zhijie Xiong, Tae wook Kim, James Jaffee, and Cormac Conroy, "A multi-standard mobile digital video receiver in 0.18 um CMOS process", *IEEE Int. Conf. Solid-State Circuits*, pp. 154-157, Sep. 2008.
- [3] Yin Shi, Fa Foster Dai, Jun Yan, Xueqing Hu, Hua Xu, Ming Gu, Xuelian Zhang, Qiming Xu, Bei Chen, Fang-xiong Chen, Peng Yu, Heping Ma, Fang Yuan, and Richard C. Jaeger, "A multifunction transceiver RFIC for 802.a/b/g WLAN and DVB-H applications", *IEEE Int. Conf. Custom Integrated Circuits*, 2008, pp. 249-252
- [4] 고민호, 조운현, 주영립, 박효달, "광대역 및 다중 대역 시스템용 혼성 변환 방식 RF 전단부 구현을 위한 다중 기능 회로의 설계 및 제작", *한국전자과학회논문지*, 21(3), 2010년.
- [5] 고민호, 김형주, 나선필, 김재현, "다중 대역 레이더 신호 수신을 위한 이중 모드 주파수 혼합기", *한국전자과학회논문지*, 24(11), 2013년.