

# 다중 대역 레이더 신호 수신을 위한 이중 모드 주파수 혼합기

## A Dual-Mode Mixer for Multi-Band Radar Signal Reception

고민호 · 김형주 · 나선필\* · 김재현\*\*

Min-Ho Go · Hyoung-Joo Kim · Sun-Phil Nah\* · Jae-Hyun Kim\*\*

### 요 약

본 논문은 다중 대역 레이더 수신기의 소형화를 위한 이중 모드 주파수 혼합기를 구현하였다. 제안한 혼합기는 역병렬 다이오드(anti-parallel diode)를 이용하였고, 제어 전압 유무에 따라 기본파 혼합기 또는 부고조파 혼합기로 동작한다. 제어 전압을 인가하여 기본파 혼합기로 동작하는 경우, X-대역에서 -10 dB 변환 손실, 2.0 dBm P1dB 특성을 나타내었고, 제어 전압을 인가하지 않은 부고조파 혼합기로 동작하는 경우 K-대역에서 -10 dB 변환 손실, 2.0 dBm P1dB 특성을 나타내었다.

### Abstract

In this paper, we propose a dual-mode mixer to have multi-band radar signal receiver to be compact. The proposed mixer using a anti-parallel diode is operated as a fundamental mixer or sub-harmonic mixer with respect to a control voltage. A fundamental mixer with a control voltage show a conversion loss of -10 dB, 1dB compression point of 2 dBm at X-band. On the other hand, it is performed as a sub-harmonic mixer with a conversion loss of -10 dB, 1 dB compression point of 2 dBm at K-band.

Key words : Multi-Band, Dual-Mode Mixer, Radar, Multi-Band Receiver, Anti-Parallel Diode

### I. 서 론

역병렬 다이오드(Anti-Parallel Diode: APD)를 이용한 부고조파 혼합기는 기본파 혼합기에서 요구되는 LO 주파수보다 1/2 낮은 LO 주파수로 동작하는 특성 때문에 안정적인 신호원 구현이 용이하고, 낮은 LO 잡음 및 짝수 스퓨리어스 응답 특성으로 다양한 형태로 송수신 시스템에 사용되고 있다<sup>[1][2]</sup>.

본 논문에서는 인가되는 제어 전압에 따라 역병

렬 다이오드를 기본파 혼합기 또는 부고조파 혼합기로 동작시켜 X/K-대역 신호의 주파수 변환이 가능한 이중 모드 주파수 혼합기를 설계 및 구현하였다.

제안한 이중 모드 주파수 혼합기는 적절한 주파수 플랜을 이용하여 광대역 및 다중 대역의 레이더 신호를 수신하여 처리할 수 있는 수신기의 소형화에 활용할 수 있다<sup>[3][4]</sup>.

본 논문은 2장에서는 역병렬 다이오드를 기본파 혼합기 또는 부고조파 혼합기로 동작시키는 원리와

삼성탈레스(Samsung Thales)

\*국방과학연구소(Agency for Defense Development)

\*\*한국방송통신전파진흥원(Korea Communication Agency)

· Manuscript received August 29, 2013 ; Revised September 30, 2013 ; Accepted October 2, 2013. (ID No. 20130829-03S)

· Corresponding Author : Min-Ho Go (e-mail : minho0423.go@samsung.com)

제안한 주파수 혼합기의 설계 및 모의실험에 대하여 설명하고, 3장에서는 측정 결과를 언급하며, 4장에서는 결론을 맺는다.

## II. 이중 모드 주파수 혼합기 동작

### 2-1 이중 모드 주파수 혼합기 동작

이중 모드 주파수 혼합기는 역병렬 다이오드를 사용하여 인가되는 전압의 유무에 따라 기본파 혼합기 또는 부고조파 혼합기로 동작하도록 하였다.

#### 2-1-1 기본파 혼합 모드 동작<sup>[1]</sup>

역병렬 다이오드의 양단에 제어 전압  $V_{CTL}$ 이 인가되는 경우, 다이오드  $D_1$ 은 순방향 바이어스, 다이오드  $D_2$ 는 역방향 바이어스 조건에 의해 역병렬 다이오드는 단일 다이오드  $D_1$ 의 전류-전압 특성으로 LO 신호의 기본파 성분과 RF 신호가 혼합되어 출력되는 기본파 혼합기로 동작한다. 그림 1은 제어 전압이 인가된 역병렬 다이오드에 RF 신호와 LO 신호가 되었을 때의 등가 모델을 나타내었다.

단일 다이오드  $D_1$ 에 RF 신호와 LO 신호가 인가되는 경우, 전류  $i(t)$ 는 식 (1)과 같다.

$$\begin{aligned}
 i(t) &= \alpha \frac{g_1}{2} [V_{RF} \cos \omega_{RF} t + V_{LO} \cos \omega_{LO} t]^2 \\
 &= \alpha \frac{g_1}{4} [V_{RF}^2 (1 + \cos 2\omega_{RF} t) + V_{LO}^2 (1 + \cos 2\omega_{LO} t) \\
 &\quad + 2V_{RF} V_{LO} \cos(\omega_{RF} t - \omega_{LO} t) + \cos(\omega_{RF} t + \omega_{LO} t)]
 \end{aligned} \tag{1}$$

여기서  $g_1$ 은 다이오드의 전달 컨덕턴스,  $V_{RF}$ 는 RF 신호의 진폭,  $V_{LO}$ 은 LO 신호의 진폭을 의미한다.  $\alpha = q/nkT$ 이며,  $q$ 는 전자의 전하,  $k$ 는 볼츠만 상수,

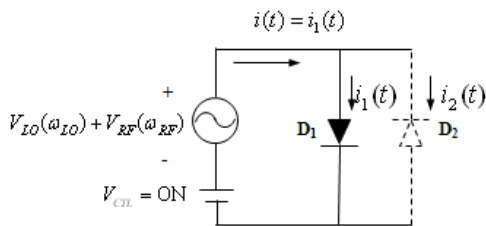


그림 1. 역병렬 다이오드의 기본파 혼합기 동작  
Fig. 1. Fundamental mixer operation of APD.

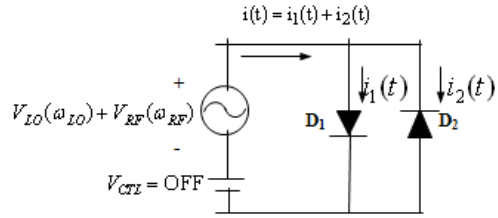


그림 2. 역병렬 다이오드의 부고조파 혼합기 동작  
Fig. 2. Sub-harmonic mixer operation of APD.

$T$ 는 온도,  $n$ 은 다이오드의 이상지수(ideality factor)를 나타낸다. 식 (1)의 전류  $i(t)$ 에 포함된 DC 성분과 LO/RF 신호의 고조파 성분들을 필터 회로를 적용하여 제거하면 주파수 성분  $|\omega_{RF} \pm \omega_{LO}|$ 에서 최대 주파수 변환을 갖는 기본파 혼합기로 동작한다.

#### 2-1-2 부고조파 혼합 모드 동작<sup>[2]</sup>

역병렬 다이오드에 제어 전압을 인가하지 않을 경우, 역병렬 다이오드  $D_1$ 과  $D_2$ 는 대칭의 전류-전압 특성 곡선을 갖기 때문에 LO 신호의 짝수차 고조파 성분만이 RF 신호와 혼합되어 출력되는 부고조파 혼합기로 동작하게 된다. 그림 2는 제어 전압이 인가된 역병렬 다이오드에 RF 신호와 LO 신호가 되었을 때의 등가 모델을 나타내었다.

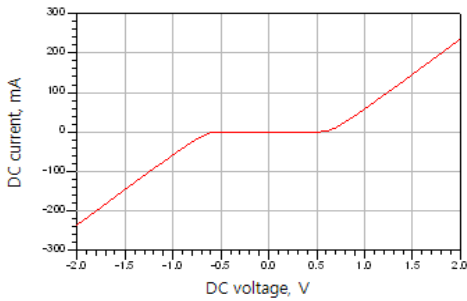
역병렬 다이오드에 RF 신호와 LO 신호가 인가되는 경우, 전류  $i(t)$ 는 식 (2)와 같다.

$$\begin{aligned}
 i(t) &= A \cos \omega_{LO} t + B \cos \omega_{RF} t + C \cos 3\omega_{LO} t \\
 &\quad + D \cos 5\omega_{LO} t + E \cos(\omega_{RF} + 2\omega_{LO}) t \\
 &\quad + F \cos(\omega_{RF} - 2\omega_{LO}) t + G \cos(\omega_{RF} + 4\omega_{LO}) t \\
 &\quad + H \cos(\omega_{RF} - 4\omega_{LO}) t + \dots
 \end{aligned} \tag{2}$$

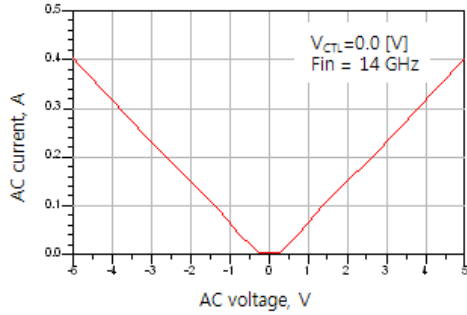
여기서  $A, B, C \dots$ 는 진폭을 의미한다. 식 (2)에서 전체 전류에 포함된 주파수 성분은  $m\omega_{LO} \pm n\omega_{RF}$ , 즉  $m+n$ 이 홀수 항을 갖는 주파수 성분만 발생한다. 그러므로 제어 전압이 인가되지 않은 역병렬 다이오드는 기본 주파수 변환  $|\omega_{RF} \pm \omega_{LO}|$  성분은 억압되고, 2차 고조파 성분  $|\omega_{RF} \pm 2\omega_{LO}|$ 에서 최대 주파수 변환 특성을 갖는 부고조파 혼합기로 동작한다.

### 2-2 이중 모드 주파수 혼합기 설계

주파수 혼합기 설계는 Agilent사의 ADS(Advanced



(a) 직류 전류-전압 곡선  
(a) DC I-V curve



(b) 교류 전압에 대한 전류 특성  
(b) Current with respect to AC voltage

그림 3. 역병렬 다이오드의 직류 및 교류 특성  
Fig. 3. DC & AC characteristics of APD.

Design System)를 이용하였다. APD 소자는 Alpha사의 DMK2308 GaAs Flip-chip 역병렬 다이오드를 사용하였고, 제조사에서 제공한 비선형 모델을 이용하여 모의실험한 전기적 특성을 그림 3에 나타내었다. 그림 3(a)는 역병렬 다이오드의 직류 전류-전압 특성 곡선으로 대칭 구조의 전달 콘덕턴스 특성을 나타내고 있다. 그림 3(b)는 교류 전압에 따른 전류 특성을 나타낸 것으로 교류 신호의 0.5 V 이상의 양/음 교류 전압에서 전류가 도통되는 특성을 갖음을 확인하였다.

주파수 혼합기는 LO 신호에 의해 시변 비선형 특성을 갖기 때문에 각 단자 임피던스는 LO 신호에 의해 영향을 받는다. 정합 회로는 각 단자의 대신호 (large signal) 파라미터를 추출하여 설계하여야 한다 [5][6]. 본 논문에서는 광대역 RF 및 LO 임피던스 정합 회로 구현의 한계로 인하여 단자에 요구되는 필터 회로 설계 후 HB(Harmonic Balance) 해석 단계에서 튜닝을 통하여 원하는 성능을 만족하도록 하였

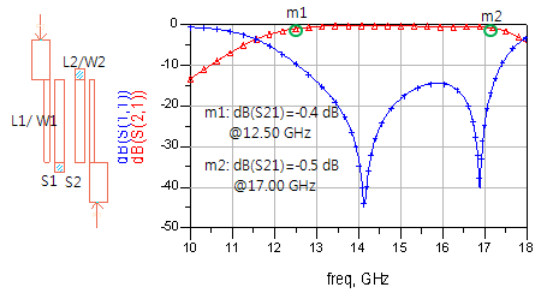


그림 4. LO 대역 통과 필터 특성  
Fig. 4. LO band-pass filter characteristics.

다. 각 단자의 필터 회로들은 전자기 해석을 수행하였다.

그림 4는 LO 단자의 대역 통과 필터 설계 결과를 나타내었다. PCB 제작 공정에 따른 오차를 고려하여 12~17 GHz 광대역 대역 통과 특성을 갖도록 하였으며, 소형화를 위해 interdigital 필터 구조를 사용하였다[7].

RF 대역 통과 필터 회로는 LO 신호가 RF 단자로 누설되어 발생하는 포화에 따른 수신 감도 저하를 방지하기 위해 LO 신호 억압 특성과 광대역 RF 신호에 대해 저손실 특성을 갖도록 설계하였다. 그림 5는 RF 대역 통과 필터 회로의 특성을 나타낸 것으로 LO 신호에 대한  $\lambda/4$  개방 스텐브( $L_1$ )를 이용하여 14~15 GHz LO 신호에 대해 -10 dB 이상의 대역 저지 특성과 10~13 GHz/16~40 GHz RF 신호에 대해 -4.0 dB 이하의 저손실 대역 통과 특성을 구현하였다.

그림 6은 IF 대역 통과 필터 특성을 나타낸 것으로, LO 신호 또는 RF 신호의 누설에 의해 중간주파

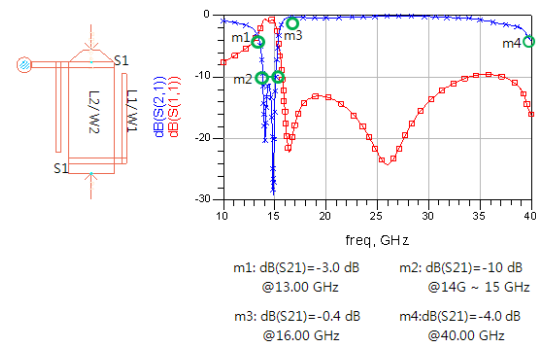


그림 5. RF 대역 통과 필터 특성  
Fig. 5. RF band-pass filter characteristics.

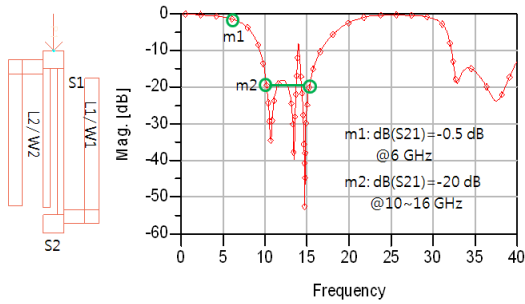


그림 6. IF 대역 통과 필터 특성  
Fig. 6. IF band-pass filter characteristics.

표 1. 필터 설계 결과  
Table 1. The result of filter design.

단자	설계 파라미터	설계값 [mm]
LO	$W_1/L_1$	0.2/3.1
	$W_2/L_2$	0.4/3.1
	$S_1/S_2$	0.2/0.4
RF	$W_1/L_1$	0.2/5.6
	$W_2/L_2$	1.8/4.0
	$S_1$	0.3
IF	$W_1/L_1$	0.4/4.6
	$W_2/L_2$	0.2/4.0
	$S_1/S_2$	0.6/0.2

수 증폭기의 포화와 IF 신호와의 혼변조 잡음에 의해 발생하는 수신 성능 저하를 방지하도록 하였고, 원하는 IF 신호에 대해서는 저손실 전달 특성을 갖도록 하였다. 높은 LO 신호 역압 특성을 구현하기 위하여 LO 신호에 대해  $\lambda/4$  개방 스텐브( $L_1$ ) 및 spurline ( $L_2$ ) 구조를 적용하였다<sup>[8]</sup>. 표 1은 필터 회로들의 설계 결과를 요약하였다.

그림 7은 설계한 이중 모드 주파수 혼합기의 회로도도를 나타내었다. 전자기 해석을 통해 설계된 각 단자의 대역 통과 필터 결과를 반영하여 HB 모의실험을 수행하였다. RF 단자 및 IF 단자에 직렬 또는 개방 스텐브를 이용하여 정합 회로를 구현하였다. IF 단자에는 특정 대역의 RF 신호 제거를 위해  $\lambda/4$  개방 스텐브를 추가로 삽입하여 격리도 특성을 개선하였다.

설계한 이중 모드 주파수 혼합기의 모의실험 결과를 그림 8에 나타내었다. 그림 8(a)는 제어 전압을

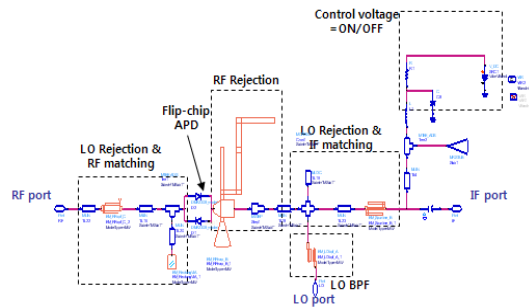
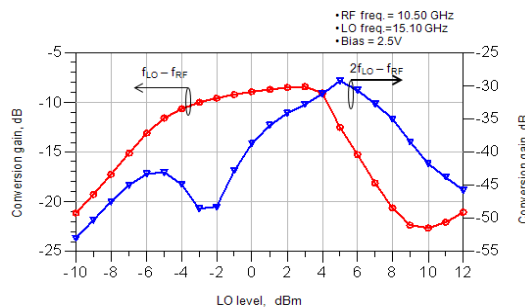
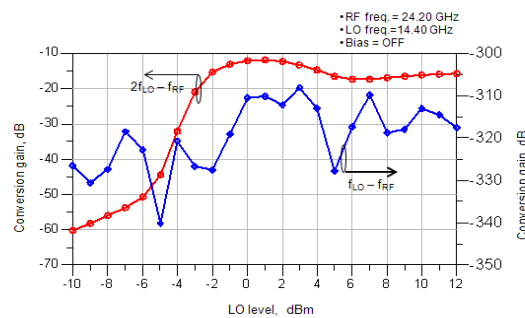


그림 7. 이중 모드 주파수 혼합기의 회로도  
Fig. 7. Schematic of a dual-mode mixer.

인가한 기본과 혼합 모드의 변환 손실 특성을 나타낸 것으로 X-대역에서  $-4.0 \sim +4.0$  dBm의 LO 레벨 조건에서  $-10 \sim -8$  dB 변환 손실 특성을 나타내었고, 동일 LO 레벨에서  $-30$  dB 이하의 부고조파 혼합 모드 역압 특성을 나타내었다. 그림 8(b)는 제어 전압을 인가하지 않은 부고조파 혼합 모드의 변환 손실 특성에 관한 것으로 K-대역에서  $-1.0 \sim +4.0$  dBm의



(a) 기본과 혼합 모드  
(a) Fundamental mixing mode



(b) 부고조파 혼합 모드  
(b) Sub-harmonic mixing mode

그림 8. 변환 손실 모의실험 결과  
Fig. 8. Conversion loss simulation result.

LO 레벨 조건에서  $-15 \sim -12$  dB 변환 손실 특성을 가지며, 동일 LO 레벨에서 기본과 혼합 모드 억압 특성은  $-300$  dB 이하의 특성을 나타내었다. 기본과 혼합 모드 억압 특성은 LO 레벨에 무관하게 우수한 억압 특성을 나타내고 있는데, 이는 APD의 이상적인 대칭 구조에 의한 것으로 판단된다. 실제 APD의 비선형 파라미터의 비대칭으로 기본과 혼합 억압 성능은 이상적인 경우보다 열화되는 특성을 나타낸다<sup>[9]</sup>.

다이오드를 사용하여 설계된 혼합기의 격리도 특성은 각 단자의 필터 회로들의 특성에 의해 결정되며, 그림 5와 그림 6의 결과로부터 기본과 혼합 모드의 경우 15.10 GHz LO 주파수에 대해  $-30$  dB 정도의 LO-RF 격리도 및  $-30$  dB 정도의 LO-IF 격리도 특성을 가지며, 부고조파 혼합 모드의 경우 14.40 GHz LO 주파수에 대해  $-25$  dB LO-IF 격리도 및  $-30$  dB LO-RF 격리도 특성을 나타내고 있다.

### III. 제작 및 측정 결과

그림 9는 제작한 이중 모드 주파수 혼합기를 나타낸 것으로 유전율 2.5, 높이 0.5 테프론 기판을 사용하였고, 모듈 크기는  $30 \times 30$  mm<sup>2</sup>이다.

그림 10은 이중 모드 주파수 혼합기의 스펙트럼 특성을 나타내었다. 그림 10(a)는 X-대역 신호 변환을 위한 기본과 혼합기 모드의 스펙트럼 특성으로 입력 전력  $-30$  dBm, LO 전력 9.0 dBm, 제어 전압 2.5 V 및 전류 2.0 mA 조건에서 변환 손실  $-10$  dB 특성을 나타내었다. 그림 10(b)는 K-대역 신호 변환을 부고조파 혼합기 모드의 스펙트럼 특성에 대한

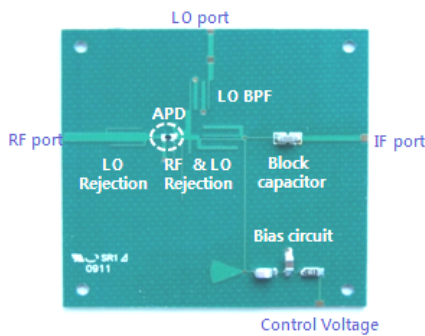
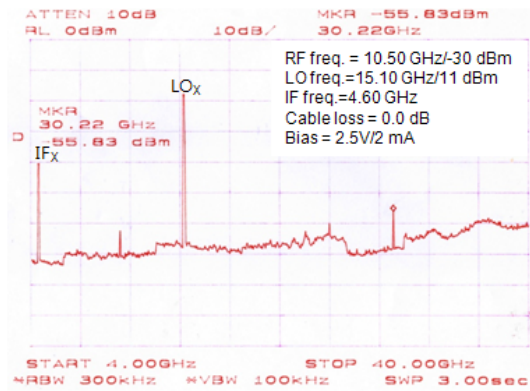
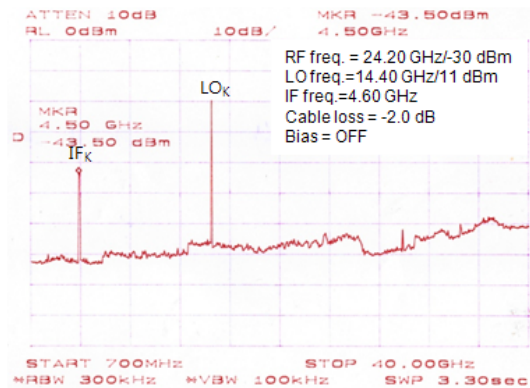


그림 9. 제작한 실물도  
Fig. 9. The photograph of the fabricated module.



(a) 기본과 혼합 모드 스펙트럼  
(a) Spectrum of fundamental mixing mode

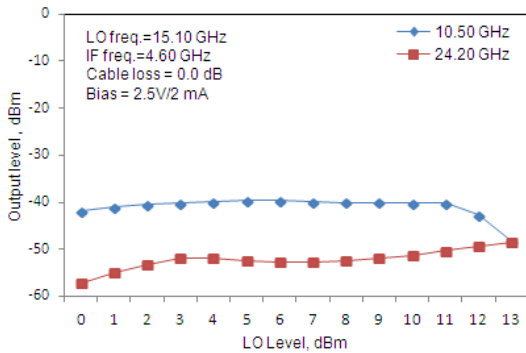


(b) 부고조파 혼합 모드 스펙트럼  
(b) Spectrum of sub-harmonic mixing mode

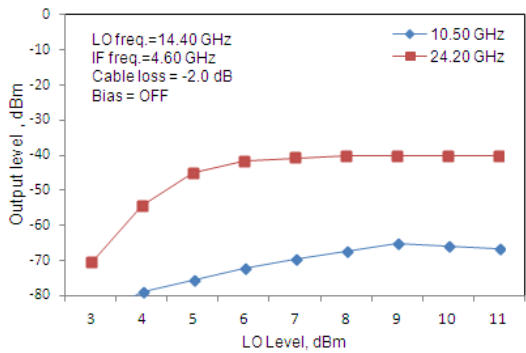
그림 10. 출력 스펙트럼  
Fig. 10. Output spectrum of the dual-mode mixer.

신호를 나타낸 것으로 입력 전력  $-30$  dBm, LO 전력 11.0 dBm 및 제어 전압 OFF 조건에서 측정하였고, 케이블 손실  $-2.0$  dB 고려하였을 때  $-10$  dB 변환 손실 특성을 갖는다.

LO 레벨에 따른 이중 모드 주파수 혼합기의 변환 손실 특성을 그림 11에 나타내었다. 그림 11(a)는 입력 전력  $-30$  dBm, 제어 전압 2.5 V 조건에서 기본과 혼합 모드의 LO 레벨에 따른 변환 손실 시험 결과로 2~11 dBm의 LO 레벨에서  $-10$  dB 변환 손실 특성을 나타내었고, K-대역 신호에 대해서는  $-20$  dB 이상의 변환 특성으로 부고조파 모드 억압 특성을 갖는다. LO 레벨 11 dBm 이상에서는 다이오드의 높은 비선형 특성으로 X-대역에서는 변환 손실 특성이 저하되고 K-대역에서는 상대적으로 변환 손실 특



(a) 기본과 혼합 모드  
(a) Fundamental mixing mode



(b) 부고조파 혼합 모드  
(b) Sub-harmonic mixing mode

그림 11. 변환 손실 vs LO 전력  
Fig. 11. Conversion loss with respect to LO power.

성이 개선되는 것으로 판단된다. 그림 11(b)는 입력 전력  $-30$  dBm, 제어 전압을 인가하지 않은 조건 및 케이블 손실  $-2.0$  dB 조건에서 부고조파 혼합 모드의 LO 레벨에 따른 변환 손실 시험 결과로  $10$  dBm 이상에서  $-10.0$  dB 변환 손실 특성을 나타내었다. 부고조파 모드에서 X-대역 신호에 대해서는  $-40$  dB 변환 손실 특성으로 기본과 혼합 모드 역압 특성을 갖는다. 그림 8의 모의실험 결과와 비교했을 때 상대적으로 높은 LO 전력이 인가되어야 하며, 이는 각 단자의 필터 회로의 손실 증가와 다이오드 자체의 낮은 격리도 특성으로 단자간 임피던스 변화에 의한 특성 변화에 기인한 것으로 판단된다.

그림 12는 이중 모드 주파수 혼합기의 RF 전력 레벨에 따른 1-dB 압축점 특성을 나타낸 것으로  $11$  dBm LO 레벨 조건에서 기본과 모드 및 부고조파 혼합 모드에서  $-4.0$  dBm 입력 P1dB 특성을 갖고 있음

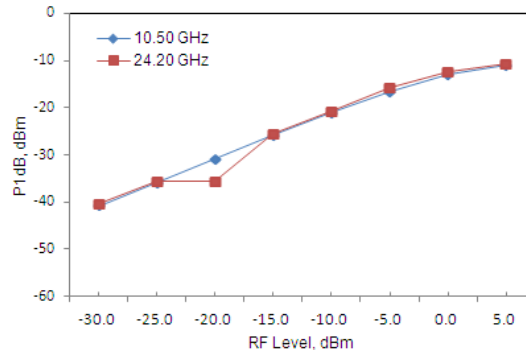


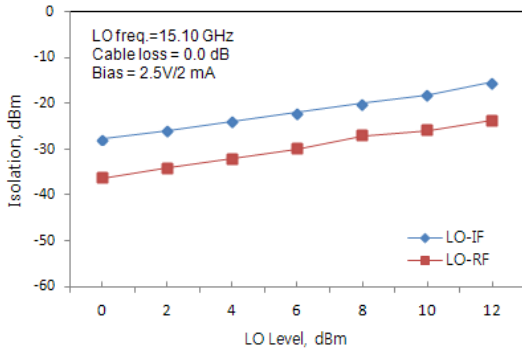
그림 12. P1dB 특성  
Fig. 12. P1dB compression point.

을 알 수 있다.

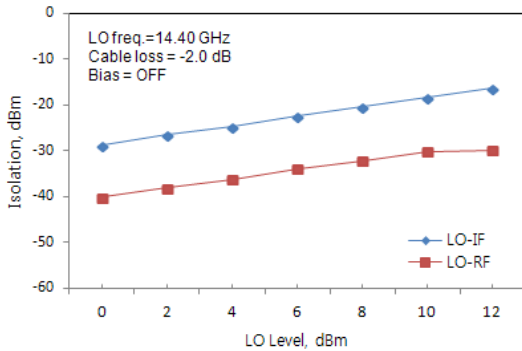
기본과 혼합 모드의 P1dB 측정은 RF 주파수  $10.50$  GHz, LO 주파수/세기  $15.10$  GHz/ $11$  dBm, IF 주파수  $4.60$  GHz 및  $2.5$  V의 바이어스 조건에서 수행하였고, 부고조파 혼합 모드의 P1dB 측정은 RF 주파수  $24.20$  GHz, LO 주파수/세기  $14.40$  GHz/ $11$  dBm, IF 주파수  $4.60$  GHz 및 바이어스 미인가 조건에서 수행하였다. 부고조파 혼합 모드 경우 케이블 손실  $-2.0$  dB를 고려하여 나타내었다.

제안한 이중 모드 주파수 혼합기는 수동소자의 낮은 격리도 특성을 보완하기 위하여 LO, RF 및 IF 단자에 대역신호 제거를 위한 필터 회로들을 적용하였다. 그림 13은 기본과 및 부고조파 혼합 모드에서의 격리도 특성을 나타내었다. 그림 10의 스펙트럼 측정을 위해 설정한 시험 조건과 동일한 환경에서 시험하였다. 그림 13(a)는 기본과 혼합 모드의 LO-IF 및 LO-RF 격리도 특성을 나타낸 것으로  $-28$  dB LO-IF 격리도 특성과  $-35$  dB LO-RF 격리도 특성을 나타내었다. 그림 13(b)는 부고조파 혼합 모드의 LO-IF 및 LO-RF 격리도 특성을 나타낸 것으로  $-28$  dB LO-IF 격리도 특성과  $-40$  dB LO-RF 특성을 나타내었다. 그림 13(c)는 기본과 및 부고조파 혼합 모드의 RF-IF 격리도 특성을 나타낸 것으로 두 모드에서 X-대역 및 K-대역에서  $-30$  dB 이상의 RF-IF 격리도 특성을 나타내었다. 설계값과의 차이는 증가된 LO 레벨에 의한 임피던스 변화에 따른 영향으로 판단된다.

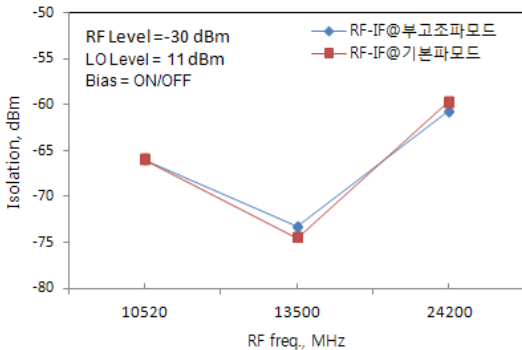
본 논문에서는 잡음지수 측정을 수행하지 못하였으나, 일반적으로 다이오드 주파수 혼합기의 잡음지



(a) 기본과 혼합기의 LO-IF/RF 격리도  
(a) LO-IF/RF isolation of fundamental mixing mode



(b) 부고조파 혼합기의 LO-IF/RF 격리도  
(b) LO-IF/RF isolation of sub-harmonic mixing mode



(c) 기본과/부고조파 혼합 모드의 RF-IF 격리도  
(c) RF-IF isolation of fundamental/sub-harmonic mixing mode

그림 13. 혼합기 모드의 격리도 특성  
Fig. 13. Isolation characteristics by mixing mode.

수는 변환 손실에 근사한 값을 갖는다<sup>[1],[10]</sup>.

#### IV. 결 론

본 논문은 X/K-대역 신호의 주파수 변환을 위해 이중 모드 주파수 혼합기를 구현하였다. 역병렬 다

이오드에 인가되는 제어 전압에 따라 기본과 혼합기 또는 부고조파 혼합기로 동작시켜 다중 대역 수신 가능하도록 하여 수신기의 소형화, 경량화 구현이 가능하도록 하였다.

제안한 이중 모드 주파수 혼합기는 제어 전압이 인가되는 기본과 혼합 모드에서 -10 dB 변환 손실, 2 dBm P1dB, -28 dB LO-IF 격리도 특성과 -5 dB LO-RF 격리도 특성을 나타내었으며, 부고조파 혼합 모드에서 -10 dB 변환 손실, 2 dBm P1dB, -28 dB LO-IF 격리도 특성과 -40 dB LO-RF 격리도 특성을 나타내었다.

본 논문에서 제안한 이중 모드 주파수 혼합기 구조를 Ka-대역까지 확장시키는 추가적인 연구를 수행하여 구현한다면 X대역에서 Ka 대역의 레이더 신호 수신이 가능한 소형, 경량의 수신기 구현이 가능할 것으로 사료된다.

#### References

- [1] Stephen A. Mass, *Microwave Mixers*, Artech House, Inc., 1986.
- [2] M. Cohn, J. E. Degenford, and B. A. Newman, "Harmonic mixing with an antiparallel diode pair", *IEEE Trans. Microwave Technology and Tech.*, vol. MTT-23, pp. 667-673, Aug. 1975.
- [3] Kunihiko Iizuka, Hiroshi Kawamura, Takanobu Fujiwara, Kanetomo Kagoshima, Shuichi Kawama, Hiroshi Kijima, Kasato Koutani, Shinji Toyoyama, and Keiichi Sakuno, "A 184 mW full integrated DVB-H tuner with a linearized variable gain LNA and quadrature mixers using cross-coupled transconductor", *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, vol. 42, no. 4, Apr. 2007.
- [4] 고민호, 조호윤, 박효달, "마이크로웨이브 다중 대역 수신기용 Ku-대역 전압 제어 발진기 설계 및 구현", *한국전자과학회논문지*, 20(9), pp. 853-861, 2009년.
- [5] Yew Hui Niew, Jurianto Joe, "RF and IF ports matching circuit synthesis for a simultaneous conjugate-matched mixer using quasi-linear analysis", *IEEE Transactions on Microwave Theory and Technique*,

vol. 50, no. 9, Sep. 2002.

- [6] 고민호, 조윤현, 주영림, 박효달, "광대역 및 다중대역 시스템용 혼성 변환 방식 RF 전단부 구현을 위한 다중 기능 회로의 설계 및 제작", 한국전자과학회논문지, 21(3), pp. 292-300, 2010년 3월.
- [7] G. L. Matthae, "Interdigital band-pass lters", *IRE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 40, pp. 951-958, 1962.
- [8] Wen-Hua Tu, Kai Chang, "Compact microstrip band-stop filter using open stub and spurline", *IEEE Mi-*

*crowave and Wireless Component Letters*, vol. 15, no. 4, Apr. 2005.

- [9] M van der Merwe, JB de Swardt, "The design and evaluation of a harmonic mixer using an anti-parallel diode pair", *Application Note*, Microwave Office.
- [10] H. Zirath, L. Angelov, and N. Rorsman, "A millimeter subharmonially pumped resistive mixer based on a heterostructure field effect transistor technology", *IEEE MTT-S Digest*, pp. 599-602, 1992.

### 고 민 호



2009년 2월: 인하대학교 전자공학과 (공학박사)  
 2010년 2월: 차세대 항공전자통신 인력양성사업단 연구원  
 2010년 7월~현재: 삼성탈레스 전문 연구원  
 [주 관심분야] 광대역 송수신 시스템, MMIC/RFIC, 레이더 및 항공전자통신시스템

### 나 선 필



1985년 2월: 충남대학교 계산통계학과 (공학사)  
 1987년 8월: 충남대학교 계산통계학과 (공학석사)  
 2012년 현재: 국방과학연구소 제직 [주 관심분야] 신호감시, 신호처리

### 김 형 주



1989년 2월: 광운대학교 전자통신공학과 (공학사)  
 1992년 2월: 성균관대학교 전자공학과 (공학석사)  
 1989년 3월~1998년 2월: 삼성전자 연구원  
 1998년 3월~2006년 2월: Radionix 이사

2006년 3월~2008년 2월: M&M Lynx 연구원  
 2009년 3월~현재: 삼성탈레스 수석연구원  
 [주 관심분야] 안테나, 초고주파회로, 레이더 시스템 등

### 김 재 현



2003년 2월: 인천대학교 전자공학과 (공학사)  
 2007년 8월: 인하대학교 전자공학과 (공학석사)  
 2007년 6월~현재: 한국방송통신전파진흥원 전임연구원  
 2011년 3월~현재: 인하대학교 전자공학과 박사과정

[주 관심분야] 전력증폭기, MMIC/RFIC