

# 레이더 탐지기용 RF 모듈단 설계 및 구현

준회원 노희창\*, 정회원 박욱기\*, 조윤현\*, 준회원 오택근\*, 종신회원 박효달\*

## Design and Implementation of RF Module Part for Radar Detector

Hee Chang Roh\* *Associate Member*, Wook Ki Park\*, Yun Hyun Jo\* *Regular Members*,  
Taeck Keun Oh\* *Associate Member*, Hyo Dal Park\* *Lifelong Member*

### 요약

본 논문에서는 레이더 탐지기용 RF 모듈단의 광대역 저잡음 증폭기, 혼합기 그리고 발진기를 설계 및 구현하였다. 이득 평탄도가 좋지 않아 특정 주파수에서 감도가 저하되는 기존 상용 제품의 단점을 개선하기 위해 RF 모듈단의 구조를 제안한다. 제안한 RF 모듈단은 광대역 2단 저잡음 증폭기와 혼합기, 그리고 세 개 대역의 발진기로 구성되어 여러 주파수를 검출할 수 있는 동시에 최대 이득과 이득 평탄도를 향상시켰다. 제작된 RF 모듈단의 측정 결과, 전 대역에서 36 dB 이상의 변환 이득을 나타내었으며 이득 평탄도는 5 dB를 나타내었다. 이러한 결과는 기존 상용 제품의 문제점인 최대 이득을 35 dB에서 41 dB로 6 dB 향상시켰고, 이득 평탄도 또한 22 dB에서 5 dB로 17 dB 개선시켰음을 보여준다.

**Key Words** : Radar Detector, RF Front-end, LNA, Oscillator, Mixer

### ABSTRACT

In this paper, we design and implement a broadband LNA(Low Noise Amplifier), a mixer, and oscillators in RF module part for radar detector. For resolving the limitation of the conventional product that the sensitivity is low due to the poor gain flatness, we propose the architecture of RF module part. The proposed RF module part is composed with a broadband 2-stage LNA, a mixer, and three oscillators, and improves the maximum gain and gain flatness for detecting various frequencies. The overall performances of RF module part are above 38 dB conversion gain in whole band and 1 dB gain flatness. These results show that the maximum gain which is the problem of the conventional product is improved 6 dB from 35 dB to 41 dB, and gain flatness is also improved 17 dB from 22 dB to 5 dB.

### I. 서론

레이더 탐지기(Radar Detector : RD)란 불법 과속 차량의 단속을 위하여 레이더의 원리를 이용한 속도 측정용 장비인 스피드건에서 발사되는 초고주파를 대략 2 km 전방에서 감지하여 음성, 문자, 신호음 등

로 운전자에게 알려줌으로써 안전하게 속도를 줄일 수 있도록 도와주는 것을 기본으로 하는 기기를 말한다. 현재는 레이더 탐지기 제작을 위한 어떠한 표준 정보도 제공되지 않고 있으며 탐지기의 고유한 기능인 스피드건의 탐지를 위해서는 사용하려는 지역에 운용중인 스피드건의 분포 상태를 고려하여 설계하는

\* 이 논문은 2010년 정부(교육인적자원부)의 지원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임.

\* 인하대학교 전자공학과 초고주파 및 항공전자통신 연구실(eeiiccbb@hotmail.com, ukkipark@hotmail.com, cyh7410@nate.com, augustinooh@gmail.com, hdpark@inha.ac.kr)

논문번호 : KICS2010-02-076, 접수일자 : 2010년 2월 12일, 최종논문접수일자 : 2010년 4월 27일

것이 일반적이다. 스피드건은 국가마다, 또는 같은 국가 내에서도 지역마다 다른 방식을 사용할 수 있기 때문에 그 지역에서 사용되는 스피드건의 종류에 따라서 레이더 탐지기의 방식은 다르게 될 수 있다. 현재 알려진 스피드건에서 사용하고 있는 주파수의 대역으로는 크게 X, K, 그리고 Ka 대역 등 여러 가지 대역이 존재하고 그 외에 20여 개의 소대역이 존재한다. 스피드건의 성능 또한 빠른 속도로 변하고 있어 레이더 탐지기에서 처리해야 하는 신호의 대역은 계속 증가하고 있다.

표 1은 현재 스피드건으로 사용되거나 그와 인접해 있는 다른 시스템의 주파수 분포를 나타낸다. 현재는 주로 K, Ka 대역을 사용하고 있으나, 지역에 따라서는 X 대역을 사용하는 곳도 있다.

그리고 VG-2, Spectre I, Spectre II 등과 같이 스피드건의 LO(Local Oscillator)로부터 발생하는 방사 신호를 탐지하여 운전자의 차량에 레이더 탐지기의 부착 상태를 조사하는 레이더 탐지기용 주파수 대역과, 고성능의 K-POP, Ka-POP과 같은 스피드건용으로 사

용되는 주파수 대역이 있다<sup>1)</sup>.

‘Safety’ 대역은 운전자에게 위험 정보를 전달하기 위하여 할당된 주파수 대역으로 아직은 레이더 탐지기 사용이 의무화되어 있는 지역이 많지 않아 본격적으로 사용되고 있지는 않으나, 조만간 유용한 용도로 사용될 것으로 기대되는 대역이다. 이 대역은 레이더 탐지기에서 고려해야 하는 많은 대역 중 유일하게 정보를 받을 수 있게 계획적으로 할당된 대역이다.

“방사 주의 대역”에 표시된 VSAT, UHF 시스템의 주파수는 레이더 탐지기의 대역은 아니나 레이더 탐지기와 인접해 있는 시스템의 주파수이다. 따라서 이들 시스템은 레이더 탐지기의 LO에서 생성된 미소한 신호가 안테나를 통해 방사되는 신호에 의해 간섭을 받을 수 있기 때문에, 레이더 탐지기 설계시 이들 방사에 대해 면밀한 대책이 필요하다.

즉, 레이더 탐지기로부터 방사되는 파에 대한 대책을 수립하지 않으면 방송 수신기나 기타 통신 서비스 그리고 위성통신 등에 장애를 초래할 수 있다<sup>2)</sup>.

그림 1은 레이더 탐지기의 전체 시스템 개략도이다<sup>1)</sup>. 이 전체 시스템에서 보는 바와 같이 Front-end단을 업계에서는 MW 모듈단과 RF 모듈단으로 나누어 부른다.

전체 시스템의 동작은, MW 모듈단에 있는 1차 LO의 바랙터(varactor)에 공급되는 전원을 가변하여 주파수를 변화시키며, 이 가변 주파수를 발생시키는 LO와 스피드건으로부터 발사된 입력 신호를 혼합하여 수 GHz 또는 그보다 낮은 주파수로 변환시키고, RF 모듈단에 있는 2차 LO에 의하여 한 번 더 하향시켜 10.7 MHz의 IF(Intermediate Frequency)를 생성한 후 이를 복조하여 신호처리를 수행하는 것이다. 검출된 파를 정확히 분석 후, 어느 대역을 사용하는 스피드건인지에 대한 경보를 준다. 예를 들어 24.2543 GHz가 스피드건으로부터 발사되었다면 그림 1의 1차 LO가 11.090 GHz의 2채배 되어 1차 혼합기로 인가한 후 1차 IF를 생성하고 이 1차 IF가 2차 LO인 2085 MHz와 함께 2차 혼합기로 인가한 후 변환되어 10.7 MHz의 2차 IF가 생성된다. 신호를 검출하는 방식은 여러 가지가 있을 수 있다. 혼 안테나를 타고 들어오는 신호가 여러 개이므로 MW 모듈단 출력에서 여러 개의

표 1. 스피드건의 대역 분포

주파수 대역	주파수(GHz)	탐지정보 대역	방사주의 대역
X-Band	10.525 ± 0.05	○	
K-Band	24.150 ± 0.125	○	
Ka-Band	33.400	○	
	33.800	○	
	34.300	○	
	34.7 ± 1.3	○	
	34.940	○	
	35.500	○	
KaSW	33.4~36.0	○	
Safety	24.070 ± 0.01	○	
	24.110 ± 0.01	○	
	24.190 ± 0.01	○	
	24.230 ± 0.01	○	
VG-2	11.500 ± 0.25	○	○
Spectre I	13.300 ± 0.2	○	○
Spectre II	12.700	○	○
K-POP	24.150 ± 0.125	○	
Ka-POP	33.800 ± 0.175	○	
VSAT	11.7~12.2		○
UHF	0.05~2.0		○

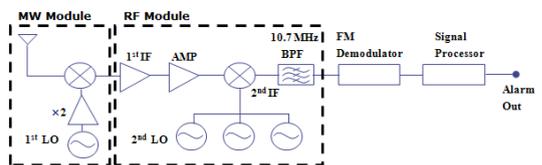


그림 1. 레이더 탐지기의 전체 시스템 개략도

1차 IF가 생성되므로 RF 모듈단인 저잡음 증폭기와 혼합기의 입력 주파수는 광대역(550 MHz ~ 2.2 GHz)으로 동작하게 된다.

레이더 탐지기의 우수한 감도를 얻기 위한 방법은 크게 MW 모듈단과 RF 모듈단을 개선함으로써 얻을 수 있는데, 현재 MW 모듈단의 연구는 활발하게 진행되고 있으나<sup>[13]-[15]</sup>, RF 모듈단의 연구는 다소 미흡한 편이다.

기존 A사에서 출시된 레이더 탐지기 제품의 RF 모듈단의 측정 결과 특성을 표 2에 나타내었다. 낮은 입력 주파수 560.7 MHz에서 이득이 35 dB로 높고, 높은 입력 주파수 2095.7 MHz에서는 13 dB의 낮은 이득을 가져 평탄도가 22 dB로 좋지 못하였다. 이로 인해 높은 입력 주파수에서는 감도가 떨어지는 한계점이 있다.

따라서 본 논문에서는 이러한 한계점을 해결하기 위해 부캐환을 이용한 2단 저잡음 증폭기와 광대역을 처리할 수 있는 혼합기 및 3개의 발진기를 설계 및 구현한다.

표 2. 기존 A사 상용 제품의 RF 모듈단 특성

입력 주파수 (MHz)	LNA (dB)	Mixer (dB)	변환 이득 (dB)
560.7	28	11.6	35
1560.7	14	8.5	21
2095.7	13	3	13

## II. 이 론

### 2.1 저잡음 증폭기

본 논문에서는 광대역 특성을 얻기 위해 부캐환을 이용한 2단 저잡음 증폭기를 설계하였다. 부캐환을 이용한 증폭기의 경우 매우 적은 이득 변화를 가지면서 20배 이상의 초광대역 특성을 구현할 수 있으나 부캐환으로 인하여 이득의 저하를 가져올 수 있다<sup>[6]</sup>. 일반적으로 사용되는 부캐환 회로의 구조는 그림 2와 같다. 그림 2의 (a)와 (c)에 사용된 이미터 단에 연결된 저항의 경우, 바이어스 저항으로 이용되며 전송선로나 인덕터로 대체될 수 있다.

고주파 회로에서의 부캐환 특성은 능동소자의 소신호 등가회로로부터 그 해석이 가능하며, 그림 3에 능동소자의 입력 및 출력 커패시터 성분을 무시한 간략한 소신호 등가회로를 나타내었다.

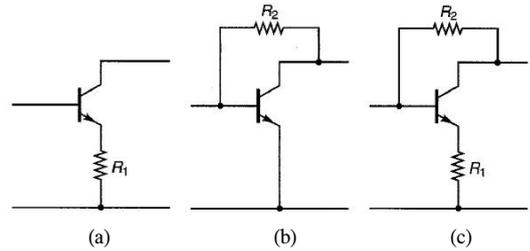


그림 2. 부캐환 회로의 구조

그림 3에서  $g_m$ 은 전달 컨덕턴스,  $r_{be}$ 는 베이스-이미터 단자의 내부 저항,  $V_{be}$ 는 베이스-이미터 단자의 전압,  $R_1$ 은 이미터 캐환 저항,  $R_2$ 는 베이스-컬렉터 캐환 저항을 의미한다. 입력 및 출력 정재파비가 최적화되는 조건은 식 (1)과 같다.

$$R_1 = \frac{Z_0^2}{R_2} - \frac{1}{g_m} \quad (1)$$

증폭기의 이득은 오직  $R_2$ 에만 의존하며 능동소자의 파라미터와는 무관하게 된다. 따라서 이득 평탄도는 부캐환에 의해 이루어질 수 있으며, 그림 2(b)처럼 병렬 캐환만을 이용한 경우는  $R_1 = 0$ 이라 놓은 상태에서 해석할 수 있다.  $R_1 = 0$ 인 경우에 트랜지스터의 전달 컨덕턴스  $g_m$ 은 식 (2)와 같다.

$$g_m = \frac{R_2}{Z_0^2} \quad (2)$$

식 (2)로부터 캐환 저항  $R_2$ 를 계산할 수 있으며, 설계에 있어 캐환 저항  $R_2$ 와 트랜지스터의 전달 컨덕턴스  $g_m$ 을 이용해 원하는 이득을 구현할 수 있다<sup>[7]</sup>.

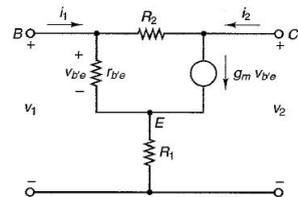


그림 3. BJT 소자의 부캐환 회로에 대한 소신호 등가회로

### 2.2 혼합기

일반적인 주파수 혼합기는 비선형적인 전류-전압

특성을 보이는 다이오드나 트랜지스터와 같은 비선형 소자를 이용해서 두 입력 신호의 합이나 차에 해당하는 주파수를 갖는 신호를 만들어 내는 것이다. 그림 4는 입력된 RF(Radio Frequency) 신호와 LO 신호를 혼합해서 IF 신호를 출력하는 하향 변환 혼합기를 나타낸 것이다<sup>8)</sup>.

출력 전류에는 DC 성분과 LO 성분, RF 성분, 두 신호의 합과 차 성분, 그리고 이외에 여러 고조파 성분이 그림 5에 보는 바와 같이 나타난다. 주파수 분포에서 IF 성분은 고조파 성분을 제거하는 필터를 이용하여 얻을 수 있다.

본 논문의 광대역 처리와 최대의 변환 이득을 얻는 혼합기 설계는 여러 개의 RF 입력 주파수와 여러 개의 LO 입력 주파수에 따른 적절한 정합과 여러 개의 LO 주파수에 대한 적절한 LO 입력 전력을 설정하는 것이 매우 중요하다.

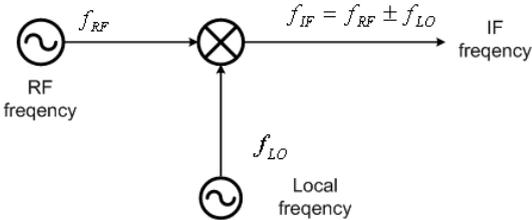


그림 4. 주파수 혼합기의 하향 변환 구조도

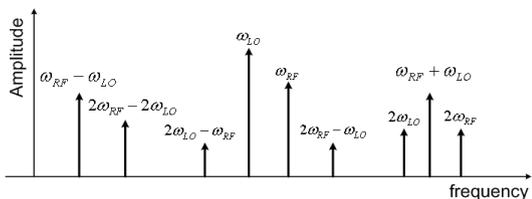


그림 5. 혼합기의 출력 스펙트럼

### 2.3 발진기

발진기는 전기적으로 직류 전력을 교류 전력으로 변환하는 에너지 변환 장치 중의 하나이다<sup>11)</sup>. 이런 기능은 부성 저항을 이용하는데, 주로 부성 저항 소자로는 다이오드와 같은 2단자 소자가 이용되지만 트랜지스터와 같은 3단자 소자도 외부에서 궤환 회로망을 첨가해서 부성저항 특성을 갖도록 하여 발진기로 사용한다. 그림 6은 2-Port 발진기의 기본 블록도를 나타낸 것이다.

발진기는 능동소자를 동작시키기 위해 직류 전압을 공급하는 바이어스 회로, 부성저항 특성을 갖게 하는

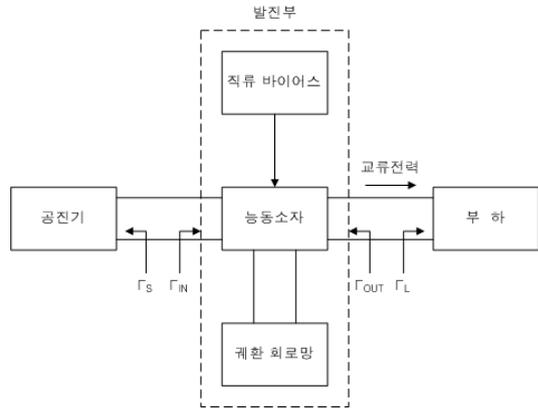


그림 6. 발진기의 기본 블록도

궤환 회로망, 특정 주파수 신호를 선택할 수 있는 공진기 등으로 구성된다. 바이어스 회로에 의해 트랜지스터에 직류 전압이 인가되면 궤환 회로망에 의해서 능동소자는 부성저항 특성을 갖게 되어 넓은 주파수 범위에서 이득을 발생시킨다. 이때 발진 조건이 만족되면 능동소자에 연결된 공진기의 공진 주파수에서 발진이 발생하고, 발생된 교류 전력이 부하로 전달되어 특정 주파수에서 임의의 교류 전력을 얻을 수 있다. 발진기는 증폭기와는 달리 불안정한 조건이 만족되어야 한다.

본 논문에서는 레이더 탐지기 특성상 여러 주파수를 처리할 수 있도록 동일한 능동소자를 이용하는 3개의 발진기를 사용한다. 여기에서 전압 제어 발진기(Voltage Controlled Oscillator : VCO)를 이용하여 처리할 수 있으나 RF 입력 주파수 간격(550 MHz ~ 2.2 GHz)이 넓어 이를 처리하는 것은 한계가 있으므로 3개의 발진기를 선택하였다. 3개의 발진기는 순서대로 제어에 의해 동작하게 된다.

## III. 설 계

본 논문의 RF 모듈단 구성은 여러 대역을 검출하는 레이더 탐지기 특성상 광대역 저잡음 증폭기와 혼합기, 그리고 3개의 발진기로 되어 있다. RF 모듈단의 전원 전압은 8 V이므로 이에 맞게 모두 설계하였다.

### 3.1 광대역 저잡음 증폭기 설계

수신기의 전체 잡음지수는 첫 번째 단 증폭기의 잡음 지수와 이득에 의해서 결정된다. 일반적으로 최소 잡음 지수와 최대 이득을 동시에 만족시킬 수 없기 때문에 적절한 절충이 필요하다. 광대역 저잡음 증폭기

는 이득을 향상시키기 위해 그림 7과 같이 증폭기로 구성하였다. 그리고 각 단마다 이득 평탄도를 좋게 하기 위해 R3과 C2 그리고 R7과 C9를 사용한 부캐환 회로를 이용하였다.

본 논문에서 사용된 트랜지스터는 두 단 모두 Infineon사의 BFP420을 사용하였으며, 바이어스는 R1과 R2 그리고 R4, R5와 R6을 이용한 전류 제한 바이어스를 적용하였다. 첫 번째 단은 낮은 잡음 지수를 낼 수 있도록 5 mA의 컬렉터 전류 IC를 선택하였고 VCE는 3 V, IBB는 70 uA로 동작점을 선택하였으며, 두 번째 단은 적절한 이득 특성을 나타낼 수 있도록 IC는 14 mA, VCE는 2 V, IBB는 20 uA로 동작점을 선택하였다. 그리고 두 번째 단은 온도와 같은 외부 영향을 둔감하게 만들기 위해 저항 R8을 사용하였으며 이로 인한 이득 저하를 막기 위해 바이패스 커패시터인 C11을 함께 사용하였다. 그리고 회로의 안정도를 좋게 하기 위해 R11과 C4 그리고 R9와 C12를 적용하였다. 회로의 입력 정합은 C1과 L1을 이용하여 잡음과 함께 고려하여 정합하였으며 출력 정합은 L4와 C13을 이용하여 최대 이득을 내기 위해 정합하였다. 여기에서 C1과 C13은 DC를 차단하는 역할도 한다. 단과 단 사이의 정합은 C6과 C8, 그리고 L5를 이용하였다. L3과 L4는 RF를 막기 위해 사용하였으며 C3과 C10은 바이패스 커패시터로 사용하였다.

그림 8은 그림 7에 있는 광대역 저잡음 증폭기의 모의실험 결과를 나타낸 것이다. 입력 주파수 550

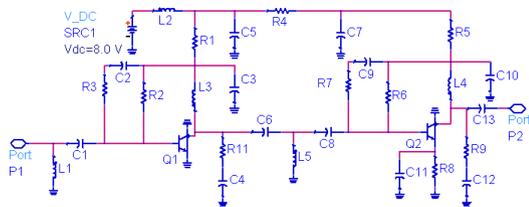


그림 7. 광대역 2단 저잡음 증폭기 회로도

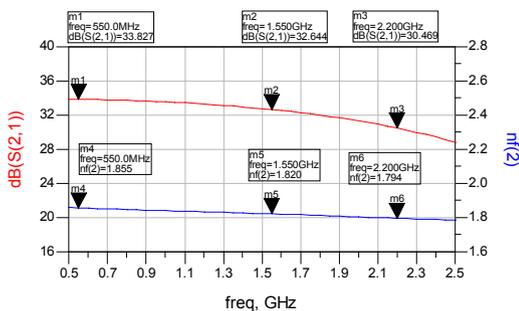


그림 8. 광대역 2단 저잡음 증폭기 모의실험 결과

MHz ~ 2.2 GHz까지의 이득은 약 30.4 ~ 33.8 dB이고 평탄도는 약 3 dB로 나타내었다. 그리고 잡음 지수 (Noise Figure : NF)는 1.85 dB 이하이므로 레이더 탐지기에 적합한 성능을 나타내었다.

### 3.2 혼합기 설계

그림 9는 혼합기 회로도에 대해 도시하였으며 외부 영향에 둔감하게 하기 위해 전압 분배 바이어스 회로를 이용하여 설계하였다. 컬렉터-이미터 전압 VCE 및 컬렉터 전류 IC는 4 V와 6 mA로 설정하였다. 입력단에 전송선로 TL1과 C1 및 C2는 입력 정합회로와 직류 차단 회로로 사용하였다. 출력단의 C3, L1과 C5는 저역 통과 필터로 원하지 않는 고조파 성분을 제거하기 위해 사용하였다. L2는 출력 신호가 전원단으로 가지 못하도록 RF choke 역할을 하며 C6과 함께 출력단에 정합하였다.

그림 10은 혼합기의 최대 변환 이득을 얻기 위하여 입력 LO 전력을 -20 dBm에서 -3 dBm까지 가변시켰을 때의 변환 이득을 나타낸 그래프이다.

여러 대역을 검출하는 레이더 탐지기 특성상 2차 LO를 1차 혼합기의 주파수 계획을 잘 구성하여 한 개 및 여러 개 사용하게 되는데, 본 논문에서는 2차 LO 3개를 사용하여 검출하도록 주파수 계획을 설정하였

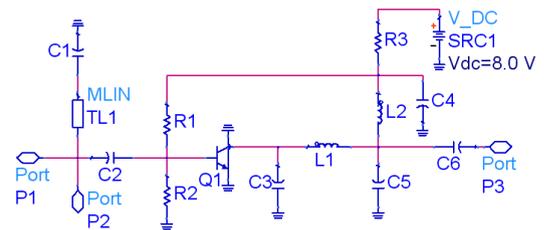


그림 9. 혼합기 회로도

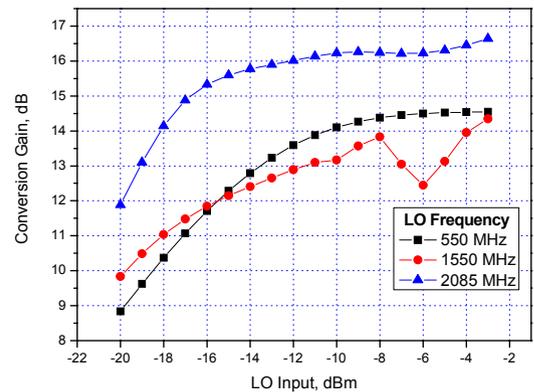


그림 10. 혼합기 변환 이득 모의실험 결과

다. 그러므로 3개 LO 전력에 따른 혼합기의 최대 변환 이득을 얻기 위해 LO 전력을 설정해야 한다.

따라서 3개의 LO 중 550 MHz와 2085 MHz에서는 -9 dBm 이상과 1550 MHz에서는 -8 dBm에서 혼합기의 최대 변환 이득을 얻을 수 있어 이들을 선택하였다.

### 3.3 발진기 설계

여러 대역을 검출하는 레이더 탐지기 특성상 3개의 발진기는 그림 11과 같이 설계하였다. 3개의 발진기 설계는 3 단자 능동소자를 사용하였으며 설계 대역에서 1/f 잡음 특성이 우수한 BJT 계열의 트랜지스터를 이용하여 설계하였다. 낮은 위상잡음 특성을 위한 적절한 직류 동작점을 선택해야 하며, 낮은 위상잡음 특성을 위해서는 능동소자의 잡음 지수가 최소가 되는 컬렉터 전류를 선택해야 한다. 하지만 이득 특성은 저하된다. 낮은 이득 특성은 발진기의 출력 레벨의 감소를 초래하기 때문에 적절한 이득 및 잡음지수 특성을 고려하여 550, 1550, 2085 MHz의 발진기 컬렉터 전류 IC는 각각 0.6, 3.0, 0.8 mA로 결정하였다. 컬렉터 전류를 도통시키기 위한 베이스 전류 IBB는 3, 20, 5  $\mu$ A이고 컬렉터-에미터 전압 VCE는 모두 3.0 V로 동작점을 선택하였다.

바이어스 회로는 외부 영향에 따른 컬렉터 전류의 변화가 적어야 하며, 바이어스 회로가 RF 동작 특성에 영향을 미치지 않도록 구성하였다. 그리고 부성 저항을 얻기 위한 회로 구조는 가장 많이 사용되고 있는 공통 컬렉터 구조의 콜피츠 발진 회로를 3개의 발진기에 적용하였다.

저항 R1, R2, R3, R4 및 R5와 R6, R7, R8, R9 및 R10 그리고 R11, R12, R13, R14 및 R15는 550, 1550, 2085 MHz 발진기 구성의 트랜지스터 Q1과 Q3, 그리고 Q6의 동작점을 결정하기 위한 바이어스 저항이고, C2와 C8 그리고 C13은 각 발진기에서 발생한 신호가 전원단으로 가지 못하도록 접지시키기 위한 커패시터이다. C5와 C7 그리고 C12는 각 발진

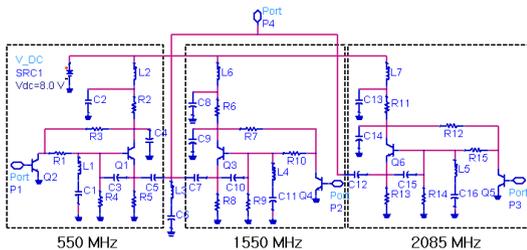


그림 11. 3개 발진기 회로도

기의 부하에 직류를 차단하기 위한 DC 블로킹 커패시터이며, C3, C10, C15는 각 발진기에 대한 부성저항을 발생시키기 위한 케환 소자이다. 부성저항 값이 너무 작으면 발진조건을 만족시키지 못하게 되고, 너무 크면 초기발진 조건과 정상상태 발진 조건의 차이로 인하여 안정한 발진 출력을 발생시키지 못한다. 부성저항의 크기는 공진기의 손실 및 발진조건을 고려하여 선택하였다. 발진기의 L1과 C1은 550 MHz에 대한 공진부이고 L4와 C11은 1550 MHz에 대한 공진부, L5와 C16은 2085 MHz에 해당하는 공진부이다. 각 공진부에 있는 인덕터는 에어 코일을 사용하였다. L3과 C6은 발진기의 2차 하모닉을 줄이고 L2와 L6, L7은 출력 신호가 전원단으로 가지 못하도록 RF 초크의 역할을 하도록 설계하였다. 그리고 트랜지스터 Q2와 Q4, Q5는 3개의 발진기가 제어 신호에 의해 하나씩 동작하도록 스위치 역할을 하게 설계하였다.

그림 12는 3개 발진기에 대한 각각의 모의실험 결과를 나타내었다.

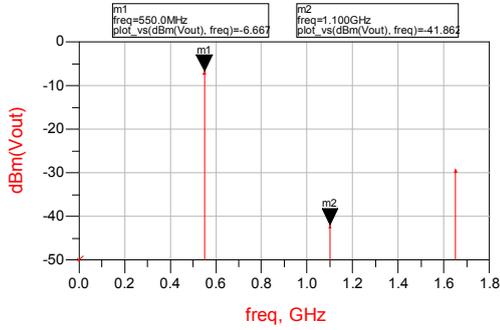
그림 12(a)는 550 MHz에 대한 결과이며 출력 전력이 -6.6 dBm을 나타내었고, 그림 12(b)는 1550 MHz에 대한 결과이며 출력 전력이 -7.9 dBm을 나타내었다. 그림 12(c)는 2085 MHz에 대한 결과이며 출력 전력이 -8.8 dBm을 나타내었다. 그림 12의 결과들은 혼합기의 최대 변환 이득을 얻기 위해 설정한 출력이다.

그림 13은 제작된 RF 모듈단의 실물 사진을 보여주고 있다. 왼쪽에는 광대역 2단 저잡음 증폭기이고 오른쪽 윗부분은 혼합기이다. 그리고 오른쪽 아래 부분은 3개의 발진기로 구성되어 있다.

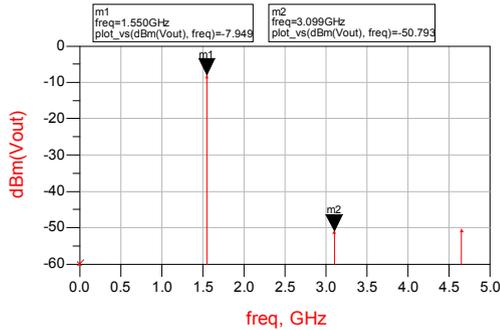
그림 14는 광대역 저잡음 증폭기의 이득을 측정하는 결과를 나타내었다. 입력 주파수 550 MHz ~ 2.2 GHz까지 22 dB 이상이며 이득 평탄도는 5 dB 이내로 낮은 값을 나타내었다.

그림 15는 혼합기의 RF 입력 주파수 변화에 따른 변환 이득을 나타내었다. RF 입력 주파수는 각각 560.7, 1560.7, 2095.7 MHz이므로 입력 전력은 모두 -40 dBm으로 인가하고, 3개 LO 주파수 550, 1550, 2085 MHz와 전력은 각각 -7.95, -8.88, -9.74 dBm을 인가한 후 변환 이득을 본 것이다. 변환 이득은 각각 14.7, 12.9, 13.5 dB를 나타내었다.

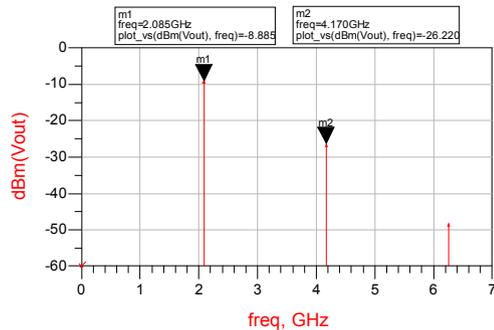
그림 16은 3개 발진기에 대한 각각의 출력 측정 결과를 나타내었다. 그림 16(a)은 550 MHz에 대한 측정 결과이며 출력 전력이 -7.95 dBm을 나타내었고, 그림 16(b)는 1550 MHz에 대한 측정 결과이며 출력 전력이 -8.88 dBm을 나타내었다. 그림 16(c)는 2085 MHz에 대한 측정 결과이며 출력 전력이 -9.74 dBm



a) 550 MHz 발진기 출력 스펙트럼



b) 1550 MHz 발진기 출력 스펙트럼



c) 2085 MHz 발진기 출력 스펙트럼

그림 12. 3개 발진기에 대한 모의실험 결과

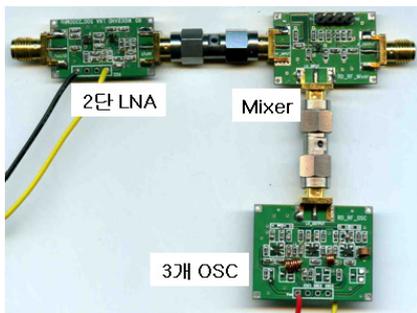


그림 13. RF 모듈단 제작된 실물 사진

Tr2 S21 Log Mag 10.00dB/ Ref 0.000dB [F2]

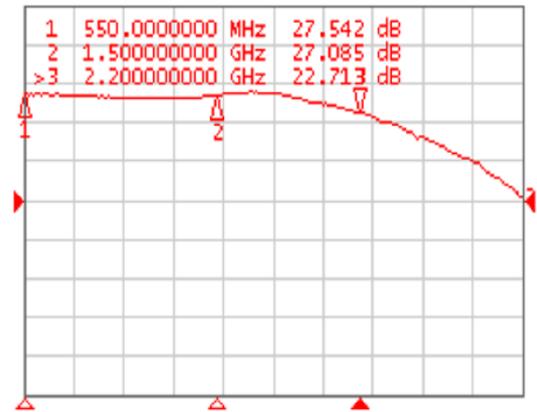


그림 14. 광대역 2단 저잡음 증폭기 측정 결과

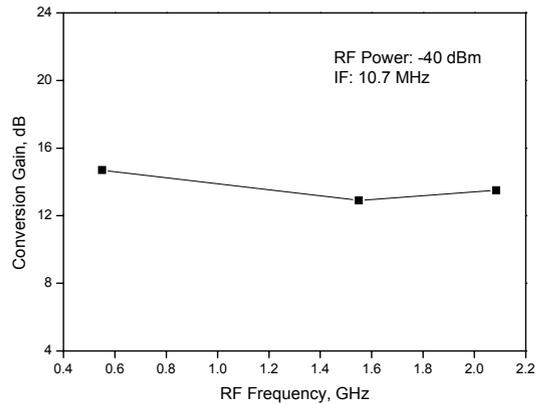
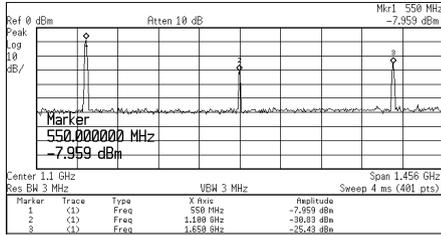


그림 15. 혼합기의 변환 이득 측정 결과

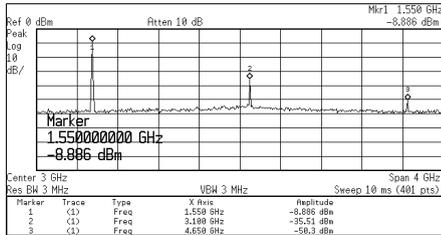
을 나타내었다. 이 결과들이 모의실험 결과와 조금 차이가 있는 것은 3개의 발진기의 출력 포트가 각각 발진기 동작에서 부하로 작용하기 때문에 차이가 발생한 것으로 생각된다.

그림 17은 RF 모듈단의 변환 이득에 대한 모의실험 및 측정 결과를 나타내었다. RF 입력 주파수는 각각 560.7, 1560.7, 2095.7 MHz에서 전력을 모두 -40 dBm으로 인가하여 변환 이득을 모의실험 및 측정하였다. 모의실험 결과는 42.3, 41.2, 41.2 dB이고 평탄도는 1.1 dB 이다. 측정 결과는 각각 41, 40.5, 36 dB 이고 평탄도는 5 dB로 모의실험 결과와 약간의 차이가 있으나 제작 및 측정 오차로 생각된다.

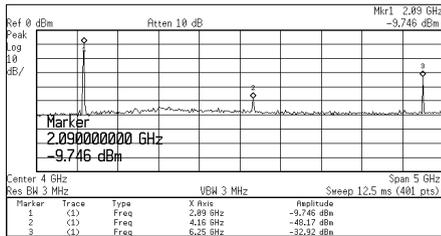
표 3은 기존 A사에서 출시된 레이더 탐지기 제품 측정 결과와 본 논문에서 제안한 구조의 RF 모듈단 특성을 비교하여 나타내었다. 이득과 평탄도는 각각 6 dB와 17 dB로 향상된 것을 나타내고 있으며 레이더



a) 550 MHz 발진기 출력 스펙트럼



b) 1550 MHz 발진기 출력 스펙트럼



c) 2085 MHz 발진기 출력 스펙트럼

그림 16. 3개 발진기의 출력 측정 결과

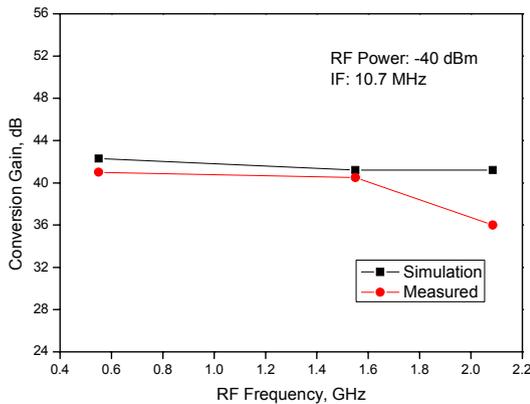


그림 17. RF 모듈단의 변환 이득 모의실험 및 측정 결과

표 3. RF 모듈단 특성 비교

입력 주파수 (MHz)	RF 모듈단 변환 이득(dB)	
	A사 제품	제한한 구조
560.7	35	41
1560.7	21	40.5
2095.7	13	36

탐지기에 적합한 성능을 보여주고 있다.

## V. 결론

본 논문은 레이더 탐지기용 RF 모듈단을 설계 및 구현에 관한 것이다. 광대역 저잡음 증폭기는 이득을 높이기 위하여 2단으로 설계하였고, 전 대역에서 평탄도를 좋게 하기 위해 부캐환 회로로 설계하였다. 혼합기는 회로가 간단하고 광대역을 처리할 수 있도록 설계하였다. 3개의 발진기는 구현이 간단한 공통 컬렉터 구조의 콜피츠 발진회로를 이용하였다. RF 모듈단의 측정 결과, 광대역 2단 저잡음 증폭기와 혼합기 그리고 3개의 발진기를 결합한 후는 전 대역의 이득은 36 dB 이상이고 평탄도는 5 dB를 나타내었다. 기존 상용 제품에 문제가 되고 있는 이득은 35 dB에서 41 dB로 6 dB 향상시켰고 평탄도 또한 22 dB에서 5 dB로 17 dB 개선시켰다. 따라서 향후 광대역 및 다중 레이더 탐지기에 본 논문에서 제안한 구조를 사용한다면 전 대역에서 균일하게 감도를 크게 향상시킬 수 있다고 사료된다.

## 참고 문헌

- [1] 박옥기, 강석엽, 고민호, 박효달, “다중 대역 레이더 탐지기용 광대역 주파수 체배 VCO 구현에 관한 연구”, 한국통신학회논문지, 제 30권 10A호, 2005.
- [2] Donald S. Sawicki, The Traffic Radar Handbook-A Comprehensive Guide to Speed Measuring Systems, 1st Edition, Grove Enterprises, Inc., 1993.
- [3] Dong Hyun Kim, Ik Guen Choi, “A Design of a VCO for an Advance Warning System of the Vehicle’s Speed Limitation”, 한국전자과학회 논문지, 11, 2004.
- [4] Seung Tae Ko, et al., “Compact L Shape Shorted Pin Patch for Lpca Oscillator Port of X-, K-, Ka-band Radar Detector”, 한국전자과학회 논문지, 8, 2007.
- [5] S. Y. Kang, et al., “Study on improving sensitivity of multi-broadband receivers,” Electronics Letters, Vol.43, No.25, 2007.
- [6] Guillermo Gonzalez, Microwave Transistor Amplifiers Analysis and Design, 2nd Edition, Prentice Hall, 1997.

- [7] Karl B. Niclas, et al., "The Matched Feedback Amplifier: Ultrawide-Band Microwave Amplification with GaAs MESFET's," IEEE Trans. Microwave Theory Tech., MTT-28, No.4, 1980.
- [8] B. C. Henderson, Mixers: Part 1, Characteristics and Performance, Watkins- Johnson Company, 1981.

조 윤 현 (Yun Hyun Jo)

정회원



2007년 2월 인하대학교 전자  
전기공학부(공학사)  
2009년 2월 인하대학교 전자  
공학과(공학석사)  
2009년 3월~현재 인하대학교  
전자공학과 박사과정  
<관심분야> Oscillator, Radar,  
항공통신 시스템 설계

노 희 창 (Hee Chang Roh)

준회원



2009년 2월 한양대학교 전자  
및 통신공학과(공학사)  
2009년 3월~현재 인하대학교  
전자공학과 석사과정  
<관심분야> 무선 통신 시스템  
설계, 초고주파 회로 설계

오 택 근 (Taek Keun Oh)

준회원



2010년 2월 인하대학교 전자  
공학과(공학사)  
2010년 3월~현재 인하대학교  
전자공학과 석사과정  
<관심분야> 무선 통신 시스템  
설계, 초고주파 회로 설계  
(Mixer)

박 육 기 (Wook Ki Park)

정회원



2002년 2월 상주대학교 전자  
전기공학과(공학사)  
2004년 2월 인하대학교 전자  
공학과(공학석사)  
2010년 2월 인하대학교 전자  
공학과(공학박사)  
<관심분야> 무선 통신 시스템  
설계, 초고주파 회로 설계, RFIC 설계, 안테나  
설계, Metamaterial 설계

박 효 달 (Hyo Dal Park)

종신회원



1978년 2월 인하대학교 전자  
공학과(공학사)  
1987년 (불)국립항공우주대학 전  
자공학과(공학박사)  
1992년~현재 인하대학교 전자  
공학과 교수  
<관심분야> 항공통신 시스템  
설계, 초고주파 회로 설계, 전자장 이론, 안테나  
공학