

# 레이더 신호감지용 Varactor-Diodeless 전압 제어 발진기

## Varactor-Diodeless VCO for Radar Signal Detection Applications

고 민 호 · 오 수 현\* · 박 효 달\*

Min-Ho Go · Su-Hyun Oh\* · Hyo-Dal Park\*

### 요 약

본 논문은 X-대역에서 바랙터 다이오드가 없는 전압 제어 발진기 구조를 제안하고, 마이크로웨이브 레이더 신호 감지용 수신기에 적용 가능성을 확인하였다. 부성 저항을 발생하는 능동 소자의 콜렉터-베이스 PN-접합으로 바랙터 다이오드를 대체하여, 단일 RF BJT 소자로 전압 제어 발진기를 구현하여 수신기에서 요구하는 튜닝 전압 1.0~7.0 V에서 11.20~11.75 GHz 주파수 가변 특성, 9.0~12.0 dBm 출력 전력 및 선형적인 주파수 튜닝 특성을 만족하였다.

### Abstract

In this paper, we propose a varactor-diodeless voltage-controlled oscillator operating at X-band, and verify the possibility of applying to a receiver for microwave radar signal detection applications. The proposed VCO is realized by only single RF BJT device as a varactor diode is substituted by a intrinsic collector-base PN-junction of the active device which is used to generate negative resistance. The fabricated VCO meets the specification of the receiver, which has a 11.20~11.75 GHz tuning bandwidth with respect to the tuning voltage, 1.0~7.0 V, output power of 9.0~12.0 dBm and linear frequency tuning performance.

Key words : Varactor Diode, VCO, Radar Signal Detection, Microwave Wide-Band Receiver

## I. 서 론

레이더 신호의 존재 유무와 레이더 신호의 파라미터를 추출할 수 있는 수신기는 민수 또는 군사 분야에서 다양한 용도로 사용되고 있다. 특히, 레이더 신호의 도래 방향 및 레이더 제원을 추출할 수 있는 수신기는 전자전(electronic warfare) 분야에서 중요 장비로 사용되고 있으며, 민수 분야에서는 스피드 미터의 존재 여부 및 차간 거리를 감지하여 차량의 안전 운행을 보조하는 용도로 활용되고 있다<sup>[1]</sup>.

본 논문에서는 레이더 신호 감지용 수신기에 적용할 수 있는 X-대역의 전압 제어 발진기 구조를 제

안하였다. X-대역에서 동작하는 전압 제어 발진기 구조로는 높은 차단 주파수를 갖는 FET 계열의 능동 소자와 높은 SRF(Self-Resonance Frequency)를 갖는 flip-chip 형태의 바랙터 다이오드를 사용하거나 또는 낮은 플리커 잡음을 갖는 BJT 계열의 능동 소자와 flip-chip 바랙터 다이오드를 이용한 push-push 형태로 구현한다<sup>[2]</sup>. FET 계열의 능동 소자를 이용한 발진기는 X-대역에서도 우수한 출력 특성을 구현할 수 있지만 적절한 바이어스 공급을 위해 부성 전압(negative voltage) 발생을 위한 추가적인 회로가 요구된다. 반면에 X-대역에서 낮은 이득 특성을 갖는 BJT 소자의 한계를 극복하기 위한 push-push 발진기

삼성탈레스 전자전연구소(EW Center, Samsung Thales)

\*인하대학교 전자공학과(Department of Electronic Engineering, InHa University)

· 논문 번호 : 20010523-044

· 교신저자 : 고민호(e-mail : minho0423.go@samsung.com)

· 수정완료일자 : 2011년 7월 18일

는 낮은 위상 잡음, 우수한 pulling-figure 특성을 갖지만, 구조가 복잡하고 설계에 많은 시간이 소요되는 단점을 갖는다<sup>[2]</sup>. 또한 X-대역에서 선형적인 주파수 가변 특성을 위해 적용되는 flip-chip 형태의 바랙터 다이오드는 발진기의 가격 상승과 와이어 본딩(wire bonding) 또는 에폭시(epoxy) 접합과 같은 추가적인 공정으로 생산성 저하를 초래한다.

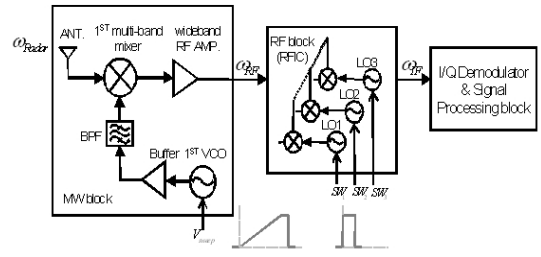
본 논문은 flip-chip 형태의 바랙터 다이오드를 사용하지 않고 X-대역에서 선형적인 주파수 가변 특성을 갖는 전압 제어 발진기를 단일의 RF BJT 능동 소자만으로 구현하여 레이더 신호 감지용 수신기에 적용 가능성을 연구하였다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. II 장에서는 레이더 신호 감지를 위한 수신기 구조와 제안한 전압 제어 발진기의 동작에 대해 설명하였고, III 장에서는 전압 제어 발진기의 설계에 대해서 기술하고, IV 장에서는 실험을 통해 제안한 회로의 성능을 정리하고, V 장에서는 결론을 맺었다.

## II. 레이더 신호 감지용 수신기 및 전압 제어 발진기 구조

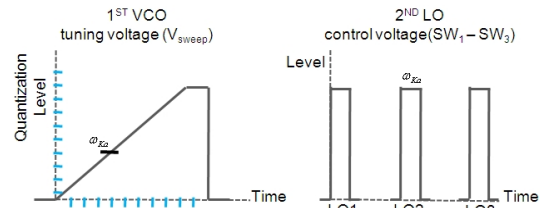
### 2-1 레이더 신호 감지용 수신기 구조

그림 1은 마이크로웨이브 대역(10~40 GHz)에 존재하는 레이더 신호의 감지를 위한 수신기 구조를 나타낸 것으로 광대역 안테나를 통해 수신된 각 대역의 레이더 신호( $\omega_{\text{Radar}}$ )들은 1차 다중 대역 믹서와 RF 블록의 다중 대역 믹서에 의해 단일 중간 주파수( $\omega_{IF}$ )로 변환되어 신호 처리 블록으로 입력되어 신호의 유무, 입력 신호의 주파수, 진폭 파라미터를 추출한다.

마이크로웨이브 블록(MW block)의 1차 다중 대역 믹서는 제어 전압에 따라 능동 소자의 비선형 특성을 조절하는 방식<sup>[3]</sup>으로 원하는 출력 신호( $\omega_{LO} \pm \omega_{K1}$ ,  $\omega_{LO} \pm \omega_{K2}$ ,  $\omega_{LO} \pm \omega_{K3}$ )의 변환 손실이 최소가 되도록 구현하였고, 능동 소자(BJT)의 PN-접합을 이용한 1차 전압 제어 발진기는 제어 신호를 인가받아 시간에 따라 선형적으로 가변되는 발진 신호( $\omega_{LO}$ ) 발생한다. RFIC로 구현한 RF 블록은 각각 다른 3개의 대역을 적절한 신호대 잡음비(signal-to-noise ratio)로 주파수 변환하는 기능을 수행한다.



(a) 구조  
(a) Topology



(b) 근사적인 주파수 측정 원리  
(b) Operation principal

그림 1. 레이더 신호 감지용 수신기  
Fig. 1. Receiver for microwave radar signal detection.

그림 1(b)는 Ka-대역 신호에 대한 주파수 측정 방법을 나타낸 것으로 2차 중간 주파수( $\omega_{IF}$ ) 신호의 존재 여부는 1차 전압 제어 발진기의 제어 신호의 크기와 2차 국부 발진기의 ON/OFF 조합으로 결정되며, 이를 바탕으로 입력 신호의 대역(주파수)을 근사적으로 측정하며, 입력 신호의 주파수와 진폭에 대한 추가적인 정밀 측정은 I/Q 복조기에서 수행하는 구조이다<sup>[4]</sup>. I/Q 변조기에서 신호의 진폭은 식 (1)로부터 측정할 수 있으며

$$A = \sqrt{A^2 \sin^2 [2\pi(f_i - f_o)t] + A^2 \cos^2 [2\pi(f_i - f_o)t]} \quad (1)$$

여기서  $A$ 와  $f_i$ 는 입력 신호의 진폭과 주파수,  $f_o$ 은 I/Q 변조기의 국부발진 주파수를 의미한다. 순시주파수는 식 (2)처럼 임의의 시간  $t_i$ 와  $t_{i+1}$ 에 샘플링된 신호 간의 위상차( $\theta$ )를 이용하여 측정할 수 있다.

$$(f_i - f_o) = \frac{\theta_{i+1} - \theta_i}{2\pi \Delta t} \quad (2)$$

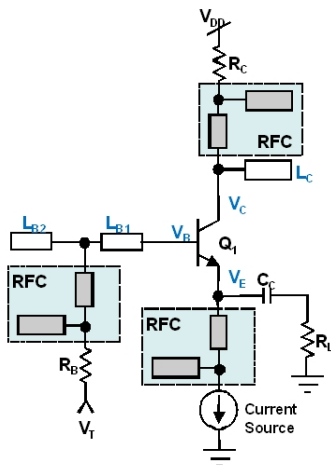
여기서  $\Delta t = t_{i+1} - t_i$ 을 의미한다.

### 2-2 전압 제어 발진기의 구조

레이더 신호 감지용 수신기의 1차 전압 제어 발진기는 11.20~11.70 GHz의 광대역 튜닝 대역폭과 1차 다중 대역 능동형 믹서의 최적의 변환 손실 특성을 위해 7.0~10.0 dBm 출력 전력을 갖도록 해야 한다. 일반적인 통신 시스템에서는 가역 혼합(reciprocal mixing)으로 수신기의 신호대 잡음비 저하를 초래하므로 낮은 위상 잡음 특성을 가져야 하지만 신호감지용 수신기에서 전압 제어 발진기의 주파수는 실시간 연속적인 가변(sweep) 상태이므로 통신용 수신기에 비해 위상 잡음 성능이 중요한 요소로 고려되지 않으며, 상대적으로 정확한 주파수 측정을 위한 주파수 선형성은 중요한 고려 규격이다. 이와 더불어 대량 생산을 위해 소형 및 비용 측면도 고려되어야 한다.

그림 2는 본 논문에서 구현한 전압 제어 발진기 구조를 나타내었다. Flip-chip 바랙터 다이오드 대신 능동 소자의 콜렉터-베이스 PN-접합에 역방향 바이어스를 인가하여 가변 커패시턴스 성분을 구현하여 소형 및 저가격 조건을 만족하였고, 동시에 11.20~11.70 GHz 튜닝 대역폭을 구현하도록 하였다. 선정된 능동 소자의 전류 구동 성능을 고려한 바이어스 설계와 발진 출력 전력의 예측을 통한 부성 저항 설계를 통해 7.0~10.0 dBm 출력 전력 조건을 만족하도록 하였고, 낮은 플리커 잡음을 갖는 BJT 능동 소자 선정과 위상 잡음 최소화 설계를 통해 낮은 위상 잡음 특성을 갖도록 하였으며, 공진부와 능동 소자

그림 2. Varactor-diodeless VCO 구조  
Fig. 2. Varactor-diodeless VCO topology.

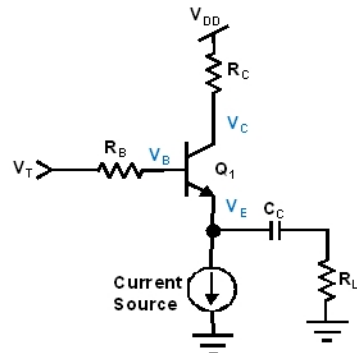


의 부성 저항 궤적의 적절한 설계로 선형적인 주파수 가변 특성을 구현하였다.

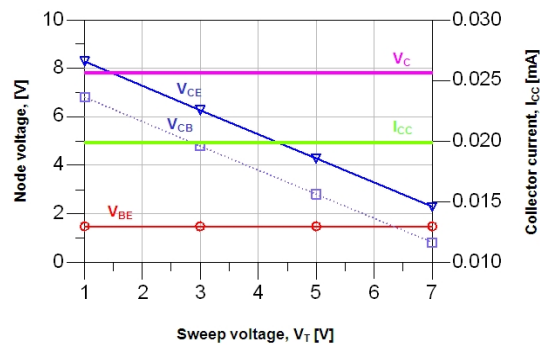
### III. 전압 제어 발진기의 설계

#### 3-1 바이어스 설계

제안한 구조는 능동 소자의 내부의 PN-접합에서 커패시턴스 변화가 큰 콜렉터-베이스 PN-접합을 바랙터 다이오드로 대체하여 발진 주파수 가변 특성을 구현하였다<sup>[5],[6]</sup>. 이를 위해 다음과 같은 바이어스 조건을 만족해야 한다. 첫째, 콜렉터-베이스 PN-접합에 역방향 바이어스를 공급하기 위해 컬렉터 전압( $V_C$ )은 베이스 전압( $V_B$ )보다 최소 0.7 V 높은 값을 유지해야 한다. 둘째, 일정한 출력 전력을 발생하기 위해 베이스 단자로 인가되는 튜닝 전압( $V_T$ )에 무관하게 컬렉터 전류( $I_C$ )는 일정하게 유지되어야 한다.



(a) 간략화된 바이어스 회로  
(a) Simplified bias circuit



(b) 전압-전류 특성  
(b) Voltage-current characteristic

그림 3. 바이어스 회로의 전압-전류 특성  
Fig. 3. Voltage-current characteristic of bias circuit.

그림 3은 전류원을 적용한 바이어스 회로의 튜닝(가변) 전압에 따른 각 노드 전압의 특성을 나타내었다. 콜렉터 전압( $V_C$ )과 콜렉터 전류( $I_C$ )는 튜닝 전압의 증감에 무관하게 일정한 값이 유지됨에 따라 콜렉터-베이스 전압( $V_{CB}$ )과 콜렉터-에미터 전압( $V_{CE}$ )은 일정한 비율로 감소하는 특성을 나타내고 있다. 튜닝 전압은 베이스-에미터 전압 간의 장벽 전압(barrier voltage)의 제약으로 1.0 V 이상, 콜렉터-베이스 PN 접합의 역방향 바이어스 조건의 제약으로 7.0 V 이하로 제한하여 공급하였다.

3-2 부성 저항 및 공진부 설계

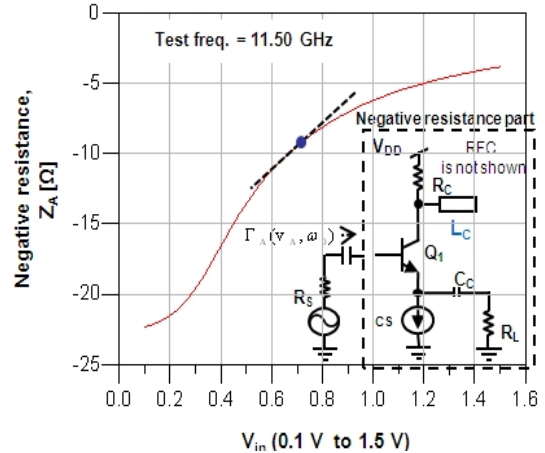
부성 저항(negative resistance)의 생성은 컬렉터 단자의 개방 스테브( $L_C$ )를 이용한 직렬 케환 방식으로 구현하였고, 부성 저항의 크기는 공진기 손실 및 안정한 발진 조건을 고려하여 결정하였다. 공진부의 손실을 보상할 수 없을 정도의 낮은 부성 저항은 발진 조건을 만족시키지 못하게 되고, 반면에 높은 부성 저항은 초기 발진 조건과 정상 상태 발진 조건의 부정합으로 안정한 발진 출력을 얻을 수 없게 된다. 그러므로 정상 상태에서 발진기의 출력 전력과 발진 주파수를 예측하기 위해 대신호 비선형 해석을 수행하였다<sup>[7]</sup>. 초기 상태의 발진 조건은 식 (3a), 정상 상태 발진 조건은 식 (3b)로 표현된다.

$$|\Gamma_R| > \left| \frac{1}{\Gamma_A} \right| \tag{3a}$$

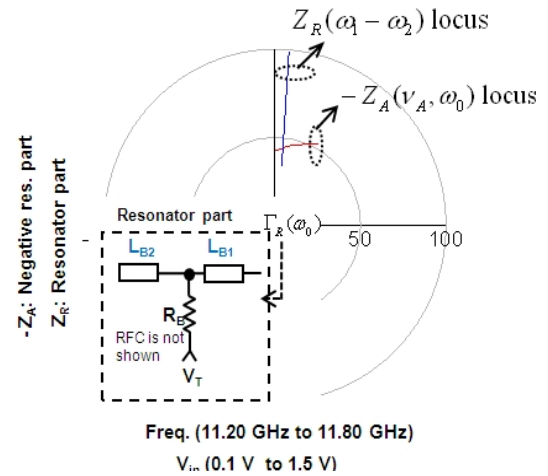
$$|\Gamma_R| = \left| \frac{1}{\Gamma_A} \right| \tag{3b}$$

$$\arg(\Gamma_R) = \arg\left(\frac{1}{\Gamma_A}\right)$$

여기서,  $\Gamma_R$ 은 공진부의 반사 계수,  $\Gamma_A$ 는 능동 소자, 즉 부성 저항의 반사 계수를 의미한다. 그림 4(a)는 능동 소자의 베이스 단자에 단일 발진 주파수( $\omega_0$ )를 갖는 교류 전압원을 삽입 후 전압원의 크기  $v_A$ 에 따른 부성 저항 또는 반사 계수  $\Gamma_A(v_A, \omega_0)$ 의 궤적을 나타낸 것으로 식 (3a)의 조건들을 만족할 수 있도록 결정하였다. 발진기는 식 (3b)처럼 정상 상태에서 임의의 단자에서 임출력되는 전력의 양이 같기 때문에 어떤 단자로 입력되는 전력과 다른 단자로



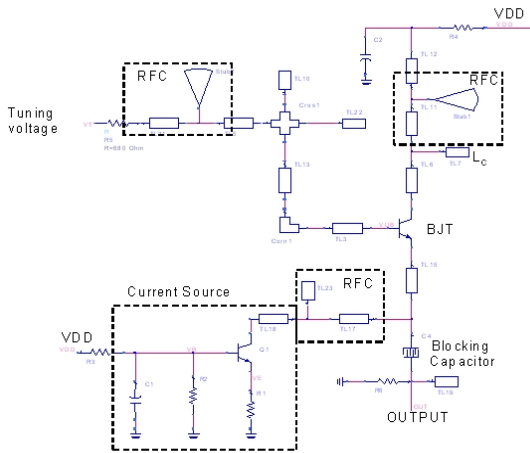
(a) 부성 저항의 크기를 결정하기 위한 구성  
(a) The configuration to determine the magnitude of negative resistance



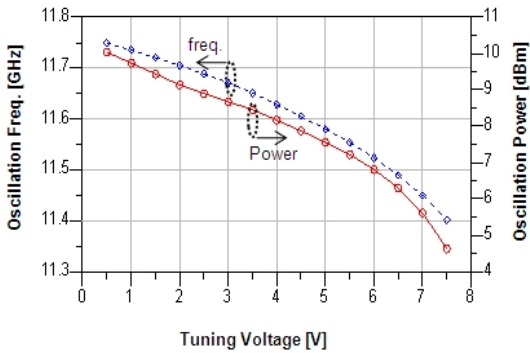
(b) 정상 상태에서 발진 조건  
(b) The steady-state oscillation condition

그림 4. 발진기 설계  
Fig. 4. The design of oscillator.

반사되는 전력의 크기와 위상이 같으면 정상 상태에 이르게 된다. 정상 상태 조건에서 발진기의 정상적인 동작을 위해 그림 4(b)처럼 발진 주파수와 입력 전압(전력)의 함수인 부성 저항부의 입력 임피던스  $Z_A(v_A, \omega_0)$  궤적과 주파수 함수인 공진부의 입력 임피던스  $Z_R(\omega_1 - \omega_2)$  궤적이 단일 지점에서 직교 교차(orthogonal intersection)하도록 하였다. 튜닝 전압 4.0 V 조건에서 교차점의 주파수는 11.50 GHz이고, 입력 신호의 크기는 0.6 V이므로 튜닝 전압 4.0 V에



(a) 회로도  
(a) Circuit diagram



(b) 튜닝 전압에 따른 모의 실험 결과  
(b) Simulation results with respect to tuning voltage

그림 5. 전압 제어 발진기 설계 결과  
Fig. 5. The design result of VCO.

서 발진 주파수는 11.50 GHz, 발진 전력은 근사적으로 8.0 dBm의 특성을 갖는 발진기 구현이 가능함을 예측할 수 있다. 설계에 사용된 소자는 인피니언사의 BFP 620이고, 제작사에서 제공한 Gummel-Poon 비선형 모델을 사용하여 비선형 해석을 수행하였다.

그림 5(a)는 설계한 전압 제어 발진기의 회로도를 나타낸 것으로 비아홀(via hole)과 RFC는 EM 해석을 수행 후 그 결과를 회로 설계에 적용하였다. DC 블록을 위한 커패시터는 각지형(inter-digital) 전송 선로 커패시터로 구현하였다. 그림 5(b)는 모의 실험 결과를 나타낸 것으로 튜닝 전압 1.0 V에서 7.0 V에서 11.40~11.75 GHz의 주파수 튜닝 특성과 4.5~9.0 dBm의 모의 실험 결과를 나타내었다.

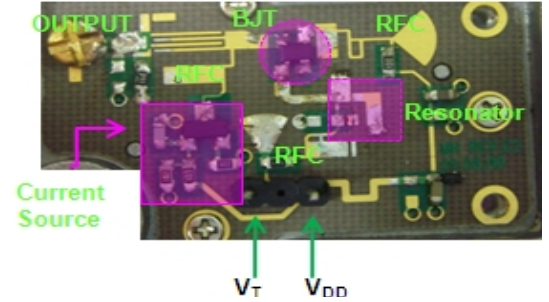


그림 6. 제작한 전압 제어 발진기의 실물도  
Fig. 6. The photograph of the fabricated VCO.

#### IV. 실험 결과

그림 6은 제작한 전압 제어 발진기를 나타낸 것으로 능동 소자는 BJT 소자인 BFP 620(Infineon)을 사용했고, 기판은 비유전율 2.5, 유전체 두께 0.5 mm인 테프론을 사용하여 25 mm×15 mm로 제작하였다.

그림 7은 1.0~7.0 V의 튜닝 전압이 인가되었을 때 전압 제어 발진기의 주파수 가변 특성과 출력 전력 특성을 나타낸 것으로 공진기 회로의 길이를 조절하여 인가된 튜닝 전압에 대해 11.20~11.75 GHz 주파수 가변 특성을 가지며, 9.0~12.0 dBm의 출력 전력 특성을 나타내었다. 측정된 결과는 모의 실험 결과와 비교했을 때 튜닝 전압에 따른 주파수 가변 특성은 200 MHz 이상 확장되었고, 출력 전력은 대략 4.0 dBm 증가하였다. 이는 X-대역에서 바이어스 회로의 부품 특성의 변화로 콜렉터 전류가 5 mA 증가함으로 발생된 것으로 판단된다. 측정 결과에서 보듯이 VCO 이득( $K_{VCO} = \text{MHz/V}$ )은 튜닝 전압에 따라

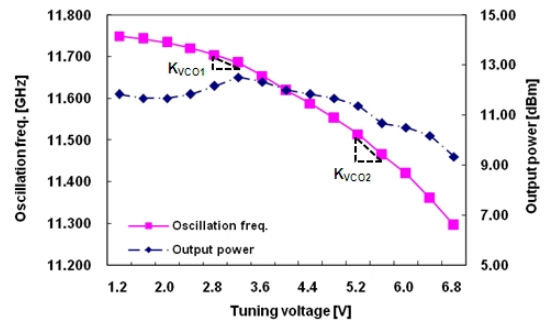


그림 7. 튜닝 전압에 따른 발진 주파수 및 출력 전력  
Fig. 7. Oscillation frequency and output power with respect to the tuning voltage.



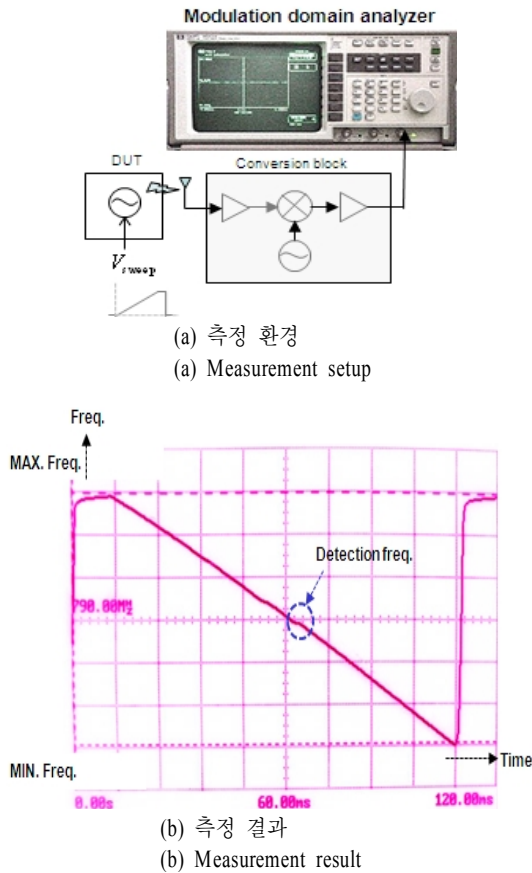


그림 8. 제어 신호(Ramp 신호)에 따른 선형적인 주파수 가변 특성

Fig. 8. Linear frequency tuning characteristic with respect to the control signal(Ramp signal).

다른 특성을 나타내었다. 이는 튜닝 전압이 증가 - 컬렉터-베이스 전압( $V_{CB}$ ) 감소 - 하는 경우 PN-접합의 커패시턴스 용량이 증가함에 따라 더 높은 튜닝 전압에서는 출력 전력은 감소하고 VCO 이득( $K_{VCO} = \text{MHz/V}$ )은 상대적으로 증가하는 특성을 나타내는 것으로 판단되며, 출력 전력의 3 dB 평탄도 특성은 버퍼 증폭기를 사용하여 개선이 가능할 것으로 사료된다.

그림 8은 인가되는 제어 신호(Ramp 신호)의 시간 변화에 따른 발진 주파수의 가변 특성을 측정하기 위한 장비 구성과 측정 결과를 나타내었다. 그림 8(a)처럼 전압 제어 발진기에 시변 제어 신호를 인가한 후 출력 신호를 주파수 변환 블록으로 하향 변환하여 변조 신호 분석기(modulation domain analyzer)

로 시간에 대한 주파수 변화 특성을 측정하였다. 그림 8(b)은 제어 신호(Ramp 신호) 변화에 따라 전압 제어 발진기의 선형적인 주파수 특성을 나타낸 것으로 일정한  $K_{VCO}$  특성을 나타내고 있다. 주파수 가변 곡선의 X축(시간)과 Y축(주파수)의 정보 및 I/Q 복조기에 입력되는 신호 유무를 이용하여 감지된 레이더 신호의 주파수 파라미터를 측정하는 방식이므로 선형적인 주파수 가변 특성이 요구된다. RF BJT 소자의 내부 PN-접합을 이용하는 본 논문의 전압 제어 발진기는 제작된 모듈별로 납량, BJT 소자의 실장 위치와 같은 제작 조건에 의해 VCO 이득 특성에 차이를 나타내었고, 이러한 모듈들은 버퍼 증폭단과의 임피던스 특성의 조절을 통해 일정한 VCO 이득을 갖도록 하였다.

본 논문의 전압 제어 발진기는 BJT 소자의 내부 PN 접합을 이용하는 구조이므로 온도 및 소자 특성에 따른 특성 변화를 검토하여야 한다. 그림 9는 고정된 튜닝 전압에서 온도에 따른 전압 제어 발진기의 주파수 안정도 특성을 나타낸 것으로 온도 변화  $-40 \sim 80^\circ$  범위에서 튜닝 전압 7.0 V를 인가한 경우, 주파수 편이는 50 MHz, 튜닝 전압 1.0 V인 경우는 30 MHz 정도의 주파수 편이 특성을 나타내었다. 이러한 결과는 튜닝 전압이 높은 경우, PN-접합의 커패시턴스 용량의 급격한 변화 즉, 높은 VCO 이득( $K_{VCO} = \text{MHz/V}$ )로 온도에 따른 주파수 편이가 낮은 튜닝 전압의 경우보다 증가하는 것으로 판단된다.

그림 10은 제안한 전압 제어 발진기의 위상 잡음

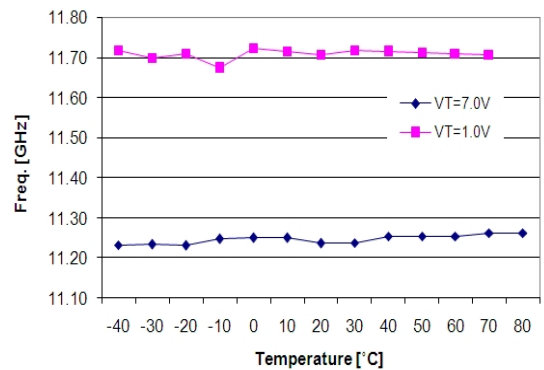


그림 9. 온도 변화에 따른 발진 주파수 편이 특성  
Fig. 9. Oscillation frequency deviation characteristic with respect to the operating temperature.

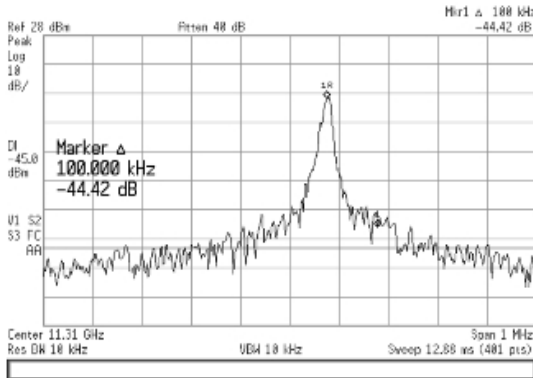


그림 10. 위상 잡음 특성  
Fig. 10. Phase noise performance.

특성을 free-running 상태에서 나타낸 것으로 100 kHz 오프셋 주파수에서  $-82.71$  dBc/Hz의 특성을 나타내었다 [측정 교정:  $2.5 \text{ dB} - 10 \cdot \log(1.2 \cdot \text{RBW})$ ]. 제안한 전압 제어 발진기의 공진기는 높은 Q값 특성보다는 정상 상태에서 발진 조건을 충족시키기 위해 설계되어 기존 마이크로스트립 공진기를 적용한 경우보다 저하된 위상 잡음 특성을 나타낸 것으로 판단된다.

표 1은 제안한 전압 제어 발진기의 측정 성능을 비교 분석하여 나타내었다. 제안한 발진기는 push-push 구조에 비해 튜닝 대역폭과 위상 잡음 특성에

표 1. 전압 제어 발진기의 측정 성능 요약  
Table 1. Measured performance summary of VCO.

규격	Ref. [6]	Ref. [8]	제안 구조
VCO 구조	push-push 구조	직접 발진 단일 구조	직접 발진 단일 구조
바랙터 유무	무	유	무
발진 주파수 [GHz]	10.9~11.8	11.01~11.09	11.20~11.75
튜닝 대역폭 [MHz]	900	80	550
위상 잡음 [dBc/Hz] @100 kHz	-85~-90	-85	-82.71
최대 출력 [dBm]	5.0	4.5	12.0
출력 평탄도 [dB]	14.0	1.0	3.0

서 열세적인 특성은 나타나고 있지만 회로 구조가 간단하고 비용적인 측면에서 장점을 갖는다. 위상 잡음 특성은 마이크로스트립 공진기를 적용한다면 개선할 수 있을 것으로 판단된다.

## V. 결 론

본 논문은 마이크로웨이브 레이더 신호감지용 수신기에서 요구되는 광대역 및 선형 주파수 가변 특성을 갖는 X-대역 전압 제어 발진기를 제작하여 그 특성을 실험하였다. X-대역에서 동작하는 기존의 전압 제어 발진기 방식들과는 달리 하나의 RF BJT 능동 소자로 가변 커패시턴스와 부성 저항을 구현하여 선형적인 주파수 가변 특성을 갖는 전압 제어 발진기를 구현하였다. 제작한 전압 제어 발진기는 튜닝 전압 1.0~7.0 V에서 11.20~11.75 GHz 대역폭을 나타내었고, 9~12 dBm 출력 전력 특성 및 선형적인 주파수 가변 특성을 나타내어 레이더 신호 파라미터 측정을 위한 수신기에 적용할 수 있음을 확인하였다. 하지만 반도체 제작 업체의 기간별 공정 편차에 의한 RF BJT 소자 특성으로 전압 제어 발진기의 특성에 변화가 발생할 수 있으므로 이에 대한 추가적인 연구가 필요하다고 사료된다.

## 참 고 문 헌

- [1] Merrill I. Skolnik, *Introduction to Radar Systems*, McGraw Hill, 2001.
- [2] Franz X. Sinnesbichler, "Hybrid millimeter-wave push-push oscillators using silicon-germanium HBTs", *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 1, no. 2, Feb. 2003.
- [3] S. Y. Kang, M. H. Go, et al., "Study on improving sensitivity of multi-broadband receivers", *IET Electronics Letters*, vol. 43, no. 25, Dec. 2007.
- [4] James Tsui, *Digital Techniques for Wideband Receivers*, Scitech, 2004.
- [5] Kari Stadius, Risto Kaunisto, and Veikko Porra, "Monolithic tunable capacitors for RF applications", *IEEE International Symposium on Circuits and Systems*, no. 9, May 2001.
- [6] 이문규, 문성모, 민상보, "바랙터 다이오드를 이

용하지 않은 광대역 push-push 전압 제어 발진기", 한국전자과학회논문지, 16(4), 2005년 4월.

[7] Walter Wagner, "Oscillator design by device line measurement", *Microwave Journal*, vol. 22, pp. 43-

48, Feb. 1979.

[8] 김동현, 최익권, "차량 속도 제한 사전 경보기용 전압 제어 발진기 설계", 한국전자과학회논문지, 15(11), pp. 1075-1081, 2004년 11월.

### 고 민 호



1997년 3월: 인하대학교 전자공학과 (공학석사)

2009년 2월: 인하대학교 전자공학과 (공학박사)

2010년 2월: 인하대학교 차세대항공 전자통신인력양성사업단 박사후 과정

2010년 7월~현재: 삼성탈레스 전자전연구소 전문연구원  
[주 관심분야] 항공 전자통신 시스템, 광대역 송수신 시스템, MMIC 설계

### 박 효 달



1978년 2월: 인하대학교 전자공학과 (공학사)

1984년 6월: 프랑스국립항공우주대학교 전자공학과 (공학석사)

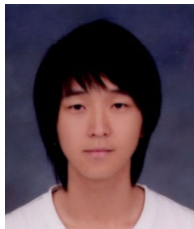
1987년: 프랑스국립항공우주대학 전자공학과 (공학박사)

1992년~현재: 인하대학교 전자공

학과 교수

[주 관심분야] 항공 통신 시스템, 초고주파 회로

### 오 수 현



2010년 8월: 인하대학교 전자공학부 (공학사)

2010년 8월~현재: 인하대학교 전자공학과 석사과정

[주 관심분야] 안테나, 레이더, 전파 전파