
FMCW 레이더용 전압제어 유전체 발진기의 구현

안용복* · 박창현* · 김장구* · 최병하**

Implementation of Voltage Control Dielectric Resonator Oscillator for FMCW Radar

Yong-Bok Ahn* · Chang-Hyun Park* · Jang-Gu Kim* · Byung-Ha Choi**

요 약

본 논문에서는 FMCW 레이더 시스템에서 안정된 소스원으로 사용할 수 있는 전압제어 유전체 공진 발진기를 구현하였다. 위상 잡음을 개선하기 위하여 저잡음 특성을 가진 MESFET과 높은 선택도의 유전체 공진기를 사용하였고, 안정된 전압 가변을 하기 위하여 Q값이 높고 가변 특성이 좋은 바랙터 다이오드를 사용하였다. 구현된 회로는 최적의 성능을 갖도록 하모닉 발란시스 시뮬레이션을 사용하였다. 제작된 전압제어 유전체 공진 발진기의 특성을 측정한 결과, 중심 주파수 12.05GHz에서 2.22dBm 출력 파워와 -30dBc의 고조파 억압과 중심 주파수 100kHz offset에서 -130dBc의 매우 좋은 위상잡음 특성을 얻었으며, 바랙터 다이오드에 인가되는 전압의 변화에 따른 주파수 가변 범위는 중심 주파수에서 $\pm 18.7\text{MHz}$ 를 얻었다. 제작된 VCDRO는 FMCW의 국부 발진기로 이용될 수 있음을 확인하였다.

ABSTRACT

In this paper, a VCDRO(Voltage Control Dielectric Resonator Oscillator) applied to FMCW(Frequency Modulated Continuous Wave)Radar as stable source is implemented and constructed with a MESFET(Metal-semiconductor Field-Effect Transistor) for low noise, a dielectric resonator of high frequency selectivity, and high Q varactor diode to obtain a good phase noise performance and stable sweep characteristics. The designed circuits is simulated thrash harmonic balance simulation technique to provide the optimum performance. The measured result of a fabricated VCDRO shows that output is 2.22dBm at 12.05GHz, harmonic suppression -30dBc, phase noise -130dBc at 100kHz offset, and sweep range of varactor diode $\pm 18.7\text{MHz}$, respectively. This oscillator will be available to FMCW Radar.

키워드

FMCW, VCDRO, PHASE NOISE

1. 서 론

전세계적으로 차량의 급격한 증가로 인한 사고

*목포해양대학교 해양전자·통신공학과 대학원

**목포해양대학교 해양전자·통신공학과 교수

및 피해가 증가함에 따라 선진국을 중심으로 지능형 교통시스템의 도입이 적극적으로 진행 중에 있다[1].

지능형 교통시스템에서 자동차의 제어를 위해 주행중인 자동차에 전후방 및 측방의 주변환경에 대한 정보를 제공할 수 있는 센서가 요구되며 이를 위해 초음파, 적외선, 밀리미터파 레이더 및 화상 센서 등이 고려된다. 이 중에서 온도와 습도에 대한 영향이 적으며 정확한 거리 및 상대 속도 측정이 가능한 밀리미터파 레이더 방식이 선호되는데 밀리미터파 레이더 방식 중 비교적 설계가 간단하며 정확한 거리 및 속도 정보를 제공하는 FMCW 방식이 적합하여 이에 대한 연구가 활발히 진행 중에 있다.

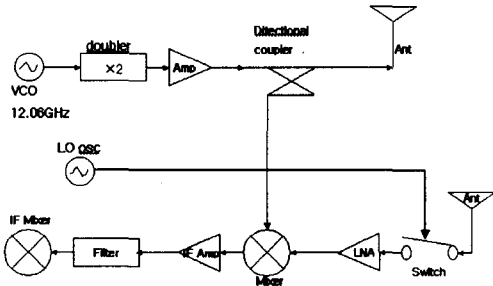


그림 1. FMCW 레이더 블록도
Fig. 1 Block diagram of FMCW Radar

그림 1은 FMCW 레이더의 블록도를 나타내고 있으며, FMCW레이더의 핵심 부품인 VCO는 안정된 발진과 우수한 위상잡음 특성을 요구하게 된다 [2]. 따라서 본 논문에서는 안정된 발진을 하면서 위상잡음 특성과 고조파 특성이 우수하도록 구현하고자 하며, 구현된 회로는 HP사의 ADS를 이용하여 최적화하였다.

최적화된 회로는 유전율 $\epsilon=3.5$ 이고 두께 $H=20\text{mil}$ 인 TACONIC사의 RF35 마이크로 스트립 기판 위에 구현하여 FMCW레이더용 전압제어 유전체 공진 발진기를 설계·제작하고자 한다.

II. VCDRO

전압 제어 유전체 공진 발진기(VCDRO)는 유전체 공진기의 결합위치에 따라 크게 병렬 결합 발진기, 반사형 발진기, 직렬 결합 발진기로 나눌 수 있으며, 출력단에 유전체 공진기를 결합하는 병렬 결합형이나 반사형은 능동소자의 자체 결합없이도 발진하는 장점이 있으나, 발진기의 전체적인 성능 저하나 주파수의 변화를 일으키는 단점이 있으므로 본 논문에서는 직렬 결합형 발진기로 설계하였다.

직렬 결합형 발진기 모델

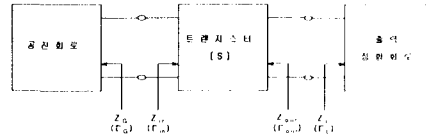


그림 5. 2단자망 발진기 모델
Fig 2. Two-port oscillator model

그림 2는 일반적인 2포트 부성 저항 발진기의 모델이다. 트랜지스터는 S파라미터로 표현되며 안정도 판별식 $K < 1$ 때 초기 발진 조건은

$$\begin{aligned} |R_{out}(V, \omega_o)| > R_L(\omega_o) \\ X_{out}(V, \omega_o) + X_L(\omega_o) = 0 \end{aligned} \quad (1)$$

이며, 정상 상태 발진 조건은

$$\begin{aligned} \Gamma_o \Gamma_{in} = 1, \quad \Gamma_L \Gamma_{out} = 1 \\ K = \frac{1 + |\Delta| - |S_{11}|^2 - |S_{22}|^2}{2|S_{12}S_{21}|} < 1, \\ (\Delta = S_{11}S_{22} - S_{12}S_{21}) \end{aligned} \quad (2)$$

이다[3][4].

MESFET의 동작점 결정은 설계 목표치 중 출력 레벨 및 위상 잡음을 고려하여 결정한다. 일반적으로 높은 드레인-소스 전류는 위상 잡음이 증가하고, 적은 드레인-소스 전류는 출력 파워가 감소하게 된다. 특히 $1/f$ 잡음은 발진회로의 발진 신호와 주변 저주파 잡음과 주파수 혼합에 의해 나타나므로 DC 바이어스점, 능동 소자에서 본 RF 부하곡선, RF 주파수 대역에서 임피던스의 주파수 의존성 등에 의해 영향을 받는다. 따라서 트랜지스터의 V-I 특성 곡선으로부터 출력은 작지만 위상 잡음을 작게 하기 위한 동작점으로 $V_{ds}=2\text{V}$ 이고, $V_{GS}=-0.3\text{V}$, $I_{ds}=20\text{mA}$ 인 점을 선택하였다. 또한 발진기의 동조 방법에는 기계적 동조와 전기적인 동조 방법이 있는데, 본 논문에서는 바랙터 다이오드를 이

용한 전기적 동조 방법을 사용하였다. 이때 바랙터 다이오드가 소자의 직렬 또는 병렬로 직접 연결되어지면 발진기의 위상잡음 특성이 감소하므로 직렬 케환 형태를 가지는 발진기의 유전체 공진기에 바랙터 다이오드가 연결된 마이크로스트립 전송선로를 결합시켜 공진주파수를 변화시킴으로써 주파수 동조를 얻는 방법을 사용하여 위상잡음을 줄이도록 하였다. 그림 3은 바랙터 다이오드가 연결된 유전체 공진 발진기의 구조를 나타낸다.

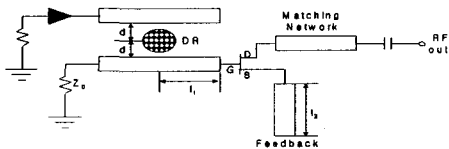


그림 3. 전압 제어 유전체 공진 발진기의 구조
Fig 3. A configuration of VCDRO

설계한 VCDRO의 회로로써 그림 3에서의 직렬 케환 회로는 부성저항을 발생시키기 위해 공통 소스 단자에 리액턴스 소자를 직렬로 연결하여 l_2 길이를 최적화하였다.

그림 4는 마이크로 스트립 선로와 튜닝 바랙터가 결합된 유전체 공진기의 동가회로이며, 게이트 단의 전송선로와 결합하여 대역저지 필터로써 원하는 주파수를 충분히 반사시키는 역할을 하며, 반사손실과 반사 선택도는 부하로 전달되는 에너지와 위상 잡음 특성에 영향을 준다. 동가회로의 소자 값은 다음 식으로 구할 수 있다.

$$L_0(dB) = -20 \log S_{210} = 20 \log(1 + \beta) \quad (3)$$

$$X(dB) = 3 - 10 \log(1 + 10^{-0.1L_0}) \quad (4)$$

$$Q_u = \frac{f_0}{f_2 - f_1}, \quad Q_L = \frac{f_0}{f_4 - f_3} \quad (5)$$

$$Q_u = Q_L(1 + \beta) = \beta Q_e \quad (6)$$

$$R = 2Z_0\beta, \quad L = \frac{R}{Q_u\omega_0}, \quad C = \frac{Q_u}{\omega_0 R} \quad (7)$$

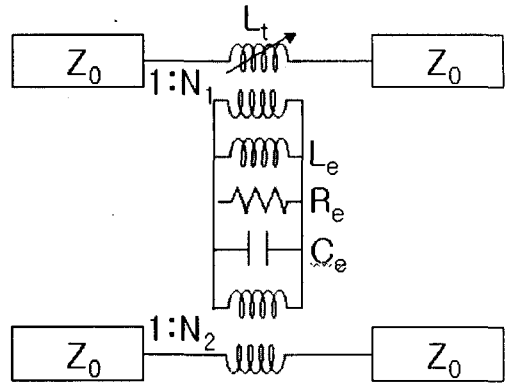


그림 4. 마이크로스트립 라인과 결합한 유전체 공진기 동가회로
Fig 4. Equivalent circuit for Dielectric resonator couples to a microstrip line

Feedback를 최적화시킨 결과 그림 5에서처럼 11 GHz~13GHz 사이에서 부성 저항 특성을 나타냄으로써 발진가능성을 확인하였고 그림 6은 크기와 위상을 나타낸다.

부하 정합 회로는 설계 주파수에서 최대의 파워를 가져다 주도록 부하 임피던스는 일반적으로 다음의 수식으로서 결정된다[5].

$$R_L(\omega_0) + jX_L(\omega_0) = -\frac{R_M(0, \omega_0)}{3} - jX_M(0, \omega_0) \quad (8)$$

소신호 파라미터에 의해 설계된 발진기 회로에서 계산된 부하 임피던스 Z_L 을 50Ω과 정합이 되도록 오픈 스테르브를 사용한 출력 정합 회로를 구성한 후, 출력 전력, 고조파 특성 등 트랜지스터의 비선형 특성에 의해 발생하는 발진 특성 예측을 하기 위하여 HP사의 ADS를 이용하여 하모닉 발란시스 시뮬레이션을 하였다.

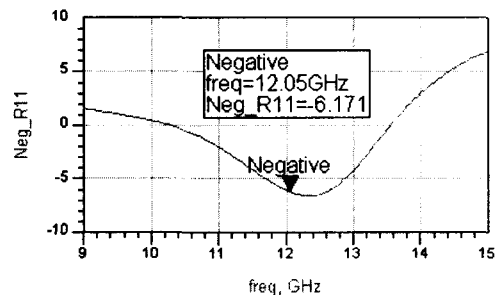


그림 5. 부성저항 특성
Fig 5. Negative resistance characteristics

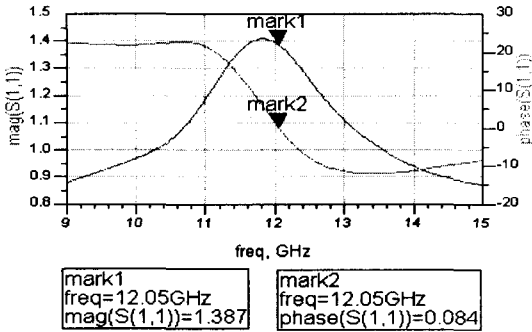
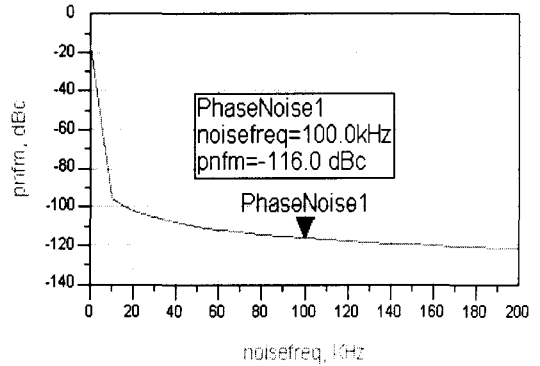


그림 6. 발진 가능성
Fig 6. Osc test



(b) 위상 잡음
(b) Phase noise

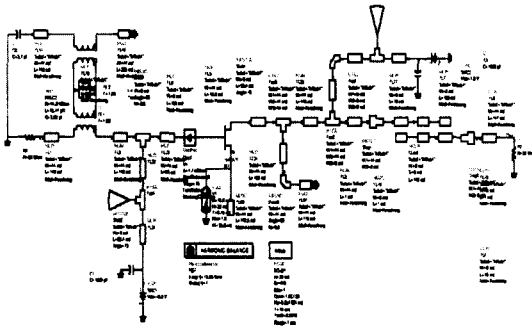
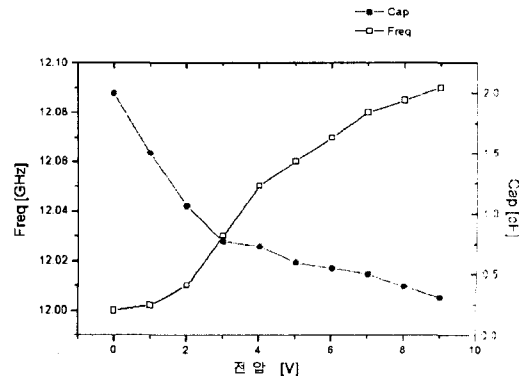


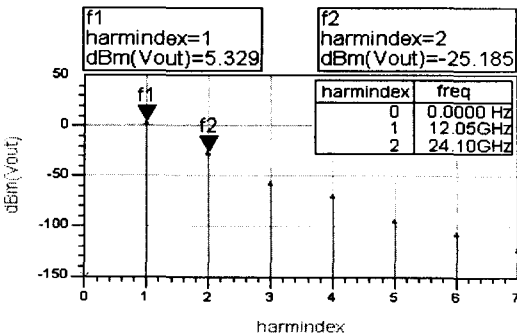
그림 7. HB 해석을 위한 시뮬레이션 회로도
Fig 7. Simulation circuit for HB analysis

그림 7은 최종 설계된 HB 해석을 위한 회로도이다. 설계된 VCDRO의 시뮬레이션 결과 그림 8과 같고, 주파수 특성은 12.05GHz에 5.3dBm, 고조파 응답은 기본파 대비 -30dBc, 위상 잡음은 100kHz offset 주파수에서 -116dBc, 바랙터 다이오드에 인가되는 가변 전압에 따른 주파수 가변 범위와 캐패시턴스의 변화는 그림 8의 (C)와 같다.



(c) 가변 전압에 따른 주파수와 캐패시터의 변화
(c) Frequency and tuning capacitor versus tuning voltage

그림 8. 설계된 VCDRO의 시뮬레이션 결과
Fig 8. Simulation result of designed VCDRO



(a) 주파수 특성
(a) Frequency characteristics

III.VCDRO의 제작 및 측정결과

그림 7의 설계된 VCDRO 회로는 유전율이 3.5 이고 두께가 20mil인 TACONIC사의 RF35 기판 위에 제작하였고, MESFET는 저잡음 특성을 가지고 있는 NEC사의 NE32584C를 사용하였으며, 가변 특성이 우수한 바랙터 다이오드는 M/A-COM사의 MA46451를 또 높은 Q값을 갖는 유전체 공진기는 아이텍사의 IDR03를 주문하여 사용하였다. 그림 9는 설계된 VCDRO의 레이아웃을 보여준다.

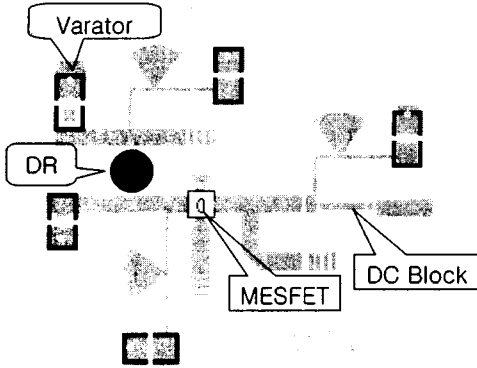
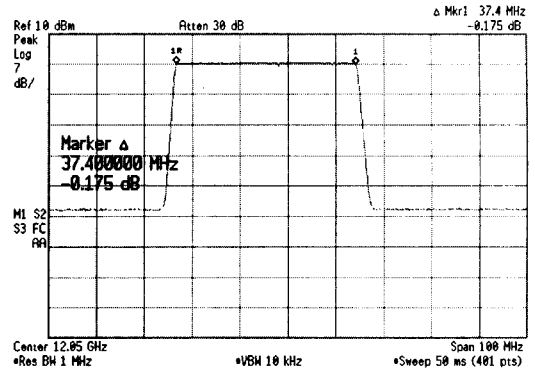


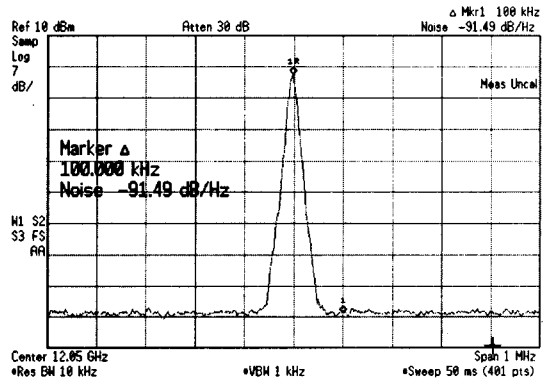
그림 9. VCDRO 레이아웃
Fig 9. Layout of VCDRO

DC 바이어스 회로는 RF 신호에 대해서는 개방되어 RF 신호가 DC 바이어스 라인으로 커플링되는 것을 방지하도록 $\lambda/4$ 마이크로스트립 라인과 radial stub를 사용하였다. $\lambda/4$ 마이크로스트립 라인은 RF 신호선에 비해 높은 임피던스 특성(125 Ω)을 갖도록 설계하였다.

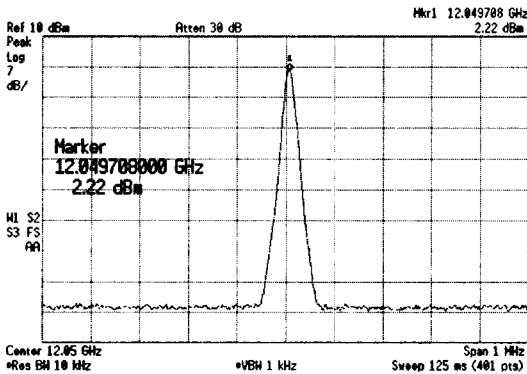
측정 결과 주파수 특성은 중심 주파수 12.05GHz에서 2.22dBm의 출력과 2V에서 20V의 가변 전압에서 주파수 가변 범위는 중심 주파수에서 ± 18.7 MHz로 시뮬레이션 결과와는 다소 차이가 있었고, 고조파 응답은 2차 고조파에서 -30dBc로 설계치와 같고, 위상 잡음은 RBW를 10kHz로 측정한 결과 100kHz offset 주파수에서 -91dBc로 설계치 보다 매우 우수한 값이 측정되었다.



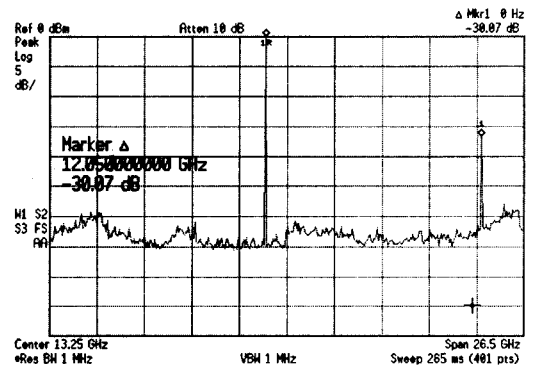
(b) 주파수 동조 특성
(b) Frequency tuning characteristics



(c) 위상 잡음 특성
(c) Phase noise characteristics



(a) 주파수 특성
(a) Frequency characteristics



(d) 고조파 특성
(d) Harmonic characteristics
그림 10. VCDRO의 출력 특성
Fig 10. Output characteristics of VCDRO

IV. 결 론

본 논문에서는 FMCW 레이더에서 사용할 수 있는 전압 제어 유전체 공진 발진기를 설계하고 제작하였다.

이를 위하여 NEC사의 NE32584C MESFET은 등가회로모델을 이용하였고, 유전체 공진기는 아이텍사의 IDR03을 주문 제작하여 바렉터와 결합된 등가회로를 구현하여 R, L, C 파라미터를 추출하였으며, 설계 및 시뮬레이션은 HP사의 ADS를 이용하였다. 제작용 기판은 유전율이 3.5이고 두께가 20mil인 TACONIC사의 RF35기판을 사용하였다.

제작된 발진기의 성능은 HP사의 스펙트럼 분석기(E4407B)를 이용하여 측정하였고 게이트 바이어스가 -0.3V이고 드레인 인가 전압은 2V에서 중심 주파수 12.05GHz에서 2.2dBm으로 양호한 주파수 응답과 2V에서 20V의 가변 전압에서 주파수 가변 범위는 중심 주파수에서 $\pm 18.7\text{MHz}$ 를, 위상 잡음은 100kHz 대역폭에서 -130dBc로 설계치 보다는 더 우수한 위상 잡음특성을 보였다. 고조파 응답은 2차 고조파에서 -30dBc로 설계치와 같은 값을 얻었다.

설계, 제작된 전압 제어 유전체 공진 발진기는 체배기를 이용한다면 FMCW 레이더용 국부 발진기로 사용할 수 있을 것이다.

참고문헌

- [1] 박공만, "Car Radar 기술발전 및 산업동향," 전파 제 104호, 2002.
- [2] Behzad Razavi, RF Microelectronics, Prentice Hall. 1997
- [3] David M. Pozar, Microwave Engineering, John Wiley & Sons, Inc. 1990
- [4] Robert G. Rogers, Low Phase Noise Microwave Oscillator Design, Artech House. 1991
- [5] Eric Holzman, Solid State Microwave Power Oscillator Design, Artech House. 1992

저자소개



안용복(Yong-Bok, Ahn)

1976년 12월 목포 MBC 입사
 1992년 2월 목포해양대학교 해양전자·통신공학부 학사
 2002년 2월 목포해양대학교 해양전자·통신공학과 공학석사
 2002년 3월~현재 목포해양대학교 해양전자·통신공학과 박사과정



박창현(Chang-Hyun, Park)

2002년 2월 국립 목포 해양대학교 해양 전자·통신공학부 공학사
 2002년 3월~2004년 2월 국립 목포해양대학교 대학원 전자·통신공학과 공학 석사
 2004년 3월~현재 목포해양대학교 해양전자·통신공학부 시간강사
 ※관심분야 : 마이크로파 능동 및 수동소자, 이동통신, MEMS



김장구(Jang-Gu, Kim)

2001 국립목포해양대학교 해양전자·통신공학부 공학사
 2003 국립목포해양대학교 대학원 전자·통신공학과 공학석사
 2004~현재 국립목포해양대학교 해양전자·통신공학부 조교
 ※관심분야 : 초고주파 회로설계, 마이크로파 통신, 집적회로(MMIC), MEMS



최병하(Byung-Ha, Choi)

1965년~1969년 한국항공대학교 항공전자공학과 공학사
 1981년~1983년 건국대학교 대학원 전자공학과 공학석사
 1987년 통신기술사
 1988년~1993년 한국항공대학교 대학원 항공전자공학과 공학박사
 1972년~현재 국립목포해양대학교 해양전자·통신공학부 교수
 ※관심분야 : 안테나, 해상이동통신 및 위성통신