레이더 센서용 발진기의 양산성 향상에 관한 연구

김병철* · 조경래** · 이재범** · 김대형**

A Study on Improving Mass Production of the Radar Sensor Oscillator

Kim, Byung-chul* · Cho, Kyung-rae** · Lee Jae-buom** · Kim, Dae-hyung**

이 논문은 금오공과대학교 학술연구비에 의하여 연구된 결과물임

요 약

본 논문에서는 써미스터를 이용한 온도보상회로를 이용하여 레이더 센서의 양산성을 향상시킬 수 있는 방안을 제시하였다. 레이더 센서에 사용되는 DRO(Dielectric Resonator Oscillator)의 유전체공진기를 제거한 후, FET의 게이트에 적절한 바이어스전압을 인가할 수 있는 온도보상회로를 이용하여 정확한 발진주파수를 조정하는데 필요한 시간을 절약함으로써 양산이 용이하도록 하였는데, 본 논문에서 제안한 방법으로 제작한 레이더 센서의 출력주파수는 $-20^{\circ}\text{C} \sim +55^{\circ}\text{C}$ 의 온도범위에서 15.67MHz의 변화량을 보였으며, 출력크기의 변화는 0.65dB, 위상잡음 특성은 1MHz에서 -105.47dBc로 같은 온도범위에서 25MHz의 출력주파수 변화, 0.42dB의 출력크기 변화, -107.40 dBc의 위상잡음 특성을 보이는 유전체공진기를 이용한 발진기보다 우수하거나 비슷한 특성을 나타내었다.

ABSTRACT

In this paper, The method to improve the mass production method of the radar sensor is suggested by using the temperature compensation circuit which is composed with the thermister. The mass production became easier by decreasing the adjustment time for the exact oscillation frequency with the temperature compensation circuit that can support the proper gate bias voltage for the FET after the dielectric resonator is removed from the DRO(Dielectric Resonator Oscillator) of the radar sensor. Radar sensor with the proposed method has 15.67MHz oscillator frequency variation in the temperature range of $-20^{\circ}\text{C} \sim +55^{\circ}\text{C}$, 0.65dB magnitude variation, -105.47dBc phase noise characteristics at 1MHz which are better or similar temperature characteristics with the DRO whose oscillator frequency variation is 25MHz, magnitude variation is 0.42dB and phase noise is -107.40dBc in the same temperature range.

키워드

DRO, 레이더 센서, 온도보상회로, 양산성

key word

DRO, Radar Sensor, Temperature Compensation Circuit, Mass Production

* 정회원 : 금오공과대학교 전자공학과 (교신저자, bckim@kumoh.ac.kr)

접수일자 : 2011. 12. 09

** 정회원 : 금오공과대학교 전자공학과

심사완료일자 : 2012. 03. 14

I. 서 론

근래에 에너지 사용량이 급증함에 따라 에너지 절약에 관심이 많아지고 그에 따라 에너지 절약에 관련된 제품들도 많이 출시되고 있다. 특히 지하 주차장의 전력낭비를 감소시키기 위해서, 물체의 움직임을 감지하여 점·소등되도록 해주는 도플러 센서를 이용한 조광 제어 시스템이 개발되었고 많은 아파트의 지하 주차장에 설치가 되어 사용되고 있다.

이러한 도플러 레이더 센서는 긴 탐지거리와 소형/경량의 장점을 가진다. 또한 이러한 센서는 Q값이 크고 손실이 적으며, 온도 안정성에서 우수한 특성을 가지는 유전체 공진기를 사용한 발진기가 많이 사용된다.[1] 그러나 유전체 공진기를 이용한 발진기는 유전체 공진기의 위치에 따라 주파수가 변하기 때문에 그 위치를 맞춰서 고정을 시켜야 하는 번거로움 외에 주파수 조정을 위한 나사의 길이도 조절해야 하므로 많은 시간이 소요되어 양산에 어려움이 있다.

이와 같은 문제점을 해결하기 위하여 본 논문에서는 발진기의 유전체 공진기를 제거하고, 트랜지스터의 게이트에 적절한 바이어스를 인가할 수 있는 온도보상회로를 이용하여 위치 조정이나 조절나사 없이 주변온도가 변화해도 유전체 공진기 발진기보다 적은 주파수 변화를 보이는 발진기를 제작할 수 있도록 함으로써 양산성을 높이는 방안을 제시하고자 한다.

II. 써미스터를 이용한 온도 보상회로 설계

2.1. X-밴드 도플러 레이더 센서

움직임을 감지하는 도플러 시스템은 마이크로파 신호가 움직이는 물체에 반사될 때 도플러 효과로 인해 신호의 주파수가 물체의 속도에 비례하여 변화하는 점을 이용한다. 그림 1과 같이 움직이는 물체로부터 반사된 신호는 변위 $x(t)$ 의 크기에 따라 위상이 변화하게 된다. 이와 같은 $x(t)$ 의 변화에 따른 위상의 변화는 식(1) ~ (2)와 같이 주파수 천이로 나타내게 된다.

그림 1. 물체의 움직임에 따른 도플러 효과
Fig. 1 Doppler effect on the motion of objects

$$\Delta\Phi(t) = \frac{4\pi}{\lambda}x(t), \quad \lambda = \text{wavelength}$$

$$f' = \frac{f_0}{1 - \frac{v}{c}\cos\theta} \approx f_0\left(1 + \frac{v}{c}\cos\theta\right) \quad (1)$$

$$= f_0 + f_0 \frac{v}{c}\cos\theta = f_0 + \frac{v}{\lambda}\cos\theta$$

$$2\pi t \cdot f' = 2\pi t \left(f_0 + \frac{v}{\lambda}\cos\theta \right)$$

$$= 2\pi f_0 t + \frac{2\pi}{\lambda} \cdot (v \cdot \cos\theta)t$$

$$= 2\pi f_0 t + \frac{2\pi}{\lambda} \cdot 2x(t) \quad (2)$$

$$= 2\pi f_0 t + \frac{4\pi}{\lambda} \cdot x(t)$$

$$= 2\pi f_0 t + \Delta\phi(t)$$

여기서, f_0 는 레이더센서의 출력주파수, v 는 움직이는 물체의 속도, c 는 광속도, f' 은 변화된 주파수, λ 는 입력 신호의 파장, $x(t)$ 는 물체의 변위이다. 식(2)에서와 같이 변위 $x(t)$ 의 크기는 위상변화로 표현되고, 위상변화는 파장(λ)의 함수로 표현되므로 주파수 천이를 나타내게 된다.[2]

일반적인 도플러 레이더 센서는 그림 2와 같이 발진기, 믹서, 2개의 패치 안테나, 그리고 필터로 구성된다. 발진기는 레이더센서의 신호를 발생시켜 안테나로 보내고, 안테나는 발진기에서 발생한 신호와 반사된 신호를 송·수신하며, 믹서는 도플러 효과로 인한 주파수 천

이를 검출하여 IF 신호를 출력하고, 이 신호는 필터와 증폭기를 통해 프로세서로 전달된다.[3]

그림 2. 도플러 레이더 센서의 시스템 구성도
Fig. 2 Configuration of Doppler radar sensor system

2.2. 온도에 따른 발진주파수의 변화

MOSFET의 소신호 등가회로는 내부의 임출력 저항과 내부 캐패시터 및 인덕터로 구성되는데, 외부의 온도가 변함에 따라 이와 같은 저항 및 캐패시터, 인덕터 등의 소자들이 영향을 받게 된다. 캐패시턴스, 인덕턴스 값이 변하면 드레인과 게이트 사이의 전압인 v_{GS} 가 변하게 되고, v_{GS} 의 값에 따라 드레인 소스 사이에 흐르는 전류인 i_{DS} 값이 변한다. i_{DS} 값에 따라 트랜지스터의 S-파라미터 값이 변하므로 임출력 반사계수도 변하여 출력되는 발진주파수가 변하게 된다.

MOSFET의 드레인 소스 사이의 전압 v_{DS} 는 식(3)과 같이 표현되고 드레인 전류 i_D 는 식(4)와 같이 표현된다. 식(3)과 식(4)의 V_t 는 문턱전압이고 $k'_n = \mu_n C_{ox}$ 인데 이들 값은 온도에 민감하다.

$$v_{DS} = v_{GS} - V_t \quad (3)$$

$$i_D = \frac{1}{2} k'_n \frac{W}{L} (v_{GS} - V_t)^2 \quad (4)$$

식 4의 V_t 의 크기는 온도가 증가할수록 작아지므로 온도가 증가할수록 드레인에 흐르는 전류 i_D 의 값은 커지게 된다. 이렇게 변환된 i_D 값에 의해 S-파라미터 값이 변하므로 이에 따른 임출력 반사계수가 바뀌게 되어 공진점이 바뀌고, 발진기의 발진주파수도 바뀐다.[4]

그림 3. 온도 변화에 따른 MOSFET의 i_D - v_{GS} 특성 그래프
Fig. 3 i_D - v_{GS} Characteristic graph of MOSFET on temperature variation.

2.3 발진기의 주파수 변화량 감소를 위한 방법

온도변화에 따른 발진기의 주파수 변화량을 감소시키기 위해 본 논문에서 제안하는 방법은 온도보상회로를 이용하여 트랜지스터의 게이트 바이어스 전압을 가변시키는 것이다.

온도에 따라 FET의 S-파라미터 값이 변하고, 아무런 조치를 취하지 않을 경우 발진주파수도 변하게 되는데, FET의 게이트 바이어스 전압을 조정함으로써 온도에 따라 발진주파수가 변하는 방향과 반대로 발진주파수를 변화시킬 수 있다.

그림 4. 제안한 게이트 바이어스 회로
Fig. 4 Proposed gate-bias circuit

일반적으로 FET를 이용한 발진기는 온도가 상승하면 주파수가 감소하고 온도가 하강하면 주파수가 증가하는데, 온도에 따라 저항 값이 변하는 써미스터를 이용하여 게이트 바이어스 전압을 변화시켜 온도가 상승하

면 주파수가 증가하고 온도가 하강하면 주파수가 감소하도록 하여 온도에 따른 발진기의 출력주파수 변화를 감소시키고자 한다. 그림 4에 본 논문에서 제안한 게이트 바이어스 회로를 제시하였는데, OP-AMP는 버퍼회로로 사용되었다.

그림 4 회로의 출력 전압을 그림 5에 나타냈는데 저온(-20℃)~고온(+55℃)까지의 온도변화에 따라 써미스터의 저항 값이 18kΩ~477Ω으로 변화함에 따라 게이트 바이어스 전압은 -0.093V에서 -0.976V로 약 0.883V가 변화하는 것을 알 수 있다.

그림 5 온도변화에 따른 출력전압의 변화
Fig. 5 Variation of output voltage on the temperature variation

이러한 온도보상회로를 적용한 발진기를 그림 6과 같이 설계하였고, ADS를 이용하여 시뮬레이션한 결과를 그림 7에 나타내었다.

그림 6. 온도보상회로를 이용한 발진기 회로
Fig. 6 Oscillator circuit using temperature compensation circuit

그림 7. 온도보상회로를 이용한 발진기의 출력주파수 및 고조파 특성
Fig. 7 Output frequency and harmonics of oscillator circuit using temperature compensation circuit

시뮬레이션 결과 발진주파수는 10.525GHz, 출력의 크기는 +12.226dBm이고, 주 신호와 2차 고조파의 차이는 23.716dBc가 됨을 알 수 있다.

III. 실험 및 결과

유전율이 4.34이고 두께가 1.05mm인 FR-4 PCB 기판과 NEC사의 NE3210S01을 사용하여 본 논문에서 제안한 방법으로 발진기를 설계하였으며, 그 layout을 그림 8에 제시하였으며, 실제 제작된 발진기 회로의 사진을 그림 9에 제시하였다.

그림 8. 제안한 방법으로 설계한 발진기
Fig. 8 Designed Oscillator with the proposed method

그림 9. 제작된 발진기의 사진

Fig. 9 Photograph of implemented oscillator

그림 9와 같이 제작한 발진기의 온도에 따른 출력특성을 사용온도 범위인 $-20^{\circ}\text{C} \sim +55^{\circ}\text{C}$ 중 4개의 온도에 대해 측정하여 그림 10에 제시하였다.

(a)

(b)

(c)

(d)

그림 10. 온도 변화에 따른 발진기의 주파수 변화
(a) -20°C (b) $+5^{\circ}\text{C}$ (c) $+25^{\circ}\text{C}$ (d) $+55^{\circ}\text{C}$

Fig. 10 Frequency variation of oscillator on the temperature variation

(a) -20°C (b) $+5^{\circ}\text{C}$ (c) $+25^{\circ}\text{C}$ (d) $+55^{\circ}\text{C}$

그림 11. 온도보상회로를 이용한 발진기의 온도 변화에 따른 주파수 변화

Fig. 11 Frequency variation of oscillator using temperature compensation circuit on the temperature variation

본 논문에서 제시한 방법으로 설계한 발진기의 온도 변화에 따른 주파수 변화는 그림 11에 제시된 바와 같이 $-20^{\circ}\text{C} \sim +55^{\circ}\text{C}$ 의 온도범위에서 15.67 MHz의 변화폭을 가진다.

그림 12에는 단순히 부성저항을 이용한 발진기 및 유전체 공진기를 이용한 발진기와 본 논문에서 제안한 방법으로 설계한 발진기의 온도 변화에 따른 주파수 변화를 비교하여 나타내었다.

그림 12. 온도 변화에 따른 주파수 변화 비교
Fig. 12 Comparison of frequency variation on the temperature variation

부성저항을 이용한 발진기의 경우 온도에 따라 92.6MHz의 주파수 변화폭을 보였으며, 유전체 공진기를 사용한 발진기의 경우 67.6MHz가 감소한 25MHz의 변화폭으로 온도변화에 대해 비교적 안정적인 발진을 보였다. 본 논문에서 제안한 방법으로 설계한 발진기는 15.67MHz의 변화폭을 보여 부성저항을 이용한 발진기보다 76.93MHz가 감소한 변화폭을 보였으며 유전체공진기를 이용한 발진기보다도 9.33MHz 더 작은 변화폭을 보이는 것을 알 수 있다.

또, 부성저항을 이용한 발진기 및 유전체 공진기를 이용한 발진기와 본 논문에서 제안한 방법으로 설계한 발진기의 온도에 따른 신호 크기의 변화를 표 1에 나타내었다.

부성저항을 이용한 발진기의 경우 온도에 따라 0.35dB의 크기 변화폭을 보였으며, 유전체 공진기를 사용한 발진기는 0.42dB의 변화폭을 보였고, 본 논문에서 제안한 온도보상회로를 적용한 발진기는 0.65dB의 변화폭을 보여 온도 변화에 대해 크기변화는 거의 비슷한 것을 알 수 있었다.

표 1. 온도 변화에 따른 신호 크기의 변화
Table. 1 Magnitude variation of signal on the temperature variation

구분	부성저항을 이용한 발진기	유전체공진기를 이용한 발진기	온도보상회로를 적용한 발진기
-20°C	7.63dBm	5.53dBm	6.22dBm
-15°C	7.54dBm	5.46dBm	6.3dBm
-5°C	7.54dBm	5.39dBm	6.45dBm
$+5^{\circ}\text{C}$	7.42dBm	5.32dBm	6.5dBm
$+15^{\circ}\text{C}$	7.4dBm	5.29dBm	6.82dBm
$+25^{\circ}\text{C}$	7.35dBm	5.25dBm	6.61dBm
$+35^{\circ}\text{C}$	7.37dBm	5.35dBm	6.82dBm
$+45^{\circ}\text{C}$	7.33dBm	5.17dBm	6.8dBm
$+55^{\circ}\text{C}$	7.28dBm	5.11dBm	6.87dBm
크기 변화폭	0.35dB	0.42dB	0.65dB

다음으로 부성저항을 이용한 발진기와 유전체공진기를 이용한 발진기, 그리고 본 논문에서 제안한 온도보상회로를 이용한 발진기의 위상잡음을 각각 그림 13, 14, 15에 제시하였다.

그림 13. 부성저항을 이용한 발진기의 위상잡음 특성
Fig. 13 Phase noise of oscillator using negative-resistance

부성저항을 이용한 발진기의 위상잡음 특성은 그림 13에 제시된 바와 같이 1MHz에서 -101.72 dBc가 되었고, 유전체공진기를 이용한 발진기의 위상잡음 특성은 그림 14에 제시된 바와 같이 -107.4dBc가 되었으며, 본 논문에서 제안한 방법으로 설계한 발진기는 그림 15와 같

이 -105.47dBc 가 되어 부정저항을 이용한 발진기보다는 좋은 특성을 나타내었고, 유전체공진기를 이용한 발진기와 거의 비슷한 특성을 나타내었다.

그림 14. 유전체공진기를 이용한 발진기의 위상잡음 특성

Fig. 14 Phase noise of oscillator using dielectric resonator

그림 15. 온도보상회로를 이용한 발진기의 위상잡음 특성

Fig. 15 Phase noise of oscillator using temperature compensation circuit

IV. 결론

본 논문에서는 써미스터를 이용한 온도보상회로를 이용하여 레이더 센서의 양산성을 향상시킬 수 있는 방안을 제시하였다.

레이더 센서에 사용되는 DRO(Dielectric Resonator Oscillator)의 유전체공진기를 제거한 후, FET의 게이트에 적절한 바이어스전압을 인가할 수 있는 온도보상회로를 이용하여 DR의 위치와 DR 윗부분의 튜닝나사를 조절하는 시간을 절약함으로써 양산이 용이하도록 하였다.

또한, NEC사의 트랜지스터인 NE3210S01을 사용하여 10.525GHz 의 중심주파수를 가지는 발진기를 설계하여 온도에 따른 주파수 변화 특성을 확인한 결과, $-20^{\circ}\text{C} \sim +55^{\circ}\text{C}$ 의 온도범위에서 본 논문에서 제안한 방법으로 제작한 레이더 센서의 출력주파수는 15.67MHz 의 변화량을 보여 같은 온도범위에서 25MHz 의 변화량을 보이는 유전체공진기를 이용한 발진기보다 우수한 특성을 나타내었다. 온도변화에 따른 출력크기의 변화는 각각 0.65dB 와 0.42dB 가 되었으며, 위상잡음 특성은 1MHz 에서 각각 -105.47dBc 와 -107.40dBc 가 되어 본 논문에서 제안한 방법으로 제작한 발진기와 유전체공진기 발진기가 매우 유사한 전기적 특성을 가지므로 유전체공진기 발진기 대신 사용해도 아무런 문제가 없다는 점을 보여 주고 있다.

참고문헌

- [1] Songxin Qi, Ke Wu, "Hybrid Integrated HEMT oscillator with a Multiple-Ring Nonradiative Dielectric(NRD) Resonator Feedback Circuit", IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol. MTT-46, pp. 1552-1558, October. 1998.
- [2] 김태진, "Implementation of a Microwave Doppler Sensor," 경남대학교 석사학위 논문, 2009
- [3] Chenming Zhou, Downey J., Stancil D, Mukherjee T, "A Compact Positioning and Velocity RF Sensor For Improved Inertial Navigation", Microwave Symposium Digest, 2009, pp 1421~1424
- [4] R. Soarse, "GaAs MESFET circuit design", Artech House, 1998.

저자소개

김병철(Kim, Byung-chul)

1980년 2월: 서강대 전자공학과
학사

1982년 2월: 서강대 전자공학과
석사

1991년 2월 서강대 전자공학과 박사

1982~현재: 금오공과대학교 전자공 학부 교수

※ 관심분야: Microwave & RF 회로설계

조경래(Cho, Kyung-rae)

2004년 2월: 경운대학교
전자공학과 학사

2006년 2월: 금오공과대학교
전파통신공학과 석사

2006년 3월~ 현재: 금오공과대학교 전파통신공학과
박사과정

2007년 2월~현재: (주)디엔알 대표

※ 관심분야: RF 및 Microwave 회로 설계, 전력 증폭기
및 선형화기 설계 등

이재범(Lee, Jae-buom)

2007년 2월: 금오공과대학교
전파통신공학과 학사

2009년 2월: 금오공과대학교
전파통신공학과 석사

2009년 2월~현재: 금오공과대학교 전파통신공학과
박사과정

※ 관심분야: RF 및 Microwave 회로 설계, 전력 증폭기
및 선형화기 설계 등

김대형(Kim, Dae-hyung)

2010년 2월: 금오공과대학교
전파통신공학과 학사

2009년 2월~현재: 금오공과대학교
전파통신공학과
석사과정

※ 관심분야: RF 및 Microwave 회로 설계, 전력 증폭기
및 선형화기 설계 등