

VCO의 온도 특성 보상을 위한 온도 보상 회로의 설계

Design of Temperature Compensation Circuit to Compensate Temperature Characteristics of VCO

김병철 · 황계화 · 조경래 · 이재범

Byung-Chul Kim · Gui-Hua Huang · Kyung-Rae Cho · Jae-Buom Lee

요 약

본 논문에서는 온도 센서와 OP-AMP를 이용하여 X-밴드용 전압제어 발진기를 위한 온도 보상 회로를 구현하였다. 온도 변화에 대해 선형적인 특성을 갖는 온도 센서의 출력 전압을 튜닝 전압에 더해서 전압제어 발진기에 인가함으로써 온도에 따른 주파수 이동을 보상할 수 있었다. $-30 \sim +60 \text{ }^\circ\text{C}$ 의 온도 범위에서 9.95~10.05 GHz의 대역에 대해 온도 보상을 한 결과, 전체 대역폭에서 출력 주파수는 온도 보상 전 71~73 MHz가 변화했으나, 온도 보상 후에는 6.6~4.4 MHz의 변화를 보였다.

Abstract

In this paper, temperature compensation circuit for the X-band voltage controlled oscillator(VCO) is presented by using the temperature sensor with the OP-AMP circuit. The frequency drifting by the temperature could be compensated by applying the tuning voltage which include the linearly changing output voltage of the temperature sensor. As a result, the frequency variation is reduced to 6.6~4.4 MHz from the 71~73 MHz variation with the compensation circuit over $-30 \sim +60 \text{ }^\circ\text{C}$ range, when VCO is operated in the frequency range of 9.95~10.05 GHz.

Key words : Temperature Compensation Circuit, VCO, Temperature Sensor

I. 서 론

각종 통신기기에 필수적으로 사용되는 전압제어 발진기(VCO)는 주변 온도의 변화에 따라 출력 주파수가 큰 값으로 변한다는 문제점이 있다. 주변 온도가 변해도 VCO가 일정한 주파수를 출력하도록 하는 방법으로는 주로 PLL이 사용되는데, PLL을 이용한 방법은 정확하게 원하는 주파수를 출력할 수 있지만 회로의 구성이 복잡하다는 단점이 있다^[1].

일반적으로 비교적 간단한 형태의 회로를 이용하여 액티브 회로의 온도 보상을 하는 방법은 온도에 따라 변화하는 소자를 이용하여 바이어스 전압을 변

화시키는 방법이 많이 사용된다. 그러나 VCO의 경우는 바이어스 전압의 변화에 따른 출력 주파수의 변화가 작으므로 바이어스 전압만 변화시켜서는 온도에 따른 출력 주파수의 변화를 감소시킬 수 없다. 따라서 주변 온도의 변화에 따른 VCO의 주파수 변화를 줄여주기 위해서는 VCO의 바이어스 전압이 아니라 출력 주파수를 제어하는 튜닝 전압을 온도에 따라 변화시키는 방법을 이용해야 한다.

튜닝 전압을 온도에 따라 변화시키는 방법으로는 액티브 바이어스를 이용한 방법, 마이크로프로세서를 이용한 방법, 써미스터를 이용한 방법^[2] 등이 있는데, 액티브 바이어스를 이용한 방법은 바이어스에

「이 연구는 구미전자정보기술원에서 시행한 기업밀착형 산학협동기반 소재·부품·모듈 핵심기술연구개발사업에 의한 과제임.」
 금오공과대학교 전자공학부(School of Electronic Engineering, Kumoh National Institute of Technology)

· 논문 번호 : 20091022-120

· 교신저자 : 황계화(e-mail : huangghster@gmail.com)

· 수정완료일자 : 2010년 2월 3일

사용되는 트랜지스터와 메인 트랜지스터의 온도 특성이 다르기 때문에 정확하게 보상하기가 어렵다는 문제점이 있고, 마이크로프로세서를 이용한 방법은 많은 데이터를 측정해야 하며 마이크로프로세서의 출력 전압 자체도 온도에 따라 변화하므로 정확하게 원하는 전압을 VCO의 튜닝 전압으로 인가할 수 없다는 문제점이 있다. 써미스터를 이용한 방법은 가격이 저렴하고 회로가 간단하다는 장점이 있으나, 온도에 따른 써미스터의 저항 값 변화가 비선형적이라 온도 범위에 따라 VCO의 출력 주파수가 많은 변화를 보이는 부분이 생긴다.

이와 같은 기존의 온도 보상 방법의 장단점을 감안하여 본 논문에서는 출력 전압이 온도에 대해 거의 선형적인 변화를 보이는 온도 센서를 이용하여 기존의 온도 보상 방법에 비해 구조가 간단하고 데이터 측정량도 적으면서 사용하는 전체 온도 범위에서 좀 더 정확하게 온도 보상을 할 수 있는 온도 보상 방법을 제안하였다^[3].

II. 본 론

2-1 VCO의 온도 특성

주변 온도가 변화해도 VCO의 출력 주파수가 일정하게 유지되려면 VCO의 튜닝 전압이 온도에 따라 변해야 한다. 따라서 온도에 따라 튜닝 전압이 어떻게 변해야 되는지를 알기 위해서 우선 VCO의 튜닝 전압이 고정되어 있을 때 온도에 따라 VCO의 출력 주파수가 어떻게 변하는지 알아야 한다.

본 논문에서는 Hittite사의 X-밴드 VCO인 HMC 511LP5를 사용하여 9.95~10.05 GHz 대역에서 온도에 따른 주파수 변화를 측정하였으며, 그중 10 GHz 일 때의 온도에 따른 주파수 변화를 그림 1에 제시하였다^[4].

+25 °C에서 10 GHz의 출력 주파수를 갖도록 튜닝 전압을 8.868 V로 고정시킨 후 주변 온도를 -30~+60 °C의 범위로 변화시키면 출력 주파수는 -30 °C에서 10.047 GHz, +60 °C에서 9.976 GHz로 약 72 MHz가 변화하는 것을 알 수 있다.

그림 1에 제시된 바와 같이 VCO는 주변 온도가 증가함에 따라 주파수가 감소하는 특성을 가지고 있고, VCO의 출력 주파수는 튜닝 전압에 의해 결정되

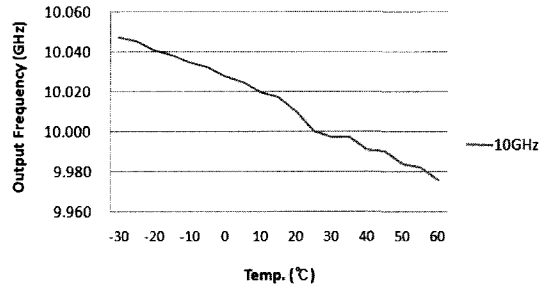


그림 1. 온도에 따른 VCO의 출력 주파수 변화
Fig. 1. The output frequency change of VCO with the temperature.

므로 온도에 따라 튜닝 전압을 변화시키는 방법으로 보상이 가능하다. 즉, 주변 온도가 증가하여 주파수가 낮아지면 VCO에 인가되는 튜닝 전압을 증가시키는 방법으로 VCO의 출력 주파수를 일정하게 유지시킬 수 있다.

온도 변화에 따라 VCO의 튜닝 전압이 어떤 값을 가져야 일정한 주파수가 유지되는지 알기 위해 주변 온도를 변화시키고 VCO의 출력이 일정한 주파수로 유지되기 위한 튜닝 전압을 측정하였으며, 이를 그림 2에 제시하였다.

그림 2에 제시된 바와 같이 출력 주파수가 10 GHz의 경우는 튜닝 전압이 저온(-30 °C)에서 8.478 V, 상온(+25 °C)에서 8.868 V, 고온(+60 °C)에서 9.074 V로 총 596 mV가 변해야 온도 변화에 대해 일정한 주파수를 유지할 수 있으며, 9.95 GHz의 경우는 튜닝 전압이 575 mV 변하고, 10.05 GHz의 경우는 튜닝 전압이 616 mV 변하면 온도 변화에 대해서도 일정한 주파수가 유지됨을 알 수 있다.

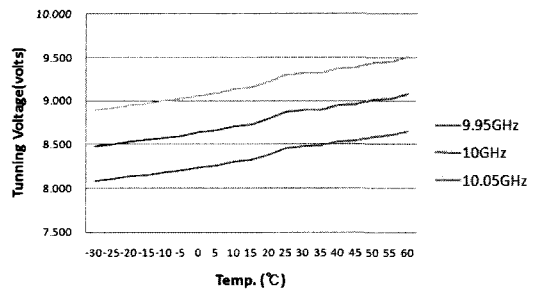


그림 2. 온도 변화에도 일정한 주파수 유지를 위한 VCO의 튜닝 전압 변화
Fig. 2. The tuning voltage change of VCO to keep the frequency fixed with the temperature.

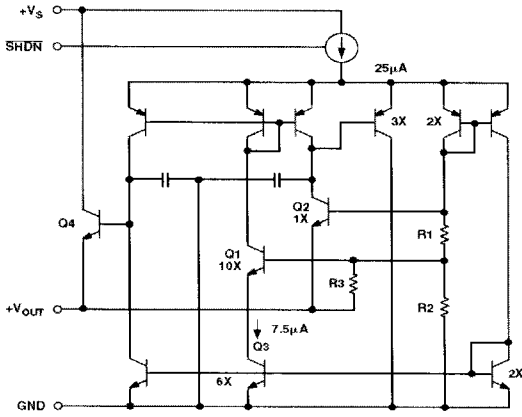


그림 3. 온도 센서의 등가회로
Fig. 3. The equivalent circuit of temperature sensor.

2-2 온도 센서의 특성 측정

온도 센서는 그림 3과 같은 등가회로로 나타낼 수 있으며, 출력 전압은 식 (1)과 같이 표현되는데, 여기서, ΔV_{BE} 는 그림 3의 V_{OUT} 과 GND 사이의 전압을 나타내며, V_T 는 열전압, $A_{E, Q1}$ 은 $Q1$ 에미터의 넓이, $A_{E, Q2}$ 는 $Q2$ 에미터의 넓이를 나타낸다^{[5]~[7]}.

$$\Delta V_{BE} = V_T \times \ln\left(\frac{A_{E, Q1}}{A_{E, Q2}}\right) \quad (1)$$

본 논문에서 사용한 온도 센서인 LM35의 온도에 따른 출력 전압의 변화를 측정하여 그림 4에 나타내었다.

그림 4에서 LM35의 온도에 따른 변화를 살펴보면 출력 전압은 1 V 이하이고 변화는 거의 선형적이며, 약 10 mV/°C의 변화량을 가진다는 것을 알 수 있다.

2-3 온도 보상 회로 설계

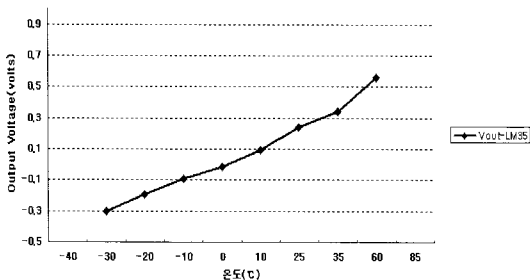


그림 4. LM35의 출력 전압 변화
Fig. 4. The output voltage change of LM35.

VCO의 온도 특성 보상을 위한 온도 보상 회로의 설계

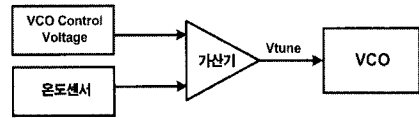


그림 5. VCO의 튜닝 회로 블록도
Fig. 5. The block diagram of tuning circuit for the VCO.

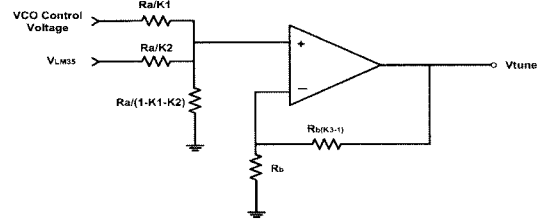


그림 6. 온도 보상 회로의 회로도
Fig. 6. The circuit diagram of temperature compensation circuit.

그림 5에 온도 보상 회로의 블록도를 제시하였는데, 사용한 VCO인 HMC511LP5가 X-밴드의 주파수를 출력하기 위한 튜닝 전압은 8 V 이상이고, 온도 센서의 출력 전압은 1 V 이하이기 때문에 외부에서 기준전압을 인가하고 가산기로 온도 센서의 출력 전압과 기준전압을 더하여 VCO의 튜닝 전압으로 사용하였다.

그림 6에 OP-AMP를 이용하여 구현한 온도 보상 회로의 회로도를 나타내었다^[8].

VCO에 튜닝 전압으로 인가되는 V_{tune} 은 식 (2)와 같이 외부의 기준 전압과 온도 센서 출력 전압의 합으로 표현되는데, 각각의 소자 값은 10 GHz를 일정하게 유지시키기 위한 튜닝 전압 변화량 즉, 596 mV를 기준으로 계산하여 정하였다.

$$V_{tune} = K_3 \cdot (K_1 V_{CON} + K_2 V_{LM35}) \quad (2)$$

VCO가 10 GHz를 유지하기 위한 전압인 8.478 ~ 9.074 V를 온도 보상 회로가 출력할 수 있는지 알아보기 위한 V_{tune} 에 대한 시뮬레이션 결과를 그림 7에 제시하였으며, 출력 전압을 측정된 결과를 그림 8에 제시하였다.

그림 7과 8에 제시된 바와 같이 온도가 증가함에 따라 온도 보상 회로의 출력 전압은 선형적으로 증가한다는 것을 알 수 있으며, 그림 8에서 VCO의 출력 주파수가 10 GHz가 되도록 25 °C에서 온도 보상

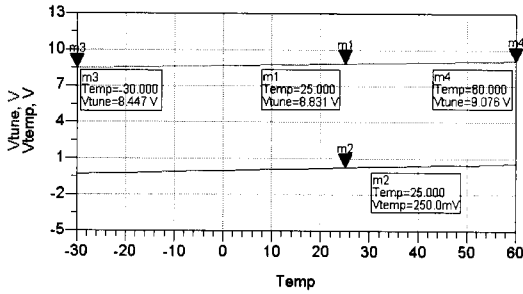


그림 7. 온도 보상 회로의 시뮬레이션 결과
Fig. 7. The simulation result of temperature compensation circuit.

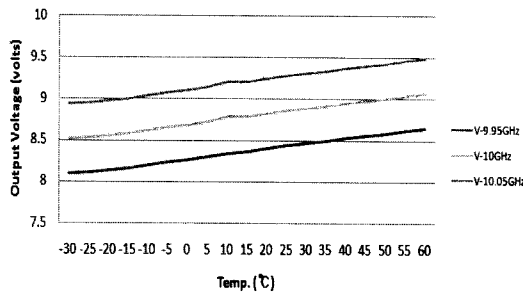


그림 8. 온도 보상 회로의 출력 전압
Fig. 8. The output voltage of compensation circuit.

회로의 출력 전압을 8.859 V로 맞추면 -30°C 에서 8.513 V, $+60^{\circ}\text{C}$ 에서 9.061 V로 548 mV의 변화를 보였고, 9.95 GHz와 10.05 GHz에서도 비슷한 변화를 보인다는 것을 확인할 수 있다.

2.4 온도 보상 회로의 제작 및 측정 결과

제작한 온도 보상 회로와 VCO 회로의 사진을 그림 9에 제시하였다. 그림 9에 제시된 바와 같이 전체

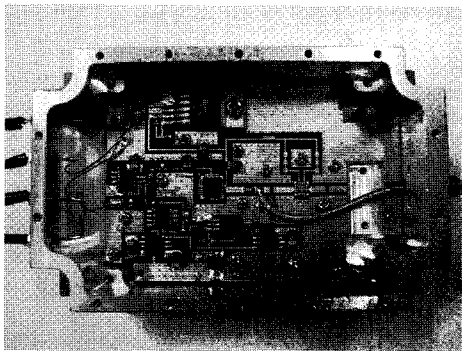


그림 9. 온도 보상 회로가 적용된 VCO
Fig. 9. VCO with the temperature compensated circuit.

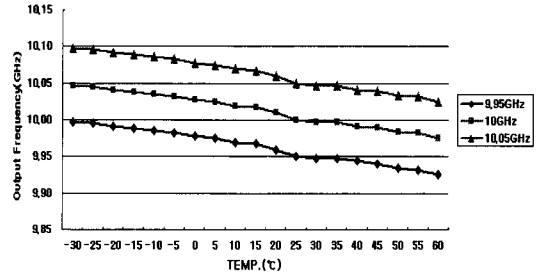


그림 10. 온도 보상 전 VCO의 출력 주파수
Fig. 10. The output frequency of VCO-without temperature compensation.

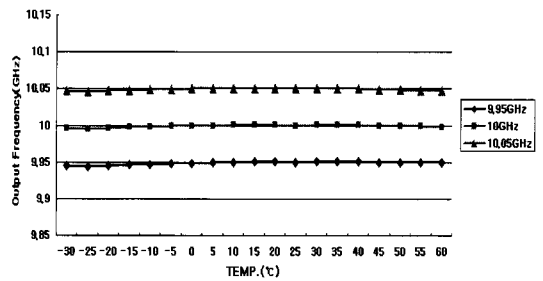


그림 11. 온도 보상 후 VCO의 출력 주파수
Fig. 11. The output frequency of VCO-with temperature compensation.

회로는 온도 보상 회로, 전원부, VCO로 이루어진다.

그림 10에 각 주파수 별로 온도 보상 전 VCO의 출력 주파수 변화를 제시하였고, 그림 11은 온도 보상 회로를 적용한 후 VCO의 출력 주파수 변화를 제시하였다.

그림 10과 11에 나타나듯이 본 논문에서 제시한 온도 보상 회로를 적용한 결과, $-30\sim+60^{\circ}\text{C}$ 의 온도 범위에서 VCO의 출력 주파수는 10 GHz에 대해 변화폭이 72 MHz에서 5.6 MHz로 감소하는 것을 확인할 수 있었고, 9.95 GHz에 대해서는 변화폭이 71 MHz에서 6.6 MHz로 감소하고, 10.05 GHz에 대해서는 변화폭이 73 MHz에서 4.4 MHz로 감소하였다는 것을 알 수 있다.

III. 결 론

본 논문에서는 온도 센서를 이용하여 주변 온도의 변화에도 VCO가 거의 일정한 출력 주파수를 유지할 수 있도록 해주는 온도 보상 회로를 제안하였다. Hittite사의 X-밴드용 VCO인 HMC511LP5를 사

참고 문헌

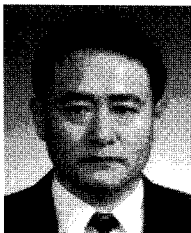
- [1] Huiting Chen, Edward Lee, and Radndall Geiger, "A 2 GHz VCO with process and temperature compensation", *Proc. IEEE*, vol. 2, pp. 569-572, May 1999.
- [2] 이재범, "온도 보상 회로를 갖는 ISM Band VCO 설계", 금오공과대학교 석사학위논문, 2008년.
- [3] 황계화, 조경래, 김병철, "온도 센서를 이용한 X-Band VCO의 온도 보상 회로 설계", 추계마이크로파 및 전파 학술대회, 32(2), 2009년 9월.
- [4] Datasheet for HMC511LP5, www.hittite.com
- [5] Datasheet for LM35, www.national.com
- [6] Datasheet for TMP36, www.analog.com
- [7] Florin Udrea, Sumita Santra, and Julian W. Gardner, "COMS temperature sensors-concepts, state-of-the art and prospects", *Proc. IEEE*, vol. 1, pp. 31-40, Oct. 2008.
- [8] Richard C. Dorf, James A. Svoboda, *Introduction to Electric Circuits*, 3rd Ed., John and Wiley Sons Inc., p. 239, 1996.

용하여 9.95~10.05 GHz 대역에서 $-30\sim+60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 의 온도 범위에 대해 온도 보상이 되지 않은 VCO의 출력 주파수가 71~73 MHz의 변화를 보였으나, 본 논문에서 제안한 방법으로 설계한 온도 보상 회로를 적용한 결과 주파수에 따라 6.6~4.4 MHz로 주파수 변화폭이 대폭 감소하는 것을 확인하였다. 소자 값의 오차로 인해 온도 보상 회로의 출력 전압 변화가 원하는 변화폭인 596 mV보다 작은 548 mV의 변화폭을 가짐에 따라 출력 주파수가 6.6~4.4 MHz의 변화를 보였으나, 전압의 변화폭을 정확하게 596 mV로 맞추면 주파수 변화폭을 더 줄일 수 있을 것으로 생각된다.

기존의 온도 보상 방법 중 써미스터를 사용한 온도 보상 회로를 VCO에 적용한 결과, 40 MHz의 변화를 보여 본 논문에서 제시한 방안이 훨씬 우수함을 확인할 수 있었다.

온도 센서를 이용한 온도 보상 회로는 구조가 간단하고 가격도 저렴하면서 기존의 온도 보상 방법보다 훨씬 정확한 특성 제어가 가능하므로 VCO뿐만 아니라 온도의 영향을 받는 다른 소자의 보상에도 응용이 가능할 것으로 본다.

김 병 철



1980년 2월: 서강대학교 전자공학과 (공학사)
 1982년 2월: 서강대학교 전자공학과 (공학석사)
 1991년 2월: 서강대학교 저자공학과 (공학박사)
 1982년~현재: 금오공과대학교 전자공학부 교수

[주 관심분야] Microwave & RF 회로 설계, Linear Power Amplifier 설계, Microwave Filter 등

황 계 화



2005년 7월: 중국 연변과학기술대학교 통신공학과 (공학사)
 2005년 7월~2008년 2월: 상해벨삼성이동통신유한회사 생산부
 2008년 3월~2010년 2월: 금오공과대학교 전파통신공학과 (공학석사)

[주 관심분야] Microwave & RF 회로 설계, Power Amplifier, Oscillator 등

조 경 래



2004년 2월: 경운대학교 전자공학과 (공학사)

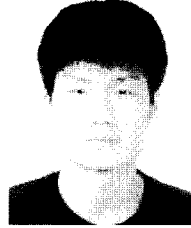
2006년 2월: 금오공과대학교 전파통신공학과 (공학석사)

2006년 3월~현재: 금오공과대학교 전파통신공학과 박사과정

2007년 2월~현재: (주)디엔알 대표

[주 관심분야] RF 및 Microwave 회로 설계, 전력 증폭기 및 선형화기 설계 등

이 재 범



2007년 2월: 금오공과대학교 전파통신공학과 (공학사)

2009년 2월: 금오공과대학교 전파통신공학과 (공학사)

2009년 2월~현재: 금오공과대학교 전파통신공학과 박사과정

[주 관심분야] RF 및 Microwave 회로 설계, 전력 증폭기 및 선형화기 설계 등