

논문 2004-41TC-2-6

Photonic Bandgap 구조를 이용한 저 위상잡음 듀얼밴드 VCO에 관한 연구

(Low-Phase Noise Dual-band VCO Using PBG Structure)

조 용 기* , 서 철 현**

(YongKi Cho and Chulhun Seo)

요 약

본 논문에서는 부정저항을 갖는 발진부의 귀환 경로에 PIN 다이오드를 이용한 스위칭 회로를 추가하여 저 위상잡음 듀얼밴드 전압제어 발진기를 구현하였다. PIN 다이오드에 전원이 인가되지 않았을 때는 5GHz 대역에서 발진이 일어나고, 인가되었을 때는 1.8GHz 대역에서 발진이 일어난다. VCO의 위상잡음을 향상시키기 위하여 공진기에 PBG(Photonic Bandgap)구조를 접지 면에 적용하였다. 5.25GHz에서 출력 전력은 -9.17dBm, 위상잡음은 -102dBc/Hz이고, 1.8GHz에서 출력 전력은 -5.17dBm, 위상잡음은 -101dBc/Hz이다.

Abstract

In this paper, the low-phase dual-band VCO, by adding switching circuit with PIN diode at feedback loop of the oscillation part having negative-resistance, is realized. In order to reduce the phase noise of the VCO, PBG structure applied to the ground plane of the resonator. When applying for PBG structure, output power is -9.17dBm and phase noise is -102dBc/Hz at 5.25GHz, output power is -5.17dBm and phase noise is -101dBc/Hz at 1.8GHz, respectively.

Key words: dual-band VCO, low-phase noise, PBG, PIN diode, resonator

I . 서 론

앞으로의 무선데이터통신 시스템들은 듀얼밴드 대역을 동시에 지원해줄 수 있는 형태로 발전할 것으로 예상되며 이를 위해서는 듀얼밴드 구조의 VCO의 설계가 필수적이라고 할 수 있다. 따라서

본 연구는 앞으로의 많은 이동 및 무선통신 기기들이 발전할 방향과 일치할 것으로 생각된다. 즉, 900MHz 대역의 CDMA 통신을 하면서 2GHz 대역의 Bluetooth 통신을 하던지, 1.8GHz 대역의 PCS 음성통신과 5GHz 대역의 무선 데이터 통신을 할 수 있는 기기들이 등장할 것을 쉽게 예측할 수 있을 것이다.

기존의 듀얼밴드 VCO는 공진부에 스위칭-커패시터를 추가하여 PCS와 IMT-2000 두 대역을 지원하거나^[1], 귀환 경로에 위상 보정기법을 적용하여 GSM 대역과 DCN 대역에서 하나의 스위칭 회로만으로 동시에 발진조건을 만족시킬 수 있도록

* 학생회원, ** 정회원, 숭실대학교 정보통신공학부 (School of Electronic Engineering Soongsil University)
 ※ 본 연구는 숭실대학교 교내연구비 지원으로 이루어졌음
 접수일자: 2004년1월20일, 수정완료일: 2004년2월20일

하여 동작하는 유형으로 나눌 수 있다[2]. 그러나 전자는 능동회로가 지원할 수 있는 주파수 대역이 한정되어 있을 뿐만 아니라, 대역차가 600MHz 정도밖에 되지 않는다. 결국 공진부의 특성에 의해 듀얼밴드 지원여부가 결정된다. 후자의 경우 2GHz 대역 근처에서 동작하도록 설계 및 제작 되었다. 스위칭 커패시터를 ON/OFF시키거나 궤환 경로의 커패시터 값을 가변시킴으로써 지원할 수 있는 두 대역의 차이는 500MHz 이내이다. 또 다른 유형으로는 채배하거나 분주를 통하여 듀얼밴드를 지원하는 방식이 있다.^[3-4] 이러한 구조는 Direct-conversion 방식의 송수신기에 적용이 어렵고, 주파수 플랜시 주의가 요망된다.

본 논문에서는 1.8GHz/5GHz 두 대역을 동시에 지원할 수 있는 듀얼밴드 VCO를 구현함과 동시에 공진부에 PBG 구조를 적용함으로써 위상잡음을 감소시켰다. 병렬 개방 스테브를 PIN 다이오드로 ON/OFF 시켜, OFF시에는 5.25GHz에서 부성저항을 형성하고, ON시에는 1.8GHz에서 부성저항을 발생시키도록 하였다. 스위칭 회로 하나만을 추가함으로써 듀얼밴드에서 동작이 일어나도록 하였다.

II. PBG 구조를 이용한 공진기

PBG 구조는 무한한 주기적인 불연속 격자를 갖는 구조로 1-d, 2-d, 또는 3-d 형태로 제작되며 대칭적인 형태로 광자들이 전자와 유사하게 동작하는 특성을 갖는다. 이러한 구조는 일정 밴드 사이에 에너지를 갖는 광자들이 허용되지 않아 내부에서 진행이 저지되어 진행하지 못하고 반사하는 반사기로서의 역할을 하고 있다[5~7]. 이러한 주기적인 불연속 구조의 분석은 광학분야의 브래그 격자로부터 해석될 수 있다[6].

$$\begin{aligned} & \exp(-j\beta z) \cos\left(\frac{2\pi}{\Lambda} z\right) \\ &= \frac{1}{2} \left\{ \exp\left[-j\left(\beta - \frac{2\pi}{\Lambda}\right)z\right] \right. \\ & \quad \left. + \exp\left[-j\left(\beta + \frac{2\pi}{\Lambda}\right)z\right] \right\} \end{aligned} \quad (1)$$

여기서 Λ 는 격자의 주기로 PBG 구조에 의해 형성되는 저지대역의 중심 주파수를 결정하는 중요

한 역할을 담당한다. 원하는 주파수에서의 저지대역 형성을 위한 위상 정합조건은 다음과 같다.

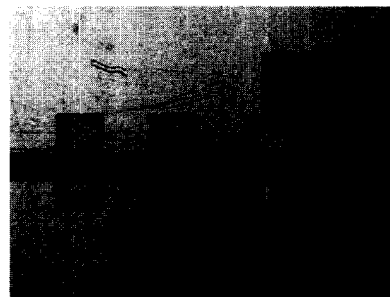
$$-\beta = \beta - \frac{2\pi}{\Lambda} \quad (2)$$

$$\lambda_g = 2\Lambda \quad (3)$$

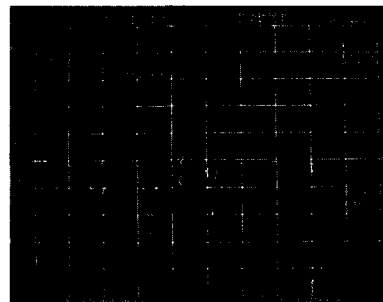
이러한 정합조건에 만족하는 주파수대역에는 입사되는 신호와 격자에 의해 반사되는 신호의 위상 정합에 의해 신호가 소멸된다.

VCO의 위상잡음은 공진부의 Q값에 의해 주로 좌우된다. Q값을 높이기 위해 적용된 PBG 구조를 그림 1에 나타내었다.

격자 크기는 4mm*5mm로써 6GHz이상의 주파수는 저지시키도록 설계하였다. 6GHz 이상의 원하지 않는 발진을 억제하는 효과 또한 얻을 수 있다. Ansoft사의 HFSS를 이용하여 3-D 모의실험을 하였다. 모의 실험결과와 실제 구현하였을 때의 측정 결과가 유사함을 알 수 있었다.



(a) 공진부의 PBG 제작
(a) Implemented PBG at resonator.



(b)공진부의 PBG 측정결과
(b)The result of PBG.

그림 1. 공진부의 PBG 제작 및 측정 결과
Fig. 1. The result of PBG.

공진부는 공진기와 버랙터 다이오드로 해석할 수 있다. 버랙터 다이오드는 제어 전압에 따라 주파수 범위를 결정하고, 마이크로스트립 선로로 설계 되었다. 주파수 튜닝을 위한 버랙터 다이오드는 SMV1213를 사용하였으며, 가변 전압이 0V~8V일 때 전체 커패시턴스는 30pF~1.9pF이다. 공진기는 Anti-parallel 버랙터 다이오드 구조를 갖도록 설계 되었다. AM-to-PM 변환은 대신호 RF 신호에 의해 버랙터의 커패시턴스를 변화시킴으로써 발생하는데, 이것은 주파수 변화를 야기하고 결국 발진기의 위상잡음으로 나타난다.

Anti-parallel 구조는 RF 전압에 의해 커패시턴스 변화량이 서로 상쇄되는 구조로써 한쪽 버랙터의 커패시턴스 값이 증가하면 다른 한쪽은 반대로 감소한다. 따라서 AM to PM 을 제거할수 있다. 그림 2는 공진기의 구조와 Agilent사의 ADS를 이용한 모의실험 결과를 나타내고 있다. (b)는 실수 성분과 허수 성분을 각각 나타내고 있다.

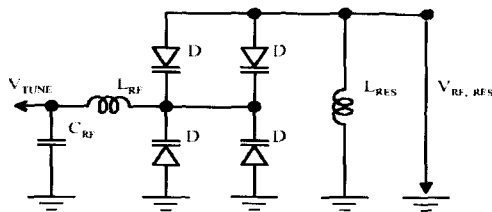


그림 2. Anti-parallel 버랙터 다이오드 구조를 이용한 공진부의 구조

Fig. 2. Configuration of resonator using anti-parallel varactor diode.

III. Dual-band VCO 설계

이동통신 단말기용 듀얼밴드 VCO는 두개의 발진부와 한 개의 바이어스 회로, 하나의 공진부와 두개의 부성저항 회로, 하나의 공진부와 하나의 발진부 그리고 밴드를 선택하는 스위칭 회로, 마지막으로 두개의 공진부와 스위칭 회로 그리고 하나의 발진부 형태로 되어있다. 본 논문에서는 PBG 구조를 이용한 공진기와 듀얼 대역에서 부성저항을 발생시킬 수 있도록 하는 스위칭회로의 구조를 선택하였다. 단순화된 블록다이어그램을 그

림 3에 도시하였다. 이러한 구조는 공통 블록을 재사용함으로써 사이즈 면에서 유리하나, 동시에 두 대역에 최적화 할 수 없고 또한 스위칭 시 발생하는 영향에 대해서도 고려해야 한다.

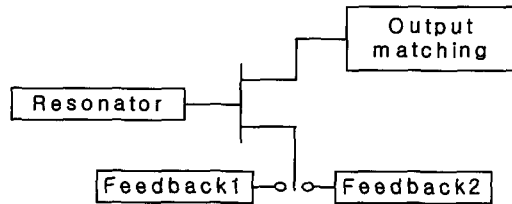


그림 3. 듀얼밴드 VCO 구조

Fig. 3. Configuration of dual band VCO.

발진부의 능동 소자로는 NEC사의NE3210S01 비선형 모델을 사용하였다. N-채널, HJFET로써 4-터미널 형태이다. PIN 다이오드에 전원을 가하지 않았을 때는 5GHz대역에서 부성저항을 형성하고, 전원이 인가되었을 때는 1.8GHz 대역에서 부성저항을 형성하도록 하여 두 주파수 대역에서 발진이 이루어지도록 하였다. 시뮬레이션은 Agilent사의 ADS2003A를 이용하였으며, 전체적인 회로도 는 그림 4와 같다.

그림 5는 듀얼밴드에서의 발진 조건을 알아보기 위한 것이다. (a)는 1.8GHz대역에서 발진부와 공진부의 임피던스 합의 주파수 응답특성을 나타낸다. PIN 다이오드의 제어 전압이 ON일 때 1.8GHz 대역에서 부성저항을 형성하고 있다. (b)는 5GHz 대역에서 발진부와 공진부의 임피던스 합의 주파수 응답특성을 나타낸다.

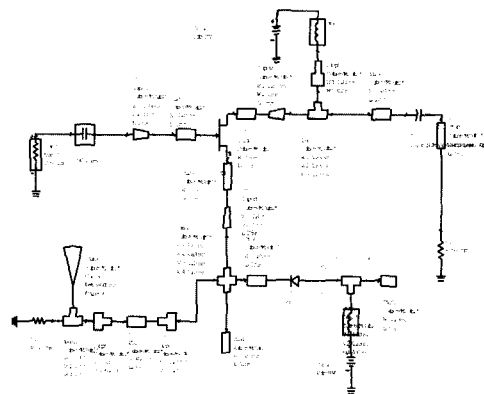
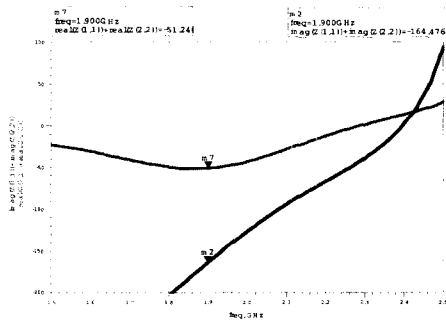
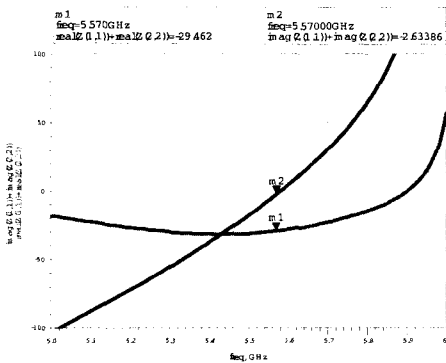


그림 4. 듀얼밴드 VCO 발진부 회로도

Fig. 4. Schematic of dual band VCO.



(a) 1.8 GHz 대역 발진 조건
(a) Oscillation condition at 1.8GHz.



(b) 5 GHz 대역 발진 조건
(b) Oscillation condition at 5GHz.

그림 5. 듀얼밴드 발진 조건
Fig. 5. Oscillation condition of dual band VCO.

IV. Dual-band VCO 제작 및 측정

사용된 기판은 유전율이 3.2이고 두께는 0.01mm 그리고 높이가 0.76mm인 테플론 기판을 사용하였다. 그림 6은 실제 제작된 듀얼밴드 VCO를 나타내고 있으며, 실제 크기는 95×50mm²이다.

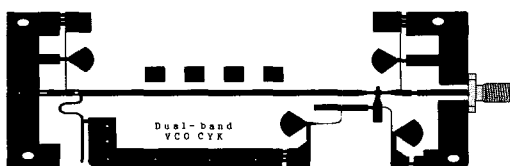
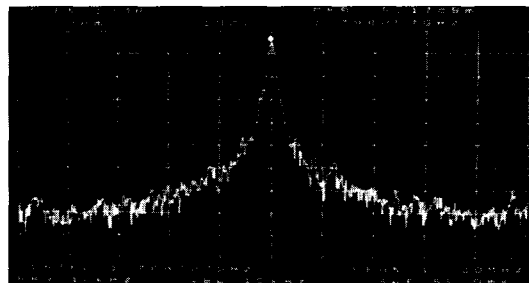
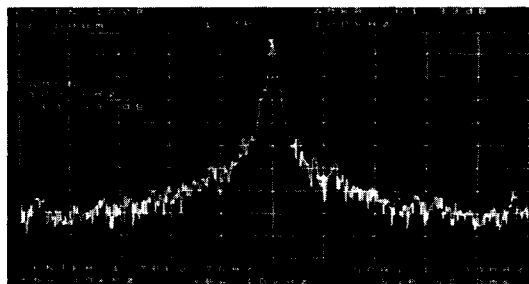


그림 6. 듀얼밴드 VCO 레이아웃
Fig. 6. Layout of dual band VCO.

사용된 소자는 NEC사의 NE3210S01과, 버랙터 다이오드는 SKYWORKS사의 SMV1213을 사용하였다. 제작된 발진기의 출력전력 및 위상잡음 특성은 HP8565EC 스펙트럼 분석기를 이용하여 측정하였다. 그림 7은 PBG구조를 적용하였을 때 1.8GHz대역에서의 측정결과를 보여주고 있다. Span 1MHz이고, RES 밴드10KHz에서 측정된 결과이다. PBG구조를 적용했을 때 1.65GHz~1.8GHz의 발진주파수를 얻을 수 있었고, 출력 전력은 -5.5~-5.17(dBm)이었으며, 100KHz offset에서 -100~-102(dBc/Hz)의 위상잡음을 나타내었다. 4dB의 출력향상과 6dB의 위상잡음 향상을 얻을 수 있었다. 그림 8은 PBG구조를 적용하였을 때 5GHz대역에서의 측정결과를 보여주고 있다. PBG를 적용했을 때 5.17GHz~5.25GHz의 발진주파수를 얻을 수 있었고, 출력 전력은 -6.33~-5.17(dBm)이었으며, 100KHz offset에서 -104~-101(dBc/Hz)의 위상잡음을 나타내었다. 3dB의 출력저하와 9dB정도의 위상잡음 향상을 얻을 수 있었다.

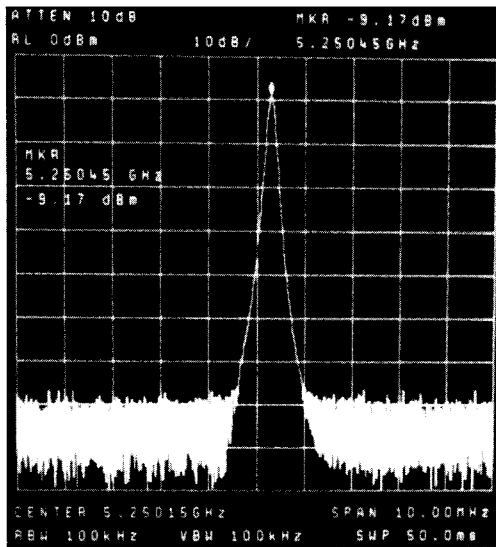


(a) PBG 구조를 적용시 1.8GHz대역에서의 출력 전력
(a) The output power of 1.8GHz VCO with PBG

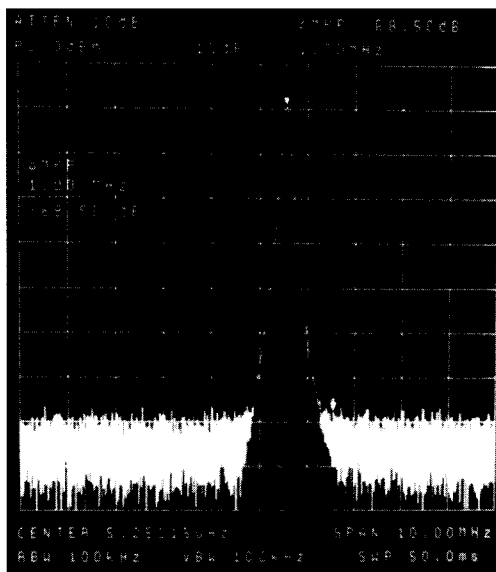


(b) PBG구조를 적용시 1.8GHz 대역에서의 위상잡음
(b) The phase noise of 1.8GHz VCO with PBG.

그림 7. PBG구조를 적용시 1.8GHz 대역에서의 측정 결과 @ f_{max}
Fig. 7. The result of VCO with PBG at 1.8GHz.



(a) PBG 구조를 적용시 5GHz대역에서의 출력 전력
 (a) The output power of 5GHz VCO with PBG.



(b) PBG구조를 적용시 5GHz대역에서의 위상잡음
 (b) The phase noise of 5GHz VCO with PBG.

그림 8. PBG구조를 적용시 5GHz 대역에서의 측정결과 @ f_{max}

Fig. 8. The result of VCO with PBG at 5GHz.

표 1은 듀얼밴드 VCO의 측정결과를 요약한 것이다. PBG구조를 적용하였을 경우 200MHz~400MHz 주파수가 천이되었으며, 7MHz~73MHz의 대역 감소 특성이 나타났다.

표 1. 듀얼밴드 VCO 측정 결과
 Table. 1. The measured result of dual band

	Freq. Range (GHz)	Output Power (dBm)	Phase Noise (dBc/Hz @100KHz)	Tuning Range (MHz)
1.8GHz	1.7 ~ 2	-9.83 ~ -8.67	-96.8 ~ -93.7	208
1.8GHz-PBG	1.65 ~ 1.8	-5.5 ~ -5.17	-102 ~ -100	135
5GHz	5.48 ~ 5.56	-5.66 ~ -4.83	-95.1 ~ -92.6	83
5GHz-PBG	5.17 ~ 5.25	-9.17 ~ -6.33	-104 ~ -101	76

V. 결론

본 논문에서는 PBG구조를 공진부에 적용하여 Q 값을 높일 수 있었으며, 거기에 따라서 위상잡음을 낮출 수 있었다. 발진부의 부정저항을 형성하는 귀환 경로에 PIN 다이오드를 ON/OFF 시킴으로써 듀얼밴드 전압제어 발진기를 구현하였다. PBG구조를 적용하였을 때 1.8GHz 대역에서 6%, 5.25GHz 대역에서 8%의 위상잡음 향상을 성능향상을 획득하였다. 공진부의 특성에 의해 전압제어 발진기의 성능이 좌우된다. 따라서 듀얼 공진을 일으킬 수 있는 공진부의 새로운 구조 연구가 필요하다.

참고 문헌

[1] J. D. Park "Dual-mode VCO with Controllable Resonant Circuit for PCS/IMT2000", 2000 2nd International Conference on Microwave and Millimeter Wave Tec. Proceedings
 [2] T. S. OH, Y. H. Lee, "저 비용 듀얼 대역 전압제어 발진기 설계", 2001년도 한국전자과학회 종합학술발표회 논문집 Vol. 11 No. 1 2001.11.3
 [3] Christopher Lam and Behzad Razavi. "A 2.6-GHz/5.2-GHz frequency synthesizer in 0.4μm CMOS technology." IEEE Journal of Solid-state Circuits, Vol.35, pp. 788-794, May 2000

- [4] Wei-Zen Chen, Jia-Xian Chang. "A 2V, 2.3/4.6 GHz Dual-Band CMOS Frequency Synthesizer." 2002 IEEE RFIC Symposium, MO3D-2, pp. 169~172
- [5] J. D. Joannopoulos, R. D. Meade and J. N. Winn, Photonic Crystals : Molding the Folow of Light, Princeton University Press, 1995.
- [6] P. R. Villeneuve and M. Piche, "Photonic Bandgaps in Periodic Dielectric structures," Prog. Quantum Electron. 18, p.153, 1994.
- [7] Y. Qian, V. Radisic, and T. Itoh, "Simulation and experiment of photonic bandgap structures for microstrip circuits," APMC'97 Proc., Hong Kong, Dec. 1997, pp. 585-588.
- [8] Pozar, "Microwave Engineering", 2nd edition
- [9] Guillermo Gonzalez, "Microwave Desing", 2nd edition
- [10] George D. Vendelin, "Microwave and Nonlinear Techniques", pp 384~503
- [11] Randall W]. Rhea, "Oscillator De Computer Simulation", 2nd edition, McGraw-Hill

 저 자 소 개



조 용 기(학생회원)

2002년 2월 숭실대학교 정보통신공학과(공학사)

2002년3월~현재 숭실대학교 정보통신공학과 석사과정

<주관심분야: RF Front-end 소자>

서 철 현(정회원)

대한전자공학회논문지 vol. 31, no. 6 참조