

발전부 귀환 스위칭회로를 이용한 이동통신 단말기용 듀얼대역 전압제어 발진기 특성에 관한 연구

A Study on the Dual-band VCO for Mobile Communication Terminal using Oscillation Part Switching Circuit

오 태 성 · 이 영 훈

Tae-Sung OH · Young-Hoon Lee

요 약

본 논문에서는 발전부 귀환경로에 스위칭소자를 이용하여 최소의 소자를 사용한 소형화된 새로운 방식의 이동통신 단말기용 듀얼대역 VCO(Voltage Control Oscillator)를 제안하였다. VCO에 공진기의 Q(Quality factor)값을 정확히 모델링하기 위하여 공진기를 등가 모델하고, 이를 수치 해석하여 최적의 공진기를 설계 하였다.

본 논문에서 제안된 방식을 적용하여 GSM(Global System for Mobile), DCS(Digital Cordless System) 대역의 동작 주파수를 갖는 듀얼대역 전압제어 발진기를 설계하였으며, 논문의 객관성을 입증하기 위해 제작 및 실험을 통하여 새로 제안된 방식의 듀얼대역 전압제어 발진기의 실용화가 가능함을 확인하였고, 앞으로 차세대 이동통신 기기의 고주파 부품 등에 응용될 수 있을 것이다.

Abstract

In this paper, the dual band VCO of mobile communication terminal using oscillation part switching circuit is proposed. In order to model the VCO accurately, the resonator is converted the equivalent circuit which is analyzed to use numerical method and designed optimal the dual band VCO operating GSM and DCS band.

In order to demonstrate the objective theory of the proposed VCO, the dual band VCO is designed and experimented. The results of experiment, it is conformed that the VCO can be used mobile communication hand phone and components of three generation mobile communication systems.

Key words : dual-band VCO, global system for mobile, digital cordless system, Q, resonator.

I. 서 론

세계적으로 개인 이동통신의 급격한 수요에 따라 폭발적인 가입자 증가로 인해 기존 가입자 망의 포화현상이 일어나게 되었으며, 이로 인해 새로운 대

역에서의 각기 다른 통신방식의 서비스를 제공하게 되었다.

이들 가입자는 다양한 질적 서비스를 요구하게 되었으며, 이러한 요구 조건을 충족시키기 위한 많은 노력을 기울이고 있다. 미국, 중국, 유럽 등에서

호남대학교 전파공학과(Dept. of Radio Comm., Honam Univ.)
· 논문 번호 : 20011103-10S
· 수정완료일자 : 2001년 12월 3일

는 서로 다른 통신 방식을 사용하므로 다양한 대역 및 통신방식을 지원한 단말기가 필요하게 되었고, 특히 차세대 통신으로 개발되고있는 IMT-2000은 개별적인 통신과 시스템을 통합하여, 서로 다른 무선환경에서도 단일 단말기로 고속 고품질의 다양한 서비스를 제공하는 멀티 통신 방식을 지원하게된다. 그러므로 주파수 채널 효율을 높이고, 채널 선택의 안정성을 확보하기 위해 주파수 합성기의 성능이 중요하게 부각되었으며, 주파수 합성기의 구성요소 중 전압제어 발전기가 그 핵심적인 역할을 하고 있다. 따라서 전압제어 발전기에 대한 성능 향상과 휴대용의 목적을 달성하기 위해서는 저 전력 및 부피, 무게의 경감이 가장 중요한 관건이 되고 있다.

이동통신 단말기용 듀얼대역 VCO는 공진기와 완충증폭부에 따라 몇 가지로 분류된다. 사용 대역에서 설계하여 한 기판에 집적화 하거나, 2개의 공진기와 1개의 완충 증폭부 그리고 스위칭 회로 등으로 구성되고, 또 다른 형태는 1개의 공진기와 2개의 완충 증폭부, 스위칭 회로 등으로 설계되어왔다.^{[6]-[8]} 이러한 듀얼대역 VCO 단일 VCO에 비해 소자수가 늘어나므로 부피가 커지고 제작비용이 늘어나는 단점이 있다. 이러한 단점을 개선 시키기 위해 본 논문에서는 귀환경로의 커패시터를 제어하는 새로운 방식의 듀얼대역 VCO를 제안한다.

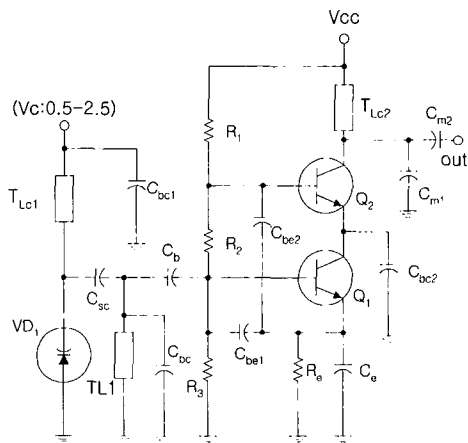


그림 1 VCO의 회로도.
Fig. 1. VCO circuit diagram.

II. VCO 회로 해석

이동통신 단말기용 VCO는 일반적으로 그림 1과 같이 Colpitts 타입을 많이 이용한다. 회로가 간단하여 제작시 소형화에 적합하고, 전력소모를 반 가까이 줄일 수 있는 장점이 있다. VCO의 전체 회로는 부하부, 발전부, 완충증폭부 크게 3부분으로 분류된다.^[10]

그림 1의 회로에서 R_1, R_2, R_3 및 R_e 는 TR 동작 점을 결정하는 바이어스 저항으로 주변의 임피던스 값들에 영향을 미치지 않도록 소자값을 선택해야 한다.

2-1 부하단의 해석

부하단은 공진기와 바랙터 다이오드(Variator Diode)로 나누어 해석할 수 있다. 공진 소자는 제품의 소형화에 따라 마이크로스트립 선로 또는 스트립 선로로 설계할 수 있다.

바랙터 다이오드는 제어 전압에 따라 주파수 범위를 결정하고, 루프 이득을 감소시키므로 소자 선택에 있어 주의가 요망된다.

부하단의 간단한 탱크회로로 그림 2에 나타낸 것과 같으며, 공진기의 Q(Quality factor)는 각 소자에 따라 변하므로 탱크회로를 이루는 각각의 소자를 등가회로로 나타내므로 Q 특성을 수치 해석할 수 있다. 그림 3(a)는 바랙터 다이오드의 등가회로이며, L_s 는 기생 성분에서 발생하는 인덕터 이고, C_{pp} 는 패키지 커패시터, C_v 는 바랙터 커패시터, 그리고 R_s 는 바랙터의 손실저항 성분이다. 그림 3(b)~(c)는 인덕터와 커패시터의 등가회로를 나타낸 것으로 C_{pl} 은 패키지에 의한 병렬 기생 커패시터 성분이며, ESL은 전기적인 직렬 인덕터 성분이다.

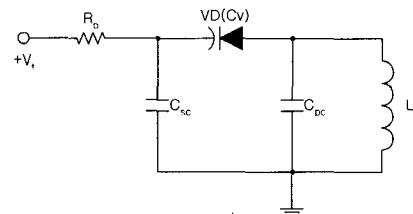


그림 2. 부하단 탱크 회로.
Fig. 2. Tank circuit of load part.

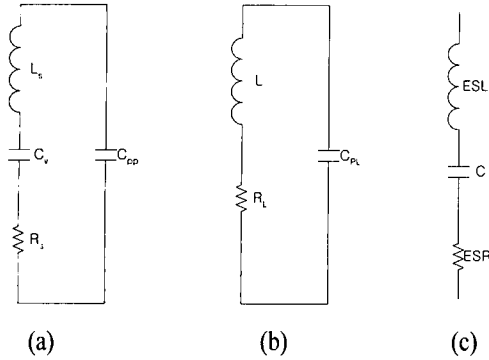


그림 3. 소자 등가회로. (a) 바랙터, (b) 인덕터, (c) 커패시터.

Fig. 3. The equivalent circuit of devices.

(a) varactor, (b) inductor, (c) capacitor.

이와 같은 주위의 기생 성분들로부터 SRF(self resonant frequency)를 이끌어낼 수 있다.

바랙터 다이오드의 Q_v 는

$$Q_v = \frac{10^6}{\omega C_{ve} R_s} \quad (1a)$$

$$C_{ve} = \frac{C_v}{(1 - \omega^2 L_s C_v)} \quad (1b)$$

이다. 그리고 인덕턴스와 커패시터의 Q 는 식 (2)~(3)과 같다.

$$Q_C = \frac{1}{\omega C ESR} \quad (2)$$

$$Q_L = \omega L / R_L \quad (3)$$

바랙터와 직렬 커패시터(C_{sc}) 네트워크 Q 는

$$Q_{ts}(V_t) = \frac{Q_{ve}(V_t) Q_{sc}(C_{ve} + C_{sc})}{(Q_{ve}(V_t) C_{ve} + Q_{sc} C_{sc})} \quad (4)$$

이고, 여기서 $Q_{ve}(V_t)$ 제어전압 변화에 따른 바랙터의 Q 특성이다. $Q_{ve}(V_t)$ 와 병렬 커패시터(C_{pc}) 네트워크 Q 는

$$Q_C(V_t) = \frac{Q_{ts}(V_t) Q_{pc}(C_{ts} + C_{pc})}{(Q_{ts}(V_t) C_{pc} + Q_{pc} C_{ts})} \quad (5)$$

이고, 여기서 $C_{ts} = \frac{C_{ve} C_{sc}}{(C_{ve} + C_{sc})}$ 이다. 그러므로 공진기 전체 LC탱크 회로의 Q 는

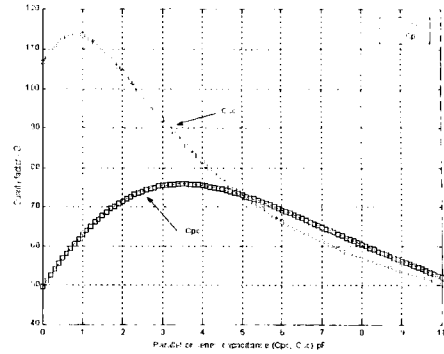


그림 4. 커패시터(C_{sc} , C_{pc})의 Q 특성.

Fig. 4. The Q characteristic of $C(C_{sc}, C_{pc})$.

$$Q = \frac{Q_C Q_L}{Q_C + Q_L} \quad (6)$$

이다.^[1]

그림 4는 주파수 1.5 GHz에서 바랙터 다이오드와 직렬 과 병렬 연결된 커패시터(C_{sc} , C_{pc})에 따른 Q 의 변화를 수치 해석한 결과이다. C_{sc} 가 감소함에 따라 Q 는 상승하고, C_{pc} 가 증가함에 따라 Q 는 상승하다가 커패시터의 용량 증가에 따라 자체 Q 가 낮아지므로 전체적인 Q 특성이 낮아짐을 보인다.

2-2 발진부 및 완충증폭부 해석

발진부는 발진 조건에 만족하도록 입력 단에서 본 임피던스가 부(-)저항이 되도록 회로 소자 값을 결정하게 된다.

그림 5는 발진부의 소 신호 해석으로 키르호프의 전압 전류 방정식으로부터 입력임피던스를 유도할 수 있다.

그림 5의 입력 임피던스 Z_{in} 은

$$Z_{in} = \frac{h_{ie}(X_{C1} + X_{C2}) + X_{C1} X_{C2}(1 + \beta)}{X_{C1} + h_{ie}} \quad (7)$$

와 같이 얻을 수 있다. 만약 $X_{C1} \ll h_{ie}$ 이면 입력 임피던스는 대략적으로

$$Z_{in} = -\frac{g_m}{\omega^2 C_1 C_2} + \frac{1}{j\omega[C_1 C_2 / (C_1 + C_2)]} \quad (8)$$

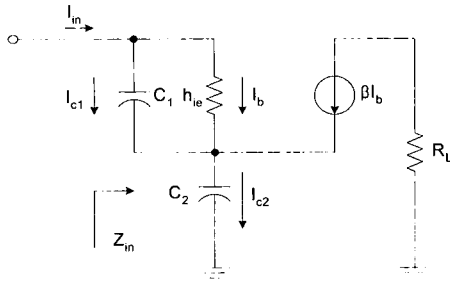


그림 5. 발진부의 소신호 등가회로.
Fig. 5. Small signal equivalent circuit of oscillation part.

와 같다.

입력 임피던스는 두 개의 커패시터가 합쳐진 커패시터 성분을 갖는 직렬형태의 부성 저항이다. 이러한 발진기에 대한 해석은 이미 설계를 위한 몇 가지 제한적 요인을 제공하고 있다. 첫 번째로는 C_1 은 $X_{C1} \ll h_{ie}$ 의 조건을 만족할 수 있도록 충분히 커야 하고, C_2 는 $X_{C2} \ll 1/h_{oe}$ 의 조건을 만족할 수 있도록 충분히 커야 한다. 또 식 (8)의 실수성분은 C_1 과 C_2 의 곱으로 표현되므로 커패시터의 용량 값에 민감한 특성을 보인다. 허수성분은 C_1 과 C_2 의 직렬 성분으로 이루어져 주파수 변화에 민감한 특성을 보임을 알 수 있다. 이는 귀환경로의 커패시터에 의해 발진대역을 변화시킬 수 있음을 보여주고 있다.

완충 증폭부는 출력 단의 외부 부하 변동에 따른 풀링 효과(Pulling Figure)를 억제하고, 증폭을 하기 위해 1단 또는 2단의 증폭기로 구성할 수 있다.

III. 듀얼대역 VCO 설계 및 시뮬레이션

본 논문에서는 공진기, 발진부, 완충 증폭부, 스위치 회로부로 구성된 구조로 그림 6와 같이 설계되었으며, GSM과 DCS의 두 주파수 대역에 대해서 만족된 출력을 얻도록 설계하였다.

시뮬레이션은 Ansoft사의 Serenade을 이용하였으며, 사용된 소자는 Tool에서 제공되는 라이브러리를 사용하였다.

부하단의 탭회로는 그림 7과 같이 2개의 직렬 스테브와 1개의 병렬 스테브를 사용하여 GSM 대역과 DCS 대역의 듀얼모드 공진기를 설계하였으며,

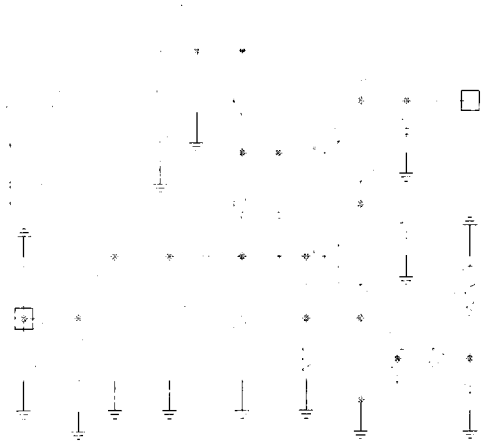


그림 6. 듀얼대역 VCO의 회로도.
Fig. 6. Circuit of Dual-band VCO.

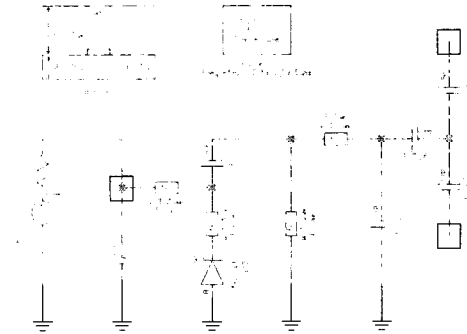


그림 7. 공진기의 Simulation 회로.
Fig. 7. Simulation circuit of the resonators.

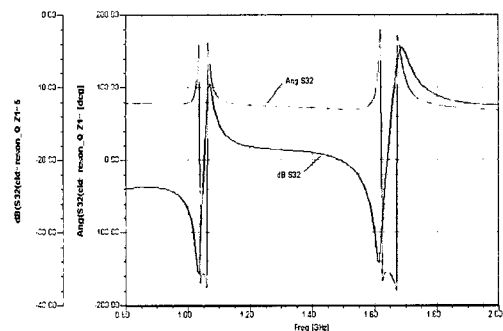


그림 8. 듀얼모드 공진기의 주파수 응답.
Fig. 8. Frequency response of the Dual-mode resonator.

주파수 응답 특성은 그림 8과 같이 듀얼대역에서 발진 가능성을 보인다. 이는 GSM 대역 과 DCS 대역에 대한 발진주파수를 제어하기 위한 귀환 증폭기 구현이 요구된다. 그러므로 본 논문에서 제안한 새로운 방식의 듀얼대역 VCO는 트랜지스터의 귀환 경로에 있는 커패시터에 의해 결정되며, 이러한 귀환 경로의 커패시터 변화는 발진회로의 루프 이득과 위상 변화를 가져오므로 두 대역을 제어하게 된다.

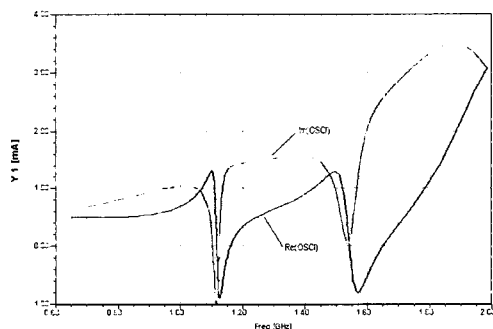
발진 조건을 살펴보면 그림 9와 같이 GSM 대역 과 DCS 대역에서 발진 조건을 보여주고 있다. 즉 제어 대역에서 고 대역 부근의 루프 이득이 저 대역 부근 보다 크게 되므로 저 대역의 출력 주파수를 제한하고, 저 대역에서는 고 대역에 대한 위상 보정을 통해 제어대역을 제한하게 된다. 이러한 보정 기법은 귀환경로에 스위칭 회로를 사용하므로 가능하다.

설계된 듀얼대역 VCO는 입력 전압 2.7 V에서

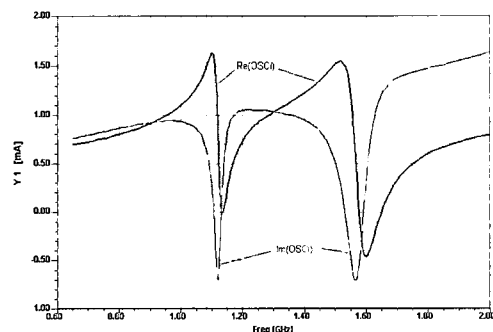
제어전압 0.5 V~2.5 V를 0.5 V씩 가변시켜 특성 그래프를 얻을 수 있었다. 시뮬레이션 결과 출력전력은 -3 ± 3 dBm 이내의 두 대역 모두 만족하고, 출력 주파수 GSM/DCS 대역에서 1,130 MHz~1,220 MHz /1,580 MHz~1,660 MHz 특성을 나타내었다. 위상잡음은 offset 주파수 100 kHz에서 각각 -110 dBc/Hz 이하의 값을 보였다. 전체적인 시뮬레이션 결과는 목표규격에 부합함을 보였다.^[13]

IV. 듀얼 VCO 제작 및 측정

실제 제작된 듀얼대역 VCO의 기판은 유전율 3.2 두께 0.8 mm인 테프론 기판을 사용하였고, 그림 10은 설계된 VCO PCB 패턴이다. 그림 11은 제작된 듀얼대역 VCO의 실물사진으로 실제 크기는 약 9×15 mm 이다. 사용된 소자는 NEC사의 μ PA840TC



(a) GSM 대역



(b) DCS 대역

그림 9. GSM/DCS 대역 발진 조건.
Fig. 9. GSM/DCS band of oscillation condition.

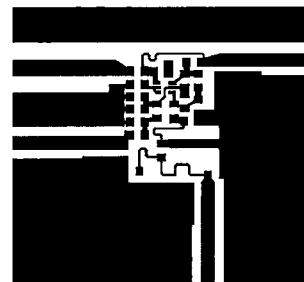


그림 10. 설계된 듀얼대역 VCO PCB 패턴.
Fig. 10. The PCB pattern of designed Dual-band VCO.

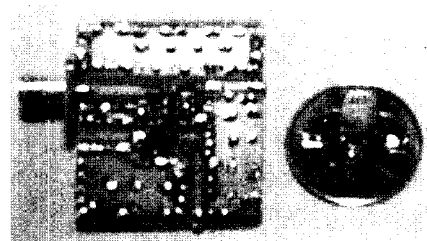


그림 11 제작된 듀얼대역 VCO의 실물사진.
Fig. 11 Photograph of the fabricated Dual-band VCO.

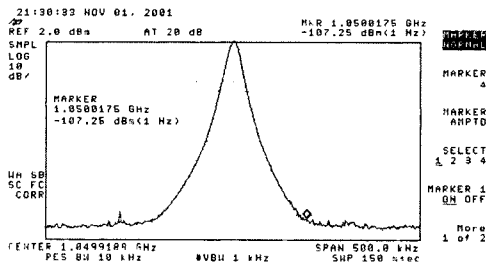
표 1. 제작된 VCO 측정결과.

Table 1. Measurement results of the fabricated.

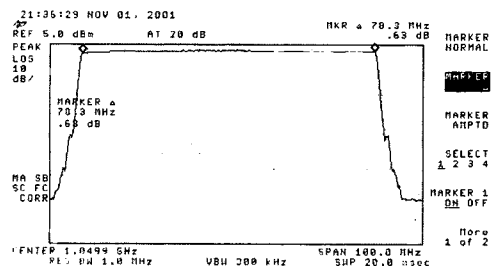
구분	단위	시뮬레이션 결과	측정 결과	오차
Frequency range	MHz	GSM : 1130~1230	GSM : 1008~1087	편차:70 폭:-20
		DCS : 1580~1660	DCS : 1559~1599	편차:20 폭:-30
Output power	dBm	GSM : ≤ 1 dBm	GSM : 2 ± 1 dBm	± 1 dBm
		DCS : ≤ -3 dBm	DCS : 0 ± 1 dBm	± 2 dBm
Phase noise (@100 kHz)	dBc/Hz	GSM : -115	GSM : -107	-8
		DCS : -110	DCS : -105.5	-4.5
DC current dissipation	mA	7 mA	8 mA	-1 mA
Input voltage	V	2.7 V	2.7 V	동일조건
Control voltage	V	0.5~2.5 V	0.5~2.5 V	동일조건
Spurious level	dBc	GSM : 16 ± 3 dBc	GSM : 15 ± 3 dBc	-1 dBc
		DCS : 26 ± 3 dBc	DCS : 19 ± 3 dBc	-7 dBc

Twin Transistor와 바랙터 다이오드는 TOSHIBA사의 1SV280, 스위칭 다이오드로는 HITACHI사의 HSU277을 사용하였다. 측정을 위하여 HP사의 8593E Spectrum Analyzer를 사용하였다.

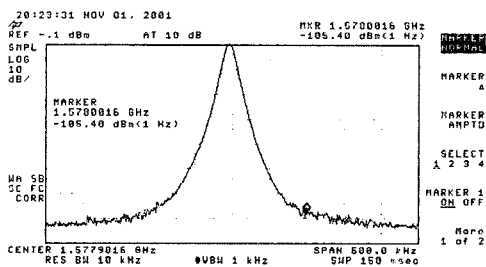
그림 12는 제작된 듀얼대역 VCO의 위상잡음 특성이며 제어전압 1.5 V에서 Span 500 kHz이고, RES 밴드 10 kHz에서 측정된 결과이다. GSM 대역은 offset 주파수 100 kHz에서 -107 dBc/Hz이고,



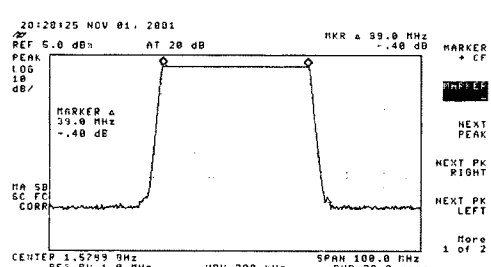
(a) GSM 대역



(a) GSM 대역



(b) DCS 대역



(b) DCS 대역

그림 12. 제작된 듀얼대역 VCO의 위상잡음 특성.
Fig. 12. Phase noise characteristic of the fabricated Dual-band VCO.

그림 13. 제작된 듀얼대역 VCO의 출력 전력 범위.
Fig. 13. Output power range of the fabricated Dual-band VCO.

DCS 대역은 offset 주파수 100 kHz에서 -105 dBc/Hz로 측정 되었다. 그림 12은 제어전압 0.5~2.5 V 가변 하였을 때 출력전력 특성을 나타내고 있다. GSM 대역은 40 MHz/V, DCS 대역에서 20 MHz/V 주파수 제어 감도 특성을 보이며, 출력전력은 0 dBm±3 dBm을 만족한다.

표 1은 시뮬레이션 결과와 측정 결과를 비교하였으며, 오차를 분석한 결과이다. 동작주파수는 대역에 따라 20 MHz~70 MHz 주파수가 천이되었으며, 20 MHz~30 MHz 대역 감소 특성을 보인다. 위상잡음 특성은 시뮬레이션 결과 치와 -4.5 dBc/Hz~8 dBc/Hz 편차가 발생되었으며, 하모닉 특성과 출력전력 특성이 듀얼대역에 양호한 특성을 보인다. 이와 같은 오차는 시뮬레이션 과정에서 소자와 소자간의 연결에 나타나는 기생성분을 고려하지 않은 결과에 따른 오차라 사려된다.

V. 결 론

본 논문에서는 이중 대역 이동통신 휴대용 단말기에 적용 가능한 새로운 방식의 듀얼대역 전압제어 발진기를 설계 제작하였다.

듀얼대역 VCO 설계에 앞서 공진기의 사용 소자들을 등가 회로화 하여 수치 해석하므로 공진기의 Q(Quality factor)를 향상시킬 수 있는 소자 값을 제시하였다.

새로 제안된 귀환회로를 이용한 듀얼대역 VCO는 GSM/DCS 수신 대역(Rx)에 맞게 설계되었으며, 제작에 앞서 상용 Tool를 이용하여 그 타당성을 확인하고, 목표 규격에 만족함을 확인하였다.

제작은 유전율 3.2 두께 0.8 mm인 테프론 기판을 사용하였고, 실제 제작된 듀얼대역 전압제어 발진기의 크기는 약 9×15 mm 이다. 측정결과 GSM대역에서 발진주파수 대역 1,008~1,087 MHz, 출력전력 2 dBm±1 dBm, Offset 주파수 100 kHz에서 위상잡음 -107.5 dBc/Hz 와 DCS대역에서 발진주파수 대역 1,559~1,599 MHz, 출력전력 0 dBm±1 dBm, Offset 주파수 100 kHz에서 위상잡음 -105 dBc/Hz 등의 측정 결과를 얻을 수 있었다. 측정결과 발진주파수는 설계주파수에 20~70 MHz 편차를 보이고 대역폭은 20 MHz~30 MHz 감소하였다.

본 논문을 통하여 제안된 발진부의 귀환경로에 스위치회로를 이용한 듀얼대역 VCO는 소자수의 감소로 소형화, 비용절감 등의 기대효과를 보이며, GSM/DCS 대역뿐 아니라 차세대 이동통신기기 고주파 부품에도 적용될 수 있을 것으로 전망된다.

참 고 문 헌

- [1] S. Belkin, "Design A Tunable Resonant-Tank Circuit", *Microwave & RF*, pp. 69-88, May 2001.
- [2] Pieter L. D. Abrie "RF And Microwave Amplifiers And Oscillators", Artech House, Boston. London, 1999.
- [3] Behzard Razavi, "RF Micro electronics", Prentice Hall, 1998.
- [4] Ulrich L. Rohde, David P. Newkirk "RF/MicroWAVE Circuit Design For Wireless Applications", Wiley Interscience.
- [5] Varactor SPICE Models for RF VCO Applications, *Applications Note APN1004*, Alpha Industries, Inc., 1998.
- [6] A Colpitts VCO for Wideband (0.95 GHz~2.15GHz)Set-Top TV Tuner Applications, *Application Note APN1006*, Alpha Industries, Inc., 1998.
- [7] A Balanced Wideband VCO for Set-Top TV Tuner Applications, *Application Note APN1005*, Alpha Industries, Inc., 1998.
- [8] Switchable Dual-Band 170/420 MHz VCO For Hand-Set Cellular Applications, *Applications Note APN1007*, Alpha Industries, Inc., 1998.
- [9] A Wideband General Purpose PIN Attenuator, *Applications Note APN1003*, Alpha Industries, Inc., 1999.
- [10] 염경환, 박동철, 이동 통신용 전압제어발진기(VCO)의 구성 및 발전동향, *The Electronic Parts & Components Monthly*, Jan. 1998.
- [11] 오태성, 이영훈, 권원현, "결합 구형 공진기를 이용한 IMT-2000 단말기용 RF필터에 관한 연구" 한국통신학회지, vol-21, no.1, pp. 206-209, July 2000.

발전부 귀환 스위칭회로를 이용한 이동통신 단말기용 듀얼대역 전압제어 발전기 특성에 관한 연구

[12] 오태성, 이영훈 “Hairpin 공진기를 이용한 무선 LAN용 RF필터에 관한 연구” 마이크로파 및 전파 학술대회, vol-24 no.1, pp. 207-210, May 2001.

[13] 오태성, 이영훈, “저 비용 듀얼대역 전압제어 발전기 설계” 한국전자과학회지, vol-11, no.1, pp. 235-238, Nov. 2001.

오 태 성



2000년 2월: 호남대학교 전파공학과 (공학사)
2000년 3월~현재: 호남대학교 전기·전자공학과 석사과정
[주 관심분야] 초고주파 능·수동소자

이 영 훈



1986년 2월: 광운대학교 전자공학과 (공학사)
1988년 8월: 연세대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)
1995년 2월: 연세대학교 대학원 전자공학과 (공학박사)
1995년 3~현재: 호남대학교 전파공학과 부교수