

# UHF 대역 모바일 RFID 시스템에 적합한 저잡음 콜피츠 VCO 설계

## Design of Regulated Low Phase Noise Colpitts VCO for UHF Band Mobile RFID System

노형환 · 박경태 · 박준석 · 조홍구 · 김형준\* · 김용운\*

Hyoung-Hwan Roh · Kyong-Tae Park · Jun-Seok Park · Hong-Gu Cho ·  
Hyoung-Jun Kim\* · Yong-Woon Kim\*

### 요 약

본 논문에서는 모바일 RFID 시스템 환경을 제시하였고, 그 환경에 적합한 저 잡음 차동 콜피츠 전압 제어 발진기를 구현하였다. 밀집 리더 환경에 맞춘 전압 제어 발진기는 0.35  $\mu\text{m}$  공정을 사용하였고, 주파수 범위는 RFID 주파수 범위인 860~960 MHz를 포함시킬 수 있도록 1.55~2.053 GHz로 설계하였다. 2분주기 출력에서 측정된 위상 잡음은 오프셋 주파수가 40 kHz일 때 -106 dBc/Hz로 측정되었고, 1 MHz일 때에는 -135 dBc/Hz로 측정되었다. 5 비트의 디지털 튜닝을 이용하여 낮은 발진기 이득(<45 MHz/V)을 갖게 하여 주파수 합성기에서의 위상 잡음 특성을 좋게 하였다. 설계한 차동 콜피츠 발진기의 FOM은 1.93 dB로 타 2 GHz 대역의 발진기들 보다 높게 측정되었다.

### Abstract

A regulated low phase noise differential colpitts VCO(Voltage Controlled Oscillator) for mobile RFID system is presented. The differential colpitts VCO meets the dense reader environment specifications. The VCO use a 0.35  $\mu\text{m}$  technology and achieves tuning range 1.55~2.053 GHz. Measuring 910 MHz frequency divider output, phase noise performance is -106 dBc/Hz and -135 dBc/Hz at 40 kHz and 1 MHz offset, respectively. 5-bit digital coarse-tuning and accumulation type MOS varactors allow for 28.2 % tuning range, which is required to cover the LO frequency range of a UHF Mobile RFID system. Optimum design techniques ensure low VCO gain(<45 MHz/V) for good interoperability with the frequency synthesizer. To the author's knowledge, this differential colpitts VCO achieves a figure of merit(FOM) of 1.93 dB at 2-GHz band.

Key words : Low Phase Noise, VCO, Colpitts, RFID, Mobile RFID

### I. 서 론

최근 RFID 리더 시장은 RFID 시스템을 셀룰러 폰 내부에 집적화하는 것에 대해 초점을 맞추고 있다. RFID 시스템은 셀룰러 폰의 크기에 맞게 소형화하

기 위해 RFID 시스템을 단일 칩으로 집적화 하여 설계해야 한다. 그림 1에 셀룰러 폰에 모바일 RFID 시스템을 집적하기 위한 기본 블록도를 제시하였다. CMOS RF 블록에서 CMOS LC 전압 제어 발진기는 온-칩 인덕터의 낮은 품질 계수와 플리커 잡음, 버랙

「이 연구는 2006년도 정보통신부의 대학 ITRC 지원사업의 연구결과로 수행되었음(IITA-2006-(C1090-0602-0011)).」  
국민대학교 전자공학과(Department of Electronic Engineering, Kookmin University)

\*한국전자통신연구원 표준연구센터(Protocol Engineering Center, Electronics and Telecommunications Research Institute)

· 논문 번호 : 20070518-16S

· 수정완료일자 : 2007년 8월 14일

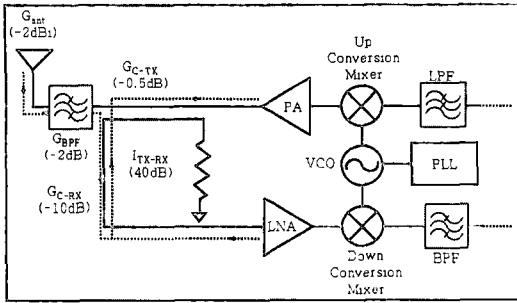


그림 1. 모바일 RFID 시스템 블록도  
Fig. 1. Block diagram of mobile RFID system.

터의 한정된 주파수 범위 때문에 오프셋 주파수 100 kHz 이하에서의 위상 잡음을 모바일 RFID 시스템에 맞게 설계하기는 매우 어렵다. 태그 신호 데이터는 RFID 시스템 송신단에서 CW(Continuous Wave)를 전송하여 수동 RFID 태그에 전력을 공급하는 방식으로 발생하게 된다. 이 때 CW 신호와 태그 신호와의 오프셋 주파수는 40 kHz 밖에 안되기 때문에 40 kHz에서의 위상 잡음은 모바일 RFID 리더기 수신 감도를 결정하는데 가장 중요한 요소이다. 게다가 고정형 RFID 시스템에서와는 다르게 모바일 RFID 시스템에서는 근접한 거리에 다수의 리더들이 있는 밀집 리더 환경이 발생할 수 있다.

본 논문에서는 실제 모바일 RFID 환경에 맞게 리더와 태그와의 거리가 1 m일 때 밀집 리더 환경의 위상 잡음 조건을 제시하고 EPCglobal RFID 규격에 맞고 모바일 환경에 적용시킬 수 있는 차동 콜피츠 전압 제어 발진기를 설계하였다<sup>[1]</sup>.

## II. 모바일 RFID 밀집 리더 환경

실제 모바일 RFID 환경에서는 리더와 리더간의 거리가 매우 근접하게 된다. 이 때 하나의 리더 셀을 정육면체로 가정하면 그 셀을 중심으로 6개의 다른 리더 셀이 인접하게 되는데, 리더의 태그 인식 거리를 1미터로 목표를 잡고 있기 때문에 중심 셀과 인접 셀까지의 거리는 2미터 정도가 될 것이다. 각 셀은 15개의 서로 다른 채널을 가지고 있고, 사용자는 LBT(Listen Before Talk) 방법으로 채널을 선택한다<sup>[1]</sup>. 각 셀 안에서 사용자가 동일한 채널을 동시에 사용할 확률은  $(1/15)^6$ 으로 아주 낮다. 만약 3개의 셀이

동일한 채널을 사용하면 인접한 두 셀이 중심 셀에 간섭을 주는 전력은 아래식과 같게 된다.

$$P_{int}(\text{dB}) = EIRP + 20 \log\left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right) + 3 \text{dB} \quad (1)$$

여기서 EIRP는 송신단의 안테나에서 전송하는 전력,  $\lambda$ 는 파장,  $d$ 는 전송 거리이다. 인접 셀의 간섭 신호와 송신단 누설 전력의 위상이 같을 때 총 간섭 전력은 간섭 신호와 누설 전력의 합과 같다. 이때 믹서 출력에서 만족하는 SNR을 얻기 위한 국부 발진기의 위상 잡음은 아래의 조건을 만족해야 한다.

$$L(\Delta\omega) = P_{sig} - 10 \log(BW) - SNR - P_{int} + 3 \text{dB} \quad (2)$$

$P_{sig}$ 는 수신된 신호의 최소 전력,  $BW$ 는 신호의 대역폭,  $P_{int}$ 는 간섭 신호의 전력,  $\Delta\omega$ 는 오프셋 주파수를 말한다.

RF 전치(front-end)의 이득 매개 변수는 그림 1에서 볼 수 있다. 여기서  $G_{ant}$ 은 안테나 이득,  $G_{BPF}$ 은 RFID 시스템의 대역 통과 여파기 이득이다.  $G_{C-TX}$ 과  $G_{C-RX}$ 은 각각 방향성 결합기의 송신 경로와 수신 경로의 이득이다.  $I_{TX-RX}$ 은 송신단에서 수신단으로 바라보는 방향성 결합기의 격리도이다. 일반적으로 사용되는 태그의 역 산란(back-scatter)되기 위한 최소 전력은 -19 dBm이다. 태그에 필요한 최소 전력 조건에서 5 dB 정도의 마진을 가진 -13.5 dBm 전력을 태그로 제공하기 위해 17.5 dBm의 전송 전력이 요구된다. 그러므로 전력 증폭기의 출력 전력은 안테나와 시스템 저역 통과 여파기의 손실을 고려하여 22 dBm의 전력을 필요로 한다. 40 dB 방향성 결합기 격리도를 고려할 때 누설 전력은 -18 dBm 전력으로 저 잡음 증폭기 입력에 나타난다. 저 잡음 증폭기 입력에 총 간섭되는 전력은 -16 dBm이 된다. 이 때 태그 수신단 안테나에 17.5 dBm이 전송될 때 역산란된 수신 신호 전력은 -62.5 dBm이 된다. 태그의 신호 대역폭이 40 kHz이기 때문에, 3 dB 마진을 포함하여 10 dB SNR을 달성하기 위해서는 40 KHz의 오프셋 주파수에서 발진기 위상 잡음은 -105 dBc/Hz가 요구된다(공식 2).

## III. 차동 콜피츠 전압 제어 발진기 설계

발진기의 플리커 잡음은 발진 주파수의 근접 대역에  $1/f^3$  위상 잡음을 야기시킨다. 일반적으로, 트랜지스터의 플리커 잡음은 위상 잡음 특성을 저하시키는데 열전달 효과(hot carrier effect)에 의해 PMOS가 NMOS에 비해 플리커 잡음이 적다. 거의 같은 전압 크기를 인가해줄 때, NMOS의 최소 잡음 계수(minimum noise figure)가 PMOS보다 크기 때문이다<sup>[8]</sup>. 그런 이유로  $1/f$ 와  $1/f^2$ ,  $1/f^3$  영역에서 위상 잡음을 최적 조건으로 맞추기 위해 PMOS만을 이용하여 전압 제어 발진기를 설계했다.

제안한 차동 콜피츠 전압 제어 발진기(그림 2)는 두 개의 싱글 콜피츠 발진기를 대칭으로 연결하여 우 모드 발진을 억압시키고 기 모드 발진을 하는 구조로 구현하였다. 캐패시터( $C_{off}$ )는 부성 컨덕턴스를 제공해 준다. 그리고 공통 모드 잡음을 줄이기 위해 전압 제어 발진기의 전원을 조절해 주었다. 레귤레이터의 기준 전압  $V_{ref}$ 는  $I_{PTAT} \times R_{ref}$ 와 같다.  $I_{PTAT}$ 은 PTAT(Proportional To Absolute Temperature)의 기준 전류이다. 일반적으로 전압 제어 발진기의 위상 잡음은 온도가 올라감에 따라 LC 탱크의 부하 품질 계수가 줄어 들어 저하된다. 그 문제점을 해결하기 위해 레귤레이터를 사용하여 온도가 높아질 때 발진기의 전원을 키워줌으로써 전체 전류를 상승시켜 보상해 주었다.

낮은 발진기 이득( $K_{VCO}$ )을 갖도록 설계하는 방법도 낮은 위상 잡음 설계를 하기 위한 방법 중 하나이다. 그러나 전압 제어 발진기의 주파수 조정 범위

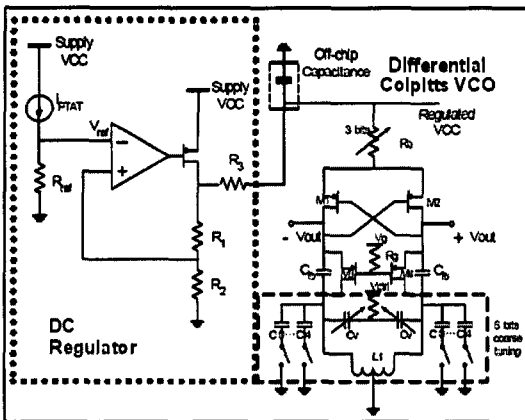


그림 2. 차동 콜피츠 전압 제어 발진기  
Fig. 2. Differential Colpitts voltage controlled oscillator.

는 발진기 이득과 비례한다. UHF RFID 주파수 대역 860~960 MHz을 만족하면서 발진기 이득을 낮게 하기 위해 5개의 디지털 비트를 사용하여 단계적으로 주파수를 변화시켜 주었다. 그리고 능동 소자 전류원에 의해 생기는 플리커 잡음이 전체 플리커 잡음 중에서 거의 대부분을 차지하기 때문에 전류원 소자로 저항과 PMOS 스위치를 이용하여 플리커 잡음 원을 원천적으로 제거해 주어 위상 잡음 특성을 향상시켜주었다.

#### IV. 측정 결과 및 성능 비교

##### 4-1 측정

본 논문에서 설계한 발진기는 3 V 전원에 7 mA의 전류를 이용하고, 그림 3과 같이  $650 \times 850 \mu\text{m}^2$  크기로 설계하였다. 발진 주파수는 1.55 GHz에서 2.053 GHz까지로 측정되었다.

$K_{VCO}$ 는 디지털 비트가 '11111'일 때 11 MHz/V, '00000'일 때 45 MHz/V로 측정되었다(그림 4).

2분주기 출력에서 측정한 위상 잡음 값이 40 kHz 오프셋 주파수일 때 -106 dBc/Hz, 1 MHz 오프셋일 때 -135 dBc/Hz로 측정되었다. 차동 콜피츠 전압 제어 발진기의 측정 결과 값은 표 1에 나타내었고 발진기 이득은 그림 5에 나타내었다.

##### 4-2 기본 구조와의 성능 비교

본 논문의 성능은 제시된 구조<sup>[2]~[9]</sup>와 비교하였을 때 높은 FOM을 가진다. FOM(Figure of Merit) 기본 식인 식 (3)을 이용하여 FOM을 구하였다<sup>[4]</sup>.

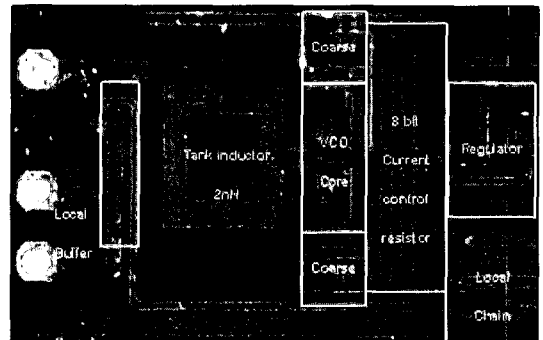


그림 3. 차동 콜피츠 전압 제어 발진기 사진  
Fig. 3. Differential Colpitts VCO microphotograph.

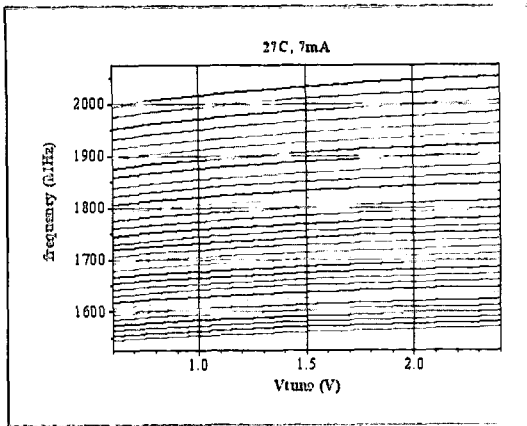


그림 4. 주파수 변화 곡선  
Fig. 4. Frequency tuning curves.

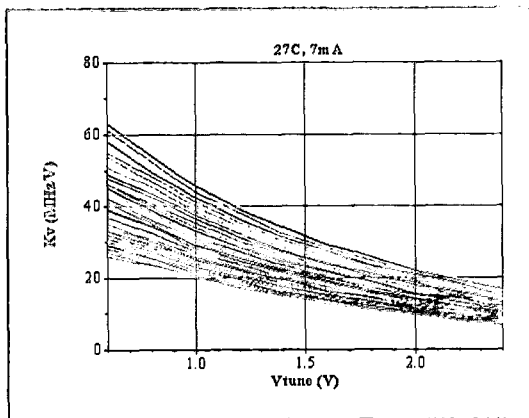


그림 5. 발진기 이득 곡선  
Fig. 5. VCO gain curves.

표 1. 차동 콜피츠 발진기 성능  
Table 1. Summary of the VCO specification.

VCO frequency	1.82 GHz
Tuning	28.2 %
Phase noise (LO output at 910 MHz)	-106 dBc/Hz at 40 kHz -135 dBc/Hz at 1 MHz
Current	7 mA
Supply voltage	3 V
Technology	4-metal 0.35 um Process

$$FOM = 10 \log \left( \frac{kT}{P} \cdot \left( \frac{f_{o,max} - f_{o,min}}{\Delta f} \right)^2 \right) - L(\Delta\omega) \quad (3)$$

이 때,  $f_{o,max}$ 는 최대 발진 주파수이고,  $f_{o,min}$

표 2. 차동 콜피츠 발진기 성능  
Table 2. Summary of the VCO specification.

Reference	Center Freq. (GHz)	Power (mW)	Tuning range	FOM
[2]	2.6	10	26 %	-3.1
[3]	1.8	32.4	28 %	-3.8
[4]	1.25	7.2	28 %	-0.2
[5]	2.4	41.5	23 %	-6.4
[6]	1.64	12	21 %	-1
[7]	5.8	5	14 %	-10.6
[8]	5.15	7.2	21 %	-1.1
[9]	2.1	12.2	35 %	5.8
This work	1.82	21	28.2 %	1.93

은 최소 발진 주파수,  $\Delta f$ 는 오프셋 주파수이다. 그리고  $L(\Delta\omega)$ 는 위상 잡음 성능이다. 표 2는 본 논문의 발진기와 발간된 논문의 발진기 성능 비교 값을 나타내었다.

제작한 차동 콜피츠 발진기는 RFID 특징에 맞게 100 kHz 이니의 위상 잡음의 최소화에 중점을 갖고 설계하였다. 측정값은 -115.6 dBc @ 100 kHz, -106 dBc @ 40 kHz로 설계하였다.

## V. 결론

본 논문에서 제안한 전압 제어 발진기는 능동 소자 전원원을 수동 저항으로 대체하여 가장 큰 잡음원을 제거하였다. 게다가, 발진기의 능동 소자를 PM-

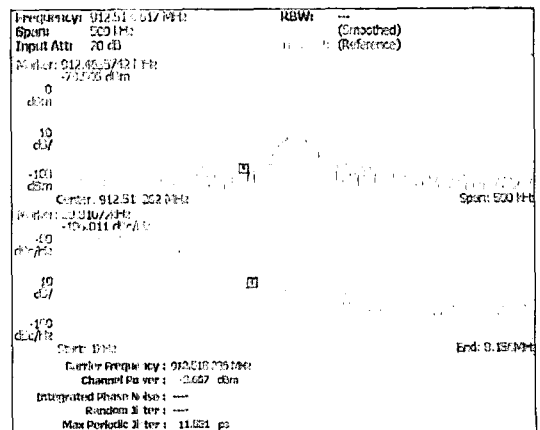


그림 6. 위상 잡음 특성  
Fig. 6. Phase noise performance.

OS만으로 설계하였고, 5 비트의 디지털 제어를 통해  $K_{VCO}$ 를 줄여 위상 잡음 성능을 향상시켰다. 그리고 PTAT을 이용한 레귤레이터를 집적하여 온도 변화와 발전기 전원 잡음에 대해 안정하도록 설계하여 40 kHz 오프셋에서의 위상 잡음을 모바일 RFID 시스템에 적용할 수 있도록 하였다.

측정한 결과 값으로는 1.545~2.053 GHz의 주파수 튜닝 범위가 측정되었다. 그리고 측정된 콜피츠 발전기의 위상 잡음은 전류가 7 mA이고 주파수 디지털 비트가 VCO\_VC=10,000일 때 -106 dBc/Hz @ 40 kHz, -115 dBc/Hz @ 100 kHz, -136 dBc/Hz @ 1 MHz로 측정되어 제한된 모바일 RFID 위상 잡음 특성에 적용할 수 있음을 보였다. 그림 6에 측정된 위상 잡음을 나타내었다.

### 참 고 문 헌

- [1] EPCglobal EPCTM Radio-Frequency Identity Protocols Class-1 Generation-2 UHF RFID Protocol for Communications at 860~960 MHz Version 1.0.7 Hz.
- [2] D. Ham, A. Hajimiri, "Concepts and methods of optimization of integrated LC VCOs", *IEEE J. Solid-State Circuits*, vol. 36, pp. 896-909, Jun. 2001.
- [3] B. De Muer, N. Itoh, M. Borremans, and M. Steyaert, "A 1.8 GHz highly-tunable low phase-noise CMOS VCO", *IEEE Custom Integrated Circuits Conf.*, pp. 585-558, 2000.
- [4] Alex D. Berny, Ali Mm Niknejad, and Robert G. Meyer, "A wideband low phase noise CMOS VCO", *IEEE CICC*, pp. 555-558, 2003.
- [5] Ping-Wing Lai, Lazlo Dobos, and Stephen Long, "A 2.4 GHz SiGe low phase-noise VCO using on chip tapped inductor", *IEEE, ESSIRC*, pp. 505-508, 2003.
- [6] Yue Wu, Vladimir Aparin, "A monolithic low phase noise 1.7 GHz CMOS VCO for Zero-IF cellular CDMA receivers", *IEEE, ISSCC*, pp. 396-397, 2004.
- [7] J. Bhattacharjee, D. Mukherjee, E. Gebara, E. Nuttinck, and J. Laskar, "A 5.8 GHz fully integrated low power low phase noise CMOS LC VCO for WLAN applications", *IEEE RFIC Symp.*, pp. 585-558, 2002.
- [8] S. Levantino, et al., "Frequency dependence on bias current in 5-GHz CMOS VCOs: Impact on tuning range and flicker noise upconversion", *IEEE J. Solid-State Circuits*, vol. 37, pp. 1003-1011, Aug. 2002.
- [9] J. Kucera, "Wideband BiCMOS VCO for GSM/UMTS direct conversion receivers", *ISSCC Dig. Tech. Paper*, pp. 374-375, 2001.

### 노 형 환



2005년 2월: 국민대학교 전자공학과 (공학사)  
 2007년 2월: 국민대학교 전자공학과 (공학석사)  
 2007년 3월~현재: 국민대학교 전자전파공학과 박사과정  
 [주 관심분야] RF, RFIC, EMC 등

### 박 경 태



2007년 2월: 국민대학교 전자공학과 (공학사)  
 2007년 3월~현재: 국민대학교 전자공학과 석사과정  
 [주 관심분야] RF, RFIC, EMC 등

박 준 석



1987년: 국민대학교 전자공학과 (공학사)  
1993년: 국민대학교 전자공학과 (공학사)  
1996년: 국민대학교 전자공학과 (공학박사)  
1997년~1998년: Dept. of EE, UCLA (PostDoctoralFellow)

2000년~2003년: 순천향대학교 정보기술공학부 조교수  
2000년~현재: (주)아모텍 기술고문  
2001년~현재: (주)Wavics 기술고문  
2003년~현재: 국민대학교 전자정보통신대학 부교수  
2004년 9월~현재: 정보통신부 RFID/USN 기획위원  
2005년 3월~현재: mRF 단말분과 위원  
2005년 4월~현재: TTA RFID/USN 프로젝트 그룹 특별위원  
[주 관심분야] Mobile RFIC, RFID Active Tag, Wireless LAN

김 형 준



1986년: 광운대학교 컴퓨터공학과 (공학사)  
1988년: 광운대학교 컴퓨터공학과 (공학석사)  
2007년: 충남대학교 컴퓨터공학과 (공학박사)  
2002년~현재: 한국전자통신연구원 차세대 인터넷 표준연구팀 팀장

[주 관심분야] RFID, USN, IPv6

조 홍 구



1972년: 서울대학교 전자공학과 (공학사)  
1979년: 서울대학교 전자공학과 (공학석사)  
1987년: 서울대학교 전자공학과 (공학박사)  
1980년~현재: 국민대학교 전자정보통신공학부 교수

[주 관심분야] RF, EMC 등

김 용 운



1995년~2001년: 한국전자통신연구원 선임연구원  
2001년~2002년: (주) ZTE퓨처텔 팀장  
2002년~2004년: 이니텍(주) CTO  
2004년~현재: 한국전자통신연구원 선임연구원

[주 관심분야] RFID, USN