

마이크로스트립 종단형 CSRR구조를 이용한 X-band 레이다용 전압제어발진기의 설계

김규철*

Design of Voltage Controlled Oscillator for X-band Radar
Using CSRR loaded microstrip line

Gue-Chol Kim*

요 약

본 논문에서는 마이크로스트립라인 종단형 CSRR구조를 이용하여 X-band 레이다에 사용하는 새로운 전압 제어 발진기를 제안하였다. 마이크로스트립 종단형 CSRR을 발진기와 버퍼 사이에 삽입되는 필터로 사용하여 고주파역압특성을 개선하였다. 측정 결과 제어전압을 0~10V로 가변 하였을 때 9.28~9.39GHz가 발진 하였으며 발진주파수 9.35GHz에서 16.6dBm의 높은 출력을 얻을 수 있었다. 또한 일반적인 발진기 보다 고주파역압 특성이 10.4dB 개선되었다.

ABSTRACT

In this paper, a novel voltage controlled oscillator(VCO) using CSRR loaded microstrip line for X-band RADAR is proposed. Using the microstrip line loaded CSRR inserted between the oscillator and buffer to the filter, the harmonic suppression has been improved. The measured results of the fabricated oscillator shows that its oscillation frequencies are from 9.28 to 9.39GHz according to the tuning voltage 0 ~ 10V, its output power level are about 16.6dBm at 9.35GHz. Compared with VCO using the conventional VCO, VCO using CSRR loaded microstrip, the harmonic suppression characteristic has been improved in 10.4dB

키워드

Oscillator, Low Noise, Resonator, Radar
발진기, 저잡음, 공진기, 레이다

1. 서 론

오늘날 통신정보량의 증가로 고속 또는 대용량의 데이터전송의 필요성으로 높은 주파수로 통신하는 고주파 소자의 설계기술에 대한 중요성이 증가하고 있다.

이러한 기술의 발전은 이동통신뿐 아니라 위성 및 해양통신에서도 적용범위를 넓혀가고 있다. 레이더는 송신주파수와 수신주파수의 시간차에 의해 물표의 방위와 거리를 판별하고, 고 분해능을 얻기 위해서는 시간에 따른 주파수의 변화가 선형적으로 이루어져야 한다.

* 교신저자(corresponding author) : 목포해양대학교 전자공학과(gckim@mmu.ac.kr)
접수일자 : 2013. 06. 20

심사(수정)일자 : 2013. 08. 23

게재확정일자 : 2013. 09. 23

따라서 레이더의 RF시스템에서 주파수원을 공급하는 전압제어 발진기는 전체 시스템의 안정도에 가장 큰 영향을 미치므로 매우 중요한 부품으로 여기어진다 [1,2]. 전압제어 발진기는 위상잡음 및 고조파억압특성에 의해 성능이 결정되지만 무엇보다도 제어전압에 따른 발진주파수의 안정성이 우선시 되어야 하므로 레이더에 사용되는 전압제어 발진기는 발진주파수의 신뢰성을 높이기 위해 발진기의 후단에 버퍼를 두어 load pulling 현상을 작게 한다[3,4]. 하지만 이러한 회로구조는 Q를 저하시키고 고조파 발생을 억제하지 못한다. 고조파를 억제하기 위해 발진기의 후단에 필터를 사용하지만 필터를 사용하면 회로의 사이즈가 커지고 발진기의 부하 Q가 저하되어 위상잡음 및 주파수 안정도가 저하되어 시스템 전체의 성능을 저하시킨다[5]. 공진기의 Q를 높여주기 위해 최근 SRR형태 또는 CSRR형태의 공진기에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다 [6,7,8,9]. 본 논문에서는 주파수 안정도를 높이고 고조파 발생을 억제하기 위해 마이크로스트립 종단형 CSRR구조를 이용한 전압제어 발진기를 제안하였다.

II. 마이크로스트립 종단형 CSRR

SRR(Split Ring Resonators)은 반대방향으로 나뉘어진 두 개의 금속링으로 이루어지며 분포인덕턴스와 분포 캐패시턴스 성분에 의해 LC공진기로서 동작한다. CSRR(Complementary Split Rings Resonators)은 동판에 SRR과 동일한 모양을 식각한 형태이며 공진주파수에서 각각 강한 전자기적 커플링을 만들어 특정신호를 대역 저지시키는 특징을 나타낸다[5,6]. 또한 평면형으로 구현이 가능하여 에칭기법으로 쉽게 기판을 제작할 수 있다.

그림1은 CSRR의 구조와 등가회로 모델을 나타낸다. 그림에서 링의 반지름 r와 링의 폭 w에 의해 분포 캐패시턴스 Cr값이 결정되고 링의 간격 d에 의해 분포 인덕턴스 Lr이 결정된다. 여기서 CSRR의 공진주파수는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$f_o = \frac{1}{\pi \sqrt{L_r C_r}} \quad (1)$$

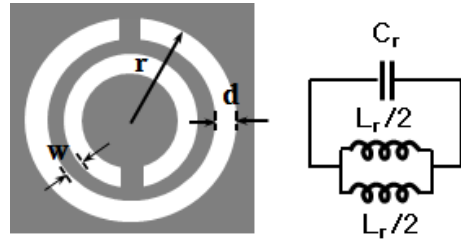


그림 1. 일반적인 CSRR의 구조와 등가회로
Fig. 1 Structure and equivalent circuit of conventional CSRR

그림2 (a)는 마이크로스트립 종단형 CSRR의 구조와 등가회로를 나타내고 (b)는 등가회로를 나타낸다[5]. 전송선로의 폭 t와 선로의 간격 g는 직렬 인덕턴스 Ls와 직렬 캐패시턴스 Cs를 결정하며 기판의 사양과 동작주파수에 의해 달라진다. Cc는 전송선로와 CSRR과의 결합 캐패시턴스를 나타낸다.

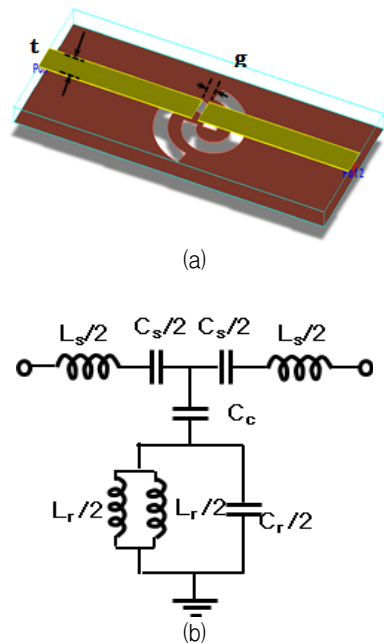


그림 2. 마이크로스트립 종단형 CSRR의 구조(a)와 등가회로(b)

Fig. 2 (a) structure and (b) equivalent circuit of CSRR loaded microstrip line

그림 3은 마이크로스트립 종단형 CSRR의 입력반사계수와 전달계수를 시뮬레이션 한 결과이다. 동작주파

수인 9.35GHz에서 삽입손실은 -0.45dB이고 반사계수는 -11dB의 특징을 보여주고 있다. 여기서 7GHz 주변에서 대역저지 특성을 보이며 6.2GHz 대역에서도 공진하는 것은 CSRR에 의한 영향이다. 발진기의 발진주파수는 FET의 게환소자에 의해 결정되고 발진주파수의 고조파에 해당하지 않으므로 이 주파수에서의 영향은 무시 할 수 있다.

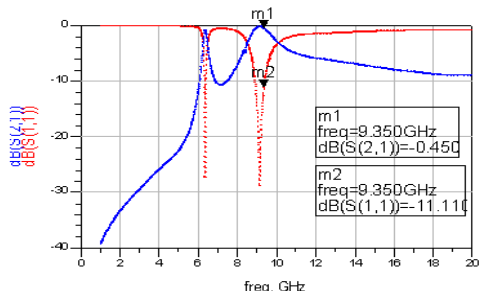


그림 3. 마이크로스트립 종단형 CSRR의 전송계수
Fig. 3 Transmission coefficient of CSRR loaded microstrip line

III. 전압제어 발진기 의 설계 및 측정

3-1 전압제어 발진기의 기본이론

그림 4와 같은 게환회로를 포함한 4단자 MESFET 발진기 모델에서 발진조건은 다음과 같다[10].

$$\Gamma_r = \frac{1}{S_{11}'} \quad (2)$$

여기서 $S_{11}' = \frac{S_{11} + S_{12} S_{21} \Gamma_c}{1 - S_{22} \Gamma_c}$ 이다.

전압제어 발진기의 설계절차는 선택된 능동소자의 바이어스 조건에서 주어진 소신호 S-파라미터를 가지고 먼저 a) S_{11}^* 이 발진주파수에서 최대가 되도록 게환 회로를 구성한다. 그리고 b) 증폭기와 게환 소자로 구성된 회로의 안정도 원을 스미스차트에 도시한 후 공진기의 공진 주파수가 불안정 영역 위에 위치하여 다음 수식의 발진조건을 만족하도록 공진회로를 설계한다.

$$|\Gamma_r| > \frac{1}{|S_{11}'|}, \quad \angle \Gamma_r = \angle \frac{1}{S_{11}'} \quad (3)$$

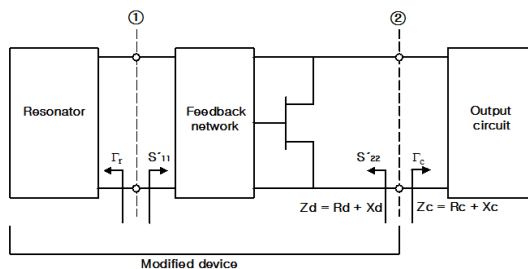


그림 4. MESFET 발진기의 구성도
Fig. 4 MESFET oscillator model

발진이 일어난 후 $1/|S_{11}'|$ 가 증가하여 식(2)의 정상상태 발진에 도달하게 되면 c) 출력중단회로는 초기 발진 조건과 부하에 최대전력을 전달하기 위해 다음의 조건에 맞도록 설계한다.

$$X_c = -X_d, \quad R_c = -R_d/3 \quad (4)$$

발진이 시작된 후 정상상태에 도달하면 R_d 와 R_c 는 같아 지며 d) $1/S_{11}^*$ 는 출력 반사계수 Γ_c 의 함수이므로 절차 b)와 c)는 식 (4)를 만족할 때까지 최적화 한다.

3-2 전압제어 발진기의 설계

그림5는 바랙터 다이오드를 포함한 공진부를 시뮬레이션한 결과이며 S_{21} 은 대역저지특성, S_{11} 은 반사손실특성을 보여주고 있다.

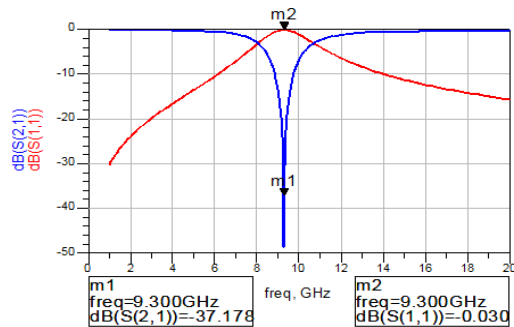


그림 5. 공진부의 시뮬레이션 결과
Fig. 5 Simulated results of resonator

발진기의 선형해석은 빠르고 쉽게 발진주파수나 발진가능성을 알 수 있지만 출력전력의 크기나 정확한 발진주파수를 예측하기 위해서는 비선형 해석을 하여

야 한다. 따라서 발진기의 비선형 해석을 위한 하모닉 발산 시뮬레이션을 통해 특성을 최적화 하였다. 발진기의 특성은 주로 FET의 소스에 연결되어 있는 스테브의 길이와 CSRR의 크기에 따라 좌우되며 최적화된 CSRR의 간격 $d=16\text{mil}$, 두께 $w=29\text{mil}$ 반지름 $r=87\text{mil}$ 이며 선로의 간격 $g=15\text{mil}$ 두께 $t=56\text{mi}$ 이다. 그림 6은 설계된 전압제어 발진기의 출력특성으로서 출력전력은 8.32dBm , 고조파의 억압특성은 약 -10dBc 의 결과를 얻었다.

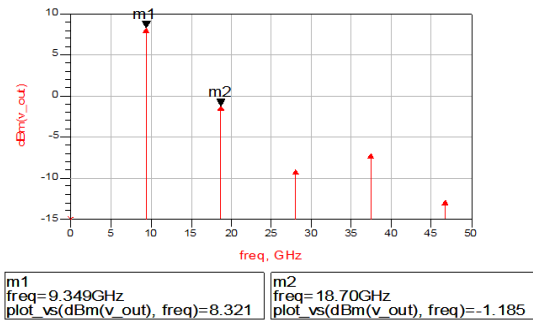


그림 6. 출력특성
Fig. 6 Output power

그림 7은 본 논문에서 제안한 마이크로 스트립 종단형 CSRR을 이용한 2단형 전압제어발진기의 회로구성을 나타낸다. 능동소자를 이용하여 발진회로를 설계할 경우 동작주파수에서 부정저항특성을 갖도록 궤환회로를 구성하여야 한다. 본 논문에서는 마이크로스트립라인을 이용하여 FET의 소스단에 게방스터브를 연결하여 가능한 큰 부정저항 특성을 갖도록 궤환회로를 구성하였다. 발진기에 사용된 능동소자고주파부에서 저잡음특성을 갖는 AVAGO technology사의 GaAs MES FET인 ATF-36077을 사용하였다. 능동소자는 DC바이어스를 인가하였을 때 발진기의 입 출력단의 반사계수에 영향을 주지 않도록 구성하였으며 IV특성 곡선으로부터 V_{ds} 는 1.5V I_{ds} 는 25mA 인 바이어스점을 선택하여 설계하였다. 전압제어 발진기의 공진주파수는 바랙터 다이오드에 인가되는 DC제어전압에 의해 가변하며 부하의 영향을 줄이기 위해 Q가 매우 큰 것을 사용하였다. 또한 전압변화에 대한 주파수 변화 특성이 선형특성을 갖도록, 바랙터 다이오드는 γ 가 큰 ALPHA사의 SMV1736를 사용하였다.

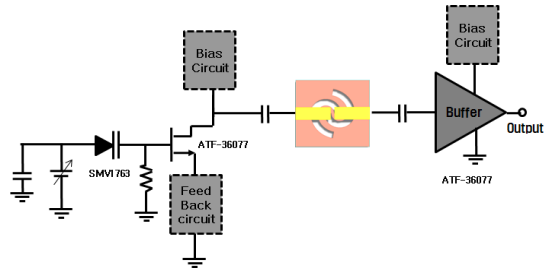
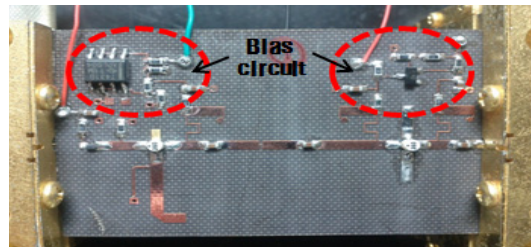


그림 7. 제안된 2단 VCO의 구성
Fig. 7 Structure of the proposed 2-stage VCO

버퍼는 격리도를 높여 주파수 안정도를 높이기 위해 설계하였으며 발진기와 같은 ATF-36077을 이용하여 입력력 임피던스 50Ω 으로 설계하였고 이득은 약 10dB 이다.

3-3 전압제어 발진기의 제작 및 측정

제안된 전압제어 발진기를 제작하여 측정하고 분석하였다. 제작에 사용된 기판은 유전율이 2.5 인 TACONIC사의 TLX-9를 사용하였고 HP사의 스펙트럼 분석기 E4407B를 가지고 측정하였다.



(a)



(b)

그림 8. 제안된 2단 VCO의 구성 (a) 앞면 (b) 뒷면
Fig. 8 Structure of the proposed 2-stage VCO (a) top (b) bottom

그림 8은 설계한 발진기를 제작한 결과이다. 제안된 발진기는 뒷면의 그라운드면에 CSRR구조를 식각

하여 제작하였고 제안된 발진기의 성능을 알아보기 위해 동일한 구조이지만 기판의 뒷면에 CSRR을 삽입하지 않은 발진기를 제작하여 특성을 비교하였다.

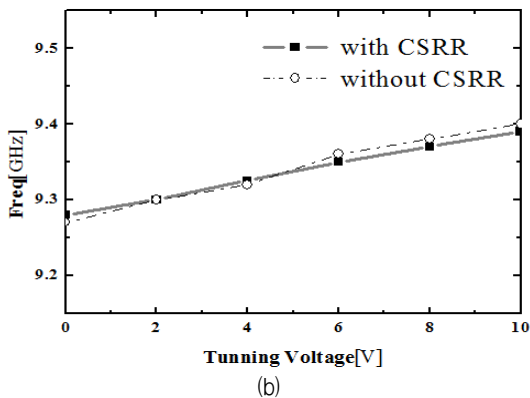
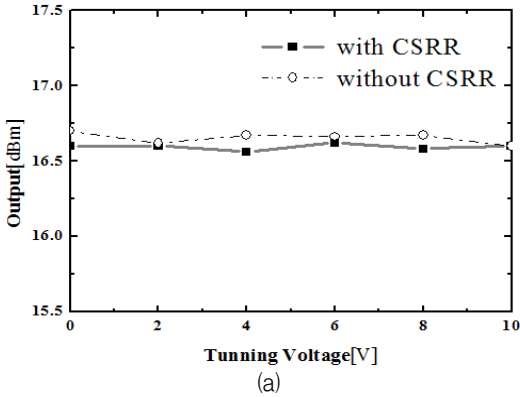
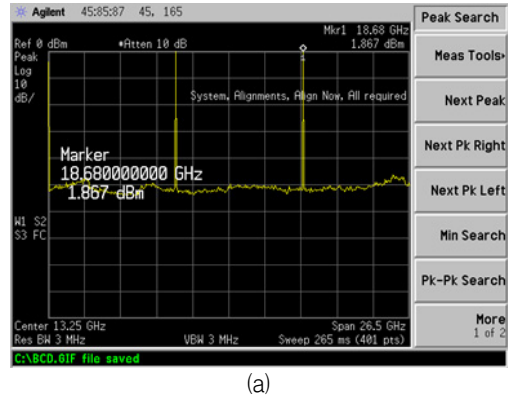
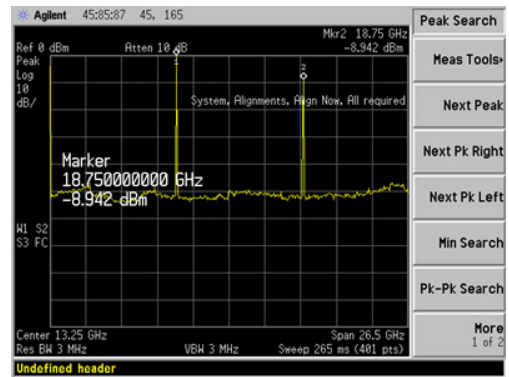


그림 9. (a) 출력전력과 (b) 발진주파수의 측정결과
Fig. 9 Measured results of (a) output power and (b) oscillation frequency

그림9는 두 종류의 발진기를 제작하여 제어전압에 따른 출력전력과 발진주파수를 비교하여 측정한 결과이다. 제어전압이 0 ~ 10V로 가변할 때 출력전력은 CSRR구조를 사용한 발진기와 사용하지 않은 발진기 모두 16.5 ~ 16.7dBm로 유사한 결과를 얻을 수 있었으며 발진주파수도 9.27GHz에서 9.4GHz로 역시 유사한 결과를 얻어 출력전력과 발진주파수에는 CSRR에 의한 영향이 미비함을 알 수 있다.



(a)



(b)

그림 10. VCO의 고조파 특성 (a) 일반적인 VCO (b) 제안한 VCO

Fig. 10 Harmonic characteristics of VCO (a) conventional VCO (b) proposed VCO

그림 10은 제작한 전압제어 발진기의 고조파 특성을 나타낸다. 제1고조파의 출력이 일반적인 VCO와 제안한 VCO가 각각 약 16.6dBm, 16.7dBm으로 유사하지만 발진주파수의 제2 고조파인 18.6GHz에서 일반적인 전압제어 발진기의 경우 1.86dBm, 제안한 발진기의 경우 제2고조파에서 -8.94dBm의 결과를 얻어 약10.4dB의 고조파억압효과를 얻을 수 있었다. 이는 전압제어 발진기와 버퍼사이에 삽입한 CSRR이 필터로서 동작하며 고조파를 억제하는 효과를 얻었기 때문이다. 표1은 제안된 구조의 발진기의 특성을 일반적인 발진기와 비교하여 정리한 결과이다.

표 1. 전압제어 발진기 특성 비교
Table 1. VCO performance comparison.

	Conventional VCO	Proposed VCO
Output freq[GHz]	9.27 ~9.4	9.28 ~9.39
Output power [dBm]	16.7	16.6
harmonic supp [dBc@2fo]	-14.9	-25.5
phase noise [dBc/Hz@500kHz]	-87	-90

고조파 억압특성은 제안한 VCO의 경우가 -10.4 dB 개선된 결과를 얻었으나 발진주파수와 출력전력은 두 종류 모두 유사한 결과를 얻었다. 위상잡음은 제안한 VCO의 경우가 -3dB 낮은 결과를 얻었으나 거의 유사한 결과로 볼 수 있다. 문헌[11]에 의하면 높은 Q를 가지는 CSRR을 이용하면 충분히 낮은 위상잡음을 얻을 수 있으나 본 논문에서는 버퍼의 위상잡음을 포함한 결과이므로 CSRR에 의한 저잡음 효과는 미비함을 알 수 있었다.

IV. 결론

본 논문에서는 마이크로스트립 중단형 CSRR을 이용하여 저잡음 변환기용 전압제어 발진기를 설계 및 제작하였다. 전압제어 발진기와 load pulling효과를 줄이기 위한 버퍼사이에 제작이 간단하고 소형인 CSRR을 삽입하여 고조파를 최대한 억압하도록 하였다. 설계한 발진기를 제작하고 측정된 결과 CSRR을 사용하지 않은 일반적인 VCO와 비교하여 발진주파수와 출력전력, 위상잡음은 유사한 특성을 얻었지만 필터로 동작하는 CSRR에 의하여 제2고조파 억압효과가 10.4dB 개선되는 효과를 얻을 수 있었다. 이와 같은 발진기는 X-밴드 레이더 LNC(Low Noise Converter)용 국부발진기로 응용 할 수 있다.

감사의 글

본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신산업진흥원의 IT융합 고급인력양성 지원사업의 연구결과로 수행되었음 (NIPA-2013- H0401-13- 2006)

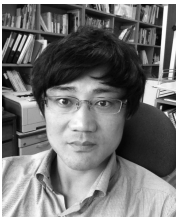
참고 문헌

- [1] M.Kim, Y.Jang and Y.Rhee, "An Implementation of 60W X-band Cascade SSPA for Marine Radar System Systems", The Journal of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences, Vol. 7, No. 1, pp. 1-7, 2012.
- [2] S.Seo, J.Jeong, C.Park, "An X-band Oscillator Using a new Harippin Resonator", The Journal of Korea Institute of Electromagnetic Engineering and Sciences, Vol. 19, No. 2, pp. 250-256, 2008.
- [3] B. Razavi, RF Microelectronics, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, pp. 225-226, 1998.
- [4] M.Kim and Y.Rhee, "Analysis of Optimum Impedance for X-Band GaN HEMT using Load-Pull", The Journal of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences, Vol. 6, No. 5, pp. 621-628, 2011.
- [5] M.Jeon, "Analytical Proof of Conservation of Power in the LTV Phase Noise Theory for Noisy Oscillators ", The Journal of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences, Vol. 7, No. 4, pp. 855-628, 2012.
- [6] W.Cao, Y.Xiang, B.Zhang, A.Liu, T.yu and D.Guo, "A Low Cost Compact Patch Antenna With Beam Steering Based on CSRR-Loaded Ground", IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, Vol. 10, pp. 1520-1523, 2011.
- [7] M.Yoo and S.Lim, "SRR and CSRR Loaded UWB Antenna with Tri-Band Notch Capability", The Journal of Korea Institute of Electromagnetic Engineering and Science, Vol. 23, No. 3, pp. 320-327, 2012.
- [8] Y.Dong, H.Toyao, and T.Itoh, " Design and Characterization of Miniaturized Patch Antennas Loaded With Complementary Split-Ring Resonators", IEEE Trans. Antennas Propag, Vol. 60, No. 2, pp. 772-784, 2012.
- [9] J.D.Baena, J.Bonache, F.Martin, R.Marques F.Falcone,T.Lopetegi, M.A.G.Laso, J.Garcia, I.Gil, and M.Sorolla "Equivalent-Circuit models for split-ring resonators and complementary split-ring resonators coupled to planar transmission lines", IEEE Microw. Theory Tech, Vol. 54, No.4, pp. 1451-1461, 2005.
- [10] Wilson.P.G and R.D. Carver, " An Easy to use FET DRO design procedure suited to most

CAD programs", IEEE international Microwave Symposium Digest, pp. 1033-1036, 1989.

- [11] H.Lee, W.Yoon, K.Lee, S.Han, S.Pyo and Y.Kim, "Low Phase Noise VCO Using Complimentary Bifilar Archimedean Spiral Resonator(CBASR)", The Journal of Korea Institute of Electromagnetic Engineering and Science, Vol. 21, No. 6, pp. 627-634, 2010.

저자 소개



김규철(Gue-Chol Kim)

2000년 2월 목포해양대학교 해양전자통신공학과(공학사)

2003년 8월 목포해양대학교 해양전자통신공학과(공학석사)

2007년 3월 오사카대학 전자정보 에너지공학과(공학박사)

2006년 11월~2008년 2월 Matsushita Electric Works 중앙연구소 연구원

2008년 3월~현재 목포해양대학교 해양전자통신공학부 조교수

※ 관심분야 : 고주파 소자 모델링, 고주파회로설계, 안테나설계

