논문 2010-47TC-2-9

이중 H자 메타 전자파구조를 이용한 저위상잡음 발진기

(A Very Low Phase Noise Oscillator with Double H-Shape Metamaterial Resonator)

이 종 민*, 서 철 헌**

(Chongmin Lee and Chulhun Seo)

요 약

본 논문은 높은 Q 특성을 갖는 이중 H자 형태의 메타 전자파구조의 공진기를 적용한 발진기를 제안하였다. 제안된 발진기는 고성능의 주파수합성부에 적용하기 위한 것으로 저위상잡음 및 높은 출력 전력을 요구한다. 특히 이중 H자 형태의 메타 전자파구조(DHM)는 전기장의 커플링을 강하게 하여 발진 주파수에서 높은 Q 값을 갖도록 설계되었다. 이러한 특성을 통해 우수한 위상잡음 특성을 얻을 수 있다. 이중 H자 형태의 메타 전자파구조를 이용한 발진기는 레이더 시스템의 주파수 합성부에 적용하기 위한 X 대역 내 발진을 형성하였으며 출력 전력은 4.33 dBm, 위상잡음은 100 kHz 옵셋에서 -108 dBc를 얻을 수 있었다.

Abstract

In this article, a oscillator at X-band with a double H-shape metamaterial resonator (DHMR) based on high-Q is proposed with metamaterial structure to improve the phase noise and output power. The proposed oscillator is required low phase noise and high output power for the high performance frequency synthesizer. DHMR is designed to be high-Q at resonance frequency through strong coupling of E-field. This character makes phase noise excellent. The oscillator using DHMR is oscillated in X-band so as to apply frequency synthesizer of radar systems. The output power is 4.33 dBm and the phase noise is -108 dBc/Hz at 100 kHz offset of carrier frequency.

Keywords: Double H-shape metamaterial, X-band, low phase noise, output power, high-Q.

I. 서 론

무선 통신 시스템에서 발진기는 매우 중요한 요소 장치이다. 특히 발진기의 위상잡음은 주파수 합성부의 잡음 특성에 많은 영향을 준다. 지금까지 위상잡음을 줄이기 위한 연구들이 꾸준히 진행되고 있다. 결과적으로 많은 공진기들은 높은 Q값과 작은 크기를 위한 연구 및 성능 향상을 위해 개발되고 있다. 본 논문에서는 공진기의 특성을 향상시키기 위해 새로운 형태의 메타전자파 구조를 제안하였다.

최근에 마이크로파 분야에서 메타전자파 구조에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 메타전자파 구조는 파장보다 짧은 구성 소자로 구성되었으며 특정 주파수에서 음의 유효 유전율과 음의 유효 투자율을 갖는다. 30여년전에 러시아의 수학자 Veselago에 의해 이론적으로 증명되었다[1]. 유효 유전율과 투자율이 동시에 음의 값을 갖기 때문에 전파의 위상 속도와 군속도가 반대 방향으로 진행하게 된다. 이러한 특성으로 인해 기존의 전파의 진행이 오른손 법칙을 따랐다면 메타전자파 구조에서는 왼손 법칙을 따르게 된다. 이러한 이론적인 접근은 90년대에 미국의 Pendry에 의해 규명되었다[2]. 주기적으로 배열된 선형 다이폴에 나란히 입사된 전기장은 특정 대역에서 저지대역을 형성하게 되며 음

* 학생회원, ** 정회원, 숭실대학교 정보통신공학부
(Information and Telecommunication Engineering, Soongsil University)

※ 본 연구는 한국과학재단 핵융합 연구 사업 지원으로 이루어졌음.

접수일자: 2010년1월27일, 수정완료일: 2010년2월8일

의 유효 유전율을 갖게 된다. 또한 주기적인 구조로 배열된 분할링 구조에 수직하게 입사된 자기장에 의해 저지대역을 형성하게 되며 이때 음의 유효 투자율을 갖게 된다.

이러한 메타전자파 구조를 이용한 공진기는 공진 구조의 구조적 특성에 의해 강한 전자기적 커플링이 형성되며 이를 통해 높은 Q값을 갖는 공진 특성을 얻을 수 있다. 따라서 우수한 스컷 특성을 갖는 필터 설계나 위상잡음과 높은 출력을 요구하는 발진기 등에 이용 가능하다[3~6].

본 논문에서는 이중 H자 형태의 메타전자파 구조를 이용한 공진기를 제안하였으며 이를 통해 낮은 위상잡음 특성을 갖고 높은 출력을 요구하는 레이더용 주파수 합성부에 적합한 발진기를 설계하였다.

Ⅱ. DHMR의 설계

그림 1에 보이는 DHM은 전기장에 나란히 입사된 점전하들에 의한 전자기적 특성을 나타낸다. 이러한 해석은 최근 마이크로 스트립선에 음각된 형태의 격자에 용량성 리액턴스를 강화시키는 구조로서 양각된 이중 H자 형태의 메타전자파 구조에 비해 높은 Q값을 갖는 것이 특징이다.

용량성 리액턴스는 음각된 형태의 선폭에 의해 영향을 받으며 공진 주파수와 공진 특성에 주된 영향을 미친다. 반면 유도성 리액턴스는 양각된 스트립선의 길이와 폭에 의해 영향을 받는다.

그림 2는 DHM에 대한 등가회로를 보여주고 있다. 각각의 인덕터와 캐패시터는 단위 길이당 라인의 인덕턴스와 캐패시턴스를 나타낸다.

그림 2의 등가회로에 나타난 분산소자들의 관계식은 아래와 같다. 여기서 ω_0는 이중 H자 형태 메타전자파 구조의 공진주파수이다.

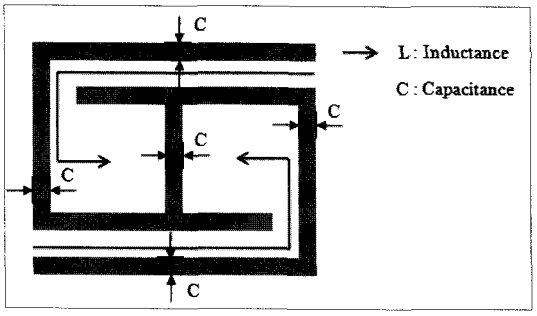


그림 1. DHM의 전자기적 특성
Fig. 1. Electromagnetic characteristic of DHM.

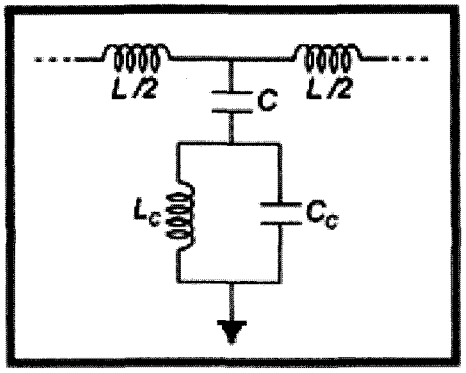


그림 2. DHM의 등가회로
Fig. 2. Equivalent circuit of DHM.

$$\cos(\beta l) = 1 + \frac{L}{2\left(\frac{LC}{1-\frac{\omega^2}{\omega_o^2}} - \frac{1}{C\omega^2}\right)} \quad (1)$$

위의 식을 기초로 하여 본 논문에서는 원하는 공진 특성을 얻기 위해 4셀 DHM을 적용하여 공진기를 설계하였다[7~8].

그림 3은 Ansoft 사의 HFSS 툴을 이용한 4셀 DHMR의 레이아웃을 보여주고 있으며 Taconic 테프론 기판 (유효 유전율 = 3.2, 동판 두께 = 0.787 mm)을 사용하였다. 그림 2의 C를 나타내는 음각된 선폭은 0.3 mm 이며 셀의 크기는 3X3 mm^2 이다. 4셀 DHMR의 전체 길이는 2 cm이고 윗면의 전송선은 길이 2 cm, 폭 0.8 mm 이다.

그림 3에서 보고 있듯이 4셀 DHM이 음각된 형태로 공진기를 구현하였다. 이는 앞에서 소개된 것과 같이 양각된 DHM에 비해 용량성 리액턴스에 의한 공진기의 특성을 강화시키기 위한 것이다.

그림 4는 4셀 DHMR의 실제 제작된 기판의 윗면과 아랫면을 보여주고 있으며 그림 5는 4셀 DHMR의 모

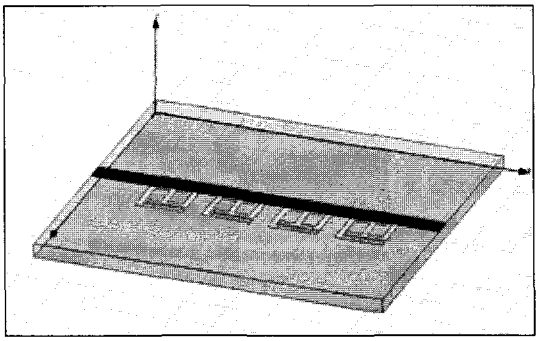


그림 3. 4셀 DHMR
Fig. 3. 4-cell DHMR.

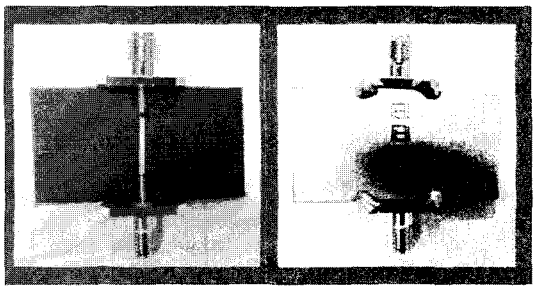
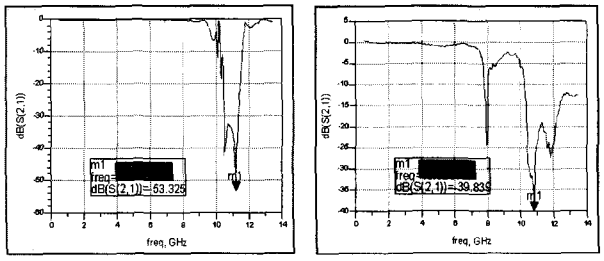


그림 4. 4셀 DHMR의 제작된 기판
Fig. 4. Fabricated substrate of 4-cell DHMR.



(a) (b)

그림 5. 4셀 DHMR의 모의실험결과 및 실 측정
Fig. 5. Measurement result of simulation and fabriacation of 4-cell DHMR.

의실험과 제작된 기판의 측정 결과를 보여주고 있다. 모의실험과 실 제작과의 오차에 의한 약간의 차이는 있으나 원하는 공진 주파수에서 약 -40 dBc의 저지대역 특성을 얻을 수 있었다. 실 제작된 결과에서 원하는 공진 주파수 앞에 원하지 않는 폴이 형성됨으로 발진기 제작시 이 주파수에서 발진이 형성될 수 있다. 그러나 궤환 회로를 통해 능동 소자의 불안정 영역을 조정함으로 이러한 부분을 삭제할 수 있기 때문에 본 논문에서 제안하고 목표값에는 영향을 주지 않는다.

Ⅲ. 저위상잡음 발진기 설계 및 측정

그림 6은 Agilent사의 ADS를 이용한 X-대역 저위상잡음 발진기를 모의 실험한 회로를 보여주고 있다. 앞서 제작된 4셀 DHMR을 능동소자의 베이스에 적용하였으며 능동소자의 궤환회로는 이미터에 적용함으로 원하는 주파수에서 불안정 영역이 형성되도록 설계하였고 컬렉터에 출력정합회로를 적용하였다.

그림 7은 실 제작된 X-대역 저위상잡음 발진기의 기판도를 보여주고 있으며 공진부에 4셀 DHMR이 음각되어 적용된 것을 확인할 수 있다.

실 제작된 기판의 왼쪽 박스 내 회로는 정류회로로 전원 공급 장치에 의한 위상잡음 영향을 최소화하기 위

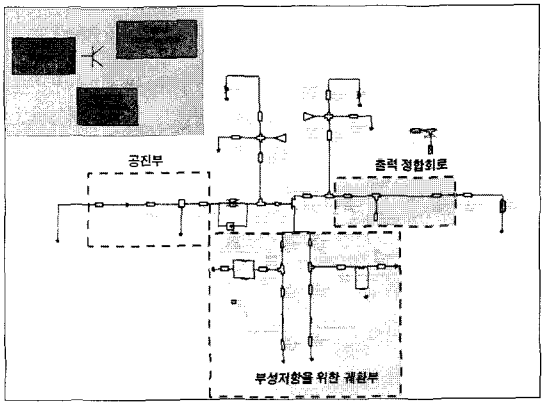


그림 6. X-대역 발진기의 회로도
Fig. 6. Circuit of X-band oscillator.

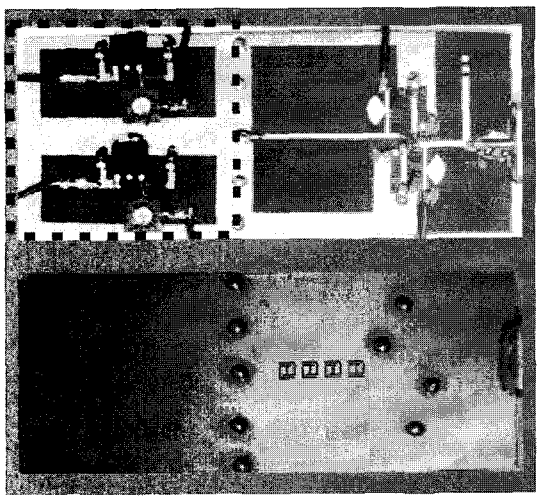


그림 7. 4셀 DHMR을 적용한 X-대역 발진기의 제작된 기판
Fig. 7. Fabricated substrate of X-band oscillator with 4-cell DHMR.

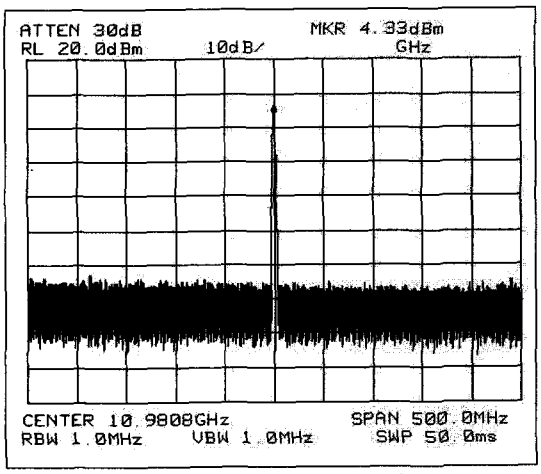


그림 8. 제안된 X-대역 발진기의 출력전력
Fig. 8. Output power of the proposed oscillator.

해 설계 시 추가 적용되었다.

그림 8은 제안된 X-대역 발진기의 중심 주파수에서

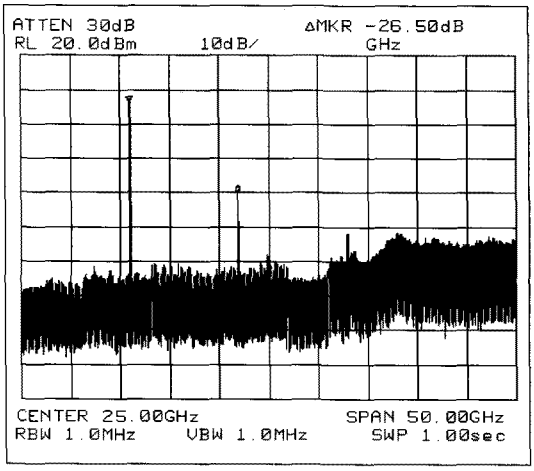


그림 9. 제안된 X-대역 발진기의 고조파특성
Fig. 9. Harmonic of the proposed oscillator.

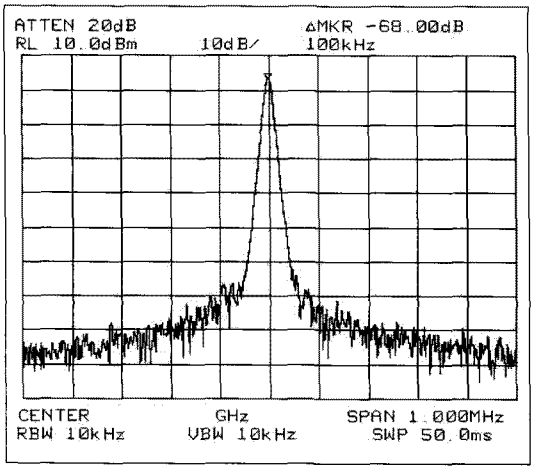


그림 10. 제안된 X-대역 발진기의 위상잡음 특성
Fig. 10. Phase noise of the proposed oscillator.

출력 전력으로 4.33 dBm을 얻었다. 그림 9는 고조파 특성을 보여주고 있으며 -26.5 dBc를 얻었다. 그림 10은 위상잡음 특성을 보여주고 있으며 100 kHz 옵셋 주파수에서 -108 dBc/Hz를 얻었다.

V. 결 론

본 논문에서 제안된 X-대역 저위상잡음 발진기는 레이더용 주파수 합성부에 적용하여 주파수 합성부의 위상잡음 특성 및 불요파을 개선하기 위한 목적으로 제안되었다.

DHMR을 적용한 저위상잡음 발진기를 제안하였으며 DHMR은 메타전자파 구조의 특성을 보이고 있다. DHMR은 전자기 커플링에 의한 높은 Q값을 갖기 때문에 발진기에 적용하였을 경우 위상잡음을 효과적으로 줄일 수 있을 뿐만 아니라 출력 전력을 높일 수 있는 장점을 가지고 있다.

제안된 X-대역 저위상잡음 발진기는 4.33 dBm의 출력 전력과 -26.5 dBc의 고조파 특성, 100 kHz 옵셋 주파수에서 -108 dBc/Hz의 우수한 특성을 얻었다.

참 고 문 헌

[1] V. G. Veselago, "The electrodynamics of substances with simul-taneously negative values of ε and μ," *Sov. Phys.-Usp.*, vol. 10, pp. 509-514, 1968.

[2] J. B. Pendry, "Negative refraction makes perfect lens," *Phys. Rev. Lett.*, vol. 85, pp. 3966-3969, 2000.

[3] R. A. Shelby, D. R. Smith, S. C. Nemat Nasser, and S. Schultz, "Microwave transmission through a two-dimensional isotropic left handed metamaterial," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 78, pp. 4184-4187, 2000.

[4] F. Falcone, T. Lopetegi, M. A. G. Laso, J. D. Baena, J. Nonache, M. Beruete, R. Marqués, F. Martín, and M. Sorolla, "Babinet principle applied to metasurface and metamaterial design," *phys. Rev. Lett.*, vol. 93, pp. 197 401(1)-197 401(4), 2004.

[5] R. Marqués, J. D. Baena, F. Martín, J. Bonache, F. J. Falcone, T. Lopetegi, M. Beruete, and M. Sorolla, "Left-handed Metamaterial based on dual split ring resonators in microstrip technology," *in Proc. Int. URSI Electromagnetic Theory Symp.*, Pisa, Italy, May 23 - 27, 2004, pp. 1188 - 1190.

[6] J. D. Baena, J. Bonache, F. Martín, R. M. Sillero, F. Falcone, T. Lopetegi, M. A. G. Laso, J. G. García, I. Gil, M. F. Portillo, and M. Sorolla, "Equivalent-Circuit Models for Split-Ring Resonators and Complementary Split-Ring Resonators Coupled to Planar Transmission Lines," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 53, no. 4, April 2005.

[7] E. Park and C. Seo, "Low Phase Noise Oscillator Using Micro-strip square Open Loop Resonator," *IEEE MTT-S Dig.*, June 2006.

[8] C. Lee and C. Seo, "Design of Low Phase Noise VCO using Complementary Split-Ring Resonator," *APMC2008*, Dec 2008.

저 자 소 개

이 종 민(학생회원)
2005년 숭실대학교 정보통신전자 공학구 졸업 (공학사)
2005년~2007년 숭실대학교 정보통신공학과 석사과정
2007년 3월~현재 숭실대학교 정보통신공학과 박사과정
<주관심분야 : RF Front_End System 및 소자>

서 철 헌(정회원)
대한전자공학회 논문지
제31권 TC편 6호 참조