

논문 2012-49TC-2-9

Metamaterial Resonator를 이용한 K-Band 저위상 잡음 Push Push OSC 설계

(K-Band Low Phase Noise Push Push OSC Using Metamaterial Resonator)

심 우 석*, 이 중 민*, 서 철 현**

(Wooseok Shim, Jongmin Lee, and Chulhun Seo)

요 약

본 논문은 K-band에서 위상잡음과 출력파워를 향상시키기 위하여 메타 구조로 높은 Q값을 갖는 이중 H자 형태의 메타 전자파구조의 공진기를 적용한 Push-Push 구조의 발진기를 제안하였다. 제안된 발진기는 낮은 위상잡음과 높은 출력 전압을 보여준다. 특히 이중 H자 형태의 메타 전자파구조(DHMR)는 전기장의 커플링을 강하게 하여 발진 주파수에서 높은 Q 값을 갖도록 설계되었다. 또한 2개의 발진기를 Push-Push 구조로 결합시킴으로 출력 전력을 개선하였다. 실험결과 20.20 GHz에서 3.1 dBm의 출력을 나타내었고, 중심주파수 억압특성은 -23.7 dBc, 위상잡음은 -116.28 dBc @ 100kHz의 특성을 보였다.

Abstract

In this paper, a push-push oscillator at K-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 shows low phase noise and high output power. DHMR is designed to be high-Q at resonance frequency through strong coupling of E-field oscillators which are combined in push-push structure improve output power. The propose push-push oscillator shows the output power of 3.1 dBm, the fundamental signal suppression of -23.7 dBc and phase noise of -116.28 dBc at 100 kHz offset frequency and 20.20 GHz center frequency

Keywords : Double H-shape metamaterial, K-band, low phase noise, output power, Push-Push

I. 서 론

본 논문은 한국형 핵융합로의 안정적인 운용을 위해 핵융합로 내의 발생하는 플라즈마의 상태 및 밀도 등을 검출하기 위한 Reflectometry에 적용하기 위한 발진기

를 연구하였다. Reflectometry는 전압제어 발진기의 출력전력을 부가적인 증폭기 없이 송출하게 되고 반사되는 신호를 수신하게 된다.

발진기의 경우 무선 통신 분야에서 없어서는 안 될 중요한 요소 부품으로서 전체 시스템의 위상잡음 및 선형성 등에 큰 영향을 미친다. 발진기의 위상잡음 특성은 공진기의 Q값에 영향을 받는다. 따라서 발진기의 위상잡음을 향상시키기 위한 다양한 연구들은 지금까지 꾸준히 진행되고 있다. 본 논문에서는 메타전자파 구조를 이용한 높은 Q 값을 갖는 공진기를 적용하여 발진기를 설계하였다.

최근에 마이크로파 분야에서 메타전자파 구조에 대

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

※ 본 연구는 한국연구재단과 교육과학기술부의 지원에 의한 중견 연구자 지원 사업과 기초 연구자 지원 사업으로 이루어졌음

(No.20110018746, No.20110020262)

접수일자: 2012년2월8일, 수정완료일: 2012년2월17일

한 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 음의 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 스킷 특성을 갖는 필터 설계나 위상잡음과 높은 출력을 요구하는 발진기 등에 이용 가능하다^[3-6].

또한 회로적인 관점에서 볼 때 기본 주파수 발진기보다 push-push 구조의 고조파 발진기는 복잡하지만, 능동 소자가 갖는 발진 주파수의 한계 이상에서 발진 신호를 얻어 낼 수 있다는 장점이 크기 때문에 마이크로파 응용분야에서 널리 사용되고 있다^[7].

이에 본 논문에서는 기본 주파수 발진기를 이용하는 기존의 방식을 변형하여 고조파 발진기를 통한 push-push 발진기 구조를 제안하였다.

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 길이

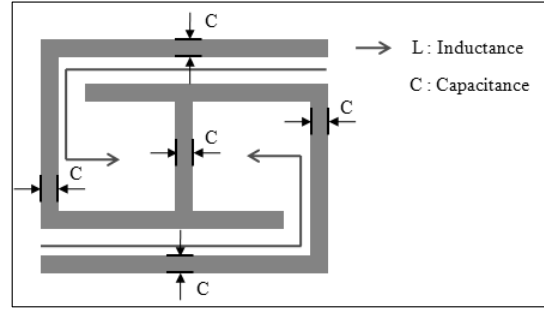


그림 1. DHM의 전자지적 특성
Fig. 1. Electromagnetic characteristic of DHM.

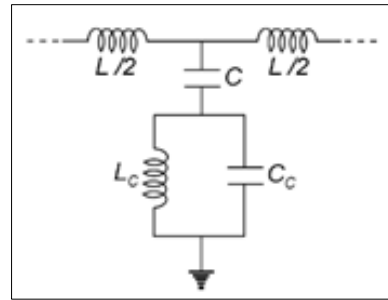


그림 2. DHM의 등가회로
Fig. 2. Equivalent circuit of DHM.

와 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 w_0 는 이중 H자 형태 메타전자파 구조의 공진주파수이다.

$$\cos(\beta l) = 1 + \frac{L}{2 \left(\frac{LC}{1 - \frac{w^2}{w_0^2}} - \frac{1}{Cw^2} \right)} \tag{1}$$

위의 식을 기초로 하여 본 논문에서는 원하는 공진특

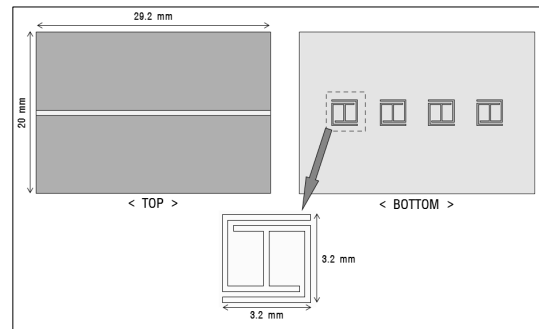


그림 3. 4셀 DHMR
Fig. 3. 4-cell DMHR.

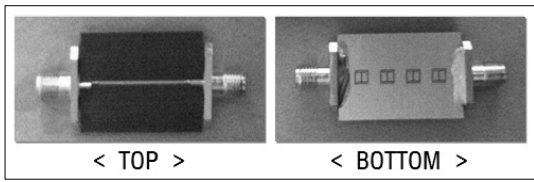
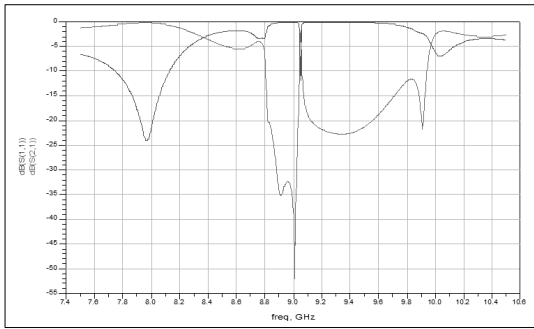
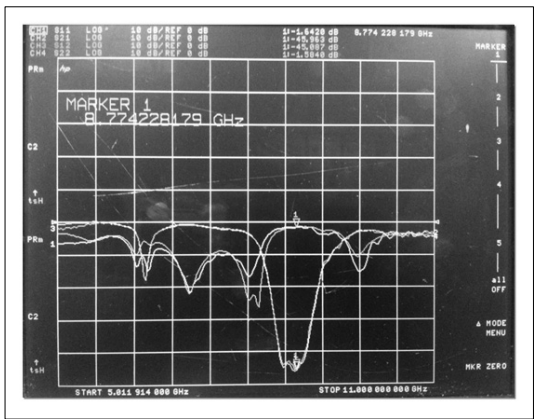


그림 4. 4셀 DHMR의 제작된 기판
Fig. 4. Fabricated substrate of 4-cell DHMR.



(a)



(b)

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

성을 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 사용하여 9 GHz의 공진 주파수를 갖는 DMHR를 설계하였다.

그림 4는 4셀 DHMR의 실제 제작된 기판의 윗면과 아랫면을 보여주고 있으며 그림 5는 4셀 DHMR 모의 실험과 제작된 기판의 측정 결과를 보여주고 있다.

모의실험과 실 제작과의 오차에 의한 약간의 차이는 있으나 원하는 공진 주파수에서 약 -47 dBc의 저지대

역특성을 얻을 수 있었다. 실 제작된 결과에서 원하는 공진 주파수 앞에 원하지 않는 폴이 형성됨으로 발진기 제작 시 이 주파수에서 발진이 형성될 수 있다. 그러나 케환 회로를 통해 능동 소자의 불안정 영역을 조정함으로써 이러한 부분을 삭제할 수 있기 때문에 본 논문에서 제안하고 목표 값에는 영향을 주지 않는다.^[10]

III. Push-Push 구조의 발진기 설계 및 측정

그림 6은 K-대역 Push-Push 발진기의 블록도를 보여주고 있다. 앞서 제작된 4셀 DHMR을 능동소자의 베이스에 적용하였으며 능동소자의 케환회로는 이미터에 적용함으로써 원하는 주파수에서 불안정 영역이 형성되도

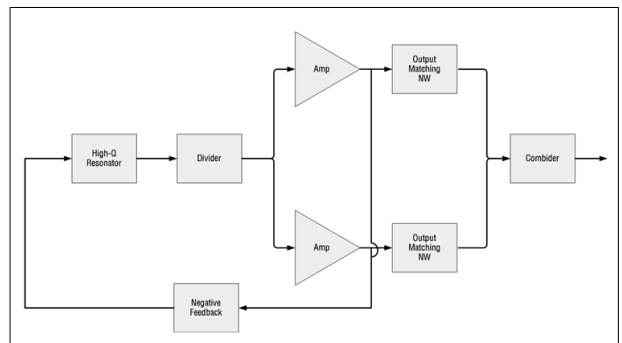
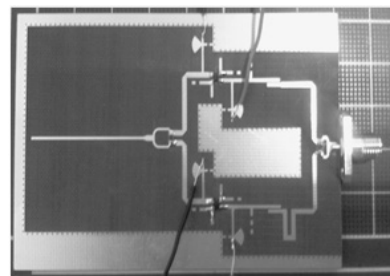
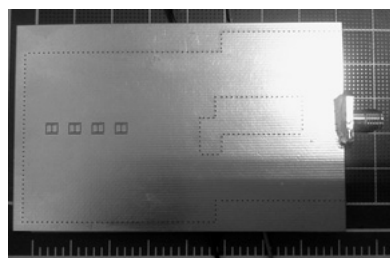


그림 6. K-대역 발진기 블록도
Fig. 6. Block of K-band oscillator.

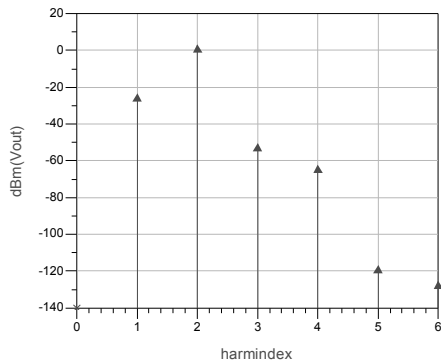


< TOP >

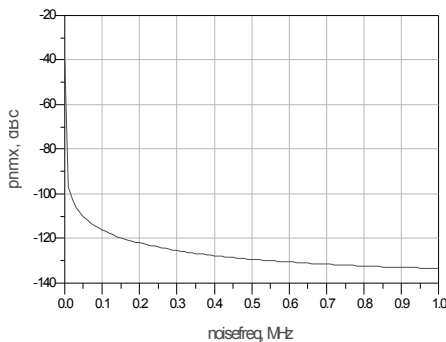


< BOTTOM >

그림 7. Push-Push 발진기 회로
Fig. 7. Push-Push oscillator circuit.



(a)



(b)

그림 8. 제안된 발진기의 (a) 고조파 특성 (b) 위상 잡음
Fig. 8. Proposed oscillator of (a) Harmonics (b) phase noise

록 설계하였고 컬렉터에 출력정합회로를 적용하였다.

그림 7은 9 GHz 공진 주파수에서 동작하는 DHMR, 분배기, 결합기를 이용하여 Push-Push 구조의 발진기를 제작한 것을 보여준다.

10GHz의 공진 주파수를 갖는 DHMR과 분배기가 연결된 베이스단과 케환 회로에 의한 발진 조건이 만족되어 공진 주파수에서 1차 발진이 발생한다. 2개의 커플링된 발진기는 10GHz에서 역위상을 갖으며 동작한다. 2개의 발진기를 통과한 출력 신호는 결합기를 지나면서 중심 주파수와 그 외의 고조파는 억제되고 2차 고조파는 동위상으로 보강되어져, 결과적으로 20GHz의 출력 신호를 갖는다.

그림 8은 설계된 Push-Push 구조 발진기의 측정값을 보여준다. 그림 8. (a) 에서 보는 것과 같이 제안된 발진기의 f_0 (10.10 GHz)는 -20dBc 이상으로 우수한 역 압특성을 보였으며, $2f_0$ (20.20 GHz)의 크기는 약 3dBm 의 결과를 보여주고, 그림 8.(b)에서 위상잡음의

경우 100kHz 오프셋 주파수에서 -116.28 을 갖는 것을 볼 수 있다.

IV. 결 론

본 논문은 한국형 핵융합로의 안정적인 운용을 위해 핵융합로 내의 발생되는 플라즈마의 상태 및 밀도 등을 검출하기 위한 Reflectometry에 적용하기 위한 K-대역 내의 고조파를 이용한 push-push 발진기를 설계하고 제안하였다.

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 장점이 있다.

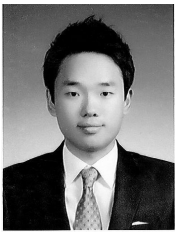
제안된 발진기는 K-band인 20.20 GHz에서 3.1 dBm 의 출력 전력을 얻었으며, 동시에 -23.7 dBc 의 기본파 억압 특성을 보였다. 결과적으로 100 kHz 오프셋 주파수에서 -116 dBc/Hz 라는 우수한 특성을 얻었다.

참 고 문 헌

- [1] V. G. Veselago, "The electrodynamics of Circuit substances with simultaneously negative of ϵ and μ ," Sov. Phys.-Usp., vol. 10, pp. 509-514, 1968.
- [2] J. B. Pendry, "Negative refraction makes lens," Phys. Rev. Lett., vol. 85, pp. 3966-3969, York, 2000.
- [3] R. A. Shelby, D. R. Smith, S. C. Nemat Nasser, and S. Schultz, "Microwave transmission metamaterial," Appl. Phys. Lett., vol. 78, pp. 4184-4187, 2000.
- [4] F. Falcone, T. Lopetegui, 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. Marques, J. D. Baena, F. Martin, J. Bonache, F. J. Falcone, T. Lopetegui, 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. Martin, R. M. Sillero, F. Falcone, T. Lopetegui, M. A. G. Laso, J. G. Garcia, 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] A. S. Hyun, H. S. Kim, and Park, J. H. Kim, J. C. Lee, N. Y. Kim, B. K. Kim, and U. S. Hong, "K-band hair-pin resonator oscillator", IEEE MTT-S Int. Microwave Symposium Digest, vol. pp.725-728, Jun. 1999
- [8] E. Park and C. Seo, "Low Phase Noise Oscillator Using Micro-strip square Open Loop Resonator," IEEE MTT-S Dig., June 2006.
- [9] C. Lee and C. Seo, "Design of Low Phase Noise VCO using Complementary Split-Ring Resonator," APMC2008, Dec 2008.
- [10] 이종민, 서철현, "이중 H자 메타 전자파구조를 이용한 저위상잡음 발진기" 전자공학회 논문지 2010년 2월.

 저 자 소 개



심 우 석(학생회원)
 2012년 2월 숭실대학교 정보통신
 전자공학부 졸업 (공학사)
 2012년 3월~현재 숭실대학교
 전자공학과 석사과정
 <주관심분야 : 초고주파 회로설
 계, RF Power Amplifier, Digital
 RF >

서 철 현(정회원)
 대한전자공학회논문지
 제31권 TC편 6호 참조



이 종 민(학생회원)
 2005년 숭실대학교 정보통신전자
 공학부 졸업 (공학사)
 2005년~2007년 숭실대학교 정보
 통신공학과 석사과정
 2007년 3월~현재 숭실대학교 정
 보통신공학과 박사과정

<주관심분야 : RF Front_End System 및 소자>