

K 대역 Push-Push 유전체 공진기 발진기 설계 및 제작

Design and Fabrication of K Band Push-Push Dielectric Resonator Oscillator

정 재 권 · 박 승 욱* · 김 인 석*

Jae-Kwon Jung · Seung-Wook Park* · Ihn-Seok Kim*

요 약

본 논문에서는 Push-Push FET 유전체 공진기 발진기를 20 GHz에서 설계, 제작하고 출력단에 각각 Wilkinson 전력결합기와 T 접합 전력결합기를 사용하였을 때의 각 결합기의 반사손실과 격리도 특성에 따른 발진기의 출력특성을 조사하여 이들 특성이 출력과 위상잡음 특성에 각각 영향을 주는 것을 설명한다. 기본 주파수 10 GHz를 억제하고 제 2 고조파 주파수를 이용하는 20 GHz Push-Push 발진기는 TE_{010} 모드의 유전체 공진기와 GaAs MESFET를 높이 $H = 20$ mil ($\epsilon_r = 2.52$) 테프론 기판 위에 장착하는 구조로 설계하고 제작하였다. 기본주파수에서 T-접합 전력결합기는 반사손실 -12 dB, 격리도 -3.7 dB 이었고, Wilkinson 전력결합기는 반사손실 -14 dB, 격리도 -11 dB 이었다. 그리고 제 2 고조파 주파수에서 T-접합 전력결합기는 반사손실 -10 dB, 격리도 -7.5 dB 이었고, Wilkinson 전력결합기는 반사손실 -23 dB, 격리도 -22 dB를 보였다. 결과적으로 반사손실과 격리도 특성이 좋은 Wilkinson 전력결합기를 출력단으로 이용한 Push-Push 발진기가 출력전력레벨면이나 위상잡음특성면에서 T-접합 전력결합기를 이용한 발진기보다 우수한 특성을 보이는 것을 확인하였다.

Abstract

Electrical characteristics of two types of 20 GHz Push-Push GaAs MESFET dielectric resonator oscillators having Wilkinson and T-junction power combiners for the output stage have been investigated and compared. So we have explained that the output power and phase noise properties of the Push-push FET DRO are depending on return loss and isolation characteristics of power combiner at the fundamental and the second harmonic frequencies. A Push-push oscillator for suppressing the fundamental frequency of 10 GHz and enhancing the second harmonic of 20 GHz has been designed and fabricated in microstrip configuration on 20 mil thick RT-Duroid ($\epsilon_r = 2.52$) Teflon substrate. Return loss and isolation characteristics of T-junction and Wilkinson have been measured at the fundamental frequency of 10.2 GHz and the second harmonic frequency of 20.5 GHz. At the fundamental frequency, -12 dB return loss and -3.7 dB isolation have been measured for the T-junction power combiner, and -14 dB return loss and -11 dB isolation for the Wilkinson power combiner. At the second harmonic frequency, -10 dB return loss and -7.5 dB isolation have been obtained for the T-junction power combiner, and -23 dB return loss and -22 dB isolation for the Wilkinson power combiner. As a result, we have confirmed that the oscillator based on the Wilkinson power combiner with better return loss and isolation characteristics produces more output power and better phase noise characteristics.

Key words : Push-Push Oscillator, FET DRO, Push-Push FET DRO

(주)팬텍 중앙연구소(Lab. 4, R & D Institute, Pantech Ltd.)

*경희대학교 전자정보학부 전자파공학연구소(EM Wave Eng. Lab., School of Electronics & Information, Kyunghee Univ.)

· 논문 번호 : 20020122-007

· 수정완료일자 : 2002년 7월 15일

I. 서 론

정보통신 시대가 진화되면서 통신 속도가 점차 고속화되고 또한 이용자의 수요도 급속히 증가하는 추세에 있어 많은 정보량을 보낼 수 있는 넓은 대역폭을 확보하기 위해서는 보다 높은 전송 주파수가 필요하다^{[1],[2]}. 따라서 이를 수용할 수 있는 주파수로서 K-band 이상의 주파수대에 대한 관심이 높아지고 있다. 마이크로웨이브 통신 및 레이더 시스템의 핵심 부품 중의 하나인 발진기는 DC 전력을 RF 전력으로 변환시키는 회로이다. 전체 시스템에 있어서 가장 기본적이고 필수적인 부품중의 하나로서, 특히, 시스템의 IF 신호를 만들거나 RF 신호를 변·복조할 때 효율과 안정성 확보에 가장 영향을 크게 미치는 회로이다^[3]. 하지만 K-band 이상에서는 FET를 이용하여 기본 주파수로 발진하는 발진기 제작이 쉽지 않다^[4]. 그러나 동일한 FET 소자를 이용하면서 기본 주파수의 2배 주파수에서 동작하고, 비교적 개발이 용이한 Push-Push 회로기술을 이용하면 FET의 차단주파수 특성한계를 극복할 수 있어 K-band에서의 발진기 설계와 제작이 가능하였다^{[4]~[9]}. 그리고 Push-Push 발진기는 비교적 높은 출력전력 및 낮은 위상잡음특성을 제공하여 많은 시스템에서 사용되고 있다^[8]. 그러나 문헌에 나타난 Push-Push 발진기는 모두 같은 회로 구성을 하고 있지만^{[4]~[9]}, 출력회로를 T-junction 전력결합기를 채택한 논문^{[4],[5]}, Wilkinson 전력결합기를 채택한 논문^{[6],[7]}, 그리고 Rat Race를 채택한 논문^[9]들이 발표되었다. 그래서 본 연구에서는 출력단자에 T-junction과 Wilkinson 전력결합기를 출력회로로 구성하여 이들 전력결합기들의 전기적 특성이 Push-push 발진회로에 어떻게 영향을 미치는지 알아보기 위해 각각의 전력결합기를 채택한 두 개의 20 GHz Push-Push FET DRO를 설계 및 제작하였다. 안정화된 발진기를 제작하기 위하여 유전체 공진기를 사용하였으며 가격이 저렴하고 위상잡음 특성이 좋은 GaAs MESFET를 사용하였다^[14].

II. 발진기 설계

2-1 발진기 이론

초고주파 발진기는 능동소자의 불안정한 특성을 이용하여 DC 전력을 초고주파수대의 전력으로 변환시키는 회로로써, 통신이나 레이더 시스템에서 가장 기본적이며 필수적인 소자 중의 하나이다. 일반적으로 발진기는 다이오드나 트랜지스터와 같은 능동소자를 수동소자와 결합하여 안정된 RF 신호를 만들기 위해 설계된다. 초기 발진은 과도현상 또는 노이즈에 의해 시작되며, 발진출력은 점점 성장하여 정상상태에 이르러 안정된 정현파가 형성된다. 이러한 과정에서 능동소자의 비선형성이 요구되며, 추가로 능동소자는 RF 전력을 생성하기 위해서는 부정저항을 반드시 가져야 한다^{[5],[7]}. 트랜지스터를 이용한 발진기는 해석에 있어 증폭기와 매우 유사하다. 트랜지스터는 단자가 세 개이지만 한 단자는 입력과 출력에 공통으로 이용되므로 2-단자망으로 보고 해석하면 편리하다. 그림 1은 2-단자망 발진기 모델을 보이고 있는데 입력 정합회로와 출력 정합회로로 나뉜다. 입력 정합회로는 발진이 시작되기 위해 $|\Gamma_{out}| > 1$ 이 되도록 해주며 공진기에 의해서 발진 주파수가 결정된다. 출력 정합회로는 부하에 전달되는 전력의 크기를 결정해 준다.

능동소자를 포함한 2-단자망 해석에서 반사계수와 안정화 계수를 이용한 발진조건을 표시하면 다음과 같다.

$$\Gamma_{in} \Gamma_G = 1 \tag{1}$$

$$\Gamma_{out} \Gamma_L = 1 \tag{2}$$

$$K = \frac{1 + |\Delta| - |S_{11}|^2 - |S_{22}|^2}{2|S_{12}S_{21}|} < 1 \tag{3}$$

여기서 $\Delta = S_{11}S_{22} - S_{12}S_{21}$ 이다.

식 (3)에서 K는 안정화 계수로서, 발진을 하기 위

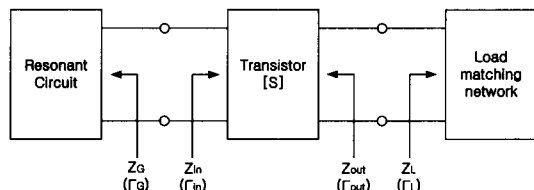


그림 1. 2-단자망 발진기 모델

Fig. 1. Two-port oscillator circuit model.

해서 발진 주파수는 소자의 불안정한 영역에 있어야 하므로 안정화 계수는 1 보다 작아야 한다. 발진기 회로를 설계할 때는 설정 주파수에서 불안정한 특성을 갖는 소자를 초기에 선택하여 사용해야 한다. 그렇지 않으면 공통 단자에 부품을 첨가하여 특성을 변화시켜 불안정하게 만들어 주거나 출력의 일부를 정제환시켜 주어야 한다.

2-2 유전체 공진기

유전체 공진기는 초고주파 공진기로서 디스크 형태의 간단한 구조이다. 유전물질로는 전형적으로 30~40 정도의 높은 상대유전율의 유전체를 사용한다. 따라서 이러한 형태의 공진기는 유전체와 자유공간 사이 경계에서의 파의 내부 반사를 통해서 전자기 에너지를 함유하게 된다. 이러한 유전체 공진기는 작은 크기, 가벼운 무게, 높은 Q(Quality Factor)를 가지기 때문에 MIC(Microwave Integrated Circuit)의 발진기에서 특별한 가치가 있는 것이다. 최근 상용으로 출시되는 유전체는 뛰어난 온도 안정성을 가지므로 폭넓은 범위의 온도에서 유전체 공진기가 사용되어질 수 있다. 유전체 공진기를 이용한 발진기를 설계함에 있어서 공진기는 대역저지 필터로서 높은 Q값의 특성을 갖는 형태로 설계되어야 한다. 이 때 공진기의 Q 값으로 모의실험에 필요한 모델을 규정지을 수 있다.

공진기와 마이크로스트립 선로와 결합은 자기 쌍극자(Magnetic Dipole) 모멘트 M에 의해서 근사화

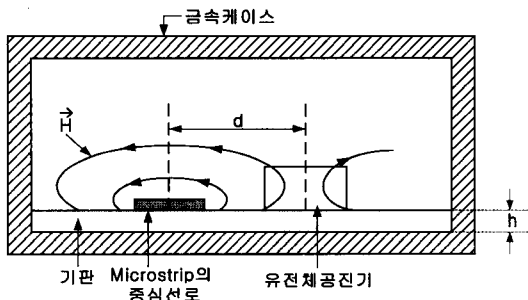


그림 2. 마이크로스트립 선로와 유전체 공진기 사이의 결합

Fig. 2. Coupling between microstrip line and dielectric resonator.

될 수 있다. 선로와 공진기 사이의 결합은 마이크로스트립의 축방향 평면에 수직으로 존재하는 공진기의 자기 모멘트에 기인해 발생하는 것이다. 그래서 공진기의 자기장은 마이크로스트립 선로를 감싸는 형태를 취하게 되는 것이다. 이는 그림 2에 나타내었다. 마이크로스트립 선로의 근처에 위치한 유전체 공진기는 공진 주파수의 RF 신호를 FET로 반사하는 병렬공진회로로 동작한다.

그림 3은 마이크로스트립 선로와 유전체 공진기의 결합구조를 R_r, L_r, C_r 의 등가회로로 나타낸 것이다. L_m 은 자기적 결합을, L_1 은 마이크로스트립 선로의 인덕턴스 성분을 의미한다.

그림 3의 등가회로에서 전송선로와 결합된 공진기의 총 임피던스 Z_t 는 다음과 같다.

$$Z_t = j\omega L_1 + \frac{\omega^2 L_m^2}{R_r + j\omega(L_r - 1/\omega^2 C_r)} \quad (4)$$

공진 주파수 근처에서 공진기의 총 임피던스 Z_t 는 다음과 같이 근사화 될 수 있다.

$$Z_t = R = \omega Q_0 \frac{L_m^2}{L_r} \quad (5)$$

식 (5)에 의해서 그림 3의 등가회로를 그림 4와 같이 병렬 공진회로를 공진회로내에 직렬연결로 다시 나타내면 다음과 같이 R, L, C로 표현이 가능하다.

$$R = \omega Q_0 \frac{L_m^2}{L_r} \quad (6)$$

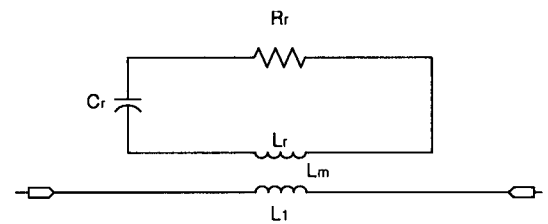


그림 3. 마이크로스트립 선로와 유전체 공진기의 결합구조에 대한 등가회로

Fig. 3. Equivalent circuit for the coupling between microstrip line and dielectric resonator.

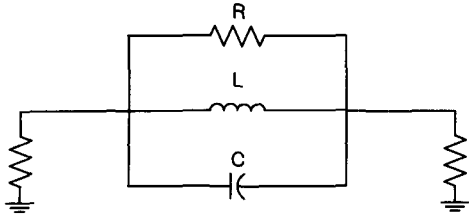


그림 4. 결합구조에 대한 수정된 병렬 공진회로의 등가회로

Fig. 4. Modified equivalent circuit of the parallel resonant circuit for coupling structure.

$$L = \frac{L_m^2}{L_r} \quad (7)$$

$$C = \frac{L_r}{\omega_0^2 L_m^2} \quad (8)$$

공진 주파수에서의 결합계수 β 는 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$\beta = \frac{Z(\omega_0)}{R_{ext}} = \frac{R}{R_{ext}} = \frac{R}{2Z_0} = \frac{\omega_0 Q_0}{2Z_0} \frac{L_m^2}{L_r} \quad (9)$$

식 (9)에서 $R = 2\beta Z_0$ 이고, 공진기의 측정에 의해서 무부하 Q 를 얻을 수 있으므로 다음의 식을 얻을 수 있다.

$$\frac{L_m^2}{L_r} = \frac{R}{\omega_0 Q_0} \quad (10)$$

따라서, 식 (6)부터 식 (8)까지를 다시 정리해 보면 다음과 같이 된다.

$$R = 2\beta Z_0 \quad (11)$$

$$L = \frac{L_m^2}{L_r} = \frac{R}{2\pi f_0 Q_0} \quad (12)$$

$$C = \frac{L_r^2}{\omega_0^2 L_m^2} = \frac{Q_0}{2\pi f_0 R} \quad (13)$$

이와 같은 방법으로 마이크로스트립 선로와 결합된 유전체 공진기를 모델링 할 수 있다^{[8],[16]}.

2-3 Push-push 유전체 공진기 발진기 설계

Push-Push 발진기에 대한 설계는 원하는 발진 주파수의 1/2 주파수에서 동작하는 단일 FET 발진기

의 설계로부터 시작된다. 게이트와 소스회로는 원하는 발진 주파수의 1/2 주파수에서 동작하는 단일 FET 발진기의 설계방식에 따르나, 출력회로는 반드시 기본 주파수의 2차 고조파 주파수에서 최대 출력을 가지며, 기본 발진 주파수 성분이 최대한 억압되도록 설계되어야 한다^{[4],[6]~[8]}.

그림 5와 그림 6은 본 논문에서 설계하고자 하는 Push-Push 발진기의 출력단에 각각 T-접합 전력결합기와 Wilkinson 전력결합기를 채택한 회로구성도이다. 즉, 같은 구조의 Push-Push 발진기에 다른 종류의 출력 전력 결합기를 연결한 회로구성이다.

그림 7은 각각의 FET 게이트 단에서 유도되는 전류의 180° 위상차를 발생시키는 유전체 공진기의 역할을 설명해 준다^[4]. 이러한 위상차는 기수차 모드의 출력을 상쇄시키며 우수차 모드의 출력을 합치게 하는 발진 주파수 성분의 위상기준이 된다. 따라서, Push-Push 발진기에 대한 설계는 단일 발진기 설계 방법과는 다른 조건 (그림 5와 그림 6과 같이

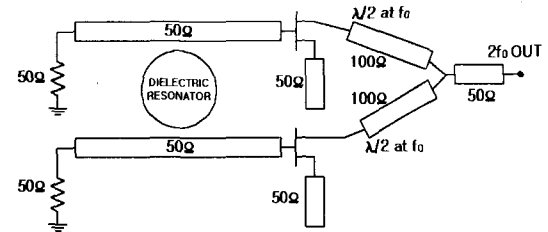


그림 5. T형 접합 전력결합기를 이용한 Push-Push 발진기의 구성도

Fig. 5. Push-push oscillator structure using T-junction power combiner.

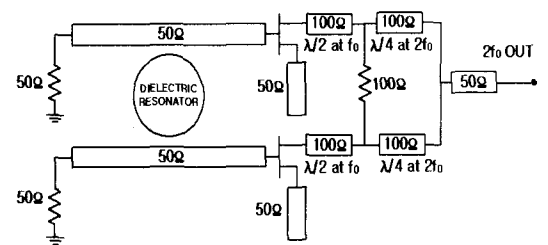


그림 6. Wilkinson 전력결합기를 이용한 Push-Push 발진기의 구성도

Fig. 6. Push-push oscillator structure using Wilkinson power combiner.

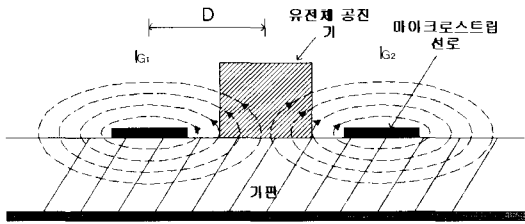


그림 7. 180° 위상차를 보이는 게이트 전류
Fig. 7. Gate current showing 180° phase difference.

전체적인 발진기의 회로를 이용하여)에서 발진조건을 구한다. 이 때 발진조건이 동시에 만족되면 기본 주파수(10 GHz)에서 두 개의 FET출력은 위상이 반전되어 발진을 하게 된다.

Push-Push 발진기 제작을 위해 유전체 공진기는 Murata사의 DRD051 UE022를 사용하였다. 유전체 공진기는 기생(spurious) 모드 발생을 억제하기 위해서 원통형 구조의 공진기를 선택하였다. 선택한 유전체 공진기의 크기 및 특성은 표 1과 같다.

기판은 $\epsilon_r = 2.5$, 높이 $H = 0.54$ mm, 동박두께 $T = 0.018$ mm인 Teflon기판을 사용하였으며 유전체 공진기와 마이크로스트립 선로의 간격 D 로 원하는 주파수에서 결합에 필요한 파라미터를 조정한다. 간격 D 는 유전체 공진기가 마이크로스트립 선로와 인접하도록 하였다.

유전체 공진기의 등가 파라미터 값은 간격 D 에 따른 결합계수(β)와 부하 Q 값을 실제 측정하여 그 값을 이용하여 10 GHz에 맞도록 설계하였다. 그림 8은 유전체 공진기의 등가회로를 해석하여 공진 특성을 시뮬레이션한 결과이며, 기본 주파수 10 GHz에서 약 -0.7 dB의 반사 선택도를 나타내었다.

표 1. 유전체 공진기의 크기 및 특성

Table 1. The physical and electronic property of the dielectric resonator.

직경 D_r (mm)	5.06
높이 L_r (mm)	2.24
ϵ_r	38
주파수대역	10.54 ~ 11.45
Q (at 10 GHz)	4424

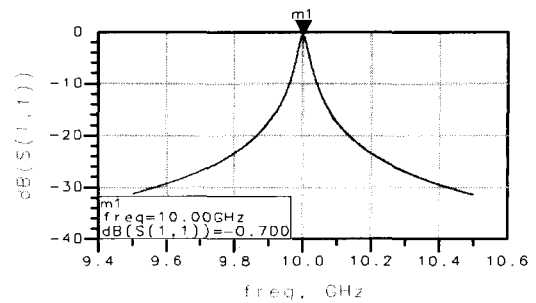


그림 8. 유전체 공진기의 주파수에 따른 반사 선택도(S_{11})

Fig. 8. Reflection characteristic with respect to frequency of the dielectric resonator.

본 논문에서는 Push-Push 발진기 제작을 위해 능동소자로써 HP사의 ATF-13786(GaAs MESFET)를 이용하였으며, 발진기 설계를 위해 필요한 능동소자의 대신호 모델은 비선형 설계도구인 ADS에 포함된 Library에서 지원하는 비선형 모델을 이용하였다.

ATF-13786의 DC 특성 곡선 상에서 바이어스점 중 본 논문에서는 $V_{GS} = -0.5$ V, $V_{DD} = 5$ V, $I_D = 35$ mA의 Self 바이어스를 선택하였고 회로구성은 그림 9와 같이 하였다^{[8],[13]}.

Bias 회로는 원하는 DC 전력을 FET에 전달하여 트랜지스터가 원하는 바이어스 동작점에서 동작하도록 하고, RF 신호가 DC 경로로 흘러 나가는 것을 막아야 한다. 따라서, 발진하는 주파수의 신호가 바이어스 회로로 누설되는 것을 막기 위해서 $\lambda_g/4$

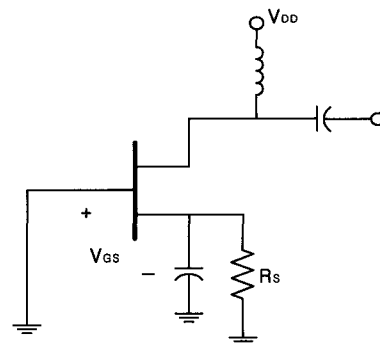


그림 9. Self 바이어스 회로 구성
Fig. 9. Circuit showing self bias.

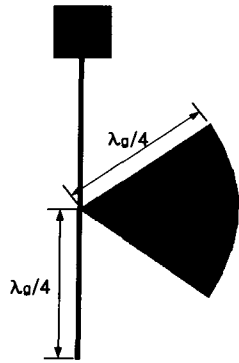


그림 10. 마이크로 스트립 라인으로 제작된 바이어스 회로

Fig. 10. Bias circuit realized in microstrip form.

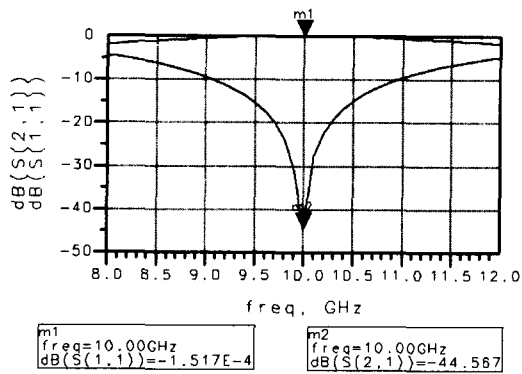


그림 11. 바이어스 회로의 주파수 응답

Fig. 11. Radio frequency response of bias circuit.

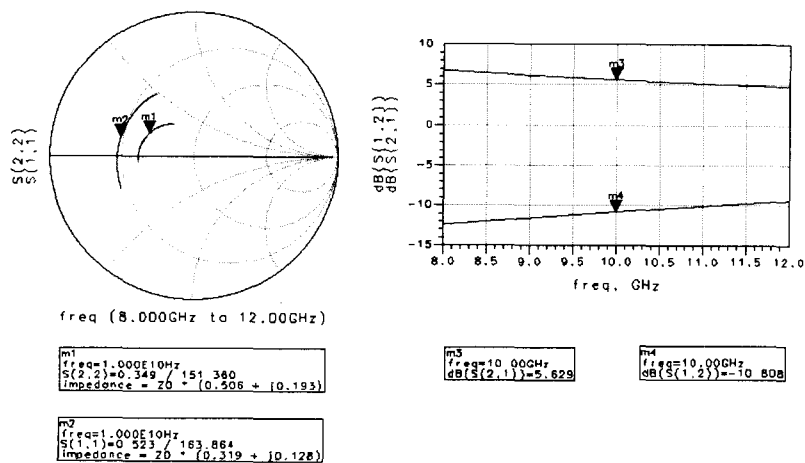


그림 12. 직렬-궤환 이전의 S-Parameters

Fig. 12. S-parameters before adding series feedback circuit.

Radial Stub를 이용하였다^[15]. 이러한 Stub 형태의 바이어스 회로는 그림 10에 나타내었으며, 그림 11은 바이어스 회로의 입출력간 RF 주파수의 S-파라미터 특성을 시뮬레이션한 결과이다. 중심 주파수에서 S_{21} 특성이 -40 dB보다 적은 것을 볼 수 있다.

본 논문에서 구성된 발진기의 형태는 회로구성이 간단하고 부하 변동에 따른 주파수 변화와 출력 변화가 적은 소스 직렬 궤환형으로 설계하였다^[10].

직렬-궤환회로의 설계를 위해 비선형 모델을 사용하여 구한 동작점에서의 FET의 S-parameter는 그림 12와 같고 이를 10 GHz에서 구하면 다음과 같음을 알 수 있다.

$$S_{11} = 0.523 \angle 163.864$$

$$S_{12} = 0.288 \angle -86.317$$

$$S_{21} = 1.912 \angle -70.611$$

$$S_{22} = 0.349 \angle 150.360$$

이 때의 S-parameter로 볼 때 FET는 불안정 영역에 존재하지 않으므로 불안정성을 갖도록 하기 위해 소오스단에 궤환회로를 연결하여 불안정성을 갖도록 한다.

위의 산란행렬에 의해 S_{11} , S_{22} 를 최대로 하는 궤환회로를 설계하였다. 궤환회로를 첨가한 후 FET의

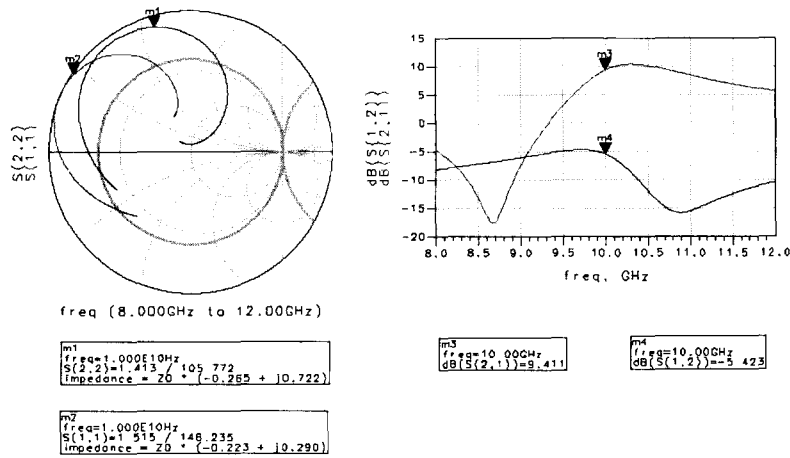


그림 13. 직렬-폐환 회로를 첨가한 후 S-Parameters
Fig. 13. S-Parameters after adding series feedback circuit.

S-parameter는 그림 13과 같고 10 GHz에서는 다음과 같이 되었다.

$$S_{11} = 1.542 \angle 155.329$$

$$S_{12} = 0.584 \angle -127.102$$

$$S_{21} = 2.509 \angle 13.147$$

$$S_{22} = 1.465 \angle 116.878$$

결과적으로 $|S_{11}|$, $|S_{22}|$ 의 크기는 1보다 크고 S_{21} 도 충분한 이득을 가지도록 GaAs MESFET를 불안정한 영역에 위치시켰다.

위와 같이 발진조건이 만족되면 기본 주파수(10 GHz)에서 두 개의 FET 회로는 발진을 하게 된다.

그림 14와 그림 15는 위와 같은 과정을 통하여 구현한 T-접합 전력결합기와 Wilkinson 전력결합기를 출력단으로 이용한 두 개의 Push-Push FET 유전체 공진기 발진기의 회로구조를 나타내고 있다. L_1 , L_2 , L_3 의 길이를 조절하여 초기 발진조건을 만족하도록 할 수 있다. L_3 는 충분한 부성저항을 얻을 수 있도록 개방스터브를 이용하여 정합하였으며 공진부의 A-A'면에서 최대의 자기적 결합이 일어나도록 L_1 과 L_2 를 조절하였다. 즉, FET의 게이트 단을 바라본 반사계수가 최대가 되도록 L_3 를 최적화하고, 공진기의 결합선로 길이 L_1 과 L_2 를 조

절함으로써 발진 주파수를 쉽게 조절할 수 있도록 부성저항 대역폭을 충분히 넓게 설계하였다.

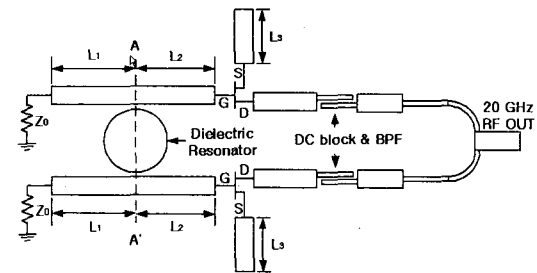


그림 14. T 접합 전력결합기를 이용한 Push-Push 유전체 공진기 발진기의 구조
Fig. 14. Push-push oscillator circuit using T-junction power combiner.

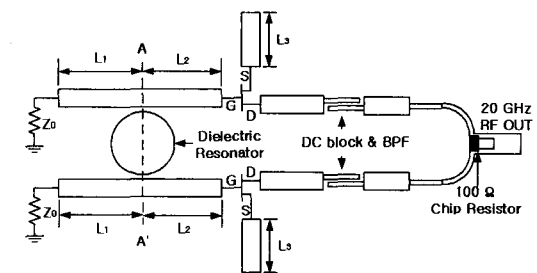


그림 15. Wilkinson 전력결합기를 이용한 Push-Push 유전체 공진기 발진기의 구조
Fig. 15. Push-push oscillator structure using Wilkinson power combiner.

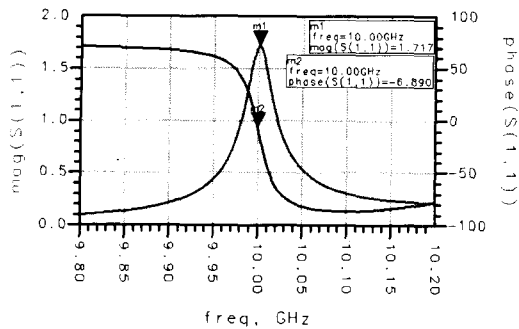


그림 16. 발진 가능성을 예측하기 위한 S_{11} 특성 시뮬레이션 결과

Fig. 16. Simulation results to predict S_{11} characteristics.

그림 16은 Push-Push 유전체 공진기 발진기에서 발진 가능성을 예측하기 위한 $Mag(S_{11})$ 와 $Phase(S_{11})$ 의 시뮬레이션 결과를 보이고 있다. 이들은 발진조건을 나타내는 변수이다. 본 논문에서 1.717의 $Mag(S_{11})$ 과 -6.89 의 $Phase(S_{11})$ 을 본 논문의 발진기를 위해 선택하였다. 이 값들은 초기 발진조건을 만족하는 설계결과임을 확인할 수 있었다.

발진기를 초기 설계한 후 Harmonic Balance 기법을 이용한 비선형 해석을 통해 기본 주파수와 고조파 출력특성을 해석하였다. 그림 17은 20 GHz Push-push 발진기의 시뮬레이션 결과로서 첫 번째 3개의 고조파 성분의 전력레벨특성을 보여주고 있다.

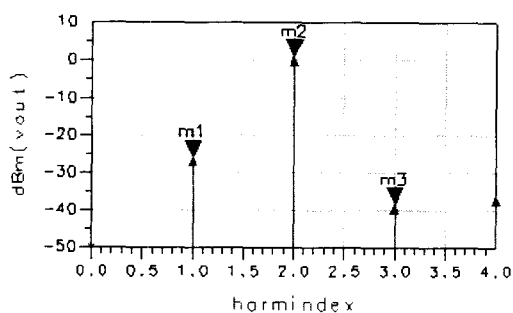


그림 17. 발진기의 첫 번째 3개의 고조파 성분을 보이는 스펙트럼 시뮬레이션 결과

Fig. 17. Spectrums showing the first three harmonic components of the Push-Push Oscillator(Simulation result).

Ⅲ. 측정 결과

본 논문에서는 HP사의 ATF-13786(GaAs MES-FET)와 $\epsilon_r = 38$ 인 Murata사의 DRD051UE022의 유전체 공진기를 $\epsilon_r = 2.5$, 높이 $H = 0.54$ mm, 동박 두께 $T = 0.018$ mm인 Teflon기판 상에 장착하여 발진기 회로를 구성하고 실현하였다. 그림 18과 그림 19는 실제 제작된 발진기의 실물 사진들인데, 각각 출력단에 T-접합전력결합기 그리고 Wilkinson 전력결합기를 채택한 Push-Push FET DRO들이다.

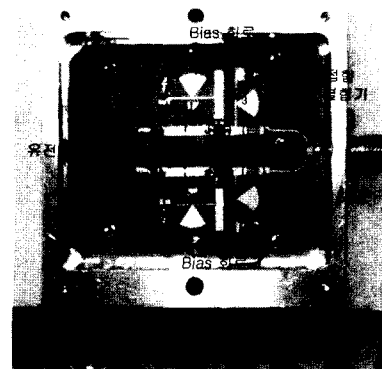


그림 18. T 접합 전력결합기를 이용한 발진기의 제작된 실물 사진

Fig. 18. Photograph of the oscillator using T-junction power combiner.

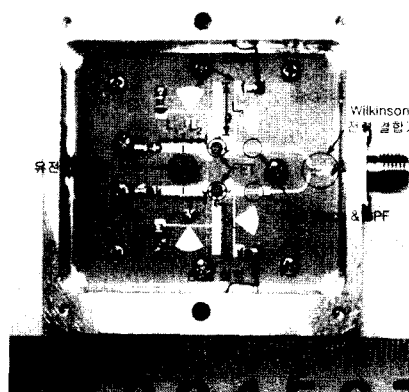


그림 19. Wilkinson 전력결합기를 이용한 발진기의 제작된 실물 사진

Fig. 19. Photograph of the oscillator using Wilkinson power combiner.

그림 20과 그림 21은 각각의 발진기의 출력신호 중 측정된 첫 번째 3개의 고조파 성분을 보여주는 그림이다. 이 그림에서 출력 전력은 20 GHz에서 각각 -1.17 dBm과 5.67 dBm이며 기본 주파수 억압

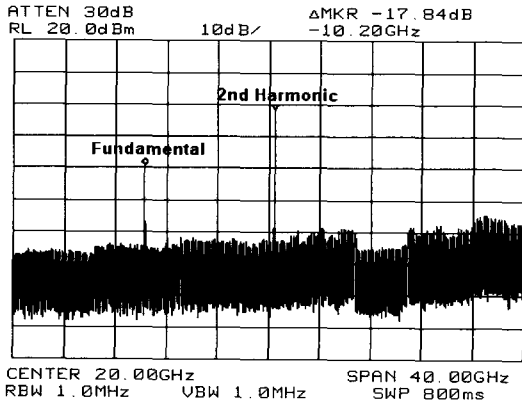


그림 20. T 접합 결합기를 이용한 발진기에서 발생하는 첫 번째 3개의 고조파성분을 보이는 RF 전력 스펙트럼의 측정 결과

Fig. 20. RF spectrums showing the first three harmonic components of the Push-push oscillator using T-junction power combiner.

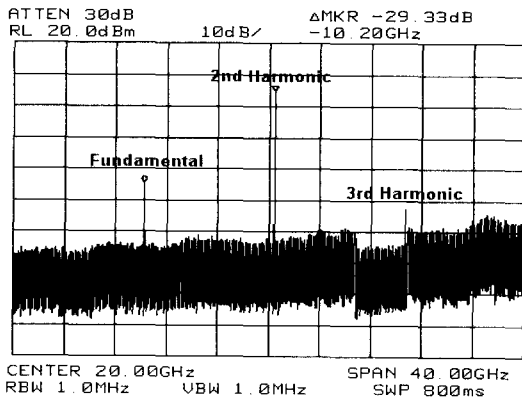


그림 21. Wilkinson 전력 결합기를 이용한 발진기에서 발생하는 첫 번째 3개의 고조파성분을 보이는 RF 전력 스펙트럼 측정 결과

Fig. 21. RF spectrums showing the first three harmonic components of the Push-push oscillator using Wilkinson power combiner.

특성은 각각 -17.84 dBc와 -29.33 dBc이상의 특성을 나타내고 있다. 그림 22와 그림 23은 100 kHz Offset에서 측정된 위상 잡음 특성으로써 각각 -102.2 dBc/Hz와 -105.5 dBc/Hz를 보여주고 있다.

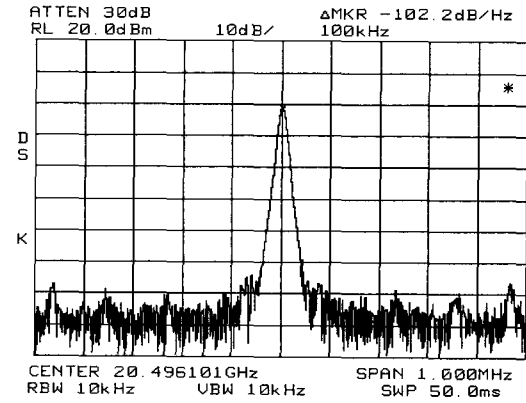


그림 22. T 접합 전력결합기를 이용한 발진기의 위상잡음특성

Fig. 22. Phase noise characteristic of the Push-push oscillator using T-junction power combiner.

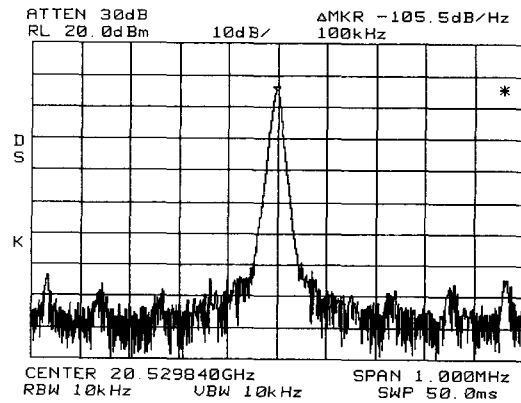


그림 23. Wilkinson 전력 결합기를 이용한 발진기의 위상잡음특성

Fig. 23. Phase noise characteristic of the Push-push oscillator using Wilkinson power combiner.

IV. 결 론

본 논문에서는 Murata사의 유전체 공진기와 HP

사의 ATF-13786 (GaAs MESFET)을 이용하여 20 GHz의 Push-push FET DRO를 설계 및 제작하였으며, 또한 발진기 출력단에 이용되는 전력 결합기를 T 접합 전력 결합기와 Wilkinson 전력 결합기를 이용하여 각각의 출력 전력레벨과 위상잡음 특성을 측정하여 그 결과를 표 2에 비교해서 나타내었다. 제작된 두 종류의 발진기는 20.5 GHz에서 각각 출력 전력 -1.17 dBm과 5.67 dBm을 나타내었다. 기본 주파수 억압 특성은 각각 -17.84 dBc와 -29.33 dBc 이하의 특성을 나타내었다. 그리고 측정된 위상잡음 특성은 각각 -102.2 dBc/Hz @100 kHz와 -105.5 dBc/Hz @100 kHz이었다. 결과적으로 Wilkinson 전력 결합기를 이용한 발진기의 특성이 T 접합을 이용한 경우보다 6.5 dB 이상 높은 출력전력, 3 dB 이상의 개선된 위상잡음 특성, 12 dB 이상의 개선된 기본 주파수 억압특성을 보여주고 있다.

표 3은 본 논문에서 사용된 두 종류의 전력결합기의 반사특성과 격리도 특성을 비교하여 나타내고 있다. Wilkinson 전력결합기는 T-접합 전력결합기보

표 2. 2개의 다른 종류의 전력 결합기를 채택한 발진기 특성 비교

Table 2. Comparison of the oscillator characteristics adopting two different power combiners.

	T 접합 전력 결합기를 이용한 발진기	Wilkinson 전력 결합기를 이용한 발진기
출력 (dBm)	-1.17	5.67
위상잡음특성 (dBc/Hz @100 kHz)	-102.2	-105.5
기본 주파수 억압특성(dBc)	-17.84	-29.33

표 3. 전력결합기의 특성 비교

Table 3. Comparison of power combiner characteristics.

전력결합기의 종류	반사손실 특성		격리도	
	기본주파수 (10.2 GHz)	2 차 고조파 주파수 (20.5 GHz)	기본주파수 (10.2 GHz)	2 차 고조파 주파수 (20.5 GHz)
T 접합 전력 결합기	-12	-10	-3.7	-7.5
Wilkinson 전력 결합기	-14	-23	-11	-22

표 4. 발표된 Push-Push 발진기와의 비교

Table 4. Comparison with the other oscillators.

	주파수 (GHz)	출력전력 [dBm]	위상잡음 [dBc/Hz] @100 kHz	기본주파수 억압 [dBc]
본 논문	20	5.67	-105.5	-29.33
Sinnesbichler [7]	58	1	-83	-17
Sinnesbichler [8]	38	-11.5	-80	-11
An-Sun [5]	18	-1.67	-90	-22.17

다 제 2 고조파 주파수에서 13 dB 이상 반사손실 특성이 좋고 격리도 특성이 14.5 dB 이상 좋은 것을 볼 때 제 2 고조파 주파수에서 이들의 특성에 의해 Push-Push FET DRO의 출력전력레벨과 위상잡음특성이 향상되는 것을 정성적으로 알 수 있지만, 기본파 주파수에서 반사손실과 격리도 특성도 Wilkinson 전력결합기가 T-접합 전력결합기보다 좋으므로 이들의 영향도 포함하여 결론을 내려야 할 것으로 생각된다. 앞으로 기본파 주파수와 제 2 고조파 주파수에서의 전력결합기의 반사손실과 격리도 특성이 Push-Push FET DRO에 어떤 영향을 미치는지를 자세히 연구할 계획이다.

표 4는 이미 발표된 Push-Push 발진기와 특성을 비교한 것이다. 이 표에서 18 GHz를 출력하는 [5]의 경우보다 본 연구가 20 GHz에서 6 dB 이상 출력레벨을 향상시킨 것을 볼 수 있다. 위상잡음의 경우, 15.5 dBc와 기본 주파수 억압특성도 약 7 dB 이상 개선시킨 것을 볼 수 있다. 참고문헌 [7]과 [8]의 경우는 발진 주파수가 본 연구와 달라 직접적인 비교가 될 수 없는 점을 밝힌다.

참 고 문 헌

- [1] M. K. Nazami, "Evaluate the Impact of Phase Noise on Receiver Performance", *Microwave & RF*, pp. 165-172, May 1998.
- [2] R. L. Howald, S. Kesler and M. Kam, "BER Performance Analysis of OFDM-QAM in Phase Noise", *Proc. Int. Conference on Information Theory*, pp. 256, Aug. 1998.
- [3] H. Suwaki, T. Nakagawa and T. Ohira, "An MMIC Local Oscillator for 16-QAM Digital Microwave Radio Systems", *IEEE Trans. on Microwave Theory and Tech.*, vol. 43, no. 6, pp. 1230-1235, June 1995.
- [4] A. M. Pavio and M. A. Smith, "A 20~40 GHz Push-Push Dielectric Resonator Oscillator", *IEEE Trans. on Microwave Theory and Tech.*, vol. MTT-33, no. 12, pp. 1346-1349, December 1985.
- [5] A. S. Hyun, et al, "K-Band Hair-pin Resonator Oscillator", *IEEE MTT-S Dig.*, pp. 725-728, 1999.
- [6] C. M. Liu and C. Y. Ho, "On the Design of a Voltage-Tuned Push-Push Dielectric Resonator Oscillator", *Microwave Journal*, vol. 33, no. 6, pp. 165-174, June 1990.
- [7] F. X. Sinnesbichler, et al, "A 38-GHz Push-Push Oscillator based on 25-GHz f_T BJT's", *IEEE Microwave Guided Wave Lett.*, vol. 9, pp. 151-153, April 1999.
- [8] E. Holzman, *Solid-state Microwave Power Oscillator Design*, Artech House, 1992.
- [9] F. X. Sinnesbichler, et al, "Low Phase Noise 58 GHz SiGe HBT Push-Push Oscillator with Simultaneous 29 GHz Output", *IEEE MTT-S Dig.*, pp. 35-38, 2001.
- [10] P. G. Wilson and R. D. Carver, "An Easy-to-Use FET DRO Design Procedure Suited to Most CAD Programs", *IEEE Trans. on Microwave Theory and Tech.*, pp. 1033-1036, 1989.
- [11] I. Bahl and P. Bhartla, *Microwave Solid State Circuit Design*, Wiley-Inter Science Pub., chap. 9, 1998.
- [12] S. Qi and K. Wu, "Hybrid Integrated HEMT Oscillator with a Multiple-Ring Nonradiative Dielectric(NRD) Resonator Feedback Circuit", *IEEE Trans. on Microwave Theory and Tech.*, vol. MTT-46, pp. 1552-1558, October 1998.
- [13] R. Soarse, *GaAs MESFET circuit design*, Artech House, 1998.
- [14] California Eastern Laboratories, "Application of Microwave GaAs FETs", *AN82901-1, Application Note*.
- [15] F. Giannini, R. Sorrentino and J. Vrba, "Planer Circuit Analysis of Microwave Radial Stub", *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. MTT-32, no. 12, pp. 1652-1655, Dec. 1984.
- [16] D. Kajfez and P. Guillon, *Dielectric Resonators*, NOBLE Publishing Corporation, 1998.

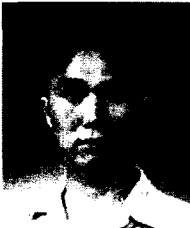
정 재 권



1999년 2월: 경희대학교 전파공학과 (공학사)
1999년 8월: 경희대학교 전파공학과 (공학석사)
1999년 8월~현재: (주)팬택 중앙연구소 연구 4실

[주 관심분야] 초고주파 발진기, GSM & GPRS 단말기

박 승 욱



2000년 2월: 경희대학교 물리학과 (이학사)
2001년 3월~현재: 경희대학교 전파공학과 석사과정
[주 관심분야] 초고주파 발진기, 초고주파 필터

김 인 석



1974년 2월: 경희대학교 전파공학과 (공학사)
1984년 2월: Univ. of Ottawa 전기공학과 (공학석사)
1990년 10월: Univ. of Ottawa 전기공학과 (공학박사)
1973년 10월~1980년 8월: 한국방

송공사(KBS) 기술사원
1983년 2월~1983년 12월: Com Dev Ltd, Div of Satellite System, Technical Staff(Canada)
1984년 1월~1985년 8월: General Instrument of Canada, Div. of Satellite System, Senior Engineer
1990년 10월~1991년 2월: Canadian Space Agency David Florida Lab., Research Scientist
1991년 2월~1992년 2월: 한국이동통신(주) 기술개발부장
1999년 3월~2000년 2월: ETRI(초빙연구원), 스위스 연방공과대학(ETH:방문교수)
1992년 3월~현재: 경희대학교 전파공학과 교수
2000년 1월~현재: IEEE Trans. MTT 편집위원
2002년 1월~현재: IEEE Microwave and Wireless Components Letters 편집위원
[주 관심분야] FDTD & TLM 방법, 초고주파 수동소자 및 구조해석, 비선형 마이크로파 회로(혼합기, 발진기 등) 연구, 레이더 응용기술