

낮은 위상 잡음 특성을 갖는 SRD를 이용한 C-Band용 주파수 체배기 설계 및 제작에 관한 연구

김진섭(金鎭變)[°], 강원석(姜元碩)*, 권성수(權成洙)*
김용석(金容奭)*, 나극환(羅克換)*
광운대학교 전자공학과*
E-mail : sub812@hanmail.net

A study on the Design and Fabrication of C-band Frequency Multiplier using SRD with low phase noise characteristic

Jin-Sub Kim[°], Won-Seok Kang*, Sung-Su Kwoun*,
Young-Seok Kim*, Keuk-Hwan Ra*
Department of Electronics Engineering Kwangwoon University

요약

본 논문에서는 C-band용 주파수체배기를 위상잡음 특성이 우수한 SRD를 이용하여 설계, 제작하였다. 1.13GHz의 신호를 체배기에 인가하여 5체배함으로써 5.65GHz대 신호를 얻는 방법을 이용하였다. 또한 원하는 5체배 신호만을 얻기위해서 출력단에 사용되는 대역통과 필터를 기존에 많이 사용되는 Coupled Line 필터 대신에 Microstrip Ring 공진 필터를 사용하는 방식을 이용하였다.

I. 서론

이동통신시스템에서 높은 안정도와 저잡음의 원하는 주파수를 생성하는 것은 여러 가지 응용분야들에 있어서 매우 중요한 일이다. 높은 주파수 신호는 그보다 낮은 주파수로 부터의 고조파를 생성함으로써 얻는 것이 일반적이다. 이러한 입력신호는 크리스탈 발진기와 같은 매우 안정적인 신호원을 사용한다. 이런면에서 주파수체배기는 고조파생성 과정을 실현시키는 소자라고 할 수 있다. 보통 이런 종류의 회로들은 어떤 신호로 부터의 체배를 얻기 위해 사용되는 소자의 비선형 특성을 사용한다. 원하는 주파수 성분은 그에 맞는 필터를 거침으로써 선택되어진다. 주파수 체배는 두가지 종류의 소자들로써 얻을 수 있는데 능동소자와 수동소자로 나눌 수 있다. 본 논문에서 다루는 것은 수동소자를 이용한 주파수 체

배기를 다룰 것이다. 수동소자를 이용한 체배기에도 두가지가 있는데 Reactive 주파수 체배기와 Resistive 주파수 체배기가 있다. Reactive 주파수 체배기의 특징을 살펴보면 협대역의 주파수에서만 사용되는 제한이 있다. 그에 대한 가장 큰 이유는 Reactance가 주파수와 밀접한 관계가 있기 때문이다. 결론적으로 정합을 시키는 과정에 있어서 하나의 주파수에 대한 정합이 가장 효과적이라고 볼 수 있다. 이러한 Reactive 주파수 체배기에서 사용되는 수동 소자로는 Varactor diode 와 SRD(Step Recovery Diode)가 있다. SRD는 Varactor Diode와 비교했을 때 더 강한 비선형 특성을 갖는 Capacitance성분을 갖고 있는 특징이 있다고 할 수 있다. 이런 점에서 SRD 주파수 체배기가 더 높은 고조파 성분을 얻는데 많이 사용된다.

II. 본론

2-1. SRD(Step Recovery Diode)의 특성

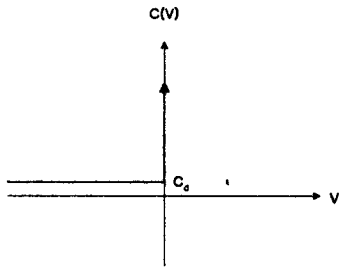


그림.1 이상적인 SRD의 C/V특성

그림.1 은 이상적인 SRD에서의 C/V특성 그래프를 나타낸 것이다. 그림.1 에서와 같이 이상적인 SRD의 경우 역방향 전압에서는 일정한 Capacitance를 갖고, 순방향 전압에서는 무한대의 Capacitance를 갖는 특징이 있다. 이러한 SRD의 비선형성을 이용하여 입력신호의 한주기에 따라 펄스를 발생시키므로 다른 Diode보다도 더 높은 주파수를 얻는데 유용하게 사용되어진다.

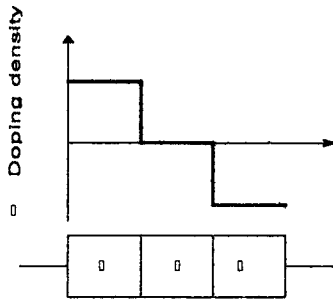


그림.2 이상적인 SRD의 Doping profile

그림.2와 같이 SRD의 Intrinsic center 영역 때문에 역방향 전압에서 일정한 Capacitance를 갖게 되는 것이다. SRD를 선택하는데 있어서 고려해야 할 사항은 전자의 재결합 시간과 전이 시간인데, 만약 선택한 SRD의 재결합시간이 순방향 전압에서 입력신호의 주기보다 길지 않으면 충전된 전하가 정공과 재결합하는 전자의 수가 많아짐으로 그만큼 저장되는 전하량은 적어지게 된다. 저장되는 전하량은 임펄스의 크기와 비례관계임으로 입력신호의 주기보다 긴 재결합시간을 갖는 소자를 선택해야 한다. 전이 시간은 pulse의 모양과 관계가 있는데, 만일 전

이 시간이 출력 주파수의 주기보다 길면 pulse의 모양이 늘어지게 된다. 본 논문에서는 입력신호의 주기가 0.885(nS)이고, 전자의 재결합 시간은 68.34(nS)이었고, 출력신호의 주기는 177(pS) 이고, 전이시간은 109.4(pS)이므로 위의 고려사항에 맞는 소자를 선택했다고 할 수 있다.

2-2. SRD 주파수 체배기의 동작원리

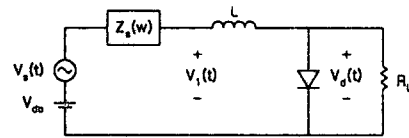


그림. 3 SRD 주파수 체배기

그림.3. 은 SRD 주파수 체배기의 기본 회로도이다. 입력전압 $V_1(t)$ 는 주파수 ω_1 에서의 사인함수와 DC bias의 합으로 나타내어진다.

$$V_1(t) = V_1 \sin(\omega_1 t + \alpha) + V_{dc} \quad (1)$$

여기서 α 는 $V_1(t)$ 의 위상각이고 V_{dc} 는 DC성분이다. V_{dc} 는 보통 $V_{dc} < 0$ 이다.

처음에 SRD가 순방향 바이어스로 시작한다면, Capacitance값은 무한대가 되어서 그림.4 와 같게된다. 이때 흐르는 전류에 대한 식은 다음과 같이 나타난다.

$$I_L(t) = I_L(t) + \frac{V_1}{\omega_1 L} (\cos(\alpha) - \cos(\omega_1 t + \alpha)) + \frac{V_{dc}}{L} t \quad (2)$$

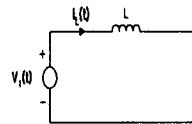


그림. 4 순방향 상태

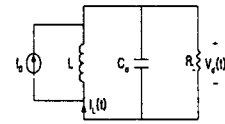


그림. 5 역방향상태

식 (2)에서 첫 번째 항은 인덕터에 흐르는 초기 전류의 값이고, 두 번째항은 AC성분의 값이고, 마지막 항은 DC성분에 의한 값이다.

SRD 주파수 체배기에 대한 관계식과 그래프는 다음과 같다.

◎ SRD에 걸리는 전압

$$V_d(t) = I_0 \left(\frac{L}{C_d(1-\zeta^2)} \right)^{1/2} \exp\left(\frac{-\zeta\omega_n t'}{(1-\zeta^2)^{1/2}} \right) \sin(\omega_n t') \quad (3)$$

$$\omega_n = \left(\frac{1-\zeta^2}{LC_d} \right)^{1/2} \quad ; \text{ 공진주파수}$$

$$\zeta = \frac{1}{2R_L} \left(\frac{L}{C_d} \right)^{1/2} \quad ; \text{ Damping-factor}$$

© 임펄스 동안 인덕터에 흐르는 전류

$$I_L(t) = I_0 \exp\left[\frac{-\zeta\omega_n t}{(1-\zeta^2)^{1/2}}\right] \left[\cos(\omega_n t) + \frac{\zeta \sin(\omega_n t)}{(1-\zeta^2)^{1/2}} \right] \quad (4)$$

© 임펄스의 peak 전압

$$V_L = -\left(\frac{L}{C_j}\right)^{1/2} \exp\left(\frac{-\pi\zeta}{2(1-\zeta^2)}\right)^{1/2} \quad (5)$$

© 펄스의 길이는

$$T_L = \frac{\pi}{\omega_n} \quad (6)$$

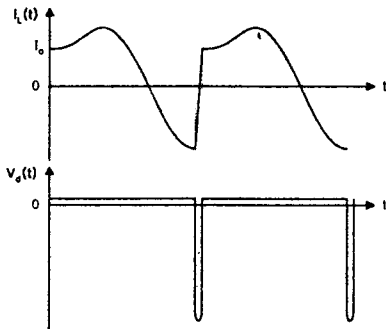


그림. 6 SRD 주파수 체배기의 전압, 전류파형

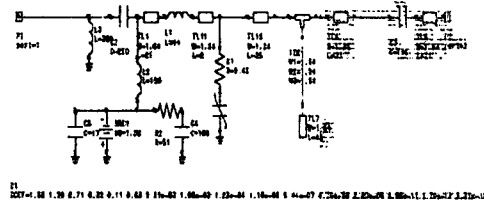


그림. 7 SRD 주파수 체배기의 Schematic

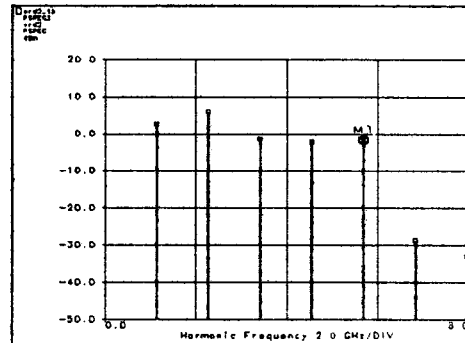


그림. 8 SRD 주파수 체배기 simulation

2-3 설계 및 제작

A. SRD 주파수 체배기

주파수체배기에 사용된 Step Recovery Diode 는 Metelics사 에서 나오는 MMD-1035를 이용하였다. SRD주파수 체배기를 Simulation 하기 위해서 Libra 를 사용했는데, Libra상에서 Nonlinear capacitor라는 소자를 이용하여 비선형특성을 Hamonic bench에서 얻어내었다. 이를 위해서 Deloach[2]가 제시한 추정 방법을 이용하여 전압의 함수로 표현되는 SRD의 캐패시턴스의 값을 다항식의 형태로 구해서 얻어진 각각의 계수값을 넣는 방식을 이용하였다. 15차까지의 계수를 얻기 위해 Matlab을 이용하여 Simulation 하였다. Simulation 하기 위해 사용된 Schematic 은 그림.7과 같고, 표1은 사용된 SRD의 Parameter값들을 나타내고 있다.

Junction capacitance (-6V) pF		1.561
Carrier lifetime nS		68.34
Transition time pS		109.4
Breakdown voltage V		53.8
Series resistance Ω		0.45

표.1 SRD의 parameters

B. Ring 공진기를 이용한 대역통과 여파기(BPF)

1.13GHz의 신호를 5배배하여 5.65GHz의 체배된 신호만을 얻기 위해서 국부공진부(LRS)를 갖는 Microstrip Ring 공진기의 형태를 선택하였다.

Ring 공진필터를 설계하기 위하여 Ensemble을 사용했고, 시뮬레이션 결과 5.65GHz에서 -0.452 dB의 삽입손실과 -29.0631 dB의 반사손실을 갖는 대역폭이 500MHz인 대역통과 필터특성의 결과를 얻었다.

설계한 Ring공진필터의 시뮬레이션 결과와 layout 은 그림. 9 와 그림. 10 과 같다.

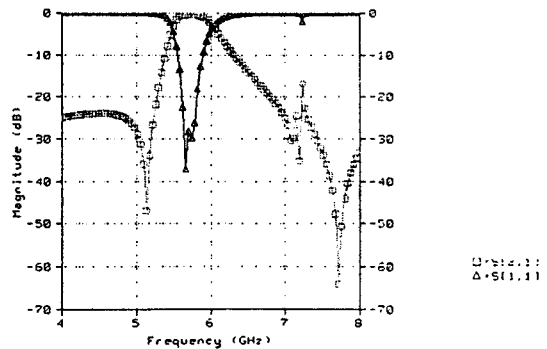


그림. 9 LRS RING 공진 필터 시뮬레이션결과

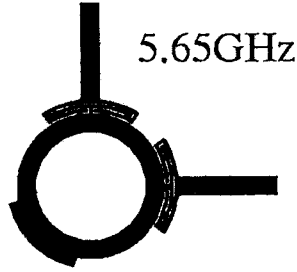


그림. 10 LRS RING 공진필터 Layout

2-4 측정 결과

LRS Ring 공진 필터의 측정결과는 그림10과 같이 5.65 GHz에서의 삽입손실이 -1.93 dB, 반사손실은 -19.7dB, 대역폭은 430MHz로 나타났다. 시뮬레이션 보다 각각 1.5dB, 9dB의 차이를 보였다. 이러한 차이는 제작상에 얻게되는 손실이 주요인이라고 보아진다. SRD 주파수채배기의 입력 신호인 1.13GHz에서의 위상잡음은 100kHz offset에서 -110 dBc/Hz, 입력 Power는 20dBm이고, 채배된 신호의 위상잡음은 동일한 100kHz offset에서 -95.53 dBc/Hz, 출력 Power는 -5.56dBm 이었다.

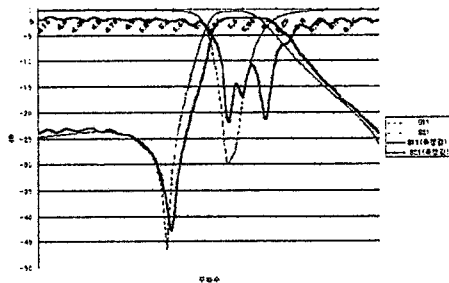


그림.11 필터의 시뮬레이션과 측정결과 비교

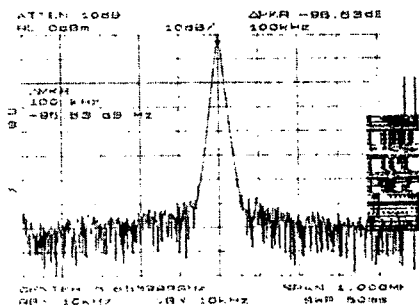


그림.12 5.65GHz에서의 위상잡음 특성

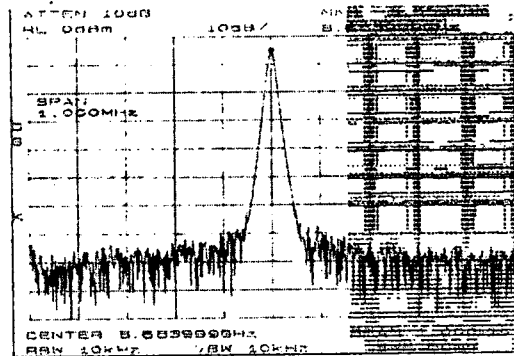


그림.13 5.65GHz에서의 Power 특성

III. 결 론

낮은 위상잡음의 특성을 얻기 위해 사용된 SRD 주파수채배기의 설계, 제작의 결과 입력신호 1.13GHz에 대한 출력신호 5.65GHz 와의 위상잡음의 차이는 약14dB의 차이를 보였다. 이는 채배수에 따른 성능감쇠식 $\Delta CNR = 20\log(n)$ 에서 채배수인 $n=5$ 를 대입했을 때 얻은 감쇠값과 같았다. 출력 Power 는 -5.56dBm으로 필터특성을 좀더 개선한다면 더 나은 출력 Power를 얻을 것으로 예상된다.

[참고문헌]

- [1] Stephen A. Mass, "Nonlinear Microwave Circuits", Artech House, INC 1988.
- [2] D. C. Deloach, Jr. " A New Microwave Measurement Technique To Characterize Diodes and An 800GHz Cutoff Frequency Varactor At Zero Volts Bias" IEEE Trans. pp. 15~20. January 1964.
- [3] Stephen Hamilton and Robert Hall, "Shunt-mode Harmonic Generation Using Step Recovery Diodes", Microwave J. , Vol . 10. No. 4. pp. 69 ~ 78 April 1967.
- [4] Cezar A. A. Carioca & Paulo H. P. de Carvalho "Computer-Aided Design of Diode Frequency Multipliers". Applied Microwave & Wireless.
- [5] K. Chang, "Microstrip ring circuits and antennas", John Wiley & Sons, 1996.