

마이크로파 주파수 체배기의 진폭 왜곡 특성

최원, 구경헌

인천대학교 공과대학 전자공학과

전화 : 032-772-8015 / FAX : 032-761-9961

Amplitude Distortion Characteristics of Microwave Frequency Multiplier

Won Choi, Kyung Heon Koo

Dept. of Electronics Eng., University of Incheon

E-mail : khkoo@incheon.ac.kr

Abstract

This paper describes the design and the simulation of a frequency doubler for millimeter-wave applications using distributed amplifier technology. The designed frequency multiplier has 10% bandwidth at 58GHz output. This paper investigates nonlinear analysis of pHEMT frequency multipliers utilizing AM-AM and AM-PM distortion characteristics of frequency doubler. The conversion loss is 2.1dB and harmonic suppression is larger than 18.6dBc with 5dBm input power

I. 서론

주파수 체배기는 마이크로파 주파수 대역에서 통신, 레이다, 상업 및 군사용 무선 시스템의 신호원 설계를 위해 많이 응용되고 있다. 데이터 전송속도의 증가에 따라 사용 대역폭의 광대역 특성이 요구 되어진다. 따라서, 마이크로파 대역은 포화상태에 도달하고 있어 넓은 대역폭을 갖는 밀리미터파 주파수 대역에서 안정한 저 잡음의 신호원이 요구되고 있다. 현재 국내외에서 밀리미터파 주파수 대역에서 소자 및 시스템에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 다수의 결과들이 발표되고 있다. 특히, 60GHz 대역의 주파수는 산소분자의 신호흡수 특성으로 인해 주파수 재사용이 가능하여 WLAN

(Wireless Local Area Network)등의 응용에 주목 받고 있다.

입력 전력의 변화에 따른 출력의 왜곡특성을 나타내는 AM-AM 및 AM-PM 특성은 주파수 체배기의 성능을 제한 하는 요소로 체배기의 비선형 동작을 분석하는 중요한 특징이다. 이런 특성은 전력 증폭기와 같은 비선형 회로에 대한 논문에서 다수 발표되고 있으나, 주파수 체배기에 대한 연구는 Baba 등이 발표한 논문[2] 등이 있으나 이에 관련된 연구가 활발하지 않았다^{[1]-[4]}. 본 논문은 pHEMT 를 이용한 밀리미터파 주파수 체배기에서 입력전력의 변화에 따른 AM-AM 왜곡 특성과 AM-PM 왜곡 특성을 시뮬레이션하고 결과를 분석하였다

II. 주파수 체배기 설계

본 논문은 58GHz 주파수 대역의 신호원을 만들기 위하여 14.5GHz 의 발진기에서 나오는 신호를 그림과 같이 주파수 4 체배기(frequency quadrupler)와 증폭기를 이용하여 58GHz 의 신호를 생성한다.

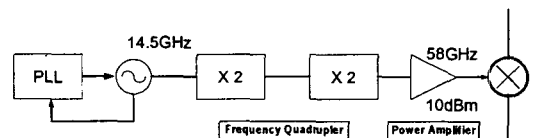


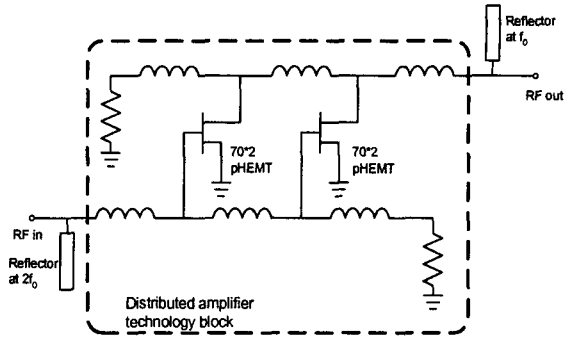
Fig. 1 Block diagram of system for signal source

본 논문에서는 주파수 4 체배기의 두 번째단 체배기 2 체배기(Frequency doubler)를 설계하여 29GHz 의 입력 신호로 58GHz 의 신호원을 얻는다. 주파수 체배기는 능동소자와 수동소자를 사용하여 많은 방법들이 실현되고 있다. 본 논문은 MINT(Millimeter-wave INnovation Technology)에서 제공된 140um 의 게이트 폭을 갖는 70× 2 pHEMT 를 이용하여 설계하고 시뮬레이션 하였다. 본 논문은 밀리미터파 주파수 대역에서 구현 가능한 단일칩 마이크로파 집적회로인 MMIC (Monolithic Microwave Integrated Circuit)에 적용하고 그라운드 인덕턴스를 줄이기 위해 CPW(Coplanar-Waveguide)를 이용하여 최적의 변환이득과 고조파 억압을 얻고자 하였다. 설계한 주파수 체배기로 안정한 저잡음 특성의 신호원을 확보하기 위해 안정도를 테스트 하였으며 비선형 동작 특성을 분석하기 위하여 인가된 입력 전력에 대한 출력의 AM-AM 과 AM-PM 왜곡 특성을 분석 하였다. 그림 2 는 설계한 주파수 2 체배기의 블록도이다. 입력단에 2f₀ 에 대한 λ/4 길이의 오픈 스테르브를 출력단에는 f₀ 에 대한 λ/4 길이의 오픈 스테르브를 사용하여 고조파성분을 억압하는 동시에 최대의 변환이득을 얻을 수 있도록 설계 하였다.

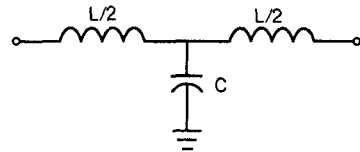
2.1 분배 주파수 체배기

본 논문에서는 고정된 주파수 또는 변화하는 발진기의 영향을 모두 포함하는 광대역 특징을 가질 수 있도록 분배 증폭기 기술을 체배기에 적용하여 그림 2-(a)와 같이 설계 하였다. 체배기의 입력단에는 58GHz 에 대한 λ/4 길이의 오픈 스테르브를 달아 출력에서 되돌아오는 신호를 반사하고 출력에는 29GHz 에 대한 λ/4 길이의 오픈 스테르브를 달아 기본 고조파의 신호를 억제 하였다. 분배 주파수 체배기는 그림 2-(b)와 같이 인덕터와 캐패시터로 구성된 저 대역 통과 필터의 형태를 가진 constant-K 회로이다. L 은 인덕턴스, C 는 FET 의 게이트 캐패시턴스 이다. 설계한 회로는 MINT 에서 제공하는 라이브러리에 의해 게이트 전압 -0.7V, 드레인 전압 2V 일때 C_{gs}=0.178pF 의 값을 가진다. 식(1)과 (2)를 통해 인덕턴스 값과 constant-K 의 차단 주파수를 계산할 수 있다. 계산한 인덕턴스(L)와 차단 주파수(f_c)는 L=0.445nH 과 f_c=35.8GHz 이다.

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad \dots\dots(1)$$



(a) 2-stage distributed frequency doubler



(b) a single section of constant-K

Fig. 2 Distributed frequency multiplier

$$f_c = \frac{1}{\pi\sqrt{LC}} \quad \dots\dots(2)$$

계산한 인덕턴스 값을 식(3)을 이용하여 전송선로로 변환할 수 있다.

$$\beta l = \frac{LR_0}{Z_h} \quad \dots\dots(3)$$

Z_h 는 제작할 수 있는 가장 큰 특성 임피던스 이다. MINT 라이브러리에서 제공하는 특성 임피던스는 35Ω, 50Ω, 70Ω이다. 이중 가장 큰 70Ω을 적용하여 계산하면 전송선로는 18.2°의 길이를 갖는다.

2.2 시뮬레이션 결과

설계한 주파수 체배기는 입력 주파수 29GHz 에 대하여 5dBm 인가 시에 출력 단에서 59GHz 주파수에 대해 2.9dBm 의 출력전력을 얻어 2.1dB 의 변환 손실을 나타내었다. 그림 3 은 입력전력의 변화에 따른 출력 전력과 체배 이득(multiplication gain)을 나타낸다. 그림 4 는 입력 주파수에 대한 고조파 특성을 나타내고 있다. 입력 주파수 29GHz 에서 18.6dBc 의 고조파 억압과 제 3

차 하모닉에서 39.4dBc 의 고조파 억압을 얻었다. 이것은 입력주파수 29GHz 에서 가장 좋은 특성을 보이고 있다. 그림 5 는 입력주파수의 변화에 따른 출력을 나타낸다. 3dB-대역폭은 출력 주파수에 10%인 약 5.8GHz 를 갖는다. 이것은 분배 증폭기의 기술을 채택기에 사용함으로써 이득과 출력전력은 다소 떨어지지만 넓은 대역폭 특성을 가진다.

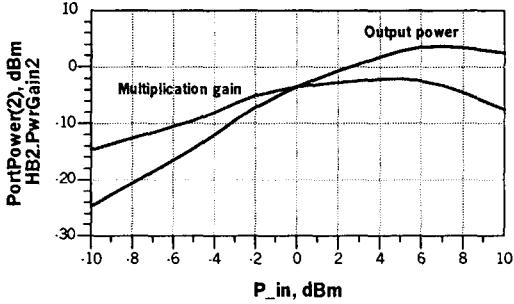


Fig. 3 Multiplication gain and output power with input power

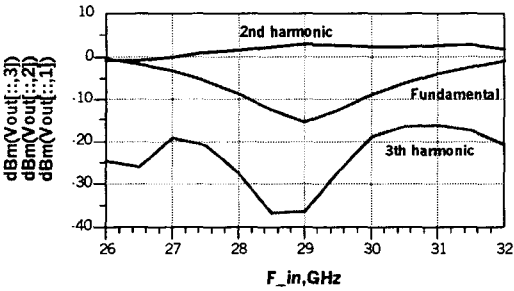


Fig. 4 Output power of three harmonics with input frequency

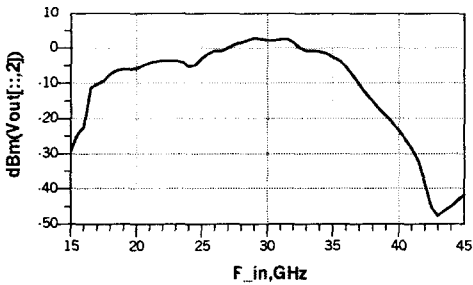


Fig. 5 Output power characteristic with input frequency

III. AM-AM 및 AM-PM 특성 분석

비선형 회로에서의 비선형성은 진폭 응답이나 위상 응답의 비선형 특성으로 나타난다. 이러한 왜곡 현상은 전체 시스템에 영향을 미치며 보상되어야 한다. 이런 특징들을 설명하는 것이 AM-AM 과 AM-PM 왜곡 특성이다. 본 논문에서는 주파수 채택기의 비선형적 왜곡특성을 분석한다.

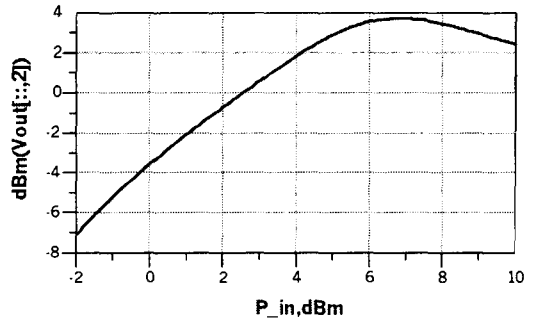


Fig. 6 Output magnitude response with input power

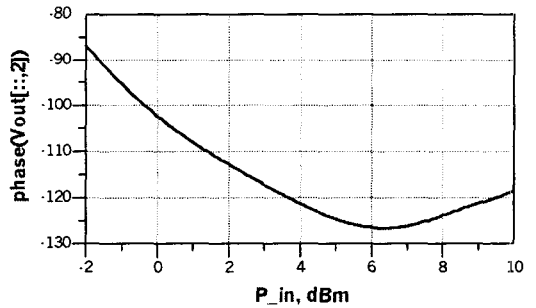


Fig. 7 Output phase response with input power

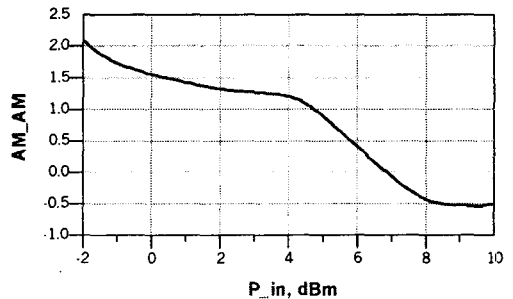


Fig. 8 AM-AM distortion with input power

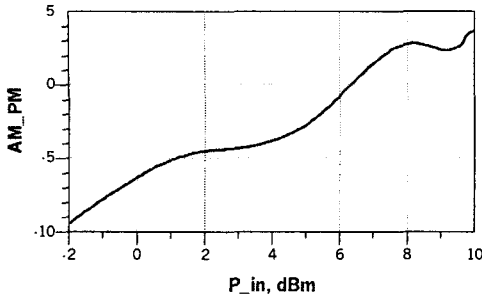


Fig. 9 AM-PM distortion with input power

그림 6 과 7 은 설계한 주파수 체배기의 입력 전력 변화에 따른 진폭응답과 위상응답을 나타낸다. 그림 8 은 체배기의 AM-AM 왜곡 특성을 나타내며 입력 전력에 대해서 비선형적인 진폭 응답 특성을 나타낸다. 그림 9 는 입력전력에 대한 AM-PM 왜곡 특성을 나타내며 입력 전력에 대하여 비선형적인 위상 응답 특성을 나타낸다. 그림 10 은 설계한 주파수 체배기의 레이아웃이다.

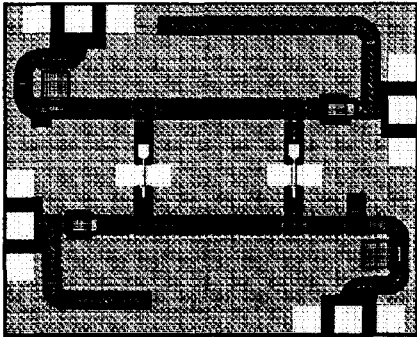


Fig. 10 Layout of frequency multiplier

IV. 결론

본 논문은 입력주파수 29GHz, 입력전력 5dBm 에 대하여 출력주파수 58GHz 에 대한 기본 고조파 및 3 차의 고조파를 억압하면서 입력 주파수를 2 체배하는 체배기를 설계하였다. 2.1dB 의 변환 손실과 18.6dBc 이상의 고조파 억압특성을 얻었다. 또한, AM-AM 과 AM-PM 왜곡 특성을 분석하여 설계한 주파수 체배기의 체배이득(multiplication gain)과 진폭응답과 위상응답의 비선형 동작 특성을 분석하였다. 이러한 체배기의 특성을 분석하여 전체 시스템의 왜곡 특성을 예상할 수 있으며 주파수 3 체배기(frequency tripler)나 주파수 4 체배기(frequency quadrupler)등에 적용 가능할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부, 한국과학재단 지정 우수공학 연구센터(ERC)인 밀리미터파 신기술연구센터(MINT/동국대) 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

- [1] A. M. Pavio, S. D. Bingham, R. H. Halladay and C. A. Sapashe, "A Distributed Broadband Monolithic Frequency Multiplier", *IEEE MTT-S Digest*, 1988.
- [2] E. Bava, G. P. Bava, A. Godone, and G. Rietto, "Analysis of Varactor Frequency Multipliers : Nonlinear Behavior and Hysteresis Phenomena", *IEEE MTT Transactions, Vol. 27, No. 2*, February, 1979.
- [3] E. Camargo, *Design of FET Frequency Multipliers and Harmonic Oscillators*, Artech House, 1995.
- [4] M. Schefer, "Integrated Quadruple Circuit in Coplanar Technology for 60GHz Wireless Application", *IEEE MTT-S Digest*, June, 2002
- [5] J. Vuolevi and T. Rahkonen, *Distortion In RF Power Amplifiers*, Artech House, 2003.
- [6] I. D. Roberson and S. Lucyszyn, *RFIC and MMIC Design and Design Technology*, Michael Fraday House, 1998.
- [7] R. Goyal, *Monolithic Microwave Integrated Circuits: Technology & Design*, Artech House, 1989.
- [8] S. A. Mass, *Nonlinear Microwave Circuit*, Artech House, 1988.
- [9] M. A. Tuko and I. Woff, "Novel 36GHz GaAs Frequency Doubler Using (M)MIC Coplanar Technology", *IEEE MTT-S Digest*, September, 1992.