

출력특성을 개선한 새로운 구조의 Feedforward Multiplier에 관한 연구

A study on feedforward multiplier using new structure with improved output power level

도지훈, 홍의석

(광운대학교 석사과정, 광운대학교 전자정보대 교수)

Key words : Multiplier, 체배기

목 차

I. 서론

II. 본론

III. Frequency Multiplier 설계 및 측정

IV. 결론

I. 서론

주파수 체배기는 마이크로파 통신 및 레이더 시스템에서 광범위하게 사용된다. 특히 오실레이터 발전 주파수 증가를 위해 사용되는 주파수 체배기의 경우 오실레이터의 낮은 발전 주파수의 저잡음 특성을 주파수 체배기와 결합시킴으로써 하나의 오실레이터에 의한 발전보다 같은 주파수에서 더 작은 phase noise를 갖는 주파수 발전기를 구현할 수 있다. 주파수 체배기에 사용되는 active device로는 HEMT와 MESFET, Varactor diode가 있으며, Varactor diode와 비교하여 HEMT, MESFET은 높은 이득과 작은 구동 전압을 가지며 입력단과 출력단의 Isolation 확보가 용이하여 입력단의 기본주파수에 대한 매칭 및 출력단의 Bandpass Filter 구현이 용이하여 가장 많이 사용되고 있다.

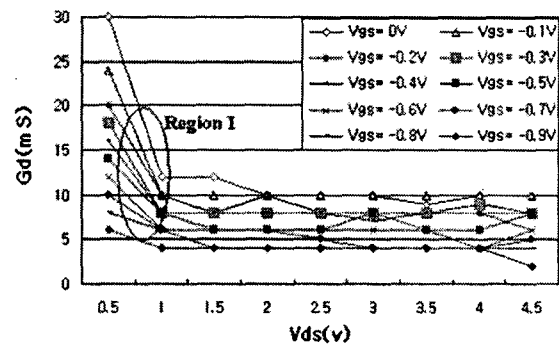
HEMT 소자를 사용한 체배기는 pinch-off 영역 부근 바이어스를 선택하며, 비선형 트랜스 컨덕턴스는 고조파 생성에 가장 중요한 요소이다.

체배기에 있어 순수한 체배 주파수만을 출력으로 얻기 위한 방법에는 여러 가지가 있으며, balanced doubler를 이용하여 기본주파수 회로의 출력단에서 역위상인 홀수차 고조파의 합에 의해 억압하는 방법과 open stub를 이용하여 기본 주파수를 억압하는 구조가 있다. 이러한 구조는 그 억압 특성에 한계를 가지고 있다. 또 다른 방법으로는 선형화 증폭기에서 사용되는 feedforward 방식을 이용하여 기본주파수를 출력단에서 역위상 결합을 이용하여 높은 기본주파수 억압 특성을 구현할 수 있다. 하지만 입,출력단의 방향성 결합기 사용에 의한 전력 손실이 크다는 단점을 가지고 있으며 이러한 전력 손실의 개선을 위하여 Bandpass Filter를 이용하여 저잡음 특성을 유지하면서 출력전력을 개선할 수 있도록 설계하였다.

II. 본론

체배기의 설계에 있어 중요한 사항들을 보면 다음과 같다.

그림 1에서는 HEMT(Agilent ATF-34143)에 대한 drain-to-source(V_{ds})전압과 gate-to-source(V_{gs})전압을 도시하여 소자의 비선형 출력 컨덕턴스(G_d) 특성을 보여주고 있다.



<그림 1> HEMT소자의 V_{ds} 대 출력컨덕턴스(G_d)

그림 1에서 보면 V_{gs} 와 V_{ds} 의 바이어스 전압을 가지고 비선형성이 변화하고 있다. 이것은 최적의 하모닉 발생을 목적으로 할 때 최대의 비선형성이 보여지고 있는 영역에서 바이어스 전압을 적절히 선택하는 것이 중요하다. 이와 같이 주파수 체배기에서 첫 번째로 중요한 논점이 되고있는 것이 gate-to-source bias(V_{GS})이다. 따라서 zero gate bias일 때 많은 고조파 발생과 최소의 변환손실을 갖는 특징을 가지고 있다. 두 번째로 gate-source and gate-drain capacitance 등 기생성분에 대한 고려가 필요하다[1].

최대 이득을 얻기 위한 조건으로는 입력단에는 증폭기와 비슷한 구조로 기본 주파수에 대해 conjugate 매칭이 이루어져야 하고, n차 고조파에 대한 부하 임피던스는 drain단의 임피던스와 conjugate 매칭이 되어야 한다. 다른 중요한 파라미터는 gate-source 기생 커패시터가 있으며 커패시터 성분에 의한 Feedback 성분을 최소화 하므로 최대 전력 결합을 이룰 수 있다.

이렇게 설계된 주파수 2체배기의 경우 기본 주파수를 억압하기 위해 공진기 및 Highpass Filter를 사용하며 기본 주파수 억압 특성에 한계를 가지고 있다. 이를 개선하기 위한 구

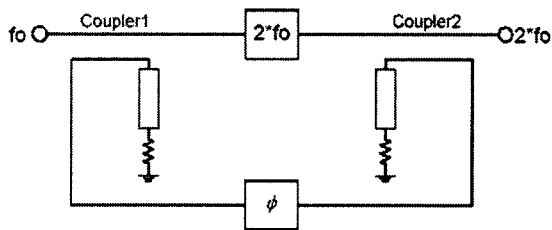
조로 Feedback 방식이 제안되었다.

Feedback 구조는 두 개의 방향성 결합기가 사용되며 입력단의 Coupling에 의한 입력 신호는 Phase shifter를 통해 위상을 조절함으로써, 출력단에서 역위상으로 결합하여 기본 주파수의 높은 역압 특성을 구현할 수 있다. 두 개의 방향성 결합기의 특성은 다음과 같다.

$$V_1 = 1, \quad V_3 = C$$

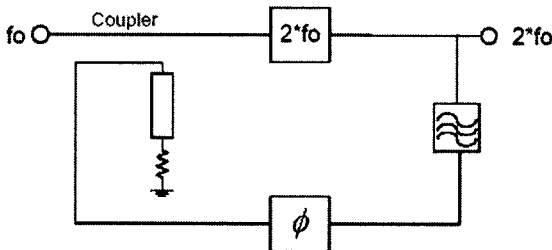
$$V = -j\sqrt{1 - C^2}, \quad V_4 = 0 \quad \text{----- 식 1}$$

C는 결합계수로 C의 값이 커짐에 따라 Thru Port를 통한 삽입손실이 커짐을 알 수 있다. 일반적인 구조의 Feedforward의 경우 두 개의 Coupler를 사용하며 출력 전력의 손실을 갖는다.



<그림 2> Feedforward 구조의 Frequency Multiplier

이를 개선하고자 이 논문에서는 결합계수가 작은 방향성 결합기와 Bandpass Filter를 사용하였다. 그림 3은 제안된 구조의 주파수 체배기이며, 높은 주파수 역압 특성과 출력전력을 개선하고자 하였다.

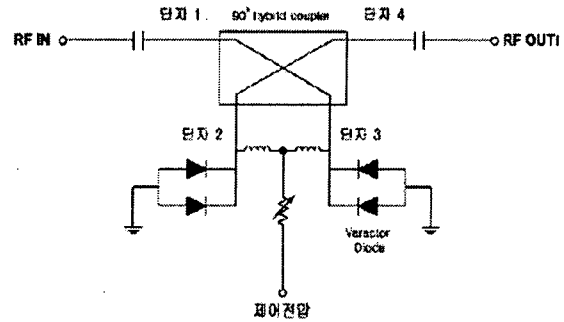


<그림 3> Bandpass Filter를 사용한 Feedforward 구조의 Frequency Multiplier

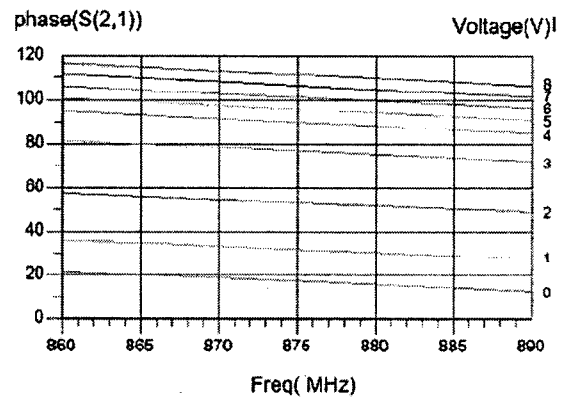
III. Frequency Multiplier 설계 및 측정

설계에 있어 동작주파수에서의 올바른 소자 선택이 중요하다. 체배기의 능동소자로는 Agilent 사의 ATF-34143 HEMT를 사용하였으며 회로 제작을 위해서 기판은 유전율(ϵ_r) = 2.56, 높이(H) = 0.504mm 인 테프론 기판을 사용하였다. 설계된 주파수 체배기는 크게 입·출력 정합부, 방향성 결합기, 위상 변환기, Bandpass Filter로 구성하였다. Feedforward에서 Perfect Cancellation을 시키기 위해서는 Amplitude Mismatch, Delay Mismatch, Phase Mismatch 등을 해결해야 하며, 이들 중에서도 가장 큰 영향을 미치는 것은 Phase Mismatch이다. 이에 가변 Phase shifter는 위상 변화의 정교

한 조절이 필요하며, 제작은 90°Hybrid coupler와 Reflection type으로 제작하였다.

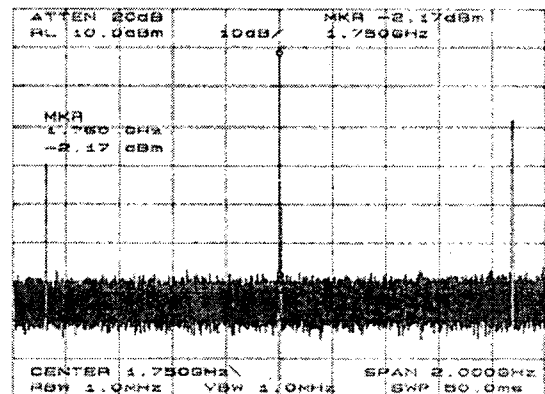


<그림 4> Reflection type의 가변 위상 변환기



<그림 5> 가변 Phase shifter의 특성

기본주파수 875MHz, 입력전력레벨을 0dBm, V_{ds} 1V, zero-gate bias를 인가하였으며 광대역 매칭을 위하여 입력단에 저항을 사용하였다. 2체배기의 출력특성은 그림 6과 같이 나타났다. 기본주파수 -28dBm, 2체배 주파수 -2.17dBm, 3체배 주파수 -25dBm의 특성을 얻었다.

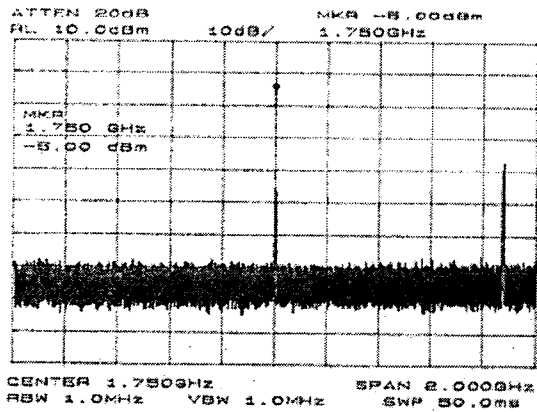


<그림 6> 주파수 체배기 출력 스펙트럼

1. Feedforward구조를 사용한 2체배기 설계 및 측정

Feedforward 구조를 사용한 출력 스펙트럼이며 입출력단에 기본주파수에 대한 -12dBm, 2체배 주파수에 대해 -20dBm

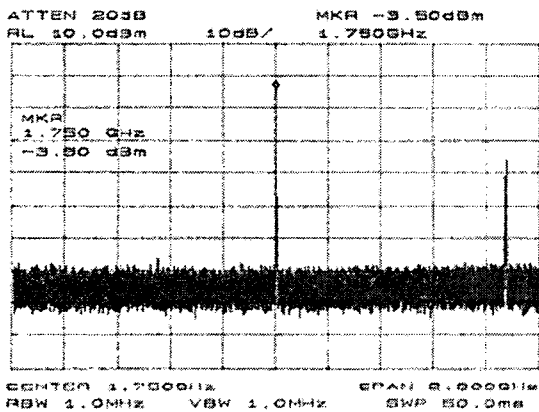
coupling 값과 삽입 손실은 -1dB를 갖는 방향성 결합기를 사용하였다. 가변 Phase shifter 인가전압 1V 위상변화 52°에서 -58dBm 기본주파수 억압 특성을 얻을 수 있었다. 하지만 2체배 주파수에 대한 이득 감소가 2.83dBm이 나타났다. 손실의 영향은 입출력단 방향성 결합기의 결합계수가 크기 때문에 그만큼 방향성 결합기의 삽입 손실이 커지게 된다. 이러한 영향은 gate 입력전력을 감소시키고 출력전력의 감소로 나타났다.



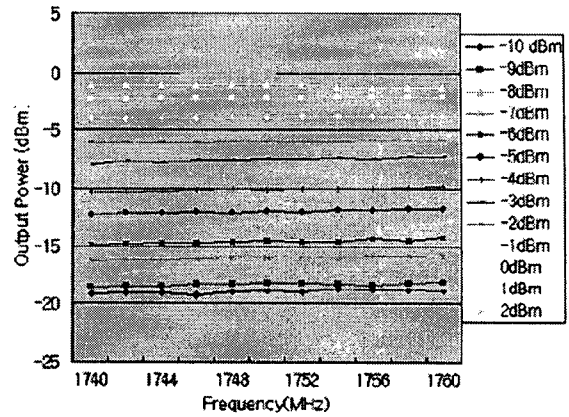
<그림 7> Feedforward 구조의 주파수 체배기의 출력 스펙트럼

2. 제안된 Feedforward 구조를 사용한 2체배기 설계 및 측정

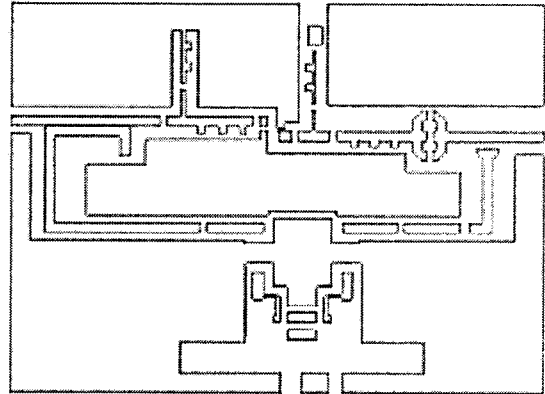
그림 8은 본 논문에서 제안한 구조의 Feedforward를 사용하여 측정한 결과이다. 입력측의 기본주파수에 대해 -24dB coupling 값을 갖는 방향성 결합기와 출력단에 2체배 주파수에 대한 저지 특성을 가지는 Filter로 구현하였다. 입력전력에 비례하는 특성을 갖는 2체배기에 작은 결합계수의 방향성 결합기를 사용함으로써 삽입손실을 적게 하였으며, gate의 입력전력을 크게 하였다. 출력단은 2체배 주파수의 손실을 작게 하기 위하여 2체배 주파수에 대한 Bandpass Filter를 구현함으로써 2체배 주파수의 손실을 최소화하도록 구성하였다.



<그림 8> Bandpass Filter를 이용한 Feedforward 구조의 주파수 체배기



<그림 9> 입력전력에 따른 출력전력



<그림 10> 제작된 2체배기의 Layout

IV. 결론

Bandpass Filter를 이용한 Feedforward 구조를 이용하여 -50dBc 이상의 주파수 억압 특성과 일반적인 구조의 Feedforward를 비교하여 2체배 주파수의 이득을 1.5dBm 개선하였고, 하이브리드로 제작하기 어려운 결합계수가 큰 방향성 결합기 구현의 어려움을 해결할 수 있었다.

현재 많은 시스템에서 왜곡 성분이 없는 순수한 주파수 성분의 발생을 요구하고 있으며 제안된 구조에서는 기본주파수 억압 특성을 얻었으나, 더 나아가 3체배 주파수에 대한 높은 억압특성을 가지는 체배기의 구현이 요구되어진다.

참고문헌

- [1] E. Camargo, "Design of FET Frequency Multiplier and Harmonic Oscillators", Artech House, 1998.
- [2] N.siripon, "Novel Frequency Doubler Feedforward for Fundamental Frequency Component Suppression", IEEE MTT-s Digest, pp.1345-1348, 2001.
- [3] G. Zhang, "A novel technique for HEMT tripler design", IEEE MTT-s Int. Microwave Symp. Digest, pp.

663-666, 1996.

- [4] A. Gopinath, "Single-gate MESFET frequency doublers", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. MTT-30, no. 6, pp. 869-874, June, 1982.
- [5] Maeda, H., H. Masato, H. Takehara, M. Nakamura, S. Morimoto, and H. Fujimoto, "Source second harmonic control for high efficiency power amplifiers", *IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques*, Vol. MTT-43, pp. 2952-2967, 1995.
- [6] B. Kenington, "High-linearity RF Amplifier Design", Artech House Microwave Library, 2000.
- [7] N. Potheary, "Feedforward Linear Power Amplifiers", Artech House, 1999.