

마이크로/밀리미터파 대역에서 전력증폭기의 효율향상을 위한 MEMS 튜닝회로

김재홍
강원대학교 전기전자정보통신공학부
jaeheung@kangwon.ac.kr

MEMS TUNING ELEMENTS FOR MICRO/MILLIMETER-WAVE POWER AMPLIFIERS

Jaehung Kim
Electrical, Electronic, & Information Engineering, Kangwon National University

Abstract

A new approach, using MEMS, for improving the performance of high efficiency amplifiers is proposed in this paper. The MEMS tuning element is described as a variable-length shorted CPW stub. Class-E amplifiers can be optimally tuned by these MEMS tuning elements because their operation varies with the impedance of the output tuning circuit. A MEMS tuning element was simulated using full-wave EM simulators to obtain its S-parameters. A Class-E amplifier with the MEMS was designed at 8GHz. The non-linear operation of this amplifier was simulated to explore the effect of the MEMS tuning. Comparing the initially designed amplifier without MEMS, the Power Added Efficiency (PAE) of the amplifier with MEMS is improved from 46.3% to 66.9%. For the amplifier with MEMS, the nonlinear simulation results are PAE = 66.90%, η (drain efficiency) = 75.89%, and P_{out} = 23.37 dBm at 8 GHz. In this paper, the concept of the MEMS tuning element is successfully applied to the Class E amplifier designed with transmission lines.

Key Word : MEMS tuning element, Class-E Amplifier

I. 서 론

본 논문은 고효율 증폭기의 성능을 향상시키기 위한 새로운 접근, 즉 MEMS(MicroElectroMechanical Systems)를 이용하여 전력증폭기의 효율을 향상시키는 방법에 대해 기술하였다. 동작주파수대역이 상승할수록 전력증폭기의 효율은 저하되는데 이는 상대적으로 높은 주파수대역에서 기생리액턴스(parastic reactance)값을 정확히 예측하는 것이 불가능하며 주파수 따라 리액턴스값이 변화하기 때문이다. 또한 전력증폭기의 형태로 널리 사용되는 스위치모드증폭기(Class-D, E, F등)의 경우 스위치동작이 입력전력에 따라 변화하기에 효율이 저하될 수

있다. 이를 극복하기 위해 MEMS 튜닝회로를 제안하였다. MEMS 튜닝소자의 개념은 증폭기설계에 수반되는 오차 또는 그외 부정합(mis-matching) 문제들을 제작후 동작과정에서 MEMS를 통해 보정을 하여 동작을 최적화시킬 수 있다는 점이다. 이는 그림 1에서와 같이 단락된 전송선로(shorted stub)의 길이를 MEMS기술로 구현가능한 선형모터(linear motor)등을 통해 조절함으로써 전송선로의 임피던스를 변화시킬 수 있다. 구체적으로 이러한 기능을 수행할 수 있는 MEMS 구조물은 실리콘 웨이퍼상에 구축되어야 하기에 기존의 반도체회로제작기술로 가능한 형태로 그림 2에서와 같이 제시되었다. 이미 이러한 단락된 CPW선로의 MEMS구조물은 임피던스정합을

위해 구현되기도 하였다.[1] 본 논문에서는 Class-E 증폭기의 동작이나 성능은 증폭기의 튜닝회로에 의해 결정되므로 궁극적으로 단락 전송선로로 구성된 튜닝회로내의 각 전송선로의 길이를 조절함으로써 효율을 최대로 유지할 수 있는 최적의 동작을 유지할 수 있음을 보여 준다.

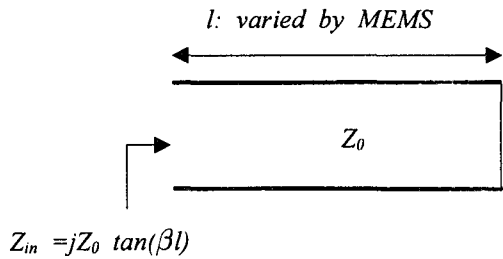


그림 1. 길이가변 단락전송선로(variable-length shorted stub)

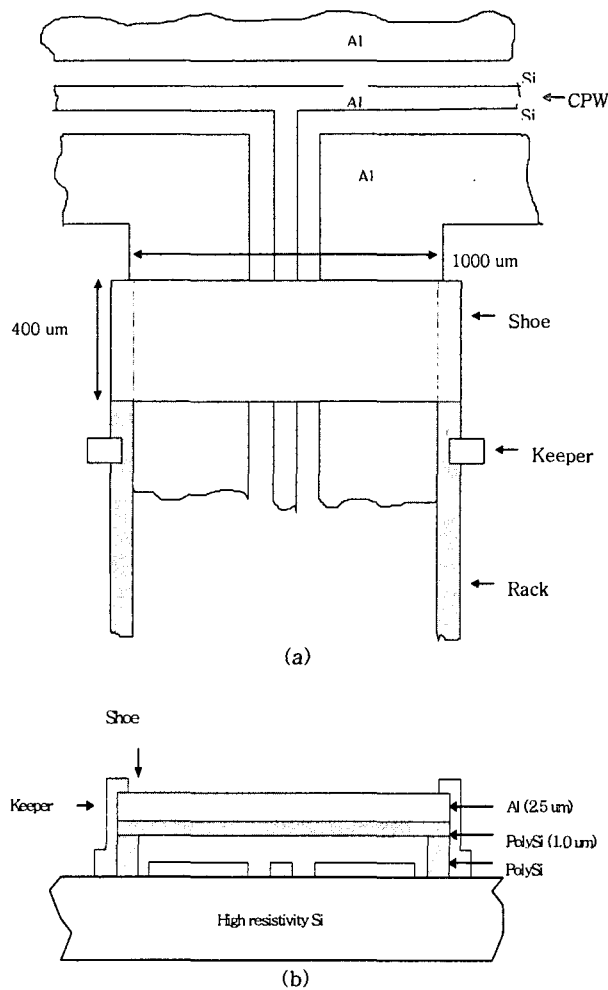


그림 2. MEMS 튜닝소자 (a) 전면, (b)측면

II. MEMS 튜닝소자

2.1 MEMS 튜닝소자의 시뮬레이션

비선형 회로 시뮬레이션(Harmonic Balance Simulation)을 실시하기전에 MEMS튜닝소자를 회로의 소자와 같이 취급하여 회로시뮬레이션을 실시하기 위해 튜닝소자의 S계수를 얻어야 한다. 그림 2에서 제시된 MEMS튜닝소자를 Agilent MOMENTUM과 Ansoft HFSS를 이용 4 - 28GHz 주파수 범위에서 S계수를 얻었다. 그림 3은 Full-wave 시뮬레이션결과중 S_{11} 의 크기와 위상변화를 보여준다.

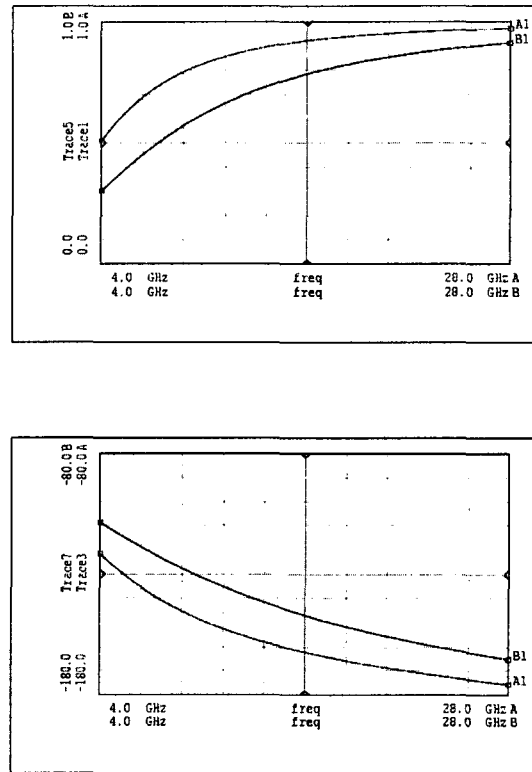


그림 3. MEMS 튜닝소자의 S_{11} 의 크기와 위상

시뮬레이션 결과는 완전한 단락전송선로 특성과는 약간 상이한 정전부하(capacitive load)의 특성을 보인다. 이는 도체판과 CPW 간의 절연층(silicon dioxide and air) 으로 인해 발생되었음을 알 수 있다.

2.2 Class-E 증폭기의 설계

무선통신에서 증폭기의 효율은 배터리의 전력소모를 감소하기위해서 매우 중요한 요소

이다. 일반적으로 증폭기의 전력소모는 주로 능동소자, 즉 트랜지스터(FET 또는 BJT)에서 발생한다. 이러한 이유에서 높은 효율을 달성하기 위해서 스위치모드 증폭기가 널리 사용된다. 즉 FET가 스위치처럼 동작함으로써 FET에 전압과 전류가 동시에 존재치 않아 소모전력을 최소화할 수 있다[2]. 본 연구에서는 스위치모드 증폭기중 하나인 Class-E 증폭기를 설계하여 MEMS튜닝회로와 결합시켰다.

Class-E 증폭기의 설계는 튜닝회로부분인 2차 및 3차 고조파를 억제하는 전송선(transmission line stubs)과 기본파의 파형형성을 위한 임피던스 정합전송선의 길이 계산을 포함한 설계를 하는 것으로 요약된다. 설계에 사용된 FET는 기존에 이미 Class-E 증폭기설계에 사용된 Fujitsu FLK052WG를 모델로 동작주파수 8GHz에서 설계하였다. 즉 드레인-소스 캐피시턴스 $C_s = 0.36\text{pF}$, 드레인 인덕턴스 $L_d = 0.08\text{nH}$, 소스저항 $R_s = 0.9\Omega$ 에 기초하여 튜닝회로를 설계하였다. Class-E 동작을 보장하기 위해서는 튜닝회로의 입력임피던스가 다음과 같아야 한다.[3]

$$Z_{in} = \frac{0.28015}{w_s C_s} e^{j49.0524} \quad (1)$$

$$= \frac{0.28015 \times e^{j49.0524}}{(8 \times 2\pi \times 10^9)(0.36 \times 10^{-12})}$$

$$= 10.146 + j11.694 (\Omega)$$

또한 계산된 입력임피던스에 따라 2차고조파와 3차고조파를 억제하는 전송선도 그림 4와 같이 구성하였다. 그림에서 l_6 는 MEMS와 결합 가변전송선(variable length stub)로 동작한다. 설계된 회로를 Agilent ADS의 Harmonic Balance Simulator를 이용하여 시뮬레이션을 실시하였다. 이때 게이트 바이어스는 FET가 50% 듀티사이클 스위치동작을 유지할 수 있도록 설정하였으며 이는 FET의 핀치오프 전압과 동일하다. 시뮬레이션의 결과로서 입력전력에 따른 효율의 변화를 MEMS소자를 결합하지 않은 경우 그림 5에서와 같이 입력전력의 변화에 따라 효율변화폭이 상대적으로 크며 입력전력=15dBm에서 최대PAE 46.3%를 얻었다. 이에 반면에 MEMS소자와 더불어 설계된 증폭기의 경우 입력전력 14dBm에서 그림 6에서와 같이 l_6 의 길이를 변화시키면서 고효율을 유지함을 볼 수 있으며 최대PAE는 입력전압 19dBm에서 66.9%를 얻었다. 또한 이때 출력 P=23.37 dBm을 얻었다. 즉 전력이득은 약 9dB 정도를 얻었다.

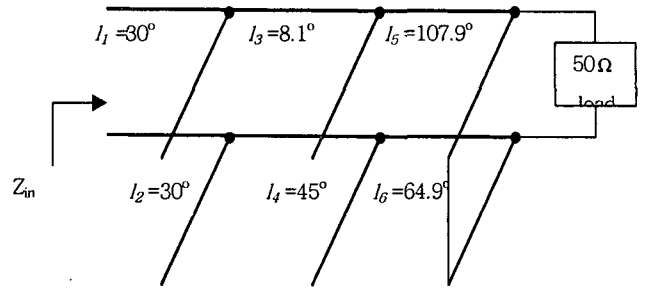


그림 4. Class E 튜닝 전송선로(tuning stubs)

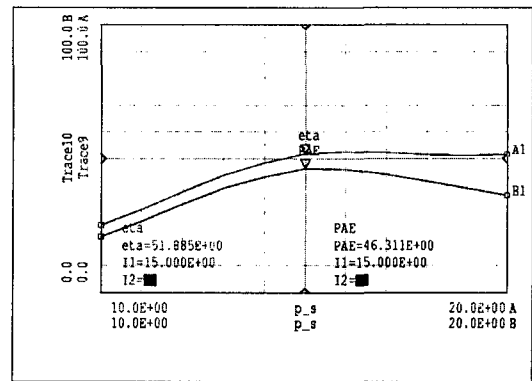


그림 5. MEMS소자와 결합치 않은 경우 입력전력변화에 따른 효율변화

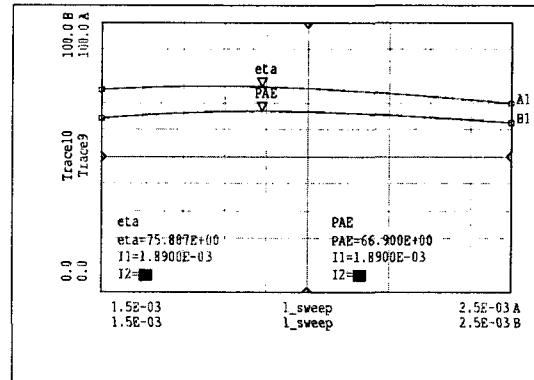


그림 6. MEMS소자와 결합한 경우 l_6 의 변화에 따른 효율의 변화

III. 결 론

설계와 시뮬레이션결과로부터 MEMS소자의 효과에 대해서 확인하였다. 이와 같이 MEMS 소자의 접목은 무선기기들의 동작주파수가 상승함에 따라 더욱 중요한 기술이 될 것이다. 다음의 연구과제로서 실제상에 수반되는 기술적 문제점들을 파악하기 위해 제작과 측정을

통해 MEMS소자의 효용성을 확인할 필요가 있다. 현재 제작 및 측정을 위해 실리콘 웨이퍼상에 캘리브레이션 킷(TRL calibration)을 제작 측정하였다.

[참 고 문 헌]

- [1] Victor M. Lubecke 외 2명, "Micromechanical Sliding Planar Backshorts", International Semiconductor Device Research Symp. Charlottesville, VA, USA, pp. 1-4, 1995J.
- [2] H. L. Krauss 외 2명, *Solid State Radio Engineering*, ch.14, pp. 432-476, John Wiley & Sons, 1980.
- [3] T. B. Mader 외 4명, "Switched-mode high-efficiency microwave power amplifiers in a free space power-combiner array", IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol. 46, pp. 1391-1398, Oct. 1998.