2.4GHz 1Watt 전력증폭기 설계

박민우*, 박진우*, 백승진*, 구자경*, 차현원*, 임종식*, 안달*
*순천향대학교 전기통신공학과
email : ddfno0@naver.com

Design of a 2.4GHz 1Watt Power Amplifier

Minwoo Park*, Jinwoo Park*, Seungjin Baek*, Jakyung Koo*,
Hyeonwon Cha*, Jongsik Lim*, Dal Ahn*
*Dept. of Elec. and Comm. Eng., SOONCHUNHYANG University

요 약

본 논문에서는 무선 전력 송신용 2400MHz 전력증폭기 설계에 대하여 기술한다. 비선형 설계 방법을 이용하여 먼저 1단 전력증폭기 모듈을 설계하였고, 이에 대한 측정을 통하여 전기적 특성을 확보한 후에 선형성에 대한 고려의 결과로써 3개의 모듈을 직렬 연결하여 3단 전력증폭기를 구성하였다. 제작된 전력증폭기는 선형적 동작 구간에서 25dB 이상의 높은 이득과 1Watt 근처의 출력특성을 보였는데, 30dBm의 출력전력에서 23%의 효율 특성을 나타내었다.

1. 머리말

RF 시스템에서 전력증폭기는 무선 시스템의 송신단측에서 신호를 송신하기 전에 최종단에 있게 된다. 그러므로 송신단과 수신단 사이에서 공간에 의한 채널 손실을 극복하기 위해 충분히 공급해 주어야 한다. 중요 설계조건으로 DC 전력을 RF 전력으로 전력증폭기가 얼마만큼의 효율성을 내는지에 있으며, 효율성과 선형성을 절충해야 한다.[1-4]

본 논문에서는 이러한 설계에 필요한 부분을 이해하고 전력증폭기를 설계하는 방법에 대해 알아보고자 한다. 실제 설계 및 제작, 측정까지의 과정을 대략적으로 다루도록 하겠다.

블루투스 대역인 2.4GHz 대역에서 높은 이득과 최소한의 기판 크기를 목표로 설계했으며, 첫 번째로 1단 전력증폭기의 설계방법 및 측정결과를 나타낼 것이다. 다음으로는 3단 전력증폭기의 설계 및 측정결과, 그리고 2-tone power test 결과를 언급하도록 하겠다.

2. 단일 전력증폭기 설계

1단 전력증폭의 동작점은 NEC社의 NE6510179A Power Transistor의 I-V 특성곡선을 통해 Class AB급 동작을 하는 V_{DS} =4.5V, I_D=300mA로 바이어스 동작점을 선택하였다.

설계는 전력증폭기에 사용하고자 하는 소자의 내부는 임의의 것으로 가정하고, 입력과 출력의 가능한 모든 임피던스를 변화시켜 가면서 출력특성을 측정하여 최적의 부하조건을 얻는 방법인 Source-load pull 방법을 사용하였다. Source-load pull 방법은 많은 지점의 임피던스와 바이어스에서 특성을 측정하여야 된다는 불편함이 있으나, 이는 ADS simulation tool을 통해 간편화 되었다.

그림 1에서는 1단 전력증폭기가 최대 출력전력을 갖도록 하는 임피던스 Z_S, Z_L을 Source-load pull 방법으로 ADS simulation 한 것이다.

제작된 1단 전력증폭기는 게이트단에 -0.7V, 드레인단에 4.5V를 인가시켜 드레인단 전류가 380 mA 나왔고 이때 S-parameter로 본 S_{21}은 7.75dB를 S_{11}, S_{21}은 각각 -25dB, -24dB의 값이 나왔다.

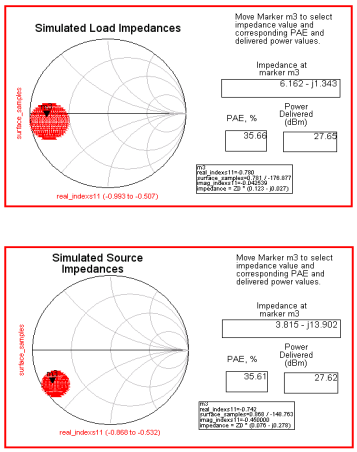

그림 1. Source-load pull simulation

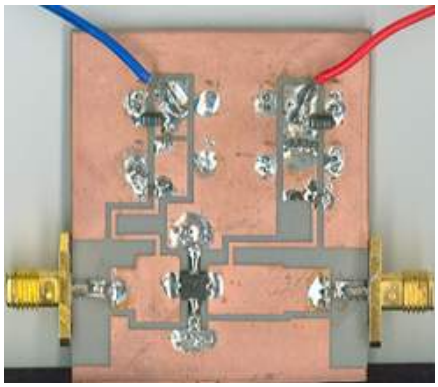

그림 2. 1단 전력증폭기의 기판사진
(가로 = 44 mm, 세로 = 52 mm)

다음은 1-tone power test를 통해 P1dB의 값과 Pgain, Pout, PAE를 입력을 달리하여 측정해 보았다. 그림 3은 1단 power test를 하기위한 블록 도로써 Drive amp와 Attenuator를 사용하여 측정하였다.

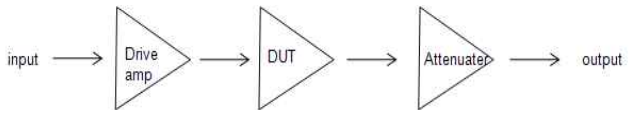

그림 3. 1-tone test를 하기위한 블록도

그림 4에서 보면 Pin 대비 Pout을 통하여 포화되는 지점을 보고 그래프로 작성해 보았다.

1-tone 신호에 대하여 하모닉 성분을 측정하였다. 선형적인 구간에서 $2fo-fo$, $3fo-fo$의 값이 -40 dBc 이하의 값을 가졌으며, 포화되는 구간에서는 -30dBc 정도의 값을 가졌다.[1]-[3]

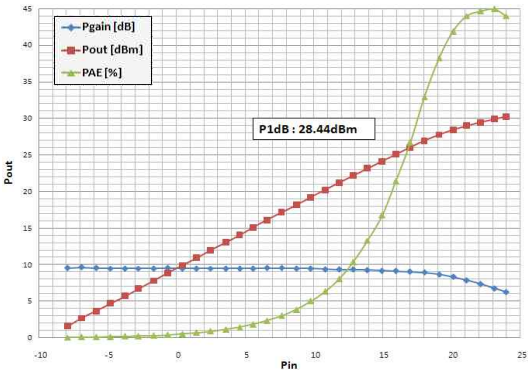

그림 4. 1단 1-tone power test 결과

3. 3단 전력증폭기 설계

위의 1단 전력증폭기를 토대로 직렬 접속하여 3단 전력증폭기를 설계하여 보았다. 각 단의 사이에는 feeding line을 제거하고 capacitor를 연결해 주었으며, ADS simulation tool을 통해 capacitor값을 가변 시키면서 최적의 특성을 보이는 0.5pF으로 설계 하였다.

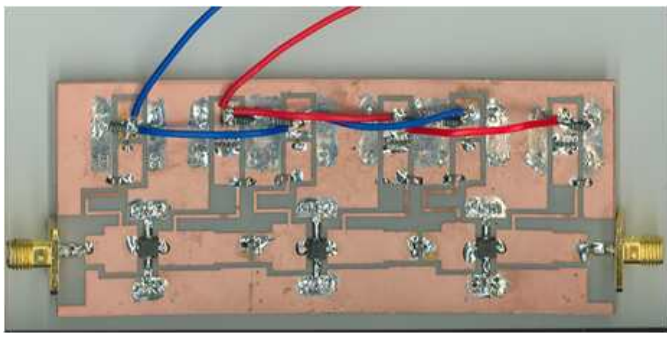

그림 5. 3단 전력증폭기의 기판사진
(가로 = 120 mm, 세로 = 52 mm)

그림 6에서 보면 Pin 대비 Pout을 통하여 포화되는 지점을 보고 그래프로 작성해 보았다.

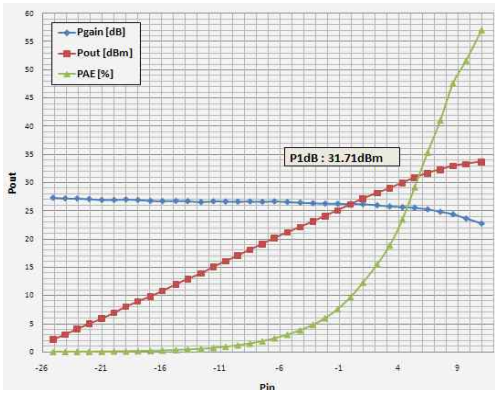

그림 6. 3단 1-tone power test 결과

2-tone test의 경우 2400MHz, 2401MHz의 각기 다른 signal generator로 발생된 신호는 power wilkinson combiner를 통하여 합쳐주게 된다. 이때에 발생된 신호는 전력증폭기가 견딜 수 있는 최대 출력을 가질 때의 입력전력을 가지게 하였으며, 실험이 용이하게끔 하기 위하여 전력증폭기 뒷단에 step attenuator를 사용하였다. step attenuator는 전력증폭기의 특성을 확실히 알 수 있게 하는 범위의 감쇠정도를 결정하게 된다. 이렇게 최종적으로 발생된 신호는 spectrum analyzer를 통하여 특성을 확인하였다.

이렇게 측정된 1단과 3단의 2-tone power test 결과는 그림 7과 그림 8의 그림과 같다.

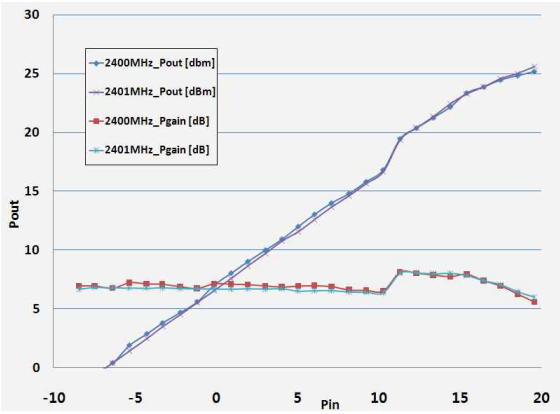

그림 7. 1단 2-tone power test 결과

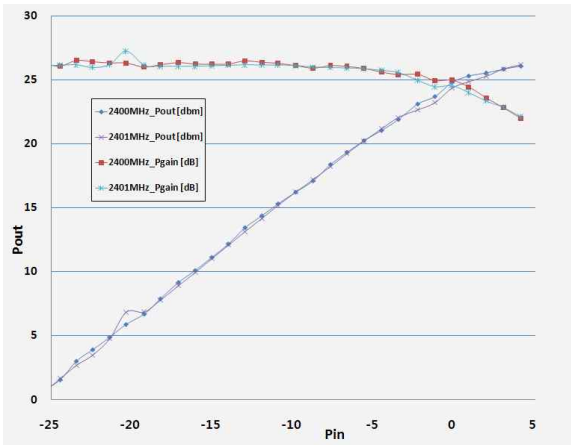

그림 8. 3단 2-tone power test 결과

그림 9, 그림 10에서는 2-tone power test를 통하여 IMD(Intermodulation Distortion)의 성분과 중심 주파수의 output power의 차를 그래프로 나타내었다.

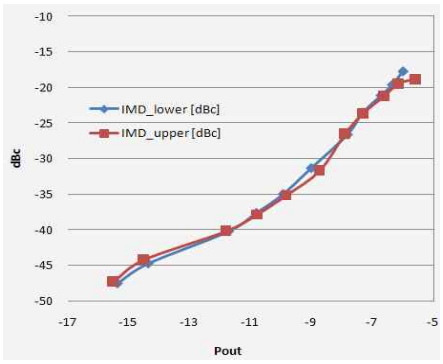

그림 9. 1단 2-tone 인가시 IMD 특성

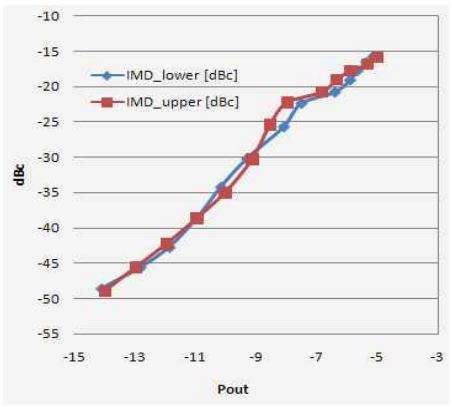

그림 10. 3단 2-tone 인가시 IMD 특성

4. 맺음말

본 논문에서는 Power transistor를 이용하여 전력 전달용 3단 전력 증폭기를 설계하였다. 각 단이 서로 격리된 상태로 설계를 함으로써, 각 단의 임피던스 정합 점은 같다. 이로 인하여 설계에 들어가는 시간과 노력이 절감되는 장점을 가지고 있다. 설계한 3단 전력 증폭기는 중심 주파수 2.4GHz에서 약 30dB의 이득, 32dBm의 포화전력, 포화점에서의 효율은 23%까지의 성능을 보였다. IMD 특성에서는 -15dBc에서 -49dBc의 특성을 나타내었다.

참고문헌

[1] D. M. Pozar, "*Microwave Engineering*", Second edition, John Wiely and Sons, Inc., New York, 1998.

[2] G. Gonzalez, "*Microwave Transistor Amplifiers analysis and design*", 1996.

[3] J. L. B. Walker, "*High-Power GaAs FET Amplifiers*", 1993.

[4] S. C. Cripps, "*RF Power Amplifiers for Wireless Communications*," Norwood, MA, Artec House, 2006.