

# 전력증폭기의 선형성 개선을 위한 전치왜곡 선형화기 설계 및 제작

김동일<sup>1)</sup>, 황재현<sup>1)</sup>, 정세모<sup>2)</sup>

## A Study on the Improvement of Linear Characteristic for Power Amplifier by Using Predistortion Method

D. I. Kim, J. H. Hwang, S. M. Chung

### Abstract

The 3rd order intermodulation(IM3) signals affect a great influence on fundamental signal because IM3 can not be rejected by a filter. To solve this problem, in this paper; a predistortion method was applied. The designed predistorter cascaded to 4 W power amplifier and tested with two-tone spreaded 5 MHz. As an experimental result, it was clearly shown that the 3rd order intermodulation distortion characteristics has been improved as much as 17 dB when the output of the power amplifier is 30.67 dB.

### 1. 서 론

이동 통신 시스템과 무선 멀티미디어 서비스에 대한 방식들이 발전함에 따라, 단일 위치에서 전송되어지는 신호들의 수가 증가하고 더욱 복잡해지고 있다. 따라서 그러한 시스템에 사용되어지는 RF 전력증폭기에 대한 대역폭, 출력전력, 효율, 출력왜곡에 대한 허용기준 등의 요구사항이 증가하고 있다. 그러한 전력 증폭기의 요구 사항은 높은 출력레벨에서 신호의 왜곡 없이 모든 종류의 신호를 증폭하고 넓은 대역폭에 걸쳐 동작하게 하는 것이다.

모든 통신시스템의 주요한 목적은 정보를 송신하고 수신하는 것이다. 무선 이동통신에 대한 정보는 대개 음성의 형태이지만, 문자, 그림, 영상 등의 데이터 전달과 무선 멀티미디어 서비스를 위해 여러 형태의 데이터 사용이 증가하고 있다. 이러한 것이 가능한 이유 중 하나는 비선형 특성을 가지는 RF 전력증폭기를 매우 높은 사양을 만족시키고 선형 전력증폭기의 조건을 충족시키기 때문이다. 그러나 전력증폭기는 혼변조 신호(Intermodulation Signal)와 고조파 신호(Harmonic Signal) 등의 왜곡을 발생시키기 때문에 일반적인 증폭기 제작 방법으로는 선형화가 가능하지 않다[1].

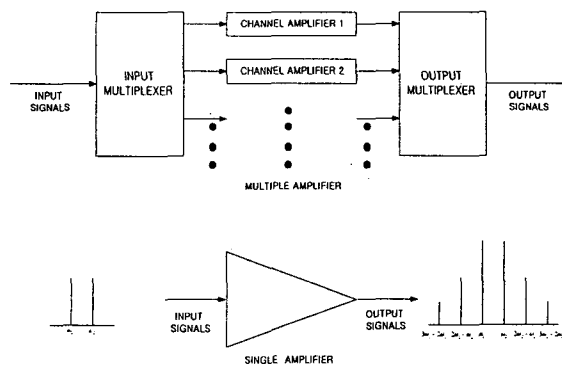


그림 2 다중채널에 대한 다중 증폭기와 단일 증폭기의 비교

1) 한국해양대학교 전파공학과

2) 한국해양대학교 해사수송과학부

그림 1과 같이 다중채널을 가지는 입력신호에 대해 각각의 입력신호 채널에 해당하는 증폭기를 사용할 경우 다중채널에 의한 왜곡을 상당히 줄일 수 있다. 하지만, 이런 경우에는 입력과 출력단에 사용되는 multiplexer에서 전력소비가 발생하고 다중 증폭기를 사용함으로써 비용이 많이 드는 단점이 있다. 따라서 단일 증폭기를 사용해야 하고, 이로 인해서 다중 입력신호에 의한 증폭기의 비선형 때문에 출력신호는 높은 왜곡신호를 가지게 된다[2][3].

이러한 전력증폭기 고유의 비선형성에 의해 부가된 왜곡을 감소시키거나 제거하는 방법으로 본 논문에서는 Predistortion 선형화 방법을 사용하였다.

## 2. MESFET를 이용한 Predistortion 선형화기 설계

전력증폭기의 비선형 특성에 의해서 발생하는 왜곡으로서 이득 감소, 위상 변화, 혼변조신호(Intermodulation Signal) 발생 등이 있다[4][5]. 이러한 왜곡 신호 중 전송 채널 외부에 발생된 전력은 이웃한 채널에서 간섭을 일으키고, 전송 채널 내에서는 신호벡터의 에러를 야기시켜서 복조의 정확성을 감소시킨다. 특히 혼변조 신호중 3차 혼변조 신호는 기본 주파수(Fundamental Frequency) 신호에 인접하여 여파기로 제거할 수 없기 때문에 신호 왜곡에 결정적 영향을 미친다. 본 연구에서의 Predistortion 선형화 방식은 전력증폭기의 비선형 특성과 반대가 되는 왜곡 신호를 만들어 전력증폭기의 입력으로 사용할 수 있는 Predistorter 회로를 만들어 대전력 증폭기의 전단에 연결함으로써 혼변조 신호를 줄이는 방식이다[6]. 이와 같은 특징을 가지는 Predistorter를 이용하여 전력증폭기와 반대되는 비선형 특성을 제작된 전력증폭기의 입력으로 사용하여 3차 혼변조신호의 크기를 최소화 하고자 한다.

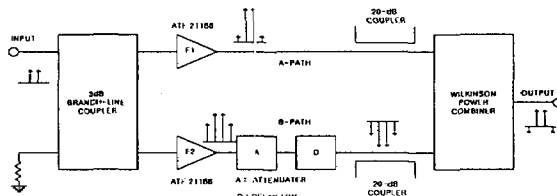


그림 2. Predistortion 선형화기의 구성도

그림 2는 본 연구에서 사용한 Predistortion 선형화기의 구성도이다. 먼저, 선형화기의 구성회로를 살펴보면 3dB 가지선로 방향성 결합기, ATF-21186 소신호 증폭기 2개,  $\pi$ 형 감쇠기, delayline, 20dB 결합선로형 방향성결합기와 Wilkinson 전력 합성기가 사용되었다.

Predistortion 선형화기의 동작원리는 입력에 같은 진폭을 가지는 두 개의 다른 주파수의 기본파가 입사하면 3dB 가지선로형 방향성결합기를 통과하면서 신호는 두 경로(A-path, B-path)를 통하여 전파되는데, 두 신호의 크기는 3dB 감쇠하고 위상은 서로 90도 차이를 가진다. 이 두 신호는 각각 선형영역에서 동작하는 소신호 증폭기와 혼변조 신호의 큰 출력을 위한 비선형 영역에서 동작하는 증폭기를 지나게 된다. 이 두 신호를 20dB 결합선로형 방향성결합기를 통하여 관측하여 기본파 신호는 A-path 신호가 B-path 신호보다 크게 감쇠기를 조절하고, 위상은 서로 180도 차이를 갖도록 delayline을 조절한다. 따라서, Wilkinson 전력 합성기를 통하여 이 두 신호를 결합하면, 기본파 신호에 180도의 위상차이를 가지는 출력신호를 얻을 수 있다. 그러므로 이 신호를 전력증폭기의 입력으로 사용함으로써 전력증폭기의 비선형 특성에 의해서 생기는 기본파 신호에 의한 혼변조 신호와 입력신호 자체에 있던 혼변조 신호가 상쇄되어 전력증폭기의 비선형 특성을 개선시키는 효과를 얻을 수 있다.

## 3. 실험결과

그림 3과 그림 4는 두 FET의 기본주파수 출력신호와 IM3의 출력신호를 나타낸다. 그림 3에서 기본주파수에 대한 두 FET의 출력은 거의 비슷한 특성을 나타내고 있음을 알 수 있고, 그림 4에서 IM3의 출력은 상당한 차이나 남을 알 수 있다. 여기서 만약 선형화기에 6 dB의 감쇠기를 사용하였을 경우에 두 FET의 IM3의 차이가 6 dB가 나지 않는 4.5 dBm의 입력부터는 Predistorter로서 전력증폭기의 선형화에 기여하지 못함을 알 수 있다. 따라서 입력전력 약 4.5 dBm 이하의 전력 범위에서 전력증폭기를 구동시켜야 한다

그림 5는 선형화기에서 delayline을 사용하여 두 FET의 위상이 180° 차이가 나도록 조절한 후 Wilkinson 전력 합성기 앞 단의 20 dB 방향성결합기를 통해 측정된 위상이다. 0 dBm을 기준으로 위상이 180° 차이가 나고 그 보다 낮은 입력이나 높은 입력에서는 조금의 오차가 남을 확인할 수 있다.

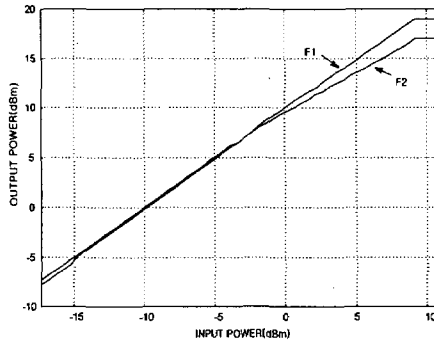


그림 3 두 FET(A-path : F1, B-path : F2)의 기본주파수 입·출력 특성.

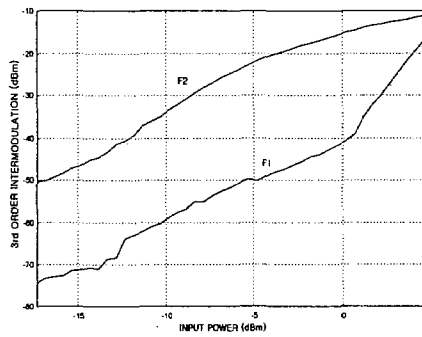


그림 4 두 FET의 IM3 입·출력 특성

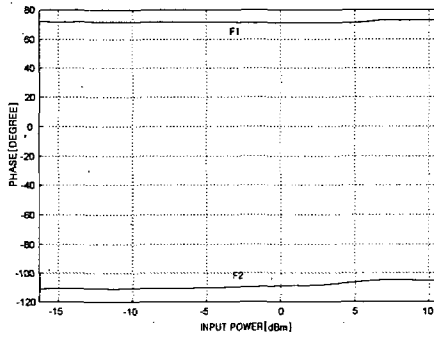


그림 5 delayline으로 조절한 두 FET의 위상

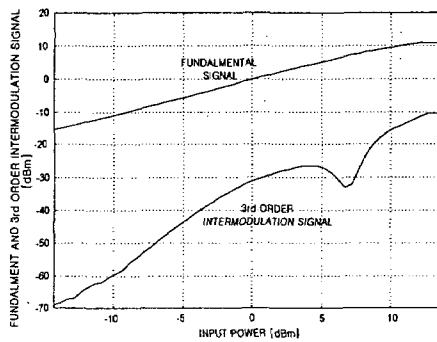


그림 6 선형화기의 기본주파수 신호와 IM3

그림 6은 6 dB 감쇠기와 delayline을 사용한 최종 Predistortion 선형화기의 기본주파수 신호와 180° 위상차이가 나는 3rd order IM 신호이다. 여기서 입력은 선형화기 앞 단의 입력이기 때문에 가지선로형 방향성결합기의 3 dB 감쇠를 고려하면 입력이 1.5 dB 이상부터는 기본주파수 신호와 IM3의 위상이 180° 위상차가 나지 않기 때문에 전력증폭기의 입력으로 사용할 수 없다. 따라서 1.5 dB 이하의 입력전력 레벨에서 전력증폭기의 선형성 개선에 기여함을 알 수 있다.

그림 7은 제작된 Predistortion 선형화기의 성능을 평가하기 위한 전력증폭기의 입·출력 특성을 나타낸다.

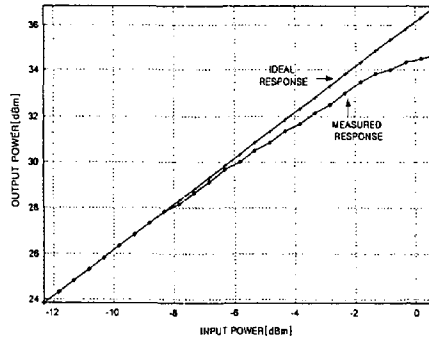


그림 7 전력증폭기의 입·출력 특성 (2 tone 입력시)

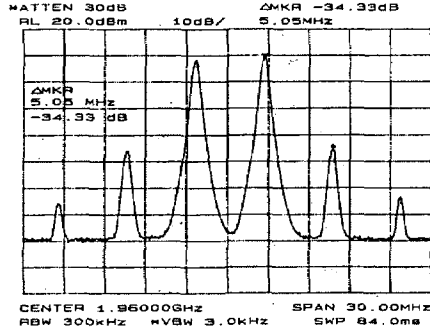
측정방법은 먼저 입력전력을 0.5 dB back-off 시키면서 전력증폭기의 출력전력과 IM3를 측정 한 후 전력증폭기의 앞단에 선형화기를 결합하여 전력증폭기의 출력에 따라 IM3를 측정하였다.

표 1은 전력증폭기와 선형화기가 결합된 전력증폭기의 출력전력과 IM3를 나타내고 있다. 표 1을 살펴보면, 출력전력 33 dBm의 높은 전력에서는 3.2 dBc 개선이 되고, 입력전력이 back-off 되면서 개선량이 더 많아짐을 확인할 수 있고, 더 낮은 입력전력에서는 그 개선량이 다시 줄어들음을 확인할 수 있다.

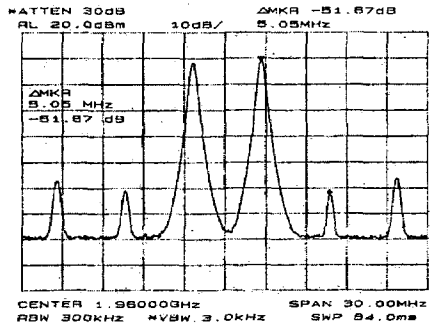
표 1. 전력증폭기와 선형화기가 결합된 전력증폭기의 출력전력과 IM3

OUTPUT POWER (dBm)	IM3 of Amp.[dBm]	IM3 of Predistortor + Amp.[dBm]
27.84	-13.66	-15.33
28.17	-12.83	-14.83
28.67	-11.33	-14.66
29.17	-10	-14.66
29.67	-8.5	-15.83
30	-6.66	-16.5
30.5	-4.83	-15.33
30.84	-2.83	-16.83
31.34	-0.83	-11.66
31.67	1.5	-9.33
32.17	3.67	-4
32.5	6	-1
33	3	4.84

그림 8은 출력전력 30.67 dBm일 때 전력증폭기의 기본주파수 신호와 IM3 출력과 선형화기가 결합된 전력증폭기의 기본주파수 신호와 IM3의 출력을 스펙트럼상에서 비교하고 있다. 출력전력이 30.67 dBm일 때 IM3의 개선량은 약 17 dBc임을 알 수 있다. 그리고 그림 8은 출력전력 32.67dBm일 때에 측정 한 결과이다.

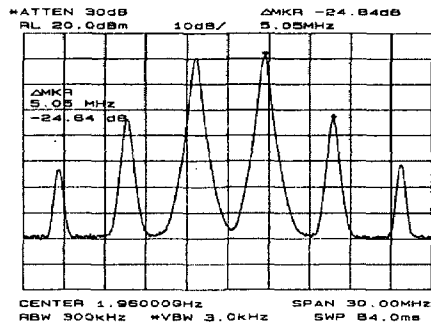


(a) 전력증폭기의 출력

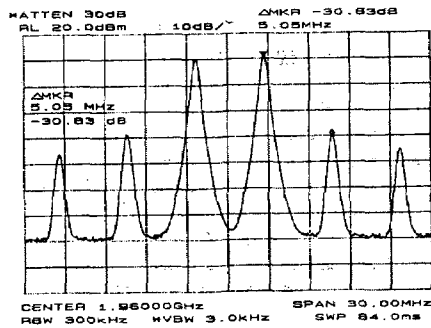


(b) 선형화기+전력증폭기의 출력

그림 8. 제작된 전력증폭기의 특성(출력전력: 30.67 dBm/tone)



(a) 전력증폭기의 출력



(b) 선형화기+전력증폭기의 출력

그림 9. 제작된 전력증폭기의 특성(출력전력: 32.67 dBm/tone)

#### 4. 결 론

본 논문에서의 Predistortion 선형화기의 구성회로는 가지선로형 방향성결합기, Wilkinson 전력합성기, ATF- 21186,  $\pi$ 형 감쇠기, delayline, 20 dB 결합선로형 방향성결합기가 사용되었으며 주파수 대역은 1,885 MHz ~ 2,025 MHz이다.

Predistorter에서 Wilkinson 전력합성기 앞 단에서 두 경로 신호의 위상차이를  $180^\circ$  가 나게 하기 위해서 20 dB 방향성결합기를 이용하여 이 두 신호를 모니터 하였다. 따라서 두 경로의 신호가  $180^\circ$  의 위상차를 가질 수 있도록 delayline을 조절하였고, 제작된 전력증폭기의 IM3를 측정하여 Predistorter의 출력에서 기본주파수 신호와  $180^\circ$  위상차가 나는 IM3의 신호레벨을 가장 적절히 하기 위해 감쇠기를 조절하였다.

선형화기 측정주파수는 중심주파수 1.96 GHz에서 5 MHz 신호 간격을 갖는 2 tone 신호를 입력하였다. 측정은 출력 신호의 세기가 27.84 dBm에서 33dBm사이에서 수행하였다. 측정결과 최고 17 dBc의 IMD 개선을 보였다.

#### 참고문헌

- [1] Nick Pothecary, Feedforward Linear Power Amplifier, Addison-Wesley, 1999.
- [2] A.Katz, "SSPA Linearization," Microwave Journal April 1999
- [3] Steve C. Cripps, RF Power Amplifiers for Wireless Communications, Artech House, 1999
- [4] Tri T. Ha, Solid-State Microwave Amplifier Design, John Wiley & Sons, 1981
- [5] Stephen A Mass, Nonlinear Microwave Circuits, Artech House, 1988
- [6] Mahesh Kumar, "Predistortion Linearizer Using GaAs Dual-Gate MESFET for TWTA and SSPA Used in Satellite Transponders," IEEE Trans. on MTT, Vol. MTT-33, No. 12, Dec. 1985