

# 선형화 기법을 이용한 PCS용 전력증폭기의 설계 및 구현

정회원 하성재\*, 이민희\*, 민준기\*, 이용덕\*, 김복기\*\*, 홍의석\*

## A Design and Implementaion of the Power Amplifier using Linearizer for PCS

Sung-Jae Ha\*, Min-Hee Lee\*, Jun-Ki Min\*, Yong-Deuk Lee\*, Bock-Ki Kim\*\*,

Ui-Seok Hong\* *Regular Members*

### 요 약

본 논문에서는 전치왜곡 방식의 선형화기를 이용하여 전력증폭기의 비선형성을 개선하였다. 전치왜곡기는 0도 3dB 커플러, 90도 3dB 커플러, 이득보상용 증폭기, Shottky 다이오드 그리고 이득 감쇄기로 구성되었다. 선형화된 전력증폭기는 대역폭 1960 MHz~1980MHz에서 54 dB 이득특성을 얻었다. IMD(Inter Modulation Distortion) 특성으로는 39dBm/Tone@1.23MHz 출력특성을 나타낼 때 -58dBc의 특성을 나타내었다. 본 논문의 선형화기는 약 14dB의 IMD개선 성능을 보였다.

### ABSTRACT

In this paper, the non linear characteristics of HPA (High Power Amplifier) is improved by using predistorter. Predistorter consists of 0 degree and 90 degree couplers, complementary amplifier, shottky diodes, and attenuators. Gain of the Linearized HPA is 54dB at 1960MHz - 1980MHz. IMD (Inter Modulation Distortion) characteristic shows -58dBc at 39dBm/tone @1.23MHz. The IMD performance of this predistorter is improved by 14dB.

## I. 서론

현재 디지털 이동통신 시스템은 한정된 주파수대역을 효율적으로 사용하기위해 CDMA(Code Division Multiple Access)방식을 사용하고 있다. 이처럼 디지털 변조 방식으로 바뀌고 있는 송신기의 추세에 맞추어 고출력 송신 단에 사용되는 높은 효율과 높은 선형성을 가진 고출력 전력증폭기에 대한 연구는 필수적으로 진행되어야 한다. 높은 효율과 높은 선형성을 가진 고출력 전력증폭기를 동시에 얻기 위해서는 효과적인 선형화기술이 필요하다<sup>[1]</sup>. 선형화기는 주파수에 따라서 여러 가지 형태로 제안되어 왔다. 제안된 선형화방식들 중에서 디지털 이동통신 시스템의 경우 전치왜곡 선형화 방

법은 효과적이고 실제적인 기술로 인식되어 왔다.

본 논문에서는 선형화기를 구현하는 방법 중 저 전력 소자들로 구현 가능한 전치 왜곡 선형화기를 이용하여 고출력 전력 증폭기의 비선형 특성을 효과적으로 선형화 하고자 하였다.

## II. 선형화 전력 증폭기

### II-1. 전력증폭기

고주파 고출력 전력증폭기에서 신호 왜곡은 전력 증폭기의 구성 소자들의 DC적인 비선형성과 전력 증폭기의 포화영역의 비선형성에 의해서 생긴다<sup>[2]</sup>. 증폭기의 신호왜곡은 첫째로 비선형성을 갖는 증폭기에 두 개 이상의 신호가 인가되었을 때 생기는

\* 광운대학교 전자 공학과(ushong@daisy.kwangwoon.ac.kr)  
논문번호 :020251-0520, 접수일자 : 2002년 5월 20일

\*\* 광운대학교 전자공학과

IMD라고 하는 주파수 성분들이다. 예를 들어 식(1)과 같은 신호가 비선형적인 증폭기에 인가되면, 출력신호는 크기와 주파수의 정보를 나타내는 멱 급수와 위상을 추가하여 나타내는 Volterra 급수가 있다. IMD성분의 생성은 크기와 주파수의 정보만으로 고찰이 가능하므로 멱 급수로 취급하여 나타내면 식(2)와 같다<sup>[3][4]</sup>. 그러므로 출력신호는 DC,  $f_1$ ,  $f_2$ ,  $2f_1$ ,  $2f_2$ ,  $3f_1$ ,  $3f_2$ ,  $f_1 \pm f_2$ ,  $2f_1 \pm f_1$ ,  $2f_1 \pm f_2$ 의 주파수 성분이 생성된다. 여기에서  $2f_1$ ,  $2f_2$ 를 2차 고조파,  $3f_1$ ,  $3f_2$ 를 3차 고조파 그리고  $f_1 \pm f_2$ ,  $2f_1 \pm f_1$ ,  $2f_1 \pm f_2$ 를 2차, 3차 IMD라고 한다. 그림2-1.은 위의 관계에 대한 입출력 스펙트럼을 나타내고 있는데 이 그림 2-1에서 알 수 있듯이 3차 IMD  $2f_1 \pm f_2$ ,  $2f_2 \pm f_1$ 는 증폭기의 대역폭 내에서 기본 주파수와 근접해 있기 때문에 출력의 왜곡현상에 가장 큰 영향을 주게된다.

$$v_i(t) = A \cos(2\pi f_1 t) + A \cos(2\pi f_2 t). \quad (1)$$

$$v_o(t) = a_1 v_i(t) + a_2 v_i^2(t) + a_3 v_i^3(t). \quad (2)$$

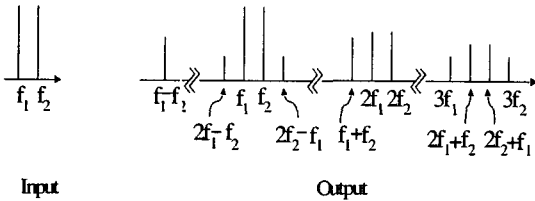


그림 2-1. 입출력 전력 스펙트럼

또 다른 신호왜곡현상은 비선형적인 위상특성에 의해 일어난다. 신호가 왜곡 없이 증폭되기 위해서 전력이득 전달함수의 크기는 주파수의 함수이어야 한다. 그래서 주파수에 대한 위상천이는 신호의 모든 주파수 성분들에 대해 일정한 시간지연을 일으키게 된다. 그러나, 위상천이가 주파수에 대해 비선형 함수가 된다면 신호의 여러 가지 주파수성분들에 대해서 여러 가지 다른 시간지연들을 일으키게 된다. 이것은 결국 출력 위상왜곡을 일으키게 되며 군 지연(Group delay)특성으로 식(3)과 같이 나타낸다.

$$t_d = - \frac{d\phi}{d\omega} . \quad (3)$$

전력증폭기는 또, 다른 형태의 위상 왜곡을 일으킬 수 있다. 즉 AM과 같은 신호들이 전력증폭기를 통해 전달 때 위상천이는 신호의 순간적인 크기의 함수가 되고, 출력 위상은 약간의 리플을 갖는 평균치로 구성되는데, 이러한 형태의 위상왜곡을 AM/

PM 변환이라고 하고, 입력이 1dB 증가할 때, 출력 위상의 변화로써 정의한다.

### II-2. 전치왜곡 선형화기

전치왜곡 방식은 증폭기의 비선형성을 보상해 주기 위해 TWTA에서부터 현재까지 가장 널리 사용되어 오고 있는 방법이다. 본 전력증폭기가 포화영역에 들어가게면 이득이 줄어들고 위상이 증가하는 왜곡특성을 보인다. 전치선형화기는 고효율 증폭기의 역의 왜곡신호 특성을 갖는 회로를 미리 고효율 증폭기의 입력 측에 장착하여 주 증폭기의 출력에 의한 왜곡성분을 상쇄시키는 방식이다<sup>[1][6]</sup>. 다시 말하면 전치 왜곡기를 증폭기 앞단에 달아주어 AM to PM, AM to AM 왜곡을 보상해 준다. 이 방법은 두 개의 서로 다른 왜곡 특성을 지닌 신호원을 정합 시켜야 하므로 최종 출력에서 제거될 수 있는 왜곡의 정도에 한계가 있다. 이러한 전치 왜곡기는 보통 쇼트키 다이오드 (Schottky Diode)와 MESFET의 비선형 특성을 이용해 만들어진다. 본 논문에서는 쇼트키 다이오드를 이용하여 왜곡신호를 발생하였다. 전체 적인 전치 왜곡기의 구조는 동위상 커플러를 이용하여 평형 구조로 형성하였다. 이러한 구조는 기존의 선형 및 비선형 경로로 구성된 전치 왜곡 선형화기와 구별이 된다. 또한 동일한 회로로 이루어져있으므로 설계 및 제작이 용이하다. 본 논문의 선형화기는 기존의 혼변조 발생기보다 혼변조 성분을 두배 증가시키고, 선형경로와 비선형 경로 사이의 위상최적화 과정을 생략하도록 구성된 회로이다. 그림 2-2는 전치왜곡기를 이용한 증폭기의 입출력에 따른 선형화 방법을 보여주고 있다. 본 논문의 전치왜곡기 방식의 선형화기에 대한 블록도를 아래 그림 2-3에 나타내었다.

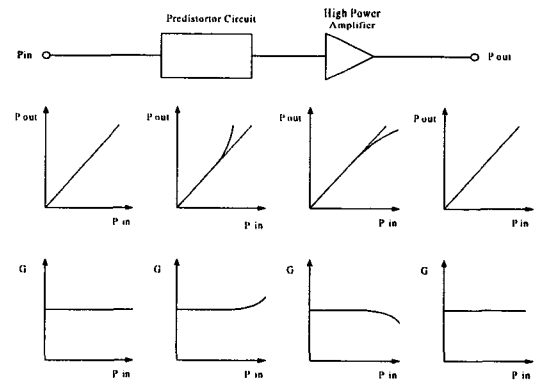


그림 2-2. 전치왜곡 방식의 동작원리

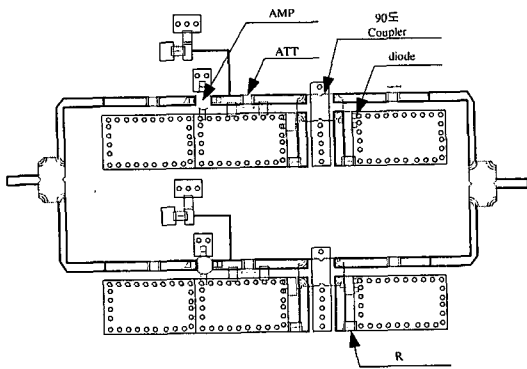


그림 2-3. 본 논문의 전치 왜곡기

### III. 선형화 전력 증폭기 설계

본 논문에서는 전력 증폭기를 설계할 때 Back-off 방식과 전치왜곡방식을 같이 이용하여 설계하였다. 이는 전력증폭기의 선형성을 최대한 우수하도록 하여 전치왜곡방식의 선형화 개선도의 한계를 극복하는 것과 CDMA 신호의 Peak to Average 값을 확보하기 위해서이다. 일반적으로 전력 증폭기를 설계하는 방법은 부품회사에서 제공하는 S 파라미터를 이용하여 설계하는 방법, Data Sheet에서 주어진 입력, 출력 임피던스를 이용하여 설계하는 방법, 비선형 모델 이용하여 설계하는 방법이 있다. 본 논문에서는 Motorola에서 제공하는 Agilent사 ADS 1.3의 Root모델을 이용하여 설계하였다. 그림 3-1은 본 논문의 선형화 전력 증폭기의 구성도 이다.

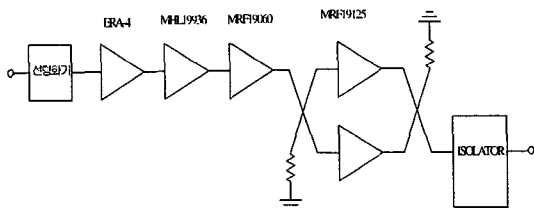


그림 3-1. 선형화 전력 증폭기 구성도

선형화 증폭기의 설계 과정은 먼저 전력증폭기의 소신호 이득 특성과 IMD특성을 예측한 후에 전치 왜곡기를 장착하여 전력증폭기의 IMD특성을 개선하도록 최적화한다. 전치 왜곡기의 최적화 과정은 전력증폭기의 특성과 반대의 특성을 갖도록 하여야 하며, 전치왜곡기의 입력신호의 크기와 전치 왜곡기의 손실에도 최적화하여야 한다. 그림3-2 에서는 설계된 선형화기의 특성이다.

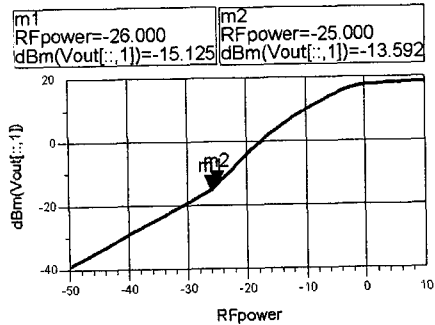


그림 3-2. 선형화기의 설계특성

전력증폭기의 입력전력 부근에서 전력증폭기의 특성과 반대의 특성을 나타내고 있다. 그림 3-3은 1.96 GHz에서 1.98 GHz까지 20 MHz 대역을 갖는 증폭기의 소 신호 입력력 반사계수 및 이득을 예측한 결과이다. 입력 반사계수는 -20 dB특성을 나타내고 있으며, 이득특성은 55 dB의 특성을 보이고 있다. 그림 3-4는 전력 증폭기의 IMD특성을 예측한 결과이다. 신호간격 1.23 MHz 이고, 출력신호 39 dBm/Tone일 때 43.9 dBc의 IMD특성을 예측하였다. 예측된 증폭기의 IMD특성은 부품업체에서 제공하는 최고의 IMD성능으로 설계되지 않았다. 이것은

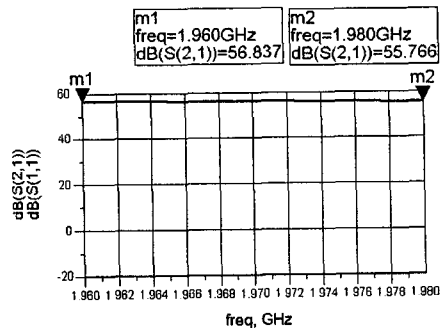


그림 3-3. 선형화 전력 증폭기 반사계수

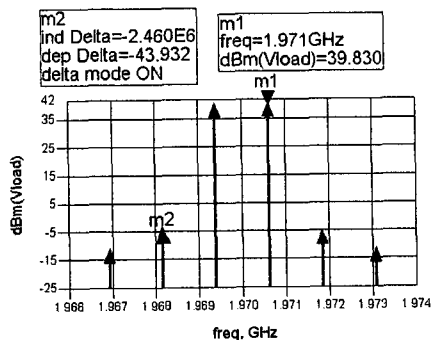


그림 3-4. 전력 증폭기 IMD특성

증폭기의 최적의 특성과 선형화기의 특성이 서로 반대의 특성을 얻기 위해서 선형화기와 전력증폭기의 특성이 다소 최적의 특성이 일 필요는 없기 때문이다.

그림3-5에서는 선형화기를 장착하여 IMD특성을 예측한 결과이다. 예측한 결과 12dB의 IMD 개선특성을 보였다.

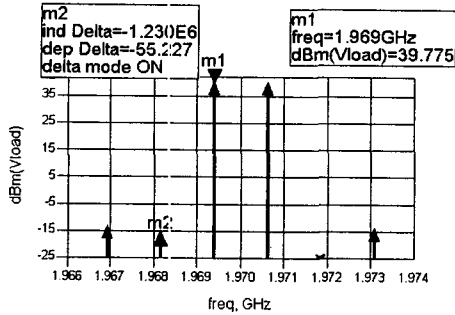


그림 3-5. 선형화 된 전력 증폭기 IMD특성

#### IV. 제작 및 측정

본 논문에서는 PCS용 20W 선형화 전력 증폭기를 설계 및 제작하였다. 회로제작을 위해서 기판은 비유전율 3.5, 두께 0.504 mm인 Taconic사의 RF-35 기판을 이용하였으며 설계 Tool로써 초고주파 회로 시뮬레이터인 Agilent사의 ADS(Advanced Design System)를 이용하였다. 설계 및 제작한 선형화 증폭기의 측정 구성도는 그림 4-1과 같다.

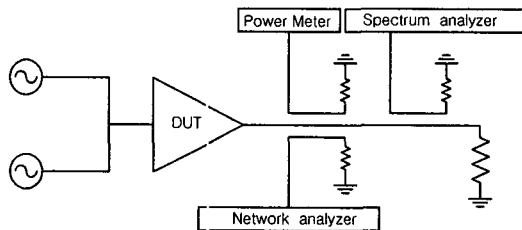


그림 4-1. 선형화 전력 증폭기 측정 구성도

그림 4-2는 선형화 증폭기의 입력 반사계수 및 소 신호 이득을 Network Analyzer HP 87563을 이용하여 측정된 결과이다. 측정 결과 입력 반사계수는 -19dB이하의 특성과 소 신호이득 54dB의 특성을 보였다. 이득 평탄도는 약 0.5dB의 특성으로 비교적 우수한 결과를 얻었다. 그림4-3은 전력증폭기의 IMD특성을 Spectrum 분석기 HP 85952를 이용하여 측정된 결과이다. 1.23MHz 간격을 갖는 두

신호가 39 dBm/Tone 으로 출력 될 때 44 dBc의 3차 IMD특성을 나타내었다. 그림 4-4는 전치 왜곡기를 장착한 선형화 전력증폭기의 IMD특성을 측정된 결과이다. 1.23MHz 간격을 갖는 두 신호가 39 dBm/Tone으로 출력 될 때 58 dBc의 IMD특성을 나타내었다.

본 논문의 전치 왜곡기는 전력증폭기의 IMD특성을 약 14dB 개선하였음을 확인하였다.

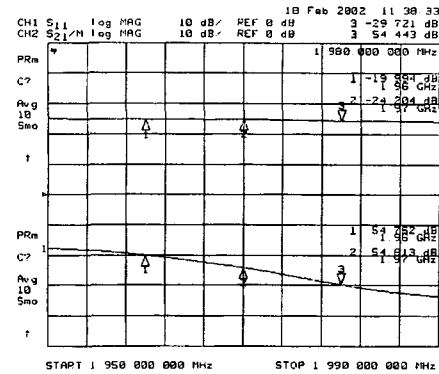


그림 4-2. 선형화 전력 증폭기 반사계수

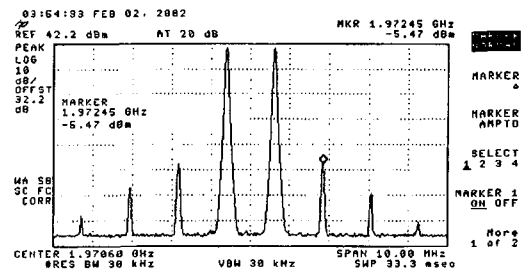


그림 4-3. 전력 증폭기 IMD특성

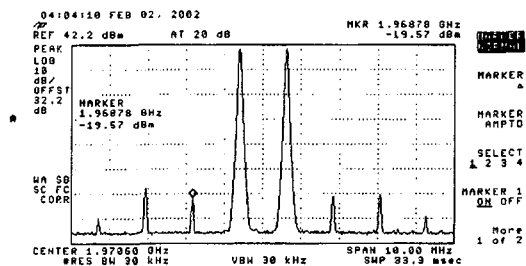


그림 4-4. 선형화 된 전력 증폭기 IMD특성

그림 4-5는 설계 및 제작된 선형화 전력증폭기의 실물 사진이다. 표1. 은 본 논문의 전력증폭기와 상용 제품의 설계 사양과 비교한 것이다. 현재 상용제품의 규격을 모두 만족함을 보여주고 있다.

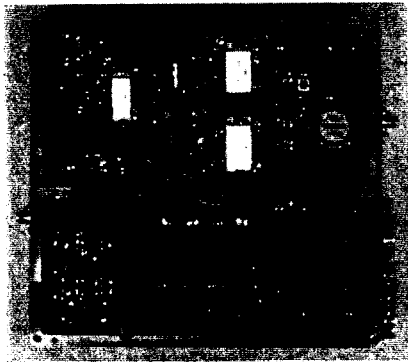


그림 4-5. 선형화 증폭기의 실물사진

### V. 결론

본 논문에서는 PCS용 20W 선형화 전력 증폭기를 설계 및 제작하였다. 본 논문에서 제작한 선형화 증폭기의 입력 반사계수 및 소신호 이득은 입력 반사 계수는 -19dB이하의 특성과 소신호이득 54dB 및 평탄도는 약 0.5dB 특성을 보였다. 전치 왜곡기를 장착한 선형화 전력증폭기 IMD 특성은 1.23MHz 간격을 갖는 두 신호가 39 dBm/Tone 으로 출력 될 때 58 dBc의 IMD 특성을 나타내었다. 본 논문의 전치 왜곡기는 전력증폭기의 IMD 특성을 약 14dB 개선 하였음을 확인하였다.

향후 과제로는 5차 성분의 IMD 성분을 개선하고 줌도 정확한 설계 예측이 과제로 남는다.

표 1. 전력증폭기의 특성 비교

	설계 사양	제작 특성
Gain (dB)	54	54
Return Loss (dB)	-15 이하	-19 이하
Gain Flatness (dB)	± 0.5	± 0.5
Output Power (dBm)	40	40
IMD3 (dBc)	54	58
Current (A)	8	7.6
Voltage (V)	26	26

### 참고 문헌

[1] N. Potheary. "Feedforward Linear Power Amplifier," Artech House Microwave Library. 1999.  
 [2] S. Mass, "Nonlinear Microwave Circuits," Artech House, 1988.

[3] G. Gonzalez, "Microwave Transistor Amplifier Analysis and Design," Prentice Hall, 1984.  
 [4] L Walker, "High-Power GaAs FET Amplifier," Artech House, 1993.  
 [5] Tri T. Ha, "Solid-state Microwave Amplifier Design," John Wiley Interscience Publication, 1981.  
 [6] B. Kenington, "High-linearity RF Amplifier Design," Artech House Microwave Library, 2000.

하성재(Sung-Jae Ha)

정회원



1999년 2월: 광운대학교  
 제어계측공학과 졸업  
 2001년 2월: 광운대학교  
 전파공학과 공학석사  
 2001년 3월~현재: 광운대학교  
 전파공학과 박사과정

<주관심 분야> RF/Microwave 회로 설계, 고출력 증폭기선형화, MMIC

이민희(Min-Hee Lee)

한국통신학회논문지 제25권 제11B호 참조

민준기(Jun-Ki Min)

한국통신학회논문지 제27권 제5C호 참조

이용덕(Yong-Deuk Lee)

한국통신학회논문지 제26권 제12C호 참조

김복기(Bock-Ki Kim)

한국통신학회논문지 제25권 제8B호 참조

홍의석(Ui-Seok Hong)

한국통신학회논문지 제27권 제5C호 참조