

## 주파수 하향 변환을 이용한 전력 증폭기의 선형화기 설계

전기경, 김일규, 김영, \*정용채

국립금오공과대학교 전파통신대학원 RF 회로 설계 연구실,\*전북대학교 전자.정보공학부  
전화 : (054) 478 - 7506

### A Design of Linearization HPA using Frequency Down-Converting Mixing Operation

Ki-Kyung Jeon, Eel-Kou Kim, Young Kim,\*Yong-Chae Jeong

Dept. Radio Communication Eng., Kumoh National Institute of Technology

\* Dept. of Electronics & Information Engineering, Chonbuk National University

E-mail : [jkk1225@hotmail.com](mailto:jkk1225@hotmail.com)

#### Abstract

In this paper, a linearization method of HPA using frequency down-converting mixer operation is proposed. The harmonic generator which is used input signals generates the second high frequency intermodulation distortion signals. To generate IMD signals, we are used the extracted signal as mixing signal source. These signals are combined main signals with 180 degree phase difference. To show validity of proposed method, we tested for CW 2-tone signals and CDMA 1FA signals. The test results show that the third order IMD is improved about 25dB for CW 2-tone signals. Also, for CDMA 1FA signals, the improvements of adjacent channel power ratio(ACPR) are 7.5dB and 6.4dB at  $\pm 750\text{KHz}$  and  $\pm 1.98\text{MHz}$  offset points.

#### 서론

최근 이동 통신 시스템이 발달함에 따라 다양한

디지털 변조방식들이 사용되고 있다. 이러한 변조방식들은 정보가 신호의 진폭과 위상에 실려서 전송되며, 신호 진폭의 최대값 과 평균값의 비(peak-to-average)가 큰 것이 특징이다. 따라서 선형성이 큰 전력 증폭기를 요구하게 된다. 지금까지 비선형성이 강한 전력 증폭기의 선형성을 높이기 위해 많은 선형화 방식들이 제안되었다.[1][2][3] 이러한 여러 가지 선형화 기법 중에서 본 논문에서는 전치왜곡 선형화 방식을 사용하여 전력 증폭기의 선형성을 높이는 방법을 제안하였다. 전치 왜곡 선형화 기법은 RF 전력 증폭기의 선형화 기법 중 가장 광범위하게 사용되는 방법 중 하나로 비선형성의 개선효과는 feedforward 방법에 미치지 못하지만 소형 및 경량으로 구현 가능하며, 광대역 동작 특성 때문에 많이 사용되고 있다. 전치 왜곡 선형화 기법은 전력 증폭기에서 신호 증폭 중에 생기는 비선형 왜곡 성분에 대하여 크기는 같고 위상이 반대가 되는 비선형 성분을 전력 증폭기 입력에 만들어 주어 그것들을 제어하는 것이 핵심이라 할 수 있다. 본 논문에서는 주파수 하향 혼합기를 사용하여 전치 왜곡 신호들을 발생시키고, 그 신호들을 제어함으로써 전력 증폭기에서 생기는 혼변조 왜곡 신호



들을 효과적으로 억압할 수 있는 선형화 기법을 제안하였다.

## 본론

### I. 제안한 회로의 동작원리

아래의 그림 1은 주파수 하향 변환기를 이용한 선형화기를 포함한 전력 증폭기의 블록 다이어그램이다.

여기에서 사용된 회로는 3dB 전력 분배기, 10dB 하이브리드 결합기, 가변 위상 변환기[4], 가변 감쇠기[5], 자동 레벨 조절기 (Automatic Level Control: ALC), 2차 고주파 신호 발생기, 혼합기, 고역 통과 필터(High Pass Filter), 지연 선로 등으로 이루어진다.

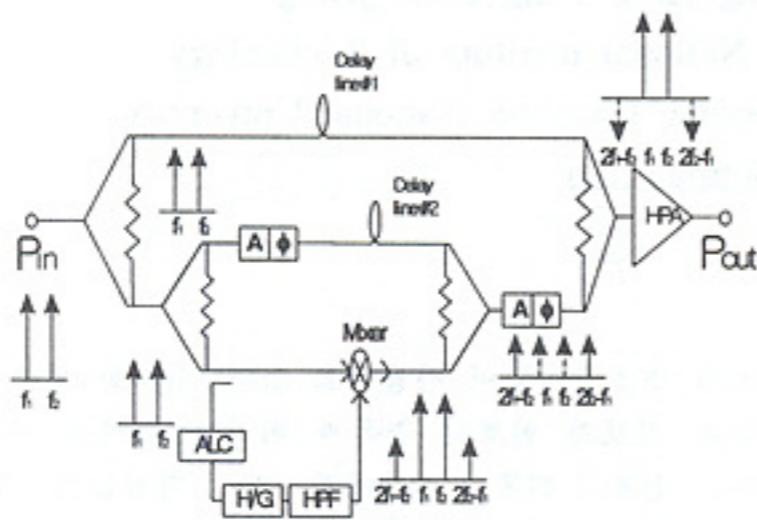


그림 1. 주파수 하향 변환기를 이용한 선형화기를 포함한 전력 증폭기 블록 다이어그램

입력된 2-톤 신호는 3dB 전력 분배기에 의해 주 경로와 보조 경로로 나누어진다. 주 경로에서의 2-톤 신호는 지연 선로 #1을 거쳐 전력 증폭기에 입력되고, 보조 경로의 2-톤 신호는 다시 3dB 전력분배기를 통해서 지연 경로와 주파수 혼합경로로 나누어진다. 지연 경로는 가변 위상 변환기, 가변 감쇠기, 지연 선로 #2를 거친 후 3dB 전력분배기에 입력된다. 주파수 혼합 경로에서 사용하는 주파수 혼합기는 초고주파 다이오드나 트랜지스터를 이용하여 구현하는데, 국부 발진기(Local Oscillator : LO) 신호 전력으로 소자의 비선형성을 발생시키고 이때 입력되는 중간 주파수(IF) 신호나 RF 신호가 LO 신호와 혼합하여 주파수 상향 또는 주파수 하향 변환 동작을 일으키게 된다. LO 성분은 입력 레벨이 변화될 때에도 LO 레벨이 일정하게 만들어주기 위

해서 10dB 하이브리드 커플러를 사용한 ALC회로를 통해서 하모닉 발생기의 입력레벨이 일정하도록 만들어줌으로서 가능하였다. ALC회로는 가입자의 사용 정도에 따라 전력 레벨이 변화되고, 하모닉 발생기 출력신호들은 입력 신호 레벨의 변화에 따라 출력 특성과 정합이 달라지므로, 사용자의 입력 레벨이 변화함에 따라 발생할 수 있는 하모닉 발생기의 입력 레벨의 변화가 없게 함으로서 항상 일정한 출력을 만들어 준다. 주파수 하향 변환의 경우, IF 단자에서 얻어지는 신호의 주파수 성분들은 증폭기 증폭 과정에서 만들어지는 3차 혼변조 왜곡 성분들의 주파수와 같다. LO 신호의 2차 고주파 성분과 주 신호 성분이 혼합되어서 만들어진 주파수 하향 변환 동작된 신호는 다시 3dB 전력 결합기의 입력으로 들어가게 된다. 지연 경로를 통하여서 들어온 신호는 가변 감쇠기와 가변 위상 변환기를 통과하며, 주파수 변환기를 통해서 들어온 신호와 크기는 동일하고 위상이 반전이 되게 조절을 하여 3dB 전력 결합기로 두 신호를 결합하면, 주 신호가 억제된 혼변조 신호들만을 얻을 수가 있다.

이 신호를 주 경로를 통하여서 들어온 신호와 역 위상으로 결합하면 주 신호와 혼변조가 역 위상으로 결합된 신호를 만들 수 있다. 또, 보조 경로의 가변 위상 조절기, 가변 감쇠기는 전력 증폭기에서 발생하는 혼변조 왜곡 성분을 제거하기 위해서 역 위상으로 만들어진 신호의 크기와 위상을 미세 조정하여 전력증폭기에서 생기는 혼변조 왜곡 신호들을 효과적으로 억압하게 된다.

### II. 실험 결과

이 선형화기 구성의 타당성을 보이기 위하여 주파수 하향 변환기를 이용한 선형화기를 제작하였다. 이 실험에서 사용된 전력 증폭기는 왓킨 존슨 사의 AH1과 모토롤라사의 MHL9838을 직렬로 연결하였다. 여기서 왓킨 존슨 사의 AH1은 입력 드라이브 증폭기로 사용 하였고, 모토롤라사 MHL9838 전력 증폭기의 이득과 P1dB는 각각 31dB와 39dBm/ton이었다.

하모닉 발생기로서 사용한 트랜지스터는 왓킨 존슨 사의 AH1을 사용하였으며, 바이어스 전압을 가변하여 최적의 혼변조 신호를 만들어 내었다. 그림 2는 입력 신호 레벨이 일정한 하모닉 발생기에서 반송파 2-톤 880MHz와 881MHz ( $\Delta f=1\text{MHz}$ )를 입력했을 경우 출력되는 2차 고주파 성분을 보여준다.

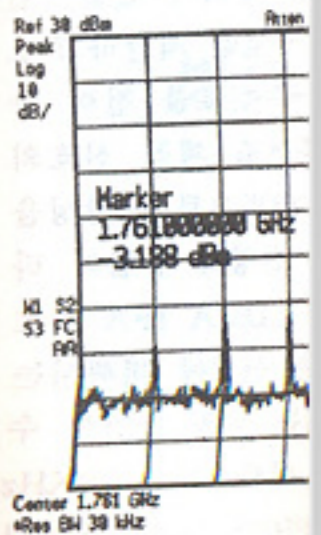


그림 2. 2-톤 입력시

주파수 하향 변환기를 이용한 선형화기 구성의 타당성을 보이기 위하여 주파수 하향 변환기를 이용한 선형화기를 제작하였다. 이 실험에서 사용된 전력 증폭기는 왓킨 존슨 사의 AH1과 모토롤라사의 MHL9838을 직렬로 연결하였다. 여기서 왓킨 존슨 사의 AH1은 입력 드라이브 증폭기로 사용 하였고, 모토롤라사 MHL9838 전력 증폭기의 이득과 P1dB는 각각 31dB와 39dBm/ton이었다.

그림 3은 반송파가 880MHz, 881MHz ( $\Delta f=1\text{MHz}$ )인 경우  $P_o=28.4\text{dBm/ton}$ 이다. 여기서, 측정된 신호가 28dB 개선되었다. 이는 3차 혼변조 신호와 3차 신호만 개선되었다. 알 수 있다. 그림 4는 인지에서 출력에서 양을 그래프로 나타내어 주파수 하향 변환이 25dB 이상 개선되는 것을 확인 하였다. 또한, 반송파 2-톤 880MHz와 881MHz ( $\Delta f=1\text{MHz}$ ) 일 경우 (880MHz, 881MHz) 레인지에서 3차 혼변조 신호를 확인 하였다.



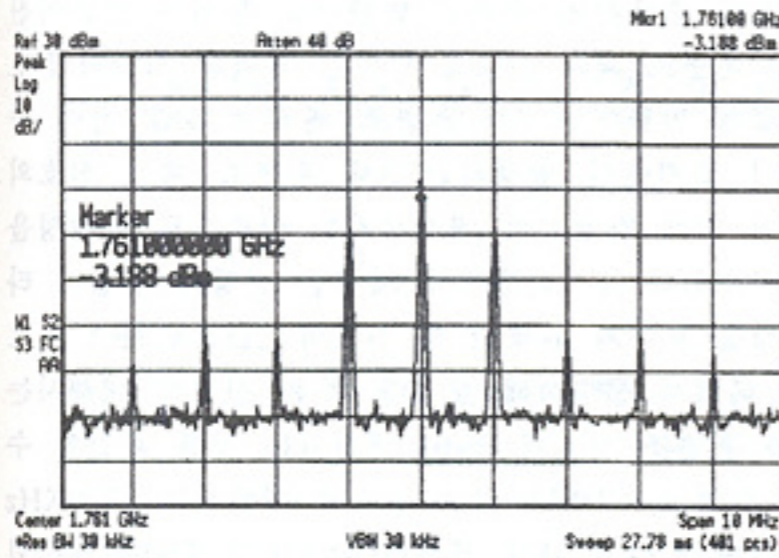
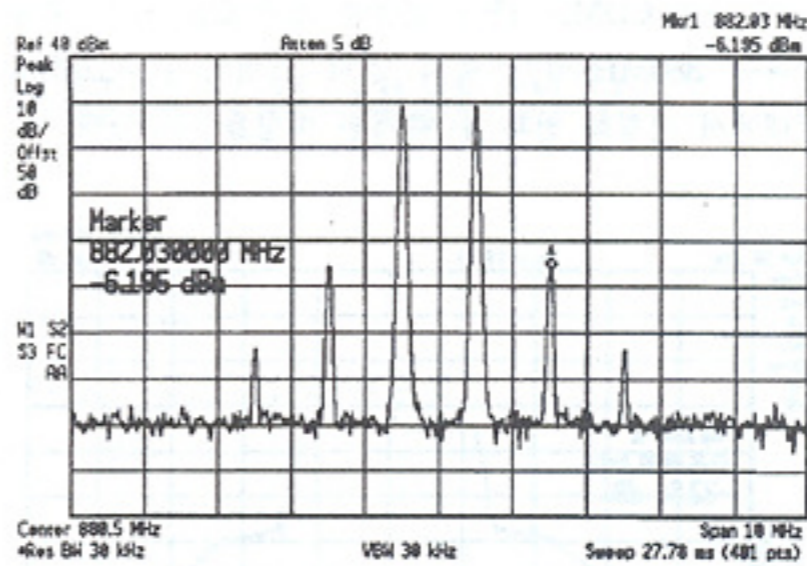


그림 2. 2-톤 입력시 하모닉 발생기에서 만들어진 2차 고주파 특성

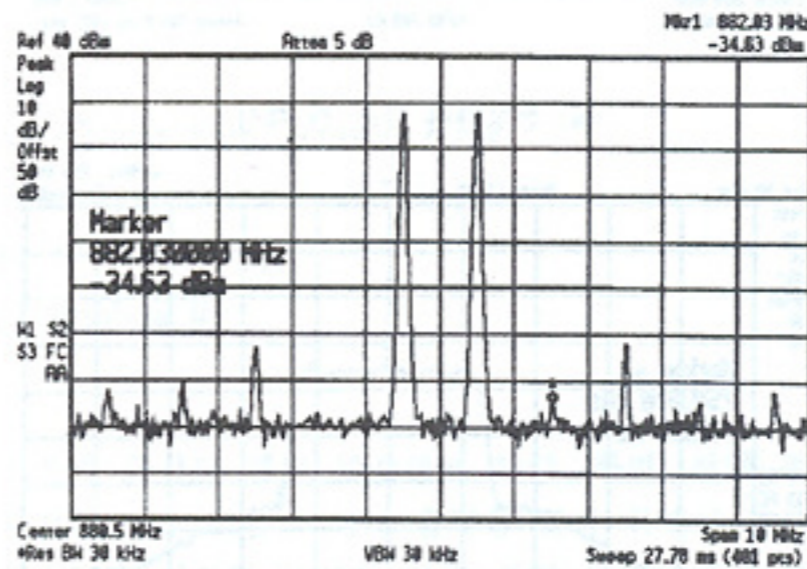
주파수 하향 변환기로는 Mini-circuits사의 SYM-25DHW를 사용하였다. 제안한 선형화기에서 지연 선로#2는 같은 시간을 지연시키기 위해서 7.5nsec 동축 케이블을 사용하였고, 주파수 혼합 경로와 정확한 시간 지연과 크기를 맞추기 위해서 가변 감쇠기와 가변 위상 변환기를 사용하였다. 또한 주 경로의 지연 선로#1은 보조 경로와의 시간지연을 맞추어주기 위해서 9.5nsec의 동축케이블을 사용하였고, 보조 경로의 가변 위상 변환기와 가변 감쇠기는 전력증폭기의 혼변조 왜곡 신호를 억압하기 위해서 사용되었다.

그림 3은 반송파 2-톤 입력 조건에서 입력 주파수가 880MHz, 881MHz ( $\Delta f=1\text{MHz}$ ) 일 때, 출력 전력이  $P_o=28.4\text{dBm}/\text{tone}$ 에서 측정된 증폭기 출력 파형이다. 여기서, 측정된 파형을 관찰해보면 3차 혼변조 신호가 28dB 개선되었음을 알 수 있다. 이 실험에서는 3차 혼변조 신호의 개선에 중점을 두었기 때문에 3차 신호만 개선되고 5차 신호는 거의 변화가 없음을 알 수 있다. 그림 4는 입력 레벨의 10dB 다이내믹 레인지에서 출력에서 발생하는 3차 혼변조 신호의 개선량을 그래프로 나타낸 것이다. 이 그래프에서 알 수 있듯이 입력 다이내믹 레인지에서 3차 혼변조 신호는 25dB 이상 개선되는 것을 알 수 있다.

또, 반송파 2-톤 신호의 입력 조건을 주파수 간격이 5MHz 일 경우 (875.5MHz, 882.5MHz)와 10MHz 일 경우 (875MHz, 885MHz)에도 10dB 입력 다이내믹 레인지에서 3차 혼변조 신호는 20dB 이상 개선되는 것을 확인 하였다.



(a) 선형화기 사용 전 특성



(b) 선형화기 사용 후 특성

그림 3. 2-톤 입력시 선형화 회로 사용 전과 후의 증폭기 출력 특성( $P_o=28.4\text{dBm}/\text{tone}$ ,  $\Delta f=1\text{MHz}$ )

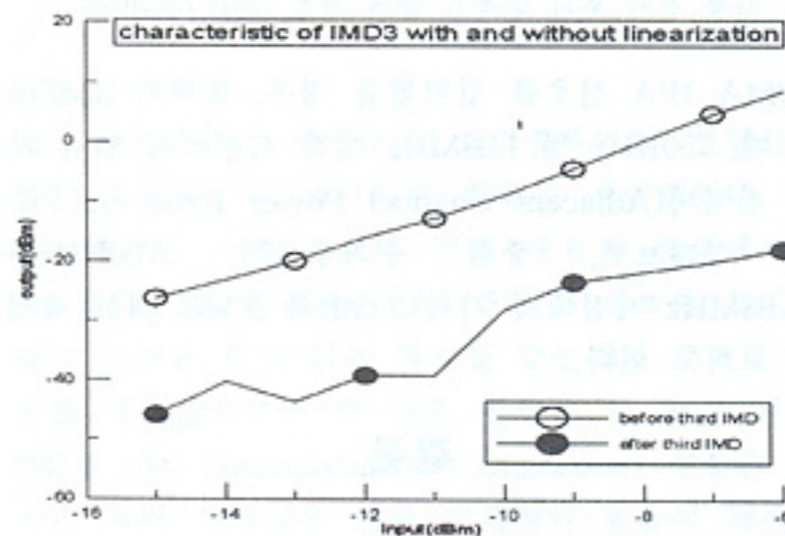
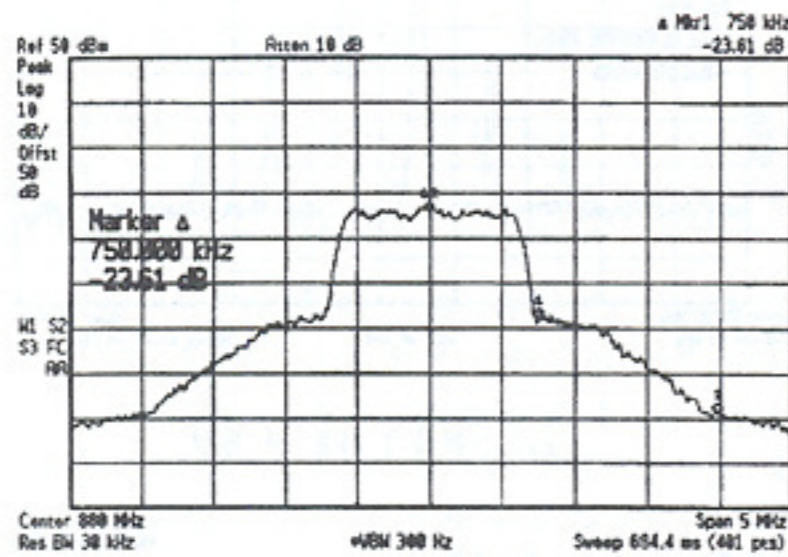


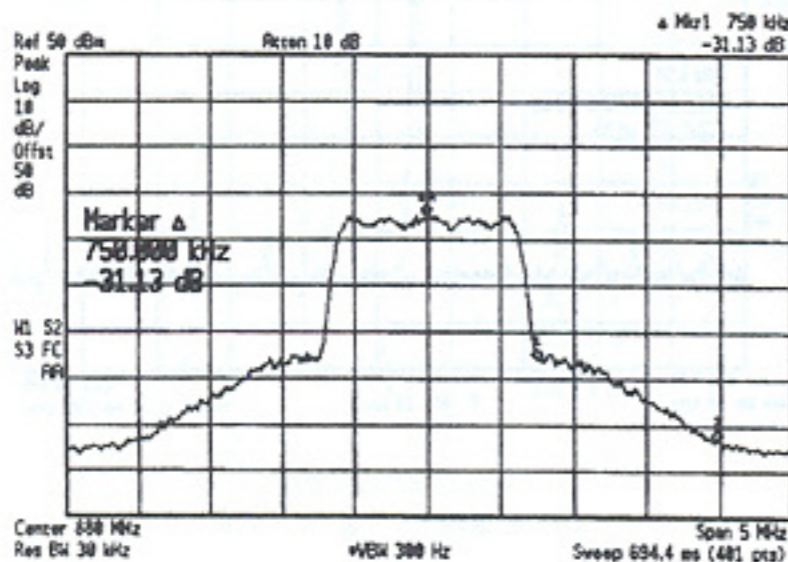
그림4. 제안한 회로를 사용 전 후의 IMD3 개선을 나타낸 그래프



그림 5는 CDMA 1FA 신호를 입력했을 경우 중심 주파수 880MHz에서 출력 전력 레벨이  $P_o=32dBm$  상태에서 선형화 전과 후 측정된 파형을 나타냈다.



(a) 선형화기 사용 전 특성



(b) 선형화기 사용 후 특성

그림 5. CDMA 1FA 신호를 입력했을 경우 선형화 회로 사용 전과 후의 증폭기 출력 특성 (@ $P_o=32dBm$ )

CDMA 1FA 신호를 입력했을 경우, 출력이 32dBm 일 때, 750KHz 및 1.98MHz 이격 지점에서 인접 채널 전력비(Adjacent Channel Power Ratio: ACPR)를 살펴보면, 중심 주파수에서  $\pm 750KHz$ 와  $\pm 1.98MHz$  지점에서 각각 7.5dB와 6.4dB 개선 특성을 보이고 있다.

### 결론

본 논문에서는 주파수 하향 변환을 이용한 전치 왜곡 선형화기를 제안하여 전력 증폭기의 선형성을 개선시켰다. 본 논문에서는 2차 고주파 혼변조 왜곡

신호를 추출하여 주파수 변환기를 통해서 만들어진 3차 혼변조 왜곡 신호를 만드는 방법을 제안하였다. 이렇게 만들어진 3차 혼변조 왜곡 신호를 전력 증폭기 출력에서 발생하는 3차 혼변조 왜곡 신호의 역이 되게 발생시켜 제거시키는 방법으로 선형성을 높여주었다. 본 논문에서 제시한 선형화 방법의 타당성을 보이기 위해 2-톤 신호와 CDMA 1FA 신호에 대해서 선형화해 보았다. 2-톤 신호에 대해서는 3차 혼변조 신호가 28dB 개선되는 것을 확인할 수가 있었고, CDMA 1FA 신호에 대해서는  $\pm 750KHz$  지점에서 인접 채널 전력비(ACPR)가 7.5dB 개선되는 것을 확인할 수가 있다.

### 감사의 글

본 연구는 산업자원부 지정 대구대학교 RIS사업단의 지원에 의한 것입니다.

### 참고 문헌

- [1] Peter B. Kennington, *High Linearity RF Design*, Artech House, 2000
- [2] C. S. Aitchison, "The current status of RF and microwave amplifier intermodulation performance," in *IEEE Radio Freq. Integrated Circuits Symp.*, Boston, MA, pp.113-116, June 2000
- [3] H. A. Lee, C. W. Lee, Y. C. Jeong, Y. Kim and C. D. Kim, "A design of predistortion linearizer using 2nd low frequency intermodulation signal injection", *The Journal of Korea Electromagnetic Society*, Vol.14 No.9, pp.967-973, Sep, 2003
- [4] H. S. Yoon, I. S. Chang, U. H. Park, and S. W. Yun. "Design of 360° reflection type variable phase shifter", *The Journal of Korea Electromagnetic Society*, Vol.21, No.1, pp.237-240, May, 1998.
- [5] M. S. Kang, W. T. Kang and I. S. Chang, "Design of reflection type low phase shift attenuator", *The Journal of Korea Electromagnetic Society*, Vol.34 pp.697-701, 1997

병렬구

A Study

In this paper, a parallel power amplifier circuit was made in a HPA's third order DBO output. So, carrier power order IM signals are cancelled that the third order DBO than 20dB for CW tone efficiency improved 4%. When the input signal measured ACPR improved offset point. Also, over CDMA 1FA signals.

무선 통신기술의 발전 기법(QPSK, QAM) 조 기법들은 캐리어 변하는데 전력 증폭