

논문 2004-41TC-10-12

변형된 혼변조 신호 개별 차수 조정 전치왜곡 선형화기 설계

(A Design of Predistortion Linearizer Controlling Modified Individual Order IM Signal)

김 영*

(Kim Young)

요 약

본 논문에서는 변형된 개별 차수 혼변조 신호 발생기들을 이용한 새로운 형태의 전치왜곡 회로를 제안하였다. 이 회로들은 전치왜곡 3차 와 5차 이상의 고차 신호 발생기 두개로 구성되어 독립적으로 동작과 제어되며, 이것의 회로 동작을 통해서 전력 증폭기의 혼변조 왜곡 신호들을 효과적으로 억압할 수 있다. 구현된 전치왜곡 선형화기의 동작특성은 국내 개인 휴대 통신(PCS) 기지국 송신 대역인 1840 ~ 1870MHz 주파수에서 동작되도록 제작, 측정을 하였고 그 결과 반송파 2 톤 신호를 인가할 때 3차 혼변조 왜곡 특성의 (C/I)비는 40dB 이상, 5차 혼변조 왜곡 특성의 (C/I)비는 23dB 이상의 개선효과를 얻었고, IS-95 CDMA 신호를 인가하였을 때 885KHz 이격 지점에서 인접 채널 전력비를 10dB이상 개선시켰다.

Abstract

In this paper, a new predistorter controlling modified individual order intermodulation distortion signals is proposed. The proposed predistorter generates and controls predistorted third and high order IM signals independently. Using predistorted signals, intermodulation distortion signals of power amplifier are suppressed effectively. The predistortion linearizer has been implemented to operate in Korean PCS basestation transmitting band (1840~1870MHz). The test results show that IMD3 and IMD5 (C/I) of power amplifier are improved more than 40dB and 23dB for CW two tone signals, respectively. The predistorter improves the adjacent channel power ratio (ACPR) more than 10dB at 885KHz offset point for CDMA (IS-95) signals.

Keywords : Predistortion, linearizer, individual order, power amplifier

I. 서 론

일반적으로 통신 시스템을 구성할 때 대전력 증폭기(HPA: High Power Amplifier)는 가능한 최대 효율로 동작시키기 위해 비선형성이 큰 포화 영역에 가까운 지점에서 동작시킨다. 그 결과 디지털 모듈레이션 방식을 이용한 CDMA 신호 또는 여러 채널의 신호가 동시에 증폭기에 입력되는 경우, 증폭기 출력 단에서는 증폭된 입력 신호이외에 하모닉 신호 성분들과 혼변조 왜곡 신호

들이 함께 발생된다. 이들 하모닉 신호 성분들과 혼변조 왜곡 신호들은 혼신(cross-talk) 및 잡음(noise)으로 작용하여 전송 품질 저하의 주요한 원인이 된다. 이러한 전력 증폭기의 비선형 특성을 보상해주는 여러 가지 선형화 방법들이 존재하며, 이것들 중에서 전력 증폭기 전단에 전력 증폭기의 비선형 특성과 역이 되는 비선형 특성을 갖는 소자를 위치시켜 전력 증폭기에서 발생하는 혼변조 왜곡 신호 성분들을 감쇠시키는 방법이 전치왜곡 선형화 방법이다^[1]. 이 전치왜곡 선형화기 구현 방법은 첫째로, 전력 증폭기의 혼변조 왜곡 특성에 관계없이 비선형 소자를 이용하여 혼변조 신호를 만드는 방법이 있으며, 이것은 3차 혼변조 왜곡 신호를 억압 시키면 5차와 7차 신호가 커지고, 5차와 7차 혼변조 왜곡 신호를 억압 시키면 3차 혼변조 왜곡 신호가

* 정회원, 금오공과대학교 전자공학부
(Kumoh National Institute of Technology, School of Electronics Engineering)
※ 본 연구는 금오공과대학교 학술 연구비에 의하여 연구된 논문입니다.
접수일자: 2004년6월1일, 수정완료일: 2004년9월21일

커지는 문제를 갖고 있어 전체적으로 혼변조 왜곡 신호의 크기가 커지지 않는 정도에서 선형화를 시킨다^{[2][3][4]}. 또, 둘째로는 전력 증폭기에서 생기는 혼변조 왜곡 신호를 선형화하기 위해서 3, 5, 7차등 혼변조 왜곡 신호에 해당되는 신호를 개별적으로 만들어 각 차수의 혼변조 왜곡 신호를 효과적으로 제거하는 방법이 있는데, 이것은 여러 종류의 고주파 신호를 좁은 공간에서 처리하기 때문에 신호사이의 간섭과 제작상의 어려움을 갖고 있다^{[5][6]}. 이러한 기존의 선형화 방법을 이용한 선형 전력증폭기는 인접 채널 누설전력은 5.0 ~ 10dB, 3차 혼변조 성분은 20dB, 그리고 5차 혼변조 성분은 10dB 정도를 개선시켰다.

본 논문에서 제안한 전치 왜곡 선형화기는 전력 증폭기에서 가장 크게 나타나는 3차 혼변조 왜곡 신호의 역특성을 갖는 신호를 비선형 소자를 이용하여 만들고, 이렇게 만들어진 3차 혼변조 왜곡 신호를 입력으로 하여, 5차 이상의 고차 혼변조 왜곡 신호들을 만들어 전력 증폭기를 선형화하는 변형된 혼변조 신호 개별차수 조정 전치왜곡 선형화방법을 제시하였다. 이렇게 구현된 선형화기는 기존의 개별차수 선형화기 구현 방법보다 간편하게 제작할 수 있으며, 선형화기 동작 특성은 2톤의 경우 3차 혼변조 신호는 40dB, 5차 혼변조 신호는 23dB 이상 개선효과를 얻었고, CDMA 신호는 885KHz 지점에서 인접 채널 전력비를 10dB 이상 개선됨을 확인하여 기존 선형화기보다 우수한 동작 특성을 갖고 있음을 검증할 수 있었다.

II. 회로의 동작 원리

전력 증폭기의 비선형 전달 특성은 입력 신호가 v_i 이고, 출력 신호가 v_o 일 때 다음과 같은 파워 시리즈로 나타낼 수 있다^[7].

$$v_o = k_1 v_i + k_2 v_i^2 + k_3 v_i^3 + k_4 v_i^4 + \dots \quad (1)$$

위의 (1)식에서 계수 k_1, k_2, k_3 등은 비선형 상수이며, 식 (2)와 같이 보통 5차 항까지만 고려하여도 전력 증폭기의 비선형 전달 특성을 충분히 표현할 수 있다.

$$v_o = k_1 v_i + k_2 v_i^2 + k_3 v_i^3 + k_4 v_i^4 + k_5 v_i^5 \quad (2)$$

이때 입력 신호가 서로 다른 두 주파수 신호들로 구성된다면 ($v_i = A[\cos(w_1 t) + \cos(w_2 t)]$), 출력 단에서는 기본 주파수 신호 이외에 고차 하모닉 주파수

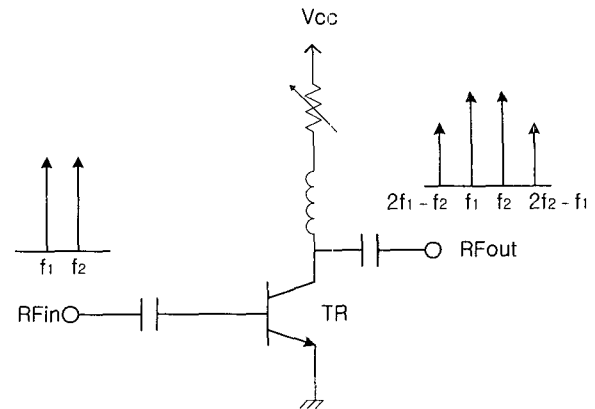


그림 1. 3차 혼변조 신호 발생기 블록도
Fig. 1. The block diagram of the third intermodulation signal generator.

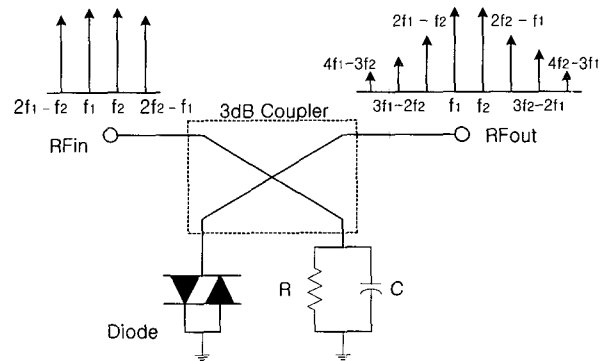


그림 2. 고차 혼변조 신호 발생기 블록도
Fig. 2. The block diagram of high order intermodulation signals generator.

신호 성분들과 혼변조 왜곡 주파수 신호 성분들을 출력 신호로 얻을 수 있다. 동작 대역 혼변조 왜곡 신호 중에서도 3차 혼변조 왜곡 신호는 다른 혼변조 왜곡 신호들에 비해 큰 크기를 갖는 것이 일반적이며 사용 채널에 인접해서 발생하므로 가장 중요한 혼신 잡음 신호가 된다. 따라서, 이러한 3차 및 5차 이상의 고차 혼변조 왜곡 신호를 효과적으로 억압하는 방법을 제시하고자 한다. 먼저, 그림 1은 3차 혼변조 신호 발생기로서 HP사 바이폴라 트랜지스터 MSA-0386을 사용하였으며, 트랜지스터의 바이어스를 조정하여 비선형적으로 동작하게 함으로서 3차 혼변조 신호를 효과적으로 만들 수 있다.

또, 그림 2는 주 신호와 3차 혼변조 신호를 입력으로 하여 5차 이상의 고차 혼변조 신호를 만드는 발생기 블록도로서 그 동작은 다음과 같다. 3dB 하이브리드 결합기의 결합 단자에 HP사의 HSMS2822 쇼트키베리어 다이오드를 부착하여 다이오드의 비선형 특성에 의한 혼변조 성분이 발생되도록 했으며, 통과 단자에는 저항과 캐패시터를 부착하여 주 신호 성분의 크기와 위상을 제

어하도록 하였다¹⁸⁾.

그림 3은 본 논문에서 제안한 변형된 혼변조 신호의 개별 차수 조정 선형화기가 포함된 전력 증폭기의 전체 블록 다이어그램을 나타낸 것이다. 이 블록 다이어그램은 기존의 방법과는 다르게, 3차 혼변조 신호 발생기로 왜곡 성분을 만들어내고, 고차 혼변조 발생기는 주 신호가 포함된 3차 혼변조 발생기 신호를 입력으로 고차 혼변조 신호를 만들어내는 변형된 혼변조 개별차수 회로의 전치왜곡 선형화 방식을 나타낸 것이다.

이것의 동작 원리를 살펴보면 입력된 두 개의 반송파 신호는 두개의 경로로 나누어져 분기되는데, 주 경로 신호는 시간지연 선로를 거치며, 보조 경로는 결합기를 통해 주 경로보다 작은 신호가 되어 자동 레벨 조정기 (Automatic Level Control: ALC) 회로에 입력된다. 입력 신호는 가입자의 사용 정도에 따라 전력 레벨이 변화되므로, 이 신호를 입력으로 하는 3차 또는 고차 혼변조 신호 발생기는 입력 신호 레벨에 따라 출력 특성과 정합 조건이 변화하게 되어 출력 신호가 변화하게 된다. 따라서, 혼변조 신호 발생기가 입력 변화에 관계없이 일정한 혼변조 신호를 발생시키도록 하기 위해 15dB 정도의 동작 범위(Dynamic range)를 갖는 입력 신호에 대해 일정한 레벨의 신호를 출력시키는 ALC회로를 보조경로에 삽입하였다. ALC 출력 신호는 3차 혼변조 신호 발생기에 인가되어 3차 혼변조 신호를 만들고, 이 신호는 다시 고차 혼변조 신호 발생기에 입력되어 고차항의 혼변조 신호를 만들어 낸다. 이 고차 혼변조 신호 발생기의 입력은 반드시 주 신호와 3차 혼변조 신호가 함께 존재하여야만 고차 혼변조 신호를 만들 수 있다. 또, 3차 혼변조 신호와 5차 이상의 고차 혼변조 신호들의 진폭과 위상을 개별적으로 제어할 수 있도록 하기 위해서 가변 감쇠기와 가변 위상 변환기로 구성된

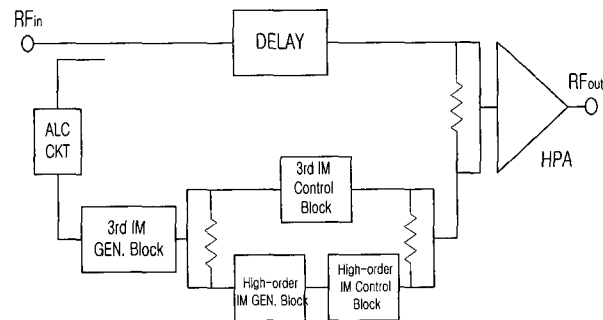


그림 3. 변형된 혼변조 개별 차수 조정 전치왜곡 전력 증폭기의 블록 다이어그램
Fig. 3. The block diagram of modified individual order IM controlling predistortion power amplifier.

혼변조 신호 제어 회로를 각각 두었다.

III. 변형된 개별차수 조정 전치 왜곡 선형화기 실험 결과

본 논문에서는 선형화기의 유용성을 보이기 위해서 전치 왜곡기와 전력 증폭기를 제작하였다. 전력 증폭기는 국내 PCS기지국 송신 주파수 대역인 1840MHz ~ 1870MHz에서 동작하고, 이득과 P1dB는 50dB, 37dBm 인 증폭기를 사용하였다.

전치왜곡 선형화기의 특성을 측정하기 위해 반송파 2톤 신호의 주파수는 1854MHz 와 1855MHz으로 설정하였으며, 제작된 혼변조 신호 발생기 출력에서 측정된 3차 혼변조 신호 특성은 그림 4에 나타내었다. 또, 1855 MHz 1FA와 1853.77MHz, 1856.23MHz 2FA CDMA 신호에 대한 3차 혼변조 신호는 그림 5에 나타냈다.

그림 4 와 그림 5에 나타낸 혼변조 신호를 입력으로 하여 고차 혼변조 신호 발생기에 인가시켜 얻은 고차 혼변조 신호들을 그림 6, 7에 나타내었다.

그림 4, 5, 6, 7에서 만들어진 혼변조 신호를 이용하여, 선형화 개선 전후의 특성을 그림 8, 9, 10에 나타내었다. 그림 8은 반송파 1854MHz, 1855 MHz의 2톤을 인가했을 때, 출력 레벨(Po)이 37.7dBm/톤 일 때의 개선 전후의 특성을 보이고 있다. 이때 3차 와 5차 혼변조 왜곡 신호는 각각 42.87dB, 23.95dB 개선되었고, 전체적인 (C/I)비는 23dB 개선되었다. 그림 9는 중심 주파수가 1855MHz의 IS-95 CDMA 1FA 신호를 인가하여 출력 레벨(Po)이 37dBm 을 얻었을 때의 선형화 특성을 보이고 있다. 중심 주파수에서 885KHz, 1.25MHz,

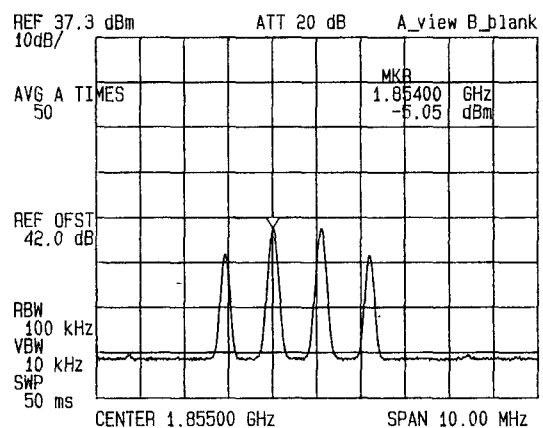
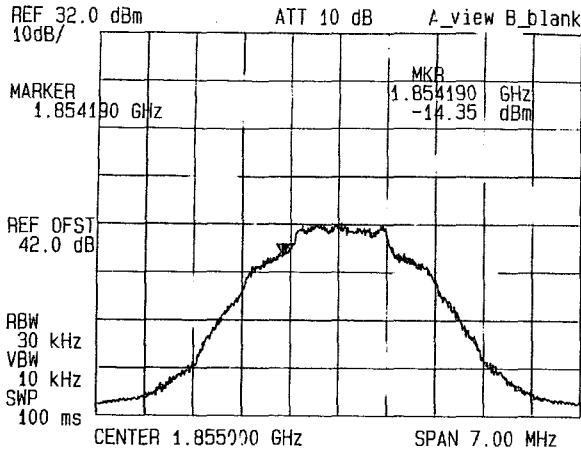
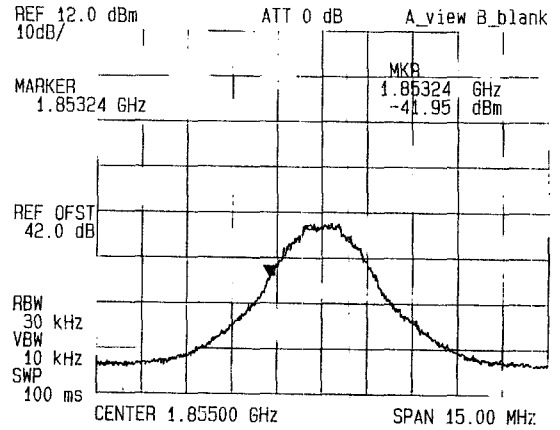


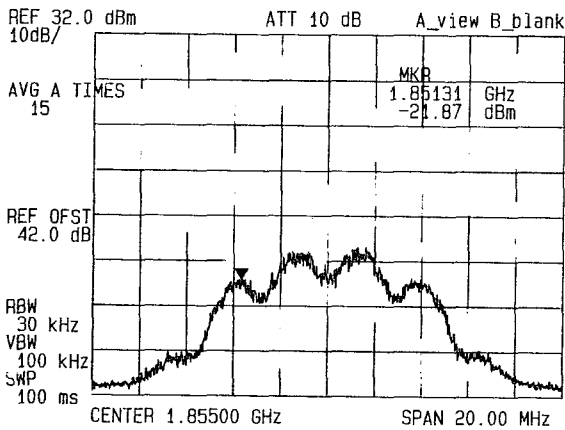
그림 4. 2 톤 입력 시 3차 혼변조 신호 특성
Fig. 4. The third IM signal characteristics for 2 tone input signals.



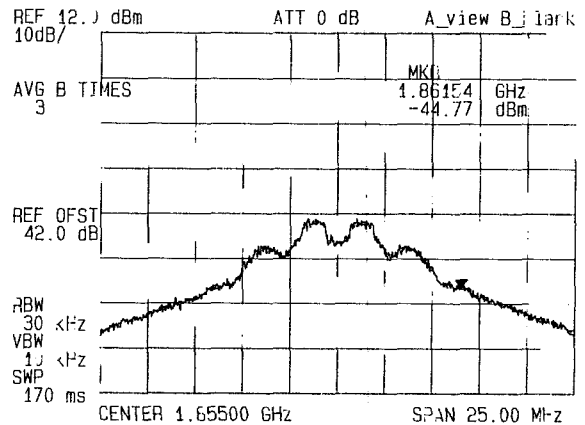
(a)



(a)



(b)



(b)

그림 5. (a) CDMA 1FA 입력 시 3차 혼변조 신호 특성
 (b) CDMA 2FA 입력 시 3차 혼변조 신호 특성
 Fig. 5. (a) The 3rd IM signal characteristics for CDMA 1FA input signal (b) The 3rd IM signal characteristics for CDMA 2FA input signal.

그림 7. (a) CDMA 1FA 3차 혼변조 신호 입력 시 고차 혼변조 신호 특성
 (b) CDMA 2FA 3차 혼변조 신호 입력 시 고차 혼변조 신호 특성

Fig. 7. (a) The high order IM signal characteristics for CDMA 1FA 3rd IM input signal (b) The high order IM signal characteristics for CDMA 2FA 3rd IM input signal.

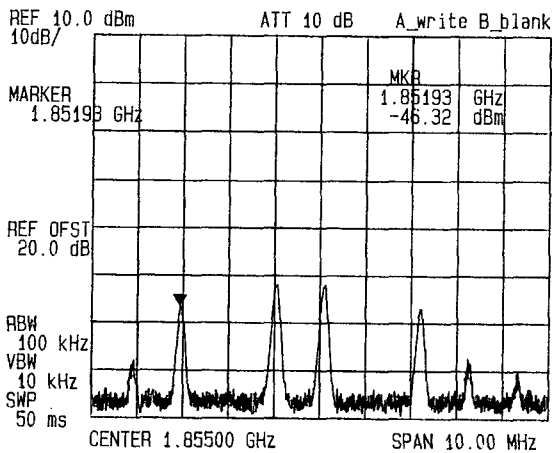
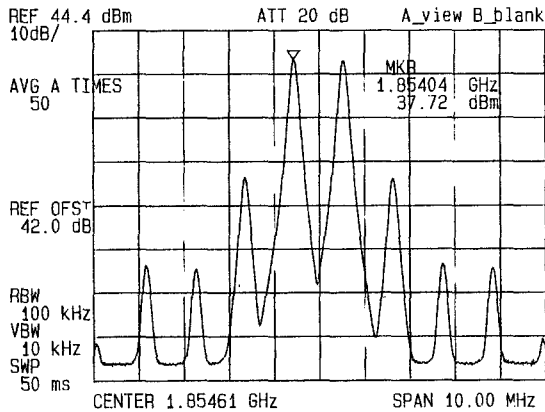
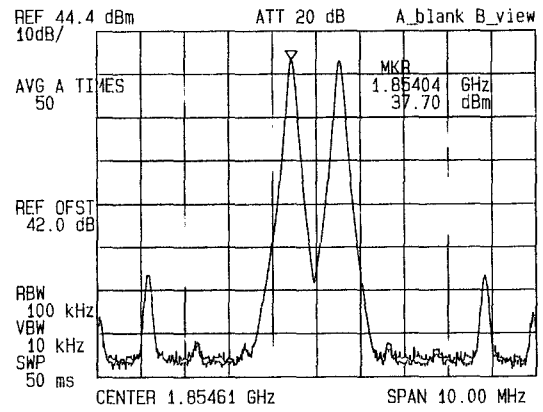


그림 6. 2톤 3차 혼변조 신호 입력시 고차혼변조 신호 특성
 Fig. 6. The high order IM signal characteristics for 2 tone 3rd IM input signals.

2.25MHz 이격 지점에서의 인접 채널 전력 비(Adjacent Channel Power Ratio: ACPR)는 각각 11.35 dB, 9.47dB, 1.60dB 만큼 개선되었다. 그림 10은 중심 주파수가 1853.77MHz, 1856.23MHz인 IS-95 CDMA 2FA 신호를 인가하여 출력 레벨(Po) 33dBm/FA 을 얻었을 때의 선형화 특성을 보이고 있다. 중심 주파수에서 885KHz, 1.25MHz, 2.25MHz 이격 지점에서 인접 채널 전력비는 각각 10.25dB, 8.6dB, 7.15dB 개선되었다. 그림 10에서 관찰되는 중심 주파수 1855MHz 신호는 Agilent ESG4433B 계측기에서 만들어진 캐리어 누설 신호이다. 그림 11은 CDMA 1FA 조건에서 입력 변화에 따른 인접 채널 전력비의 개선정도를 나타낸 것이다.



(a)

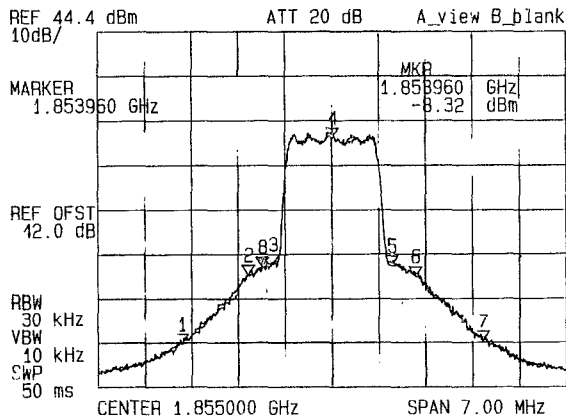


(b)

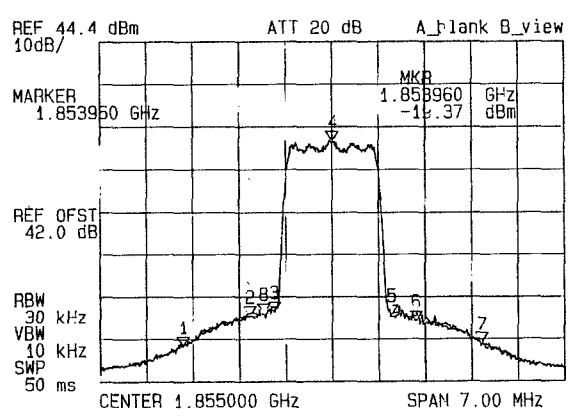
그림 8. 2 톤 신호 입력 시 전력 증폭기의 비선형 특성 비교 (@ $P_o=37.7\text{dBm}/\text{tone}$) (a)개선 전 (b)개선 후

Fig. 8. HPA nonlinear characteristics comparison in case of 2 tone signals(@ $P_o=37.7\text{dBm}/\text{tone}$).

(a) Before linearization (b) After linearization



(a)

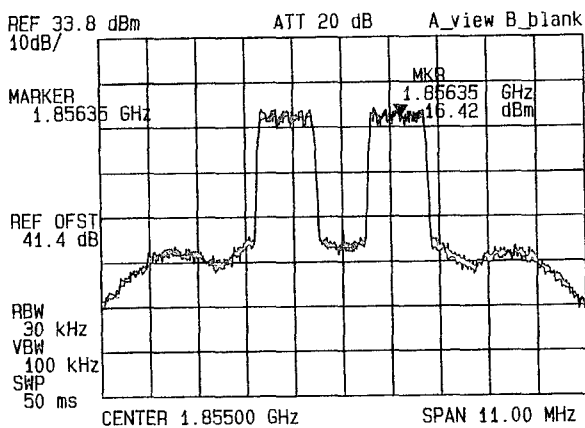


(b)

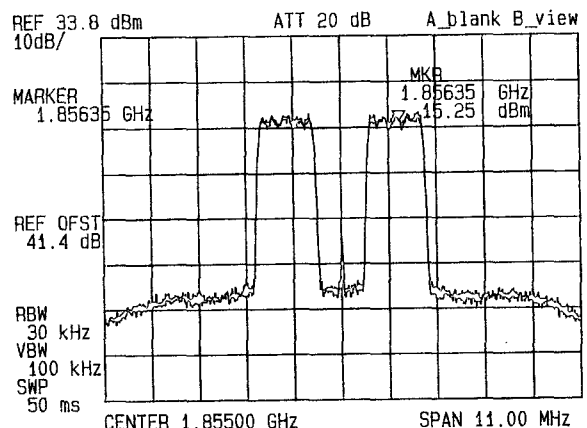
그림 9. CDMA 1FA 입력 시 전력 증폭기의 비선형 특성 비교 (@ $P_o=37\text{dBm}$) (a)개선 전 (b)개선 후

Fig. 9. HPA nonlinear characteristics comparison in case of CDMA 1FA signal(@ $P_o=37\text{dBm}$).

(a)Before linearization (b)After linearization



(a)



(b)

그림 10. CDMA 2FA 입력 시 전력 증폭기의 비선형 특성 비교 (@ $P_o=33\text{dBm}/\text{FA}$) (a)개선 전 (b)개선 후

Fig. 10. HPA nonlinear characteristics comparison in case of CDMA 2FA signal(@ $P_o=33\text{dBm}/\text{FA}$).

(a)Before linearization (b)After linearization

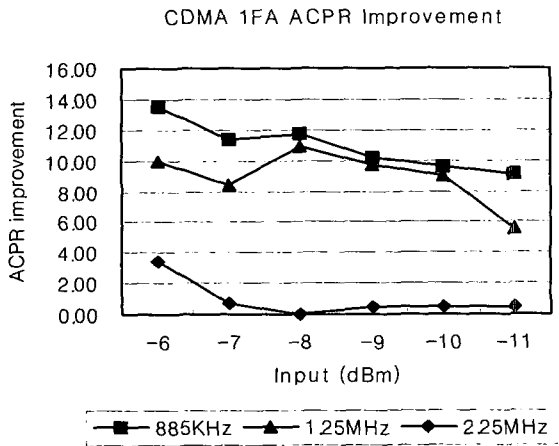


그림 11. 입력변화에 따른 인접 채널 전력비의 개선량 (CDMA 1FA 일 때)

Fig. 11. ACPR improvements for power variation in case of CDMA 1FA.

IV. 결 론

본 논문에서는 통신 시스템에서 혼신의 문제를 일으키는 전력 증폭기의 혼변조 왜곡 신호를 억압하기 위해서, 입력 신호를 3차 혼변조 신호 발생기에 인가하여 3차 혼변조 신호를 만들고, 이 신호를 이용하여 5차 이상의 고차 혼변조 신호를 만들어 비선형 전력증폭기를 선형화시키는 방법을 제시하였다. 여기서 3차 혼변조 신호의 구성 성분이 고차항의 신호 성분들의 합성으로 이루어진 것을 고려하여, 역으로 고차 항 신호는 3차 혼변조 신호와 연관이 있는 것을 이용한 것이다. 결국, 주 신호와 3차 혼변조 신호의 진폭을 적당히 조절한 입력으로 고차 혼변조 신호 발생은 전력 증폭기의 고차 항 혼변조 신호를 제거하는데 기여함을 확인하였다.

이러한 방법은 기존의 전치왜곡 선형화 방법과는 다르게 3차 와 고차 혼변조 왜곡 항을 분리하여 선형화를 시키는 개별차수 조정 혼변조 왜곡 선형화기를 구현하였으며, 기존의 선형화기 보다 동작 특성이 우수함을 보였다. 또한 이 선형화기는 제작의 간편성 그리고 작은 크기의 회로 구현등의 장점을 갖고 있는 매우 유용한 전치왜곡 선형화기이다.

참 고 문 헌

[1] Steve C. Cripps, Advanced Techniques in RF Power Amplifier Design, Artech House, pp. 153 ~195, 2002.
 [2] Kumar, M., J. Whartenby, and H. Wolkstein,

"Predistortion linearizer using GaAs dual-gate MESFET for TWTA and SSPA used in satellite transponders", IEEE Trans. on MTT, Vol.33, No. 12, Dec. 1985.
 [3] K. Yamauchi, K. Mori, M. Nakayama, Y. Mitsui, and T. Takagi, "A Microwave Miniaturized Linearizer Using a Parallel Diode with a Bias Feed Resistance", IEEE Trans. on MTT, Vol.45, No.12, Dec. 1997.
 [4] N. Imai, T. Nojima, and T. Murase, " Novel Linearizer Using Balanced Circulators and Its Application to Multilevel Digital Radio Systems", IEEE Trans. on MTT, Vol.37, No.8, Aug. 1989.
 [5] 정용채, 장익수, 윤상원, 김철동, "혼변조 신호의 개별 차수 조정Predistortion 선형화기 설계에 관한 연구", 전자공학회지, 제33권 A권 제9호, 9월, 1996.
 [6] S.W. Kim, H.Y. Cho, Y. Kim, I.S. Chang, and W.W. Lee, "Design of Predistorter Controlling Each Individual Order of Intermodulation Using New Harmonic Generators", 2002 APMC Proceeding, Vol.1, Nov. 2002.
 [7] Tri T. Ha, Solid-State Microwave Amplifier Design, John Wiley, 1981.
 [8] Toshio Nojima, and Tohru Konno, "Cuber Predistortion Linearizer for Relay Equipment in 800 MHz Band Land Mobile Telephone System," IEEE Trans. on Vehicular Technology, Vol. VT -34, No.4, Nov. 1985.

저 자 소 개



김 영 (정회원)

1986년 2월 서강대학교
전자공학과(공학사)

1988년 2월 서강대학교
전자공학과(공학석사)

2002년 8월 서강대학교
전자공학과 (공학박사)

1988년 1월~1993년 5월 이즈텔시스템즈(주)
선임연구원

1993년 6월~1998년 2월 삼성전자 정보통신사업
본부 선임연구원

1998년 3월~2003년 2월 두원공과대학 정보
통신과 조교수

2003년 3월~현재 금오공과대학교 전자공학부 전임강사
<주관심분야: RF 및 Microwave 회로 해석 및 설계, 전력 증폭기 및 선형화기 설계>