

WLL 시스템용 역방향 전력증폭기의 이득과 위상왜곡에 따른 ACPR 특성 해석

ACPR Analysis of WLL Reverse Link Power Amplifier with AM-to-AM and AM-to-PM Distortion

김현자 · 강성민 · 구경현

Hyun-Ja Kim · Sung-Min Kang · Kyung-Heon Koo

요약

최근의 통신 시스템은 5 MHz, 10 MHz대역폭과 같은 광대역 디지털 변조방식을 사용하고 있다. 이러한 광대역 통신 시스템에서 전력 증폭기의 비선형 특성은 전체 시스템 성능에 큰 영향을 미친다. 본 논문에서는 WLL 역방향 전력 증폭기의 이득 및 위상왜곡 변화에 따른 ACPR특성을 해석하였고, ACPR특성을 만족하기 위해 1dB로부터 Backoff되는 값을 제시하였다. 또한 측정된 전력 증폭기의 ACPR특성과 시뮬레이션한 전력 증폭기의 ACPR특성을 비교하였다.

Abstract

Some of modern communication systems make use of broadband digital modulation with 5 MHz and 10 MHz. In the broadband communication systems, the nonlinear properties of power amplifier have a great effect on all systems. This paper analyzed the ACPR characteristics of WLL reverse link power amplifier with the varying AM and PM nonlinearities and suggests the required backoff from 1 dB compression point to satisfy the ACPR specifications. Also the comparisons between the measured and the simulated characteristics are presented.

I. 서론

최근의 전파통신 기술은 가입자 증가, 다양한 서비스 제공, 채널용량 증가, 품질 향상 등을 만족하기 위한 한 방법으로 5 MHz 및 10 MHz 대역폭과 같은 광대역 디지털 변조방식을 이용하며 이 예로 무선 가입자망 시스템인 WLL(Wireless Local Loop),

IMT2000 등을 이야기할 수 있다. 이러한 광대역 디지털 변조방식을 사용하는 통신 시스템에서 증폭기, 주파수 혼합기, 전압 제어 발진기 등과 같은 비선형 회로는 전체 시스템의 특성에 큰 영향을 주며 그 중 전력 증폭기의 비선형 특성은 상호변조(Inter-modulation)와 Sideband의 스펙트럼 재성장(Spectrum regrowth)에 의한 동일 채널과 인접 채널의 간섭이 생기게 된다. 이렇게 채널간의 간섭이

「이 연구는 과학기술부 한국과학재단의 우수연구센터(MINT)지원에 의한 결과임
인천대학교 전자공학과(Dept. of Elec., In-Chun Univ.)
· 논문 번호 : 990826-08S
· 수정완료일자 : 1999년 9월 16일

시스템의 성능에 미치는 영향을 나타내는 사양으로 신호 채널의 출력 전력과 인접 채널의 출력 전력과 의 비로 정의되어지는 ACPR(Adjacent Channel Power Ratio)특성을 사용하고 있으며, ACPR 특성에 가장 많은 영향을 주는 전력 증폭기 비선형 특성 분석은 시스템 설계시 꼭 필요하며 현재 이에 대한 연구가 활발히 진행 중이다^{[1]~[5]}. 본 논문에서는 10 MHz대역폭의 디지털 변조방식을 사용하는 WLL 단말기에서 전력 증폭기의 비선형 특성이 인접 채널 전력비인 ACPR특성에 주는 영향을 분석하였다.

전화국에서 전화가입자를 연결하는 유선 선로를 사용하던 기존의 시스템 대신에 무선 시스템을 이용하여 전화선을 구성해 주는 WLL은 주파수의 확보와 무선 송수신 장치 제조의 어려움으로 상용화되지 못하다가 최근 들어 2.3 GHz~2.4 GHz에 이르는 주파수 확보와 함께 전자 통신 기술의 발달에 의하여 현재 상용화 단계에 이르고 있다. 특히 WLL은 구리나 알루미늄 케이블을 사용했던 기존의 유선선로와 비교하여 지방 가입자의 접속 비용을 줄일 수 있고 유지비가 적게 들며 다양한 서비스를 제공할 수 있어 인구밀도가 희박한 사막이나 중남미의 오지 등지에서는 그 필요성이 크며 현재 그 필요성에 의해 사용되고 있는 지역도 있다.

전력 증폭기의 비선형 특성을 분석하기 위하여 10 MHz 대역폭의 변조 신호원을 구성하여 입력 신호원으로 하였고, 단말기 송신부 시스템을 구성하였으며 전력 증폭기의 특성 중 IP3, AM-to-PM 특성이 ACPR 특성에 미치는 영향을 분석하였다. 또한, 실제 제작된 전력 증폭기 출력 특성과도 비교하였으며 이들 특성에 의해 요구되는 ACPR 특성을 만족하는 최대 입력전력 허용치 및 이 값과 P1dB입력과의 차인 Backoff 값을 계산하고자 하였다.

II. 광대역 디지털 변조부 및 송신부 구현

본 장에서는 WLL시스템에서 전력 증폭기의 비

선형 특성이 전체 시스템에 미치는 영향을 분석하기 위하여 HP-EEsof사의 시스템 시뮬레이터인 Omnisys를 사용하여 10 MHz 대역폭의 디지털 변조 신호원을 구성하였다.

디지털 변조 신호원의 구성은 심볼 레이트는 128 Kbps, PN Chip 레이트는 8.192 Mcps이며 변조방식은 QPSK로 하였다. 입력되는 데이터가 직렬-병렬 변환기를 거쳐 I신호와 Q신호로 나뉘어지며 64 개의 Walsh코드와 PN코드로 곱쳐져 NRZ신호로 변환 후에 규격에서 제시한 FIR Filter를 거쳐 QPSK 변조된다. 변조된 신호는 160 MHz의 주파수와 -10 dBm의 전력으로 송신부에 인가된다.

그림 1은 디지털 변조 신호원의 회로도이고, 그림 2는 변조부에서 출력되는 스펙트럼이다

송신부 각 블록의 특성을 모델링하기 위해 필터는 SAWTEK의 필터모델링을 이용하였으며 증폭기 및 믹서등은 적절한 사양을 가지며 임피던스 정합이 되는 것으로 설정하였다.

WLL 단말기 RF 송신대역은 2300~2330 MHz이므로 변조단에서 입력된 신호를 대역 여파시키고, 발진기와 주파수 혼합기에 의해 IF주파수를 RF주파수로 상향 변환하여 대역 제한한 후 구동 증폭기를 거쳐 전력 증폭기에 입력된다. 전력 증폭기의 특성은 P1dB 값은 37 dBm으로 설정하였으며, IP3값은 P1dB +10 dB로 하였고 위상왜곡은 정해진 AM-to-AM특성을 가정하여 P1dB이전과 이후로 나누어 위상의 변화를 1 dB씩 전력이 증가함에 따라서 P1dB이전에서는 0.2°~2°/dB, P1dB 이후에서는 1°~10°/dB까지 변화를 주었다. 그림 3은 송신부 블록이다.

구현된 송신부의 전력 증폭기 입력과 출력 ACPR특성을 비교한 결과 송신부 각 단의 필터 특성 및 비선형 특성으로 인하여 전력 증폭기 입력 ACPR이 변조부 출력 ACPR보다 다소 악화됨을 볼 수 있으며, 특히 전력 증폭기의 비선형 특성은 전력 증폭기 출력 ACPR 특성에 큰 영향을 줄 수 있다.

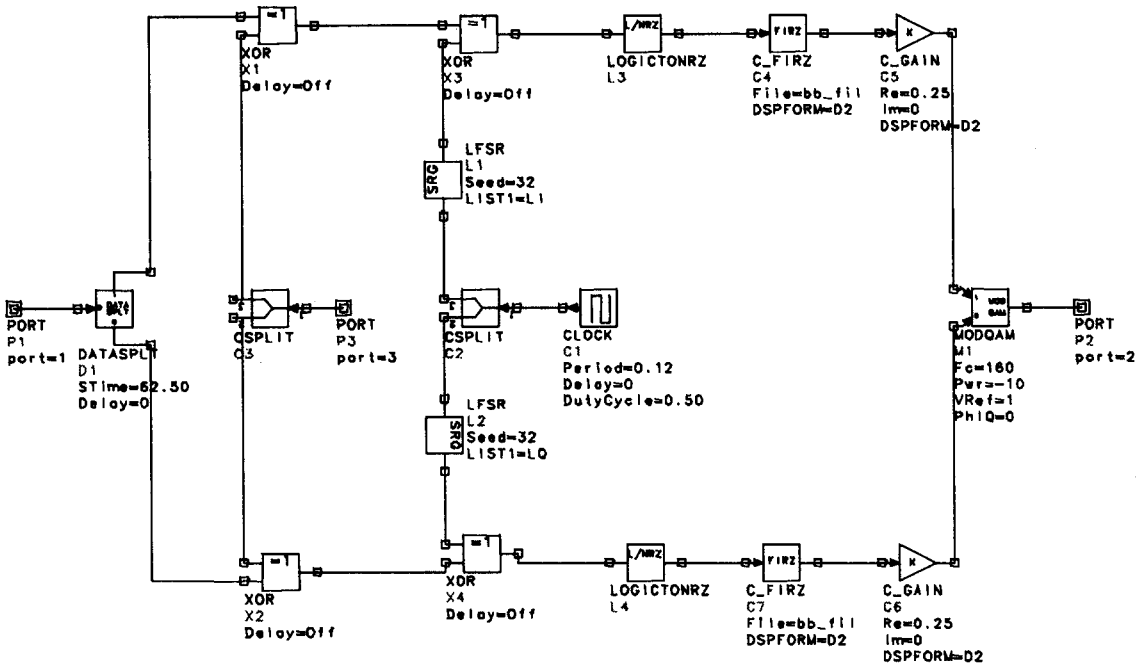


그림 1. WLL의 QPSK디지털 변조 신호원

Fig. 1. QPSK modulator modeling of WLL.

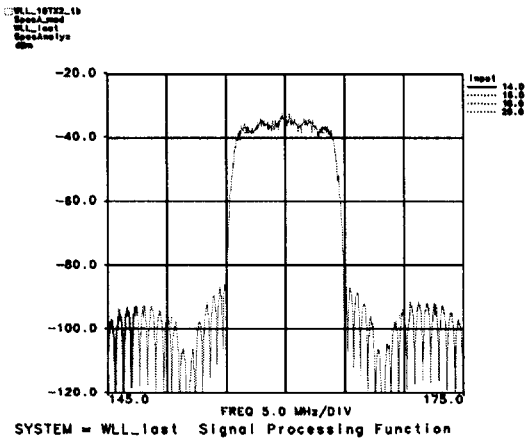


그림 2. QPSK 변조된 출력 스펙트럼(RBW:30 KHz, VBW:3 KHz)

Fig. 2. QPSK modulated signal spectrum.

그림 4는 전력 증폭기 입력 스펙트럼이며, 그림 5는 위상 왜곡이 없는 경우에 1dB 출력력을 갖는 증

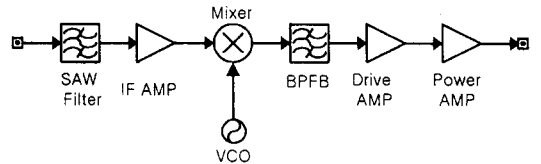


그림 3. 송신부 블록도

Fig. 3. Block diagram of the transmitter.

폭기의 출력 스펙트럼이다.

III. AM-to-PM 왜곡에 의한 ACPR 특성 해석

본 장에서는 전력 증폭기의 비선형 특성을 나타내는 변수 중 IP3, AM-to-PM 특성이 ACPR특성에 미치는 영향에 대하여 분석하고 요구되는 AC-PR특성을 만족하기 위한 입력 신호 레벨 값을 예측하고자 하였다^{[6]~[7]}.

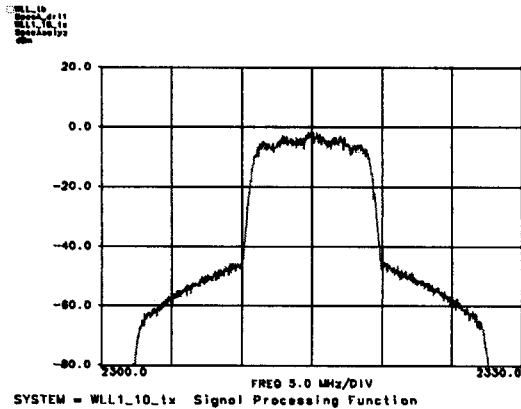


그림 4. WLL 전력증폭기 입력 스펙트럼
Fig. 4. Input signal spectrum of WLL power amplifier.

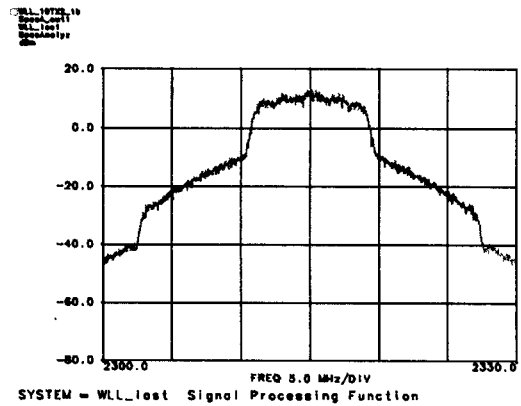


그림 5. WLL 전력증폭기 P1dB 입력에서의 출력 스펙트럼
Fig. 5. Output signal spectrum of WLL power amplifier at P1dB.

ACPR 특성 시뮬레이션을 위해 전력 증폭기에 인가되는 입력전력을 10 dBm에서부터 20 dBm까지 10 dB 변화시켜 인가하였으며, 요구 특성은 그림 6과 같이 중심주파수에서 5 MHz 이상 떨어진 대역에서 -23 dBc, 7.5 MHz 이상 떨어진 대역에서 -29 dBc, 10 MHz 이상 떨어진 대역에서 -35 dBc의 하나로 통신에서 제안한 RIU 현장시험 절차서 상의 특성으로 하였다^{[8]-[10]}. 그림 7은 AM-to-PM 왜곡이

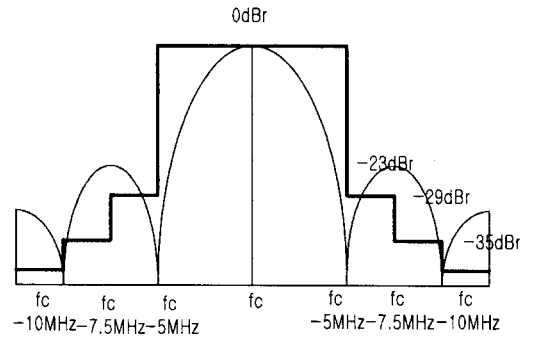


그림 6. ACPR 특성 요구 스펙트럼
Fig. 6. ACPR characteristic requirement spectrum.

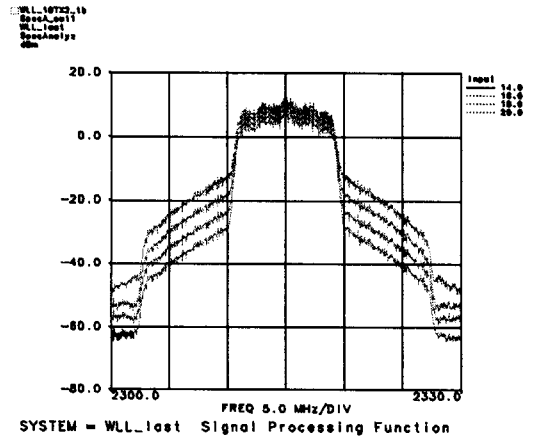


그림 7. WLL 전력 증폭기 입력전력 변화에 따른 ACPR 변화 스펙트럼
Fig. 7. The WLL ACPR characteristic with the varying input power.

없는 전력 증폭기에 입력 전력에 변화를 주어 인가한 경우의 출력 스펙트럼이다.

또 다른 전력 증폭기의 비선형 특성인 IP3 값의 변화에 따른 ACPR 특성 변화를 살펴보았다. 전력 증폭기의 특성 중 이득과 P1dB는 변화를 주지 않고 IP3 값만을 P1dB + 8~12 dB 만큼의 변화인 45 dBm ~ 49 dBm의 변화를 주었을 때, IP3 값의 변화에 의한 ACPR 특성은 그림 8과 같이 중심 주파수에서 5 MHz 떨어진 주파수에서는 0.5 dB 이내의

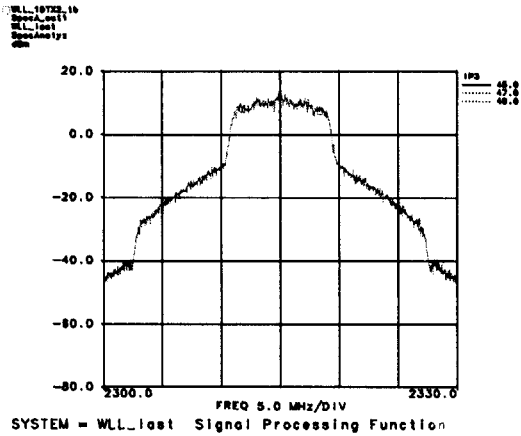


그림 8. P1dB가 일정할 때 IP3 변화에 따른 ACPR 특성(P1dB + 8~12 dB 큰 경우)

Fig. 8. ACPR characteristics with third-order intercept point variation.

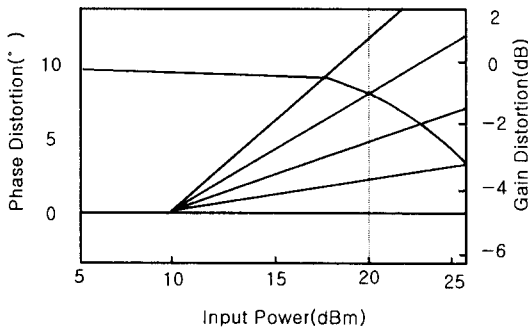


그림 9. 입력전력에 따른 이득과 위상 왜곡 모델링
Fig. 9. Gain and phase distortion modeling with input power level.

비교적 작은 변화를 나타냄을 볼 수 있다.
다음으로 입력 전력에 따른 위상의 왜곡인 AM-to-PM 변화와 ACPR 특성과의 관계를 P1dB값 이전과 이후로 나누어 다음과 같이 분석하였다. 먼저 정해진 AM-to-AM 특성을 그림 9에서와 같이 가정하고 P1dB로부터 10 dB 작은 크기의 입력 전력인 10 dBm에서부터 1 dB씩 전력이 증가함에 따라서 0, 2°~2° 까지 위상을 변화하여 각각의 경우에 특성을 만족하는 입력 레벨 값을 비교하였다. 또한, P1dB

이후에서의 위상변화를 분석하기 위하여 P1dB 이후의 입력전력인 21 dBm부터는 1 dB씩 전력이 증가함에 따라서 위상의 변화를 1°~10°/dB변화를 주어 ACPR 특성을 비교하였다. 그림 9는 P1dB 전후에서 진폭 및 위상 왜곡 특성을 모델링한 것이며, ACPR 시뮬레이션에서는 5 MHz 떨어진 주파수에서 -23 dBc의 사양을 만족하면, 7.5 MHz, 10MHz에서도 -29 dBc 및 -35 dBc의 특성을 만족하는 것으로 나타났다. 그림 10은 AM-to-PM특성 변화에 따른 Backoff 값의 변화이다. P1dB 이후의 위상

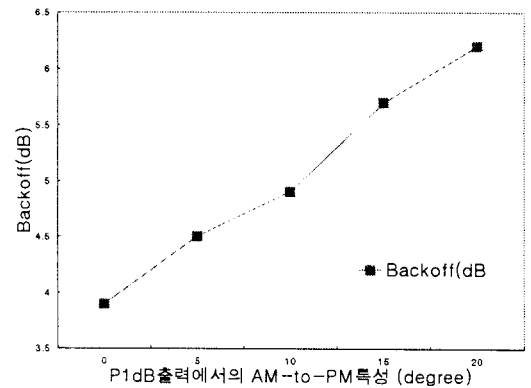


그림 10. P1dB 점의 AM-to-PM 변화에 따른 ACPR 만족 Backoff 특성

Fig. 10. The backoff characteristic of AM-to-PM variation.

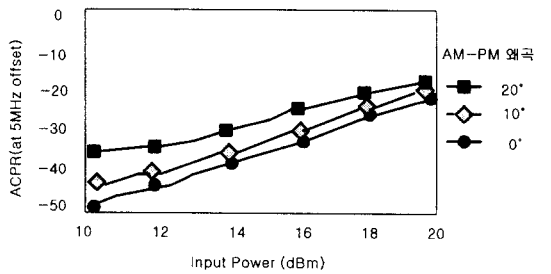


그림 11. 위상왜곡에 따른 5 MHz 떨어진 주파수의 ACPR 특성

Fig. 11. The ACPR characteristic of AM-to-PM variation.

변화는 Backoff 값에 큰 영향을 주지 않았으며 P1dB 이전에서의 위상변화가 ACPR에 영향을 주어 Backoff 값의 변화를 준다.

IV. 증폭기의 ACPR 특성 측정

앞 절에서 시뮬레이션한 내용들을 바탕으로 전력 증폭기의 ACPR 측정 특성을 분석하였다. 측정된 전력 증폭기의 P1dB는 34 dBm이었으며 IP3값은 P1dB+10 dB로 예측하여 측정된 ACPR 특성을 시뮬레이션값과 비교하였다. 또한, 실제 시스템에서 전력 증폭기에 인가되는 입력신호를 조사해 본 결과 시뮬레이터에서 만든 신호 스펙트럼보다 ACPR 특성이 작은 값이므로 이러한 신호가 되도록 시뮬레이터에서 IF 증폭기의 IP3, P1dB 등을 변화하여 실제 증폭기에 인가되는 신호와 유사한 새로운 스펙트럼을 만들었다. 이러한 스펙트럼을 인가하여 시뮬레이션 한 결과는 그림 12에 나타내었다. 요구되는 ACPR 특성을 만족하는 출력 전력인 30 dBm에서 중심 주파수로부터 10 MHz 이상 떨어진 대역

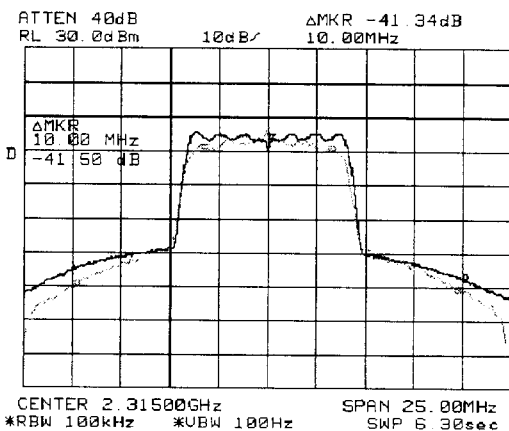


그림 12. 요구된 ACPR 특성을 만족하는 전력에서 측정된 전력증폭기의 출력과 시뮬레이션한 출력의 ACPR 특성

Fig. 12. The simulated and measured ACPR characteristic of output power at 30 dBm.

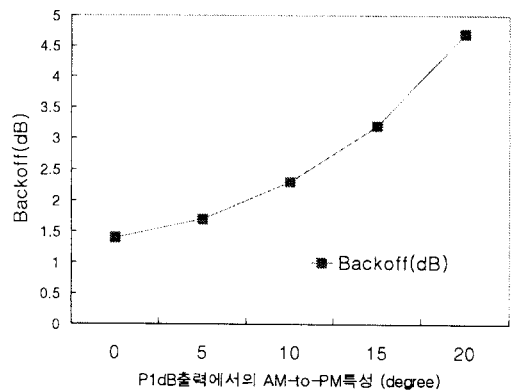


그림 13. WLL 전력 증폭기의 AM-to-PM 왜곡과 Backoff 값과의 관계

Fig. 13. Relation of AM-to-PM distortion and back-off at WLL power amplifier.

에서 측정된 ACPR 특성은 -41.50 dBc이고 시뮬레이션한 ACPR 특성은 -42.96 dBc로 거의 유사함을 볼 수 있다. 또한, 그림 9와 같은 AM-to-PM 모델링 특성을 고려하여 위상왜곡의 변화에 따른 ACPR 특성 변화를 살펴보았다. 그림 13은 전력 증폭기의 P1dB에서 AM-to-PM의 변화가 5°, 10°, 20° 변화함에 따른 Backoff 값을 나타낸 것이다.

5°의 AM-to-PM 왜곡에서 2.3 dB의 Backoff 값을 나타냈으며, 10°와 20°의 AM-to-PM 왜곡에서는 3.2 dB, 4.7 dB의 Backoff 특성을 나타내었다.

V. 결 론

본 연구에서는 광대역 디지털 변조방식을 사용하는 WLL 시스템용 단말기에서 전력 증폭기의 비선형 특성인 IP3, AM-to-PM 특성이 증폭기의 ACPR 특성에 미치는 영향을 분석하기 위하여 QPSK 변조되는 10 MHz 대역의 디지털 변조부를 설계하고 2.3 GHz로 주파수 변환하여 전력 증폭기의 입력 신호원을 구성하였다.

구성된 입력 신호원과 전력 증폭기 특성 중 IP3, AM-to-PM 특성을 변화시켜 ACPR 특성 변화를

비교한 결과 P1dB 근방의 출력에서는 요구되는 ACPR 특성을 만족하지 못하였으므로 Backoff가 필요함을 알 수 있었으며, IP3의 변화는 중심 주파수에서 5 MHz 떨어진 주파수에서 0.5 dB 이내의 변화로 ACPR에 큰 영향을 주지 않았다.

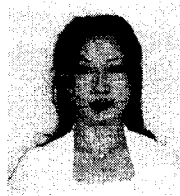
측정된 전력 증폭기와 비교하기 위하여 측정된 전력 증폭기의 입력 신호원과 동일한 특성을 구현된 시스템의 전력 증폭기에 인가하여 출력 스펙트럼을 비교한 결과 시뮬레이션한 ACPR 특성은 -42.96 dBc이고, 측정한 ACPR 특성은 -41.50 dBc로 거의 유사함을 확인하였다. 또한, AM-to-PM 왜곡에서는 P1dB보다 작은 경우와 큰 경우로 나누어 모델링하여 ACPR 특성의 변화를 구한 결과 P1dB에서 위상이 10° 이상 변화할 때 4.9 dB의 Backoff값을 나타내어 10° 이상의 위상변화에서부터 Backoff값에 큰 영향을 미치는 것을 보았으며 P1dB보다 큰 전력에서의 위상변화는 Backoff 값에 큰 영향을 미치지 않는 것을 보았다.

본 논문의 결과는 2 GHz의 인접 주파수대인 PCS, IMT2000, WLAN등의 광대역 디지털 통신 시스템 변조 신호원 설계 및 전력 증폭기 설계에 응용 가능하리라 본다.

참 고 문 헌

[1] Qiang Wu, Hengh Xiao and Fu Li, "Linear RF Power Amplifier Design For CDMA Signals: A Spectrum Analysis Approach," *Microwave journal*, vol. 41, no. 12, pp. 22~40

김 현 자



1998년 2월: 시립 인천대학교 전자공학과(공학사)
 1998년 3월~현재: 시립 인천대학교 대학원 전자공학과 석사과정
 [주 관심분야] 디지털 통신 시스템 설계 및 해석, 전력증폭기 특성해석

December, 1998.
 [2] John F. Sevic and Joesph Staudinger, "Simulation of Power Amplifier Adjacent Channel Power Ratio for Digital Wireless Communication Systems," *Proc. of 1997 IEEE MTT-S*, pp. 681~684, June, 1997.
 [3] Seung-Woon Chen, William Panton and Rob Gilmore, "Effect of Nonlinear Distortion on CDMA Communication Systems," *Proc. of 1996 IEEE MTT-S*, pp. 775~778, June, 1996.
 [4] John F. Sevic, et al, "Nonlinear Analysis Method for Digital Wireless Communication System," *Int. Journal. of MIMICAE*, pp. 197~216, May, 1996.
 [5] 박현섭, 이상학, 구경현, 김봉겸, 박재홍 "광대역 대지텔 변조 신호용 전력증폭기 ACPR 특성 해석" 추계종합학술발표회 논문집, vol. 16, no. 2, pp. 669~702, 1997, 11.
 [6] Tri T. Ha, *Solid-State Microwave Amplifier Design*, 1981, Jone Wiley & Sons.
 [7] Guillermo Gonzalez, *Microwave Transistor Amplifiers Analysis and Design*, 1997, Prentice Hall.
 [8] Mark Slovick, "Measuring ACPR in CDMA Amplifiers," *Microwave Journal*, vol. 41, no. 12, pp. 74~80, December, 1998.
 [9] 한국전자통신연구원, Wireless Local Loop을 위한 무선 접속 규격(안) (Version 1.5).
 [10] 하나로 통신, RIU 현장시험 절차서.

강 성 민

1999년 2월: 시립 인천대학교 전자공학과(공학사)
 1999년 3월~현재: 시립 인천대학교 대학원 전자공학과 석사과정
 [주 관심분야] 디지털 통신 시스템 및 ITS(Intelligent Transport System)시스템 설계

구 경 헌



1981년: 서울대학교 전자공학과(공학사)

1983년: 서울대학교 대학원 전자공학과(공학석사)

1991년: 서울대학교 대학원 전자공학과(공학박사)

1984년~1985년: 나우정밀 주식회사

연구원

1986년: 통신기술 주식회사 위촉연구원

1987년~현재: 시립 인천대학교 공과대학 전자공학과 교수

[주 관심분야] 선형, 고효율 RF/MW 회로 설계 및 측정, 전파 통신 시스템 분석, GPS수신기용 RF모듈 설계 등.