

광대역 디지털 통신용 저왜곡 전력 증폭기 설계

Design of Low Distortion Power Amplifier for Wideband Digital Communication

박현섭*, 김수경*, 구경헌*

Hyun Sup Park*, Su Kyung Kim*, and Kyung Heon Koo*

요 약

최근의 이동 통신 시스템용 전력 증폭기는 고전력, 고효율 특성을 가지며 또한 저왜곡 특성을 갖도록 요구되고 있다. 디지털 통신 시스템의 전력 증폭기는 상호 변조와 스펙트럼 재성장에 의한 인접 채널 간섭이 생기게 되며, 특히 광대역 디지털 통신 시스템에서는 인접채널 전력비 특성이 중요하게 이용되고 있다. 전력 증폭기의 통신 시스템에 대한 영향을 분석하기 위해 22Mcps로 대역 확산된 광대역 디지털 변조 신호원을 구현하고, ISM 밴드를 이용한 전력 증폭기를 설계하여 RZ, NRZ등 코딩방법에 따른 전력 증폭기의 비선형 특성인 인접채널 전력비 특성을 비교 시뮬레이션 및 측정하였다.

Abstract

Most of modern mobile communication systems require low distortion in addition to high power and high efficiency characteristics for power amplifiers. The power amplifiers cause adjacent channel interference by intermodulation and spectral regrowth. In order to analyze the effects of the power amplifier on communication system, a 22Mcps spreaded digital modulated signal source and a ISM band power amplifier have been constructed. ACPR characteristics are simulated and measured for the RZ and NRZ encoded signals.

I. 서 론

디지털 통신 시스템의 비선형 회로, 특히 전력 증폭기는 상호 변조(intermodulation)와 sideband의 스펙트럼 재성장(spectral regrowth)에 의한 동일 채널과 인접 채널의 간섭이 생기게 된다. RF 시스템의 성능 및 비선형 회로의 비선형 왜곡특성을 측정하는 방법은 여러 가지가 있으나 3차 교차점

(IP3)과 two-tone IMD3(Intermodulation Distortion)에 의한 방법이 기존에 이용되어왔으며, 잡음 전력비(Noise Power Ratio)는 multi-carrier 상황 시뮬레이션을 위한 상업적인 위성 통신 시스템에서 사용되고 있고 셀룰러와 PCS등 디지털 통신 시스템에서는 sideband 재성장이나 인접채널 전력비(ACPR) 특성이 이용되고 있다.

최근의 이동 통신 및 위성 통신기기용 전력 증폭기의 요구 특성은 종래의 고출력, 고효율 특성에

* 인천대학교 공과대학 전자공학과(Dept. of Electronics Eng., University of Incheon)

· 논문번호 : 98-2-5

· 접수일자 : 1998년 12월 28일

· 본 연구는 1997년 인천대학교 연구비 지원에 의해 수행되었습.

서, 고효율이면서 저왜곡 특성을 갖도록 변화하고 있다. 고효율과 저왜곡이라는 특성은 바이어스급 및 동작레벨의 관점에서 상반되는 특성이다. 즉, 고효율이 되기 위한 바이어스 급의 동작 레벨에서는 왜곡 특성이 나빠지며, 역으로 저왜곡을 얻기 위한 동작 레벨 및 바이어스 급에서는 효율이 나빠진다. 종래에는 AB급 동작에서 저왜곡을 얻기 위해 백오프(backoff)된 상태에서 이용하였는데, 이는 고효율화가 기술적인 과제로 남는다. 저왜곡 특성을 얻기 위한 연구의 역사는 오래되었으나 근래에는 비선형 회로 해석기법 및 측정기의 발달에 따라, 전에는 노하우라고 여겨지던 부분이 체계적인 기술개발의 영역이 되었다.[1-6]

본 논문에서는 디지털 통신 시스템에서 동작되는 전력 증폭기 모듈의 비선형성에 의한 시스템에 대한 영향을 분석하고자 하였다. 이를 위해 2Mbps 데이터를 22Mcps로 대역 확산시켜 전력증폭기의 입력 신호로 인가하기 위한 광대역 디지털 변조 신호원을 구현하였다.[7]

또한 2.4GHz대 ISM 주파수 대역을 이용한 직접 시퀀스 대역 확산(DSSS) 방식의 무선 LAN용 전력증폭기를 설계하였으며, 설계된 전력 증폭기를 대신호 산란계수 특성을 이용하여 모델링 하였고, 모델링된 전력증폭기에, 구현한 디지털 변조 신호원을 인가하여 전력증폭기의 비선형 특성인 ACPR 특성을 해석하였다.

또한 디지털 통신 시스템의 입력신호 데이터의 형태를 RZ(Return to Zero) 및 NRZ(Non-Return to Zero)로 변화하는데 따른 출력 스펙트럼 sidelobe의 변화, 즉 ACPR특성의 변화를 시뮬레이션하고 이와 제작한 증폭기의 측정 결과를 서로 비교하였다.

II. 전력 증폭기 설계

이동 통신에 이용되는 $\pi/4$ QPSK 변조 신호 및 멀티캐리어 신호를 증폭하는 경우 증폭기의 진폭왜곡 및 위상왜곡에 의해 출력 신호는 혼변조 왜곡이 생기며, 그 결과 출력 스펙트럼이 넓어지게

되는데, 이것은 인접채널의 누설전력이 되어 통신에 지장을 준다. 저왜곡 설계에서는 변조 신호 및 멀티캐리어 신호의 왜곡이 없게 선형적인 증폭이 되도록 설계하여야 하며, 고효율, 고효율을 얻는 비선형 영역에서는 진폭왜곡 및 위상왜곡이 모두 크게 된다.

또한, 오늘날의 통신 시스템은 이전의 아날로그 변조와는 달리 주로 디지털 변조 방식을 이용하고 있다. 디지털변조방식을 이용하면 채널용량, 통화 품질, 통신의 보안등 여러 이점이 있으며, 특히 확산대역방식을 사용하면 재밍신호의 영향을 적게 할 수 있어 여러 장점이 있다. 확산대역신호는 전력증폭기와 같은 비선형회로를 통과하면 스펙트럼 재성장에 의한 채널 외의 스펙트럼 발생이 일어난다. 기존의 아날로그 및 협대역 디지털 변조의 경우 전력증폭기의 비선형왜곡 특성은 3rd order intercept point (IP3), two tone 상호 변조 왜곡 (IMD3) 및 1dB 압축점(P1dB)등으로 묘사되어 왔으나, 확산대역등의 광대역 변조의 경우는 이들과 같은 협대역 특성만으로 성능의 묘사가 곤란하다. 이와 디지털 통신시스템 송신부의 왜곡은 I/Q imbalance, quadrature offset등의 왜곡과 전력증폭기의 AM/PM등의 특성 및 오실레이터의 위상잡음등에 의해 정해지는데 이들을 체계적으로 해석하기 위한 여러 연구가 진행중이다.

또한 전력 증폭기 출력 신호의 특성을 알고 전체적인 시스템 해석을 위해서는 변복조부 및 전력 증폭기 자체 해석과 함께 전체 송신 시스템 해석을 통한, 전력 증폭기 비선형 특성에 의한 시스템의 영향을 분석하여야 한다[8].

III. 광대역 디지털 변조 신호원 구현

3-1 무선 LAN용 송신부 모델링

광대역 디지털 변조된 신호와 전력 증폭기 특성 간의 관계를 분석하기 위해 22MHz의 대역으로 확산되는 디지털 변조 신호원을 무선 LAN 송신부의 표준규격에 맞춰 구성하였다. 무선 통신 시스템을

해석하고자 하는 경우, 주요 구성소자인 증폭기와 주파수 혼합기의 비선형 모델링 파라미터로는 P1dB, IP3, AM-AM 및 AM-PM등이 있다. 이들을 이용하면 증폭기, 주파수 혼합기, 자동 이득 제어부(AGC)등 소자의 왜곡 특성을 묘사할 수 있으며 이들에 의한 시스템의 영향 분석이 가능하다.

비선형 소자의 영향을 분석하기 위하여 본 논문에서는 22Mbps의 광대역으로 확산되는 디지털 변조 신호원을 구성하여 2.4GHz ISM밴드용 전력 증폭기에 인가하여 특성을 예측, 측정하였다.

전력 증폭기에 인가된 입력 신호원을 모델링하기 위해서는 HP-Eesof사의 시스템 시뮬레이터인 Omnisys 6.1을 사용하여 신호원을 구성하였다[9].

신호원의 구성을 보면, 크게 베이스 밴드 처리부와 변조부 그리고 송신부로 나눌 수 있다. 먼저 베이스밴드 처리부 및 변조부에 대해 살펴보면, 데이터는 랜덤 신호 발생기에서 2Mbps의 디지털 신호를 발생하여 이를 I 신호와 Q 신호로 분리하며, PN code인 11 chip Barker code에 의해 22Mbps로 확산을 시키게 된다. 대역 확산된 신호는 변조시키기 위해 NRZ(Non Return to Zero)형태로 바꾸어 주며 디지털 신호의 대역제한은 차단 주파수가

8.8MHz인 5차 Butterworth 필터를 사용하였다. 필터링된 이 신호는 QPSK 변조시키고 이 신호를 송신부에 인가하게 된다.

그림 1은 베이스 밴드 처리부와 변조부의 구성도이다. 송신부는 변조부에 인가한 신호를 대역 통과시키고 발진기와 주파수 혼합기에 의해 RF 주파수로 상향 변환시켜 선형적인 구동 증폭기를 이용하여 전력 증폭기의 입력 전력을 조절할 수 있도록 구성하였다. 그림 2는 송신부를 구성한 회로도이고, 그림 3은 전력 증폭기의 입력으로 들어오는 DQPSK변조된 신호 스펙트럼이다.

3-2 전력 증폭기의 설계

RF 송신 블록의 전력 증폭기, 믹서, 오실레이터는 ACPR, IMD3, 이득과 위상 압축, 위상 잠음등 여러 가지의 비선형 왜곡 특성을 갖는다. 전력 증폭기의 경우 이러한 비선형 왜곡의 영향을 분석하기 위하여 1dB 압축점, 3차 교차점, 출력 포화 전력, AM-AM 및 AM-PM등의 데이터를 입력할 수 있으며 이들 비선형 왜곡에 의하여 스펙트럼 재성장 또는 인접 채널 전력 등의 디지털 변조에 중요

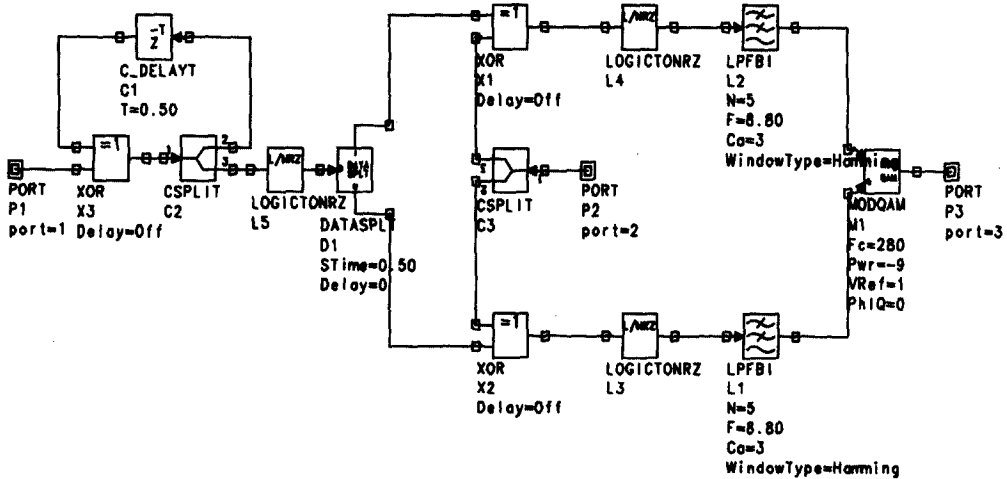


그림 1. 베이스밴드부와 변조부 모델링

Fig. 1. Baseband processor and modulator modeling.

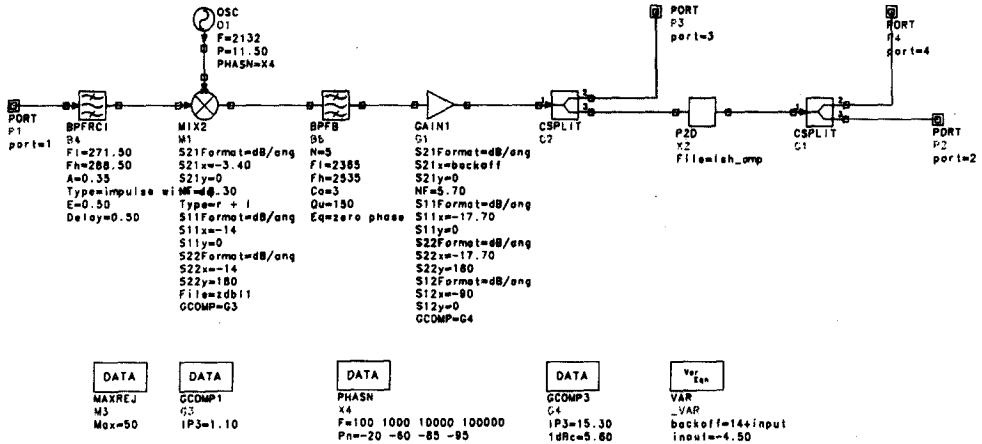


그림 2. 송신부 모델링
 Fig. 2. Up converter and transmitter modeling.

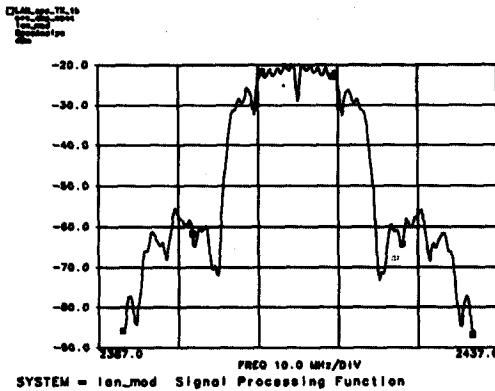


그림 3. 전력 증폭기의 입력 신호원
 Fig. 3. Input signal spectrum of power amplifier.

한 파라미터를 구할 수 있다.

앞서 구성한 디지털 변조 신호원을 이용하기 위한 전력 증폭기는 ISM 밴드인 2.4GHz~2.483GHz에서 동작하는 DSSS방식의 무선 LAN 사양을 만족하는 3단 전력 증폭기를 GaAs MESFET를 이용하여 설계하였다.

설계된 전력 증폭기의 특성은 2.4GHz~2.483 GHz에서 28.5dB의 이득과 평탄도 0.1dB이내, 그리고 -18.9dB의 입출력 반사 계수 특성을 나타내고 있다. 설계된 전력 증폭기의 회로는 그림 4와 같으며, 이득과 입출력 반사 계수 특성은 그림 5와 같

다. 또한 입력 전력에 따른 출력 전력과 효율 특성은 그림 6에 나타내었다.

시스템에서 RF 송신부의 전력 증폭기는 비선형 특성을 포함하여 보다 정확한 시스템 해석을 하게 되는데, 이때 이용되는 비선형 특성으로 AM-AM 및 AM-PM 특성을 들 수 있다.

본 논문에서는 시스템 시뮬레이션을 위한 전력 증폭기의 모델로 대신호 산란계수를 이용한 대신호 모델과 측정된 AM-AM 및 AM-PM 특성을 이용한 모델을 이용하였다. 대신호 산란 계수 모델은 시뮬레이터 MDS에서 설계된 전력 증폭기를 -10dBm부터 +5dBm까지 0.5dB 간격의 전력과 2.362GHz부터 2.462GHz까지 1MHz 간격의 주파수에 의해 Harmonic Balance 시뮬레이션에 의한 모델링을 하였다. AM-AM 및 AM-PM특성에 의한 모델은 제작된 전력 증폭기를 이득 및 반사 특성의 선형 부분과 입력 전력에 따른 이득과 위상 변화를 묘사하는 비선형 부분으로 분리하여 그림 7과 같이 모델링하였다.

IV. 송신부 특성 시뮬레이션

본 장에서는 설계된 전력 증폭기의 3차 상호 혼 변조 왜곡 특성과 입력 데이터의 형태에 따른 ACPR 특성 변화에 대해 시뮬레이션을 하였다.

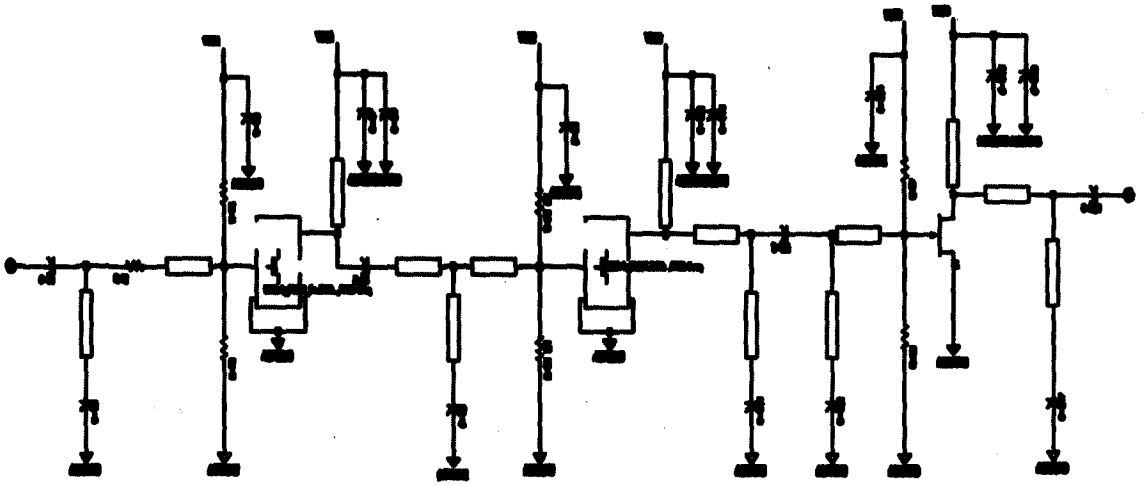


그림 4. 설계한 3단 전력 증폭기의 회로도
 Fig. 4. Circuit schematic of designed 3 stage power amplifier.

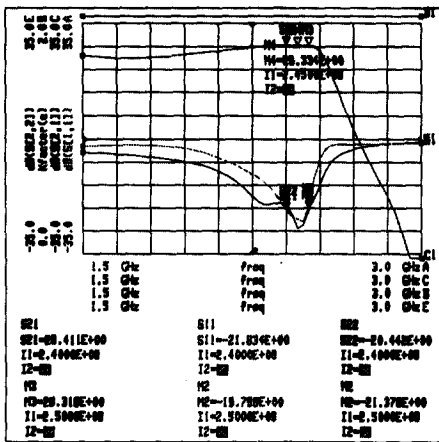


그림 5. 3단 전력 증폭기의 이득 및 입, 출력 반사 특성
 Fig. 5. Characteristics of designed 3 stage power amplifier.

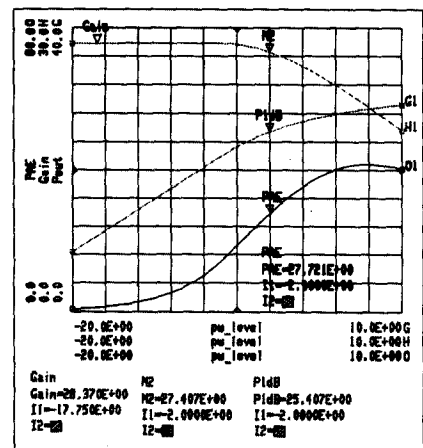
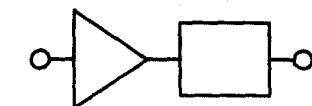


그림 6. 전력 증폭기의 출력과 효율 특성
 Fig. 6. Output power and power added efficiency of 3 stage power amplifier.

디지털 통신 시스템에서 전력 증폭기의 포화상태를 피하려고 증폭기 출력을 무조건 크게 만들면 증폭기를 동작시키는 전력소모가 크게 되므로 증폭기의 출력은 제한을 받게 된다. 만약 증폭기가 이상적인 선형 증폭기라면 입력된 신호와 똑같은 신호가 증폭되어 출력이 되겠지만 실제로는 그렇지 못하고 인접채널에도 출력이 생기게 된다. 이 인접채널에 나타나는 신호와 신호출력 전력과의



선형 블럭 비선형 블럭
 (28.5dB 이득) (테이블화 된 AM 및 PM 특성)

그림 7. 선형과 비선형 부분으로 분리한 전력 증폭기 모델링
 Fig. 7. Power amplifier model as the linear gain and nonlinear compression part.

비율을 ACPR이라 한다. QPSK 변조된 신호의 대역폭을 줄이기 위하여, 신호를 저역 통과 필터로 통과시킨 후 변조를 시킨 경우, 신호의 진폭이 일정하지 않으므로 증폭기나 시스템의 비선형 특성에 의하여 진폭의 왜곡이 생기며 인접 주파수대의 스펙트럼 재성장이 발생한다. 특히 인접채널 간섭 현상은 효율성 및 신뢰성등 무선 통신 시스템의 설계 및 운영 전반에 미치는 영향이 매우 크므로 매우 중요한 연구 대상으로 인식되고 있다.

특히, 무선 LAN과 같은 디지털 통신 시스템은 확산대역 방식을 사용하므로 채널 대역폭의 확대를 가져오며 전력 증폭기의 비선형성에 의해 인접한 대역에 영향을 주게 되므로 인접 채널에 간섭을 주는 정도인 ACPR 특성이 중요하다 할 수 있다. IEEE 802.11 표준안에서는 그림 8과 같이 RBW 100kHz, VBW 30kHz로 측정했을 시 ACPR 특성에 대하여 채널 중심 주파수에서 11MHz에서 22MHz 대역에서 -30dB, 22MHz 이상에 대해 -50dB이하의 ACPR 특성을 요구하고 있다.[7]

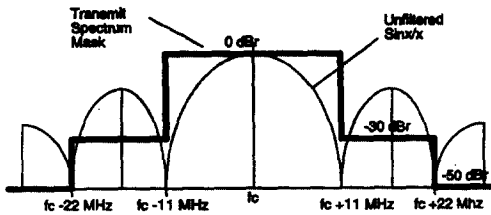


그림 8. ACPR 특성 요구 스펙트럼
Fig. 8. ACPR characteristic requirement of 802.11 standards.

ACPR 특성 시뮬레이션을 위해 설계된 전력 증폭기에 -15dBm에서 +5dBm까지 입력 신호 전력을 변화시키며 인가하였다. 그림 9는 대신호 산란 계수를 이용하여 묘사한 전력 증폭기 출력 스펙트럼 특성을 시뮬레이션한 결과이다. 모델링된 전력 증폭기는 입력 전력이 -4.7dBm일 때의 ACPR 특성이 802.11에서 요구하는 11MHz부터 22MHz대역에서 -30dB, 22MHz이상의 대역에서 -50dB 이하의 특성으로 ACPR 규격을 만족함을 알 수 있다.

그리고 -30dB를 만족하는 입력 전력에 대해서는 22MHz 이상의 대역에서 -50dB의 특성을 항상 만족함을 볼 수 있다.

전력 증폭기 IMD 특성을 구하기 위한 3차 상호 혼변조 왜곡 특성을 시뮬레이션을 하기 위해, 신호의 세기가 같고 주파수가 8.8MHz 떨어진 2.412 GHz와 2.4208GHz의 두 신호를 인가하였다. IP3를 구하기 위해서는 출력된 두 개의 기본파는 포화영역이 아닌 선형 영역에서의 출력이므로 입력 전력 -10dBm을 인가하였을 때의 특성을 측정하였다. 그림 10에서 -26.53dBc의 특성을 나타내고 있음을 알 수 있다. 또한 이 경우 전력 증폭기 IP3는 약 +34.3dBm임을 구할 수 있었다.

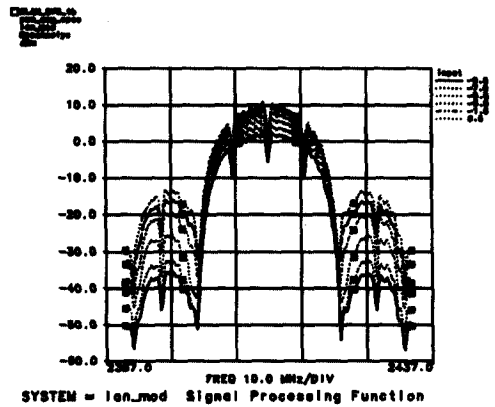


그림 9. 전력 증폭기의 출력 스펙트럼 특성 (NRZ 입력)
Fig. 9. ACPR characteristic of power amplifier (input signal of NRZ type).

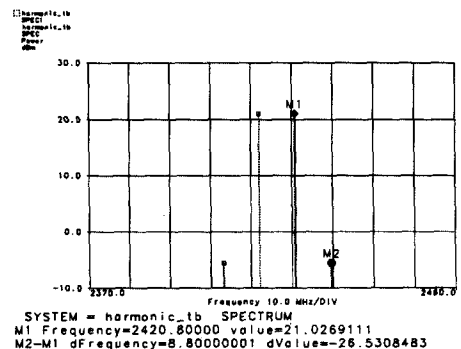


그림 10. 3차 상호 혼변조 왜곡 특성
Fig. 10. Third-order intermodulation distortion characteristic.

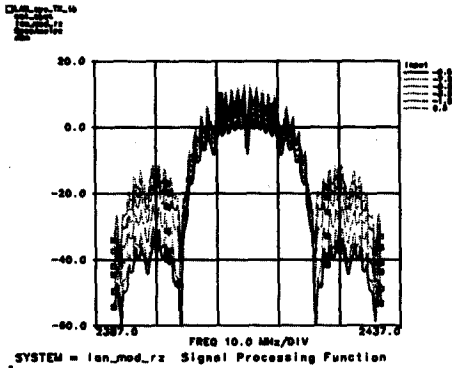


그림 11. 전력 증폭기의 출력 스펙트럼 특성(RZ 입력)
 Fig. 11. Output spectrum characteristic of power amplifier(input signal of RZ type).

다음으로 NRZ(Non Return to Zero)형태와 RZ(Return to Zero) 형태의 입력 데이터를 이용할 때의 출력 스펙트럼을 비교하였다. 앞의 시뮬레이션은 NRZ 형태의 입력 신호를 이용하였으며 RZ 형태의 입력 신호를 인가한 전력 증폭기의 출력 스펙트럼은 그림 11에 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 스펙트럼의 ripple이 약 6.3dB 정도로 NRZ 형태의 출력 스펙트럼보다 훨씬 크다. 그림 12는 NRZ 입력 신호의 경우와 RZ 입력 신호의 경우에 대해 11MHz에서 22MHz 대역의 ACPR 특성을 앞서 모델링한 전력 증폭기의 모델중 대신호 산란계수 모델에 입력 신호를 -9.5dBm부터 +0.5dBm까지 변화시켰을 때의 ACPR 특성을 비교하였다. 그

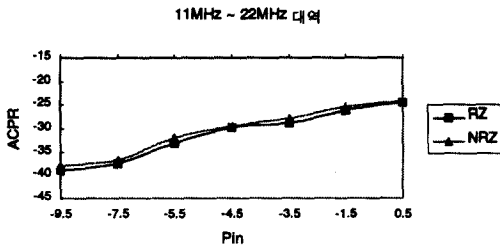


그림 12. 입력 전력의 변화에 따른 출력 스펙트럼의 변화(대신호 산란계수 모델)
 Fig. 12. Output spectrum characteristic with increasing input signal power(Large signal s-parameter model)

림 13은 AM-AM 및 AM-PM 모델의 ACPR 특성에 대해 비교한 결과이며 그림 12, 13에서 보는 바와 같이 ACPR 특성은 입력 데이터의 형태와는 거의 무관함을 볼 수 있다. 그림 14, 그림 15는 22MHz 이상 offset된 주파수에서의 ACPR 특성을 RZ 및

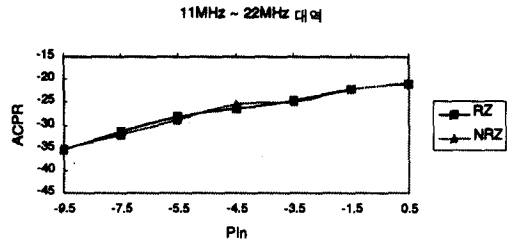


그림 13. 입력 전력의 변화에 따른 출력 스펙트럼의 변화(AM-AM/AM-PM 모델)
 Fig. 13. Output spectrum characteristic with increasing input signal power(AM-AM/AM-PM model).

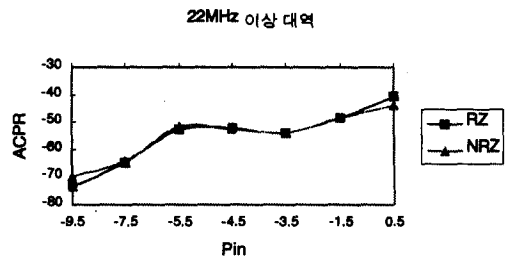


그림 14. 입력 전력의 변화에 따른 출력 스펙트럼의 변화(대신호 산란계수 모델)
 Fig. 14. Output spectrum characteristic with increasing input signal power(Large signal s-parameter model).

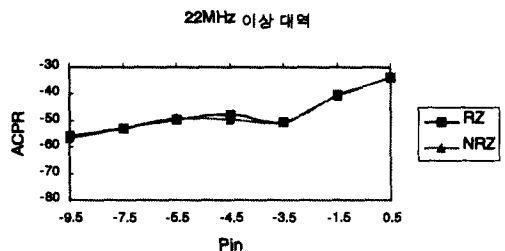


그림 15. 입력 전력의 변화에 따른 출력 스펙트럼의 변화(AM-AM/AM-PM 모델)
 Fig. 15. Output spectrum characteristic with increasing input signal power(AM-AM/AM-PM model).

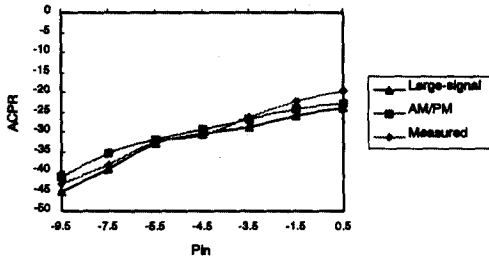
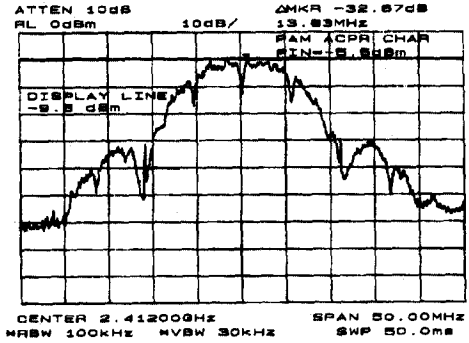


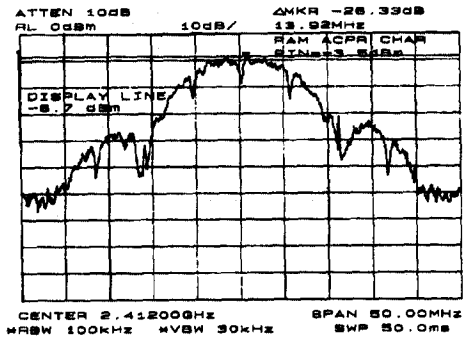
그림 16. 입력 전력에 따른 ACPR 특성 비교
 Fig. 16. ACPR characteristics comparison with increasing input signal power.

NRZ의 두 입력 신호에 대하여 비교 제시하고 있다. 그림 16은 대신호 산란계수, AM-AM 및 AM-PM를 이용한 모델과 실제로 측정된 결과를 입력 전력에 따른 ACPR 특성 결과를 나타내고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 상당히 유사한 특성을 나타내고 있으며, 입력 전력이 -4.5dBm일 때 무선 LAN 표준안에서 요구하는 -30dB와 -50dB 이하의 특성을 만족함을 볼 수 있고 AM-AM 및 AM-PM 특성을 가지고 모델링한 증폭기가 측정 결과와 보다 유사함을 알 수 있다. 그림에서 보는 바와 같이 -9.5dBm~-4.5dBm까지는 2dB이내의 차이를 나타내고 그 이상에서는 차이가 증가해서 +0.5dBm의 입력에서 최고 4dB의 차이가 남을 알 수 있다.

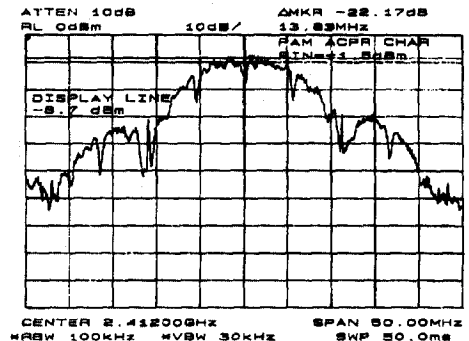
인가된 입력 레벨 변화에 따른 증폭기의 출력 스펙트럼 특성을 측정된 결과는 그림 17에 나타내었다. 입력 신호 전력으로 -5.5dBm, -3.5dBm, -1.5dBm을 인가하였을 경우의 전력 증폭기의 ACPR의 악화 특성을 볼 수 있다. 또한 입력 전력이 -4.5dBm(1dB 압축점 입력 전력인 -2dBm보다 약 2.5dB 낮은) 입력시 출력은 24dBm(약 250mW)으로, 증폭기의 설계목표 출력을 만족하며 ACPR은 중심 주파수에서 11MHz ~ 22MHz 떨어진 대역에서 -31dB, 22MHz이상 떨어진 대역에서 -51.8dB의 특성을 나타내므로 표준안 목표사양인 -30dB와 -50dB를 만족하고 시뮬레이션 결과와 유사함을 알 수 있다.



(a) 입력 전력이 -5.5dBm일 때
 (a) Characteristic of input power with -5.5dBm



(b) 입력 전력이 -3.5dBm일 때
 (b) Characteristic of input power with -3.5dBm



(c) 입력 전력이 -1.5dBm일 때
 (c) Characteristic of input power with -1.5dBm

그림 17. 측정된 ACPR 특성
 Fig. 17. Measured ACPR characteristics of the power amplifier.

V. 결 론

본 논문에서는 디지털 통신 환경 하에서 전력 증폭기의 왜곡 특성을 파악하기 위한 시스템 해석 방법을 제시하였다. 디지털 통신 시스템에서 전력 증폭기의 선형 특성을 규정하는 인접채널 전력비를 분석하기 위해 2.4GHz대 3단 전력 증폭기를 설계 제작하고, 2Mbps 데이터를 22Mcps로 확산시켜 DQPSK 변조시킨 후 2.4GHz로 주파수 변환하는 전력 증폭기의 입력 신호원을 구성하였다.

입력 전력이 인가되었을 때 전력 증폭기의 특성을 분석하기 위해 주파수와 전력에 의한 대신호 산란 계수와 AM-AM 및 AM-PM 모델을 이용하여 전력 증폭기의 특성을 비교하였다.

시스템의 입력 신호의 형태의 따른 즉, NRZ 형태와 RZ 형태의 두 신호를 인가하여 전력 증폭기 두 모델의 ACPR 영향에 대해 살펴보았으며, 대신호 산란 계수, AM-AM 및 AM-PM 특성을 이용한 모델로 실제 측정된 결과를 입력 신호 전력에 따른 ACPR 특성을 비교하여 거의 유사한 결과를 얻었다. 전력 증폭기의 입력 전력이 시뮬레이션에 의한 -4.7dBm보다 0.2dB 높은 -4.5dBm일 때 ACPR 특성 요구안을 만족함을 볼 수 있다.

본 논문의 결과는 2.4GHz대의 무선 LAN 및 인접 주파수대의 WLL, PCS, IMT-2000등의 디지털 통신 시스템 전력 증폭기 설계 및 변조 방법, 신호 형태에 따른 특성 분석에 응용 가능하리라 본다.

참 고 문 헌

- [1] John F. Sevic and Joesph Staudinger, "Simulation of Power Amplifier Adjacent Channel Power Ratio for Digital Wireless Communication Proc. of 1997 IEEE MTT-S, pp.681~684, Systems," June 1997.
- [2] John F. Sevic, Michael B. Steer, and Anthony M. Pavo, "Nonlinear Analysis Methods for the Simulation of Digital Wireless Communication Systems," International Journal of Microwave and Millimeter-Wave Computer-Aided Engineering, Vol. 6, No. 3, pp.197~216, May 1996.
- [3] Seng-Woon Chen, William Panton, and Robert Gilmore, "Effects of Nonlinear Distortion on CDMA Communication Systems," Proc. of 1996 IEEE MTT-S, pp. 775~778, June 1996.
- [4] Seiichi Sampei, Applications of Digital Wireless Technologies to Global Wireless Communications, Prentice-Hall, 1997.
- [5] Lawrence E. Larson, RF and Microwave Circuit Design for Wireless Communication, Artech House, 1996.
- [6] Qiang Wu, Martina Testa and Robert Larkin, "Linear RF Power Amplifier Design for CDMA Signal," 1996 Int. MTT-S Symp. Dig., pp. 851~885, 1996.
- [7] Wireless LAN Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY) Specification, IEEE Computer Society, July 1996
- [8] 박현섭, 허재현, 구경현, "무선 LAN용 송신부 시스템 해석," 마이크로파 및 전파학술대회 논문집, Vol. 21, No. 1, pp. 446~449, 1998. 5.
- [9] Omnisys Manual 6.1, HP-Eesof.
- [10] MDS Manual 7.0, HP-Eesof.

박 현 섭(朴賢燮)



1997년 2월 : 시립 인천대학교 전자공학과(공학사).

1999년 2월 : 시립 인천대학교 대학원 전자공학과(공학석사)

관심분야 : 무선통신 시스템 설계 및 해석, 전력증폭기 설계 및 해석

김 수 경(金秀瓏)



1997년 2월 : 시립 인천대학교 전자공학과(공학사).

1997년~현재 : 시립 인천대학교 대학원 전자공학과 석사과정.

관심분야 : 고효율, 선형 power amplifier 설계

구 경 현(具京憲)



1981년 : 서울대학교 전자공학과(공학사)

1983년 : 서울대학교 대학원 전자공학과(공학석사)

1991년 : 서울대학교 대학원 전자공학과(공학박사)

1984년~1985년 : 나우정밀 주식회사 연구원

사 연구원

1986년 : 통신기술 주식회사 위촉연구원

1987~현재 : 시립 인천대학교 공과대학 전자공학과 교수
관심분야: 선형, 고효율 RF/MW 회로 설계 및 측정, 전파 통신 시스템 분석, GPS수신기용 RF모듈 설계 등.