

논문 2005-42TC-3-7

IEEE 802.11g OFDM 무선랜용 2.4GHz 전력증폭기의 비선형 왜곡분석

(Nonlinear Distortion Analysis of 2.4GHz Power Amplifier for IEEE 802.11g OFDM Wireless LAN)

오 정 균*, 최 재 홍*, 구 경 현*

(Chung Gyun Oh, Jae Hong Choi, and Kyung Heon Koo)

요 약

무선랜용 전력증폭기의 비선형특성과 출력 ACPR 관계를 분석하기 위해, 최대 54Mbps의 전송속도를 가지는 IEEE 802.11g OFDM 변조부와 송신부를 모델링하였다. 2.4GHz 전력증폭기의 비선형특성은 behavioral model을 이용하여 AM-to-AM과 AM-to-PM으로 모델링하였으며, 위상 왜곡특성에 따른 출력스펙트럼 특성을 해석하였다. IEEE 802.11g 무선랜 시스템의 요구 출력스펙트럼 마스크를 만족하기 위한 P_{1dB}로부터 back-off값을 구하기 위하여 모델링한 위상왜곡 크기에 따른 전력증폭기의 ACPR 특성을 시뮬레이션하고 사전위상 왜곡방식을 이용하여 증폭기의 위상왜곡을 변화시키며 측정된 결과와 시뮬레이션 특성을 비교 제시하였다.

Abstract

The OFDM modulation and transmission block have been modeled in order to analyse the relationship between the 2.4GHz power amplifier distortion and output ACPR for the IEEE 802.11g wireless LAN. The nonlinear characteristic of the power amplifier has been modeled as AM-to-AM and AM-to-PM using the behavioral model, and the output spectrum is analysed with the phase distortion variation. Also, amplifier back-off value from P_{1dB} to satisfy the required IEEE 802.11g standard spectrum mask has been simulated with modeled phase distortion, and the simulation data have been compared to the measured result by using the pre-distortion technique.

Keywords : IEEE 802.11g, frequency regrowth, OFDM, back-off, distortion, ACPR, LUT

I. 서 론

무선 기술의 발달로 기존의 유선통신에 비해 설치 용이성, 유지보수 편리성 측면에서 유리한 무선을 이용한 고속 데이터 및 영상정보 전송기술의 채택이 최근 활발하게 이루어지고 있다. 그 대표적인 예가 OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 시스템으로 이는 멀티캐리어 변조방식의 일종이며 멀티패스

및 이동수신 환경에서 우수한 성능을 발휘한다. OFDM 변조방식을 채택하고 있는 무선 LAN은 ISM-band 대역 중 2.4GHz의 주파수 대역에서 동작하도록 규정되어 있다. 이는 IEEE 802.11g 표준에 의해 특성이 정의되어 있으며 최대 54Mbps의 전송속도를 갖는 OFDM 무선

표 1. 802.11g 무선 랜 송신부 특성^{1,9)}
Table 1. 802.11g Wireless LAN transmitter spec.

Frequency band	2.4GHz-2.4835GHz
Carrier numbers	52(48data and 4pilots)
Channel bandwidth	16.25MHz
Data rate	6 to 54Mbps
Carrier type	OFDM
Modulation	BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM

* 정희원, 인천대학교 전자공학과
(Dept. of Electronics Engineering, University of Incheon, Korea)
※ 본 연구는 2003년도 인천대학교 학술연구 조성비 지원에 의하여 수행되었음.
접수일자: 2004년10월5일, 수정완료일: 2005년3월10일

LAN 시스템이다. 표 1은 802.11g 무선 LAN 송신부의 특성을 나타내고 있다.^[1] OFDM 변조 방식 시스템은 멀티 패스환경에 강한 특성이 있어 이에 따른 심볼간 간섭(ISI)을 줄일 수 있으나, 전송로 상에서 발생하는 비선형 왜곡에 민감하다는 단점이 있다. 따라서 충분한 선형영역에서 사용할 필요가 있다.^[2-6]

무선 LAN 및 무선 장비의 송신부 전력증폭기는 비선형성이 매우 큰 부품으로서 이러한 전력증폭기의 비선형성으로 인해 출력신호의 스펙트럼 재성장이 발생하게 된다. 스펙트럼 재성장 정도는 ACPR (Adjacent Channel Power Ratio) 값으로 특성을 나타낼 수 있으며 이는 전력증폭기에서 고효율을 얻고자 할 때 주요한 제한 요소로 디지털 통신시스템에서 선형성을 나타내는 성능지수이다. ACPR은 인접채널에 나타나는 신호와 출력전력과의 비율로 정의되며, 시스템의 고효율 및 선형성을 제한하는 요인으로 작용한다.^[7-11]

고속의 데이터를 무선으로 전송하는 경우, 다수반송파 변조기법은 다중경로 페이딩으로 인한 심볼간의 간섭(ISI)을 막기 위한 유력한 변조방식이다. 본 논문에서는 2.4GHz 대역을 이용하는 IEEE 802.11g 무선랜 다수반송파 변조방식에서 전력증폭기의 비선형 왜곡에 따른 ACPR 특성해석을 위해 증폭기의 비선형 왜곡특성을 나타내는 AM-to-AM 및 AM-to-PM 모델링을 하였다. 또한, OFDM 변조방식에서 전력증폭기의 비선형 왜곡특성을 분석하기 위해 최대 54Mbps의 전송속도를 갖는 IEEE 802.11g 규격의 OFDM 변조부를 모델링하였다. 이 모델링 및 시스템 시뮬레이션 기법을 통하여 변조방식에 따른 요구 ACPR을 만족하는 위상왜곡 허용정도를 시뮬레이션하고 측정하였다.

II. 변조부 및 송신부 구현

본 장에서는 OFDM 변조방식을 이용한 2.4GHz 무선 LAN 시스템에서 요구하는 ACPR을 만족하는 전력증폭기 사양을 제시하기 위해, 시스템 시뮬레이터를 사용하여 OFDM 변조부와 송신부를 모델링했다.

2.4GHz 대역의 OFDM 무선LAN 시스템에 대한 출력스펙트럼은 IEEE 802.11g 표준에서 규정하고 있으며, 시뮬레이션에서는 2.4GHz OFDM 신호원을 IEEE 802.11g 표준안에 근거하여 모델링하였다.^[1] 그림 1은 시스템시뮬레이터에서 구현한 IEEE802.11g 무선랜 시스템 송신부의 기저대역 처리부, 변조부, RF 부분을 포

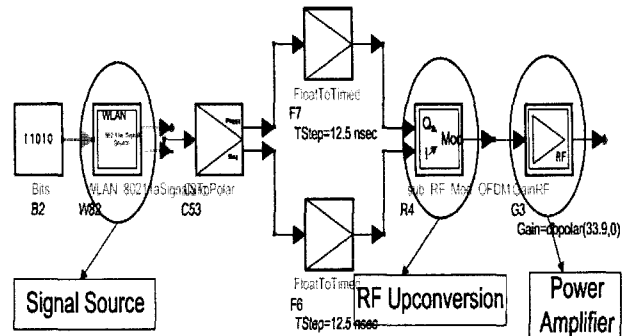


그림 1. IEEE 802.11g 무선LAN 시스템 시뮬레이션에서 구현한 베이스밴드부, 변조부, 송신부

Fig. 1. The modeling of a baseband, a modulation part, and a transmitting part that we have implemented in the IEEE802.11g wireless LAN system simulation.

표 2. 본 논문에 사용된 증폭기의 사양과 측정값
Table 2. Specification and measurement value of the amplifier used in this paper.

Parameter	Spec.	Measured	Unit
Frequency	2.4	2.4	GHz
Linear Gain	34	33.9	dB
Output Power at P _{1dB}	30	29.9	dBm
Input VSWR	1.15	1.14	
Output VSWR	1.36	1.33	

함한 송신부 블록도이며, 본 연구에서는 IEEE 802.11g 표준안에 근거하여 54Mbps의 데이터 전송속도를 갖는 2.4GHz OFDM 무선LAN 시스템을 모델링 하였다. 최초 생성된 신호는 64-QAM 변조방식으로 Mapping되며 IFFT 처리 후 guard interval 과 wave shaping 단계를 거친 후, I/Q modulator에 인가하여 RF 송신부로 보내어진다. IEEE 802.11g 표준안에 의하여 송신부 출력 스펙트럼 마스크가 규정되어 있는데 표준안에 따르면 30KHz VBW, 100KHz RBW에서 측정시 18MHz의 신호 대역폭에서 0dB, 중심주파수에서 주파수 차이 (offset)가 11MHz의 주파수에서 -20dB, 20MHz의 주파수에서 -28dB, 30MHz의 주파수에서 -40dB이하의 ACPR특성을 만족해야하는 기준을 제시하고 있다.

표 2에 본 논문에서 전력증폭기의 비선형 왜곡특성을 분석하기위해서 사용한 Mini-circuit사의 ZHL-42 1W급 전력증폭기의 사양과 측정값을 제시하였으며, 그림 2에는 -15dBm에서 5dBm의 입력전력을 인가시 출력전력을 나타내는 AM-to-AM 특성 결과를 나타내고 있다. 측정 결과 전력증폭기의 P_{1dB}에서의 출력전력은 29.9dBm을 나타내고 있으며 입력 P_{1dB}는 -3dBm이다. 그림 3에는 입력전력에 따른 위상왜곡인 AM-to-PM

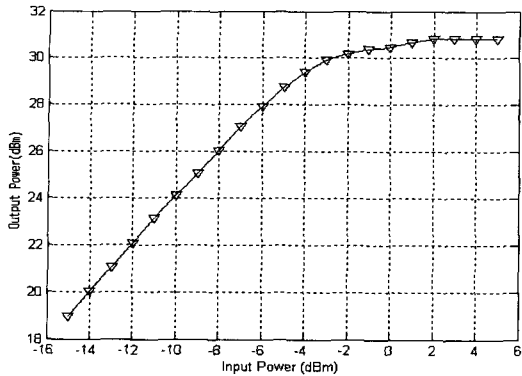


그림 2. 증폭기의 AM-to-AM 특성 측정결과(2.4GHz)
Fig. 2. AM-to-AM characteristic measurement of the amplifier at 2.4GHz.

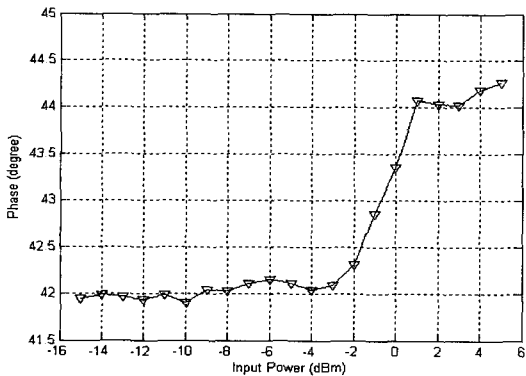


그림 3. 증폭기의 AM-to-PM 특성 측정결과(2.4GHz)
Fig. 3. AM-to-PM characteristic measurement of the amplifier at 2.4GHz.

특성 측정결과를 나타내고 있다. 측정결과 본 논문에서 사용한 증폭기는 입력 P_{idB} 까지는 위상왜곡이 0.5° 이내의 위상 변화 특성을 나타내고 있으며 이후 입력전력의 증가에 따라 위상변화가 일어남을 알 수 있었다.

III. AM-to-PM 왜곡에 의한 ACPR 특성 시뮬레이션 결과

송신부 시스템의 성능을 좌우하는 전력증폭기는 이상적인 경우 출력신호가 입력신호에 비례하여 선형적으로 증폭되나 실제 전력증폭기는 비선형특성을 가지며, 이러한 비선형특성은 AM-to-AM 과 AM-to-PM으로 분석되어질 수 있다. 이것은 입력 전력에 따른 진폭과 위상의 변화특성으로 시스템의 출력에 영향을 주어 주파수 재성장을 가져오며, 시스템의 성능을 저하시키는 요인이 된다. 일반적으로 AM-to-AM 특성은 낮은 차수 고조파성분에 영향을 미치고, AM-to-PM 특성은 높은 차수 고조파 성분에 영향을 미친다고 알려져 있다.

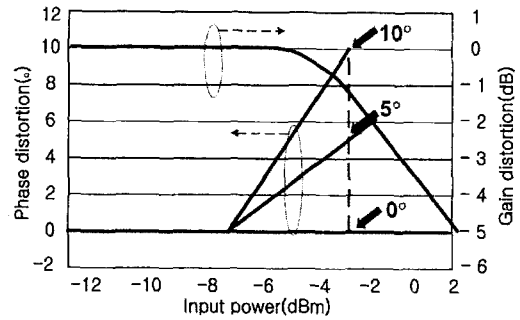


그림 4. AM-to-AM과 AM-to-PM 모델링(2.4GHz)
Fig. 4. AM-to-AM and AM-to-PM modeling.

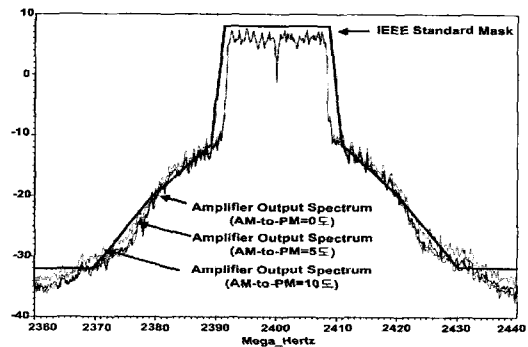


그림 5. 위상 왜곡에 따른 2.4GHz 전력증폭기의 스펙트럼($P_{in}=-3dBm$)
Fig. 5. Output spectrum of the 2.4GHz power amplifier with several phase distortions. ($P_{in}=-3dBm$)

AM-to-AM 특성은 진폭응답을 통하여 모델링 될 수 있으며 P_{idB} 나 $IP3$ 로 이해될 수 있다. 그러나 AM-to-PM 특성은 중요한 특성임에도 불구하고 많은 연구가 진행되지는 않았다.

본 논문에서는 2.4GHz 대역 전력증폭기의 위상왜곡 정도를 모델링하기 위해 실제 증폭기의 특성을 분석하고자 하였고 Mini-circuit사의 ZHL-42 1W급 전력증폭기의 입력 진폭에 따른 출력 진폭 및 위상 왜곡 특성을 측정하였다. 전력증폭기의 스펙트럼 재성장 특성분석을 위해 측정결과를 바탕으로 AM-to-AM 특성을 모델링 하였고 위상왜곡에 따른 출력 스펙트럼을 분석하기 위해서 P_{idB} 점인 입력전력 $-3dBm$ 에서 각각 5° 간격으로 $0^\circ, 5^\circ, 10^\circ$ 의 선형 위상왜곡 특성을 갖도록 모델링하였다. 그림 4는 스펙트럼분석을 위한 AM-to-AM과 AM-to-PM 모델링을 나타내고 있다.

전력증폭기의 위상왜곡에 따른 출력스펙트럼 이 IEEE 802.11g 표준의 요구 스펙트럼 마스크를 만족하는지 살펴보기 위하여 모델링된 AM-to-PM을 이용하여 시뮬레이션 하였다. 그림 5는 입력전력이 1dB 압축점인 $-3dBm$ 인 값에서 $0^\circ, 5^\circ, 10^\circ$ 로 모델링된 위상왜곡에 따른 전력 증폭기의 출력스펙트럼을 나타내고 있으

며, 위상왜곡 값에 무관하게 1dB 압축점에서는 표준에서 요구하는 스펙트럼 마스크를 만족하지 못함을 알 수 있으며, 적절한 백-오프를 하여 동작 전력점을 선정하여야 한다.

IV. 사전위상 왜곡을 이용한 위상왜곡 영향 측정

본 연구에서는 2.4GHz 무선랜 시스템 시뮬레이션을 통해 증폭기의 AM-to-PM 왜곡에 따른 주파수 재성장 및 출력 스펙트럼 왜곡특성을 예측할 수 있었다. 그러나 본 논문에 사용된 전력증폭기의 경우 입력 P_{1dB}까지 위상왜곡이 0.5° 이내의 위상변화 특성을 나타내고 있으며 그 이후의 입력변화에 따라서는 2° 이내의 위상왜곡이 일어나는 선형적인 특성을 갖고 있다. 따라서 본 논문에서는 테이블참조방식인 LUT (Look Up Table) 방식을 이용한 사전 왜곡 방식을 이용하여 위상왜곡에 따른 출력스펙트럼을 측정하는 방법을 제안하였

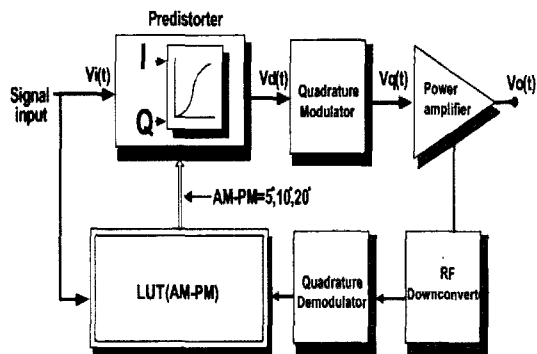


그림 6. LUT을 이용한 사전위상 왜곡방식 블록도.
Fig. 6. Predistortion block using LUT method.

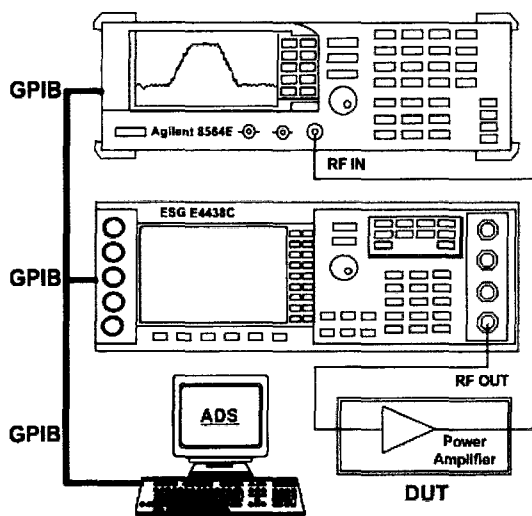


그림 7. ACPR 측정을 위한 시스템 구성도.
Fig. 7. Block diagram of the measurement system in this paper.

다. 사전왜곡의 경우 전력증폭기의 AM-to-PM 특성이 P_{1dB} 점인 입력전력 -3dBm에서 각각 0°, 5°, 10°의 선형 위상왜곡 특성을 갖도록 모델링하였다. 사전왜곡을 준 경우의 측정된 출력 스펙트럼과 앞에서 언급한 시스템시뮬레이션으로 확인한 behavioral model을 이용해 전력증폭기의 특성을 모델링한 경우의 출력 스펙트럼을 비교한 결과 두 경우의 위상 왜곡에 따른 ACPR 특성이 유사한 특성을 갖는 것을 확인하였다.

그림 6에는 증폭기의 비선형 위상왜곡 특성을 간접적으로 구현하기위하여 LUT 방식을 이용한 사전왜곡 시스템을 구성한 블록도를 제시하였다. 사전왜곡 시스템의 구성은 시스템 시뮬레이터를 이용하여 구현하였다. 그림 7에는 사전왜곡을 이용하여 구현한 위상왜곡을 갖는 전력증폭기 출력을 측정하기 위한 본 논문의 측정 시스템 구성도를 보여주고 있다. 시스템 시뮬레이터에서 구현한 IEEE 802.11g 무선 LAN 신호는 GPIB를 통해 합성신호파형발생기인 ESG E4438C로 인가되어 구현하고, 이 신호는 전력증폭기에 인가되며 출력 스펙트럼은 스펙트럼 분석기를 통해 측정하였다.

그림 8에는 Mini-circuit사의 전력증폭기를 이용한 측정 출력스펙트럼을 나타내고 있다. IEEE 802.11g 표준마스크를 만족하기위하여 입력을 변화시켜가며 측정한 결과 P_{1dB}에서 1.2dB back-off된 때인 입력전력이 -4.2dBm에서 출력스펙트럼 마스크를 만족하였다. 그림 9(a), (b)에는 그림 6과 7의 시스템을 이용하여 P_{1dB}점인 입력전력 -3dBm에서 각각 위상왜곡 특성인 AM-to-PM특성이 5°, 10°의 선형 특성을 갖는 경우의 출력스펙트럼을 측정한 결과를 나타내고 있다. 출력스펙트럼은 시뮬레이션한 결과인 그림 5와 거의 유사한 특성을 나타내고 있다. 시뮬레이션에서 예측한 바와 같이 1dB 압축점에서는 진폭 및 위상 왜곡에 따라 출력 스펙트럼의 재성장이 일어나 표준스펙트럼 마스크를 만족하지 못함을 확인할 수 있었다. AM-to-PM 왜곡에 의해 IEEE 802.11g 표준스펙트럼 마스크 규격을 벗어나는 위상왜곡 정도를 측정하고자 표준마스크를 만족하는 1.2dB back-off 전력인 입력전력 -4.2dBm에서 선형적인 위상변화에 따른 출력스펙트럼을 측정하였다. 측정 결과 입력전력 -4.2dBm인 경우 위상왜곡이 7° 이상일 때 표준스펙트럼 마스크를 벗어나는 것을 측정을 통해 알 수 있었다.

그림 10은 본 논문에서 사용된 1W급 전력증폭기를 이용한 실험에서 중심주파수에서 +1MHz offset, +20MHz offset, +30MHz offset 인 주파수에서 입력전

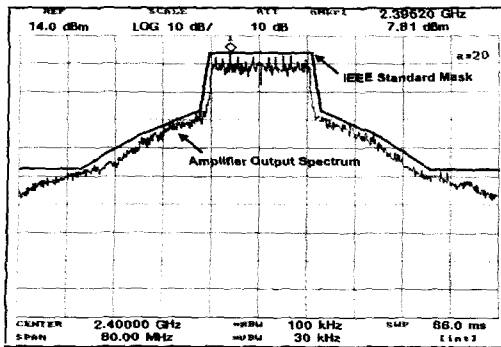


그림 8. 1.2dB back-off된 입력전력에서의 ACPR 측정결과. (Pin=-4.2dBm)
 Fig. 8. Measurement result of ACPR characteristic at the power of 1.2dB back-off.(Pin=-4.2dBm)

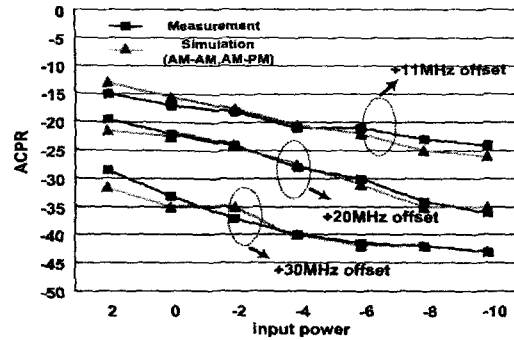
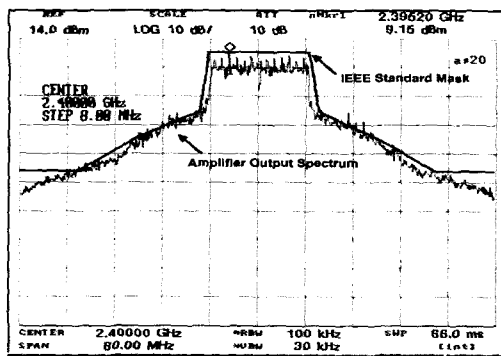
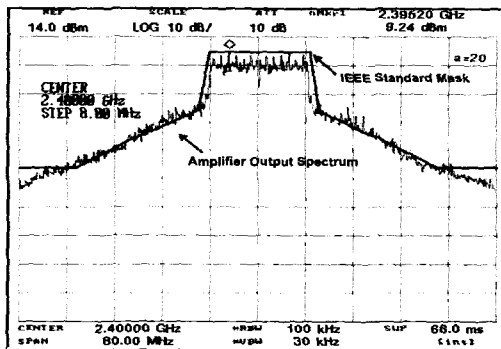


그림 10. 입력에 따른 사용 증폭기의 ACPR 특성 비교.
 Fig. 10. The ACPR comparison with the increasing input power for the test amplifier.



(a)



(b)

그림 9. 위상왜곡에 따른 출력스펙트럼.(Pin=-3dBm)
 (a)AM-to-PM=5° (b)AM-to-PM=10°
 Fig. 9. Output spectrum with phase distortion.
 (Pin=-3dBm) (a)AM-to-PM=5° (b)AM-to-PM=10°

력에 따른 ACPR 특성결과를 보기위하여 진폭 및 위상 왜곡을 behavioral model을 이용한 경우의 시뮬레이션 결과와 측정결과를 비교한 것이다. 측정 및 시뮬레이션에서 특히 의미가 있는 것은 중심주파수에서 주파수차(offset)가 11MHz의 주파수에서 -20dB, 20MHz의 주파수에서 -28dB, 30MHz의 주파수에서 -40dB이하의 ACPR 특성을 갖는 영역과 이를 만족하는 입력전력인 1dB 압축점 및 이에서 수 dB back-off 된 전력 근방이

다. 그림에서 이 영역에서는 측정치와 시뮬레이션 값이 1-2dB 이내의 차이로 거의 유사한 특성을 나타내고 있음을 알 수 있다. 또한 입력 전력이 -4.2dBm 이상일 때는 출력스펙트럼 마스크 규격을 만족하지 못하므로 1.2dB의 back-off가 요구됨을 알 수 있다

VI. 결 론

본 논문에서는 2.4GHz 대역 IEEE 802.11g OFDM 무선 LAN 시스템에서 전력증폭기의 위상 왜곡에 따른 출력 스펙트럼의 특성에 대해 분석하고자 하였으며, 이를 위해 54Mbps OFDM 변조부와 송신부를 시스템 시뮬레이터로 모델링하여 구현하였다. 전력증폭기의 비선형특성은 behavioral model을 이용하여 AM-to-AM과 AM-to-PM 으로 모델링하였으며, 구현한 무선 랜 입력신호원을 전력증폭기에 인가하여, 위상왜곡에 따른 출력스펙트럼을 시뮬레이션 및 측정하였다. 증폭기의 위상왜곡에 따른 출력스펙트럼을 시뮬레이션하고 특성을 측정하기 위하여 LUT (Look Up Table) 방식을 이용한 사전 위상왜곡 방법을 제안하였다. 출력 스펙트럼 측정 결과 사용된 1W 급 전력증폭기는 1.2dB back-off된 입력전력 -4.2dBm에서 표준 스펙트럼 마스크를 만족하였다. 이 증폭기의 위상왜곡이 7°(at P1dB) 일 때 표준스펙트럼 마스크를 벗어나는 것을 구현된 측정 시스템을 통해 예측할 수 있다. 제안된 측정 방법 및 본 논문의 결과는 2.4GHz 무선LAN 시스템의 전력증폭기 설계 및 요구 선형 특성 분석에 유용하게 활용 가능할 것이다.

참 고 문 헌

[1] Wireless LAN Medium Access Control(MAC)

- and Physical Layer specifications, IEEE Std. 802.11a/b/g, 1999/1999/2003.
- [2] S. Chen, W. Panton and R. Gilmore, "Effects of Nonlinear Distortion on CDMA Communication Systems," IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig., pp.775-778, 1996.
- [3] J. Sevic and J. Staudinger, "Simulation Power Amplifier Adjacent Channel Power Ratio for DigitalWireless Communication Systems," IEEE MTT-S Int. Microwave Symp Dig pp.681-684, 1996.
- [4] H. Gutierrez, K. Grad and M. Steer, "Spectral Regrowth in Microwave Amplifier Using Transformation of Signal Statistics," IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig., pp. 985-998, 1999.
- [5] S. Cripps, RF Power Amplifiers for Wireless Communications, Artech House, 1999.
- [6] S. Mass, Nonlinear Microwave Circuits, Artech House, 1998.
- [7] R. A. Minasian, "Intermodulation Distortion Analysis of MESFET Amplifier Using Volterra Series Representation," IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol.28, pp.1-8, Jan. 1980.
- [8] J. Sevic, K. Burger and M. Steer, "A Novel Envelope Termination Load Pull Method for ACPR Optimization of RF/Microwave Power Amplifiers," IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig., pp.723-726, 1998.
- [9] Wireless Lan Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications, IEEE Computer Society, July 1996.
- [10] M. Nishida, S. Murai, H. Uda, H. Tominaga, T. Sawai and A. Ibaraki, "A High Efficiency GaAs Power Amplifier Module with a Single Voltage for Digital Cellular Phone Systems," IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig., pp.743-746, 1997.
- [11] J. S. Park, S. R. Park, H. J. Roh and K. H. Koo, "Power Amplifier Back-off Analysis with AM-to-PM for Millimeter-wave OFDM Wireless LAN," Proc. of RAWCON2001, pp.189-192, 2001.

 저 자 소 개



오 정 균(정회원)

1988년 서울산업대학교

전자공학과 학사.

1990년 중앙대학교

전자공학과 석사.

2001년 3월~현재 인천대학교

전자공학과 박사과정.

2001년 3월~현재 한국정보통신기술대학
이동통신과 교수.<주관심분야 : 마이크로파 송수신모듈 설계, 전력
증폭기 선형화 및 고효율 증폭기 설계>

최 재 홍(정회원)

2004년 인천대학교

전자공학과 학사.

2004년 3월~현재 인천대학교

전자공학과 석사과정.

<주관심분야 : 마이크로파 회로
설계, 전력증폭기 설계 및 선형
화 기법 연구>

구 경 현(정회원)

1981년 서울대학교

전자공학과 학사.

1983년 서울대학교

전자공학과 석사.

1991년 서울대학교

전자공학과 박사.

1999년~2000년 UC San Diego 방문학자.

2001년~2002년 대한전자공학회 마이크로파 및
전파연구회 위원장.2003년~현재 대한전자공학회 평의원, 이사,
통신소사이어티 이사.

1987년~현재 인천대학교 전자공학과 교수.

<주관심분야 : 마이크로파 회로 및 모듈 설계,
통신용 송수신기 선형화, 전파신호처리>