

무선랜 시스템에서 OFDM 방식을 사용한 전력증폭기의 비선형 왜곡분석에 관한 연구

A Study on Nonlinear Distortion Analysis of Power Amplifier
using the OFDM for WLAN System

오정균, 김동옥 · 한국정보통신기술대학
Chung-Gyun Oh, Dong-ok Kim
Korea Information & Communication Polytechnic College

요 약

본 논문에서는 무선 LAN 시스템에서 전력 증폭기의 위상왜곡에 따른 출력 스펙트럼의 관계에 대해 분석하고자 하였으며, 이를 위해 전력증폭기의 ACPR 특성과 OFDM방식의 고려사항을 고찰하였다. 또한, OFDM 변조방식과 전력증폭기의 비선형성과의 관계를 알기위해 최대 54Mbps의 전송속도를 갖는 IEEE 802.11a 규격의 OFDM 변조부와 송신부를 시뮬레이션 하였다. 전력증폭기의 비선형 특성은 AM-to-AM 과 AM-to-PM으로 모델링 하였으며, 구성된 입력 신호원을 전력증폭기에 인가하여 위상왜곡에 따른 출력 스펙트럼 특성을 분석하였다. 출력 스펙트럼 분석결과 위상왜곡이 증가할수록 전력 증폭기의 AM-to-PM 특성이 5°일 때 P1dB에서의 출력 스펙트럼은 요구 스펙트럼을 만족하였지만, 10°에서부터 20°까지의 위상왜곡에서는 요구 스펙트럼을 만족하지 못함을 확인할 수 있었다. 또한, 전력증폭기의 비선형 특성으로 인해 생성되는 주파수 재성장으로 인한 전력증폭기의 출력 스펙트럼은 P1dB에서 만족하지 않는다. 따라서, AM-to-PM 왜곡 정도

에 따라 back-off값이 요구되며, OFDM을 이용한 변조부의 경우 더 적은 back-off값이 요구됨을 알 수 있었다.

Abstract

In this paper, we are going to analyze on relation of an output spectrum along phase distortion of power amplifier in wireless LAN system, and then considered an ACPR characteristic of power amplifier and consideration of an OFDM method for this. Also, we did implementation for OFDM modulation and transmission section of an IEEE 802.11a standard to have transmission speed of the maximum 54Mbps in order to know an OFDM modulation method and relation of non-linear characteristic of power amplifier. The non-linear characteristic of power amplifier did modeling with AM-to-AM and AM-to-PM, and we analyzed an output spectrum characteristic along phase distortion composed input signal supply for power

amplifier.

When output spectrum analysis results phase distortion increased, and an AM-to-PM characteristic of power amplifier in 5 degrees, the output spectrum was satisfied with a demand spectrum in P1 dB, but 10-20 degrees were able to confirm what cannot be satisfied with a demand spectrum in phase distortion.

Also, an output spectrum of power amplifier by frequency re-growth generated by a non-linear characteristic of power amplifier did not satisfied in P1dB. therefore, a back-off value was requested according to an AM-to-PM distortion degree, and smaller back-off value were able to know what demand became in case of modulation section that used OFDM.

Key Words : frequency re-growth, amplifier, OFDM, ACPR, back-off, distortion

I. 서 론

최근 무선 통신기술의 발달로 기존의 유선 통신에 비해 설치 용이성, 유지보수 편리성 측면에서 유리한 무선을 이용한 고속 데이터 및 영상정보 전송기술의 채택이 활발하게 이루어지고 있다. 그 대표적인 예가 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 시스템으로서 이는 멀티 캐리어 변조 방식의 일종으로 멀티 패스 및 이동수신 환경에서 우수한 성능을 발휘한다. OFDM 변조방식을 채택하고 있는 무

선 LAN은 ISM-band 대역 중 5.725~5.85GHz의 주파수대역으로 설정 되어있다. 이는 IEEE 802.11a 표준에 의해 규정되어 있으며, 6~54Mbps의 전송속도를 갖는 OFDM 무선 LAN시스템이다. OFDM 변조를 이용한 시스템은 멀티패스에 강한 특성이 있어 이에 따른 심볼간 간섭(ISI)를 줄일 수 있으나, 반송파가 같은 주파수 간격으로 정렬된 멀티캐리어 방식이므로 전송로에 비선형 특성이 존재하고, 상호변조에 의한 특성 열화가 발생하기 쉬운 단점이 있다. 따라서 충분한 선형 영역에서 사용할 필요가 있다.[1,2]

무선 LAN 및 무선 장비의 송신부 전력 증폭기는 비선형성이 가장 큰 요소로서 이러한 전력 증폭기의 비선형성으로 인해 출력 신호의 스펙트럼 재성장이 발생하게 되며, 그 정도는 시스템의 ACPR 특성에 의해 나타낼 수 있다. ACPR(Adjacent Channel Power Ratio)은 인접 채널에 나타나는 신호와 출력전력과의 비율로 정의되며, 시스템의 고효율 및 선형성을 저해하는 요인으로 작용한다. 전력 증폭기의 비선형 특성은 입력 전력에 따른 진폭과 위상왜곡으로 분석되며, 전력증폭기의 비선형 왜곡에 따른 주파수 재성장 특성 해석을 위해 AM-to-AM 및 AM-to-PM의 모델링을 하였다. 이 모델링을 통하여 변조방식에 따른 요구 스펙트럼 마스크를 만족하는 비선형 왜곡 정도를 시뮬레이션 하고자 하였다. 본 논문에서는 OFDM 변조방식과 전력증폭기의 비선형성과의 관계를 알기 위해 최대 54Mbps의 전송속도를 갖는 IEEE 802.11a 규격의 OFDM 변조부를 모델링 했으며, 이에 대하여 증폭기의 비선형 왜곡에 따른 주파수 재성장을 기술한다.

II. 관련이론

2.1 전력증폭기의 ACPR 특성

미래의 통신 수단은 고정형에서 이동형으로, 유선에서 무선으로, 음성 위주에서 비음성으로 확대 발전해 나아가고 있다. 따라서 통화 품질에 대한 신뢰성을 유지하면서도 주어진 대역폭을 경제적으로 이용하기 위한 인접채널 간섭에 대한 연구는 더욱 활성화될 것이다. 대체로 기존의 무선 통신 서비스에 대해서는 여러 간섭 현상에 대한 대책 마련을 위한 연구가 주목을 받을 듯하고, 신규 무선 통신 서비스에 대해서도 고속이면서 효율적이고 신뢰성 높은 방식을 개발하는데 많은 노력이 투자되리라 여겨진다. 그러나 이러한 서비스를 다수의 일반 가입자에게 공급하기 위해서는 대역폭의 효율성이 높아야 하고 경제적이어야 하는 반면, 여러 가지 간섭에 대하여 강인한 고품질 서비스가 요구된다.

특히 인접채널 간섭 현상은 효율성 및 신뢰성은 물론 경제적인 측면에서도 무선 통신 시스템의 설계 및 운영 전반에 미치는 영향이 매우 크므로 이에 대한 보다 체계적인 연구가 시급하며, 이미 매우 중요한 연구 대상으로 인식되고 있다. 무선 통신 시스템의 설계나 관리에 있어 야기되는 문제점들 가운데 가장 중요하게 고려되어야 할 것 중의 하나가 RF 채널 간섭(Interference) 문제이다. RF 채널 간섭에는 여러 가지 형태가 있는데, 인접채널 간섭(Adjacent Channel Interference), 동일채널 간섭(Co-channel Interference), 변조간 간섭(Intermodulation Interference), 그리고 심벌간 간섭(Intersymbol Interference) 등이 포함되는데, 이동 통신 환경에서는 이 가운데 인접채

널 간섭과 동일채널 간섭이 가장 우선적이다.

첫째, 인접채널 간섭 현상은 주로 주파수 불안정, 수신기 대역폭, 송신 필터의 한계, 전력 증폭기의 비선형성등 통신 장비의 한계에 기인한다. 비록 시스템 설계시 간섭의 영향을 최소화하기 위해 많은 노력을 기울인다 하더라도, 일반적으로 RF 채널은 대역폭의 효율성을 극대화하기 위한 구조로 설계되므로 채널들이 매우 가깝게 위치할 수밖에 없고, 따라서 인접한 채널의 경우 간섭현상을 피하기 어렵다.

둘째, 동일채널 간섭 현상은 주로 이동 통신 환경에서, 가능한 한 최소한의 채널구별 능력으로 재사용 효율성이 향상되도록 동시에 많은 셀을 이용할 수 있도록 하기 위한 셀룰러 구조의 복합적인 특성 때문에 기인한다. 즉, 임의의 셀에서 기지국은 그 셀 내의 원하는 신호는 물론, 인접 셀 클러스터 내에서 같은 주파수를 사용하는 원치 않는 신호까지 수신이 되는 경우가 있다. 따라서 여기에는 주파수 재사용 거리, 동일채널 간섭레벨, 재사용 효율성간에 Tradeoff 관계가 존재하며, 이는 셀 설계 과정에 많은 부담을 안겨준다.

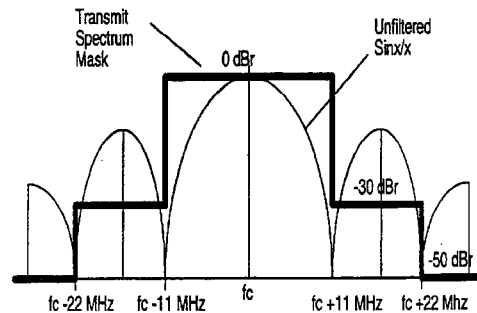
셋째, 변조간 간섭현상은 두 개 또는 그 이상의 신호가 혼합되는 과정이 포함된 모든 비선형 회로에서 발생하는 것으로, 간섭 성분은 보통 원하는 신호와 동일하거나 매우 가까운 주파수 대역에 위치한다. 이는 주로 송신기의 전력 증폭기에서 종종 관찰된다. 특히, 무선 통신에서와 같이, 대역폭의 효율성이 중요한 경우에는 QPSK와 같은 변조 방식이 널리 사용되고 있으나, 이에 대해 저렴한 비선형 전력 증폭기를 사용할 경우, 변조간 간섭현상이 두드러지게 된다. 한편, 선형 전력 증폭기는 변조간 간섭이 거의 없는 반면, 제작이 어렵고 가격이 비싸다. 마지막으로, 심벌간 간섭현상은

송신 매개체의 제한된 대역폭 때문에 발생하는, 즉 디지털 네트워크 고유의 문제이다. 일반적으로 모든 통신 채널은 대역폭이 제한되어 있는데, 이는 시간 영역의 지연 현상으로 연결되어, 소위 분산(Dispersive) 채널 특성을 갖게 된다.

따라서, 수신단에 들어오는 심벌들 간에는 서로 간섭이 존재하게 된다. 심벌간 간섭현상은 고속 통신 환경일수록 더욱 심해지며, 송신 출력을 높여도 해결되지 않기 때문에 적응 등 화기와 같은 별도의 신호처리 과정이 요구된다. 따라서 본 논문에서는 송신부의 전력 증폭기와 밀접한 관련이 있는 인접채널 간섭에 대해 살펴보고자 하겠다. 디지털 통신 시스템에서 전력 증폭기의 포화상태를 피하려고 증폭기를 무조건 크게 만들면 증폭기를 동작시키는 전력이 너무나 크게 되어 증폭기의 용량은 자연스럽게 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 비율을 ACPR라 한다. QPSK 변조된 신호의 대역폭을 줄이기 위하여, 신호를 저역 통과 필터에 통과시킨 후 변조를 시킨 경우, 신호의 진폭이 일정하지 않으므로 증폭기나 시스템의 비선형적인 성분들에 의하여 진폭의 왜곡이 생긴다. 이러한 진폭의 왜곡에 의하여 출력 스펙트럼의 대역폭은 증가하게 되며, 이를 스펙트럼 재성장(spectrum regrowth)이라 한다. 일반적으로 일정하지 않는 포락선(envelop)을 갖는 변조 방식들은 포화 또는 압축 영역에서 동작하는 증폭기를 통과하게 되면 스펙트럼 재성장 현상이 발생한다. 증폭기의 포화상태를 피하려고 증폭기의 P1dB를 크게 만들면 소모 전력이 커

지게 되므로 제한을 받게 되는데 이러한 상황에서 디지털 통신용 증폭기의 선형 특성을 규정하는 것이 ACPR이다.

무선 LAN과 같은 디지털 통신 시스템은 확산대역 방식을 사용하므로 채널 대역폭의 확대를 가져오며 전력 증폭기의 비선형성에 의해 채널 내부의 상호 변조를 일으키고 인접한 대역에 상호 변조 신호로 발생하게 되어 인접 채널에 영향을 주게 된다. 특히, 무선 LAN과 같은 광대역 변조 신호를 사용하는 경우 인접 채널에 간섭을 주는 정도인 ACPR 특성이 매우 중요하다 할 수 있다. IEEE 802.11 표준안에서는 그림1과 같이 RBW 100kHz, VBW 30kHz로 측정했을 시 ACPR 특성에 대하여 채널 중심 주파수에서 11MHz에서 22MHz 대역에서 -30dB, 22MHz 이상에 대해 -50dB 이하의 ACPR 특성을 요구하고 있다.



[그림 1] ACPR 특성

2.2 OFDM 방식의 고려 사항

OFDM 방식은 다수의 직교 반송파를 사용하기 때문에 부반송파 사이의 직교성이 파괴되는 경우에는 채널간 간섭이 발생되어 비트 오류율이 크게 저하되는데, OFDM 방식에서 직교성이 파괴되는 원인은 크게 다음의 세 가지

로 구분할 수 있다. 첫 번째는 수신단에서 심볼동기와 반송파 주파수 동기가 이루어지지 않은 경우이다. OFDM 시스템에서의 변·복조는 IFFT와 FFT의 블록단위로 각각 이루어지기 때문에 심볼동기는 OFDM 심볼의 시작점을 찾는 것을 의미한다. 심볼간 간섭과 채널간 간섭 없이 OFDM 심볼을 복조하기 위해서는 FFT의 시작이 OFDM 심볼의 보호구간내에서 이전 심볼의 영향을 받지 않는 영역에 속해야 한다. 이를 위해 수신 신호로부터 심볼 읍셋을 추정하기 위한 다양한 추정기법들이 연구되어 왔다. 반송파 주파수 읍셋이 발생하는 경우에는 부반송파의 직교성이 파괴되어 다른 모든 부반송파의 영향을 받게 되므로 단일 반송파 방식에 비해 심각한 성능 저하를 초래한다. 최근까지 반송파 주파수 동기를 이루기 위한 많은 반송파 주파수 읍셋 추정기법이 제안되었다. 두 번째는 채널의 특성이 송·수신기의 상대적 이동으로 인해 OFDM 심볼주기 내에서 변하는 경우이며 이 때 수신단에서 각 부반송파의 직교성이 파괴되어 채널간 간섭이 발생하게 된다. 이 경우에는 단일탭 등화기로 보상이 어렵기 때문에 시스템의 성능 저하가 발생된다. 따라서, 이동 환경에서의 시변채널에 의한 채널간 간섭을 감소시키기 위해서는 OFDM 파라미터의 설계시 보호구간과 유효심볼 주기와의 상대적인 비율을 고려하여 OFDM 심볼주기를 허용 한계까지 감소시키거나 채널간 간섭을 추정하여 보상하는 방법을 사용해야 한다.

세 번째로 OFDM 방식에서 변조된 신호의 크기는 레일리 분포를 가지므로 OFDM 심볼의 시간영역 신호는 PAR(peak-to-average ratio)가 단일반송파 방식보다 크게 나타난다.

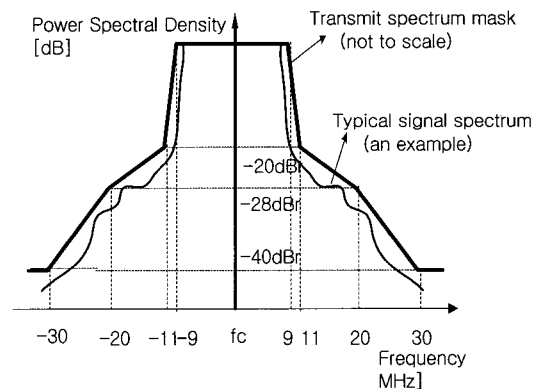
따라서 고출력 증폭기를 단일반송파 방식과

동일한 효율로 사용할 경우 비선형 왜곡에 의한 채널간 간섭 및 인접채널간 간섭이 OFDM 방식에서 보다 크게 발생하게 된다. 이와 같은 왜곡을 방지하기 위해 OFDM 신호의 PAR를 감소시키거나 필터링 및 사전 보상기 등을 사용하는 방식등이 제안되어왔다.

Ⅲ. OFDM 변조부 및 송신부 구현

OFDM 변조방식을 이용한 5.8GHz 무선 LAN 시스템에서 요구하는 출력스펙트럼 특성을 만족하는 전력증폭기 사양을 제시하기 위해, 시스템 시뮬레이터를 사용하여 OFDM 변조부와 송신부를 구성했다.

5GHz대역의 OFDM 무선 LAN 시스템에 대한 출력 스펙트럼은 IEEE 802.11a 표준에서 규정하고 있으며, 시뮬레이션상에서는 5.8GHz OFDM 신호원을 IEEE 802.11a 표준안에 근거하여 구성되었으며, 그림2에 무선 LAN 시스템의 요구 출력 스펙트럼 마스크 규격을 나타내고 있다.



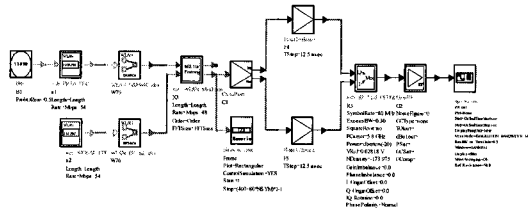
[그림 2] IEEE 802.11a 출력요구 스펙트럼마스크^[4]

OFDM 시스템의 신호원은 52개의 부반송파를 사용하는 다중반사파를 가지며, 생성된 신호는 최대 54Mbps의 전송속도를 갖는다. 다음 표1은 전송속도에 따른 OFDM 변조방법 및 파라미터를 나타낸다.

<표 1> 전송속도에 따른 OFDM 시스템^[4]

Data Rate	Modulation	Coding rate	data bits per OFDM symbol
9Mbit/s	BPSK	3/4	36
12Mbit/s	QPSK	1/2	48
24Mbit/s	16QAM	1/2	96
48Mbit/s	64QAM	2/3	192
54Mbit/s	64QAM	3/4	216

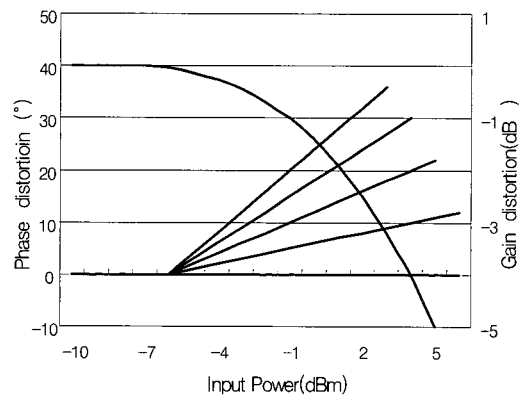
전송속도에 따라 변조방법 및 파라미터 등이 다름을 알 수 있으며, 본 논문에서 54Mbps의 전송 속도를 갖는 OFDM 변조부를 모델링 하였다. 최초 생성된 신호는 64-QAM 변조방식으로 Mapping되며, IFFT 처리 후 guard interval과 wave shaping 단계를 거친 후, I/Q Modulator에 인가하여 RF송신부로 보내어진다. 그림3은 ADS에서 구현한 송신부의 기저대역 처리부, 변조부, RF 블록에 대한 모델링 회로도이며, 본 연구에서는 IEEE 802.11a 표준안에 근거한 54Mbps의 데이터 전송속도를 갖는 5.8GHz OFDM 무선 LAN 시스템을 모델링 하였다.



[그림 3] 시스템 시뮬레이션에서 구현한 송신부의 베이스밴드처리부, 변조부, RF 블록모델링

IV. 모의실험 및 결과분석

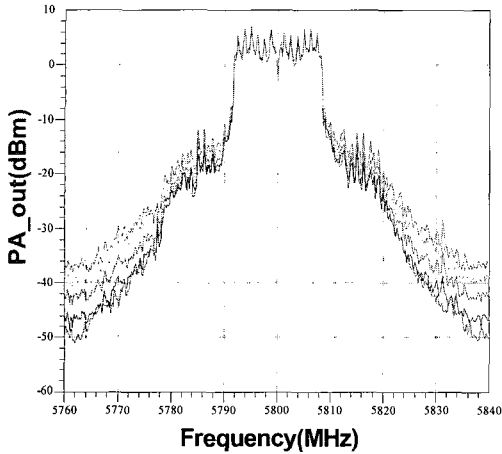
송신부 시스템의 성능을 좌우하는 전력증폭기의 비선형 특성은 AM-to-AM과 AM-to-PM으로 분석되어질 수 있다. 이것은 입력 전력에 따른 진폭과 위상의 변화특성으로 시스템의 출력에 영향을 주어 주파수 재성장을 가져오며, 시스템의 성능을 저하시키는 요인이 된다. 일반적으로 AM-to-AM 특성은 낮은 차수 고조파 성분에 영향을 미치고, AM-to-PM 특성은 높은 차수 고조파 성분에 영향을 미친다고 알려져 있다.



[그림 4] 입력 전력에 따른 이득과 위상 왜곡 모델링

[그림 4]는 전력 증폭기의 스펙트럼 재성장 특성 분석을 위한 AM-to-AM과 AM-to-PM 모델링을 나타내고 있다. AM-to-AM 특성은 1dB에서 각각 5°간격으로 0°에서 20°의 선형 위상왜곡 특성을 갖도록 하였다. 모델링된 54Mbps OFDM 신호를 전력증폭기에 인가한 후 입력 전력을 -10dBm에서 2dBm까지 변화시키면서 출력 스펙트럼을 측정하였다. 그림5는 전력증폭기의 위상왜곡이 없는 경우 입력전력

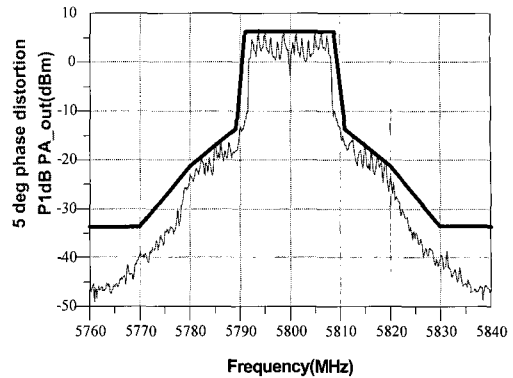
에 따른 출력 스펙트럼의 특성을 나타낸 것이다. 입력전력이 증가함에 따라 주파수 재성장이 급격히 일어남을 보여주고 있다.



[그림 5] P1dB 압축점에서 위상왜곡에 따른 전력증폭기 출력 스펙트럼

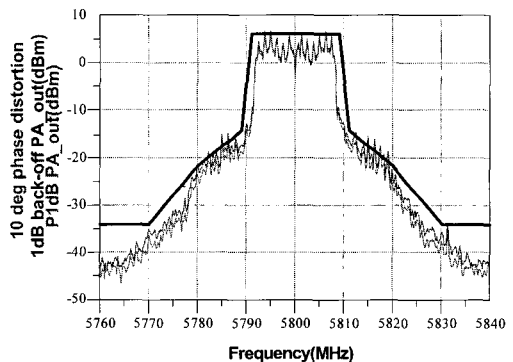
급격한 주파수 재성장과 주파수에 따른 진폭의 심한 변화로 인해 요구 스펙트럼 마스크를 만족하는 정확한 ACPR값의 측정이 어려움을 알 수 있다. 따라서 본 논문에서는 특정 ACPR값의 측정보다는 무선 LAN 시스템의 출력 스펙트럼에 요구 스펙트럼 마스크를 이용하여 증폭기의 위상왜곡에 따른 주파수 재성장 정도를 분석하였다. 그림6~9는 각각의 위상왜곡의 경우 입력전력에 따른 P1dB에서의 출력 스펙트럼을 나타내고 있으며, 또한 IEEE 802.11a 표준의 요구 스펙트럼 마스크에 만족하는지 살펴보았다. 이를 살펴보기 위해 출력 스펙트럼에 요구 스펙트럼 마스크를 이용하여 만족 여부를 알아보았다.

위상왜곡이 증가할수록 전력증폭기의 P1dB에서의 출력 스펙트럼은 요구 스펙트럼 마스크에 만족하지 못함을 알 수 있다.

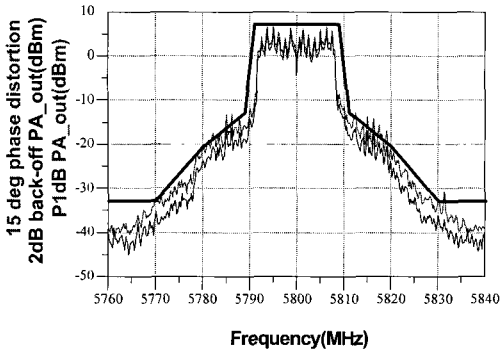


[그림 6] 5°위상왜곡에서 전력증폭기의 출력 스펙트럼

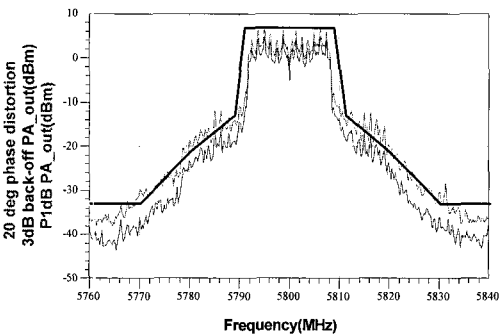
전력 증폭기의 AM-to-PM 특성이 5°일 때 P1dB에서의 출력 스펙트럼은 요구 스펙트럼을 만족하지만, 10°에서부터 20°까지의 위상왜곡에서는 요구 스펙트럼을 만족하지 못하며 전력 증폭기의 입력 P1dB에서 부가적인 back-off가 필요함을 알 수 있다. 그림7~9에서는 요구 스펙트럼을 만족하지 못하는 P1dB에서의 출력 스펙트럼과 P1dB에서 back-off하여 요구 스펙트럼을 만족하는 두가지 신호를 나타내고 있다.



[그림 7] 10°위상왜곡에서 전력증폭기의 출력 스펙트럼



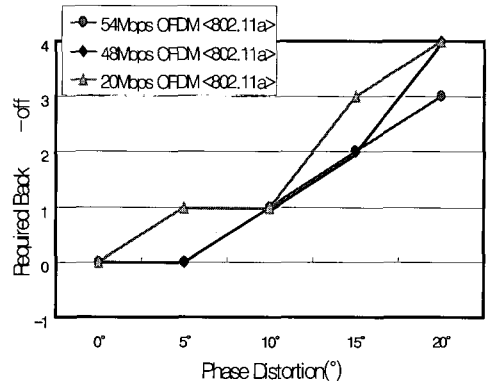
[그림 8] 15° 위상왜곡에서 전력증폭기의 출력 스펙트럼



[그림 9] 20° 위상왜곡에서 전력증폭기의 출력 스펙트럼

[그림 10]은 본 논문에서 예측한 back-off 값과 기존 연구에서 얻은 값을 함께 나타내었다. 각각은 802.11a 표준안에서 20Mbps 전송속도를 갖는 시스템과 48Mbps 전송속도를 갖는 무선 LAN 시스템에서 위상 왜곡에 따른 요구 스펙트럼을 만족하는 back-off 값을 나타내고 있다.

54Mbps의 전송속도를 갖는 802.11a 무선 LAN 시스템에서 20° 위상 왜곡시 전력증폭기의 P1dB에서 요구 스펙트럼 특성을 만족시키기 위해 3dB의 부가적인 back-off가 필요함을 보여주고 있다.



[그림 10] 본 논문에서 예측한 back-off 값과 기존 연구에서 얻은 값과의 비교

V. 결 론

본 논문에서는 5.8GHz 무선 LAN 시스템에서 전력증폭기의 위상왜곡에 따른 출력 스펙트럼의 관계에 대해 분석하고자 하였으며, 이를 위해 전력증폭기의 ACPR 특성과 OFDM 방식의 고려사항을 고찰하였고 54Mbps OFDM 변조부와 송신부를 시뮬레이션하였다. 전력증폭기의 비선형 특성은 AM-to-AM과 AM-to-PM으로 모델링 하였으며, 구성된 입력 신호원을 전력증폭기에 인가하여, 위상왜곡에 따른 출력 스펙트럼 특성을 분석하였다. 출력 스펙트럼 분석결과 위상왜곡이 증가할수록 즉, 전력 증폭기의 AM-to-PM 특성이 5°일 때 P1dB에서의 출력 스펙트럼은 요구 스펙트럼을 만족하였지만, 10°에서부터 20°까지의 위상왜곡에서는 요구 스펙트럼을 만족하지 못함을 확인할 수 있었다. 또한, 전력증폭기의 비선형 특성으로 인해 생성되는 주파수 재성장으로 인한 전력증폭기의 출력 스펙트럼은 P1dB에서 만족하지 않으므로 AM-to-PM 왜곡 정도에 따라

back-off값이 요구되며, OFDM을 이용한 변조부의 경우 더 적은 back-off값이 요구됨을 알 수 있었다. 이결과는 5.8GHz OFDM 무선 LAN 시스템의 전력 증폭기 설계에 유용하게 응용될 것이라 사료된다.

향후 연구과제로는 본 논문의 특성 결과를 기반으로하여 실제 환경에 근접한 모델로 변경하여 성능평가를 수행할 계획이다.

■참 고 문 헌

- [1] L. Litwin and M. Pugel, "The Principle of OFDM,"RF design, pp30-48, January 2001.
- [2] J. Pelliccio, H. Bachmann and B. Myers, "Phase Noise Effects on OFDM wireless LAN Performance,"APPLIED M/W & WIRELESS, pp68-80, July 2001.
- [3] LAN/MAN Standard Committee. IEEE P802.11a-1999, IEEE Standard Department, 1999
- [4] S.Chen, W.Panton and R.Gilmore, "Effects of Nonlinear distortion on CDMA Communication Systems." IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig., pp775-778, 1996
- [5] J.Sevic and J. Staudinger, "Simulation of power Amplifier Adjacent Channel Power Ratio for Digital Wireless Communication Systems", Proc. of 1997 IEEE MTT-S pp681-684,1997
- [6] H.Gutierrez, K.Grad and M.Steer, "Spectral Regrowth in Microwave Amplifier Using Transformation of Signal Statistics,"IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig., pp985-998, 19991.
- [7] S.Cripps, RF Power Amplifiers for Wireless Communications, Artech House, 1999.,

저자 소개



오 정 균 (Chung-Gyun Oh)

1988년 2월 : 서울산업대학교 전자
공학과 졸업(학사)

1990년 8월 : 중앙대학교 전자
공학과 졸업(공학석사)

2001년 3월~현재 : 인천대학교
전자공학과 박사과정

2003년 2월 ~ 현재 : 한국정보통신 기능대학 전임강사
<주관심분야> 마이크로파 및 밀리미터파 회로설계,
RF모듈 및 고효율 MMIC 설계



김 동 옥 (Dong-ok Kim)

1987년 8월 : 서울산업대학교 전자
공학과 졸업(학사)

1996년 2월 : 광운대학교 전자
통신과 졸업(공학석사)

2002년 2월 : 한국항공대학교 항공
정보통신과 졸업(공학박사)

2003년 2월 ~ 현재 : 한국정보통신 기능대학 전임강사
<관심분야> 디지털통신이론, 이동통신시스템,
디지털무선망