

---

# 다 채널 무선 전송 시스템의 RF증폭기의 비선형 및 백-오프 동작 분석

신동환\* · 정인기\* · 이영철\*

Analysis of Nonlinearity of RF Amplifier and Back-Off Operations on the Multichannel Wireless Transmission Systems.

Shin Dong-Hwan\* · Jeong In-Ki\* · Rhee Young-Chul\*

---

이 논문은 2003년도 경남대학교 교내 학술연구비로 이루어졌습니다.

---

## 요 약

본 논문에서는 다 채널 무선전송시스템에서 RF증폭기(SSPA)의 비 선형과 백-오프동작에 따른 기저대역 디지털변조신호의 왜곡을 분석하였다. OFDM 다 채널 무선전송시스템에서 적용되는 SiGe HBT의 바이어스 전류를 가변 시켜 설계한 SSPA의 비 선형 전력전달함수를 구하고 이 전달함수에 수학적으로 비 선형 모델링 함수와 비교 분석함으로서 최적 바이어스조건을 구하였다. RF 증폭기에 입력전력을 가변 시켰을 때 SSPA의 대역-내에서의 출력전력과 대역-외에서의 출력전력을 구했으며, 입력전력에 따른 디지털 변조신호의 성상도 왜곡을 분석하였다. 본 연구의 결과는 선형동작을 위한 RF증폭기의 적응바이어스 설계와 선형화를 위한 SSPA의 백-오프 동작 최적 바이어스를 결정하는데 매우 유용하게 응용될 수 있다.

## Abstract

In this paper, we presents an analytical simulation procedure for evaluation in baseband digital modulated signals distortions in the present of RF power amplifier(SSPA) nonlinear behavior and backoff operations of OFDM wireless transmission system. we obtained the optimum nonlinear transfer function of designed SSPA with the SiGe HBT bias currents of OFDM multi-channel wireless transmission system and compared this transfer function to SSPA nonlinear modeling functions mathematically, we finds optimum bias conditions of designed SSPA. With the derived nonlinear modeling function of SSPA, We analysed the PSD characteristics of in-band and out-band output powers of SSPA EVM measurement results of distorted constellation signals with the input power levels of SSPA. The results of paper can be applied to find the SSPA linearly with optimum bias currents and determine the SSPA input backoff bias for AGC control circuits of SSPA.

## 키워드

Power Amplifier, linearity, OFDM, Backoff ,SSPA Nonlinearity

---

\* 경남대학교 정보통신공학과

접수일자 : 2004. 1. 2

1. 서론

근래의 이동통신시스템은 멀티미디어 정보를 효율적으로 전송시키기 위하여 통신채널 조건에 적응하는 가변 전송속도와 효율적인 주파수 재사용, 코딩방식에 따른 점유대역폭과 우수한 스펙트럼 효율 특성을 나타내는 OFDM(orthogonal frequency division multiplexing)을 이용한 다 채널 무선전송시스템에 대한 개발 및 연구가 진행되고 있다[1,2]. OFDM 무선 전송 시스템은 디지털 방송의 지상파 전송[3]의 근간을 형성시키기 위하여 다양한 멀티미디어 매체를 대용량으로 전송시킬 수 있도록 다 채널 전송방식[4,5]으로 적용되고 다 경로 채널에서 페이딩 특성에 우수하고 가용대역폭이 최대한 효율적으로 이용되는 특성이 입증[6]됨에 따라 근래에는 2.5GHz대역과 5GHz대역의 무선-랜 및 하이퍼-랜에 적용[7]되고 있으며 다양하게 전력선통신[8]을 비롯한 유무선 통신시스템[9]에서 응용되고 있다. 최근에는 공간-시간(space-time) 알고리즘을 적용한 차세대 무선 멀티미디어 OFDM 전송기술을 Ka-대역 및 밀리미터 대역에서 적용한 IEEE 802.16에 의한 수백Mbps 또는 Giga bps급의 초고속 데이터전송과 MMDS, LMDS 및 MVDS에 OFDM시스템을 적용한 쌍방향 멀티미디어서비스가 가능한 광대역 무선전송시스템 적용 연구 및 표준화에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다[10,11]. 그러나 OFDM 전송시스템의 무선 송 수신단에서는 다 채널 신호를 직접변환하기 보다는 헤테로다인 변환을 적용시키고 있으며 헤테로다인 변환에 의하여 고 안정 국부발진기의 반송주파수로 상향변환 된 디지털 신호를 RF 전력증폭기와 안테나를 통하여 전송시키며 수신부 안테나로부터 수신된 미약 전파신호를 RF 저 잡음 증폭과 국부발진기를 통하여 하향변환 과정을 통하게 기저대역신호를 복원하게 된다. OFDM 다채널 신호를 RF반송주파수로 상·하향변환 시킬 때, M-QAM과 같은 디지털 변조신호는 국부발진기의 위상잡음에 의하여 디지털변조신호의 위상이 변하는 왜곡이 발생하고 RF전력증폭기의 혼변조왜곡(IMD)에 의한 대역외에서 주파수재생성현상이 발생되며 이로 인하여 인접채널간섭(ACI)이 발생한다[12]. RF증폭기의 비선형 특성에 의한 시스템 성능저하를 방지시키기 위하여 선형화된 증폭기를 이용하고 있으나[13] 이러한 선형

화된 증폭기는 주로 큰 전력을 나타내는 전력증폭단에 응용되고 저 전력이나 광대역 무선-랜의 트랜시버 단에서의 RF증폭기의 선형화를 위하여 여러형태의 선형화[14]에 대하여 연구가 진행되고 있다. 이러한 선형화 방안 중에서 가장 간단한 방법은 RF증폭기의 동작점을 선형영역에서 동작시키도록 하는 백오프(backoff) 방식이 이용되고 있으며 RF증폭기의 능동소자의 바이어스를 제어하여 최적의 선형동작점을 이용하는 방법이다[15,16]. 본 연구에서는 다 채널 무선 전송시스템에 적용되는 SiGe HBT를 이용한 RF전력증폭기의 비선형 특성을 분석하고 적용 바이어스를 위한 백-오프에 따른 디지털변조신호의 왜곡특성을 분석하고자 한다. RF전력증폭기의 바이어스에 따른 전력전달함수(power transfer function)관계를 모델링함으로써 OFDM 시스템에 적용되는 디지털변조신호와 RF증폭기의 비선형특성과의 관계를 분석할 수 있으며 다채널 전송기법을 이용하는 광대역 무선랜 시스템의 RF Front-End단에서는 송신부와 수신부의 RF증폭단의 비선형특성을 정확히 분석함으로써 OFDM시스템의 성능저하 요인을 분석하고 예측할 수 있다.

II. OFDM시스템과 RF증폭기의 비선형 특성

다채널 전송기술인 OFDM이 적용된 무선랜 시스템의 구성도는 그림1.과 나타낼 수 있다. 다채널 OFDM 신호  $x(t)$ 에 대한 복소 포락(complex envelope)은[6]

$$x(t) = \text{Re} \left\{ \sum_{l=-\infty}^{\infty} \sum_{k=0}^{N-1} X_{l,k} \psi_{l,k}(t) \right\} \tag{1}$$

으로 표현 되며 이때,

$$\psi_{l,k}(t) = \begin{cases} e^{j2\pi f_k(t - lT_{sym})}, & 0 \leq t < T_{sym} \\ 0, & \end{cases} \tag{2}$$

으로 부채널신호 사이에 다음과 같은 직교성을 만족하여야 한다.

$$\int_{-\infty}^{\infty} \psi_{l,k}(t) \psi_{l,k'}^*(t) dt = \begin{cases} T_{sym}, & \text{for } k' = k \\ 0 & \text{for } k' \neq k \end{cases} \tag{3}$$

여기에서 심볼주파수는  $f_s = 1/\Delta t$  이며 N은 캐리어신호의 수, 심볼주기는  $T=N\Delta t = N/f_s$  이

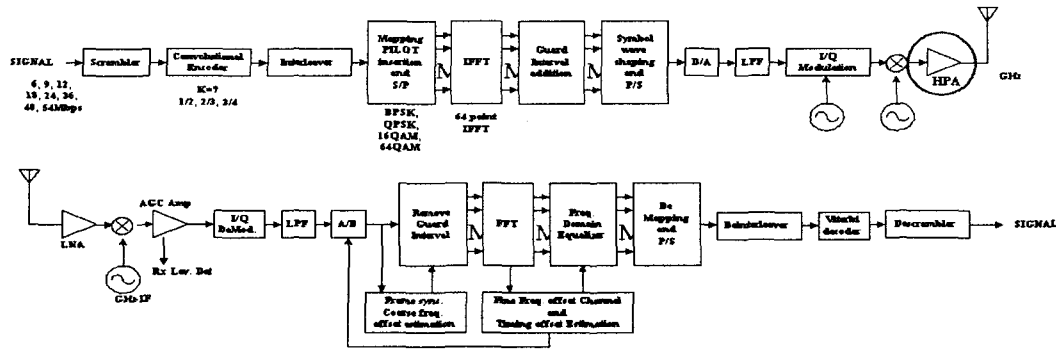


그림1. 일반적인 OFDM 구성  
Fig.1 General OFDM Blockdiagram

되며, I 번째주기는  $T_i \triangleq [iT, iT+T]$ 이다. k번째 신호의 캐리어 주파수는  $f_k = k\Delta f = kfs/N$  이며  $X_k = X_i(k) + X_q(k)$ 는 i 번째 OFDM 심볼주기에서 k번째 캐리어 신호를 변조하는 데이터 심볼로서 디지털변조신호(M-QAM)에 따라 나타낼 수 있다.  $T_{sym} = T + T_g$  로 보호구간(guard interval)을 포함하여 심볼주기로 나타내었다. 다중반송신호  $x(t)$  는 IFFT 과정을 통하여 OFDM 신호를 형성하며 이때 신호의 보호를 위하여 보호구간을 통하고 P/S 변환을 통하여 OFDM 샘플신호가 나타난다. 샘플신호는 저역통과 필터를 통하여  $x(t)$ 의 아날로그 복소신호로 나타나며 다중반송신호  $x(t)$ 는 단위캐리어당 전력을 P라하고 한 주기동안 균일하게 분포되어있는 동일 위상 변수를  $\theta(t)$  라 할 때 송신단에서 RF 반송주파수  $f_c$ 로 상향변환된 신호  $S_n(t)$ 는[6]

$$S_n(t) = Re[\sqrt{2P} \sum_{k=0}^{N-1} X_i(k) \exp[j\omega_c t + \theta_c(t)]] \quad (4)$$

$$= \sqrt{2P} \sum_{k=0}^{N-1} \quad (5)$$

$$= A(t) \cos(\omega_c t + \theta_c(t)) \quad (6)$$

$$= A(t) \exp(j\omega_c t) + \frac{1}{2} \overline{A}^*(t) \exp(-j\omega_c t) \quad (7)$$

이때  $\overline{A}(t) = A(t) \exp(j\theta_c(t))$ 으로 나타낼 수 있으며 협대역 RF 증폭기는 복소포락선을 갖는 기저대역 신호에 의하여 이득이 G 인 RF 증폭기의 출력은[12]

$$Z(t) = G[A(t)] \exp[j\theta_c(t) + \Phi(A(t))] \quad (8)$$

으로 표현된다. 증폭된 신호는 안테나를 통하여 전송되며 자유공간을 통하여 수신단 안테나를 통하여 수신된다. 자유공간의 조건에 따라 여러 형태의 잡음과 왜곡이 나타날 수 있으나 이상적인 AWGN 조건과 비주파수 선택적 페이딩 채널 상태로 가정하여 OFDM 시스템을 분석한다. 수신단에서는 안테나를 통하여 수신된 미약 전파를 저 잡음증폭기에 의하여 신호를 증폭시킨 후 다시 2~3단정도의 고 이득증폭기로 증폭시키며 국부발진기에 의하여 하향 변환시킨다. 하향변환 된 신호는 저역통과 필터함수  $H_r(f)$ 에 의하여 채널 내의 간섭효과를 감소시키며 기저대역신호의 복조과정은 변조과정과 대칭적으로 동작되어 FFT를 수행하고 S/P 및 자동이득제어 회로로 신호가 복원된다. 그러나 OFDM의 송신과 수신과정을 통하여 다채널 전송신호는 RF증폭기의 비 선형특성에 의한 왜곡이 발생한다[12]. RF전력증폭기의 왜곡은 AM/AM 왜곡과 AM/PM 왜곡으로 나타나며 정확한 왜곡정도를 분석하기 위하여 증폭기의 비선형 전달함수에 대한 모델링을 해야 한다. 일반적으로 RF증폭기의 비 선형특성에 대하여 모델링 된 함수는 TWT증폭기와 SSPA 증폭기로 구분되며 상대적으로 안정된 상태에서 낮은 출력을 나타낼 때에는 위상변화가 거의 없는 SSPA증폭기의 비선형모델을 많이 사용한다[17]. SSPA RF 증폭기에 의한 비 선형특성을 나타내는 모델 중에서 SSPA형 RF증폭기의 능동소자의 전달특성을 지수함수적 동작을 증폭기의 귀환을 고려하

여 비교적 선형동작상태를 나타내도록 한 Rapp모델 [17]을 적용하였으며 모델함수는 다음과 같다.

$$[A(t)] = \frac{r}{[1 + (r/A_0)^{2p}]^{1/2p}}, \phi[A(t)] = 0 \quad (9)$$

윗 식에서  $A_0$ 는 최대 출력 진폭크기이며  $p$ 는 선형 영역에서 제한영역으로 변환되는 정도를 나타내는 파라미터로 수치 해석적으로 그 값을 구할 수 있다. 한편 증폭기의 비 선형 특성을 피하기 위하여 증폭기의 구동점을 강제적으로 선형영역으로 이동시키는 백-오프방식이 있으며[15] 이러한 백-오프방식은 입력 백-오프(BO: input backoff)와 출력 백-오프(OBO: output backoff)로 구분되어 다음 식과 같이 정의된다 [15].

$$IBO(dB) = 10 \log P_{o, \epsilon} / P_{\epsilon} \quad (10)$$

$$OBO(dB) = 10 \log P_{o, out} / P_{out} \quad (11)$$

이때  $P_{\epsilon}$ 은 SSPA의 입력전력신호의 평균값이며  $P_{out}$ 는 송신된 출력전력의 평균값이다.  $P_{o, out}$ 는 최대출력을 나타내는 포화전력이며  $P_{o, \epsilon}$ 는 최대출력을 나타내는 입력전력을 의미한다. SSPA의 경우 입력신호는 가능한 포화전력 점으로 가정하며 구동시킬 때 OBO에 의한 비 선형 증폭기의 전체성능 저하도 (degradation) TD는

$$TD = SNR - SNR' + OBO \quad (12)$$

이며 이식에서 SNR은 증폭기의 입력단에서 기준 BER을 만족시키기 위한 SNR(dB)이며 SNR'는 비선형 특성이 없을 때 동일한 BER을 얻기 위한 SNR관계를 나타낸다. 일반적으로 RF증폭기의 출력과 비선형왜곡에 의한 성능저하관계 사이의 절충관계로 나타내나는 최적의 동작점은  $TD_{dB}$ 를 최하가 될 때이다. 이와 같이 TD를 최소화시키기 위하여 OBO를 최적화시켜야 하며 출력 백-오프 구동은 증폭기의 바이어스에 의하여 실현이 가능해진다[16]. 증폭기의 바이어스는 RF전력소자에서 매우 중요한 파라미터로서 RF 전력증폭기의 출력전력과 효율 및 온도 등에 의한 동작

조건[17]등을 설정하거나 OFDM에서와 같이 다 채널 고속 데이터 전송에서 적용되는 디지털변조신호에 의한 전력소비의 최적화, RF 전력증폭기의 비 선형에 의한 대역 내에서의 간섭과 대역 외에서의 근접 채널 간섭 등에 직접적으로 영향을 미친다. RF 전력증폭기에서의 바이어스는 능동소자에 따라 최적화시켜야 하므로 본 연구에서는 A급 동작 RF전력증폭기의 바이어스에 한정하고 바이어스에서 출력전력에 가장 크게 영향을 미치는 능동소자의 컬렉터 전류[18]를 중심으로 OFDM 시스템의 디지털 변조신호와 RF 전력증폭기의 비선형특성에 대하여 분석하고자 한다.

### III. OFDM전력증폭단의 비선형 왜곡 분석

본 논문에서는 RF 증폭기의 비 선형 특성과 OFDM 변조신호와의 왜곡관계를 분석하기 위하여 그림2.와 같이 5GHz 대역의 무선-랜 IEEE 802.11a의 표준프레임을 고려하였다. 표1은 802.11a의 표준안에 의하여 모의실험에서 적용한 파라미터를 나타내고 있으며 부반송 신호 당 코드 비( $N_{BPSK}$ )는 부 반송 신호에 실리는 비트의 수이므로 M-QAM ( $M=2^n$ ) 변조에서  $n$ 개의 비트가 하나의 부 반송파에 실려서 전송되며 OFDM 심볼당 코드비( $N_{CBPS}$ )는 52개의 부 반송파 중 4개의 파이롯트 심볼을 제외한 부반송파가 전송되고 64-QAM 변조의 경우 288(=6×48)개의 비트를 한번에 전송시킨다. OFDM 심볼당 데이터 비트 ( $N_{DBPS}$ )는  $N_{CBPS}$ 에 의한 3/4 콘버루션 코딩에 의한 잉여비트(redundancy bit)를 제외한 실제 데이터 비트로서 216(=288×3/4)가 되며 이러한 파라미터는 변조 기법이 결정되면 자동적으로 설정된다. 또한 그림 2에서 "SIGNAL"영역은 "DATA"영역과는 별도로 전체 24Bit으로 구성되고 R=1/2의 Convolutional Coding, Interleaving, BPSK변조, Pilot 심볼 삽입, OFDM 변조를 거쳐 하나의 OFDM 심볼을 형성해서 6Mbps의 전송율로 송신된다 부반송파를 생성시키기 위한 64-point IFFT입력 중 52개만을 사용하였으며 나머지 12개는 0으로 입력시켜 변조시키고 수신단에서는 대칭적으로 신호를 복조시켰다. 표 2는 모의실험을 위한 기저대역 변조신호에 대한 파라미터를 보여주고 있다.

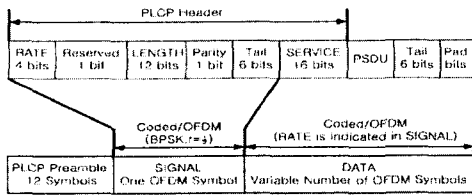


그림2. 802.11a 프레임 구조  
Fig.2. 802.11a Frame structure

OFDM시스템 구성에서 상향변환과정은 국부발전 주파수 5.775GHz, 대역폭 16.6MHz로 형성시켰으며

표 1. OFDM 데이터비에 따른 파라미터  
Table 1. Parameters of OFDM Data rate

Data rate (Mbits/s)	Modulation	Coding rate (R)	N <sub>BPSK</sub>	N <sub>CBPS</sub>	N <sub>DBPS</sub>
6	BPSK	1/2	1	48	24
9	BPSK	3/4	1	48	36
12	QPSK	1/2	2	96	48
18	QPSK	3/4	2	96	72
24	16QAM	1/2	4	192	96
36	16QAM	3/4	4	192	144
48	64QAM	2/3	6	288	192
54	64QAM	3/4	6	288	216

상향변환 된 신호를 전력증폭기에 입력시켰다. RF 증폭기에 대한 모델링 함수를 수학적으로 구하기 위하여 MAXIM사에서 제공된 MAX2840 SiGe HBT소자를 선정하고 제조사에서 제공된 일반적인 데이터를 이용하고 식(9)의 Rapp 비선형모델을 적용하고 Matlab을 이용하여 수치해석 적으로 전력증폭기의 전달 함수를 구하였다. 그림3.은 선정한 RF전력증폭기의 입력전력( $P_e$ )에 따른 출력전력( $P_{out}$ )의 관계를 바이어스 콜렉터전류( $I_{bias}$ )에 따라 변화되는 과정 나타내었다. 식(10)에 의하여 입력전력을 일정하게 할 때, 콜렉터전류에 따라서 출력전력을 백오프(OBO)시켰을 때의 특성관계를 나타낼 수 있으며 그림에서 콜렉터 전류를 155mA를 중심으로 SSPA의 특성이 가장 최적상태를 나타내었으며 콜렉터 전류가 증가할수록 선형영역이 감소됨을 알 수 있다. 특히 입력전력( $P_e$ )에 따른 출력전력( $P_{out}$ )에 대해 SSPA 전력증폭기의 PAPR관계는 PSD함수로부터 구하기 위하여 본 연구에서는 SiGe-HBT SSPA의 출력전력을 고려하여 최

적바이어스를  $V_{cc}=3.3V$ ,  $I_{bias}=155mA$ 로 선정하였다. 모의실험에서 선정한 A급 증폭 SSPA에 대하여 수치해석으로 구한 대역통과 비선형 전달함수로 부터 OFDM 시스템의 출력단에서 나타나는 기저대역 신호의 왜곡관계를 분석하기 위하여 그림3으로 부터 수학적으로 구한 SSPA 비선형 전달함수를 전체 OFDM 시스템에 적용하고 데이터비에 따른 M-QAM의 디지털변조신호를 입력시켜 SSPA에 의한 대역의(out-band)에서 근접채널간섭(ACI)의 크

표2. 모의실험에 사용한 파라미터들  
Table 2. Parameters for simulation of OFDM

Data rate	18, 36, and 54 (Mbits/s)
Modulation	QPSK, 16-QAM, 64-QAM
FEC	K=7 (64 state) convolutional code
Coding rate	3/4
Number of subcarriers	52
OFDM symbol duration	4.0 us
Guard interval	0.8 us
Occupied bandwidth	16.6 MHz
Center Frequency	5.775 GHz
Input RF Power	-10 ~ 10 dBm

기를 알기 위해서 전력스펙트럼 밀도함수(PSD)관계를 구하였다. 그림 4는 설정한 A급 동작 SSPA에 대하여 최적바이어스 조건을 적용하고 입력신호를 -10dBm에서 5dBm까지 증가시켰을 때 출력 PSD와의 관계를 보여 주고 있다. 무선-랜에 적용되는 802.11a의 표준안에 따라 RF 캐리어의 중심 주파수 5.775GHz에 대해서 11MHz, 20MHz 및 30MHz의 읍셋 주파수에서 출력 전력의 크기를 -20dBr, -28dBr 및 -40dBr을 만족시켜야 한다. 표3은 그림 4의 PSD 모의실험에서는 각 읍셋 주파수에 대해서 대역내의 출력 전력과 11MHz, 20MHz 및 30MHz의 대역-외

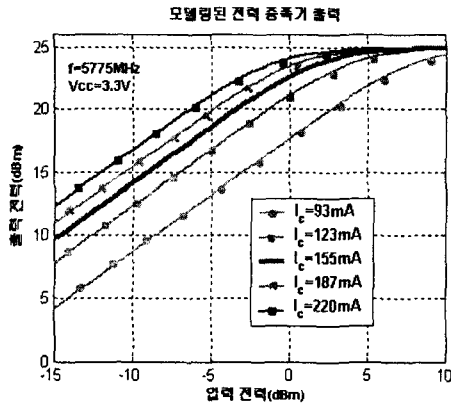


그림 3. 입력전력과 바이어스에 따른 전력 증폭기 동작 특성

Fig 3 Transfer characteristic of power amplifier with input powers and bias conditions

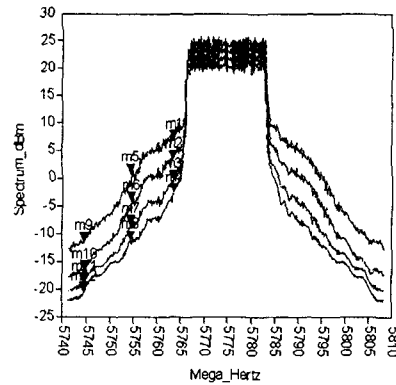


그림 4. 16QAM-OFDM에 대한 PSD  
Fig 4. PSD of 16QAM-OFDM

에서 측정된 출력전력을 보여주고 있다. 그림(4)에서  $m_1, m_5, m_9$ 은 11MHz, 20MHz 및 30MHz 떨어진 오프셋 주파수(offset frequency)에서 입력전력을 7dBm로 하였을 때 대역-외의 출력전력을 나타내고 있으며 규정된 출력조건을 만족시키지 못하고 비 선형 왜곡이 매우 크게 나타남을 예측할 수 있다. 그러나 그림 4. 에서 SSPA 전력증폭기의 입력전력을 3dBm 이하 ( $m_2, m_6, m_{10}$ 점이하)로 입력 백-오프(IBO)시켜 증폭기를 동작시킨다면 주어진 IEEE 802.11a의 조건을 만족시키고 있으며 SSPA 전력증폭기는 규정된 PSD와 스펙트럼의 조건을 만족시키므로 비교적 RF 전력증폭기의 안정된 선형동작을 예측할 수 있다. OFDM시스템에서 SSPA 증폭기의 비 선형 특성에 따른 기저대역 디지털변조신호의 정상도의 왜곡관계를 수치적으로 구하기 위하여 디지털 변조신호 데이터의 크기와 위상의 변화를 벡터적으로 구현되는 EVM(Error Vector Magnitude)으로 나타내었다. EVM은 그림 2(a)로 구성된 OFDM 링크에서 스펙트럼 재생성에 따른 PSD와의 특성을 정의한 것으로 측정 계측값과 동일하게 나타내기 위하여 Agilent Technology사의 ADS2002[19] 프로그램을 이용하였으며 모의실험 결과는 그림 5와 같다. 그림5(a)~(c)은 설정한 SSPA 전력증폭기의 비 선형특성을 OFDM 시스템

표 3. 각 오프셋 주파수에 따른 출력전력 크기  
Table 3. Output power of each offset frequency

Mark	$P_{in}$ (dBm)	$P_{inband}$ (dBm)	$P_{outband}$ (dBm)
m1	7	25.266	7.024
m2	3	23.773	3.353
m3	-1	22.180	0.318
m4	-5	20.656	2.614
m5	7	25.266	0.930
m6	3	23.773	-4.070
m7	-1	22.180	-8.376
m8	-5	20.656	-11.109
m9	7	25.266	-11.344
m10	3	23.773	-16.457
m11	-1	22.180	-18.736
m12	-5	20.656	-20.487

에 적용하여 데이터비에 따라 나타나는 디지털 변조 신호 QPSK, 16-QAM 및 64-QAM의 정상도상에 나타나는 왜곡을 보여 주고 있으며 벡터로서 나타나는 왜곡을 정확하게 측정하기 위하여 A 영역을 확대한 분포도를 그림에서 나타내었다. 그림 5에서 입력전력을 가변 시켰을 때 입력전력이 클수록 왜곡 벡터가 크게 나타남을 알 수 있으며

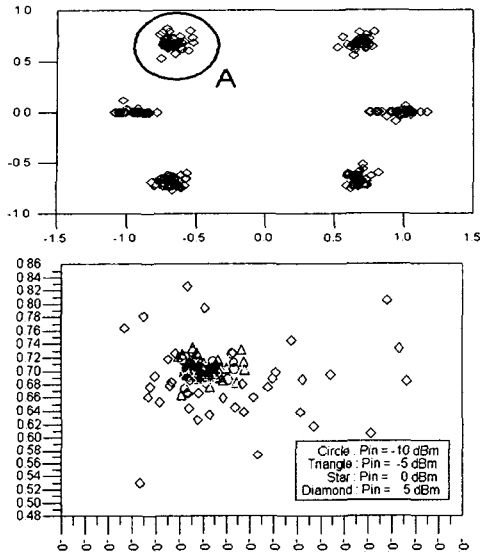


그림 5(a). 입력전력 변화에 따른 QPSK의 성상도 및 A 영역에서의 왜곡벡터분포  
 Fig 5(a). Constellation of QPSK signal with variable input powers and distributed distortion vectors of A area.

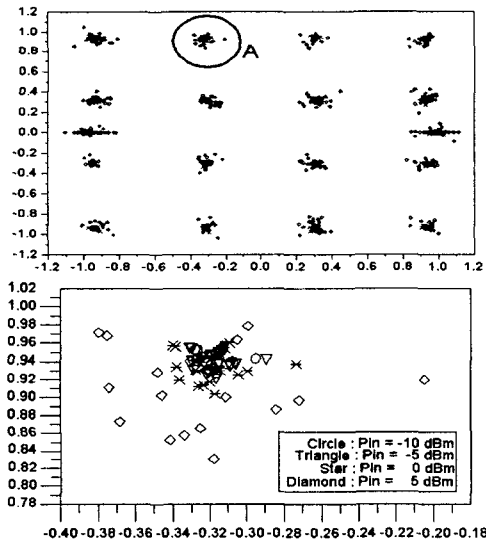


그림 5(b). 입력전력에 따른 16-QAM의 성상도와 왜곡신호분포  
 Fig 5(b). Constellation of 16-QAM with input powers and distributed distortion vectors of A area

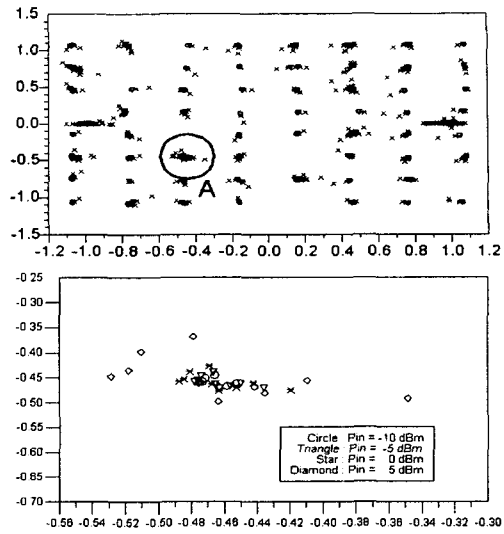
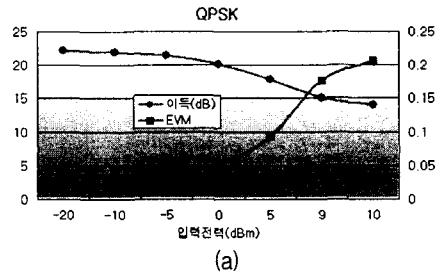


그림 5(c). 입력전력 변화에 따른 64-QAM의 성상도 및 A 영역에서의 왜곡신호의 분포도  
 Fig. 5(c). Constellation of 64-QAM signal with input powers and distributed distortion vectors of A area

IBO에 의하여 전력증폭기가 매우 선형적으로 나타남을 알 수 있다. EVM은 SSPA의 비 선형과의 관계를 정확하게 나타내기 위하여 그림 6에서와 같이 SSPA 입력전력에 대한 출력이득과 EVM의 평균값을 나타낼 수 있다. 그림 6은 SSPA의 입력전력을 가변시켜 출력단에 나타나는 이득변화에 따른 EVM 변화 추이를 각 변조신호에 대해 나타낸 것으로 SSPA의 이득 변화에 대한 EVM 변화를 예측함으로써 허용된 EVM 크기를 만족하는 전력증폭기 입력전력을 선택할 수 있도록 IBO 관계를 설정할 수 있으며 SSPA 증폭기의 최적의 바이어스와 동작 점을 결정할 수 있게 된다. 그림6.에서 각각의 디지털 변조신호는 SSPA의 입력 백-오프(BO)에 따른 SSPA 이득의 감소를 고려할 때,



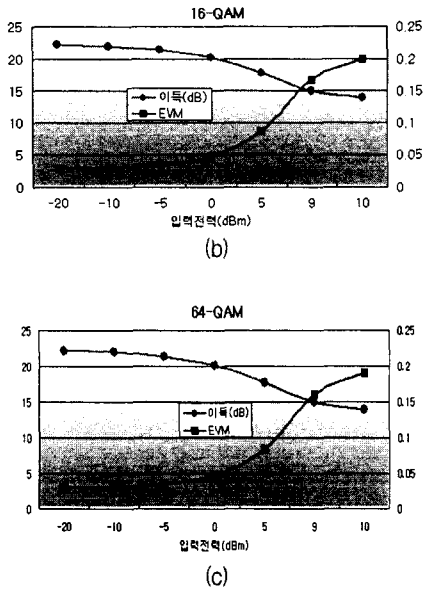


그림 6 증폭기 이득과 EVM관계  
 (a) QPSK (b)16-QAM (c)64-QAM  
 Fig 6. EVM over SSPA gain  
 (a) QPSK (b)16-QAM (c) 64-QAM

성상도 오울을 나타내는 EVM 곡선은 이득 감소율에 비해 더욱 지수적인 증가 추세를 보이고 있으며 이것은 SSPA의 비선형 왜곡에 의한 오울이 급격히 증가 되는 것으로 해석된다.

#### IV. 결론

RF 전력증폭기를 다 채널 전송시스템에 적용할 때 필연적으로 나타나는 비 선형 왜곡을 감소시키기 위하여 우선적으로 비 선형 모델링에 의하여 왜곡정도를 예측할 수 있어야 하며 비 선형 특성을 나타내는 SSPA 증폭기는 선형증폭 및 고효율증폭이 요구된다. SSPA 시스템을 설계할 때 SSPA를 선형동작을 시키는 가장 간단한 방법은 백-오프 동작을 할 수 있도록 적용바이어스 회로의 설계가 요구되므로 본 논문에서는 무선-랜에 적용되는 IEEE 802.11a의 표준안을 중심으로 OFDM 무선전송시스템에서 RF 전력증폭단의 비 선형 특성과 기저대역 신호의 왜곡관계에 대하여 모의실험 과정을 제시하고 특성을 분석하였다. SSPA에서 예측한 바이어스

를 유지함으로써 SSPA의 동작상태 및 온도제어, 출력전력과 효율을 제어할 수 있고 적용 DC바이어스 제어로 증폭기 동작급수에 따른 전력소비를 최적화 시킬 수 있으므로 SSPA의 선형동작을 위하여 최적 바이어스를 출력 백-오프와 출력바이어스 구동과의 관계로부터 최적 바이어스점을 선정하였다. 선정된 바이어스를 중심으로 입력 백-오프 동작시켰으며 입력전력에 대한 전체 OFDM시스템에 대한 PSD 관계, 디지털 변조신호에 대한 성상도 왜곡관계를 구하였다. 실제 측정데이터를 위하여 성상도의 왜곡을 오차벡터로 나타내는 EVM관계로 나타내었다. 본 논문의 결과는 다 채널 무선 전송시스템에서 SSPA를 설계할 때 백-오프에 의한 선형화로 왜곡정도가 표준안에 적합하도록 최적 바이어스를 선정할 수 있으며 무선-랜의 트랜시버에서 적용바이어스 특성을 정확하게 분석하는 모의실험방안으로 활용할 수 있다.

#### 참고 문헌

- [1] Carl Eklund," IEEE Standard 802.11: A Technical Overview of the Wireless MA-N," IEEE Communication Magazine Vol.40 No.6, June 2002, pp 98-107
- [2] Djuradj Budimir," Amplifiers for RF and Microwave Multichannel Wireless Systems," in Proc.of International symposium on Electron device for microwave & optoelectronic application, Nov. 2001,pp261-265
- [3] ETSI,"Digital Video brocasting(DVB): framing structure,channel codeing and modulation for digital terrestrial television," Tech. rep. EN300744, Aug. 1997
- [4] K. Sistanzadeh, P.S.Chow and T.Cioffi," Multi-tone transmission for Asymmetric digital subscriber lines(ADSL)." In Proc. IEEE ICC 93,1992 pp756-760.
- [5] A. R. S. Bahai, B.R.Scltzbeg, Multicarrier Digital Communication, Theory and Application of OFDM., Kluwer Academic Plenum Publishers. 1999
- [6] P.Banelli and S. Cacopardi," Theoretical Analysis and Performance of OFDM



- Signals in Nonlinear AWGN Channels," IEEE Trans.on Communications, Vol.48, No.3, March 2000, pp430-441
- [7] R. Van Nee, G.Awater et al.," New High Rate Wireless LAN Standards." IEEE Commu. Magazine Dec. 1999, pp82-88
- [8] F.J.Canete, L.Cortes and J.A. Entrambasaguas, "Broadband modelling of indoor power-line channels." IEEE Trans. on Consumer Electronics, Vol.49, No.2, Feb. 2002, pp175-183
- [9] IEEE p802.11a/D7.0, July 1999: Draft supplement to standard for LAN/MAN part II: MAC& PHY. specifications: High Speed Physical Layer in 5GHz band.
- [10] G.P.White, A.G.Burr and T.Javornik," Modelling of nonlinear distortion in broadband fixed wireless access systems," Electronic letters 17th April 2003 Vol.38, No.8 pp 686-687
- [11] P. M. Asbeck, M.Iwamoto, G.Hanington," Augmented Behavioral Characterization for Modeling the Nonlinear Response of Power Amplifiers," Poo. of IEEE-MTTs International Microwave Symposium digest. 2002. pp135-138.
- [12] E.Costa and Silvano P.,"M-QAM-OFDM System Performance in the Presence of a Nonlinear Amplifier and Phase Noise," IEEE Trans.on Communication, Vol.50,No .3, March 2002, pp462-472
- [13] J.F. Sevis, M.B. Steer and A.M. Pavio," Nonlinear Analysis Methods for the Simulation of Digital Wireless Communication Systems.," Int. Journal of Microwave and Millimeter Wave Computer Aided Engineering, Vol.6.No.3, 1996 pp 197-216.
- [14] D.D. Zenobio, G.Santella and F.Mazzenga," Adaptive Linearization of Power Amplification in Orthogonal Multicarrier Schemes." IEEE Proc. of Wireless Commu. system, Nov. 1995, pp225-230.
- [15] M.Iwamoto, Craig P.Hutchinson, and P.M. Asbeck,D.C.Avanzo," Optimum Bias Condition for Linear broad-Band InGaP.GaAs HBT Power Amplifier," IEEE Trans. on Microwave Theory and Tech., Vol.50 ,No.12,Dec. 2002 pp2954-2962
- [16] K.H.Yang, Jack R. East, and G.I.Haddad," Automatic Control of Efficiency and Linearity in Power Amplifiers for Low-Power Wireless Communications," in Proc. Tropical Meeting on Silicone Monolithic Integrated Circuits in RF System, Sep.1998 pp113-118
- [17] G.P.White, A.G.Burr and T.Javornik, "Modeling of nonlinear distortion in broadband fixed wireless access systems," Electronics Letters 17th Vol.39 No.8 April 2003, pp686-687.
- [18] David M. Snider," A Theoretical Analysis and Experimental Confirmation of the Optimally Loaded and Overdriven RF Power Amplifier," IEEE Trans. on Electronic Devices, Vol.14,No.12 Dec.1967 pp851-857
- [19] Agilent Technology, Advanced Desig Systems, version 2002.
- [20] M.S. Heutmaker,"The Error Vector and Power Amplifier Distortion." Proc. of IEEE Wireless communication conference. 1997 pp100-104.
- [21] A. Springer, T. Frauscher and B. Adler," Impact of Nonlinear Amplifiers on the UMTS System." IEEE 6th Int.Symposium on Spread Spectrum Tech. & Appli. Sep. 2000, pp465-469

## 저자 소개



### 신동환(Dong-Hwan Sin)

2003년 : 경남대학교 전자공학과  
공학사

2003년~현재: 경남대학교 정보통신  
공학과 석사과정

※ 관심분야 : 마이크로파 및 디지털 통신 시스템  
설계



**정인기(In-Ki Jeong)**

1999년: 경남대학교 전자공학과 공  
학사.

2001년: 경남대 전자공학과 공학석  
사

2003년: 경남대 정보통신공학과 공학박사 수료

2003년~현재 : 경남대학교 정보통신공학과 전파통신  
연구실 연구원

※ 관심분야 : 마이크로파 Transceiver 설계 및 응용,  
MMIC On Chip 설계

**이영철(Young-Chul Rhee)**

현재 경남대학교 정보통신공학부 교수

이력 및 연구경력은 제7권5호 참조