
다중반송 전송시스템을 위한 RF 전력증폭기의 비선형 특성과 BER관계 분석

신동환 · 이영철

Analysis of RF Power Amplifier Nonlinearity and BER Characteristics for Multi-Carrier Transmission System

Dong-Hwan Sin · Young-Chul Rhee
Div. of Information & Comm. Eng., Kyungnam University

이 논문은 2003년도 경남대학교 학술지원 연구비를 지원받았음

요약

본 논문에서는 GaAsFET 전력증폭기를 다중반송 통신시스템에서 적용시키고자 설계한 PA증폭기의 측정된 전달함수를 비선형 모델링 한 결과를 제시하였으며 모델링 한 결과를 가지고 설계한 RF 증폭기의 AM-AM 및 AM-PM 비선형 특성을 추정하였다. 추정된 비선형특성 의하여 다중반송전송시스템에서의 증폭기의 근접채널간섭특성(ACPR), QPSK 및 64-QAM과 같은 디지털 변조신호에 대하여 정상도에서의 데이터 오차벡터의 크기(EVM) 및 BER 관계를 분석하였다. 본 연구에서 제시한 RF GaAs FET의 비선형 모델링은 OFDM을 이용하는 무선 다중반송전송시스템 설계에 적용할 수 있으며 전력증폭기와 디지털변조 신호에 따른 비선형 관계를 정확하게 추정할 수 있다.

ABSTRACT

This paper describes a nonlinear transfer function modelling of designed GaAs FET power amplifier by measured and simulated values of designed PA amplifier for multi-carrier transmission system. With the results of PA nonlinearity characteristic, we can estimate AM-AM and AM-PM of designed PA. According to the estimated nonlinear characteristics, we can analyze the ACPR of PA for spectral regrowth, the error vector measurement(EVM) of constellation signals and bit error rate of QPSK and 64-QAM. The suggested nonlinear modelling results are used to get an accurate estimate of digital characteristics between PA amplifier and wireless multi-carrier transmission system using OFDM.

키워드

OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing), EVM(Error Vector Magnitude), PAPR(Peak to Average Power Ratio), PSD(Power Spectral Density), Spectrum Regrowth

1. 서론

근래의 이동통신시스템은 효율적인 고속전송을

위하여 통신환경에 따라 가변되는 전송속도(data rate)의 적응능력과 이에 따른 우수한 스펙트럼 효율을 갖는 다중반송(multi-carrier) 전송기법에

*경남대학교 정보통신공학과 전파통신연구실 (micropt@kyungnam.ac.kr)

접수일자 : 2003. 10. 16

대하여 연구개발이 요구되고 있다[1,2]. 이러한 다중반송 전송기법 시스템은 주파수의 재사용 특성이 우수해야하며 디지털 변조신호와 시스템의 코딩방식에 따른 데이터채널의 점유대역폭에 의한 스펙트럼 효율은 우수해야 하며 특히 동일채널에서 간섭특성에 우수한 특성을 나타내어야 한다. 이와 같은 다중반송 전송기법에서 규정에 의하여 설정된 협대역에서 우수한 스펙트럼 효율을 나타내며 통신환경에 따라 디지털 변조기법을 적용시켜 비교적 큰 용량의 데이터를 전송시키는 OFDM(orthogonal frequency division multiplexing)시스템이 널리 활용되고 있다. OFDM시스템은 DAB 와 DVB-지상파 전송의 근간을 형성하여 다양한 멀티미디어 매체를 대용량으로 전송시킬 수 있도록 다채널 전송방식이 개발되어 다 경로 채널페이딩(multipath channel fading)에 우수하고 가용대역폭을 최대한 효율적으로 이용하는 특성이 입증[3]됨에 따라 ADSL과 고속 전력통신등과 같은 고정 유선전송에서도 다채널의 OFDM의 장점을 적용하고 있으며[4,5] 최근에는 60 GHz 대역에서 쌍방향 멀티미디어서비스와 디지털 TV의 광대역 셀룰라 분배를 위한 OFDM 적용 방식을 제안하고 있다[6]. 이러한 관계로 향후 주파수 선택성채널에서 차세대 무선 멀티미디어 통신을 지원할 전송기법으로 CDMA기술과 함께 OFDM 은 준밀리미터파 대역에서 IEEE802.16과 같은 고속 광대역 WMAN의 적용 연구[7]가 이루어지고 있으며 이미 IEEE 802.11에서 2/5 GHz대역의 WLAN, HiPER-LAN등에서 적용연구가 이루어졌다[8].

그러나 OFDM 신호는 매우 작은 신호레벨에서부터 큰 신호의 레벨까지 매우 동작범위에서 일정하게 동작시켜야 하는 동작범위(Dynamic range)를 나타내며 또 OFDM시스템의 송신단을 구성하는 전력증폭단의 비선형 특성에 의하여 신호의 비선형왜곡이 발생하는 단점이 있다. 고속의 데이터 전송을 갖는 다채널 전송시스템에서 증폭기의 비선형 특성은 대역내에서 근접채널간섭왜곡(ACI : Adjacent Channel interference)과 같은 부가적인 문제점을 있다[9]. PAPR은 전력 증폭기의 과도한 동작범위(Dynamic Range)를 요구하게 되고

ACPR은 인접채널에 간섭(ACI)을 일으킨다[9]. RF Front-End단에서 ACPR은 각 모듈들의 비선형성에 크게 영향을 받게 되는데 I/Q부정합에 의한 이득, 위상의 왜곡과 국부 발진기의 위상잡음에도 민감하지만[10] 특히, 전력 증폭기의 비선형성이 가장 심각한 영향을 미치므로 다 채널 반송파 시스템은 단일 반송파 통신 시스템에 비해서 보다 뛰어난 RF 단의 성능을 요구한다. RF 단에서 전력증폭기의 비선형 특성은 증폭기의 AM/AM, AM/PM 관계로 분석할 수 있으며[11,12] 증폭기의 동작점을 선형영역에서 동작시키는 IBO(input back-off)과 OPB(output back-off)을 적용시키거나 선형 전력 증폭기를 사용함으로써 감소시킬 수 있다. 하지만 기존의 선형화 기법들은 증폭기의 효율을 저하시키거나 시스템을 복잡하게 만드는 단점이 있기 때문에 선형성과 효율을 동시에 증가시킬 수 있는 선형화 기법에 대한 연구도 요구된다[11].

본 논문에서는 다 채널 반송파 통신시스템에 적용시키기 위하여 전력증폭기의 전달함수를 측정하고 이에 적합한 비선형 전달함수를 모델링 함으로서 설계한 전력증폭기의 AM-AM 및 AM-PM의 비선형 특성에 대하여 분석하고 전력증폭기의 ACPR특성과 관계를 구하고자 하며 설계한 전력증폭기의 비선형 특성에 대하여 디지털 변조신호에 대한 BER 특성을 분석함으로서 전력증폭기를 설계할 때 비선형특성과 BER관계를 예측할 수 있음을 제시하고자 한다.

II. OFDM시스템 구성과 전력 증폭기의 비선형 특성분석

OFDM 과 같은 다중전송기법에 대한 연구는 많이 이루어졌으며 일반적인 OFDM에 대한 구성도는 그림(1)에서와 같이 송신부와 수신부로 구분하여 디지털변조와 복조신호관계는 FFT 알고리즘을 통하여 수행된다. 그림(1)에서 신호를 무선 반송주파수로 상향변환(upconversion)시키기 전 상태에서 다음과 같이 OFDM 다중 반송파 출력 신호 $x(t)$ 가 생성되며[6],

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

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

윗 식(2)에서 부 반송파 사이에 다음과 같은 직교성을 만족하여야 한다.

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

그림1.에서 OFDM에 의한 다중반송신호x(t)는 송신단의 주파수합성에 의한 고 안정 국부발진기 신호에 의하여 상향변환되며 변환된 신호는 최종 전력증폭단에서 신호가 증폭되어 안테나를 통하여 자유공간으로 전파된다. 이때 전력증폭기의 비선형 특성에 의하여 OFDM 출력신호는 AM-AM 및 AM-PM왜곡이 발생하며 이러한 왜곡은 그림2에서와 같이 기저대역에서 최종적으로 신호의 크기변화(AM-AM)와 위상변화(AM-PM)에 대하여 벡터적으로 구현되는 EVM(error vector measurement)으로 나타낼 수 있다[13]. OFDM에 의한 통신을 효율적으로 달성하기 위하여 나타나는 여러 가지 문제중에서 하드웨어적으로 해결이 가능한 전력증폭기의 비선형 전달함수특성에 대하여 분석해야 하며 증폭기의 비선형특성을 분석하여 OFDM시스템이 전송효율과 같은 파라미터를 예측할 수 있다.

전력 증폭기가 이상적인 선형증폭기라고 가정할 때 입력신호에 대한 출력에서의 전달식은 다음과 같이 표현되며 입력신호에 대해 k1배 증폭된 출력신호가 나타남을 알 수 있다.

$$V_o = k_1 V_i \quad (4)$$

그러나 비선형 전달함수를 멱급수로 표현하면 비선형 전달함수는 다음과 같다.

$$V_o = k_1 V_i + k_2 V_i^2 + k_3 V_i^3 \dots \quad (5)$$

일반적인 A급 증폭기의 경우, AM-AM에 따른 진폭왜곡이 비선형특성을 주로 나타내며 증폭기가 비기억성(memoryless)특성으로 입력신호가 1dB 역압점이하에서 동작시키면 증폭기의 비선형특성이 비교적 약하게 나타나므로 멱급수를 3차 이내로 취급할 수 있으며[Ha책] 서로 다른 두개의 신호 주파수 ω_1, ω_2 가 입력될 경우, 식(5)의 3차 항에 의해 대역통과필터로 제거되지 않는 신호 $(2\omega_1 - \omega_2), (2\omega_2 - \omega_1)$ 에 의하여 IMD3 (제3차 혼변조왜곡신호)가 생성되므로 약한 비선형특성을 나타내는 증폭기에 QPSK, M-QAM와 같은 디지털변조신호가 입력되면 비선형증폭기의 출력신호는 대역내에서 증폭기의 IP3(3rd Intercept point) 및 IMD3에 의하여 대역외(out-band)에서 근접채널간섭(ACI)이 발생하며 이로 인하여 대역외에서 잉여스펙트럼형성(spectral regrowth)이 발생되므로 이에 대한 ACPR(adjacent channel power ratio)을 구해야 한다[9].

이와 같이 디지털 변조신호에 대한 증폭기의 비선형특성을 나타내는 EVM과 ACPR 파라미터를 예측하고 디지털 변조신호에 따른 BER 관계를 예측하기 위하여 사용하려는 전력증폭기에 대하여 전달함수에 대한 비선형 모델링을 구해야 한다. 비선형전달함수에 대한 모델링은 크게 전력증폭기의 구성에 따라 달라지며 여러 가지 방안[14]중에서 측정된 증폭기의 전달함수를 직접 최적화시키는 방법이 있으며 증폭기 설계시 증폭단의 능동소자 형태에 따라 전달함수를 구할 수 있다. 마이크로파 및 RF 전력 증폭단에서 사용하는 측정된 전력증폭기의 비선형 동작에 대하여 지금까지 연구된 모델링은 증폭기를 TWT로 할 경우 전달함수는 Saleh모델[15]을 적용할 수 있으며, SSPA의 경우 Ghorbani모델[16]을 적용할 수 있다, 이 모델은 Saleh 모델을 수정한 것으로 설계된 증폭기에 대하여 전달함수를 측정된 데이터를 이용하여 비선형 전달함수를 수치해석적으로 최적화시키는 방식으로 고정된 파라미터를 사용하는 Saleh모델과는 달리 비교적 정확한 전달함수를

추정할 수 있다. SSPA의 선형영역에서 구동시키기 위하여 바이어스를 조정할 필요가 있으며 증폭기의 임계값(threshold value)등을 고려하여 입력신호를 백오프시켜 약하게 비선형특성을 나타내게 할 때 이용된다.

본 논문에서는 증폭기의 전달특성을 측정하고 파라미터를 최적화시키는 Ghorbani 모델을 사용하여 설계된 전력 증폭기의 전달함수를 모델링 하였다.

SSPA 증폭기에 입력되는 입력신호를

$$x(t) = r(t) \cos[\omega_0 t + \psi(t)] \quad (6)$$

로 할 때 $r(t)$ 는 입력신호의 포락곡선을 나타내며 $\omega_0 = 2\pi f_0$ 로서 반송주파수, $\psi(t)$ 는 위상을 나타낸다. 입력신호에 대한 SSPA의 출력신호는

$$y(t) = G[r(t)] \cos[\omega_0 t + \psi(t) + F(r(t))] \quad (7)$$

으로 나타내며 여기서,

$$G(r(t)) = \frac{A r^B}{(1 + C r^b)} + Dr \quad (8)$$

$$F(r(t)) = \frac{a r^{Bb}}{1 + c r^y} + dr \quad (9)$$

으로 $G(r(t))$ 은 AM-AM함수이고, $F(r(t))$ 는

AM-PM 변화함수 특성을 나타내는 시변함수이다. 식(4)에서 A,B,C,D는 SSPA의 AM-AM변환 파라미터 a,b,c,d는 AM-PM 위상변환 파라미터이며 8개의 파라미터는 설계된 SSPA의 비선형전달 함수를 측정하여 수치해석적으로 최적화값을 구할 수 있다.

한편 증폭기의 비선형 특성을 피하기 위하여 증폭기를 선형영역에서 동작시키기 위하여 증폭기의 구동점을 선형영역에서 구동시키기 위하여 구동점을 강제적으로 이동시키는 백오프(backoff) 방식이 있으며[17] 이러한 백오프방식은 입력신호를 백오프시켜 선형영역에서 구동시키는 입력 백오프(BO : input backoff)와 출력신호를 백오프시키는 출력백오프(OBO : output backoff)로 구분되며 다음과 같이 정의 된다.

$$IBO = 10 \log(A_s / \langle P_{in} \rangle) \quad (\text{dB}) \quad (10)$$

$$OBO = 10 \log(A_o / \langle P_{out} \rangle) \quad (\text{dB}) \quad (11)$$

이며 이때 A_s 는 전력증폭기의 입력포화전압, A_o 는 최대출력신호, $\langle P_{in} \rangle$ 은 전력증폭기의 입력신호의 평균전력, $\langle P_{out} \rangle$ 는 전력증폭기 출력단의 평균전력을 나타낸다[17]. SSPA의 경우 입력포화전력은 $A_{sat} = A_o$ 으로 가정하며 일반적으로 OBO에 의한 비선형 증폭기의 전체성능 저하도 (degration) TD는

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

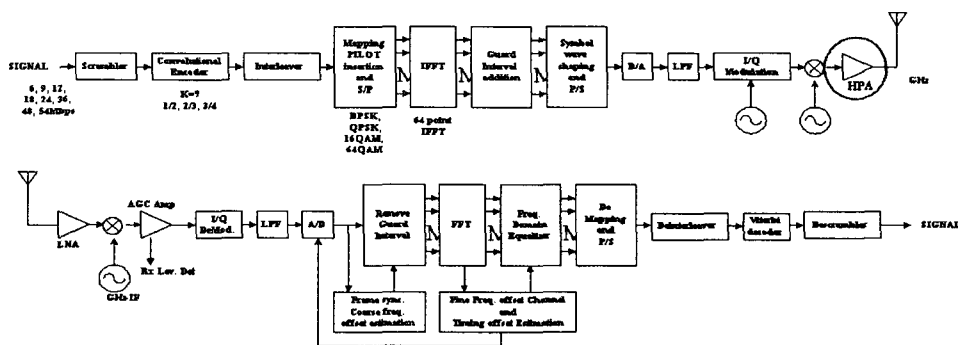


그림1.일반적인 OFDM시스템 구성도
Fig.1.General OFDM System Blockdiagram

이며 SNR은 입력단에서 기준 BER을 만족시키기 위한 SNR(dB)이며 SNR'는 비선형 특성이 없을 때 동일한 BER을 얻기 위한 SNR관계를 나타낸다.

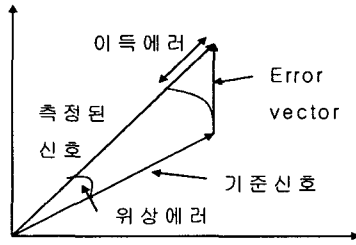


그림2. EVM 다이어그램
Fig.2 Diagram of EVM

III. SSPA 설계 및 비선형특성분석

본 연구에서 사용한 전력증폭기는 Triquint사 제품 GaAsFET CYL2을 이용하였다. 이 능동소자는 6GHz까지 이용되는 범용소자로서 무선랜 홈 RF등에 주로 응용되며 전력특성은 $f=1.8\text{GHz}$, $V_{ds}=3.0\text{Volts}$, $I_{ds}=180\text{mA}$ 및 $P_{in}=10\text{dBm}$ 에서 $P_{out}=23\text{dBm}$ 이며 $P_{1dB}=27\text{dB}$ 이고 $NF=1.48\text{dB}$ 및 55%의 PAE를 보여준다. 선정된 능동소자를 이용하여 그림3과 같이 SSPA 테스트베드를 형성하였으며 바이어스회로와 입력과 출력임피던스 정합회로 등이 설계되어 있다. 설계된 SSPA 증폭기의 비선형전달함수는 앞 절에서 제시한 Ghorbani 모델과 일치시키기 위하여 정규화 시켰으며 측정된 증폭기의 이득과 위상의 전달 특성은 그림4와 같다.

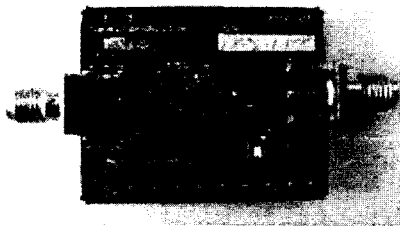


그림3 . 설계된 GaAs FET SSPA
Fig.3 Designed GaAs FET SSPA.

그림 4와 같이 측정된 전달함수에 대하여 설계한 SSPA의 AM/AM 및 AM/PM에 의한 비선형 특성관계를 모델링하기 위하여 식(7)을 이용하여 Matlab을 이용하여 최적화 시켰다. 최적화된 모델링 파라미터는 모의실험결과 다음과 같이 Ghorbani가 제시한 파라미터와 거의 유사하며 전달함수파형과 유사하게 일치함을 알 수 있었다. AM-AM 파라미터 $A=8.108$, $B=1.541$, $C=6.520$, $D=-0.072$ 이며 AM-PM 파라미터는 각각 $a=4.664$, $b=2.096$, $c=10.880$, $d=-0.003$ 이었다. 설계한 SSPA의 비선형 전달함수에 의하여 다중반송 OFDM신호 전송에 대한 근접채널간섭(ACI)과 디지털 변조신호에 대한 EVM, 성상도 및 BER 관계는 WLAN에 적용되는 IEEE 802.11a의 모델을 설정하여 ADS[17]에 의하여 모의실험을 하였다. 설정된 ODFM의 구성도는 그림1.과 같으며 모의실험은 QPSK와 64-QAM 디지털 변조신호를 중심으로 적용하였으며 이때 OFDM시스템에 적용한 모의실험 변수들은 표1과 같다.

표1. OFDM 시스템 변수
Table.1. Parameters of OFDM System

변조기법	QPSK	64-QAM
FFT size	32	64
GI	8	32
Carrier	16	64
RF_freq.	5.2GHz	5.2GHz

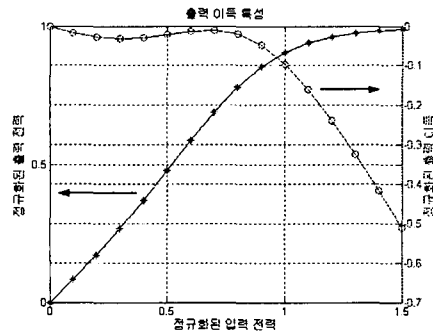


그림 4.(a) 설계된 GaAsFET SSPA의 이득, 출력특성
(a) Gain and Pout of Designed GaAs FET SSPA

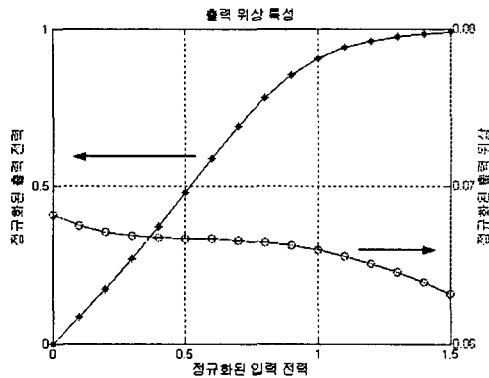


그림4.(b)설계된 GaAsFET SSPA의 위상 특성.
(b) Phase Curve of designed GaAs FET SSPA

모의실험 한 결과 QPSK신호와 64-QAM신호에 대하여 ACPR관계를 주파수 5.25GHz를 중심으로 그림(5)와 (6)과 같이 나타났으며, QPSK 디지털 신호에 대하여 35dBc이상의 차이, 64 QAM 신호에 대하여 25dBc가 나타남을 알 수 있어 데이터 전송비가 높아질수록 ACPR 악화 됨을 알 수 있다. 그림(7)은 QPSK신호와 64-QAM 신호에 대하여 EVM을 측정하 위하여 나타낸 정상도이며 SSPA 출력에 의하여 신호의 크기와 위상이 비선형 관계를 나타남을 알 수 있다. 이러한 정상도에 의하여 나타난 EVM을 측정한 결과 표2와 같다. 그림(8)은 설계한 SSPA에 대하여 QPSK디지털 신호에 대하여 측정된 ACPR 관계를 보여 주고 있다.

그림 8은 제작된 SSPA에 대하여 입력신호를 가변시켰을 때 나타난 ACPR관계를 측정된 데이터이며 입력신호를 10dBm이상 입력시켰을 때 증폭기가 포화상태에서 비선형특성이 급격하게 나타남을 알 수 있다. 이와 같은 특성을 고려하여 다중반송 OFDM 시스템에 적용되는 SSPA의 IBO와 OBO의 세기를 6dB 백오프 조정할 수 있도록 백오프 정도를 결정할 수 있다. 그림은 설계된 SSPA에 디지털 변조신호를 인가하였을 때 출력되는 BER관계를 보여주고 있으며 각각 입력의 세기를 가변시켜 IBO관계를 나타내었다.

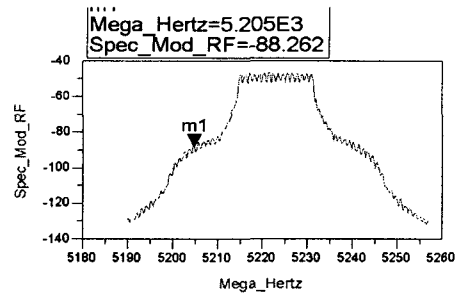


그림5.(a) QPSK신호 때 ACPR관계
(a) ACPR of QPSK modulated signal

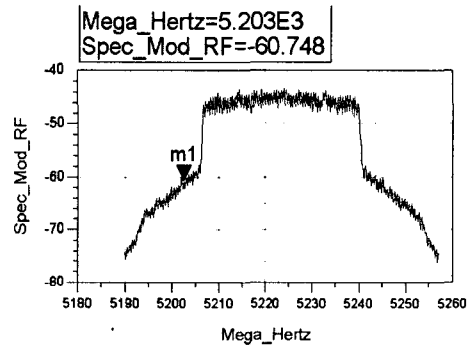


그림5.(b) 64-QAM신호 때 ACPR관계
(b) ACPR of 64-QAM modulated signal

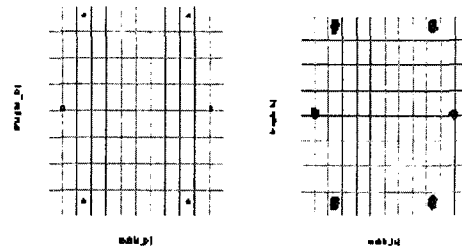


그림6 (a) QPSK-OFDM에 대한 정상도

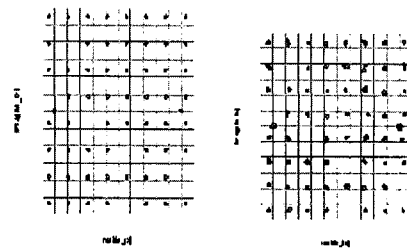


그림6.(b) 64QAM-OFDM에 대한 정상도

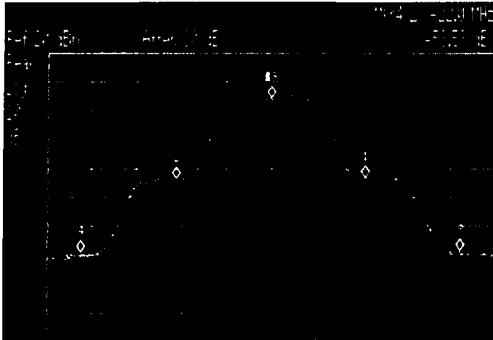


그림 7. 측정된 QPSK신호의 ACPR관계

표2. 측정된 EVM과 ACPR

변조	ACPR	EVM
QPSK	-88.262	0.020
64QAM	-60.748	0.020

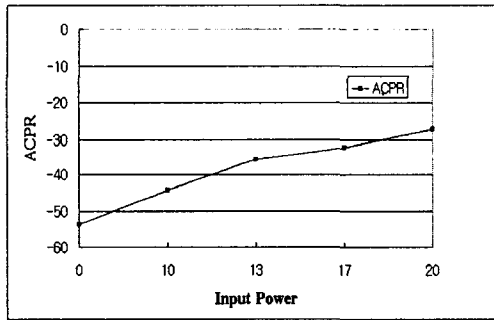
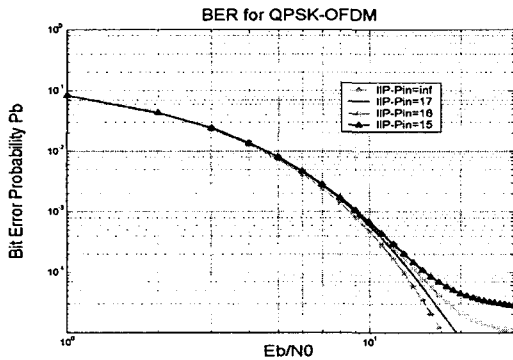
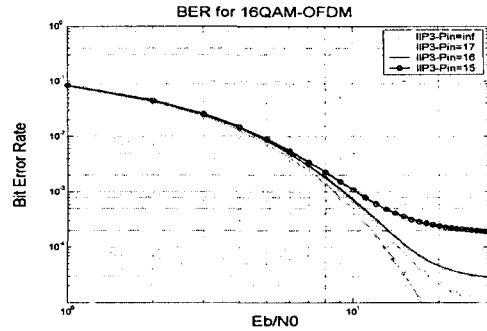


그림8. 입력전력에 따른 ACPR
Fig.8 ACPR over Input powers



(a) QPSK 신호에 대한 BER 관계
(a) BER for QPSK signal



(b). QPSK와 64-QAM에 대한 BER 특성
그림(9) SSPA의 IBO에 의한 디지털신호대 BER 관계
Fig.9. Relation between BER and IBO of SSPA

IV. 결론

본 논문에서는 무선 이동통신시스템에서 효율적인 고속전송을 위하여 우수한 전송속도와 스펙트럼 효율을 나타내는 OFDM 다중반송전송시스템에 적용되는 SSPA형 전력증폭기의 AM-AM 및 AM-PM에 의한 비선형특성과 디지털변조신호와의 특성에 대하여 논의하였다. 5GHz에서 동작하는 Triquint사의 범용 GaAs FET를 이용하여 23dBm의 출력을 갖는 SSPA를 설계, 제작하였으며 입력전력(Pin)에 대한 출력전력(Pout)관계를 측정하여 SSPA의 이득과 AM-AM 및 AM-PM에 의한 전달함수를 구했다.

측정된 데이터를 중심으로 Ghorbani모형을 이용하여 설계한 SSPA의 비선형 모델링하였으며 설계한 SSPA를 802.11a의 무선랜 규격에 적용하여 디지털 변조신호 QPSK 및 M-QAM을 중심으로 SSPA에 대한 근접채널전력비(APPR)를 구하였으며 I, Q 채널에서 나타나는 정상도의 변형(distortion)크기 수치해석적으로 분석하였으며 EVM으로 측정하였다. SSPA의 IOB의 정도를 알아보기 위하여 Pin입력에 대한 SSPA의 BER 관계를 각각 구함으로써 SSPA의 안정된 동작을 위한 시스템을 설계할 수 있도록 IBO영향 분석하였다. 본 연구의 결과를 이용하여 OFDM 시스템에서 SSPA에서 나타나는 매우 넓은 동작범위(Dynamic range)에 의한 비선형 특성을 최소화시키기 위한 PAPR에 대한 연구와 함께 SSPA의 ACPR 및 BER관계의 규명에 따라 직접변환

(direct conversion)을 위한 RF단과 기저대역단 설계 및 SoC화에 대한 연구가 요구되며 대출력 무선 이동통신을 위하여 적응 전치왜곡 선형증폭기와 같은 연구와 5GHz이상의 마이크로파 및 밀리미터영역에서 국부발진기의 위상잡음과 SSPA의 비선형 특성이 동시에 나타날 때에 대한 디지털변조 신호에 미치는 영향등에 대한 부가적인 연구가 요구된다.

향 후 802.16 무선 MAN시스템, 쌍방향 디지털 방송 및 무선 멀티미디어시스템등에서 적용되는 다중반송전송방식에서 RF 전단부(FEM: front-end module)의 정밀한 설계 중요성은 시스템 전체의 성능에 크게 영향을 미치므로 통신채널에서의 정밀한 정보전송을 위한 채널코딩 연구와 함께 고효율 특성을 나타내는 RF-FEM 설계에 대한 연구가 진행되어야 한다.

참고 문헌

- [1] M. Benveniste, "A Method for Interference avoidance in Channelized Wireless Systems." IEEE Int. conference on comm. Vol.8 June 2001, pp2546-2552.
- [2] A.Akaid, M. Alnsour and D.Alami, "Spectral Efficiency evaluation in Cellular Systems." 3rd Int. Conf.on 3G Mobile Commu. Tech., May 2002, pp539-543.
- [3] A. R. S. Bahai, B.R.Scltberg, Multicarrier Digital Communication, Theory and Application of OFDM., Kluwer Academic Plenum Publishers. 1999
- [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] F.J.Canete, L.Cortes and J.A. Entrambasaguas, "Broadband and modelling of indoor power-line channels." IEEE Trans.on Consumer Electronics, Vol.49,No.2, Feb. 2002, pp175-183
- [6] R. Van Nee, G.Awater et al., "New High Rate Wireless LAN Standards." IEEE Commu. Magazine Dec. 1999, pp82-88
- [7] Carl Eklund, "IEEE Standard 802.11: A Technical Overview of the Wireless MAN," IEEE Communication Magazine Vol.40 No.6, June 2002, pp 98-107
- [8] 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.
- [9] W.Liu,J.Lau and R.Cheng, "Considerations on Applying OFDM in a Highly Efficient Power Amplifier," IEEE Trans.on Circuits and Sys.-II Analog and Digital Signal processing,Vol.46,No.11 Nov.1999 pp1329-1336
- [10] B. Come, R. Ness, S. Donnay, L. Van der Perre, W. Eberle, P. Wambacq "Impact of front-end non-idealities on Bit Error Rate performances of WLAN-OFDM transceivers" IEEE, proc. of radio & wireless conference .Sep. 2000 pp91-94.
- [11] 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.
- [12] P. M. Asbeck, H. Kobayashi, M. Iwamoto, G. Hanington, "Augmented Behavioral Characterization for Modeling the Nonlinear Response of Power Amplifiers," Proc. of IEEE-MTTs Internation Microwave Symposium digest. 2002. pp135-138.
- [13] M.S. Heutmaker, "The Error Vector and Power Amplifier Distortion." Proc.of IEEE Wireless communication conference. 1997 pp100-104.
- [14] G. Santella and F. Mazzenga, "A hybrid analytical- simulation procedure for performance evaluation in M-QAM-OFDM schemes in presence of nonlinear distortions," IEEE Trans. Veh. Technol., vol. 47, No.2, Feb. 1998, pp.142-151.
- [15] A.A.M. Saleh, "Frequency-independent and frequency-dependent nonlinear models of TWT amplifiers," IEEE Trans. on Communications, vol.29,No.11, Nov.1981, pp.1715-1720.
- [16] A.Ghorbani, and M. Sheikhan, "The effect of Solid State Power Amplifiers(SSPAs) Nonlinearities on MPSK and Q-QAM Signal

Transmission", Sixth Int'l onference on Digital Processing of Signals in Comm.,1991, pp. 193-197.

- [17] 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.

저자 소개



이영철(Young-Chul Rhee)

1976년 2월 : 광운대학교 전자통신학과 (공학사)

1978년 2월 : 연세대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)

1992년 7월 : 아주대학교 대학원 전자공학과 (공학박사)

1981년 9월 ~ 2000년 2월 : 경남대학교 전자공학과 교수

2000년 2월 ~ 현재 : 경남대학교 정보통신공학과 교수

※ 관심분야 : 마이크로파 능동소자 응용, MMIC On Chip 설계

신동환(Dong-Hwan Sin)

경남대학교 정보통신공학과 전파통신연구실