

# IMT-2000 단말기용 HBT 2단 전력증폭기 설계

정동영, 정봉식  
동아대학교 전자공학과

## Design of 2-Stage Power Amplifiers for IMT-2000 Handsets

Dong-Young Jeong and Bong-Sik Jeong  
Dept. of Electronics Engineering, Dong-A University  
dyjeong@electro.donga.ac.kr

### Abstract

In this paper, 2-stage Power amplifier with external bias controller for IMT-2000 handsets was designed using SiGe HBT with excellent linearity to reduce size and weight. The designed amplifier has 26.5 dBm output power, 33% power added efficiency, and 22 dB linear power gain in 1920-1980MHz frequency range.

### I. 서론

IMT-2000 서비스는 국제 표준화 단체인 ITU-R 및 ITU-T를 중심으로 표준화를 추진중인 차세대 이동통신 시스템으로서 비동기 시스템의 규격은 3GPP에서 논의하며 그중 RF관련 규격은 TSG WG RAN4에서 연구되어 진다. WG RAN4의 결과로서 현재 FDD방식의 기지국, 단말기 RF 관련 규격 및 conformance 시험을 위한 시험절차서가 제정되어 있다.[1-4] IS-95 계열 시스템과 IMT-2000 비동기시스템간의 RF 관련 차이점 중 하나는 스펙트럼 방출 마스크와 스펙트럼 방사기준이 더욱 엄격해졌고 또한 하나의 단말기가 사용 가능한 송신 채널 숫자가 최대 4개까지 증가함에 따라 선형성이 더욱더 요구된다는 점이다. 그러나 단말기용 전력증폭기의 경우, 모듈의 크기에 제한이 있으므로 기존의 선형화 기법을 사용하기 어렵다.[5-7] 따라서 선형성이 우수한 소자를 사용하고 최소한의 크기를 갖

는 회로로써 선형성과 이득, 출력전력을 만족하는 회로를 설계하여야 한다.[8-9] 선형성이 우수한 소자로는 PHEMT와 HBT가 있다.

본 논문에서는 높은 전류이득과 선형성을 갖는 Infineon 사의 SiGe HBT인 BFP450과 BFP490을 이용하여 2단으로 증폭기를 구성하고 바이어스 안정화를 위해 BFP620을 사용하여 IMT-2000 단말기용 2단 전력 증폭기를 설계하였다.

### II. 모델 파라미터

비선형 소자는 시간영역에서 물리적인 의미를 갖는 소자이며, I-V 입·출력간의 비선형성으로 인해 주파수 영역에서는 고조파가 생성된다. 즉 원래 신호에너지 이외의 대역에서 주기적인 고조파 성분이 나타나기 때문에 원래의 주파수의 배수 성분과 관련되어 주파수 영역에서 왜곡을 일으킨다. 따라서 단순히 S 파라미터를 배열한 선형 파라미터가 아니라, 반도체 구조자체에 근거한 형태의 비선형 소자 파라미터를 이용하여 Harmonic Balance에 기초한 비선형 시뮬레이션을 해야 한다. 즉, 비선형 곡선특성을 넓은 범위에서 소화할 수 있도록 수치 해석적인 함수 형태의 fitting이 필요하다. 이러한 비선형 모델은 다양한 종류가 존재하며, 사용자는 자신의 목적에 부합되는 비선형 모델을 먼저 선택한 후, 해당 모델에 대한 소자 파라미터 파일을 구하든지 측정해서 얻어내야 한다. 특히 비선형 모델 특성상 제조사측에서 모든 모델에 대한 파라미터 파일을 제공해주지 못하기 때문에 소프트웨어의 라이브러리

리에 의존하는 경향이 강해진다. HP사의 ADS나 Ansoft 사의 Serenade 등의 비선형 시뮬레이터들 자체에도 많은 양의 모델 라이브러리가 내장되어 있지만, 역시 모든 종류의 모델 파라미터를 제공할 수 없기 때문에, 별도의 도구를 사용하여 추출해내는 방법을 많이 권장하고 있으며, HBT의 경우 NPN/PNP Gummel-Poon 비선형 채널전류 모델을 사용하고 있다. 단순히 S 파라미터의 나열만 존재하는 선형 파라미터와는 달리, 비선형 파라미터는 특정 모델식에 근거한 입력 파라미터 값을 기록한 파일이며, 이 모델을 구현하기 위한 각종 변수 값을 추출하고 최적화하는 것이 소자 모델링의 관건이다. 따라서 이러한 변수 값들을 기록한 비선형 소자 모델 파라미터 파일은 대부분 2진 파일로 코딩되어 함부로 수정이나 확인이 안되게 되어 있는 경우가 많다. 비선형 모델을 추출해 내는 것은 상당히 까다로운 작업이며, 이것은 측정방법에 따라서, 그리고 측정자의 숙련도에도 의존도가 높고 방법 또한 여러 가지 있기 때문인데, 일반적으로는 네트워크 분석기나 파라미터 분석기를 이용하여 I-V 커브 혹은 C-V 커브 등을 측정한 후, 소프트웨어적으로 그 값을 변환하여 비선형 모델 파라미터 파일을 얻는다. 즉 선형 파라미터 추출처럼 단순한 측정만으로는 추출이 불가능하고, 직접 제작한 코드 혹은 상용화된 모델링 도구를 이용하여 측정치의 정교한 변환이 요구된다.

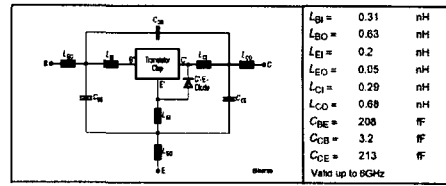


그림 3. BFP450 packaging 등가회로

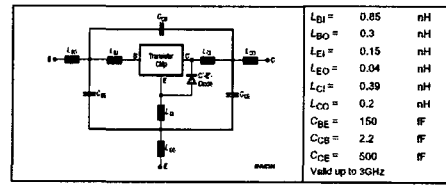


그림 4. BFP490 packaging 등가회로

본 논문에서는 능동소자로 infineon 社의 SiGe HBT를 사용하였는데, 그림 1과 2는 회사에서 제공한 SPICE 파라미터를 나타내고 있다. 그림 3과 그림 4는 BFP450과 BFP490을 SOT343과 SCT595 type으로 패키징했을 때의 등가 모델 파라미터를 나타내고 있다. 이러한 등가회로 파라미터를 기반으로 Gummel-Poon model을 사용하여 회로 시뮬레이터인 HPADS로 모델링 하였다.

### III. 전력증폭기 설계

앞 절에서 기술된 모델 파라미터를 바탕으로 모델링된 능동소자를 DC 시뮬레이션을 수행하여 증폭기의 동작점을 결정한 후 정합회로를 연결하여 회로를 설계한다.

표 1. 전력증폭기 설계 사양

항목	사양	단위
동작 주파수	1920-1980	MHz
출력전력	27	dBm
전력이득	24	dB
전력 부가효율	40	%

<표 1>은 설계할 IMT -2000 단말기용 전력증폭기의 설계 사양이다. BFP450과 BFP490의 컬렉터-에미터 사이에 걸릴 수 있는 최대 전압( $V_{CEO}$ )은 둘 다 4.5V 이하이다. BFP450과 BFP490의 컬렉터-에미터 전압은 단말기의 배터리를 기준으로 3.6V를 사용하였고, 바이어스 안정화를 위한 소자인 BFP620은 바이어스 제어 회로에 의해 2V와 1V를 사용하였다. 각소자

IS =	0.13125	fA	BF =	76.123	-	NF =	0.79652	-
VAF =	24.165	V	IKF =	0.58905	A	ISE =	28.341	fA
NE =	1.5563	-	BR =	21.254	-	NR =	1.2066	-
VAR =	13.481	V	IKR =	0.25878	A	ISC =	0.012292	fA
NC =	0.70543	-	RB =	5.403	$\Omega$	IRB =	0.013181	mA
RBM =	2.1659	$\Omega$	RE =	0.45346	$\Omega$	RC =	0.50084	$\Omega$
CJE =	3.2276	fF	VJE =	0.95292	V	MJE =	0.48872	-
TF =	7.5068	ps	XTF =	0.69972	-	VTF =	0.68148	V
ITF =	0.017655	mA	PTF =	0	deg	CJC =	1049.5	fF
VJC =	1.1487	V	MJC =	0.50644	-	XCJC =	0.28285	-
TR =	2.6912	ns	CJS =	0	F	VJS =	0.75	V
MJS =	0	-	XTB =	0	-	EG =	1.11	eV
XTI =	3	-	FC =	0.91274	-	TNOM =	300	K

그림 1. BFP450 SPICE 파라미터

IS =	0.451	fA	BF =	114.96	-	NF =	1.1472	-
VAF =	24.065	V	IKF =	0.76939	A	ISE =	1.591	pA
NE =	1.9962	-	BR =	21.04	-	NR =	1.3531	-
VAR =	16.035	V	IKR =	0.090033	A	ISC =	3.7479	fA
NC =	1.339	-	RB =	2.1262	$\Omega$	IRB =	0.17683	mA
RBM =	1.0754	$\Omega$	RE =	0.32476	$\Omega$	RC =	0.10737	$\Omega$
CJE =	1.227	fF	VJE =	0.93266	V	MJE =	0.36885	-
TF =	3.9147	ps	XTF =	-0.61664	-	VTF =	0.27348	V
ITF =	3.2793	mA	PTF =	0	deg	CJC =	6152.1	fF
VJC =	0.9832	V	MJC =	0.34153	-	XCJC =	0.3	-
TR =	1.115	ns	CJS =	0	F	VJS =	0.75	V
MJS =	0	-	XTB =	0	-	EG =	1.11	eV
XTI =	0	-	FC =	0.75835	-	TNOM =	300	K

그림 2 BFP490 SPICE 파라미터

의 DC I-V특성은 그림 5와 그림 6에 나타낸 것과 같다. 그림 5와 그림 6에서 1단은 효율을 위해 AB급으로 바이어스 시켰고 2단은 선형성을 고려하여 출력 왜곡 특성이 적은 A급으로 하였다. 하지만 A급은 무신호 상태에서도 전류가 흐르므로 배터리의 소모가 크다는 단점이 있다. 따라서 본 논문에서는 2단에서의 배터리 소모를 줄이기 위해서 단말기의 idle 상태에서는 바이어스 안정화 회로를 거친 외부 바이어스 회로에 의해 cut-off 상태가 된다.

콜렉터-에미터 전류는 바이어스 제어 회로의 Vce가 2V 일 때, 1단이 15mA, 2단은 280mA로 동작하고, 바이어스 제어 회로의 Vce가 1V 일 때 2단의 콜렉터-에미터 전류는 57.2 pA가 된다. 따라서 idle 상태에서는 전류가 거의 흐르지 않아 배터리 소모가 적다. 입·출력 정합회로는 최대출력을 전달할 수 있는 고출력 정합회로로 정합하였으며 단간 정합회로를 연결하여 2단으로 설계하였다. 기판의 사양은 표 2와 같다.

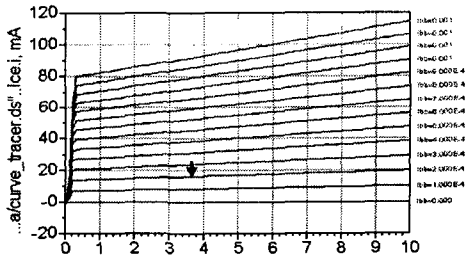


그림 5. BFP450 DC I-V 특성 곡선

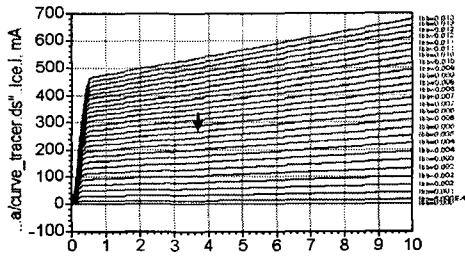


그림 6. BFP490 DC I-V 특성 곡선

표 2. 기판 사양

기판명	두께	비유전율	탄젠트손실
MX0250ST0508CHCH	20 mil	2.5	0.0017

그림 7은 설계된 전력 증폭기의 회로도를 보여주고 있다. 입·출력 정합회로와 단간 정합회로는 마이크로 스트립라인과 커패시터를 이용하였고, 바이어스 안정화회로를 연결하여 설계하였다. 그림 8에서는 증폭기의 입·출력 반사손실을 보여주고 있다. 1.95GHz에서 입력측 반사손실은 26dB, 출력측 반사손실은 13dB를 나타내고 있다. 선형 전력이득과 출력 전력은 그림 9와 그림 10에서와 같이 22dB 전력이득과 5dBm입력시 26.5dBm의  $P_{1-dB}$ 를 보여주고 있다. 그림 11에서는 전력부가효율을 나타내고 있으며, 부가효율은 입력이 5dBm 일 때 33%를 나타내고 있다. 그림 12는 설계된 전력 증폭기의 레이아웃을 보여주고 있다.

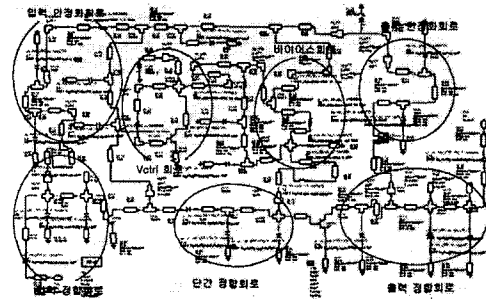


그림 7. 설계된 2단 증폭기 회로

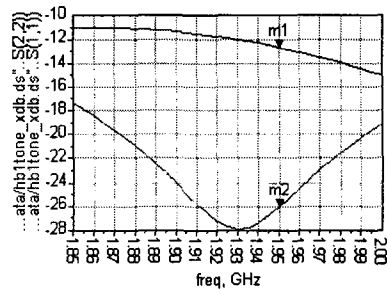


그림 8. 입출력 반사손실

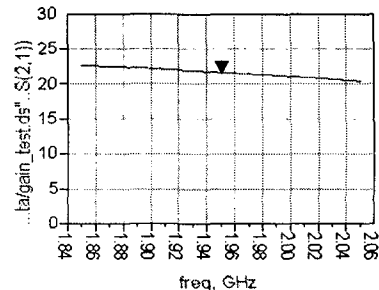


그림 9. 선형이득

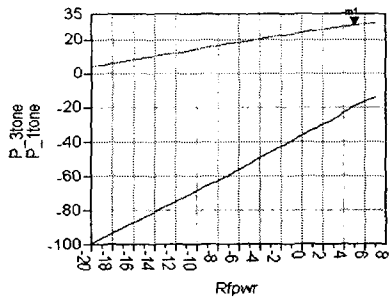


그림 10. 출력

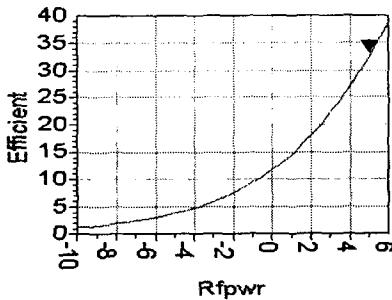


그림 11. 효율

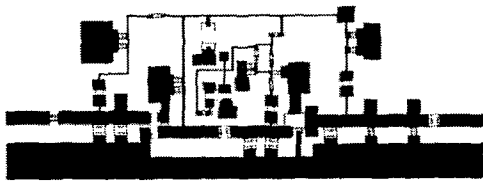


그림 12. 레이아웃

#### IV. 결론

본 논문에서는 광대역 멀티미디어 서비스로써 각광 받고 있는 차세대 이동통신 서비스인 IMT-2000 단말기용 전력증폭기를 SiGe HBT인 BFP450과 BFP490을 이용하여 설계하였다. HBT의 비선형 모델을 이용하여 설계한 2단 전력증폭기는 22dB 전력이득과 26.5dBm  $P_{1-dB}$ , 33 % PAE를 얻었다. 이는 설계 사양과 비교하여 출력전력은 0.5 dBm, 효율은 7%, 이득은 2dB 떨어진다. 향후 출력과 효율을 개선하여 제작할 필요가 있다.

#### 참고 문헌

[1] TS25.104 Technical Specification Group Radio

Access Networks; UTRA (BS) FDD; Radio transmission and Reception.

[2] TS25.101 Technical Specification Group Radio Access Networks; UE Radio transmission and Reception(FDD).

[3] TS25.141 Technical Specification Group Radio Access Networks; Base station conformance testion(FDD).

[4] TS34.121 Technical Specification Group Terminal; Terminal Conformance Specification; Radio transmission and reception (FDD).

[5] M. Nakayama et al., "An Amplitude and Phase Linearizing Technique for Linear power Amplifiers," Microwave Journal, pp. 100-104, Mar., 1996.

[6] K. Yamauchi et al., "A Novel Series Diode Linearizer for Mobile Radio Power Amplifiers." IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest, pp.831-834, 1996.

[7] Stephen A. Mass, Nonlinear Microwave Circuits, Artech House.

[8] 이성민, 김창우. "IMT-2000 단말기용 2단 전력증폭기 설계 및 제작". 레이저 공학, Vol.11, No.11, 2000

[9] 박성용. "SiGe HBT를 이용한 IMT-2000 단말기용 가변이득 증폭기 설계 및 제작". 경희대학교 석사논문. 2001