

휴대용 PCS 단말기를 위한 선형 전력증폭기 모듈의 구현

Development of a Linear Power Amplifier Module for PCS Handy Phone

노태문* · 한기천** · 김영식** · 박위상** · 김범만**

Tae-Moon Roh · Ki-Chon Han · Young-Sik Kim · Wee-Sang Park · Bum-Man Kim

요 약

고효율 및 고선형 특성이 요구되는 휴대용 PCS 단말기를 위한 전력증폭기 모듈을 구현하였다. 시스템의 요구 사양을 만족시킬 수 있는 능동 소자(MESFET)를 선택하고 이의 대신호 등가모형을 추출하여 모듈을 설계하였다. 모듈은 동작 주파수 1750~1780 MHz에서 동작하는 저속 보행자용과 고속 차량용의 2가지 종류로 구현하였다. 저속 보행자용 모듈은 드레인 바이어스 3.6 V 하에서 출력 전력 23.2 dBm, 효율 34 %, 이득 22.2 dB과 IMD₃ 31 dBc의 특성을 얻었고, 고속 이동용 모듈은 드레인 바이어스 4.2 V 하에서 출력 전력 27.2 dBm, 효율 33 %, 이득 21.3 dB과 IMD₃ 31 dBc의 특성을 얻을 수 있었다. 이 전력증폭기 모듈들은 PCS 단말기의 요구 사양을 만족시키는 우수한 특성을 가졌다.

Abstract

Linear power amplifier modules with high-efficiency have been developed for PCS handy phone. These modules were designed using extracted large-signal models of MESFETs and harmonic balance simulation. The modules are intended for low-tier and high-tier at the operation frequency range of 1750~1780 MHz. For low-tier module, the output power and IMD₃ were 23.2 dBm and 31 dBc, respectively, at power-added efficiency of 34 % with the supply drain bias of 3.6 V. For high-tier module, the output power and IMD₃ were 27.2 dBm and 31 dBc, respectively, at power-added efficiency of 33 % with the supply drain bias of 4.2 V. These linear power amplifier modules are suitable for PCS handy phone.

Key word : linear power amplifier module, PCS handy phone, Mesfet

I. 서 론

현대 문명의 핵심이라 할 수 있는 정보화 시대

전개되고 있으며 통신 기술은 이의 근간을 이루고 있다. 유선 방식에서 출발한 통신 기술은 사용자의 편의를 위하여 언제 어느 곳에서나 접속이 가능한 무선 통신으로 발전하고 있다. 무선 통신은 전파를

* 삼성전자(주) 무선사업부 무선기술개발그룹(Samsung Electronics Co., LTD, Wireless Terminals Division)

** 포항공과대학교 전자전기공학과 및 전자파특화연구소(Department of Electronic and Electrical Engineering and Microwave Application Research Center, Pohang University of Science and Technology)

· 논 문 번 호 : 970506-030

· 수정완료일자 : 1997년 11월 1일

매개체로 한다는 특성 때문에 공간상 제약의 극복, 설비의 경제성과 이용 가능성의 증대 등으로 이용자의 다양한 통신 욕구를 충족시켜 줄 수 있다. 포화 상태에 이른 800 MHz 대역의 셀룰러(cellular) 이동전화를 보완하고 개선시키기 위한 1750~1780 MHz 대역의 PCS(personal communication service)가 새로이 부각되고 있으며, 이의 효율적 활용을 위해서는 안정된 운영 체계나 훌륭한 통신 기지국 시스템뿐만 아니라 소형, 경량, 저가격의 무선 단말기의 공급이 필수적이다. 그러므로 경쟁력 있는 휴대단말기의 구현을 위해서는 전력증폭기, 발진기, 혼합기와 저잡음 증폭기 등과 같은 RF 핵심 부품의 연구 및 원천 기술 확보가 필요하다.

전력증폭기는 이동 통신 기기의 RF 모듈 중에 가장 중요한 부품이며 통신 기기의 품질과 소비 전력에 큰 영향을 미치며 특히 한정된 축전지를 사용하는 단말기용의 경우에 더욱 중요하다¹⁾. 그러므로 휴대단말기용 전력증폭기는 최대 출력 전력 조건, 동작 대기상태에서 우수한 효율 특성과 선형성이 확보되어야 한다²⁾. 이러한 전력증폭기 모듈은 사용 주파수 대역, 출력 전력, 선형성 및 효율 등의 시스템 요구 사양을 만족시키면서 부품의 수급이 용이한 전력 소자를 적절히 선택하고, 최적의 설계 이론과 방법을 이용하여 설계, 제작해야 한다. 시스템의 요구 사항을 만족시키는 증폭기의 구현을 위해 고출력, 고효율 및 저왜곡 특성을 가진 GaAs MESFET를 능동 소자로 선택하여 이의 대신호 등가 모형을 추출하였으며, 알루미늄 기판과 박막 회로 제조 기술을 사용하여 회로의 소형화 및 정밀화가 가능하도록 하였다³⁾. 추출한 MESFET들과 비선형 회로 해석 방법(harmonic balance : HB 방법)을 이용하여 고효율이면서 우수한 선형성을 보장하는 최적의 바이어스와 정합점을 찾아 설계하였다. 구현한 PCS 휴대단말기용 전력증폭기는 국내외에서 상용화 계획중인 저속 보행자용(출력 전력 23 dBm)과 고속 이동용(출력 전력 27 dBm)의 2가지 종류이다. 본 연구에서는 선형성이 우수하나 국내에서 아직 대량 생산을 위한 소자의 수급이 어려운

HBT(heterojunction bipolar transistor)⁴⁾ 및 HEMT(high electron mobility transistor)⁵⁾ 소자를 사용하지 않고 MESFET를 사용하여 선형 전력증폭기를 제작하였으며, 이의 측정 결과를 통해 PCS 단말기의 요구 사양을 거의 만족시키는 우수한 특성을 가졌음을 확인하였다.

II. 선형 전력증폭기의 설계 이론

디지털 신호 변조 방식에서의 전력증폭기는 고효율과 선형성을 동시에 요구하고 있다. PCS 단말기용 전력증폭기의 선형성을 나타내는 사양으로 ACPR(adjacent channel leakage power ratio) 특성과 3차 상호 혼변조 왜곡 (third order intermodulation distortion : IMD_3)을 많이 사용하는데, 본 연구에서는 PCS주파수 대역에서 CDMA 신호를 공급하는 신호발생기를 확보하기 어려워 왜곡 특성을 측정하는데 IMD_3 특성을 이용하고 있다.

전력증폭기와 같은 비선형 회로에 신호의 세기가 같고 주파수만 약간 다른 2개의 신호를 인가할 때

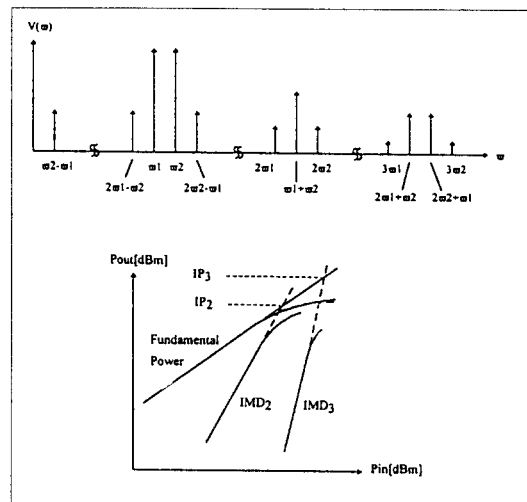


그림 1. 주파수 스펙트럼과 상호 혼변조 성분의 입출력 특성 곡선

Fig. 1. Characteristics of frequency spectrum and intermodulation components.

그림 1과 같이 상호 혼변조 왜곡 스펙트럼이 발생하게 되며, 전력증폭기의 비선형 특성으로 인해 고조파 성분과 상호 혼변조 성분들이 발생한다^[6]. 이때 기본파 전력과 3차 상호 변조파인 $2\omega_1 - \omega_2$ 또는 $2\omega_2 - \omega_1$ 의 전력차를 IMD₃로 정의하고 기본파의 전력과 3차 상호 변조파의 전력을 extrapolation하여 만나는 전력값을 IP₃로 정의하여 이들을 선형성의 척도로 사용한다. 선형성에 있어서 3차 상호 혼변조 성분이 중요한데 이는 기본파에 매우 근접해 있어서 선택성이 우수한 여파기를 사용하더라도 제거할 수 없어 기본파에 간섭을 일으키기 때문이다.

선형 전력증폭기를 구현하기 위한 일반적인 방법으로는 선형성이 우수한 능동 소자를 이용하는 방법과 사용하고자 하는 능동 소자의 최적 바이어스 조건 및 부하선을 선택하는 것이다. 선형성이 우수한 소자로는 HBT나 HEMT 등이 있으나 국내에서 아직 대량 생산을 위한 소자의 수급이 어려운 단점이 있다. 최적 바이어스 및 부하 조건을 찾아 전력증폭기를 구현하는 방법은 출력 전력, 효율 그리고 선형성에 관한 최적 조건을 구하기 위해 automatic tuner 시스템이나 HB 방법을 이용하여 적절히 선택한다. 또한 고조파 임피던스 최적화를 통

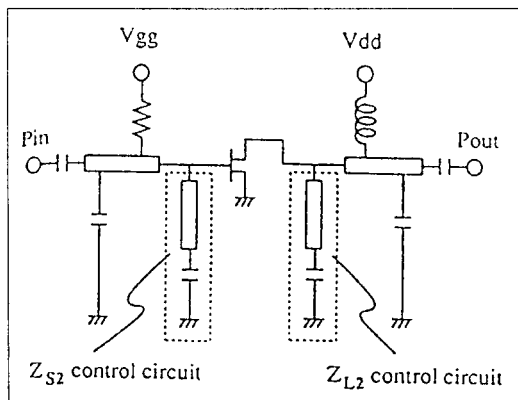


그림 2. 2차 고조파 임피던스 조정을 통한 선형성 및 효율 개선회로

Fig. 2. Circuit topology to improve linearity and efficiency using 2nd harmonic impedance tuning.

해 기본파 임피던스의 변화와 이득 및 효율 특성의 감소없이 선형성을 향상시킬 수 있는 방법이 있다^[7]. 그림 2는 2차 고조파 임피던스 조정을 이용한 선형성 및 효율 특성의 개선 예이다. 이는 IMD₃ 전력으로 변환되어 지는 $2\omega_1$, $\omega_1 + \omega_2$ 와 $2\omega_2$ 의 신호를 2차 고조파 임피던스 조정을 통해 제어함으로써 IMD₃ 전력을 줄이는 것이다^[8].

지금까지 살펴본 방법 이외에도 주로 기지국용 고선형성 전력증폭기를 구현하기 위한 선형화기를 이용한 predistortion 방식, feed-forward 방식, 고조파 궤환 회로를 이용한 방식 및 출력 적응 제어 방식 등이 많이 있으나 이 방법들은 구현상의 어려움과 회로 구성이 복잡해지는 단점으로 휴대단말기용 선형 전력증폭기에 사용하기 어렵다^{[9]-[15]}. 이상에서 보았듯이 휴대단말기용 선형 전력증폭기의 구현에는 효율, 선형성 및 구현상의 용이성까지 동시에 고려한 선형화 기법을 선택해야 한다.

III. PCS 전력증폭기 사양과 소자 모델링

3-1 전력증폭기 사양 및 능동 소자 선택

국내에서는 1750~1780 MHz 사용 주파수 대역의 PCS-CDMA 방식을 사용할 계획이며 이를 위한 전력증폭기 모듈의 사양은 표 1과 같다. 제한된 영역에서 시속 30 km 미만의 보행자를 위한 저속 보행자용(low-tier)과 넓은 영역에서 고속으로 이동하는 이동체의 통화 지원을 위한 고속 이동용(high-tier)의 2가지 종류의 모듈이 각각 필요하다. 전력증폭기의 구현을 위해서는 먼저 시스템의 요구 사양을 확인하고 이를 만족시키기 위한 적절한 능동 소자의 선택이 중요하다. PCS 휴대전화기용 전력증폭기 모듈의 구현을 위해 HBT나 HEMT에 비해 선형성은 떨어지는 단점이 있으나 비교적 저렴한 가격과 대량 생산을 위한 소자 수급이 용이한 고출력, 고효율 및 저왜곡 특성을 가진 OKI사의 MESFET(KGF-1284, KGF-1313, KGF-1606)을 선택하였다.

표 1. PCS-CDMA 방식 전력증폭기 모듈의 요구사항
Table 1. Specifications of power amplifier module for PCS-CDMA.

PCS-CDMA 방식 전력증폭기 모듈		
Frequency	1750~1780 MHz	
용도	저속 보행사용	고속 이동용
output power	23 dBm	27 dBm
gain	23 dB	23 dB
Input VSWR	< 2:1	< 2:1
efficiency (최대전력 조건)	>30 %(23 dBm)	>30 %(27 dBm)
efficiency (평균전력 조건)	>10 %(16 dBm)	
harmonics @ 2f _o , 3f _o	< -30 dBc	< -30 dBc
IMD ₃ or ACPR	< -30 dBc	< -28 dBc
동작 바이어스 크기	3.6 V 또는 4.2 V 1.2 cm×1.7 cm	4.2 V 또는 4.8 V 1.2 cm×1.7 cm

3-2 MESFET의 대신호 등가모형 추출

선택한 능동 소자들을 이용하여 전력증폭기를 비선형 회로 해석 방법으로 설계하기 위해서는 그림 3과 같은 소자의 대신호 등가모형이 필요하다^[16]. 대신호 등가모형 추출은 먼저 소신호 등가모형을 구한 후 전류-전압(I-V) 특성과 같은 비선형 요소를 포함하는 형태로 완성한다. 소신호 파라미터의 추출에는 100 지점 정도의 바이어스에 따른 소신호 산란 계수의 측정과 이의 근사화 및 바이어스 함수로의 표현이 필요하다^{[16], [17]}. 특히 MESFET의 가장 중요한 비선형 성분인 채널 전류의 올바른 측정과 모델링이 전력증폭기의 비선형 특성 예측을 위해 필수적이다. MESFET의 채널 전류는 바이어스 조건에 따라 다른 주파수 분산 특성(frequency dispersion characteristics)을 가지게 되어 각기 다른 I-V 특성을 보이므로 여러 동작점

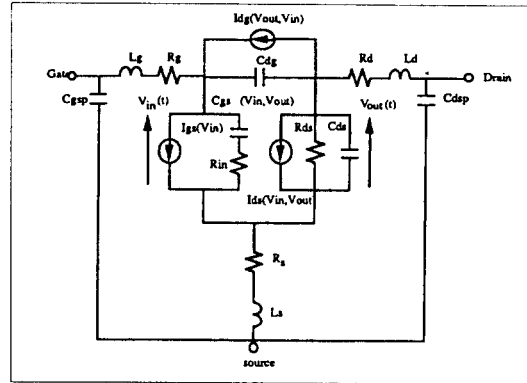


그림 3. MESFET 대신호 등가모형

Fig. 3. Large signal model of GaAs MESFET.

바이어스 상태에서의 펄스 I-V 특성을 측정하고 이를 이용하여 모델링하여야 한다^{[18]~[20]}. 본 연구에서는 동작점 바이어스 하에서의 펄스 I-V를 측정하고, 이를 채널전류식의 고차 미분항들이 불연속점을 가지지 않으면서 편치-오프 및 포화 특성을 포함하는 전체 I-V 특성을 정확히 표현하는 식 1의 표현식을 사용하여 채널 전류를 동작 바이어스에 관한 함수로 모델링하였다^{[21], [22]}.

$$I_{dsRF} = \beta [u + \ln(e^u + e^{-u})] \tanh(\alpha v_{ds})$$

$$V_p = V_{p0} + \gamma V_{ds}, \quad d = \left(\frac{v_b - V_{gs}}{V_p} \right)$$

$$u = A(1-d) - C \quad (1)$$

$$v_b = v_{b0} + v_{b1} * V_{dso} \quad A = A_0 + A_1 * V_{dso}$$

$$\gamma = \gamma_0 + \gamma_1 * V_{dso} \quad \beta = \beta_0 + \beta_1 * V_{gso}$$

$$\alpha = \alpha_0 + \alpha_1 * V_{dso} + \alpha_2 * V_{gso}$$

이러한 방법으로 모듈 구현에 사용되는 OKI사 KGF-1284, KGF-1313 및 KGF-1606의 대신호 등가모형을 모두 직접 추출하여 전력증폭기 모듈의 설계에 사용하였다.

IV. 전력증폭기 모듈의 설계와 제작

추출한 대신호 등가모형과 초고주파 CAD인 HP-EEsof사의 MDS를 이용하여 사양에 맞는 최적의 바이어스 및 입출력 정합 임피던스를 구하였다. 입출력 2차 고조파 임피던스 조정을 통해 휴대단말기용 선형 전력증폭기 모듈을 설계하였다. 설계된 전력증폭기는 그림 4와 같이 2단으로 간단히 구성되었다. 저속 보행자용 전력증폭기 모듈은 K-GF-1284와 KGF-1313으로 구현하였으며, 고속 이동용 전력증폭기 모듈은 더 많은 출력 전력을 요구하므로 KGF-1284와 KGF-1606을 사용하여 구현하였다. 입력 임피던스는 이득 정합, 출력 임피던스는 전력 정합 지점을 초기치로 하고, HB 방법을 이용하여 얻고자 하는 증폭 특성을 얻을 수 있는 최적 입출력 임피던스를 구하였다. 선형성 및 출력 전력 특성에 영향을 주는 출력 부하선은 일반적으로 최대 전력을 얻을 수 있는 전력 부하선 보다 낮은

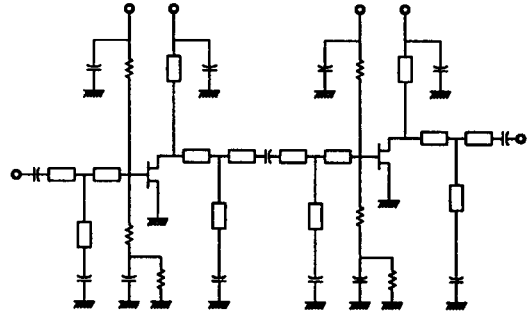


그림 4. PCS 휴대단말기용 2단 전력증폭기의 구성도
Fig. 4. Circuit topology of 2-stage power amplifier for PCS handy phone.

부하 저항 값을 가지게 된다. 게이트 바이어스는 휴대단말기용 전력증폭기의 중요 고려 사항인 대기 전류 (idle current)를 줄이기 위해 가능한 낮게 유지하면서 원하는 선형특성을 얻을 수 있게 선택하였다. 최적 입출력 임피던스는 증폭기의 이득 특성 보다는 왜곡이나 출력 전력 및 효율 특성에 중점을

표 2. PCS 휴대단말기용 전력증폭기의 특성 요약

Table 2. PCS power amplifier modules performances.

PCS-CDMA 방식 전력증폭기 모듈 특성				
Frequency	1750 ~ 1780 MHz			
	설계 결과		측정 결과	
용도	저속 보행자용	고속 이동용	저속 보행자용	고속 이동용
사용소자	MESFET	MESFET	MESFET	MESFET
Output power	23 dBm	27 dBm	23.2 dBm	27.2 dBm
Gain	22 dB	22 dB	22.2 dB	21.3 dB
Input VSWR	<2:1	<2:1	<2:1	<2.5:1
Efficiency	35 % (23 dBm)	32 % (27 dBm)	>34 % (23.2 dBm)	>33 % (27.2 dBm)
harmonics @ 2f ₀ , 3f ₀	< -30 dBc	< -30 dBc	< -30 dBc	< -26 dBc
IMD ₃	-30 dBc	-30 dBc	< -31 dBc	< -31 dBc
대기전류	105 mA	160 mA	<110 mA	<150 mA
동작 바이어스	3.6 V	4.2 V	3.6 V	4.2 V
크기	1×1 cm	1.1×1.6 cm	1×1 cm	1.1×1.6 cm

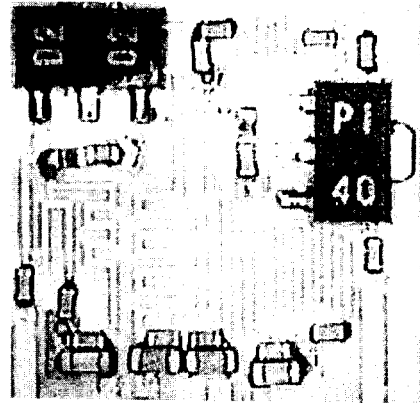
두어 추출하였고 구하여진 임피던스를 정합하기 위해 수동 소자를 사용하였다. 여기에 사용되는 수동 소자들의 특성은 일반적으로 1~2 GHz 주파수 대역에서부터 주파수에 따라 변하므로 이의 모델링이 필수적이며, 회로망 분석기로 측정하여 모델링하였다. 회로는 입력단의 VSWR 특성과 모듈 동작의 안정성을 확보하기 위해 게이트단에 병렬로 저항을 사용하였으며 게이트 바이어스는 수 kΩ의 저항을 통해 공급하고 드레인 바이어스는 $1/4 \lambda$ 전송 선로를 통해 선형성 및 효율을 개선시키면서 동작 주파수에서 바이어스 회로가 개방 회로로 보이게 설계하였다. 전력증폭기 모듈의 설계 결과는 표 2에 요약하였다.

그림 5는 제작 완성한 전력증폭기의 사진이다. 모듈의 제작은 절연성 기판 상에 증착(sputtering) 또는 인쇄 방법(screen printing)에 의해서 도체 배선을 완성하였다. 기판으로는 이동 통신용으로 흔히 사용되는 에폭시 및 테플론 기판에 비해 유전율이 크고 물리적 강도가 우수한 유전율 9.8, 두께 25 mil, 순도 96%의 알루미늄 기판을 사용하였다. 칩중 소자로는 1005 형태의 칩형 부품을 사용하여 표면 실장 방식으로 장착 하였다.

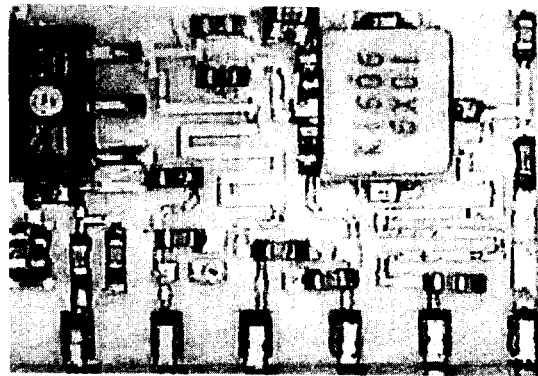
V. 측정 결과

제작한 저속 보행자용 전력증폭기의 입력 전력에 따른 출력전력, 효율 및 IMD_3 특성은 그림 6과 같다. 주파수 1765 MHz, 입력 전력 0.6 dBm에서 출력 전력 23.2 dBm, 효율 34%와 IMD_3 -31 dBc 이상의 특성을 보임을 확인할 수 있다. 그림 7은 출력 전력 23.2 dBm 하에서 스펙트럼 분석기를 사용하여 측정된 IMD_3 특성이다. 대신호 동작시 입력 VSWR은 최대 2:1, 게이트 전류는 0.3 mA 이하로 측정되었으며, 2차 및 3차 고조파 전력은 기본파에 비해 각각 -31 dBc와 -43 dBc로 측정되어 요구 사양을 만족시킴을 볼 수 있었다. 대기 상태의 직류 공급 전류는 110 mA 이하로 측정되었다.

출력 전력 27 dBm을 필요로 하는 고속 이동용



(a)



(b)

그림 5. PCS 휴대단말기용 전력증폭기의 사진

(a) 저속 보행자용 전력증폭기 모듈(크기:1×1 cm)

(b) 고속 이동용 전력증폭기 모듈(크기:1.1×1.6 cm)

Fig. 5. Photograph of power amplifier for PCS handy phone.

(a) low tier power amplifier module(size:1×1 cm)

(b) high tier power amplifier module(size:1.1×1.6 cm)

전력증폭기의 입력 전력에 따른 출력 전력, 효율 및

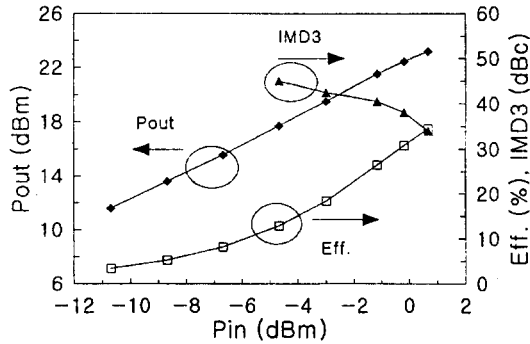


그림 6. 입력 전력에 따른 출력 전력, 효율 및 IMD₃ 특성(저속 보행자용)

Fig. 6. Characteristics of output power, efficiency and IMD₃. (low tier)

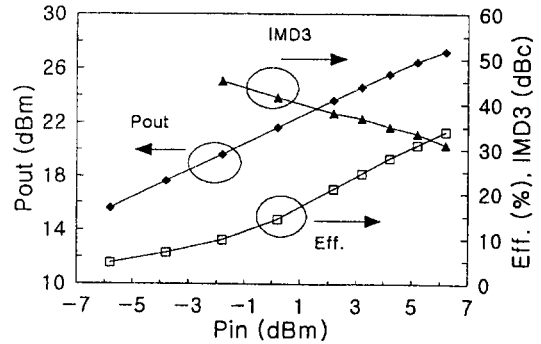


그림 8. 입력 전력에 따른 출력 전력, 효율 및 IMD₃ 특성(고속 이동용)

Fig. 8. Characteristics of output power, efficiency and IMD₃. (high tier)

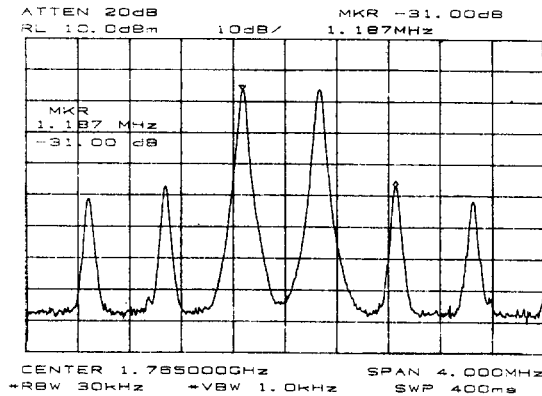


그림 7. 저속 보행자용 전력증폭기의 스펙트럼 특성 (출력 전력 23.2 dBm)

Fig. 7. Output spectrum of power amplifier. (output power 23.2 dBm)

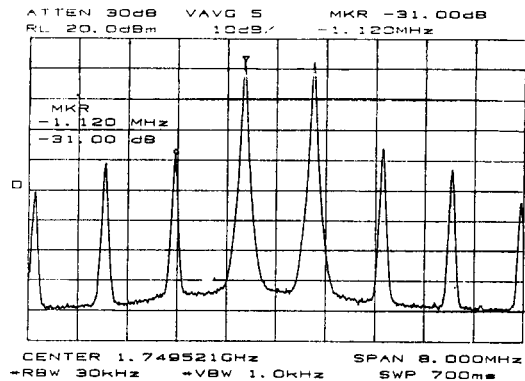


그림 9. 고속 이동용 전력증폭기의 스펙트럼 특성(출력 전력 27.2 dBm)

Fig. 9. Output spectrum of power amplifier. (output power 27.2 dBm)

IMD₃ 특성은 그림 8과 같다. 주파수 1765 MHz, 입력 전력 6.3 dBm에서 출력 전력 27.2 dBm, 효율 33 %와 IMD₃ -31 dBc 이상의 특성을 보임을 확인할 수 있다. 그림 9는 출력 전력 27.2 dBm 하에서 스펙트럼 분석기를 사용하여 측정된 IMD₃ 특성이다. 대신호 동작시 입력 VSWR은 최대 2.5:1

로 측정되었으며, 2차 및 3차 고조파전력은 기본파에 비해 각각 -26 dBc와 -38 dBc로 측정되었다. 대기 상태의 직류 공급 전류는 150 mA 이하로 측정되었으며, 구현한 PCS 휴대단말기용 전력증폭기의 전체 성능은 표 2에 요약하였다. 표 2에서 볼 수 있는 설계치와 측정 결과의 차이는 구현에 사용

한 소자 모형들과 실제 특성간의 차이에서 크게 기인한 것이며, 또한 설계 회로를 실제 알루미늄 기판 위에 구현시의 오차 및 소형 수동 소자 장착시의 위치 오차 등에 의한 것으로 사료된다.

VI. 결 론

본 논문에서는 국내외에서 상용화 계획중인 PCS 저속 보행자용(출력 전력 23 dBm)과 고속 이동용(출력 전력 27 dBm) 전력증폭기 모듈을 고출력, 고효율 및 저왜곡 특성을 가진 OKI사의 MESFET을 이용하여 구현하였다. 특히, 선형성이 우수하나 국내에서 아직 소자의 수급이 어려운 HBT나 HEMT 소자를 사용하지 않고 MESFET을 사용한 선형 전력증폭기를 설계/제작하였다. 먼저 MESFET의 대신호 등가모형을 추출하였으며, 알루미늄 기판과 박막 회로 제조 기술을 사용하여 회로의 소형화 및 정밀화가 가능하도록 하였다. 그리고 추출한 MESFET의 대신호 등가모형들과 비선형 회로 해석 방법을 이용하여 고효율이면서 우수한 선형성을 보장하는 최적의 바이어스와 정합점을 찾아 전력증폭기를 설계하였다. 또한 2차 고조파 임피던스의 조정을 통한 선형성 개선을 시도하였다. 구현한 저속 보행자용 전력증폭기 모듈은 주파수 1765 MHz, 입력 전력 0.6 dBm에서 출력 전력 23.2 dBm, 효율 34 %와 IMD_3 -31 dBc 이상의 특성을 보였으며, 고속 이동용 전력증폭기는 주파수 1765 MHz, 입력 전력 6.3 dBm서 출력 전력 27.2 dBm, 효율 33 %와 IMD_3 -31 dBc 이상의 특성을 가짐을 확인하였다. 이러한 측정 결과들은 PCS 시스템의 요구 사양을 거의 만족시키는 우수한 특성으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 통상산업부의 공업기반기술개발사업의 부분적인 도움에 의해 수행되었음을 알려드리며, 증폭기 모듈의 제작에 도움을 주신 LG정보통

신주식회사 HIC개발실과 단암산업주식회사 관계자 여러분께 감사드립니다.

참 고 문 헌

- [1] S. J. Maeng, C. S. Lee, K. J. Youn, J. L. Lee, and H. M. Park, "A 3.3 V, 1.4 W GaAs Power Amplifier for CDMA/AMPS Dual-mode Cellular Phone," *IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest*, pp. 571-574, 1995.
- [2] K. Yamamoto, K. Maemura, M. Komaru, N. Kasai, T. Oku, Y. Sasaki, and N. Tanino, "A 3.3 V, 1 W GaAs one-chip power amplifier MMIC for cellular phones," *European Microwave Conference Digest*, pp. 1066-1071, 1994.
- [3] 노태문, 박위상, 김범만, 박상욱, 우준환, 조용래, "휴대용 TRS 단말기를 위한 고효율 3W 급 전력증폭기 개발," *Telecommunication Review*, 제6권 4호, 8월 1996.
- [4] Chang-Woo Kim, Nobuyuki Hayama, Norio Goto, and Kazuhiko Honjo, "High-Linearity and Small-Chip AlGaAs/GaAs Power HBT's for L-band Personal Digital Cellular Applications," *IEEE Electron Devices Letters*, pp. 147-149, April, 1997.
- [5] H. Ono, Y. Umemoto, M. Mori, M. Miyazaki, A. Terano, and M. Kudo, "Pseudomorphic Power HEMT with 53.5 % Power Added Efficiency for 1.9 GHz PHS Standards," *IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest*, pp. 547-550, 1996.
- [6] Stephen A. Maas, *Nonlinear Microwave Circuits*, Artech House, 1988.
- [7] H. Kawasaki, T. Ohgihara, and Y. Murakami, "An investigation of IM3 Dis-

- tortion in Relation to Bypass Capacitor of GaAs MMIC's", *IEEE Microwave and Millimeter-Wave Monolithic Circuits Symposium Digest*, pp. 119-122, 1996.
- [8] M. Nakamura, M. Maeda, H. Takehara, H. Masato, S. Morimoto, and Y. Ota, "High Efficiency Linear Amplifiers Using Source Second-Harmonic Control for Digital Cellular Phones," *Asia Pacific Microwave Conference Digest*, pp. 64-67, 1995.
- [9] M. Nakayama, K. Mori, K. Yamauchi, Y. Itoh, and Y. Mitsui, "An Amplitude and Phase Linearizing Technique for Linear Power Amplifiers," *Microwave Journal*, pp. 100-104, March, 1996.
- [10]. K. Yamauchi, K. Mori, M. Nakayama, Y. Itoh, Y. Mitsui, and O. Ishida, "A Novel Series Diode Linearizer for Mobile Radio Power Amplifiers," *IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest*, pp. 831-834, 1996.
- [11] M. R. Moazzam, and C. S. Aitchison, "A Low Third Order Intermodulation Amplifier with Harmonic Feedback Circuitry," *IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest*, pp. 827-830, 1996.
- [12] H. Seidel, "A Feed-Forward Experiment Applied to an L-4 Carrier System Amplifier," *IEEE Trans. on Comm*, pp. 320-325, June, 1971.
- [13] M. Kumar, J. C. Whartenby, and H. J. Wolkstein, "Predistortion Linearizer Using GaAs Dual Gate MESFET for TWT and SSPA Used in Satellite Transponders," *IEEE Trans. on MTT*, pp. 1479-1488, Dec., 1985.
- [14] 정용채, 장익수, 윤상원, 김철동, "혼변조 신호의 개별 차수 조정 Predistortion 선형화기 설계에 관한 연구," *대한전자공학회논문지*, 제33권, A편, 제9호, pp. 79-88, 9월, 1996.
- [15] G. Zhao, F. M. Ghannouchi, F. Beaurégard, and A. B. Kouki, "Digital Implementations of Adaptive Feedforward Amplifier Linearization Techniques," *IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest*, pp. 543-546, 1996.
- [16] W. R. Curtice, "GaAs MESFET Modeling and Nonlinear CAD," *IEEE Trans. MTT*, pp. 220-230, Feb., 1988.
- [17] J. L. B. Walker, *High-Power GaAs FET Amplifiers*, Norwood, MA, Artech House, 1993.
- [18] Sam Pritchett, Ryan Stewart, James Mason, and Gailon Brehm, "Precision Pulsed I-V System for Accurate GaAs Device I-V Plane Characterization," *IEEE MTT-S Digest*, pp. 1353-1356, 1994.
- [19] 노태문, 김영식, 서영석, 박위상, 김범만, "MESFET 채널전류 측정용 펄스 I-V 시스템," *마이크로파 및 전파전파연구회 학술발표회 논문집*, 제19권 제1호, pp. 32-34, 5월, 1996.
- [20] Kye-ik Jeon, Young-se Kwon, and Song-cheol Hong, "A Frequency Dispersion Model of GaAs MESFET for Large Signal Application," *무선통신용 MMIC 및 Module 워크샵 자료집*, pp. 149-151, 10월, 1996.
- [21] 노태문, 김영식, 김영웅, 서영석, 박위상, 김범만, "바이어스 효과를 포함하는 GaAs MESFET의 새로운 비선형 채널전류 모형," *대한전자공학회논문지*, 제34권, D편, 제4호, pp. 17-26, 4월, 1997.
- [22] Tae. Moon Roh, Youngsik Kim, Youngsuk Suh, Wee Sang Park, and Bumman Kim, "A Simple and Accurate MESFET

Channel-Current Model Including Bias-Dependent Dispersion and Thermal Phenomena," *IEEE Trans. MTT*, vol. 45, no. 8, pp. 1252-1255, August, 1997.

노 태 문



1968년 9월 3일생
 1991년 : 연세대학교 전자공학과(공학사)
 1993년 : 포항공대 전자전기공학과(공학석사)
 1997년 : 포항공대 전자전기공학과(공학박사)

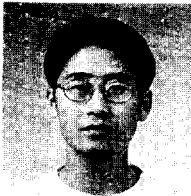
1997년~현재 : 삼성전자 무선사업부 무선기술개발그룹 연구원
 [관심분야] 초고주파 및 이동통신용 능동소자 모델링, 회로 설계

한 기 천



1973년 7월 4일생
 1996년 : 포항공대 전자전기공학과(공학사)
 1996년~현재 : 포항공대 전자전기공학과 석사과정
 [관심분야] 초고주파 회로설계

김 영 식



1969년 9월 23일생
 1993년 : 포항공과대학교 전자전기공학과(공학사)
 1995년 : 포항공과대학교 전자전기공학과(공학석사)
 1995년~현재 : 포항공과대학교 전자

자신기공학과 박사과정
 [관심분야] 초고주파 능동소자 모델링 및 회로 시뮬레이터 개발

김 범 만



1972년 : 서울대학교 전자공학과(공학사)
 1974년 : University of Texas(공학석사)
 1979년 : Carnegie-Mellon University(공학박사)

1978년~1981년 : GTE Laboratory 연구원
 1981년~1989년 : Texas Instrument 책임연구원
 1988년~현재 : 포항공과대학교 전자전기공학과 교수
 [관심분야] 초고주파 반도체 소자 및 회로연구

박 위 상

1974년 : 서울대학교 전자공학과(공학사)
 1982년 : University of Wisconsin-Madison(공학석사)
 1986년 : University of Wisconsin-Madison(공학박사)
 1984년~1986년 : Univ. of Wisconsin, 연구 및 강의조교

1986년~1988년 : Wichita State Univ., 객원조교수
 1989년~현재 : 포항공대 전자전기공학과 부교수
 [관심분야] 마이크로파 회로 설계, 마이크로파 전개 측정, 안테나 해석