

논문 2006-43TC-8-11

바이어스 스위칭을 이용한 이중 모우드 전력 증폭기 효율 개선

(Efficiency Improvement for Dual Mode Amplifier Design Using Bias Switching)

이 영 민*, 구 경 현**

(Young Min Lee and Kyung Heon Koo)

요 약

본 논문은 이중 모우드 송신기에서 효율을 증가시킬 수 있는 새로운 기법을 제시하였다. 미래의 이중 모우드 송신기는 다른 주파수 대역에서 서로 다른 출력을 갖는 증폭기로 구성되어 진다. 와이브로는 2.3GHz 대역에서 1W의 출력을 갖고 무선랜은 2.4GHz에서 100mW의 출력전력을 갖는다. 본 논문은 단순한 바이어스 스위칭 방법으로 위 두 시스템에서 각각 높은 효율을 얻을 수 있음을 제안하였다. 바이어스 스위칭을 사용하지 않은 증폭기의 경우 20dBm의 출력을 갖는 무선랜 주파수 대역에서 효율이 10%로 나타났으나 바이어스 스위칭을 사용하게 된다면 더 낮은 바이어스에서 35%의 효율을 나타내었다. 따라서 이 기술은 더욱 많은 기능이 융합되는 미래의 다중 대역 단말시스템에 매우 유용할 것이다.

Abstract

This paper presents a novel technique of efficiency enhancement for dual mode transmitter. The future dual mode transmitter incorporates an amplifier which generates different level of output for different applications. For WiBro, the output is 1W at 2.3GHz, and for wireless LAN, the output is less than 100mW at 2.4GHz. Simple bias switching is proposed to get the higher efficiency at both of the applications. Without the bias switching the amplifier shows 10% PAE at 20dBm output for wireless LAN, but using a preselected lower bias, the efficiency improves up to 35%. This technique becomes more useful as the need of many function convergence terminals is increasing.

Keywords : Power Amplifier, Bias switching, WiBro, Wireless LAN

I. 서 론

최근 다양한 이동통신 서비스의 빠른 발전으로 우리나라에서는 와이브로(WiBro)라 칭하는 2.3GHz의 주파수 대역을 이용하며 이동 중에도 고속으로 데이터 전송이 가능한 휴대 인터넷 서비스가 제공되게 되었다. 휴대 인터넷은 이동성이 강조되면서 100Km/h 이상의 속도로 이동 중에도 수Mbps 이상의 전송 속도를 갖도록 구현된 새로운 기술이다. 이러한 와이브로의 주파수 대역에 인접한 2.4GHz ISM 대역에서는 기존에 무선랜 서비스가 제공되고 있다. 기술의 발전 속도를 볼 때 향후에는 기존 휴대폰 사용자들에게 이동통신과 와이브

로 서비스를 동시에 제공하는 DBDM (Dual Band Dual Mode) 단말기 또는 스마트 폰이 개발되어 제공 될 것이다.^[1,2] 이러한 무선 이동통신 기술의 발전은 신규 서비스를 지원할 수 있는 새로운 RF 회로 설계기술을 필요로 하고 있다. 그중 시스템 송신 전력의 상당 부분을 소비하는 전력증폭기는 높은 효율을 얻기 위한 다양한 연구가 진행되고 있다. 기존에 전력 증폭기의 효율을 개선하기 위한 방법으로 Doherty 증폭기, 동적 바이어스(Dynamic bias) 및 적응형 바이어스(Adaptive bias) 등의 구조적인 해결방법이 있다.^[3,4,5,6] 이러한 연구들은 단일 주파수 대역에서 동작하는 전력증폭기의 효율을 개선하는데 초점이 맞추어져있으며 앞으로 등장하게 될 DBDM 시스템에 대한 연구가 추가로 필요 할 것으로 생각된다. 본 논문에서는 와이브로와 무선랜 을 동시에 지원할 수 있는 다중대역 전력증폭기의 효

* 학생회원, ** 정회원, 인천대학교 전자공학과
(Dept. of Electronics Eng., University of Incheon)
접수일자: 2006년5월15일, 수정완료일: 2006년8월18일

율을 향상시킬 수 있는 새로운 적응형 바이어스 시스템을 제안하고자 한다. 기존의 적응형 바이어스 시스템은 방향성 결합기(directional coupler)나 포락선 검파기(envelope detector)와 같은 부가적인 시스템이 필요하기 때문에 복잡한 구조였다. 본 논문에서는 베이스밴드 단에서 입력 신호를 구분하고 각 주파수 및 모우드에 따라 최적화된 DC 바이어스 전압으로 스위칭하는 방식을 제안하였다. 제안된 개념을 검증하기 위하여 선형성이 좋은 A급 및 AB 급 증폭기를 바탕으로 이중 모우드 증폭기를 설계 및 제작하여 특성을 측정하였다.

II장에서는 제안된 바이어스 스위칭 기법을 이용한 고효율 전력증폭기의 설계 및 기본 동작원리를 설명하였으며, 제안된 기술을 이용한 증폭기 설계 및 시뮬레이션특성에 관한 내용을 기술하였다. III장에서는 제작된 증폭기의 특성을 측정하여 성능 향상 특성을 나타내었다. 마지막 장에서는 주요한 측정 결과를 요약하고 결론을 제시하였다.

II. 증폭기 설계 및 시뮬레이션

적응형 바이어스 기법은 효율을 개선하기 위한 기술이다.^[7] 그림 1에서 현재 사용되는 적응형 바이어스 전력증폭기의 대략적인 블록도를 나타내었다. 단일 주파수 대역의 신호가 입력되면 directional coupler로 신호 전력을 분배하고 envelope detector를 통해 입력신호를 검출한다. 그리고 최적의 효율을 얻기 위해 envelope shaping circuit으로 DC 바이어스를 제어한다. 이때 공급된 바이어스 전압에 따라 트랜지스터를 구동하게 된다. 본 논문에서는 주파수나 모우드에 관한 정보를 검출하는 directional coupler, envelope detector, envelope shaping circuit을 제거하고 송신기 내부의 베이스밴드 시스템에서 필요한 정보를 얻도록 하였다. 송신기 내부적으로 구분된 무선랜과 와이브로의 신호에 따라 바이어스 스위치 유닛을 제어하여 각 신호에 최적화된 바

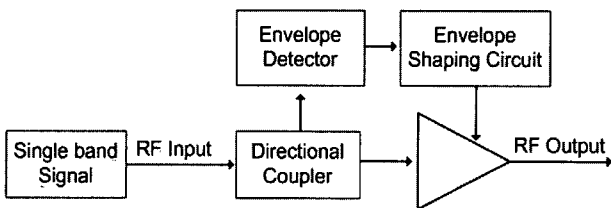


그림 1. 적응형 바이어스를 이용한 전력증폭기 블록도
Fig. 1. Block diagram of adaptive bias power amplifier.

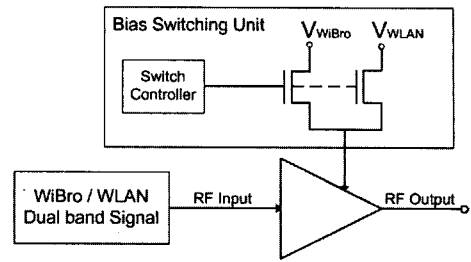


그림 2. 제안된 바이어스 스위칭 전력증폭기 블록도
Fig. 2. Block diagram of proposed power amplifier

이어스를 공급하게 된다. 그림 2는 제안된 바이어스 스위칭 전력증폭기의 블록도이다.

본 논문에서 제안된 전력증폭기는 무선랜과 와이브로의 이중 대역에서 동작하기 위해 이득 10dB 이상을 갖도록 하였고 효율은 각 주파수 대역에서 35% 이상 유지하도록 목표 사양을 설정하였다. 설계 및 시뮬레이션은 회로해석 ADS (Advanced Design System) 시뮬레이터를 사용하였으며 출력전력 1W 인 와이브로를 기준으로 출력회로를 설계하였다. 이를 위하여 출력이 1W급인 ATF-50189 Enhanced mode pHEMT 트랜지스터를 사용하여 회로를 구성하였다.

무선랜과 와이브로의 주파수 대역이 근접하고 출력의 차이가 10dB로 10배의 차이를 보인다. 그래서 입출력 전력이 큰 와이브로를 기준으로 최대 출력을 얻도록 설계를 하였다. 그림 3은 충분한 출력을 얻기 위해 2.3GHz 주파수에서 Load-pull 시뮬레이션을 하기 위한 회로도이다.

시뮬레이션 결과 최대 전력 전달 임피던스 점은 14.4 +j4 로 나타났고, 이점에서 최대 전달전력은 29.8dBm 이고 PAE는 약 43%이다. 그림 4는 Load-pull 시뮬레이션 결과를 스미스차트에 나타낸 것이다.

무선랜 신호는 와이브로와 비교해 입출력 전력이 낮고 인접한 주파수 대역이기 때문에 DC 바이어스 전압을 조절하여 효율을 개선할 수 있다.

각 주파수에 따라 최적의 바이어스 전압을 결정하기 위하여 이득과 전력부가효율(PAE)을 시뮬레이션 하였다. 사용한 트랜지스터의 드레인 동작전압인 0V부터 8V까지 점차 증가시켜가며 효율과 이득 특성을 시뮬레이션 하였다. 최적의 바이어스 전압을 결정하기위해 무선랜 및 와이브로의 각 주파수에 따라 이득과 전력부가효율(PAE)을 시뮬레이션 한 결과를 그림 5에 그래프로 제시하였다. 그래프에서 보듯 입출력 전력이 낮은 무선랜은 1V에서 2V정도의 낮은 바이어스 전압에서

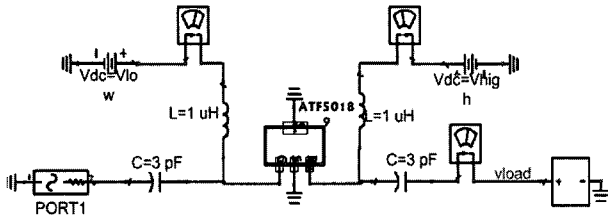


그림 3. 기본적인 load-pull 시뮬레이션 회로
Fig. 3. Basic load-pull simulation circuit.

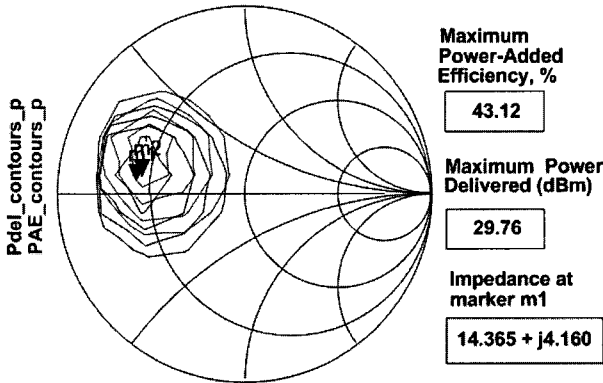


그림 4. Load-pull 시뮬레이션 결과
Fig. 4. Result of load-pull simulation.

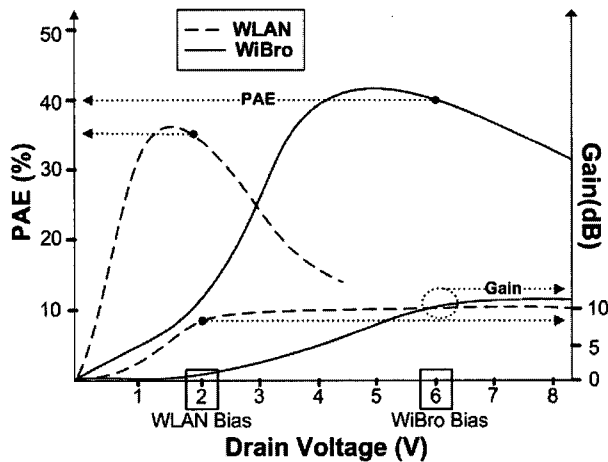


그림 5. 효율과 이득을 고려한 DC바이어스 선택
Fig. 5. DC bias selection for efficiency and gain at each signal frequency.

충분한 효율과 이득을 얻을 수 있다. 그리고 입출력 전력이 큰 와이브로는 5V 이상의 높은 전압에서 높은 효율과 이득을 유지하였다. 설계 목표의 이득과 효율을 갖기 위해 무선랜 신호는 35%의 PAE와 8dB의 이득 특성을 갖는 2V를 최적 바이어스로 선정하였고, 와이브로 신호가 입력되었을 때는 40%의 PAE와 10dB 이득을 갖는 6V를 적합한 바이어스 포인트로 각각 선정하였다. 그림 6에는 설계한 증폭기의 입출력 반사손실을 시뮬레이션한 결과를 나타내고 있다. 2.3~2.5GHz의 대역에서 입출력 반사손실은 -30dB 이하로 측정되었

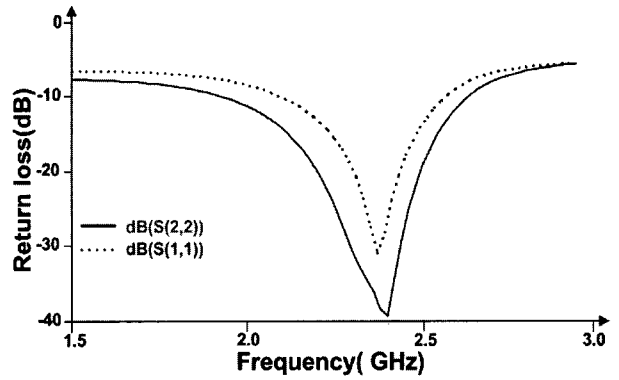


그림 6. 2.3~2.5GHz에서 입출력 반사손실 시뮬레이션
Fig. 6. Input and output return loss simulation from 2.3GHz to 2.5GHz for the designed amplifier.

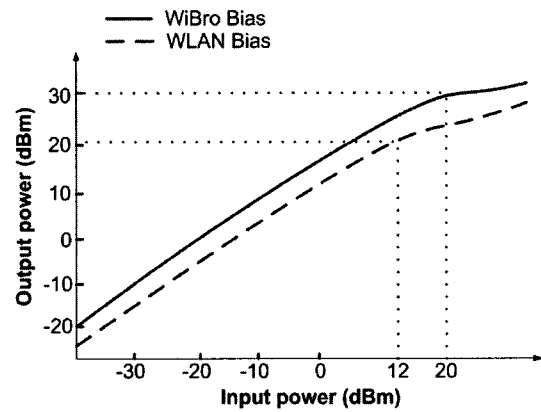


그림 7. 각 신호의 최적 바이어스에서 출력
Fig. 7. Output with optimum bias for WiBro or WLAN.

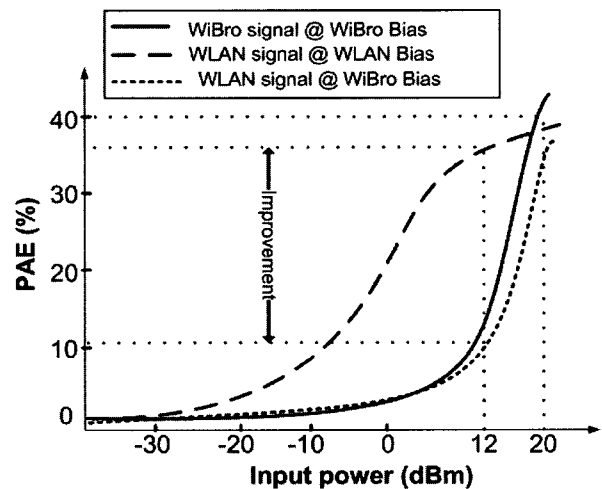


그림 8. 바이어스 스위칭을 통한 효율개선
Fig. 8. PAE improvement by bias switching.

다. 소신호 시뮬레이션을 한 이후 각각의 신호에 따라 최적의 바이어스를 인가하여 증폭기의 출력전력을 시뮬레이션 하였다. 그림 7에서 그 결과를 그래프로 나타내었다. 와이브로 주파수 대역인 2.3~2.4 GHz에서 입력전력을 20dBm 인가하였을 때 출력전력은 30dBm으

로, 출력 1dB 압축점 (P_{1dB})을 나타내었다. 무선랜 주파수 대역인 2.4~2.4835 GHz에서는 입력전력을 12dBm 인가하였을 때 출력전력이 20dBm을 나타내었으며, 이 경우의 출력 P_{1dB}는 22dBm 이었다. 그림 8에서는 스위칭 바이어스를 적용해 각 주파수 대역에서 얻은 효율을 나타내고 있다.

와이브로와 무선랜에 최적화된 바이어스 전압을 인가했을 때 각각 40%, 35%의 효율 특성을 나타내었다. 이때 인가된 바이어스는 무선랜 신호에서 V_{ds}=2V 이고 V_{gs}=0.5V이었으며, 와이브로 신호에서 V_{ds}=6V 이고 V_{gs}=0.5V였다. 고정 바이어스 증폭기와 비교해 바이어스 스위칭을 적용한 경우가 35% 이상의 효율을 유지하였으며, 이는 25% 이상 개선된 효율 특성이다.

III. 증폭기 제작 및 특성 측정

Agilent Tech사의 ATF-50189 Enhanced mode pHEMT 트랜지스터를 사용하여 제안된 전력증폭기를 구현하였다. 사용된 트랜지스터는 비교적 높은 선형성과 최대 출력 1W를 갖는 특성을 갖고 있으며, 동작주파수는 50MHz ~ 6 GHz이다. 기판은 유전율이 3.48인 테플론을 사용하여 제작하였다. 그림 9는 마이크로스트립 라인을 사용한 하이브리드 구조의 전력증폭기를 나타낸다. 소신호 시뮬레이션을 통해 얻은 입출력 반사손실 데이터와 제작된 증폭기의 특성을 비교하기 위해 S 파라미터를 측정하였다.

제작된 전력증폭기의 입출력 반사손실을 측정한 결과를 그림 10에 나타내었다. 시뮬레이션에서 2.3~2.5GHz 대역에서 입출력 정합을 하였지만 측정과정에서 35% 이상의 효율을 갖도록 입출력 정합회로를 튜닝한 결과 중심주파수가 2.5GHz로 이동하였다. 이때 입출력 반사계수 S₁₁, S₂₂는

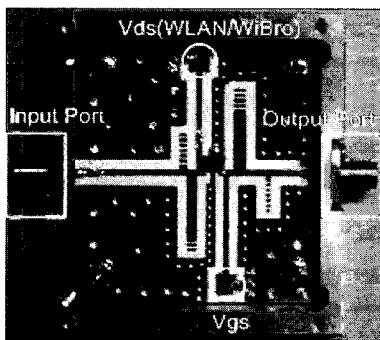


그림 9. 제작된 전력증폭기 사진
Fig. 9. Photograph of the designed power amplifier.

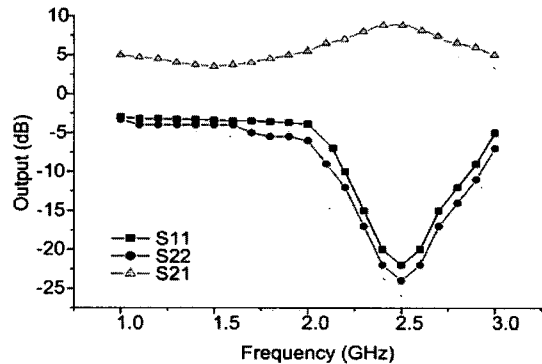


그림 10. 입출력 반사손실 측정
Fig. 10. Measured input and output return loss.

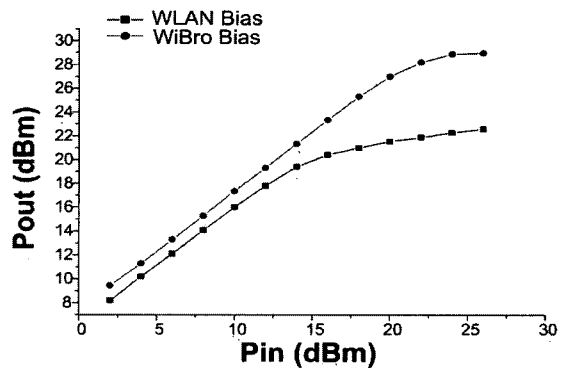


그림 11. 제작된 전력증폭기의 출력 전력 측정
Fig. 11. Output power of the designed power amplifier.

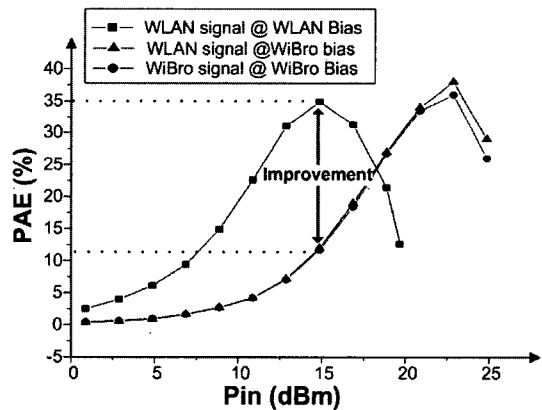


그림 12. 각 신호에 따라 바이어스 스위칭하여 측정된 전력부가효율(PAE)
Fig. 12. Measured PAE for each signal with bias switching.

-15dB 이하의 값을 갖는 것으로 측정되었다.

그림 11은 제작된 증폭기의 출력특성을 측정한 그래프이다. 무선랜 신호에 최적화된 바이어스를 인가하였을 때 출력 P_{1dB}는 20dBm이었으며, 와이브로 신호에 최적화된 바이어스를 인가했을 때는 30dBm의 출력 P_{1dB} 특성을 나타내었다.

각 바이어스 조건에서 입력 전력에 따른 PAE의 변

표 1. 와이브로와 무선랜의 측정 출력
Table 1. Measured data of WiBro and WLAN.

	WiBro	WLAN
Freq.	2.3 ~ 2.4 GHz	2.4 ~ 2.4835 GHz
Power	30dBm	20dBm
PAE	38% @WiBro bias	10% @WiBro bias
		35% @WLAN bias (25% improvement)

화를 측정하였다. 그림 12에서 보듯 측정결과 무선랜 신호의 경우 바이어스 스위칭 전력증폭기의 PAE는 35% 이었고, 고정된 바이어스 증폭기보다 최대 25% 증가하는 것을 확인하였다. 표 1에 제안한 증폭기의 측정결과를 정리하였다.

IV. 결 론

본 논문에서는 무선랜 및 와이브로 이중대역에서 바이어스 스위칭을 통해 높은 효율을 얻을 수 있는 전력증폭기를 제안하였다. 증폭기의 드레인 바이어스는 입력 신호에 따라 더 높은 효율을 얻도록 스위칭 된다. 입력 신호 레벨에 따라 드레인 전압을 스위칭하여 효율 특성을 개선한다는 것이 제안된 증폭기의 장점이다. 제안된 개념을 검증하기 위해 증폭기의 설계 및 특성 시뮬레이션을 한 후 하이브리드 형태로 제작하였다. 제작된 이중대역 바이어스 스위칭 증폭기는 1W의 출력을 갖는 ATF-50189 트랜지스터를 사용하여 2.35GHz와 2.45GHz에서 단일 주파수(single tone) 측정을 하였다. 무선랜 신호에서 제작된 증폭기는 35%의 PAE와 20dBm의 출력 전력을 갖으며 이는 고정 바이어스 전력증폭기의 효율보다 25% 특성이 개선된 결과이다.

본 연구의 결과 바이어스 스위칭 전력증폭기는 높은 전력효율을 나타내며 따라서 동작 주파수 대역과 출력 전력이 다른 다중모우드 다중대역 송신시스템에 유용함을 확인 할 수 있었다.

참 고 문 헌

[1] 지경용, 김문구, 임상민, "광대역 무선인터넷의 고객 수용도 분석 및 서비스 제공 방향," 통신시장, 통권 제 51호, 2003,12.

[2] 이은상, 방형빈, "사용자 관점에서 바라본 휴대인터넷," 통신시장, 통권 제 51호, 2003,12.

[3] So Bong Shin and Sang Gug Lee, "An adaptive bias circuits for high efficiency power amp," Proceedings of 2000 TENCON, vol. 2, pp. 30 - 32, 2000.

[4] Fun Ye, Jen Shiun Chiang, Chun Wen Chen, and Yu Chen Sung, "Dynamic bias circuits for efficiency improvement of RF power amplifier," Tamkang Journal of Science and Engineering, vol. 7, pp. 183-188, 2004.

[5] Jeonghyeon Cha, Youngoo Yang, Bumjae Shin, Bumman Kim, "An adaptive bias controlled power amplifier with a load-modulated combining scheme for high efficiency and linearity," IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig., vol 1, pp. 81-84, 2003.

[6] J. Lees, M. Goss, J. Benedikt and P.J. Tasker, "Single tone optimisation of an adaptive bias Doherty structure," Microwave Symp. Dig., vol 3, pp. 2213 - 2216, 2003.

[7] Kyoung Hoon Yang, G. I. Haddad, and J. R. East, "High efficiency class A power amplifiers with a dual bias control scheme," IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol. 47, pp. 1426 - 1432, 1999.

저 자 소 개



이 영 민(학생회원)
 2006년 인천대학교 전자공학과
 학사 졸업,
 2006년 현재 인천대학교 대학원
 전자공학과 석사과정
 <주관심분야 : 마이크로파 회로
 및 모듈 설계, 다중대역 전력증폭
 기 설계>



구 경 현(정회원)
 1981년 서울대학교 전자공학과
 학사,
 1983년 서울대학교 전자공학과
 석사,
 1991년 서울대학교 전자공학과
 박사,
 1999년~2000년 UC San Diego 방문학자,
 2001년~2002년 대한전자공학회 마이크로파 및
 전파연구회 위원장,
 2003년~현재 대한전자공학회 이사,
 통신소사이어티 부회장,
 1987년~현재 인천대학교 전자공학과 교수
 <주관심분야 : 마이크로파 회로 및 모듈 설계, 전
 력증폭기 선형화, 무선랜 시스템>