

항공교통관제용 UHF대역 전력 증폭기 설계 및 구현

Design and Realization UHF Power Amplifier for Air Traffic Control

강석엽*, 송병진**, 박욱기**, 고민호**, 박효달**

Suk-Youb Kang*, Byoung-Jin Song**, Wook-Ki Park**, Min-Ho Go**, and Hyo-Dal Park**

요약

본 논문에서는 항공관제용 UHF대역 25W 전력 증폭기를 설계 및 제작하였다. 전력 증폭기는 구동단, 전력 증폭단 및 제어부로 구성되었으며, 광대역 동작을 위하여 부궤환 회로 및 동축선로 발룬이 사용되었다. 선형성 및 효율성이 우수한 VDMOS를 전력소자로 사용하였으며, AB급 바이어스에서 push-pull 증폭을 하도록 설계하였다. 설계된 전력 증폭기는 게이트단에 음성 신호가 인가되었을 때 안정적인 AM 변조 특성을 나타내었으며, 상용 항공관제용 무선 송신기의 출력 사양을 만족하도록 설계 및 구현되었다.

Abstract

In this paper, the 25W power amplifier for UHF band radio transceiver has been designed and realized. The power amplifier was composed of drive, power amplifier and control stages. Feedback topology and coaxial line baluns were used for wide band operation. The VDMOS, which has reliable performance for linearity and efficiency, was used for power device and designed to operate as push-pull amplification at Class AB Bias. The power amplifier designed in such a way was found to show stable AM modulation performance when voice signal was detected at the gate stage, with being designed and realized to meet output specifications of commercial air traffic control transmitter.

Key words : 항공관제용, UHF, Power Amplifier

I. 서론

민간 및 군용 항공관제용 VHF, UHF 송수신기는 무선통신분야의 응용분야로, 국내에 항공기가 도입된 1946년 이래로 지속적으로 사용되고 있는 시스템이다[1]. 항공전자산업은 기술 집약형 고부가가치 산업으로써, 기술 파급효과가 큰 미래 산업이며, 미국, 영국, 프랑스 및 러시아 등의 항공 선

진 국가를 중심으로 발전되고 있다.

국내 항공전자산업은 국가 자원의 집중화 측면으로 인하여 상대적으로 많은 관심을 받지 못하였지만, 인천국제공항의 개항이래로 항공전자부품의 국산화 노력이 점차 활발해지고 있다. 현재 각국의 공항에서 사용되고 있는 항공전자통신기기는 많은 부분을 외국 선진 기술에 의존하고 있는 실정이며, 이로 인한 기기의 분석 및 수리가 어려운 단점을

* (주)아이엔텍(INtech co. Ltd.)

** 인하대학교 전자공학과(Dept. of Electronics Eng., Inha University)

· 제1저자 (First Author) : 강석엽

· 접수일자 : 2006년 2월 27일

가지고 있다[2],[3].

본 논문에서는 항공기의 안전한 항행을 위하여 지상 관제탑과 항공기 사이에서 음성 및 데이터를 전송하는 UHF 대역 송신기용 전력 증폭기에 대하여 연구하였다.

구현된 전력 증폭기는 UHF대역 송신기의 주파수 대역인 220MHz ~ 400MHz의 넓은 대역 내에서 평탄한 이득과 44dBm의 출력 전력을 낼 수 있도록 설계되었으며, 전체적인 구조는 push-pull로 동작하는 구동단 및 드레인-게이트 전류 궤환회로를 포함하는 전력 증폭단, 동축선로 발룬을 사용한 정합회로 등으로 구현하였다[4],[5].

II. 설계 및 시뮬레이션

항공교통관제용으로 국내에서 사용되고 있는 장비(PAE, JORTRON, MOTORORA, ITT, TOSHIBA)를 기반으로 설계 사양을 도출하였으며, Agilent사의 ADS2004 설계 Tool을 사용하여 회로를 설계하였다[6],[7],[8].

그림 1과 같이 25W 전력 증폭기는 온도 보상회로, 구동 증폭회로, 전력 증폭회로 및 push-pull 동작을 위한 발룬으로 구성되었다. 증폭소자로는 28V 인가 전압에서 MOSFET 보다 향상된 효율 특성을 갖으며 높은 열에서도 안정적인 동작특성을 갖는 VDMOS가 사용되었다[9].

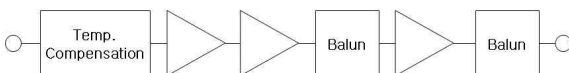


그림 1. 3단 전력 증폭기 구조
Fig. 1. Configuration of three-stage PA.

2-1 구동 증폭단

2단으로 구성된 구동 증폭단은 전력 증폭단에서의 전력 정합으로 인한 이득 감소를 보상하도록 설계되었다. 설계 및 제작에 사용한 소자는 VDMOS 계열의 L8821P 및 LK421이며, Polyfet사에서 제공한 대신호 S파라미터 값을 가지고 시뮬레이션 하였다.

그림 2는 구동 증폭단 회로도이다. 구동 증폭단

은 VDMOS의 안정도를 향상시키기 위한 게이트 직렬 저항과 평탄한 이득을 위한 드레인-게이트 궤환회로, 그리고 발룬으로 구현된 전력 분배 및 정합회로로 구성되었다.

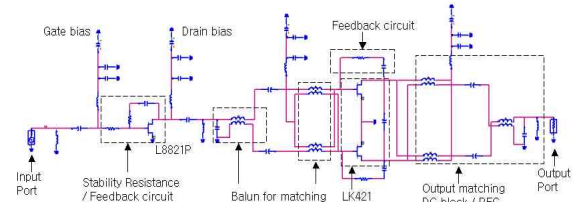


그림 2. 구동 증폭기 구조
Fig. 2. Schematic of drive stage.

2단으로 구성된 구동 증폭단의 입력 임피던스는 50Ω에 맞추었으며, 단 사이의 임피던스를 인터스테이지 방식으로 결합하여 회로의 부피와 전력 손실을 최소화 하였다. push-pull 구조를 위해 사용된 발룬은 입력 위상을 바꿔주는 기능 및 전력 분배기, 합성기의 역할을 하였다. 또한 임피던스가 다른 동축선로를 사용하여 광대역 입출력 정합회로를 구현하였다. 구동 증폭단의 입출력을 50Ω으로 정합한 후의 이득 및 반사특성을 그림 3에 나타내었다.

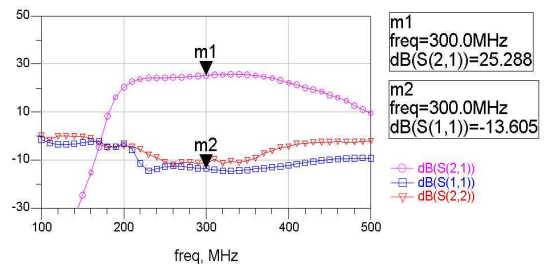


그림 3. 구동 증폭단의 시뮬레이션 결과
Fig. 3. Simulation result of drive stage.

2-2 전력 증폭단

전력 증폭단에 사용된 증폭소자는 SR704로써, 열에 대한 안정성과 높은 선형특성을 가지고 있다. 전력 증폭소자는 $V_{ds}=27V$, $V_{gs}=3.5V$ 로 AB급으로 동작되며, 입출력 정합회로는 동축선로 발룬과 커패시터가 사용되었다. 그림 4는 광대역 특성을 만족하도록 설계된 전력 증폭단 회로이다.

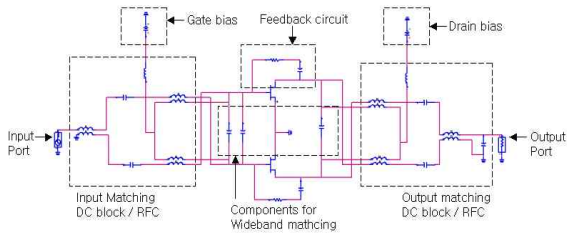


그림 4. 전력 증폭단 구조
Fig. 4. Schematic of power stage.

그림 5는 전력 증폭기의 출력반사계수와 load pull 시뮬레이션 결과를 나타낸다. 그림 5(a)는 구동단의 출력과 전력 증폭단의 입력을 인터스테이지 정합한 후의 입출력 임피던스를 나타내며, 그림 5(b)는 ADS2004의 load-pull 시뮬레이션을 사용하여 얻은 출력 전력 임피던스의 등고선을 나타낸다. 스미스도표에 도시된 44dB 전력 등고선 중에서, 부하 반사계수 S_{22} 와 가장 인접한 임피던스 점을 50Ω 으로 정합하였다.

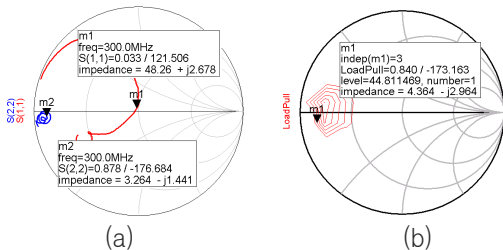


그림 5. 출력 임피던스 및 출력 전력 등고선
Fig. 5. Load impedance and output power contours.

구동단과 전력 증폭단을 포함한 전체 전력 증폭기의 이득 및 반사특성을 그림 6에 나타내었다. 220MHz~400MHz 대역내에서 평탄한 특성을 볼 수 있었다. 전체 전력 증폭회로의 출력 레벨 및 고조파 특성을 그림 7에 나타내었으며, 약 46dB 이하의 2차 고조파 특성을 보였다.

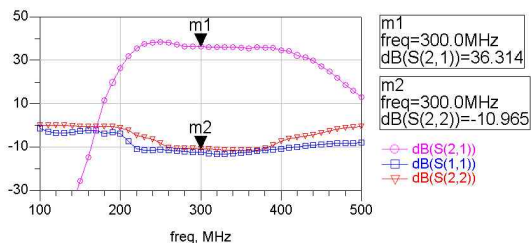


그림 6. 전체 전력 증폭기의 시뮬레이션 결과
Fig. 6. Simulation result of overall power amplifier.

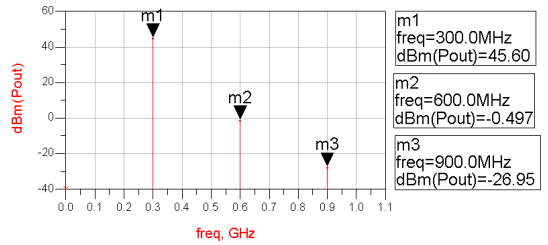


그림 7. 3단 증폭기의 출력 주파수 스펙트럼
Fig. 7. Output spectrum of three-stage PA.

그림 8은 출력 전력의 선형성을 나타내는 2톤 테스트의 결과이며, 입력 4dBm, 300MHz 중심 주파수의 25KHz 오프셋 주파수에서 -43dBc의 특성을 나타내었다.

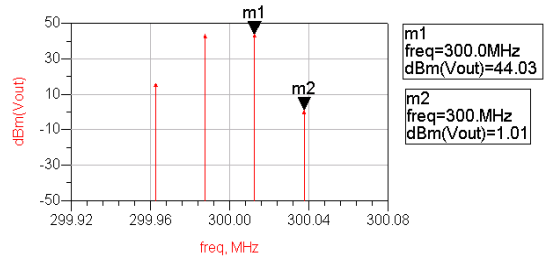


그림 8. 2톤 시뮬레이션 결과
Fig. 8. Simulation result of 2tone test .

III. 제작 및 측정

그림 9는 구동 증폭단, 전력 증폭단 및 제어단으로 구성된 전력 증폭기의 실물사진이다.

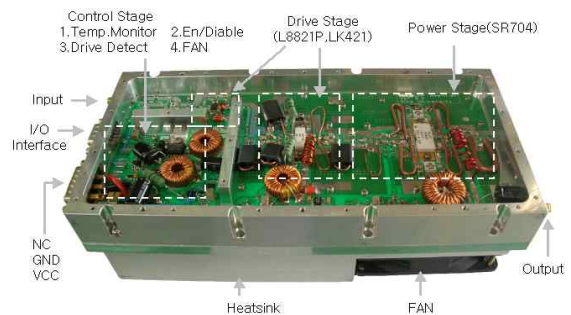


그림 9. 제작된 전체 전력 증폭기
Fig. 9. Fabricated overall power amplifier.

제어부는 구동 전력 레벨 검출기, 온도 검출기, 온/오프 제어기, 방열팬으로 구성되어 있다. 구동 전력 레벨 검출기는 Analog Device사의 AD8306 Log Detector를 사용하여 입력 전력에 따라서 선

형적으로 전압을 검출할 수 있도록 하였다. 온도 검출기는 다음과 같이 온도에 따라 출력 전압이 다른 National Semiconductor사의 LM50으로 제작되었다.

- $V_{out}=1.75\text{ V at }125^{\circ}\text{C}$
- $V_{out}=750\text{mV at }45^{\circ}\text{C}$
- $V_{out}=100\text{mV at }40^{\circ}\text{C}$

따라서 온도가 일정온도(+45°C) 이상 올라가게 되면 자동으로 방열팬이 동작하도록 하였으며, 제한 온도 이상일 때는 온/오프 제어기에 신호를 인가하여 전력증폭기 동작을 멈추도록 제어하였다. 또한 높은 출력으로 인하여 증폭소자에서 발생하는 높은 열을 분산시키기 위해 방열판을 부착하였다.

그림 10과 그림 11은 -30dB의 감쇄기를 전력증폭기의 출력단에 연결한 후에 측정된 결과이다. 감쇄기만을 측정하였을 때 -31.3dB의 성능을 보였다. 그림 10은 구동단(L8821P, LK421)의 측정 결과이며 300MHz에서 이득은 26.6dB(-4.71dB), 반사계수(S_{11})는 -9.3dB이며 0.6dB의 이득 평탄도를 얻었다.

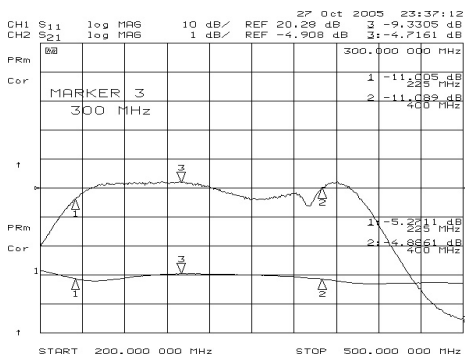


그림 10. 구동단의 Gain, Gain Flatness, S_{11} 특성
Fig. 10. Gain, Gain Flatness, S_{11} characteristic of drive amplifier.

그림 11은 전체 전력증폭기의 특성을 측정된 결과로써 300MHz에서 34.7dB(3.47dB)의 이득과 -10.3dB의 반사계수(S_{11})를 보인다. 220MHz와 400MHz에서의 이득은 각각 34.5dB(3.2dB)와 34dB (2.7dB)이며, 반사계수(S_{11})는 각각 -8.2dB와 -8.0dB를 나타내었다. 이득 평탄도는 0.7dB를 나타내었다.

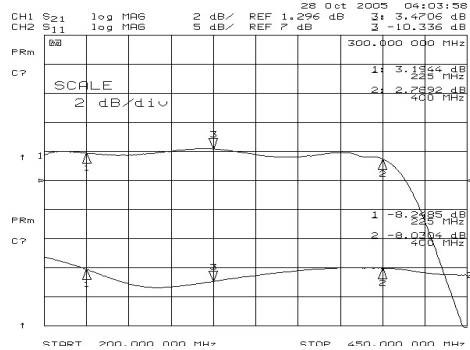


그림 11. 전체 증폭기의 이득, 평탄도 및 반사특성
Fig. 11. Gain, Gain Flatness, S_{11} characteristic of overall power amplifier.

그림 12는 제작한 전력 증폭기를 실제 송신기에 장착한 후에 상용 계측기(HP 89217)를 이용하여 측정된 결과이다. 송신기 출력에 40 dB 감쇄기를 장착 후 변조를 걸지 않고 반송파만 측정된 결과로, 225 MHz에서 42.7 dBm 출력을 나타내었다. 설계치와 측정치를 비교해 볼 때 출력 전력이 약 1.3dB정도 낮았으며, 40dB 감쇄기의 정확한 감쇄량을 얻지 못하여 발생한 것으로 판단된다.

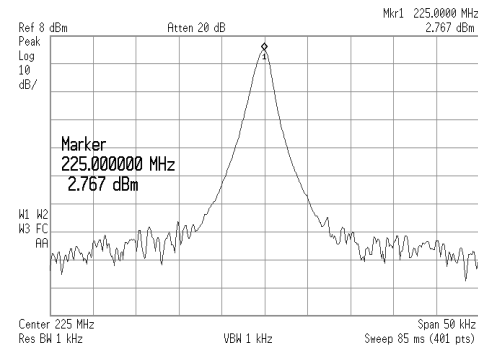


그림 12. 출력전력 특성
Fig. 12. Output power characteristic.

그림 13은 전체 송신기 시스템에서 오디오 입력 2.5KHz와 30mV를 인가 후 측정된 것이며 반송파에 AM 변조가 걸리는 것을 보여 주고 있다. 이때 반송파 중심으로 대칭적이지 못한 특성이 나타났다. 이는 측정 환경이 좋지 못했고 전원 공급기에서 나오는 잡음이 확실하게 차단되지 못하여 나타난 것으로 사료된다.

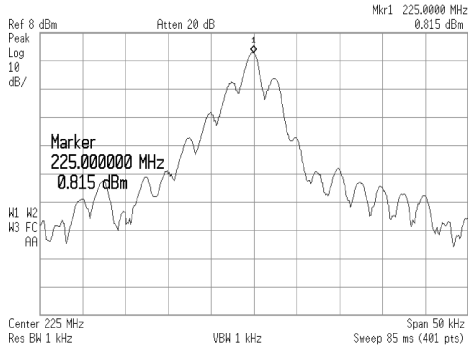


그림 13. 출력단에서의 AM 변조 파형
Fig. 13. AM waveform at gate stage.

표 1은 측정 결과를 정량적으로 나타낸 것으로 모든 항목이 상용되고 있는 항공교통관제용 무선 송신기의 성능을 만족하였다[6],[7],[8].

표 1. 측정치 결과

Table 1. The measured result.

Parameter	Value
Frequency Range	225 MHz ~ 399.975 MHz
Operating Power	42.7 dBm
Gain	34.7 dB
Gain Flatness	0.7 dB
2Tone @ 44dBm, 25kHz Channel Spacing	45 dBc
In, Out Return loss (Input)	10 dB (min.)
DC Operating voltages	+27 [V] Normal
DC current	8 [A] Max @ 44 dBm
Operating temperature	20°C to +50°C (Ambient Temp.)
Size (mm)	240 (W) * 115 (L) * 30 (H)
I/O Interface (9Pin D sub)	1. Temp. Monitor
	2. En/Disable Signal Input (Low: On, High : Off)
	3. Drive Power Monitor

IV. 결 론

본 논문에서는 항공교통관제용 UHF 대역 25W 전력 증폭기 설계 및 제작에 관하여 연구하였다. 연구된 무선 송신기용 전력 증폭기는 최초 목표와 같이 국제적으로 상용되고 있는 제품 (PAE, JORTRON, MOTOROLA, TOSHIBA)의 성능을 만족하였으며, 특히 광대역 전력 증폭기에서 중점적으로 고려해야 하는 이득 평탄도도 우수한 성능

을 나타내었다. 본 연구를 통하여 국내 UHF 항공 교통관제 무선 송신기용 전력 증폭기의 설계 기술이 진일보 하였으며, 얻어진 결과는 타 항공통신 장비의 연구에도 크게 활용되리라 사료된다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부 지원 “건설기술기반구축 사업”으로 수행되었음.

참 고 문 헌

- [1] 인하대학교, “상황감시 및 관제데이터통신 시스템 평가 및 활용방안에 관한 연구,” 2001.
- [2] 박욱기, 강석엽, 박효달, “항공관제용 VHF대역 송신기 설계 및 구현에 관한 연구,” *한국항공학회*, 제9권, 제2호, pp. 121-130. 12월 2005.
- [3] WAYNE.YOUNG, MING-TEN TSAI, and LI-MIN CHUANG, "Air traffic control system management," *National Aerospace and Electronics Conference Proceedigns of the IEEE*, pp494-498, Oct. 2000.
- [4] Karl B. Niclas, Walter T. Wilser, Richard B. Gold, and Willian R. Hichens, "The matched feedback amplifier : Ultrawide-band microwave amplification with GaAs MESFETs," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol.28, pp. 285-294, 1980.
- [5] Ahmed sayed and Feorg Boeck, "Two-stage ultrawide-band 5-W power amplifier using SiC MESFET," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol.53, no.7, pp. 2441-2449, july 2005.
- [6] Frenzel, *Communication electronics*, 2nd ed, McGraw-Hill, 1996.
- [7] Park Air Electronics, *5000M series VHF and UHF RX/TX technical handbook*, 1996.
- [8] Motorola Inc., *Operator's manual for the*

motorola CM-400UR and CM400VR radio receivers, 1985.

[9] T.Dyer, J.McGinty, A.Strachan, and C.Bulucea, "Mololithic integration of trench vertical DMOS(VDMOS) power transistors into a BCD process," *Proceedings of the 17th International Symosium on Power Semiconductors Devices&IC's*, May 2005.

강 석 엽 (姜錫燁)



1997년 2월 : 시립인천대학교 전자공학과(공학사)
 1999년 2월:인하대학교 전자공학과(공학석사)
 2005년 8월 : 인하대학교 전자공학과(공학박사)
 2001년 5월~현재 : (주)아이엔

텍 대표이사

관심분야 : 초고주파 및 무선통신 시스템 설계, 항공통신 시스템 설계, MMIC 설계, 수동회로 설계, 안테나 설계

송 병 진 (宋炳辰)



2005년 2월 : 인하대학교 전자공학과(공학사)
 2005년~현재:인하대학교 전자공학과 석사과정
 관심분야 : RF 전력 증폭기, 선형화 회로, 무선통신 시스템 설계

박 옥 기 (朴昱基)



2002년 2월 : 상주대학교 전자전기공학과(공학사)
 2004년 2월:인하대학교 전자공학과(공학석사)
 2004년 2월~현재:인하대학교 전자공학과 박사과정
 관심분야 : 무선통신 시스템 설계, 초고주파 회로 설계, RFIC 설계, 안테나 설계

고 민 호 (高敏琥)



1995년 2월 : 여수대학교 전자통신공학과(공학사)
 1997년 2월 : 인하대학교 전자공학과(공학석사)
 2003년~현재 : 인하대학교 전자공학과 박사과정
 관심분야 : 무선통신 시스템 설계, 초고주파 회로 설계, RFIC설계, 안테나 설계

박 효 달 (朴孝達)



1978년 2월 : 인하대학교 전자공학과(공학사)
 1987년 2월: (불)국립항공우주대학 전자공학과(공학박사)
 1992년~현재 : 인하대학교 전자공학과 교수
 관심분야 : 항공통신 시스템 설계, 초고주파 회로 설계 전자장 이론, 안테나공학