
MOPS 규격을 만족하기 위한 고출력증폭기 특성 연구

최준수* · 허창우**

A study on specification of high power amplifier for MOPS.

Jun-su Choi* · Chang-wu Hur**

요 약

본 논문에서는 MOPS 규격을 만족하는 고출력 증폭기의 특성을 연구하기 위해, 고출력 증폭기를 제작하여 특성을 측정하였다. VDR의 주파수 대역은 117.975~137MHz이고, CSMA(Carrier Sense Multiple Access) 다중 접속방식, D8PSK(Differential Eight Phase Shift Keyed), 25kHz 채널 대역폭을 사용한다. 또한 DO-281A MOPS에 규정된 출력 전력 및 심볼 배열 에러, 불요파 방사, 인접채널 전력을 만족해야 한다. 측정된 IM3가 38dB가 되어야 MOPS 규격을 만족한다.

ABSTRACT

This paper is a study on the high power amplifier to fulfill standards of the MOPS . VDR's frequency band is 117.975~137MHz, and CSMA(Carrier Sense Multiple Access), D8PSK(Differential Eight Phase Shift Keyed), 25KHz's channel bandwidth use. It also stated in DO-281A MOPS output power, symbol constellation error, spurious emissions, adjacent channel power must be met. We designed and measured the performance. The 38dB of the IM3 satisfies the MOPS standard.

키워드

VDL Mode2, 고출력증폭기, MOPS, VHF Data Radio

Key word

VDL Mode2, VHF Data Radio, MOPS, High Power Amplifier

* 정회원 : 목원대학교 IT공학과 박사과정 (vlsiman@naver.com)

** 종신회원 : 목원대학교 IT공학과 교수

접수일자 : 2011. 10. 28

심사완료일자 : 2011. 10. 28

I. 서론

국제민간항공기구(ICAO)에서는 지속적으로 증가하는 항공 교통량의 증대로 인해 기존의 통신, 항법, 감시 및 관제 시스템의 변화를 진행하고 있다. 지상과 항공기 간의 대표적인 데이터링크에는 ACARS 시스템이 존재한다. 하지만 낮은 데이터 전송률로 인한 항공 교통 업무에 제한이 있어, VDL Mode2로 변화를 시키고 있다. [1][2]

본 논문에서는 VDL Mode2의 시스템의 VDR (VHF Data Radio)에 장착 할 수 있는 25Watt급 고출력증폭기를 설계하고 제작하였으며, MOPS 규격을 만족하기 위해 고출력증폭기가 가져야하는 특성을 분석하였다.

II. 관련 규정

DO-281A MOPS (Minimum Operational Performance Standards)에는 VDL Mode2의 물리계층에서 검증되어야 하는 항목에 대한 최소의 규정을 명시하고 있다. [3]

표 1. DO-281 송신 성능 요구항목
Table. 1 DO-281 transmission requirement.

항목	규격	
출력전력	4 ~15Watt, 최대 25Watt	
심볼배열 에러	EVM 6% 이하	
불요파 방사	9~150kHz	-36dBm@1kHz
	150~30MHz	-36dBm@10kHz
	30~108MHz	-36dBm@100kHz
	108~117.5MHz	-36dBm@100kHz
	117.5~117.8MHz	-36dBm@10kHz
	137.175~137.475MHz	-36dBm@10kHz
	137.475~1GHz	-36dBm@100kHz
	30MHz 작은주파수	-54dBm
	1GHz 큰 주파수	-54dBm
인접채널 전력	1번째 인접채널 중앙 16kHz : -18dBm	
	1번째 인접채널 중앙 25kHz : +2dBm	
	2,3번째 인접채널 중앙 25kHz : -28dBm	
정제과비	최대 2 : 1	

송신부는 채널 전송속도, 송신출력, 송신 출력 상승 및 하강 시간, 불요파 방사, 정제과비, 심볼 배열 에러, 주파수 안정도, 인접채널 방사를 규정한다. 송신부에서 고출력 증폭기와 관련된 규정은 출력전력 및 심볼 배열 에러, 불요파 방사, 인접 채널 전력, 정제과비 등이다.

표[1]은 DO-281A에 명시되어 있는 항목 중 송신과 관련된 규정이다. [3]

III. 하드웨어 설계 및 제작

VDL Mode2 시스템은 그림[1]과 같이 구성된다. [3]

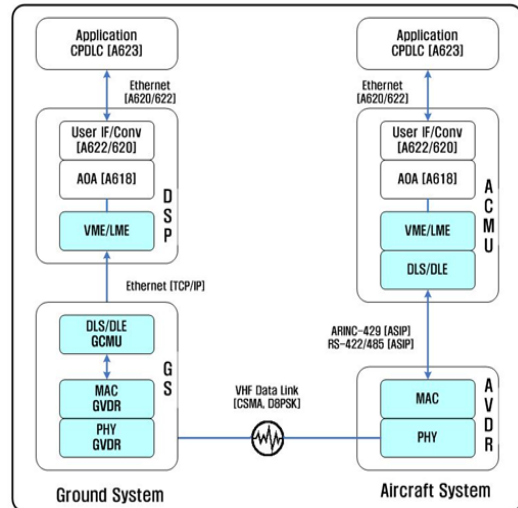


그림 1. VDL Mode2 시스템
Fig. 1 VDL Mode2 System

비행체를 기준으로 크게 ACMU(Aircraft Communication Management Unit)와 AVDR(Aircraft VHF Data Radio)로 구성된다.

그림[2]와 같이 VDR은 크게 MAC(Media Access Controller)와 PHY(Physical Layer)로 구성된다. 물리계층은 D8PSK 변조반 및 복조반, 상하향변환반, 고출력증폭반 및 스위치반으로 구성된다. [4]

고출력증폭반은 상하향변환반으로부터 RF신호를 제공 받는다.

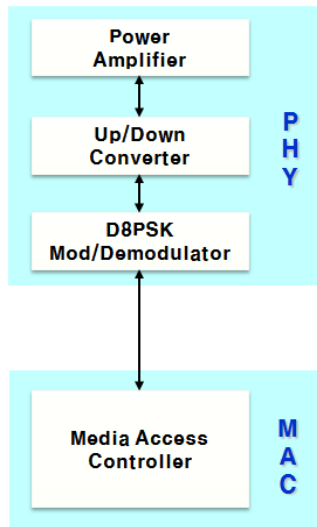


그림 2. 물리계층 구성
Fig. 2 Physical Layer Structure

VDR(VHF Data Radio)에 사용되는 고출력증폭기는 고출력증폭반과 스위치반으로 구성된다. 그림[3]의 아래 부분이 출력증폭반의 구성도이다.

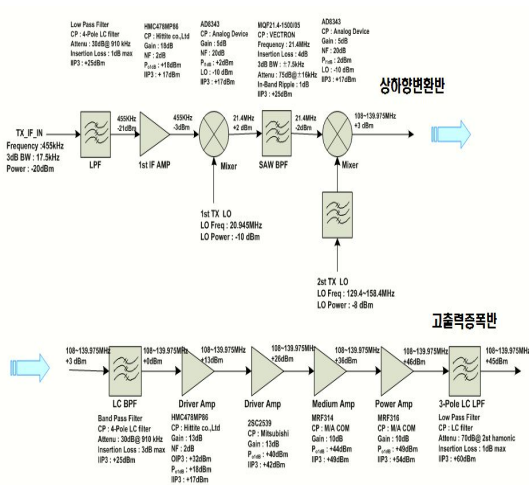


그림 3. 고출력증폭기 구성
Fig. 3 HPA Structure

고출력증폭반은 상향변환반으로부터 RF신호를 입력받는다. 4-Pole 대역 통과 필터를 사용하여 증폭 시 발

생될 불요과 성분을 제거한다. 각 단계에 사용된 증폭기는 선형성을 유지하기 위하여 Po1dB 보다 3dB 낮게 사용하였다. 또한 AB급 증폭기로 설계를 하여, 효율 대비 선형성을 최대화 하였다.

Driver Amp HMC478	Ccd7	Driver Amp ZSC2539	Ccd8	Medium Amp MRF314	Ccd9	Power Amp MRF316	Ccd10	BPF 9-Pole	Ccd11	SPOT MA8334	Ccd12	
13.00	33.00	13.00	46.00	10.00	56.00	10.00	66.00	-1.00	85.00	-1.00	64.00	Gain[dB]
2.00E+01	2.00E+03	2.00E+01	3.98E+04	1.00E+01	3.98E+05	1.00E+01	3.98E+06	7.94E-01	3.18E+06	7.94E-01	2.51E+06	Gain[linear]
2.000	7.451	2.000	7.451	2.000	7.451	2.000	7.451	1.000	7.451	1.000	7.451	NF[dB]
1.595	5.560	1.595	5.560	1.595	5.560	1.595	5.560	1.259	5.560	1.259	5.560	NF[linear]
17.00	-7.56	42.00	-7.65	49.00	-6.01	54.00	-8.98	60.00	-10.75	64.00	-11.18	IP3[dBm]
5.01E+01	1.75E-01	1.59E+04	1.70E-01	7.94E+04	1.59E-01	2.51E+05	1.26E-01	1.00E+06	8.41E-02	2.51E+06	7.60E-02	IP3[linear]
	5.70		5.82		6.33		7.91		11.89		13.15	1/IP3[linear]
	13.00		26.00		36.00		46.00		45.00		44.00	Signal Power[dBm]
	13.95		393.11		3991.07		39810.72		31622.78		25118.86	Signal Power[linear]

그림 4. 고출력증폭기 Budget
Fig. 4 High Power Amplifier Budget

그림[4]는 스위치반을 포함한 고출력증폭기의 Budget 결과이다. 25Watt (+43.98dBm)을 목표로 설계를 하였다.

고출력증폭반 최종 출력에는 3-Pole 저역 통과 필터를 삽입하여, 발생된 2차, 3차 그 이상의 불요과 성분을 제거하였다.

VDR은 반이중 통신 방식을 사용한다. 반이중 통신 방식에서 스위치반은 전력 송출 시 수신기의 저잡음 증폭기를 보호해야하며, 송수신 전환 시 빠른 동작을 확보해야 한다.

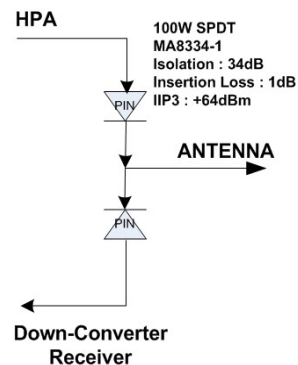


그림 5. 스위치반 구성
Fig. 5 Switch Structure

스위치반은 고출력증폭반으로부터 입력된 RF 신호를 VDR 내부의 제어기에 의해 송신 및 수신을 선택한다. 고출력의 RF 신호를 고속 스위칭하기 위해 PIN 다이오드를 사용하여 구성하였다. 또한 송신에서 수신 전환 시 발생 할 수 있는 불요파 성분을 최소화 하기 위하여, PIN 다이오드의 바이어스 부분에 저역통과필터를 회로에 반영하였다.

설계 부분을 반영하여 제작한 고출력증폭기 및 VDR 하드웨어는 그림 [6]과 같다.

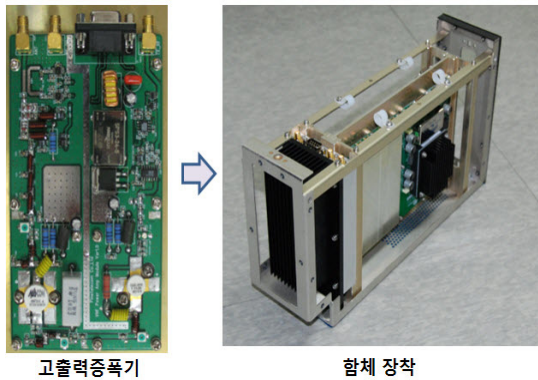


그림 6. 고출력증폭기 형상
Fig. 6 HPA Configuration

IV. 측정 결과 및 고찰

제작한 고출력 증폭기의 특성이 규격에 적합한 지 확인하기 위해 합체에 장착하여 시험을 수행 하였다.

스펙트럼 분석기 및 벡터 분석기의 파손을 방지하기 위해 고출력 증폭기 출력 단에 30dB 감쇄기를 장착 하였다.

측정 시 사용되는 케이블은 계측기를 사용하여 기록 하였다. 측정된 케이블 손실은 1.74dB이다. 측정을 위한 주파수는 MOPS의 시험절차에 명시된 처음, 중간, 끝 3 개의 주파수를 사용하였다.

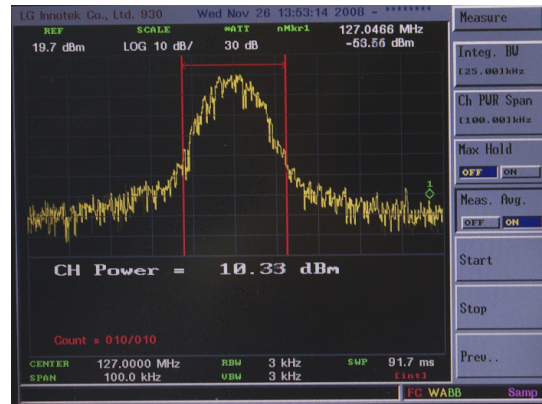


그림 7. 출력 측정 (+42.07dBm)
Fig. 7 Output Power Measurement (+42.07dBm)

케이블 및 감쇄값 31.74dB을 고려하여 출력을 측정 한 결과 처음 주파수 대역은 +41.8dBm, 중간 주파수대역은 +42.07dBm, 끝 주파수대역은 +41.8dBm이다. 모두 15Watt(+41.76dBm) 이상의 출력이 확인 되었으며, 25Watt(+43.97dBm)을 넘지 않았다.

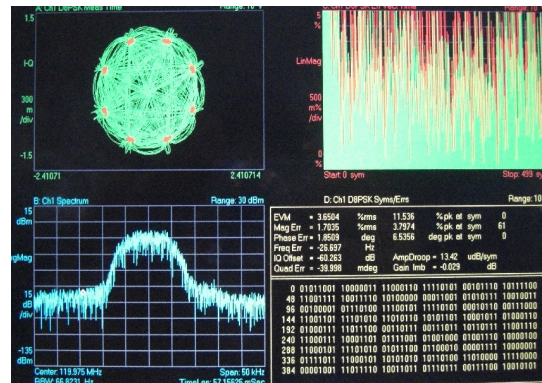


그림 8. 심볼 배열 에러 측정 (3.56%)
Fig. 8 EVM Measurement

심볼 배열 에러측정은 2단계로 진행하였다. 상향변환반을 통해 출력되는 값을 1차로 측정하고 고출력증폭기를 통과한 후의 값을 측정 하였다. 상향변환반을 통해 출력되는 EVM = 1.5%이며, 최종 고출력증폭기를 통해 출력되는 EVM=3.56% 이다. 실제 고출력증폭기에서 발생되는 EVM=2%이며, MOPS에서 명시하는

6%을 넘지 않았다.

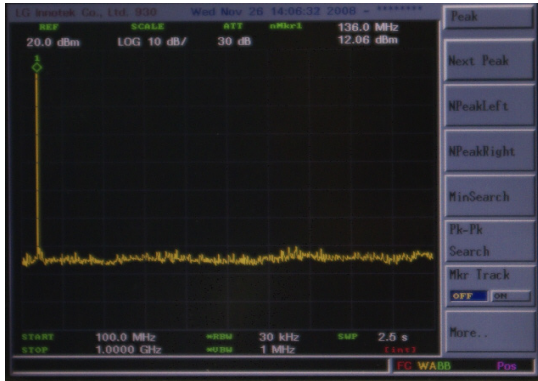


그림 9. 불요파 측정 (0.1~1GHz)
Fig. 9 Spurious Measurement

불요파는 표[1]에서 요구하는 대역으로 분할하여 측정하였으며, 결과는 모두 만족하였다.



그림 10. 첫 번째 인접채널 16kHz 대역
Fig. 10 1st Adjacent Channel 16kHz Bandwidth

인접채널 누설 전력도 118MHz, 127MHz, 137MHz의 3개 주파수 대역에서 측정을 하였다.

첫 번째 인접채널 16kHz 대역폭에서 누설 전력의 규정은 -18dBm이다. 16kHz 대역폭에서 감쇄 값 31.74dB을 고려하여 측정된 결과는 -22.06dBm이다. 25kHz 대역의 누설 전력 규정은 +2dBm이며, 감쇄 값을 고려하여 측정된 결과는 -16.13dBm이다.

두 번째, 세 번째 인접채널도 세개의 주파수 대역에서 측정을 하였다. 측정된 결과 모두 -28dBm 이하였다.

정제파비도 3개의 주파수 대역에서 네트워크 분석기와 전력 검출기를 사용하여 측정을 하였으며, 2:1을 넘지 않았다.

V. 결 론

본 논문에서는 MOPS 규격을 만족하는 고출력증폭기의 특성을 연구하기 위해, 고출력증폭기를 설계 및 제작을 하였다.

VDL Mode2용 VDR은 D8PSK 변복조 방식을 사용하기 때문에 A급 고출력증폭기가 선형성 부분에서는 좋다. 하지만 반이중 통신방식으로 사용되기 때문에 효율 면에서는 불리하다. 본 논문에서는 A급 고출력증폭기를 적용하지 않고, AB급을 적용하였다.

제작된 고출력증폭기는 MOPS에 명시된 시험절차 따라 결과를 도출하였다. 시험 결과 IM3가 요구하는 출력에서 38dB 이상을 만족하였을 때, 요구하는 심볼 배율 에러 및 불요파 방사, 인접채널 누설 전력, 정제파비를 만족하였다.

참고문헌

- [1] 배중원 외3, “민간항공용 데이터링크 기술동향”, 항공우주산업기술동향 4권 2호, 2006
- [2] 최준수 외4, “VDL Mode-2 물리 계층 설계 및 성능 분석”, 한국항공학회 논문지 제11권 제1호, 2007년
- [3] RTCA, “Minimum Operational Performance Standards For Aircraft VDL Mode 2 Physical, Link, And Network Layer”, RTCA D0-281A, Chap 2.0, 2002
- [4] 김인규 외3, “VDL Mode 2용 상/하향변환기 성능결과 분석”, 한국항공우주학회 KSAS08-3146, 2008

저자소개



최준수(Jun-Su Choi)

2000년 : 목원대학교 전자공학과
공학사

2002년 : 목원대학교 전자공학과
공학석사

2001년 ~ 현재 : (주)파인텔레콤 책임 연구원

2011년 ~ 현재 : 목원대학교 IT공학과 박사과정

※ 관심분야 : 통신시스템, 데이터링크, 무인기



허창우(Chang-wu Hur)

1991.2 : 연세대학원 전자공학과
공학박사

1986.9 ~ 1994.2 : 금성사 중앙
연구소

1994.3 ~ 현재 : 목원대학교 전자공학과 정교수

※ 관심분야 : 반도체공학 및 VLSI 설계