

선형화 채널 증폭기 비행모델 개발

Flight Model Development of Linearized Channel Amplifier

홍상표* 고영목** 양기덕*** 나극환****
(Sang-Pyo Hong) (Yeong-Mok Go) (Ki-Dug Yang) (Keuk-Hwan Ra)

요약

본 논문은 Ku-Band 선형화 채널증폭기를 위한 비행 모델의 설계 및 측정에 관한 것이다. 모든 MMICs, 가변이득증폭기, 가변전압감쇄기, 전치왜곡 보상회로를 위한 브랜치 라인 결합기와 검출기는 Thin-Film Hybrid 작업으로 제작되었다. 제작된 모듈의 성능은 초고주파 회로분석 시뮬레이션 툴과 우주환경에서의 전기적인 성능 시험을 통하여 검증하였다.

Abstract

This paper presents the design and measurement of a flight model for a Ku-Band Linearized Channel Amplifier. All MMICs, Variable Gain Amplifier (VGA), Variable Voltage Attenuator (VVA), Branch line Coupler and Detector for Pre-distorter are fabricated using a Thin-Film Hybrid process. The performance of the fabricated module is verified through the radio frequency circuit simulation tool and electrical function test in space environment.

Key words: Linearizer, channel amplifier, FGM (Fixed Gain Mode), ALC (Automatic Level Control), flight model

1. 서론

위성 탑재체 (Payload)는 안테나 (Antenna), 수신기 (Receiver), 입출력 체배기 (In/Output Multiplexer), 스위치 (Switch), 선형화 채널증폭기 (Linearized Channel Amplifier; LCAMP) 그리고 TWTA (Traveling Wave Tube Amplifier)으로 구성된다 [1].

채널 증폭기는 안테나로부터 송수신파의 넓은 대

역의 신호를 개별 채널로 선형 증폭시키는 핵심 역할을 수행한다. 즉, 주 증폭기의 비선형성을 선형화시키는 기능과 ALC 기능을 하는 증폭기이다. 위성 탑재체 내에서 TWTA 앞단에 위치하며, 각 채널 별로 TWTA에 적합한 출력 전력을 조절하는 역할을 한다 [2].

채널 증폭기는 동작 상태에 따라 FGM (Fixed Gain Mode) 모드와 ALC (Automatic Level Control) 모

† 본 논문은 2008년도 광운대학교 교내 학술연구비 지원에 의해 연구되었음.

‡ 본 연구는 구원 장학재단의 지원에 의하여 수행되었음.

* 주저자 : 삼성탈레스 H/W1그룹

** 공저자 : 광운대학교 전자공학과 박사과정

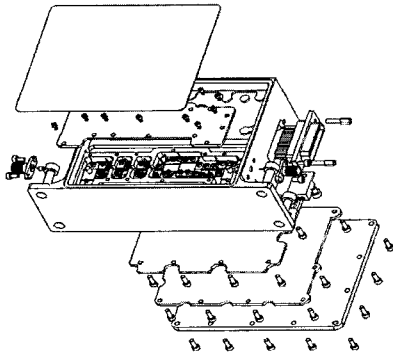
*** 공저자 : 안산1대학 디지털정보통신학과 교수

**** 공저자 : 광운대학교 전자공학과 교수

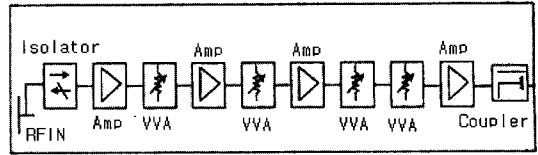
† 논문접수일 : 2009년 1월 19일

‡ 논문심사일 : 2009년 5월 29일

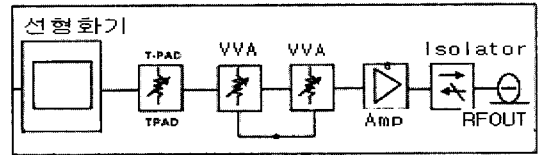
† 게재확정일 : 2009년 6월 1일



<그림 1> Ku-Band 선형화채널증폭기 조립도
<Fig. 1> Ku-band linearized channel amplifier module



<그림 2> 채널증폭기 블록도
<Fig. 2> Channel amplifier block diagram



<그림 3> Ku-Band LCAMP 블록도
<Fig. 3> Ku-Band LCAMP block diagram

드로 동작한다. FG 모드에서 채널 증폭기는 지상 명령 (Tele-Command)에 의해 정해지는 이득을 갖는 증폭기로 동작하며, ALC 모드에서는 입력 전력의 변화에 상관없이 일정한 출력 레벨을 만들게 된다. 따라서 채널 증폭기는 지상명령을 해석하고, 응답하는 제어회로와 이득을 정밀하게 제어하기 위한 감쇄기 회로, 입력 전력의 변화에 상관없이 일정한 전력을 출력하기 위한 ALC Loop회로 등이 포함된다 [3]. <그림 1>은 Ku-Band 선형화채널증폭기 조립도를 나타내었다. 본 논문에서는 이러한 Ku-Band LCAMP Module 의 기본 블록을 정의하고, 우주환경에 적합한 규격을 설정하여 최적화를 이루는 적합한 설계를 하였다.

II. 채널증폭기 설계 및 구현

<그림 2>, <그림 3>은 Ku-Band LCAMP의 핵심 부분인 채널증폭기와 선형화기의 블록도를 나타내었으며, 각 부분별 주요 기능은 다음과 같다.

1. 채널증폭기부

채널 증폭기는 RF 부분의 핵심이며, 두 개의 주요 부분으로 나누어진다. 그 하나는 RF 신호를 나타내고, 또 다른 하나는 전원-제어 인터페이스를 나타낸다. RF 부분은 GaAs MMICs와 Alumina 기판으로 구성되고, 전원-제어 부분은 실리콘 다이오드와 저항

브릿지로 구성된다. 그리고, 결합기와 검출기 다이오드를 이용한 RF 검출기가 포함된다. 이는 ALC 모드와 FG 모드에서 일정한 전력을 유지하면서 각각의 명령을 수행하게 되는데, 이는 아날로그 감쇄기와 디지털 감쇄기를 조절하여 전력 레벨을 제어하기 위함이다 [4].

2. 선형화기부

선형화기는 채널 증폭기와 쉽게 비교될 수 있다. 선형화기는 2개의 RF 경로로 되어 있다. 즉 선형화와 비선형화 부분이다. 이 2개의 경로는 정확한 이득과 위상 확장을 제공하기 위해 합쳐지며, 이는 아날로그 전압에 의해 제어된다. 온도에 따른 선형화기의 보정은 써미스터 (Thermistor) 네트워크에 의해 아날로그 감쇄기를 조절하도록 설계하였다. 또한 디지털 감쇄기는 TWTA의 입력 전력 움직임을 보상하도록 하였다.

3. DC부

DC부는 크게 전원 생성과 ALC Loop 기능을 갖도록 설계하였다. 즉 RF Section에 사용되는 양(+) 전원, TM/TC에 사용될 양(+) 전원, 그리고 RF와 TM/TC 모두에 사용될 음(-) 전원으로 구성되며, 전

자과 적합성 (Electro Magnetic Compatibility)를 만족하기 위해 여파기를 삽입하였다. 그리고 입력 전력의 변화에도 일정한 출력 전력을 유지하기 위해 ALC 루프를 추가하였다. 아래 식 (1)로부터 레귤레이터의 출력 전압은 레귤레이터의 가변전압, 전류 (Adjustable Voltage, Current)와 저항 (R6, R7)의 저항값의 조절로 +5 V, -5 V의 출력 전압을 얻을 수 있음을 알 수 있다.

$$V_{Out} = V_{ref} \left(1 + \frac{R_4}{R_7 + R_6} \right) \quad (1)$$

4. 제어부

제어부는 TM/TC (Tele-Metering/Tele-Control) 인터페이스, 디지털 ASIC, 그리고 선형화 바이어스 네트워크 기능을 한다. TM/TC 인터페이스는 Bus Control로 32 비트로 구성된 Serial Data Format인 Tele-Command와 Bus Control을 위해 21 비트로 구성된 Serial Data Format인 Telemetry로 구성된다. 이는 각각의 Address와 Data Command로 구성된다. 그리고 Serial Data Command에 포함된 기능을 수행하도록 디지털 회로를 집적시킨 칩으로써, 기능으로는 ALC 모드와 FG 모드 제어 그리고 각 모드에서의 상태를 수행한다 [4]. 즉, TriQuint사의 TGL8784-SCC 소자의 특성을 이용하여 제어 회로의 FGM과 ALC 회로를 구성하였다. 아래 식은 차동 증폭기의 아날로그 출력 전압을 조정하여 감쇄기를 선형적으로 동작시키기 위한 식이다.

$$V_{out} = \frac{R_2}{R1} (V_2 - V_1) \quad (2)$$

DA 변환기로부터 출력된 전압을 비반전 증폭기의 부귀환을 사용하여 전압 이득을 안정화하며, 입력 임피던스를 증가시키고, 출력 임피던스를 감소시킨다. 결국 저항 R1 양단전압이 반전 단자에 가해짐으로써 귀환 전압은 입력 전압과 거의 같아지며, 개방 루프 전압이득이 아주 크게 되어 전압 V1 과 V2는 매우 작아지는 특성을 갖게 된다.

III. Sub-Module 설계 및 구현

1. 증폭기 설계

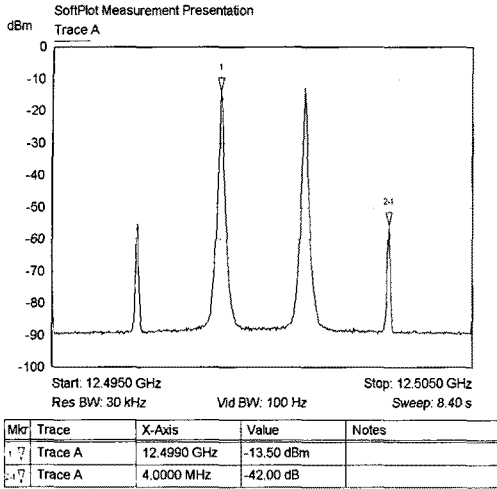
증폭기 캐리어의 규격은 <표 1>에 나타냈으며, CHA2066 소자의 S-파라미터를 기본으로 설계하였다. <그림 4>는 측정 결과를 나타내었으며, <그림 5>에 실제 제작된 사진을 나타내었다. 증폭기의 측정에는 벡터 네트워크분석기 (8722ES)를 사용하였다. 측정 결과 <그림 4(a)>는 Two-tone을 사용한 상호변조 왜곡 (IMD) 특성을 나타낸 그림이며, -10dBm 출력시 -42dBc의 선형화 결과를 얻고 있다. 측정 조건은 12.5GHz의 중심주파수에서 2MHz 간격을 갖는 두 개의 신호를 사용하여 측정하였다. 또한 <그림 4(b)>는 중심 주파수 12.5GHz에서 약 16dB의 이득을 보이며, 약 20 dB의 입출력 반사손실과 10dBm의 P1dB 억압점 (Compression Point) 특성을 보였다.

2. VVA 설계

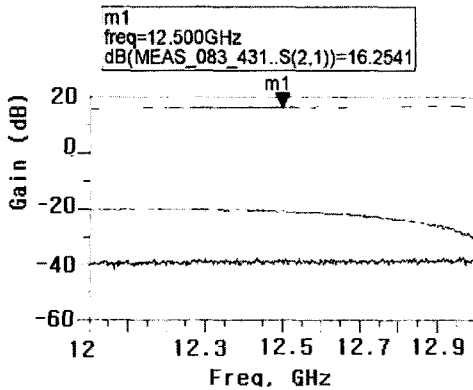
전압 가변 감쇄기 (VVA) 설계는 <표 2>에 언급된 TGL8784-SCC 소자의 S-파라미터를 기본으로 설계하였다. 구동 주파수 대역폭은 2~20GHz이며, 삽입손실 (Insertion Loss)은 2dB이다. 반면 전압 감쇄 범위는 0~5V까지 가변 했을 때 약 13dB의 범위를 갖는다.

<표 1> 증폭기 설계 규격
<Table 1> Amplifier carrier design specification

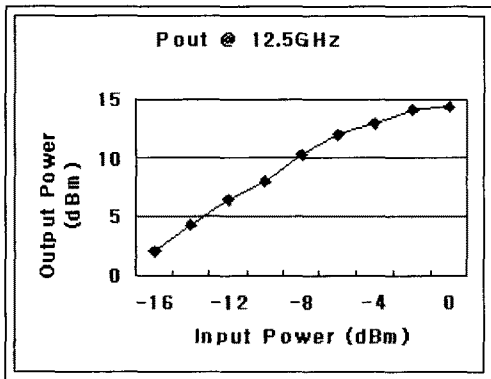
Carrier	Gold Coated Kovar
Substrate	Alumina (15 mil)
Device	CHA2066
Frequency Band	10 ~ 16 GHz
Noise Figure	2.0
Gain	19 dB
Gain Flatness	± 0.02 dB (36 MHz)
P1dB	10 dBm
In/Out Return Loss	15 dB



(a) IMD @ offset 4MHz

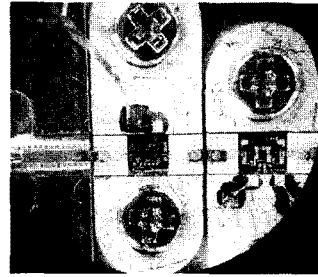


(b) Amplifier carrier gain



(c) P1dB @ 12.5GHz

<그림 4> 증폭기 캐리어 측정 결과
<Fig. 4> Amplifier carrier test results



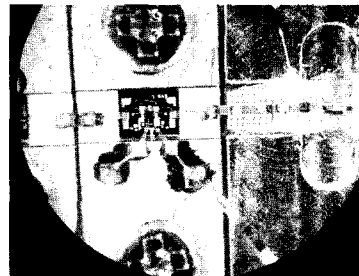
<그림 5> 증폭기 캐리어 사진
<Fig. 5> Photograph for the amplifier carrier

아래의 <표 2>에 VVA의 사양을 나타내었으며, <그림 6>에 구현된 VVA의 실물 사진을 보였으며, <그림 7>은 감쇄기의 운영 범위를 나타내고 있다. 감쇄기의 총 가변 범위 (5~15dB) 중 선형적으로 동작하는 범위는 7~13.5dB이고, 제어 전압은 0.7~0.83V이다.

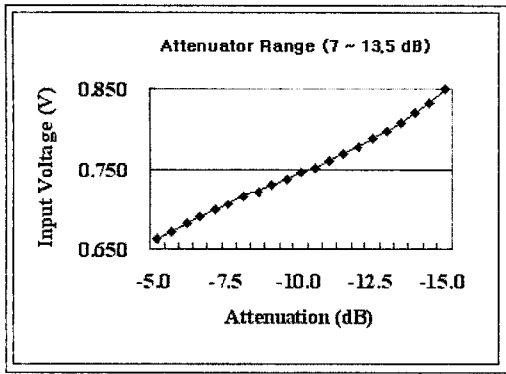
<표 2> VVA 설계 규격

<Table 2> VVA carrier design specification

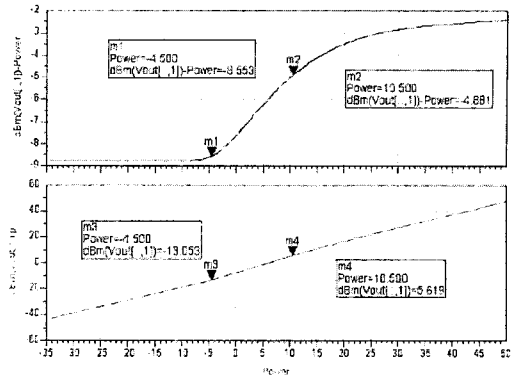
Carrier	Gold Coated Kovar
Substrate	Alumina (15mil)
Device	TGL8784-SCC
Frequency Band	2~20 GHz
Attenuation Range	13
Insertion Loss	2dB
P1dB	20dBm
In/Out Return Loss	15dB
In/Out Return Loss	15dB



<그림 6> VVA 사진
<Fig. 6> Photograph for the VVA



<그림 7> 가변 감쇄기 동작 범위
<Fig. 7> Attenuator operating range



<그림 9> 전치왜곡기의 시뮬레이션 결과
<Fig. 9> Simulation results of the pre-distorter

3. 선형화기 설계

본 논문에서 제시한 선형화기 모델은 입력 레벨에 따른 Beam-Lead 다이오드의 동적 저항 값의 변화를 이용한 반사형 회로이며, 그 구성도는 <그림 8>과 같다. <표 3>은 선형화기의 규격을 나타내었으며, <그림 9>는 브랜치 라인 결합기를 이용한 시뮬레이션 결과이다. 시뮬레이션 결과 $\lambda/4$ 의 위상차를 나타내었고, 3-dB의 결합도를 나타내었다. 그리고, <그림 10>은 설계를 바탕으로 제작한 사진이며, <그림 11>은 그 결과이다.

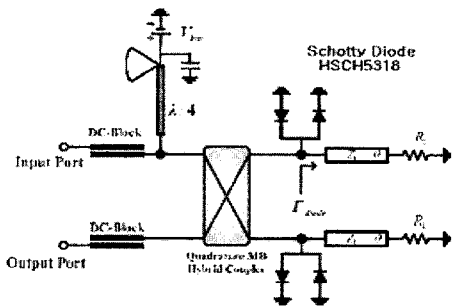
4. 커플러 및 검출기 설계

ALC 회로는 출력 전력을 입력 전력에 관계없이 일정하게 유지시켜 주기 위한 회로로서, 회로의 동작

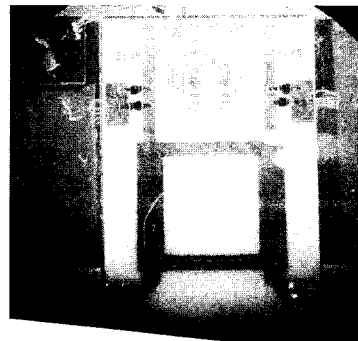
<표 3> 선형화기 설계 규격

<Table 3> Linearizer specification

Carrier	Gold Coated Kovar
Substrate	Alumina (15mil)
Device	HSCH-5318
Frequency Band	12.25~12.75GHz
Insertion Loss	4.5dB
Gain Flatness (36MHz)	± 0.02 dB
In/Out Return Loss	15dB

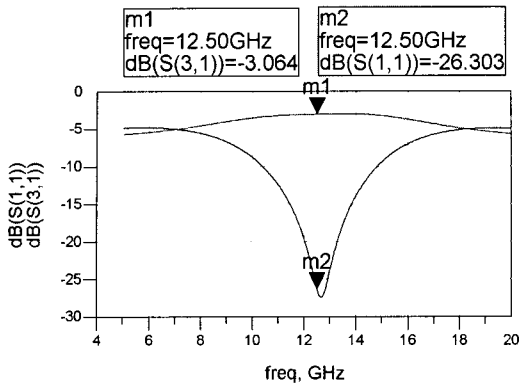


<그림 8> 제안된 전치왜곡기
<Fig. 8> Proposed pre-distorter



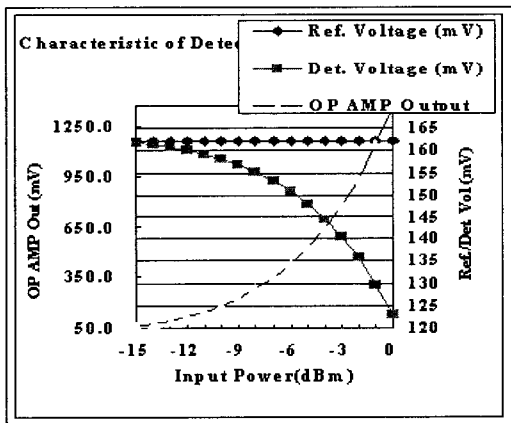
<그림 10> 선형화기 캐리어 사진
<Fig. 10> Photograph of the linearizer carrier

에 필요한 구성 부품으로는 LCAMP의 출력을 감지하는 검출기, 감지된 검출기 신호를 기준치와 비교하여 주는 비교기 등이 있다. 결합기/검출기는 출력에는 영향을 미치지 않으면서, 정확하게 출력 신호를 감지하는 역할을 한다. 이것은 쇼트키 다이오드 (Schottky



<그림 11> 브랜치라인 커플러의 시뮬레이션 결과
<Fig. 11> Simulation results of the branch line coupler

Diode)를 사용하여 구현이 가능하며, 실제 모듈에 장착되기 위해서 쉽게 조립될 수 있도록 설계가 되어야 한다. <표 4>와 <표 5>는 실제 요구사항과 시험 조건을 나타내었다. <그림 12>와 <그림 13>에 제작된 사진과 그 결과 값을 나타내었다. 주파수 범위는



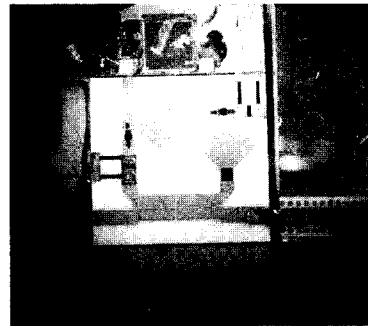
<그림 12> 입력 전력 대 OP Amp 출력 전력
<Fig. 12> Input Vs OP amp output power

<표 4> 커플러 및 검출기 설계 규격
<Table 4> Coupler & Detector specification

Device	HSCH-5314
Frequency	12.25 ~ 12.75 GHz
Coupling Factor	15 dB
In/Out Return	15 dB

<표 5> 커플러 및 검출기 시험조건
<Table 5> Test conditions for the coupler, detector

RF In	Atten	Amp	Coupler	Remark
	-2dB	+16dB	-15dB	Budget
-26	-28	-12	-27	Output [dBm]



<그림 13> 커플러 및 검출기 사진
<Fig. 13> Photograph of the coupler and detector

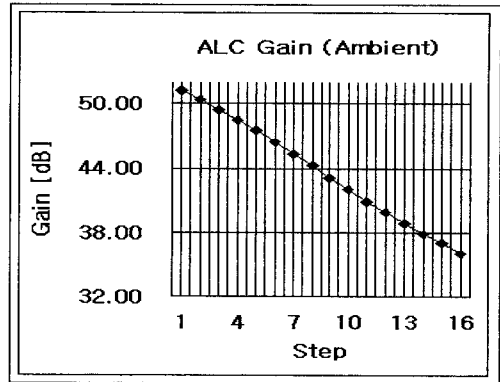
12.25~12.75GHz, 이득 평탄도는 $\pm 0.02\text{dB}$, 입출력 반사 손실은 15dB이다.

IV. 결 론

본 논문에서는 Ku-Band 선형화 채널 증폭기의 캐리어 및 모듈의 제작과 개별적 시험을 통한 성능 및 기능 검증을 통하여 비행 모델을 위한 환경시험을 완료하였다. 또한 제작된 모듈을 이용하여 RF부와 종합적 성능 검증을 위한 Test Bed를 구축하였다. 본 논문에서 제작된 모듈은 안테나로부터 송수신파의 넓은 대역의 신호를 개별 채널로 증폭 시키는 핵심 역할을 수행 가능할 수 있도록 모든 사양을 만족하였다. 이를 증명하기 위해 <그림 14>에 제작된 Ku-Band 선형화 채널 증폭기의 실물 사진을 나타내었으며, <그림 15>는 온도변화 (-10°C~+60°C)에 따라 측정된 FGM 이득 변화를 나타내었고, <그림 16>은 상온에서 FGM 모드로 1dB 단위로 증가하였을 경우 이득 변화가 1~31dB까지의 범위로 동작되는 것을 측정 한 결과이다. <그림 17>과 <그림 18>은 온도 변화에 따른 ALC 레벨 (1~15dB)을 나타내었다.

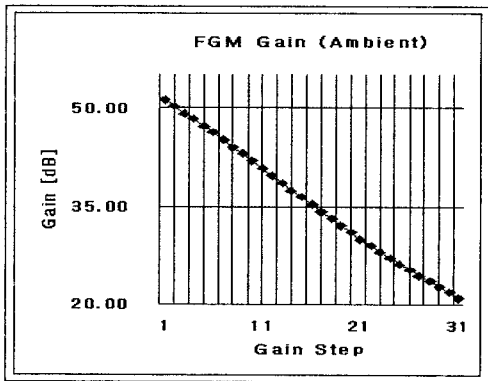


<그림 14> Ku-Band 선형화 채널 증폭기 사진
<Fig. 14> Photograph of LCAMP



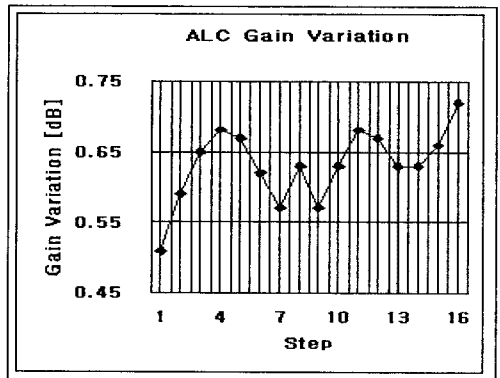
<그림 17> 온도 범위 (-10 °C ~ +60 °C)에서의 ALC 이득 변화 측정 결과

<Fig. 17> Measured ALC gain variation over -10°C~+60°C



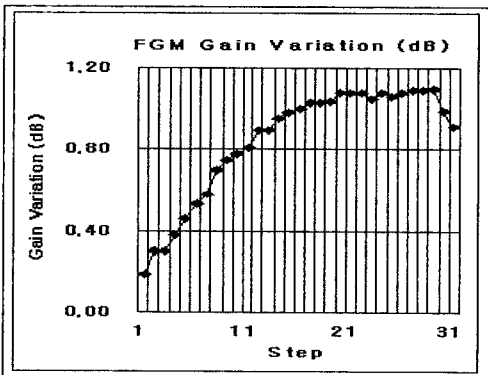
<그림 15> 온도범위 (-10°C~+60°C)에서 FGM 이득 변화 측정 결과

<Fig. 15> Measurement results of FGM gain variation over -10°C~+60°C



<그림 18> ALC 이득 변화 측정 결과
(1~15dB @ 12.25~12.75GHz)

<Fig. 18> Measurement results for ALC gain variation over 1~15 @ 12.25~12.75GHz



<그림 16> FGM 이득 변화 측정 결과
(1~31dB @ 12.25~12.75GHz)

<Fig. 16> Measurement results of FGM gain variation over 1~31dB @ 12.25~12.75 GHz

이러한 기술은 구현상의 어려움으로 전량 해외 부품 구매로 대체되어 온 것이 현실이었으나, 본 논문을 통하여 정밀한 Hybrid Assembly 공정이 가능해졌다. 우주 환경에 적합한 고 신뢰성 제품 개발 기술을 습득하였으며, 우주 환경시험을 실시하여 우주 환경에 적합한 비행 모델 제작을 완료함으로써 향후 국내 정보통신 산업의 경쟁력 강화와 세계 위성 통신 시장 개척을 위한 통신 방송 위성 기술 개발능력 향상을 기대할 수 있게 되었다.

참 고 문 헌

- [1] A. Suriani, M. C. Comparini, and M. Feudale, "Application of MMIC and ASIC technology to a new generation of satellite repeater equipment," *Proc. European Microwave Conf.*, vol. 2, pp. 677-680, Oct. 1995.
- [2] M. Feudale, A. Sudani, M. McPartlin, and E. A. Olsen, "MMICs for Satellite Ku Band TLC Repeaters," *Microwave Conf.*, vol. 2, pp. 8-12, Sept. 1997.
- [3] R. Gupta, J. Upshur, R. Mott, and L. Pryor, "A high performance miniaturized 6/4-GHz satellite receiver using MMIC technology," *IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig.*, vol. 2, pp. 1059-1062, June 1999.
- [4] S. C. Bera and R. V. Singh, "A temperature compensated closed loop overdrive level controller for microwave solid-state power amplifiers," *Microwave Journal*, vol. 47, no. 4, p. 114, Apr. 2004.

저자소개



홍 상 표 (Hong, Sang-Pyo)

2008 ~ 현재 : 삼성탈레스 종합연구소 H/W Team, H/W1 Group
 2007 ~ 2008 : 한국항공우주연구원
 2003 ~ 2005 : 광운대학교 전자공학과 석사



고 영 목 (Go, Yeong-Mok)

2006년 10월 ~ 현재 : DST
 2002년 2월 ~ 2006년 9월 : 도담 시스템
 2000년 8월 ~ 2001년 12월 : 시스코 시스템
 1993년 3월 ~ 1998년 12월 : 휴택
 1991년 3월 ~ 1993년 2월 : 광운대학교 전자공학과 석사



양 기 덕 (Yang, Ki-Dug)

1998년 8월 : 아주대학교 전자공학과 박사
 1997년 ~ 현재: 안산1대학 디지털정보통신과 교수
 1993년 6월 : 미국 Polytechnic 대학교 전기·전자 공학과 석사
 1982년 2월 : 인하대학교 전자공학과 학사



나 극 환 (Ra, Keuk-Hwan)

2007년 ~ 현재 : ITS 학회 부학회장
 2006년 ~ 2008년 : 광운대학교 전자정보 공과대학 학장
 1981년 ~ 현재 : 광운대학교 전자공학과 교수
 1978년 ~ 1981년 : 프랑스 ENSEEIHT Toulouse 대학교 전자공학과 박사
 1975년 ~ 1977년 : 연세대학교 전자공학과 석사
 1969년 ~ 1972년 : 연세대학교 전자공학과 학사