

통신방송위성 Ka 대역 중계기 개발

신동환, 이호재*, 박종홍, 우형제*, 이성팔
한국전자통신연구원 통신위성개발센터
*한국항공우주산업 우주개발연구센터

Development of Ka-band Transponder for Communications & Broadcasting Satellite

Donghwan Shin, Hojae Lee*, Jongheung Park, HyungJe Woo*, Seungpal Lee
Communication Satellite Development Center, ETRI
Space Development & Research Center, KAI*
E-mail : dh-shin@etri.re.kr

Abstract

본 논문에서는 조립/제작, 시험과정을 통하여 개발된 통신방송위성용 Ka 대역 통신위성 중계기의 구조 및 성능에 대하여 기술한다. 개발된 중계기는 전체 400 MHz 대역 내에 100 MHz 대역폭을 갖는 3 개의 통신 채널을 수용하여 광대역 멀티미디어 서비스를 지원할 수 있도록 설계되었으며 국내 기술로 제작되어 우주인증을 거친 IFA, RxDC, IMUX, CH-AMP 등의 부품으로 구성되어 있다. 중계기에 대한 성능시험은 EGSE 를 이용해 자동으로 수행되었으며, 성능시험결과 대부분의 성능 항목이 요구사항과 부합됨을 확인하였다. 제작된 Ka 대역 중계기에 적용된 위성 중계기 및 부품의 제작 및 시험 기술은 향후 통신해양기상위성에 탑재될 중계기의 개발에 직접 응용이 가능하다.

I. 서론

국내외적으로 인터넷 서비스 수요가 증가되면서 위성 인터넷 서비스를 포함한 위성 멀티미디어 서비스에 대한 수요가 더불어 증가되고 있다. 또한 위성의 장점인 동보성, 광대역성, 내재해성 등을 이용한 초고속 위성 서비스에 대한 신규 서비스 수요 발굴이 연구되고 있으며, 홍수 및 지진 등에 의한 지상 통신망 이상 발

생시 국가 통신망의 안정적 확보를 위해 위성 통신이 요구되고 있다. 통신위성은 이러한 위성통신망을 구축하기 위한 필수 요소로서 제작 및 운용에 많은 축적된 기술과 노하우를 필요로 한다. 통신방송위성(CBS) 기술 검증모델(EQM)급 Ka 대역 중계기는 국내 통신위성 탑재체의 개발 기술 및 경험 축적을 위해 개발되었다.

본 논문은 개발된 Ka 대역 수동형 중계기의 구조 및 구성부품, 조립/제작 과정 및 성능시험과 개발된 중계기의 규격 대비 성능에 관해 기술하였다.

II. Ka 대역 중계기 구조

통신방송위성의 Ka 대역 위성통신 중계기는 상향 주파수 30.6 ~ 31.0 GHz 의 신호를 수신하여 하향 주파수 대역인 20.8 ~ 21.2 GHz 로 주파수 변환 후 증폭하여 송신한다. 전체 400 MHz 대역 내에 100 MHz 대역폭을 갖는 3 개의 통신 채널을 수용하여 광대역 멀티미디어 서비스를 지원할 수 있도록 설계되었다. 시스템은 입력 여파기부 (IFA ; Input Filter Assembly), 수신-하향주파수변환기(RxDC ; Receiver-Downconverter), 입력 멀티플렉서(IMUX ; Input Multiplexer), 입력 스위치(ISM ; Input Switch Matrix), 채널증폭기(CH-Amp ; Channel Amplifier), 진행파관 증폭기(TWTA ; Traveling Wave Tube Amplifier), 출력 멀티플렉서부(OMUX ; Output Multiplexer Assembly) 등으로

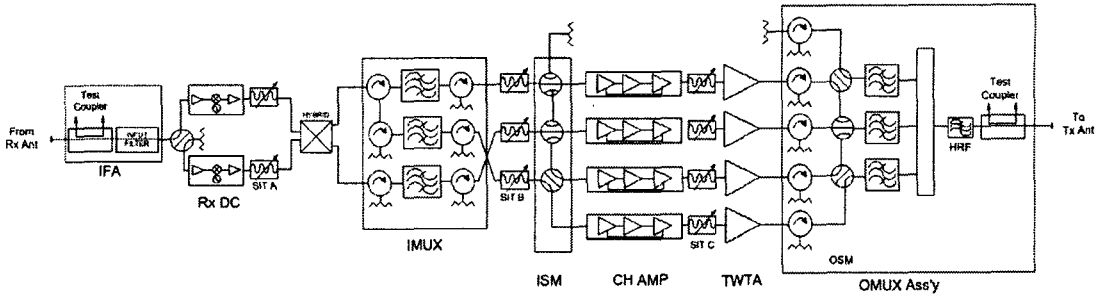


그림 1. Ka 대역 중계기의 블록도

구성되어 있다. 부품의 신뢰도가 낮은 능동 부품들은 예비기(Redundancy) 구조를 채택하여 RxDC는 2:1 예비기 구조로 설계되었으며 CH-Amp 및 TWTA는 4:3 예비기 구조를 갖도록 설계하였다. 그림 1에 Ka 대역 중계기의 상세 블록 다이어그램을 나타냈다. Ka 대역 중계기는 또한 동작 모드 지정과 중계기 상태에 대한 정보 수집을 위한 모든 원격명령(TC ; Telecommand)과 원격측정(TM ; Telemetry) 인터페이스를 제공한다 [1, 2].

중계기 구성에 필요한 부품들 중 IFA, RxDC, 국부 발진기(LO), IMUX, CH-Amp는 국내 개발한 부품으로 성능 시험 및 QM(Qualification Model)급 환경시험을 통과하여 본 시스템에 장착되었다. 개발된 능동 부품들은 부품의 크기, 무게, 전력 소모량 및 RF 성능 등을 최적화 하기 위해 MMIC 칩을 이용하여 설계, 제작되었다. IFA는 입력 필터와 입력 결합기로 구성되어 있으며 통과 대역은 30.6 ~ 31.0 GHz이다. IFA의 삽입 손실은 0.2 dB 이하이며 하향 대역 저지 능력은 100dB 이상이다 [3]. RxDC는 저잡음 증폭기, 하향 주파수 변환기/증폭기, 국부 발진기, DC/DC 변환기 등으로 구성되어 있으며, 잡음 지수 성능은 65°C에서 2.3 dB 이하이고 이득은 55 dB 이상이다 [4, 5]. 입력 광대역 신호를 각 채널 별로 분리해주는 IMUX는 3개의 채널 필터로 구성되어 있으며 우주 환경에서의 온도 변화에 따른 성능의 변화를 최소화 하기 위해 작은 온도 팽창 계수를 갖는 Invar를 사용하여 제작하였다. CH-Amp는 TWTA가 포화 상태에서 동작할 수 있도록 충분한 이득을 제공하는 역할을 한다. CH-Amp의 동작 모드는 자동적으로 상향 링크 감쇄를 보상할 수 있도록 15 dB 범위에서 적응형 이득을 갖는 ALC (Automatic Level Control) 모드와 이득 범위 32 dB인 고정 이득 모드(FGM ; Fixed Gain Mode)가 있다. TWTA는 위성 수명 종료시의 포화 출력 전력이 100 Watt 이상이며, 중계기의 DC 전력 소모를 최소화 하기

위해 55% 이상의 고 효율을 갖는다. OMUX는 출력 스위치, 출력 채널 여파기, 고조파 제거 여파기, 출력 결합기 등으로 구성된다. 출력 채널 여파기는 채널 대역을 다시 한번 정의하며 대역의 신호를 제거함으로써 불요신호를 억제한다.

III. Ka 대역 중계기 제작

중계기의 조립 제작 과정은 크게 기계적 조립과정과 전기적 조립과정으로 나눌 수 있다. 기계적 조립 과정에서는 Thermal Filler를 이용한 고발열 부품의 패널 장착, 도파관 선로의 설치 및 정렬, 온도 센서 및 히터의 부착, 부품의 접지 및 전도성 검사 등의 작업이 수행된다. 전기적 조립에서는 RF 케이블, 도파관 및 DC Harness의 설치 및 연결, 중계에 전원 인가, Telemetry와 Command 작동 점검, SIT(Select-In-Test Attenuator) 감쇠기의 설치, 성능시험장비의 교정, Sniff & Spray 시험 등이 수행된다. RF 케이블 및 DC Harness 설치 전 접지, 절연 상태를 확인하고 각 부품에 연결된다. Harness가 연결되고 난 후에는 각 부품과 히터 그리고 열 센서 등에 제대로 연결되었는지를 확인한다. 조립 과정을 진행하면서 전원 및 TC/TM이 인가되는 부품인 RxDC, CH-AMP, TWTA 등에 대해서는 각각의 기본적인 성능 및 TC/TM 작동 여부를 점검한다. SIT 감쇠기는 입력 전력에 따른 중계기의 동작점을 고정하며 설치 장소는 ISM의 입력부(SIT B) 3군데와 TWTA의 입력부(SIT C) 4군데로 총 7군데이다. SIT의 설치 목적은 중계기의 채널증폭기가 고정이득모드(FGM) 또는 자동출력조절모드(ALC)로 동작 시 항상 TWTA의 출력을 포화상태로 유지시킬 수 있도록 적절한 양의 감쇠 값을 주는 것이다. 설치 순서는 먼저 채널증폭기가 ALC 모드일 때 TWTA 입력부의 SIT C를 TWTA가 포화 상태가 되도록 하는 값으로 설

정한 후 채널증폭기가 FGM 일 때 증계기가 포화되도록 하는 값을 갖는 SIT B 를 설치한다. SIT 설치 완료 후 증계기의 입력단으로부터 CH-AMP 출력단까지의 이득 기울기 특성 및 군지연 기울기 그리고 잡음지수(NF)를 EGSE(Electrical Ground Support Equipment)를 이용해 측정한다 [6]. 증계기 제작 조립의 마지막 단계로 RF Sniff & Spray test 를 수행하고 그 결과 RF 신호의 누출이 없음이 확인되면 다음 단계인 RF 성능시험을 EGSE 를 이용하여 수행한다. 그림 2 는 이러한 과정을 거쳐 제작된 Ka 대역 증계기의 사진이다.

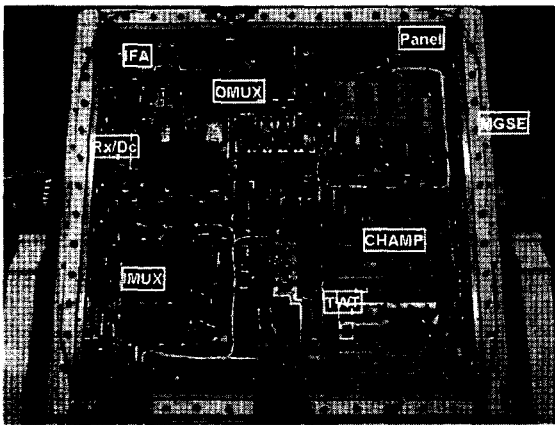


그림 2. Ka 대역 증계기

IV. 초기성능시험

증계기의 기계적, 전기적 조립 작업이 완료된 후 요구 규격에서 정의하고 있는 RF 성능 항목들에 대하여 성능 시험을 수행한다. 시험은 예비기를 포함하는 모든 가능한 경로에 대하여 수행되며 시험 항목은 입/출력 VSWR, RF 출력 전력, 잡음 지수, RF 채널 이득, 불요파 방사, 주파수 변환 특성, Overdrive, 진폭 선형성, 위상 천이, AM/PM 변환, 주파수 응답, 군지연 특성, 대역 외 신호 억압 특성 등이다. 입/출력 VSWR 특성을 제외한 모든 시험 항목은 EGSE 를 이용하여 자동적으로 측정이 수행된다. VSWR 특성은 벡터 신호 분석기를 이용하여 증계기의 입/출력단에서 직접 측정된다. EGSE 를 이용한 자동 측정은 시험이 완료된 후 그 결과를 인쇄물로 출력한다. 그림 3 과 그림 4 에 EGSE 의 시험 결과 출력물을 예로서 제시하였다. 그림 3 은 증계기의 전달 특성(Transfer Response)에 대한 EGSE 출력 그래프이

다. 증계기의 RF 출력전력, 위상 천이, AM/PM 변환 특성은 EGSE 의 전달 특성시험을 통해 동시에 성능 측정이 이루어진다. 점선과 만나는 지점이 증계기의 포화 지점이며 입력 전력 대 출력 전력과 위상 천이 특성을 도시하고 있다.

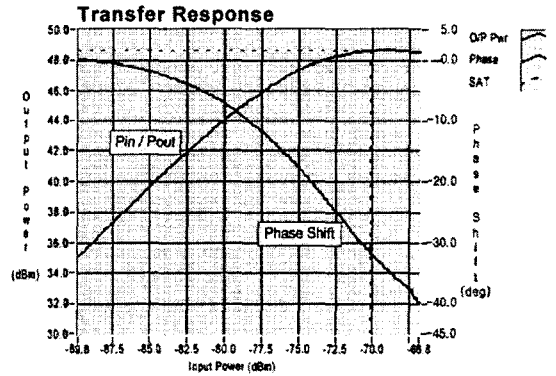


그림 3. Ka 대역 증계기의 전달 특성

그림 4 는 증계기의 2 번째 채널에 대한 주파수 응답과 군지연 특성 시험 결과를 규격 마스크와 함께 보여주고 있다. 각 채널 대역 내에서의 이득 기울기, 진폭 응답, 군지연, 군지연 리플 특성이 이 시험을 통해 동시에 측정된다.

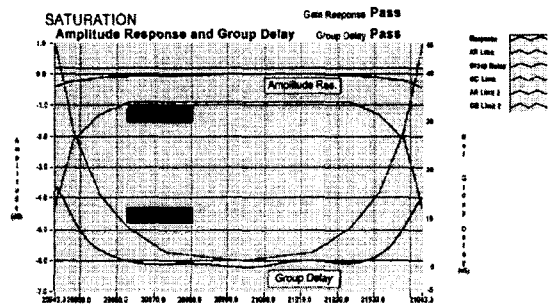


그림 4. Ka 대역 증계기의 주파수 응답 및 군지연

증계기 동작 시 주 채널로 동작하는 3 채널에 대한 초기성능시험 결과 중 주요 항목에 대한 결과를 표 1 에 제시하였다. 입력 VSWR, ALC 모드에서 RF 전력 변동, 주파수 응답 특성에서 요구 규격을 만족시키지 못하고 있으나 탑재체 레벨의 성능에 미치는 영향은 적은 것으로 분석되었다.

표 1. Ka 대역 중계기 주요 성능

Transponder Specification	Spec.		Path#1	Path#2	Path#3	Remarks
Input VSWR	1.2:1		< 1.209			
Noise Figure	< 3.37 dB		3.01	3.03	3.08	
Output VSWR	1.3:1		< 1.194			
RF Power Output	72.2W		77.3 W	83.4 W	84.1 W	@ OMUX Output (EOL)
RF Output Power Variation	±0.4 dB		-1.18	-1.15	-1.11	In ALC Mode :
Inband Spurious Output	-45 dBW		<-45 dBW	<-45 dBW	<-45 dBW	In any 4 KHz band
Outband Spurious Output	-60 dBW		<-60 dBW	<-60 dBW	<-60 dBW	In any 4 KHz band
Overdrive Condition	15dB		pass	pass	pass	
Frequency Conversion Stability	+/-1 ppm		0.187			Stability over 1 day
Amplitude Linearity	3 dB	-9 dBc	-9.677	-10.62	-9.872	
	10 dB	-15 dBc	-17.077	-17.16	-16.502	
	17 dB	-24 dBc	-27.377	-27.209	-26.802	
AMPM Conversion Coefficient	5 degrees/dB		3.72	3.14	4.38	
Inband Frequency Response	±30 MHz	0.2 / -0.9	0.28/-0.56	0.03/-0.21	0.10/-0.29	
	±38 MHz	0.2 / -1.3	0.28/-0.88	0.03/-0.39	0.10/-0.40	
	±45 MHz	0.2 / -2.1	0.28/-1.13	0.03/-0.73	0.10/-0.60	
	±50 MHz	0.2 / -4.3	0.28/-1.47	0.03/-1.38	0.10/-0.83	
Out-of-band Frequency Response	±65 MHz	15 dBp-p	32.77	39.32	41.45	
	±80 MHz	60 dBp-p	81.71	78.24	84.77	
	±130 MHz	70 dBp-p	85.15	87.64	94.24	
Overall Group Delay	±0 MHz	1.4 ns	0.13	0.00	0.51	
	±20 MHz	3 ns	1.04	1.62	1.89	
	±30 MHz	8 ns	1.91	1.62	1.89	
	±38 MHz	15 ns	4.40	3.73	4.82	
	±45 MHz	28 ns	8.75	10.55	12.33	
	±50 MHz	46 ns	13.91	16.18	19.67	

V. 결론

본 논문에서는 통신방송위성용 Ka 대역 중계기의 구조 및 구성부품, 기계적 그리고 전기적인 조립/제작 과정 및 초기성능시험 결과를 제시하였고 성능시험 결과 대부분의 성능 항목이 요구사항과 부합됨을 확인하였다. 개발된 중계기는 초기성능시험 이후 일련의 환경 시험(진동시험, 열시험, EMC 시험)과 최종 성능시험을 통해 우주 인증 과정을 겪게 될 예정이다. 개발된 Ka 대역 중계기는 기능 개선 및 최적화를 통해 향후 통신 해양가상위성의 통신 시스템에 직접 적용이 가능하다.

참고문헌

[1] 신동환 외, "통신방송위성(CBS) Ka 대역 기술검증모델 중계기 예비설계", 2002 통신정보합동학술대회

(JCCI).

[2] S.P. Lee, et al., "Satellite Communication Payload System Development Technology", APSSC2002, pp 1603, November 2002.

[3] Y.H. Lim, et al., "Development of Ka Band Input Filter Assembly for Satellite Transponder", APMC2002, Vol 1, pp 512, November 2002.

[4] D.P. Chang, et al., "Development of a Receiver Downconverter Module for Ka-band Satellite Payload", 2003 IEEE MTT-S, June 2003.

[5] K.K. Ryu, et al., "A Low-phase-noise Local Oscillator for a Ka-band Satellite Transponder", Microwave and Optical Technology, Vol 36, No 3, November 2002.

[6] J. H. Jo, et al., "Design and Implementation of Electrical Ground Support Equipment(EGSE) for the Communication and Broadcasting Satellite(CBS) Transponder Testing", AIAA 21st ICSSC, Vol 567, pp 102-146, April 2003.