
INMARSAT-C형 위성통신단말기의 수신단 설계 및 제작

전중성*, 김동일**, 정종혁*, 배정철***

Design and Fabrication of the Receiver Section for INMARSAT-C

Joong-Sung Jeon*, Dong Il Kim**, Jong-Hyeog Jeong*, Jung-Chul Bae***

요 약

본 논문에서는 INMARSAT-C형 위성통신단말기의 수신단의 회로설계, 제작 및 특성측정을 수행하였다. INA-03184를 이용한 고이득증폭단은 양단 정합된 단일 증폭기 형태로 제작하였으며, 바이어스 안정화 저항을 사용하여 회로의 전압강하 및 전력손실을 가능한 줄이고 온도 안정성을 고려하여 Active 바이어스회로를 사용하였으며, 스퓨리어스를 감쇄시키기 위해서 저잡음증폭기와 고이득증폭단사이에 대역통과 필터를 사용하였다. 측정 결과, 사용 주파수 대역내에서 60 dB 이상의 이득, 44.83 dBc의 스퓨리어스 특성 및 1.8:1 이하의 입·출력 정재파비를 나타냄으로써 설계시 목표로 했던 사양을 만족시켰다.

Abstract

A RF receiver section for INMARSAT-C external mounting unit was designed, fabricated and evaluated. Using a INA-03184, the high gain amplifier consists of matched amplifier type. Active bias circuitry can be used to provide temperature stability without requiring the large voltage drop or relatively high-dissipated power needed with a bias stabilization resistor. The bandpass filter was used to reduce a spurious level. As a result, the characteristics of the receiver section implemented here show 60 dB in gain, 44.83 dBc in a spurious level. The voltage standing wave ratios(VSWR)of input output port are less than 1.8:1, respectively.

* 한국해양대학교 전자통신공학과 박사과정

** 한국해양대학교 전파공학과 교수

*** 삼양무선공업(주) 부설 선박 자동화 연구소

접수일자 : 1999년 4월 15일

I. 서 론

세계는 정보량의 급증에 따라 대량의 정보를 빠르고 신속하게 처리할 수 있는 통신 방법을 필요로 하고 있다. 이러한 요구에 부응하기 위해 위성을 이용하여 정보를 교환하는 위성통신이 급격히 발전하고 있다.

INMARSAT는 국제적 기구인 IMO(International Maritime Organization)에 의해 설립된 국제해사위성통신 시스템으로 해상, 육상 및 공중에서의 이동체에 통신서비스를 제공하는 범세계적인 기구이다. INMARSAT은 1966년 IMO의 제12회 해상안전위원회에서 선박의 조난 및 안전에 관한 통신, 해상 공중통신, 항행정보제공 서비스들에 대해 종래의 단파통신에 비해 품질, 신뢰성 및 서비스지역을 개선할 목적으로 제안되었으며, 1982년 2월부터 운용에 들어간 INMARSAT 시스템은 태평양, 인도양, 동대서양, 서대서양의 정지위성을 이용하여, 광역에 걸친 바다 위의 선박과의 해사위성통신 서비스를 실시하고 있다. 각 대양 지역마다 복수의 해안 지구국과 회선 할당의 제어를 실시하는 통신망 관리국 NCS (Network Coordination Station)이 배치되어, 해안지구국과 선박지구국간의 회선 설정을 한다. 선박과 위성간의 사용주파수대는 1.6/1.5 GHz(L-Band)로서 해안지구국과 위성간은 고정 위성 업무용은 6/4 GHz(C-Band)를 사용한다.

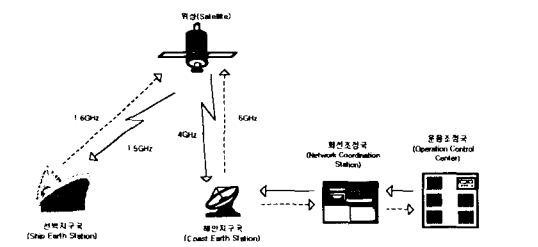


그림 1. Inmarsat 시스템 구성도
Fig. 1. The block diagram of Inmarsat system.

제공하는 서비스 종류로는 아날로그 방식으로 전화, FAX, TELEX, 고속데이터통신 등의 서비스를 제공하는 표준A형과 디지털 방식으로 TELEX 및 저속데이터서비스를 제공하는 C형, 표준A형을 디지털

털화한 표준 B형, 음성 및 팩스의 전송이 가능하도록 표준 C형을 개량한 표준M형이 있다[1]~[2].

본 논문에서는 INMARSAT-C형 위성통신단말기의 수신주파수인 1.53~1.58 GHz대에서 초고주파용 수신장치로 사용될 수 있는 증폭기를 유전율 4.8, 두께 31 mil인 FR-4 기판을 사용하여 설계·제작하였으며, 제작된 증폭기는 사용 주파수대역에서 이득 60 dB이상, 입·출력 정재파비가 1.8:1 이하의 증폭특성을 나타냈다.

이러한 측정 결과는 위성 송수신 시스템 설계 사양과 잘 일치하는 것으로, 본 연구에서 제작된 수신단은 INMARSAT-C형 위성통신단말기의 수신부에 널리 사용될 수 있을 것이다.

II. INMARSAT-C형 위성 수신 시스템

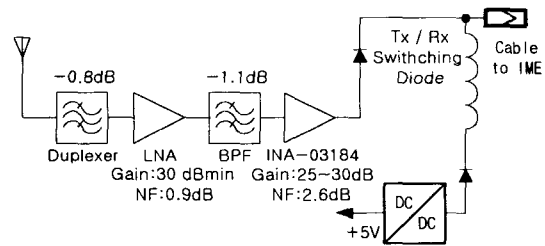


그림 2. 수신단의 블록도
Fig. 2. The block diagram of receiver section.

INMARSAT-C형 위성 수신 시스템에 있어서 옴니디렉셔널(Omni-directional) 안테나에서 듀플렉스로 들어가는 신호전력은 대략 최소 -142 dBm 에서 통상 -135 dBm 정도이다. IF단의 MIX(HP사의 IAM-81008)가 요구하는 입력 신호전력은 -100 dBm이므로 수신단은 저잡음증폭기와 고이득증폭기로 구성되며, 시스템 구성상 수신시스템의 이득은 듀플렉스, 필터 및 케이블(loss:15 dB)를 통과하면서 이득 55 dB를 요구하므로 수신 시스템을 그림 2과 같이 설계하였다.

III. 수신단 회로 설계

그림 3은 수신단 회로 및 전원회로를 나타내며,

수신단의 저잡음증폭기는 2단으로 구성되어 초단은 HP사의 GaAs FET인 ATF-10136, 뒷단은 Mini-circuits사의 VNA-25를 사용하였으며 수신 스푸리어스를 감쇠 시키기 위해 대역통과 여파기를 사용하였고, 수신단 전체의 이득을 증가 시키기 위해 고이득증폭단은 HP사의 INA-03184를 사용하였다. 수신시 IF단으로부터 -12V, 송신시 +24V의 전원이 인가되므로 Rx/Tx Switching Diode(D1, D4)를 이용하여 송신과 수신을 분리하고, -12V전원을 +5V로 바꾸어주는 DC/DC converter(U1)를 이용하여 수신단의 전원을 공급한다.

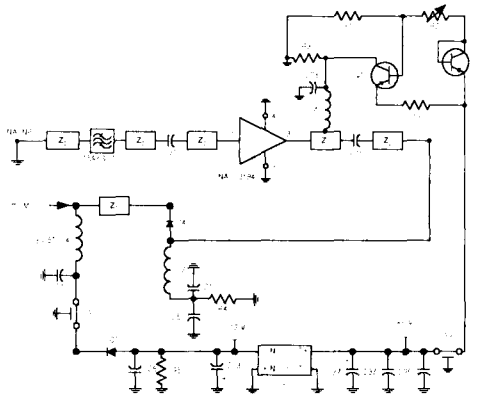


그림 3. 수신단 회로도
Fig. 3. A circuit of receiver section.

(1) 저잡음증폭기 (Low Noise Amplifier)

본 절에서는 안테나 및 듀플렉서를 통하여 수신된 INMARSAT-C형 주파수 1.53~1.58 GHz 대역의 RF신호를 GaAs FET와 MMIC를 사용하여 30 dB 이상의 이득을 얻도록 2단 증폭기로 회로를 설계하였으며, 설계된 저잡음증폭기의 회로를 그림 4에 나타냈다[3]~[4]. 사용한 GaAs FET는 사용주파수 대역에서 입력 반사 계수가 높아 부분적 불안정을 가지는 문제점이 있다. 따라서 본 논문에서 사용한 GaAs FET인 ATF-10136은 사용 주파수대에서 안정도(Rollett's stability factor) K값이 0.566이므로 조건부 안정(conditional stability)이다. 따라서 안정도 K값을 1보다 크게 하기 위하여 Drain측에 10Ω의 직렬저항을 부가하였다[5].

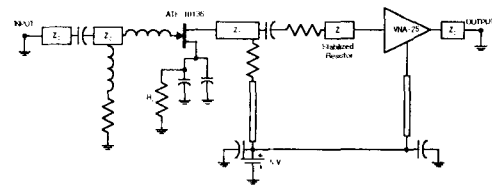


그림 4. 저잡음증폭기의 회로도
Fig. 4. Circuit of Low Noise Amplifier.

증폭기의 구조는 저잡음과 고이득의 특성을 갖도록 잡음지수와 이득을 최적화 시키기 위하여 저항결합회로를 이용하여 설계하였다[6]~[7]. 초단의 이득은 잡음지수를 최적화하고 뒷단의 Overloading을 피하기에 충분하다. 그림 5는 전체 저잡음증폭기의 이득 및 잡음지수를 나타내었다. 제작된 저잡음증폭기는 1.53~1.58 GHz에서 33 dB이상의 이득

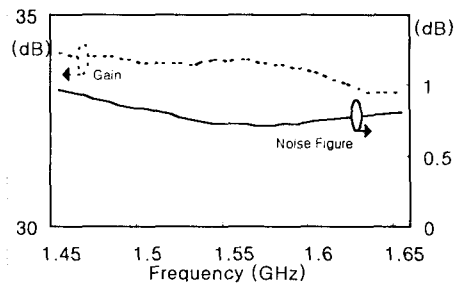


그림 5. 제작된 LNA의 이득 및 잡음지수 특성
Fig. 5. The measured gain and noise figure characteristics of the LNA.

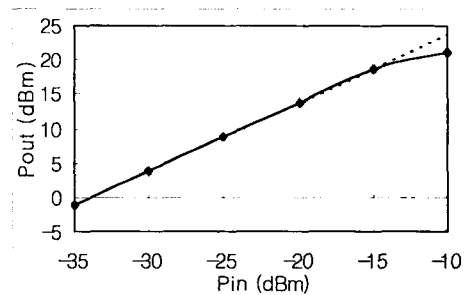


그림 6. 입·출력 전달특성
Fig. 6. Pin/Pout transfer characteristics.

과 ± 0.5 dB의 이득평단도를 나타내었으며, 0.75 dB이하의 잡음 지수 특성을 보였다.

그림 6은 중심 주파수 1.55 GHz에서의 입력신호전력 대 출력신호전력의 변화를 나타낸다. 제작된 저잡음증폭기의 P_{1dB} (1dB gain compression point) 입력은 -13 dBm을 나타내었다.

(2) 고주파 대역통과 여파기

여파기는 스푸리어스를 감쇄시키는 역할을 하며, 저잡음증폭기에 기인한 영상주파수를 감쇄시키고 저잡음증폭기에 의해 발생하는 2차 고조파를 제거시킨다. 반면 여파기의 삽입손실에 의한 주파수 혼합기의 2차 억압점을 저하시킬 수 있다. 여파 대역에 따라 국부발진기에서 수신부 안테나로의 역방향 누설전력을 제거할 수도 있다[8].

고주파 대역통과 여파기의 종류에는 만들어진 재질에 따라 여러 가지 종류가 있는데, 이러한 여러 가지 종류의 대역통과 여파기중 본 연구에서 사용된 대역통과 여파기는 유전체 여파기를 사용하였으며, 유전체 대역통과 여파기를 사용한 이유는 적은 삽입손실과 대역외 감쇄특성이 우수하기 때문이다. 또한 균지연 특성이 우수하므로 사용 대역에서의 위상특성이 선형적으로 우수하다. 설계에 사용한 고주파 대역통과 여파기의 특성은 표 1과 그림 7에 나타내었다.

표 1. 고주파 대역통과여파기의 특성

Table 1. High Frequency bandpass filter characteristics.

Item Description	Specification
Passband Insertion Loss	1.10 dB
Passband Ripple	0.16 dB
Passband V.S.W.R.	1.24:1
Attenuation	
at 1457.5 MHz	27.4 dB
at 1626.5 MHz	21.4 dB
at 1576.25 MHz	2.5 dB

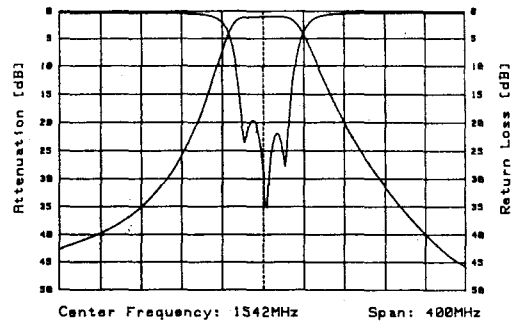


그림 7. 대역통과 여파기의 특성도
Fig. 7. Bandpass filter characteristics.

(3) 고이득증폭단

Active bias 회로는 바이어스 안정화 저항을 사용하여 회로의 전압강하 및 전력손실을 가능한 줄이고 온도 안정성을 고려하여 그림 8과 같이 설계하였다.

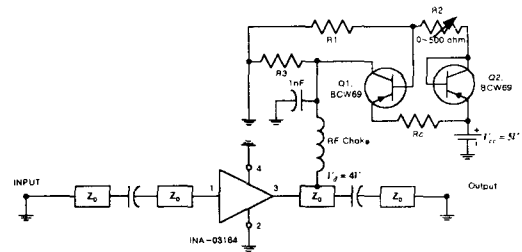


그림 8. INA-03184의 회로 및 바이어스 회로
Fig. 8. A circuit of INA-03184 and active Bias Circuit.

그림 8의 Active bias 회로는 전류원으로 동작하며 PNP 트랜지스터를 사용하였다. 이 회로에서 R_1 과 R_2 는 PNP 트랜지스터의 바이어스 점(bias point)을 결정하는 저항 분배기(resistive divider)의 역할을 한다. R_3 은 어떤 과도한 바이어스 전류에 대해서도 Bleed path를 만들고, 또한 Q_2 는 PNP 트랜지스터의 E-B 접합은 온도에 의한 전압 변화를 보상하기 위한 것이다. 일반적으로 Q_2 는 바이어스

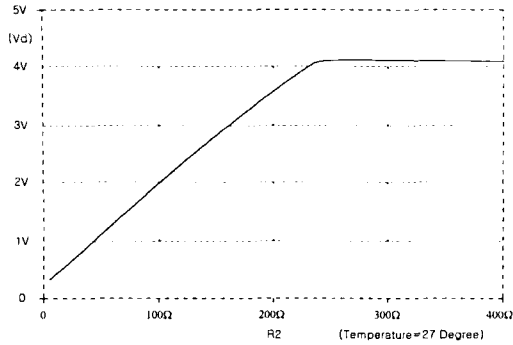


그림 9. 가변저항값에 따른 V_d 전압의 변화
Fig. 9. The variable resistor vs. V_d voltage.

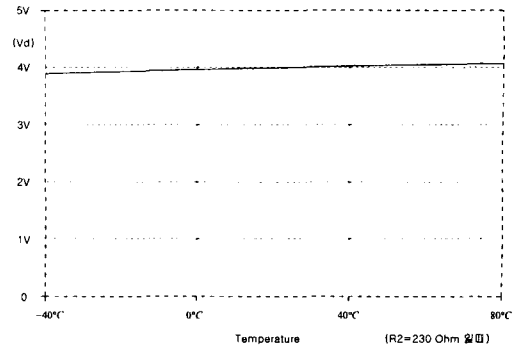


그림 10. 온도변화에 따른 V_d 전압의 변화
Fig. 10. The V_d voltage over temperature.

트랜지스터와 같은 사양을 갖는 PNP 트랜지스터의 E-B 접합을 사용하며, C-B 접합은 단락하여 사용한다. R_c 는 전류 I_d 를 일정하게 유지하는 귀환소자이다. 만약 디바이스 전류가 증가하기 시작한다면 R_c 양단의 전압은 증가하고 PNP 트랜지스터의 E-B 접합은 turning off되며 INA-03184에 공급되어지는 바이어스 전압 V_d 는 감소한다. 최적화된 회로의 R_c 양단의 전압강하는 0.5~1V가 되어야 한다. PNP 트랜지스터는 순방향 쌍접합 바이어스(both junctions forward biased)를 지닌 포화 모드에서 동작하며, 이 트랜지스터의 E-C 접합 양단의 전압 강하는 V_{CEsat} 와 같다. 그러므로 V_{cc} 와 V_d 사이에 필요한 전압 차이는 약 1V 내외이며, 공급전압은 가변저항(R_2)에 의해 조절되며 공급전압을 약 4V로 하였다.

포화영역에서 동작하는 PNP 바이어스 트랜지스터의 side effect는 바이어스 회로 동작시 약간의 충전시간과 비동작시에 방전시간이 존재하며, 이 방전시간의 크기는 PNP 트랜지스터의 시정수(time constants)에 의해 결정된다[9].

설계된 바이어스 회로의 타당성을 입증하기 위해 Pspice를 사용하여 설계된 회로를 시뮬레이션하였다. 가변저항 R_2 의 변화(5~400Ω)에 따른 공급전압의 변화를 시뮬레이션한 결과를 그림 9에 나타내었으며, 그림 9에서 알 수 있듯이 가변저항치의 증가에 따라 공급전압은 증가하는 형태이며, 가변저항 R_2 가 230Ω 이상 증가할 경우 이 바이어스 회

로가 포화 됨을 보여준다.

그리고 이 바이어스 회로의 온도 특성을 확인하기 위해 온도에 따른 공급전압의 변화를 시뮬레이션한 결과를 그림 10에 나타내었다. 그림 10에서 최저온도(-40°C)에서 최대온도(80°C)일 때 공급전압은 각각 3.896V, 4.072V이며 온도에 따른 공급전압의 편차는 0.176V로 나타났다.

제작된 고이득증폭기를 Wiltron 360B 회로망 분석기를 이용하여 이득 및 정합특성을 분석하였고, 그림 11에서는 사용주파수 영역에서 29 dB(측정시 40 dB attenuator 부가) 이상의 이득과 우수한 위상의 선형성을 보였고, 그림 12는 입·출력 정재파비를 나타낸다.

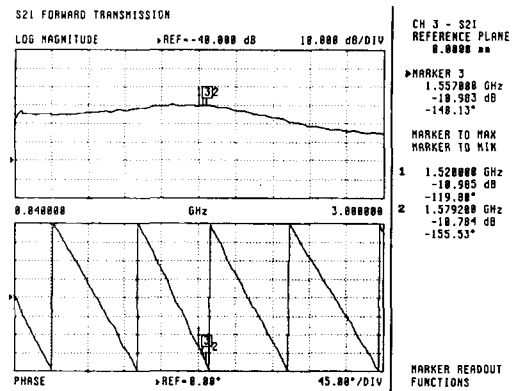


그림 11. 고이득증폭단의 이득 및 위상
Fig. 11. The gain and phase of amplifier.

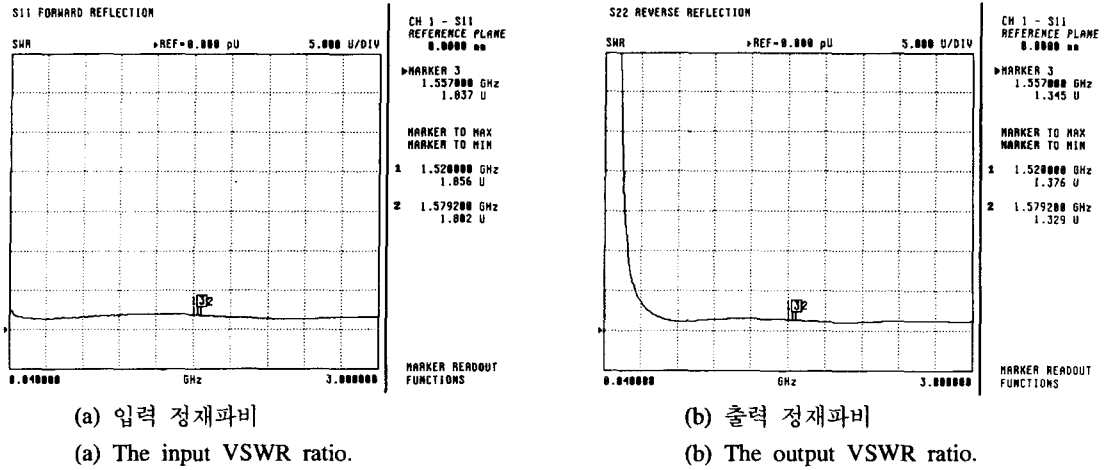


그림 12. 입출력 정재파비
Fig. 12. The input and output VSWR ratio.

IV. 특성 측정 및 평가

그림 13은 제작된 수신단을 1.53~1.58 GHz 대역에서 60 dB(입력신호:-70 dBm)이상의 이득과 ±0.3 dB의 이득평단도와 우수한 선형성을 보였다.

그림 14는 중심주파수 1.545 GHz에서 입력신호 레벨을 -75 dBm을 인가하였을 때 스퓨리어스 특성을 측정된 결과로 캐리어(Carrier) 주파수대 스퓨리어스(Superious) 모드비는 44.83 dBc이상으로 나타났으며, 그림 15는 측정시 케이블 및 커플러(Coupler)

손실을 제거한 후에 입력신호 레벨을 -135 dBm을 인가 시켰을 때 60.17 dB의 이득을 얻었다. 그림 16는 중심주파수 1.545 GHz에서 -120 dBc의 위상잡음(Phase noise)을 가지는 신호발생기(Signal generator)로부터 신호를 인가하여 측정된 위상잡음 특성을 나타내며, 100 Hz offset frequency에서 약 -72.67 dBc/Hz의 위상잡음 특성을 나타내었다.

제작된 수신단은 설계사양과 비교해 볼 때 모든 특성을 만족시키며, 특히 우수한 이득과 위상의 선형성을 보였다. 그림 17은 기판 두께 31 mil, 유전

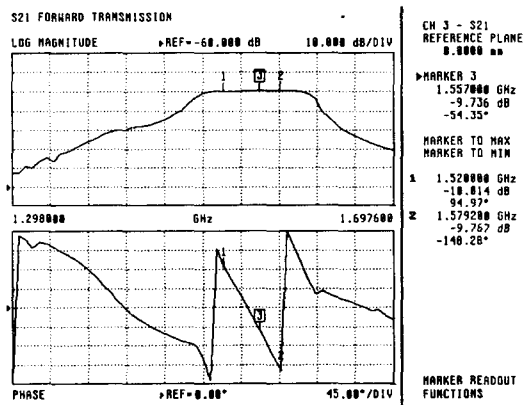


그림 13. 제작된 수신단의 이득 및 위상
Fig. 13. The gain and phase of fabricated receiver section.

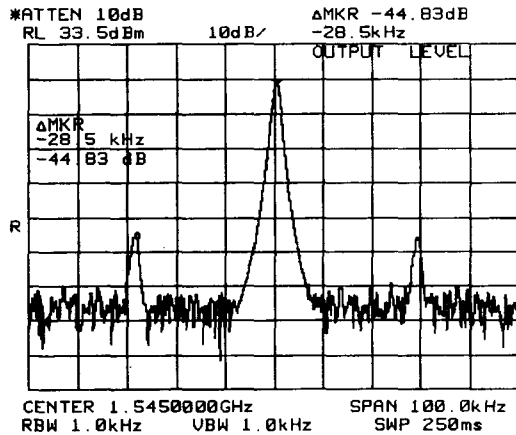


그림 14. 사용주파수 대역내에서 스퓨리어스 특성
Fig. 14. Spurious emission with frequency band.

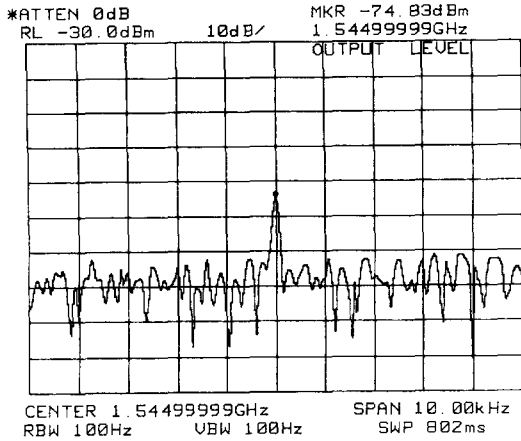


그림 15. 제작된 수신단의 이득 특성
Fig. 15. The gain of fabricated receiver section.

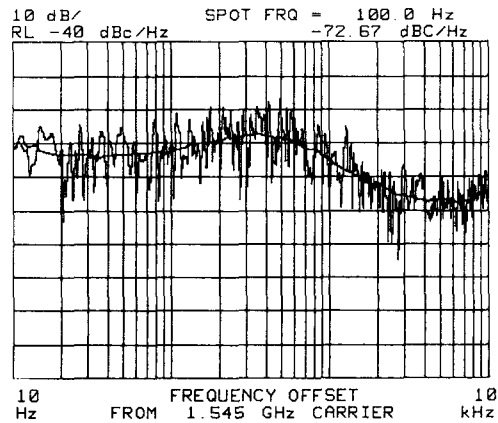


그림 16. 제작된 수신단의 위상 잡음 특성
Fig. 16. The phase noise of fabricated receiver section.

을 4.8인 FR-4기판을 사용하여 제작된 수신단의 실물 사진을 보여준다.

V. 결 론

본 논문에서는 INMARSAT-C형 위성통신 수신 주파수인 1.53~1.58 GHz대에서 초고주파용 수신장치로 사용될 수 있는 수신단의 회로설계, 제작 및 특성측정을 수행하였다. INA-03184를 이용한 고이득증폭단은 양단 정합된 단일 증폭기 형태로 제작

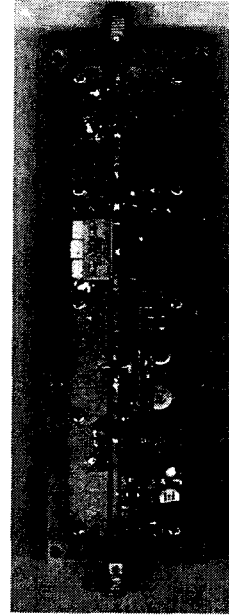


그림 17. 제작된 수신단의 사진
Fig. 17. The photograph of the fabricated receiver section.

하였으며, 바이어스 안정화 저항을 사용하여 회로의 전압강화 및 전력손실을 가능한 줄이고 온도안정성을 고려하여 Active bias회로를 사용하였으며, 스퍼리어스를 감쇄시키기 위해서 저잡음증폭기와 고이득증폭단사이에 대역통과필터를 사용하였다.

측정 결과, 사용 주파수 대역내에서 60 dB 이상의 이득, 44.83 dBc의 스퍼리어스 특성 및 1.8:1 이하의 입·출력 정재파비를 나타냄으로써 설계시 목표로 했던 사양을 만족시켰다.

<본 연구는 산업자원부에서 지원하는 중기거점 기술개발의 일부분인 INMARSAT 위성 통신 단말기 기술 개발연구과제의 연구결과 중 일부분입니다.>

참고문헌

- [1] L. Tetly & D. Calcutt, Understanding GMDSS, Edward Arnold, London, 1994.
- [2] INMARSAT, Inmarsat Maritime Communications Handbook Issue 2. 1988.

- [3] G. Gonzalez, Microwave Transistor Amplifier analysis and Design, Prentice-Hill, 1984.
- [4] D.C. Youla, "A new theory of broadband matching," IEEE Trans. Circuit Theory, vol. CT-11, pp. 30-50, Mar. 1964.
- [5] 전중성, 김동일, "INMARSAT-C형 위성통신단말기의 저잡음 증폭기의 설계 및 제작," 98년도 춘계 마이크로파 및 전파 학술대회 논문집, Vol. 21, No. 1, pp. 87-90, 5월, 1998.
- [6] H.J. Carlin and J.J. Komomiak, "A new method of broadband equalization applied to microwave amplifier," IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol. MTT-27, pp. 93-99, Feb. 1979.
- [7] 전중성, 김동일, "저항결합회로를 이용한 Cellular CDMA용 저잡음증폭기의 구현," 해양정보통신학회 논문지, 제2권, 제 4호, pp. 635-641, 12월, 1998.
- [8] 전중성, 김동일, "계단형 임피던스 공진기를 이용한 INMARSAT-C용 결합선로 필터의 설계 및 구현에 관한 연구," 항해학회 논문지, 제22권, 제 2호, pp. 33-38, 6월, 1998.
- [9] Peter C.L. Yip, High-Frequency Circuit Design and Measurements, pp. 85-86, Chapman & Hill, 1991.



전 중 성(Joong-Sung Jeon)
 1989년 2월 대구대학교 물리학
 과(이학사)
 1997년 2월 한국해양대학교 대
 학원 전자통신공학과(공학
 석사)

1997년 3월 2~현재 한국해양대학교 대학원 전자통
 신공학과 박사과정
 *관심분야 : 마이크로파 소자 및 회로설계, 전자파
 수치해석 등



김 동 일(Dong Il Kim)
 1975년 2월 한국해양대학교 항해
 학과(공학사)

1977년 2월 한국해양대학교
 대학원 전파공학전공(공학
 석사)

1984년 3월 일본 동경공대 대학
 원 전기전자공학과(공학박사)

1975년 3월~1993년 9월 한국해양대학교 전자통신
 공학과 조교~부교수

1993년 10월~현재 한국해양대학교 전파공학과 교수
 *관심분야 : 마이크로파 및 밀리미터파 회로 설계,
 CATV 전송회로의 설계, 고성능 전파
 흡수체의 개발, EMI/EMC대책 등



정 중 혁(Jong-Hyeog Jeong)
 1961년 4월생

1992년 2월 부경대학교 전자
 공학과 졸업

1994년 2월 동아대학교 대학원
 전자공학과 졸업(석사)

1994년~1999년 2월 한국해양대
 학교 대학원 전자통신공학과(공학박사)

* 관심분야 : 선박통신 등



배 정 철(Jung-Chul Bae)

1986년 2월 한국해양대학교 전
 자통신공학과(공학사)

1993년 8월 한국해양대학교 대
 학원 전자통신공학과(공학석사)

1996년 8월 한국해양대학교 대
 학원 전자통신공학과(공학박사)

1988년 9~현재 삼양무선㈜ 부설 선박자동화 연구
 소 소장

* 관심분야 : 선박통신 및 해상이동통신 등