

추적 레이다용 Dual-band 모노펄스 수신기

Dual-band Monopulse Receiver for Tracking Radar

양 성 옥 · 박 동 민 · 나 영 진

Seong-Uk Yang · Dong-Min Park · Young-Jin Na

요 약

레이다 기술의 국산화가 이슈가 되고 연구 개발에 박차를 가하고 있는 가운데 본 논문의 Dual-band 모노 펄스 수신기는 추적 레이다를 기반으로 한 실험적 수행 결과를 바탕으로 하고 있다. Dual-band 레이다를 Single-band 레이다와 비교해 보면 높은 비용과 소비 전력 등의 단점을 갖고 있지만 재밍이나 검파 거리, 이미지 신호 제거, 강우 감쇄 특성 면에서 이점을 가질 수 있다. 수신기는 X-band RF head 모듈, Ka-band RF head 모듈, 그리고 공통 IF 모듈로 구성되며 X-band와 Ka-band의 각 신호는 IF 모듈의 스위칭에 의해 선택되어진다. 또한 IF 모듈의 국부 신호단에서는 위상 제어기가 장착되어 합 채널을 기준으로 고각과 방위각 채널의 위상을 제어할 수 있도록 하였다. 측정 결과 전체 이득은 40 ± 3 dB였으며, 송신/수신간 격리도는 39 dBc, 동적 영역 110 dB, 그리고 잡음 지수는 X/Ka-band 각각 4.5 dB/6.9 dB로 나타났다.

Abstract

The receiver of this paper is Dual-band monopulse type for prototype of tracking radar. Localization of radar technology is an issue of SamsungThales and go into development. Dual-band radar in comparison with Single-band radar requires higher cost and power consumption but there are many advantages of dealing with jamming, detection range, image signal rejection, cloud-rain influence, clutter, resolution. The receiver is comprised of X-band RF head module, Ka-band RF head module and common IF module. Each signal of X-band and Ka-band is selected by the switch in IF module. Phase shifter in IF module of local stage controls the phase of sum, azimuth, elevation channel. In the test result, gain is 40 ± 3 dB, isolation of transmitter/receiver is 39 dBc, dynamic range is 110 dB and noise figure of each channel is 4.5 dB and 6.9 dB.

Key words : Dual-Band/Single Receiver, Tracking Radar, Isolation, Dynamic Range

I. 서 론

레이다 기술의 발전은 민수 산업과 군 산업 발달에 따라 민감하게 그 사용 가치와 용도가 보다 심화되고 다양해지고 있다. 급변하고 있는 국제 정세에서 그 필요성이 더해지고 있으며 선박/해양 감시나 항행, 관제, 기상 관측, 자원 탐사, 인체 의료 분야, 대공감시, 항공 관측, 위성 발사 탐지 추적 등의 산업 전반에 걸친 필수 기능에 대한 국내 기반 기술이

절실한 실정이다. 특히 해외로부터 도입되는 레이다 대부분이 수입 허가 요구나 고가의 기술료 지불로 인해 경쟁력이 약화되고 선진국에 뒤쳐지는 상황에서 본 연구는 이를 극복하고자 실험적으로 수행되었다.

X-band 레이다는 20여년 전에 개발이 시작되어 날씨, 항행 제어, 방산 시스템, 군/경용 레이다 등에 보편화 되었고, Ka-band 레이다는 기후에 의한 신호의 단절이 심하며, 대기 중에서의 감쇄 발생 특성이 있어 텔레메틱스 센서, 또는 군용 추적 레이다나 전자전

삼성탈레스 기술개발팀 HW1(R&D HW1, SamsungThales)

· 논문 번호 : 20060526-10S

· 수정완료일자 : 2006년 7월 10일

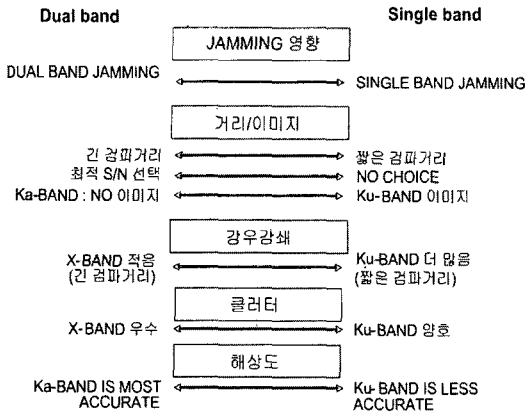


그림 1. Dual/single 레이다 비교
Fig. 1. Comparison of dual/single radar.

에도 사용된다^[1]. 이러한 용도와 장단점을 이용하여 구성된 Dual-band 추적 레이다는 X-band와 Ka-band의 모드를 교환함으로써 원거리 표적과 근거리 표적에 대한 최선의 대응을 효과적으로 수행할 수 있다.

Single band와 비교한 Dual-band의 특성은 그림 1과 같다.

II. 본 론

본 논문의 수신기는 추적 레이다용 Dual-band 모노펄스 형태로 구성되어 있으며 X-band RF head와 Ka-band RF head는 공통 주파수 하향 변환기의 스위칭에 의해 선택되어 IF 신호를 전달하게 된다. 그리고 합, 고각, 방위각의 세 채널로 구성되어 있으며 기본적으로 합 채널의 순환기(circulator) 부분을 제외한 모든 고주파 전송로는 그 위상과 이득/감쇠가 같음을 원칙으로 한다. 즉, 세 채널이 동일한 전기적 특성을 갖는다. 이는 모노 펄스의 특성에 있어서 단일 펄스 응답으로 세 채널을 비교함으로써 정확한 표적의 방위 및 거리 정보를 얻기 위해 매우 중요한 규격이다^[2].

각 주파수대별 band를 중심으로 RF head 모듈과 IF 모듈로 구성되어 있으며 그 중 RF head의 기능은 안테나 모노 펄스 비교기를 통해 입력된 신호를 1차 중간 주파수로 하향 변환하고, 또한 고출력 송신기에서 누설되는 신호 및 근거리 물체로부터 반사되는 고 전력 신호로부터 수신단을 보호하기 위한 수신

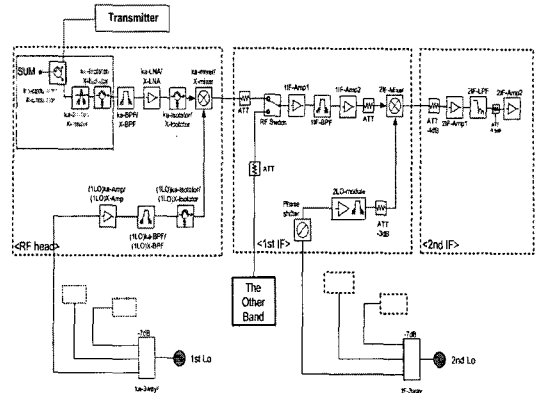


그림 2. 수신기 블록도
Fig. 2. Receiver block diagram.

보호기(리미터/STC/디지털 감쇄기) 기능을 보유하고 이미지 신호 제거 및 저잡음 증폭 신호 전달 기능을 한다. 이 중 STC(Sensitivity Time Control)와 디지털 감쇄기는 안정된 동적 영역을 확보하는데 있어서 중요한 역할을 수행하게 된다^[3]. 그리고 IF 모듈은 Ka-band RF 모듈 및 X-band RF 모듈로부터 입력되는 1차 중간 주파수를 신호처리기에서 처리 가능한 2차 중간 주파수로 하향 변환하고 Ka-band RF 모듈 출력 신호 또는 X-band RF 모듈 출력 신호를 선택하여 입력으로 받을 수 있으며 채널의 위상을 보정하고 수신 채널의 이득을 증가시켜 신호처리 가능한 적정 전력 준위로 조절한다. 그림 2는 수신기 전체 블록도를 나타내고 있다.

각각의 RF head 부분은 안테나 비교기와 연결에서 수신 선로 감쇄를 고려하여 도파관으로 구현하였다(X-band: circulator, limiter만 도파관 구현). 그리고 IF 모듈은 1st IF 부분과 2nd IF 부분으로 이루어졌고, 2nd IF 국부 신호단에 위상 변위기를 삽입하여 합 채널에 대한 나머지 두 채널의 위상 보정을 실행하도록 하였다. 그리고 본 논문의 레이다 송·수신이 펄스로 이루어지기 때문에 반드시 응답 속도를 고려하여 IF 필터를 선정해야 한다^[4]. 표 1은 수신기 전체의 규격을 나타내었다.

송수신단은 한 모듈에 구현되지 않고 독립되어 있기 때문에 격리도는 순환기의 규격에 따라 결정된다. 순환기는 두 개의 3-port가 순차 연결된 4-port로 구현되어 불완전한 반사 손실에 대한 송신기 손상을

표 1. 수신기 규격
Table 1. Receiver specification.

항목	X-band	Ka-band
주파수	X.5~X.1	Ka.5~Ka.5
수신기 전체 이득	40±3 dB	40±3 dB
정재파비	1.5 이하	1.5 이하
채널 이득 격차	±A dB	±A dB
채널 위상 격차	±B°(조정)	±B°(조정)
송수신 격리도	35 dBc 이상	35 dBc 이상
입력 동적 영역	110 dB	110 dB
처리 전력	0.0 KW/000 W	00 KW/00 W
1st IF/2nd IF	XX Ghz/Xx Mhz	XX Ghz/Xx Mhz
잡음지수	5.0 이하	8.2 이하
입출력 임피던스	50 Ohm	50 Ohm

방지할 수 있는데, 이는 송신시 대전력의 송신 누설 보다는 안테나 정합이 완전하지 않은 데서 발생할 수 있는 반사 전력이 다시 송신기에 인입되는 현상에 대한 대응책으로, 나머지 한 선로는 반사 신호를 격리시키기 위한 중단 선로로 설정한다. 또한 두 개의 순환기를 합친 우수한 격리도를 얻을 수 있다. 그리고 정재파비 특성은 수신 보호기의 특성이 중요하게 작용되었다. 동적 영역을 정함에 있어서는 최대 수신 가능 전력을 포화 전력 준위(saturation level)까지 라고 할 수도 있지만 수신기 시스템의 1 dB 억압점을 나타내는 것이 선형 특성이 적절한 수준으로 설정되었다고 판단되기 때문에 수신기 입력 동적 영역을 MDS(Minimum Detectable Signal)와 시스템 1 dB 억압점의 차로 나타내었다^{[5][6]}. 여기서 1 dB 억압점과 포화점의 차이는 단위 부품에서의 특성보다는 능동소자들이 결합된 시스템에서 차이가 더 크게 나타나기 때문에 구성 부품의 종류와 수에 따라 다르지만 수신 가능 전력에 있어서 충분한 여유가 있다고 할 수 있다. 그리고 처리 전력은 송신기가 방사하는 전력으로서 순환기 사양이 중요하다.

III. 제작 및 측정

본 논문의 실험은 1차 주파수 하향인 RF Head의

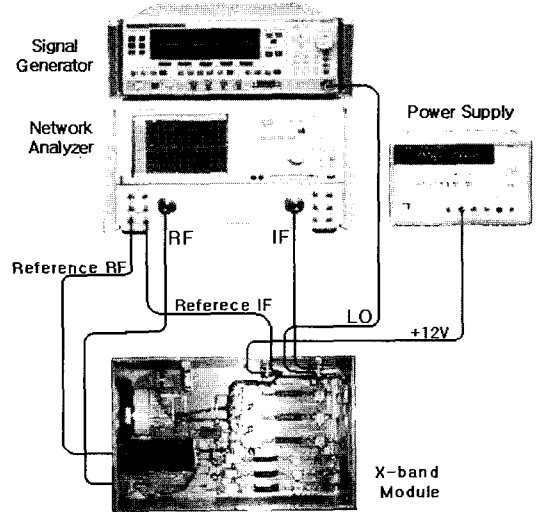


그림 3. X-band 모듈 위상 계측도
Fig. 3. X-band module measurement.

결과를 다루었으며, 2차 주파수 하향(IF 모듈)은 제작 및 측정에서 규격에 만족하였다. 그림 3은 실제 제작된 수신기를 이용하여 X-band 모듈의 위상값을 측정하기 위한 계측도이며 같은 방법으로 Ka-band 모듈의 위상값도 측정하였다. 본 주파수 하향 변환기의 위상 측정을 위한 'Vector network' 측정은 애질런트사의 8363B PNA를 이용하였다. 이 측정 방법은 '기준 주파수 혼합기(reference mixer)'와 '교정 주파수 혼합기(calibration mixer)'가 필요한데, 세 채널 중 한 채널 주파수 하향 선로를 기준 주파수 혼합기로 설정하고 다른 한 채널을 교정 주파수 혼합기로 설정하여 측정하였다. 이 측정값은 채널간 상대적인 위상 차이값이 아니고 선로에 대한 절대 위상값이기 때문에 수신기 세 채널을 이용한 측정이 가능하였다.

그리고 교정시 국부 신호의 누설로 인한 측정값의 부정확을 막기 위한 필터가 꼭 필요한데, 이 경우 본 수신기의 채널을 이용하면 삽입된 필터뿐만 아니라 주변 회로가 그 역할을 해줄 수 있기 때문에 동일 부품의 소비를 줄일 수 있다. 그림 4는 주파수 하향기 방위각 채널과 고각 채널의 측정된 위상을 나타낸다. 측정 결과에서 발생한 위상 차이만큼 IF 모듈에서 위상 변위기로 보상한다.

신호 처리 대역폭이 2.4 MHz이고 잡음지수가 최대 9.4 dB라고 가정했을 때 MDS 준위가 -101 dBm

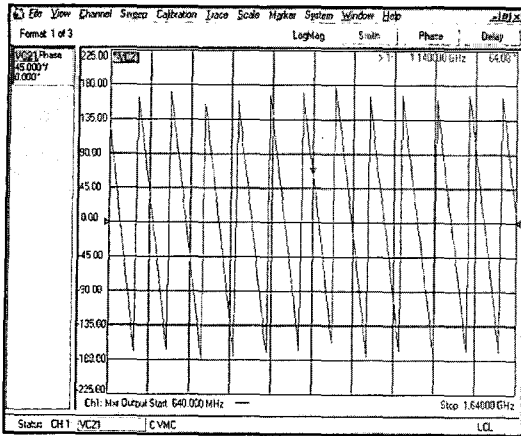


그림 4. 위상 측정 결과
Fig. 4. Results of phase measurement.

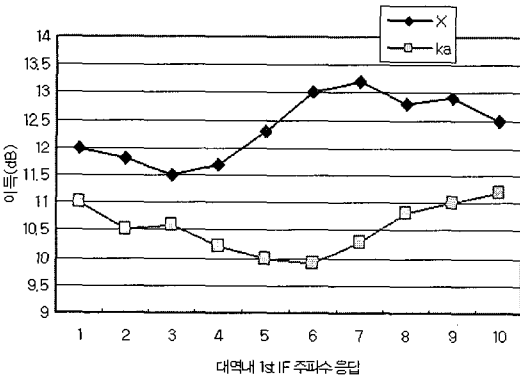


그림 5. 이득 분포 그래프
Fig. 5. Gain distribution graph.

이다. 그리고 본 실험의 Limiter/STC가 45 dB의 디지털 감쇄 기능을 갖고 있기 때문에 본 수신기의 최대

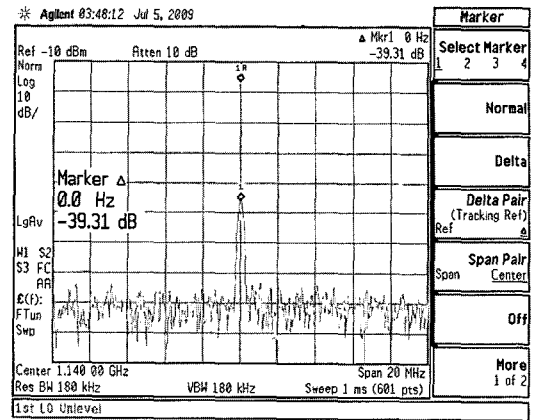


그림 6. X-band 송수신 격리도
Fig. 6. X-band transceiver isolation.

입력 수신 준위 측정치가 -20 dBm인 것을 감안하면

$$\begin{aligned} \text{수신기 입력 동적 영역} &= \\ 101 \text{ dB} + (45 - 20) \text{ dB} &= 126 \text{ dB} \end{aligned}$$

결과적으로 X-band, Ka-band 모두가 시스템 구조 상 규격에 만족한다.

RF head 이득과 평탄도 결과는 다음 그림 5에 나타내었다. X-band는 사양에 만족하였고 Ka-band는 주파수 혼합기 자체의 평탄도에 의해 개선이 필요하였다.

그림 6은 X-band의 송수신 격리도를 나타낸다. Ka-band도 마찬가지로 방법을 이용하여 측정하였으며 순

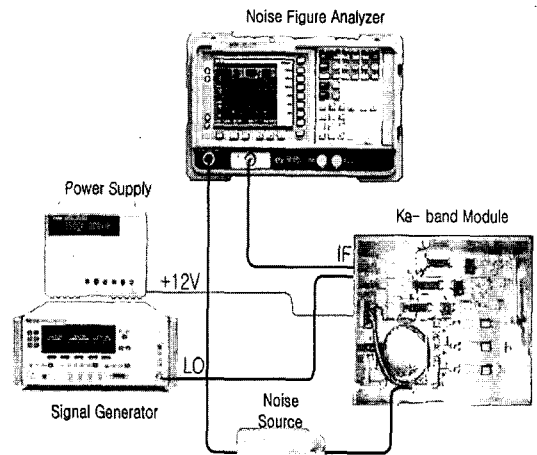


그림 7. 잡음지수 계측도
Fig. 7. Noise figure measurement.

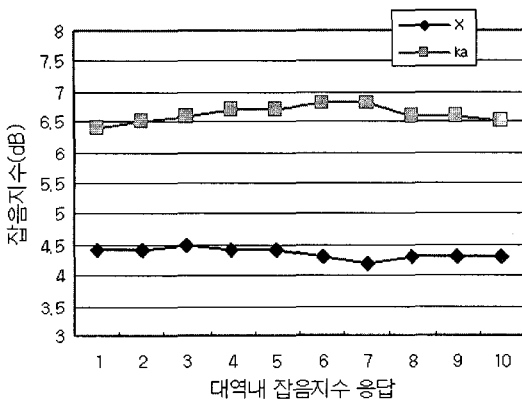


그림 8. 잡음지수 분포 그래프

Fig. 8. Noise figure distribution graph.

환기의 특성에 준하는 결과(38 dB)를 보였다.

잡음지수는 에질런트사의 N8975A noise figure analyzer의 주파수 하향 변환 모드를 이용하여 측정하였으며 계측도와 그 결과가 그림 7과 그림 8에 도시되었다.

위상 및 잡음지수 계측에 있어서 RF head 모듈과 IF 모듈의 연동 결과는 두 차수의 주파수 하향 변환에 대한 주변 회로들의 첨가가 필요하고 구성에 대한 오차 보상이 계측 방법에 있어서 정의되지 않았기 때문에 개별 실행 후 정량화 하였다.

IV. 결 론

본 논문에서는 추적 레이더용 Dual-band(X, Ka-band) 모노펄스 수신기를 설계 및 제작하였다. RF Head의 도파관부를 결정하고 단계별 모듈화 설계를 실행하였다. 각 모듈별 제작과 실험을 통해, 요구되는 사양과 비교하여 우수한 특성을 나타냄을 보였

고, Ka-band의 이득 평탄도에서 약간의 보정을 필요로 했는데 이는 혼합기의 IF 고정 주파수 응답 평탄도가 매우 중요한 특성임을 나타낸다.

향후 송신기와 연동한 고전력 실험을 통한 수신 보호기 응답 분석으로서 수신기의 안정성을 확보해야 하겠고 RF Head의 손실을 최소화할 수 있는 방법을 모색하여 동적 영역과 감도(selectivity)를 높일 수 있는 연구를 계속적으로 실행할 것이다. 그리고 소형, 고효율의 모델을 실현하기 위해서는 안테나와 연계되는 도파관부와 모듈의 보다 전문적인 최적화 설계와 배치(layout)가 필요하다.

참 고 문 헌

- [1] Bassem & Atef, *Matlab Simulations for Radar Systems Design*, Chapman & Hall, pp. 1-5, 2004.
- [2] Stilwell, "Sensitivity analysis of a 15 GHz monopulse radar receiver using a logarithmic amplifier detector scheme", *MTT-S International Microwave Symposium Digest*, pp. 200-203, Jun. 1985.
- [3] Merrill, *Introduction to Radar System*, McGraw-Hill, pp. 466-467, 2001.
- [4] John Wiley, *Microwave Receivers with Electronic Warfare Applications*, A Wiley-Interscience publication, pp. 173-175, 1986.
- [5] John Wiley, *Microwave Receivers with Electronic Warfare Applications*, A Wiley-Interscience publication, pp. 58-66, 1986.
- [6] B, Edde, *Radar Principles. Technology, Applications*, Prentice Hall, pp. 498-499, 1993.

양 성 욱



2000년 2월: 광운대학교 전자재료
공학과 (공학사)
2002년 2월: 광운대학교 전자공학
과 (공학석사)
2002년 2월~2004년 3월: 텔레매틱
스 기술연구소 연구원
2004년 4월~현재: 삼성탈레스 기
술개발팀 연구소 선임연구원

[주 관심분야] 능동 소자, MMIC, 송수신 시스템

나 영 진



1988년 2월: 숭실대학교 전자공학
과 (공학사)
1990년 2월: 숭실대학교 전자공학
과 (공학석사)
1990년 2월~2001년 7월: LG이노텍
연구소 선임연구원
2001년 8월~현재: 삼성탈레스 기
술개발팀 연구소 수석연구원

[주 관심분야] 초고주파 회로설계, 능동위상배열 시스템

박 동 민



1999년 2월: 광운대학교 전자공학
과 (공학사)
2001년 2월: 광운대학교 전자공학
과 (공학석사)
2001년 4월~현재: 삼성탈레스 기
술개발팀 연구소 선임연구원
[주 관심분야] 초고주파 회로설계,

신호처리