

공용 데이터링크 RF 송수신기 설계 및 구현

RF Transceiver Design and Implementation for Common Data Link

김 주 연^{*,*}

Joo-Yeon Kim^{*,*}

Abstract

This paper is about the RF transceiver designed and implementation for common data link. The trasmitter is configured as a frequency up-converter, a power amplifier and a duplexer. The receiver is configured as a duplrx, a frequency down-converter and a low noise amplifier. The maximum transmission distance, the reception sensitivity is designed to meet the electrical and temperature characteristics and the like. Using a modeling and simulation in order to meet the requirements of the RF transceiver has been designed and implemented. Transmitting output power and Noise Figure has been measured with 38.58dBm and 5.5dB, respectively. All of the electrical and temperature specifications was meet. Was confirmed all of the requirement specification by electrical characteristics test and temperature characteristics test.

요 약

본 논문은 공용 데이터링크용 RF 송수신기 설계 및 제작에 관한 것이다. 송신부는 주파수 상향변환부, 전력증폭부, 듀플렉서로 구성된다. 수신부는 듀플렉서, 저잡음증폭부, 주파수 하향변환부로 구성된다. 최대 전송 거리, 수신 감도 등의 전기적 특성과 온도 특성을 충족하도록 설계되었다. RF 송수신기의 요구 규격을 만족하기 위해 모델링 및 시뮬레이션을 이용하여 설계 및 구현하였다. 송신 출력과 잡음 지수는 각각 38.58dBm 및 5.5dB로 측정되었다. 전기적 특성 시험 및 온도 특성 시험으로 요구사항을 모두 만족함을 확인하였다.

Key words : RF, Transceiver, CDL, Data Link, X-band

I. 서론

데이터링크(DL: Data Link)는 그림 1과 같이 항공 탐재용과 지상탐재용으로 구분된다. 감시체계, 타격체계 및 지휘통제체계와 연동하여 상황인식, 위협평가, 지휘통제 및 교전지원을 위한 필요한 전술/영상 정보를 실시간으로 전송하는 통신체계이다.

기능별로는 전술 데이터링크(TDL: Tatical Data Link)와 공용(CDL:Common Data Link)로 구분할 수 있다. 이중 CDL은 감시정찰 체계용 대용량 데이터 교환을 위한 네트워크 통신체계로 감시정찰 정보 중심의 소형 네트워크이다. 항공탐재용과 지상탐재용의 RF송수신기의 전기적 성능은 주파수와 환경적 특성

* Comm. Sys. Group, HANWHA THALES Co., Ltd. (031-8020-7922, hl2dxw@naver.com)

★ Corresponding author

※Acknowledgment : This research was supported by Agency for Defense Development.
Manuscript received Aug. 5, 2015; revised Sep. 1, 2015 ; accepted Sep. 2, 2015

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

을 제외하고는 모두 동일하다. 이에 본 논문에서는 지상탐재용 RF 송수신기에 대해 설계 및 구현하고자 한다.

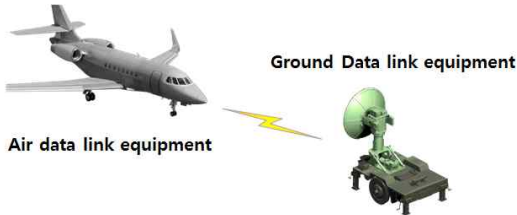


Fig. 1. Data Link overview

그림 1. 데이터링크 개요

II. 본론

본 논문에서는 표 1의 요구사항을 충족하는 지상탐재용 RF 송수신기에 대해 설계 및 구현하고자 한다.

지상탐재용 RF 송수신기의 송/수신 주파수는 데이터링크 시스템에서 정의된 주파수 범위를 적용하였다. 대역폭은 모뎀의 변조신호의 점유 대역폭을 기준으로 대역의 신호를 최대한 억압할 수 있도록 좁게 정하였다. 송신출력과 잡음지수 규격은 항공탐재 데이터링크와 지상탐재 데이터링크가 최대 통달거리에 있을 경우의 자유공간 손실과 송/수신 안테나 이득 및 안테나와 RF 송수신기를 연결하는 RF 케이블의 삽입손실 등을 고려하여 규격을 정하였다. 수신 출력은 모뎀의 정상동작 입력 범위에 맞게 정하였다. 항공탐재 데이터링크와 지상탐재 데이터링크가 가장 가까운 거리에 위치하는 경우를 가정하여 격리도 특성을 -95dBc 이하로 정하였다. 송/수신 경로의 대역 외 고조파 신호와 불요파 신호의 크기는 -60dBc 이하로 정하였다[1][2].

Table 1. RF Transceiver Requirement.

표 1. RF 송수신기 요구 사항

| Requirements | Specificaiton |
|---------------------------|------------------------------------------------|
| RF Frequency(Tx,Rx) | X-Band |
| IF Frequency(Tx,Rx) | 00MHz |
| Transmission Output Power | $> 37\text{dBm}$ |
| Receiver Dynamic Range | $-88 \sim -30\text{dBm}$ |
| Receiver Noise Figure | $< 6\text{dB}$ |
| Receiver Output Power | $-16 \sim -14\text{dBm}$ |
| Isolation | $< -95\text{dBc}$ |
| Harmonic | $< -60\text{dBc}$ |
| Spurious | $< -60\text{dBc}$ |
| Operating Temperature | $-32^{\circ}\text{C} \sim +43^{\circ}\text{C}$ |

1. RF 송수신기 구성

CDL용 RF 송수신기의 기능적 구성도는 그림 3과 같다. 송신경로는 모뎀으로부터 IF 신호를 입력 받아서 X-band로 상향변환하고, 변환된 신호를 고출력증폭하여 안테나를 통해서 항공탐재용 장비로 신호를 송신한다. 수신경로는 안테나를 통해서 수신된 신호를 저잡음 증폭한 후 IF로 하향변환하여 모뎀으로 송신한다[3].

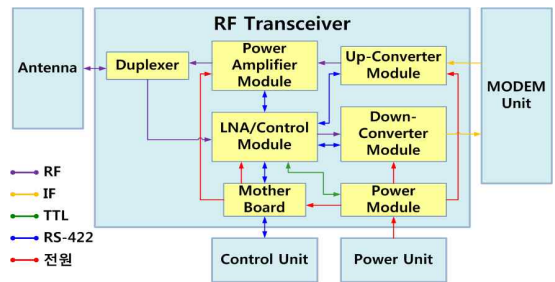


Fig. 2. Configuration of RF Transceiver

그림 2. RF 송수신기 구성

RF 송수신기는 외부의 전원공급기에서 28VDC를 공급받아서 내부의 전원판에서 각 해당 장비들이 필요로 하는 전압을 생성하여 모뎀판을 통해서 공급하고, 외부의 제어기에서 제어명령을 받고, 제어 결과 및 상태정보를 전송한다.

2. 전기적 특성 분석 및 설계

RF 송수신기의 전기적 특성을 확인하기 위한 Modeling & Simulation은 Agilent사의 ADS를 이용하였다. 송신경로 해석 회로도는 그림 3과 같이 그림 2의 개념 구성도를 기반으로 선정된 제품의 전기적 특성을 반영하였다.

이득 특성은 그림 4의 약 54dB가 되도록 설계하였다. 송신 출력은 그림 5의 38.3dBm으로 규격인 37dBm을 만족하도록 설계하였다. 고조파 및 불요파 특성을 확인할 수 있는 스펙트럼 특성은 그림 5의 -108dBc 가 되도록 설계하여 규격인 -60dBc 를 만족하도록 설계하였다.

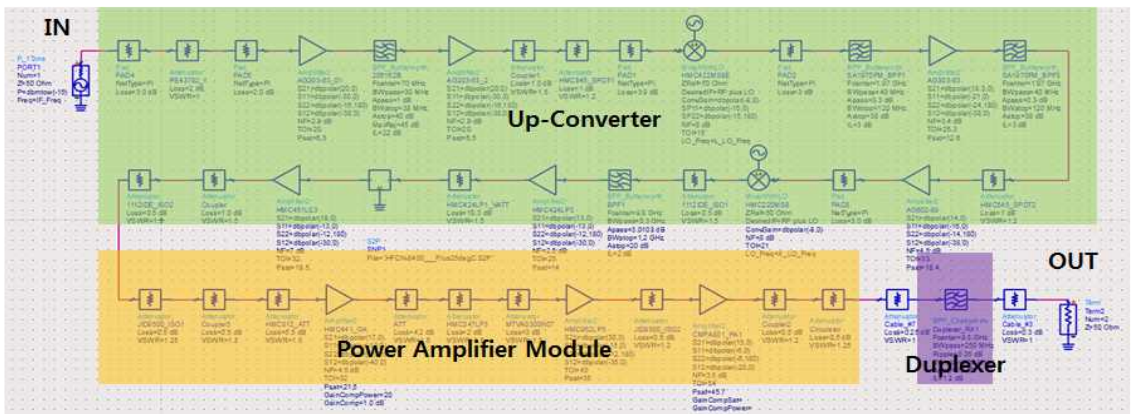


Fig. 3. Analysis circuit of RF transceivers transmit path

그림 3. RF 송수신기 송신경로 해석 회로도

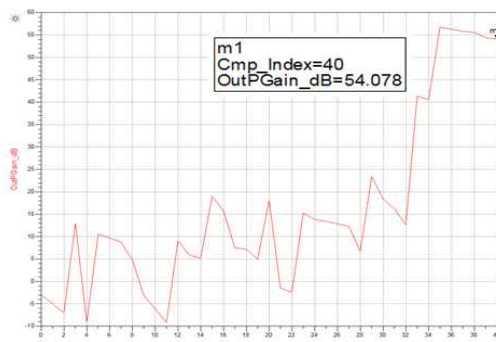


Fig. 4. Gain result of the transmit path

그림 4. 송신경로 이득 결과

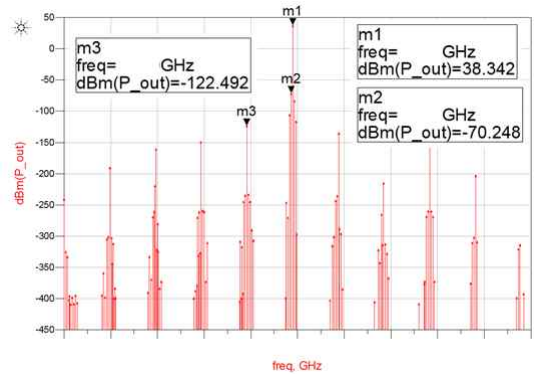


Fig. 5. Output and Spectrum result of the transmit path

그림 5. 송신경로 출력 및 스펙트럼 결과

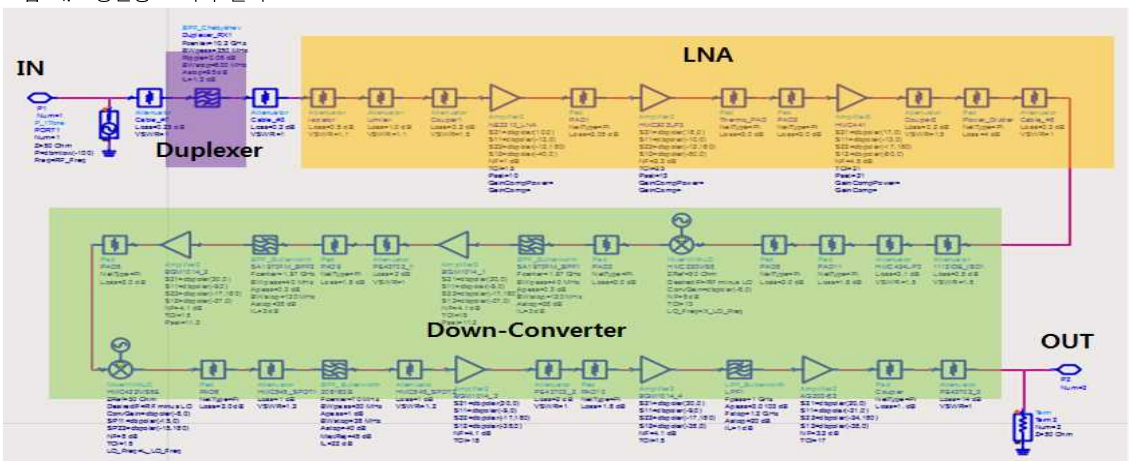


Fig. 6. Analysis circuit of RF transceivers receive path

그림 6. RF 송수신기 수신경로 해석 회로도

수신경로 해석 회로도는 그림 6과 같이 그림 2의 개념 구성도를 기반으로 선정된 제품의 전기적 특성을 반영하였다.

잡음지수 특성은 그림 7과 같이 약 5.5dB가 되도록 설계하였다. 수신 출력은 그림 8의 -14.787dBm으로 규격인 -16~-14dBm을 만족하도록 설계하였다. 고조파 및 불요파 특성을 확인할 수 있는 스펙트럼 특성은 그림 8의 약 -102dBc가 되도록 설계하여 규격인 -60dBc를 만족하도록 설계하였다.

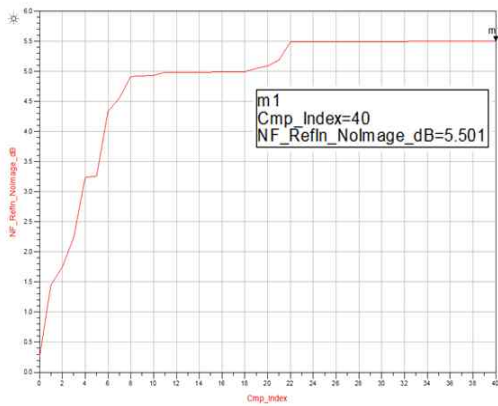


Fig. 7. NF result of the receive path
그림 7. 수신경로 잡음지수 결과

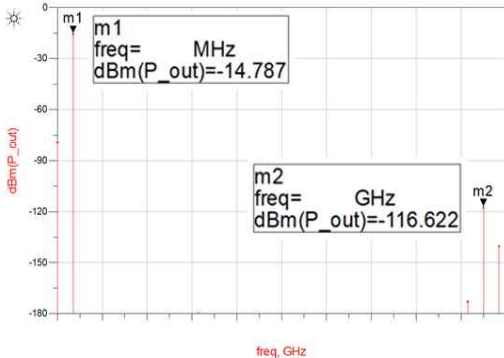


Fig. 8. Output and Spectrum result of the receive path
그림 8. 수신경로 출력 및 스펙트럼 결과

CDL용 장비는 송신과 수신이 동시에 이루어지는 양방향통신을 한다. 이에 RF 송수신기는 양방향통신을 지원해야 하므로, 안테나와 연결되는 RF 송수신기의 종단에 듀플렉서를 두어 양방향 통신이 가능하도록 하면서 송/수신 동작에 영향을 최소화하기 위해 그림 9와 같이 격리도 특성을 -99.312dB로 설계하여 표 1의 규격을 만족함을 확인하였다.

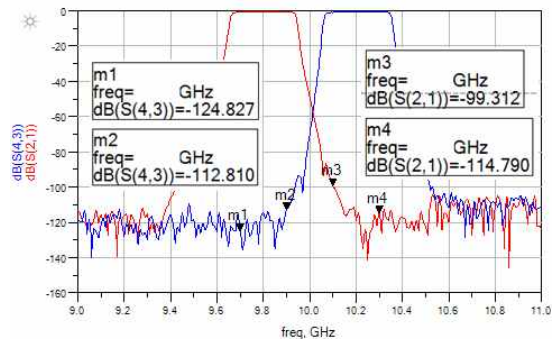


Fig. 9. Simulation result of the duplexer
그림 9. 듀플렉서 해석 결과

3. 열해석 분석 및 기구 설계

RF 송수신기의 물리적 구성품은 그림 10과 같이 전원부, 상/하향 변환부(주파수합성부 포함), 저잡음증폭부(듀플렉서, 제어부 포함), 전력증폭부, 모체판, 방열팬, 기구물로 구성된다.

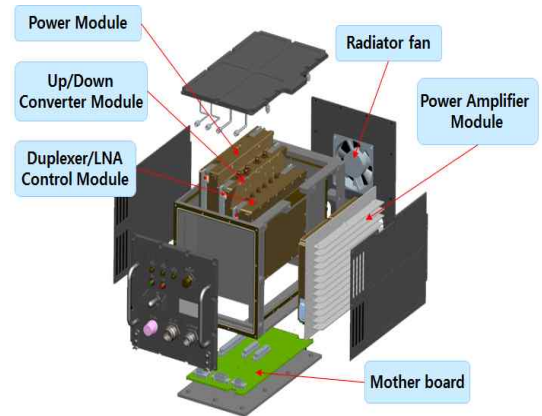


Fig. 10. Physical configuration of RF Transceiver
그림 10. RF 송수신기 물리적 구성

동작 온도에서도 표 1의 규격을 만족하기 위해 안정적인 방열이 필요하므로 상대적으로 열이 많이 발생하는 전원부와 전력증폭부를 좌/우 측면으로 위치시켰다. 특히 전력증폭부는 방열판 일체형, 외부 덮개를 추가하는 형태로 설계하였다. 그림 11과 같이 방열팬을 후면에 위치시키고, 좌/우 측면 양쪽에 공기 인입부를 두어 방열팬에 의한 전면에서 후면으로 공기를 강제대류 시키는 형태로 설계하였다. 그림 12와 같이 최대출력(40dBm), 고온(43℃)의 조건에서 열해석을 분석한 결과 가장 열이 높게 발생하는 부분은 전력증폭부 종단의 Main Amplifier로 75.68℃의 열이 발생하였다.

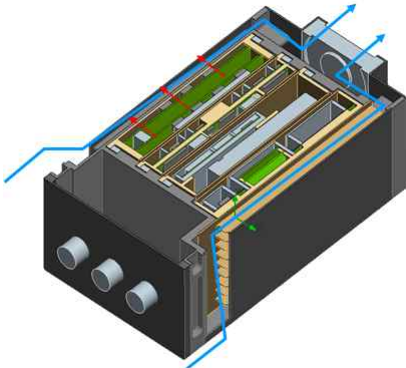


Fig. 11. Thermal analysis modeling of RF transceiver
그림 11. RF 송수신기의 열해석 모델링

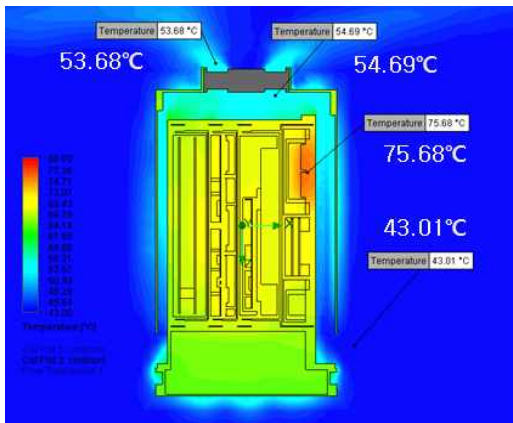


Fig. 12. Result of thermal analysis
그림 12. 열해석 결과

4. RF 송수신기 제작 및 측정

그림 13은 제작된 RF 송수신기의 사진이다. RF 송수신기의 전기적 특성, 온도 특성이 표 1의 요구사항을 만족하는지 실험을 통해 확인하였다.



Fig. 13. Photograph of the fabricated RF Transceiver
그림 13. 제작된 RF 송수신기 사진

송신경로의 출력은 그림 14와 같이 38.58dBm으로 표 1의 요구사항인 37dBm을 만족함을 확인하였다.

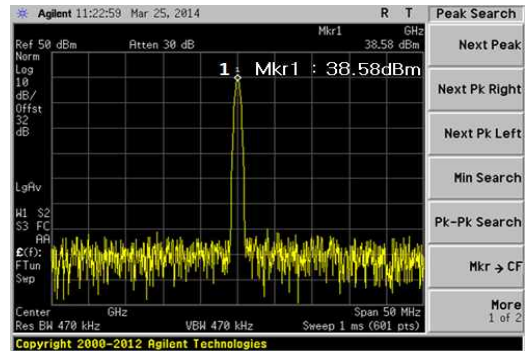


Fig. 14. Output power level of transmit path
그림 14. 송신 경로의 출력 전력 레벨

스펙트럼 특성 중 고조파 특성은 그림 15와 같이 -74.22dBc로 표 1의 요구사항인 -60dBc를 만족함을 확인하였다.

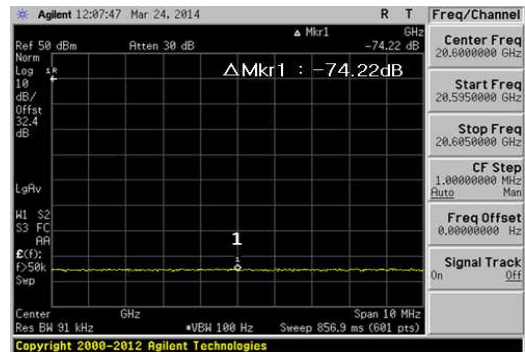


Fig. 15. Harmonic characteristics of transmit path
그림 15. 송신 경로의 고조파 특성

스펙트럼 특성 중 불요파 특성은 그림 16과 같이 -68.86dBc로 표 1의 요구사항인 -60dBc를 만족함을 확인하였다.

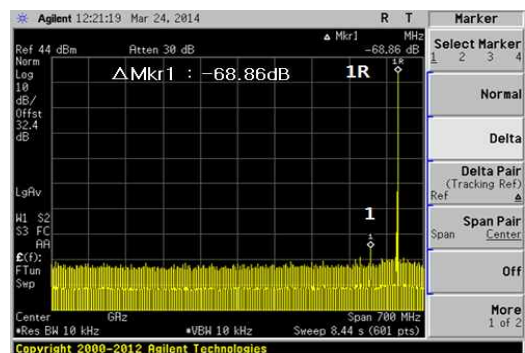


Fig. 16. Spurious characteristics of transmit path
그림 16. 송신 경로의 불요파 특성

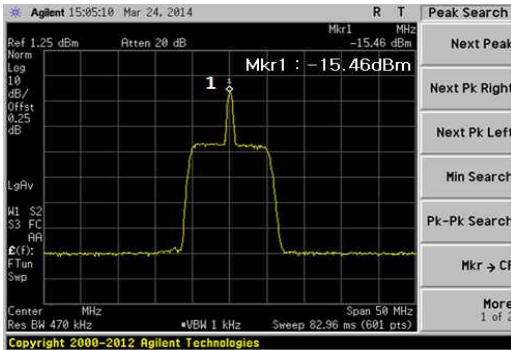


Fig. 17. Output power level of receive path
그림 17. 수신 경로의 출력 전력 레벨

수신경로의 출력(동적범위 포함)은 그림 17과 같이 -15.46dBm(@-88dBm 입력)으로 표 1의 요구 규격인 -16~-14dBm을 만족함을 확인하였다.

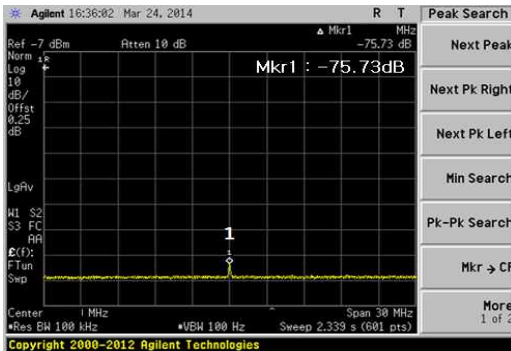


Fig. 18. Harmonic characteristics of receive path
그림 18. 수신 경로의 고조파 특성

스펙트럼 특성 중 고조파 특성은 그림 18과 같이 -75.73dBc로 표 1의 요구사항인 -60dBc를 만족함을 확인하였다.

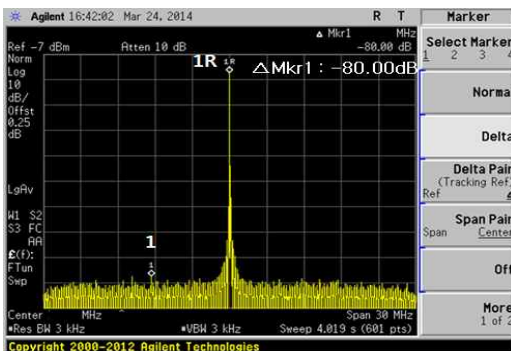


Fig. 19. Spurious characteristics of receive path
그림 19. 수신 경로의 불요파 특성

스펙트럼 특성 중 불요파 특성은 그림 19와 같이 -80.00dBc로 표 1의 요구사항인 -60dBc를 만족함을 확인하였다.

수신 경로는 듀플렉서와 2번의 주파수변환이 이루어지는 하향변환부로 구성이 되는데, 이와 같은 구조에서는 상용계측기로는 측정이 불가능하여 그림 20과 같이 저잡음 증폭부의 잡음 지수를 측정 한 후 전체 수신 경로의 잡음지수를 수식 (1)을 이용하여 계산하였다.

$$F = F_1 + \frac{F_2 - 1}{G_1} \quad (1)$$

여기서, F_1 : 첫 번째 단의 잡음 지수[1.7dB]

F_2 : 두 번째 단의 잡음 지수[3.8dB]

G_1 : 첫 번째 단의 이득[30.79dB]

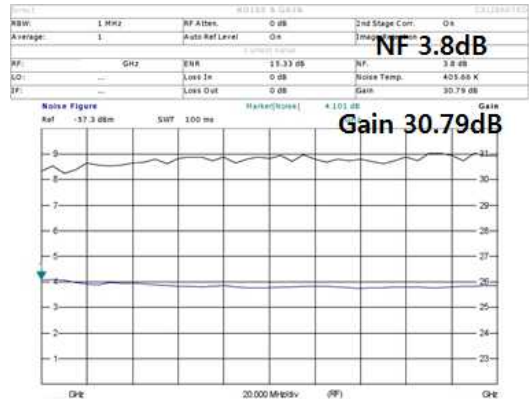


Fig. 20. Noise figure of Low Noise Amplifier
그림 20. 저잡음증폭기의 잡음지수

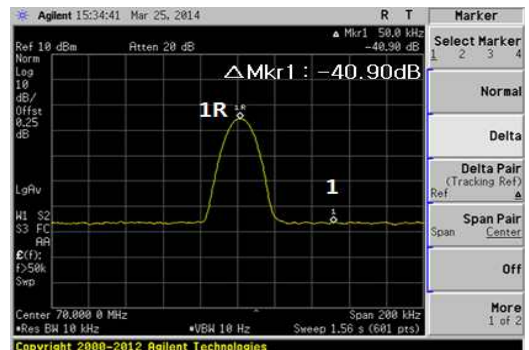


Fig. 21. Noise figure characteristics of receive path
그림 21. 수신 경로의 잡음지수 특성

또한 신호분석기를 이용하여 그림 21과 같이 SNR을 측정 한 후 수식 (2)를 이용하여 전체 수신경로의

잡음 지수를 계산하였다. (1)의 수식으로 계산한 결과는 5.5dB, (2)의 수식으로 계산한 결과는 5.1dB로 모두 요구 사양인 6dB를 만족하였다.

$$NF=174+sensitivity-SNR-10\log^{RBW} \quad (2)$$

여기서, 174: Thermal Noise[dBm/Hz]

Sensitivity: 수신경로 감도 레벨[-88dBm]

SNR: 신호 대 잡음비[40.9dB]

RBW: Resolution Band Width[10kHz]

송신 경로의 신호가 수신경로로 넘어가는 격리도 특성은 그림 22와 같이 약 -99.074dB이고, 수신 경로의 신호가 송신경로로 넘어가는 격리도 특성은 그림 23과 같이 약 -99.470dB로 표 1의 요구 사양인 -95dB를 만족함을 확인하였다.

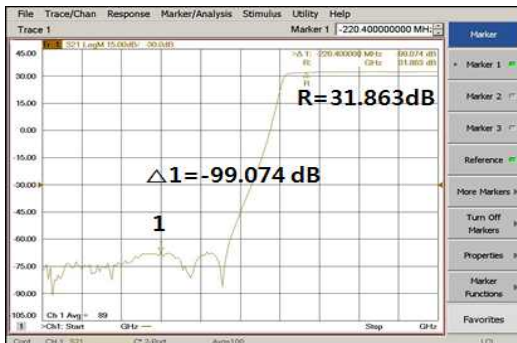


Fig. 22. Isolation characteristics of transmit path

그림 22. 송신 경로의 격리도 특성

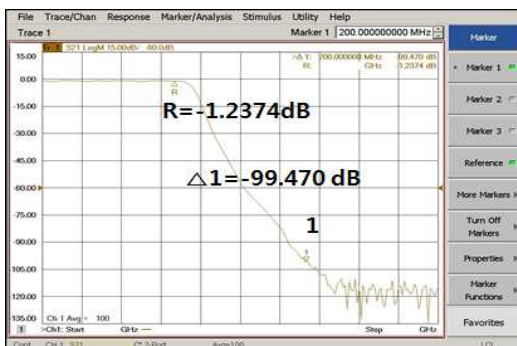


Fig. 23. Isolation characteristics of receive path

그림 23. 수신 경로의 격리도 특성

RF 송수신기는 그림 24의 온도시험 프로파일로 고온 및 저온 동작 시험을 3주기 반복하여 실시하였고, 표 1의 송/수신 출력 기준을 모두 만족함을 확인하였다.

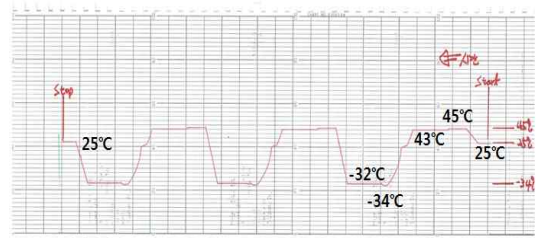


Fig. 24. Temperature profiles

그림 24. 온도 프로파일

III 결론

본 논문은 공용 데이터링크 지상탑재용 RF 송수신기 설계 및 구현에 관한 것이다. 요구되는 전기적 특성과 동작 온도 특성을 고려하여 설계하였으며, 모든 성능이 요구 규격을 만족하였다. 이 연구 결과는 개발 중인 데이터링크 시스템에 적용되어 그 효용성을 입증하였다.

References

- [1] Kyun-Hoi Kim, Youn-Do Tak, Seok-Hyun Shin, "Measurement of UHF-Band Propagation Loss for the Long Range Maritime Communication Environment." KIEES, 17, 5, pp. 490-499, May.2006
- [2] Sun-Gu Sun, Jung-Soo Lee, Byung-Lae Cho, Jong-Min Lee, "Design of K-band Radar Transceiver for Tracking High Speed Targets." KIEES, 21, 11, pp. 1304-1310, November.2010
- [3] JAMES B.TSUI, "Microwave receiver with electronic warfare applications", JOHN WILEY & SONS, pp.134-177, New York, 1986

BIOGRAPHY

Joo-Yeon Kim (Member)



1999 : BS degree in Radio Communication Engineering, Korea Maritime University.

2001 : MS degree in Radio Communication Engineering, Korea Maritime University.

2008~ : Senior Engineer, HANWHA

THALES