

차세대 항공 감시시스템(ADS-BES) 지상국 수신기 저잡음 증폭기 설계 및 구현

조주용¹ · 윤준철¹ · 박찬섭¹ · 박효달¹ · 강석엽^{2*}

Designing and Realizing the Ground Station Receiver Low Noise Amplifier of the Next-Generation Aeronautical Surveillance System

Ju-yong, Cho¹ · Jun-chul, Yoon¹ · Chan-sub, Park¹ · Hyo-Dal, Park¹ · Suk-youb, Kang^{2*}

¹ Electronics Engineering Department, Inha University, Incheon 402-751, Korea

² I.N. Tech Co., Ltd., M2104, Sondo IT Center, Yeonsu-gu, Incheon 654-321, Korea

요 약

본 논문에서는 차세대 항공 감시시스템에 대하여 소개하고, 지상국 수신기 전단부 저잡음 증폭기 설계에 관하여 연구하였다. 국제 표준 문서와 기존 제품의 성능을 고려하여 수신감도, 신뢰성 등이 경쟁력 있게 전체 시스템을 링크 버짓 하였으며, 이에 적합한 저잡음 증폭기를 얻기 위해 이득, 이득 평탄도, 반사손실 등을 최적이 되도록 설계 규격을 결정하였다. 설계시 저전력, 저잡음, 고이득 특성에 적합한 바이어스 회로를 구성하였으며, 최적 설계 후 실시한 모의실험 결과로 이득은 16.24dB, 잡음지수는 0.36dB, 입출력 반사손실은 각각 -18dB와 -28dB, 주파수 안정도는 1.11을 얻었고, 제작 후 측정 결과는 이득 17dB, 잡음지수 0.51dB, 이득 평탄도 0.23dB, 입출력 반사손실은 각각 -18.28dB, -24.50dB로 전체 시스템 구성에 적합한 결과를 얻었다.

ABSTRACT

This article introduces the next-generation air surveillance system and investigates how to design of front-end low noise amplifier of the ground station receiver. In consideration of the international standard documentation and the performance of existing products, the study conducts the link budget on the entire system so that it can be competitive in terms of receive sensitivity or reliability. To obtain a proper low noise amplifier, standards of design are decided so that such factors as gain, gain flatness, and reflective loss can be optimal. In its design, the bias circuit appropriate for the characteristics of low power, low noise, or high gain was built, and according to the results of the simulation conducted after the optimal design, its gain was 16.24dB, noise factor was 0.36dB, input-output reflective loss was -18dB and -28dB each, and frequency stability was 1.11. According to the results measured after the design, its gain was 17dB, noise factor was 0.51dB, gain flatness was 0.23dB, and input-output reflective loss was -18.28dB and -24.50dB each, so the results gained were suitable for building the overall system.

키워드 : 저잡음 증폭기, 자동종속감시방송시설, 다변측정감시, 항공 감시시스템

Key word : LNA, ADS-B(Automatic Dependant Surveillance-Broadcast), MLAT(Multilateration), Aeronautical Surveillance System

접수일자 : 2013. 08. 02 심사완료일자 : 2013. 08. 20 게재확정일자 : 2013. 09. 05

* **Corresponding Author** Suk-Youb Kang(E-mail:int-ksy@hanmail.net, Tel:+82-32-209-7943)

I.N. Tech Co., Ltd., M2104, Sondo IT Center, Yeonsu-gu, Incheon 654-321, Korea

Open Access <http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2013.17.10.2273>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

©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.
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

I. 서론

항공 교통의 발전에 기여한 레이더는 1934년 미 해군 연구소(L.H Hyland Naval Research Laboratory)의 R.M. Page에 의해서 최초로 항공기 탐지를 성공[1]한 후 약 80여년이 지난 현재에 이르기까지 수많은 기술들이 획기적으로 개발되었고 눈부신 발전을 이루었다. 레이더는 항공기와 항공기 간 및 공항 기동 지역 내의 항공기와 장애물간 충돌방지, 항공교통의 촉진 및 질서 유지와 항공기가 안전, 신속, 정확하게 운항할 수 있도록 항공교통관제 업무에 필수 시설로 자리매김하고 있지만 지상을 기반으로 하는 현행 시스템은 지형 장애물에 의한 전파도달거리 한계, 식별코드의 부족 및 낮은 데이터 갱신을 등으로 증가하는 항공교통량을 처리하기에는 한계가 있다.

그리하여 국제민간항공기구(ICAO)는 항공운송산업의 발전과 함께 항공관련 기술의 발전에 따른 새로운 시스템과 개념들의 출현 및 국제항공산업의 향후 수요를 반영하기 위하여 1983년부터 위성과 데이터링크 통신을 이용하는 CNS/ATM (Communications, Navigation, Surveillance/Air Traffic Management)의 개념과 기술을 연구하기 시작하였고, 특히 2003년 제11차 항공향행회의에서는 ATM 운영개념 구성요소 중 중요한 수단으로서 사용될 차세대 항공감시시스템인 자동종속감시방송 시설 (ADS-B ; Automatic Dependant Surveillance - Broadcast)의 이용개념을 채택하여 각국의 연구를 장려하였고, 효율적인 항공안전과 공역의 용량 증가를 향상하는 전 세계적인 ATM 운영개념을 수행하는 시설로 인정하게 되었다.

ADS-B는 전용 무선 데이터링크를 통하여 항공기 또는 지상 이동지역 내에서 운행하는 지상차량에서 자신의 정보(위치, 고도, 속도 등)를 주기적으로 방송하는 기능이다. 이러한 기능은 공역 이용의 개선, 운고/시정 등 기상제한사항 감소, 조종사의 조종실 상황인식, 지상감시 및 충돌관리 개선 등을 통해 안전성을 향상시킬 수 있다[2]. 최근에는 ADS-B의 문제점이라고 할 수 있는 GNSS 안전성 문제에 영향을 받지 않는 차세대 감시시스템으로 다변측정감시(MLAT ; Multilateration) 시스템이 전 세계적으로 이슈화 되고 있다. 차세대 항공 감시시스템이라고 하는 ADS-B와 MLAT는 수신기 신호 처리부의 성능은 다소 차이가 있으나 전단부의 기능과

성능은 동일하다고 할 수 있다.

본 논문에서는 차세대 항공 감시시스템을 위한 1090 MHz 대역 저잡음 증폭기에 대하여 연구하였으며, 이를 위하여 기존 제품의 성능분석과 각종 국제 표준 기술기준 등을 바탕으로 ADS-B 1090ES 수신기 전단부를 설계하였다.

설계한 모든 회로는 ADS(Advanced Design System)를 이용하여 검증하였으며, 이 결과를 바탕으로 제작과 측정 및 성능 분석을 진행하였다.

II. 항공 감시시스템항공 감시시스템

2.1. 기존 감시시스템

최근까지 항로, 공항 주변 및 공항 내 지상이동 지역의 항공기 감시는 항공교통의 안전성, 효율성 및 수용능력을 향상시키는 항행안전시설인 레이더에 의존하고 있으며, 레이더는 일차/이차감시레이더(PSR/ SSR), 지상감시레이더(SMR)가 주로 사용되어 왔으나[3], 이러한 시스템은 위치오차 및 약기상에 의한 이동 물체 탐지의 어려움이 있고 설치/운영 유지비가 많이 소요되며 특히, 산악/장애물에 의한 전파차폐로 레이더 감시 사각지대가 발생된다. 그림 1과 그림 2는 기존의 감시시스템 개념도를 나타내고 있다.

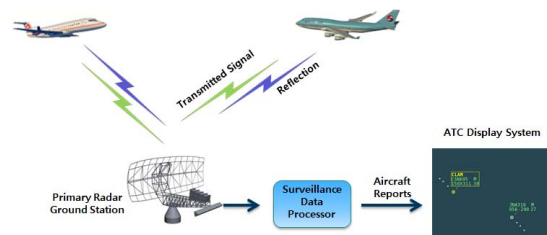


그림 1. 1차 감시레이더 기본 개념도
Fig. 1 The basic concept map of the 1st surveillance radar

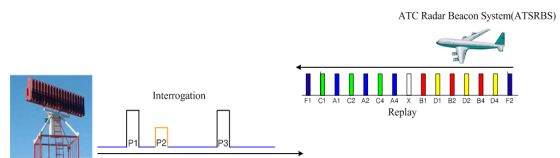


그림 2. 2차 감시레이더 기본 개념도
Fig. 2 The basic concept map of the 2nd surveillance radar

2.2. 차세대 감시시스템

현행 레이더의 성능 한계로 안전 확보와 더 많은 교통량의 수용에 한계가 있어 디지털을 기반으로 하는 새로운 첨단 감시시스템의 도입 필요성이 계속적으로 대두되고 있으며, 차세대 감시시스템으로 자동종속감시 방송(ADS-B) 시스템과 다변측정감시 시스템(MLAT) 도입이 전 세계적으로 진행 중에 있다.

향후에는 현재의 레이더기반 감시시스템이 MLAT와 ADS-B 감시기술이 융합된 항공감시체계로 전환될 전망이다[4]. 그림 3과 그림 4에는 차세대 감시시스템의 개념도를 나타내었다[5].

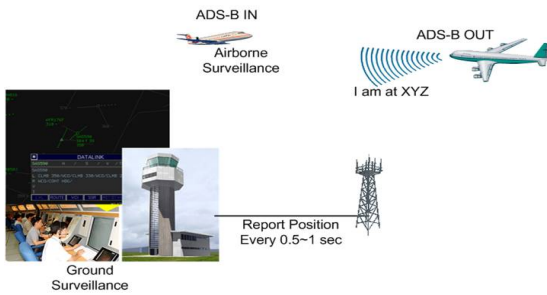


그림 3. ADS-B 운용개념도
Fig. 3 The concept map of ADS-B operation

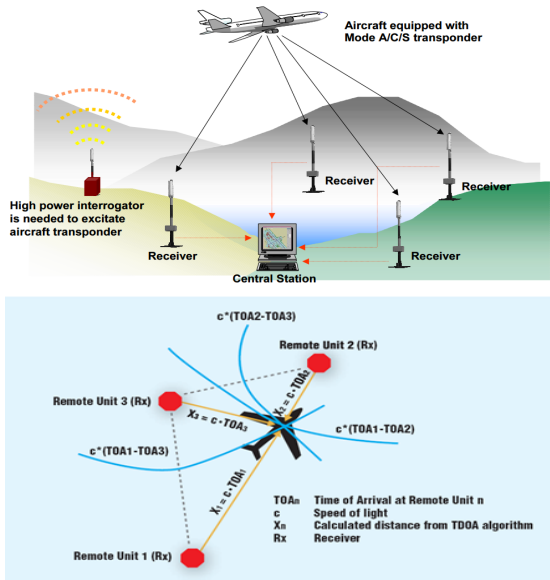


그림 4. 다변측정감시시스템(MLAT) 개념도
Fig. 4 The concept map of the MLAT system

III. ADS-B 1090ES용 LNA 설계 및 제작

3.1. ADS-B 수신기 성능

ADS-B 장비는 세 가지의 클래스가 있다. 송수신이 가능한 장비로 항공기와 차량에 탑재되는 클래스 A, 송신만 가능한 장비로 항공기와 차량에 탑재되는 클래스 B 및 수신만 가능한 장비로 지상국에 설치 가능한 클래스 C로 구성된다.

ADS-B 클래스 A의 수신 서브시스템은 파라미터 설정 및 감도에 따라 표 1과 같이 분류한다[6].

표 1. ADS-B 클래스 A 수신 장비 특성

Table. 1 Characteristic of ADS-B Class A receiver equipment

클래스	최소 수신감도	운용 예	최소 메시지 요구능력
A0 (기본 VFR)	-72dBm	시각획득 지원 공항 지상감시	상태벡터 보고 모드상태 보고
A1 (기본 IFR)	-79dBm	A0 수용 충돌 방지 동시 접근	A0 수용 공중 참조 속도 보고
A2 (항상)	-79dBm	A1 수용 분리 보증 및 순서	A1 수용 표적상태 보고 궤도수정 보고 (예비)
A3 (확장)	-84dBm	A2 수용 비행경로 충돌방지 계획	A2와 동일

3.2. ADS-B 1090ES 수신기 설계

본 논문에서 구현하고자 하는 설계 사양은 기존 제품의 수신기 성능과 RTCA DO-260B 기술 문서의 최소 성능 표준을 참고하여 기존 ADS-B 수신기 보다 잡음지수 감소와 수신감도를 향상할 수 있도록 성능 목표를 정했다.

그림 5에 수신기 전단부의 시스템 버짓을 나타내었다. 시스템 버짓 시 항공기 CLASS중 ADS-B 송신출력이 가장 낮은 등급인 A0의 송신출력 70W로 송신된 신호를 250NM 떨어진 위치에서 수신 가능 하도록 하였다. 설계 시에 수신감도에 대한 마진은 대략 7dB를 가지도록 설계하였다.

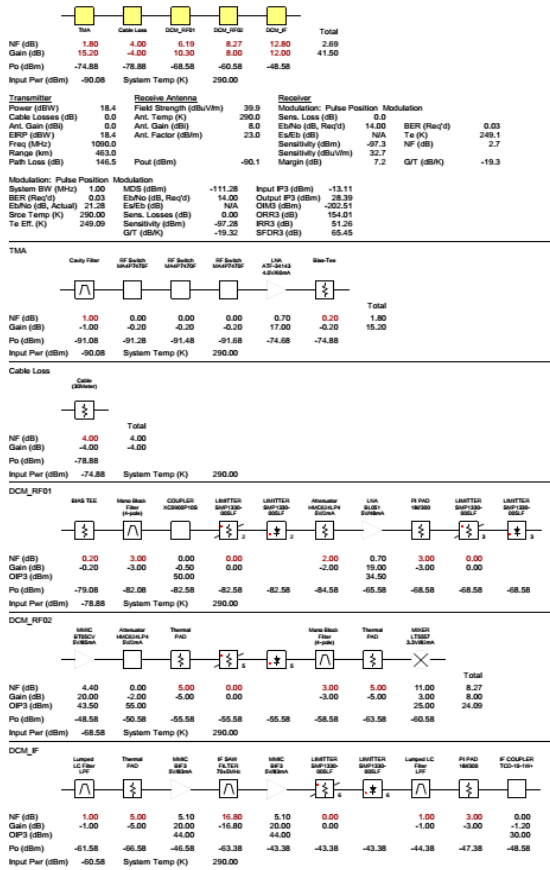


그림 5. 수신기 전단부 버짓
Fig. 5 The receiver's front end budget

3.3. LNA 설계

수신기 전단에 사용되는 저잡음 증폭기의 최소 요구 사항에 적합하도록 동작 주파수는 1090MHz ± 1MHz, 잡음지수는 0.7dB 이하, 이득은 15dB 이상, 이득 평탄도는 1.0dB 이내, 입출력 반사손실은 각각 -18dB 이하로 설정하였다. 본 논문에서 구현하고자 하는 수신기 저잡음 증폭기의 성능 목표는 표 2와 같다. 수신기 전단부는 수신감도를 향상시키기 위해 낮은 잡음지수와 이득, 그리고 낮은 입출력 반사계수 특성을 만족하도록 설계한다. 따라서 본 논문에서는 이러한 특성들을 만족시키기 위하여 수신기의 목표성능을 분석하여 적절한 저잡음 증폭기 회로를 도출하였다. 바이어스와 안정도를 고려해 입출력 정합 시 최소잡음이 발생하도록 하였으며, 부족한 이득을 보상하기 위해 이득을 최대화 하였다.

표 2. 제안된 저잡음 증폭기의 성능 목표

Table. 2 The performance goal of the low noise amplifier suggested

설계 파라미터	사양	단위
동작 주파수	1,090 ± 1	MHz
잡음지수	< 0.7	dB
이득	> 15	dB
이득 평탄도	< 1.0	dB
입력 반사손실 계수	< -18	dB
출력 반사손실 계수	< -18	dB
OIP3	31.531	dB

이는 전체 시스템에서 첫 단의 잡음 특성이 시스템 전체의 잡음특성을 좌우하기 때문이다[7]. 또한 설계 회로의 성능 검증을 위해 RF 및 마이크로웨이브 회로 설계를 위한 Agilent사의 ADS (Advanced Design System) 툴을 사용하여 검증했다. 그림 6과 그림 7에 각각에 대한 이득, 반사계수 및 입출력 반사계수의 모의 실험 결과를 나타내었다.

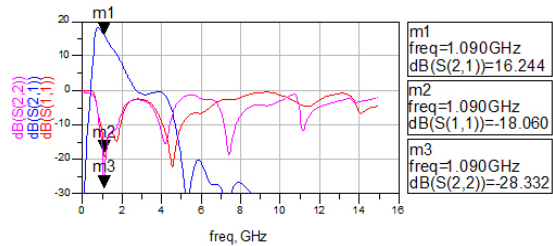


그림 6. 이득 및 반사계수의 모의실험 결과
Fig. 6 The results of the simulation on input-output reflection coefficients

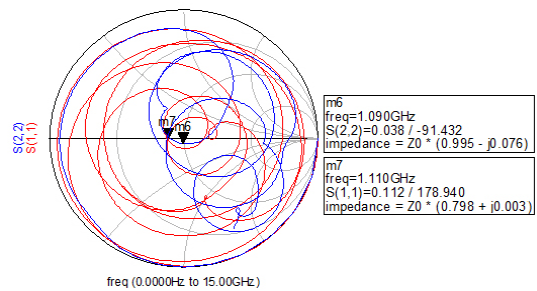


그림 7. 입출력 반사계수 모의실험 결과
Fig. 7 The results of the simulation on gain and reflection coefficients

3.4. LNA 제작

1090ES 수신기용 저잡음 증폭기 제작은 3.2 절에서 진행한 모의실험 결과를 통해 최적화된 파라미터를 이용하여 구현하였다.

제작된 PCB는 입력 전송 선로의 손실을 최소화하기 위하여, 비유전율(Dielectric Constant)이 3.5이고 손실 탄젠트(loss tangent)가 0.003, 두께가 0.762 mm인 Taconic사의 RF 35 Teflon 기판을 사용하였으며, 제작된 크기는 60×60 mm 이다. 그림 8에 PCB에 부품이 실장된 모습을 나타내었으며, 최적화된 PCB 회로의 안정화를 위하여 기구적으로 차폐를 하였다.



그림 8. 제작된 저잡음 증폭기
Fig. 8 The low-noise amplifier designed

IV. 측정 및 고찰

본 장에서는 제작한 저잡음 증폭기를 검증하기 위해 성능을 측정하고 결과에 대해 분석하였다. 성능 측정에는 Agilent사의 4438C 신호발생기와 N9030A 스펙트럼 분석기, 8357A 네트워크 분석기, N8975A 잡음지수 분석기 및 N4000A 잡음센서를 이용하였다. 그림 9는 평탄도 및 이득을 측정한 결과로 1090MHz에서 17dB 이상의 이득과 0.23dB 이하의 이득 평탄도 특성을 나타내고 있다. 이득 평탄도는 통과 대역 주파수와 반응의 변화량으로 1dB 미만으로 요구되며 전체 시스템 이득을 설정하는데 중요한 요소로 작용한다.

그림 10은 입력 반사손실 측정 결과로 18.28dB의 특성을 나타냈으며, 모의실험 결과 주파수 안정도 K가 1.11 이상일 때 입력 반사손실이 -18.06dB 이므로 성능 목표를 만족하였다.

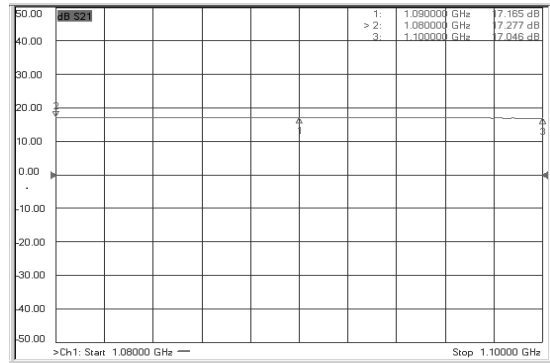


그림 9. 저잡음 증폭기의 평탄도와 이득의 측정 결과
Fig. 9 The results of measuring the flatness and gain for the low noise amplifier

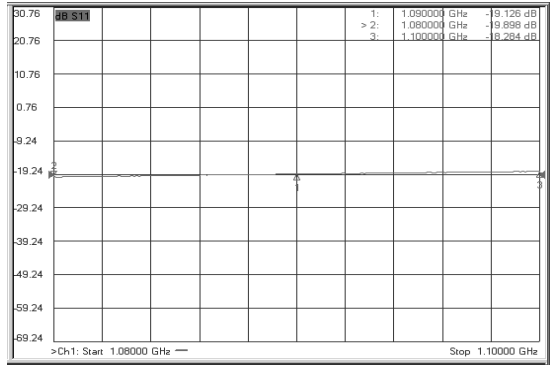


그림 10. 저잡음 증폭기의 입력 반사손실 측정 결과
Fig. 10 The results of measuring the Input return loss for the low noise amplifier

그림 11은 출력 반사손실 특성을 나타낸 것으로 -24.50dB로 모의실험에서 얻은 -28.32dB를 만족하지 못하였다. 그 원인은 전송선로의 불연속 및 커플링 현상으로 신호의 손실을 초래하거나, 고주파에서 집중정수 소자 자체의 허용오차 때문일 수 있다. 또는 PCB 제작 시 에칭의 오차에 의한 전송선로 특성 변화와 납땀에 의한 오차로 측정결과가 모의실험 결과와 차이를 나타냈다고 할 수 있다. 하지만 최초 수신기 설계 시 설정했던 수신기의 목표치 -18dB는 만족하는 결과를 얻었다.

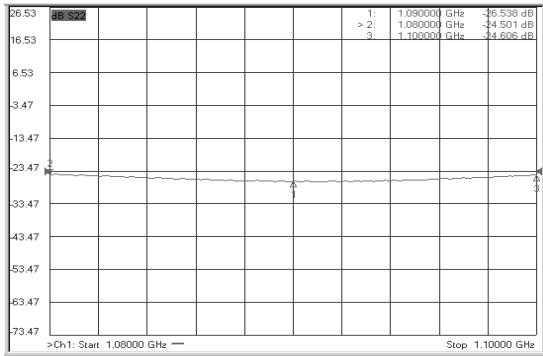


그림 11. 저잡음 증폭기의 출력 반사손실의 측정 결과
Fig. 11 The results of measuring the Output return loss for the low noise amplifier

그림 12는 잡음지수 측정 결과를 나타낸 것으로 1090 MHz에서 0.51dB의 특성을 나타내고 있다. 제작된 수신기의 잡음지수 측정 결과가 모의실험에서 얻은 잡음지수 0.36dB를 만족하지 못하였다. 잡음지수는 입력 반사손실과 상관관계를 가지므로 입력 반사손실 S11을 -18dB이상으로 만족하도록 정합한 결과 0.51dB의 측정 결과를 나타내었다. 하지만 최초 수신기 설계시 설정했던 수신기의 잡음지수 목표치인 0.7dB 이하를 만족하였다.

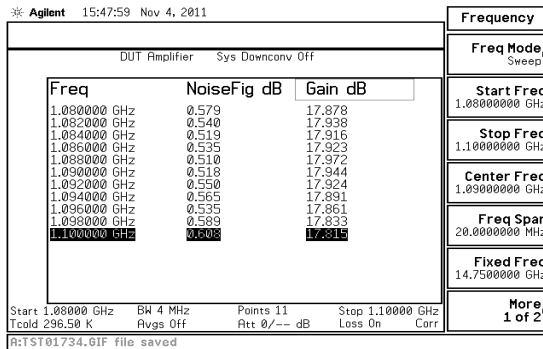


그림 12. 저잡음 증폭기의 잡음지수 측정 결과
Fig. 12 The results of measuring the noise figure characteristic for the low noise amplifier

그림 13은 OIP3(3rd Order Intercept Point) 특성을 나타낸 것이다. 두 채널 간의 간격은 1 MHz, 입력 신호의 크기는 능동 소자 ATF-34143의 등가회로와 비교하기 위하여 5dBm으로 설정하였다. 측정결과 입력 신호의

크기는 5dBm에서 혼변조 왜곡 IMD(Intermodulation Distortion)가 -53.3dB이므로, OIP3 계산 수식에 의하여 약 31.6dBm을 얻는다. 제작된 수신기의 OIP3 측정 결과는 사용된 능동 소자 ATF-34143의 OIP3값 31.531 dBm을 만족한다.

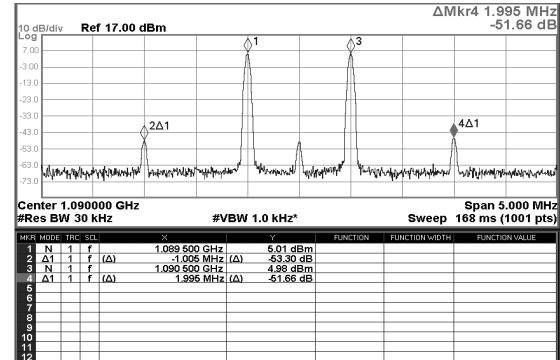


그림 13. 저잡음 증폭기의 OIP3 특성 측정 결과
Fig. 13 The results of measuring the OIP3 characteristic for the low noise amplifier

표 3은 제작된 저잡음 증폭기의 측정 결과이다. 목표 대비 잡음지수는 0.2dB, 이득은 2dB, 이득 평탄도는 0.77dB, 입력 반사계수는 0.28dB, 출력 반사계수는 6.5dB의 향상되었다.

표 3. 측정 결과 요약

Table. 3 The summaries of measurement results

설계 파라미터	목표치	모의실험 결과	측정 결과
동작 주파수	1,090 ± 1	1,090 ± 1	1,090 ± 1
잡음지수	< 0.7	0.36	0.51
이득	> 15 ± 1	16.24	17
이득 평탄도	< 1.0dB	-	0.23
입력 반사손실 계수	< - 18	-18.06	-18.28
출력 반사손실 계수	< - 18	-28.33	-24.50
OIP3 *ATF-34143 소자 측정	31.531	-	31.6

제작된 수신기의 잡음지수 및 출력 반사손실 계수는 모의실험 결과 보다는 다소 좋지 않은 결과를 얻었으나,

목표 사양은 모두 만족하였다. 이는 모의실험에서 고려하지 못했던 커넥터 및 소자 특성과 전송선로의 불연속 및 커플링 현상, 고주파에서 집중 정수 소자, PCB 제작 시 에칭의 오차에 의한 전송선로 특성 변화와 납땀에 의한 오차로 측정결과와 모의실험 결과가 차이를 나타내는 것으로 추측된다.

이득 및 이득 평탄도, 입력 반사손실, OIP3는 모의실험결과를 만족하는 동시에 목표사양을 만족하였다.

V. 결 론

본 논문에서는 효율적인 항공안전과 공역의 용량 증가를 향상시키기 위한 차세대 항공 감시시스템인 자동 종속감시방송시설(ADS-B) 송신기를 장착한 항공기의 정보를 수신 받기 위한 1090 MHz 수신기에 사용 가능한 저잡음 증폭기에 대한 설계와 구현에 대한 연구를 수행하였다.

설계한 항공 감시용 ADS-B 1090ES 수신기의 전단부는 저잡음 증폭기와 주파수 혼합기로 구성되어 있고, Avago사의 ATF-34143 라이브러리를 이용하여 저잡음 증폭기를 설계하였다. 선행과정으로 ADS -B 1090ES 수신기의 최소성능표준안을 분석하고 시스템 버짓을 하여 각 블록의 성능을 결정하여 신뢰성을 확보하였다.

수신기 전단부의 이득과 잡음 특성을 개선시키기 위해 동작점을 저전력, 저잡음, 고이득 특성을 내도록 선택하여 바이어스 회로를 구성하였다.

회로 설계는 Agilent사의 모의실험을 위한 ADS 툴을 이용하여 모의실험 및 최적화를 수행하였다. 또한, 실제 PCB 설계 시 적용되어지는 마이크로스트립 선로와 제조사 라이브러리를 이용하여 과의 오차를 줄일 수 있도록 하였다. 저잡음 증폭기의 경우 저전력화를 위하여 매우 낮은 전류로 구동하는 트랜지스터를 이용하였으며, 입력과 출력 정합회로는 잡음, 이득 그리고 선형성을 동시에 만족할 수 있도록 하였다. 특히 사용 주파수 이외의 저주파는 물론 충분한 고주파에서도 발진요소가 있는지 확인하기 위하여 16 GHz까지 모의실험을 하였으며, 전력 소모가 200 mW 이하가 되도록 하는데 중점을 두었다. 모의실험으로 최적화된 회로로 제작된 저잡음 증폭기의 측정된 결과는 수신기의 성능이 RTCA 표준의 최소 성능 요구사항을 만족할 수 있게 동작주파

수 1090 MHz \pm 1 MHz, 잡음지수는 목표 성능과 비교하여 0.7dB 이하인 0.51dB, 이득은 15dB 이상인 17dB, 이득 평탄도는 1.0dB 이내인 0.23dB, 입출력 반사손실은 각각 -18dB 이하인 -18.28, -24.50dB 이상의 특성으로 원하는 설계 규격을 만족하였다.

본 연구 결과는 향후 동종 분야 설계에 좋은 참고 자료가 될 수 있으며, 차세대 항행 안전시설의 응용분야에서 활용성이 높을 것으로 판단한다.

감사의 글

본 논문은 국토교통부 국토교통과학기술진흥원 “ADS-B 1090ES 지상 장비 개발” 과제의 일환으로 수행되었으며 지원에 감사드립니다.

REFERENCES

- [1] S. S Lee and J. S. Kang, *Radar Engineering*, boseong culture Pub., 1997.
- [2] ICAO, *Assess for ADS-B to Support Air Traffic Service and Guideline for Implementation*, 2006.
- [3] J. M. Ahn, H. Y. Hur, Y.S. Ji, and W. G. Park, “Cost-Effectiveness analysis on development of Aviation Safety System” *Journal of Aviation Management Society*, vol. 11, no. 2, pp. 27-42, Apr. 2013.
- [4] T. K. Lee “A Planning report on the research and development for Multilateration”, Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, pp.1-103, 2012.
- [5] T. S. Kim, J. W. Jang, S. W. Kim “Study on the Development Plan of the Aeronautical Surveillance System of Multilateration” *2012 KSAS Fall Conference*, pp. 1805-1811. 2012.
- [6] RTCA Do 260B, *Minimum Operational Performance Standards for 1090MHz Extended Squitter Automatic Dependent Surveillance-Broadcast (ADS-B) and Traffic Information Services-Broadcast (TIS-B)*, RTCA, 2009.
- [7] Guillerrno Gonzalez, *Microwave Transistor Amplifiers*, Prentice Hall, 1997.



조주용(Ju-Yong Cho)

2007년 8월 : 영남대학교 컴퓨터공학과(공학사)
2012년 2월 : 인하대학교 전자공학과(공학석사)
2013년 3월 ~ 현재 : 인하대학교 전자공학과(박사과정)
※ 관심분야 : 초고주파공학, 항공통신시스템, 무선통신시스템



윤준철(Jun-Chul Yoon)

2006년 2월 : 한국산업기술대학교 전자공학과(공학사)
2008년 2월 : 인하대학교 전자공학과(공학석사)
2009년 2월 ~ 현재 : 인하대학교 전자공학과(박사과정)
※ 관심분야 : 항공통신시스템, RF통신, 임베디드시스템



박찬섭(Chan-Sub Park)

2006년 2월 : 한국해양대학교 전파공학과(공학사)
2008년 2월 : 한국해양대학교 전파공학과(공학석사)
2012년 2월 ~ 현재 : 인하대학교 전자공학과(박사과정)
※ 관심분야 : 신호처리시스템, 항공통신시스템, 초고주파공학



박효달(Hyo-Dal Park)

1978년 2월 : 인하대학교 전자공학과(공학사)
1984년 : (불)국립항공우주대학 전자공학과(공학석사)
1984년 : (불)국립항공우주대학 전자공학과(공학박사)
1992년 ~ 현재 : 인하대학교 전자공학과 정교수
※ 관심분야 : 항공통신시스템 설계, 초고주파공학, 전자장이론, 안테나공학



강석엽(Suk-Youb Kang)

1997년 2월 : 인천대학교 전자공학과(공학사)
1999년 2월 : 인하대학교 전자공학과(공학석사)
2005년 8월 : 인하대학교 전자공학과(공학박사)
2007년 7월 ~ 현재 : 쥘아이엔텍 대표이사
※ 관심분야 : 초고주파공학, 무선통신시스템, 항공통신시스템, 전자장이론, 안테나설계