

위성 DAB 수신을 위한 저잡음 증폭기의 설계 및 구현에 관한 연구

전 중 성* · 유 재 환**

*한국해양대학교 부설 산업기술연구소, ** 한국해양대학교 전파·정보통신공학부

A Study on Design and Implementation of Low Noise Amplifier for Satellite Digital Audio Broadcasting Receiver

Joong Sung Jeon* · Jae Hwan You**

*Research Institute of Industry Technology, Korea Maritime University

**Dept. of Radio Information and Communication Engineering, Korea Maritime University

요 약 : 본 논문에서는 1,452~1,492 MHz L-Band 대역의 위성 DAB 수신기를 위한 저잡음증폭기를 입·출력 반사계수와 전압정재파비를 개선하기 위하여 평형증폭기 형태로 설계 및 제작하였다.

저잡음증폭기는 GaAs FET 소자인 ATF-10136을 사용한 저잡음증폭단과 MMIC 소자인 VNA-25을 사용한 이득증폭단을 하이브리드 방식으로 구성하였으며, 최적의 바이어스를 인가하기 위하여 능동 바이어스 회로를 사용하였다. 적용된 능동 바이어스 회로는 소자의 핀치오프전압(V_P)과 포화드레인 전류(IDSS)의 변화에 따라 주어진 바이어스 조건을 만족시키기 위해 소스 저항과 드레인 저항의 조절이 필요없다. 즉, 능동 바이어스 회로는 요구된 드레인 전류와 전압을 공급하기 위해 게이트-소스 전압(V_{GS})을 자동적으로 조절한다.

저잡음증폭기는 바이어스 회로와 RF 회로를 FR-4기판 위에 제작하였고, 알루미늄 기구물에 장착하였다. 제작된 저잡음증폭기는 이득 32 dB, 이득평탄도 0.2 dB, 0.95 dB 이하의 잡음지수, 입·출력 전압정재파비는 각각 1.28, 1.43이고, P_{1dB}는 13 dBm으로 측정되었다.

핵심용어 : DAB(Digital Audio Broadcasting), 저잡음증폭기(LNA), 능동 바이어스, 저항 결합회로

Abstract : In this paper, a LNA(Low Noise Amplifier) has been developed, which is operating at L-band i.e., 1452~1492 MHz for satellite DAB(Digital Audio Broadcasting) receiver. The LNA is designed to improve input and output reflection coefficient and VSWR(Voltage Standing Wave Ratio) by balanced amplifier.

The LNA consists of low noise amplification stage and gain amplification stage, which make a using of GaAs FET ATF-10136 and VNA-25 respectively, and is fabricated by hybrid method.

To supply most suitable voltage and current, active bias circuit is designed. Active biasing offers the advantage that variations in V_P and I_{DSS} will not necessitate a change in either the source or drain resistor value for a given bias condition. The active bias network automatically sets V_{GS} for the desired drain voltage and drain current.

The LNA is fabricated on FR-4 substrate with RF circuit and bias circuit, and integrated in aluminum housing. As a results, the characteristics of the LNA implemented more than 32 dB in gain, 0.2 dB in gain flatness, lower than 0.95 dB in noise figure, 1.28 and 1.43 each input and output VSWR, and -13 dBm in P_{1dB}.

Key words : DAB, LNA, Active Bias, Resistive Decoupling Circuit

1. 서 론

현대의 방송환경은 과거의 다채널화라는 양적인 측면과 다양한 서비스라는 질적인 측면이 더욱 부각되고 있다. 그 변화의 근간은 디지털 기술이 얼마 되지 않은 짧은 시간에 비약적으로 발전하여 방송분야에까지 적용되기에 이르렀다는데 있다. 최근 방송환경의 주된 변화 요인이 바로 방송의 디지털화로 요약되는 것이다(권,1998).

이러한 시점에서 기존의 아날로그 라디오 방송도 그 전환점을 맞이하고 있으며 디지털 방송으로의 전환은 필수적이라 할

수 있다. 디지털 오디오 방송(Digital Audio Broadcasting; DAB)에 대한 논의는 세계 각국 및 국내에서 지상파를 중심으로 이루어져 왔으나 미국과 유럽에서는 이러한 디지털 오디오 방송에 대한 관심을 위성으로 확장시키고 있다. 위성 DAB는 오디오 프로그램을 지상의 지구국을 통하여 위성으로 보내고 위성의 트랜스폰더는 이 신호를 L-band(1 GHz~2 GHz) 또는 S-band(2 GHz~4 GHz) 대역의 주파수로 전환시켜 지상으로 송신하는 방송서비스를 말한다. 이러한 위성 DAB는 지상파 DAB와 달리 위성을 전송 수단으로 하며 넓은 전송대역폭(25 MHz)을 사용할 수 있으므로 기존 방송의 가청범위를

* 대표저자 : 전중성(정회원), jsjeon@hanara.kmaritime.ac.kr, 051) 410-4788

** 98you1515@hanmail.net, 051) 410-4939

확기적으로 확대할 수 있으며 다양한 품질의 오디오뿐만 아니라 데이터와 동영상 서비스 제공이 가능하며 범세계적인 정보 인프라로서의 의미를 갖는 것이다(장,1999).

따라서 위성 DAB 정보 전송은 마이크로웨이브 위성 통신 시스템에 의해 이루어지는데, 위성에서 송신된 신호는 먼거리를 전파되어오기 때문에 수신부에는 -100 dBm 정도의 미약한 신호가 수신된다. 또한 안테나로부터 수신된 미약한 신호를 증폭시킬 때 신호와 잡음이 동시에 증폭되면 시스템 전체의 신호대 잡음비가 떨어지므로 미약한 신호는 증폭하고 잡음은 최소화시키는 높은 이득의 저잡음증폭기가 필요하다.

초단에 사용되는 저잡음 반도체 증폭소자로는 실리콘 소자보다 전자이동 속도, 전계의 변화 그리고 전자의 포화드리프트 속도가 더욱 빨라 S/N(Signal to Noise)비가 개선되고 같은 특성의 실리콘 소자보다 더 높은 증폭도를 가질 수 있는 GaAs MOSFET 소자를 많이 사용하고 있다. 초고주파 대역에서 회로를 집적하는 방법에는 Monolithic 방법과 Hybrid 방법이 있으며, Monolithic 집적회로 경우 단말기와 기타 통신장비의 소형, 경량화를 이룰 수 있지만, 생산단가가 Hybrid 보다 훨씬 높다(PRASAD,1988; Soares,1988).

2. 위성 DAB의 시스템의 개요

위성 DAB 시스템은 위성을 통해 고정, 이동, 휴대용 수신기에 오디오와 부가 데이터, 또는 동영상을 포함한 다양한 품질의 멀티미디어 방송 서비스를 저비용으로 제공하며, 일정 주파수의 디지털 오디오 방송을 실시한다. 이 방송은 육상 지구국을 통해 중계되거나 DAB 수신기에 직접 전달된다. 또한 난청지역을 위해 Gap Filler라는 육상 전용 중계기를 두어 난청지역의 해소를 할 수 있다(전자부품연구원, 2002).

위성 DAB의 경우 다수의 방송 위성을 통해 각국의 실정에 맞는 방송을 시행하고 있거나 계획 중에 있으며 각 위성마다 사용하는 주파수의 차이를 보이고 있다. 일반적으로 Ku 밴드, C 밴드 및 L 밴드의 주파수를 사용하는 위성들이 대다수이며, 대표적인 위성 DAB 서비스 현황은 표 1과 같다.

Table 1 The present status table of satellite DAB service

구 분	WorldSpace	XM Radio
서비스 지역	아프리카, 아시아, 중남미	미국
주파수 대역	1,452~1,492 MHz	2,332.5~2345 MHz
채널수	150	100
위성수	2 개(정지궤도)	2 개(정지궤도)
위성 당 출력(EIRP)	48.8 dBW	62 dBW
채널 당 출력(EIRP)	30.2 dBW	51 dBW
최소 수신 전계	5 dBW	21 dBW
전송방식	QPSK/TDM	QPSK/TDM

따라서 본 논문에서는 국제간 이동이 빈번한 선박에서 위성 DAB를 직접 수신할 수 있게 비교적 넓은 서비스 지역을 가지고 있는 WorldSpace의 방송 주파수 대역인 L 밴드(1,452 MHz~1,492 MHz)의 위성 DAB 방송을 수신하기 위한 Balanced 방식의 LNA를 설계 및 제작하였으며, 설계사양은 표 2와 같다.

Table 2 A design specification of the LNA

Item Description	Specification
Frequency Band	1,452 ~ 1,492 MHz
Gain	30 dB min.
Gain Flatness	± 0.5 dB max.
Noise	1.5 dB
Input VSWR	1.5 : 1 max.
Output VSWR	1.5 : 1 Max.
Impedance	50 Ω
Supply Voltage	5 V DC

3. 회로 설계 이론

일반적인 저잡음증폭기에서 잡음 특성은 초단에 사용되는 저잡음 능동소자의 특성에 크게 의존하므로 초단에 사용되는 증폭기는 잡음을 최소한으로 억제하여 신호를 증폭시켜야 하며, 이득과 입·출력 정제파비 특성에 초점을 두고 설계한다(Soares,1988).

3.1 저항 결함회로

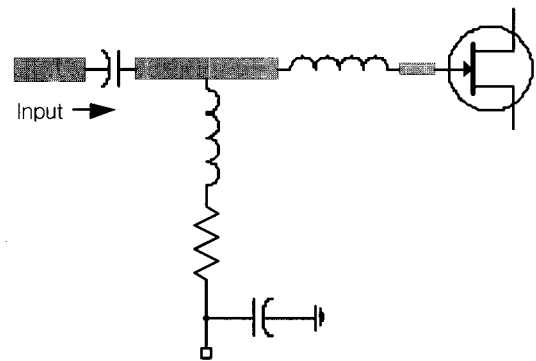


Fig. 1 The resistive decoupling circuit

그림 1의 저항 결함회로는 저주파영역의 신호를 저항을 통해 소모시킴으로서 정합특성을 향상시키고, FET 자체를 저주파 신호에 동작시키지 않게 하여 잡음 특성을 개선하는 효과와 자체 바이어스회로에서 게이트-소스바이어스 전압을 인가하기 위해 사용되었다. 특히 중심 주파수 영역에서는 단락 인덕터의 영향으로 사용 주파수 대역의 신호에 대해 개방회로 영역이 되므로 입력신호는 저항 결함회로에 영향을 받지 않고 전달되며, 반면에 저주파 대역의 신호는 저항에서 소모시킴으로

서 입력 정합특성의 향상시키고, 대역 특성을 개선하게 된다.

3.2 능동 바이어스 회로

트랜지스터가 정상적 동작을 하기 위해서는 적당한 동작점에 DC 바이어스를 인가하여야 하며, 동작점은 트랜지스터의 용도, 증폭기 바이어스 종류 그리고 트랜지스터의 종류에 관계된다. 저잡음증폭기 설계에서 드레인 전류는 포화 드레인 전류(I_{DSS})의 15 % 정도로 정하는데, ATF-10136 GaAs MOSFET 소자는 $V_{ds}=2$ V, $I_{ds}=25$ mA일 때 최소의 잡음과 최대의 이득을 가진다(조,2003; Hewlett Packard,1998).

그러므로 외부에서 인가되는 전압, 즉 $V_d=5$ V일 때 $V_{ds}=2$ V, $I_{ds}=25$ mA가 되도록 하기 위한 바이어스 방법으로 그림 2와 같이 PNP 트랜지스터인 BCW69와 Negative DC Converter인 ADM660을 사용하여 능동 바이어스 회로를 구현하였다. 능동 바이어스 회로는 트랜지스터의 핀치오프 전압(V_P)과 포화 드레인 전류의 변화에 대해 소스나 드레인의 저항 값을 주어진 바이어스 조건을 위해 바꿀 필요가 없다.

즉, 게이트 전압이 바이어스 된 드레인 전압과 드레인 전류가 자동으로 조정된다. 또한, 소스 접지로 수동 바이어스에서 사용되는 소스저항을 사용하지 않아 잡음 및 이득을 개선하고, 기생성분에 의한 저주파 발진을 제거할 수 있다.

능동 바이어스는 FET에 소스리드의 접지와 게이트에 음전압 공급을 필요로 하며, FET 소스리드의 접지는 단일 공급회로에서 자기 바이어스를 위해 사용되는 소스저항의 바이패스 커패시터를 사용하지 않는 장점이 있다.

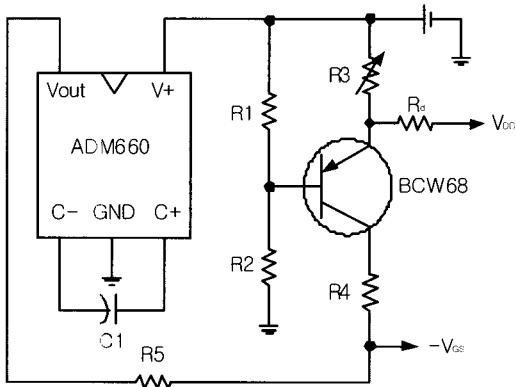


Fig. 2 The schematic of active bias circuit

그러나 소스 바이패스 커패시터를 제거함으로써 소스 직렬 인덕턴스의 감소를 보상하기 위하여 소스리드의 길이는 증가되어야 하고, 게이트 회로에 접지와 게이트의 바이패스를 위하여 커패시터를 사용하여야 한다.

능동 바이어스 회로에서 R1과 R2는 BCW69의 베이스에 정해진 전압을 제공한다. 그 전압은 BCW69의 에미터-베이스 접합의 효과로 0.7 V 증가되어지고, 드레인 저항 R_d 를 통하여 저잡음증폭단에 주입되어진다. 이때, R_d 는 RF 매칭회로에 포함되지기 때문에 R_d 에 의한 전압강하를 반드시 고려하여 바

이어스 회로를 설계하여야 한다.

능동 바이어스 회로가 저잡음증폭단에 공급하는 전압과 전류를 결정하기 위하여 R3를 가변하여 시뮬레이션 한 결과를 그림

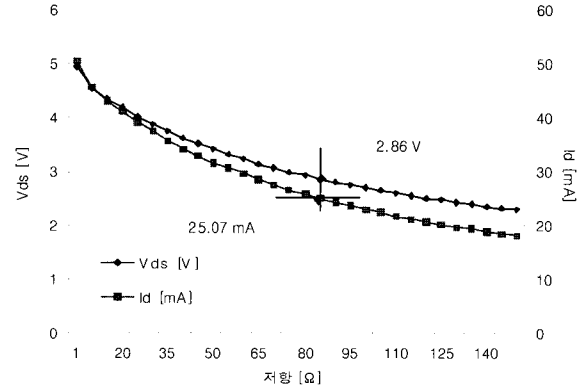


Fig. 3 Biasing voltage & current by the active bias

시뮬레이션 결과에서 알 수 있듯이 R3=85 Ω일 때, 저잡음증폭단에 최적의 전압과 전류를 공급한다. 또한, 드레인-소스 전압은 드레인 저항 $R_d=33$ Ω이므로 0.827 V의 전압강하를 고려하여 설계되어짐을 알 수 있다.

4. 설계 및 제작

저잡음증폭기는 저잡음증폭단의 단점인 입·출력 반사계수와 전압 정재파비의 특성을 보완하기 위하여 평형증폭기 형태로 설계하였다. 저잡음증폭단은 Agilent사의 ATF-10136을 사용하였고 이득증폭단은 Mini-circuits사의 VNA-25를 사용하였으며, Motorola사의 트랜지스터인 BCW69와 Analog Devices사의 ADM660 음전압 변환기를 이용하여 능동 바이어스 회로를 구성하였다. 증폭기의 구성도는 그림 4와 같다.

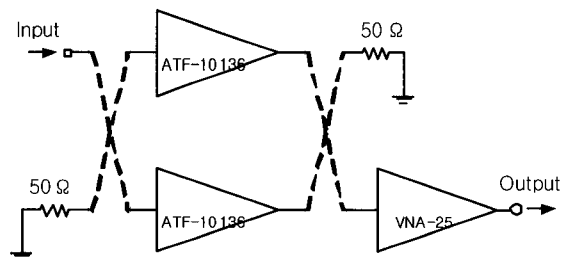


Fig. 4 The block diagram of the low noise amplifier

평형증폭기에서 결합기와 분배기는 삽입손실, 반사손실 및 사용주파수 대역폭을 고려하여 마이크로 스트립라인으로 브랜치 라인 결합기(Branch Line Coupler)를 설계하였다. 브랜치 라인 결합기를 이용한 구조는 각각의 저잡음증폭단 입력으로부터의 반사전력을 결합기의 격리포트에서 재결합 시키고 중단 저항으로 반사전력을 소모하게 하여 최적의 잡음특성을

구현할 수 있는 장점을 가지고 있다. 저잡음증폭단의 입력단 정합은 저주파 발진을 억제할 수 있도록 저항 결합회로를 사용하였으며, 이득증폭단은 양단 정합된 단일 증폭기 형태로 구성하였다. 첫째단의 입력단 정합을 저항 결합회로의 형태로 설계하면 입력 임피던스의 정합을 쉽게 할 수 있고, 둘째단은 내부 정합된 MMIC를 사용하였으므로 첫째단 증폭기의 임피던스를 고려하지 않아도 된다(Ian, 2002; Michael, 1989; Dale, 1998).

증폭기의 설계에서 우선 해결해야 하는 문제는 발진이 일어나지 않도록 안정성을 확보하는 것이다. 그러나 저잡음증폭단에 사용된 Agilent사의 ATF-10136 소자는 사용주파수 대역인 1.452 GHz~1.492 GHz에서 입·출력 안정도 원이 스미스 차트 내부에 존재하며, 안정화(K) 계수가 0.56 미만으로 불안정하다. 따라서 무조건 안정을 만족하기 위하여 그림 5와 같이 마이크로 스트립 라인을 이용하여 소스리드(Source Lead)의 길이 조정으로 구현한 직렬 부성 케환(Negative Feedback)과 출력단에 병렬 저항을 사용하여 저잡음증폭기의 무조건 안정화를 이루었다. 직렬 부성 케환 방식은 FET의 소스 단과 접지 사이에 인덕터를 삽입하는 것으로 사용된 인덕터는 AC 성분에 대해서 큰 저항으로 작용하여 증폭기의 발진을 제거할 수 있을 뿐만 아니라 전 대역에서 S_{11} 을 낮추어 선형성 및 정합특성을 개선시킬 수 있다. 그러나 부성 케환이기 때문에, 케환 값의 증가는 이득의 감소를 동반한다. 그러므로 입·출력 정제과비 및 잡음지수의 개선도와 수용할 수 있는 이득 감소간의 절충점에서 부성 케환 값을 결정해야 한다.

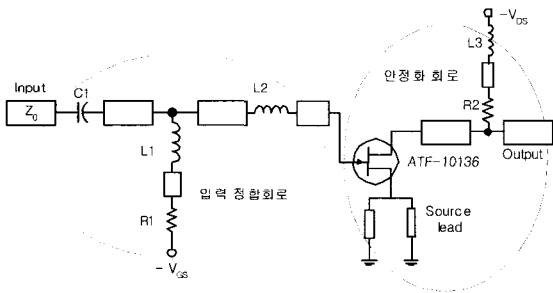


Fig. 5 The schematic of low noise amplifier stage

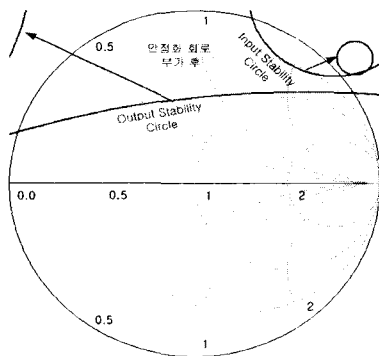


Fig. 6 The stability circle of ATF-10136

안정화 회로에 사용된 소스 리드의 길이와 폭은 RF 시뮬레이터인 ADS(Advanced Design System)를 이용하여 최적의 값으로 설계하였으며, 시뮬레이션에 사용한 ATF-10136의 산란 파라미터와 잡음 파라미터는 제조회사에 제공하는 데이터를 이용하였다. 안정화 회로를 부가한 후 안정도원을 그림 6에 나타내었다.

무조건 안정한 상태에서 잡음지수와 이득사이의 적절한 절충점을 갖는 저잡음 증폭단의 입력 반사계수(Γ_S)를 구하기 위해 중심주파수 1.472 GHz에서 가용 이득원과 잡음 지수원을 그림 7과 같이 작도한 후 이때의 최대의 이득과 최소의 잡음을 가지는 교점을 Γ_S 로 결정하고, 저항 결합회로를 이용하여 입력단 정합회로를 구성하였다.

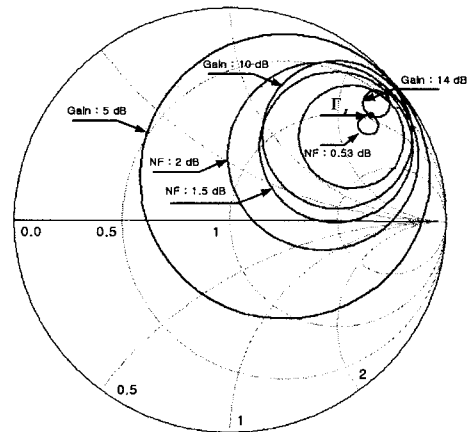
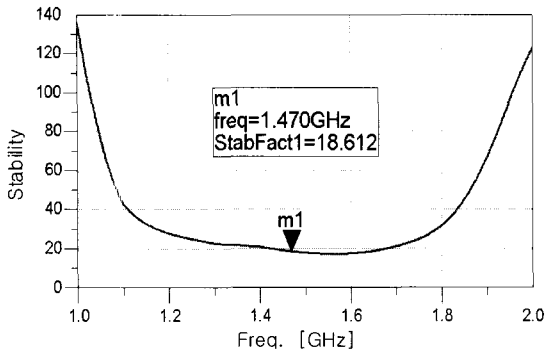


Fig. 7 The available gain and noise figure circles

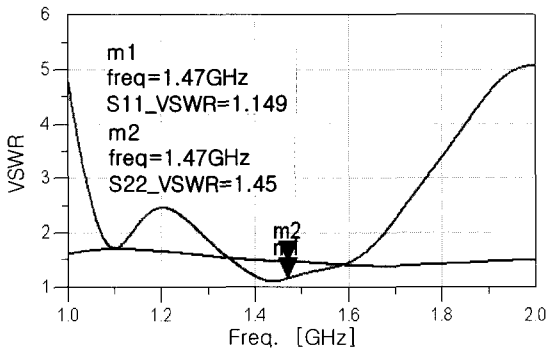
그림 7에서 알 수 있듯이, 무조건 안정한 상태에서 ATF-10136으로 구성된 저잡음증폭단은 $\Gamma_S = 50(0.897 + j2.727)$ 일 때, 이득이 14 dB 이고, 0.53 dB의 잡음지수로 설계될 수 있다. 저잡음증폭기의 입력단은 그림 5와 같이 저항 결합회로를 사용하여 정합회로를 구성하였다.

저항 결합회로는 저주파 영역의 신호를 저항을 통해 소모 시킴으로써 정합 특성을 향상시키고, FET 자체를 저주파 신호에 동작시키지 않게 하여 잡음 특성을 개선하는 효과를 가진다(전,1998). 중심주파수 대역에서는 단락 인덕터(L1)의 영향으로 사용주파수 대역의 신호에 대해 개방회로 영역이 되므로 입력신호는 저항 결합회로에 영향을 받지 않고 전달되며, 음의 게이트 전압을 공급하는 바이어스 선로와 분리될 수 있도록 한다. 출력 정합회로는 최대의 이득을 가질 수 있도록 설계하였으며, L2와 같은 RF 쇼크(Choke)의 사용으로 바이어스 선로와 전송선로와의 분리를 이룰 수 있게 설계하였다.

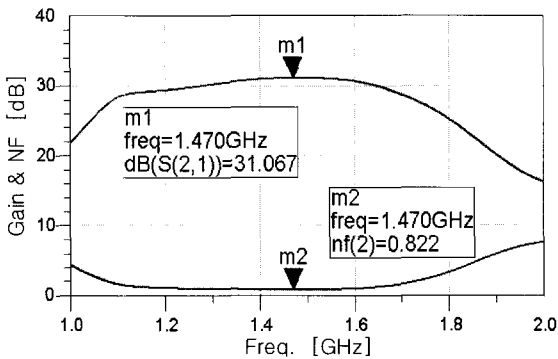
평형 저잡음증폭단과 이득증폭단을 결합한 전체 저잡음증폭기의 시뮬레이션 결과를 그림 8에 나타내었다. 이때, VNA-25는 잡음 파라미터 없이 단지 산란 파라미터만을 사용한 시뮬레이션 결과이다.



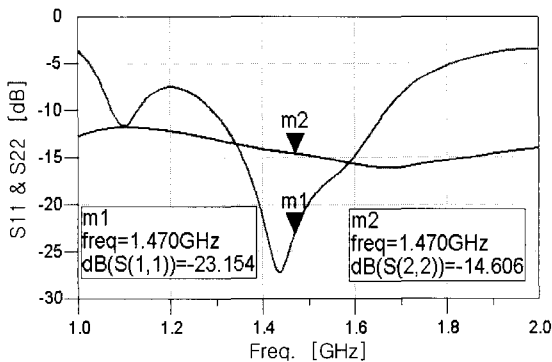
(a) The stability



(b) The characteristics of input and output VSWR



(c) The characteristics of gain & noise figure



(d) The characteristics of input & output return loss.

Fig. 8 The simulation results of low noise amplifier

그림 8은 저잡음증폭기의 시뮬레이션 결과로서 이득 31 dB 이상, 잡음지수 0.914 dB 이하, 입·출력 반사 손실 및 전압정제파비가 각각 -14 dB, 1.45 이하이고, 안정화 계수 K가 1보다 큰 무조건 안정한 상태로 설계되었음을 알 수 있다.

5. 측정 결과

Agilent사의 8753D 회로망 분석기를 이용하여 저잡음증폭기를 구성하는 각각의 요소들의 S-파라미터를 측정하여, 설계 시 예상결과와 실제 측정된 결과와의 이득 및 정합특성을 비교하여 제작 또는 측정시 문제점을 분석하였고, 잡음지수는 MAURY Microwave Corporation사의 Noise Gain Analyzer MT2075 잡음지수기로 제작된 저잡음증폭기의 성능을 평가하였다. 또한, Agilent사의 8648C 신호발생기와 ANRITSU사의 MS2651B 스펙트럼 분석기를 이용하여 저잡음증폭기의 사용 주파수별 입·출력 특성을 측정하였다.



Fig. 9 The photograph of the fabricated LNA

그림 9와 같이 제작된 저잡음증폭기의 평행 저잡음증폭단과 이득증폭단을 FR-4 기판위에 제작한 후 알루미늄 기구물에 집적된 저잡음증폭기에 5 V의 DC 전원을 인가하여 회로망 분석기, 잡음지수 측정기, 신호발생기와 스펙트럼 분석기를 이용하여 특성을 측정하였다. 측정시 입력신호의 세기는 -40 dBm으로 하고 일순간에 발생할 수 있는 높은 레벨의 발진신호에 대비하여 출력포트에 20 dB 감쇠기를 부가하여 측정하였다.

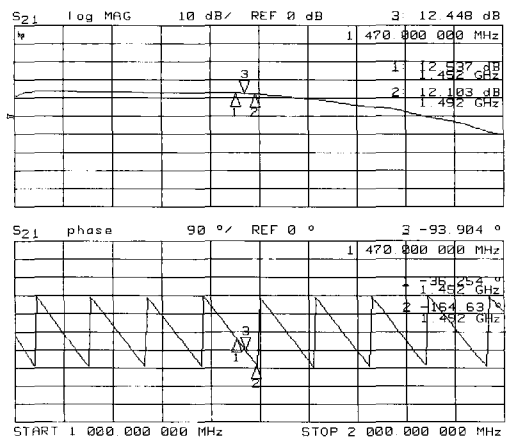
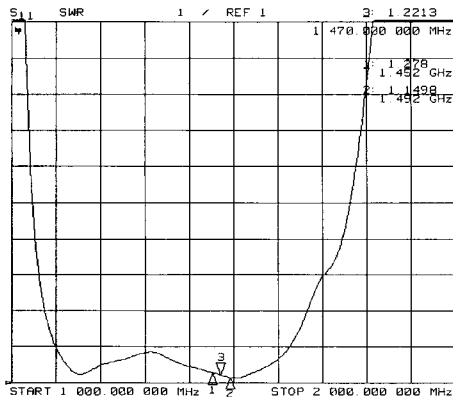
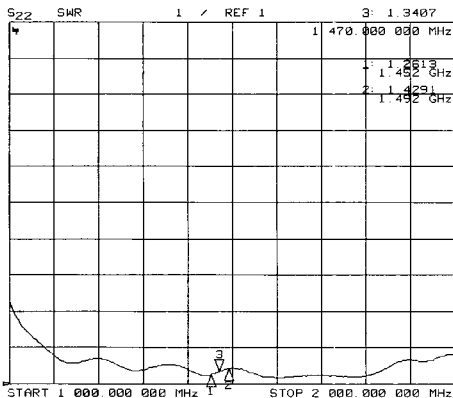


Fig. 10 The gain and phase characteristics of LNA

회로망 분석기로 측정된 이득 및 위상특성은 그림 10에 나타난 것과 같이, 32 dB 이상의 이득과 ± 0.21 dB의 이득편차도를 가졌다. 이때 사용된 VNA-25 이득증폭단의 이득은 18.5 dB로 나타났다. 입·출력 정재파비는 그림 11에 나타난 것과 같이 각각 1.28, 1.43 이하로 측정되었다. 잡음특성은 그림 12와 같이 중심주파수에서 잡음지수는 0.932 dB로 나타났다. 입·출력 특성은 그림 13과 같이 사용주파수 대역에서 입력신호에 대해 출력신호가 선형적으로 나타났고, 입력신호의 레벨이 -15 dBm일 때까지가 증폭기의 동적범위임을 알 수 있다. 또한, 증폭기의 1 dB 역압점(P_{1dB})은 -13 dBm임을 알 수 있다.



(a) Input VSWR



(b) Output VSWR

Fig. 11 The input & output VSWR of LNA

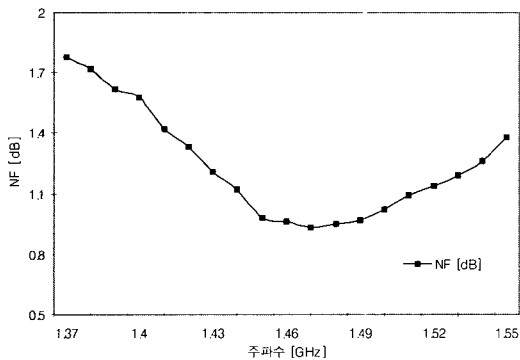


Fig. 12 The noise figure characteristics of the LNA.

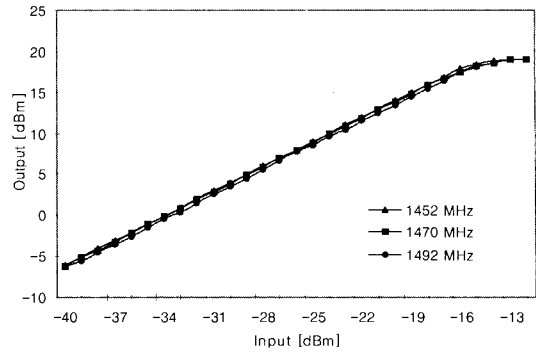


Fig. 13 The characteristics of input and output each frequency

Table 3 A result of LNA test

Item Description	Specification	Experimentation result
Frequency Band	1,452~1,492 MHz	1,452~1,492 MHz
Gain	30 dB min.	32.1 dB
Gain Flatness	± 0.5 dB max.	± 0.21 dB
Noise	1.5 dB	0.932 dB
Input VSWR	1.5 : 1 max.	1.28 : 1
Output VSWR	1.5 : 1 Max.	1.43 : 1
Impedance	50 Ω	50 Ω
Supply Voltage	5 V DC	5 V DC

6. 결론

본 논문에서는 L-Band(1,452~1,492 MHz) 위성 DAB 수신 장치로 사용되는 저잡음증폭기를 1단 저잡음증폭기의 단점인 입·출력 반사계수와 VSWR의 특성을 보완하기 위하여 평형 증폭기 형태로 설계·제작하여 그 특성을 측정하였다.

초단에 사용되는 저잡음 반도체 증폭기로는 GaAs MOSFET ATF-10136 소자를 사용하였고, 이득 증폭단은 MMIC 소자인 VNA-25를 사용하여 구현하였다. 그리고 회로의 집적은 생산단가가 저렴한 Hybrid 방법을 사용하였다.

바이어스 회로는 저잡음증폭기가 최적의 특성을 갖는 전압과 전류를 만족하는 능동 바이어스 회로를 구성하였고, 평형 증폭기를 구현하기 위한 입·출력 분배/결합기는 브랜치 라인 커플러를 사용하여 각각의 LNA에서 반사된 전력이 하이브리드 커플러의 격리포터에서 재결합되고, 종단 저항 50 Ω 에서 소모되어질 수 있도록 하였다. 이것은 1단 저잡음증폭기의 설계에 있어서 입력반사계수에 대한 고려를 줄일 수 있기 때문에 안정도를 높이고, 입·출력 전압 정재파비의 특성을 개선시킬 수 있다. 저잡음증폭단의 입력정합은 저항 결합회로를 이용하여 입력 임피던스 정합을 쉽게 할 수 있도록 하였고, 이득증폭단은 50 Ω 으로 내부 정합된 MMIC인 VNA-25를 사용하였으므로 첫째단의 임피던스를 고려하지 않아도 된다. 또한 ATF-10136 소자는 사용주파수 대역에서 불안정하기 때문에

직렬 부성 케환과 드레인단에 병렬 저항의 삽입으로 무조건 안정이 되도록 하였다.

저잡음증폭기를 비유전율 4.8, 두께 3.1 mm인 FR-4 기판위에 구현한 후 알루미늄 기구물에 집적한 후 측정결과, 이득 32.1 dB, 이득평탄도 0.2 dB, 잡음지수 0.9 dB, 입·출력 정재파비는 각각 1.28, 1.43으로 목표사양을 만족했으며, P_{1dB} 는 -13 dBm으로 측정되었다.

참 고 문 헌

- [1] 권재광(1998), 위성 데이터방송, 한국통신학회지, 제 15권 9호, pp. 35.
- [2] 장석중(1999), 미국 위성 DAB(Digital Audio Broadcasting) 사업자 동향분석, 정보통신정책, 제 11권 21호, pp. 66.
- [3] 전자부품연구원(2002), "DAB(Digital Audio Broadcasting) 산업동향 보고서."
- [4] 조희제, 전중성, 심준환, 강인호, 예병덕, 홍창희(2003), RF 전력 증폭기의 온도 변화에 따른 Drain 전류변동 억제를 위한 능동 바이어스 회로의 구현 및 특성 측정, 한국항해항만학회지, 제 27권, 제 1호, pp. 81~86.
- [5] 전중성, 김동일(1998), 저항 결합회로를 이용한 Cellular CDMA 용 저잡음증폭기의 구현, 해양정보통신학회 논문지, 제 2권, 제 4호, pp. 635~641.
- [6] Hewlett Packard. (1998), "Communication Component -GaAs & Silicon Products Designer Catalog", pp. 7~9 Agilent.
- [7] Henkes, Dale D. (1998), "LNA Design Uses Series Feedback to Achieve Simultaneous Low Input VSWR and Low Noise", Applied Microwave & Wireless, pp. 26~32, October.
- [8] Michael T. Murphy, (1989), "Applying the Series Feedback Technique to LNA Design", Microwave Journal, Nov.
- [9] Ian Piper, Sid Seward, Al Ward, Agilent. Hostergard, Samir Tozin. (2002), "Balanced LNA Suits Cellular Base Station", MICROWAVES & RF.
- [10] PRASAD, S.N. Beyer, J.B. and Chang, I.S. (1988), Power-Bandwidth Considerations in the Design of MOSFET Distributed Amplifier, IEEE Trans. MTT, vol MTT-36, no 7, pp.1117~1123, July.
- [11] Soares, R. (1988), "GaAs MOSFET Circuit Design", pp. 287~291, Artech House.

원고접수일 : 2004년 2월 2일

원고채택일 : 2004년 3월 19일