
LNA를 이용한 무선 랜용 능동안테나 시스템 설계 및 제작

김 갑 기*

Design and Manufacture of Active Antenna System using LNA for Wireless LAN

Kab-ki Kim*

요 약

본 논문에서는 5.5GHz 대역 LNA와 1×2마이크로 스트립 패치 안테나로 구성된 무선랜용 능동안테나를 설계 및 제작 하였다. LNA는 NEC사의 NE3210S01을 사용하여 잡음 특성을 개선하였으며, 마이크로 스트립 패치안테나는 전방향 특성을 갖도록 설계하였으며, 설계된 1×2마이크로 스트립 패치안테나는 약8.3dBi의 이득을 가지면서 입력 반사손실이 -32[dB], 전압정재파비가 1.132를 나타내었고, LNA는 이득이15dB, 입출력 반사손실이 -20[dB]의 특성을 보였다.

ABSTRACT

In this paper shows the Designed and Manufactured active antenna for wireless LAN that is consisted of 5.5GHz band local LNA and Microstrip Patch Antenna. LNA improved noise special quality using NEC company's NE3210S01 and Microstrip Patch Antenna designed to have omnidirectional characteristic. Designed 1×2 Microstrip Patch Antenna to have the gain of about 8.3[dBi], the input reflection loss -32[dB], VSWR showed 1.132, and the LNA gain 15[dB], input-output reflection loss was showed the characteristic of -20[dB]

키워드

LNA, microstrip patch antenna, omnidirectional characteristic

I. 서 론

최근 무선통신 시스템은 멀티미디어 서비스 요구의 증가와 무선전송기술 발달로 인하여 주파수 자원이 고갈되고 있다. 이러한 상황에서 5 GHz 대역에 대하여 1차 이동 업무로 주파수가 재분배되었다.

그 중에서도 특히 5.470~5.725 GHz 대역은 국내 전파 환경에서 실내외 무선통신용으로 활용이 가능하기 때문에 실내에서는 홈 네트워킹을 위한 수단으로 실내외에서 무선LAN을 통한 기간망 접속링크 등의 다양한 적용분야

가 기대되고 있다[1].

무선 LAN 시스템의 통신 거리를 넓히기 위해 수신 감도 개선에 관한 많은 연구가 진행되고 있으며, 저잡음 증폭기를 사용하는 방법이 주로 이용된다[2].

마이크로스트립 안테나는 두께가 얇고, 프린트 회로기술을 이용하기 때문에 제작이 간편하고, 저가이며, MMIC 설계에 적합하다는 장점이 있다. 특히 패치 모양과 모드를 선정함으로써 공진 주파수, 편파, 그리고 방사패턴과 임피던스를 변화시킬 수 있다.

5.5 [GHz] 무선 LAN 시스템에 적용하기 위한 마이크로

스트립 안테나를 단일 패치로 구성할 경우 기존의 2.4 [GHz] 대역의 무선 LAN 시스템에서 상용되는 동일한 안테나의 이득을 얻을 수 있다고 할지라도 통신거리가 짧아지게 되는데 이를 보상해주기 위해서는 안테나의 이득이 개선되어야 한다.

따라서 본 논문에서는 NEC사의 super low noise HJ FET를 사용하여 LNA를 설계 하였고, 안테나는 이득과 VSWR 특성개선 및 입력 임피던스를 50 [Ω]에 일치시키기 위해서 기본 패치 두 개를 패치간의 간격을 λ/2로 배열하고, 단단의 λ/4 임피던스 변환기와 전력 분배기가 결합된 형태로 구성하였다. 기판은 비유전율이 3.5, 유전체 두께가 0.508mm인 타코닉사의 테프론 기판을 사용하였다. 또한 배열 안테나를 설계 제작하는데 사용되는 λ/4 임피던스 변환기와 전력분배기를 HP사의 ADS2002 모델링 시뮬레이션을 사용하여 설계하고, 이를 결합하여 최적화된 1×2 마이크로스트립 안테나를 설계하였다.

II. 단일 패치안테나의 설계

2.1. 단일 패치 안테나 설계 이론

사각형 마이크로 스트립 패치안테나의 설계는 기술된 공식을 이용하면 된다[3].

먼저 공진 주파수에서 동작하도록 유전율이 3.5이고 두께가 0.508mm인 기판위에 사각형 마이크로스트립 패치 안테나를 설계하는 경우 첫 번째로 양호한 방사효율을 얻기 위한 실제 패치 안테나의 폭은 식 (1)으로부터 계산 된다[3].

$$W = \frac{c}{2f_r} \left(\frac{\epsilon_r + 1}{2} \right)^{-1/2} \quad (1)$$

여기서 c는 광속, f_r 은 안테나의 공진 주파수이다.

두 번째로 안테나의 실효 유전율을 식 (2)에 의해서 계산한다.

$$\epsilon_{re} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 + \frac{12h}{W} \right)^{-1/2} \quad (2)$$

세 번째로 안테나의 확장길이 Δl을 식 (3)에 의해 계산하고

$$\Delta l = 0.412 \frac{(\epsilon_{re} + 0.3) (W/h + 0.264)}{(\epsilon_{re} - 0.258) (W/h + 0.8)} \quad (3)$$

실제 패치의 길이 l을 식 (4)에 의해 계산한다.

$$l = \frac{c}{2f_r \sqrt{\epsilon_{re}}} - 2\Delta l \quad (4)$$

사각형 패치의 경우 길이 l은 일반적으로 $\lambda/3 < l < \lambda/2$ 이다.

2.2. 단일 패치 안테나 설계

위에서 서술한 수식에 근거하여 패치의 크기를 결정한다. 다음 모멘트 툴을 이용하여 패치의 크기를 최적화한 결과, 공진주파수 5.5GHz에서 패치의 폭 W은 19.362mm 그리고 길이 l은 14.132mm인 직사각형 기본패치를 설계하였다.

설계된 패치안테나는 공진주파수 5.5GHz에서 입력 임피던스가 145 [Ω]이었고, 패치와 급전선로간의 임피던스 정합을 위해 λ/4 임피던스 변환기를 이용하였으며, 기본 패치와 임피던스 변환기가 결합하여 그림 1과 같은 직사각형 단일 패치를 완성하였다.

설계된 단일패치 안테나를 ADS 모멘트 시뮬레이션을 통하여 특성을 측정할 결과를 그림 2에서 보이고 있다. 그림 2(a) 반사계수, 그림 2(b) 이득, 2(c) 방사패턴을 보이고 있다.

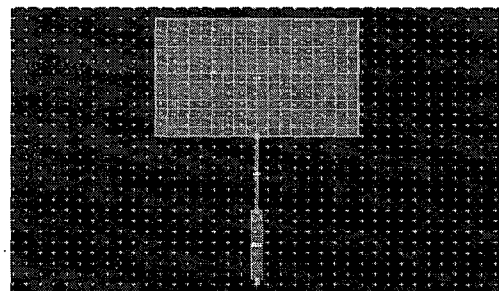
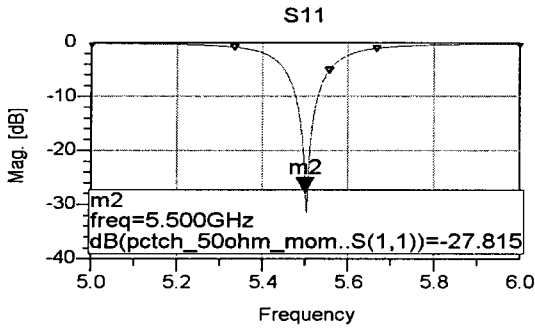
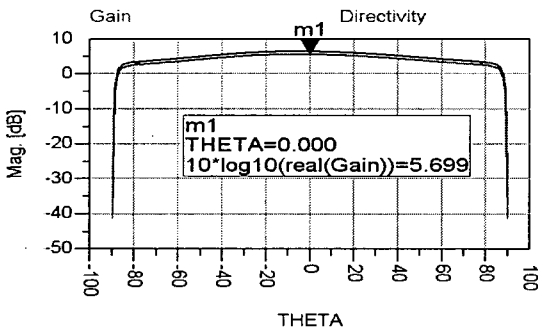


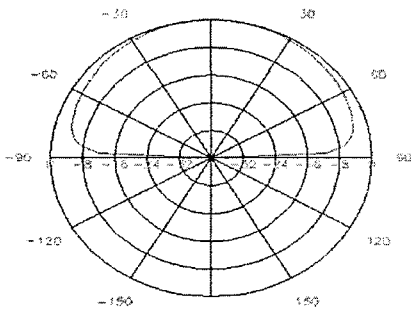
그림 1. 단일 패치 안테나
Fig 1. Single Patch Antenna



(a) 단일 패치의 반사계수
(a) Return loss of Single Patch



(b) 단일 패치의 이득
(b) Gain of Single Patch



(c) 단일 패치의 방사패턴
(c) Radiation Pattern of Single Patch

그림 2. 단일 패치의 특성
Fig 2. Characteristics of Single Patch

III. 급전선의 설계

마이크로스트립 단일 안테나를 배열 확장하기 위해서 T-junction을 사용하여 소자간의 전력을 분배시켰다. T-junction은 전력이 분배되는 2-port 간의 격리도는 Wilkinson power divider에 비해서 떨어지지만, 제작이 용이하며 비교적 좋은 전력분배특성을 가지므로 일반적인 급전선 설계에 많이 사용되고 있다. 여기서 두 개의 출력 포트로 동일한 전력을 분배하는 T-Junction 전력분배기를 이용하였고, 서로 다른 임피던스를 매칭 시키기 위해 $\lambda/4$ 임피던스 변환기를 이용하였다.

균일한 전력의 전송을 위한 T-junction 전력분배기의 설계는 그림 3과 같은 구조에서 각각의 특성임피던스 Z_1 과 Z_2 를 갖는 포트1과 포트2의 전력비를 $P_1 : P_2$ 라고 하면 $Z_1 : Z_2 = P_2 : P_1$ 의 관계가 되도록 동일전력을 공급하기 위하여 포트1과 포트2 단자의 입력임피던스 값은 같아야 한다[4][5].

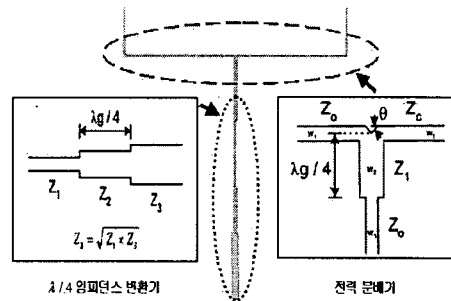


그림 3. 설계된 급전선
Fig 3. design of Feed Line

그림 3은 T-junction 전력 분배기와 3단의 $\lambda/4$ 임피던스 변환기가 결합된 급전선을 보여주고 있다.

일반적으로 $\lambda/4$ 임피던스 변환기를 회로에 삽입할 경우 중심주파수에서 멀어질수록 VSWR이 급속히 악화되며 대역폭이 작아지게 된다. 따라서 급전점으로부터 $\lambda/4$ 임피던스 변환기를 다단으로 연결하여 임피던스의 변화폭을 작게 함과 동시에 VSWR의 변화폭과 대역폭을 넓게 하도록 하였다.

IV. 1×2 패치 안테나의 설계 및 제작

마이크로스트립 안테나의 배열은 동일한 단일 인쇄회로 기판위에 안테나와 급전회로망을 동시에 만들 수 있다는 장점이 있다. 좀 더 진보된 구형 방식의 개발로 송수신 회로에 안테나와 급전부를 동시에 결합해 다양한 시스템에 광범위하게 적용하고 있다. 안테나 기술은 전자기술의 발전과정과 유사하게 안테나에 독립적으로 연결된 각각의 소자들로부터 칩들(chips)이 급전선과 방사기에 완전히 결합되는 방향으로 발전하고 있다.

많은 배열 형태 중 하나로 마이크로스트립 안테나가 사용된다. 마이크로스트립 배열 안테나는 방사소자와 급전회로를 저가의 석판인쇄 기술을 이용해 단층 인쇄회로 기판에 만들 수 있으므로 고정 빔 응용에 많이 사용된다.

고정 빔 응용에서 소자간 거리는 그레이팅 로브를 피하기 위해 자유공간 파장 보다는 짧아야 하며, 상호결합을 줄이고 주어진 소자 개수에서 최대이득을 얻으며 급전선 간에 충분한 공간을 확보하고자 $\lambda/2$ 이상이 되도록 선택하여 마이크로스트립 패치간 상호결합이 발생하지 않도록 한다[6].

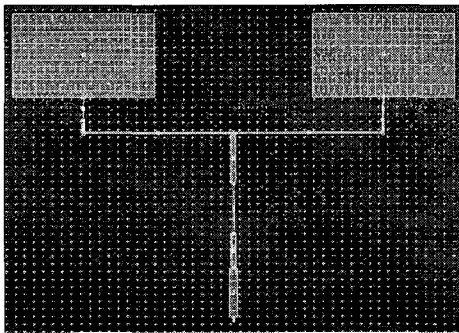
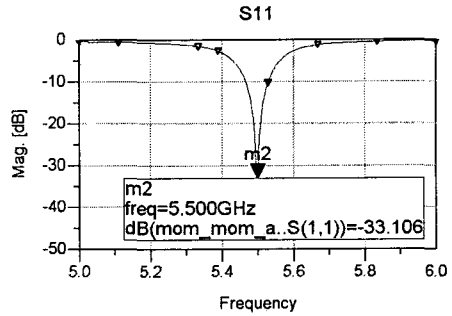


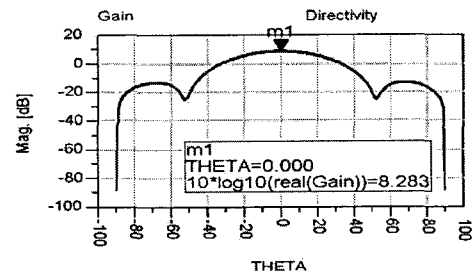
그림 4. 1×2 배열 패치 안테나
Fig. 4. 1×2 array patch antenna

따라서 앞서 설계한 단일 패치 안테나를 $\lambda/4$ 임피던스 변환기와 패치간 간격을 조절하여 1×2 패치 안테나를 설계하였으며 이를 그림 4에서 보여주고 있다.

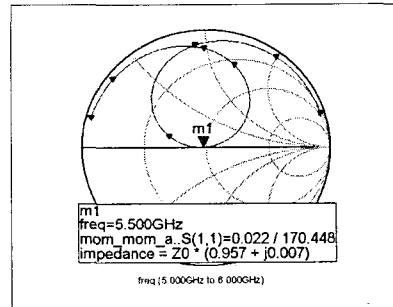
1×2 패치 안테나를 모멘텀 기법에 의한 시뮬레이션 결과 설계된 패치는 5.5 [GHz]에서 공진이 일어나는 것을 알 수 있으며, 반사손실은 약 -33 [dB]이고, 반사손실이 -10 [dB] ($VSWR$ 2:1)가 되는 대역폭은 약 40 [MHz] 정도로 계산됨을 알 수 있다. 배열 마이크로스트립 패치 안테나 방사 소자의 원거리 영역 방사패턴을 나타내고 있으며, 이득은



(a) 패치 안테나의 입력반사손실
(a) Input return loss of patch antenna



(b) 패치 안테나의 이득
(b) Gain of patch antenna



(c) 패치 안테나의 입력 임피던스
(c) Input impedance of patch antenna

그림 5. 배열 패치의 특성
Fig 5. Characteristics of Array Patch

8 [dBi], 무지향성 특성을 나타내고 있다. 또한 입력 임피던스는 $47.8+j0$ [Ω]임을 알 수 있다.

추정 결과로서 그림 7에서 안테나의 입력 임피던스가 5.5 [GHz]에서 $48+j1$ [Ω]임을 알 수 있었다. 그림 8은 입력 반사손실을 보여주고 있는 그림으로 5.5 [GHz]에서 -32

[dB]를 나타내었으며, 그림 9은 전압 정재파비를 보여주는 그림으로 전압 정재파비가 1.132로 매우 좋은 특성을 가지는 것으로 측정되었다.

제작된 안테나는 Anritsu 37169 VNA(Vector Network Analyzer)를 사용하여 측정하였다.

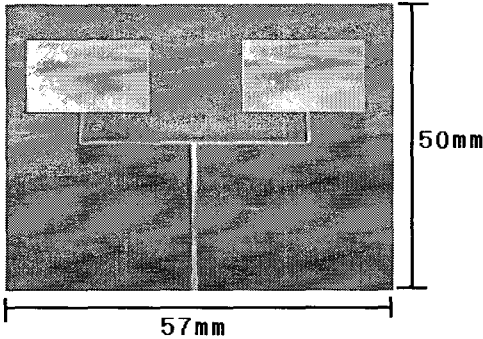


그림 6. 실물 사진
Fig 6. Fabricated picture

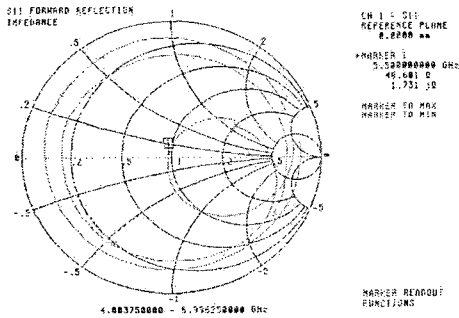


그림 7. 입력 임피던스
Fig 7. Input Impedance

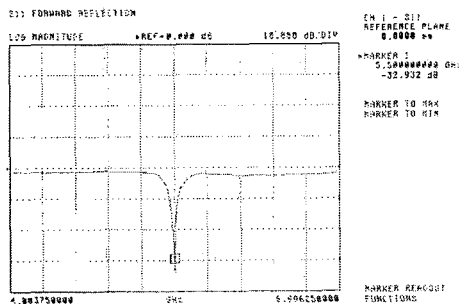


그림 8. 입력 반사손실
Fig 8. Input return loss

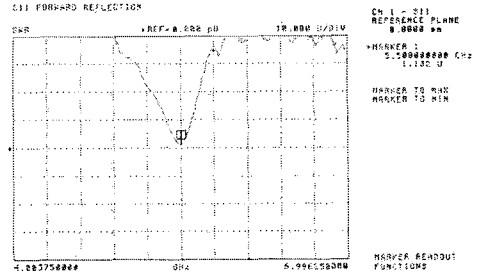


그림 9. 정재파비
Fig 9. VSWR

V. 저잡음 증폭기의 설계 및 제작

5.1. 저잡음 증폭기 설계이론

증폭기를 설계함에 있어 안정도는 매우 중요한 요소이며, S-파라미터, 정합회로망 및 종단 조건등에 의해서 결정되는 것으로서 설계 주파수 대역뿐만 아니라 모든 주파수 대역에서도 안정해야 한다. 따라서 수식적으로 무조건 안정할 조건은 다음과 같다[7].

$$K > 1, \quad |\Delta| < 1$$

여기서

$$K = \frac{1 - |S_{11}|^2 - |S_{22}|^2 + |\Delta|^2}{2|S_{12}S_{21}|} \quad (5)$$

$$\Delta = S_{11}S_{22} - S_{12}S_{21} \quad (6)$$

이고 단일 변수의 안정도 계수인 μ -factor는

$$\mu = \frac{1 - |S_{22}|^2}{|S_{11} - \Delta(S_{22}^*)| + |S_{21}S_{12}|} > 1 \quad (7)$$

이다[8].

잡음지수는 증폭기 출력단에서의 총 잡음 전력과 입력단의 등가 잡음 저항에서 기인된 온도잡음과 증폭기의 이득으로부터 나타나는 출력전력과의 비로서

$$F = \frac{P_{No}}{P_{Ni}G_A} \quad (8)$$

이고 신호대 잡음비로 정의하면 식 (9)가 된다.

$$F = \frac{P_{Si}/P_{Ni}}{P_{So}/P_{No}} \quad (9)$$

5.2. 저잡음 증폭기 설계

본 논문에서는 NEC사의 NE3210S01 HJ-FET를 사용하였고, 설계한 LNA의 동작점을 $V_{DS}=2V$, $I_{DS}=10mA$ 로 만족시키기 위해 $V_{GS}=-0.48V$ 를 인가시켰다.

그림 9은 바이어스 조건을 만족시킬 때 칩 분석을 통한 이득, 잡음지수 및 안정도특성을 보여주고 있다.

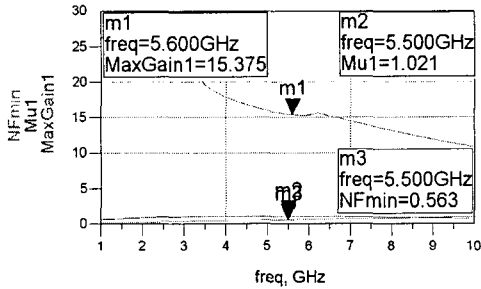


그림 10. 칩 분석결과
Fig 10. The results of Chip analysis

NE3210S01의 칩 분석 결과 잡음지수는 0.5 dB, 이득은 15 dB, 그리고 μ -factor는 1.02로 5.5 GHz에서 소자가 안정하다는 것을 알 수 있다.

일반적인 저잡음 증폭기는 입력 측 정합회로를 Γ_S 와 Γ_{OPT} 를 같게 놓고 설계를 하게 된다. 하지만 이렇게 입력 정합점을 잡게 되면 잡음지수는 우수하게 되지만 증폭기의 이득과 입력 정재파비가 나빠지게 된다. 따라서 Noise Circle과 Gain Circle상에서 잡음지수와 이득을 적절히 고려하여 trade-off점을 잡아 입력정합회로를 설계하고 입력정합회로가 결정되면 출력정합회로는 공액정합이 되도록 설계하게 된다. 따라서 본 논문에서는 입력단은 잡음특성에 의해 매칭회로를 설계하고, 출력단은 이득 특성을 고려하여 매칭 회로를 설계하여 5GHz 대역에서 사용되는 저잡음 증폭기의 특성에 준하여 설계 스펙을 결정하였으며, 이를 표 1에서 보여주고 있다.

표 1. 5.5GHz 저잡음 증폭기 제원
Table 1. Specification of 5.5GHz LNA

| | |
|-------------------------|-----------|
| Frequency | 5.5GHz |
| NF | 1 dB 이하 |
| Gain | 15 dB 이상 |
| in & Output Return Loss | -20 dB 이하 |
| in & Output VSWR | 1.2 이하 |

설계된 저잡음 증폭기의 전체 회로도 및 시뮬레이션 결과를 그림 11과 그림 12에서 보여주고 있다.

시뮬레이션 결과 입출력 반사계수는 -20 dB이하, 잡음지수는 0.735 dB, 이득은 15 dB 입출력 정재파비는 1.2를 넘지 않는 특성을 보였다.

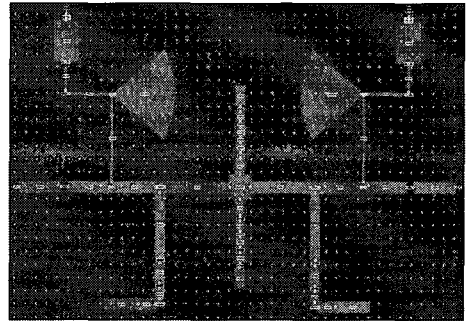
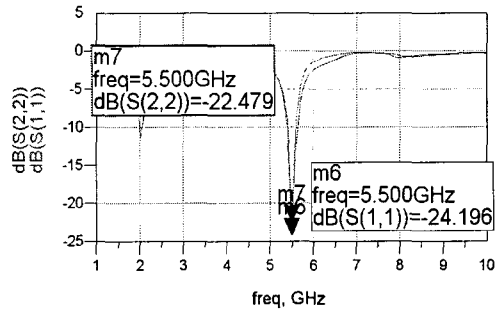
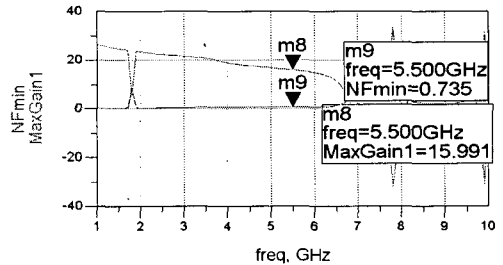


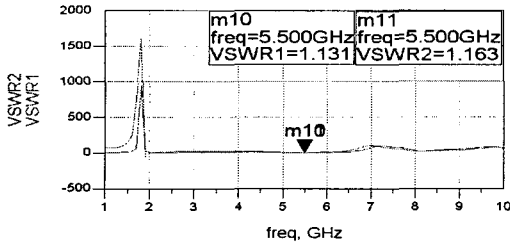
그림 11. LNA 레이아웃
Fig 11. Layout of LNA



(a) 입출력 반사계수
(a) Input & Output return loss



(b) 이득 및 잡음지수
(b) Gain & NF



(c) 입출력 정재파비
 (c) Input & Output VSWR
 그림 12. 시뮬레이션 결과
 Fig 12. Simulation results of LNA

그림 13에서 제작된 저잡음 증폭기의 실물사진을 보여 주고 있다.

기판은 유전율 3.5, 두께 0.508mm인 타코닉사의 테프론 기판위에 제작하였다.

측정은 Anritsu 37169A VNA(Vector Network Analyzer)를 사용하여 측정하였다.

측정결과 중에서 입력 반사 손실과 출력 반사 손실 및 이득, 그리고 입력 전압 정재파비를 그림 14부터 16에서 보여주고 있다.

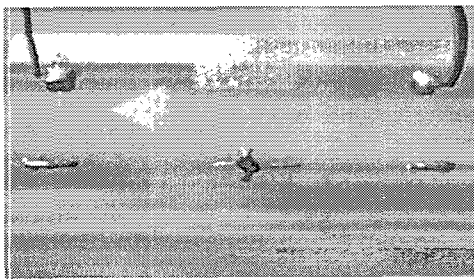


그림13. LNA 실물 사진
 Fig 13. Fabricated picture of LNA

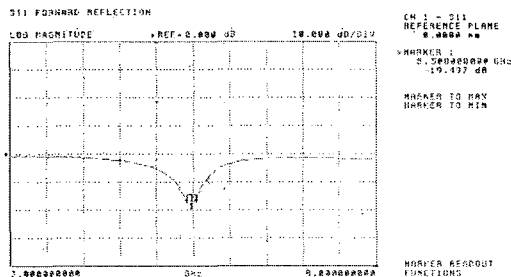


그림 14. LNA의 입력 반사손실
 Fig 14. Input return loss of LNA

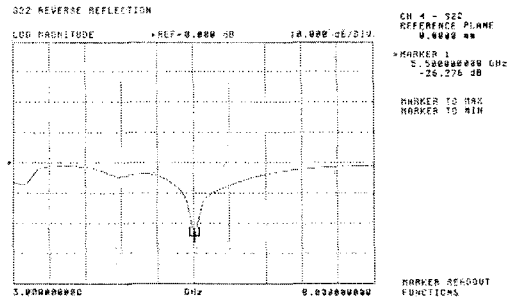


그림 15. LNA의 출력 반사손실
 Fig 15. Output return loss of LNA

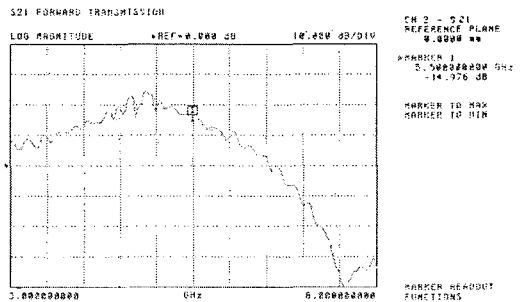


그림 16. LNA의 이득
 Fig 16. Gain of LNA

측정 결과 그림 14에서 LNA의 입력 반사손실이 5.5 [GHz]에서 -19.5 [dB]임을 알 수 있었다. 그림 15는 LNA의 출력 반사손실을 보여주고 있는 그림으로 5.5 [GHz]에서 -26.28 [dB]를 나타내었으며, 그림 16는 LNA의 이득을 보여주는 그림으로 5.5 [GHz]에서 15 [dB]를 나타내었다.

VI. 결 론

본 논문에서는 무선랜용으로 사용 가능한 능동 안테나를 구현하기 위해 저잡음 증폭기와 1×2패치 안테나를 설계 및 제작 하였다. 설계된 1×2패치 안테나는 중심주파수 5.5 GHz에서 이득이 8 dB의 전방향 특성을 나타내었고, 반사 계수가 약 -33 dB를 나타내었으며, 대역폭이 매우 좁음을 알 수 있었다. 측정 결과 안테나의 입력 임피던스가 5.5 [GHz]에서 48+j1 [Ω], 입력 반사손실은 -32 [dB]를 나타내었으며, 전압 정재파비가 1.132로 매우 좋은 특성을 가지는 것으로 측정되었다.

또한 저잡음 증폭기는 중심주파수 5.5 GHz에서 입출

력 반사손실이 -20 dB이하를 나타내었으며, 이득은 15 dB, 그리고 잡음지수는 -0.7 dB를 나타내었으며, 입출력 VSWR은 1.2 이하의 특성을 얻을 수 있었다. 측정 결과 LNA의 입력 반사손실이 5.5 [GHz]에서 -19.5 [dB], 출력 반사손실은 -26.28 [dB], 이득은 15 [dB]를 나타내었다. 또한 다단의 $\lambda/4$ 임피던스 변환기를 사용하였기 때문에 임피던스 변화 폭이 적어서 5.5 [GHz] 근거리 무선 LAN에 사용되는 RF 모듈과 결합이 용이하다는 특성을 확인하였다.

설계 제작된 안테나는 무선 LAN시스템에서 사용되는 능동안테나로 활용도가 클 것이라 사료된다.

저자소개

김 갑 기(Kab-ki Kim)



1980년 3월 광운대학교 통신공학과 (공학사)

1984년 3월 건국대학교 전자공학과 (공학석사)

1998년 3월 건국대학교 전자공학과 (공학박사)

2001년 1월~2002년 2월 뉴욕시립 대학 전자공학과 연구 교수

1975년~현재 목포해양대학교 해양전자통신공학부 교수
※관심분야 : 마이크로파 통신, 초고주파 회로설계, 해상 무선통신, 이동통신, 위성통신

참고문헌

- [1] Applied Wave Research. Inc www. mwoffice. com
- [2] 민경식, 김경태, 박진생 “ 차세대 무선랜용 저잡음 증폭기 설계에 관한 연구” 한국전자과학기술 전자파기술 하계학술대회 Vol. 1 no. 1 pp52-55 2003
- [3] R. J. Mailloux, J. Mcilvenna, and N. Kernweis “Microstrip array technology,” IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. Ap-29, no.1 pp. 25-38, Jan. 1981.
- [4] M. Kirsching, Jansen and N. Koster, “Accurate model for open end effect of microstrip lines,” Electron. Lett., Vol. 17, pp. 123-125, 1981.
- [5] D. M. Pozar , “Input impedance and Mutual Coupling of Rectangular Microstrip Antenna,” IEEE Trans. Antennas Propagat., vol.35, No.6, pp.613-621, Jan.1987. pp123-125, 1981.
- [6] Warren L. Etutzman / Gary A. Thiele “Antenna Theory and design Second edition” Wiley pp 268-269
- [7] G. Gonzalez, “microwave Transistor Amplifier Analysis and Designs”, Prentice Hall, 1997
- [8] M.L Edwards, “A New Criterion for Liner 2-port Stability Using a Single Geometrically Derived Parameter” IEEE Trans, Vol. 40. 12., December 1992