

---

# 5.5GHz 근거리 무선통신용 능동안테나 설계

김갑기\* · 최충연\* · 김철수\*

## Design of Active Antenna for 5.5GHz Local Wireless Communication System

Kab-ki Kim\* · Chung-yun Choi\* · Chol-soo Kim\*

### 요 약

본 논문에서는 근거리무선 통신용 RF 모듈을 구성하는 핵심 부품인 5.5GHz 대역 LNA와 마이크로 스트립 패치 안테나를 설계하였다. LNA는 NEC사의 NE3210S01를 사용하여 잡음특성을 개선하였으며 마이크로 스트립 패치 안테나는 전방향성을 갖도록 설계하였다. 제작된 LNA는 이득이 약15dB, 입출력 반사손실이 -20 dB 이하이며, VSWR은 1.5를 넘지 않는 특성을 보였다. 단일패치 안테나는 입력 반사 손실이 -28 dB이며, VSWR은 1.2 이하의 우수한 특성을 나타내었다.

### ABSTRACT

This paper shows the design of Active antenna which applied to 5.5GHz RF module for local wireless communication system. The LNA, which was designed Super low noise HJ FET of NE3210S01, is used to obtain a good noise figure characteristics. And the microstrip patch antenna was designed to obtain omnidirectional antenna characteristics. The measured LNA gain is 15 dB, input & output return loss is under -20 dB and VSWR under 1.5. The Single microstrip patch antenna input return loss is under -29 dB, VSWR under 1.2.

### 키워드

LNA, microstrip patch antenna, omnidirectional characteristic

## 1. 서 론

최근 무선통신 시스템은 멀티미디어 서비스 요구의 증가와 무선전송기술 발달로 인하여 주파수 자원이 고갈되고 있다. 이러한 상황에서 2003년 6월 스위스 제네바에서 개최된 WRC-2003회의에서 5 GHz 대역의 5.150~5.350 GHz와 5.470~5.735 GHz 대역에 대하여 1차 이동업무로 주파수가 재분배되었다.

그 중에서도 특히 5.470~5.725 GHz 대역은 국내 전파환경에서 실내의 무선통신용으로 활용이

가능하기 때문에 실내에서는 홈 네트워크를 위한 수단으로 실내외에서 무선LAN을 통한 기간망 접속링크 등의 다양한 적용분야가 기대되고 있다<sup>[1]</sup>.

무선랜 시스템을 이용하여 통신을 하기 위한 방법으로 송신기의 출력 전력을 높이거나 수신기의 감도를 높이는 방법이 있다. 하지만 송신기의 출력을 높이는 방법은 송신기의 출력 전력의 한계와 장비에 미치는 영향, 그리고 경제성이 떨어져 적합하지 못하므로 수신기의 감도를 높이는 방법이 선호되고 있다. 수신기의 감도는 LNA (Low Noise Amplifier)의 NF(Noise Figure)가 낮을수록 수신기의 감도가 좋아진다.

따라서 본 논문에서는 NEC사의 super low noise HJ FET를 사용하였으며 기판은 비유전율이 3.5, 유전체 두께가 0.508mm인 타코닉사의 테플론 기판위에 LNA와 단일 패치 안테나를 설계하였다. LNA는 중심주파수 5.5GHz에서 15dB 이상의 이득과 1dB 이하의 잡음 지수를 가지며, 또한 이득이 5dBi 이상을 얻을 수 있도록 단일 패치 안테나를 설계하였다.

## II. 단일 패치 안테나 설계

### 2-1. 단일 패치 안테나 설계 이론

마이크로스트립 패치 안테나를 설계할 때, 주파수가 높아질수록 기존의 해석 식들은 정확하지 않게 되는데[2] 이는 기존의 식들이 기본 모드만을 가정하였거나 모델을 간략화 하였기 때문이다.

본 논문에서는 I.J.Bahl 과 P.Bhartia의 이론식 근거로 사각형 패치의 초기치를 구하고, ADS 모멘텀 시뮬레이션 툴을 이용하여 최적화하였다. 사각형 마이크로스트립 패치 안테나의 설계는 기술된 공식을 이용하면 된다[3]. 설계 절차는 기판의 유전율  $\epsilon_r$ , 공진 주파수  $f_r$ 과 기판의 두께  $h$  가 주어진 경우라고 가정하면 다음과 같다.

먼저 공진 주파수에서 동작하도록 유전율이 3.5 이고 두께가 0.508mm인 기판위에 구형 마이크로스트립 패치 안테나를 설계하는 경우 첫 번째로 양호한 방사효율을 얻기 위한 실제 패치 안테나의 폭은 식 (1)으로부터 계산한다[4].

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

여기서,  $c$ 는 광속도,  $f_r$ 은 안테나 공진 주파수이다. 두 번째로 안테나의 실효 유전율을 식 (2)에 의해

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

세 번째로 안테나의 확장길이  $\Delta l$ 을 식 (3)에 의해

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

실제 패치의 길이  $l$ 을 식 (4)에 의해 계산한다.

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

사각형 패치의 경우 길이  $l$ 은 일반적으로  $\lambda_0/3 < l < \lambda_0/2$  이다.

### 2-2 단일 패치 안테나 설계

위의 수식에 근거하여 패치 크기의 초기를 결정한 다음, 모멘트 툴을 이용하여 패치의 크기를 최적화하게 되는데, 정사각 패치의 경우 패치의 입력 임피던스가 약 300 [ $\Omega$ ] 정도가 되면 급전선의 임피던스와 정합하기 어렵기 때문에 패치의 폭을 조절하여 입력임피던스를 낮추어 최적화된 패치를 설계한다.

표 1.은 500m 이내의 근거리 무선 통신용으로 사용되는 패치 안테나에 준하여 결정된 스펙이다.

표 1. 5.5GHz 대역 안테나 제원  
Table 1. Specification of 5.5GHz band Antenna

Frequency	5.5GHz
VSWR	1.5 이하
Impedance	50 [ $\Omega$ ]
Return Loss	-25 [dB] 이하
Gain	5 dBi 이상

공진주파수 5.5 GHz에서 패치의 폭  $W$ 은 19.362 mm 그리고 길이  $l$ 은 14.132 mm 인 기본 패치를 설계하였다. 공진 주파수 5.5 GHz에서 안테나의 입력임피던스 145 [ $\Omega$ ] 임을 알 수 있었으며, 패치와 급전선로 간의 임피던스정합을 위해  $\lambda/4$  임피던스변환기를 이용하였으며, 기본 패치와 임피던스변환기가 결합하여 그림 1과 같은 사각형 단일 패치를 완성하였다.

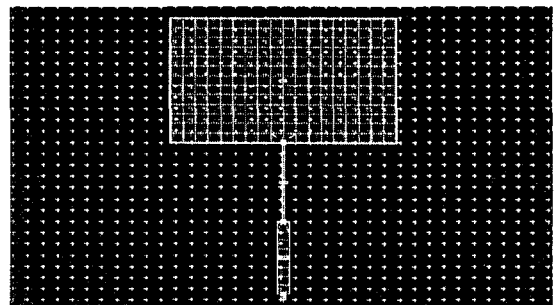
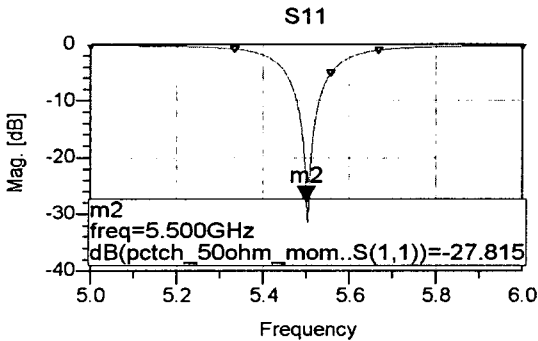
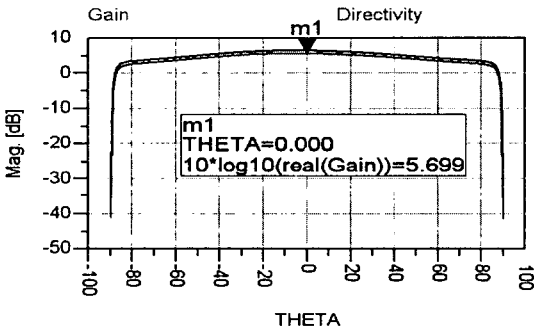


그림 1. 단일 패치 안테나  
Fig 1. Single Patch Antenna

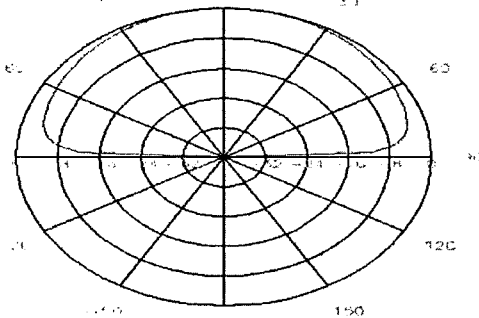
설계된 단일 패치 안테나를 ADS 모멘트 시뮬레이션을 통하여 특성을 그림 2에서 보여주고 있다. 반사계수를 그림 (a)에서 보여주며 단일 패치의 이득을 그림 (b), 그리고 그림 (c)에서는 단일패치 안테나의 방사패턴을 보여주고 있다.



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



(b) 단일패치의 이득  
(b) Gain of Single Patch



(c) 단일패치의 방사패턴  
(c) Radiation Pattern of Single Patch  
그림 2 단일 패치의 특성  
Fig 2. Characteristics of Single Patch

설계된 패치 안테나는 5.5GHz에서 공진이 일어나는 것을 알 수 있으며, 반사계수가 약 -28dB이고 반사 손실이 10dB (VSWR 2:1)가 되는 대역폭은 약 50MHz 정도임을 알 수 있었으며, 또한 안테나의 이득은 5 dBi, 그리고 패치 안테나 방사소자의 원거리 영역 방사 패턴이 전방향 특성을 나타냄을 알 수 있었다.

### III. 저잡음 증폭기 설계

#### 3-1. 저잡음 증폭기 설계이론

증폭기를 설계함에 있어 안정도는 매우 중요한 요소이며, S-파라미터, 정합회로망 및 종단 조건등에 의해서 결정되는 것으로써 설계 주파수 대역뿐만 아니라 모든 주파수 대역에서도 안정해야 한다. 따라서 수식적으로 무조건 안정할 조건은 다음과 같다[5].

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

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  $\mu$ -factor는

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

이다[6].

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.

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

3-2. 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 인가 시켰다.

그림 3은 바이어스 조건을 만족시킬 때 칩 분석을 통한 이득, 잡음지수 및 안정도특성을 보여주고 있다.

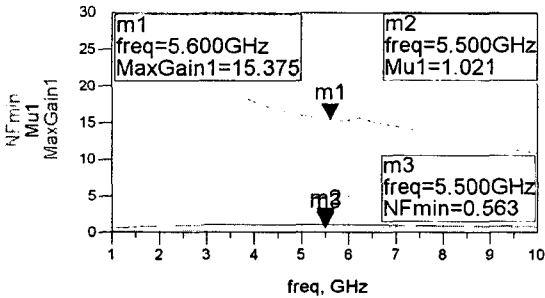


그림 3. 칩 분석결과  
Fig 3. The results of Chip analysis

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

일반적인 저잡음 증폭기는 입력 측 정합회로를  $\Gamma_S$ 와  $\Gamma_{OPT}$ 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 Circle 상에서 잡음지수와 이득을 적절히 고려하여 trade-off점을 잡아 입력정합회로를 설계하고 입력 정합회로가 결정되면 출력정합회로는 공액정합이 되도록 설계하게 된다. 따라서 본 논문에서는 입력 단은 잡음특성에 의해 매칭 회로를 설계하고, 출력 단은 이득특성을 고려하여 매칭 회로를 설계하여 5GHz 대역에서 상용되는 저잡음 증폭기의 특성에 준하여 설계 스펙을 결정하였으며, 이를 표 2에서 보여주고 있다.

표 2. 5.5GHz 저잡음 증폭기 제원  
Table 2. 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	1.5 이하

설계된 증폭기의 전체 회로도를 그림 4에서 보여주고 있다.

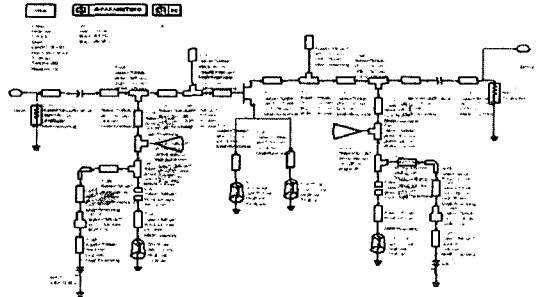
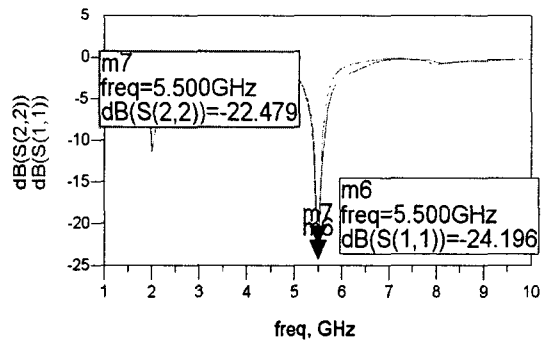
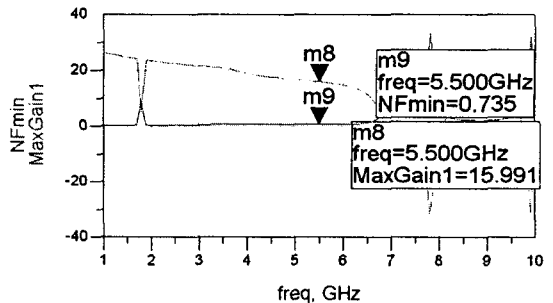


그림 4. LNA 전체 회로  
Fig 4. The schematic of LNA

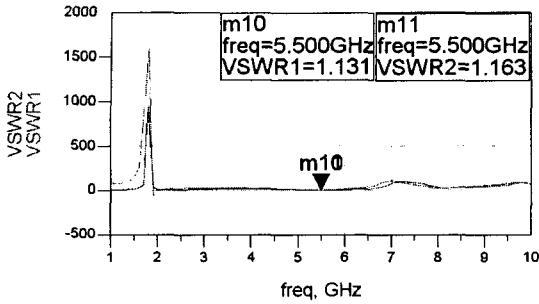
설계되어진 저잡음 증폭기의 시뮬레이션 결과를 그림 5에서 보여주고 있다.



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



(b) 이득 및 잡음지수  
(b) Gain & NF



(c) 입출력 정재파비  
(c) Input & Output VSWR  
그림 5. 시뮬레이션 결과  
Fig 5. Simulation results of LNA

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

#### IV. 측정 결과

##### 4-1 단일 패치 안테나 측정 결과

실제 설계 제작한 단일 패치 안테나를 Anritsu사의 벡터 회로망 분석기 37169A를 이용하여 측정하였다. 측정결과 입력 임피던스 특성은 그림에서 보여주는 것과 같이 약  $49.2+j2.842 [\Omega]$ 을 나타내었다.

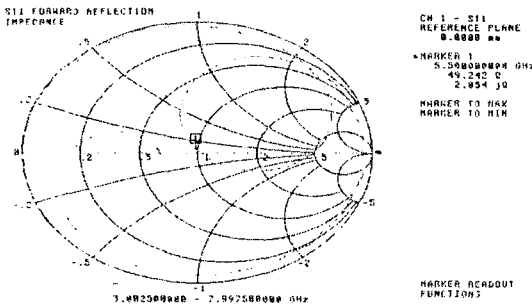


그림 6. 입력 임피던스  
Fig 6. Input Impedance

반사손실 값은 동작 주파수 5.5 GHz에서 -28 dB로 측정되었으며, 그림 7에서 보여주고 있다.

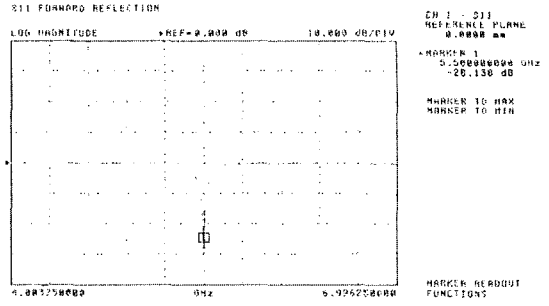


그림 7. 반사손실  
Fig 7. Return loss

그림 8은 전압 정재파비를 측정한 결과로서 1.132로 매우 좋은 결과를 얻을 수 있었다.

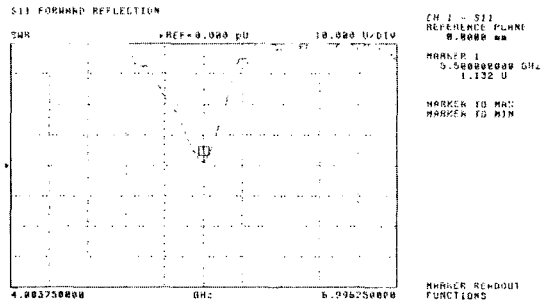


그림 8. 전압 정재파비  
Fig 8. VSWR

시뮬레이션 결과와 거의 비슷한 결과를 얻었다. 표 3은 시뮬레이션 결과와 측정결과를 비교한 것이다.

표 3. 시뮬레이션 결과와 측정결과 비교  
Table 3. Simulation & measured data

구분	시뮬레이션 결과	측정결과
Frequency	5.5GHz	5.5 GHz
VSWR	1.2	1.132
Impedance	50 [ $\Omega$ ]	49.2 [ $\Omega$ ]
Return Loss	-27.8 [dB]	-28 [dB]
Gain	5 dBi 이상	측정 못함

##### 4-2 저잡음 증폭기 측정 결과

제작된 저잡음 증폭기의 측정결과 중에서 입력 반사 손실과 출력 반사 손실 및 이득, 그리고 입력 전압 정재파비를 그림 9.에서 보여주고 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 근거리무선 통신용으로 사용 가능한 능동 안테나를 구현하기 위해 저잡음 증폭기와 단일 패치 안테나를 설계 및 제작하였다. 제작된 증폭기는 중심주파수 5.5 GHz에서 입출력 반사손실이 -20 dB이하를 나타내었으며, 이득은 약 15dB, 입출력 VSWR은 1.5 이하의 특성을 얻을 수 있었다. 또한 설계된 단일 패치 안테나는 중심주파수 5.5 GHz에서, 입력 반사 손실이 약 -28 dB를 나타내었고, 전압 VSWR이 1.132를 나타내었으며, 대역폭이 매우 좁음을 알 수 있었다.

참고문헌

- [1] Applied Wave Research. Inc www.mwoffice.com
- [2] C. A. Balanis, Antenna Theory : analysis and design, John Wiley & Sons, INC., 2nd Ed., 1997
- [3] Balanis, Antenna Theory Analysis and Design, Wiley, PP.727-731
- [4] 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.
- [5] G. Gonzalez, "microwave Transistor Amplifier Analysis and Designs", Prentice Hall, 1997
- [6] M.L Edwards, "A New Criterion for Liner 2-port Stability Using a Single Geometrically Derived Parameter" IEEE Trans, Vol. 40. 12., December 1992

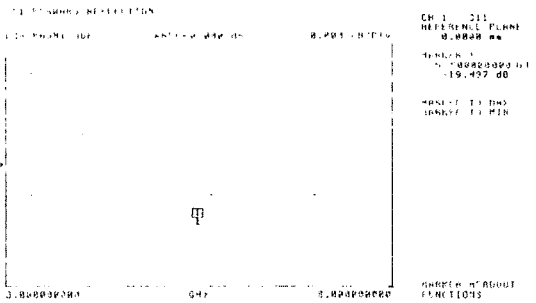
저자소개

김갑기(Kab-Ki Kim)

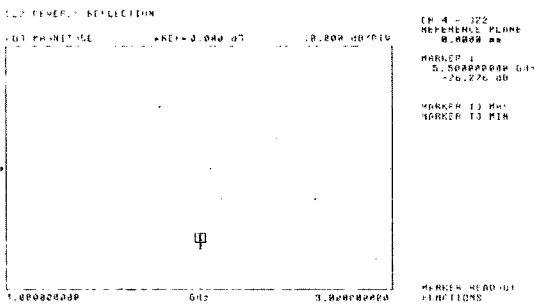


1980년 광운대학교 통신공학과 (공학사)  
 1984년 건국대학교 대학원 전자공학과(공학석사)  
 1998년 건국대학교 대학원 전자공학과(공학박사)

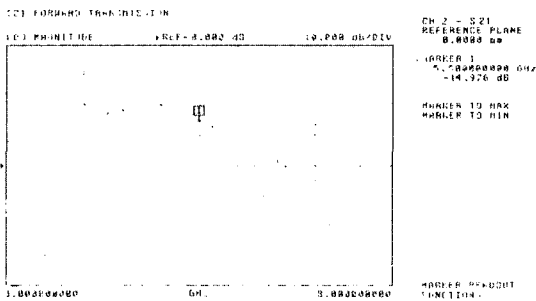
2001~2002년 뉴욕시립대학 전자공학과 연구교수  
 현재 목포해양대학교 해양전자통신공학부 교수  
 ※관심분야 : 마이크로파 통신, 초고주파 회로설계, 해상무선통신, 이동통신, 위성통신



(a) 입력 반사손실  
(a) Input return loss



(b) 출력 반사손실  
(b) Output return loss



(c) 이득  
(c) Gain

그림 9. 저잡음 증폭기 측정 결과  
 Fig 9. measured data of LNA

측정결과 입력 반사손실은 시뮬레이션 결과와 -5dB, 출력 반사손실은 4 dB, 그리고 이득은 약 1dB 정도 시뮬레이션 결과와 차이가 있었다, 이는 제작과정에서 에칭 오차와 차폐 및 완전한 그라운드, 그리고 바이어스 전압의 변동에 의해 발생하였을 것으로 생각된다.



**최충연(Chung-yun Choi)**

1965년 한국 항공대학교 통신공  
학과(공학사)

1979년 건국대학교 대학원 통신  
행정학과(공학석사)

현재 목포해양대학교 해양전자  
통신공학부 교수

※관심분야 : 정보통신 관계법, 전파법



**김철수(Chol-soo Kim)**

1964년 한국 항공대학교 통신학  
과(공학사)

1978년 건국 대학교 대학원 통신  
행정학과(공학석사)

현재 목포해양대학교 해양전자  
통신공학부 교수

※관심분야 : 전자회로, 무선통신기기