

# 위성통신용 Ku-Band GaAs MESFET 믹서에 관한 연구

## (A Study on the GaAs MESFET Mixer for Satellite Communication at Ku-Band)

許 謹\*, 柳然國\*\*, 洪義錫\*\*\*

(Keun Her, Yeun Gook Ryu and Ui Seok Hong)

### 要約

신호 주파수 14GHz, 중간 주파수 1GHz인 Ku-band용 GaAs MESFET 믹서를 초고주파용 CAD인 LINMIC+를 이용하여 설계, 구현하였다. 국부발진 전력레벨이 0 dBm일때, 1.4GHz에서 최소 잡음지수는 5.8dB였고, 1.45GHz에서는 5.8dB의 최대 변환이득을 얻었다. 변환이득 및 잡음지수에 미치는 바이어스의 효과와 국부발진 주파수의 레벨변화에 의한 변환이득과 잡음지수에 대한 영향을 고찰하여 그 특성을 확인하였다.

### Abstract

The Ku-band GaAs MESFET mixer is designed and implemented using the LINMIC+, the microwave CAD simulator. The RF and IF is 14.0GHz and 1.0GHz, respectively.  $P_{LO}$  is 0dBm, it can be obtained 5.8dB of the minimum noise figure at 1.4GHz and 5.8dB of the maximum conversion gain at 1.45GHz. Effects of bias and power level of local oscillator frequency are observed and the characteristics are verified.

### 1. 서론

E. Armstrong은 수신시스템의 저잡음화에 의한 수신감도의 개선을 목적으로 최초의 진공관식 믹서

(Mixer)를 제작하였다.<sup>[1]</sup> 레이더 기술과 더불어 발전해 온 믹서는 제반 통신시스템에서 필수적인 구성요소로 적용되고 있다. GaAs MESFET의 경우, 게이트-소오스간 쇼트키(Schottky) 장벽의 비선형성을 이용하여 믹서를 구현할 수 있다. 이러한 믹서는 향상된 변환이득을 보유하며, 잡음특성과 단자간 분리도(Isolation)가 우수하고, 낮은 국부발진 전력 레벨(Power level of local oscillator:  $P_{LO}$ )에서도 안정된 동작상태가 유지되는 장점이 있다.<sup>[2,3]</sup>

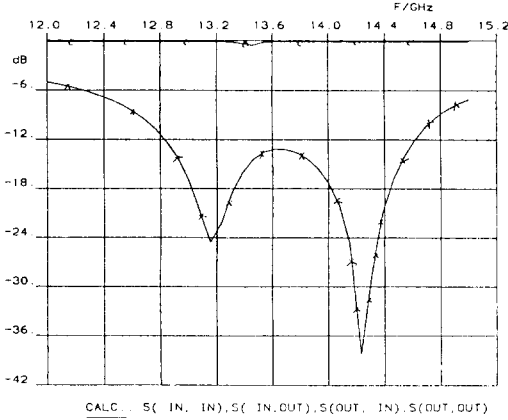
믹서는 비선형 소자이지만 이상적인 선형소자로 가정할 경우, 단순히 입력 주파수를 다른 주파수로 천이(Shift)하는 회로라고 할 수 있다. 이상적인 믹서는 고조파 성분이 없다고 가정하지만 실제의 믹서에는 많은 고조파(Harmonics)성분이 존재하며 이에따라, 두 입력 주파수의 합(Up convert-ing)과 차

\*正會員, 光云大學校 電子通信工學科  
(Dept. of Electronic Communication Eng., Kwangwoon Univ.)  
\*\*正會員, 忠州産業大學校 電子工學科  
(Dept. of Electronic Eng., Chungju Nat'l Univ.)  
\*\*\*正會員, 光云大學校 電波工學科  
(Dept. of Radio Science and Eng., Kwangwoon Univ.)  
接受日字 : 1993年 4月 17日

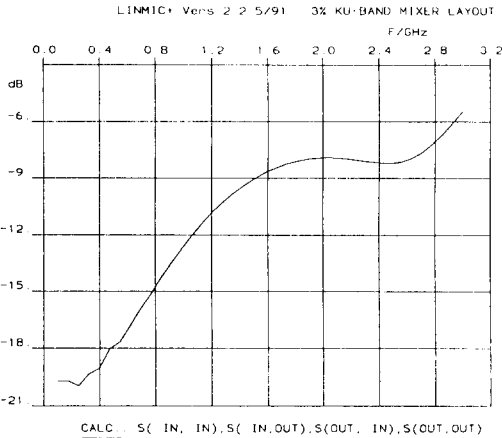


4. 정합회로

Single-gate GaAs MESFET 믹서는 게이트에 신호 주파수와 국부발진 주파수를 공급하고, 그 출력을 여파(filtering)하여 혼합된 중간 주파수를 얻는



(a)



(b)

그림 2. (a)믹서의 신호 주파수에 대한 입, 출력 반사계수(S<sub>11</sub>, S<sub>22</sub>)

(b) 믹서의 중간 주파수에서의 출력 반사계수(S<sub>22</sub>)

Fig. 2. (a) In/output reflection coefficients for signal frequencies.

(b) Output reflection coefficients for intermediate frequencies.

것이다. 따라서 입력단은 미약한 신호 주파수에 대하여 정합을 하고, 출력단은 신호 주파수 및 국부발진 주파수의 기본 주파수 그리고 그 고조파 성분을 억제하기 위하여 출력 주파수에 대한 정합을 해야한다. 신호 주파수 14GHz에서 최적의 잡음지수를 갖는 반사계수  $\Gamma_{OPT} = 0.52 \angle -2^\circ$ 를 적용할 경우, 직렬 마이크로 스트립라인의 길이가  $0.071\lambda$ 이고, 개방 스텐브의 길이는  $0.042\lambda$ 인 입력 정합회로가 구성된다. 출력정합은 출력 주파수에 대한 반사계수가 최소가 되도록 하였으며, 동시에 국부발진 주파수나 신호주파수 성분의 트랩을 만족하게 하였다.

그림 2는 시뮬레이션한 믹서의 주파수에 따른 (a) 믹서의 신호 주파수에서의 입, 출력 반사계수(S<sub>11</sub>, S<sub>22</sub>) 및 (b)믹서의 출력 주파수에서의 출력 반사계수(S<sub>22</sub>)로 12.8GHz~14.8GHz의 입력단에서 반사계수가 최소 -12dB이하로 하였고, 출력단에서는 반사계수가 -12dB이하로 하였다. 그림 3은 믹서의 설계도이다.



그림 3. 믹서의 설계도 (3:1)

Fig. 3. Layout of Mixer (3:1).

5. Single-gate GaAs MESFET 믹서의 구현

유전율  $\epsilon = 2.6$ , 특성 임피던스  $Z_0 = 50 [\Omega]$  이고, 두께  $h = 0.54 [\text{mm}]$ , 동박의 두께가  $0.018 [\text{mm}]$ 인 테프론 기판(substrate)을 사용하여, 결합기와 정합회로 및 여파기를 각각 설계하고, 이들을 조합하여 Single-gate GaAs MESFET 믹서를 구현하였다. 또한  $1000 [\text{pF}]$ 의 칩 캐패시터를 사용하여 DC를 차단하였고, 회로의 바이어스 라인으로 신호의 유입을 막아 손실을 방지하였으며, 바이어스 라인의 폭은  $0.2 [\text{mm}]$ 로 하였고, 사용한 소자는 게이트의 길이가  $0.3 [\mu\text{m}]$ 인 ATF-13736이다. 균일한 접지면을 유지하며, 발진의 가능성을 배제하기 위하여  $3 [\text{mm}]$  간격으로  $0.5 [\text{mm}]$ 의 홈을 내어 와이어로 완전히 접지하였다. 바이어스의 안정을 위해서  $100 [\text{pF}]$ 의 칩 캐패시터를 사용하였다.

Ⅲ. 실험 및 결과 검토

믹서의 특성실험에 사용된 계측장비의 구성은 그림

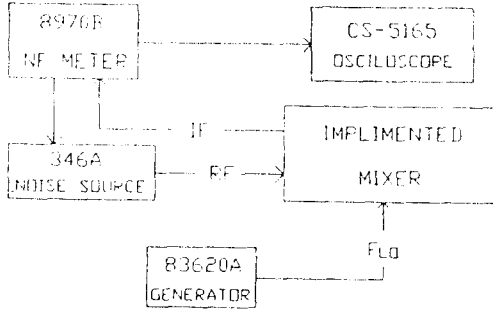
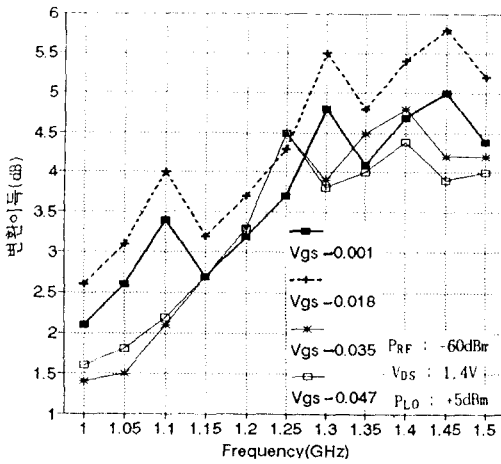
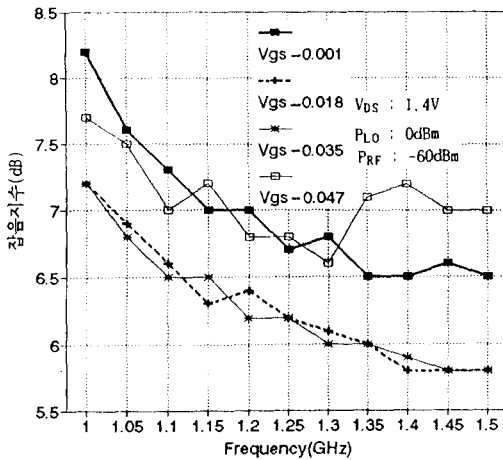


그림 4. 계측장비의 구성도  
Fig. 4. Diagram of measurement equipments.



(a)



(b)

그림 5. 주파수에따른 (a)변환이득과 (b)잡음지수  
Fig. 5. (a)Conversion gains and, (b) noise figures for frequencies.

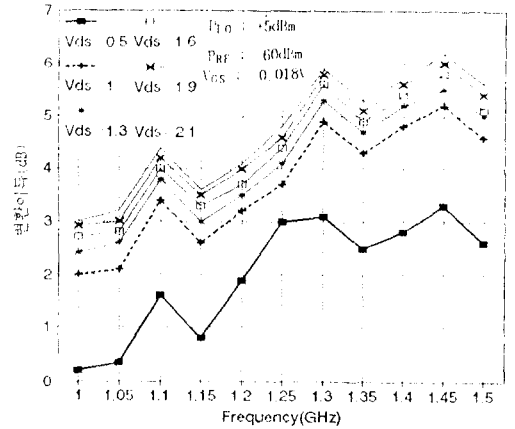


그림 6. 각각의  $V_{DS}$ 에 대한 변환이득  
Fig. 6. Conversion gains for  $V_{DS}$  respectively.

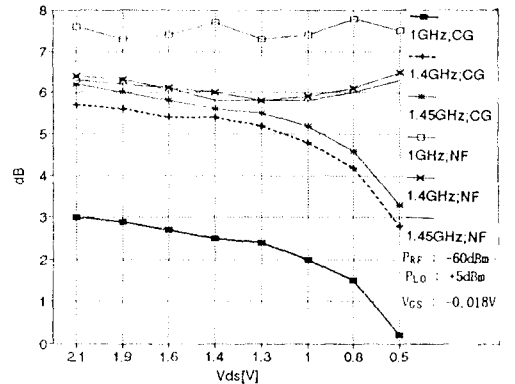
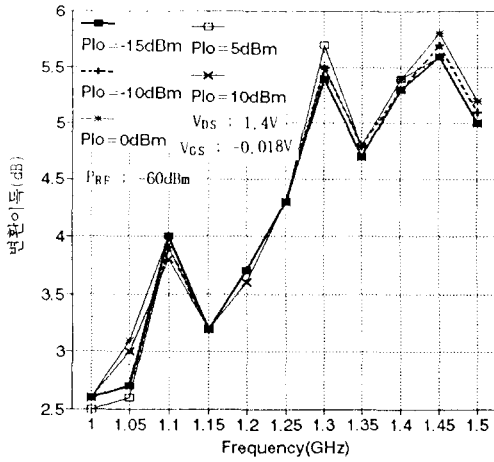


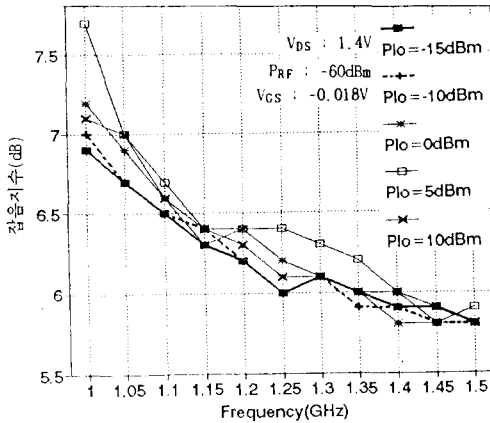
그림 7.  $V_{DS}$ 에대한 각각의 주파수에서 변환이득과 잡음지수  
Fig. 7. Conversion gains and noise figures for  $V_{DS}$  at frequencies respectively.

4와 같다. 측정시 온도는  $293^{\circ}\text{K}$ 로 설정하였으며 0.1dB의 손실보상을 하였고, 소자의 유효잡음 온도는  $26^{\circ}\text{C}$ 이다. 실험에 있어서 결합기 및 정합회로 그리고 저역통과 여파기를 각각 구형 측정하여 그 특성을 확인한 후 모두 결합하여 믹서를 측정하였다.

첫번째로 10dB 방향성 결합기를 이용한 믹서는 잡음원(noise source)의 전력을 발생하는 HP 346A를 이용하여  $P_{RF}$ 를  $-60\text{dBm}$ 미만으로 유지한 상태에서 드레인-소오스전압( $V_{DS}$ )은 1.4 [V], 게이트-소오스전압( $V_{GS}$ )은  $-0.018$  [V]에서  $P_{LO}$ 가  $0\text{dBm}$ 일때 IF 1.4GHz에서 최소 잡음지수는 5.8dB였고, 1.45GHz에서 최대 변환이득은 5.8dB였다. 결합기의 특성은 RF삽입손실이  $-2\text{dB}$ 였고, 두 입력 포트 간의



(a)



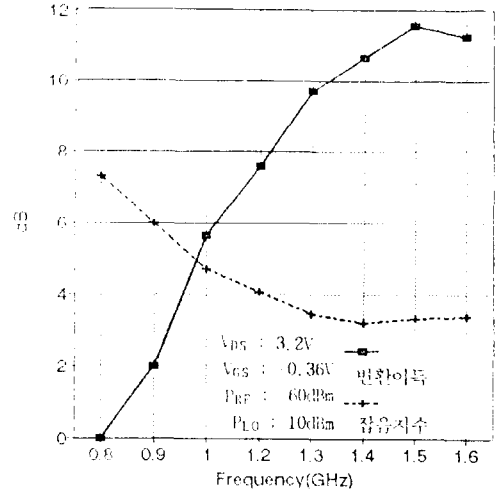
(b)

그림 8. 국부발진 주파수의 전력레벨에 대한

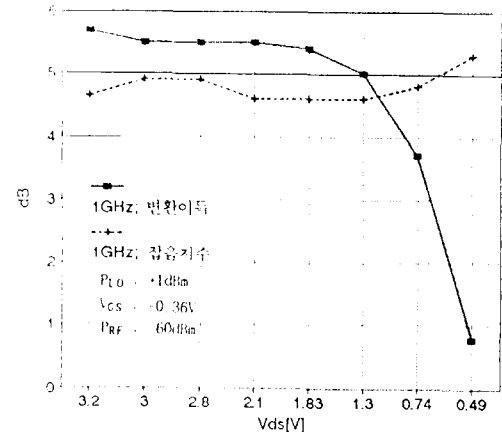
(a)변환이득 및 (b)잡음지수

Fig. 8. Conversion gains and noise figures for  $P_{LO}$ .

분리도는 13GHz~14GHz에서 -14~-20dB를 얻었으며, LO와 출력의 결합도는 -14~-15dB를 보였다. 그림 5는  $V_{DS}$ 가 1.4 [V],  $P_{LO}$ 가 0dBm일때 주파수에 따라  $V_{GS}$ 가 각각 -0.001 [V], -0.018 [V] 일때의 (a)변환이득과 (b)잡음지수의 변화량을 보이며, 그림 6은  $V_{GS}$ 가 -0.018 [V],  $P_{LO}$ 가 5dBm일때의 각각의  $V_{DS}$ 에 대한 변환이득을 보이는데 바이어스에 따라 거의 균일한 변동을 보이고 있다. 그림 7은  $P_{LO}$ 가 5dBm,  $V_{GS}$ 가 -0.018 [V] 일때 드레인-소오스 간의 전압 변화에 대한 각각의 주파수에서의 변환이



(a)



(b)

그림 9. 3dB 결합기를 이용한 믹서의 주파수에 대한 (a)변환이득과 잡음지수와 (b)  $V_{DS}$  따른 변환이득과 잡음지수

Fig. 9. For frequencies of mixer using 3dB coupler, (a) conversion gains and noise figures and (b) conversion gains and noise figures to  $V_{DS}$ .

득과 잡음지수를 보인다. 변환이득은  $V_{DS}$ 가 2.1 [V] 부터 일정함을 보이며, 잡음지수의 변동폭은 0.6dB폭을 보이며, 바이어스가 감소할수록 약 1.3 [V] 에서부터 미세하게 증가함을 보인다. 그림 8은 국부발진 주파수의 전력레벨의 변화에 따른 (a)변환

이득 및 (b)잡음지수의 변화를 보이는데, 국부발진 주파수의 결합도가 낮기 때문에 레벨 변화에 따라 거의 변화가 없으나, 변환이득에는 결합도에 따라 결정적 요소로 작용하며, 잡음지수에의 영향은 0.8dB폭 내에서 랜덤하게 나타나며, 이는 일반적으로 예측할 수 있는 잡음지수가 단지 신호 주파수의 손실과 주변회로 및 소자 자체의 영향이며, 국부발진 주파수의 영향은 무시하거나, 유효잡음 온도만으로 설정하는 것과 관계가 있음을 알 수 있다.<sup>3)</sup>

둘째로 동일한 회로에서 3dB 결합기의 특성은 신호주파수의 손실이 -4dB ~ -5dB, 두 입력포트간의 분리도는 -17 ~ -23dB였고, 국부발진 주파수의 출력 포트에의 분리도는 -7 ~ -8였다. 그림 9(a)는  $P_{RF}$ 는 -60dBm 미만이고  $P_{LO}$ 가 +1dBm일때, 바이어스전압은 각각  $V_{DS}=3.2$  [V],  $V_{GS}=-0.36$  [V] 인 상태에서 주파수에 대한 변환이득과 잡음지수를 측정된 결과이다. 그림 9(b)는  $P_{LO}$ 가 +1dBm이며,  $V_{GS}$ 는 -0.36 [V] 일때, 1GHz의 IF에서  $V_{DS}$ 의 변화에 따른 변환이득과 잡음지수의 측정 결과로서, 바이어스전압  $V_{DS}$ 에 대한 잡음지수의 변동율은 0.7dB폭을 보였고, 변환이득은  $V_{DS}$ 가 1.3 [V] 에서 급격히 감소며, 약 1.8 [V] 에서 부터 일정함을 유지하며, 잡음지수는 1.3 [V] 부터 증가함을 알 수 있다. 또, 한 포트를 50 [Ω] 종단시켰으므로 그에 따른 손실은 감안하더라도 전체 수신 시스템의 측면에서는 잡음지수의 개선이 더욱 효과적이며, 평형 믹서에 이용될 수 있다. Dynamic Range는 신호 주파수의 전력 레벨이 +10dBm일때 최소 30dB였으며, 출력단에서 검출된 두 기본 주파수의 고조파 성분은 -40dB이상 억제되었고, 1dB 압축점은 신호 주파수의 레벨이 +12dBm

이었다. 그림 10(a)는 출력단에서 1GHz의 중간주파수의 혼합상태를 보인다. 표 2는 기존의 발표된 믹서와 본 논문에서 구현된 믹서의 특성 비교표이다.

표 2. 믹서의 특성 비교표

Table 2. Characteristics of implemented and conventional mixers.

	Pucci <sup>4)</sup>	Maas <sup>5)</sup>	Perlatosa <sup>6)</sup>	Rosario <sup>7)</sup>	IMPLEMENTED MIXER IN THIS PAPER
FET 종류	71018 Series	AT 8251	NE 71000	CV180MESFET	ATF13736
RF Freq.	8.03 GHz	8.2 GHz	12.3 GHz	11 GHz	14 GHz
IF Freq.	30 MHz	1.2 GHz	1 GHz	1 GHz	1 GHz
대역폭	30 MHz	500 MHz	400 MHz	300 MHz	500 MHz
최소 잡음지수	7.4 dB	약 4.5 dB	약 5 dB		5.8 dB
최대 변환이득 ( $P_{LO}$ )	6 dB (11 dBm)	약 6.5 dB (6 dBm)	(11 dBm)	5.5 dB (13 dBm)	5.8 dB (0 dBm)
중심 변환이득		약 5.5 dB	9.8 dB		4.3 dB
주파수, 잡음지수		약 5 dB	5.2 dB		6.2 dB

#### IV. 결론

14GHz의 RF에서 동작하는 Single-gate GaAs MESFET 믹서를 상용 M/W CAD인 LINMIC+를 이용하여 설계, 구현하고, 그 특성을 측정하였다. 능동소자로서 변환이득과 잡음지수의 변화에 영향을 주는 바이어스의 변화에 주목하였다.

$V_{GS}$ 와  $P_{LO}$ 가 일정 할 때, 드레인-소오스간의 바이어스는 변환이득 및 잡음지수에 결정적인 요소로서 변환이득은 일정점을 중심으로 선형 또는 비선형적 변화를 보이며, 주파수에 따른 변화는 균일하다. 잡음지수의 변화는 0.6~0.7dB폭으로 감소 또는 증가함을 알 수 있으며, 주파수에 따른 변화는 랜덤한 경향을 보인다.  $V_{DS}$ 와  $P_{LO}$ 가 일정할때, 게이트-소오스간의 바이어스는 변환이득 및 잡음지수에 일정점까지는 균일한 변화를 보이나, 그 포인트를 넘게 되면 랜덤하게 변하며, 주파수에 대해서도 동일한 변화를 나타낸다. 이와 같은 게이트-소오스간의 바이어스는 잡음지수를 결정하며, 드레인-소오스간의 바이어스는 변환이득에 결정적 요소로 작용하게 된다.

믹서의 효율을 결정하는 잡음지수 및 변환이득에 대한 바이어스 영향에 대한 고찰은 믹서의 특성과 효율을 판단할 수 있는 수단이 된다.

Dynamic Range는 최소 30dB이고, 다이오드 믹서에 비하여 +1dBm의 저전력 국부발진 레벨에서도 안정된 혼합특성이 지속됨을 알 수 있다.

본 논문에서 GaAs MESFET를 이용하여 설계, 구현한 믹서는 그 특성상 통신 시스템의 수신단에 이용

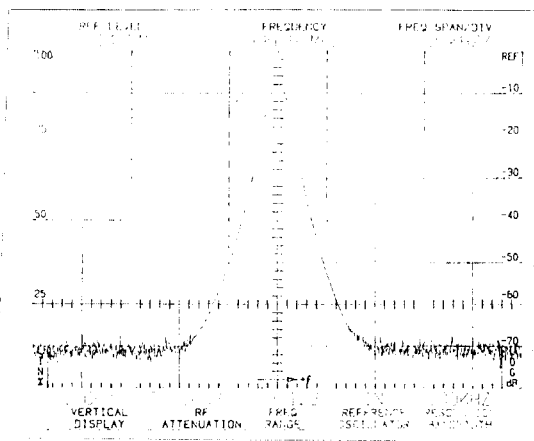


그림 10. 출력단에서 혼합상태  
Fig. 10. At output stage mixing condition.

할 경우 중간 증폭기를 줄일 수 있으며, 위상잡음에 따라 선별적으로 위성통신 중계기용 변조기, 감쇄기 및 검파기등 제반 위성통신 시스템은 물론 레이다 시스템에서 활용할 수 있고, 스트립형태의 평면구조의 설계방식은 현재 MMIC의 구현에 응용되고 있다.

#### 參 考 文 獻

- [1] G. D. Vendelin et al, *MICROWAVE CIRCUIT DESIGN*, John Wiley & Sons, 1990.
- [2] S.A. Maas, *Nonlinear Microwave circuits*, Artech House, 1988.
- [3] S.A. Maas, *Microwave Mixer*, Artech House, 1984.
- [4] R. A. Pucel and Daniel Masse, "Performance of GaAs MESFET Mixers at X band" *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.* vol. MTT-24, June 1976.
- [5] S. A. Mass, "Theory and Analysis of GaAs MESFET Mixers," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. MTT-32, NO.10, OCT. 1984.
- [6] C.C Pe alosa et al, "Analysis and Design of MESFET Gate Mixers" *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. MTT-35, no.7, July 1987.
- [7] M.J. Ros rio at al, "Design Technique for MESFET Mixers for Maximum Conversion Gain," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 38, no. 12, December 1990.
- [8] Operating and service manual, HP 346A, HP346B, HP346C NOISE SOURCE, HEWLETT PACKARD, 1990
- [9] J.B. Tsui, *Microwave Receivers and related Component*, Peninsula Publishing, 1985.
- [10] H. Howe, *Stripline Circuit Design*, Artech House, 1974.
- [11] G. L. Matthaei et al, *Microwave Filter Impedance matching Networks and Coupling Structures*, Artech House, 1980.
- [12] User Manual LINMIC+, Jansen Microwave, 1991.
- [13] Data Book, Microwave Semiconductor GaAs and Silicon Products, Avantek, 1989.
- [14] S. Y. Liao, *Microwave Circuit Analysis and Amplifier Design*, Prentice Hall, 1987.

(※이 논문은 1991년도 교육부지원 한국학술진흥재단의 자유공모과제 학술 연구 조성비에 의하여 연구되었음.)

著 者 紹 介



許 權(正會員)

1991年 2月 광운대학교 전자통신 공학과 졸업(공학사). 1991年 9月 ~1993年 8月 광운대학교 대학원 전자통신공학과 졸업(공학석사). 주관심분야는 MIC 및 MMIC 소자, 비선형회로 해석 등임.



柳 然 國(正會員)

1980年 2月 충북대학교 전기공학과 졸업(공학사). 1987年 8月 건국대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 1992年 광운대학교 대학원 전자통신공학과 박사과정 수료. 1993年~현재 충주산업대학교 전자공학과 부교수. 주관심분야는 MIC 및 MMIC 소자, 비선형회로 설계 및 해석 등임.



洪 義 錫(正會員)

1968年 2月 광운대학교 전자통신 공학과 졸업(공학사). 1973年 9月 연세대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학석사). 1982年 11月 독일 Aachen공대 전자공학과 졸업(공학박사). 1973年 9月~1976年 5月 광운대학교 응용전자공학과 전임강사. 1976年 10月~1982年 12月 독일 Aachen공대 초고주파연구소 연구원. 1983年 1月~1986年 2月 광운대학교 전자통신공학과 부교수. 1986年 2月~1987年 2月 미국 University of Texas(Austin) 객원교수. 1992年 3月~현재 광운대학교 전파공학과 교수. 1989年 1月~1991年 12月 대한 전자공학회 편집위원. 1984年 3月~현재 한국통신학회 학술이사. 1991年 1月~현재 한국전자과 기술학회 평의원. 1992年 10月~현재 통신위성.우주산업연구회 이사. 주관심분야는 MIC 및 MMIC 소자, Wave propagation 등임.