

5.8GHz 무선 LAN용 저항성 혼합기 설계

Design of resistive mixer for 5.8GHz Wireless LAN

劉載文*, 姜廷震**, 安正植**, 金漢錫**, 李鍾岳**

(Jae-Moon Yoo*, Jeong-Jin Kang**, Jeong-Sig An**, Han-Suk Kim**,
and Jong-Arc Lee**)

요 약

본 논문에서는 5.8GHz 무선 LAN용 저항성 주파수 변환기를 설계·제작하였다. 저항성 주파수 변환기는 구조가 간단하고 기저대역에서 잡음성능과 선형성이 우수한 특성을 나타낸다. 주파수 변환에 사용되는 국부 발진기는 유전체 공진기를 이용하여 안정된 발진 전력을 얻을 수 있도록 하였다. 또한, 발진 주파수를 조정하기 위해 벡터 다이오드를 사용하여 전기적인 튜닝이 가능하도록 하였다. 본 논문에서 제작한 저항성 믹서는 선로손실을 제외하고 약 -12dB의 변환손실을 얻었으며, 국부 발진기의 출력은 1.67dBm을 얻었다.

Abstract

In this paper, the resistive mixer for 5.8GHz wireless LAN, main part receiving system, was designed and implemented. The noise characteristics and the linearity in the base band was superior. For the use of local oscillator of mixer, dielectric resonator of stable output and temperature charactersitics was designed. For the electical tuning by the capacitance variation of varactor diode, the microstrip line and magnetic coupling characteristics of the dielectric resonance was used. It was obtained that gain of the proposed resistive mixer containing the RF cable loss, is -13.8dB, the conversion loss of frequency converter is -12 dB, and the output power of local oscillator is 1.67 dBm.

I. 서 론.

무선 LAN 시스템의 응용은 1985년에 미국 FCC가 ISM 밴드(902~928MHz, 2400~2483.5MHz, 5725~5850MHz)에서 면허 없이 이용할 수 있는 스펙트럼 확산 방식

을 인가한 것이 시초이다. 그 동안 국내에서는 전파신호를 제한하는 규정 때문에 2.4GHz대의 주파수를 사용하는 2Mbps급 무선 LAN 만을 구축할 수 있었으나, 1997년 9월 11일 정보통신부에서 5.8GHz대 전파사용을 허가하기 위한 전파법 시행령 개정에 따라 5.8GHz대 무선 LAN을 개발법하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다.

본 논문은 5.8GHz 무선 LAN용 저항성 주파수 혼합기와 유전체 공진기를 이용한 국부발진기의 설계에 관한 연구로, 설계 기술을 제안하고 이를 토대로

* 동서울 大學 電子科

(Dept. of Electronic Eng., DongSeoul College)

** 建國大學校 電子工學科

(Dept. of Electronic Eng., Kunkuk Univ.)

接受日: 1999年2月25日, 修正完了日: 1999年6月4日

설계·제작하여 검증하고자한다.

혼합기 회로는 베이스 밴드에서의 비선형성을 최소화 하여 신호 에러를 줄일 수 있는 평형 저항성 혼합기 형태로 설계하였다.[1-4] 혼합기의 국부 발진용으로 사용되어질 발진기는 공진회로 일부에 유전체 공진기를 사용하고, 미소한 주파수 조정을 위해 버랙터 다이오드 튜닝회로를 구성하였다. 이는 위상 잡음을 줄여주고 안정된 발진 신호를 출력할 것이다.[5]

II. 주파수 혼합기 및 국부 발진기 설계

본 절에서는 GaAs MESFET의 선형영역에서 동작하는 저항성 혼합기를 설계하였다. 저항성 혼합기는 RF와 LO신호를 분리시키는 데 유리하고, 대신호 능력을 개선하며, 평형구조를 사용하여 우수 차의 스푸리어스 응답과 상호변조 곱의 항들을 서로 상쇄시키는 특성을 갖는다. 또한, 선형적인 시변성을 갖는 저항영역에서 동작하므로 적당한 LO 레벨에서는 비교적 높은 IF 출력을 나타낸다. 또한, 기존의 다이오드 혼합기와는 달리 주로 열 잡음에 의존하므로 전체적인 잡음 성능이 우수하게 나타나며 구조적으로 다이오드 혼합기 보다 RF와 LO신호 분리가 유리하다.[6]

주파수 혼합기에 사용되는 국부 발진기는 주파수 안정도를 높이기 위해 온도에 따른 안정성이 우수한 유전체 공진기를 공진회로에 사용하였고, 대신호 해석을 통한 최대 출력에서의 주파수 안정성을 유지하도록 설계하였다. 또한, 1% 이상의 주파수 변화를 얻기 위해 버랙터 다이오드의 캐패시턴스를 변화시켜 전기적인 튜닝이 가능하도록 설계하였다. 또한, 본 연구에서는 출력 반사계수가 최대가 되는, 즉 불안정 영역에서 가장 불안정한 한 점을 선택하는 방법을 나타냈으며, 이는 최적의 출력전력으로 안정된 발진 주파수를 얻기 위한 것이다.[7-10]

2-1. 저항성 주파수 혼합기 설계

본 논문에서 구현하고자 하는 단일 평형 주파수 혼합기는 LO 분배기, RF 분배기, IF 여파기, IF 결합기로 구성하였다. 저항성 혼합기의 설계 목표는 표 1와 같다.

마이크로스트립 선로의 해석과 회로구현 및 Simulation은 Supercompact 프로그램을 사용 하였다.

LO분배기(divider)는 $1\frac{1}{2}\lambda$ 길이의 hair-pin 형태로 설계하였다. 설계된 주파수 혼합기회로는 그림1에 나타내었다.

표 1. 저항성 혼합기의 설계 목표

Table 1. Design targets of resistive mixer

LO 주파수	5.425 GHz
RF 주파수	5.775 GHz(single tone 일경우)
IF 주파수	350 MHz
LO-RF간 분리도	20dB 이상
LO-IF, RF-IF간 분리도	25dB 이상

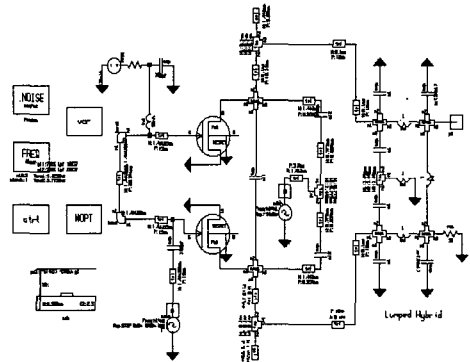


그림 1. 평형 혼합기의 회로

Figure 1. Circuit of balanced mixer

2-2. 유전체 공진기를 이용한 국부발진기 설계

본절에서는 NE32854C GaAs FET를 사용하여 공진주파수가 5.425GHz인 발진기를 설계하였다.

NE3284C에 대한 소신호 S-파라미터는 표 2와 같다(여기서, $V_{ds} = 2V$, $I_{ds} = 10mA$ 이다).

이때 안정계수 $K \approx 0.48$ 이므로 1이하가 되어 트랜지스터는 5.425GHz에서 잠정적으로 불안정하다. 트랜지스터를 더욱 불안정하도록 하기 위하여 소스에 개방 스티브를 삽입하였다. 따라서 안정계수 K가 가장 작게 되도록 적당한 스티브 길이를 선택한다. 그때의 S파라미터는

$$S_{11} = 1.232 \angle -11.862^\circ, S_{12} = 0.285 \angle 109.87^\circ$$

$S_{21} = 0.319 \angle -164.36^\circ, S_{22} = 1.21 \angle -13.85^\circ$ 이며, 안정계수 $K = 0.073$ 이고, $|A| = 1.415$ 이다. 여기서 $|S_{11}| > 1$ 로부터 최적의 출력전력을 얻을 수 있도록 설계하기 위해서는 Γ_T 는 $\Gamma_T = 0.812 \angle 11.862^\circ$ 로 구했다.

그러나, $|\Gamma_{OUT}| = k$ 인 원으로부터 안정된 발진을 얻기 위해 $\Gamma_T = 0.812 \angle -180^\circ$ 를 선택하였다. 또한, 원래 Γ_T 의 위상은

표 2. NE32854C FET의 소신호 S-파라미터
Table 2. S-parameters of the NE32854C FET

S_{11}	S_{21}	S_{12}	S_{22}
$0.870 \angle -76.4^\circ$	$4.119 \angle 97.4^\circ$	$0.062 \angle -37.7^\circ$	$0.428 \angle -63.6^\circ$

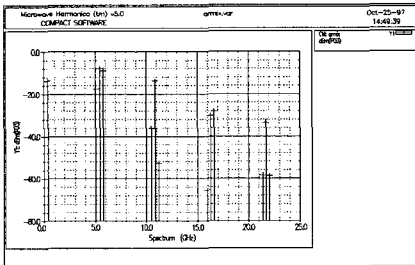


그림 2. 출력 포트에서의 전력 스펙트럼

Figure 2. Power spectrum at output port

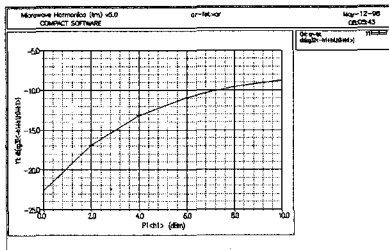


그림 3. LO 전력에 대한 변환손실 (RF=-10dBm)

Figure 3. Conversion loss vs LO power

$|\Gamma_{OUT}| = k (= \infty)$ 일 때의 값이므로 출력 정합회로는 필요하지 않지만, 안정된 발진을 위해 $\angle -180^\circ$ 의 값을 선택하였으므로 출력 정합회로를 설계하여야 하며, $\Gamma_{OUT} = 1.230 - j0.089$ 를 구할수 있고, 이 때 $Z_{OUT} = -428.018 - j147.314$ 이므로 $Z_L = 142.67 + j147.314$ 이다.

2-3. 저항성 혼합기 시뮬레이션 결과

시뮬레이션 한 전력 스펙트럼은 그림 2와 같고, 그림 3에서는 RF가 -10dBm 일때의 LO신호전력에 따른 변환손실을 나타냈으며, LO 신호에 따라 변환손실이 완만히 증가되어 6dBm 일때 11dB의 변환 손실을 얻었다.

2-4. 국부 발진기 시뮬레이션 결과

본 논문에서 국부 발진기는 가능한 한 최대전력이 출력되도록 외부회로를 구성하고 이에 따른 안정된 발진주파수를 얻을 수 있도록 설계하고자한다. 최대 출력을 얻기 위한 기본 조건은 트랜지스터 출력포트에서 R_{IN} 값이 가장 큰 값을 가질 때 가능하다. 따라서, 소스에 병렬로 개방 스테르브를 연결하여 트랜지스터가 최대로 불안정하도록 만들었고, 대신호 해석을 통해 종단회로를 결정하였다. 시뮬레이션 결과는 그림 4, 5와 같이 S_{11} 은 4.5dB를 얻었고, 부성저항 값의 크기는 최대 35Ω의 값을 얻었다. 이것은 안정된 발진 출력을 얻기 위한 $|R| < 50\Omega$ 에 부합되는 적당한 값임을 알 수 있다.

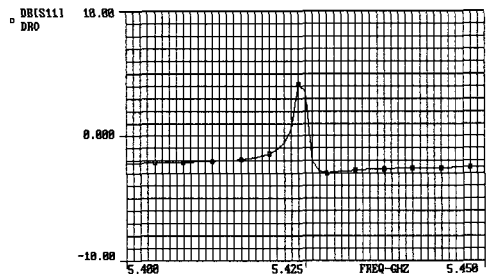


그림 4. 주파수 대 출력반사계수

Figure 4. Output reflection coefficient vs frequency

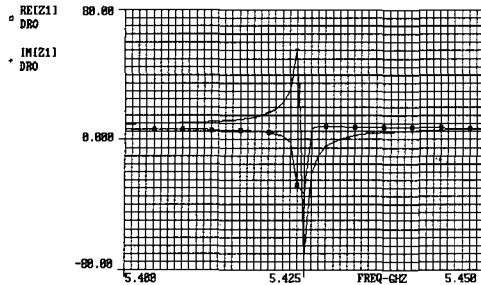


그림 5. 주파수 대 입력임피던스

Figure 5. Input impedance vs frequency

본 연구에서 사용한 유전체 공진기는 YuYu 사의 AR38U, $D=10.35\text{mm}$, $H=2.45\text{mm}$, $\epsilon_r=38$ 이며, 마이크로스트립선(두께 $h_s=0.508\text{mm}$) 과 공진기 사이의 거리는 H/I 해석법이나 실험적으로 구하게 될 것이다. Q_u 에 의해 유전체 공진기와 마이크로스트립선의 결합 등가 R, L, C 는 각각 $432\Omega, 2.12 \times 10^{-3}\text{nH}, 405.37\text{pF}$ 이다.

III. 실험 및 고찰

3-1. 주파수 혼합기 제작 및 측정

본 연구에서 설계한 주파수 혼합기의 시뮬레이션 결과는 6dBm의 LO(5.425GHz)전력에서, 중심주파수 5.775GHz인 -10dBm RF신호를 IF(350MHz)로 변환하여 11dB의 변환 손실과 -30dBm 이하의 2차, 3차 상호변조곱 성분을 얻었다. 본 연구에서 설계한 주파수 혼합기의 레이아웃과 실제 제작한 구조의 사진은 그림 6에 나타났다.

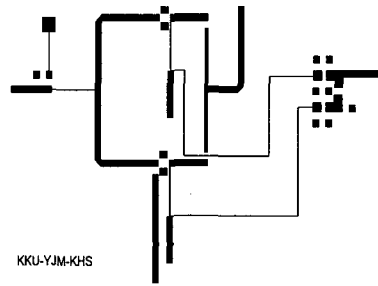
그림 7에서 보여주는 출력 스펙트럼은 LO=6dBm(5.425GHz), RF=-8dBm(5.775GHz)일 때 350MHz의

IF에서 -21.8dBm의 출력 전력을 나타내고 있다. 따라서, 본 연구에서 제작한 주파수 혼합기는 13.8dB의 변환손실을 얻었으며, 이것은 RF 단계

서의 케이블 손실 -1.8dB를 제외하면 약 12dB 정도

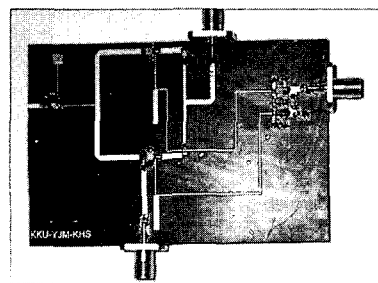
임을 알 수 있다. 이것은 시뮬레이션에서 얻은 변환손실 11dB 보다 약 1dB 정도 높은 값

을 나타내고 있으나, 제작에 있어서 발생할 수 있는 기생성분에 의한 손실과 복사손실 등으로 생각되므로, 본 연구에서 제작한 주파수 혼합기는 시뮬레이션 결과와 거의 일치하는 우수한 특성을 보여주고 있다.



(a) 혼합기의 레이아웃

(a)Mixer layout



(b) 혼합기 구조의 사진

(b) Photograph of mixer structure

그림 6. 제작한 혼합기의 구조

Figure 6. Structure of produced mixer

3-2. 국부 발진기 제작 및 측정

본 절에서는 그림 8(a)의 발진기 레이아웃을 사용하여 실제 회로를 제작하였고, 회로망 분석기 HP8510B를 이용하여 유전체 공진기와 마이크로스트립선 결합에 의한 전기적 특성을 측정하였다.또한, 스

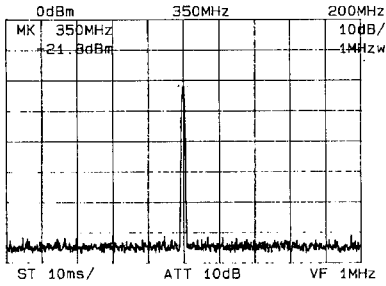


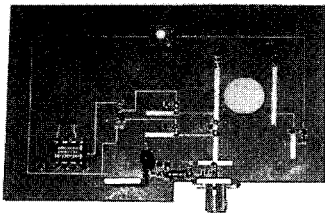
그림 7. 혼합기의 출력 스펙트럼

Figure 7. Output spectrum of mixer

펙트럼분석기 HP8563E를 이용하여 발진기의 주파수에 따른 출력 전력을 측정하였고, 실제 제작한 국부 발진기 구조의 사진은 그림 8(b)에 나타났다.



(a) 국부 발진기의 레이아웃
(a) Layout of local oscillator



(b) 제작한 국부 발진기의 사진
(b) Photograph of produced local oscillator

그림 8. 제작한 발진기의 구조
Figure 8. Structure of produced local oscillator

그림 9에서 보는 바와 같이, 발진기의 출력 전력은 5.43GHz에서 1.67dBm을 얻었으며, 불필요한 고조파 성분은 필터를 사용하여 제거하였다. 본 논문에서 설계한 국부 발진기는 5.425GHz에서 공진하도록 설계하였으나, 제작한 회로의 주변에서 발생하는 기생성분과 실험상의 오차로 15MHz정도 벗어난 5.43GHz에서 공진하였다. 이것은 회로에 연결되어 있는 비랙터 다이오드의 전기 적인 튜닝에 의해 원래 설계 주파수인 5.425 GHz로 쉽게 조정하여 출력시킬 수 있다.

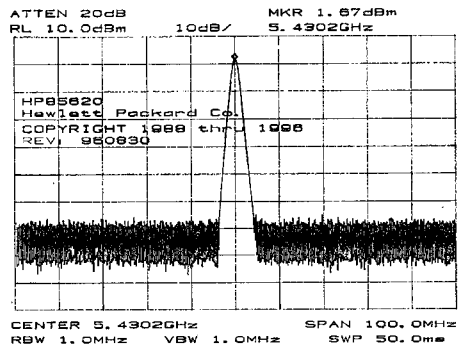


그림 9. 발진기의 출력

Figure 9. Output of the oscillator

또한, 주파수 혼합기를 동작기 위한 출력 전력은 6 dBm 정도가 요구되므로, 본 발진기를 사용하기 위해서는 발진기의 출력단에 좀더 높은 전력 이득을 얻기 위한 버퍼 증폭기가 필요하다. 이는 또한 혼합기의 국부 발진기 포트에서의 비정함으로 발생될 수 있는 반사 전력을 차단해 주는 역할을 하기 때문에 자주 사용되는 방법이기도 하다.

IV. 결 론

본 연구에서는 무선 LAN통신 시스템의 수신단에 사용되는 5.8GHz 저항성 혼합기를 설계하였다. 저항성 혼합기는 트랜지스터의 저항성 영역을 이용하기 때문에 게이트 바이어스만을 필요로 하므로 구조가 비교적 간단하고 상호 변조 왜곡을 줄일 수 있는 장

점을 가지고 있으며 단일 평형구조 설계하였기 때문에 AM, FM 노이즈 면에서 유리한 특성을 보이고 있다. 유전체 공진기 회로는 가능한 한 안정된 발진 주파수를 출력시키기 위해 대신호 해석을 통해 종단 회로를 구성하였으며, 온도 안정 특성이 우수하고 크기가 작은 유전체 공진기를 사용하여 회로를 설계하였다. 이때 중심주파수의 1% 이상의 튜닝을 얻기 위해서 벡터 다이오드의 캐패시턴스를 전기적으로 변화시켜 공진 주파수의 조정이 가능하도록 설계하였다. 시스템의 각부는 Touchstone과 Supercompact을 이용하여 시뮬레이션 및 최적화를 하였으며, 우수한 잡음 특성과 변환 손실을 얻을 수 있었다.

이론적인 해석을 기초하여 설계·제작한 각 부의 측정 결과는, RF 케이블 손실을 포함하여 주파수 변환기의 변환손실은 -12dB, 국부 발진기의 출력은 1.67 dBm을 얻었다.

따라서, 본 논문에서 설계·제작한 저잡음 특성을 갖는 저항성 혼합기는 실제 5.8GHz의 RF 수신 단에 바로 적용될 수 있는 매우 실용적인 회로임을 알 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] Pucel, R. A, D. Masse, R. Bera, "Performance of GaAs MESFET Mixers at X-band", IEEE Trans. Microwave Theory Tech, Vol.MTT-24, p. 351, 1976
- [2] Mass, S. A., "A GaAs MESFET Mixer with Very Low Intermodulation," IEEE Trans. Microwave Theory Tech., Vol. MTT-35, P.425, 1987
- [3] Scott, J.R., and R. A. Minasian, "A Simplified Microwave Model for the GaAs Dual-Gate MESFET," IEEE Trans. Microwave Theory Tech., Vol.MTT-32, p. 243, 1984.
- [4] C.P. Tou and B.C. Chang, "A technique for intermodulation reduction in mixers", in IEEE Symp. Electromagn. Compat. Dig., pp.128-132, 1981
- [5] O. Ishihara, T. Mori, H. Sawano, and M. Nakatani, "A highly stabilized GaAs FET oscillator using a dielectric resonator feedback circuit in 9-14GHz," IEEE Trans. Microwave Theory Tech., Vol. MTT-28, pp.817-824, August 1980.
- [6] Maas, S. A., " Theory and Analysis of GaAs MESFET Mixers," Ph. D. Diss.
- [7] K. M. Johnson, "Large signal GaAs MESFET oscillator design", IEEE Trans. Microwave Theory Tech., Vol. MTT-27, pp. 217-227, March 1979.
- [8] Y. Mitsui, M. Nakatani, and S. Mitsui, "Design of GaAs MESFET oscillator using large-signal s-parameters," IEEE Trans. Microwave Theory Tech., Vol. MTT-25, pp.981-984, December 1977.
- [9] M. Maeda, K. Kimura, and H. Kadera, "Design and performance of X-band oscillators with GaAs schottky-gate field-effect transistor," IEEE Trans. Microwave Theory Tech., Vol. MTT-23, pp. 661-667, August 1975.
- [10] Inder Bahl and Prakash Bhartla, Micro-wave Solid State Circuit Design, Wiley, 1976.

저 자 소 개



劉載文 (正會員)

1973년 한양대학교 공과대학 전자공학과 공학사. 1974년 양곡 종합고등학교 전자과 교사. 1978년 한양공업고등학교 전자과 교사. 1980년 한양대학교 대학원 전자공학과 공학석사. 1998년 건국대학교 대학원 전자공학과 공학박사. 1995년 ~ 현재 동서울대학 전자과 교수



金漢錫 (學生會員)

1992년 건국대학교 전자공학과 공학사. 1994년 건국대학교 전자공학과 공학석사. 1997년 ~ 1998년 (주) CTI 중앙연구소 주임연구원. 1995년 ~ 현재 건국대학교 일반대학원 박사과정



姜廷震 (正會員)

1982년 건국대학교 전자공학과 공학사. 1986년 건국대학교 대학원 전자공학과 공학석사. 1991년 건국대학교 대학원 전자공학과 공학박사. 1984년~1985년 8월 삼성 반도체 통신(주) 연구소. 1997년~1997년 6월 한국전자통신연구원(ETRI) 초빙 연구원. 1991년~1999년 현재 동서울대학 전자통신과 교수.
주관심 분야: 안테나 및 전파전파, 마이크로파, 전자파 흡수체



李鍾岳 (正會員)

1966년 한양대학교 전기과 공학사. 1970년 연세대학교 전기과 공학석사. 1974년 연세대학교 전기과 공학박사. 1976년 ~ 현재 건국대학교 전자·정보통신공학과 교수



安正植 (學生會員)

1994년 아세아-항공 직업 전문학교 전문교사. 1997년 (주) CTI 중앙연구소 과장. 1998년 ~ 현재 (주) 웨이브컴 부설연구소 실장. 1997년 ~ 건국대학교 일반대학원 박사과정