

논문 2008-451E-1-5

휴대무선인터넷 RF 하향 변환기 설계 및 제작에 관한 연구

(A Study on Wireless Broadband Internet RF Down Converter Design and Production)

이 창 희*, 원 영 진**, 이 종 용***, 이 상 훈***, 이 원 석****, 나 극 환*****

(Chang-Hee Lee, Young-Jin Won, Jong-Yong Lee, Sang-Hun Lee, Won-Seok Lee, and Keuk-Hwan Ra)

요 약

본 논문에서는 2.3GHz 주파수대역의 휴대무선인터넷 하향 주파수 변환기를 설계 및 제작 하였다. 수신기에서 발생할 수 있는 문제점의 최소화 목적으로 저잡음 증폭기(Low Noise Amplifier)를 부가하게 되었다. 또한, 2.3GHz 대역이 75MHz로 하향 과정에서 손실을 최소화하고, 변환 효율을 높이고, 안정적인 특성을 발휘할 수 있도록 우수한 주파수 특성을 가진 소자를 사용하였다. 휴대무선인터넷 중계기는 TDMA(Time Division Multiplexing Access)방식을 사용하기 때문에 RF 스위치가 사용되었다. 제작 사양인, 입력전압 +8V 에서 1.2A의 전류를 소비, 60dB의 이득과 2.5dB 이하의 잡음지수, 입출력 전압정재파비(Voltage Standing Wave Ratio) 1.5이하, 혼변조 왜곡(Inter Modulation Distortion) 60dB이상을 만족하였다. 환경 조건(-20℃ ~ 70℃)에서 장시간의 신뢰성 시험을 통과하여, 제작된 휴대무선인터넷 RF 하향 변환기는 휴대무선인터넷 중계기에 적용 가능하다.

Abstract

A Wibro RF down converter of 2.3GHz band is designed and implemented in this paper. The problems that can occur in the receiver LNA(Low Noise Amplifier) to minimize additional purposes. In addition, 2.3 GHz band from the 75 MHz downward to minimize the losses in the process, transform and improve efficiency, and achieve stable characteristics can be used to make high frequency characteristics of the device. Wibro repeater uses a TDMA(Time Division Multiplexing Access) method is needed because the RF switch. Production criterion specification, the input voltage from +8 V 1.2A of current consumption, 60dB gain and the noise figure of less than 2.5dB, VSWR(Voltage Standing Wave Ratio) less than 1.5, more than IMD(Inter Modulation Distortion) 60dB satisfied. Environmental conditions (-20 °C to 70 °C) to pass the test of reliability in a long time, that seemed crafted Wibro down converter be applied to the Wibro repeater.

Keywords : WiBro , RF, down converter, LNA, TDMA.

* 정희원, (주)이디에스 솔루션
(EDS Solution Co., Ltd.)

** 정희원, 부천대학 전자과
(Department of Electronics , Bucheon College)

*** 정희원, 광운대학교 교양학부
(Division of General Education, Kwangwoon Univ.)

**** 정희원, 동양공업전문대학 전기전자통신공학부
(School of Electrical Engineering, Dongyang Technical College)

***** 정희원, 광운대학교 전자공학과
(Dept. of Electronic Engineering, Kwangwoon Univ.)

※ 본 연구는 광운대학교 2003년도 연구년에 수행하였음.

접수일자: 2007년11월14일, 수정완료일: 2008년2월29일

I. 서 론

인터넷의 기하급수적인 발전으로 휴대폰처럼 언제 어디서나 이동하면서 초고속인터넷을 이용할 수 있는 서비스인 휴대무선인터넷(WiBro)이 등장하게 되었다. WiBro는 Wireless Broadband Internet의 줄임말로 휴대용 단말기를 이용하여 정지 및 이동 중 언제, 어디서나 약 1 Mbps급 전송속도로 인터넷에 접속하여 다양한 정보 및 콘텐츠 사용이 가능한 초고속인터넷 서비스로 실내의 유선 초고속인터넷 서비스를 실외에서 이동 중에도 사용할 수 있도록 확장하는 개념이다. 이것은 2.3

MHz 주파수 대역을 이용하여 셀 반경 1 km 이내, 이동시 최소 60 km/h 이상에서도 끊어짐 없는 무선 인터넷 서비스를 보장하고, 보다 저렴하게 무선 인터넷을 이용할 수 있는 새로운 서비스이다. 현재에는 70 km/h의 이동성과 가입자당 1 Mbps의 전송속도까지 지원하는 수준으로 개발되었으며, 상용화되면 100 km/h의 이동성과 3 Mbps의 전송속도까지 가능할 것으로 전망된다^[1~2].

휴대무선인터넷 서비스가 시작되면 노트북용 무선랜 카드나, USB 무선 랜카드처럼 생긴 장치를 연결하면 길거리나 달리는 차 안에서 영화를 즐기고, 온라인 게임이나 웹 서핑을 하는 것을 지금 사무실에서 인터넷 서핑을 하듯 할 수 있게 된다. 서울과 수도권에서 상용 서비스할 계획으로 사업을 추진하고 있는데, 60 km/h 이내로 이동하면서 초고속인터넷을 이용할 수 있다^[3~5]. 이러한 휴대무선인터넷 서비스를 위해서는 휴대무선인터넷 시스템의 RF 하향 변환기는 필요구성 요소이다.

본 논문에서는 휴대무선인터넷 기술의 표준으로 다루되고 있는 휴대무선인터넷 방식의 RF 변환 모듈의 설계 제작하였다. 설계 및 제작된 RF 하향 변환기는 KT사 사양을 기준으로 설계 및 제작하였으며 측정 결과를 나타내었다.

II. 본 론

설계 및 제작되는 휴대무선인터넷 하향 변환기의 주요 구성은 저잡음증폭기(Low Noise Amplifier), RF 스위치, 대역통과 필터, 혼합기, RF 증폭기 등으로 그림 1과 같이 구성된다.

본 논문에서는 상용 서비스를 실시 업체인 KT사의 주파수 특성에 맞게 설계 및 제작하였으며, 표 1은 KT사의 주파수 특성에 따른 주요 사양을 나타내었다.

주파수 특성에 따른 규격을 만족하기 위해서는 가장 우선될 것이 소자의 선택이다. 초단의 증폭기는 잡음특성이 우수한 소자를 사용하였으며, PLL(Phase Loop Lock) 및 기타 소자는 RF특성을 만족하고, 변환효율이

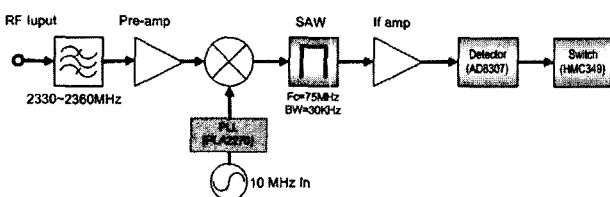


그림 1. 휴대무선인터넷 하향 변환기의 구조도
Fig. 1. WiBro Down Converter Structure.

표 1. 휴대무선인터넷 하향 변환기의 사양
Table 1. WiBro Down Converter Specification.

항 목	사 양
주파수 대역	2330 ~ 2360 MHz
최대 입력 레벨	-55 dBm / 3 FA
최대 출력 레벨	5 dBm / 3 FA
RF 이득	60 dB ± 1 dB
대역 평탄도	1.5 dB(P-P)
VSWR(In/Out)	1.5 : 1 (Max)
잡음 지수	2.5 dB (Max)
IMD(0 dBm/2Tone)	-60 dBc(Min)
DC Supply Volts @ Currents	+ 8 V @ 1.2 A

우수한 소자를 이용하였다.

무선 통신을 위해서는 주파수 대역의 변환이 필수적이다. 휴대무선인터넷용 하향 변환기에서 사용하는 RF 주파수는 2230~2360 MHz이므로 이를 IF 주파수 대역으로 변환하기 위해서는 주파수 하향변환이 필요하다. 이와 같은 하향변환은 혼합기와 저역통과 여파기에 의하여 이루어진다.

주파수 혼합기에서 IF 신호의 주파수는 RF 신호의 주파수와 국부 발진기 주파수의 차에 해당하므로 IF 신호의 주파수는 국부 발진기의 주파수를 조정함으로써 가변시킬 수 있다. 이러한 기능은 비선형 특성을 갖는 소자에 의하여 얻을 수 있으며 다이오드, BJT, FET 등의 소자를 이용한다. 이러한 소자는 국부 발진기의 신호에 의하여 비선형 영역에서 동작하게 되어 비선형 소자가 되며 여러 가지의 고조파 성분을 발생시킨다. 이 고조파 각각은 원래의 RF 신호와 동일한 정보를 내포하고 있으므로 여파기로 특정한 성분을 추출하면 정보는 그대로이고 주파수 대역만 변환되어 RF 신호는 IF 주파수로 변환되게 된다. 이때 가장 낮은 주파수 성분은 저역통과 여파기로 추출할 수 있으며 이것을 보통 IF 주파수 대역이라고 한다.

혼합기의 형태는 여러 가지가 있으나 혼합기에 사용되는 비선형 소자의 수에 따라 혼합기를 분류한다. 혼합기는 1개의 다이오드를 사용하는 SEM(Single Ended Mixer), 다이오드 2개를 사용한 SBM(Single Balanced Mixer), 4개 다이오드를 사용한 DBM(Double Balanced Mixer)로 분류할 수 있다.

SEM의 구성도는 그림 2의 (a)와 같다. SEM는 2개의 입력 신호의 합과 차를 얻기 위해 다이오드의 비선형성을 이용하게 된다. 여파기는 혼합기의 입력과 출력단에 사용되고 이 입력 여파기들은 저역통과 여파기가 IF 신호

호만을 IF 증폭단에 전달시키는 동안 IF신호가 RF 측에 전달되는 것을 막는 역할을 한다. 이 회로는 회로가 간단하다는 이점은 있으나 입력단과 출력단 사이의 분리도가 좋지 않다는 단점이 있다. 이것은 발진기가 다이오드로만 신호를 보내는 것이 아니라 입력단으로 전달될 수 있음을 의미하며 후단에서 입력회로로 신호를 반사시킬 수 있다는 것을 의미한다. 일반적으로 여파기를 사용하여 이러한 문제를 해결할 수 있지만 혼합기가 사용될 수 있는 주파수 대역을 제한시키게 된다.

SEM(Single Ended Mixer)의 입력신호와 국부 발진기의 신호를 다음과 같이 정의한다.

$$v_{RF}(t) = v_r \cos \omega_r t \quad (1)$$

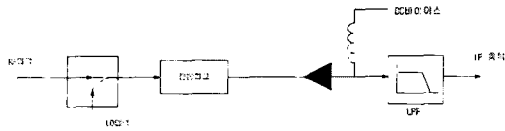
$$v_{LO}(t) = v_o \cos \omega_o t \quad (2)$$

두 개의 입력신호에 의하여 혼합기의 출력은 두 주파수의 합과 차가 된다.

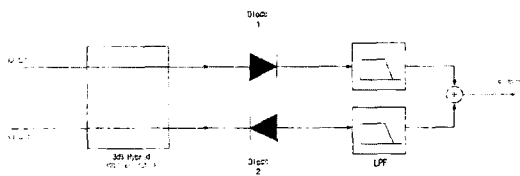
$$v_{RF} \times v_{LO} = \frac{v_r v_o}{2} [\cos(\omega_r + \omega_o)t + \cos(\omega_r - \omega_o)t] \quad (3)$$

식 (3)에서 첫째 항인 입력신호 간의 주파수 합은 저역통과 여파기에 의해 제거되고 둘째 항인 입력신호 간의 주파수 차는 중간 주파수로 이는 저역통과 여파기에 의하여 추출되게 된다.

SEM의 또 다른 단점은 발진기에서 발생된 잡음이 RF 신호의 주파수와 혼합되어 혼합기의 잡음 성능을 저하시키게 된다. 이러한 단점을 보완 개선시킨 혼합기가 본 연구에서 제작된 다이오드 2개와 90°나 180°하이



(a) SEM(Single Ended Mixer)의 구성도



(b) SBM(Single Balanced Mixer)의 구성도

그림 2. (a) SEM(Single Ended Mixer)의 구성도
(b) SBM(Single Balanced Mixer)의 구성도
Fig. 2. (a) SEM(Single Ended Mixer) Structure.
(b) SBM(Single Balanced Mixer) Structure.

브리드 결합기를 사용한 SBM이다.

SBM(Single Balanced Mixer)는 두 개의 SEM로 구성되어 있으며 보다 나은 입력 전압정재파비로 두 개의 입력 신호단(RF와 LO) 사이를 충분히 분리시키기 위하여 3dB 하이브리드 결합기를 사용한다.

하이브리드 결합기를 사용한 SBM는 국부 발진기에서 발생하는 AM 잡음을 상쇄시킬 수 있다. SBM의 기본 회로는 그림 2(b)와 같다.

SBM의 동작은 소신호 $v_n(t)$ 가 존재할 경우, 하이브리드로 입력되는 RF, LO신호를 다음과 같이 정의한다.

$$v_{RF}(t) = v_r \cos \omega_r t, \quad v_{LO}(t) = [v_o + v_n(t)] \cos \omega_o t \quad (4)$$

여기서 $v_r \ll v_o, v_n \ll v_o$ 이다.

90° 하이브리드를 사용한 혼합기에 대하여 하이브리드 결합기를 통과한 전압은 다음과 같이 표현된다.

$$v_1(t) = v_r \cos(\omega_r t - 90^\circ) + (v_o + v_n) \cos(\omega_o t - 180^\circ) = v_r \sin \omega_r t - (v_o + v_n) \cos \omega_o t$$

$$v_2(t) = v_r \cos(\omega_r t - 180^\circ) + (v_o + v_n) \cos(\omega_o t - 90^\circ) = -v_r \cos \omega_r t + (v_o + v_n) \sin \omega_o t \quad (5)$$

다이오드의 V-I특성의 제곱 항으로 인하여 원하는 혼합기의 결과를 얻을 수 있으므로 다이오드의 제곱 항만을 고려한다면 다음과 같다.

$$i_1 = kv_1^2 \quad i_2 = -kv_2^2 \quad (6)$$

상기 식들로부터 다음과 같은 전류식을 얻을 수 있다.

$$i_1 = k[v_r^2 \sin^2 \omega_r t + (v_o + v_n)^2 \cos^2 \omega_o t - 2v_r(v_o + v_n) \sin \omega_r t \cos \omega_o t]$$

$$i_2 = -k[v_r^2 \cos^2 \omega_r t + (v_o + v_n)^2 \sin^2 \omega_o t - 2v_r(v_o + v_n) \cos \omega_r t \sin \omega_o t] \quad (7)$$

이 신호를 저역통과 여파기로 필터링하면 남아 있는 항은 DC성분과 잡음성분과 IF주파수 신호만이 된다.

$$i_1 = k \left[\frac{1}{2} v_r^2 + \frac{1}{2} (v_o + v_n)^2 - v_r (v_o + v_n) \sin \omega_i t \right],$$

$$i_2 = -k \left[\frac{1}{2} v_r^2 + \frac{1}{2} (v_o + v_n)^2 + v_r (v_o + v_n) \sin \omega_i t \right] \quad (8)$$

여기서 $\omega_i = \omega_r - \omega_o$ 이다. 이들 전류 식들을 결합하면 원하는 IF 출력 신호를 얻을 수 있다.

$$i_{IF} = i_1 + i_2 = -2kv_r(v_o + v_n)\sin\omega_it \quad (9)$$

$$\approx -2kv_r v_o \sin\omega_it$$

식 (9)에서 SBM에서는 국부 발진기의 AM 잡음이 제거되고 우리가 원하는 주파수의 신호만을 얻게 된다는 것을 알 수 있다^[6~8].

혼합기의 동작 원리에 의한 각각의 혼합기 장단점을 비교하면 표 2와 같이 된다.

최상의 결과를 얻기 위하여 주파수 하향변환을 위한 혼합기는 RF 주파수 1.7~3 GHz, RF 주파수 DC~0.8 GHz, 이득 -9 dB, LO/RF 30 dBm, 분리도 IP3 30 dB 특성을 갖는 SBM 형태인 HITTITE사의 "HMC304MS8"소자를 선택하였다. 이 소자는 입력 IP3가 우수하고 추가적인 부품이나, 바이어스 구성이 필요하지 않으며, 8핀 MMIC 인데 반해 14.8mm의 작은 크기로 구성되어 있다.

그림 3은 휴대무선인터넷 하향 변환기의 블록도이다. 2230~2360 MHz RF입력신호를 받아 LNA CL2702를 이용하여 이득 증폭한다. RF 스위치 HMC349를 이용하여 RF 신호를 임의적으로 제어 할 수 있도록 한다. RF 스위치가 온상태일 때 LNA를 통해 증폭된 신호를 AMI

표 2. 각 혼합기의 특성 비교

Table 2. Mixer performance comparison chart.

혼합기 형태	Diode의 수	RF VSWR	RF/LO 고립도	3차 혼변조
Single ended	1	Poor	Fair	13dBm
Balanced(90°)	2	Good	Poor	13dBm
Balanced(180°)	2	Fair	Excellent	13dBm
Double balanced	4	Poor	Excellent	18dBm

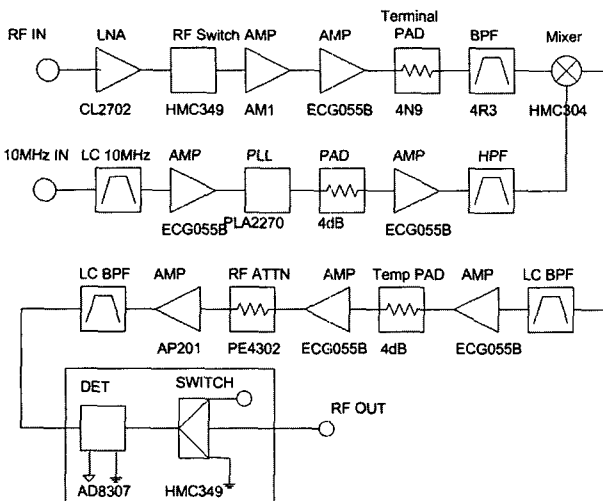


그림 3. (a)휴대무선인터넷 하향변환기 블록도
Fig. 3. (a) WiBro Down Converter block diagram.

과 ECG055B 트랜지스터를 이용하여 충분히 증폭을 한다. 열 패드 4N9를 이용하여 온도 조건에 따른 이득 변화량을 보상한다. 이렇게 입력된 신호를 PLL PLA2270 과 혼합기 HMC304를 이용하여 주파수를 하향변환(IF) 한다. 하향 변환된 IF 신호를 원하는 신호만을 검출하여 위하여 LC 대역통과 필터를 이용하여 원하는 대역만을 통과시켜 ECG055B TR을 이용하여 이득을 증폭한다. IF 신호를 전력레벨로 증폭한 결합기를 적용하여 RF 값을 Detector AD8307을 이용하여 DC 값으로 변환한다. 그리고 RF 신호는 RF 스위치를 이용하여 출력 신호를 제어 하도록 설계하였다.

III. 제작 및 측정

시스템구성과 회로도, 선택된 소자의 구성에 따라 시뮬레이션 프로그램인 애질런트의 ADS2005를 통해 시뮬레이션을 실시하였으며, PCB설계Tool인 PADS 5.0 프로그램을 이용하여 PCB를 설계하였다. 최적 설계된 휴대무선인터넷 하향 변환기는 FR4의 유전상수 4.6, 두

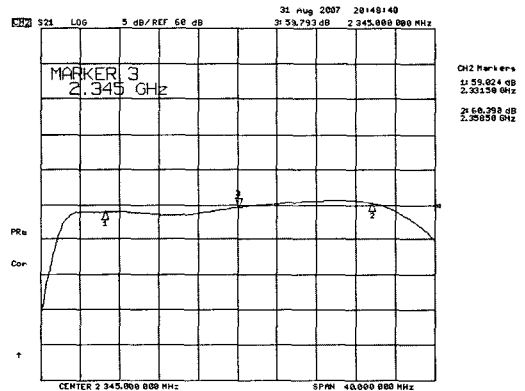


그림 4. RF 이득 측정결과/대역 평탄도 측정
Fig. 4. The RF Gain measurement result.

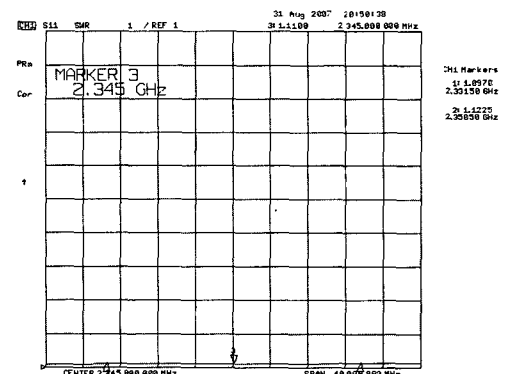


그림 5. 입력 정압정재파비 측정결과
Fig. 5. The input VSWR measurement result.

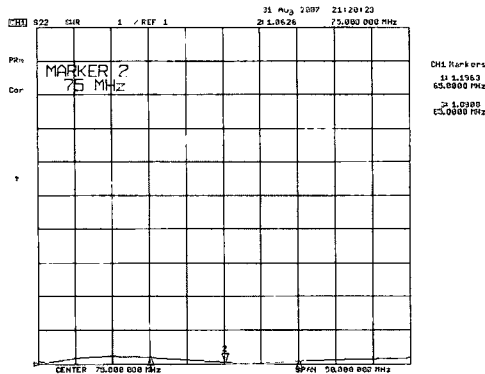


그림 6. 출력 정재파비 측정결과
Fig. 6. The output VSWR measurement result.

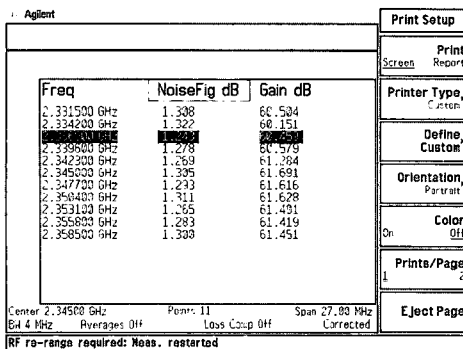


그림 7. 잡음지수 측정결과
Fig. 7. The noise figure measurement result.

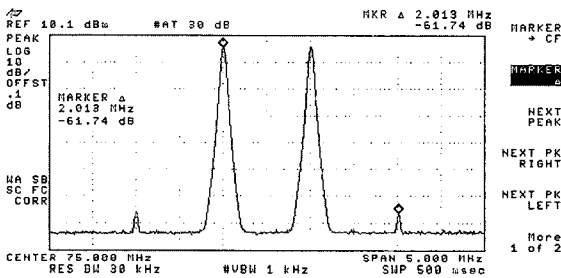


그림 8. 혼변조 왜곡 측정결과
Fig. 8. The IMD measurement result.

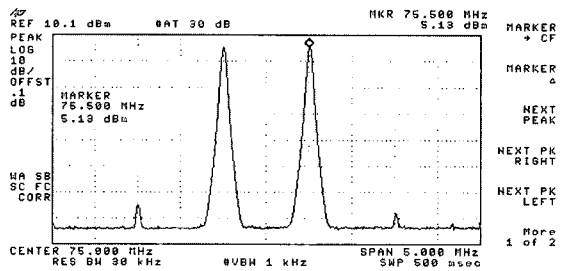


그림 9. 최대 출력 레벨 측정결과
Fig. 9. The maximum output level measurement result.



그림 10. 하향변환기 사진
Fig. 10. A Down Converter picture.

표 3. 휴대무선인터넷 하향 변환기의 측정결과
Table 3. WiBro Down Converter Specification.

항 목	측정값
주파수 대역	2330 ~ 2360 MHz
최대 입력 레벨	-55 dBm / 3FA
최대 출력 레벨	5.13 dBm / 3FA
RF 이득	60 dB ± 1 dB
대역 평탄도	1.5 dB(P-P)
VSWR(In/Out)	0.97 : 1
잡음지수	1.243 dB
IMD(0 dBm/2Tone)	-61.74 dBc
DC Supply Volts @ Currents	+ 8 V @ 1.2 A

게 2.0 mm인 4층 다층기판으로 설계하였다.

최대 입력 레벨과 최대 출력 레벨은 CW(Continue Wave) Tone의 신호를 입력하여 출력 신호를 측정하였다. 그림 4는 RF 이득측정결과/대역평탄도 측정, 그림 5는 입력 전압정재파비 측정결과, 그림 6은 출력 정재파비 측정결과, 그림 7은 잡음지수 측정결과, 그림 8은 혼변조왜곡 측정결과, 그림 9는 혼변조왜곡 측정항목과 동일하게 계측기를 설정하여, 출력레벨을 측정한 결과이다. 그림 10은 휴대무선인터넷 하향 변환기를 제작한 실물 사진이며 크기는 23.55 × 10.8 × 4.1 (cm)이다.

이 실험 결과 주파수대역 2330~2360 MHz에서 표3과 같은 측정값을 얻었다.

IV. 결 론

본 논문에서는 2330~2360 MHz의 휴대무선인터넷 주파수 대역 및 IF 주파수 60~90 MHz에서 동작하는 휴대무선인터넷 하향 변환기를 설계 및 제작하였다.

정해진 규격에 맞게 시스템을 구성하기 위해 무엇보다 RF소자의 선택이 중요하였다. 초단의 증폭기는 저잡음을 목표로 전체 시스템의 잡음 요구 조건을 만족하기 위해 RFHIC사의 CL2701을 사용하였다. PLL(Phase Loop Lock) 또한 위상잡음이 -103[dBc/Hz]로 우수한 동

일회사의 PLA2270을 사용하였다. 그 외 혼합기와 RF 스위치는 HITITITE사의 소자를 이용하였으며, 디렉터 소자는 AD사의 제품을 사용하였다. 또한, 혼합기는 RF와 국부발진기 단의 전압정재파비를 개선시키고 이들의 고조파 성분을 억제하기 위하여 90° 3 dB 하이브리드를 이용한 단일 평형 혼합기를 사용하였다. 기존 LC 대역 통과 필터의 리젝션을 60dB에서 61dB로 향상시켰다.

계의 효율성을 높이기 위하여 전체 시스템을 저잡음 증폭기, PLL, 혼합기, 여파기, 증폭기 등으로 구분한 후 전체적으로 조합하여 그림 3의 시스템을 구성하였다. PCB는 Pads를 이용하여 2t, 4층 FR4, 유전율 4.6으로 설계 하였다. 기구는 PLL 및 기타 소자의 잡음이나 상호 간섭을 받지 않도록 주파수 차단 설계를 하였다.

이상의 소자를 전체적으로 조립하여 전체 시스템의 성능을 측정한 결과, 전체 이득은 60±1 dB, 잡음지수는 최대 1.5 dB이하, 입출력전압정재파비 1.5이하, 상호 혼변조 왜곡 60 dBc이상 만족, 최대 출력 레벨 5 dBm을 만족하였다. 신뢰성 검증에서 규격을 통과하는 만족스러운 결과를 나타내어 휴대무선인터넷 중계기에 적용이 가능한 제품으로 판정되었다.

이러한 개발의 결과는 향후 전개될 하향고속화패킷접속방식을 위한 하향 변환기 개발에도 유용하게 응용될 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- graphical representations”, IEEE Trans. Circuit Theory, vol. 13, pp. 137-142, June 1966.
- [8] B. Albinson, “A Graphic Design Method for Matched Low Noise Amplifiers” IEEE Trans. Microwave Theory and Tech., Vol. MTT-38, pp. 118-122, March, 1990.
- [1] Cherry “South Korea pushes mobile broadband” IEEE Spectrum, Vol. 42, no.9, pp 14-16. Sept. 2005.
- [2] 한국전파진흥원, “유비쿼터스 시대의 꿈의 휴대 인터넷 KT 와이브로를 찾아서”, 2006.04.20
- [3] 주간기술동향, “휴대인터넷(WiBro) 사업 전망” 2004.07.14 .
- [4] Lee, Joungchel Kim, Jaehwang Yu, Sanghoon Seo, Jung Hwa Wui, Seokyong Shon, Jong Min Cheong, Dongwoo Kim, “Outdoor radio channel measurements at 2.35 GHz for WiBro systems” VTC-2005-Fall. 2005 IEEE 62nd, Vol. 3, pp 1737-1741, Sept. 2005.
- [5] 한국정보통신기술협회 “2.3GHz 휴대인터넷 시험 규격” 2006.04.20.
- [6] 광운대학교, “원격 측정 명령 처리장치 RF부와 인터페이스 설계” 과학기술부지원 1차년도 보고서, Nov. 2002.
- [7] H. Fukui, “Available power gain, noise figure and noise measure of two-port and their

저 자 소 개



이 창 희(정회원)
 1985년 광운대학교 전자공학과
 공학사 졸업.
 1987년 광운대 산업정보대학원
 산업정보학과 공학석사
 졸업.
 2004년 광운대학교 전자공학과
 공학박사 졸업.

<주관심분야 : 영상처리, 통신시스템 등>

원 영 진(정회원)
 대한전자공학회 논문지
 제44권 1E편 제3호 참조

이 종 용(정회원)
 대한전자공학회 논문지
 제44권 1E편 제4호 참조

이 상 훈(정회원)
 대한전자공학회 논문지
 제44권 1E편 제3호 참조

나 극 환(정회원)
 대한전자공학회 논문지
 제44권 TC편 제8호 참조



이 원 석(정회원)
 1977년 2월 광운대학교
 응용전자공학과 학사.
 1979년 8월 한양대학교
 전자통신공학과 석사.
 2001년 8월 광운대학교
 전자공학과 박사.

1980년 3월~현재 동양공업전문대학
 전기전자통신공학부 교수.

<주관심분야 : 통신회로설계, 디지털통신 >