

개선된 주파수 상향 변환기에 관한 연구

이승대*, 신현용¹
¹남서울대학교 전자공학과

The Study on Advanced Frequency Up Converter

Seung-Dae Lee^{1*} and Hyun-Yong Shin¹

¹Department of Electronic Engineering, Namseoul University

요약 본 논문에서는 수동소자를 이용한 필터 설계기술을 기반으로 하고 디지털 계단형 감쇠기를 이용하여 전력레벨 조절이 가능한 주파수 상향 변환기를 설계 및 제작하였다. 제작한 주파수 변환기는 저전력 및 저가의 제작비용을 실현하였으며 전력레벨의 조절이 가능하여 광범위한 영역에서 사용이 가능하다. 실험 결과, 중심 주파수 1,200MHz에서 160MHz의 대역을 확보하였으며 이득은 평균 0.75dB임을 확인하였다. 또한, 디지털 감쇠기를 통해 전력레벨을 10~-21.5dBm까지 조절이 가능함을 확인하였다.

Abstract This paper suggests a power level controllable frequency up-converter which is designed and fabricated using both the filtering technology consisted with only passive devices and a multi-level digital attenuator. The suggested frequency up-converter simultaneously realizes the low power consumption and the low cost model. Because of the possibility for controlling power levels, it is possible to use the suggested frequency up-converter for wide spectral range. According to the experimental results, the average gain value of 0.75dB is obtained for the bandwidth of 160MHz at the center frequency of 1,200MHz. Especially, it is confirmed that the power level can be controlled from 10 to -21.5dBm through the digital attenuator.

Key Words : Chebyshev Filter, Frequency Up-Converter, Power Level Control, RF Digital Step Attenuator

1. 서론

현재 무선통신 시스템은 음성 중심의 협대역 시스템에서 초고속 대용량의 멀티미디어 데이터를 위한 광대역 특성과 단일 단말기로 복합적이고 다양한 서비스를 구현할 수 있는 다중 대역 특성을 갖는 시스템으로 발전하고 있다. 이러한 무선통신 시스템의 발전에 따라 통신 시스템의 주요 블록인 RF 전단부도 광대역을 수신할 수 있어야 하며 동시에 낮은 전력소모, 소형 및 경량화를 구현할 수 있는 새로운 구조가 요구되고 있다. 또한, 최근 위성 및 무선통신 수요의 급격한 증가로 사용 주파수 대역이 점점 높아지고 있으며 한정된 주파수 자원에서 이용자

수가 급격하게 증가하고 있으므로 주파수 간섭을 최소화하고 정확도를 높이기 위해서 광대역, 고주파수, 제작의 간편성, 적은 제작단가의 특성을 갖는 통과필터를 필요로 하고 있으며 이에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다 [1,2].

또한, 데이터의 송수신 방식에 대한 기술이 개발되고 송수신기 역시 진보하면서 주파수 변환기 역시 시스템의 향상에 힘입어 같이 발전되고 있다[3]. 그러나 무선통신 시스템들이 요구하는 대역의 고주파수로 변환하더라도 각각의 시스템이 원하는 전력레벨이 상이하여 원하는 레벨에 맞게 증폭기와 필터를 다시 설계해야하는 어려움이 있다.

본 논문은 남서울대학교 연구과제로 수행되었음.

*Corresponding Author : Seung-Dae Lee(Namseoul Univ.)

Tel: +82-41-580-2113 email: seungdae@nsu.ac.kr

Received January 13, 2014

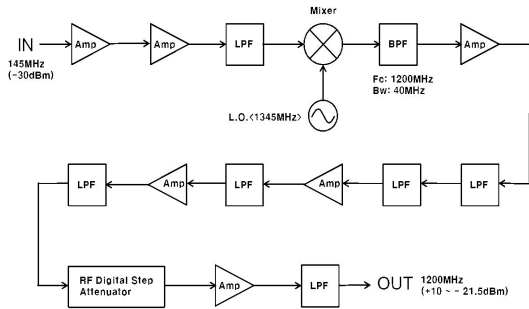
Revised February 18, 2014

Accepted May 8, 2014

본 논문에서는 기저대역 주파수 145MHz 를 1,200MHz 로 단일 변환하고 디지털 계단형 감쇠기를 설계하여 각각의 무선 시스템이 요구하는 전력레벨을 만족하기 위하여 전력레벨의 조절이 가능한 단일 주파수 상향 변환기를 설계 및 제작하고자 한다.

2. 본론

전력레벨 조절이 가능한 단일 주파수 상향 변환기 시스템의 블록도는 Fig. 1에 보인 바와 같다. 145MHz 의 기저대역 신호가 -30dBm 으로 입력되므로 2개의 증폭기를 이용하여 -3dBm 으로 증폭한 후 필터를 이용하여 잡음을 제거한다.



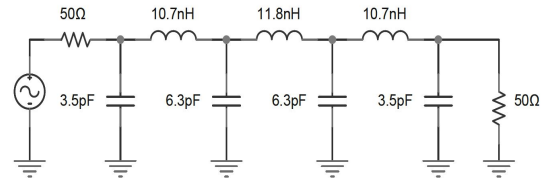
[Fig. 1] System Block Diagram

국부 발진기에서 1,345MHz 의 주파수와 기저대역 신호를 이용하여 1,200MHz 의 주파수로 변환하고 변환된 주파수는 대역통과 필터를 이용하여 대역을 제한한다. 이때, 1,345MHz 와 1,200MHz 의 대역이 근접해 있으므로 정밀한 필터링을 위해 다수의 필터와 증폭기를 사용하였다. 제한된 신호는 디지털 계단형 감쇠기를 이용하여 전력레벨을 무선통신 시스템이 요구하는 10dBm 에서 -21.5dBm 까지 변경이 가능하도록 하였다.

필터설계는 주파수 변환기의 성능을 좌우하는 중요한 부분으로 본 논문에서는 스킳트 특성이 우수한 체비셰프 필터를 사용하여 저주파 리플, 고주파 스푸리어스 및 불요 고주파 성분을 제거 및 억제하고자 하였다. 최종 설계한 LPF 필터 회로는 Fig. 2에 보인 바와 같다. 리플 0.1dB, 차단 주파수 1,130MHz 이고 50Ω의 특성 임피던스를 갖도록 설계하였다[4,5].

마이크로파 유닛 간을 연결하고 레벨을 조정하거나

고주파 측정시의 매칭용으로 사용하는 감쇠기는 π형 고정 감쇠기를 사용하였다. 감쇠기의 감쇠량을 αdB 일 때 각 저항값은 식 (1), (2)와 같이 구할 수 있다. 입출력 임피던스가 50Ω인 경우 3dB 감쇠기의 저항값은 $R_1 = 292\Omega$, $R_2 = 17.6\Omega$ 이다.

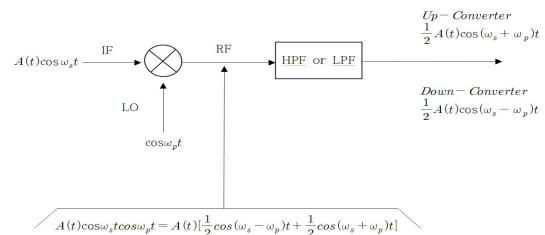


[Fig. 2] LPF Circuit

$$R_2 = \frac{Z_{out}}{2} (10^{\alpha/10} - 1) \times 10^{-\alpha/20} \quad (1)$$

$$R_1 = \frac{1}{\frac{10^{\alpha/10} + 1}{Z_{out}(10^{\alpha/10} - 1)} - \frac{1}{R_2}} \quad (2)$$

본 논문에서는 증폭 주파수 대역이 넓고 결합 공진회로나 스테거 회로 또는 저항결합 회로에 사용하며 필요에 따라 파킹 코일로 고주파 한계를 높일 수 있는 특성을 갖는 HBT 증폭기 및 광대역 증폭기를 사용하여 -30dBm 의 입력신호를 -3dBm 으로 증폭하였다. 또한, 혼합기는 중간주파수인 f_{IF} 와 국부발진주파수 f_{LO} 를 입력으로 하여 두 신호 주파수의 차주파수인 무선 주파수 f_{RF} 를 출력으로 하는 3포트 회로망으로 비선형 소자와 대역통과필터, 그리고 고역 및 저역통과필터로 구성된다. 중간주파수 신호와 국부발진기 주파수 신호가 입력되면 비선형 소자의 혼합기능에 의해 Fig. 3과 같이 출력된다[6,7].



[Fig. 3] Mixer Circuit

식 (3)에서 보는 바와 같이 정제파비(VSWR)는 진행

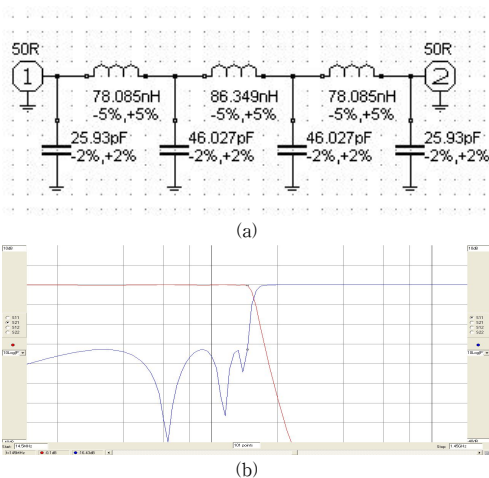
파가 어떤 경계면을 기준으로 반사되어 돌아오는 파와 합쳐지면서 발생한 정지된 파를 의미한다. 정재파비는 입력면의 정재파에서의 최소값과 최대값의 비로서 정재파의 크기가 1일 경우 반사파가 존재하지 않는다는 것을 의미하며 반사파의 크기가 크다면 정재파비는 무한대가 된다.

$$MDS = -174\text{dBm} + 10\log BW + N_{mul} + NF + SNR_{\min} = \text{Noise Floor} + SNR_{\min} \quad (3)$$

3. 실험 및 고찰

3.1 필터의 모의실험 및 설계

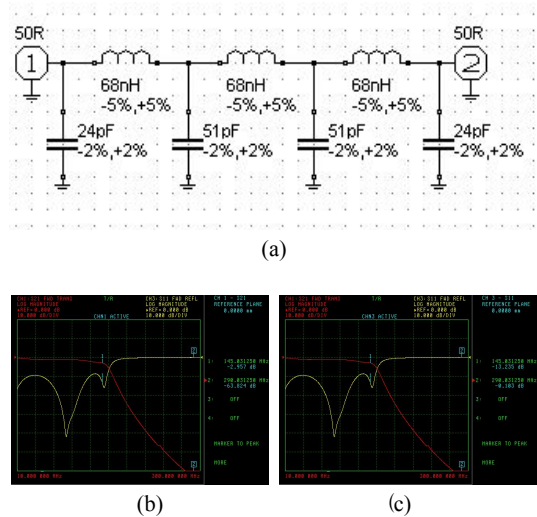
필터 제작을 위한 커패시터와 인덕터는 Size 1608 Chip 인덕터와 Size 1608 Chip 커패시터를 사용했다. 단위는 mm이며, 16은 가로길이, 08은 세로길이를 의미한다. 필터의 실험은 Anritsu사의 MS4623B 회로망분석기(Network Analyser)를 사용하여 측정하였다. 기본 대역 시스템에서 145MHz의 주파수의 신호가 미약하여 증폭기를 통해 신호를 증폭해 주게 되는데 이때 잡음 또한 같이 증폭되기 된다. 이 불요파는 저역통과필터를 사용하여 제거하게 된다. Fig. 4는 차단주파수가 145MHz인 저역통과필터를 RF-Sim 프로그램을 이용하여 시뮬레이션한 결과이다.



[Fig. 4] Simulation Result
(Cut-off Frequency : 145MHz)
(a) Element Value (b) Simulation Result

시뮬레이션에서 도출된 소자값들을 기준으로 하여 회로를 제작하였으며 측정 과정에서 원하는 파형 및 이득 반사손실 값을 얻기 위해 튜닝 작업을 시행하였다. Fig. 5(a)는 실험을 통해 얻은 최종 소자값으로 설계한 회로이다. Fig. 5(b)에서 보는 바와 같이 145MHz에서 -2.895dB의 이득을 갖는다. 또한 차단주파수의 2배가 되는 지점을 확인했을 때 기준치가 -50dB 이하임을 확인할 수 있다.

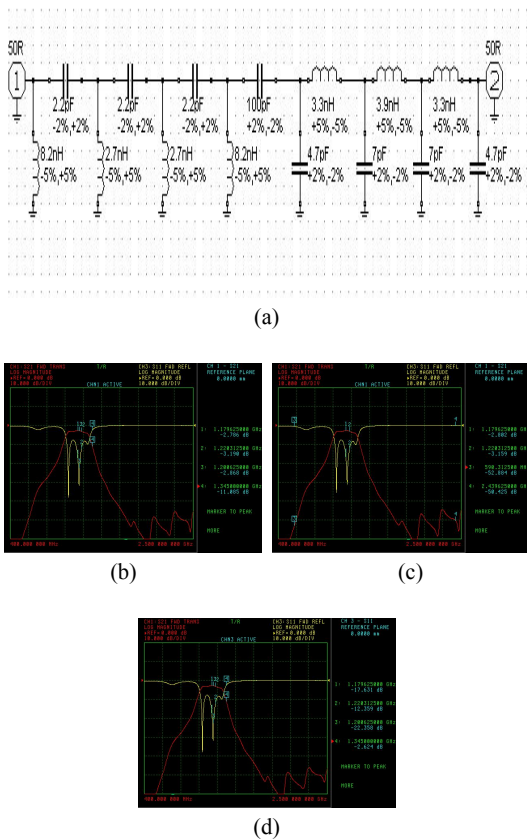
Fig. 5(c)에서 보는 바와 같이 반사손실은 -16.815dB로 측정되었으며 이는 통상적인 기준인 -15dB 이하의 조건을 만족함을 알 수 있다.



[Fig. 5] Experiment Result
(a) Element Value (b) Gain (c) Reflection Loss

혼합기 출력 주파수인 1,200MHz, 1,345MHz 및 1,490MHz 주파수 중 1,200MHz 주파수만 통과시키기 위하여 대역통과필터를 설계하였다. 이 필터는 주파수 상향 변환기에서 보내온 신호를 원하는 주파수로 변환시켜 입력 신호로 사용하기 위해 제작하였다. 7차 저역통과필터와 7차 고역통과필터를 병렬로 합성하여 대역통과필터를 설계하였다. Fig. 6은 시뮬레이션을 통해 얻은 소자값을 원하는 파형, 이득 및 반사손실을 얻기 위해 튜닝한 후 측정된 결과이다. Fig. 6(b)에서 보는 바와 같이 고역통과필터 1,180MHz에서의 이득은 -2.786dB이며 저역통과필터에서 차단주파수 1,220MHz에서 이득은 -3.190dB를 얻을 수 있었다.

Fig. 6(c)에서 보는 바와 같이 제 2 고조파인 590MHz 에서 -52.884dB , 2,440MHz 에서 -50.425dB 임을 확인할 수 있다. Fig. 6(d)에서 확인할 수 있듯이 반사손실은 중심주파수에서 -22.358dB 를 얻었으며 이는 원하는 사양을 만족한다.

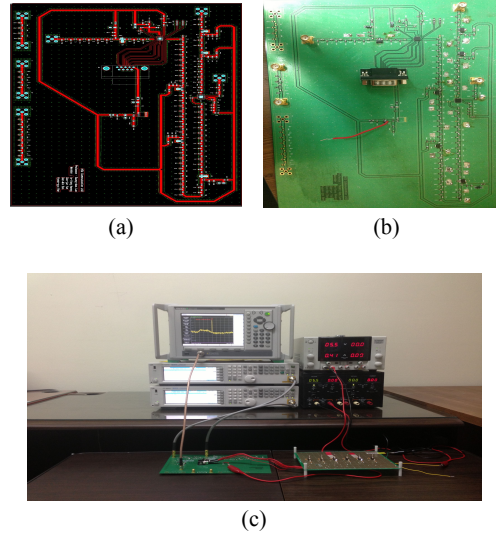


[Fig. 6] Experiment Result
 (a) Element Value (b) Gain 1 (c) Gain 2
 (d) Reflection Loss

3.2 전력레벨 조절이 가능한 주파수 상향변환기의 설계

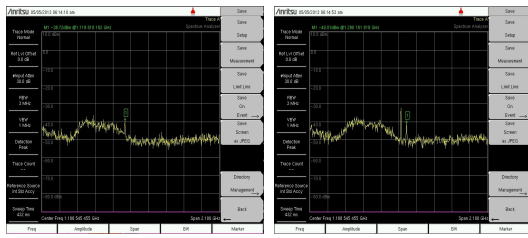
전체 주파수 변환기의 실험은 앞절에서 설계한 필터 및 증폭기 실험에서 도출된 데이터의 소자값을 바탕으로 실장한 후 디지털 계단형 감쇠기의 동작 및 전체 회로의 동작 특성을 주파수 파형 분석기를 이용하여 측정하였다. PCB 기판은 유전상수 4.8인 테프론 기판을 사용하였으며 PADS 9.01 및 Or-Cad 16.0 프로그램을 이용하여 회로를 설계하였다. 최종 설계한 PADS 데이터와 PCB 회

로 및 실험 측정 조건은 Fig. 7(a), (b) 및 (c)에 보인 바와 같다[8-10]. 중간 주파수 발생 및 국부 발진용 발진기로 Agilent, 사의 N5181A를 사용하였으며 출력 신호의 전력 레벨을 측정하기 위하여 Anritsu 사의 MS2718B와 MS4623B를 사용하였다.

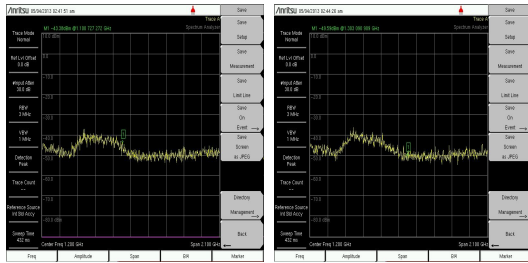


[Fig. 7] Experiment Condition
 (a) PADS (b) PCB
 (c) Experiment Device Condition

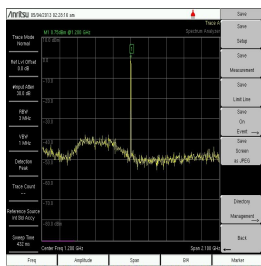
입력 주파수와 국부 발진 주파수를 혼합기에서 합성한 후 출력되는 주파수는 각각 1,490MHz 와 1,200MHz 이며 불요파인 1,490MHz 를 제거하고 신호를 대역통과필터를 통과시킨 후 원하는 신호인 1,120MHz 와 1,280MHz 의 주파수를 검출하였으며 이에 대한 결과는 Fig. 8(a)와 (b)에 나타내었다. 또한, 1,120MHz 보다 낮은 영역의 주파수 대역과 1,280MHz 보다 높은 영역의 주파수 대역에서 불요파가 나타나지 않는 것을 확인함으로써 대역통과필터의 성능을 평가할 수 있는데 이는 Fig. 8(c)와 (d)에 보인 바와 같다. 그림에서 확인할 수 있듯이 1,100MHz 와 1,300MHz 에서 불요파가 나타나지 않는 것을 확인할 수 있다. Fig.8 (e)에서 보는 바와 같이 중심주파수가 1,200MHz , 대역폭이 160MHz 이고 이득이 0.75dBm 임을 확인하였다. 이는 설계하고자 하는 주파수 상향 변환기의 성능 지표를 만족한다.



(a) (b)



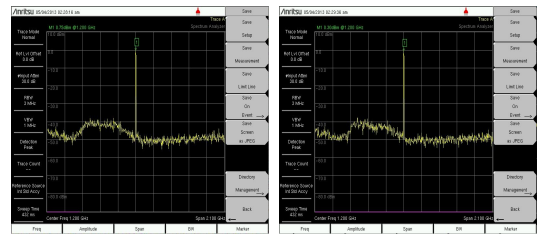
(c) (d)



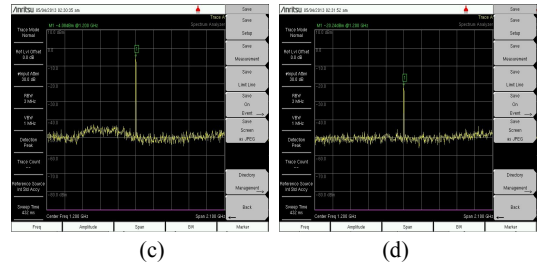
(e)

[Fig. 8] Experiment Result
 (a) 1,120MHz (b) 1,280MHz (c) 1,100MHz
 (d) 1,300MHz (e) 1,200MHz

상향 변환기의 출력값을 10dBm ~ -21.5dBm 까지 조절하기 위하여 디지털 계단형 감쇠기를 이용하였다. 이는 특정 시스템에 국한되지 않고 출력 주파수를 사용하는 시스템에 맞도록 조절하기 위한것이며 감쇠기를 사용하여 출력 레벨을 조절함으로써 범용으로 사용할 수 있도록 하기 위함이다. Fig. 9는 최종 출력 주파수의 이득을 0.5dBm의 스텝으로 조절하여 출력되는 이득을 나타낸 그림이다. Fig. 9에서 보인 바와 같이 1,200MHz의 중심주파수에서 특정 이득이 출력되는 것을 확인할 수 있다. Table 1은 본 논문에서 제작하고자 하는 주파수 상향 변환기의 성능지표이다.



(a) (b)



(c) (d)

[Fig. 9] Experiment Result(Variable Gain)
 (a) Initial Value (b) -0.5dBm (c) -5dBm
 (d) -21.5dBm

[Table 1] Frequency Up-Converter Spec.

Spec.	Value
Gain	30dB
f_c	1,200MHz
Bandwidth	1,120 ~ 1,280MHz
Skirt Property	-50dBm or less

4. 결론

차세대 무선통신 시스템은 음성 중심의 협대역 시스템에서 초고속 대용량의 멀티미디어 데이터를 위한 광대역 특성과 단일 단말기로 복합적이고 다양한 서비스를 구현할 수 있는 다중대역 특성을 갖는 시스템으로 발전하고 있다. 통신시스템의 주요 블록인 RF 전단부 또한 광대역 신호를 수신할 수 있어야 하며, 동시에 낮은 전력 소모, 소형 및 경량화를 구현할 수 있는 새로운 구조가 요구되고 있다. 또한, 사용 주파수 대역이 점점 높아지고 있으며, 특히 소형, 광대역 또는 협대역, 제작의 간편성, 적은 제작 단가의 특성을 갖춘 통과 필터를 필요로 하고 있으며 우수한 특성을 지닌 소형화된 무선통신용 필터 설계 연구가 발표되고 있다. 그러나 필터를 설계할 때에 무선통신 시스템들이 요구하는 대역의 고주파수로 변환

하더라도 각각의 시스템이 원하는 전력레벨이 매번 달라서 그 레벨에 맞게 다시 증폭기와 필터를 이용하여 다시 설계해야 하는 어려움을 겪고 있는데 이때 전력레벨 조절이 가능한 주파수 상향변환기가 필수적으로 구성되어야 한다.

본 논문에서는 필터용 집적회로를 인덕터와 커패시터를 이용하여 필터를 제작함으로써 저전력 및 저가격화를 가능하게 하였으며 필터 실험은 회로의 기본적인 집적회로들과 필터의 기본 소자값들을 찾아 RF-Sim 프로그램을 사용한 시뮬레이션과의 비교를 실행한 후, 회로망분석기를 이용한 측정을 통해 정확한 소자값을 구현하였고 회로에 증폭기, 감쇠기, 혼합기를 PCB판에 실장하였다. PCB판은 PADS 9.01 프로그램과 Or-Cad 16.0 프로그램을 사용하여 제작하였다. 혼합기의 출력부분은 최종적으로 145MHz의 중간주파수와 1,345MHz의 국부발진기 주파수를 통해 1,200MHz, 1,345MHz, 1,490MHz 3개의 주파수가 측정되었고 다음 단에서 대역통과필터를 통해 1,120MHz ~ 1,280MHz에 -41.9dB의 전력 레벨인 무선 주파수를 얻고 지역통과필터와 증폭기, 무선통신용 디지털 계단형 감쇠기를 통해 1,200MHz에서 0.75dB인 무선 주파수를 얻을 수 있었으며 스위치를 조절하여 무선통신용 디지털 계단형 감쇠기를 사용해 10dBm ~ -21.5dBm으로 전력 레벨을 조절 가능하게 하였다. 실험 결과 시뮬레이션을 통해 얻은 데이터와 실제 실험을 통해 도출된 데이터가 비교적 일치하는 것을 확인하였다.

본 논문에서 설계한 상향 변환기는 단일 변환기로 설계하였으나 이중 변환기로 설계하거나 스커트 특성으로 고려하여 인덕터와 커패시터를 이용한 필터의 차수를 고차로 설계하면 좀 더 정밀한 주파수 상향 변환기를 설계할 수 있을 것이다. 또한 PCB의 물리적 크기는 부품 배치를 상용화 단계까지 설계한다면 크기를 줄일 수 있으며 회로를 실드 시킬 경우 외부의 잡음 및 간섭에 대해 더욱 안전성을 나타낼 것으로 판단된다.

References

[1] Min-Ho Go, Seung-chul Pyo, Hyo-dal Park, "Study on the Broadband RF Front-End Architecture", Korea Electronics and Tele-communications Engineers, Vol.4 No.3, 2009.

[2] Hoon Nam, "(A) Design and Fabrication of Bandpass Filter using Miniaturized Square SIR", Chonnam National University, Graduate School of Electronic Engineering, Feb. 2002.

[3] Gyu-Bok Lee, "RF modules and RF-IC technology trends", Wireless communication components Research Center, Korea Electronics Technology Institute.

[4] Byung-Man Min, "Design and Implementation of the UP/Down Converter with Improved LO- to-RF Isolation", Kwangwoon University, 2004.

[5] Chris Bowick, "RF Circuit Design", Butterworth Heinemann, pp.78-89, pp.296-319, 2007.

[6] Sung-Ho Kim, "Study on 2.4GHz RF receiver front-end design", Graduate School of Electronic Engineering, Inha University, 2003.

[7] Hyun-Goo Kim, "Down Converter Block with Improved IMD for Ku-Band LNB Application", Department of Electronic engineering Graduate School Kwangwon University, 2002.

[8] Sang-Hyun Yoon, Kyung-Tee Kim, Jun-Hyung Jeun, Han-Soo Kim, "PADS for PCB designers 2007 Load publisher", 2009.

[9] Jung-Gyu Kim, Kyung-Hee, "Bang, Anyone PCB design, easy-to-follow PADS 9.0 Edition", North Star Publishing Company, 2010.

[10] Jung-Chul Lee, "OR CAD PCB DESIGNER VER 16.0", Global Publishing Company, Feb. 2009.

이 승 대(Seung-Dae Lee)

[정회원]



- 1992년 2월 : 단국대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)
- 1999년 8월 : 단국대학교 대학원 전자공학과 (공학박사)
- 1995년 4월 ~ 현재 : 남서울대학교 전자공학과 교수

<관심분야>

정보통신, 유무선통신, 정보보호

신 현 용(Hyun-Yong Shin)

[정회원]



- 1981년 2월 : 연세대학교 대학원 전기공학과 (공학석사)
- 1987년 2월 : 루이지애나주립대학교 대학원 전기 및 컴퓨터공학과 (공학박사)
- 1987년 8월 ~ 1993년 5월 : 플로리다주립대학교 전기공학과 조교수
- 1994년 9월 ~ 현재 : 남서울대학교 전자공학과 교수

<관심분야>

전자재료, 반도체 공정, 센서 및 센서 응용