

주파수 조절이 가능한 영상주파수 제거 여파기 구현

Design of Tunable Image Rejection Filter

하상훈*, 김형석**, 한형석*
 (Sang-Hoon HA, Hyeong-Seok KIM, Hyeong-Seok HAN)

Abstract : In this paper, a tunable image rejection filter using two varactors is developed for mobile convergence handsets. The filter is fabricated on a 0.25um substrate. ESD Pad is embedded to prevent damage caused by electrostatic discharge (ESD). Bias voltages are at WCDMA(2.1GHz), WiBro(2.3GHz), and WLAN(2.45) are 0.5V, 0.95v and 1.8V respectively. And the image rejection ratios are more than 28dB at each band and insertion losses are less than 2dB at each band.

Keywords: Image Frequency, varactor, Electrostatic Discharge(ESD)

I. 서론

최근 수년 동안 무선 이동통신 시장은 양적, 질적으로 급속하게 성장하였으며, 광대역 통합망 기반의 유비쿼터스 컴퓨팅 사회로 빠르게 발전해 가고 있다. 이에 따라 하나의 단말기로 이동통신을 비롯한 다양한 서비스를 제공받는 차세대 모바일 단말기의 구현이 큰 이슈가 되고 있다. 이를 실현하기 위해서는 단말 transceiver 핵심 부품들의 소형화, 고성능화와 더불어 다중 모드, 다중 밴드화가 필수적이다. 다중 모드, 다중 밴드의 특성을 갖기 위해서는 각각의 transceiver 핵심 부품이 사용 주파수 대역을 조절할 수 있는 특성을 가져야 하며, 이에 대한 연구가 활발히 진행 중이다. [1][2]

본 논문에서는 모바일 컨버전스 단말기에 사용될 수 있는 Tunable Image Rejection filter를 IC공정을 이용하여 구현하였다. 여파기는 2단으로 설계 되었으며, 영상 주파수의 신호를 막기 위한 대역 저지 여파기와 영상 주파수의 신호를 접지면으로 유도 하기 위한 대역 통과 필터를 구성하여 적용 하였다. 사용 주파수 대역을 조절할 수 있도록 varactor diode를 이용하여, WCDMA(2.1GHz), WiBro(2.3GHz), WLAN(2.45)대역의 영상 주파수를 차단 할 수 있도록 설계 하였다. 또한 여파기의 성능을 알아 보기 위하여 각 대역에서의 삽입손실과 저지특성을 비교하였다.

II. 본론

2.1 Image Frequency(영상 주파수)

최근에는 Zero-IF나 low-IF 방식의 송수신기 구조가

*: 중앙대학교 전자전기공학부 석사 과정 (hash8117@nate.com)

** : 중앙대학교 전자전기공학부 교수 (kimca2@cau.ac.kr)

+ : 경원대학교 전자전기정보공학부 교수(hshan@kyungwon.ac.kr)

※ 본 논문은 정보통신부의 IT-SoC 핵심 설계 인력 양성 사업의 지원으로 수행 되었음.

사용되고 있지만, DC-offset 등의 여러 문제점으로 인하여, 기존의 Super-heterodyne 방식이 지속적으로 많이 사용될 것이다. Super-heterodyne 수신 방식을 사용할 경우 Mixer의 down conversion 과정에서 생기는 image frequency 문제를 해결하기 위해 Image rejection filter를 사용한다. 다중 밴드의 수신기를 구현하기 위해서는 사용 주파수 대역에 따라 통과 대역, 저지 대역을 조절할 수 있는 tunable image rejection filter가 필요하다.

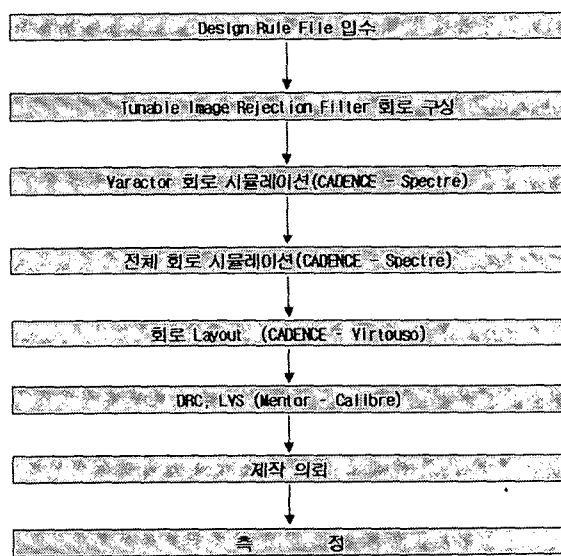


그림 1 영상주파수 제거 여파기의 설계 흐름도
 Fig. 1 floe chart of Image Rejection Filter design

2.2 Image Rejection Filter(IRF) Simulation

구현 하고자 하는 Image Rejection Filter는 그림 2 와 같다. WCDMA(2.1GHz), WiBro(2.3GHz), WLAN(2.45GHz)의 세 대역에서 동작하는 Image Rejection Filter로써 각각의 주파수에 대한 영상 주파수는 1.332GHz 1.532GHz, 1.682GHz 이고, Local Oscillator의 주파수는 768MHz이다.

그림 2 에서 1차 필터링 단의 병렬 공진 회로가 영상

주파수를 막아 주고, 이때 걸러지지 못한 성분을 2차 필터링 단의 직렬 공진회로가 신호를 잡지 않으면서 유도함으로서 영상 주파수의 제거 특성을 향상 시켰다. 1차 필터링 단의 병렬로 연결된 커패시터는 varactor만으로는 충분한 커패시턴스를 얻을 수 없어 이를 보상 하기 위함과 동시에 하나의 바이어스 전압으로 varactor1 과 varactor2를 동시에 제어 하기 위한 소자이다. 간단한 회로 시뮬레이션을 통해 설계 하고자 하는 여파기의 특성을 예상 하였다.(그림 3) 이와 같은 여파기 특성을 얻기 위해서 varactor의 커패시턴스가 원하는 범위내의 값을 가질 수 있도록 조절 하였다.

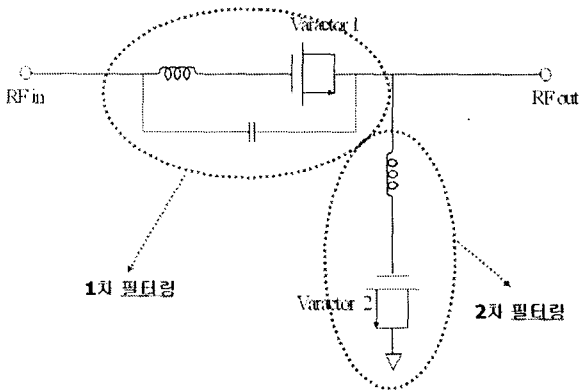


그림 2 영상주파수 제거 여파기의 회로도
Fig. 2 Schematic of Image Rejection Filter

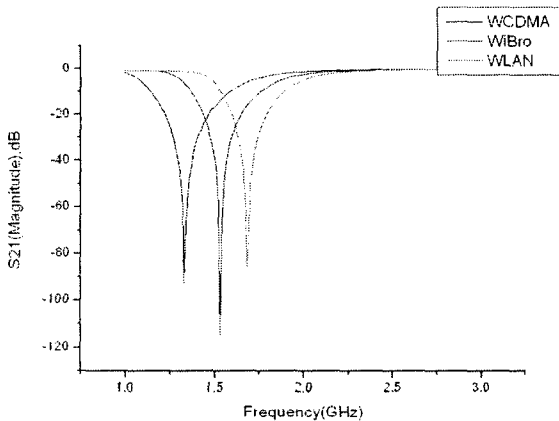


그림 3 회로 시뮬레이션 결과
Fig. 3 Result of schematic simulation

2.3 Varactor Simulation

2.2절에서 얻은 회로 시뮬레이션의 결과로부터 인가 전압에 따른 varactor의 커패시턴스 변화를 얻기 위하여 CADENCE-Spectre를 이용한 varactor 시뮬레이션을 수행하였다. 하나의 varactor만으로는 원하는 범위의 커패시턴스를 얻을 수 없어 여러개의 varactor를 병렬로 연결하여 커패시턴스를 증가 시켜 구현하였다. 그 결과 전압의 변화에 따른 커패시턴스의 변화를 원하는 범위내의 값으로 가질 수 있다.(그림 4, 그림 5)

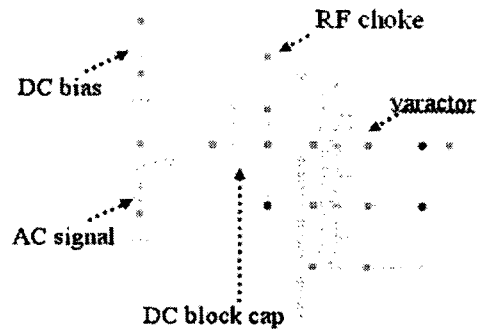


그림 4 Varactor 시뮬레이션 회로도
Fig. 4 Schematic of Varactor simulation

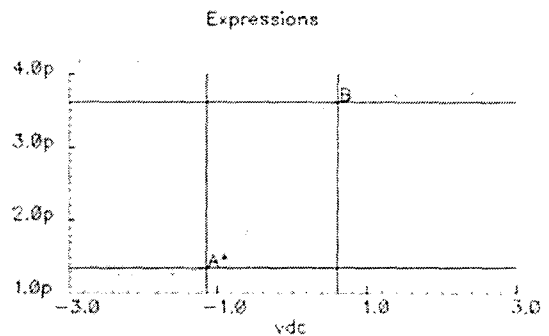


그림 5 Varactor 시뮬레이션 결과
Fig. 5 Result of Varactor simulation

2.4 Tunable Filter Schematic Simulation

2.3절에서 구한 varactor의 커패시턴스 변화를 바탕으로 회로를 구성 하고, varactor에 전원 인가 부분을 포함한 전체 회로도를 그림 6에 나타내었다. 여파기의 동작을 위해서는 varactor에 인가할 두 개의 바이어스 전압이 필요하다. 이는 바이어스 회로 구성을 복잡하게 만드는 역효과가 있으므로 두 개의 varactor를 하나의 바이어스 전압으로 제어 하여 여파기의 특성을 가질 수 있도록 커패시턴스를 조절 하였다.

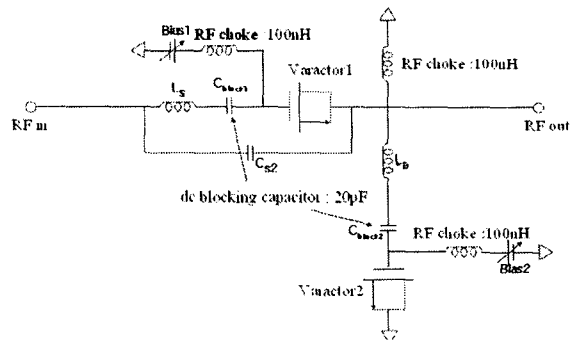


그림 6 영상주파수 제거 여파기의 전체 회로도
Fig. 6 Full schematic of Image Rejection Filter

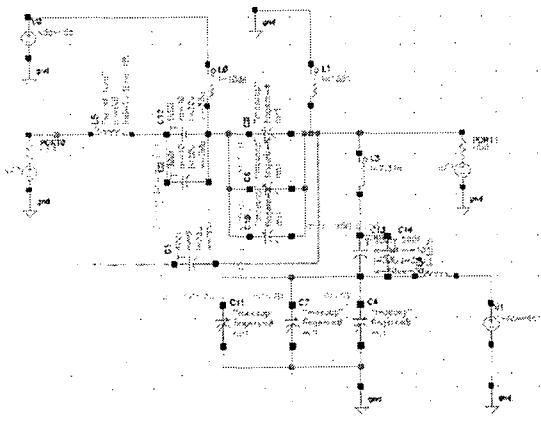


그림 7 CADENCE-SPECTRE 를 이용한 회로 시뮬레이션
Fig. 7 Schematic simulation using CADENCE-SPECTRE

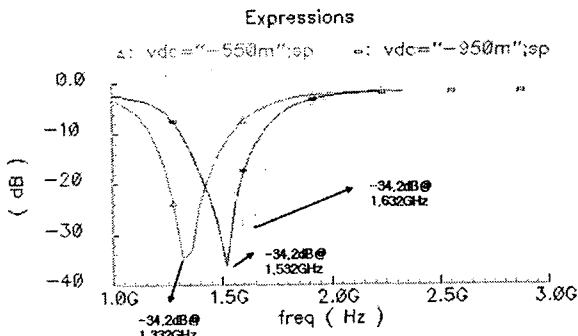


그림 8 회로 시뮬레이션 결과
Fig. 8 Result of schematic simulation

그림 7은 Image Rejection filter의 전체 회로도 및 그 결과(그림 8)이다. RF Choke는 DC bias 단에 연결 되어 RF 신호가 DC단으로 빠져나가 손실을 일으키는 것을 막아주는 역할을 한다. 이 RF Choke는 그 값이 매우 크므로 100nH의 SMD(Surface Mount Device) 인덕터를 사용하여 off-chip 형태로 구현 할 것이다. SMD 칩을 사용 할 경우 칩의 Q-factor 의 값에 따라 실제 회로의 성능에 영향을 미치게 되므로 이를 고려하여 시뮬레이션을 하였다. DC Bias 전압을 바꾸어 서로 다른 대역에서의 영상 주파수 제거 특성을 표1 과 같이 도출 하였다.

표 1 각 대역의 영상 주파수 제거 특성
Table 1 Image Rejection Ratio characteristic

	WCDMA	WiBro	WLAN
Bias 전압[V]	-0.55	-0.95	-2
저지특성[dB]	-34.09	-30.2	-28.6
삽입손실[dB]	-1.81	-1.6	-1.59
Image Rejection Ratio[dB]	32.28	28.6	27.01

2.4 Layout

Schematic의 결과에 따른 각 소자들의 값을 구현 하고 이를 CADENCE-VIRTOUSO를 이용하여 TSMC 0.25um 공정 기준에 따라 설계를 하였다.(그림 9) 0.25um 공정에서는 원하는 인덕턴스 값을 얻거나 커패시턴스의 값을 얻는데 몇 가지의 제약이 있었다. 이를 극복 하기 위하여 인덕턴스의 값을 줄이고 커패시턴스의 값을 높이는 등의 조절 작업이 필요 하였다. DC Block 커패시터의 경우 DC 신호를 차단 하기 위해 높은 용량 값을 가져야 한다. 따라서 여러 개의 MIM 커패시터를 병렬로 연결하여 DC Block 커패시터를 구현 하였다. 전체 소자의 크기는 2.43mm x 0.85mm로 구현 하였다.

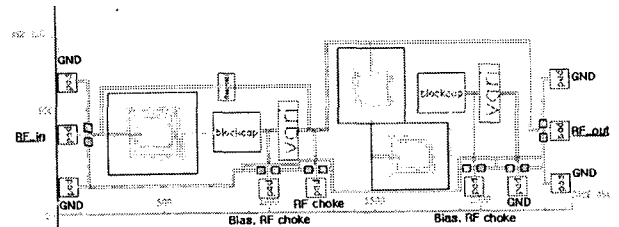


그림 9 영상 주파수 제거 여파기의 레이아웃
Fig. 9 Tunable Image Rejection Filter Layout

정전기 보호 회로인 ESD(Electrostatic Discharge) Pad를 삽입하여, 제작된 소자를 측정 하거나 손 또는 기타 물체로 만지게 될 경우 정전기로 인한 소자의 파괴를 방지하였다. 따라서 각각의 pad와 소자 사이에 schottky diode가 위치하여 정전기가 흐를 시 이 전류가 회로로 타고 들어가지 않고 접지면으로 흐를 수 있도록 설계 하였다.(그림 10)

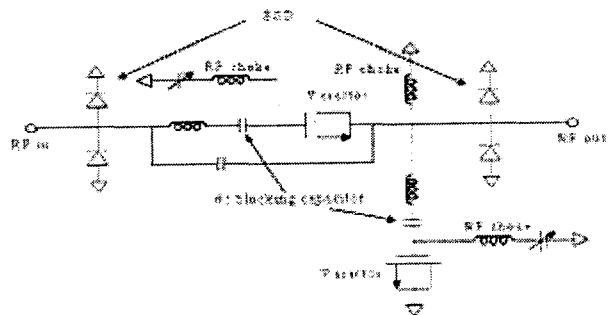


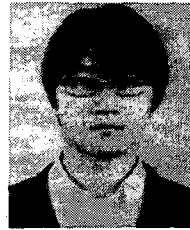
그림 10 ESD Pad를 고려한 전체 회로도
Fig.10 Full schematic with Electrostatic Discharge Pad

III. 결론

본 논문에서는 WCDMA(2.1GHz), WiBro(2.3GHz), WLAN(2.45GHz) 대역의 Image Rejection Filter를 하나로 구현하였다. 인가전압은 WCDMA, WiBro, WLAN에서 각각 -0.55V, -0.95V -1.85V 이다. 저지 특성은 각각의 대역에서 34.09dB, 30.2dB, 28.6dB를 얻었으며 이때 삽입 손실은 각각 1.81dB, 1.6dB, 1.59dB이다. 또한 Electrostatic Discharge Pad를 추가 하여 정전기에 의한 소자의 파괴를 미연에 방지 하였다. Tunable Image Rejection Filter의 사이즈는 2.43mm x 0.85mm이다. 하나의 소자로 삼중 대역에서 모두 사용할 수 있는 여파기의 설계로 단말기 시스템의 크기를 줄일 수 있고 시스템을 간략화 할 수 있을 것으로 예상 된다. 향후 varactor와 튜너블 인덕터를 함께 연구함으로써 더 넓은 응용 범위를 가질 수 있도록 할 것이다. 또한 여파기를 제작 함에 있어서 인덕터의 사용에 많은 제약이 따랐다. 따라서 인덕터의 값을 높이고, 설계 시 요구되는 정확한 인덕턴스를 얻으며, quality-factor를 향상 시키기 위한 인덕터 구조에 대한 연구를 진행 하고자 한다. 현재 설계된 필터를 제작 하고 이에 대한 측정을 통하여 결과 값을 확인 하고 Image Rejection Ratio개선에 대한 연구와 각 소자에 대한 구조를 분석 하여 EM 시뮬레이션을 통해 커플링 효과를 고려하는 연구가 병행 되어야 할 것으로 사료 된다.

[참고문헌]

- [1] Byung-Wook Kim, Du-Il Yun and Sang-Won Yun, "A Varactor-Tuned RF Tunable Bandpass Filter with Constant Bandwidth" , Journal of the Korea Electromagnetic Engineering Society, Vol.1, No.1, pp.166-172, NOV. 2001.
- [2] Byung-Wook Kim, Du-Il Yun and Sang-Won Yun, "A Varactor-Tuned RF Tunable Bandpass Filter with Improved Passband Flatness", Journal of the Korea Electromagnetic Engineering Society, Vol.2, No.2, pp.124-127, NOV. 2002.
- [3] G Matthaei, L. Young and E.M.T. Jones, "Microwave Filters Impedance-Matching Networks, and Coupling Structures", Artech House, 1980.
- [4] Lee. Thomas H. "The Design of CMOS Radio-Frequency Integrated Circuits", Cambridge UK: Cambridge University Press, 2004.



하 상 훈

2005년 중앙대학교 전자전기공학부 공학사 2005~현재 중앙대학교 전자전기공학부 공학석사 및 전자부품연구원 연구원 관심분야 : RF 및 마이크로웨이브 수동 소자 해석 및 설계, RFID 시스템 연구, LTCC공정을 이용한 RF 모듈 설계



김 형 석

1985년 서울대학교 전기공학 공학사 1987년 서울대학교 전기공학 공학석사 1990년 서울대학교 전기공학 공학박사 1990~2002 순천향대학교 정보기술공학부 부교수 1997_1998 R.P.I 미국 방문 교수 2002~현재 중앙대학교 전자전기공학부 교수, 관심분야 : 전자장 및 전자파 수치해석, RF 및 마이크로웨이브 소자 해석 및 설계, RFID 시스템 연구



한 형 석

1986년 서울대학교 제어계측 공학사 1988년 서울대학교 제어계측공학석사 1993년 서울대학교 제어계측 공학박사 1993~1997 순천향대학교 제어계측 공학과 조교수 2004~2005 UCI 미국 방문 교수 1997~현재 경원대학교 전자전기정보공학부 교수, 관심분야 : 센서응용시스템, 잉크젯제어시스템, 디스플레이 구동 시스템