

테라헤르츠 통신시스템을 위한 서브하모닉 믹서 설계방법

김영호, 박동우, 신준환, 이일민, 박경현

한국전자통신연구원

youngho, dwpark, jh.shin, ilminlee, khp@etri.re.kr

A Design Process of Subharmonic Mixer for Tera-hertz Communication systems

Kim Young Ho, Park Dong Woo, Shin Jun Hwan, Lee Il Min, Park Kyung Hyun

Electronics and Telecommunications Research Institute (ETRI)

요약

본 논문에서는 테라헤르츠대역 통신시스템의 주요 핵심부품인 서브하모닉 믹서의 설계 과정을 소개한다. 비선형 특성을 이용한 믹싱(mixing) 동작을 발생시키는 역병렬 쇼키베리어 다이오드를 중심으로 두 개의 필터(LO-LPF, IF-LPF)와 두 개의 도파관 내 E-probe를 포함하는 입력단(RF, LO-IF)을 3D EM모델로 각각 모델링하여 THz 대역의 믹서 설계에 반영하였다. 통합 믹서회로 설계에서는 각 회로블록 모델간의 최적의 매칭과 최소 변환손실 값을 가지기 위해 회로블록 사이에 50Ω 전송선(Microstrip Line)을 삽입하여 길이 최적화 시뮬레이션을 수행하였다. 최종 통합 회로 시뮬레이션결과 300GHz RF주파수 및 6dBm@149GHz의 LO전력 입력에서 대략 7.5dB이하의 변환손실(Conversion Loss)과 60GHz이상의 광대역 주파수특성을 가진다. 이를 통해 테라헤르츠 서브하모닉믹서 설계에 본 설계방법이 적절함을 확인하였다.

I. 서론

보통 100GHz에서 10THz이하의 주파수 영역을 테라헤르츠 대역이라 부른다. 이 주파수대역은 전자(electronics)영역과 광(Optic)영역이 중첩되는 사이(gap) 주파수대역으로 두가지 전자파 (Electromagnetic; EM) 특성을 모두 가지고 있어 설계에는 접근하기 까다로운 주파수 영역이다. 그러나 높은 투과성과 대기흡수성 및 포톤 에너지(photon energy)가 낮아 바이오-메디칼, 이미지 스캔, 대기환경 모니터링등 다양한 응용분야에 널리 연구되어지고 있으며 특히, 요즘 대용량 데이터의 고속전송을 위한 통신시스템에 대한 연구가 활발한 관심 주파수대역이다 [1]~[5]. 본 논문에서는 수신기의 첫단에 배치되어 통신시스템의 성능을 좌우하는 서브하모닉믹서(Sub-Harmonic Mixer; SHM) 설계하는 방법을 소개하고자 한다.

II. 본론

SHM은 하모닉 믹싱방법으로 LO주파수를 RF주파수보다 낮게하여 소자의 고주파 성능요구 부담을 덜어주게 한다. 이 SHM은 그림 1과 같이 역병렬 쇼키다이오드(Anti-Parallel Schottky Barrier Diode; AP-SBD)와 석영 위에 Gold 전송선으로 패턴 설계된 LO/IF-LPF, DC/RF 접지 및 도파관(Waveguide)를 포함하는 RF/LO E-probe로 구성되어 있다. 각 개별 회로들은 모두 HFSS EM solver를 이용하여 최적화 시뮬레이션되고 데이터(S-parameter)화되어 ADS툴에 개별 회로블록으로 내장하였다. 최종 믹서 통합시뮬레이션 환경은 ADS툴 내의 HB(Harmonic Balance)를

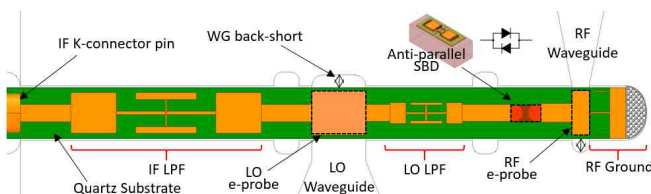


그림 1. 서브하모닉믹서(SHM)의 회로모델 구성도

사용하여 비선형 하모닉믹싱(harmonic mixing) 시뮬레이션을 하였다.

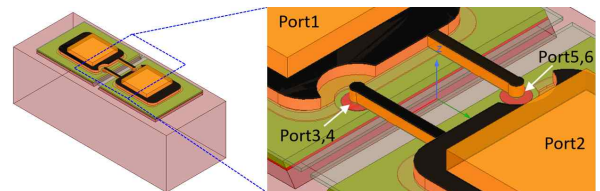


그림 2. AP-SBD의 구조형상화 및 모델링을 위한 포트설정

A. 역병렬 쇼키베리어 다이오드(AP-SBD) 설계

종래의 밀리미터파대역에서 AP-SBD를 Lumped Electric Model로 단순화하여 설계하는 방법은 테라헤르츠 주파수대역 설계에선 복잡한 기생성분의 영향으로 정교함이 많이 떨어지므로 그림2와 같이 HFSS의 FEM을 이용한 EM해석을 통해 고주파 기생성분들을 모두 데이터화 해야한다. 이로써, AP-SBD는 EM해석과 소자의 I-V측정을 통해 선형성분인 Snp 파일(S-parameter)과 비선형성분인 SPICE Diode모델의 조합으로 모델링되게 된다. 쇼키다이오드의 원활한 테라헤르츠 동작을 확보하기 위해 최적화 과정을 거쳐 쇼키정선 반지름(0.8um)과 Port1, 2의 sub간 최소간격(10um)으로 설계하였다. HFSS의 선형 해석시 비선형 다이오드 노드를 분리하기 위하여 쇼키정선 근처에 내부 Port 3, 4, 5, 6을 삽입 설정하였다.

B. LO LPF 및 IF LPF 설계

SHM내 Port간의 격리(isolation)특성 개선과 불필요한 하모닉 믹싱을 줄이기 위하여 주요 Port들 사이에 저역통과필터(LPF) 설계가 필요하다. RF신호가 LO포트로 출력되는 것을 감쇄시키고 LO신호 및 믹싱(IF)신호는 손실없이 전달시키기 위하여 LO-LPF를, LO신호가 IF포트로 출력되는 것은 감쇄시키고 믹싱(IF)신호는 손실없이 전달되기 위하여 IF-LPF를 그림3과 같이 설계하였다. 전송선의 신호 감쇄는 최대한 줄이고 제거신호의 감쇄율은 키우기 위하여 Step Impedance 방식 필터대신에 작은 면적

을 요구하는 Hammerhead방식의 Elliptic LPF로 설계하였다.

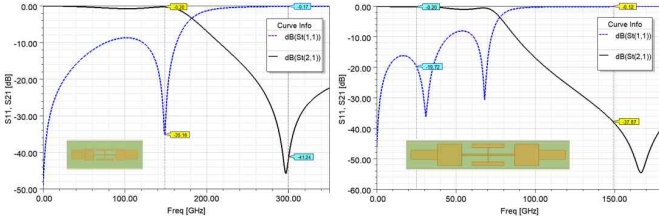


그림 3. LO-LPF(좌)와 IF-LPF(우)의 각 회로구조 및 주파수특성

C. RF 입력단 설계

RF 입력단은 그림 4와 같이 RF 도파관, E-probe 및 DC/RF 접지로 이루어져 있다. 300GHz 근처의 RF wave신호를 입력받기 위하여 W.R-3.4의 표준 사이즈의 TE₁₀ mode 사각 도파관을 사용하며 wave신호를 전기신호로 전이(transition) 시키기 위하여 RF E-probe를 사용하였다. 입력되는 RF wave신호가 손실 및 반사없이 50Ω 전송선에 입력되기 위하여 도파관 폭, Back-short 길이 및 E-probe의 메탈폭 등의 파라미터를 최적화하여 매칭하였다. DC/RF접지는 RF 입력단과 연계하여 믹싱시 발생된 DC 전류값을 빼주고 AP-SBD의 스위칭동작시 RF접지점을 제공해준다.

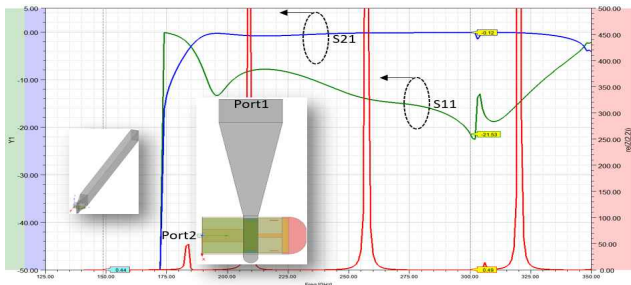


그림 4. RF 입력단 구조 및 주파수 특성

D. LO-IF 듀플렉스(Duplex) 입력단 설계

LO-IF 듀플렉스 입력단은 그림 5와 같이 앞서 설계한 IF-LPF, LO-LPF를 포함하고 LO 도파관과 wave신호를 전기신호로 전이시키기 위한 LO E-probe등으로 구성되어 있다. LO wave신호는 W.R-6.5의 표준 도파관을 통해 입력되며 신호의 손실/반사가 최소화되기 위하여 양쪽(IF-LPF, LO-LPF) 모두가 50Ω에 매칭되도록 설계에 주의가 필요하다.

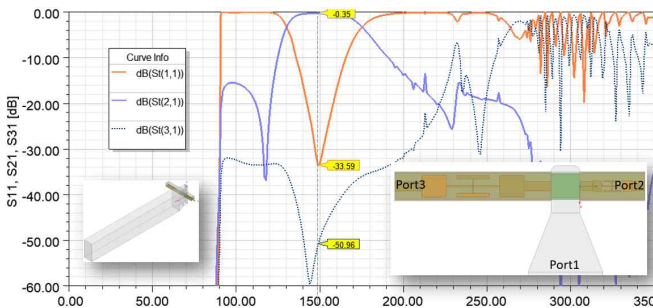


그림 5. LO-IF Duplex 입력단 구조 및 주파수 특성

E. 통합 믹서시뮬레이션

HFSS를 통해 앞서 설계한 개별회로 블록들은 S-matrix형태의 파일로 만들어져 그림 6과 같이 ADS에서 3개의 회로블록에 내장되어 전체 성능 시뮬레이션을 할 수 있도록 세팅하였다. 이때 각 블록간의 최적의 매칭 및 최소 변환손실 값을 가지기 위해 전송선을 추가 삽입하여 최적화 시뮬레이션을 수행하였다. 이 과정에서 찾은 최적값들은 HFSS내의 개별 회로 블록에 반영하여 3D EM시뮬레이션하고 추출하여 다시 ADS로 가져와 반복적인 연동작업을 진행하여 최종 수렴값을 찾았다. 시뮬레이션 결과

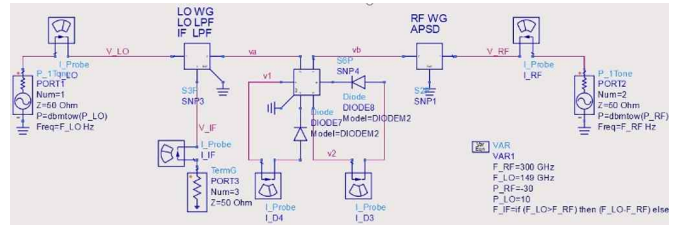


그림 6. ADS HB simulation을 위한 SHM 회로구성도

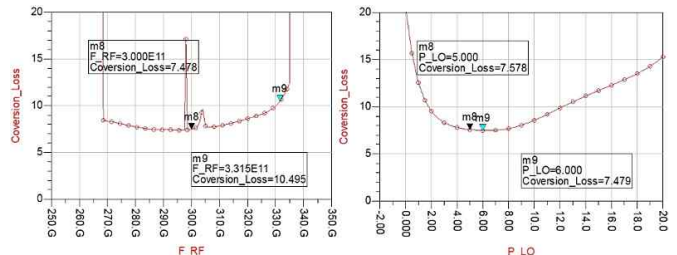


그림 7. 믹서 변환손실에 대한 시뮬레이션 결과

그림 7과 같이 LO전력이 6dBm@149GHz일 때 270~330GHz의 RF대역에서 7.5~10dB 변환손실을 가진다. 아울러 LO 입력전력이 대략 4~8dBm의 전력을 제공하면 변환손실 값을 안정적으로 유지할 수 있음을 확인하였다.

III. 결론

본 논문에서는 테라헤르츠 통신시스템에 적용될 서브하모닉믹서 설계방법을 기술하였다. HFSS EM solver툴과 ADS 설계툴을 사용하여 SHM 모듈의 유일한 비선형소자인 AP-SBD를 중심으로 주변 회로들을 3D Modelling화하여 THz대역에서 낮은 변환이득을 갖는 서브하모닉믹서를 설계할 수 있음을 확인할 수 있었다.

ACKNOWLEDGMENT

This work was supported by Electronics and Telecommunications Research Institute(ETRI) grant funded by the Korean government. [22ZH1120]

참고 문헌

- [1] Siegel PH. "THz instruments for space," IEEE Trans Antennas Propag. 2007;55:2957-2965.
- [2] Appleby R, Wallace HB. "Standoff detection of weapons and contraband in the 100 GHz to 1 THz region," IEEE Trans Antennas Propag. 2007;55:2944-2956.
- [3] Kleine-Ostmann T, Nagatsuma T. "A review on terahertz communications research. Journal of Infrared, Millimeter, and Terahertz," Waves. 2011;32:143-171.
- [4] Mehdi I, Siles JV, Lee C, Schlecht E. "THz diode technology: status, prospects, and applications," Proc IEEE. 2017;105:990-1007.
- [5] Nagatsuma T. "Terahertz technologies: present and future," IEICE Electron Express. 2011;8:1127-1142.