

C-대역의 저잡음증폭하향변환수신기(LNB) 설계

이성신, 이정환, 이상필

LIG Nex1

sungshin.lee@lignex1.com, junghwan.lee@lignex1.com, leesangpill@lignex1.com

Design of Low Noise Block down converter(LNB) receiver for C-band

Lee Sung Shin, Lee Jung Hwan, Lee Sang Pill

LIG Nex1

요약

본 논문은 C-대역의 저잡음증폭 하향 변환 수신기(LNB)를 설계하였다. 수신 신호의 품질 확보를 위해 높은 감도의 저잡음 증폭 소자를 이용하여 "저잡음 증폭반"을 설계하고, 선형성 확보와 목표하는 이득을 얻기 위해 "주파수 하향 변환반"을 설계한다. 또한, 인접대역 내의 불필요한 신호를 제거하기 위한 필터를 배치하였다. 시뮬레이션 결과, 50dB 이상의 이득, 1dB(p-p) 이하의 평탄도, 3.8dB 미만의 잡음 지수와 60dBc 이상의 불요신호 제거 기능을 확인하였다.

I. 서 론

본 논문에서는 C-대역의 저잡음 증폭 하향 변환 수신기를 설계하였다. 무선 통신 시스템 상에서 전송을 위하여 자유공간 손실, 대기, 강우 등에 의한 손실이 많이 발생한다. 수신단에서 데이터 및 정보를 정확히 식별하기 위해서는 낮은 레벨의 입력신호에도 통신 품질이 좋아야 한다. 통신 품질이 좋을수록 입력되는 신호가 낮아도 통신 신호와 잡음을 구분할 수 있기 때문이다. 낮은 입력 신호에서도 수신기가 정확한 입력 신호를 구분하여 정상 동작 할수 있게 하기 위해 수신기의 회로 구성은 복잡해 진다. 그럼에도 불구하고 최근 통신 사용량의 증가와 각종 디지털 통신 기기 사용량이 급격하게 증가하고 있고, 각각의 사용자들은 높은 수준의 통신 품질을 요구 하고 있다. 이러한 최근 경향에 대비하여 C-대역의 LNB를 설계하였다.

II. 본론

II - I. 구성

본 논문에서 설계하고자 하는 저잡음 증폭 하향 변환 수신기는 송신단에서 수신단으로 전달된 신호가 안테나에 의해 증폭된 신호를 처리한다. 저잡음 증폭 하향 변환 수신기는 신호를 저잡음증폭하고, 주파수 대역을 하향변환하는데 목표가 있다. 낮은 입력 신호가 기타 잡음레벨에 가려지지 않기 위해 불필요한 잡음레벨은 낮추고 필요 신호를 증폭하는 “저잡음증폭반”과 수신된 신호를 처리하기 위한 주파수 대역으로 변환하는 “주파수 하향변환반”으로 나뉘어 구성하였다.

II-II. 저잡음 증폭반

저잡음증폭반은 초단에 필터를 배치하여 불요파를 제거하였다. 초단에 이득이 없는 수동소자가 배치될 경우, 잡음지수에 큰 영향을 미치게 되나, 인접 신호 간섭 등의 영향으로부터 회피하기 위해 초단에 필터를 배치하여 불요파를 제거하였다. 저잡음 증폭을 위해 C-대역(5.1 GHz ~ 5.3 GHz)에서 동작하는 증폭기를 2단 설계하였다. 원하는 낮은 저잡음 특성을 얻기 위해 잡음지수 특성이 우수한 Low Noise AMP인 Qorvo社의

QPL9547TR7을 사용하였다. 이 소자는 5 GHz에서 이득 12 dB, 잡음지수 0.3 dB,의 특성을 가진다. 초단에 이득이 없는 수동소자를 배치하고 증폭기를 2단 설계를 하는 경우, 전체 잡음지수는 아래와 같이 주어지며 초단의 잡음지수(F_0)와 이후 배치된 이득이 있는 소자 증폭기의 잡음지수(F_1)에 의해 크게 좌우된다. 따라서 이득이 있는 1 단의 증폭기(F_1)의 저잡음 특성이 중요하다.

이번 설계에서는 동일 소자로 2 단 설계하였다.

$$F = F_0 + F_1 + \frac{F_2 - 1}{G_1} + \frac{F_3 - 1}{G_1 G_2} + \dots, \quad NF = 10 \log F$$

위 식에서 확인할 수 있듯이 1 단의 증폭기(F_1) 이득이 크다면 뒷단에 추가 설계되는 소자의 잡음지수는 점점 영향이 미미해 진다. 이번 설계에서 2단의 증폭기 뒷단에 배치된 혼합기(F_3) 부터의 잡음지수는 영향이 적은 것을 확인할 수 있다.

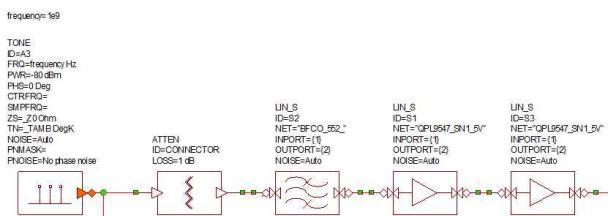


그림 1. 저잡음 증폭반 구성

저잡음 증폭반 설계에서 2단 증폭기 설계를 했기 때문에 증폭기가 자가 발진이 발생하지 않게 하여 안정적인 동작을 유지 하는 것이 중요하다. 소자가 해당 주파수에서 안정하게 동작하는지 확인하려면 엘타값과 $K-Factor$ 를 계산하고 안정적인 조건을 만족하는지 확인한다.

$$\Delta = S_{11}S_{22} - S_{12}S_{21}, \quad |\Delta| < 1$$

$$K = \frac{1 - |S_{11}|^2 - |S_{22}|^2 + |\Delta|^2}{2|S_{12}S_{21}|^2}, \quad K > 1$$

증폭 소자의 안정도를 확인하고 저잡음증폭기의 소자의 입/출력단의 정합회로를 설계한다. 잡음지수와 이득은 서로 Trade-Off 되기 때문에 설계 목표를 만족할 수 있는 최적점을 찾아 입/출력단의 정합회로는 전원 임피던스를 조정할 수 있는 저항과 Micro-strip Open Stub를 적용하여 설계하였다. 임피던스 매칭을 위한 Micro-strip Line을 정합회로로 사용하였고, Taconic社의 RF-35 기판을 활용하였다

II-III. 주파수 하향 변환반

주파수 하향변환반은 C-대역(5.1GHz ~ 5.3GHz)의 주파수를 출력 주파수 대역(1.1GHz ~ 1.3GHz)으로 변환하도록 설계하였다. 혼합기는 Analog Devices社의 HMC1048LC3B를 사용하였다. 이 소자는 주파수 변환 시, 5GHz에서 약 -10 dB의 Conversion Loss의 특성을 가진다. 저잡음 증폭된 신호를 혼합기를 통하여 원하는 해당 주파수 대역으로 변환한다. 저잡음 증폭반에서 누출되는 하모닉 성분의 신호를 제거하기 위해 LPF를 설계에 반영하고 수신대역 외의 신호를 제거하기 위해 BPF 소자를 설계 반영한다. 혼합기에 의해 발생할 수 있는 이미지 신호를 제거하기 위해 LPF를 추가하였다. 혼합기에 의해 변환 된 IF 주파수 대역에서 목표한 이득을 얻기 위해 증폭기를 반영 설계하고 온도 변화에 따른 증폭기 열화를 방지하기 위해 Thermal PAD를 설계에 반영하였다.

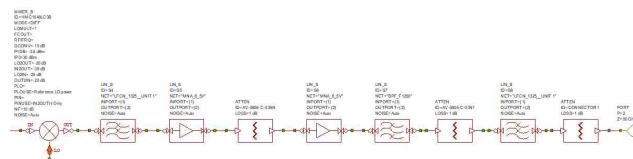


그림 2. 주파수 하향 변환반 구성

III. 결론

본 논문에서 정합 회로를 통한 Qorvo社의 QPL9547TR7을 2단 설계하고 Analog Devices社의 HMC1048LC3B를 사용할 경우 목표 특성을 만족할 수 있다. Cadence社의 AWR을 사용하여 설계를 모델링하고 해석된 값이 설계 목표를 만족하는 것을 확인하였다.

설계 목표로 하는 LNB의 특성이다

| 항목 | 목표 | 모의결과 |
|--------------|-----------|-----------|
| 입력주파수(GHz) | 5.1 ~ 5.3 | 5.1 ~ 5.3 |
| 출력주파수(GHz) | 1.1 ~ 1.3 | 1.1 ~ 1.3 |
| 이득(dB) | 50 이상 | 52.22 |
| 평탄도(dB(p-p)) | 1 이하 | 0.56 |
| 잡음지수(dB) | 3.8 이하 | 3.54 |
| 불요파(dBc) | 60 | 70 |

소자의 안정적인 동작 구현 위한 확인을 하였고, 설계 목표를 만족할 수 있는 잡음지수와 이득의 Trade-Off 관계를 활용하여 이득 52.22 dB, 잡음 지수 3.54 dB 이하로 설계 목표를 만족할 수 있는 최적점을 찾았다. 저잡음 증폭 하향 변환기의 입/출력 정합을 전원 임피던스를 조정할 수

있는 저항과 Micro-strip Open Stub를 적용하여 구성하였다. 하향 변환 혼합기를 사용하여 주파수 변환을 하였고, 주파수 분석을 통하여 불요 신호를 제거하고 목표하는 이득을 얻을 수 있었다.

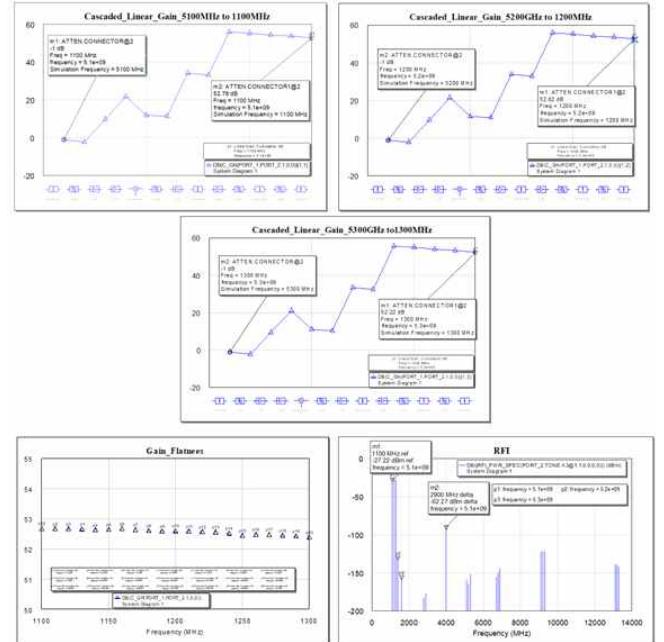


그림 3. 저잡음 증폭 하향 변환 수신기의 시뮬레이션 결과

Cadence社의 AWR을 사용하여 LNB의 특성을 최적화 하고 설계치의 전산 모의실험 값을 확인해 볼 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] G. Gonzalez, Microwave Transistor Amplifiers - Analysis and Design, Prentice - Hall, 1997.
- [2] D. M. Pozar, Microwave Engineering, John Wiley & Sons Inc., 1998.
- [3] J.H. Joo, S.G. Lee, B.T Jeon, B.C. Ahn, "Design and Fabrication of An LNA for The Reception of The Ku-Band Satellite Broadcast Signals", Proceeding of IEIE, Vol. 25, no.1, pp.451-454, June 2002