

Concurrent Dual-Band LNA using Wire-bonding matching

유남식,* 황인갑, 정용재

전북 대학교 초고주파 회로설계 연구실,* 전주대학교

초록

A new concurrent dual-band receiver architecture is introduced that is capable of simultaneous operation at two different frequency bands. The concurrent operation results in higher bandwidth, lower total power dissipation and less sensitivity to channel variations. A general methodology for the design of concurrent LNAs is provided that makes it possible to achieve simultaneous narrowband gain and matching at multiple frequencies. And by using the wire-bonding inductor, resistance of input matching circuit is reduced. The methodology is demonstrated by implementing an integrated dual-band concurrent LNA using InGaP HBT fabrication of Knowledge-On. The LNA provides narrow-band gain and matching at 2.45GHz and 5.25GHz bands, simultaneously. It has 4mA of collector current and achieves voltage gains of 7.9dB and 5.8dB, input return losses of -11.5dB and -10.5dB, and noise figure of 2.3dB and 3.1dB at these two bands, respectively.

1. 서론

최근 무선 이동통신 시스템의 응용의 범위가 넓어지면서 보다 넓은 bandwidth 또는 multi-band system 이 반드시 필요로 하게 되었다. 그래서 최근에 두 다른 주파수 대역을 switching 함으로써 동시에 각 주파수 신호를 수신하는 dual band transceiver 가 소개되었다[1]. 하지만 이러한 system 은 동시에 두 주파수 신호를 받아야 하는 경우에 있어서는 적용하기 어렵다. 또한 각 독립적인 주파수 신호 path 를 필요로 하고 결과적으로 cost, size and power dissipation 에 있어서 피할 수 없는 문제점이 대두된다.

그러나 최근 논문에서는 동시에 두 주파수 신호를 수신하는 수신단 구조가 소개되면서 이러한 문제점을 해결할 수 있었다[2]. 하지만 입력단에 matching 소자로 들어간 spiral inductor 의 낮은 Q 값 때문에 noise figure 와 gain 에 있어서 많은 손실을 가진다.

본 논문에서는 기존의 concurrent dual band LNA 의 특성을 좀 더 개선 시키고자 입력단에 반드시 필요로 하는 wire-bonding 을 dual band matching 소자로 이용하였다. spiral inductor 소자 없이 dual-band input matching 단을 구성하였기 때문에 input 단에 생기는 parasitic 저항성분을 줄일 수 있었다. 그 결과 noise figure 와 gain 에 있어서 더 좋은 결과를 얻을 수 있었다.

본 논문은 주파수 대역은 2.45GHz 의 Bluetooth 대역과 5.25GHz 의 Wireless LAN 대역에서 동시에 동작하는 LNA 를 설계하였고, HBT 공정을 이용해서 구현 및 측정했다.

2. 회로 설계

제안된 Dual-band LNA 는 입력단과 출력단에 dual band matching 을 이용해 concurrent dual band LNA 를 설계하였다. LNA 에 있어서 입력단의 정합을 noise figure 가 낮으면서 gain 도 어느정도 만족하는 optimum matching point 를 정하고 입력단의 matching circuit 을 구현하게 된다. 하지만 각 주파수에 따라서 optimum matching 을 구현하기 위한 소자가 다르기 때문에 두 주파수에 동시에 만족하는 matching circuit 을 구현하기 위해서는 공진회로를 이용해야 한다. 직렬 공진회로는 두 주파수중 상대적으로 높은 주파수에서 인덕턴스 성분을 가지고 낮은 주파수에서는 커패시턴스 성분을

가진다. 이와 반대로 병렬 공진회로는 상대적으로 높은 주파수에서 커패시턴스 성분을 가지고 낮은 주파수에서는 인덕턴스 성분을 가진다. 이러한 이론을 바탕으로 동시에 원하는 두 주파수에서만 matching 을 구현 할 수가 있었고, 이 두 주파수 신호만 동시에 증폭이 되어 출력단으로 신호가 나가게 된다. 이로써 기존의 switching 을 통해 구현하였던 dual band system 보다 적은 비용, 작은 크기, 적은 파워 소모를 가지는 dual band system 을 구현 할 수 있었다.

최근 논문에서 LNA 의 Noise Figure 를 결정짓는 입력단의 matching circuit 을 spiral inductor 를 사용하는 병렬 공진회로를 이용해 dual band matching 을 구현하였지만 이는 spiral inductor 가 가지고 있는 낮은 Q-factor 때문에 gain 을 줄이는 요인이 되고 Noise Figure 를 높이는 역할을 한다. 이에 본 논문에서는 RF-front end 단의 가장 앞 단의 소자인 LNA 에서 반드시 필요로 하는 wire-bonding 성분을 matching 소자로 이용하고 spiral inductor 를 사용하지 않음으로써 입력단의 loss 를 줄이고자 하였다. 또한 cascode 구조를 사용함으로써 Noise Figure 가 좀 더 높아지는 단점을 보였지만 output resistance 를 높게 만들어 gain 을 좀 더 높일 수 있었고 isolation 특성도 개선이 되었다. 개선된 isolation 특성 때문에 output 단과 input 단 매칭 회로를 거의 독립적으로 구현할 수 있었고, stability 특성 역시 개선되었다. 그리고 stability 를 해결하고 입력단의 매칭 소자값을 줄이기 위해 emitter 단에 inductor 를 두는 emitter degeneration 회로를 이용했다. Emitter 단의 inductor 는 gain 과 noise figure 에 있어서 손실을 가지지만 gain maximum point 와 NF minimum point 가 거의 근접해져서 optimum matching 을 하였을 때 결과적으로는 stability 해결을 위해 다른 추가적인 회로를 첨가하는 것 보다 좋은 특성을 보였다.

a) 입력단과 출력단 matching circuit

본 논문에서는 2.45GHz 와 5.25GHz 에서 동작하는 LNA 를 설계하였다. 먼저 입력단 matching circuit 은 spiral inductor 의 사용없이 wire-bonding 을 이용한 dual band matching 을 하기 위해서 직렬 공진 회로를 이용했다. 직렬 공진회로는 5.25GHz 에서 인덕턴스 성분을 가지고 2.45GHz 에서는 커패시턴스 성분을 가지므로 이로써 matching circuit 을 구현 할 수 있도록 공진회로 앞단에 병렬 인덕터를 사용하였다. 그 결과 2.45GHz 에서 matching 소자값으로는 0.7pF 의 직렬 커패시터가 필요했고 5.25GHz 에서는 1.4nH 의 직렬 인덕터가 필요했다. 이는 직렬 공진 회로가 가지는 임피던스를 수식적으로 구하여 그 임피던스가 이 두 주파수에서 각각 소자값을 만족하도록 하여 직렬 공진 회로의 소자값을 구할 수 있다. 결과적으로 입력단 matching circuit 은 그림 1 과 같이 구현되었다.

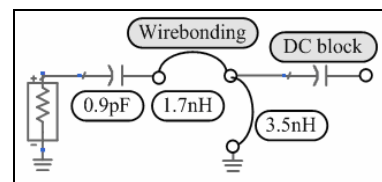


그림 1. 입력단 matching circuit

그림 1 에서 보듯이 입력단의 인덕터는 모두 wirebonding 으로 구현하였다.

출력단 matching circuit 은 그림 2 에서 보듯이 2.45GHz 에서 L1 과 C1 의 직렬 공진 회로는 캐패시턴스를 형성하고 L2, C2 의 병렬 공진 회로는 인덕턴스를 형성한다. 그러므로 2.45GHz 에서 이 두 임피던스는 병렬 공진 회로를 형성하고 RF choke 역할을 하면서 매칭을 이룬다. 5.25GHz 에서는 이와 반대로 L1 과 C1 에 의해 인덕턴스를 형성하고 L2 와 C2 에 의해 캐패시턴스를 형성한다. 이로써 5.25GHz 에서도 또 다시 병렬 공진 회로를 형성해 output matching 이 이루어진다.

3. 측정 결과

본 concurrent dual band LNA 는 2.45GHz 와 5.25GHz 를 동작 주파수로 설정 하였지만 on-chip 의 전송선로를 고려하지 않는 관계로 2.45GHz 와 4.9GHz 에서 특성을 얻었다. Supply voltage 는 3V 로 하였고 소모전류는 4mA 로 하였다. Noise Figure 는 2.45GHz 와 4.9GHz 에서 각각 2.3dB 와 3.1dB 의 특성을 얻었고, Gain 은 각각 7.9dB 와 5.8dB 의 특성을 얻었다.

Parameter	Measurement	Unit
Supply Voltage	3	V
Frequency Range (fin)	2.45 4.9	GHz
Gain (S21)	7.9 5.8	dB
Noise Figure (NF)	2.3 3.1	dB
Input Return Loss (S11)	-11.2 -10.5	dB
Output Return Loss (S22)	-17 -30	dB
Reverse Isolation (S12)	-28 -20	dB

표 1. 제안한 Dual band LNA measurement 결과

4. 결론

제안한 concurrent dual band LNA 는 Knowledge-On 사의 InGaP HBT 공정을 이용하여 1mm x 1mm size 안에 구현하였다. 2.45GHz 와 5.25GHz 의 입력단의 dual band matching 을 wirebonding 으로 구현하였고, 기존의 spiral inductor 를 사용한 회로보다 개선된 효과를 검증하였다. 또한 chip size 면에서도 면적을 많이 차지하는 spiral inductor 를 제거했기 때문에 이득을 보았다.

참고문헌

- [1] S. Wu and B. Razavi, "A 900MHz/1.8GHz CMOS Receiver for Dual Band Application," *ISSCC Digest*, pp. 124-5, Feb. 1998.
- [2] H. Hashemi and A. Hajimiri, "Concurrent Dual-Band CMOS Low Noise Amplifier and Receiver Architectures", in *Symposium on VLSI Circuits Digest*, pp.247-250, June 2001.

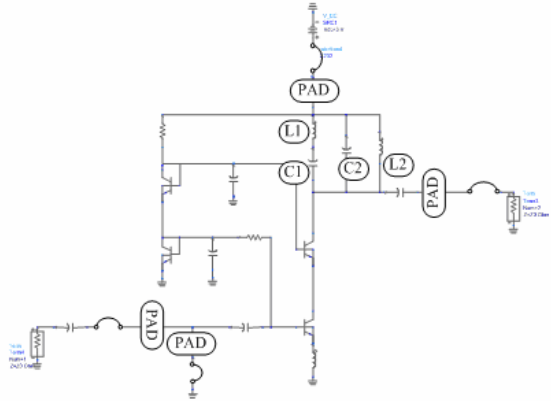


그림 2. Schematic of proposed LNA

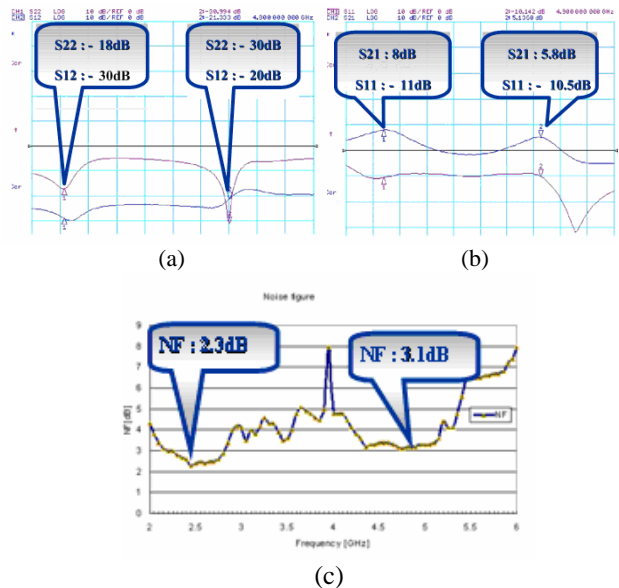


그림 3. (a) S22 and S12 (b) S21 and S11 (c) Noise figure

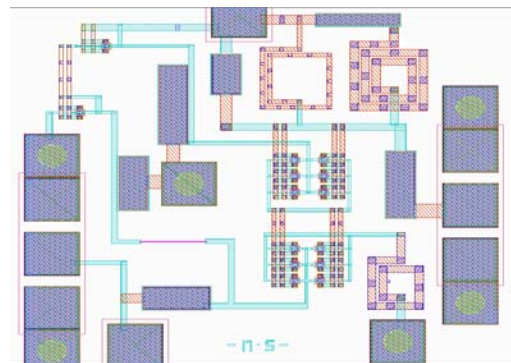


그림 4. Layout of concurrent dual band LNA