

LC-Tank 매칭 회로를 적용한 RFID 리더용 이중대역 저잡음 증폭기 설계

論 文
9-4-5

A Design of Dual Band LNA for RFID Reader Using LC-tank Matching Circuit

이제광, 고재형, 김군태, 김형석*

Je-Kwang Lee, Jae-Hyeong Go, Koon-Tae Kim, and Hyeong-Seok Kim

Abstract

Abstract : In this paper, a dual band LNA (Low Noise Amplifier) with a LC-tank matching circuit is designed for 912MHz and 2.45GHz RFID reader. The operating frequency is decided by the LC-tank resonance. The simulated results demonstrate that S21 parameter is 11.683dB and 5.748dB at 912MHz and 2.45GHz, respectively, and the S11 are -10.796dB and -21.261dB, the S22 are -7.131dB and -14.877dB at the same frequencies. The measured NF (Noise Figure) is 0.471 and 1.726 at 912MHz and 2.45GHz, respectively.

Keywords : dual band, low noise amplifier, lc-tank

I. 서 론

최근, 다양한 활용의 필요성으로 ISM (Industrial, Scientific, Medical)밴드를 활용한 RFID 시스템의 연구가 진행되고 있으나, 사용 국가 및 적용 분야에 따라 그 주파수 대역이 다양하다[1,2].

고속의 데이터 처리 및 이동 물체 인식의 장점이 있는 2.45GHz RFID 시스템(ISO 18000-4) 및 저가 생산이 가능하며 뛰어난 성능을 보이는 912MHz RFID 시스템(ISO 18000-6)등이 ISM밴드에 속하며, 두 개의 주파수 대역에서 동시에 사용이 가능한 하드웨어 셰어링(Hardware sharing)을 통해 단품 및 모듈의 면적, 단가, 전력소모 측면에서의 개선이 요구된다.

기존의 스위치를 사용한 이중대역 저잡음 증폭기[3] 및 광대역 저잡음 증폭기[4]의 활용도 또한

고려되어 지지만, 동시에 2개 대역에서의 동작불가 및 원하지 않는 대역의 신호까지 같이 증폭되어 수신기의 감도 저하를 야기하는 등 동시에 2개의 대역만을 만족할 수 있는 설계가 요구되어지고 있고, 이를 고려한 RFID 시스템의 구현을 위해서 다중 대역 RFID 리더에 관한 연구가 필수적이며, 다중 주파수 대역을 처리할 수 있는 RF 송수신부, 디지털 신호 처리부의 연구가 선행되어야 한다.

본 논문에서는 L-C tanks의 공진을 이용한 concurrent 이중 매칭 회로를 구성하고 이를 이용한 RFID 리더용 이중대역 LNA (Low Noise Amplifier)를 설계하여 912MHz와 2.45GHz에서 각각 동작하도록 하였다

II. 이중대역 LNA의 구조 및 설계 방법

그림 1은 이중대역 저잡음 증폭기의 간단한 구조를 보여주고 있다. L-C tanks를 이용한 매칭회

접수일자 : 2010년 10월 11일
 최종완료 : 2010년 12월 12일
 김형석 : 중앙대학교 전기공학부
 교신저자, E-mail : kimcaf2@cau.ac.kr

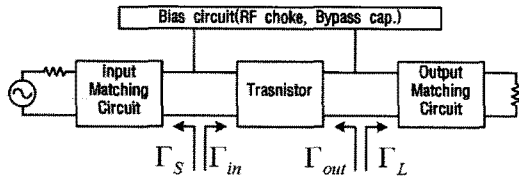


그림 1. 이중대역 LNA의 간략한 구조
Fig. 1. The simplified structure of dual band LNA

로에서는 각각의 동작 주파수에서 $\Gamma_s = \Gamma_{s1}, \Gamma_{s2}$ 가 되도록 하여 매칭함으로써 2개의 대역에서 동작할 수 있도록 설계한다[5].

그림 2는 LC-tank (L_0, C_0)가 포함된 Common Source 형태의 저 잡음 증폭기의 회로도이다. 저 잡음 증폭기의 입출력 매칭단에 LC-tank 구조의 공진회로를 포함하여 2개의 주파수 대역에서 증폭이 되도록 설계하였다. LC-tank를 제외했을 경우의 입력 임피던스는 식 (1)과 같다.

$$Z_{in} = j\omega(L_g + L_s) + \frac{1}{j\omega C_t} + \frac{L_s g_m}{C_t} \quad (1)$$

따라서 공진시의 인덕터 및 커패시터의 값은 식 (2)에 의하여 간단히 구할 수 있다.

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{C_{gs}(L_s + L_g)}} \quad (2)$$

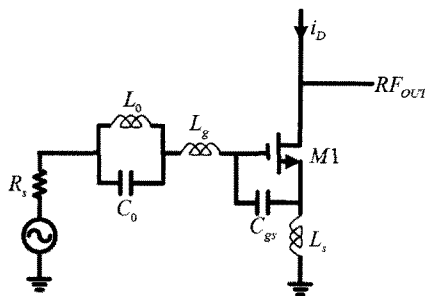


그림 2. 이중대역 저잡음 증폭기 회로도
Fig. 2. Dual band Low Noise Amplifier

본 논문에서는 LC-tank를 포함한 경우의 입력 임피던스와 2개의 공진 주파수 및 최소 잡음 지수 조건을 식 (3)~(6)에 나타내었다[1].

$$Z_{in} = j\omega(L_g + L_s) + \frac{1}{j\omega C_{gs}} + \frac{j\omega L_0}{1 - \omega^2 L_0 C_0} + \frac{L_s g_m}{C_{gs}} \quad (3)$$

$$Z_{in} = \frac{g_m}{C_t} L_s = 50\Omega \quad (4)$$

$$\omega_{1,2} = \sqrt{\frac{[C_{gs}(L_g + L_s + L_0) + C_0 L_0] \pm \sqrt{[C_{gs}(L_g + L_s + L_0) + C_0 L_0]^2 - C_{gs} C_0 L_0 (L_g + L_s)}}{2 C_{gs} C_0 L_0 (L_g + L_s)}} \quad (5)$$

$$NF = 1 + |1 + Y_s(Z_{total} + Z_{gs} + Z_s)|^2 \cdot \frac{1}{gm^2 |Z_{gs}|^2} \cdot \frac{i_{nd}^2}{i_s^2}, (Z_{total} = j\omega L_g + \frac{j\omega L_0}{1 - \omega^2 L_0 C_0}) \quad (6)$$

여기서 L_g = 트랜지스터의 게이트 인덕턴스, L_s = 소스 디제너레이션, C_{gs} = 게이트와 소스 사이의 외부 커패시턴스, L_0, C_0 = 각각 LC tank의 값이다. C_t = 트랜지스터의 게이트와 소스사이의 총 커패시턴스이다.

이때 최소 잡음지수를 얻기 위한 조건은 식 (3)과 같게 되며, 식 (3)과 (4)를 동시에 만족시키도록 입력매칭회로를 구성하면 식 (7)이 되고 이를 통해 입력매칭과 동시에 최소 잡음지수를 구현할 수 있다.

$$0 = j\omega(L_g + L_s) + \frac{1}{j\omega C_{gs}} + \frac{j\omega L_0}{1 - \omega^2 L_0 C_0} \quad (7)$$

두 개의 동작 주파수 ω_1 및 ω_2 를 만족시키는 식은 각각 식 (8), (9)와 같으며,

$$0 = j\omega_1(L_g + L_s) + \frac{1}{j\omega_1 C_{gs}} + \frac{j\omega_1 L_0}{1 - \omega_1^2 L_0 C_0} \quad (8)$$

$$0 = j\omega_2(L_g + L_s) + \frac{1}{j\omega_2 C_{gs}} + \frac{j\omega_2 L_0}{1 - \omega_2^2 L_0 C_0} \quad (9)$$

식 (8), (9)는 이중대역에서 동시 동작하는 L_0, C_0 값이 있다는 것을 보여준다[1].

본 논문에서는 ADS (Advanced Design System) Tool을 사용하여 912MHz와 2.45GHz 대역에서 50Ohm 입력 임피던스를 가지는 C_{gs}, L_g, L_s 값을 구한 뒤, 각각의 대역에 공통의 LC-tank 형태의 매칭회로를 설계하여 이중대역 저잡음 증폭기 설계를 하였다.

LNA는 설계의 첫 단계로 저 잡음의 특성을 갖는 트랜지스터를 선택하고 소비 전력 및 이득을 고려한 동작 점을 결정한다. 동작점을 결정하고 난 후, RF 초크, 바이패스 커패시터를 포함한 바이어스 회로를 구성한다. 바이어스 회로를 설계한 후, 저항이나 다른 소자 들을 이용하여 발진을 막기 위한 안정도 회로를 구성 한다. 일반적으로 K factor를 이용하여 안정도를 확인하는데, 입력 및 출력 매칭 회로에 관계없이 발진이 일어나지 않

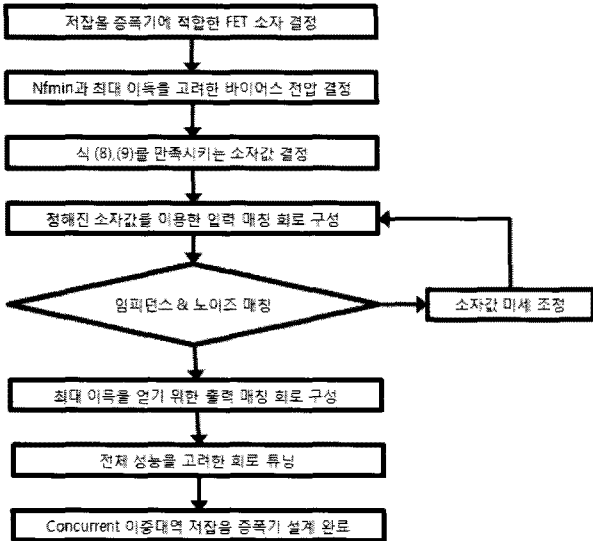


그림 3. 이중대역 저잡음 증폭기의 설계 과정
Fig. 3. Flow chart of dual band Low Noise Amplifier

는 무조건 안정 상태가 되도록 안정도 회로를 구성한다.

앞서 기술한 저잡음 증폭기 설계 과정을 그림 3으로 나타내었다.

III. LC tank를 적용한 이중대역 LNA 설계

이중대역 저잡음 증폭기를 설계하기 위해 트랜지스터는 NEC사의 NE3509M04를 사용하였다. 트랜지스터는 드레인단 전압은 1V, 게이트단 전압은 0V로 동작하였다. 시뮬레이션에는 유전율이 4.4인 FR4기판을 사용하였으며, 목표대역인

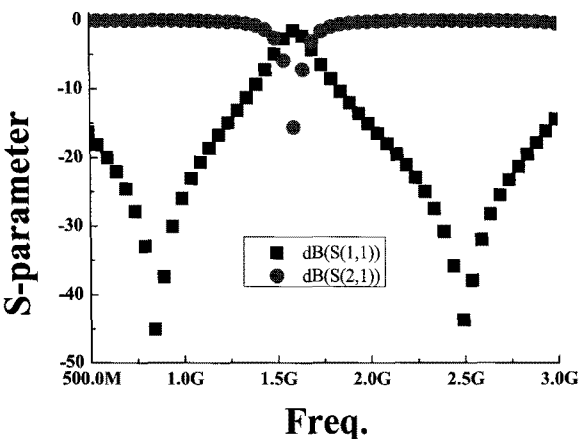


그림 4. 바이어스 라인의 S-parameter
Fig. 4. S-parameter of Bias Line

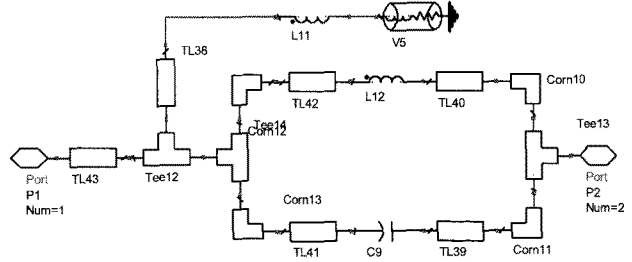


그림 5 L-C tanks를 포함한 input 매칭 회로
Fig. 5. Input matching circuit with L-C tanks

912MHz와 2.45GHz에서도 동작할 수 있는 무라타사의 R, L, C 소자를 사용하였다.

그림 4는 바이어스 회로의 S-parameter이며, 목표 주파수인 912MHz, 2.45GHz대역에서 신호가 차단되는 것을 확인 할 수 있다. Input 매칭회로에 L-C tanks를 포함하여, 그림 5와 같이 설계하였으며, 이때 LC-tank의 L_0 , C_0 값은 각각 2.2nH와 1pF이다. 입력 측에 병렬로 연결된 인덕터를 통해 이득을 선택된 주파수인 912MHz에 한하여 증폭할 수 있다.

안정도를 만족시키기 위해서 트랜지스터의 드레인 단에 직렬 또는 병렬로 저항을 연결하고, degeneration 인덕터를 사용하여 모든 동작 대역에서 안정 조건을 만족하도록 설계하였다. 일반적인 안정도 변수는 모든 동작 대역에서 1보다 큰 조건을 만족하고, 각 주파수의 S-parameter를 계산하여 $\Delta = |S(1,1) \cdot S(2,2) - S(1,2) \cdot S(2,1)|$ 값이 1보다 작을 때 회로가 안정화하는 것을 나타낸다. 이를 그림 6에 표시하였다. 그림 7은 전체 완성된

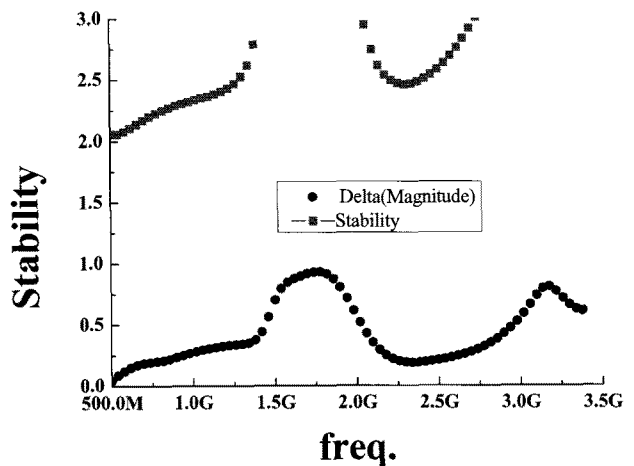


그림 6. 이중대역 저잡음 증폭기의 안정도
Fig. 6. The stability of dual band LNA

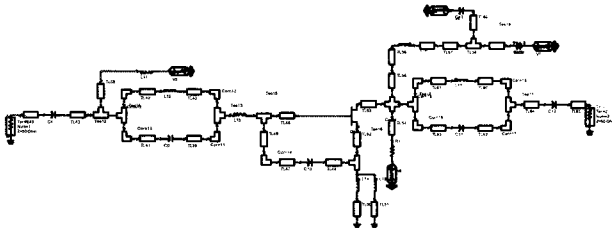


그림 7. 전체 이중대역 저잡음 증폭기 회로도
 Fig. 7. The top design of dual band LNA

회로이며, 입력측 단에 LC-tank 매칭이 된 것을 확인 할 수 있다.

회로의 잡음 정도를 나타내는 NF (Noise Figure) 및 이득(S(2,1)), 입력측 반사손실(S(1,1)), 출력측 반사손실(S(2,2))인 S-parameter는 표 1에 정리되어 있다.

표 1. NF 및 S-parameter
 Table 1. NF 및 S-parameter

	912MHz	2.45GHz
Noise Figure	0.471	1.726
S(2,1)(dB)	11.683	5.748
S(1,1)(dB)	-10.796	-21.261
S(2,2)(dB)	-7.131	-14.877

VI. 결 론

본 논문에서는 L-C tanks를 이용한 concurrent 912MHz, 2.45GHz대역의 이중대역 LNA를 설계하였다. L-C의 입력임피던스를 2개의 주파수 대역에서 50Ω을 가지도록 설계 및 입력부와 출력부를 매칭 함으로써, 시뮬레이션 결과 2개의 대역에서 각각 S(2,1)은 11.683dB와 5.748dB, NF는 0.471와 1.726이 나왔다. 상대적으로 2.45GHz 대역에서 입출력 반사손실을 나타내는 S(1,1)과 S(2,2)으로 매칭이 잘 이루어졌으나, 높은 NF 값과 낮은 이득의 S(2,1)으로 보아 NF와 이득의 성능 개선이 요구되어진다.

L-C tanks를 이용한 이중대역 저잡음 증폭기설계를 통해 두 개의 주파수를 모두 만족하는 매칭이 설계 가능함을 보였으나, 두 개의 대역이 같은 성능을 가질 수 있도록, L-C tanks를 이용하면서도 부족한 면을 보강해 줄 수 있는 이중대역 증폭기의 연구가 더욱 필요할 것이라 사료된다.

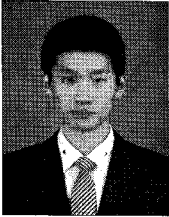
감사의 글

이 연구는 2010년도 중앙대학교 지원에 의한 결과임.

[참고 문헌]

- [1] 오재욱, 김형석 "RFID 리더용 Concurrent 이중대역 저잡음 증폭기 설계," 춘계마이크로파 및 전파전파학회, pp.57-60, 5. 2007.
- [2] 오재욱, 임태서, 최진규, 김형석, "Tunable. 매칭 회로를 적용한 RFID 리더용 Dual Band LNA 설계," 한국정보통신설비학회 하계학술대회 논문집, pp.3-6, 8. 2007.
- [3] E. V. Balashov1 and A. S. Korotkov, "Ultra Wideband Low Noise Amplifier with Source Degeneration and Shunt series Feedback," *Proceedings of 4th European Conference on Circuits and Systems for Communications, ECCSC 2008*, pp. 87-92, July 2008.
- [4] K. Xuan, K. F. Tsang, and W. C. Lee, "A Novel Tunable Dual-band Low Noise Amplifier for 868/915MHz and 2.4GHz Zigbee Application by CMOS Technology," *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 52, no. 3, pp. 507-510, March 2010.
- [5] G. Gonzalez, *Microwave Transistor Amplifiers Analysis and Design*, Prentice Hall, 1997.

Biography

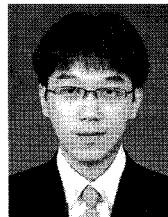


이제광

2010년 중앙대학교 전자전기공학부 졸업
2010년~현재 중앙대학교 전자전기공학부(석사과정)

<관심분야> RFIC circuit design, Patch Antenna Design

<e-mail> yongdamdong@hanmail.net



김군태

2008년 서경대학교 정보통신공학과 졸업
2010년 중앙대학교 전자전기공학부(공학석사)
2010년~현재 중앙대학교 전자전기공학부(박사과정)

<관심분야> 초고주파 부품 소자 설계, 최적 설계, Antenna

<e-mail> andorr@naver.com



고재형

2004년 중앙대학교 전자전기공학부 졸업
2008년 중앙대학교 전자전기공학부(공학석사)
2008년~현재 중앙대학교 전자전기공학부(박사과정)

<관심분야> 초고주파 회로설계, 안테나, 최적 설계

<e-mail> kojh77@gmail.com



김형석

1985년 서울대학교 전기공학 졸업
1987년 서울대학교 전기공학(공학석사)
1990년 서울대학교 전기공학(공학박사)
1990년~2002년 순천향대학교 정보기술공학부 부교수

1997년~1998년 R.P.I 미국 방문교수

2002년~현재 중앙대학교 전자전기공학부 교수

<관심분야> 전자장 및 수치해석, RF 및 마이크로웨이브 소자 해석 및 설계

<e-mail> kimcaf2@cau.ac.kr