

2.45GHz 대역 RFID Reader 에 적용 가능한 능동형 발룬 설계

An Active Balun Design for Application to RFID Reader at 2.45GHz

정 효 빈, 임 태 서, 이 달 호, 김 형 석*
(Hyo-Bin Jung, Tae-Seo Lim, Dal-Ho Lee, Hyeong Seok Kim)

Abstract : An active Balun is designed for RFID reader at 2.45GHz. The Balun is integrated inside the receiver, then the LNA and mixer can be connected. The unbalanced LNA output signal is transformed to a balanced signal at the input mixer. The RF mixer and LO mixer, by using this balun. The Balun provided a balanced signal with two output stage, gain mismatch is 0.116dB. The phase show a good behavior with 163.918°, -16.609°. The phase mismatch is about 0.527°. The tight difference between the gain and phase on each branch, is because of the used capacitor and integrated inductor and the other parasitic element inside the balun.

Keywords: Active balun, LNA-Mixer, RFID

I. 서론

정보화 시대로의 진행이 가속됨에 따라 통신 분야의 급격한 발전이 이루어지고 있으며 특히 정보통신의 발달과 함께 급성장하고 있는 RFID 시스템은 지속적인 기술 발달이 이루어지고 있으며 상업용으로 다양하게 쓰이고 있다.

최근 통신 시스템은 마이크로파 회로 전체를 단일 칩으로 제작하여 설계 단가를 낮추는 동시에 저전압 동작 및 저전력 소모를 위한 RFIC 연구가 진행되고 있다. 본 논문에서는 호모다인 방식의 2.45GHz대역의 RFID 리더에 적용 가능한 Active balun을 설계하여 시스템의 One-chip화에 적용하고자 한다. [1]

Active balun은 최근 Balanced mixer, Transceiver, Push-pull amplifier 등과 같은 회로의 중요한 소자로 부각되었으며, 다양한 형태의 Balun이 개발되고 있다. RFID 시스템에서 적용되는 Balun은 LNA(low noise amplifier)의 출력을 입력으로 받아 두 단자의 출력이 Mixer의 입력으로 들어갈 수 있도록 LNA와 Mixer를 효과적으로 연결하게 위해 사용된다. 또한 Mixer로 들어가는 local oscillator의 신호도 mixer의 입력으로 차동으로 신호를 넣어 주게 된다. 따라서 본 논문에서는 이러한 passive balun의 문제점을 해결하기 위해 TSMC 0.18um 공정을 이용하여 2.45GHz에서 gain 및 phase mismatch가 ±0.5dB, ±1°를 만족하는 Active Balun을 설계하였다[2].

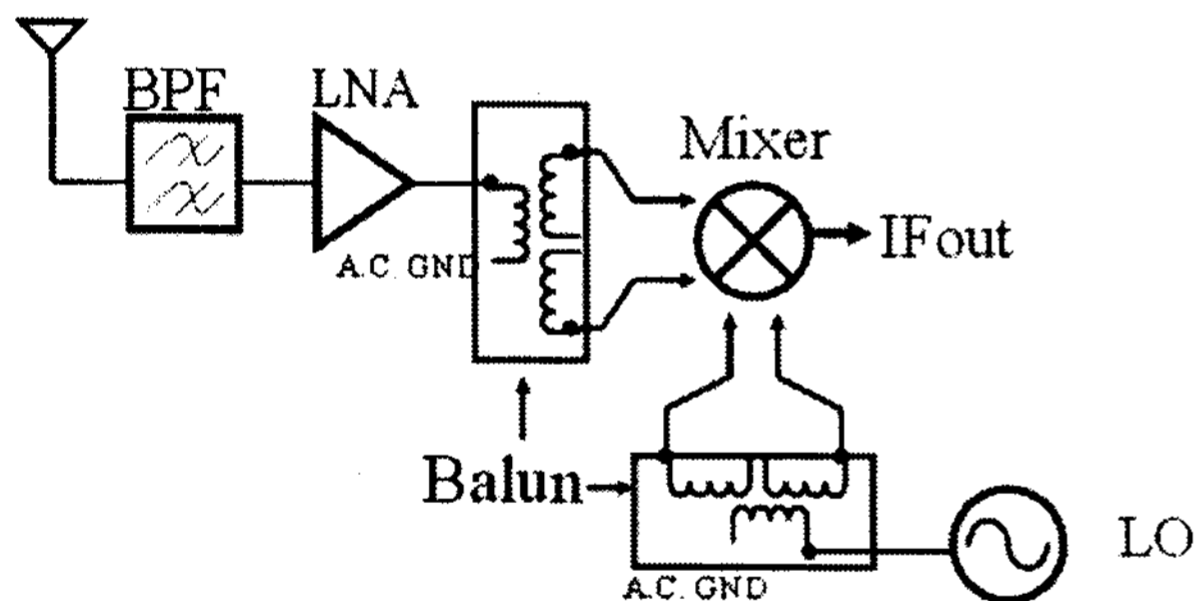


그림 1. 발룬을 포함한 2.45GHz RFID Receiver
Fig 1. 2.45GHz RFID receiver with balun

Balun이란 Balanced to unbalanced의 약자로서 Balanced된 신호를 Unbalanced 신호로 변환해 주는 회로 또는 구조물로서 그 반대의 변환을 할 때도 Balun이라 한다. Balun은 두 출력 단에서 위상은 180° 차이가 나고 크기가 같은 신호가 출력된다. Balun에는 트랜지스터 등의 능동소자를 이용한 active balun과 R, L, C 등의 수동소자, transmission line, coaxial cable, Planar transformer balun 등 다양한 passive balun이 있다. Passive balun은 전력을 적게 소모한다는 장점이 있지만 광대역 특성을 얻기가 힘들고, 회로가 복잡하며 transmission line을 이용하여 설계를 할 경우 balun의 사이즈가 커지는 문제점이 있다.

II. 본론

1. Active balun의 구조

그림 2는 Active Balun에서 주로 쓰이는 topology를 나타내었다. 그림 2-(a) Common-source single FET 구조와 2-(b) Common-gate cascaded with common-source 구조는 구현하기에는 구조적으로 간편하지만 고주파 회로 설계에서는 드레인과 종단된 소스에서 일정하지 않은 신호의 왜곡을 야기하는 기생 성분이 존재한다[3]. 이러한 고주파 환경에서의 문제점을 해결하고자 고주파에서 회로설계에서 신호의 왜곡을 최대한 줄이면서 Common-mode noise injection을 줄이고 외부 환경에 대하여 보다 안정적인 differential mode 동작을 위하여 single-ended mode의 신호를 differential mode 신호로 바꿔 주기 위해 Common-source stage를 differential pair로 연결하였다. Common-source stage의 경우 전압, 전류 이득 및 전력 이득이 높고 Noise 특성이 좋다. M1, M2 두 트랜지스터의 width와 finger 수를 조절하여 C_{gs} 의 영향을 최소화 하였고 선형성을 증가시키고 위상차를 조절하기 위해 source 각 단에 인덕터를 연결하였다. 이때 인덕터의 인덕턴스가 높아지게 되면 noise 특성이 나빠지므로 튜닝을 통해 위상 및 noise 특성을 개선하였다.

* 책임저자(Corresponding Author)

정효빈, 임태서, 중앙대학교 일반대학원 전자전기공학부 석사과정
김형석 : 중앙대학교 전자전기공학부 교수 (kimcaf2@wm.cau.ac.kr)
이달호, 경원대학교 전자공학과 교수 (dhlee@kyungwon.ac.kr)

※ 본 연구는 2007년도 산학연 컨소시엄 과제의 지원에 의해 이루어진 연구임.

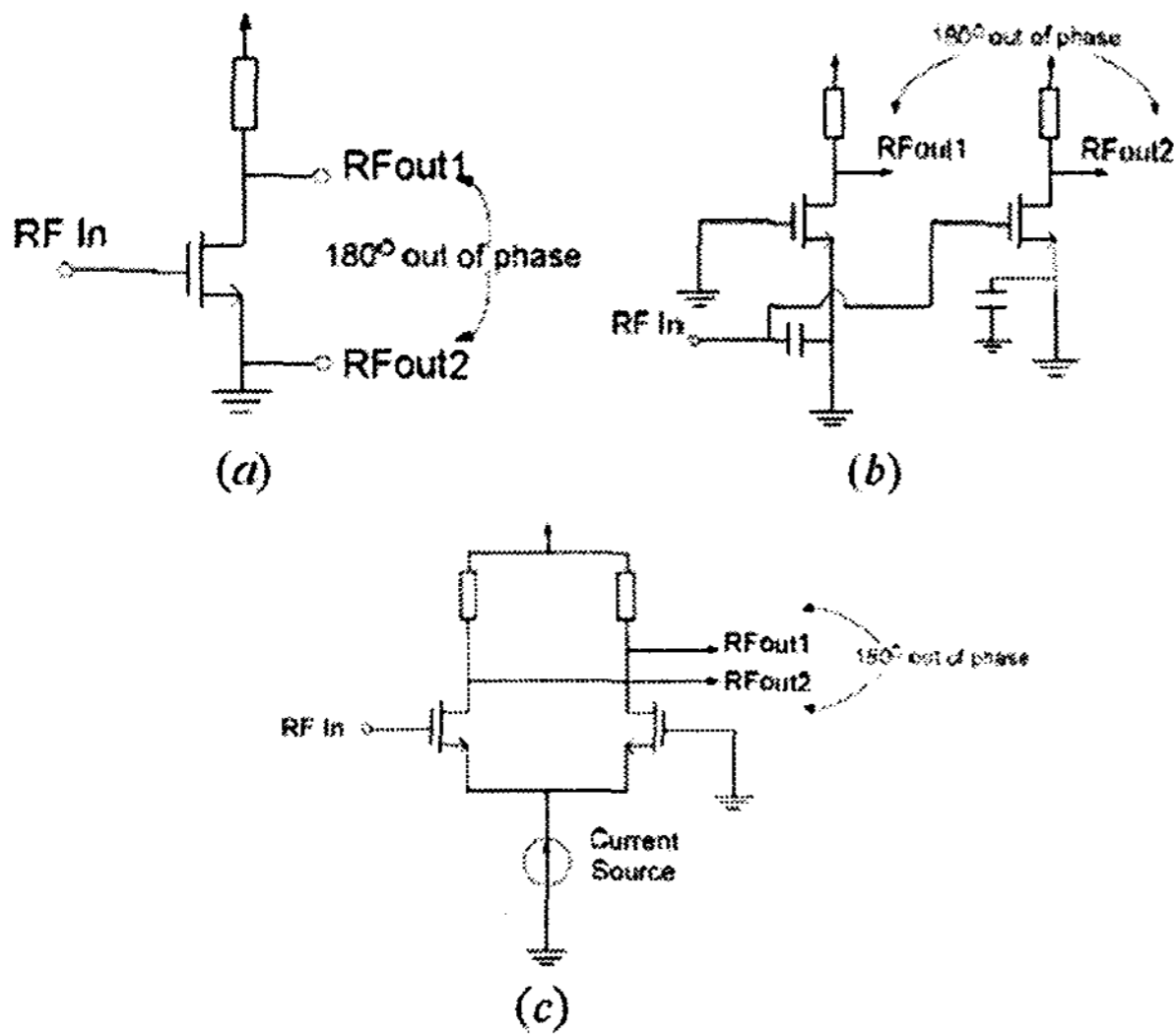


그림 2. 능동형 발룬의 topologies
Fig 2. Several active balun topologies

$$L_{FB} = \frac{1}{\omega^2 C_{FB}} \quad (1)$$

M1 트랜지스터의 drain단에서 M2 트랜지스터의 gate단으로 L, C series resonator로 피드백을 형성 하였다. 캐패시턴스가 주어 졌을 때 인덕턴스는 식(1)을 통해 계산할 수 있다. 설계된 회로 에서는 인덕턴스가 매우 작아 소자간 연결시 사용된 선로에서 발생하는 선로 인덕턴스를 통해 얻을 수 있으므로 회로에는 캐패시터만 연결 하여 설계 하였다. 설계시 필요한 인덕턴스를 선로 인덕턴스를 통해 얻을 경우 전체 balun의 크기를 줄일 수 있다. Differential pair를 형성하는 두 트랜지스터의 드레인에서 게이트단에 연결된 피드백은 신호의 loss 성분을 줄여주고 gain과 phase를 보상해주며 선형성을 향상 시킨다. Balun의 활용을 위해 설계 시 Input단과 output단의 임피던스는 50옴을 사용하였다[4].

2. Active balun Design

그림3은 설계된 Balun의 회로도 이다. Balun에 RF-input으로 unbalanced된 신호가 들어 오게 되면 동일 한 두 트랜지스터의 drain에 balanced 된 신호가 크기는 같으며 180°의 위상차를 가지게 되는 신호가 출력된다. 트랜지스터를 바이어스 시키기 위해 constant current-source가 사용하였다. Constant current-source는 트랜지스터로 구성된 회로에서 한 곳에서 Constant current-source를 사용하여 하나의 트랜지스터를 바이어스 시킴으로 인해 나머지 트랜지스터에도 바이어스가 가능하게 된다. 이 일정한 전류원을 구성하는 current mirror를 이용하여 gate단의 바이어스 전압을 결정하고 바이어스 회로를 구성 하였다. 또한 differential pair를 구성하는 M1과 M2 두 트랜지스터는 $V_{DS} > V_{GS} - V_t$ 로 일정한 증폭도를 유지하기 위해 saturation 영역에서 동작하도록 하였다. M1과 M2의 drain으로 들어오는 전류 I_D 는 source단에 연결 되어 있는 트랜지스터가 current source가 되어 $2I_D$ 의 전류가 걸리게 된다. 설계된

회로는 공급전압 1.8V에서 1.72mA의 전류를 소모하였다.

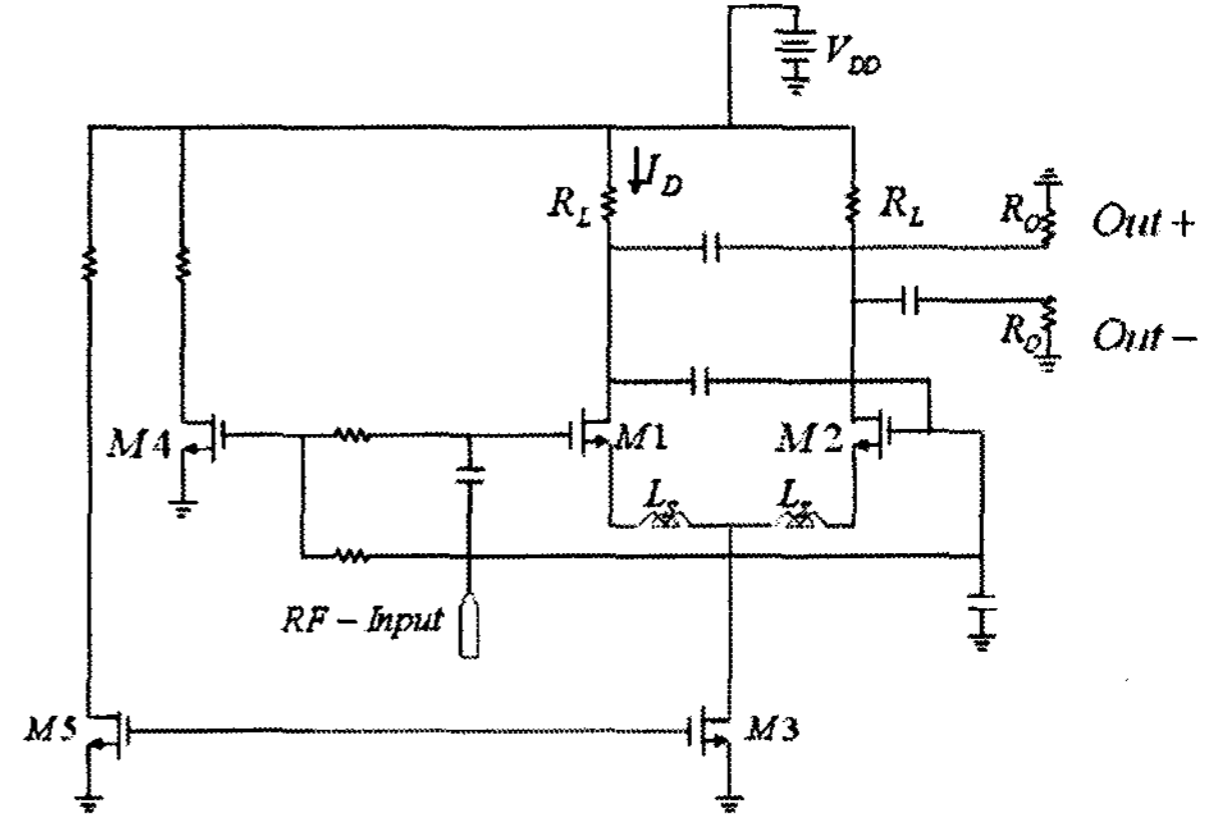


그림 3. 바이어스 회로가 포함된 능동형 발룬 회로
Fig 3. Active balun schematic with bias circuit

능동형 발룬의 두 출력 단의 주파수 변화에 따른 gain과 phase mismatch를 그림 4, 5에 나타내었다. gain은 -15dBm의 입력 신호가 들어왔을 때 두 출력 단에서는 각각 -4.391, -4.275dB가 출력되었다. 두 gain의 차이는 0.116dB이며 이는 time delay 및 소자의 loss로 인하여 발생한 것으로 사료된다. Phase 또한 두 출력단자에서 각각 163.918°, -16.609°가 출력되었으며 이때의 위상차는 180.527°이고 약 0.527°의 mismatch가 발생하였다. Phase에서의 mismatch는 고주파에서 인덕터나 캐패시터의 기생성분에 의해 값이 정확하지 않기 때문이라고 판단된다. gain과 phase의 mismatch는 balun의 설계목표인 두 출력간 크기차 ±0.5dB, 위상차 ±1°를 만족 함을 알 수 있다.

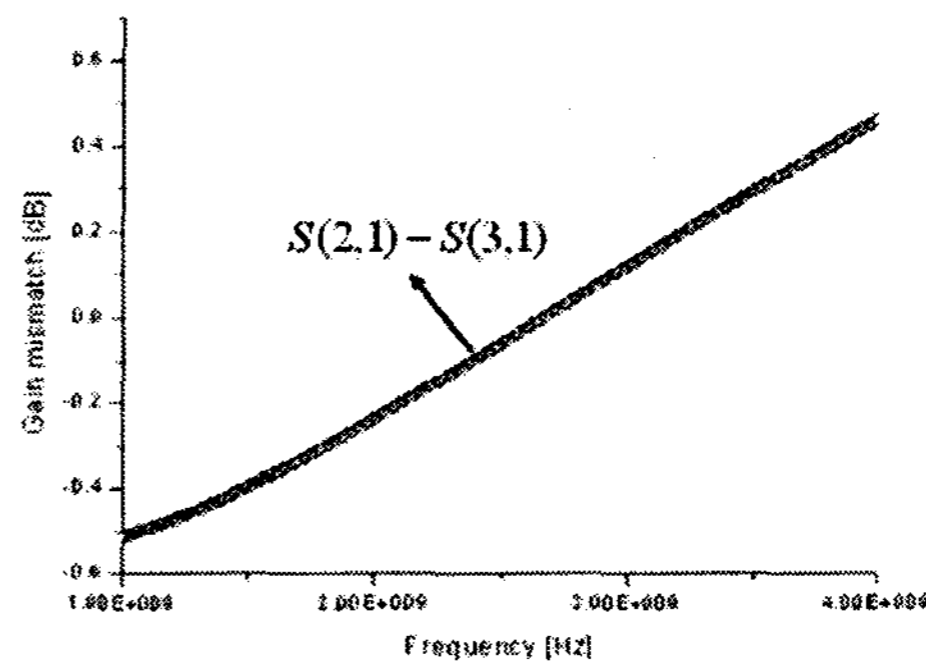


그림 4. 두 출력 단에서 gain mismatch
Fig 4. Gain mismatch of two output stage

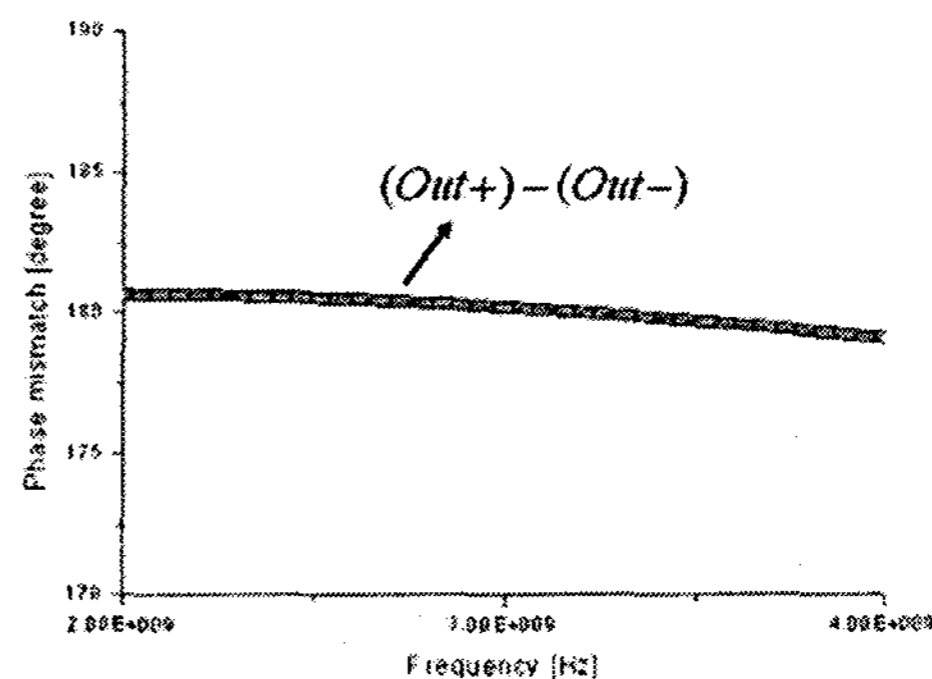


그림 5. 두 출력 단에서 phase mismatch
Fig 5. Phase mismatch of two output stage

그림 6는 두 출력 단자 Out+, Out-사이의 isolation 관계를 보여 주고 있다. 중심 주파수 2.45GHz에서 두 출력 단의 isolation은 -21.265dB로 출력 단자 사이의 coupling의 영향은 적음을 알 수 있다.

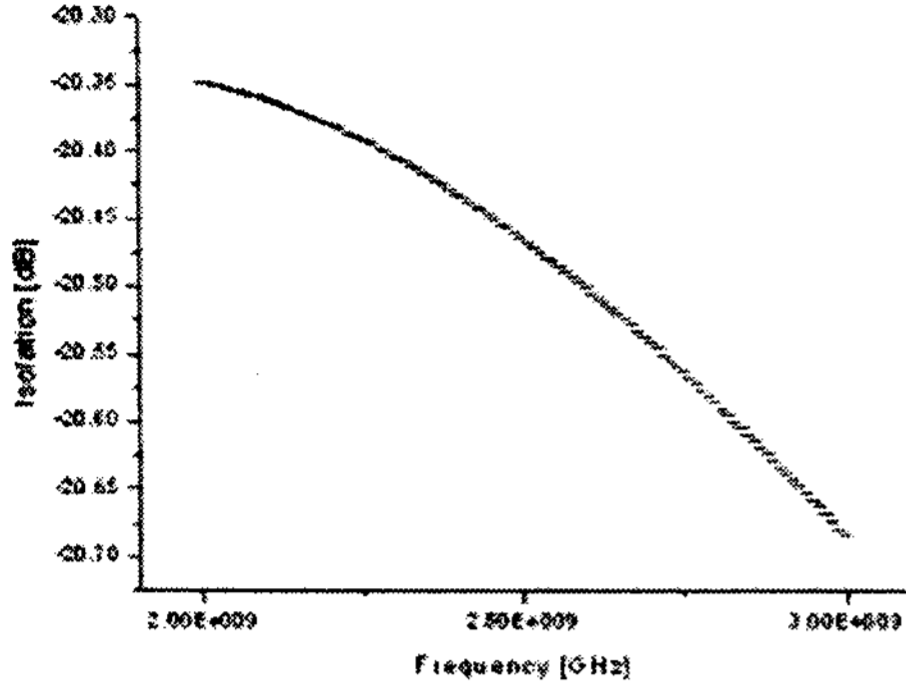


그림 6. 두 출력 단자 사이의 isolation
Fig 6. Isolation of two output

그림 7은 중심 주파수인 2.45GHz 대역에서 입력 전력 레벨을 -60dBm에서 10dBm까지 변화 시킬 때의 입·출력 전력관계를 나타낸 그래프이다. 전력 이득은 선형적이며, 1dB 이득 압축점은 입력 전력이 -15dBm일 때 두 출력 단에서 -6.201dBm, -6.121dBm으로 나타났다.

표1에 Active balun의 시뮬레이션 결과를 정리하였다.

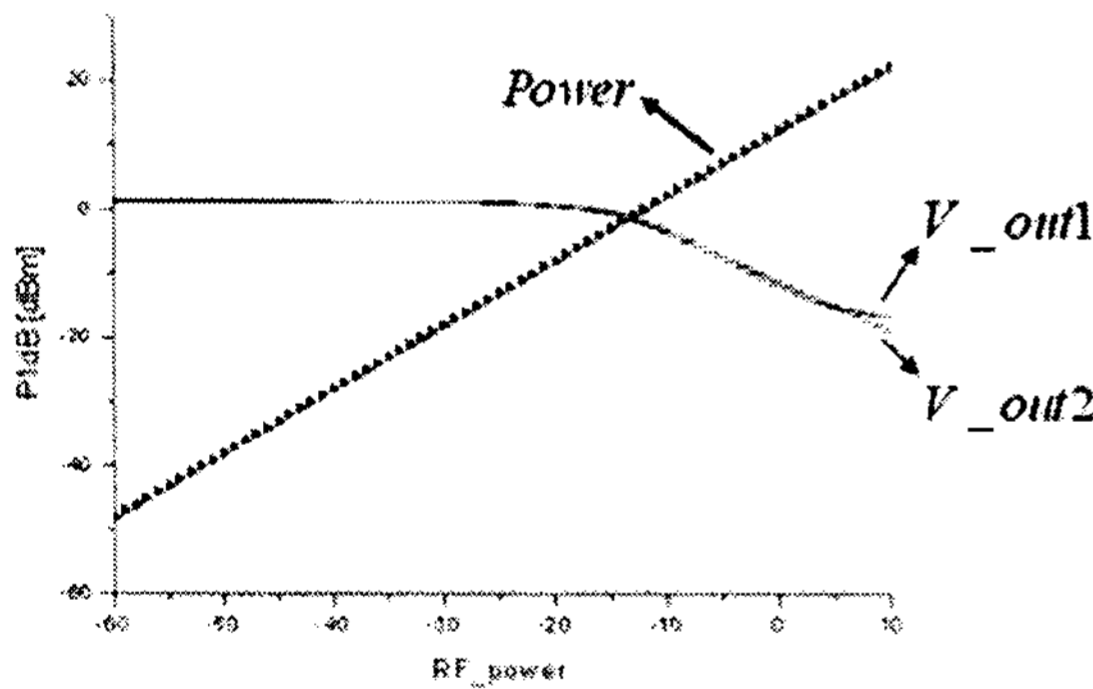


그림 7. Active Balun의 입출력 전력관계
Fig 7. Input and output power of Active balun

표 1. Active balun 시뮬레이션 결과
Table 1. Simulation result of Active balun

항목	단위	시뮬레이션 결과
Center frequency	GHz	2.45
Mismatch	Gain	0.116
	Phase	0.527
P1dB	Out+	-6.201
	Out-	-6.121
Isolation	dB	-21.265

3. On-chip 설계를 위한 Active Balun

RFID 리더의 receiver RF front-end에 적용하기 위해 Balun의 양단에 cascade LNA와 길버트 셀 구조의 double-balanced mixer를 연결할 수 있는 balun을 재구성 하였다. 연결된 각

소자는 TSMC 018um공정 소자를 사용 하였다. Double-balanced mixer의 RF 및 LO의 입력 임피던스를 구하고 난 후 balun의 두 출력 단의 임피던스와 맞게 balun의 출력 매칭단을 구성하였다. 이때 RF단과 연결되는 balun에는 중심주파수 2.45GHz에 -25dBm의 입력 신호를 넣었고, LO단에 연결되는 balun은 중심주파수 2.4499GHz와 0dBm의 신호를 입력하였다. LNA의 출력과 balun-mixer의 입력을 연결하기 위해 LNA의 출력 임피던스를 구한 후 balun-mixer의 입력 임피던스에 매칭단을 구성한다. 이때 LNA는 gain 및 성능향상을 위해 출력 매칭을 하지 않은 상태에서 출력 임피던스를 구하였다. LNA-Balun-Mixer를 시뮬레이션 해본 결과 gain은 35dB, IIP3는 4dBm정도가 나오는 것을 확인 할 수 있었다[5]. LNA-balun-mixer로 연결되는 cascaded stage에서 전체 Noise figure는 수식 (2)로 계산 할 수 있다[6].

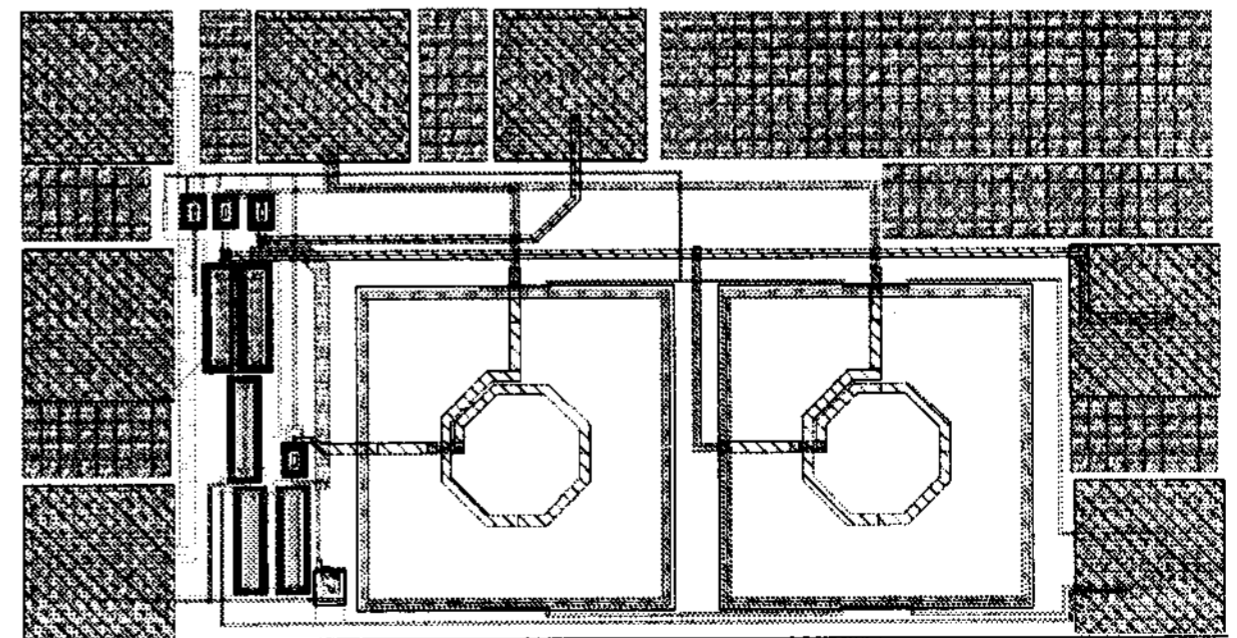
$$NF = 1 + (NF_1 - 1) + \frac{NF_2 - 1}{G_1} + \dots + \frac{NF_m - 1}{G_1 \dots G_{n-1}} \quad (2)$$

표2는 mixer의 RF와 LO에 연결되는 재구성한 balun의 각각의 gain 및 phase, 1dB 전력 압축점, isolation을 비교해 보았다.

표 2. RF 및 LO simulation 결과
Table 2. Simulation result of RF and LO output

항목	단위	RF	LO
Center frequency	GHz	2.45	2.4499
Mismatch	Gain	0.357	0.153
	Phase	0.582	0.829
P1dB	V_out1	-6.811	-6.803
	V_out2	-7.840	-7.831
Isolation	dB	-34.268	-33.962

그림 8은 설계된 Active balun의 레이아웃이다. Active balun을 On-chip에 적용하기 위해 TSMC 018um 공정을 이용하여 레이아웃 하였다. 레이아웃시 시뮬레이션 결과와 측정 결과 차이를 줄이기 위해 각 소자의 parasitic성분을 고려 하여 레이아웃 하였다. 크기는 0.72mm X 0.37mm이다.



III. 결론

본 논문에서는 중심주파수 2.45GHz에서 RFID Receiver RF front-end에 적용 할 수 있고 고주파 회로에서 신호의 왜곡을 줄이고 두 출력 신호의 Differential mode 동작을 위해 차동 증

폭기 구조를 사용 한 active balun을 설계 하였다. 두 출력 단자에서 이득 및 위상의 mismatch는 0.116dB, 0.057° 의 차이를 나타었으며 설계목표인 ± 0.5 , $\pm 1^\circ$ 를 만족하였다. 또한 On-chip제작을 위해 TSMC 018um공정을 이용하여 RF및 LO 입력단을 발룬과 연결할 수 있게 구성하였다. 본 논문의 결과를 활용할 경우 433MHz, 912MHz등의 주파수 대역에서의 RFID 리더용 RF front-end On-chip화에 개선된 진폭 차이 특성을 얻어 적용 할 수 있을 것으로 사료된다. 또한 비슷한 주파수 대역인 Wibro및 Wireless LAN, WCDMA등의 Receiver에서도 응용될 수 있을 것으로 판단되며, 추후 하나의 balun으로 다양한 주파수 대역에 적용 할 수 있는 광대역 balun에 대한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

[감사의 글]

본 연구는 2007년도 산학연 협소사업 과제의 지원에 의하여 이루어진 연구임.

참고문헌

- [1] Hsien-Ku Chen, J.R.Sha, Sung-Huang Lee "A Novel LNA-Mixer Design with On-Chip Balun," *IEEE ISCAS*, pp. 4971-4974, July, 2006.
- [2] 허재현, 구경현 "GPS 수신기용 Active balun의 설계," 마이크로파 및 전파학술대회 논문집, vol.21, pp.23-26, 1998. 9
- [3] Mallesh Rajashekharaiyah, Parag Upadhyaya, Deukyoun Heo, Emerry Chen "A New Controllable On-Chip Active Balun for 5GHz Direct Conversion Receiver," *IEEE ISCAS*, vol. 5, pp. 5115-5118, May. 2005.
- [4] Ta-Tao Hsu, Chien-Nan Kuo "Low Voltage 2-mW 6~10.6-GHz Ultra-Wideband CMOS Mixer With Active Balun" *IEEE ISCAS*, pp. 5704-5707, May. 2006
- [5] 임태서, 고재형, 김형석 "RFID에 적용 가능한 2.45GHz 대역 LNA-Mixer설계" 한국정보통신설비학회 하계학술대회, 2007. 8
- [6] Behzad Razavi "RF MICROELECTRONICS"



정 호 빈

2007년 상주대학교 전자전기공학부 졸업.
2007년~현재 중앙대학교 전자전기공학부 석사과정 중. 관심분야는 RFIC, transceiver, Active circuit.



임 태 서

2006년 중앙대학교 전자전기공학부 졸업. 2006년~현재 중앙대학교 전자전기공학부 석사과정 중. 관심분야는 RFIC, Active circuit.



김 형 석

1985년 서울대학교 전기공학 공학사
1987년 서울대학교 전기공학 공학 석사
1990년 서울대학교 전기공학 공학박사
1990~2002 순천향대학교 정보기술공학부 부교수. 1997~1998 R.P.I 미국 방문 교수. 2002~현재 중앙대학교 전자전기공학부 교수. 관심분야는 전자장 및 수치해석, RF 및 마이크로웨이브 소자 해석 및 설계, RFID 시스템 연구, IT-SoC응용 회로, 전력 IT



이 달 호

1982년 서울대학교 제어계측 공학사.
1984년 서울대학교 제어계측 공학석사.
1992년 서울대학교 제어계측 공학박사
1992~현재 경원대학교 전자공학과 교수.
관심분야는 영상압축, 비디오 처리