

# 디지털 수신기의 Dynamic Range 개선방안

황희근\*, 이영철\*\*

## Dynamic Range Improvement of Digital Receiver

Hee-Geun Hwang\*, Young-Chul Rhee\*\*

### 요 약

본 논문에서는 동작영역(dynamic range)을 고려하여 주파수 변환부에 높은 변환이득(conversion gain)과 선형성을 확보하면서 동시에 동작영역을 넓히는 설계방법을 제안하였다. 슈퍼헤테로다인 방식의 RF Front-End단에 능동혼합기(active mixer)를 적용하였으며, GaAs소자를 사용하였다. 회로구성은 설계가 용이하고 회로형태가 단순한 장점이 있는 드레인 혼합기로 구성하였으며, 수동 혼합기와의 동작영역을 비교, 분석하였다. 시뮬레이션 결과 약 2.4dB의 변환이득과 0.2dBm의 이득-압축점, 그리고 71.9dB의 동작 영역을 나타내었으며, 수동혼합기와 비교하였을 때, 약 6dB의 동작영역이 개선됨을 확인하였다. 측정결과로는 약 2dB의 변환이득과 -1.0dBm의 이득-압축점, 그리고 71.1dB의 동작영역을 확인하였다. 수동혼합기와 비교하였을 경우, 약 8dB의 동작영역이 개선됨을 확인할 수 있다.

### ABSTRACT

In this paper, In this paper, we consider a dynamic range in the frequency converter to obtain a high conversion gain and linearity while operating area proposed to broaden the design. Super-heterodyne RF Front-End style was applied to the active mixer stage, GaAs devices were used. Circuit design easy and simple forms benefit circuit is constructed in the drain mixer, passive mixer with the operating area were compared and analyzed. The simulation results of the conversion gain of 2.4dB and 0.2dBm about a gain-compression point, and showed the dynamic range of 71.9dB, when compared with passive mixers, dynamic range of approximately 6dB improvement was identified. Measurements of an approximately 2dB conversion gain and -1.0dBm of the gain-compression point, and confirmed that the active area of 71.1dB. When compared with passive mixers, dynamic range of is reduced by approximately 8dB has been improved.

**Keywords** : RF front-end, Dynamic range, Active/Passive mixer, Gain, Budget

### 1. 서 론

최근 RF 및 마이크로파의 모든 수신기들은 기

존의 아날로그 방식에서 벗어나 디지털 방식으로 전환하면서 기존의 아날로그 설계기법에서 RF-전단부의 각 모듈의 특성을 개선하여 수신기의 전반

\* 경남대학교 정보통신공학과 (hgg7059@naver.com)

\*\* 교신저자, 경남대학교 정보통신공학과

접수일자 : 2012년 05월 01일, 수정일자 : 2012년 05월 25일, 심사완료일자 : 2012년 05월 31일

적인 특성이 우수하도록 SDR(Software Defined Radio)을 적용하는 디지털 설계기법으로 변화하고 있다[1]. 디지털 수신기는 저잡음증폭기(LNA)로부터 시작되고 ADC (Analog to Digital Converter)로 이루어지며, 이는 RF Front-end단에서 입력 전력과 잡음의 제한하는 뿐만 아니라 요구사항들을 고려하고 ADC의 제한을 이해하는 것도 중요하다 [1-2].

디지털-RF 수신기의 성능을 좌우하는 동작영역(Dynamic Range)을 위한 요구사항이 아날로그부의 대역폭 증가에 따라 빠르게 커지고 있고, 동작영역의 범위가 작으면 작을수록 실제 통신 환경에서 수신기의 성능을 저하시키기 때문에 동작영역의 개선은 수신기 설계에 있어 항상 고려되어야한다 [3]. 디지털-RF 수신기에서 동작영역은 수신기의 선형성 및 고성능을 나타내는 중요한 지표가 되었으며, RF-전단부에서 기저대역의 정보를 추출하기 위하여 ADC로 끝나는 설계 방식으로 나타난다. 이에 따라 기존의 협대역이던 주파수 대역이 광대역화 됨에 따라 여러 채널을 한 대역에 전송하기 하는 데 있어서 선형성을 확보하고 동작영역을 향상시키는데 있어 방해되는 잡음지수, 혼변조, 그 외 스푸리어스 등의 비선형성들에 대해 분석하여 디지털-RF 수신기를 위한 동작영역의 개선방안의 필요성이 더해진다[4-6]. 디지털 수신기 설계에 있어 기존 대역에서의 보다 향상된 동작영역을 개선하기 위하여 가장 먼저 고려되어지는 부분이 저잡음증폭기와 혼합기이다. 잘 알려진 저잡음증폭기에서 잡음 증을 최소화시켜 동작영역을 개선하는 방법보다는 혼합기를 이용하여 동작영역을 개선하는 방안에 대해 분석되어야 한다. 혼합기는 능동소자와 수동소자를 이용하여 설계 할 수 있다. 수동 혼합기는 전압 전류 응답 특성에서 비선형성을 갖는 쇼트키 다이오드(Schottky Diode)를 이용하여 구현되나, 다이오드를 이용하여 구현된 혼합기는 특성이 수동적이므로 변환 손실을 갖게 된다. 그러나 GaAs MESFET를 이용한 혼합기를 구현하면 높은 변환 이득(Conversion gain)을 얻을 수 있고, 또 그 구조를 적절하게 변형하면 일반적인 수동 다이오드 혼합기에 사용되던 중간 주파수 증폭기를 생략할 수 있으며, 낮은 LO/RF 전력에서 혼합기를 동작 시킬 수도 있어 여러 측면에서 FET를 이용한

혼합기를 선호하고 있다[6-7]. 수동소자를 이용할 시에는 전력 공급이 없으므로 주파수를 변환하면서 이득(gain)을 만들어내지 못하므로, 입력전력보다 출력전력이 줄어드는 변환 손실(conversion loss)를 가지며, 능동소자를 이용할 시에는 DC전원을 요하고 비선형소자의 증폭현상이 일어나 주파수 변환시 출력전력이 더 커지기 때문에 변환 이득(conversion gain)을 가진다.[7]

본 논문에서는, 동작영역을 개선하기 위하여 두 가지의 혼합기 설계 방식을 바탕으로 수동혼합기, 능동혼합기를 제작하고 이득 값에 따른 동작영역 계산 값을 비교 하여 차이를 분석하였다. 그리고 RF front-end단을 설계하고 budget을 통한 각 모듈에 대한 시뮬레이션 결과 값을 제시하고, 실험 측정값과의 일치여부를 비교 분석 하였다.

## II. Dynamic Range를 고려한 수신기 구조 및 버짓 분석

### 2.1. 수신기 구조 및 Dynamic Range 개선 방안

RF front-end단은 그림1. 과 같이 송신기에서는 기저 대역 단에서 만들어진 신호를 상향 변환하여 고주파로 변환하며 수신기가 충분히 받아들일 수 있도록 전력증폭기를 사용하여 안테나로 보내게 된다. 수신기에서는 저잡음 증폭기를 사용하여 잡음을 최소화하는 동시에 송신기에서 보내온 미약한 신호를 증폭시키게 된다. 이후는 송신기와 반대로 주파수를 하향 변환하여 기저대역 신호로 보낸다.

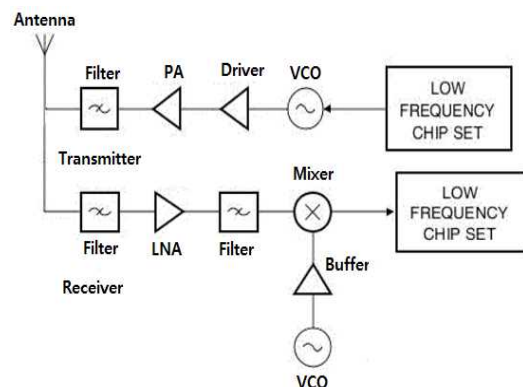


그림 1. RF 트랜시버 블록도  
Fig 1. Diagrams of RF Transceivers

디지털 RF front-end단은 일반적인 RF front-end단과 같은 개념이지만, 디지털 RF front-end단은 중간주파수 이후에 ADC를 통한 과정까지 모두 포함 할 수 있다. 즉, RF front-end단을 통한 주파수 변환과 디지털신호처리를 위한 변조과정을 모두 고려해야한다. 그림2. 는 디지털 RF front-end단의 수신기 구조로써 전력이득을 최대화하는 슈퍼헤테로다인 방식을 적용하였다. 동작영역은 RF front-end단과 ADC간의 상관관계를 통해 고려되어지며 주로 주파수 변환부인 아날로그 영역에 큰 영향을 미친다.

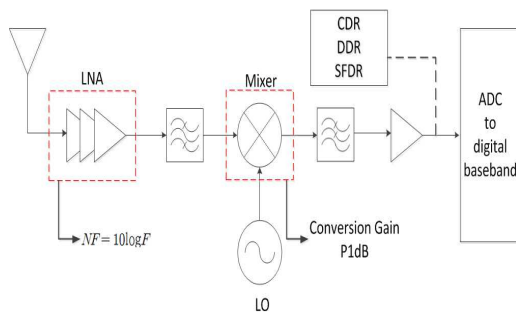


그림 2. Dynamic Range개선방안을 위한 구성도  
Fig 2. Diagram for Dynamic Range Improvement

디지털 RF Front-end에 대한 개선방안으로는 그림 2.와 같이 저잡음증폭기에서의 잡음지수와 혼합기에서의 변환이득 및 1-dB이득 압축점을 개선함으로써 수신기 전체에 대한 동작영역을 개선할 수 있다. 개선 방법으로는 저잡음증폭기 첫째, 저잡음증폭기에서의 동작영역 개선방안이다. 동작영역은 P1dB 및 대역폭 외에 잡음지수에 대한 파라미터 값이 더해진다. 이는 시스템 전체에 대한 잡음요소를 말하는 것으로, 디지털 RF Front-end의 동작영역을 개선하는데 중요한 파라미터이다. 시스템 잡음지수는 저잡음증폭기에서 결정된다. 저잡음증폭기의 잡음지수 개선방법으로 설계시 입력정합에서의 이득과 잡음간의 상관관계(Trade-off)를 통해 최소잡음지수를 가지는 임피던스점을 찾아 정합을 하게 됨으로서 이득에서 손실을 가지더라도 수신단 전체에 대한 잡음지수를 최소화한다. 둘째, 혼합기에서의 변환이득은 전체 수신기의 손실을 줄여줌으로써 저잡음증폭기의 이득부담이 줄어들고 RF FEM의 선형성을 높여주는 P1dB를 향상시

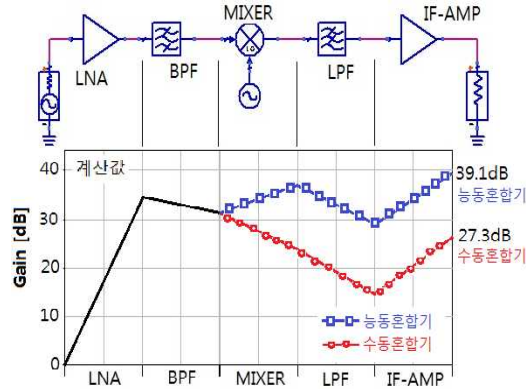


그림 3. 능동/수동 혼합기에 따른 Gain 비교  
Fig 3. Comparison of active/passive mixer according to gain.

킴으로서 동작영역을 개선한다. 혼합기는 변환손실을 가지는 수신혼합기대신 변화이득을 가지는 능동혼합기를 적용하였으며, 설계시 회로구성이 단순하고 설계가 간편한 드레인 혼합기를 설계하였다. 디지털 RF FEM은 제시한 두 가지의 동작영역 개선방법을 통해 원거리 송수신 효율을 향상시킨다.

### 2.2 RF Front-end단 버짓 분석

Budget 분석의 목적은 수신기 각 모듈의 스펙을 결정하는 것이다. budget은 민감도, 동작영역, 수신기의 전단부에 마지막 단에 있는 ADC 또는 제한 증폭기에서 요구되는 입력신호의 범위와 같은 주요 시스템 파라미터들에 따라 좌우된다.

동작영역은 민감도의 범위에서부터 최대로 검출할 수 있는 RF 입력 신호의 전체 범위로 정의한다. 수신기의 순서를 구성하고 다양한 수신기의 요구사항을 결정하기 위해 Link budget 분석을 주어진 기준으로 이용한다. 일반적으로 이득, 잡음지수, 필터링, 혼변조 성분, 입력 1dB 이득-압축점(1-dB Compression Point)을 포함한다. 그 중에서, 1-dB 이득-압축점을 이용한 측정방식을 CDR(1-dB Compression Dynamic Range)이라고 하는데, CDR은 1-dB 이득-압축점과 최소 수신 가능한 레벨간의 dB차이를 나타내는 측정방식이다. 그림6.은 Budget 회로도도와 능동소자와 수동 소자를 사용하였을 때 나타나는 이득을 비교한 그래프이다. 저잡음 증폭기와 대역필터를 통과할 때는 같은 이득을 가지지만, 혼합기에서 능동소자와 수동소자 사용에

대한 이득 값 차이를 나타내고 있다.

그림 3은 링크버짓을 계산하여 각 단의 성능에 대한 각 단의 이득 값을 다음과 같은 그림을 이용하여 나타내었다. 능동 혼합기와 수동 혼합기를 비교하였을 때, 능동 혼합기가 변환 이득을 가지므로 이득값이 커지는 결과를 얻었다.

그림4는 그림3과 같은 방법으로 동작영역을 표시한 그래프이다. Budget 회로도를 기준으로하여 레퍼런스 레벨을 100dBm로 정한 뒤 동작영역을 계산하였다.

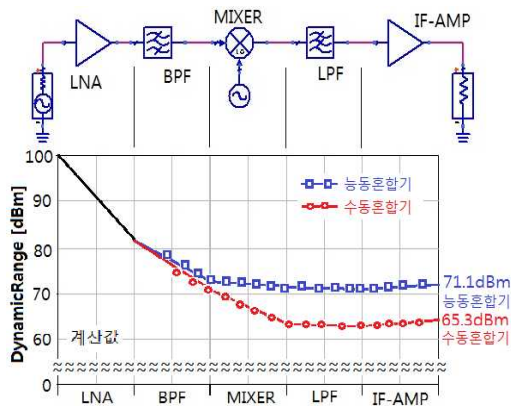


그림 4. 능동/수동 혼합기에 따른 CDR 비교  
Fig 4. Comparison of active/passive mixer according to CDR

### III. RF Front-end단의 능동/수동 소자에 따른 Mixer 설계 및 성능비교

RF front-end단의 수신기설계에 있어 전력이득을 최대화하는 슈퍼헤테로다인 방식을 적용하였고, 동작영역을 개선하기 위해 먼저 고려되어야 할 저잡음 증폭기와 혼합기 중에 혼합기에서 능동/수동 소자를 사용하여 그에 따른 성능을 비교하고 분석하였다. 최소감지신호(Minimum-Detectable Signal : MDS)는 수신기에서 받아들이는 전력의 최소값을 의미하며, 전력값을 식으로 나타내면 다음 식(1)과 같다. -174dBm은 열잡음을 나타내며, BW는 측정 대역폭, NF는 수신기의 잡음지수를 나타낸다.

$$MDS = -174(dBm) + 10\log BW + NF \quad (1)$$

식 (2)는 식(1)의 최소감지신호의 전력값에 1dB

이득압축점( $P_{1dB}$ )의 차를 나타낸 것으로, 동작영역을 나타내는 식이다.  $P_{ic}$ 는 이득 압축점을 말한다.

$$P_{ic} = 174 - \log_{10} BW - NF \quad (2)$$

식 (2)에 시뮬레이션 결과값을 대입하면 아래의 식(3)과 (4)와 같이 각각 71.9dB와 65.8dB의 동작영역을 얻을 수 있으며, 두 혼합기의 동작영역의 차이는 약 6dB이다.

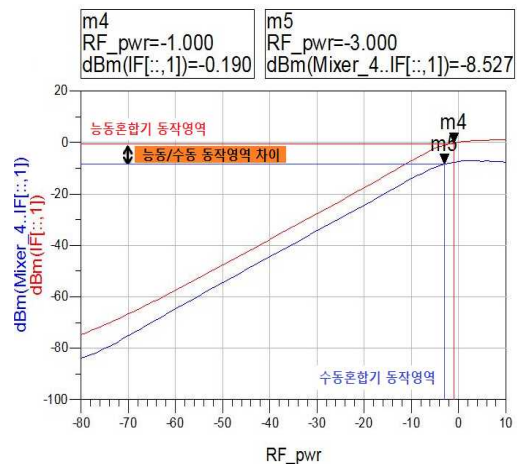


그림 5. 혼합기 이득-압축점 ( $IP_{1dB}$ ) 및 동작영역  
Fig 5.  $IP_{1dB}$  and Dynamic Range of Mixer

그림 5.은 능동 및 수동 혼합기의  $P_{1dB}$ 와 동작영역을 나타내었다. 능동혼합기의 동작영역이 수동 혼합기의 동작영역보다 더 넓은 것을 확인할 수 있으며, 능동 혼합기가 받아들일 수 있는 입력전력이 수동 혼합기 보다 약 2dB 높은 것을 알 수 있다.

$$CDR = -0.2 + 174 - 90 - 11.9 = 71.9dB \quad (3)$$

$$CDR = -8.5 + 174 - 90 - 9.7 = 65.8dB \quad (4)$$

그림 6.는 설계 제작된 혼합기의 이득-압축점 ( $P_{1dB}$ )를 측정한 결과이며, 표 1.은 측정결과를 정리하여 나타낸 것이다. 측정결과 능동혼합기의  $P_{1dB}$ 가 수동혼합기 보다 약 8dBm 높은 것을 알 수 있다. 식(5)와 (6)은 측정결과에 대한 동작영역을 계산하여 나타낸 것이며, 약 4dB의 동작영역이

개선됨을 알 수 있다.

$$CDR = -1.0 + 174 - 90 - 11.9 = 71.1dB \quad (5)$$

$$CDR = -9.0 + 174 - 90 - 9.7 = 65.3dB \quad (6)$$

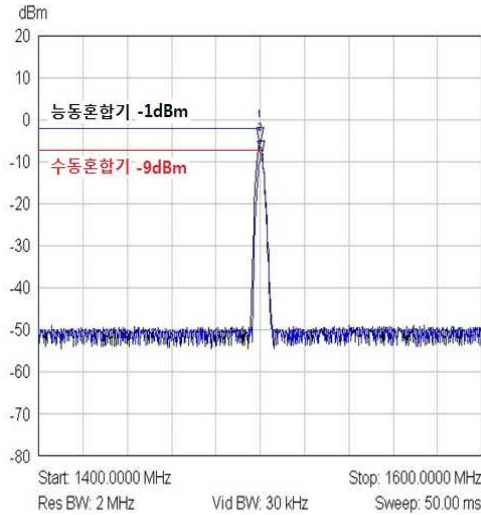


그림 6. 혼합기 이득-압축점 ( $IP_{1dB}$ ) 측정결과  
Fig 6. Measurements of Mixer  $IP_{1dB}$

표1. 은 측정된  $P_{1dB}$ 를 기준으로하여 능동소자와 수동소자의 측정값과 시뮬레이션 결과 값을 나타내었다. 시뮬레이션 결과와 측정결과의  $P_{1dB}$  값은 약간 차이가 있지만, 능동소자를 이용하여 설계한 혼합기의  $P_{1dB}$  값이 높다는 것을 확인한 차이에 의해 쉽게 알 수 있다.

구분	혼합기	$P_{1dB}$
측정결과	Active	-1.0dBm
	Passive	-9.0dBm
시뮬레이션 결과	Active	+0.2dBm
	Passive	-8.5dBm

표 1. 혼합기  $P_{1dB}$  비교  
Table 1. Comparison of Mixer  $P_{1dB}$

그림 7.은 혼합기의 변환이득(Conversion Gain: CG) 측정결과를 나타낸 것이며, 능동혼합기의 경

우 수동혼합기 보다 약 8dB 높은 변환이득을 가지는 것을 확인 할 수 있다. 즉, 수동혼합기보다 8dB의 손실을 줄일 수 있게 된다.

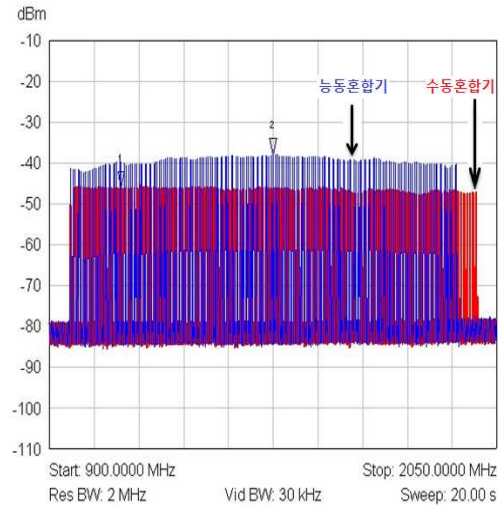


그림 7. 혼합기 변환이득 측정결과(Pin@-40dBm)  
Fig 7. Measurements of Mixer Conversion gain

표2.는 수동/능동 소자에 따른 변환이득을 비교해 놓은 표이다. 설계 Tool을 이용하여 시뮬레이션 한 결과는 능동소자 2.35dB, 수동소자가 -4.35dB이 었지만, 설계한 혼합기를 제작하여 측정 한 결과는 능동소자 3.84dB, 수동소자 -6.16dB로 약간 차이가 있다. 이를 표를 이용하여 간략히 나타내었다.

구 분	혼합기	$P_{out}$ (1F)	변환이득
측정결과	Active	-36.16dBm	+3.84dB
	Passive	-46.16dBm	-6.16dB
시뮬레이션 결과	Active	-37.64dBm	+2.36dB
	Passive	-44.35dBm	-4.35dB

표 2. 혼합기 변환이득 비교(Pin@-40dBm)  
Table 2. Comparison of Mixer Conversion gain

그림 8.은 능동혼합기와 수동혼합기를 적용하여 제작한 RF front-end단 모듈의 모습을 보여주

고 있다.

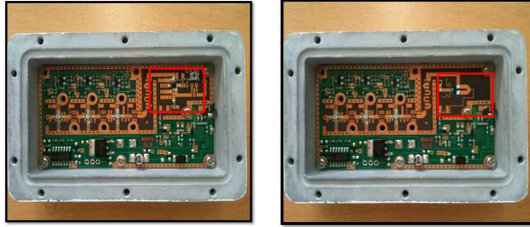


그림 8. 능동혼합기(좌)와 수동혼합기(우)를 적용한 RF front-end 모듈.  
Fig 8. An active mixer(left) and passive mixer(right) applying Rf front-end modules.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 수신기의 디지털화에 맞춰 가장 먼저 고려되어야 할 동작영역에 대한 개선방안과, 수신기의 RF Front-End단의 주파수 변환부에 능동혼합기를 활용한 설계방법을 제안하였다. 혼합기는 회로형태가 단순한 드레인 혼합기로 구성하였으며, 수동 혼합기와 동작영역에 대해 비교해보았다. 변환이득을 높여 저잡음 증폭기의 전력이득에 대한 부담을 줄여 RF front-end단의 손실을 최소화 하였으며, 혼합기의 선형성을 확보하기 위해  $P_{1dB}$ 를 높였다. 시뮬레이션 결과 약 2.4dB의 변환이득과 0.2dBm의 이득-압축점, 그리고 71.9dB의 동작 영역을 나타내었으며, 수동혼합기와 비교하였을 때, 약 6dB의 동작영역이 개선됨을 확인하였다. 측정결과로는 약 2dB의 변환이득과 -1.0dBm의 이득-압축점, 그리고 71.1dB의 동작영역을 확인하였다. 수동혼합기와 비교하였을 경우, 약 8dB의 동작영역이 개선됨을 확인할 수 있다.

#### 참 고 문 헌

[1] .P. Ligthart, H. Peikang, Lu, Weining, "Design Considerations of the RF Front-End for High Dynamic Range Digital Radar Receivers", Radar and Wireless Comm. International Conf. 2008, pp.1-4, May, 2008.  
[2] Zhijian Li, L.P. Ligthart, Peikang Huang,

Weining Lu, W.F. van der Zwan, "Trade-off between Sensitivity and Dynamic Range in Designing Digital Radar Receiver", 2008 ICMMT, April 2008.  
[3] Y.S. Poberezhskiy, "On Dynamic Range of Digital Receivers", IEEE Aerospace Conf., pp.1-17, 2007.  
[4] Robert E. Watson, "Receiver Dynamic Range : Part 1", WJ Tech-notes, Vol14, No1 January/February 1987.  
[5] Robert E. Watson, "Receiver Dynamic Range : Part 2", WJ Tech-notes, Vol14. No.2 March/April 1987.  
[6] Preston F. Marshall, "Dynamic Spectrum Management of Front End Linearity and Dynamic Range", New Frontiers in Dynamic Access Networks, 2008. 3<sup>rd</sup> IEEE Symposium on, pp.14-17 Oct. 2008  
[7] Janine Sullivan Love, RF FRONT-END WORLD CLASS DESIGN, Newnes, 2009

---

#### 저자약력

---

#### 황 희 근(Hee-Geun Hwang)



2012년  
경남대학교 정보통신공학과  
졸업 (공학사)  
  
2012년 ~ 현재  
경남대학교 대학원 첨단공학과 석사과정

<관심분야> 능동소자 설계 및 응용, LNB

이 영 철(Young-Chul Rhee)



1981 ~ 현재  
경남대학교  
정보통신공학과 교수

<관심분야> 능동소자 설계 및 응용,  
반도체 레이더 시스템