

## 4 포트 BPSK 수신기에서 LO 전력의 수신 성능에 대한 영향

조익균\*, 이문규\*\*  
 서울시립대학교\* 서울시립대학교\*\*

### LO power effect on the performance of the 4-port BPSK receiver

Ik-Kyun Jo\*, Moon-Que Lee\*\*  
 University of Seoul\*, University of Seoul\*\*

**Abstract** - 본 논문에서는 BPSK 수신을 위한 덧셈(sum) 방식의 4-port 직접 변환 수신기를 제안하고, 국부 발진기(LO) 전력의 크기에 대한 수신기의 성능을 분석하였다. 수신 성능 분석에는 열잡음, 전력 검출기의 산탄(shot) 잡음, LO의 위상 잡음을 고려하였다. 수신 성능 분석 결과 최적의 신호대 잡음비를 보이는 최적의 LO 전력이 존재할 수 있음을 보였다.

#### 1. 서 론

최근 무선 통신 기술에 대한 그 수요가 급속히 확대 되면서 각 수요에 맞는 새로운 표준과 프로토콜이 대두되고 있다. 또한 이렇게 다양한 표준과 프로토콜이 나오게 됨에 따라 그에 따른 시스템을 다시 구성하기 보다는 새로운 기준에도 적용 가능한 즉 시스템을 재구성 가능한 SDR의 기술이 필요하게 되었다.<sup>[1]</sup>

SDR을 구성하는 요소 중에서 RF가 차지하는 영역을 살펴보면 광대역 증폭기, 광대역 안테나 등이 있다. 특히 안테나를 통해 들어온 신호를 기저영역으로 낮춘 다음부터는 디지털의 개념으로 신호를 처리하게 되므로 안테나에서 IF 영역까지가 RF 영역에서의 주된 쟁점이 된다.

이에 RF 에서는 1960년대에 제시된 6 포트 구조를 이용하여 수신기로 사용을 한다. 6 포트 구조를 이용한 수신기는 마이크로파 믹서를 사용하지 않은 직접변환방식의 수신기이다. 이와 같은 6 포트 구조의 수신기는 광대역 특성, 저전력 소모, 소프트웨어에 의한 재구성 등의 특징을 가지고 있기 때문에 위에서 언급한 SDR에 맞는 구조라고 할 수 있다.<sup>[2]</sup> 6 포트 구조의 수신기는 기준이 되는 신호를 다섯 번째 포트나 여섯 번째 포트를 이용하여 구성하고 이를 이용해 QPSK 나 벡터 신호의 수신이 가능하다. 하지만 BPSK와 같은 그 변조가 간단한 신호의 경우에는 보다 간단한 구조의 수신기 구성을 4 포트를 이용하여 할 수 있다.<sup>[3]</sup>

본 논문에서는 직접변환 수신기에서 LO 신호의 크기가 수신 성능에 주는 영향을 분석하고 가장 최적화 된 LO 신호를 정의하는데 초점을 두고 있다. 그렇기 때문에 6 포트 보다 그 구성이 간단한 4 포트 구조를 이용한 수신기를 제시하였다. 4-포트 링 하이브리드 BPSK 수신기에서 LO 신호의 파워를 측정하기 위해서 power detector를 HSCH-9161 다이오드를 이용해 구성하였고 이를 모델링 하여 시뮬레이션에 적용시켰다.

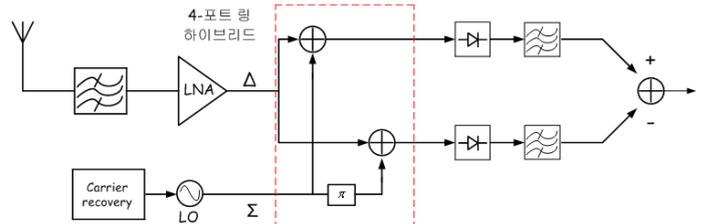
#### 2. 본 론

##### 2.1 4-포트 BPSK 수신기

본 절에서는 논문의 simulation에 사용한 덧셈 방식의 4 포트 BPSK 수신기의 구조와 구동 이론에 대해 나타내었다.

##### 2.1.1 4 포트 수신기의 원리

<그림 1>은 본 논문에서 제안하는 덧셈 방식의 4포트 BPSK 수신기의 블록도를 보여주고 있다. 제안한 방식은 기본적으로 LO와 RF의 위상 동기를 하는 coherent 방식의 직접 변환 방식이다. 기존의 mixer 방식은 LO와 RF의 신호의 곱에 의해 직접 변환되는 방식인데 반해, 제안한 방식은 입력 RF와 LO의 신호를 더한 다음 전력 증폭기에 의해 신호를 검출하는 방식이다. BPSK의 경우 LO가 0도와 180도로 분기되어 RF 신호와 더해지기 때문에 RF와 LO가 동기 되는 coherent 방식에서 RF의 위상 정보를 추출할 수 있다. 그림1에서 덧셈 기능은 링-하이브리드나 IC로 구현이 가능하다. 전력 검출기는 쇼트키 다이오드를 이용하여 구현할 수 있다. LO의 위상 변화는 발룬이나, 차동 발진기로 구현이 가능하다. 본 논문에서는 <그림 1>의 안테나 뒷단의 필터를 사용하지 않고 LNA의 이득은 0dB 로 두었다.



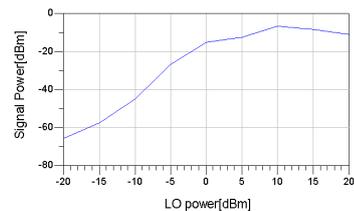
<그림 1> 제안한 4-port BPSK 수신기 블록 다이어그램

기존 구조에서는 믹서가 LO에 대해 스위칭 동작을 하므로 0dBm 이상의 전력이 요구되는데 반해, 제안한 구조는 RF 전력 정도의 작은 전력으로 동작할 수 있다. 본 논문에서는 제안한 BPSK 복조기가 LO 전력에 따라 기저대역에서의 신호대 잡음비가 변할 수 있음을 보이고 최적의 복조 성능을 위한 LO 전력의 크기를 구하고자 한다.

또한 위의 4포트 수신기의 일반 구조를 확장하면 6 포트 구조가 되어 일반적인 vector 복조가 가능하게 된다.<sup>[4]</sup>

위의 구조에서 같은 크기를 가지는 두 신호가 합(sum) 포트와 차(difference)포트로 인가 될 때 두 신호의 위상차가 0도 이면 포트 1에 두 입력의 합이 나타나고 포트 4는 0의 값을 나타내게 된다. 이와 반대로 위상차가 180도 인 두 신호가 인가되면 포트 4에 두 신호의 합이 나오고 포트 1에 0의 값이 인가 되게 된다. 따라서 두 개의 출력 단자를 통해 나온 값을 비교해 줌으로써 송신된 신호의 데이터를 알 수 있게 된다.<sup>[5]</sup> 즉 차(difference) 포트에 Rx 신호를 인가하고 합(sum) 포트에 LO 신호를 인가함으로써 <그림 1>의 구조를 시뮬레이션 하였다.

##### 2.2 LO 전력에 대한 수신 전력 크기



<그림 3> LO 전력에 대한 수신 전력 크기

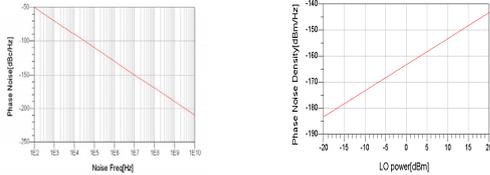
<그림 3>은 수신부의 인가신호의 크기 -40 dBm을 LO 전력을 변화시킬 때 수신된 신호의 크기를 나타낸다. 수신된 신호는 LO 전력의 크기가 커짐에 따라 증가하는 것을 볼 수 있다. 하지만 0 dBm 근방을 기점으로 그 크기가 감소함을 알 수 있다. 이는 LO 전력의 크기가 증가함에 따라 위상잡음과 수신부에서 사용한 파워 검출기의 다이오드에서 발생하는 산탄 잡음에 의해 수신 신호가 제한을 받기 때문이다. 다음 절에 수신 성능에 영향을 미치는 잡음에 대해서 나타내었다.

##### 2.3 4-port 에서의 잡음(Noise)

<그림 1>의 수신기의 구조를 ideal한 조건에서 보면 잡음의 영향은 세 부분에서 생각해 볼 수 있다. 우선 LO 신호에서 발생하는 위상잡음이 있다. LO 신호의 크기가 작을 때에는 크게 영향을 미치지 못하지만 LO 신호의 크기가 커짐에 따라 위상잡음의 크기가 커져서 수신 신호에 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 다음으로 파워 검출기의 다이오드에서 발생하는 산탄 잡음을 들 수 있다. 산탄 잡음은 PN 다이오드의 PN

junction에 전류가 흐를 때 발생하는 잡음으로서 이 역시 LO 신호의 크기가 커져서 다이오드에 흐르는 전류가 증가하게 되면 그 영향이 커짐을 알 수 있다. 마지막으로 시스템의 존재하는 저항에 의해 발생하는 열잡음을 들 수 있다. 본 절에서는 위에서 언급한 잡음에 대해서 시뮬레이션하여 각 잡음이 수신성능에 미치는 영향을 분석하였다.

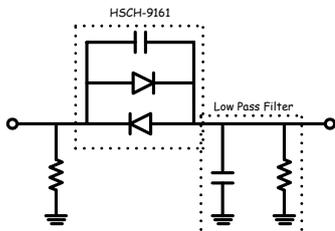
**a) 위상잡음**



(가) 주파수에 따른 위상잡음밀도 (나) LO 신호에 따른 위상잡음밀도  
**<그림 4> LO 신호의 위상잡음밀도**

본 논문에서는 <그림 4>에 나타난 위상잡음을 첨부시켜서 시뮬레이션 하였다. 각 주파수에 따라서 -20 decade/Hz의 감쇄의 특성을 가지도록 설정하였다. <그림 4>의 왼쪽 그림은 주파수에 따른 위상잡음을 나타내었고 오른쪽그림은 LO 신호의 크기에 따라 시스템에 인가되는 실제 위상잡음밀도 그래프를 나타내었다. 오른쪽의 그래프는 왼쪽 그래프에 LO 신호의 Carrier(2.45GHz)를 곱하고 적분하여 구하였다.

**b) 산탄(shot) 잡음**

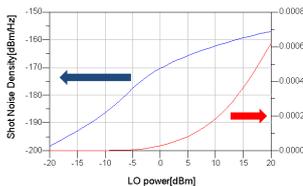


**<그림 5> 다이오드 등가모델**

<그림 5>은 본 논문에서 사용한 파워 검출기인 HSCH-9161을 시뮬레이션을 위해 구성한 등가모델이다.<sup>[6]</sup> 파워 검출기는 PN 다이오드로 구성되어 있기 때문에 다이오드에 흐르는 전류에 의해 산탄 잡음이 발생한다. 이는 아래의 <수식 1>로 나타낼 수 있다.

$$S(f) \approx 2qI_{DC} \quad \text{<수식 1>}$$

<수식 1>을 바탕으로 HSCH-9161 다이오드에 입력파워를 -20 dBm에서부터 20dBm으로 인가시키면서 그에 따른 출력부의 전류 변화와 그때의 산탄 잡음의 밀도를 아래의 <그림 6>에 나타내었다.



**<그림 6> LO의 크기에 따른 다이오드의 산탄 잡음밀도(파란선) 과 전류곡선(빨간선)**

<그림 6>에서 보는 것과 같이 LO 신호의 크기가 증가하여 DC 전류가 커지면 다이오드에 의해 발생하는 산탄 잡음이 커지는 것을 볼 수 있다. LO 신호의 크기가 작을 때는 열잡음 레벨 보다 작을 크기로 영향을 크게 못 미치지만 LO 신호의 크기가 증가함에 따라 그 크기가 커짐을 볼 수 있다.

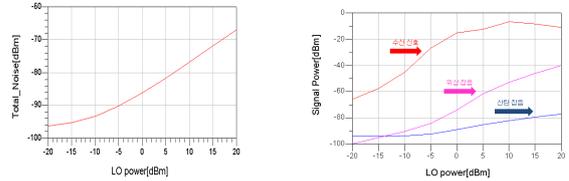
**c) 열 잡음**

마지막으로 열잡음에 의한 노이즈를 생각해 볼 수 있다. 이를 <수식 2>에 나타낼 수 있다.

$$n_0 = 4kT \quad \text{[dBm/Hz]} \quad \text{<수식 2>}$$

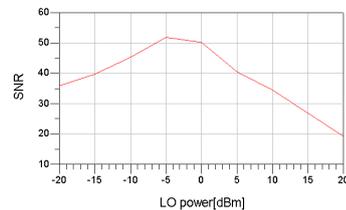
여기서 k는 볼츠만 상수  $1.38 \times 10^{-23}$  이고 T는 상온 290K로 놓았다. 위 수식을 토대로 보면 -173.9 dBm/Hz의 잡음을 가지는 것을 볼 수 있다.

**2.4 LO 전력에 대한 SNR의 변화**



(가) 시스템의 전체 잡음 (나) LO power에 따른 신호와 잡음의 크기  
**<그림 7> 수신부에서의 LO power에 따른 신호와 잡음의 크기**

Noise Bandwidth를 100MHz로 놓고 시뮬레이션을 하였을 때의 시스템 전체의 잡음의 크기를 <그림 7>의 왼쪽에 나타내었다. 오른쪽 그림은 잡음을 위상잡음(빨간색)과 열잡음과 산탄잡음의 합(파란색)으로 구분하였다. -10 dBm의 LO 신호를 기점으로 위상잡음이 산탄 잡음 보다 커지는 것을 볼 수 있고 0 dBm을 기점으로 산탄 잡음이 점차 증가되는 것을 볼 수 있다.



**<그림 8> LO power에 따른 SNR 그래프 (input : -40dBm, noise bandwidth : 100 MHz)**

<그림 8>을 보면 수신 성능을 볼 수 있다. LO power가 증가하면 수신부에서의 수신 성능은 LO power에 비례해서 향상된다. 하지만 LO power가 증가하게 되면 <그림 6>에 나타난 것처럼 다이오드의 shot noise가 증가하게 되어 전체 잡음이 증가하게 된다. 그래프에서 보면 LO power -40dBm에서부터 shot noise의 증가 그래프가 커지는 것을 볼 수 있고 이는 <그림 8>에서와 같이 SNR의 감소를 가져오게 된다. 즉 shot noise의 영향으로 수신 성능이 감소하게 된다.

**3. 결 론**

본 논문에서는 시스템에서 존재하는 잡음을 세 가지로 나누고 각 잡음이 수신부의 LO신호의 크기가 증가함에 따라 변화하는 과정을 보았다. 그리고 이에 따른 수신 성능을 분석하였다. 수신 신호는 LO 신호의 크기가 증가함에 따라 증가하지만 증가되는 LO 신호의 크기는 위상잡음과 산탄 잡음을 증가 시켜서 전체 수신 성능을 감소시킨다. 즉 적당한 크기의 LO 신호가 존재하고 이에 수신 성능을 최적화 시킬 수 있다.

**감사의 글**

본 논문은 2006년도 서울시 산학연 신기술 연구개발 지원사업의 지원으로 연구되었습니다.

**[참 고 문 헌]**

[1] SDR Forum, www.sdrforum.org  
 [2] Peter B. Kenington, "RF and Baseband Techniques for Software Defined Radio", Norwood MA, 2005.  
 [3] 조익근, 이요셉, 나원, 이문규, "낮은 LO 전력 구동특성을 갖는 4-port 직접변환 수신기", KEES, 2007.  
 [4] 삼성전자 특허 2월 출원  
 [5] David M. Pozar, Microwave Engineering, third Edition, Wiley  
 [6] Agilent HSCH-9161 Zero Bias Beamlead Detector Diode Data Sheet, Agilent Technologies, March 2002, 5988-6209EN.  
 [7] A. Van der Ziel, "Noise in solid state devices and circuits." John Wiley & Sons, 1986  
 [8] Sebastian M. Winter, Henning J. Ehm, Alexander Koelpin, and Robert Weigel "six-port receiver local oscillator power selection for maximum output SNR" IEEE, 2008.