

저전력 근거리 통신을 위한 재생 수신기

Super-Regenerative Receiver for low power consumption and short range wireless communication

송준, 박성민, 김기훈, 이문규

Jun Song, Sung-min Park, Ki-hun Kim, and Moon-Que Lee.

Abstract - A super-regenerative receiver is designed and tested at 433 MHz ISM band. The designed receiver has the data rate of up to 200 kbps and a power consumption of 10 mW. We carried out the system performance test for the TX power of 0.1 mW and 1 m distance. The result of the bit-error rate test shows one bit error among the 4000 bits.

Key Words : Super-regenerative, Receiver, Low power, Short range, Ubiquitous

1. 장 서론

현재 일반 단말기에 가장 일반적으로 채택되고 있는 통신 구조인 헤테로다인(Super-Heterodyne)방식은 우수한 성능을 가지지만 다단계 주파수 변환과 이에 따른 많은 부가적인 요소(예 : Mixer, VCO, PLL)들을 사용하므로 저전력 동작에 적합하지 않다. 또한 장거리 무선 통신에 있어서는 높은 이득과 선택도로 인해 원거리에서 여러개의 채널을 동시에 사용하는 경우 큰 장점을 갖지만, 근거리 환경에서 1:1 통신인 경우 오버헤드로 큰 장점이 되지 않는다.

반면 Super-Regenerative Receiver[1]는 근거리에서 이용할 때 장점이 있다. Super-Regenerative Receiver는 시스템의 단순성(simplicity) 측면에서 볼 때 다른 구조들보다 우수하며 작동방식 또한 Quench 신호에 따라 일정시간 꺼지기 때문에 저전력으로 구현 할 수 있다.

본 논문에서는 근거리 통신을 위한 저전력 무선 송수신기 연구에 초점을 두고 433 MHz ISM 대역의 Super-Regenerative Receiver에 관한 연구를 하였다. 그리고 Super-Regenerative Receiver를 제작 측정하여, 수신기의 성능을 평가하였다.

본 논문은 다음과 같은 순서로 구성되어 있다. 2장에서 Super-Regenerative Receiver에 관한 소개와 구현을 위한 이론을 소개하였다. 3장에서는 2장의 내용을 바탕으로 세부 블럭들을 설계하고 제작하였고, 측정된 결과를 수록하였다. 4장에서는 전체를 정리하고 이용방안에 대해 이야기하였다.

저자 소개

송준 : 서울시립大學 電子電氣컴퓨터學部 碩士課程
 박성민: 서울시립大學 電子電氣컴퓨터學部 碩士課程
 김기훈: 서울시립大學 電子電氣컴퓨터學部 學士課程
 이문규: 서울시립大學 電子電氣컴퓨터學部 副教授 · 工博

2. 장 Super-Regenerative Receiver 이론

2.1 절 Super-Regenerative Receiver 구조

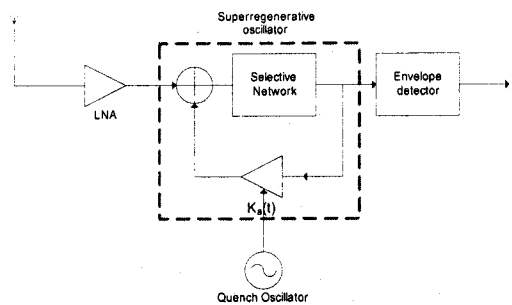


그림 2.1 General Super-Regenerative Receiver block diagram

그림 2.1과 같이 Super-Regenerative Receiver는 크게 세 부분으로 나눌 수 있다. LNA는 안테나로 들어온 작은 신호를 증폭하는 일반적인 역할을 한다. 또한 Super-Regenerative Oscillator에서 안테나로 방사되는 전파를 억제하는 역할을 하고 있다. LNA 이외의 나머지 두 부분 즉, Super-regenerative oscillator, Envelope detector에 대한 내용은 아래와 같다.

2.1.1 Super-regenerative Oscillator

Super-regenerative Oscillator(이하 SRO)는 Oscillator와 Oscillator를 on/off 시키는 Bias Switch로 나뉘어 있다. Oscillator는 RF Communication System에서 일반적으로 쓰이는 회로이며 일반적인 출력신호는 그림 2.2와 같다.

라지는 Oscillator이다.

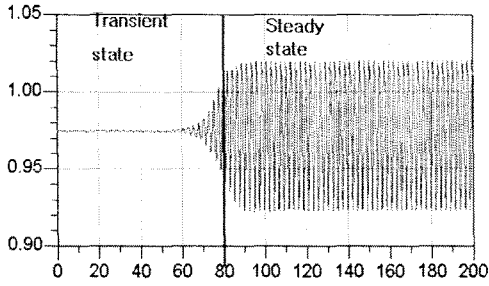


그림 2.2 Oscillator의 출력

그림 2.2에서보면 전원이 들어간 후부터 안정적인 출력이 나오기까지 약간의 시간이 걸린다. 이것은 Oscillator가 수 nV단위의 잡음을 수 V까지 증폭시켜 안정적인 출력을 얻기 때문이다. 처음 발진이 시작될 때의 크기가 클수록 Steady state가 되기까지 걸리는 시간이 짧아지며 SRO는 이 시간차를 이용한다. 발진이 시작되는 시간차를 이용하기 위해서 주기적으로 Oscillator를 꺼주어야 하는데 Bias Switch를 이용하여 주기적으로 on/off시켜서 발진 신호를 없앤다.

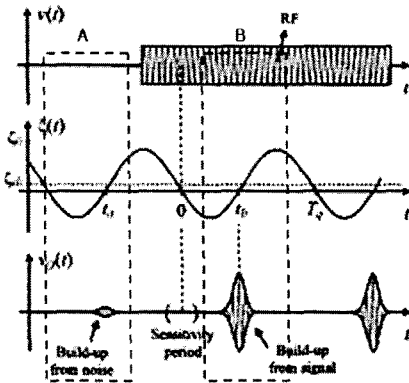


그림 2.3 SRO의 동작과정

그림 2.3은 SRO의 동작을 나타낸다. 위에서부터 RF input, Quench, SRO output을 나타낸다. Quench 신호는 Bias Switch의 입력으로 주기적으로 Oscillator를 on/off 시키고 있다.

A는 RF 신호가 들어오지 않는 경우이다. 이때는 SRO는 일반적인 Oscillator와 같이 수 nV의 잡음에서 시작해서 출력을 내보낸다. 그러므로 Steady state가 되기까지 긴 시간이 걸리게 된다.

B는 Oscillator에 RF 신호가 들어오고 있는 경우이다. Oscillator는 입력된 RF신호 전압에서부터 커져서 Steady state에까지 가게 된다. 이 경우 입력신호가 없을 때보다 더 빠르게 큰 출력이 나오게 된다.

정리하면 SRO는 Quench Oscillator로 인하여 주기적으로 발진이 일어난다. 이때 RF 신호의 세기에 따라 발진한 신호의 크기가 안정적인 상태에 도달하기까지 걸리는 시간이 달

2.1.2 Envelope detector

SRO의 출력은 외부에서 통신에 사용하고 있는 RF 주파수이기 때문에 수백 MHz에서 수 GHz의 고주파이다. 그렇기 때문에 바로 디지털 입력으로 넣어 0과 1을 판별 할 수 없다. 이 때문에 포락검파기와 저역 통과 필터를 이용하여 고주파 성분을 제거하고 디지털로 출력을 얻을 수 있게 만든다.

3. 장 제작 및 측정

3.1 Super-Regenerative Receiver 제작

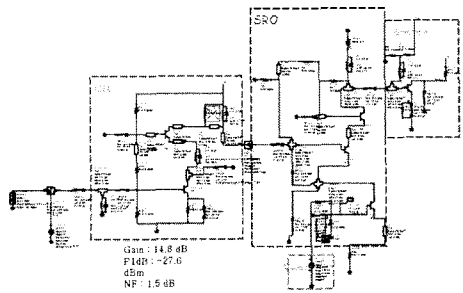


그림 3.1 기생성분과 배선을 고려한 회로도

그림 3.1에서와 같이 전체 회로도를 작성하였다. 전체 배선의 길이를 고려하여 LNA SRO 그리고 포락 검파기 (Envelope detector)를 한 패드에 놓도록 설계하고 시뮬레이션 하여 설계를 검증하였다. 그 외에 LNA와 안테나 사이의 불필요한 신호를 걸러내기 위해 콤파인(combine) 필터를 붙여 대역-통과(band-pass) 특성으로 필터링하였고 포락 검파기 다음에 비교기(Comparator)를 부착하여 최종 출력에서 디지털값을 얻을 수 있도록 전체 수신기를 구성하였다.

콤라인(Comblin) 필터는 LNA앞단에서 수신하고자 하는 주파수 이외의 다른 주파수를 제거하는 역할을 한다. 필터는 433 MHz를 중심으로 20 MHz의 대역폭을 갖는 3 pole 콤파인 필터를 설계하였다.

LNA는 SRO에서 발진된 신호가 안테나로 전파되는 것을 막고 외부에서 보내온 신호를 키워 SRO의 발진시간을 빠르게 하는 역할을 한다. S12를 작게 만들기 위해 캐스코드(cascode)구조를 선정하여 14.8 dB의 이득과, 1.5 dB의 잡음지수, 47 dB의 역격리 특성이 갖도록 설계하였다.

SRO는 외부에서 들어온 RF신호와 같은 주파수에서 발진하여 RF신호를 감지하는 장치이다. 발진주파수는 433 MHz로 설계하였고 Bias Switch를 달아 트랜지스터에 흐르는 전류를 on/off할 수 있도록 설계하였다.

마지막으로 포락 검파기는 파형을 따라가도록 RC값을 Quench 신호 주기에 맞추었고, 비교기는 기준 값을 외부에서 입력하도록 회로를 구성하여 작동이 적절히 조정 할 수 있도록 하였다.

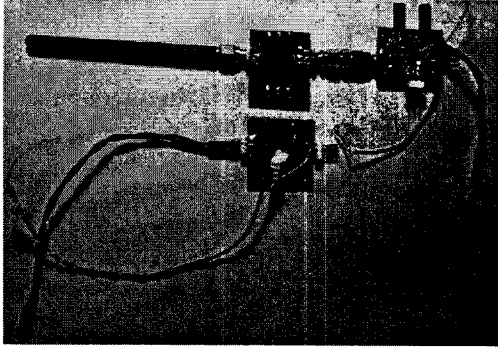


그림 3.2 실제 제작 사진

그림 3.2는 실제 제작한 실물 사진이다. 왼쪽 위 안테나부터 오른쪽으로 콤팩트 필터가 있고 LNA, SRO, 포락 검파기가 한 패드에 조립되어 있다. 마지막으로 아래로 비교기가 연결되어 디지털로 출력을 얻을 수 있도록 구성하였다.

3.2 Super-Regenerative Receiver 측정

LNA와 SRO Envelope detector는 2.3 V에서 약 10 mW의 DC전력을 소모하였다.

측정은 Quench 신호에 따른 SRO의 출력 파형과 포락 검파기 그리고 비교기의 출력 파형을 측정하였다. 또한 각각 LNA를 통해 RF신호가 들어오는 경우와 들어오지 않는 경우를 측정하였다.

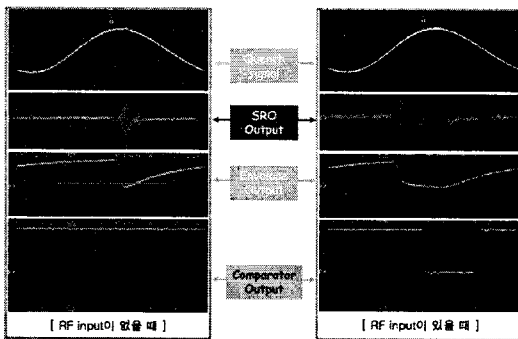


그림 3.3 측정 결과

그림 3.3에서 왼쪽은 안테나로 RF신호가 들어오지 않을 때 오른쪽은 안테나로 RF신호가 들어오고 있을 때를 나타내고 있다. 그림 3.3을 통해 두 경우 모두 Quench 신호가 off (낮게 들어오면)이면 들어오면 SRO의 출력은 언제나 0인 것을 볼 수 있으며, Quench 신호가 on이면 수신기 안테나를 통해 들어오는 RF 신호가 유/무에 따라 발진하고 있는 시간에 차이가 발생하는 것을 확인할 수 있다. 또한 포락 검파기와 비교기를 통과시킨 최종출력을 보면 적절히 처리할 경우 디지털로 변환할 수 있음을 알 수 있다.

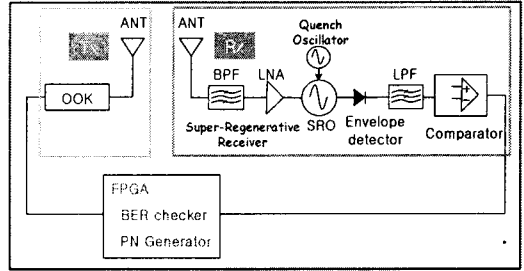


그림 3.4 BER test block diagram

이것을 바탕으로 그림 3.4와 같이 회로를 구성하고 Quench 신호의 주파수 1 MHz, Data-rate 200kbps 로 1m 거리에서 직접 작성한 코드를 넣은 FPGA를 이용하여 간단한 BER테스트를 해 보았고, 약 4000개 Bit중 하나의 error가 측정되었다.

4. 장 결론

본 보고서에서는 433 MHz ISM 밴드에서 사용할 수 있는 저전력 송수신기에 적합한 Super-Regenerative Receiver를 제작 및 측정을 하였다. 제작 후 FPGA 보드를 이용하여 BER Test를 하였으며, 1m 이내의 통신 거리에서 약 4000 bit 중 1 개의 Error가 발생하는 것을 확인할 수 있었다. 이 에러테스트는 직접 작성한 소스를 넣은 FPGA를 이용하여 간단히 한 측정이기에 좀 더 정확한 장비를 이용하여 테스트를 할 경우 더 좋은 성능을 보이리라 생각한다.

제작한 수신기는 직접 개별소자를 조립하여 약 10 mW의 전력을 소모하였다. 전력소모가 작기는 하지만 만족할 만큼 작지 않았다. 반도체 공정을 이용한 경우[2] 1 mW이하의 작은 전력으로 동작하였고 부품수가 적기 때문에 적은 칩 면적으로 이어졌다. 이는 반도체 공정을 이용하여 대량생산할 경우 Ubiquitous Network의 여러 단말에서 널리 이용할 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- [1] F. Xavier Moncunill-Geniz, Pere Palà-Schönwälder, Member, IEEE, and Orestes Mas-Casals, "A Generic Approach to the Theory of Superregenerative Reception", IEEE Trans. Circuits Syst, I, Fundam. Theory Appl., vol. 52, no. 1, pp. 54-70, Jan. 2005.
- [2] Otis, B.; Chee, Y.H.; Rabaey, J., "A 400 μ W-RX, 1.6 mW-TX super-regenerative transceiver for wireless sensor networks", IEEE Solid-State Circuits Conf. Dig., vol. 1, pp. 396-606, Feb. 2005.