

## RF 송수신기의 구조

유창식(한양대학교 전자통신컴퓨터공학부)

### I. 서론

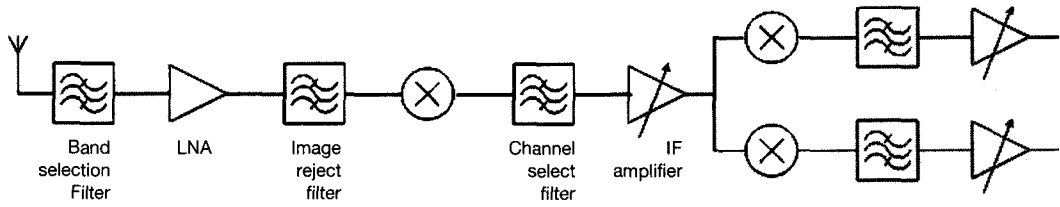
무선 통신을 위한 RF송수신기는 그 응용 시스템에 따라 필요한 성능 수준이 결정되고, 필요한 성능 수준에 따라 송수신기의 구조가 결정된다. 즉, RF송수신기의 성공적인 구현을 위해서는 응용 시스템의 사양에 대한 정확한 이해와 그 사양에 따라 RF송수신기의 필요 성능을 도출할 수 있는 능력이 필요하다. 예를 들어 WCDMA는 FDD(Frequency Division Duplexing)시스템이고 Bluetooth는 TDD(Time Division Duplexing)시스템인데 그에 따라 RF 송수신기에 요구되는 사양과 구조가 크게 다르다. WCDMA의 경우에는 FDD시스템이라는 특성상 수신기와 송신기가 동시에 동작하므로 송신기로부터 수신기로 유입되는 신호 성분이 매우 커서 수신기의 수신 감도를 저하시킬 수 있다. 이를 해결하기 위해 추가적인 필터를 쓰거나 선형성이 매우 우수한 수신 회로를 사용해야 하는 필요가 발생한다. 그리고, Bluetooth의 경우에는 TDD시스템이므로 RF 송수신기가 송신 모드와 수신 모드로 변환되어 동작하는데 모드 변환 시 송수신 회로의 각 구

성 블록의 동작이 안정되는데 시간이 필요할 것이다. 이러한 Rx-to-Tx, Tx-to-Rx 변환에 허용되는 시간에 따라 송수신기의 구조와 구성 블록의 설계가 달라질 수 있다.

본 고에서는 무선 통신 시스템에 따라 달라질 수 밖에 없는 RF송수신기의 구조에 대해 살펴보고, 각 구조가 갖는 장단점과 설계 시 고려해야 할 사항에 대하여 살펴보기로 한다. 먼저, 제II절에서는 수신기의 구조에 대하여 알아보고 제III절에서는 송신기의 구조에 대하여 살펴본다.

### II. 수신기의 구조

수신기의 구조는 무선 통신 시스템에서 요구하는 민감도(sensitivity)와 선택도(selectivity)에 의해 결정된다. 민감도는 얼마나 작은 크기의 신호를 수신할 수 있는지를 말하는 것이고 선택도는 주변의 신호, 즉 수신하고자 하는 신호 이외의 것들을 얼마나 잘 제거할 수 있는지를 말하는 것이라고 생각할 수 있다.



〈그림 1〉 Super-heterodyne 수신기 구조

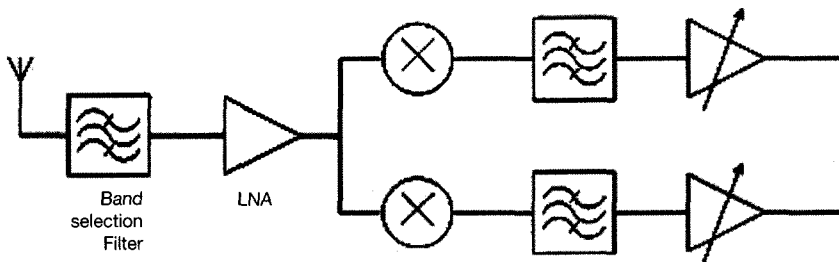
### (1) Super-heterodyne 구조

아주 오랜 기간 동안 가장 널리 사용되어오던 구조이다. <그림 1>에 표시한 것과 같이 RF 신호를 IF주파수로 하향 변환한 후 원하는 주파수 대역의 신호만을 걸러내기 위한 채널 선택 필터링을 한 후 최종적으로 baseband로 주파수 변환한다. Baseband로 주파수 변환을 할 때는 quadrature신호를 detection할 수 있도록 0도와 90도의 위상을 갖는 LO신호를 이용하여 quadrature demodulation을 수행한다. 이 때 IF주파수는 하나의 사용자가 접하는 채널의 주파수 대역폭과 시스템이 사용하는 전체 주파수 대역폭을 고려하여 결정해야 한다. 이는 image신호에 의한 수신 감도의 저하를 막기 위한 것이다. Image주파수를 없앨 수는 없으므로 image주파수에 있는 신호의 크기를 최소

화해야 하는데, 보통은 시스템이 사용하는 주파수 대역 밖에 image주파수가 있도록 하고, image제거 필터를 이용하여 image주파수에 있는 신호의 크기를 최소화 한다.

### (2) Direct-conversion 구조

수신기의 구조 중에서 가장 간단한 구조이다. <그림 2>와 같이 RF신호를 곧바로 baseband로 변환한다. 따라서, superheterodyne구조에서 필요한 IF주파수 대역의 구성 블록이 필요 없고 image신호에 의한 수신 감도의 저하 문제 역시 없는 장점이 있다. 하지만, direct-conversion 구조를 사용할 경우에는 baseband로 신호가 변환 되기 전에 거치는 구성 블록이 저잡음증폭기(LNA : low noise amplifier)와 주파수변환기(mixer)밖에 없기 때문에 안테나를 통해 들어온



〈그림 2〉 Direct-conversion 수신기 구조

RF신호가 증폭되는 정도가 대략 30~40dB정도 밖에 되지 않기 때문에 baseband로 변환된 신호의 크기가 그리 크지 않다. 따라서, 낮은 주파수 대역에 존재하는 flicker noise와 baseband 회로의 DC-offset에 의해 수신 감도가 저하되는 문제가 있다. 하지만, direct-conversion 구조는 외부 부품이 필요 없기 때문에 가격을 크게 낮출 수 있고 시스템의 크기를 줄일 수 있어 최근 들어서는 super-heterodyne 구조에 비해 더 많이 쓰이고 있다.

### (3) Low-IF 구조

Super-heterodyne 구조와 동일하게 RF신호를 IF대역으로 변환한 후 baseband로 변환하는 과정을 거친다. 하지만, super-heterodyne 구조에서는 image 신호의 주파수를 시스템이 사용하는 주파수 대역 밖에 위치하도록 하지만 low-IF 구조에서는 시스템이 사용하는 주파수 대역 내에 image 신호가 위치하도록 한다. 즉, IF 주파수를 낮게 하여 image 신호가 원하는 채널의 신호와 동일한 IF 주파수로 하향 변환 되도록 하는 것이다. 이 때, image 신호와 원하는 채널의 신호를 구별할 수 있어야 하므로, RF 신호를 IF 신호로 변환할 때 quadrature down-conversion을 한다. 이렇게 하면 image 신호와 원하는 채널의 신호의 극성이 구별되어 최종적으로 IF대역 또는 baseband에서 image 신호를 제거할 수 있다. Low-IF 구조는 direct-conversion 구조와 달리 flicker noise와 DC-offset 문제가 없으며, IF 주파수가 낮으므로 높은 집적도를 갖는다. Low-IF 구조의 가장 큰 문제점은 image 신호를 얼마나 많이 제거해낼 수 있는가 하는 것인데, 이는 in-phase 신호 경로와

quadrature-phase 신호 경로 사이의 matching에 의해서 결정된다.

### (4) 기타

위에서 살펴본 세 가지 구조 이외에도 RF 신호를 baseband로 변환하는 방법에 따라 다양한 형태의 변형된 수신기 구조를 생각할 수 있다. 예를 들어 TV 방송용 수신기의 경우에는 RF 대역이 50MHz~850MHz로 매우 넓은데 이를 통상적인 super-heterodyne 구조로 구현할 경우에는 image 신호를 시스템이 사용하는 주파수 대역 밖에 있게 할 수 있는 방법이 없다. 그러한 이유로 보통 일차적으로 RF 신호를 더 높은 주파수 대역으로 상향 변환한 후, 상향 변환된 신호를 super-heterodyne 방식 등으로 하향 변환하는 구조를 사용하기도 한다. 물론 이것도 TV 방송용 수신기의 한 가지 예일 뿐이고 다양한 형태의 수신기 구조를 가질 수 있다.

최근에는 미국의 TI에서 DRP(Digital RF Processor)라고 하는 개념을 도입하여 많은 주목을 받았는데, 이는 통상적인 RF 수신기와는 달리 신호의 수신을 디지털 신호 처리에 많은 부분 의존하는 것이 특징이다. DRP를 GSM이나 Bluetooth와 같이 채널의 대역폭이 작은 경우에 적용된 예가 발표되었으나, WCDMA나 WLAN과 같이 채널 대역폭이 큰 경우에는 매우 많은 기술적 어려움이 있을 것으로 보인다. 자세한 내용은 참고 문헌을 참고하기 바란다.

## III. 송신기의 구조

송신기의 구조는 baseband 신호를 RF 주파수

대역까지 끌어올리는 과정에 의해 결정된다. 송신기는 처리하는 신호의 크기가 수신기와는 비교할 수 없을 정도로 크기 때문에 잡음에 대한 고려는 그리 심각한 사항은 아니지만, 최종적으로 출력되는 신호의 크기가 매우 크므로 선형성에 대해서는

### (1) Direct-conversion 구조

Direct-conversion 구조의 수신기와 반대되는 주파수 변환 경로를 갖는다고 생각하면 된다. Baseband신호를 곧바로 RF주파수 대역으로 끌어올리는 방법으로 가장 쉽게 생각할 수 있는 구조이다. 이러한 구조의 송신기는 direct-conversion수신기와 마찬가지로 시스템의 집적도를 높일 수 있는 장점이 있다. 하지만, LO (Local-oscillator) pulling이라고 하는 심각한 문제점을 갖고 있다. Baseband신호는 DC에서 채널의 대역폭에 해당하는 주파수 성분까지 다양한 주파수 성분을 갖고 있고, 그 신호가 RF대역으로 변환되면 LO주파수 주위에 유한한 대역을 갖게 된다. 즉, RF신호의 중심 주파수는 LO신호의 주파수와 동일하지만 그 이외의 주파수에도 유한한 에너지를 갖고 있는 것이다. 이러한 성분을 갖는 전력 증폭기의 출력이 LO신호를 발생하는 VCO(Voltage-Controlled Oscillator)의 주파수를 변화시키는 현상을 유발할 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 VCO의 주파수와 전력 증폭기의 출력 주파수가 어느 이상 떨어지게 해야 한다. 가장 널리 쓰이는 방법은 VCO의 주파수를 원하는 LO 주파수와 차이를 두고 발생하고, 그 차이에 해당하는 주파수를 갖는 또 다른 VCO를 두어 두 개의 VCO의 출력을 곱하여 원하는 LO 주

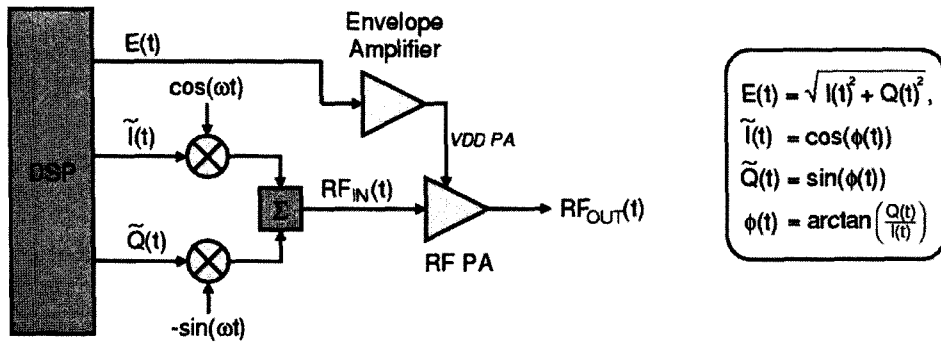
파수 성분을 얻어내는 것이다. 이렇게 하면 VCO와 전력 증폭기의 주파수를 멀리 떨어뜨릴 수 있어 LO pulling문제를 해결할 수 있다.

### (2) Dual-conversion 구조

LO pulling문제를 해결하기 위해 direct-conversion구조를 사용하지 않고 baseband신호를 두 번에 걸쳐 RF대역으로 변환하도록 하는 구조이다. 이 구조의 장점은 quadrature modulation을 낮은 주파수에서 하기 때문에 direct-conversion구조에 비해 정확도가 높다는 것이다. 하지만, direct-conversion구조에 비해 dual-conversion구조의 단점은 두 번째 주파수 변환 뒤에 상당히 좋은 성능의 bandpass filter를 통해 원하지 않는 주파수 성분을 제거해야 한다는 점이다. 이러한 bandpass filter는 중심 주파수가 RF대역에 있으므로 CMOS공정으로 집적화하기 어려워 외부 소자를 써야한다.

### (3) Polar transmitter

RF수신기와 송신기 중에서 전력 소모는 대개의 경우 송신기 쪽이 큰데, 그 이유는 전력 증폭기 때문이다. 전력 증폭기의 요구 성능은 RF송수신기에서와 마찬가지로 RF시스템의 요구 사양에 따라 결정되는데, 많은 경우 사용하는 modulation 방식에 의해 결정된다. GSM (Global System Mobile)에서 사용하는 GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying)과 같이 constant-envelop modulation(RF 신호의 진폭이 일정한 modulation 방식)인 경우에는 비선형 전력 증폭기를 사용하므로 전력 효율이 매우 좋지만, 주파수를 효율적으로 사용하기 위



〈그림 3〉 Polar transmitter

해서는 non-constant-envelope modulation을 사용한다. QPSK(Quadrature Phase Shift Keying)과 QAM(Quadrature Amplitude Modulation) 신호가 대표적인 예인데 이러한 경우에는 선형 전력 증폭기를 써야하므로 전력 효율이 매우 낮아 전력 소모를 증가시키는 원인이 된다.

이러한 문제를 해결하기 위하여 최근 비선형 전력 증폭기를 non-constant-envelope modulation 신호를 사용하는 시스템에도 적용하기 위하여 polar transmitter에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. Polar transmitter는 <그림 3>에 표시한 것과 같이 변조된 신호의 위상 성분과 진폭 성분을 서로 다른 경로로 처리하도록 되어 있다. 위상 성분은 비선형 전력 증폭기의 입력으로 사용되어 전력 증폭기의 출력 위상이 입력 위상에 의해 결정되도록 하고, 진폭 성분은 비선형 전력 증폭기의 공급 전압으로 사용된다. 비선형 전력 증폭기의 출력의 진폭은 공급 전압에 의해 결정되므로 결과적으로 비선형 전력 증폭기의 출력이 입력 신호의 위상과 진폭을 모두 반영하도록 되는 것이다. 이러한 polar transmitter에서 어려운 기술적 문제는 위상이 처리되는 경로와 진폭이 처리되는 경로의 delay

를 정확히 맞추는 것과 시간에 따라 변하는 공급 전압을 효율적으로 만들어 내는 일이다.

#### IV. 결론

본 고에서는 RF무선 통신을 위한 송수신기의 구조에 대해 살펴보았다. 각 구조가 갖는 특징과 장점 및 단점을 간략히 기술하였다. RF송수신기를 구현하고자 할 때에는 시스템의 사양에 대한 면밀한 분석을 통하여 그 구조를 결정하고 각 구성 블록의 설계 사양을 정해야 한다. 단순히 회로 설계 지식만 갖고 있을 경우에는 RF송수신기를 성공적으로 구현하는 것이 매우 어려우며 최소한 기본적인 무선 통신에 대한 지식과 시스템을 분석할 수 있는 능력을 갖추어야 한다. 또한, 앞에서는 송수신기의 구조에 대해서만 살펴보았으나, 실제 RF송수신기를 구현할 때에는 LO신호를 발생하는 주파수 합성기의 역할도 매우 중요하고, 송수신기의 구조에 따라 주파수 합성기에 요구되는 성능 수준이 달라지기 때문에 그에 대한 고려를 충분히 해야할 필요가 있다.

## 참고 문헌

- [1] B. Razavi, RF Microelectronics, Prentice-Hall
- [2] 유창식, 무선통신 직접변환방식 수신기의 연구개발 동향, Telecommunications Review, pp. 408-421, 2005년 5월.
- [3] K. Muhammad et al., "A discrete-time Bluetooth receiver in a 0.13mm digital CMOS process," Dig. Tech. Papers, Int. Solid-State Circuits Conf. Feb. 2004.

## 저자소개



유창식

1992년 2월 서울대학교 전자공학과 공학사

1994년 2월 서울대학교 전자공학과  
공학석사

1998년 2월 서울대학교 전기공학부 공학박사

1998년 2월-1998년 6월 삼성전자 책임연구원

1998년 2월-1999년 9월 스위스연방공과대학  
(취리히) 연구원

1999년 10월-2002년 8월 삼성전자 책임연구원

2002년 9월-현재 한양대학교 전자통신컴퓨터  
공학부 부교수

주관심 분야 : 유무선 통신용 아날로그, 혼성모드, RF  
회로 설계