

El receptor superheterodino.

Introducción: receptores en sistemas de comunicación analógicos.

Un receptor de un sistema de comunicación debe usualmente realizar las siguientes tareas:

- Amplificación: aumentar la amplitud de la señal recibida para su uso práctico en circuitos posteriores.
- Sintonización: seleccionar la banda específica de la señal recibida donde se encuentra la señal de interés.
- Filtrado: eliminar o atenuar interferencia de señales en otras bandas no deseadas.
- Demodulación: recuperar el mensaje a partir de la señal en cuestión.

Existen varias estructuras comúnmente usadas para receptores. Dos de las más comunes son:

- Detector de envoltente: realiza una demodulación (de envoltente/amplitud) en simultáneo con el pasaje de banda pasante a banda base. Sin osciladores. Su principal ventaja es la simpleza de implementación.
- Receptor homodino, o de conversión directa, que traslada una señal banda pasante a banda base mediante el uso de un único oscilador. Dependiendo de la modulación usada, se utiliza en combinación con etapas posteriores de demodulación. Una dificultad práctica con este tipo de receptor es que el oscilador utilizado debe ser una sinusoidal pura (es decir, sin distorsión) para evitar el agregado de armónicos espurios en el sistema. También es llamado detector sincrónico (aunque ese nombre aplica a cualquier receptor que utilice osciladores).

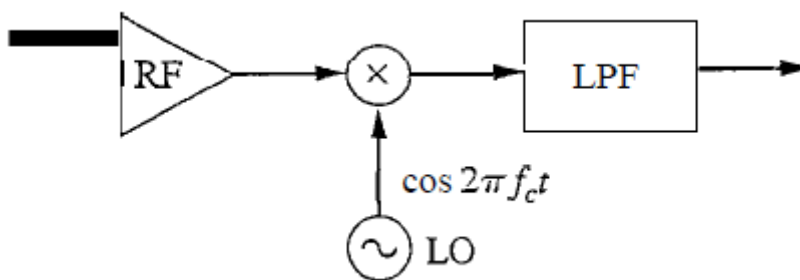


Diagrama de bloques del receptor homodino/de conversión directa. Figura 7.1-3, *Communication Systems*

En general todos los receptores cuentan a su entrada con un amplificador y un filtro pasabanda en la banda de radiofrecuencia de interés. En algunos casos, como el detector de envoltente, dicho filtro es imprescindible a efectos de aislar una banda particular de una señal que puede contener múltiples transmisiones utilizando multiplexación en frecuencia (p.ej. en el caso de la detección de señales de radio AM). En otros casos, como el del receptor homodino, el filtro de entrada no es estrictamente necesario en caso de que todos los componentes se comporten idealmente. Sin embargo, tanto el amplificador de entrada como el oscilador local pueden

presentar no idealidades que introducen armónicos espurios al sistema, lo que puede resultar en interferencias no previstas y mayor nivel de ruido dentro de la banda de interés. Esto motiva el uso de un filtro de entrada también en este caso.

Los filtros de entrada en radiofrecuencia presentan un desafío de diseño bastante grande. Es necesario que sean simultáneamente:

- sintonizables (para poder elegir la banda a recibir)
- razonablemente angostos para aislar dicha banda y evitar interferencias de bandas adyacentes
- típicamente que su ancho de banda sea fijo e independiente de la frecuencia central de dicho filtro (la frecuencia de sintonización).

Por ejemplo, para recibir radio AM comercial es necesario tener filtros con ancho de banda de 10kHz para cualquier estación, pero que puedan centrarse (es decir, sintonizarse) en cualquier lugar entre 600 y 1500 kHz aproximadamente. Esta dificultad puede ser sorteada si en lugar de contar con una única etapa conjunta de filtrado y sintonización, estas se desacoplan en dos etapas independientes. Este es el principio de funcionamiento de los receptores superheterodinos (*superhet* para los amigos).

Nota: En la práctica cualquier filtro BPF debe tener una relación ancho-centro (B/f_C) de entre 0.1 y 0.01 para que su diseño no sea dificultoso, tanto en filtros analógicos como digitales. Adicionalmente, cualquier cambio de parámetros del circuito que afecte la frecuencia central f_c seguramente tendrá algún impacto sobre B , lo que dificulta desacoplar estas dos características completamente. Por ejemplo, un filtro sintonizable puede construirse mediante un circuito RLC donde alguno de los componentes es variable. Pero la variación de estos parámetros afectará tanto la frecuencia natural del circuito (que determina f_C) como el ancho de la caída de $3dB$ del mismo (que determina B).

Receptor superheterodino

Es un receptor sincrónico que utiliza una conversión de dos etapas en lugar de la conversión directa de la señal. Esta conversión en dos etapas facilita el diseño de los filtros necesarios en el proceso. Como se verá a continuación, su buen funcionamiento depende de un diseño apropiado de los parámetros de las dos etapas.

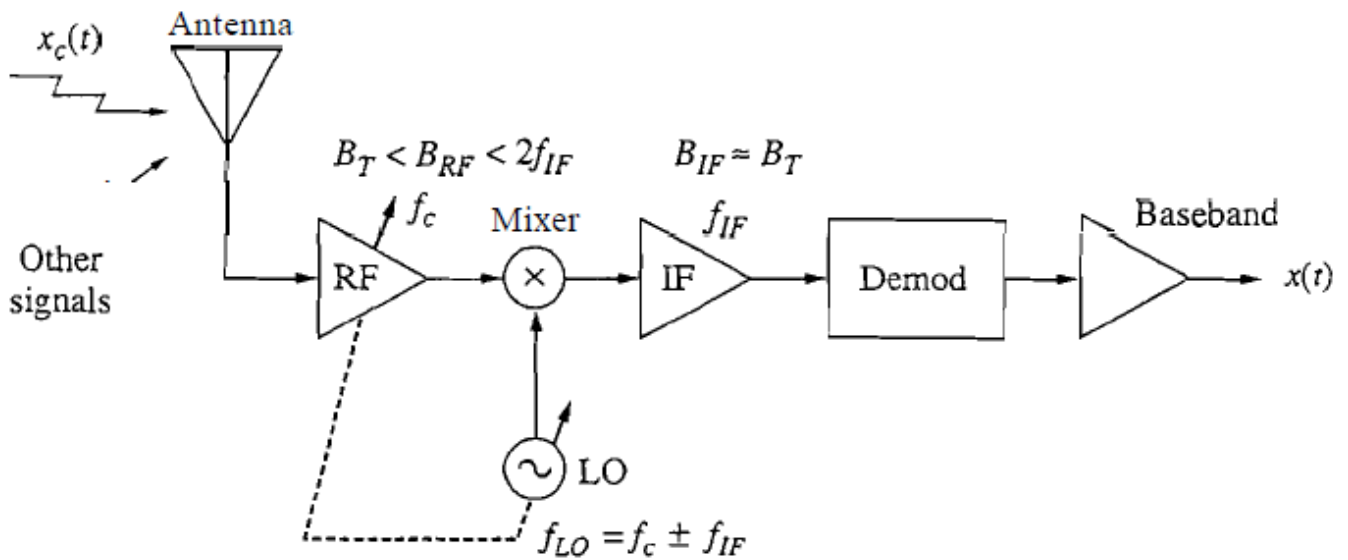
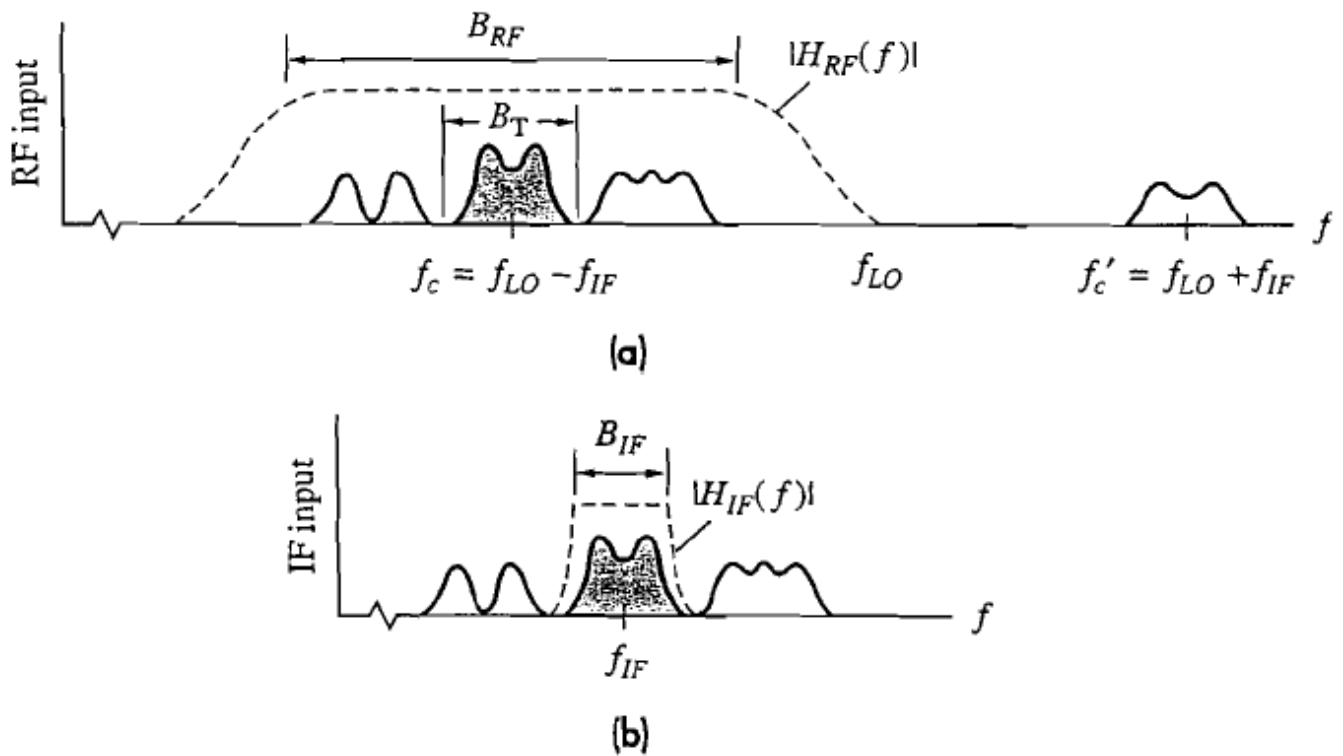


Diagrama de bloques del receptor superheterodino. Figura 7.1-1, *Communication Systems*

En el diagrama del receptor superheterodino puede apreciarse que la conversión de banda pasante a bandabase se realiza en dos etapas: en la primera se traslada la señal entrante a una banda centrada en una frecuencia intermedia f_{IF} luego de pasar por una etapa de filtrado y amplificación (etapa de radiofrecuencia o RF). Luego se vuelve a filtrar (y posiblemente amplificar) la señal (etapa intermedia o IF) para luego si trasladar la señal de interés a bandabase o realizar la demodulación desde la banda intermedia. Esta separación de etapas permite que el primer filtro sea sintonizable, pero no necesariamente angosto, y el segundo sea angosto pero de diseño fijo.

Es de suma importancia notar que el valor de la frecuencia o banda intermedia es una elección de diseño, pero es fija y no depende de la banda que se desea sintonizar en la seña entrante. Este parámetro se elige de manera de facilitar los requisitos de diseño de los filtros del sistema (RF e IF).



Representación del efecto de los filtros de RF e IF en un receptor superheterodino. Figura 7.1-2, *Communication Systems*

Ejemplo de diseño: superhet en recepción de radiofonía FM

Veamos un ejemplo de funcionamiento: supongamos que se desea contar con un dispositivo capaz de sintonizar estaciones de radio FM. Si se intentara hacer una demodulación directamente de la señal entrante, es necesario aislar la estación en cuestión de las otras estaciones presentes localmente. Para esto se precisa utilizar un filtro pasabanda de ancho aprox. 200kHz (ancho de banda de una estación de FM comercial), que pueda sintonizarse a cualquier lugar de la banda reservada para transmisión radiofónica FM (portadora $f_c \in [88, 108] MHz$).

Alternativamente, podemos trasladar primero la señal deseada a una banda intermedia, supongamos de frecuencia central $f_{IF} = 11 MHz$ y luego realizar allí el filtrado con un filtro pasabanda de ancho 200kHz. Esta traslación puede realizarse mediante multiplicación de la señal entrante con un oscilador de frecuencia variable. Existen dos posibilidades de diseño para lograr esta traslación: la primera es que el oscilador tome valores en el rango $[77, 97] MHz$ ($f_{LO} = f_c - f_{IF}$), y la segunda es usar valores en el rango $[99, 119] MHz$ ($f_{LO} = f_c + f_{IF}$). En ambos casos se logra trasladar señales en la banda de interés hacia la banda intermedia: el diseñador del sistema deberá optar por una u otra alternativa. Es importante notar que para cualquiera de las dos opciones existe un rango de frecuencias *imagen* que también serán trasladadas a la banda de 11MHz si no se utiliza un filtro apropiado a la entrada. Por ejemplo, si $f_c = 88 MHz$ y se opta en el diseño por $f_{LO} = 77 MHz$ para trasladar la señal hacia f_{IF} , resulta que cualquier señal centrada en $f_{Im} = f_c - 2f_{IF} = 2f_{LO} - f_c = 66 MHz$ también será trasladada a f_{IF} . Si se optara por el diseño alternativo donde $f_{LO} = 99 MHz$, entonces la frecuencia imagen será $f_{Im} = f_c + 2f_{IF} = 2f_{LO} - f_c = 110 MHz$. Cualquiera sea la decisión de diseño, este problema se combate mediante un filtro pasabanda apropiado a la

entrada del receptor. En caso de optar por la primera alternativa dicho filtro deberá bloquear la banda $[66,86]MHz$, y en la segunda alternativa deberá bloquearse la banda $[110,130]MHz$.

En resumen, las características del receptor superheterodino serán las siguientes.

1. Opción 1:

- $f_{LO} \in [77, 97]MHz$
- $f_{Im} \in [66, 86]MHz$ (banda a rechazar con el primer filtro). Puede utilizarse, por ejemplo, un BPF con banda pasante $[88, 108]MHz$ como filtro RF.
- $B_{IF} = 200kHz$

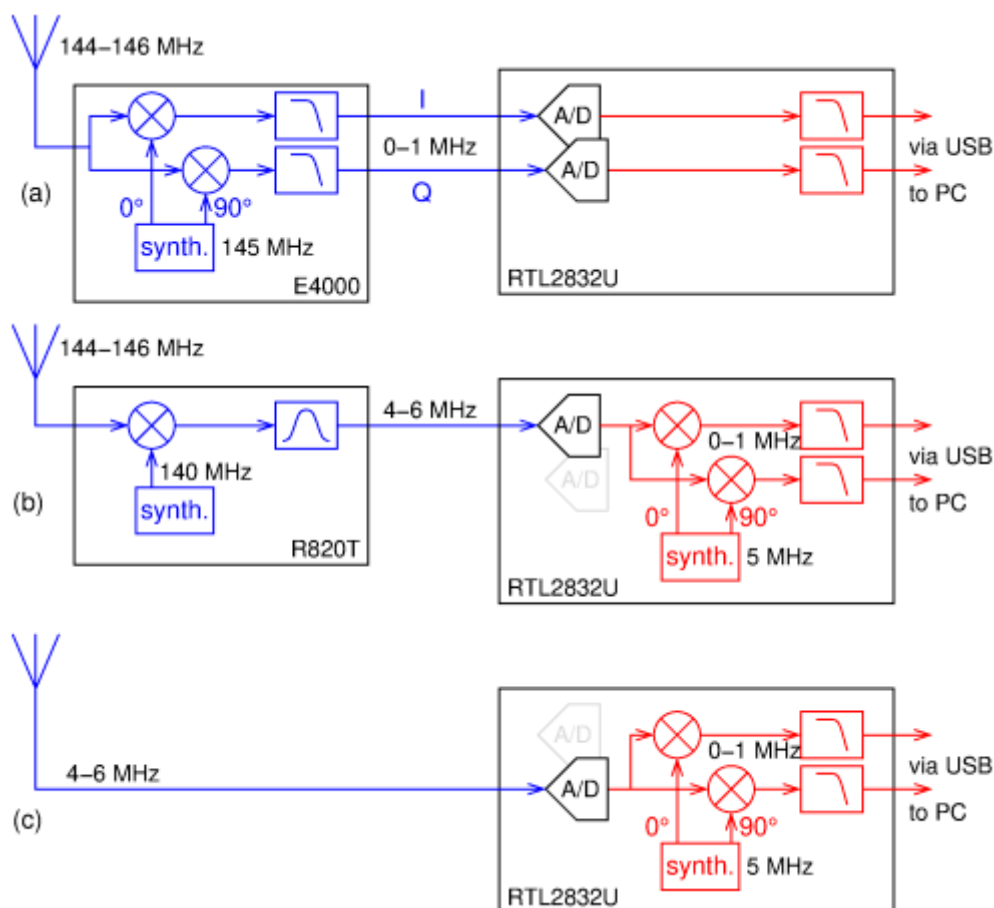
2. Opción 2:

- $f_{LO} \in [99, 109]MHz$
- $f_{Im} \in [110, 130]MHz$ (banda a rechazar con el primer filtro). Puede utilizarse, por ejemplo, un BPF con banda pasante $[88, 108]MHz$ como filtro RF.
- $B_{IF} = 200kHz$

En ambos casos el sistema operará correctamente para la banda deseada de $[88, 108]MHz$ y la frecuencia intermedia es $f_{IF} = 11MHz$. Este valor de frecuencia intermedia es comúnmente utilizado en receptores de radio FM porque resulta en condiciones de diseño fácilmente realizables tanto para los filtros IF como RF. Notar, por ejemplo, que el filtro IF tendrá una relación $B/f \approx 0.02$ mientras que el filtro RF tendrá una relación $B/f \approx 0.1$

Ejemplo de aplicación: E4000 vs R820T

Los circuitos integrados E4000 y R820T son los dos más comúnmente utilizados en dispositivos receptores de software-defined radio (SDR) por su bajo costo. Estos dispositivos proveen a través de su interfaz digital (típicamente USB) muestras de la señal bandabase equivalente de una señal pasabanda. Es decir, ambos dispositivos trasladan la señal entrante en banda pasante a banda base para su muestreo digital, que se realiza en otro integrado (por ejemplo el RTL2832U). Como puede verse en la imagen a continuación (paneles a y b), ambos dispositivos logran el mismo propósito con distintas arquitecturas de receptor. En el caso del E4000, la traslación en frecuencia se hace mediante conversión directa a banda base en fase y cuadratura, mientras que en el caso del R820T se utiliza una banda intermedia centrada en 5MHz y un filtro para dicha banda previo a la digitalización.



Fuente

A efectos de su funcionalidad, tanto el E4000 como el R820T logran lo mismo. Pero como se comentó en la sección anterior, la ventaja de la estructura superheterodina del R820T es su mejor capacidad de rechazar señales no deseadas mediante el filtro de banda intermedia. Como contracara, el R820T debe utilizarse necesariamente con un BPF en su entrada para resolver el problema de las frecuencias imagen (dicho filtro no figura en la imagen anterior pero puede encontrarse, por ejemplo, en la hoja de datos del integrado). Si bien el E4000 no lo necesita en caso de asumir comportamiento ideal de todos los componentes, en la práctica se utiliza de todas maneras para evitar problemas de ruido e interferencias no deseadas (ver también su hoja de datos, pag. 4). De todas maneras este filtro tiene menos restricciones que el filtro de entrada de un receptor superheterodino.

Referencias

Communication Systems, 4th ed., Carlson, Crilly & Rutledge. Capítulo 7, sección 7.1

[SDR dongles explainer - PA3FWM](#)

[Hoja de datos R820T2](#)

[Hoja de datos E4000](#)