

Transmisores y receptores



Universidad Tecnológica Nacional de Argentina - F. R.
Córdoba Departamento de Electrónica - Electrónica
Aplicada III

Daniel Rabinovich drabinovich@electronica.frc.utn.edu.ar

Ramón Oros roros@electronica.frc.utn.edu.ar

Claudio Paz cpaz@frc.utn.edu.ar

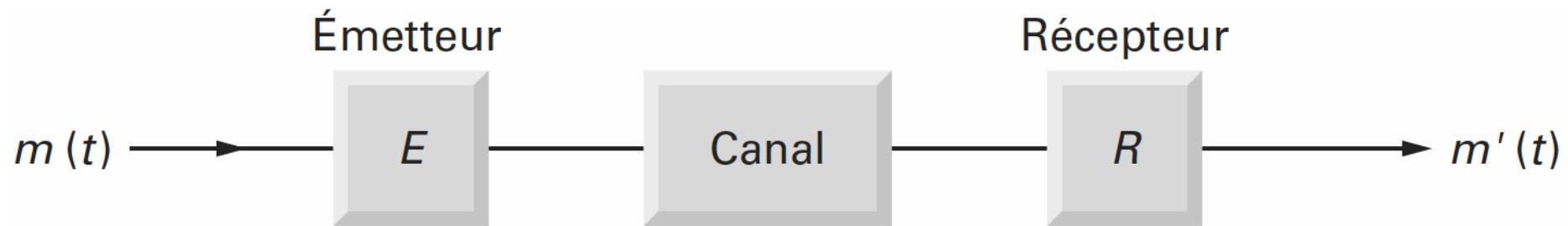
Año 2015

Referencias

- [1] François de Dieuleveult, Olivier Romain; Électronique Appliquée aux Hautes Fréquences, Dunod, Paris, 2008
- [2] Michael P. Fitz, Fundamentals of Communication Systems, McGraw-Hill, 2007
- [3] Manuel S. Pérez, Belé G. Iragüen, José L. Fernández Jambrina, Manuel S. Castañer, Electrónica de Comunicaciones, Pearson Prentice Hall; August 1953
- [4] [6] Jon B. Hagen, Radio-Frequency Electronics, Circuits, Cambridge University Press, 2009
- [5] H.C Krauss, C.W. Bostian, F.H Raab, Solid State Radio Engineering, John Wiley & Sons, 1980
- [6] Grahame Smillie, Analogue and Digital Communication Techniques; Newnes, 1999
- [7] Wayne Tomasi, Electronic Communications Systems: Fundamentals Through Advanced, Fourth Edition; Prentice Hall, 2001

Transmisores y receptores

Se desea transmitir el mensaje original $m(t)$ a través de la banda base de un canal de transmisión de acuerdo con el canal según muestra la cadena de la Fig. 8.1.



Transmisores y receptores

Se examina cada una de las funciones elementales que constituyen el transmisor y el receptor.

En la recepción se recupera $m'(t)$ y se espera que sea similar a la señal transmitida $m(t)$.

El rendimiento global de la cadena de transmisión dependerá de la elección y los parámetros utilizados para cada uno de los bloques.

Las funciones de transmisión y recepción son diferentes. En cada etapa de tratamiento, son cruciales sólo ciertos parámetros.

Transmisores y receptores

Centrarse en la importancia relativa de cada parámetro para todos los bloques de la cadena de transmisión.

En general la estructura de los transmisores es más simple que la de los receptores.

No se trata de elegir el método de modulación, sino de analizar la configuración del transmisor y el receptor elegida.

Transmisores

El transmisor simplificado de la Fig. 8.2 incluye los siguientes tres bloques:

- Un circuito de tratamiento de la señal base
- Un modulador
- Un amplificador de potencia

Transmisores

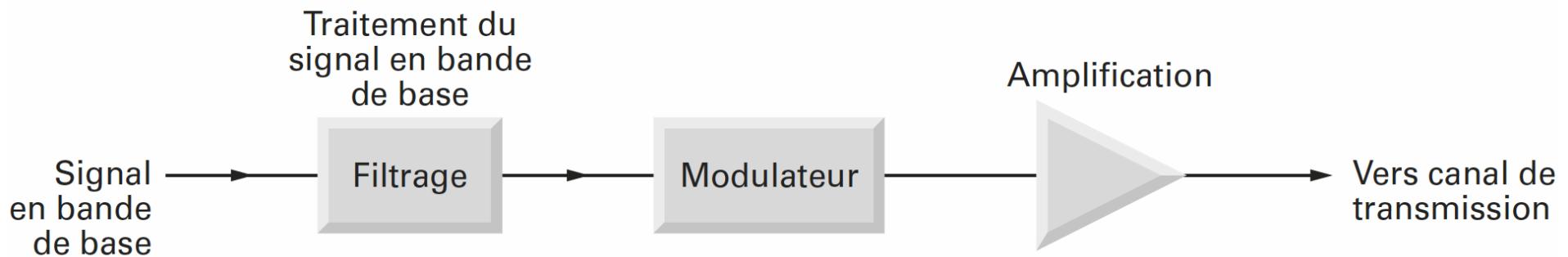


Diagrama en bloques de un transmisor

Transmisores. Tratamiento de la señal base

En modulación analógica se ha visto que

La eficiencia espectral de la señal alrededor de la frecuencia portadora es una función lineal de la ocupación espectral de la señal de banda base.

Si $f_{1\max}$ es la frecuencia máxima de la señal de banda base, la banda ocupada alrededor de la portadora es:

Transmisores

Si $f_{1\max}$ es la frecuencia máxima de la señal de banda base, la banda ocupada alrededor de la portadora es:

$$B = 2f_{1\max} \quad \text{DSBFC}$$

$$B = f_{1\max} \quad \text{AM SSB}$$

$$B = 2(m_F + 1)f_{1\max} \quad \text{FM}$$

Transmisores

El primer paso es limitar la banda de frecuencia de la señal de modulación a la frecuencia $f_{1\max}$.

En el caso de una señal de audio, por ejemplo,

SSB 300 Hz - 3400 Hz.

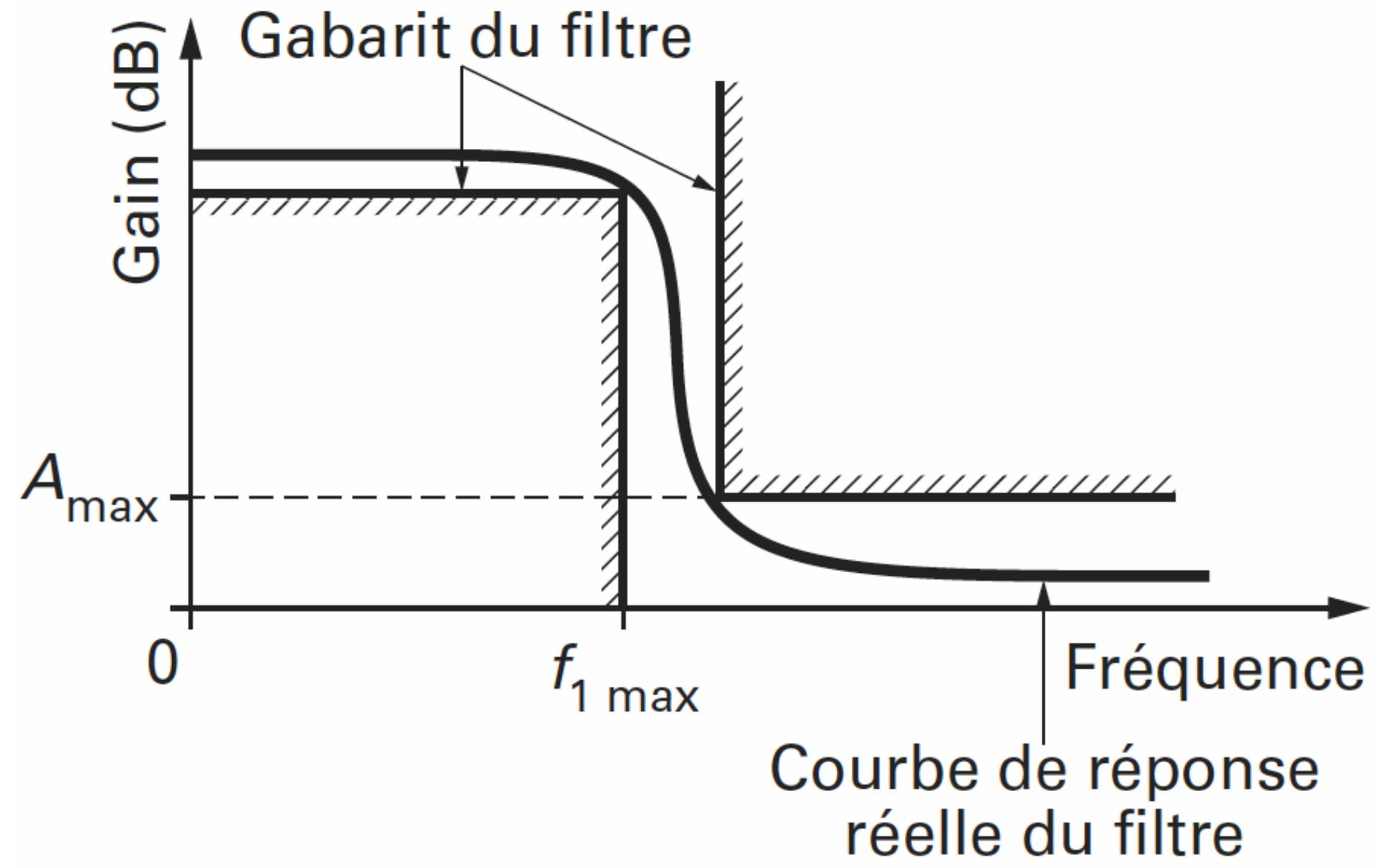
FM de calidad: 20 Hz - 15 kHz.

Señal de video, banda de 5 MHz.

Transmisores

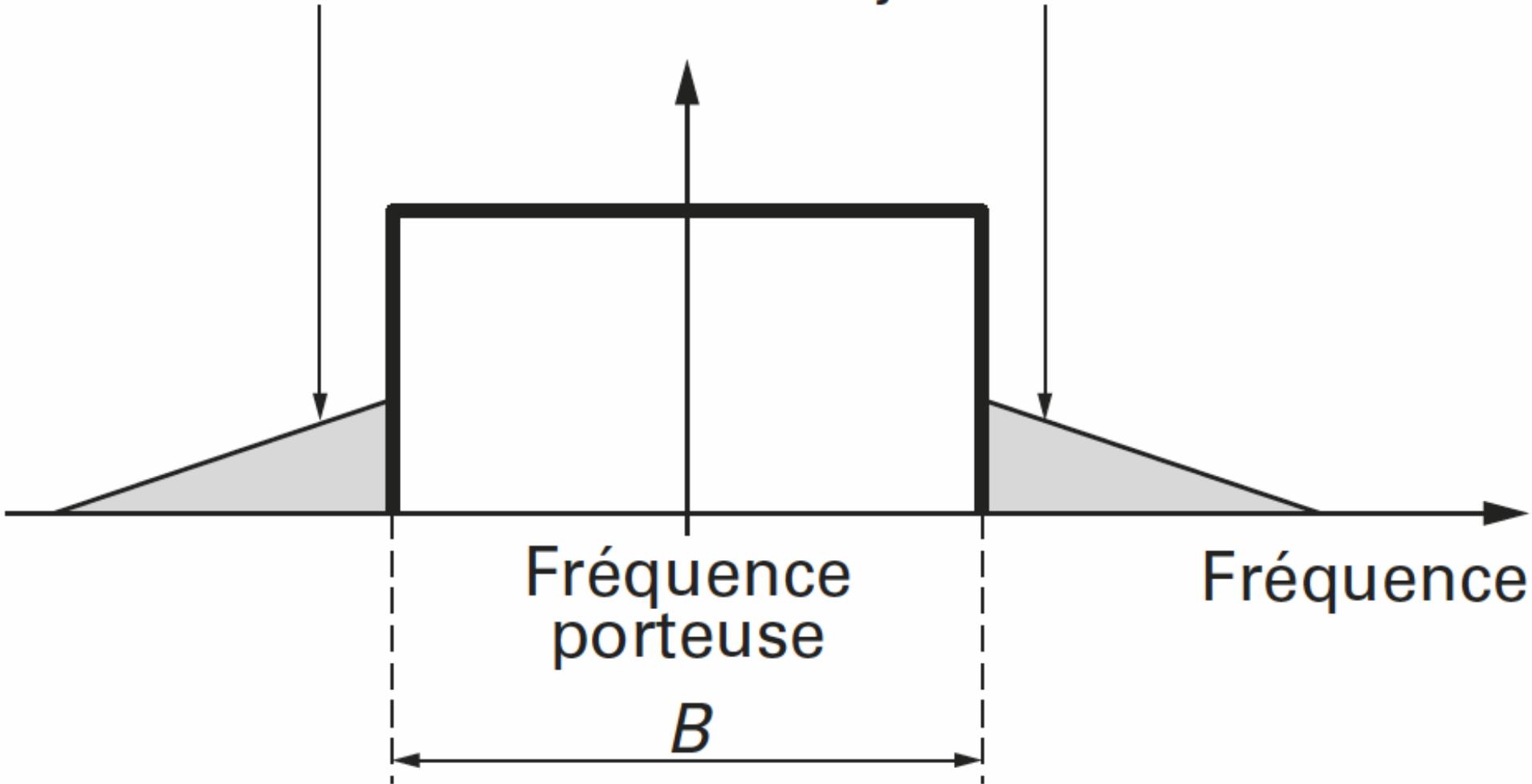
Para este filtrado, los parámetros más importantes son, en primer lugar, la atenuación fuera de banda, que debe tener un valor finito.

El valor A_{max} puede realizarse mediante el examen de la Fig. 8.4.



Transmisores

Puissance indésirable
dans les canaux adjacents



Distribución en torno a la portadora¹³ [1].

Transmisores

Del valor finito de A_{max} , resultan potencias indeseables en los canales adyacentes.

En el caso de una señal de audio, no es de interés en ese valor A_{max} ya que el oído es poco sensible a la fase relativa.

En el caso de una señal de vídeo, es importante el valor A_{max} y el tiempo de propagación del grupo.

Se filtra la señal de vídeo para el caso de la adición de uno o más subportadoras de audio o de datos de baja velocidad.

Transmisores

En el caso de la modulación digital, el procesamiento de banda base puede incluir los circuitos de codificación y filtros de banda limitante.

La codificación consiste en convertir la señal de banda base en otra señal a la banda base.

Por ejemplo, una señal NRZ se puede codificar por ejemplo en duobinaria o el Manchester.

Transmisores

El espectro de la señal de banda base se limitará al valor estrictamente necesario para su demodulación.

Transmisores

8.2.2. Moduladores

La elección del modulador naturalmente dependerá del tipo de modulación que se adopte.

Se han realizado análisis sobre los moduladores analógicos y digitales.

Portadora $v(t) = A \cos(\omega t + \varphi)$	Modulaciones analógicas	Modulaciones digitales
A =Amplitud	DSB, DSB-WC or DSB AM DSB-SC DSB-RC SSB, or SSB-AM SSB-WC SSB-SC VSB, or VSB-AM QAM	ASK M-QAM
ω =frecuencia	FM	FSK CPFSK MSK GMSK
φ =fase	PM	PSK DPSK QPSK DQPSK M-PSK

Transmisores

8.2.3. Generación de la frecuencia piloto

Se define la estructura que debe adoptar para generar la portadora. El tipo de modulación puede afectar el desarrollo de la portadora.

Se definen las condiciones de funcionamiento.
El transmisor está trabajando en una sola frecuencia o en una banda de frecuencia.

Transmisores

El oscilador deberá ser estable en el tiempo, la temperatura y la tensión de alimentación.

Bajo ruido de fase o de frecuencia cerca de la frecuencia central, y la potencia de salida debe ser compatible con las siguientes etapas.

Si el emisor está trabajando en una sola frecuencia y la modulación es de amplitud, se puede usar un oscilador de cristal.

Transmisores

Si la frecuencia es baja, se puede utilizar una sola etapa de oscilador.

Si la frecuencia es superior a 30 MHz, se utiliza para un oscilador seguido de varias etapas multiplicadoras.

Se requerirá esta solución para competir con un PLL, lo que da los mismos resultados en términos de precisión y estabilidad como un oscilador de cuarzo.

Transmisores

Un oscilador LC sólo podrá ser adecuado para aplicaciones en las de bajo costo.

Un oscilador por PLL es una buena solución para todos los tipos de modulación, amplitud o frecuencia.

Transmisores

En la modulación de frecuencia, la señal de salida del oscilador se envía directamente a las etapas de salida.

En la modulación de amplitud, la señal de salida se envía al modulador simultáneamente con la señal moduladora en banda base.

Transmisores

La modulación de amplitud de doble banda, con o sin soporte no plantea ningún problema.

Si un mezclador equilibrado recibe simultáneamente la señal en la frecuencia central y la señal de banda base, se realiza una modulación de amplitud con portadora suprimida.

Al añadir o volver a insertar en la salida la portadora, se genera una modulación de amplitud con portadora.

Transmisores

El caso de SSB es mucho más delicado, porque hay que seleccionar una de las bandas laterales.

La señal de banda base no tiene energía en las frecuencias más bajas del espectro o, se filtraron de entrada.

Se pueden implementar dos estructuras muy diferentes:

- a) Filtrado en baja frecuencia y
- b) Transposición o mezclador con supresión de imagen

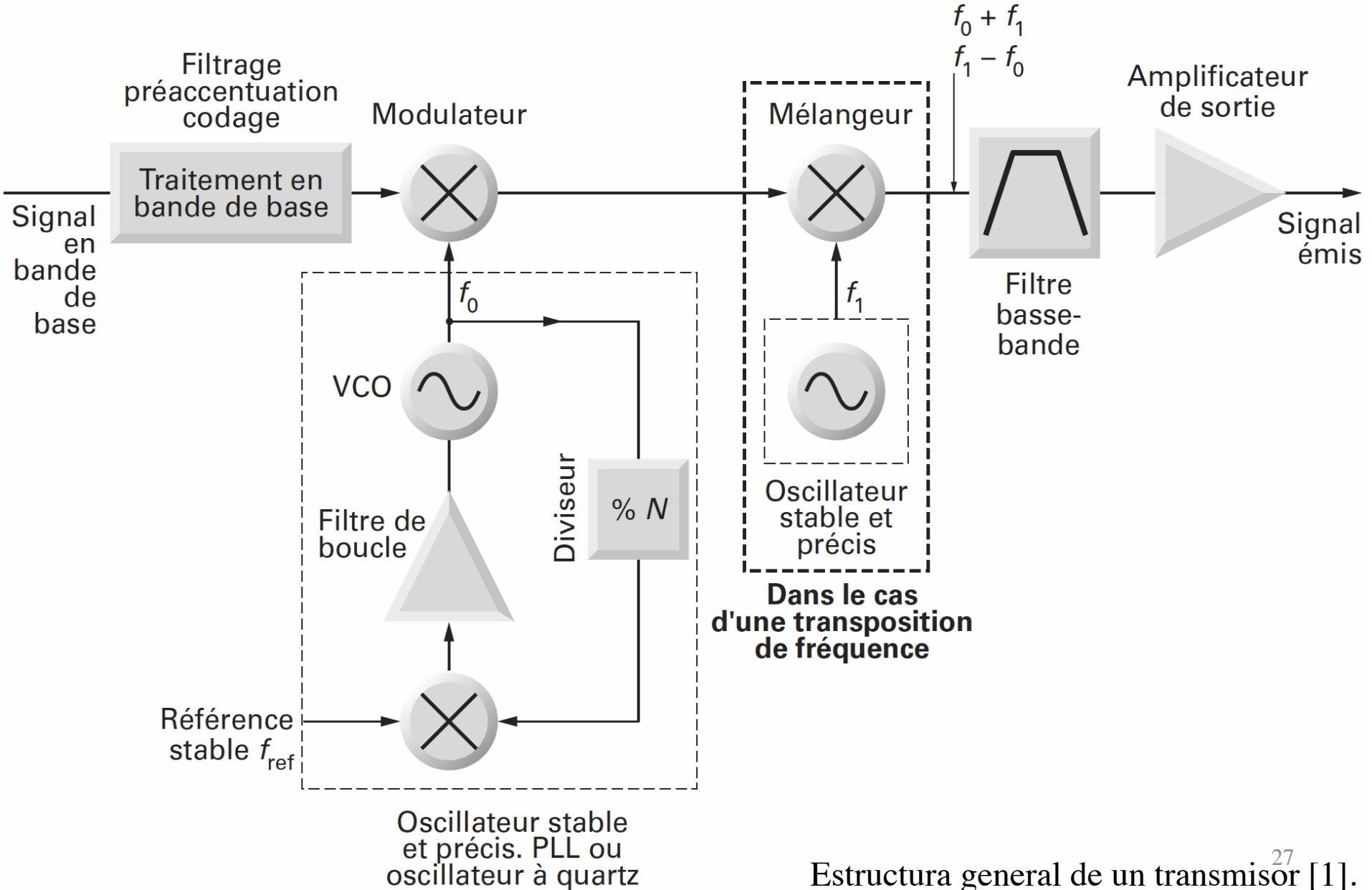
Transmisores

En la modulación de frecuencia, la elección es limitada a dar una solución a la modulación directa o indirecta.

Independientemente del tipo de modulación, es posible que no se pueda modular directamente la frecuencia portadora.

En este caso, se recurre a una etapa de translación de frecuencia final que implica osciladores locales, mezcladores y filtros.

Transmisores



Transmisores

En el caso de una conversión de frecuencia, la frecuencia f_0 se transpone a la frecuencia f_1 .

De la mezcla multiplicación se deduce que ambos productos $f_1 + f_0$ y $f_1 - f_0$; se supone que $f_1 \gg f_0$.

Lo que se pretende es enviar la señal de modulación en una sola portadora y no dos.

Uno de los dos productos debe ser eliminado por filtrado.

Transmisores

El oscilador de f1 debe tener las mismas características que el oscilador de f0 en cuanto a estabilidad y el ruido.

El mezclador tiene un papel importante y que se supone que es simplemente un multiplicador.

En la práctica, los mezcladores son elementos no lineales altamente imperfectos que proporcionan los productos

$$|\pm mf_1 \pm mf_0|$$

Transmisores

El tipo de mezclador se seleccionará mediante la comparación de su desempeño por generación de productos indeseables y el costo.

Aunque la transposición de frecuencia no se aplicable, el filtro de paso de banda debe incluirse siempre.

Este se encargará de eliminar los inevitables armónicos $2f_0$, $3f_0$, ... procedentes del oscilador, PLL o de cuarzo.

Por último, la señal se transmite al amplificador de salida.

Transmisores

8.2.4. Amplificador de salida

Antes que nada, hay que responder un par de preguntas:

- a) Cuál es el tipo de modulación?
- b) Cuál es la potencia de salida?

Transmisores

Clase de funcionamiento del amplificador de salida

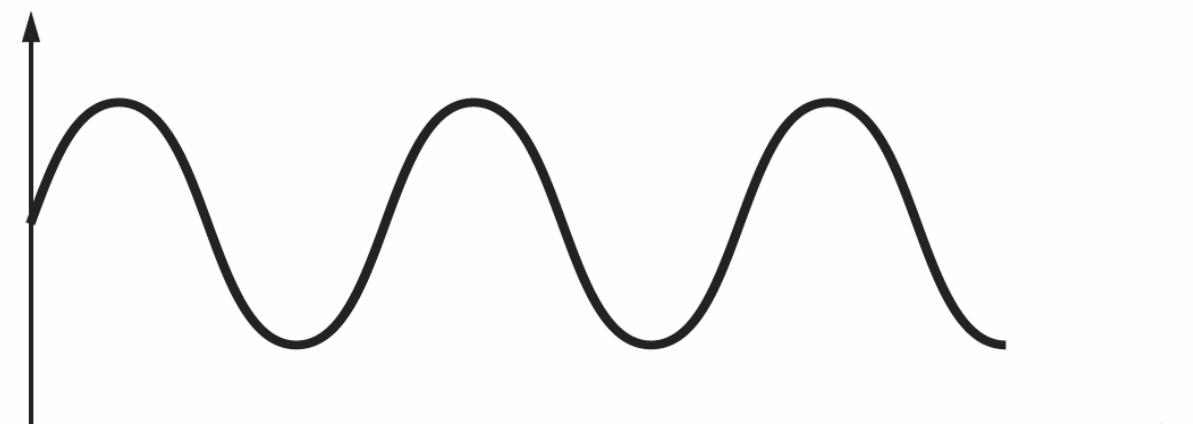
La respuesta a la primera pregunta selecciona al instante la clase de funcionamiento del amplificador.

Si se trabaja en la modulación de amplitud, las etapas de salida deben trabajar en la clase A o posiblemente AB. Esto implica un rendimiento deficiente.

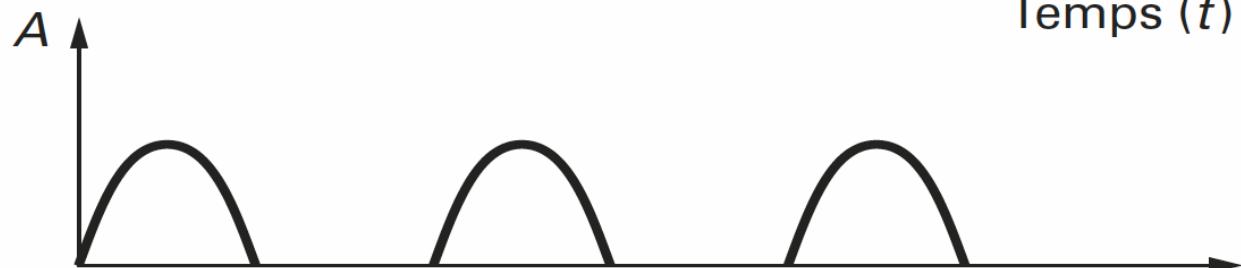
Si se trabaja modulación de frecuencia de operación puede ser de clase A, B, AB o C siendo preferida la clase C que da los mejores resultados en términos de rendimiento.

Amplitude du courant dans l'étage de sortie (A)

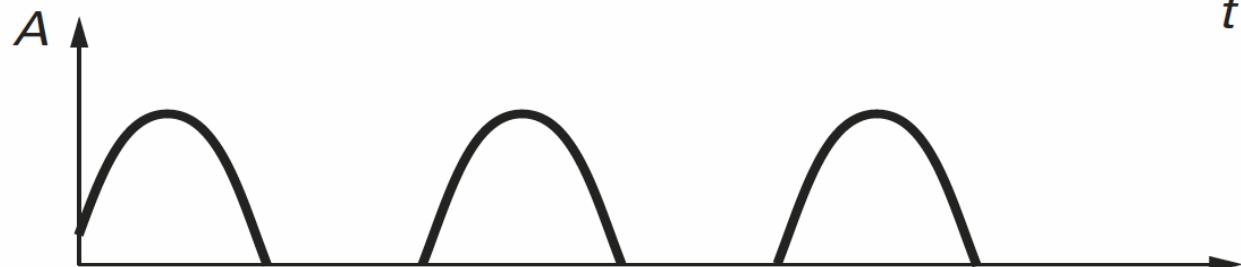
Classe A
conduction 360°



Classe B
conduction 180°

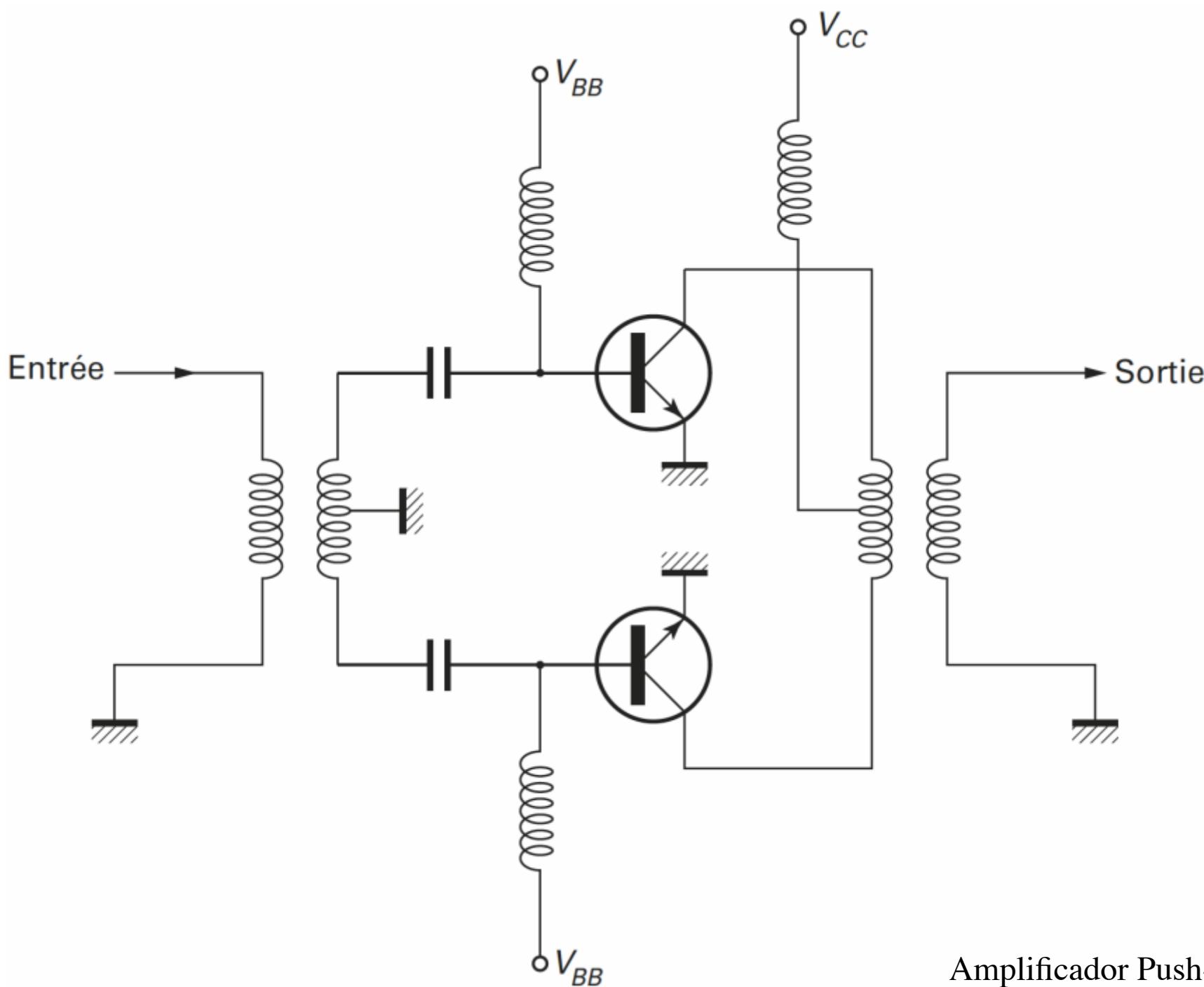


Classe AB
conduction supérieure
à 180°



Classe C
conduction inférieure
à 180°





Amplificador Push-pull

Transmisores

En clase A, el rendimiento teórico máximo es de 50%, pero normalmente se sitúa entre 25 y 50%.

Clase B, el rendimiento teórico máximo es de 78%

Clase C rendimientos de alrededor del 90%.

Transmisores

Clase A se utilizan para amplificar señales pequeñas y el rendimiento es de poca importancia.

Clase A en las etapas salida cuando la linealidad es un parámetro importante.

Clase AB o B también pueden trabajar en modo lineal; son interesantes en las etapas de salida de alta potencia.

En la clase A, B y AB los amplificadores se pueden diseñar la operación en banda ancha (adaptación de banda ancha).

Transmisores

Clase C, son altamente no lineales, se adaptarán a un dominio de frecuencias. A la salida del amplificador en clase C se coloca un filtro que elimina los armónicos y selecciona sólo la portadora. Este filtro reduce el rango de uso del amplificador.

Los requisitos de potencia de salida se estiman mediante el examen del procedimiento de modulación elegido.

La potencia de salida requerida viene determinada por la relación S / N necesaria y por el estado del enlace.

8.2.5. Adaptación de impedancias

Para enviar la potencia suministrada por la etapa de salida al medio de transmisión es necesario un circuito de adaptación de impedancias que se interpone entre la salida del amplificador y la carga.

La carga puede ser una antena, un cable coaxial, un cable de alambre o una guía de ondas.

8.2.6. Conclusiones sobre el transmisor

Durante el diseño del transmisor, los puntos más importantes son:

- a) Estabilización de la portadora
- b) Principio adoptado para la modulación
- c) Amplificación, adaptación y rendimiento en las etapas finales
- d) Costo

Receptores

8.3. Receptores

El receptor es a menudo mucho más complejo que el transmisor.

La estructura final de un receptor → compromisos entre los distintos parámetros que afectan al rendimiento.

Todos estos parámetros están estrechamente entrelazados.
No existe una solución ideal o universal.

Receptores

8.3.1. Función del receptor

El receptor recibe una fracción de la portadora modulada emitida en presencia de ruido y otras muchas señales de potencia y frecuencias diversas desconocidas.

La principal función del receptor es la de demodular la portadora y restituir la señal de modulación original.

Dado que el transmisor se encuentra a cierta distancia, previamente habrá que amplificar la señal a la frecuencia portadora.

Receptores

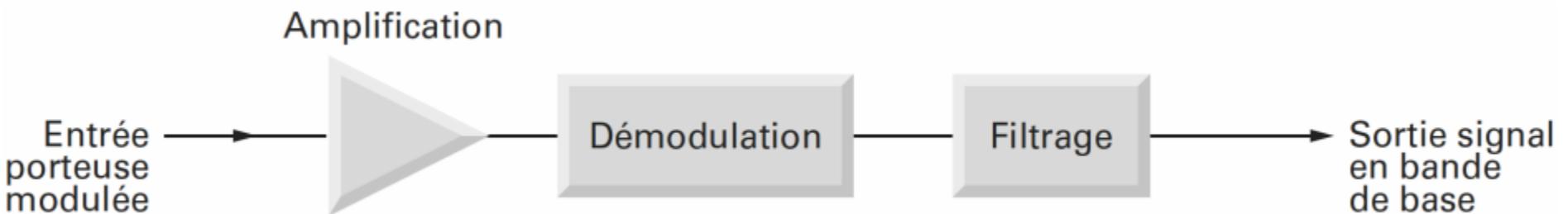


Diagrama en bloques del receptor ideal [1].

Receptores

El amplificador de entrada recibe las señales útiles y las parásitas.

En el peor de los casos, la amplitud de la señal útil será pequeña en comparación con las señales no deseadas.

Generalmente la tensión de salida demodulada es proporcional a la amplitud de la portadora.

A la salida del amplificador, el nivel de la portadora debería ser constante.

El amplificador, deberá tener una ganancia variable y controlada de modo tal que su tensión de salida sea constante.

Receptores

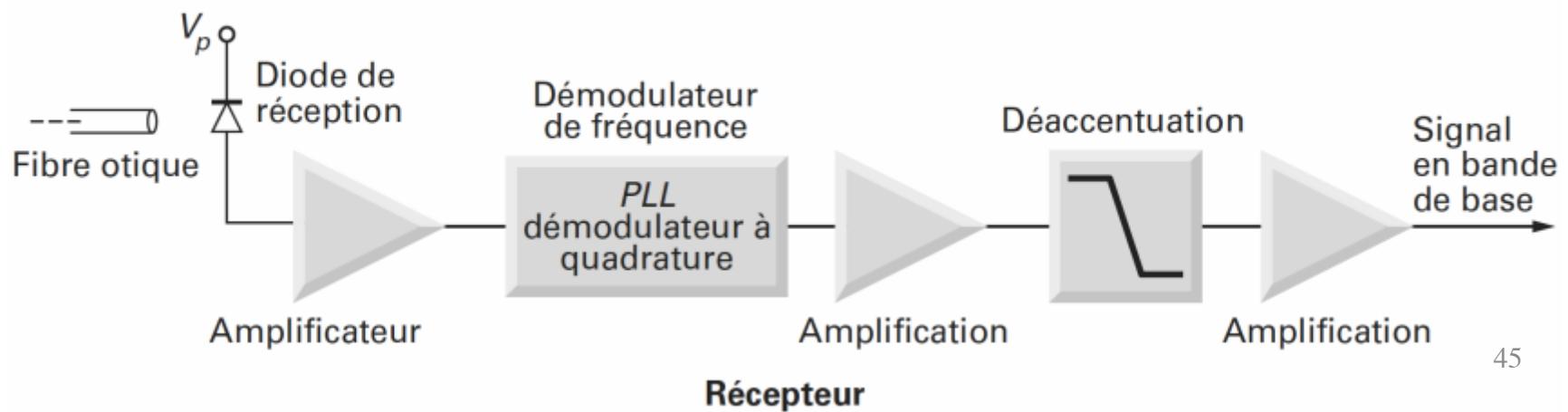
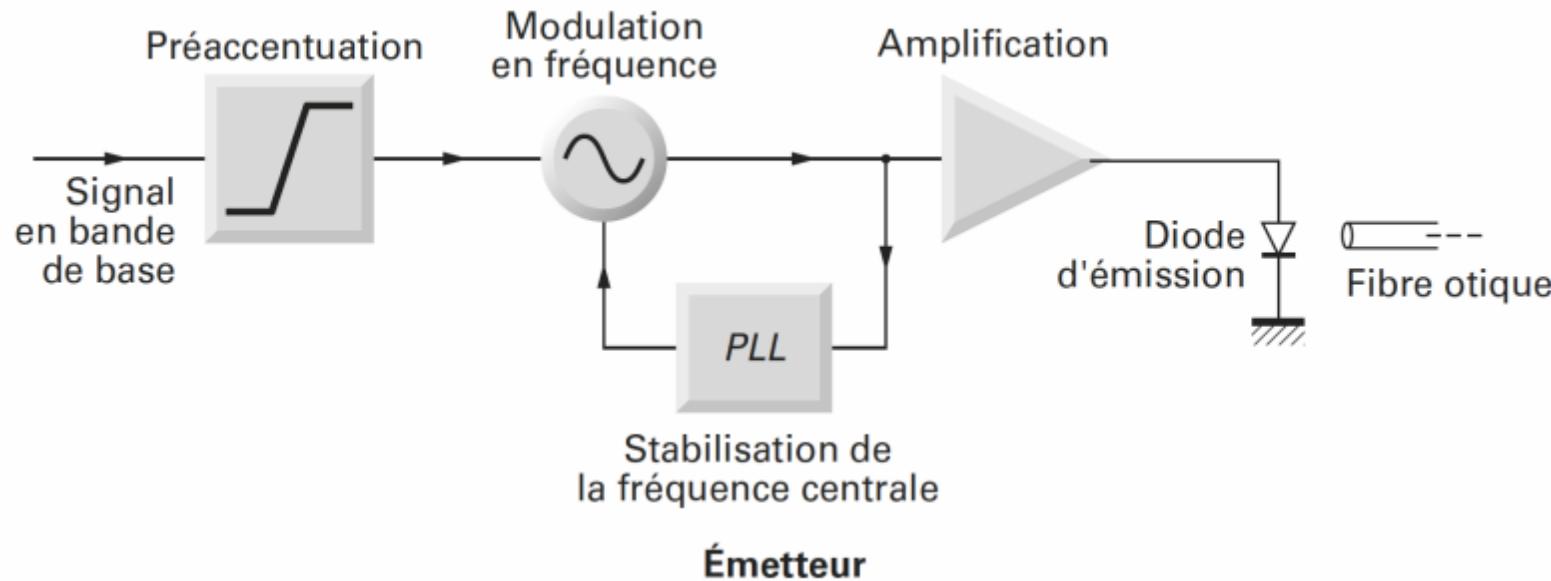
El amplificador debe tener un excelente rendimiento en términos de IP3, figura de ruido y el punto de compresión.

Se requieren filtros de banda entre el amplificador de entrada y el demodulador.

A la salida del demodulador podría ser necesaria la acción de un filtro, como en el caso de FM.

Receptores

Transmisión analógica en una fibra óptica por la modulación de una Subportadora:



Receptores

En la señal de transmisión de banda base es pre-acentuada y enviada a un modulador de frecuencia estabilizada en frecuencia por un PLL.

La frecuencia central modulada modula a su vez la amplitud la corriente en el diodo emisor.

En la recepción, el fotodiodo actúa como un demodulador de amplitud. La corriente que atraviesa el diodo es amplificada y enviada al discriminador que restaura la señal de banda pre-acentuada. Finalmente debemos amplificar y restarle importancia a la señal.

Receptores

Si se desea aprovechar la fibra óptica para transportar varios canales, se pueden conectar varias estructuras idénticas en paralelo, con la condición de que se proporcionen los filtros apropiados.

En presencia de múltiples portadoras, la linealidad del amplificador pasa a ser más importante.

Los problemas IP3 estarán siendo observados de cerca.

Receptores

En cualquier caso de la radiodifusión, el receptor no puede en ningún caso de frecuencia única.

Normalmente está diseñado para la recepción de un canal entre n otros. Este receptor se coloca entonces en las condiciones más desfavorables:

- Presencia simultánea de todos los canales en la entrada;
- La presencia de señales de amplitud diversa.

Receptores

8.3.2. Receptores con cambios de frecuencia

Un receptor capaz de seleccionar uno de n-canal plantea rápidamente problemas complejos.

Un filtro de entrada permite seleccionar el canal deseado. Esto implica una coincidencia perfecta entre los filtros y los circuitos del demodulador.

Cuanto mayor es la frecuencia de entrada, mas importante será el ancho de banda del filtro de entrada, si el factor Q es fijo.

Toda la amplificación se transfiere a las etapas de entrada, y esto hace que incluso haya más problemas si la frecuencia de entrada es alta..

Receptores

Se elige una traslación de frecuencia

Supongamos que la frecuencia de la portadora modulada f_R es tal que no sabemos cómo llevar toda la amplificación sobre la etapa de entrada.

La solución es trasponer la frecuencia de entrada a una frecuencia que se llama f_I frecuencia intermedia.

Un mezclador recibe la frecuencia recibida f_R y la señal de un oscilador local f_{OL} .

El mezclador es equivalente a un multiplicador. La frecuencia transpuesta f_I es o bien la suma o la diferencia de las frecuencias de entrada:

$$f_I = |f_{OL} \pm f_R|$$

Receptores

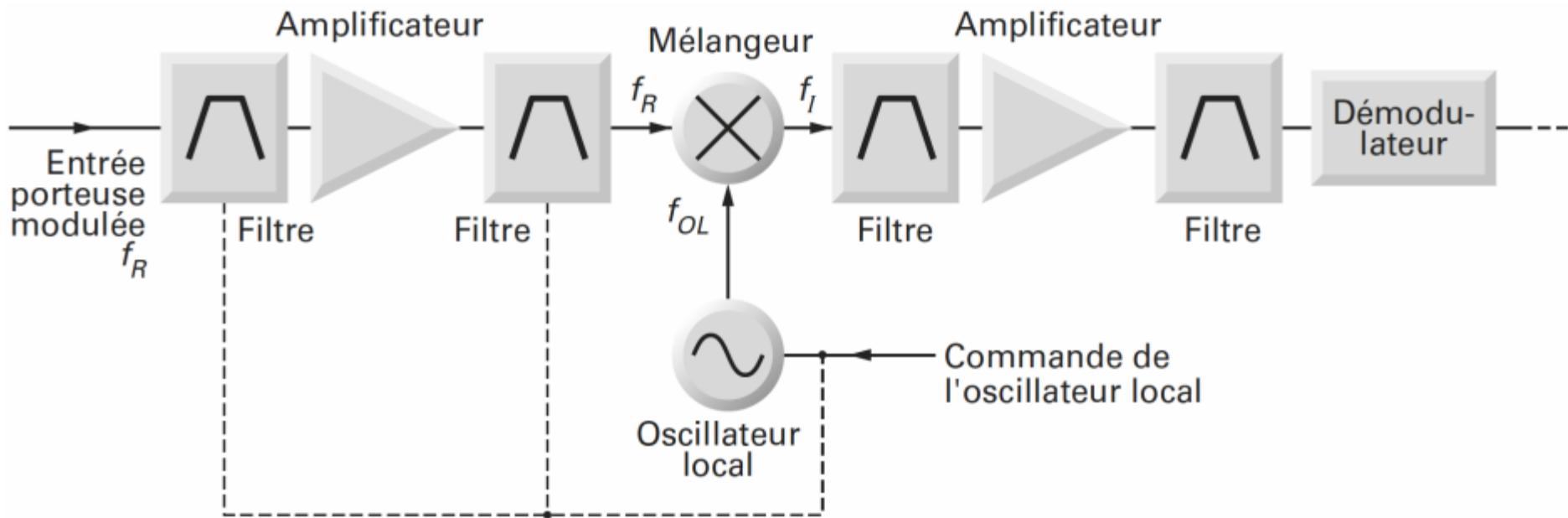


Fig. 8.10. Diagrama en bloques del receptor con cambio de frecuencia [1].

Receptores

Existen dos opciones para elegir esta frecuencia intermedia.

Si la frecuencia intermedia es igual a la suma de las frecuencias, es más alta que la frecuencia de entrada, y esto viene en contradicción con el propósito.

Si la frecuencia intermedia es igual a la diferencia entre las frecuencias, es más baja que la entrada fR frecuencia.

Cada una de las dos soluciones simultáneamente tiene ventajas y desventajas.

Receptores

8.3.3. Frecuencia intermedia más baja

Supongamos que un receptor recibe una frecuencia fR transpuesta por un oscilador fOL a la frecuencia intermedia fI, con:

$$f_I = f_{OL} - f_R$$

Existe una segunda frecuencia que, mezclada con el oscilador local a la frecuencia fOL, ***dará como resultado una señal de frecuencia intermedia.*** La frecuencia intermedia se obtiene por uno de los productos siguientes:

Receptores

$$f_I = |f_{OL} - f_R| = f_{OL} - f_R$$

$$f_I = |f'_R - f_{OL}| = f'_R - f_{OL}$$

La frecuencia $f'R$ inyectada a la entrada del receptor se recibe simultáneamente con la frecuencia fR . *Esta frecuencia es la frecuencia imagen.*

$$f'_R = f_R + 2f_I$$

Receptores

La frecuencia imagen se encuentra a una distancia de la frecuencia a recibir equivalente a dos veces la frecuencia intermedia.

Esto constituye el primer inconveniente del cambio de frecuencia.

La elección de la frecuencia intermedia es delicada y sujeto a imperativos contradictorios.

Cuanto mas elevada sea la frecuencia intermedia, más fácil será eliminarla por filtrado de entrada, tanto antes como después del amplificador de entrada.

Receptores

Cuanto más alta sea la FI, más delicadas serán las operaciones de amplificación y filtrado en la cadena de la FI.

La señal de la frecuencia recibida puede reducirse bajo ciertas condiciones, aceptando la presencia de la frecuencia intermedia.

La elección del valor de la frecuencia intermedia se facilita mediante la integración de un nuevo parámetro: *el ancho de banda ocupado por todos los canales que se reciban.*

Receptores

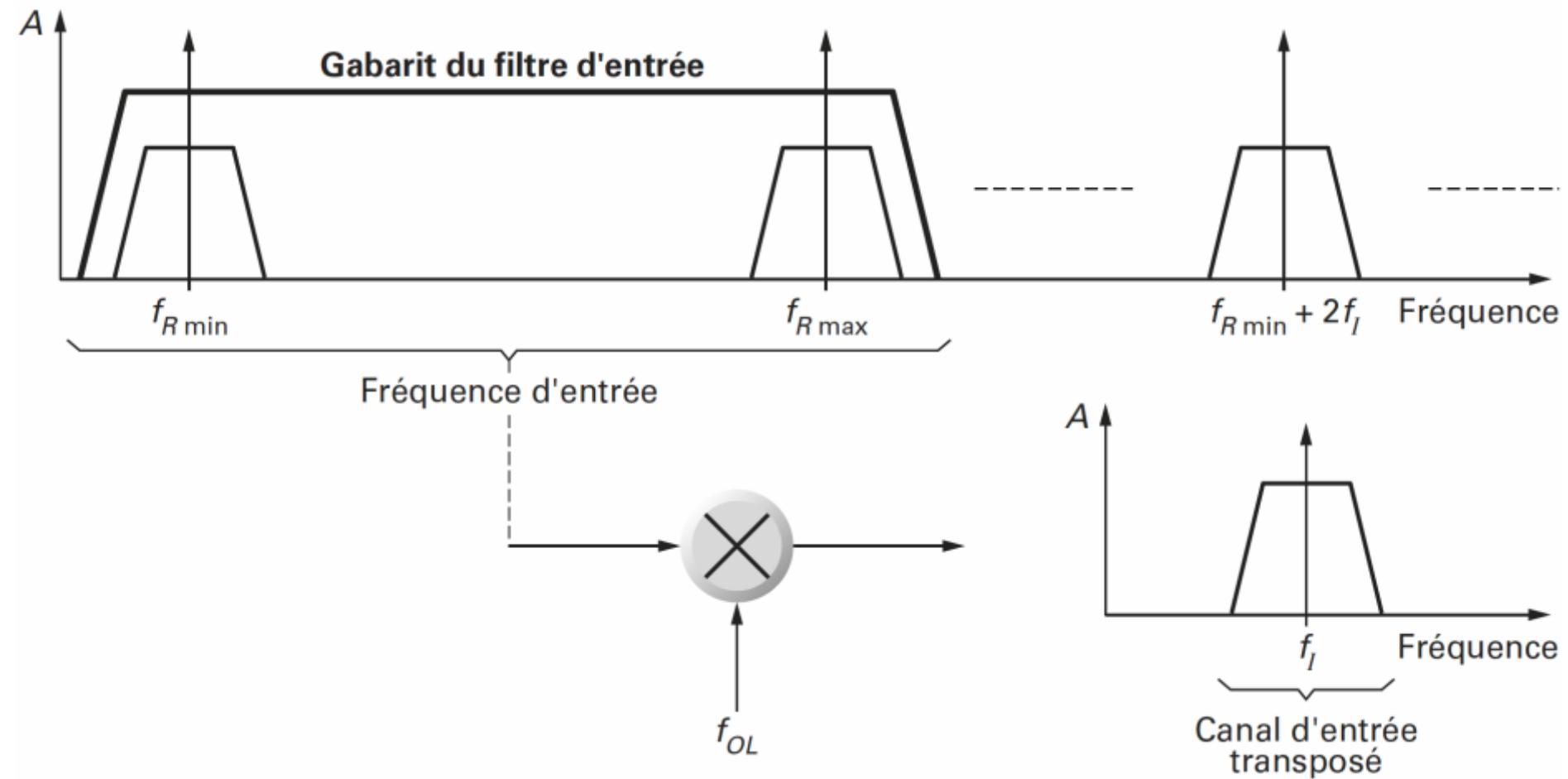


Fig. 8.11. Selección de los canales de entrada y elección de la FI [1].

Receptores

El diagrama de la Fig. 8.11 representa los n canales entre las frecuencias y fRmax fRmin.

Los filtros de entrada fijos seleccionan sólo esta gama de frecuencias. En estas condiciones, las frecuencias imagen estarán comprendidas entre:

$$[f_{R\min} + 2f_I \quad y \quad f_{R\max} + 2f_I]$$

si $f_I = f_{OL} - f_R$

Receptores

Las frecuencias imagen no estorbarán si se encuentran totalmente fuera de banda del filtro de entrada:

$$f_{R\min} + 2f_I > f_{R\max}$$

Así, la frecuencia intermedia puede seleccionarse mediante:

$$f_I > \frac{f_{R\max} - f_{R\min}}{2}$$

Receptores

Ejemplo 8.1:

Se desean recibir todos los canales de la banda 88.0 a 108.0 MHz.

FR_{min}=88MHz

FR_{max}=108.0MHz

Determine el valor mínimo de la frecuencia intermedia.

Respuesta:

$$f_I > \frac{f_{R_{\max}} - f_{R_{\min}}}{2} = \frac{108.0 - 88.0}{2} = 10 \text{MHz}$$

En la práctica, el valor de FI seleccionado es de 10.7MHz.

Receptores

El rechazo de la frecuencia imagen no puede ser infinito por ello se hablará del rechazo de la frecuencia imagen.

Desde el diagrama de bloques de la Fig. 8.11, se puede observar que **al variar la frecuencia del oscilador local**, es transpuesto uno u otro de los canales en un canal fijo centrado en la frecuencia intermedia:

$$f_{OL\min} = f_I + f_{R\min}$$

$$f_{OL\max} = f_I + f_{R\max}$$

Receptores

Las señales correspondientes a todos los canales de toda la banda están presentes simultáneamente en la entrada del amplificador y el mezclador.

Esto implica los requisitos de linealidad para estos dos elementos.

Esta configuración puede ser adoptada, pero se prefiere en general la configuración de la Fig. 8.12, donde un filtro de entrada a la frecuencia central variable selecciona un grupo de canales adyacentes.

Receptores

El control de frecuencia de este filtro está acoplado con el control del oscilador local

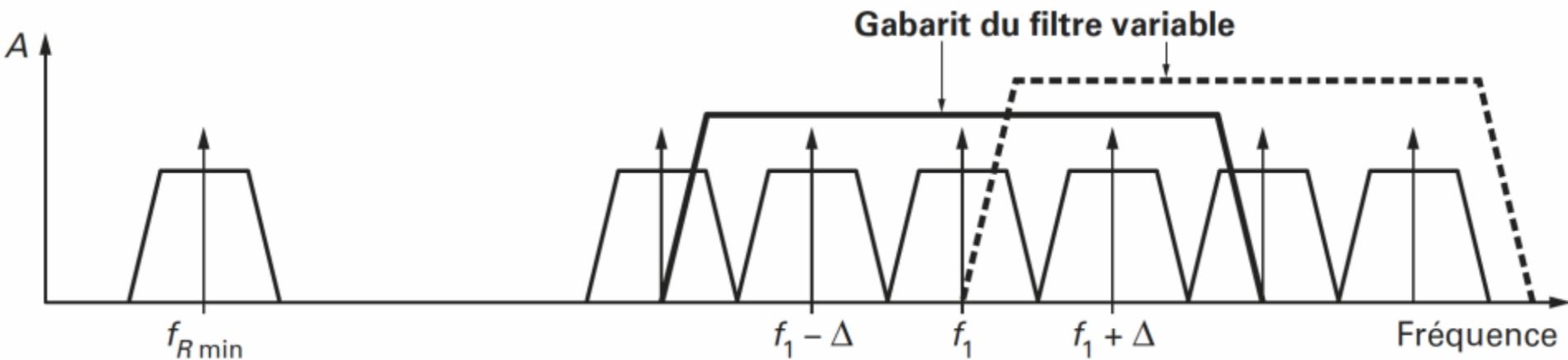


Fig. 8.12. Un filtro de entrada de sintonización variable selecciona un grupo de canales [1].
(Gabarit=plantilla)

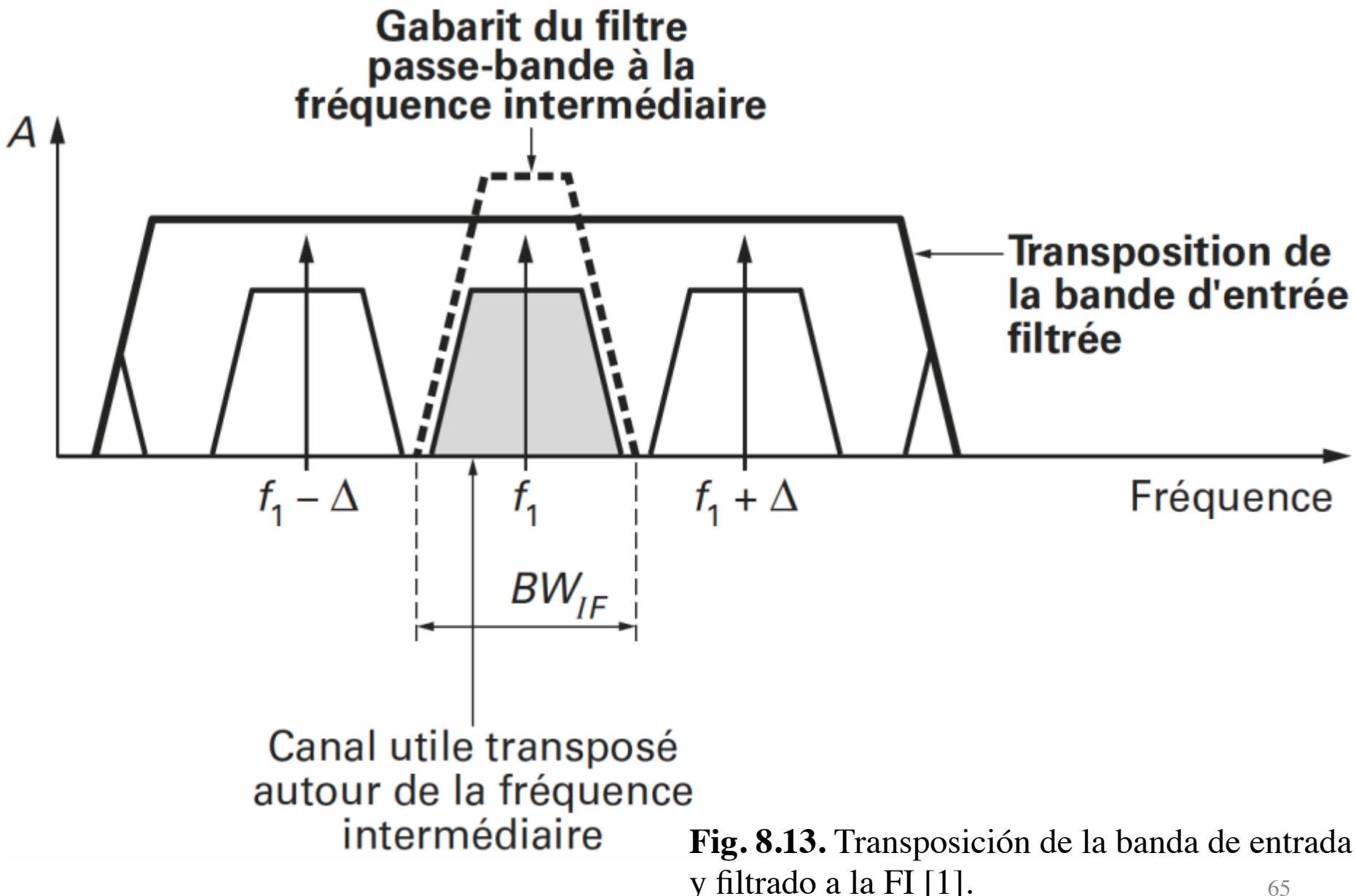
Receptores

La Fig. 8.12 muestra un filtro de entrada que selecciona tres canales.

Ahora sólo se aplican simultáneamente tres señales a la etapa de entrada. El canal central en la frecuencia f_1 es el canal útil que será transpuesto a la frecuencia intermedia f_I .

La Fig. 8.13 muestra que los otros dos canales, a las frecuencias f_1 y $f_1 + \Delta$ y $f_1 - \Delta$ se convierten en frecuencias $f_I + \Delta$ y $f_I - \Delta$.

Receptores



Receptores

La precisión de la plantilla del filtro de entrada no es un factor crítico como la exactitud del traqueo.

Se trata solo de seleccionar un grupo de canales, en el que está incluido el canal de útil.

El espectro seleccionado en la entrada está totalmente transpuesto a la salida del mezclador. Esto deja a las señales no deseadas alrededor de la portadora centrada en la frecuencia f_I .

Receptores

Un estado *fijo* centrado a la frecuencia intermedia selecciona el canal y rechaza las bandas laterales no deseadas.

Este es un segundo motivo para el cambio de frecuencia.

De hecho, uno puede seleccionar un canal entre n gracias a un filtro fijo colocado en la cadena de amplificación de frecuencia intermedia.

Puesto que el ancho de banda y la frecuencia central son fijos, QIF es fijo.

Receptores

$$Q_{IF} = \frac{f_I}{BW_{IF}}$$

fI es la frecuencia central.

BWIF es el ancho de banda del filtro a la frecuencia central.

Si se quisieran obtener las mismas prestaciones en la etapa de entrada, el coeficiente Q necesario a la entrada sería:

$$Q_{RF} = \frac{f_{RF}}{BW_{IF}}$$

$$Q_{RF} = \frac{f_{RF}}{f_I} Q_{IF}$$

Por consiguiente, la transposición hacia una FI más baja simplifica la realización del filtro.

Receptores

Ejemplo 8.2:

Sea

$$f_{RF} = 100 \text{ MHz}$$

$$f_I = 10 \text{ MHz}$$

$$BW_{IF} = 200 \text{ kHz}$$

Calcular QIF y QRF

Respuesta:

$$Q_{IF} = \frac{f_I}{BW_{IF}} = 50$$

$$Q_{RF} = \frac{f_{RF}}{BW_{IF}} = 500$$

Receptores

Un filtro de $QRF = 500$, para una frecuencia de 100 MHz es difícilmente realizable.

Se añade a esta otra dificultad: debe ser variable en términos de frecuencia central y fija en términos del Q.

Vemos aquí el interés por el punto central de la transposición de frecuencia. En este punto de la cadena de recepción, el nivel de la portadora modulada es generalmente insuficiente para ser enviado directamente a la demodulador.

Bastaría entonces con prever una cadena de amplificación que tuviera la suficiente ganancia como para que el nivel recibido por el demodulador sea aceptable.

Receptores

La frecuencia recibida se ha desplazado hacia abajo.

Independientemente del tipo de transmisor, receptor, tipo de modulación o el tipo de señales a transmitir, analógica o digital, las potencias recibidas se incluyen en una amplia dinámica.

Esta dinámica se basa sobre todo en la distancia entre el transmisor y el receptor.

Se pueden alcanzar valores tan grandes como 100 dB.

Receptores

Amplificadores de ganancia variable, que suministran una potencia media constante al demodulador de amplitud.

La configuración final es la de la Fig. 8.14.

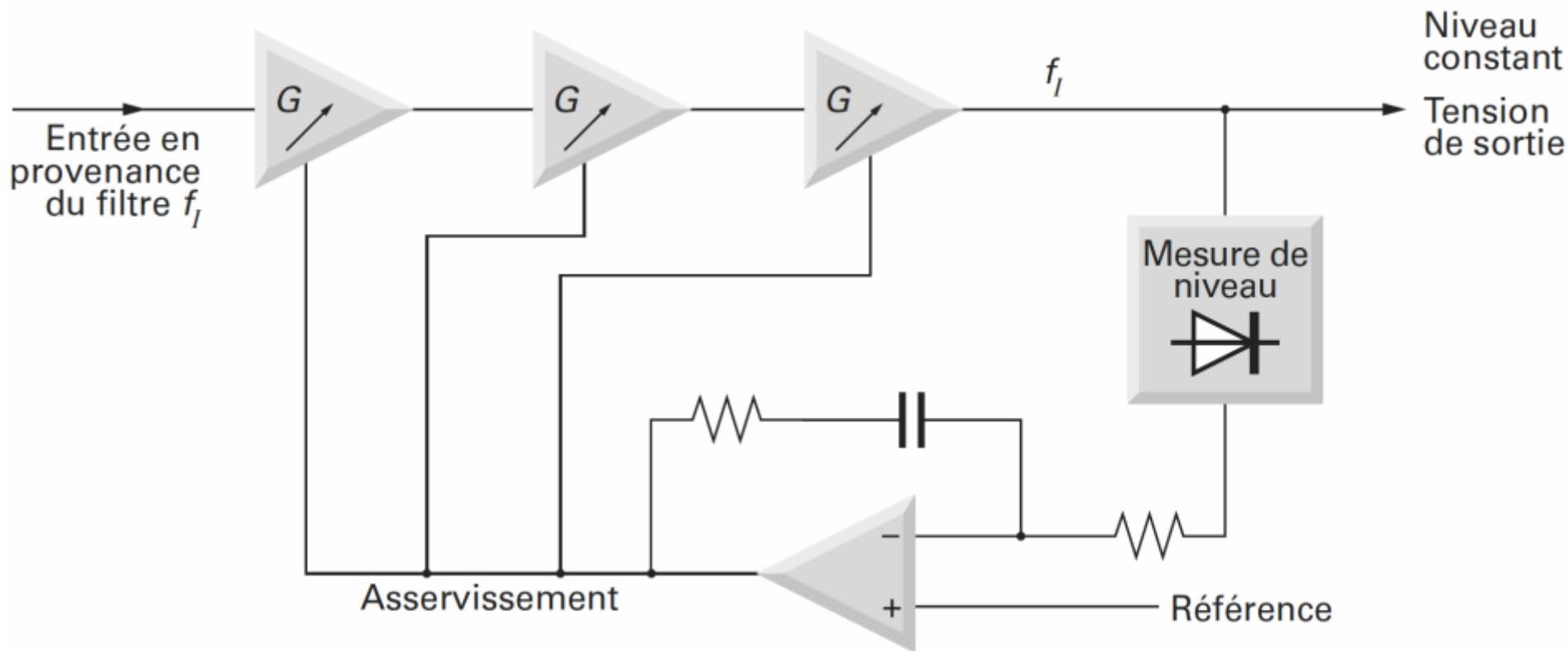


Fig. 8.14. Control automático de ganancia, etapas de frecuencia intermedia [P].

Receptores

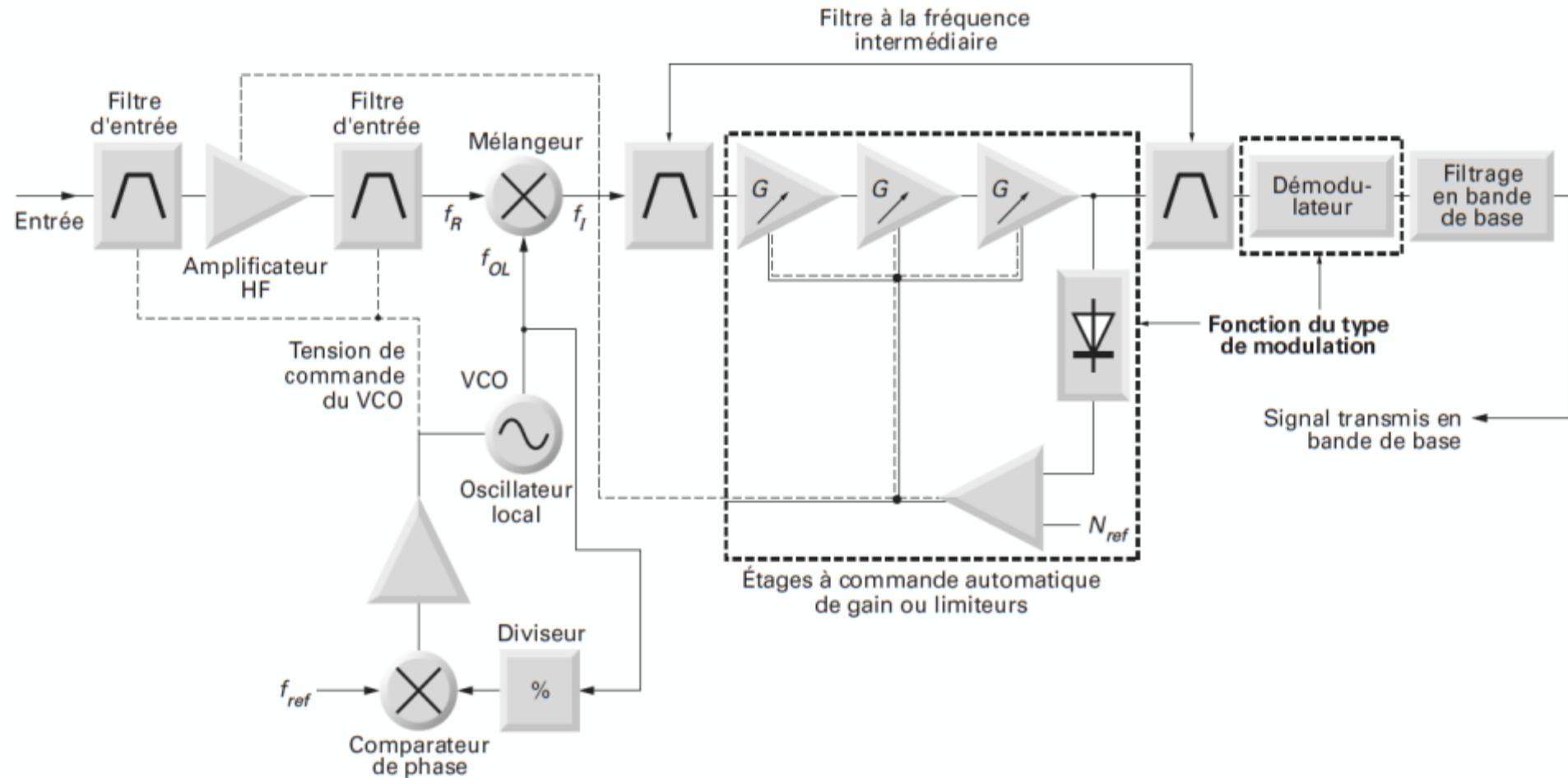


Fig. 8.15. Esquema de un receptor de frecuencia variable [1].

Receptores

Los cambios principales se refieren a la adición de un PLL para estabilizar el oscilador local y la clarificación de las etapas amplificadores de FI.

Pros y contras, la recepción por un cambio de frecuencia:

- La estructura del receptor es independiente del tipo de modulación, AM o FM
- Las diferencias radican en el tipo de demodulador, frecuencia o amplitud y el tipo de amplificador de FI, control automático de ganancia o limitador.
- El filtro de entrada puede seleccionar todo o parte de la cinta de entrada. Si el filtro selecciona toda la banda de frecuencias, el amplificador de RF de entrada tendrá un mejor rendimiento, en términos de IP3 si el filtro selecciona sólo una parte de la tira.
- Si el receptor es de un solo canal, los filtros de entrada y el oscilador local pueden ser fijos. De lo contrario, el VCO debe estabilizarse.

Receptores

8.3.4. Respuestas parásitas del receptor

Las respuestas espurias son frecuencias diferentes de la frecuencia recibida deseada que puede formar después de la demodulación, señales de banda base. Esto es debido a problemas de intermodulación en todas las etapas de entrada y el cambiador de frecuencia.

Estos problemas se producen en los receptores capaces de cubrir una amplia gama de frecuencias (filtros de entrada ancha) y cuando los niveles de señal parásita son de alta amplitud.

La compresión en las etapas de entrada genera los armónicos de la señal.

Por tanto, es deseable buscar todas las frecuencias de entrada, después de mezclar su fundamental o armónica con la fundamental o un armónico de la frecuencia del oscilador local, que den exactamente la frecuencia intermedia:

Receptores

$$\pm mf_{RF} \pm nf_{OL} = \pm f_I$$

Siendo m y n enteros positivos estrictamente superiores a cero. Las frecuencias indeseables recibidas por el receptor vienen dadas por el siguiente par de relaciones:

$$f_{RF1} = \frac{nf_{OL} - f_I}{m} \quad f_{RF2} = \frac{nf_{OL} + f_I}{m}$$

Siendo m=n=1, se reciben las dos frecuencias $f_{OL} - f_I$ y $f_{OL} + f_I$. La primera es la frecuencia que se pretende recibir, mientras que la segunda es la frecuencia imagen.

Receptores

La Tabla 8.1 proporciona todas estas frecuencias para los números enteros m y n entre 1 y 4.

Las combinaciones más problemáticas son la diagonal de la tabla.

Aún existe otra frecuencia parásita indeseable; se trata de la propia frecuencia intermedia, el nivel de esta frecuencia, disponible a la salida del mezclador, sólo está condicionado por el aislamiento RF-IF del mezclador y del rechazo de esta frecuencia por los filtros de entrada.

Receptores

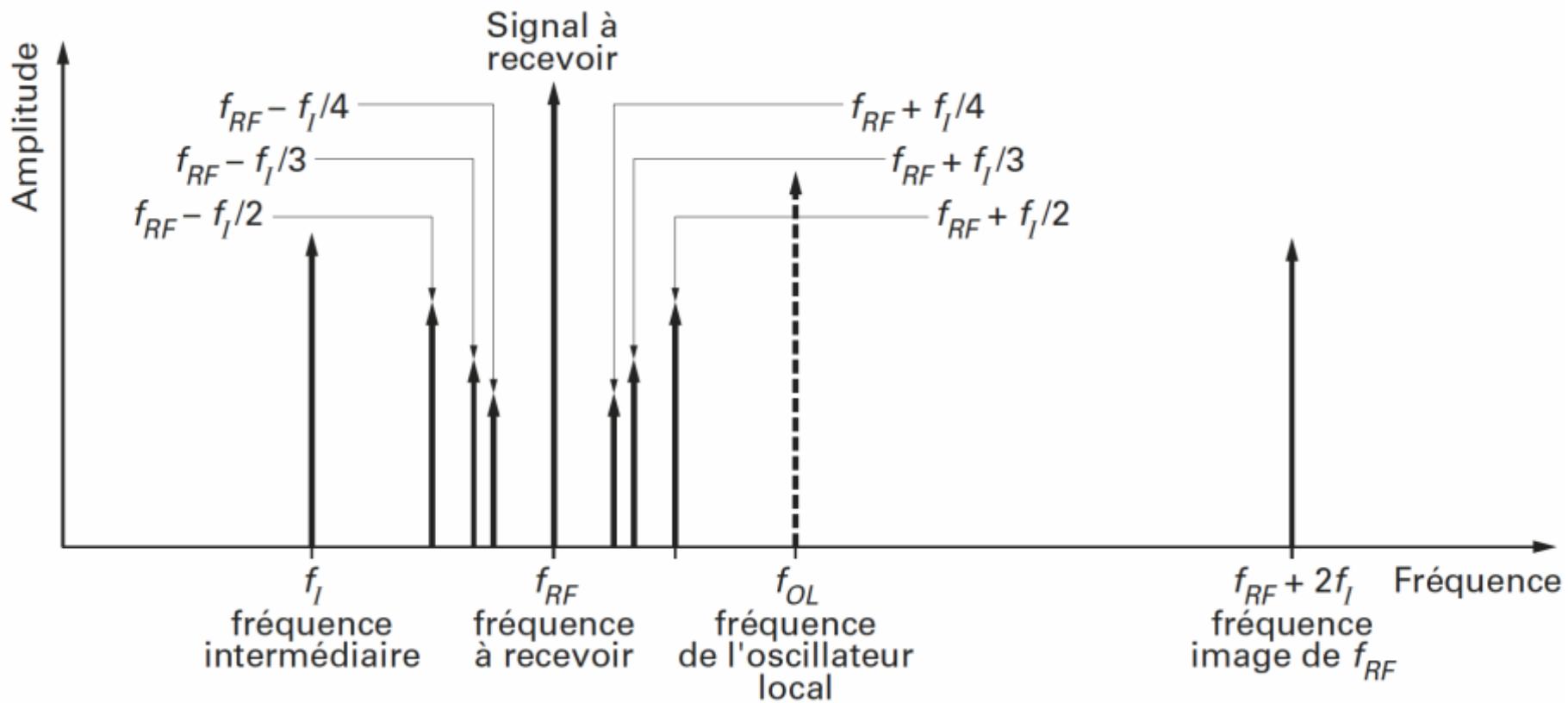


Fig. 8.16. Principales respuestas por unidades del receptor [1].

Tabla 8.1 Primeras respuestas por unidades a la entrada del receptor

<i>n</i>	<i>m</i>	1	2	3	4
1		$f_{OL} - f_I$	$\frac{f_{OL} - f_I}{2}$	$\frac{f_{OL} - f_I}{3}$	$\frac{f_{OL} - f_I}{4}$
		$f_{OL} + f_I$	$\frac{f_{OL} + f_I}{2}$	$\frac{f_{OL} + f_I}{3}$	$\frac{f_{OL} + f_I}{4}$
2		$2f_{OL} - f_I$	$f_{OL} - \frac{f_I}{2}$	$\frac{2f_{OL} - f_I}{3}$	$\frac{f_{OL}}{2} - \frac{f_I}{4}$
		$2f_{OL} + f_I$	$f_{OL} + \frac{f_I}{2}$	$\frac{2f_{OL} + f_I}{3}$	$\frac{f_{OL}}{2} + \frac{f_I}{4}$
3		$3f_{OL} - f_I$	$\frac{3f_{OL} - f_I}{2}$	$f_{OL} - \frac{f_I}{3}$	$\frac{3f_{OL} - f_I}{4}$
		$3f_{OL} + f_I$	$\frac{3f_{OL} + f_I}{2}$	$f_{OL} + \frac{f_I}{3}$	$\frac{3f_{OL} + f_I}{4}$
4		$4f_{OL} - f_I$	$2f_{OL} - \frac{f_I}{2}$	$\frac{4f_{OL} - f_I}{3}$	$f_{OL} - \frac{f_I}{4}$
		$4f_{OL} + f_I$	$2f_{OL} + \frac{f_I}{2}$	$\frac{4f_{OL} + f_I}{3}$	$f_{OL} + \frac{f_I}{4}$

Receptores

8.3.5. Filtros fijos para FI estándar

La elección de la FI puede verse facilitada con la disposición de filtros fijos, ajustados a las frecuencias estándar.

Estos filtros monolíticos pueden realizarse a partir de diferentes tecnologías; filtros cerámicos, de cuarzo, SAW.

Receptores

Las frecuencias estándar son como sigue:

455 kHz, 10,7 MHz, 21,4 MHz, 70 MHz, 130 o 140 MHz, 480 MHz.

Para las dos primeras frecuencias, 455 kHz y 10,7 MHz, los filtros son cerámicos. Los anchos de banda son entre unos pocos kHz a 455 kHz y varios centenares de kHz a 10,7 MHz.

En la frecuencia de 21,4 MHz los filtros son de cuarzo, y para las frecuencias más altas los filtros son sólo SAW.

La elección de cualquiera de estos filtros se deriva del ancho de la señal en banda base que se desea transmitir, asociada con el método de modulación, determina el ancho de banda para la frecuencia intermedia.

Receptores

8.3.6. Ruido de fase en el oscilador local

El espectro de la Fig. 8.17 representa el espectro real de un oscilador local estabilizado por un PLL, tal como se podría ver a través de un analizador de espectro.

Las frecuencias que corresponden a $f_{OL} + f_I$ y $f_{OL} - f_I$ serán convertidas a la FI. Por tanto, es importante que el ruido a estas frecuencias sea lo mas bajo posible.

Receptores

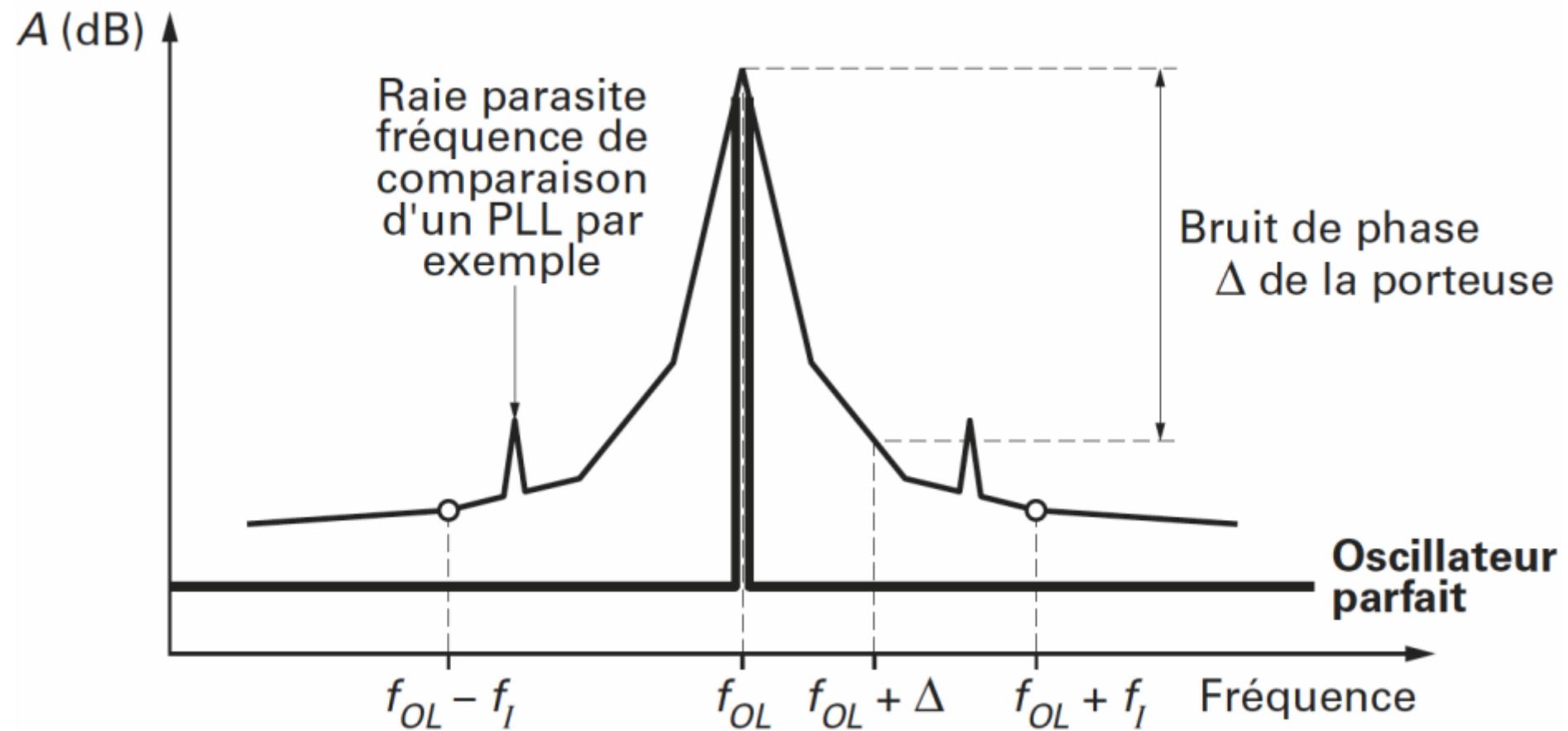


Fig. 8.17. Ruido de fase del oscilador local [1].

Receptores

8.3.7. Sensibilidad del receptor

Un parámetro importante del receptor es su sensibilidad. Se trata simplemente de establecer una relación entre el nivel de esta señal en la entrada y la relación señal a ruido en la salida del receptor.

La relación señal a ruido es en la señal de banda base y la relativa a la señal modulada de portadora a ruido.

La relación C/N donde y es la que se mide en la entrada del demodulador; mientras que la relación S/N es la relación señal a ruido después de la demodulación, donde
C=carrier

N=noise

S=potencia de la señal de banda base

B=potencia de ruido a la salida del demodulador

Receptores

Por tanto, se debe hallar el factor de ruido global de todas las etapas situadas antes del demodulador. Para ello se utiliza la relación

$$F_{1,2,3} = F_1 + \frac{F_2 - 1}{G_1} + \frac{F_3 - 1}{G_1 G_2} = F$$

En esta relación, F_i y G_i van sin unidades. El factor de ruido global en dB, vale:

$$F_{dB} = 10^{\frac{E}{10}}$$

Receptores

$$N_{\text{entrada}} = FkTB$$

$$N_{\text{entrada}(dBm)} = F_{dB} + 10 \log kTB$$

$$N_{\text{entrada}(dBm)} = F_{dB} + 10 \log B - 174 dBm$$

La relación señal/ruido expresada en dB vale:

$$\left(\frac{S}{B}\right)_S = 10 \log G_m + 10 \log C - F_{dB} - 10 \log B + 174$$

Receptores

Ejemplo 8.3:

Sea un receptor que funciona en FM
con $B = 20MHz$

$$mF_1 = 1$$

$$CdBm = -80dBm$$

$$F = 3dB$$

Calcular la relación señal/ ruido S/
B y C/N

Respuesta:

$$\left(\frac{S}{B}\right)_S = 10 \log G_m + 10 \log C - F_{dB} - 10 \log B + 174$$

$$\left(\frac{S}{B}\right)_S = 4 - 80 - 3 - 73 + 174 = 22dBm$$

Receptores

En FM, este resultado debe ser validado por una relación C/N superior a 10dB, aprox. a la entrada del demodulador se tiene:

$$N = F_{dB} + 10 \log B - 174 = -98 dBm$$

$$C_{dBm} = -80 dBm$$

Dado que la relación C/N es en este caso igual a 18, el resultado anterior es válido.

Si el mismo cálculo se hubiera hecho con una ganancia de potencia de entrada de -90dBm, la relación señal/ruido calculada valdría 12dB, aunque este resultado ya no sería válido, puesto que C/N es inferior a 10dB, valiendo entonces 8dBm.

8.3.8. Frecuencia intermedia alta

El propósito original del cambio de frecuencia fue la conversión de una frecuencia recibida a una frecuencia intermedia inferior con el fin de facilitar el tratamiento.

Se puede considerar de otra manera por la transposición de la frecuencia recibida a una frecuencia más alta.

Receptores

Cuanto mayor sea la frecuencia intermedia, mas simple es el filtro de la frecuencia imagen y a su vez más delicados serán la amplificación y el filtrado de salida.

Aunque esta primera aproximación no es alentadora, la conversión a una frecuencia intermedia más alta puede ser beneficioso en dos casos especiales.

Receptores

Podemos considerar una conversión a una frecuencia más alta, como una etapa temporal. La frecuencia imagen es fácil de eliminar, si la frecuencia es alta.

En la señal de entrada del receptor ocupa un ancho de banda BW alrededor de la frecuencia central fR.

Después del traslado de frecuencia, la señal ocupa un ancho BW en torno a la frecuencia fI.

La frecuencia intermedia fI se elegirá de manera tal que $BW \ll fI$.

8.3.9. Frecuencia intermedia nula

La principal desventaja de los sistemas que cambian la frecuencia es la presencia de una frecuencia imagen f_{im} con el valor:

$$f_{im} = f_R + 2f_I$$

Examinando esta ecuación, cabe plantearse las ventajas resultantes de elegir una FI=0.

La estructura de un receptor que trabaja con una FI nula se muestra en la Fig. 8.20.

Receptores

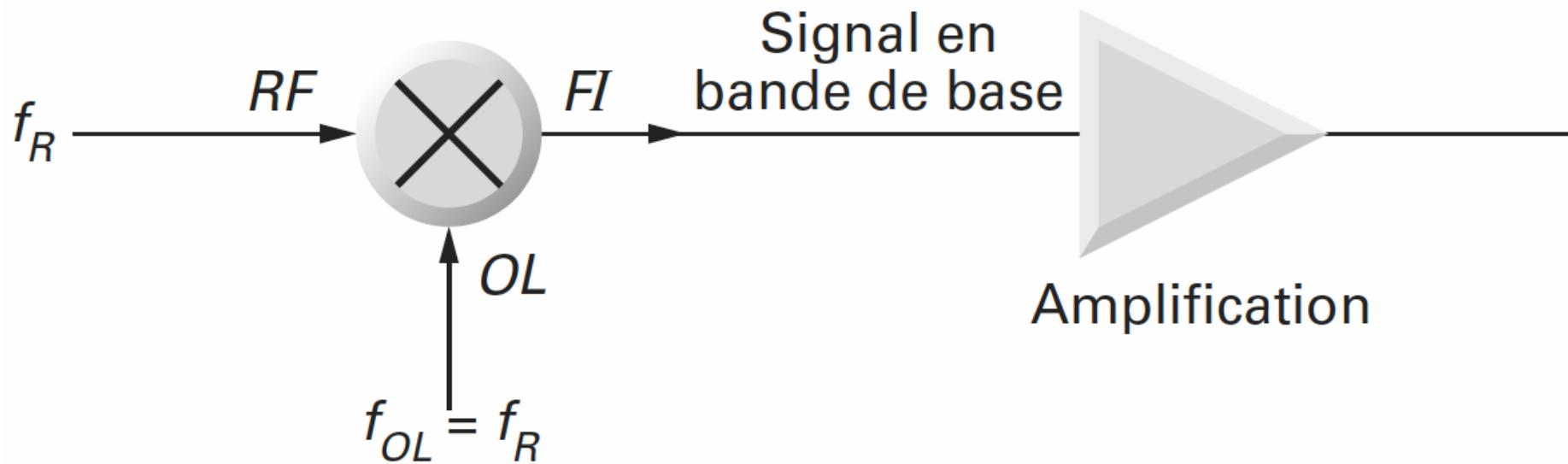


Fig. 8.20. Receptor de FI nula [1].

Receptores

Esta estructura es ventajosa, pero restrictivo debido a que no es factible la demodulación de frecuencia.

Es posible una demodulación de fase BPSK o QPSK, pero puede plantear algunas dificultades.

Para modulación digital BPSK o QPSK, la principal dificultad radica en la demodulación coherente.

En este caso, habrá que constituir circuitos análogos a los PLL Costas.

Receptores

8.3.10. Receptores con doble cambio de frecuencia

Transposición a una primera FI más baja

El doble cambio de frecuencia resuelve los problemas existentes en el cambio de frecuencia único.

Receptores

Supongamos que se desean recibir canales espaciados en 5 kHz, para una anchura BW de 5 kHz.

El coeficiente Q del filtro de paso de banda a la frecuencia intermedia f_I vale f_I / BW .

Para que este valor sea razonable, f_I no debe ser demasiado alto, aunque debe ser lo suficiente importante para facilitar el rechazo de la frecuencia imagen.

Se lleva a cabo en dos etapas;

- 1) un primer cambio de frecuencia que facilite la eliminación de la frecuencia imagen y
- 2) un segundo cambio para seleccionar la frecuencia del canal estrecho.

Receptores

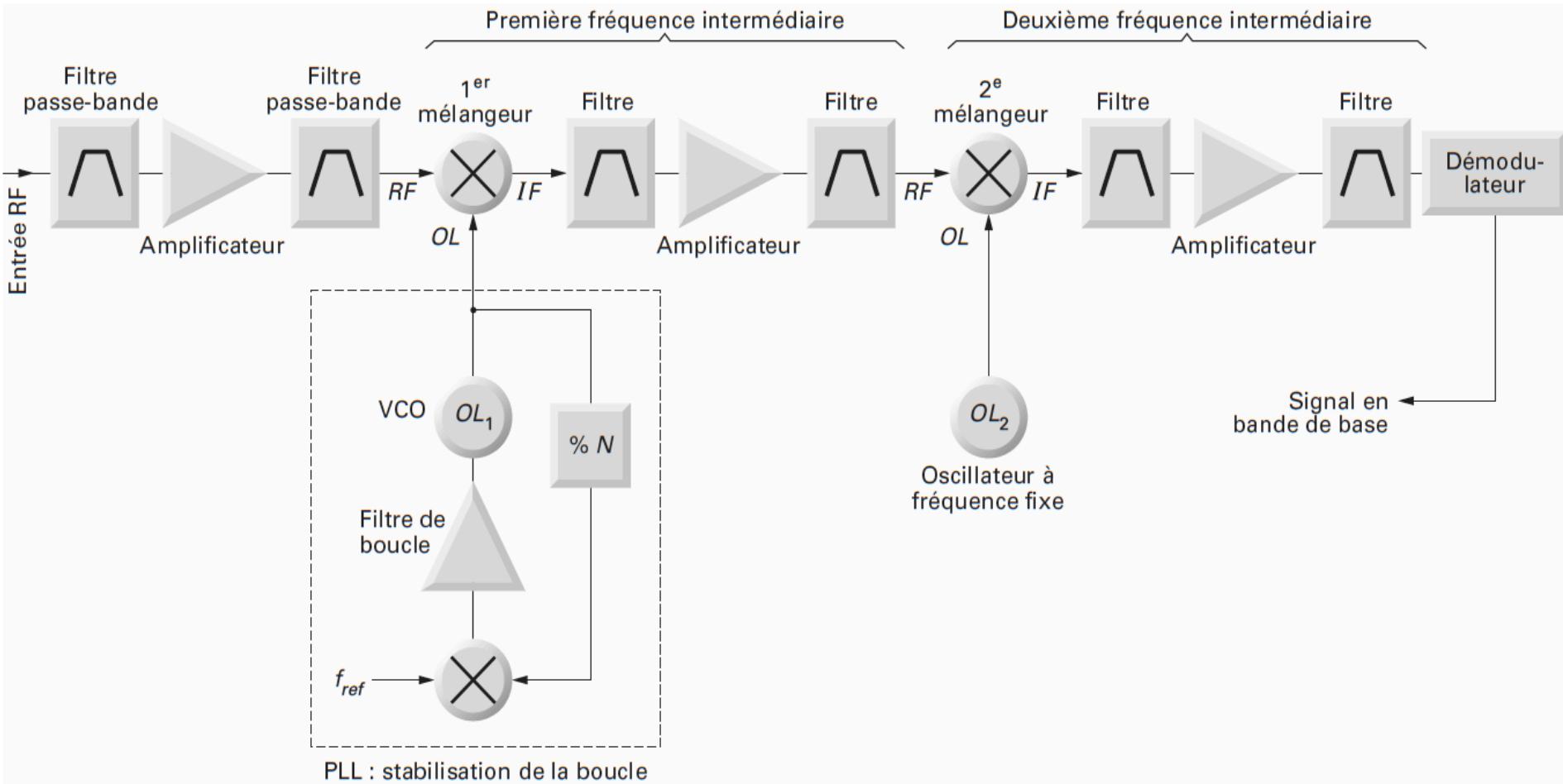


Fig. 8.21. Receptor de doble cambio de frecuencia [1].

Receptores

El primer oscilador local es variable, de modo que la selección de la frecuencia F_{OL1} puede recibir un canal de entre los N canales presentes y que han sido seleccionados por los filtros de entrada.

El canal seleccionado se transpone a continuación, en una frecuencia F_{I1} . Esta primera frecuencia intermedia se transpone a una frecuencia F_{I2} tal que $F_{I2} < F_{I1}$.

Receptores

Cualquiera que sea el número de cambio de frecuencia, uno o dos:

$$f_{OL\min} = f_{R\min} \pm f_I$$

$$f_{OL\max} = f_{R\max} \pm f_I$$

$$f_{R\max} - f_{R\min} = f_{OL\max} - f_{OL\min}$$

Receptores

En este caso, hay que despreocuparse por en la frecuencia imagen, sino por la *amplitud* de las frecuencias que el receptor puede recibir en función de los cambios en el oscilador local.

El margen de cobertura de entrada es igual al rango de variación del oscilador local.

Receptores

Para osciladores controlados por tensión, la diferencia $f_{OLmax} - f_{OLmin}$ debido a varactores difícilmente puede ser mayor que 2.

Un receptor –sin importar los cambios de frecuencia – provisto de un oscilador local, por tanto, tiene un margen de cobertura máximo de $2f_{Rmin}$.

El rango de cobertura puede ser, por ejemplo de 100-200 MHz, de 400-800 MHz, etc.

Se busca a continuación, una estructura que podría cubrir una amplia banda de frecuencias, es decir, una banda mucho mayor a una octava.

Receptores

Transposición a una primera FI más alta

Imaginemos que la primera FI se ha fijado en 900 MHz. El oscilador local, capaz de cubrir una octava, varía entre 900 y 1800 MHz.

La frecuencia de entrada es la diferencia de la frecuencia de oscilador local y la frecuencia intermedia:

$$f_R = f_{OL} - f_I$$

La frecuencia imagen se sitúa en

$$f_{R\text{Imagen}} = f_R + 2f_I$$

Receptores

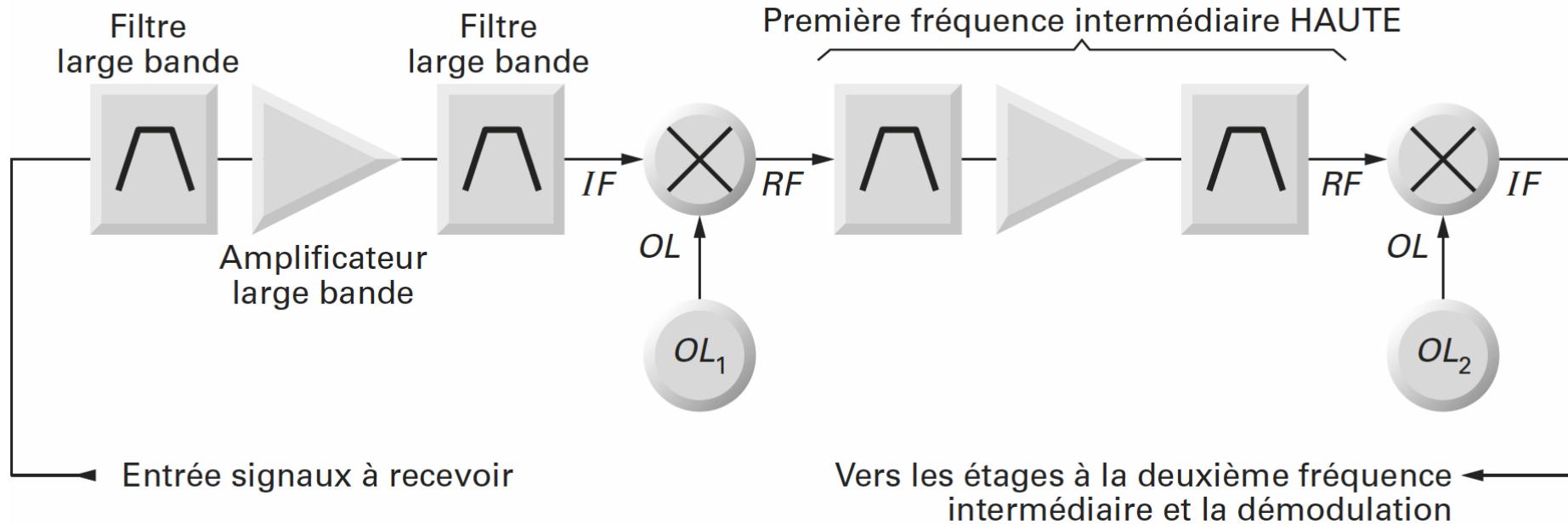


Fig. 8.22. Receptor de doble cambio de frecuencia, con transposición primero hacia una frecuencia superior y luego hacia una inferior [1].

Receptores

En este caso, la frecuencia imagen está situada en 1 800 MHz a la frecuencia que se pretende recibir.

Aunque la frecuencia intermedia es alta, el filtrado de la imagen no representa ninguna dificultad.

La amplificación es sustancialmente más complicada para una frecuencia tal como una frecuencia de unos pocos MHz.

Receptores

Ahora se realiza un segundo cambio de frecuencia descendente. Las etapas del amplificador y filtro son convencionales y similares a los de la Fig. 8.21.

Las limitaciones provienen de la etapa de entrada y el primer mezclador es encargado de recibir simultáneamente todos los componentes que pueden estar presentes en la banda.

Para estos dos elementos, los puntos de intercepción de tercer y segundo orden serán de suma importancia.

Además, como para cualquier receptor, el factor de ruido de la primera etapa limita la sensibilidad.

Es entonces ganancia necesaria aliado en una amplia banda, alto IP3 y baja figura de ruido.

Receptores

8.3.11. Influencia de las características de cada etapa en las características del receptor

Filtro pasa banda de entrada

Función de seleccionar un canal o un grupo de canales y rechazar la frecuencia imagen.

Su pérdida de inserción es un factor importante, ya que es igual a su factor de ruido.

Receptores

El primer filtro debe tener una pérdida de inserción mínima y un factor de ruido mínimo.

El segundo filtro pasa banda tiene una función más compleja:

Se encarga de paliar el insuficiente aislamiento del primer mezclador.

Debe evitar *la propagación del oscilador local* hacia la entrada del receptor.

Los dos filtros --> rechazo a la frecuencia intermedia eventual presente a la entrada del receptor.

Receptores

Amplificadores de entrada

Este amplificador es el escalón mas débil. Debe cumplir las siguientes especificaciones:

- a) Bajo ruido
- b) Elevada ganancia
- c) Elevado punto de intercepción IP3

Receptores

Mezcladores

Las características del mezclador actúan sobre el rechazo de las respuestas parásitas.

Los puntos IP2 e IP3 son fundamentales.

La pérdida de conversión es de menor importancia si el amplificador de entrada tiene elevada ganancia.

Es importante un buen aislamiento entre las entradas RF-OL y OL-IF, ya que evita que la propagación de la señal OL tenga un nivel alto, susceptible de causar problemas de distorsión de intermodulación en la etapa de entrada y en las etapas de frecuencia intermedia.

Receptores

Oscilador local

El oscilador local (OL) debe ser estable.

El ruido de fase y las rayas parásitas en las proximidades de la portadora serán factores que limiten las prestaciones del equipo.

El nivel de armónicos influye directamente en el número e importancia de las respuestas parásitas.

Receptores

Filtros para la frecuencia intermedia

Tendrá la principal misión de rechazar las frecuencias del oscilador local y sus eventuales armónicos.

El ancho de banda del filtro tiene una incidencia directa en la sensibilidad del receptor.

Receptores

Amplificadores para FI

En AM, los amplificadores son del tipo de control automático de ganancia. El rendimiento de estos repercute en las distorsiones de la señal de banda base.

En FM, los limitadores influyen en la relación señal/ruido después de la demodulación.

Demodulador

El parámetro más importante del demodulador es su linealidad, que influye directamente en la distorsión de la señal recibida.

La elección de una estructura particular también puede tener influencia sobre la relación señal/ruido.

Señales perturbadoras externas

Los circuitos PLL están presentes en todos los sistemas de transmisión. Cada uno de estos circuitos recibe una frecuencia de referencia estable procedente, en general, de un oscilador de cuarzo.

Es importante que esta señal no se transforme en una señal perturbadora mayor. Estos osciladores se elegirán con un valor diferente tanto al de FI como a la de uno de sus armónicos.

Estas mismas consideraciones se aplican también a los relojes de los microcontroladores, asociados a los PLL y encargados de su programación.

Receptores