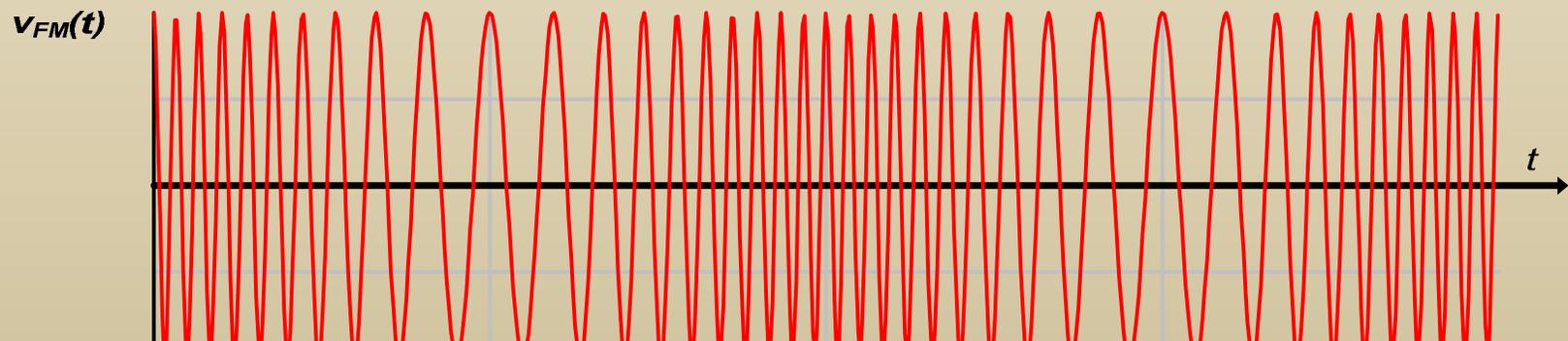
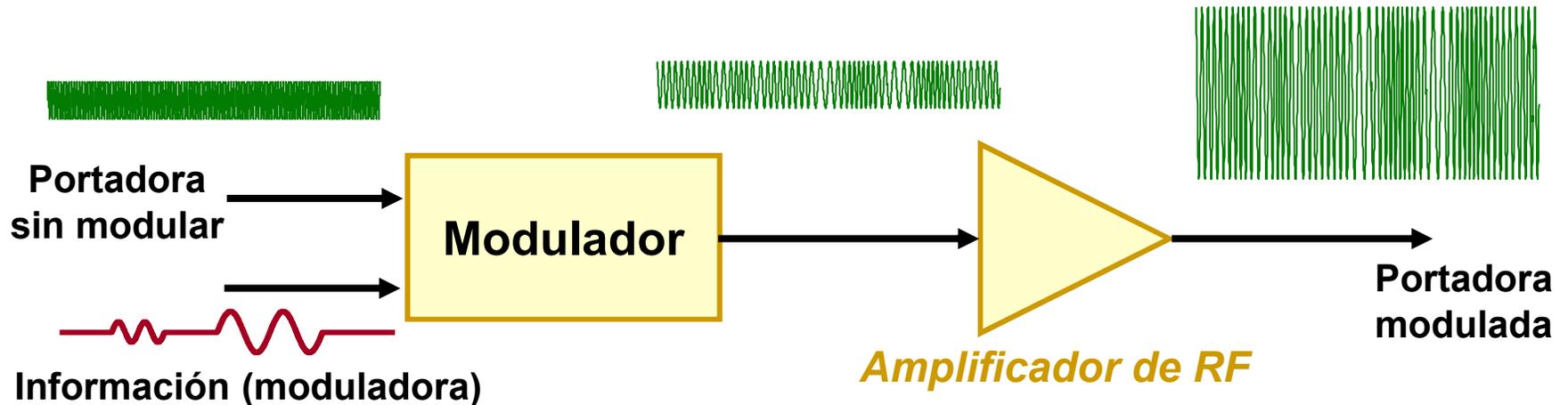


08- Moduladores y Transmisores de Señales moduladas en Angulo



Se modula a nivel de señal



El amplificador de RF no necesita ser lineal, por lo que es de alto rendimiento

Moduladores de fase:

- Modulador de Armstrong
- Modulador con PLL

Moduladores de frecuencia

- Modulador con VCO
- Modulador con PLL

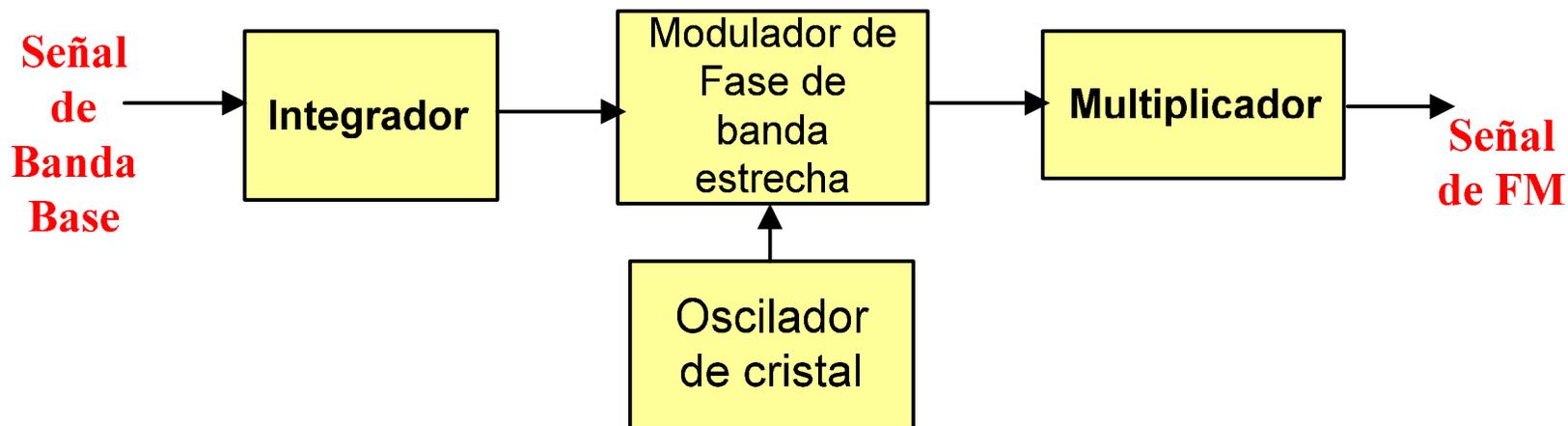
Existen dos métodos para generar señales FM:

Método indirecto: utiliza modulación PM de banda estrecha y multiplicación en frecuencia para incrementar el nivel de desviación en frecuencia hasta el valor deseado

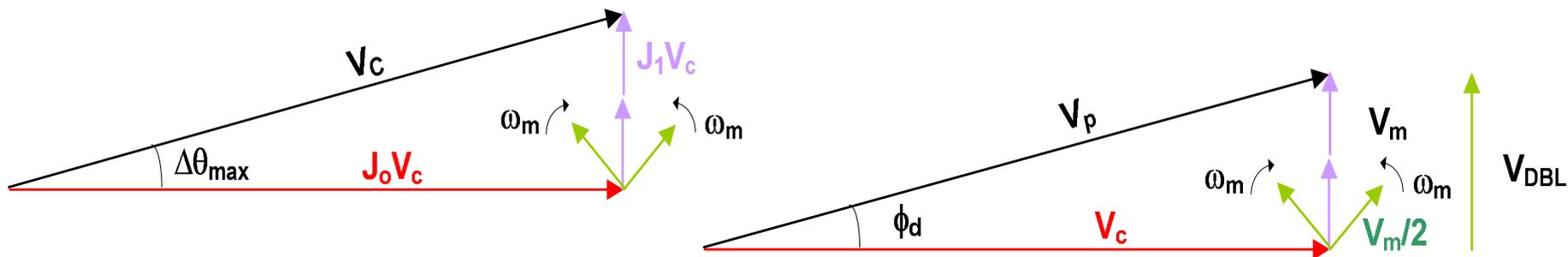
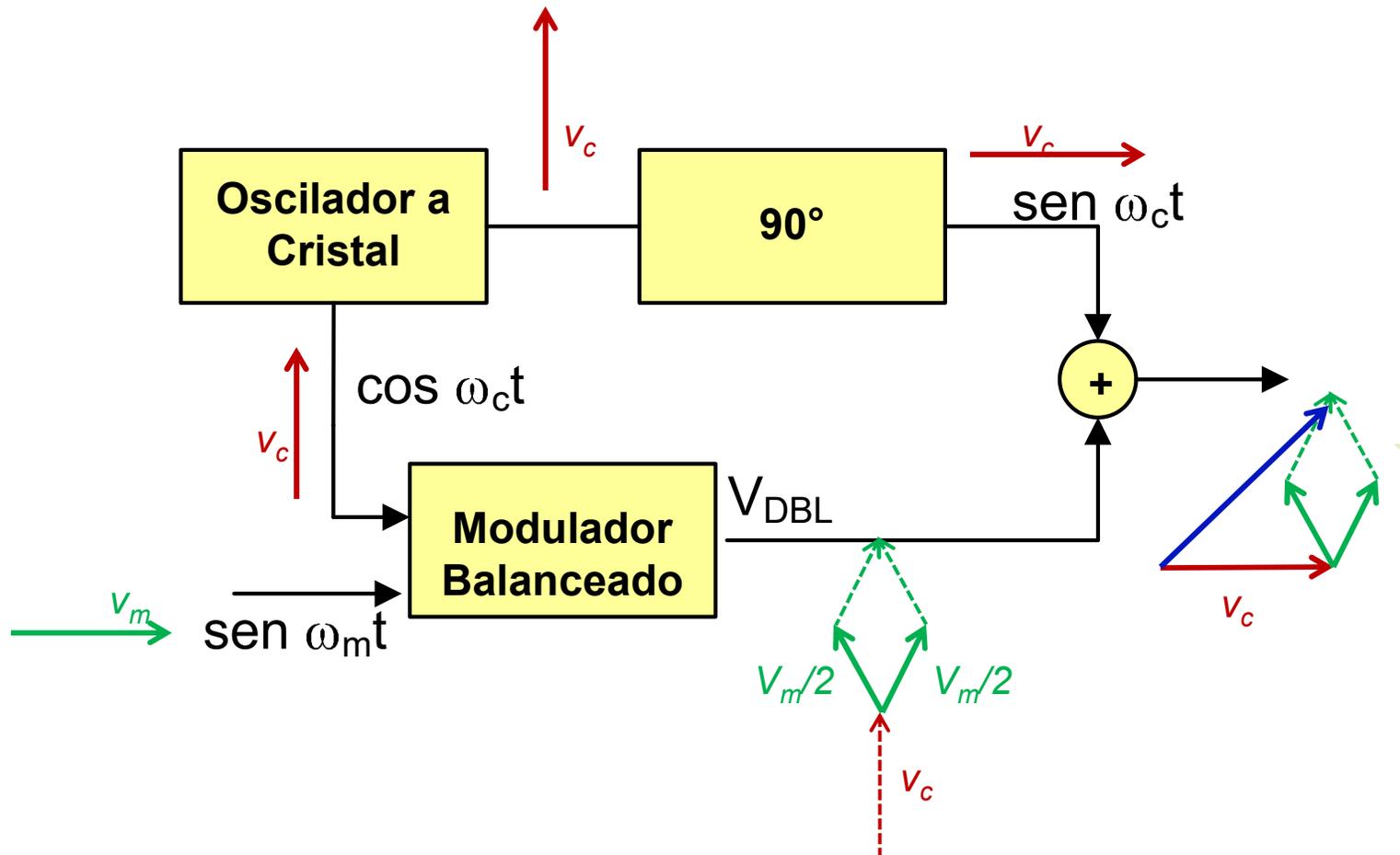
Método directo: se varia directamente la frecuencia de la portadora de acuerdo con la señal moduladora.

Método indirecto

Usa el modulador Armstrog, que es un modulador de fase con $m_p < 0,5$, o sea de banda estrecha, ya que tiene un solo par de bandas laterales.



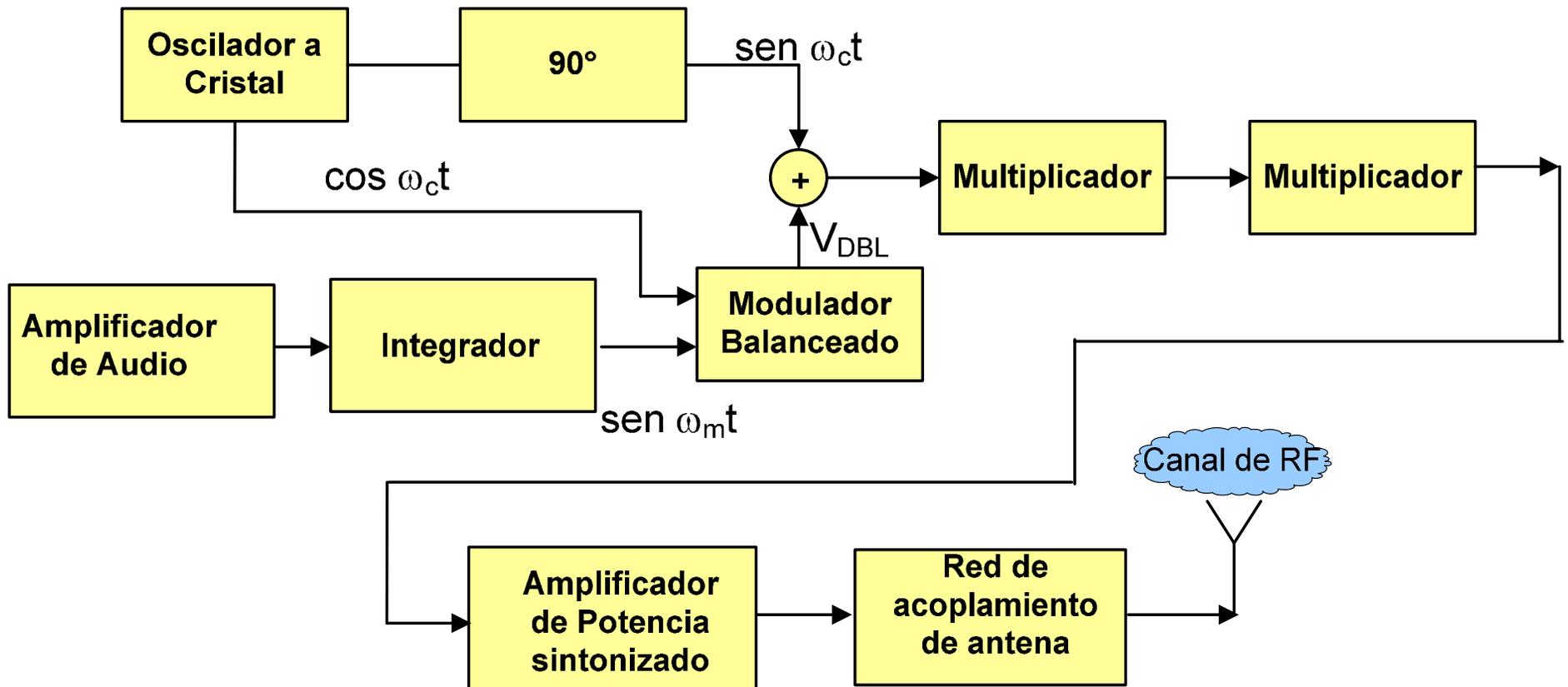
MODULADOR ARMSTRONG



Transmisor de FM con mod Armstrong

5

El diagrama de bloques de un transmisor de FM que usa un modulador Armstrong es:



Ventajas de la señal de FM obtenida por este método:

- Es un método que permite obtener señales muy lineales para usar en alta fidelidad.
- Cuenta con una muy buena estabilidad en frecuencia gracias a la generación a partir de un oscilador controlado por un cristal.

Desventajas de la señal de FM obtenida por este método:

- Tiene un Δf muy pequeño, lo que obliga a utilizar etapas multiplicadoras para lograr el valor normalizado.
- La señal de salida contiene modulación de AM en pequeños porcentajes que pueden ser eliminados en los amplificadores clase "C" saturados que se utilizan como multiplicadores.

Un modulador directo, genera una señal modulada en frecuencia que cuya desviación de frecuencia es proporcional a la tensión de la señal moduladora, es decir:

$$\Delta f = K_f V_m$$

Los moduladores directos más utilizados son los osciladores senoidales, cuyas frecuencias se modifican variando la capacidad de un diodo *varactor* o *varicap* (VCO).

Ventajas: sencillos, económicos y fáciles de ajustar. Además se adaptan fácilmente a sistemas que tienen frecuencias controladas por una señal de referencia que proviene de un oscilador a cristal.

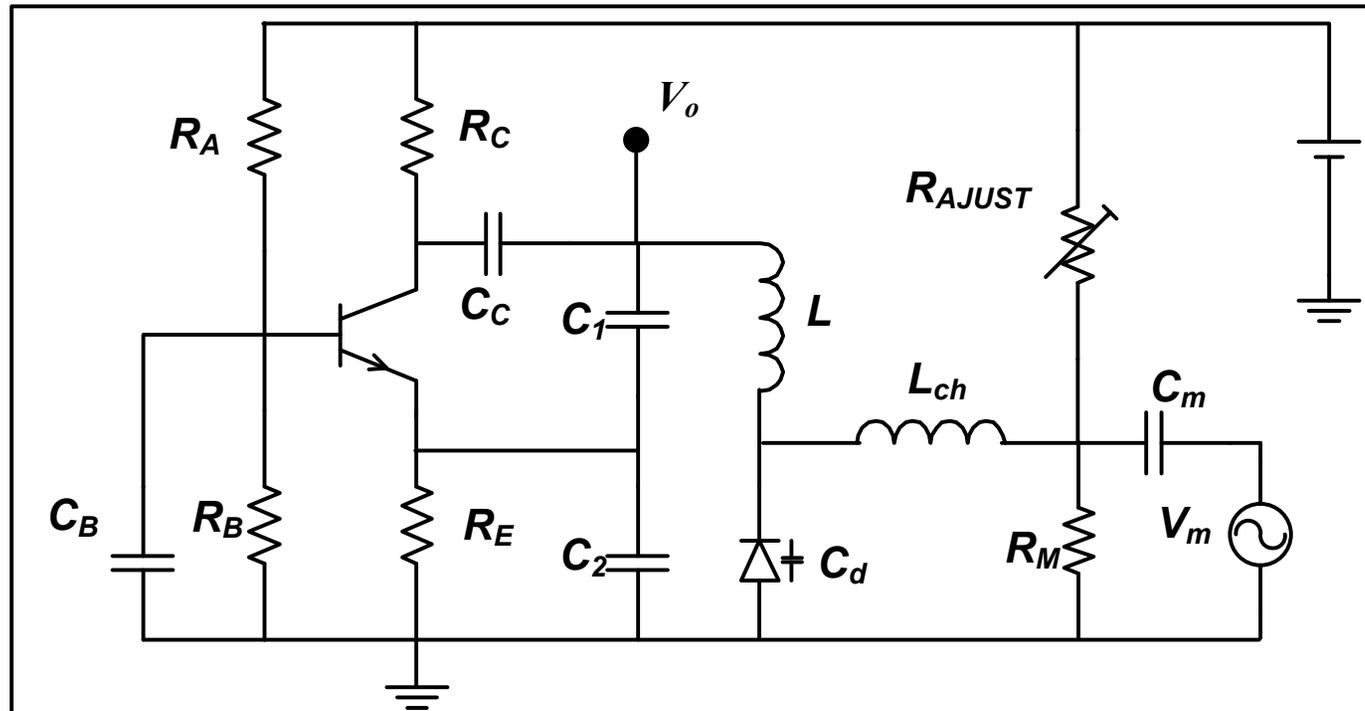
Requisitos a cumplir en el diseño:

- El oscilador debe ser capaz de tener desviaciones de frecuencia lo suficientemente grandes para evitar etapas multiplicadoras en el transmisor.
- Las desviaciones de frecuencia del oscilador deben ser lineales en el intervalo de tensiones donde trabaja.
- La búsqueda de un criterio, que permita lograr una buena linealidad, con un error predecible y una desviación de frecuencia adecuada en un modulador de FM, es la meta de todo diseñador.

MODULADOR de FM DIRECTO

8

Modulador Directo de FM Clapp



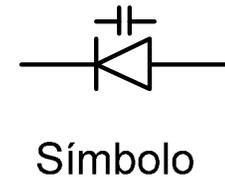
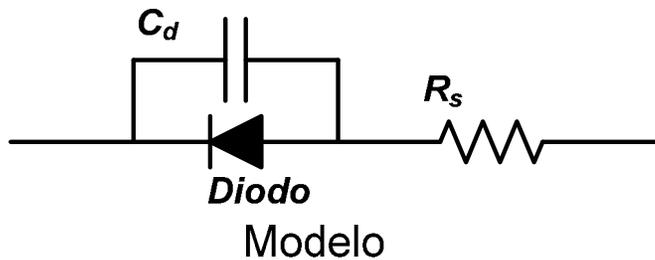
- La salida del modulador normalmente es tomada del colector del transistor.
- Se puede usar otras configuraciones de osciladores.
- El oscilador también puede ser implementado con un transistor de efecto de campo, un integrado u otro componente

MODULADOR de FM DIRECTO

9

Diodo varactor

Modelo simplificado:



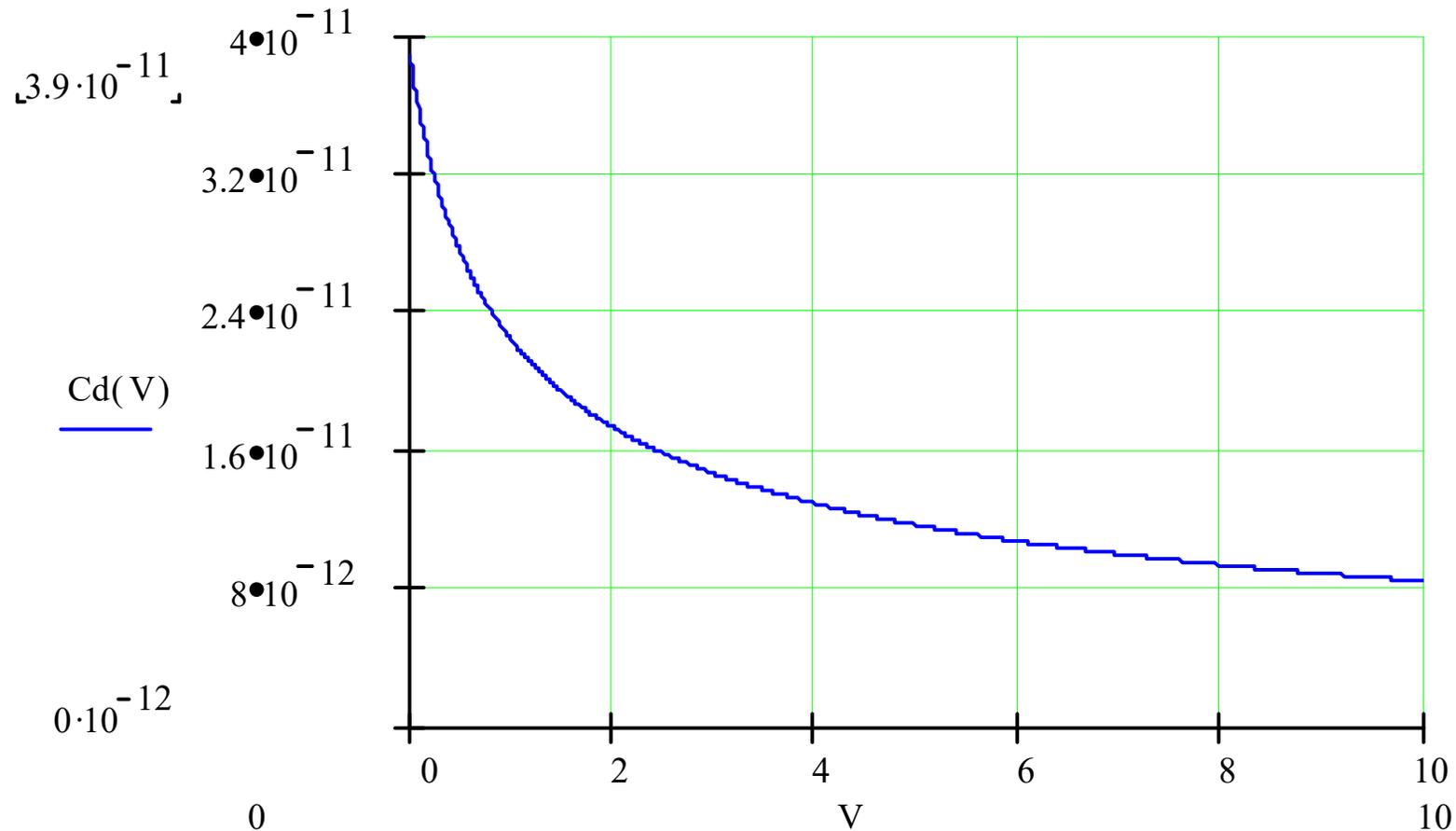
- R_s es despreciable (0,3 a 0,5 Ω)
- La capacidad C_d está definida por la expresión :

$$C_d = \frac{C_0}{\left(1 + \frac{V}{V_j}\right)^M}$$

$$C_d = \frac{C_0}{\sqrt{1 + 2V}}$$

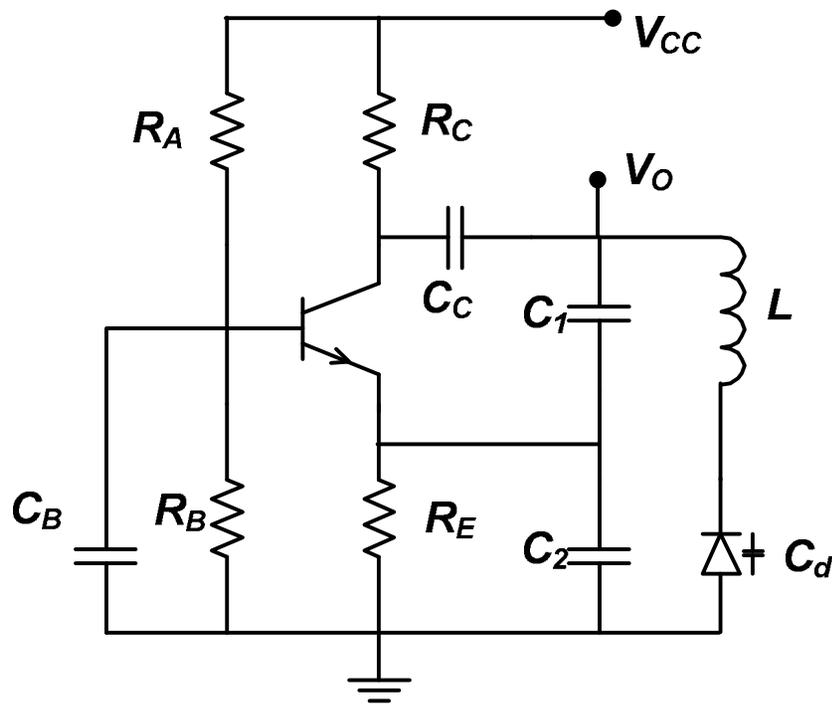
- V_j es el potencial de juntura
- M es un coeficiente que depende del tipo de juntura que tiene el diodo. Para junturas abruptas se puede adoptar $V_j = 0,5$ y $M = 0,5$.
- C_0 es la capacidad del diodo cuando la tensión inversa aplicada al mismo es cero. La da el fabricante.

Capacidad de un Diodo varactor en función de la frecuencia



MODULADOR de FM DIRECTO

11



- Es un oscilador Clapp, base común
- Frecuencia controlada por C_1 , C_2 , L y la capacidad de un diodo *varactor* o *varicap*.
- C_B y C_C , son condensadores de paso para la frecuencia de trabajo del oscilador.

La frecuencia del oscilador es:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{L}} \sqrt{\frac{1}{C_s} + \frac{1}{C_d}}$$

C_s es la capacidad serie resultante de C_1 y C_2 y su valor es:

$$C_s = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$$

MODULADOR de FM DIRECTO

12

1. La frecuencia del oscilador no depende linealmente de la tensión aplicada al diodo.
2. Se debe operar al oscilador en una zona donde los incrementos de tensión son lo suficientemente pequeños, como para que se considere que el cambio de f con C_d y el de C_d con V son constantes.

Así, si $V_D = 6V$ la tensión moduladora aplicada podrá ser mas grande que si se polariza al varicap con $V_D = 2V$, sin salir de la zona lineal.

Análisis de la respuesta del circuito resonante del modulador

$$K_f = \frac{df}{dV}$$



$$K_f = \frac{1}{2} \frac{f_0}{(1+n)(1+2V_0)}$$

Siendo n :

$$n = \frac{C_d}{C_s}$$

Observaciones:

- K_f es mayor cuando los valores de V son pequeños y cuando los valores de n son decrecientes.
- Si V es bajo K_f cambia rápidamente con la tensión. Esto produce un funcionamiento menos lineal en el modulador.
- Hay un límite en la práctica en el valor de V , se debe evitar llegar a valores próximos a 0. El varactor puede empezar a operar como un diodo
- La solución de mejorar la sensibilidad disminuyendo n también está acotada. Los valores que deben tener los capacitores están acotados por la frecuencia requerida por el oscilador y su amplitud de salida que debe ser adecuada a la función del oscilador.

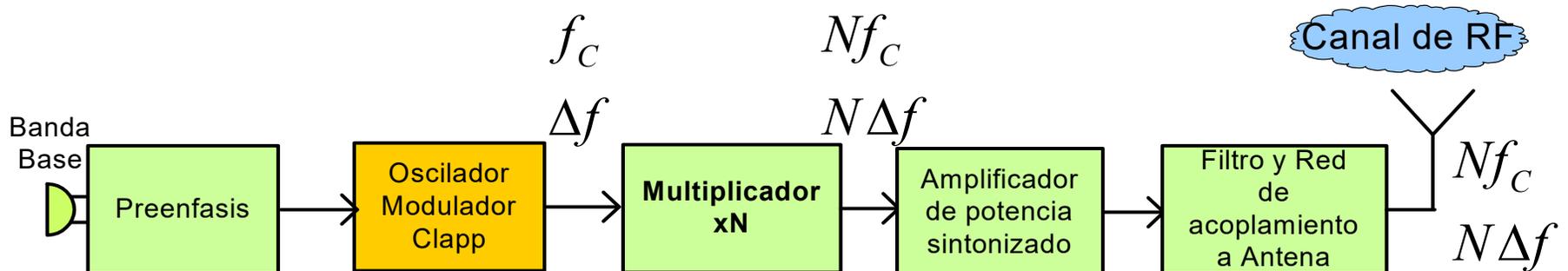
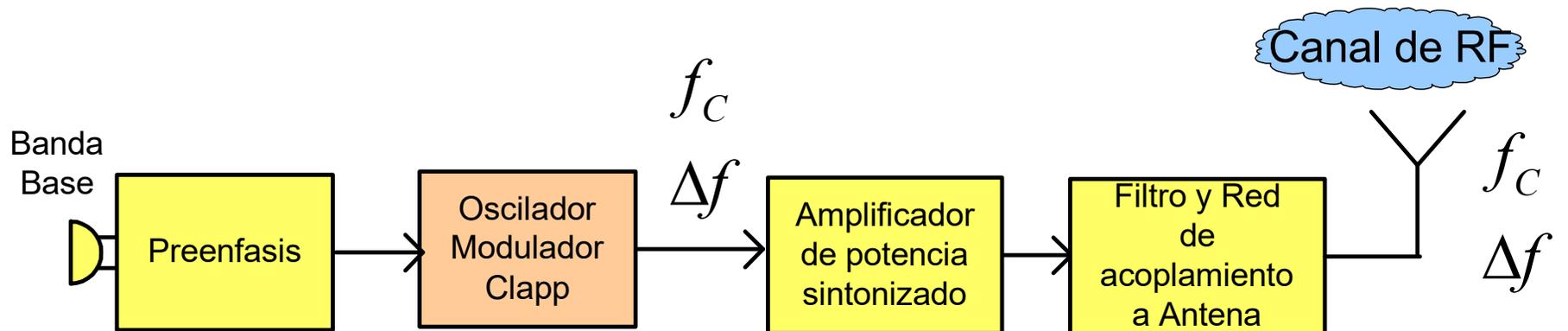
$$n = C_d / C_S$$

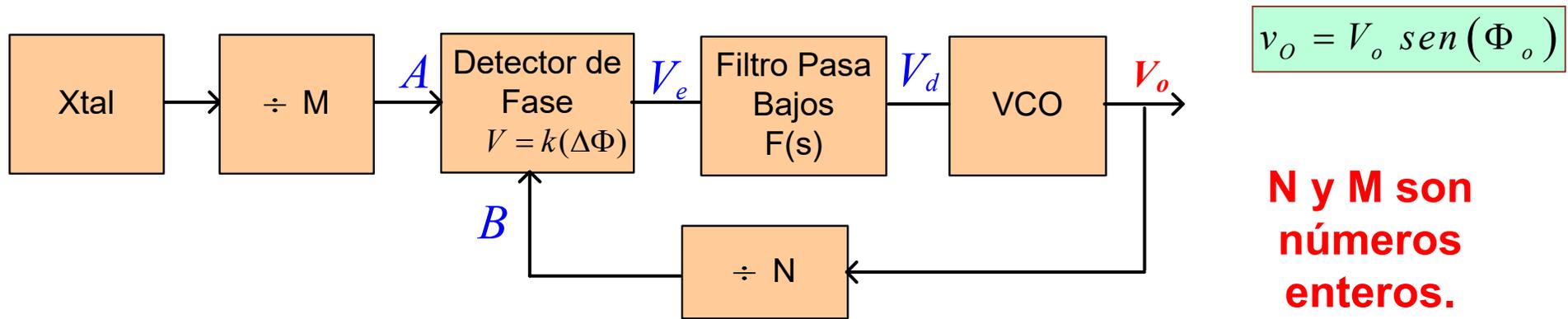
- La estabilidad de frecuencia del circuito depende de los componentes del circuito, y de la estabilidad de la tensión de sintonía.

TRANSMISOR DE FM CON MODULADOR DIRECTO

14

Hay diversas variantes dependiendo del valor de la desviación de frecuencia y de la frecuencia central en antena, entre ellas :



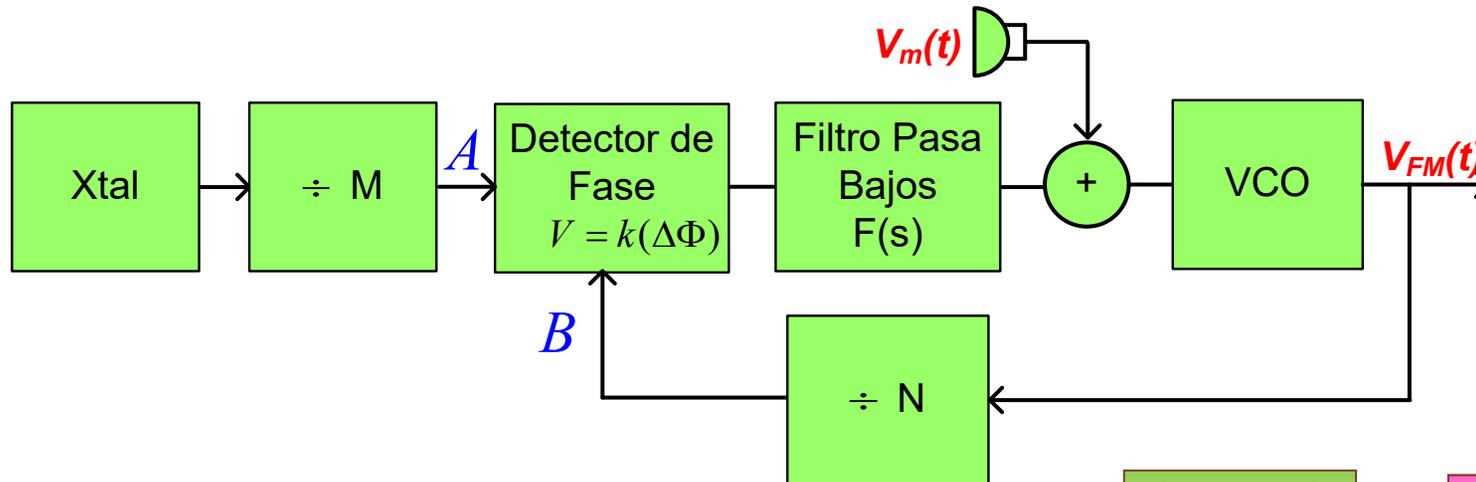


- Un PLL (Phase Locked Loop) es un circuito que permite controlar la frecuencia y fase de la señal de salida de un VCO: V_o , f_o , θ_o mediante la comparación con una referencia externa: V_A , f_A , θ_A
- La señal externa de referencia proviene de un oscilador a cristal:
 $f_A = f_{\text{Xtal}}/M$;
- La frecuencia del VCO es múltiplo de la de referencia: $f_o = Nf_A$
- Es un circuito “realimentado en fase”
- Cuando está “enganchado” se verifica: $f_A = f_o$ y $\theta_A - \theta_o = \text{cte}$
 - Si f_o disminuye, $\theta_A - \theta_o$ aumenta, V_d aumenta, hasta hacer $f_o = f_A$
 - Si f_o aumenta, $\theta_A - \theta_o$ disminuye, V_d disminuye, hasta hacer $f_o = f_A$

El VCO (Voltage Controlled Oscillator) oscila libremente a una frecuencia, determinada por una red RC o LC, llamada frecuencia de corrida libre f_f (free frequency). Esta frecuencia es comparada con la frecuencia f_{Xtal} de una señal de referencia en el detector de fase, el cual entrega la mezcla de ambas $f_{\text{Xtal}} - f_o$ o $f_o - f_{\text{Xtal}}$ dependiendo cual es mayor. Los productos de alta frecuencia tal como $f_{\text{Xtal}} + f_o$, $2f_{\text{Xtal}}$, $2f_o$, etc. son eliminados por el filtro pasabajos $F(s)$.

Si la frecuencia de la señal V_d ($f_{\text{Xtal}} - f_o$ o $f_o - f_{\text{Xtal}}$) es lo suficientemente baja para que el filtro pasabajos no la atenúe ni la desfase en exceso, V_d controlará el VCO, tendiendo a reducir la diferencia de frecuencias hasta que se igualen.

Una vez que se sincronizan V_o y V_{Xtal} , esto es $f_o = f_{\text{Xtal}}$, el detector de fase entrega una tensión V_e , con una componente continua estable necesaria para que el VCO iguale la frecuencia de la señal de referencia. En este caso se establece una diferencia de fase θ_d para producir la tensión V_e antedicha



- Cuando el PLL está enganchado: $f_A = f_B$ \Rightarrow $\frac{f_{Xtal}}{M} = \frac{f_O}{N}$ $\frac{f_O}{M} = \frac{N}{M} f_{Xtal}$
- Se puede cambiar la frecuencia cambiando N.
- Se obtiene a la salida una señal muy pura y de frecuencia muy estable.

Condición de diseño del filtro: *su frecuencia de corte debe ser mucho menor que la mínima frecuencia de v_m*

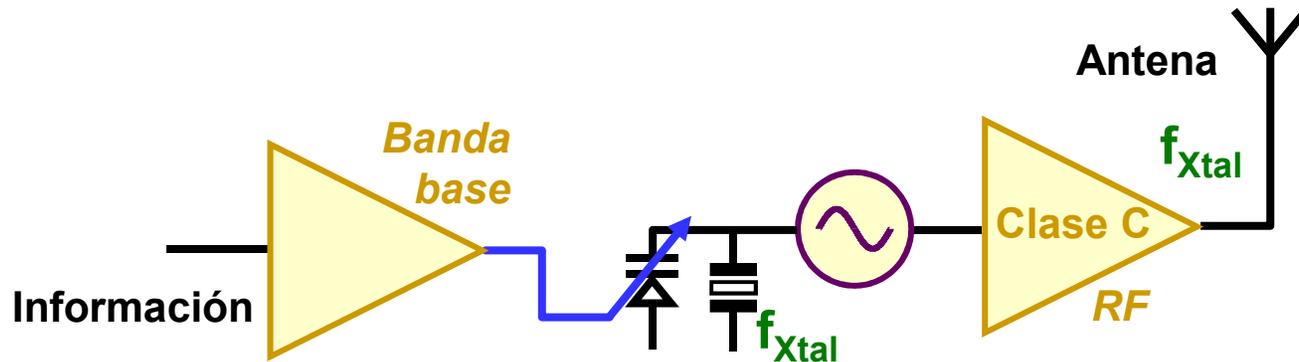
Rango de comportamiento lineal: El PLL se sale del estado de fase fija si el desfase excede el límite de $\pm \pi/2 \Rightarrow \Delta\theta_{\max} = \pi$

- Modulación a nivel de señal.
- Como no hay información en la amplitud, los amplificadores de potencia de RF no tienen que ser lineales.
- La frecuencia de la portadora en el modulador no es necesario que coincida con la de transmisión.
- Existen varios tipos posibles de estructura, en función de que:
 - Que la frecuencia del modulador coincida con la de transmisión o sea distinta.
 - Que la frecuencia de transmisión sea variable o fija.
 - Que la frecuencia del modulador sea variable o fija.
 - Que las modificaciones de frecuencia se hagan por conversión (mezcla), multiplicación o con PLLs.

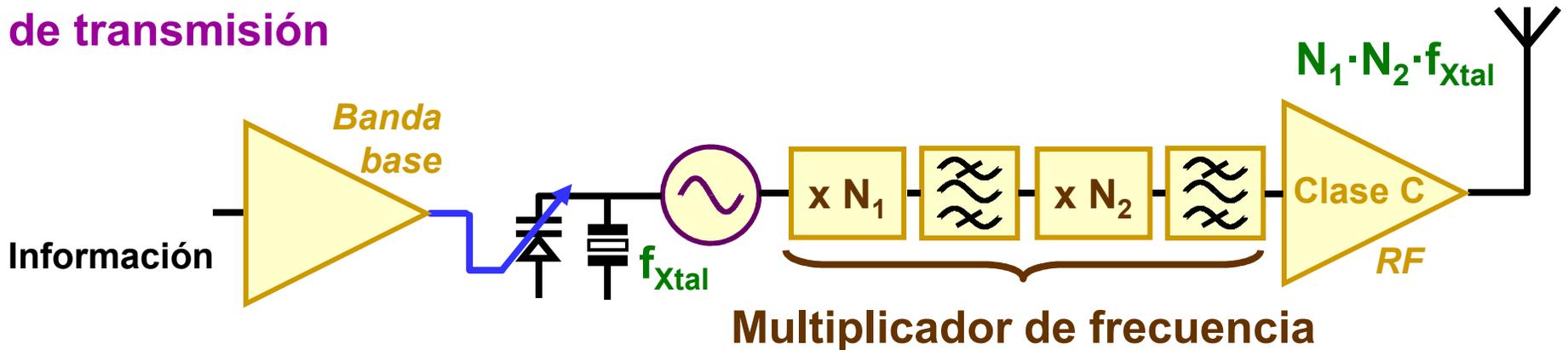
Estructuras de transmisores de FM

19

- Frecuencia fija de portadora en el modulador e igual a la de transmisión

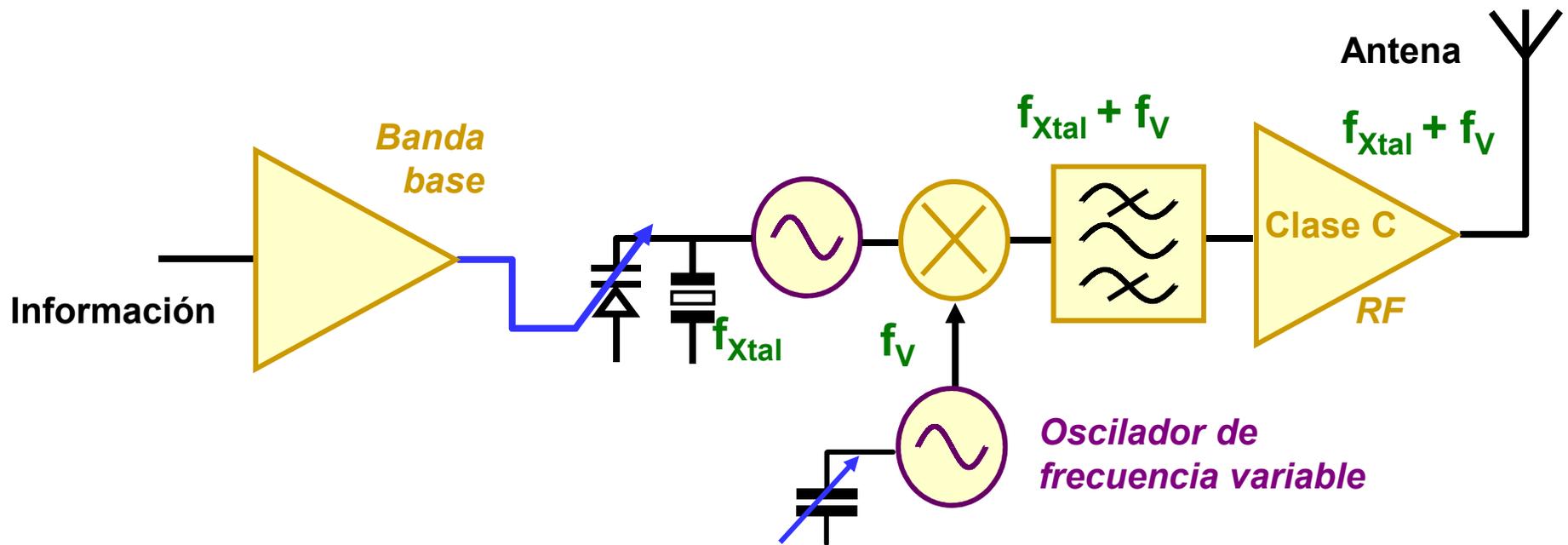


- Frecuencia fija de portadora en el modulador, pero distinta a la de transmisión



¡¡Ojo!! los multiplicadores de frecuencia, también multiplican la desviación de frecuencia

- Frecuencia fija de portadora en el modulador, distinta a la de transmisión. Frecuencia de transmisión variable por mezcla



Ojo!!! Los mezcladores no cambian la desviación de frecuencia ni el índice de modulación, al cambiar la sintonía