

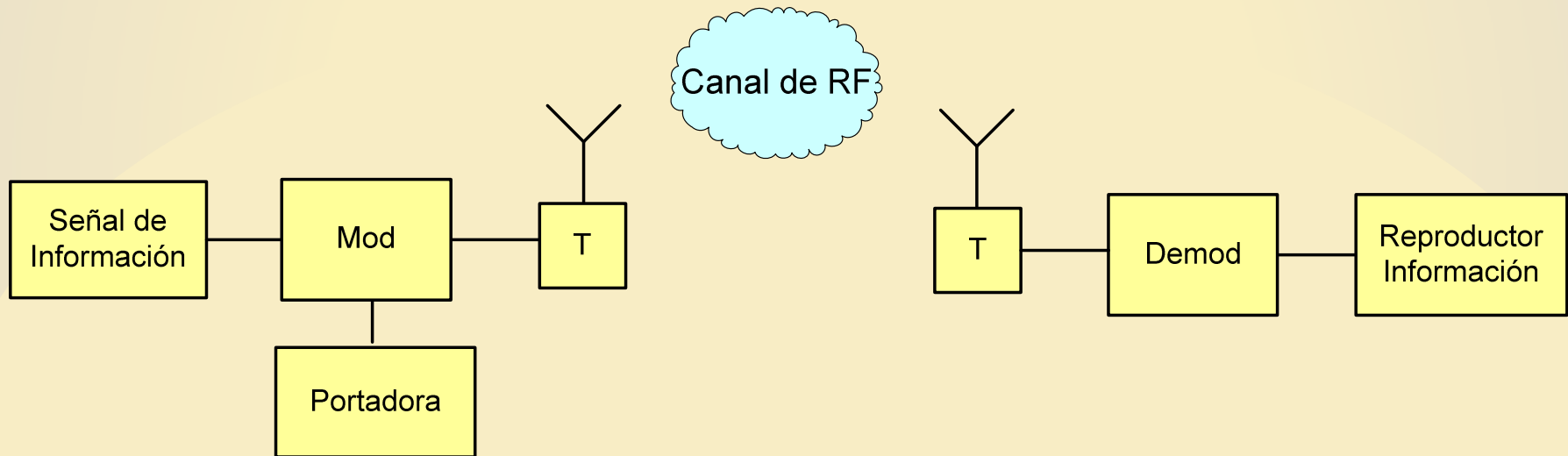
TEMA 7

Modulación de amplitud.

- × Fundamentos y características de la modulación por amplitud.
- × Índice de modulación. Potencias.
- × Espectro de frecuencias y ancho de banda.
- × Generación de señales de AM de bajo y alto nivel.
- × Señales de doble banda lateral y banda lateral única, características. Su generación.

Modulación

Comunicación implica la transmisión de información desde un punto hasta otro punto.



Por que es necesario modular para transmitir?

- ✓ Para disminuir las dimensiones de las antenas,
- ✓ optimizar el ancho de banda de cada canal evitando interferencia entre canales,
- ✓ proteger la información de las degradaciones por ruido
- ✓ definir la calidad de la información transmitida

Banda Base: banda de frecuencias de la información
Las señales en banda base pueden ser analógicas o digitales.

CANAL DE TRANSMISION

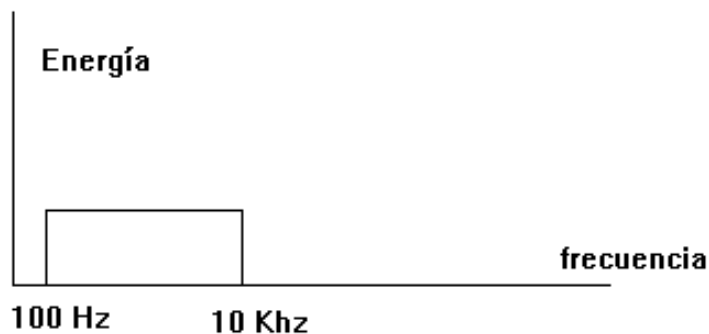
Para transmitir la información debe ser desplazada desde las frecuencias de la banda base a otro rango (banda) de frecuencia más adecuado para la transmisión.

Ej: AM comercial 550 a 1650 KHz- Banda Base: 0,1-5 KHz

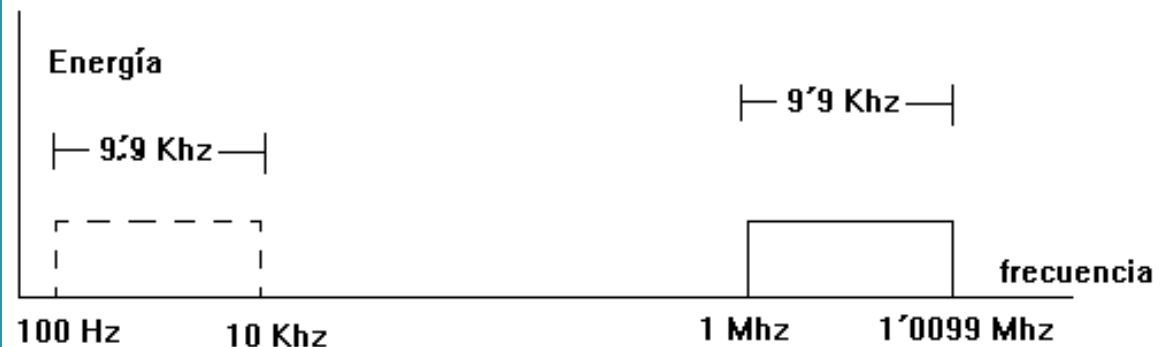
FM comercial 88 a 108 MHz – Banda Base 0,1-15 KHz

TV: VHF: canales 2 al 6 (54 a 88 MHz) VHF: canales del 7 al 13 (174 a 217 MHz) UHF: cales del 14 al 88 (470 a 890 MHz)

SEÑAL SIN MODULAR



SEÑAL MODULADA



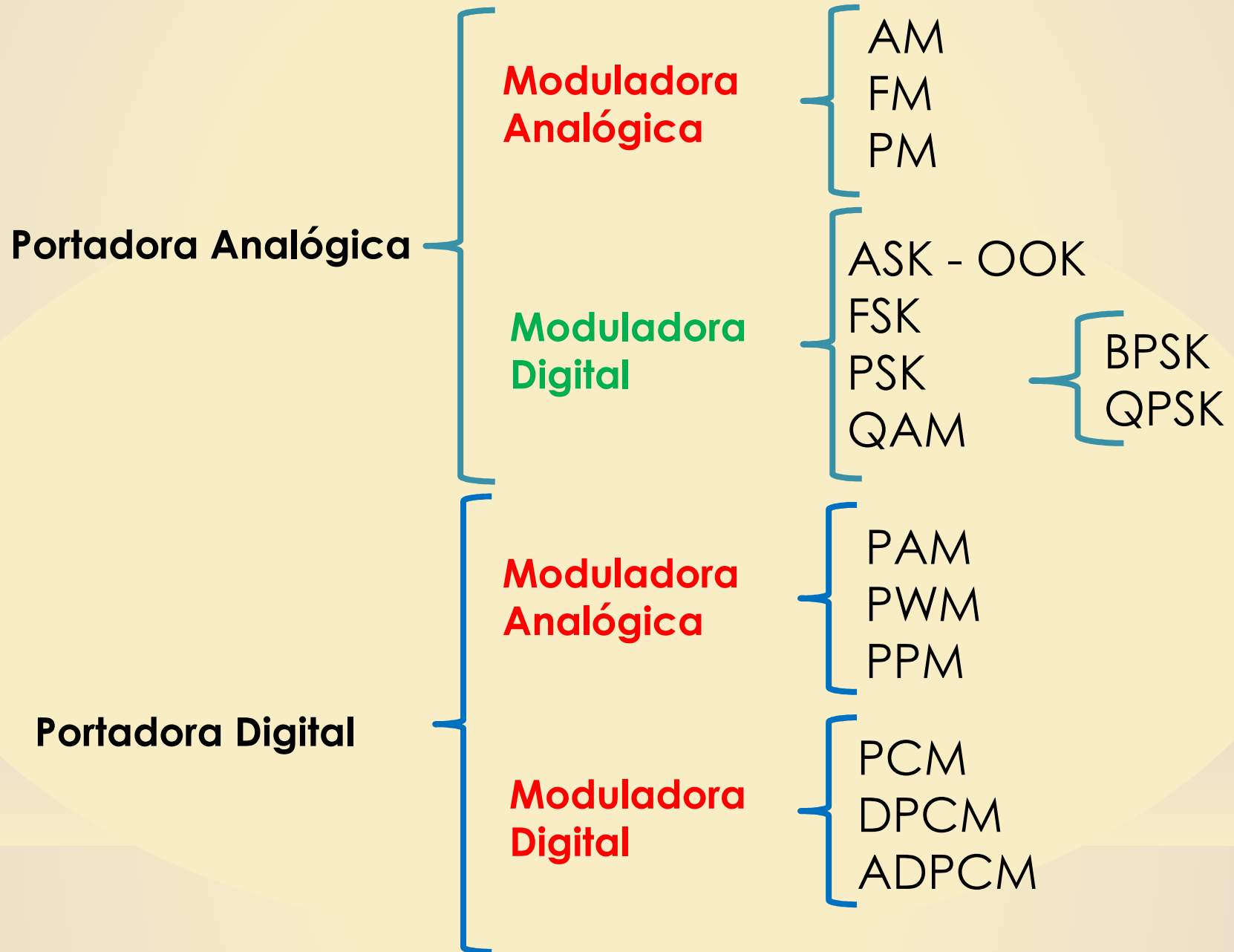
Modulación

- Se denomina **modulación** al proceso de colocar la información contenida en una señal, generalmente de baja frecuencia, sobre una señal de alta frecuencia.
- La modulación de una señal consiste en cambiar o alterar algunos parámetros de dicha señal. Esta señal llamada portadora, por ser a la vez conductora de señales más débiles como el sonido y el video

Debido a este proceso la señal de alta frecuencia denominada portadora, sufrirá la **modificación de alguna de sus parámetros**, siendo dicha modificación proporcional a la amplitud de la señal de baja frecuencia denominada moduladora.

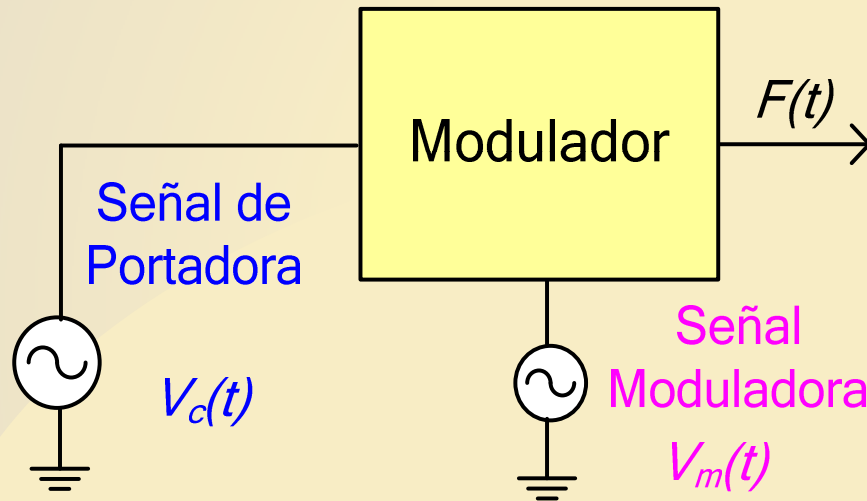
Muy importante!!

Tipos de Modulaciones



Modulación

6



$$F(t) = A(t) \cos[\omega_c t + \theta(t)]$$
$$F(t) = A(t) \cos \phi(t)$$

Toda onda senoidal tiene 2 parámetros principales:
Amplitud y Angulo.

Si:

$$A(t) \propto v_m(t) \quad y \quad \phi(t) = \text{constante}$$

➔ AM

$$\phi(t) \propto v_m(t) \quad y \quad A(t) = \text{constante}$$

➔ FM- PM

Modulación

7

- Se denomina **modulación** al proceso de colocar la información contenida en una señal (Moduladora), generalmente de baja frecuencia, sobre una señal de alta frecuencia (Portadora).

La modulación de una señal consiste en cambiar o variar sistemáticamente algún parámetro de la señal de alta frecuencia (portadora) en forma directamente proporcional a la señal de información (moduladora).

Se puede observar que si se mantiene $A(t)$, $\omega(t)$ y $\varphi(t)$ constantes en el tiempo obviamente no existe posibilidad alguna de transmitir información.

Muy importante!!

MODULACIÓN EN AMPLITUD

8

$$A(t) \propto v_m(t) \quad y \quad \phi(t) = \text{constante} \quad \longrightarrow \quad \text{AM}$$

Portadora

$$\longrightarrow v_c(t) = A_c(t) \cos[\omega_c t + \theta(t)]$$

Moduladora

$$\longrightarrow v_m(t) = V_m \cos \omega_m t$$

$$A_c(t) = V_m \cos \omega_m t + V_c$$

Variación del valor de pico de la amplitud de portadora en forma directamente proporcional a la amplitud de la moduladora

$$v_{AM}(t) = (V_c + V_m \cos \omega_m t) \cos \omega_c t$$

Señal modulada en Amplitud

Se debe cumplir:

$$\omega_m \ll \omega_c$$

$$v_{AM}(t) = V_c \left(1 + \frac{V_m}{V_c} \cos \omega_m t \right) \cos \omega_c t$$

$$m_a = \frac{V_m}{V_c}$$

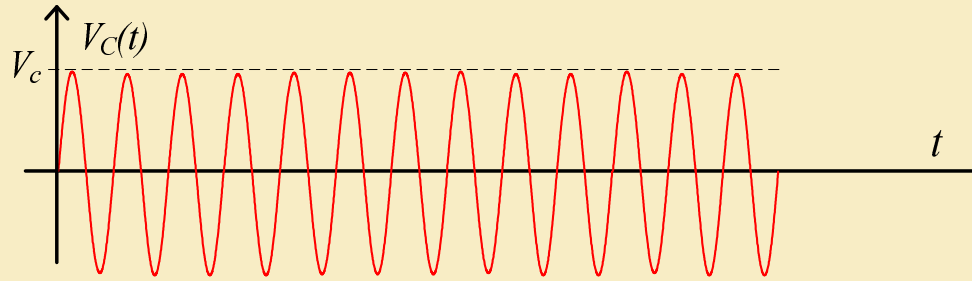
Índice de modulación en amplitud

Modulación en Amplitud

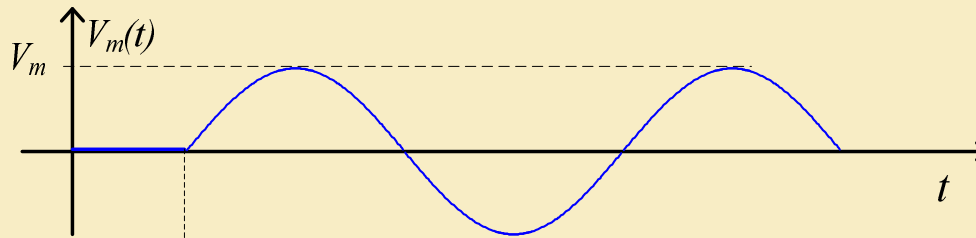
$$v_{AM}(t) = V_c (1 + m_a \cos \omega_m t) \cos \omega_c t$$

Señal modulada en Amplitud

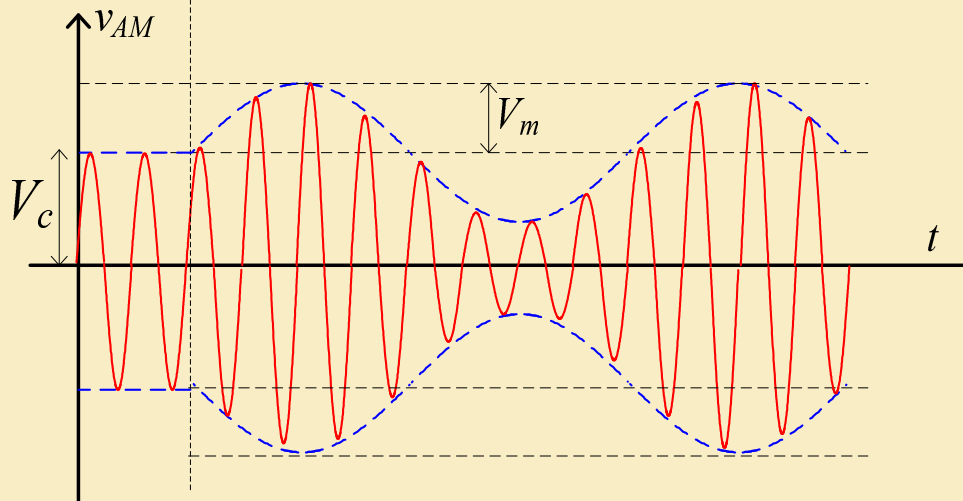
$$m_a = \frac{V_m}{V_c}$$



Portadora



Moduladora



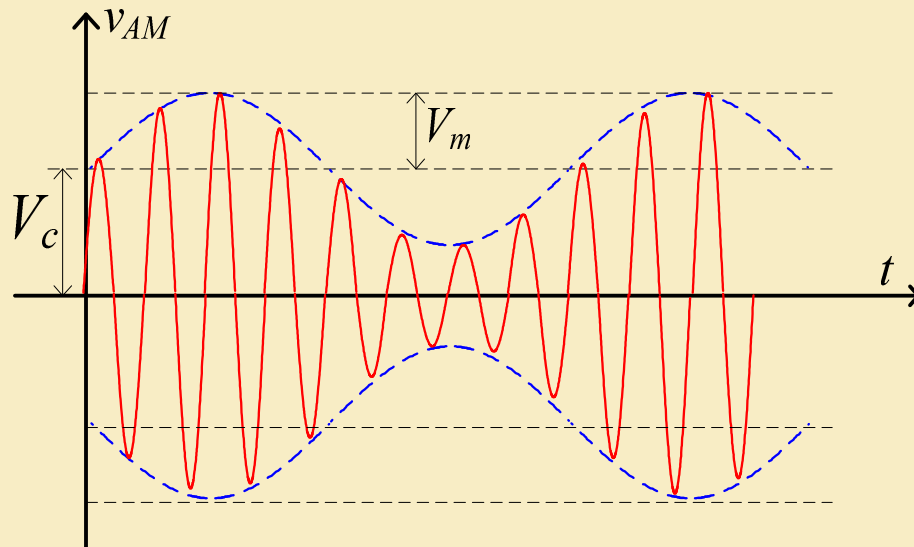
Señal modulada en Amplitud

Modulación en Amplitud

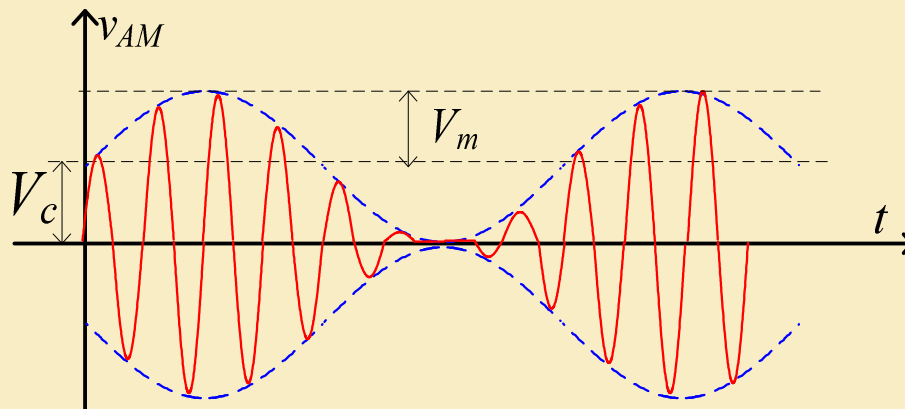
$$v_{AM}(t) = V_c (1 + m_a \cos \omega_m t) \cos \omega_c t$$

Señal modulada en Amplitud

$$m_a = \frac{V_m}{V_c}$$

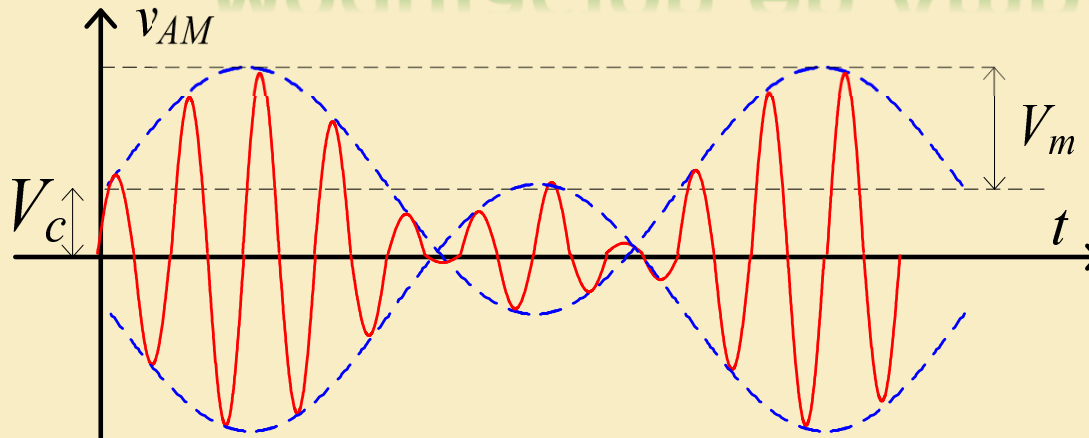


$$V_m < V_c \Rightarrow m_a < 1$$



$$V_m = V_c \Rightarrow m_a = 1$$

Modulación en Amplitud



$$V_m > V_c \Rightarrow m_a > 1$$

Sobremodulación

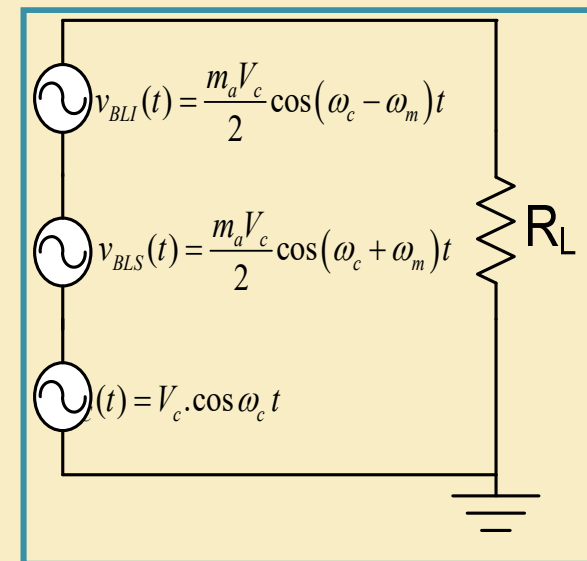
Para que no exista distorsión en la señal modulada en amplitud, se debe cumplir que $V_m \leq V_c$



$$0 \leq m_a \leq 1$$

Muy importante!!

La señal modulada en amplitud, puede ser simulada:



Señales de AM: Espectro

Si se aplica propiedad distributiva a la expresión de $v_{AM}(t)$:

$$v_{AM}(t) = V_c (1 + m_a \cos \omega_m t) \cos \omega_c t$$

$$v_{AM}(t) = V_c \cdot \cos \omega_c t + V_c \cdot m_a \cdot \cos \omega_m t \cdot \cos \omega_c t$$

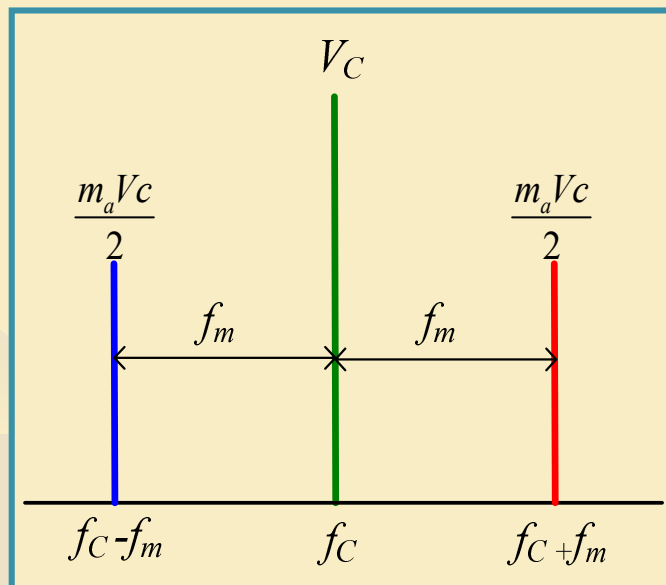
$$v_{AM}(t) = V_c \cdot \cos \omega_c t + \frac{m_a V_c}{2} \cos(\omega_c + \omega_m) t + \frac{m_a V_c}{2} \cos(\omega_c - \omega_m) t$$

Portadora

Banda lateral superior

Banda lateral inferior

Espectro de la señal de AM



$$V_{BLS} = \frac{m_a V_c}{2}$$

$$V_{BLI} = \frac{m_a V_c}{2}$$

Son iguales

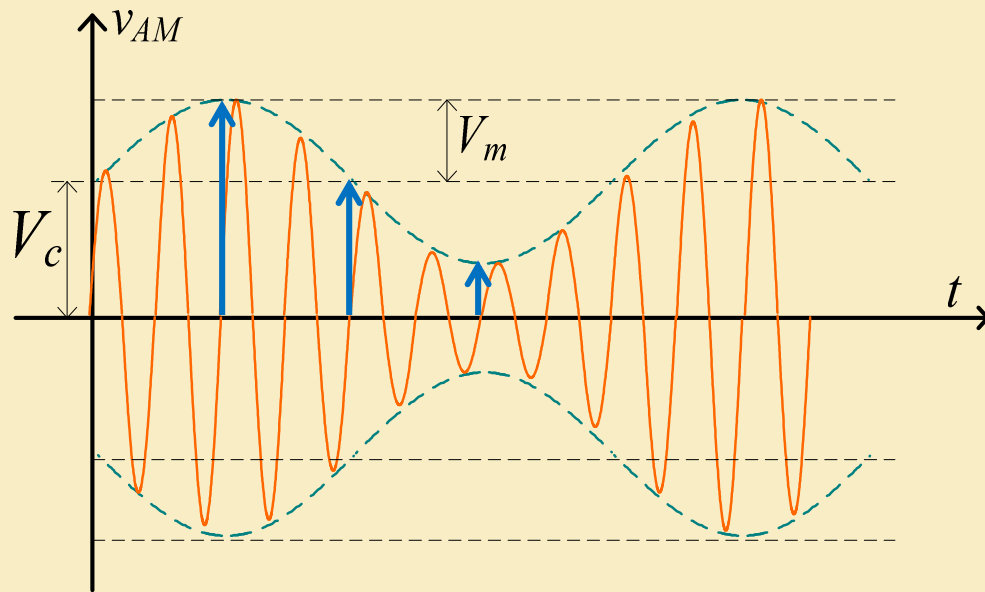
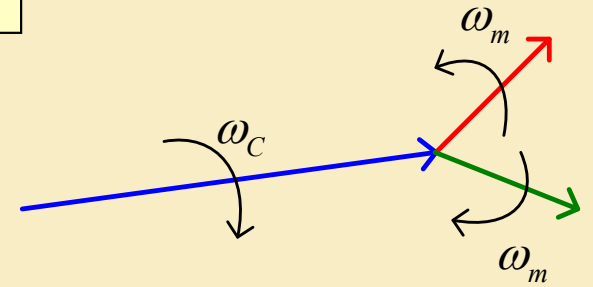
Ancho de banda de la señal de AM

$$AB_{AM} = f_{BLS} - f_{BLI} = 2f_m$$

Muy importante!!

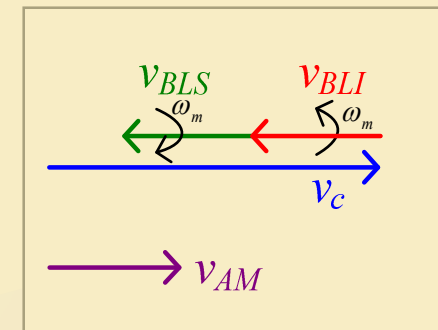
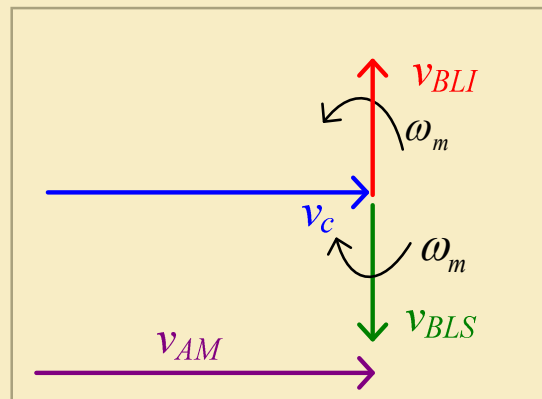
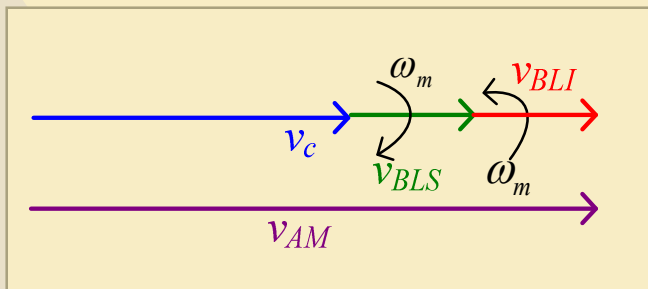
Señales de AM- Representación fasorial

$$v_{AM}(t) = V_c \cdot \cos \omega_c t + \frac{m_a V_c}{2} \cos(\omega_c + \omega_m)t + \frac{m_a V_c}{2} \cos(\omega_c - \omega_m)t$$



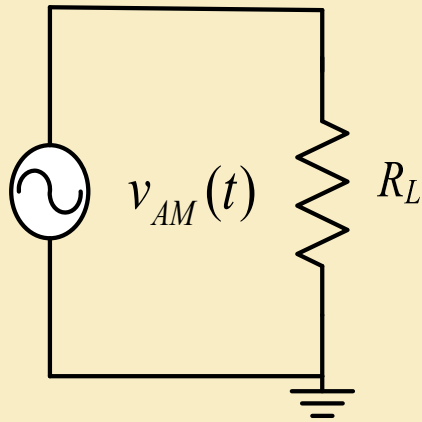
El fasor resultante de la suma de los fasores $v_{BLS} + v_{BLI}$ tiene la misma dirección que el fasor v_c

Muy importante!!



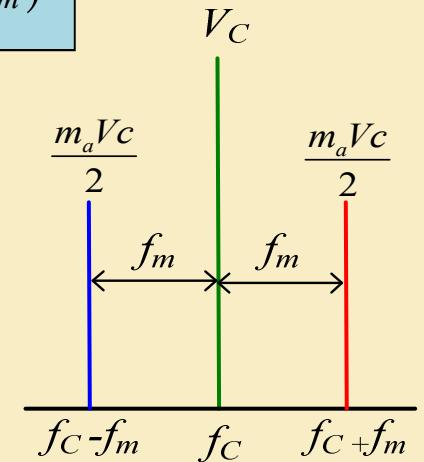
Señales de AM- Potencia

$$v_{AM}(t) = V_c \cdot \cos \omega_c t + \frac{m_a V_c}{2} \cos(\omega_c + \omega_m)t + \frac{m_a V_c}{2} \cos(\omega_c - \omega_m)t$$



$$P_{Cm} = \frac{1}{R_L} \int v_{Cm}(t)^2 dt$$

$$P_{Cm} = P_c + P_{BLS} + P_{BLI}$$



$$P_{Cm} = \frac{V_c^2}{2R_L} + \left(\frac{m_a V_c}{2}\right)^2 \frac{1}{2R_L} + \left(\frac{m_a V_c}{2}\right)^2 \frac{1}{2R_L} = \frac{V_c^2}{2R_L} \left(1 + \frac{m_a^2}{2}\right)$$

$$P_{Cm} = P_c \left(1 + \frac{m_a^2}{2}\right)$$

$$m_a = 0 \Rightarrow P_{Cm} = P_c$$

Muy importante!!

$$m_a = 1 \Rightarrow P_{Cm\text{máx}} = 1,5P_c$$

Señales de AM- Potencia

15

Otra forma importante de evaluar la potencia de un transmisor de AM es medir o calcular la potencia "**PEP**" (*peak envelope power*) que se define como la máxima potencia media para un ciclo de RF y se expresa como.

$$P_{PEP} = \frac{V_{CM \max}^2}{2R_L}$$

Para una señal modulada por un tono simple:

$$P_{PEP} = \frac{(V_C + V_m)^2}{2R_L} = P_C (1 + m_a)^2$$

Eficiencia de modulación: relación entre la potencia útil de señal y la potencia total de la señal modulada:

$$\eta = \frac{P_{BL}}{P_{Cm}} = \frac{m_a^2}{4 \left(1 + \frac{m_a^2}{2} \right)}$$

El concepto de *eficiencia de modulación*, no debe confundirse con el de la *eficiencia del transmisor*. Este se relaciona con otros factores como rendimiento de los amplificadores de potencia

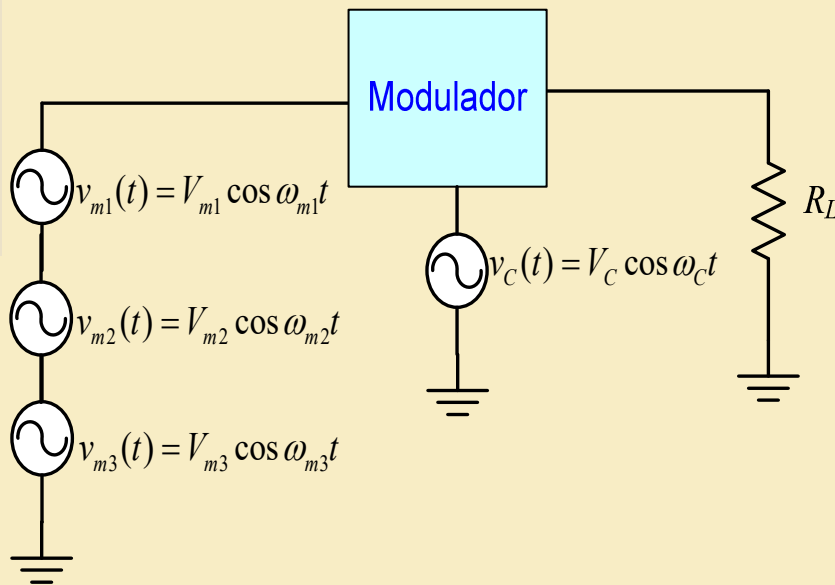
$$\eta|_{m_a=1} = \frac{1}{4 \left(1 + \frac{1}{2} \right)} = \frac{1}{6} = 16,6\%$$

Señales de AM- Moduladora compuesta

16

Sea una moduladora compuesta por tres tonos::

$$v_m(t) = V_{m1} \cdot \cos \omega_{m1} t + V_{m2} \cdot \cos \omega_{m2} t + V_{m3} \cdot \cos \omega_{m3} t$$

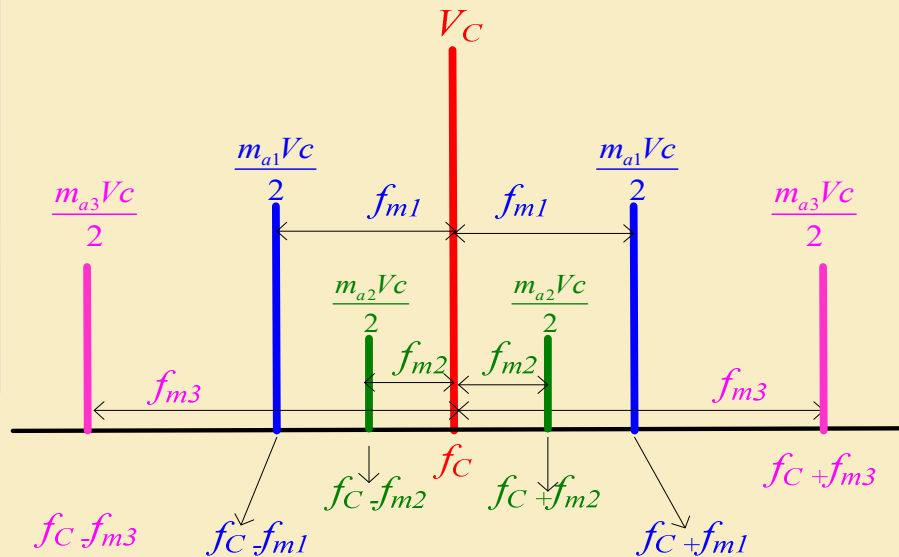


Se puede demostrar, que cada tono genera un par de bandas laterales (S+I), ubicadas a $f_{m n}$ de la portadora

Muy importante!!

$$\begin{aligned} v_{AM}(t) = & V_c \cdot \cos \omega_c t + \frac{m_{a1} V_c}{2} \cos(\omega_c + \omega_{m1}) t + \frac{m_{a1} V_c}{2} \cos(\omega_c - \omega_{m1}) t \\ & + \frac{m_{a2} V_c}{2} \cos(\omega_c + \omega_{m2}) t + \frac{m_{a2} V_c}{2} \cos(\omega_c - \omega_{m2}) t + \\ & + \frac{m_{a3} V_c}{2} \cos(\omega_c + \omega_{m3}) t + \frac{m_{a3} V_c}{2} \cos(\omega_c - \omega_{m3}) t + \end{aligned}$$

Señales de AM- Moduladora compuesta



$$AB_{AM} = 2 f_m \text{ máx}$$

Se define como índice de modulación eficaz a:

$$m_{a \text{ eff}} = \sqrt{m_{a1}^2 + m_{a2}^2 + \dots + m_{an}^2}$$

la condición de que $m_{a \text{ eff}} < 1$, no implica que la señal esté sobremodulada

La potencia desarrollada es:

$$P_{Cm} = P_c \left(1 + \frac{m_{a \text{ eff}}^2}{2} \right)$$

Muy importante!!

Señales de AM- Conclusiones

18

Ventajas:

- a) Son fáciles de generar
- b) Los receptores de AM son muy sencillos y económicos.

Desventajas:

- a) La potencia utilizada en la portadora no aporta información y la usada en las bandas laterales es redundante desde el punto de vista de la información que se transmite.

$$\eta = \frac{P_{BL}}{P_{Cm}} = \frac{m_a^2}{4 \left(1 + \frac{m_a^2}{2} \right)} \Rightarrow \eta_{máx} = \frac{1}{6}$$

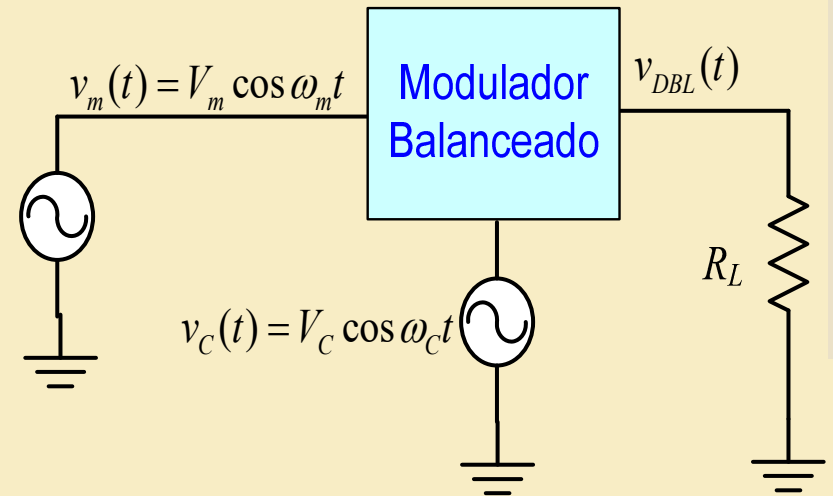
- b) El ancho de banda está duplicado teniendo en cuenta que las dos bandas laterales tienen la misma información.
- c) P_{CM} no es nula en ningún momento, incluso en ausencia de información ($v_m = 0$).
- d) Mayor sensibilidad al ruido que otros moduladores

Muy importante!!

Señales de AM- Doble Banda Lateral

19

Las señales de AM sin portadora, se llaman de "doble banda lateral" o DBL. Se obtienen a partir de una señal que modula a una portadora en un modulador balanceado



$$v_{DBL}(t) = v_m(t) \cdot v_c(t)$$

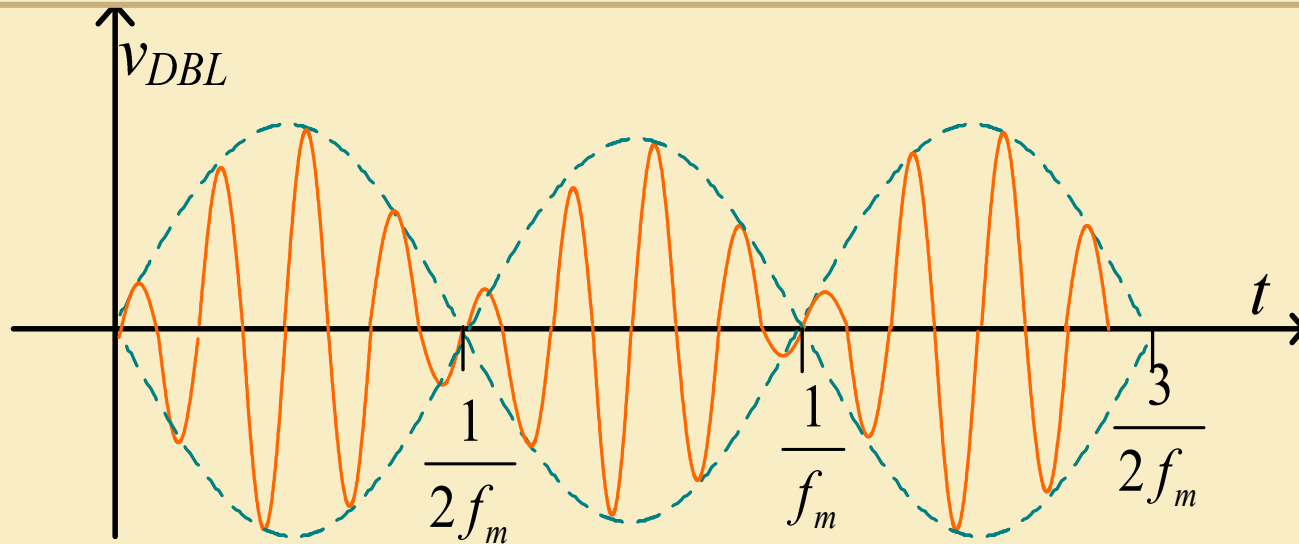
$$v_{DBL}(t) = K \cdot V_m \cos \omega_m t \cdot V_c \cos \omega_c t$$

$$v_{DBL}(t) = K V_m \cos(\omega_m + \omega_c)t + K V_m \cos(\omega_m - \omega_c)t$$

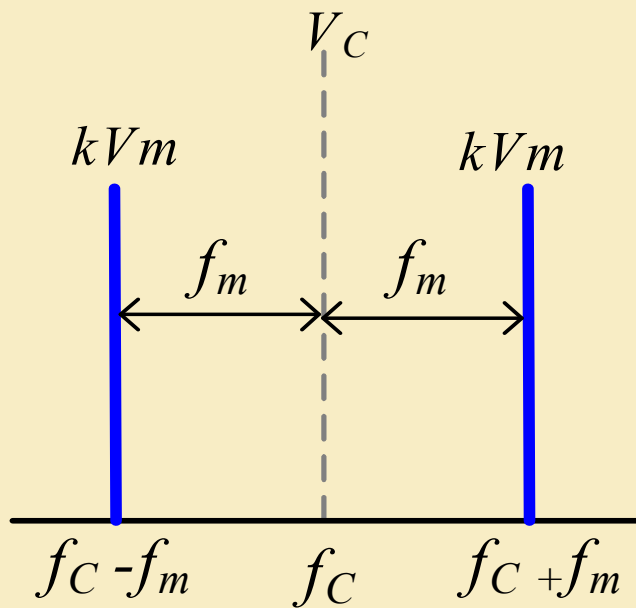
$$v_{DBL}(t) = V_{DBL} \cos(\omega_m + \omega_c)t + V_{DBL} \cos(\omega_m - \omega_c)t$$

Señales de AM- Doble Banda Lateral

20



$$AB = 2f_{m\text{máx}}$$



En una señal de DBL no se habla de índice de modulación.

El único límite que existe para modular, es el que otorgan los márgenes físicos de los componentes que integran el modulador y sus amplificadores

Conclusiones

Las señales moduladas en DBL tienen como principal ventaja el ahorro de energía que brinda la ausencia de la portadora.

Sus desventajas más notables son:

- a) La potencia utilizada en una de las bandas laterales es redundante desde el punto de vista de la información que se transmite.

$$P_{DBL} = P_{BLS} + P_{BLI} = 2 \frac{(kV_m)^2}{2R_L} = \frac{(kV_m)^2}{R_L}$$

$$\eta = \frac{P_{BL}}{P_{Cm}} = \frac{1}{2}$$

- b) El ancho de banda está duplicado ya que las dos bandas laterales contienen la misma información.

- c) Sistema receptor más complejo.

Portadora

$$v_C(t) = V_c \cos[\omega_c t + \theta(t)]$$

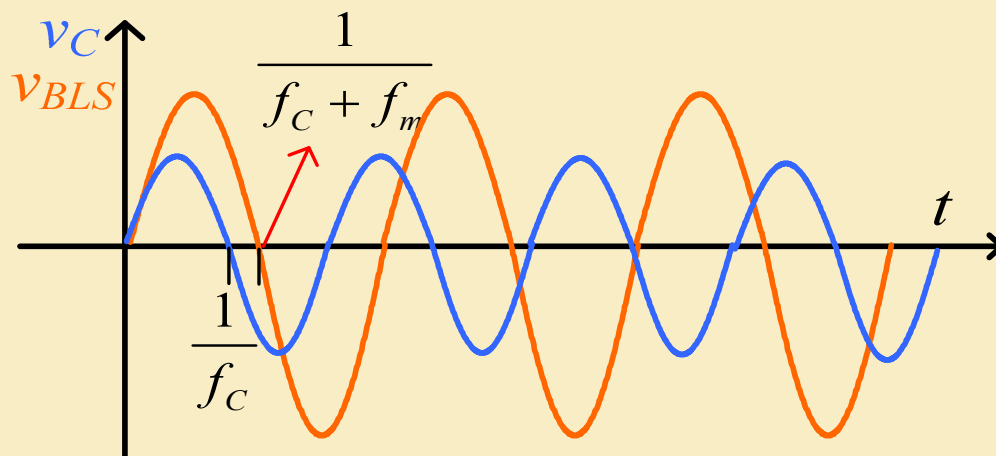
Moduladora

$$v_m(t) = V_m \cos \omega_m t$$

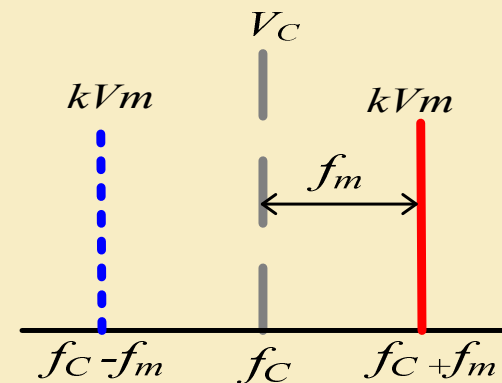
$$v_{BLS}(t) = KV_m \cos(\omega_c + \omega_m)t$$

$$v_{BLI}(t) = KV_m \cos(\omega_c - \omega_m)t$$

Se debe cumplir: $\omega_m \ll \omega_c$



El espectro de v_{BLS} es:



$$AB = f_m$$

La potencia que puede desarrollar la señal de v_{BLS} sobre una carga R_L es:

$$P_{BLS} = \frac{(KV_m)^2}{2R_L}$$

Ventajas de la transmisión en BLU:

a) El AB es la mitad del de AM o DBL para igual $f_{mmáx}$.

b) Debido a que disipa potencia solo cuando se transmite información, se necesita mucho menos potencia total transmitida para producir la misma cantidad de señal que se logra con la transmisión de AM. En consecuencia, se pueden utilizar transmisores más pequeños y más confiables con igual alcance en su comunicación.

c) **Desvanecimiento selectivo.** En AM, las dos bandas laterales y la portadora pueden propagarse por diferentes trayectorias y pueden experimentar diferentes deterioros en la transmisión: Desvanecimiento de portadora, desplazamientos de fase. La BLU no lo sufre

d) **Reducción de ruido.** Debido a que el sistema de BLU utiliza sólo la mitad del AB que la AM convencional, la potencia de ruido térmico se reduce a la mitad.

Desventajas de la transmisión de BLU

- a) Mayor complejidad y costo de los equipos de transmisión y recepción.
- b) Son muy sensibles a distorsión por diferencias entre la frecuencia de portadora del transmisor y la generada en el receptor.
- c) Los receptores de BLU requieren una sintonización más compleja y precisa que los receptores de AM convencionales. Esto se supera utilizando unos circuitos de sintonización más precisa, compleja y costosa.

Moduladores de Amplitud

25

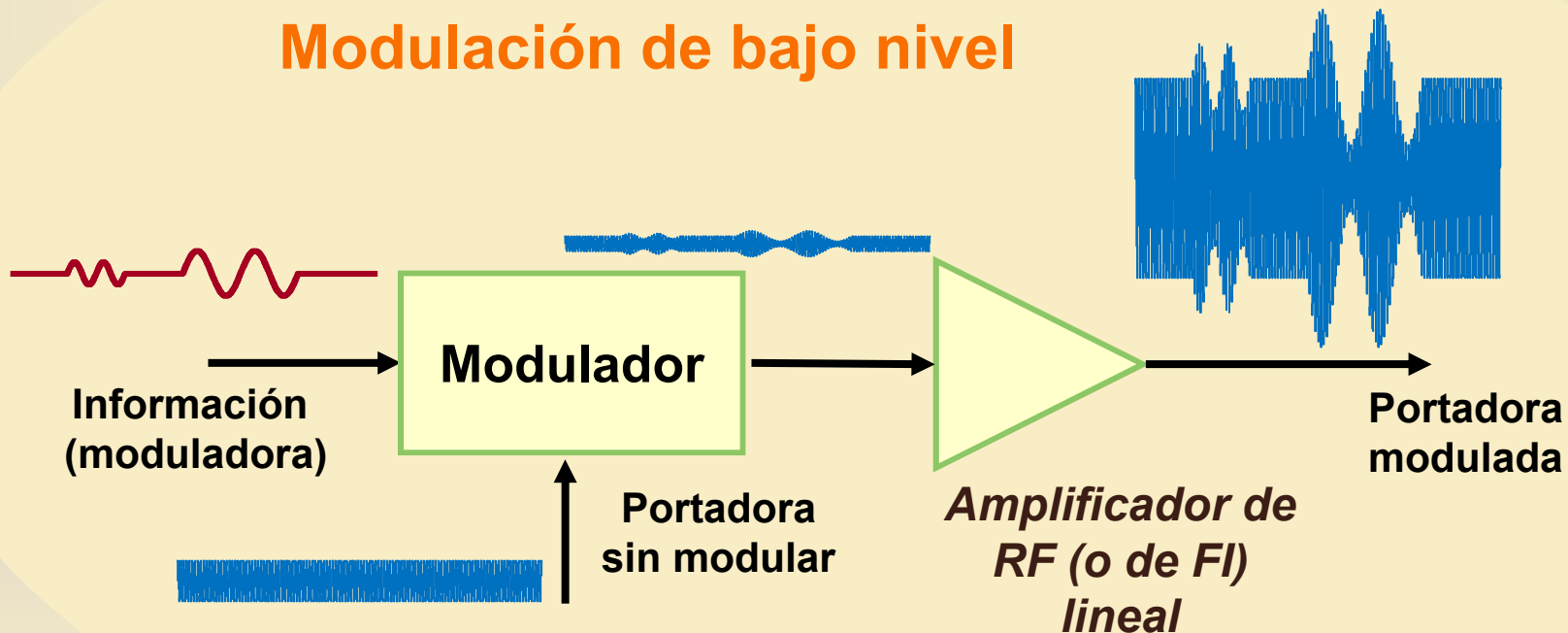
Objetivo:

Modular una portadora modificando su la amplitud. Hay dos opciones:

1- Modulación de bajo nivel: modulador balanceado, dispositivo cuadrático

2-Modulación de alto nivel

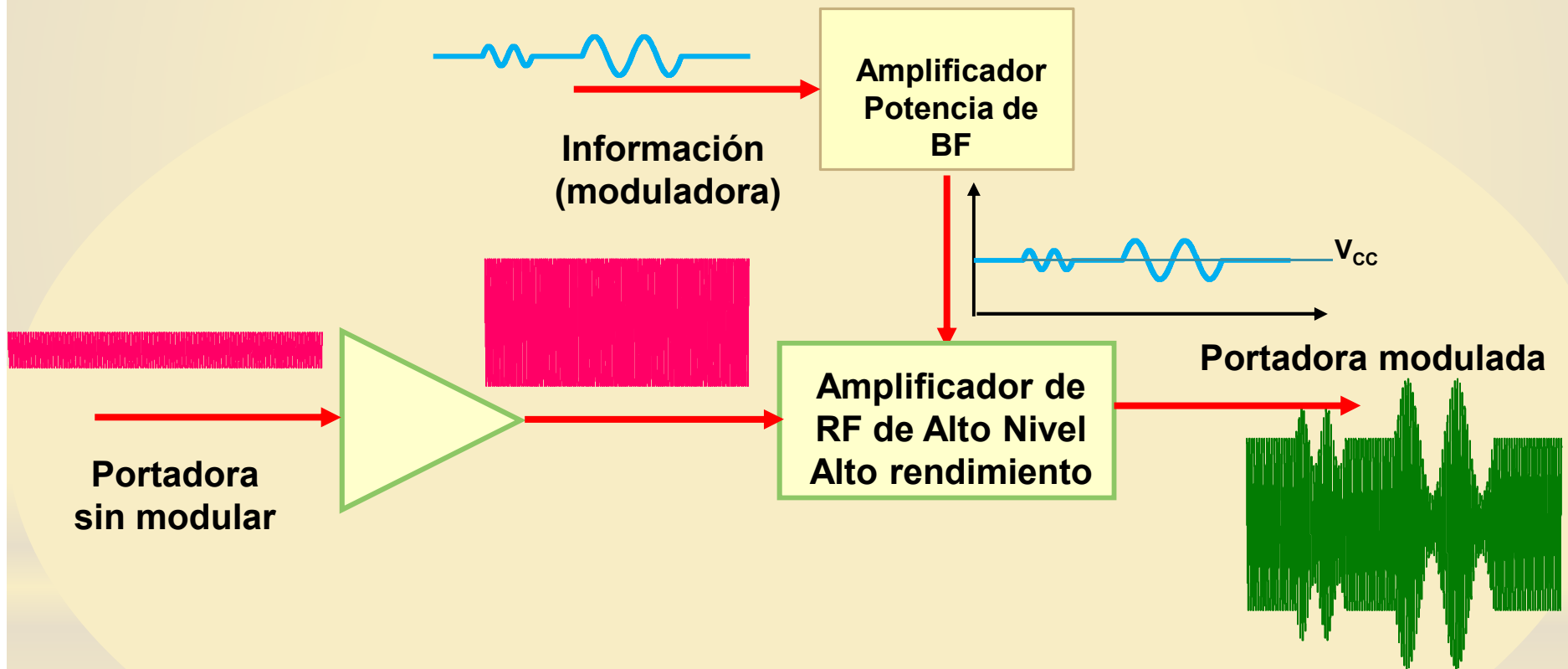
Modulación de bajo nivel



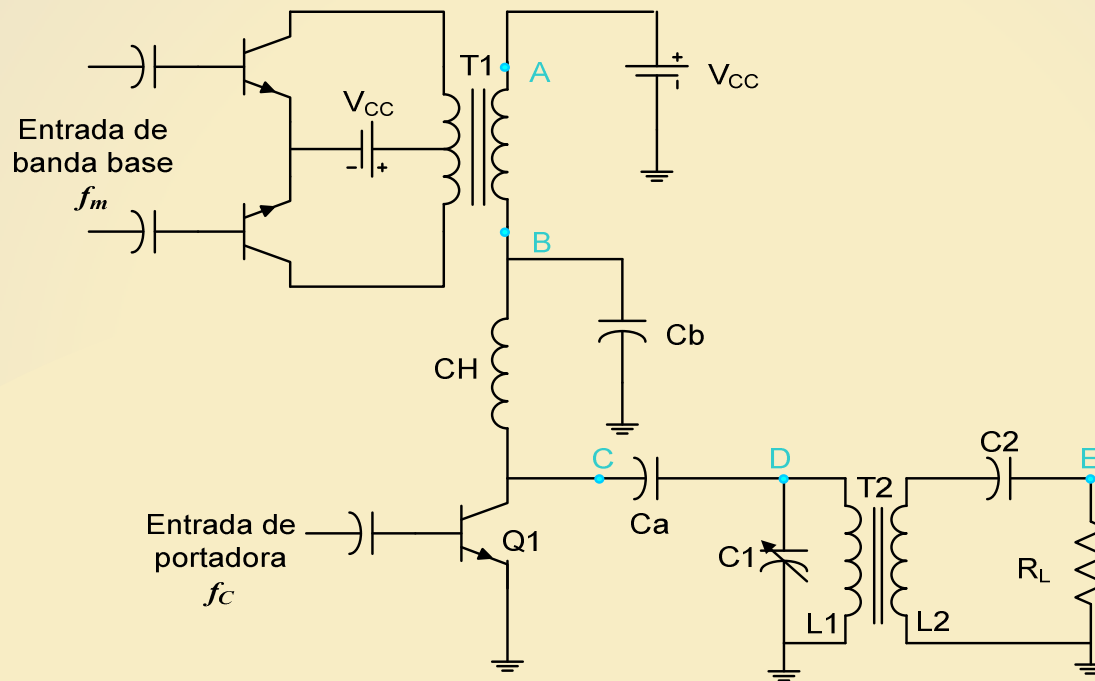
- Muchas veces es la única posibilidad
- El amplificador de RF lineal, sintonizado, bajo rendimiento
- Se los verá detalladamente al tratar “Conversión de frecuencia”

Modulación de alto nivel

Modulación en alto nivel de potencia



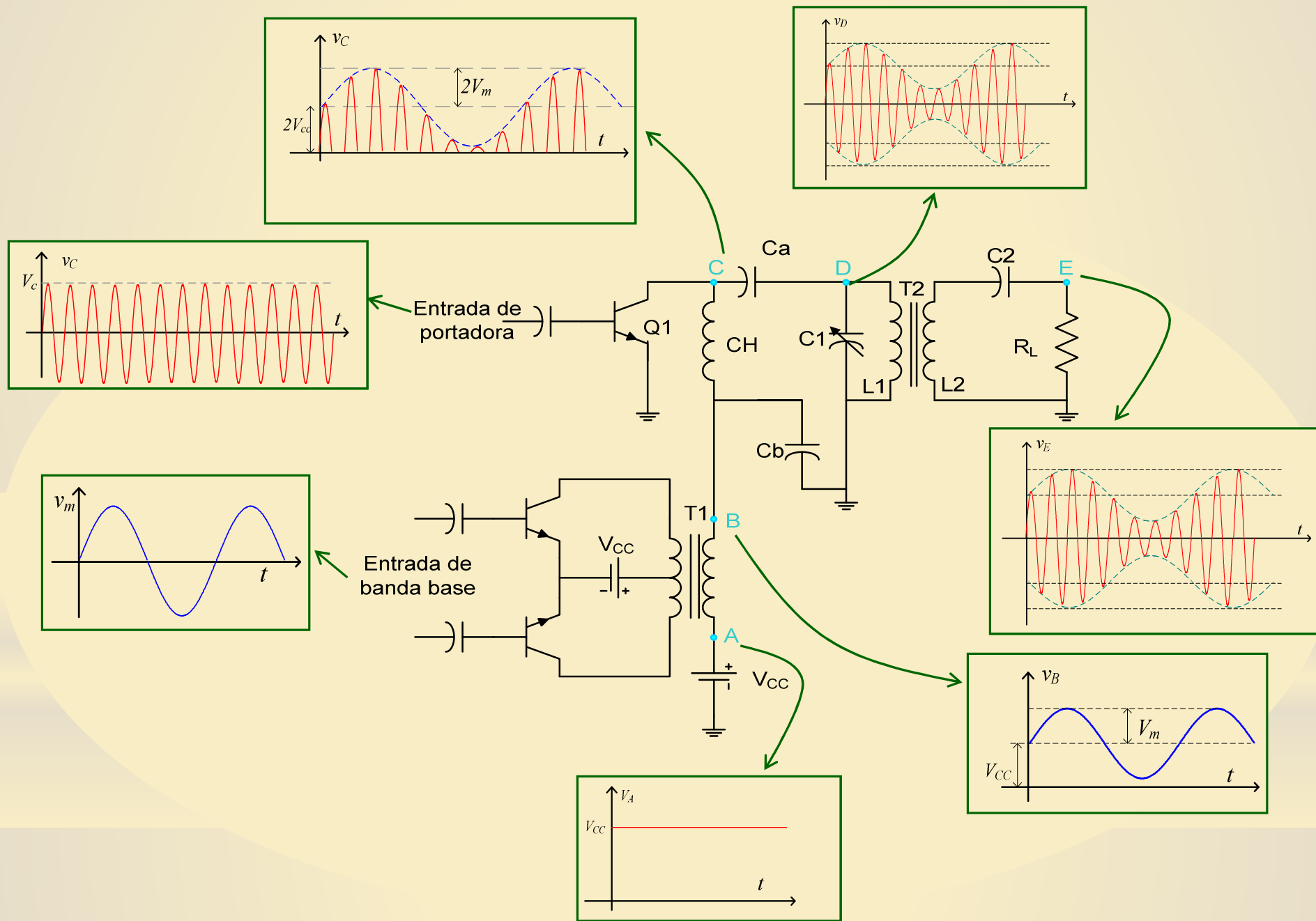
- El amplificador de RF no necesita ser lineal, trabaja con alto rendimiento
- El amplificador de Potencia de audio es lineal, generalmente clase B



- El transistor Q1 recibe por base la señal de la portadora generada por un oscilador y amplificada al nivel necesario para:
 - hacer trabajar a Q1 en clase C
 - proporcionar la potencia de salida necesaria.

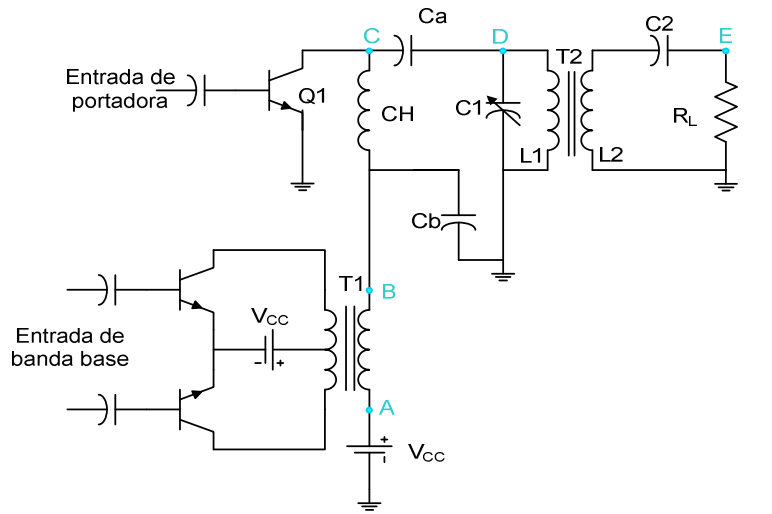
La señal en banda base se aplica mediante un transformador cuyo secundario se comporta como una fuente de tensión en serie con la tensión V_{CC} de continua, haciendo que el punto de funcionamiento del transistor varíe de acuerdo a la señal moduladora.

Modulador de Alto Nivel



Modulador de alto nivel

29



*CH: choke de RF. Esta es una bobina que presenta una reactancia elevada a la señal de RF para que no pase a la fuente ni al circuito del modulador.

* C_b : ofrece baja reactancia a RF y elevada a la señal moduladora. Su función es la de extinguir cualquier señal a la frecuencia de RF que pudiera sobrevivir a la oposición de la bobina de choke y dejar pasar hacia la placa la señal moduladora.

- El secundario de T1 actúa como una fuente de tensión variable, en serie con la DC de la fuente de alimentación V_{cc} , lo que da lugar a que el punto de funcionamiento de Q1 varíe de acuerdo a la señal moduladora.
- Esto causará que la amplitud de la portadora, a la salida del amplificador varíe de la misma forma, realizando así la función de multiplicación requerida para la modulación de amplitud.
- La señal de salida de RF en el colector será una señal modulada en amplitud
- La señal de RF en colector no puede circular hacia el modulador ni la fuente y pasa, a través de un condensador C_a , que ofrece baja reactancia a RF, y excita el circuito resonante C_1 y L_1 .
- El circuito resonante del primario: $f_0=f_c$ y $AB=2f_{m \text{ máx}}$
- El resonante del secundario de T2 formado por L_2 y C_2 : $f_0=f_c$ y $AB=2f_{m \text{ máx}}$
- T1 y T2 también realizan adaptación de impedancias

Modulador de alto nivel

30

En ausencia de moduladora la impedancia que Q1 es:

$$Z = \frac{V_{CC}}{I_{dc}}$$

$$v_{dc m} = V_{CC} + V_m'' \cos \omega_m t = V_{CC} (1 + m_a \cos \omega_m t); \quad m_a = \frac{V_m''}{V_{CC}}$$

$$I_{dc m} = I_{dc} + m_a I_{dc} \cos \omega_m t = I_{dc} (1 + m_a \cos \omega_m t)$$

$$P_{en} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} v_{dc m} \cdot I_{dc m} \cdot d\theta = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} V_{CC} \cdot I_{dc} \cdot (1 + m_a \cos \omega_m t)^2 d\theta$$

$$P_{en} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} V_{CC} I_{dc} \left(1 + 2m_a \cos \omega_m t + m_a^2 \left(\frac{1 + \cos 2\omega_m t}{2} \right) \right) d\theta$$

$$P_{en} = \frac{V_{CC} I_{dc}}{2\pi} \left| 2\pi + 0 + 2\pi \frac{m_a^2}{2} + \frac{m_a^2}{2} (\text{sen}4\pi - \text{sen}0) \right.$$

$$P_{en} = V_{CC} I_{dc} \left(1 + \frac{m_a^2}{2} \right)$$

Potencia entregada por el modulador

Potencia entregada por la fuente Vcc

Modulador de alto nivel

31

El amplificador modulador entrega al primario de t_1 la potencia P_{mod}' . Al secundario pasará:

$$P_{\text{mod}}'' = \eta_{T1} P_{\text{mod}}' = V_{CC} I_{dc} \frac{m_a^2}{2}$$

La potencia que entrega Q1 en el colector es:

$$P_{\text{colectorQ1}} = P_o' = \eta_C P_{en} = \eta_C V_{CC} I_{dc} \left(1 + \frac{m_a^2}{2}\right)$$

La potencia que efectivamente se entrega a la carga RL es:

$$P_o'' = \eta_{T2} P_o' = \eta_{T2} \eta_C V_{CC} I_{dc} \left(1 + \frac{m_a^2}{2}\right)$$

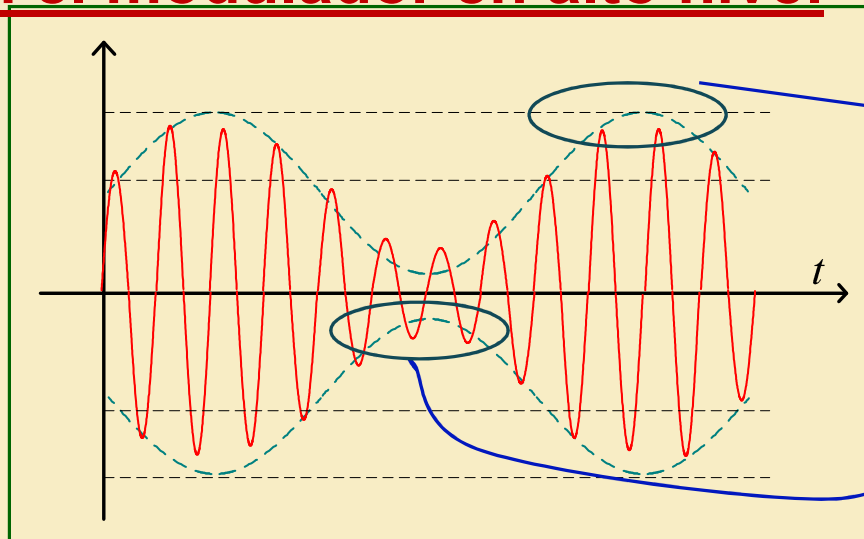
La potencia que disipa el TBJ es:

$$P_d = P_{en} - P_o = V_{CC} I_{dc} \left(1 + \frac{m_a^2}{2}\right) - \eta_C V_{CC} I_{dc} \left(1 + \frac{m_a^2}{2}\right) = 1 - \eta_C$$

Observar:

El nivel de portadora lo pone la fuente de alimentación, pero el nivel de excitación V_c debe ser lo suficientemente grande como para que Q1 trabaje en clase C. La potencia de ambas bandas laterales la entrega el amplificador modulador.

Distorsión en el modulador en alto nivel



Distorsión de cresta: poca excitación

Distorsión de valle: demasiada excitación

Se soluciona premodulando la entrada:

