

TEMA 7: TRANSMISORES

Comunicaciones Inalámbricas

Marina Zapater

Primavera 2015

Departamento de Física Aplicada III, Universidad Complutense de Madrid



UNIVERSIDAD
COMPLUTENSE
MADRID

Este tema se compone de dos grandes bloques:

- **Transmisores:** bloques, tipos y parámetros básicos
- **Amplificadores:** Parámetros y tipos de amplificadores

Introducción

Tipos de transmisores

- Transmisores homodinos

- Transmisores heterodinos

Parámetros característicos

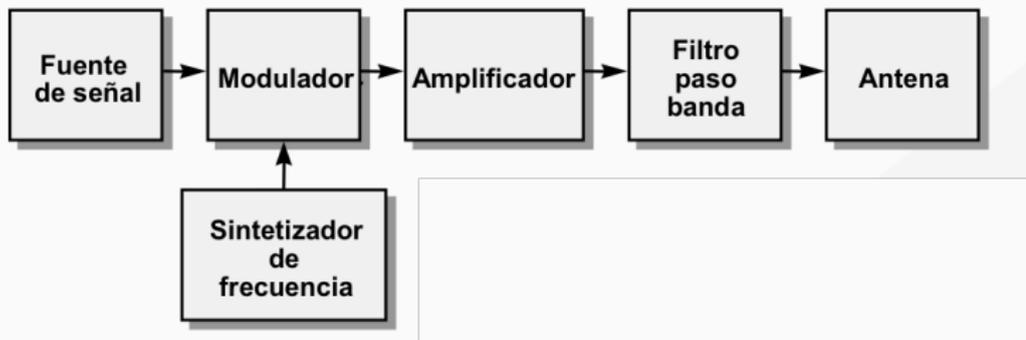
Niveles de potencia en el TX: CAG

Amplificadores

Ejercicios

INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN: ESQUEMA BÁSICO DEL TRANSMISOR



- En este tema veremos en detalle una parte crítica de la transmisión: la amplificación

Nota: En el próximo tema veremos los receptores y los filtros

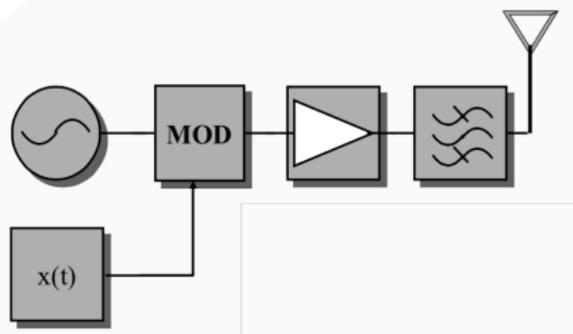
TIPOS DE TRANSMISORES

Tenemos dos tipos básicos de transmisores:

- Homodinos: la modulación se lleva a cabo directamente sobre la portadora, y la señal a la salida se filtra y se envía a la antena.
 - Con modulación a bajo nivel
 - Con modulación a alto nivel
- Heterodinos: La portadora sobre la que se modula es de frecuencia diferente a la de emisión.

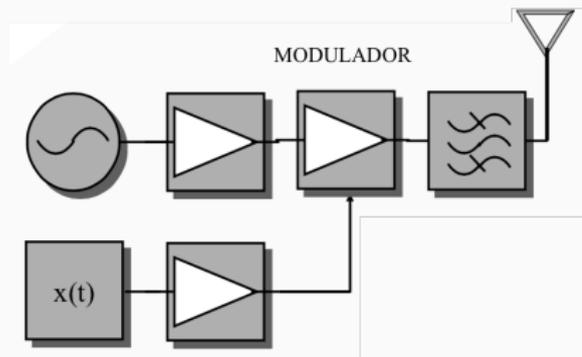
- En la práctica, estos transmisores se usan sólo en modulación de amplitud → porque se trabaja a frecuencias bajas
- El mayor problema es el filtrado posterior a la modulación → en sistemas canalizados, requiere frecuencia variable

Esquema del transmisor homodino a bajo nivel:



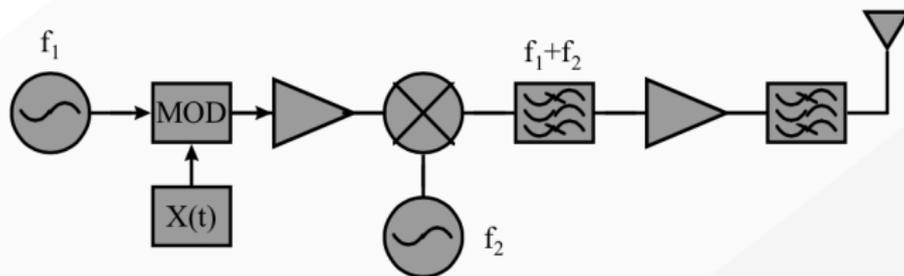
- Genera la señal modulada en baja potencia

TRANSMISOR HOMODINO CON MODULACIÓN A NIVEL ALTO



- Genera y amplifica la portadora
- Genera y amplifica la señal de modulación
- Modula en alto nivel en un modulador lineal de alto rendimiento
- Finalmente lleva a cabo el filtrado.

TRANSMISORES HETERODINOS



- Genera la señal modulada en baja potencia sobre una frecuencia intermedia
- Puede mantener constante la frecuencia sobre la que se modula (la que se varía es la que se transmitirá por la antena)
- La amplificación se lleva a cabo en dos etapas, sobre dos frecuencias diferentes
- Dado que el filtro es de frecuencia fija, el filtrado de la señal modulada es mejor.

PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS

Los parámetros característicos de los transmisores son:

- Frecuencia de transmisión
- Señal de banda base
- Tipo y profundidad de modulación
- Ancho de banda
- Emisiones no deseadas
- Potencia de emisión
- Rendimiento
- Fidelidad

- Frecuencia de portadora
- Frecuencia característica (en el caso de que no se transmita la portadora, como en DBL)

Una de las características más importantes de la portadora es su estabilidad:

- Estabilidad a corto plazo: variaciones de frecuencia o fase en períodos muy cortos de tiempo → ruido de fase asociado al oscilador
- Estabilidad a largo plazo: variaciones del valor medio de la frecuencia medidos en tiempos largos.

FRECUENCIAS DE TRANSMISIÓN

| Nombre más común | Frecuencia Long. de onda | Alcance sobre la tierra | Tipo de señal y modulación Y aplicaciones |
|---------------------------------------|------------------------------|-----------------------------------|--|
| VLF | 3-30kHz 10-100km | Global | Radiotelegrafía (ASK) Difusión global |
| LF Onda larga | 30-300kHz 1-10km | 1000-3000km | Radiodifusión de audio AM Telefonía naval |
| MF Onda Media | 0.3-3MHz 100m-1km | 300-1000km | Radiodifusión de audio AM |
| HF Onda Corta | 3-30MHz 10-100m | 100-300km 10^4 Km(Ionosfera) | Radiodifusión de audio AM, BLU por Ionosfera |
| VHF Métricas | 30-300MHz 1-10m | 30-100km | Radiodifusión. Audio FM y TV, Comunicación Punto a Punto |
| UHF Decimétricas | 300MHz-3GHz 10cm-1m | 30-100km | Difusión TV, Radioenlaces fijos y por satélite. Telefonía móvil. |
| SHF, Microondas Centimétricas | 3-30GHz 1-10cm | 30-100km 10^5 km (Espacio) | Enlaces fijos y por satélite. Distribución TV por satélite. Radar. |
| Milimétricas | 30-300GHz 1-10mm | 10-30km 10^4 km (Espacio) | Sistemas Militares. Radiotelescopios Enlaces por satélite y entre satélites. |
| Sub-milimétricas Infrarrojo lejano | 300GHz-3THz 0.1-1mm | <10km 10^4 km (Espacio) | Experimental. Investigación. |
| Infrarrojo | 3THz-300THz 1-100 μ m | <10km 10^4 km (Espacio) | Comunicaciones de banda ancha por fibra óptica y laser ¹⁰ |

Las señales se definen por una serie de parámetros, como son:

- Valor medio o componente continua: $\langle x(t) \rangle$
- Potencia media: $\langle x^2(t) \rangle$
- Valor eficaz: $x_{ef} = P_b^{1/2}$
- Valor máximo o de pico x_{max}
- Función de distribución estadística $F(x)$
- Función de correlación $R(\tau) = \langle x(t)x(t - \tau) \rangle$
- Distribución espectral de potencia: $S(f) = F[R(\tau)]$
- Banda ocupada por la señal en banda base W
- Frecuencia máxima de la señal en banda base f_m

TIPO Y PROFUNDIDAD DE MODULACIÓN

| Forma de mod. | Forma en el tiempo | Índice de mod. | Banda ocupada |
|------------------|---|----------------|-----------------------------|
| AM | $v(t) = A[1 + mx(t)]\cos(\omega_p t)$ | m | 2f_m |
| DBL | $v(t) = Ax(t)\cos(\omega_p t)$ | 1 | 2f_m |
| BLU | $v(t) = A[x(t)\cos(\omega_p t) \pm \tilde{x}(t)\sin(\omega_p t)]$ | 1 | f_m |
| I-Q | $v(t) = A[x_1(t)\cos(\omega_p t) \pm x_2(t)\sin(\omega_p t)]$ | 1 | 2f_m |
| PM | $v(t) = A\cos(\omega_p t + \Delta\phi_{\max} x(t))$ | $\Delta\phi$ | 2f_m(Δφ+1) |
| FM | $v(t) = A\cos(\omega_p t + 2\pi\Delta f_{\max} \int_{-\infty}^t x(t) dt)$ | $\Delta f/f_m$ | 2(f_m+Δf) |
| ASK (QAM) | $v(t) = Ap(t)\cos(\omega_0 t) \quad p(t) = \{0,1\}$ | 1 | f_b |
| PSK | $v(t) = Ap(t)\cos(\omega_p t) \quad P(t) = \{-1,+1\}$ | π/2 | f_b |
| FSK | $v(t) = A\cos(\omega_p t + 2\pi\Delta f_{\max} \int p(t) dt)$ $p(t) = \{-1,+1\}$ | $\Delta f/f_b$ | f_b+2Δf |

BANDA OCUPADA Y EMISIONES ESPURIAS

- Señal modulada: señal con diferentes frecuencias y cuyo espectro puede limitarse a una banda concreta sin sufrir distorsión.
- Ancho de banda: diferencia entre el valor de la frecuencia más alta y más baja de las componentes significativas de una señal
- Ancho de banda necesaria: banda para asegurar la transmisión de la información con una velocidad y calidad específicas.
- Ancho de banda ocupado: banda por encima o debajo de la cual se sólo puede emitirse un porcentaje de la potencia media.
Carácter legal.

Emisiones espurias o no deseadas:

- Raciones no esenciales: están fuera de la banda necesaria, y pueden reducirse sin afectar a la transmisión.
- Radiaciones armónicas o en frecuencias múltiplos enteros de la portadora.
- Radiaciones parásitas: no esenciales y no armónicas.

- **Potencia de la portadora:** valor medio de la potencia en ausencia de modulación
- **Potencia media:** obtenida al promediar la potencia entregada por el transmisor en un tiempo grande
- **Potencia en la cresta de la envolvente:** potencia media en un ciclo para el valor máximo de la envolvente.
- **PIRE ó EIRP** (Potencia Isotrópica Radiada Equivalente). Es la densidad de potencia radiada en una dirección por unidad de ángulo sólido.

$$PIRE(dBm) = P_{rad}(dBm) + D_{antena}(dBi) = P_{tx}(dBm) + G_{antena}(dBi)$$

POTENCIA EN AMPLIFICADORES DE RF

| FRECUENCIA | COMPONENTES DE ESTADO SOLIDO | | VÁLVULAS DE VACIO | |
|------------|------------------------------|------------|--------------------|-----------------|
| | P. MEDIA | P. DE PICO | P. MEDIA | P. DE PICO |
| 3 MHz | 1kW (Bipolar) | | 1000 kW (Triodo) | |
| 30 MHz | 300 W(Bipolar) | | 500 kW(Triodo) | |
| 300 MHz | 100 W(Bipolar) | | 200kW(Triodo, TWT) | 20MW |
| 1 GHz | 50 W (Bipolar) | 300 W | 30 kW(TWT) | 20MW |
| 3 GHz | 30 W(FET) | | 20 kW(TWT) | 10MW(Magnetron) |
| 10 GHz | 10 W(FET) | | 10 kW (Klystron) | 1 MW |
| 30 GHz | 1 W(FET) | | 2 kW (Klystron) | 200 kW |
| 100 GHz | 300 mW(INPAT) | | 100 W (Klystron) | 10 kW |

- Dada la potencia de la señal P_s , la potencia disipada P_d y la potencia suministrada en DC P_{DC} , podemos definir un parámetro de rendimiento:

$$P_s = \eta P_{DC} = \frac{\eta}{1-\eta} P_d$$

- Rendimiento en función del tipo de amplificador:

| <i>CLASE</i> | <i>Rendimiento</i> | <i>P_s/P_d</i> | <i>Linealidad</i> |
|--------------|--------------------|-----------------------------|-------------------|
| A | 10-50 | 0.1-1 | Muy buena |
| B | 50-73 | 1-2.5 | Buena |
| C | 80-90 | 4-10 | Muy mala |
| D | 85-95 | 5-20 | Muy mala |
| E | 90-95 | 9-20 | Muy mala |

La fidelidad está directamente relacionada con la distorsión:

- Distorsión en el proceso de modulación
- Distorsión en el amplificador de potencia
- Señales espurias dentro de la banda de señal
- Mezcla de señales en transmisores con canales multiplexados
- Distorsión de tercer orden en amplificadores y conversores

NIVELES DE POTENCIA EN EL TX: CAG

- En un transmisor es importante mantener los niveles de potencia en cada punto de la cadena, con variaciones mínimas de nivel → de esto dependen el rendimiento en potencia en las etapas finales del amplificador.
- En general, en el modulador y en la etapa amplificadora final (potencia de salida) se impone por especificación el valor de potencia.
- El modulador es muy sensible a distorsiones por variación de potencia a la entrada (ya sea de la portadora o de la moduladora).
- El CAG asegura un nivel de señal independientemente del nivel de señal de la moduladora.

AMPLIFICADORES

EJERCICIOS

PREGUNTAS?