

Tema 3

Efectos del ruido en las comunicaciones analógicas

1 Conceptos a repasar

Antes de hacer estos ejercicios es importante repasar y tener claros los siguientes conceptos teóricos:

- Esquema general de un sistema de comunicaciones analógico con ruido.
- Concepto de relación señal a ruido. Diferencia entre predetección y postdetección.
- Concepto de efecto umbral y cuándo es necesario tenerlo en cuenta.

2 Problemas básicos

Este primer bloque de problemas son problemas extraídos en su mayoría de la bibliografía de la asignatura, y consisten en algunos cálculos básicos que es necesario dominar.

Problema 3.1

[Carlson2010] Una señal DBL se demodula utilizando un detector síncrono. Calcula la relación señal a ruido en postdetección en dB sabiendo que la potencia recibida son 20nW, el mensaje tiene un ancho de banda de 5MHz y el canal introduce ruido con $N_0 = 4 \cdot 10^{-20}$ W/Hz.

RESULTADOS DEL PROBLEMA

$$\left(\frac{S}{N}\right)_D = 50 \text{ dB}$$

Problema 3.2

[Carlson2010] Una señal DBL se demodula con un detector síncrono con un error de fase ϕ . Supongamos que el oscilador local tiene la expresión $2 \cos(\omega_c t + \phi)$. Demostrar que $(S/N)_D = \gamma \cos^2(\phi)$.

RESULTADOS DEL PROBLEMA

Problema 3.3

[Carlson2010] Un sistema AM con detección de envolvente está trabajando justo en el umbral. Calcula la ganancia en dB necesaria en el transmisor para conseguir ahora una $(S/N)_D$ de 40dB suponiendo una modulación de un tono puro al 100%.

RESULTADOS DEL PROBLEMA

$$G = 32\text{dB}$$

Problema 3.4

[Carlson2010] Una señal FM tiene una potencia en recepción de 1nW, $W_x = 500\text{kHz}$, $S_{xn} = 0.1$, $|x(t)|_{\max} = 4\text{V}$,

$\omega_d = 500\text{kHz/V}$ y $N_0 = 4 \cdot 10^{-20}\text{W/Hz}$. Calcula la relación señal a ruido en postdetección de dB para el caso sin filtro de preénfasis y para el caso de utilizar un filtro de preénfasis con $B_{de} = 5\text{kHz}$.

RESULTADOS DEL PROBLEMA

- FM: $(S/N)_D = 53.8\text{dB}$
- FM con preénfasis: $(S/N)_D = 69\text{dB}$

Problema 3.5

[Carlson2010] Un sistema de comunicaciones analógico tiene $S_x = 1/2$, $W_x = 10\text{kHz}$, $N_0 = 10^{-15}\text{W/Hz}$ y unas pérdidas de transmisión de 100dB. Calcula la potencia transmitida necesaria para conseguir una relación señal a ruido de postdetección de 40dB para los siguientes casos:

- AM con $m = 1$
- AM con $M = 0.5$
- FM con $D = 1$
- FM con $D = 5$
- FM con $D = 10$

RESULTADOS DEL PROBLEMA

- $P_T = 3\text{kW}$
- $P_T = 9\text{kW}$
- $P_T = 667\text{W}$
- $P_T = 26.7\text{W}$
- $P_T = 24\text{W}$

3 Problemas adicionales

Estos problemas son algo más elaborados que los anteriores, en muchos casos extraídos de exámenes antiguos.

Problema 3.6

Se dispone de un transmisor que puede modular la señal de entrada en DBL o en AM. Para que el enlace cumpla las especificaciones de calidad, la relación señal a ruido de postdetección debe ser como mínimo de $20dB$.

Cuando se modula en DBL, se consigue un alcance máximo de $15km$ con una potencia de $1W$ a la salida del transmisor. La atenuación del enlace (en dB) es proporcional a la distancia que media entre el transmisor y el receptor.

Se pide:

- Calcular la potencia de la señal a la salida del transmisor cuando modula en DBL y se desea un alcance de $20km$.
- Repetir el apartado anterior en el caso de modulación AM al 80%.
- Calcular las potencias de pico de envolvente a la salida del transmisor en las condiciones de los apartados anteriores.

DATOS:

- $\frac{N_0}{2} = 2 \cdot 10^{-9} W/Hz$
- $W_x = 2\pi \cdot 5krad/s$
- $|x(t)|_{max} = 1V$
- $S_x = 0.5W$
- $\alpha_t[dB] = A \cdot d[km]$, con A constante.

RESULTADOS DEL PROBLEMA

- $S_{TDBL} = 7.96W$
- $S_{TAM} = 32.69W$
- $PEP_{DBL} = 15.92W$, $PEP_{AM} = 80.25W$

Problema 3.7

Una señal normalizada de ancho de banda $5kHz$ y potencia media $0.5W$ se transmite en un sistema de modulación AM, siendo la potencia de transmisor de $660W$. En el receptor, situado a una distancia de $40km$ se obtiene una relación señal a ruido de postdetección de $33dB$.

Sabiendo que la densidad espectral de potencia de ruido es $N_0/2 = 5 \cdot 10^{-13}W/Hz$ y que la atenuación de propagación viene dada por $A[dB] = 40 + 20 \cdot \log(d[km])$. Se pide:

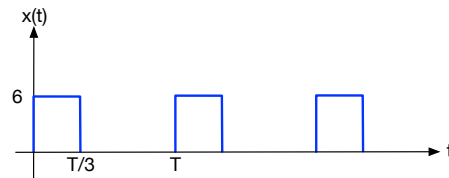
- El índice de modulación m .
- La potencia invertida en transmitir la portadora, y la invertida en transmitir cada una de las bandas laterales.

RESULTADOS DEL PROBLEMA

- $m = 0.8$
- $P_p = 500W$, $P_{BL} = 80W$

Problema 3.8

La señal $x(t)$ de la figura se pasa a través de un filtro paso bajo de ancho de banda 10kHz , no influyendo esta limitación de banda en la potencia de la señal, y se elimina su componente continua.



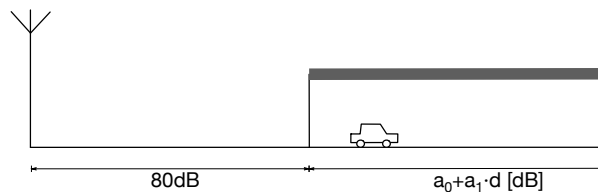
La señal resultante modula en AM a una portadora de 125V . con un índice de modulación de 0.7484 y se transmite a través de una emisora de radio. El canal de transmisión introduce una atenuación de 80 dB y ruido blanco gaussiano cuya densidad espectral de potencia es $N_0/2 = 10^{-11}\text{W/Hz}$.

Un vehículo que tiene sintonizada esta emisora, penetra en un túnel en cuyo interior la atenuación de propagación deja de ser constante y varia con la distancia según la ley:

$$A[\text{dB}] = a_0 + a_1 \cdot d$$

donde:

- $a_0 = 10\text{dB}$
- $a_1 = \frac{1}{3}\text{dB/m}$
- d : Distancia (m)



Se pide:

- Obtener la potencia media de la señal modulada.
- Obtener la relación señal a ruido de demodulación a la entrada del túnel.
- Obtener la distancia a la que dejará de oírse la señal, en el vehículo, sabiendo que el umbral de demodulación del coche es de 10dB .
- Repetir el apartado anterior si el demodulador utilizado es un detector de envolvente suponiendo que la relación señal a ruido de predetección umbral es de 13dB .

RESULTADOS DEL PROBLEMA

- $S_T = 10\text{kW}$
- $\left(\frac{S}{N}\right)_D = 20.38\text{dB}$
- $d = 11.94\text{m}$

d) $d' = 2.94m$

Problema 3.9

En un sistema de comunicación en el que la señal que llega al receptor tiene una potencia que está 100 dB por debajo de la potencia radiada por el transmisor y la densidad espectral de potencia de ruido es $N_0/2 = 5 \cdot 10^{-15} W/Hz$, se requiere una relación señal-ruido de demodulación superior a 40dB, para que la escucha sea correcta.

El valor de la tensión máxima del mensaje es de 2V, su potencia media es de 1 vatio y su ancho de banda 10kHz. Obtener la potencia de transmisión mínima si se emplean los siguientes sistemas de modulación, considerando una relación señal a ruido en predetección umbral de 10dB:

- a) Modulación DBL.
- b) Modulación AM, con $m = 0.5$ y detector de envolvente.
- c) Modulación FM sin deénfasis ($f_d = 10^5 Hz/V$).

RESULTADOS DEL PROBLEMA

- a) $S_T = 10kW$
- b) $\gamma > \gamma_{th} \Rightarrow S_T = 170kW$
- c) $\gamma < \gamma_{th} \Rightarrow S_T = S_{T_{th}} = 420W$

Problema 3.10

Se desea transmitir una señal de ancho de banda 10kHz y potencia media normalizada de 0.5W, a través de un sistema de comunicación FM. La relación señal a ruido de demodulación debe estar por encima de 40dB con un mínimo gasto de potencia, para ello, se dispone de un canal cuyo ancho de banda es de 120kHz y que introduce ruido blanco cuya densidad espectral de potencia es de $N_0/2 = 0.5 \cdot 10^{-8} W/Hz$ y una atenuación de 40dB. Indicar cuál debe ser la potencia necesaria para transmitir la señal.

RESULTADOS DEL PROBLEMA

- $S_T = 416.66W$

Problema 3.11

Un sistema de transmisión por radio utiliza un modulador de frecuencia (FM) cuya constante del modulador es $f_d = 20\text{kHz/V}$ y portadora $p(t) = 5 \cdot \cos(2\pi \cdot 5 \cdot 10^7 t)$. Se pide:

- Calcular el índice de modulación D y el ancho de banda aproximado cuando la señal moduladora es $x_1(t) = \cos(2\pi \cdot 500t)$.
- Repetir el apartado anterior si la señal moduladora es $x_2(t) = \cos(2\pi \cdot 10^4 t)$.

Para mejorar la relación señal-ruido de demodulación del sistema, se introducen unos filtros de preénfasis y deénfasis con frecuencia de corte 1430Hz y se prueba el sistema con la señal moduladora $x(t) = x_1(t) + x_2(t)$.

- Determinar la mejora en la relación señal-ruido de demodulación.

RESULTADOS DEL PROBLEMA

- $D_1 = 40$, $B_T = 41\text{kHz}$
- $D_2 = 2$, $B_T = 80\text{kHz}$
- $\Delta \left(\frac{S}{N} \right)_D = 12.14\text{dB}$

Problema 3.12

Hallar la relación señal ruido de postdetección en un sistema de transmisión por radio que utiliza un modulador de frecuencia (FM) y una moduladora $x(t)$ de ancho de banda es de 5kHz y potencia media 0.5W cuya amplitud varía entre -1 y 2V . La desviación máxima de frecuencia es de 20kHz y la potencia de la onda FM en el receptor es de 50nW . transmitiendo por un canal AWGN cuya densidad espectral de potencia de ruido es $N_0/2 = 3 \cdot 10^{-14}\text{W/Hz}$.

RESULTADOS DEL PROBLEMA

- $\left(\frac{S}{N} \right)_D = 30\text{dB}$

Problema 3.13

Una señal de ancho de banda $10kHz$ y potencia media normalizada 0.5, se transmite en FM por un canal AWGN cuya densidad espectral de potencia de ruido es $N_0/2 = 5 \cdot 10^{-10} W/Hz$ y que introduce una atenuación de $40dB$. Para un correcto funcionamiento del enlace, el sistema requiere una γ_{th} (umbral) de 100 para una relación señal ruido predetección umbral de $10dB$. Determinar:

- a) La potencia de transmisión mínima (S_T).
- b) La relación señal ruido postdetección.

Con el fin de mejorar la relación señal a ruido en postdetección se introducen los correspondientes filtros de preénfasis y deénfasis, con $B_{de} = 1kHz$.

- c) Determinar la mejora en dB que experimenta la relación señal a ruido en postdetección.

RESULTADOS DEL PROBLEMA

- a) $S_{T_{min}} = 10dBW$
- b) $\left(\frac{S}{N}\right)_D = 31.3dB$
- c) $\Delta\left(\frac{S}{N}\right)_D = 15.23dB$

Bibliografía

[Carlson2010] A. Bruce Carlson and Paul B. Crilly. Communication Systems: An Introduction to Signals and Noise in Electrical Communication, 5th Ed. McGraw-Hill, 2010.