

Señales aleatorias y modulación

Examen - Parte I

Instituto de Ingeniería Eléctrica

28 de julio de 2021

Indicaciones:

- La prueba tiene una duración total de 3 horas.
- Cada hoja entregada debe indicar nombre, número de C.I., y número de hoja. La hoja 1 debe indicar además el total de hojas entregadas.
- Se deberá utilizar únicamente un lado de las hojas.
- Cada problema o pregunta se deberá comenzar en una hoja nueva. Se evaluará explícitamente la claridad, prolijidad y presentación de las soluciones, desarrollos y justificaciones.
- Pueden utilizarse resultados teóricos del curso sin hacer su deducción siempre que la letra no lo exija explícitamente. Se evaluará la correcta formulación y validez de hipótesis.

Problema 1

En el marco de los Juegos Olímpicos Tokyo 2020, se requiere su asesoramiento técnico para el desarrollo de un sistema de comunicación inalámbrica. La solución debe permitir comunicaciones de voz para los árbitros de distintos deportes, con un requerimiento de distancia máxima de 150m.

Este sistema debe operar en la banda de UHF, en frecuencias libres sub-GHz comprendidas entre 920 MHz y 921.6 MHz. La modulación a utilizar será FM con una desviación de frecuencia $f_{\Delta} = 75$ kHz y una mínima SNR_D de 25 dB. La única atenuación a considerar es la del aire, la cual se modela en forma simplificada como: $L_{aire}(d) = L_0 + \alpha_a(d - 10)$, con $\alpha_a = 0.3$ dB/m y $L_0 = 50$ dB. Se desprecia tanto la ganancia de las antenas, así como otras pérdidas en cables y conectores. Además el amplificador de recepción introduce un ruido AWGN con $\eta_A = 10^{-14}$ W/Hz.

- Hallar el ancho de banda del audio máximo que se puede utilizar para tener 4 canales con una separación mínima de 200 kHz. Indicar el ancho de banda de la señal FM resultante para cada canal y las frecuencias centrales de los canales.
- Si se trabaja con un ancho de banda del audio de 10 kHz y una separación entre canales de 100 kHz ¿cuántos canales podrían operar en este caso?

En el diseño se define un ancho de banda de audio de $W = 15$ kHz y una potencia de señal $S_x = 0.5$.

- Determinar la mínima potencia de transmisión para que el sistema opere correctamente.

Finalmente, para evitar las fluctuaciones de volumen en el audio, el sistema de recepción debe tener una señal de audio de salida de amplitud constante A_0 , sin importar la potencia transmitida ni la distancia entre los equipos dentro del campo de juego.

- Explicar cómo se logra esto cuando se utiliza modulación FM.
- ¿Qué cambia cuando la modulación es AM y cómo se soluciona?

Pregunta 1

Modulación analógica AM.

1. Realizar el diagrama de bloques de un transmisor AM detallando la función de cada bloque.
2. Dar la expresión temporal de la señal transmitida $x_{AM}(t)$.
3. Calcular la potencia de las bandas laterales S_{bl} y de la portadora S_c , asumiendo que se transmite un mensaje con potencia S_x .
4. Realizar el diagrama de bloques de los posibles receptores: detector síncrono y de envolvente.
5. Dado que la modulación AM es lineal, y por tanto cumple con el principio de superposición, ¿qué implicancias tiene esto cuando se reciben dos señales AM superpuestas? Pensar por ejemplo en el caso de dos emisoras de radios transmitiendo en la misma portadora, ¿qué detectaría un receptor sintonizando dicha frecuencia? ¿qué se escucharía? ¿Existe alguna diferencia según cuál sea el tipo de receptor?

Solución

Problema 1

(a) Teniendo un ancho de banda total de 1.6 MHz, de los cuales 600 kHz quedan para la separación entre canales, se deduce que el ancho de banda máximo de cada canal debe ser $B_{max} = 1400 \text{ kHz}/4 = 250 \text{ kHz}$.

De allí se deduce cuál puede ser el máximo ancho de banda del audio a utilizar: $B = 2(D + 2)W$ con $D = \frac{f_{\Delta}}{W}$, por lo que tenemos: $W_{max} = \frac{B_{max} - 2f_{\Delta}}{4}$ con $B_{max} = 250 \text{ kHz}$.

Despejando se tiene $W_{max} = 20 \text{ kHz}$. Notar que el D resultante es 3.75, estando en el rango entre 1 y 10, coherente con la regla de Carson utilizada.

Las frecuencias centrales de los canales resultantes quedan 920.125 MHz, 920.575 MHz, 921.025 MHz y 921.475 MHz respectivamente.

(b) Ahora $W = 10 \text{ kHz}$ por lo que mediante $B = 2(f_{\Delta} + 2W)$ se llega a que $B = 190 \text{ kHz}$.

Con un ancho de banda total de 1.6 MHz y una separación entre canales de 100 kHz se tiene:

- 4 canales: $4 \cdot 190 \text{ kHz} + 3 \cdot 100 \text{ kHz} = 1.06 \text{ MHz}$
- 5 canales: $5 \cdot 190 \text{ kHz} + 4 \cdot 100 \text{ kHz} = 1.35 \text{ MHz}$
- 6 canales: $6 \cdot 190 \text{ kHz} + 5 \cdot 100 \text{ kHz} = 1.64 \text{ MHz}$

Por lo tanto, el máximo número de canales en este caso es 5.

(c) La distancia máxima es de 150 metros, lo cual nos da una atenuación máxima de 92 dB.

Para FM la SNR_D está dada por $3D^2 S_x \gamma$ siendo $\gamma = \frac{S_T}{\eta L W}$.

Despejando la potencia y haciendo el cálculo, llegamos al valor mínimo de $S_T = 158 \text{ mW}$.

Además, es necesario verificar el umbral de FM, dado por $SNR_R = \frac{S_T}{\eta L B} \Rightarrow 10$, que en este caso se verifica para el valor de S_T mínimo calculado previamente.

(d) En la modulación FM, las variaciones en la potencia de la señal recibida no afectan directamente al mensaje, por lo cual no es necesario hacer un ajuste automático de la ganancia en el receptor. De todas formas, sí juega un papel en este sentido el limitador que se aplica a la señal en recepción, evitando la saturación de la salida cuando se producen picos en la señal recibida.

(e) Para el caso de AM, las variaciones en la potencia de la señal afectan directamente al mensaje, por lo cual es necesario hacer un ajuste automático de la ganancia variable que se utiliza en el receptor. Para ello, se utiliza la potencia de la portadora en el receptor para estimar la ganancia necesaria, de manera de mantener una amplitud constante para el mensaje detectado.

En la práctica se ajusta la ganancia realimentando el valor de portadora a la salida de filtro de recepción, y es lo que se llama control automático de volumen.

Pregunta

1. Ver teórico.
2. $x_{AM}(t) = A_c(1 + \mu x(t))\cos(2\pi f_c t + \theta)$.
3. $S_{bl} = A_c^2 \mu^2 S_x / 4$; $S_c = A_c^2 / 2$.
4. Ver teórico.
5. Es de esperar que en general se escuchen ambos mensajes superpuestos. Si se utiliza un detector sincrónico y ambas señales tienen diferencias de fase, el detector no podrá sincronizar su fase con ambas, por lo que según la diferencia que haya entre ellas esto podría afectar a la otra. En el caso del detector de envolvente no importa la diferencia de fase, por lo que se escucharían ambos superpuestos, siempre que ambos se reciban por encima del umbral.