

Sistemas de Comunicación

Primer Parcial

Instituto de Ingeniería Eléctrica

7 de mayo de 2010

Indicaciones:

- La prueba tiene una duración total de 3 horas y 30 minutos.
- 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.

Pregunta [10 pts.]

Se tiene un receptor superheterodino que se utilizará para detectar una señal AM con $\mu = 1$. El rango de frecuencias de portadoras a detectar es ($f_L = 600$ kHz, $f_H = 2000$ kHz).

- (a) Dar un diagrama de bloques del receptor. Explicar qué es la frecuencia imagen, cuándo aparece y cómo logra evitarse, dando criterios de diseño.
- (b) Hallar los rangos válidos de frecuencia del oscilador local en función de la frecuencia intermedia. ¿Qué criterio usaría para seleccionar uno de ellos? ¿Por qué?

Para mejorar la eliminación de canales adyacentes se utiliza un filtro de frecuencia intermedia a frecuencias menores, lo que no siempre es constructivamente posible con un solo oscilador local. Una solución es utilizar un receptor de doble conversión, similar al receptor superheterodino, pero en dos pasos, con dos osciladores locales y dos filtros de frecuencia intermedia.

- (c) ¿Cómo se modifica el diagrama de la primera parte? Explicar su funcionamiento.

Problema 1 [22 pts.]

Las autorizaciones para brindar servicios de radiodifusión establecen parámetros técnicos que determinan la posición geográfica desde la que se debe emitir, el canal (frecuencia de la portadora) y la potencia autorizada. El incumplir con los parámetros autorizados, en particular interferir con otros radiodifusores, es causal de sanciones, lo que obliga a no superar un ancho de banda máximo de transmisión. En el proceso de regularización de radios comunitarias en Uruguay la potencia máxima autorizada es de 30 W (watts) para emisoras en la banda de FM. Se quiere analizar las condiciones de cobertura para estas transmisiones. Supondremos conocida la atenuación del canal en potencia $L = 3$ dB/km, el ruido introducido por el receptor cumple las hipótesis habituales con $\eta_A = 10^{-7}$ W/kHz y es mucho mayor que el ruido de canal, el ancho de banda máximo de transmisión autorizado es 210 kHz, mensaje de potencia $S_x = \frac{1}{2}$ y ancho de banda $W_x = 15$ kHz. El transmisor disponible tiene una f_Δ que puede tomar los valores $f_\Delta = \{60, 75, 90, 105\}$ kHz.

- Hallar la máxima distancia a la que se detecta la señal con una relación señal a ruido SNR_D de al menos 50 dB cumpliendo con las condiciones de autorización.
- Determinar cuál tendría que ser el aumento de potencia a solicitar si se quisiera aumentar la distancia en un 50%.

Una de las infracciones más comunes es modificar f_Δ para reducir la potencia de transmisión S_T , sin afectar el área de cobertura. Esto se logra a expensas de un mayor ancho de banda de transmisión, interfiriendo de manera ilegal con los canales adyacentes.

- Para la distancia hallada en (a), analizar cómo varía S_T en función de B_T para los distintos valores posibles de f_Δ del transmisor. Bosquejar la dependencia $S_T(B_T)$.
- Considerando una interferencia en el ancho de banda máximo del 10% dentro de cada uno de los canales adyacentes, determinar la reducción alcanzable en potencia de transmisión.
- Calcular la SNR_D obtenida en las condiciones de la parte anterior para la distancia hallada en (b).

Problema 2 [18 pts.]

Una señal de control $x(t)$, que cumple con las hipótesis habituales, se transmite modulada en AM. La señal modulada $x_c(t)$ es recibida con un eco interferente aditivo de menor amplitud, $x_I(t) = \alpha x_c(t - t_d)$, donde $0 < \alpha \ll 1$. El tiempo de eco t_d se mide experimentalmente y luego se elige la frecuencia de la portadora ω_c de forma que se cumpla la siguiente relación $\omega_c t_d = \frac{\pi}{2}$. Se quiere demodular esta señal de forma que la señal interferente afecte lo menos posible. Para esto se analizará el error cometido en función de α y los demás parámetros del problema.

- Dar un diagrama de bloques de un demodulador sincrónico.
- Hallar el error cometido al demodular con un detector sincrónico.
- Dar un diagrama de bloques de un detector de envolvente.
- Estimar el error cometido al demodular con un detector de envolvente.
- Si además se comete un error (pequeño) en la estimación de t_d , comentar cómo es afectada la demodulación para ambos detectores.

Pueden resultar útiles los siguientes desarrollos: $(1 + x)^q \simeq (1 + qx)$ con $|x| \ll 1$, $\cos(\alpha \pm \beta) = \cos \alpha \cos \beta \mp \sin \alpha \sin \beta$, $\cos \alpha \cos \beta = \frac{1}{2} \cos(\alpha - \beta) + \frac{1}{2} \cos(\alpha + \beta)$.

Solución

Pregunta

(a) Ver teórico.

(b) Hay dos posibles elecciones para la frecuencia intermedia: f_{IF} y $-f_{IF}$.

Los rangos de variación de f_{OL} serán $[f_L - f_{IF}, f_H - f_{IF}]$ y $[f_L + f_{IF}, f_H + f_{IF}]$.

La elección del segundo rango tiene una menor variación relativa de la variación de la frecuencia del oscilador local, haciendo más barata su implementación.

(c)

Problema 1

(a) En FM tenemos

$$SNR_D = 3D^2 S_x \gamma = \frac{3f_\Delta^2 S_x S_T}{W_x^3 L(l)\eta} \geq 10^5,$$

con $L(l) = 10^{\frac{3l}{10}}$, si se cumple la condición de umbral FM, $SNR_R \geq 10$. Por tanto, despejando l , obtenemos que:

$$\frac{10}{3} \log_{10} \frac{3f_\Delta^2 S_x S_T}{10^5 W_x^3 \eta} \geq l.$$

Como buscamos $l_{\text{máx}}$, debemos evaluar en $S_T = 30$ W y $f_\Delta^{\text{máx}}$.

Sabemos además que $B_T^{\text{máx}} = 2\left(\frac{f_\Delta^{\text{máx}}}{W_x} + 2\right)W_x = 210$ kHz, entonces $f_\Delta^{\text{máx}} = 75$ kHz.

Finalmente, llegamos a:

$$l \leq 12.9 \text{ km.}$$

Verifiquemos finalmente la condición de umbral:

$$SNR_R = \frac{S_R}{\eta B_T} = \frac{S_T}{L(l)\eta B_T} = \frac{30}{7500 \times 10^{-7} \times 210} = 190 \geq 10.$$

(b) Sabemos que $k \times S_T = 10^{\frac{3l}{10}}$, con $k = \frac{3f_\Delta^2 S_x}{10^5 W_x^3 \eta}$.

Así, si se desea tener un alcance 50% mayor:

$$10^{\frac{3 \times 1.5l}{10}} = 10^{\frac{3 \times 0.5l}{10}} 10^{\frac{3l}{10}} = 10^{\frac{3 \times 0.5l}{10}} \times k \times S_T = 86.6 \times k \times S_T.$$

Por tanto, la potencia S_T debe aumentarse 86.6 veces su valor original.

(c) Al aumentar f_Δ , el ancho de banda de la señal transmitida B_T también aumenta. Como contrapartida, se necesita una potencia de transmisión menor. Entonces, en el caso límite en que $f_\Delta = 105$ kHz, se tiene $B_T = 270$ kHz, y la potencia disminuye a $\frac{f_\Delta^2}{f_\Delta^{\text{máx}^2}} S_T = \frac{75^2}{105^2} 30 \text{ W} = 15.3 \text{ W}$.

$$\text{SNR}_R = \frac{S_T}{L(l)\eta B_T} = \frac{15.3}{7500 \times 10^{-7} \times 270} = 75.6 \geq 10.$$

Por otra parte, si f_Δ disminuye, B_T también, y se requiere mayor potencia para lograr el mismo alcance. En el caso de mínima $f_\Delta = 60$ kHz, se tiene $B_T = 180$ kHz, y la potencia debe aumentarse a $\frac{f_\Delta^2}{f_\Delta^{\text{mín}^2}} S_T = \frac{75^2}{60^2} 30 \text{ W} = 46.9 \text{ W}$.

$$\text{SNR}_R = \frac{S_T}{L(l)\eta B_T} = \frac{46.9}{7500 \times 10^{-7} \times 180} = 75.6 \geq 10.$$

Nótese que en el primer caso se viola el máximo ancho de banda autorizado, mientras que en el segundo caso se viola la máxima potencia autorizada.

(d) Si la interferencia admisible es del 20% del canal adyacente, el ancho de banda tolerable es de $B_T \leq 1.2 \times 210 \text{ kHz} = 252 \text{ kHz}$. Por tanto, el nuevo $f_\Delta \leq 96 \text{ kHz}$; de los f_Δ posibles se debe utilizar $f_\Delta = 90 \text{ kHz}$. La potencia se reduce de 30 W a $\frac{75^2}{90^2} 30 \text{ W} = 20.8 \text{ W}$.

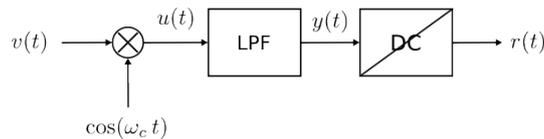
(e) En las nuevas condiciones:

$$\text{SNR}_R = \frac{S_T}{L(1.5l)\eta B_T} = \frac{20.8}{6.5 \times 10^5 \times 10^{-7} \times 240} = 1.3 \leq 10$$

Concluyendo, no se cumple la condición de umbral, por lo tanto, la señal no puede detectarse, entonces $\text{SNR}_D = 0$.

Problema 2

(a)



(b) En el detector sincrónico

$$v(t) = A_c(1 + \mu x(t)) \cos(\omega_c t) + \alpha A_c(1 + \mu x(t - t_d)) \cos(\omega_c(t - t_d))$$

por lo tanto

$$u(t) = \frac{A_c}{2}(1 + \mu x(t))[1 + \cos(2\omega_c t)] + \frac{\alpha A_c}{2}(1 + \mu x(t - t_d))[\cos(2\omega_c t - \omega_c t_d) + \cos(\omega_c t_d)]$$

ahora usando que se eligió ω_c para que $\omega_c t_d = \frac{\pi}{2}$ obtenemos que

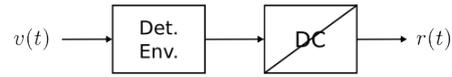
$$u(t) = \frac{A_c}{2}(1 + \mu x(t))[1 + \cos(2\omega_c t)] + \frac{\alpha A_c}{2}(1 + \mu x(t - t_d)) \sin(2\omega_c t)$$

y luego filtrando obtenemos que $y(t) = \frac{A_c}{2}(1 + \mu x(t))$, eliminando el término de continua obtenemos

$$r(t) = \frac{A_c}{2} \mu x(t)$$

o sea que no hay error.

(c) Ahora veamos en el caso de un detector de envolvente



(d)

$$v(t) = A_c(1 + \mu x(t)) \cos(\omega_c t) + \alpha A_c(1 + \mu x(t - t_d)) \cos(\omega_c(t - t_d))$$

luego, al pasarla por el detector de envolvente tenemos que

$$A_v(t) = A_c \sqrt{(1 + \mu x(t))^2 + \alpha^2 (1 + \mu x(t - t_d))^2}$$

Haciendo ahora un desarrollo de primer orden de esta expresión con respecto al parámetro α obtenemos que

$$A_v(t) = A_c(1 + \mu x(t)) \sqrt{1 + \alpha^2 \left(\frac{1 + \mu x(t - t_d)}{1 + \mu x(t)} \right)^2} \approx A_c(1 + \mu x(t)) \left[1 + \frac{\alpha^2}{2} \left(\frac{1 + \mu x(t - t_d)}{1 + \mu x(t)} \right)^2 \right]$$

y después de eliminar el término de continua obtenemos $r(t) \approx A_c \mu x(t) + \alpha^2 (z(t) - \langle z(t) \rangle)$ donde $z(t) = \frac{A_c}{2} \frac{(1 + \mu x(t - t_d))^2}{1 + \mu x(t)}$.

(e) El detector sincrónico es afectado mucho más en la calidad de la detección, dependiendo del producto $\omega_c t_d$ la interferente puede ser importante.