

ENTRENADOR DE COMUNICACIONES

EC-796

MANUAL DE PRÁCTICAS

INTRODUCCIÓN

El conjunto de prácticas que acompañan al Entrenador de Comunicaciones EC-796 cubren desde aspectos básicos (y de capital importancia) de muestreo y cuantificación de señales analógicas para su posterior transmisión digital, hasta todas las modulaciones y demodulaciones básicas, sobre las que experimentan situaciones deterioradas del canal de comunicaciones en forma de atenuaciones, ruidos e interferencias. Las prácticas cubren aspectos alternativos de visualización, propios de las comunicaciones digitales, como son los diagramas de ojo y las constelaciones.

Ya desde las primeras prácticas se introduce el uso de subsistemas de audio (micrófono y auriculares), de forma que el estudiante interesado puede disfrutar durante todo el curso de laboratorio oyendo diferentes calidades de señal de voz o pitidos generados desde el generador de funciones y transmitidos digitalmente (quizás quiera hacerse pruebas audiométricas).

Se han diseñado partiendo del equipamiento habitual en un laboratorio de electrónica general y se ha supuesto que los osciloscopios con los que se van a desarrollar las prácticas son analógicos. No son necesarios osciloscopios más avanzados para ellas, si bien, en caso de disponer de osciloscopios digitales, podría tenerse más facilidad para la visualización de algunos puntos de las prácticas. Cuando se dice, en algunas prácticas, que se apague el generador de funciones para mejorar la sincronización del osciloscopio, sería suficiente apretar el botón de stop en un osciloscopio digital. Y, en los escasos laboratorios donde se puede disponer de un analizador de espectros, podría añadirse a las visualizaciones temporales sus equivalentes frecuenciales.

El orden de las prácticas está pensado para personas no iniciadas en la temática, por lo que se recomienda seguirlo estrictamente. Los conocimientos aportados en cada práctica se van apoyando en los de prácticas anteriores.

Las prácticas son dirigidas por el texto de las mismas, pero se ha procurado dejar un cierto grado de autonomía al alumno que le permitan ir aplicando conocimientos adquiridos en prácticas anteriores.

Conviene recordar que las alternativas circuitales para realizar las diferentes modulaciones y demodulaciones son muy numerosas, de entre las que se ha tenido que optar en el diseño del Entrenador de Comunicaciones. Incluso, en algún caso, dada la aplicación didáctica del equipo, no se ha escogido la más compleja circuitalmente, sino la que permitía adquirir más conocimientos. Toda la circuitería se basa en circuitos habituales, y no se han usado microprocesadores (el software escondería informaciones no visualizables en el osciloscopio) ni procesadores digitales de señal (DSP's), alternativa habitual en el entorno profesional, pero que sólo ofrece prestaciones docentes si el estudiante programa el mismo las DSP's. Al extraer ciertas conclusiones de las prácticas deberán recordarse estos aspectos, no atribuyendo a una determinada técnica de modulación restricciones propias del equipo.

En la realización de las prácticas se aconseja el uso de sondas x10 compensadas para evitar resultados inexactos, además de errores o retardos innecesarios. Conviene recordar que las sondas ayudan a minimizar el efecto de carga, protegen las señales frente a interferencias externas (debido a que proporcionan un blindaje coaxial del conductor central, que elimina virtualmente todas las interferencias externas) y mejoran algunas características del osciloscopio.

En la transmisión por infrarrojos de modulaciones de fase, la comunicación puede resultar crítica debido a varios factores, entre ellos al ancho de banda limitado del LED emisor y del LED receptor de infrarrojos.

1 PRÁCTICA 1.- CONVERSIÓN A/D Y D/A. MUESTREO Y CUANTIFICACIÓN

1.1 Objetivos prácticos

El objetivo principal de esta práctica es tomar un primer contacto con los efectos del muestreo y cuantificación de señales. En primer lugar se efectúan experimentos sobre señales de osciloscopio, visualizándose los efectos de muestreos correctos e incorrectos, así como la forma de la señal cuantificada. En segundo lugar, se oyen los efectos de la cuantificación, así como el efecto beneficioso del compensador en señales vocales. Finalmente se estudian efectos asociados a la reducción del ancho de banda del canal y a los ruidos.

1.2 Bases teóricas

Las bases teóricas necesarias para la correcta comprensión y realización de la práctica:

- Capítulo 1: Comunicaciones digitales.
- Capítulo 2: Muestreo, cuantificación y codificación.
- Capítulo 7: Canal de transmisión.

Opcionalmente pueden consultarse, aunque no es imprescindible, los siguientes apéndices para una mejor profundización en aspectos tecnológicos asociados a esta práctica:

- Apéndice A: Conversión A/D y D/A.
- Apéndice B: Características del conversor ADC0820.
- Apéndice C: Características del conversor DAC08.
- Apéndice D: Características del NE571.
- Apéndice E: Características de la UART6402.

1.3 Equipo necesario

Elementos necesarios:

- Dos cables BNC - BNC (coaxial)
- Dos sondas de osciloscopio.
- Dos cables banana - banana.
- Fibra óptica.
- Dos antenas.
- Micrófono.
- Auriculares.

Instrumental necesario:

- Osciloscopio.
- Generador de funciones.

1.4 Determinación de la frecuencia de muestreo

Después de conectar el emisor y el receptor mediante cables bifilares, coaxial, fibra óptica y radio (antenas), poner en funcionamiento el emisor y el receptor. Seleccionar, mediante los pulsadores, la siguiente situación:

Emisor:

- Entrada de señal (Sig).
- Filtro antialiasing: OFF. Compresor: OFF (OFF: anulado, led apagado)
- Transmisión en Banda Base (BB).
- Canal sin interferencias (Directo).
- Salida bifilar.

Receptor:

- Entrada bifilar.
- Recepción en Banda Base (BB).
- Salida de señal.
- Filtro reconstructor: OFF. Expansor: OFF.

Ajustar el generador de funciones con una señal senoidal a una frecuencia de, aproximadamente, 1 kHz, y una amplitud de 2 V pico a pico (V_{pp}), sin offset, y conectarlo a la entrada de señal (BNC 1) del emisor.

Observar en el canal 1 del osciloscopio el punto de test TPE1 (este punto es el mismo que el conector BNC1 del emisor), y en el otro canal el punto TPR41 del receptor. Dispare el osciloscopio con el canal 2, en modo alternado. Modifique ligeramente la frecuencia del generador hasta que consiga ver en el osciloscopio los niveles de cuantificación de la señal reconstruida en TPR41. Intente medir el intervalo entre dos muestras consecutivas (tiempo de muestreo de la señal analógica) midiendo la duración de cada nivel cuántico (nota: esta medida será aproximada, ya que será difícil dejar totalmente quieta la señal en el osciloscopio. Pruebe de estabilizarla modificando la frecuencia del generador de funciones). Anote el resultado:

Tiempo de muestreo (aproximado):

Sabiendo que la UART codifica cada muestra con 8 bits, a los que se añaden un bit de inicio, otro de paridad y otro de final, y que la velocidad de estos bits viene determinada por la señal de reloj del punto TPE13, vamos a calcular el tiempo de muestreo. Para ello visualice en el canal 1 el punto TPE13, y en el canal 2 el punto TPE4 (salida de la UART). Apague el generador, de modo que la salida de la UART repita siempre la misma secuencia. Observe que la frecuencia del reloj en TPE13 es doble de la duración de un pulso básico de la UART (un ciclo de reloj por cada bit transmitido). Mida el período de TPE13 (T_{clk}) y cuente cuantos ciclos de reloj (N) se producen hasta que se vuelva a repetir la secuencia de la UART (durante un período de la UART). Calcule el tiempo de muestreo:

Tiempo de muestreo (T_m) = $T_{clk} * N =$

Frecuencia de Muestreo (f_m) = $1 / T_m =$

Sabiendo que la condición de Nyquist dice que f_m debe ser mayor o igual que el doble del ancho de banda (BW) de la señal para poder recuperar a ésta, determine el máximo BW de la señal de entrada procesable con la frecuencia de muestreo obtenida.

Máximo BW de la señal:

Ahora se va a medir si el filtro antialiasing es correcto según la condición de Nyquist. Conecte el canal 1 del osciloscopio en TPE1 (señal de entrada) y el canal 2 en TPE2 (salida del filtro antialiasing). Active el filtro antialiasing, sin compresor. Con el generador de funciones activado, y manteniendo una amplitud de $2 V_{pp}$ a la frecuencia de 1 kHz, mida la amplitud de la salida del filtro en el canal 2. ¿Cuál es la amplificación del filtro a 1 kHz?

Vaya aumentando la frecuencia del generador hasta detectar que la salida disminuye en un factor multiplicativo de 0,7 respecto a la que tenía para la frecuencia de 1 kHz: en este momento mida exactamente la frecuencia del generador, que es la frecuencia de corte superior del filtro a 3 dB. Repita el proceso disminuyendo la frecuencia del generador para determinar la frecuencia de corte inferior. La diferencia entre ambas es el ancho de banda del filtro. Complete la siguiente tabla:

Amplificación a 1 kHz:
Frecuencia de corte superior:
Frecuencia de corte inferior:
Ancho de banda a 3 dB:
Atendiendo a la frecuencia de corte superior, diga si el filtro antialiasing hace que la señal de entrada cumpla la condición de Nyquist:

1.5 Filtro reconstructor

Mantenga el canal 1 a TPE1 y conecte el canal 2 a TPR41 (sincronizando con éste canal). Ajuste la entrada en TPE1 a $3,5 V_{pp}$ (sin offset) y a 1 kHz. Observe la calidad de la señal recuperada en TPR41, mientras va reduciendo el número de bits de la comunicación. Para ello quite de la posición ON el bit 1 de SW2 del receptor, continuando con el bit 2, y así sucesivamente hasta llegar al bit 8 (que es el bit de mayor peso).

Vuelva a poner todos los microinterruptores de SW2 en la posición de ON. Conecte con el pulsador correspondiente, al filtro reconstructor (del equipo receptor), de forma que éste se active. Observe la señal recuperada, y repita el proceso anterior de reducción del número de bits de la comunicación. Compruebe que, al reducir el número de bits se añade un ruido a la señal recuperada.

1.6 Efectos del filtro antialiasing

Deje las sondas en la situación en que se encuentran, con el filtro rector conectado, sin filtro antialiasing y con todos los microinterruptores de SW2 en la posición de ON.

Vaya variando la frecuencia del generador de funciones, y observe la de la señal recuperada en TPR41. Note que, mientras la frecuencia del generador está dentro del BW calculado anteriormente según la condición de Nyquist, la salida sigue la frecuencia de la entrada. Fuera de la banda de Nyquist, observará un muestreo incorrecto: cuando la frecuencia de la entrada varía, la salida no la sigue correctamente. Para una frecuencia de entrada fuera de la banda de Nyquist, por ejemplo, 5 kHz, mida exactamente las frecuencias de entrada (TPE1) y de salida (TPR41) y calcule la diferencia entre la frecuencia de entrada y la frecuencia de muestreo (f_m) obtenida antes.

Frecuencia de entrada (f_i):
Frecuencia de salida:
Diferencia ($f_m - f_i$):

Nótese que la diferencia coincide con la frecuencia de la salida.

Para evitar la aparición de estas frecuencias incorrectas, conecte el filtro antialiasing del emisor. Vuelva a ajustar el generador de funciones a 1 kHz, y compruebe que señales de frecuencias dentro del ancho de banda telefónico (300 Hz a 3400 Hz) son correctamente recuperadas, mientras que las señales de frecuencia superior a esta banda son eliminadas.

1.7 Señal de voz

Conecte el micrófono al jack de entrada, y seleccione la entrada de micrófono con el pulsador. Conecte los auriculares en el conector jack del receptor, y seleccione la salida de audio. Ajuste el volumen de los auriculares hasta entender bien a su compañero de prácticas cuando hable por el micrófono (no excesivamente fuerte, pues se trata de oírlo por los auriculares, no directamente).

- Retire el filtro rector y "oiga" el ruido debido a la cuantificación. Pídale a su compañero que le hable.
- Vuelva a conectar el filtro rector, y vaya notando la inteligibilidad de la señal microfónica a medida que va retirando bits del SW2 del receptor. Notará que a partir del 4 o 5 bit retirado, la calidad de voz ya es muy defectuosa. En este momento note el efecto del compansor, conectando el compresor en el emisor (y manteniendo el antialiasing) y el expansor del receptor (y manteniendo el filtro rector). ¿Cuántos bits serían necesarios, sin compansor, para tener una calidad similar?. Haga las pruebas subjetivas necesarias (conectando y desconectando el compresor a la vez que va modificando el número de bits) para responder a ésta pregunta.

1.8 Ancho de banda de la señal PCM (en banda base)

Mantenga las sondas en el punto TPE1 del emisor y en TPR41 del receptor, retire el micrófono y los auriculares y conecte el generador de funciones con una amplitud de unos $2 V_{pp}$ y una frecuencia de 1 kHz. Retire el compresor y el expansor, pero deje los filtros antialiasing y reconstructor. Observe la correcta recuperación de la señal transmitida. Seleccione el led de reducción del ancho de banda en el bloque de simulación de canal del equipo emisor. Desplazando el potenciómetro en sentido antihorario, se reduce el ancho de banda del canal. Compruebe que se producen errores en la comunicación (mire el led indicador de errores de paridad en el receptor), y que la señal recuperada en TPR41 aparece ruidosa.

Retire la sonda de TPR41 y conéctela en TPR36 (señal recibida antes de la UART receptora). Apague el generador de funciones para una mejor sincronización. Moviendo el potenciómetro de reducción del ancho de banda, compruebe el efecto de filtrado de primer orden en TPR36.

La señal de TPR36 pasa por un comparador que la vuelve a conformar antes de entrarla a la UART receptora. Conecte la sonda que tiene en TPR36 en el punto TPR38 (entrada a la UART), y compruebe que, si se reduce mucho el ancho de banda del canal (ajuste del potenciómetro), los pulsos se deforman y aumentan los errores en la comunicación (con lo que se enciende más el led asociado al bit de error de paridad de la UART).

1.9 Ruidos en el canal

Vuelva a conectar el generador de funciones ($2 V_{pp}$, 1 kHz) y las sondas en TPE1 y TPR41. Seleccione el led de degradaciones del canal en el equipo emisor. La posición inicial de todos los potenciómetros es al límite en sentido horario.

Desplace en sentido antihorario el potenciómetro de ruido ('noise'). A continuación, disminuya lentamente el nivel de señal moviendo el potenciómetro de atenuación, hasta que la relación señal/ruido produzca errores en la recepción (led de errores de paridad). Desplace ahora muy ligeramente el potenciómetro de atenuación hacia la derecha, hasta llegar a un punto en que vea la señal de TPR41 sin ruidos: en este momento está al límite de la relación señal/ruido. (Puede ver la señal contaminada con el ruido en el punto TPR36, apagando el generador de funciones para una mejor sincronización en el osciloscopio).

Visualizando TPR41, con el generador de funciones activado, compruebe ahora el ruido asociado a los diferentes canales de comunicación: coaxial, fibra óptica, infrarrojos (quizás deberá mover la posición de los equipos) y radio. ¿Cuál es el canal más ruidoso?

1.10 Velocidad de transmisión

Seleccione la conexión entre los dos equipos por línea bifilar, conecte el generador de funciones (en señal TTL) en la entrada TTL (BNC 2), y selecciónela en el emisor. Retire las degradaciones de canal, activando el led de conexión directa. En el receptor seleccione la salida TTL (en este momento puede quedar encendido el led de errores de paridad: no importa, puesto que la UART no trabaja en modo TTL). Conecte una sonda en TPE4 del emisor y otra en TPR41 del receptor. Aumente la frecuencia de la entrada del generador de funciones hasta que la señal recibida no pueda seguir a la transmitida: anote los máximos bits por segundo (bps) que se han podido transmitir ($\text{bps} = \text{frecuencia} * 2$). Repita la operación con cable coaxial, fibra óptica, infrarrojos y radio.

Según el límite de Shannon, la máxima capacidad en bps de una canal depende de su nivel de ruido. Repita el experimento anterior seleccionando degradaciones de canal en el equipo emisor, sin atenuación ni interferencias (potenciómetros a la derecha), y con el nivel del potenciómetro de ruido al máximo (izquierda).

1.11 Cuestiones

- 1.- ¿Qué mejoras introduce el filtro reconstructor?
- 2.- ¿En qué ha notado la presencia del filtro antialiasing?
- 3.- Al conectar el compensador, ha recuperado una calidad auditiva similar a tener _____ bits adicionales.
- 4.- ¿Cuál ha sido el efecto de reducir el ancho de banda del canal?
- 5.- ¿Qué ocurre cuando la relación señal ruido es pobre?
- 6.- ¿Qué canal de comunicación se ha manifestado como más ruidoso?
- 7.- ¿Cuántos bps (bits por segundo) ha podido transmitir por cada canal en modo TTL, sin ruido?. ¿Y con ruido?.

2 PRÁCTICA 2.- MODULACIÓN Y DEMODULACIÓN EN ASK

2.1 Objetivos prácticos

En esta práctica se va a experimentar la modulación y demodulación más simple: la ASK. Se visualizará la forma de onda de la modulación, y se harán mediciones en recepción. El detector de envolvente que aquí se introduce será un concepto que se usará posteriormente en modulaciones más avanzadas (QAM).

2.2 Bases teóricas

- Capítulo 3: Modulaciones digitales sobre portadora continua.
 - Apartado 3.1: ASK.
- Capítulo 6: Demodulaciones.
 - Apartado 6.1.: ASK.

2.3 Equipo necesario

Elementos necesarios:

- Cables bifilares.
- Cable BNC-BNC.
- Dos sondas de osciloscopio.

Instrumental necesario:

- Generador de funciones.
- Osciloscopio.

2.4 Funcionamiento del modulador y del demodulador

Después de conectar el equipo emisor y receptor con los cables bifilares, ponga en funcionamiento el emisor y el receptor. El estado de los pulsadores del emisor es:

- Entrada de señal (Sig)
- Filtro antialiasing: ON , compresor: OFF. (ON: activado)
- Modulación: ASK
- Simulador de canal: directo
- Salida por cable bifilar.

El receptor deberá estar en:

- Entrada por cable bifilar.
- Demodulación: ASK
- Filtro reconstructor: ON , expansor: OFF
- Salida por señal.

Ajuste el generador de funciones con una senoide de unos $2 V_{pp}$ y 1 kHz. Compruebe la señal transmitida con el canal 1 del osciloscopio en TPE1, y la recibida en el punto TPR41 con el canal 2.

MODULADOR:

Una vez verificado el correcto funcionamiento global, conecte el canal 1 al punto de test TPE4, y el canal 2 al TPE24, ambos del módulo emisor. En TPE4 puede verse la señal de salida de la UART (señal moduladora), y en TPE24 la señal modulada en ASK. Para visualizar mejor los dos canales del osciloscopio, apague el generador. Observe que durante los "1" se produce una oscilación en TPE24, mientras que para los "0" hay sólo un nivel de continua (modulación OOK). Mida la frecuencia de la oscilación en el punto TPE7 del emisor.

DEMODULADOR:

- Medición del ancho de banda del filtro paso-banda del receptor.

Conecte en generador de funciones en modo TTL por la entrada BNC2, y seleccione entrada TTL y emisión en banda base (BB). Así los pulsos TTL del generador llegan directamente al receptor (es equivalente a si se hubiera conectado el generador directamente al equipo receptor). La salida del filtro paso-banda que sintoniza la ASK está en el punto de test TPR3. Variando la frecuencia del generador TTL, determine la frecuencia de resonancia del filtro (frecuencia de máxima amplificación). A partir de ella, aumentela y disminúyala hasta detectar el ancho de banda a 3 dB (reducción de un factor 0,7 en la amplificación respecto al valor de ésta en resonancia). Anote los resultados:

Frecuencia de resonancia:
Frecuencia de corte inferior (3 dB):
Frecuencia de corte superior (3 dB):
Ancho de Banda del filtro (a 3 dB):

- Demodulación de la señal.

Vuelva a conectar el generador en modo señal (BNC1), seleccionando la entrada de señal ($2 V_{pp}$ y 1 kHz) y la modulación en ASK.

Visualice ahora la salida del filtro del demodulador (TPR3), y compárela con la señal modulada de TPE24. El siguiente paso en la demodulación consiste en un detector de envolvente de la señal vista en TPR3. Conecte la sonda que tiene en el equipo emisor al punto TPR6 del receptor, correspondiente a la salida del detector de envolvente. Esta señal se conforma posteriormente en pulsos mediante un comparador, cuya salida es el punto de test del receptor TPR36 (el nivel de disparo del comparador es fijo y puede medirse en TPR10). Conecte la sonda que tiene en TPR3 al punto TPR36 para ver la señal de entrada a la UART receptora. Compruebe que esta señal coincide con la generada por la UART emisora en TPE4.

2.5 Cuestiones

- 1.- ¿Cuál es la frecuencia de la señal portadora?
- 2.- ¿Cuál es el ancho de banda del filtro utilizado en el demodulador?
- 3.- Dibuje el aspecto de una señal modulada en OOK.
- 4.- Dibuje sobre la señal anterior el efecto de aplicar un detector de envolvente.

3 PRÁCTICA 3.- MODULACIÓN EN FSK. DEMODULACIÓN POR FILTROS DUALES (DFD, Dual Filter Detector).

3.1 Objetivos

La presente práctica permite experimentar la modulación y demodulación de señales DFD, usando habilidades elementales de medida (de filtros) que ya se han debido adquirir en las prácticas anteriores. La demodulación usada es la basada en filtros duales (DFD). En prácticas posteriores se experimentará otro demodulador (PLL) y se compararán algunas prestaciones entre modulaciones ASK y FSK, así como entre demoduladores FSK basados en DFD y en PLL.

3.2 Bases teóricas

- Capítulo 3: Modulaciones digitales sobre portadora continua.
 - Apartado 3.2.- FSK.
- Capítulo 6: Demodulaciones.
 - Apartado 6.2.: FSK-DFD.

3.3 Equipo necesario

Elementos necesarios:

- Cable bifilar.
- Dos sondas de osciloscopio.
- Un cable BNC-BNC.

Instrumental necesario:

- Generador de funciones.
- Osciloscopio.

3.4 Funcionamiento del modulador y del demodulador filtros duales

Con el equipo emisor y el receptor conectados con los cables bifilares, ponga en funcionamiento el emisor y el receptor. El estado de los pulsadores del emisor debe ser:

- Entrada de señal (Sig)
- Filtro antialiasing: ON, compresor: OFF.
- Modulación: FSK
- Simulador de canal: directo
- Salida por cable bifilar.

El receptor deberá estar en:

- Entrada por cable bifilar.
- Demodulación: FSK (DFD)
- Filtro reconstructor: ON , expansor: OFF
- Salida por señal.

Ponga una senoide de $2 V_{pp}$ y 1 kHz en el generador de funciones. Compruebe la señal transmitida con el canal 1 del osciloscopio en TPE1, y la recibida en el punto TPR41 del receptor con el canal 2.

MODULADOR:

Conecte, con el generador apagado para facilitar el sincronismo, las sondas al punto de test TPE4 (salida de la UART) y al TPR2 (señal modulada en FSK). Ajustando manualmente el umbral de disparo del sincronismo del osciloscopio, podrá apreciar una frecuencia alta cuando la salida de la UART emisora está a cero, y otra frecuencia más baja cuando está a uno (sincronice con el canal con que esté midiendo TPR2). Notará una diferente amplitud para cada frecuencia: ello es debido a que la amplificación de los filtros del equipo es diferente también para cada frecuencia. Si no dispone de osciloscopios avanzados, le será difícil medir estas frecuencias. En este caso, conecte el generador en modo TTL, y seleccione una frecuencia muy baja, del orden de 0,1 a 0,2 Hz. Ahora podrá medir las frecuencias portadoras para el nivel alto y para el nivel bajo de la señal de entrada. Determine su valor:

Frecuencia del "cero":

Frecuencia del "uno":

DEMODULADOR:

Las salidas de los filtros duales, son los puntos de test TPR3 y TPR4 (continúe con el generador de funciones apagado). TPR3 es la salida del filtro de 390 kHz ya caracterizado en la práctica 2 de ASK. TPR4 es la salida del filtro sintonizado a la frecuencia más alta de la FSK. Observe que los niveles de las salidas de cada filtro son complementarias. La señal de TPR3, después de pasar por el detector de envolvente de este filtro, es la de TPR6, mientras que la señal de TPR4 se convierte en la de TPR5. Estas dos señales entran a ambas entradas de un comparador para generar la señal de entrada a la UART receptora, la cual puede verse en el punto TPR36.

3.5 Recepción en ASK de señales FSK

Una de las dos frecuencias generadas por el equipo en la generación de la FSK es idéntica a la empleada para la ASK, mientras que la otra queda fuera del filtro receptor de ASK caracterizado en la práctica 2. Compruebe que el demodulador de ASK es capaz de detectar señales moduladas en FSK. Para ello ponga el modulador en modo FSK y el demodulador en ASK y visualice la señal entregada por el generador de funciones en TPE1 (active ahora el generador) y la recuperada en el punto TPR41.

3.6 Medida del ancho de banda del filtro paso banda para frecuencias altas

Conecte el generador de funciones en modo TTL por la entrada BNC2, seleccionando entrada TTL y emisión en banda base. Así los pulsos TTL del generador llegan directamente al receptor (al igual que se había hecho en la Práctica 2). La salida del filtro paso-banda que sintoniza la frecuencia más alta de la FSK está en el punto de test TPR4. Variando la frecuencia del generador TTL, determine la frecuencia de resonancia del filtro (frecuencia de máxima amplificación). A partir de ella, aumentela y disminúyala hasta detectar el ancho de banda a 3 dB (ya debe conocer el procedimiento de prácticas anteriores). Anote los resultados:

Frecuencia de resonancia:
Frecuencia de corte inferior (3 dB):
Frecuencia de corte superior (3 dB):
Ancho de Banda del filtro (a 3 dB):

3.7 Cuestiones

- 1.- Dibuje el aspecto de una señal modulada en FSK.
- 2.- ¿Qué frecuencia se ha asociado al "1"? ¿Y al "0"?
- 3.- ¿A qué se debe que las salidas de los detectores de envolvente sean complementarias?
- 4.- ¿Por qué se puede demodular en ASK la señal modulada en FSK?
- 5.- ¿Cuál es la frecuencia central y el ancho de banda del filtro de frecuencias altas?

4 PRÁCTICA 4.- COMPARACIÓN ENTRE ASK Y FSK (DFD)

4.1 Objetivos prácticos

Después de haber experimentado la modulación ASK y la FSK detectada por filtros duales, se comparan ambas modulaciones en términos de sensibilidad al ruido y de ancho de banda.

4.2 Bases teóricas

- Capítulo 3: Modulaciones digitales sobre portadora continua.
 - Apartado 3.1.: ASK.
 - Apartado 3.2.: FSK.
- Capítulo 5: Comparación de las modulaciones.
- Capítulo 6: Demodulaciones.
 - Apartado 6.1.: ASK.
 - Apartado 6.2.: FSK-DFD.
- Capítulo 7: Canal de transmisión.

4.3 Equipo necesario

Elementos necesarios:

- Cable bifilar.
- Dos cables BNC-BNC.
- Fibra óptica.
- Dos antenas.
- Micrófono.
- Auriculares.

Instrumental necesario:

- Generador de funciones.
- Osciloscopio.

4.4 Comparación de la probabilidad de error

Ponga en funcionamiento el equipo emisor y el receptor. El estado de los pulsadores del emisor es:

- Entrada de señal (Sig)
- Filtro antialiasing: ON, compresor: OFF.
- Modulación: ASK
- Simulador de canal: activar el led de degradaciones de canal.
- Salida por cable bifilar.

El receptor deberá estar en:

- Entrada por cable bifilar.
- Demodulación: ASK
- Filtro reconstructor: ON, expansor: OFF
- Salida por señal.

Asegúrese de que los ruidos e interferencias estén todos anulados (potenciómetros al límite en sentido horario), y que no haya atenuación (potenciómetro de atenuación al límite en sentido antihorario). Conecte el generador de funciones en la entrada de señal (BNC1), con una senoide de $2 V_{pp}$ de amplitud y a 1 kHz. Visualice en un canal del osciloscopio la entrada de señal en TPE1 y en el otro canal la señal recuperada en TPR41.

Observando en el osciloscopio la señal de TPR41, vaya aumentando el potenciómetro de ruido hasta que los efectos de éste se noten en la señal recuperada. Cambie a modulación y demodulación en FSK. ¿Cuál de las dos modulaciones es más robusta frente a ruidos del canal?

Anule los ruidos (potenciómetro al límite a la derecha) y ponga el modulador y el demodulador en ASK. Vaya introduciendo la interferencia de 390 kHz con el potenciómetro (recuerde que esta frecuencia se usa tanto para la ASK como para la FSK), hasta ver una clara degradación de la señal recuperada en TPR41. Conmute ahora a modulación y demodulación FSK. ¿Qué modulación ha mostrado una menor sensibilidad a la interferencia?

4.5 Canales de comunicación

Seleccione el led de conexión directa del módulo de perturbaciones en el equipo emisor. De esta forma no degradamos al canal. Con modulación y demodulación ASK compruebe, con una sonda en TPR41 del receptor y otra en TPE1 del emisor, la calidad de la señal recibida al ir variando los canales de comunicación (recuerde de ir seleccionando el canal del receptor de acuerdo al seleccionado en el emisor).

Repita el experimento para modulación y demodulación FSK (DFD).

Preste especial atención al canal de infrarrojos. En la práctica 1 habíamos visto que era el más ruidoso. Sin embargo, funciona mejor para la ASK que para la FSK, lo que parece contradecir el experimento en que se había probado que la FSK era más robusta frente a ruidos. Justifique en términos de ancho de banda del canal el motivo de la menor calidad en FSK del canal de infrarrojos.

4.6 Señales de audio

Conecte la entrada microfónica y los auriculares, seleccionando los pulsadores correspondientes. Juegue a su gusto con el módulo de perturbaciones mientras su compañero habla por el micrófono, y relacione la calidad auditiva con la señal visualizada en el osciloscopio (punto TPR41 del receptor). Note que, a diferencia de las modulaciones analógicas, en las digitales la degradación es poco gradual: el equipo pasa, prácticamente, de funcionar a no funcionar.

4.7 Cuestiones

- 1.- ¿Cuál de las dos modulaciones presenta una menor probabilidad de error?.
- 2.- ¿Qué modulación utilizaría ante un canal que limitase el ancho de banda?.
- 3.- ¿Por qué el canal de infrarrojos es peor para la FSK?

5 PRÁCTICA 5.- ESTUDIO DE UN PLL

5.1 Objetivos prácticos

El objetivo de esta práctica es familiarizarse con el PLL antes de usarlo dentro de aplicaciones específicas. Se comprueba su funcionamiento en lazo abierto y en lazo cerrado, y se miden márgenes de funcionamiento.

5.2 Bases teóricas

- Apéndice F: Principio de operación del PLL.
- Apéndice G: Características del PLL (NE 564).

5.3 Equipo necesario

Elementos necesarios:

- Cable bifilar.
- Cable coaxial BNC-BNC.
- Dos sondas de osciloscopio.

Instrumental necesario:

- Generador de funciones.
- Osciloscopio.

5.4 Funcionamiento en lazo abierto

Después de conectar el equipo emisor y receptor con los cables bifilares, ponga en funcionamiento el emisor y el receptor. El estado de los pulsadores del emisor es:

- Entrada TTL.
- Modulación: Banda base (BB).
- Simulador de canal: directo
- Salida por cable bifilar.

El receptor deberá estar en:

- Entrada por cable bifilar.
- Demodulación: FSK (PLL)
- Salida TTL.

Conecte el generador de funciones para que entregue señales TTL (BNC2). Abra el interruptor SW4 del receptor (coloque la capucha en los dos pins de la derecha para dejar al PLL sin entrada) para desconectar la entrada y abra también el interruptor SW1 (coloque la capucha en los dos pins superiores para abrir el lazo del VCO) para dejar el PLL en lazo abierto. Ponga el canal 1 del osciloscopio en el punto TPE4 y el canal 2 en TPR43. En TPE4 visualizará la señal de salida de la UART, y en TPR43 la frecuencia de salida del PLL (salida del VCO). Sitúe el generador de funciones alrededor de 400 kHz y compruebe, variando lentamente la frecuencia del generador de funciones que el VCO del PLL no puede seguir la frecuencia de entrada.

Sincronizando con el canal 2 del osciloscopio mida la frecuencia de oscilación libre (central) del VCO:

Frecuencia central del VCO:

Cierre el interruptor SW4 (entrada conectada, pero con el PLL en lazo abierto al no tocar SW1) y compruebe que, variando el generador de funciones alrededor de la frecuencia central del VCO, no sigue correctamente las variaciones de la entrada.

Cierre el lazo del PLL (interruptor SW1), ajustando de nuevo el generador alrededor de la frecuencia central del PLL, y compruebe que, dentro de un margen de frecuencias estrecho, el VCO sigue en frecuencia y fase la señal de entrada. Puede notar el seguimiento en fase comprobando que la señal cuadrada de salida del VCO siempre está sincronizada (coincidencia entre flancos de subida y de bajada) con la frecuencia de entrada.

5.5 Funcionamiento en lazo cerrado

MEDIDA DE MARGENES DE FUNCIONAMIENTO

Ajuste la frecuencia del generador de funciones a la frecuencia central del VCO. Aumente progresivamente la frecuencia del generador hasta detectar en el osciloscopio el desenganche entre la señal de entrada y la señal del VCO. Anote el valor de la frecuencia. Repita la operación disminuyendo la frecuencia. El intervalo entre ambas frecuencias es el **margen de seguimiento** del PLL.

Frecuencia superior de enganche:

Frecuencia inferior de enganche:

Margen de seguimiento del PLL:

El margen de seguimiento es una medida hecha a partir de un PLL con su VCO ya enganchado. Ahora se va a proceder a la medida del **margen de captura**, parámetro que se determina a partir del PLL desenganchado de la señal de entrada.

Ajuste el generador de funciones alrededor de unos 100 kHz: comprobará que el VCO está desenganchado. Vaya aumentando suavemente la frecuencia del generador de funciones hasta que el VCO se enganche, y anote la frecuencia a la que ocurra esto.

Repita el proceso anterior partiendo de una frecuencia de 900 kHz. Anote la frecuencia a la que se produce el enganche. El intervalo entre ambas frecuencias es el margen de captura del PLL.

Margen de captura: desde	kHz
hasta:	kHz

5.6 Cuestiones

- 1.- ¿Por qué el VCO del PLL no sigue la señal de entrada cuando está en lazo abierto?
- 2.- ¿Cómo se mide la frecuencia central del VCO?
- 3.- Defina, a partir de lo experimentado en la práctica, el margen de seguimiento y el margen de captura. Anote los valores obtenidos de ambos.
- 4.- ¿Cuál de los dos márgenes es mayor? ¿Es esto normal?
- 5.- ¿Permite el margen de captura del PLL seguir las dos frecuencias de la señal modulada en FSK (medidas en la práctica 3)?

6 PRÁCTICA 6.- DEMODULACIÓN FSK POR PLL

6.1 Objetivos prácticos

Una vez visto el PLL en la práctica anterior, en ésta se va a utilizar para demodular señales FSK.

6.2 Bases teóricas

- Capítulo 3: Modulaciones digitales sobre portadora continua.
 - Apartado 3.2.: FSK.
- Capítulo 6: Demodulaciones.
 - Apartado 6.3.: FSK-PLL.
- Apéndice F: Principio de operación del PLL.

Si desea profundizar más en el PLL usado en el entrenador de comunicaciones, tiene la opción (no imprescindible) de consultar el:

- Apéndice G: Características del PLL (NE564)
- Apéndice I: Espectro de frecuencias

6.3 Equipo necesario

Elementos necesarios:

- Cable bifilar.
- Cable coaxial BNC-BNC.
- Dos sondas de osciloscopio.

Instrumental necesario:

- Generador de funciones.
- Osciloscopio.

6.4 Demodulación de señales FSK

Con el equipo emisor y el receptor conectados con los cables bifilares, ponga en funcionamiento el emisor y el receptor. El estado de los pulsadores del emisor debe ser:

- Entrada de señal (Sig)
- Filtro antialiasing: ON, compresor: OFF.
- Modulación: FSK
- Simulador de canal: directo
- Salida por cable bifilar.

El receptor deberá estar en:

- Entrada por cable bifilar.
- Demodulación: FSK (PLL)
- Salida por señal.
- Filtro reconstructor: ON, expansor: OFF

Conecte el generador de funciones con una senoide de $2 V_{pp}$ y una frecuencia de 1 kHz. Verifique el correcto funcionamiento de la modulación, de la transmisión y de la demodulación con el canal 1 del osciloscopio en TPE1, y con el canal 2 en TPR41 (señal recibida similar a la transmitida).

Conecte el canal 2 del osciloscopio a la salida del PLL en TPR8 (esta salida coincide con la entrada de control del VCO). Conecte el canal 1 en TPE4 (pulsos entregados por la UART emisora), con el generador de funciones apagado para una mejor sincronización del osciloscopio. Podrá observar que el PLL sigue los pulsos de entrada, quizás con un cambio de polaridad.

EFFECTOS DE LAS PERTURBACIONES EN EL CANAL SOBRE EL JITTER (saltos de fase de la señal).

Seleccione en el módulo emisor el led de degradaciones de canal. Anule todas las interferencias y ruidos y no atenúe la señal (potenciómetros a la derecha). Compruebe que la adición de ruido o de interferencias produce falsos enganches al VCO del PLL ('jitter'), observando la señal medida en TPR38. Notará que los efectos de la frecuencia de 166 kHz, que no está dentro del margen de captura del PLL medido en la práctica anterior, también se notan. No se extrañe por ello, pues valores elevados de una señal pueden producir saturaciones en algunos dispositivos (no linealidades), generándose una señal "recortada" donde aparecen armónicos superiores: así, la interferencia de 166 kHz puede generar, para valores de amplitud elevados otras de 332 kHz, 498 kHz, etc.

RECUPERACION DE SEÑALES SENOIDALES

Conecte el generador de funciones y mida en los puntos TPE1 y TPR41 con el osciloscopio y ponga el canal con perturbaciones.

¿Es importante el ruido que se ve en el osciloscopio superpuesto a la senoide cuando modifica la amplitud del generador de ruido?. Conecte los auriculares en el jack del receptor, y seleccione salida de audio, con el filtro reconstructor activado y sin expansor. Oirá el pitido de la senoide cuando no añada ruido. Aumentando gradualmente el generador de ruido, podrá relacionar lo mostrado en el osciloscopio con la señal auditiva.

Conecte ahora el micrófono al equipo emisor, y seleccione la entrada microfónica. Active, además de los filtros antialiasing y reconstructor, el compresor y el expansor. Compare la calidad de recepción de la voz de su compañero cuando demodula sin ruidos en el canal y cuando lo hace con ellos. Repita la operación retirando el compresor y el expansor, pero no los filtros. Ajuste el nivel de ruido hasta que empiece a apreciarlo auditivamente. Conecte ahora, además de los filtros, el compresor y el expansor. Recuerde que el efecto del compansor era equivalente a tener más bits en la conversión A/D y D/A, y que el ruido de cuantificación se produce en relación inversa al número de bits usados.

6.5 Cuestiones

- 1.- ¿Por qué la entrada al VCO del PLL es una tensión diferente para cada frecuencia de la FSK?
- 2.- ¿Por qué el PLL es sensible a interferencias y ruidos, aún de baja amplitud?
- 3.- Recuerde la frecuencia central y los márgenes de captura y enganche del PLL, medidos en la práctica 5. Justifíquelos en función de las frecuencias utilizadas en modulación FSK.

7 PRÁCTICA 7.- COMPARACIÓN ENTRE FSK DETECTADA POR DFD Y POR PLL

7.1 Objetivos prácticos

Se van a comparar diferentes prestaciones del demodulador de filtros duales (DFD) y del basado en un PLL. En particular, se verá su robustez frente a ruidos e interferencias y su sensibilidad cuando las señales recibidas son débiles.

7.2 Bases teóricas

- Capítulo 3: Modulaciones digitales sobre portadora continua.
 - Apartado 3.2.: FSK.
- Capítulo 5: Comparación de las modulaciones.
- Capítulo 6: Demodulaciones.
 - Apartado 6.2.: FSK-DFD.
 - Apartado 6.3.: FSK-PLL.
- Apéndice F: Principio de operación del PLL.
- Apéndice G (de lectura optativa): Características del PLL (NE564).

7.3 Equipo necesario

Elementos necesarios:

- Cable bifilar.
- Cable coaxial BNC-BNC.
- Dos sondas de osciloscopio.

Instrumental necesario:

- Generador de funciones.
- Osciloscopio.

7.4 Comparación de la probabilidad de error

Active el equipo emisor y receptor y conéctelo con los cables bifilares. Los pulsadores del emisor deben estar en la siguiente situación:

- Entrada de señal (Sig)
- Filtro antialiasing: ON, compresor: OFF.
- Modulación: FSK
- Simulador de canal: activar el led de degradaciones de canal.
- Salida por cable bifilar.

El receptor debe estar en:

- Entrada por cable bifilar
- Demodulación: FSK (DFD)
- Filtro reconstructor: ON, expansor: OFF
- Salida por señal

Asegúrese de que los ruidos e interferencias estén todos anulados, y que no haya atenuación (potenciómetros de atenuación al límite en sentido horario). Conecte el generador de funciones en la entrada de señal (BNC1), con una senoide de amplitud de $2 V_{pp}$ y a 1kHz. Visualice en un canal del osciloscopio la entrada de señal en TPE1 y en el otro canal la señal recuperada en TPR41.

- Ponga la interferencia de 500 kHz al máximo. Observe que no se nota en la señal recuperada.

Justifique el motivo a la vista de las bandas de paso de los dos filtros duales medidas en la práctica 3.

- Apague el generador de funciones: la salida es de 0 voltios, y prácticamente no se notan los efectos de la interferencia de 500 kHz. Conmute el receptor a recepción FSK por PLL.

Justifique porque el PLL es sensible a la interferencia de 500 kHz a la vista de su margen de captura (medido en la práctica 5).

- Vuelva a conectar el generador de funciones, dejando ahora sólo una interferencia de 390 kHz. Justifique el resultado cuando detecta por DFD (recuerde las bandas de paso).
- Al conectar la demodulación por PLL no notará, en cambio, los mismos efectos. El PLL se engancha a la interferencia o a la señal según el nivel relativo entre ellas (relación señal / interferencia). Compruébelo atenuando el nivel de señal (y dejando al máximo la interferencia de 390 kHz).

7.5 Comparación de la sensibilidad

Anule todas las interferencias y ruidos, y, con detección de filtros duales (DFD), atenúe la señal hasta que pierda la comunicación. Conmute ahora a detección por PLL. Incluso puede probar de atenuar al máximo. Para interpretar el resultado, recuerde que el PLL "sigue" la frecuencia de la entrada, no siendo tan importante su amplitud. Mientras haya algo de señal, puede trabajar correctamente.

7.6 Cuestiones

- 1.- ¿Qué ventaja ofrece el demodulador de FSK por DFD, respecto al PLL?. Justifíquelo.
- 2.- ¿Cuál de los dos demoduladores implementados tiene una mejor respuesta ante relaciones señal/ruido pobres?.
- 3.- Ante una transmisión en la que los niveles recibidos son débiles, ¿qué tipo de demodulador utilizaría?.

8 PRÁCTICA 8.- RECUPERACIÓN DE PORTADORA

8.1 Objetivos prácticos

Previamente a las prácticas posteriores de modulaciones y demodulaciones de fase, se estudiará en esta práctica un subsistema común a ellas: la recuperación de una portadora de la frecuencia de la señal modulada, pero con los saltos de fase eliminados. Esta función es de capital importancia para todas las demodulaciones de fase no diferenciales.

8.2 Bases teóricas

- Capítulo 6: Demodulaciones.
 - Apartado 6.4.: Recuperación de portadora.
- Apéndice F: Principio de operación del PLL.
- Apéndice G (opcional): Características del PLL (NE564).

8.3 Equipo necesario

Elementos necesarios:

- Cable bifilar.
- Cable coaxial BNC-BNC.
- Dos sondas de osciloscopio.
- Destornillador de plástico.

Instrumental necesario:

- Generador de funciones.
- Osciloscopio.

8.4 Ajuste del PLL recuperador de portadora

Conecte el equipo emisor y receptor con los cables bifilares. Active el módulo emisor y el receptor. Seleccione con los pulsadores los siguientes estados del emisor:

- Entrada de señal (Sig)
- Filtro antialiasing: ON, compresor: OFF.
- Modulación: QPSK
- Simulador de canal: directo
- Salida por cable bifilar.

Del receptor:

- Entrada por cable bifilar.
- Demodulación: QPSK
- Filtro reconstructor: ON, expansor: OFF
- Salida por señal.

Asegúrese de que todos los microinterruptores de SW3 están en OFF (posición inferior).

Active el generador de funciones seleccionando una senoide de unos $2 V_{pp}$ y 1 kHz, aproximadamente. Visualice con el canal 1 del osciloscopio en TPE4, y con el canal 2 la señal recibida en el punto TPR2, sincronizando con este canal al osciloscopio.

Ajustando la base de tiempos del osciloscopio (y apagando el generador para una mejor sincronización), podrá observar que la señal modulada en TPR2 es una señal cuadrada cuyo período no es regular: en ciertos instantes es más corto, instantes en los que hay un cambio de fase de la señal. Sin embargo, ahora no nos ocupa todavía el estudio de la señal QPSK; simplemente la usaremos para ajustar el recuperador de portadora. El objetivo será obtener una señal de la misma frecuencia que la observada en TPR2, pero sin irregularidades en la duración de los pulsos (es decir, sin saltos de fase).

Para ello, ponga el canal 2 del osciloscopio en TPR13, que es la salida del VCO del PLL recuperador de portadora, y el canal 1 en TPE 14, que es la frecuencia patrón del emisor que se desea recuperar.

Empiece ajustando el condensador variable C83 (con un destornillador de plástico) que regula la frecuencia central del PLL hasta que la señal del VCO esté sincronizada (o intente estarlo) con la de TPE14. Como la frecuencia del VCO deberá ser de cuatro veces la frecuencia recibida para eliminar los saltos de fase, la señal en TPR13 deberá tener 4 períodos por cada período de TPE14. Después siga ajustando el potenciómetro P1 (ajuste del ancho de banda del PLL) hasta llegar a la mejor situación: salida del VCO sincronizada (con una relación 1:4) con la frecuencia de referencia del emisor en TPE14.

Para recuperar la portadora se ha pasado por elementos no lineales a la señal recibida en TPR2 (visualícela con el canal 1). En TPR12 podrá observar (con el canal 2) la señal después de pasar por los elementos no lineales: esta señal contiene armónicos de frecuencias múltiplos de la frecuencia patrón (166 kHz en la QPSK). Como la QPSK tiene cuatro fases, el PLL, que actúa como un filtro paso banda muy estrecho, se debe enganchar a la frecuencia de $4 * 166,6 \text{ kHz} = 666 \text{ kHz}$. Esta es la señal que podrá observar con el canal 2 en TPR13. La señal de frecuencia cuádruple de TPR13 se divide posteriormente por cuatro en el equipo.

Conectando el canal 1 al punto del emisor TPE15, verá una frecuencia de emisión cuatro veces superior a la de referencia. Ello le valdrá para compararla en el osciloscopio con la recuperada en TPR13.

Conectando ahora el canal 1 en la señal QPSK recibida (TPR2), podrá verificar que ha recuperado en el VCO una frecuencia cuatro veces superior a la portadora de la QPSK sin saltos de fase.

Para mejorar los ajustes anteriores del PLL, se van a forzar condiciones extremas: visualice con el canal 1 el punto del emisor TPE15 y con el canal 2 el TPR13, y active las degradaciones de canal en el módulo emisor, atenuando la señal hasta que pierda sincronismo (cuando pase esto, también se encenderá el led de detección de errores de paridad en el receptor). Reajuste, si es necesario, el condensador variable C83 y el potenciómetro P1 de forma que se recupere correctamente el sincronismo entre TPE15 y TPR13. Repítalo para la mayor atenuación de canal posible.

NOTA: con este ajuste también tiene adaptado el recuperador de portadora para señales que, como la BPSK, tienen una portadora de 332 kHz. En este caso, como sólo habrá dos posibles fases, la señal recuperada también será de 664 kHz.

8.5 Cuestiones

- 1.- ¿Qué función tiene el bloque generador de no linealidades?
- 2.- ¿Qué función cumple el PLL?
- 3.- ¿Qué estamos provocando en el PLL, al variar el condensador C83?
- 4.- ¿Qué frecuencia recupera el PLL?. ¿Qué relación tiene respecto a la portadora de QPSK y la de BPSK?.
- 5.- ¿Qué efecto se observa sobre TPE15 y TPR13, cuando falla el recuperador de portadora?.

9 PRÁCTICA 9.- MODULACIÓN Y DEMODULACIÓN EN BPSK

9.1 Objetivos prácticos

Esta es la primera práctica con demoduladores de fase. Concretamente se trabajará la modulación de fase binaria (BPSK). Después de familiarizarse con el funcionamiento del modulador y del demodulador, se verá la importancia de una correcta recuperación de portadora.

9.2 Bases teóricas

- Capítulo 3: Modulaciones digitales sobre portadora continua.
 - Apartado 3.3.: BPSK.
- Capítulo 6: Demodulaciones.
 - Apartado 6.5.: BPSK.

9.3 Equipo necesario

Elementos necesarios:

- Cable bifilar.
- Cable coaxial BNC-BNC.
- Dos sondas de osciloscopio.
- Destornillador de plástico.

Instrumental necesario:

- Generador de funciones.
- Osciloscopio.

9.4 Funcionamiento del modulador y del demodulador

Ponga en funcionamiento el equipo emisor y el receptor. Conéctelos con los cables bifilares. El estado de los pulsadores del emisor debe ser:

- Entrada de señal (Sig)
- Filtro antialiasing: ON, compresor: OFF.
- Modulación: BPSK
- Simulador de canal: directo
- Salida por cable bifilar.

El receptor deberá estar en:

- Entrada por cable bifilar.
- Demodulación: BPSK
- Filtro reconstructor: ON, expansor: OFF
- Salida por señal.

Cerciórese de que los microinterruptores del conmutador SW3 están todos en OFF ("abajo"). Deje el PLL de recuperación de portadora tal como estaba en la práctica 8.

Ajuste la senoide del generador de funciones a unos $2 V_{pp}$ y 1 kHz. Visualice la señal transmitida con el canal 1 del osciloscopio en TPE1, y la recibida en el punto TPR41 con el canal 2. Si no funciona correctamente, repita el ajuste del recuperador de portadora que ya experimentó en la práctica 8 (o más rápidamente, aunque el ajuste no sea óptimo, ajuste el condensador variable C83 y/o el potenciómetro P1 hasta en TPR41 vea correctamente recuperada la senoide del generador de funciones).

MODULADOR:

Conecte, con el generador apagado para facilitar el sincronismo, la sonda del canal 1 al punto de test del emisor TPE4 (salida de la UART) y la del canal 2 al punto TPR2 del receptor (señal modulada en BPSK). Podrá observar que, en cada cambio de polaridad de la señal moduladora, se produce una inversión de fase de la señal modulada (BPSK).

La frecuencia patrón para la generación de la BPSK la puede medir en TPE11. Hágalo así con el canal 1, y calcule el período de esta señal. Compruebe que es el mismo período que en TPR2 (señal modulada en BPSK).

Frecuencia portadora BPSK:

DEMODULADOR

Conecte el canal 1 al punto TPE4 (salida de la UART emisora), continuando con el generador apagado. Con el canal 2 visualice el punto TPR16. Este punto es la salida del bloque XOR que efectúa la multiplicación entre la señal BPSK recibida y la portadora recuperada. Apreciará que se recupera la señal, pero con pequeños "glitches" (conmutaciones parásitas), debidos a retardos en la circuitería digital. Para eliminarlos, se pasa la señal de TPR16 por un filtro paso bajo, cuya salida está en TPR20. Visualice esta salida con el canal 2. Esta salida se compara con un nivel de continua, que puede ver conectando el canal 1 en TPR21. Ajustando el trazado de las masas de los dos canales del osciloscopio (asegúrese de que ambas sondas tienen en conmutador de atenuación en idéntica posición), y con la misma amplificación en ambos, acoplados en continua, y disparando por el canal 2, podrá ver el umbral de disparo del comparador. La salida de éste, que es la entrada a la UART receptora, la puede visualizar con el canal 2 en TPR38.

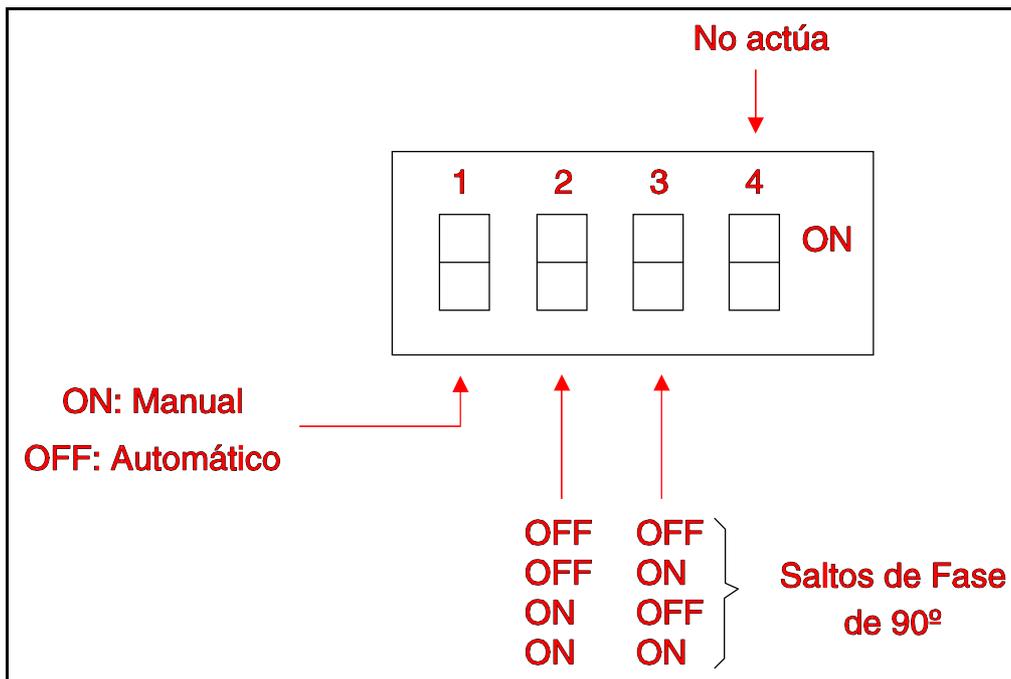
PERDIDA DE SINCRONISMO:

SELECCION MANUAL DE FASE

Vuelva a dejar las sondas en TPE1 y en TPR41. Conecte el generador de funciones. La recuperación de la señal debe ser correcta.

Hasta ahora, el detector estaba resolviendo automáticamente la ambigüedad de fase usando información del bit de error de paridad de la UART receptora. No podemos saber con que fase inicial está trabajando el detector.

Poniendo en ON el microinterruptor I1 de SW3, se anula el ajuste automático de fase. Según la situación del microinterruptor I3, el detector partirá de una fase inicial o de la otra. Compruebe que, en una posición de I3 el demodulador funciona correctamente, y en la otra no. Puede verificar el motivo de ello visualizando TPE4 (salida UART emisora) y TPR16 (salida XOR) con el generador apagado. Verá que las fases de la demodulación cambian 180° (cambio de signo) según la posición de I3.



DESAJUSTE DEL RECUPERADOR DE PORTADORA.

Vuelva a poner en OFF todos los microinterruptores de SW3. El demodulador volverá a detectar automáticamente la fase. Mida con el canal 1 el TPE1 y con el canal 2 el TPR 41, con el generador de funciones funcionando. Provoque ahora una pérdida de sincronismo en el recuperador de portadora, variando con el destornillador de plástico, el condensador variable C83. En este momento, visualice las señales TPE15 y TPR13, comprobando que la salida del VCO del PLL recuperador de portadora no está enganchada. (si en este momento coloca los auriculares, oirá un sólo ruido. Además, se enciende el led de errores de paridad).

Recupere el sincronismo de la portadora volviendo a reajustar el condensador variable. Compruebe con las sondas en TPE1 y en TPR41 que el funcionamiento, con el generador de funciones activado, vuelve a ser correcto.

9.5 Cuestiones

- 1.- Haga un trazado del aspecto de una señal modulada en BPSK.
- 2.- ¿Cuál es la frecuencia de la portadora de BPSK?
- 3.- ¿En qué partes de la forma de onda de una modulación BPSK se transmite la información (marque la/s respuesta/s que considere correcta/s):
 - a) La amplitud.
 - b) La frecuencia.
 - c) La fase?
- 4.- ¿Qué efecto produce sobre la señal PCM el utilizar la frecuencia de portadora con la fase equivocada (invertida)?.
- 5.- ¿Cómo afecta a la señal recuperada el fallo del recuperador de portadora?.

10 PRÁCTICA 10.- MODULACIÓN Y DEMODULACIÓN EN DPSK

10.1 Objetivos prácticos

Se estudia la primera modulación de fase diferencial, enfatizándose en el aspecto que la distingue de la BPSK de la práctica anterior: la generación y recuperación de los díbits.

10.2 Bases teóricas

- Capítulo 3: Modulaciones digitales sobre portadora continua.
 - Apartado 3.4.: DPSK.
- Capítulo 6: Demodulaciones.
 - Apartado 6.6.: DPSK.

10.3 Equipo necesario

Elementos necesarios:

- Cable bifilar.
- Cable coaxial BNC-BNC.
- Dos sondas de osciloscopio.
- Destornillador de plástico.

Instrumental necesario:

- Generador de funciones.
- Osciloscopio.

10.4 Funcionamiento del modulador y del demodulador

Con el equipo emisor y el receptor conectados con los cables bifilares, póngalos en funcionamiento. El estado de los pulsadores del emisor debe ser:

- Entrada de señal (Sig)
- Filtro antialiasing: ON, compresor: OFF.
- Modulación: DPSK.
- Simulador de canal: directo
- Salida por cable bifilar.

El receptor deberá estar en:

- Entrada por cable bifilar.
- Demodulación: DPSK.
- Filtro reconstructor: ON, expansor: OFF
- Salida por señal.

Cerciórese de que los microinterruptores del conmutador SW3 están todos en OFF ("abajo").

Deje el PLL de recuperación de portadora tal como estaba al finalizar la práctica anterior.

Ajuste la senoide del generador de funciones a unos $2 V_{pp}$ y 1 kHz y visualice la señal transmitida con el canal 1 del osciloscopio en TPE1, y la recibida en el punto del receptor TPR41 con el canal 2. Si no funciona correctamente ajuste el condensador variable C83 y/o el potenciómetro P1 hasta que en TPR41 vea correctamente recuperada la senoide del generador de funciones.

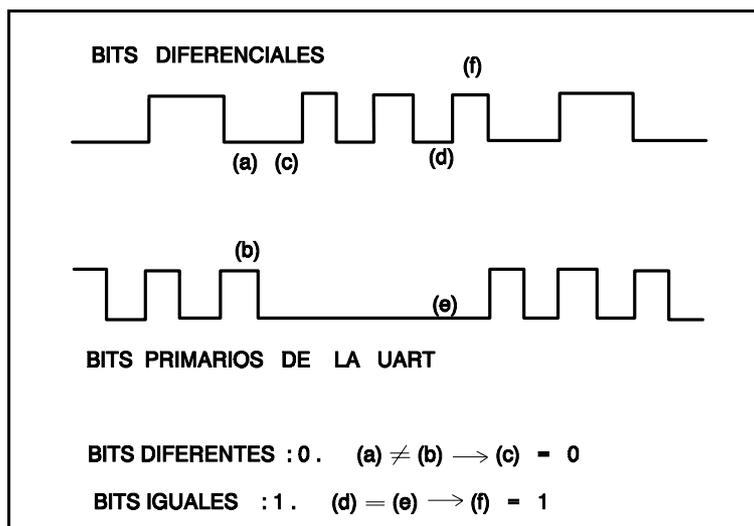
MODULADOR:

Conecte, con el generador de funciones apagado, la sonda del canal 1 al punto de test TPE10. Esta es la señal diferencial (bits diferenciales) que se ha creado a partir de los bits de salida de la UART emisora. Esta señal es la que modula al modulador BPSK para generar la DPSK.

Con el canal 2 mida el punto TPR2 del receptor (señal modulada en DPSK). Podrá observar que, en cada cambio de polaridad de la señal moduladora, se produce una inversión de fase de la señal modulada igual que pasaba con la BPSK.

GENERACION DE BITS DIFERENCIALES

Los bits diferenciales los está visualizando con el canal 1 en TPE10. Conecte el canal 2 al punto TPE4, donde verá los bits primarios de salida de la UART emisora. Compruebe que, efectuando la operación que se indica en la figura, puede reconstruir sobre la pantalla del osciloscopio la señal de TPE10 a partir de la de TPE4 y de ella misma (TPE10). **NOTA: Use el modo "chopper" del osciloscopio para hacer este ejercicio.**



DEMODULADOR

Conecte el canal 1 al punto TPE4 (salida de la UART emisora), continuando con el generador apagado. Con el canal 2 visualice el punto TPR27. Este punto es la salida del bloque X-NOR que efectúa la multiplicación entre la señal modulada y la señal modulada retardada un bit. Verá que, al igual que en la BPSK, también hay conmutaciones parásitas que se eliminan con un filtro paso bajo (TPR29). Esta señal es comparada con el nivel de continua de TPR28, obteniéndose a la salida del comparador la señal de TPR36.

RECUPERACIÓN DE LOS BITS DE LA UART A PARTIR DE LOS BITS DIFERENCIALES.

La señal diferencial (BITS DIFERENCIALES) son los que puede visualizar con el canal 1 en TPE10. Conecte la sonda del canal 2 a TPE13, que es un reloj para la formación de los bits diferenciales. Anote, en la siguiente tabla, el valor ("0" o "1") de los bits diferenciales, leídos en cada flanco de subida de TPE13.

Valor bit diferencial											
-----------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Dibuje ahora, en la tabla siguiente, la función X-NOR entre el bit actual y el anterior (excepto el primero):

Valor X-NOR											
-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Compruebe que el resultado obtenido coincide con la señal medida en TPR4 (es decir, que ha recuperado la señal transmitida por la UART).

PERDIDA DE SINCRONISMO:

SELECCION MANUAL DE FASE

Vuelva a conectar las sondas en TPE1 y en TPR41. Conecte el generador de funciones. La recuperación de la señal debe ser correcta.

La ventaja de la modulación diferencial (DPSK) es que no necesita una referencia en fase. Para comprobarlo, active el control de fase manual poniendo en ON el microinterruptor I1 de SW3 y actúe sobre I3. La demodulación debe continuar siendo correcta independientemente de la fase seleccionada. Recuerde que en la práctica de BPSK sólo funcionaba para una de las posiciones de I3.

DESAJUSTE DEL RECUPERADOR DE PORTADORA

Vuelva a poner en OFF todos los microinterruptores de SW3. Mida con el canal 1 en TPE1 y con el canal 2 en TPR 41, continuando con el generador de funciones activado. Provoque ahora una pérdida de sincronismo en el recuperador de portadora, variando el condensador ajustable C83.

La recepción falla, porque en DPSK se utiliza la recuperación de portadora como referencia de frecuencia para realizar el retardo de un bit de la señal modulada, que se aplica junto a la no retardada, a las entradas de la puerta X-NOR.

Recupere el sincronismo de la portadora volviendo a reajustar el condensador. Compruebe con las sondas en TPE1 y en TPR41 que el funcionamiento, con el generador de funciones activado, vuelve a ser correcto.

10.5 Cuestiones

- 1.- Obtenga los bits diferenciales (a transmitir) a partir de la siguiente secuencia de bits: 0 1 0 1 0 0 1 0 1 0 1 1 (salida de la UART). Suponga una condición inicial $d_{k-1} = 0$.
- 2.- Los cambios de fase de la señal modulada en DPSK, ¿responden a los bits diferenciales o los bits primarios?
- 3.- ¿Qué elemento lógico, fundamental en la demodulación, hace las funciones de multiplicador?
- 4.- ¿Qué ventaja ofrece la modulación DPSK respecto a la BPSK? ¿Cómo lo demostraría mediante el equipo?

11 PRÁCTICA 11.- MODULACIÓN Y DEMODULACIÓN EN QPSK

11.1 Objetivos prácticos

Después de haber practicado las modulaciones de fase binarias, se experimenta la modulación cuadrifase. Se enfatiza en la generación de dibits y en la recuperación de los bits primarios a partir de ellos.

11.2 Bases teóricas

- Capítulo 3: Modulaciones digitales sobre portadora continua.
 - Apartado 3.5.: QPSK.
- Capítulo 6: Demodulaciones.
 - Apartado 6.7.: QPSK.

11.3 Equipo necesario

Elementos necesarios:

- Cable bifilar.
- Cable coaxial BNC-BNC.
- Dos sondas de osciloscopio.
- Destornillador de plástico.

Instrumental necesario:

- Generador de funciones.
- Osciloscopio.

11.4 Funcionamiento del modulador y del demodulador

Conecte el equipo emisor y el receptor con los cables bifilares, y póngalos en funcionamiento. El estado de los pulsadores del emisor debe ser:

- Entrada de señal (Sig)
- Filtro antialiasing: ON, compresor: OFF.
- Modulación: QPSK
- Simulador de canal: directo
- Salida por cable bifilar.

El receptor deberá estar en:

- Entrada por cable bifilar.
- Demodulación: QPSK
- Filtro reconstructor: ON, expansor: OFF
- Salida por señal.

Asegúrese de que todos los microinterruptores de SW3 están en OFF. Deje el PLL de recuperación de portadora tal como estaba al finalizar la práctica anterior.

Ponga el generador de funciones en modo senoidal, con $2 V_{pp}$ y 1 kHz, y visualice la señal transmitida con el canal 1 del osciloscopio en TPE1, y la recibida en el punto TPR41 con el canal 2. Si no funciona correctamente, repita el ajuste del recuperador de portadora.

MODULADOR:

Conecte, con el generador apagado para facilitar el sincronismo, la sonda del canal 1 a la salida de la UART emisora (punto TPE4). Con el canal 2 visualice el reloj de referencia en TPE13. Anote en la siguiente tabla las lecturas de TPE4 ("0" o "1") en cada flanco ascendente del reloj.

Valor bit en TPE4												
-------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

A partir de la tabla anterior, dibuje los dibits (ver parte teórica):

Valor dibit 1							
Valor dibit 2							

Compruebe que los dibits generados en TPE20 y TPE21 coinciden con las tablas que ha confeccionado.

Conecte ahora el canal 1 al punto TPE20 (dibit 1), y el canal 2 al punto TPR2 del receptor (señal modulada en QPSK). Podrá observar los saltos de fase de la señal modulada (QPSK) en cada cambio de polaridad de la señal moduladora (dibit 1). Los saltos de fase que no coinciden con flancos del dibit 1 son debidos al dibit 2 (TPE21).

La frecuencia patrón para la generación de la QPSK la puede medir en TPE14. Anótela:

Frecuencia portadora QPSK:

Note que esta frecuencia es la mitad de la empleada para la BPSK y la DPSK.

DEMODULADOR

Visualice los puntos TPE20 (dibit 1 emitido) y TPR24 (dibit 1 demodulado), continuando con el generador apagado, y compruebe que la demodulación del dibit es correcta. Si no fuera así, encienda y apague el generador para activar de nuevo el control automático de fase del receptor (por si se hubiera enclavado a una fase incorrecta). Notará unos subniveles dentro de los ceros y unos recibidos: ello es debido a las conmutaciones del multiplexor que convierte los dibits en bits.

Conectando las sondas en TPR14 y TPR16 podrá observar las salidas de las puertas XOR que multiplican la entrada al receptor por la portadora de referencia. Esta señal de referencia entra con una diferencia de fase 90° entre cada una de las dos puertas XOR que se están visualizando. A la salida de las XOR's además de niveles largos de '1' y '0' aparece una señal cuadrada de frecuencia doble a la de portadora cuando el desfase relativo entre la señal de entrada y de referencia es de 90° . Justifique la aparición de esta frecuencia doble, imaginando dos señales cuadradas desfasadas 90° y haciendo la función XOR.

Las señales mostradas, una vez filtradas y sumadas, aparecen en TPR20. Visualice este punto que es una de las entradas de un comparador y simultáneamente observe el nivel de continua de la otra entrada en TPR21; la salida de este comparador conforma el dicit 1 que puede ver en TPR24.

Repitiendo el proceso anterior para el dicit 2 visualice con el osciloscopio:

- TPE21 (dicit 2 emitido) y TPR23 (dicit 2 demodulado).
- TPR14 y TPR15 (salidas de las XOR's).
- TPR22 (señal filtrada y sumada) y TPR20 (nivel de continua de comparación).

El paso final para obtener la señal que había emitido la UART es pasar de paralelo a serie los dicitos (TPR23 y TPR24). Conecte el canal 1 del osciloscopio en TPE4 y el canal 2 en TPR36 y compruebe que la señal salida de la UART emisora, llega correctamente demodulada a la entrada de la UART receptora.

PERDIDA DE SINCRONISMO:

SELECCIÓN MANUAL DE FASE

Sitúe las sondas en TPE1 y en TPR41. Conecte el generador de funciones. La recuperación de la señal debe ser correcta (sino ajuste de nuevo C83).

Poniendo en ON el microinterruptor I1 de SW3, se anula el ajuste automático de fase y entra en funcionamiento la selección de fase manual. Según la situación de los microinterruptores I2 e I3, el detector partirá de una de las cuatro posibles fases iniciales de una QPSK. Compruebe que, en sólo una de las posiciones de I2 e I3 el demodulador funciona correctamente.

Mediante una visualización comparativa, con el generador apagado, de los puntos en los que aparecen los dicitos emitidos y los demodulados (TPE20, TPE21, TPR23 y TPR24), compruebe que el efecto de variar las fases es: invertir la fase los dicitos demodulados, o cambiar el dicit 1 por el dicit 2.

Si al volver a poner en OFF los microinterruptores hubiera problemas de recepción, seleccione con el pulsador todas las demodulaciones hasta volver a la QPSK: posiblemente la fase que tenía manualmente seleccionada ya no era la correcta, lo que demostraría otra vez la necesidad de un circuito de selección de fase.

DESAJUSTE DEL RECUPERADOR DE PORTADORA

Active el control automático de fase poniendo en OFF todos los microinterruptores de SW3. Encienda el generador y mida el punto TPE1 y el punto TPR 41, con el generador de funciones funcionando. Varíe C83 para provocar una pérdida de sincronismo en el recuperador de portadora. Visualice las señales TPE15 y TPR13, para comprobar que el demodulador falla debido a que el VCO del PLL recuperador no está enganchado.

Recupere el sincronismo de la portadora volviendo a reajustar el condensador variable. Compruebe con las sondas en TPE1 y en TPR41 que el funcionamiento, con el generador de funciones activado, vuelve a ser correcto.

11.5 Cuestiones

- 1.- Dibuje los dibits que obtendría a partir de la siguiente secuencia de bits:
0 0 1 0 0 0 1 1 1 0 0 1 0 0.
- 2.- ¿Qué efectos provocan los cambios de fase de la señal portadora?
- 3.- ¿Cuántas fases diferentes se transmiten en una QPSK?
- 4.- ¿Por qué el control manual de fase en QPSK tiene cuatro combinaciones posibles, mientras que en BPSK sólo había dos?.
- 5.- ¿Cuál es la frecuencia portadora de la modulación QPSK del entrenador?.

12 PRÁCTICA 12.- MODULACIÓN Y DEMODULACIÓN EN DQPSK

12.1 Objetivos prácticos

Se experimenta el demodulador DQPSK, resaltándose sus diferencias con la modulación cuadrifase no diferencial (QPSK).

12.2 Bases teóricas

- Capítulo 3: Modulaciones digitales sobre portadora continua.
 - Apartado 3.6.: DQPSK.
- Capítulo 6: Demodulaciones.
 - Apartado 6.8.: DQPSK.

12.3 Equipo necesario

Elementos necesarios:

- Cable bifilar.
- Cable coaxial BNC-BNC.
- Dos sondas de osciloscopio.
- Destornillador de plástico.

Instrumental necesario:

- Generador de funciones.
- Osciloscopio.

12.4 Funcionamiento del modulador y del demodulador

Accione el equipo emisor y el receptor, con los cables bifilares conectados. Seleccione el siguiente estado de los pulsadores del emisor:

- Entrada de señal (Sig)
- Filtro antialiasing: ON, compresor: OFF.
- Modulación: DQPSK
- Simulador de canal: directo
- Salida por cable bifilar.

El estado del receptor debe ser:

- Entrada por cable bifilar.
- Demodulación: DQPSK
- Filtro reconstructor: ON, expansor: OFF
- Salida por señal.

Los microinterruptores del conmutador SW3 deben estar todos en OFF, y el PLL de recuperación de portadora tal como estaba al finalizar la práctica anterior.

Ajuste la senoide del generador de funciones a unos $2 V_{pp}$ y 1 kHz y visualice la señal transmitida con el canal 1 del osciloscopio en TPE1, y la recibida en el punto TPR41 con el canal 2. Si no funciona correctamente, repita el ajuste del recuperador de portadora.

MODULADOR:

Conecte el canal 1 del osciloscopio, con el generador apagado, a TPE4 (salida UART). Compruebe que en TPE20 y TPE21, tenemos los dibits antes de la codificación diferencial, de la misma forma que en modulación QPSK (práctica anterior). Visualice los dibits codificados diferencialmente, en los puntos TPE22 y TPE23 (puede ser útil para facilitar la visualización desactivar el filtro antialiasing. Si lo hace, tras las medidas del MODULADOR vuélvalo a conectar).

Como ejercicio opcional, puede probar de apuntar una secuencia de los dibits antes de la codificación, codificarlos manualmente según lo explicado en el apartado de modulación DQPSK de la teoría, y verificar con el osciloscopio los resultados.

Con el canal 1 conectado al punto TPE22 (dibit diferencial 1), y el canal 2 al punto TPR2 del receptor (señal modulada en DQPSK). Podrá observar los saltos de fase de la señal modulada (DQPSK) asociados a la señal moduladora (dibit diferencial 1). Los saltos de fase que no coinciden con flancos el dibit diferencial 1 son debidos al dibit diferencial 2 (TPE23).

DEMODULADOR

El circuito demodulador de DQPSK es muy semejante al de QPSK con la salvedad de que las entradas de las puertas XOR son la señal modulada y la misma señal modulada retardada un dibit (en lugar de la señal de referencia en fase).

Visualice los puntos TPE20 (dibit 1 emitido) y TPR24 (dibit 1 demodulado), compruebe que la demodulación del dibit es correcta, y note que directamente obtenemos el dibit primario y no el dibit diferencial. Conectando las sondas a TPR30 y TPR31 podrá observar las salidas de las puertas XOR, que multiplican la señal recibida por ella misma retardada un dibit. Esta señal retardada, a su vez, presenta un desfase de 90° entre cada una de las dos puertas XOR. Las señales TPR30 y TPR31, una vez filtradas y sumadas, se visualizan en TPR33. Este punto es una de las entradas de un comparador junto a TPR34 (nivel de continua de la otra entrada), la salida de este comparador conforma el dibit 1.

Repetiendo el proceso anterior para el dibit 2 visualice con el osciloscopio:

- TPE21 (dibit 2 emitido) y TPR23 (dibit 2 demodulado).
- TPR30 y TPR32 (salidas de las XOR's).
- TPR35 (señal filtrada y sumada) y TPR34 (nivel de continua de comparación).

Finalmente los dibits se convierten a bits. Conecte el canal 1 del osciloscopio en TPE4 y el canal 2 en TPR36 y compruebe que la señal salida de la UART emisora, llega correctamente demodulada a la entrada de la UART receptora.

PERDIDA DE SINCRONISMO:

SELECCION MANUAL DE FASE

Sitúe las sondas en TPE1 y en TPR41. Conecte el generador de funciones. La recuperación de la señal debe ser correcta (sino, como siempre, reajuste el condensador variable del recuperador de portadora).

Active el microinterruptor I1 de SW3, para entrar en funcionamiento de selección de fase manual. Mueva los microinterruptores I2 e I3, para variar la referencia de fase. Compruebe que la modulación DQPSK, por ser diferencial, no requiere una referencia en fase.

DESAJUSTE DEL RECUPERADOR DE PORTADORA

Active el control automático de fase, poniendo en OFF todos los microinterruptores de SW3. Desajuste C83 para provocar una pérdida de sincronismo en el recuperador de portadora, de forma que no recupere correctamente la señal en TPR41.

Recupere el sincronismo de la portadora con el condensador variable, C83. Compruebe con las sondas en TPE1 y en TPR41 que el funcionamiento, con el generador de funciones activado, vuelve a ser correcto.

12.5 Cuestiones

- 1.- ¿En qué bloque se diferencia un modulador QPSK de uno DQPSK?
- 2.- ¿En función de qué se generan los saltos de fase de la portadora de DQPSK?
- 3.- ¿Por qué no afecta el sistema de selección de fase manual, a la modulación DQPSK?
- 4.- El fallo de recuperador de portadora del demodulador implementado ¿produce errores sobre la señal reconstruida?. ¿Por qué?

13 PRACTICA 13.- MODULACIÓN Y DEMODULACIÓN EN QAM

13.1 Objetivos prácticos

En esta práctica aparece, además de la modulación de fase la de amplitud. Se experimentan los tribits, con especial atención al tribit que se modula en amplitud.

13.2 Bases teóricas

- Capítulo 3: Modulaciones digitales sobre portadora continua.
 - Apartado 3.7.: QAM.
- Capítulo 6: Demodulaciones.
 - Apartado 6.9.: QAM.

13.3 Equipo necesario

Elementos necesarios:

- Cable bifilar.
- Cable coaxial BNC-BNC.
- Dos sondas de osciloscopio.
- Destornillador de plástico.

Instrumental necesario:

- Generador de funciones.
- Osciloscopio.

13.4 Funcionamiento del modulador y del demodulador

Conecte los dos equipos con cable bifilar, y póngalos en funcionamiento. El estado de los pulsadores del emisor debe ser:

- Entrada de señal (Sig)
- Filtro antialiasing: ON, compresor: OFF.
- Modulación: QAM
- Simulador de canal: directo
- Salida por cable bifilar.

El estado de los pulsadores del receptor:

- Entrada por cable bifilar.
- Demodulación: QAM
- Filtro reconstructor: ON, expansor: OFF
- Salida por señal.

Asegúrese de que los microinterruptores del conmutador SW3 están todos en OFF. Deje el PLL de recuperación de portadora tal como estaba al finalizar la práctica anterior.

Seleccione una senoide de $2 V_{pp}$ y 1 kHz en el generador de funciones y visualice la señal transmitida con el canal 1 del osciloscopio en TPE1, y la recibida en el punto TPR41 con el canal 2. Si la recepción no es correcta, ajuste el recuperador de portadora.

MODULADOR:

Conecte el canal 1 del osciloscopio, con el generador apagado, a TPE4 (salida UART). Mida con el canal 2, los tribits generados, en los puntos TPE17, TPE18 y TPE19. Si alguno de los tribits no cambia de nivel es porque la combinación de entrada con el generador apagado produce un valor constante de ese tribit. Encienda el generador y verifique que ahora si cambia el tribit. **(NOTA: Si desactiva el filtro antialiasing para mejorar el sincronismo del osciloscopio, acuérdesse de volverlo a conectar).**

Mida el tiempo de un tribit. Para hacerlo, con el generador encendido, conecte el canal 2 al tribit de TPE17, sincronizando con él mismo. Aprovechando las variaciones de luminosidad del haz del osciloscopio, y ajustando la intensidad, mida el tiempo transcurrido entre dos flancos consecutivos de TPE17. Relacione el tiempo de un tribit con el tiempo de un bit. (nota: se ha encendido el generador para asegurarnos de que medimos el mínimo tiempo de tribit posible).

DEMODULADOR

El circuito utilizado para demodular los dos tribits de fase de QAM es el mismo que el de la QPSK, ya visto en una práctica anterior. Por consiguiente nos centraremos en la demodulación del tribit de amplitud.

Ponga el generador en modo TTL, y conéctelo por la entrada correspondiente (BNC2), seleccionando TTL con el pulsador del emisor. De este modo nos aseguraremos de que se generen todos los tribits y la visualización será sencilla. Antes de visualizar los tribits, asegúrese de que la fase recibida es la correcta: para ello visualice TPE4 y TPR36, donde deberá ver las señales TTL del generador y la recuperada. Busque manualmente la fase con los microinterruptores de SW3 hasta lograrlo. Cuando lo haya hecho, visualice los puntos TPE17 (tribit 1 emitido) y TPR23 (tribit 1 demodulado) y compruebe que la demodulación del tribit es correcta. Haga lo mismo con el otro tribit de fase (tribit 2) midiendo en TPE18 y en TPR24. Los puntos TPR18 y TPR19, son equivalentes, respectivamente, a TPR23 y TPR24 tras pasar por un biestable D para sincronizar los datos.

Mida el tribit de amplitud emitido (TPE19) y el recibido (TPR17), y verifique la correcta demodulación.

Para demodular la amplitud de QAM, se pasa la señal por un detector de envolvente (TPR26) y se compara con el nivel medio (TPR25). Visualice los dos puntos anteriores, ajustando la masa de los dos canales en el mismo punto y poniendo la misma escala.

Active el bloque de degradaciones de canal sin poner interferencias ni ruido (potenciómetros a la derecha) y con el potenciómetro correspondiente vaya atenuando la señal mientras observa el osciloscopio. ¿Qué ventaja presenta comparar con el nivel medio en lugar de un nivel fijo?.

Vuelva a seleccionar el modo directo en el emisor (sin degradaciones de canal) y vuelva a conectar el generador de funciones de modo que entregue una señal senoidal. Ponga los microinterruptores de SW3 en OFF.

PÉRDIDA DE SINCRONISMO:

SELECCIÓN MANUAL DE FASE

Sitúe las sondas en TPE1 y en TPR41. Conecte el generador de funciones. La recuperación de la señal debe ser correcta.

La variación de fase afecta de forma idéntica a la QAM que a la QPSK porque en ambos casos se transmiten cuatro fases que requieren una referencia. Compruebe que al activar el microinterruptor I1 de SW3 y mover los microinterruptores I2 e I3, sólo se demodula correctamente para una combinación, la que aporta la referencia con fase correcta.

DESAJUSTE DEL RECUPERADOR DE PORTADORA

Visualice los puntos TPE1 y TPR41, con el generador encendido y asegurándose de que están en OFF todos los microinterruptores de SW3 (control automático de enganche de fase). Mediante C83, provoque el fallo del circuito recuperador de portadora. Ajuste C83 para recuperar el sincronismo de la portadora, para dejar la QAM funcionando correctamente.

13.5 Cuestiones

- 1.- ¿Cuántos bits se agrupan para formar un único símbolo? ¿Qué ventaja supone?
- 2.- ¿Cuántas fases diferentes se transmiten en la modulación implementada?
- 3.- Dibuje aproximadamente el aspecto de una señal modulada en QAM
- 4.- ¿Qué circuito es el fundamental para recuperar el tribit de amplitud?
- 5.- ¿Necesita una referencia de reloj en fase la modulación QAM?

14 PRÁCTICA 14.- COMPARACION ENTRE MODULACIONES DE FASE

14.1 Objetivos prácticos

Una vez experimentadas todas las modulaciones en que interviene la fase, se sacan conclusiones sobre sus prestaciones en un sistema de comunicaciones a partir de la comparación entre ellas. En particular se estudian los anchos de banda del canal necesarios para transmitirlos y su sensibilidad a ruidos.

14.2 Bases teóricas

- Capítulo 5: Comparación de las modulaciones

14.3 Equipo necesario

Elementos necesarios:

- Cable bifilar.
- Cable coaxial BNC-BNC.
- Dos sondas de osciloscopio.
- Destornillador de plástico.

Instrumental necesario:

- Generador de funciones.
- Osciloscopio.

14.4 Comparación de los anchos de banda

Después de conectar el equipo emisor y receptor con los cables bifilares, ponga en funcionamiento el emisor y el receptor. El estado de los pulsadores del emisor es:

- Entrada de señal (Sig)
- Filtro antialiasing: ON, compresor: OFF.
- Modulación: BPSK
- Simulador de canal: activar el led de limitación de ancho de banda (BW).
- Salida por cable bifilar.

El receptor deberá estar en:

- Entrada por cable bifilar.
- Demodulación: BPSK.
- Filtro reconstructor: ON, expansor: OFF
- Salida por señal.

Conecte el generador de funciones en la entrada de señal (BNC1), con una amplitud de $2 V_{pp}$ y a 1 kHz. Visualice en un canal del osciloscopio la entrada de señal en TPE1 (módulo emisor) y en el otro canal la señal recuperada en TPR41 (módulo receptor).

Partiendo del potenciómetro de ajuste del ancho de banda (BW) al límite en sentido horario ¹, vaya variando lentamente su valor hasta que el ancho de banda del canal no permita una correcta transmisión de la señal BPSK. Podrá decidir cuando pasa esto observando la señal de salida en TP41. Compruebe, conmutando a modulación y demodulación en QPSK, que ésta puede trabajar correctamente con un canal de ancho de banda menor que la modulación BPSK (si no ha salido bien, puede ser debido a un mal ajuste del circuito de recuperación de portadora, trate de ajustarlo como se indicaba en la práctica 8). Compruebe de la misma manera que la modulación DQPSK funciona con menor ancho de banda que DPSK. La modulación QAM aparentemente puede dar la sensación de necesitar mayor ancho de banda que QPSK ó DQPSK, esto es debido a que el filtrado (por no ser ideal, es un filtro RC de primer orden) afecta a la amplitud y la modulación QAM transporta información sobre la amplitud.

14.5 Comparación de la probabilidad de error

Con el generador de funciones ajustado a una señal senoide de unos $2 V_{pp}$ y 1 kHz, conecte las sondas en los puntos TPE1 (canal 1) y TPR41 (canal 2), verificando la correcta recuperación de la señal en QPSK. Active el módulo de degradaciones de canal y ajuste los potenciómetros para que no haya interferencias ni atenuación. Aumente el nivel de ruido con el potenciómetro de ruido y vaya atenuando la señal hasta que la relación señal/ruido produzca anomalías en la recepción. En esta situación, conmute a modulación y demodulación en BPSK y decida cuál de ellas (BPSK, QPSK) es más robusta frente a los ruidos. Volviendo otra vez a la modulación y demodulación QPSK, repita el experimento para compararla con la DPSK. Anote cuál ha resultado ser más insensible al ruido.

Vuelva a anular todas las interferencias y ruido y no atenúe la señal. Activando la modulación y demodulación en BPSK repita el proceso de añadir ruido y atenuar hasta detectar errores en recepción. Conmute ahora a DPSK, y extraiga conclusiones del resultado (recuerde que las modulaciones diferenciales no tienen las mismas restricciones prácticas en la recuperación de la portadora que las no diferenciales).

Pase finalmente a la modulación y demodulación en QAM, y modifique los niveles de señal (atenuación) y ruido hasta el instante en que empiece a ver ruidos en recepción. Compárela con todas las restantes modulaciones de fase.

14.6 Cuestiones

- 1.- ¿Qué modulaciones escogería para transmisión en un canal con ancho de banda pequeño?.
- 2.- ¿Qué modulaciones escogería para transmisión en un canal ruidoso?
- 3.- ¿Cuál es la modulación de fase más sensible al ruido?
- 4.- Haga un lista ordenada de la fiabilidad que le han mostrado las diferentes modulaciones de fase frente a ruidos en el canal, y compárela con el gráfico del apartado 5.2 del capítulo de las bases teóricas. Si ha notado diferencias, justifíquelas, especialmente en las modulaciones diferenciales.

¹ Nota: Puede pasar que con el potenciómetro ajustado al límite -máximo ancho de banda- la salida en TP41 presente una oscilación añadida: ello es debido a efectos capacitivos sobre el modulador del filtro paso bajo del canal. Desplazando ligeramente el potenciómetro hacia la izquierda se anula este efecto.

15 PRÁCTICA 15.- DIAGRAMAS DE OJO

15.1 Objetivos prácticos

Uno de los métodos de evaluar la calidad de un sistema de comunicaciones digitales es el diagrama de ojo, con el que se pueden apreciar algunos problemas en la comunicación. Basándonos en los pulsos transmitidos en banda base, sobre los que se añaden atenuaciones y ruidos, se visualizan y se interpretan varios diagramas de ojo. Finalmente se aplica para observar la calidad de los diferentes canales de comunicación del equipo.

15.2 Bases teóricas

- Capítulo 4: Fluctuaciones de fase. Diagramas de ojo.

15.3 Equipo necesario

Elementos necesarios:

- Cable bifilar.
- Dos cables coaxiales BNC-BNC.
- Fibra óptica.
- Dos antenas.
- Dos sondas de osciloscopio.

Instrumental necesario:

- Generador de funciones.
- Osciloscopio.

15.4 Diagrama de ojo (transmisión en banda base)

Después de conectar el equipo emisor y receptor con los cables bifilares, ponga en funcionamiento el emisor y el receptor. Los pulsadores del emisor seleccionados deben ser:

- Entrada de señal (Sig)
- Filtro antialiasing: ON, compresor: OFF.
- Modulación: BB
- Simulador de canal: directo.
- Salida por cable bifilar.

En el receptor:

- Entrada por cable bifilar.
- Demodulación: BB.
- Filtro reconstructor: ON, expansor: OFF
- Salida por señal.

Conecte el generador de funciones en la entrada de señal (BNC1), con una amplitud de $2 V_{pp}$ y a 1 kHz. Visualice en un canal del osciloscopio la entrada de señal en TPE1 y en el otro canal la señal recuperada en TPR41. Compruebe que funciona correctamente.

Sincronice y conecte el canal 1 del osciloscopio a TPE13 (reloj sincronizado con los datos de salida de la UART), y visualice en el canal 2 la señal recibida TPR2. Al disparar con el reloj del canal 1, en el canal 2 aparecen superpuestos los datos transmitidos (1's y 0's) con las transiciones que se producen en determinados instantes. Para una buena visualización del diagrama de ojo se recomienda: 1/ que haya en la pantalla del osciloscopio entre un período o dos de la señal de TPE13, 2/ ampliar en la escala vertical bastante la señal de TPR2, 3/ amplificar el control de intensidad del osciloscopio y 4/ probar el mejor flanco de disparo (de subida o de bajada) del osciloscopio. Se conoce como ojo el hueco que aparece entre el nivel alto, el bajo y las transiciones.

15.5 Diagrama de ojo con perturbaciones de canal

Seleccione el módulo de degradaciones de canal, y ponga todos los potenciómetros a la derecha.

Gire el potenciómetro de atenuación y observe sobre TPR2 como se cierra verticalmente el ojo. A continuación sitúe la atenuación a mitad de recorrido, aproximadamente, y añadiendo ruido (potenciómetro P6) compruebe como se cierra el ojo verticalmente y como se vuelven menos definidas las transiciones. Esta prueba puede realizarla también con cualquiera de las interferencias (potenciómetros: P2, P3, P4, P5).

Repita la prueba de añadiendo ruido y atenuando, escuchando la salida por los auriculares de la salida, hasta que la recepción sea incorrecta. Verifique que en este momento, en el diagrama de ojo es imposible definir dónde están los niveles altos, los bajos y las transiciones.

15.6 Diagrama de ojo en diferentes canales de comunicación

Seleccione el modo directo en el módulo de perturbaciones y conecte todos los canales de comunicación: bifilar, coaxial, fibra óptica, infrarrojos y radio.

Visualice el diagrama de ojo para la transmisión por los diferentes canales de comunicación del equipo. Esta prueba nos permite hacernos una idea, a partir de los diagramas de ojo, de como de ruidoso es cada uno de los canales.

15.7 Cuestiones

- 1.- Dibuje un diagrama de ojo poco ruidoso y uno ruidoso.
- 2.- ¿Cómo se manifiesta en un diagrama de ojo una atenuación de la señal?.
- 3.- ¿Cuál diría que es el medio de transmisión más ruidoso del equipo, en función de los diagramas de ojo?.

16 PRÁCTICA 16.- CONSTELACIONES DE LAS MODULACIONES DE FASE

16.1 Objetivos prácticos

Se comparan las modulaciones a partir de sus constelaciones. Sobre ellas se ve el efecto de los ruidos, y atenuaciones.

16.2 Bases teóricas

- Capítulo 3: Modulaciones digitales sobre portadora continua (constelaciones).
- Apéndice H: Señales senoidales.

16.3 Equipo necesario

Elementos necesarios:

- Cable bifilar.
- Cable coaxial BNC-BNC.
- Dos sondas de osciloscopio.

Instrumental necesario:

- Generador de funciones.
- Osciloscopio.

16.4 Constelaciones

Después de conectar el equipo emisor y receptor con los cables bifilares, ponga en funcionamiento el emisor y el receptor. El estado de los pulsadores del emisor es:

- Entrada de señal (Sig)
- Filtro antialiasing: ON, compresor: OFF.
- Modulación: QPSK
- Simulador de canal: directo.
- Salida por cable bifilar.

El receptor deberá estar en:

- Entrada por cable bifilar.
- Demodulación: QPSK.
- Filtro reconstructor: ON, expansor: OFF
- Salida por señal.

Conecte el generador de funciones en la entrada de señal (BNC1), con una senoide de $2 V_{pp}$ de amplitud y de 1 kHz. Visualice en un canal del osciloscopio la entrada de señal en TPE1 y en el otro canal la señal recuperada en TPR41. Compruebe que funcionan correctamente todas las modulaciones de fase.

CONSTELACIONES DE LAS MODULACIONES QPSK Y DQPSK

Seleccione la modulación y demodulación en QPSK, y conecte la sonda del canal 1 en el punto TPR14 y el canal 2 en TPR15. En estos puntos hay dos componentes de la recepción desfasados entre sí 90° . De esta forma podremos disponer de una referencia seno y otra coseno para representar la constelación. Conecte el osciloscopio en modo X-Y con los dos canales acoplados en alterna (AC) y visualizará la constelación de la QPSK (modifique las amplificaciones verticales del osciloscopio si es necesario).

Seleccione degradaciones de canal en el equipo emisor, añada ruido y atenúe la señal: observará una dispersión de los cuatro puntos de la constelación. Habrá notado que no se acercan los puntos al atenuar la señal: ello es debido a la tecnología empleada para demodular, pues no se usan multiplicadores analógicos sino puertas digitales que siempre dan niveles TTL.

Repita el mismo experimento con modulación y demodulación DQPSK, situando ahora el canal 1 en TPR30 y el canal 2 en TPR31.

VISUALIZACIÓN DE LAS RESTANTES MODULACIONES DE FASE

En la demodulación de las restantes modulaciones de fase no se usan componentes que podamos visualizar desfasados 90° . Por ello no son representables, de modo estricto, sus constelaciones. Sin embargo, una alternativa similar a las constelaciones es visualizar la señal recibida en un sólo canal para BPSK y DPSK.

Seleccione la modulación y demodulación BPSK. Conecte sólo un canal del osciloscopio al punto TPR2 (señal recibida) y ponga el osciloscopio en modo X-Y. Verá dos puntos correspondientes a las dos fases de la señal modulada. Seleccionando ahora las degradaciones de canal, compruebe que se acercan los puntos al atenuar la señal y que se dispersan (difuminan) al añadir ruido.

Puede repetir el mismo experimento para DPSK.

Para visualizar la QAM, conecte el canal 1 a TPR2, y el canal 2 a TPE14 (reloj del emisor). Ponga el osciloscopio en modo X-Y, acoplado en AC, y modifique, si es necesario, las amplificaciones verticales. Verá ocho puntos que, de algún modo, corresponden a los ocho símbolos de la modulación 8-QAM. Seleccionando degradaciones de canal, observe el efecto de atenuar la señal transmitida y de añadir ruido al canal.

16.5 Cuestiones

- 1.- ¿Cuál es el efecto de un ruido sobre una constelación?

17 PRÁCTICA 17.- COMPARACIÓN DE VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN DE LAS MODULACIONES.

17.1 Objetivos prácticos

Se comparan los máximos bits por segundo que se pueden transmitir empleando las diferentes modulaciones. Esta es una práctica orientativa, pues, con otra circuitería, el equipo podría presentar prestaciones algo diferentes.

17.2 Bases teóricas

- Capítulo 3: Modulaciones digitales sobre portadora continua.
- Capítulo 6: Demodulaciones.

17.3 Equipo necesario

Elementos necesarios:

- Cable bifilar.
- Cable coaxial BNC-BNC.
- Dos sondas de osciloscopio.

Instrumental necesario:

- Generador de funciones.
- Osciloscopio.

17.4 Comparación de la velocidad de transmisión de datos por la entrada TTL

Después de conectar el equipo emisor y receptor con los cables bifilares, ponga en funcionamiento el emisor y el receptor. El estado de los pulsadores del emisor es:

- Entrada TTL
- Filtro antialiasing: OFF, compresor: OFF.
- Modulación: BB
- Simulador de canal: directo.
- Salida por cable bifilar.

El receptor deberá estar en:

- Entrada por cable bifilar.
- Demodulación: BB.
- Filtro reconstructor: OFF, expansor: OFF
- Salida TTL.

Conecte el generador de funciones en salida de pulsos a la entrada TTL (BNC 2), con una frecuencia de 1 kHz. Visualice en un canal del osciloscopio la señal digital de entrada en TPE4 y en el otro canal la señal recuperada en TPR41 o en la salida TTL del receptor (BNC 2).

Con la señal en banda base, aumente la frecuencia del generador de funciones hasta que considere que la señal no se recupera adecuadamente. Repita el mismo proceso para cada modulación y complete la siguiente tabla de máxima velocidad de bits transmisibles por cada modulación en función de la máxima frecuencia que ha podido transmitir correctamente. Determine los bps a partir de la frecuencia anterior.

MODULACIÓN	VELOCIDAD (Kbps)
Banda base	
ASK	
FSK (DFD)	
FSK (PLL)	
BPSK	
DPSK	
QPSK	
DQPSK	
QAM	

Recuerde que en las modulaciones BPSK, QPSK y QAM, será necesario que seleccione la fase manualmente, pues estas modulaciones presentan ambigüedad de fase y al utilizar la entrada TTL y no pasar por la UART, queda desactivado el control automático de fase. Se recomienda al realizar la selección manual, poner en el generador un "duty" (ciclo de trabajo) diferente del 50%, para distinguir si la señal recuperada está invertida respecto a la entrada. A continuación, deje el ciclo de trabajo inicial, para que los resultados sean comparables con los de las otras modulaciones. Si fuera necesario, reajuste el condensador C83 del recuperador de portadora.

17.5 Cuestiones

- 1.- ¿Qué modulación le ha permitido transmitir más bits por segundo?
- 2.- ¿Habrá detectado que las modulaciones con una portadora no son más rápidas en bps que la transmisión en banda base. ¿Qué ventajas ofrece entonces la transmisión con portadora?.

INDICE

1 PRÁCTICA 1.- CONVERSIÓN A/D Y D/A. MUESTREO Y CUANTIFICACIÓN .	3
1.1 Objetivos prácticos	3
1.2 Bases teóricas	3
1.3 Equipo necesario	3
1.4 Determinación de la frecuencia de muestreo	4
1.5 Filtro rector	5
1.6 Efectos del filtro antialiasing	6
1.7 Señal de voz	6
1.8 Ancho de banda de la señal PCM (en banda base)	7
1.9 Ruidos en el canal	7
1.10 Velocidad de transmisión	7
1.11 Cuestiones	8
2 PRÁCTICA 2.- MODULACIÓN Y DEMODULACIÓN EN ASK	9
2.1 Objetivos prácticos	9
2.2 Bases teóricas	9
2.3 Equipo necesario	9
2.4 Funcionamiento del modulador y del demodulador	9
2.5 Cuestiones	11
3 PRÁCTICA 3.- MODULACIÓN EN FSK. DEMODULACIÓN POR FILTROS DUALES (DFD, Dual Filter Detector).	13
3.1 Objetivos	13
3.2 Bases teóricas	13
3.3 Equipo necesario	13
3.4 Funcionamiento del modulador y del demodulador filtros duales	13
3.5 Recepción en ASK de señales FSK	14
3.6 Medida del ancho de banda del filtro paso banda para frecuencias altas	14
3.7 Cuestiones	15
4 PRÁCTICA 4.- COMPARACIÓN ENTRE ASK Y FSK (DFD)	17
4.1 Objetivos prácticos	17
4.2 Bases teóricas	17
4.3 Equipo necesario	17
4.4 Comparación de la probabilidad de error	17
4.5 Canales de comunicación	18
4.6 Señales de audio	18
4.7 Cuestiones	19
5 PRÁCTICA 5.- ESTUDIO DE UN PLL	21
5.1 Objetivos prácticos	21
5.2 Bases teóricas	21
5.3 Equipo necesario	21
5.4 Funcionamiento en lazo abierto	21
5.5 Funcionamiento en lazo cerrado	22
5.6 Cuestiones	23

.../...

.../...

6 PRÁCTICA 6.- DEMODULACIÓN FSK POR PLL	25
6.1 Objetivos prácticos	25
6.2 Bases teóricas	25
6.3 Equipo necesario	25
6.4 Demodulación de señales FSK	25
6.5 Cuestiones	27
7 PRÁCTICA 7.- COMPARACIÓN ENTRE FSK DETECTADA POR DFD Y POR PLL	29
7.1 Objetivos prácticos	29
7.2 Bases teóricas	29
7.3 Equipo necesario	29
7.4 Comparación de la probabilidad de error	29
7.5 Comparación de la sensibilidad	30
7.6 Cuestiones	30
8 PRÁCTICA 8.- RECUPERACIÓN DE PORTADORA	31
8.1 Objetivos prácticos	31
8.2 Bases teóricas	31
8.3 Equipo necesario	31
8.4 Ajuste del PLL recuperador de portadora	31
8.5 Cuestiones	33
9 PRÁCTICA 9.- MODULACIÓN Y DEMODULACIÓN EN BPSK	35
9.1 Objetivos prácticos	35
9.2 Bases teóricas	35
9.3 Equipo necesario	35
9.4 Funcionamiento del modulador y del demodulador	35
9.5 Cuestiones	38
10 PRÁCTICA 10.- MODULACIÓN Y DEMODULACIÓN EN DPSK	39
10.1 Objetivos prácticos	39
10.2 Bases teóricas	39
10.3 Equipo necesario	39
10.4 Funcionamiento del modulador y del demodulador	39
10.5 Cuestiones	42
11 PRÁCTICA 11.- MODULACIÓN Y DEMODULACIÓN EN QPSK	43
11.1 Objetivos prácticos	43
11.2 Bases teóricas	43
11.3 Equipo necesario	43
11.4 Funcionamiento del modulador y del demodulador	43
11.5 Cuestiones	46
12 PRÁCTICA 12.- MODULACIÓN Y DEMODULACIÓN EN DQPSK	47
12.1 Objetivos prácticos	47
12.2 Bases teóricas	47
12.3 Equipo necesario	47
12.4 Funcionamiento del modulador y del demodulador	47
12.5 Cuestiones	49

.../...

.../...

13 PRACTICA 13.- MODULACIÓN Y DEMODULACIÓN EN QAM	51
13.1 Objetivos prácticos	51
13.2 Bases teóricas	51
13.3 Equipo necesario	51
13.4 Funcionamiento del modulador y del demodulador	51
13.5 Cuestiones	53
14 PRÁCTICA 14.- COMPARACION ENTRE MODULACIONES DE FASE	55
14.1 Objetivos prácticos	55
14.2 Bases teóricas	55
14.3 Equipo necesario	55
14.4 Comparación de los anchos de banda	55
14.5 Comparación de la probabilidad de error	56
14.6 Cuestiones	56
15 PRÁCTICA 15.- DIAGRAMAS DE OJO	57
15.1 Objetivos prácticos	57
15.2 Bases teóricas	57
15.3 Equipo necesario	57
15.4 Diagrama de ojo (transmisión en banda base)	57
15.5 Diagrama de ojo con perturbaciones de canal	58
15.6 Diagrama de ojo en diferentes canales de comunicación	58
15.7 Cuestiones	58
16 PRÁCTICA 16.- CONSTELACIONES DE LAS MODULACIONES DE FASE	59
16.1 Objetivos prácticos	59
16.2 Bases teóricas	59
16.3 Equipo necesario	59
16.4 Constelaciones	59
16.5 Cuestiones	60
17 PRÁCTICA 17.- COMPARACIÓN DE VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN DE LAS MODULACIONES.	61
17.1 Objetivos prácticos	61
17.2 Bases teóricas	61
17.3 Equipo necesario	61
17.4 Comparación de la velocidad de transmisión de datos por la entrada TTL	61
17.5 Cuestiones	62