

COMUNICACIONES DIGITALES

PRÁCTICA 2: MODULACIONES ANGULARES: FASE Y FRECUENCIA

CURSO ACADÉMICO 13/14

Objetivos

En esta práctica el alumno aprenderá a:

- Implementar en hardware un sistema básico de comunicaciones digitales.
- Utilizar diversas técnicas de modulación en fase y frecuencia para representar la información que se desea transmitir.
- Reconocer esquemas básicos de modulación y demodulación en hardware para transmitir señales digitales moduladas en fase y frecuencia.

Normas y plazos de entrega

- La práctica debe realizarse en grupos de 3-4 alumnos.
- El alumno deberá responder y entregar a su profesor de práctica el cuestionario que se encuentra al final de este documento.
- La fecha límite de entrega es una semana después de la segunda sesión de laboratorio. Por cada día de retraso la nota se modificará según la normativa de clase.

1 Introducción

En esta sección de la guía se explicará, de forma general, cuál es el mecanismo y metodología de trabajo empleadas a lo largo de la práctica. Aunque el núcleo de ésta, está en generar ideas conceptuales sobre las modulaciones de fase y de frecuencia es necesario emplear conceptos adicionales como lo son la cuantización, muestreo, conversión analógico-digital y viceversa, etc.

La idea central de la práctica es, a partir de una señal continua - que constituye la señal de información a transmitir - realizar todo el proceso de muestreo, cuantización, modulación, demodulación y finalmente conversión digital-analógico. Este proceso debe ser asociado al proceso que sufre una señal que se va a transmitir sobre un sistema de comunicaciones digitales, con la salvedad que en nuestro caso se modela un canal ideal, es decir, un canal sin presencia de ruido. Dado que el principal objetivo de la práctica no está en el estudio de las conversiones entre las señales analógicas y digitales, simplemente enunciaremos en los pasos de la práctica en los cuales dichas transformaciones ocurren, pero no se profundizará teóricamente en aspectos como el cumplimiento del criterio de Nyquist, tasa de muestreo, nivel de ruido de cuantización etc.

En términos generales la práctica consiste en implementar un sistema de comunicaciones basado en la estructura mostrada en la siguiente figura.

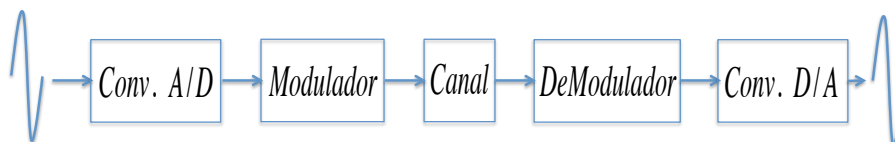


Figure 1: Sistema de Comunicaciones a implementar en Hardware

La primer etapa de la implementación de la práctica consiste en tomar una señal senoidal de voltaje pico-pico v voltios y frecuencia f Hz y convertirla en una secuencia binaria que será la portadora de la información. En la figura 2 se ilustra este proceso para la señal continua mostrada en el

apartado (a). A nivel de hardware el módulo encargado de este procedimiento es el denominado EDICOM 3.1. Allí se toma la señal fuente a utilizar y, a partir de circuitos del tipo "sample and hold" se realiza la conversión de la señal en una secuencia binaria. El proceso llevado a cabo por el módulo EDICOM 3.1 consiste en, con un periodo T , tomar muestras de la señal continua. Este proceso es ilustrado en el apartado (b). Posteriormente cada muestra obtenida es asociada con un nivel de voltaje determinado, de acuerdo con el número de bits de resolución que tenga el conversor análogo digital utilizada. Este proceso es ilustrado en el apartado (c). Cada uno de los niveles de voltaje obtenidos de la señal original al ser codificados constituyen la secuencia binaria a transmitir, mostrada en (d). Finalmente en (e) se muestra la señal en el tiempo utilizada para representar dicha secuencia. Un uno lógico corresponde a una señal de 5 voltios, mientras que un cero lógico corresponde a una señal de 0 voltios.

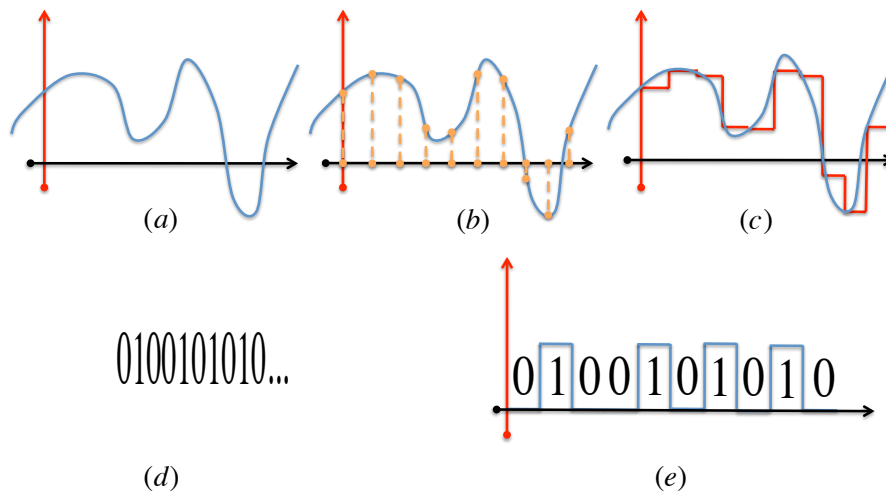


Figure 2: Conversión Analógico/Digital, Módulo EDICOM 3.1

Una vez que se tiene la secuencia binaria a transmitir nos encontramos con la etapa de modulación de la señal. Sobre esta etapa están centrados los principales objetivos de la práctica. Dentro de los esquemas de modulación en Fase y Frecuencia estudiados en Comunicaciones Digitales en esta práctica se implementarán tres de ellos; ASK (Amplitud Shift Keying), FSK (Frequency Shift Keying) y finalmente PSK (Phase Shift Keying). En la sección 2 de esta guía se muestran cuáles son las principales características de cada técnica de modulación. A su vez se explica en términos generales el mecanismo de modulación en Hardware empleado para generar cada señal una de las señales a transmitir a través del canal. La generación de las diferentes señales moduladas en hardware está a cargo del módulo denominado EDICOM 5.1.

El tercer bloque del sistema de comunicaciones es el correspondiente al canal. En este caso a lo largo de la práctica se considera un canal ideal, por lo tanto la señal de entrada en el demodulador es una copia fiel de la señal que hay a la salida del bloque de modulación.

A continuación del canal en el sistema de comunicaciones construido (ver figura 1), se encuentra el bloque que es el encargado de demodular la señal recibida, es decir, teniendo en cuenta la señal de voltaje que se encuentra a la salida del canal hay que determinar cuál fue la secuencia binaria que se transmitió, dependiendo de la técnica de modulación utilizada. Es importante tener en cuenta que el diseño del modulador depende directamente del tipo de modulación empleada, aunque en algunas ocasiones bajo determinadas configuraciones un demodulador pueden ser útil para descifrar secuencias sobre varias modulaciones diferentes. En la sección 2 se explica en términos generales la forma que adopta cada demodulador. En hardware, el módulo encargado de la demodulación de las señales es el conocido como EDICOM 5.2.

Finalmente se encuentra el bloque que se encarga de reconstruir la señal analógica a partir de la secuencia binaria que se encuentra a la salida del demodulador. El modo de funcionamiento de este bloque es similar al ilustrado en la figura 2 sólo que en sentido contrario. A nivel de hardware esta función es llevada a cabo por la tarjeta EDICOM 3.2.

1.1 Materiales

A continuación se describen los equipos y el material que el alumno necesita para realizar la práctica. En su puesto encontrará un osciloscopio y distintos entrenadores de comunicaciones EDICOM 3.1, 5.1 (transmisión) y EDICOM 3.2 y 5.2 (recepción). Además, son necesarios los siguientes elementos.

- Dos sondas para el osciloscopio.
- Una unidad EDICOM de alimentación de los entrenadores.
- Un cable de alimentación para la fuente EDICOM.

1.1.1 Osciloscopio

La Figura 3 muestra el frontal del osciloscopio donde se han señalado las teclas que puede necesitar para realizar las medidas. Es recomendable que dedique un par de minutos a familiarizarse con el osciloscopio y entender la utilidad de las teclas señaladas. Antes de iniciar la práctica compruebe ambas sondas tal y como se muestra en la Figura 4. Recuerde que es necesario indicarle al osciloscopio si la sonda está en modo x1 o x10.

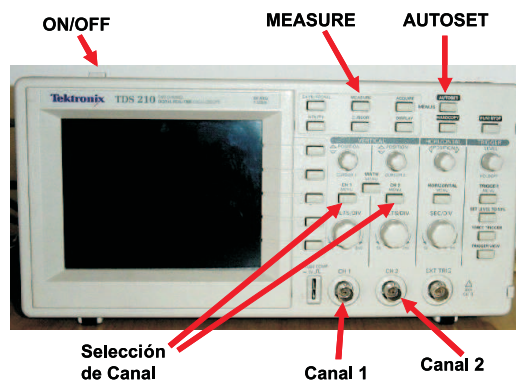


Figure 3: Frontal del osciloscopio.

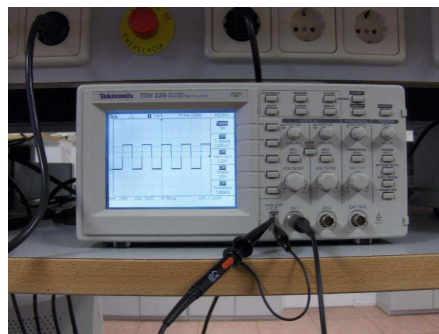


Figure 4: Esquema para la comprobación del funcionamiento de la sonda

2 Técnicas de modulación en Fase y Frecuencia

A lo largo de esta sección se muestran los diversos fundamentos teóricos y prácticos para la implementación de sistemas de comunicaciones empleando diversas técnicas de modulación en Fase y Frecuencia. En cada una de las técnicas mostradas se muestra, en primera instancia la forma de onda generada para una secuencia de datos determinada. A partir de esto se muestra a través de bloques, los diversos elementos en hardware necesarios para la constitución física de la señal

correspondiente con la técnica de modulación estudiada. Finalmente se estudia la estructura física del demodulador requerido para la recuperación de la señal de información.

2.1 Modulación en amplitud pasobanda

Considere la siguiente secuencia binaria $s = 0100101010$. Dicha secuencia es la que contiene la información que se desea transmitir sobre un canal de comunicaciones (Denominada señal MODULADORA). Por otra parte, considere una señal senoidal de frecuencia f Hz y voltaje pico-pico v voltios (Denominada señal PORTADORA). La modulación en amplitud pasobanda, denominada de ahora en adelante como modulación ASK, a partir de la portadora senoidal y de la secuencia s es constituida de la siguiente manera; los unos lógicos mostrados en la secuencia s se convierten en pulsos de periodo T de la portadora senoidal, mientras que los ceros lógicos se convierten en pulsos de periodo T y amplitud cero durante todo el intervalo de tiempo. La relación entre la secuencia binaria s y la señal a la salida del modulador se muestra en la figura 5.

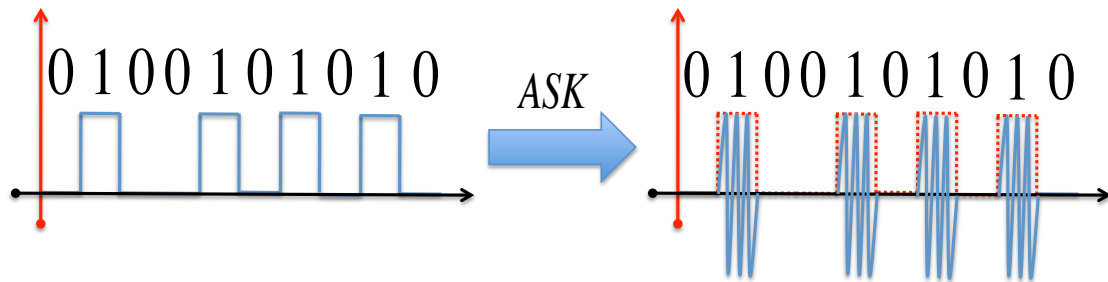


Figure 5: Generación señal ASK

2.1.1 Modulador ASK (“Amplitude Shift Keying”)

La forma más sencilla de realizar esta modulación es hacer que el transmisor emita la señal portadora senoidal siempre que el bit a transmitir sea un uno lógico y la suprima totalmente cuando éste sea un cero lógico. Para generar la señal ASK el transmisor utiliza un modulador balanceado como el mostrado en la figura 6. Este dispositivo simplemente multiplica las dos señales que tiene en su entrada. El voltaje de salida en cualquier instante es el producto de los dos voltajes presentes en la entrada. Según lo anterior una de las entradas será la señal portadora senoidal y la otra la secuencia de datos a transmitir s .

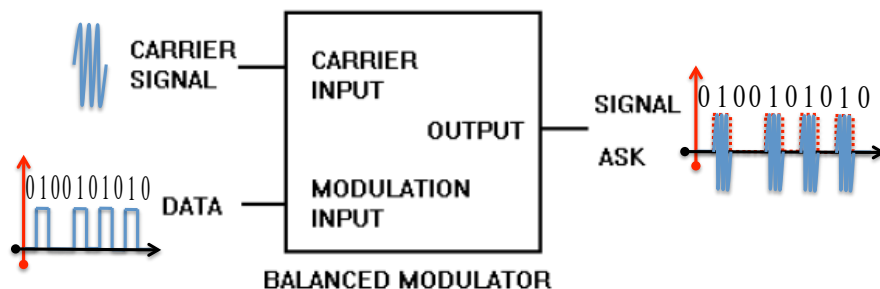


Figure 6: Esquema Modulador

2.1.2 Demodulador ASK

El esquema del demodulador empleado en este caso es mostrado en la figura 7. Para este caso, el demodulador está compuesto por tres elementos fundamentales a saber; un rectificador, un filtro paso bajo y un comparador de voltaje. El rectificador se encarga de anular la parte negativa de la señal ASK, el filtro paso bajo se encarga de eliminar la alta frecuencia presente en la señal

rectificada y finalmente el comparador de voltaje se encarga de establecer cuáles niveles de voltaje son considerados como un cero o uno lógicos.

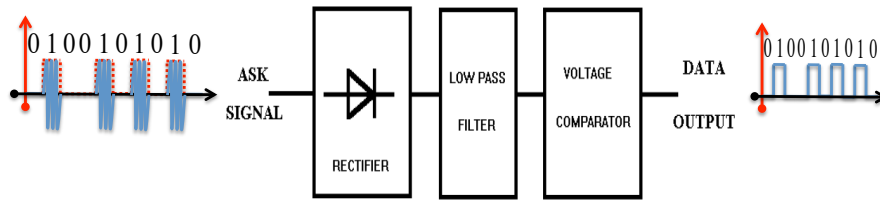


Figure 7: Esquema Demodulador

3 FSK, “Frequency Shift Keying”

En este tipo de modulación la salida del transmisor está constituida por una de dos señales senoidales con frecuencias f_0 y f_1 . Cada una de estas señales senoidales es asociada con un único valor lógico en la señal a transmitir. Suponga que dicha asociación está dada de la siguiente manera; siempre que hay un cero lógico en la entrada del modulador la señal FSK es la señal senoidal con frecuencia f_0 , mientras que, cuando la entrada al modulador es un uno lógico la señal FSK es la señal senoidal con frecuencia f_1 . La figura 8 ilustra el funcionamiento de este esquema de modulación.

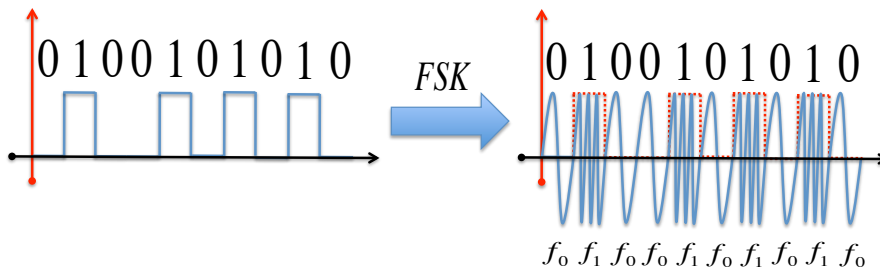


Figure 8: Generación señal FSK

3.1 Modulador FSK

La generación de una señal FSK en el transmisor se puede hacer mediante dos generadores de ASK. Uno de ellos genera la señal ASK con la frecuencia de la portadora más alta mientras que el otro genera una señal ASK con la portadora de menor frecuencia. En este esquema de modulación utilizado, basado en la generación de dos señales ASK, es importante tener en cuenta que la señal moduladora (secuencia binaria) en uno de los generadores ASK debe ir invertida. (Por qué?). La figura 9 muestra la estructura del modulador utilizado en la práctica.

3.2 Demodulador FSK

En el receptor la señal FSK se decodifica por medio de un detector PLL (Phase Locked Loop). El PLL detecta los cambios de frecuencia de la señal FSK y proporciona una tensión de salida proporcional a la frecuencia de la señal de entrada. Dentro de la señal de tensión proporcionada por el PLL también se encuentran componentes armónicas de las dos frecuencias de las portadoras utilizadas, por lo que es necesario pasar dicha señal por un filtro paso bajo. A la salida del filtro se tiene una señal muy similar a la señal transmitida pero con diferentes niveles de tensión a los utilizados. Esta situación se normaliza cuando sobre dicha señal se aplica un comparador de tensión. La estructura del demodulador utilizado es ilustrada en la figura 10

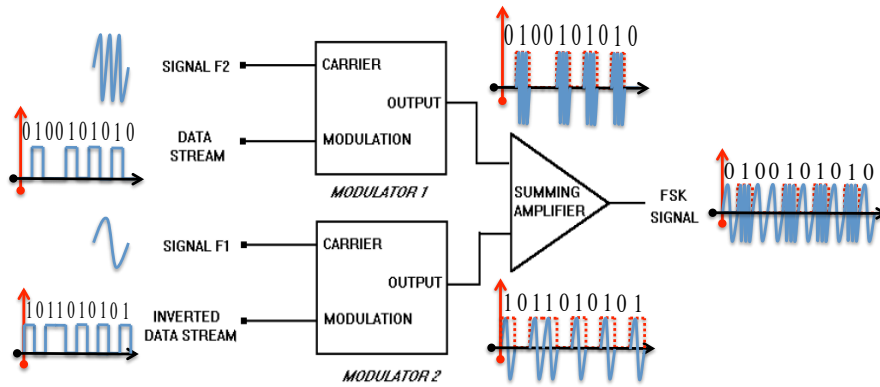


Figure 9: Estructura modulador FSK

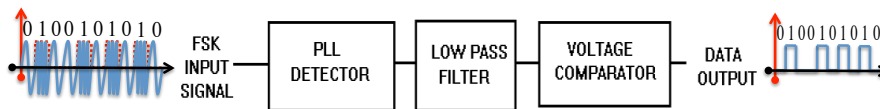


Figure 10: Estructura demodulador FSK

4 PSK, “Phase Shift Keying”

En la modulación PSK la información a la salida del transmisor es representada a través de cambios de fase en la señal portadora utilizada. Por ejemplo, si en la entrada del transmisor hay un cero lógico, la señal a la salida del transmisor es la portadora tal cual como se presenta en la entrada, es decir con fase cero; si en la entrada del transmisor hay un uno lógico, la señal a la salida del transmisor es la portadora con un cambio de fase de 180 grados. La figura 11 ilustra la relación entre la entrada y la salida de la señal en el transmisor.

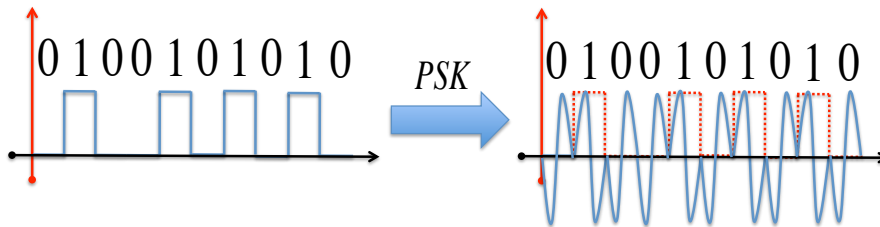


Figure 11: Señal PSK

4.1 Modulador PSK

El esquema de bloques requerido para formar una señal PSK es similar al que se requiere para generar una señal ASK. De nuevo se usa un modulador balanceado, al cual se le aplica la señal portadora en una de sus entradas. Sin embargo, a diferencia de la generación de la señal ASK, la señal digital aplicada a la entrada de modulación para PSK es una señal bipolar, en lugar de una unipolar, es decir, el cero lógico se convierte en un uno lógico y el uno lógico se convierte en un -1 . Cuando la entrada de modulación es positiva, el modulador multiplica la portadora de entrada por este nivel positivo, siendo la salida del modulador una señal en fase con la portadora de entrada. Cuando la entrada moduladora es negativa, el modulador multiplica la portadora de entrada por este nivel negativo, siendo la salida del modulador una onda desfasada 180° con la portadora de entrada. El resultado es que la señal de salida del modulador se desfasa 180° cada vez que la entrada moduladora cambia de polaridad. La figura 12 ilustra la estructura utilizada para construir la señal PSK

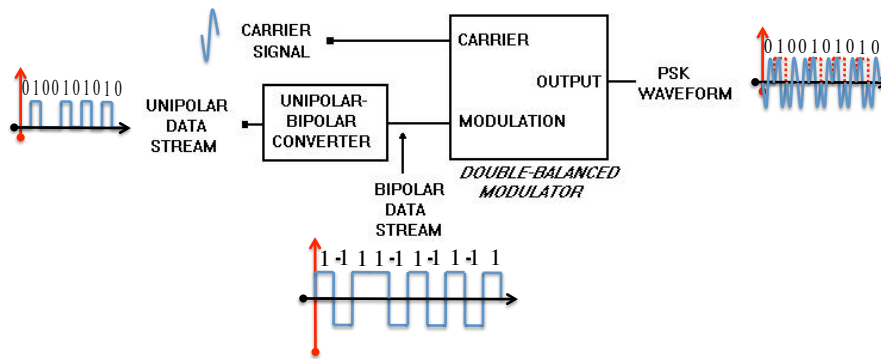


Figure 12: Estructura modulador PSK

4.2 Demodulador PSK

En el receptor, la señal PSK se decodifica utilizando un SQUARING LOOP DETECTOR. La señal de entrada PSK, con sus cambios de fase entre 0° y 180° , primero va a la entrada del SIGNAL SQUARER, que multiplica la señal de entrada por sí misma (el SIGNAL SQUARER es básicamente un modulador balanceado cuyas entradas están conectadas entre sí). La salida de éste es, por tanto, una señal de frecuencia doble a la original, con cambios de fase de 0° y 360° . Como un cambio de fase de 360° es igual que uno de 0° (es decir, no hay cambio de fase), el SIGNAL SQUARER simplemente sirve para eliminar los cambios de fase en la señal PSK original. La siguiente etapa del detector PSK es un PLL (Phase-Locked Loop), en la salida del cual tenemos una señal cuadrada limpia y de la misma frecuencia. Como la frecuencia que tiene la señal en este punto es el doble que la de la señal de entrada PSK, el siguiente paso es dividir la frecuencia de la señal de salida del PLL entre dos. Esto es lo que hace el CIRCUIT DIVIDED BY 2. El siguiente bloque es el circuito PHASE ADJUST (ajuste de fase), que permite ajustar la fase de la señal digital respecto de la señal PSK original de entrada. Finalmente, la salida del circuito de ajuste de fase se utiliza para controlar un conmutador analógico. Cuando la salida del circuito de ajuste de fase tiene un nivel alto, el conmutador se cierra y la señal original PSK se desvía a través de la salida del detector. Cuando la salida del circuito de ajuste de fase tiene un nivel bajo, el conmutador se abre y la salida del detector desciende a 0 voltios. Si la fase de la señal que controla el conmutador analógico se ha establecido correctamente, la salida del demodulador contendrá sólo semiciclos positivos cuando la entrada PSK está en fase y sólo semiciclos negativos cuando tiene la fase opuesta. El siguiente paso es extraer el nivel medio que contiene la señal. Esto se consigue mediante un filtro paso-bajo. A la salida del filtro aparece una versión muy aproximada de los datos originales, pero los circuitos digitales del receptor no pueden manejar esta señal. Esto se soluciona mediante un comparador de tensión a la salida del filtro.

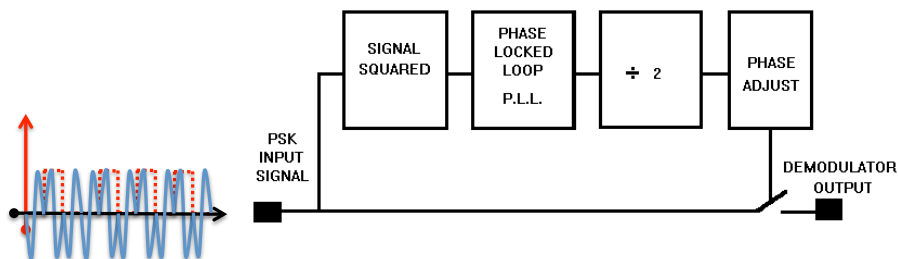


Figure 13: Estructura demodulador PSK.

5 Ejercicios prácticos

5.1 Modulación ASK

1. Realice las conexiones que se especifican en la hoja 1 del anexo entregado al inicial la práctica.

2. Observe y anote la señal de datos digitales TP41(CH1) EDICOM 3.1, la portadora TP25(CH2) EDICOM 5.1 y la señal analógica de información TP1(CH1) EDICOM 3.1 y TP2(CH2) EDICOM 3.1.
3. Observe y anote las formas de onda en TP5 (CH1) y TP30 (CH2) en EDICOM 5.1 usando el osciloscopio. Empleando los tres ajustes, GAIN (ganancia), CARRIER OFFSET (offset de la portadora) y MODULATOR OFFSET (offset del modulador), intente obtener una señal modulada que sea lo más cercana posible a la señal ideal que se muestra en la figura 5.
4. Observe y anote los tipos de onda en TP21 (CH1) y TP 22(CH2) en EDICOM 5.2. ¿Qué diferencia nota?, ¿por qué es necesario implementar esta etapa en el proceso de demodulación de las señal ASK?
5. Observe y anote los tipos de onda en TP27 (CH1) y TP28 (CH2) en EDICOM 5.2 utilizando el osciloscopio. ¿Cuál es efecto del filtro sobre la señal de entrada?
6. En EDICOM 5.2, para demodular los datos, ajuste el potenciómetro DATA SQUARING hasta obtener una señal NRZ(L) (Señal cuadrada que representa a la fuente de información con niveles lógicos de 0 y 5 voltios) igual a la NRZ(L) transmitida. Nota: La señal NRZ(L) recuperada podría tener un retraso con respecto a la NRZ(L) transmitida. Esto no es importante cuando se recupera la señal en la placa EDICOM 3.2.
7. Utilizando el boton “run/stop” del osciloscopio, observe y anote las señales en TP5(CH1) EDICOM 5.1 y TP36(CH2) EDICOM 5.2.
8. Finalmente, compruebe que las señales transmitidas se recuperan en la placa EDICOM 3.2. Para ello, ajuste los potenciómetros PULSE GENERATOR DELAY ADJUST y ADJUST para obtener las señales deseadas. Observa alguna diferencia?

5.2 Modulación FSK

1. Realice las conexiones que se especifican en la hoja 2 del anexo entregado al iniciar la práctica.
2. Observe y anote la señal de datos digitales TP41(CH1) EDICOM 3.1, la portadora TP25(CH2) EDICOM 5.1 y la señal analógica de información TP1(CH1) EDICOM 3.1 y TP2(CH2) EDICOM 3.1.
3. Observe y anote la señal de datos obtenida a la salida de cada sumador en el modulador. Para ello visualice en el osciloscopio las señales en TP30(CH1) EDICOM 5.1 y TP33(CH2) EDICOM 5.1.
4. Observe y anote los tipos de onda en TP5 (CH1) y TP36 (CH2) en EDICOM 5.1 usando el osciloscopio. Utilizando los tres ajustes, GAIN, CARRIER OFFSET y MODULATOR OFFSET, intente obtener una señal modulada que sea lo más cercana posible a la señal ideal que se muestra en la figura 8.
5. Observe y anote las formas de onda en TP16 (CH1) y TP17 (CH2) en EDICOM 5.2 usando el osciloscopio.
6. Observe y anote las formas de onda en TP23 (CH1) y TP24 (CH2) en EDICOM 5.2 usando el osciloscopio.
7. En EDICOM 5.2, para demodular los datos, ajuste el potenciómetro DATA SQUARING hasta obtener una señal NRZ(L) igual a la NRZ(L) transmitida.
8. Utilizando el boton “run/stop” del osciloscopio observe y anote y compare las señales en TP5(CH1) EDICOM 5.1 y TP33(CH2) EDICOM 5.2
9. Por último, compruebe que las señales transmitidas se recuperan en la placa EDICOM 3.2. Para ello, ajuste los potenciómetros PULSE GENERATOR DELAY ADJUST y ADJUST para obtener las señales deseadas.

5.3 Modulación PSK

1. Realice las conexiones especificadas en la hoja 3 del anexo entregado al iniciar la práctica.
Nota: Recuerde poner el interruptor del bloque PSK DEMODULATOR a 960KHz.
2. Observe la señal digital, la portadora y la modulada en el osciloscopio. Utilizando los tres ajustes, GAIN, CARRIER OFFSET y MODULATOR OFFSET, intente obtener una señal modulada que sea lo más cercana posible a la señal ideal mostrada en la figura 11.
3. Observe y anote las formas de onda en TP14 (CH1) y TP30 (CH2) en EDICOM 5.1 usando el osciloscopio.
4. Para demodular los datos ajuste, en EDICOM 5.2, los potenciómetros PHASE ADJUST y DATA SQUARING hasta obtener una señal NRZ(L) igual que la NRZ(L) transmitida.
5. Nota: También podría ser necesario ajustar el bloque SIGNAL SQUARER del demodulador PSK. Para ello, observe la salida (TP11) del SIGNAL SQUARER en el bloque PSK DEMODULATOR y ajuste el potenciómetro denominado BALANCE, situado encima de este bloque, hasta que todos los picos positivos de esta señal tengan la misma amplitud.
6. Observe y anote las formas de onda en TP5 (CH1) y TP 14 (CH2) en EDICOM 5.2 usando el osciloscopio.
7. Por último, compruebe que las señales transmitidas se recuperan en la placa EDICOM 3.2. Para ello, ajuste los potenciómetros PULSE GENERATOR DELAY ADJUST y ADJUST para obtener las señales deseadas.

Referencias

- *Comunicaciones Digitales*. A. Artés, F. Pérez González, J. Cid Sueiro, R. López Valcarce, C. Mosquera Nartallo y Fernando Pérez Cruz. Ed. Pearson Educación. 2007.