

# **UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLAS DE HIDALGO**

## **Facultad de Ingeniería Eléctrica**

### Laboratorio de Electrónica de Comunicaciones II

#### **PRÁCTICA 6: TRANSMISIÓN POR MODULACIÓN DIGITAL DE DESPLAZAMIENTO DE FASE (BPSK) BINARY PHASE SHIFT KEYING**

#### **Objetivo:**

En esta práctica se estudiará el concepto de Modulación de Fase, mediante la variación de la fase de una portadora en función a una señal digital moduladora, y se armará un circuito modulador BPSK en la cual se podrá observar una señal binaria modulada por desplazamiento de fase.

#### **Introducción**

En BPSK, la señal transmitida tiene amplitud y frecuencia constante, pero su fase, con respecto a una referencia, está directamente relacionada con el valor de una señal de datos binarios. Transmitir por desplazamiento de fase (PSK) es una forma de modulación angular, que puede ser utilizada como otra forma de modulación digital.

Una onda de coseno puede ser representada por la ecuación:

$$v(t) = V\cos(\omega t + \varphi)$$

donde:

- $v(t)$  es el valor instantáneo del voltaje de la onda,
- $V$  es la amplitud de la onda,
- $\omega$  es la frecuencia angular de la onda,
- $t$  es el tiempo,
- $\varphi$  es el desplazamiento de fase desde una fase de referencia.

En esta expresión las variables independientes son  $V$ ,  $\omega$  y  $\varphi$ . Si cualquiera de estas variables varía en respuesta a otra señal, se dice que la onda está modulada. Como  $V$  es la amplitud,  $\omega$  es la frecuencia y  $\varphi$  es la fase de la onda: cambiando  $V$  se produce modulación de amplitud, cambiando  $\omega$  se produce modulación de frecuencia y cambiando  $\varphi$  se produce modulación de fase. Como en los casos anteriores, la onda que se modula se conoce como portadora.

Con modulación de fase, la fase instantánea depende de la onda moduladora y está dada por:

$$\varphi(t) = \varphi + kv_m(t)$$

donde  $\varphi$  es la fase de portadora de referencia y  $v_m$  es el voltaje de modulación.  $k$  es una constante (expresada en radianes/voltio).

Por otra parte:

$$v_m(t) = V_m \text{sen } \omega_m t$$

De esta forma la expresión general para una portadora senoidal (coseno) modulada en fase es:

$$\begin{aligned} v(t) &= V\cos(\omega_c t + \varphi + kv_m(t)) \\ &= V\cos(\omega_c t + \varphi + kV_m \text{sen } \omega_m t) \\ &= V\cos(\omega_c t + \varphi + m \text{sen } \omega_m t) \end{aligned}$$

donde “ $m$ ” es el índice de modulación.

Generalmente, la fase de portadora se toma como referencia, esto es,  $\varphi = 0$ , lo que da:

$$v(t) = V\cos(\omega_c t + m \text{sen } \omega_m t)$$

Cuando la señal moduladora es una onda binaria, la señal portadora transmitida es conmutada directamente de una fase a otra; a este sistema se le conoce como Modulación por Desplazamiento de Fase (PSK). Obsérvese que este sistema es muy similar al sistema de modulación por desplazamiento de frecuencia, en el que por su naturaleza el ángulo de la señal portadora se ve afectado, tanto así, que ambos tipos de modulación, a menudo se denominan conjuntamente modulación de ángulo.

### Desplazamiento De Fase +/-180 Grados

Con la transmisión por desplazamiento de fase binaria (BPSK), son posibles dos fases de salida para una sola frecuencia de la señal portadora. Una fase de salida representa un 1 lógico y la otra un 0 lógico. Conforme la señal digital de entrada cambia de estado, la fase de la portadora de salida se desplaza entre los ángulos que están entre 180° fuera de fase. La onda de la señal transmitida será similar a lo que se muestra en la Figura 1.

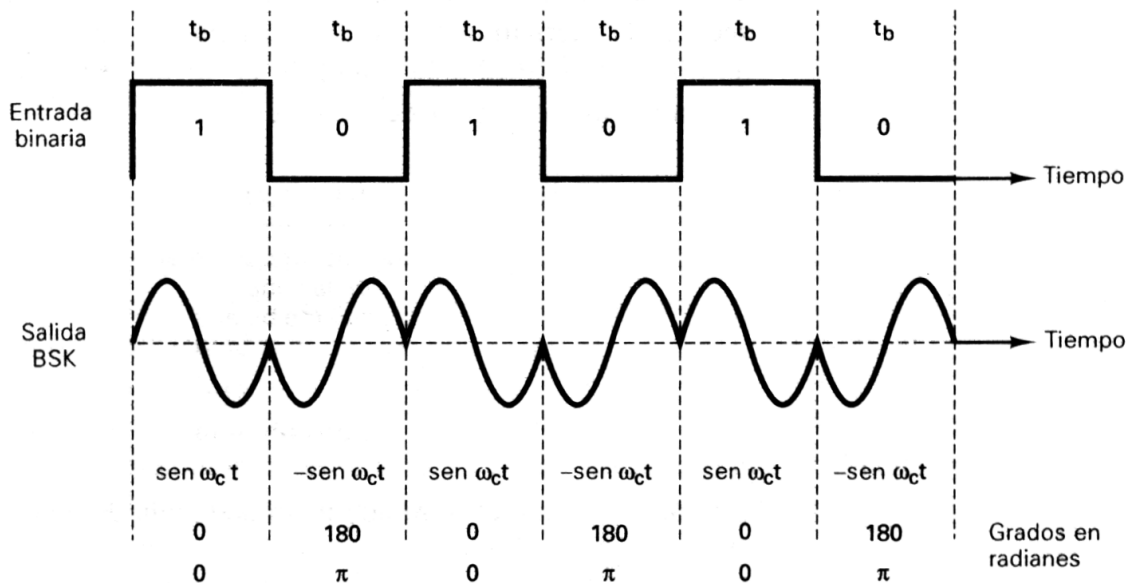


Figura 1: Relación de la fase de salida contra tiempo para un modulador de BPSK.

El desplazamiento de fase no tiene que ser 180 grados; aunque éste se emplea en la práctica puesto que permite la máxima separación de los estados digitales, lo que implica una menor probabilidad de error.

## Transmisor De BPSK

En la Figura 2 se puede observar un circuito modulador de BPSK basado en un amplificador operacional en modo de amplificador inversor, y un circuito Multiplexor/Demultiplexor analógico UTC-4053.

El principio de operación de dicho circuito es bastante simple y se basa en los fundamentos mencionados en la introducción.

Como se mencionó anteriormente, el circuito consta de un multiplexor analógico, el cual conmutará la salida del circuito entre dos posibles señales de entrada. El UTC-4053 reflejará en su terminal 14 (X), la señal aplicada en su terminal 12 (X0), siempre y cuando se apliquen 0 volts (0 lógico) a su terminal 11 (A), mientras que la señal de la terminal 13 (X1) será reflejada en la terminal de salida 14 (X), si se aplican 5 volts (1 lógico) en su terminal 11. Por otra parte se tiene un amplificador operacional en modo inversor con ganancia de 1. Este inversor, como su nombre lo indica, se encarga de defasar  $180^\circ$  la señal de entrada (portadora).

Entonces, se puede afirmar que cuando se aplica un 0 lógico al circuito multiplexor, la salida es la señal portadora defasada  $180^\circ$ , mientras que cuando se aplica un 1 lógico, la salida es la señal original sin defasamiento.

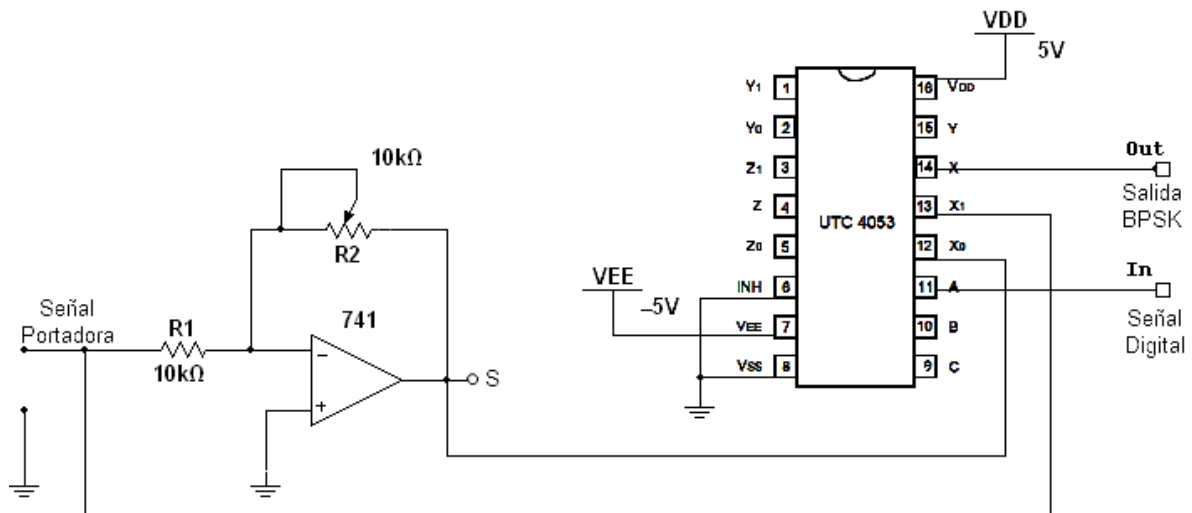
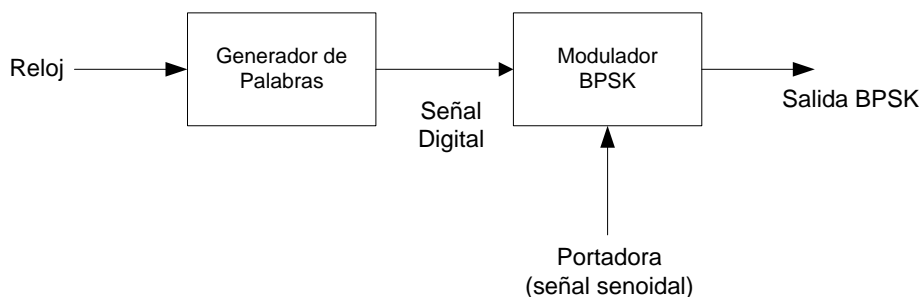


Figura 2: Circuito modulador BPSK

## Desarrollo

- 1) Considere el circuito de la Figura 2, y ensámblelo junto con el generador de palabras realizado en la Práctica 2 según el esquema de la Figura 3.



**Figura 3: Esquema transmisor BPSK.**

- 2) Utilice un generador de señales como fuente de reloj para el generador de palabras, ajustando una frecuencia a 1 KHz, tomando la señal de la salida TTL del generador. Recuerde ajustar debidamente su generador de palabras digital según el procedimiento indicado en la práctica 2.
- 3) Utilice un segundo generador para la portadora; ajuste una señal con una forma de onda senoidal de 4 Vp-p, a 2 KHz y aplíquela al circuito en la terminal adecuada (entrada de portadora).
- 4) Ajuste el potenciómetro marcado como R2 hasta que la señal obtenida en el nodo "S", sea de la misma magnitud que la señal portadora de entrada.

Observe y describa la señal obtenida. Compare dicha señal de salida con la señal de reloj, y la señal digital obtenida del generador de palabras y saque conclusiones.

## Reporte

- Formas de onda obtenidas, y sus observaciones sobre ellas (¿coinciden con la lógica mostrada en la Figura 1?).
- En caso de no coincidir, ¿Qué modificación al circuito, es necesaria para que la señal de salida coincida con la señal de la Figura 1?
- Describa con sus propias palabras que ventajas y desventajas encuentra entre este método de modulación y los vistos anteriormente. (Por ejemplo describa si le parece confiable, si es sencillo de implementar, si considera

que es robusto al ruido, si cree que con alguna modificación es posible transmitir más de un bit por ciclo de reloj, etc.)

- Conclusiones.