

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MODULADOR Y DEMODULADOR
BPSK**

ADRIAN TORRES

LUIS HERRERA

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

CARTAGENA DE INDIAS D.T Y C.

2011

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MODULADOR Y DEMODULADOR
BPSK**

ADRIAN TORRES

LUIS HERRERA

**MONOGRAFIA QUE SE PRESENTA COMO REQUISITO ACADÉMICO PARA
LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO ELECTRÓNICO**

DIRECTOR:

EDUARDO GOMEZ VASQUEZ

UNIVERSIDAD TECNOLOGICA DE BOLIVAR

FACULTAD DE INGENIERIA

PROGRAMA DE INGENIERIA ELECTRONICA

CARTAGENA DE INDIAS D.T Y C.

2011

NOTA DE ACEPTACIÓN

PRESIDENTE DEL JURADO

JURADO

JURADO

Cartagena de Indias D. T. Y C., JULIO de 2011

Cartagena de Indias, Julio de 2011

Señores
COMITE CURRICULAR
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRICA Y ELECTRÓNICA
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR

Respetados señores:

Por medio de la presente nos permitimos informarles que la monografía titulada **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MODULADOR Y DEMODULADOR BPSK”** ha sido desarrollada de acuerdo a los objetivos y justificaciones establecidas con anterioridad. Como autores de la monografía consideramos que el trabajo investigativo es satisfactorio y merece ser presentado para su evaluación.

Atentamente,

LUIS EDUARDO HERRERA PAJARO
T00013681

ADRIAN JOSE TORRES VILORIA
T00013657

Cartagena de Indias D. T. y C., JULIO de 2011

Señores

**COMITÉ CURRICULAR
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRICA Y ELECTRÓNICA
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR**

Respetados Señores:

A través de la presente me permito poner en consideración para su respectiva Evaluación, la monografía titulada **“DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN MODULADOR Y DEMODULADOR BPSK”**, la cual fue realizada por los estudiantes **LUIS EDUARDO HERRERA PAJARO Y ADRIAN JOSÉ TORRES VILORIA**, a quien asesoré en su ejecución.

Atentamente;

EDUARDO GOMEZ VASQUEZ
Director de Monografía

AGRADECIMIENTOS

A **Dios** todo poderoso por ser mi creador, el motor de mi vida, por no haber dejado que me rinda en mis estudios y en ningún momento e iluminarme para salir adelante, porque todo lo que tengo, lo que puedo y lo que recibo es regalo que **Dios** me da día a día.

Gracias a mis queridos padres, mi padre **JUNA HERRERA ORZCO** desde el cielo me guía, me ilumina y escucha mis peticiones así como **Dios** lo hace y a mi madre **SONI ESTHER PAJARO DE HERRERA** gracias a ella y a su gran sacrificio supo ser una excelente madre y padre a la vez y lo mejor es que por sus sabios consejos estoy en las puertas de una de mis grandes metas, gracias a ellos logre terminar mis estudios profesionales, a mi padre que desde el cielo me apoyo espiritualmente y a mi adorada madre supo guiarme desde muy pequeño en el camino del éxito.

Gracias a mis hermanos **Sonia, Carlos y Juan** por estar en todo momento tanto de alegría como de adversidad, brindarme su apoyo y confianza y por incluirme siempre en sus oraciones.

Gracias a mi novia **Ana María Luna**, por estar en todo momento y por su gran apoyo incondicional contribuyo para lograr este anhelado triunfo.

Gracias a mi familia que me dieron ese apoyo incondicional y por estar a mi lado en todos los momentos de mi vida.

Gracias a mi compañero de trabajo **ADRIAN TORRES VILORIA**, por haber logrado juntos este triunfo y por ser un excelente compañero de estudio y a la **UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLIVAR** por el gran aporte de sus excelentes Profesores contribuyeron a mi formación tanto personal como nivel profesional.

Gracias a todos.

LUIS EDUARDO HERRERA PAJARO

AGRADECIMIENTOS

*Primero que todo agradezco al más grande, que es **PADRE, HIJO y ESPÍRITU SANTO**, por su mano guía en mi vida y su amor incondicional. Le doy gracias a mis padres **GUSTAVO TORRES VILLALBA** y **JUANA VILORIA DE TORRES**, por estar siempre pendientes de mis logros personales, por su amor, consejos.*

*A mis hermanos **GUSTAVO** y **ANA KARINA**, gracias por siempre darme ánimo para seguir adelante con mis metas.*

*Agradezco a mi compañero **NELSON ZAMORA**, por la asesoría en la investigación y diseño del prototipo.*

*Gracias a mi compañero de trabajo **LUIS HERRERA**, por su excelente compañerismo durante la realización del trabajo.*

En general le doy gracias a mis familiares, amigos y profesores que contribuyeron de una u otra forma en la realización de este trabajo

A todos gracias por su apoyo

ADRIAN JOSÉ TORRES VILORIA

CONTENIDO

	Página
INTRODUCCION	10
1.MARCO TEORICO	11
1.1. ¿QUE ES MODULACION?	11
1.2.MODULACION PSK	15
1.2.1.MODULACION PSK CONVENCIONAL	15
1.2.2.MODULACION PSK DIFERENCIAL	16
1.2.3.MODULACION MULTI PSK O M-PSK	18
1.2.4.MODULACION BPSK	19
1.2.4.1.MODULADOR BPSK	20
1.2.4.2.DEMODULADOR BPSK	21
1.2.4.3.RECUPERACION DE PORTADORA COHERENTE	23
1.2.4.4.ANCHO DE BANDA PARA BPSK	27
1.2.4.5.APLICACIONES DE LA MODULACION BPSK	31
2.DESCRIPCION DEL CIRCUITO	32
2.1.COMPONENTES DEL MODULADOR BPSK	32
2.2.COMPONENTES DEL DEMODULADOR BPSK	38
2.3.DIAGRAMA DE DISTRIBUCION DE COMPONENTES	40
2.4.DIAGRAMA DE CIRCUITO IMPRESO	41
2.5.DIAGRAMA PCB EN 3D	42
3.GUIAS DE LABORATORIO	43
4.EXPERIENCIAS VIVIDAS EN EL DISEÑO,CONSTRUCCION Y FUNCIONAMIENTO DEL MODULO BPSK	64
5.SUGERENCIAS PARA TRABAJOS FUTUROS	66
CONCLUSIONES	67
BIBLIOGRAFIA	68
ANEXOS	70

INDICE DE FIGURAS

	PAGINA
Figura 1.1 Modulación de Amplitud	12
Figura 1.2. Modulación de Frecuencia y Modulación de Fase	13
Figura 1.3. Modulación digital de amplitud, frecuencia y fase	14
Figura 1.4. Relación de fase y amplitud de salida contra tiempo para el 8-QAM	14
Figura 1.5. Modulación DBPSK	17
Figura 1.6. Relación de fase de salida en función del tiempo para un modulador BPSK	19
Figura 1.7. Diagrama de bloques modulador BPSK	20
Figura 1.8. Modulador BPSK: a) Tabla de verdad; b) Diagrama fasorial; c) Diagrama de constelación	21
Figura 1.9. Diagrama de bloques de un demodulador BPSK	22
Figura 1.10. Circuito cuadrado	25
Figura 1.11. Circuito de Costas Loop	26
Figura 1.12. Circuito Remodulador	27
Figura 1.13. Espectro de salida del modulador BPSK	30
Figura 2.1. Diagrama de bloques funcional del AD633JN	34
Figura 2.2. Configuración del compensador de desplazamiento opcional	35
Figura 2.3. Conexiones de un multiplicador básico	36
Figura 2.4. Configuración no inversor con amplificador operacional	37
Figura 2.5. Forma de onda a la salida del multiplicador análogo AD633 para una entrada sinusoidal y una entrada BPSK	38
Figura 2.6. Filtro pasa bajos pasivo de primer orden	39
Figura 2.7. Diagrama de distribución de componentes para el modulador y demodulador BPSK	40
Figura 2.8. Diagrama de circuito impreso del modulador y demodulador BPSK	41
Figura 2.9. Diagrama PCB en 3D del modulador y demodulador BPSK	42
Figura 4.1. Modulador BPSK utilizando transformadores	64

INTRODUCCIÓN

Mediante el presente trabajo de monografía se pretende diseñar e implementar un circuito modulador y demodulador BPSK. Este dispositivo se construye con un fin educativo, ya que con su utilización en las prácticas de laboratorio se pretende conocer las características de la modulación y demodulación BPSK.

La modulación BPSK es un tipo de modulación en fase ampliamente utilizada debido a su simplicidad frente a otros tipos de modulación; una aplicación de BPSK estaría en los transmisores de bajo coste que no requieran altas velocidades. En el capítulo 1 se explicará en detalle los conceptos y teoría referente a BPSK y se hará mención de otras aplicaciones.

También se conocerán los conceptos claves para la construcción de un modulador y un demodulador BPSK. Siguiendo un esquema de bloques se procede al diseño y la implementación del modulador y demodulador.

Luego de conocer la teoría y el diseño del modulador y demodulador BPSK, se muestra una guía de laboratorio con la cual los estudiantes de telecomunicaciones podrán hacer sus prácticas relacionadas este tipo de modulación.

CAPITULO 1

MARCO TEORICO

1.1 ¿QUE ES MODULACION?

Debido a que la mayoría de las veces enviar una señal a través de un canal de información es muy difícil, se recurre a una señal más poderosa que pueda viajar a mayor distancia sin perder sus características; esta señal que se envía recibe el nombre de señal portadora. Así, “la modulación consiste en la alteración sistémica de una onda denominada portadora, en función de las características de otra señal llamada moduladora o información, con la finalidad de obtener una nueva señal, más adecuada para la transmisión.”¹

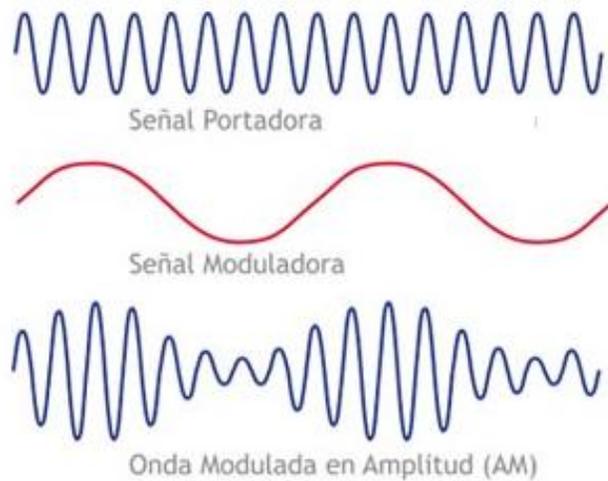
Cuando la portadora llega al receptor, se extrae la información que se envió a través de ella, y nuevamente se tiene la señal de información o señal moduladora. La señal portadora se puede modificar en frecuencia, amplitud, fase o combinaciones de las anteriores. Se puede decir entonces que la señal portadora cambia sus características debido al tipo de modulación. Dependiendo del tipo de señal de información que se utilice, ya sea digital o análoga existen diferentes tipos de modulación:

Para una señal de información análoga existen tres tipos de modulación:

AM: Se modula la señal portadora en amplitud, por lo que dependiendo de la información, la señal portadora tendrá determinado cambio en su amplitud a través del tiempo. Ver figura 1.1.

1. Faúndez, Marcos. Sistemas de Comunicaciones. Marcombo Boixareu editores. 2001. Capítulo 2. Página 20.

Figura 1.1. Modulación de Amplitud.

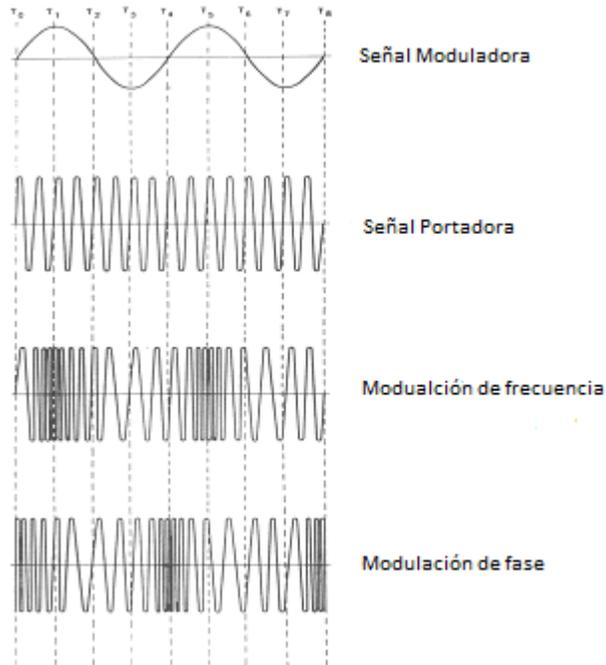


<http://www.analfatecnicos.net/pregunta.php?id=15>

FM: Se modula la señal portadora en frecuencia, por lo que dependiendo de la información, la señal portadora tendrá determinado cambio en su frecuencia a través del tiempo. Ver figura 1.2.

PM: Se modula la señal portadora en fase, por lo que dependiendo de la información, la señal portadora tendrá determinado cambio en su fase a través del tiempo. Ver figura 1.2.

Figura 1.2. Modulación de Frecuencia y Modulación de Fase.



Extraído de: http://winsock1.iespana.es/web_tele/teleco/telecom/frame63.htm

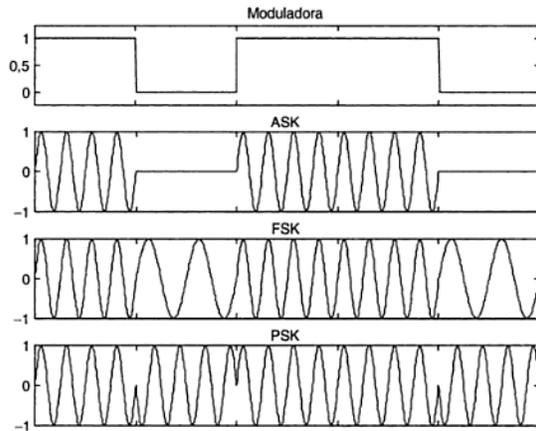
Si se tiene una señal de información digital, se encuentran los siguientes tipos de modulación:

ASK: Se modula la señal portadora en amplitud, por lo que dependiendo en el cambio de los valores en la señal de información o señal moduladora, la portadora tendrá cambios en su amplitud. Ver figura 1.3.

FSK: Se modula la señal portadora en frecuencia, por lo que dependiendo en el cambio de los valores en la señal moduladora, la portadora tendrá cambios en su frecuencia. Ver figura 1.3.

PSK: Se modula la señal portadora en fase, por lo que dependiendo en el cambio de los valores en la señal de moduladora, la portadora tendrá cambios en su fase. Ver figura 1.3.

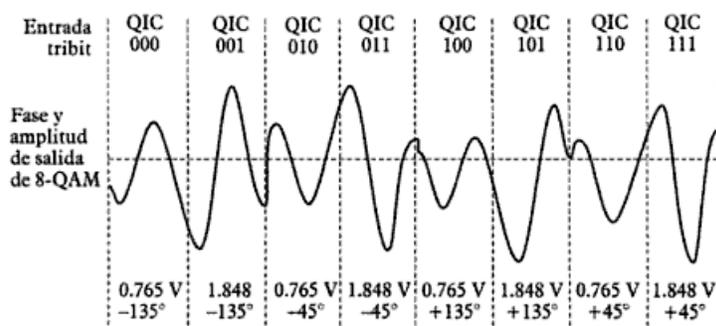
Figura 1.3. Modulación digital de amplitud, frecuencia y fase.



Extraído de: Faúndez, Marcos. Sistemas de Comunicaciones. Marcombo Boixareu editores. 2001.

QAM: Se modula la señal portadora tanto en amplitud como en fase, por lo que dependiendo en el cambio de los valores en la señal de moduladora, la portadora tendrá cambios en su fase y su amplitud. Ver figura 1.4.

Figura 1.4. Relación de fase y amplitud de salida contra tiempo para el 8-QAM



Extraída de: Herrera, Enrique. Comunicación Digital y Ruido. Editorial LIMUSA. 2004.

Este trabajo se enfoca en la modulación BPSK, que es un tipo de modulación PSK, por lo que se hará énfasis en la teoría de este tipo de modulación.

1.2 MODULACION PSK

“La modulación PSK (Phase – shift keying) o modulación por desplazamiento en fase es otra forma de modulación angular, modulación digital de amplitud constante. El PSK es similar a la modulación en fase convencional, excepto que con PSK señal de entrada es una señal digital binaria y son posibles un número limitado de fases de salida.”²

Existen dos tipos de modulación PSK:

- 1) Modulación PSK convencional
- 2) Modulación PSK diferencial

1.2.1. MODULACION PSK CONVENCIONAL

En la modulación PSK convencional, los bits de información se guardan en la fase absoluta, por lo que se consideran los desplazamientos de fase.

Esto quiere decir que cada bit o grupo de bits representa un cambio fase en particular en la señal portadora.

Por ejemplo, si se tiene que la señal moduladora o de información viene dada de la siguiente forma:

$$V_{m(t)} = \begin{cases} 1 & \text{para un "1" binario} \\ -1 & \text{para un "0" binario} \end{cases}$$

Y el valor de la señal portadora viene dado por:

$$V_{p(t)} = V_p \cos(2\pi f_p t) \quad (EC. 1)$$

2. Tomasi, Wayne. Sistemas de Comunicaciones Electrónicas. Segunda edición. Prentice Hall. 1996. Capítulo 12. Página 463.

En donde V_p es el valor pico de la señal portadora y f_p es la frecuencia de la señal portadora.

La señal modulada viene dada por:

$$V_{(t)} = V_{m(t)} \cdot V_p \quad (EC. 2)$$

$$V_{(t)} = V_{m(t)} \cdot V_p \cos(2\pi f_p t)$$

Se tiene entonces para $V_{m(t)} = 1$ que:

$$V_{(t)} = V_p \cos(2\pi f_p t)$$

Y para $V_{m(t)} = -1$ que:

$$V_{(t)} = -V_p \cos(2\pi f_p t) = V_p \cos(2\pi f_p t + \pi)$$

Como se puede observar existe una diferencia de fase de 180° entre las dos expresiones de $v_{(t)}$, por lo que la señal varía entre dos fases, y es por esta razón que este tipo de modulación PSK se denomina 2PSK, mejor conocida como BPSK.

Más adelante en este mismo capítulo se conocerá en detalle la modulación BPSK, la cual es objeto de estudio de este trabajo, y también se hará mención de otros tipos de modulación PSK.

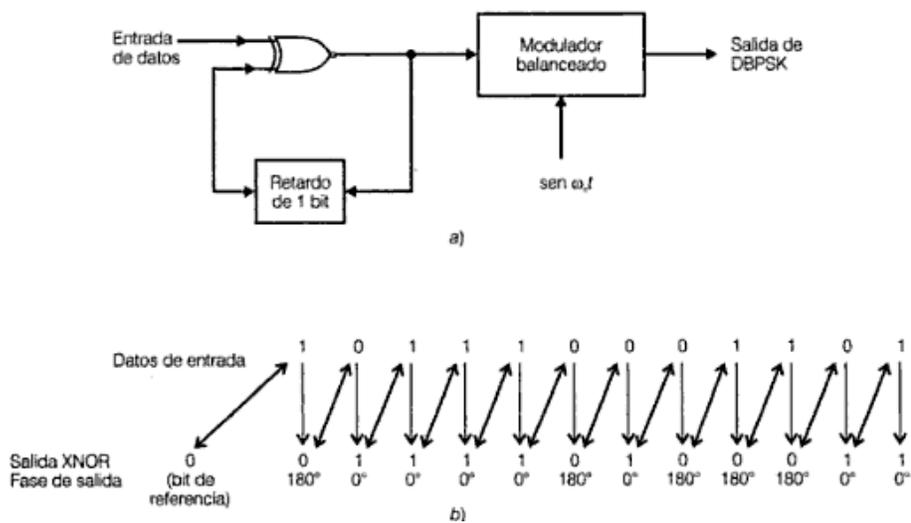
1.2.2. MODULACION PSK DIFERENCIAL

“La modulación por desviación de fase diferencial (DPSK), es una forma alterna de modulación digital en donde la información de entrada binaria está contenida en la diferencia entre dos elementos sucesivos de señalización, en lugar de estar contenidos en la fase absoluta. Con DPSK no es necesario recuperar una portadora coherente en fase. En lugar de eso, se retarda un elemento de señalización por una ranura de tiempo y luego se compara con el siguiente

elemento recibido de señalización. La diferencia en fase de los dos elementos de señalización determina la condición lógica de los datos.”³

En los sistemas de modulación binaria de fase, la referencia de fase para la demodulación se deriva a partir de la fase de la portadora en el intervalo de señalización anterior, y el receptor descodifica la información digital basada en esa diferencia de fase. Si las interferencias sobre el canal y otros factores, son lo suficientemente estables y no alteran la fase entre dos intervalos adyacentes, entonces la fase se puede codificar, no con respecto a un valor absoluto, por ejemplo, 0° para un “1” y 180° para un “0”, que es el caso PSK, sino más bien por codificación diferencial en términos del cambio de fase entre intervalos sucesivos. Por ejemplo, 0° de desfase desde el intervalo anterior puede designar un “1”, mientras que un desfase de 180° puede designar un “0”. Ver figura 1.5.

Figura 1.5 Modulación DBPSK



Extraído de: Herrera, Enrique. Comunicación Digital y Ruido. Editorial LIMUSA. 2004

3. Herrera, Enrique. Comunicación Digital y Ruido. Editorial LIMUSA. 2004. Capítulo 5. Página 155.

1.2.3. MODULACION MULTI PSK O M-PSK

Cuando se habla de M-PSK se está hablando de un modo generalizado, ya que M son las posibles fases de salida que puede tener una señal modulada para una misma frecuencia portadora. Esto quiere decir que cuando se está modulando mediante PSK, la señal portadora puede tomar secuencialmente M valores posibles, separados entre sí por un ángulo dado por:

$$\theta = \frac{\pi}{M} \quad (EC.3)$$

Donde $M = 2^n$

n= número de bits

M= número de combinaciones de salida posibles con n bits

Entonces se convierten grupo de n bits de una señal de información en una señal modulada de amplitud constante, con única frecuencia y con 2^n fases posibles.

Así por ejemplo, si por cada bit de información hay un cambio en la salida, se habla de BPSK, ya que si hay un cambio de un "1" binario a un "0" binario o viceversa, la señal portadora conmuta entre dos estados o fases (0° y 180°).

Si se habla de un cambio en la portadora por cada grupo de dos bits o dibits, se habla de QPSK. Esto es, por cada grupo de dos bits de información, la señal portadora va a conmutar entre cuatro fases diferentes (0° , 90° , 180° y 270°).

Si se habla de un cambio en la portadora por cada grupo de 3 bits, se habla de 8-PSK. Esto es, por cada grupo de tres bits de información, la señal portadora va a conmutar entre ocho fases diferentes (0° , 45° , 90° , 135° , 180° , 225° , 270° , 315°).

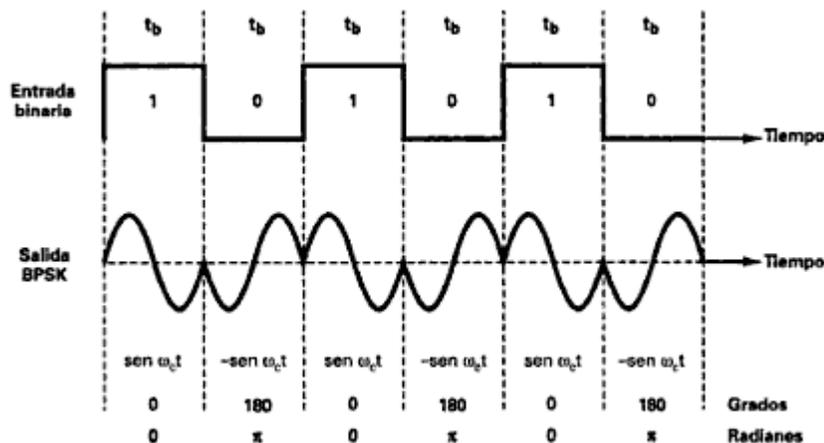
Si se habla de un cambio en la portadora por cada grupo de 4 bits, se habla de 16-PSK. Esto es, por cada grupo de cuatro bits de información, la señal portadora va

a conmutar entre 16 fases diferentes (0° , 22.5° , 45° , 67.5° , 90° , 112.5° , 135° , 157.5° , 180° , 202.5° , 225° , 247.5° , 270° , 292.5° , 315° , 337.5°).

1.2.4. MODULACION BPSK

“Con la *transmisión por desplazamiento de fase binaria* o BPSK, son posibles dos fases de salida para una sola frecuencia de portadora (“binario” significa “2 elementos”). 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 dos ángulos que están 180° fuera de fase. Otros nombres que se le dan a BPSK son *transmisión inversa de fase* (PRK) y modulación bifásica. El BPSK es una forma de modulación de onda cuadrada de portadora suprimida de una señal de onda continua.”⁴ Ver figura 1.6.

Figura 1.6. Relación de fase de salida en función del tiempo para un modulador BPSK.



Extraído de: Tomasi, Wayne. *Sistemas de Comunicaciones Electrónicas*. Segunda edición. Prentice Hall. 1996. Capítulo 12. Página 466.

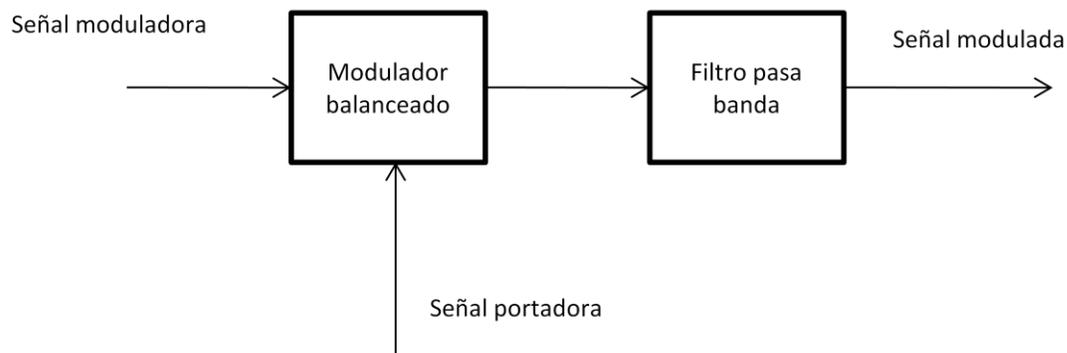
4. Tomasi, Wayne. *Sistemas de Comunicaciones Electrónicas*. Segunda edición. Prentice Hall. 1996. Capítulo 12. Página 463.

1.2.4.1. MODULADOR BPSK

La figura 1.7 muestra un diagrama de bloques para un modulador BPSK.

Para obtener una señal modulada se utiliza un modulador balanceado que funciona como un conmutador, ya que a medida que la señal de información muestre un “1” o un “0” la portadora conmuta en dos fases diferentes. Luego la señal que sale del modulador balanceado se pasa a través de un filtro pasabandas que tiene la función de eliminar los armónicos no significativos de la señal con el fin de no interferir con otras señales que vayan a transmitirse por ese mismo canal.

Figura 1.7. Diagrama de bloques modulador BPSK

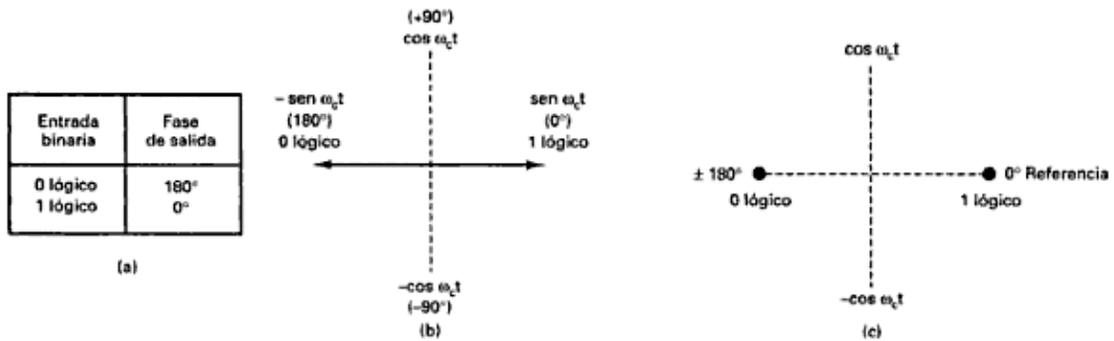


Elaboración mediante el Software Microsoft Power Point

La figura 1.8 muestra la tabla de verdad, diagrama fasorial, y diagrama de constelación para un modulador de BPSK, los cuales son una representación de los dos estados posibles en el que conmuta la señal modulada. Un diagrama de constelación que, a veces, se denomina diagrama de espacio de estado de señal, es similar a un diagrama fasorial, excepto que el fasor completo no está dibujado.

En un diagrama de constelación, sólo se muestran las posiciones relativas de los picos de los fasores.

Figura 1.8. Modulador BPSK: a) Tabla de verdad; b) Diagrama fasorial; c) Diagrama de constelación.



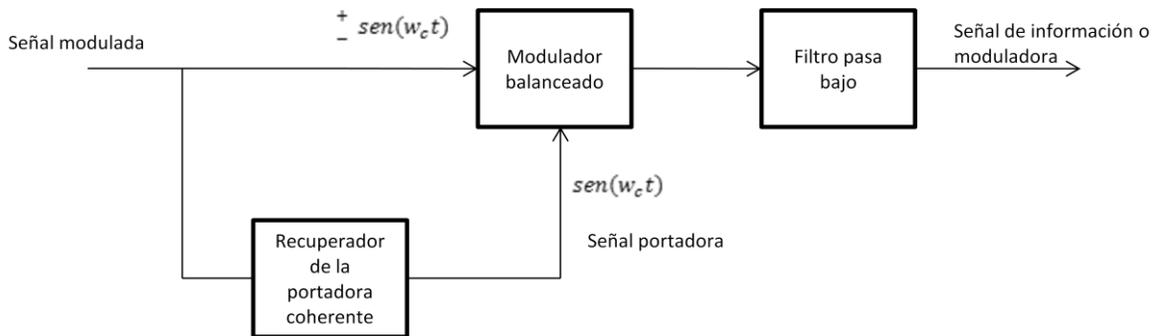
Extraída de: Tomasi, Wayne. Sistemas de Comunicaciones Electrónicas. Segunda edición. Prentice Hall. 1996.

1.2.4.2. DEMODULADOR BPSK

La figura 1.9 muestra el diagrama de bloques para un demodulador BPSK.

La señal de entrada al demodulador puede ser $\text{sen}(2\pi ft)$ o $-\text{sen}(2\pi ft)$. El circuito de recuperación de portadora coherente detecta y regenera una señal portadora que va a ser coherente tanto en frecuencia como en fase de la señal portadora del transmisor. Cualquiera de las dos opciones anteriores sea la señal de entrada se multiplica por la señal portadora regenerada a través del modulador balanceado, el cual es un detector de producto. La señal de salida del modulador balanceado se pasa a través de un filtro pasa-bajas (LPF), el cual separa los datos binarios recuperados de la señal demodulada compleja.

Figura 1.9. Diagrama de bloques de un demodulador BPSK



Elaboración mediante el Software Microsoft Power Point

Matemáticamente

Sea la señal de entrada igual a $sen(\omega_c t)$

Si se multiplica esta señal por la portada recuperada, entonces se obtiene a la salida del modulador balanceado lo siguiente.

$$Salida\ modulator\ balanceado = sen(\omega_c t) \times sen(\omega_c t) = sen^2 \omega_c t \quad (EC. 4)$$

Donde $sen^2 \omega_c t = \frac{1}{2}(1 - cos 2\omega_c t) = \frac{1}{2} - \frac{1}{2} cos 2\omega_c t$

Se puede observar que la onda de salida está compuesta por un voltaje positivo y una onda coseno con el doble de frecuencia de la señal portadora ($2\omega_c$). Si la señal se pasa a través de un filtro pasa bajo con una frecuencia de corte mucho más baja que $2\omega_c$, este bloquea la segunda armónica de la portadora y solo deja pasar la componente constante positiva.

$$salida\ demodulador = +\frac{1}{2}V$$

El valor anterior corresponde a un "1" lógico

Sea la señal de entrada igual a $-\text{sen}(w_c t)$

Si se multiplica esta señal por la portada recuperada, entonces se obtiene a la salida del modulador balanceado lo siguiente.

$$\text{Salida modulador balanceado} = -\text{sen}(w_c t) \times \text{sen}(w_c t) = -\text{sen}^2 w_c t \quad (\text{EC. 5})$$

Donde $-\text{sen}^2 w_c t = -\frac{1}{2}(1 - \cos 2w_c t) = -\frac{1}{2} + \frac{1}{2} \cos 2w_c t$

Se puede observar que la onda de salida está compuesta por un voltaje negativo y una onda coseno con el doble de frecuencia de la señal portadora ($2w_c$). Si la señal se pasa a través de un filtro pasa bajo con una frecuencia de corte mucho más baja que $2w_c$, este bloquea la segunda armónica de la portadora y solo deja pasar la componente constante negativa.

$$\text{salida demodulador} = -\frac{1}{2}V$$

El valor anterior corresponde a un "0" lógico

1.2.4.3. RECUPERACION DE PORTADORA COHERENTE

En este apartado se hará mención a los diferentes métodos que se pueden implementar para la recuperación de la señal portadora en el demodulador como son: a) Circuito cuadrado b) Circuito de costas loop c) Circuito remodulador.

En este trabajo se describe la manera de demodular una señal BPSK sin utilizar recuperación de portadora. La señal de información es recuperada utilizando una señal portadora en el receptor o demodulador, que está sincronizada tanto en frecuencia como en fase con la señal portadora del modulador o transmisor.

A continuación se describen los métodos de recuperación de portadora:

a) Circuito Cuadrado

La forma de onda de BPSK recibida se filtra para el reducir el ancho del espectro del ruido recibido y luego se eleva al cuadrado. Al elevar al cuadrado la señal BPSK, la modulación desaparece y se genera la segunda armónica de la frecuencia de portadora. Esta armónica se rastrea con la fase por un PLL. La frecuencia de salida del VCO del PLL se divide luego entre 2 y se utiliza como referencia de fase para los detectores de producto. Ver figura 1.10.

Matemáticamente, la descripción del funcionamiento del circuito cuadrado es la siguiente:

Con BPSK solo son posibles dos fases de salida: $+sen w_c t$ y $-sen w_c t$.

Para una señal receptora de $+sen w_c t$ la salida del circuito cuadrado es:

$$Salida = (+sen w_c t)(+sen w_c t) = +sen^2 w_c t$$

$$Salida = \frac{1}{2}(1 - \cos 2w_c t) = \frac{1}{2} - \frac{1}{2}\cos 2w_c t$$

El voltaje constante $+\frac{1}{2} V$ se suprime por filtraje dejando sólo $\cos 2w_c t$ y luego se divide la frecuencia entre dos para obtener $\cos w_c t$.

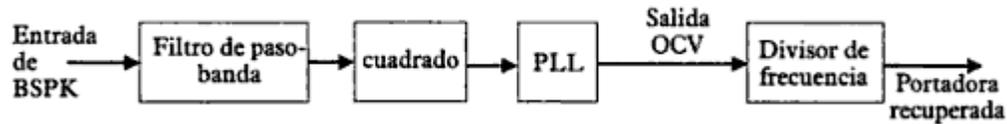
Para una señal receptora de $-sen w_c t$ la salida del circuito cuadrado es:

$$Salida = (-sen w_c t)(-sen w_c t) = +sen^2 w_c t$$

$$Salida = \frac{1}{2}(1 - \cos 2w_c t) = \frac{1}{2} - \frac{1}{2}\cos 2w_c t$$

El voltaje constante $+\frac{1}{2} V$ se suprime por filtraje dejando sólo $\cos 2w_c t$ y luego se divide la frecuencia entre dos para obtener $\cos w_c t$.

Figura 1.10. Circuito cuadrado

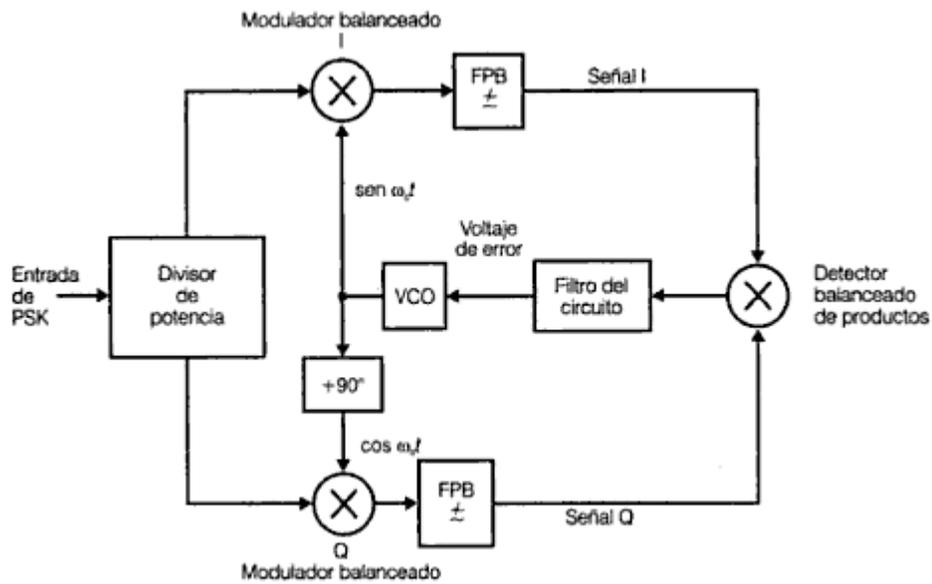


Extraído de: Herrera, Enrique. Comunicación Digital y Ruido. Editorial LIMUSA. 2004

b) Circuito de costas loop

El circuito de costas o en cuadratura utiliza dos circuitos de rastreo paralelos (I y Q), simultáneamente, para derivar el producto de los componentes, I y Q, de la señal que maneja el VCO. El circuito en fase (I), utiliza el VCO como en el PLL, y el circuito en cuadratura (Q), utiliza una señal VCO desplazada 90° . Una vez que la frecuencia del VCO es igual a la frecuencia de la portadora suprimida, el producto de las señales I y Q producirá un voltaje de error proporcional a cualquier error de fase en el VCO. El voltaje de error controla la fase y, por consiguiente, la frecuencia del VCO. Ver figura 1.11.

Figura 1.11. Circuito de Costas Loop

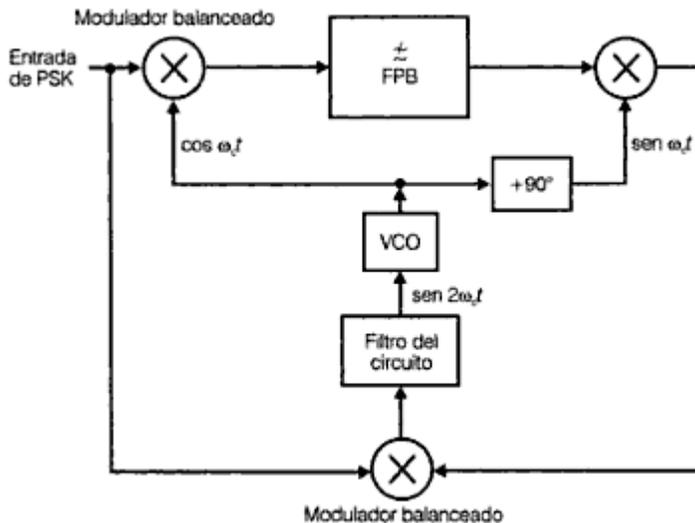


Extraído de: Herrera, Enrique. Comunicación Digital y Ruido. Editorial LIMUSA. 2004

c) Circuito Remodulador

El remodulador produce un voltaje de error de circuito, que es proporcional al doble del error de fase, entre la señal que está entrando y la señal VCO. El remodulador tiene un tiempo de adquisición más rápido que los circuitos de costas o cuadrado. Ver figura 1.12.

Figura 1.12. Circuito Remodulador



Extraído de: Herrera, Enrique. Comunicación Digital y Ruido. Editorial LIMUSA. 2004

1.2.4.4. ANCHO DE BANDA PARA BPSK

El modulador balanceado es un circuito que multiplica la señal digital moduladora por la señal portadora dando como resultado la señal modulada, la cual cambia entre dos fases en el tiempo. Si al 1 de la señal de información se le asigna 1 volt y al 0 se le asigna -1 volt y se multiplica cada uno por la señal portadora $\text{sen}\omega_c t$, entonces a la salida del modulador balanceado se tendrá un valor de $1\text{sen}\omega_c t$ que significa que la señal modulada está en fase con la portadora o $-1\text{sen}\omega_c t$ que significa que la señal modulada está 180° fuera de fase con respecto a la señal portadora. Cada vez que cambia la condición lógica de entrada o en otras palabras, hay un cambio de 1 a 0 o de 0 a 1, hay un cambio en la fase de salida, por lo que para BPSK la velocidad de cambio en la salida (baud) es igual a la velocidad de cambio en la entrada (bps) y el ancho de banda más grande a la salida, ocurre cuando los datos binarios de entrada es la secuencia alterna 1/0.

Si se hace la multiplicación de la señal de información y la portadora queda lo siguiente:

$$SALIDA\ M.\ BALANCEADO = \text{sen}w_a t \times \text{sen}w_c t \quad (EC.9)$$

$$SALIDA\ M.\ BALANCEADO = \frac{1}{2} \cos(w_c t - w_a t) - \frac{1}{2} \cos(w_c t + w_a t)$$

Si la razón de cambio de los bits de entrada (f_a) es igual a la mitad de la velocidad de bits (f_b)

$$f_a = \frac{f_b}{2} \quad (EC.10)$$

Entonces el ancho de banda mínimo de Nyquist de doble banda lateral (f_N) permitido dado el peor caso de BPSK es:

$$f_N = w_c + w_a - w_c + w_a = 2w_a \quad (EC.11)$$

$$\text{Por lo que } f_N = 2f_a = \left(\frac{2f_b}{2}\right) = f_b$$

En conclusión el ancho de banda mínimo de Nyquist requerido para permitir el peor caso de la señal de salida de BPSK es igual a la razón de bits de entrada.

$$\text{Si se habla de modulación QPSK, } f_N = \frac{f_b}{2}$$

$$\text{Si se habla de modulación 8-PSK, } f_N = \frac{f_b}{3}$$

$$\text{Si se habla de modulación 16-PSK, } f_N = \frac{f_b}{4}$$

Por lo que el ancho de banda mínimo de Nyquist para los diferentes tipos de modulación PSK, es igual a la tasa de transmisión de bits a la entrada del modulador dividido por el grupo de n bits que se tome a la entrada. Recuérdese que para BPSK se toma 1 bit, para QPSK se toma grupos de 2bits o un dibit, para 8-PSK se toma grupos de 3 bits y para 16-PSK se toma grupos de 4bits.

Ejemplo: Se tiene un modulador BPSK con frecuencia de portadora igual a 100MHz y con una tasa de bits de entrada igual a 30Mbps.

- Determine la frecuencias laterales superiores e inferiores
- Determine la frecuencia lateral inferior mínima y la frecuencia lateral superior máxima.
- Determine el mínimo ancho de banda de Nyquist
- Calcule los baudios

Para el resolver este problema, primero hallamos la salida en el modulador balanceado, que es no es más que la multiplicación de la señal moduladora por la señal portadora. Por lo que se tiene a la salida del modulador balanceado lo siguiente:

$$salida = sen(w_a t) \times sen(w_c t)$$

$$salida = sen(2\pi \times 15MHz t) \times sen(2\pi 100MHz t)$$

Se coloca 15MHz debido a que $f_a = \frac{f_b}{2}$

Por lo que:

$$salida = \frac{1}{2} \cos 2\pi(100 MHz - 15 MHz) - \frac{1}{2} \cos 2\pi(100 MHz + 15 MHz)$$

- Las frecuencias laterales inferiores son todas aquellas que están en un rango de 15MHz por debajo de la frecuencia de la portadora, ejemplo: 88MHz, 90MHz, 97MHz. Las frecuencias laterales superiores son todas aquellas que están en un rango de 15MHz por encima de la frecuencia de la portadora, ejemplo: 105MHz, 109MHz, 112MHz.
- La frecuencia lateral inferior mínima se determina de la siguiente manera:

$$FLI = 100MHz - 15MHz = 85MHz$$

La frecuencia lateral superior máxima se determina de la siguiente manera:

$$FLS = 100MHz + 15MHz = 115MHz$$

- c) El ancho de banda mínimo de Nyquist de doble banda lateral (f_N) permitido dado el peor caso de BPSK es:

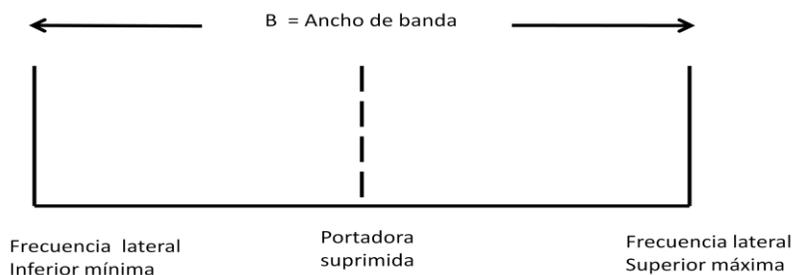
$$f_N = 2w_a = 2f_a = 2 \times 15MHz = 30MHz$$

- d) En BPSK, los baudios son iguales a la tasa de bits a la entrada del modulador por lo que la tasa de baudios a la salida del modulador BPSK es:

$$baudio = 30Megabaudios$$

El espectro de salida de un modulador BPSK es el de una señal de doble banda lateral con portadora suprimida en el que las frecuencias laterales superiores e inferiores están separadas de la frecuencia portadora por un valor igual a la mitad de la razón bits. Ver figura 1.13.

Figura 1.13. Espectro de salida del modulador BPSK.



Elaboración mediante el Software Microsoft Power Point

1.2.4.5. APLICACIONES DE LA MODULACION BPSK

A continuación se hace mención a varias de las aplicaciones que tiene la modulación BPSK:

La modulación BPSK es muy utilizada en los transmisores de bajo coste que no requieran altas velocidades. Debido a su simplicidad frente a la modulación QAM, la modulación PSK es ampliamente utilizada.

Existe un estándar de red LAN inalámbrica conocido como IEE 802.11b (apareció en el año 1999). Este estándar utiliza una variedad de modulaciones PSK dependiendo de la velocidad de transmisión. Para una velocidad de transmisión de 1Mbps utiliza la variación de modulación BPSK conocida como DBPSK.

El estándar para LANs inalámbricas de alta velocidad conocido como IEEE 802.11g (apareció en el año 2003), utiliza Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales (OFDM) con subportadoras que son moduladas con BPSK para velocidades de 6 y 9Mbps.

El ISO 14443, el cual es un estándar internacional relacionado con las tarjetas de identificación electrónicas, en especial las tarjetas inteligentes y es gestionado conjuntamente por la Organización Internacional de Normalización (ISO) y Comisión Electrotécnica Internacional (IEC), utiliza la modulación BPSK.

CAPITULO 2

2. DESCRIPCION DEL CIRCUITO

A continuación se describen los componentes que forman parte del modulador y demodulador BPSK.

2.1 COMPONENTES DEL MODULADOR BPSK

Para la construcción del modulador BPSK se utilizó el circuito integrado AD633JN.

El AD633 es un multiplicador análogo de cuatro cuadrantes funcionalmente completo. El resultado es un producto que es rentable y fácil de aplicar. Incluye resistencias de entrada altas (10 M Ω) que hacen que la carga de la fuente de señal sea insignificante, entradas X y Y diferenciales y una entrada suma de alta impedancia (Z).

El voltaje de salida de baja impedancia es una escala completa de 10 V nominal proporcionado por un Zener oculto. El AD633 utiliza calibración por láser para una precisión total garantizada del 2% de la escala completa. La no linealidad de la entrada Y es generalmente menos del 0,1% y el ruido que se refiere a la salida suele ser inferior a 100 μ V rms en un ancho de banda de 10 Hz a 10 kHz. Un 1 MHz de ancho de banda, 20 V / μ s de velocidad de salto y la habilidad para manejar cargas capacitivas hacen del AD633 útil en una gran variedad de aplicaciones donde la simplicidad y el coste son las principales preocupaciones. La versatilidad del AD633 no se ve comprometida por su simplicidad.

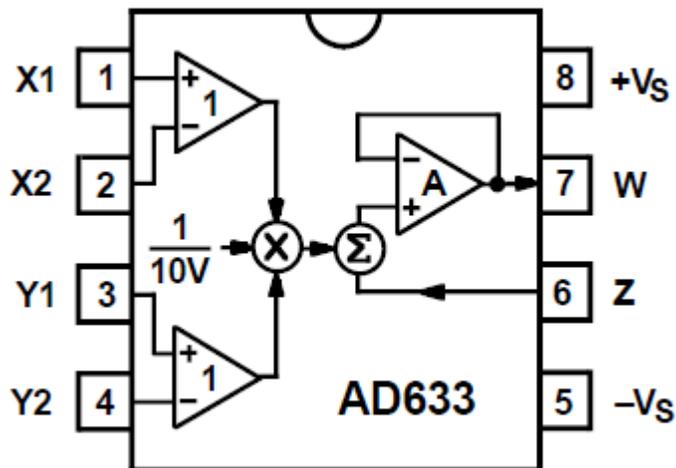
La entrada Z proporciona acceso al amplificador separador de salida, permitiendo al usuario la suma de las salidas de dos o más multiplicadores, incrementar la ganancia del multiplicador, convertir el voltaje de salida a corriente, y configurar una variedad de aplicaciones.

El AD633 está diseñado para operar de 0°C a 70°C rango de temperatura comercial, los voltajes de alimentación pueden variar de ± 8 V hasta ± 18 V y No necesita componentes externos o costosa calibración del usuario para ser utilizado.

Funcionamiento del AD633

El AD633 integra un núcleo translinear, una referencia Zener oculta, y una ganancia unitaria conectada al amplificador de salida con un nodo de suma accesible. La figura 2.1 muestra el diagrama de bloque funcional. Las entradas diferenciales X y Y son convertidas a corrientes diferenciales por convertidores de voltaje a corriente. El producto de estas corrientes es generado por la multiplicación núcleo. Una referencia Zener oculta proporciona un factor de escala por lo general de 10V. La suma de $(X \cdot Y) / 10 + Z$ se aplica al amplificador de salida. El nodo Z que se suma al amplificador permite al usuario agregar dos o más salidas multiplicadoras, convertir el voltaje de salida a una corriente, y configurar diferentes funciones computacionales analógicas.

Figura 2.1. Diagrama de bloques funcional del AD633JN



Extraído de: Datasheet circuito integrado AD633

La función de transferencia general con relación al diagrama de bloque es:

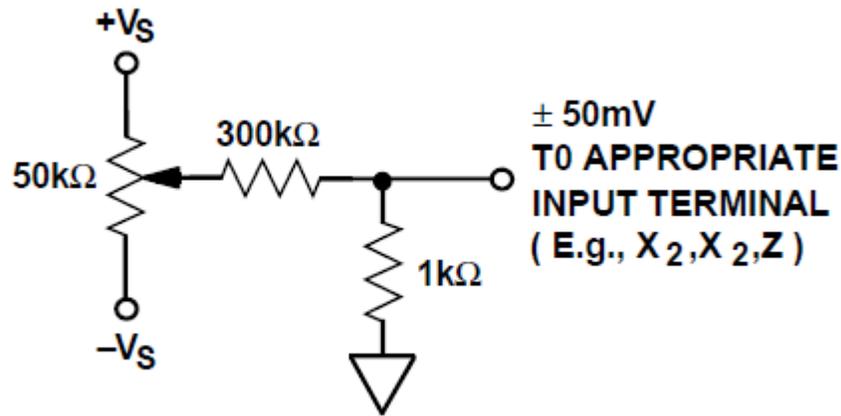
$$W = \frac{(X_1 - X_2)(Y_1 - Y_2)}{10V} + Z \quad (\text{EC. 12})$$

Fuentes de errores del AD633

Los errores del multiplicador consisten principalmente de las entradas y salidas de desplazamiento (offset), el error de factor de escala, y la no linealidad en la multiplicación núcleo. Las entradas y salidas de desplazamiento pueden ser eliminadas usando el compensador que se muestra en la figura 2.2. Este esquema reduce el error de red para los errores de factor de escala (error de ganancia) y un componente no lineal irreductible en la multiplicación núcleo. Las X y Y no lineales son típicamente 0,4% y 0,1% de la escala completa, respectivamente. El error de factor de escala es típicamente 0,25% de la escala completa. La alta impedancia en la entrada Z siempre debe estar referenciada al punto de tierra del sistema impulsado, particularmente si este es remoto. Del mismo modo, las entradas X y Y diferenciales deberían ser referenciadas a sus

respectivas tierras para darse cuenta de la precisión del AD633.

Figura 2.2. Configuración del compensador de desplazamiento opcional



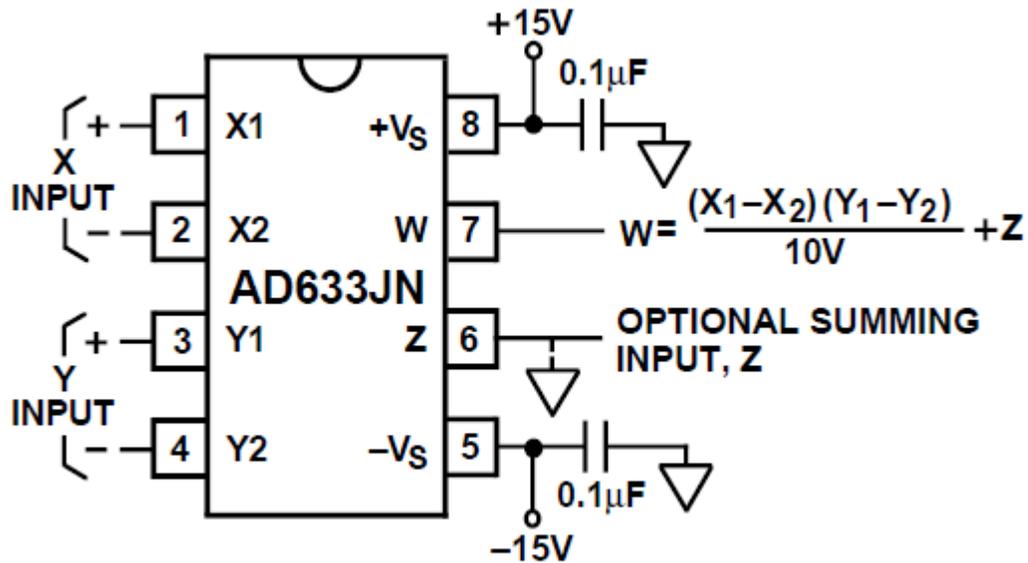
Extraído de: Datasheet circuito integrado AD633

Aplicaciones del AD633

El AD633 es adecuado para aplicaciones tales como la multiplicación, división, elevación al cuadrado, modulación y demodulación, el control automático de ganancia, la medición de energía, detección de fase, atenuadores, filtros, amplificadores controlados por voltaje, y dobladores de frecuencia.

En la Figura 2.3 se muestra las conexiones básicas para la multiplicación. Las entradas X y Y tendrán normalmente sus nodos de puesta a tierra negativos. Estos son diferenciales y en muchas aplicaciones las entradas puestas a tierra son reservadas (para facilitar la interface con señales de una polaridad particular, mientras se consigue alguna polaridad de salida deseada) o ambas son utilizadas.

Figura 2.3. Conexiones de un multiplicador básico.



Extraído de: Datasheet circuito integrado AD633

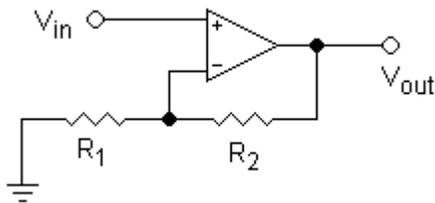
Para obtener la modulación BPSK a través del circuito integrado AD633, se conecta la señal moduladora o de información en la entrada X1 y la señal portadora sinusoidal en la entrada X2 mediante la configuración de multiplicación. La señal moduladora digital y la señal portadora son originadas a través de dos generadores de señales.

Para la señal moduladora se utiliza una señal cuadrada de amplitud 10 V y frecuencia de 400Hz. Para la señal portadora se utiliza una señal sinusoidal de amplitud 1 V y frecuencia de 40 KHz.

La señal de salida del AD633 debería pasar a través de un filtro pasa banda, el cual se encarga de dejar pasar un determinado rango de frecuencias con el fin de eliminar el posible ruido a través del canal. Para la realización del diseño del modulador BPSK se omitió el filtro pasa banda, debido a que no era necesario para la correcta utilización del módulo modulador y demodulador BPSK.

Debido que a la salida del circuito integrado AD633 la señal modulada en BPSK disminuye su amplitud, se utiliza un amplificador operacional con configuración no inversor de ganancia ajustable para recuperar la amplitud original de la señal portadora, ver figura 2.4.

Figura 2.4. Configuración no inversor con amplificador operacional



Extraído de: http://es.wikipedia.org/wiki/Amplificador_operacional

La salida del amplificador operacional no inversor es:

$$V_{out} = V_{in} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \text{ (EC. 13)}$$

2.2. COMPONENTES DEL DEMODULADOR BPSK

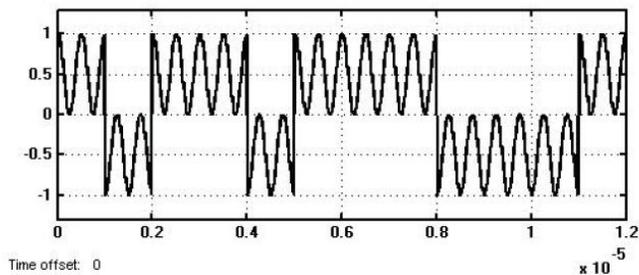
Para la demodulación BPSK se tuvo en cuenta el multiplicador análogo AD633JN/AN descrito anteriormente.

Utilizando el esquema de la figura 2.3, la señal BPSK se multiplica con una señal portadora sinusoidal originada a partir de otro generador de señales, la cual se sincroniza tanto en frecuencia como en fase con la señal portadora del modulador.

La señal a la salida del multiplicador analógico es como la que se muestra en la figura 2.5.

Debido a que la señal de salida del AD633 disminuye su amplitud, se coloca un amplificador operacional con ganancia ajustable, ver figura 2.4.

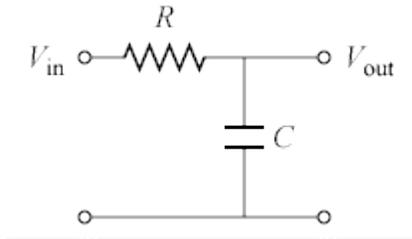
Figura 2.5. Forma de onda a la salida del multiplicador análogo AD633 para una entrada sinusoidal y una entrada BPSK.



Extraída de <http://duberpp.hostoi.com/TC/LABO%2009.pdf>

A la salida del amplificador se coloca un filtro pasabajos pasivo de primer orden o circuito RC para suprimir el rizado, ver figura 2.6.

Figura 2.6. Filtro pasabajos pasivo de primer orden.



Extraído de <http://lab51g7.blogspot.com/2010/11/trabajo-practico-n-11-filtros-activos.html>

Para hallar los valores de los elementos R y C se utiliza la siguiente ecuación:

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} \quad (EC. 14)$$

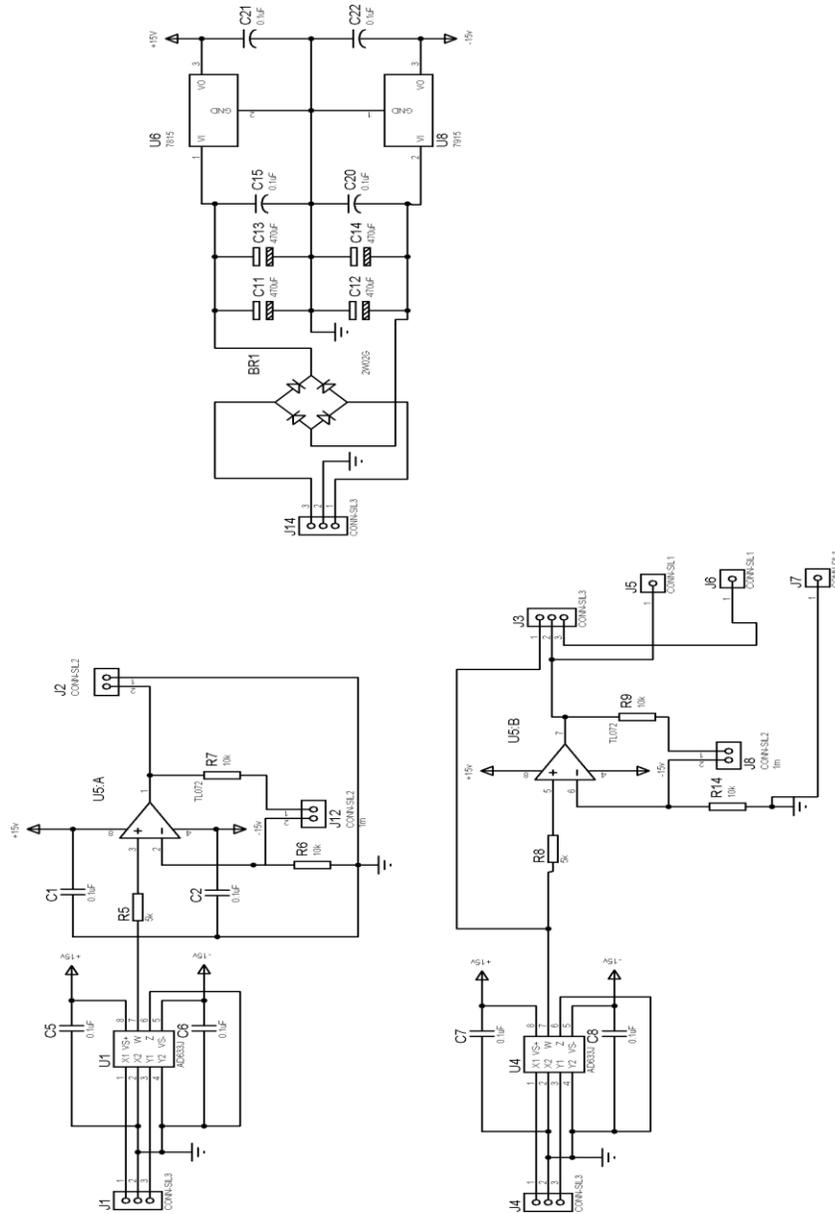
Entonces teniendo el valor de frecuencia de corte, se escoge un valor comercial de capacitor y se halla el valor de la resistencia.

Recuérdese que $-\text{sen}^2 w_c t = -\frac{1}{2} + \frac{1}{2} \cos 2w_c t$ y $\text{sen}^2 w_c t = \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \cos 2w_c t$

Por lo tanto el filtro pasa bajo extrae el término de continua en las anteriores ecuaciones ($-\frac{1}{2}$ y $\frac{1}{2}$). De esta manera se obtiene una onda cuadrada que oscila entre $-\frac{1}{2}V$ y $\frac{1}{2}V$.

2.3. DIAGRAMA DE DISTRIBUCION DE COMPONENTES

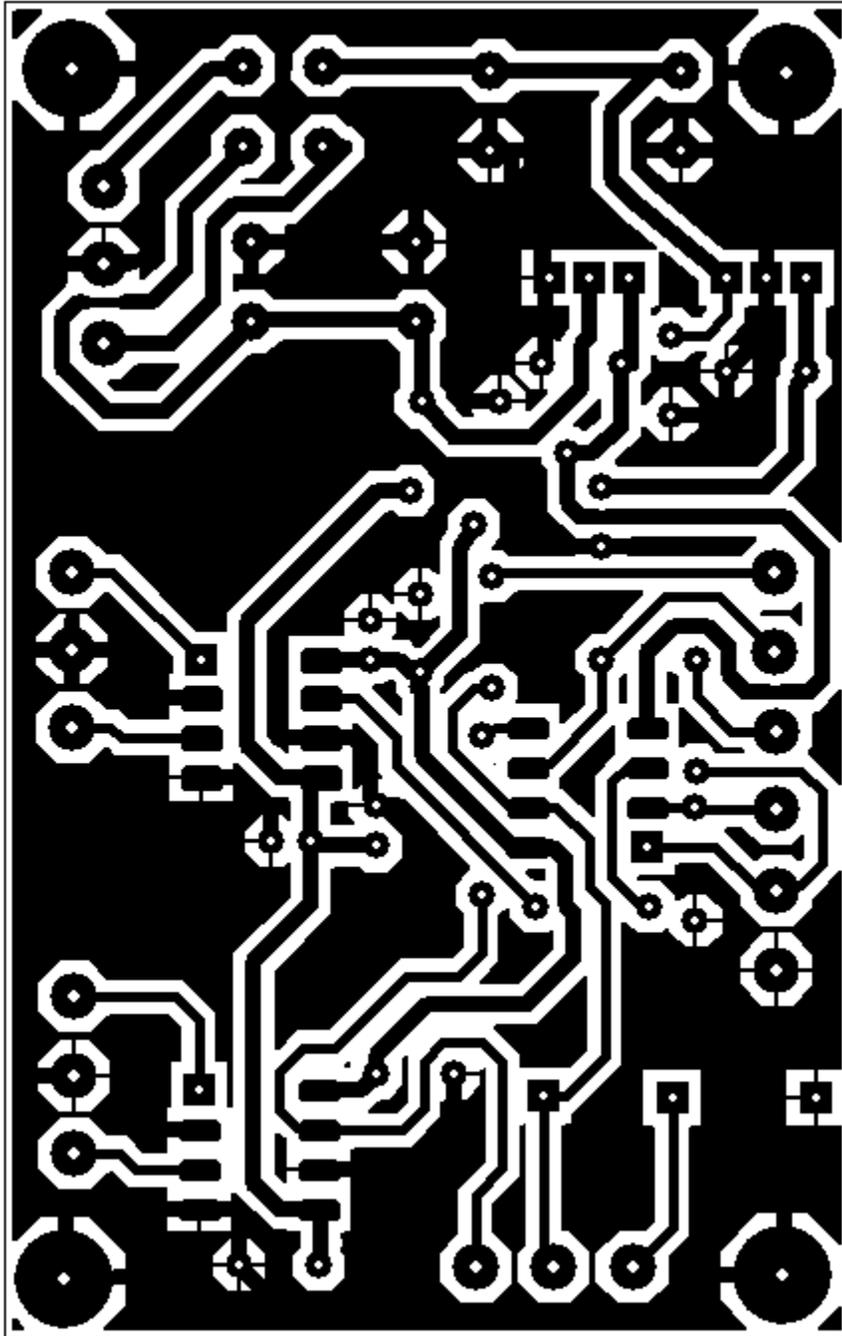
Figura 2.7. Diagrama de distribución de componentes para el modulador y demodulador BPSK



Elaborado mediante el software Proteus

2.4 DIAGRAMA DE CIRCUITO IMPRESO

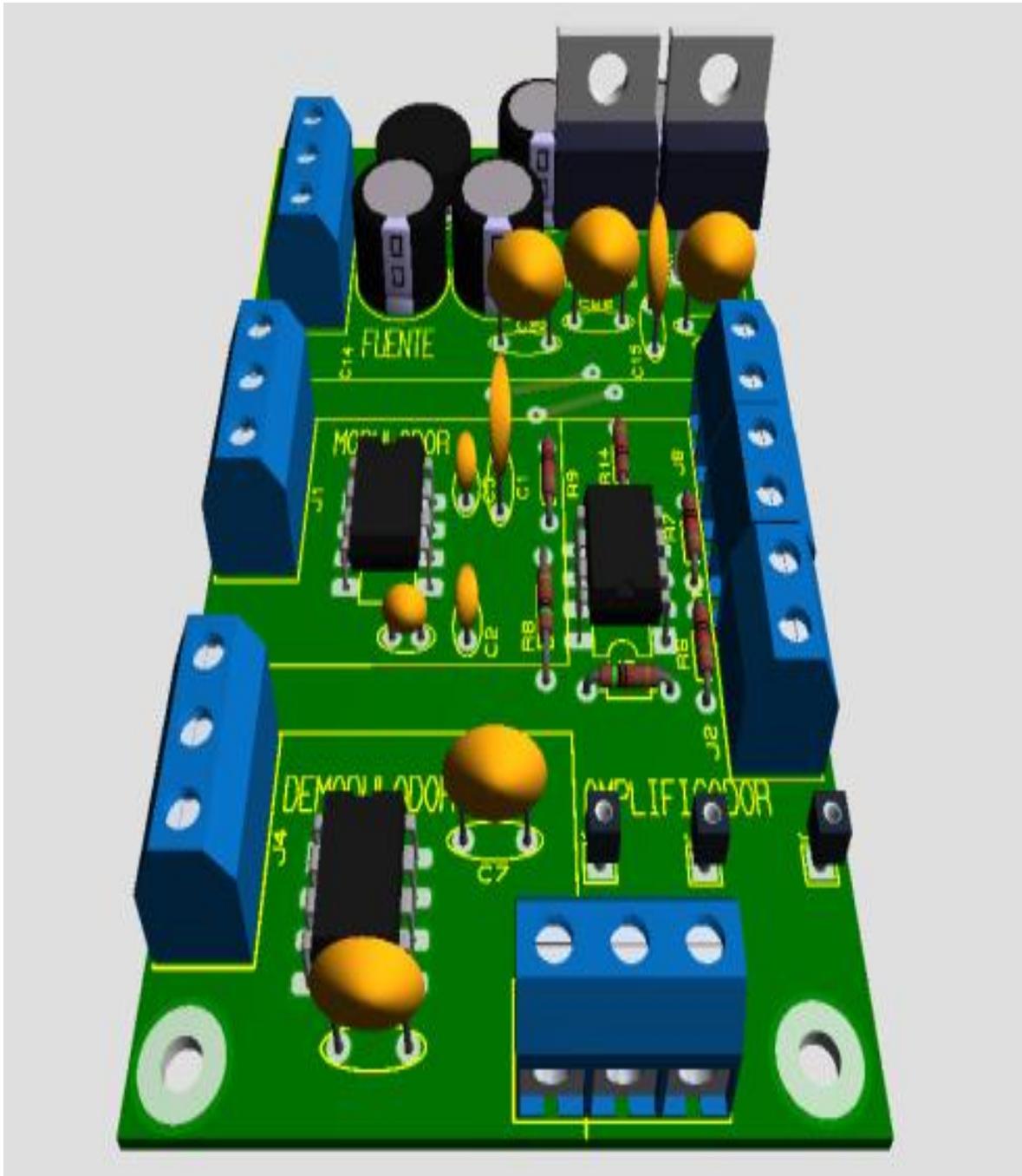
Figura 2.8. Diagrama de circuito impreso del modulador y demodulador BPSK.



Elaborado mediante el software Proteus

2.5 DIAGRAMA PCB EN 3D

Figura 2.9. Diagrama PCB en 3D del modulador y demodulador BPSK.



Elaborado mediante el software Proteus

CAPITULO 3

GUIAS DE LABORATORIO

A continuación se muestra la guía de laboratorio acerca de la modulación BPSK.

Guía de laboratorio # 1

“Modulación BPSK”

1.0 Objetivos

- ✓ Conocer el funcionamiento de un modulador BPSK.
- ✓ Analizar el comportamiento de una señal BPSK a través del tiempo y su forma de onda.
- ✓ Familiarizarse con los diferentes componentes y conceptos de un modulador BPSK.

2.0 Materiales

- ✓ Módulo de prácticas modulador y demodulador BPSK
- ✓ Generadores de señales (2)
- ✓ Osciloscopio
- ✓ Multímetro

3.0 Precauciones

Las principales precauciones a considerar para la realización de las prácticas son las siguientes:

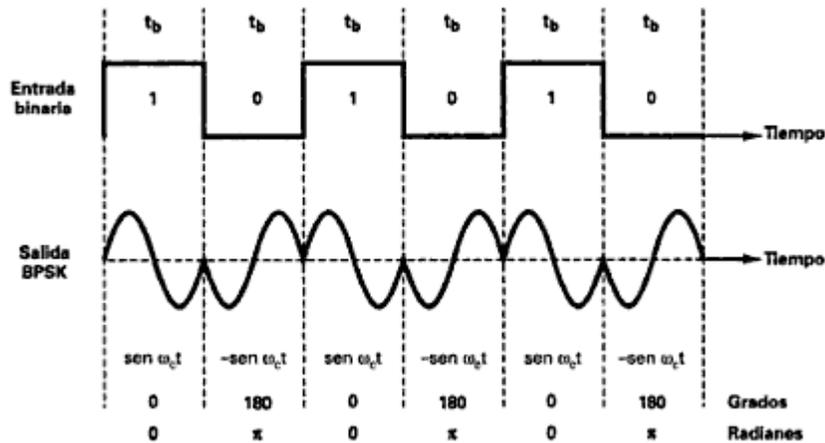
- ✓ No ingerir ni consumir alimentos en el laboratorio.
- ✓ Obedecer las señales y avisos colocados en el área de trabajo del laboratorio es primordial en la parte de formación en materia de seguridad.

- ✓ Analice los riesgos que pueden surgir y tome acciones preventivas.
- ✓ Planificación de las prácticas con objeto de disminuir o eliminar los posibles riesgos.
- ✓ Es importante que se instruya sobre la utilización de los equipos y herramientas del laboratorio como parte de formación en materia de seguridad.
- ✓ No trabajar con equipos defectuosos y hacer el respectivo aviso al auxiliar de laboratorio.
- ✓ Al laboratorio se ingresa solo con lo necesario, importante no ingresar al área de trabajo con objetos metálicos.
- ✓ Con el fin de prevenir la avería de equipos o daño corporal, se recomienda que la última conexión que se realice en los montajes electrónicos o eléctricos es la fuente de alimentación o energía y la fuente que genera la señal (generador de señal). Verifique todas las conexiones antes de energizar.
- ✓ Desconectar los equipos de medición antes de desenergizar el montaje con fin de proteger de posibles daños al desenchufar las fuentes.

4.0 Marco teórico

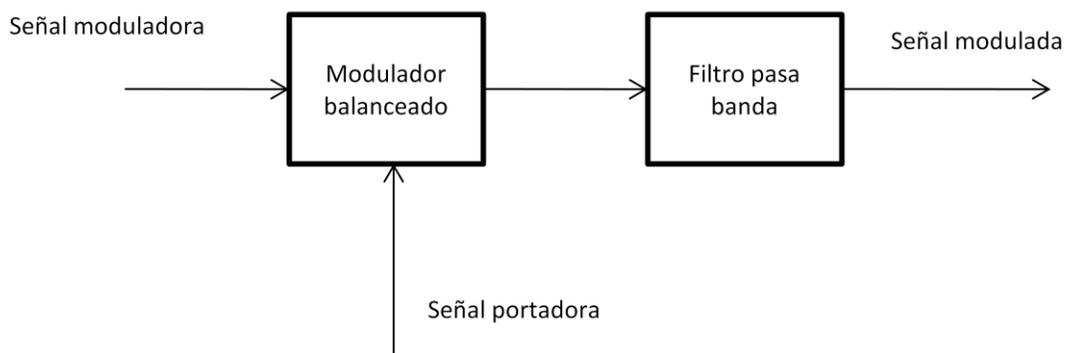
4.1 Modulación BPSK

La modulación BPSK es una forma de modulación de onda cuadrada de portadora suprimida de una señal de onda continua. BPSK permite solo dos fases de salida para una sola frecuencia de portadora. Una fase de salida representa un 1 lógico y la otra un 0 lógico. A medida que la señal digital de entrada cambia de estado, la fase de la portadora de salida se desplaza entre dos ángulos que están 180° fuera de fase, como se muestra en la siguiente figura:



4.1.1 Modulador BPSK

Para obtener una señal modulada en BPSK se utiliza un modulador balanceado que funciona como un conmutador, ya que a medida que la señal de información muestre un “1” o un “0” la portadora conmuta en dos fases diferentes. Luego la señal que sale del modulador balanceado se pasa a través de un filtro pasabandas que tiene la función de eliminar los armónicos no significativos de la señal con el fin de no interferir con otras señales que vayan a transmitirse por ese mismo canal. A continuación se muestra un diagrama de bloques para un modulador BPSK:

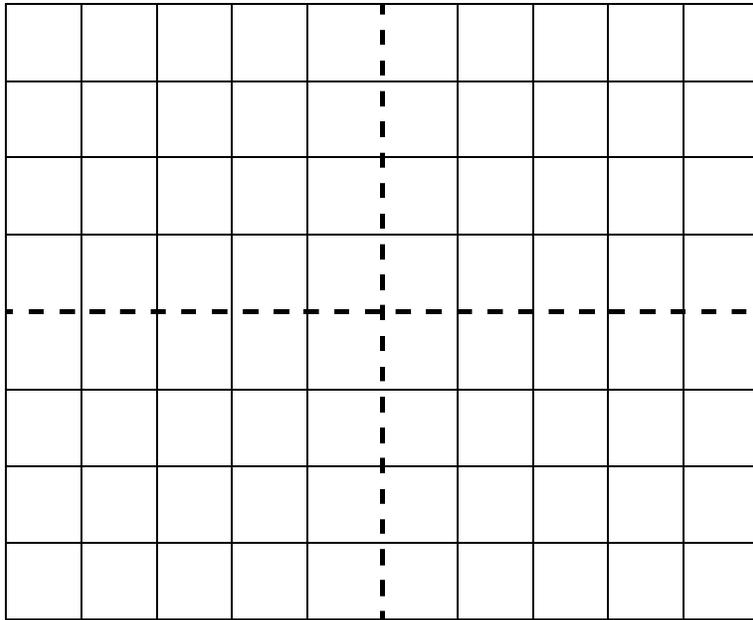


5.0 Libros de consulta

- Tomasi, Wayne. Sistemas de Comunicaciones Electrónicas. Segunda edición. Prentice Hall. 1996.
- Herrera, Enrique. Comunicación Digital y Ruido. Editorial LIMUSA. 2004.
- Faúndez, Marcos. Sistemas de Comunicaciones. Marcombo Boixareu editores. 2001.
- Andy Bateman. Comunicaciones digitales: Diseño para el mundo real. Marcombo Boixareu editores. 2003.
- Digital Communications. Chitode, J.S. Primera edición. Editorial Technical Publications Pune. 2007-2008.
- Principles Of Communications. Chitode, J.S. Primera edición. Editorial Technical Publications Pune. 2008.

6.0 Trabajo práctico

1. Conecte el módulo modulador y demodulador BPSK
2. Conecte el generador de señales en la bornera A. Configure los siguientes parámetros para una señal moduladora cuadrada: Amplitud 10 V y frecuencia 400 Hz. Verifique estos valores utilizando el canal 1 del osciloscopio
3. Conecte el generador de señales en la bornera B. Configure los siguientes parámetros para una señal portadora sinusoidal: Amplitud 1 V y frecuencia 40KHz. Verifique estos valores utilizando el canal 2 del osciloscopio
4. Coloque ahora el canal 2 del osciloscopio en la bornera etiquetada como “salida señal BPSK” para observar la señal modulada en BPSK. Utilice el potenciómetro C para mejorar la amplitud de la señal. A continuación dibuje la forma de onda que se observa.



V/Div = _____ Time/Div = _____ Frecuencia = _____

5. Coloque el osciloscopio en modo dual y compare la señal BPSK con la señal moduladora o de información. Se debe observar una gráfica como la que se muestra a continuación:



6. Varíe la amplitud de la señal moduladora y registre la amplitud de la señal BPSK.

Amplitud señal cuadrada (V)	Amplitud señal BPSK (V)
1.5V	
2V	
2.5V	
3V	
3.5V	
4V	
5V	
10V	

Confronte los valores de la tabla en una gráfica. ¿ Qué observa?

7.0 Conclusiones

Escriba las conclusiones de la práctica a continuación:

Guía de laboratorio # 2

“Demodulación BPSK”

1.0 Objetivos

- ✓ Conocer el funcionamiento de un demodulador BPSK.
- ✓ Analizar el comportamiento de una señal BPSK a través de un circuito multiplicador análogo y su forma de onda de salida.
- ✓ Familiarizarse con los diferentes componentes y conceptos de un demodulador BPSK.
- ✓ Analiza comportamiento y forma de la señal de información recuperada con respecto a la señal de información original

2.0 Materiales

- ✓ Módulo de prácticas modulador y demodulador BPSK
- ✓ Generadores de señales (3)
- ✓ Osciloscopio
- ✓ Multímetro

3.0 Precauciones

Las principales precauciones a considerar para la realización de las prácticas son las siguientes:

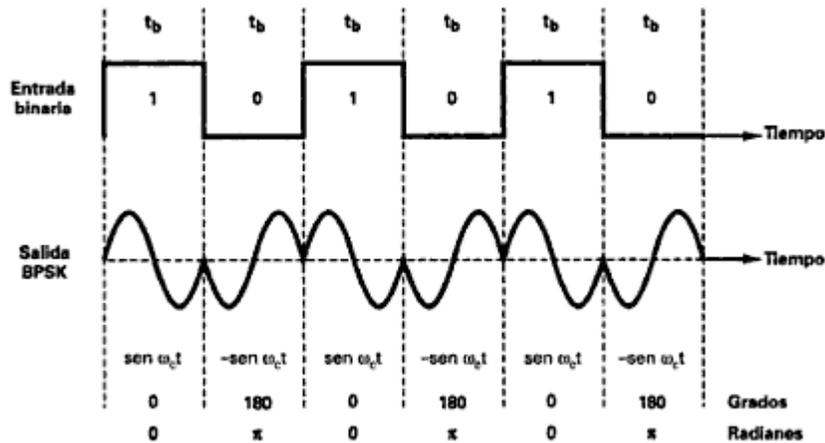
- ✓ No ingerir ni consumir alimentos en el laboratorio.
- ✓ Obedecer las señales y avisos colocados en el área de trabajo del laboratorio es primordial en la parte de formación en materia de seguridad.
- ✓ Analice los riesgos que pueden surgir y tome acciones preventivas.

- ✓ Planificación de las prácticas con objeto de disminuir o eliminar los posibles riesgos.
- ✓ Es importante que se instruya sobre la utilización de los equipos y herramientas del laboratorio como parte de formación en materia de seguridad.
- ✓ No trabajar con equipos defectuosos y hacer el respectivo aviso al auxiliar de laboratorio.
- ✓ Al laboratorio se ingresa solo con lo necesario, importante no ingresar al área de trabajo con objetos metálicos.
- ✓ Con el fin de prevenir la avería de equipos o daño corporal, se recomienda que la última conexión que se realice en los montajes electrónicos o eléctricos es la fuente de alimentación o energía y la fuente que genera la señal (generador de señal). Verifique todas las conexiones antes de energizar.
- ✓ Desconectar los equipos de medición antes de desenergizar el montaje con fin de proteger de posibles daños al desenchufar las fuentes.

4.0 Marco teórico

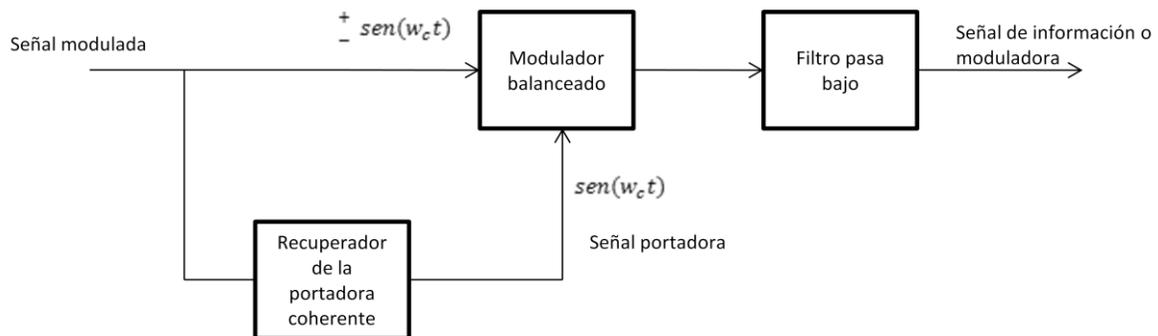
4.1 Modulación BPSK

La modulación BPSK es una forma de modulación de onda cuadrada de portadora suprimida de una señal de onda continua. BPSK permite solo dos fases de salida para una sola frecuencia de portadora. Una fase de salida representa un 1 lógico y la otra un 0 lógico. A medida que la señal digital de entrada cambia de estado, la fase de la portadora de salida se desplaza entre dos ángulos que están 180° fuera de fase, como se muestra en la siguiente figura:



4.1.1 Demodulador BPSK

A continuación se muestra el diagrama de bloques correspondiente a un demodulador BPSK:



La señal de entrada al demodulador puede ser $sen(2\pi ft)$ o $-sen(2\pi ft)$. El circuito de recuperación de portadora coherente detecta y regenera una señal portadora que va a ser coherente tanto en frecuencia como en fase de la señal portadora del transmisor. Cualquiera de las dos opciones anteriores sea la señal de entrada se multiplica por la señal portadora regenerada a través del modulador

balanceado, el cual es un detector de producto. La señal de salida del modulador balanceado se pasa a través de un filtro pasa-bajas (LPF), el cual separa los datos binarios recuperados de la señal demodulada compleja.

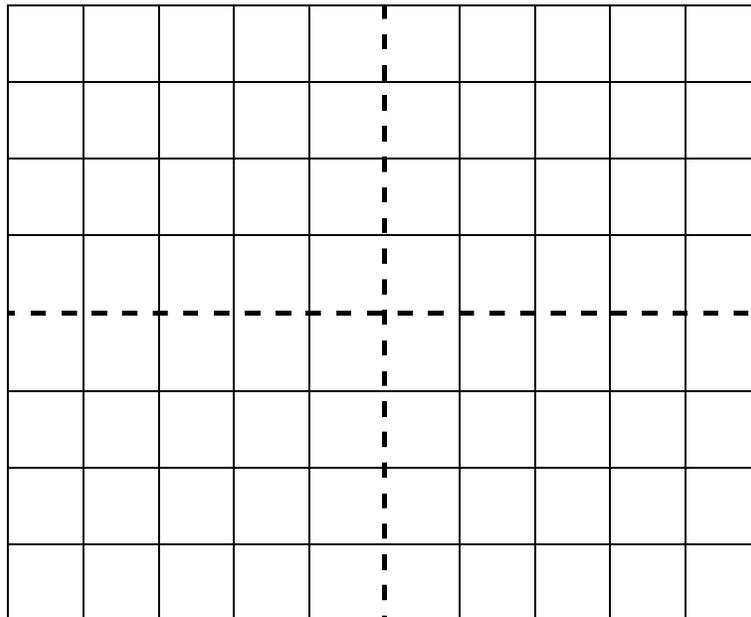
5.0 Libros de consulta

- Tomasi, Wayne. Sistemas de Comunicaciones Electrónicas. Segunda edición. Prentice Hall. 1996.
- Herrera, Enrique. Comunicación Digital y Ruido. Editorial LIMUSA. 2004.
- Faúndez, Marcos. Sistemas de Comunicaciones. Marcombo Boixareu editores. 2001.
- Andy Bateman. Comunicaciones digitales: Diseño para el mundo real. Marcombo Boixareu editores. 2003.
- Digital Communications. Chitode, J.S. Primera edición. Editorial Technical Publications Pune. 2007-2008.
- Principles Of Communications. Chitode, J.S. Primera edición. Editorial Technical Publications Pune. 2008.

6.0 Trabajo práctico

1. Conecte el módulo modulador y demodulador BPSK
2. Conecte el generador de señales en la bornera A. Configure los siguientes parámetros para una señal moduladora cuadrada: Amplitud 10 V y frecuencia 400 Hz. Verifique estos valores utilizando el canal 1 del osciloscopio
3. Conecte el generador de señales en la bornera B. Configure los siguientes parámetros para una señal portadora sinusoidal: Amplitud 1 V y frecuencia 40KHz. Verifique estos valores utilizando el canal 2 del osciloscopio.

4. Conecte la bornera etiquetada como “salida señal BPSK” con la bornera D mediante un cable banana o caimán.
5. Conecte el generador de señales en la bornera E. Configure los siguientes parámetros para una señal portadora sinusoidal: Amplitud 1 V y frecuencia 40KHz. Verifique estos valores utilizando el canal 1 del osciloscopio.
6. Compare las dos señales sinusoidales colocando el osciloscopio en modo dual. Haga los ajustes necesarios hasta observar que las dos ondas estén sincronizadas tanto en fase como en frecuencia.
7. Conecte el canal 1 del osciloscopio en la bornera etiquetada como “Señal Moduladora Recuperada”. Utilice potenciómetro número F para mejorar la amplitud de la señal. Grafique la señal que se observa.



V/Div = _____ Time/Div = _____ Frecuencia = _____

Guía de laboratorio # 3

“Modulación y Demodulación BPSK”

1.0 Objetivos

- ✓ Conocer el funcionamiento de un modulador y un demodulador BPSK.
- ✓ Analizar el comportamiento de una señal BPSK a través del tiempo y su forma de onda.
- ✓ Analizar el comportamiento de una señal BPSK a través de un circuito multiplicador análogo y su forma de onda de salida.
- ✓ Familiarizarse con los diferentes componentes y conceptos de un modulador y un demodulador BPSK.
- ✓ Analiza comportamiento y forma de la señal de información recuperada con respecto a la señal de información original

2.0 Materiales

- ✓ Módulo de prácticas modulador y demodulador BPSK
- ✓ Generadores de señales
- ✓ Osciloscopio
- ✓ Multímetro

3.0 Precauciones

Las principales precauciones a considerar para la realización de las prácticas son las siguientes:

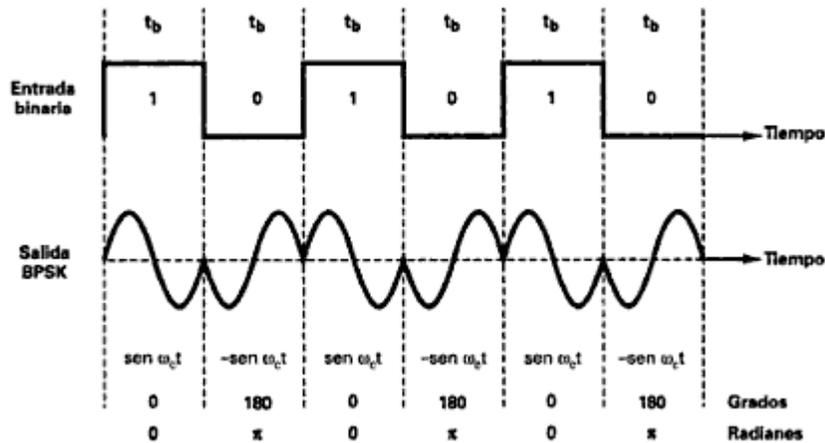
- ✓ No ingerir ni consumir alimentos en el laboratorio.
- ✓ Obedecer las señales y avisos colocados en el área de trabajo del laboratorio es primordial en la parte de formación en materia de seguridad.

- ✓ Analice los riesgos que pueden surgir y tome acciones preventivas.
- ✓ Planificación de las prácticas con objeto de disminuir o eliminar los posibles riesgos.
- ✓ Es importante que se instruya sobre la utilización de los equipos y herramientas del laboratorio como parte de formación en materia de seguridad.
- ✓ No trabajar con equipos defectuosos y hacer el respectivo aviso al auxiliar de laboratorio.
- ✓ Al laboratorio se ingresa solo con lo necesario, importante no ingresar al área de trabajo con objetos metálicos.
- ✓ Con el fin de prevenir la avería de equipos o daño corporal, se recomienda que la última conexión que se realice en los montajes electrónicos o eléctricos es la fuente de alimentación o energía y la fuente que genera la señal (generador de señal). Verifique todas las conexiones antes de energizar.
- ✓ Desconectar los equipos de medición antes de desenergizar el montaje con fin de proteger de posibles daños al desenchufar las fuentes.

4.0 Marco teórico

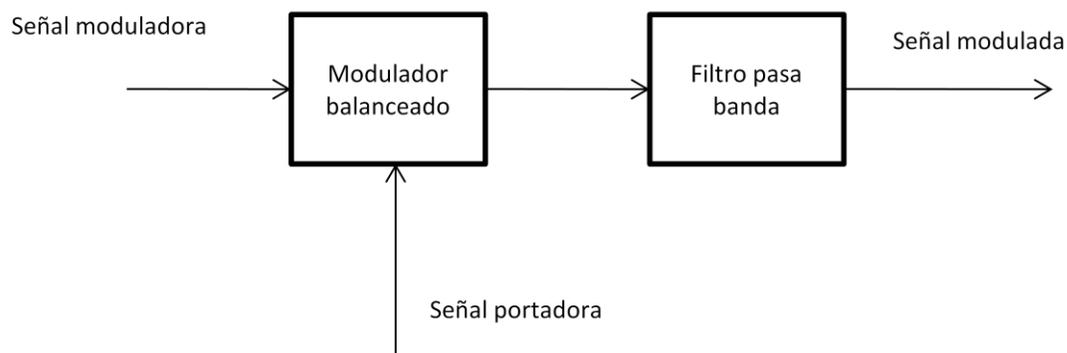
4.1 Modulación BPSK

La modulación BPSK es una forma de modulación de onda cuadrada de portadora suprimida de una señal de onda continua. BPSK permite solo dos fases de salida para una sola frecuencia de portadora. Una fase de salida representa un 1 lógico y la otra un 0 lógico. A medida que la señal digital de entrada cambia de estado, la fase de la portadora de salida se desplaza entre dos ángulos que están 180° fuera de fase, como se muestra en la siguiente figura:



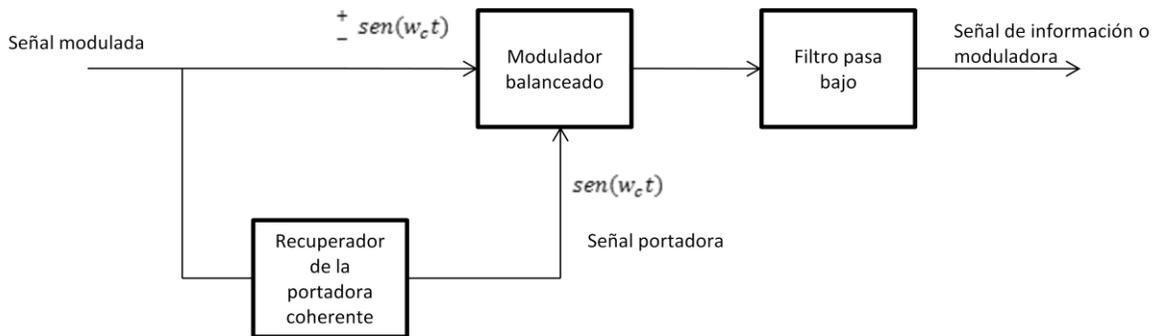
4.1.1 Modulador BPSK

Para obtener una señal modulada en BPSK se utiliza un modulador balanceado que funciona como un conmutador, ya que a medida que la señal de información muestre un “1” o un “0” la portadora conmuta en dos fases diferentes. Luego la señal que sale del modulador balanceado se pasa a través de un filtro pasabandas que tiene la función de eliminar los armónicos no significativos de la señal con el fin de no interferir con otras señales que vayan a transmitirse por ese mismo canal. A continuación se muestra un diagrama de bloques para un modulador BPSK:



4.1.2 Demodulador BPSK

A continuación se muestra el diagrama de bloques correspondiente a un demodulador BPSK:



La señal de entrada al demodulador puede ser $sen(2\pi ft)$ o $-sen(2\pi ft)$. El circuito de recuperación de portadora coherente detecta y regenera una señal portadora que va a ser coherente tanto en frecuencia como en fase de la señal portadora del transmisor. Cualquiera de las dos opciones anteriores sea la señal de entrada se multiplica por la señal portadora regenerada a través del modulador balanceado, el cual es un detector de producto. La señal de salida del modulador balanceado se pasa a través de un filtro pasa-bajas (LPF), el cual separa los datos binarios recuperados de la señal demodulada compleja.

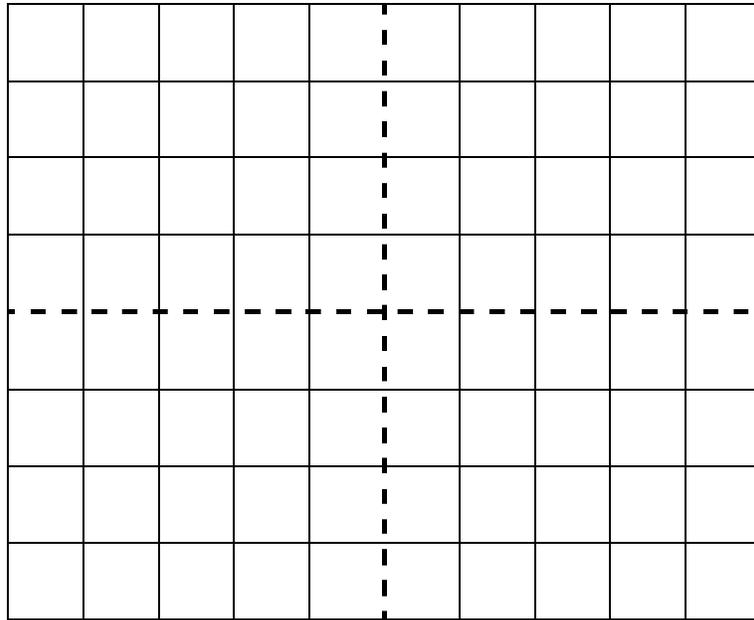
5.0 Libros de consulta

- Tomasi, Wayne. Sistemas de Comunicaciones Electrónicas. Segunda edición. Prentice Hall. 1996.
- Herrera, Enrique. Comunicación Digital y Ruido. Editorial LIMUSA. 2004.
- Faúndez, Marcos. Sistemas de Comunicaciones. Marcombo Boixareu editores. 2001.

- Andy Bateman. Comunicaciones digitales: Diseño para el mundo real. Marcombo Boixareu editores. 2003.
- Digital Communications. Chitode, J.S. Primera edición. Editorial Technical Publications Pune. 2007-2008.
- Principles Of Communications. Chitode, J.S. Primera edición. Editorial Technical Publications Pune. 2008.

6.0 Trabajo práctico

1. Conecte el módulo modulador y demodulador BPSK
2. Conecte el generador de señales en la bornera A. Configure los siguientes parámetros para una señal moduladora cuadrada: Amplitud 10 V y frecuencia 400 Hz. Verifique estos valores utilizando el canal 1 del osciloscopio
3. Conecte el generador de señales en la bornera B. Configure los siguientes parámetros para una señal portadora sinusoidal: Amplitud 1 V y frecuencia 40KHz. Verifique estos valores utilizando el canal 2 del osciloscopio
4. Coloque ahora el canal 2 del osciloscopio en la bornera etiquetada como “salida señal BPSK” para observar la señal modulada en BPSK. Utilice el potenciómetro C para mejorar la amplitud de la señal. A continuación dibuje la forma de onda que se observa.



V/Div = _____ Time/Div = _____ Frecuencia = _____

5. Coloque el osciloscopio en modo dual y compare la señal BPSK con la señal moduladora o de información. Se debe observar una gráfica como la que se muestra a continuación:



6. Varíe la amplitud de la señal moduladora y registre la amplitud de la señal BPSK.

Amplitud señal cuadrada (V)	Amplitud señal BPSK (V)
1.5V	
2V	
2.5V	
3V	
3.5V	
4V	
5V	
10V	

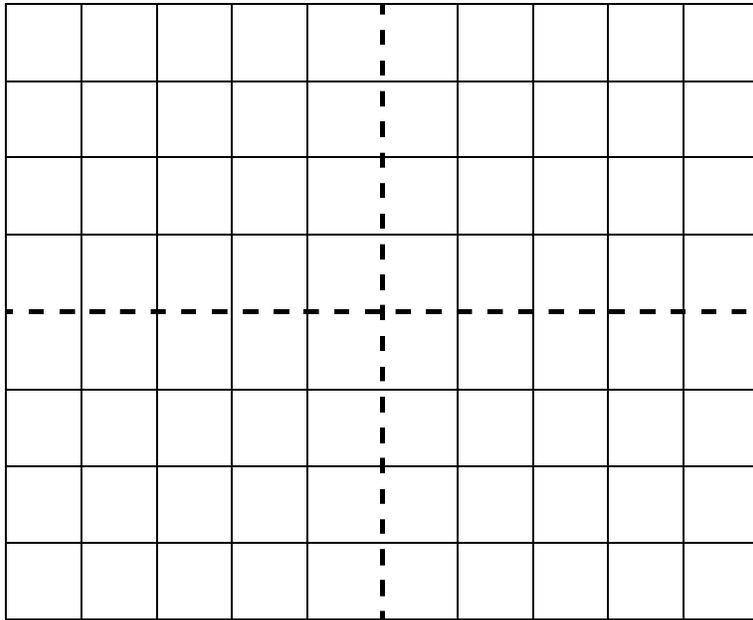
Confronte los valores de la tabla en una gráfica. ¿ Qué observa?

7. Conecte la bornera etiquetada como “salida señal BPSK” con la bornera D mediante un cable banana o caimán.

8. Conecte el generador de señales en la bornera E. Configure los siguientes parámetros para una señal portadora sinusoidal: Amplitud 1 V y frecuencia 40KHz. Verifique estos valores utilizando el canal 1 del osciloscopio

9. Conecte el canal 2 del osciloscopio en la bornera B y compare las dos señales sinusoidales colocando el osciloscopio en modo dual. Haga los ajustes necesarios hasta observar que las dos ondas estén sincronizadas tanto en fase como en frecuencia.

10. Conecte el canal 1 del osciloscopio en la bornera etiquetada como “Señal Moduladora Recuperada”. Utilice potenciómetro número F para mejorar la amplitud de la señal. Grafique la señal que se observa.



11. Conecte el canal 2 en la bornera A y coloque el osciloscopio en modo dual para comparar las dos señales cuadradas. Calcule el periodo de cada una T1: _____, T2: _____. Calcule el error porcentual para el periodo de la señal de información de salida con respecto a la señal de información original utilizando la siguiente fórmula: $\% \text{ error} = \frac{\text{valor teórico} - \text{valor real}}{\text{valor teórico}} \times 100\%$

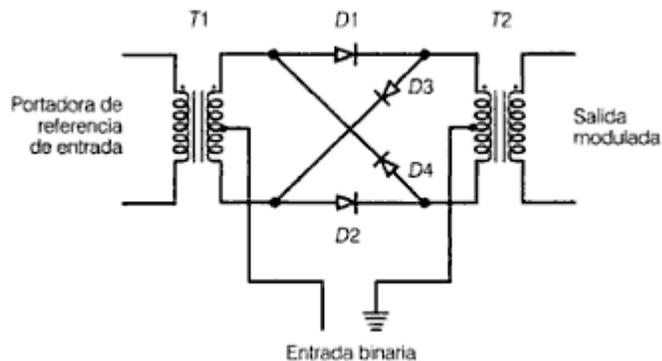
CAPITULO 4

EXPERIENCIAS VIVIDAS EN EL DISEÑO, CONSTRUCCION Y FUNCIONAMIENTO DEL MODULO BPSK

Se partió de un diseño de modulador y demodulador BPSK totalmente digital, esto es, la señal portadora también era una señal cuadrada. Integrados como el CD4512 y flip flops tipo D, hacían parte de este circuito. Debido a la gran cantidad de integrado y conexiones, se tuvo muchos problemas en el montaje en la protoboard. Se hicieron muchas pruebas de este circuito en el laboratorio, pero al final no se cumplieron las expectativas del diseño y se tuvo que desistir.

Luego lo que hizo, fue hacer varias pruebas con varios transformadores, conectándolos como se ve en la figura 4.1. La implementación con este diseño funcionó, aunque la señal BPSK estaba un poco distorsionada en los cambios de fase.

Figura 4.1. Modulador BPSK utilizando transformadores.



Extraído de: Herrera, Enrique. Comunicación Digital y Ruido. Editorial LIMUSA. 2004

Finalmente se optó por un diseño más simple y económico con el circuito integrado AD633.

Se debe tener sumo cuidado a la hora de la implementación del circuito modulador y el demodulador con los equipos electrónicos tanto generadores de señales y osciloscopios, debido a que su mal conexión ocasionaría daños en estos equipos de medición.

Se recomienda para este tipo de práctica contar con equipos de alta precisión para poder apreciar el funcionamiento de este tipo de modulación con frecuencias muy altas.

CAPITULO 5

SUGERENCIAS PARA FUTUROS TRABAJOS

Antes de empezar a diseñar un modulador y demodulador BPSK, es importante conocer los conceptos básicos de la modulación BPSK. Conociendo la teoría, es recomendable empezar a diseñar tanto la etapa de modulación y de demodulación a través de bloques separados. Conociendo cada bloque y su función, se procede a buscar un integrado o un esquema que pueda cumplir con las funciones del bloque.

A continuación se muestran una serie de sugerencias basadas en la experiencia adquirida en el diseño y construcción de un modulador y demodulador BPSK:

Primero, el diseño del modulador BPSK con el circuito integrado AD633 originó una señal BPSK adecuada.

Segundo, En el demodulador a pesar de que la multiplicación de la señal BPSK con la señal portadora originada en el receptor funcionó muy bien utilizando el integrado AD633, también era posible utilizar otro tipo de circuito integrado multiplicador análogo.

Tercero, para implementar a este a diseño la recuperación de la señal portadora en el demodulador, se puede optar por un circuito que eleve la señal BPSK al cuadrado, como lo es el mismo AD633, posteriormente esa señal se pasa a través de un PLL, luego pasa a través de un divisor de frecuencias, para obtener la señal portadora sincronizada en fase y frecuencia con la señal portadora del modulador. La recuperación de la portadora también es posible utilizando un integrado Costas Loop o circuito remodulador.

CONCLUSIONES

Se cumplió con el objetivo de construir un módulo para prácticas de laboratorio, el cual incluye un modulador y demodulador BPSK. Este módulo se hizo con el fin de que los estudiantes de telecomunicaciones se familiaricen con el concepto de modulación BPSK, comprobando a través de la práctica los conceptos teóricos.

El diseño del modulador y demodulador BPSK funcionó muy bien en la práctica, aunque hubo que hacer muchos ensayos y ajustes en el laboratorio, cambio de componentes y verificar conexiones constantemente.

Aunque el diseño cumplió con las expectativas, se le pueden hacer muchas mejoras, entre las cuales se propone utilizar el método de recuperación de portadora mediante la utilización de dispositivos como el PLL, circuito Costas Loop y circuito remodelador.

Fue de vital importancia obtener una excelente sincronización entre la señal portadora del modulador y la señal portadora del demodulador, ya que esta permitió a la salida del multiplicador análogo (AD633), un nivel de continua, el cual es indispensable para recuperar la señal de información.

BIBLIOGRAFIA

Referencias Bibliográficas

- Tomasi, Wayne. Sistemas de Comunicaciones Electrónicas. Segunda edición. Prentice Hall. 1996.
- Herrera, Enrique. Comunicación Digital y Ruido. Editorial LIMUSA. 2004.
- Faúndez, Marcos. Sistemas de Comunicaciones. Marcombo Boixareu editores. 2001.
- Andy Bateman. Comunicaciones digitales: Diseño para el mundo real. Marcombo Boixareu editores. 2003.
- Digital Communications. Chitode, J.S. Primera edición. Editorial Technical Publications Pune. 2007-2008.
- Principles Of Communications. Chitode, J.S. Primera edición. Editorial Technical Publications Pune. 2008.
- Digital Transmission Engineering. Anderson, Jhon B. Segunda edición. Editorial Wiley – Interscience. 2005.
- Data Communications and Computer Networks. Gupta, Prakash C. Editorial Prentice - Hall of India Private Limited. 2006.
- Analog and Digital Communication. Chitode, J.S. Segunda edición. Editorial Technical Publications Pune. 2008.
- Wireless Communications. Goldsmith, Andrea. Editorial Cambridge University Press. 2005.
- Digital Transmission Systems. Smith David R. Tercera edición. Editorial Kluwer Academic Publishers. 2004.

Referencias Cibergráficas

- <http://duberpp.hostoi.com/TC/LABO%2009.pdf>
- http://es.wikipedia.org/wiki/Modulaci%C3%B3n_por_desplazamiento_de_fase
- <http://www.datasheetcatalog.org/datasheet2/c/0gh5wy71w3dsw8x23f8l8pw8d97y.pdf>
- <http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/exar/XR2206v103.pdf>
- <http://www.analfatecnicos.net/pregunta.php?id=15>
- http://winsock1.iespana.es/web_tele/teleco/telecom/frame63.htm

ANEXOS



Low Cost Analog Multiplier

AD633

FEATURES

Four-Quadrant Multiplication
 Low Cost 8-Pin Package
 Complete—No External Components Required
 Laser-Trimmed Accuracy and Stability
 Total Error Within 2% of FS
 Differential High Impedance X and Y Inputs
 High Impedance Unity-Gain Summing Input
 Laser-Trimmed 10 V Scaling Reference

APPLICATIONS

Multiplication, Division, Squaring
 Modulation/Demodulation, Phase Detection
 Voltage-Controlled Amplifiers/Attenuators/Filters

PRODUCT DESCRIPTION

The AD633 is a functionally complete, four-quadrant, analog multiplier. It includes high impedance, differential X and Y inputs and a high impedance summing input (Z). The low impedance output voltage is a nominal 10 V full scale provided by a buried Zener. The AD633 is the first product to offer these features in modestly priced 8-pin plastic DIP and SOIC packages.

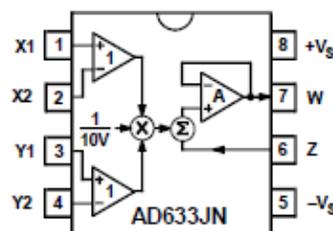
The AD633 is laser calibrated to a guaranteed total accuracy of 2% of full scale. Nonlinearity for the Y-input is typically less than 0.1% and noise referred to the output is typically less than 100 μV rms in a 10 Hz to 10 kHz bandwidth. A 1 MHz bandwidth, 20 V/ μs slew rate, and the ability to drive capacitive loads make the AD633 useful in a wide variety of applications where simplicity and cost are key concerns.

The AD633's versatility is not compromised by its simplicity. The Z-input provides access to the output buffer amplifier, enabling the user to sum the outputs of two or more multipliers, increase the multiplier gain, convert the output voltage to a current, and configure a variety of applications.

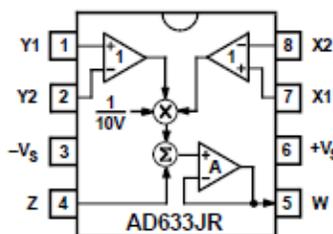
The AD633 is available in an 8-pin plastic mini-DIP package (N) and 8-pin SOIC (R) and is specified to operate over the 0°C to +70°C commercial temperature range.

CONNECTION DIAGRAMS

8-Pin Plastic DIP (N) Package



8-Pin Plastic SOIC (R) Package



$$W = \frac{(X_1 - X_2)(Y_1 - Y_2)}{10V} + Z$$

PRODUCT HIGHLIGHTS

1. The AD633 is a complete four-quadrant multiplier offered in low cost 8-pin plastic packages. The result is a product that is cost effective and easy to apply.
2. No external components or expensive user calibration are required to apply the AD633.
3. Monolithic construction and laser calibration make the device stable and reliable.
4. High (10 M Ω) input resistances make signal source loading negligible.
5. Power supply voltages can range from ± 8 V to ± 18 V. The internal scaling voltage is generated by a stable Zener diode; multiplier accuracy is essentially supply insensitive.

AD633—SPECIFICATIONS ($T_A = +25^\circ\text{C}$, $V_S = \pm 15\text{ V}$, $R_L \geq 2\text{ k}\Omega$)

Model		AD633J			
TRANSFER FUNCTION		$W = \frac{(X_1 - X_2)(Y_1 - Y_2)}{10\text{ V}} + Z$			
Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
MULTIPLIER PERFORMANCE					
Total Error	$-10\text{ V} \leq X, Y \leq +10\text{ V}$		± 1	± 2	% Full Scale
T_{MIN} to T_{MAX}			± 3		% Full Scale
Scale Voltage Error	SF = 10.00 V Nominal		$\pm 0.25\%$		% Full Scale
Supply Rejection	$V_S = \pm 14\text{ V}$ to $\pm 16\text{ V}$		± 0.01		% Full Scale
Nonlinearity, X	$X = \pm 10\text{ V}$, $Y = +10\text{ V}$		± 0.4	± 1	% Full Scale
Nonlinearity, Y	$Y = \pm 10\text{ V}$, $X = +10\text{ V}$		± 0.1	± 0.4	% Full Scale
X Feedthrough	Y Nulled, $X = \pm 10\text{ V}$		± 0.3	± 1	% Full Scale
Y Feedthrough	X Nulled, $Y = \pm 10\text{ V}$		± 0.1	± 0.4	% Full Scale
Output Offset Voltage			± 5	± 50	mV
DYNAMICS					
Small Signal BW	$V_O = 0.1\text{ V rms}$,		1		MHz
Slew Rate	$V_O = 20\text{ V p-p}$		20		V/ μs
Settling Time to 1%	$\Delta V_O = 20\text{ V}$		2		μs
OUTPUT NOISE					
Spectral Density			0.8		$\mu\text{V}/\sqrt{\text{Hz}}$
Wideband Noise	$f = 10\text{ Hz}$ to 5 MHz		1		mV rms
	$f = 10\text{ Hz}$ to 10 kHz		90		$\mu\text{V rms}$
OUTPUT					
Output Voltage Swing		± 11			V
Short Circuit Current	$R_L = 0\ \Omega$		30	40	mA
INPUT AMPLIFIERS					
Signal Voltage Range	Differential Common Mode	± 10 ± 10			V V
Offset Voltage X, Y			± 5	± 30	mV
CMRR X, Y	$V_{\text{CM}} = \pm 10\text{ V}$, $f = 50\text{ Hz}$	60	80		dB
Bias Current X, Y, Z			0.8	2.0	μA
Differential Resistance			10		M Ω
POWER SUPPLY					
Supply Voltage			± 15		V
Rated Performance					V
Operating Range		± 8		± 18	V
Supply Current	Quiescent		4	6	mA

NOTES

Specifications shown in boldface are tested on all production units at electrical test. Results from those tests are used to calculate outgoing quality levels. All min and max specifications are guaranteed, although only those shown in boldface are tested on all production units.

Specifications subject to change without notice.

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS¹

Supply Voltage	$\pm 18\text{ V}$
Internal Power Dissipation ²	500 mW
Input Voltages ³	$\pm 18\text{ V}$
Output Short Circuit Duration	Indefinite
Storage Temperature Range	-65°C to $+150^\circ\text{C}$
Operating Temperature Range	0°C to $+70^\circ\text{C}$
Lead Temperature Range (Soldering 60 sec)	$+300^\circ\text{C}$
ESD Rating	1000 V

NOTES

¹Stresses above those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only and functional operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operational section of this specification is not implied.

²8-Pin Plastic Package: $\theta_{JA} = 165^\circ\text{C/W}$; 8-Pin Small Outline Package: $\theta_{JA} = 155^\circ\text{C/W}$.

³For supply voltages less than $\pm 18\text{ V}$, the absolute maximum input voltage is equal to the supply voltage.

ORDERING GUIDE

Model	Description	Package Option
AD633JN	8-Pin Plastic DIP	N-8
AD633JR	8-Pin Plastic SOIC	R-8
AD633JR-REEL	8-Pin Plastic SOIC	R-8