

MONOGRAFÍA SOBRE MODULACIÓN Y DEMODULACIÓN FSK

JOSEDY JUAN HERRERA MEJÍA

FERNANDO ARENAS PÁJARO

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

CARTAGENA DE INDIAS D. T. Y C.

2009

MONOGRAFÍA SOBRE MODULACIÓN Y DEMODULACIÓN FSK

JOSEDY JUAN HERRERA MEJÍA

FERNANDO ARENAS PÁJARO

**MONOGRAFÍA PRESENTADA COMO REQUISITO ACADÉMICO PARA
OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO ELECTRÓNICO**

DIRECTOR

JORGE ELIECER DUQUE

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR
FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
CARTAGENA DE INDIAS D. T. Y C.**

2009

NOTA DE ACEPTACIÓN

PRESIDENTE DEL JURADO

JURADO

JURADO

Cartagena de Indias D. T. Y C., Noviembre de 2009

Cartagena de Indias, Noviembre de 2009

Señores

COMITÉ CURRICULAR

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR

Respetados señores:

Por medio de la presente nos permitimos informarles que la monografía titulada **“MODULACIÓN Y DEMODULACIÓN FSK”** 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,

JOSEDY JUAN HERRERA MEJÍA
T00016319

FERNANDO ARENAS PÁJARO
T00016320

Cartagena de Indias D. T. y C., Noviembre de 2009

Señores

COMITÉ CURRICULAR

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA 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 “**MODULACIÓN Y DEMODULACIÓN FSK**”, la cual fue realizada por los estudiantes JOSEDY JUAN HERRERA MEJÍA y FERNANDO ARENAS PÁJARO, a quien asesoré en su ejecución.

Atentamente;

JORGE ELIECER DUQUE PARDO

Director de Monografía

AUTORIZACIÓN

Cartagena de Indias D. T. y C., Noviembre de 2009

Yo **JOSEDY JUAN HERRERA MEJIA**, identificado con cédula de Ciudadanía N° 1.1047'364.358 de Cartagena, autorizo a la UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR, para hacer uso de mi trabajo de grado y publicarlo en el catálogo ON-LINE de la biblioteca.

Cordialmente,

JOSEDY JUAN HERRERA MEJÍA

T00016319

AUTORIZACIÓN

Cartagena de Indias D. T. y C., Noviembre de 2009

Yo **FERNANDO ARENAS PÁJARO**, identificado con cédula de Ciudadanía N° 73.008.841 de Cartagena, autorizo a la UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR, para hacer uso de mi trabajo de grado y publicarlo en el catálogo ON-LINE de la biblioteca.

Cordialmente,

FERNANDO ARENAS PÁJARO

T00016320

AGRADECIMIENTOS

*Doy gracias a **Dios** por bendecirme con tantos logros a lo largo de esta carrera, por guiarme siempre por el camino correcto. A mis padres **Fernando** y **Maritza** que siempre me apoyaron con su amor incondicional, sus consejos y sacrificios, brindándome todo lo que necesitaba y más, para que alcanzara este logro tan importante en mi vida. A mis hermanas **Marly** y **Milena** que han sido mi ejemplo a seguir y me acompañaron en todo momento. A mi sobrina **Geraldine Sofía** que me hace sonreír cada vez que pienso en ella. A toda mi familia, mis abuelos, mis tíos, mis primos que todo este tiempo estuvieron pendiente de cada uno de mis pasos. A mi novia **Maricela** que siempre me ha apoyado, con su comprensión y afecto, con lo que me inspira a ser mejor cada día.*

*A mis amigos, profesores, compañeros y todas las personas que me ayudaron en mi formación profesional. A la **Universidad Tecnológica de Bolívar** que a través de toda su comunidad me entregó conocimientos y valores que me servirán a lo largo de mi vida.*

A todos muchas gracias.

FERNANDO ARENAS PÁJARO

AGRADECIMIENTOS

*Inicialmente doy infinitas gracias a **Dios** por permitirme culminar esta etapa de mi vida, por cada una de las bendiciones recibidas en cada ciclo de mi carrera profesional. Gracias **Dios** por permanecer conmigo durante todo este tiempo, por colmarme de vida y salud, por ser mi luz, guía y protección.*

*Gracias a mis adorados Padres **Juan** y **Miladys** por brindarme su amor y apoyo incondicional, por las enseñanzas impartidas, por su dedicación y esfuerzo, por todos sus sabios consejos que me han ayudado a seguir adelante, gracias a ellos logré terminar mis estudios universitarios, que son su mayor huella en mí.*

*Gracias a mis hermanos **Wilber** y **Lilia** por estar siempre conmigo en todo momento, por toda la confianza y seguridad depositada en mí, por enseñarme que la unión prevalece ante todas las adversidades.*

*Gracias a mi novia **Wendy**, por su sincero e incondicional apoyo, que junto con su amor y comprensión me inspira a seguir adelante en el logro de nuestras metas.*

Gracias a todos mis familiares por su constante colaboración y estímulo en todo lo que necesito.

*Gracias a todos los compañeros, profesores y a la **Universidad Tecnológica de Bolívar** por sus valiosos aportes a mi formación personal y profesional.*

Gracias a Todos.

JOSEDY JUAN HERRERA MEJÍA

CONTENIDO

| | Pág. |
|---|------|
| INTRODUCCION | 13 |
| 1. MARCO TEÓRICO | 15 |
| 1.1 Modulador FSK | 21 |
| 1.2 Demodulador FSK | 22 |
| 1.2.1 Demodulación por detección síncrona | 22 |
| 1.2.2 Demodulación por detección de Envolvente | 22 |
| 1.3 Estudio espectral de la señal FSK | 23 |
| 1.4 Aplicaciones | 27 |
| 1.4.1 Transmisión de Datos utilizando la línea AC | 27 |
| 1.4.2 Modulación FSK en la tecnología CDMA | 28 |
| 2. DESCRIPCIÓN DEL CIRCUITO | 31 |
| 2.1 Modulador FSK | 31 |
| 2.2 Demodulador FSK | 34 |
| 2.3 Panel de Conexiones Externas | 37 |
| 3. CÁLCULOS DEL MODULADOR - DEMODULADOR FSK | 38 |
| 3.1 Modulador | 38 |
| 3.2 Demodulador | 41 |
| 4. PRÁCTICAS | 47 |
| 4.1 Modulación FSK | 48 |
| 4.1.1 Objetivos | 48 |

| | |
|--------------------------|----|
| 4.1.2 Libros de Consulta | 48 |
| 4.1.3 Equipos | 48 |
| 4.1.4 Procedimiento | 49 |
| 4.2 Demodulación FSK | 52 |
| 4.2.1 Objetivos | 52 |
| 4.2.2 Libros de Consulta | 52 |
| 4.2.3 Equipos | 52 |
| 4.2.4 Procedimiento | 53 |
| 4.3 Cuestionario | 56 |
| CONCLUSIONES | 57 |
| BIBLIOGRAFIA | 58 |

LISTA DE FIGURAS

| | Pág. |
|--|-------------|
| Figura 1. Señales de la modulación FSK | 20 |
| Figura 2. Forma de Onda no Continua de señal FSK | 21 |
| Figura 3. Modulador FSK | 21 |
| Figura 4. Demodulador FSK de detección síncrona | 22 |
| Figura 5. Demodulador FSK por Detección Envolvente | 22 |
| Figura 6. Descomposición de las señales FSK | 23 |
| Figura 7. Relación baudios y ancho de banda espectral de FSK | 23 |
| Figura 8. Densidad Espectral de Potencia de Señales ASK | 25 |
| Figura 9. Relaciones Espectrales en FSK | 26 |
| Figura 10. Diagrama de bloques Modulador FSK | 31 |
| Figura 11. Esquema Modulador FSK | 32 |
| Figura 12. Diagrama de bloques Demodulador FSK | 34 |
| Figura 13. Esquema Demodulador FSK | 35 |
| Figura 14. Panel de Conexiones Externas | 37 |
| Figura 15. Configuración Interna XR-2206 | 39 |
| Figura 16. Configuración Interna XR-2211 | 42 |

INTRODUCCIÓN

Con el paso del tiempo, el desarrollo de las comunicaciones electrónicas ha experimentado cambios que con la utilización de la misma tecnología existente hacen posible que se pueda dar este gran paso como lo es poder reemplazar el sistema tradicional de modulación analógica como la modulación en amplitud, en frecuencia o en fase por sistemas de comunicaciones digitales los cuales presentan varias ventajas sobre la modulación analógica como es la facilidad de procesamiento y la inmunidad al ruido entre otras.

En un proceso de comunicación están presentes la transmisión, la recepción y el proceso de la información que se realiza a través de circuitos electrónicos, sin embargo en muchas ocasiones esta información que se desea transmitir y procesar no se encuentra en condiciones para realizar el proceso de comunicación, es por esto que se debe convertir de su forma original a otra más apropiada que permita que esta información pueda ser transmitida, como es el caso de la modulación digital en la que la información analógica es convertida en digital y con los convertidores, los datos digitales se convierten nuevamente a señales analógicas después de la transmisión.

El término comunicaciones digitales abarca un área extensa de técnicas de comunicaciones, incluyendo transmisión digital y radio digital. La transmisión digital es la transmisión de pulsos digitales, entre dos o más puntos, de un sistema de comunicación. El radio digital es la transmisión de portadoras analógicas moduladas, en forma digital, entre dos o más puntos de un sistema de comunicación. Los sistemas de transmisión digital requieren de un elemento físico, entre el transmisor y el receptor, como un par de cables metálicos, un cable coaxial, o un cable de fibra óptica. En los sistemas de radio digital, el medio de transmisión es el espacio libre o la atmósfera de la Tierra.

En un sistema de transmisión digital, la información de la fuente original puede ser en forma digital o analógica. Si está en forma analógica, tiene que convertirse a pulsos digitales, antes de la transmisión y convertirse de nuevo a la forma analógica, en el extremo de recepción. En un sistema de radio digital, la señal de entrada modulada y la señal de salida demodulada, son pulsos digitales.

1. MARCO TEÓRICO

La propagación de señales de información a través de medios de transmisión es muy dependiente de las características específicas de dicho medio, de ahí que sea necesario adecuar las señales de información a transmitir a las características del canal de comunicaciones que será utilizado como medio de transmisión. Este proceso de adaptación de las señales de información al medio que se va transmitir es lo que se conoce como **Modulación de la señal**.

La modulación es la alteración sistemática de una onda portadora de acuerdo con el mensaje (señal modulada).

Existen varias razones para modular, entre ellas:

- Facilita la propagación de la señal de información por cable o por el aire.
- Ordena el radioespectro, distribuyendo canales a cada información distinta.
- Disminuye dimensiones de antenas.
- Optimiza el ancho de banda de cada canal
- Evita interferencia entre canales.
- Protege a la Información de las degradaciones por ruido.
- Define la calidad de la información transmitida.

Modulación para facilidad de radiación

Una radiación eficiente de energía electromagnética requiere de elementos radiadores (antenas) cuyas dimensiones físicas serán por lo menos de 1/10 de su longitud de onda. Utilizando la propiedad de traslación de frecuencias de la modulación, estas señales se pueden sobreponer sobre una portadora de alta frecuencia, con lo que se logra una reducción sustancial del tamaño de la antena.

Modulación para reducir el ruido y la interferencia

Es imposible eliminar totalmente el ruido del sistema. Y aunque es posible eliminar la interferencia, puede no ser práctico. Por fortuna, ciertos tipos de modulación tienen la útil propiedad de suprimir tanto el ruido como la interferencia. La supresión ocurre a un cierto precio; generalmente requiere de un ancho de banda de transmisión mucho mayor que el de la señal original; de ahí la designación del ruido de banda ancha. Este convenio de ancho de banda para la reducción del ruido es uno de los intereses y a veces desventajosos aspectos del diseño de un sistema de comunicación.

Modulación por asignación de frecuencia

El propietario de un aparato de radio o televisión puede seleccionar una de varias estaciones, aún cuando todas las estaciones estén transmitiendo material de un programa similar en el mismo medio de transmisión. Es posible seleccionar y separar cualquiera de las estaciones, dado que cada una tiene asignada una frecuencia portadora diferente. Si no fuera por la modulación, solo operaría una estación en un área dada. Dos o más estaciones que transmitan directamente en el mismo medio, sin modulación, producirán una mezcla inútil de señales interferentes.

Modulación para multicanalización

A menudo se desea transmitir muchas señales en forma simultánea entre dos puntos. Las técnicas de multicanalización son formas intrínsecas de modulación, permiten la transmisión de múltiples señales sobre un canal, de tal manera que cada señal puede ser captada en el extremo receptor. Las aplicaciones de la multicanalización comprenden telemetría de datos, emisión de FM estereofónica y telefonía de larga distancia. Es muy común, por ejemplo, tener hasta 1,800 conversaciones telefónicas de ciudad a ciudad, multicanalizadas y transmitidas sobre un cable coaxial de un diámetro menor de un centímetro.

Comunicación Digital

La comunicación digital es la transmisión de pulsos digitales entre dos puntos, en un sistema de comunicación. La información de la fuente original puede estar ya sea en forma digital o en señales analógicas que deben convertirse en pulsos digitales, antes de su transmisión y convertidas nuevamente a la forma analógica en el lado del receptor.

Algunas de las **VENTAJAS** de la comunicación digital [con respecto a la analógica] son:

1. Almacenamiento y procesamiento: Las señales digitales se pueden guardarse y procesarse fácilmente que las señales analógicas.
2. Los sistemas digitales utilizan la regeneración de señales, en vez de la amplificación, por lo tanto producen un sistema más resistente al ruido que su contraparte analógica.
3. Las señales digitales son más sencillas de medir y evaluar. Por lo tanto es más fácil comparar el rendimiento de los sistemas digitales con diferentes capacidades de señalización e información, que con los sistemas analógicos comparables.
4. Los sistemas digitales están mejor equipados para evaluar un rendimiento de error (por ejemplo, detección y corrección de errores), que los analógicos.
5. Los equipos que procesan digitalmente consumen menos potencia y son más pequeños, y muchas veces con más económicos.

Algunas de las **DESVENTAJAS** de la transmisión digital son las siguientes:

1. La transmisión de las señales analógicas codificadas de manera digital requieren de más ancho de banda para transmitir que la señal analógica.
2. Las señales analógicas deben convertirse en códigos digitales, antes que su transmisión y convertirse nuevamente a analógicas en el receptor.
3. La transmisión digital requiere de sincronización precisa, de tiempo, entre los relojes del transmisor y receptor.
4. Los sistemas de transmisión digital son incompatibles con las instalaciones analógicas existentes.

En la transmisión de datos a través de líneas de cobre o de enlaces de radio, si la fuente que los provee es de tipo digital, los bits que se generan normalmente no son enviados en banda base, si no que se modulan sobre una señal portadora la cual puede representarlos con cambios de amplitud, de fase o de frecuencia o en algunos casos haciendo combinaciones de estas.

Dependiendo del espacio, la velocidad y los medios de transmisión utilizados, se emplea un tipo de modulación determinado. Una de las formas utilizada por la transmisión de datos desde el punto de vista digital se realiza mediante la modulación FSK (Frequency Shift Keying), que no es otra cosa que realizar cambios de frecuencia a la señal portadora manteniendo constante la fase y la amplitud.

La transmisión por desplazamiento de frecuencia (FSK) es una forma de modulación digital de bajo rendimiento. FSK es una forma de modulación angular de amplitud constante, similar a la modulación en frecuencia convencional excepto

que la señal modulante es un flujo de pulsos binarios que varia, entre dos niveles de voltaje discreto, en lugar de una forma de onda analógica que cambia de manera continua.

En este tipo de modulación la señal portadora cambia para representar los unos y los ceros binarios. La frecuencia de la señal durante la duración del bit es constante y su valor depende de si este es cero o uno. La modulación FSK es poco sensible al ruido eléctrico ya que el cambio en frecuencia es más difícil de alterar que un cambio en la amplitud de la señal, además el dispositivo receptor está buscando cambios específicos de frecuencia en un determinado número de periodos, y allí se pueden ignorar los picos que se presentan por cambios de voltaje. La modulación FSK está limitada por las capacidades físicas de la portadora.

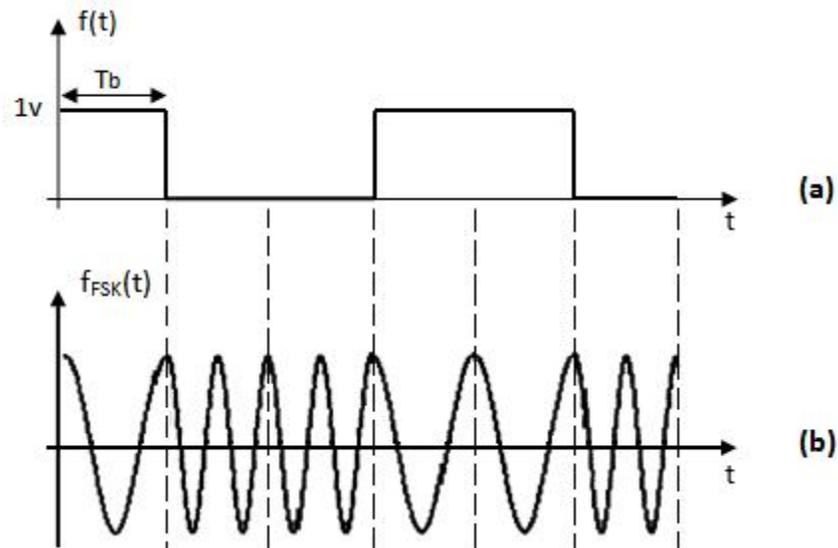
Para conseguir una modulación FSK, se necesita una señal digital binaria de información $f(t)$, con unos niveles de tensión de 0 a 1 voltios y una anchura de bits T_b (ver Figura 1). A diferencia de la modulación ASK, se utilizan dos señales portadoras de alta frecuencia, ambas de amplitud A Voltios pero con frecuencias diferentes ($A \cos w_1 t$ y $A \cos w_0 t$).

De esta manera, la función de la señal FSK va a ser:

$$f_{FSK}(t) = \begin{cases} A \cos w_1 t & \text{si } f(t) = 1 \text{ v. (1 lógico)} \\ A \cos w_0 t & \text{si } f(t) = 0 \text{ v. (0 lógico)} \end{cases}$$

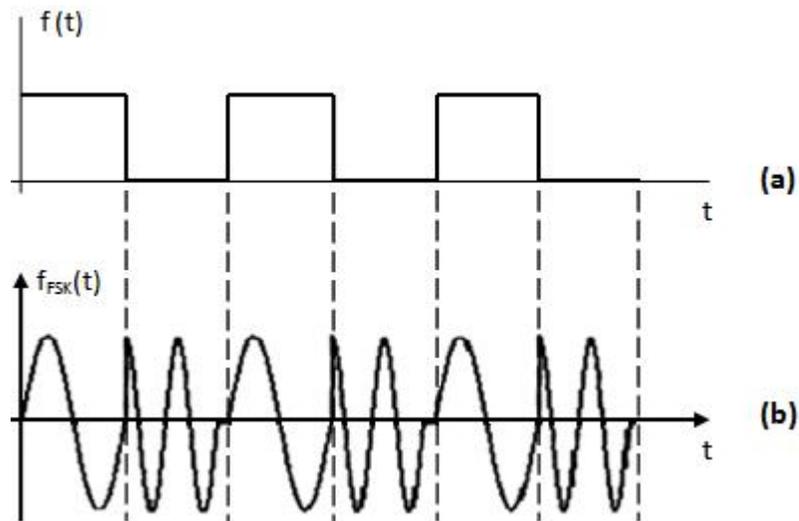
Como se muestra en la Figura. 1

**Figura 1. Señales de la modulación FSK: a) Señal binaria de información;
b) Señal modulada FSK**



Conviene decir que f_1 y f_0 –las frecuencias de las señales portadoras- no tienen que estar sincronizadas en fase, es decir, que no sean múltiplos de una misma frecuencia base. Si esto ocurre la señal modulada FSK tendría una forma de onda no continua (como lo muestra la Figura. 2) que ocasionaría que aparecieran marcadas discontinuidades de fase en la señal de salida analógica FSK, haciendo que el demodulador tuviese problemas en el seguimiento de la frecuencia de la señal transmitida, y por consiguiente se podría producir un error en la recepción.

Figura 2. Forma de Onda no Continua de señal FSK



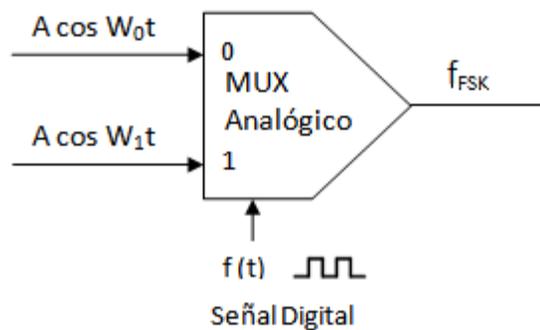
1.1 Modulador FSK

Al igual que ocurre con la modulación ASK, existe un gran número de moduladores FSK. El circuito mostrado en la Figura 3 constituye una representación muy sencilla del modulador FSK.

Cuando $f(t)$ es 0 voltios, la señal analógica de salida tiene el valor de $A \cos \omega_0 t$, en cambio, si $f(t)$ es 1 voltio, a la señal de salida del modulador aparece $A \cos \omega_1 t$.

Por consiguiente esta señal de salida corresponde con la señal modulada FSK de la Figura. 3.

Figura 3. Modulador FSK



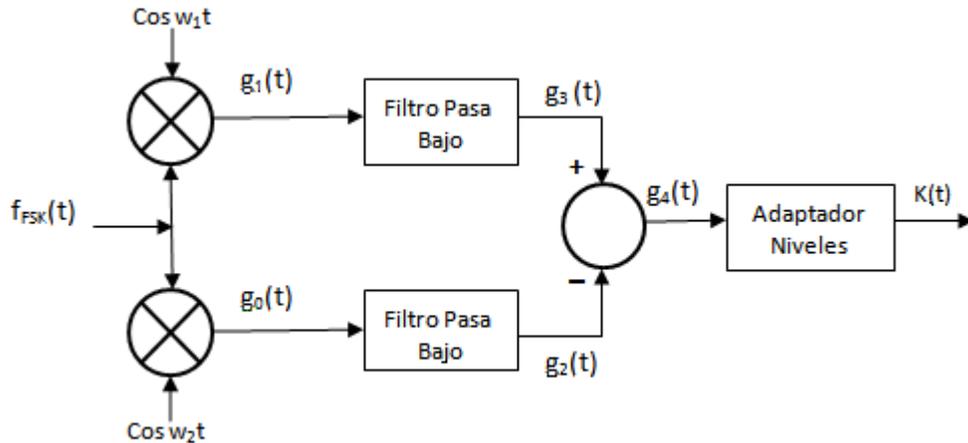
1.2 Demodulador FSK

En la modulación de señales FSK se utilizan dos métodos y estos son: Detección síncrona y detección de envolvente.

1.2.1 Demodulación por detección síncrona

En la Fig. 4 se muestra un demodulador FSK de detección síncrona.

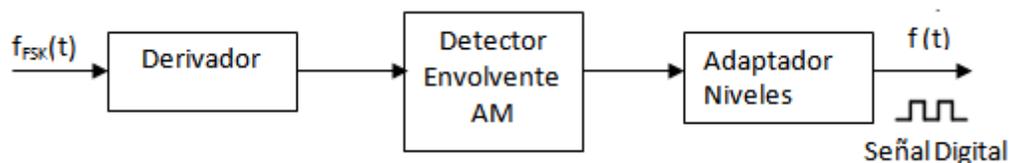
Figura 4. Demodulador FSK de detección síncrona



1.2.2 Demodulación por detección de Envolvente

Con la Demodulación por detección de Envolvente se evitan los problemas de frecuencia y fase que aparecen en la detección síncrona. En la figura 5 se puede ver un demodulador de detección de envolvente.

Figura. 5 Demodulador FSK por Detección Envolvente

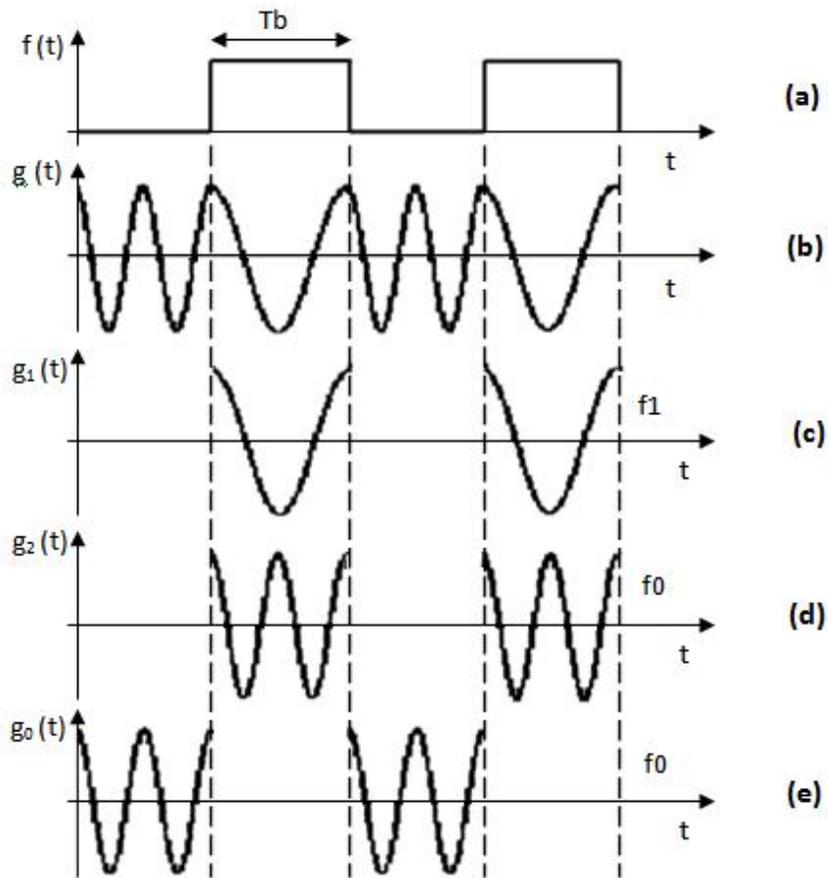


1.3 Estudio Espectral de la señal FSK

Para estudiar el espectro de frecuencia de la señal modulada FSK se considera que la señal digital de información transmitida $f(t)$ sea un tren de pulsos binarios de anchura de bit T_b . Esta $f(t)$ será una señal periódica de periodo T y semiperiodo T_b ($T_b=T/2$) (onda cuadrada).

La señal $f(t)$ que lleva la información (Figura. 6a) se modula en frecuencia y da lugar a una señal analógica de salida FSK (Figura. 6b), que es la que se recibe en el demodulador. La señal f_{fsk} se puede descomponer como superposición de dos señales $g_1(t)$ mostrada en la Figura 6c y $g_0(t)$ mostrada en la Figura 6e de frecuencias f_1 y f_0 respectivamente.

Figura 6. Descomposición de las señales que intervienen en la modulación FSK

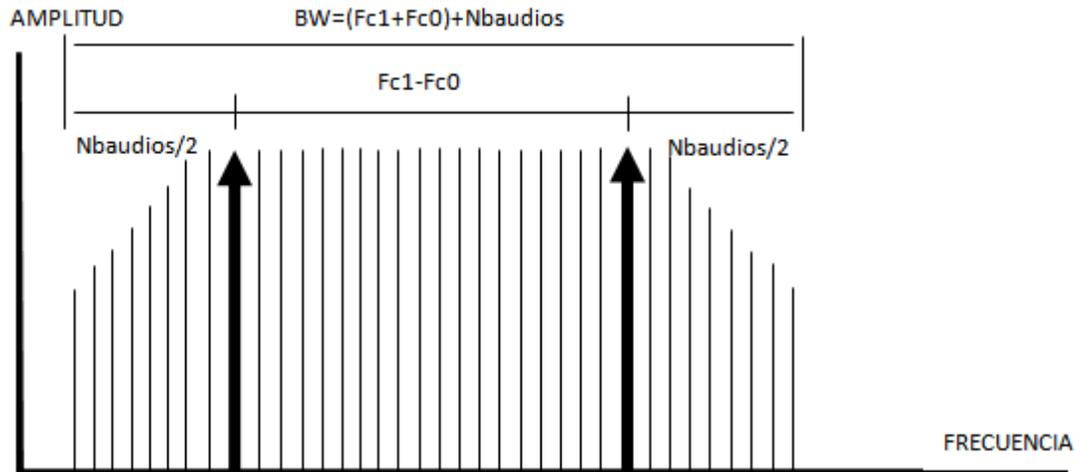


Como se puede observar en la figura anterior, cuando se quiere representar un cero se tiene una determinada frecuencia y cuando se quiere representar un 1 este valor cambia, pero los demás parámetros de la señal seno son constantes.

El manejo que se hace del ancho de banda en FSK es el siguiente: El ancho de banda necesario para transmitir información con FSK es igual a la tasa de baudios de la señal más el desplazamiento de frecuencia que es la diferencia entre las dos frecuencias de las portadoras: **WB= (Fc1 - Fc0) + N**

donde N es la tasa de baudios. Aunque haya dos portadoras el proceso de la modulación genera una señal compuesta que es la combinación de muchas señales cada una con una frecuencia distinta. La relación entre la tasa de baudios y el ancho de banda de FSK es la que se presenta en la siguiente figura:

Figura 7. Relación baudios y ancho de banda espectral de FSK

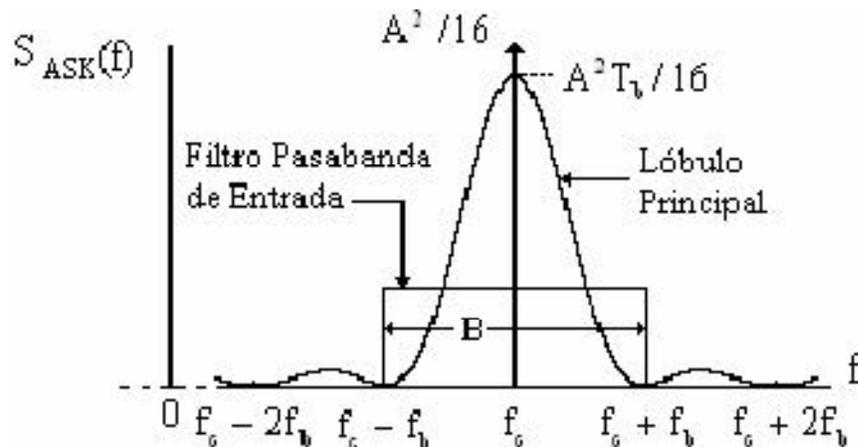


En el extremo contrario; en la recepción, será necesario hacer la operación contraria, es decir, recuperar la señal de información a partir de la onda modulada. Este proceso se conoce como proceso de demodulación de la señal.

El proceso de modulación y demodulación de la señal es necesario desde el punto de vista de poder realizar la transmisión de señales a través del canal de comunicaciones de forma eficiente. Este proceso de modulación consiste en un desplazamiento de la banda base de la señal de información hacia frecuencias más altas que resultan más adecuadas para la transmisión, y en recepción, se requiere el correspondiente desplazamiento a la banda original para la recuperación de la señal de información.

Para determinar el ancho de banda de las señales FSK se puede considerar que la señal está formada fundamentalmente por dos señales ASK de frecuencias de portadora f_1 y f_0 , respectivamente. Los espectros de la señal ASK se observan en la Figura 8.

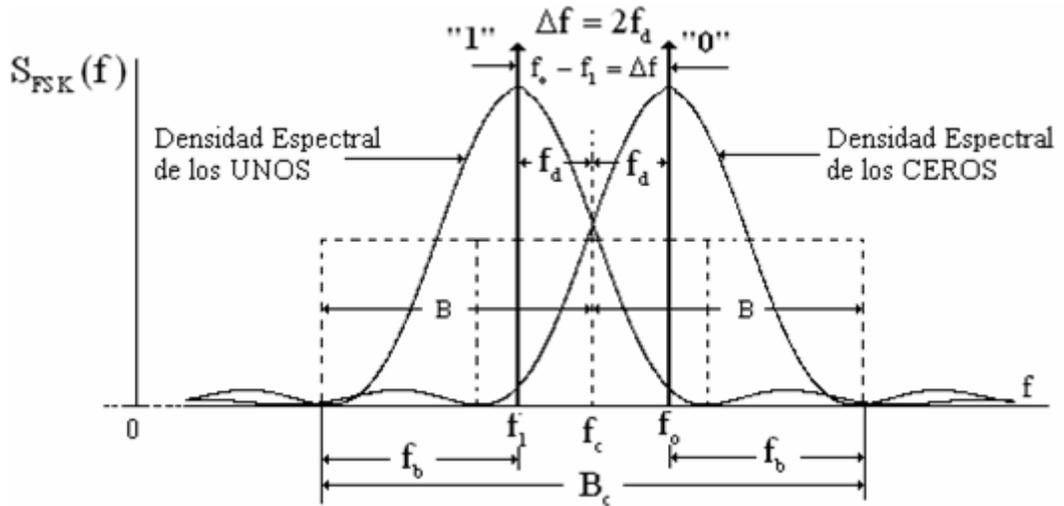
Figura 8. Densidad Espectral de Potencia de Señales ASK



En este caso, el espectro de la señal FSK es esencialmente la superposición de dos espectros ASK: uno centrado en f_1 y el otro centrado en f_0 . Este enfoque permite también considerar al receptor FSK como la combinación de dos receptores ASK: uno para la recepción de los CEROS y el otro para la recepción de los UNOS. En la Figura 9 se muestran las densidades espectrales correspondientes (frecuencias positivas solamente) y se definen algunos

parámetros. Se observa que los espectros de los UNOS y de los CEROS no ocurren simultáneamente.

Figura 9. Relaciones Espectrales en FSK



El ancho de banda total B_c de la señal FSK se puede estimar a partir de la Fig. anterior; en efecto, podemos definir $f_0 - f_1 = \Delta f = 2f_d$. Entonces,

$$f_c = f_1 + f_d = f_0 - f_d \quad \text{y} \quad B_c = \Delta f + 2f_b = 2(f_d + f_b)$$

Sea $K = \frac{f_d}{f_b}$ y considerando la Figura 9 Si $k \ll 1$, entonces los espectros se acercan de tal manera que se produciría una gran interferencia mutua entre los dos canales "0" y "1". Si $\frac{1}{3} \leq k < 1$ la separación entre los dos espectros aumenta y la interferencia mutua entre canales disminuye; el ancho de banda de cada canal se puede tomar como $B = (f_b + f_d)$. Si $k \geq 1$, los espectros estarán lo suficientemente separados, la interferencia mutua entre canales será mínima y el ancho de banda B de los canales "0" o "1" será $B = 2f_b$.

En resumen, para disminuir la distorsión de intermodulación producida por las colas de un espectro sobre la gama del otro espectro, se puede tomar $k \geq 1$.

1.4 Aplicaciones

1.4.1 Transmisión de Datos utilizando la línea AC de Potencia

La necesidad de intercambiar información, ha favorecido el desarrollo de las redes de comunicación de datos, teniendo diferentes medios físicos estandarizados para dicho propósito. **PLC** es una tecnología que transmite información multiplexada en el dominio de la frecuencia a través de la red AC. Así, por un canal se distribuye la energía eléctrica de consumo y por otro canal se transmiten los datos modulados digitalmente.

La línea de AC es un ambiente poco favorable para la transmisión de señales de datos. A través de los cables de esta línea viaja una señal de 120 volts con una frecuencia de 60 Hz. Debido a las características de este medio, es necesario diseñar una forma de acoplamiento adecuado, para no dañar el transceptor y que no genere ruido. Ya que la información a transmitir proviene de un sistema digital, es necesario transformar la información binaria a una señal analógica que pueda viajar en este medio, función que realiza un módem con tecnología **PLC** (Powerline communications). Este MODEM hace la conversión de señales mediante una **Modulación FSK**. Como el medio está compartido con una señal de 60 Hz, se utiliza una banda de frecuencia suficientemente alta para que esta señal no interfiera con nuestra señal de información.

La información a transmitir proviene del computador, el cual es un sistema que maneja señales digitales binarias. El modulador es el encargado de transformar este tipo de señal a una señal analógica que pueda viajar por la línea de AC.

La conversión de las señales se realiza mediante una modulación en FSK. El medio utilizado está compartido con una señal de 60 Hz, por lo que se utiliza una banda de frecuencia lo suficientemente alta. Para realizar la modulación se utiliza

el integrado XR-2206 el cual es un generador de función capaz de producir ondas seno de alta calidad, cuadrada, triangular, rampa, de alta estabilidad y exactitud.

Para poder enviar una señal a través de la línea de AC es necesario proteger los circuitos que se emplean como transmisores y receptores, los cuales manejan voltajes pequeños de corriente directa, y resultarían dañados en caso de recibir voltajes tan altos como los presentes en la línea de corriente alterna. De aquí surge la necesidad de utilizar un circuito que sirva como interfase entre el circuito electrónico y la línea de corriente alterna que presenta una impedancia muy pequeña.

La información que proviene del amplificador de tensión y filtro pasa banda maneja señales analógicas moduladas en FSK, el demodulador transforma estas señales en una señal digital que puede ser interpretada por el computador. Para realizar la demodulación se utiliza el integrado XR-2211 el cual es un circuito de fase cerrada (PLL), este integrado fue diseñado para las comunicaciones de datos.

1.4.2 Modulación FSK en la tecnología CDMA

Las comunicaciones inalámbricas celulares han ido cambiando de manera impresionante en los últimos años. CDMA es una tecnología de comunicaciones celulares e inalámbricas establecida en Estados Unidos y que está en pleno crecimiento debido a las características favorables con que cuenta. Aunque la aplicación de CDMA en la telefonía celular es relativamente reciente, no es una nueva tecnología. CDMA se ha usado mucho en aplicaciones militares, como sistemas de antibloqueo de información o sistemas de codificación de datos.

En CDMA es posible transmitir segmentos de información (9600 segmentos por segundo) sobre una portadora que, por su frecuencia, puede transmitir más de un millón de segmentos (1,23MHz), lo que implica que varias comunicaciones se

establecen por la misma vía, utilizando una codificación digital que sólo conocen el transmisor y el receptor y cuya generación depende de la célula sobre la que está operando el teléfono móvil.

En este sistema se adecua la frecuencia de la transmisión en función de la trama de bits. Este método recibe la denominación FSK (Frequency Shift Keying, modulación por desplazamiento de frecuencia). El sistema, básicamente cambia la frecuencia de la transmisión cuando hay un 0 o cuando hay un 1. Por ejemplo los ceros se transmiten a 980Hz y los unos a 1.180Hz.

La modulación en frecuencia requiere bastante ancho de banda. El concepto de ancho de banda es el más importante y complicado de entender en la comunicación de datos.

Para entenderlo, pensamos que cualquier onda de cualquier forma puede conceptualmente, conseguirse sumando ondas senoidales de diversas frecuencias, cada una con un peso específico en la suma. Cuanto más diferente a una senoide es la forma de la onda, esta descomposición conceptual requiere más frecuencias. El ancho de banda es la diferencia entre la frecuencia más alta y la más baja (despreciando las que tienen un peso específico muy pequeño) que requiere esta descomposición.

En el caso de la modulación FSK, se requiere, en esta descomposición conceptual, frecuencias en torno a la que representa el "uno" y a la que representa el "cero". Cuantos más cambios se produzcan, más ancho es el sector de frecuencias en torno a estas centrales. Es decir, cuanto mayor es la velocidad de los datos, más separados tienen que estar las distancias que representan al cero y al uno. Si transmitimos a alta velocidad, estas frecuencias se salen del ancho de banda telefónico.

Se puede representar la señal modulada en FSK como la suma de dos señales senoidales (ASK) definidas mediante las siguientes expresiones:

$$f_1(t) = A \sin(\omega_1 t) \text{ para } 0 < t < T$$

$$f_1(t) = 0 \text{ en cualquier otro valor de } t$$

$$f_2(t) = 0 \text{ para } 0 < t < T$$

$$f_2(t) = A \sin(\omega_2 t) \text{ en cualquier otro valor de } t$$

$$\omega_1 < \omega_2$$

$$f_1(t) \text{ equivale al } 0 \text{ (cero) binario}$$

$$f_2(t) = \text{equivale al } 1 \text{ binario}$$

Las dos señales ASK son diferentes, y por lo tanto, en el receptor se colocan dos filtros acoplados para detectarlas. Cuando se quiere transmitir un 1 binario se deja pasar la sinusoidal de mayor frecuencia, cuando se quiere transmitir un 0 (cero) binario, se deja pasar la sinusoidal de frecuencia menor.

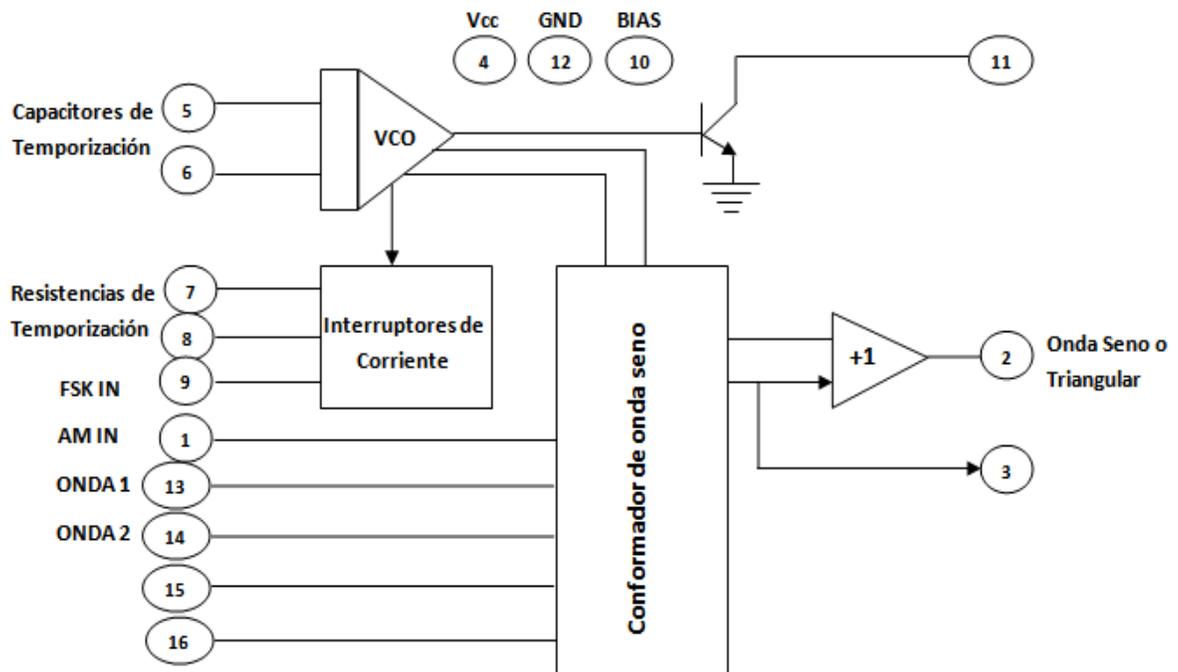
2. DESCRIPCIÓN DEL CIRCUITO

2.1 Modulador FSK

El XR-2206 es un circuito integrado generador de funciones capaz de producir ondas seno de alta calidad, cuadrada, triangular, rampa, de alta estabilidad y exactitud. La frecuencia de funcionamiento del integrado XR2206 se puede seleccionar externamente dentro de un rango de 0.01Hz a más de 1MHz, cuenta con una alimentación máxima hasta 26V. Este circuito se puede utilizar para modulación en amplitud y en frecuencia y para modulación por desplazamiento de frecuencia.

A continuación se muestra un diagrama de bloques interno del integrado XR-2206.

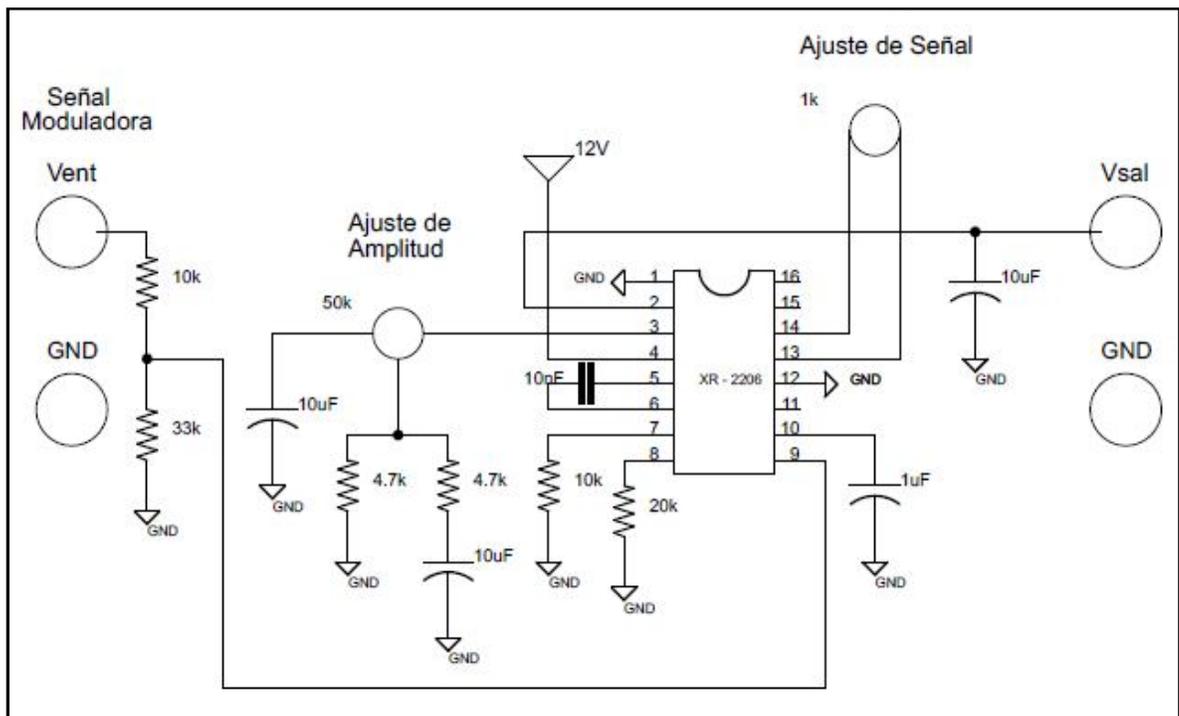
Figura 10. Diagrama de Bloques XR-2206



El **XR-2206** se compone de cuatro bloques funcionales; un VCO (oscilador controlado por tensión), un conformador de onda, un amplificador de ganancia y un conjunto de interruptores de corriente.

Para que sea posible la modulación estos bloques se deben interconectar con diferentes elementos como los que aparecen en la figura 11.

Figura 11. Esquema Modulador FSK



El funcionamiento de todos estos bloques en conjunto se puede describir de la siguiente forma: el capacitor C (entre pines 5 y 6), conectado al VCO, es cargado de corriente constante a partir de informaciones del bloque interruptores de corriente y del VCO, hasta que la tensión entre sus láminas llegue a un valor predeterminado. En este momento, la lógica de control entra en acción, revirtiendo el ciclo, entonces, el capacitor comienza a descargarse, también de corriente constante. Cuando la tensión en los terminales del capacitor alcanza un segundo valor predeterminado, el ciclo se invierte.

De esta forma, se producen las oscilaciones del circuito en la frecuencia deseada. Esta carga y descarga con corriente constante nos permite obtener en la salida del VCO una señal triangular, que es amplificada y puede ser aprovechada en la salida.

En los terminales 7 y 8 del integrado, se pueden determinar los puntos en que tenemos el inicio de la carga y la descarga del capacitor C y, con esto, la propia frecuencia del oscilador. Se puede controlar el bloque interruptores de corriente conectando entre los pines 7 u 8 y la tierra, un resistor variable. De esta forma controlar la frecuencia en cada banda.

Para controlar y ajustar las distorsiones de las señales senoidales, se utiliza un potenciómetro conectado entre los pines 13 y 14, esto ayuda a mejorar las formas de ondas de las señales. Cuando el circuito está abierto, el conformador de onda hace que sean producidas señales triangulares. Cuando el circuito está cerrado, se tiene la producción de las señales senoidales.

El transistor Q, conectado en la salida del VCO, satura o entra en corte, conforme el capacitor C esté en proceso de carga o descarga, lo que nos lleva a la obtención de una señal perfectamente rectangular en su colector, cuando es debidamente polarizado.

Para controlar las formas de ondas rectangulares se utiliza un potenciómetro conectado entre los pines 15 y 16 el cual permite ajustar la simetría de este tipo de señal.

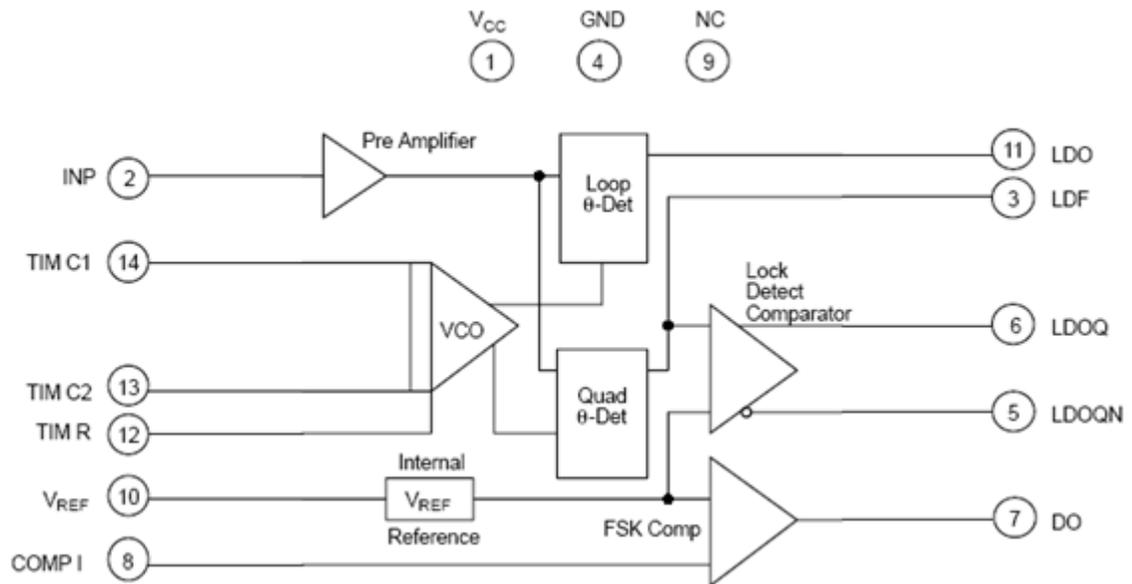
El integrado posee entradas que pueden ser usadas de diversas formas, como la entrada AM y FSK. Para nuestro proyecto se utiliza la entrada FSK.

2.2 Demodulador FSK

El XR-2211 es un circuito integrado utilizado para aplicaciones de comunicaciones de datos a través de un sistema PLL (Phase-Locked Loop). Especialmente es utilizado para aplicaciones de demodulación FSK.

A continuación se muestra un diagrama de bloques interno del integrado XR-2211.

Figura 12. Diagrama de bloques XR-2211



El XR-2211 internamente consta de un sistema PLL básico para detectar una señal de entrada dentro de la banda de paso; un detector de fase en cuadratura que proporciona la detección de portadora, y un comparador de voltaje FSK que es propiamente el encargado de la demodulación FSK.

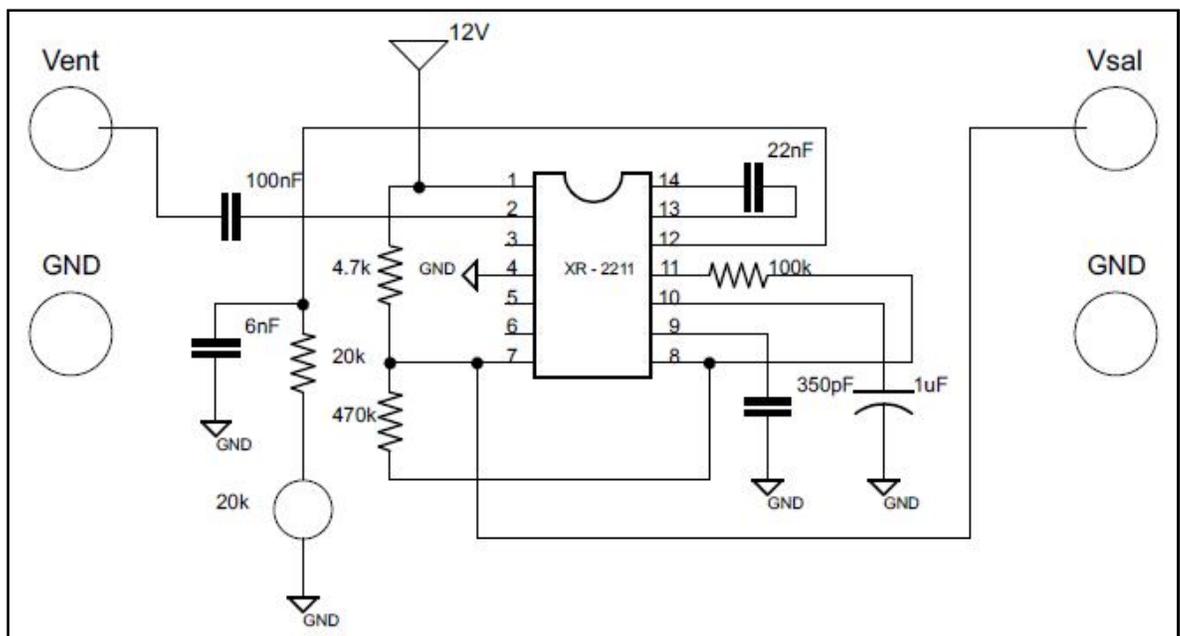
El sistema PLL está constituido de un preamplificador de entrada, un multiplicador analógico usado como detector de fase, y un oscilador controlado por voltaje (VCO) de precisión. El preamplificador es usado como un limitador tal que señales

de entrada típicamente alrededor de 10mV RMS son amplificadas a una señal de nivel constante. El detector de fase actúa como una compuerta XOR cuya salida produce suma y diferencia de frecuencias de la señal de entrada y de la salida del VCO.

Cuando estas frecuencias (f_{IN} y f_{VCO}) son iguales, entonces la suma de ellas resulta en $2f_{IN}$ y la resta en 0Hz . Agregando un capacitor a la salida del detector de fase, la componente de la resultante $2f_{IN}$ es reducida, dejando un voltaje de DC que representa la diferencia de fase entre las dos frecuencias. Esto cierra el lazo y permite al VCO manejar la frecuencia de entrada.

El comparador de FSK es usado para determinar si el VCO es manejado por arriba o por abajo de la frecuencia central (comparador de FSK), lo cual produce salidas activa alta y activa baja para indicar cuando el PLL está amarrado.

Figura 13. Esquema Demodulador FSK



La demodulación se hace posible gracias a la interconexión de todos los bloques a través de los pines con los elementos necesarios. A continuación se explica el funcionamiento del circuito por medio de la configuración de sus pines.

La salida de datos (pin 7) es una etapa lógica de colector abierto, que requiere de una resistencia pull-up conectada a Vcc para su adecuado funcionamiento. En el decodificador de señales FSK, los datos de salida se encuentran en un estado alto o apagado para la frecuencia menor, y estado bajo o encendido para la frecuencia mayor.

El Pin 8 es la entrada de impedancia alta que va al comparador de tensión FSK. Se hace una post-detección o filtro de datos conectado ente este pin y el detector de fase (pin 11). La tensión umbral de comparación se establece por el voltaje de referencia interna que sale por el pin 10, el cual está conectado internamente polarizado al nivel de tensión de referencia VREF: $VREF = VCC / 2 - 650mV$. El voltaje DC en este pin forma un nivel de voltaje de referencia interna en los pines 5, 8, 11 y 12. El pin 10 es conectado a tierra con un capacitor de 0.1 uF para el adecuado funcionamiento del circuito.

Se obtiene una salida de impedancia alta para el detector de fase por medio del pin 11, sin una señal de entrada o sin error de fase en el PLL, el nivel DC en el pin 11 es aproximadamente el Vref.

La frecuencia de VCO está determinada por una resistencia de temporización externa conectada al pin 12, Ro se conecta de este pin a tierra. La frecuencia de VCO fo, es:

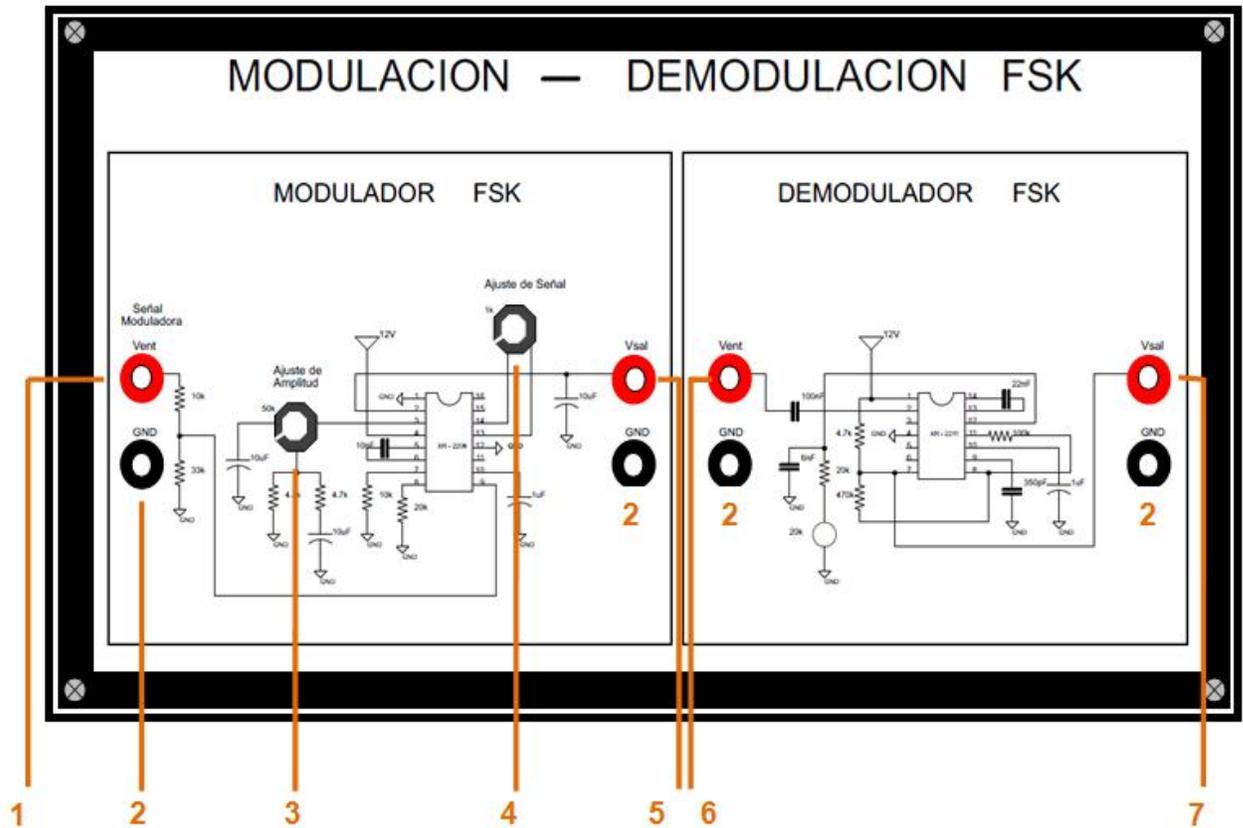
$$f_0 = \frac{1}{R_0 \cdot C_0} \text{ Hz}$$

Donde C_0 es el capacitor de temporización entre los pines 13 y 14.

2.3 Panel de Conexiones Externas

Para la correcta interacción de los usuarios con el entrenador es indispensable la identificación de los elementos que conforman a éste, por consiguiente se presenta el panel de las conexiones externas.

Figura 14. Panel Conexiones Externas



1. Vent. : Sirve para conectar el generador de funciones al entrenador.
2. GND: Se utiliza para conectar la tierra de los equipos utilizados.
3. Ajuste de amplitud: Se utiliza para aumentar o disminuir la amplitud de la señal modulada.
4. Ajuste de señal: Se utiliza para mejorar la forma de onda, de triangular a seno o viceversa.
5. Vsal: Se utiliza conectar los canales del osciloscopio y visualizar la señal modulada.
6. Vent.: Se utiliza para conectar la señal modulada a la entrada del demodulador.

3. CÁLCULOS DEL MODULADOR - DEMODULADOR FSK

3.1 Modulador

FSK es una modulación digital de bajo rendimiento; utilizando para su realización el circuito integrado generador de funciones **XR-2206**, el cual es adecuado para aplicaciones de potencia baja pero no es circuito práctico cuando se requiere potencias de salida altas. La transmisión por desplazamiento de frecuencia (FSK) es una forma en alguna medida simple. El FSK binario es una forma de modulación angular de amplitud constante, similar a la modulación en frecuencia convencional excepto que la señal modulante es un flujo de pulsos binarios que varia, entre dos niveles de voltaje discreto, en lugar de una forma de onda analógica que cambia de manera continua.

❖ Integrado XR-2206

El **XR-2206** es un generador de funciones integrado. Este circuito integrado está formado por cuatro bloques: un VCO (oscilador controlado por tensión), un multiplicador analógico y configurador de onda, un amplificador de ganancia y un conjunto de interruptores de corriente. Las principales características del **XR-2206** son:

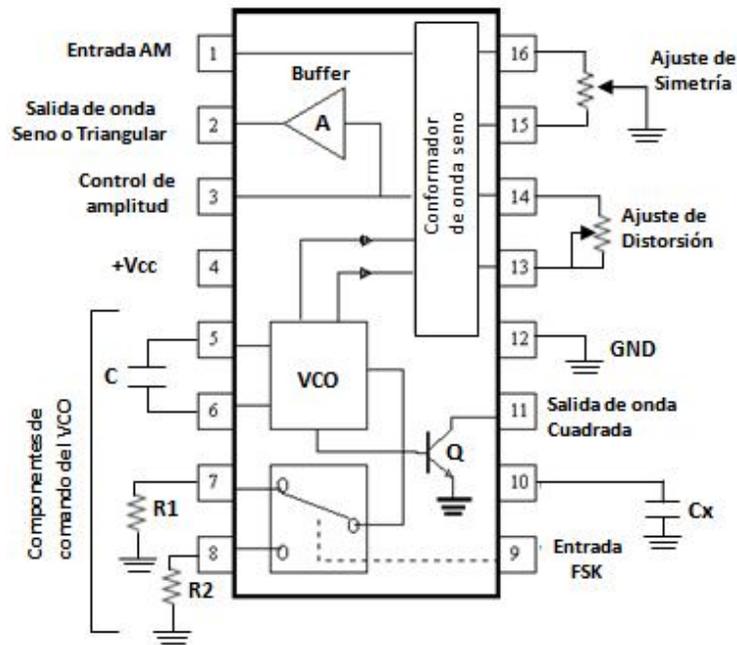
- Baja distorsión de la señal.
- Excelente estabilidad.
- Amplio desplazamiento de frecuencia.
- Baja sensibilidad frente a variaciones en la alimentación.
- Alto margen de tensión de alimentación.
- Estable frente a las variaciones de temperatura

La señal de salida puede ser modulada en frecuencia mediante un nivel de voltaje externo. La frecuencia de operación de la portadora que se genera puede estar entre 0.01 Hz y 1 MHz, a través de una red RC entre los pines 5, 6, 7.

La señal modulante se introduce al modulador por el pin 9 y la señal modulada se obtiene después del condensador que sale del pin 2.

En la Figura. 1 se muestra el circuito correspondiente al Modulador FSK:

Figura 15. Configuración Interna XR-2206



Para que este integrado pueda generar una señal por desplazamiento de frecuencia FSK, se le debe conectar externamente algunos condensadores y resistencias, los cuales se calculan a partir del estimado de las frecuencias portadoras que se utilizarán para representar los unos y los ceros.

Por ejemplo si se estima que para la frecuencia que representa los ceros lógicos es del orden de 1000 Hz y la frecuencia para los unos es de 500 Hz con un condensador seleccionado por el diseñador, por ejemplo de 0.1 uF el cálculo de la resistencia externa se hace mediante la siguiente fórmula:

$$F = 1 / C * R$$

De tal forma que para la frecuencia de 1000 Hz se debe conectar una resistencia de 10K, y para la frecuencia de 500 Hz es de 20K.

Si a este integrado por su entrada binaria se le coloca una señal del tipo digital, generará a la salida 2 tonos que corresponden a las frecuencias con las cuales se representan los unos y los ceros.

Suelen ser usados como generadores de ondas sinusoidales, cuadradas, triangulares, etc. Generadores de AM y FM, generadores de tono, convertidores de tensión a frecuencia, Etc.

A continuación se expone el procedimiento matemático seguido para el cálculo de los valores de los componentes que determinan la operación del sistema modulador:

Paso 1: Cálculo del condensador de sintonía (C_0).

Con el fin de determinar el valor adecuado del condensador de sintonía C_0 se debe considerar la expresión matemática de la Frecuencia de operación; para el proyecto se escogió una frecuencia de operación de 10KHz para el nivel alto y de 5 KHz para el nivel bajo, además se fijó un valor para C_0 de 10 nF el cual se encuentra en el rango recomendado en la hoja de especificaciones del **XR-2206** para C_0 (1000pf a 100μf).

$$f_1 = \frac{1}{R_1 \cdot C_0}$$

Despejando R_1 ,

$$R_1 = \frac{1}{C_0 \cdot f_0}$$

$$R_1 = \frac{1}{10\text{nF} \cdot 10\text{KHz}}$$

$$R_1 = 10\text{K}\Omega$$

De igual modo para R_2

$$f_2 = \frac{1}{R_2 \cdot C_0}$$

Despejando R_2

$$R_2 = \frac{1}{C_0 \cdot f_2}$$

$$R_2 = \frac{1}{10\text{nF} \cdot 5\text{KHz}}$$

$$R_2 = 5\text{K}\Omega$$

3.2 Demodulador

La Demodulación es el proceso de recuperación de la señal moduladora de una señal modulada. En FSK se basa en el integrado **XR-2211**. Se trata de un sistema basado en un PLL orientado para comunicaciones en módems. Es un circuito de fase cerrada (PLL) de propósito general, que dispone de un oscilador controlado por tensión (VCO) altamente lineal y un detector de fase doblemente balanceado con buena supresión de portadora. Las aplicaciones en las cuales puede utilizarse este circuito son varias: sincronización de datos, demodulación de FM y FSK, demodulación coherente, sintetizador de frecuencia, multiplicador de frecuencia, Etc.

❖ Integrado XR-2211

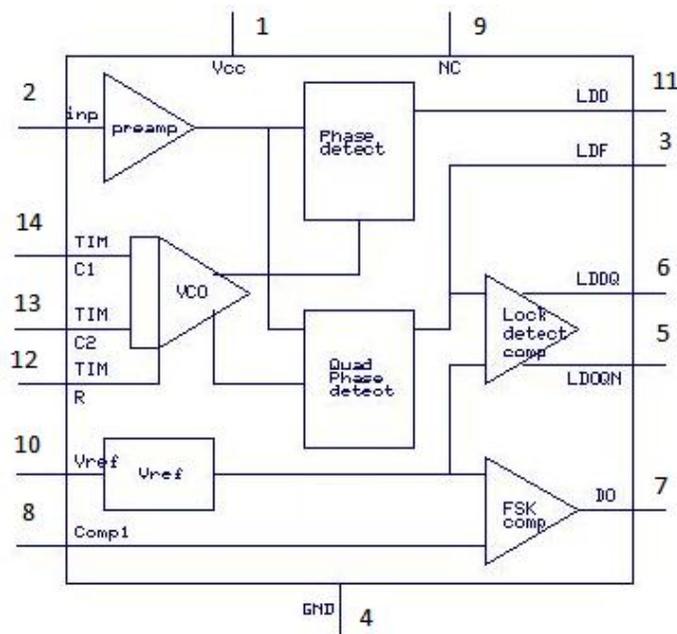
Este integrado es un PLL (Phase Locked Loop) y está diseñado para el desarrollo de aplicaciones en comunicaciones y puede operar en frecuencias que van desde 0.01Hz hasta 500KHz. Se utiliza por ejemplo en módems FSK, detección de señales portadoras y demoduladores de FM.

Este integrado a través de sus componentes de polarización presenta en su salida digital un uno (1) lógico cuando en sus entradas se presenta una frecuencia baja y un cero (0) lógico cuando en su entrada hay una frecuencia alta.

El **XR-2211** internamente consta de un sistema PLL básico para detectar una señal de entrada dentro de la banda de paso; un detector de fase en cuadratura que proporciona la detección de portadora, y un comparador de voltaje FSK que es propiamente el encargado de la demodulación FSK.

El sistema PLL está constituido de un preamplificador de entrada, un multiplicador analógico usado como detector de fase, y un oscilador controlado por voltaje (VCO) de recisión. Un Oscilador controlado por tensión o VCO (Voltaje-controlled oscillator) es un [dispositivo electrónico](#) que usa amplificación, realimentación y circuitos resonantes que da a su salida una señal eléctrica de frecuencia proporcional a la [tensión](#) de entrada. Típicamente esa salida es una señal sinusoidal, aunque en VCO [digitales](#) es una señal cuadrada.

Figura 16. Configuración Interna XR-2211



La señal de referencia es periódica, similar a una señal senoidal (o cuadrada) que es comparada con la salida del oscilador de voltaje controlado utilizando el detector de fase. La salida del detector se pasa por el filtro pasabajos y se usa como señal de control para manejar el oscilador de voltaje controlado. La idea es

que el oscilador de voltaje controlado se asegure o se amarre con respecto de la señal de referencia y por lo tanto pueda ser usado para seguir una señal periódica mediante la variación de su fase y frecuencia. El preamplificador es usado como un limitador tal que señales de entrada típicamente alrededor de 10mV RMS son amplificadas a una señal de nivel constante. El detector de fase actúa como una compuerta **XOR** cuya salida produce suma y diferencia de frecuencias de la señal de entrada y de la salida del VCO.

Los valores de RF, RB, RI, R1, R2, C0, C1 se calculan por medio de las frecuencias a las cuales se va a trabajar el circuito modulador y considerando la velocidad de transmisión de la siguiente forma:

- Se calcula Fo o la frecuencia central a la cual se va a operar el PLL (Phase Locked Loop – Lazo de fase Cerrada).
- Fo= La raíz cuadrada del producto de f1, f2

El circuito Demodulador FSK expuesto en este documento está definido por las siguientes premisas de diseño:

BR = 1200 Baud

f₁ = 10 KHz

f₂ = 5 KHz

Paso 1: Frecuencia Central Ajustable Por Variación De Voltaje - (f_o)

Se determina el valor de frecuencia central considerando las frecuencias de operación f₁ y f₂.

$$f_o = \sqrt{(f_1 \cdot f_2)}$$

$$f_o = \sqrt{[(10000Hz) \cdot (5000Hz)]}$$

$$f_o = 7070Hz$$

Si se parte del valor comercial para el condensador C_0 ; para nuestro proyecto se escogió un condensador de **22nF**.

Paso 2: Calculo de la Resistencia para sintonía fina de frecuencia (R_0)

Se parte de la expresión matemática que define a la frecuencia central en función de la red RC:

$$f_o = \frac{1}{R_0 \cdot C_0}$$

Despejando R_0

$$R_0 = \frac{1}{22\eta f \cdot 7070Hz}$$

$$R_0 = 6.429K\Omega$$

Esta resistencia de acuerdo a las especificaciones del fabricante se debe conectar mediante una resistencia en serie del tipo variable (potenciómetro), para hacer un ajuste más fino del comportamiento del circuito.

Paso 3: Resistencia de rastreo de Ancho de Banda – (R_1)

A partir de la siguiente expresión se determina el valor de la resistencia de rastreo R_1 , esta es la que ajusta el ancho de banda de operación del circuito demodulador:

$$R_1 = \left[\frac{R_0 \cdot f_o}{(f_2 - f_1)} \right] \cdot 2$$

$$R_1 = \left[\frac{(6.429K\Omega) \cdot (7070Hz)}{(10000Hz - 5000Hz)} \right] \cdot 2$$

$$R_1 = 18.18K\Omega$$

Paso 4: Condensador de Bucle de Factor de Amortiguamiento - (C_1)

$$C_1 = \frac{1250 \cdot C_0}{R_1 \cdot \zeta^2}$$

$$C_1 = \frac{1250 \cdot 22nf}{(18.18K\Omega) \cdot (0.5)^2}$$

$$C_1 = 6\eta f$$

$$C_1 = 0.006\mu f$$

Paso 5: Resistencia de Filtrado - (R_F).

$$R_F \geq 5 \cdot R_1$$

$$R_F \geq 5 \cdot 18.18K\Omega$$

$$R_F \geq 90.9K\Omega$$

Paso 6: Calculo de R_B

$$R_B \geq 5 \cdot R_F$$

$$R_B \geq 5 \cdot 90.9K\Omega$$

$$R_B \geq 454.5K\Omega$$

Paso 7: Calculo de R_{SUM}

$$R_{SUM} = \frac{(R_F + R_1) \cdot R_B}{(R_F + R_1 + R_B)}$$

$$R_{SUM} = \frac{(90.9K\Omega + 18.18K\Omega) \cdot 454.5K\Omega}{(90.9K\Omega + 18.18K\Omega + 454.5K\Omega)}$$

$$R_{SUM} = 87.96K\Omega$$

Paso 8: Condensador de Filtrado - (C_F).

$$C_F = \frac{0.25}{(R_{SUM} \cdot \text{Baud Rate})}$$

$$C_F = \frac{0.25}{(87.96K\Omega \cdot 1200 \text{ Baud})}$$

$$C_F = 0.36\eta f$$

$$C_F = 0.00036\mu f$$

4. PRÁCTICAS DE LABORATORIO

Esta guía se realiza con el fin de ofrecerles a los estudiantes una forma pedagógica y práctica que les facilite la asimilación de ciertos aspectos teóricos, dado que en algunos casos no son lo suficientemente claros con la explicación del docente o con la lectura del tema en libros.

Con base en la experiencia que se ha adquirido en las diferentes cátedras recibidas en la aulas de clase de nuestra universidad, y aprovechando los conocimientos obtenidos en ésta, nos place presentar a los profesores, estudiantes y comunidad educativa en general, esta guía de laboratorio denominada **MODULACION Y DEMODULACION FSK** teniendo en cuenta los objetivos y justificaciones establecidas por el programa de Ingeniería Electrónica de la Universidad Tecnológica de Bolívar.

El objetivo principal es servir de guía y ayuda, para facilitar la enseñanza y el aprendizaje de lo concerniente a la **Modulación FSK**, haciéndola amena, dinámica y activa, ya que los diferentes ítems que conforman la guía están redactadas en un lenguaje sencillo y comprensible para los lectores.

Las prácticas de laboratorio que se presentan tienen un orden lógico y pedagógico, procurando que los conocimientos vayan de lo conocido a lo desconocido, de lo fácil a lo difícil, de lo sencillo a lo complejo, lo cual permite al estudiante adquirir nuevos conocimientos y además, que pongan en destreza lo que han aprendido con anterioridad.

El contenido de esta guía son una serie de actividades prácticas, cuestionarios, ejercicios los cuales permitirán lograr los objetivos planteados.

La guía consta de una serie de prácticas que tienen como finalidad la interacción del usuario con el entrenador, logrando comprender el funcionamiento de este, manejarlo adecuadamente para lograr los objetivos propuestos y afianzar sus conocimientos.

4.1 Modulación FSK

La Modulación FSK es un tipo de modulación de frecuencia cuya [señal](#) modulante es un [flujo](#) de pulsos binarios que varía entre valores predeterminados.

En los sistemas de modulación por desplazamiento de frecuencia, FSK, la señal moduladora hace variar la frecuencia de la portadora, de modo que la señal modulada resultante codifica la información asociándola a valores de frecuencia diferentes.

4.1.1 Objetivos

- Observar y analizar un sistema de modulación FSK.
- Reconocer la modulación FSK y la forma en que esta se utiliza para representar datos binarios.
- Observar el comportamiento que este tipo de modulación presenta, tanto en tiempo como en frecuencia.

4.1.2 Libros de Consulta

- Tomasi, Wayne. Sistemas de Comunicaciones Electrónicas, Editorial Prentice Hall, Segunda Edición, 1996.
- Herrera, Enrique. Comunicaciones II: Comunicación digital y ruido, Editorial Limusa, 2002
- Hojas de datos (XR-2206).

4.1.3 Equipos

- Generador de señales
- Osciloscopio
- Multímetro Digital

4.1.4 Procedimiento

Conecte el equipo a la red (110 VAC) y encienda el interruptor.

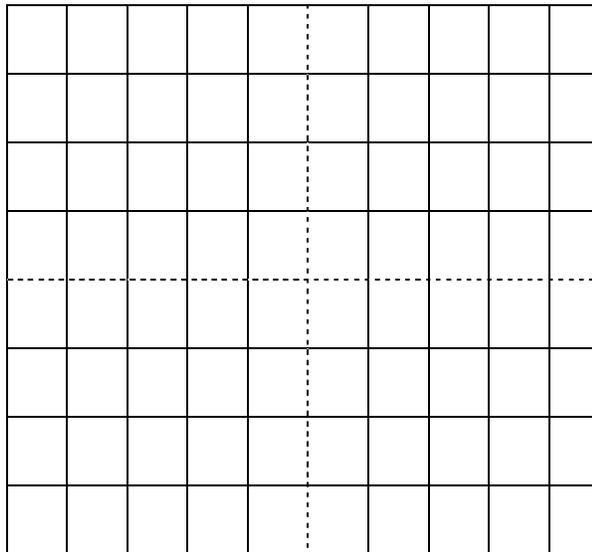
- Con la ayuda de un Multímetro, mida el voltaje en la salida del Modulador.
Vsal=_____ Voltios.

El nivel de CD debe ser aproximadamente la mitad del voltaje de alimentación del circuito.

- El Circuito Integrado, **XR-2206** suministra dos tipos de señales en el pin 2. Conecte el canal 1 del osciloscopio a la salida del modulador y varíe el ajuste de señal. ¿Qué observa?

- Con ayuda del osciloscopio, visualice la señal portadora en la salida de la etapa moduladora. Ajuste su amplitud al valor máximo posible y obtenga una forma de onda completamente senoidal, variando la perilla de Ajuste de Señal.

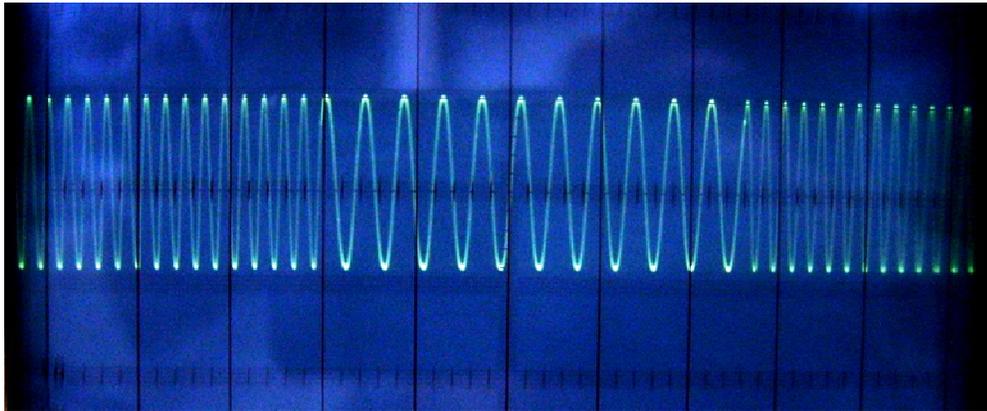
Graficar la forma de onda. Incluya su amplitud y frecuencia.



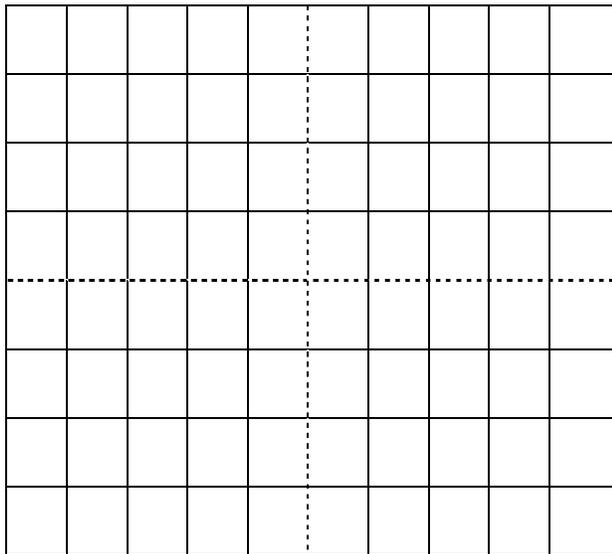
V/Div = _____ Time/Div = _____ F_c = _____

A continuación encienda el generador. Seleccione una señal digital con frecuencia entre $70\text{Hz} \leq f \leq 300\text{Hz}$.

- La frecuencia seleccionada de _____ Hz, conectar a la entrada del Modulador. Con la ayuda del osciloscopio observe la señal en la salida de la Etapa Moduladora.
- Verifique que la señal se observa como se muestra en la siguiente figura.



- Graficar la forma de onda obtenida en el paso anterior y calcule su frecuencia.

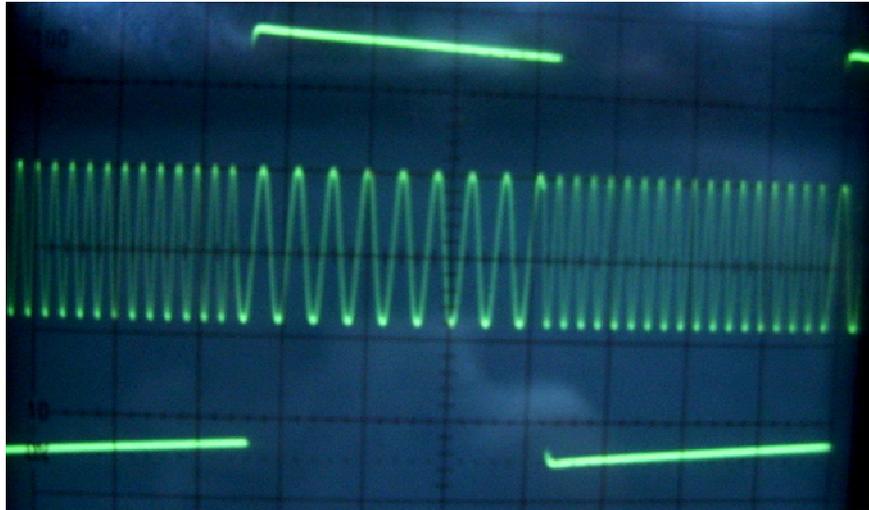


V/Div = _____ Time/Div = _____

F_1 = _____ F_2 = _____

Aumente y disminuya gradualmente la frecuencia del generador de señales. Observe como varían las señales de frecuencia de marca (1) y espacio (0).

- Seleccione una señal digital con frecuencia de 80 Hz, 100Hz y 150Hz. Grafique y explique.
- Seleccione en el osciloscopio los canales CH1 para medir la entrada del modulador y el canal CH2 para visualizar la salida de este. Observe los canales CH1 y CH2 simultáneamente. Ajuste las perillas volts/div y time/div.
- Verifique que la señal se observa como se muestra en la figura.



¿Qué observa?

¿Qué frecuencia es mayor, la asignada a la marca (1) o la asignada al espacio (0)?

4.2 Demodulación FSK

La Demodulación es el proceso de recuperación de la señal moduladora de una señal modulada. Se trata de un sistema basado en un PLL orientado para comunicaciones en módems. Es un circuito de fase cerrada (PLL) de propósito general, que dispone de un oscilador controlado por tensión (VCO) altamente lineal y un detector de fase doblemente balanceado con buena supresión de portadora.

4.2.1 Objetivos

- Observar la recepción de señales digitales mediante la demodulación FSK.
- Estudiar el funcionamiento de un PLL y su aplicación para la demodulación de una señal modulada FSK.

4.2.2 Libros de consulta

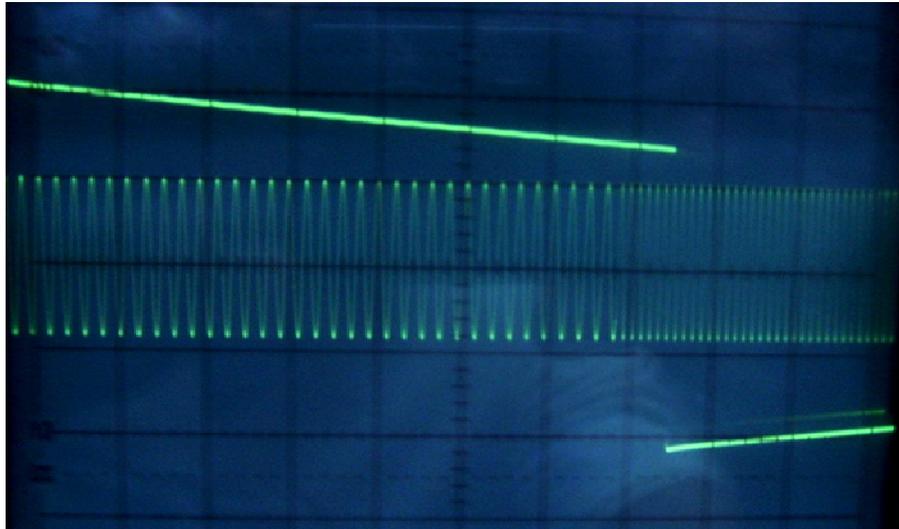
- Tomasi, Wayne. Sistemas de Comunicaciones Electrónicas, Editorial Prentice Hall, Segunda Edición, 1996.
- Herrera, Enrique. Comunicaciones II: Comunicación digital y ruido, Editorial Limusa, 2002
- Hojas de datos (XR-2211).

4.2.3 Equipos

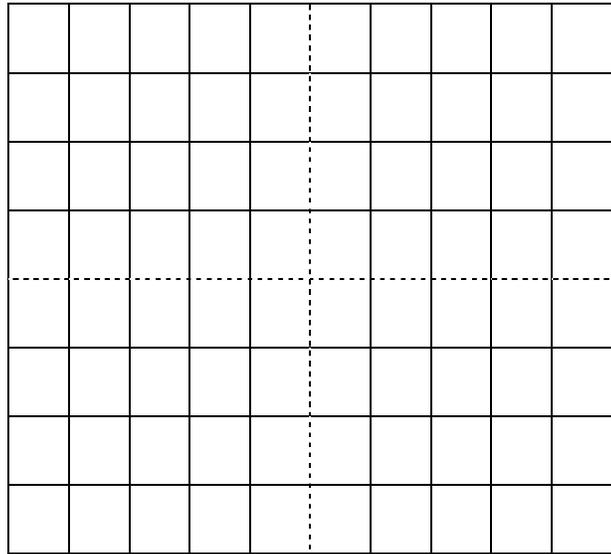
- Generador de señales
- Osciloscopio
- Multímetro Digital

4.2.4 Procedimiento

- Conecte el equipo a la red (110 VAC) y encienda el interruptor.
- Conecte la salida del Modulador por medio de un cable a la entrada del Demodulador.
- Verifique con el osciloscopio que se observa la salida del Modulador en la entrada del Demodulador.
- Seleccione en el Osciloscopio los canales CH1 para observar la entrada al Demodulador y el Canal CH2 para visualizar la Salida de este. Ajustando el osciloscopio de tal forma que sea posible observar las señales.

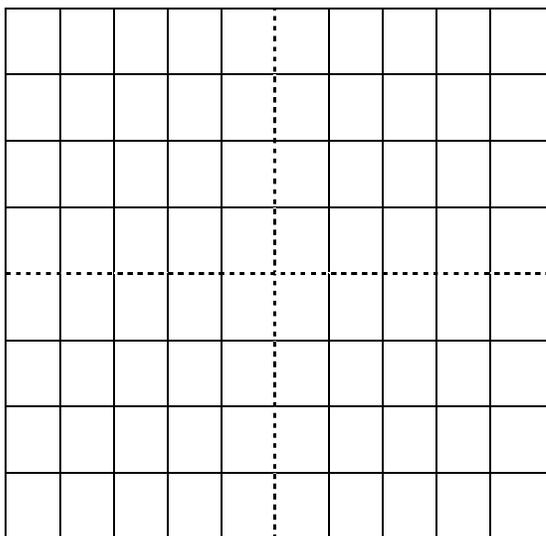


- Graficar las señales visualizadas y comparar con la práctica 9 del modulador. Mencione semejanzas y diferencias.

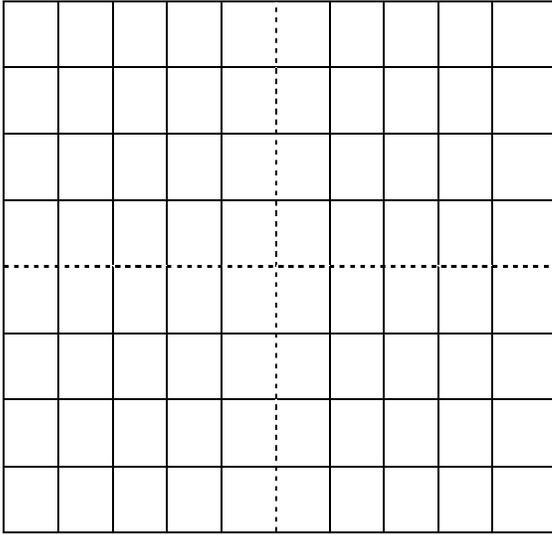


V/Div = _____ Time/Div = _____

- Cambiar el canal CH2 para visualizar la Salida Digital del Demodulador sincronizada con la Entrada Digital (CH1). Mídanse y dibújense perfectamente las amplitudes y tiempos de las ondas, así como el retardo de la señal de Salida digital respecto de la Entrada.
- Que diferencias y semejanzas encuentra entre las dos señales.
- Grafique ambas señales y calcule sus frecuencias.



V/Div = _____ Time/Div = _____



V/Div = _____ Time/Div = _____

4.3 Cuestionario

En cada una de las siguientes preguntas, seleccione la opción que considere correcta. Justifique su respuesta.

1. La modulación FSK tiene:

- a. Portadora digital, moduladora analógica.
- b. Portadora analógica, moduladora analógica.
- c. Portadora digital, moduladora digital.
- d. Portadora analógica, moduladora digital.

2. La señal portadora es:

- a. La que se modifica con la información para enviarla a través del medio.
- b. La que contiene la información que se desea enviar.
- c. Es la señal que se recibe cuando utilizamos las ondas de radio como canal.
- d. Es la parte de la señal enviada que no contiene ningún tipo de información.

3. Es una ventaja de la Modulación FSK:

- a. Que su operación en alta frecuencia es perfecta.
- b. Los equipos consumen más potencia y son más robustos.
- c. Poco sensible al ruido.
- d. Requieren de menos ancho de Banda que otros tipos de Modulación.

4. Es una razón para modular:

- a. Facilita la propagación de la señal de información por cable o por el aire.
- b. Protege a la Información de las degradaciones por ruido.
- c. Optimiza el ancho de banda de cada canal
- d. Todas las Anteriores

CONCLUSIONES

La ventaja principal de la transmisión digital es la inmunidad al ruido. Las señales analógicas son más susceptibles que los pulsos digitales a la amplitud, frecuencia y variaciones de fase. Esto se debe a que con la transmisión digital, no se necesita evaluar esos parámetros, con tanta precisión, como en la transmisión analógica. En cambio, los pulsos recibidos se evalúan durante un intervalo de muestreo y se hace una sola determinación si el pulso está arriba (1) o abajo de un umbral específico (0). Las señales digitales se pueden guardarse y procesarse fácilmente que las señales analógicas, Los sistemas digitales utilizan la regeneración de señales, en vez de la amplificación, por lo tanto producen un sistema más resistente al ruido que su contraparte analógica.

La modulación FSK se desarrolla para transportar información digital a través de medios que requieren de señales análogas, por ejemplo a través del espacio libre y líneas de alta tensión.

Si se toman frecuencias muy cercanas para representar a los símbolos se reduce el ancho de banda, pero se toma el riesgo de que los espectros se traslapen y su detección sea complicada.

Si se toman frecuencias muy alejadas la detección será sencilla, aunque el ancho de banda se incrementará y esta variante en la transmisión de información es importante.

En definitiva, el modulador y el demodulador cumplen con el propósito por el cual fueron construidos debido a que la información que se envía es recuperada en su totalidad al final del sistema de comunicaciones.

BIBLIOGRAFIA

Stremmer, Ferrela. “**SISTEMAS DE COMUNICACIÓN**”, Segunda Edición, Ed. Fondo educativo interamericano, México 1985.

Stallings, William. Comunicaciones y Redes de Computadoras, (Prentice Hall), 747, (1998).

Lathi, Bhagwanclas, “**SISTEMAS DE COMUNICACIÓN**”, Segunda Edición, Ed. Nueva editorial mexicana, México 1986.

Otálvaro Cardona, Natalia. Modulador y Demodulador FSK Inalámbrico, con circuito Integrado XR-2206 y XR-2211 [en línea].

<http://natamonitoreo.tripod.com/MODULADOR_FSK_INALAMBRICO.pdf>

Luque Rodríguez, Joaquín. Modulación de Señales Digitales [en línea].

<<http://personal.us.es/jluque/Libros%20y%20apuntes/1995%20Modulacion%20digital.pdf>>

Universidad de Pamplona. Data Transmission Using the AC Power Transmission Line [en línea].

<http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/hermesoft/portallG/home_18/recursive/01_general/documentos/16052008/rev_tec_avan_art11_vol1_num7.pdf>

EXAR CORPORATION. Monolithic Function Generator [en línea]

<<http://www.exar.com/products/XR2206v202.pdf>>

EXAR CORPORATION. FSK Demodulator/Tone Decoder [en línea]

<<http://www.exar.com/products/XR2211v301.pdf>>

ANEXOS



XR-2206

Monolithic
Function Generator

June 1997-3

FEATURES

- Low-Sine Wave Distortion, 0.5%, Typical
- Excellent Temperature Stability, 20ppm/°C, Typ.
- Wide Sweep Range, 2000:1, Typical
- Low-Supply Sensitivity, 0.01%V, Typ.
- Linear Amplitude Modulation
- TTL Compatible FSK Controls
- Wide Supply Range, 10V to 26V
- Adjustable Duty Cycle, 1% TO 99%

APPLICATIONS

- Waveform Generation
- Sweep Generation
- AM/FM Generation
- V/F Conversion
- FSK Generation
- Phase-Locked Loops (VCO)

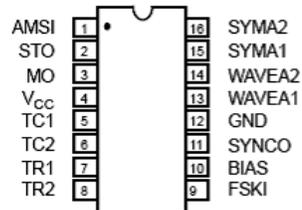
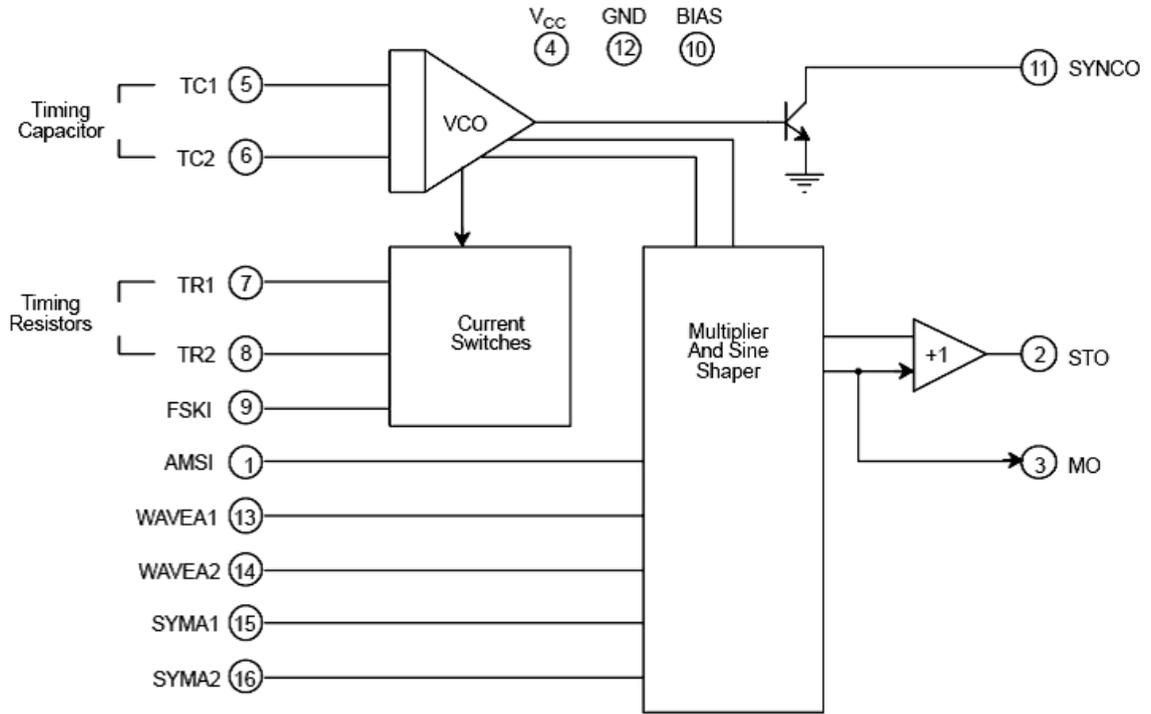
GENERAL DESCRIPTION

The XR-2206 is a monolithic function generator integrated circuit capable of producing high quality sine, square, triangle, ramp, and pulse waveforms of high-stability and accuracy. The output waveforms can be both amplitude and frequency modulated by an external voltage. Frequency of operation can be selected externally over a range of 0.01Hz to more than 1MHz.

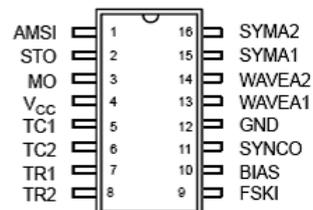
The circuit is ideally suited for communications, instrumentation, and function generator applications requiring sinusoidal tone, AM, FM, or FSK generation. It has a typical drift specification of 20ppm/°C. The oscillator frequency can be linearly swept over a 2000:1 frequency range with an external control voltage, while maintaining low distortion.

ORDERING INFORMATION

| Part No. | Package | Operating Temperature Range |
|-----------|----------------------------|-----------------------------|
| XR-2206M | 16 Lead 300 Mil CDIP | -55°C to +125°C |
| XR-2206P | 16 Lead 300 Mil PDIP | -40°C to +85°C |
| XR-2206CP | 16 Lead 300 Mil PDIP | 0°C to +70°C |
| XR-2206D | 16 Lead 300 Mil JEDEC SOIC | 0°C to +70°C |



16 Lead PDIP, CDIP (0.300")



16 Lead SOIC (Jedec, 0.300")

DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Test Conditions: Test Circuit of *Figure 2* $V_{CC} = 12V$, $T_A = 25^\circ C$, $C = 0.01\mu F$, $R_1 = 100k\Omega$, $R_2 = 10k\Omega$, $R_3 = 25k\Omega$
Unless Otherwise Specified. S_1 open for triangle, closed for sine wave.

| Parameters | XR-2206M/P | | | XR-2206CP/D | | | Units | Conditions |
|--|---------------------------|----------|----------------------------|-------------|----------|----------|-----------------|---|
| | Min. | Typ. | Max. | Min. | Typ. | Max. | | |
| General Characteristics | | | | | | | | |
| Single Supply Voltage | 10 | | 26 | 10 | | 26 | V | |
| Split-Supply Voltage | ± 5 | | ± 13 | ± 5 | | ± 13 | V | |
| Supply Current | | 12 | 17 | | 14 | 20 | mA | $R_1 \geq 10k\Omega$ |
| Oscillator Section | | | | | | | | |
| Max. Operating Frequency | 0.5 | 1 | | 0.5 | 1 | | MHz | $C = 1000pF$, $R_1 = 1k\Omega$ |
| Lowest Practical Frequency | | 0.01 | | | 0.01 | | Hz | $C = 50\mu F$, $R_1 = 2M\Omega$ |
| Frequency Accuracy | | ± 1 | ± 4 | | ± 2 | | % of f_0 | $f_0 = 1/R_1C$ |
| Temperature Stability Frequency | | ± 10 | ± 50 | | ± 20 | | ppm/ $^\circ C$ | $0^\circ C \leq T_A \leq 70^\circ C$ $R_1 = R_2 = 20k\Omega$ |
| Sine Wave Amplitude Stability ² | | 4800 | | | 4800 | | ppm/ $^\circ C$ | |
| Supply Sensitivity | | 0.01 | 0.1 | | 0.01 | | %/V | $V_{LOW} = 10V$, $V_{HIGH} = 20V$, $R_1 = R_2 = 20k\Omega$ |
| Sweep Range | 1000:1 | 2000:1 | | | 2000:1 | | $f_H = f_L$ | $f_H @ R_1 = 1k\Omega$ $f_L @ R_1 = 2M\Omega$ |
| Sweep Linearity | | | | | | | | |
| 10:1 Sweep | | 2 | | | 2 | | % | $f_L = 1kHz$, $f_H = 10kHz$ |
| 1000:1 Sweep | | 8 | | | 8 | | % | $f_L = 100Hz$, $f_H = 100kHz$ |
| FM Distortion | | 0.1 | | | 0.1 | | % | $\pm 10\%$ Deviation |
| Recommended Timing Components | | | | | | | | |
| Timing Capacitor: C | 0.001 | | 100 | 0.001 | | 100 | μF | <i>Figure 5</i> |
| Timing Resistors: R_1 & R_2 | 1 | | 2000 | 1 | | 2000 | k Ω | |
| Triangle Sine Wave Output¹ | | | | | | | | <i>Figure 3</i> |
| Triangle Amplitude | | 160 | | | 160 | | mV/k Ω | <i>Figure 2</i> , S_1 Open |
| Sine Wave Amplitude | 40 | 60 | 80 | | 60 | | mV/k Ω | <i>Figure 2</i> , S_1 Closed |
| Max. Output Swing | | 6 | | | 6 | | Vp-p | |
| Output Impedance | | 600 | | | 600 | | Ω | |
| Triangle Linearity | | 1 | | | 1 | | % | |
| Amplitude Stability | | 0.5 | | | 0.5 | | dB | For 1000:1 Sweep |
| Sine Wave Distortion | | | | | | | | |
| Without Adjustment | | 2.5 | | | 2.5 | | % | $R_1 = 30k\Omega$ |
| With Adjustment | | 0.4 | 1.0 | | 0.5 | 1.5 | % | See <i>Figure 7</i> and <i>Figure 8</i> |

Notes

¹ Output amplitude is directly proportional to the resistance, R_3 , on Pin 3. See *Figure 3*.

² For maximum amplitude stability, R_3 should be a positive temperature coefficient resistor.

Bold face parameters are covered by production test and guaranteed over operating temperature range.

PIN DESCRIPTION

| Pin # | Symbol | Type | Description |
|-------|-----------------|------|--|
| 1 | AMSI | I | Amplitude Modulating Signal Input. |
| 2 | STO | O | Sine or Triangle Wave Output. |
| 3 | MO | O | Multiplier Output. |
| 4 | V _{CC} | | Positive Power Supply. |
| 5 | TC1 | I | Timing Capacitor Input. |
| 6 | TC2 | I | Timing Capacitor Input. |
| 7 | TR1 | O | Timing Resistor 1 Output. |
| 8 | TR2 | O | Timing Resistor 2 Output. |
| 9 | FSKI | I | Frequency Shift Keying Input. |
| 10 | BIAS | O | Internal Voltage Reference. |
| 11 | SYNCO | O | Sync Output. This output is a open collector and needs a pull up resistor to V _{CC} . |
| 12 | GND | | Ground pin. |
| 13 | WAVEA1 | I | Wave Form Adjust Input 1. |
| 14 | WAVEA2 | I | Wave Form Adjust Input 2. |
| 15 | SYMA1 | I | Wave Symetry Adjust 1. |
| 16 | SYMA2 | I | Wave Symetry Adjust 2. |

FEATURES

- Wide Frequency Range, 0.01Hz to 300kHz
- Wide Supply Voltage Range, 4.5V to 20V
- HCMOS/TTL/Logic Compatibility
- FSK Demodulation, with Carrier Detection
- Wide Dynamic Range, 10mV to 3V rms
- Adjustable Tracking Range, $\pm 1\%$ to 80%
- Excellent Temp. Stability, $\pm 50\text{ppm}/^\circ\text{C}$, max.

APPLICATIONS

- Caller Identification Delivery
- FSK Demodulation
- Data Synchronization
- Tone Decoding
- FM Detection
- Carrier Detection

GENERAL DESCRIPTION

The XR-2211 is a monolithic phase-locked loop (PLL) system especially designed for data communications applications. It is particularly suited for FSK modem applications. It operates over a wide supply voltage range of 4.5 to 20V and a wide frequency range of 0.01Hz to 300kHz. It can accommodate analog signals between 10mV and 3V, and can interface with conventional DTL, TTL, and ECL logic families. The circuit consists of a basic PLL for tracking an input signal within the pass band, a

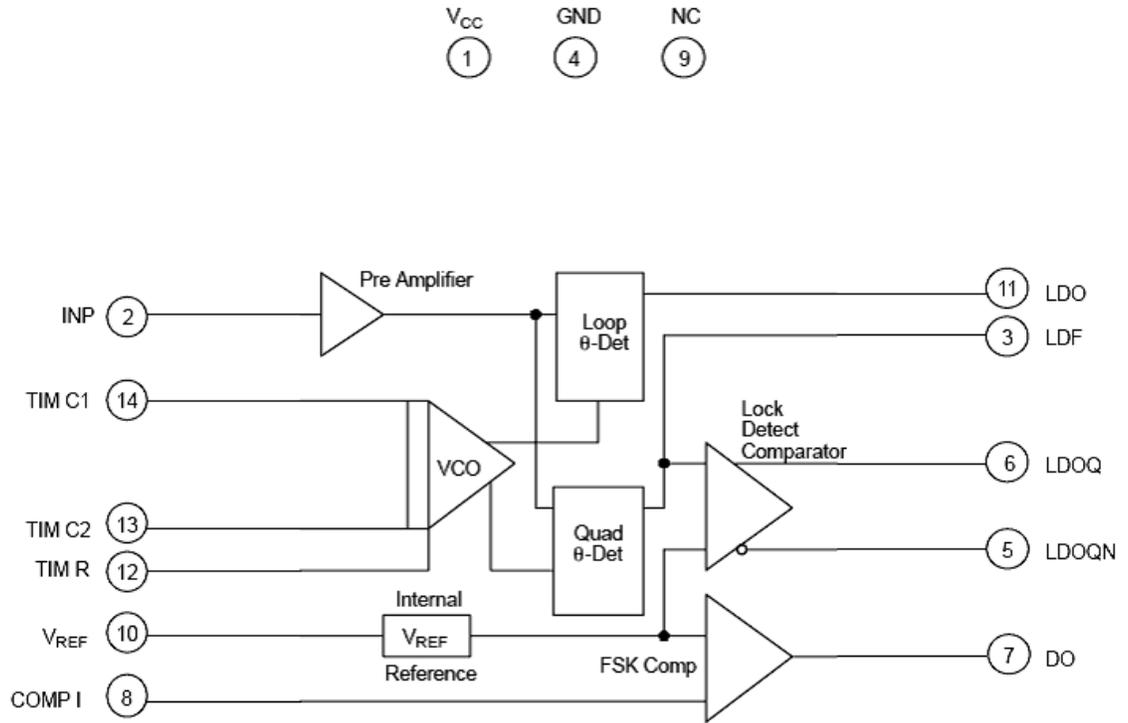
quadrature phase detector which provides carrier detection, and an FSK voltage comparator which provides FSK demodulation. External components are used to independently set center frequency, bandwidth, and output delay. An internal voltage reference proportional to the power supply is provided at an output pin.

The XR-2211 is available in 14 pin packages specified for military and industrial temperature ranges.

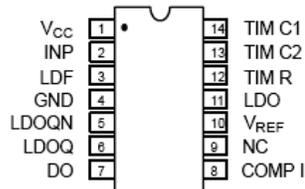
ORDERING INFORMATION

| Part No. | Package | Operating Temperature Range |
|-----------|------------------------------|-----------------------------|
| XR-2211M | 14 Pin CDIP (0.300") | -55°C to +125°C |
| XR-2211N | 14 Pin CDIP (0.300") | -40°C to +85°C |
| XR-2211P | 14 Pin PDIP (0.300") | -40°C to +85°C |
| XR-2211ID | 14 Lead SOIC (Jedec, 0.150") | -40°C to +85°C |

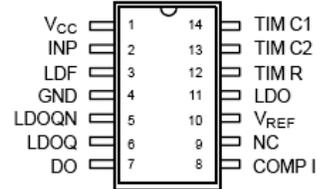
BLOCK DIAGRAM



PIN CONFIGURATION



14 Lead CDIP, PDIP (0.300")



14 Lead SOIC (Jedec, 0.150")

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Test Conditions: $V_{CC} = 12V$, $T_A = +25^\circ C$, $R_0 = 30K\Omega$, $C_0 = 0.033\mu F$, unless otherwise specified.

| Parameter | Min. | Typ. | Max. | Unit | Conditions |
|--|-----------------------------|-----------|-----------------------------|-----------------|--|
| General | | | | | |
| Supply Voltage | 4.5 | | 20 | V | |
| Supply Current | | 4 | 7 | mA | $R_0 \geq 10K\Omega$. See <i>Figure 4</i> . |
| Oscillator Section | | | | | |
| Frequency Accuracy | | ± 1 | ± 3 | % | Deviation from $f_0 = 1/R_0 C_0$ |
| Frequency Stability | | | | | |
| Temperature | | ± 20 | ± 50 | ppm/ $^\circ C$ | See <i>Figure 8</i> . |
| Power Supply | | 0.05 | 0.5 | %/V | $V_{CC} = 12 \pm 1V$. See <i>Figure 7</i> . |
| Upper Frequency Limit | 100 | 300 | | kHz | $R_0 = 8.2K\Omega$, $C_0 = 400pF$ |
| Lowest Practical Operating Frequency | | | 0.01 | Hz | $R_0 = 2M\Omega$, $C_0 = 50\mu F$ |
| Timing Resistor, R_0 - See <i>Figure 5</i> | | | | | |
| Operating Range | 5 | | 2000 | K Ω | |
| Recommended Range | 5 | | | K Ω | See <i>Figure 7</i> and <i>Figure 8</i> . |
| Loop Phase Detector Section | | | | | |
| Peak Output Current | ± 150 | ± 200 | ± 300 | μA | Measured at Pin 11 |
| Output Offset Current | | 1 | | μA | |
| Output Impedance | | 1 | | M Ω | |
| Maximum Swing | ± 4 | ± 5 | | V | Referenced to Pin 10 |
| Quadrature Phase Detector Measured at Pin 3 | | | | | |
| Peak Output Current | 100 | 300 | | μA | |
| Output Impedance | | 1 | | M Ω | |
| Maximum Swing | | 11 | | V_{PP} | |
| Input Preempt Section Measured at Pin 2 | | | | | |
| Input Impedance | | 20 | | K Ω | |
| Input Signal | | | | | |
| Voltage Required to Cause Limiting | | 2 | 10 | mV rms | |

Notes

Parameters are guaranteed over the recommended operating conditions, but are not 100% tested in production.

Bold face parameters are covered by production test and guaranteed over operating temperature range.

PIN DESCRIPTION

| Pin # | Symbol | Type | Description |
|-------|------------------|------|---|
| 1 | V _{CC} | | Positive Power Supply. |
| 2 | INP | I | Receive Analog Input. |
| 3 | LDF | O | Lock Detect Filter. |
| 4 | GND | | Ground Pin. |
| 5 | LDOQN | O | Lock Detect Output Not. This output will be low if the VCO is in the capture range. |
| 6 | LDOQ | O | Lock Detect Output. This output will be high if the VCO is in the capture range. |
| 7 | DO | O | Data Output. Decoded FSK output. |
| 8 | COMP I | I | FSK Comparator Input. |
| 9 | NC | | Not Connected. |
| 10 | V _{REF} | O | Internal Voltage Reference. The value of V _{REF} is V _{CC} /2 - 650mV. |
| 11 | LDO | O | Loop Detect Output. This output provides the result of the quadrature phase detection. |
| 12 | TIM R | I | Timing Resistor Input. This pin connects to the timing resistor of the VCO. |
| 13 | TIM C2 | I | Timing Capacitor Input. The timing capacitor connects between this pin and pin 14. |
| 14 | TIM C1 | I | Timing Capacitor Input. The timing capacitor connects between this pin and pin 13. |