

En español

Desarrollo e integración de una estación de radio AM/FM basada en computadora

Everardo Inzunza González¹, Jesús Everardo Olguín Tiznado², Juracy Soares López³, Liliana Cardoza Avendaño⁴, Claudia Camargo Wilson⁵ y Juan Miguel Hernández Ontiveros⁶

RESUMEN

En este trabajo se presenta el desarrollo de una estación de radio AM/FM basada en computadora personal, que opera en la banda comercial de AM y FM. Se presenta la evolución de la interfaz gráfica con el usuario del *software* y la interconexión por medio del ducto GPIB con un generador de funciones de RF. El usuario de la computadora tiene la opción de introducir la frecuencia deseada de transmisión dentro de la banda comercial, así como la potencia de transmisión, entre otros parámetros.

Palabras clave: modulación en amplitud, modulación en frecuencia, bus de interfaz de propósito general, portadora de radiofrecuencia, señal moduladora.

Recibido: febrero 27 de 2009
Aceptado: marzo 27 de 2010

Introducción

Antecedentes de radio

La aparición de este medio de comunicación es una sucesión de descubrimientos que comenzaron a finales del siglo XIX.

In English

Developing and integrating a computer-based AM/FM radio station

Everardo Inzunza González⁷, Jesús Everardo Olguín Tiznado⁸, Juracy Soares López⁹, Liliana Cardoza Avendaño¹⁰, Claudia Camargo Wilson¹¹ and Juan Miguel Hernández Ontiveros¹²

ABSTRACT

This article presents the development of a personal computer-based AM/FM radio station operating on the AM/FM commercial band. Developing the graphical user interface for the software and the interconnection with an RF function generator by means of a GPIB is presented. Computer users can enter the desired transmission frequency within the commercial band as well as the transmission potency.

Keywords: amplitude modulation, frequency modulation, general purpose interface bus (GPIB), radio frequency carrier, modulating signal.

Received: feb 27th 2009
Accepted: march 27th 2010

Introduction

A brief history of radio

This communications' medium emerged from a succession of discoveries which began in the late nineteenth century.

¹ Ingeniero electrónico, Instituto Tecnológico de Culiacán, Sinaloa, México. M. Sc., en Ciencias en Electrónica y Telecomunicaciones, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California, México. Profesor de carrera titular C, Facultad de Ingeniería Ensenada, Universidad Autónoma de Baja California, campus Ensenada, México. einzunza@uabc.edu.mx

² Ingeniero Industrial, Instituto Tecnológico de Huatabampo, Sonora, México. M. Sc., en Ciencias en Ingeniería Industrial, Instituto Tecnológico de Hermosillo, Sonora, México. Profesor – Investigador, Facultad de Ingeniería Ensenada, Universidad Autónoma de Baja California, campus Ensenada, México. jeol79@uabc.edu.mx

³ M. Sc., en Ciencias de la Tierra, Centro de Investigación Científica de Educación Superior de Ensenada, Baja California, México. Profesora de carrera titular, Facultad de Ingeniería Ensenada, Universidad Autónoma de Baja California, campus Ensenada. juracy@uabc.edu.mx

⁴ Ingeniera en electrónica. M.Sc., en Ingeniería en Electrónica, Universidad Autónoma de Baja California, campus Ensenada, México. Profesora, Facultad de Ingeniería Ensenada, Universidad Autónoma de Baja California, campus Ensenada, México. lcardoza@uabc.edu.mx

⁵ Ingeniero Industrial, Instituto Tecnológico de los Mochis, Sinaloa, México. M.Sc., en Ciencias en Ingeniería Industrial, Instituto Tecnológico de Hermosillo, Sonora, México. Profesor – Investigador, Facultad de Ingeniería Ensenada, Universidad Autónoma de Baja California, campus Ensenada, México. ccamargo@uabc.edu.mx

⁶ Ingeniero electrónico, Universidad Autónoma de Baja California, México. M.Sc., en Ciencias en Electrónica y Telecomunicaciones, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California, México. Profesor de carrera asociado B, Facultad de Ingeniería y Negocios San Quintín, Universidad Autónoma de Baja California, campus San Quintín, México. juan_miguel@uabc.edu.mx

⁷ Electronic Engineering, Instituto Tecnológico de Culiacán, Sinaloa, México. M. Sc., in Science in Electronics and Telecommunications, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California, México. Career Professor holder C, Ensenada School of engineering, Universidad Autónoma de Baja California, campus Ensenada, Mexico. einzunza@uabc.edu.mx

⁸ Industrial Engineering, Instituto Tecnológico de Huatabampo, Sonora, México. M. Sc., in Science in Industrial Engineering, Instituto Tecnológico de Hermosillo, Sonora, México. Professor - Researcher, Ensenada School of engineering, Universidad Autónoma de Baja California, campus Ensenada, Mexico. jeol79@uabc.edu.mx

⁹ M. Sc., in Earth Sciences, Centro de Investigación Científica de Educación Superior de Ensenada, Baja California, México. Career Professor, Ensenada School of engineering, Universidad Autónoma de Baja California, campus Ensenada. juracy@uabc.edu.mx

¹⁰ Engineer in electronics. M.Sc., Electronics Engineering, Universidad Autónoma de Baja California, campus Ensenada, México. Professor, Ensenada School of engineering, Universidad Autónoma de Baja California, campus Ensenada, Mexico. lcardoza@uabc.edu.mx

¹¹ Industrial Engineer, Instituto Tecnológico de los Mochis, Sinaloa, México. M.Sc., in Industrial Engineering Sciences, Instituto Tecnológico de Hermosillo, Sonora, México. Professor - Researcher, Ensenada School of engineering, Universidad Autónoma de Baja California, campus Ensenada, Mexico. ccamargo@uabc.edu.mx

¹² Electronic Engineering, Universidad Autónoma de Baja California, México. M.Sc., Science in Electronics and Telecommunications, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California, México. Associate Professor of race B, San Quintín School of Engineering and Business, Universidad Autónoma de Baja California, campus San Quintín, Mexico. juan_miguel@uabc.edu.mx

En español

Se tiene noción de que la primera comunicación telegráfica inalámbrica sucedió el 14 de mayo de 1894 entre las poblaciones de Laverck Point y la Isla Fratholm, en el canal de Bristol, separadas por una distancia de aproximadamente 5 kilómetros. El autor de ese fantástico descubrimiento fue Guglielmo Marconi, físico italiano (Tomasi, 2003).

A esa primera comunicación le siguió una serie de avances tecnológicos que poco a poco fueron mejorando la calidad de las comunicaciones y también la cantidad. El origen de las estaciones de radio en distintas partes del mundo ha sido muy diverso: estatal, privado, con fines culturales, con fines comerciales, etcétera.

En una primera instancia, era con fines meramente informativos, y luego comenzó a variar su rango de acción hasta llegar a cubrir los más diversos aspectos: brindar información, música, cultura, entretenimiento y demás.

Ducto de interfaz de propósito general

En 1965 Hewlett-Packard diseñó el Hewlett-Packard Interface Bus (HP-IB) para conectar su línea de instrumentos programables a sus computadoras. Debido a su gran tasa de transferencia (nominalmente 1 Mbyte/s), este bus rápidamente ganó popularidad. Fue aceptado como estándar IEEE 488 en 1975, y envolvió el estándar ANSI/IEEE 488.1 en 1987. Ahora el nombre GPIB (General Purpose Interface Bus) es más usado que el HP-IB. ANSI/IEEE 488.2; en 1987 consolidó el estándar original definiendo cómo los controladores e instrumentos se comunican. SCPI (Standard Commands for Programmable Instruments) tomó la estructura de comandos definida como IEEE 488.2 y creó un solo comando comprensivo de programación que es usado con cualquier instrumento SCPI.

Fundamentos de modulación en amplitud (AM)

Esta técnica de modulación consiste en variar la amplitud de la onda de radiofrecuencia. Cuando una señal de baja frecuencia (LF) controla la amplitud de una onda de alta frecuencia (RF) tenemos una modulación por amplitud. La radio y la televisión no hubieran sido posibles sin la modulación.

En la transmisión existen dos procesos fundamentales. El primero, montar la Información (LF) en la portadora (RF), proceso al que llamamos modulación (Jardón, 2002). El segundo, es el proceso de demodulación, es decir, la recuperación de la información, procedimiento que denominamos detección. En la figura 1a se muestra el ejemplo de una señal de información de 300 Hz; en la figura 1b, la señal portadora de 5 KHz, y se puede observar que al producirse el proceso de modulación en amplitud se genera una envolvente sobre la señal portadora, tal como se muestra en la figura 1c.

Fundamentos de modulación en frecuencia (FM)

En FM la amplitud pico de la portadora permanece constante, mientras que la frecuencia cambia por la acción de la señal moduladora (Ibarra et al., 1999). Como la amplitud de la señal de información varía, produce corrimientos proporcionales en la frecuencia de la portadora. A medida que se incrementa la amplitud de la señal moduladora, aumenta la frecuencia de la portadora. Si la amplitud de la primera decrece, también disminuye la frecuencia de la segunda, como se señala en la figura 2. Así mismo, puede implementarse la relación inversa.

In English

The first wireless telegraph communication happened on May 14th 1894 between Laverck Point and Fratholm Island in the Bristol Channel which are separated by a distance of about 5 miles. The author of this great discovery was Guglielmo Marconi, an Italian physicist (Tomasi, 2003).

This first wireless communication continued a series of technological advances which gradually improved communication quality and quantity. The origin of radio stations in different parts of the world has been very different (i.e. government, private, for cultural, commercial).

They were originally designed for information purposes only and then began to vary their range of action to provide information, music, culture, entertainment, etc.

General purpose interface bus.

Hewlett-Packard designed the Hewlett-Packard interface bus (HP-IB) in 1965 to connect their line of programmable instruments to their computers. This bus quickly gained popularity due to its high transfer rates (nominally 1 Mbytes / s). It was later accepted as IEEE standard 488 in 1975 and was involved in ANSI / IEEE 488.1 in 1987. The name general purpose interface bus (GPIB) is more used today than HP-IB. ANSI / IEEE 488.2 strengthened the original standard defining how controllers and instruments communicate in 1987; standard commands for programmable instruments (SCPI) took command structure defined as IEEE 488.2 and created a single comprehensive programming command which is used with any SCPI instrument.

Fundamentals of amplitude modulation (AM)

This modulation technique varies radio frequency wave amplitude. Amplitude modulation occurs when a low frequency (LF) signal controls the amplitude of a high frequency (HF) wave. Radio and television could not have been possible without such modulation.

Transmission involves two fundamental processes. Low frequency (LF) information is mixed with the radio frequency (RF) carrier; this is called modulation (Jardón, 2002). Then there is the demodulation process (i.e. information retrieval, which is also called detection). Figure 1a shows an example of a 300 Hz information signal; Figure 1b shows the 5 kHz carrier signal. It can be seen in Figure 1c that amplitude modulation produces an envelope signal on the carrier.

Fundamentals of frequency modulation (FM)

The carrier's peak amplitude remains constant in FM, while carrier frequency is changed by the action of the modulating signal (Ibarra et al., 2007). Since information signal amplitude varies, it produces proportional shifts in carrier frequency. Increasing modulating signal amplitude also increases carrier frequency. If the amplitude of the first decreases then carrier frequency also decreases, as shown in Figure 2. Likewise, the inverse relationship can be implemented.

En español

Una disminución de la amplitud de la señal moduladora aumenta la frecuencia de la señal portadora por encima de su valor central, mientras que un incremento en la amplitud de la señal moduladora provoca un decremento en la frecuencia de la señal portadora por debajo de su valor central. A medida que la señal moduladora varía su amplitud, la frecuencia de la portadora cambia arriba y debajo de su valor central o de reposo cuando no hay modulación. El aumento que la señal moduladora produce en la frecuencia de la portadora se conoce como desviación de frecuencia, f_d . La desviación máxima de la frecuencia ocurre en los máximos de amplitud de la señal moduladora. La frecuencia de la señal moduladora determina la relación de desviación de frecuencia, o sea, cuántas veces por segundo la frecuencia de la portadora se desvía arriba y debajo de su frecuencia central. Si la señal moduladora es una onda senoidal de 500 Hz, la frecuencia de la portadora se desvía arriba y debajo de su frecuencia central 500 veces por segundo.

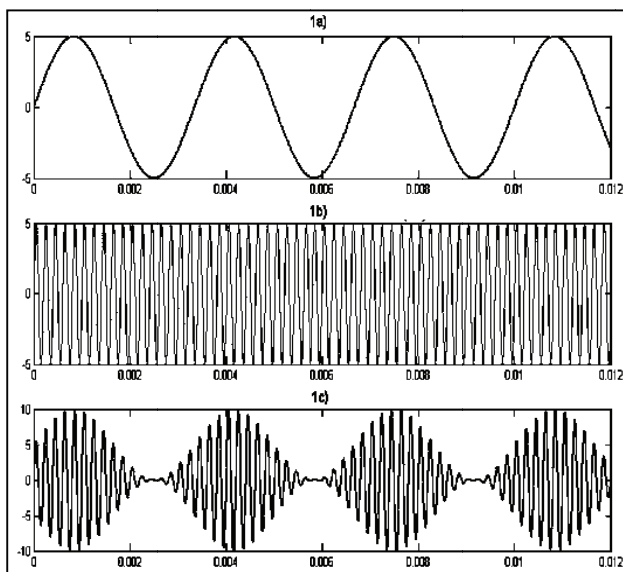


Figura 1. Formas de ondas: a) Señal de información, b) Señal portadora de RF, c) Señal de AM.

Considérese una frecuencia portadora de 150 MHz: si la amplitud de la señal moduladora causa un corrimiento máximo de la frecuencia de 30 kHz, la frecuencia de la portadora se desviará hacia arriba hasta 150,03 MHz y hacia abajo hasta 149,97 MHz. La desviación total de la frecuencia es de $150,03 - 149,97 = 0,06$ MHz o 60 kHz. Sin embargo, en la práctica, la desviación de frecuencia se expresa como una cantidad de corrimiento de frecuencia de la portadora arriba y debajo de la frecuencia central. Por lo tanto, la desviación de frecuencia para la frecuencia de la portadora de 150 MHz se representa como ± 30 kHz. Esto significa que la señal moduladora hace variar a la portadora arriba y debajo de su frecuencia central en 30 kHz. Se observa que la frecuencia de la señal moduladora no tiene efecto en el grado de desviación, el cual es, en estricto sentido, una función de la amplitud de la señal moduladora.

El cambio de frecuencia, que está exagerado en la figura 2, es proporcional a la amplitud de la señal. Una señal portadora de FM alrededor de 100 MHz se halla limitada a modulación de $\pm 0,1$ MHz. Las transmisoras normales de FM modulan aproximadamente a $\pm 0,53$ MHz.

In English

A decrease in modulating signal amplitude causes an increase in carrier frequency above its central value whilst an increase in modulating signal amplitude causes a decrease in carrier frequency below its central value. As the modulating signal varies the amplitude, carrier frequency changes above and below its central or resting value when there is no modulation. The increase caused by the modulating signal in carrier frequency is called frequency deviation, f_d . Maximum frequency shift occurs at maximum modulating signal amplitude. Modulating signal frequency determines the frequency deviation ratio (i.e. how many times per second carrier frequency deviates above and below its central frequency). If the modulating signal is a 500 Hz sine wave, then carrier frequency deviates above and below its central frequency rate 500 times per second.

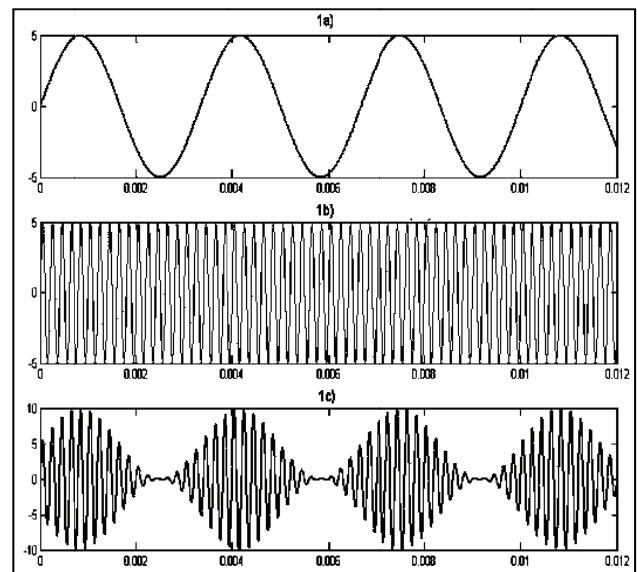


Figure 1. Waveform: a) Information signal, b) RF carrier signal, c) AM signal.

Consider a 150 MHz carrier frequency; if modulating signal amplitude causes a maximum 30 kHz shift frequency, then carrier frequency will deviate up to 150.03 MHz and 149.97 MHz below. Total frequency deviation is $150.03 - 149.97 = 0.06$ MHz or 60 kHz. However, in practice, frequency offset is expressed as being the amount of carrier frequency shift above and below centre frequency. The frequency offset for the 150 MHz carrier frequency is thus represented as being ± 30 kHz. This means that the modulating signal causes 30 kHz carrier frequency variation above and below centre frequency. It may be noted that modulating signal frequency has no effect on the degree of deviation which is, strictly speaking, a function of modulating signal amplitude.

The frequency shift (which is exaggerated in Figure 2) is proportional to signal amplitude. An FM carrier signal of around 100 MHz is limited to ± 0.1 MHz modulation. FM transmitters normally modulate within ± 0.53 MHz.

En español

El espectro electromagnético de la banda de FM se encuentra entre 88 MHz y 108 MHz y las ondas portadoras para estaciones individuales están separadas por 200 kHz para un máximo de 100 estaciones. Estas estaciones de FM tienen una desviación máxima de 75 kHz de la frecuencia central, lo que les deja 25 kHz arriba y abajo (bandas de guarda) para minimizar interferencias con la banda de la frecuencia adyacente.

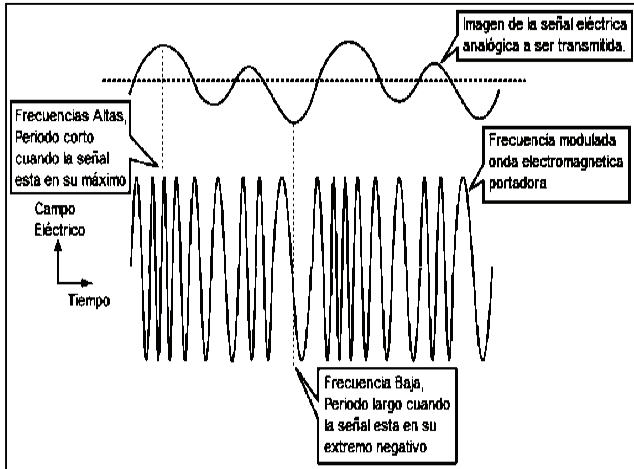


Figura 2. Forma de onda de la señal de FM (inferior) y señal de información (superior).

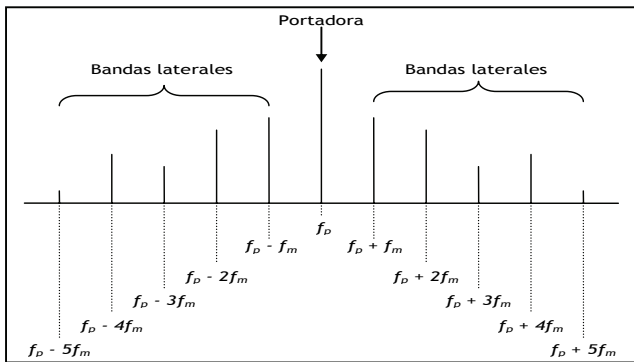


Figura 3. Espectro de frecuencias de una señal de FM.

Esta separación de las estaciones es mucho más ancha que las de estaciones de AM, permitiendo la transmisión de unas bandas de frecuencia más anchas para tener mayor fidelidad en la música transmitida. Esto también permite el uso de subportadoras, que pueden hacer posible la transmisión de señales de FM estéreo.

Al variar la amplitud de la señal moduladora cambiará la desviación de la frecuencia. El número de bandas laterales producidas, su amplitud y espaciamiento, depende de la desviación de la frecuencia moduladora. Recuérdese que una señal de FM tiene amplitud constante. Como la señal de FM resulta de las frecuencias de las bandas laterales, las amplitudes de estas bandas deben variar con la desviación de la frecuencia y la frecuencia moduladora. En teoría, el proceso de FM produce un número infinito de bandas laterales superiores e inferiores y, por lo tanto, un ancho de banda teóricamente infinito. Sin embargo, en la práctica sólo las bandas laterales con las amplitudes mayores son las que contribuyen a llevar la información. Por lo común, cualquier banda lateral, cuya amplitud es menor al 1% de la portadora no modulada, se considera como insignificante.

In English

The FM band's electromagnetic spectrum is between 88 MHz and 108 MHz; carrier waves for individual stations are separated by 200 kHz (up to 100 stations). These FM stations have a maximum 75 kHz deviation of centre frequency, leaving them 25 kHz above and below (guard bands) to minimise interference with adjacent frequency bands.

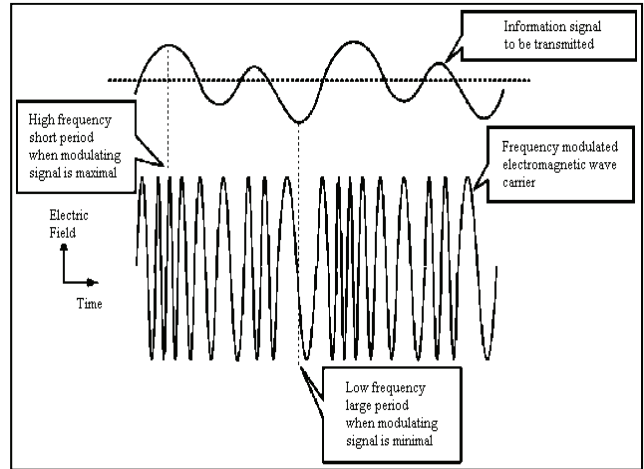


Figure 2. FM signal (below) and information signal waveform (top)

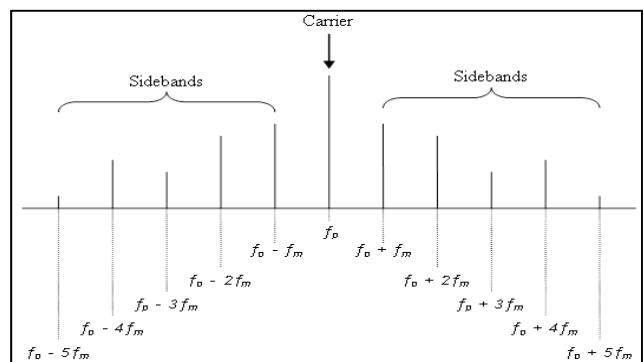


Figure 3. An FM signal's frequency spectrum

This separation of the stations is much wider than that for AM stations, thereby allowing the transmission of much wider frequency bands for more high-fidelity broadcast music. This also allows the use of sub-carriers to enable FM stereo signal transmission.

Varying modulating signal amplitude changes carrier frequency deviation. The number of sidebands produced, their amplitude and spacing depends on modulating signal frequency deviation. It should be remembered that an FM signal has constant amplitude. As an FM signal has the sidebands' frequency, then these bands' amplitude should vary with modulating signal frequency deviation and frequency. In theory, the FM process produces an infinite number of upper and lower sidebands and, therefore, a theoretically infinite bandwidth. However, in practice only sidebands having larger amplitudes are those contributing to carrier information. Any side band whose amplitude is less than 1% of that of the unmodulated carrier is usually considered negligible. The FM thus passes through the communication channels or circuits in an infinite bandwidth.

En español

A pesar de ello, el ancho de banda de una señal de FM en general es más amplio que el de una señal de AM con la misma señal moduladora.

Funciones de Bessel: dado el índice de modulación, el número y amplitudes de las bandas laterales significativas se puede resolver de la ecuación básica de una señal de FM (Frenzel, 1998). Esta ecuación, cuyo desarrollo queda fuera de este artículo, es:

$$v_{FM} = v_p \text{sen}[2\pi f_p t + m_f \text{sen}(2\pi f_m t)] \quad (1)$$

Donde v_{FM} representa el valor instantáneo de la señal de FM y f_m el índice de modulación. La ecuación dada como (1) se resuelve mediante un proceso matemático complejo conocido como funciones de Bessel (Frenzel, 1998). No es necesario reproducir esta solución, pero el resultado es el expresado en la ecuación dada como (2):

$$\begin{aligned} v_{FM} = v_p \{ & J_0[\text{sen} \omega_p t] + J_1[\text{sen}(\omega_p + \omega_m)t - \\ & \text{sen}(\omega_p - \omega_m)t] + J_2[\text{sen}(\omega_p + 2\omega_m)t + \text{sen} \\ & (\omega_p - 2\omega_m)t] + J_3[\text{sen}(\omega_p + 3\omega_m)t - \text{sen} \\ & (\omega_p - 3\omega_m)t] + J_4[\text{sen}(\omega_p + 4\omega_m)t + \text{sen} \\ & (\omega_p - 4\omega_m)t] + J_5[\text{sen} \dots] + \dots \} \quad (2) \end{aligned}$$

Donde $\omega_p = 2\pi f_p$ representa la frecuencia de la portadora. $\omega_m = 2\pi f_m$ equivale a la frecuencia de la señal moduladora. v_p es el valor pico de la portadora sin modulación.

La onda de FM se expresa como una composición de ondas senoidales de frecuencias y amplitudes diferentes que al sumarse dan una señal de FM en el dominio del tiempo. El primer término es la portadora con la amplitud dada por el coeficiente J_0 . El siguiente término representa un par de frecuencias laterales superior e inferior iguales a la suma y diferencia de la frecuencia portadora y la frecuencia de la señal moduladora. La amplitud de estas frecuencias laterales es J_1 . El término que sigue es otro par de frecuencias laterales igual a la frecuencia portadora ± 2 veces la frecuencia de la señal moduladora.

Desarrollo experimental

En la figura 4 se muestra el diagrama a bloques de la estación de radio AM/FM desarrollada (Luna, 2005), el usuario desde la computadora personal (PC) reproduce la señal de audio con cualquier *software* comercial, el audio del locutor se introduce a la PC por medio de un micrófono común para tarjeta de sonido y el mezclado de las señales de audio se realiza dentro de la PC. La PC envía la información del audio a través de la tarjeta de sonido al generador de RF (Rohde & Schwarz SML01), así como también la información de la frecuencia y potencia de transmisión a través del bus GPIB, selecciona tipo de modulación, activa/desactiva modulación y enciende/apaga la señal de RF. El generador de funciones efectúa el mezclado de la señal de información con la portadora de RF, generando la señal de AM/FM, la cual es enviada por medio de un cable coaxial a una antena omnidireccional.

Desarrollo del software

Este *software* se desarrolló utilizando la utilería GUIDE de la plataforma de Matlab.

In English

However, FM signal bandwidth is generally larger than that of an AM signal having the same modulating signal.

Bessel functions: Given the modulation index, the number and amplitudes of significant sidebands can be resolved in a basic FM signal equation (Frenzel, 2008). Such equation would thus be:

$$v_{FM} = v_p \text{sen}[2\pi f_p t + m_f \text{sen}(2\pi f_m t)] \quad (1)$$

Where v_{FM} represents the FM signal's instantaneous value and f_m represents the modulation index. The equation given as (1) is solved using a complex mathematical process known as Bessel functions (Frenzel, 2008). This approach does not need to be replicated; however, the result is expressed in the following equation (2):

$$\begin{aligned} v_{FM} = v_p \{ & J_0[\text{sen} \omega_p t] + J_1[\text{sen}(\omega_p + \omega_m)t - \\ & \text{sen}(\omega_p - \omega_m)t] + J_2[\text{sen}(\omega_p + 2\omega_m)t + \text{sen} \\ & (\omega_p - 2\omega_m)t] + J_3[\text{sen}(\omega_p + 3\omega_m)t - \text{sen} \\ & (\omega_p - 3\omega_m)t] + J_4[\text{sen}(\omega_p + 4\omega_m)t + \text{sen} \\ & (\omega_p - 4\omega_m)t] + J_5[\text{sen} \dots] + \dots \} \quad (2) \end{aligned}$$

Where $\omega_p = 2\pi f_p$ represents carrier frequency. $\omega_m = 2\pi f_m$ represents modulating signal frequency. v_p represents the peak value of the carrier without modulation.

The FM wave is expressed as a composition of sine waves having different frequencies and amplitudes so that when the sine waves are added they create an FM signal in time domain. The first term is the carrier with the amplitude given by the coefficient J_0 . The next term represents a pair of upper and lower side frequencies equal to the sum and difference of the carrier frequency and modulating signal frequency. The amplitude of these sidebands is J_1 . The term that follows is another pair of side frequencies equal to the carrier frequency ± 2 times modulating signal frequency.

Experimental development

Figure 4 shows the block diagram for the AM / FM radio station developed here (Luna, 2005). The personal computer (PC) user would reproduce the audio signal with any commercial software. Broadcast audio would be fed into the PC via an ordinary microphone for sound card and audio signals mixed inside the PC. The PC would send the audio information through the sound card to the RF generator (Rohde & Schwarz SML01). Information about power frequency and transmission, modulation type selected, on / off modulation, RF signal on / off would also be sent through the GPIB bus. The function generator would mix the information signal with the RF carrier signal thereby producing the AM / FM signals which would be sent through a coaxial cable to an omnidirectional antenna.

Software development

This software was developed using the Matlab Application Program Interface Guide.

En español

In English

En la figura 5 se muestra la interfaz gráfica principal del software que controla al generador de funciones de RF; en la ventana del programa existen cuatro campos editables, en los cuales se pueden introducir los valores deseados de frecuencia, potencia, tipo de modulación (AM/FM), etcétera. Todo esto considerando que los parámetros estén dentro del rango permitido por el generador de radiofrecuencia. Estos campos son: frecuencia de RF, frecuencia de LF (señal interna de información), amplitud de LF y potencia de salida del generador de señales. También se puede seleccionar por medio de un menú desplegable la fuente modulante (interna o externa), seleccionar tipo de modulación (AM/FM) y activar o desactivar la salida de RF.

Figure 5 shows the software's main graphical user interface which controlled the RF function generator. The program window had four editable fields in which the desired frequency, power, modulation (AM/FM) values could be entered, considering that the parameters lay within the range allowed by the radio frequency generator. Such fields would have been RF frequency, LF frequency (internal signal information), LF amplitude and signal generator output power. The modulating source (internal or external), modulation type (AM / FM select the) and enabling or disabling the RF output could also be selected via a popup menu.

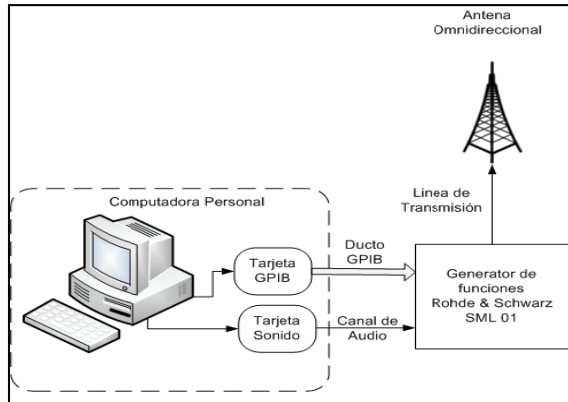


Figura 4. Diagrama a bloques de interconexión de la estación de radio AM/FM basada en computadora.

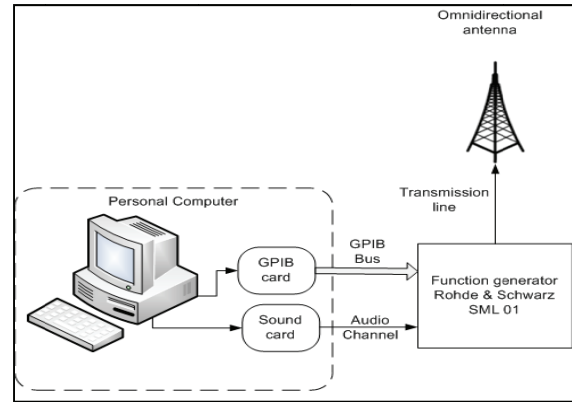


Figure 4. Block diagram of PC-based AM / FM radio station interconnection



Figura 5. Interfaz gráfica principal de usuario del software de la estación de radio AM/FM.

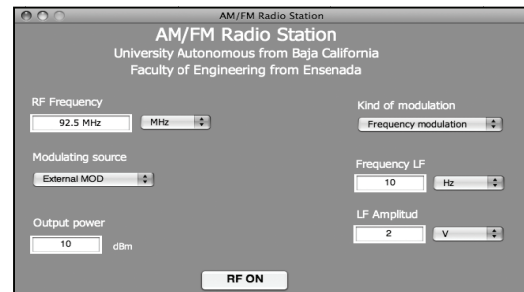


Figure 5. Main graphical user interface for AM / FM radio station software

Resultados

Potencia de la señal de RF

A continuación se ofrecen varias imágenes del espectro electromagnético de una señal de FM transmitida durante el desarrollo del trabajo. En este caso se utilizaron como frecuencia central 90,3 MHz, ya que no existen estaciones de radio comerciales adyacentes a esta banda de frecuencia en la ciudad y puerto de Ensenada, Baja California, México.

En la figura 6 se observa cómo la frecuencia de la señal portadora está centrada en 90,3 MHz y la potencia que tiene es de -46,9 dBm. Existe una gran pérdida en la potencia de RF a pesar de que se encuentra a una distancia aproximada de 5 m, pero al momento de transmitirla por el medio existe esa pérdida durante la propagación, y en la línea de transmisión además, debido a que toda la potencia se está irradiando a muchas direcciones con la antena (omnidireccional).

Results

Power RF signal

Several images of the electromagnetic spectrum of an FM signal transmitted during the course of this work are shown below. 90.3 MHz centre frequency was used in this case as there were no commercial radio stations adjacent to this frequency band in the port city of Ensenada, Baja California, Mexico.

Figure 6 shows that carrier signal frequency was centred at 90.3 MHz and its power was -46.9 dBm. There was a great loss in RF power despite the fact that it was at a distance of around 5m; there were leaks during propagation and in the transmission line, also because all power was radiated in many directions (via omnidirectional antenna).

En español

In English

Las otras dos frecuencias que se aprecian en el analizador de espectros corresponden a dos estaciones de radio comerciales de la ciudad de Ensenada, Baja California, México (92,1 y 92,9 MHz).

The other two frequencies observed in the spectrum analyzer came from two commercial radio stations in the city of Ensenada, Baja California, Mexico (92.1 and 92.9 MHz).

A continuación se ofrecen imágenes del espectro a diferentes potencias de transmisión, que se utilizaron para probar el sistema. En la figura 7 se muestra el espectro de la señal de FM cuando es transmitida con una potencia de RF de 10 dBm.

The pictures shown below are of the spectrum at different power transmission values used for testing the system. Figure 7 shows that the FM signal spectrum was transmitted at 10 dBm RF power.

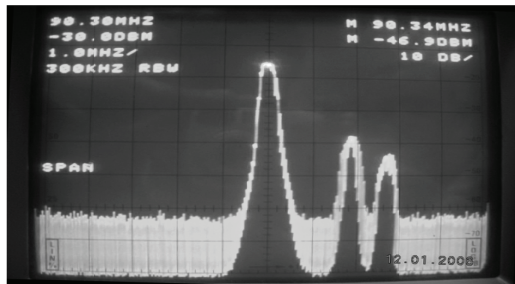


Figura 6. Espectro de la señal de FM centrada a 90,3 MHz, con una potencia de transmisión de +13dBm (la señal de información es música).
Figure 6. Spectrum of FM signal centred at 90.3 MHz having +13 dBm transmission power (the information signal is music)

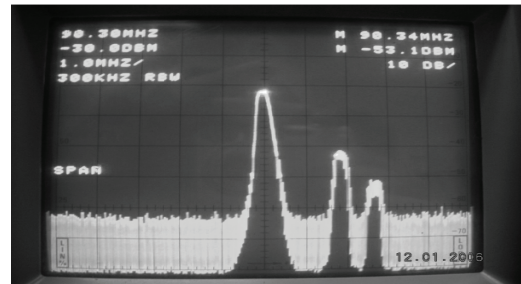


Figura 7. Espectro de la señal de FM a 90,3 MHz, con una potencia de transmisión de +10 dBm.
Figure 7. Spectrum for the 90.3 MHz FM signal having +10 dBm transmission power

En las figuras 8 y 9 se está utilizando una potencia de transmisión de RF de 5 dBm y 0 dBm, respectivamente.

5 dBm and 0 dBm RF power were being used in Figures 8 and 9, respectively.

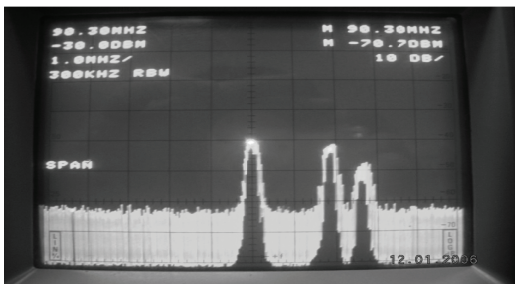


Figura 8. Espectro de la señal de FM a 90,3 MHz, con una potencia de transmisión de +5dBm.
Figure 8. Spectrum of the 90.3 MHz FM signal having +5 dBm transmission power

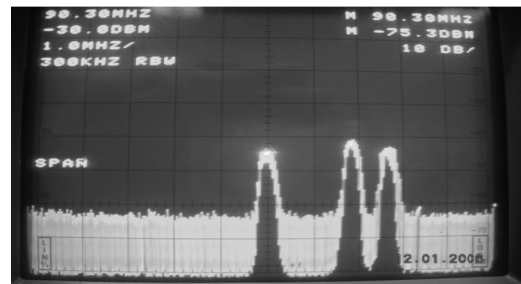


Figura 9. Espectro de la señal de FM a 90,3 MHz, con una potencia de transmisión de 0 dBm.
Figure 9. Spectrum for the 90.3 MHz FM signal having 0 dBm transmission power

Ancho de banda real

Existen dos ecuaciones para calcular el ancho de banda real de una señal de FM:

$$BW = 2f_m N \tag{3}$$

Donde N representa el número de bandas laterales que se obtiene de la figura 3 a partir del índice de modulación m_f mostrada por

$$m_f = \frac{f_d}{f_m} \tag{4}$$

Donde f_d , representa la desviación en frecuencia de la señal de FM y f_m la frecuencia de la señal modulante (información).

Otra forma de calcular el ancho de banda real (Frenzel, 1998) es con la regla de Carson (ecuación 5):

$$BW = 2[f_{d(max)} + f_{m(max)}] \tag{5}$$

Real bandwidth

Two equations were used for calculating the actual bandwidth of an FM signal:

$$BW = 2f_m N \tag{3}$$

Where N represented the number of sidebands, obtained from Figure 3 from the modulation index m_f shown by eq. (4)

$$m_f = \frac{f_d}{f_m} \tag{4}$$

Where f_d , represented FM signal frequency deviation and f_m represented modulating signal frequency (information).

Another way of calculating the real bandwidth (Frenzel, 2008) was by using Carson's rule, shown in equation (5):

$$BW = 2[f_{d(max)} + f_{m(max)}] \tag{5}$$

En español

In English

Como se puede observar en la figura 10, el ancho de banda es de 250 KHz, tomando $N = 8$ y considerando que el span se encuentra en 50 KHz por cuadro horizontal. Utilizando la ecuación (3) el ancho de banda calculado es de 240 KHz (figura 10). En este caso la señal modulante es una onda senoidal de 15 KHz; se utilizó esta frecuencia porque es la máxima de audio permitido en las estaciones de radio FM comerciales.

Por otra parte, en la figura 10 se exhibe el espectro de una señal de FM, utilizando como señal modulante una onda senoidal de 15 KHz; como se nota, en el espectro se mantienen fijas las frecuencias debido a que la frecuencia de la señal modulante también se mantiene constante, ya que el analizador de espectros sólo despliega muestras del espectro conforme el sonido cambia, se puede ver cómo el ancho de banda es de aproximadamente 300 KHz.

La figura 11 contiene el espectro de una señal de FM utilizando como señal modulante el audio de música *pop*; como se aprecia, el espectro está variando constantemente, ya que el audio varía mucho su frecuencia y amplitud, y debido a que el analizador de espectros sólo despliega muestras del espectro conforme el sonido cambia; al abrir más el span de medición, se puede constatar que el ancho de banda es de aproximadamente 150 KHz.

As shown in Figure 10, bandwidth was 250 KHz, taking $N=8$, and considering that the span was 50 KHz for horizontal box. The calculated bandwidth was 240 KHz using equation (3) (Figure 10). In this case the modulating signal was a 15 KHz sine wave; this frequency was used because it was the maximum audio allowed in commercial FM radio stations at the time.

Figure 10 also shows an FM signal spectrum using a 15 KHz sine wave as modulating signal. Frequencies remained fixed in the spectrum because the modulating signal frequency remained fixed. It can be seen how the bandwidth was approximately 300 KHz because the spectrum analyzer displayed samples of the spectrum as the sound changed.

Figure 11 shows an FM signal spectrum, using audio pop music as modulating signal. The spectrum was constantly changing as the audio varied greatly in frequency and amplitude and because the spectrum analyzer displayed samples of the spectrum as the sound changed. If the measurement span were opened up, it could be seen that the bandwidth was around 150 KHz.

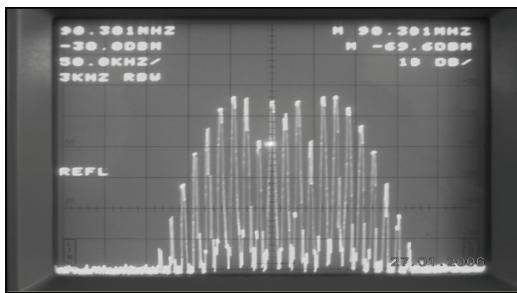


Figura 10. Espectro de la señal de FM transmitida con una señal de información (senoidal de 15 KHz).
Figure 10. Spectrums for FM signal having an information signal (15 KHz sine).

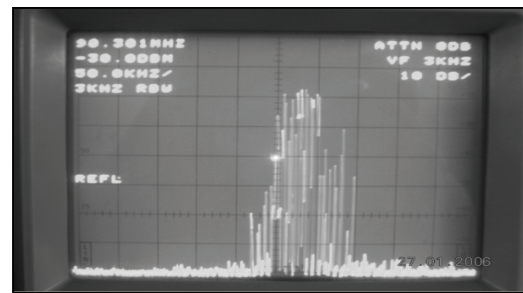


Figura 11. Espectro de la señal de FM con una señal de audio (música) como moduladora.
Figure 11. Spectrums for FM signal having an audio signal (music), with modulation

La figura 12 corresponde al espectro de la señal portadora, sin modulación en frecuencia, pudiéndose evidenciar que el ancho de banda es menor que cuando se está modulando en frecuencia.

Figure 12 shows the spectrum for a carrier signal without frequency modulation; one can see how the bandwidth was less than when frequency was modulating.

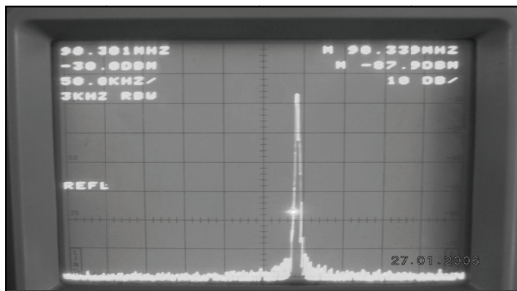


Figura 12. Espectro de la señal portadora de 90,3 MHz, sin modulación.

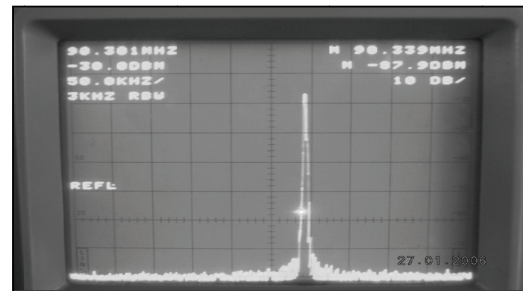


Figure 12. Spectrum for the 90.3 MHz carrier signal, without modulation

Conclusiones

En este trabajo se presentó el desarrollo de una estación de radio AM/FM basada en computadora personal, que opera en la banda comercial de AM (530-1600 KHz) y FM (88-108 MHz). Se mostró el desarrollo de la interfaz gráfica del *software* y la interconexión con un generador de funciones de RF para la transmisión de la información de audio que reproduce la computadora o voz de un locutor.

Conclusions

This paper has presented the development of a personal computer-based AM/FM radio station operating in the AM (530-1600 KHz) and FM (88-108 MHz) commercial band. It has shown the development of a graphical user interface and interconnection with RF function generator for transmitting audio information reproduced on a computer or by an announcer's voice.

En español

El control del generador de radiofrecuencia se basa en el estándar GPIB. Esta estación de radio AM/FM se puede utilizar para transmitir eventos internos de universidades, industrias, centros comerciales, deportivos, etcétera.

Cabe hacer mención que es muy importante obtener la licencia de transmisión para la frecuencia central de la portadora por parte del organismo gubernamental correspondiente al país donde se instalará el sistema.

Nomenclatura

AM: Amplitude Modulation
 BW: Band Width
 FM: Frequency Modulation
 GPIB: General Purpose Interface Bus
 HP-IB: Hewlett – Packard Interface Bus
 LF: Low Frequency
 PC: Personal Computer
 RF: Radio Frequency
 SCPI: Standard Commands for Programmable Instruments

Bibliografía / References

Jardón, H. A., Fundamentos de los sistemas modernos de comunicación., Alfaomega (ed.), México D.F., 2002.
 Ibarra Q. R., Serrano M. A., Principios de teoría de las comunicaciones., Limusa (ed.), México D.F., 2007.
 Tomasi W., Sistemas de comunicaciones electrónicas, Prentice Hall (ed.), 4th ed., México, D.F., 2003.

In English

Radio frequency generator control was based on standard GPIB. Such AM / FM radio station may be used for transmitting internal events from universities, industry, shopping centres, sporting events, etc.

It should be mentioned that it is very important to obtain a broadcasting licence for the carrier's centre frequency from the government agency for the country where the system will be installed.

Nomenclature

AM: amplitude modulation
 FM: frequency modulation
 RF: radio frequency
 GPIB: general purpose interface bus
 HP-IB: Hewlett–Packard interface bus
 SCPI: standard commands for programmable instruments
 LF: low frequency
 PC: personal computer
 BW: bandwidth

Luna R. J., Sistema de medición automatizado para la caracterización de dispositivos de baja frecuencia., BSc Electronic Engineering thesis, Universidad Autónoma de Baja California, Campus Ensenada, 2005.
 Frenzel, L. E., Principles of Electronic Communication Systems., Glencoe, McGraw-Hill (ed.), 2008.