

# Experiencia 2: Modulación de Amplitud (AM)

Laboratorio de Comunicaciones - ELO241 (30.04.2020)  
Departamento de Electrónica, Universidad Técnica Federico Santa María

## I. INTRODUCCIÓN

Esta experiencia consiste en el análisis de un modulador balanceado (para lograr amplitud modulada, AM). Al finalizar esta experiencia, se espera que cada alumno sea capaz de:

1. Comprender el modo de realizar modulación de amplitud utilizando un multiplicador balanceado en base a un circuito integrado
2. Comprender el comportamiento temporal y espectral de una señal modulada en amplitud
3. Determinar el índice de modulación de señales AM en base a mediciones en el dominio temporal (utilizando osciloscopio) y espectral (utilizando un analizador de espectros).
4. Comprender métodos de demodulación de señales AM

En la Sección II se describen los aspectos fundamentales de técnicas de amolitud modulada. Luego en la Sección III se describe el circuito integrado AD633, utilizado en el laboratorio como modulador balanceado. Las instrucciones para realizar el informe son luego descritas en la Sección IV.

## II. AMPLITUD MODULADA (AM)

Las señales de transmisión se transportan entre un transmisor y un receptor a través de alguna forma de medio de transmisión. Sin embargo, casi nunca tienen las señales de información una forma adecuada para su transmisión. En consecuencia, se deben transformar a una forma más adecuada. El proceso de imprimir señales de información de baja frecuencia en una señal portadora de alta frecuencia se llama *modulación*. La *demodulación* es el proceso inverso, donde las señales recibidas se regresan a su forma original [1]. El objetivo de esta Sección es describir algunos conceptos fundamentales de la modulación de amplitud (AM).

La modulación de amplitud (AM) es el proceso de cambiar la amplitud de una señal portadora de frecuencia relativamente alta, en proporción con el valor instantáneo de la señal modulante o moduladora (información). La modulación de amplitud es una forma de modulación relativamente poco costosa y de baja calidad, que se usa para emisiones comerciales de señales de audio y de video. También se usa para radiocomunicaciones móviles en dos sentidos, como por ejemplo los radios de banda civil (CB) [1].

Los moduladores de AM son dispositivos con dos entradas y una salida. En una entrada se conecta una *señal portadora* de alta frecuencia y amplitud constante, y en la segunda se conecta

una señal con información, la cual tiene un contenido espectral dentro de un ancho de banda relativamente bajo. A esa señal se le denomina *señal moduladora* o *señal modulante* y puede tener una sola frecuencia, o ser una forma compleja de onda, formada a su vez por muchas frecuencias.

Aunque hay varias clases de modulación de amplitud, la que probablemente se usa con más frecuencia es la *AM de portadora de máxima potencia y doble banda lateral*. A este sistema se le llama *AM convencional* o simplemente *AM*. La Figura 1 ilustra la relación entre la portadora, la señal moduladora y la onda finalmente modulada en la AM convencional. Allí se ve cómo se produce una forma de onda de AM cuando una señal moduladora de una sola frecuencia actúa sobre una señal portadora de alta frecuencia. La forma de onda de salida contiene todas las frecuencias que forman la señal de AM, y se usa para transportar la información por el sistema. Nótese que cuando se aplica una señal moduladora, la amplitud o *envolvente* de la señal modulada varía de acuerdo con la señal moduladora.

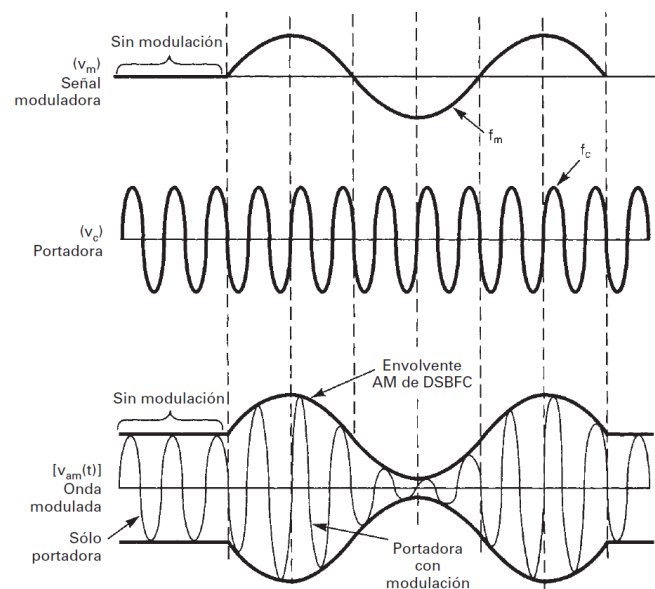


Figura 1. Generación de señal modulada en amplitud [1]

El proceso de modulación puede describirse con una simple operación de multiplicación, en la cual la señal modulante es multiplicada por una función coseno o seno, representando la señal portadora compuesta de una única frecuencia, cuyo valor debe ser mucho mayor al ancho espectral de la señal modulante. Como se describirá a continuación, la multiplicación produce un corrimiento en frecuencia del espectro de la señal modulante.

**Caso I:** Señal modulante compuesta de una única frecuencia.

En este caso la señal modulante puede ser descrita como  $s(t) = \cos(\omega_s t)$  y la portadora como  $p(t) = \cos(\omega_c t)$ . Así, la multiplicación de ambas señales puede ser descrita como:

$$\begin{aligned} s(t)p(t) &= \cos(\omega_s t)\cos(\omega_c t) \\ &= \frac{1}{2}\cos[(\omega_c - \omega_s)t] + \frac{1}{2}\cos[(\omega_c + \omega_s)t] \end{aligned}$$

**Caso II:** Señal modulante genérica con cualquier contenido espectral

En este caso se considera una señal  $s(t)$  arbitraria con transformada de Fourier  $S(j\omega)$ . Dado que  $\cos(x) = \frac{1}{2}(e^{jx} + e^{-jx})$  tenemos que;

$$\begin{aligned} F\{s(t)p(t)\} &= F\left\{\frac{1}{2}s(t)(e^{j\omega_c t} + e^{-j\omega_c t})\right\}(j\omega) \\ &= \frac{1}{2}S(j[\omega_c - \omega]) + \frac{1}{2}S(j[\omega_c + \omega]) \end{aligned}$$

Esto revela que el espectro del producto  $s(t)\cos(\omega_p t)$  es la suma de dos réplicas del espectro de  $s(t)$  escaladas por 1/2. De este modo aparecen 2 bandas laterales, una superior y otra inferior, en torno a la frecuencia portadora  $f_c = \omega_c/2\pi$ , tal como indica la Figura 2.

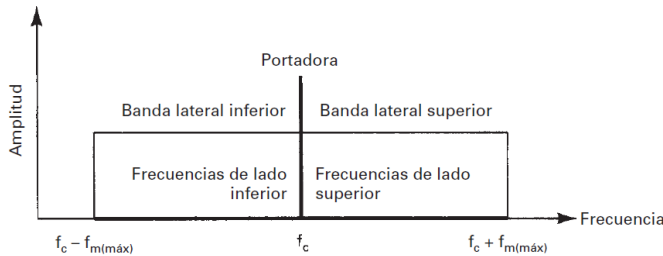


Figura 2. Espectro de señal AM, indicando la generación de bandas laterales en torno a la frecuencia portadora [1]

En esta experiencia se utiliza un modulador balanceado en base a un circuito integrado AD633, cuya señal de salida será analizada con un osciloscopio y AE.

Como se puede apreciar en la Figura 3, el AD633 es un multiplicador analógico de cuatro cuadrantes<sup>1</sup>, en el que la tensión de salida,  $W$ , está dada por:

$$W = \frac{1}{10}(X_1 - X_2)(Y_1 - Y_2) + Z$$

<sup>1</sup> ...ya que tanto  $(X_1 - X_2)$  como  $(Y_1 - Y_2)$  pueden tomar valores positivos y negativos.

## 8-Lead Plastic DIP (N) Package

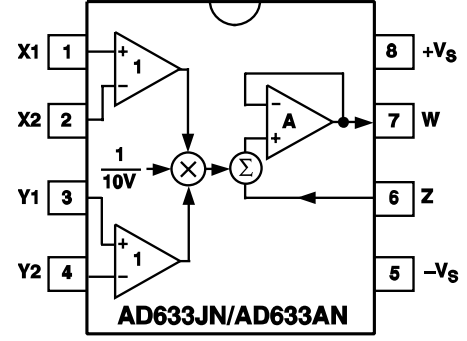


Figura 3. Diagrama de bloques interno del multiplicador analógico AD633.

El AD633 se alimenta con una tensión de  $\pm 12$  [V], es decir,

$$\begin{aligned} \text{pin } +V_S &\rightarrow 12 \text{ [V]} \\ \text{pin } -V_S &\rightarrow -12 \text{ [V]} \end{aligned}$$

Por lo tanto, y de acuerdo a la data sheet [1, figura TPC 3], para operar sin saturaciones, debe procurarse que:

- la tensión en pines de entrada  $\in [-8, 8]$  [V]
- la tensión en pin W  $\in [-9, 9]$  [V]

En el laboratorio se utiliza un módulo de circuito impreso con el AD633, cuya vista superior se muestra en la Figura 4.

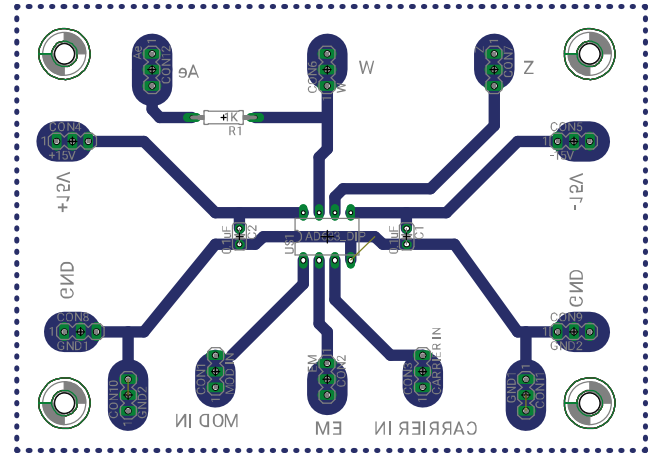


Figura 4. Circuito impreso con el AD633.

## III. INFORME DE LA EXPERIENCIA

A continuación, se describe el trabajo a realizar para la confección de su informe. Si bien puede utilizar fuentes externas para realizar su informe, no se aceptarán copias textuales desde fuentes referenciadas (y no referenciadas); en el caso de detectar un alto nivel de similitud la pregunta será evaluada con nota cero. Lo mismo ocurrirá si se detectan copias entre diferentes informes entregados.

1. Usando el simulador (opción: AM -> Simulación laboratorio), realice modulación de amplitud con portadora suprimida (DSB-SC) y con portadora considerando una señal modulante sinusoidal, triangular y cuadrada (de ciclo de trabajo de 10%, 20%, 25%, 33.3% y 50%). Ajuste los parámetros de frecuencia central y span tal que se vean 15 armónicas. Ajuste los voltajes de modo de obtener índices de modulación: 0.4, 1, 1.7.
  - a) Muestre y explique el comportamiento espectral de la señal modulada DSB-SC, en relación con el espectro de la modulante, cuando la frecuencia portadora sea de 20 kHz y la señal modulante sea de 2 kHz.
  - b) Muestre y describa la señal modulada en el dominio temporal. Compare DSB-SC y AM con portadora y diferentes índices de modulación.
  - c) Muestre y describa el modo XY. Explique qué utilidad tiene el uso de este modo.
  - d) Explique cómo verificar el índice de modulación obtenido a partir de la señal modulada en el dominio temporal y modo XY. Determine una expresión matemática a utilizar en ambos casos para verificar el índice de modulación.
  - e) Explique la diferencia en la señal temporal y modo XY al utilizar una modulación con portadora (AM), con una modulante sinusoidal y cuadrada (50%).
  - f) A partir del espectro de una señal modulada con portadora utilizando una modulante sinusoidal, determine una fórmula general para obtener el índice de modulación. Verifique el índice de modulación obtenido para los tres índices de modulación.
  - g) Sabiendo que la portadora es de 2 VRMS, ¿cuál es el voltaje que debe tener la señal modulante para obtener un índice de modulación de 0.8 y 1.3? Utilice la fórmula obtenida en el punto f). Muestre la señal modulada en función del tiempo y el modo XY.
  - h) Explique el funcionamiento de un detector de envolvente. Muestre la señal demodulada en el caso de tener un índice de modulación de 0.4, 1, 1.7.
2. Utilizando el simulador (opción: AM -> Simulación laboratorio), muestre los espectros obtenidos de la señal AM modulada con portadora en un rango espectral de 0-7 kHz, utilizando una señal modulante rectangular de 2 V, 200 Hz y 50% ciclo de trabajo; y una portadora de 2 V y frecuencias 1550 Hz, 3050 y 5050 Hz. Explique el comportamiento del espectro de la señal modulada y determine y justifique si corresponde a lo que usted realizó en la sección previa.
3. Utilice el simulador del módulo AD633, de modo de obtener un índice de modulación de 0.75 y 1.25. Ajuste voltajes de los pines de entrada al módulo, fijando el pin 6 en un valor de 1 V. Muestre el espectro que debería obtener en un analizador de espectros real y la señal temporal que observaría en un osciloscopio.

#### IV. REFERENCIAS UTILIZADAS

1. Wayne Tomasi, "Sistemas de Comunicaciones Electrónicas" 4ta Edición, Pearson Education (2003).