

Práctica 3: MODULACIONES LINEALES

Martínez González Brayan Camilo - 2194667

Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones
Universidad Industrial de Santander

10 de diciembre de 2022

Resumen

En la siguiente practica se hablará un poco sobre los tipos de modulaciones lineales que existen, que características y diferencias tienen una de la otra, se verán conceptos como lo son índice de modulación, como observar una señal modulada tanto en el osciloscopio como en el analizador de espectro, también se explicara que parámetros son posibles identificar en estos instrumentos del laboratorio, que características afectan a la señal, que es una señal mensaje, modulada, y sobre todo que ventajas y desventajas se tiene al utilizar una modulación en específico.

Palabras clave: Modulación, índice, AM, DSB-SC, SSB

1. Introducción

Las modulaciones lineales se utilizan principalmente para transmitir información pero con una particularidad la cual es cambiarle alguna propiedad como por ejemplo en el caso de la modulación AM se cambia la amplitud, pero en que beneficia este parámetro, en de gran utilidad ya que protege la información del ruido y también ayuda a algunos factores externos como en recursos de construcción de antenas y demás elementos, en esto las modulaciones lineales tienen en común, pero teniendo presente una gran particularidad la cual es que existen varias formas de modular una señal como por ejemplo ya antes mencionado la modulación AM la cual se modula la señal variando la amplitud, la modulación DSB-SC que es muy parecida a la AM con la diferencia de que la componente de la portadora se omite, la modulación SSB, que es la que se transmite solamente en una sola banda, ya sea lateral superior u/o inferior.

El índice de modulación me indica que tanto varia la señal portadora respecto al nivel de la componente Ac, en otras palabras la amplitud de la señal envolvente compleja, esto es de gran ya que esto regula la señal de tal manera que permite controlar la sobremodulación de la señal portadora.

Cuando estamos visualizando nuestra señal modulada en el osciloscopio, o sea en el dominio del tiempo, se puede obtener información como lo es la frecuencia del mensaje, la amplitud de la componente Ac, el índice de modulación, la frecuencia central. Hablando ya en el dominio de la frecuencia para ello se utiliza el analizador de espectro, el cual permite medir la densidad de potencia de la señal modulada, se puede observar la componente de la portadora, la frecuencia central y del mensaje respectivamente, se puede determinar el índice de modulación de la señal, entre otras.

Las consideraciones para tener en cuenta para poder visualizar correctamente la señal modulada en el osciloscopio son que tanto el eje horizontal como el vertical se encuentren ubicados con corrección, igualmente ubicar bien el trigger el cual me permite que la señal no se mueva tanto, luego de ello ajustar la amplitud de la señal y las divisiones en el eje horizontal, para así poder visualizar correctamente la señal modulada. Ya pasando al analizador de espectro hay que tener presente ajustar bien la frecuencia central, el nivel de referencia, el span por división, igualmente el BW para poder identificar los picos de potencia más fácilmente, y así poder visualizar correctamente la densidad de potencia de la señal modulada.

2. Procedimiento

• Métodos para medir el índice de modulación experimentalmente.

Primer método:

El índice de modulación se puede determinar con el pico máximo y mínimo de la señal del mensaje visto en el osciloscopio, observemos la siguiente imagen:

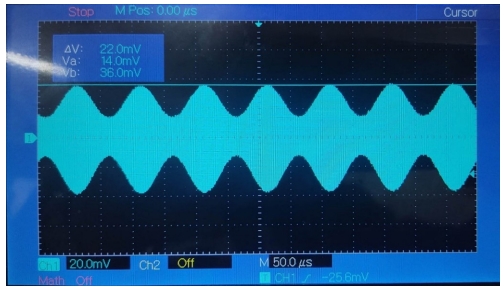


Fig. 1: Señal modulada con una frecuencia de mensaje de 10kHz, $K_a=1$, $A_m=0.5$

En la imagen 1 se puede observar el pico máximo el cual es de 36mV y el pico mínimo está 14mV, con las siguientes ecuaciones se puede determinar el índice de modulación.

$$v_{max} = A_c(1 + k_a A_m)$$

$$v_{min} = A_c(1 - k_a A_m)$$

Si restamos el voltaje máximo y mínimo quedaría la siguiente expresión:

$$v_{max} - v_{min} = 2k_a A_m$$

$$k_a A_m = \mu = \frac{v_{max} - v_{min}}{2}$$

También se puede determinar con las siguientes expresiones en el osciloscopio:

$$\mu = \frac{v_{max} - A_c}{A_c}$$

$$\mu = \frac{v_{max} - v_{min}}{v_{max} + v_{min}}$$

Segundo método:

Otra manera de determinar el índice de modulación es con el analizador de espectro, para poder comprender mejor observemos la siguiente imagen:

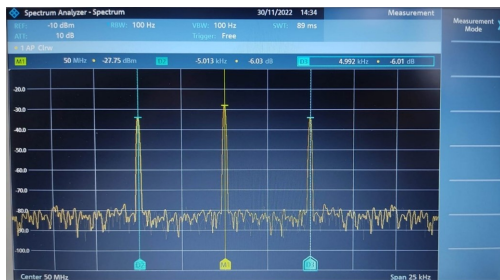


Fig. 2: Densidad espectral de potencia de la señal modulada con señal mensaje coseno

En la imagen 2 se puede observar que la diferencia que hay entre la componente desplazada 5kHz y la portadora es de -6dB. Con la siguiente expresión también puede determinar el índice de modulación:

$$\Delta P = 20 \log\left(\frac{\mu}{2}\right)$$

Despejamos la ecuación:

$$\mu = 10^{\frac{\Delta P}{20}} * 2$$

No solamente en las señales AM se puede obtener el índice de modulación, solamente que la ecuación puede diferir dependiendo de la modulación.

• Variación de los parámetros AM.

a.

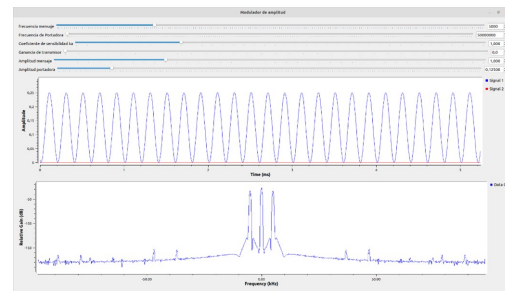


Fig. 3: Asignación de parámetros en GNURADIO para visualizar la señal modulada en el Osciloscopio y el Analizador de Espectro - Señal de Mensaje Coseno

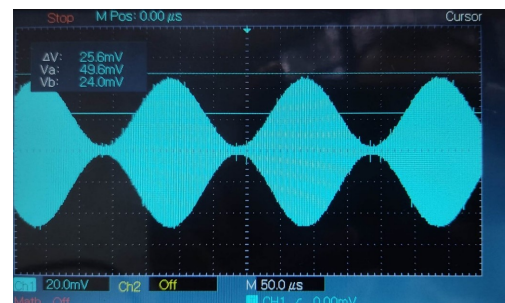


Fig. 4: Señal modulada vista en el osciloscopio - Señal de Mensaje Coseno



Fig. 5: Densidad espectral de potencia - Señal de Mensaje Coseno



Fig. 8: Densidad espectral de potencia - Señal de Mensaje Cuadrada

b.

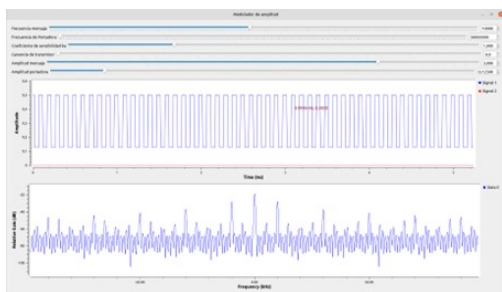


Fig. 6: Asignación de parámetros en GNURADIO para visualizar la señal modulada en el Osciloscopio y el Analizador de Espectro - Señal de Mensaje Cuadrada

c.

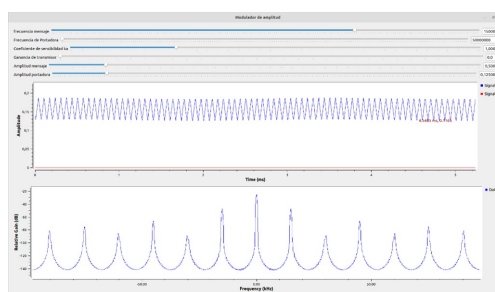


Fig. 9: Asignación de parámetros en GNURADIO para visualizar la señal modulada en el Osciloscopio y el Analizador de Espectro - Señal de Mensaje Triangular

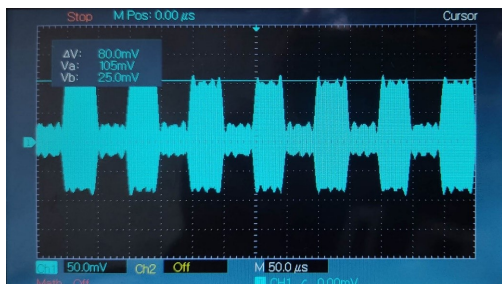


Fig. 7: Señal modulada vista en el osciloscopio - Señal de Mensaje Cuadrada

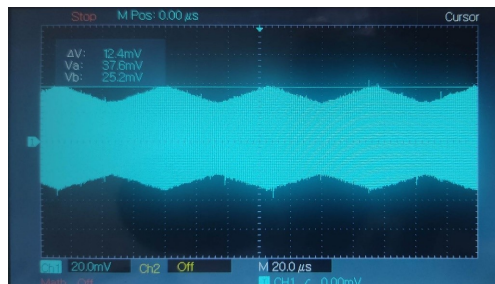


Fig. 10: Señal modulada vista en el osciloscopio - Señal de Mensaje Triangular

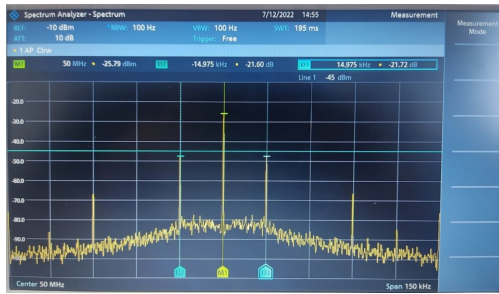


Fig. 11: Densidad espectral de potencia - Señal de Mensaje Triangular



Fig. 14: Densidad espectral de potencia - Señal de Mensaje Coseno con Offset

d.

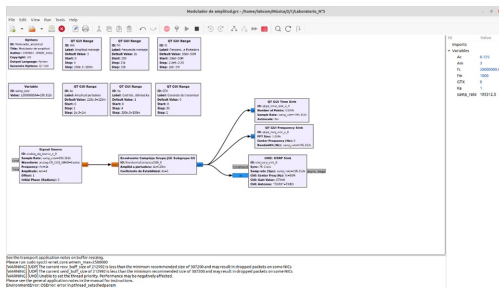


Fig. 12: Asignación de parámetros en GNURADIO para visualizar la señal modulada en el Osciloscopio y el Analizador de Espectro - Señal de Mensaje Coseno con Offset

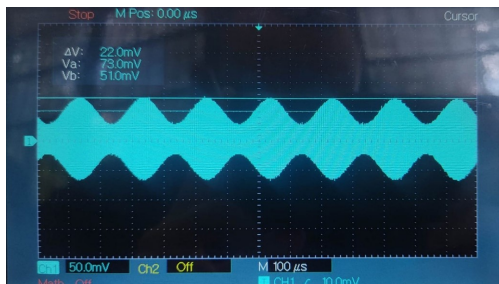


Fig. 13: Señal modulada vista en el osciloscopio - Señal de Mensaje Coseno con Offset

Teniendo en cuenta las ecuaciones vistas en el anterior ítem, sabemos que el índice de modulación depende de voltaje, A_c , K_a , A_m y la potencia, entonces se puede decir que:

$$\mu = \frac{v_{max} - v_{min}}{2}$$

$$\mu = \frac{v_{max} - v_{min}}{v_{max} + v_{min}}$$

$$\mu = \frac{v_{max} - A_c}{A_c}$$

$$\mu = k_a A_m;$$

$$\mu = 10^{\frac{\Delta P}{20}} * 2$$

El índice de modulación es directamente proporcional al V_{max} , ΔP , K_a , A_m e inversamente proporcional al V_{min} y A_c .

Cuando se introduce una señal de continua al mensaje como efecto offset la potencia total aumenta, por relación la potencia del carry también aumenta, el índice de modulación variaría, por igual medida en el dominio del tiempo la amplitud crecería.

Señal Mensaje	A_c	k_n	A_m	Offset	μ	P_r	P_c	η
a. Coseno	0.03153	1	1	0	1	4971.41nW	3303.92nW	0.33
b. Cuadrada	0.07426	1	3	0	3	27577.82nW	21331.92nW	0.22
c. Triangular	0.03247	1	0.5	0	0.5	5272.66nW	5272.66nW	0
d. Coseno	0.051	1	1	1	0.43	16340.41nW	14522.11nW	0.11

Fig. 15: Tabla de variación de parámetros de la señal AM

• Importancia de transmitir la señal portadora.

Si llegado el caso no transmitiéramos la señal portadora, no existiría tal modulación ya que la señal envolvente trabaja en correlación a ella, además necesitamos de ella para transportar la función y modular la señal.

• Modificación del modulador AM para generar el modulador DSB-SC.

Antes de modificar el modulador se debe entender como se forma el modulador AM y el modulador DSB-SC y que diferencia hay una de la otra.

La modulación AM se compone de lo siguiente:

$$s(t) = A_c[1 + k_a m(t)] \cos(2\pi f_c t)$$

La modulación DSB-SC se compone de lo siguiente:

$$s(t) = A_c m(t) \cos(2\pi f_c t)$$

Lo que difiere una de la otra es que la modulación DSB-SC es igual a la modulación AM pero eliminando la componente de la portadora.

Entonces vamos a buscar la manera para que utilizando la modulación AM lleguemos a la modulación DSB-SC, esto como lo lograremos, cambiando la señal del mensaje, diciendo que:

$$m(t) = -\frac{1}{k_a} [1 - m(t)]$$

$$m(t) = -\frac{1}{k_a} + \frac{1}{k_a} m(t)$$

Si agregamos esta ecuación en la modulación AM queda de la siguiente manera:

$$s(t) = A_c [1 + k_a (-\frac{1}{k_a} [1 - m(t)])] \cos(2\pi f_c t)$$

$$s(t) = A_c [1 - [1 - m(t)]] \cos(2\pi f_c t)$$

$$s(t) = A_c m(t) \cos(2\pi f_c t)$$

De esta manera pasamos de una modulación AM a una modulación DSB-SC.

En el GNURADIO vamos a incluir un bloque QT GUI Range llamado Offset para poder hacer lo que mencionamos anteriormente, e incluiremos esta variable en el bloque del coseno:

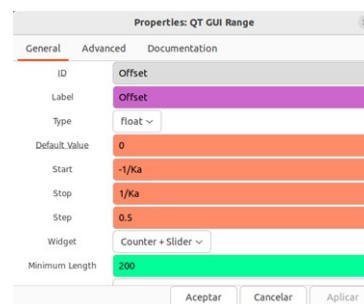


Fig. 16: Offset

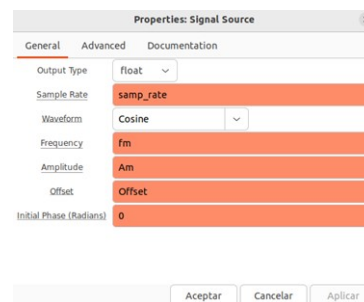


Fig. 17: Señal de mensaje Coseno con Offset

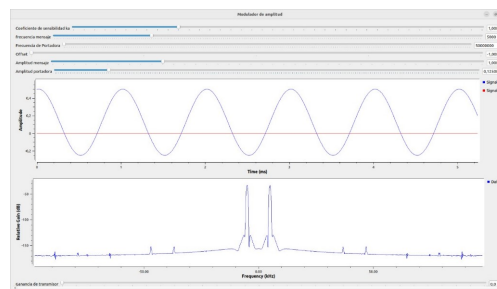


Fig. 18: Evidencia de la modulación DSB-SC, se puede visualizar que no está la portadora

Según mi criterio no es posible generar el modulador DSB-SC empleando el modulador AM sin hacerle modificaciones, hay que modificar de alguna manera la señal de mensaje para poder obtener la modulación.

• Limitaciones de la implementación practica de la modulación SSB.

En cierta parte la portadora si existe, la única particularidad que hay es que buscamos la manera de eliminar-



la, además de ello hay que estar variando el coeficiente de la portadora para que de tal manera si me cumpla la modulación SSB si es que se varía el bloque Offset, como por ejemplo, si el Offset esta en -0.5, el Ka debe estar en 2 para que se siga transmitiendo la modulación DSB-SC ya que si no volvería la portadora.

- Tipos de modulación lineal explorados en el laboratorio, expresión analítica y parámetros de la señal.

Modulación AM:

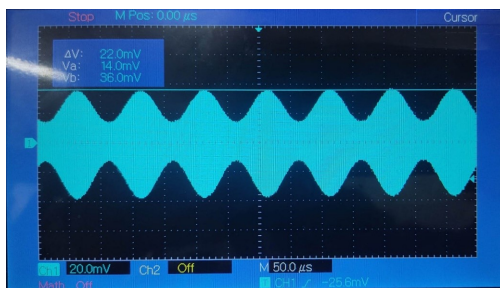


Fig. 19: Señal modulada - Coseno



Fig. 20: Densidad espectral de potencia – Coseno AM

$$s_{AM}(t) = A_c[1 + k_a m(t)]\cos(2\pi f_c t)$$

$$m(t) = \cos(2\pi f_m t)$$

$$A_c = 0,0014, A_m = 1, k_a = 0,5, f_c = 50MHz, f_m = 10kHz$$

Modulación DSB-SC:

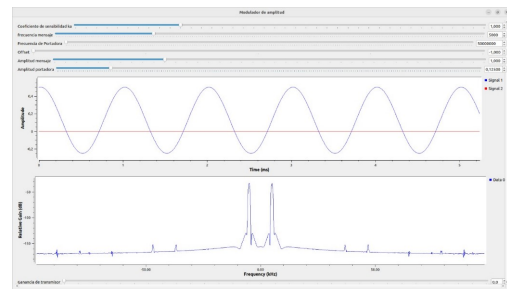


Fig. 21: Densidad espectral de potencia – Coseno DSB-SC

$$s_{DSB-SC}(t) = A_c m(t) \cos(2\pi f_c t)$$

$$m(t) = \cos(2\pi f_m t)$$

$$A_c = 1, A_m = 1, k_a = 1, f_c = 50MHz, f_m = 5kHz$$

Modulación SSB:

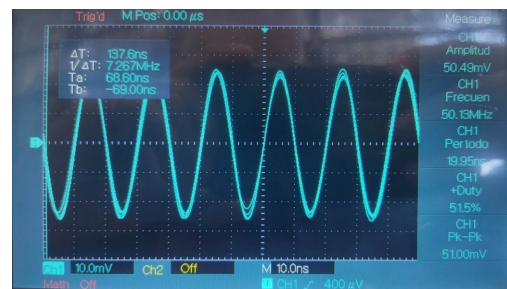


Fig. 22: Como se puede observar en el osciloscopio, si la portadora no está habilitada se puede apreciar que la frecuencia es de 50.13MHz, ya que es banda lateral superior y dado a que la frecuencia del mensaje es de 120kHz

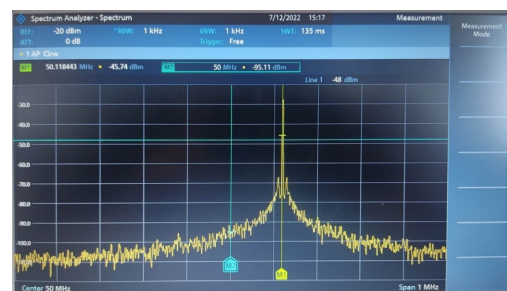


Fig. 23: Densidad espectral de potencia de la banda lateral superior, Sin Portadora

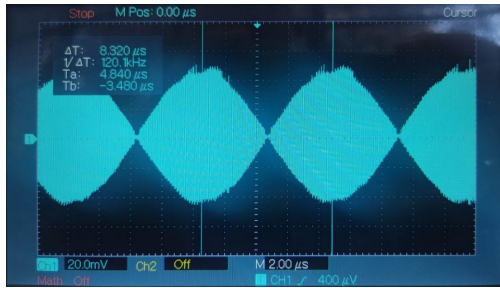


Fig. 24: Como se puede observar en el osciloscopio, si la portadora está habilitada se puede apreciar la señal modulada pero con una característica en particular que es que solamente se está utilizando media banda, en este caso es cuando está en la banda lateral superior, pero esta particularidad también se observaría si es en la banda lateral inferior, también se logra percibir la frecuencia del mensaje el cual es de 120kHz

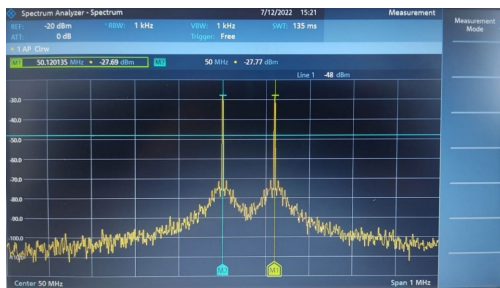


Fig. 25: Densidad espectral de potencia de la banda lateral superior; Con Portadora

$$s_{SSB}(t) = \frac{A_c}{2} m(t) \sin(2\pi f_c t) - \frac{A_c}{2} \hat{m}(t) \cos(2\pi f_c t)$$

$$m(t) = \cos(2\pi f_m t)$$

$$A_c = 0,05, A_m = 1, k_a = 1, f_c = 50 MHz, f_m = 120 kHz$$

• Tipos de modulaciones, ventajas y desventajas

Modulación AM:

Algunas de las ventajas de este tipo de modulación es que es muy sencilla emplearla, a parte de eso demodularla también es fácil de hacer ya sea con un detector de envolvente, o demodularla con un producto coherente, y además de todo eso tiene gran cobertura. Algunas de las desventajas de la modulación AM es que como fue la

primera que se utilizó pues hay versiones mejoradas y otros tipos de modulación que tienen mejores características.

Modulación DSB-SC:

Este tipo de modulación solamente se transmite mediante dos bandas laterales pero sin tener presente la portadora, lo que me puede generar un ahorro en energía, también se puede transmitir en un menor ancho de banda.

Alguna desventaja es que a la hora de demodular la señal, si se utiliza la detección de paquetes no se obtendrá la señal correctamente.

Modulación SSB:

Este tipo de modulación tiene como característica que se transmite en una sola banda lateral, el ancho de banda es más pequeño aún, y también me ahorra energía.

Tiene como desventaja una limitante el cual es la calidad del sonido, igualmente si se llegare a desplazar levemente la señal tendría erróneo.

3. Conclusiones

De esta práctica se puede concluir que gracias al buen uso de los equipos del laboratorio se pueden visualizar las diversas modulaciones existentes mediante GNURADIO, es una gran herramienta que se enlaza con el radio, y mediante el cable coaxial visualizar así tanto en el osciloscopio y el analizador de espectros para así poder analizar y obtener parámetros de la señal modulada.

Cada una de las modulaciones tienen sus características propias para modular una señal, como lo son el ancho de banda, algunas trabajan en el eje imaginario, tienen su potencia característica puede diferir dependiendo de su modulación, la forma de la onda cambia entre otras cosas, de igual manera algo más por añadir es que se puede demodular con un método en específico.

El gran avance de la tecnología nos permitió avanzar y reestructurar las bases de la modulación, para así desde las modulaciones más básicas desenvolverse y mejorar en las modulaciones existentes.

[1]. [2]



Referencias

[2] R. Schwarz, “Understanding single sideband.”

[1] “Schwarz, r., understanding amplitude modulation,”
2020, marzo 19.