

Práctica 3: MODULACIONES LINEALES

Sebastian Suarez Velazco - 2200519
Jeanpaul Valencia Quintero - 2200496

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

30 de Mayo de 2023

Resumen

En el siguiente informe se realiza la modulación en amplitud de diferentes tipos de señales desde senoidales puras hasta señales de audio donde se determina la caracterización de los parámetros de dicha modulación en doble banda lateral y en banda lateral única con el fin de establecer las ventajas que tiene cada tipo de modulación sobre la otra. También se destaca el papel de la portadora en el proceso de modulación para la transmisión y demodulación para la recepción de la señal modulada, así como el significado del índice de modulación y su importancia en los sistemas de modulación AM.

Palabras clave: Modulaciones Lineales, DSB-FC, SSB, Índice de modulación, Portadora.

1. Introducción

- Experimentalmente encontramos que la modulación en amplitud es más fácil de estudiar debido a que de las propiedades que podemos alterar de la onda modulada únicamente lo hacemos con la amplitud de esta según cambie así mismo la amplitud del mensaje. Además, es más sencillo su estudio en el dominio de las frecuencias ya que la modulación AM se podría ver como un efecto de heterodinación ascendente en donde lo único que hacemos es un desplazamiento de la señal mensaje a la frecuencia de la portadora. También con la modulación AM es más sencillo determinar la señal mensaje original de la onda modulada. Esto último nos brinda la ventaja también de poder diseñar sistemas de una manera compacta y sencilla, utilizando elementos con operaciones básicas.
- El índice de modulación es un parámetro que me entrega la variación que existe entre la señal mensaje y la portadora en el dominio de frecuencias y en términos de la amplitud de la señal mensaje original. Es decir, gráficamente podemos observar el

comportamiento como la variación que se tiene en amplitud de la portadora, este parámetro me permite determinar qué tan eficiente es la modulación en términos de potencia y me entrega información acerca de que tan bien puedo recuperar la señal de mensaje original al demodular ya que con este parámetro puedo saber si la modulación se encuentra o no sobre modulada y si estoy perdiendo información de la señal modulante.[1]

- Experimentalmente se puede observar la envolvente de la señal modulada en el dominio del tiempo en el osciloscopio en donde se puede medir la frecuencia de la señal mensaje y la amplitud de esta. También es posible determinar el índice de modulación con el osciloscopio. Además, dependiendo del índice de modulación también se puede observar si la señal se encuentra sobre modulada. Con el analizador de espectros se observa el espectro de la señal modulada donde se puede determinar cuál es la frecuencia de la señal portadora y el ancho de banda de la señal modulada, gracias a los marcadores se puede obtener el índice de modulación y la potencia total de la señal; Es decir, la potencia de las bandas laterales junto con la potencia de la portadora de la señal modulada, parámetros con los cuales es posible determinar la eficiencia de potencia de la modulación.
- Inicialmente se debe tener un índice de modulación diferente de cero ya que si este es cero entonces solo se observa la señal portadora sin modular. En el analizador de espectros se debe considerar que la frecuencia central de este se ubique en el valor de la frecuencia de la portadora con un RBW bajo para que los lobulos se puedan distinguir correctamente, ya que estos según la frecuencia del oscilador local cuentan con una distancia considerable a la frecuencia central, y un SPAN lo suficien-

temente grande que abarque el doble del ancho de banda de la señal mensaje para que la modulación se pueda observar completamente. En el osciloscopio se debe aumentar la división del tiempo de la señal lo suficiente para poder observar la envolvente compleja obteniendo las muestras de los picos de dicha señal modulada en la opción "acquire" del osciloscopio.

2. Procedimiento

1. En el analizador de espectros es posible medir el índice de modulación en decibeles [dB] habilitando un marcador para la componente de la portadora y otro marcador en modo delta para medir la componente de una de las bandas laterales, el valor de este segundo marcador me entrega el índice de modulación, por lo tanto, es posible medir el índice de modulación en señales moduladas en banda lateral única, solo si esta cuenta con una portadora.

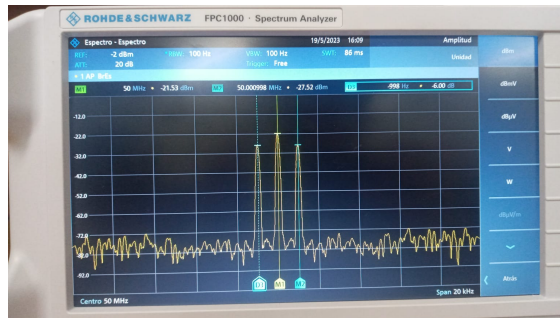


Fig. 1: Medición de índice de modulación en el analizador de espectro por el método de N[dB]

2. En el osciloscopio para medir el índice de modulación el coeficiente de sensibilidad en amplitud debe ser cero para que así podamos obtener la amplitud de la portadora sin modular, con dicha amplitud ya es posible determinar el índice de modulación debido a que con el osciloscopio con los cursores en la opción "Volt" se puede obtener la distancia entre el valor máximo y mínimo de la envolvente compleja cuyo valor es igual a dos veces la amplitud de la portadora por el índice de modulación, para lo cual debemos despejar de la ecuación 1 dicho índice, este mismo procedimiento es posible aplicar para la modulación en banda lateral única solo si esta cuenta con

la portadora.

$$Vm(t)_{max} - Vm(t)_{min} = 2 * Ac * Ka * Am \quad (1)$$

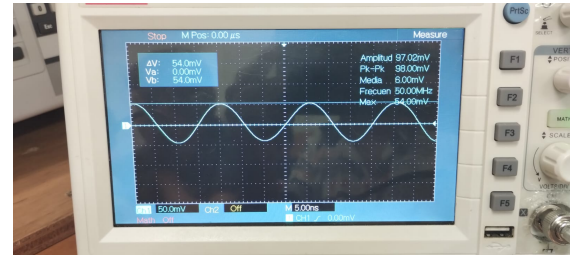


Fig. 2: Medición de la amplitud de la señal portadora

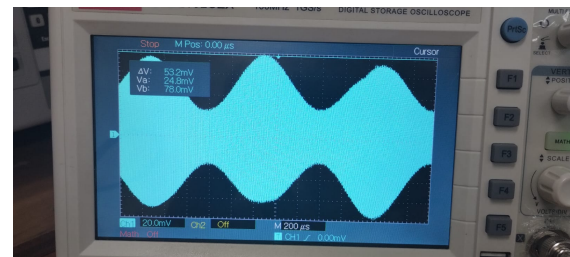


Fig. 3: Medición de KaAm 0.5 en el Osciloscopio

- El índice de modulación como se sabe es una medida la cual representa la variación de amplitud respecto a una portadora, por ende, este se ve afectado por aquellos parámetros que modifican la amplitud, y hay diversas maneras de escribir esta función, a continuación, se presentarán las expresiones concurrentes para obtener el índice de modulación y como este es afectado por esto.

$$\mu = K_a A_m \quad (2)$$

La ecuación 2 es la forma base del índice de modulación, donde tanto Ka y Am participan de forma proporcional al índice de modulación, pero son inversas entre sí.

$$\mu = \frac{A_m}{A_c} \quad (3)$$

$$\mu = \frac{\Delta V_m}{2A_c} \quad (4)$$

En la ecuación 3 podemos observar que el índice de modulación es afectado proporcionalmente a la amplitud del mensaje y es afectado inversamente respecto a la amplitud de la portadora, otra forma de ver esta ecuación en términos de la amplitud del mensaje se puede observar en la ecuación 4 esto en especial para una medida en el osciloscopio.

$$P_{total} = \frac{A_c^2}{2} [1 + k_a^2 P_m] \quad (5)$$

La ecuación 5 hace referencia a la potencia total, el índice de modulación está relacionada a ella a partir de los valores de amplitud que se obtengan en la potencia del mensaje, para una señal senoidal pura por ende se puede obtener lo siguiente:

$$\mu = \sqrt{2k_a^2 * P_m} \quad (6)$$

De lo cual se puede concluir que el índice de modulación es directamente proporcional a la potencia del mensaje.

Asimismo para una señal senoidal es posible obtener la ecuación 6 para el coeficiente de modulación, la cual se basa en que la potencia total de señal es proporcional al índice de modulación, y la potencia de la portadora es inversamente proporcional, además se obtiene el offset provocado por la portadora influye en el índice de modulación.

$$\mu = \sqrt{\frac{2P_t}{P_c} - 2} \quad (7)$$

Finalmente se tiene que el índice de modulación depende de la eficiencia de tal manera que se obtiene la ecuación 9, para un caso de senoidal pura:

$$\mu = \sqrt{\frac{2\eta}{1 - \eta}} \quad (8)$$

- Es importante transmitir la portadora debido a que esta permite obtener la señal con facilidad y recuperarla mediante demoduladores de envolvente, esto además tiene procedencia en que la portadora es la señal que se modifica para poder adecuarse a un medio, de otro modo suele llevar información inútil si no se utiliza un detector coherente. Así entonces el detector de envolvente intercepta la señal sin ningún problema de desfase o ruido en general. Además, la transmisión con portadora nos permite tener un mayor control de la calidad de la señal mediante el índice de modulación.[1]

- La modulación SSB tiene la limitación de que requiere de instrumentos o equipos robustos debido a que se tiene que interceptar medio ancho de banda, lo que implica que se utilicen filtros cercanos a los ideales o con una mayor sensibilidad respecto a la frecuencia que desean interceptar.[2]
- Para la estructuración del audio se tienen las siguientes imágenes, las cuales evidencian los parámetros que caracterizan la modulación.



Fig. 4: DSB-FC Con KaAm = 0.25

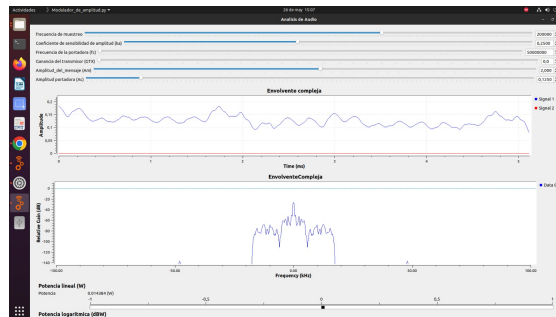


Fig. 5: Estructura de GNU-Radio DSB-FC con KaAm = 0.25

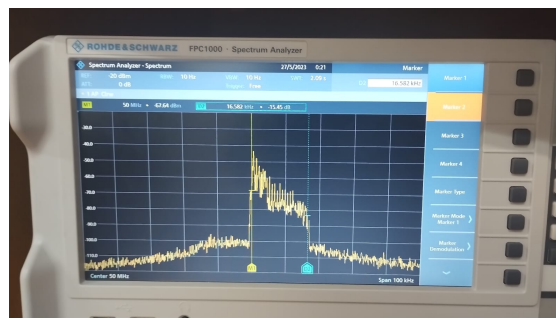


Fig. 6: Analisis en espectro del mismo audio, pero en banda lateral única

Se utilizó el ancho de banda obtenido en la modulación SSB, pues es el ancho de banda que se ve desde esta modulación al heterogenizarla es el mismo ancho de banda que se observa en banda-base.

A partir de las imagen 4 se pudo obtener mediante la envolvente compleja la diferencia de voltaje entre el valor máximo y mínimo de la señal mensaje la cual nos suministró la información del valor de amplitud de la misma. Gracias al analizador de espectros es posible ubicar la frecuencia de la portadora y así mismo con el ancho de banda de la señal modulada se determina que el máximo valor de este corresponde a la frecuencia del mensaje, obteniendo el valor de amplitud de la portadora se reemplaza en la ecuación 4 para de esta manera con la diferencia de amplitud del mensaje en la señal modulada se despeja el índice de modulación del cual se obtuvo un valor de 0.237, aproximado al valor que se debe obtener idealmente el cual es de 0.25. Ya obtenidos todos estos parámetros es posible determinar la ecuación que describe la señal modulada.

$$s(t) = A_c[1 + K_a[A_m \cos(2\pi * F_m)]\cos(2\pi * F_c)] \quad (9)$$

Donde:

$$\begin{aligned} A_c &= \frac{481}{4000} \\ K_a &= \frac{79}{9500} \\ A_m &= \frac{57}{2000} \\ F_m &= 16,5823E3 \\ F_c &= 50E3 \end{aligned}$$

- Entre las ventajas de la Modulación DSB-FC ó AM Comercial se tiene que el equipamiento no es tan complejo respecto a la DSB, ya que se consume el doble del ancho de banda, lo que en si es una ventaja para el SSB ya que consume menos espectro electromagnético. Otra ventaja significativa es que las señales AM solo cuentan con un componente relacionado a la envolvente compleja, a diferencia del SSB que requiere de un dispositivo para que realice la transformada de hilbert y así descarte una banda, implementando dos componentes para diseño del modulador, lo que lleva a una implementación más compleja, tanto para la modulación como para la demodulación. En la modulación SSB se puede transmitir una señal con menor costo de energía a mayor potencia utilizando la mitad de ancho de banda de la modulación AM.

3. Conclusiones

- Durante el laboratorio se resaltó la importancia de la caracterización de la potencia de una señal debido a que al realizarse una modulación en amplitud sobre una señal mensaje la potencia de esta varía en función de la amplitud del propio mensaje, del coeficiente de sensibilidad de amplitud y de la amplitud de la portadora, es importante entender como calcular la potencia de la señal ya que con esta podemos saber que tan eficiente es la modulación utilizada.
- Se experimentó que la modulación AM como forma de transmisión, cuenta con una serie de propiedades que justifican su uso comercial y su fácil planteamiento tanto matemático como en el diseño, ya sea para transmitirse o recibirse la señal, sin embargo, todo esto se estructura alrededor de la señal portadora.
- Con la modulación SBB, se obtuvo que como método de modulación es una forma de transmitir eficientemente ya que se observa que se utiliza mitad del ancho de banda que una modulación AM, y también se afirma que consume menos potencia a la hora de transmitir por lo observado en su respectivo espectro.
- El índice de modulación, se termina planteando como una variable la cual modifica la amplitud de la señal respecto a una portadora, y se observa que esta propiedad llega a controlar toda la modulación de la portadora debido a las variadas relaciones que aparecen y también se destaca el papel de la portadora como un medio por el cual es posible transmitir el mensaje mediante la envolvente compleja para evitar distorsiones en la modulación ya que esta es una característica muy frecuente de este tipo de modulación.

Referencias

- [1] "Principles of communications," *Online Courses and eBooks Library*. [Online]. Available: https://www.tutorialspoint.com/principles_of_communication/principles_of_communication_sideband_modulation.htm
- [2] J. M. O. Huertas, *Tema 2: Teoría y Fundamentos de la modulación*. [Online]. Available: <https://informatica.uv.es/iiguia/TSTD/apuntes/tema2.pdf>