

Práctica 4: MODULACIONES ANGULARES

Sebastian Suarez Velazco - 2200519
Jeanpaul Valencia Quintero - 2200496

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

30 de Junio de 2023

Resumen

El siguiente informe se encuentra enfocado en entender las modulaciones angulares, específicamente la modulación en frecuencia y la modulación en fase, en el caso de la modulación FM se detalla el proceso de demodulación en un contexto de la caracterización de emisoras de radio FM junto con los componentes que las conforman en el espectro. En el caso de la modulación PM se definen conceptos fundamentales para una correcta modulación como lo son la envolvente compleja en este tipo de modulación, el índice de modulación y su papel en la modulación en banda ancha y la modulación en banda estrecha.

Palabras clave: Modulacion PM, Modulacion PM, Indice de modulacion, Envolvente compleja.

1. Introducción

- La importancia de realizar las mediciones desde el laboratorio de comunicaciones nos permite realizar una caracterización de los componentes que hacen parte de una señal modulada FM, además nos dio la experiencia de demodular emisoras de radio encontrando su frecuencia de operación en el espectro, midiendo además el ancho de banda de estas mismas y comprobar si estos cumplen con la normativa vigente de la ANE. En general esto nos permite cumplir con el control del espectro sin importar el sistema de telecomunicaciones, es vital para fijar unos parámetros los cuales pueden aprovechar el correcto uso del espectro electromagnético, adicionalmente busca evitar problemas de interferencia con el fin de obtener buena calidad en la señal recibida.
- Entre las ventajas que podemos encontrar se encuentra la característica de que la modulación FM es más inmune al ruido debido a que opera en frecuencias más altas que la AM (del rango de VHF y

UHF), otra ventaja a considerar es que esta cuenta con una eficiencia del 100 % en comparación al 33 % que se puede encontrar en la modulación AM debido a que la potencia de la señal modulada corresponde a la misma potencia de la portadora sin modular, finalmente los costos asociados al montaje de un transmisor de FM son menores debido a que este cuenta con una relación de antena menor debido a su alta frecuencia.[1]

- Al medir una modulación PM tanto en el analizador de espectros como en el osciloscopio es importante tener a consideración el índice de modulación ya que de este se pueden obtener dos tipos de señal modulada, una en banda estrecha y otra en banda ancha. Para el primer caso es importante tener un SPAN que pueda ser lo suficientemente grande para abarcar el ancho de banda de la señal, como consecuencia de este se debe configurar un RBW pequeño con el fin de obtener mejor precisión en la medición, estas características nos permiten observar con facilidad cómo se comporta el ancho de banda y la separación entre los componentes armónicos de la señal modulada. En el osciloscopio se activa el medidor de frecuencia con el cual se tiene una estimación de la desviación de frecuencia de la modulación, aunque esto se observa mejor en la señal modulada banda ancha la cual en el analizador de espectros se caracteriza con un SPAN mucho mayor al anterior y un RBW menor.
- Entre el analizador de espectros y el osciloscopio se pueden afianzar varias habilidades con el fin de obtener un mejor desarrollo de las prácticas y la medición, entre estas se encuentran la estimación del SPAN necesario y el RBW para la correcta visualización de las señales, además del uso de marcadores en cuanto al tipo de marcador y la unidad de medida de estos para los casos que se especifiquen.

También en el osciloscopio es importante tener una estimación de la escala temporal y de amplitud para observar la correcta modulación de las señales; Además, se obtiene una experiencia de saber si está midiendo esta correctamente con el ajuste del parámetro `.acquire`". Finalmente se obtiene un mejor conocimiento de los implementos que se deben utilizar en el laboratorio como el tipo de cableado utilizado y las boquillas correctas para interconectar los aparatos utilizados.

2. Procedimiento

- En el sistema de demodulación de las emisoras de radio se utilizaron diferentes componentes como bloques de variables que permiten tener constantes utilizadas en este proceso como la frecuencia de muestreo del sistema SDR que utiliza para sintonizar las señales de radio o el factor de diezmo del filtro pasa bajas con el fin de evitar el paso de ruido o componentes de interferencia de otras señales, este filtro es aplicado a un bloque UHD:USRP source que conecta el USRP con el PC, a este bloque también se le conecta un bloque QT GUI frequency sink para permitir observar en el PC el espectro de la señal modulada, después de filtrar se aplica un bloque WBFM que se encarga de demodular la señal utilizando una tasa de cuadratura que depende de la frecuencia de muestreo y el factor de diezmo. Después de demodular la señal se aplica un filtro de preénfasis con el fin de ajustar la respuesta en frecuencia de la señal demodulada, este filtro y la misma señal demodulada son conectados a otro bloque QT GUI frequency sink. A la salida del filtro de preénfasis se conecta un re-muestreador que ajusta la frecuencia de muestreo desde el valor de la tasa de cuadratura hasta la frecuencia de muestreo del periférico que se utilice para escuchar la señal demodulada, pero para que esta información llegue al periférico se hace uso del bloque Audio sink, sin embargo se puede concluir que hay ciertos bloques se podrían dejar fijos, inclusive descartar como la frecuencia de corte del filtro y la ganancia del transmisor, ya que en el primer caso se desea visualizar todos los componentes del espectro en banda-base de la señal, y en el segundo caso puede traer problemas como la amplificación del ruido lo que lleva a pensar que este bloque se puede descartar.
- Para estimar el ancho de banda de cada emisora se utilizó el espectro de la señal modulada en el es-

pectro haciendo uso de la regla de los 20 dB estableciendo un valor en dBm de referencia promedio de la señal modulada. Se utilizó este método debido a su facilidad en la implementación para medir señales más complejas mostradas en el espectro, además de ser conocido por obtener una estimación bastante cercana al ancho de banda real y con un uso bastante recurrente.

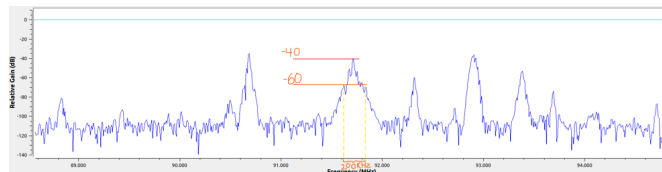


Fig. 1: Ancho de banda con regla de los 20 dB.

- En la imagen 2 se puede observar que esta contiene todos los servicios prestados por las emisoras FM como por ejemplo la banda L+R que se utiliza para transmitir señales mono que unen los canales izquierdo y derecho normalmente usados en radios comunes o dispositivos que no reproducen señales de audio de tipo estéreo entregado por la banda L-R que permite diferenciar entre estos dos canales, esta ubicándose centrada en 38Khz debido a la señal piloto que la desplaza hasta este punto, podemos observar que esta tiene el doble del ancho de banda del L-R, asimismo la piloto se ubica en 19Khz para que la señal resta o L-R no tenga interferencia con la señal suma o L+R como también cada una de las bandas puedan ser filtradas sin mucha dificultad, asimismo para que esta señal se pueda escuchar correctamente debe ser demodulada y la señal piloto que entregan estas emisoras tiene también dicho fin, el de permitir que la señal estéreo se pueda demodular correctamente, adicional a esto también se observa la presencia de una señal RBDS que permite identificar información adicional de la señal al usuario, algunos ejemplos de esta información son el nombre de la radio, esta se ubica en 57Khz para evitar solapamiento.[2]
- En la práctica se pudieron detectar 2 emisoras que no se encontraron registradas sin embargo estas cumplen con los parámetros técnicos proporcionados con el PTNRS ya que su ancho de banda no excede los 200 kHz y según su frecuencia de operación en comparación con las emisoras que las rodean se tiene que la separación entre sus canales

es mayor a los 100 kHz. Esto es posible observarlo por ejemplo en el caso de la emisora de la UIS estéreo mostrada en la imagen 2.

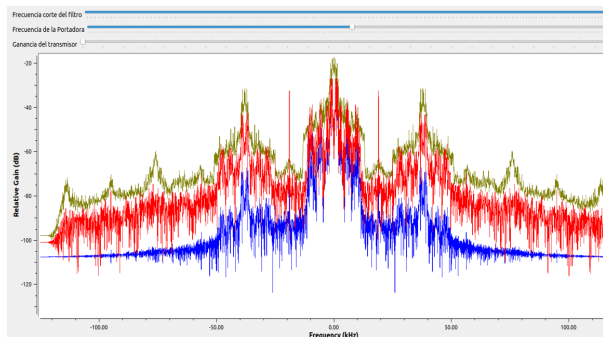


Fig. 2: Señal demodulada emisora UIS estereo.

- De la envolvente compleja creada en el laboratorio es posible observar que se encuentra compuesta de dos señales senoidales que según la teoría son ortogonales, al observar dicha señal y después de hacer una comparación de la envolvente compleja de algunas de las señales moduladas linealmente se denota que en las señales que la componen se encuentra información tanto de la fase como de la amplitud de la señal modulada, en específico comparando esta con la señal AM la cual solo contiene componente real. Asimismo, podríamos describir para casos como los presentes en PMWB como la envolvente compleja se vio afectada debido a la amplitud de la señal modulada, esto observándose concretamente en los tiempos donde este comportamiento aparece y a la frecuencia que se obtiene en ciertos momentos pues no hay que descartar el hecho de que la modulación PM cuenta con ciertos cambios en frecuencia debido a la relación que se tiene indirectamente por la derivada de la fase instantánea.

Es posible utilizar otro set de bloques basándose en la relación que tiene la modulación FM con la PM, en este caso se podría implementar un sistema de derivación y un bloque que obtuviese la envolvente compleja FM para así obtener la envolvente compleja de la señal PM.

- Medir el índice de modulación de forma experimental en el analizador de espectros es posible buscando la desviación en fase de la señal modulada, si se calcula el ancho de banda de la señal modulada correspondiente y si se conoce la fase del mensaje, con estos datos es posible establecer

la desviación en fase máxima y conociendo la amplitud de la señal modulante se determina el índice de modulación. Otra forma de poder medir el índice de modulación de forma experimental en una señal banda ancha con modulación PM es mediante la potencia y los coeficientes de Bessel, pues la relación que se tiene entre la modulación PM y FM cuentan con las mismas directrices para poder representarse en el espectro de la frecuencia por ende es posible hacerle el mismo tratamiento a la señal que en FM obteniendo los porcentajes de potencia y analizando con un pulso a seleccionar el valor de porcentaje y determinar correspondientemente el B que consecuentemente es el mismo valor del índice de modulación. El índice de modulación se puede medir en señales AM, FM tanto como PM, en esencia estos consisten en métodos los cuales caracterizan la relación que se tiene en sus modulaciones, para el caso de la modulación FM o PM en un tono ayudan a determinar que tanto puede llegar a desviarse tanto en frecuencia como en fase las señales, por ende el índice de modulación no solo está presente solo en PM.



Fig. 3: Modulacion de señal banda ancha PM

- En el osciloscopio para una señal modulada en fase es posible medir la desviación de frecuencia debido a que este varía en un rango estimado la cual inclusive se puede observar por medio de unas leves oscilaciones en la señal modulada y que aumenta en función de la amplitud del mensaje, además, dichas oscilaciones se pueden denotar más cuando se aumenta el índice de modulación.
- Teniendo en cuenta:

$$\beta = K_p * A_m \quad (1)$$

La fórmula 1 consiste en el índice de modulación

para una modulación PM, se observa que los parámetros que afectan esta fórmula son:

1. Amplitud del mensaje: Proporcional
 2. frecuencia del mensaje: No relacionada
 3. coeficiente de sensibilidad: Proporcional
 4. Amplitud de la portadora: No relacionada
- Introducir una componente de continua en el mensaje tiene varios efectos sobre la señal modulada, uno de estos es que esta componente puede desplazar la frecuencia de la portadora así como cambiar la desviación de fase de la señal modulada e incluso dependiendo del valor de la componente de continua, si esta es mayor con respecto de la amplitud del mensaje entonces podría generar distorsión en la señal modulada. [3]
 - Es importante tener un control acerca de la amplitud del mensaje y del nivel de continua ya que si se tiene una amplitud del mensaje lo suficientemente grande esto puede generar distorsiones en la señal modulada lo que imposibilitaría la recuperación del mensaje original ya que debido a el efecto que estos parametros tienen en el indice de modulación puede haber una sobre-modulación. tener un control en el ancho de banda de los mensajes de las modulaciones angulares tambien es importante debido a que si este es demasiado grande se estaria haciendo un uso ineficiente del espectro ademas de aumentar costos en la transmision de las señales, ademas de esto el un gran ancho de banda puede causar interferencias entre canales en el espectro lo que disminuiría la calidad de las señales transmitidas.
 - ¿Qué limitaciones tiene la implementación en GNURADIO de la modulación FM a partir del modulador PM usado?
Una limitación que tiene realizar la implementación en GNU radio de la modulación a partir del modulador Pm utilizado es que GNU radio no cuenta con un bloque para realizar derivadas, por ende una de las limitaciones que cuenta este sistemas es el no tener una forma de obtener la frecuencia instantanea pues no se puede realizar la derivada de la fase instantanea, esto impidiendo expresar la expresión por medio del modulador de PM.

3. Conclusiones

- La modulación angular fue desarrollada con el fin de superar varias de las limitaciones y desafíos que presentaba la modulación AM, es por esto que la modulación angular se puede ver como una mejora en el proceso de transmisión de señales de información, debido a que permite transmitir señales de manera mas eficiente y recibirlas con menor interferencia y mayor calidad que las señales transmitidas en AM pero con mayor complejidad para dicha recepción.
- Es importante entender que en una señal FM la frecuencia de la portadora es quien varia con respecto de la amplitud de la señal de mensaje a diferencia de la señal modulada en fase en donde es la fase quien se modula en función de la amplitud de la señal de entrada por lo tanto su frecuencia se mantiene constante para este caso. Debido a que es la fase quien lleva la información del mensaje en la señal PM se puede ver un cambio en la fase instantanea mientras que en la modulación en frecuencia el cambio ocurre en la fase instantanea.
- Observamos que la caracterización de emisoras FM implica un proceso el cual aplica conceptos relacionados con el control y la supervisión de las señales que lo componen en función de las regulaciones, observando al mismo tiempo el porqué se elige este tipo de emisora en relación con eventos como la calidad y estructura de las señales tanto gráficamente como sonoramente.
- Inferimos que la importancia de la envolvente compleja es vital para poder entender como la modulación PM se comporta a lo largo del tiempo, en especial dando a resaltar aspectos como la variación de la frecuencia la cual se encuentra indirectamente relacionada con la fase, que en fin de cuentas ambos casos terminan dependiendo de la amplitud que lleva la portadora.
- Se afirma que el indice de modulación juega un rol vital en la forma como la envolvente de la señal se manifiesta, en especifico debido a que está relacionado con la desviación en frecuencia, por ende determinando que tanto la señal oscila dependiendo de un conjunto de criterios como asimismo estableciendo el ancho de banda que contiene para el espectro de la señal.



Referencias

- [1] Sasmita, "Advantages and disadvantages of fm over am," *Electronics Post*, Jun 2020. [Online]. Available: <https://electronicspost.com/advantages-and-disadvantages-of-fm-over-am/%7D>
- [2] "Fm estéreo," *Wikipedia*, Dec 2022. [Online]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/FM_est%C3%A9reo%7D
- [3] M. M. S. Hayki, *Introduction to analog and digital communication systems*", 2nd ed. Wiley, 2007.