



Práctica 4: MODULACIONES ANGULARES

Sanchez Brito Gerson Alexander - 2192987
Abello Plata Arman Yerlaith - 2201523

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

7 de diciembre de 2023

Resumen

El siguiente informe se enfoca en el desarrollo de mediciones de señales moduladas angularmente, específicamente, modulación en frecuencia y modulación en fase, es decir, la medición del ancho de banda, potencia y otros datos. De la misma forma también se maneja la revisión de las emisoras para ver el cumplimiento de las normativas existentes en el país.

Durante el desarrollo de la práctica se afianzan los conocimientos del comportamiento de las modulaciones angulares, tanto en frecuencia como en el tiempo, y el manejo correcto del espectrómetro y del osciloscopio para realizar revisiones de las emisoras y el respectivo cumplimiento de las normativas.

1. Introducción

Realizar mediciones de emisoras desde el laboratorio tiene gran importancia debido a que se pueden analizar si las emisoras cumplen con la normativa, además de que se enseña el proceso de dichas revisiones. A partir de esto, se puede llegar a implementar dichas revisiones y así poder configurar los parámetros para cumplir los lineamientos establecidos.

La modulación angular tienen algunas ventajas frente a las modulaciones lineales en banda estrecha debido a que la modulación angular tiene mejor calidad de la señal y menor vulnerabilidad al ruido.

Para la medición de las señales moduladas angularmente en banda ancha se tienen que tener ciertas consideraciones mínimas, tanto en el analizador de espectros como en el osciloscopio, en el caso del analizador de espectros son, ajustar el RBW, el SPAN, la frecuencia central de la señal, medir el ancho de banda de la señal hasta que sea -20 dBm que la señal de potencia mayor. En el caso del osciloscopio, hay que ajustar la escala de tiempo y la tensión a medir, además del correcto uso de los marcadores para ambos dispositivos.

Para generar señales moduladas angularmente a partir del SDR, hay que tener en cuenta ciertas características, las cuales son: tener definida la frecuencia central a trabajar, la frecuencia del mensaje, la amplitud de la señal y del mensaje, y ajustar el coeficiente de modulación kp.

2. Procedimiento

Esta practica se dividió en dos partes. por un lado se analizaron la señales de radio frecuencia FM de bucaramanga. Por otro lado, se realizo el montaje e implementación señales moduladas por fase PM. como se muestra a continuación:

2.1. Medición emisoras FM

El proceso para analizar las señales de radio por GNU RADIO luego de ser filtrada y recibida sigue los siguientes pasos:

1. WBFM Receive: Este bloque demodulador de la señal FM.
2. FM preemphasis: utiliza un filtro pasabanda para seleccionar la banda de frecuencia de la señal FM. Luego, la señal de banda base se demodula utilizando un detector de envolvente.
3. Rational resampler: ajusta la frecuencia de muestreo a la del periférico del computador.
4. Audio Sink: sirve para hacer la conexión entre el simulador y el computador

Aunque la demodulación la hace principalmente el bloque WBFM Receive es posible cambiar este bloque por el WBFM Receive PLL el cual utiliza un circuito PLL que puede llegar a proporcionar una señal con mayor calidad de audio. Sin embargo, puede llegar a ser mas



complejo de implementar.

Para estimar el ancho de banda en las emisoras se uso el criterio de los 20 dB en el analizador de espectros. En primer lugar, se ubico la frecuencia de operación de la emisora se va a analizar como se muestra en la figura 1 y se ajustaron sus parámetros de visualización . Luego, con la opción trace visualizo el max hold de la emisora. Luego, se utilizaron tres marcadores uno en la componente de frecuencia con mayor cantidad de potencia y los otros dos marcadores 20 dB por debajo del primer marcador. Finalmente, con las frecuencias de los 2 marcadores se midió el ancho de banda de esta señal banda base como la resta de la frecuencia mayor menos la frecuencia menor.

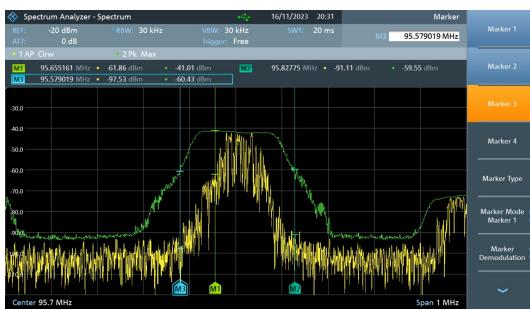


Fig. 1: Ancho de banda emisora

Dentro del ancho de banda de cada estación de radio FM es posible compartir una serie de servicios por multiplexación por división de frecuencia como se muestra en la figura 2 que corresponde al espectro de la emisora Tropicana.

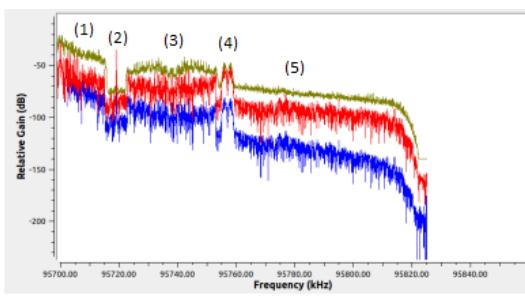


Fig. 2: Servicios señal banda base Tropicana

Algunos de los servicios de la señal banda base de la figura 2 son:

1. canales L+R: corresponde a la combinación lineal del canal derecho con el canal izquierdo y es utilizado en receptores monofónicos.

2. señal piloto: es una componente de frecuencia presente en todas las emisoras FM ya que gracias a ella es posible recuperar las señales de audio de los canales izquierdo y derecho.
3. canales L-R: corresponde a la diferencia de los canales de audio derecho e izquierdo. Es utilizado en receptores estéreo los cuales permiten reproducir audio por ambos canales.
4. RDS: hace parte de la información digital de la emisora y aunque no es información de audio si corresponde a información de la emisora.
5. subportadoras: hace parte de la información audio como sonido de fondo y entre otros.

Dentro de la práctica se analizaron las estaciones FM de Bucaramanga y se observó que tres de ellas no se encuentran registradas a la fecha en el Plan Técnico Nacional de Radiodifusión Sonora – Frecuencia Modulada (PTNRS). Sin embargo, cumplen algunos de los criterios establecidos por el gobierno nacional como se observa en la figura 3.

Emisoras NO registradas	CRITERIO I	CRITERIO II	CRITERIO III	CRITERIO IV	CRITERIO V
UTS - TU RADIO STEREO	SI	NO	SI	SI	NO
LA GUAPACHOSA 105.1	SI	SI	SI	NO	SI
EMISORA COMUNITARIA LA BRUJULA - ÁREA DE SERVICIO No.1	NO	SI	SI	SI	NO

Fig. 3: Emisoras no registradas

Criterios Plan Técnico Nacional de Radiodifusión Sonora – Frecuencia Modulada [1]:

- CRITERIO I: Anchura de banda: 200 kHz
- CRITERIO II: Anchura de banda de audio frecuencia: 50 Hz – 15 kHz
- CRITERIO III: Separación entre canales: 100 kHz (88–108 MHz)
- CRITERIO IV: Porcentaje de modulación sin subportadora: 100
- CRITERIO V: Desviación de frecuencia: 75 kHz

A partir de las mediciones del modulador PM en el laboratorio (Parte B):



2.2. Modulación PM

En esta sección se estudio la modulación de las señales PM y sus aspectos mas importantes. Usando como base señales generadas por GNU RADIO. En primer lugar se estudio la envolvente compleja.

La envolvente compleja tiene la forma desde la teoría de $g(t) = A_c[\cos(\theta(t)) + j\sin(\theta(t))]$. Sin embargo, debido a que el osciloscopio solo puede mostrar señales reales como se observa en la figura 4 donde se pudo observar las oscilaciones de la envolvente.

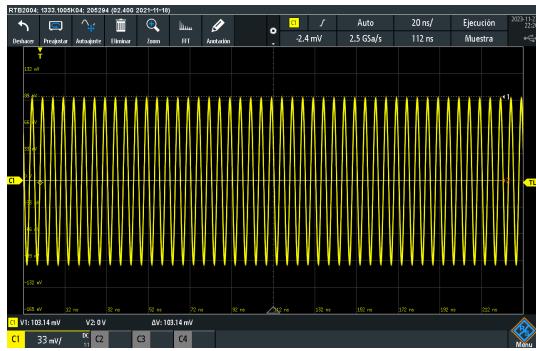


Fig. 4: Envolvente compleja osciloscopio

Además, desde la practica se usaron dos métodos para medir el índice de modulación β del espectro de la señal modulada en PM de la figura 5 con $\beta > 30$.

1. Usando el criterio de los 20 dB para medir el ancho de banda B_T de la señal modulada y midiendo la frecuencia de la señal mensaje f_m . con estos dos valores y la ecuación 1 se despejo el valor del índice de modulación.

$$B_T = 2f_m(\beta + 1) \quad (1)$$

2. Se midió la frecuencia del mensaje potencia de la señal modulada de los marcadores para determinar el valor de n_{max} y usando la ecuación 2 se hallo el valor del ancho de banda y usando la ecuación 1 se determino el valor aproximado del índice de modulación.

$$B_T \approx 2n_{max}f_m \quad (2)$$



Fig. 5: Espectro señal PM

Volviendo a la imagen de la figura 4 es posible determinar el valor de la amplitud de la portadora A_c y con este parámetro se determino el valor de la potencia de la señal P_T usando la ecuación 3.

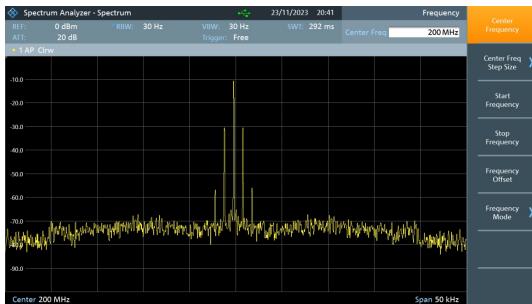
$$P_T = \frac{A_c^2}{2} \quad (3)$$

Al disminuir el valor de la frecuencia del mensaje se obtuvo un espectro como el de la figura 6. Donde las componentes de frecuencia se acercaron mas la portadora las bandas laterales.



Fig. 6: Variando f_m de la señal

Por otro lado, al variar dejar constante el valor de la amplitud del mensaje y al bajar el valor del coeficiente de sensibilidad k_p se obtuvo el espectro de la señal modulada de la figura 7 con menos componentes de frecuencia.

Fig. 7: Espectro $\beta < 0.3$

Al agregar una componente de continua al mensaje hace que la media del mensaje sea diferente de cero haciendo que la señal modulada de la ecuación 4. Lo cual termina afectando la fase de la señal modulada pero no al espectro de la señal.

$$s(t) = Ac \cdot \cos(2\pi f_c t + k_p m(t)) \quad (4)$$

Debido a las regulaciones de la PTNRS parámetros como la amplitud de la señal mensaje están relacionados al índice de modulación y al ancho de banda de la señal modulada. Por lo tanto, no respetar estas normas al momento de enviar señales moduladas en angularmente puede llevar a sanciones por esta regulación.

Finalmente, la mayor limitación de GNU RADIO en la modulación de señales angulares de tipo FM está en la presencia del integrador el cual es un factor que diferencia ambas señales. Sin embargo, a la similitud que tiene esa señal modulada con la PM no hace tan necesario realizar la integral desde GNU RADIO.

3. Conclusiones

- A partir de los datos tomados en las emisoras FM se evidenció como muchas de las emisoras de la

ciudad no estan cumpliendo con las normativas del Plan Técnico Nacional de Radiodifusión Sonora – Frecuencia Modulada.

- Se observó como al disminuir el índice de modulación de una señal modulada angularmente se obtienen menos componentes de frecuencia. sin embargo, estas componentes de frecuencia contienen la mayor parte de la información del mensaje.
- se observó como en las señales moduladas en banda angosta ($\beta < 0.3$) tienen un espectro similar al de la señal modulada en amplitud.
- Se observó como al variar la frecuencia del mensaje las componentes de frecuencia se iban acercando a la portadora comprobando de manera experimental la relación con la ecuación 1
- A pesar de que en la práctica se trabajaron con señales moduladas en PM se observó la relación que comparte con las señales moduladas en FM a partir de los coeficientes de Bessel
- A pesar de todos los cambios que sufrió la señal modulada angularmente su potencia fue siempre la misma ya que este valor depende únicamente de la amplitud de la portadora.

Referencias

- [1] "MINTIC Colombia - Plan técnico nacional." [Online]. Available: <https://www.mintic.gov.co/portal/inicio/Micrositios/Sector-de-Radiodifusion-Sonora/Plan-Tecnico-Nacional/>