

IE0527 – Ingeniería de Comunicaciones

Taller de simulación: Modulación analógica

Introducción

Los diferentes esquemas de modulación analógica de amplitud se han utilizado desde hace muchos años. Sin embargo, siguen siendo relevantes ya que son fundamentales en muchos esquemas de comunicaciones digitales.

Descripción

Este taller busca desarrollar destrezas de software para trabajar con modulación analógica y ejemplificar algunos conceptos relacionados con el estudio de las señales involucradas en este tipo de modulación. Así, el taller consiste en utilizar una o varias herramientas para estudiar la modulación AM convencional, DSB-SC y, opcionalmente, la multiplexación utilizada en el esquema de *FM estéreo*.

El taller está diseñado para utilizar *Matlab* como herramienta principal, pero es posible desarrollarlo con herramientas libres como librerías de procesamiento digital de señales y comunicaciones para *C*, *C++* o *Python*.

Consideraciones generales

- El taller debe realizarse en grupos de 2 personas.
- Se promueven las consultas al profesor y el asistente; sin embargo, deben ser puntuales y claras.
- Los resultados del taller deben ser presentados en un reporte breve *compuesto* en formato PDF.
- Todo el código fuente utilizado para desarrollar el taller (los archivos *.m*, en el caso de Matlab) debe adjuntarse al reporte.
- Se castigará severamente cualquier intento de copia en el código o los reportes.

1. Señales portadora y moduladora

Nota: En este taller se utilizará una señal portadora con una frecuencia de 38 kHz. Ésta es una frecuencia baja comparada con las utilizadas en la mayoría de aplicaciones (especialmente de radio). Sin embargo, funciona muy bien para visualizar las diferentes señales involucradas en los procesos de modulación. De todos modos, el hecho de ser baja no la hace impráctica: es la frecuencia que se utiliza para multiplexar los canales izquierdo y derecho en *FM estéreo*.

Considere la señal portadora $c(t) = \cos(2\pi f_c t)$ y la señal moduladora $x(t) = A_1 \cos(2\pi f_1 t) + A_2 \sin(2\pi f_2 t) + A_3 \cos(2\pi f_3 t)$.

Trabajo previo

1. Obtenga las transformadas de Fourier ‘teóricas’ de $c(t)$, $C(f)$, y $x(t)$, $X(f)$.
2. Escoja valores para A_i y f_i . Los valores propuestos se muestran en la siguiente tabla:

variable	valor
A_1	0.7
A_2	0.3
A_3	0.4
f_1	440 Hz
f_2	$3 \cdot f_1$
f_3	$5 \cdot f_1$
f_c	38 kHz

3. Obtenga $c(t)$, $C(f)$, $x(t)$ y $X(f)$ utilizando los valores escogidos para f_c , A_i y f_i .

Trabajo en Matlab

1. Escoja una frecuencia de muestreo F_s y una longitud de vector N apropiadas. Se propone $F_s = 4 \cdot f_c$ y $N = 8192$.
2. Defina vectores de tiempo y frecuencia apropiados¹.
3. Genere los vectores c y x y gráfíquelos (en el tiempo).
4. Obtenga C (la FFT de c) y X (la FFT de x) y grafique su espectro de magnitud.

2. Modulación AM convencional

Trabajo previo

1. Determine una expresión para la señal modulada según AM convencional, $s_1(t)$, con las señales portadora y moduladora anteriores y un índice de modulación de 0,5.
2. Determine la transformada de Fourier de $s_1(t)$, $S_1(f)$. Tenga presente su espectro de magnitud.

Trabajo en Matlab

1. Obtenga el vector (de muestras) de la señal modulada según AM convencional, s_1 , y gráfíquelos (en el tiempo).
2. Obtenga la FFT de s_1 , S_1 , y grafique su espectro de magnitud.
3. Compare los resultados obtenidos con $s_1(t)$ y $S_1(f)$.

¹ Recuerde que el vector de tiempo debe ir desde 0 hasta $\frac{(N-1)}{F_s}$ en intervalos de $\frac{1}{F_s}$, y el de frecuencia— $\frac{F_s}{2}$ hasta $\frac{F_s}{2} - \frac{F_s}{N}$ en intervalos de $\frac{F_s}{N}$.

- Intente variar el índice de modulación. ¿Cómo cambia el vector s_1 ? ¿Cómo cambia S_1 ?

3. Modulación AM DSB-SC

Trabajo previo

- Determine una expresión para la señal modulada según AM DSB-SC, $s_2(t)$, con las señales portadora y moduladora anteriores.
- Determine la transformada de Fourier de $s_2(t)$, $S_2(f)$. Tenga presente su espectro de magnitud.

Trabajo en Matlab

- Obtenga el vector de la señal modulada según AM DSB-SC, s_2 , y gráfíquelos.
- Obtenga la FFT de s_2 , S_2 , y grafique su espectro de magnitud.
- Compare los resultados obtenidos con $s_2(t)$ y $S_2(f)$.

4. Demodulación AM DSB-SC

Trabajo previo

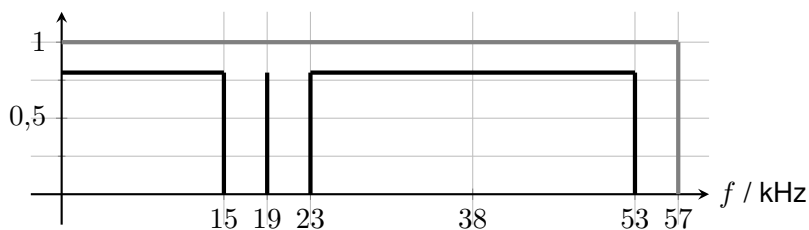
- Determine expresiones para las señales demoduladas (utilizando un demodulador AM DSB-SC), $y_1(t)$ y $y_2(t)$, correspondientes a $s_1(t)$ y $s_2(t)$.
- Determine las transformadas de Fourier de $y_1(t)$ y $y_2(t)$, $Y_1(f)$ y $Y_2(f)$. Tenga presente su espectro de magnitud.

Trabajo en Matlab

- Obtenga los vectores y_1 y y_2 y gráfíquelos.
- Obtenga Y_1 y Y_2 (las FFTs de y_1 y y_2) y grafique su espectro de magnitud.
- Compare los resultados obtenidos con $y_1(t)$ y $y_2(t)$.

5. Reto: Multiplexación en FM estéreo

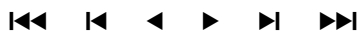
En el esquema de modulación analógica para radiodifusión FM estéreo, los canales izquierdo (L) y derecho (R) se transmiten multiplexados en frecuencia. Antes de realizar la modulación en frecuencia, se construye una nueva señal banda-base con ancho de banda de 57 kHz, que incluye una componente pasa-bajos de 15 kHz con la señal de audio $L + R$, una portadora a 19 kHz y una componente modulada según AM DSB-SC de ancho 30 kHz, alrededor de 38 kHz, con la señal de audio $L - R$. Este esquema de multiplexación en frecuencia se muestra en la siguiente figura:



Considere una señal de audio $w(t)$ representada mediante un archivo .wav (de unos 3 segundos, aproximadamente).

Trabajo en Matlab

1. Obtenga los vectores de muestras *estéreo* de $w(t)$, w_L y w_R , y su frecuencia de muestreo, F_s , así como su longitud N . Asegúrese de que F_s sea igual o mayor que 44100 Hz. Considere que si el vector w es muy grande, es posible que algunas operaciones tomen un tiempo considerable.²
2. Aumente la frecuencia de muestreo de ambos vectores por un factor de 4.³
3. Defina vectores de tiempo y frecuencia apropiados.
4. Construya el vector de muestras de la señal banda-base de FM estéreo, s_{FM} , y gráfiquelo. Observe que este vector es la suma de los diferentes componentes de la señal.
5. Obtenga la FFT de s_{FM} , S_{FM} , y grafique su espectro de magnitud.
6. Compare la FFT obtenida con el esquema de multiplexación en frecuencia mostrado anteriormente.
7. Recupere los vectores de muestras de ambos canales, v_L y v_R , a partir de s_{FM} .
8. Disminuya la frecuencia de muestreo de ambos vectores por un factor de 4.⁴
9. Grafique y compare los vectores ‘transmitidos’, w_L y w_R , con los vectores ‘recibidos’, v_L y v_R .



² Considere la función `audioread()`.

³ Considere la función `interp()`.

⁴ Considere la función `decimate()`.