



## Práctica 3 de Señales y Sistemas

### *Señales y sistemas continuos en el dominio de la frecuencia*

#### Grado en Ciencia e Ingeniería de Datos

**Profesores:**

**Alejandro Díaz, Jorge Larrey y Antonio Lozano**

### Prólogo

Los objetivos de esta práctica son dos: por un lado, el alumno se familiarizará con la representación de señales periódicas continuas mediante su desarrollo en series de Fourier (DSF); por otro lado se verificarán las ecuaciones de análisis y síntesis de la transformada de Fourier y las propiedades de la transformada de Fourier serán verificadas. **Se incluyen en negrita, a lo largo del guion de la práctica, los estudios teóricos que se han de realizar de manera previa a la práctica para una mejor comprensión y aprovechamiento de la misma.**

### Funciones útiles para la realización de la práctica

**abs, angle, atan, conj, find, exp, imag, length, loglog, plot, real, stem, sum, zeros**

## 1. Señales periódicas continuas. Series de Fourier

Las ecuaciones que relacionan una señal periódica continua con su desarrollo en series de Fourier son

$$a_k = \frac{1}{T} \int_T x(t) e^{-jk\frac{2\pi}{T}t} dt$$

$$x(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} a_k e^{jk\frac{2\pi}{T}t}$$

En este ejercicio se implementarán las dos ecuaciones mediante funciones en MATLAB. Para ello es necesario simular la señal continua  $x(t)$ , discretizándola mediante un incremento de tiempo,  $\Delta t$ , dando lugar a la señal continua discretizada  $x(k\Delta t)$ .



## Cuestiones

1. Genere en MATLAB las siguientes señales periódicas ( $T=2$ ), generando 3 periodos de cada una de ellas.

a)  $x(t) = \begin{cases} 2, & 0 < |t| < 0.5 \\ 0, & 0.5 < |t| < 1 \end{cases}$

b)  $x(t) = 0.8\sin(2\pi t) + 0.6\cos(\pi t) - 0.2\sin(3\pi t + \pi/4)$

c)  $x(t) = \begin{cases} 2t, & 0 < t < 1 \\ -2t, & -1 \leq t \leq 0 \end{cases}$

d)  $x(t) = 0.5\delta(t), -1 \leq t < 1$

e)  $x(t) = \left| \sin\left(\frac{\pi}{2}t\right) \right|$

f)  $x(t) = e^{j2\pi t} + e^{-j3\pi t}$

Ayuda: la señal a) se obtiene mediante los comandos

```
T = 2; dt = 0.001; t = -T/2:dt:T/2-dt;  
x = zeros(1,length(t));  
ti = find(abs(t)<=0.5); x(ti) = 2;  
ti = find(abs(t)> 0.5); x(ti) = 0;  
figure, plot([t-T t t+T], [x x x])
```

2. Repita el proceso para las señales a) c) y d), asumiendo un periodo  $T=4$  y  $T=6$ . Razone los resultados obtenidos.
3. Cree la siguiente función de MATLAB que obtiene los coeficientes de la serie de Fourier (DSF) de una señal periódica:

```
function ak = cfourier(x,T,N,dt)  
t = -T/2:dt:T/2-dt;  
ak = zeros(1,2*N+1);  
for k = -N:N  
    ak(k+N+1) = 1/T*sum(x.*exp(-j*k*2*pi/T*t))*dt;  
end
```

donde  $\mathbf{x}$  es una señal continua discretizada como las generadas anteriormente,  $\mathbf{T}$  es el periodo de la señal,  $\mathbf{N}$  es el orden del armónico más alto y  $\mathbf{dt}$  es el paso temporal de discretización. El DSF queda almacenado en  $\mathbf{ak}$  con el siguiente orden:

$$[a_{-N} \ a_{-N+1} \ a_{-N+2} \ \dots \ a_{-1} \ a_0 \ a_1 \ \dots \ a_{N-2} \ a_{N-1} \ a_N]$$

4. Como estudio previo calcule analíticamente los desarrollos en series de Fourier de las señales del punto 1 y corrobore los resultados numéricos obtenidos con la función **cfourier**.
5. Cree la siguiente función de MATLAB, que calcula la señal periódica a partir de su desarrollo en series de Fourier:

```
function x = icfourier(ak,T,N,dt)  
t = -T/2:dt:T/2-dt;  
x = zeros(1,length(t));
```



```
for k = -N:N
    x = x + ak(k+N+1)*exp(j*k*2*pi/T*t);
end
```

6. Reconstruya a partir de los desarrollos mediante series de Fourier **ak** las señales a) c) d) y e) variando el máximo número de armónicos N en la reconstrucción. Comente los resultados obtenidos.

7. Verifique el cumplimiento del teorema de Parseval comparando los resultados **teóricos** y prácticos

$$\sum_{k=-\infty}^{\infty} |a_k|^2 = \frac{1}{T} \int_{\langle T \rangle} |x(t)|^2 dt$$

## 2. Transformada de Fourier

Las ecuaciones que relacionan una señal con su transformada de Fourier son las siguientes:

$$X(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) e^{-j\omega t} dt \quad x(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} X(\omega) e^{j\omega t} d\omega$$

### Cuestiones

1. Genere en MATLAB las siguientes señales aperiódicas, tomando un intervalo de discretización de 0.002, y considerando  $-5 \leq t \leq 5$ :

$$\text{a) } x(t) = \begin{cases} 1, & t \leq 0.6 \\ 0, & \text{resto} \end{cases} \quad \text{b) } x(t) = \begin{cases} 1, & t \leq 0.2 \\ 0, & \text{resto} \end{cases} \quad \text{c) } x(t) = \begin{cases} 0.5t, & 0 < t \leq 1 \\ 1 - 0.5t, & 1 < t \leq 2 \\ 0, & \text{resto} \end{cases}$$

2. Suponiendo que las señales del punto 1 representan el periodo de una señal periódica,

- i. Calcule su desarrollo en series de Fourier mediante **ak=cfourier(x,T,N,dt)**, y normalice por T (**ak=T\*ak**). Al estar cada armónico está asociado a la frecuencia  $k2\pi/T$ , represente las series de Fourier normalizadas en el eje de frecuencias. Para ello emplee **stem(w,ak,'.')** y previamente defina el vector de frecuencias **w=2\*pi\*k/T**.
- ii. Incremente la longitud del vector de la señal hacia ambos lados de la siguiente manera:  
 $\text{Ti=floor(length(x)/2);}$   
 $\text{x=[zeros(1,Ti) x zeros(1,Ti)];}$
- iii. Vuelva al paso i para obtener las nuevas series de Fourier normalizadas. Considere que
  - el orden del máximo armónico a tener en cuenta es el doble que el previo (**N=2\*N**)
  - el nuevo periodo obtenido es el doble del previo (**T=2\*T**)



Repita este proceso (puede emplear un programa con un bucle **for**) y explique los resultados.

3. Implemente una función que obtenga la transformada de Fourier de una señal adaptando el programa de desarrollo en series de Fourier.

**function [X,w]=tfourier(x,t,dw,wmax)**

- El intervalo de frecuencias a calcular está entre  $-w_{max}$  y  $w_{max}$  ( $w_{max} \ll \pi/dt$ ),
- **dw** es la discretización en frecuencia en frecuencia,
- **w** es el vector con el eje frecuencial, su tamaño es el mismo que el de **x**.
- **t** es el vector con el eje temporal, su tamaño es el mismo que el de **x**.

4. Empleando en la propiedad de la dualidad de la transformada de Fourier implemente una función que calcule la transformada inversa de Fourier haciendo uso de la función de la transformada directa.

**function [x,t]=itfourier(X,w,dt,tmax)**

5. Verifique el correcto cumplimiento de las siguientes propiedades de la transformada de Fourier empleando la función **tfourier**:

- i. Propiedad de linealidad  $X(\omega) + Y(\omega) \longleftrightarrow x(t) + y(t)$  (emplee las señales a y b).
- ii. Desplazamiento en el tiempo  $e^{-j\omega t_0} X(\omega) \longleftrightarrow x(t - t_0)$  (emplee señal b).
- iii. Inversión  $X(-\omega) \longleftrightarrow x(-t)$  (emplee señal c).
- iv. Conjugación  $X(\omega)^* \longleftrightarrow x(-t)^*$  (emplee señal c).
- v. Real  $\{X(\omega)\} \longleftrightarrow \text{Parte par}\{x(t)\}$  (emplee señal c).
- vi. Imag  $\{X(\omega)\} \longleftrightarrow \text{Parte impar}\{x(t)\}$  (emplee señal c).