Curso de Doctorado

Prácticas de Procesamiento Digital de Señal

Ignacio Díaz Blanco
Área de Ingeniería de Sistemas y Automática

29 de enero de 2002

1 Descripción de los datos

En la práctica trabajaremos con datos reales, tomados de un motor asíncrono, de 4kW, 1500 rpm en distintas condiciones de funcionamiento:

- Funcionamiento normal
- Asimetría eléctrica en la alimentación (resistencia variable).
- Asimetría mecánica (masa asimétrica en el eje)
- Asimetrías eléctrica y mecánica combinadas.

Los datos consisten en una serie de registros tomados de otros tantos ensayos, indicados en la tabla 2 tomados a una frecuencia de muestreo $f_m = 5000$ Hz, procedentes de 5 sensores instalados en el motor:

Sensor	Señal
Acelerómetro situado en los cojinetes	$a_c(t)$
Acelerómetro situado en carcasa	$a_x(t)$
Acelerómetro situado en carcasa	$a_y(t)$
Corriente fase R	$i_r(t)$
Corriente fase S	$i_s(t)$

Tabla 1: Señales y sensores

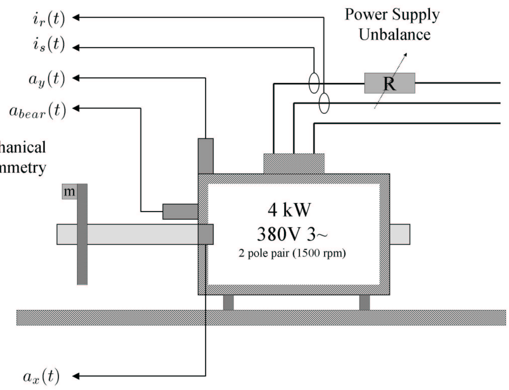

Figura 1: Esquema del equipo de ensayos

Etiqueta	Asimetría mecánica	Asimetría Eléctrica
`asim0g.dt0.mpx`	sí	no (0 Ω)
`asim0gfallor.dt0.mpx`	sí	sí (∞ Ω)
`cap0ohm.dt0.mpx`	no	0Ω
`cap10ohm.dt0.mpx`	no	10Ω
`cap15ohm.dt0.mpx`	no	15Ω
`cap20ohm.dt0.mpx`	no	20Ω
`cap5ohm.dt0.mpx`	no	5Ω
`capvarohm.dt0.mpx`	no	variable
`capvarohm2.dt0.mpx`	no	variable

Tabla 2: Etiquetas para cada uno de los ensayos

2 Prácticas.

Practica 1a: Análisis frecuencial y diseño de filtros FIR pasabajos

Se pide:

1. Obtener el espectro de las señales mediante la transformada rápida de Fourier `FFT` para una o varias variables y para uno o varios ensayos.

2. Diseñar un filtro FIR pasabajos de 250 coeficientes, con una frecuencia de corte de 50 Hz. Trazar la respuesta en frecuencia $G(e^{j\theta})$ del filtro FIR diseñado y mostrarla en un gráfico en función de la frecuencia real $f = \frac{\theta}{2\pi} f_m$.

3. Realizar el filtrado de las señales utilizando la función `filter(b,a,x)` de MATLAB.

4. Obtener el espectro de la señal filtrada mediante el filtro FIR diseñado anteriormente.

5. Realizar variaciones sobre el contenido de la práctica diseñando filtros FIR a distintas frecuencias de corte con distinto número de coeficientes. Sonificar las variables utilizando la función de MATLAB `soundsc(x,fs)`. Comentar los resultados.

Practica 1b: Diseño de filtros FIR pasabanda

Repetir la práctica anterior diseñando un filtro pasabanda que deje pasar las energías de la señal asociadas a los cojinetes. Utilizar para ello frecuencias de corte comprendidas entre $f_{ci} = 1500$ Hz y $f_{cs} = 2200$ Hz. Sonificar la señal original y la señal filtrada. Comentar los resultados.

Práctica 2: Análisis frecuencial de secuencias complejas

Una terna de corrientes (o tensiones) trifásicas sin retorno por el neutro puede analizarse empleando el llamado *vector de Park*

$$i(t) = i_r(t) + a \cdot i_s(t) + a^2 \cdot i_t(t)$$

donde $a = e^{j \cdot 2\pi/3}$

Para una terna de variables equilibrada, el vector de Park es una exponencial compleja pura que gira a la frecuencia de sincronismo. La presencia de determinadas asimetrías o fallos, habitualmente origina la aparición de armónicos de secuencia inversa (o directa), a la frecuencia de sincronismo o a otras frecuencias. La transformada de Fourier puede emplearse de forma transparente para analizar secuencias complejas (las señales reales son un caso particular).

Ciertos fallos en motores y otras máquinas eléctricas pueden detectarse analizando, entre otros, el armónico fundamental de secuencia inversa (-50 Hz) de la corriente absorbida por el motor usando el enfoque del vector de Park $i(t)$. Se pide:

- Obtener y dibujar el vector de Park de las corrientes para los distintos ensayos teniendo en cuenta que al no haber retorno por el neutro $i_r(t) + i_s(t) + i_t(t) = 0$

- Hallar y representar la FFT de la señal compleja en función de la frecuencia positiva y negativa de los distintos armónicos.

- Comentar los resultados.

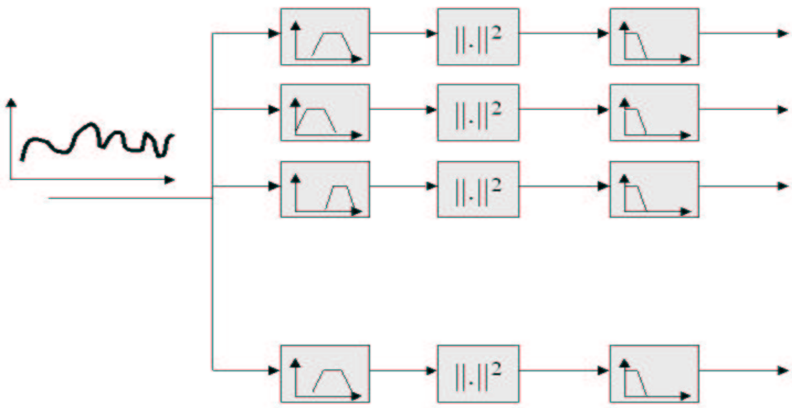

Figura 2: Diagrama de bloques de la técnica del *banco de filtros*

Práctica 3: Extracción de Características Espectrales mediante un Banco de Filtros

La extracción de características espectrales on-line es de gran utilidad para el diagnóstico de máquinas eléctricas y otros procesos industriales. En esta práctica se aplicará la técnica de los *bancos de filtros.* Esta técnica se basa en el uso de diferentes filtros pasabanda, que seleccionan energías de la señal en tramos concretos del espectro, para, finalmente, obtener la evolución de energía de la señal resultante. La ventaja de esta técnica reside en el hecho de que puede aplicarse fácilmente en DSP's y sistemas en tiempo real. Se pide, analizar una de las señales de aceleración mediante la citada técncia. Para ello puede seguirse el siguiente procedimiento (ver fig 2):

1. Obtener un filtro FIR $G(z)$ pasabajos, con un ancho de banda de 5 Hz.

2. Obtener a partir de él filtros pasabanda por desplazamiento en frecuencia. Ello es posible realizando el cambio de variable:

$$z' = z \cdot e^{j\theta} \rightarrow z = z' \cdot e^{-j\theta}$$

donde θ es la frecuencia central normalizada a $[0, 2\pi]$. Esto permite obtener unos nuevos coeficientes. Por ejemplo, si tenemos un filtro FIR de 5 coeficientes

$$G(z) = b_0 + b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2} + b_3 z^{-3} + b_4 z^{-4}$$

entonces

$$G(z') = b_0 + b_1 (z \cdot e^{-j\theta})^{-1} + b_2 (z \cdot e^{-j\theta})^{-2} + b_3 (z \cdot e^{-j\theta})^{-3} + b_4 (z \cdot e^{-j\theta})^{-4}$$

se tiene, finalmente que los nuevos coeficientes son:

$$\begin{aligned} b'_0 &= b_0 \\ b'_1 &= b_1 e^{j\theta} \\ b'_2 &= b_2 e^{2 \cdot j\theta} \\ b'_3 &= b_3 e^{3 \cdot j\theta} \\ b'_4 &= b_4 e^{4 \cdot j\theta} \end{aligned}$$

Esto nos permite obtener fácilmente los coeficientes de un filtro FIR pasabanda a frecuencias positivas o negativas, sin más que multiplicando el vector de coeficientes coeficientes $[b_0, b_1, \cdots, b_{n-1}]^T$, elemento a elemento por el vector $[1, e^{j\theta}, \cdots, e^{j(n-1)\theta}]^T$.

3. Seguir el procedimiento anterior para diseñar filtros pasabanda a frecuencias de 25, 100 y 200 Hz de las aceleraciones.

4. Aplicar los filtros pasabanda diseñados a una de las señales de aceleraciones, obteniendo las señales filtradas $a_{25}(k), a_{100}(k), a_{200}(k)$

5. Hallar la evolución temporal del contenido energético de las señales (envolvente). Para ello pueden tomarsen la señales de energía, elevándolas al cuadrado u obteniendo su valor absoluto, y luego filtrando el resultado.