

COMUNICACIONES - AÑO 2015

Práctica 5: Ruido en Sistemas de Modulación.

1. Componentes en cuadratura

a) Considere el PAESA gaussiano $X(t)$, con DEP pasabanda triangular centrada en f_c , ancho de banda $2W \ll f_c$ y potencia P_X . En cada caso obtenga media, potencia, distribución, DEP e inter-DEP de las componentes en fase y cuadratura $X_c(t)$ y $X_s(t)$ con respecto a la frecuencia f_0 y la fase θ . Grafique la DEP y la inter-DEP.

I. $f_0 = f_c$ y $\theta = 0$.

II. $f_0 = f_c$ y $\theta = -\pi/2$.

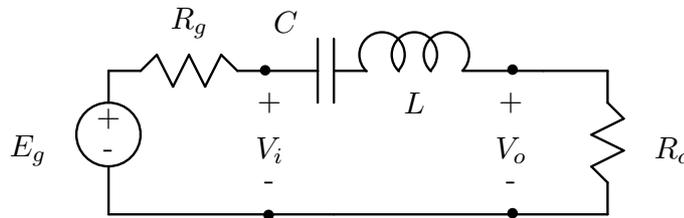
III. $f_0 = f_c - W$ y $\theta = 0$.

IV. $f_0 = f_c + W$ y $\theta = \pi/2$.

V. $f_0 = f_c - W/2$ y $\theta = 0$.

VI. $f_0 = f_c + W/2$ y $\theta = \pi$.

b) En el siguiente circuito suponga que $X(t)$ es una fuente de ruido blanco con DEP disponible $N_0/2$ y que $Q^2 = L/(R^2C) = 100$. Halle las siguientes características de las componentes en cuadratura del PA pasabanda $Y(t)$ con respecto a f_0 , la frecuencia de resonancia del circuito: media, potencia, DEP e inter-DEP. Grafique estas últimas en MATLAB. ¿Están $Y_c(t)$ e $Y_s(t)$ correlacionados?



c) Genere y grafique ruido pasa banda gaussiano utilizando las siguientes sentencias en MATLAB:

```
fm=1000000; N=1000000;
t=0:1/fm:(N-1)/fm;
n=randn(size(t));
fpb=[zeros(1,245000) ones(1,10000) zeros(1,490000) ones(1,10000) zeros(1,245000)];
nf=real(ifft(fft(n).*fpb));
figure(1); plot(t,nf); figure(2);
pwelch(nf,ones(1,10000),0,[],fm,'twosided');% DEP estimada con FFT's de largo 1000
```

Note que el filtrado realizado es no causal y no introduce retardo en la banda de paso.

- I. Observe su forma temporal usando zoom para poder apreciar la “suavidad” de su envolvente.
- II. Obtenga un modelo de componentes en fase (**nc**) y cuadratura (**ns**) con frecuencia central $f_0 = 250$ kHz. Verifique que sus DEP y potencias son correctas.
- III. Compruebe que $\mathbf{nr}=\mathbf{nc}.\cos(2\pi*250000*\mathbf{t})-\mathbf{ns}.\sin(2\pi*250000*\mathbf{t})$; es igual a **nf**.
- IV. Compruebe que $\mathbf{nr}=\mathbf{e}.\cos(2\pi*250000*\mathbf{t}+\mathbf{ph})$; es igual a **nf** con **e** y **ph** definidos adecuadamente.

d) Considere un esquema de recepción sincrónica para demodular DBL o AM. El ancho de banda del mensaje es W , el ancho de banda del filtro de predetección es $2W_1$ y el ancho de banda del filtro de de postdetección es W_2 . Obtenga un modelo de componentes en fase y cuadratura y la DEP de ruido a la salida del filtro postdetección para los siguientes casos:

I. $W_1 = 2W$ y $W_2 = W$.

II. $W_1 = W$ y $W_2 = 2W$.

III. $W_1 = W$ y $W_2 = W$.

¿Qué conclusión puede sacar de los resultados anteriores? ¿Cuál de los tres casos anteriores elegiría para demodular AM con detección de envolvente?

2. Demodulando BLU de toda forma posible

Considere la recepción de una señal de BLU superior contaminada con ruido aditivo blanco y gaussiano con DEP $N_0/2$ y filtrada idealmente en el ancho de banda de la señal.

- Expresar la señal recibida en función del mensaje $m(t)$, de ancho de banda W , y su transformada de Hilbert. La potencia recibida es P y el valor cuadrático medio de $m(t)$ es 1.
- Expresar de manera conveniente al ruido pasa-banda utilizando el modelo de componentes en fase y en cuadratura. Caracterice estas componentes (media, var., distrib., estac., DEP e inter-DEP).
- Obtenga la relación $(S/N)_1$ luego de la demodulación coherente.
- Una alternativa para recuperar el mensaje es demodular en forma coherente la componente en cuadratura y luego tomar su transformada de Hilbert. Verifique esta afirmación y calcule la relación $(S/N)_2$ obtenida.
- Una tercer forma para recuperar $m(t)$ sería demodular de las dos formas anteriores y sumar los resultados, con la esperanza de obtener una mejora en la relación S/N . ¿Qué debería verificarse para que haya efectivamente una mejora? Usando los resultados obtenidos en **b)** y que si X , Y y Z son PAESA y $Y = X * h \Rightarrow R_{YZ} = R_{XZ} * h$ calcule la relación $(S/N)_3$.

3. Desempeño de FM

Considere un esquema de recepción de FM formado por un filtro de predetección pasabanda, un discriminador de frecuencia, y un filtro de postdetección pasabajos. La señal que se debe demodular posee un ancho de banda W y al normalizar su amplitud (para que tenga valor absoluto máximo 1) su valor cuadrático medio es P_M . Se utilizó una relación de desviación $D = \Delta f_{Max}/W$ y se modela al ruido que afecta a la señal como aditivo, blanco y gaussiano, con d.e.p. $N_0/2$.

- Indique los anchos de banda de los filtros -supuestos ideales- de acuerdo al criterio de Carlson.
- Expresar al ruido pasabanda utilizando el modelo de componentes en fase, $n_c(t)$, y en cuadratura, $n_s(t)$. Caracterice estas componentes (media, var., distrib., estac., DEP e inter-DEP).
- Obtenga la relación SNR a la entrada suponiendo que la señal recibida tiene amplitud A .
- Admitiendo que para SNR de entrada alta podemos modelar el ruido de fase como $\phi_n(t) = n_s(t)/A$ sumado a la fase instantánea de la señal de FM, y que el discriminador calcula la derivada de la fase de entrada, obtenga la DEP de ruido a su salida.
- Calcule la relación SNR a la salida del filtro de postdetección. Normalice el resultado anterior dividiendo por P_R/N_0W , con P_R la potencia recibida, para obtener la figura de mérito de FM.

4. ¿Quién llega más lejos?

Se desea transmitir un mensaje con ancho de banda $W = 10$ kHz por un cable coaxil (a $T = 290$ K) con atenuación de 30dB/km a la frecuencia de portadora y con una potencia de 1W en el transmisor. En un principio se opta por usar DBL.

- Suponga que la señal es recibida con potencia P_R más ruido aditivo blanco y gaussiano, con DEP $N_0/2$. Expresar de manera conveniente al ruido pasa-banda utilizando el modelo de componentes en fase y en cuadratura. Caracterice éstas componentes (media, var., distrib., estac., DEP e inter-DEP).
- Obtenga la relación SNR luego de la demodulación coherente en función de la SNR recibida.
- Si la figura de ruido del receptor es 2dB, ¿cuál es la máxima distancia que puede alcanzarse si se necesita que la SNR al demodular sea 40dB? (Suponga que la temperatura equivalente de ruido del transmisor es también $T = 290$ K y que todo está adaptado).
- ¿Podría extenderse esta distancia 1km más si se utilizara FM con una desviación de frecuencia suficientemente grande? ¿Por qué?

5. Demodulación Digital de FM

En este ejercicio se propone analizar una técnica para demodulación de señales de FM en forma digital mediante simulación. Debido a que se utilizan secuencias debe tenerse presente que el uso técnicas de procesamiento no lineal como limitadores y detectores de envolvente, pueden degradar la señal recibida ya que las altas frecuencias generadas producen un efecto de "aliasing" en el espectro. Luego, el uso de estas técnicas, más propias del mundo analógico, implicaría usar una frecuencia de muestreo excesivamente alta. En su lugar usaremos una técnica para demodular que consiste en obtener las componentes en fase y cuadratura de la señal recibida. Luego, mediante procesamiento digital es posible obtener la fase de esta señal usando una función arcotangente. Como ya hicimos en el ejercicio 3 de la práctica previa, el mensaje simulado será aleatorio y tal que al ser integrado su espectro resulte plano, a fin de visualizar mejor los espectros en las distintas etapas de la demodulación. Para poder comparar directamente la señal demodulada con la originalmente transmitida implementaremos las distintas etapas de filtrado directamente en frecuencia, y con fase nula. De este modo el filtrado no producirá retardos en la señal.

- a) Genere el mensaje aleatorio, con 25 kHz de ancho de banda y largo $N = 1e6$ y module en FM con una portadora en 100 kHz y $D=1$. Como en casos anteriores puede utilizar una frecuencia de muestreo de 1MHz. Estime su DEP promediando FFT's de largo 1000, usando la función `pwelch`. Para ello puede guiarse por las siguientes sentencias:

```
%%% Generación del mensaje %%%
fm=1000000; N=1000000; t=0:1/fm:(N-1)/fm; m=randn(size(t));
flp=[ones(1,25000) zeros(1,950000) ones(1,25000)];
m=real(ifft(fft(m).*flp)); %Filtrado "en frecuencia"
mf=filter([1 -1]*fm,1,m); %Terminamos de "armar" el mensaje
mf(1)=0; % Borrarnos el transitorio inicial del filtrado anterior...
m=mf-mean(mf); mn=m/max(abs(m)); %Normalizado del mensaje
figure(1); plot(t,mn)
xlabel('Tiempo [s]'); ylabel('m(t)');title('Señal Moduladora')
figure(2); pwelch(mn,ones(1,10000),0,[],fm,'twosided');
title('Densidad Espectral de Potencia Estimada')
%%% Modulación en frecuencia %%%
fc= 100000; % frecuencia de la portadora [Hz]
Ac= 10; % amplitud de la portadora
fd= 25000; % Cte de desviación de frecuencia
desv=2*pi*fd*cumsum(mn)*1/fm; xc=Ac.*cos(2*pi*fc.*t+desv);
figure(3); pwelch(xc,ones(1,10000),0,[],fm,'twosided');
```

- b) Adicione ruido blanco gaussiano con 100 veces menos potencia que la señal y filtre la señal recibida con el filtro de predetección correspondiente. Para ello puede guiarse con las siguientes sentencias:

```
xn=xc+randn(size(xc))*0.707;
figure(4); pwelch(xn,ones(1,10000),0,[],fm,'twosided');
fpb=[zeros(1,50000) ones(1,100000) zeros(1,700000) ones(1,100000) zeros(1,50000)];
xf=real(ifft(fft(xn).*fpb));
figure(5); pwelch(xf,ones(1,10000),0,[],fm,'twosided');
```

Observe también la amplitud de la señal recibida. Calcule la relación señal a ruido de predetección.

- c) Obtenga las componentes en fase y cuadratura de la señal recibida. Del mismo modo que en el caso del ruido pasabanda estas componentes se obtienen mediante demodulación coherente con una misma referencia de frecuencia, una en fase y otra en cuadratura. Luego obtenga la fase de la señal recibida por derivación obtenga el mensaje demodulado. Para ello puede guiarse con las siguientes sentencias:

```
flp=[ones(1,50000) zeros(1,900000) ones(1,50000)];
xnc=real(ifft(fft(2*xf.*cos(2*pi*fc*t)).*flp)); % Componente en fase
```

```

xns=real(iff(fft(-2*xf.*sin(2*pi*fc*t)).*flp));% Componente en cuadratura
figure(6); pwelch(xnc,ones(1,10000),0,[],fm,'twosided');
figure(7); pwelch(xns,ones(1,10000),0,[],fm,'twosided');
ph=unwrap(atan2(xns,xnc)); % Fase instantánea de la señal recibida.
d=filter([1 -1],1,ph)/(2*pi)*fm; % Frecuencia instantánea de la señal recibida
flp=[ones(1,25000) zeros(1,950000) ones(1,25000)];
y=real(iff(fft(d).*flp)); % Filtrado en el ancho de banda del mensaje
ym=y-mean(y); yd=ym/max(abs(ym));% Corrección del valor medio y puesta en escala

```

Calcule la relación señal a ruido de postdetección. Compare con el resultado teórico correspondiente.
¿Qué sucedería si hay un error de frecuencia en el oscilador local usado para calcular las componentes?
¿Afectaría esto a la demodulación del mensaje? Verifique sus afirmaciones repitiendo las simulaciones previas con un error de 10 Hz en el cálculo de las componentes en fase y cuadratura.

- d) Modifique las rutinas anteriores para simular FM con una portadora en 200 kHz y $D=4$. Vuelva a comparar los valores de relación señal a ruido de pre y postdetección obtenidos en la simulación y usando las fórmulas teóricas. Puede cambiar también el nivel de ruido adicionado y ver cómo se modifican los resultados. Note que si el nivel de ruido es considerable aparecerá el efecto de umbral. Por otro lado si utiliza valores de ruido muy chicos no podrá obtener resultados de relación señal a ruido de postdetección mayores a 50 dB debido a errores numéricos de la simulación.
- e) Demodule los mensajes presentes en el archivo `signal_modFM.zip`, ya utilizado en la práctica anterior, que contiene muestras de la banda de FM comercial local.

6. AM eficiente o DBL-PP (DBL con un Poquito de Portadora).

Considere la recepción de una señal modulada en AM $x(t) = A(1 + a.m_n(t)) \cos(2\pi f_c t + \theta) + n(t)$. El mensaje normalizado $m_n(t)$ tiene potencia $P_M = 0,1$ y espectro no nulo de 200Hz a $W = 4$ kHz, el índice de modulación es $a = 1$ y el ruido $n(t)$ blanco gaussiano y con DEP $N_0/2$.

- a) Exprese la señal recibida utilizando un modelo de componentes en fase y cuadratura del ruido presente. Obtenga una expresión para la envolvente de la señal recibida. Haciendo una aproximación para SNR grandes obtenga la relación SNR_D obtenida al utilizar un detector de envolvente.
- b) Obtenga el factor de mérito de AM, recordando que para la potencia recibida debe considerar tanto la de las bandas laterales como la de la portadora.

Decepcionado por el resultado anterior Ud. decide que se está derrochando mucha potencia en la portadora transmitida, pero consciente de la complejidad asociada a la demodulación sincrónica de DBL-PS decide un esquema intermedio: Bajar la potencia de portadora de modo que pueda recuperarse en el receptor con un filtro pasabanda, y con ella realizar la demodulación coherente de las bandas laterales.

- c) Suponiendo que el ancho de banda del filtro para recuperar la portadora es $B_p = 200$ Hz y usando un nuevo modelo de componentes en fase y cuadratura, obtenga una expresión para la fase de la señal a la salida del filtro pasabanda (la envolvente no es importante pues se usará un limitador). Asumiendo SNR_P de la portadora grande halle una expresión aproximada para el ruido de fase resultante. Obtenga su varianza σ_ϕ^2 en función de la SNR_P .
- d) Suponiendo que el ruido de fase es gaussiano e independiente del ruido en las bandas laterales (están en bandas separadas) vimos que en la demodulación resulta: $SNR_D = \frac{SNR_I}{1 + 3\sigma_\phi^4 SNR_I/4}$, donde SNR_I es la SNR en la demodulación suponiendo que hay sincronización de fase perfecta. Halle la SNR_P necesaria para que el segundo término en el denominador sea despreciable (o sea igual a 0.1) si la SNR_I es de 30dB.
- e) Calcule el índice de modulación a necesario para lograr la SNR_P hallada en d) y con él obtenga el factor de mérito del sistema DBL-PP.