



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

Diseño de receptores para modulación digital ASK (Amplitude-Shift Keying)

Apellidos y nombre: Flores Asenjo, Santiago J. (sflores@dcom.upv.es)¹

Departamento/Centro: ¹Departamento de Comunicaciones
Escola Politècnica Superior de Gandia
Universitat Politècnica de València

Índice general

1. Resumen de las ideas clave	2
2. Introducción	2
3. Objetivos	2
4. Desarrollo	3
4.1. Receptor óptimo basado en el filtro adaptado	3
4.2. Receptor óptimo basado en el filtro correlador	4
4.3. Receptores no coherentes	5
4.3.1. Receptor cuasi coherente	5
4.3.2. Receptor basado en detección de envolvente	6
4.3.3. Receptor en cuadratura	6
5. Cierre	7
Bibliografía	8

1 Resumen de las ideas clave

En este artículo docente se van a presentar distintos modelos de receptores ASK (Amplitude-Shift Keying) binarios. Las ideas clave se resumen en la [tabla 1](#).

Ideas clave
1. ¿Cómo sería el modelo óptimo de receptor ASK binario basado en el filtro adaptado?
2. ¿Se puede simplificar este modelo utilizando un filtro correlador sin pérdida de prestaciones?
3. ¿Es posible diseñar un receptor ASK que no precise detección coherente?
4. ¿Qué posibles modelos de receptores no coherentes se pueden utilizar para ASK?

Tabla 1: Resumen de las ideas clave

A lo largo del documento trataremos de dar respuestas a todas estas cuestiones, que quedarán resumidas en la [sección 5](#).

2 Introducción

Para poder abordar el estudio que nos hemos planteado en este artículo docente, el alumno debería tener conocimientos suficientes sobre los siguientes aspectos:

- Las modulaciones de tipo ASK (Amplitude-Shift Keying), que pueden ser utilizadas en sistemas de comunicaciones digitales.
- El cálculo de la probabilidad de error por bit en un receptor digital binario en presencia de ruido térmico, modelado matemáticamente como un proceso estocástico **AWGN**.
- El diseño genérico de receptores digitales binarios que sean óptimos en términos de minimización de la probabilidad de error por bit.

En cualquier caso, se harán referencias en el texto a la bibliografía para ampliar todos estos puntos.

3 Objetivos

Una vez que el alumno estudie con detenimiento este artículo docente, será capaz de:

- Diseñar el esquema de un receptor digital binario apropiado para modulaciones ASK, óptimo en términos de probabilidad de error por bit.
- Plantear alternativas al esquema anterior que, sin necesidad de utilizar detección coherente, sirvan para recibir las modulaciones ASK de forma cuasi óptima.

4 Desarrollo

Se pretende diseñar un receptor para una señal digital ASK (*Amplitude-Shift Keying* o Modulación por variaciones de Amplitud). Esta señal consiste en una sucesión de pulsos $g(t)$, enviados cada T segundos modulados en DBL (Doble Banda Lateral) con una portadora de frecuencia f_o , teniendo cada uno de ellos una amplitud de valor a_k , que es donde realmente reside la información digital (Sklar 2001):

$$s_{ASK}(t) = \sum_k a_k g(t - kT) \cos(2\pi f_o t) \quad (1)$$

Al pulso $g(t)$ se le llama **pulso conformador** y, aunque no sirve más que de transporte de la información contenida en a_k , determinará en gran parte las características espectrales de esta señal digital (Flores 2018).

En este artículo consideraremos solamente el caso binario, es decir, aquel en el cual solamente se pueden recibir dos posibles valores de amplitud a_k : A voltios para el bit 1, y 0 voltios para el bit 0. Este sencillo tipo de modulación es conocido habitualmente con el nombre de *On-Off Keying* (OOK).

4.1 Receptor óptimo basado en el filtro adaptado

Sea $r(t)$ una señal recibida tipo OOK (ASK binaria). En cada momento (y en ausencia de ruidos o demás perturbaciones) sólo puede tener dos valores: $r(t) = 0$ cuando se recibe un bit igual a 0, y $r(t) = A \cos(2\pi f_o t)$ cuando se recibe un bit igual a 1 (se ha supuesto por simplicidad que la fase con la que llega es nula).

Teniendo en cuenta estas características, el receptor óptimo que permite obtener la menor probabilidad de error por bit será el de la [figura 1](#).

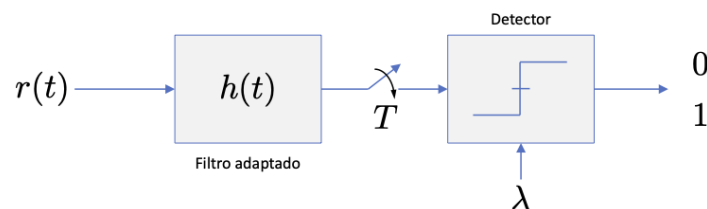


Figura 1: Esquema del receptor ASK binario óptimo mediante filtro adaptado

En este receptor, se puede utilizar como demodulador un filtro adaptado a la señal esperada al recibir el bit 1: $A \cos(2\pi f_o t)$. De esta forma, seleccionando el umbral λ apropiado en el detector, se detectarán los bits recibidos (0 o 1) con la menor probabilidad de error posible (Flores 2020).

El hecho de que se trate de un filtro adaptado perfectamente a la señal esperada, implica que lo sea a su frecuencia portadora (f_o) y a su fase en el momento de llegar al receptor (en este caso, cero). Es, por tanto, un **receptor coherente**.

4.2 Receptor óptimo basado en el filtro correlador

El filtro adaptado de la [figura 1](#) suele resultar difícil de implementar, por lo que resulta conveniente sustituirlo por un esquema mucho más sencillo basado en el filtro correlador, como se muestra en la [figura 2](#).

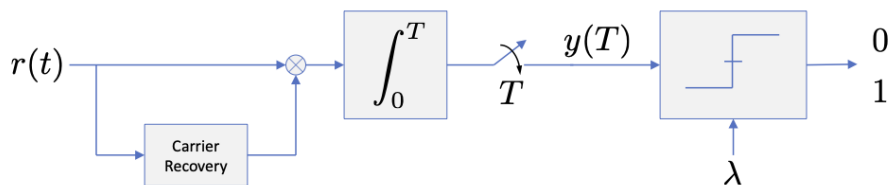


Figura 2: Esquema del receptor ASK binario óptimo mediante filtro correlador

Vemos que la señal de referencia, que se multiplica por la señal $r(t)$ a la entrada, se extrae directamente de ella mediante un filtro *extractor de portadora* (o *carrier recovery*) que garantiza que el producto se haga con la misma frecuencia y fase (detección coherente). Si todo va bien, podemos suponer que la salida de dicho filtro extractor será $A \cos(2\pi f_o t)$, para lo cual hay que asegurar que no haya largos intervalos de tiempo en los que sólo se reciban ceros, ya que durante ese tiempo $r(t) = 0$, y no será posible extraer la portadora.

Así pues, la señal obtenida tras muestrear en el instante T (periodo de símbolo), será:

$$y(T) = \int_0^T r(t) A \cos(2\pi f_o t) dt \quad (2)$$

Esta $y(T)$ tendrá dos posibles valores: $y(T) = 0$ cuando se recibe un bit 0, y $y(T) = A^2 \frac{T}{2}$ cuando se recibe un bit igual a 1, es decir, cuando $r(t) = A \cos(2\pi f_o t)$. Por tanto, el umbral óptimo habrá que ponerlo en el punto medio entre ambos valores, es decir:

$$\lambda = \frac{A^2 T}{4} \quad (3)$$

Ejercicio 1 Se propone el cálculo de la probabilidad de error por bit para este caso óptimo. En caso de duda, se recomienda el repaso del cálculo para el caso general binario (Flores 2020).

Ejercicio 2 Puede resultar interesante calcular el valor de los umbrales que se necesitarán cuando la señal recibida no sea binaria, sino multinivel. Tenga en cuenta que, para una señal ASK de M niveles, se necesitan calcular $M - 1$ umbrales de separación. Así, se propone el cálculo del valor de los tres umbrales necesarios para una señal ASK de 4 niveles, en la que los símbolos esperados sean $s_1(t) = 0$, $s_2(t) = A \cos(2\pi f_o t)$, $s_3(t) = 2A \cos(2\pi f_o t)$ y $s_4(t) = 3A \cos(2\pi f_o t)$. Puede considerar que la salida del filtro extractor de portadora sigue siendo $A \cos(2\pi f_o t)$ en todo momento.

4.3 Receptores no coherentes

Los circuitos necesarios para asegurar la coherencia en fase de la señal de entrada con la referencia pueden ser complejos y encarecen los receptores.

Interesa disponer de alternativas de recepción no coherente más simples, a costa, eso sí, de una pérdida de prestaciones en términos de probabilidad de error por bit.

En el caso de ASK, la información se encuentra en la amplitud de las señales recibidas, por lo que resulta factible diseñar receptores no coherentes para este tipo de modulación digital.

En esta sección veremos algunos ejemplos de receptores no coherentes para ASK, particularizados para el caso OOK.

4.3.1 Receptor cuasi coherente

Si nos fijamos en el receptor basado en el filtro correlador de la anterior [figura 2](#), vemos que a la entrada del bloque integrador lo que se tiene es, o bien una señal que vale 0 cuando llega el bit 0, o bien una señal que vale $A^2 \cos^2(2\pi f_o t)$ cuando llega el bit 1.

Por tanto, este esquema puede ser fácilmente modificado sustituyendo el bloque extractor de portadora (*carrier recovery*) y el multiplicador por un bloque que simplemente calcule el cuadrado de la señal, tal y como se ve en la [figura 3](#).

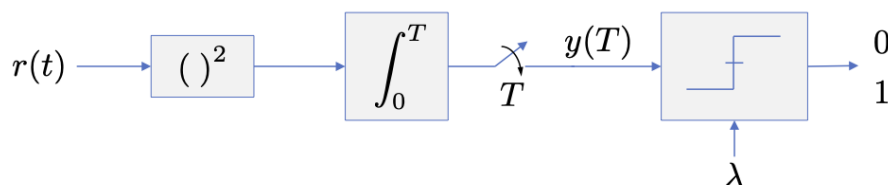


Figura 3: Esquema del receptor ASK binario cuasi coherente

Fácilmente se deduce que, de esta forma, el umbral del decisor óptimo tendrá que ser el mismo que el calculado en la [ecuación 3](#).

Las prestaciones de este receptor no coherente son algo peores que la del coherente basado en el filtro correlador, y la forma de justificarlo es apreciando que, a la salida del bloque que calcula el cuadrado de la señal, el ruido tendrá una potencia mayor que a la entrada, al no tratarse de un sistema lineal.

4.3.2 Receptor basado en detección de envolvente

Otra forma fácil de detectar modulaciones ASK es mediante el uso de un detector de envolvente, tal y como se presenta en la [figura 4](#). Es conveniente filtrar previamente la señal recibida mediante un filtro paso banda que elimine ruido fuera de banda y posibles interferencias adyacentes.

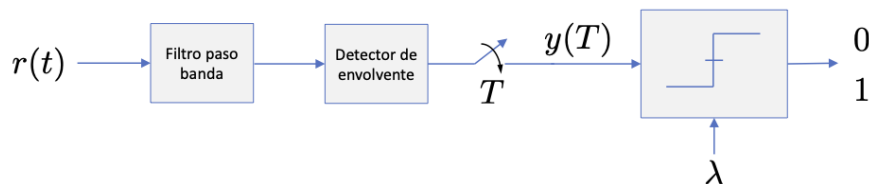


Figura 4: Esquema del receptor ASK binario mediante detección de envolvente

Es bien conocido que las prestaciones en presencia de ruido de este tipo de receptores son inferiores a las del receptor coherente ([Wikipedia 2021](#)).

4.3.3 Receptor en cuadratura

El receptor en cuadratura que se presenta en la [figura 5](#) es aparentemente complejo, pero en realidad no lo es, ya que prescinde de cualquier circuito de detección de fase a la entrada.

Consiste en dos ramas separadas en las que se calcula, por un lado, la correlación de la señal recibida con un coseno de la misma frecuencia de la portadora, pero de fase arbitraria (rama superior), y, por otro, la correlación con un seno obtenido mediante un desfaseador en $\pi/2$ del anterior coseno (rama inferior).

Para comprobar el funcionamiento, tenemos que calcular el valor de $y(T)$ en ausencia de ruido, tanto cuando llega un bit 0, como cuando llega un bit 1. En el primer caso, el valor obtenido es, evidentemente, cero, ya que $r(t) = 0$. En el segundo caso, el cálculo es algo más elaborado:

$$\begin{aligned}
 r(t) = A \cos(2\pi f_o t) \Rightarrow y(T) &= \left(\int_0^T A \cos^2(2\pi f_o t) dt \right)^2 + \left(\int_0^T A \cos(2\pi f_o t) \sin(2\pi f_o t) dt \right)^2 = \\
 &= \left(A \frac{T}{2} \right)^2 + \left(A \frac{T}{2} \right)^2 = \frac{A^2 T^2}{2} \quad (4)
 \end{aligned}$$

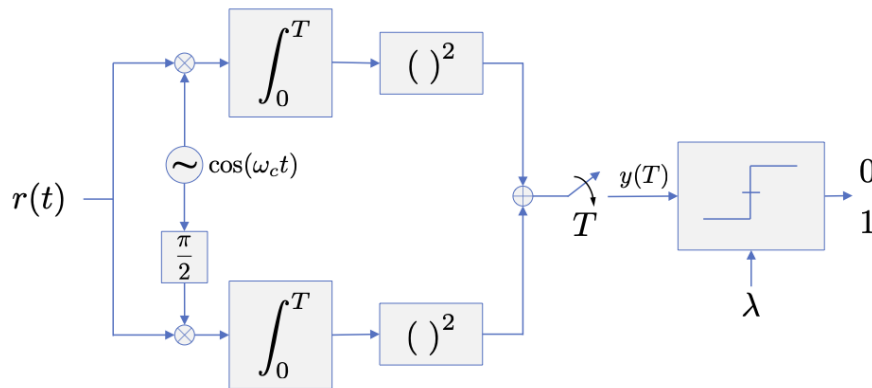


Figura 5: Esquema del receptor ASK binario en cuadratura

De esta forma, para minimizar la probabilidad de error, el umbral habrá que posicionarlo en el punto medio, cuyo valor ahora es: $\lambda = \frac{A^2 T^2}{4}$.

Ejercicio 3 Se propone volver a calcular el valor de $y(T)$ en ausencia de ruido obtenido en la [ecuación 4](#), pero suponiendo ahora que la señal $r(t)$ llega con un desfase arbitrario φ , es decir: $r(t) = A \cos(2\pi f_o t - \varphi)$. Podrá comprobar que este desfase no afecta al resultado final ni, por tanto, a la detección. Tenga en cuenta en el desarrollo que $\cos(2\pi f_o t - \varphi) = \cos(2\pi f_o t) \cos \varphi - \sin(2\pi f_o t) \sin \varphi$.

Las prestaciones de este receptor también son algo peores que la del coherente basado en el filtro correlador. Esto se justifica teniendo en cuenta que el valor predetectado $y(T)$ se verá afectado tanto por el ruido en fase (rama superior), como por el ruido en cuadratura (rama inferior), así como la no linealidad de los bloques que calculan los cuadrados.

5 Cierre

Estamos ya en disposición de repasar las ideas claves de la [tabla 1](#) del principio del artículo para ver si han quedado aclaradas y respondidas las cuestiones que se presentaron:

1. El esquema básico del receptor digital binario ASK basado en el filtro adaptado se ha introducido en la [figura 1](#).
2. Una simplificación del anterior, tomando como base el filtro correlador, ha sido visto en la [figura 2](#).
3. Como la modulación ASK transporta la información digital en la amplitud de la señal recibida, es posible construir receptores que no necesiten detectar la fase. Estos receptores no coherentes se han presentado en la [subsección 4.3](#).
4. Concretamente, se han visto el receptor cuasi coherente ([figura 3](#)), el basado en el detector de envolvente ([figura 4](#)), y otro en cuadratura ([figura 5](#)).

Finalmente, podemos añadir que la elección entre un receptor coherente o uno no coherente dependerá de si el empeoramiento de la probabilidad de error por bit en estos últimos se ve compensado por la reducción de complejidad y su consiguiente abaratamiento.

Bibliografía

Flores, Santiago J. (mar. de 2018). *Eficiencia espectral de una señal digital ASK multinivel*. RiuNet, repositorio UPV. URL: <https://hdl.handle.net/10251/99765> (vid. pág. 3).

— (mayo de 2020). *Cálculo de la probabilidad de error por bit mínima en un receptor digital binario utilizando símbolos genéricos*. RiuNet, repositorio UPV. URL: <https://hdl.handle.net/10251/143922> (vid. págs. 3, 4).

Sklar, Bernard (2001). *Digital Communications. Fundamental and Applications*. Prentice Hall. ISBN: 978-0-13-084788-1 (vid. pág. 3).

Wikipedia, Colaboradores de (2021). *Envelope detector*. Wikipedia, La enciclopedia libre. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Envelope_detector (vid. pág. 6).