

Figura 5.14.- Salida del generador de error con *beta*=0.25 en el sistema QPSK para distintos valores de la relación señal a ruido y offset de frecuencia del 1%.



Figura 5.15.- Salida del generador de error con *beta*=0.5 en el sistema QPSK para distintos valores de la relación señal a ruido y offset de frecuencia del 1%.



Figura 5.16.- Salida del generador de error con *beta*=0.75 en el sistema QPSK para distintos valores de la relación señal a ruido y offset de frecuencia del 1%.



Figura 5.17.- Salida del generador de error con *beta*=0.25 en el sistema QPSK para distintos valores de la relación señal a ruido y offset de frecuencia del 4%.



Figura 5.18.- Salida del generador de error con *beta*=0.5 en el sistema QPSK para distintos valores de la relación señal a ruido y offset de frecuencia del 4%.



Figura 5.19.- Salida del generador de error con *beta*=0.75 en el sistema QPSK para distintos valores de la relación señal a ruido y offset de frecuencia del 4%.



Figura 5.20.- Salida del generador de error con *beta*=0.25 en el sistema QPSK para distintos valores de la relación señal a ruido y offset de frecuencia del 7%.



Figura 5.21.- Salida del generador de error con *beta*=0.5 en el sistema QPSK para distintos valores de la relación señal a ruido y offset de frecuencia del 7%.



Figura 5.22.- Salida del generador de error con *beta*=0.75 en el sistema QPSK para distintos valores de la relación señal a ruido y offset de frecuencia del 7%.



Figura 5.23.- Salida del generador de error con *beta*=0.25 en el sistema QPSK para distintos valores de la relación señal a ruido y offset de frecuencia del 10%.



Figura 5.24.- Salida del generador de error con *beta*=0.5 en el sistema QPSK para distintos valores de la relación señal a ruido y offset de frecuencia del 10%.



Figura 5.25.- Salida del generador de error con *beta*=0.75 en el sistema QPSK para distintos valores de la relación señal a ruido y offset de frecuencia del 10%.



Figura 5.26.- Salida del generador de error con *beta*=0.25 en el sistema 8-PSK para distintos valores de la relación señal a ruido y offset de frecuencia del 1%.



Figura 5.27.- Salida del generador de error con *beta*=0.5 en el sistema 8-PSK para distintos valores de la relación señal a ruido y offset de frecuencia del 1%.



Figura 5.28.- Salida del generador de error con *beta*=0.75 en el sistema 8-PSK para distintos valores de la relación señal a ruido y offset de frecuencia del 1%.



Figura 5.29.- Salida del generador de error con *beta*=0.25 en el sistema 8-PSK para distintos valores de la relación señal a ruido y offset de frecuencia del 2.5%.



Figura 5.30.- Salida del generador de error con *beta*=0.5 en el sistema 8-PSK para distintos valores de la relación señal a ruido y offset de frecuencia del 2.5%.



Figura 5.31.- Salida del generador de error con *beta*=0.75 en el sistema 8-PSK para distintos valores de la relación señal a ruido y offset de frecuencia del 2.5%.



Figura 5.32.- Salida del generador de error con *beta*=0.25 en el sistema 8-PSK para distintos valores de la relación señal a ruido y offset de frecuencia del 5%.



Figura 5.33.- Salida del generador de error con *beta*=0.5 en el sistema 8-PSK para distintos valores de la relación señal a ruido y offset de frecuencia del 5%.



Figura 5.34.- Salida del generador de error con *beta*=0.75 en el sistema 8-PSK para distintos valores de la relación señal a ruido y offset de frecuencia del 5%.

Lo primero que se observa a la vista de las gráficas es que sólo algunas de ellas tienen una forma de diente de sierra truncado perfecta, mientras que en la mayoría los dientes se truncan en distintos valores de e(k) (parámetro *edk*). Se obtienen entonces algunas curvas a la salida del detector de frecuencia y fase irregulares, aunque periódicas, aun en el caso de que el ruido sea prácticamente inapreciable. La explicación de este comportamiento la hallamos en la relación entre $\Delta \phi$ y $\theta = \beta \pi/4$ y la relación entre $\Delta \phi$ y $\pi/4$ (para sistemas QPSK; análogamente, las causas son la relación entre $\Delta \phi$ y $\theta = \beta \pi/8$ y la relación entre $\Delta \phi$ y $\pi/8$ en sistemas 8-PSK). Si no tenemos en cuenta el ruido, una muestra que llega en el instante k tiene una fase

$$\varphi(\mathbf{k}) = \Delta \varphi + \varphi(\mathbf{k} \cdot 1) \tag{5.3}$$

Para que todos los "dientes" de la curva se trunquen en el mismo punto θ , tendría que cumplirse que $\theta = n\Delta \varphi$, con n entero. No sólo eso: si analizamos la entrada al generador de error para valores en los que se obtiene una curva muy irregular, por ejemplo, la entrada para la que se obtiene la salida representada en la figura 5.21, esto

es, el generador QPSK con $\beta = 0.5$ cuando el offset de frecuencia es del 7%, la entrada tampoco tiene una forma de diente de sierra regular, dado que tendría que cumplirse para esto que $\pi/4 = m\Delta\phi$, con m entero. Esto se cumplirá para unos offsets de frecuencia pequeños, pero no se dará para valores más altos; por ejemplo, para f_dT_m = 0.07 (7%), se obtiene un valor de $\Delta\phi = 2\pi \cdot 0.07 = 0.14\pi$, de forma que $\pi/4 \neq n\Delta\phi$. Esto hace que la entrada al generador de error en este caso tenga el aspecto que muestra la figura 5.35, y contribuya notablemente a la irregularidad de la salida de este bloque. Podemos concluir que este efecto se da por la naturaleza discreta del sistema, y que depende de la relación entre f_d y T_m, esto es, depende del valor del incremento de fase $\Delta\phi$.



Figura 5.35.- Señal de entrada al generador de error en un sistema QPSK con SNR = 60 dB cuando nu = 7%.

Lo siguiente a tener en cuenta es cómo la presencia de ruido distorsiona la señal, como se puede apreciar comparando las cuatro gráficas que componen una figura cualquiera de las comprendidas entre la figura 5.14 y la figura 5.34. Este efecto y el que hemos comentado antes van a influir después en la salida del filtro de media.

Los "dientes" de la salida del generador de error son más estrechos cuanto mayor es f_d , lo cual es lógico porque la fase se incrementa más rápidamente cuanto mayor es el offset de frecuencia, pero también resultan ser más estrechos cuanto mayor es el valor que escogemos de β . Ello es así porque para un valor pequeño de este parámetro, truncamos antes la entrada y la salida se mantiene hasta después en el valor en el que hemos truncado la curva de entrada dado que tarda más en cumplirse la condición para que el detector opere en modo de seguimiento. Entonces, cuanto mayor sea β , mayor será el tiempo que esté en modo *track* y esto influirá también en el valor de la media que realice el filtro del bucle. Entonces, nuestro sistema se comportará de modo distinto dependiendo del valor de β que escojamos.

Otra cuestión en cuanto al valor de β : para valores altos de f_d, en el caso de β = 0.25 el sistema deja de ser efectivo antes que para los otros valores de β . Esto se puede observar en las figuras 5.23 y 5.32; para un receptor QPSK, cuando la entrada está afectada por una desviación de frecuencia del 10% el generador de error en el que β = 0.25 da una salida que no nos sirve para obtener el signo de la desviación de frecuencia. Igual pasa con el sistema 8-PSK para desviaciones de frecuencia del 5%. Esto nos indica, pues, que el rango de adquisición del bucle no va a ser el mismo para cualquier valor de β , lo cual debe ser tenido en cuenta a la hora de elegir un valor para este parámetro. Para los valores de desviación del 10% en QPSK y del 5% en 8-PSK las curvas de las figuras 5.24 y 5.25 y las de las figuras 5.33 y 5.34 aparecen bastante distorsionadas, el ruido afecta fuertemente, más que para valores de f_d menos extremos, pudiendo observarse que cuando la relación señal a ruido es de 10 dB las curvas de f_d menores hace pensar que esos valores de f_l están cerca del límite del rango de adquisición.

Cabe ahora hacer una comparación entre los dos sistemas vistos, uno con señales QPSK y el otro con señales 8-PSK. Las curvas del segundo se empiezan a deteriorar para valores de f_d menores que las del primero, aproximadamente la mitad. Esto era de esperar, ya que la periodicidad del detector de fase 8-PSK es de la mitad que la del detector de fase QPSK, con lo cual la amplitud de la curva también es de la mitad (comparar figuras 3.9 y 3.10). Por lo tanto, el valor de θ también será de la mitad para un determinado valor del parámetro β , con lo cual la curva e(k) alcanza valores menores de amplitud, lo cual hace que se deteriore antes.

Lo último que vamos a comentar sobre la salida del generador de error es su funcionamiento cuando el offset de frecuencia es negativo. Podemos observar en las figuras 5.36, 5.37 y 5.38 cómo para un valor de f_1 de -5% la salida es una curva con

componente de continua negativa (sistema QPSK). Igualmente ocurre en las curvas de las figuras 5.39, 5.40 y 5.41 para un offset $f_d = -2\%$ (sistema 8-PSK).



Figura 5.36.- Salida del generador de error con *beta*=0.25 en el sistema QPSK para distintos valores de la relación señal a ruido y offset de frecuencia de -5%.



Figura 5.37.- Salida del generador de error con *beta*=0.5 en el sistema QPSK para distintos valores de la relación señal a ruido y offset de frecuencia de -5%.



Figura 5.38.- Salida del generador de error con *beta*=0.75 en el sistema QPSK para distintos valores de la relación señal a ruido y offset de frecuencia de -5%.



Figura 5.39.- Salida del generador de error con *beta*=0.25 en el sistema 8-PSK para distintos valores de la relación señal a ruido y offset de frecuencia de -2%.



Figura 5.40.- Salida del generador de error con *beta*=0.5 en el sistema 8-PSK para distintos valores de la relación señal a ruido y offset de frecuencia de -2%.



Figura 5.41.- Salida del generador de error con *beta*=0.75 en el sistema 8-PSK para distintos valores de la relación señal a ruido y offset de frecuencia de -2%.