

3. Sistema prototipo VHF-LB de Espectro Expandido en Secuencia Directa

Teoría de un sistema DSSS

El ancho de banda de una transmisión convencional modulada en RF (AM, NBFM, FSK) es usualmente proporcional a la cantidad de información transmitida. Este ancho de banda se mantiene lo más angosto posible. Por lo general se piensa en canales angostos contiguos, de unos pocos *kHz*, que transmiten información separada.

Usando técnicas de Espectro Expandido en Secuencia Directa (DSSS) se puede tener un gran ancho de banda, posiblemente de varios *MHz*, y varios usuarios pueden transmitir en las mismas frecuencias sin que haya interferencias. En este caso, el ancho de banda no está relacionado con la cantidad de información transmitida.

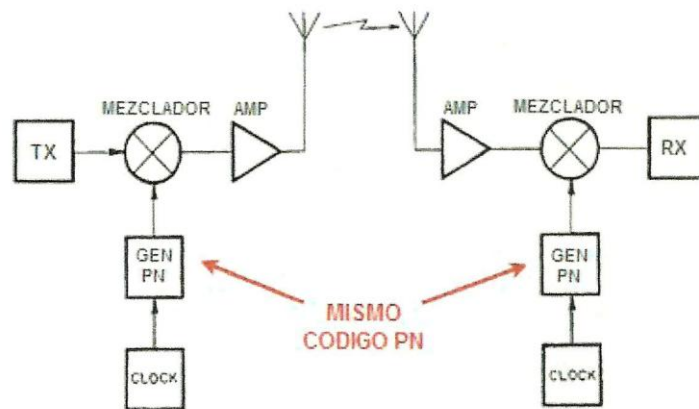


Figura 16: Diagrama simplificado de un sistema de DSSS.

En el transmisor DSSS una señal portadora $S_p(t) = A \cos(\omega_p \cdot t + \phi_p)$ es mezclada con la salida de un generador de código PN, cuya señal es $S_{PN}(t) = \pm 1$. A la salida del mezclador se tiene la señal portadora $S_p(t)$ modulada en fase. Si se representa esta señal en el tiempo, tiene la forma de la figura 27.

La ecuación de esta señal es $S_{SS}(t) = S_p(t) \cdot S_{PN}(t)$, que cambia de fase 180 grados dependiendo del valor del código PN que puede ser +1 o -1. En el espectro de frecuencia la señal tiene la forma de la figura 21.

En el receptor DSSS, el mismo código PN es reintroducido con otro mezclador (ver figura 16), de esta manera se obtiene la señal portadora emitida por el transmisor.

Secuencia PN

Como ya se mencionó, la principal característica del espectro expandido es la presencia de un código pseudoaleatorio (PN) o clave, que debe ser conocido de antemano por el emisor y el receptor. Los códigos PN son secuencias digitales que deben ser tan largas y tan aleatorias como sea posible para aparecer como si fueran ruido. Pero en cualquier caso, los códigos deben seguir siendo reproducibles, o el receptor no va a poder extraer el mensaje que se ha enviado. Así, la secuencia es "casi aleatoria". El método más frecuentemente utilizado para generar los códigos pseudoaleatorios se basa en un registro de desplazamiento. Este consiste en un conjunto de flip-flops D conectados en serie, como se muestra a continuación.

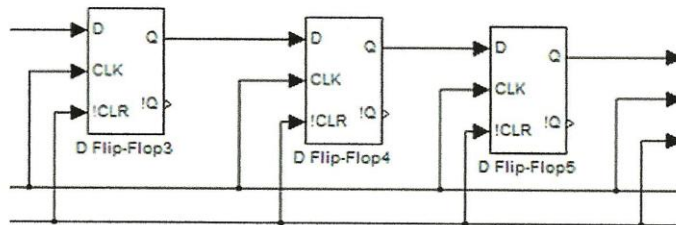


Figura 17: Registro de desplazamientos.

Además se debe agregar una compuerta XOR para realizar una realimentación en el registro de desplazamiento. Un ejemplo de un generador PN se ve en la figura 18, donde el registro de desplazamiento contiene ocho flip-flops (FF).

En el flanco de subida de la señal reloj (*clock*), el contenido del registro de desplazamiento se desplaza un bit hacia la izquierda. Los datos que registra el FF1 dependen del contenido que se realimenta de FF8 y FF7. El código PN se lee del FF8. El contenido de los flip-flops se resetea al principio de cada longitud de secuencia.

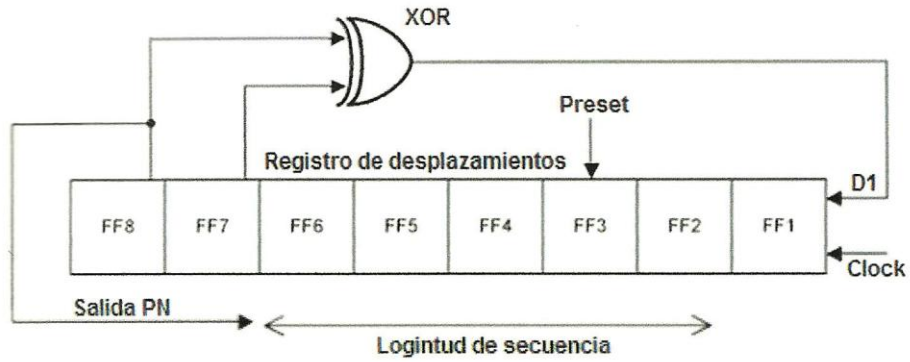


Figura 18: Generador PN.

El resultado de este código en el tiempo es:

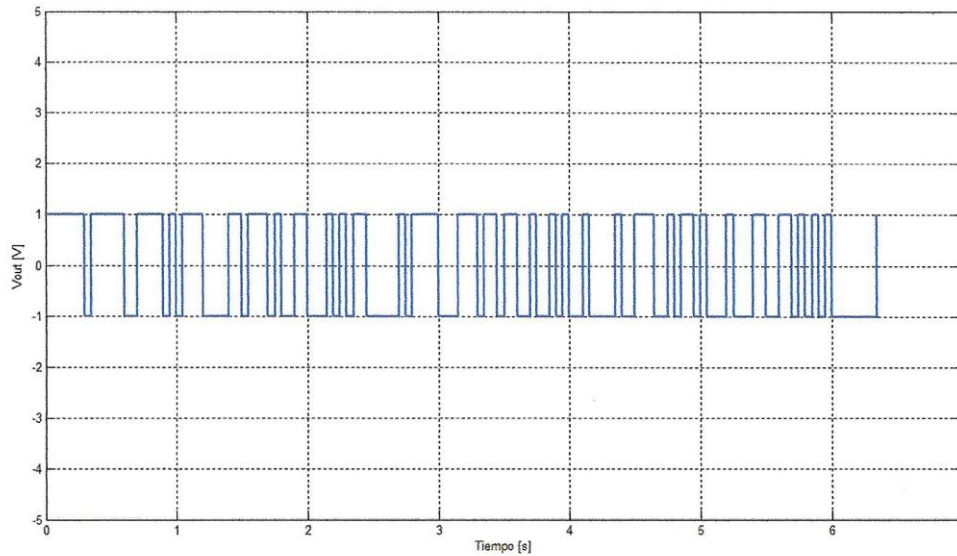


Figura 19: Código PN del tipo M simulado en Matlab.

Se puede observar que la construcción o la selección adecuada de las secuencias, o conjuntos de secuencias, no es trivial, el código debe respetar ciertas reglas o propiedades. Las secuencias PN más populares son: Barker, secuencia-M, Gold y Hadamard-Walsh. La secuencias más simples de generar son las de tipo M y la figura 19 muestra un ejemplo de ellas.

Reglas que debe cumplir una secuencia PN.

Una secuencia PN es una secuencia de unos (+1) y menos unos (-1) que se repite en cada período N y además cumple con las siguientes propiedades (ver [2]):

- La diferencia entre el número de +1 y -1 en un período es siempre 1.
- Una cadena es un conjunto de +1 o -1 seguidos. La longitud de una cadena es la cantidad de elementos que tenga la cadena, por ejemplo la cadena +1, +1, +1,+1 tiene una longitud 4. En cada período de la secuencia PN se debe cumplir que la mitad de las cadenas (de +1 y -1) tengan una longitud 1, un cuarto de las cadenas tengan una longitud 2, un octavo de las cadenas tengan una longitud 3, y así siguiendo.
- La función de autocorrelación de un secuencia se define como:

$$R(m) = \sum_{i=1}^N a_i a_{i+m} \quad \text{Ecuación 6.}$$

donde los a_i son los elementos de la secuencia. Para una secuencia PN se debe cumplir lo siguiente sobre la función de autocorrelación:

$$R(m) = N \quad \text{si } m = kN \text{ con } k \in \text{Enteros}$$

$$R(m) = -1 \quad \text{si } kN < m < (N + 1)N \text{ con } k \in \text{Enteros}$$

Para una secuencia-M se cumple que $N = 2^m - 1$ donde m es el número de flip-flop que se utilizan en el registro de desplazamiento.

Lo anterior da las propiedades de una secuencia PN, pero en realidad en un sistema de espectro expandido se tiene una señal en función del tiempo. Entonces, se define la función de autocorrelación para estas señales como:

$$R(\tau) = \int_{-\infty}^{+\infty} S(t) \cdot S(t + \tau) dt \quad \text{Ecuación 7.}$$

En este caso se tiene una función periódica:

$$S_{PN}(t) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} a_n \cdot f(t - n \cdot \tau_{PN}) \quad \text{Ecuación 8.}$$

donde a_n es la secuencia PN y $f(t)$ tiene la siguiente forma:

$$f(t) = \begin{cases} 1, & \text{si } 0 < t < \tau_{PN} \\ 0, & \text{en otra parte} \end{cases}$$

El período de esta señal es $T_{PN} = N \cdot \tau_{PN}$, donde $\tau_{PN} = 1/f_{clock}$.

Entonces la función de autocorrelación queda:

$$R(\tau) = \int_{-\infty}^{+\infty} S_{PN}(t)S_{PN}(t+\tau) dt = \int_{-\infty}^{+\infty} \sum_{n=-\infty}^{+\infty} a_n \cdot f(t-n \cdot \tau_{PN}) \sum_{m=-\infty}^{+\infty} a_m \cdot f(t+\tau-m \cdot \tau_{PN}) dt \quad \text{Ecuación 9.}$$

Puesto que la señal es periódica, basta con analizar un único período y advertir la forma de esta función. En el resto de los periodos será igual. La gráfica de la función es

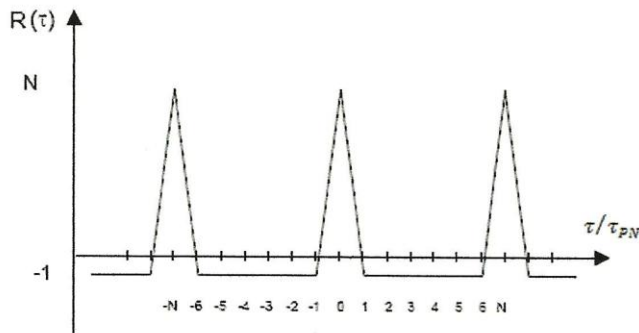


Figura 20: Función de autocorrelación.

La función de autocorrelación es lo que permite rescatar la señal de reloj que utilizó el transmisor para manejar su generador PN y de esta manera el receptor se sincroniza obteniendo así la señal portadora.

El generador PN es manejado por una señal de reloj (*clock*) que es la que determina el ancho de la expansión. Si f_{clock} es la frecuencia de la señal del reloj entonces el ancho de la expansión está dado por $\Delta f = 2 \cdot f_{clock}$. Esto es así porque entre los dos primeros ceros de la función $\left(\frac{\text{sen}(x)}{x}\right)^2$ y por debajo de la curva se encuentra la mayoría de la energía contenida en la señal (ver figura 21). Debido a que la salida del código PN es una señal cuadrada en el dominio del tiempo, su transformada de Fourier en el dominio de la frecuencia tiene la envolvente $\left(\frac{\text{sen}(x)}{x}\right)^2$.

Luego de la etapa de expansión la señal es amplificada y transmitida. Es importante notar que en la etapa amplificadora se debe utilizar un amplificador de banda ancha ya que la señal expandida tiene un ancho de banda de algunos MHz.

En el receptor se puede observar (ver figura 16) que también se tiene un generador PN y una señal de reloj, estos deben ser iguales a los del transmisor si se quiere recuperar la información transmitida.

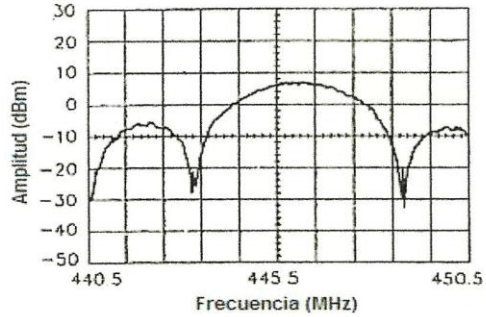


Figura 21: Señal de espectro expandido en el transmisor (ver [4]).

En el receptor, sin correlación, la salida del modulador doble balanceado muestra una pequeña elevación sobre el nivel del ruido.

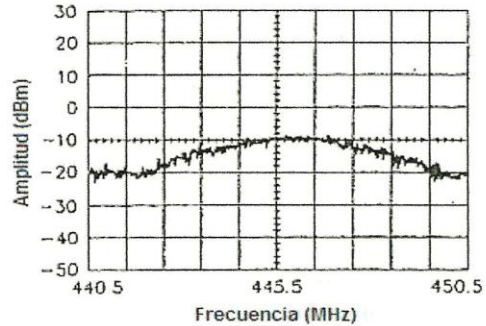


Figura 22: Señal de espectro expandido en el receptor, sin correlación (ver [4]).

Si se introduce el correspondiente código con la frecuencia y fase utilizada en el transmisor, habrá correlación y la señal recibida se desensanchará, rescatando la señal portadora. La salida del modulador doble balanceado será:

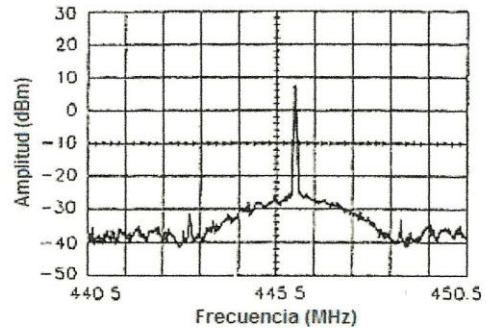


Figura 23: Señal de espectro expandido en el receptor, con correlación. Portadora rescatada (ver [4]).