

Capítulo 4

RUIDO EN PLC

1.1. Ruido en la Línea Eléctrica

El ruido en *PLC* es un problema para la transmisión de datos, esto es por que el medio utilizado difícilmente tiene propiedades similares a las de ruido blanco Gaussiano.

En las líneas de bajo voltaje, las fuentes de ruido pueden ser Internas (dentro de la red) y externas (fuera de la red). El ruido que se encuentra presente en esta red se clasifica de la siguiente forma:

- Ruido de color con baja densidad espectral
- Ruido de Banda Angosta
- Ruido impulsivo Periódico síncrono con la frecuencia fundamental
- Ruido impulsivo Periódico asíncrono con la frecuencia fundamental
- Ruido impulsivo Asíncrono

Los primeros tres tipos de ruidos son constantes a través de un largo periodo de tiempo y pueden ser considerados como ruido de fondo, por lo que no suelen considerarse como importantes ya que no afectan demasiado a la transmisión de datos. Los últimos dos tipos son ruidos altamente variables y producen errores en la transmisión de datos debido a que son impredecibles. Debido a esto el escenario del ruido en *PLC* es el mostrado en la figura 4.1:

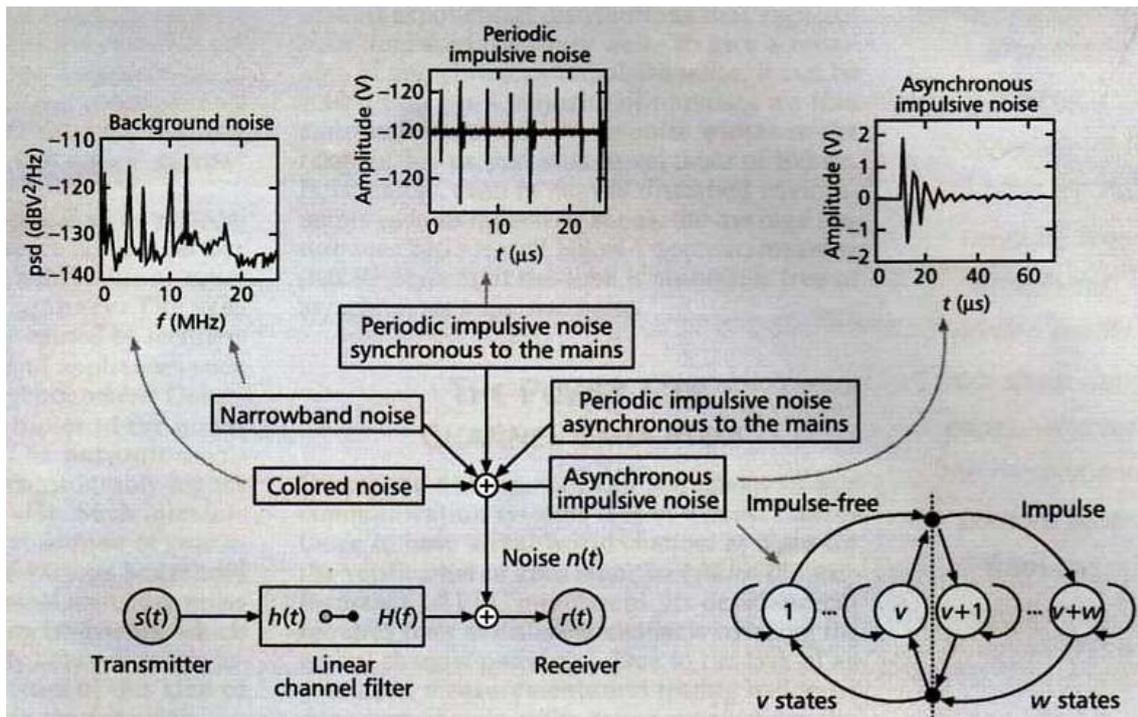


Figura 4.1 Escenario de Ruido [5A]

1.1.1. Ruido en las aplicaciones

El espectro de ruido de varias aplicaciones es obtenido mediante mediciones. El proceso consta de tres pasos.

El primero consiste en realizar la medición del espectro del ruido de fondo pero sin conectar el dispositivo (computadora, horno de microondas, licuadora, entre otros). En el segundo paso, el dispositivo es conectado a la red para poder medir tanto el ruido de fondo como el ruido que proporciona el aparato a la red; finalmente se extrae el espectro resultado del paso dos y el espectro del paso uno, lo cual da como resultado el espectro generado por la aplicación.

Podemos observar que el espectro usado para calcular lo anterior es el espectro de potencia, es por esto que el ruido de diferentes fuentes es no coherente y por lo tanto se combina en términos de potencia y no de amplitud.

Con excepción de las lámparas fluorescentes, algunos dispositivos no contribuyen con ruido dentro de la banda de 1-30MHz .Entre otros, dispositivos como las televisiones y computadoras usan conmutación en sus fuentes de alimentación, los ventiladores usan un motor simple mientras que las aspiradoras emplean un convertidor de potencia, lo que hace que introduzcan ruido en las bandas de altas frecuencias. Los *dimmers* utilizan triac's, mientras que las lámparas fluorescentes contienen gas, por lo tanto producen demasiado ruido debido a la emisión de electrones que se origina dentro del bulbo y causa una corriente impulsiva.

1.1.2. Ruido de Color con baja densidad espectral (colored background noise)

Éste tiene una naturaleza aleatoria y es causado por los aparatos que comúnmente tenemos en casa; tales como: computadoras, refrigeradores, licuadoras, lavadoras, hornos de microondas, dimmers, secadoras de cabello, entre otros. La interferencia causada por estos aparatos es en una frecuencia de hasta 30MHZ y su característica principal es que posee una baja densidad espectral causada al decrecer la frecuencia por lo que contamina solo en bandas de frecuencias específicas.

Este ruido se puede aproximar mediante varias fuentes de ruido blanco pero este solo afecta varias bandas de frecuencias con diferentes amplitudes de ruido.



Figura 4.2 Generador de ruido blanco

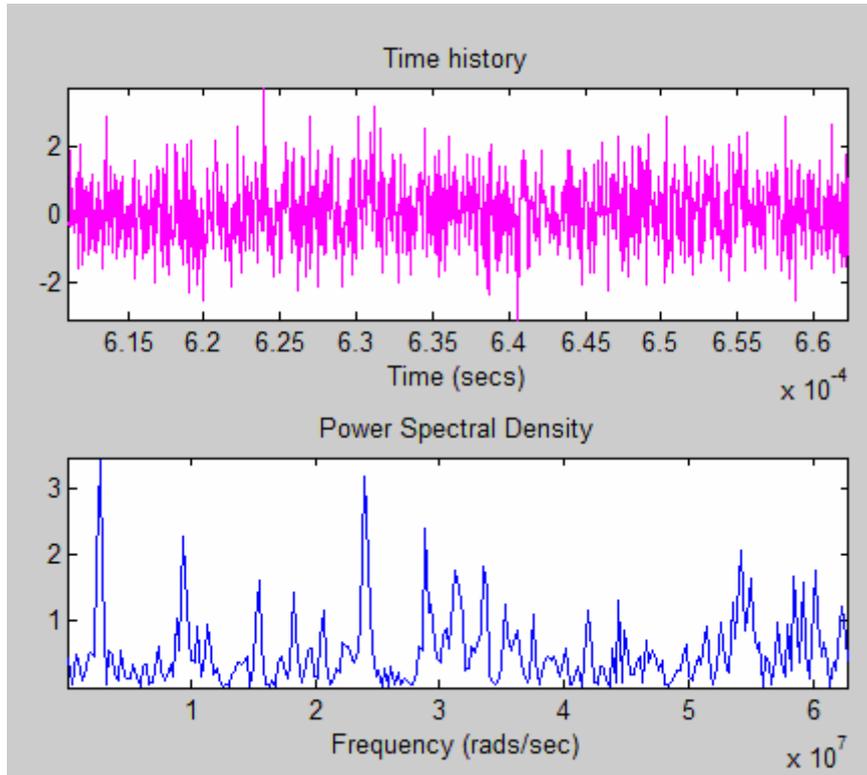
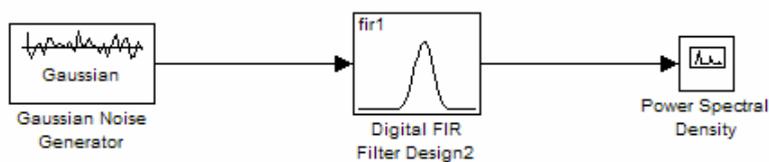
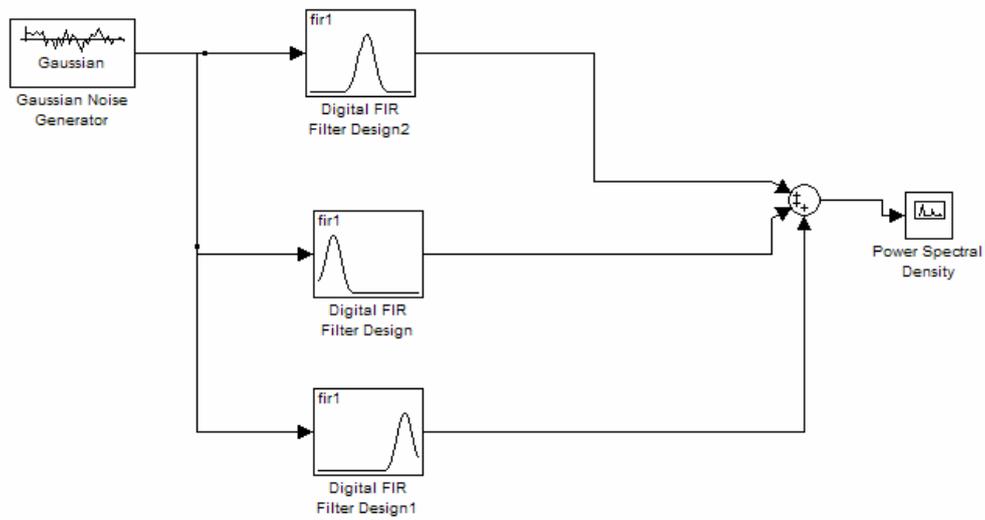


Figura4.3 Densidad espectral del ruido

Se puede observar que el ruido blanco afecta a todos los rangos de frecuencias, mientras que la densidad de potencia espectral del ruido de color es constante o lo que es lo mismo, se tiene el mismo nivel de energía para todas las bandas de frecuencias; aunque éste solo se presenta en unas cuantas bandas.



a)



b)

Figura 4.4 a) Generador de Ruido de Color con una banda b) con tres bandas

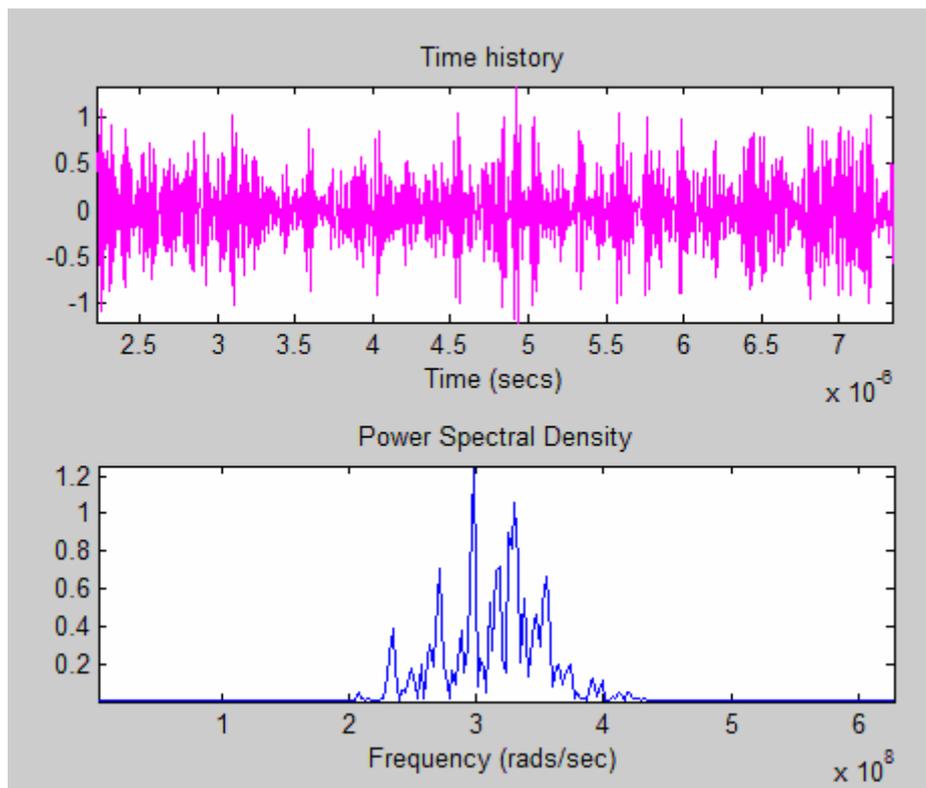


Figura 4.5 Densidad Espectral del ruido de color (afecta a una banda de frecuencia)

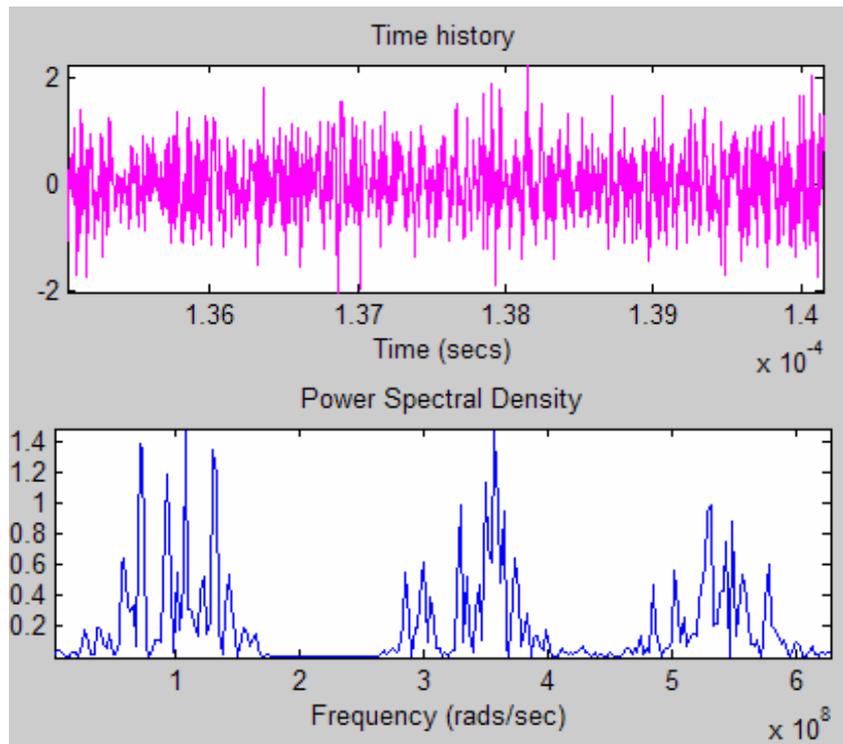


Figura 4.6 Densidad Espectral del ruido de color (afecta a dos bandas de frecuencia)

1.1.3. Ruido de Banda Angosta

La causa principal de este tipo de ruido a altas frecuencias es la interferencia que existe con las frecuencias de transmisión (1-22Mhz) de las estaciones de radio, presentándose en el canal como señales sinusoidales moduladas [8A].

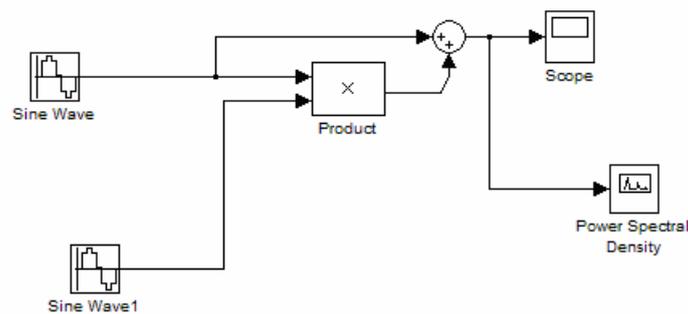


Figura 4.7 Generación de ruido de banda angosta

Su efecto se agrega fácilmente al canal y si la amplitud de las señales moduladas es pequeña la interferencias causada por ellas no es mucha.

Para poder saber cómo es el espectro de potencia de este tipo de ruido, se tiene que modular una señal de AM. Una vez realizado esto, se puede observar que el espectro de potencia se presenta sólo afectando en una pequeña banda de frecuencia. Debido a lo anterior, es el tipo de ruido que menos afecta a la redes de *PLC* ya que sólo afecta cuando se ésta cerca de la antena transmisora.

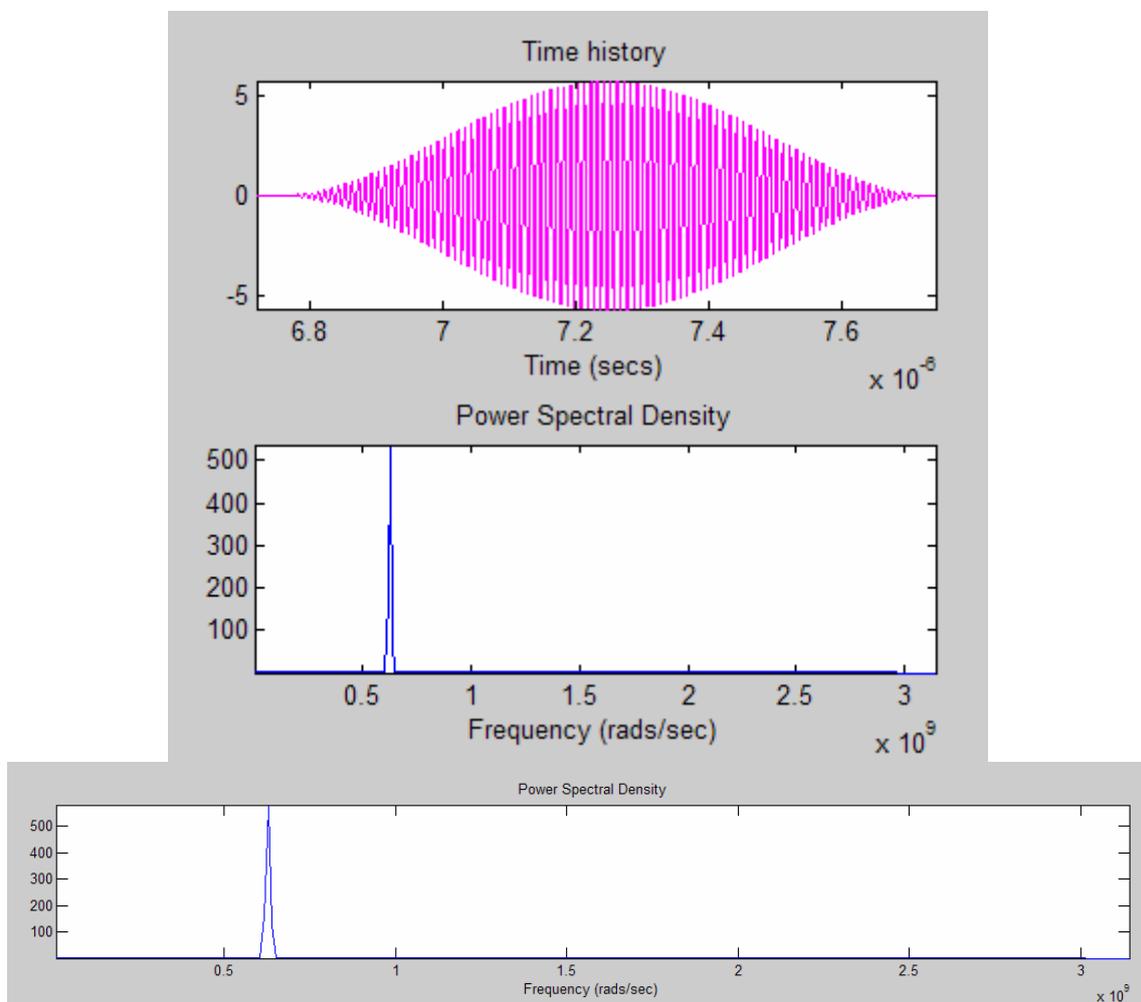


Figura4.8 Espectro de densidad de potencia y señal modulada

1.1.4. Ruido impulsivo Periódico síncrono con la frecuencia fundamental

Es causado principalmente por los reguladores de luz, por fuentes de *DC* o por todo equipo que contenga etapas de rectificación. Este tipo de dispositivos funcionan con rectificadores controlados (*SCR*). Los *SCR* son dispositivos que funcionan cuando se presenta un pulso de disparo. El disparo se presenta en cada ciclo de la señal de potencia, por lo que tanto el pulso como la frecuencia principal (50/60Hz) están en sincronía. También utilizan un rango amplio de frecuencia, por lo que los armónicos generados están en el rango de KHz [4A].

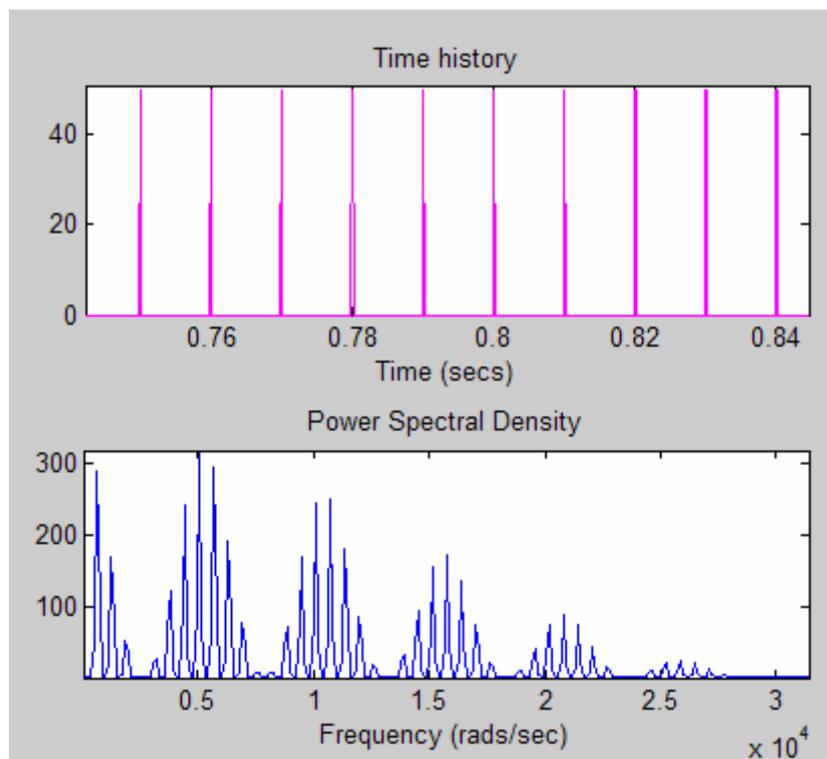


Figura4.9 Espectro de densidad ruido síncrono

Podemos observar que su espectro de potencia es amplio, y debido a que sólo está presente en el rango de los KHz, este ruido no afecta la transmisión de datos por que estos son transmitidos en rangos de MHz.

1.1.5. Ruido impulsivo Periódico asíncrono con la frecuencia fundamental

En este tipo de ruido, las repeticiones de los pulsos serán en múltiplos de la frecuencia fundamental y son causados por televisiones o computadoras, ya que este tipo de aparatos hacen barridos de frecuencias en los tubos de rayos catódicos

Por lo que las frecuencias de barrido afectan de manera considerable, existen tres tipos de frecuencias dentro del sistema de televisión:

Para América:

- Frecuencia Horizontal 15.734 KHz
- Frecuencia Vertical 59.94 Hz
- Frecuencia de Colores 3.570 MHz [8A]

Con esto podemos observar que la frec. horizontal y de colores tienen rango de Kilo y de Mega Hertz, por lo que su espectro de potencia es mucho más amplio, afectando las comunicaciones. Sin embargo la frecuencia vertical está dentro de la frecuencia fundamental (50/60 HZ), por lo que causa ruido del tipo síncrono con la frec. fundamental.

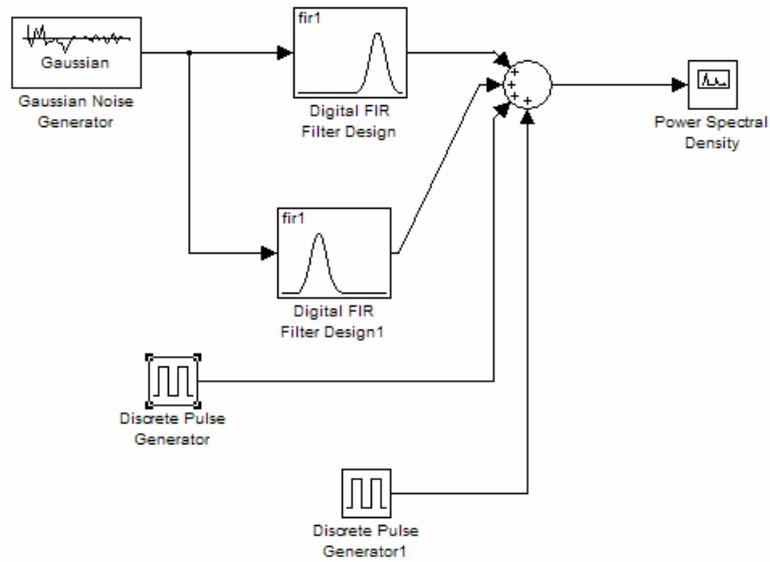
1.1.6. Ruido impulsivo Asíncrono

Este tipo se caracteriza por poseer gran cantidad de energía, por lo que es el que mas daño causa a las comunicaciones en alta velocidad ya que las duraciones de pulsos exceden el tamaño de los símbolos a comunicar.

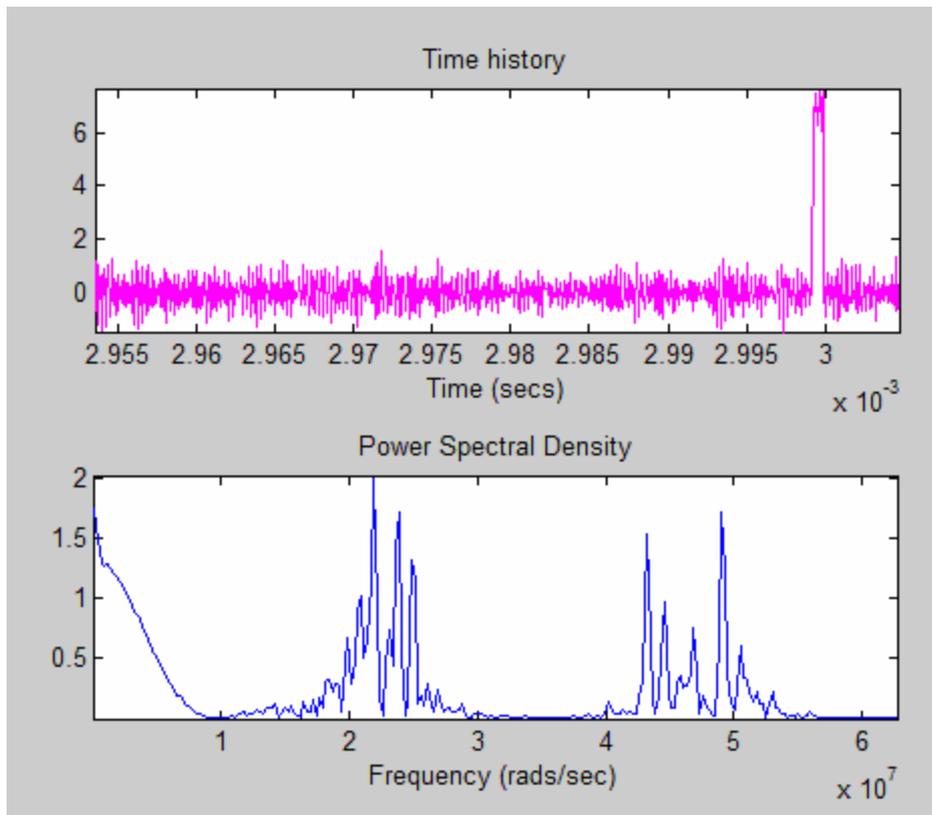
La causa de ruido es por cambios repentinos en la línea eléctrica, ocasionado por algún aparato que realice alguna conmutación de manera repentina. La duración de los pulsos origina que se pierda información. Para determinar el comportamiento de este tipo de ruido, se tienen que tomar en cuenta tres parámetros: amplitud, duración y tiempo de llegada.

La amplitud y la duración afectan demasiado, por lo que realizar comunicaciones se complica inclusive ocupando una de las técnicas de modulación más robustas. Se ha realizado análisis en frecuencia en los cuales se ha podido observar que en este tipo de ruido existe una porción de banda ancha que excede al ruido de fondo y una porción de banda angosta se hace presente sólo en un determinado rango de frecuencias. Los impulsos que contienen frecuencias hasta los 20MHz no son inusuales [5A].

Para crear un modelo sencillo se utilizan los parámetros asignados de manera aleatoria con distribución constante.



a)



b)

Figura 4.9 a)Generador de ruido b)Densidad espectral de todos los ruidos presentes en la línea.

1.2. Técnicas de modelado

Debido a que es difícil obtener una caracterización de los ruidos, todos los modelos que han sido creados se han obtenido realizando mediciones empíricas. Dependiendo de la manera en la que son conducidas las mediciones, las aproximaciones de los modelos se pueden clasificar en:

- Aproximación en el dominio de la Frecuencia: el cual se basa en medidas hechas en el espectro de frecuencias.
- Aproximación en el dominio del tiempo: el cual se basa en las mediciones realizadas en las formas de onda pero llevadas a cabo en el dominio del tiempo.

De acuerdo a lo estipulado anteriormente, podemos decir que el ruido de fondo (4.1) es principalmente modelado por la aproximación en el dominio de la frecuencia mientras que el ruido impulsivo (4.4 y 4.5) se caracteriza por tener ambos, es decir, frecuencia y tiempo [4A].

1.2.1. Dominio de la Frecuencia: Técnica para el ruido de fondo de color

Para realizar este modelo, el análisis se realiza tanto en laboratorio como en casas residenciales. Cada medición es tomada cada 5 minutos, así el espectro nos brinda suficiente información de cómo el ruido afecta a cada banda de frecuencia.

A frecuencias que van de 1 a 10 MHz los valores son grandes pero con frecuencia baja, mientras que a valores de 10 a 30MHz los valores son

pequeños pero las frecuencias son grandes; es decir estos valores son inversamente proporcionales a las frecuencias presentes.

Esta técnica es la llamada “espectro relacionado”, donde el ruido medido o la densidad del voltaje del espectro esta relacionado con ciertas funciones de frecuencia. Este método captura el promedio del espectro de ruido sin dar información alguna del comportamiento aleatorio del este en cada frecuencia. Los métodos utilizados para realizar el proceso emplea la estadística para caracterizar la variación del ruido. Las distribuciones probabilísticas que se usan son de gran ayuda cuando se hace uso de los parámetros adecuados, tales como la media y la desviación estándar. Las distribuciones se encargan de describir todas las características del ruido a frecuencias específicas y las más usadas para modelar son la distribución Rayleigh, la distribución normal y la Gaussiana.

1.2.2. Dominio del tiempo: Modelos para el ruido impulsivo

Estos modelos están basados en tres parámetros: amplitud de pulso, ancho de pulso y tiempo de llegada. Los modelos se basan en las características estadísticas de estos tres parámetros, así como las curvas de distribución de probabilidad se derivan de los resultados obtenidos en las mediciones [4A].

1.3. Filtros

1.3.1. Filtros de armónicas

Las áreas de telecomunicaciones, teleinformática y control electrónico que se basan en tecnología de conmutación digital, así como los sitios donde existen cargas inductivas y controles electrónicos de potencia de motores a base de tiristores (triac's , scr's etc), son fuentes generadoras de armónicas principalmente 3, 5, 9 y 13 las cuales contaminan la calidad de la energía considerablemente. En este caso es recomendable utilizar filtros de armónicas a base de transformadores de potencia principal en subestación, secundarios o en el sitio donde se requiera eliminar armónicas [9A].

1.3.2. Supresores de transitorios de sobrevoltaje

En el ambiente del medio de comunicación de redes LAN y/o WAN (*PLC*), como se mencionó anteriormente, comúnmente existen ruidos de origen aleatorio, con características destructivas tanto de señales en el medio de transmisión como de equipos electrónicos de telecomunicaciones e informática que generan dichas informaciones.

Ahora bien con base a las características eléctricas y fuentes de generación que los originan los transitorios se pueden clasificar en tres tipos.

- transientes de sobrevoltaje internos.
- transientes de sobrevoltaje externos.
- transientes de voltaje producidos por inducción de descargas atmosféricas e impactos directos en las líneas de distribución urbanas y de larga distancia.

La sobre tensión o sobrevoltaje de los transitorios se refiere a la respuesta de los capacitores e inductores a cambios rápidos de voltaje y/o corriente. Por lo que un cambio rápido de voltaje (dv/dt) a través de un capacitor produce una gran sobre corriente, cuyo nivel depende del valor o tamaño del capacitor y de la velocidad de cambio del voltaje (dv/dt). Dicha corriente se representa con la ecuación (4.1) [9A].

$$I = C \frac{dv}{dt} \quad \dots (4.1)$$

Lo que se interpreta como que a medida que el tiempo (dt) disminuye, la amplitud de la corriente se incrementa. Lo mismo se aplica para un inductor, con éste un cambio rápido de corriente (di/dt) resulta en un sobrevoltaje transitorio considerablemente significativo en amplitud como se puede observar de la ecuación siguiente [9A]:

$$-V = L \frac{di}{dt} \quad \dots(4.2)$$

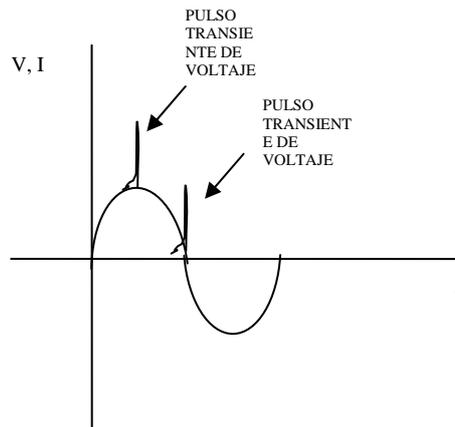


Figura 4.10 Pulso de transitorios [9A]

En la figura 4.10 se puede observar que los transitorios pueden ocurrir en cualquier parte de la onda, por lo que los valores de los voltajes transitorios se montan sobre los voltajes instantáneos (son los presentados en toda la onda), pero cuando éste ocurre en el punto máximo de la onda los equipos conectados a la línea de AC se someten al valor total de sobrevoltaje, como se observa en la figura 4.10, lo cual es muy dañino para la red (esto se aplica en domótica). Pero si el transitorio es inducido sobre el punto de cruce por cero, no será perjudicial a los equipos conectados en la línea

Por eso es importante analizar los efectos dañinos de los transientes y también se debe saber en qué parte de la onda senoidal de AC fue inducido el transitorio. Debido a esto se ha identificado la actividad transitoria como la anomalía de potencia de corriente alterna más común en causar interrupción o daño a las cargas electrónicas críticas.

Las actividades transitorias se pueden clasificar en dos categorías: los **picos de voltaje (transitorios de impulso)** y los **transitorios de decaimiento oscilatorio**. Los primeros son los producidos por la actividad atmosférica, caracterizada por niveles de voltaje y corriente muy altos y de corta duración; mientras que los segundos son los generados por ciclos de potencia de las

cargas inductivas, las actividades de conmutación de la red eléctrica en las subestaciones y por numerosas fuentes internas del sitio (balastos de lámparas fluorescentes, equipos acondicionadores de aire, hornos de microondas, centros de control de motores, copiadoras y otros). Estos transitorios típicamente se presentan como impulsos de voltaje y corriente de valor pequeño y de duración hasta de 50 veces mayor a los atmosféricos. Los transientes causados en la red son: 5% voltajes transitorios, 11 % regulación de voltaje y 88.5% apagones de potencia o interrupciones de suministro de energía.

1.3.3. Solución: Protector de transientes

Un protector de transientes debe proteger al equipo electrónico de sobretensiones transitorias que se hacen presentes en las líneas de AC, sin importar por qué sean originados los transientes.

Dentro de sus características que debe tener dicho protector es que debe de recortar los picos de sobre-tensión al 30% arriba del voltaje nominal y debe de responder antes de que los pulsos de voltaje lleguen a sus valores máximos. Debido a lo anterior, la tecnología moderna utiliza supresores de transientes de respuesta rápida mov (metal oxido varistor) para respuestas en el orden de microsegundos y sad (diodos de avalancha para respuestas de picosegundos). En general, la regulación de la fabricación de los supresores de transientes se ajusta a la norma IEEE c62.41-1991 y ul1449 del 2007.



Figura 4.11 Supresores de transientes en el mercado[9A]