

SISTEMA DE COMUNICACIÓN DE DATOS A TRAVÉS DE LA RED ELÉCTRICA DOMICILIARIA

Hernán Paez Penagos*

RESUMEN

Esencialmente, un sistema de comunicaciones permite transmitir y/o recibir información. Los componentes y las características del sistema determinan qué tipo de información puede ser transmitida o recibida, cuántos canales, en qué frecuencias, con qué rapidez y fidelidad, a qué costo y con qué cobertura, además de su grado de inmunidad frente a ruido e interferencias y a otros parámetros de operación.

El sistema de comunicación de datos a través de la red eléctrica domiciliaria esta constituido por dos tipos de elementos: físicos¹ y lógicos²; su diseño y construcción involucra la electrónica, la electricidad y la informática; la velocidad de los datos está limitada por el ancho de banda del cable bifilar y por las técnicas de codificación y modulación empleadas; las frecuencias de transmisión se seleccionan según la norma CENELEC EN50065-1, la cobertura es local domiciliaria, la inmunidad frente a ruido e interferencias depende de la frecuencia de transmisión y de la utilización de un tipo de transmisión a dos hilos: línea-tierra ó línea-neutro; en cuanto a costos, el sistema es una alternativa económica y de rápida instalación para el transporte de datos.

Palabras clave: línea bifilar, filtro, frecuencia, técnica de modulación, demodulación, ancho de banda, protocolo.

ABSTRACT

Essentially, a system of communications allows to transmit and/or to receive information. The components and the characteristics of the system determine what type of information it can be transmitted or received, how many channels, in what frequencies, with what speed and fidelity, to what cost and with what covering, besides their grade of immunity in front of noise and interferences and to other operation parameters.

The system of communication of data through the domiciliary electric net this constituted by two types of elements: physical and logical; their design and construction involves the electronics, the electricity and the computer science; the speed of the data is limited by the width of band of the bifilar line and for the code techniques and used modulation; the transmission frequencies are selected according to the norm CENELEC EN50065-1, the covering is local domiciliary, the immunity in front of noise and interferences depends on the transmission frequency and of the use of a transmission type to two threads: line-earth or

* Docente del área de Comunicaciones, Facultad de Ingeniería Electrónica de la Escuela Colombiana de Ingeniería «Julio Garavito», Bogotá, Colombia. e-mail: hpaz@escuelaing.edu.co

¹ La fuente generadora del mensaje, un Transmisor-modulador y un Receptor-demodulador en los módulos maestro y esclavos, las interfaces eléctricas, el cable bifilar del tendido eléctrico, etc.

² La sincronización, el protocolo de comunicaciones: Direccionamiento, Control de errores, Control de flujo, etc.

line-neutral; as for costs, the system is an economic alternative and of quick installation for the transport of data.

Key word: bifilar line, filter, frequency, modulation technique, demodulación, wide of band, protocol.

INTRODUCCIÓN

El artículo titulado sistema de comunicación de datos a través de la red eléctrica domiciliaria se estructura en cuatro temas coherentes entre sí: el primero es una visión general sobre la tecnología PLC: Power Line Communications; el segundo se ocupa de los aspectos técnicos relacionados con la transmisión de datos a través de la red eléctrica domiciliaria; por consiguiente, incluye entre otros: modulación, frecuencias de transmisión, topología de la red, arquitectura, ancho de banda, modos de transmisión, interferencias; el tercero está dedicado al modelamiento matemático de la línea de transmisión, de los filtros, de los circuitos de acondicionamiento de la señal de datos y del demodulador. El cuarto y último tema aborda algunas aplicaciones de transmisión de información a través de la red eléctrica domiciliaria.

1. VISIÓN GENERAL.

PLC: Power Line Communications.

Es una tecnología que transmite información a través de la red AC; por un canal distribuye la energía eléctrica de consumo y por otro canal transmite los datos. Los primeros proyectos fueron desarrollados entre los años 1976 a 1978, en Glenrothes Escocia, por los ingenieros de Pico Electronics Ltda. y la empresa de sistemas de audio BSR. El propósito era controlar un dispositivo electrónico de forma remota. Como resultado de sus estudios y experimentación nació el protocolo X-10 que se ha convertido en un estándar internacional.

Especificaciones del protocolo X-10.

❖ Permite la transmisión de datos a baja velo-

cidad³ por las líneas de baja tensión.

- ❖ La información a transmitir por la red AC se digitaliza.
- ❖ La información digital representada en 1 y 0 lógico se transmite mediante señales de control.
- ❖ Las señales de control se sincronizan en el cruce por cero de la señal eléctrica de 60 Hz.
- ❖ Las señales de control, que representan la información digital, se transmiten en ráfagas de pulsos de alta frecuencia: 120 KHz.
- ❖ Un 1 lógico es la presencia de una ráfaga de pulsos de 120 KHz durante un (1) milisegundo (mseg.) del semiciclo positivo de la señal eléctrica de 60 Hz y la ausencia de la ráfaga en el semiciclo negativo (Ver figura 1).

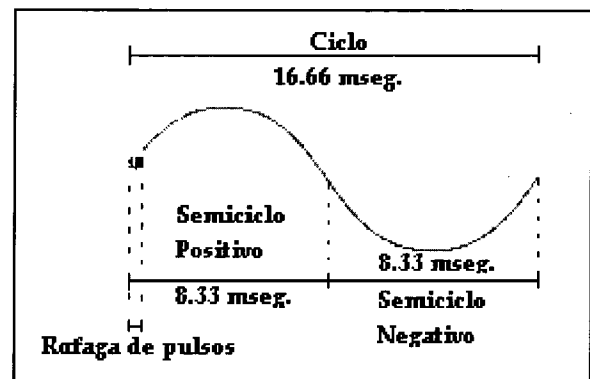


Figura 1. Transmisión de 1 lógico.

- ❖ Un cero lógico es la presencia de una ráfaga de pulsos de 120 KHz durante un (1) milisegundo (mseg.) del semiciclo negativo de la señal eléctrica de 60 Hz y la ausencia de la ráfaga en el semiciclo positivo (Ver figura 2).

³ 60 bps en América y 50 bps en Europa

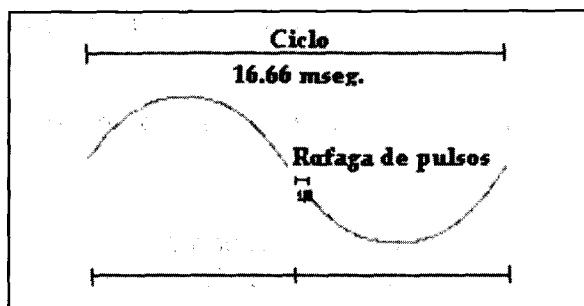


Figura 2. Transmisión de 0 lógico.

- ❖ Los bits lógicos 0 tiene en común la presencia y ausencia de ráfaga de pulsos en los semiciclos de la señal de 60 Hz; se diferencian en los tiempos de envío de la ráfaga de pulsos.
- ❖ Para enviar un comando se genera una trama que contenga: el código de inicio, el identificador del módulo y el número de la llave.
- ❖ El código de inicio o Start Code se transmite a través de ráfagas especiales que le informan a todos los módulos que se va a enviar una trama X-10.
- ❖ Los comandos pueden llegar a todos los módulos, pero sólo actúa aquel módulo al que va dirigido y esto se reconoce mediante la comparación de los bits de identificación del módulo con el identificador de módulo o House Code, que viene en la trama.
- ❖ En el espacio de la trama "Número de la llave" se envían los comandos orientados al control de los dispositivos, también llamados "Control Strings"; ellos son: encender, apagar, reducir, aumentar, encender todo y apagar todo.
- ❖ La trama tiene 22 bits y se transmite dos veces; esto significa que se requiere enviar 44 ráfagas de pulsos de 120 KHz para transmitir un comando de control a los módulos.
- ❖ Cada ráfaga de pulsos se envía en el cruce por cero de cada semiciclo de la señal eléctrica de 60 Hz; por lo tanto, se requieren

11 ciclos para transmitir un comando en su totalidad.

- ❖ El tiempo que demora la transmisión de un comando es: $T = 11 \text{ ciclos} * 16,66 \text{ mseg./ciclo}$.

Hoy en día X-10 es un estándar y a la vez fabricante. Produce alarmas, televisores, contestadoras, interfaces de computador, etc. compatibles con dicho protocolo. Además, ha desarrollado y manufacturado versiones O.E.M (Original Equipment Manufacturer) de control del hogar para muchas compañías.

Ventajas potenciales.

- ❖ Reducción de costos asociados a la construcción y/o readecuación de infraestructura para la transmisión de datos.
- ❖ Dispositivos Plug and Play.
- ❖ Modularidad.
- ❖ Optimización de recursos.
- ❖ Soluciones de control inteligente.

Inconvenientes.

- ❖ Las tecnologías existentes ofrecen bajas tasas de transmisión de datos.
- ❖ Las aplicaciones de transmisión de datos por la red AC están sesgadas al campo del control.
- ❖ La limitación en el ancho de banda de los pares de cobre que se encuentran en el tendido eléctrico domiciliario.

2. ASPECTOS TÉCNICOS RELACIONADOS CON LA TRANSMISIÓN DE DATOS A TRAVÉS DE LA RED ELÉCTRICA DOMICILIARIA.

Bandas de frecuencia.

Existen comisiones internacionales⁴ que reglamentan y regulan la transmisión de señales de información a través de la red eléctrica. CENELEC EN50065-1⁵ es la norma más precisa sobre el uso de las bandas de frecuencia.

⁴ FCC (Federal Communications Commission), Industry Canadá, MPT Japón y CENELEC (Comité Europeo de Normalización Electrotécnica)

⁵ Rige en Estados Unidos, Europa y otros países del mundo.

En la gráfica 3 se muestra la designación de las bandas y sus rangos de frecuencias.

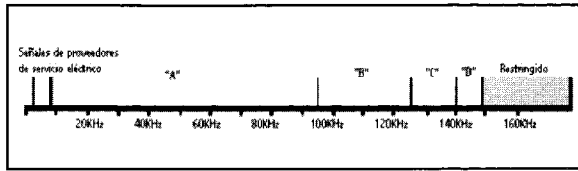


Figura 3. Designación y rangos de frecuencia para bandas de transmisión, según la norma CENELEC EN50065-1.

- ❖ Por debajo de la Banda A se encuentran todas las señales provenientes de los proveedores del servicio eléctrico, normalmente señales de 50Hz para Europa y 60Hz para América.
- ❖ En la Banda A se encuentran las aplicaciones de “Utilidad Eléctrica” (Electric Utility).
- ❖ La Banda B fue utilizada, inicialmente en Europa, para la transmisión de señales de comunicación por sus numerosos beneficios en términos de seguridad, privacidad y ancho de banda.
- ❖ La Banda C es usada para aplicaciones de consumidor, ya sea en la vivienda o en la industria.

Según la normatividad dictada por FCC, cualquier frecuencia, en el rango de 100KHz a 400KHz, puede ser usada para la transmisión de información modulada por la red eléctrica. La transmisión no puede superar los 540KHz por razones de interferencia a las señales de radiodifusión AM.

Anchos de Banda.

El tendido eléctrico domiciliario esta constituido por pares de cobre que tienen capacidad en ancho de banda para guiar señales eléctricas desde el nivel DC hasta 300000 Hz. Esta característica de la red eléctrica limita la trans-

misión de datos a velocidades bajas y medias, y de cierto tipo de información (únicamente Voz, Datos).

Interferencias entre la señal de 60 Hz y los datos.

La señal eléctrica de 60 Hz, en la red eléctrica domiciliaria, puede estar distorsionada y causar interferencia a los datos. Las causas de la distorsión armónica⁶ son la presencia de cargas no lineales en el hogar y/o la contaminación de la señal procedente del suministro eléctrico debido a la industria (Rectificadores, inversores, convertidores de frecuencia y cicloconvertidores). Otra causa de interferencia a los datos son los transitorios⁷. Sin embargo la interferencia se puede solucionar modulando los datos a frecuencias entre 100 KHz y 500KHz.

Topologías.

Son las configuraciones de interconexión que pueden tomar los módulos a comunicarse a través de la red eléctrica domiciliaria. Las topologías se clasifican en punto a punto y multipunto (Topologías en bus, estrella, anillo y malla).

Modos de transmisión.

El sistema electrónico de comunicación a través de la red eléctrica domiciliaria se puede diseñar para transmitir los datos en una dirección: *Modo Simplex*; en ambas direcciones, pero no al mismo tiempo: *Modo Half Dúplex*; en ambas direcciones y al mismo tiempo: *Modo Full Dúplex*.

Transmisión asíncrona.

En este tipo de transmisión se agregan dos elementos de señal por cada palabra de código: Un espacio de arranque ó Start y una marca de terminación ó Stop. Para enviar un dato se ini-

⁶ Los niveles de distorsión armónica, de las formas de onda de voltaje y corriente, se pueden clasificar en dos categorías: la primera debido a la presencia de señales múltiples de la señal fundamental y la segunda producida por señales con frecuencias menores (0.1 – 25 Hz) a la señal de 60 Hz.

⁷ Son sobretensiones de corta duración (menos de 1 mseg.) y elevadas corrientes.

cia la secuencia de temporización en el dispositivo receptor con el elemento de señal y al final se marca su terminación.

La transmisión de datos por la red eléctrica domiciliaria puede ser síncrona serial⁸ o paralela.

Transmisión a dos hilos: Línea-Tierra ó Línea-Neutro.

En redes eléctricas domiciliarias en donde el conductor de tierra está presente y es accesible, se selecciona la transmisión Línea-Tierra; para este caso, las señales de comunicación son acopladas a la línea con referencia al conductor de tierra. La tierra es usada como la línea de retorno de la señal de comunicación. La ventaja que ofrece este procedimiento es menor atenuación de las señales transmitidas debido a que colisionan menos con la señal de suministro eléctrico que se transmiten entre Línea-Neutro.

En redes de tendido eléctrico domiciliario en donde la conexión de tierra segura no existe, se utiliza la transmisión a dos hilos: Línea-Neutro. El principio de esta comunicación consiste en agregar una señal de alta frecuencia en la cual van modulados los datos, a la señal normal de fluido eléctrico de 60Hz.

Circuito de protección: entre los módulos transmisor-red eléctrica y receptor-red eléctrica deben colocarse un fusible y un varicap para proteger los módulos contra sobre corrientes y sobre voltajes provenientes de la red eléctrica (ver figura 4).

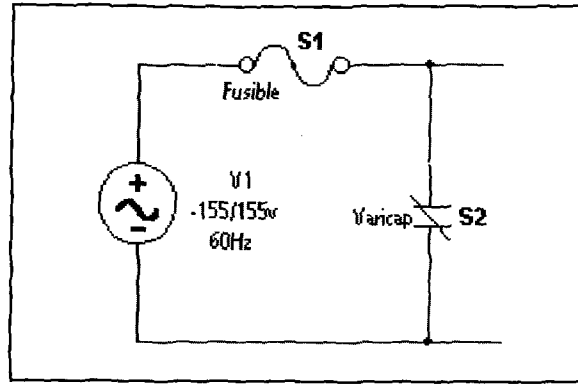


Figura 4. Circuito de protección contra corrientes y voltajes pico.

Efectos secundarios de la conexión de cargas: en el momento de conectar un electrodoméstico a la red eléctrica, se genera gran cantidad de armónicos que llegan hasta una frecuencia de 1250 Hz. La puesta en marcha de una licuadora genera muchos armónicos, mientras que el bajo consumo de potencia del motor de una batidora no induce niveles de ruido considerables a la red eléctrica.

Modulación.

La estrategia que utiliza la tecnología PLC para transmitir datos por la red AC consiste en enviar ráfagas de pulsos a 120 KHz, durante un milisegundo del semiciclo positivo o negativo de la señal de 60 Hz. La transmisión se realiza en los cruce por cero para evitar el ruido y asegurar que en tales instantes de tiempo sólo esté presente el dato.

La ingeniería de comunicaciones debe explorar otras técnicas de modulación que permitan la transmisión de datos a través de la red eléctrica domiciliaria con altas tasas de transmisión y sin problemas de ruido, interferencia y distorsión a la señal de 60 Hz y de esta a los datos modulados.

⁸ Esto significa que antes de transmitir una palabra de código se envía la señal de reloj.

Arquitectura de un sistema de transmisión de datos a través de la red eléctrica domiciliaria: En la arquitectura de red existen dos subredes (ver figura 5).

La primera subred interconecta dos entidades: computador (dispositivo externo) con el módulo maestro; la configuración es serie punto a punto, el modo de transmisión es Half-dúplex y la comunicación cumple con la norma RS-232.

La segunda subred tiene una configuración punto – multipunto, con topología bus; el medio que permite la interconexión es la línea bifilar del tendido eléctrico domiciliario; el protocolo X-10 ó protocolo propietario define la norma de comunicación en esta subred con un modo de transmisión Half-dúplex.

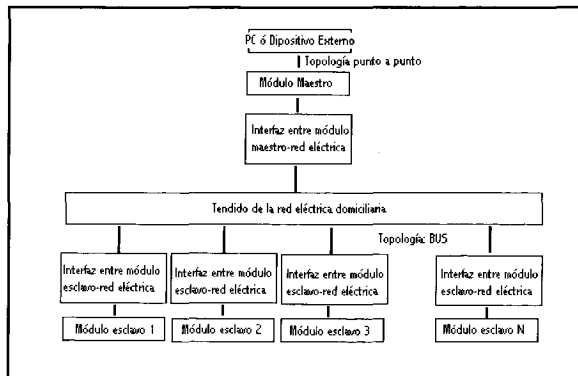


Figura 5. *Arquitectura básica de un sistema de transmisión de datos a través de la red eléctrica domiciliaria.*

El diagrama de bloques que representa el acople entre los módulos transmisor/receptor con la red eléctrica (fase-neutro) se puede observar en la siguiente figura.

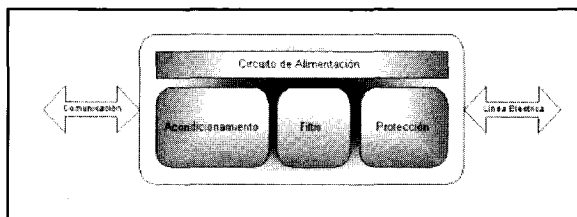


Figura 6. *Modelo de bloques del Acople.*

En este esquema se propone un modo de transmisión bidireccional; el bloque de alimentación polariza los circuitos que así lo requieran; el bloque de protección evita la destrucción de los módulos transmisor/receptor por señales de sobre tensión ó sobre corriente; el filtro elimina la señal de 60 Hz que proceda de la red eléctrica y permite la inyección de la señal de datos modulada hacia dicha red; los circuitos de acondicionamiento amplifican los niveles de señal que arriban y adecua los datos modulados de salida.

3. MODELAMIENTO MATEMÁTICO DE UN SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE DATOS A TRAVÉS DE LA RED ELÉCTRICA DOMICILIARIA.

3.1. Caracterización de la Línea de Transmisión.

Las características de una línea de transmisión están determinadas por sus propiedades eléctricas⁹ y de sus propiedades físicas¹⁰. En la red eléctrica domiciliaria se encuentra una línea de transmisión con las siguientes especificaciones: Línea Bifilar, Conductor de cobre, Tamaño nominal del conductor: 12 (calibre 12), Diámetro del cobre desnudo: 2.03mm., Conductores recubiertos con caucho (material plástico que se obtiene por polimerización del etileno, es decir polietileno) y separación entre centros de 1cm.

Las propiedades eléctricas y físicas de una línea de transmisión determinan las constantes eléctricas primarias y las constantes secundarias.

Constantes eléctricas primarias: se distribuyen uniformemente en toda la línea y son: R (resistencia de corriente directa en serie), L (inductancia en serie), C (capacitancia en paralelo) y G (conductancia en paralelo) (ver figura 7).

⁹ Conductividad de los alambres y la constante dieléctrica del aislamiento.

¹⁰ Diámetro del alambre y distancia entre conductores.

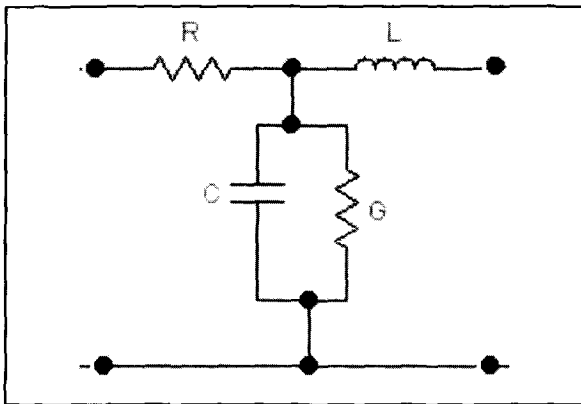


Figura 7. Constantes eléctricas primarias por unidad de longitud

Cálculo de las constantes eléctricas primarias: Los parámetros R, L, C y G, por unidad de longitud, se encuentran a partir de la permitividad-conductividad del dieléctrico y del conductor.

Los fabricantes de material aislante establecen que el coeficiente de permitividad eléctrica relativa "ε_r" para el polietileno es de 2.27.

ε = ε_r/ε₀. La permitividad eléctrica "ε" para el polietileno es 20 x 10⁻¹² C/m.

La conductividad del dieléctrico "s_d" está determinada por la siguiente ecuación:

$$\sigma_d \approx w \times \epsilon \times \tan \delta \text{ (S/m)}$$

W : frecuencia; ε : permitividad; tan δ : tan gente - pérdidas

En la práctica para un rango de frecuencias de 50 Hz a un 1 GHz se tiene que:

$0.2 \times 10^{-3} \leq \tan \delta \leq 0.3 \times 10^{-3}$; se puede asumir que la tangente de pérdidas es constante e igual a 0.2×10^{-3} , a una frecuencia de portadora de 100 KHz a 200 KHz.

La conductividad eléctrica "σ" para el cobre es de 5.8 x 10⁷ S/m y el coeficiente de permitividad magnética "μ" es 4π x 10⁻⁷ H/m.

Si la profundidad de penetración *l* es menor que el radio del conductor (1mm), los cálculos de los parámetros para la línea de transmisión se realizan con las expresiones para alta frecuencia; de lo contrario, se usan las fórmulas para baja frecuencia.

$$l = \sqrt{\frac{2}{w\mu\sigma}}$$

Constantes secundarias: son la impedancia característica y el coeficiente de propagación. Éstas se calculan a partir de las cuatro constantes primarias.

Impedancia característica: es la impedancia vista hacia una línea de longitud infinita, ó la impedancia vista hacia una línea de longitud finita que termina en una carga puramente resistiva igual a la impedancia característica de la línea.

$$Z_0 = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}} \text{ (}\Omega\text{)}$$

Coficiente de propagación: se usa para expresar la atenuación¹¹ y el desplazamiento de fase¹² por unidad de longitud de una línea de transmisión. El coeficiente de propagación ó constante de propagación es una cantidad compleja y se define como sigue.

$$\gamma = \alpha + j\beta = \sqrt{(R + j\omega L)(G + j\omega C)}$$

¹¹ Hay varias formas en las que se pierde la energía en una línea de transmisión: pérdidas en el conductor, pérdidas por radiación, pérdidas por calentamiento del dieléctrico y pérdidas por acoplamiento. La atenuación a aumenta con la frecuencia.

¹² Indica la rapidez del cambio de fase de la onda conforme se propaga.

A frecuencias intermedias y de radio, $WL > R$ y $WC > G$, entonces:

$$\alpha = \frac{R}{2Z_0} + \frac{GZ_0}{2}; \beta = W\sqrt{LC}$$

3.2. Propagación de ondas en líneas de transmisión.

Velocidad de propagación: La velocidad con la que se propaga una onda electromagnética por la línea eléctrica domiciliaria varía de acuerdo con su inductancia y capacitancia.

Al aumentar la frecuencia de transmisión, la velocidad de fase tiende al valor que tendría la velocidad de propagación en un medio con $\epsilon_r = 2.27$ y sin pérdidas.

$$V_{fase} = \frac{\omega}{\beta} = \frac{2\pi F}{\beta}$$

Si la distancia se normaliza a un metro, la velocidad de propagación de un bit modulado en un hertz, en una línea bifilar sin pérdida es:

$$V_{propagación} = \frac{1m}{\sqrt{L * C}} (m/s)$$

Tiempo de retardo: esta dado por la siguiente ecuación:

$$t_d = \frac{d}{V_{propagación}} (seg)$$

La velocidad de transmisión de ciclos por bit es el cociente entre la frecuencia de la portadora (Hz) y la velocidad de los datos (Bps); en consecuencia el retardo es:

$$t_{d-ciclos/bit} = \frac{Fc}{bps} * t_d (seg)$$

El tiempo de retardo total se encuentra con la siguiente fórmula:

$$t_{total} = n_{bits} * t_{d-ciclos/bit} * d(seg)$$

El módulo transmisor de datos sobre la red eléctrica domiciliaria tendrá que esperar dos veces el tiempo de retardo total por razones de ida de la señal y confirmación de respuesta.

3.3. Justificación matemática del acople a la línea de transmisión.

El acople es un circuito que adapta la señal de datos modulada por el transmisor para que sea inyectada a la red eléctrica, y que a la vez le permite detectar señales de retorno (ver figura 8).

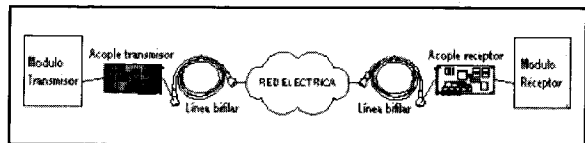


Figura 8. Diagrama de bloques de un sistema de transmisión de datos por la red AC.

Para acoplar el módulo transmisor con la red eléctrica domiciliaria se requiere un filtro pasa altas pasivo¹³ con el fin de atenuar la señal de 60 Hz. y dejar pasar la señal de datos modulada (ver figura 9).

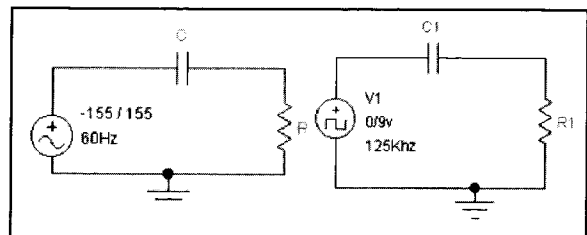


Figura 9. Filtro pasa altas pasivo con dos señales de entrada.

¹³ Es conveniente utilizar en el acople filtro pasivos con el fin de evitar fuentes de polarización duales.

La reactancia capacitiva que opone el condensador¹⁴ a una señal de corriente alterna se calcula así:

$$X_c = \frac{1}{2\pi f C}$$

Con una resistencia de carga baja¹⁵ se puede simular en Spice la repuesta del filtro para las señales eléctrica de 60Hz y de datos modulada.

Conocido el nivel de voltaje de la señal de salida se puede encontrar la atenuación del filtro con la siguiente fórmula.

$$A = 20 \text{Log} \frac{V_{out}}{V_{in}}$$

El comportamiento en frecuencia del filtro se puede examinar en la gráfica de su función de transferencia.

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{\tau_s}{\tau_s + 1}$$

$$\tau_s = R * C$$

3.4. Circuito de acondicionamiento de la señal de datos modulada-recuperada.

Se utiliza un amplificador lineal con transistor para regenerar la señal de datos modulada que fue transmitida por la red eléctrica domiciliaria (ver figura 10).

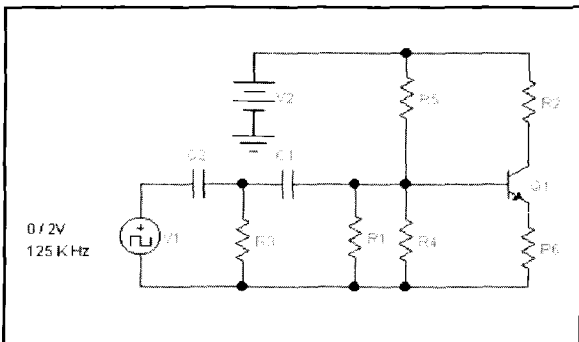


Figura 10. Acople directo entre doble filtro pasa altas con amplificador lineal.

Sobre R_4 se debe observar la señal de 60 Hz completamente atenuada y la señal de datos modulada. Es importante que a la salida del doble filtro no haya vestigios de la señal de 60 Hz. porque de otra forma el circuito que acondiciona la señal de datos modulada también amplifica la señal de la red eléctrica, complicándose la recuperación de los datos.

Diseño del Amplificador lineal: es un amplificador transistorizado con configuración emisor común y está polarizado por divisor de voltaje [4].

Según el nivel de voltaje de la señal de datos modulada se diseña para que tenga una ganancia¹⁶ determinada; se escogió la configuración emisor-común por su estabilidad.

$$A_v \cong \frac{R_c}{R_e}$$

Para lograr máxima excursión de la señal de salida, no distorsionada, es necesario diseñar el amplificador con el punto de trabajo "punto Q" en la mitad de la línea de carga.

$$V_{CEQ} = \frac{V_{cc}}{2}; I_{CQ} = \frac{V_{cc} - V_{CEQ}}{R_E + R_C}$$

Un criterio de diseño de amplificadores transistorizados es que la resistencia de Thévenin en la base sea:

$$R_b = 0.1\beta R_E$$

El voltaje de Thévenin se puede calcular a través de la siguiente fórmula, asumiendo una caída de tensión entre base-emisor de 0.6V.

$$V_{BB} = V_{BE} + I_{CQ} \left(\frac{R_B}{\beta} + R_E \right)$$

¹⁴ Se diseña el circuito con un condensador con impedancia mínima a frecuencia de los datos; el voltaje de ruptura del condensador comercial debe ser superior al nivel de voltaje de la señal de 60 HZ.

¹⁵ Se comprobó en la simulación que con una resistencia de carga del filtro de 80W pasaba buena parte de la señal de 60Hz; No obstante se utilice una resistencia de carga baja es recomendable hacer doble filtrado.

¹⁶ Para una ganancia grande es recomendable diseñar un amplificador multietapas.

Los valores de las resistencias R1 y R2 se determinan así:

$$R_2 = \frac{R_B V_{CC}}{V_{BB}}; R_1 = \frac{R_B}{1 - \frac{V_{BB}}{V_{CC}}}$$

3.5. Demodulación de la señal de información.

El circuito de demodulación depende de la técnica de modulación utilizada en el otro extremo. Para demodular una señal FSK¹⁷ se requiere un lazo de fase cerrada: PLL [6]; para demodular ASK¹⁸ es conveniente utilizar un filtro pasa bajas.

Diseño del filtro pasa bajas: conocida la frecuencia de los datos, se asume el valor del condensador y se diseña la resistencia.

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC}; R = \frac{1}{2\pi f_c C}$$

Los datos recuperados atenuados y distorsionados se pueden regenerar a través de un conmutador con transistor trabajando en corte y saturación (ver figura 11).

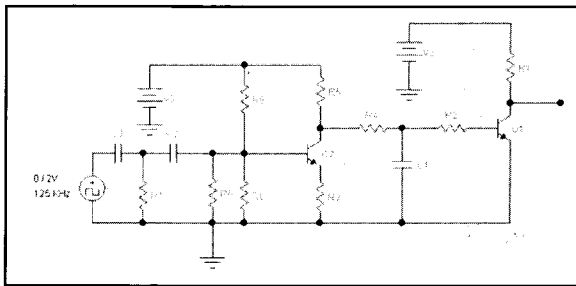


Figura 11. Circuito demodulador para ASK.

4. APLICACIONES DE TRANSMISIÓN DE INFORMACIÓN TRAVÉS DE LA RED ELÉCTRICA DOMICILIARIA.

Monitoreo y control de electrodomésticos:

Consiste en el seguimiento y control remoto de todos y cada uno de los electrodomésticos conectados en una vivienda, a través de la red eléctrica, con la finalidad de disminuir el consumo de energía. Las señales de control para cada aparato son transmitidas a través de la red eléctrica, recibidas y ejecutadas a través de un módulo que se adapta al electrodoméstico; el cual, a su vez devuelve una señal de estado en que se encuentra cada dispositivo. Es posible transmitir datos por la red AC y controlar variables por medio de PID¹⁹.

Internet en alta tensión:

Fue un proyecto desarrollado por estudiantes²⁰ de la universidad Nacional de Colombia, vinculados al grupo de investigación en teleinformática GITUM, que ofreció el servicio de Internet a través de la interconexión de la red de suministro de energía con la red de telecomunicaciones. El Proveedor del Servicio de Internet ISP llevó un canal hasta el último transformador del tendido eléctrico y desde allí transmitió la señal proveniente de Internet hacia las viviendas afiliadas. Esta idea también fue aplicada en Chile, Alemania y España, logrando velocidades de 2 a 20 Mbps.

Monitoreo de alarmas.

Consiste en la transmisión de datos sobre la red eléctrica domiciliar. A cada dispositivo conectado a la red tipo bus se le asigna una dirección IP, como si fuera una red Ethernet; los datos se modulan en ASK y la transmisión se controla mediante un microcontrolador.

¹⁷ Modulación digital por desplazamiento de frecuencia.

¹⁸ Modulación digital por desplazamiento de amplitud ó OOK On-Off Keying es una las técnicas más empleadas.

¹⁹ Mendoza, J. y Blanco, H. Monitoreo y control de electrodomésticos, proyecto de desarrollo 2003, Universidad Católica de Colombia.

²⁰ Malaver, H. Y Moreno, A. Internet en alta tensión 2001, Universidad nacional de Colombia.

Power Line Communications: PLC.

Algunas compañías electrificadoras utilizan la tecnología PLC para recoger datos de consumo y facturación, con la desventaja de la baja velocidad (60 bps) y la unidireccionalidad de la transmisión (hacia la compañía). Sin embargo, el desarrollo de nuevas tecnologías y dispositivos ha permitido la transmisión de información a tasas de 2, 5, 10 y 100 Mbps, permitiendo la transmisión de multimedia y la implementación de redes privadas virtuales: VPN. ENDESA²¹ está desarrollando desde hace dos años el proyecto de transmitir datos a través de red de alta tensión.

Interconexión de los sistemas telefónico y eléctrico.

La aplicación consiste en tomar las señales telefónicas que llegan a una vivienda y retransmitirlas a través de la red eléctrica de la misma, dándole la facilidad al usuario de utilizar el teléfono en cualquier sitio de la vivienda en donde se encuentre una toma eléctrica (ver figura 12).

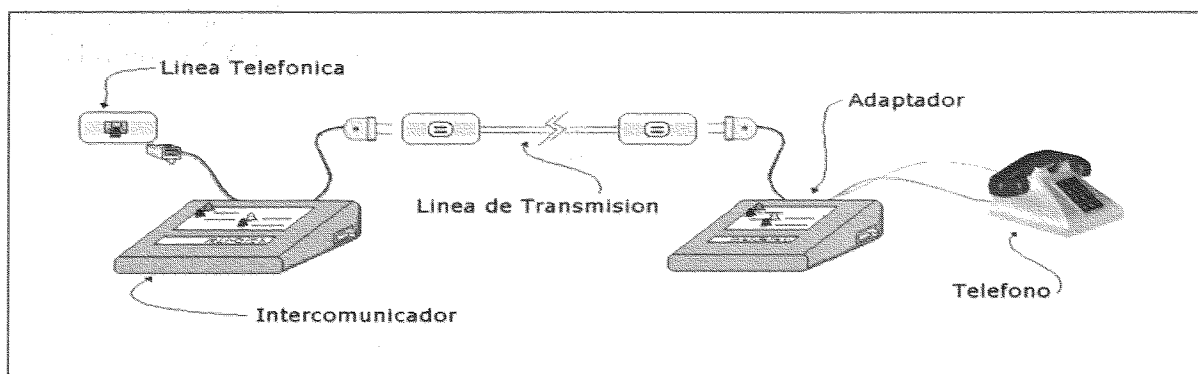


Figura 12. Expansión del servicio telefónico por el tendido eléctrico

CONCLUSIONES

La transmisión de datos por la red eléctrica es interferida por la señal de 60 Hz, por sus señales armónicas y por otras señales indeseables; para garantizar la calidad de la comunicación, se sugiere modular los datos a una frecuencia entre 100 KHz – 500 KHz.

La transmisión de señales de información (voz, datos, video, etc.) que requieren transmisión en tiempo real ó gran ancho de banda en el medio, implica técnicas eficientes de codificación, compresión y modulación que todavía no se han explorado.

El mercado colombiano para este tipo de desarrollo tecnológico es muy limitado, y la única opción que existe es la importación directa de elementos con protocolo X-10.

La implementación de un protocolo propietario para la transmisión de datos por la red eléctrica domiciliaria debe tener en cuenta las siguientes consideraciones, entre otras: identificar el módulo esclavo que se encuentra conectado a la red, controlar errores, evitar desbordamientos - controlar flujo, direccionar datos, establecer límites de las tramas, evitar congestión en la red, garantizar una calidad de servicio mínima, etc.

²¹ ENDESA:

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] "Line interface circuit for power line communication" International Application Published under the Patent Cooperation Treaty (PCT). International Publication Number: WO 03/023990 A1.
- [2] "Power line communication circuit" International Application Published under the Patent Cooperation Treaty (PCT). International Publication Number: WO 03/028227 A1.
- [3] Rodolfo Neri Vela, *Líneas de Transmisión*, Primera edición, Editorial Mc Graw-Hill 1999, págs. 31-66.
- [4] C.J. Savant et al, *Diseño Electrónico Circuitos y Sistemas*, Tercera edición, Editorial Pearson Educación, 2000, págs. 760-778.
- [5] Andrew S. Tanenbaum, *Redes de Computadoras*, Tercera edición, Editorial Prentice Hall Hispanoamericana, 1997, págs. 28-43, 77-81, 82-84, 176-183, 339-344.
- [6] Wayne Tomasi, *Sistemas de Comunicaciones Electrónicas*, segunda edición, Editorial Prentice Hall Hispanoamericana, 1996, págs. 445-476.
- [7] Domotica.Net (Junio del 2003), Sistema X-10 (en línea), Disponible en: <http://www.domótica.net/511%27i.htm>
- [8] CENELEC EN 50065-1:2001 "Signaling on low-voltage electrical installations in the frequency range 3kHz to 148.5kHz", Part 1: General requirements, frequency bands and electromagnetic disturbances.
- [9] Casa inteligente.com (Junio del 2003), ¿Qué es X-10? (en línea), Disponible en: <http://casainteligente.com/x10/x10.htm>
- [10] Domótica soluciones integrales (Junio del 2002), HomePulg (en línea), Disponible en: <http://www.domótica.net/HomePlug.htm>
- [11] Automatización de edificios y residencias (Agosto del 2002), Protocolo de transmisión PLC X-10 (en línea), Disponible en: <http://www.electrodepot.com/x10/disposit.htm>