

DATA TRANSMISSION USING THE AC POWER TRANSMISSION LINE TRANSMISIÓN DE DATOS UTILIZANDO LA LÍNEA AC DE POTENCIA

MSc. Antonio Gan Acosta, Ing. Emerson R. Puche Pinedo, Ing. José M. Luna A.

Universidad de Pamplona

Ciudadela Universitaria. Pamplona, Norte de Santander, Colombia.

Tel: 57-7-5685303, Fax: 57-7-5685303 Ext. 156

antoniogan@unipamplona.edu.co

Abstract: To develop a communication system in which is possible to interchange information between “Digital Systems” using the AC line as a transmission medium. The motivation under using this medium is to exploit the wiring that exists in anyplace with electrical installation, by this way cost, work and time are saved, by means to avoid the installation of any other transmission medium like coaxial cable or bifilar cable for instance.

Resumen: Desarrollo de un sistema de comunicación en el cual sea posible llevar a cabo un intercambio de información entre “sistemas digitales” utilizando la línea de AC como medio de transmisión. La razón de utilizar este medio es la de aprovechar un cableado ya existente en cualquier lugar con instalación eléctrica; de esta forma se disminuirán costos, trabajo y tiempo, al evitar el realizar una instalación con cualquier otro medio de comunicación dedicado como podría ser cable coaxial y bifilar entre otros.

Keywords: Modulation, Demodulation, Power transmission, Filters, Amplifiers.

1. INTRODUCCIÓN

La necesidad de intercambiar información, ha favorecido el desarrollo de las redes de comunicación de datos, teniendo diferentes medios físicos estandarizados para dicho propósito.

El objetivo de este proyecto fue, el diseño y montaje de un sistema de comunicación para 2 computadores, en el cual sea posible llevar a cabo un intercambio de información entre “sistemas digitales” utilizando la línea de AC como medio de transmisión.

La línea de AC es un ambiente poco favorable para la transmisión de señales de datos. A través de los cables de esta línea viaja una señal de 120 volts con una frecuencia de 60 Hz.

Debido a las características de este medio, es necesario diseñar una forma de acoplamiento adecuado, para no dañar el transceptor y que no genere ruido.

Ya que la información a transmitir proviene de un sistema digital, es necesario transformar la información binaria a una señal analógica que pueda viajar en este medio, función que realiza un

módem con tecnología PLC (Powerline communications). Este MODEM hace la conversión de señales mediante una modulación FSK. Como el medio está compartido con una señal de 60 Hz, se utiliza una banda de frecuencia suficientemente alta para que esta señal no interfiera con nuestra señal de información.

3. SISTEMA

Etapa transmisora

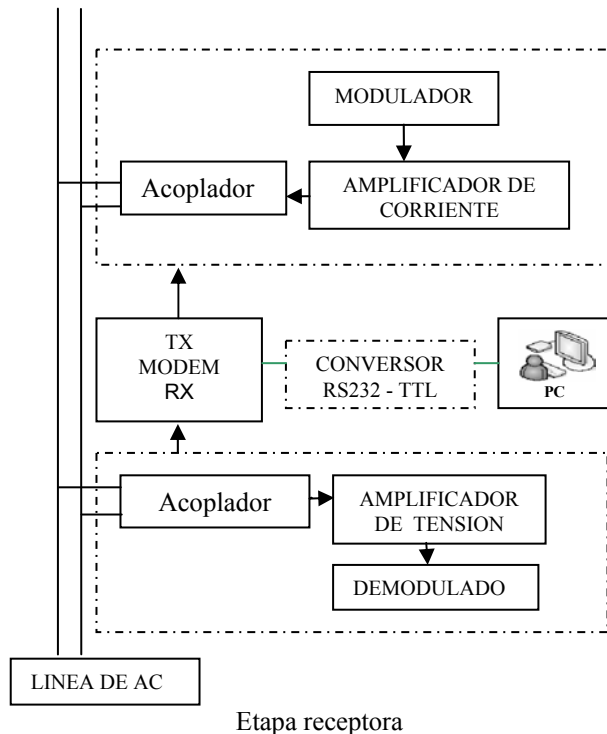


Fig. 1: Diagrama de bloques del sistema de transmisión

La figura 1 muestra el diagrama de bloques del sistema de transmisión implementado, el cual consta de las siguientes partes:

3.1. Modulador

La información a transmitir proviene del computador, el cual es un sistema que maneja señales digitales binarias. El modulador es el encargado de transformar este tipo de señal a una señal analógica que pueda viajar por la línea de AC. La conversión de las señales se realizó mediante una modulación en FSK.

El medio utilizado está compartido con una señal de 60 Hz, por lo que se utiliza una banda de frecuencia lo suficientemente alta (67.2 KHz a 124.8 KHz para el transmisor 1 y 182.4 KHz a 240 KHz para el transmisor 2).

Para realizar la modulación se utiliza el integrado XR2206 el cual es un generador de función monolítico capaz de producir ondas seno de alta calidad, cuadrada, triangular, rampa, de alta estabilidad y exactitud. La frecuencia de funcionamiento del integrado XR2206 se puede seleccionar externamente dentro de un rango de 0.01Hz a más de 1MHz, cuenta con una alimentación máxima hasta 26V. El circuito del modulador se muestra en la figura 2.

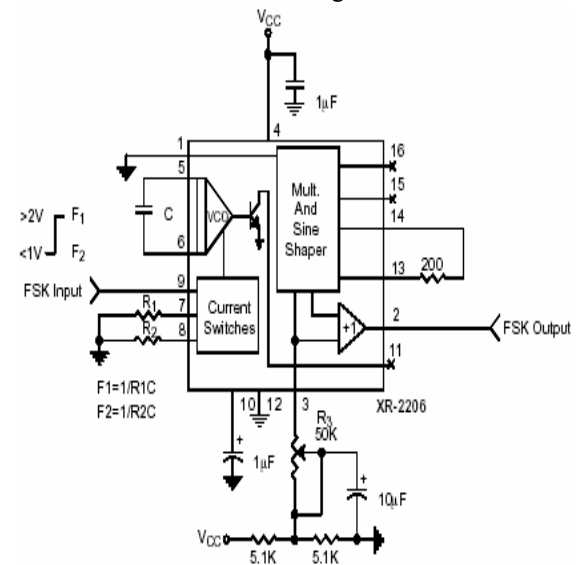


Fig. 2: Circuito del modulador FSK

El XR2206 genera la señal FSK, el cual opera con dos resistores por separado R_1 y R_2 conectados del pin 7 al 8 como se muestra en la figura 2.

$$f_1 = 1 / R_1 C \quad \text{y} \quad f_2 = 1 / R_2 C$$

Donde Para el transmisor 1

$f_1 = 105600$ Hz frecuencia de uno lógico

$f_2 = 86400$ Hz frecuencia de cero lógico

$C = 1000$ pf

Para el transmisor 2

$f_1 = 220800$ Hz frecuencia de uno lógico

$f_2 = 201600$ Hz frecuencia de cero lógico

$C = 1000$ pf

3.2. Amplificador de corriente

Esta etapa brinda la corriente necesaria para producir una buena inducción en la línea de AC sin sobre cargar al modulador. La figura 3 nos muestra el esquema del amplificador de corriente utilizado en el transmisor.

$$V_o = V_i A / (1 + A) - V_{BE} / (1 + A)$$

$$I_{sal} = I_{OP}(\beta_{CC} + 1)$$

Donde

I_{OP} = corriente del operacional

I_{sal} = corriente de salida

V_i = voltaje de entrada

V_o = voltaje de salida

V_{BE} = voltaje base – emisor de los transistores

β_{CC} = ganancia de corriente de los transistores

A = ganancia de tensión del operacional

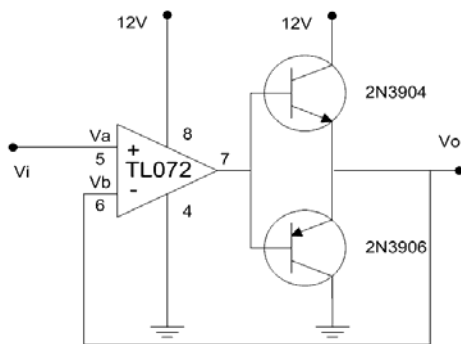


Fig. 3. Amplificador de corriente

Necesitamos dispositivos que puedan operar a una frecuencia superior a los 250000 Hz además brinden una corriente mayor a los 75 mA.

Se seleccionó el Amplificador operacional TL072 ya que este puede trabajar a una frecuencia de 500 MHz, posee un alto slewrate, ganancia de tensión de 300000, brinda una buena corriente aunque esta será amplificada por los transistores y opera con los voltajes manejados.

Los transistores seleccionados son 2N3904 y 2N3906 por que pueden operar a la frecuencia de 1 MHz, tienen una ganancia de corriente β_{CC} cerca de 100 lo que reduciría a 101 veces la corriente del amplificador operacional, proporcionan una corriente de emisor cerca de 500 mA y soportan los voltajes manejados. Ha estos motivos se le agrega que son muy comunes en el mercado local.

3.3. Acopladores

Tiene como función el proporcionar aislamiento eléctrico entre el circuito de baja potencia y la línea de AC. Además, realiza un filtrado pasa altas a una frecuencia lo suficientemente alta para poder separar fácilmente la señal que se enviará, de la componente de 60 Hz presente en la línea.

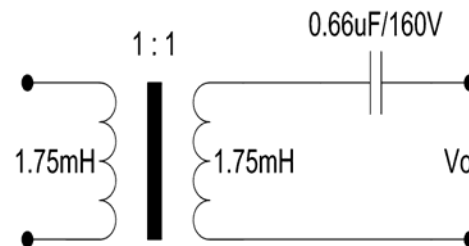


Fig. 4: Acoplador para los transceptores

Para poder enviar una señal a través de la línea de AC es necesario proteger los circuitos que se emplean como transmisores y receptores, los cuales manejan voltajes pequeños de corriente directa, y resultarían dañados en caso de recibir voltajes tan altos como los presentes en la línea de corriente alterna. De aquí surge la necesidad de utilizar un circuito que sirva como interfase entre el circuito electrónico y la línea de corriente alterna que presenta una impedancia muy pequeña. El circuito del acoplamiento se muestra en la Figura 4.

Transmisor 1 y transmisor 2

Realizando el análisis del circuito de la figura 4 visto desde un MODEM a otro MODEM obtenemos:

$$\omega_c \approx (L + 2rRC + R^2C) / LC(R + r)$$

La frecuencia de corte para el circuito visto desde un MODEM a otro MODEM se escogió de tal forma que solo permita el paso de las frecuencias del ancho de banda usado en la transmisión.

$$\omega_c \leq 67200 \text{ Hz}$$

Donde:

$r = 2 \text{ ohm}$, resistencia de la red eléctrica

$R = 2 \text{ ohm}$, resistencia de la bobina

$L = 1.75 \text{ mH}$

Realizando el análisis del circuito de la figura 4 visto desde la red eléctrica hacia el MODEM obtenemos:

$$w_c = 1/\sqrt{LC}$$

La frecuencia de corte para el circuito visto desde la línea AC hasta el MODEM se escogió de tal forma que estuviera por encima de los 60 Hz de la red.

$$w_c \geq 4000$$

Por tanto

$$0,5945 \mu\text{f} \leq C \leq 0,9046 \mu\text{f}$$

El valor del capacitor C = 0,66 μf

3.4. Amplificador de tensión

Esta etapa es un amplificador de voltaje, el cual amplifica la poca señal recibida del acoplador de la línea AC, se ajusta dependiendo de la amplitud de la señal recibida para compensar pérdidas extras, como atenuación por distancias en la conexión a la línea AC. Además de amplificar, forma un filtro pasa banda activo con una frecuencia central de 96000 Hz para el transmisor 2, y 211200 Hz para el transmisor 1, con el fin de reconstruir la señal. La figura 5 nos muestra el esquema del circuito amplificador de tensión utilizado en el transmisor.

$$Q = f_o / BW$$

$$R_2 = Q / (f_o C \pi)$$

$$R_{1b} = R_2 / 2A_r$$

$$R_{2b} = R_2 / 2(2Q^2 - A_r)$$

Donde

$A_r \leq 2Q^2$ es la ganancia de tensión en resonancia

Q es el factor de calidad del filtro

f_o es la frecuencia central del filtro

BW es el ancho de banda del filtro

C = 1 nf

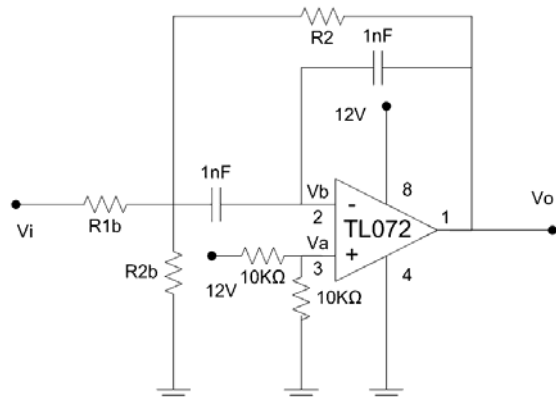


Fig. 5: Amplificador de tensión y filtro pasa banda para transmisor 1

3.5. Demodulador

La información que proviene del amplificador de tensión y filtro pasa banda maneja señales analógicas moduladas en FSK, el demodulador transforma estas señales en una señal digital que puede ser interpretada por el computador.

El demodulador para el transmisor 1 está diseñado para un ancho de banda de 182.4 KHz a 240 KHz con una frecuencia central de 211.2 KHz, esto debido a que la señal que recibe este demodulador proviene del transmisor 2 el cual trabaja en este rango de frecuencias.

El demodulador para el transmisor 2 está diseñado para un ancho de banda de 67.2 KHz a 124.8 KHz con una frecuencia central de 96 KHz, esto debido a que la señal que recibe este demodulador proviene del transmisor 1 el cual trabaja en este rango de frecuencias.

Para realizar la demodulación se utiliza el integrado XR2211 el cual es un circuito de fase cerrada (PLL), este integrado fue diseñado para las comunicaciones de datos. Está particularmente preparado para las aplicaciones del módem FSK. Opera con un rango de voltaje de 4.5 a 20V y un rango de frecuencia de 0.01 Hz a 300 KHz, puede trabajar con señales analógicas de amplitud entre 10mV y 3V, además de niveles DTL, TTL y ECL. Su voltaje de alimentación va de 4,5 a 20V. El circuito del demodulador se muestra en la figura 6.

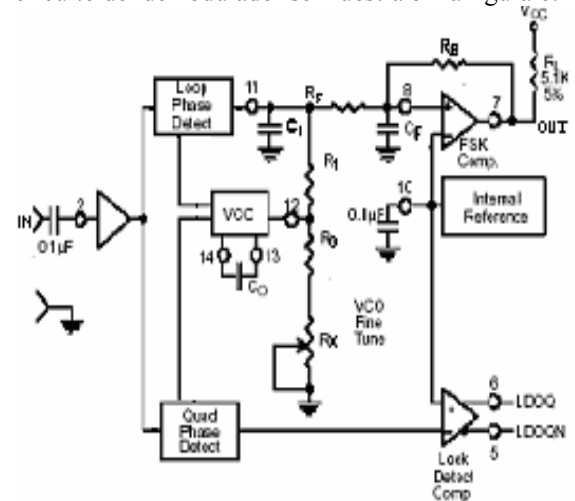


Fig. 6: Circuito para la demodulación FSK

Las funciones de los componentes externos se define como sigue: R_0 y C_0 determinan la frecuencia central del PLL, R_1 determina el ancho de banda del sistema, y C_1 determina la constante de tiempo del filtro; C_f y R_f forman un filtro de un polo para la post-detección de los datos FSK.

Se calculó de los parámetros y componentes para el demodulador

Cálculo la frecuencia central del PLL, f_0 :

$$f_0 = \sqrt{f_1 * f_2}$$

Se escoge un valor arbitrario de R_0 y R_X entre 10 k Ω y 100 k Ω , para calcular R_T :

$$R_T = R_0 + R_X / 2$$

Calcular el valor de C_0 :

$$C_0 = 1 / (R_T * f_0)$$

Calcular el valor de R_1 :

$$R_1 = 2 * (R_T * f_0) / (f_{LH} - f_{LL})$$

Donde

$f_{LH} = 124800$ Hz Para transmisor 2 y 240000 Hz para el transmisor 1.

$f_{LL} = 67.2$ KHz Para transmisor 2 y 182.4 KHz para el transmisor 1.

Calcular el valor de C_1 , $\zeta = 0.5$

$$C_1 = (1250 * C_0) / (R_1 * \zeta^2)$$

Calcular R_F , R_B , y R_{SUM}

$$R_F = 5 * R_1$$

$$R_B = 5 * R_F$$

$$R_{SUM} = ((R_F + R_1) * R_B) / (R_F + R_1 + R_B)$$

Calculo C_F

$$C_F = 0,25 / (R_{SUM} * \text{rata de baudios})$$

Donde rata de baudios es la velocidad de transmisión 19200 bits/seg.

3.6. Conversor de señales RS232 - TTL

Los módem se conectan con el computador a través de un puerto de comunicaciones del primero. Estos puertos siguen comúnmente la norma RS232. A través del cable RS232 conectado entre el computador y módem estos se comunican.

Hay varios circuitos independientes en la interfaz RS232. Dos de estos circuitos, el de transmitir datos (TD), y el de recibir datos (RD) forman la conexión de datos entre PC y Módem. La figura 7 muestra el circuito que forma la conexión entre PC y Módem.

Los datos provenientes del computador llegan al pin TD con una amplitud de 12 v, obteniendo una salida en $V_0 = 5$ V. Los datos provenientes del circuito receptor (demodulador) llegan al pin V_1 con una amplitud de 5 V, obteniendo una salida en $RD = 12$ V.

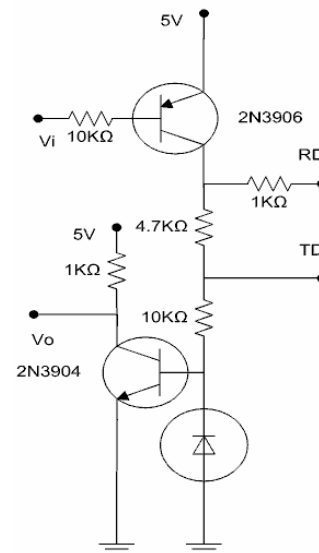


Fig. 7: Conversor RS232-TTL

4. CONCLUSIONES

Después de haber ensamblado el sistema, se realizaron diversas pruebas para ajustarlo y calibrarlo. Se logró un sistema de tamaño reducido en tablilla de experimentación, siendo seguramente de menor tamaño en circuito impreso. También se logró un adecuado acoplamiento entre un sistema de baja potencia y la línea de AC. Las pruebas que se realizaron, se basaron en el desarrollo de un programa sencillo de comunicación para una computadora con base en el puerto serie y utilizando otra computadora como terminal remota, observando que los datos que se introducían por el teclado, enviados a una velocidad de 19200 bps, se recibían satisfactoriamente en la terminal remota. La distancia máxima de prueba sin errores fue a 10 metros, logrando una mayor distancia si se eleva la potencia de la etapa transmisora. También se hicieron pruebas bajo la interferencia de aparatos de potencia conectadas a la línea de AC, específicamente con un taladro.

Se logró dejar establecida la capa física y de enlace necesarias para red, haciendo posible el conocimiento detallado de cómo funcionan y como están estructuradas las redes en sus niveles o capas más bajos, asegurando una transferencia de bits libre de errores entre los dispositivos que se encuentren conectados a la red, logrando una comunicación entre dos computadoras personales a una velocidad de 19200 bps, sin errores de transmisión considerables. Este sistema tiene ventajas para aplicaciones industriales, en dónde no se requiere de la transferencia de grandes volúmenes de datos.

REFERENCIAS

- Hay W. H, Kemmerly J. E. (1975). *Análisis de Circuitos en ingeniería*. Segunda edición. McGraw-Hill. México.
- Savant, Rodent, Carpenter. (1992). *Diseño Electrónico Circuitos y Sistemas*. Primera edición En español EE.UU. Addison-Wesley Publishing Iberoamericana.
- Millman, Jacob. (1986). *Microelectrónica Circuitos Sistemas Analógicos y Digitales*. Tercera edición. Hispano Europea. España.
- Freeman, Roger L. *Ingeniería de Sistemas de Telecomunicaciones*. (1996). Primera edición. Limusa, Noriega Editores. México.
- National Analog and Interface Products Databook* (2002).
- www.exar.com
- www.powerline.com
- www.plcforum.org
- www.atpowerline.com
- www.ipcf.org
- www.pablin.com.ar