



MONITORIZACION A DISTANCIA DE UNA VIVIENDA UTILIZANDO LA RED ELECTRICA

V. Serrano, M. Villena, D. Hoyos

Instituto de Investigación en Energías No Convencionales - INENCO

Consejo de Investigación UNSa - CIUNSa

Avenida Bolivia 5150 – CP 4400

Tel (387)-4255578 serranovh@inenco.net, maiver@inenco.net, hoyosd@unsa.edu.ar

RESUMEN

En este trabajo se estudian la transmisión de datos a través de la red eléctrica domiciliaria, la atenuación de la señal en función de la distancia, se analiza el protocolo I^2C y se propone un método para la conexión de sensores y actuadores dentro de una vivienda. Disponer de instrumentos de este tipo permite medir y controlar distintos dispositivos que utilizan energía solar para el acondicionamiento térmico de una vivienda. Con la utilización de la red eléctrica domiciliaria se evita el cableado para la transmisión de información entre los instrumentos o controladores.

INTRODUCCION

Existen distintas tecnologías para la transmisión de datos a través de la red eléctrica, las más utilizadas son: *X10* y *UPB*. *X10* [Powerline, 2003] fue desarrollada por *Pico Electronics of Glenrothes* (Escocia), con la finalidad de permitir el control remoto de dispositivos domésticos. Fue la primera tecnología domótica. Las señales de control de *X10* se basan en la transmisión de ráfagas de pulsos de radiofrecuencia (120 kHz) que representan información digital. Estos pulsos se sincronizan en el cruce por cero de la señal de la red eléctrica (50 Hz ó 60 Hz). Con la presencia de un pulso en un semi-ciclo y la ausencia del mismo en el semi-ciclo siguiente se representa un '1' lógico y, a la inversa, se representa un '0'. A su vez, cada orden se transmite 2 veces, con lo cual toda la información transmitida tiene cuádruple redundancia. Toda orden involucra 11 ciclos de red.

El *UPB* (*Universal Powerline Bus*) [Powerline, 2003] es un sistema de transmisión de datos, al igual que *X10*, utiliza la red eléctrica domiciliaria. Es más confiable que *X10* puesto que ha sido diseñado para ser un sistema de comunicaciones de alto rendimiento en dos vías. *UPB* transmite datos digitales codificados enviando señales en forma de pulsos inyectados y superpuestos en la onda sinusoidal de la corriente alterna.

Por otra parte existen distintos sensores de temperatura *DS1624* [Maxim, 2000] y humedad *SHT10* [Sensirion, 2005] que pueden funcionar en forma autónoma, conectados a un sistema central a través de la una red I^2C . También se pueden conectar microcontroladores PIC 16F873 [Microchip, 2005] utilizando esta red.

Al comienzo de este trabajo se analizó la red *X10* y posteriormente la red *UPB* con las siguientes consideraciones: en el país se consiguen actuadores *X10* pero su elevado costo y su uso limitado en el cual están enmarcados (para encender o apagar sistemas) hacen que se desestime su uso. El problema del acondicionamiento térmico de una vivienda requiere conocer distintos parámetros como temperatura, radiación, humedad y el accionamiento de distintos dispositivos como ser: cortinas de ventanas y ventiladores. También se debe medir las distintas condiciones térmicas de cada una de las habitaciones de una vivienda, de modo tal que se pueda controlar y tomar decisiones globalmente sobre la temperatura de la misma (según el análisis de los especialistas en el tema y que excede los límites de este trabajo). En el año 2005 se desarrolló un sistema para controlar la ganancia solar dentro de una habitación, pero el sistema tenía la dificultad que solo podía controlar la temperatura de esa habitación [Flores, 2005]. Este nuevo sistema solucionaría el problema del anterior trabajo. Lo descripto anteriormente se esquematiza en el siguiente diagrama:

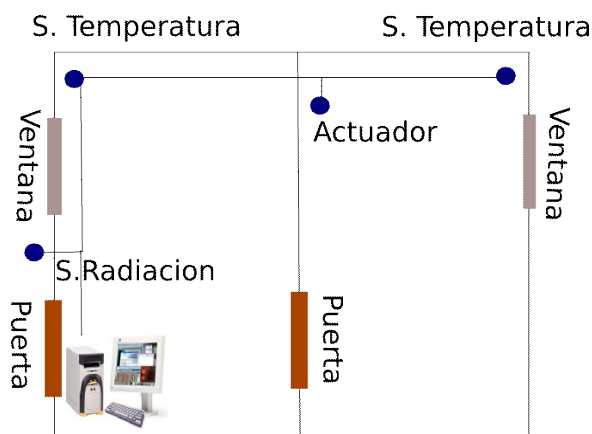


Fig. 1 – Esquema general

En la figura 1 se esquematiza una posible aplicación en la cual se observan: dos sensores de temperatura, un sensor de radiación, un actuador y una PC (Personal Computer) que realiza el control. Este sistema mediría la temperatura en ambas habitaciones y accionaría el actuador (en caso de ser necesario) para adecuar la temperatura del recinto. En este ejemplo tan sencillo se muestra la ventaja de utilizar una red de datos que utilice el cableado de la red eléctrica ya instalada. También muestra que para acondicionar térmicamente una vivienda se puede optar por un control centralizado. La segunda habitación no tiene fuentes generadoras de calor, por lo tanto depende de la primera para su acondicionamiento.

RED DE DATOS

En primer término se analizó la respuesta de una señal modulada en frecuencia sobre una instalación eléctrica domiciliaria, teniendo en cuenta algunos factores: atenuación de la señal, interferencia de dispositivos externos en esa señal, interferencia generada por este sistema y su efecto en los dispositivos de la vivienda. Considerando la atenuación de la señal, para la selección de la frecuencia de trabajo se realizaron diversas medidas en al menos tres viviendas de cuyo análisis presentamos uno de los resultados obtenidos. En el mismo se puede observar que la señal se atenúa considerablemente a partir de los 7,5 metros, pero la relación señal/ruido todavía es aceptable hasta los 15 metros. Existen problemas de reflexión de impedancia cuando la señal encuentra en su camino un empalme de distribución que contribuye a degradar la relación señal/ruido.

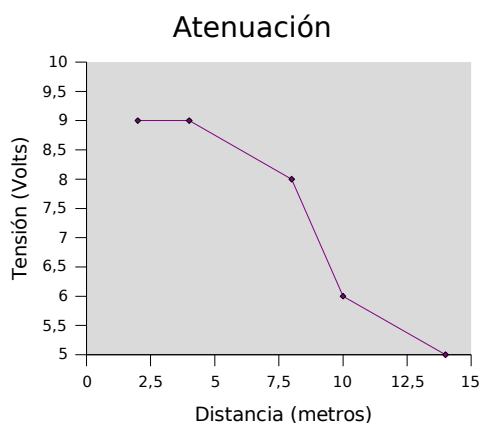


Figura 2: Atenuación de la señal en una red eléctrica domiciliaria

La frecuencia de la señal seleccionada es de 322 kHz. y el ancho de banda es de 40 kHz. Es importante destacar que en las pruebas realizadas en la frecuencia de 122 kHz (requerida por X10) se observó que la señal se atenúa mas rápidamente que en la frecuencia de 322 kHz. Por estos motivos seleccionamos esta última. La razón de esta situación es que no se dispone de transformadores comerciales de bajo costo adecuados a los 122 kHz que permita adaptar la impedancia.

INTERFERENCIAS

No se observaron interferencias sobre ningún dispositivo de las viviendas en las cuales se llevaron a cabo las pruebas, ni siquiera en los receptores de amplitud modulada que están en frecuencias cercanas, pero se observaron interferencias procedentes de los motores eléctricos conectados en la red, principalmente en el arranque de los mismos.

Teniendo en cuenta lo anteriormente expuesto, se adoptó una red que trabaja en 322 kHz. con un ancho de banda de 40 kHz. que nos permite acceder a cualquier tomacorriente de una vivienda. Restando elegir el protocolo de comunicación, este protocolo debía cumplir algunas características: que existan en el mercado sensores y microcontroladores que adopten este protocolo, cuyo costo sea accesible y cuya producción no sea discontinua. Por estas razones se eligió el protocolo I²C.

BUS I²C

El I²C (*Inter-Integrated Circuit*) fue diseñado originalmente por Phillips en 1992, es un bus de comunicaciones serie, modificado en el año 2000, alcanza una velocidad 100 kbps (*kilobits/segundo*) en modo estándar y hasta 3.4 Mbps (*Megabits/segundo*). I²C es un bus de 2 hilos: SDA (*System Data*) y SCL (*System Clock*), por el primero se transportan los datos y por el segundo canal viaja la señal de reloj de sincronización. Para nuestra aplicación la velocidad de 100 kbps es alta, pero la mencionada especificación es de máxima ya que al disponer de un clock sincrónico el bus puede funcionar a una velocidad menor, en el caso de este trabajo es de 10 kHz.

Para inyectar las señales SDA y SCL en la línea de energía eléctrica se moduló la primera de ellas a una frecuencia de 322 kHz. y la segunda a una frecuencia de 680 kHz. lo que permite colocar ambas señales sobre la línea de energía eléctrica. No se detectaron interferencias a la hora de realizar las mediciones.

La red I²C utiliza dos tipos de dispositivos: maestros y esclavos, pudiendo configurarse hasta 255 dispositivos esclavos. En nuestro caso los sensores y los controles operan como esclavos y la PC actúa como maestro. El protocolo I²C utiliza un canal SCL de sincronización manejado por el Master y un canal SDA por donde se reciben y envían los datos. Para poder transmitir por la red eléctrica se separa este canal en uno de entrada (que se debe demodular) y uno de salida que debe modular la señal, antes de enviar información a la red para cada sensor y la PC.

En la figura 3 se muestra el esquema de conexión de un sensor a la PC de control. La PC genera las dos señales SCL y SDA, estas señales deben ser moduladas en frecuencia para ser enviadas por la línea eléctrica (SDA 322 kHz, SCL 680 kHz), el sensor tiene que disponer de un demodulador que recupere las señales, las mismas deben ser transformadas utilizando una interfase, puesto que el sensor recibe y envía la información por SDA, acorde con el protocolo I²C. La respuesta del sensor también la realiza a través de SDA, esta señal se separa en la interfase (porque es bi-direccional) y se transmite utilizando un modulador de frecuencia el cual es ingresado a la PC.

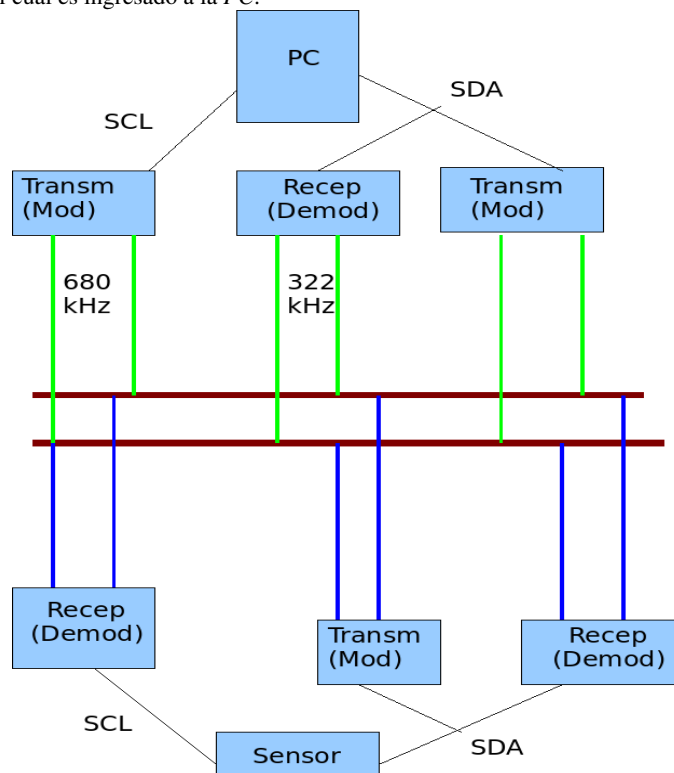


Figura 3: Descripción de la red

Se diseñaron y elaboraron distintos programas que permiten la utilización del puerto paralelo de la PC como Maestro del bus I²C, dicha programación fue realizada en lenguaje C en el entorno GNU/Linux, utilizando el compilador gcc [Stallman, 2005]. Se construyó una interfase utilizando el integrado 74LS05 según la publicación detallada en AN3230 [Maxim, 2000]

que debe ser colocada a la salida de *SDA* sobre el sensor.

INTERFASE RED ELECTRICA – I^2C

Cuando se requiere la transmisión de señales digitales utilizando como medio de transmisión la línea de corriente alterna de la red domiciliaria, se hace necesario la utilización de un sistema modulador en frecuencia para que estas señales no se vean atenuadas o afectadas por ruido proveniente, ya sea del ámbito externo del sistema como del propio ruido de la línea. El método para recuperar esta información (en el otro extremo de la comunicación) es utilizando un demodulador.

En nuestra experiencia se utilizó un circuito integrado muy versátil como es el *CD4046*. Para la etapa de transmisión se utilizó la función de oscilador controlado por tensión (*VCO – Voltage Control Oscillator*) y en la etapa receptora se usó la función de Lazo Enganchado en Fase (*PLL - Phase Loop Locked*), ambas funciones embebidas en el mismo circuito integrado.

Como primer paso se procedió a calibrar estos transformadores adaptadores de impedancia *T2* y *T3*, para ello se armó el circuito formado por el conjunto *T2* y *C3* como así también *T3* y *C5* que se observan en las figuras 4 y 5. Se conectó el primario del transformador *T2* (lado sin capacitor) a un generador de señal que provea una forma de onda cuadrada y una amplitud pico-pico de 10 Volts. También se conectó un osciloscopio para visualizar esta forma de onda. El secundario de este transformador se conectó a la línea 220 Vac (*Volts Alternating Current*).

El primario del transformador *T3* se conectó a la línea (lado del capacitor *C5*), el lado secundario a un frecuencímetro junto con un osciloscopio. Se comenzó a realizar el barrido de frecuencia desde *T2* para obtener la máxima salida en *T5* con lo que se encontró que esto sucedía a una frecuencia de 322 kHz, según lo previsto, para ser usada como portadora. Los valores de *C3* y *C5* son de 100 nF (*nano-faradios*) con una tensión de trabajo de 400 Vac. Esta frecuencia se utilizó para transportar la señal de datos *SDA* correspondiente al protocolo I^2C .

Con igual sistema de ensayo se obtuvo una frecuencia de 680 kHz para transportar la señal de reloj *SCL* con valores de 220 nF para los capacitores correspondientes.

Se armaron los circuitos eléctricos mostrados abajo en las figuras 4 y 5

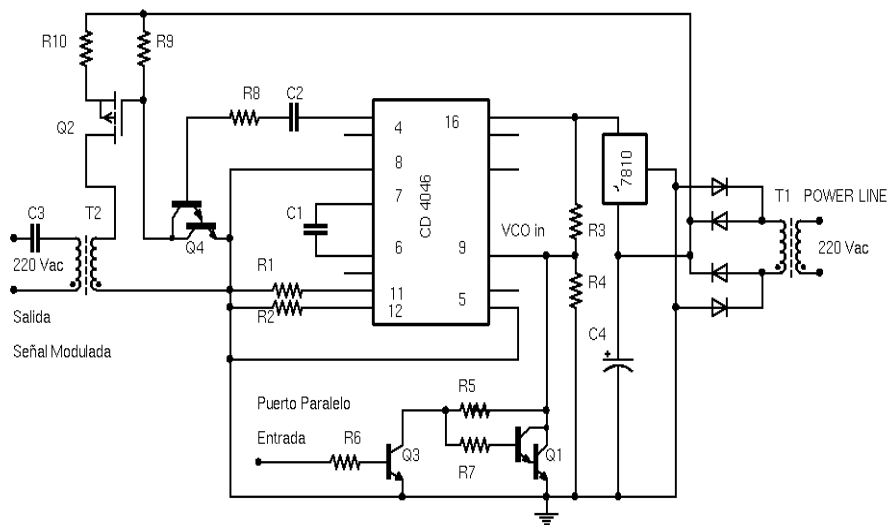


Figura 4: Circuito Modulador y Transmisor

Para la alimentación de este prototipo se tomó energía de la línea 220 Vac, por medio de un transformador se redujo la misma a una tensión de 12 Vac y luego de rectificar y filtrar se obtuvo una tensión de 12 Vdc (*Voltage Direct Current*), que introducida en un circuito regulador 7810 produjo la tensión $VDD = 10 Vdc$ apropiada para energizar a todo el sistema. En el pin 9 del CD4046 (entrada del VCO) se conectó un divisor de tensión para tener 5 Volts que se corresponde con $VDD/2$, de esta manera el VCO está oscilando a la frecuencia central, que para nuestras necesidades es de 320 kHz como se explicó anteriormente.

La señal a modular se conecta al transistor *Q3* que está trabajando en corte y saturación a igual que *Q1*. Desde el colector de *Q3* se polariza a *Q1*; con estas conexiones se logra por un lado aislar la señal del puerto paralelo y por otra parte se tiene en el pin 9 la señal del puerto paralelo con igual fase que la entrada. Es conveniente aclarar que *Q1* es un transistor del tipo Darlington el cual maneja una corriente suficiente para poner a tierra el pin 9 en los niveles bajo de entrada.

Luego de conectar los elementos externos apropiados se obtiene la frecuencia requerida en el pin 4 que se conecta en la base

de $Q4$, este polariza desde el colector a la compuerta de $Q2$, un transistor MOS-FET tipo P, desde el terminal Drain de $Q4$ se conecta el transformador que hace de interfase con la línea de 220 Vac. El capacitor $C3$ juntamente con el secundario de $T2$ ofrecen una alta impedancia a la frecuencia de 50 Hz. La alimentación del receptor se realiza de manera de obtener dos valores de tensiones: (+)12 Volts y (-) 12 Volts con respecto a tierra como punto de referencia, así también existe una tensión regulada en 10 volts para alimentar el sistema como se observa en la figura 5. La señal modulada se obtiene del transformador $T3$ sintonizado a la misma frecuencia que el transmisor, luego se introducen al pin 14 del $CD4046$ que está trabajando en la función PLL . La señal demodulada se obtiene del pin 10 del $CD4046$ y de esta manera se tiene recuperada la información enviada a través de la línea de 220 volts [Boylestad, 2003]. Para una mejor conformación de la señal se la introduce en el circuito comparador para conformarla a las interfases: sensores, microcontroladores, PC .

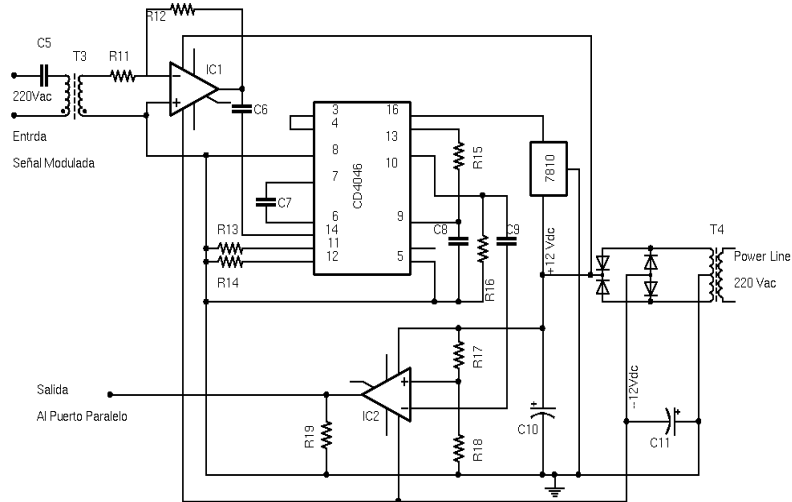


Figura 5: Circuito Receptor y Demodulador

SOFTWARE DE CONTROL I²C

El programa tiene distintos niveles de aplicación que se pueden visualizar en la tabla 1

Nivel aplicación	Tarea	Lenguaje
1	Implementación I ² C	C
2	Protocolo sensor	C
3	Aplicativo de Control	Tcl/Tk
4	Interfaz de usuario	HTML

Tabla 1: Niveles de aplicación

Implementación I²C: Desarrollado en Lenguaje C en la plataforma GNU-LINUX utilizando el compilador gcc, se desarrollaron dos funciones para las tareas de acceso al protocolo, (lectura y escritura) insertas dentro de un librería que debe incluirse dentro del programa que implementa el protocolo sensor.

Protocolo Sensor: Cada sensor de los propuestos tiene un protocolo distinto, a la fecha solo se desarrolló el medidor de temperatura, pero la aplicación puede adaptarse para trabajar con otras mediciones.

Aplicativo de Control: La finalidad del mismo es proporcionar funciones que permitan a los niveles de control mas bajos interactuar con el usuario final, esta tarea debe llevarse a cabo a través de una interfaz web, desarrollada en el siguiente nivel.

Interfaz de usuario: La interacción con el usuario final resulta ser muy amigable al tratarse de una página web, en el cual el usuario lee las condiciones térmicas de cada habitación, en base a formularios que presentan todos los parámetros necesarios para elegir las opciones disponibles.

SENSOR DS1624

Es un sensor integrado que utiliza como principio de funcionamiento dos osciladores: uno estable con la temperatura y otro que varia con la temperatura según una ley determinada. La diferencia de las frecuencias de los osciladores es proporcional a

la temperatura. El integrado se conectado a través de una red I^2C y tiene la opción de presentarse con una de ocho direcciones posibles ante la red, esto significa que se pueden conectar ocho sensores en una red determinada. Este número de sensores permite medir la temperatura hasta en ocho habitaciones, la precisión de la medida es de $0.03\text{ }^\circ\text{C}$ en el rango de -55°C hasta 125°C según especificaciones. El sensor fue calibrado con un error de $0.1\text{ }^\circ\text{C}$ en un rango de 15°C a 70°C , se estima que se destruirá cerca de los 90°C , no se realizó esta prueba.

CONCLUSIONES

En este trabajo originalmente se trato de implementar los protocolos X10 y UPB, la primera observación sobre los mismos es su elevado costo además resulta difícil cubrir las necesidades de una vivienda acondicionada térmicamente. Por lo tanto se seleccionó un protocolo distinto que cumple con las condiciones del sistema a controlar, un protocolo I^2C donde se modula estas señales SDA con 322 kHz y SDL con 680 kHz . Se realizaron mediciones para determinar los parámetros más adecuados teniendo en cuenta una buena relación costo/beneficio en función de los materiales disponibles en la región obteniéndose que esta red funciona adecuadamente hasta una distancia de 15 metros. Posteriormente se diseñaron las interfases necesarias, moduladores, demoduladores e interfase I^2C y la puesta a punto de las mismas. Se desarrolló un sistema de medida de temperatura utilizando el integrado $DS1624$ que permite conectar sobre la red ocho de estos chips, se tiene previsto implementar el sistema de control (utilizando microcontroladores como actuadores y sensores) y una ampliación al sistema de medida de humedad.

REFERENCIAS:

- S. Flores, D. Hoyos, J. Nieva y C.M. Valdiviezo, (2005) Sistema de control de ganancia solar mediante microcontroladores pic: primeros resultados. Averma 9
- Powerline Control Systems (2003) UPB Powerline Carrier Home Control Technology A White Paper on UPB and Web Mountain's NetPlace server . Powerline Control Systems
- Powerline Control Systems (2003) The UPB System Description, Powerline Control Systems
- Powerline Control Systems (2003) X-10 To UPB Migration Document , Powerline Control Systems
- Philips, (2000) The I2C Bus Specification version 2.1, Philips
- Microchip (2001) PIC16F87X Data Sheet , Microchip
- Maxim. (2000) 1624 Datasheet, Maxim
- Sensirion (2007) SHT1X Datasheet, Sensirion
- R. Boylestad, L. Nashelsky (2003) Electrónica: Teoría de Circuitos y Dispositivos Electrónicos, Prentice Hall
- R. Stallman, gcc Developer Comunity (2005) Using the GNU Compiler Collection for gcc version 4.2.1

ABSTRACT

In this paper we study the transmission of data via the electrical grid home, the attenuation of the signal depending on the distance, he examines the I^2C protocol and proposes a method for connecting sensors and actuators in a house. Having such instruments can measure and control various devices that use solar energy for thermal conditioning at home. With the use of household electrical grid prevents wiring for the transmission of information between devices or drivers.