

Sensores para la Medida de la Calidad de la Red con Conectividad ZigBee

José M. Rodríguez Ascariz y Luciano Boquete
Departamento de Electrónica, Universidad de Alcalá
Plaza de S. Diego, s/n, 28801 Alcalá de Henares, Madrid
Teléfono: 91 885 65 72, Fax: 91 885 65 91
Correo Electrónico: luciano@depeca.uah.es

Resumen

Se presenta un sistema electrónico para la medida de los parámetros de la red eléctrica con comunicaciones ZigBee. La unidad remota de medida está formada por un microcontrolador, un sistema de alimentación, un circuito integrado para la medida de los parámetros de la energía eléctrica y un módulo de comunicaciones ZigBee. El coordinador de la red puede estar soportado sobre un ordenador personal, en el que se ejecuta un programa con su interfaz de usuario, base de datos, etc. o puede ser otro sistema electrónico gobernado por un microcontrolador, pero con un sistema GPRS y/o Ethernet, para permitir comunicaciones a larga distancia.

1. Introducción

La medida de diferentes parámetros de la tensión de la red eléctrica se ha convertido en una importante necesidad tanto a nivel de usuarios industriales como de usuarios domésticos [1]. La necesidad de obtener todos los parámetros posibles sobre la corriente trifásica o monofásica, ya sea de una instalación industrial (trifásica) o residencial (monofásica), ha llevado al desarrollo de diferentes sistemas que permiten obtener datos de la misma. En los primeros momentos, el funcionamiento de estos dispositivos se basaba en principios electro-mecánicos, pero ya es posible disponer de sistemas contenidos en un circuito integrado que realizan las funciones necesarias, a partir de una conversión analógica-digital (ADC), en la que los cálculos se realizan en modo digital. Entre estos circuitos integrados modernos, se pueden comentar el ADE7758, el CS5462/5466 (Cirrus Logic), AD7750, STPM01, etc. Las principales aplicaciones de estos sistemas son: monitorización, control de calidad, facturación y como ventaja, se puede comentar que se obtiene un mejor interfaz con otros sistemas digitales, como pueden ser microcontroladores, sistemas de comunicaciones, etc.

Es posible encontrar en la literatura varios sistemas electrónicos especialmente diseñados para medir la calidad de la señal eléctrica [2]-[3] totalmente electrónicos. Incluso alguno de ellos están integrados dentro de una red wireless. Las ventajas de utilizar como medio de conexión tecnologías inalámbricas son la movilidad, reducción de coste y flexibilidad de la solución; todas estas ventajas deben conseguirse sin comprometer la seguridad en la transferencia de datos. En muchas aplicaciones industriales puede ser interesante implementar comunicaciones inalámbricas para sustituir el cableado tradicional [4], debido al ahorro de costes.

Recientemente el protocolo ZigBee ha sido considerado como un candidato sólido para su utilización dentro de entornos industriales, y de hecho, sus autores son del mundo industrial. El tipo de aplicación presentado en este artículo, en la que no se necesita una elevada transferencia de información, es totalmente apropiado a las características del protocolo ZigBee.

El objetivo de los autores ha sido desarrollar una red de medidores de energía eléctrica conectados mediante el protocolo ZigBee, destinada a ser utilizada en ambientes industriales, exteriores o a nivel del hogar. Con frecuencia, se dice que ZigBee compete con Bluetooth, pero en la aplicación que interesa, el primero tiene las siguientes ventajas:

- Optimizado para aplicaciones industriales, que no requieren un tráfico intenso.
- Tiempos de conexión entre nodos más reducido.
- Menor consumo.
- Mayor facilidad en el establecimiento de la red.
- Menor complejidad en la estructura de la pila del protocolo
- Posibilidad de conectar hasta 64K dispositivos a la red con topologías enteramente flexibles.

Este artículo ha sido organizado en los siguientes apartados: en el apartado 2 se indican de forma resumida las principales características del protocolo ZigBee; en el apartado 3 se describe a nivel hardware del sistema desarrollado; el siguiente apartado refleja los resultados de las pruebas obtenidas y se finaliza resaltando las principales conclusiones del trabajo realizado.

2. Protocolo Zigbee

Desde Diciembre del 2004 se dispone de una especificación completa del protocolo ZigBee [5].

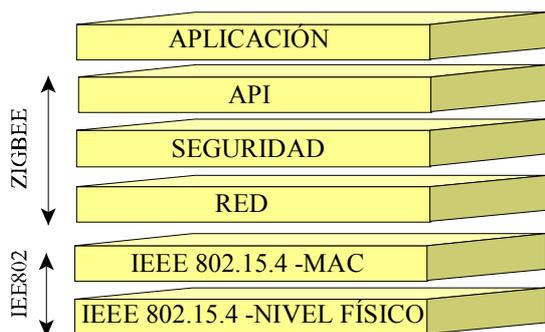


Fig. 1 Stack del protocolo ZigBee.

En la misma han participado unas 70 empresas y su finalidad ha sido el disponer de un sistema de comunicaciones inalámbrico, de bajo coste, bajo consumo y con una tasa de transferencia de datos media, encaminado a electrónica de consumo, ordenadores y sus periféricos, control de sistemas de iluminación residenciales, control industrial, sistemas automáticos en la construcción [6] y monitorización de variables médicas, compitiendo, entre otros, con los protocolos Bluetooth [7] y WiFi, más dirigidos a aplicaciones multimedia en las que se necesita una transferencia masiva de datos. Sus promotores resaltan que ha sido definido por especialistas de la industria.

Las redes inalámbricas ZigBee cumplen con la norma IEEE 802.15.4 en la capa física y en la capa de acceso al medio. La capa de red, el servicio de seguridad y el interfaz de la aplicación han sido definidos por la alianza ZigBee. La aplicación específica se ejecuta en el nivel superior del stack. Ha sido especialmente concebida para comunicaciones a corta distancia, y a baja velocidad, utilizando las frecuencias y especificaciones de IEEE 802.15.4. Permite obtener velocidades de 20, 40 y 250 kbps en distancias entre 10 y 100 metros y configuradas como redes en estrella, híbridas o topologías peer-to-peer. Su consumo energético es menor que las redes WiFi o Bluetooth.

La capa física IEEE 802.15.4 tiene la capacidad de medir la potencia de la señal recibida y de notificar este nivel a efectos de ajustar la calidad de la conexión. Dispone también de un algoritmo Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance (CSMA-CA), que monitoriza la utilización de cada canal. Durante la fase de construcción de la red se mide la potencia de la señal, lo que permite la selección de canales con la mínima interferencia con otros sistemas. Existe un mecanismo que cambia el canal de comunicación cuando se produce un deterioro en la calidad de la señal, de este modo el protocolo está optimizado para conseguir comunicaciones de gran calidad en entornos en los que incluso pueden existir otros sistemas trabajando en la misma banda de frecuencias.

El nivel de red ofrece mecanismos para conectarse y desconectarse de una red y para enrutar las tramas a su destino final. Una de sus ventajas es que cualquier nodo puede enviar un mensaje a otro nodo, utilizando cuantos elementos intermedios sean necesarios como repetidores.

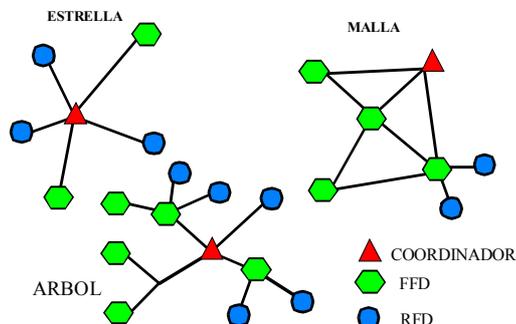


Fig. 2. Ejemplos de redes

Una red ZigBee puede tener dos tipos de dispositivos [8]:

Dispositivo de Función Completa (Full Function Device: FFD), dispone de funcionalidad completa y pueden actuar como Coordinadores de Red, Router o incluso como Dispositivos de Función Reducida.

Dispositivo de Función Reducida (Reduced Function Device: RFD): solamente se comunica con su Coordinador de Red o con un Router (repetidor de paquetes desde su origen a su destino) cercano, por lo tanto, no puede realizar funciones de Coordinador de la Red. Se supone que es uno de los extremos de la red y que actúa o lee información del medio físico (dispositivo End Point), siendo su implementación la más sencilla. Normalmente este dispositivo funciona en modo sleep, para ahorrar energía.

El coordinador es un tipo especial de router con la capacidad de estructurar la red, establecer un esquema de direccionamiento y mantener las tablas de direcciones.

Se muestra en la figura 2 diferentes tipos de redes que pueden ser organizadas en base al protocolo ZigBee; en la topología en estrella, la red está controlada por un coordinador. En las topologías en malla y en árbol, le corresponde al coordinador el inicio de la red, y la selección de determinados parámetros de funcionamiento de la red.

Es posible encontrar referencias de trabajos que utilizan este protocolo de comunicaciones, por ejemplo, para la monitorización de variables fisiológicas de una persona [9]-[10], para el registro de la temperatura de vehículos destinados al transporte de alimentos refrigerados [11] o sobre el diseño de los circuitos electrónicos necesarios [12],

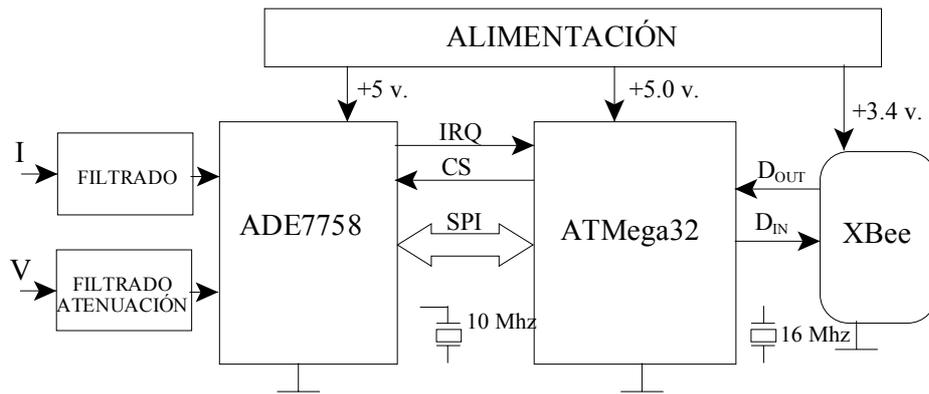


Fig. 3. Diagrama de bloques HW.

que demuestran el grado de aceptación de este nuevo protocolo.

3. Diagrama de Bloques Hardware

Se ha pretendido implementar un sistema de bajo coste pero sin embargo de elevada flexibilidad. Se muestra en la Fig. 3 el diagrama de bloques hardware de la unidad de medida de energía. Básicamente está formado por 4 subsistemas: alimentación, medidor de parámetros de la red (ADE7758), microcontrolador (ATmega32) y comunicaciones (XBee).

El circuito integrado ADE7758 realiza la medida de parámetros de la señal eléctrica tales como la energía activa, reactiva y aparente, valores de pico, duración del periodo de la señal, temperatura, superación de umbrales, etc. Su funcionamiento está sincronizado con un reloj a 10 Mhz y dispone de un interfaz SPI (Serial Peripheral Interface) [13], para comunicarse con un microcontrolador, todo ello alimentado con una tensión de +5 v. Las comunicaciones con el microcontrolador se realizan mediante las señales de IRQ, CS y SPI. Utilizando el protocolo SPI se puede acceder a sus 74 registros mediante los cuales es posible programar su funcionamiento (ganancias, tiempos,...) y acceder a los cálculos que ha realizado. Este circuito dispone de 3 entradas diferenciales para sensado de corriente (IAP-IAN, IBP-IBN, ICP-ICN) y otras 3 entradas para medida de tensión: VAP-VN, VBP-VN y VNP-VN. La tensión de la red debe ser acondicionada antes de ser aplicada al ADE7758; para las entradas de corriente la amplitud máxima es de ± 0.5 v. y para las entradas de tensión, la máxima amplitud es también de ± 0.5 v. En la figura 4 se muestra un caso real de acondicionamiento de las señales de medida de corriente y de medida de la tensión en la red: con el conjunto de resistencias, las ganancias de los amplificadores programables del ADE7758 deben ser de 1 (Gain Register).

El funcionamiento del conjunto está gobernado por el microcontrolador ATmega32, con núcleo RISC de 8 bits y con un oscilador de 16 MHz. Incorpora

numerosas prestaciones: a nivel de memoria dispone de 32 kB de memoria Flash (reprogramable más de 10000 veces), 1 kB de EEPROM y 2 kB de SRAM. A nivel de comunicaciones permite comunicaciones IIC, SPI y 1 UART. La programación se realiza sobre la propia tarjeta electrónica, a través de un interfaz JTAG. En el programa implementado, se controlan las comunicaciones por ZigBee, las posibles interrupciones recibidas desde el ADE, la lectura y escritura de sus registros, medida de tiempo (para la conversión de energía a potencia, etc.).

Como módulo de comunicaciones se ha utilizado el modelo XBee con una salida de 0 dBm, con un alcance en interiores de hasta 30 metros y en exteriores (con antena dipolo) de hasta 100 metros. Se alimentan con una tensión entre 2.8 y 3.4 voltios. La comunicación con el microcontrolador se realiza con comandos AT mediante un interfaz serie (DOUT, DIN) a velocidades configurables entre 1200 y 115200 bps.

El funcionamiento del sistema se ha estructurado en dos modos, para dar flexibilidad en su utilización:

- **Modo transparente:** en este modo de funcionamiento, el microcontrolador actúa como router entre la información recibida por el módulo de comunicaciones y el ADE7758; en otras palabras, es la unidad de control la que tiene que enviar los comandos apropiados para la lectura/escritura de los registros del ADE7758, y por lo tanto, básicamente el microcontrolador realiza la conversión a formato

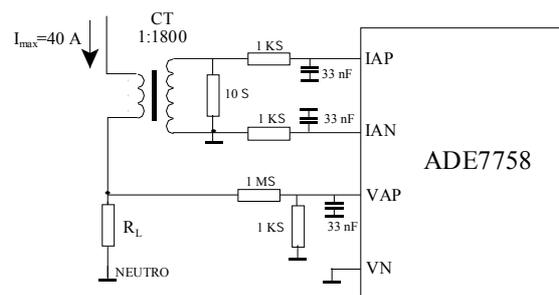


Fig. 4. Detalle de las conexiones.



Fig. 5. Imagen del circuito

SPI de los comandos recibidos desde la unidad de control. En el caso en que el ADE7758 genere una interrupción, ésta es transmitida al instante a la unidad de control, para que sea esta última la que tome las decisiones oportunas.

- **Modo comando:** se trata de un modo de funcionamiento en el cual el programa del microcontrolador asume la mayor parte del control del funcionamiento del sistema: supervisa el proceso de la obtención de parámetros de la red, almacena eventos, trata interrupciones, bajo determinadas circunstancias se comunica con la unidad de control, etc.

En el primer modo de funcionamiento el programa del microcontrolador es más sencillo, pero el número de transmisiones por la red ZigBee es mayor y también lo es el tiempo de respuesta. Con la segunda opción se complica el programa del microcontrolador, pero en cambio, se reduce el número de mensajes y se aumenta la velocidad de respuesta. Se muestra en la figura 5 el estado actual del prototipo de pruebas.

La señal de interrupción (IRQ) del circuito ADE7758 se puede activar, entre otros, en los siguientes casos:

- Detección de picos de corriente y tensión en cualquiera de las fases.
- Disminución en la tensión o corriente en cualquiera de las 3 fases, por debajo de un umbral prefijado.
- Timeout en el paso por cero en la fase A, B ó C.
- Paso por cero en la fase A, B ó C.
- Tensión de alimentación del circuito integrado inferior a 4 v.

Con el fin de disponer de una plataforma completa se ha implementado una unidad de control sobre un ordenador personal, con un completo interfaz de usuario para la supervisión de la red y de la aplicación. A nivel hardware, ha tenido que desarrollarse una tarjeta electrónica que permite la conexión entre un módulo ZigBee y el puerto serie



Fig. 6. Pantalla de la unidad de control

del ordenador. Sobre el ordenador se ejecuta un programa en LabWindows (versión 7.1), que permite visualizar el estado de la red en cada momento, enviar comandos a un dispositivo determinado, visualizar datos, etc. Está formado por 4 módulos interconectados entre sí: control de la red, control del funcionamiento del medidor de parámetros (Fig. 6), base de datos (mySQL v. 2.1), y generación y visualización de resultados.

4. Resultados

Se ha realizado la implementación práctica de la red de medidores de energía conectados por ZigBee utilizando 3 unidades como la descrita (Fig. 4); la supervisión de la red se ha realizado desde un ordenador personal con un interfaz de usuario que facilita la realización de pruebas y comprobaciones del comportamiento del sistema. Sobre el mismo, ha sido posible comprobar el correcto funcionamiento del sistema en diferentes configuraciones de red, así como el funcionamiento del circuito ADE7758 medidor de energía. El consumo del circuito cuando está realizando medidas de energía es de 22 mA y cuando transmite es de 71 mA.

5. Conclusiones

Las tecnologías inalámbricas de comunicaciones pueden ser en muchos casos de utilidad dentro de aplicaciones industriales. En este trabajo se muestra un sistema que permite la lectura de los parámetros de la tensión de red, ya sea monofásica o trifásica y que se comunica mediante el protocolo ZigBee con otros elementos. El elemento presentado se puede considerar como la primera parte de un objetivo más ambicioso, que consiste en la realización de un autómata personal descentralizado e interconectado por ZigBee: se diseñará una unidad central, formada básicamente por una CPU, comunicaciones por GPRS, Ethernet, RS232, USB, ZigBee y diferentes unidades periféricas, como puede ser la presentada en esta ponencia, de lectura de señales analógicas, actuación sobre señales de potencia, etc.

Agradecimientos

Proyecto de investigación financiado por el Ministerio de Educación y Ciencia. Referencia TRA2005-08734-C02-01.

Referencias

- [1] J. Stones, y A. Collinson, "Special feature: introduction power quality," *Power Engineering Journal*, 2001, pp. 58-64.
- [2] W. Koon, "Current sensing for energy metering," Analog Devices, Inc.
- [3] E. Moulin, "Measuring harmonic energy with a solid-state energy meter," *Metering International Issue*, 3 2003.
- [4] K. Koumpis, L. Hanna, M. Andersson, y M. Johansson, "Wireless industrial control and monitoring beyond cable replacement," *PROFIBUS International Conference Coombe Abbey, Warwickshire, UK*, June 2005.
- [5] A. Willig, K. Matheus, y A. Wolisz, "Wireless technology in industrial networks," *Proceedings of the IEEE*, 2005, vol. 93, no. 6.
- [6] D. Egan, "The Emergence of ZigBee in Building Automation and Industrial Controls," *IEE Computing & Control Engineering*, 2005.
- [7] N. Baker, "ZigBee and Bluetooth," *IEE Computing & Control Engineering*, 2005.
- [8] ZigBee Specification, ver. 1.0. The ZigBee Alliance. Disponible en: <http://www.zigbee.org/>
- [9] T. Dowad, "PAWS: Personal Action Wireless Sensor," *Pers Ubiquit Comput* 10, 2006, 173–176.
- [10] E. Jovanov, A. Milenkovic, C. Otto y Piet C. de Groen, "A wireless body area network of intelligent motion sensors for computer assisted physical rehabilitation," *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 2005, 2:6.
- [11] Q. Shan, Y. Liu, G. Prosser y D. Brown, "Wireless intelligent sensor networks for refrigerated vehicle," *IEEE 6th CAS Symp. on Emerging Technologies: Mobile and Wireless Comm.* Shanghai, China, 2004.
- [12] B. Guthrie, T. Sayers, A. Spencer y J. Hughes, "A CMOS gyrator low-IF filter for a dual-mode Bluetooth ZigBee transceiver," *IEEE 2004 Custom Integrated Circuits Conference*.
- [13] Data sheet ADE7758.