

A Proposed Wireless System to Real Time Monitoring in Power Transformer

J. R. Guardarrama, R. C. Silvério Freire, *Member, IEEE* and O. H. Areu

Abstract— This work proposed a new real time monitoring system in distribution transformer with communication through a ZigBee network. It obtains the voltage, current, power, energy and frequency of all loads connected at the distribution transformer. The information collected in the measurements are send to a server through a ZigBee network for safe the information. The new real time system build a wireless network with low energy consumption and a large transmission distance with enough conditions to work in an urban distribution electric network. This system make possible a low cost infrastructure to do a task of save electric magnitude as well as possible diagnostic of the electrical network.

Keywords— distribution transformer, online monitoring, ZigBee.

I. INTRODUCCIÓN

LAS REDES eléctricas de potencia en la actualidad se están desarrollando y transformando gracias a la integración de las mismas con las nuevas tecnologías de las comunicaciones y la informática [1]. Estamos en una era donde las comunicaciones juegan un papel transcendental y la red de distribución no está excluida de estas influencias. Como un elemento indispensable se encuentran los transformadores de potencia, en este caso particular: de distribución. Los mismos forman la base de toda la red eléctrica y conforman puntos de convergencia o nodos eléctricos.

Por lo general, existen varias cargas conectadas por cada transformador de distribución presente en la red eléctrica. Una avería relacionada con el transformador, permite que se deje de servir la energía eléctrica a varias cargas y produce serias afectaciones al funcionamiento de dicha red. Si se posee un sistema de monitoreo en tiempo real, es posible tener un sistema de diagnóstico de alertas rápidas de la red eléctrica, así como un registro del funcionamiento del transformador y de la propia red [2-4].

Debido a las dimensiones de la red eléctrica de distribución, se debe contar con un sistema de transmisión de datos que de cobertura a dicha red. Es aquí donde la selección de la tecnología de comunicación más apropiada puede hacer viable un sistema de monitoreo eficiente y con la capacidad adecuada de respuesta [5], [6]. Con el sin número de fabricantes de microcontroladores y la madurez que ha alcanzado la tecnología digital y el procesamiento de datos; es posible mejorar el servicio eléctrico mediante un sistema electrónico

con la capacidad de muestreo, almacenamiento, procesamiento y envío de información.

Hay que tener en cuenta que la información recopilada es útil para estudios de la red eléctrica y la planificación de futuras ampliaciones [7]. Muchos de estos estudios se centran en la reducción de las pérdidas [3], para lo cual el registro de los datos de una curva de carga se hace imprescindible. Con un sistema de monitoreo en tiempo real puede obtenerse un ahorro en tiempo, equipamiento, recursos y esfuerzo.

II. ARQUITECTURA GENERAL DEL SISTEMA

El sistema de monitoreo inalámbrico en tiempo real está compuesto por varios elementos constructivos como se puede ver en la Fig. 1.

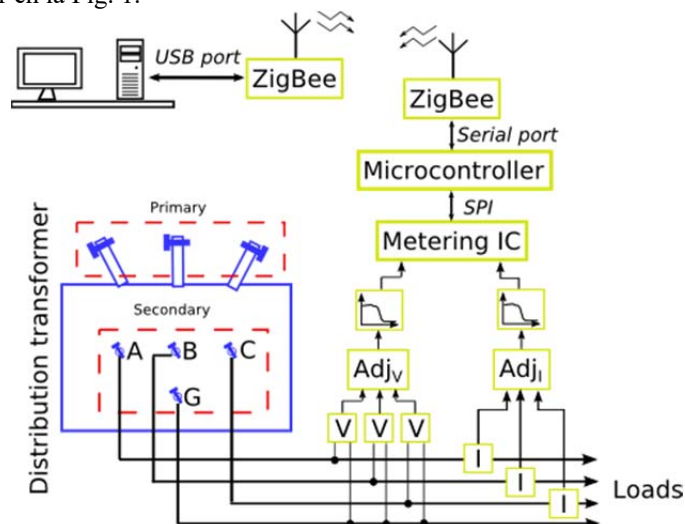


Figura 1. Arquitectura del sistema de monitoreo.

La conexión del sistema a la red eléctrica se realiza por baja tensión en el transformador de potencia trifásico. Para ello se precisa de transductores de corriente y tensión eléctrica. Se utilizaron transformadores de instrumentación, para garantizar el aislamiento eléctrico necesario; lo cual evita que sobretensiones o incrementos de la corriente eléctrica por encima de los valores permisibles dañen la electrónica del dispositivo.

El siguiente modulo presente es el de acomodo de señal de tensión y corriente eléctrica, que garantiza un adecuado nivel y ganancia de las magnitudes obtenidas por los transductores antes de la etapa de filtraje analógico de las señales. Dichos filtros se encargan de eliminar las componentes armónicas superiores de la mitad de la frecuencia de muestreo de la señal.

En esta etapa del procesamiento analógico se procede a

J. R. Guardarrama, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, La Habana, Cuba, josnier@electrica.cujae.edu.cu

R. C. S. Freire, Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, Brasil, rcsfreire@gmail.com

O. H. Areu, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, La Habana, Cuba, orestesh@electrica.cujae.edu.cu

convertir las señales al dominio digital, para esto se cuenta con tres circuitos integrados que contienen cada uno, dos conversores A/D de 24 bit y la capacidad incorporada de realizar cálculos por fase. Este dispositivo electrónico obtiene fundamentalmente las siguientes magnitudes:

- Tensión eléctrica eficaz
- Corriente eléctrica eficaz
- Potencia activa
- Potencia reactiva
- Potencia aparente
- Energía activa
- Energía reactiva
- Energía aparente

Se incluye también un registro digital que declara ciertas alarmas, como por ejemplo, la no ocurrencia de cruces por cero de la señal de tensión eléctrica. Capacidad que contribuye a las posibilidades de detección de interrupciones en la red de distribución.

La información es accesada por el microcontrolador de 32 bit mediante la utilización del bus de comunicaciones SPI (Serial Peripheral Interface). Las principales características de este bus de comunicaciones son una mayor tasa de transferencia de datos que el puerto serie estándar y la capacidad de conectar múltiples dispositivos esclavos con pocas líneas de entrada/salida del microcontrolador.

La comunicación entre el sistema de medición presente en el transformador de distribución y la computadora se produce por medio de una red inalámbrica ZigBee. La computadora realiza la función de almacenamiento y visualización de la información. En la actualidad ya existen módulos de esta tecnología con la potencia suficiente para alcanzar los 1,5 Km de distancia entre nodo y nodo de la red y manteniendo sus características de bajo consumo. La tecnología ZigBee fue desarrollada con el propósito de crear redes de comunicación inalámbricas de instrumentación y control, manteniendo un bajo consumo para un mejor aprovechamiento de las baterías.

III. HARDWARE PRINCIPAL

El núcleo del sistema de monitoreo lo componen tres elementos principales:

- 1) Kit de desarrollo BeagleBone Black
- 2) Circuito integrado de medición ADE7753
- 3) Módulo ZigBee Pro S2

El kit de desarrollo BeagleBone Black (BBB) incluye en sus prestaciones un microcontrolador de 32 bit, con 256 MBytes de RAM y 2 GBytes de memoria eMMC (embedded MultiMedia Card) en la tarjeta [8]. Opera a una frecuencia de 1 GHz utilizando un núcleo ARM Cortex A8. Debido a que ejecuta una distribución de GNU/Linux, los costos de desarrollo de programas, compiladores y herramientas son despreciables o nulos [9].

El circuito integrado ADE7753 está desarrollado para la medición monofásica de múltiples magnitudes eléctricas [10]. El uso de tres ADE7753 garantiza la medición de las magnitudes en un sistema trifásico de potencia. El error de medición de energía activa es menor del 1% mientras se

cumpla con las especificaciones del fabricante. Posee como se mencionó una interfase de comunicación SPI y la capacidad de calibración digital.

El último elemento principal son los módulos ZigBee [11], [12]. Estos pueden ser reprogramados para realizar distintas funciones en la red. Se encuentran resumidas sus funciones como dispositivos terminales, enrutadores y coordinadores. El módulo PRO S2 es capaz de comunicar hasta una distancia de 1,5 Km, con una potencia de transmisión máxima de 50 mW. Estos dispositivos cumplen con el protocolo estándar IEEE 802.15.4 de redes inalámbricas de área personal.

IV. PROGRAMAS DEL SISTEMA

La programación del sistema de monitoreo en tiempo real está realizada usando el lenguaje de programación Python, que es un lenguaje multiplataforma, multiparadigma, interpretado y con la potencialidad de la programación orientada a objetos

A. Algoritmo del BBB

Se desarrolló la aplicación usando la biblioteca Adafruit_BBIO para la manipulación de las líneas de entrada y salida. Esto simplifica y garantiza un código funcional y extensamente probado para las operaciones con el hardware.

El algoritmo de operación simplificado del BBB se muestra en la Fig. 2.



Figura 2. Algoritmo simplificado del programa en el BBB.

La inicialización de las variables es la primera tarea del programa. Las variables están relacionadas con la configuración de cada uno de los ADE7753 y del módulo ZigBee. Los ADE7753 requieren de ajustes de ganancia, de

cero y del modo de trabajo. En el caso de las variables relacionadas con el ZigBee, está presente la dirección de envío de los datos, nombre codificado del sistema de medición acoplado al transformador, entre otras.

El paso siguiente es la configuración de los tres ADE7753. Este proceso se realiza mediante el protocolo SPI, enviando a los registros del ADE7753 los parámetros de operación del paso anterior.

Una vez concluida la configuración de los ADE7753, se procede a configurar los módulos ZigBee. Dentro de la configuración, lo más importante es el nombre asignado al sistema de monitoreo acoplado al transformador, así como la dirección de envío de los datos sensados.

Llegados a este punto, se procede a realizar una espera de tiempo. La cual es la encargada de llevar periódicamente el control del envío de los datos a la computadora. El tiempo mínimo que se podrá fijar depende de la demora de las lecturas de las magnitudes eléctricas más el tiempo de envío por la red y su verificación. Un valor aceptable es de dos segundos o más. Siempre hay que tener en cuenta la latencia de la red ZigBee.

Una vez que se sobrepasa el tiempo de espera anterior, se procede a realizar la lectura de los ADE7753 para obtener las magnitudes eléctricas. Aquí se leen los registros de los circuitos integrados de medición desde el canal A hasta el C de forma secuencial. Una vez concluida la lectura, se envía por puerto serie la información hacia el nodo de la red ZigBee que posee la computadora conectada (servidor del sistema). La última etapa del programa es la verificación de la transferencia de la información. Si la información fue transferida con éxito se procede a la espera del tiempo necesario para seguir leyendo los registros de los ADE7753. En caso contrario se vuelve a enviar la información.

B. Algoritmo de la computadora

La computadora es la encargada de almacenar la información recibida por la red ZigBee. Para este objetivo se utiliza una base de datos. El algoritmo en la computadora tiene la responsabilidad de enviar un acuse de recibo al nodo ZigBee de la red. La Fig. 3 muestra como está desarrollada la aplicación.

Durante la inicialización del programa se preparan las variables necesarias y se crea la interface gráfica. Mediante la biblioteca PyGTK se construye dicha interface gráfica.

La configuración del puerto serie es necesaria debido a que el módulo ZigBee está conectado a la computadora a través de un adaptador de USB a puerto serie. Esto implica que cuando se conecta el ZigBee a la computadora por un puerto USB, se crea un puerto serie virtual para su acceso.

Una vez establecido el puerto serie asociado al módulo ZigBee, se configura este para transmitir y recibir datos. Un paso importante en este punto es el de configurar la dirección a la cual se envían los paquetes por la red ZigBee hacia el sistema de monitoreo en tiempo real acoplado al transformador de distribución. El siguiente paso es la espera a que se reciba una medición por la red ZigBee. De ser coherente la información se envía un acuse de recibo de

“recibido”. En el caso contrario, el acuse de recibo informa “error” para alertar que la información no llegó en el formato correcto.

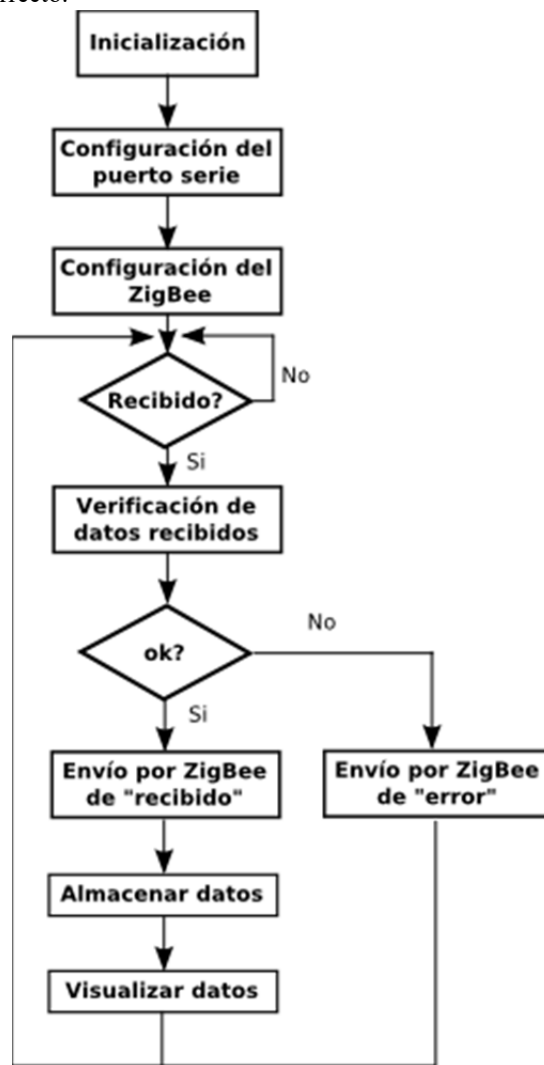


Figura 3. Algoritmo simplificado del programa en la computadora.

Pueden ser múltiples las causas de que la transferencia de datos falle. De no existir corrupción en los datos recibidos por el módulo, se almacena la información en una base de datos y se procede a visualizar la misma en la interface gráfica. Este mecanismo permite que el usuario observe en tiempo real la recepción de los paquetes de información. El siguiente paso es el de volver a esperar por la llegada de nuevas mediciones de parte del nodo de la red ZigBee.

V. RESULTADOS

Para la validación del sistema de medición y de comunicación inalámbrica, se realizaron mediciones periódicas usando una carga virtual. Teniendo en cuenta que se está desarrollando un prototipo, se realizaron mediciones del bus de datos SPI para analizar el nivel de ruido presente. Los resultados demostraron que es necesario prestar atención especial a la interferencia que puede producir el campo electromagnético del transformador en el sistema de medición. El resultado de la medición del bus SPI se muestra en la Fig.4.

Las formas de onda presentan un nivel de ruido aceptable y no hay presencia de errores de comunicación para el ambiente de trabajo en que se encuentra el sistema. De ser necesario un aumento de la señal de reloj del bus SPI, se debe realizar pruebas que certifiquen su funcionamiento.

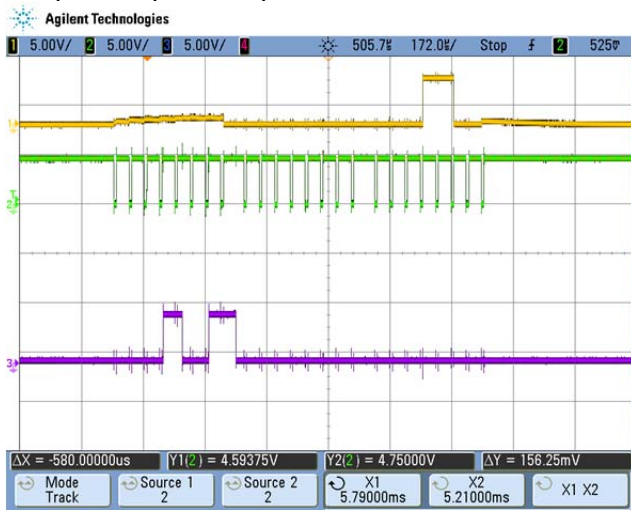


Figura 4. Medición con osciloscopio del bus SPI.

Las formas de ondas analógicas están también bajo la influencia del campo electromagnético del transformador, pero los filtros antialias reducen su efecto en las mediciones eléctricas.

La interface gráfica es capaz de mostrar la información en forma tabular de la captura de los datos (ver Fig. 5).

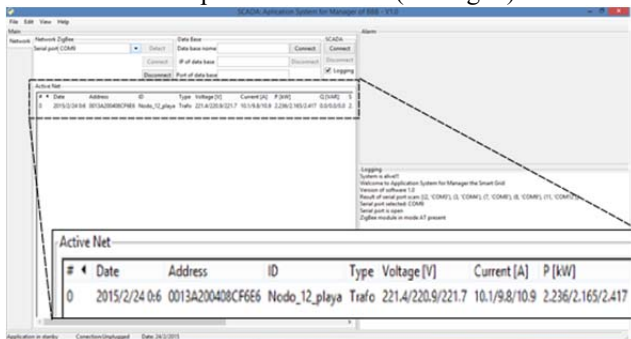


Figura 5. Programa de gestión de la información.

Con cada recepción de los datos del nodo ZigBee, se actualiza la información mostrada. La biblioteca PyGTK es multiplataforma, permitiendo que se obtengan versiones del programa tanto para Microsoft Windows como para GNU/Linux.

VI. CONCLUSIONES

El sistema inalámbrico de monitoreo en tiempo real de transformadores de distribución cumple con los mínimos requerimientos de un sistema de estas características, presentando la robustez necesaria para trabajar bajo las condiciones de operación impuestas.

Se está trabajando en incorporar al sistema de gestión de la información, la conexión de una base de datos remota que permita almacenar los datos obtenidos por los nodos de la red.

Se propone incorporar más nodos en la red inalámbrica

para analizar las transferencias de los datos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer por su ayuda desinteresada a todos aquellos que, de una forma u otra, contribuyeron al desarrollo de este trabajo. En especial a todas las personas que dieron su apoyo del laboratorio de LIMC, de la Universidad de Campina Grande, Brasil.

REFERENCIAS

- [1] Vineetha and C. Babu, "Smart grid challenges, issues and solutions," in 2014 International Conference on Intelligent Green Building and Smart Grid (IGBSG), pp. 1–4.
- [2] E. Kolyanga, E. Kajuba, and R. Okou, "Design and implementation of a low cost distribution transformer monitoring system for remote electric power grids," in Industrial and Commercial Use of Energy (ICUE), 2014 International Conference on the. IEEE, 2014, pp. 1–7.
- [3] K. D. McBee and M. G. Simoes, "Reducing distribution transformer losses through the use of smart grid monitoring," in North American Power Symposium (NAPS), 2009. IEEE, 2009, pp. 1–6.
- [4] A. A. Nelson, G. C. Jaiswal, S. Ballal et al., "Economical aspects of remote condition monitoring system for distribution transformer," in Power, Automation and Communication (INPAC), 2014 International Conference on. IEEE, 2014, pp. 45–49.
- [5] M. El Brak and M. Essaïdi, "Wireless sensor network in smart grid technology: Challenges and opportunities," in 2012 6th International Conference on Sciences of Electronics, Technologies of Information and Telecommunications (SETIT), pp. 578–583.
- [6] L. Berrio and C. Zuluaga, "Concepts, standards and communication technologies in smart grid," in 2012 IEEE 4th Colombian Workshop on Circuits and Systems (CWCAS), pp. 1–6.
- [7] F. Beidou, W. Morsi, C. Diduch, and L. Chang, "Smart grid: Challenges, research directions and possible solutions," in 2010 2nd IEEE International Symposium on Power Electronics for Distributed Generation Systems (PEDG), pp. 670–673.
- [8] G. Coley, "Beaglebone black system reference manual," 2013.
- [9] C. MOLINA ROSA, "Evaluacion de la plataforma beagle bone black' para su incorporacion a un sistema de caracterización de sensores' basados en tecnolog'ias acusticas." Ph.D. dissertation, 2015.
- [10] A. Devices, "Single-phase multifunction metering ic with di/dt sensor interface ade7753," 2004.
- [11] S. Mane, G. Kavathekar, and S. Jadhav, "A zigbee based smart sensing platform for environmental monitoring."
- [12] G. Horvat, D. Sostaric, and D. Zagar, "Power consumption and rf propagation analysis on zigbee xbee modules for atpc," in Telecommunications and Signal Processing (TSP), 2012 35th International Conference on. IEEE, 2012, pp. 222–226.



Josnier Ramos Guardarrama was born in 1982, Cuba. He received the degree in electrical engineering from the Superior Polytechnic Institute Jose Antonio Echeverría (Cujae), La Habana, Cuba, in 2006. He finished the MSc. degree in 2010. The interest area is the embedded systems, electronic, power transformer testing and the applications of open software. He is presently pursuing his Doctor in Science (Eng.)



Raimundo Carlos Silvério Freire was born on October 10, 1955, in Poço de Pedra, RN, Brazil. He received the B.S. degree in electrical engineering from the Federal University of Maranhao, Brazil, in 1980 and the M.S. degree in electrical engineering from the Federal University of Paraíba, Campina Grande, Brazil, in 1982. He received the Ph.D. degree in electronics, automation, and measurements from the National Polytechnical Institute of Lorraine, Nancy, France, in 1988. He worked as an Electrical Engineer for Maranhao Educational Television from 1980 to 1983. He was a Professor of electrical engineering at the Federal University of Maranhao from 1982 to 1985. Since December 1989, he has been with the Electrical Engineering Department at the Federal University of Paraíba. His research interests include electronic instrumentation and sensors and microcomputer based process control.



Orestes Hernández Areu is an electrical engineer. Graduated at the Superior Polytechnic Institute Jose Antonio Echeverría (Cujae) in Havana, Cuba, in 1981. Doctor in Science obtained at the same Institute in 1995. At present, is Head of the Investigations and Electroenergetical Tests Center (CIPEL) at Cujae. His research interests include power transformer design, diagnostic and others area related with high voltage systems.