

WICC 2014 XVI Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación

Microcontroladores Asociados a Medición y Comunicaciones en Sistemas SCADA de Energía

Ricardo A. López, Emilio Pincirolí, Fernando G. Tinetti¹

Departamento de Informática Sede Trelew, Facultad de Ingeniería - UNPSJB

¹III-LIDI, Facultad de Informática – UNLP

¹Comisión de Investigaciones Científicas Prov. de Bs. As.

lopez.ricardo@gmail.com, eyg_pincirolí@yahoo.com.ar, fernando@info.unlp.edu.ar

Resumen

Los Sistemas de Adquisición de Datos y Control (SCADA *Supervisory Control And Data Acquisition*), toman de distintas zonas y dispositivos y del campo de control, un conjunto variado de señales y datos de medida.

Constituyendo un subsistema independiente, en las Estaciones Transformadoras Eléctricas (EETT), existe un conjunto de aparatos de medición de la energía, cada uno de ellos asociado a un campo de suministro, que recolectan la información.

Existe la factibilidad de asociar estos medidores a microcontroladores, efectuando así un aprovechamiento más eficiente y de menor costo de la medición, con algunas características interesantes para las empresas.

Consecuentemente, es posible construir con aquellos, una verdadera red de comunicaciones estandarizada que permite además del aprovechamiento por parte del Scada, aportar otras capacidades de supervisión, resguardo y auditoría.

Palabras Clave: Medición Eléctrica de energía, Microcontroladores, sistemas de tiempo real, sistemas de control, sistemas SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*).

Contexto

Este proyecto está enmarcado como una continuación de uno precedente, de propósito general, en el que se seleccionaron elementos de hardware y software para desarrollo [8] y se elaboraron protocolos de comunicaciones [9] y sincronización [7] [10], para la

transferencia de datos sobre la base de redes estándar RS485 y Ethernet.

Asimismo, esta investigación en particular, se enmarca en un proyecto global, que apunta al estudio de innovaciones en el campo del Scada para sistemas eléctricos en particular y otros sistemas de adquisición de datos en lo general.

Estas innovaciones tienen como objetivo, además del abaratamiento, estandarización y optimización de los sistemas, utilizar la WEB como medio de difusión de la información, mediante la creación de servicios que puedan ser útiles para diferentes actores.

Introducción

Muchas empresas de energía, que ya poseen sistemas de medición, en muchos casos desean integrarla a su sistema SCADA, a efectos de tener una única fuente de información y abaratar costos, evitando modificaciones en una instalación ya en producción. La dificultad reside en que los medidores son de fabricantes heterogéneos, con protocolos propietarios, que difícilmente se pueden integrar a un SCADA. En la actualidad se están efectuando esfuerzos para que el equipamiento eléctrico en general responda a una norma estandarizada (Protocolo IEC 16850), pero debido a la dificultad que conlleva la implementación de una norma muy general, aún resta bastante para que ello sea consolidado. En general siempre es necesaria la adecuación de las EETT donde se produce el suministro y/o la generación de energía, a efectos de acceder a los valores de demanda o generación. Estos equipos contadores o medidores normalmente

ya están asociados a Transformadores de medida de tensión y corriente (TV, TI) y representan un elevado costo en la instalación.

Desde bastante tiempo atrás se han intentado diferentes métodos para introducirnos dentro de estos contadores, acondicionando un hardware sobre la base de un microcontrolador para que se tome un grupo de variables definido y que aquel se comunique al SCADA [8] mediante un protocolo abierto [9], con determinadas características de sincronización [7] [10].

Los contadores de energía empleados en una ET responden al viejo esquema de medición de “cuantos” constantes de energía. Cada cuanto o valor, equivale por ejemplo a 0,025 Wh (Watt-hora, como unidad de conteo). La cantidad de unidades contadas en un período, multiplicada por una escala como la del ejemplo y multiplicada por las relaciones de transformación, otorgan una medida de energía con alta precisión.

En la argentina, según las disposiciones del ENRE (Ente Regulador de la Energía Eléctrica), esta medición debe tener un índice de clase de 0,2 (0,2% de error máximo) para alta tensión (transporte), 0,5 para media tensión (distribución) y entre 1% y 2% para medición de operación de la red.

Los medidores actuales típicamente trabajan con un DSP y almacenan por un lado la medida del contador de energía y por el otro la energía **generada o suministrada**, en intervalos regulares normalmente de 15 minutos. Este conteo de energía, tanto del contador general como de los intervalos, discrimina por un lado la energía demandada (por convención, positiva: +E) y la energía generada, de sentido inverso (por convención, negativa: -E). Por otro lado, se discrimina la energía **activa y reactiva**. Esta forma de medición, se condice con los cuatro cuadrantes de los ejes cartesianos Y-X, discriminando así el sistema de medición, el valor vectorial de energía para cada uno de los cuatro cuadrantes.

También es un estándar de la industria, que cada medida se exteriorice mediante un

esquema de pulsos o flancos denominado: **Pulsos KYZ**. Esta forma de comunicación al exterior se efectúa por hardware y consiste en información digitalizada en valores de lógica TTL o mediante un relé electrónico.

La Fig. 1 muestra el formato de una trama típica. Como puede observarse, la salida digital cambia de estado (de 0 a 1 o viceversa) cuando se ha registrado un pasaje de energía de un cuanto (0,025 Wh en nuestro ejemplo). Como se denota en la figura, al aumentar la energía circulante en el medidor, el flanco se hace más frecuente y el **período** entre cada flanco ascendente o descendente es directamente proporcional a la energía circulante (0.025Wh).

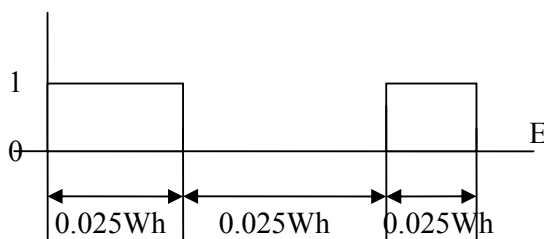


Fig. 1: Formato de Pulsos KYZ.

Existe una salida diferente por cada cuadrante en el que se sitúa la medición, dado que es necesario mantener la discriminación de cada cuadrante, a estas distintas salidas comúnmente se las denomina **canales**, contando entonces con cuatro canales independientes de medición por cada contador.

Sistema de medición de energía

Consiste en un controlador que efectúa el conteo de flancos y lo almacena. Este controlador dispone de 4 puertas digitales de entrada y un software de conteo, controlado por interrupción a efectos de no perder flancos y ser consistente con la medición acumulada en el hardware del propio contador, que usualmente, se utiliza como información de respaldo o auditoría.

Esos flancos deben ser integrados en un período configurable, típicamente cada 15 minutos a efectos de establecer la demanda o generación de energía. Estos valores de energía (96 mediciones por día) permiten

reconstruir la curva de demanda diaria en intervalos de 15 minutos, con los cuales se factura al consumidor o se remunera al proveedor de energía. Por otro lado, también se integran las energías reactivas del sistema con lo cual, típicamente, se penaliza acorde a una cierta calidad de servicio esperada.

Como puede colegirse, la **precisión** requerida en la medición de estas magnitudes es muy alta (entre 0,2 y 0,5%), debido a que están en juego cantidades económicas de importancia.

Sistema de medición de Potencia

Dado que el medidor de energía cuenta con una emisión de flancos proporcionales a la energía circulante, que posee una elevada precisión, ello posibilita efectuar integraciones en períodos cortos (en el orden de 5 seg.), efectuar la integración y dividirla por el tiempo para obtener los valores de **potencia activa y reactiva** del sistema, tanto en generación como en demanda, acorde a los canales de medición ya mencionados.

Las potencias obtenidas de la media en el período de 5 segundos, que a fines prácticos de operación de la red, pueden considerarse como potencia **instantánea** o de **tiempo real** del sistema eléctrico. Estas potencias instantáneas son las que se utilizan para operación de la red y son las que normalmente proveen los sistemas SCADA. Sólo que en este caso, tales potencias aparecen como calculadas directamente a partir de la medición y sin necesidad de instalación de transductores, ni adecuaciones adicionales.

Para elaborar un sistema de precisión de estas magnitudes es necesaria una base de tiempo de calidad y de cierta **granularidad** (una centésima de segundo), lo cual es posible con la confección de un RTC dentro del microcontrolador. La técnica de medición consiste en efectuar la sumatoria de flancos entre dos flancos extremos (obtenidos por interrupción) y medir el tiempo transcurrido.

Tratamiento de errores de medición

Si se considera un valor de refresco de la medida del orden de 5 segundos y teniendo

una base de tiempo de 1cs (centisegundo), se observa que el error de discriminación es del orden de $1/500 = 0,2\%$.

Dado que por teoría de errores, los errores de una medida derivada del cociente de dos mediciones independientes (energía por un lado y tiempo por el otro), son la suma de los errores relativos de cada una, tendríamos:

$$eP\% = eE\% + eT\% = 0.2\% + 0.2\% = \mathbf{0.4\%}$$

Observamos que la medición de potencia posee una precisión del 0.4%, lo que está por debajo de los valores de error máximo admisible (1%), para valores de operación de la red.

Concentración de la información

En resumen, en las condiciones apuntadas, el microcontrolador cuenta con 4 canales de medición de energías, discriminada en 4 cuadrantes y 4 canales de medición de potencia en similar condición.

Para tener eficiencia en el manejo de la información y hacer fluir ésta a un SCADA sería conveniente reunir a los microcontroladores (uno dentro de cada medidor), en una red física de baja velocidad, dentro de la EETT y hacer converger la misma a un concentrador de la información, que actúe como maestro de adquisición [8].

Esta red se realiza con el protocolo **MARA V1.4** que ha sido definido suficientemente en proyectos anteriores [7][9].

Asimismo, debe contarse con un eficiente medio de sincronización [10] con la hora global, dado que es necesario que las mediciones de energía se correspondan a períodos iguales para los distintos medidores. De otro modo, sería imposible evaluar las condiciones de demanda máxima del sistema, al efectuar sumatorias de períodos que no se corresponden, aunque difieran en minutos. Esto es algo muy **crítico** para el sistema de medición eléctrica en su conjunto.

Con el sentido apuntado, se constituye un Concentrador Maestro que, concentrando físicamente las comunicaciones mediante una red multipunto, por ejemplo **RS485**, efectúa periódicamente la consulta a cada uno de los

nodos de la red, para obtención de las potencias instantáneas definidas. LA encuesta completo del maestro a sus esclavos, debe estar en el orden del tiempo de aparición de una medida nueva en cada nodo, esto es, 5 segundos.

Se utiliza una red bajo norma RS485 porque además de barata en implementación, no necesita hardware especial en el microcontrolador más allá de una puerta serie. La red apuntada tiene excelente inmunidad al ruido y no requiere de conexionado especial trabajando en bajas velocidades (9600 bps), compatibles con los tiempos de generación de los datos.

El Concentrador Maestro de la adquisición de los datos, debe ser una placa con un microcontrolador de mayor porte. Esto es así por dos razones:

- a) En primer lugar es necesario un almacenamiento temporario relativamente importante, ya que se cuenta con 8 canales de datos por cada medidor en el protocolo y esto debe ser alojado en

tablas del microcontrolador.

- b) Es necesario tener Ethernet, a efectos de vincular el concentrador a un punto de almacenamiento histórico en una BDD. Esta vinculación obviamente, se la supone a través de Internet.

Por otro lado, esta placa debe poseer entradas analógicas y digitales, a efectos de poder introducir medidas de tensión que necesariamente deben provenir de transductores específicos en cada medida, ya que los contadores de energía no lo proveen. Sin embargo, sólo se necesitan en las barras de tensión de las que se derivan todos los alimentadores. Normalmente, no son mayores a tres.

Contando con medición de tensiones, se puede obtener como **medición indirecta** a partir de tensiones y potencias, otros valores de interés como por ejemplo intensidades de corrientes (I). Esta no es condición necesaria de funcionamiento, pero si de gran atractivo y a un costo reducido.

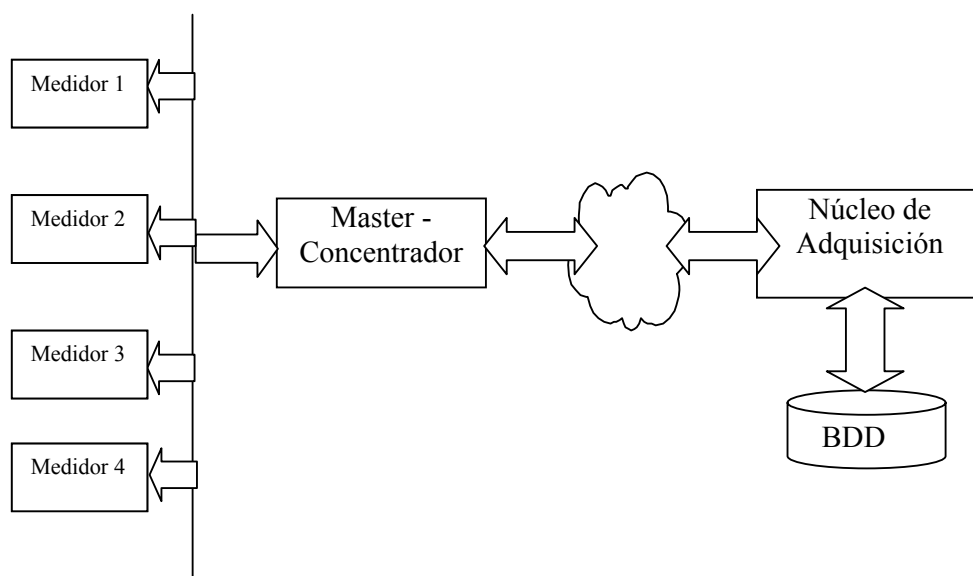


Fig. 2: Esquema General del Sistema.

Núcleo de adquisición y BDD

En el otro extremo de la nube y a través de algún vínculo de comunicación estándar (Red privada virtual u otra), se dispone de un

Núcleo de Adquisición (NA), que se encarga de la tarea de recolección de distintos concentradores distribuidos adecuadamente. Cómo se ha supuesto un concentrador por cada ET y se suponen varias de éstas en un

sistema eléctrico de una ciudad, habría que disponer una red considerable de recolección de datos.

El NA es objeto de otro proyecto distinto, si bien en estrecho vínculo con el presente.

El NA se lo concibe como una aplicación que permite múltiples conexiones con los distintos concentradores. En principio se supone que cada concentrador significa un Socket Server, de modo tal que el NA se encargue de abrir, mantener y cerrar conexiones, como asimismo actuar en caso de pérdidas de la conexión. A tal efecto, sería capaz de mantener múltiples conexiones cliente.

El NA mantiene por otro lado, conexiones con el Servidor de la Base de Datos (BDD), donde se efectúa el almacenamiento definitivo de los datos en tablas históricas (Energías) y de tiempo real (Potencias).

La BDD es luego la que en definitiva alimenta al Web Server, forma prevista para divulgación de la información en variados requerimientos y formatos.

Líneas de investigación y desarrollo

a) Se han relevado las características de los distintos medidores de plaza. En particular se ha efectuado un primer análisis sobre medidores del tipo **ABB Alpha II** y **Schlumberger Quantum 121**, por mencionar dos líneas de fabricación líderes en plaza, que son recomendados por el ENRE.

b) Se estudian distintos microcontroladores aptos para realizar un hardware de experimentación. Básicamente la elección depende de la instalación factible dentro de la carcasa con que cuentan los medidores, a efectos de no efectuar modificaciones en su fisonomía. Las condiciones de alimentación posibles del nuevo hardware también es otro objeto de la investigación.

c) Se ha efectuado un desarrollo de software configurable para las aplicaciones a embeber en los medidores. Se debe atender especialmente los mecanismos de interrupción, para evitar la pérdida de flancos

y la sincronización, elementos críticos del desarrollo.

d) Se acondicionó una red RS485 (o con características similares) con sus periféricos. La misma debió contemplar **optoaislación**, dado que los medidores pertenecen a distintos campos de energía y alimentados por tensiones diferentes y es necesario evitar por todos los medios disponibles, que una falla en un campo arrastre a toda la red de microcontroladores.

e) En la constitución del Master Concentrador se ha empleado una placa de desarrollo de mayor porte (16 bits), preferentemente adquirida en el mercado [4][5], dado que en este caso son prioritarias la existencia de periféricos de comunicación, como Rs485 y Ethernet, además de los CAD. Se efectuó también el desarrollo del módulo de comunicaciones en los protocolos de aplicación que hubo necesidad, tanto para la red de microcontroladores como para la red WAN sobre ethernet.

La metodología básica a empleada ha sido la revisión bibliográfica y experimentación con las herramientas de desarrollo que ya dispone la Universidad como producto de proyectos anteriores, con kits de desarrollo de microcontroladores de 16 bits. La bibliografía a utilizada en este punto se compone de un conjunto relativamente estándar en el contexto de arquitecturas de sistemas de cómputo, en donde se describen las características de la red y de los microcontroladores en general [1] [2] [6] y por otro lado bibliografía más específica con la programación de kits. La información estándar se complementa con las hojas de datos de los microcontroladores (con la descripción y programación de los mismos) y ejemplos de aplicaciones completas (también denominados *notas de aplicación*).

Resultados y Objetivos

A partir del desarrollo de las líneas de investigación que se han descrito, se arribó en elevado grado a los siguientes objetivos:

1. Obtención de un subsistema completo de medición de las características apuntadas, que reúne las cualidades y características exigidas para ser integrante de un sistema SCADA.
2. Desde el punto de vista de las redes y posibilidades de comunicación e integración, si bien es cierto que se apuntó a experimentar en Ethernet y RS485 en una primera etapa, por razones de extensión, el enfoque podría tener mayor amplitud en proyectos ulteriores que se desprendan de la plataforma que pretende otorgar el actual.
3. Experimentar y generar experiencia en adquisición y procesamiento de información relacionada con la medición eléctrica. Tanto a nivel conceptual de procesamiento de señales en general, como específico y práctico en cuanto a implementación sobre dispositivos de medida.
4. Desarrollo de los distintos módulos del sistema, en hardware y software, en modo prototipo a efectos de evaluar su capacidades y características.

Los resultados esperados se centran en los objetivos enunciados y se espera completarlos con la obtención de factores de mérito de cada una de las soluciones que se adoptaron y otras en curso. El campo de análisis es variado y complejo y no admiten soluciones triviales dado que están relacionadas con uno de los sistemas más complejos existentes: el eléctrico.

Formación de Recursos

Humanos

En la formación de recursos materiales y humanos se destaca:

- a) Documentación en curso de las definiciones y módulos (de hardware y software) que surgen como producto de la investigación efectuada, a efectos de sistematizar alguna parte de la información disponible obteniendo un compendio medianamente completo del tratamiento del problema.
- b) Propender al trabajo en conjunto de los profesionales jóvenes de un equipo de investigación conformado, también nutriendo a alumnos de los años superiores en la conformación de sus tesis de grado y posgrado.
- c) La información sistematizada se orientará, en principio, a las cátedras de los últimos años de la Licenciatura en Informática de la UNPSJB donde el tema podría caer en: Redes y comunicación de datos, Sistemas Distribuidos, Tecnologías WEB y Taller de nuevas tecnologías.
- d) También se orientará a brindar servicios concretos a distribuidoras eléctricas de nuestra región. Se cuenta con un caso concreto realizado en la Cooperativa Eléctrica de Trelew.
- e) Se otorgaría un marco considerable para desarrollo de Tesinas, Maestrías y Doctorados. En la actualidad están en curso tres de grado y una de posgrado, relacionadas con el proyecto global.

Referencias

1. S. F. Barrett, D. J. Pack, Microcontrollers Fundamentals for Engineers and Scientists, Morgan & Claypool Publishers, 2006, ISBN: 1598290584.
2. F. M. Cady, Microcontrollers and Microcomputers: Principles of Software and Hardware Engineering, Oxford University Press, 1997, ISBN: 0195110080.
3. Institute of Electrical and Electronics Engineers, Local Area Network-CSMA/CD Access Method and Physical Layer Spec. ANSI/IEEE 802.3-IEEE Computer Society, 1985
4. Microchip Technology Inc., CPU DsPIC 33F. Disponible en <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/70204B.pdf>
5. Microchip Technology Inc., dsPIC30F/33F Programmer's Reference Manual High-Performance Digital Signal Controllers. Disponible en <http://ww.microchip.com>

6. Microchip Technology Inc., Ethernet Theory of Operation - AN1120, 2008. Disponible en <http://ww.microchip.com>
7. Fernando G. Tinetti, Ricardo A. López, Marcelo E. Gómez, Sebastián Wahler, "Sincronización de Microcontroladores en red, Implementación y Evaluación", XV CACIC, UNJu, Octubre 2009, ISBN 978 897 24068-4-1.
8. Ricardo A. López, Fernando G. Tinetti, "Redes de Microcontroladores, Definición, Implementación y Evaluación", XV CACIC, UNJu, Octubre 2009, ISBN 978 897 24068-4-1.
9. López R. Protocolos en Redes de Microcontroladores. 1ra Edición - Septiembre 2010. Tesis de Magister en Redes de datos. Director: Fernando F. Tinetti, Fac. Informática UNLP.
10. Ricardo A. López, Fernando G. Tinetti, "Sincronización Broadcast en Redes Multipunto", XVII CACIC, UNLP, La Plata, Argentina, Octubre 2011, ISBN: 978-950-34-0756-1, pp. 1224-1233.