

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MEDIDOR DE ENERGÍA ELÉCTRICA DIGITAL CON CONEXIÓN INALÁMBRICA A UN COMPUTADOR, PARA EL LABORATORIO DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS.



GENERALIDADES

Ing. Marco Singaña
Sr. José Luis Ortiz Bonilla
Ing. Electromecánica, Escuela Politécnica del Ejército Extensión Latacunga,
Quijano y Ordóñez S/N y Hermanas Páez, Latacunga, Ecuador,
Email :masingania@espe.edu.ec
Email :jose_portal6@hotmail.com



RESUMEN.

La introducción y continua mejora de elementos digitales en dispositivos, que antes se consideraban íntegramente analógicos, han causado una revolución en los diversos campos de los sistemas electrónicos. Dichos cambios han logrado integrar sistemas que, hasta hace unos años, no se consideraban dentro de la misma área temática. El presente proyecto de tesis buscó ampliar la aplicación de la electrónica digital fusionando el área de Electricidad con la de Comunicaciones y desarrollando un Sistema de control digital basado en la tecnología del microcontrolador dsPIC30F4013.

Con dicha aplicación, será la etapa principal y básica de un sistema mayor, encargado de la medición digital de energía eléctrica trifásica en media y baja tensión, con un bajo porcentaje de error que permita la comunicación remota en tiempo real de los parámetros eléctricos sensados (Voltaje RMS, Corriente RMS, Potencia Activa, Potencia Reactiva, Potencia aparente, entre otros), hacia un computador de la red.

La tesis comprendió el desarrollo del sistema de control con la lógica adecuada para procesamiento futuro de medición y comunicación; contando con etapas de ingreso de datos, preprocesamiento, control, visualización, comunicación y expansiones para mejoras futuras.

INTRODUCCIÓN

Enfocado en el servicio a la comunidad de la provincia de Cotopaxi con apoyo de la ESPE extensión Latacunga y el departamento de Iniciación científica, se proyectó la realización de un proyecto que sin duda aporta mucho para el entendimiento del área Eléctrica y Electrónica como es la del "Diseño y Construcción de un Medidor de Energía Eléctrica Digital con conexión inalámbrica a un computador".

En la actualidad la energía eléctrica es uno de los principales factores que rige la vida moderna y los

sistemas de medición de energía juegan un papel preponderante en la relación económica entre las Empresas Generadoras, Transmisoras y Distribuidoras de Energía y los Consumidores.

La necesidad de realizar este proyecto fué primordial por cuanto la ESPE-L ha seguido creciendo en el ámbito institucional y científico; es por esto que este proyecto se basó en la implementación de nueva tecnología al laboratorio con el fin de lograr precisión en el análisis de las variables requeridas de Energía Eléctrica.

La ESPE-L como una institución de renombre a nivel nacional debe cumplir con todas las normas establecidas para su funcionamiento; por tanto con este proyecto se realizará un análisis de los datos eléctricos del laboratorio de Máquinas Eléctricas y por consiguiente se obtendrá una ayuda adicional para la obtención de dichos datos tanto para el instructor del laboratorio, así como también para los estudiantes.

Con la finalización de éste proyecto se cuenta con un sistema de medición preciso en cuanto a los parámetros Eléctricos que se requiere conocer en función de la Energía Eléctrica consumida, así como también aportar con el avance científico de implementación de un sistema de instrumentación y obtención de los datos mencionados por medio del sistema de conexión inalámbrico a una PC en donde se realizará un programa que analizará todos estos parámetros.

A pesar del constante desarrollo que han tenido los medidores electromecánicos en las últimas décadas, los medidores electrónicos o de estado sólido están abarcando el mercado porque no sólo realizan la misma función que los anteriores, sino que no cuentan con partes móviles o electromecánicas, evitando el error por desgastes y deformaciones. Tienen más prestaciones porque miden energía activa, reactiva y aparente, la demanda máxima, doble y multi-tarifa. Miden la tensión de línea, la corriente que está circulando, el factor de potencia, y otras características de la red, que determinan un parámetro global denominado calidad de energía. Actualmente hay una gran variedad de este tipo de

medidores, cada uno con características diferentes, que permiten cubrir prácticamente todas las necesidades en cuanto a medición paramétrica se refiere.

En este trabajo se ha desarrollado un sistema para medir energía eléctrica empleando dispositivos electrónicos de última generación, de una manera rápida y confiable. Los componentes empleados permiten una gran flexibilidad de desarrollo que

facilitan que el prototipo sea permanentemente mejorado sin ulteriores inversiones. Las grandes compañías internacionales que desarrollan sistemas electrónicos de medición de energía utilizan circuitos integrados del mismo tipo que los presentados en este proyecto, como Analog Devices, Cirrus Logic, CR Magnetics y Microchip.

En la Figura 1.1 se presenta el diagrama del sistema de monitoreo de energía eléctrica que se desarrolló en el presente proyecto.

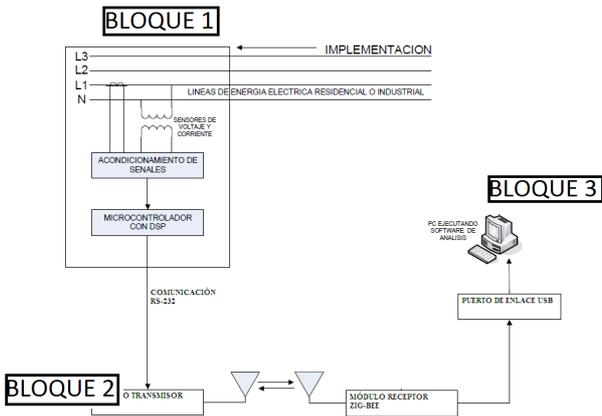


Figura 1.1: Sistema de monitoreo de energía eléctrica.

Donde:

- BLOQUE 1:** Etapa de implementación del diseño electrónico del medidor de energía eléctrica.
- BLOQUE 2:** Etapa de comunicación inalámbrica XBee.
- BLOQUE 3:** Etapa de adquisición de datos en Labview.

IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO

Para las pruebas de funcionamiento del proyecto se realiza la experiencia en Laboratorio de Máquinas Eléctricas de la ESPE extensión Latacunga utilizando como carga un motor trifásico jaula de ardilla.

La conexión eléctrica que se utiliza para el experimento funcional es trifásica colocando el medidor de energía en serie con la fuente y la carga, comunicándose inalámbricamente con el computador por medio del protocolo de la interface de comunicación Zig-Bee (Figura 1.2).

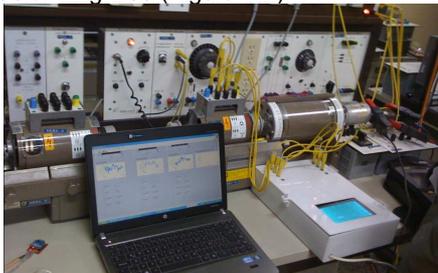


Figura 1.2: Pruebas funcionales del proyecto desarrollado.

En la Figura 1.3 se muestra las señales de voltaje y corriente con respecto al tiempo, en las pantallas gráficas del software desarrollado el cual se lo puede calibrar por el usuario o se puede configurar para que adquiera las formas de onda automáticamente.

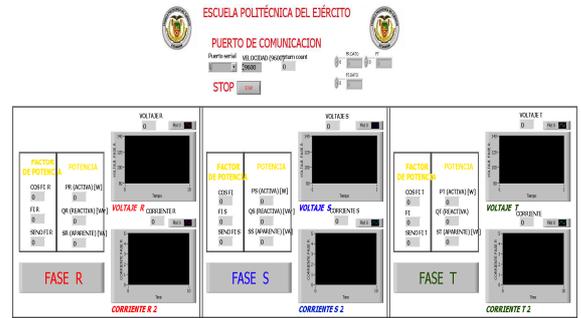


Figura 1.3: Visualización de datos en el software desarrollado.

En la Figura 1.4 se puede apreciar los bloques de adquisición de datos numéricos de los parámetros a medir de las tres fases.

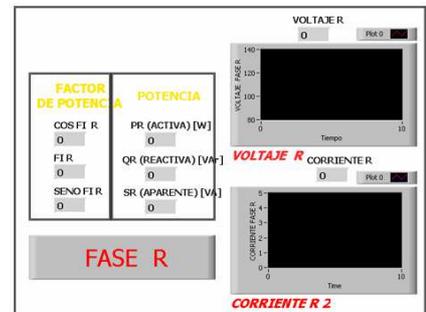


Figura 1.4: Visualización de datos numéricos.

En la Figura 1.5 se pueden observar los valores mostrados en la pantalla LCD del medidor de energía eléctrica el cual muestra los cálculos realizados por el microcontrolador Maestro en base a la programación interna diseñada para fines del proyecto.



Figura 1.5: Visualización de datos mostrados en la pantalla LCD.

En la Figura 1.6 se muestra el dispositivo que se tomó como patrón de medición para la verificación y validación de los datos adquiridos por el proyecto desarrollado, el cual es un analizador de energía de la marca AEMC modelo 3945, obteniendo los siguientes resultados.

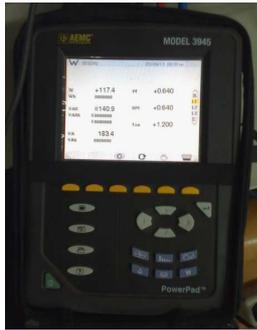


Figura 1.6: Analizador trifásico de energía eléctrica

VALIDACION DE DATOS.

Mediante la experiencia realizada en el laboratorio, se logra verificar que los datos del patrón de medida tiene un margen de error de menos del 5% como se muestra en la Figura 1.7.

MAG.	R-N	S-N	T-N	UNI.
U	121.7	123.4	121.5	U
I	1.588	1.527	1.54	A
cos	0.688	0.719	0.703	φ
Ang	-46.5	-44.7	-44.9	
CTPO	193.2	200.7	187.4	U _R
	131.0	142.6	132.2	N
	141.0	141.1	132.2	U _{AR}
URS	212.2	207.3	207.3	U _R
UST	213.0	207.3	207.3	N
UTR	210.6	207.3	207.3	U _{ARs}
<<freq.= 59.979 Hz>>				

Figura 1.7: Datos obtenidos en el medidor de energía eléctrica.

En la Figura 1.8, se observa los datos obtenidos en el analizador de energía eléctrico.

W	VAR	VA
+130.1	±141.0	191.8
+137.4	±141.9	197.6
+129.6	±141.6	192.0

Figura 1.8: Datos obtenidos en el analizador de energía eléctrica.

En las siguientes tablas se presenta la comparación de datos para la fase 1 de las potencias y factor de potencia y se calculó el error experimental utilizando la siguiente ecuación matemática:

$$E_{r\%} = \frac{\Delta x}{x_0} * 100$$

Ecuación 1.1

Tabla 1: Porcentaje de error de la Potencia Activa

POTENCIA ACTIVA	VALOR MEDIDO	VALOR PATRON	% DE ERROR
m1	131.8	130.1	-1.31
m2	132.1	130.6	-1.15
m3	132	129.9	-1.62
m4	132.3	129.7	-2.00
m5	131.7	130.2	-1.15
m6	131.5	129.8	-1.31
m7	130.7	129.9	-0.62
m8	130.6	129.8	-0.62
m9	130.5	129.9	-0.46
		Promedio Error	-1.14

Tabla 2: Porcentaje de error de la Potencia Reactiva

POTENCIA REACTIVA	VALOR MEDIDO	VALOR PATRON	% DE ERROR
m1	141.1	141	-0.07
m2	141.4	141.7	0.21
m3	141.1	140.7	-0.28
m4	141.5	140.5	-0.71
m5	142.3	140.6	-1.21
m6	142.1	141.2	-0.64
m7	141.9	140.6	-0.92
m8	141.3	140.4	-0.64
m9	141.1	140.8	-0.21
		Promedio Error	-0.50

Tabla 3: Porcentaje de error de la Potencia Aparente

POTENCIA APARENTE	VALOR MEDIDO	VALOR PATRON	% DE ERROR
m1	193.2	191.8	-0.73
m2	193.6	192.7	-0.47
m3	193.3	191.4	-0.99
m4	193.8	191.2	-1.36
m5	193.9	192.1	-0.94
m6	192.9	192.4	-0.26
m7	192.4	191.6	-0.42
m8	192.1	191.5	-0.31
m9	192.3	191.6	-0.37
		Promedio Error	-0.65

Tabla 4: Porcentaje de error del factor de Potencia

FACTOR DE POTENCIA	VALOR MEDIDO	VALOR PATRON	% DE ERROR
m1	0.644	0.639	-0.78
m2	0.64	0.64	0.00
m3	0.642	0.638	-0.63
m4	0.643	0.637	-0.94
m5	0.641	0.639	-0.31
m6	0.644	0.638	-0.94
m7	0.643	0.637	-0.94
m8	0.642	0.636	-0.94
m9	0.642	0.638	-0.63
		Promedio Error	-0.68

Según los datos obtenidos y los errores calculados, el medidor de energía eléctrica digital tiene un margen de error menor al 1%, lo que garantiza disponer un equipo con resultados satisfactorios.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Se ha logrado obtener un proyecto en el cual se pueden adquirir datos confiables puesto que en los experimentos realizados con el patrón de medida, los resultados llegaron a ser satisfactorios.

- El sistema de medición propuesto es compacto, y al ser electrónico es más versátil que los sistemas de medición electromecánicos.

- Las etapas de software y hardware desarrolladas en el presente trabajo pueden ser utilizadas como plataforma para trabajos futuros en los que se requiere resolver problemas de control electrónico relacionados con la línea de energía.

- La comunicación que se implementó en el diseño, el cual fue el protocolo Zig-Bee, es un medio de comunicación muy confiable, puesto que los datos enviados no presentan pérdidas en la recepción y se logró obtener una comunicación inalámbrica con un margen de error mínimo.

- La adecuación de comunicación serial que se implementó fue satisfactoria para su diseño, ya que se pudieron obtener datos independientes desde los microcontroladores esclavos, hasta el microcontrolador maestro, permitiendo así, que los datos no se mezclen y produzca un margen elevado de error o cálculos que no se apeguen a la realidad.

- El medidor de energía eléctrica presentó muchas dificultades en la etapa de programación del código fuente, puesto que los cálculos para la obtención de los resultados cumplen con rigurosas ecuaciones matemáticas y es muy difícil adecuarlas en el software de programación

- Sin duda alguna, la culminación del presente proyecto es un logro para su diseñador pues se termina una etapa de arduo trabajo y de mucho tiempo de investigación científica para realizarlo.

- El presente proyecto se presenta como un prototipo totalmente funcional, el cual podría ser modificado para futuras aplicaciones en el Laboratorio de Máquinas Eléctricas.

- En el presente proyecto se presentaron muchos inconvenientes en la parte de programación puesto que se debe tener mucho cuidado con la lógica ya que variables no definidas pueden afectar a la programación.

- Se debe elegir con cuidado los dispositivos electrónicos a utilizar especialmente el microcontrolador ya que es muy importante reconocer las bondades de dichos dispositivos.

- Es necesario la auto preparación para poder adquirir los conocimientos suficientes y realizar proyectos electrónicos de tal magnitud, puesto que los dispositivos que se presentan a menudo con mayor rapidez de actualización adquieren mayor grado de complejidad en su ingeniería.

- Se recomienda utilizar el software que puedan tener accesibilidad con el sistema actual del computador en el cual se trabaje ya que los Firmwares de los mismos, se actualizan periódicamente y cada vez más rápido.

- Se recomienda la manipulación precisa y delicada de los dispositivos electrónicos, ya que si no se los trata con cuidado se echan a perder y se convierten en un problema a la hora de presentarse un error en el diseño.

- Los sensores que existen en el mercado actual, son dispositivos electrónicos variados y abundantes, sin embargo se recomienda la utilización de marcas confiables que vayan acorde con el diseño propuesto, ya que no todos los tipos de sensores que existen, cumplen con las mismas características y no se apegarían a un diseño específico.

- Para la comunicación inalámbrica es recomendable utilizar un protocolo conocido y fácil de usar, pues ya que es la parte final del proyecto, no es propicio encontrar una barrera más en la implementación y estudio de un protocolo de difíciles prestaciones

- El protocolo de comunicaciones VISA debe ser correctamente instalado en el software Labview puesto que si no se tiene una versión que se acople al computador, la comunicación serial entre los dispositivos no se va a poder realizar.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Ogata, Katsushiko, "Ingeniería de Control Moderno" Cuarta Edición, 2005, Prentice Hall.
- Paul Horowitz/Winfield Hill, "The Art of electronics", Segunda Edición 2006, Cambridge University Press.
- Emmanuel C. Ifeakor/Barrie W. Jervis, "Digital signal Processing", Segunda Edición, 2002, Prentice Hall.
- Robert F. Coughlin/Friederick F. Driscoll, "Amplificadores operacionales y circuitos integrados lineales", Cuarta Edición, Prentice Hall.
- "Microcontrollers and Digital Signal Controllers 16 Catalog", Microchip Technology Inc, 2007, DC01032C.
- Steven Chapra / Raymond P. Canale, "Métodos Numéricos para Ingenieros", Tercera Edición, 2001, Mac Graw Hill.
- David E. Johnson / John L. Hilburn, "Análisis básicos de circuitos eléctricos", Cuarta Edición 1991, Prentice Hall.

- Muhammad H. Rashid, "Electrónica de potencia, circuitos dispositivos y aplicaciones", Segunda Edición, Prentice Hall.
- Ronald J. Tocci, "Sistemas Digitales, Principios y aplicaciones", Quinta Edición, Prentice Hall.
- "Dspic30F Family Data Sheet, High Performance, Microchip Technology 2005.
- Robert L. Boylestad / Louis Nashelsky, "Electrónica: Teoría de Circuitos y Dispositivos Electrónicos", Octava Edición, Editorial Pearson Educación.
- The Mathworks – Accelerating the pace of Engineering and Science, 2005 – Serial Port Interface Standard.
- Procobre, "Confiabilidad de Sistemas Eléctricos"

http://www.procobreperu.org/c_confiabelec.pdf