

“Diseño de un Regulador de Frecuencia en base a dispositivos PSoC”

R. Pino Recio, A. Giralt Sánchez, and Y. Andrial Mora, *Universidad de Oriente, Cuba*

Recibido: 20/08/2020

Aceptado:25/09/2020

Abstract— Presently work is carried out the design of a Regulator of Frequency for micro, mini and small central hydroelectric isolated with a microcontrolador PSoC. For the realization of the design the Software ISIS Professional of the Proteus7 is used Professional and the development environment PSoC Designer v5.1 to compile the code source. A study of the microcontroladores PsoC is made and the characteristic of the PSoC CY8C27443-24PXI is detailed. Their digital and analogical blocks are described, as well as the E/S pines, the excitement ways and the configuration of interruptions. Finally a diagram is shown in blocks of the Regulator of Frequency and then the electric outline is designed of each one of the blocks. Being achieved the design of a Regulator of Frequency, for the load method ballasts for micro, mini and small central hydroelectric isolated, based on devices PSoC.

Index Terms—frequency controller, PSoC microcontrollers, power plant

I. INTRODUCTION

DEBIDO al incremento de la demanda de energía eléctrica en nuestro país y el encarecimiento del precio del petróleo en el mercado mundial, en la actualidad tiene especial importancia la explotación de las micro, mini y pequeñas centrales hidroeléctricas, como alternativa de generación de energía eléctrica en zonas rurales montañosas donde no llega la red electro-energética nacional, siendo ello favorable desde el punto de vista económico y de protección al medio ambiente. If your paper is intended for a conference, please contact your conference editor concerning acceptable word processor formats for your particular conference.

La casi totalidad de las que funcionan de forma aisladas no poseen reguladores de frecuencia y/o de voltaje que garanticen una buena calidad en el suministro de la energía eléctrica a los consumidores, lo que limita la utilización de equipamientos técnicos modernos en instalaciones hospitalarias, educacionales, económicas y sociales de los asentamientos humanos en las zonas montañosas y de difícil acceso.

En este sentido, es incuestionable lo beneficioso que resulta la introducción de sistemas de protección y regulación automática de frecuencia y tensión a la salida de estas unidades generadoras.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Generalmente estas instalaciones denominadas micro, mini o pequeñas centrales hidro-energéticas, según el nivel de energía eléctrica que produzcan, van equipadas con generadores sincrónicos, los cuales son máquinas robustas y de simple control de bajo nivel de mantenimiento.

Estas máquinas generan energía eléctrica, cuya frecuencia y velocidad son sincrónicas, de ahí su denominación. Estas instalaciones funcionando como sistemas aislados, no conectados al SEN, enfrentan la necesidad de mantener constantes tanto la tensión como la frecuencia, independientemente de las variaciones de cargas originadas por el consumo eléctrico y las variaciones del flujo de agua en la turbina.

Dentro de las instalaciones hidroeléctricas tienen especial importancia las centrales de pequeña potencia, que no precisan de grandes embalajes reguladores y tienen, por tanto un escaso impacto ambiental.

Los actuales avances tecnológicos, el uso progresivo de equipos normalizados y el cada vez más extendido empleo de las automatizaciones y telemandos, contribuyen a la racionalización del diseño, la construcción y de la explotación de estas centrales, reduciendo así su costo.

IEEE will do the final formatting of your paper. If your paper is intended for a conference, please observe the conference page limits.

Regulación de frecuencia: En una instalación hidro-generadora que trabaja en régimen aislado, uno de los problemas que siempre está presente es la inestabilidad de la frecuencia de generación y he ahí la necesidad de mantener constante tanto la tensión como la frecuencia, independiente de las variaciones de carga originadas por el consumo eléctrico y las variaciones del flujo de agua en la turbina.

La frecuencia, en un sistema eléctrico de corriente alterna, está directamente relacionada con la velocidad de giro, es decir, con el número de revoluciones por minuto de los alternadores. Esto es:

$$f = n \frac{P}{60} \text{ Hz}, \quad (1)$$

donde f es la frecuencia en Hz, n es la velocidad de rotación del rotor del alternador [rpm] y p es el número de pares de polos. Las variaciones de velocidad se traducen en variaciones de la frecuencia y de la tensión a la salida del generador.

En Cuba, la frecuencia nominal de la tensión de la red es de 60Hz. Según la norma internacional, la frecuencia debe mantenerse más o menos 1Hz respecto a su valor nominal.

EFFECTOS PRODUCIDOS POR VARIACIONES DE FRECUENCIA

A. Efectos negativos debido a una operación en baja frecuencia.

1. Motor eléctrico: Puede dañarse por exceso de corriente en los devanados o podría no arrancar.
2. Lámparas incandescentes: Menor iluminación (debido a la baja tensión).
3. Lámparas fluorescentes: No encienden.
4. Alternador: Puede causar una caída de voltaje en el sistema y sobrecalentarse.

B. Efectos negativos debido a una operación en alta frecuencia.

1. Lámparas incandescentes: Se queman o duran menos.
2. Motores: Pueden averiarse.
3. Alternador: Puede dañarse por velocidad excesiva.

En aquellas centrales hidroeléctricas que no tienen un sistema de regulación de la velocidad, una variación en la demanda de energía inmediatamente producirá un cambio en la velocidad de giro de la turbina; por lo tanto el alternador empezará a girar a otra velocidad diferente de la sincrónica con la consecuente variación de la frecuencia y en el voltaje de línea. Por esta causa cuando se prevé que en el sistema existirán continuamente variaciones en la demanda es necesario instalar algún sistema de control que mantenga constante la velocidad de la turbina.

Relación a caudal constante: Este tipo de regulación se realiza manteniendo el caudal constante y modificando el valor de carga secundaria necesaria para que la potencia que ésta disipa, junto con la potencia consumida, sea igual a la potencia generada.

Potencia Generada (PG) = Potencia Consumida (PC) + Potencia Disipada en la Carga Secundaria (PD)

Este principio se aplica a máquinas pequeñas debido a que el costo de las resistencias resulta cada vez más prohibitivo a medida que aumenta la potencia instalada. Un aumento de la potencia consumida por la carga primaria debe traducirse en una disminución de la potencia disipada por la carga secundaria y viceversa, permitiendo mantener constante la velocidad del grupo turbina generador.

La mayor ventaja de este método es el hecho de que sólo emplea componentes simples y robustos como son los triacs y tiristores. La desventaja de este método es el ruido electrónico que se produce si se disparan los triacs cuando el voltaje del generador es elevado, esto es, cerca de los 90° de ángulo de disparo.

Por otro lado, este método emplea sólo una resistencia de

carga por fase, lo cual tiene una ventaja y una desventaja. La ventaja se da en el costo económico y la simplicidad del sistema. La desventaja se refiere a que la regulación se suspenderá por completo ante una falla en esa única resistencia de carga.

Micro-controladores PSoC.

Descripción del PSoC utilizado (CY8C27443-24PXI).

Esta familia de PSoC puede tener hasta cinco puertos de entrada/salida que se conectan a las entradas globales digitales y analógicas dando acceso a 8 bloques digitales y 12 analógicos.

Características más importantes:

Procesador con arquitectura Harvard

- Frecuencia máxima del núcleo M8C de 24MHz.

- Tensión de operación: 3.0 a 5.25V

- Rango de temperatura: -40°C a +85°C

- SMP. Elevador de Tensión Interno

- Periféricos Avanzados (Bloques PSoC)

- 12 Bloques Analógicos

- Conversores Analógicos-Digitales hasta 14-bits de Resolución

- Conversores Digitales Analógicos hasta 12-bits

- Amplificadores con Ganancia Programable

- Comparadores y Filtros Programables

- 8 Bloques Digitales Capítulo 2. Micro-controladores PSoC.

- Temporizadores, contadores, PWM de 8 a 32 bits.

- Full Duplex UART.

- Múltiples maestros o esclavos SPI

- Conectividad con todos los pines de entrada/salida

• Espacios de memoria en el chip.

- Almacenamiento de Programa en 16K Flash

- Almacenamiento de Datos 256 bytes SRAM

- Emulación EEPROM en Flash

• Configuración Programable de Pines

- Pull-up, Pull-down, Alta impedancia, Salida de 20mA máximo

- Interrupción configurable en todos los pines.

Recursos adicionales del sistema

- Bus I2C Maestro, Multi-Maestro y Esclavo hasta 400KHz.

- Detección de baja tensión configurable (LVD)

- Tensión de referencia de precisión dentro del chip.

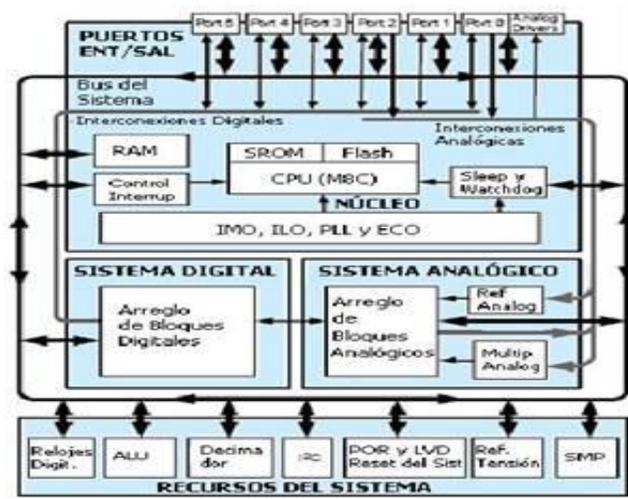
- Temporizadores, contadores, PWM de 8 a 32-bits.

- Conectividad con todos los pines de entrada/salida

- Almacenamiento de Programa en 16K Flash

- Almacenamiento de Datos 256 bytes SRAM.

La arquitectura interna del mismo se puede ver en la siguiente figura:



A parenthetical statement at the end of a sentence is punctuated outside of the closing parenthesis (like this). (A

Fig. 1. Estructura interna genérica de la familia PSoC. Funcionamiento del Núcleo

El núcleo PSoC es muy potente y soporta un amplio set de instrucciones con características especiales. Incluye la CPU, la memoria RAM y ROM, y los osciladores principales. La CPU M8C puede trabajar con frecuencias de hasta 24MHz, con la cual se ejecutan 4 MIPS. Esto equivale a decir que el ciclo de máquina es igual a 6 períodos de reloj. La CPU utiliza un controlador de interrupciones con 17 vectores para simplificar la programación. El núcleo PSoC incluye dos osciladores internos. El primero a una frecuencia de 24MHz llamado Oscilador Interno Principal (IMO –Internal Main Oscillator) con una variación del $\pm 2.5\%$ en dependencia de la temperatura y la tensión de alimentación. El segundo, llamado Oscilador Interno de Baja Velocidad (ILO –Internal Low Oscillator) a una frecuencia de 32KHz. La frecuencia del oscilador principal de 24MHz puede también ser duplicada a 48MHz para el uso de los bloques digitales.

Para lograr aplicaciones de tiempo real (RTC – Real Time Clock) se puede usar la configuración de cristal de cuarzo externo de 32.768KHz o se puede construir un oscilador externo de 32.768KHz y entregar la señal generada por cualquier pin de entrada salida.

Espacios de memoria.

Los micro-controladores PSoC tienen cuatro espacios de memoria:

- Memoria de Programa (ROM)
- Memoria ROM Supervisora (SRAM)
- RAM.
- Registros

Sistema digital

El sistema digital está compuesto por 8 bloques. Cada bloque tiene recursos de 8 bits y además puede ser usado solo o combinado con otro bloque para formar periféricos de 8, 16,

24 ó 32 bits, de forma tal que un temporizador de 32 bits usa 4 bloques digitales. Cualquier periférico que se configure sobre un bloque analógico o digital es llamado “módulo de usuario”. Los bloques digitales pueden ser interconectados entre sí o ruteados hacia los pines de entrada/salida a través de una serie de buses globales que el Micro-controlador PSoC dispone internamente. Los buses también permiten el multiplexado de la señal y la realización de operaciones lógicas AND, OR, NOT y combinaciones de estas.

El PSoC CY8C27443 tiene 8 bloques digitales y 3 puertos de entrada/salida de 8 bits cada uno. Los bloques se organizan en filas de 4. Cada fila tiene 4 líneas de entrada (superiores) y 4 líneas de salida (inferiores), las cuales pueden ser conectadas a cualquier bloque digital. Por ejemplo, el módulo de usuario UART (Transmisor Receptor Asíncrono Universal - Universal Asynchronous Receiver Transmitter) ocupa dos bloques digitales, uno de recepción y otro de transmisión. En el caso de la recepción, el bloque se conecta a través de una de las 4 líneas de entrada y de forma similar en la transmisión, se usa 1 de las 4 líneas de salida.

Cada una de las 4 líneas de entrada o salida se puede conectar a través de un multiplexor digital interno a 1 de 4 posibles pines de propósito general, lo que da un total de 16 combinaciones. En tiempo de ejecución, el control de los multiplexores se puede cambiar, lo que hace posible que un mismo bloque se pueda interconectar con otro pin de entrada/salida en caso de ser necesario. La organización interna de los multiplexores digitales se hace en correspondencia con la paridad del puerto, los puertos pares tales como el 0 y el 2 comparten las líneas de entrada/salida pares y el puerto impar (puerto 1) usa las líneas impares.

Puertos de Entrada/Salida de propósito general

Los puertos de entrada/salida de propósito general (GPIO – General Purpose I/O) incorporan un circuito de alta impedancia de entrada (buffer de entrada), circuitos de salida, registro de almacenamiento del bit y configuraciones lógicas para conectar el PSoC al mundo exterior. Los puertos Entrada/Salida disponen de 8 bits cada uno. Cada puerto contiene 8 bloques GPIO idénticos, identificados con una única dirección. Cada bloque GPIO puede usar los diferentes tipos de E/S.

La operación básica de los puertos GPIO es permitir al núcleo M8C las operaciones de E/S del PSoC. El acceso para lectura y escritura se realiza mediante el registro PRTxDR, donde la x equivale al número del puerto, que puede variar entre 1 y 3. Para ejecutar una operación de salida, se escribe el registro PRTxDR. El M8C puede leer el valor del puerto accediendo al registro PRTxDR.

Para el correcto funcionamiento entre el mundo exterior y el micro-controlador PSoC se debe configurar el modo de conexión interna del pin de E/S en función del componente electrónico que conectemos. PSoC lo llama modos de excitación (drive modes). Se utilizan 3 registros por pin para su configuración llamados PRTxDMx.

Interrupciones GPIO

Por lo general a los micro-controladores se le adicionan un conjunto de servicios internos que amplían las capacidades de estos circuitos para resolver por sí solos determinadas aplicaciones. Servicios tales como la atención de la interrupción, la temporización, la comunicación serie y la conversión analógica digital le dan un valor de uso superior a estos circuitos.

En la técnica por interrupción, el micro- controlador se “desentiende” de si ocurre o no el evento, ya que una lógica adicional se encargará de vigilar su ocurrencia y emitirá un pedido de atención al Procesador cuando esta ocurra. Esta técnica libera al procesador de una gran cantidad de tiempo con lo que mejora su eficiencia y su velocidad en la solución de un problema en particular. Quizás como desventaja tenga la necesidad de la existencia de la lógica que se encarga de vigilar de forma independiente la ocurrencia del evento.

Configuración de los modos de interrupción

En los dispositivos PSoC en cada pin de E/S se puede habilitar interrupción. Existen tres tipos de interrupciones: por flanco de caída, por flanco de subida y por cambio de nivel. Con el IDE PSoC Designer v5.1 se pueden configurar todos los parámetros globales del micro-controlador, entre ellos, las interrupciones. Si fuera necesario cambiar el tipo de interrupción en tiempo de ejecución hay que modificar los registros PRTxIC0 y PRTxIC1.

El hardware encargado de fijar el modo de interrupción se configura a través de los registros PRTxIC0 y PRTxIC1, a cada pin de E/S digital le corresponde 1 bit en cada registro anteriormente mencionado, por lo que se forma una combinación de dos bits para cada pin. Las combinaciones de estos dos bits definen el modo de interrupción.

Sistema analógico: Está compuesto por 12 bloques, cada uno de ellos cuenta con un amplificador operacional y una serie de elementos electrónicos mediante los cuales se logran diversas aplicaciones electrónicas en dependencia de la conexión realizada. Los periféricos analógicos son muy flexibles y pueden ser configurados para soportar múltiples aplicaciones.

Programación

Para trabajar con los PSoC se debe hacer uso de dos programas, el PSOC DESIGNER y el PSOC PROGRAMER. El primero de ellos nos permite diseñar, seleccionar de forma gráfica los bloques y programarlos, ya sea en Assembler por defecto o a través de lenguaje C para lo cual se requiere una licencia que se debe comprar. En este programa además se encuentra un data sheet detallado de cada componente seleccionado y sus características principales, como programarlo y obtener su mejor rendimiento a través de instrucciones API.

Una vez diseñado y compilado el programa, se debe descargar el archivo .hex al micro-controlador, mediante el software PSOC PROGRAMER.

III. DISEÑO DEL REGULADOR DE FRECUENCIA.

En este aspecto se describe el procedimiento seguido para el diseño del Regulador de Frecuencia que se fundamenta en la regulación de la potencia disipada en una carga resistiva trifásica, gobernado por un Micro-controlador PSoC. Se brinda el diagrama en bloques del diseño, el esquema eléctrico y diagrama de flujo del mismo. Se describen además las características de los módulos utilizados en el proyecto (display LCD, DAC8, Counter8, LED, DigBuf), los principales parámetros a tener en cuenta para su configuración así como la configuración dada en el diseño.

Diagrama en Bloques.

El sistema diseñado tiene los siguientes bloques, los cuales se visualizan en la figura 2:

- Fuente de alimentación
- Bloque Convertidor de AC a Onda Cuadrada
- Bloque del PSoC y Visualización
- Circuito de disparo.
- Etapa de Potencia y Carga complementaria (carga lastre).

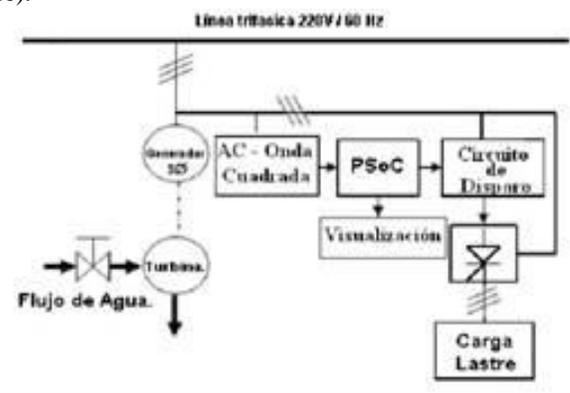


Fig. 2. Diagrama en bloques del sistema.

Bloque del PSoC y Visualización

El elemento principal de este bloque lo constituye el micro-controlador PSoC. Para hacer el diseño de este bloque es imprescindible conocer cuál es la disponibilidad de pines del micro-controlador estudiado en el capítulo anterior.

Otro requisito importante es conocer las funciones que debe realizar el dispositivo, el cual tiene como objetivo medir en forma permanente la frecuencia de la tensión generada para permitir el control del ángulo de disparo de los tiristores que regulan la disipación de potencia en las cargas secundarias de manera tal que se mantenga la frecuencia dentro del rango preestablecido.

En el diseño realizado un elemento muy importante lo constituye el contador, que se habilita en el PSoC. Este contador recibe a través de VC3 los pulsos a contar y mediante interrupciones el contador recibirá orden de iniciar el conteo y de finalizarlo. Luego el valor de conteo pasará a un conversor digital analógico, que internamente también será habilitado, y esta señal saldrá por uno de los pines del PSoC.

El valor del conteo además recibirá un tratamiento adecuado y será visualizada la frecuencia a la que corresponda

dicho conteo. El sistema cuenta con un led rojo que se mantendrá encendido mientras se corrigen las variaciones de frecuencia y otro verde que en estas condiciones se mantendrá apagado pero que una vez que el sistema corrija las variaciones encenderá. Además se ha habilitado internamente un buffer digital que recibe por una entrada un oscilador de 10 KHz proveniente de VC3 y por el pin 2 del puerto 0 se ofrece con el objetivo de ser usado por el Bloque de Disparo de los Tiristores..

IV. Diagrama de Flujo de la aplicación en el PSoC.UNITS

La principal herramienta para el desarrollo de aplicaciones utilizando este micro-controlador desarrollado por Cypress Micro Systems es el software PSoC Designer basado en Microsoft® Windows. El mismo ofrece un entorno de desarrollo integrado (Integrated Development Environment, IDE) para estos dispositivos, una ayuda al usuario para seleccionar la configuración de funcionamiento para el PSoC y escribir el código de la aplicación y depurarla. Este sistema proporciona bases de datos de gestión para el diseño de proyectos y un compilador de lenguaje C de alto nivel para servir de apoyo en la compilación de nuestros programas. El paquete de programas PSoC Designer versión 5.1, es el que se encarga de llevar al usuario a través de todas las fases de desarrollo del proyecto.

A continuación se muestra el diagrama de flujo de la aplicación en el PSoC.

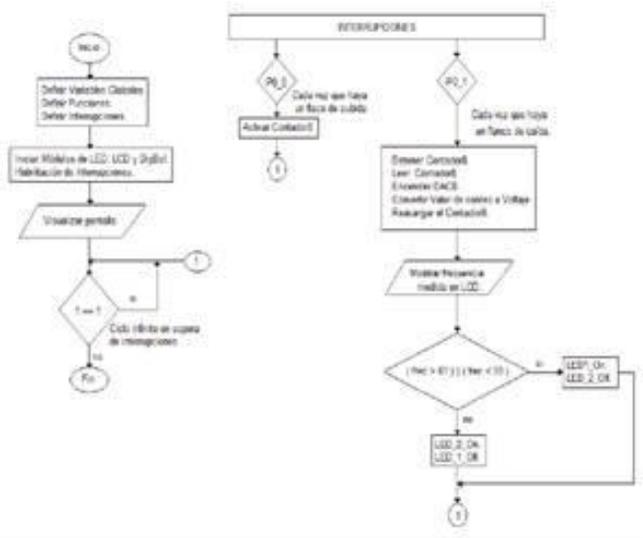


Fig 3. Diagrama de Flujo de la aplicación en el PSoC.

Implementación de la aplicación en el PSoC.

Para la implementación de esta aplicación en el PSoC fue necesario el diseño de un transductor de frecuencia que como se muestra en la figura4, y se implementó de la siguiente forma:

El periodo de la señal cuya duración se mide (Q) se denomina Tx; siendo T0 el periodo de la frecuencia patrón entregada por el oscilador VC3. Si se designa a N como el número total de periodos de la frecuencia patrón, entonces se cumple que Tx= NT0, que es suficiente para tener un valor

adecuado a la frecuencia de la señal que se quiere medir.

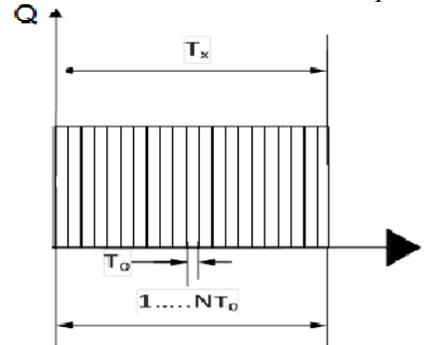


Fig. 4. Transductor de frecuencia

El código binario que se obtiene del transductor de frecuencia es procesado por el programa que tiene el procesador instalado y siguiendo el algoritmo de las instrucciones emite una señal hacia un convertor D/A y este envía a un pin del microprocesador la señal analógica correspondiente, también se emite una señal hacia el display LCD que visualiza el valor de frecuencia medido.

En el convertor D/A el código leído es convertido en una tensión que sirve de referencia a los bloques de las unidades de disparo. En caso de haber variaciones en la carga y por ende en la frecuencia, automáticamente se enciende el Led Rojo de alarma y hasta tanto no se corrija el problema se mantiene encendido, en estas condiciones el Led Verde se encuentra apagado. La ecuación de salida es:

$$V_{salida} = (V_{ref}^+ - AGND) * \frac{C_1 C_4}{C_2 C_5} + (V_{ref}^+ - AGND) \frac{C_3}{C_5} + AGND [V] \quad (2)$$

cuyo valor ideal es:

$$V_{salida} = 2.6 - 1.3 \left(\frac{2}{2^{25} + 2^5} + \frac{18}{2^5} \right) = 1.86V \quad (3)$$

either refer to magnetic flux density *B* or magnetic field strength symbolized as $\mu_0 H$. Use the center dot to separate compound units, e.g., “A·m².”

V. SOME COMMON MISTAKES

The word “data” is plural, not singular. The subscript for the permeability of vacuum μ_0 is zero, not a lowercase letter “o.” The term for residual magnetization is “remanence”; the adjective is “remanent”; do not write “remnance” or “remnant.” Use the word “micrometer” instead of “micron.” A graph within a graph is an “inset,” not an “insert.” The word “alternatively” is preferred to the word “alternately” (unless you really mean something that alternates). Use the word “whereas” instead of “while” (unless you are referring to simultaneous events). Do not use the word “essentially” to mean “approximately” or “effectively.” Do not use the word “issue” as a euphemism for “problem.” When compositions are not specified, separate chemical symbols by en-dashes; for example, “NiMn” indicates the intermetallic compound Ni_{0.5}Mn_{0.5} whereas “Ni-Mn” indicates an alloy of some composition Ni_xMn_{1-x}.

Be aware of the different meanings of the homophones “affect” (usually a verb) and “effect” (usually a noun), “complement” and “compliment,” “discreet” and “discrete,” “principal” (e.g., “principal investigator”) and “principle”

(e.g., “principle of measurement”). Do not confuse “imply” and “infer.”

Prefixes such as “non,” “sub,” “micro,” “multi,” and “ultra” are not independent words; they should be joined to the words they modify, usually without a hyphen. There is no period after the “et” in the Latin abbreviation “*et al.*” (it is also italicized). The abbreviation “i.e.,” means “that is,” and the abbreviation “e.g.,” means “for example” (these abbreviations are not italicized).

A general IEEE styleguide is available at <http://www.ieee.org/web/publications/authors/transjnl/index.html>

VI. GUIDELINES FOR GRAPHICS PREPARATION AND SUBMISSION

A. Types of Graphics

The following list outlines the different types of graphics published in IEEE journals. They are categorized based on their construction, and use of color / shades of gray:

1) Color/Grayscale figures

Figures that are meant to appear in color, or shades of black/gray. Such figures may include photographs, illustrations, multicolor graphs, and flowcharts.

2) Lineart figures

Figures that are composed of only black lines and shapes. These figures should have no shades or half-tones of gray. Only black and white.

3) Author photos

Head and shoulders shots of authors which appear at the end of our papers.

4) Tables

Data charts which are typically black and white, but sometimes include color.

B. Multipart figures

Figures compiled of more than one sub-figure presented side-by-side, or stacked. If a multipart figure is made up of multiple figure types (one part is lineart, and another is grayscale or color) the figure should meet the stricter guidelines.

C. File Formats For Graphics

Format and save your graphics using a suitable graphics processing program that will allow you to create the images as PostScript (PS), Encapsulated PostScript (.EPS), Tagged Image File Format (.TIFF), Portable Document Format (.PDF), or Portable Network Graphics (.PNG) sizes them, and adjusts the resolution settings. If you created your source files in one of the following programs you will be able to submit the graphics without converting to a PS, EPS, TIFF, PDF, or PNG file: Microsoft Word, Microsoft PowerPoint, or Microsoft Excel. Though it is not required, it is recommended that these files be saved in PDF format rather than DOC, XLS, or PPT. Doing so will protect your figures from common font and arrow stroke issues that occur when working on the files across multiple platforms. When submitting your final paper,

TABLE I
UNITS FOR MAGNETIC PROPERTIES

Symbol	Quantity	Conversion from Gaussian and CGS EMU to SI ^a
Φ	magnetic flux	1 Mx \rightarrow 10^{-8} Wb = 10^{-8} V \cdot s
B	magnetic flux density, magnetic induction	1 G \rightarrow 10^{-4} T = 10^{-4} Wb/m ²
H	magnetic field strength	1 Oe \rightarrow $10^3/(4\pi)$ A/m
m	magnetic moment	1 erg/G = 1 emu \rightarrow 10^{-3} A \cdot m ² = 10^{-3} J/T
M	magnetization	1 erg/(G \cdot cm ³) = 1 emu/cm ³ \rightarrow 10^3 A/m
$4\pi M$	magnetization	1 G \rightarrow $10^3/(4\pi)$ A/m
σ	specific magnetization	1 erg/(G \cdot g) = 1 emu/g \rightarrow 1 A \cdot m ² /kg
j	magnetic dipole moment	1 erg/G = 1 emu \rightarrow $4\pi \times 10^{-10}$ Wb \cdot m
J	magnetic polarization	1 erg/(G \cdot cm ³) = 1 emu/cm ³ \rightarrow $4\pi \times 10^{-4}$ T
χ, κ	susceptibility	1 \rightarrow 4π
χ_p	mass susceptibility	1 cm ³ /g \rightarrow $4\pi \times 10^{-3}$ m ³ /kg
μ	permeability	1 \rightarrow $4\pi \times 10^{-7}$ H/m = $4\pi \times 10^{-7}$ Wb/(A \cdot m)
μ_r	relative permeability	$\mu \rightarrow \mu_r$
w, W	energy density	1 erg/cm ³ \rightarrow 10^{-1} J/m ³
N, D	demagnetizing factor	1 \rightarrow $1/(4\pi)$

Vertical lines are optional in tables. Statements that serve as captions for the entire table do not need footnote letters.

^aGaussian units are the same as cg emu for magnetostatics; Mx = maxwell, G = gauss, Oe = oersted; Wb = weber, V = volt, s = second, T = tesla, m = meter, A = ampere, J = joule, kg = kilogram, H = henry.

your graphics should all be submitted individually in one of these formats along with the manuscript.

D. Sizing of Graphics

Most charts, graphs, and tables are one column wide (3.5 inches / 88 millimeters / 21 picas) or page wide (7.16 inches / 181 millimeters / 43 picas). The maximum depth a graphic can be is 8.5 inches (216 millimeters / 54 picas). When choosing the depth of a graphic, please allow space for a caption. Figures can be sized between column and page widths if the author chooses, however it is recommended that figures are not sized less than column width unless when necessary.

There is currently one publication with column measurements that don't coincide with those listed above. PROCEEDINGS OF THE IEEE has a column measurement of 3.25 inches (82.5 millimeters / 19.5 picas).

The final printed size of author photographs is exactly 1 inch wide by 1.25 inches tall (25.4 millimeters x 31.75 millimeters / 6 picas x 7.5 picas). Author photos printed in editorials measure 1.59 inches wide by 2 inches tall (40 millimeters x 50 millimeters / 9.5 picas x 12 picas).

E. Resolution

The proper resolution of your figures will depend on the type of figure it is as defined in the “Types of Figures” section. Author photographs, color, and grayscale figures should be at least 300dpi. Lineart, including tables should be a minimum of 600dpi.

F. Vector Art

While IEEE does accept, and even recommends that authors submit artwork in vector format, it is our policy to rasterize

all figures for publication. This is done in order to preserve the figures' integrity across multiple computer platforms.

G. Color Space

The term color space refers to the entire sum of colors that can be represented within the said medium. For our purposes, the three main color spaces are Grayscale, RGB (red/green/blue) and CMYK (cyan/magenta/yellow/black). RGB is generally used with on-screen graphics, whereas CMYK is used for printing purposes.

All color figures should be generated in RGB or CMYK color space. Grayscale images should be submitted in Grayscale color space. Line art may be provided in grayscale OR bitmap colorspace. Note that "bitmap colorspace" and "bitmap file format" are not the same thing. When bitmap color space is selected, .TIF/.TIFF is the recommended file format.

VII. CONCLUSIONES

Se realizó el diseño de un Regulador de Frecuencia, por el método de carga lastre para micro, mini y pequeñas centrales hidroeléctricas aisladas, basado en dispositivos PSoC, y para ello:

- Se caracterizaron los reguladores de frecuencia para micro, mini y pequeñas centrales hidro-generadoras que operan de forma aisladas.
- Se realizó un estudio detallado sobre las particularidades y prestaciones dl micro-controlador PSoC.APPENDIX
- Se diseñó un Regulador de Frecuencia por el método de carga lastre utilizando el micro-controlador PSoC (CY8C27443-24PXI) con el apoyo del software ofrecido por el fabricante, el PSoC Designer v5.1, así como en el Software ISIS Professional del Proteus 7 Professional.ACKNOWLEDGMENT

REFERENCES

- [1] Maurisset Marcos, Ramón, (2011) "Diseño de un sistema para la supervisión y control de las condiciones ambientales del Laboratorio de Ensayos Preclínicos del CNEA.", [Tesis presentada en opción al título de Ingeniero en Telecomunicaciones y Electrónica], Universidad de Oriente,
- [2] Martínez Frómata, Reinier, (2011) "Diseño de un Estimulador Magnético con PSoC", [Tesis presentada en opción al título de Ingeniero en Telecomunicaciones y Electrónica], Universidad de Oriente
- [3] Kurtz, V. H. y Anocibar, H. R.(2007) "Sistema mixto para control de la generación en micro centrales hidroeléctricas". Universidad Nacional de Misiones, Argentina.<http://www.talentosparalavida.org/aula8.asp>
- [4] Cypress Semiconductor, "Technical Reference Manual (TRM)", No. 001-14463 Revisión H, San José (Canadá) (2007).
- [5] Cypress Semiconductor, "enCoRe™ III Full Speed USB Controller CY7C64215" No. 38-08036 Revisión (2010)