

DISEÑO DE UN VOLTÍMETRO Y UN FRECUENCÍMETRO INTEGRADOS IMPLEMENTADOS EN EL MICROCONTROLADOR PIC16F877

RESUMEN

La determinación de valores como: frecuencia, amplitud máxima, valor promedio y raíz media cuadrática de señales periódicas es una actividad recurrente en la medición de variables eléctricas; hecho que se encuentra directamente relacionado con el costo de los equipos que realizan dichas mediciones puesto que el valor de tales equipos aumenta en función de variables como: ancho de banda, nivel de aislamiento y rapidez de cálculo.

Por tales razones se plantea un diseño económico que aprovecha los beneficios ofrecidos por el microcontrolador PIC16F877 como son:

- Fácil conversión analógica a digital para su posterior tratamiento
- Simplicidad de interfaz serial con los sistemas PC.

Para concluir se observa que el trabajo ilustra las capacidades de la programación de los microcontroladores así como sus ventajas y limitaciones en el tratamiento digital de señales.

PALABRAS CLAVES: Microcontrolador, Valor Pico, Valor RMS, Valor Promedio, Frecuencia, Voltímetro, Frecuencímetro.

ABSTRACT

The determination of values such as: frequency, peak amplitude, average value and root mean square of periodic signals is a recurrent activity in the measurement of electrical variables; a fact that is directly related to the cost of equipment that performs these measurements as the cost of such equipment increases as a function of variables such as: bandwidth, insulation level and calculation speed.

For these reasons, an economical design is proposed which takes advantage of benefits offered by the PIC16F877 microcontroller, such as:

- *Ease of analog to digital conversion for later treatment*
- *Simplicity of serial interface to PC systems.*

In conclusion it is observed that the work illustrates the capabilities of microcontroller programming and their advantages and limitations in digital signal treatment.

KEYWORDS: Microcontroller, Peak Value, RMS Value, Average Value, Frequency, Voltmeter, Frequency Meter.

1. INTRODUCCIÓN

Los instrumentos analógicos, basados en el galvanómetro no determinan de forma natural el valor máximo de una señal periódica debido a la naturaleza alterna de las señales a analizar; para determinar dicho valor ha sido necesario recurrir a herramientas estadísticas y al tratamiento numérico de las mismas en tiempo continuo, ya que, en la mayoría de los casos, su naturaleza es de tipo sinusoidal puro de baja frecuencia.

El advenimiento de los sistemas digitales y el control de los sistemas de potencia (como lo son los motores paso a paso, actualmente tan utilizados por la industria informática dentro de las impresoras, unidades de disquete y unidades de CD-ROM y DVD), hacen inminente la necesidad de conocer los valores reales que apoyen la toma de decisiones y la adecuada operación del sistema de control de los dispositivos.

La estadística brinda un incontable apoyo en la determinación de los valores: máximo, promedio, y el de raíz media cuadrática; que pueden implementarse en

JIMMY ALEXANDER CORTÉS O.

Ingeniero Electricista.
Universidad Tecnológica de Pereira.
Candidato a Magíster en
Instrumentación Física.
Universidad Tecnológica de Pereira.
Profesor Auxiliar.
Universidad Tecnológica de Pereira.
jcortes@utp.edu.co

ANDREW MURRAY KNOTT

Ingeniero Electricista.
Universidad Tecnológica de Pereira.
Candidato a Magíster en
Instrumentación Física.
Universidad Tecnológica de Pereira.
Profesor Auxiliar.
Universidad Tecnológica de Pereira.
amknott@utp.edu.co

JOSÉ ANDRÉS CHAVES O.

Ingeniero Electricista.
Universidad Tecnológica de Pereira.
Especialista en Pedagogía.
Universidad Nacional Abierta y a
Distancia.
Candidato a Magíster en
Instrumentación Física.
Universidad Tecnológica de Pereira.
Profesor Auxiliar.
Universidad Tecnológica de Pereira.
jachaves@utp.edu.co

microcontroladores (dispositivos de uso masivo y de fácil programación a través de lenguajes de alto nivel que simplifican su programación).

Por efectos pedagógicos, la solución presentada se implementa en su totalidad en un ambiente simulado a fin de mostrar el circuito de una forma ágil y de requerimientos mínimos.

2. DEFINICIONES

2.1 El microcontrolador

Se denomina controlador, al dispositivo empleado para la administración de uno o varios procesos.

Aunque el concepto de controlador ha permanecido invariable a través de los tiempos, su implementación era exclusivamente con componentes de lógica discreta; posteriormente se emplearon los microprocesadores, que se complementaban con elementos de memoria y dispositivos de entrada y salida sobre una tarjeta de circuito impreso no integrada.

En los años 70, los fabricantes de circuitos integrados implementaron un nuevo circuito para control, medición e instrumentación al que llamaron microcomputador en un sólo chip o de manera más exacta microcontrolador, que incluía los elementos hasta antes no disponibles en un solo integrado.

Un microcontrolador es entonces un circuito integrado programable que contiene todos los componentes de un computador, el cual se emplea teniendo en cuenta su capacidad de corriente como dispositivo para controlar el funcionamiento de una tarea específica; en su memoria sólo reside un programa destinado a administrar una aplicación puntual una vez programado; sus líneas de entrada/salida soportan la conexión de sensores y actuadores.

Lo anterior significa que una vez programado y configurado el microcontrolador solamente sirve para la tarea asignada en su programa.

2.1.1 Componentes básicos del microcontrolador

Los componentes de los que dispone normalmente un microcontrolador son:

- Procesador o CPU (Unidad central de proceso).
- Memoria RAM para almacenamiento de datos.
- Memoria para el programa tipo ROM/PROM/EPROM/EEPROM.
- Líneas de E/S para comunicación con el exterior.
- Módulos para el control de periféricos (Temporizadores, puertos serie y paralelo, CAD, etc.)
- Generador de impulsos de reloj que sincronizan el funcionamiento de todo el sistema.

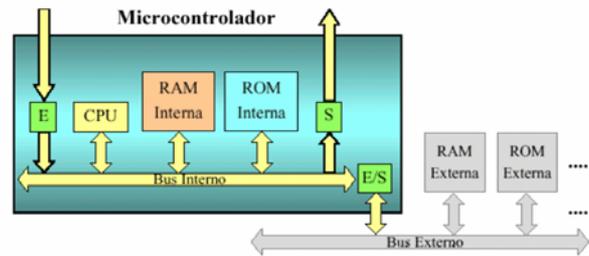


Figura 1. Estructura típica de un microcontrolador

2.1.2 Recursos especiales del microcontrolador

Los recursos especiales más comunes que pueden poseer los microcontroladores son los siguientes:

- Temporizador y/o contador.
- Perro guardián o Watchdog.
- Protección ante el fallo de la alimentación.
- Estado de reposo o de bajo consumo.
- Conversor análogo a digital (CAD).
- Conversor digital a análogo (CDA).
- Comparador analógico.
- Modulador de anchura de impulsos o PWM.
- Puertos de entrada y salidas digitales.
- Puertos de comunicación (USART, USB, SCI, etc.)

2.1.3 Fabricantes de microcontroladores

Aunque en el mundo existen cientos de fabricantes de microcontroladores, los que más destacan son:

- ATMEL
- INTEL
- MOTOROLA
- MICROCHIP

Para el desarrollo del proyecto se utiliza un microcontrolador PIC 16F877 de la compañía Microchip por sus características adecuadas, especialmente su conversor análogo a digital incorporado y su oscilador interno. Existen diferentes modelos de PIC; el uso de uno u otro depende de las exigencias del proyecto, la selección se realiza con base a criterios como el número de líneas de E/S y los recursos que ofrece cada dispositivo.

3. MEDICIONES ELÉCTRICAS EN CORRIENTE ALTERNA

Las tensiones y corrientes alternas cambian periódicamente su polaridad y amplitud; razón por la cual no es suficiente, para caracterizar la señal, medir el valor de su magnitud en un instante determinado.

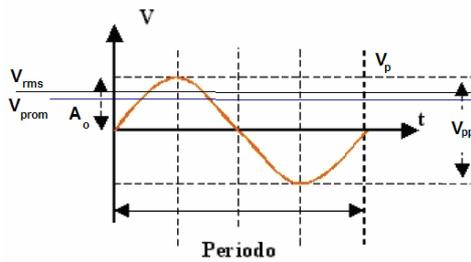


Figura 2. Parámetros de una Señal Sinusoidal

La más importante de las corrientes alternas periódicas es la llamada corriente sinusoidal, ya que:

- Resulta ser la única capaz de pasar a través de resistencias, bobinas y condensadores sin deformarse dramáticamente.
- Puede demostrarse, a través de la serie de Fourier, que cualquier forma de onda se puede construir a partir de una suma de ondas sinusoidales de determinadas frecuencias con respecto a otra frecuencia denominada fundamental.

3.1 Valores de la señal

Como ya se observó las señales que varían en el tiempo incluyen algunos parámetros que facilitan su interpretación desde el punto de vista matemático, físico y eléctrico; lo cual obliga a su conocimiento permanente. Así mismo es común encontrar que los sistemas modernos requieren de formas de onda diferentes a las de tipo Sinusoidal como son: Triangular, Diente de Sierra, Cuadrada, etc. (empleadas en diferentes aplicaciones); por lo que la determinación de sus parámetros se convirtió en un obstáculo que ha debido ser sorteado con el apoyo de diferentes herramientas.

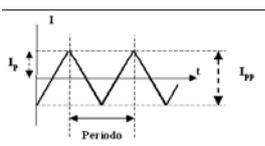


Figura 3. Diente de Sierra

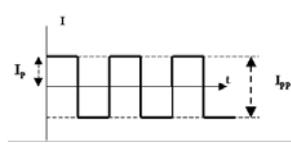


Figura 4. Cuadrada

3.1.1 La frecuencia

La frecuencia F se define como la cantidad de ciclos que ocurren en la unidad de tiempo (un segundo en el SI); dicha frecuencia se mide en la unidad denominada hertz (Ver Figura 5). Asociado a este concepto está el de período que se mide en unidades de tiempo y se representa por la letra T ; dicho período se define como el tiempo que tarda en repetirse un ciclo de una señal periódica.

Analizando la relación entre período T y frecuencia F se observa que esta última resulta ser el inverso del período.

$$F = \frac{1}{T} \quad [Hz] \quad \text{donde} \quad [Hz] = \left[\frac{1}{s} \right] \quad (1)$$

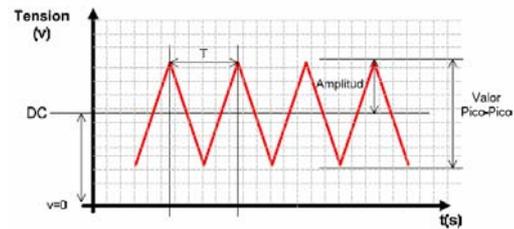


Figura 5. Algunos parámetros de las Señales

3.1.2 Valor pico

En la Figura 5 se observa que hay un voltaje máximo y un voltaje mínimo. La diferencia entre estos dos voltajes es el llamado Voltaje Pico-Pico (V_{pp}) y es igual al doble del Voltaje Pico (V_p). El valor pico es el valor extremo (positivo o negativo) alcanzado en un intervalo de tiempo.

El valor pico no produce la misma potencia que el mismo valor CD, debido a que el voltaje CA varía constantemente de amplitud, mientras que el voltaje CD mantiene un nivel constante.

3.1.3 Valor promedio

Se llama valor medio (*mean*) de una tensión (o corriente) alterna a la media aritmética de todos los valores instantáneos V_i de tensión (o corriente), medidos en un intervalo de tiempo T para un número de muestras n .

$$V_{Promedio} = \frac{\sum_{i=1}^n V_i}{n} \quad \frac{1}{T} \int_0^t f(t) dt \quad (3)$$

Cálculo Discreto del Valor Promedio. Cálculo Continuo del Valor Promedio.

Si el intervalo de tiempo entre las muestras V_i es muy pequeño, se puede efectuar la integral definida en la ecuación (3).

El valor promedio suele ser cero para señales simétricas como lo son la Diente de Sierra, Sinusoidal y Cuadrada, por lo que el cálculo se efectúa regularmente sobre la mitad del período de la señal.

3.1.4 Valor eficaz

Es la medida de la magnitud de una serie de valores V_i , puesto que el cálculo directo generado por el promedio en el período completo de tiempo anularía su valor promedio, por tal motivo, se requiere elevar al cuadrado cada valor de voltaje V_i , dividir su suma por el número n

de muestras obtenidas en el intervalo de tiempo T y, finalmente, sacar la raíz cuadrada del resultado.

$$V_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_i^2} \quad (4) \quad V_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T F(t)^2 dt} \quad (5)$$

Cálculo Discreto del Valor Eficaz.

Cálculo Continuo del Valor Eficaz.

El valor del voltaje alterno esta cambiando constantemente entre dos valores extremos, V_{pico} positivo y V_{pico} negativo.

En un Voltímetro analógico se puede apreciar que valor indicado por la aguja se mantiene por debajo del valor máximo (V_p), siendo esta lectura el valor eficaz. Si la frecuencia de la señal desciende por el orden de los 10 Hz, la aguja fluctuaría dramáticamente.

Desde el punto de vista eléctrico, se llama valor eficaz o raíz media cuadrática (*root mean square*) de una corriente alterna, al valor que tendría una corriente continua que produjera la misma potencia que dicha corriente alterna, al aplicarla sobre una misma resistencia; es decir, se conoce el valor máximo de una corriente alterna (I_0), se aplica ésta sobre una cierta resistencia y se mide la potencia producida sobre ella; a continuación, se busca un valor de corriente continua que produzca la misma potencia sobre esa misma resistencia; a este último valor, se le llama "valor eficaz" de la Corriente Alterna.

3.1.4 Resumen de valores para formas de ondas típicas

La tabla presenta los valores Pico, Promedio y Eficaz para las formas de ondas más usadas en electrónica. Estas son el resultado del tratamiento numérico anteriormente mencionado (que se ha obviado).

Forma de Onda	Valor Pico	Valor Promedio	Valor Eficaz
Seno	A_0	$\frac{2 * A_0}{\pi}$	$\frac{A_0}{\sqrt{2}}$
Cuadrada	A_0	A_0	A_0
Diente de Sierra	A_0	$\frac{A_0}{2}$	$\frac{A_0}{\sqrt{3}}$

Tabla 1. Resumen de Valores.

4. SELECCIÓN DEL MICROCONTROLADOR

Los requerimientos del proyecto implican la captura de una señal analógica, la entrada y salida de varias señales así como también se busca la implementación de un puerto serial como entrada y salida de datos.

4.1 Características principales

- CPU RISC de alto rendimiento
- Grupo de 35 instrucciones
- Todas las instrucciones son de un ciclo excepto aquellas que incluyen saltos que pasan de 2 ciclos.
- Velocidad de Trabajo:
CC - 20 MHz de entrada de reloj
CC - 200 ns ciclo de instrucción
- Hasta 8K x 14 words de memoria FLASH para programa
- Hasta 368 x 8 bytes de memoria de datos (RAM)
- Hasta 256 x 8 bytes de memoria de datos EEPROM
- Manejo de Interrupciones (hasta 14 fuentes)
- Stack de hardware de 8 niveles
- Modo de direccionamiento directo, indirecto y relativo.
- Power-on Reset (POR)
- Power-up Timer (PWRT) y Oscillator Startup Timer (OST)
- Watchdog Timer (WDT) con el reloj RC Interno para mejor seguridad.
- Protección de código programable.
- Programación serial a través de 2 pines
- Depuración en circuito a través de 2 pines
- Amplio rango de voltaje de trabajo: 2.0V a 5.5V

4.2 Características periféricas del microcontrolador PIC 16F877

Características Principales	PIC16F877A
Operating Frequency	DC – 20 MHz
Resets (and Delays)	POR, BOR (PWRT, OST)
Flash Program Memory (14-bit words)	8K
Data Memory (bytes)	368
EEPROM Data Memory (bytes)	256
Interrupts	15
I/O Ports	Ports A, B, C, D, E
Timers	3
Capture/Compare/PWM modules	2
Serial Communications	MSSP, USART
Parallel Communications	PSP
10-bit Analog-to-Digital Module	8 input channels
Analog Comparators	2
Instruction Set	35 Instructions
Packages	40-pin PDIP 44-pin PLCC 44-pin TQFP 44-pin QFN

Tabla 2. Características periféricas del Microcontrolador PIC 16F877

4.3 Diagramas del PIC16F877

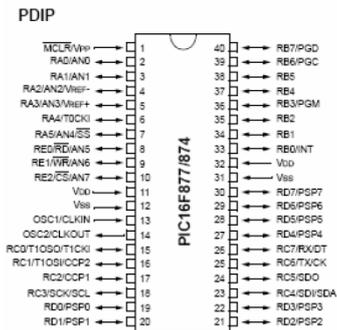


Figura 6. Pines del PIC16F877

Device	Program FLASH	Data Memory	Insts EEPROM
PIC16F874	4K	192 Bytes	128 Bytes
PIC16F877	8K	388 Bytes	256 Bytes

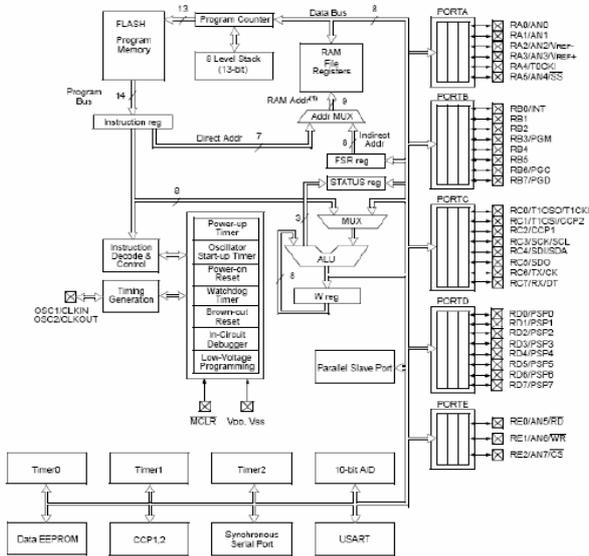


Figura 7. Diagrama de bloques del PIC16F877

5. DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA

5.1 El frecuencímetro

Para la implementación del Frecuencímetro se optó por contar durante un segundo la cantidad de cambios de signo de la serie de valores de voltaje leídos en el puerto; cada vez que se genera un cambio de signo de - a +, se incrementa el valor de la variable frecuencia.

Para permitir la medición de voltajes negativos, la señal de entrada se superpone a un nivel DC de 2,5 voltios, ya que el Microcontrolador no mide valores negativos.

Como se ha garantizado la entrada al convertor A/D de valores positivos entre 0,0 y 5,0 voltios; dichos voltajes deben relacionarse con la resolución elegida, que es de 8 bits (256 divisiones); de esta manera el cero de la señal de entrada corresponde a la división número 127, y el

cambio de polaridad de - a + se detecta cuando la primera de dos lecturas sucesivas es menor o igual a 127 y la segunda es mayor.

Nótese que un voltaje de entrada de 2,5 V equivale a la división 256, mientras que uno de -2,5 V equivale a la división 0.

5.1.1 Rutina de cálculo

La rutina de cálculo se ejecuta, siempre que el valor de la variable key sea igual 1.

```

if (key == '1')
{
    if ((Voltaje > 127) && (VoltAnterior <= 127))
        Frecuencia++;
    VoltAnterior = Voltaje;
}
    
```

5.1.2 Rutina de interrupción

Esta parte de la rutina total del cálculo de la frecuencia, simplemente muestra el valor acumulado en la variable frecuencia durante el segundo previamente establecido y lo reinicializa.

```

calc_format(Frecuencia);
Frecuencia = 0;
    
```

5.2 El voltaje pico

En esta parte del programa se determina el valor máximo obtenido dentro de las muestras capturadas en un segundo de tiempo.

5.2.1 Rutina de cálculo

Si el voltaje leído es mayor al voltaje pico actualmente registrado, éste se convierte en el nuevo valor pico.

```

if (key == '2')
    if (Voltaje > VPico)
        VPico = Voltaje;
    
```

5.2.2 Rutina de interrupción

Al valor de voltaje pico se le debe resta 127, pues la señal de entrada está superpuesta a un nivel CC de 2,5 voltios para permitir la medición de voltajes negativos. Como el voltaje de referencia es de 5,0 voltios, y la resolución del convertor es de 256 divisiones, los 2,5 voltios adicionados equivalen a 128 divisiones. Ya que la primera división corresponde a 0, se resta 127. El número resultante se multiplica por 5 y se divide entre 256 para pasar de divisiones del convertor análogo a digital a voltios.

```

calc_format(((float)VPico-127) *5/256);
VPico = 0;
    
```

5.3 El voltaje promedio

A partir de la documentación estadística el valor promedio representa la suma aritmética de los valores de las muestras de voltaje sobre la cantidad de muestras tomadas en un segundo, puesto que solo se toman los valores positivos.

5.3.1 Rutina de cálculo

Si el voltaje de la muestra es mayor de 127 (positivo) se acumula el voltaje en la variable valor promedio y se cuenta el número de muestras.

```
if (key == '3') // Voltaje promedio
  if (Voltaje > 127) //si el voltaje es positivo
  {
    VProm += Voltaje
    N++;
  }
```

5.3.2 Rutina de interrupción

Es de notar que el valor contenido en la variable valor promedio, aún no representa el verdadero valor promedio; para esto, es necesario dividirlo por el número de muestras previamente determinado y referenciarlo a cero restándole 127 debido a la ya descrita componente DC implementada en el hardware. Para obtener la lectura en voltios, es necesario multiplicar por el valor de la referencia (5 voltios) y dividirlo por el número de muestras (256 muestras).

```
calc_format(((float)VProm/N)-127) *5/256);
VProm = 0;
N = 0;
```

5.4 El voltaje RMS

El voltaje VRMS, a diferencia del valor promedio, toma todas las muestras (positivas y negativas).

5.4.1 Rutina de cálculo

A la variable voltaje se le resta 127, luego la variable VRMS acumula el cuadrado del voltaje.

```
if (key == '4')
{
  Voltaje -=127;
  VRMS += (Voltaje*Voltaje);
  N++;
}
```

5.4.2 Rutina de interrupción

Tal como ocurrió en el caso anterior, el valor contenido en la variable VRMS, aún no representa el verdadero VRMS, por lo tanto, es necesario dividirlo por el número

de muestras previamente determinado y referenciarlo a cero restándole 127 debido a la ya descrita componente DC implementada en el hardware.

Para obtener la lectura en voltios, es necesario multiplicar el valor obtenido por el valor de la referencia (5 voltios) y dividirlo por el número de muestras (256).

```
calc_format((float)sqrt((VRMS/N)) *5/256);
VRMS = 0;
N = 0;
```

6. CONCLUSIONES

El PIC 16F877 ofrece soluciones económicas y versátiles para el diseño y construcción de sistemas que requieran la adquisición de datos; aunque presenta como principal desventaja su baja respuesta a señales de alta frecuencia. Este proyecto tiene un rango de frecuencia trabajo entre 1 Hz y 1,5 kHz

La Programación del microcontrolador es ágil y medianamente sencilla a través de la utilización de compiladores de alto nivel y la amplia disponibilidad de literatura relacionada con el dispositivo.

La ausencia de operaciones básicas como multiplicadores y divisores en Hardware, disminuye el rendimiento del programa; ya que permanentemente se requiere de su utilización, lo que implica la implementación recursiva de sumas y restas que incrementa el tiempo computacional. Por esta misma condición no es factible implementar una rutina de transformada de Fourier que permita el análisis de señales con múltiples frecuencias.

7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] <http://www.microchip.com> , PIC 16F87Xa
- [2] <http://www.iar.com>, Compilador de C
- [3] <http://www.fluke.com>, Fabricante de Instrumentos de Medida.
- [4] http://www.mathwords.com/r/root_mean_square.htm Referencia estadística sobre el tratamiento de los datos RMS
- [5] <http://www.statcan.ca/english/edu/power/ch11/mean/mean.htm>. Referencia estadística sobre el tratamiento de los Datos RMS
- [6] Laboratorio de Circuitos I, Universidad de Antioquia.
- [7] http://www.unicrom.com/Tut_PICs1.asp introducción a los Microcontroladores