

Fasímetro analógico industrial

Marder, Felipe - Lombardero, Oscar G.

Dto. de Ingeniería Eléctrica - Facultad de Cs. Exactas y Naturales y Agrimensura - UNNE.

9 de Julio 1449 2º Piso Lab. N° 7 - (3400) Corrientes - Argentina.

E-mail: fmarder@exa.unne.edu.ar

RESUMEN

El presente trabajo con carácter de desarrollo tecnológico, forma parte del proyecto PI N° 673 aprobado por la Secretaría de Ciencia y Técnica de la UNNE, titulado “Aplicaciones Industriales basadas en Microcontroladores”. El mismo consiste en el diseño e implementación de un dispositivo para la medición automática de la diferencia de fase entre tensión y corriente sobre una carga reactiva, con determinación simultánea del carácter inductivo o capacitivo de la misma. Se realizó previamente el cálculo e implementación del transformador reductor de tensión, el de la resistencia de sensado de la corriente de carga, y un análisis del error introducido en los parámetros de transformación por simulación y contraste en laboratorio.

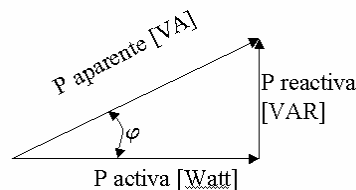
ANTECEDENTES

En el ambiente industrial, tanto en las fábricas de mediano o gran tamaño, son fundamentales las mediciones de la energía consumida por la planta, como uno de los factores importantes en la determinación de los costos que deben ser absorbidos por los productos que allí se elaboran. Este costo de la energía consumida, no sólo es función de la cantidad de maquinaria electromecánica funcional instalada, sino también y desde el punto de vista eléctrico, del tipo de impedancia que en cada uno está involucrada, o sea si es resistiva puros, reactiva pura o combinación de ambas. Si revisamos algunos conceptos básicos sobre medición de potencia, teniendo en cuenta que tratamos con tensiones y corrientes senoidales, encontramos que la tensión y la corriente instantánea están definidas así

$$\begin{aligned}v(t) &= \sqrt{2}V \cos(\omega t + \phi) \\ i(t) &= \sqrt{2}I \cos(\omega t)\end{aligned}\quad (1)$$

siendo **V** e **I** los valores eficaces de tensión y corriente respectivamente, y ϕ el ángulo de desfase entre ambos. La potencia instantánea y promedio están definidas como:

$$\begin{aligned}p(t) &= v(t) \cdot i(t) = VI \cos(\phi) + \cos(2\omega t + \phi) \\ P_{activa} &= VI \cos(\phi) \\ P_{reactiva} &= VI \sin(\phi)\end{aligned}\quad (2)$$



el desfase que existe entre la tensión y la corriente es un parámetro importante a determinar, puesto que es un índice de la cantidad de energía reactiva puesta en juego y que disminuye el rendimiento de la red, ya que promueve un movimiento de energía por la red que no es utilizada.

Existen varios métodos o instrumentos para la medición del ángulo de desfase mencionado, entre los que podemos mencionar:

- o voltímetro, amperímetro y vatímetro
- o fasímetro electrodinámico
- o osciloscopio de rayos catódicos
- o fasímetro digital
- o método de adición de tensiones
- o método de los tres voltímetros

En este proyecto se describe el diseño y desarrollo de un fasímetro electrónico analógico con presentación del índice de desfase en forma digital. Se emplea en esta aplicación un transformador de tensión para tener un voltaje proporcional al aplicado a la carga, y una resistencia derivadora (shunt), calibrada para obtener otra tensión, proporcional a la corriente sobre dicha carga. El resto de los componentes electrónicos empleados son de fácil adquisición en el mercado local y de bajo costo. Se pretende implementar un dispositivo confiable, capaz de medir el desfase con una precisión del orden del 1%. Este proyecto servirá de base para otro posterior en el que se diseñará un medidor del factor de potencia y que opcionalmente actuará como corrector de dicho factor, mediante un banco de condensadores.

MATERIALES Y METODOS

Diseño del transformador reductor y de la resistencia de sensado:

Estimando como valor inicial la potencia a consumir por el dispositivo en 0,5W, y que incluye los integrados reguladores de tensión, los comparadores y la electrónica restante asociada, se adoptó un transformador de 1,2VA con una sección de 10x10 mm, laminación N° 37 de grano orientado (12Kgauss), carrete N° 37, sección cuadrada,

$N_{prim} = 8800$ vueltas, $N_{sec} = 2 \times 300$ vueltas, $\phi_{prim} = 0,05$ mm para $I_o = 3$ mA, $\phi_{sec} = 0,15$ mm. La resistencia de sensado se implementó con alambre de Constantan (Cu 50-60% Ni 40-50%) de 1 mm de diámetro, en un enrollamiento de 4,5 vueltas dando un valor aproximado de 0,1 ohmio, ya que su resistividad es de 52 $\mu\text{ohm.cm}$. Además se seleccionó este material porque tiene un coeficiente de temperatura de ± 20 ppm, que lo hace adecuado como sensor resistivo independiente de las variaciones de temperatura. También se empleó otra resistencia confeccionada con alambre de 2 mm de diámetro a fin de extender el alcance del sistema hasta 10A, lo que permitirá medir desfases sobre cargas de hasta 2200W.

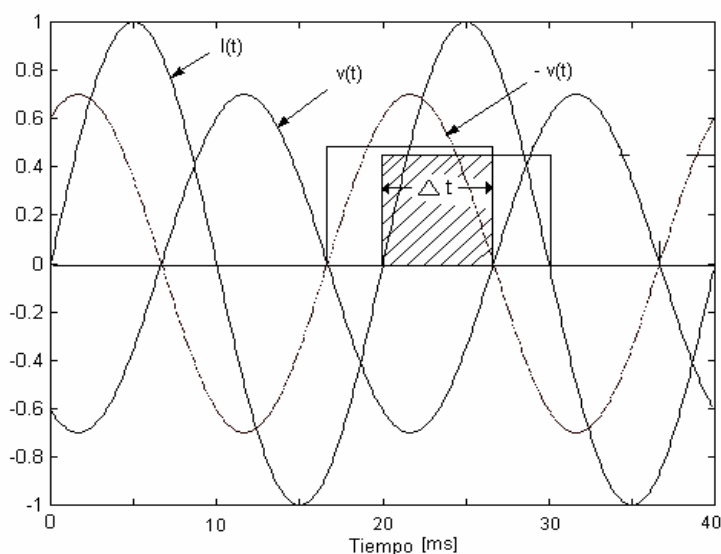


Figura N° 1 Señal de corriente y de tensión sobre la carga y desfase entre ambas

En la Figura N° 1 podemos observar un diagrama temporal de las señales de tensión y corriente sobre una carga, que representa una situación particular, con un desfase de Δt milisegundos. Se utiliza la onda invertida de tensión por una conveniencia circuital, ya que se presenta una superposición entre los pulsos originados durante la porción positiva de la onda senoidal de tensión (inversa) y de corriente. La duración de ese pulso resultado de un producto lógico (función AND), es proporcional al desfase en grados entre ambos parámetros. Para estimar la proporción hacemos 20ms dividido 360° y obtenemos 0,55ms por grado sexagesimal como coeficiente de conversión, en el caso de ser necesario emplearlo.

El diagrama esquemático del circuito implementado es el siguiente

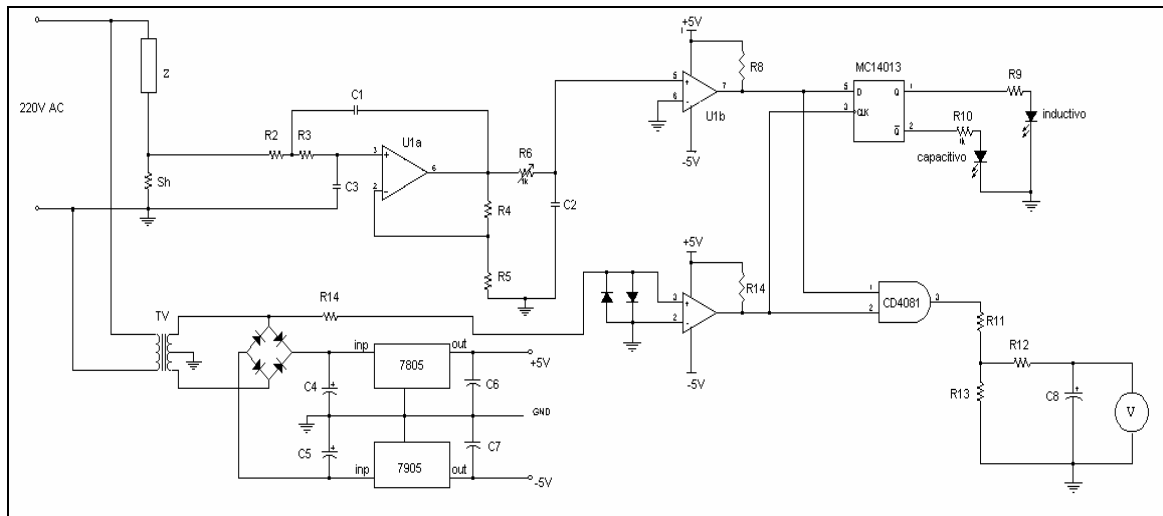


Figura N° 2. Diagrama esquemático del circuito utilizado

En la Figura N° 2 podemos observar la resistencia de sensor R_{sh} en serie con la carga. La tensión originada sobre la misma es proporcional a la corriente nominal sobre dicha carga. Esta señal pasa primeramente por un filtro pasa bajos de segundo orden de Butterworth (circuito de Sallen-Key) con frecuencia de corte aproximadamente en 65Hz, a fin de eliminar aquellas armónicas que introducen error o falsos disparos en el detector de cruce por cero implementado en la etapa siguiente. El flanco ascendente generado por el detector actúa sobre el pata DATO del flip flop MC14013. Este no activa la salida hasta que no llega un flanco similar a la pata CLOCK que recibe la señal de cruce por cero del transformador de tensión, con la señal desplazada 180 grados, utilizada por una conveniencia algorítmica. En el supuesto caso que la carga sea reactiva inductiva, la corriente adelantará a la tensión (desplazada δ radianes) por lo que el pulso DATO estará presente antes que el reloj. En ese caso, se presenta un “1” lógico en la salida Q indicando el carácter inductivo de la carga, encendiéndose el LED correspondiente. A la salida del filtro también podemos ver una red RC que permite el ajuste de fase cero. Simultáneamente, la compuerta AND realiza el producto lógico de las ondas conformadas y aplica el resultado a un divisor resistivo, disminuyendo la tensión a un nivel pico de 3,60 voltios. Si tenemos en cuenta que el valor medio está distribuido sobre un período de 20ms, equivalente a 360 grados sexagesimales, con este nivel de 3,60V tendremos un valor proporcional al desfase entre tensión y corriente en la fase, obteniendo lecturas directas, o sea una precisión de 10mV/ grado. Siendo la ecuación de escala $\bar{U} = 0.01j$

ENSAYOS REALIZADOS

Una vez conectado el sistema se comprobó en el osciloscopio que no existía un desfase apreciable entre primario y secundario del transformador de tensión, por lo que se descarta el error introducido por el mismo. Se ensayaron cuatro diferentes cargas resistivas puras a los efectos de ajustar el cero y de comprobar la sensibilidad de la resistencia de sensor, estableciendo el valor mínimo en 100mA y el máximo en 2A para la resistencia con alambre de 1mm de diámetro. Mientras el desfase está muy próximo a cero, la señalización de los LED's (Inductivo-Capacitivo) es alternada. Se empleó adicionalmente para verificar el corrimiento en fase, una inductancia patrón de 1,22 Hy y capacitores de 4,7 μ F de 20 μ F, de 33 μ F y 44 μ F. Los valores de tensión fueron leídos con un Multímetro FLUKE *dual display* mod 45 clase 0,1, un amperímetro NORMAMETER serie E clase 0,5 para medir la corriente y otros voltímetros NORMA-METER de características similares, aplicando el método de los tres voltímetros. Dichos valores se detallan en la Tabla N° 1, donde los valores de inductancia y capacidad que allí figuran han sido calculados según las expresiones siguientes:

$$L = \frac{U_L}{2 \cdot p \cdot f \cdot I} \quad C = \frac{I}{2 \cdot p \cdot f \cdot U_C} \quad (1)$$

siendo f la frecuencia de red igual a 50Hz.

Pot carga [W]	U _E [V]	U _L [V]	U _C [V]	U _R [V]	I _R [mA]	arcTg U _X / U _R	V _{med} [mV]	L [Hy]	C [μF]
40	233	77	-	213	188	19,87	200,21	1,29	-
60	234	109	-	194	-	29,32	300,85	-	-
100	234	156	-	155	-	45,22	456,18	-	-
150	234	191	-	110	482	60,06	589,69	1,26	-
40	234	-	121	197	177	31,54	309,44	-	4,61
350	230	224	-	29	597	82,61	789,51	1,21	-
40	228	-	30	225	198	7,6	67,56	-	20,11
100	230	-	77	218	480	19,45	187,39	-	19,89
200	230	-	133	184	880	35,86	355,45	-	21,02
250	230	-	190	125	1110	56,02	548,87	-	19,01
100	230	-	206	96	-	65,08	620,15	-	-
40	230	-	30	230	-	7,33	50,45	-	-
100	230	-	74	220	480	18,69	18,59	-	20,2
40	230	-	18	230	202	4,65	20,20	-	34,45
40	230	-	13	230	201	3,36	7,12	-	47,01
100	230	-	33	225	-	8,16	78,88	-	-
200	230	-	66	220	960	16,72	169,25	-	46,36
350	230	-	110	202	1451	28,81	286,31	-	43,56

Tabla N° 1. Lecturas obtenidas de desfasaje con el método de los tres voltímetros

CONCLUSIONES

Se diseñó e implementó un fasímetro analógico de onda senoidal con presentación digital, con detección de cruce por cero para la determinación del tiempo de retardo o desfasaje entre tensión y corriente sobre una carga reactiva. Se realizó el diseño, el armado, y el estudio del error del transformador de tensión empleado como etapa de entrada al dispositivo. Finalmente se realizó el contraste con un equipo clase 0,1 y aplicando el método de los tres voltímetros, salvo la corriente alterna que se lo hizo con instrumento clase 0,5. De los valores de la tabla se desprenden varios aspectos entre los que podemos destacar:

el error cometido en el método no supera el 1,1 %, siempre y cuando los valores de corriente alterna sean los suficientes para estimular la etapa del comparador y evitar la incertidumbre del cruce por cero. Eso no es un inconveniente porque depende de la resistencia de sentido que ha sido implementada para que tenga 0,1 ohm, la que puede llevarse a un valor superior sin perjudicar el método ni el sistema al tener esta resistencia de Constantán un coeficiente de temperatura muy bajo. El error en la estimación por cálculo de la inductancia y los capacitores empleados en los ensayos y obtenidos según las ecuaciones (3) no supera el 1,5 %. El error en la lectura del desfasaje con este método es menor al 1% para ángulos mayores de 18 grados. Si consideramos que 0,95 es el valor del $\cos \phi$ que se tiene como límite para no sufrir penalizaciones en la tarifa, y que justamente corresponde a 18 grados, consideramos este sistema muy satisfactorio dado que los ángulos que se pretenden corregir normalmente superan los 30 grados ($\cos \phi = 0,866$) en los ambientes industriales, dados los tipos de equipamiento (motores, iluminación fluorescente, etc) que presentan características fuertemente reactivas inductivamente. Se pretende en una próxima etapa implementar este instrumento basado en un microcontrolador, con el fin de aprovechar las ventajas de estos dispositivos en cuanto al manejo de diversas variables, cálculos y presentación de las mediciones en pantallas de cristal líquido.

BIBLIOGRAFIA

1. Breant P. , *Medidas Eléctricas* , Ed Aguilar
2. Packman E.N. *Medidas Eléctricas* Ed Alsina
3. Cooper W., Helfrick A. *Instrumentación Electrónica Moderna y Técnicas de Medición* Prentice-Hall
4. Singer F.L., *Transformadores* Ed Neo Técnica
5. Intusoft *Magnetics Designer Application Notes*
6. Fasímetro POWERTEK y CLARKE-HESS Hojas de datos y especificaciones
7. IRAM Norma 2227 Transformadores de medición. Protocolos de ensayo
8. Fluke <http://www.cuthbertsonlaird.co.uk/datasheets/fluke/45multimeter.html>