

## NOTA TECNICA

# Pinza amperométrica de corriente continua

El presente trabajo reviste carácter de desarrollo tecnológico, y forma parte del proyecto PI N° 43-07 aprobado por la Secretaría de Ciencia y Técnica de la UNNE, titulado "Instrumentos basados en Microcontroladores". Uno de los desarrollos encarados fue el diseño de un medidor de corriente continua empleando el bobinado de una pinza de corriente alterna comercial. Estos instrumentos vienen diseñados para operar con corriente alterna, por lo cual fue necesario implementar un circuito adicional. Basado en el principio de que una corriente continua altera la curva de la permeabilidad de un núcleo magnético, se desarrolló una pinza amperométrica de corriente continua con características lineales y amplio rango de funcionamiento.

### ANTECEDENTES

La medición de corriente continua (CC) tomó impulso a partir del invento del galvanómetro de Jaques d'Arsonval (1851 - 1940) que se emplea aún en nuestros días. Su funcionamiento está basado en el paso de una corriente por una bobina móvil que gira sobre un eje e inserta en un campo magnético permanente B. La interacción entre la corriente y el campo B provoca una deflexión en forma proporcional al valor de la corriente en ese instante. Ese mismo



Felipe Marder, Victor Toranzos, Oscar G. Lombardero, Carlos de J. Aquino, Victor Samuel Marder, Manuel Cáceres.  
Dto. de Ing. Eléctrica  
FACENA UNNE, 9 de julio  
1449 2° P Lab. N° 7

instrumento puede emplearse para medir tensión mediante una resistencia en serie con el bobinado. Si se conecta en un circuito una resistencia de valor conocido y se mide la tensión en bornes de la misma, se puede obtener el valor de corriente de manera indirecta. En este trabajo se presenta el desarrollo de un dispositivo capaz de medir CC con un instrumento que fue diseñado a priori para medir corriente alterna (CA), aprovechando la particularidad en este caso, de que no es necesario abrir el circuito para insertar el instrumento como en el caso de los amperímetros comunes.

Sustento teórico  
Los materiales ferromagnéticos presentan características alineales

ya que su permeabilidad es una función de H [A/m] tal que  $\mu = f(H)$ . La experiencia nos demuestra que la forma de la función  $\mu = f(H)$  tiene simetría impar respecto del origen cuando se energiza con CA. Podemos suponer entonces que un inductor cuyo núcleo es ferromagnético presentará un comportamiento diferente si el mismo es magnetizado también con una CC, ya que perdería su comportamiento simétrico al tener la amplitud del semiciclo positivo diferente del semiciclo negativo. Esto traerá como consecuencia un efecto de rectificación parcial sobre la CA.

Basados en este principio, nace la idea de utilizarlo como método de medición de CC mediante un toroide ferromagnético, teniendo como ventajas su bajo costo y sencillez constructiva.

Consideremos un núcleo magnético cuya longitud es l, con un área transversal A, devanado con N espiras recorridas por CA y una espira recorrida por CC. Su inductancia será:

$$L = \mu_0 \cdot \mu_r A \frac{N^2}{l}$$

donde

$$\mu_r = f\left(i_{AC} \frac{N}{l} + i_{CC} \frac{1}{l}\right)$$

Con lo cual  
tiva será:

$$X_L = 2\pi$$

La corriente  
atravesada por

$$i = V$$

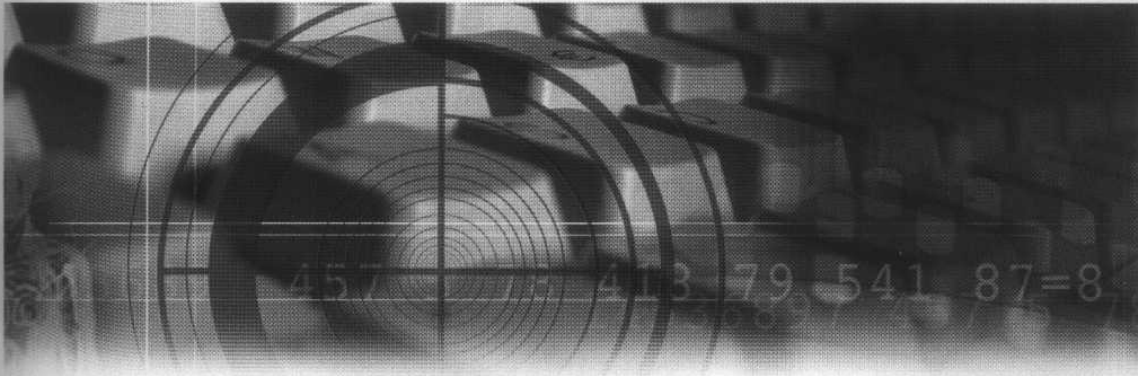
Si plantea  
serie como el  
la condición  
frecuencia de  
tancia capacitiva  
la caída de V  
cargando con  
que dependa  
del inductor d



Figura 1:

En este  
capacitor pu

$$V_C$$



una  
f(H).  
que  
riene  
rigen  
emos  
uctor  
pre-  
rente  
abién  
ia su  
tener  
sitivo  
Esto  
efecto  
CA.  
nace  
étodo  
te un  
endo  
sen-

Con lo cual la reactancia inductiva será:

$$X_L = 2\pi fL = f(i_{AC}, i_{CC})$$

La corriente instantánea que será atravesada por la bobina es:

$$i = V_P \frac{\cos(\omega \cdot t)}{X_L}$$

Si planteamos un circuito LC serie como el de la Figura 1, con la condición de que  $X_C \ll X_L$  a la frecuencia de trabajo, sobre la reactancia capacitiva  $X_C$  será despreciable la caída de  $V_{ac}$ . El capacitor C se irá cargando con una tensión continua que dependerá del efecto rectificador del inductor debido al lazo de CC.

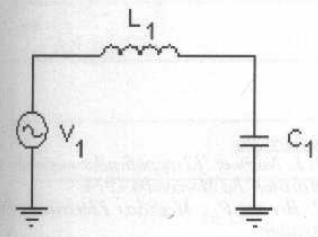


Figura 1: circuito serie LC

En este caso, la carga sobre el capacitor puede calcularse como

$$V_C = \frac{1}{C} \int i(t) \cdot dt$$

Para obtener resultados numéricos, se realizó un programa con el software de distribución gratuita SCILAB v 4.1.2, realizando algunas aproximaciones que se consideraron convenientes para simplificar los cálculos. Por otro lado se utilizaron datos experimentales para valores de  $\mu$ , y se midieron parámetros físicos del inductor utilizado, que para este caso fue la parte del sensor de una pinza amperométrica en desuso. Los valores que se emplearon fueron los siguientes  $A = 1,8 \cdot 10^{-5} m^2$ ,  $N = 825$  espiras,  $l = 0,23 m$ ,  $V_{ac} = 55 V$ .

En la Figura 2, se aprecia la gráfica de  $\mu = f(H)$  con la cual se simuló.

Haciendo variar la corriente sobre el lazo de CC, se midió la tensión VC sobre el capacitor, obteniéndose los valores que se observan en la Figura 3. En el eje X se representan los valores de corriente continua en el devanado de una espira y en el eje Y la tensión de CC sobre el capacitor.

Prototipo

Con el fin de implementar un prototipo experimental para medir corriente continua mediante el método descrito, se diseñó el circuito que se aprecia en la Figura 4.

El circuito consta de un oscilador de onda cuadrada con un ciclo de

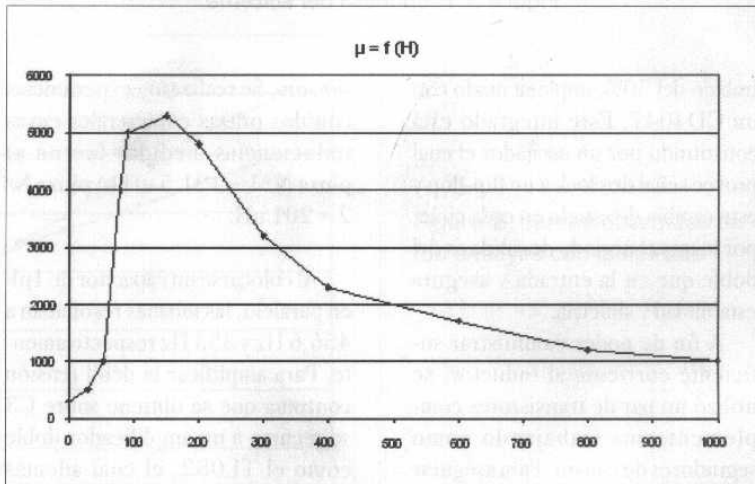


Figura 2: curva de la permeabilidad magnética

agné-  
área  
spiras  
reco-  
erá:

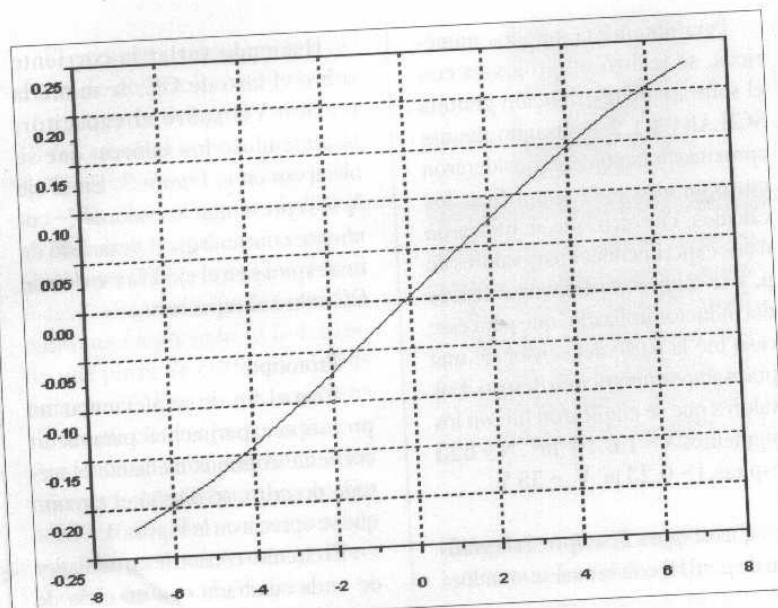
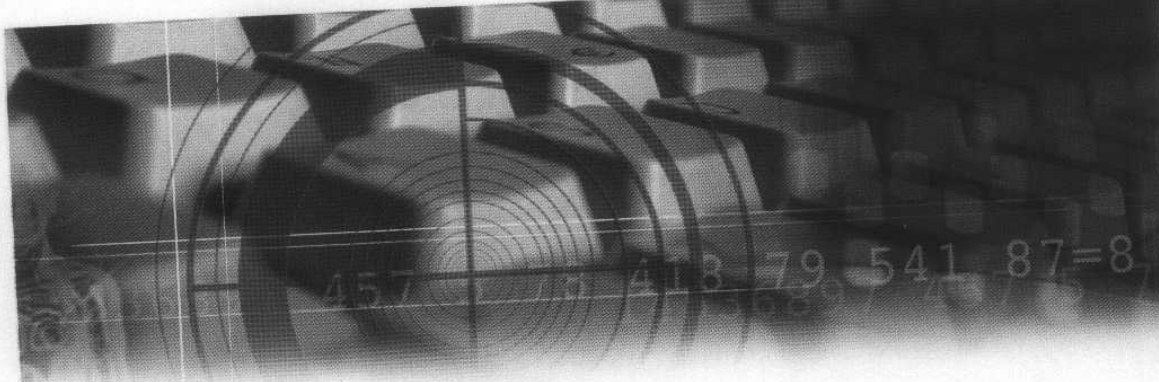


Figura 3: respuesta del sistema

trabajo del 50%, implementado con un CD4047. Este integrado está constituido por un oscilador el cual provee señal de clock a un flip-flop y este cambia de estado en cada ciclo, por lo que el periodo de salida es del doble que en la entrada y asegura estabilidad y simetría.

A fin de poder suministrar suficiente corriente al inductor, se utilizó un par de transistores complementarios trabajando como seguidores de emisor. Para asegurar la saturación, se implementó un tanque LC resonante sobre la bobina

sensora. Se realizaron experiencias con dos pinzas comerciales cuyas inductancias medidas fueron a) pinza N° 1 = 121,5 uH b) pinza N° 2 = 201 uH.

Al colocarse un capacitor de 1µF en paralelo, las mismas resonaban a 456,6 Hz y 355 Hz respectivamente. Para amplificar la débil tensión continua que se obtiene sobre C3 se recurre a un amplificador doble como el TL082, el cual además provee corrección de cero y filtrado de altas frecuencias.

### Ensayos

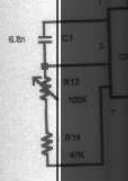
Se ensayaron ambas pinzas, ajustando el oscilador a las frecuencias de resonancia indicadas para cada caso. Luego se hizo pasar un conductor por el interior de la pinza y se forzó corriente continua registrando para cada caso la tensión indicada en el voltímetro, conectado a la salida de los amplificadores, para diferentes corrientes Icc. Los resultados se graficaron y se aprecian en la Figura 5.

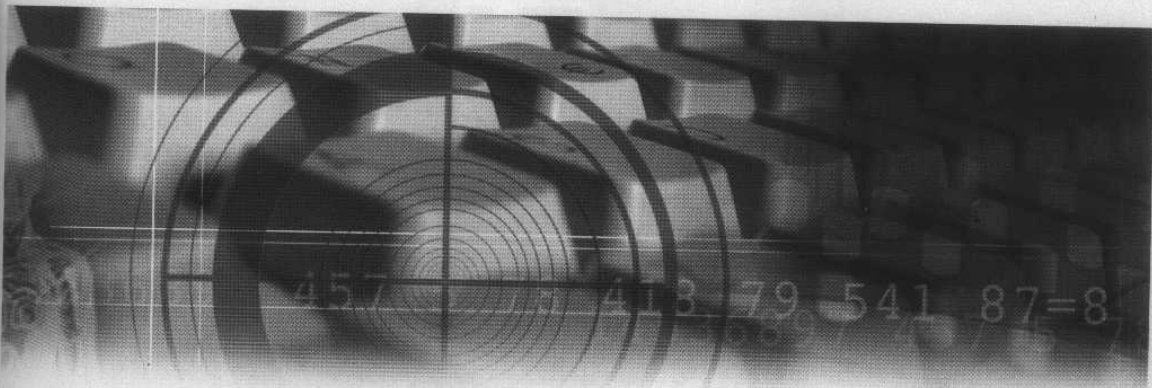
### Conclusión

Dados los resultados obtenidos, cabe concluir que podría utilizarse convenientemente este método de medida de corriente continua en forma económica, sobre todo para corrientes grandes y sin llegar a abrir el circuito bajo medición ■

### Referencias

1. L. Nosbom "El amplificador magnético y el tiristor" Ed Marcombo 1974.
2. Breant P., "Medidas Eléctricas", Ed Aguilar.
3. Cooper W., Helfrick A. "Instrumentación Electrónica Moderna y Técnicas de Medición".
4. Intusoft "Magnetics Designer Application Notes".
5. William Koon "Current Sensing for energy metering" Application Engineering, Analis Devices.
6. Richard C. Dorf: "Propiedad de los materiales magnéticos", en Electrical Engineering Handbook. IEEE Press 1993.





...zas, ajustes de frecuencias de cada caso. El conductor y se forzó ando para cada en el salida de diferentes os se gra- figura 5.

...tenidos, utilizarse todo de tinua en do para ara abrir

...gnético y cas, Ed umentas- nicas de plication r energy Analog los mate- ineering

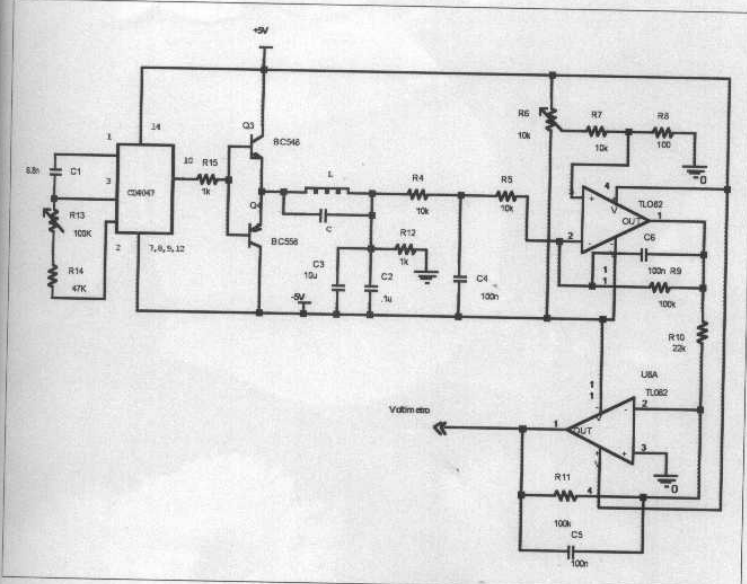


Figura 4: circuito esquemático del circuito desarrollado

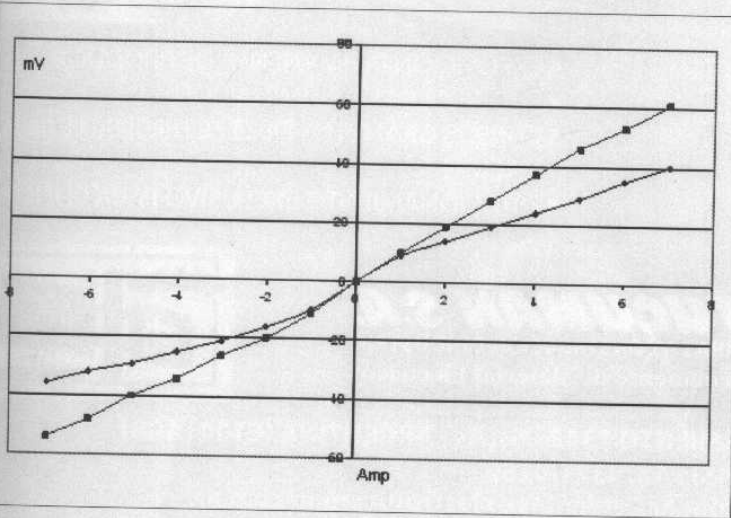


Figura 5: curvas obtenidas de los ensayos con las pinzas