

# SENSORES DE CORRIENTE

## CONTINUA Y ALTERNA

Cuando se desea medir el valor de la corriente, hay que hacerlo sin introducir pérdidas a su paso. Pues bien, uno de los instrumentos que se utilizan para este tipo de medición, es el transformador de corriente. Sin embargo, estos dispositivos tienen la desventaja de no poder servir para la medición de corriente continua. Los sensores aquí descritos se basan en el efecto Hall y pueden ser utilizados para la medición de corrientes alternas y continuas.

### El efecto Hall

El efecto Hall se desarrolla en las finas láminas de los metales y en algunos semiconductores. Cuando una pequeña lámina de metal, portadora de corriente eléctrica, se inserta en un campo magnético perpendicular al plano de la lámina, aparece un determinado voltaje en los terminales opuestos de la citada lámina metálica. Aunque la tensión generada de esta forma es muy débil, es capaz de producir una corriente a través de un circuito externo.

La fuerza, debida a la densidad "B" del flujo magnético, aplicada a un portador de carga "e" y a una velocidad vectorial "v", será igual a  $evB$ . Esta fuerza desplaza a los portadores y genera una distribución desigual de cargas que activa un campo eléctrico "E". En situación de equilibrio, la fuerza de los portadores de carga, "eE", se anula con el mismo valor absoluto (pero de signo opuesto) de densidad de flujo magnético:

$$eE + evB = 0$$

La velocidad vectorial está relacionada con la densidad de corriente "j", de la siguiente forma:

$$j = nev$$

donde "n" es el número de portadores de carga por unidad de volu-

men. Consecuentemente, el campo eléctrico está relacionado con el producto vectorial de la densidad del flujo magnético y la densidad de corriente:

$$E = -R_H (jB)$$

donde  $R_H$  es el coeficiente de Hall, igual a  $1/ne$ . El campo eléctrico resulta ser una diferencia de potencial,  $U_H$ , el voltaje o tensión de Hall a través del material.

En algunos materiales, la dirección del campo queda invertida, lo cual significa que dichos materiales tienen un coeficiente de Hall positivo. Esto indicaría que, en los referidos materiales, la corriente es "transportada" por portadores positivos de carga, es decir, por huecos.

En un campo eléctrico, los electrones se mueven en línea recta, tal como puede verse en la figura 1a; en un campo electromagnético homogéneo, los electrones siguen un movimiento cíclico (véase la figura 1b). Sin embargo, en materiales semiconductores degenerados, no pueden seguir ningún proceso regular, ya que colisionan frecuentemente con átomos del propio material semiconductor. Con tales colisiones, los electrones pierden velocidad, lo que mengua el campo magnético, ya que la fuerza de dicho campo es directamente pro-

porcional a la velocidad de los portadores de carga. Consecuentemente los electrones se verán atraídos fuertemente por el campo eléctrico (véase la figura 1c).

Cuando se conecta una laminilla de material semiconductor, de la

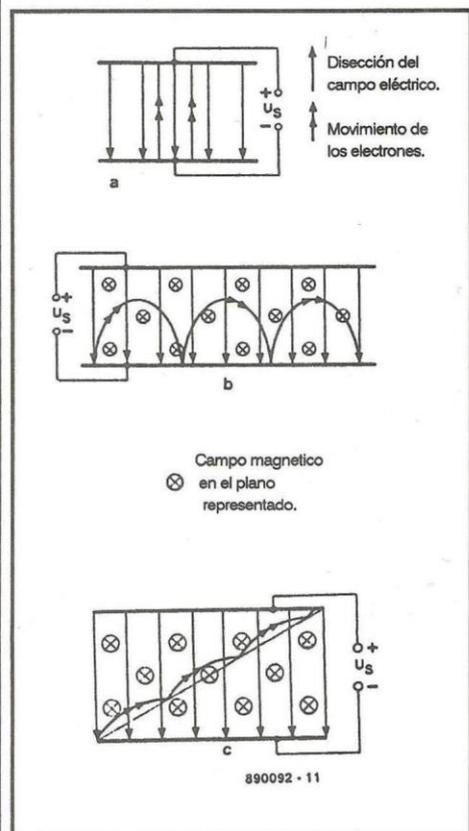


Figura 1. Representación de movimiento de los electrones en el material: a) Un campo eléctrico. b) Un campo electromagnético homogéneo, en el vacío. c) Movimiento de los electrones en un material semiconductor degenerado.

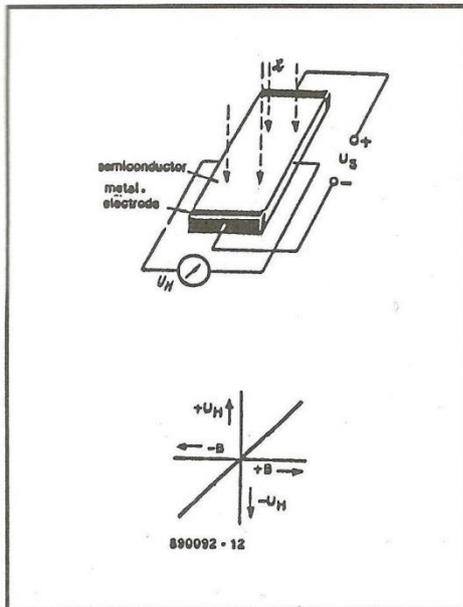


Figura 2. La tensión Hall  $U_H$  se genera a través de las caras longitudinales del generador Hall.

forma que puede verse en la figura 2, y se coloca en un campo magnético, se podrá observar que se genera una tensión o voltaje de Hall  $U_H$ , entre los terminales más alejados de la lámina de material semiconductor. A consecuencia de esto, la lámina de material semiconductor pasa a ser denominada "generador Hall". Si se invierte la dirección del campo magnético, la dirección del voltaje también cambia en 180°. Siempre dentro de ciertos límites, el campo electromagnético se define mediante la siguiente fórmula:

$$U_H = R_H j B / d$$

donde "d" es el espesor de la lámina de material semiconductor. Hay que destacar que la tensión Hall es inversamente proporcional al espesor de la lámina de material semiconductor. Los generadores Hall se han popularizado más, con

| MATERIAL | TIPO                      | VELOCIDAD VECTORIAL<br>( $\text{cm}^2 \text{v}^{-1} \text{s}^{-1}$ ) |
|----------|---------------------------|--|
| COBRE    | METAL                     | 27-43  |
| SILICIO  | SEMICONDUCTOR DEL GRUPO 4 | 1350   |
| GERMANIO | SEMICONDUCTOR DEL GRUPO 5 | 3900   |
| InAs     | AIII Bv SEMICONDUCTOR     | 23 000   |
| InSb     | AIII Bv SEMICONDUCTOR     | 65 000   |

Tabla 1. Movilidad de un electrón, en el cobre y en un cierto número de materiales semiconductores.

la llegada al mercado de materiales semiconductores como el antimonio de indio (InSb) y el arsenio de indio (InAs), que cuenta con una alta movilidad, lo cual redundará en un alto coeficiente de Hall y una resistencia específica de bajo valor. La tabla 1 muestra una comparación (velocidad vectorial por unidad de campo eléctrico),  $v$ , en el cobre y en algunos materiales semiconductores. Obsérvese que, a pesar del buen rendimiento del Antimonio de indio, este material no se utiliza demasiado debido a su falta de estabilidad frente a los cambios de temperatura. Por ejemplo, para un margen de temperaturas de 20 a 120°C, el valor de su velocidad vectorial ( $v$ ), varía del orden de un factor 5.

### Los sensores en la práctica

En la práctica, el espesor de la lá-

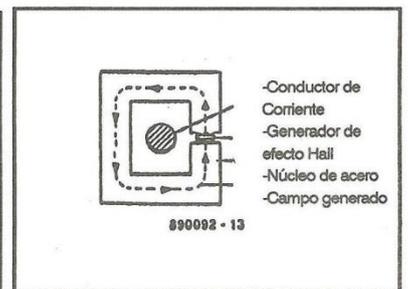


Figura 3. Situando el generador Hall en el espacio central de un núcleo de acero de un sensor de corriente, la tensión de Hall es directamente proporcional a la corriente que circule por un conductor que esté situado en ángulo recto con el plano de corte del núcleo.

mina de semiconductor suele ser de entre 1 y 5  $\mu\text{m}$ . Esto no sólo da un considerable voltaje Hall, sino que también permite al sensor en cuestión, trabajar con campos magnéticos muy estrechos. Lo que se acaba de explicar puede verse representado en la figura 3, donde la tensión Hall es directamente proporcional al valor de la corrien-

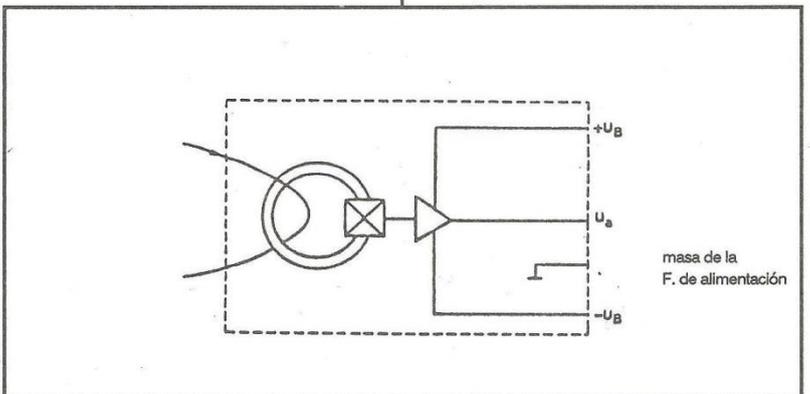


Figura 4. Circuito básico de un sensor de corriente por lectura directa.

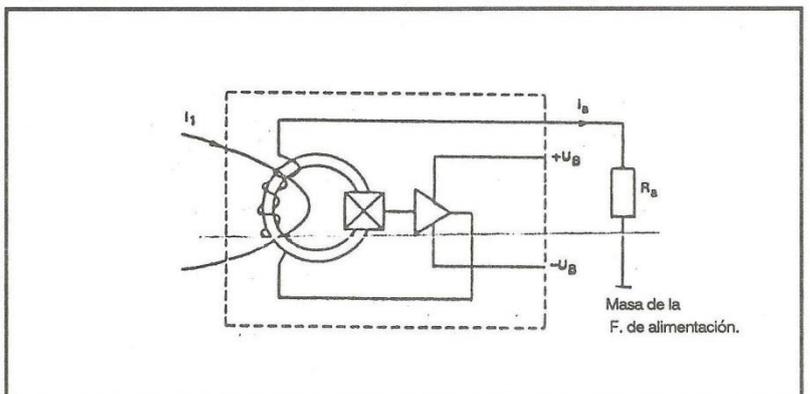


Figura 5. En el caso de un sensor de corriente por compensación, el elemento Hall genera una corriente en el bobinado secundario.

te que circula a través del conductor, que está situado de forma perpendicular al plano de sección de la junta del sensor.

Existen dos tipos de sensores de corriente, de efecto Hall: los de lectura directa y los de compensación (véanse las figuras 4 y 5).

La principal ventaja del sensor de lectura directa consiste en que las pérdidas que produce son mínimas. La salida amplificada  $u_a$  es directamente proporcional a la corriente  $i_i$ . El tipo de sensor por compensación es particularmente útil para aplicaciones de alta frecuencia (obsérvese la tabla 2).

La corriente a medir se acopla magnéticamente al secundario de  $u_n$  de una bobina arrollada alrededor de un núcleo. El elemento Hall se utiliza como un detector de "0" magnético que se induce, con la ayuda de una corriente auxiliar (de compensación) que alimenta al bobinado secundario. La citada

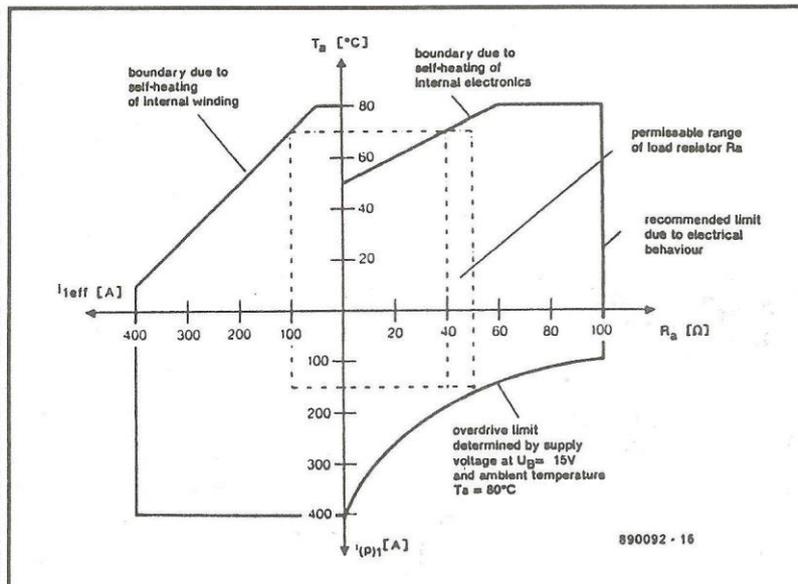


Figura 6. Los parámetros operacionales deben ser determinados mediante un programa de cuatro cuadrantes.

corriente de compensación es una medida muy precisa de la corriente del bobinado primario. Este tipo de sensor se utiliza principalmente para medir corriente en ondas cuadradas.

Los parámetros equivalentes del sensor por compensación pueden determinarse a partir del diagrama

de cuatro cuadrantes de la figura 6. Si por ejemplo, el valor r.m.s. de la corriente a medir es de 100 A, su valor de pico sería de 150 A y la temperatura ambiente máxima que aguantaría sería de 70°C. Trazando líneas en ángulos rectos en los correspondientes tres ejes, se obtendrá una resistencia de carga de 40 a 50 Ω.

| PARAMETRO                              | LECTURA DIRECTA | COMPENSACION     |
|--|-----------------|------------------|
| MARGEN DE CORRIENTE                    | 150-3000 A      | 100-250 mA       |
| SALIDA NOMINAL                         | 10 V            | 100 mA           |
| IMPEDANCIA SALIDA NOMINAL              | 10 K ohms       | 50 Ohms          |
| CORRIENTE DE ALIMENTACION              | 15 mA           | 8 mA             |
| VOLTAJE DE ALIMENTACION                | +/-15 V         | +/-15 V          |
| TEMPERATURA AMBIENTE                   | 0-80 C          | -25 a 70 C       |
| TOLERANCIA DE MEDIDA                   | <=2%            | <=0,5%           |
| LINEALIDAD                             | <=1%            | <=0,1%           |
| DESVIACION POR TEMPERATURA             | <=250 ppm/C     | <=50 ppm/C       |
| FRECUENCIA MAXIMA                      | 10 kHz          | 75-300 kHz       |
| TIEMPO DE RESPUESTA                    | +/-30 uS        | +/-1 uS          |
| SEÑAL DE SALIDA:                       |                 |                  |
| OFFSET                                 | <=20 mV         | <=1 mA           |
| DESVIACION                             | 20-50 mV        | 0,05-0,1 mA      |
| HISTERESIS                             | <=25 mV         | <=0,2 mA         |
| DESVIACION POR TEMPERATURA             | <=1 mV/C        | <=12 uA/C        |
| DESVIACION POR VOLTAJE DE ALIMENTACION | <=0,1-10mV/V    | <=0,01-0,03 mA/V |

NOTA: C = GRADOS CENTIGRADOS

Tabla 2. Comparación de los parámetros de un sensor de lectura directa y otro del tipo compensación.