

Efecto Hall

Integrantes:

- Maria Paula Aguirre.
- Juan Pablo Ricardo.
- Natalia Valencia.
- Isabella Molano.

1. Introducción

El efecto Hall es un fenómeno netamente electromagnético que ocurre cuando dentro de un circuito cerrado con un campo eléctrico E a lo largo de un conductor, las partículas en movimiento con carga q y velocidad de arrastre V_d , experimentan una fuerza F_B perpendicular a la corriente I y ejercida por el campo magnético B perpendicular a la fuerza experimentada. Provocando que las partículas se separen a lado y lado, desviándose según su signo; es decir, las partículas con carga del mismo signo se moverán en dirección de la fuerza experimentada, acumulándose en el borde de dicha dirección; mientras que en el borde de dirección opuesta a la fuerza ejercida, habrá un exceso de carga del signo opuesto, como se muestra a continuación:

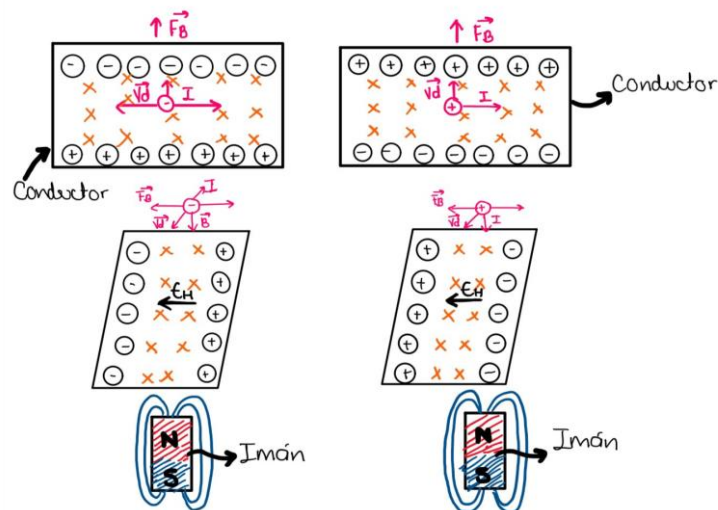


Figura 1. Ilustración de la acumulación de portadores debido al efecto Hall.

Como podemos observar, en el caso de que la carga sea negativa, se acumularán en el borde izquierdo debido a la fuerza ejercida por B , mientras que las de signo opuesto se desviarán al borde derecho. En el caso de que el portador sea de carga positiva, sucederá lo mismo, pero con signos contrarios. El voltaje Hall o la diferencia de potencial, se mide entre los puntos de los ambos bordes.

2. Desarrollo del problema

En 1879, Edwin Hall descubre este fenómeno en un experimento constituido por un **conductor** plano que transporta una corriente I en la dirección x , y un **imán** que ejerce un campo magnético uniforme \vec{B} en la dirección y . Al interactuar el campo magnético con los portadores de carga en movimiento en el conductor, se genera una diferencia de potencial en dirección perpendicular tanto a la corriente como al campo magnético. Sin embargo, la acumulación de carga en los bordes hace que el campo eléctrico se incremente hasta entrar en estado de reposo, es decir, que la fuerza eléctrica que actúa sobre el resto de los portadores dentro del conductor equilibra la fuerza magnética que actúa sobre los portadores, dejando entonces que estos dejen de desviarse.

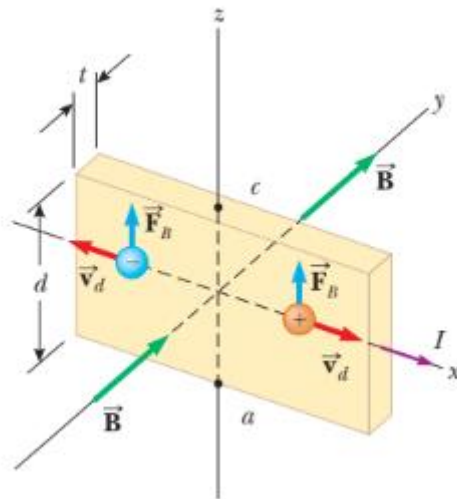


Figura 2. Ilustración del efecto Hall.

Ahora bien, conociendo esto, tenemos que la magnitud de la fuerza ejercida por el campo magnético a las partículas está dada por:

$$F_B = |q| * v * B$$

Por lo que, en reposo, la fuerza eléctrica:

$$F_e = |q| * E$$

Estaría dada por la ecuación:

$$F_e = |q| * E_H$$

Donde E_H es la magnitud del campo eléctrico (Campo de Hall) tras la separación de las cargas. Por lo que:

$$qv_d B = qE_H$$

Despejando el Campo Hall, tenemos:

$$E_H = v_d B$$

Si d es el ancho del conductor, el voltaje Hall es igual a:

$$\Delta V_H = E_H = v_d B d \quad (1)$$

Por lo que el voltaje Hall observado expresa la rapidez de arrastre de las partículas con carga una vez conocidos los valores de d y B . Ahora, recordando la ecuación de corriente promedio en un conductor en función de valores microscópicos:

$$I_{prom} = nq v_d A$$

Se puede expresar la rapidez de arrastre como:

$$v_d = \frac{I}{nqA} \quad (2)$$

Donde A es el área de la sección transversal del conductor y n es la densidad de los portadores de carga al medir la corriente en la muestra. Reemplazando en la ecuación (1), se obtiene:

$$\Delta V_H = \frac{IBd}{nqA} \quad (3)$$

Porque $A = td$, siendo t el espesor del conductor, tenemos que el voltaje Hall es igual a:

$$\Delta V_H = \frac{IB}{nqt} \quad (4)$$

La correspondencia de un conductor correctamente calibrado se utiliza para medir la magnitud de un campo magnético desconocido. Esta correspondencia se conoce como **coeficiente de Hall**, determinado de la siguiente forma:

$$R_H = \frac{IB}{nqt}$$

El signo y la magnitud de R_H dan el signo de los portadores de carga y su densidad numérica.

En la mayor parte de los metales como el litio (Li), el sodio (Na), el cobre (Cu) y la plata (Ag), los portadores de carga son electrones, y la densidad de los portadores de carga se determina a partir de mediciones del efecto Hall si está en concordancia con los valores calculados, ya que los átomos ceden cada uno un electrón para actuar como portadores de corriente. En este caso, n es aproximadamente igual al número de electrones conductores por unidad de volumen. Sin

embargo, esto no resulta válido para metales como el hierro (Fe), el bismuto (Bi) y el cadmio (Cd), o para los semiconductores.

Problema:

Cap 29. Sección 29.6

41. En un experimento concebido para medir el campo magnético de la Tierra utilizando el efecto Hall, se coloca una barra de cobre de 0.500 cm de espesor en dirección este-oeste. Si una corriente de 8.00 A en el conductor da como resultado un voltaje Hall de 5.10×10^{-12} V, ¿cuál es la magnitud del campo magnético de la Tierra? (Suponga que $n = 8.46 \times 10^{28} \frac{e}{m^3}$ y que el plano de la barra se gira para que quede perpendicular a la dirección de B).

Se puede obtener la magnitud de campo magnético, a partir de la ecuación de Voltaje de Hall (3) :

$$V_H = \frac{IB}{nqt} \quad (3)$$

Al despejar el campo magnético de la ecuación se obtiene la expresión:

$$B = \frac{nqt(V_H)}{I}$$

Los valores proporcionados por el problema son:

- $n(\text{electrones}): 8,46 \times 10^{28} m^{-3}$
- q (Carga de los electrones) : $1,60 \times 10^{-19} C$
- t (espesor de la barra de cobre) : $5 \times 10^{-3} m$
- V_H (Voltaje de Hall): $5.10 \times 10^{-12} V$
- I (Corriente): 8.00 A

Se reemplazan estos valores en la expresión obtenida para el campo magnético:

$$B = \frac{(8,46 \times 10^{28} m^{-3})(1,60 \times 10^{-19} C)(5 \times 10^{-3} m)(5.10 \times 10^{-12} V)}{8.00 A}$$

Conversión de unidades:

El campo magnético se reporta en unidades de tesla, para eso hacemos la conversión de unidades:

$$B = \frac{(C)(m)(V)}{A(m^3)} = \frac{(C)(V)}{A(m^2)}$$

Se deben tener en cuenta las siguientes equivalencias

$$V = \frac{J}{C}$$

$$J = \frac{Kg \cdot m^2}{s^2}$$

$$N = \frac{Kg \cdot m}{s^2}$$

$$1T = \frac{N}{A(m)}$$

Al reemplazar las equivalencias de Voltaje (V), Julios (J), y Newton (N) en la expresión obtenemos:

$$B = \frac{(C)(\frac{J}{C})}{A(m^2)} = \frac{J}{A(m^2)} = \frac{\frac{Kg \cdot m^2}{s^2}}{A(m^2)} = \frac{N \cdot m}{A(m^2)} = \frac{N}{A(m)} = 1T$$

Al resolver la expresión anterior con sus respectivas unidades se obtendría como resultado:

$$B = 4,31 \times 10^{-5} T = 43,1 \mu T$$

3. Conclusiones

Sensores de Efecto Hall:

El efecto Hall puede producirse en un metal o un semiconductor, este efecto se basa en la interacción básica entre un electrón y el campo magnético. Cualquier objeto cargado eléctricamente que se mueve perpendicularmente a un campo magnético experimenta la fuerza de Lorentz. Esta fuerza es la responsable de producir la señal eléctrica que se medirá a través del cuerpo del dispositivo.

La fuerza Lorentz hace que las partículas cargadas (electrones y agujeros en un semiconductor de alta movilidad como el GaAs¹, o los electrones en los metales) se desvíen cuando atraviesan un campo magnético, cuya dirección está determinada por la regla de la mano derecha. El efecto Hall aplica las mismas ideas a los semiconductores, haciendo que la carga que se acumula a lo largo de un lado del conductor cree un campo eléctrico que contrarresta la fuerza del campo magnético. La fuerza transversal de Lorentz fuerza a los electrones a seguir trayectoria curva a lo largo y hacia un lado del semiconductor. Después, la regla de la mano derecha nos indica que la dirección de la fuerza de Lorentz tiene una relación directa con la dirección de los electrones.

Colocar algunas conexiones de salida perpendiculares a la dirección del flujo de la corriente forma lo que se conoce como un elemento Hall. Existe una diferencia de potencial entre el lado positivo superior y el lado negativo del conductor. Con esa diferencia de potencial, se produce una tensión medible denominada **tensión de Hall**.

Si bien la dirección del campo magnético aplicado determina la polaridad de la tensión de Hall, la tensión sigue siendo proporcional a la intensidad del campo aplicado. Si se elimina el campo magnético, la corriente deja de desviarse y la diferencia de potencial en la salida cae a cero. En este punto, los diferentes factores que influyen en la tensión se vuelven interesantes. La tensión de Hall depende de:

¹ Arseniuro de galio, compuesto de galio y arsénico. Importante semiconductor y se usa para fabricar dispositivos como circuitos integrados a frecuencia de microondas, entre otros.

- La amplitud de la corriente que circula por el conductor.
- La intensidad del campo magnético.
- La carga elemental del electrón.
- La densidad del número de portadores de carga.
- El espesor del material que transporta la corriente desviada.

Cada uno de estos factores impactan a los semiconductores influenciados por el efecto hall. Ubicar un chip de silicio conductor de corriente en un ángulo correcto con respecto a un campo magnético produce una tensión Hall de bajo nivel. La tensión de Hall es una función de la corriente de entrada.

Cuando se aplica a semiconductores, el efecto Hall crea un interruptor digital que produce una muy eficiente señal de onda cuadrada de encendido-apagado. Perturbar la ventana entre el campo magnético y el chip de silicio produce una salida igual a cero. El conectar circuitos adicionales al semiconductor produce el efecto opuesto y permite la interrupción del campo magnético para generar un aumento de la tensión de salida.