

DISPOSITIVOS BASADOS EN EL EFECTO HALL

Por FERNANDO SAEZ VACAS

PARTE II

Nota a la parte I de este artículo

Me interesa resaltar lo siguiente a modo de fe de erratas. Repetidamente aparece la palabra separata que, cualquiera se da cuenta, no tiene sentido alguno. En efecto, esta palabra no tenía que aparecer. Yo creé la confusión y luego, a la hora de corregir las pruebas, me encontraba demasiado lejos para poder deshacerla. También aparece confundida la matriz de impedancias que, verdaderamente, es como sigue:

$$\begin{pmatrix} R_{10}(B) & -K_o \cdot B \\ K_o \cdot B & R_{20}(B) \end{pmatrix}$$

Antes de pasar a la descripción de principio de algunos dispositivos es conveniente resumir las condiciones generales que debe cumplir un generador Hall que sea susceptible de una acción útil. Son las siguientes:

- La tensión de Hall debe ser lo más elevada posible. R_h grande.
- Para disponer de una potencia suficiente, con objeto de accionar directamente un relé, un amplificador magnético, un oscilógrafo, etc., la resistividad debe ser lo más pequeña posible.
- La constante de Hall y la resistividad deben, en lo posible, ser independientes de la temperatura.

Estas son, dejando a un lado las dependencias con la inducción magnética y la frecuencia, cuya característica es fundamental para ciertas aplicaciones, las condiciones generales que debe cumplir este elemento. Ahora bien, si recordamos que, en material semiconductor con una sola clase de portadores de carga (por ejemplo, tipo n) se tiene

$$R_h = \frac{1,18}{e \cdot n} \quad p = \frac{1,18}{e \cdot n \cdot \mu_n}$$

donde n es la concentración de portadores de carga por unidad de volumen y μ_n la movilidad o velocidad de los portadores a través de la malla cristalina, debido a un campo unitario, vemos que las condiciones a) y b) no se satisfacen simultáneamente más que en materiales que posean, al tiempo que una pequeña concentración de portadores, una movilidad lo suficientemente elevada para que el producto $n \cdot \mu_n$ sea causa de una resistividad ρ pequeña.

Debido a esto, solamente los materiales producidos en las uniones intermetálicas, p. ej., Arseniuro de Indio y Antimoniuro de Indio, de grandísima movilidad, son útiles para la mayor parte de las aplicaciones técnicas, como generadores Hall.

APLICACIONES BASADAS EN EL CONTROL DE TENSION DE HALL POR VARIACION SIMULTANEA DE B e I.

Son las que hacen uso de la propiedad multiplicativa del generador. En primer lugar está el multiplicador propiamente dicho, del cual ya se ha hablado.

Basados en el efecto de multiplicación es posible realizar diferentes operaciones: multiplicadores de tres, cuatro... ene magnitudes, inversores y divisores.

Medida del par de un motor de corriente continua.

El par M es proporcional al producto del flujo de la pieza polar y la corriente de inducción.

$$M \sim \Phi \cdot I_1$$

Se puede considerar en la mitad de una pieza polar que la inducción B_m es proporcional al flujo, para máquinas compensadas. Si se coloca un generador Hall en dicho lugar, de tal forma que se vea atravesado por B_m como campo de control y se hace pasar por los terminales de corriente de control una parte de la de inducción, la tensión Hall excitada, proporcional a $B_m \cdot I_1$ lo es también a $\Phi \cdot I_1$ y, por tanto, al par.

$$c. V_h = M = M_p + M_u$$

El par motor está compuesto de dos sumandos, M_p (par de pérdidas) y M_u (par útil), que predomina sobre el anterior. M_p suele ser, además, constante en la mayor parte de las aplicaciones. La variación de la tensión con el par útil es una recta cuya pendiente y ordenada en el origen son fáciles de determinar en cada caso. Con un método basado en este principio puede también regularse un motor de corriente continua a un par constante.

APLICACIONES BASADAS EN EL CONTROL DE TENSION DE HALL POR VARIACION DE B.

Medida de campos magnéticos.

La medida de un campo magnético con un generador Hall reposa sobre el hecho de que, si se mantiene la corriente de control constante y se consigue una adaptación lineal, la tensión Hall es directamente proporcional a la componente del campo magnético normal a la pastilla semiconductor.

La idea de aplicar el efecto Hall a la medida de los campos magnéticos es antigua, pero la resolución práctica sólo ha sido posible a partir de la consecución de las uniones intermetálicas, hacia el año 1952.

La utilización del generador Hall tiene, sobre todos los procedimientos hasta ahora empleados en dichas medidas, tres importantes y fundamentales ventajas:

- Es proporcional al valor absoluto del campo. Elimina por tanto las partes móviles.
- Debido a su pequeñísimo tamaño permite la medida punto a punto y el acceso fácil en cualquier circunstancia.
- Como la única componente de la inducción magnética que interviene en su funcionamiento es la normal, permite asimismo la determinación precisa de la dirección y amplitud.

Los campos, por lo que se refiere a su medida con esta nueva técnica, se pueden dividir en intensos y débiles.

Para la medida de campos débiles no alternativos se presenta la dificultad de la tensión de Hall residual inherente con campo nulo. Esta tensión perturba la medida, aunque se puede compensar con circuitos exteriores de resistencias. En la gama de 0 a 40 gauss existe un artificio que consiste en aumentar la sensibilidad del generador concentrando el campo magnético mediante dos barras de alta permeabilidad, mumetal o ferrita. De esta forma se eleva la intensidad del campo en la proximidad de la sonda y como consecuencia la tensión Hall, lo que permite considerar despreciables los efectos perturbadores.

Este dispositivo presenta, sin embargo, dos inconvenientes: en primer lugar limita el margen de medidas, en principio hasta 40 ó 50 gauss, debido a la rápida saturación del concentrador. Por otra parte, a causa de la deformación del campo, producido por las barritas de metal, no se consiguen medidas precisas más que en el caso de campos homogéneos o de gradiente débil.

Para obtener distintos márgenes hay que variar el nivel de saturación utilizando distintos materiales concentradores. Existen generadores de InAs con una sensibilidad de unos cuantos 10^{-5} voltios/gauss.

Con este elemento y en este orden de magnitud se realizan medidas del campo terrestre, del campo de dispersión presente en las proximidades de grandes masas de hierro, p. ej., para la detección de yacimientos de mineral. Se ha desarrollado un inclinómetro para la medida de la inclinación del campo terrestre, que utiliza las propiedades directivas de una sonda con concentrador. La resolución angular es de

tres minutos de arco y permite estudios de prospección de minerales. Las sondas Hall también son sumamente útiles para las medidas en entrehierros de aparatos electrotécnicos.

Respecto a la medida de campos magnéticos elevados no alternativos, necesaria en los centros de investigación nuclear o en cualquier lugar donde existan aceleradores de partículas o grandes electroimanes, no hay inconveniente alguno, poniendo gran cuidado en el diseño de los equipos electrónicos que detectan, amplifican y transforman la señal recogida en la sonda, en obtener una precisión absoluta de 10^{-3} , sólo superada por el muy delicado procedimiento de medida de la resonancia magnética nuclear.

Se puede utilizar un generador de InAs o de In ($As_{0,9}P_{0,2}$) que, con un $\pm 3\%$, mantiene un R_h constante hasta unos 180 Kg. (ver figura 3 de parte I).

En el caso de campos magnéticos elevados creados por una bobina en el aire, atravesada por una corriente, pueden realizarse medidas con una precisión relativa mayor del 1 por 100 hasta unos 200 Kg., haciendo uso de dos sondas.

Primeramente se calibran las sondas hasta 17 o 20 Kg. con ayuda de un dispositivo de resonancia magnética. Se coloca la 1.ª sonda, A, en el centro geométrico de la bobina y se hace que por ésta pase la corriente para la cual se quiere conocer el campo en dicho punto. La sonda la colocamos en un punto tal que la tensión de Hall producida esté sobre la curva de calibrado anteriormente realizada. Se miden las tensiones Hall en A y B, a las cuales corresponden campos H_{A1} y H_{B1} , el primero de los cuales es desconocido, ya que no se encuentra en la curva de calibrado.

Después se disminuye la corriente en la bobina hasta que el campo creado en el punto en que se encuentra A, sea idéntico al medido previamente en B, cuya sonda no movemos. Se miden de nuevo las tensiones, a las que corresponden campos H_{A2} y H_{B2} .

Tenemos que $H_{B1} = H_{A2}$.

Y por la proporcionalidad entre corriente y campo:

$$H_{A2} = a \cdot I_2$$

$$H_{B1} = b \cdot I_1$$

$$H_{A1} = a \cdot I_1$$

De todas ellas se deduce: $H_{A1} = H_{A2} \cdot \frac{I_1}{I_2}$

H_{A2} se lee en la curva de calibrado, ya que forzosamente corresponde a un campo menor que 20 Kg.

Los principales inconvenientes de sondas de efecto Hall en la medida de campos magnéticos no alternativos: su sensibilidad a los cambios de temperatura y la molestia que significa no poder encontrar dos sondas iguales, aún con la misma nomenclatura, lo que obliga a realizar un nuevo calibrado cada vez que se cambia de sonda.

La medición de campos magnéticos alternativos ofrece la dificultad de que la tensión de Hall (en circuito abierto) puede depender de la frecuencia de los mismos. Su amplitud varía en sentido creciente. También se ha apreciado un adelantado de fase con relación a la correspondiente a la tensión para campo nulo. Las curvas de la figura 0 (teórica de trazo lleno y práctica la de puntos) se han obtenido con una pastilla de InAs de $R_h = 100 \text{ cm}^3/\text{S.s.}$, $\sigma = 240 \Omega^{-1} \text{ cm}^{-1}$, de dimensiones 1,5 cm., 0,6 cm., y 10^{-2} cm. en sus tres caras, entre placas de ferrita. El campo magnético fue de 20 gauss y la corriente de control alrededor de un amperio. Ya se ve que la variación en tantos por cientos es

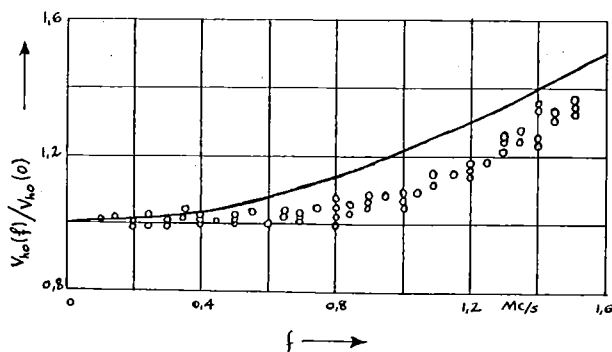


Fig. 0

verdaderamente notable. Afortunadamente en el caso de generadores sin circuito de material magnético o en todo caso con un entrehierro bastante mayor que el grosor de la pastilla, la variación con f es insensible. Debido a esto, como es natural, se fabrican generadores sin ferrita especialmente diseñados para medida de campos magnéticos.

En cualquier caso es evidente que existen márgenes de frecuencia en los cuales la tensión no varía pero de todas formas no hay nada que impida la medida de campos magnéticos alternativos, incluso de elevada frecuencia, siempre que se realice un calibrado previo de la sonda.

Con objeto de resaltar el punto a que se ha llegado a nivel de fabricación industrial de equipos en este terreno de medidas, transcribimos algunos datos de un gausómetro de la Bell Inc., recientemente aparecido. Permite la medida de campos continuos y alternativos de 0,001 a 30.000 gauss en medidas puntuales con sondas axiales, transversales y diferenciales. Precisión 1 por 100. El margen de frecuencia va hasta 400 c/s.

Medida de corrientes continuas de elevada intensidad

El dispositivo utilizado (fig. 1) se basa en la ley de Biot y Savart para un circuito magnético cerrado, atravesado por una corriente I .

$$\oint \vec{H} \cdot d\vec{l} = I$$

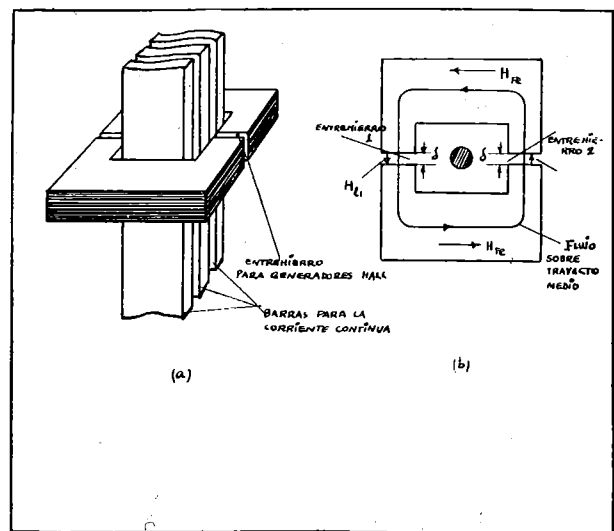


Fig. 1

Para medir la corriente muy elevada que discurre por las barras correspondientes, se rodea a éstas de un yugo magnético dividido en dos partes, en cuyos entrehierros se colocan dos generadores Hall alimentados por corrientes de control constantes.

Según el corte de la figura se tiene

$$\oint \vec{H} \cdot d\vec{l} = H_{L1} \cdot \delta + H_{L2} \cdot \delta + H_{Fe} \cdot l_{Fe} = I$$

donde l_{Fe} es el trayecto medio del campo magnético en el hierro, δ la magnitud de los entrehierros y H_{L1} , H_{L2} , H_{Fe} los valores del campo.

$$B_{L1} + B_{L2} = \frac{\mu_0}{\delta} I \left(1 - \frac{H_{Fe} \cdot l_{Fe}}{I} \right)$$

Escogiendo la forma y la sustancia del circuito magnético se puede conseguir que

$$\frac{H_{Fe} \cdot l_{Fe}}{I} < 10^{-3} \ll 1$$

por lo que tenemos

$$B_{L1} + B_{L2} = \frac{\mu_0}{\delta} I$$

La corriente continua que se trata de medir es proporcional a la suma de inducciones en los entrehierros y por tanto a la de tensiones. La constante de proporcionalidad se conoce perfectamente y además se pueden calibrar los generadores.

Esta medida es independiente de los campos magnéticos extraños, del campo magnético de los conductores de vuelta y de la influencia de las piezas ferromagnéticas en los alrededores, siempre, por supuesto, que no se alcance la saturación en ninguna parte del circuito magnético. Todo ello se desprende de la expresión de Biot que es invariable, incluso en presencia de campos perturbadores.

Utilizando generadores compensados respecto a la temperatura se puede mantener la influencia por debajo de un $\pm 0/00$ en un margen de $\pm 15^\circ \text{C}$. La tensión de salida de un dispositivo de éstos alcanza alrededor de 1,5 voltios y 20 mw. Se construyen desde hace tiempo yugos completos hasta para 150 kA. por lo menos, con errores en la medida inferiores al 0,2 por 100 para todo el conjunto del dispositivo

Lectura estática de programas magnéticos.

La lectura o transformación en una tensión eléctrica de un estado magnético remanente registrado sobre un portador magnético, ya sea banda, tambor o disco magnético, se ha venido realizando con una cabeza reproductora a inducción, basada en la proporcionalidad de la tensión inducida en una bobina con la variación en el tiempo del flujo remanente. Para ello es necesaria, como es lógico, la existencia de una velocidad relativa, no menor que un determinado valor, entre la cabeza lectora y el elemento portador del flujo.

Incorporando un generador Hall como cabeza sensible sustituimos la ley de inducción por una ley de proporcionalidad con el campo o el flujo magnéticos. La ventaja inmediata de esta sustitución es la posibilidad de lecturas al mismo nivel de intensidad, cualquiera que sea la velocidad de avance del programa.

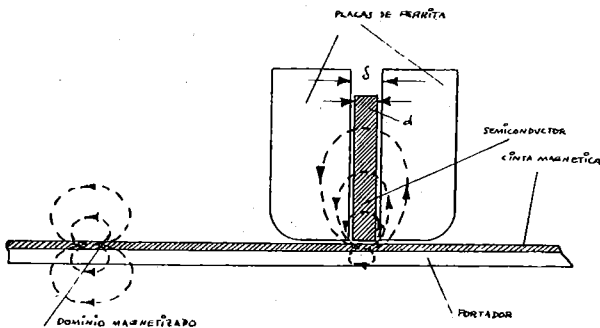


Fig. 2

En la figura 2 la capa semiconductor va dispuesta, por construcción, entre dos placas de ferrita, perpendicularmente a la banda. Estas placas canalizan el flujo magnético de tal forma que éste atraviesa casi normal al semiconductor. Una corriente constante (algunos miliamperios) alimenta al mismo, de modo que se establece una tensión entre los bordes superiores e inferiores.

Algunas de las ventajas de este método de reproducción respecto del que utiliza la cabeza inductiva, son:

- La tensión de salida es independiente de la frecuencia.
- Para su realización sólo se necesita un generador de pequeño tamaño (6,5 por 7,3 por 10 mms. en el caso del Siemens SBV 536) muy próximo a la inducción magnética. El nivel de la salida es independiente de la anchura de la pista hasta alrededor de un mm., lo que permite por lo menos la duplicación de la posibilidad de almacenamiento en bandas de sonido, conservando la misma fidelidad.

— La completa transistorización de los equipos no ofrece dificultad alguna, porque las resistencias internas del generador son óhmicas puras, de valores comprendidos entre 25 y 50 ohmios.

— Debido a la pequeñez de las cabezas, los efectos perturbadores de inducción son más débiles.

Transmisión de una señal sin contacto

Esta es una de las más recientes aplicaciones y encuentra campo amplio en ciertos procesos automáticos. Se basa en que los generadores Hall son elementos que se pueden controlar magnéticamente y reproducen un flujo magnético en forma de una tensión proporcional.

¿Qué debe entenderse por transmisión sin contacto?: la transmisión de señales a través de cortas distancias sin que exista contacto mecánico entre transmisor y receptor.

El principio de esta transmisión viene ilustrado en la figura 3. Se introduce el generador en el entrehierro de una pieza en forma de U, de gran permeabilidad y pequeña remanencia. Para magnificar las acciones magnéticas se aumentan las caras de la pieza en U por medio de unas láminas magnéticas. El conjunto de pieza, láminas y generador incorporado se llama cabeza receptora.

Con relación a ésta se debe desplazar una cabeza emisora, que puede ser un pequeño imán, un dipolo magnético o, cuando se quiere transmitir mayor cantidad de información,

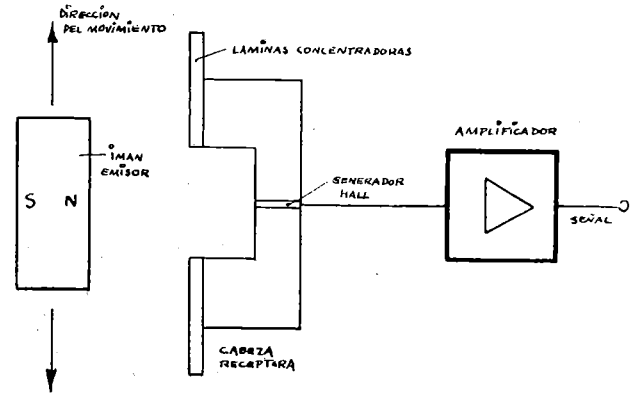


Fig. 3

una ordenación magnética codificada. Debido al movimiento relativo entre cabeza emisora y receptora varía el flujo que atraviesa al generador y por tanto la tensión de Hall. Esta tensión eléctrica bascula un amplificador flip-flop transistorizado. Es decir, es posible anunciar a posición relativa entre dos objetos mediante una señal de suficiente potencia para excitar un relé, un motor o cualquier dispositivo de gobierno. El conjunto de cabeza receptora y amplificador, al no llevar partes móviles, puede construirse de una forma sólida.

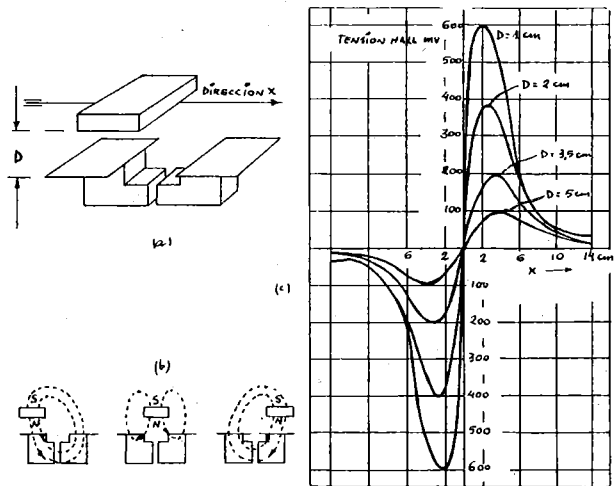


Fig. 4

La fig 4 representa el modo de funcionamiento y un gráfico de la tensión de salida para distintas distancias entre emisor y receptor.

El generador es una pastilla entre dos placas de ferrita formando un sandwich. El material empleado es, con preferencia, antimonio de indio. Este material produce una comparativamente alta potencia de salida, con una dependencia con la temperatura no demasiado grande, 1 %/grado, tolerable por fortuna si detrás lleva un amplificador digital. El generador con el que se han tomado las medidas

de la figura anterior presenta resistencias de alrededor de dos ohmios en ambos sentidos y se puede excitar como máximo con una corriente de 500 mA., con lo que se puede alcanzar 0,8 volt., valor limitado por la inducción de saturación en las ferritas. La corriente de control utilizada ha sido de 400 mA.

Vemos en la figura cómo al situarse el imán exactamente en el punto simétrico sobre la cabeza receptora la tensión es nula, pues no hay flujo a través del generador. La pendiente de la curva de respuesta es tanto más aguda y la amplitud tanto mayor cuanto que la distancia entre cabezas es menor.

Con tales características eléctricas y geométricas y un flip-flop de un umbral de alrededor de 10 mV. puede determinarse la posición simétrica de dos objetos distantes 2 cm. con una precisión de ± 1 mm. El dispositivo aún es utilizable a 7 cm. con una precisión de ± 5 mm., bastante menor que la anterior. Con algunas modificaciones geométricas y sobre todo con un emisor de campo más poderoso se extiende el margen de utilización hasta 15 ó 25 cm. con precisiones de ± 2 a ± 7 cm. en la determinación.

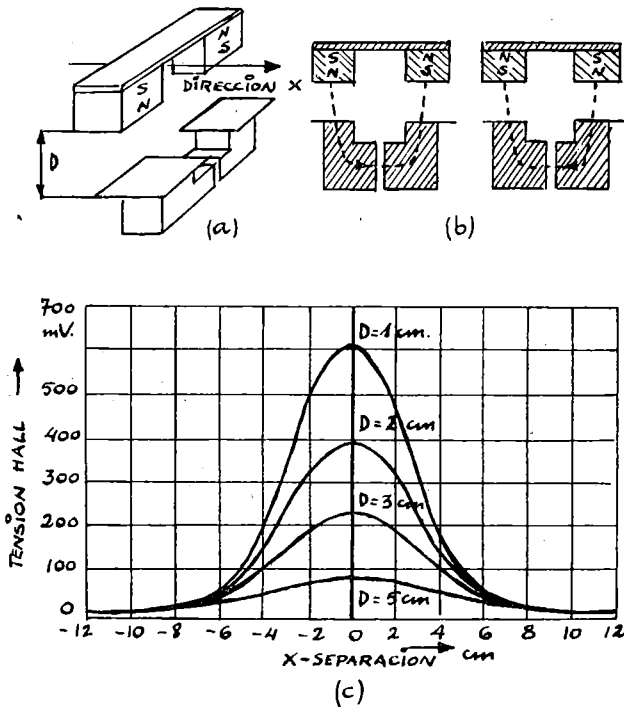


Fig. 5

Otra forma de transmisión (fig. 5) consiste en utilizar un dipolo magnético. La respuesta eléctrica es simétrica respecto al eje de distancia y presenta un máximo donde en la anterior era nula. La primera forma de transmisión es idónea para aquellas aplicaciones en que se pretende una exacta indicación de la posición de un objeto móvil para un control preciso. Por ejemplo, sirve como interruptor magnético de parada de un ascensor o de las vagonetas de extracción en las minas. Por el contrario, el procedimiento a base de dipolo reúne condiciones para la transmisión de información con contenido sí-no.

En ciertos casos de automatización, p. ej. de cadenas de transporte de objetos con plancha de hierro (carrocerías) u otros procesos móviles, puede resultar difícil equipar a éstos de imanes permanentes. Entonces se recurre a unas de las propias láminas de hierro para el envío de la señal. El procedimiento se basa en el siguiente principio: el campo de dispersión de dos imanes permanentes paralelos tienen un plano de simetría que no es atravesado por ninguna línea de flujo (fig. 6). Si se coloca en este plano un generador excitado por corriente constante la tensión Hall será nula. Cuando en las proximidades se coloca un trozo de hierro, se crea una nueva distribución de campo no simétrico y el generador detecta una señal. Sobre este principio y moviendo los hierros de diferentes formas, se consiguen aproximadamente las mismas respuestas.

APLICACIONES BASADAS EN EL CONTROL DE TENSION DE HALL POR VARIACION DE I.

En este apartado pueden clasificarse los circuladores, giradores y aisladores, basados todos en la no reciprocidad del generador Hall. El girador se basa concretamente en la propiedad de sus impedancias de transferencia, iguales pero de signo contrario. Creo que no merece la pena describir más que el principio de uno de ellos.

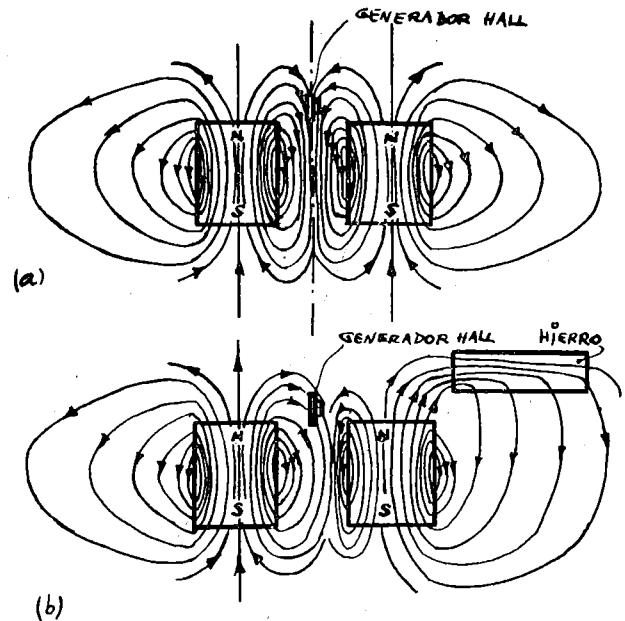


Fig. 6

Circulador.

Un circulador, como todo el mundo sabe, es un dispositivo no recíproco, con varias entradas (en nuestro caso tres puertas, seis terminales) que permite el paso de señal principal en un solo sentido, p. ej. el de las agujas del reloj. Así, una señal en la puerta 11' sale toda por la 22' y nada por la 33'. Una señal de entrada en la 22' sale por 33' y no llega a 11', etc....

En la pastilla de la figura 7 el campo eléctrico total es el resultante del campo eléctrico debido a la corriente de control y el Campo de Hall E_y .

$$E_y = E_x \cdot \operatorname{tg} \theta \approx E_x \cdot (\mu_n \cdot P \cdot 10^{-8})$$

E en volt/cm.

μ_n en $\text{cm}^2/\text{volt. seg.}$

B en gauss.

Si ahora se toma una pastilla circular, según la geometría de disco de Corbino (muy conocida en el estudio de la magnetorresistencia), y se colocan seis contactos igualmente desplazados, puede conseguirse, para ciertos valores de la inducción magnética ($\operatorname{tg} \theta \approx \mu_n B \cdot 10^{-8}$) obtener salida de tensión solamente en un par de terminales 22'. Para conseguir la circulación sucesiva de la señal es importante que los contactos sean simétricos respecto a un eje central. No hay nada que impida realizar circuladores de más puertas, como no sea la dificultad de establecer físicamente los contactos, ya que, como hemos visto, el ángulo puede ajustarse ajustando B . El sentido de circulación depende del sentido de B .

Al acoplar una carga a los terminales 22' aparece una corriente y se produce un campo de Hall adicional (no representado) que tiene como efecto disminuir el ángulo de Hall efectivo en la pastilla. Por consiguiente se requerirá un campo magnético más fuerte para equilibrar el circulador.

Existen dificultades también para conseguir ciertos niveles de admitancias en las entradas, por lo cual se emplean redes que acoplan independencias en ciertos casos y dan simetría a los circuladores. Se han obtenido relaciones medias de transmisión de 44 db. correspondientes a pérdidas de 61 db en sentido inverso y de 17 db en sentido directo.

REFERENCIAS

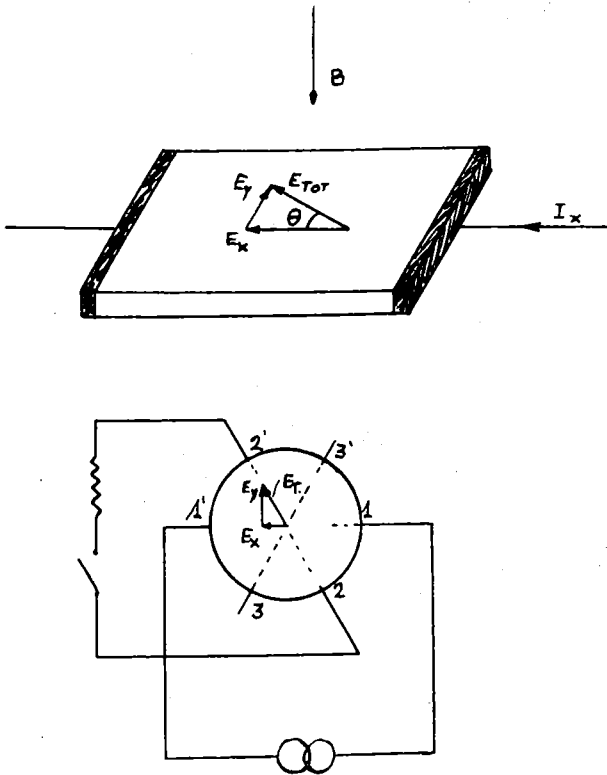


Fig. 7

Como ya se ha dicho, teóricamente el tiempo de respuesta viene limitado sólo por las propiedades del material. El circulador de efecto Hall debería poder funcionar desde 0 c/s hasta varios Gc/s, es decir hasta la frecuencia de relajación del dieléctrico. En la práctica, debido a la geometría de la pastilla (contactos muy juntos y por tanto, radiación, efecto pelicular quizá, etc...) quedará considerablemente limitado el margen. Parece que esto último no se ha comprobado o por lo menos no ha llegado a mi conocimiento.

En resumen, y para terminar, estimo que sólo resta por decir que he tratado de presentar un elemento nuevo partiendo del principio o efecto en que se basa, explicando un poco su física interna, pasando después revista a algunas de sus características propias para diseño y describiendo, por último, sistematizadas en grupos, algunas de las aplicaciones que he encontrado más interesantes. Existen muchas otras, casi todas en estado experimental o de uso en laboratorios de investigación, que hubieran alargado aún más este trabajo, sin añadir ninguna luz nueva. Por lo menos, una cuarta parte del material bibliográfico que he utilizado para la confección de este artículo lo debo a la amabilidad del doctor Kuhrt, de Siemens-Schuckert-Werke, en Nürenberg, a quien agradezco su envío.

14. Technische Anwendungen des Hall-Effektes.—F. Kuhrt.—Halbleiterprobleme. Band VI. Verlag Friedr. Vieweg-Sohn, pp. 186-205. 1961.
15. Über das Frequenzverhalten von Hallgeneratoren.—Kuhrt, Lippmann, Wiehl.—Archiv der elektrischen Übertragung. Band 13. Heft 8. Agosto 1959, pp. 341-347.
16. The Hall effect circulator, a passive transmission device.—W. T. Grubbs. P. I. R. E., vol. 47, pp. 528-535.
17. L'effet Hall.—B. Marin.—Toute l'Electronique, n.º 290, nov. 1964, pp. 395-399.
18. Les applications de l'effet Hall.—B. Marin.—Toute l'Electronique, n.º 292, enero 1965, pp. 57.
19. Dispositivos basados en el efecto Hall. Parte I.—F. Sáez Vacas.—Bit n.º 2, 1964.
20. Taschenbuch Electrotechnik Band I.—E. Philippov.—VEB Verlag Technik Berlin, pp. 886-893.
21. Propriétés et applications du générateur Hall.—W. Hartel. Bulletin Scientifique de l'A. I. M., n.º 1, enero 1961.
22. Ein neues Prinzip zur kontaktlosen Signalgabe.—Engel, Kuhrt, Lippmann.—Elektrotechnische Zeitschrift ETZ-A, abril 1960. Heft 9, pp. 343-347.
23. Ferrit-Hallgeneratoren und kleine Permanentmagnete als Kontaktlose Geber für die Steuerung und Regelung von Bewegungsvorgängen.—J. Brunner.—Siemens Zeitschrift, julio 1962. Heft 7, pp. 521-527.
24. Kontaktloser Signalgeber mit berührungsloser Betätigung durch Eisenteile.—H. J. Lippmann.—Elektrotechnische Zeitschrift ETZ-A, mayo 1962. Heft 11, pp. 367-372.
25. Hall generators in control and automation engineering.—F. Kuhrt. Direct Current, vol. 8, n.º 2, febrero 1962.
26. L'Onde Eléctrique, nov. 1964, pág. 1227.
27. Messung des Feldverlaufes im Luftspalt eines Gleichstrommotors mit Hilfe des Halleffektes.—F. Kuhrt, E. Braunersreuther. Elektrotechnische Zeitschrift. 1956. Heft A 17, pp. 578-581.
28. Eigenschaften und Anwendungen der Hallgeneratoren.—F. Kuhrt.—VDE-Fachberichten. Band 19. 1956.
29. Modulation kleiner Gleichspannungen und Gleichströme mit Hilfe des Hall-Effektes.—H. J. Lippmann, K. Wiehl.—Elektrotechnische Zeitschrift ETZ-A, abril 1963. Heft 8, pp. 252-256.
30. Wiedergabe von Magnettonaufzeichnungen mit Hilfe des Halleffektes.—F. Kuhrt.—Reimpreso de Proceedings 3rd International Congress on Acoustics.
31. Der Hallgenerator als Vierpol.—F. Kuhrt, W. Hartel.—Archiv für Elektrotechnik.—Band 43. 1957. Heft 1, pp. 1-15.
32. Messung magnetischer Gleichfelder in elektrischen Maschinen. G. Loocke.—Elektrotechnische Zeitschrift ETZ-A. Heft 15, pp. 517-521.
33. Der Hallgenerator als Leistungsverstärker und Schwingungsreuger.—F. Kuhrt.—ETZ-A. 1957. Heft 10, pp. 342-344.
34. Neue Werkstoffe mit grossen Hall Effekt und grosser Widerstandsänderung im Magnetfeld.—H. Welker.—ETZ-A. Heft 15, pp. 513-517.
35. Wiedergabe von Magnettonaufzeichnungen mit Hilfe des Halleffektes.—Kuhrt, Stark, Wolf.—Elektronische Rundschau, nov. 1959.
36. Der Hallgenerator und seine Anwendung in der Messtechnik. F. Kuhrt.—Elektrotechnische Rundschau, enero 1960.