

ENCODER MAGNÉTICO PARA MEDICIONES ANGULARES DE ALTA PRECISIÓN

Miguel Antonio Ojeda Moreno

Universidad Nacional de Lomas de Zamora, Facultad de Ingeniería
miky@miky.com.de

Eduardo Zúñiga

Universidad Nacional de Lomas de Zamora, Facultad de Ingeniería
eduardo.p.zuniga@gmail.com

Resumen

Se presenta el desarrollo de un sistema de medición de ángulos basado en campos magnéticos permanentes y adquisición de datos electrónicos, de muy alta precisión, para aplicaciones en ambientes muy agresivos.

Palabra(s) Clave(s): Electrónica, encoder magnético, mecatrónica, medición de ángulos, procesamiento de señales

1. Introducción

Si bien existen numerosos desarrollos de medidores magnéticos de ángulo de giro (“*encoder’s*”), no siempre son aptos a condiciones extremas de utilización. Para aquellos requerimientos en donde se exija muy alta precisión en la medición, con la capacidad de hacerlo en ambos sentidos sin puesta a 0 y condiciones ambientales muy desfavorables (humedad, temperatura y suciedad), no existen medidores de confiabilidad que puedan garantizar los resultados. Frente a esta necesidad se desarrolló un sistema magnético de medición continua de ángulo de rotación que cumple con esas necesidades.

2. Estado del Arte en “*encoder’s*” magnéticos/ópticos

Tal vez sea la empresa SNR, fabricante de rodamientos, y que lleva varios años trabajando en el desarrollo de sensores magnéticos, la que más ha avanzado en

este tipo de medidores. Es creadora de la primera generación que mide, sin contacto, la velocidad de rotación. Más recientemente, una nueva tecnología denominada ASB (*Active Sensor Bering*: rodamiento sensor activo) permite determinar, sin contacto, la velocidad de rotación y las posiciones a partir de la medición del campo magnético generado por un imán multipolar y un sensor magnético de efecto Hall o de magneto resistencia (AMR). Posteriormente, se desarrolló un conjunto de imán/sensor que controla la posición angular absoluta con alta resolución. El imán se dispone en una segunda pista que incorpora singularidades magnéticas y el sensor dispone de elementos Hall integrados en silicio, dispuestos en cuerpos en forma de pequeñas barritas y asociados en el mismo circuito integrado (*chip*) a su circuito de acondicionamiento. Finalmente, se trabajó en lo que se ha denominado la tercera generación de sensores magnéticos, que consisten en una resistencia eléctrica sensible al campo magnético, compuesta por dos capas magnéticas conductoras separadas por una barrera aislante de unos nanómetros (milésimas de micra) de espesor. Este último desarrollo presenta importantes ventajas: mayor sensibilidad, menor consumo eléctrico, mejor relación señal/ruido, y un rango de temperatura más amplio.

Todos estos sistemas, si bien precisos y pertinentes para las aplicaciones para las que fueron desarrollados, presentan muy elevados costos de manufactura y, en determinadas condiciones de uso, pueden ser afectados por las condiciones ambientales.

En relación al encoder óptico absoluto, su principio de funcionamiento es muy similar al de un encoder incremental, en el que un disco que gira, con zonas transparentes y opacas, interrumpe un haz de luz captado por foto receptores; luego, estos transforman los impulsos luminosos en impulsos eléctricos, los cuales son tratados y transmitidos por la electrónica de salida.

Respecto a los encoders incrementales, los encoders absolutos muestran diferencias desde el punto de vista funcional. Mientras en los encoders incrementales la posición está determinada por el cómputo del número de impulsos con respecto a la marca de cero, en los encoders absolutos la posición

queda determinada mediante la lectura del código de salida, el cual es único para cada una de las posiciones dentro de la vuelta.

Por consiguiente, los encoders absolutos no pierden la posición real cuando se corta la alimentación (incluso en el caso de desplazamientos), hasta un nuevo encendido (gracias a una codificación directa en el disco). La posición está actualizada y disponible sin tener que efectuar, como en el caso de los encoders incrementales, la búsqueda del punto cero.

En el proyecto desarrollado se tiene en cuenta este método, pero la codificación del disco es magnética.

3. Objetivos

Diseñar y construir un sistema de medición angular continuo, confiable, de alta precisión y apto para trabajar en condiciones ambientales desfavorables por la existencia de temperatura, humedad y polvillo elevadas. La precisión esperada es de 0.01 grado sexagesimal

4. Método y Materiales

El "HAL 810" de la firma Micronas es un circuito integrado monolítico que proporciona una señal de salida modulada por ancho de pulso (PWM). El ciclo de trabajo de la señal PWM es proporcional al flujo magnético que atraviesa el cuerpo del *chip* *hal 810* (figura 1).

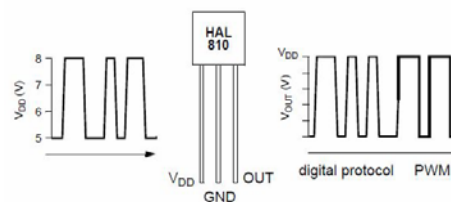


Figura 1 Ciclo de trabajo de la señal PWM, proporcional al flujo magnético.

El componente de campo magnético externo perpendicular al *chip* genera una tensión de Hall. El circuito integrado (*integrated circuit: IC* o *chip*) es sensible al norte magnético y a la polaridad sur. Esta tensión se convierte en un valor digital, se analiza en la unidad de procesamiento de señal digital (DSP), de acuerdo con

los ajustes de la EEPROM, convertidos a una salida modulada de ancho de pulso y estabilizado por una salida *push-pull*. Además, contiene un circuito de compensación de temperatura interna y la compensación *off-set* permite operar dentro del rango de temperatura completo con cambios mínimos en la exactitud y alta estabilidad de desplazamiento.

También, el sensor del IC está equipado con dispositivos para protección contra sobretensión e inverso-tensión en todos los *pin*s. La figura 2 muestra un esquema de bloque del mismo.

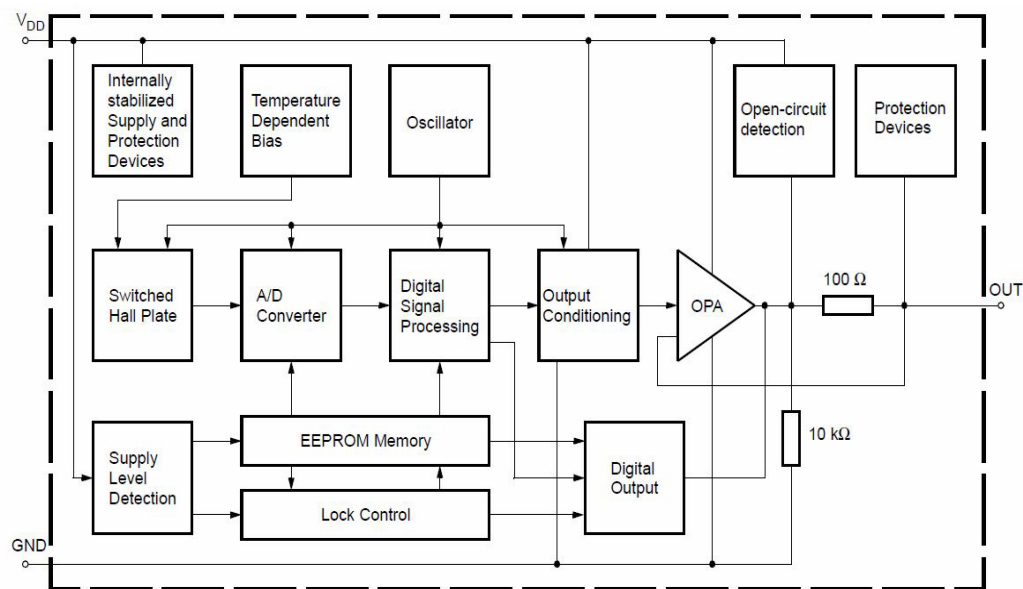


Figura 2 Diagrama de bloques del circuito del HAL 810.

Durante el diseño de la aplicación se ha tenido en cuenta que el ADC-LECTURA máximo y mínimo no se supere durante la calibración y operación del IC. En consecuencia, los campos magnéticos máximo y mínimo, que pueden ocurrir en el intervalo operativo de una aplicación específica, no deberían saturar el convertidor A/D.

Considerando que el convertidor A/D se satura a campos magnéticos muy por encima, respectivamente, de los límites de los alcances magnéticos, estos parámetros pueden ser calibrados en la EEPROM del sensor para ajustar su rango.

Esta banda de seguridad entre rango magnético determinado y cierto radio de acción ayuda a evitar la saturación. La figura 3 muestra la relación lineal entre el valor de compensación B y la ADC, para distintas relaciones de mili tesla (mT) derivados de la distancia entre el sensor y el campo magnético del imán.

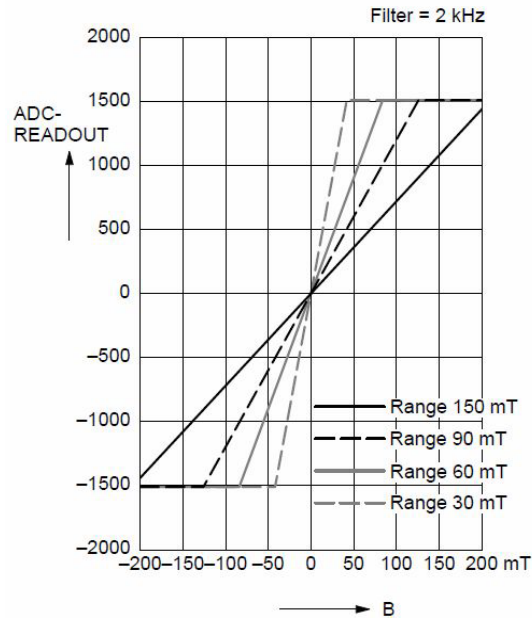


Figura 3 Diagrama indicativo de la relación B/ADC para distintos rangos de mT.

Como se puede apreciar en la figura 4, el *chip* tiene una muy alta linealidad en el rango de los +/- 10 grados. Por lo tanto, se dispuso en forma circular 36 sensores con una separación de 10 grados entre sí, y un solo imán que los atraviesa perpendicularmente, separados en dos grupos de 18 sensores cada uno, controlados por un microcontrolador modelo "Atmega 162" de la línea Atmel.

Con este procesador se accede en forma paralela a los 18 sensores al mismo tiempo y se analizan las señales de todos ellos. De esta forma, se obtiene un altísimo tiempo de respuesta. El microcontrolador que detecta la presencia del imán en su sector toma el control de la medición y se apresta a realizarla de una manera precisa. Realizando algoritmos de cálculo entre los tres sensores más cercanos al imán, y teniendo unalinealidad en la medición de 12 bits o 4096 escalones, se logra una discriminación aproximada de 20° grados/4096 o 10°

grados/2048, o sea, 0.005° , con lo cual se ubica en el rango de 0.01 ± 0.005 de error en la medición.

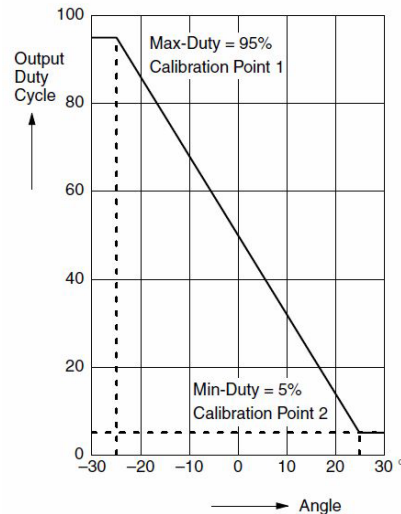


Figura 4 Relación lineal entre la señal de salida del ciclo y el ángulo medido.

La figura 5 muestra el control de la línea de alimentación y programación (VDD), mediante la cual se puede ingresar al sensor y realizar una reprogramación de parámetros en forma digital.

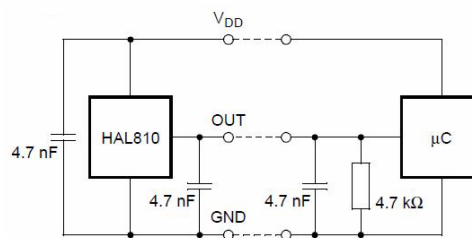


Figura 5 Diagrama de conexión de cada sensor al microprocesador.

La figura 6 muestra la señal de salida que se obtiene y permite la medición de la posición angular.

A través del *pin* VDD de alimentación se envía un comando pidiendo el valor del campo magnético y éste sale a través del *pin* out

Se optó por un diseño que contempló la ejecución de dos plaquetas de formato circular. Una de ellas con el circuito impreso sobre el cual se alojan los

componentes electrónicos que captan la variación de onda y la transforman en impulsos eléctricos que son procesados para emitir la señal que identifica la posición del punto de referencia. La otra contiene dos pistas de perforaciones para permitir el paso del campo magnético del imán y, de este modo, influenciar sobre el detector.

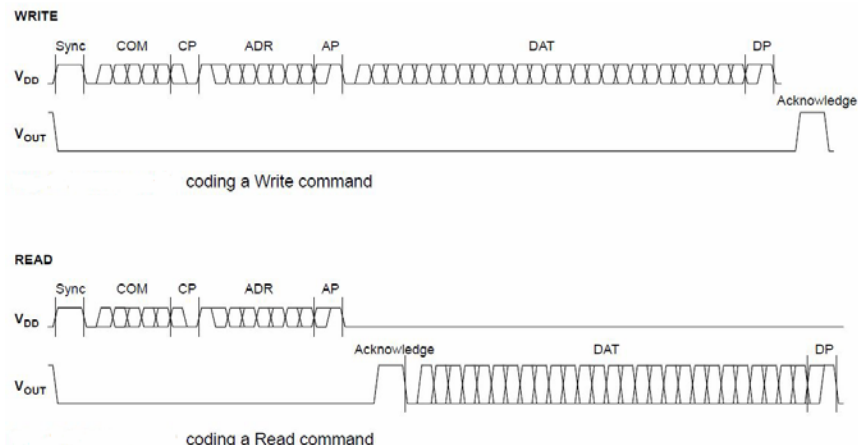


Figura 6 Señal de comando y lectura realizado entre el pin VDD y el pin out del sensor.

La figura 7 muestra ambas plaquetas circulares y la referencia de tamaño con respecto a una moneda de 25 centavos de peso.

Se utilizaron imanes cerámicos de industria nacional. La plaqueta se hizo construir en la empresa Solydes SA. El procesador es modelo "Atxmega 128 A4u" de la línea Atmel.



Figura 7 Plaqueta de circuito impreso (izquierda) y plaqueta porta perforaciones e imanes.

Para el trabajo de soldadura de los componentes se contrató a la empresa Armados Electrónicos SRL, por ser dificultoso, dado los tamaños de los componentes con los que se trabaja.

El software se realizó en lenguaje ASSEMBLER para asegurar el máximo de velocidad de lectura.

Para obtener excelente velocidad de respuesta, se realiza un pedido a los 18 sensores en forma simultánea: *Coding a Read command* (figura 6) y la lectura de la respuesta se realiza en forma serial/paralela de los 18 sensores y, luego, decodificando la información serial de cada sensor.

O sea, se leen los 18 sensores al mismo tiempo, lo cual da una altísima velocidad en la adquisición de los datos.

Una vez detectados los dos sensores más próximos al imán permanente, se realizan lecturas más precisas sobre estos dos.

Realizando un algoritmo sobre la interacción del imán con los dos sensores más próximos, se obtiene una lectura con un orden de exactitud de $1/4094$ sobre los 10 grados de separación entre sensores, logrando una exactitud de 0.0025 ± 0.0001 , superior a la prevista en el objetivo.

5. Ensayos de verificación

Finalizada la construcción del prototipo, se escribió el código de verificación y se construyó un dispositivo con el fin de evaluar el grado de exactitud y la eficacia de funcionamiento del medidor. Las figuras 8 y 9 muestran el dispositivo.



Figura 8 Dispositivo de prueba.

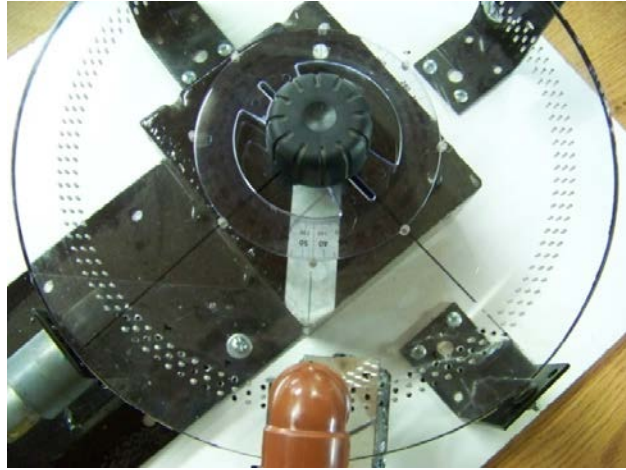


Figura 9 Dispositivo de prueba.

El software de verificación se diseñó de modo que pueda ser, luego, empleado para las mediciones en servicio. Por este motivo, presenta una pantalla con la información relevante. La figura 10 muestra lo indicado.

Se observa que la pantalla ofrece una visión gráfica de la variación de onda que identifica la posición instantánea del indicador. Sobre la parte superior derecha, un goniómetro circular y, a su lado izquierdo, un indicador numérico angular con una precisión de milésima de grado sexagesimal, superior a la prevista en los objetivos del proyecto. El programa permite realizar mediciones y posee comunicación serial utilizando conexiones RS232, RS485, Bluetooth. Además, incorpora el protocolo Modbus RTU para realizar lecturas con equipamiento estándar.

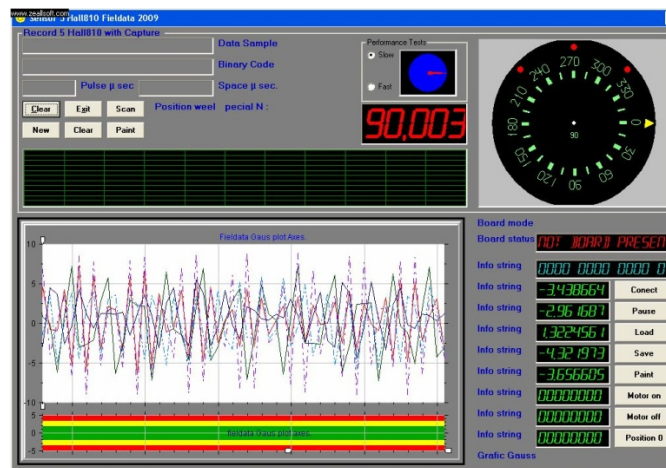


Figura 10 Pantalla indicadora de los parámetros más relevantes de la medición angular.

6. Conclusiones

La construcción de un dispositivo para el control de posicionamiento angular por sistema magnético (figura 11) ofrece significativas ventajas de precisión en las mediciones que otros sistemas no logran, figura 12.



Figura 11 Modelo 3D del encoder magnético versión 1 y versión 8.

Por su construcción es recomendable para ambientes agresivos. Tiene un bajo costo de manufactura.

Sus aplicaciones son múltiples: sistemas de control de cierre de válvulas, posicionamiento de dispositivos para electro medicina, robótica, electrónica aplicada a procesos industriales, sistemas de lectura digitalizada y otros muchos.

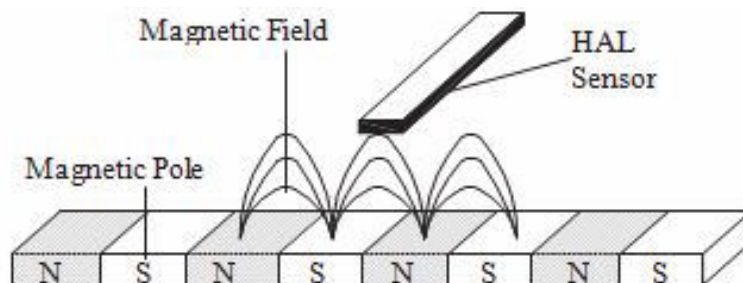


Figura 12 Efecto lineal de captura.

Este dispositivo se encuentra, actualmente, en un proceso de miniaturización y se están realizando ensayos industriales en ambientes peligrosos.

Se ha adaptado un módulo de comunicación Bluetooth por el cual puede realizarse una conexión inalámbrica de modo que se puedan realizar mediciones de uno o varios sensores a distancia y sin necesidad de cableado, sistema

especialmente desarrollado para ambientes donde existen gases peligrosos con probabilidades de explosión.

Muchas industrias son beneficiarias de este desarrollo: petrolera, química, agroalimentaria, nuclear.

7. Referencias

- [1] X. Li, W. Gao, H. Muto, Y. Shimizu, S. Ito, S. Dian, "A six-degree-of-freedom surface encoder for precision positioning of a planar motion stage". *Precision Engineering*. Vol. 37. 2013. Pp. 771– 781.
- [2] H Kim, J. K. Kim, H. J. Shin, "A laser-based 2-dimesional angular deflection measurement system for tilting microplates". *Sensors and Actuators* 86. 2000. Pp. 141-147.
- [3] X. Tao, L. Haibao, L. Wusheng, "A robust photoelectric angular position sensor especially", *Sensors and Actuators*. Vol. 120. 2005. Pp. 311–316.
- [4] Y. Kikuchi, T. Yoneda, Y. Kataoka, K. Shiotani, H. Wakiwaka, H. Yamada, "Considerations of output voltage waveform on magnetic linear encoder for artificial heart using linear pulse motor". *Sensors and Actuators* Vol. 81. 2000. Pp. 309-312.
- [5] Y. Shia, H. Zhanga, X. Jianga, Q. Wenb, B. Han, "Design of output voltage waveform on magnetic encoder". *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* Vol. 282. 2004. Pp. 317–320.
- [6] Comunicado SNR Rodamientos - 10/2007, Dossier de prensa, "La investigación de SNR alineada con el Nobel de Física", Sede de SNR ROULEMENTS, Dpto. de Comunicación.

8. Autores

Miguel Antonio Ojeda Moreno es profesor Adjunto, Universidad Nacional de Lomas de Zamora UNLZ, Facultad de Ingeniería, Ciclo Superior de especialización de Ingeniería Mecánica, Orientación Mecatrónica, Argentina.

Profesor Adjunto, Universidad Tecnológica Nacional UTN.BA, Facultad de Ingeniería, Ciclo Superior de especialización de Ingeniería Mecánica, Orientación Mecatrónica.

Eduardo Zúñiga es profesor Adjunto, Universidad Nacional de Lomas de Zamora UNLZ, Facultad de Ingeniería, Ciclo Superior de especialización de Ingeniería Mecánica, Orientación Mecatrónica.

Los autores agradecen al Ing. Ojeda y Asociados por el aporte de materiales y tecnología para la realización de este proyecto, y a las empresas Solydes SA y Armados Electrónicos SRL por su colaboración.