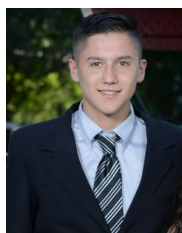


Instituto Tecnológico de Hermosillo
Materia: Robótica
Profesor: Medina Gil Lamadrid, Jesús Iván

5 de marzo de 2025

Unidad 1: Morfología del robot

Equipo 3



Madrid Barcelo,
Daniel

danielmadridbarcelo@gmail.com

Teléfono: 6342469087



Camou Mejia,
Josué Román

121330544@hermosillo.tecnm.mx

Teléfono: 6624622362



Rosas Leyva,
Adrian Ernesto

121330682@hermosillo.tecnm.mx

Teléfono: 6621503887



Aguiluz Romero,
Blanca Azucena

119330879@hermosillo.tecnm.mx

Análisis de Sensores en la Ingeniería Mecatrónica

I. INTRODUCCIÓN

En el campo de la ingeniería mecatrónica, los sensores son componentes esenciales para la automatización y el control de sistemas. Estos dispositivos permiten la medición y supervisión de diferentes variables físicas, como posición, velocidad, aceleración y fuerza, facilitando la interacción entre el mundo físico y los sistemas electrónicos. Su correcto uso y selección son clave para garantizar el desempeño óptimo de maquinaria, robots y otros sistemas automatizados.

En este trabajo se presenta un análisis detallado de los diferentes tipos de sensores, clasificándolos en internos y externos, así como en aquellos que operan con o sin contacto. Se explican sus principios de funcionamiento, ventajas y aplicaciones dentro de la industria. El objetivo principal es comprender su importancia y uso en la ingeniería mecatrónica, destacando su papel en el diseño y mejora de sistemas inteligentes y automatizados.

II. SENSORES INTERNOS

Los sensores internos se emplean para monitorear el estado interno de un robot, es decir, su posición, velocidad, aceleración, etc., en un momento determinado. Basado en estas informaciones, el controlador decide acerca del comando de control. Dependiendo de las diferentes cantidades que miden, los sensores se denominan como de posición, velocidad, aceleración o fuerza.

III. SENSORES DE POSICIÓN

Los sensores de posición, tal como lo indica su nombre, permiten medir la posición lineal o angular de un objeto con respecto a un plano (o usándose a sí mismo como referencia), para transformarla en una señal eléctrica que puede ser interpretada por un sistema de control mayor. Después de los sensores de temperatura, los sensores de posición son los dispositivos de captación de magnitudes más utilizados a nivel industrial.

Estos dispositivos permiten controlar el movimiento de todo tipo de equipos de robótica para la realización de una infinidad de trabajos que requieran la reubicación de piezas como brazos mecánicos, soldadores o cortadores.

Dentro de los sensores de posición, se pueden dividir en dos categorías: **Lineales** y **Rotativos**.

III-A. Sensores Lineales

Los sensores de desplazamiento lineal permiten detectar la posición de un elemento móvil a lo largo de su recorrido en un eje. También permite medir la separación entre puntos en aplicaciones mecánicas. La medición del desplazamiento lineal se puede resolver con varios sensores. Los sensores de posición lineal inductivos funcionan sin contacto y sin desgaste de acuerdo con un principio de medición revolucionario. La posición no se detecta a través de un imán de posicionamiento sino a través de un circuito oscilante RLC.

III-B. Sensores Rotativos

Un sensor de posición rotativo es un dispositivo que mide la posición angular de un objeto en movimiento giratorio. Su función principal es detectar la rotación y convertirla en una señal eléctrica que puede ser interpretada por un sistema de control. Este tipo de sensor se utiliza ampliamente en aplicaciones como robótica, control de motores, sistemas de automatización industrial y dispositivos de medición de ángulos.

III-B1. Encóder Incremental: Un encóder incremental es un sensor que mide cambios en la posición angular mediante la generación de pulsos eléctricos. Está compuesto por un disco con ranuras o patrones ópticos y un sistema de detección basado en luz o magnetismo. Su principal desventaja es que no puede determinar la posición absoluta; cuando el sistema se apaga, pierde la referencia y necesita ser reinicializado en un punto conocido. Se usa en sistemas de control de motores, robótica y cintas transportadoras.

Figura 1.



Figura 1: Encoder Incremental

article [utf8]inputenc graphicx hyperref

IV. ENCÓDER ABSOLUTO

A diferencia del incremental, un encóder absoluto puede determinar la posición exacta en todo momento. Emplea un código único para cada ángulo de giro, permitiendo que el sistema recupere la posición incluso después de un apagón. Se utiliza en maquinaria industrial, sistemas de control de movimiento y aplicaciones donde es esencial conocer la posición exacta en todo momento. Figura 2.



Figura 2: Encoder Absoluto

V. POTENCIÓMETRO ROTATIVO

Este sensor funciona mediante un contacto deslizante sobre una resistencia circular. A medida que el eje gira, la resistencia cambia y se obtiene una señal de voltaje proporcional a la posición. Aunque son económicos y fáciles de usar, tienen desventajas como el desgaste mecánico con el tiempo y una resolución limitada. Se encuentran en aplicaciones como el control de volumen en equipos de audio, sensores de posición en actuadores y controladores de dirección en maquinaria. Figura 3.

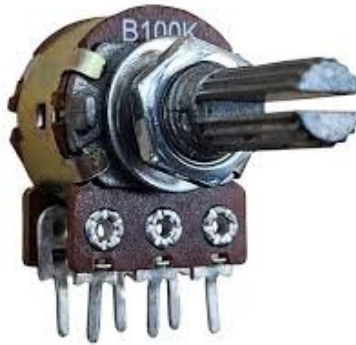


Figura 3: Potenciómetro

VI. RÉSOLVER

El résolver es un sensor electromagnético que mide la posición angular sin necesidad de contacto físico, lo que lo hace altamente duradero y resistente a condiciones extremas como temperaturas elevadas o vibraciones. Opera mediante un sistema de bobinas y transformadores que generan señales de voltaje proporcionales a la posición angular. Se emplea en sistemas aeroespaciales, robótica de alta precisión y motores eléctricos de corriente alterna. Figura 4.

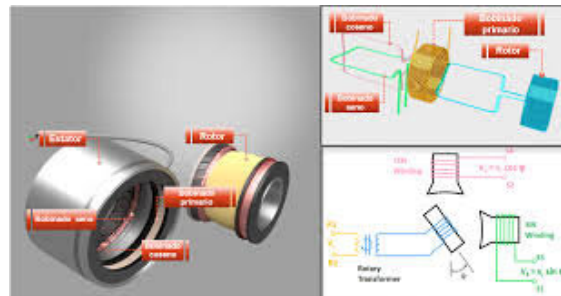


Figura 4: Sensor Resolver

VII. LVDT (TRANSFORMADOR DIFERENCIAL VARIABLE LINEAL) EN APLICACIONES ROTATIVAS

El LVDT es un sensor electromagnético utilizado principalmente para medir desplazamientos lineales, pero puede adaptarse para medir posiciones rotativas mediante configuraciones especiales. Funciona con un núcleo móvil que se desplaza dentro de un sistema de bobinas, generando una variación en la inductancia. Su alta precisión y ausencia de contacto mecánico lo hacen ideal para aplicaciones donde se requiere una medición sin desgaste, como en sistemas de control de turbinas, actuadores hidráulicos y dispositivos de medición en entornos industriales hostiles.

article [utf8]inputenc graphicx hyperref tabularx
article graphicx

VIII. SENSOR DE PROXIMIDAD

Los sensores de proximidad son dispositivos eléctricos/mecánicos que, al detectar la presencia de objetos u obstáculos, convierten magnitudes físicas en señales. Generalmente, los valores medibles son señales eléctricas en función de la corriente de carga que van a controlar. Existen diferentes tipos de sensores de proximidad según el principio físico, y también es posible configurarlos para la medición de la distancia. No es necesario que hagan contacto físico con el objeto, por lo que se encuentran sensores

Sensor	Descripción	Aplicaciones
Encóder Absoluto	Mide la posición exacta en todo momento utilizando un código único para cada ángulo de giro. Recupera la posición después de apagones.	Maquinaria industrial, sistemas de control de movimiento.
Encóder Incremental	Mide cambios en la posición angular generando pulsos eléctricos, pero no puede determinar la posición absoluta.	Sistemas de control de motores, robótica, cintas transportadoras.
Potenciómetro Rotativo	Funciona mediante un contacto deslizante sobre una resistencia circular, generando una señal de voltaje proporcional a la posición.	Control de volumen, sensores de posición en actuadores, controladores de dirección.
Résolver	Sensor electromagnético que mide la posición angular sin contacto físico, utilizando bobinas y transformadores.	Sistemas aeroespaciales, robótica de alta precisión, motores eléctricos de corriente alterna.
LVDT	Sensor electromagnético usado para medir desplazamientos lineales, adaptado para medición rotativa, sin contacto mecánico.	Sistemas de control de turbinas, actuadores hidráulicos, dispositivos de medición en entornos industriales.

Tabla I: Tabla de Sensores de Posición y sus Aplicaciones

de proximidad sin contacto y por contacto. Las características de detección dependen básicamente de la tecnología del sensor y del medio de transmisión. Los sensores de proximidad pueden trabajar sumergidos en agua, aceite, polvo, etc.



Figura 5: Sensor de Proximidad

IX. SENSOR DE EFECTO HALL

Los sensores de efecto Hall son un tipo de sensor de posición sin contacto, aunque existen otros tipos llamados Interruptores Magnéticos Tipo Reed. Pueden ser rotativos o lineales y, dado que no hacen contacto, no tienen desgaste y tienen una vida virtualmente infinita. En términos simples, los

sensores de efecto Hall funcionan de manera que un imán está alineado centralmente con la electrónica del sensor Hall. Cuando se gira el imán, el campo magnético cambia y la electrónica lo convierte en una salida de posición relativa.

El efecto Hall se produce cuando se ejerce un campo magnético transversal sobre un cable por el que circulan cargas. Como la fuerza magnética ejercida sobre ellas es perpendicular al campo magnético y a su velocidad (ley de la fuerza de Lorentz), las cargas son impulsadas hacia un lado del conductor y se genera en él un voltaje transversal o voltaje Hall (VH). Edwin Hall (1835 – 1938) descubrió en 1879 el efecto, que, entre otras muchas aplicaciones, contribuyó a establecer, diez años antes del descubrimiento del electrón, que las partículas que circulan por un conductor metálico tienen carga negativa.



Figura 6: Sensor de Efecto Hall

X. SENSOR DE MICROONDAS

Los sensores de microondas utilizan la frecuencia de microondas para detectar el movimiento en una zona mediante la emisión de impulsos de microondas y la posterior medición del reflejo de un objeto en movimiento. Funcionan según el principio del efecto Doppler. Cuando la frecuencia de microondas emitida encuentra un objeto en movimiento en su campo de detección, la frecuencia de retorno se altera, indicando así el movimiento.

X-A. Tipos de Sensores de Microondas

- Radar de onda continua (CW): Este tipo de sensor emite señales de microondas continuas. Detecta cualquier cambio en el patrón de reflexión, normalmente causado por un objeto en movimiento, para activar una alerta.
- Radar de impulsos: A diferencia del radar de onda continua, emite impulsos de microondas en lugar de una señal continua. Mide el tiempo que tarda un impulso en reflejarse en un objeto y volver al sensor, determinando la distancia del objeto.
- Radar Doppler: Este tipo de radar utiliza el efecto Doppler para detectar el movimiento. Cuando una onda se encuentra con un objeto en movimiento, la frecuencia de la onda de retorno cambia. Un radar Doppler mide este cambio para detectar el movimiento.
- Sensores de microondas biestáticos: Utilizan dos unidades separadas para transmitir y recibir. El emisor emite la señal de microondas y el receptor detecta su reflexión.
- Sensores de microondas monostáticos: Combinan el transmisor y el receptor en una sola unidad. Emiten y reciben señales desde el mismo lugar y son más compactos que los sensores biestáticos.

Figura 7.

Figura 7: Encoder Incremental

XI. SENSOR ULTRASONICO

Los sensores ultrasónicos miden la distancia mediante el uso de ondas ultrasónicas. El cabezal emite una onda ultrasónica y recibe la onda reflejada que retorna desde el objeto. Los sensores ultrasónicos miden la distancia al objeto contando el tiempo entre la emisión y la recepción.

XI-A. Aplicaciones Comunes de los Sensores Ultrasónicos

- Detección de obstáculos, utilizado en sistemas de asistencia de estacionamiento.
- Detección de intrusos en sistemas de seguridad.
- Control de presencia o ausencia de objetos en líneas de producción.
- Medición de distancias, útil en la navegación de vehículos autónomos.
- En medicina, por ejemplo, para medir el flujo sanguíneo o detectar embarazos.
- ??.

Figura 8: Encoder Incremental

XII. SENSOR LÁSER

Un sensor láser es un dispositivo que utiliza tecnología láser para medir distancias, detectar objetos o capturar información sobre el entorno. Estos sensores funcionan emitiendo un haz de luz láser y midiendo el tiempo que tarda en reflejarse y regresar al sensor.

XII-A. Aplicaciones de los Sensores Láser

- Topografía y cartografía para crear mapas detallados del terreno.
- Automatización industrial en líneas de producción.
- Detección de obstáculos en vehículos autónomos.
- Sistemas de seguridad para monitorear áreas y activar alarmas al detectar intrusos.



Figura 9: Sensor laser

XIII. SENSOR DE VISIÓN

Los sensores de visión se utilizan en celdas de trabajo para reunir datos con fines de inspección o para activar otros dispositivos durante la producción. A diferencia de los sensores fotoeléctricos de bajo costo, los sensores de visión tienen la capacidad de distinguir patrones o colores y manejar desalineaciones comunes en las celdas de trabajo.

XIII-A. Ventajas de los Sensores de Visión

- Aumentan la flexibilidad.
- Ejecutan varios estilos de inspección dentro de una sola imagen.
- Producen datos más detallados para mejorar la calidad y los procesos.
- Acomodan desalineaciones del mango o soporte.

Figura 10: Sensor de Visión

XIV. SENSORES INTERNOS

XIV-A. Velocidad

Tacómetro: El tacómetro es un dispositivo utilizado para medir la velocidad angular de un eje o disco en revoluciones por minuto (RPM). Se emplea en motores, generadores y sistemas mecánicos para monitorear el desempeño y garantizar un funcionamiento óptimo. Existen varios tipos de tacómetros, como los ópticos, que utilizan un rayo de luz reflejado en una superficie para medir la velocidad, y los magnéticos, que detectan cambios en el campo magnético al pasar sobre un material conductor. También están los basados en efecto Hall, que emplean sensores magnéticos para medir la velocidad de rotación. Los tacómetros son esenciales en aplicaciones industriales, automotrices y de control de procesos, ya que permiten el ajuste preciso de la velocidad en maquinarias y motores eléctricos, contribuyendo a la eficiencia y seguridad operativa.



Figura 11: Tacometro

XIV-B. Sensor de Efecto Hall

El sensor de efecto Hall es un dispositivo que detecta la presencia y magnitud de un campo magnético, convirtiéndolo en una señal eléctrica. Su funcionamiento se basa en el efecto Hall, un fenómeno físico en el que un voltaje se genera perpendicularmente al flujo de corriente cuando un campo magnético está presente. Estos sensores se utilizan ampliamente para medir la velocidad de motores eléctricos, la posición angular de ejes y la detección de objetos metálicos en movimiento. Son muy utilizados en la industria automotriz para sistemas ABS, en la medición de RPM y en aplicaciones de seguridad, como los interruptores magnéticos sin contacto. Su ventaja principal es su alta durabilidad, ya que no tienen partes mecánicas móviles, lo que reduce el desgaste y prolonga su vida útil.

XIV-C. Todos los Sensores de Posición

Los sensores de posición son dispositivos que permiten determinar la ubicación de un objeto en un sistema, ya sea en términos lineales o angulares. Entre los más utilizados están los encoders ópticos, sensores de efecto Hall y potenciómetros. Estos sensores son fundamentales en la automatización industrial, robótica y sistemas de control de movimiento, donde se requiere precisión en la ubicación y desplazamiento de componentes mecánicos. Un encoder, por ejemplo, traduce el movimiento en señales eléctricas que pueden ser procesadas para determinar la posición exacta de un motor o un eje. Por otro lado, los sensores de efecto Hall se usan en aplicaciones sin contacto, como en los pedales de acelerador de automóviles. Su implementación permite mejorar la precisión y eficiencia en sistemas de control de movimiento en diferentes industrias.

XIV-C1. Encoders: Los encoders convierten el movimiento mecánico en señales eléctricas para determinar la posición, velocidad o dirección. Se dividen en:

- **Encoders ópticos:** Utilizan una rueda con marcas translúcidas e interrupciones detectadas por un sensor óptico. Son muy precisos y se emplean en motores y robots.
- **Encoders magnéticos:** Usan sensores de efecto Hall o magnetorresistivos para detectar la rotación de un disco imantado. Son más resistentes a condiciones adversas.
- **Encoders absolutos:** Proporcionan una posición única en cada instante, incluso después de un apagado.
- **Encoders incrementales:** Solo miden cambios en la posición y necesitan un punto de referencia al encenderse.

XIV-C2. Potenciómetros: Los potenciómetros son sensores resistivos que varían su resistencia en función del movimiento de un eje. Son económicos y se usan en aplicaciones como palancas de mando y pedales de acelerador.

XIV-C3. Sensores de Efecto Hall: Detectan la posición de un objeto midiendo variaciones en un campo magnético. Se emplean en motores eléctricos para determinar la posición del rotor y en sistemas de frenos ABS.

XIV-C4. Sensores Inductivos: Funcionan mediante el cambio en un campo electromagnético cuando un objeto conductor se acerca. Son usados en la detección de piezas metálicas en procesos industriales.

XIV-C5. Sensores Capacitivos: Miden cambios en la capacitancia cuando un objeto se acerca. Son útiles en aplicaciones donde se necesita detectar materiales no metálicos o líquidos.

Figura 12: Capacitivo

XIV-C6. Sensores LVDT (Transformador Diferencial Variable Lineal): Miden desplazamientos lineales con alta precisión. Se usan en instrumentación y control de calidad en manufactura.

XIV-C7. Giroscopios y Acelerómetros: Estos sensores se emplean en sistemas de navegación inercial y en estabilización de robots para determinar cambios en la orientación o inclinación.

XIV-D. Aceleración

Los sensores de aceleración, conocidos como acelerómetros, miden cambios en la velocidad de un objeto en función del tiempo. Se basan en diferentes tecnologías, como la piezoeléctrica, capacitiva y MEMS (sistemas microelectromecánicos). Los acelerómetros se utilizan en una amplia gama de aplicaciones, desde teléfonos inteligentes para la detección de orientación, hasta en sistemas de navegación inercial y monitoreo de vibraciones en maquinaria industrial. También se emplean en la industria automotriz para detectar colisiones y activar los airbags. Su precisión y capacidad para detectar variaciones en la aceleración los hacen esenciales en el control de estabilidad de vehículos, en el análisis estructural de edificios y en dispositivos médicos como los marcapasos, que ajustan su ritmo de estimulación en función del movimiento del usuario.

XV. FUERZA

XV-A. *Galgas Extensométricas*

Las galgas extensométricas son sensores diseñados para medir la deformación mecánica de un material bajo tensión o compresión. Su funcionamiento se basa en la variación de la resistencia eléctrica cuando la galga se estira o comprime, permitiendo así calcular la fuerza aplicada. Se utilizan en celdas de carga, pruebas estructurales y monitoreo de esfuerzos en puentes, aeronaves y maquinaria pesada. Son herramientas fundamentales en el campo de la ingeniería civil y mecánica, ya que permiten evaluar la resistencia de materiales y prevenir fallas estructurales. Además, en la industria automotriz y aeroespacial, se emplean para probar la resistencia de componentes bajo diferentes condiciones de carga, asegurando su fiabilidad y seguridad en operación.

XV-B. *Interruptores de Efecto Hall*

Los interruptores de efecto Hall funcionan detectando campos magnéticos y convirtiéndolos en señales eléctricas que pueden usarse para activar o desactivar circuitos. Se utilizan en una gran variedad de aplicaciones, desde la detección de posición en sistemas industriales hasta mecanismos de seguridad en maquinaria pesada. En el sector automotriz, estos sensores son clave para la medición de la velocidad de las ruedas en los sistemas de frenos ABS y para la detección de la posición del cigüeñal en motores de combustión interna. Su gran ventaja es que no requieren contacto mecánico, lo que los hace resistentes al desgaste y altamente confiables en entornos hostiles.

XV-C. *Interruptores Piezoeléctricos*

Los interruptores piezoeléctricos utilizan materiales como el cuarzo para generar una señal eléctrica cuando se aplica una presión mecánica. Este principio se basa en el efecto piezoeléctrico, en el cual ciertos materiales producen una carga eléctrica proporcional a la fuerza ejercida sobre ellos. Son ampliamente utilizados en aplicaciones industriales y médicas, como en sensores de presión, teclados táctiles y sistemas de monitoreo de vibraciones. En la industria automotriz, se usan en sensores de impacto para activar airbags. Su alta sensibilidad, respuesta rápida y resistencia al desgaste los convierten en una opción ideal para mediciones de precisión en entornos exigentes.

XVI. ¿QUÉ ES UN GIROSCOPIO?

El giroscopio o giróscopo es un elemento mecánico que se usa para poder conocer el horizonte, ya que siempre mantendrá una orientación perpendicular al plano o la superficie de la tierra, lo cual permite conocer y medir la orientación de un elemento, dispositivo o vehículo respecto al espacio.

Entre los usos más comunes que se les da hoy en día a los giroscopios están el del horizonte artificial de los aviones u barcos, además de estar presentes en dispositivos electrónicos como mandos, wearables, móviles o tabletas de última generación, como los nuevos móviles con Android 13 o los últimos iPhone.

El funcionamiento de un giroscopio se basa en el principio de una masa girando sobre un eje, la cual se mantiene estable por el momento de rotación que tiene la masa. Si esa masa se mete en un mecanismo que la permita moverse libremente en las tres dimensiones, como una suspensión cardán de tres ejes, el mecanismo que rota se mantendrá siempre perpendicular al plano. Es el mismo principio que el de una peonza, la cual al tirarla contra el suelo girando sobre sí misma, se mantiene estable perpendicular al suelo siempre y cuando siga teniendo energía que la haga girar.

El primer intento en la creación del giroscopio fue el espejillo giratorio de John Serson, el cual en 1743 creó una peonza para usarse en barcos y así encontrar el horizonte en alta mar. Luego, en 1817 se escribió sobre el efecto del giroscopio en un escrito titulado “Descripción de una máquina para la explicación de las leyes de rotación de la tierra en torno a su eje”, haciendo referencia a una máquina que asemeja la forma de un giroscopio moderno, aunque en 1852 es cuando se construiría el primer giroscopio tal y como se concibe en la actualidad montando una masa giratoria en un soporte de Cardano con el fin de demostrar la rotación de la tierra.

XVII. ¿PARA QUÉ SIRVE UN GIROSCOPIO?

El giroscopio tiene la tarea de identificar la orientación de un dispositivo en un espacio cualquiera, lo cual es esencial para conocer el estado en el plano del dispositivo y lo cual, si se une a otros datos como los de un acelerómetro o un sensor GPS, permite situar un objeto y conocer todos sus movimientos de forma precisa.

En el caso de los móviles u otros dispositivos electrónicos, en vez de usarse giroscopios tradicionales, se usan giroscopios electrónicos que miden las rotaciones para así saber hacia dónde se ha movido el dispositivo en vez de tener un horizonte artificial en su interior, razón por la que a veces es necesario calibrarlos antes de usarlos en aplicaciones que requieren mucha precisión como una brújula. Entre los usos que se le dan están el de rotar la pantalla al girar el móvil, conocer a la hora de hacer fotos panorámicas hacia dónde está apuntando el móvil para realizarlas correctamente o usar aplicaciones como la brújula, que entre otras cosas también ofrece en algunos modelos funciones como el horizonte artificial o nivel.

El giroscopio, además de usarse en dispositivos inteligentes y avanzados, se usa también en una gran variedad de dispositivos electrónicos como relojes inteligentes como el Apple Watch u otros wearables más simples para así detectar la actividad física, o como mandos de consolas como la PS5 o, por ejemplo, los famosos Wiimotes usados para controlar la Nintendo Wii, los cuales usan el giroscopio para saber la orientación del mando y conocer sus movimientos y así poder saber junto con otros sensores la posición de la pantalla a la que se está apuntando o qué acciones se están haciendo en determinados juegos.

El giroscopio no se debe confundir con otros dispositivos similares como un acelerómetro, los cuales también están presentes en los teléfonos móviles u otros dispositivos tecnológicos avanzados y el cual lo que mide es las fuerzas a las que se somete el dispositivo y no la orientación del mismo. Aunque sí que es cierto que ambos se suelen usar juntos, ya que sabiendo la orientación y aceleración del dispositivo se puede saber de forma precisa el estado y los movimientos que el dispositivo está haciendo.

article [utf8]inputenc amsmath

XVIII. ACELERÓMETROS

Los acelerómetros se utilizan en mediciones de aceleración gravitacional estática, lo que le permite determinar el ángulo de desviación del objeto medido de la vertical, así como en mediciones de aceleración dinámica debido a golpes, movimiento, impacto o vibración, es decir, vibraciones de baja amplitud y baja frecuencia, que alcanzan varias docenas de Hz.

XVIII-A. *¿Cómo funciona un acelerómetro mientras se mide la vibración?*

Este dispositivo se implementa directamente en el objeto que vibra, lo que le permite convertir la energía de vibración en una señal eléctrica que es proporcional a la aceleración momentánea del objeto.

XVIII-B. *¿Qué hace un acelerómetro?*

La medición de la vibración se usa generalmente para diagnosticar el funcionamiento de máquinas, dispositivos o estructuras sometidas a altos esfuerzos, por ejemplo, estructuras de acero de mástiles, puentes o estructuras de edificios. También se utilizan acelerómetros, entre otros, para proteger los discos duros contra daños, en equipos médicos y deportivos, en cámaras y videocámaras, en teléfonos inteligentes, controles remotos, controladores o en sistemas de navegación.

XVIII-C. *¿Qué es un acelerómetro?*

No es más que un transductor de aceleración que mide su propio movimiento en el espacio. Hay tres tipos básicos de acelerómetros, más de los cuales se hablará más adelante en el artículo. article [utf8]inputenc amsmath

XIX. PRINCIPIO DE LOS ACELERÓMETROS

El principio de los acelerómetros no es demasiado complicado. Mide la fuerza de aceleración en la unidad g y puede medir en uno, dos o tres planos. Actualmente, los acelerómetros de 3 ejes son los más utilizados, cuya construcción consiste en un sistema de tres acelerómetros, cada uno de los cuales mide la aceleración en una dirección diferente, en los planos X , Y y Z . Un ejemplo de un acelerómetro de 3 ejes es el modelo OKYSTAR OKY3230.

XIX-A. Funcionamiento de los Acelerómetros de Tres Ejes

Si la aceleración en cualquier plano actúa en la dirección opuesta a la dirección del sensor, el acelerómetro medirá la aceleración con un valor negativo. De lo contrario, la aceleración se medirá con un valor positivo.

Si el acelerómetro no se ve afectado por ninguna aceleración externa, el dispositivo solo medirá la aceleración gravitacional, es decir, la fuerza de la gravedad. Suponiendo que el acelerómetro de 3 ejes está posicionado de tal manera que el sensor en el eje X se dirige hacia la izquierda, el sensor en el eje Y está hacia abajo y el sensor en el eje Z está hacia adelante, y no actúan fuerzas sobre él, entonces el acelerómetro devolverá los siguientes valores:

$$X = 0 g, \quad Y = 1 g, \quad Z = 0 g.$$

Si el mismo acelerómetro está inclinado hacia la izquierda, sus lecturas mostrarán:

$$X = 1 g, \quad Y = 0 g, \quad Z = 0 g.$$

Del mismo modo, cuando la desviación se produce a la derecha, el plano X devolverá el resultado:

$$X = -1 g.$$

Las dependencias de medición de aceleración dadas son utilizadas por los algoritmos de los sistemas que supervisan el acelerómetro.

article [utf8]inputenc amsmath

XX. TIPOS BÁSICOS DE ACELERÓMETROS

Existen tres tipos básicos de acelerómetros: acelerómetros capacitivos MEMS, acelerómetros piezoeléctricos y acelerómetros piezorresistivos.

XX-A. Acelerómetros Capacitivos MEMS

Los acelerómetros capacitivos que utilizan la tecnología MEMS son los sensores más baratos, más comunes y más pequeños de este tipo.

XX-A1. ¿Cómo funciona un Acelerómetro Capacitivo MEMS?: El principio de funcionamiento de un acelerómetro capacitivo MEMS se reduce a colocar el peso montado en los resortes. Un extremo de los resortes está unido a los revestimientos del condensador de peine, mientras que el otro extremo está unido al peso montado. Bajo la influencia de la fuerza que actúa sobre el sensor, el peso se mueve sobre los resortes, lo que provoca un cambio en la distancia entre el elemento de condensación y la masa, y por lo tanto, afecta el cambio en la capacidad.

Un ejemplo de un acelerómetro MEMS es el modelo SPARKFUN ELECTRONICS INC. DEV-09267 o SPARKFUN ELECTRONICS INC. BOB-13926.

article [utf8]inputenc amsmath

XXI. TIPOS DE ACELERÓMETROS

XXI-A. *Acelerómetros Capacitivos MEMS*

Los acelerómetros capacitivos fabricados con tecnología MEMS se utilizan principalmente en dispositivos portátiles, equipos móviles y productos electrónicos de consumo ampliamente conocidos. Una de las mayores ventajas de los acelerómetros MEMS es la posibilidad de su implementación directamente en la placa de circuito impreso.

Las desventajas de los sistemas MEMS incluyen baja precisión de medición, especialmente para mediciones de amplitudes y frecuencias más altas, lo que los hace inadecuados para aplicaciones industriales especializadas.

XXI-B. *Acelerómetros Piezorresistivos*

Los sensores que usan el efecto de piezoresistencia son otro tipo de acelerómetro. Su principio de funcionamiento es similar al de un extensómetro, es decir, un extensómetro. Estos tipos de acelerómetros están equipados con material piezorresistivo, que bajo la influencia de la fuerza externa se deforma, provocando un cambio en la resistencia.

El cambio en la resistencia se convierte en una señal eléctrica recibida por el receptor integrado con el acelerador. Los acelerómetros piezorresistivos se caracterizan por una gran banda de medición, gracias a la cual pueden registrar vibraciones de altas amplitudes y frecuencias, lo que es útil, entre otros, durante varias pruebas de choque.

Otra ventaja de los acelerómetros piezoresistivos es la capacidad de medir señales de cambio lento, lo que permite su uso en sistemas de navegación inercial para calcular la velocidad y el desplazamiento de los componentes del sistema.

Una desventaja de los acelerómetros piezoresistivos es que son sensibles a los cambios en la temperatura ambiente, lo que requiere una compensación de temperatura. Además, los acelerómetros de este tipo tienen problemas para detectar señales débiles, y también son mucho más caros que los acelerómetros capacitivos MEMS.

XXI-C. *Acelerómetros Piezoeléctricos*

Un acelerómetro piezoeléctrico es uno de los sensores más utilizados para medir el nivel de vibración. Se utilizan comúnmente en aplicaciones industriales para el diagnóstico o control de maquinaria y equipos. El principio de funcionamiento de los acelerómetros piezoeléctricos es similar al funcionamiento de los sistemas piezorresistivos. Sin embargo, bajo la influencia de la aceleración, no cambian su resistencia y generan un voltaje eléctrico de cierto valor.

El elemento de medición de estos sensores suele ser el titanato de circonato de plomo (PZT), que al deformarse genera una carga eléctrica. Los acelerómetros piezoeléctricos se caracterizan por su alta sensibilidad y precisión, gracias a los cuales se utilizan en muchas aplicaciones, desde mediciones sísmicas extremadamente avanzadas y precisas hasta pruebas de choque y destructivas realizadas en condiciones adversas.

La señal de salida de los acelerómetros piezoeléctricos generalmente está sujeta a amplificación y compensación de temperatura. El cálculo del movimiento del objeto se ve facilitado por la transmisión de la señal a la entrada del integrador.

XXI-D. *Otros Acelerómetros*

Otros diseños de acelerómetros incluyen los acelerómetros *IEPE* (Integrated Electronics Piezoelectric), que se usan comúnmente para mediciones de vibraciones. Cabe destacar también los acelerómetros de carga piezoeléctricos, que funcionan bien en temperaturas extremas. article [utf8]inputenc amsmath

XXII. MAGNETÓMETRO

Un magnetómetro es un instrumento esencial en el campo de la geofísica, la arqueología y la física espacial. Este dispositivo mide la fuerza y la dirección de los campos magnéticos, proporcionando datos cruciales para diversas aplicaciones científicas y tecnológicas.

XXII-A. Principios de Funcionamiento de un Magnetómetro

XXII-A1. Fundamentos del Campo Magnético: Para entender cómo funciona un magnetómetro, primero debemos comprender los conceptos básicos del campo magnético. Un campo magnético es una región del espacio donde una fuerza magnética actúa sobre materiales magnéticos o sobre partículas cargadas en movimiento. Los campos magnéticos son generados por corrientes eléctricas y por materiales magnéticos como los imanes.

XXII-B. Tipos de Magnetómetros

Existen varios tipos de magnetómetros, cada uno basado en diferentes principios físicos:

1. **Magnetómetros de Inducción:** Estos dispositivos miden los cambios en el flujo magnético a través de una bobina de alambre. Cuando un campo magnético variable atraviesa la bobina, induce una corriente eléctrica proporcional a la velocidad de cambio del campo.
2. **Magnetómetros de Protones (NMR):** Utilizan el principio de resonancia magnética nuclear. En estos dispositivos, los protones en un fluido (generalmente agua) se alinean con un campo magnético externo. Cuando se retira el campo, los protones vuelven a su estado original, liberando energía en forma de una señal detectable.
3. **Magnetómetros de Efecto Hall:** Basados en el efecto Hall, estos magnetómetros miden la tensión creada en un conductor por un campo magnético perpendicular a la corriente eléctrica que pasa a través del conductor.
4. **Magnetómetros SQUID (Dispositivos Superconductores de Interferencia Cuántica):** Utilizan superconductores y el principio de interferencia cuántica para detectar campos magnéticos extremadamente débiles con una precisión muy alta.

XXII-C. Funcionamiento Básico

Independientemente del tipo, todos los magnetómetros tienen un principio común: detectan y miden la intensidad del campo magnético. Esto se logra mediante la interacción de los materiales dentro del magnetómetro con el campo magnético, generando una señal eléctrica que puede ser medida y analizada.

article [utf8]inputenc amsmath

XXIII. APLICACIONES DE LOS MAGNETÓMETROS

XXIII-A. Geofísica

En geofísica, los magnetómetros se utilizan para mapear las variaciones en el campo magnético terrestre. Esto es crucial para la prospección minera, la detección de depósitos de minerales y la investigación geológica. Las anomalías magnéticas pueden indicar la presencia de diferentes tipos de rocas o minerales.

XXIII-B. Arqueología

Los magnetómetros también son herramientas valiosas en arqueología. Pueden detectar estructuras subterráneas como muros, fosos y hornos antiguos, sin necesidad de excavar. Esto ayuda a los arqueólogos a identificar sitios de interés y planificar excavaciones de manera más eficiente.

XXIII-C. Física Espacial

En el ámbito de la física espacial, los magnetómetros son fundamentales para estudiar los campos magnéticos de otros planetas y el espacio interplanetario. Los satélites y sondas espaciales equipados con magnetómetros pueden medir los campos magnéticos en el espacio, proporcionando información vital sobre el viento solar y las magnetósferas planetarias.

XXIII-D. Seguridad y Defensa

En seguridad y defensa, los magnetómetros se utilizan para detectar submarinos y minas navales debido a las firmas magnéticas que estos objetos generan. También se emplean en la detección de dispositivos electrónicos y armas ocultas.

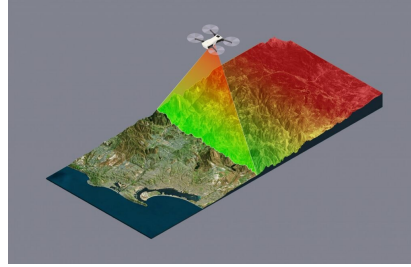


Figura 13: LIDAR



Figura 14: GIROSCOPIO DIGITAL

XXIV. ECUACIONES

XXV. SENSORES DE POSICIÓN

XXV-A. Encóder Incremental y Absoluto

Los encoders generan pulsos que permiten medir la posición angular:

$$\theta = \frac{N_{\text{pulsos}}}{N_{\text{total}}} \times 360^\circ \quad (1)$$

Donde:

- θ es el ángulo en grados.
- N_{pulsos} es el número de pulsos contados.
- N_{total} es la resolución total del encoder en pulsos por revolución.

Si se usa un disco con ranuras y un detector óptico:

$$f = N \cdot \omega \quad (2)$$

Donde:

- f es la frecuencia de los pulsos (Hz).
- N es el número de ranuras en el disco.
- ω es la velocidad angular en rad/s.

XXV-B. LVDT (*Linear Variable Differential Transformer*)

El voltaje de salida de un LVDT varía de manera casi lineal con el desplazamiento:

$$V_o = S \cdot x \quad (3)$$

Donde:

- V_o es el voltaje de salida.
- S es la sensibilidad del LVDT en V/mm.
- x es el desplazamiento del núcleo.

La inductancia diferencial del LVDT está dada por:

$$L = \frac{\mu_0 N^2 A}{l} \quad (4)$$

XXVI. SENSORES DE VELOCIDAD

XXVI-A. Tacómetro

Para un tacómetro electromagnético, la relación entre la velocidad angular y el voltaje es:

$$V = k_e \cdot \omega \quad (5)$$

XXVI-B. Sensor de Efecto Hall

Para determinar la velocidad de un disco con imanes en los bordes:

$$\omega = \frac{2\pi f}{N} \quad (6)$$

XXVII. SENSORES DE ACELERACIÓN

En un acelerómetro basado en una masa suspendida:

$$a = \frac{F}{m} \quad (7)$$

Si el acelerómetro es capacitivo:

$$C = \frac{\varepsilon A}{d} \quad (8)$$

XXVIII. SENSORES DE FUERZA

XXVIII-A. Galga Extensiométrica

El cambio de resistencia debido a una deformación mecánica se expresa como:

$$\frac{\Delta R}{R} = G_f \cdot \varepsilon \quad (9)$$

La relación entre voltaje de salida y la deformación en un puente de Wheatstone es:

$$V_o = V_{exc} \cdot \frac{G_f \cdot \varepsilon}{4} \quad (10)$$

XXVIII-B. *Sensores Piezoeléctricos*

La carga generada por un sensor piezoeléctrico es:

$$Q = d_{ij} \cdot F \quad (11)$$

XXIX. SENSORES DE CONTACTO

XXIX-A. *Transductores de Presión*

La ecuación básica de un transductor de presión basado en una membrana es:

$$P = \frac{F}{A} \quad (12)$$

Si el sensor usa una galga extensiométrica, la deformación debida a la presión es:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} = \frac{Pd}{E} \quad (13)$$

XXX. SENSORES SIN CONTACTO

XXX-A. *Sensores de Proximidad*

Para un sensor inductivo, la inductancia varía con la distancia del objeto metálico:

$$L = \frac{\mu_0 N^2 A}{l} \quad (14)$$

XXX-B. *Sensores Ultrasónicos*

El sensor mide la distancia usando la ecuación del tiempo de vuelo:

$$d = \frac{vt}{2} \quad (15)$$

XXX-C. *Sensores de Microondas*

La detección se basa en el efecto Doppler:

$$\Delta f = \frac{2vf_0}{c} \quad (16)$$

XXX-D. *Sensores Láser*

Para sensores basados en triangulación:

$$d = \frac{bf}{p} \quad (17)$$

XXXI. CONCLUSIÓN

XXXI-A. *Como equipo llegamos a la siguiente conclusion*

La investigación sobre los diferentes tipos de sensores y su aplicación en la ingeniería mecatrónica ha permitido comprender la importancia de estos dispositivos en el desarrollo y control de sistemas automatizados. Los sensores son componentes clave para la medición y supervisión de variables físicas en sistemas mecánicos y electrónicos, como la posición, velocidad, aceleración y fuerza. Cada tipo de sensor, ya sea de contacto o sin contacto, ofrece ventajas específicas que lo hacen adecuado para distintas aplicaciones industriales, desde el control de maquinaria hasta la robótica avanzada. Además,

la comprensión de las ecuaciones que describen su funcionamiento y las tablas que presentan sus características técnicas nos permite seleccionar el sensor más adecuado para un proyecto, garantizando la eficiencia y el desempeño de los sistemas diseñados.

A nivel de ingeniería mecatrónica, el uso adecuado de sensores es esencial para el diseño de sistemas inteligentes que interactúan de manera precisa con su entorno. Estos sensores no solo mejoran la automatización, sino que también optimizan el control de procesos, contribuyendo a la mejora continua de los sistemas y la innovación tecnológica. En conclusión, el estudio de los sensores y su integración en sistemas complejos es fundamental para avanzar en la creación de dispositivos más inteligentes, precisos y capaces de operar en entornos industriales cada vez más exigentes.