

# Sensores de posición: diversidad de aplicaciones y soluciones

**E**n la industria existen diversas técnicas basadas en principios físicos diferentes para resolver la posición de un elemento o de un eje. El transductor de posición más simple es un potenciómetro lineal o angular excitado por una fuente de tensión continua. Con él se obtiene una tensión de salida que varía entre unos valores positivo y negativo de tensión continua máxima y proporcional a la posición lineal y angular respecto de una posición de referencia o de desplazamiento nulo.

Para resolver distintos problemas existen distintas configuraciones, como es el caso de los servopotenciómetros, preparados para medir varios giros completos en un eje, o los potenciómetros de precisión, con una linealidad muy alta, destinados a trabajar a altas temperaturas y con vibraciones.

Los potenciómetros se caracterizan por ser baratos, pero su tiempo de vida útil es limitado por el desgaste producido por el rozamiento existente entre sus partes fija y móvil.

## Transductores de desplazamiento inductivos, ...

Por su parte, los transductores de desplazamiento inductivos convierten un desplazamiento lineal en un cambio de la autoinductancia de un devanado y se utilizan para el posi-



■ Potenciómetros rotativos de Elap, presentes en España a través de *Automática, Electrónica y Control*.

**Las técnicas que se emplean para medir posición o desplazamiento en la industria son muy diversas y los sensores más utilizados para ello pueden ser lineales o angulares. Tanto de los unos como de los otros existe en el mercado una gran variedad.**



■ Foto: *Schneider Electric*.

cionamiento exacto de piezas.

Dentro de este tipo de transductores se encuentran los acoplados a la pieza, que se caracterizan por emplear un núcleo permeable que se mueve dentro de una bobina, la cual, al moverse, cambia la inductancia del devanado. También existen los transductores sin contacto, basados en que la variación de proximidad de la pieza implica un aumento o disminución del flujo magnético que varía la autoinductancia del devanado.

## ... capacitivos y galgas

Los transductores de desplazamiento capacitivos se basan en la variación

que presenta un condensador al variar la posición de sus placas o de su dieléctrico. Dentro de este tipo de sensores se encuentran los de dieléctrico móvil, en los que el dieléctrico, solidario con la parte móvil, se desplaza entre las placas. También los hay de placas móviles, en los que el elemento móvil es solidario a uno de los electrodos que se desliza con respecto al otro electrodo y sobre el material dieléctrico. Otra configuración posible es aquella en la que el propio objeto actúa de electrodo, caso en el que el objeto debe ser conductor. Esta configuración permite un diseño sin contacto.

En el caso de los transductores de galgas, el transductor suele emplearse en desplazamientos pequeños, en torno a los 0,4 mm. Consiste en un elemento estático y una o más galgas fijadas a él, trabajando en tensión y compresión. Su principio de funcionamiento se basa en la variación de resistencia de un conductor o un semiconductor cuando es sometido a un esfuerzo mecánico. Si se le somete a un esfuerzo en dirección longitudinal, cada una de las tres magnitudes que intervienen en el valor de R experimenta un cambio. Este tipo de transductor es poco utilizado, ya que sólo es aplicable a los rangos medibles por la galga, aunque destaca por su simplicidad.

### Encoders (Codificadores lineales y angulares)

El encoder o codificador rotatorio es un dispositivo electromecánico que se utiliza para convertir la posición angular de un eje a un código digital y se trata de uno de los transductores más populares empleados para medir posiciones angulares. Existen diferentes variedades de encoders, dependiendo del principio físico que empleen para leer la codificación de la posición. Pueden ser absolutos o incrementales.

Los codificadores ópticos están constituidos por una fuente de luz, un disco codificado y un detector de luz. En los codificadores ópticos incrementales, el disco contiene dos anillos concéntricos de líneas equidistantes desfasados entre sí. Uno de los anillos de líneas proporciona un tren de pulsos cuya cuenta es directamente proporcional al desplazamiento angular. Con el segundo anillo se determina el sentido de giro del eje. Necesitan de un contador de pulsos y de un conversor digital-analógico. En el caso de codificadores absolutos, la posición se encuentra codificada en código binario, GRAY o BCD en el propio disco mediante anillos de ranuras. La resolución de am-

## Suministradores de sensores de posición en España

Fabricante	Distribuidor	Web
Allegro Microsystems	Allegro Microsystems	<a href="http://www.allegromicro.com">www.allegromicro.com</a>
Allen Bradley*	Rockwell	<a href="http://www.abb.com">www.abb.com</a>
American Sensor Corp.	Ferrer Dalmau	<a href="http://www.ferrer-dalmau.com">www.ferrer-dalmau.com</a>
ASC	Ferrer Dalmau	<a href="http://www.ferrer-dalmau.com">www.ferrer-dalmau.com</a>
ASM	Sensing	<a href="http://www.sensing.es">www.sensing.es</a>
Austriamicrosystems*	Sagitron	<a href="http://www.austriamicrosystems.com">www.austriamicrosystems.com</a>
BDC Electronic*	Rasesa Automatismos	<a href="http://www.bdcelectronic.com">www.bdcelectronic.com</a>
Balluff GmbH	Balluff, S.L.	<a href="http://www.balluff.com">www.balluff.com</a>
Baumer Electric	Fegemu Automatismos	<a href="http://www.fegemuautomatismos.com">www.fegemuautomatismos.com</a>
Baumer Talheim	Axis Automation	<a href="http://www.baumerthalheim.com">www.baumerthalheim.com</a> <a href="http://www.axis-automation.com">www.axis-automation.com</a>
Berstein	Forn Valls	<a href="http://www.fornvalls.com">www.fornvalls.com</a>
Cabeco	Cabeco	<a href="http://www.cabeco.com">www.cabeco.com</a>
Carlo Gavazzi	Carlo Gavazzi	<a href="http://www.gavazzi.es">www.gavazzi.es</a>
Celesco	Horbara	<a href="http://www.horbara.com">www.horbara.com</a>
Contrinex AG	Intertronic Int., S.L.	<a href="http://www.intertronic.es">www.intertronic.es</a>
Dimetix	Guemisa	<a href="http://www.guemisa.com">www.guemisa.com</a>
Diptronics*	Sagitron	<a href="http://www.dip.com.tv">www.dip.com.tv</a>
Disibeint*	Contaval	<a href="http://www.contaval.es">www.contaval.es</a>
DPF Sensors	Guemisa	<a href="http://www.guemisa.com">www.guemisa.com</a>
Dr. Johannes Heidenhain	Farresa Electrónica	<a href="http://www.farresa.es">www.farresa.es</a>
Elap	Automatica, Electrónica y Control	<a href="http://www.automatica.cat">www.automatica.cat</a>
Elcis*	Fema Electrónica	<a href="http://www.elcis.it">www.elcis.it</a>
Elgo Electronic	Encosolution	<a href="http://www.encosolution.com">www.encosolution.com</a>
Elobau	Imeval	<a href="http://www.imeval.es">www.imeval.es</a>
Eltra	Automática, Electrónica y Control	<a href="http://www.automatica.cat">www.automatica.cat</a>
Fagor Automation*	Fagor Automation	<a href="http://www.fagorautomation.com">www.fagorautomation.com</a>
Festo Pneumatic S.A.U.*	Festo Pneumatic	<a href="http://www.festo.es">www.festo.es</a>
Fritz Kübler GmbH	Elion	<a href="http://www.elion.es">www.elion.es</a>
Gefran	Pertegaz	<a href="http://www.pertegazsl.com">www.pertegazsl.com</a>
Givi Misure	Encosolution	<a href="http://www.encosolution.com">www.encosolution.com</a>
Hans Turck GmbH	Elion	<a href="http://www.elion.es">www.elion.es</a>
Heidenhain*	Farresa Electrónica	<a href="http://www.farresa.es">www.farresa.es</a>
Hohner Automatismos, S.L.*	Hohner Automatismos	<a href="http://www.hohner.es">www.hohner.es</a>
Hontko Co. Llt.*	Tics Electrónica	<a href="http://www.encoder.com.tw">www.encoder.com.tw</a> <a href="http://www.ticselectronica.com">www.ticselectronica.com</a>
Hengstler	Horbara	<a href="http://www.horbara.com">www.horbara.com</a>
iC-Haus GmbH	iC-Málaga	<a href="http://www.ic-malaga.com">www.ic-malaga.com</a>
IFM Electronic	IFM Electronic	<a href="http://www.ifm.com">www.ifm.com</a>
Intacton (Grupo Fraba)	Encosolution	<a href="http://www.encosolution.com">www.encosolution.com</a>

► Viene de la página anterior.

Fabricante	Distribuidor	Web
IVO GmbH & Co. KG*	<i>Eurotech System</i>	<a href="http://www.eurotechsys.com">www.eurotechsys.com</a>
Keyence	<i>Bitmakers</i>	<a href="http://www.bitmakers.com">www.bitmakers.com</a>
Leine&Linde	<i>Horbara</i>	<a href="http://www.horbara.com">www.horbara.com</a>
Leuze*	<i>Contaval</i>	<a href="http://www.contaval.es">www.contaval.es</a>
Lika	<i>Mecánica Moderna</i>	<a href="http://www.mecmod.com">www.mecmod.com</a>
Microsonic	<i>Intertronic Inst.</i>	<a href="http://www.intertronic.es">www.intertronic.es</a>
Moeller Electric*	<i>Moeller Electric, S.A.</i>	<a href="http://www.catalog.moeller.net/es">www.catalog.moeller.net/es</a>
Novotechnik	<i>Guemisa</i> <i>Mapro Ingeniería</i>	<a href="http://www.guemisa.com">www.guemisa.com</a> <a href="http://www.maprosensor.com">www.maprosensor.com</a>
Omron Electronics	<i>Omron Electronics</i>	<a href="http://industrial.omron.es">http://industrial.omron.es</a>
Opkon	<i>Mecánica Moderna</i>	<a href="http://www.mecmod.com">www.mecmod.com</a>
Pepperl + Fuchs	<i>Pepperl + Fuchs</i>	<a href="http://www.pepperl-fuchs.es">www.pepperl-fuchs.es</a>
Posital (Grupo Fraba)	<i>Encosolution</i>	<a href="http://www.encosolution.com">www.encosolution.com</a>
Sakae Tsushin Cogió Co. Ltd.*	<i>Tics Electronica*</i>	<a href="http://www.sakae-tsushin.co.jp">www.sakae-tsushin.co.jp</a> <a href="http://www.ticselectronica.com">www.ticselectronica.com</a>
Schmersal*	<i>Sumelcom, S.L.</i>	<a href="http://www.sumelcom.com">www.sumelcom.com</a>
Schneider Eléctric	<i>Schneider Eléctric</i>	<a href="http://www.schneiderelectric.es">www.schneiderelectric.es</a>
Schreiber	<i>Guemisa</i>	<a href="http://www.guemisa.com">www.guemisa.com</a>
Schunk GmbH	<i>Schunk Intec</i>	<a href="http://www.schunk.com">www.schunk.com</a>
Scancon	<i>Encosolution</i>	<a href="http://www.encosolution.com">www.encosolution.com</a>
Scanmeg	<i>Mudata</i>	<a href="http://www.mudata.es">www.mudata.es</a>
Selet Sensor	<i>Mecánica Moderna</i>	<a href="http://www.mecmod.com">www.mecmod.com</a>
Sensopart*	<i>Seicom, S.L.</i>	<a href="http://www.sensopart.com">www.sensopart.com</a>
Sick Optic Electronic*	<i>Sick Optic Electronic</i>	<a href="http://www.sick.es">www.sick.es</a>
SIE Sensorik Industrie-Elektronik GmbH	<i>Intertronic Int.</i>	<a href="http://www.intertronic.es">www.intertronic.es</a>
Siemens	<i>Siemens</i>	<a href="http://www.siemens.com/simatic-sensors/px">www.siemens.com/simatic-sensors/px</a>
Siko GmbH	<i>Mecánica Moderna</i>	<a href="http://www.mecmod.com">www.mecmod.com</a>
SNT Sensortechnik AG	<i>Infranor Spain</i>	<a href="http://www.infranor.es">www.infranor.es</a>
Solartron Metrology*	<i>Medel Cadena</i>	<a href="http://www.medelcadena.com">www.medelcadena.com</a> <a href="http://www.solartronmetrology.com">www.solartronmetrology.com</a>
Ströter	<i>Ferrer Dalmau</i>	<a href="http://www.ferrer-dalmau.com">www.ferrer-dalmau.com</a>
Sylvac*	<i>BCN Qualites S.L.</i>	<a href="http://www.qualites.net">www.qualites.net</a>
Thermosystems	<i>Automática, Electrónica y Control</i>	<a href="http://www.automatica.cat">www.automatica.cat</a>
Wachendorff	<i>Imeval</i> <i>Horbara</i>	<a href="http://www.imeval.es">www.imeval.es</a> <a href="http://www.horbara.com">www.horbara.com</a>
Waycon	<i>Encosolution</i>	<a href="http://www.encosolution.com">www.encosolution.com</a>

NOTA: Las empresas marcadas con un \* no han contestado a nuestra solicitud de información, por lo que no aparecen en el PDF de la tabla de suministradores que se encuentra disponible en [www.automatica-instrumentacion.com](http://www.automatica-instrumentacion.com). Si lo desean, pueden enviar un correo electrónico a [montero@cetisa.com](mailto:montero@cetisa.com) con sus datos actualizados para, posteriormente, actualizar el citado archivo PDF que está disponible en la página web de la revista.

Los tipos de codificadores angulares depende del número de líneas por revolución en el caso de los codificadores incrementales y del número de anillos concéntricos (que depende del diámetro del disco fundamentalmente) en el caso de los absolutos.

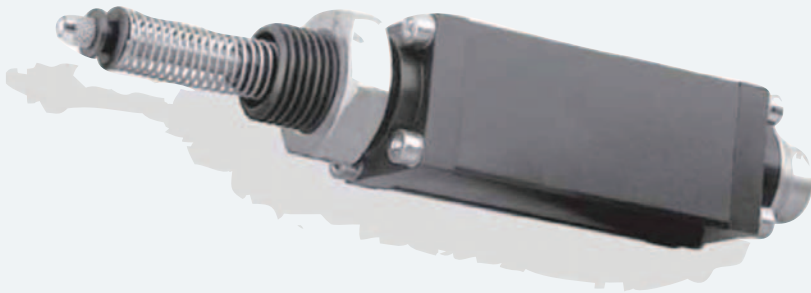
### Transformador diferencial para variaciones lineales (LVDT) y angulares (RVDT)

Es uno de los más populares y óptimos métodos de medida de posición utilizados actualmente. Está constituido por 3 arrollamientos coaxiales sobre un cilindro aislante. El arrollamiento central actúa como primario, mientras que los otros dos actúan como secundarios. Se basa en la variación de la inductancia mutua entre el primario y cada uno de los secundarios al desplazarse a lo largo de su interior un núcleo de material ferromagnético, arrastrado por un vástago no ferromagnético, unido a la pieza cuyo movimiento se desea medir.

Existen distintas versiones, como el ACLVDT, configuración con los 3 devanados con el núcleo ferromagnético comentada, operado por AC, y el DCLVDT, operado por DC, que es un LVDT con la electrónica necesaria para generar una señal portadora sinusoidal a partir de una tensión CC de entrada y demodular la tensión de salida para obtener una tensión CC proporcional al desplazamiento.

En el caso de medir posiciones angulares, se utiliza una modificación de los LVDT denominada RVDT. La mayoría de los RVDT están compuestos por un estator laminado y un rotor de dos polos. El estator, con cuatro ranuras, contiene la bobina primaria y las dos bobinas secundarias. Algunas bobinas secundarias se pueden también conectar entre sí.

La ventaja fundamental de los LVDT es que no existen problemas mecánicos de desgaste, eliminando-



■ Guemisa distribuye los transformadores diferenciales para variaciones lineales (LVDT) de su representada Schreiber.



■ Encoders magnéticos de valor absoluto de Wachendorff, suministrados en España por Imeval.

## Sensores de presencia o proximidad como sensores de posición

**E**n la industria muchas veces se emplean sensores de presencia para medir la posición, colocados adecuadamente en los puntos cuya posición se pretende medir, ya sean con contacto o sin contacto. Dentro de este tipo de sensores, podemos distinguir:

- *Interruptores electromecánicos y finales de carrera*: pulsadores que cierran o abren un circuito al entrar en contacto con un objeto.
- *Interruptores capacitivos e inductivos*: Ante la presencia de un objeto modifican su capacidad o inductancia respectivamente.
- *Interruptores ultrasónicos*: Emiten un eco que es devuelto por el objeto cuya presencia se desea conocer.
- *Interruptores por corrientes de Foucault*: Se basan en que el objeto metálico cuya presencia o posición hay que determinar absorbe el campo electromagnético generado en el devanado sensor, debido a las corrientes de Foucault.
- *Interruptores de efecto Hall*: Se basan en la diferencia que aparece entre las dos caras opuestas de un prisma delgado de material semiconductor al someterlo a la acción de un campo magnético perpendicular a las caras del prisma cuando circula una corriente por su interior.
- *Interruptores fotoeléctricos*: Emplean una fuente de luz y un sensor de luz para detectar la presencia o ausencia de objetos que bloqueen o no el camino de luz.
- *Interruptores de lengüeta o reed*: Consiste en un interruptor formado por una placa metálica que cierra el contacto ante la presencia de un imán o campo magnético.

se el ruido eléctrico producido por los contactos.

### Syncros y resólvares

Los syncros son transformadores rotativos reversibles con un acoplo variable en función del rotor. Las tensiones de salida son proporcionales al seno o al coseno de la posición angular del eje, o a la inversa, una determinada tensión de entrada hace girar el eje a una determinada posición angular. En el caso de magnitudes pequeñas como en instrumentación, se emplean syncros de par, y en el caso de requerirse alta precisión se emplean syncros de control

Existen diferentes configuraciones:

- *Synco transmisor*: Convierte una rotación mecánica en un sistema trifásico de tensiones. Para su funcionamiento se aplica una excitación CA en los terminales del rotor, obteniéndose entre los terminales del estator unas tensiones de salida cuyas amplitudes están relacionadas con la posición angular del eje.
- *Transmisor diferencial*: Suma o resta al ángulo eléctrico recibido desde el synco transmisor, mediante las amplitudes de las ondas de tensión aplicadas en los terminales del estator, la posición angular de su rotor.
- *Receptor de par*: Gira a la posición angular transmitida por las amplitudes de las ondas de tensión aplicadas a su estator desde un transmisor diferencial.
- *Receptor diferencial*: Gira su rotor a la posición definida como la suma o diferencia de los ángulos transmitidos en las amplitudes de las ondas de tensión aplicadas a los terminales del estator.
- *Resolver*: Está formado por dos devanados estatóricos desfasados 90° en los que se inducen tensiones cuyas amplitudes son proporcionales al seno y coseno de la posición del eje. Se emplea en aplicaciones donde se requiere obtener dos señales de salida en cuadratura al girar el eje.
- *Transolver*: Convierte las on-

## A no olvidar

- Los potenciómetros se caracterizan por ser baratos, pero su tiempo de vida útil es limitado por el desgaste producido por el rozamiento existente entre sus partes fija y móvil.
- El transductor de galgas es poco utilizado, ya que sólo es aplicable a los rangos medibles por la galga, aunque destaca por su simplicidad.
- El encoder o codificador rotatorio es un dispositivo electromecánico que se utiliza para convertir la posición angular de un eje a un código digital y se trata de uno de los transductores más populares empleados para medir posiciones angulares.
- El transformador diferencial para variaciones lineales (LVDT) y angulares (RVDT) es otro de los más populares y óptimos métodos de medida de posición utilizados actualmente.
- En el caso de magnitudes pequeñas como en instrumentación, se emplean syncros de par, y en el caso de requerirse alta precisión se emplean syncros de control
- El transductor de posición lineal o angular Inductosyn se emplea para medir desplazamientos lineales y angulares con elevada presión y seguridad, como es el caso militar y aeroespacial.

das de tensión que le llegan desde un sincro a las formas de onda de tensión a aplicar en un resolver y viceversa. En él el rotor y el estator pueden ser utilizados indistintamente como entradas.

### Transductor de posición lineal o angular Inductosyn

Este tipo de transductor se emplea para medir desplazamientos lineales y angulares con elevada presión y seguridad, como es el caso militar y ae-

roespacial. Consiste en unas pistas de circuito impreso en forma de onda cuadrada, depositadas sobre un par de sustratos planos de acero. Normalmente son montadas directamente una sobre la parte fija y la otra sobre la parte móvil para determinar su posición. Ambos circuitos no están en contacto, por lo que no se producen desgastes. Su funcionamiento se basa en la variación del acoplo inductivo entre las pistas conductoras de los dos elementos en el movimiento relativo



■ Medidores de desplazamiento láser CCD, de alta velocidad y precisión de Keyence, suministrados por *Bitmakers*.

de uno con respecto al otro.

En el caso de posición lineal, una parte se fija a un eje a lo largo del cual se va a realizar el deslizamiento y la otra parte se hace solidaria a la parte de la máquina que va a ser posicionada a lo largo del eje de desplazamiento en el que ha sido fijada la escala. En el caso de posición angular, la escala (o parte fija) y el deslizador están constituidos por discos.

### Medida de posición mediante emisiones de ondas

Otra forma de medir la posición de un objeto a un punto fijo es empleando técnicas basadas en el tiempo de vuelo de señales cuya velocidad de propagación se conocen. Dentro de estos dispositivos se encuentran los telémetros láser, que calculan la distancia a un punto recogiendo el reflejo de un haz de luz estructurado, y los telémetros de ultrasonidos, que calculan la distancia al objeto recogiendo el reflejo de una onda sonora.

En el caso de sensores de posición ópticos, se pueden emplear técnicas de triangulación auxiliándose de una cámara para calcular la posición del objeto.

### Otras soluciones

A parte de las técnicas comentadas, existe una diversidad de soluciones como condensadores diferenciales (consistente en dos condensadores variables dispuestos físicamente de tal modo que experimenten el mismo cambio pero en sentidos opuestos), magneto-resistencias (basadas en campos eléctricos) y otro tipo de soluciones contempladas por diferentes fabricantes.

### Ramón I. Barber Castaño

*Profesor Titular  
Departamento de Ingeniería  
de Sistemas y Automática  
Universidad Carlos III  
de Madrid*