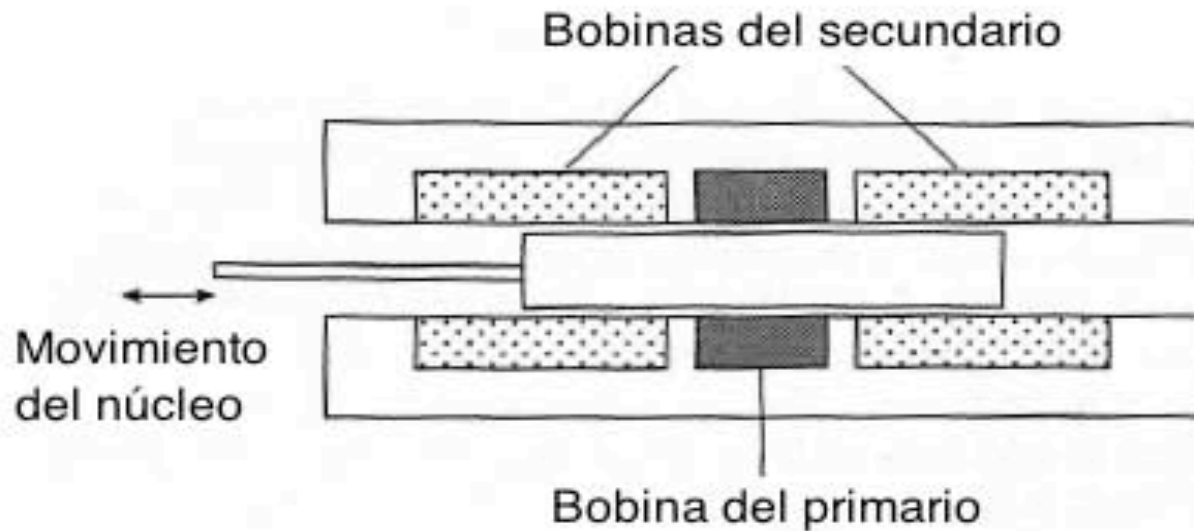
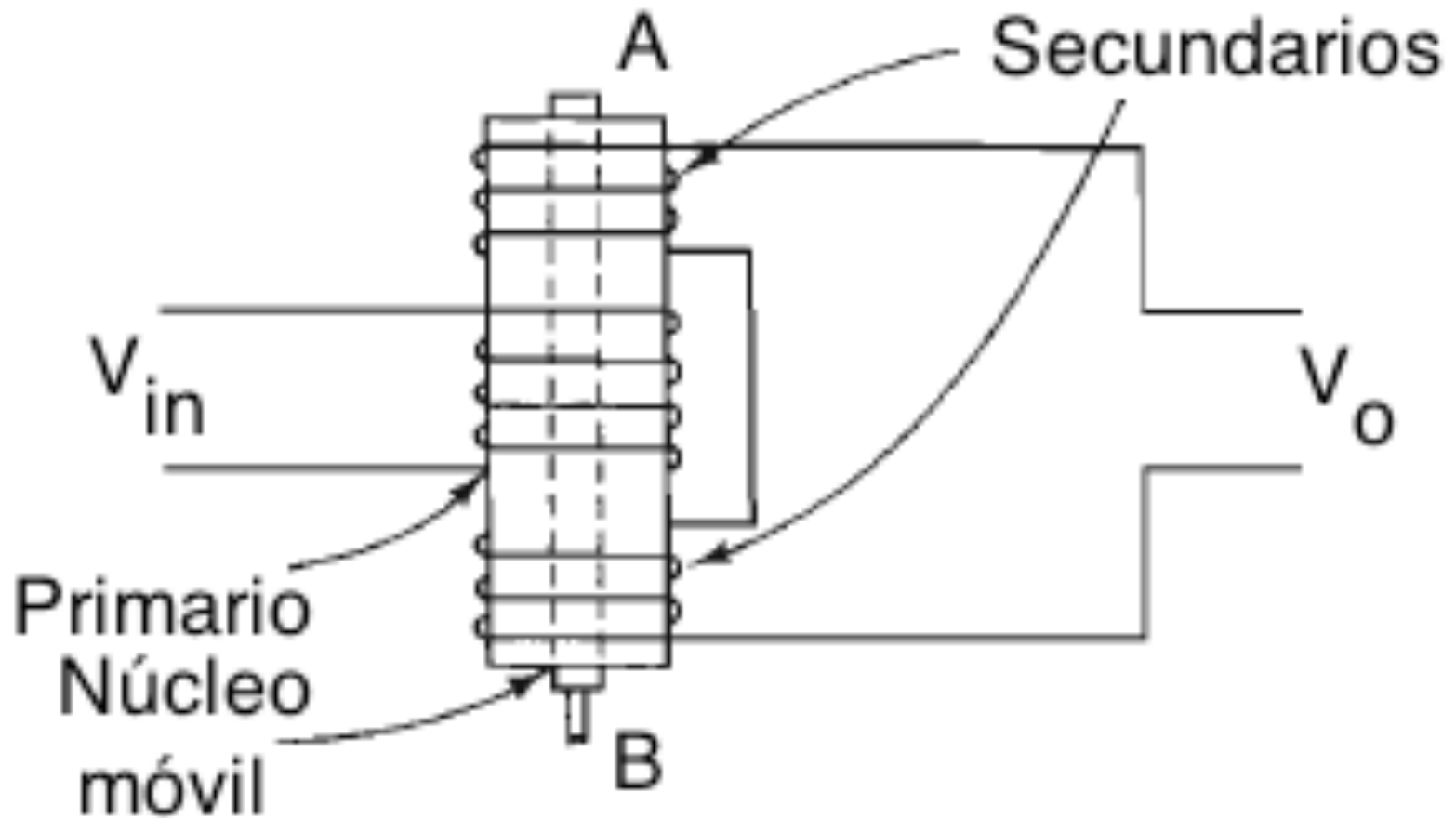


Medición fina de la posición: desplazamiento lineal.

1.- Transformador diferencial lineal variable (Linear Variable Differential Transformer, LVDT)

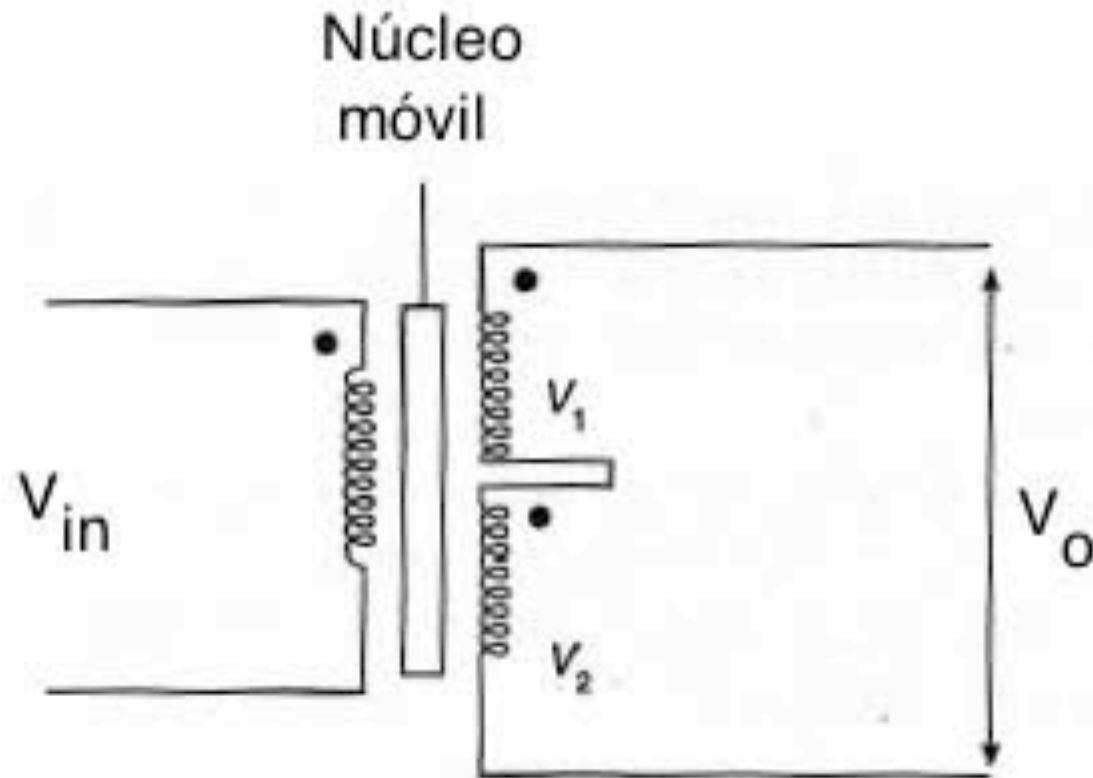


Esquema físico del LVDT



Esquema de cableado eléctrico del LVDT

Un LVDT es un transformador formado por un bobinado primario, y dos bobinados secundarios, arrollados los tres sobre un núcleo fijo, y un núcleo magnético móvil que se conecta rigidamente con el cuerpo cuyo desplazamiento lineal se desea medir con precisión.

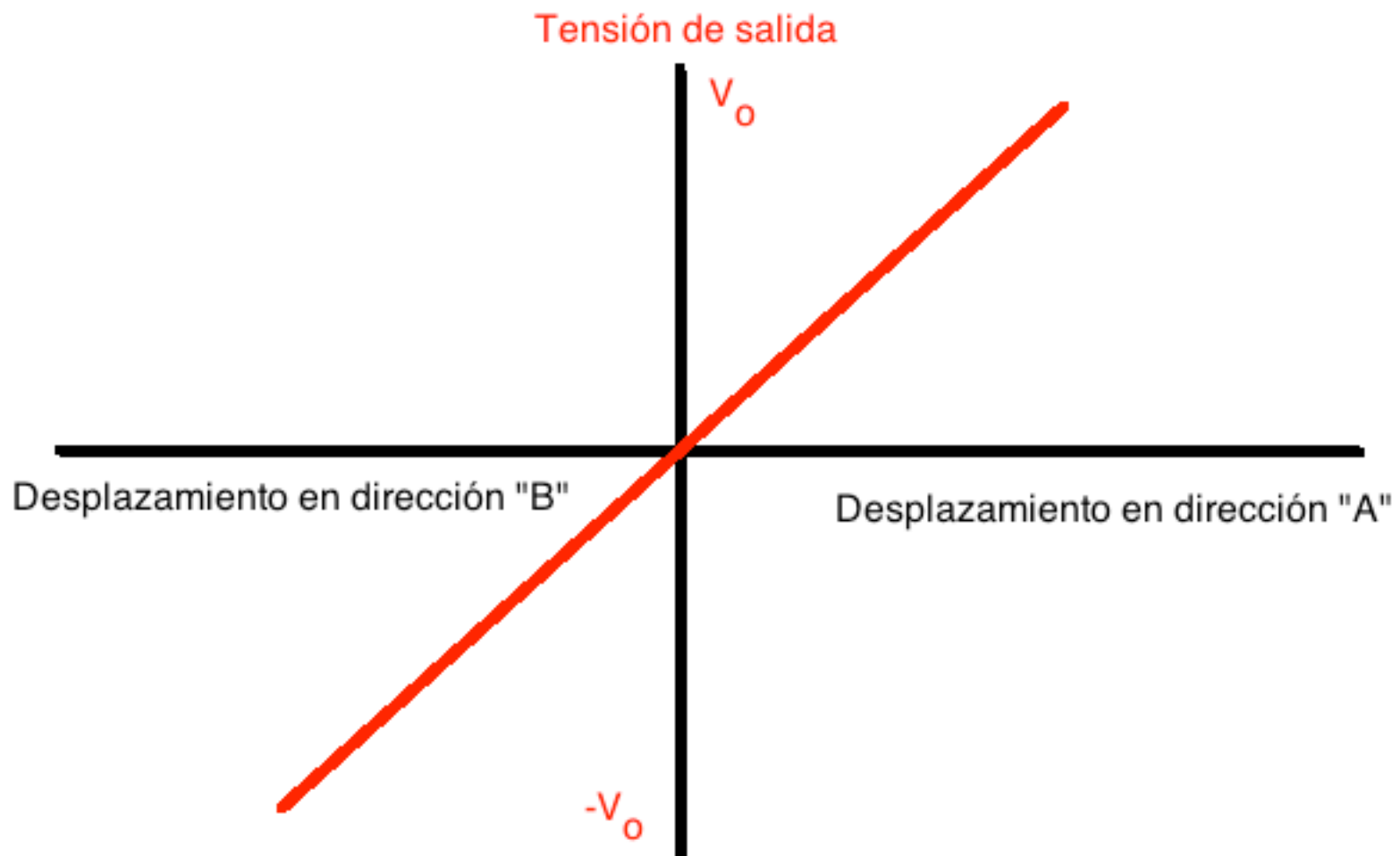


Circuito equivalente del LVDT.

Los dos secundarios están conectados en serie, y el acople magnético entre el primario y cada uno de los secundarios varía en función de la posición del núcleo magnético móvil.

El primario se alimenta con una tensión AC sinusoidal de entre 2 y 10kHz; mientras el núcleo magnético está en posición central el acople entre el primario y cada secundario es el mismo, las tensiones en los dos secundarios son iguales y están en contrafase, por lo que la salida es cero.

Cuando el núcleo se desplaza del centro, el acople magnético se desequilibra, uno de los dos secundarios recibe una tensión mayor y aparece una tensión de salida cuya amplitud es proporcional al desplazamiento del núcleo, y cuya fase en relación con la de la señal de entrada indica si el desplazamiento es en sentido positivo (fase 0) o negativo (fase 180°).



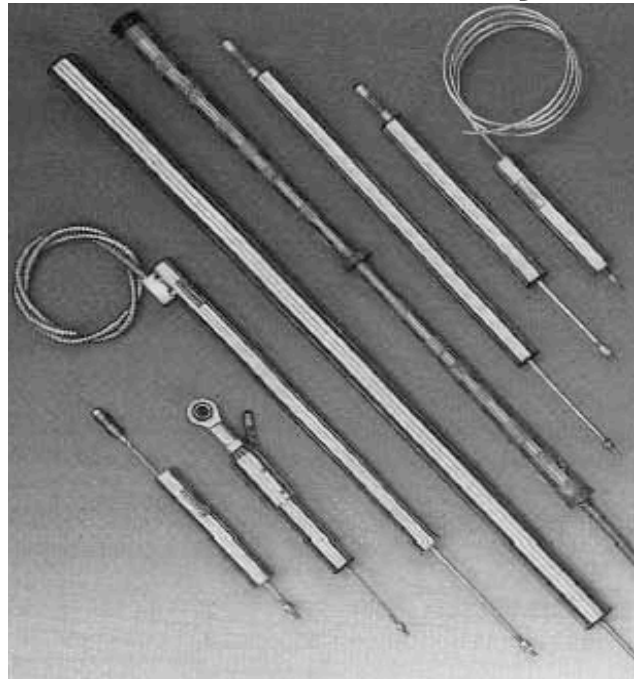
Relación tensión de salida vs. desplazamiento en un LVDT.

La precisión típica de un LVDT es de 0,5%, y en LVDT seleccionados puede alcanzar un 0,1%.

El desgaste de un LVDT es mínimo y en general no requiere mantenimiento, la masa del núcleo es pequeña y el uso de cojinetes de soporte de calidad asegura una fricción mínima, por lo que la respuesta dinámica es muy rápida.

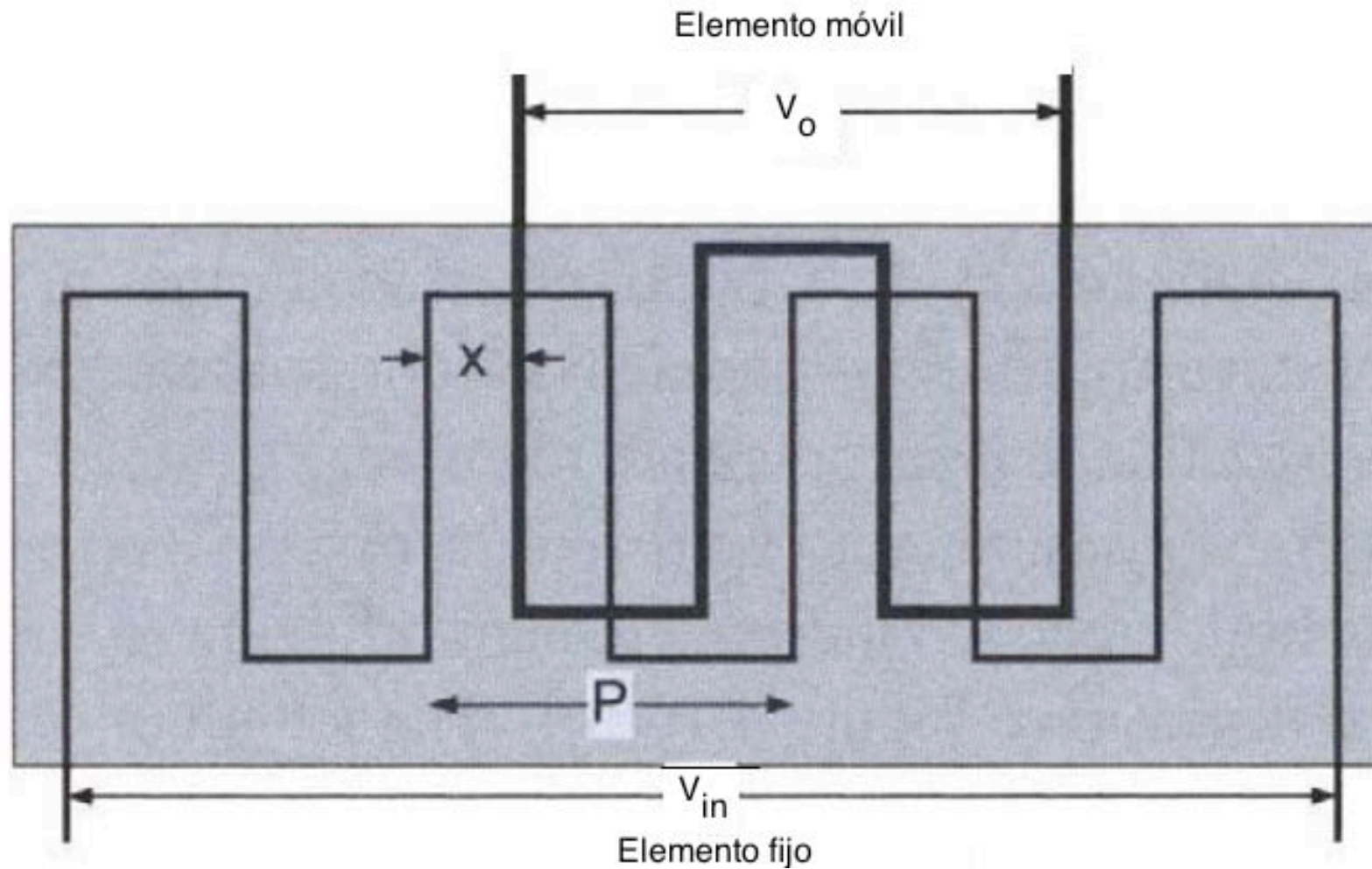
En la actualidad se están ofreciendo en el mercado LVDT “DC”; en estos equipos la operación del transformador diferencial sigue siendo por supuesto en AC, pero el dispositivo integra un circuito de alimentación y proceso de señales que genera la señal AC de entrada y produce una tensión DC de salida cuya amplitud es proporcional al módulo del desplazamiento y su signo indica la dirección del movimiento.

Los LVDTs son muy poco sensibles a las condiciones ambientales; se pueden encontrar versiones capaces de operar a altas temperatura, hasta unos 700°C, y a altas presiones, hasta 10^7 Pascales. Comercialmente se encuentran LVDTs con desplazamientos entre 1 y 600mm.



Selección de LVDTs.

2.-Inductosyn lineal.



Esquema eléctrico del Inductosyn, mostrando una bobina del secundario.

Este equipo, patentado por la compañía Inductosyn International, es una forma de transformador móvil, formado por tres bobinados de tipo retícula rectangular, con un paso de longitud P entre los elementos de repetición del patrón.

El primario del transformador es la retícula base, que está fija y puede ser fabricada en segmentos que contiene múltiples repeticiones del patrón básico, con una longitud total de trabajo de hasta 40m.

El secundario es el componente móvil, que debe estar sujeto rígidamente al cuerpo cuya posición se desea medir; en el se encuentran dos bobinas, cada una formada por un elemento básico del patrón del bobinado del primario, y separadas por un espacio igual a 90° eléctricos del patrón.

El primario se alimenta con una señal AC sinusoidal, que induce un voltaje en las bobinas del secundario que es función de la posición relativa de estas en relación con un elemento del patrón básico del primario. La tensión de salida es:

$$V_{o1} = kV_i \cos\left(\frac{2\pi x}{P}\right) = kV_p \text{sen}(\omega t) \cos\left(\frac{2\pi x}{P}\right)$$

$$V_{o2} = kV_i \text{sen}\left(\frac{2\pi x}{P}\right) = kV_p \text{sen}(\omega t) \text{sen}\left(\frac{2\pi x}{P}\right)$$

Donde k es la relación de transformación, V_i es el voltaje de excitación del primario y x es el desplazamiento relativo entre la bobina del primario y las del secundario.

El proceso de cálculo del desplazamiento x es equivalente al del resolver, y se emplea el mismo tipo de C.I. La medición es cíclica en cada segmento de longitud P , y la posición absoluta se determina en base al número de ciclos completos mas la fracción correspondiente al segmento incompleto adicional.

La resolución puede ser del orden de cinco micras.

Existen Inductosyns rotativos para medir desplazamientos angulares que operan con el mismo mecanismo y con una precisión del orden de $\pm 0,5''$.

3.-Sensor óptico lineal.

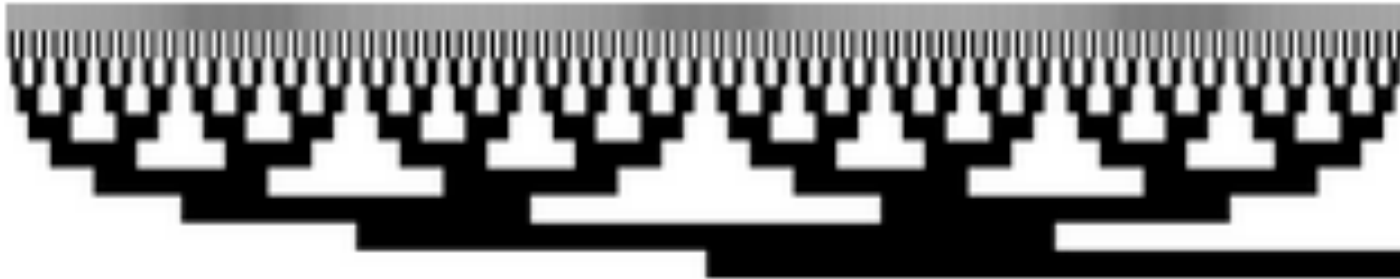
La operación de un sensor óptico de posición lineal es esencialmente igual a la de un sensor óptico de ángulo de giro y, de acuerdo con la configuración puede ser absoluto, semi-absoluto o incremental; la única diferencia es que el disco codificado se reemplaza por una “regla codificada”, y los incrementos corresponden directamente al ancho de cada uno de los segmentos en los que se divide la regla de referencia.

El equipo de medición está formado por una cabeza de lectura, que contiene las fuentes de iluminación, normalmente LEDs infrarrojos, y una cinta que con las marcas codificadas.

La cabeza puede estar montada en el móvil y la cinta estar fijo, o a la inversa, según resulte mecánicamente conveniente.



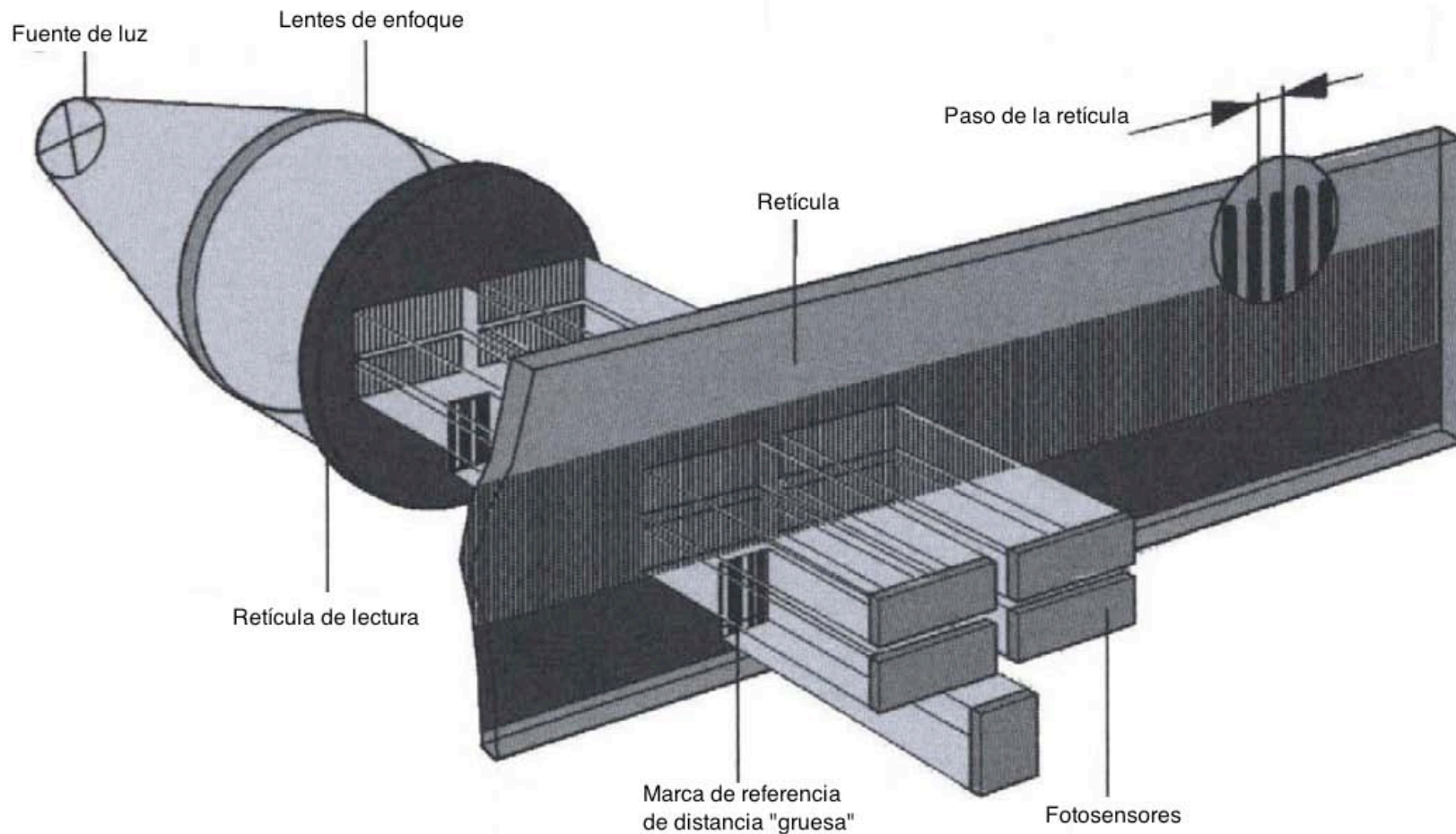
Según sea necesario la cabeza puede estar fija y la cinta estar unida al móvil, o vice-versa.



Código Grey lineal 10 bits.

En el caso de los sensores absolutos, el patrón básico tiene una longitud que queda fija por el número de bits de resolución deseada y por el paso (ancho) de cada segmento.

Si la distancia a medir es mayor que el patrón básico, este se debe repetir cíclicamente hasta cubrir toda la distancia.



Esquema de un sensor óptico semi-absoluto.

Los sensores ópticos semi-absolutos e incrementales pueden llegar a tener reglas de hasta 50m de longitud (esto es un límite práctico, no absoluto); los absolutos pueden llegar a tener hasta 7 bits, pero debido a lo complejo del proceso están limitados a longitudes de menos de tres metros; la resolución puede llegar a ser 0,1 micras.

Una ventaja de los sensores incrementales es que el patrón de marcas es simple, y la "regla" puede ser impresa sobre una cinta de material plástico transparente, lo que las hace muy económicas.



Medición de la distancia a un objetivo independiente y/o de detección de presencia y distancia a un obstáculo.

Todos los métodos anteriores, aunque capaces de gran resolución, tienen una característica en común que limita su aplicación: todos ellos requieren de la instalación de componentes del sistema de medición tanto en la parte móvil como en la parte fija de la máquina a controlar, debido a lo cual no son adecuados para operar en equipos que se mueven con relativa libertad en el ambiente, ni para detectar obstáculos que aparezcan aleatoriamente en la trayectoria.

Estas desventajas no se presentan cuando se emplean métodos del tipo de reflexometría, en los cuales un emisor colocado en el móvil emite pulsos de energía (acústica o electromagnética) que se propagan por el medio (usualmente aire) y eventualmente son parcialmente reflejados por el objetivo cuya distancia de desea determinar (o por un obstáculo inesperado); una parte de la energía reflejada es detectada por un sensor adecuado en el mismo móvil, y en base al tiempo de separación entre la emisión del pulso y la recepción del eco, y de la velocidad de transmisión de la energía del pulso en el medio, se puede determinar la distancia entre el emisor y el reflector.

De ser conveniente el montaje descrito se puede invertir, colocando el emisor fijo y reflejando su señal sobre la parte móvil del mecanismo.

Los pulsos pueden ser de sonido (usualmente ultrasonidos de entre 30 a 480kHz, microondas (agrupados en general bajo el nombre de RADAR, por Radio Detection and Ranging) o pulsos de luz láser (usualmente llamados LIDAR, por Light Detection and Ranging).

Por razones prácticas en la industria los mas usados son los sistemas ultrasónicos, en los cuales por supuesto la frecuencia de operación debe ser seleccionada tomando en cuenta los requerimientos de resolución y alcance: a mayor frecuencia mejor resolución, pero menor alcance (la atenuación de la energía acústica transmitida por unidad de distancia recorrida aumenta con la frecuencia).

En general, operando a 58kHz (una frecuencia muy empleada) la resolución es del orden de 1 cm, y el alcance, usando potencias razonables, unos 11 m; el sistema es adecuado para dar alarma de la presencia de obstáculos y para un posicionamiento de no muy alta precisión adecuado, capaz para detener un vehículo autónomo en una parada y/o para maniobras de estacionamiento.

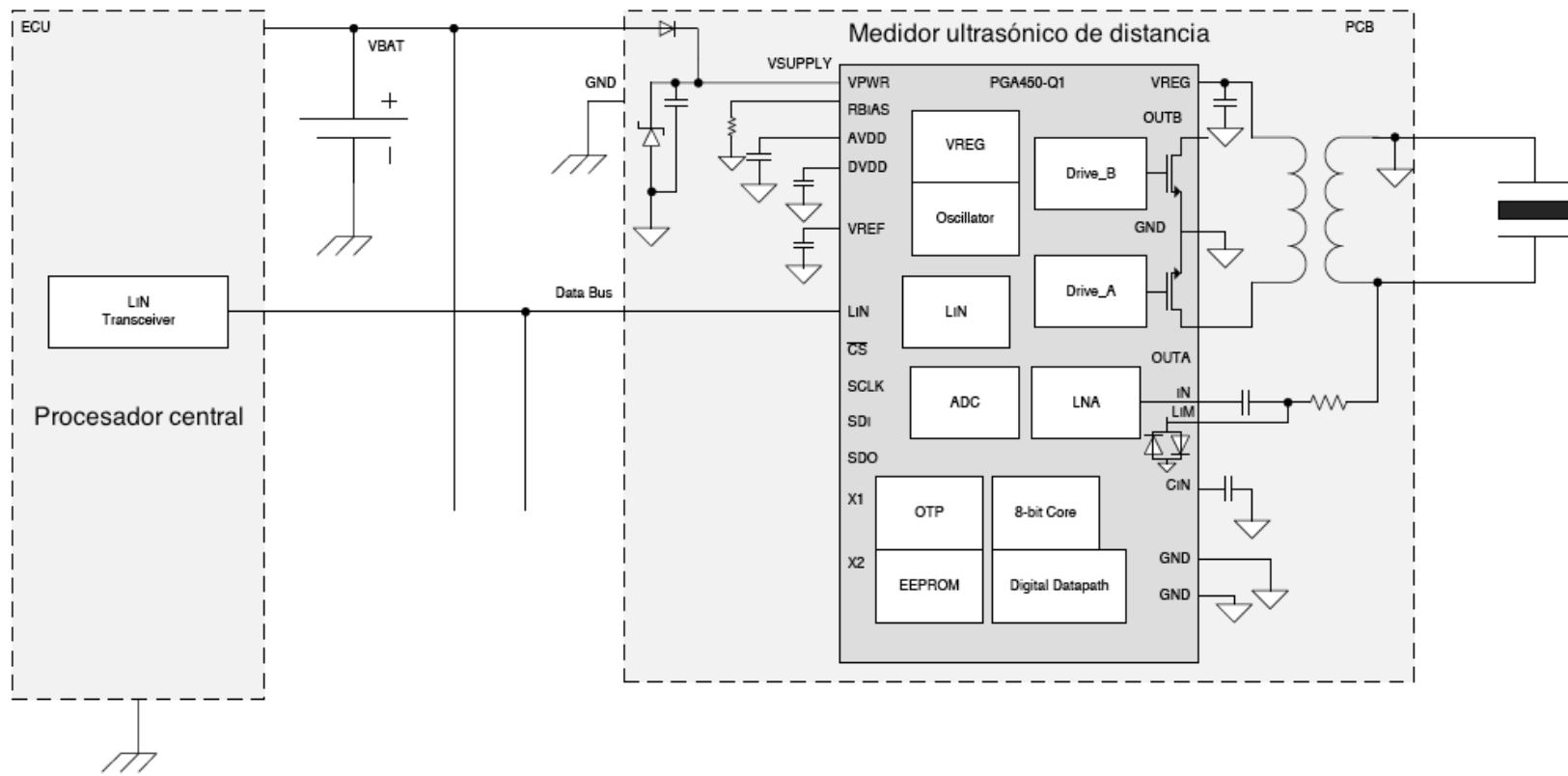
A frecuencias del orden de los 300kHz la resolución puede ser milimétrica, pero el alcance es del orden de los 30 cm. Por supuesto, empleando frecuencias complementarias se puede establecer un sistema “grueso” / “fino” adecuado para muchas aplicaciones donde la precisión fina no sea submilimétrica.

El equipo transmisor es un cristal piezoeléctrico excitado con un pulso de voltaje; el inicio del pulso de transmisión activa la ventana de medición, iniciando un contador alimentado por un reloj patrón de frecuencia conocida; el conteo se detiene cuando el receptor recibe el comienzo del frente de reflexión de la señal; conocido el tiempo total de viaje de la señal y la velocidad del sonido en el aire se calcula la distancia total recorrida por el pulso, y la mitad de esta distancia es la separación entre el emisor y el reflector de la señal.

La velocidad de referencia del sonido en el aire, en condiciones de presión y temperatura estándar es nominalmente de 346 m/s; la velocidad cambia directamente con la presión y con la temperatura; si la precisión requerida es razonablemente alta, el resultado de la medición “cruda” debe ser ajustado en base a estos datos ambientales.

Si el mismo cristal se usa como transmisor y receptor debe tomarse en cuenta que aparece una distancia mínima de medida, por debajo de la cual no se puede obtener información; esta distancia ciega es el resultado de que el cristal no puede empezar a recibir hasta que no termina el proceso de emisión, y que la duración mínima de este está definida por las características físicas del cristal.

Dado que implementar desde cero todas las funciones requeridas es relativamente complejo, ya hay fabricantes que ofrecen circuitos integrados dedicados para realizarlas; un ejemplo es el PGA450-Q1 “Ultrasonic-Sensor Signal Conditioner” de la compañía Texas Instruments.



Sistema de medición ultrasónica de distancias en base al procesador especializado PGA450-Q1 de Texas Instrumens. Rango de medida 7m, precisión 1 cm, distancia mínima de medida, menos de un metro, dependiendo del cristal seleccionado

En principio es posible usar un receptor independiente para eliminar esta limitación, pero en este caso el aislamiento acústico entre transmisor y receptor es crucial.

Un sistema de emisor electromagnético (microondas o luz) permite precisiones mucho mas grandes, pero es evidentemente mas complejo, sobre todo por la mucho mayor velocidad de transmisión de la señal; en estos casos normalmente se trabaja con transmisión y recepción continua, la medición de la distancia se realiza en base a diferencia de fase entre la señal transmitida y la recibida, lo que en general requiere que el equipo de medición sea un subsistema especializado dedicado adquirido “llave en mano”.