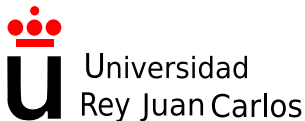


3. Sensores de velocidad, posición y aceleración

Julio Vega

julio.vega@urjc.es



Sensores y actuadores

19 de octubre de 2021



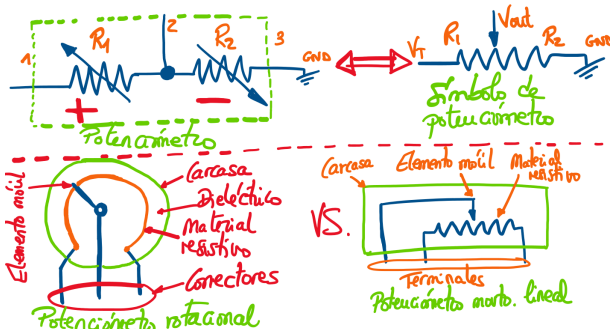
(CC) Julio Vega

*Este trabajo se entrega bajo licencia **CC BY-NC-SA**.
Usted es libre de (a) compartir: copiar y redistribuir el material en
cualquier medio o formato; y (b) adaptar: remezclar, transformar
y crear a partir del material. El licenciador no puede revocar estas
libertades mientras cumpla con los términos de la licencia.*

Contenidos

- 1 Potenciómetro
- 2 Encoder
- 3 Tacogenerador
- 4 Transformador diferencial de variación lineal (LVDT)
- 5 Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS)
- 6 Acelerómetro
- 7 Giroscopio
- 8 Magnetómetro

- Def.: transductor entre posición de objeto y cambio de resistencia.
- Se utilizan normal/ con voltaje en CC, y constan de tres terminales.
 - Uno en cada extremo y el 3.º recorre el cuerpo del elem. resistivo.
 - R entre terminal móvil y cada res. fija varía según mvto. elem. móvil.



- Si elem. móvil se mueve en sentido $+$ $\Rightarrow R_{1-2} \downarrow, R_{2-3} \uparrow$.
- Si elem. móvil se mueve en sentido $-$ $\Rightarrow R_{1-2} \uparrow, R_{2-3} \downarrow$.
- Para saber en qué punto está el elem. móvil, se usa un divisor de V .

$$V_{out} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_T \quad (1)$$

- Bobina: presentan una bobina alrededor de un material dieléctrico.
 - Recordemos, dieléctrico = material que no conduce electricidad.
 - Baja resolución, pues mín. intervalo = dist. cada vuelta bobina.
- Carbono: resist. hecha de carbono y arcilla por la que pasa deslizador.
 - Mejor resolución, pues la superficie es continua y, además, suave.
- Plástico: resis. de carbono cubierta de película de plástico conductor.
 - Más suave que anterior, pero peor funcionamiento con altas T^{as} .
- Metálico: aleación metálica sobre un cerámico = más duradero.
- Cermet (*metal cerámico*): = durabilidad y \downarrow dependencia T^a .



Figura: Imágenes extraídas de Mouser Electronics

- Lineal: un deslizador para controlar un solo canal (A).
- Lineal dual: un deslizador controla 2 potenciómetros = 2 canales (B).
- Lineal dual con desl. eléctricamente ajustable (ajustar resistencia).
- Rotacional una vuelta: lineal o logarítmico, giran $3/4$ de vuelta.
- Rotacional multivuelta: \uparrow precisión pero $\uparrow\uparrow$ acopla/ mecánico (C).
- Rotacional con eje dual: 2 potenciómetros con 1 misma perilla (D).
- Rotacional con eje ajustable eléctricamente.

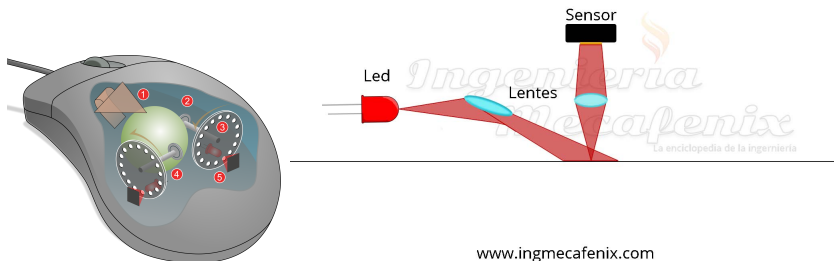
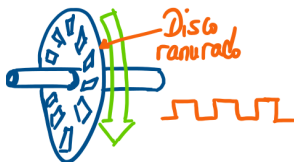


Figura: Imágenes extraídas de Wikipedia y www.ingmecafenix.com

- Def.: convierte mvto. rotacional o lineal a señal digital equivalente.
 - También denominados tacómetros o codificadores de posición.
- Son sensores + usados para medición de sistemas rotacionales.
- Actual/ mayoría son ópticos o magnéticos (vs. antigua/, mecánicos).



- Compuesto por 2 elem. optoelectrónicos = emisor de luz y receptor.
 - Normal/ emisor = fotodiodo, receptor = fototransistor.
- Cuando disco gira, se genera señal alternante cuya frec. \propto vel. eje.
- Cálculo posición muy delicada. Saber sentido giro no es sencillo.

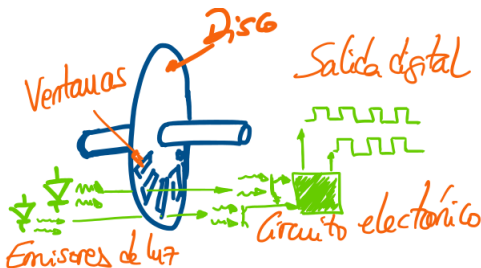
$$res = \frac{\pi D}{2a_r} \quad (2)$$

donde:

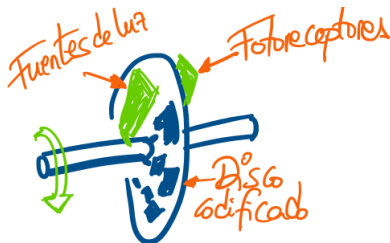
res : resolución del encoder

D : diámetro del disco

a_r : ancho de cada ranura

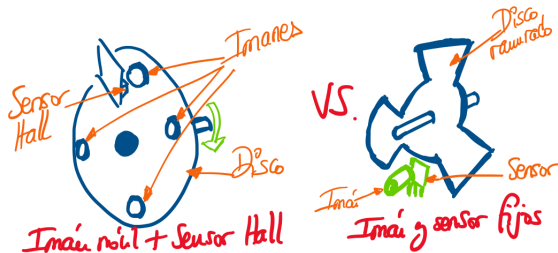


- Se requiere al menos dos pares emisor-receptor con desfase $+1/4$.
 - Así, señal desfasada $1/4$ o $3/4$ (entre pares) según sentido giro.
- Además, suelen incluir muesca adicional para indicar vuelta completa.
 - Permite conocer posición inicial en caso de fallo electrónico puntual.
 - Y saber n° pulsos en 1 vuelta \Rightarrow vel. angular, pos., sentido giro.

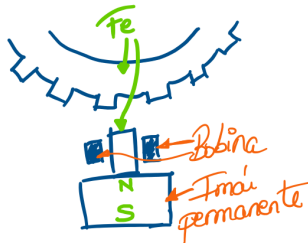


- Disco tiene varias bandas concéntricas codificadas en código Gray.
 - A cada banda le corresponde un par emisor-receptor = 1 bit (0/1).
- Gray vs. binario: Gray solo cambia un bit en cada transición.
 - Muy útil para mecanismos no digitales, donde transiciones lentas.
- Ventaja: posición del eje siempre es conocida, no se pierde.
- Desventaja: baja resolución, dificultad de lectura (vs. increment.).
- Ejemplos:
 - Código Gray de 2 bits: 00 01 11 10.
 - Código Gray de 3 bits: 000 001 011 010 110 111 101 100.

[Ejercicio: aplicación del código Gray quebrado a un encoder absoluto]



- = óptico: correlaciona cambio posición o velocidad con señal digital.
- Con sensor basado en Principio de efecto Hall. Recordemos:
 - Corriente I en presencia de campo magnét. B , surge F . transversal...
 - ...que busca equilibrar el efecto de ese campo, produciendo tensión V_H .
- Dos configuraciones según imán en eje o fijo:
 - Imán en eje + sensor Hall fijo: si enfrentados \implies cambio estado.
 - Información de vel. eje dada por frecuencia de ese cambio de estado.
 - Imán y sensor fijos + disco ranurado: si en ranura \implies cambio estado.
- Difíciles de implementar, pues sensor $\uparrow\uparrow$ sensible a ruido magnético.



- Def.: sirve como transductor entre vel. eje y voltaje \propto .
- Genera salida de voltaje analógica (vs. encoder, salida digital).
 - Valor V depende de vel. rotación eje (ferromagnét.) en campo magnét.
 - Cuando rueda dentada gira, se induce V en bobina según ley Faraday:

$$V = -N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \quad (3)$$

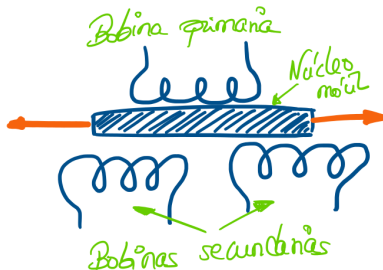
donde:

V : voltaje inducido (también se suele denominar *fem*)

N : número de vueltas en la bobina

$\frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$: variación del flujo magnético en el tiempo

— : por Ley de Lenz (polaridad *fem* se opone a cambio que lo produjo)



- Def.: se basa en el ppio. de transducción de inductancia variable.
- Mide desplazamiento lineal, tienen resolución ∞ y $\uparrow\uparrow$ robustez.
- Incorpora tres bobinas: una primaria (1^a) y dos secundarias (2^{as}).
 - Y núcleo: relaciona mvto. lineal con variación de induct. de bobinas.
- Requiere de voltaje en CA, aunque fabricantes ofrecen *pack* para CC.
- Funcionamiento: bobina 1^a recibe CA (V_{in}) \Rightarrow (inducción) 2^{as} .
 - $V_{out} = |V_{2a} - V_{2b}| \Rightarrow$ Si núcleo en centro, $V_{out} = 0$.
 - $V_{out} \propto$ mvto. núcleo: izda. = $V_{2a} \uparrow$ y $V_{2b} \downarrow$ (y vcvsa.).
- Dvtajas.: fabricación compleja e instalación costosa.
 - Bobinas envueltas en 4^a de plástico+fibra vidrio, para evitar ruido.
 - Requieren osciladores, V frec. 60 Hz, filtros, amplif. CC y CA, etc.

- Creado en 1970 por Dpto. Defensa USA; y para público gral. en 1995.
 - Frec. señal público gral. (1575,42MHz) \neq militar (precisión cm.).
- Obtiene: alt., lat. y long., vel., hora UTC, fecha, $n.^{\circ}$ sats. visib.
- Para funcionar requiere de los siguientes tres segmentos:
 - Seg. de espacio: *constelación* = cjto. satélites. Al inicio había 24.
 - Seg. de control: oficinas que mantienen sistema. Central en Colorado.
 - Seg. de usuario: cualquier receptor GPS capaz de recibir la señal.
- Funcionamiento: mediante triangulación, ≥ 3 peticiones a sats.
 - Receptor: petición a satélite y compara hora petición vs. recepción.
 - Distancia a tal satélite \approx diferencia horas = tarda llegar señal.
- Otros GNSS: Galileo (UE + ESA), de creación, gestión y uso civil.
 - Desde 2016, 2 frecs. = gratuito ($\approx m.$) o pago ($\approx cm.$).
 - GLONASS, desde 2007, por $M.^{\circ}$ de Defensa de la Federación Rusa.

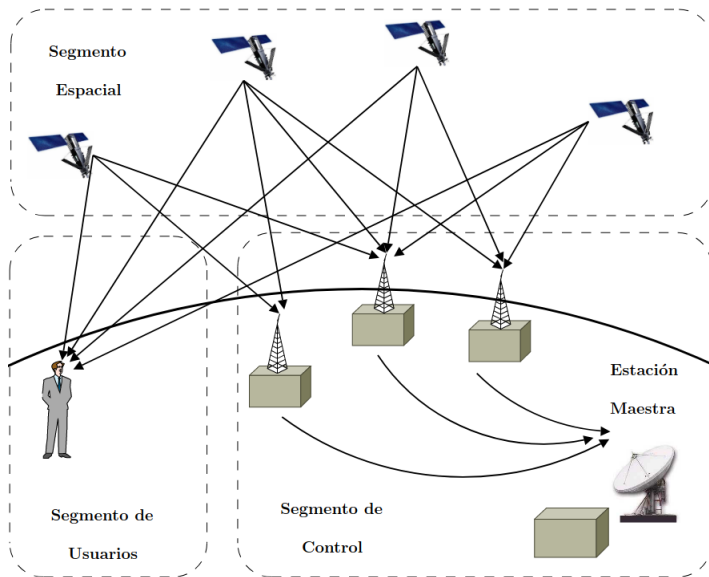


Figura: Imagen extraída de *Prototipo de una tarjeta para el control y localización vehicular utilizando mensajes SMS*, Ph.D. Benítez Olivo

- Basado ppio. transducción piezorresistivo, piezoeléctrico o capacitivo.
 - Piezorres.: si material se deforma cambia su resistencia eléctrica.
 - PE: material bajo presión cambia su polaridad \implies genera corriente.
 - Capacitivo: capacitor varía capacitancia con objeto en medio.
- Genera salida \propto al *input* (impulso o inclinación).
 - Masa móvil interna se desplaza (\propto a $F_{aplicada}$) al percibir acel. externa.
 - Siguiendo la 2ª Ley de Newton y Ley de Hooke.
- Config. estática: para saber inclinación y vibración de un objeto.
- Config. dinámica: para saber la acel. traslacional en un sistema.
 - E.g. *airbag*: cuándo activar bolsas aire por fuerte desaceleración.
- Acel. capacitivo: los +usados; fácil montaje y \downarrow depend. T^a .
 - Analógico: por cada g aplicada, el sensor incrementa $\times V$. a la salida.
 - Fuerza g : acel. de la Gravedad sobre objeto. ($1g = G = 9,8 \frac{m}{s^2}$).
 - Digital: se observa \uparrow o \downarrow el valor digital dado por sensor.

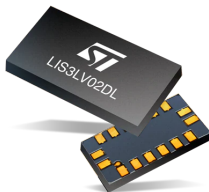


Figura: Imagen extraída de Mouser Electronics

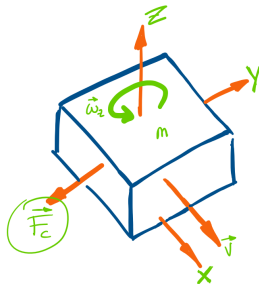
- Inclinación se mide relacionando gravedad y desplzmt. masa móvil.
- Muy empleados en dispositivos electrónicos: mandos, móviles, etc.
- Aceleración del sensor $\left(\frac{m}{s^2}\right) = a = \frac{9,81 \cdot X_s}{X_G}$

donde:

X_s : valor actual del sensor, dado en volts. o en digital.

X_G : valor dado por el sensor en posición de G .

- Sensor inercial que relaciona la rotación relativa con un voltaje.
- Basado efectos fuerzas de Coriolis presentes en mvto. rotacional.
 - Objeto se acelera al moverse sobre radio de disco en rotación.
 - Imagen: efecto observado de esfera en mvto. sobre plato en rotación.
 - Izda.: observado externa/. Dcha.: pto. observación solidario a plato.
- +usado: estado sólido (MEMS), que presentan simetría en rotación.
 - Una masa (m) se mueve dentro de chip a velocidad \vec{v} .
 - Al chip se le aplica momento de fuerza, este gira a vel. angular $\vec{\omega}$.
 - Esta unión de mvtos. rotac. y lineal genera $\vec{F}_{Coriolis} \perp$ a eje mvto.
 - $\vec{F}_{Coriolis} = \vec{F}_c = -2m(\vec{\omega} \times \vec{v})$.

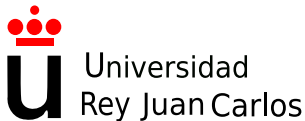


- Cuantifica la intensidad y dirección de un campo magnético.
 - Brújula electrónica = magnetómetro + acelerómetro en un mismo chip.
- Ppios. transducción +usados: ef. Hall, fuerza Lorentz, piezorresistivo.
 - F. Lorenz: F ejerce campo electromagnét. sobre partícula cargada.
- Uso muy extendido en dispositivos móviles:
 - Encender/apagar pantalla al alejar/acercar imán (abrir/cerrar funda).
 - Brújula electrónica o geomagnetómetro: mide campo magnét. Tierra.
 - Detector de metales (Ni , Fe , acero), cables en pared, etc.

3. Sensores de velocidad, posición y aceleración

Julio Vega

julio.vega@urjc.es



Sensores y actuadores

19 de octubre de 2021