MANUAL DE ESTUDIO · MECATRÓNICA AUTOMOTRIZ

Sensores de posición, velocidad, presión, caudal y oxígeno

Capítulo 06 · En el video: **minuto 1:15:42** · Duración 15:07

Objetivo. Calcular la medida de los sensores de chasis y motor más usados a partir de su señal.

Ideas clave

Velocidad de rueda

El sensor pasivo (inductivo) entrega una tensión que crece con la velocidad y no mide bajo unos km/h; el activo (Hall o AMR) entrega pulsos de corriente desde cero y puede indicar el sentido de giro.

Pedal, par y ángulo de dirección

El pedal electrónico usa dos pistas redundantes. El ángulo de dirección (LWS) debe medir varias vueltas del volante: un nonio con dos piñones de distinto número de dientes resuelve la vuelta exacta.



Principio del sensor LWS del capítulo 06.

Acelerómetros y giróscopos MEMS

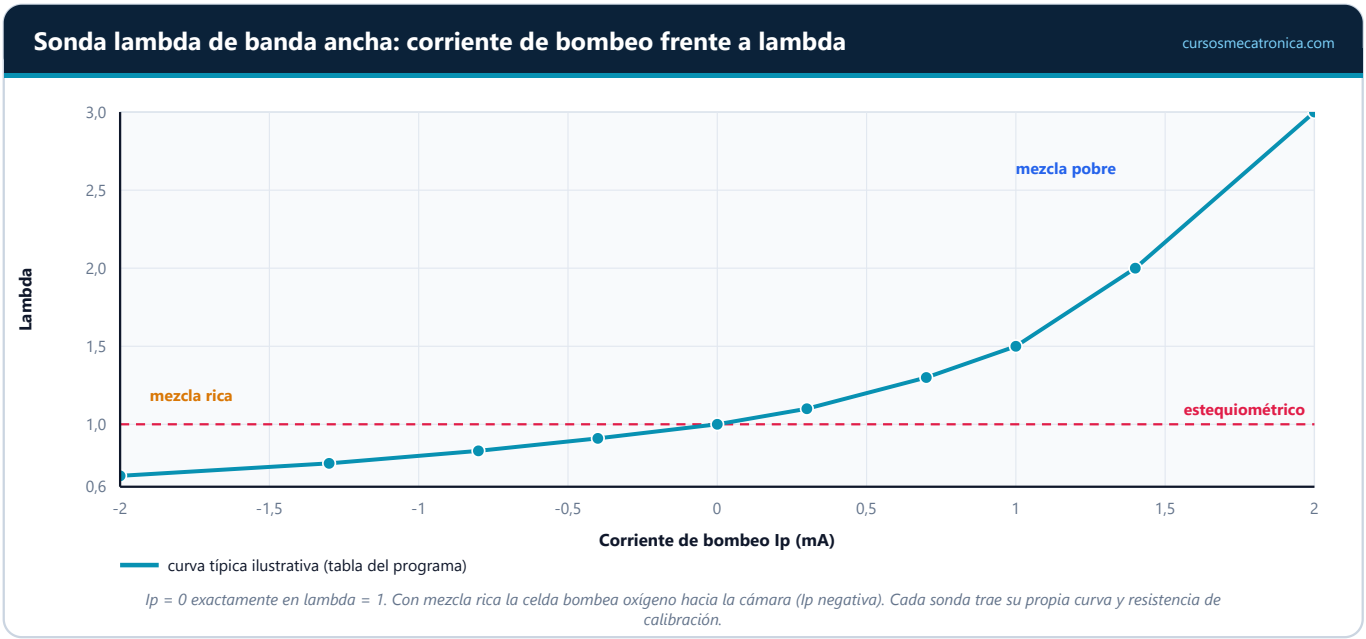
Una masa con peines interdigitados cambia su capacidad al acelerarse. El giróscopo hace vibrar una masa: al girar el vehículo, la fuerza de Coriolis la desplaza en perpendicular, proporcional a la velocidad de guiñada.

Presión, caudal y detonación

Membranas de silicio con piezorresistencias miden presión. El caudalímetro de película caliente (HFM) mantiene una resistencia sobre la temperatura del aire y mide la potencia que se lleva el flujo. El sensor de detonación piezoeléctrico escucha la vibración del bloque.

Sondas lambda

La binaria de circonio salta alrededor de lambda = 1. La de banda ancha (LSU) tiene una celda de bombeo: la corriente necesaria para mantener la celda de medida en lambda = 1 indica la mezcla de 0,65 a aire puro.



Curva usada en sensores_aplicados.py.

Fórmulas y relaciones

Relación	Expresión	Cómo leerla
Velocidad de rueda	$v = (f / z)\cdot\pi\cdot D$	z: dientes de la rueda fónica.
Nonio	$\psi \approx (\varphi_1 - \varphi_2) / (r_1 - r_2)$	Luego se afina con φ_1.
Coriolis	$F = 2m\cdot v \times \Omega$	Base del giróscopo.
Película caliente	$P = (a + b\cdot\sqrt{\dot{m}})\cdot\Delta T$	Ley de King.

Ejemplo resuelto: velocidad y ángulo de dirección

1. Rueda fónica de 48 dientes, neumático de 0,63 m: a 1000 Hz,
   $v = 1000/48\cdot\pi\cdot 0{,}63 = 41{,}23\ m/s = 148{,}4\ km/h$.
2. Nonio 60/30/31: r_1 = 2, r_2 = 1,935; rango sin ambigüedad ±2790°.
3. Volante a 412,7°: los sensores leen 105,6° y 78,6° (con ±0,2° de error).
4. El algoritmo reconstruye 412,8°.

Todo el recorrido del volante (±780°) se mide sin contar vueltas desde el arranque. sensores_aplicados.py interpola también la curva de la sonda LSU (Ip = −0,6 mA → λ = 0,87).

Sensores aplicados

Sensor	Principio	Salida
Velocidad de rueda activo	Hall / AMR	Pulsos de corriente 7/14 mA
Ángulo de dirección	AMR + nonio	CAN
Aceleración y guiñada	MEMS capacitivo / Coriolis	SPI o CAN
Presión del colector	Piezorresistivo	Analógica o SENT
Masa de aire	Película caliente	Frecuencia
Lambda de banda ancha	Celda de bombeo de circonio	Corriente Ip

Código del capítulo

Los archivos completos vienen en el paquete ZIP del capítulo (carpeta `codigo/`).

sensores_aplicados.py — velocidad de rueda, ángulo de dirección por nonio y lambda por interpolación de Ip.

```
"""
sensores_aplicados.py — Capítulo 06: velocidad de rueda, ángulo de dirección multivuelta
por nonio (vernier) y sonda lambda de banda ancha por interpolación.
"""
import math

Z_PRINCIPAL, Z1, Z2 = 60, 30, 31          # dientes de la corona y de los dos piñones


def velocidad_rueda(f_hz, dientes=48, diametro_m=0.63):
    return f_hz / dientes * math.pi * diametro_m


def lecturas(psi):
    """Ángulo medido (0–360°) por cada sensor AMR en su piñón."""
    return (psi * Z_PRINCIPAL / Z1) % 360, (psi * Z_PRINCIPAL / Z2) % 360


def vernier(phi1, phi2):
    r1, r2 = Z_PRINCIPAL / Z1, Z_PRINCIPAL / Z2
    delta = (phi1 - phi2) % 360
    psi_grueso = delta / (r1 - r2)
    if psi_grueso > 180 / (r1 - r2):            # rango centrado en cero
        psi_grueso -= 360 / (r1 - r2)
    k = round((psi_grueso * r1 - phi1) / 360)
    return (phi1 + 360 * k) / r1


# Curva típica (ilustrativa) corriente de bombeo -> lambda; usar la del fabricante
LSU = [(-2.0, 0.67), (-1.3, 0.75), (-0.8, 0.83), (-0.4, 0.91), (0.0, 1.00),
       (0.3, 1.10), (0.7, 1.30), (1.0, 1.50), (1.4, 2.00), (2.0, 3.00)]


def lambda_lsu(ip_ma):
    for (i0, l0), (i1, l1) in zip(LSU, LSU[1:]):
        if i0 <= ip_ma <= i1:
            return l0 + (l1 - l0) * (ip_ma - i0) / (i1 - i0)
    raise ValueError('fuera de la tabla')


if __name__ == '__main__':
    for f in (100, 1000, 2000):
```

```
        v = velocidad_rueda(f)
        print(f'Rueda fónica 48 dientes, {f:4d} Hz -> {v:5.2f} m/s = {3.6 * v:5.1f} km/h')

    print(f'\nNonio {Z_PRINCIPAL}/{Z1}/{Z2}: rango sin ambigüedad ±{180 / (Z_PRINCIPAL / Z1 - Z_PRINCIPAL /
Z2):.0f}°')
    for psi in (-780.0, -95.3, 0.0, 412.7, 780.0):
        p1, p2 = lecturas(psi)
        p1, p2 = p1 + 0.2, p2 - 0.2                 # error de medición ±0,2°
        print(f'  volante {psi:7.1f}° -> sensores {p1 % 360:6.1f}° / {p2 % 360:6.1f}° -> {vernier(p1 % 360, p2
% 360):7.1f}°')

    for ip in (-0.6, 0.0, 0.5):
        print(f'Sonda LSU, Ip = {ip:+.1f} mA -> lambda = {lambda_lsu(ip):.3f}')
```

Errores frecuentes

- Usar un sensor de rueda pasivo para funciones que necesitan velocidad cero (arranque en pendiente).
- Calibrar la sonda LSU sin la resistencia de compensación de su conector.
- Olvidar el rango del nonio y salir de él con desmultiplicaciones grandes.

Autoevaluación

1. ¿Qué fuerza aprovecha el giróscopo MEMS?
2. ¿Qué indica Ip = 0 en la sonda LSU?
3. ¿A qué velocidad corresponde 1000 Hz en el ejemplo?

Respuestas. 1. La de Coriolis. **2.** Lambda = 1. **3.** 148,4 km/h.