MANUAL DE ESTUDIO · MECATRÓNICA AUTOMOTRIZ

Control electrónico de la transmisión: AT, DCT, CVT, DHT y TCU

Capítulo 08 · En el video: **minuto 1:45:59** · Duración 14:39

Objetivo. Explicar cómo una transmisión automática cambia de marcha sin tirones y calcular relaciones y energía de un cambio.

Ideas clave

Gestión coordinada

La TCU decide la marcha según pedal, velocidad y carga, y coordina con el motor para que el cambio sea suave. Las transmisiones manuales automatizadas (AST) añaden actuadores al embrague y la palanca.

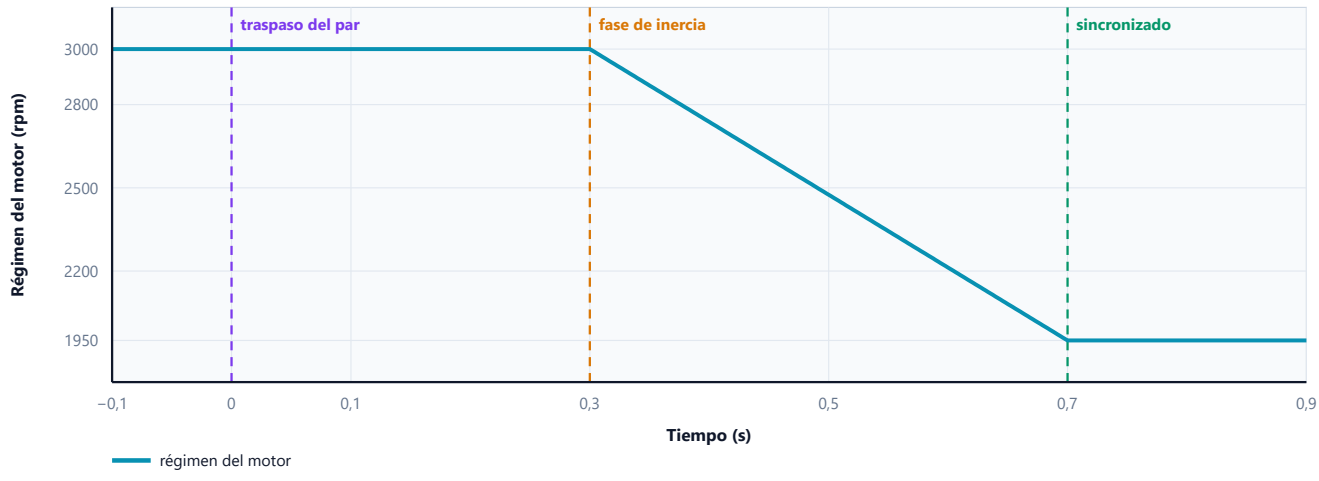
Convertidor de par y planetarios

El convertidor hidrodinámico multiplica el par al arrancar y se bloquea con un embrague a velocidad de crucero. Los trenes planetarios dan varias relaciones según qué elemento se frena o se une.

Cambio con solape

Un embrague sale mientras otro entra. En la fase de traspaso el par pasa de uno a otro; en la fase de inercia el entrante frena el motor hasta el nuevo régimen. La presión se adapta durante la vida de la caja para compensar el desgaste.

Cambio ascendente 2,0 → 1,3 con solape de embragues (250 N·m) cursosmecatronica.com



En el traspaso el embrague entrante toma el par sin cambiar el régimen; en la fase de inercia frena el motor hasta 1950 rpm. Se disipan 10,4 kJ.

Salida de cambio_con_solape.py.

Intervención en el par motor

Reducir el par del motor durante la fase de inercia acorta el cambio y baja la energía disipada en el embrague (y su temperatura).

DCT, CVT y DHT

La de doble embrague (DCT) preselecciona la siguiente marcha en el otro eje; la CVT varía la relación de forma continua con poleas y correa de empuje; la DHT integra motores eléctricos en la transmisión de los híbridos.

TCU integrada

La unidad de control va sumergida en aceite (ATF) a más de 120 °C, sobre sustratos cerámicos LTCC o PCB de alta temperatura; la temperatura de unión de sus semiconductores limita la potencia que puede manejar.

Fórmulas y relaciones

Relación	Expresión	Cómo leerla
Willis (corona fija)	$i = 1 + Z_r/Z_s$	Entra sol, sale portasatélites.
Willis (portasatélites fijo)	$i = -Z_r/Z_s$	Marcha atrás.
Energía en el embrague	$E = \int T \cdot \Delta\omega \, dt$	Δω: deslizamiento.
Temperatura de unión	$T_j = T_{aceite} + P \cdot R_{th}$	Límite típico 150–175 °C.

Ejemplo resuelto: cambio de 2,0 a 1,3

1. Motor a 3000 rpm con 250 N·m; tras el cambio baja a $3000 \cdot 1{,}3/2{,}0 = 1950$ rpm.
2. Traspaso de 0,3 s: el embrague entrante sube de 0 a 250 N·m mientras desliza.
3. Inercia de 0,4 s con 15 % de par extra para frenar el motor.
4. Integrando par × deslizamiento: $E = 10{,}4$ kJ.

Si la fase de inercia dura 0,8 s el cambio es más suave pero se disipan 16,8 kJ. Con 2 W en la TCU y 15 K/W: T_j = 150 °C con aceite a 120 °C (cambio_con_solape.py).

Tipos de transmisión automática

Tipo	Principio	Ventaja	Cuidado
AT	Convertidor + planetarios	Suavidad, par alto	Pérdidas del convertidor
DCT	Dos embragues y dos ejes	Cambios muy rápidos	Arrancadas y calor en embragues
CVT	Poleas variables y correa	Régimen óptimo continuo	Par limitado
DHT	Motores eléctricos integrados	Hibridación eficiente	Complejidad de control

Código del capítulo

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

cambio_con_solape.py — relaciones de Willis, energía disipada en un cambio con solape y temperatura de unión de la TCU.

```
"""
cambio_con_solape.py — Capítulo 08: relaciones de un tren planetario (Willis), energía
disipada en un cambio con solape y temperatura de unión de la TCU.
"""
```

```
def willis(zs, zr, fijo):
    """Relación entrada/salida de un planetario simple según el elemento fijo."""
    if fijo == 'corona':        # entra sol, sale portasatélites
        return 1 + zr / zs
    if fijo == 'sol':           # entra corona, sale portasatélites
        return 1 + zs / zr
    if fijo == 'portasatelites':  # entra sol, sale corona (invierte)
        return -zr / zs
    raise ValueError(fijo)


def cambio(t_motor=250.0, n_ini=3000.0, i1=2.0, i2=1.3, t_traspaso=0.3, t_inercia=0.4, dt=0.001):
    """Cambio ascendente: fase de traspaso del par y fase de inercia (sincronización)."""
    n_fin = n_ini * i2 / i1
    energia, t = 0.0, 0.0
    w_sal = n_ini / i1 * 2 * 3.14159265 / 60        # rad/s del eje de salida (constante)
    while t < t_traspaso + t_inercia:
        if t < t_traspaso:
            par_b = t_motor * t / t_traspaso          # el embrague entrante toma el par
            n_motor = n_ini
        else:
            par_b = t_motor * 1.15                    # exceso para frenar el motor
            n_motor = n_ini + (n_fin - n_ini) * (t - t_traspaso) / t_inercia
        w_motor = n_motor * 2 * 3.14159265 / 60
        deslizamiento = w_motor - w_sal * i2          # velocidad relativa en el embrague B
        energia += par_b * deslizamiento * dt
        t += dt
    return n_fin, energia


if __name__ == '__main__':
    zs, zr = 30, 72
    for fijo in ('corona', 'sol', 'portasatelites'):
        print(f'Planetario {zs}/{zr}, {fijo} fija: i = {willis(zs, zr, fijo):+.3f}')
    n_fin, e = cambio()
    print(f'\nCambio 2,0 -> 1,3 a 3000 rpm con 250 N·m: el motor baja a {n_fin:.0f} rpm;'
          f' energía en el embrague = {e / 1000:.1f} kJ')
    _, e2 = cambio(t_inercia=0.8)
    print(f'Con fase de inercia de 0,8 s: {e2 / 1000:.1f} kJ (más suave, pero más calor)')
    t_aceite, p, rth = 120.0, 2.0, 15.0
    print(f'\nTCU sumergida: Tj = {t_aceite:.0f} + {p} W × {rth} K/W = {t_aceite + p * rth:.0f} °C (límite 175
°C)')
```

Errores frecuentes

- Soltar el embrague saliente antes de que el entrante tome el par (el motor se embala).
- Alargar la fase de inercia sin vigilar el calor del embrague.
- Olvidar que la TCU trabaja dentro del aceite caliente.

Autoevaluación

1. ¿Qué relación da un planetario 30/72 con la corona fija?
2. ¿Qué sucede en la fase de inercia?
3. ¿Qué preselecciona una DCT?

Respuestas. 1. 3,4. **2.** El embrague entrante frena el motor al nuevo régimen. **3.** La siguiente marcha en el otro eje.