SESIÓN 8. CONTROL DE TEMPERATURA CON PLC

Descripción de la práctica

En esta práctica se va a controlar un proceso térmico (una maqueta de horno) con un PLC. Se realizarán las siguientes actividades:

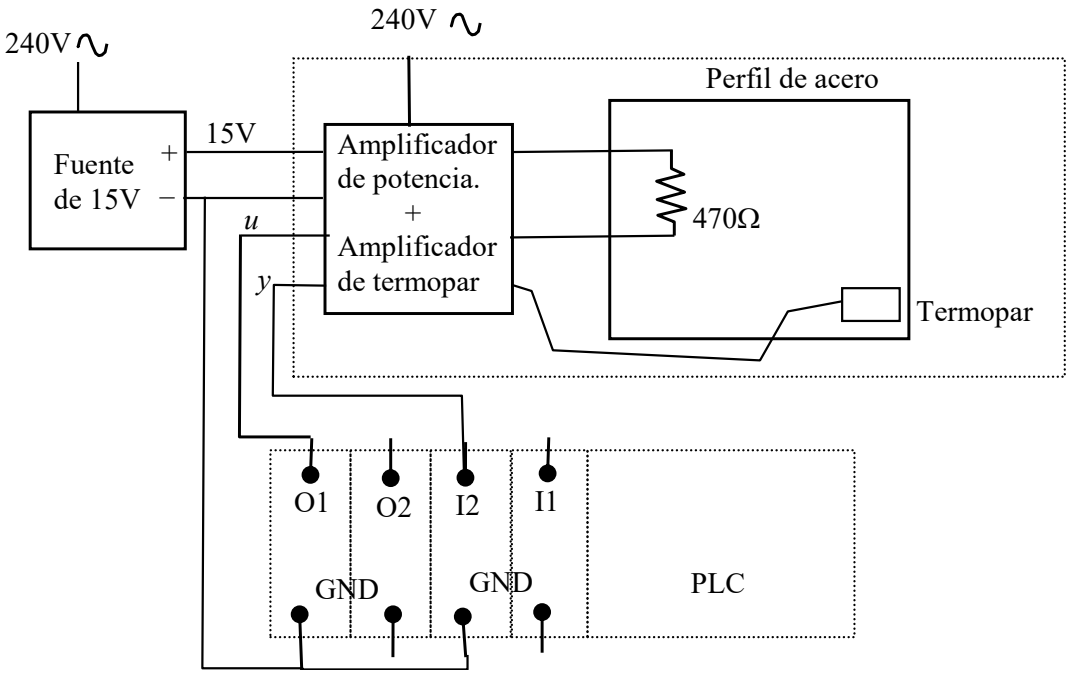
- Conexión eléctrica de todos los elementos.
- Configuración y programación del PLC para realizar un experimento en bucle abierto sobre el proceso, en el que se cambiará la entrada en forma de escalón.
- Configuración y programación del PLC para realizar un control todo/nada tipo relé con histéresis de la temperatura.
- Ajuste experimental de controladores PID a partir de los datos obtenidos en los experimentos realizados, tanto de bucle abierto, como de realimentación a relé.
- Configuración y programación del PLC para realizar un control de la temperatura mediante un controlador PID.
- Prueba de los distintos controladores PID ajustados, verificando la respuesta ante cambios en la referencia y ante una perturbación.

Conceptos teóricos

Los siguientes conceptos teóricos se explicarán antes y durante el desarrollo de la práctica:

- Concepto de sistema y variables involucradas: entrada de control, salida, entrada de perturbación.
- Conversión analógica-digital y digital-analógica.
- Control en bucle abierto vs control en bucle cerrado.
- Respuesta en bucle abierto: entrada escalón.
- Conceptos de control en bucle cerrado: referencia, acción de control, perturbación, error.
- Control en bucle cerrado con relé (todo/nada). Tipos de control todo/nada.
- Control en bucle cerrado con PID. Parámetros que definen un PID.
- Comportamiento de un sistema controlado por un PID: rapidez, robustez y amplificación del ruido.
- Técnicas de ajuste experimental de PID basadas en la respuesta ante escalón.
- Técnicas de ajuste experimental de PID basadas en la respuesta en bucle cerrado con realimentación a relé.
- Implementación del PID en dispositivo programable: periodo de muestreo.

Conexionado del sistema.



El esquema de conexiones tiene los siguientes elementos:

- **Proceso de temperatura (maqueta de horno)**. Se trata de una maqueta de un horno, que incluye una barra metálica que se calienta mediante una resistencia, y un termopar para medir la temperatura. La maqueta incluye un amplificador de potencia, cuya entrada es una señal de tensión de 0 a 10V, y cuya salida ataca a la resistencia calefactora. Dispone también de un amplificador para termopar, que da una salida de tensión de 0 a 10V proporcional a la temperatura (0.1V/ºC).
- **Autómata programable** (**PLC**). Utilizaremos el módulo de entradas analógicas para la lectura de la señal de temperatura generada por el amplificador del termopar, y el módulo de salida analógica para actuar sobre el amplificador de potencia con una señal analógica de 0 a 10 V (utilizando el software TwinCAT para su programación).

Configuración y programación del sistema para experimento en bucle abierto

En el Twincat PLC Control

Abrir el programa TwinCAT PLC Control.

1. Crear un nuevo proyecto (File/new), eligiendo en “Choose target system type”, “CX(ARM)”.
2. En el New POU, dejar el nombre por defecto (MAIN) y elegir el lenguaje ST (Texto estructurado).

3. Se guarda el proyecto con nombre **bucle_abierto.pro.**
4. En la sección de arriba del programa se definen las variables como:

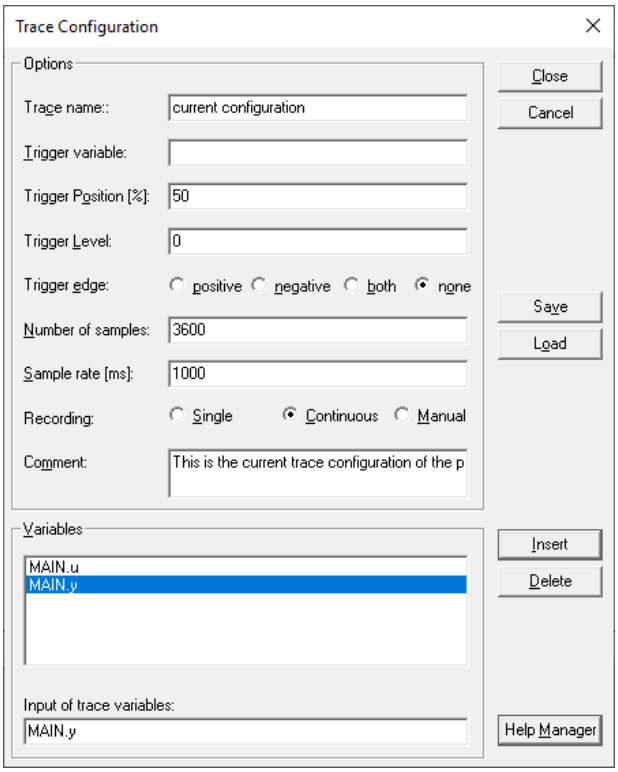
```
PROGRAM Main
VAR_INPUT
        yent   AT  %I* : INT;  (*  %I*  para que asigne la dirección automáticamente*)
END_VAR
VAR_OUTPUT
        uent AT %Q* : INT; (* %Q*  para que asigne la dirección automáticamente*)
END_VAR
VAR
        y: LREAL;
        u: LREAL:=3;
        umas : LREAL :=6;
        umenos : LREAL :=3;
END_VAR
```

5. En la sección de abajo se introduce el programa:

```
y:=INT_TO_REAL(yent)*100/32767;

uent:=REAL_TO_INT(u*32767/10);
```

6. En Resources (4ª pestaña de abajo a la izqda.) se hace doble click en Sampling Trace. En Extras/Trace configuration (o en el botón derecho) se configuran las señales que se quieren mostrar: Trigger edge: none, Number of samples: 3600, Samplig rate (ms): 1000, Recording: continuous, Variables: Main.u, Main.y (se buscan con el Help manager). En la ventana de Sampling trace Se elige para mostrar en la Var 0, Main.u, y en Var1, Main.y.



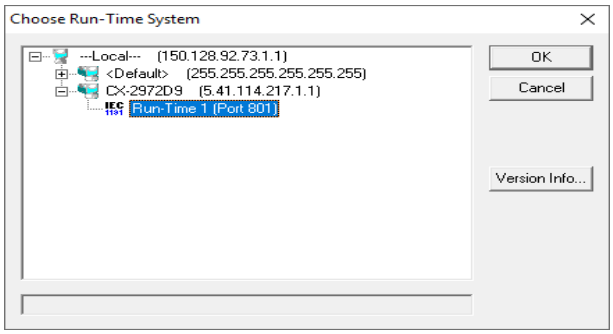
7. Se guarda el proyecto y se compila (Project/Rebuild all).

En el Twincat System Manager

8. Abrir el TwinCAT System Manager. Crear un Nuevo Proyecto (File/new). En System Configuration: en la pestaña General, pulsar el botón Choose target, y elegir el PLC (CX-…). Si no aparece, pulsar Search Ethernet/ Broadcast Search, y seleccionar el elemento encontrado pulsando Add route.
9. En Actions/Set reset Twincat to Configuration mode.
10. Se selecciona en el árbol I/O Devices, y con el botón derecho Scan devices para que busque los módulos conectados al PLC.
11. En PLC configuration con el botón derecho se elige Append PLC Project, y se elige el fichero del proyecto guardado antes (bucle_abierto.tpy).
12. En el árbol de PLC configuration, desplegando las ramas hasta encontrar Inputs y Outputs. En Inputs se hace doble click en la variable yent, y se asocia al Value de la entrada analógica 2 del módulo EL3004.
13. En Outputs se hace doble click en la variable uent, y se asocia a la salida analógica 1 del módulo EL4002 .
14. Se guarda con nombre b**ucle_abierto.tsm.**
15. En “Actions/Set reset Twincat to Run mode”.

En el Twincat PLC Control

16. En Online/Choose run time system. Elegir el PLC:



17. En Online/Login y después Run.
18. En la ventana *Sampling trace*, botón derecho del ratón, marcar *Start trace* y después *Auto Read trace*. Si no se actualizan los valores de entrada y salida, pulsar el botón "Activa la configuración".

19. Enchufar el horno y conectar la fuente de alimentación (si no lo estaba).

Experimento en bucle abierto de respuesta ante escalón

20. Se espera hasta que la salida se estabilice con la entrada inicial (u=3 V). Hay que esperar unos 20 minutos.
21. Después cambiar el valor de u a 6. Para ello pinchar en el valor que se muestra y cambiarlo a u=6, y después pulsar la tecla F7 del teclado, y esperar de nuevo a que se estabilice (otros 20 minutos más o menos).
22. Después guardar los datos en un fichero ascii (botón derecho, Save traces values/Values in ascii file), de nombre *datosescalon.txt*.
23. Seleccionar Online/Stop, y después Online/Logout para parar la aplicación.

Configuración y programación del sistema para control con relé

En el Twincat PLC Control

1. Se guarda el proyecto con otro nombre: **rele.pro**.
2. Se añaden las variables (solo las que están en negrita):

```
PROGRAM Main
VAR_INPUT
        yent   AT  %I* : INT;  (*  %I*  para que asigne la dirección automáticamente*)
END_VAR
VAR_OUTPUT
        uent AT %Q* : INT; (* %Q*  para que asigne la dirección automáticamente*)
END_VAR
VAR
        y: LREAL;
        u: LREAL:=6;
```

```
        umas : LREAL := 6;
        umenos : LREAL := 3;
        ref: LREAL :=56;
        hist : LREAL :=0.5;
    END_VAR
```

3. En el programa se incluye el código para el control tipo relé con histéresis:

```
y:=INT_TO_REAL(yent)*100/32767;

IF ((y>ref+hist) AND (u=umas)) THEN u:=umenos; END_IF;

IF ((y<ref-hist) AND (u=umenos)) THEN u:=umas; END_IF;

uent:=REAL_TO_INT(u*32767/10);
```

4. Se guarda y se compila (Rebuild all).
5. En Online/Login.
6. En Online/Run.
7. En la ventana Sampling trace, botón derecho del ratón, marcar Start trace y después Auto Read trace.
8. Se espera hasta que la salida oscile y haya dos oscilaciones similares (unos 15 minutos más o menos).
9. Después guardar los datos en un fichero ascii (botón derecho, Save traces values/Values in ascii file), de nombre *datosrele.txt*.

Ajuste experimental de PID

- Abrir la herramienta de ajuste experimental de PID, cargar el fichero de datos *datosescalon.txt*, marcando que los tiempos están en milisegundos, y ajustar los siguientes controladores mediante el método de respuesta ante escalón con valor final conocido (anotad los parámetros de cada controlador en un papel, Kp, Ti, Td, N):
    - Un controlador PI de robustez intermedia.
    - Un controlador PID de robustez intermedia y filtrado de la derivada, N, tal que la amplificación del ruido sea 5.
    - Un controlador de robustez baja y filtrado de la derivada, N, tal que la amplificación del ruido sea 10.
- Seleccionad un rango de datos constante para medir la amplitud del ruido de medida.
- Abrir la herramienta de ajuste experimental de PID, cargar el fichero de datos *datosrele.txt*, marcando que los tiempos están en milisegundos, y ajustar los siguientes controladores por el método del relé sin ganancia conocida (anotad los parámetros de cada controlador en un papel, Kp, Ti, Td, N):
    - Un controlador PI de robustez intermedia.
    - Un controlador PID de robustez intermedia y filtrado de la derivada, N, tal que la amplificación del ruido sea 5.
    - Un controlador PID de robustez alta y filtrado de la derivada, N, tal que la amplificación del ruido sea 5.

Configuración y programación del sistema para control PID

En el Twincat PLC Control

1. Se guarda el proyecto con otro nombre: **PID.pro**.
2. Hay que importar la librería PID_AW. En Window/Library Manager. Botón derecho (Additional library).
3. Se añaden las variables (solo las que están en negrita). Introducid los valores de Kp, Ti, Td, N:

```
PROGRAM Main
VAR_INPUT
        yent   AT  %I* :INT;  (*  %I*  para que asigne la dirección automáticamente*)
END_VAR
VAR_OUTPUT
        uent AT %Q*:INT; (* %Q*  para que asigne la dirección automáticamente*)
END_VAR
VAR
        y: LREAL;
        u: LREAL;
        ref: LREAL:=50;
        Kp : LREAL :=0.571;
        Ti: LREAL :=125.3;
        Td: LREAL:= 27.16;
        N: LREAL:=7.86;
        b :LREAL :=1;
        c: LREAL :=1;
        umax : LREAL :=10;
        umin : LREAL:=0;
        T : LREAL :=0.5;
        PID: PID_AW;
END_VAR
```

4. Se cambia el programa para añadir el PID:

```
y:=INT_TO_REAL(yent)*100/32767;
PID(
        bEnable:=TRUE,
        fSetpointValue:=ref ,
        fActualValue:= y,
        fCtrlCycleTime:=T ,
        fKp:= Kp,
        fTi:= Ti,
        fTd:= Td,
        fN:= N,
        fb:=b,
        fc:=c,
        fumax:= umax,
        fumin := umin,
        fCtrlOutput=> u,
        nErrorStatus=> );
uent:=REAL_TO_INT(u*32767/10);
```

5. En Sampling Trace, botón derecho /Trace configuration se configura una señal más a visualizar, Main.ref (pulsando a Help manager) y se añade en Var 2 Main.ref.
6. Probar el funcionamiento del controlador PID del ajuste mediante respuesta escalón con robustez intermedia:
    a. Cambiar los valores de Kp, Ti, Td y N de la ventana de variables a los obtenidos del ajuste del PID.
    b. Se guarda y se compila (Rebuild all).
    c. En Online/Login y después Run.
    d. En la ventana Sampling trace, botón derecho del ratón, marcar Auto Read trace y después Start trace.
    e. Esperar a que se estabilice la temperatura en 50ºC.
    f. Después cambiar el valor de ref a 60 ºC (para ello pulsar sobre la variable ref, cambiar su valor y pulsar la tecla F7 del teclado) y esperar a que se estabilice.
    g. Cambiar el valor de *b* a 0.6 pinchando en esa variable y después pulsando F7. Esperar a que se estabilice la temperatura otra vez.
    h. Después volver a poner 50 º C y esperar a que se estabilice, verificando la sobreoscilación.
    i. Después conectar el ventilador a 5 V para provocar una perturbación, y esperar a que se estabilice.
    j. Después guardar los datos en un fichero ascii (botón derecho, Save traces values/Values in ascii file).
7. Probar el funcionamiento del controlador PI del ajuste mediante respuesta escalón:
    a. Cambiar los valores de Kp, y Ti a los obtenidos del ajuste del PI (Td:=0). Una vez cambiados pulsar la tecla F7.
    b. Esperar a que se estabilice la temperatura en 50ºC, y desconectar el ventilador. Esto provoca una perturbación inversa a la que produce la conexión del ventilador.
    c. Esperar a que vuelva a estabilizarse en 50 ºC, y después cambiar el valor de ref a 60 ºC (para ello pulsar sobre la variable ref, cambiar su valor y pulsar la tecla F7 del teclado) y esperar a que se estabilice.
    d. Ajustar el valor de *b* si la sobreoscilación es excesiva, cambiando de nuevo la referencia a 50 para probar el comportamiento.

8. Probar el funcionamiento del controlador PID del ajuste mediante respuesta escalón con robustez baja:
    a. Cambiar los valores de Kp, Ti, Td y N a los obtenidos del ajuste del PID. Para ello hacer doble click en cada variable e introducir su nuevo valor. Una vez estén todos introducidos, pulsar la tecla F7 del teclado.
    b. Cambiar la referencia a 50ªC y esperar a que se estabilice la temperatura en 50ºC.
    c. Después conectar el ventilador a 5 V para provocar una perturbación, y esperar a que se estabilice.