

1 Herramienta interactiva “primer orden”

En esta sección se describe una herramienta interactiva que se ha desarrollado con la finalidad de que el alumno pueda analizar el funcionamiento de un controlador P o PI cuando la planta es un sistema de primer orden. En la Figura 1 se muestra el esquema del sistema que se considera. El objetivo es estudiar la influencia que tiene sobre la conducta del sistema en lazo cerrado la modificación de los parámetros del controlador (K_p, T_i) y los parámetros de la planta (K, T_p). La señal de entrada r así como la perturbación d se consideran del tipo escalón.

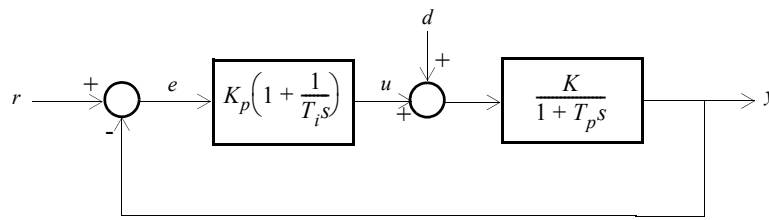


Figura 1: Control PI de un sistema de primer orden

1.1 Cómo arrancar “primer orden”

Al hacer un doble click sobre el fichero *primer orden.exe* aparece la pantalla que se muestra en la Figura 2. Se pueden encontrar tres grupos de elementos perfectamente diferenciados: *sección de parámetros*, *gráficas* y *menús*.

1.2 Parámetros (Process parameters)

En esta sección de la herramienta es posible seleccionar y/o modificar los siguientes parámetros:

- En el apartado denominado *Response* (respuesta) hay cuatro campos que permiten seleccionar los tipos de respuestas que se quiere mostrar en las ventanas gráfica de la herramienta. Son los siguientes: G_p (función de transferencia de la planta), G_c (función de transferencia del controlador), G_{ol} (función de transferencia en lazo abierto) que es el producto de G_p por G_c y G_{cl} (función de transferencia en lazo cerrado). La selección se efectúa haciendo un click con el ratón encima del campo y la deselección con el mismo procedimiento cuando el campo está seleccionado.
- En el apartado denominado *Process* (proceso) se observan dos botones tipo radio: *lag* (función de transferencia de primer orden) e *integrator* (integrador) que permiten seleccionar de manera mutuamente excluyente si el proceso es $G(s) = K/(1 + T_p s)$ (lag) o $G(s) = K/s$ (integrator). Si se ha seleccionado *lag*, se muestran dos barras deslizantes que permiten modificar el valor de los parámetros K y T_p de la función de transferencia de primer orden. Si se ha seleccionado *integrator*, se muestra sólo una barra deslizante que permite cambiar la ganancia K del integrador.
- En el apartado denominado *Controller* (controlador) se encuentran dos botones tipo radio: *P* (controlador P) y *PI* (controlador PI) que permiten seleccionar de manera mutuamente excluyente si el controlador es $G_c(s) = K_p$ (P) o $G_c(s) = K_p(1 + 1/T_i s)$ (PI). Si se ha seleccionado *P*, se muestra una barra deslizante que permite cambiar la ganancia K_p del controlador P. Si se ha seleccionado *PI* se muestran dos barras deslizantes que permiten modificar el valor de los parámetros K_p y T_i del controlador PI.

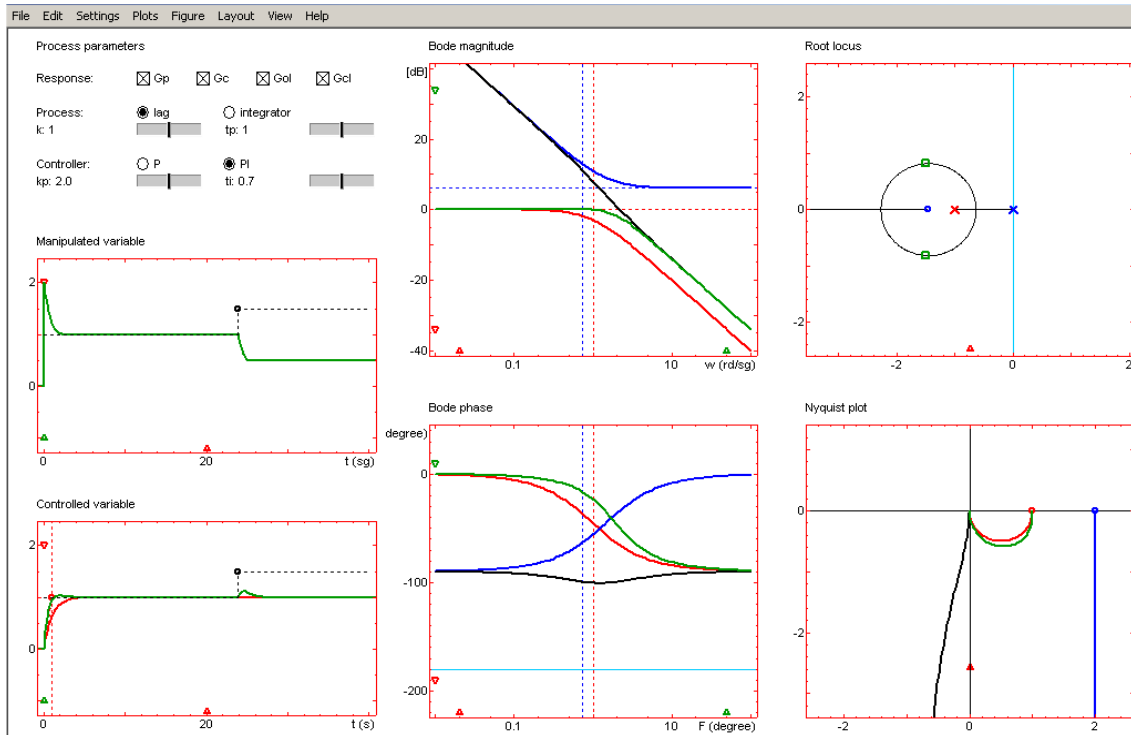


Figura 2: Herramienta “primer orden”

1.3 Gráficas

Primer orden proporciona las seis gráficas siguientes:

- Manipulated variable (variable manipulada)
- Controlled variable (variable controlada)
- Bode magnitude (diagrama de Bode de magnitud)
- Bode phase (diagrama de Bode de fase)
- Root locus (lugar de las raíces)
- Nyquist plot (diagrama de Nyquist)

Todas las gráficas mantienen un código de colores que permite diferenciar claramente los diferentes tipos de respuestas que se presentan. Este código de colores es el siguiente: 1) *Proceso* (G_p): color rojo, 2) *Controlador* (G_c): color azul, 3) *Bucle abierto* (G_o): color negro, 4) *Bucle cerrado* (G_{cl}): color verde. Los triángulos que aparecen en las gráficas permiten modificar las escalas de la misma forma que se ha explicado con otras herramientas interactivas. Cuando se coloca el ratón encima de un elemento activo (cambia el cursor a una forma de mano) se muestra en la barra de estado (situada en el fondo de la pantalla) el valor asociado con dicho elemento activo. A continuación se indican las posibilidades de interacción específicas que se disponen en cada una de las gráficas.

a) *Variable manipulada.*

En esta gráfica se representa (si está seleccionado el campo G_{cl}) el valor de la variable manipulada $u(t)$ cuando el sistema opera en bucle cerrado (trazo en color verde). Es posible

modificar interactivamente el instante de tiempo donde se produce y el valor del escalón de la perturbación $d(t)$.

b) *Variable controlada.*

Si está seleccionado el campo G_p se muestra la respuesta en bucle abierto de la salida del proceso $y(t)$ (trazo en color rojo) a una entrada en escalón. Debe observarse que esta respuesta será distinta si se ha seleccionado como tipo de proceso *lag* o *integrator*. Es posible cambiar los parámetros del proceso directamente sobre la gráfica, mediante las líneas de trazo discontinuo o el pequeño círculo de color rojo. Esto da al usuario una rápida comprensión y visualización de cómo los cambios en los parámetros (en este caso del proceso) modifican la forma de la respuesta. Si está seleccionado el campo G_{cl} se muestra la respuesta en bucle cerrado (trazo en color verde) del sistema a una entrada en escalón, con el tipo de controlador (P o PI) escogido. También es posible desde esta gráfica modificar la señal de perturbación $d(t)$ cuando está seleccionado G_{cl} .

c) *Diagramas de Bode de magnitud y fase y diagrama de Nyquist.*

Si están seleccionados los correspondientes campo en *response*, se representan en sus correspondientes gráficas los trazos de Bode de magnitud y fase y el diagrama de Nyquist del proceso G_p (trazo en color rojo), del controlador G_c (trazo en color azul), de la función de transferencia en lazo abierto G_{ol} (trazo en color negro) y de la función de transferencia en lazo cerrado G_{cl} (trazo en color verde). En el caso del proceso y del controlador es posible modificar interactivamente los parámetros que caracterizan a cada uno de ellos.

d) *Lugar de las raíces.*

En esta gráfica se muestra el lugar de las raíces del sistema. El código para los polos y ceros del proceso y del controlador son respectivamente rojo y azul. También se muestra en color verde la localización de los polos en bucle cerrado del sistema realimentado (\square). Es inmediato verificar la inestabilidad del sistema en bucle cerrado si alguna de estas raíces se localiza en el semiplano derecho. En este diagrama es posible modificar tanto las características del proceso como del controlador moviendo la localización de los polos y ceros de G_p y G_c . Otra capacidad de la herramienta es que permite posicionar interactivamente la localización de los polos en bucle cerrado.

1.4 Menús

La tercera y última opción de la herramienta es el *menú Settings*, que se encuentra en la barra de menús de la herramienta. Para acceder a las opciones que ofrece basta con pulsar con el botón izquierdo del ratón sobre el mismo y se obtendrá el resultado que se muestra en la Figura 3.

Las opciones son las siguientes: *Sweep (barrido)* y *Number of sweeps (número de barridos)*. Si se selecciona *sweep* aparece un nuevo apartado con el mismo nombre en la sección *process parameters*. De esta manera es posible seleccionar con el botón de radio correspondiente el parámetro (del proceso o del controlador) con respecto al cual se va a efectuar un barrido en la respuesta de las variables manipulada y controlada. Por ejemplo si se elige el botón de radio t_i el barrido se hará con respecto al tiempo integral T_i . En este caso en la barra deslizante asociada con el parámetro T_i es posible modificar el intervalo entre el cual se va a realizar el barrido (mediante la dos barras de los extremos) y el valor escogido como nominal que se corresponde con la barra central. Al modificar la posición de estas barras deslizantes se puede comprobar el efecto del barrido sobre el parámetro T_i , sobre la respuesta de las variables manipulada y controlada. La segunda opción *number of sweeps* permite escoger el número de barridos que se va a efectura (número entero entre 2 y 9).

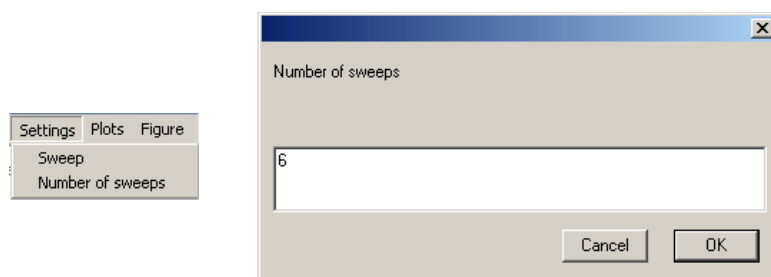


Figura 3: Cuadro de diálogo para modificar el número de barridos

En la Figura 4 se muestra la respuesta de la variable controlada cuando se ha escogido como parámetro de barrido el tiempo integral T_i y el número de barridos es igual a 9. El trazo más grueso, en color verde, corresponde al valor nominal seleccionado. Si este valor nominal se modifica entre los valores extremos escogidos para el barrido, la respuesta se moverá a lo largo de todas las curvas dibujadas. De esta forma es posible analizar de manera muy intuitiva y directa el efecto que tiene sobre la respuesta la variación de un parámetro.

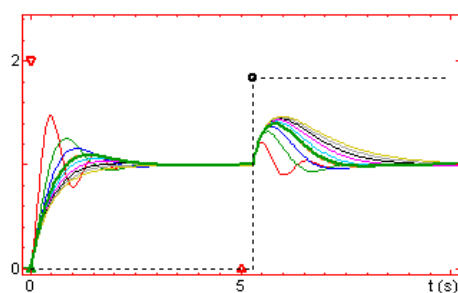


Figura 4: Barrido en T_i para la variable controlada

1.5 ¿Cómo utilizar la herramienta?

Primer orden está concebido como una aplicación interactiva que trata de facilitar el estudio y comprensión de los sistemas de primer orden y su control mediante un controlador PI. A título simplemente indicativo y por supuesto no exhaustivo se sugieren a continuación algunas tareas que el alumno puede abordar y explicar utilizando *primer orden*.

- Analizar la influencia de variar la ganancia K_p de un controlador P sobre la variable controlada y manipulada cuando el proceso que se define es de tipo *lag*. ¿Qué sucede con el polo del sistema en bucle cerrado?
- Lo mismo del apartado anterior cuando el proceso es un integrador.
- Analizar la influencia de modificar el tiempo integral T_i de un controlador PI sobre la variable controlada y manipulada cuando el proceso que se define es de tipo *lag*.
- Lo mismo del apartado anterior cuando el proceso es un integrador.
- Calcular la ganancia K_p y el tiempo integral T_i de un controlador PI de manera que la respuesta en bucle cerrado posea la siguiente ecuación característica $s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2$.
- ¿Se puede inestabilizar un sistema de primer orden que es estable en bucle abierto mediante un controlador PI?