



SUPERVISIÓN,
CONTROL Y
AUTOMATIZACIÓN

Grupo de Investigación SUPPRESS



LABORATORIO
REMOTO
AUTOMÁTICA

universidad
del león

ANEXO 2

EL CONTROLADOR PID BÁSICO

Realizado:	Laboratorio Remoto de Automática (LRA-ULE)	Versión:	Páginas:
Grupo SUPPRESS (Supervisión, Control y Automatización)	Universidad de León http://lra.unileon.es	1.0	6

1. El Controlador PID Básico

Un controlador PID se caracteriza por combinar tres acciones (P, I y D) mediante el siguiente algoritmo de control:

$$u(t) = K_p \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right] = P + I + D$$

Este algoritmo está considerado como el PID estándar por la ISA (Instrument Society of America). A continuación se resumen los términos básicos:

- **Acción proporcional (P):** es la acción que produce una señal proporcional a la desviación de la salida del proceso respecto al punto de consigna.
- **Acción integral (I):** es la acción que produce una señal de control proporcional al tiempo que la salida del proceso ha sido diferente del punto de consigna.
- **Acción derivativa (D):** es la acción que produce una señal de control proporcional a la velocidad con que la salida del proceso está cambiando respecto del punto de consigna.
- **Constante de tiempo integral (T_i):** es el tiempo, generalmente expresado en minutos, que debe transcurrir para que la acción integral alcance (iguale o repita) a la acción proporcional.
- **Constante de tiempo derivativa (T_d):** es el intervalo de tiempo, generalmente expresado en minutos, en el que la acción derivativa adelanta a la acción proporcional.

Cada acción de control tiene una respuesta característica:

- La acción proporcional varía instantáneamente con el error y alcanza un valor estacionario cuando lo alcanza éste.
- La acción integral tiene en cuenta la historia pasada del error y se anula cuando se hace cero.
- La acción derivativa predice los cambios en el error y se anula cuando alcanza un valor estacionario.

1.1 Controlador P

Un ejemplo típico de control proporcional se muestra en la Figura 1, donde se observa la conducta de la variable controlada después de un salto en escalón unitario en el punto de consigna. Se observan los siguientes hechos característicos cuando aumenta la ganancia K_p del controlador:

1. El error en estado estacionario disminuye.
2. El proceso responde más rápidamente.
3. La Sobre-oscilación y las oscilaciones aumentan.

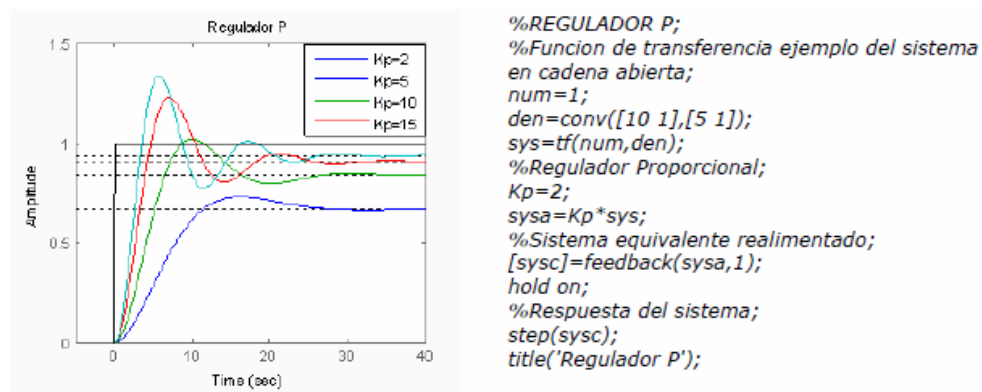


Fig. 1 Respuesta del Regulador P y código en Matlab empleado para la obtención de la gráfica.

1.2 La Acción Integral

Esta acción elimina el problema del error en estado estacionario frente a perturbaciones de carga constante. Por eso se utiliza para determinar de forma automática el valor correcto de u_0 . Además se usa para corregir el error en régimen permanente.

Otra de las razones intuitivas que ayuda a comprender los beneficios de la acción integral es que cuando se introduce, la existencia de un pequeño error durante un intervalo prolongado de tiempo puede dar lugar a un gran valor de la señal de control. El algoritmo de la acción integral es el siguiente:

$$u(t) = \frac{1}{T_i} \int e(t) dt$$

Las propiedades de la acción integral se muestran en la Figura 2 en la que se puede ver la simulación de un controlador PI. La ganancia proporcional se mantiene constante y se varía el tiempo integral.

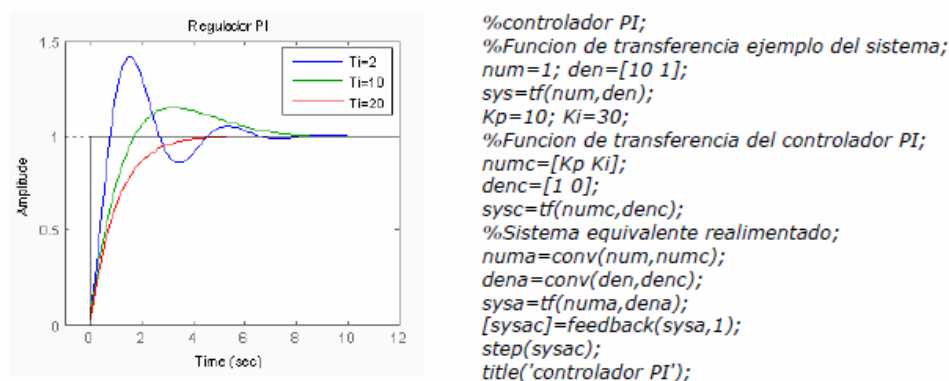


Fig. 2 Respuesta del Regulador PI y código en Matlab empleado para la obtención de la gráfica.

El caso particular en el que T_i es infinito se corresponde con el control P. Al introducir la acción integral se observa que:

1. El error en estado estacionario se elimina cuando T_i tiene valores finitos.
2. Cuando T_i disminuye (mayor acción integral) la respuesta se hace cada vez más oscilatoria, pudiendo en último término llegar a inestabilizar el sistema.

1.3 La Acción Derivativa

Uno de los problemas del controlador PI y que limita su comportamiento es que solo considera los valores del error que han ocurrido en el pasado, es decir, no intenta predecir lo que pasará con la señal en un futuro inmediato.

La acción derivativa realiza ese tipo de compensación, que se basa en introducir una acción de predicción sobre la señal de error. Una forma sencilla de predecir es extrapolar la curva de error a lo largo de su tangente. El algoritmo de la acción derivativa es el siguiente:

$$u(t) = T_d \frac{de(t)}{dt}$$

El parámetro T_d es el tiempo derivativo y puede interpretarse como un horizonte de predicción. Al basar la acción de control en la salida predicha, es posible mejorar el amortiguamiento de un sistema oscilatorio. En la Figura 3 se pueden observar las propiedades de un controlador de este tipo.

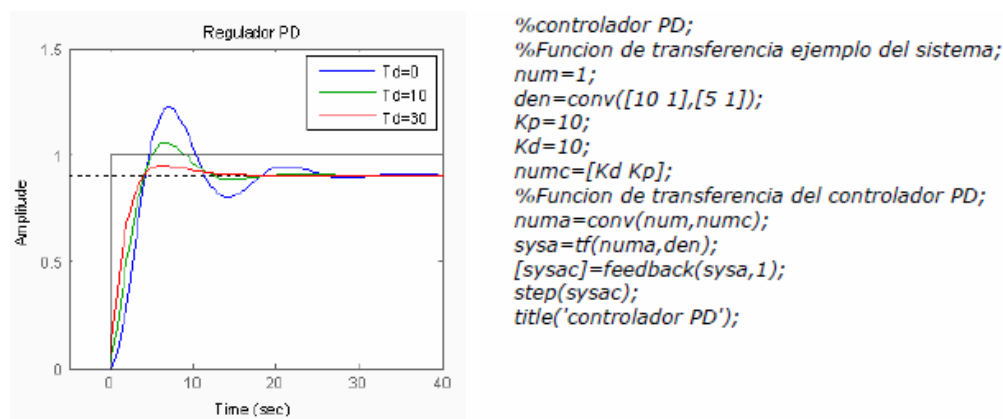


Fig. 3 Respuesta del Regulador PD y código en Matlab empleado para la obtención de la gráfica.



En la Figura anterior se puede ver que las oscilaciones se amortiguan cuando se utiliza la acción derivativa. A medida que T_d aumenta la salida se va aproximando cada vez más a una exponencial.

Una desventaja importante de la acción derivativa es que hay que ser muy cuidadoso a la hora de escoger el valor del tiempo derivativo. En las instalaciones industriales es frecuente desconectar la acción derivativa (hacer $T_d = 0$), aunque en otras ocasiones está muy recomendada. Un ejemplo es el caso de procesos multi-capacitivos, como puede ser el control de temperatura. Debido a la inercia del sistema es importante saber hacia dónde se está evolucionando. La acción de calentamiento tiene que pararse a tiempo. Una conducción lenta de calor puede significar que, incluso después de desconectar el sistema de calentamiento, la temperatura continúe aumentando durante mucho tiempo. Durante este período la temperatura puede sobrepasar considerablemente su punto de consigna si no se ejerce una acción de control cuidadosa. Otro ejemplo donde es importante predecir el error es cuando hay grandes retardos o tiempos muertos en el proceso. En esta situación, desgraciadamente, la acción derivativa no suele dar una buena predicción y hay que utilizar controladores específicos (basados en el predictor de Smith o en las estrategias de control predictivo) para solucionar el problema. Si no se tiene acceso a un controlador de este tipo, en estos casos es mejor utilizar un controlador PI.

1.4 Controlador PID

El controlador PID combina en un único controlador la mejor característica de estabilidad del controlador PD con la ausencia de error en estado estacionario del controlador PI.

La adicción de la acción integral a un controlador PD es esencialmente lo mismo que añadir dicha acción a un controlador P.



La Tabla 1 muestra cómo varían la estabilidad, la velocidad y el error en estado estacionario cuando se modifican los parámetros del controlador. Es necesario señalar que esta tabla contiene un conjunto de reglas heurísticas y, por tanto, hay excepciones.

	K_p aumenta	T_i disminuye	T_d aumenta
Estabilidad	Se reduce	Disminuye	Aumenta
Velocidad	Aumenta	Aumenta	Aumenta
Error en estado estacionario	No eliminado	Eliminado	No Eliminado

Tabla 1 Reglas Heurísticas de los parámetros de control