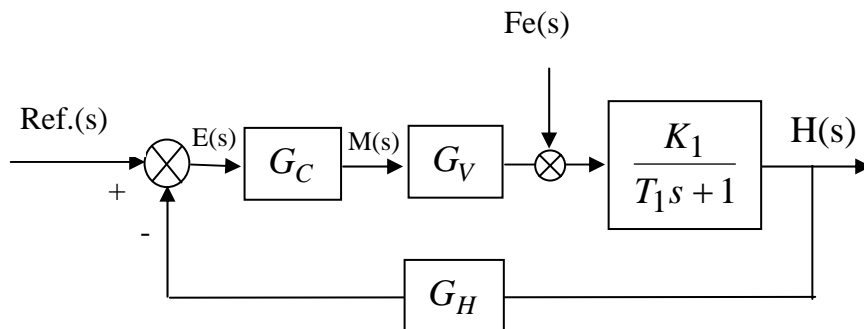
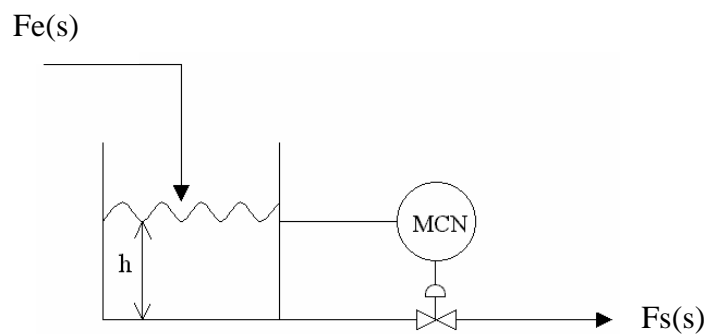
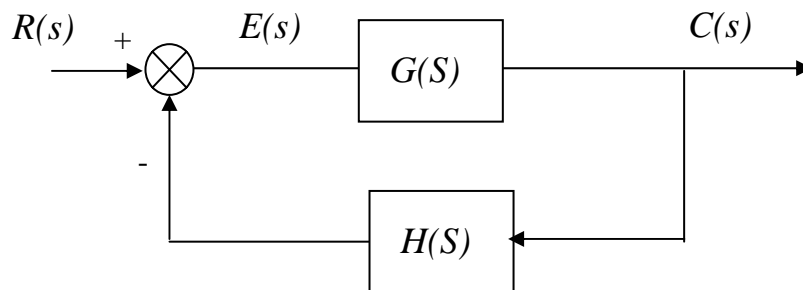


ACCIONES BASICAS DE CONTROL

Los sistemas de control se diseñan para cumplir tareas determinadas. Con frecuencia los requerimientos impuestos a los sistemas de control toman la forma de especificaciones de funcionamiento. En general están relacionados con la exactitud, la estabilidad relativa y la velocidad de respuesta.

Los controladores son dispositivos que regulan la variable controlada, comparándola con dicho valor predeterminado o valor de referencia ("set point"), y ajustando la salida de acuerdo a la diferencia o resultado de la comparación.

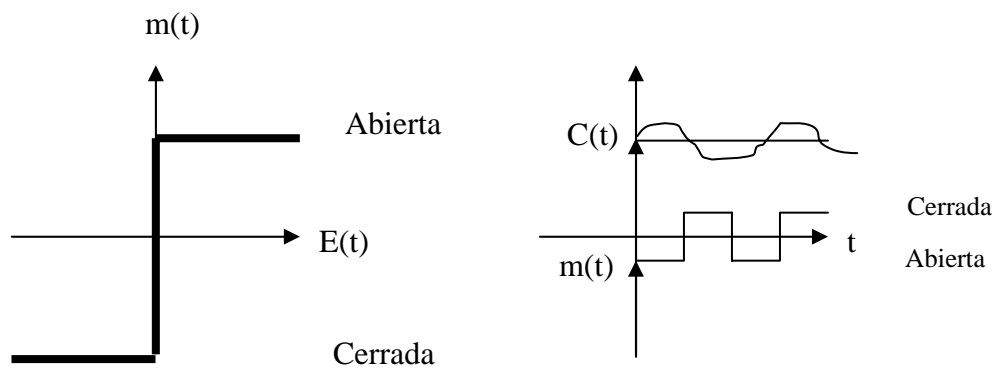


TIPOS DE CONTROLADORES

Existen fundamentalmente dos tipos de controladores: los continuos y los secuenciales. Los controladores continuos están constantemente comparando el valor de referencia con la variable medida o variable del proceso y generan una salida, la cual actúa sobre el elemento de acción final, mientras que la función de los controladores de secuencia en mantener el orden en que se deben ejecutar las acciones en un proceso.

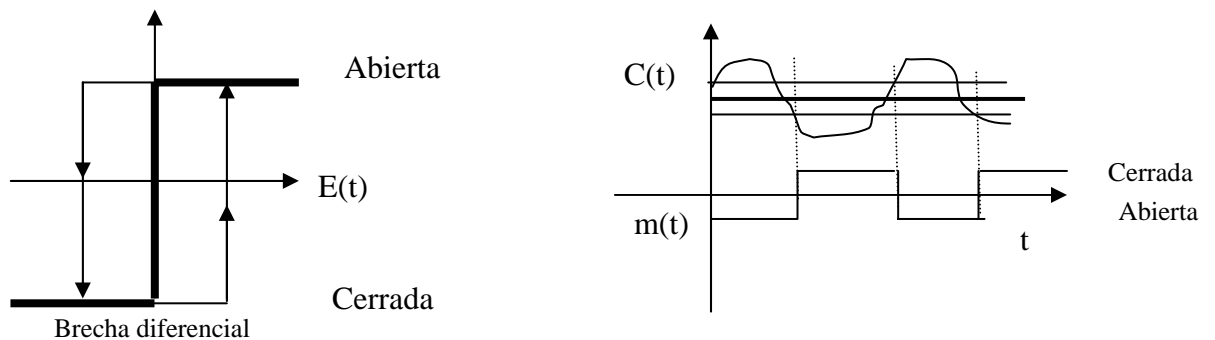
Control de dos posiciones (on-off)

Este tipo de acción de control es tal que el elemento final de control se mueve o conmuta rápidamente a una de dos posiciones, cuando el error alcanza una magnitud predeterminada. Esta acción se puede representar por:



Brecha Diferencial:

Es el rango $(C_1, -C_1)$ en el que se mueve la señal de error, antes de que se produzca la conmutación o cambio de posición de la variable manipulada. En la figura se muestra la brecha diferencial como función del error $E(t)$ y la variable manipulada $m(t)$.



Entre las aplicaciones de los controladores on-off se encuentra su uso para sistemas de gran escala con cambios lentos en el proceso, como lo son los controles de nivel en tanques, controles de temperatura para los baños, y el calentamiento/enfriamiento de ambientes.

Control Proporcional (P)

En un control proporcional existe una relación lineal entre la señal de salida del controlador $m(t)$ y su entrada de error $E(t)$.

$$m(t) = K_p E(t) + m_0$$

donde:

K_p = Constante de proporcionalidad

m_0 = salida del controlador cuando $E(t) = 0$ o posición del elemento final de control para $E(t)=0$.

Cuando el sistema opera estacionariamente alrededor de un punto de operación, se puede escribir la ecuación (1) como:

$$\bar{m} = K_p E + m_0$$

Si restamos (1)-(1'), obtenemos el comportamiento del controlador expresado en variables de perturbación:

$$(m(t) - \bar{m}) = K_p (E(t) - \bar{E})$$

$$m^*(t) = K_p E^*(t)$$

Aplicando la transformada de Laplace:

$$M^*(s) = K_p E^*(s)$$

$$G_C = \frac{M^*(s)}{E^*(s)} = K_p$$

Banda Proporcional

Cambio porcentual en la variable de salida o controlador que produce un movimiento completo de la válvula o elemento final de control.

$$K_p = \frac{100}{\%BP}$$

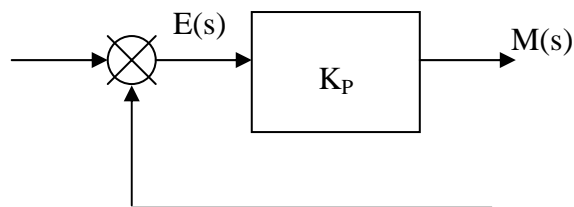
Desviación Estable (off-set)

Una característica importante del control proporcional es que este produce un error de la variable dinámica en el punto de operación, cuando ocurre un cambio,

Puede ser minimizado por un gran valor de K_p o sea por un pequeño valor de la banda proporcional.

Sin importar el mecanismo en sí y la potencia que lo alimenta, el controlador proporcional es esencialmente un amplificador con ganancia ajustable. Si la ganancia es positiva, se dice que el controlador es de acción directa, y si es negativa, se dice que es de acción inversa. En este tipo de controladores la señal de error no puede ser corregida en sistemas de orden cero.

Diagrama de bloques de un controlador proporcional.



Control Proporcional Integral (PI)

Al agregar la acción integral a la proporcionalidad se elimina el offset. Industrialmente se usa la PI y no el I puro.

Este tipo de control puede ser empleado en sistemas que tienen grandes cambios, pero estos a su vez, deben ser lentos para evitar sobre impulsos producidos por el tiempo de integración. Una desventaja es que durante el arranque de procesos batch, la acción integral causa considerables impulsos del error antes de alcanzar el punto de operación.

La expresión matemática que define a este tipo de controlador es:

$$m(t) = K_p E(t) + \frac{K_p}{T_i} \int E(t) + m_0$$

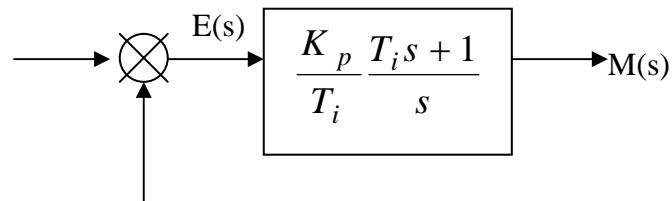
donde la función de transferencia correspondiente es:

$$\frac{M(s)}{E(s)} = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} \right)$$

donde T_i es el tiempo integral, cuya función es regular la acción integral. Su recíproco recibe el nombre de frecuencia de reposición y mide las veces por unidad de tiempo que se repite la acción proporcional.

Esta clase de controlador incrementa el tipo de un sistema. En general su efecto se traduce en disminuir apreciablemente el error en estado estacionario a costa de una desmejora de la parte transiente de la respuesta del sistema controlado.

Diagrama de bloques de un controlador Proporcional Integral.



Control Proporcional Derivativo (PD)

Este control no elimina el offset producido por el control proporcional, sin embargo puede colocarse en sistemas con cambios rápidos mientras que el offset sea aceptable. Su representación matemática viene dada por:

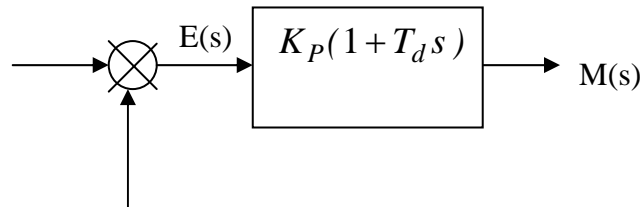
$$m(t) = K_p E(t) + K_p T_d \frac{dE(t)}{dt}$$

y su correspondiente función de transferencia es:

$$\frac{M(s)}{E(s)} = K_p (1 + T_d s)$$

Como se puede apreciar en esta última ecuación, este tipo de controlador introduce un cero en la función de transferencia de lazo abierto. Esta acción derivativa tiene como ventaja anticiparse al error.

Diagrama de bloques de un controlador proporcional derivativo.



Control Proporcional-Integral- Derivativo (PID)

Este tipo de controlador reúne las ventajas de todos los controladores. Las ecuaciones que lo representan están a continuación:

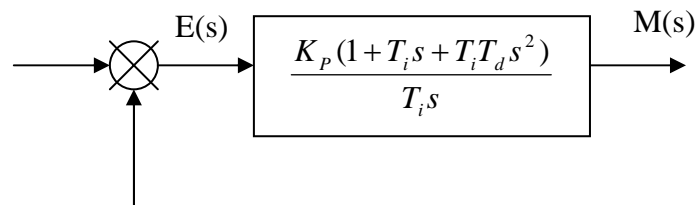
$$m(t) = K_p E(t) + \frac{K_p}{T_i} \int E(t) + K_p T_d \frac{dE(t)}{dt}$$

donde la transformada de Laplace viene dada por:

$$\frac{M(s)}{E(s)} = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right)$$

donde el término K_p es la ganancia proporcional, T_i es el tiempo integral y T_d es el tiempo derivativo.

Diagrama de bloques para un controlador proporcional-integral-derivativo.



Este control puede usarse en cualquier proceso bajo cualquier condición:

- La acción proporcional corrige la salida del controlador en una cantidad proporcional a la desviación.
- La acción integral corrige la salida del controlador en una cantidad proporcional a la integración de la desviación.
- La acción derivativa corrige a la salida del controlador en una cantidad proporcional a la tasa de cambio del error.
- El efecto que tiene este control es que adelanta la respuesta, mejora la estabilidad y no modifica el estado estacionario.

CONCLUSIONES

Control Proporcional (P)

- Acelera la respuesta de los procesos controlados.
- Produce error estacionario (offset) para todos los procesos de tipo “0”.

Acción Integral (PI)

- Elimina el error estacionario.
- La eliminación del error estacionario se produce a expensas de mayores desviaciones.
- Se producen respuestas con grandes oscilaciones.
- Si se aumenta la ganancia del controlador K_c para aumentar la velocidad de respuesta del sistema, este se comporta más oscilatoriamente, teniendo riesgos de alcanzar la inestabilidad.

Acción Derivativa (PD)

- Anticipa futuros errores e introduce acciones para contrarrestarlos.
- Introduce efectos estabilizadores en la respuesta a lazo cerrado