

EFFECTO WINDUP EN LOS CONTROLADORES CON ACCIÓN INTEGRAL.

1. Introducción

Los controladores del tipo de parámetros optimizados tales como los PID son lineales y su diseño se basa en técnicas para sistemas lineales. Este es un dispositivo simple y funciona bien en la práctica cuando todas las partes del sistema son lineales. Cuando el rango de funcionamiento es relativamente amplio, puede ocurrir que el actuador sature, produciendo una no linealidad en el sistema y un funcionamiento diferente al deseado. Cuando el actuador se satura, la acción aplicada al proceso no se corresponde con la salida del controlador y es como si se abriera el lazo de control. Este problema es particularmente importante en los controladores que tienen acción integral del error, como es el caso de los PI y PID. Este efecto se denomina “windup” en la jerga de control y se manifiesta porque el sistema “tarda mucho tiempo en reaccionar” ante una perturbación o cambio de referencia después de que se ha producido la saturación del actuador. Para evitar o atenuar este inconveniente se han desarrollado diferentes estrategias llamadas “Técnicas antiwindup”, que serán objeto de estudio en el presente capítulo.

2. Presentación del problema.

Se recurre al ejemplo de la Fig. 1 para explicar el origen del efecto windup. En esta figura se presenta un sistema de control de nivel de un tanque. La acción de control es q_1 , la perturbación es q_2 , la variable controlada es h , el controlador es del tipo PI y el actuador es v , una electroválvula lineal con límites en ± 0.1 .

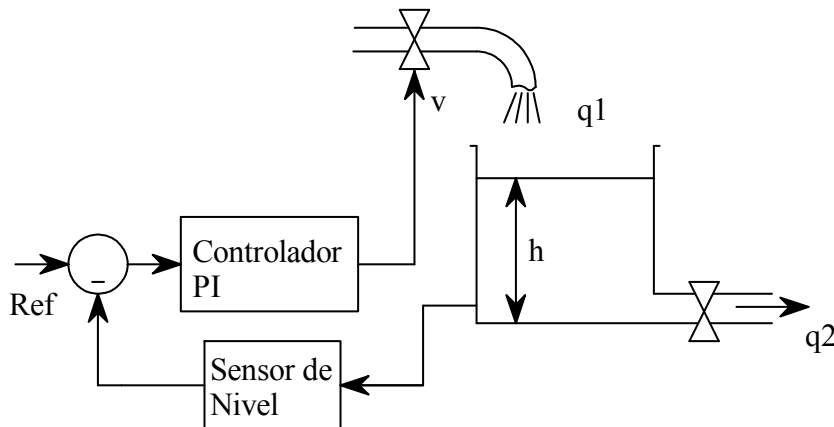


Fig. 1: Sistema de control de nivel de líquido

En la Fig. 2 se observa un diagrama temporal de algunas variables del sistema. En 0, el error es positivo y grande y debido a la acción proporcional satura al actuador en su valor máximo. En 10, la salida iguala a la referencia pero la acción integral es positiva y relativamente grande provocando que el actuador siga saturado a pesar de que el error cambia de signo. Recién aproximadamente en 18, el actuador empieza a ser lineal pero rápidamente satura en su valor negativo debido a la acción integral. El ciclo se repite provocando oscilaciones en la salida del proceso hasta llegar en estado estacionario sin error, el actuador funciona en su zona lineal logrando que $q_1 = q_2$.

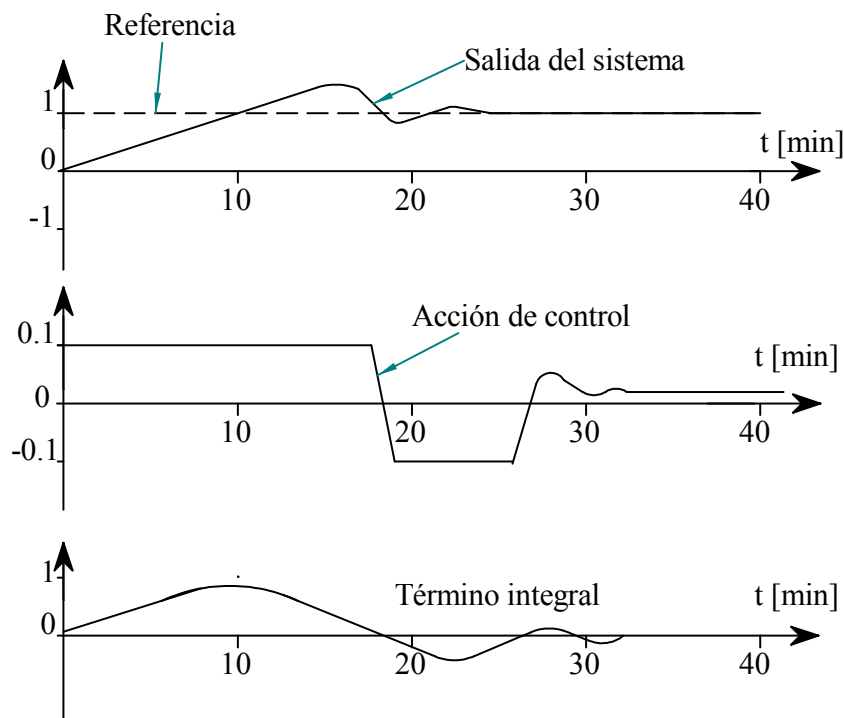


Fig. 2: Diagrama temporal de un sistema de control con efecto windup

Estas oscilaciones deterioran notablemente la respuesta del sistema de control y es conveniente evitarlas. Para esto se han propuesto básicamente tres métodos antiwindup que actúan de diferentes formas sobre la acción integral del controlador. Estos métodos son:

- Limitación del término integral.
- Integración condicional.
- Seguimiento integral

En la Fig. 3 se presenta el método de limitación del término integral, se limita la acción integral entre dos límites preestablecidos.

En el método de integración condicional, se integra siempre y cuando el valor absoluto del error esté dentro de un cierto rango como se observa en Fig. 4.

La solución más elegante es el de seguimiento integral que es método que se desarrolla a continuación.

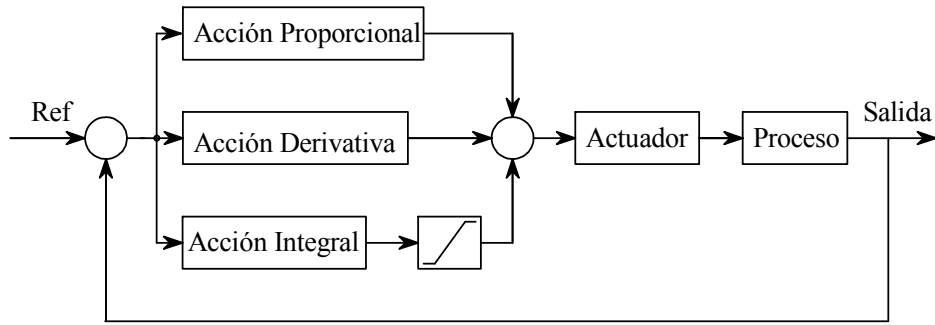


Fig. 3: Método anti-windup por limitación del término integral

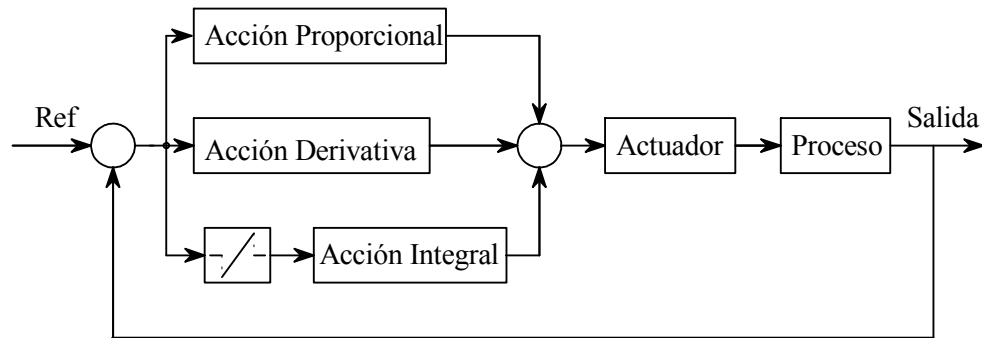


Fig. 4: Método anti-windup por integración condicional

3. Método de seguimiento integral (Tracking Mode).

En el método de seguimiento integral, en vez de limitar el valor de la acción integral, se fuerza a llevar la salida del controlador a valores en que el actuador es lineal. En la Fig. 5 se presenta un esquema de este método. Cuando el actuador no se satura, $e_s = 0$ y el sistema funciona como si no existiera este lazo. Cuando el actuador llega a su límite, la señal de realimentación tratará de llevar el valor de e_s a cero. Esto lleva a la acción de control integral al límite de la saturación evitando el efecto windup. La velocidad con que el controlador lleva a e_s a cero, está dada por la ganancia $\frac{1}{T_t}$. Donde T_t (tracking time constant) puede interpretarse como una constante de tiempo que determina la rapidez con que e_s llega a cero.

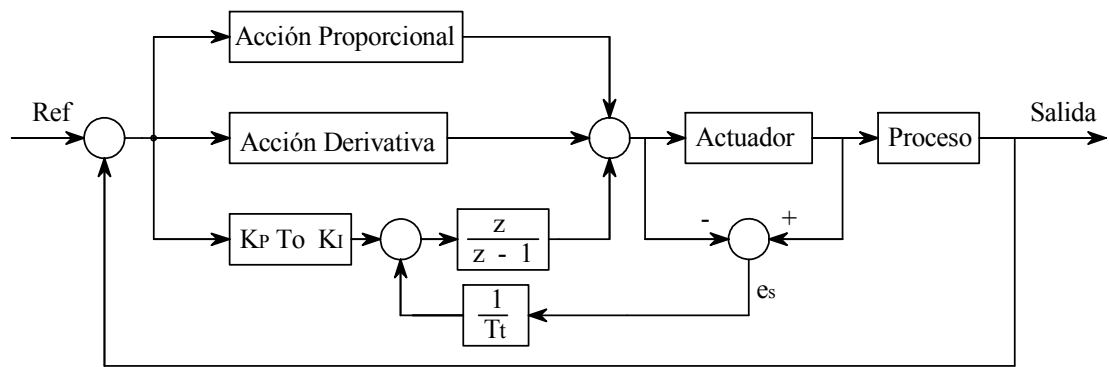


Fig. 5: Esquema antiwindup por seguimiento integral y realimentación de la salida del actuador

Es frecuente el caso que la salida del actuador no se puede medir, o resulta caro, en este caso se recurre a un modelo del actuador como lo muestra la Fig. 6 y el efecto es el mismo.

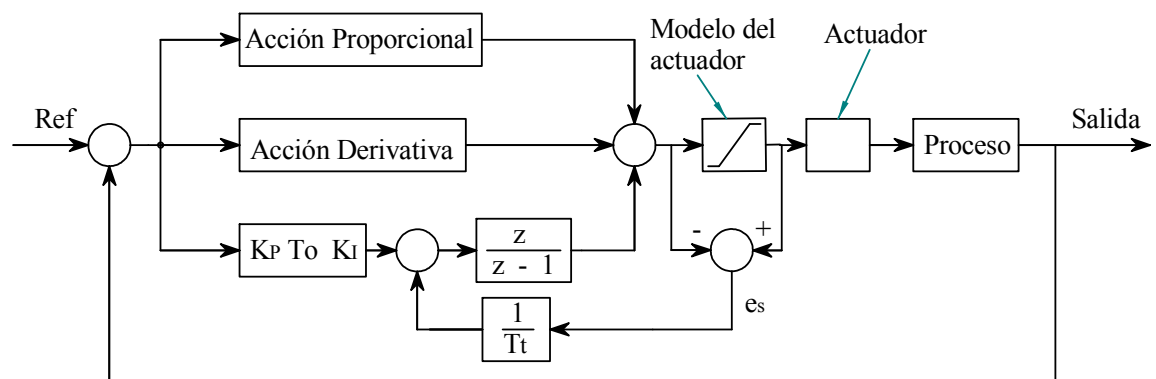


Fig. 6: Esquema antiwindup por seguimiento integral y realimentación del modelo del actuador