



DEPARTAMENTO DE
**INGENIERÍA
ELÉCTRICA**
UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE CHILE

Ingeniería de Ejecución en Electricidad
Mención Sistemas de Energía
Modalidad Vespertina

CONTROL AUTOMÁTICO EN SISTEMAS ELÉCTRICOS CÁTEDRA 7 & 8

PRIMER SEMESTRE 2018
PROF. MATÍAS DÍAZ

Agenda



- SEMINARIO
- CONTROLADORES PID
- ANTI-WINDING UP
- CONTROL EN SISTEMAS ELÉCTRICOS
- RETARDO EN EL TRANSPORTE



Seminario Internacional
**KEY TECHNOLOGIES FOR
FUTURE ENERGY SYSTEMS**
1ro Diciembre, 2017 | 8.30-16.30hrs

Expositores

Prof. Dr. Quing-Chang Zhong
Max McGraw Endowed Chair Professor of Energy and Power Engineering, Illinois Institute of Technology, US.

Prof. Dr. Pat Wheeler
Head of Department of Electrical & Electronic Engineering and Professor of Power Electronics, U. Nottingham, UK.

Prof. Dr. Sudip K. Mazumder
Director of Laboratory for Energy and Switching-Electronics Systems (LESES), University of Illinois, US.

Dr. Marcos Orchard
Profesor Asociado Dpto. de Ing. Eléctrica, Universidad de Chile.

Dr. Javier Pereda
Profesor Asistente Dpto. Ing. Eléctrica, Pont. U. Católica de Chile.

Dr. Marcelo Pérez
Profesor Asociado Dpto. Ing. Electrónica, USM.

Niklaus Felderer
Applications Engineer PEXIM, Suiza

Organiza: Grupo de Investigación de Electrónica de Potencia, DIE-USACH

Dr. Matias Diaz
Profesor Asistente Dpto. de Ing. Eléctrica, Universidad de Santiago.

Dr. Ing. Félix Rojas
Profesor Asistente Dpto. de Ing. Eléctrica, Universidad de Santiago.

Auditorio Hernán Sanhueza Hardy
Departamento Ingeniería Eléctrica
Universidad de Santiago de Chile
Av. Ecuador 3555, Estación Central
Actividad Gratuita y certificada
Registro en www.die.usach.cl/actividades

Comunicaciones.die@usach.cl
 [Fb.com/DIEuniversidaddesantiago](https://www.facebook.com/DIEuniversidaddesantiago)

Agenda



- SEMINARIO
- **CONTROLADORES PID**
- ANTI-WINDING UP
- CONTROL EN SISTEMAS ELÉCTRICOS
- RETARDO EN EL TRANSPORTE

Controladores PID



$$u(s) = K_p e(s)$$

Controlador P

$$u(s) = K_p e(s) + \frac{1}{T_i s} e(s)$$

Controlador PI

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

Controlador PID

Agenda



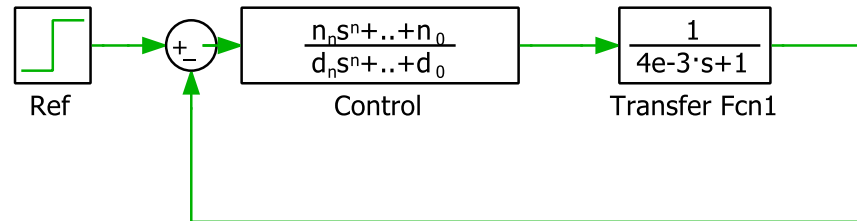
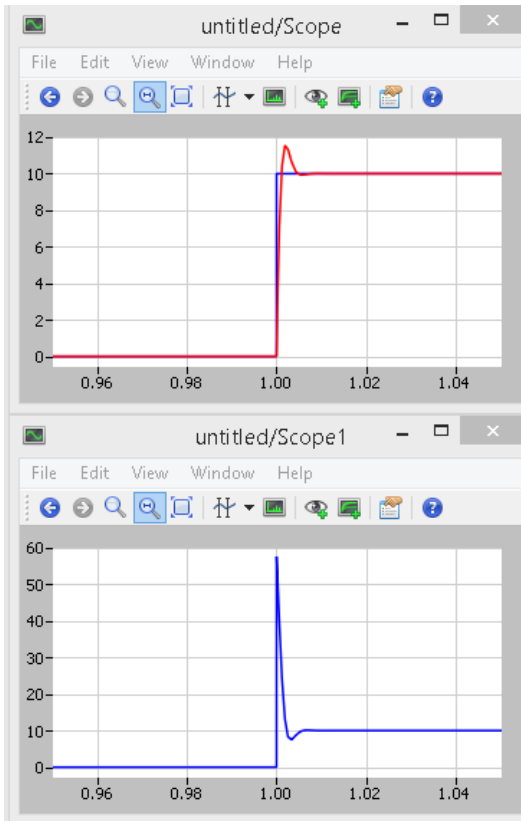
- CONTROLADORES PID
- **ANTI-WINDING UP**
- CONTROL EN SISTEMAS ELÉCTRICOS
- RETARDO EN EL TRANSPORTE

Anti-Winding UP

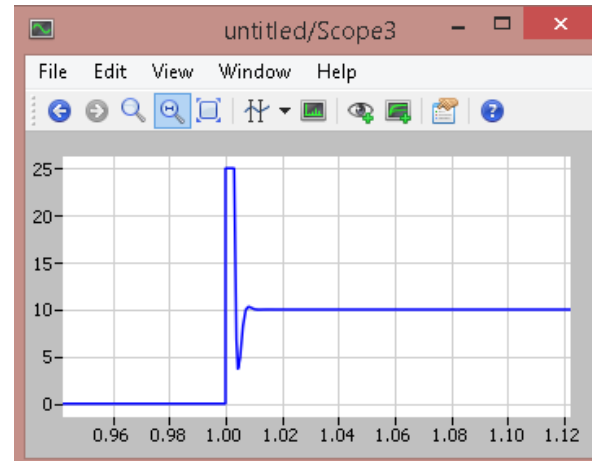
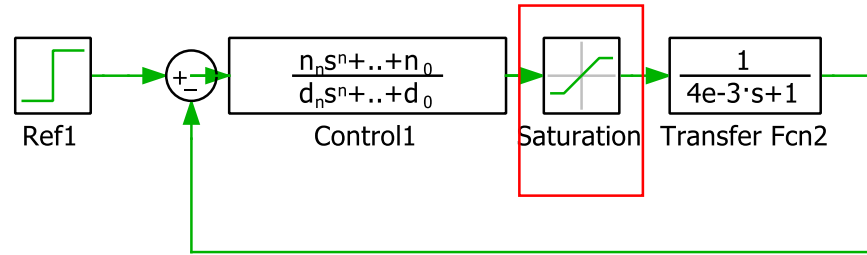
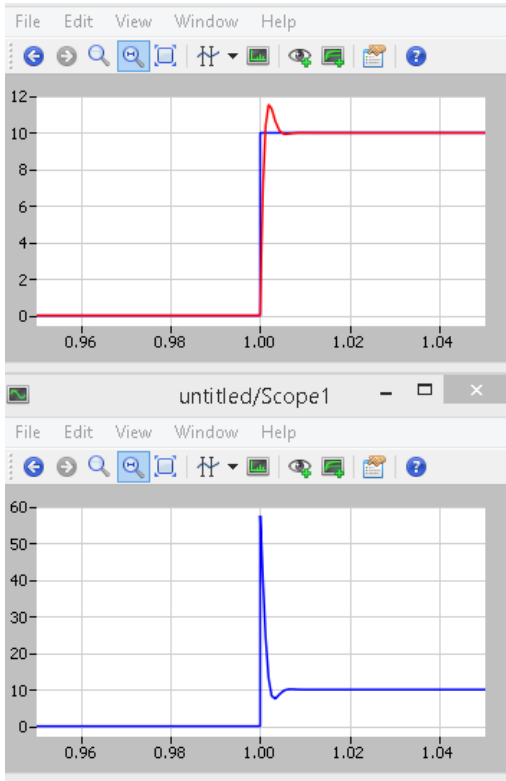


En los sistemas de control, la energía está limitada físicamente por los actuadores o la capacidad del sistema. Por ejemplo, la corriente de un conductor eléctrico debe ser limitada para evitar sobrecalentamientos, el voltaje máximo a aplicar depende de las especificaciones de los dispositivos de electrónica de potencia, la energía a aplicar a un sistema está dada por la capacidad de soportar tensión y corriente de un dispositivo, etc.

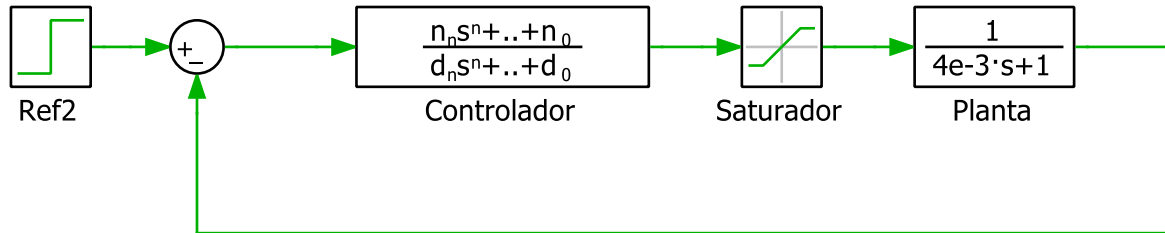
Anti-Winding UP



Anti-Winding UP



Anti-Winding UP



El símbolo mostrado en la Figura, indica que la entrada de la planta está limitada entre un valor máximo y mínimo. En todos los otros casos la entrada a la planta es igual a la salida del controlador. El controlador PI y en general todos los controladores que consideran elementos integrales pueden tener mal desempeño al ser utilizados con limitadores.

Anti-Winding UP



$$u(t) = K_p e(t) + \frac{1}{T_i} \int e(t) dt \approx K_p e(t) + \frac{1}{T_i} \sum e(t) \Delta t$$

Como es bien conocido, una integral puede aproximarse a una sumatoria. Esto significa que el elemento integral no puede cambiar bruscamente su salida. Por ejemplo si la salida de la componente integral del controlador alcanza un valor tres veces mayor que el máximo permitido en la planta, reducir esta salida necesitará un tiempo, algunas veces considerable, hasta que la sumatoria esté en el rango de operación permitido.

Anti-Winding UP



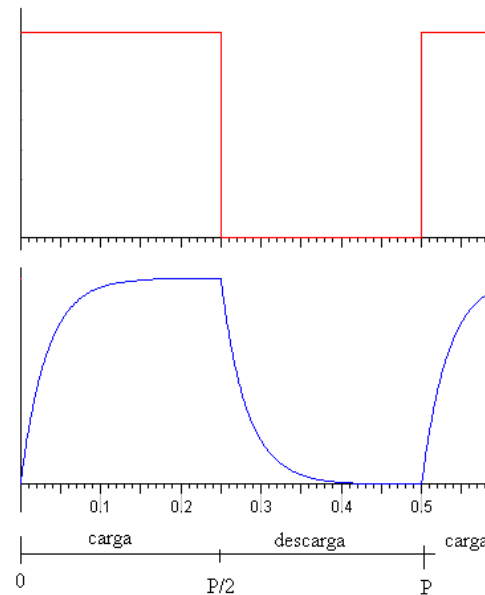
$$u(t) = K_p e(t) + \frac{1}{T_i} \int e(t) dt \approx K_p e(t) + \frac{1}{T_i} \sum e(t) \Delta t$$

Como es bien conocido, una integral puede aproximarse a una sumatoria. Esto significa que el elemento integral no puede cambiar bruscamente su salida. Por ejemplo si la salida de la componente integral del controlador alcanza un valor tres veces mayor que el máximo permitido en la planta, reducir esta salida necesitará un tiempo, algunas veces considerable, hasta que la sumatoria esté en el rango de operación permitido.

Anti-Winding UP



Ejemplo de esto es la descarga de un condensador, que no es inmediata debido a la acción integral de la planta que relaciona corriente y tensión.



Anti-Winding UP



Por ejemplo suponiendo una planta dada por:

$$G(s) = \frac{10}{s + 10}$$

El rango de operación a la entrada de la planta está entre -10 y 10 (unidades). Suponga que se diseña un controlador PI considerando $\omega_n=300$, $\zeta=0.707$.

Usando RLTool se obtiene el siguiente controlador

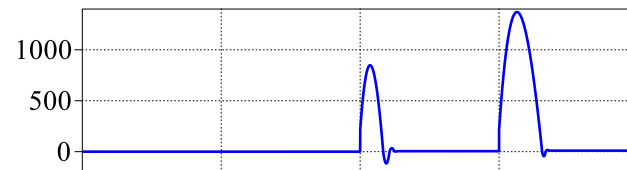
$$G_c(s) = 41.83 \frac{(s + 212.13)}{s}$$

Anti-Winding UP

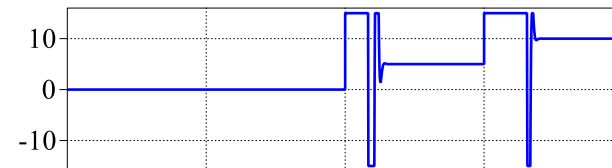


El sistema de control se implementa en PLECS. Un escalón de entrada entre 0 a 10 se aplica en $t=1\text{seg}$. La siguiente figura muestra:

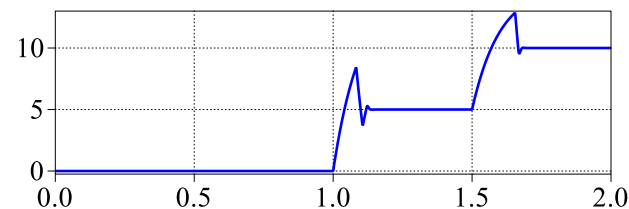
Salida del controlador



Entrada a la planta



Salida del sistema

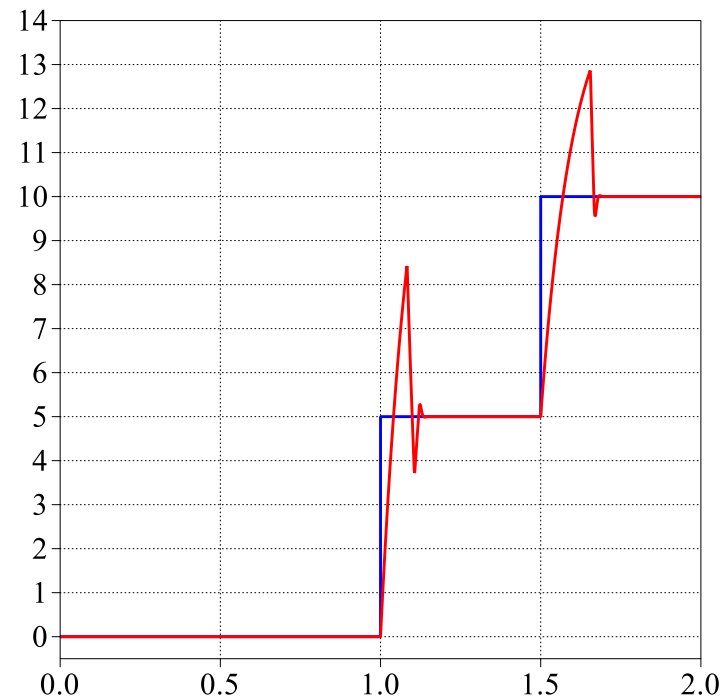


Anti-Winding UP

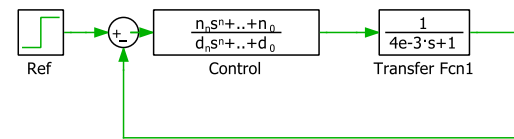
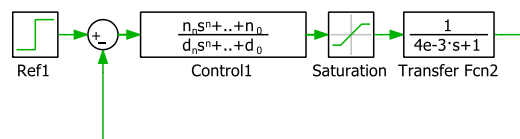
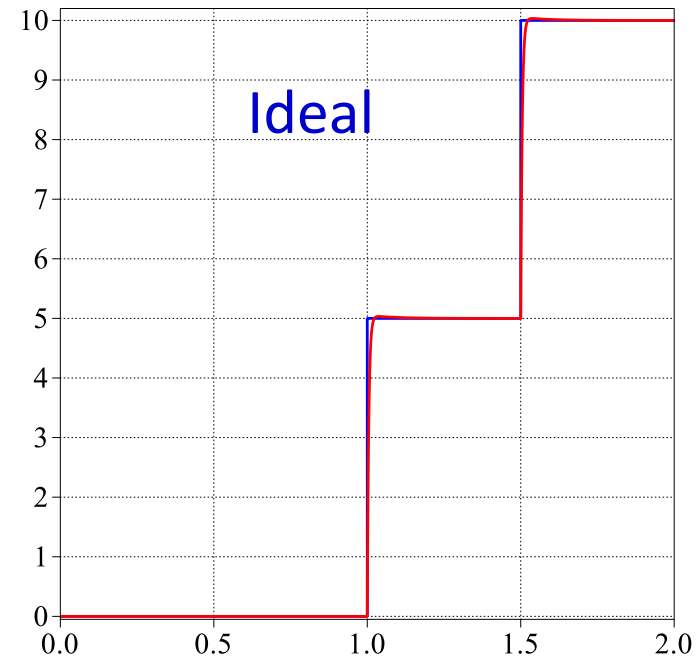


El sistema de control se implementa en PLECS. Un escalón de entrada entre 0 a 10 se aplica en $t=1\text{seg}$. La siguiente figura muestra:

Salida del sistema vs
Referencia



Anti-Winding UP



Anti-Winding UP



Para evitar los problemas relacionados con el integrador se utiliza 'anti winding up', lo que significa que el integrador se detiene cuando la salida del controlador esta fuera de rango.

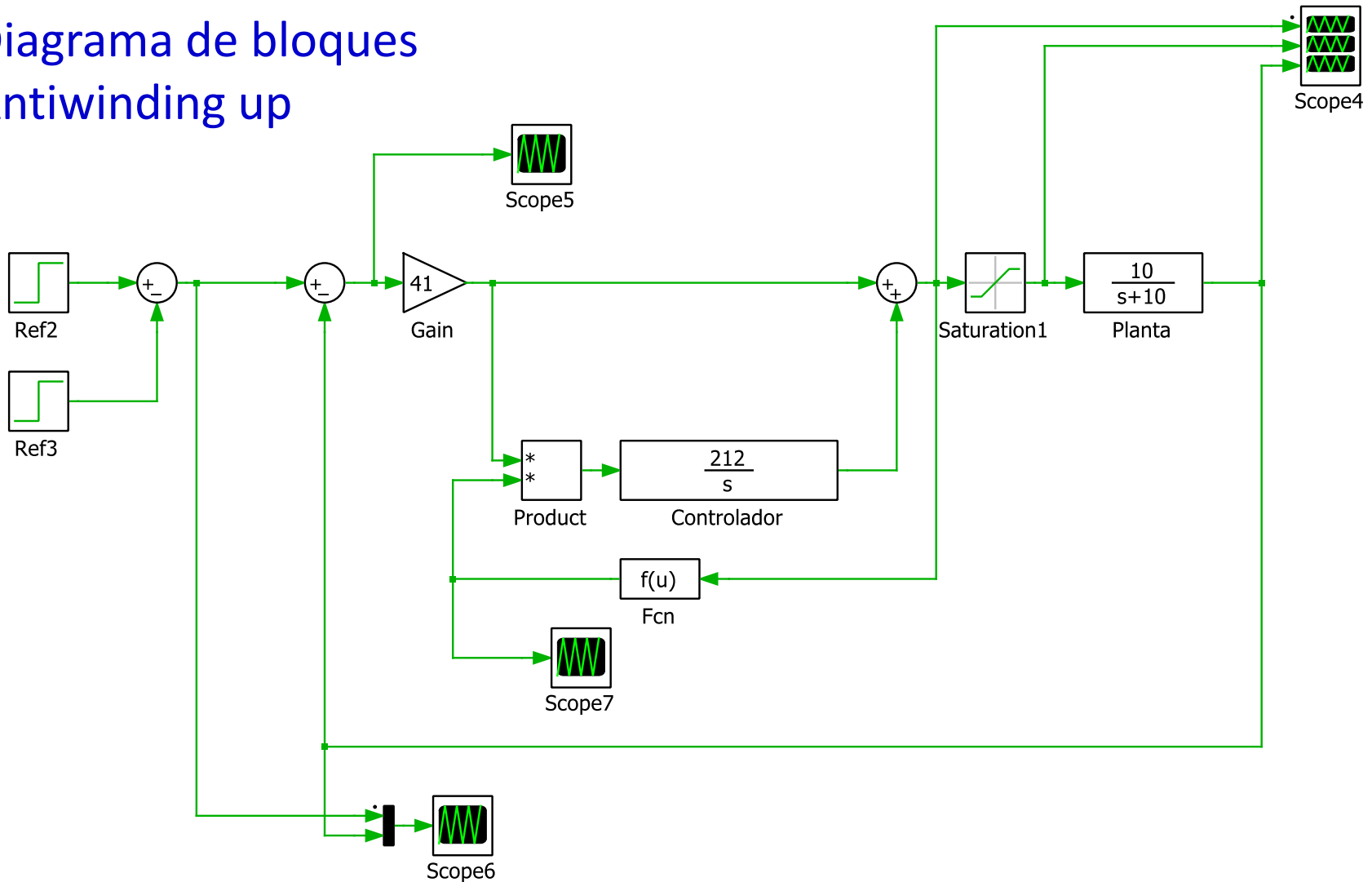
En general, el controlador PI se ha dividido en dos partes. La parte proporcional y la parte integral. La entrada al componente integral se multiplica por uno o cero, dependiendo si la salida del controlador esta en el rango permitido a la entrada de la planta. La función $f(u)$ utilizada en la figura es una función lógica de la forma:

$$f(u) = (u < \max) * (u > \min)$$

Anti-Winding UP



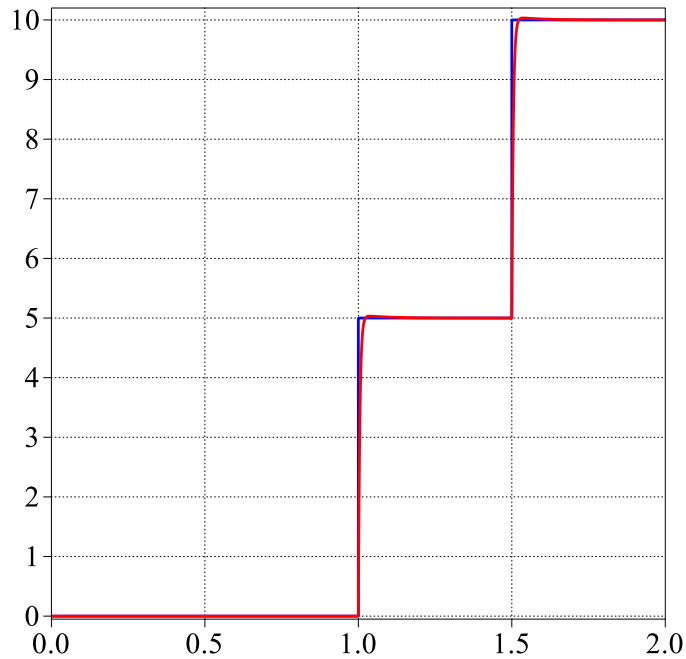
Diagrama de bloques Antiwinding up



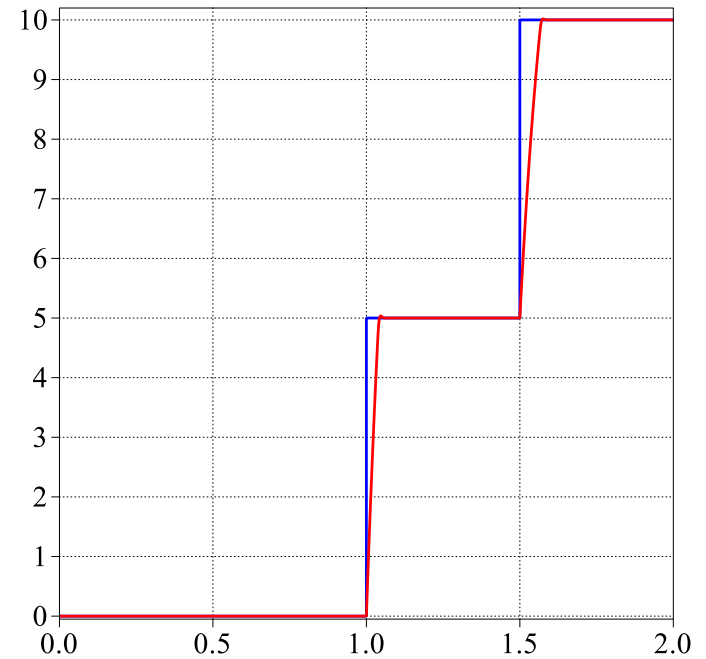
Anti-Winding UP



Ideal



Con Antiwinding up

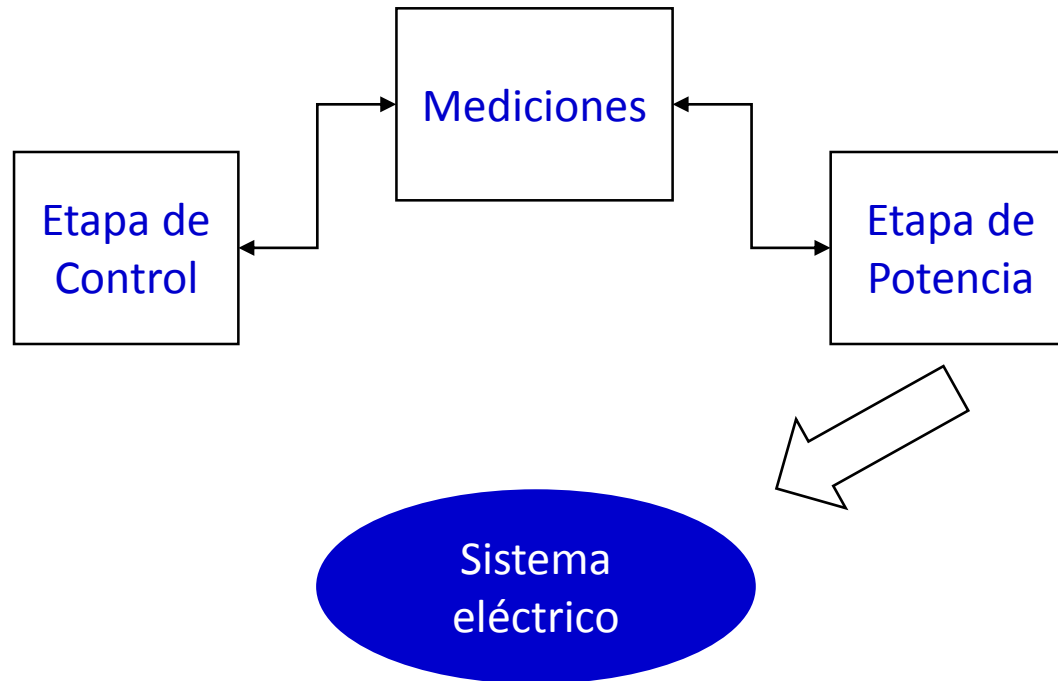


Agenda



- CONTROLADORES PID
- ANTI-WINDING UP
- CONTROL EN SISTEMAS ELÉCTRICOS
- RETARDO EN EL TRANSPORTE

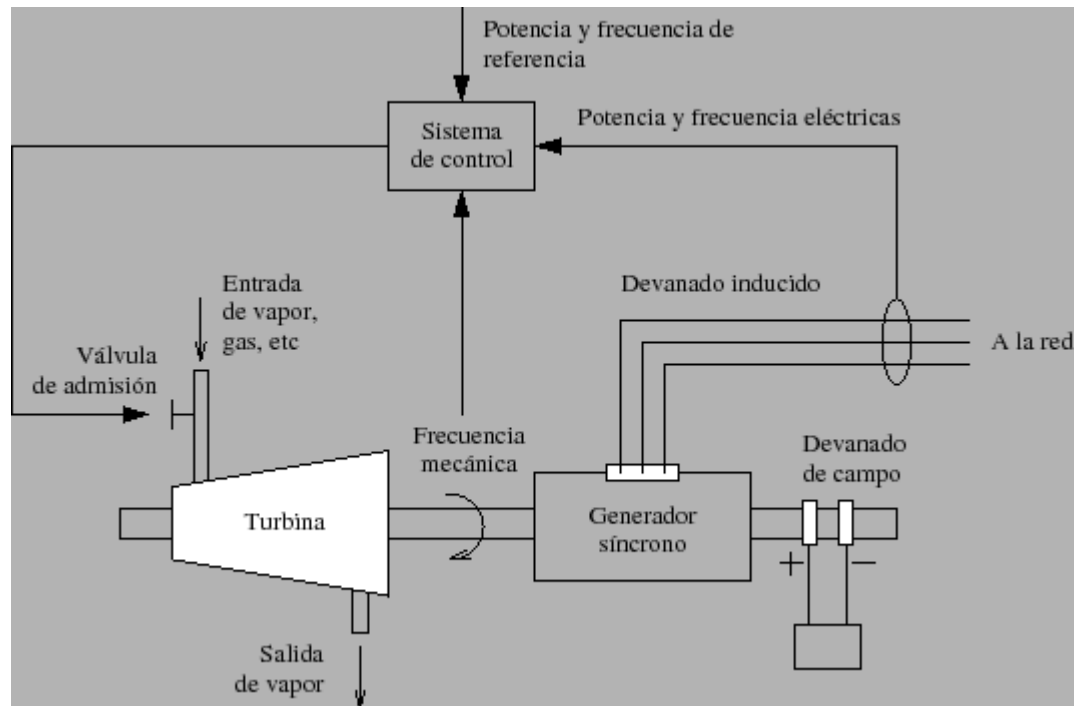
Control en sistemas eléctricos



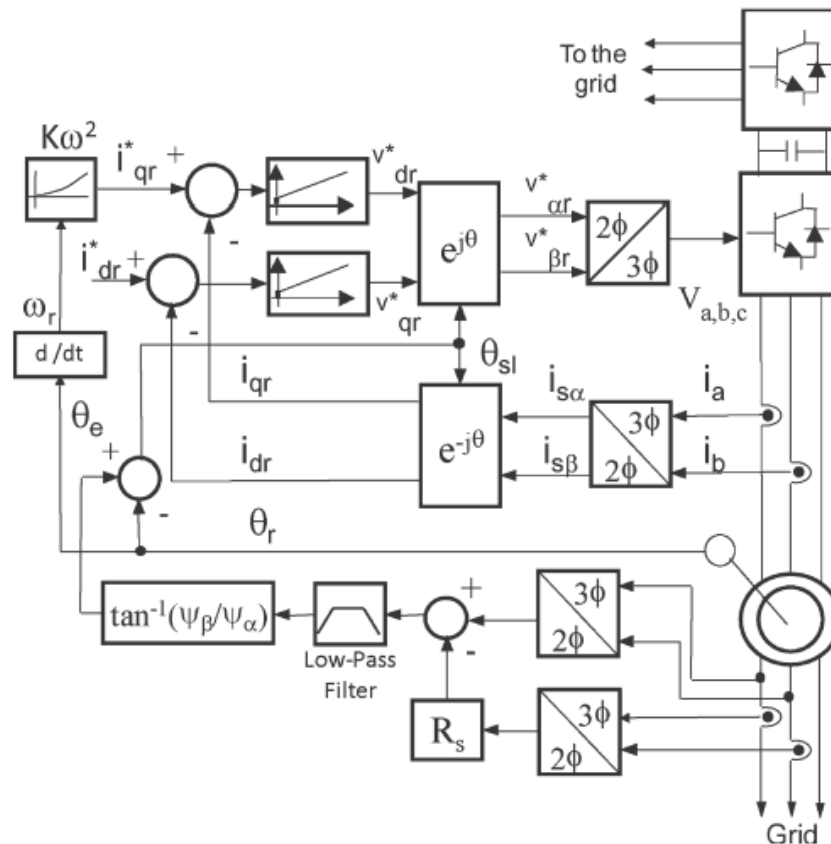
Control en sistemas eléctricos



Ejemplo: Generación eléctrica



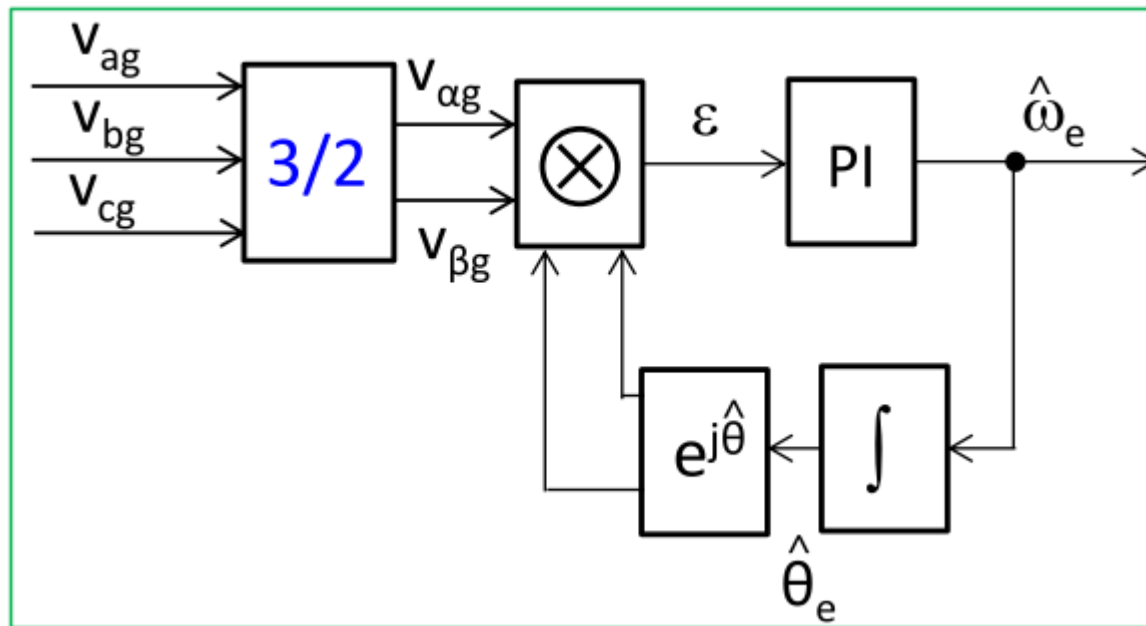
Ejemplo: Tesis Sebastián



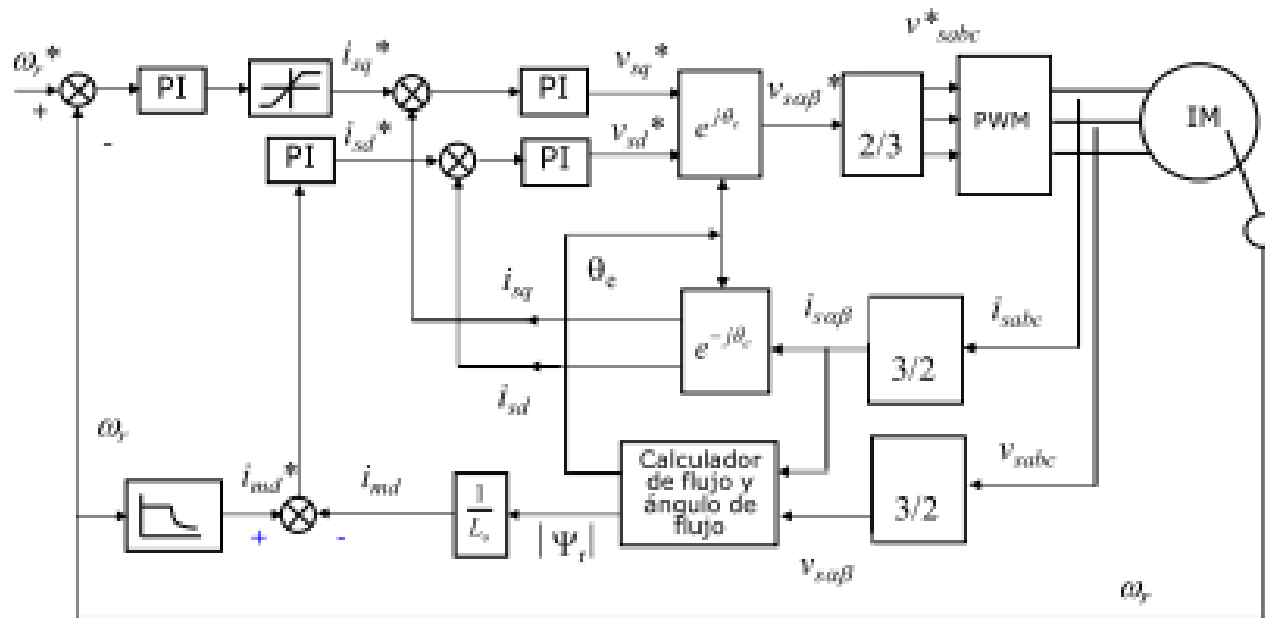
Control en sistemas eléctricos



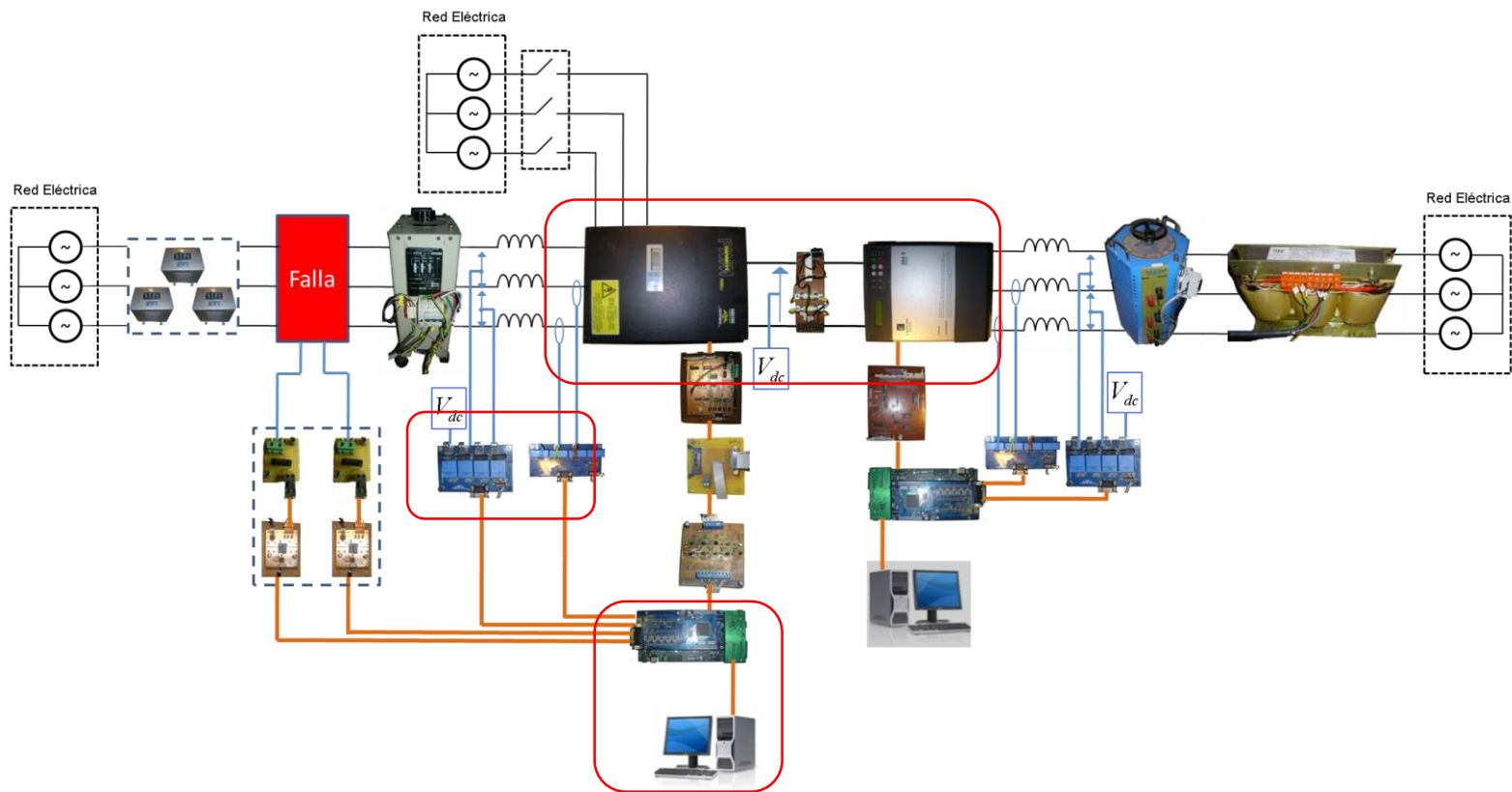
Ejemplo: Tesis Camilo



Ejemplo: Tesis David



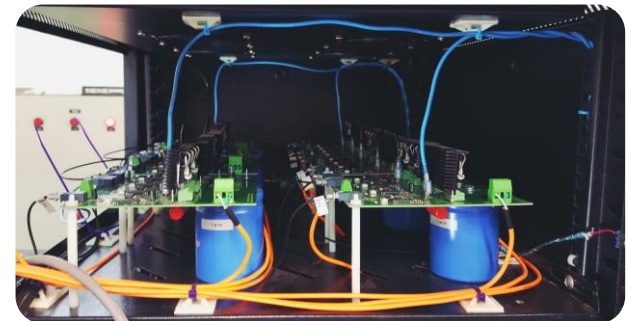
Ejemplo: Sistemas de generación bidireccionales



Control en sistemas eléctricos



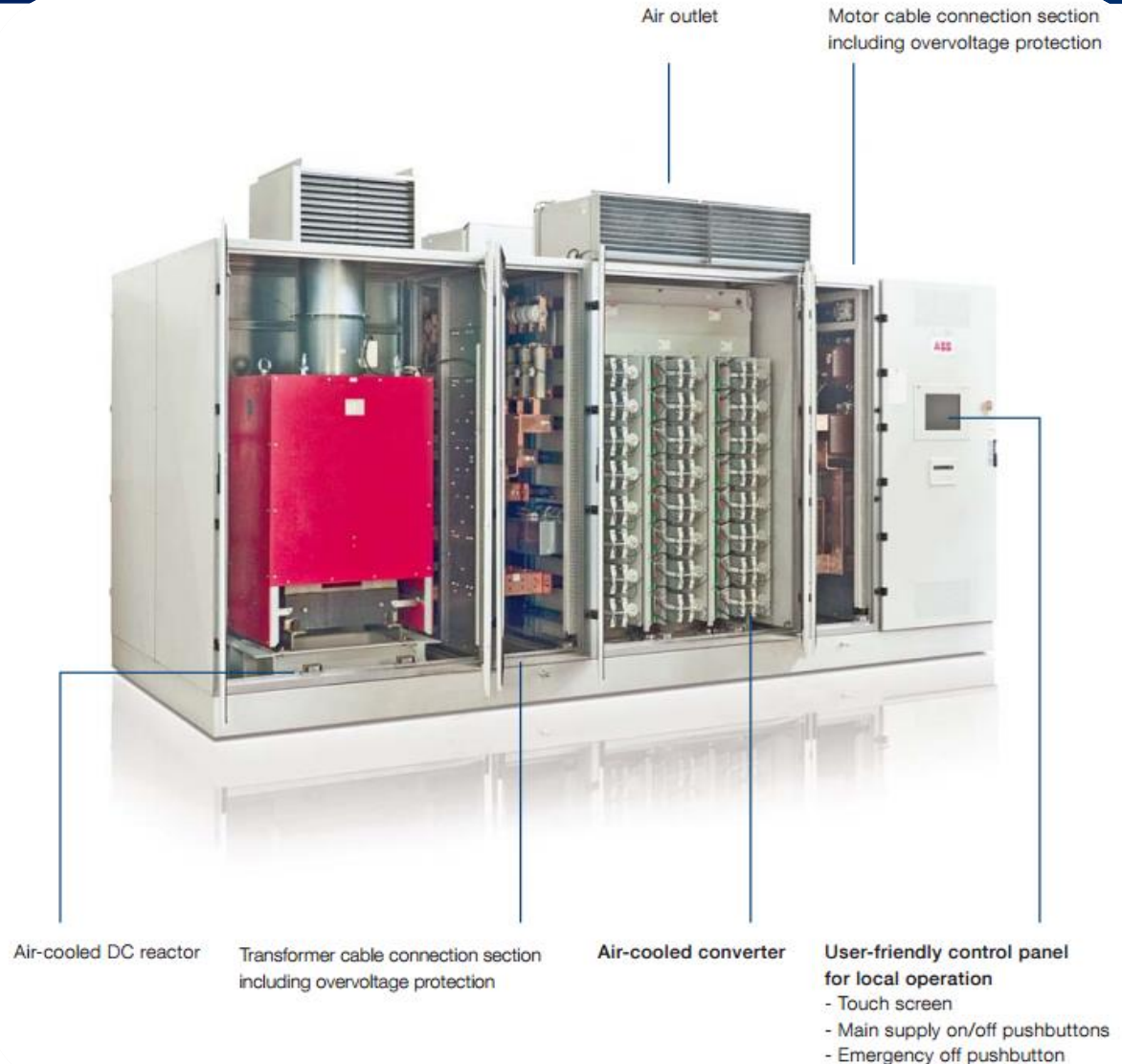
Ejemplo: Sistemas de generación bidireccionales



Control en sistemas eléctricos



Drive ABB



Agenda



- CONTROLADORES PID
- ANTI-WINDING UP
- CONTROL EN SISTEMAS ELÉCTRICOS
- **RETARDO EN EL TRANSPORTE**



Un retardo de transporte esta definido, en el plano s , como:

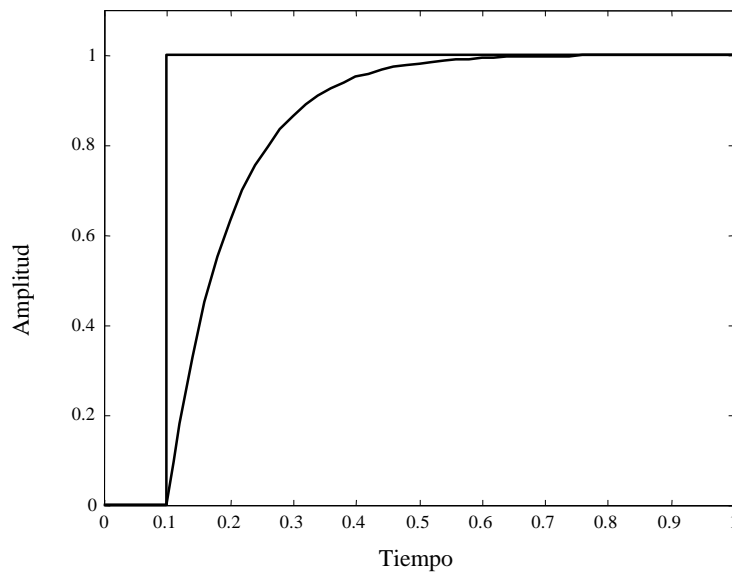
$$G(s) = e^{-sT}$$

Donde T es el tiempo de retardo. Figura 18a y b muestra la respuesta escalón de una planta de primer orden sin considerar y considerando un retardo en cascada.

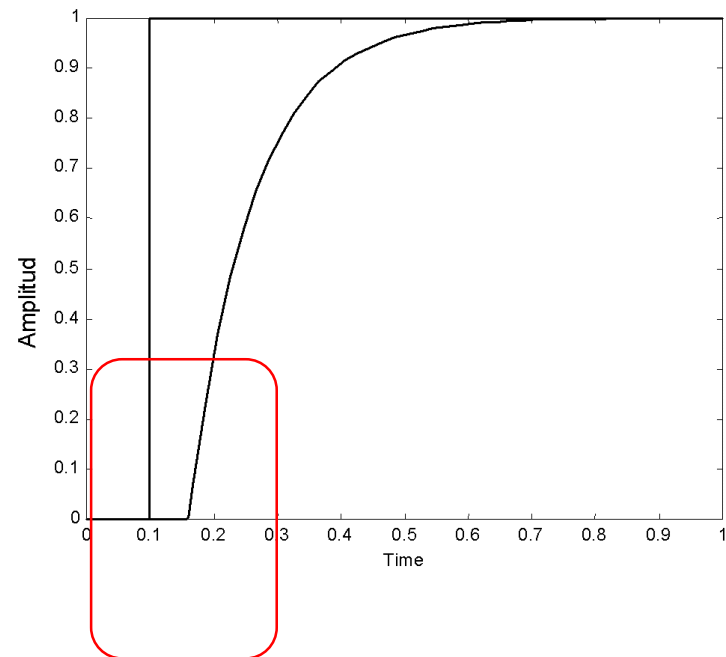
Retardos de Transporte



Respuesta al escalón sin retardo de transporte



Respuesta al escalón con retardo de transporte



Retardos de Transporte



El sistema con retardo no responde instantáneamente a las excitaciones de entrada sino que retarda en T segundos su respuesta. Los retardos de transporte son comunes en los sistemas de control. En el ámbito de ingeniería eléctrica, los retardos de transportes son producidos por dispositivos como tiristores, choppers y otros elementos.

Nota: Al diseñar sistemas de control utilizando el método del lugar de la raíz los retardos deben ser implementados utilizando, por ejemplo, la aproximación de Padé.

Retardos de Transporte



Aproximación de Padé:

$$e^{-sT} = \frac{e^{-\frac{sT}{2}}}{e^{\frac{sT}{2}}} \approx \frac{1 - \frac{sT}{2}}{1 + \frac{sT}{2}}$$



Fin!