



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**

**PRIMER SEMESTRE 2018**

**PROF. MATÍAS DÍAZ**

# Agenda



- DISEÑO BÁSICO DE CONTROLADORES
- USO DE RLTOOL EN MATLAB
- CONTROLADORES PID
- ANTI-WINDING UP

# Agenda



- DISEÑO BÁSICO DE CONTROLADORES
- USO DE RLTOOL EN MATLAB
- CONTROLADORES PID
- ANTI-WINDING UP

# Diseño Básico de Controladores

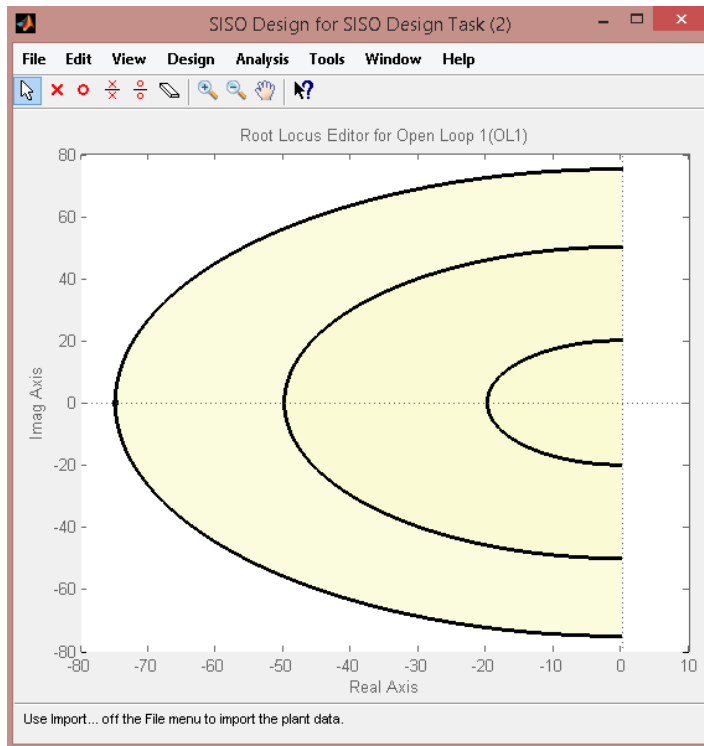


- El controlador debe cumplir con las especificaciones a lazo cerrado.
- El sistema a lazo abierto debe tener un polo en el origen. Sin este polo no es posible obtener cero error a estado estacionario con entrada escalón.
- El controlador debe ser simple. Las soluciones complicadas pueden ser difíciles de implementar. Recuerde, en ingeniería las soluciones simples son las que funcionan.

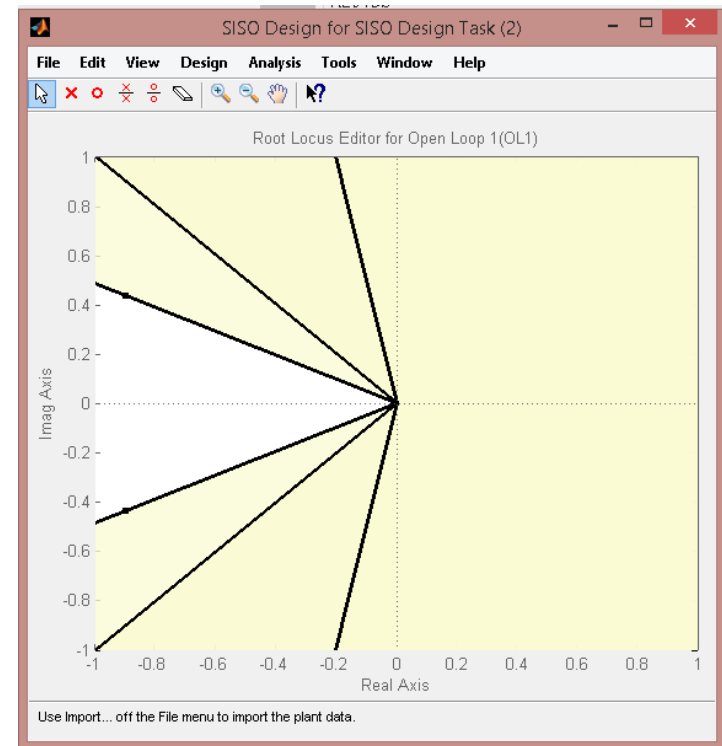
Respuesta en régimen permanente → Error en Estado Estacionario (EEE).

Respuesta Dinámica → coeficiente de amortiguamiento, velocidad natural, etc

# Diseño Básico de Controladores



Todas las combinaciones posibles de polos a lazo cerrado, que entregan una frecuencia natural  $\omega_n$  forman un semicírculo de radio  $\omega_n$ .



Todas las combinaciones posibles, de polos a lazo cerrado, que entregan un coeficiente de amortiguamiento  $\zeta$  forman una línea recta.

# Agenda



- DISEÑO BÁSICO DE CONTROLADORES
- **USO DE RLTOOL EN MATLAB**
- CONTROLADORES PID
- ANTI-WINDING UP

# Uso de RLTool en Matlab



## Definición de Planta en Matlab

### Command Window

```
>> num=[1]

num =

     1

>> den=[2e-3 1]

den =

           0.002           1

>> s1=tf(num,den)

s1 =

      1
-----
0.002 s + 1

Continuous-time transfer function.

>> rltool(s1)
>> rltool(
```

# Uso de RLTool en Matlab



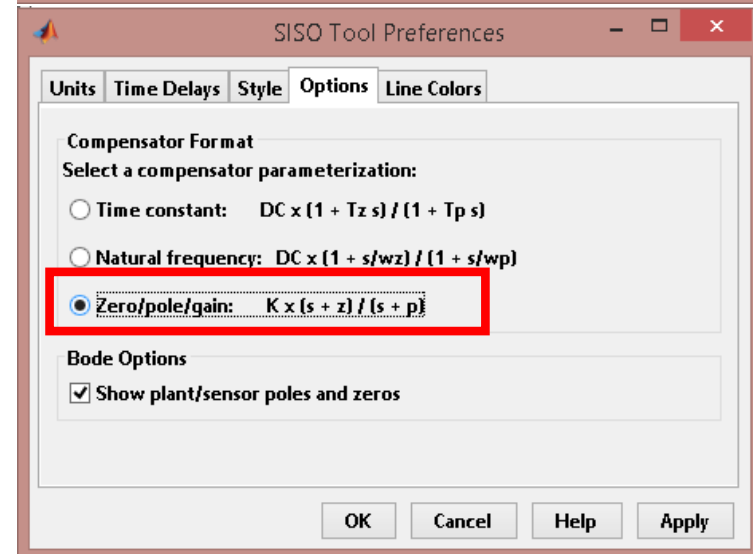
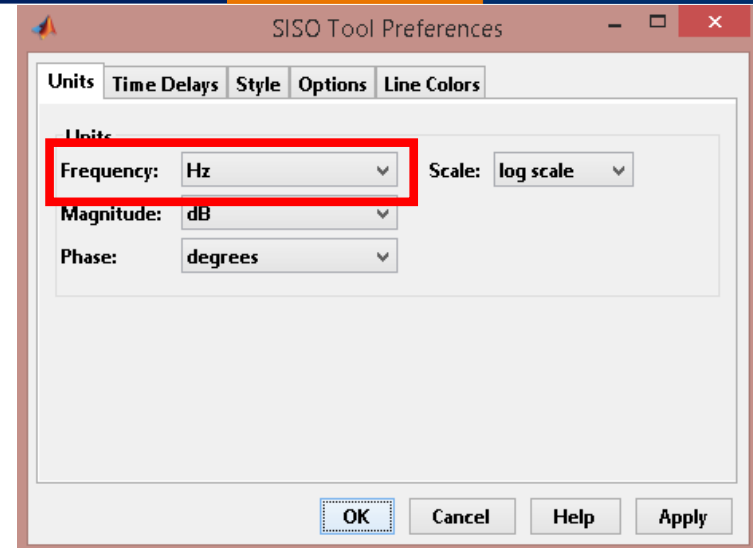
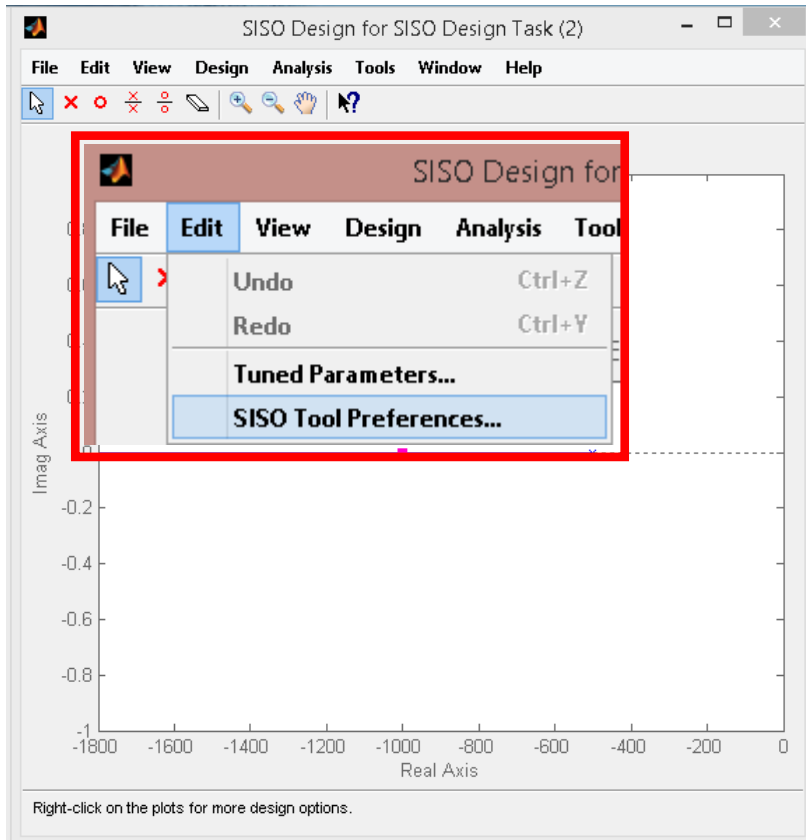
## Entorno “RLTool”

The image displays two windows from the RLTool environment in Matlab. The left window, titled "Control and Estimation Tools Manager", shows a workspace with "SISO Design Task (2)" selected. The main area displays the "Current Architecture" as a block diagram with blocks F, C, G, and H. Below the diagram are several configuration buttons: "Control Architecture ...", "Loop Configuration...", "System Data ...", "Sample Time Conversion ...", and "Multimodel Configuration ...". The right window, titled "SISO Design for SISO Design Task (2)", shows the "Root Locus Editor for Open Loop 1 (OL1)". The plot shows the real and imaginary axes, with a root locus line on the real axis. A pink square is located at approximately -1000 on the real axis, and a blue asterisk is at approximately -500. The axes range from -1800 to 0 on the real axis and -1 to 1 on the imaginary axis.



# Uso de RLTool en Matlab

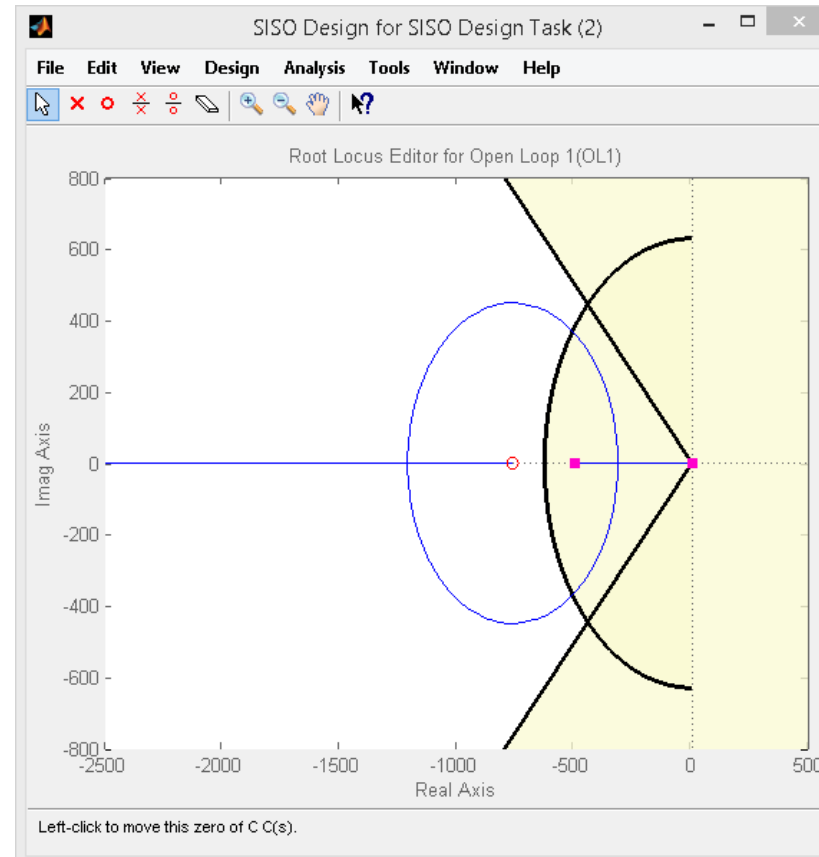
## Configuraciones



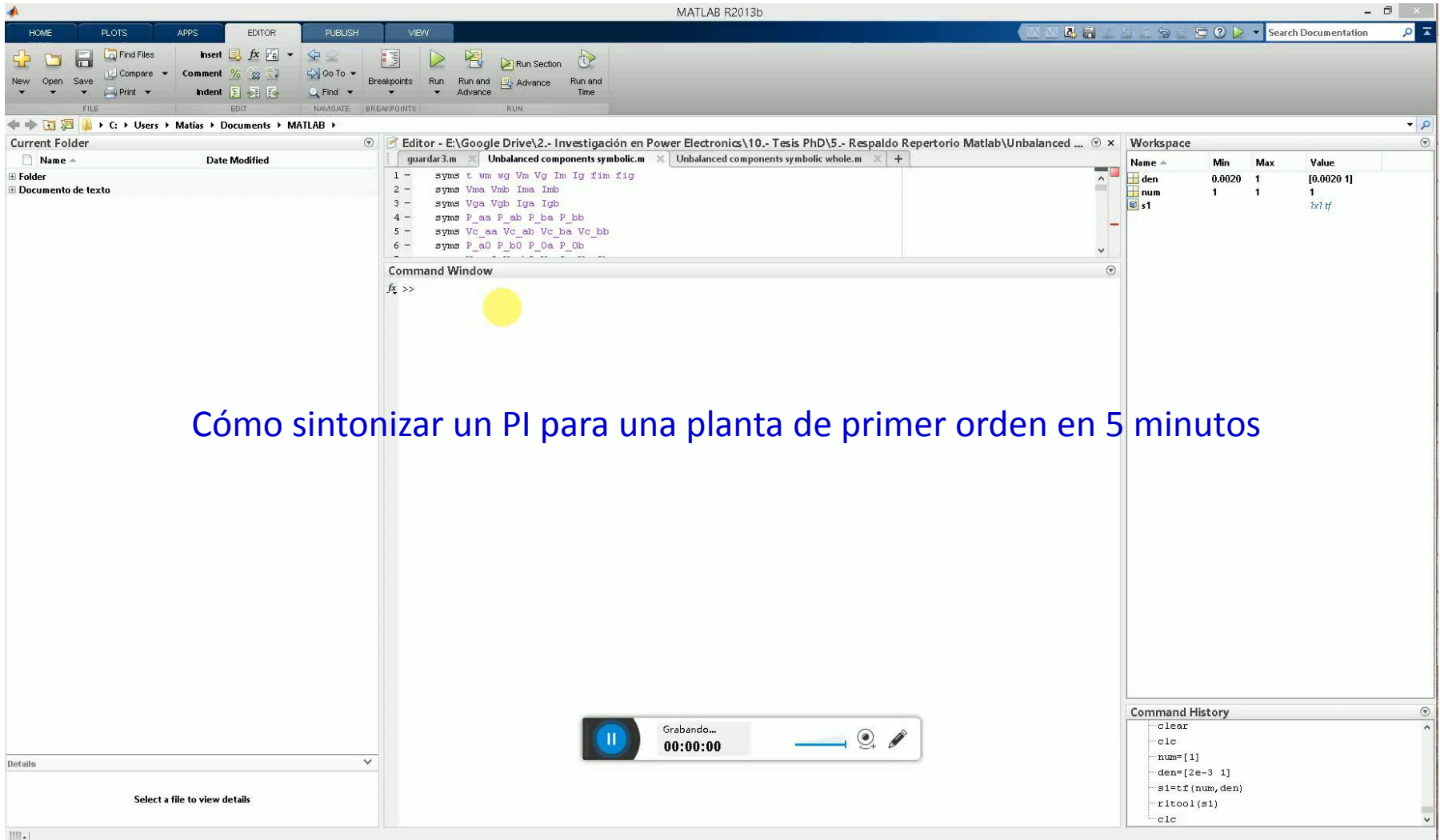
# Uso de RLTool en Matlab



## Aplicando configuraciones de control



# Uso de RLTool en Matlab



Current Folder

Name	Date Modified
Folder	
Documento de texto	

Editor - E:\Google Drive\2.- Investigación en Power Electronics\10.- Tesis PhD\5.- Respaldo Repertorio Matlab\Unbalanced ...

```
guardar3.m Unbalanced components symbolic.m Unbalanced components symbolic whole.m  
1 - syms t wn wg Vm Vg Im Ig fim fig  
2 - syms Vma Vmb Ima Imb  
3 - syms Vga Vgb Iga Igb  
4 - syms P_aa P_ab P_ba P_bb  
5 - syms Vc_aa Vc_ab Vc_ba Vc_bb  
6 - syms P_a0 P_b0 P_0a P_0b
```

Command Window

fx >>

Workspace

Name	Min	Max	Value
den	0.0020	1	[0.0020 1]
num	1	1	1
s1			1s1 tf

Command History

```
clear  
clc  
num=[1]  
den=[2e-3 1]  
s1=tf(num,den)  
rltool(s1)  
clc
```

Grabando... 00:00:00

Select a file to view details

Cómo sintonizar un PI para una planta de primer orden en 5 minutos

# Agenda

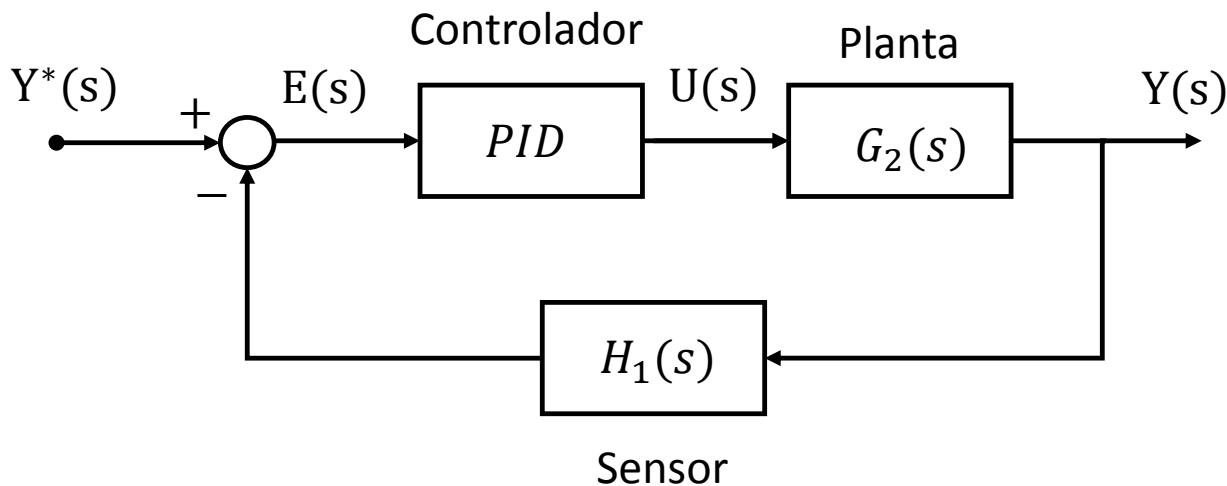


- DISEÑO BÁSICO DE CONTROLADORES
- USO DE RLTOOL EN MATLAB
- **CONTROLADORES PID**
- ANTI-WINDING UP

# Controladores PID

Los controladores más utilizados en aplicaciones industriales son los controladores Proporcionales, Integrales y Derivativos (PID). La ecuación en el dominio de Laplace es:

$$U(s) = \left[ k_p + \frac{k_i}{s} + k_d s \right] E(s)$$



# Controladores PID



## **Acción proporcional**

La acción proporcional multiplica el error por una “ganancia”.

## **Acción integral**

La acción integral da una respuesta proporcional a la integral del error. Esta acción elimina el error en régimen estacionario. Por contra, se obtiene una respuesta más lenta y oscilatoria.

## **Acción derivativa**

La acción derivativa da una respuesta proporcional a la derivada del error (velocidad de cambio del error). Añadiendo esta acción de control a las anteriores se disminuye el exceso de sobreoscilaciones.

# 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



- DISEÑO BÁSICO DE CONTROLADORES
- USO DE RLTOOL EN MATLAB
- CONTROLADORES PID
- **ANTI-WINDING UP**

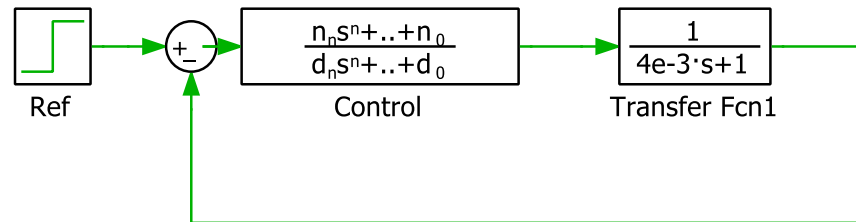
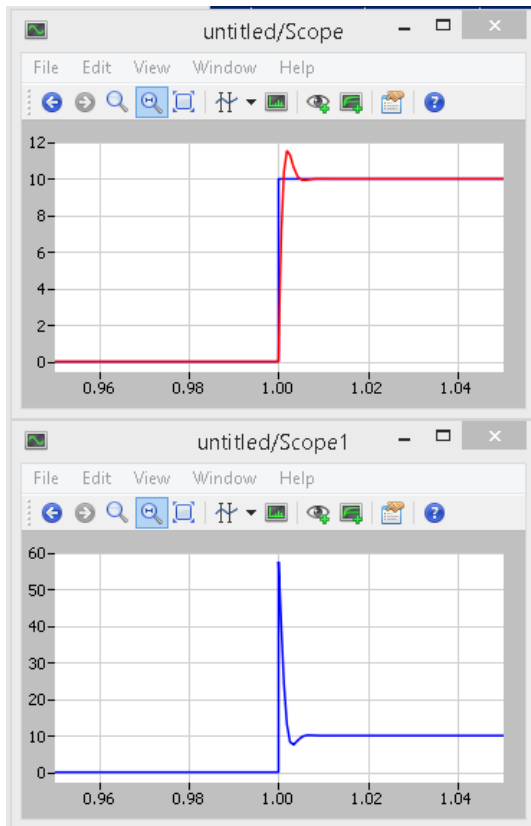


# Anti-Winding UP

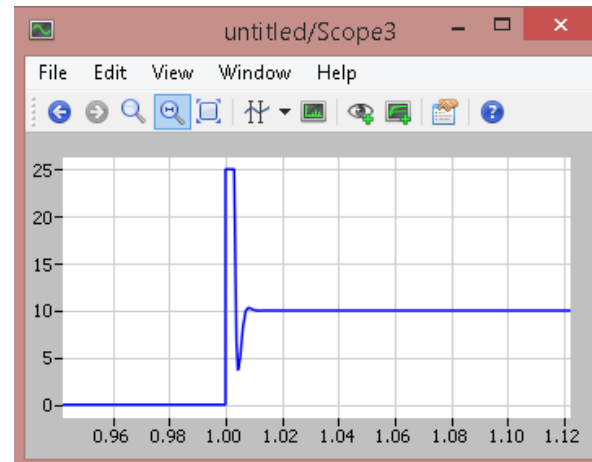
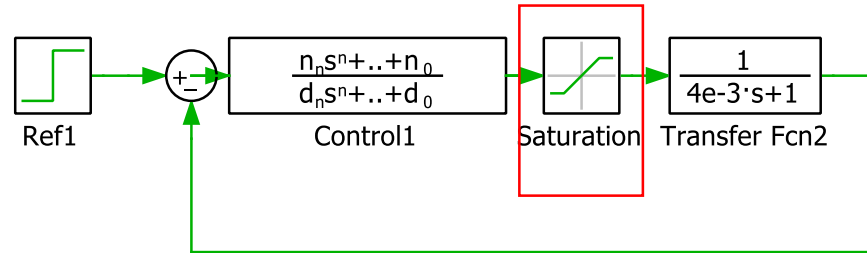
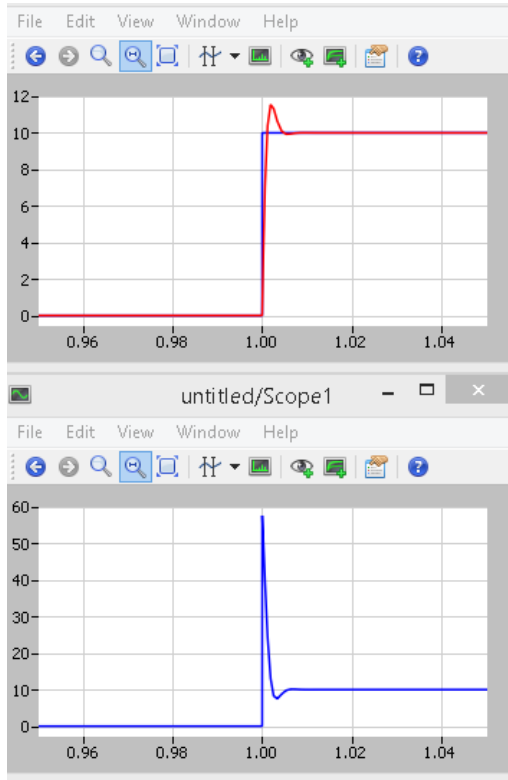


En los sistemas de control, la energía está limitada físicamente por los actuadores o la capacidad del sistema. Por ejemplo, la corriente de un conductor eléctrico debe ser limitada para evitar sobrecalentamientos, el voltaje máximo a aplicar depende de las especificaciones de los dispositivos de electrónica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



# Fundamentos del lugar de la raíz



DEPARTAMENTO DE  
INGENIERÍA  
ELÉCTRICA  
UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE CHILE

## Ejemplo en Matlab