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

- Funciones de Transferencia
- Diagramas de bloque
- Sistema de Segundo Orden
- Sistemas de control a Lazo abierto
- Sistemas de control a Lazo cerrado

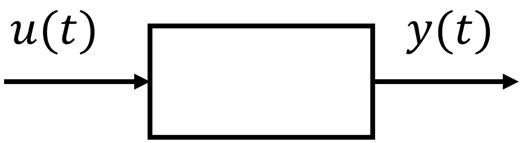
Agenda

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE CHILE

- Funciones de Transferencia
- Diagramas de bloque
- Sistema de Segundo Orden
- Sistemas de control a Lazo abierto
- Sistemas de control a Lazo cerrado

Funciones de transferencia

La función de transferencia de un sistema lineal e invariante en el tiempo se define como la relación entre la transformada de Laplace de la variable de salida y la transformada de Laplace de la variable de entrada, suponiendo que todas las condiciones iniciales se hacen iguales a cero.



Esta forma de representar sistemas se denomina representación externa, ya que atiende a las señales presentes en sus terminales de entrada y salida. Por lo tanto, la función de transferencia de la figura anterior es:

$$G(s) = \frac{\mathcal{L}[y(t)]}{\mathcal{L}[u(t)]} = \frac{Y(s)}{U(s)}$$

Funciones de transferencia

Para el sistema dado por la siguiente ecuación diferencial

$$a\frac{d^n}{dt^n}y(t)+a_{n-1}\frac{d^{n-1}}{dt^{n-1}}y(t)+\cdots+a_1\frac{d}{dt}y(t)+a_0\frac{d^0}{dt^0}y(t)=$$
$$b_m\frac{d^m}{dt^m}u(t)+b_{m-1}\frac{d^{m-1}}{dt^{m-1}}u(t)+\cdots+b_1\frac{d}{dt}u(t)+b_0\frac{d^0}{dt^0}u(t)$$

La función de transferencia del sistema es:

$$G(s)=\frac{\mathcal{L}[y(t)]}{\mathcal{L}[u(t)]}=\frac{Y(s)}{U(s)}$$

Funciones de transferencia

Ventajas

- Representación compacta de un Sistema lineal como cocientes de polinomios en s.
- Permite identificar la forma de las señales sin necesidad de resolver la ecuaciones diferenciales.
- Interpretación en el dominio de la frecuencia
- No depende de la entrada.
- Se puede obtener una función de transferencia sin conocer el sistema.

Funciones de transferencia

Forma canónica:

$$G(s) = \frac{\mathcal{L}[y(t)]}{\mathcal{L}[u(t)]} = \frac{Y(s)}{U(s)}$$

Definiciones

- Las raíces (soluciones) del polinomio del numerador $Y(s)$ se denominan ceros del sistema Z_i
- Las raíces (soluciones) del polinomio del denominador $U(s)$ se denominan polos del sistema P_i
- El orden del sistema corresponde al grado del polinomio del denominador

Funciones de transferencia

Ejercicios: Identifique ceros, polos y orden de las siguientes funciones de transferencia

$$G_1(s) = \frac{1}{s^3}$$

$$G_2(s) = \frac{1 + s^3}{s^2 + 5}$$

$$G_3(s) = \frac{s}{(s+5)(s-2)}$$

$$G_4(s) = \frac{s-2}{s(s+3)(s-2)}$$

Funciones de transferencia

Ejercicio: Obtener Función de Transferencia y encontrar inversa.

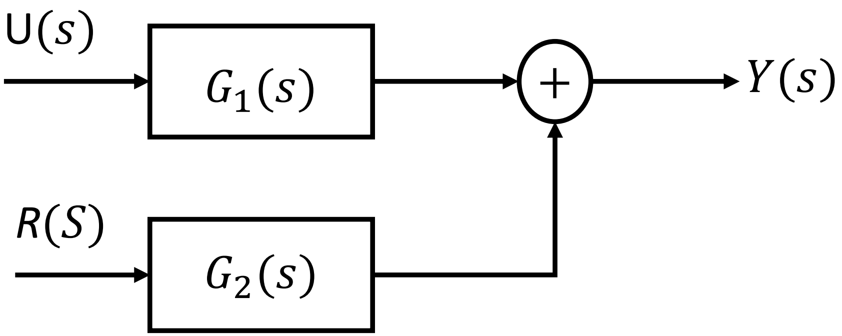
$$\frac{d^2}{dt^2}y(t)+5\frac{d}{dt}y(t)+6y(t)=4u(t)$$

Agenda

- Funciones de Transferencia
- Diagramas de bloque
- Sistema de Segundo Orden
- Sistemas de control a Lazo abierto
- Sistemas de control a Lazo cerrado

Diagramas de bloque

Definición: Un diagrama de bloque es representación gráfico de un sistema físico que ilustra las relaciones funcionales entre sus componentes



Diagramas de bloque

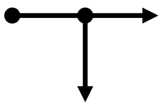
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE CHILE

Componentes de un diagrama de bloques

Función de transferencia

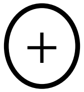
$$\boxed{G_1(s)}$$

Ramificaciones

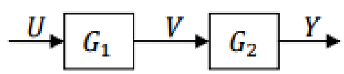
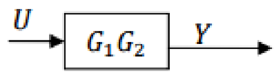
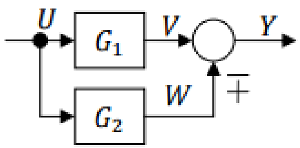
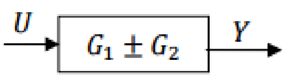
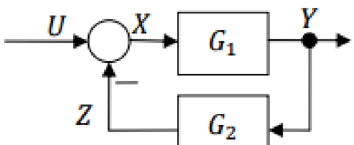
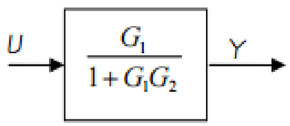
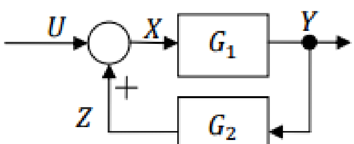
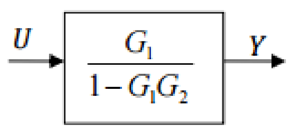
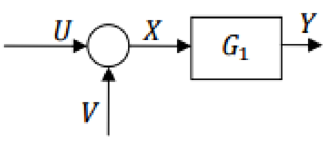
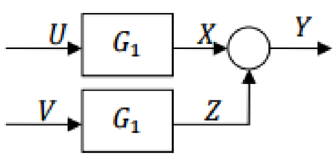


Líneas

Puntos de suma (o resta)



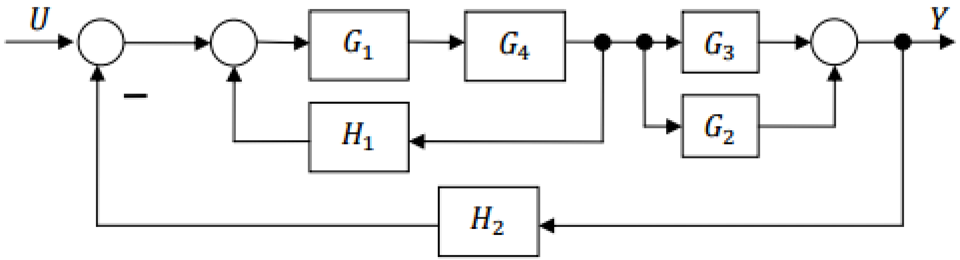
Diagramas de bloque

Diagrama de Bloque	Diagrama de bloque equivalente	Ecuación
1 Combinación de bloques en cascada		
		$V = G_1U; \quad Y = G_2V$ $Y = (G_1G_2)U$
2 Combinación de bloques en paralelo		
		$V = G_1U; \quad W = G_2U$ $Y = V \pm W$ $Y = (G_1 + G_2)U$
3 Retroalimentación negativa		
		$Z = G_2Y; \quad Y = G_1X$ $X = U - Z$ $Y = \frac{G_1}{1 + G_1G_2}U$
4 Retroalimentación positiva		
		$Z = G_2Y; \quad Y = G_1X$ $X = U + Z$ $Y = \frac{G_1}{1 - G_1G_2}U$
5 Movimiento de un punto de suma después de un bloque		
		$X = G_1U; Z = G_1V$ $Y = G_1(U + V)$

Diagramas de bloque

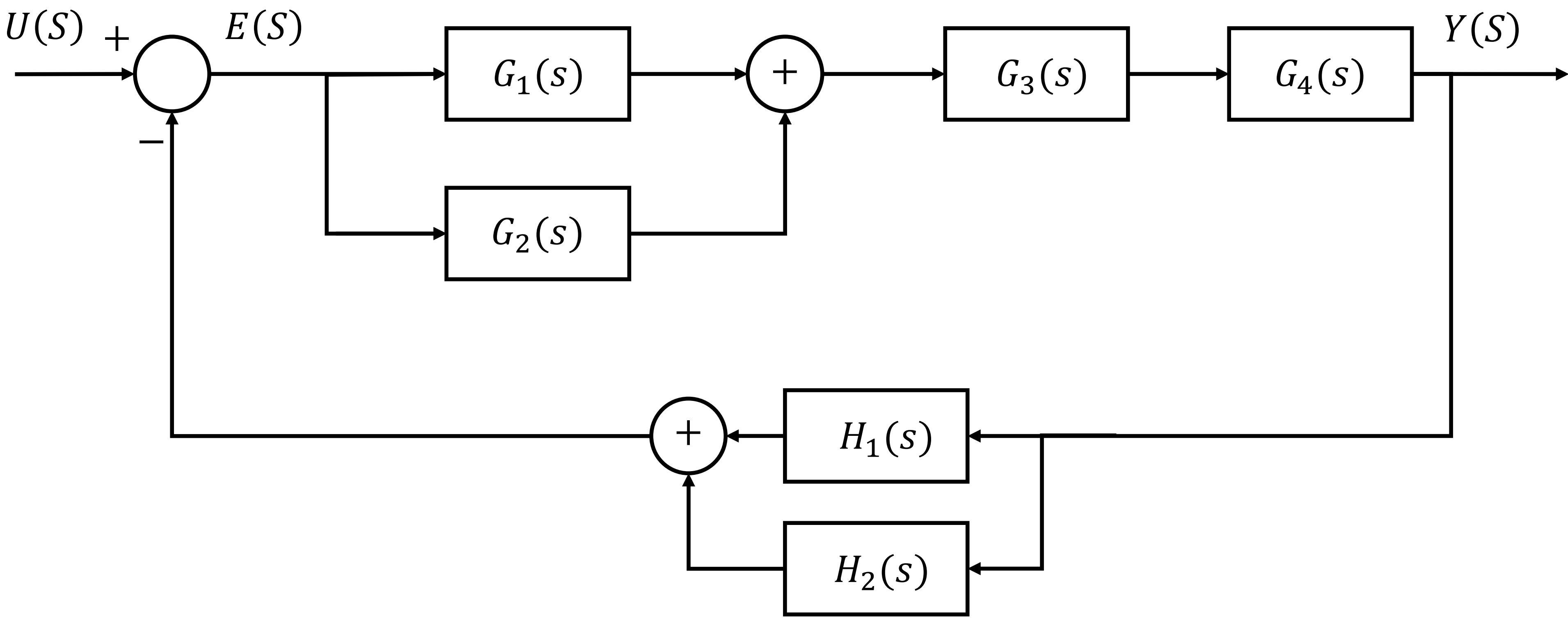
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE CHILE

Ejercicio 1: Reducir este diagrama de bloques

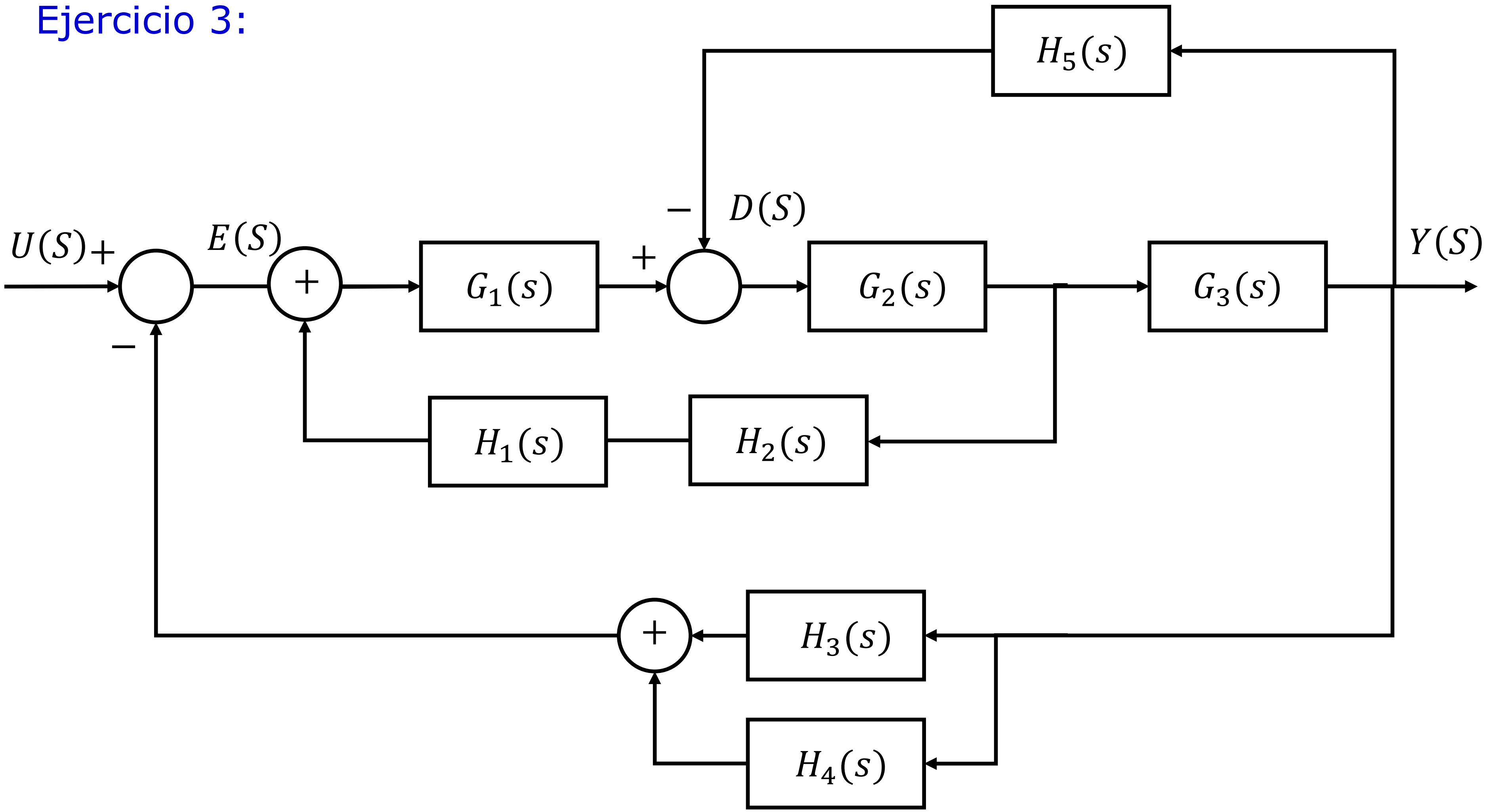


DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE CHILE

Ejercicio 2:



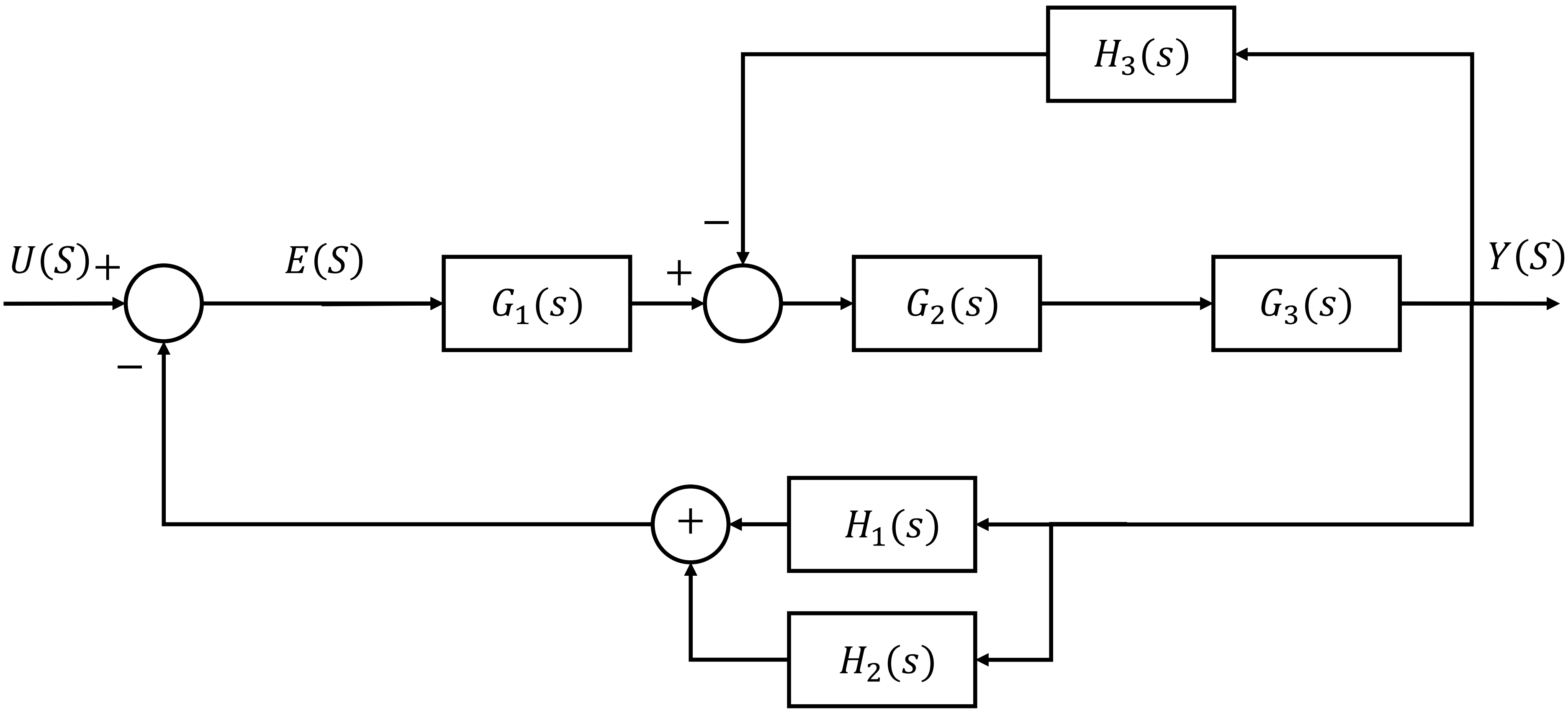
Ejercicio 3:



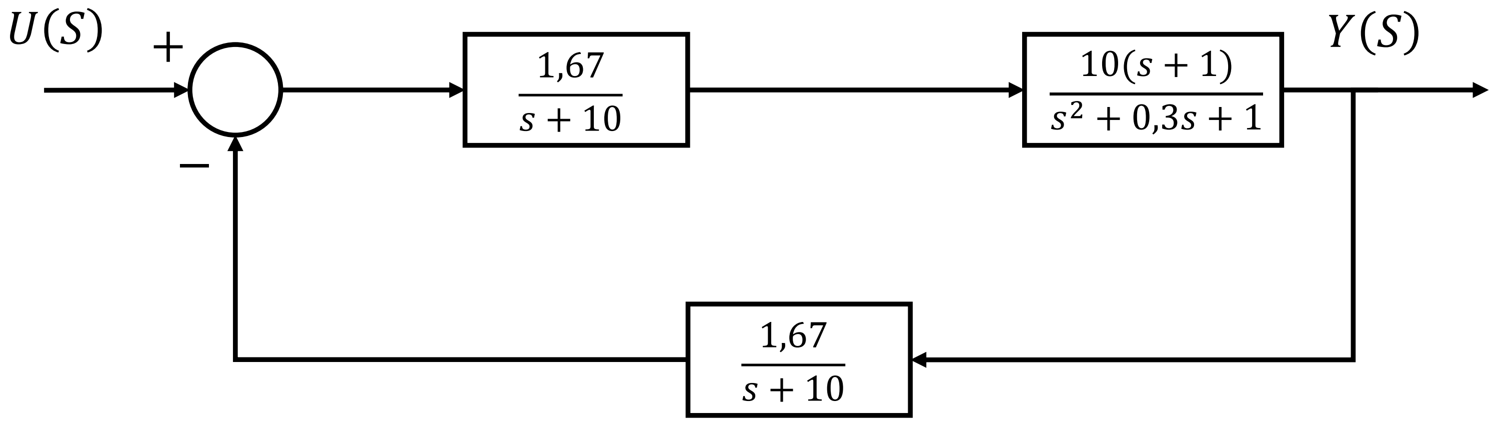
Diagramas de bloque

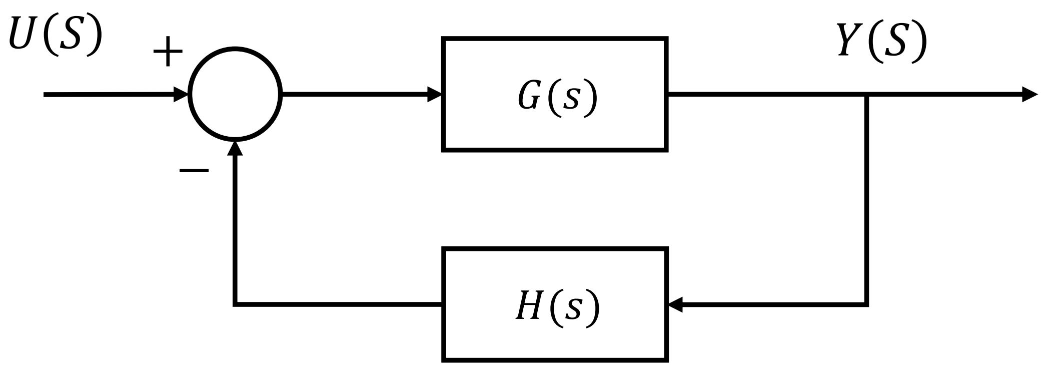
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE CHILE

Ejercicio 4



Ejercicio 5: Encontrar G(s) y H(s)





Diagramas de bloque

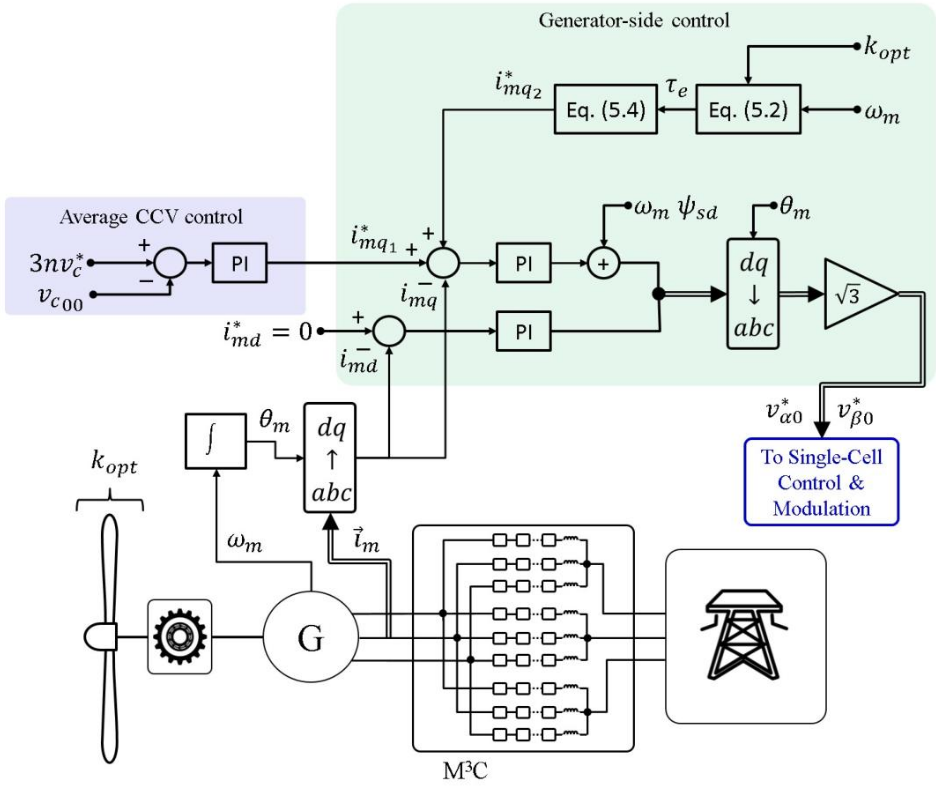
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE CHILE

Ejemplos de un diagrama de bloques aplicado a un sistema de control

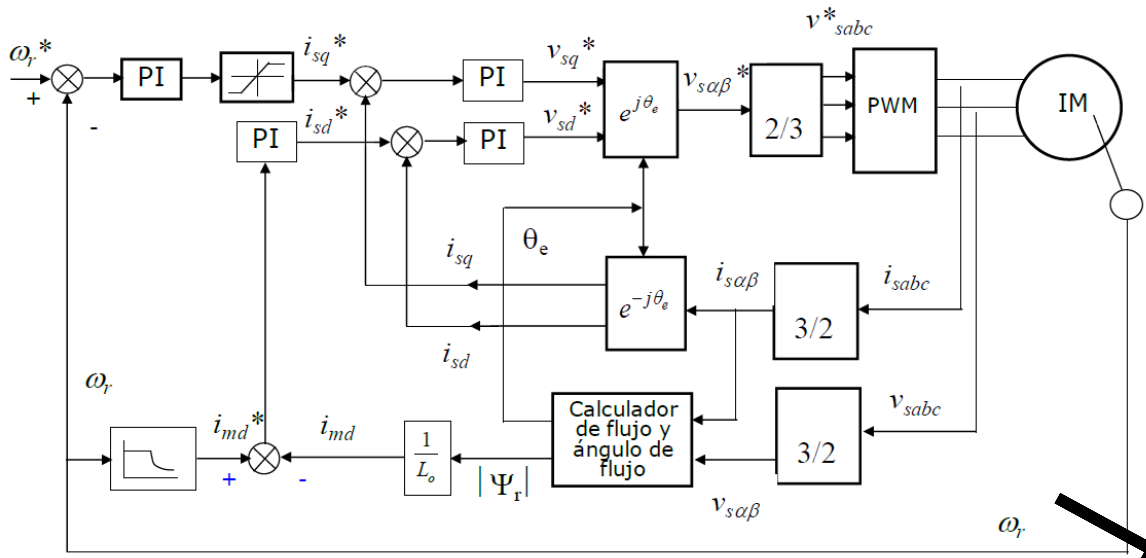
1.- Control de un sistema de conversión de energía eólica
2.- Control de un estimador de frecuencia
3.- Control de una máquina de inducción

Diagramas de bloque

1.- Control de un sistema de conversión de energía eólica



3.- Control de una máquina de inducción



Agenda

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE CHILE

- Funciones de Transferencia
- Diagramas de bloque
- Sistema de Segundo Orden
- Sistemas de control a Lazo abierto
- Sistemas de control a Lazo cerrado

Sistema de Segundo Orden

La función de transferencia de un Sistema de Segundo orden es:

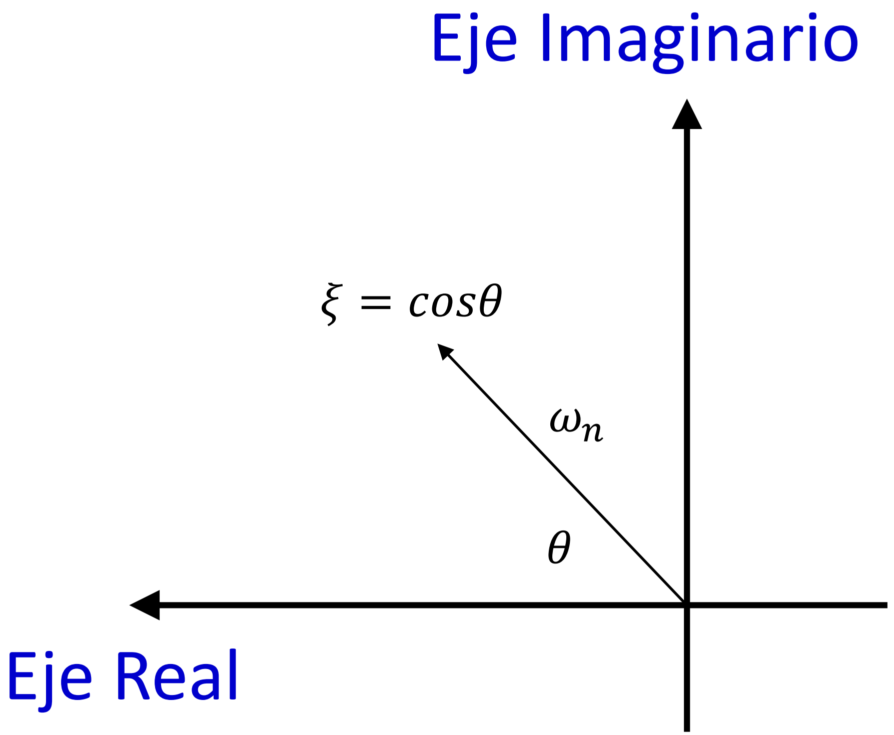
$$\frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\xi\omega_n s + \omega_n^2}$$

El término ω_n se define como frecuencia natural y el término ξ se conoce como coeficiente de amortiguamiento. Si se consideran polos complejos conjugados, ξ es mayor que cero y menor que uno, y la respuesta en el tiempo es:

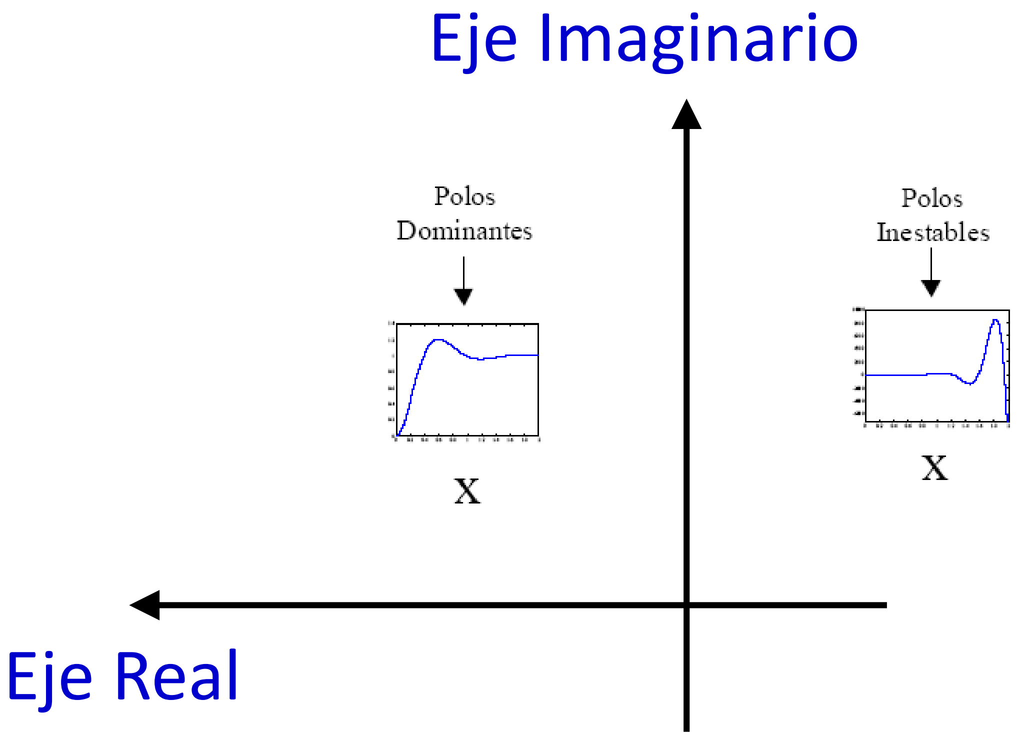
$$y(t) = 1 - \frac{1}{\sqrt{1-\xi}} e^{\xi\omega_n t} \sin(\omega_n \left(\sqrt{1-\xi^2}\right) t + \theta)$$

Sistema de Segundo Orden

Plano Complejo

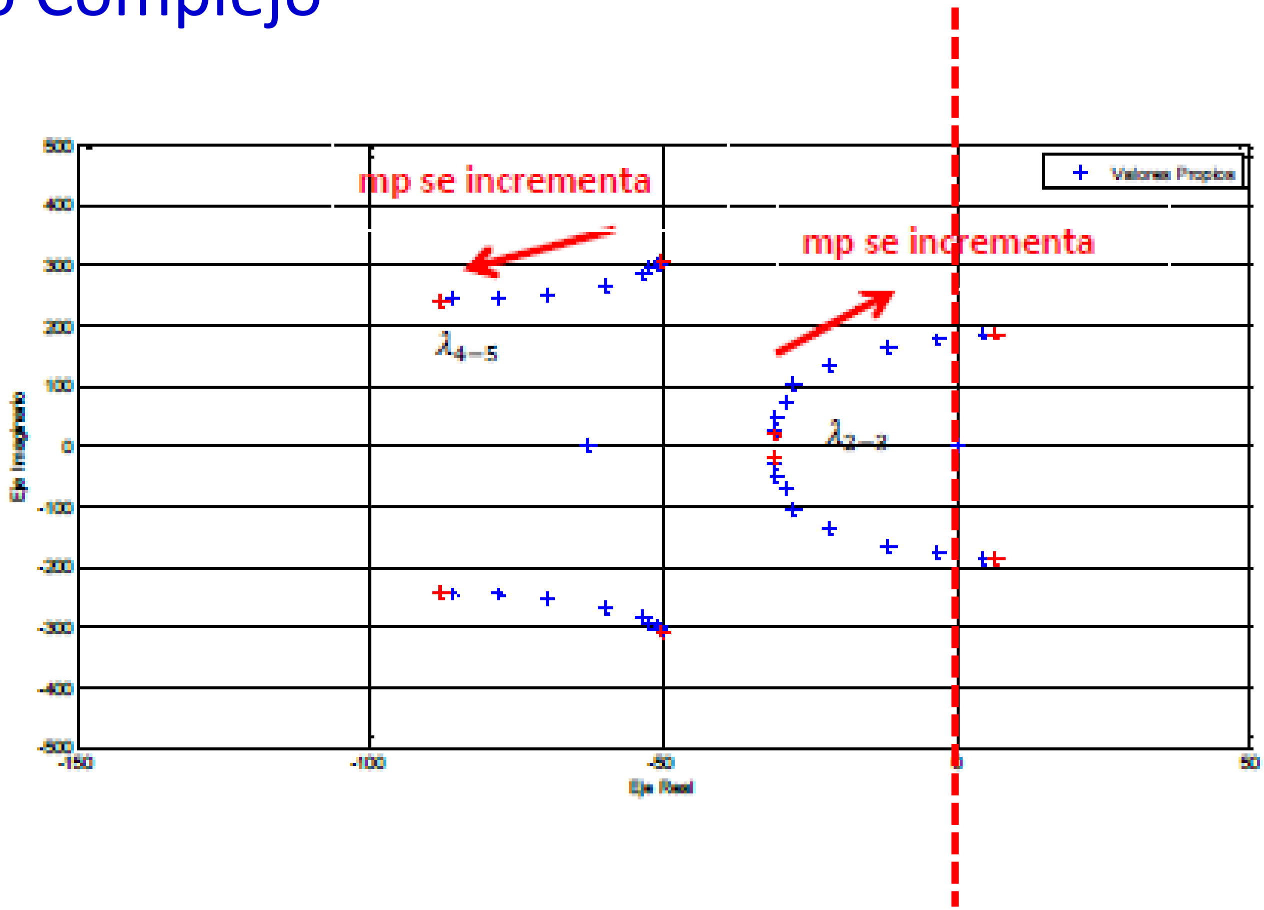


Plano Complejo

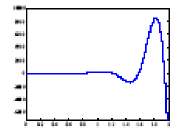


Sistema de Segundo Orden

Plano Complejo



Polos Inestables



X

Sistema de Segundo Orden

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE CHILE

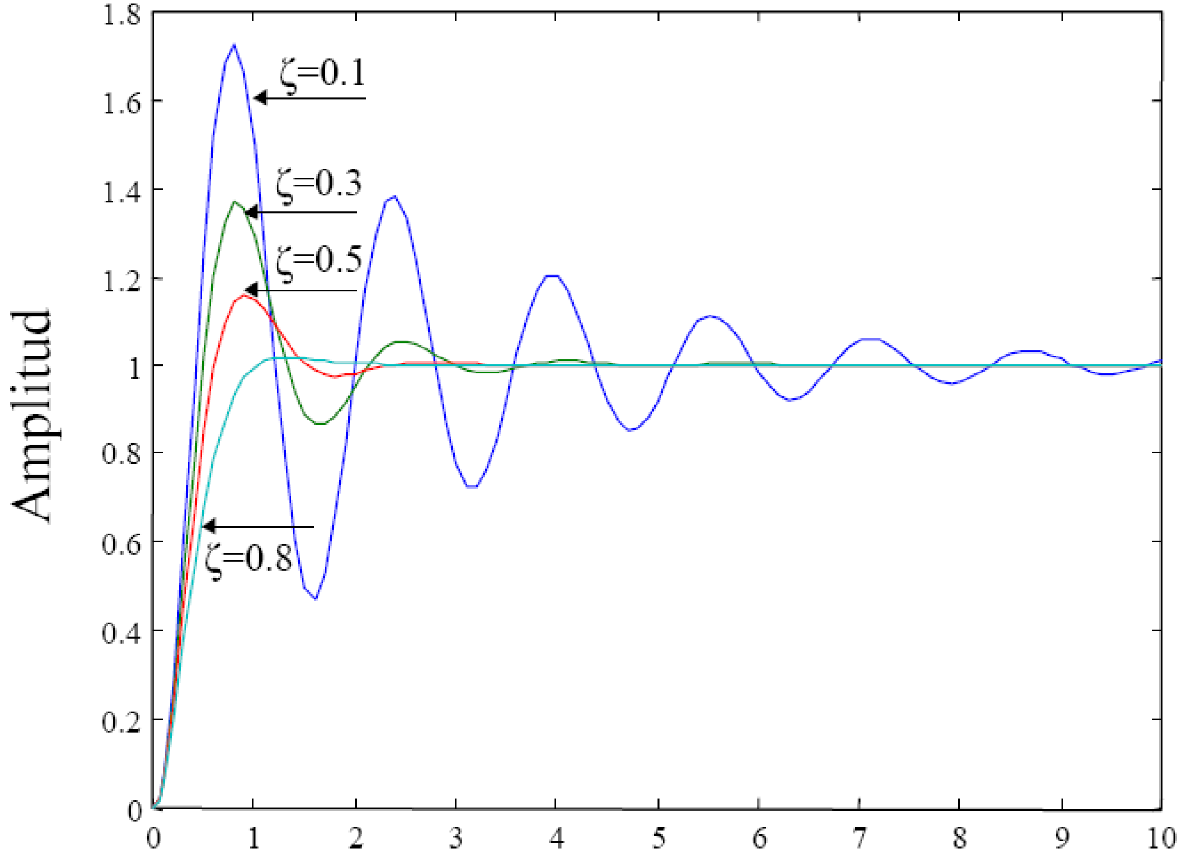
En general el coeficiente de amortiguamiento de un sistema debería diseñarse con valores entre 0.5 a 0.8, pero existen caso en que se permiten coeficiente de amortiguamiento menores y mayores. Por ejemplo si para una planta dada no es conveniente la existencia de sobrepaso, entonces el coeficiente de amortiguamiento debe ser mayor o igual que uno (los polos no deben tener parte imaginaria). Un buen criterio de diseño es utilizar un coeficiente de amortiguamiento de aproximadamente 0.707, lo que significa que el ángulo θ es cercano a los 45°. En estas condiciones el sistema es mas robusto a las variaciones en los parámetros de la planta o actuador.

Sistema de Segundo Orden

El sistema de segundo orden tiene dos parámetros de diseño, la frecuencia natural que esta relacionada con la velocidad de la respuesta y el coeficiente de amortiguamiento que esta relacionado con la forma de onda de la respuesta.

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE CHILE

Influencia del factor de amortiguamiento



Influencia de ω_n

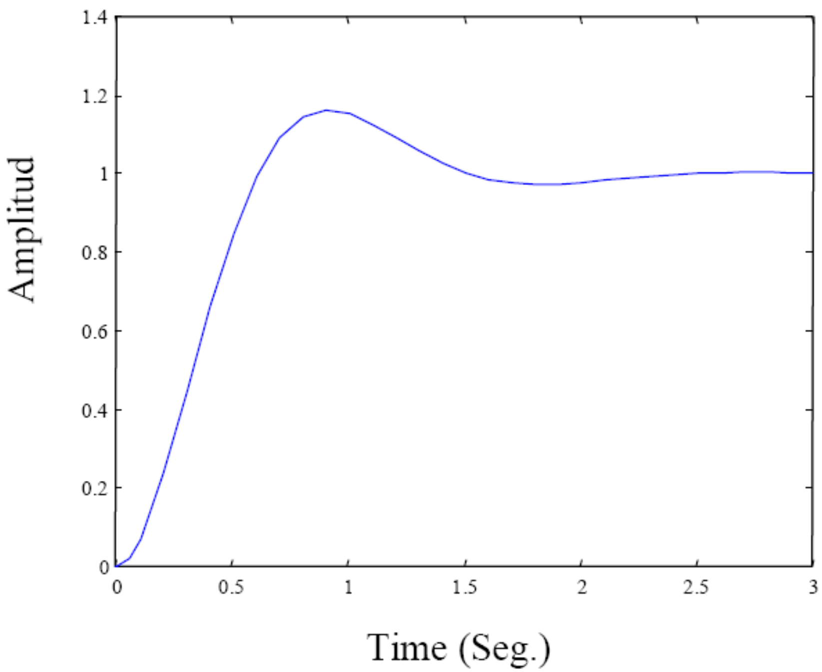


Figura 3. Respuesta para ω_n= 4rads^{-1}

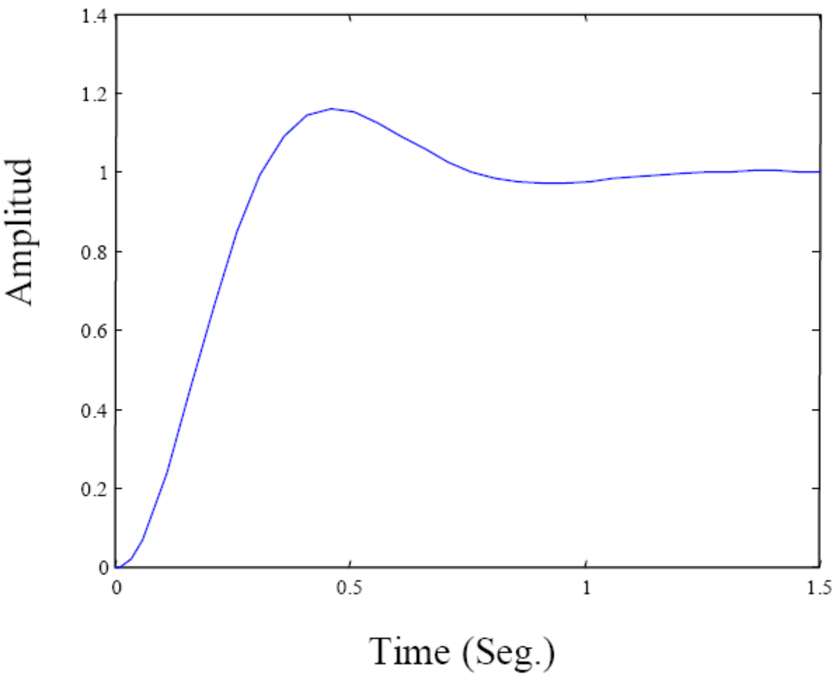
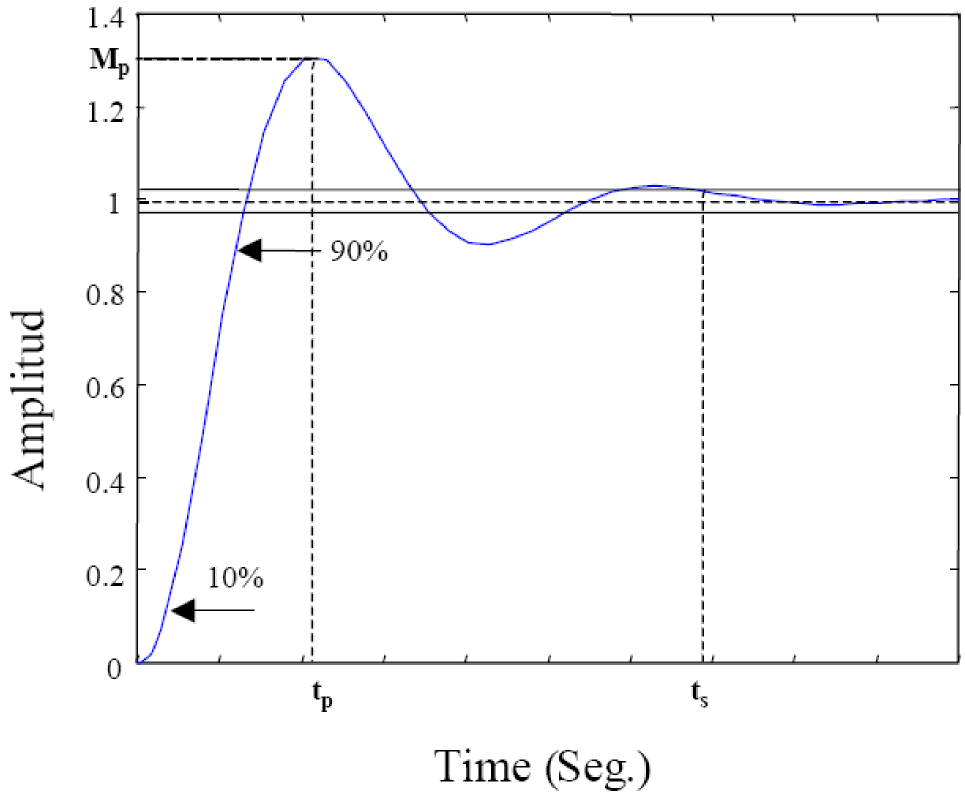


Figura 4. Respuesta para ω_n= 8rads^{-1}

Forma de onda sistema de segundo orden



Agenda

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE CHILE

- Funciones de Transferencia
- Diagramas de bloque
- Sistema de Segundo Orden
- Sistemas de control a Lazo abierto
- Sistemas de control a Lazo cerrado