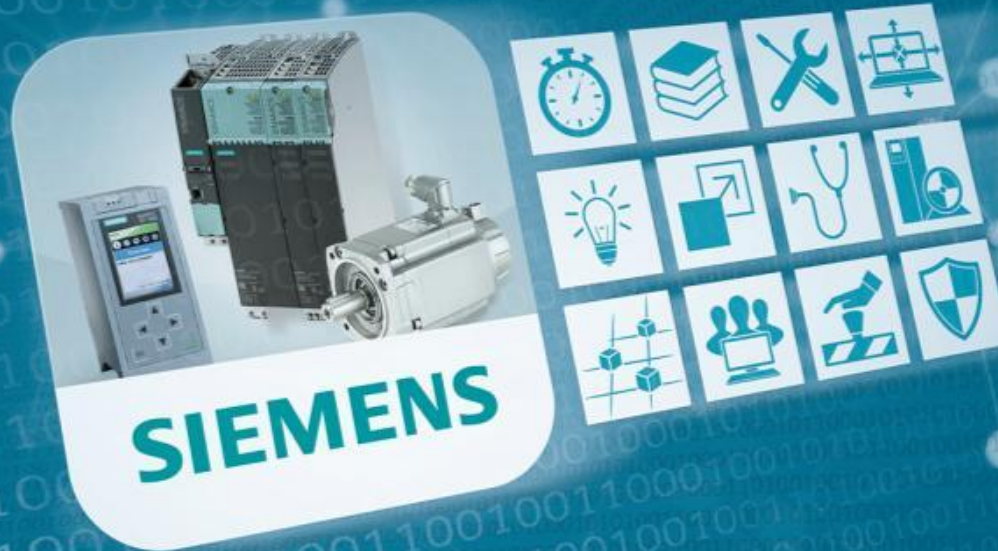


SIEMENS



**UNIVERSIDADE
DE VIGO**



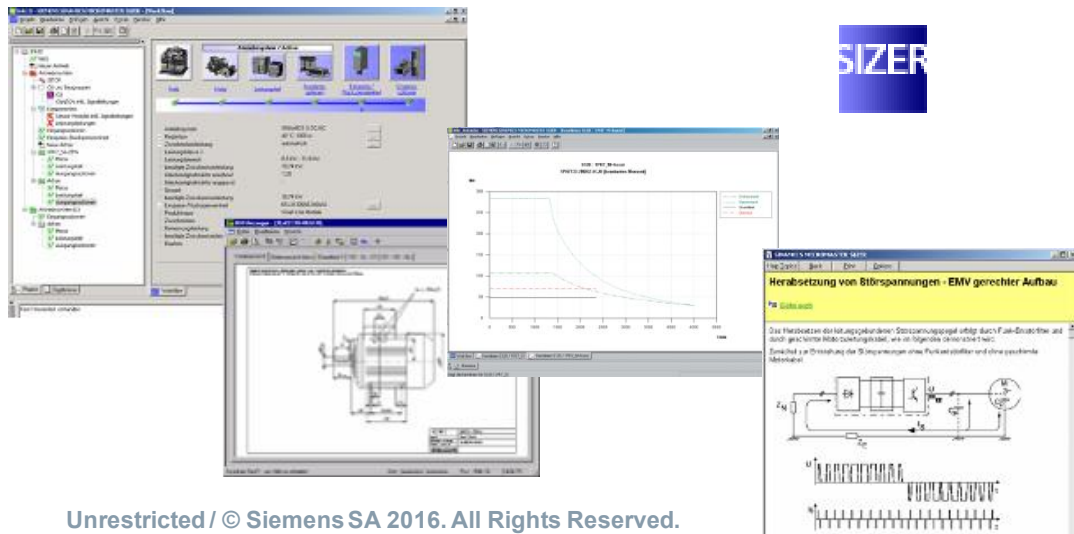
Master Mecatrónica Universidade de Vigo

Workshop

Sizer y Optimización de la Regulación Servo

Sizer for Siemens Drives

1. Vista general de la herramienta Sizer
2. Ejemplo: Selección de Drive y Servo con Par y Velocidad
3. Ejemplo: Selección de Drive y Servo datos mecánicos de un husillo



Unrestricted / © Siemens SA 2016. All Rights Reserved.














Optimización de la Regulación Servo

1. Medición del sistema mecánico mediante función de transferencia y Diagramas de Bode
2. Optimización del Regulador de corriente
 - 2.1 Método: Escalón de consigna o en el dominio del tiempo
 - 2.2 Método: Función de transferencia y diagramas de Bode o en el dominio de la frecuencia
3. Optimización del Regulador de Velocidad
 - 3.1 Método: Escalón de consigna o en el dominio del tiempo
 - 3.2 Método: Función de transferencia y diagramas de Bode o en el dominio de la frecuencia
4. Optimización del Regulador de Posición

SINAMICS – Familia de Drives

Porfolio completo en potencias y funcionalidades

SIEMENS

Low voltage AC									DC voltage		Medium voltage AC				
Basic Performance		General Performance							High Performance		For basic and demanding applications	For demanding applications with high power ratings			
															
SINAMICS V20	SINAMICS V90	SINAMICS G120C	SINAMICS G120P/G120P Cabinet	SINAMICS G120	SINAMICS G110D/G120D/G110M	SINAMICS G130/G150	SINAMICS G180	SINAMICS S110	SINAMICS S120	SINAMICS S150	SINAMICS DCM	SINAMICS GL150/SL150	SINAMICS SM120 CM / SM150/GM150	SINAMICS GH150 / GH180 (cell-based)	
V/f control	Servo control (speed and torque) with encoder	V/f control, vector control without encoder		V/f control, vector control with/without encoder	V/f control (G110D), sensorless vector control (G120D / G110M)	V/f control, vector control with/without encoder	V/f control, vector control with encoder	Servo control	V/f control, vector control with/without encoder, servo control with/without encoder		Closed-loop speed, torque control	V/f control, vector control			
0.12 – 30 kW	0.4 – 7 kW	0.55 – 18.5 kW	0.37 – 400 kW	0.55 – 250 kW	0.37 – 7.5 kW	75 – 2,700 kW	2.2 – 6,600 kW	0.12 – 90 kW	0.12 – 5,700 kW		75 – 1,200 kW	6 kW – 3 MW	2.8 – 85 MW	0.8 – 17 MW	0.15 – 14.2 MW
Pumps, fans, compressors, conveyor belts, mixers, mills, spinning machines, textile machines	Handling machines, packaging machines, automatic assembly machines, metal forming machines, printing machines, winders and unwinders	Pumps, fans, compressors, conveyor belts, mixers, mills, extruders	Pumps, fans, compressors, building technology, process industry, HVAC	Pumps, fans, compressors, conveyor belts, mixers, mills, extruders, single-axis positioning applications in plant and machinery construction	Conveyor technology, single-axis positioning applications (G120D)	Pumps, fans, compressors, conveyor belts, mixers, mills, extruders	Sector-specific for pumps, fans, compressors, conveyor belts, extruders, mixers, mills, kneaders, centrifuges, separators	Single-axis positioning applications in plant and machinery construction	Production machines (packaging, textile and printing machines, paper machines, plastics machines), machine tools, plants, process lines and rolling mills, marine and test stands		Test stands, cross cutters, centrifuges	Rolling mill drives, wire drawing machines, extruders and kneaders, cable railways and ski lifts, test stand drives	Pumps, fans, compressors, mixers, extruders, mills, rolling lines, mine hoist drives, excavators, test stands, ships' drives, conveyor belts, blast furnace blowers	Pumps, fans, test stands, ore conveyor belts, ore crushers, compressors, excavators, ships' drives	Pumps, fans, compressors, mills, crushers, conveyor systems, retrofit projects
Engineering Tools:									DT Configurator – selection and configuration SIZER – simple planning and engineering STARTER and SINAMICS Startdrive – fast commissioning*, optimization and diagnostics						

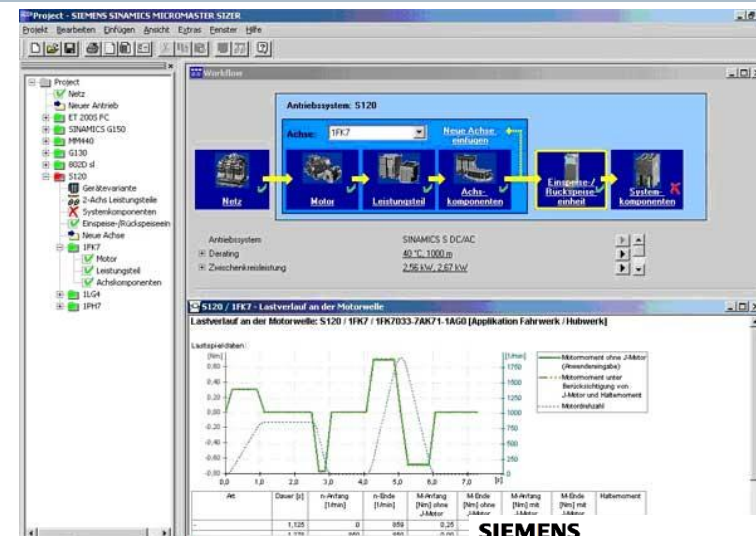
*Exceptions:
V20: needs no tool; V90: SINAMICS V-ASSISTANT commissioning tool; G180: IMS commissioning software (Inverter Management Software)

- Amplio rango de potencias desde 0.12 kW hasta 85 MW
- Disponible en baja tensión, media tensión y también en versiones en corriente continua

SIZER WEB ENGINEERING



SIZER

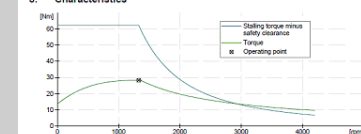


Customer No.:
Last saved:
Project:
Author:
Comment:

1. Parts list

[illegible]

3. Characteristics



Sizer for Siemens Drives

Pasos de selección

SIEMENS

Descripción del
Sistema mecánico



Selección de los
motores y reductoras



Selección del
convertidor /
Arrancador de motor



Accesorios



Selección del control
(Lazo abierto / Lazo
Cerrado)



Sizer for Siemens Drives

Selección del sistema mecánico

SIEMENS

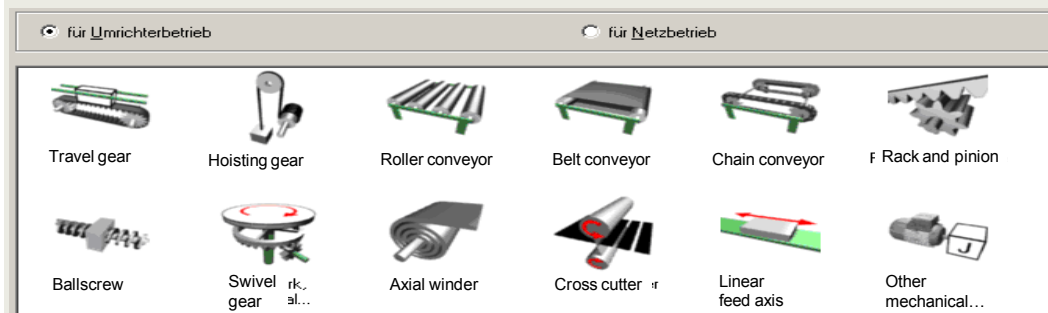
Descripción del
Sistema mecánico

Selección de los
motores y reductoras

Selección del
convertidor /
Arrancador de motor

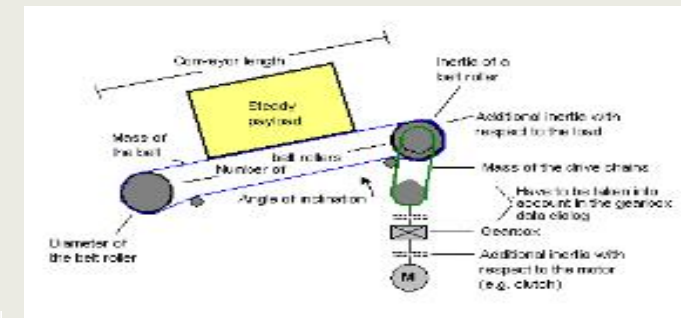
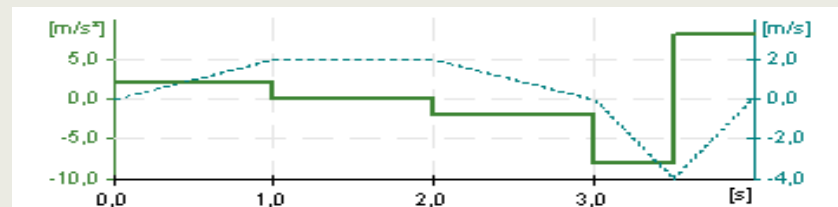
Accesorios

Selección del control
(Lazo abierto / Lazo
Cerrado)



1. Selección del sistema
mecánico

2. Definir los datos característicos
de la mecánica



3. Definir el perfil de
movimiento y posición

Sizer for Siemens Drives

Selección del motor y reductor

SIEMENS

Descripción del Sistema mecánico

Selección de los motores y reductoras

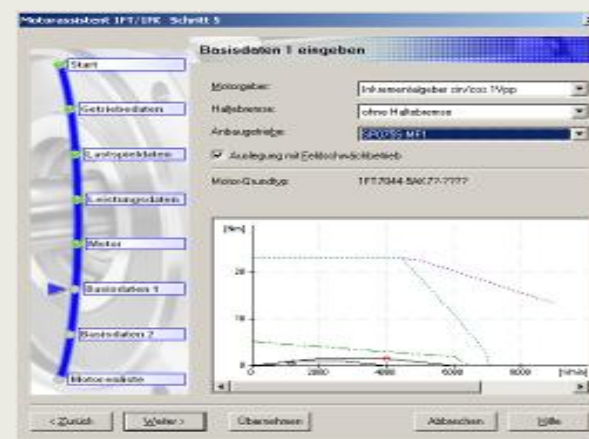
Selección del convertidor / Arrancador de motor

Accesorios

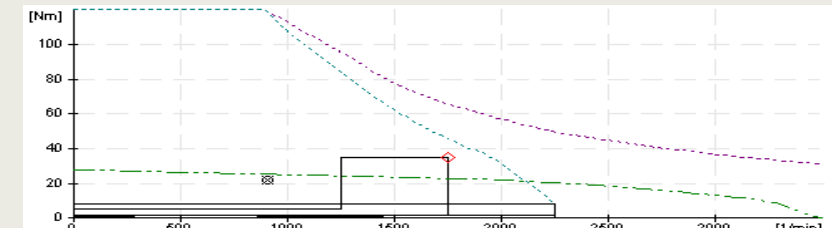
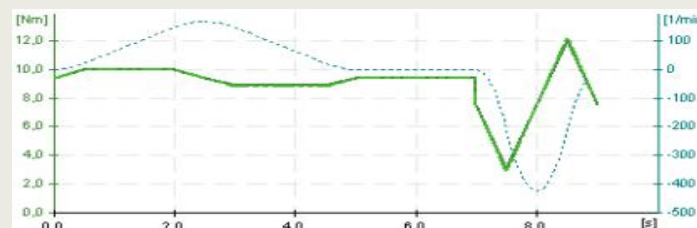
Selección del control (Lazo abierto / Lazo Cerrado)

Selección de motores usando asistentes específicos para cada tipo de motor

Bestellnr.	Einphasig	P [kW]	M [Nm]	1800	n [1/min]
1LA6100-4AA00	2.75 kW	2.34 kW	15.75 Nm	6.31 A	1470
1LA6100-4AA00	3.00 kW	3.11 kW	21.00 Nm	8.50 A	1470
1LA6113-4AA00	4.00 kW	4.27 kW	28.35 Nm	8.73 A	1470
1LA6138-4AA00	5.50 kW	5.70 kW	37.44 Nm	11.58 A	1470
1LA6133-4AA00	7.50 kW	7.75 kW	50.96 Nm	15.84 A	1470
1LA6133-4AA00	11.00 kW	11.55 kW	74.92 Nm	21.60 A	1470



Evaluación técnica de la aplicación a través de la curva de par del motor y la curva de par de trabajo



Sizer for Siemens Drives

Selección del convertidor o arrancador de motor

SIEMENS

Descripción del Sistema mecánico

Selección de los motores y reductoras

Selección del convertidor / Arrancador de motor

Accesorios

Selección del control (Lazo abierto / Lazo Cerrado)

Motor Module auswählen

☒ Benötigter Dauerstrom: 4,25 A <= verfügbarer Strom
☒ Benötigter Spitzenstrom: 5,90 A <= verfügbarer Spitzenstrom

Anzahl parallel geschaltet: 1

☒ Nur auswählbare Komponenten anzeigen

Bestellbezeichnung	Art	Ausführung	Bem.-Strom	Spitzenst.	Verf. Strom	Verf. Spitzenst.	Zwischenk.-Kap.
✓ 6SL3120-1TE15-0AA3	Single	Booksize	1 * 5,00 A	10,00 A	5,00 A	10,00 A	0,110 mF
✓ 6SL3120-2TE15-0AA3	Double	Booksize	1 * 5,00 A	10,00 A	5,00 A	10,00 A	0,220 mF
✓ 6SL3420-1TE15-0AA0	Single	Booksize Compact	1 * 5,00 A	15,00 A	5,00 A	15,00 A	0,110 mF
✓ 6SL3420-2TE15-0AA0	Double	Booksize Compact	1 * 5,00 A	15,00 A	5,00 A	15,00 A	0,165 mF
✓ 6SL3120-1TE21-0AA3	Single	Booksize	1 * 9,00 A	18,00 A	9,00 A	18,00 A	0,110 mF
✓ 6SL3120-2TE21-0AA3	Double	Booksize	1 * 9,00 A	18,00 A	9,00 A	18,00 A	0,220 mF
✓ 6SL3420-1TE21-0AA0	Single	Booksize Compact	1 * 9,00 A	27,00 A	9,00 A	27,00 A	0,110 mF
✓ 6SL3120-1TE21-8AA3	Single	Booksize	1 * 18,00 A	36,00 A	18,00 A	36,00 A	0,220 mF
✓ 6SL3120-2TE21-8AA3	Double	Booksize	1 * 18,00 A	36,00 A	18,00 A	36,00 A	0,710 mF
✓ 6SL3420-1TE21-8AA0	Single	Booksize Compact	1 * 18,00 A	54,00 A	18,00 A	54,00 A	0,710 mF
✓ 6SL3120-1TE23-0AA3	Single	Booksize	1 * 20,00 A	56,00 A	20,00 A	56,00 A	0,710 mF

Bei Änderung des Motor Modules wird ein ggf. zugeordnetes Double Motor Module wenn möglich ebenfalls geändert, ansonsten wird die Bindung gelöst.

OK Weiter Info Abbrechen

Selección del convertidor

Motorstarter auswählen

Bemessungsstrom des Motors: 1,00 A
Einschaltungen: 1 1/h
Anlaufzeit: 0,77823 s (die Auslegung basiert auf Schaltklasse CLASS 10)
Temperatursensor im Motor: nicht vorhanden

Einbaulage: Gerät senkrecht
Produktfamilie: SIMATIC ET 200S Motorstarter
Ausführung: Direktstarter
Schaltkontakt: elektromechanisch
Motorschutz: Bimetall
Zuordnungsart: 2

Befestigung:
Kommunikation: PROFIBUS-DP
Bremsanschluss: keiner
Digitale Eingänge:

Bestellbezeichnung	Kurztext	Überlastauslöser	Verfügbarer Ie	Leistung	Baugröße	Steuerspg DC	Steuer
6ES7130-0DB00-0AA2	VERBRAB ET200S DIREKTS DS1X0...	0,00 A...1,00 A	1,00 A	0,85 kW	-	204 V...230 V	-
6ES7130-0DB00-0AA2	VERBRAB ET200S DIREKTS DS1X0...	0,50 A...1,25 A	1,25 A	0,37 kW	-	20,4 V...230 V	-

OK Abbrechen Hilfe

Sizer for Siemens Drives

Selección del tipo de control

SIEMENS

Descripción del Sistema mecánico

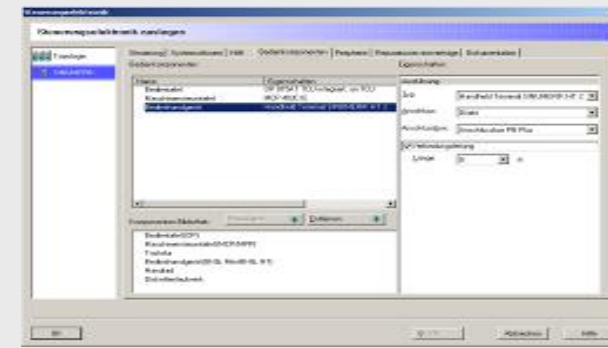
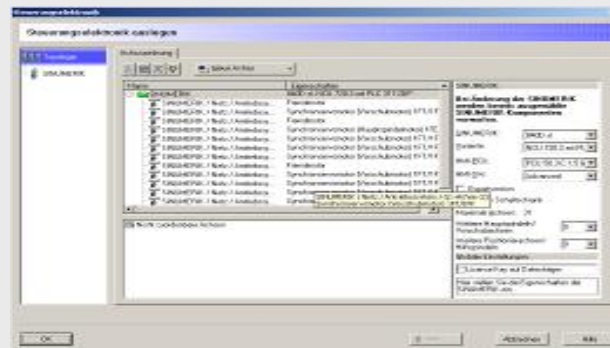
Selección de los motores y reductoras

Selección del convertidor / Arrancador de motor

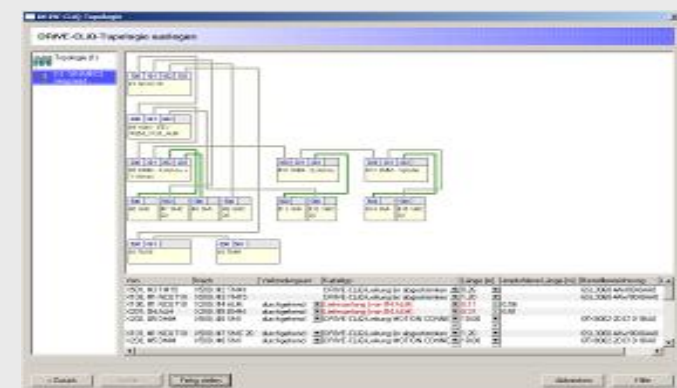
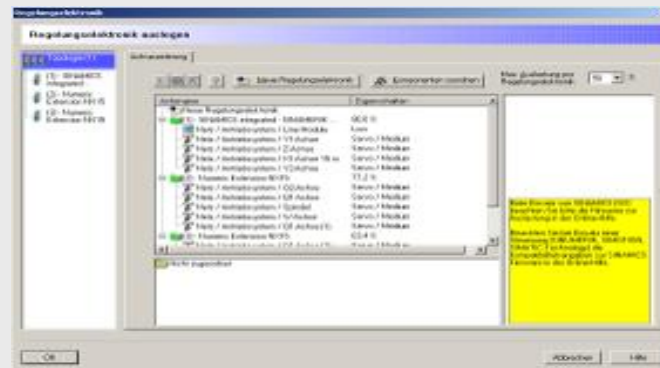
Accesorios

Selección del control (Lazo abierto / Lazo Cerrado)

Selección del lazo abierto de regulación



Selección del lazo cerrado de regulación

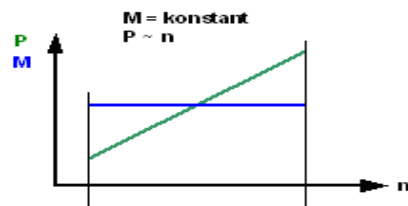
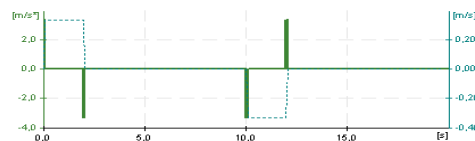
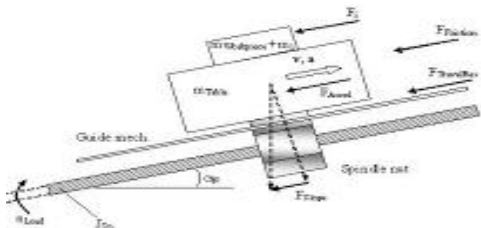


Herramienta de Ingeniería



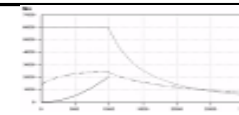
SIZE

Condiciones ambientales, carga, perfiles de movimiento



Grundtyp	MO	IO
1FK7105-5AC71	59.00 Nm	24.89 A
1FK7042-5AF71	3.70 Nm	2.64 A
1FK7050-5AF71	7.40 Nm	5.56 A
1FK7053-5AF71	12.80 Nm	9.34 A
1FK7080-5AF71	10.00 Nm	6.21 A

Info.Técnica



Características



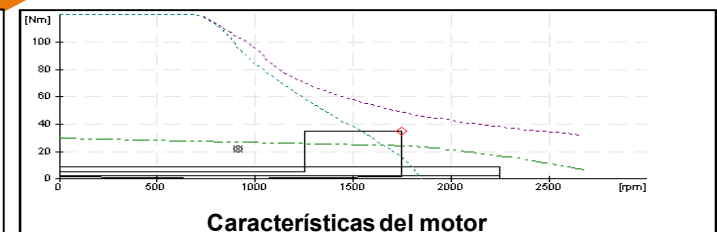
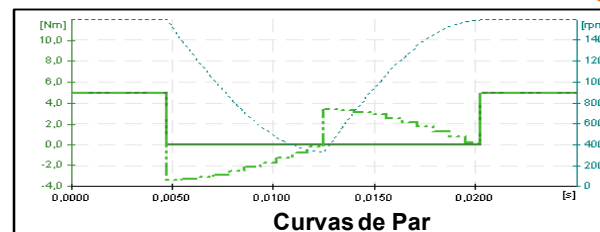
Conocimiento

$$I \approx \sqrt{\left(\frac{M_{Last}}{M_{Bem}}\right)^2 \cdot I_w^2 \cdot k_n^2 + I_\mu^2} \cdot \frac{1}{k_n^2}$$

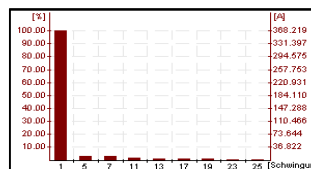
Tecnología

Dimensionamiento completo de la solución:

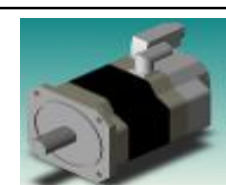
Motor y reductora, componentes del drive, sistemas de conexión, opciones y accesorios...

[illegible]

Diseño de la instalación



Harmónicos de Linea



Modelos en 3D



Lista de materiales



Cáculo de energía

Sizer for Siemens Drives

¿Dónde encontrarlo?

SIEMENS

- SIZER está disponible en DVD con la siguiente referencia:

- 6SL3070-0AA00-0AG0

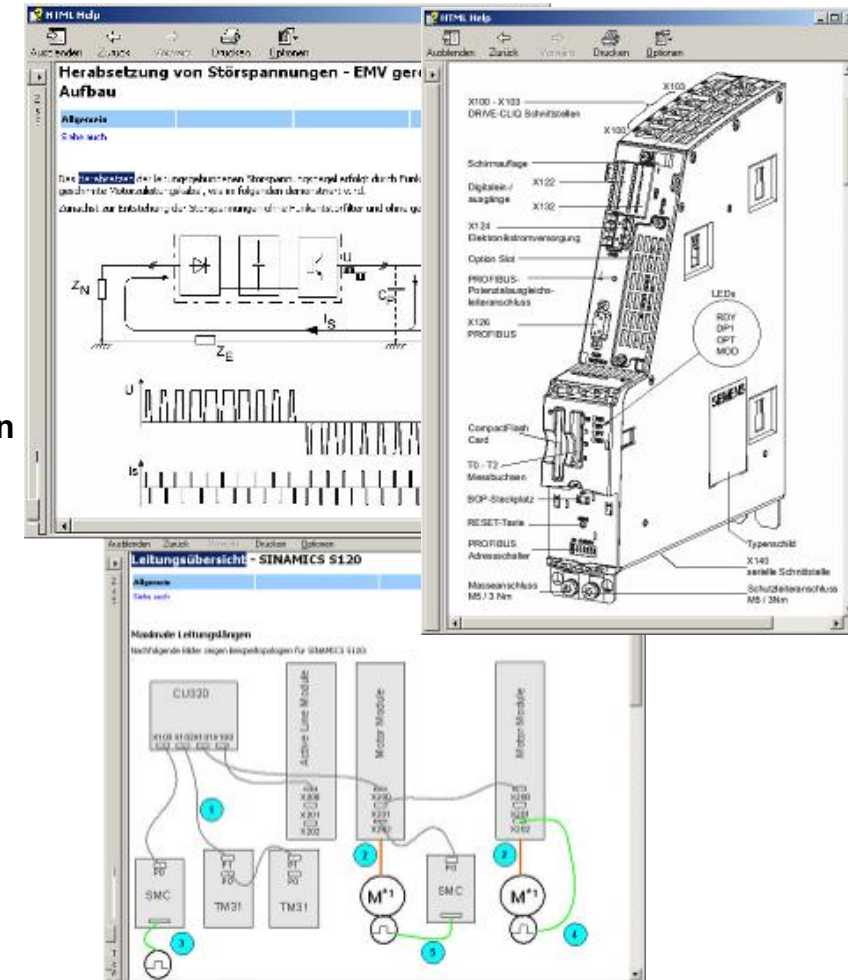
- Tiene un cargo aproximado de € 34.-.

- Puedes encontrar el Sizer en internet en:

- <http://www.siemens.com/sizer>

- Puedes encontrar información adicional y descargas gratuitas para el Sizer en la información de producto en:

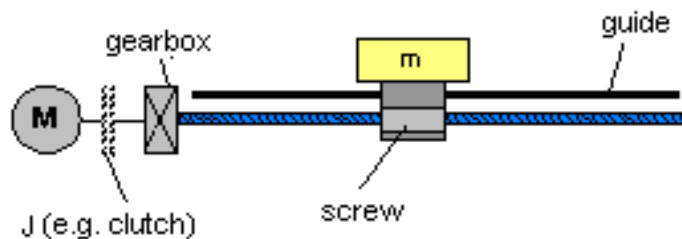
- <http://support.automation.siemens.com/WW/view/en/10804987/130000>



Sizer for Siemens Drives

Ejemplo: Husillo

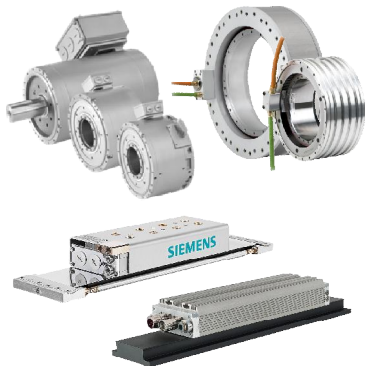
SIEMENS



- Husillo de acero
- Longitud 900 mm y 15 mm de diámetro y el paso de husillo de 20 mm
- Coeficiente de fricción de 0.12
- Momento de inercia respecto al Husillo $2,1 \times 10^{-4}$
- Carga de 15 Kg sobre un soporte de 22 Kg

- Ciclo de Trabajo:
 - Avance 900 mm en 1,25 segundos
 - Pausa de 0.2 segundos
 - Retroceso 900 mm en 1.25 segundos
 - Pausa de 0.2 segundos

Optimización de la Regulación Servo



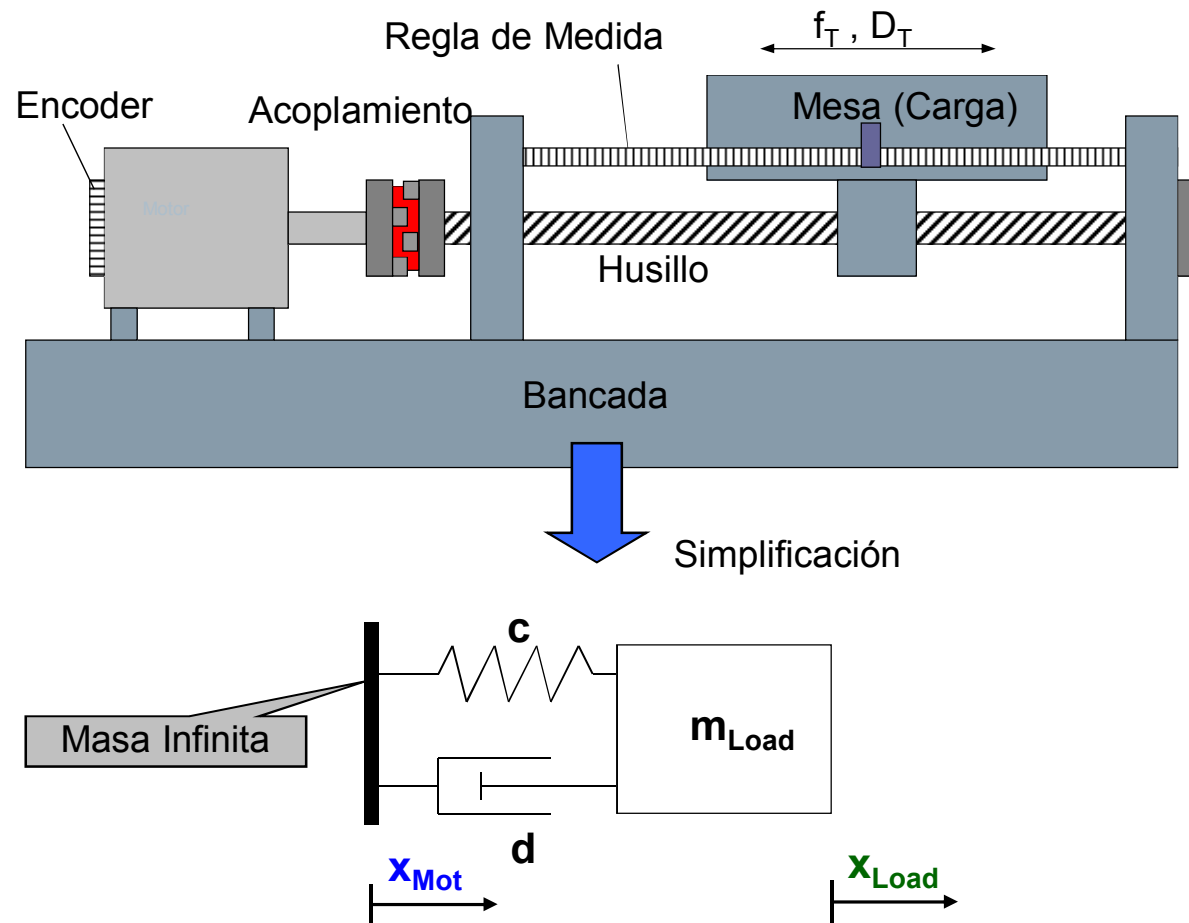
Medición del sistema mecánico mediante función de transferencia y Diagramas de Bode



Optimización de la Regulación Servo

Introducción a un sistema mecánico dinámico: Diagrama de bloque de una estructura mecánica

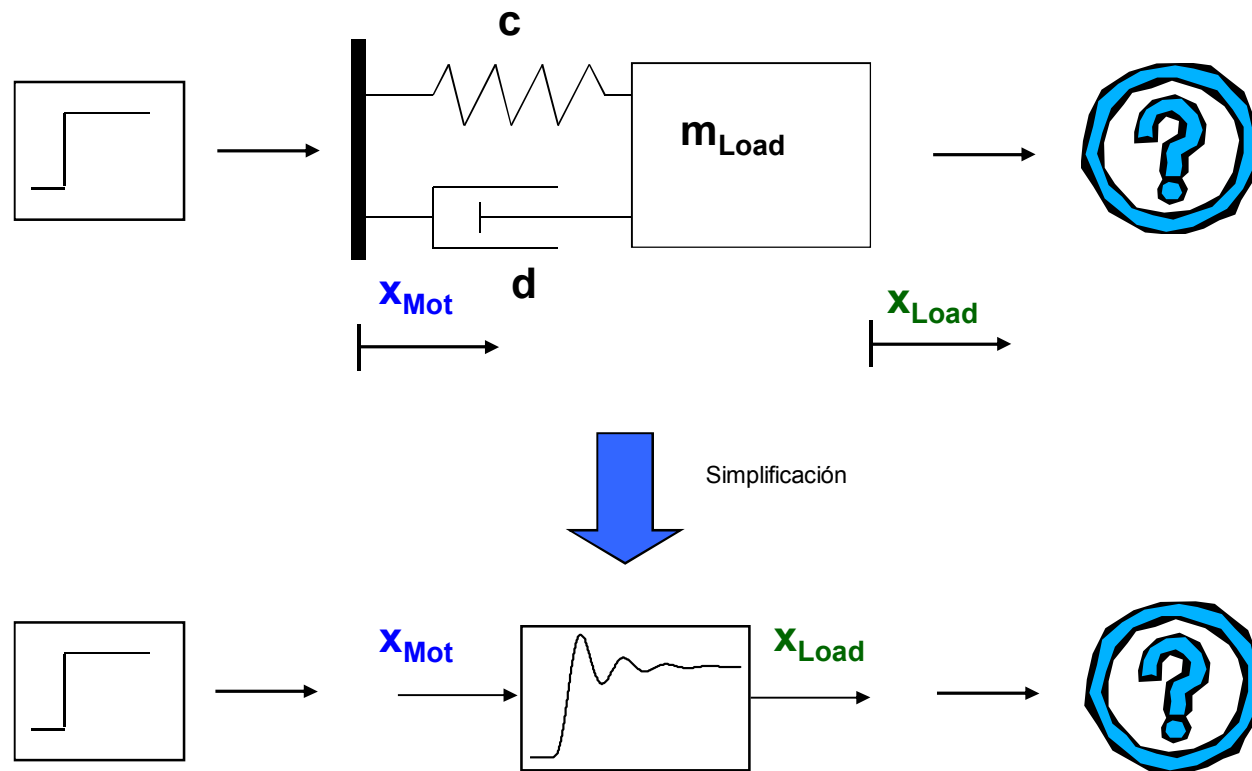
SIEMENS



Optimización de la Regulación Servo

Introducción a un sistema mecánico dinámico: Diagrama de bloque de una estructura mecánica

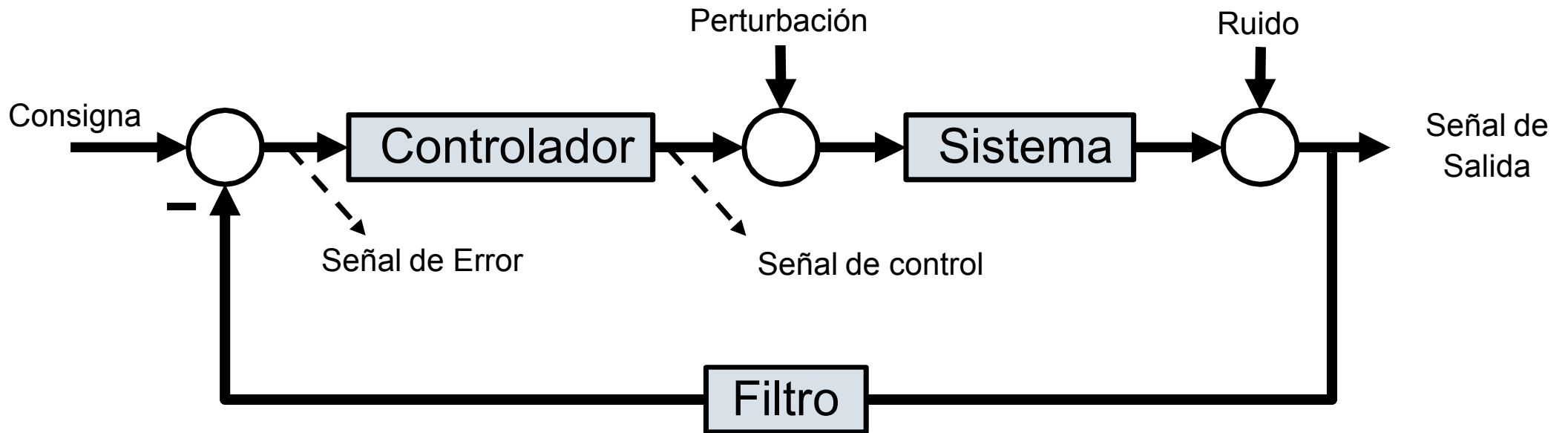
SIEMENS



Optimización de la Regulación Servo

Introducción a un sistema mecánico dinámico: Estructura general del Control

SIEMENS



Optimización de la Regulación Servo

Introducción a un sistema mecánico dinámico: Función de Transferencia

SIEMENS

La frecuencia describe el comportamiento dinámico F de la entrada X a la salida Y de un elemento de transferencia

Función de Transferencia



$$\text{Función de Transferencia } F = \frac{\text{Señal de Salida } Y}{\text{Señal de Entrada } X} = TF(X, Y)$$

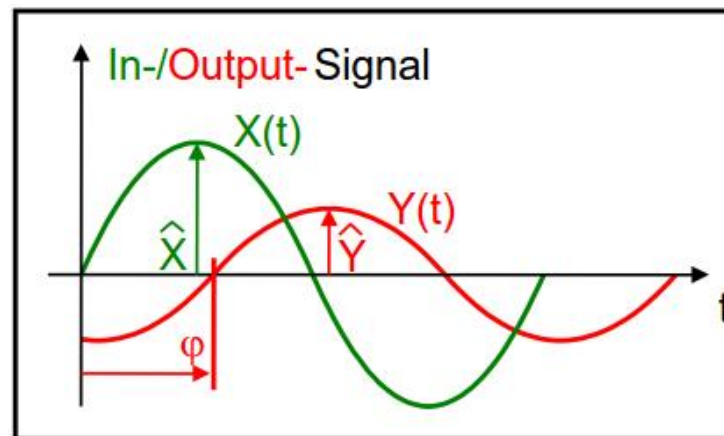
Optimización de la Regulación Servo

Introducción a un sistema mecánico dinámico: Comportamiento dinámico en el dominio del tiempo

SIEMENS

- Si una **señal de entrada senoidal** con una frecuencia determinada es entregada, **una señal de salida** debería de producirse con las siguientes características respecto a la señal de entrada
 - **A** : Comportamiento de la amplitud entre Y y X
 - **φ** : Fase desplazada entre Y(t) y X(t)

Señales en el dominio del tiempo

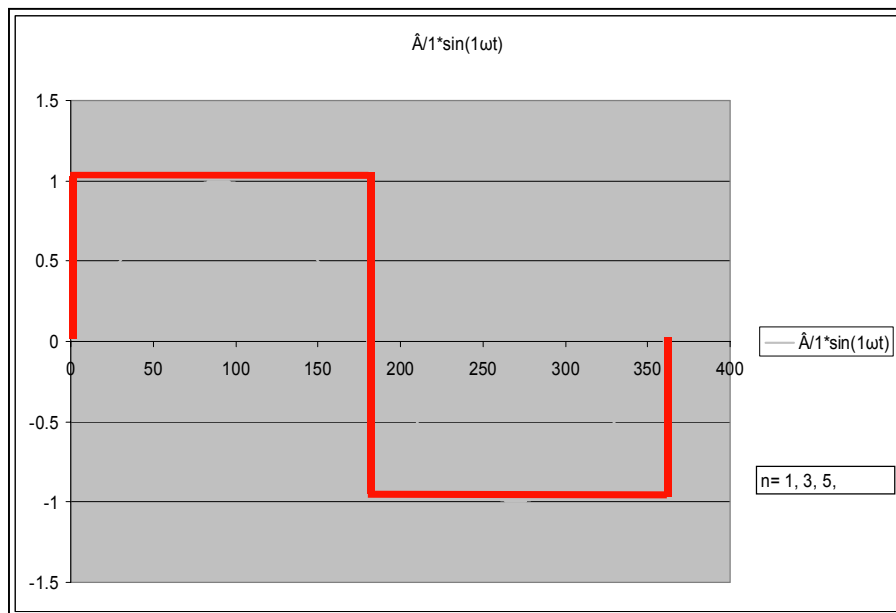


Optimización de la Regulación Servo

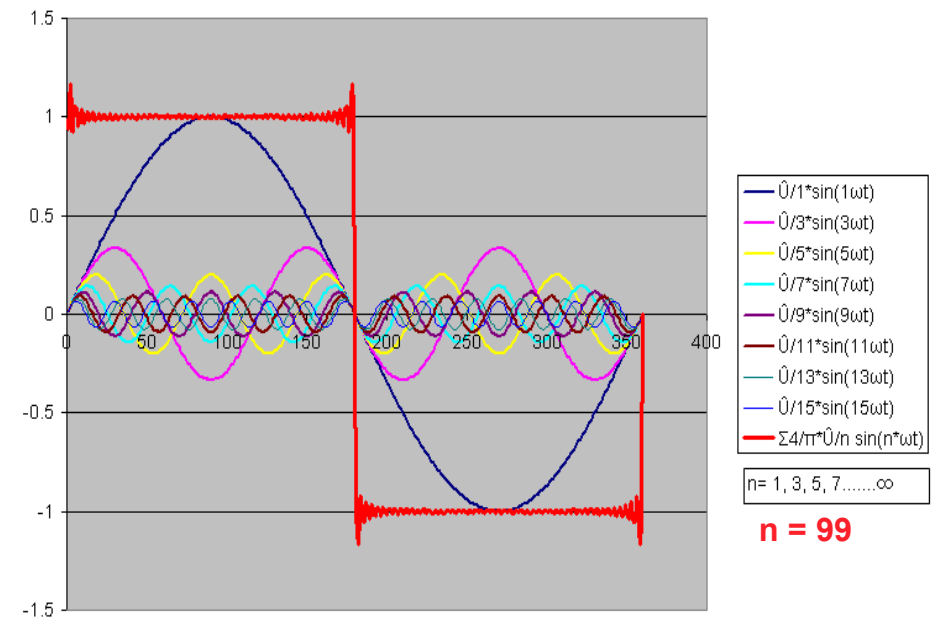
Introducción a un sistema mecánico dinámico: Comportamiento dinámico en el dominio de la frecuencia

SIEMENS

- Una **serie de Fourier** es una serie infinita que converge puntualmente a una función periódica y continua a trozos



$$u(t) = \frac{4\hat{u}}{\pi} \left(\sin(\omega t) + \frac{1}{3}\sin(3\omega t) + \frac{1}{5}\sin(5\omega t) + \dots \right)$$



Optimización de la Regulación Servo

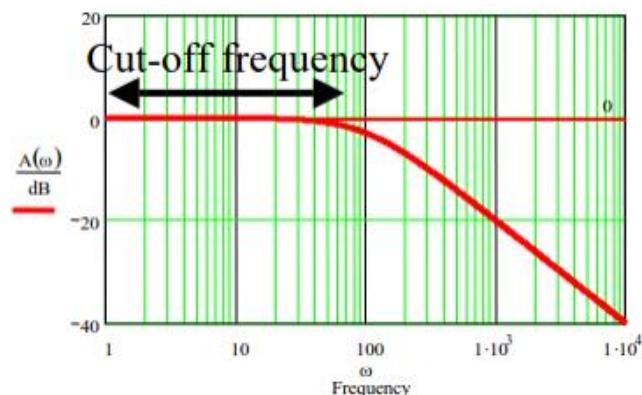
Introducción a un sistema mecánico dinámico: Comportamiento dinámico en el dominio de la frecuencia

SIEMENS

- El **Diagrama de Bode** muestra el comportamiento de Amplitud y de la Fase desplazada en todo el espectro de frecuencias que componen la señal

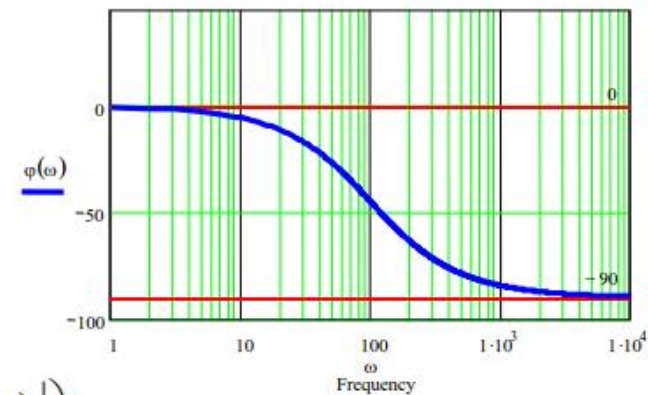
Respuesta en Amplitud

$$A(\omega) = \left| \frac{Y(j\omega)}{X(j\omega)} \right|$$



Respuesta en Fase

$$\varphi(\omega) = \varphi\{F(j\omega)\}$$

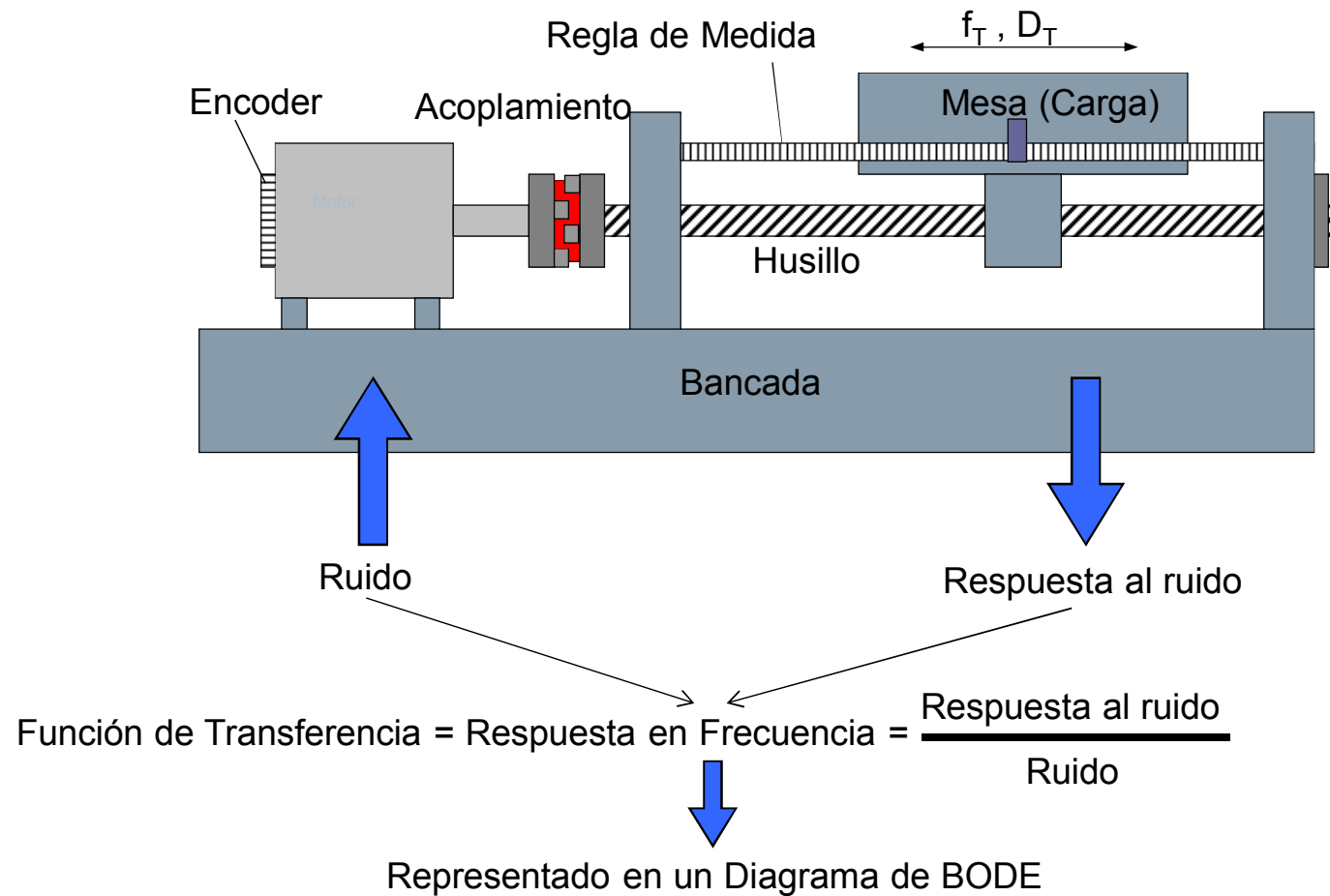


$$G_{dB} = 20 \log \left(\left| \frac{Y(j\omega)}{X(j\omega)} \right| \right)$$

Optimización de la Regulación Servo

Introducción a un sistema mecánico dinámico: Comportamiento dinámico en el dominio de la frecuencia

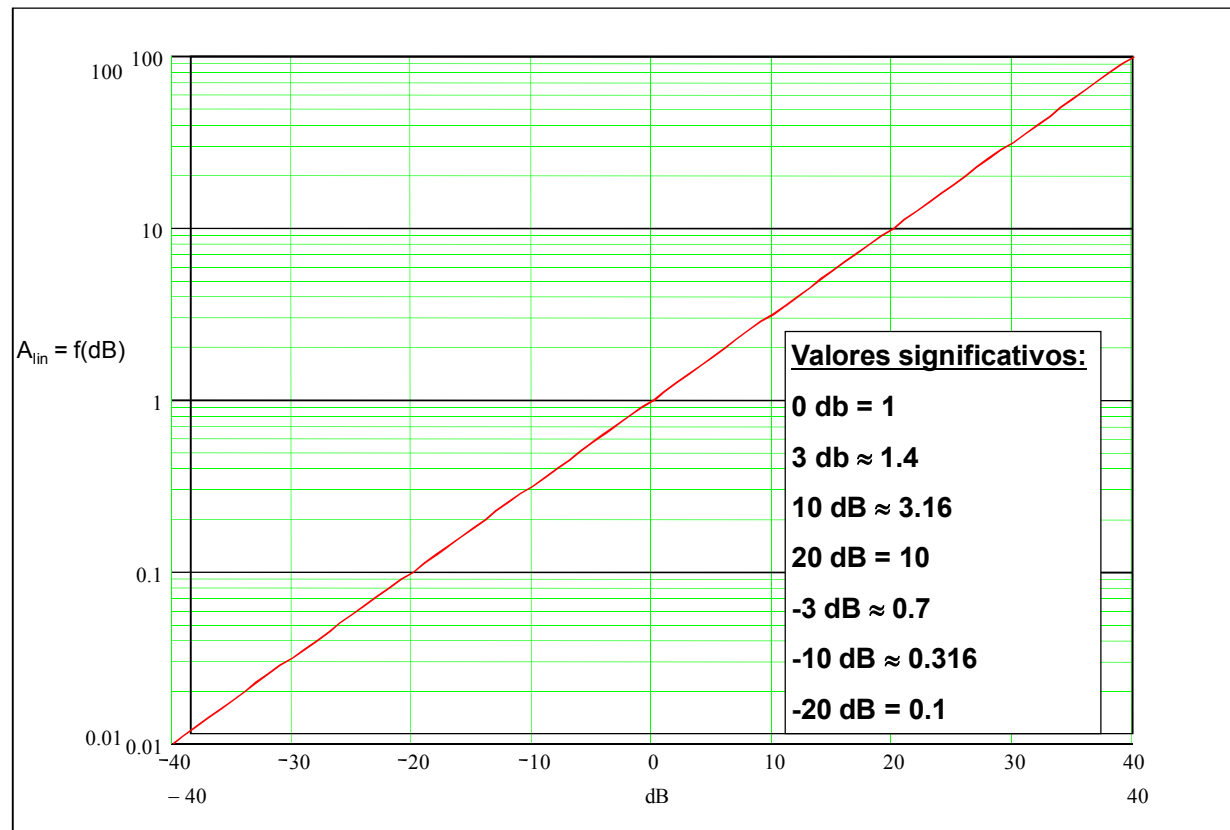
SIEMENS



Optimización de la Regulación Servo

Introducción a un sistema mecánico dinámico: Relación entre dominio de la frecuencia y dominio del tiempo

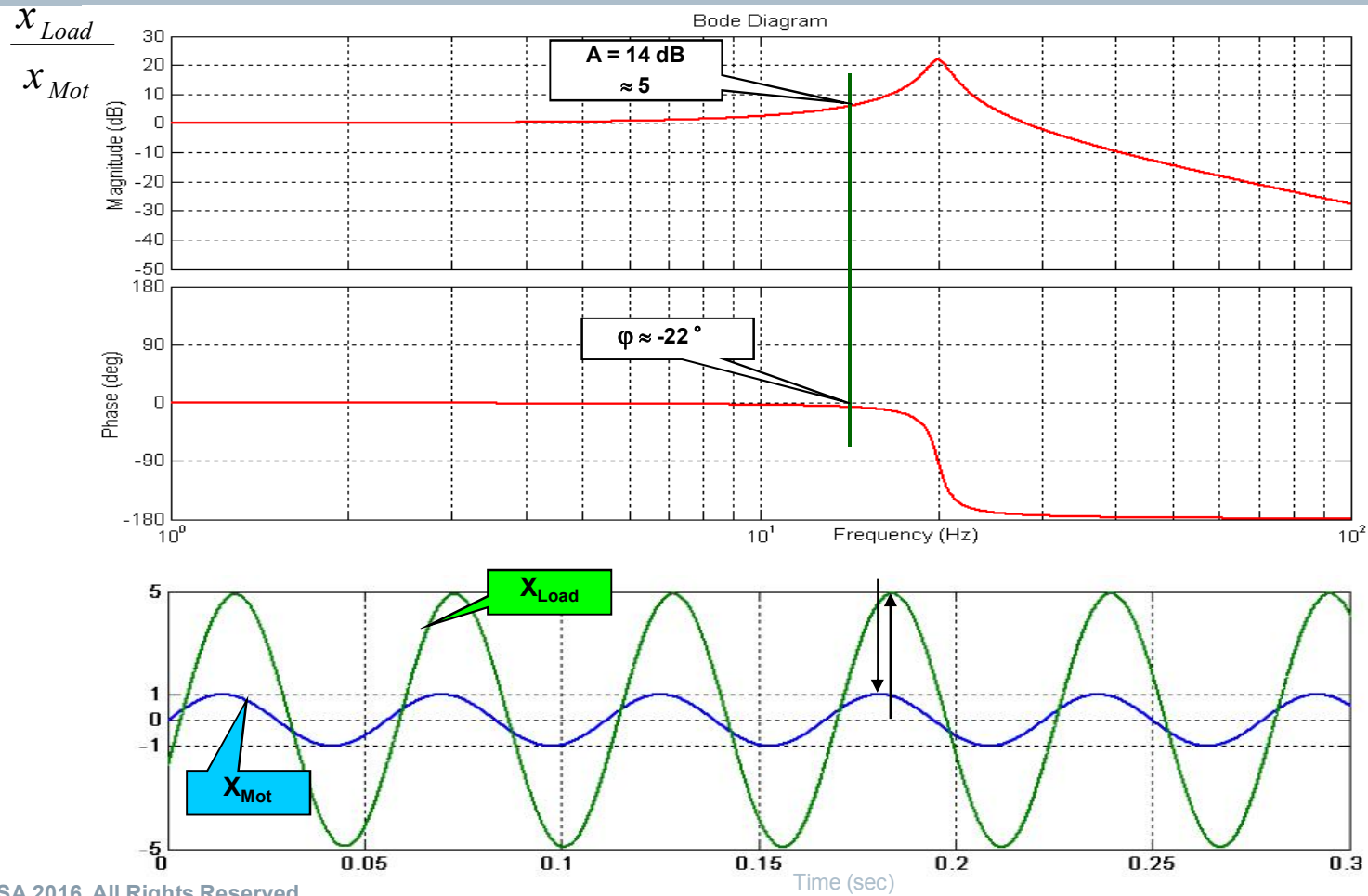
SIEMENS



Optimización de la Regulación Servo

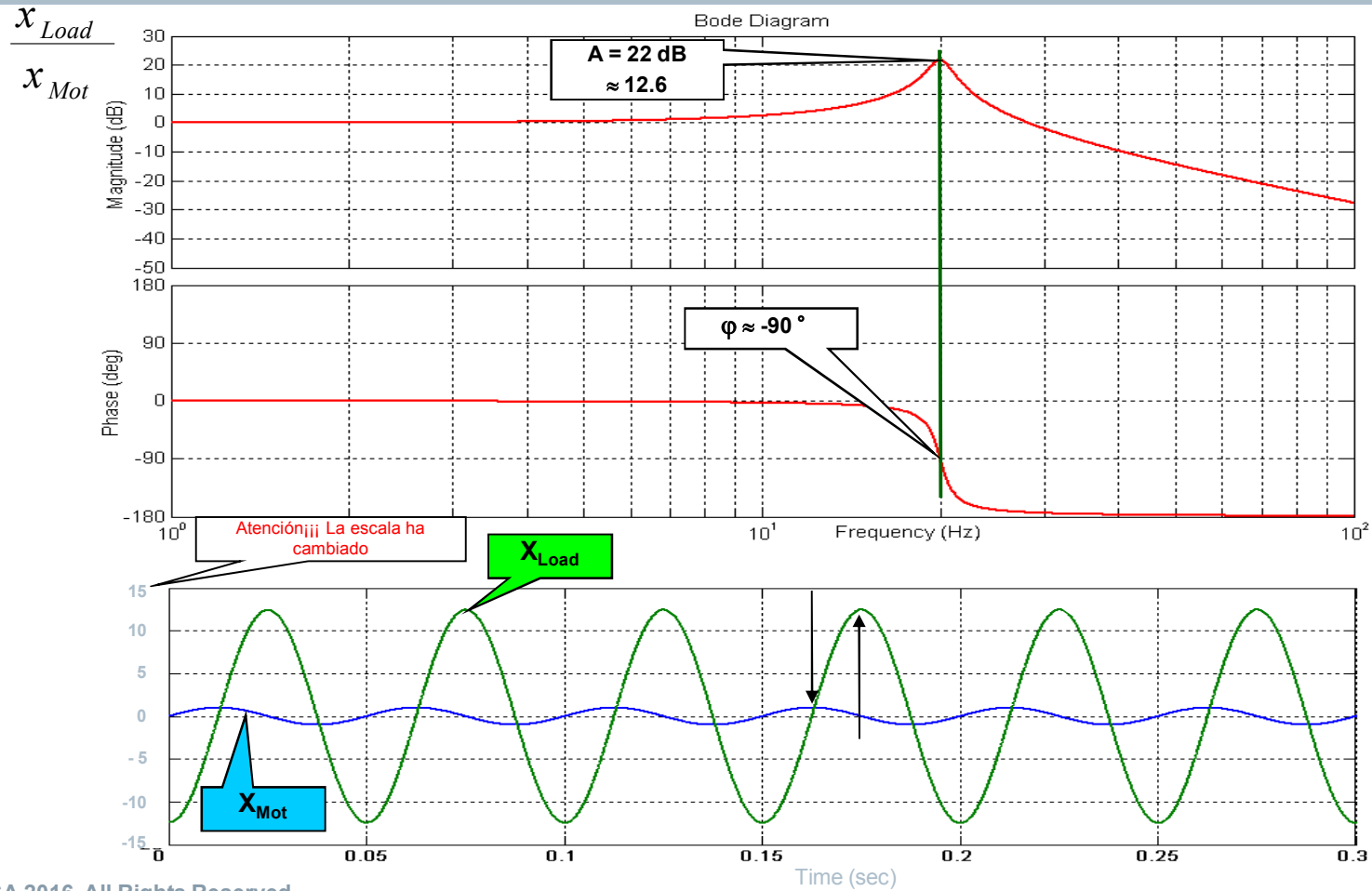
Introducción a un sistema mecánico dinámico: Relación entre dominio de la frecuencia y dominio del tiempo

SIEMENS



Optimización de la Regulación Servo

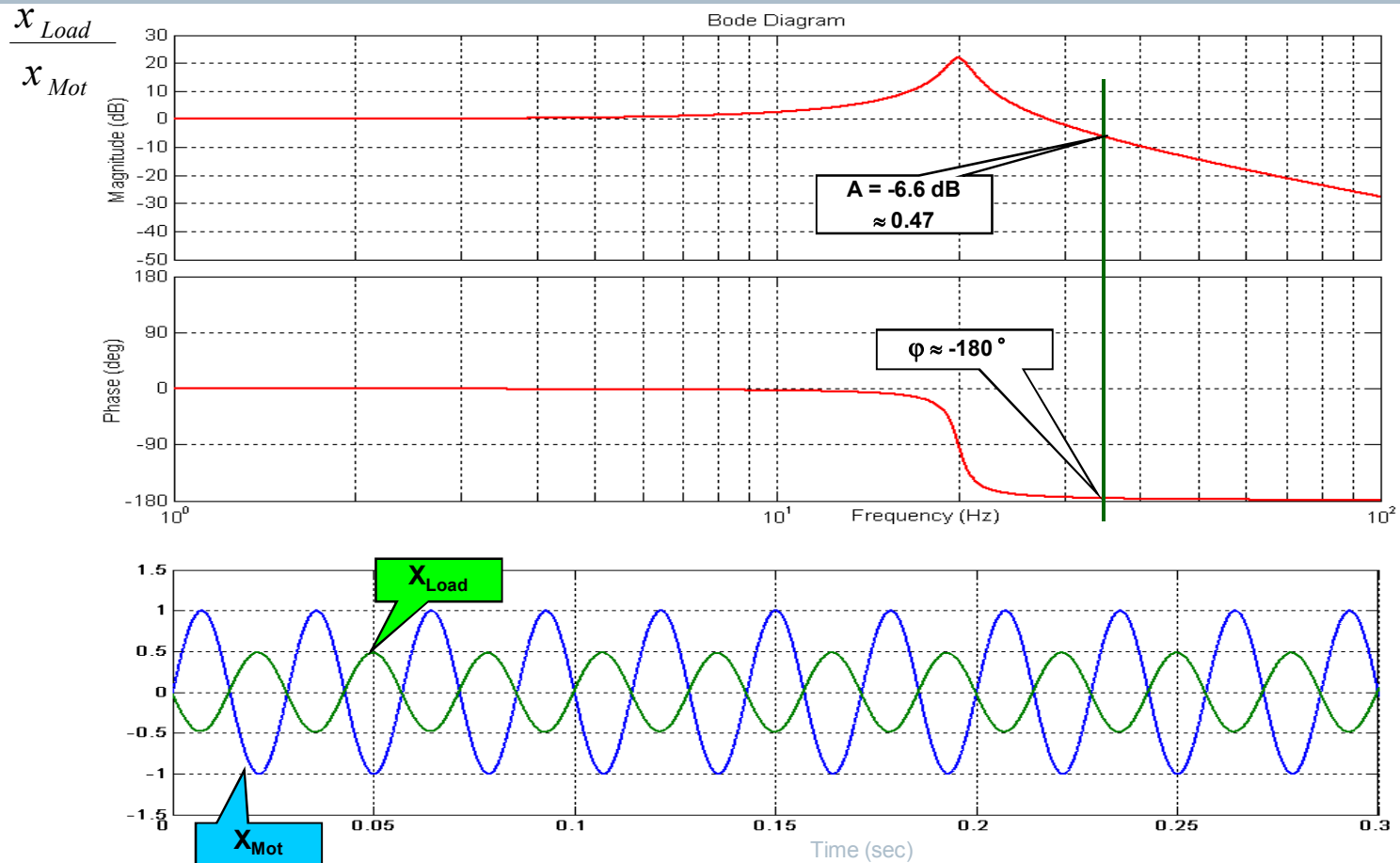
Introducción a un sistema mecánico dinámico: Relación entre dominio de la frecuencia y dominio del tiempo



Optimización de la Regulación Servo

Introducción a un sistema mecánico dinámico: Relación entre dominio de la frecuencia y dominio del tiempo

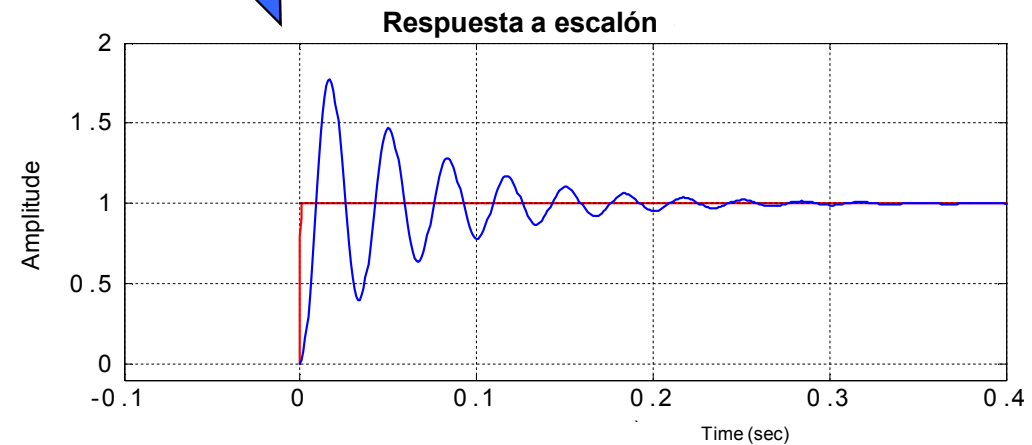
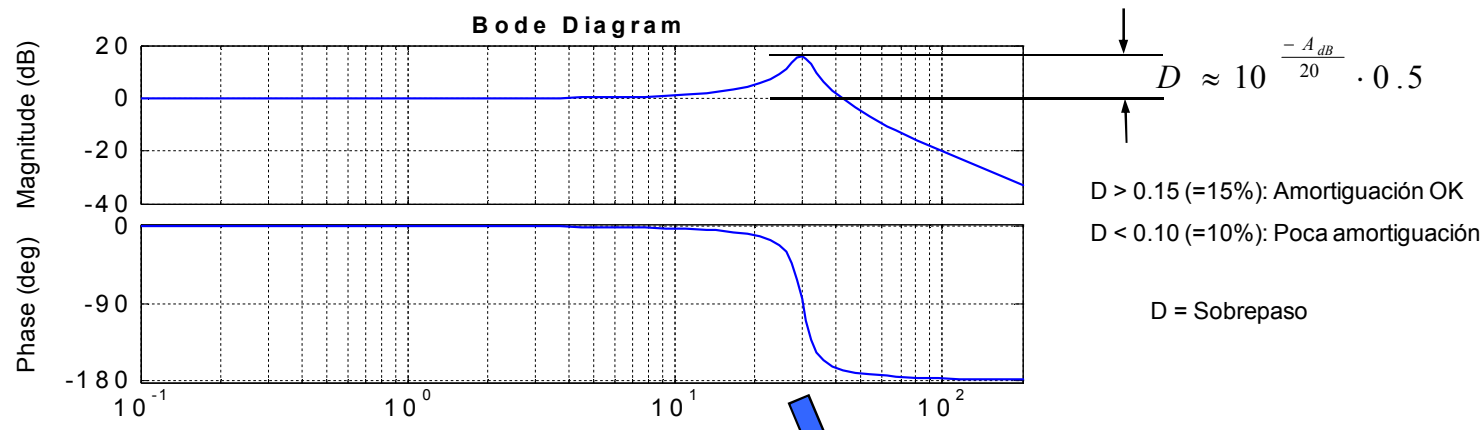
SIEMENS



Optimización de la Regulación Servo

Introducción a un sistema mecánico dinámico: Relación entre dominio de la frecuencia y dominio del tiempo

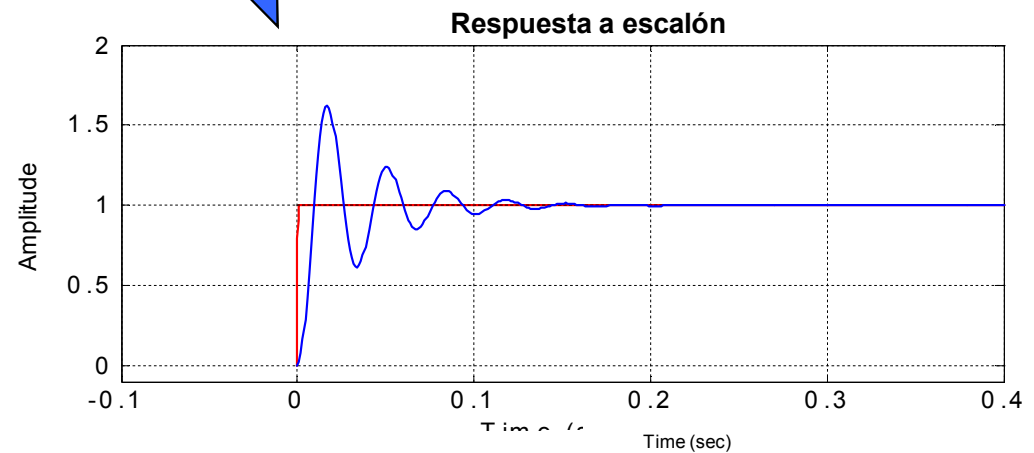
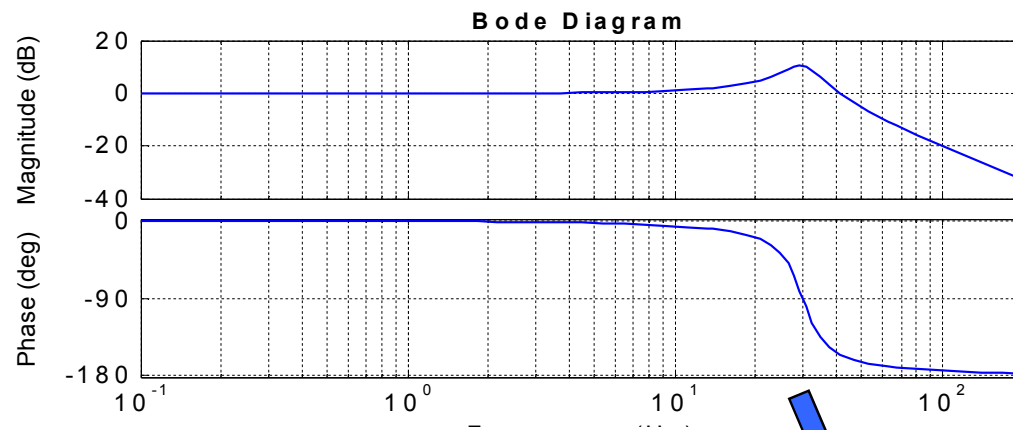
SIEMENS



Optimización de la Regulación Servo

Introducción a un sistema mecánico dinámico: Relación entre dominio de la frecuencia y dominio del tiempo

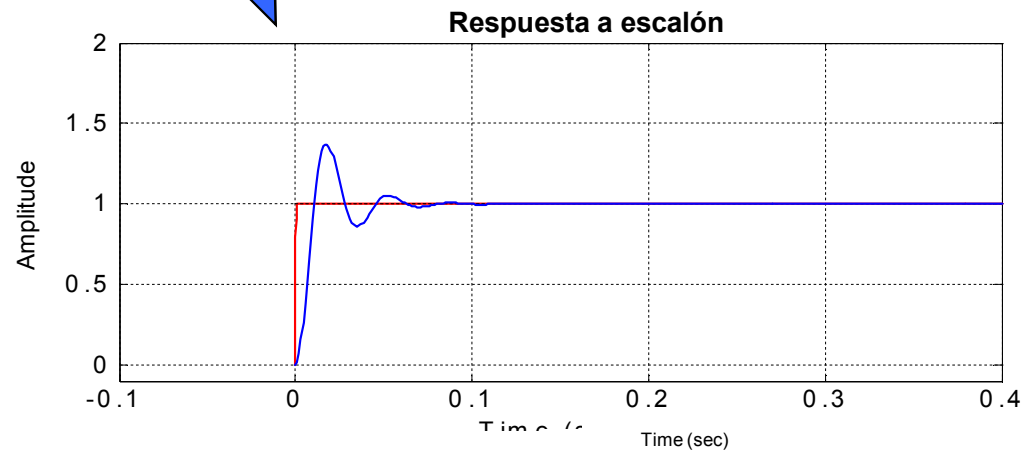
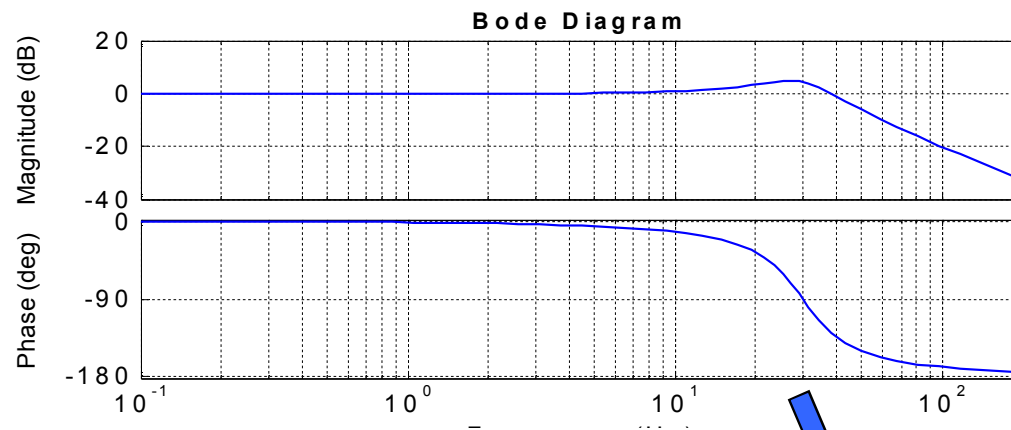
SIEMENS



Optimización de la Regulación Servo

Introducción a un sistema mecánico dinámico: Relación entre dominio de la frecuencia y dominio del tiempo

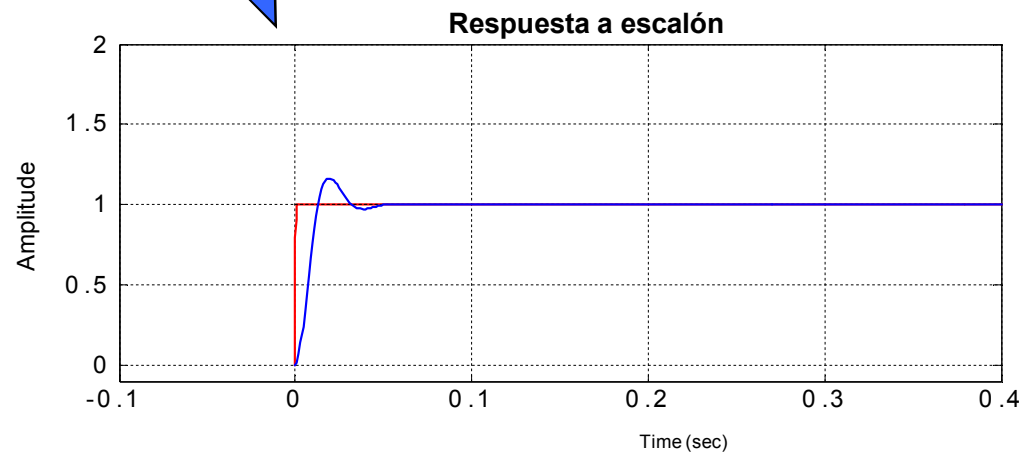
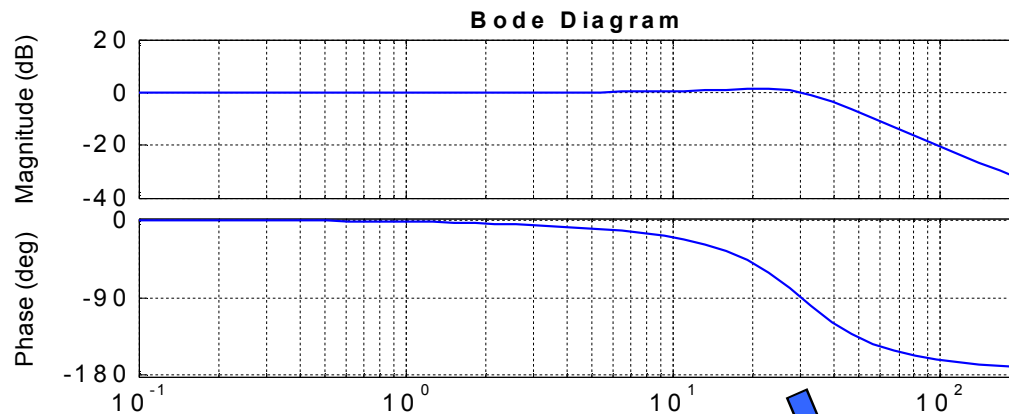
SIEMENS



Optimización de la Regulación Servo

Introducción a un sistema mecánico dinámico: Relación entre dominio de la frecuencia y dominio del tiempo

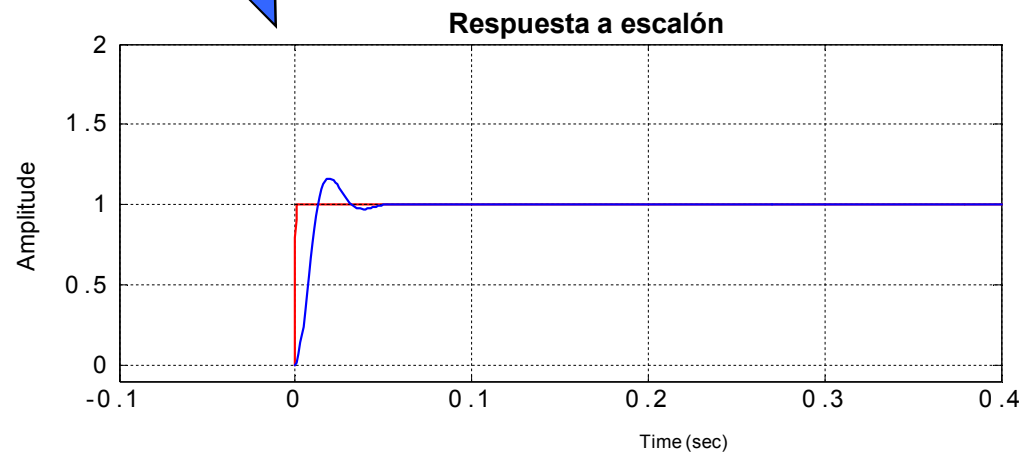
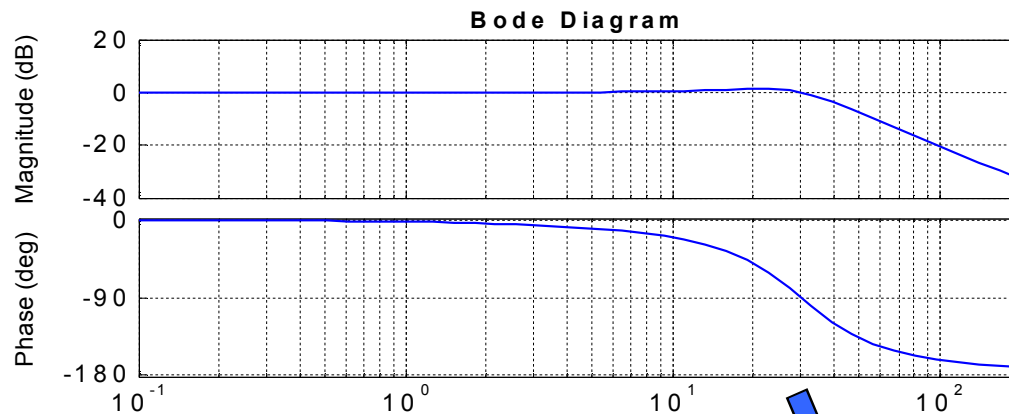
SIEMENS



Optimización de la Regulación Servo

Introducción a un sistema mecánico dinámico: Relación entre dominio de la frecuencia y dominio del tiempo

SIEMENS



Optimización de la Regulación Servo

Introducción a un sistema mecánico dinámico. Ejemplo: Sistema Rígido

SIEMENS

Configuración mecánica

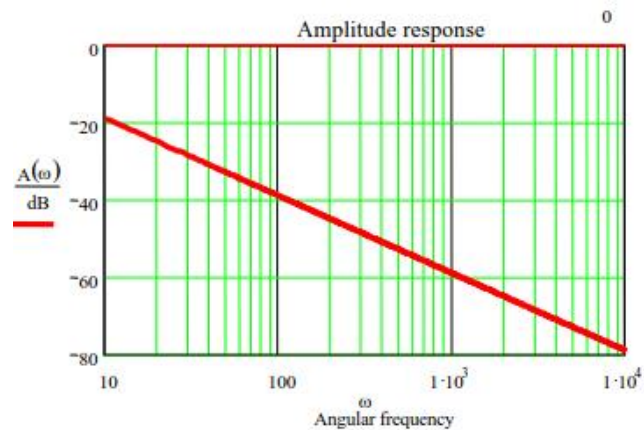
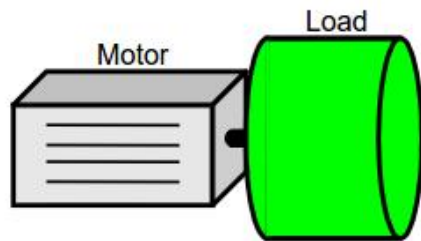
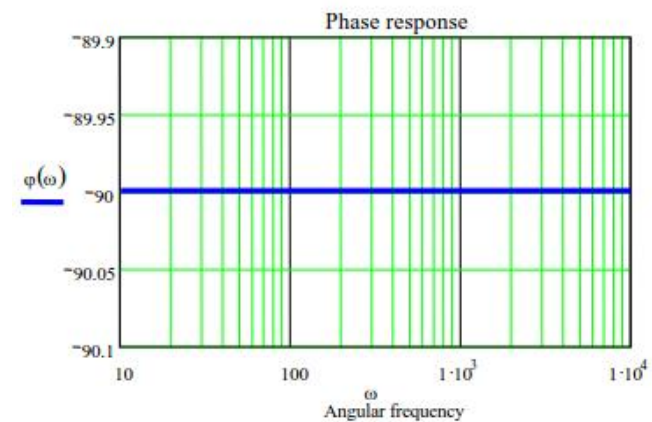
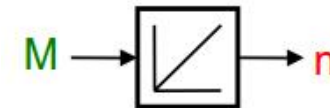


Diagrama de flujo de la señal de la mecánica Motor + Carga



$$G_{dB} = 20 \log \left(\left| \frac{1}{j\omega} \right| \right)$$

Optimización de la Regulación Servo

Introducción a un sistema mecánico dinámico. Ejemplo: Sistema con acoplamiento

SIEMENS

Configuración mecánica

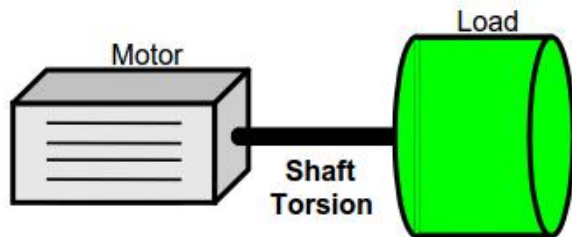
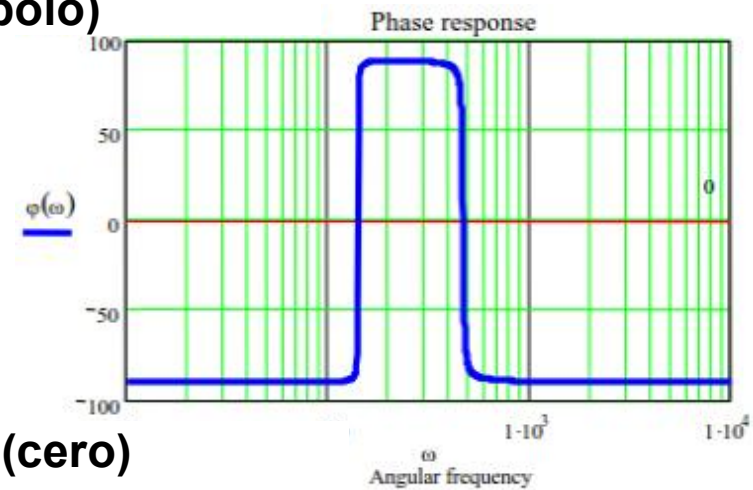
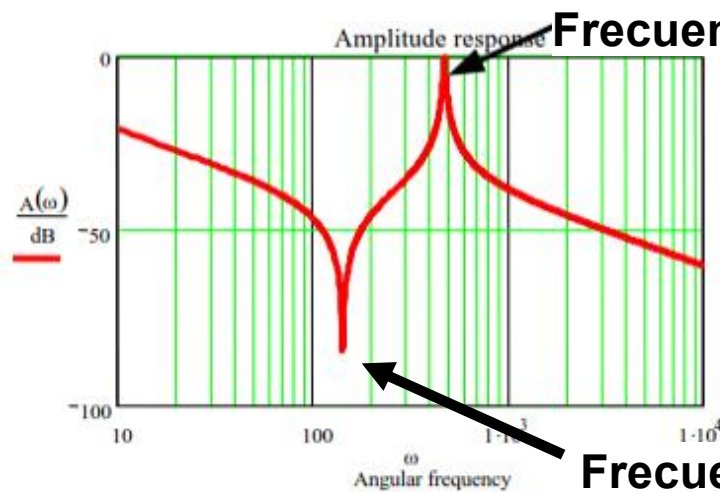
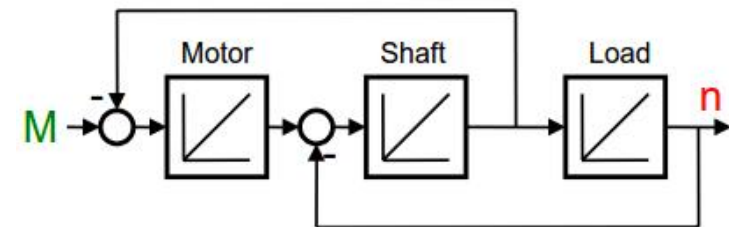


Diagrama de flujo de la señal de la mecánica Motor + Carga



Unrestricted / © Siemens SA 2016. All Rights Reserved.

Time (sec)

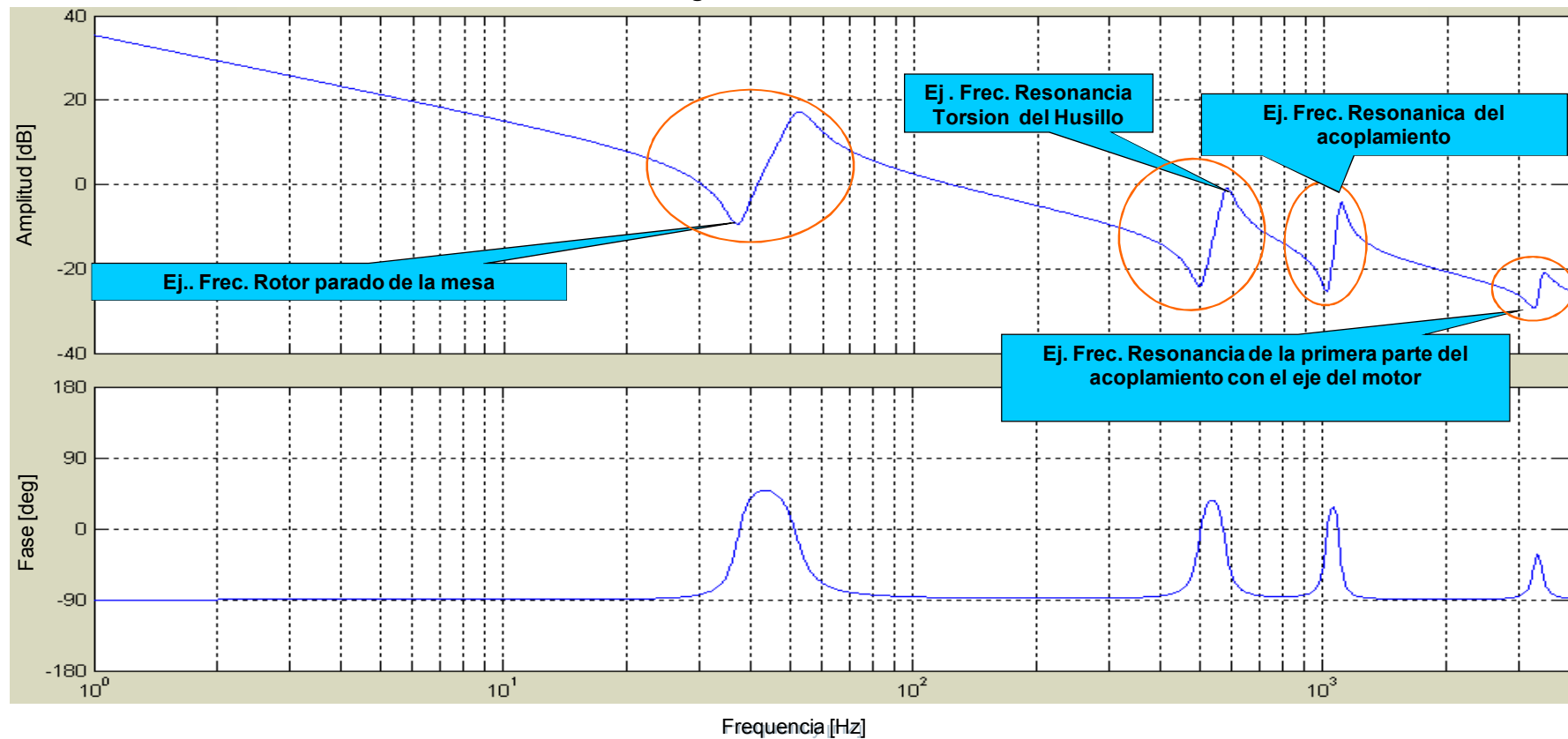
Optimización de la Regulación Servo

Introducción a un sistema mecánico dinámico. Ejemplo: Bancada con Husillo

SIEMENS

actual *Speed* *Motor*
actual *Torque* *Motor*

Diagrama de Bode



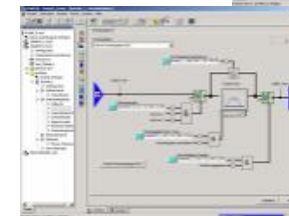
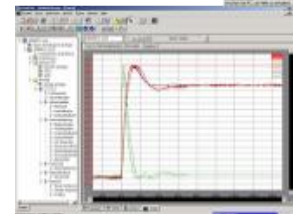
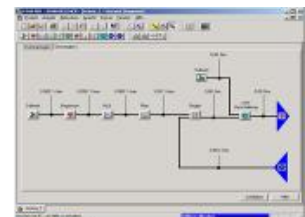
Optimización de la Regulación Servo

Optimización del Regulador de Corriente

SIEMENS

Optimización de la Regulación Servo

Regulador de Corriente



Optimización de la Regulación Servo

Optimización del Regulador de Corriente

SIEMENS

• Motores Siemens

- Kp y Tn son seleccionados vía DRIVE-CLIQ o introduciendo referencia del motor en puesta en marcha
- La ganancia proporcional Kp depende de la inductancia del devanado
- El Tiempo integral Tn depende del ciclo de reloj de ejecución del regulador de corriente



62.5us → Tn = 1ms

125us → Tn = 2ms

250us → Tn = 4ms

Normalmente no es necesario realizar la optimización del regulador de corriente con motores Servo Siemens

Optimización de la Regulación Servo

Optimización del Regulador de Corriente

SIEMENS

• Motores no Siemens

- Existen dos posibilidades:

1. Introduciendo los datos nominales del motor y así el cálculo del modelo del motor calculará la T_n y la K_p
2. Introducir los datos del modelo del motor manualmente

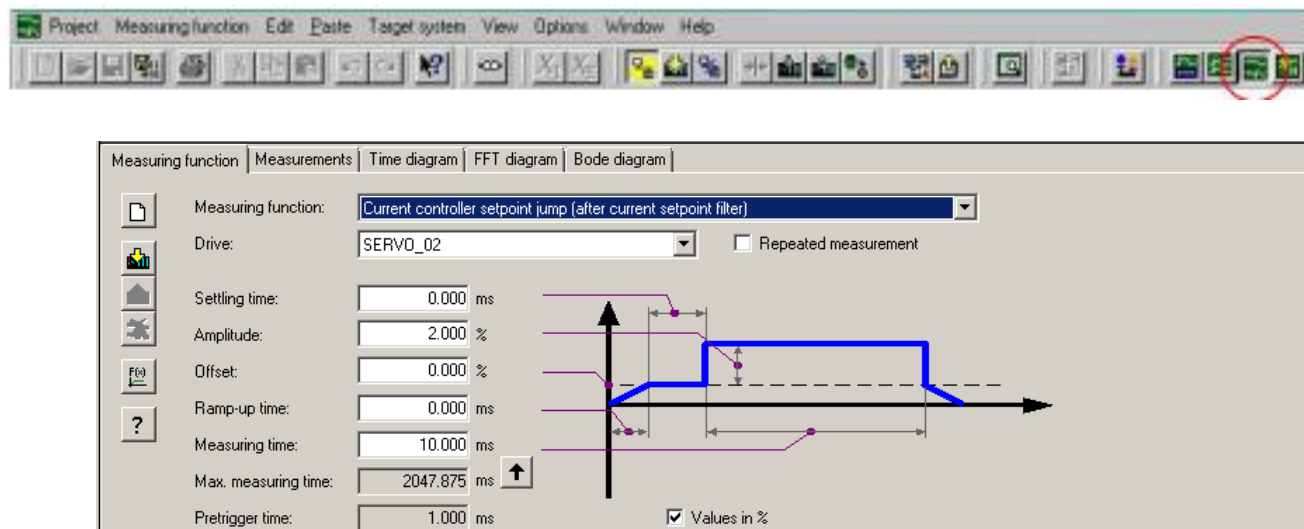


Optimización de la Regulación Servo

Optimización del Regulador de Corriente. Método: Escalón de consigna en el dominio del tiempo

SIEMENS

- Nuestro objetivo es conseguir en un corto período de tiempo alcanzar la consigna sin ningún o muy poco rebasamiento
- En el software de ingeniería Starter, seleccionamos la herramienta “Funciones de medida” y del desplegable seleccionamos “Current controller setpoint jump (after current setpoint filter)”



Optimización de la Regulación Servo

Optimización del Regulador de Corriente. Método: Escalón de consigna en el dominio del tiempo

SIEMENS

- Resultado con $K_p = 15$; $T_n = 10$ ms → El tiempo para alcanzar la consigna es demasiado elevado y la desviación es muy alta



- Rojo: Consigna de Corriente
- Azul: Corriente Real

Optimización de la Regulación Servo

Optimización del Regulador de Corriente. Método: Escalón de consigna en el dominio del tiempo

SIEMENS

- Resultado con $K_p = 30.732$; $T_n = 10 \text{ ms}$ → Al subir la ganancia tenemos una ligera desviación y un tiempo de subida muy rápido



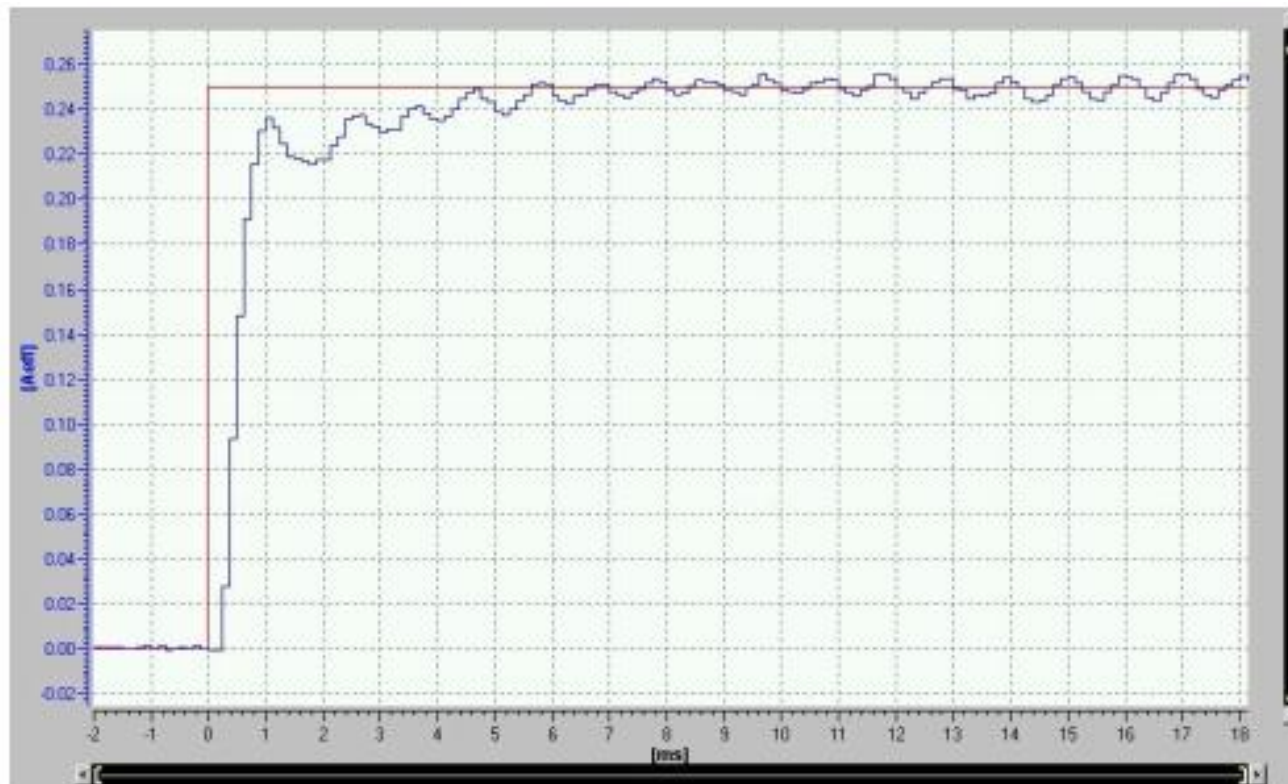
- Rojo: Consigna de Corriente
- Azul: Corriente Real

Optimización de la Regulación Servo

Optimización del Regulador de Corriente. Método: Escalón de consigna en el dominio del tiempo

SIEMENS

- Resultado con $K_p = 30.732$; $T_n = 2 \text{ ms}$ → Para eliminar esa desviación persistente bajamos el tiempo integral



Situación óptima:
Nunca excederse de
un 10 %

- Rojo: Consigna de Corriente
- Azul: Corriente Real

Optimización de la Regulación Servo

Optimización del Regulador de Corriente. Método: Escalón de consigna en el dominio del tiempo

SIEMENS

- Resultado con $K_p = 43$; $T_n = 2 \text{ ms}$ → Podríamos subir un poco más la ganancia para reducir el tiempo en alcanzar la consigna



Situación óptima:
Nunca excederse de
un 10 %

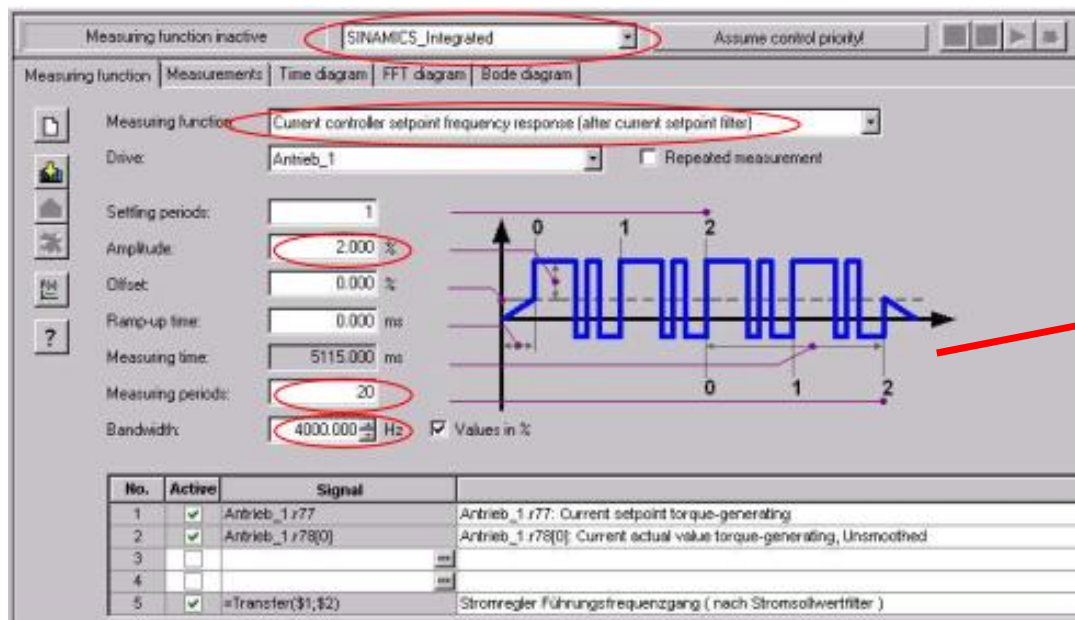
- Rojo: Consigna de Corriente
- Azul: Corriente Real

Optimización de la Regulación Servo

Optimización del Regulador de Corriente. Método: Escalón de consigna en el dominio de la frecuencia

SIEMENS

- En el software de ingeniería Starter, seleccionamos la herramienta “Funciones de medida” y del desplegable seleccionamos “Current controller setpoint frequency response (after current setpoint filter)”



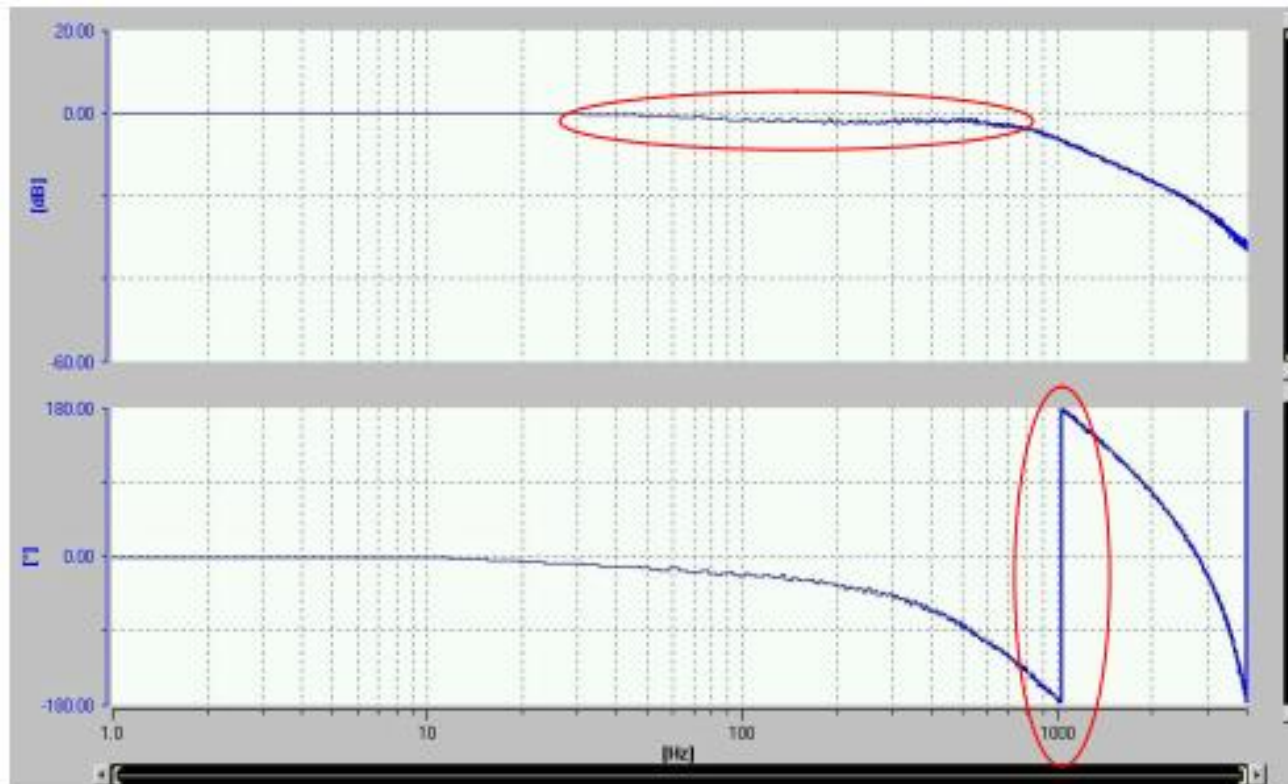
- Amplitude: Valor por defecto (2%)
- Measuring periods: ej. 20 (este valor afecta al tiempo total de medida)
- Bandwidth: Espectro de frecuencias a medir (4000 Hz)
- No cambiar los valores por defecto de Kp y de Tn

Optimización de la Regulación Servo

Optimización del Regulador de Corriente. Método: Escalón de consigna en el dominio de la frecuencia

SIEMENS

- Resultado con $K_p = 30.762$; $T_n = 2.0 \text{ ms}$ → La amplitud debe estar en la línea de 0 dB hasta que la fase se invierta y nunca sobrepasar dicha línea

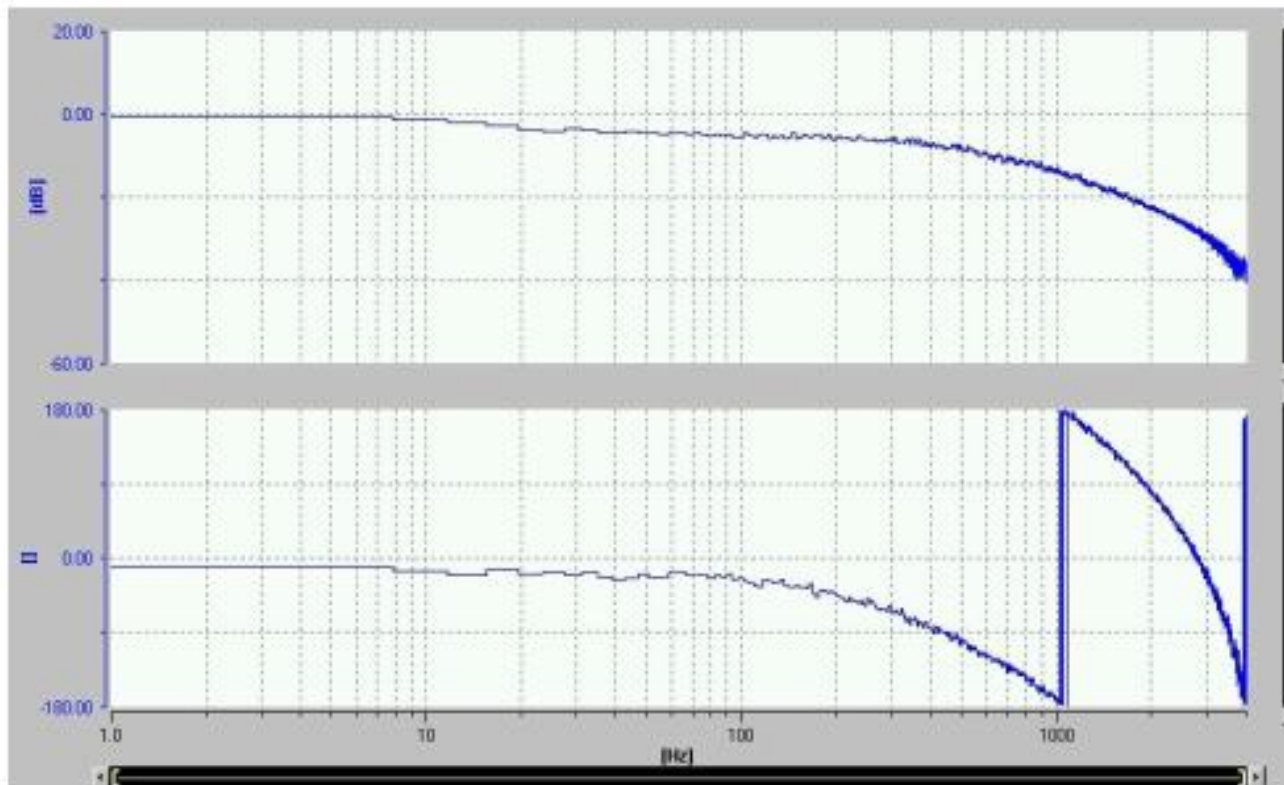


Optimización de la Regulación Servo

Optimización del Regulador de Corriente. Método: Escalón de consigna en el dominio de la frecuencia

SIEMENS

- Resultado con $K_p = 15$; $T_n = 10$ ms → Con esa ganancia inferior observamos que la amplitud se aleja de la línea de 0 dB, más acentuado cuando estamos cerca del cambio de fase. NO VALIDO;



- El Tiempo integral T_n depende del ciclo de reloj de ejecución del regulador de corriente. Por ese motivo, el tiempo integral no se debe ajustar manualmente.

Optimización de la Regulación Servo

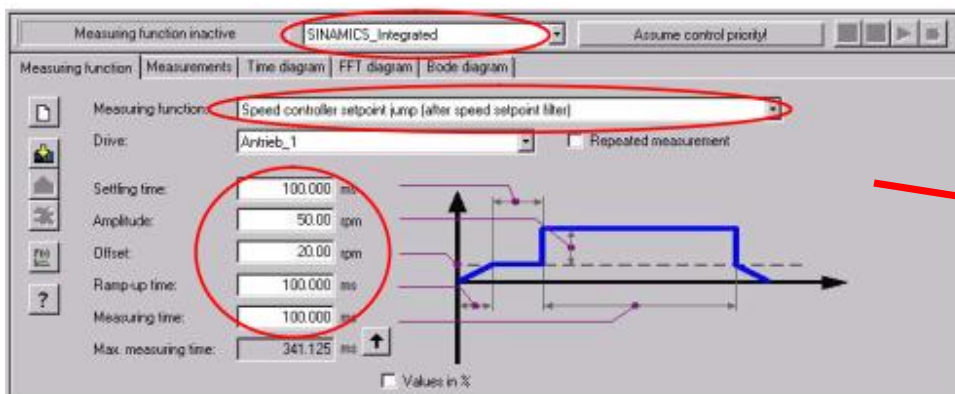
Regulador de Velocidad

Optimización de la Regulación Servo

Optimización del Regulador de Velocidad. Método: Escalón de consigna en el dominio del tiempo

SIEMENS

- Nuestro objetivo es conseguir en un corto período de tiempo alcanzar la consigna sin ningún o muy poco rebasamiento
- En el software de ingeniería Starter, seleccionamos la herramienta “Funciones de medida” y del desplegable seleccionamos “Speed Controller setpoint jump (after speed setpoint filter)”



- Setting Time: Reduce las oscilaciones por la aceleración (100 ms)
- Amplitude: Define el peso del escalón (50 rpm)
- Offset: Velocidad inicial desde donde lanzar el escalón (20 rpm)
- Ramp-up Time: Tiempo de rampa en la que ajustamos el offset (100 ms)

Optimización de la Regulación Servo

Optimización del Regulador de Velocidad. Método: Escalón de consigna en el dominio del tiempo

SIEMENS

- Resultado con $K_p = 0.1$; $T_n = 1000$ ms → El tiempo para alcanzar la consigna y la desviación es muy alta



- Rojo: Consigna de Velocidad
- Azul: Velocidad Real
- Verde: Par real

Optimización de la Regulación Servo

Optimización del Regulador de Velocidad. Método: Escalón de consigna en el dominio del tiempo

SIEMENS

- Resultado con $K_p = 1.0$; $T_n = 1000$ ms → Al subir la K_p tenemos una pequeña desviación y el tiempo de alcanzar la consigna es rápido



- Rojo: Consigna de Velocidad
- Azul: Velocidad Real
- Verde: Par real

Optimización de la Regulación Servo

Optimización del Regulador de Velocidad. Método: Escalón de consigna en el dominio del tiempo

SIEMENS

- Resultado con $K_p = 1.0$; $T_n = 10 \text{ ms}$ → Para eliminar esa desviación persistente reducimos el tiempo integral



Situación óptima:
Un sobrepaso del 43
%

No en todas las aplicaciones un sobrepaso de la velocidad real es aceptable!!!!

- Rojo: Consigna de Velocidad
- Azul: Velocidad Real
- Verde: Par real

Optimización de la Regulación Servo

Optimización del Regulador de Velocidad. Método: Escalón de consigna en el dominio de la Frecuencia

SIEMENS

Criterio de Estabilidad

- Para establecer correctamente el criterio de estabilidad éste debe ser evaluado con el regulador en lazo abierto, en Sinamics existen funciones de medida para el regulador en lazo cerrado por ello es adecuado crear manualmente la función de medida para lazo abierto

Transfer = system deviation [r64] ; actual speed [r61]

- La coherencia entre el lazo cerrado y el lazo abierto viene caracterizada por la siguiente fórmula:

$$F_{cl} = \frac{F_o}{1 + F_o}$$

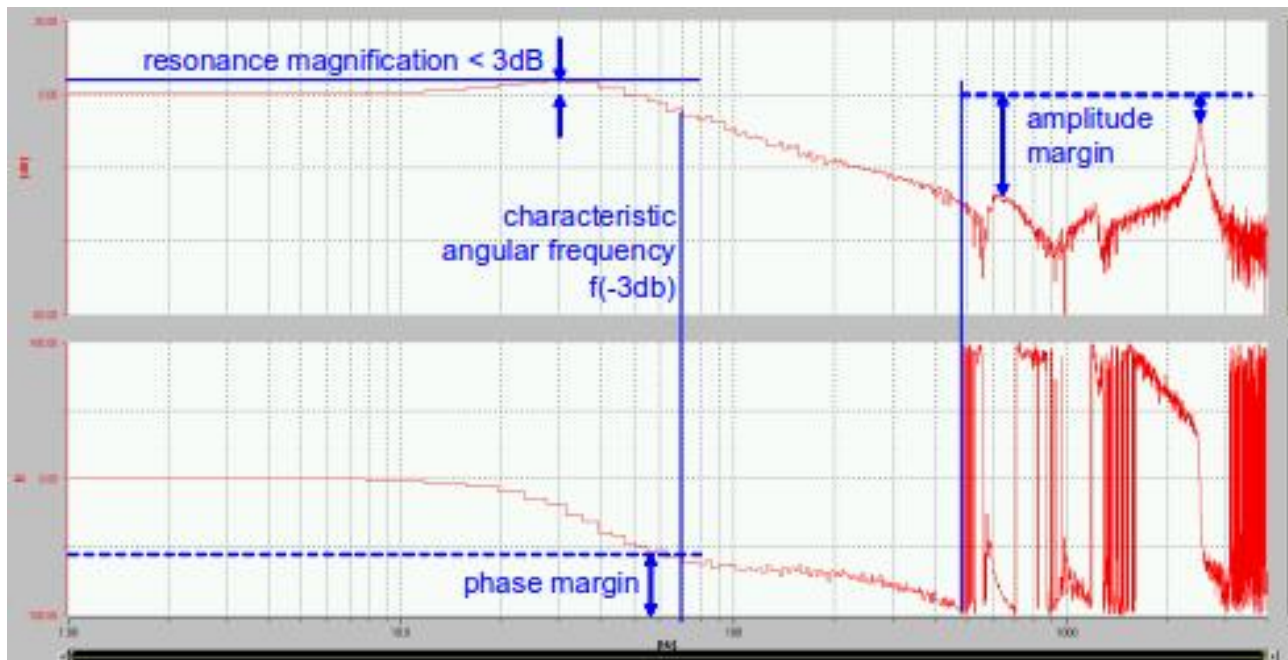
- Si el denominador es igual a 0 ($F_o = -1$), el lazo cerrado es inestable.
- Eso ocurre si el valor $|F_o| = 1$ y el valor de la fase es -180° (En logaritmo: 0dB y -180° de fase)
- **Para garantizar la estabilidad debe haber un mínimo de margen de fase cuando la amplitud tenga un valor de 0 dB y si el valor de fase es -180° debemos tener suficiente distancia a línea de 0 dB en la amplitud**

Optimización de la Regulación Servo

Optimización del Regulador de Velocidad. Método: Escalón de consigna en el dominio de la Frecuencia

SIEMENS

Criterio de Estabilidad



- **Zona de aumento de Resonancia o baja frecuencia:** La amplitud en bajas frecuencias. Dicha amplitud nunca debe exceder de los 3 dB (corresponde en el dominio del tiempo con un sobrepaso del 43%). Relacionado con tiempos de integral muy bajos.
- **Frecuencia angular característica:** La frecuencia en donde la amplitud atraviesa los -3 dB. Esta frecuencia debe ser lo más alta posible para poder obtener una alta dinámica y un tiempo de alcanzar la consigna muy corto.
- **Margen de Amplitud:** Distancia hasta la línea de 0 dB en amplitud. Determina el comportamiento amortiguador del regulador (junto al margen de fase)
- **Margen de Fase:** Distancia a la línea de -180° en fase. Determina el comportamiento amortiguador del regulador (junto al margen de amplitud)

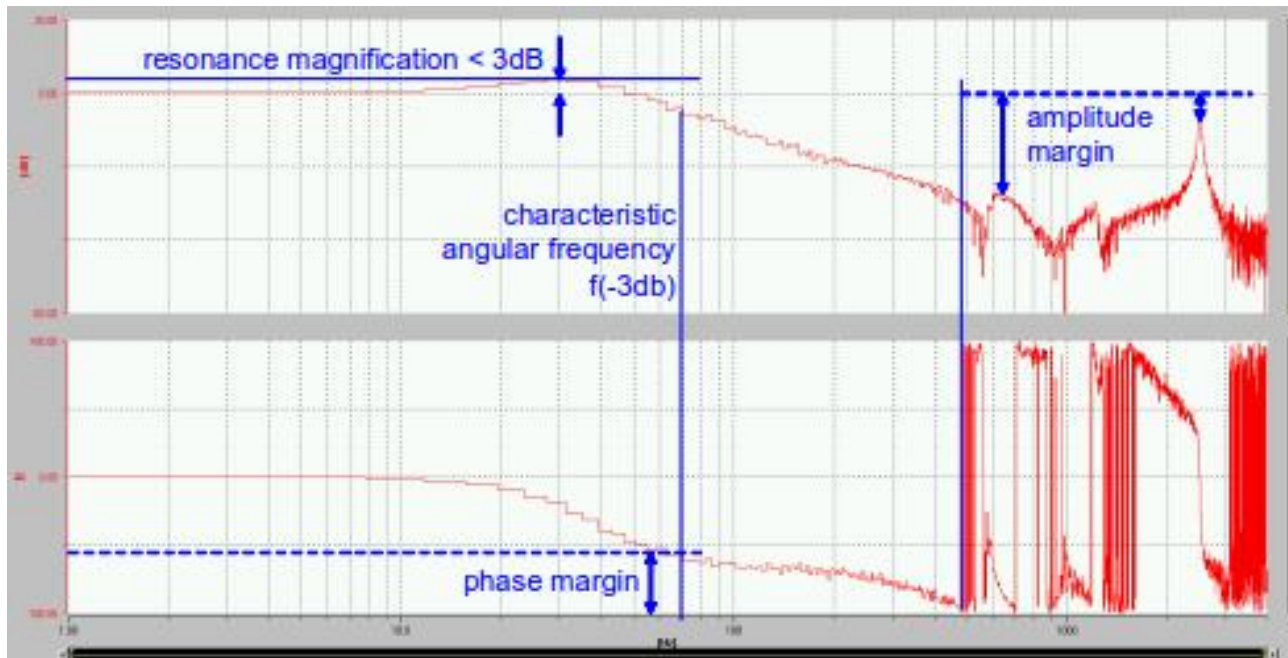
- El margen de Amplitud y el margen de Fase deben ser evaluados en la gráfica de lazo abierto, la zona de aumento de resonancia debe ser evaluada en la gráfica de lazo cerrado

Optimización de la Regulación Servo

Optimización del Regulador de Velocidad. Método: Escalón de consigna en el dominio de la Frecuencia

SIEMENS

Criterio de Estabilidad



- **Frecuencia Angular** debe tener el mayor valor posible sin entrar en inestabilidad.
- **La zona de bajas frecuencias** debe ser siempre inferior a la línea de 3 dB.
- **Margen de Fase** debe tener un valor de al menos entre 40°- 60° cuando el margen de amplitud sea inferior a 10 dB
- **Margen de Amplitud** debe ser suficiente, por lo menos 10dB, a una fase de -180° es adecuado.

Optimización de la Regulación Servo

Optimización del Regulador de Velocidad. Método: Escalón de consigna en el dominio de la Frecuencia

SIEMENS

- Nuestro objetivo es conseguir un factor de ganancia proporcional K_p suficientemente alto para obtener una dinámica alta en la máquina pero al mismo tiempo garantizando la estabilidad del sistema
- A mayor inercia total del sistema mayor será el valor K_p . Evidentemente, el cálculo de la K_p se ha de realizar con toda la carga acoplada al motor.
- Para comenzar haciendo las mediciones se recomienda comenzar con el siguiente valor:

$$K_p \approx 1000 \cdot J_M \cdot \frac{1}{3}$$

- Con este factor de $1/3$ se puede prevenir oscilaciones mecánicas la primera vez que se mueve la máquina.
- El máximo K_p alcanzable sin la carga acoplada suele ser aproximadamente de:

$$K_p \approx 1000 \cdot J_M$$

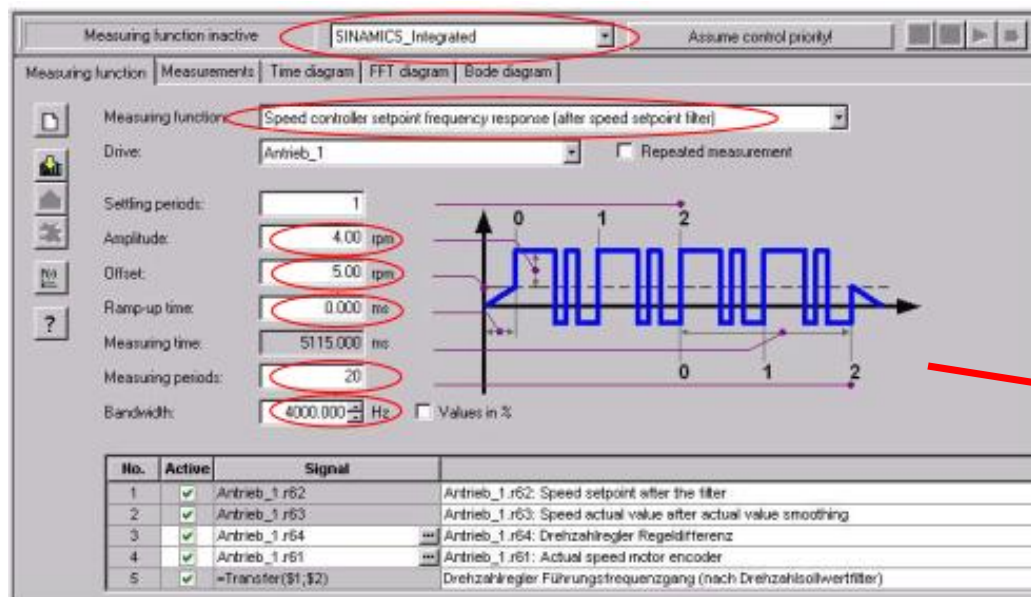
- Para comenzar con el cálculo de la K_p debemos desactivar la parte integral, en los equipos Sinamics se hace poniendo la $T_n=0$. Una vez tengamos la K_p calculada optimizaremos la T_n .

Optimización de la Regulación Servo

Optimización del Regulador de Velocidad. Método: Escalón de consigna en el dominio de la frecuencia

SIEMENS

- En el software de ingeniería Starter, seleccionamos la herramienta “Funciones de medida” y del desplegable seleccionamos “Speed Controller frequency response (after speed setpoint filter)”



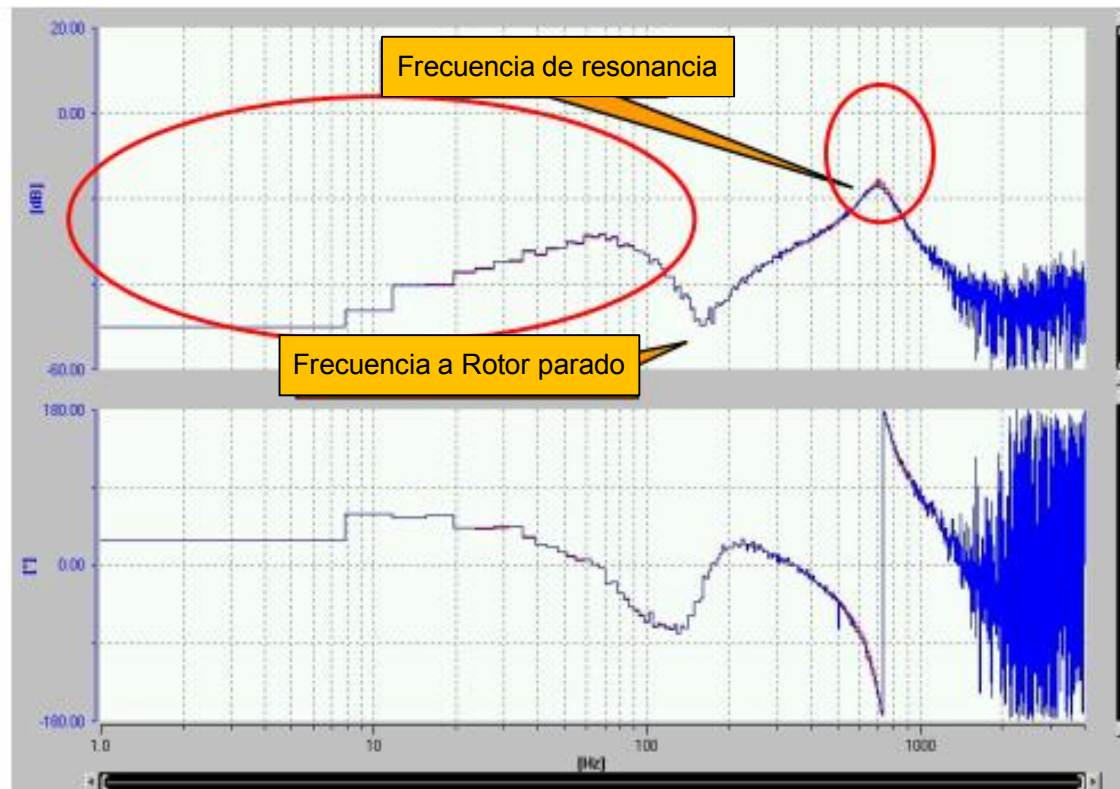
- Añadimos la función de transferencia en lazo abierto (r64 y r61)
- Amplitude: Valor por defecto
- Offset: Offset para evitar un cambio de sentido. Valor por defecto
- Ramp-up-time: Duración hasta que la velocidad de offset es alcanzada para empezar la medida del movimiento.
- Measurements Periods: Por defecto 20.
- Bandwidth: Ancho de banda o espectro de frecuencia a medir, valor por defecto.
- $K_p = 1000 \times J_m \times 1/3$
- $T_n = 0$

Optimización de la Regulación Servo

Optimización del Regulador de Velocidad. Método: Escalón de consigna en el dominio de la frecuencia

SIEMENS

- Resultado con $K_p = 0.031$; $T_n = 0$ ms → Se puede subir la K_p por estar muy lejos la Amplitud de la Línea de 0 dB



- La frecuencia a Rotor Parado no tiene efecto sobre el regulador pero sí lo tiene sobre la dinámica de la máquina.
- Hay que tener cuidado con la frecuencia de resonancia por encontrarse cuando la frecuencia invierte de fase pero hay margen de amplitud para subir la K_p
- Se observa que en la zona de bajas frecuencias hay una muy baja ganancia en la amplitud por lo que en esta zona tb se puede subir la K_p

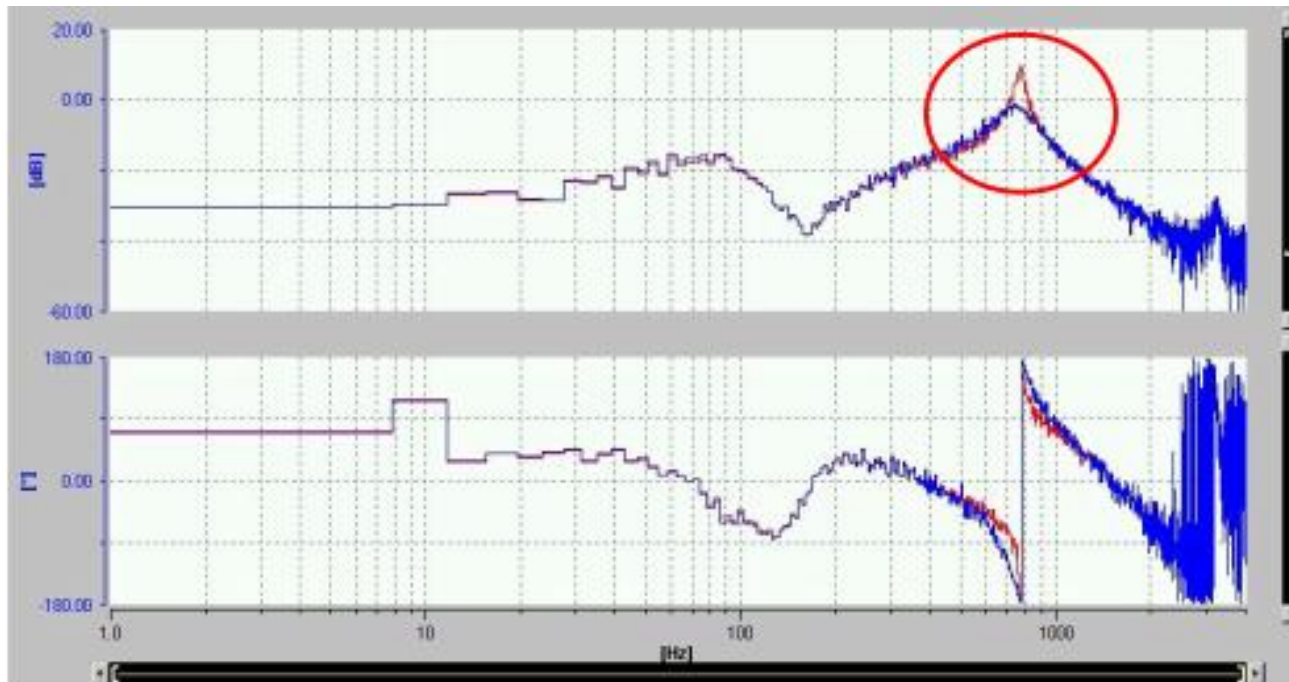
- Rojo: Lazo cerrado
- Azul: Lazo abierto

Optimización de la Regulación Servo

Optimización del Regulador de Velocidad. Método: Escalón de consigna en el dominio de la frecuencia

SIEMENS

- Resultado con $K_p = 0.15$; $T_n = 0 \text{ ms}$ → Tenemos un pico en la amplitud que sobrepasa la línea de 0dB



- El lazo abierto alcanza con un pico la línea de 0 dB y en ese punto no hay margen de fase disponible por tanto va a generar inestabilidad al sistema ya que el regulador no tiene capacidad para compensarlo.

- En esta caso se debería bajar la ganancia o se puede reducir ese pico aplicando un filtro en la consigna de corriente y quizá nos permita volver a subir la K_p .

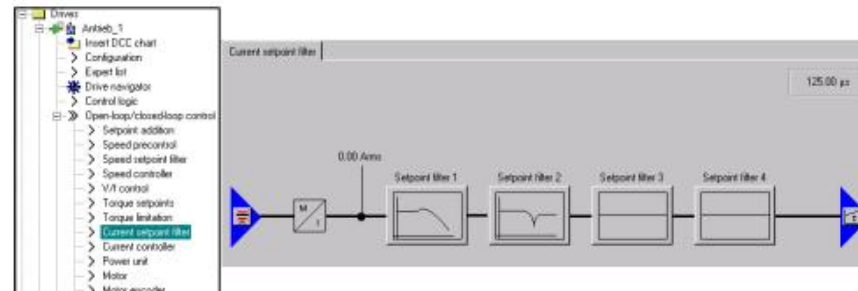
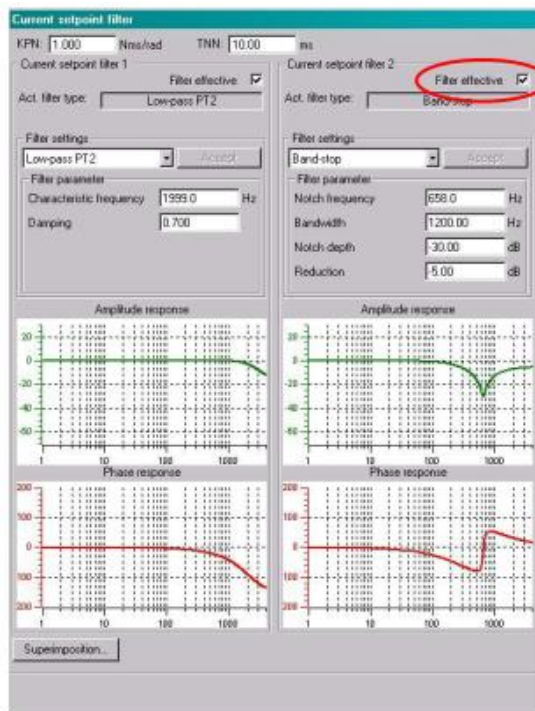
- Rojo: Lazo cerrado
- Azul: Lazo abierto

Optimización de la Regulación Servo

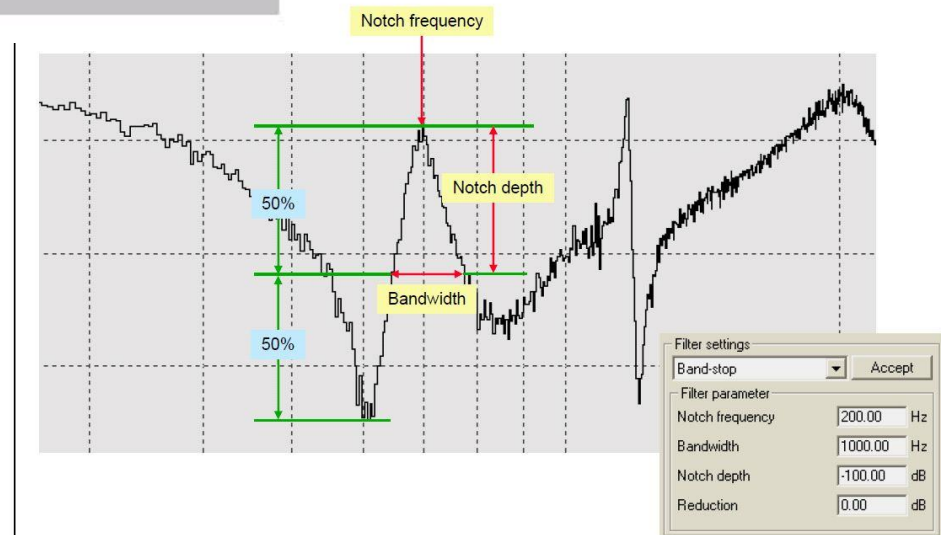
Optimización del Regulador de Velocidad. Método: Escalón de consigna en el dominio de la frecuencia

SIEMENS

- Existen hasta 4 filtros de consigna de corriente que se pueden activar para amortiguar oscilaciones/resonancias.



Evaluation of the filter criteria



Optimización de la Regulación Servo

Optimización del Regulador de Velocidad. Método: Escalón de consigna en el dominio de la frecuencia

SIEMENS

- Resultado con $K_p = 0.15$; $T_n = 0$ ms; Filtro activo → Podemos seguir subiendo la K_p



- Rojo: Lazo cerrado
- Azul: Lazo abierto

Optimización de la Regulación Servo

Optimización del Regulador de Velocidad. Método: Escalón de consigna en el dominio de la frecuencia

SIEMENS

- Resultado con $K_p = 0.7$; $T_n = 0$ ms; Filtro activo ancho de banda 1:1 → Aumentar la profundidad del filtro y el ancho de banda y quizá podamos subir ganancia



- Aunque no estamos sobrepasando la línea de los 3 dB no estamos dejando suficiente margen de amplitud en la frecuencia de resonancia por lo que tendremos un sistema inestable.

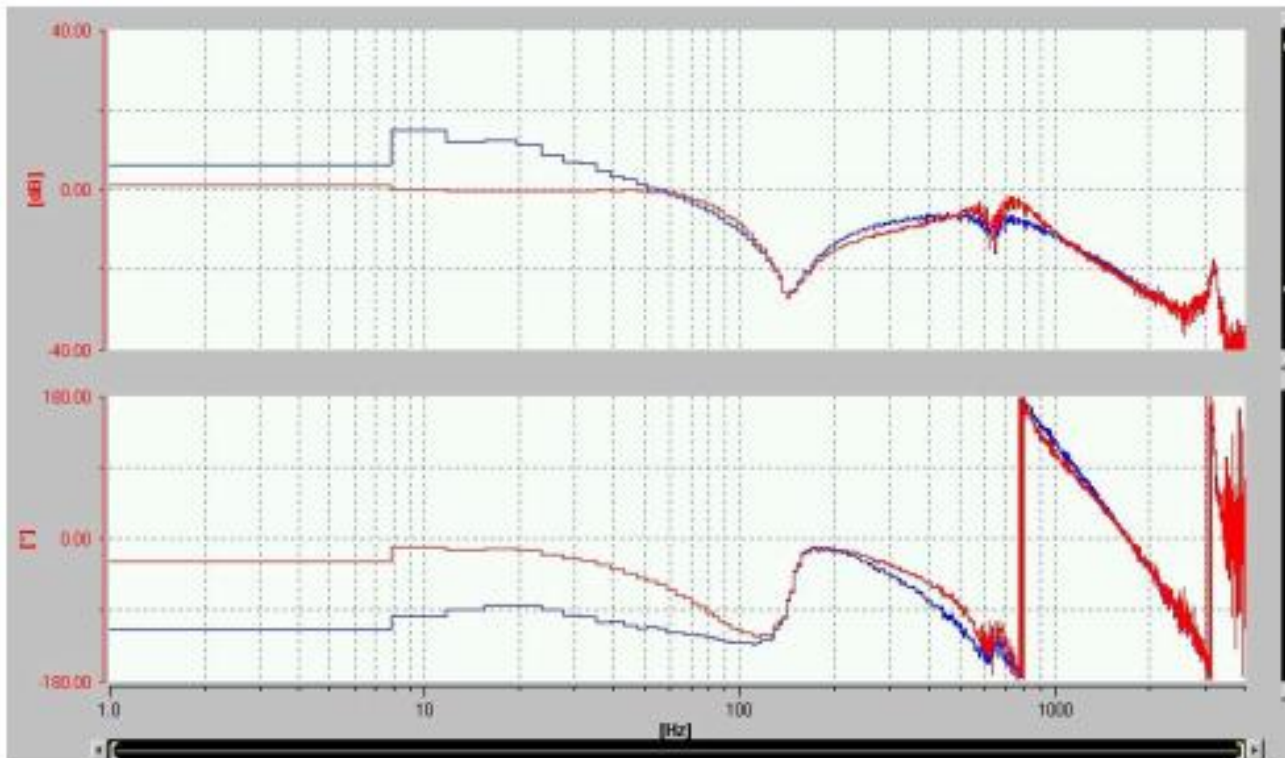
- Rojo: Lazo cerrado
- Azul: Lazo abierto

Optimización de la Regulación Servo

Optimización del Regulador de Velocidad. Método: Escalón de consigna en el dominio de la frecuencia

SIEMENS

- Resultado con $K_p = 1.0$; $T_n = 0$ ms; Filtro activo ancho de banda 2:1 y reducción de -5dB → Perfecto!!!



- Al expandir el ancho de banda del filtro hemos podido subir la K_p de 0.7 hasta el valor de 1.0 y obteniendo el suficiente margen de amplitud (10 db).
- Así, podemos concluir que cumplimos con los criterios de estabilidad:
 - La frecuencia angular (a 3dB) es de 50 Hz
 - La zona de baja frecuencia está siempre por debajo de 3 dB
 - A amplitud de -3 dB el margen de fase es adecuado
 - A Fase de -180° el margen de amplitud es adecuado

Optimización de la Regulación Servo

Optimización del Regulador de Velocidad. Método: Escalón de consigna en el dominio de la frecuencia

SIEMENS

- Resultado con $K_p = 1.0$; $T_n = 10$ ms; Filtro activo ancho de banda 2:1 y reducción de -5dB → Ahora optimizaremos la T_n



- Reduciendo el tiempo integral se amplifica la amplitud a bajas frecuencias, por tanto se debe bajar el valor de T_n hasta el mínimo posible siempre y cuando no sobrepase la amplitud el valor de 3 dB en dicha zona en lazo cerrado (Línea roja).

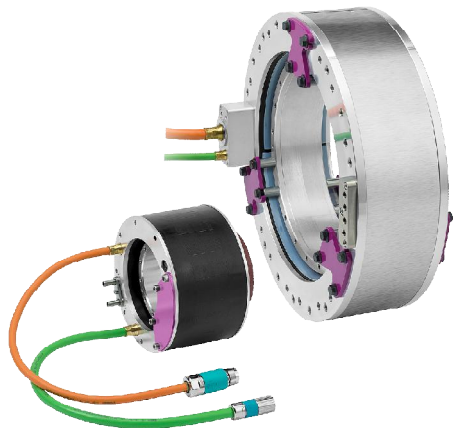
- Debido a reducir la T_n hasta 10 ms hemos desplazado la frecuencia característica angular $f(-3\text{dB})$ de 50 Hz a 82 Hz.

▪ Criterio de Estabilidad Completado

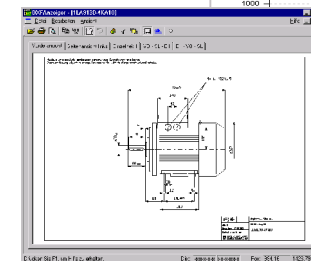
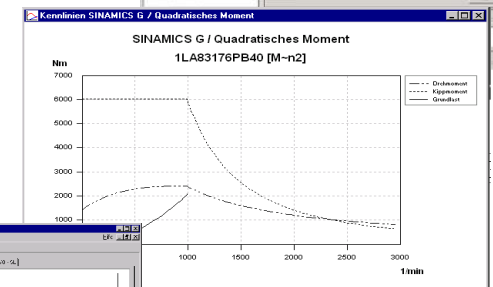
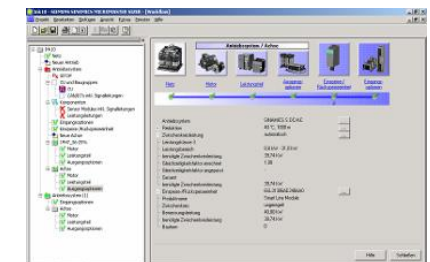
- Rojo: Lazo cerrado
- Azul: Lazo abierto

Optimización de la Regulación Servo

Regulador de Posición



Unrestricted / © Siemens SA 2016. All Rights Reserved.



Optimización de la Regulación Servo

Optimización del Regulador de Posición

SIEMENS

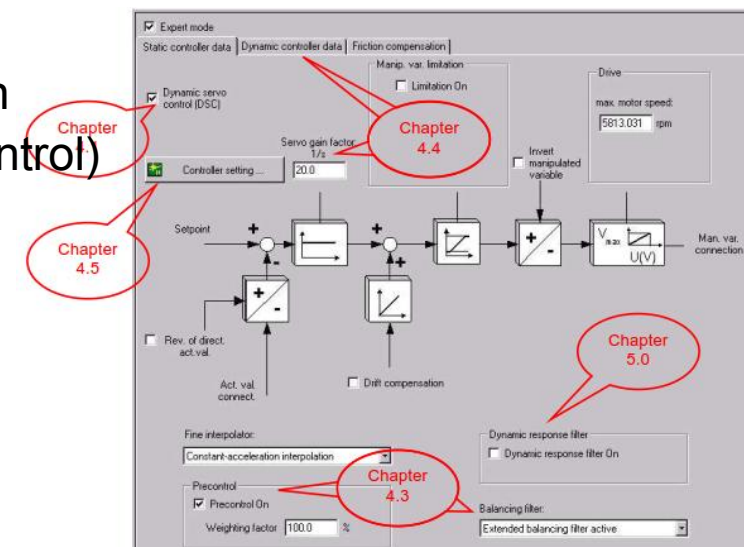
- A diferencia del regulador de corriente y de velocidad que son PI (Proporcional e Integral), el regulador de posición es realizado por un Controlador Proporcional.
- En nuestros drives este regulador se puede encontrar en el Sinamics S120 (Epos) o en una plataforma superior como SIMOTION del que hablaremos.
- Los parámetros más importantes del regulador de posición en Simotion son:

- K_v → Ganancia proporcional del regulador de posición
- K_{pc} → Factor del precontrol de velocidad (speed precontrol)
- v_{TC} → Filtro de equilibrio o velocity Time Constant (Balancing Filter)

Y opcionalmente:

- **DSC** → Dynamic Servo Control

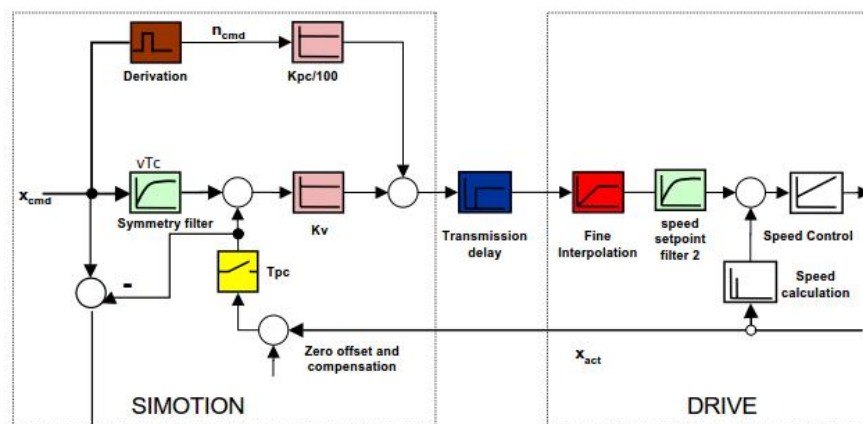
Unrestricted / © Siemens SA 2016. All Rights Reserved.



DSC – Dynamic Servo Control

- El DSC es una estructura de control con la que ejecutamos virtualmente, en el mismo tiempo de ciclo que el regulador de velocidad, la componente dinámica del regulador de posición. Kv más alto, mayor respuesta dinámica y tiempo de respuesta muy corto

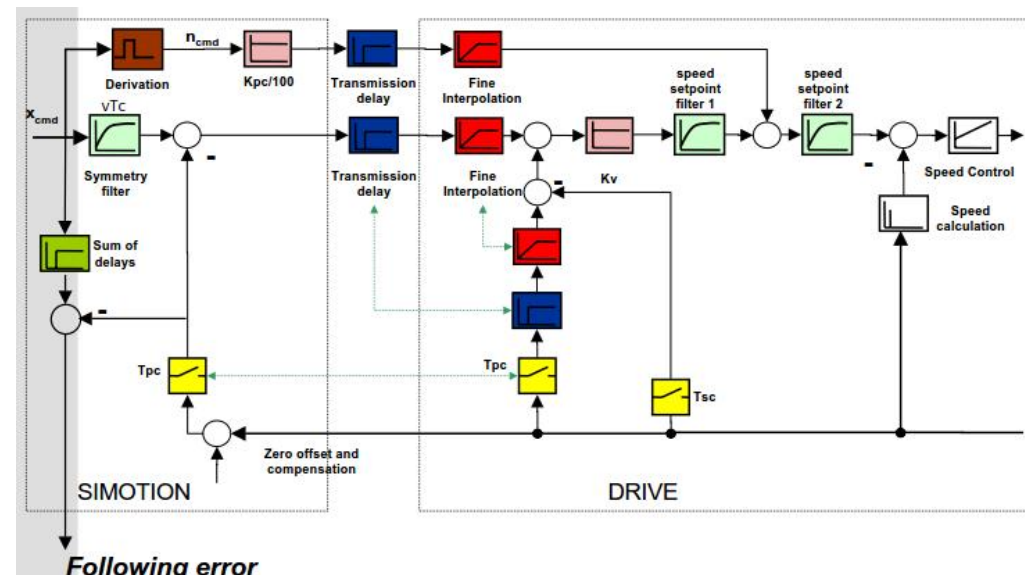
Sin DSC



Following error

Unrestricted / © Siemens SA 2016. All Rights Reserved.

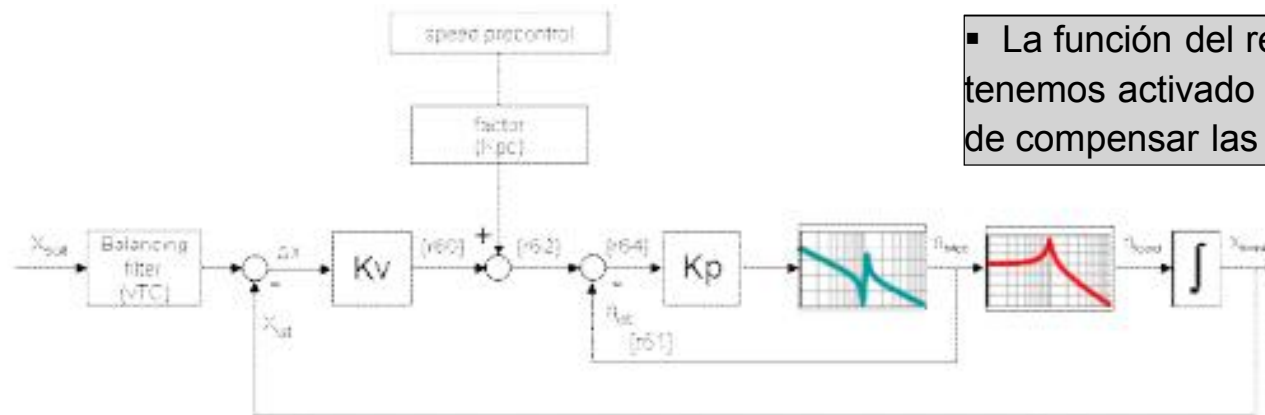
Con DSC



Following error

Speed Precontrol

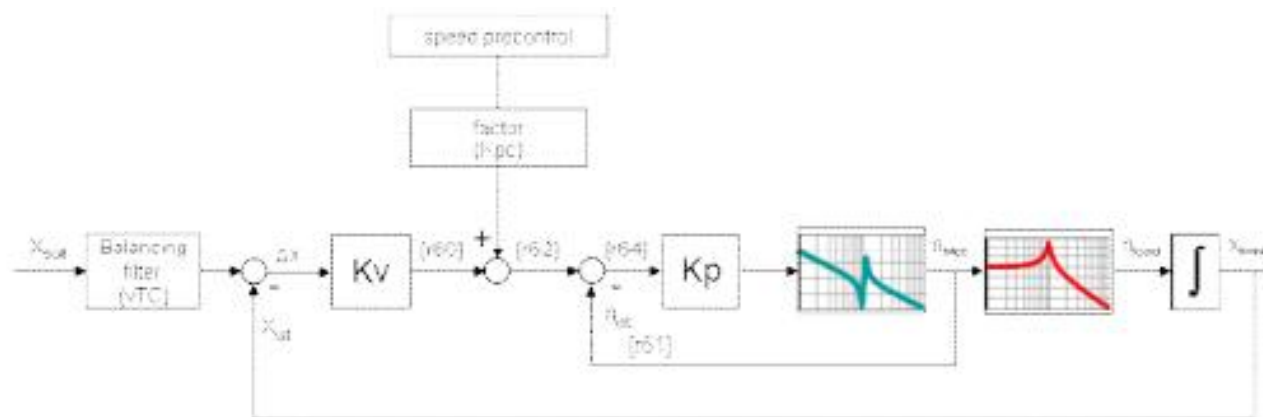
- El Speed Precontrol se usa para reducir el error de seguimiento durante el proceso de posicionar.
- El valor de velocidad es añadido directamente a la salida del regulador de posición. Así, la entrada del regulador de velocidad está disponible inmediatamente con la propia consigna de velocidad generada y así se puede bypassear el regulador de posición.



▪ La función del regulador de posición si tenemos activado el Speed Precontrol es la de compensar las perturbaciones

Balancing Filter

- El “Balancing filter” es un modelo más simple de un lazo cerrado de velocidad.
- Es usado para prevenir al regulador de posición de la variación de velocidad durante las fases de aceleración y deceleración. Esto se logra retrasando el valor de la consigna de posición con el tiempo de equilibrio (vTC) y teniendo en cuenta la rapidez del precontrol.



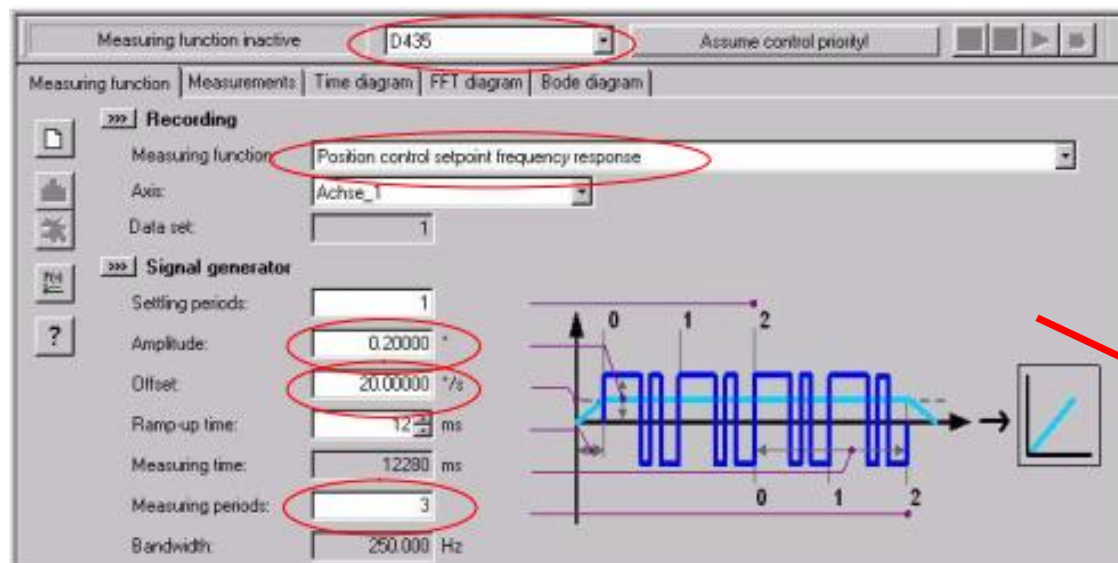
- **vTC muy bajo:** El retraso de posicionador no es suficiente. El resultado es un sobrepaso de la velocidad durante la aceleración y desaceleración.
- **vTC muy alta:** Retraso muy alto. El regulador de posición reacciona contra el speed precontrol. Se excede en la posición
- **vTC ideal:** La desviación de consigna es igual a cero.

Optimización de la Regulación Servo

Optimización del Regulador de Posición

SIEMENS

- En el software de ingeniería Starter, seleccionamos la herramienta “Funciones de medida” y del desplegable seleccionamos “Position control setpoint frequency response”



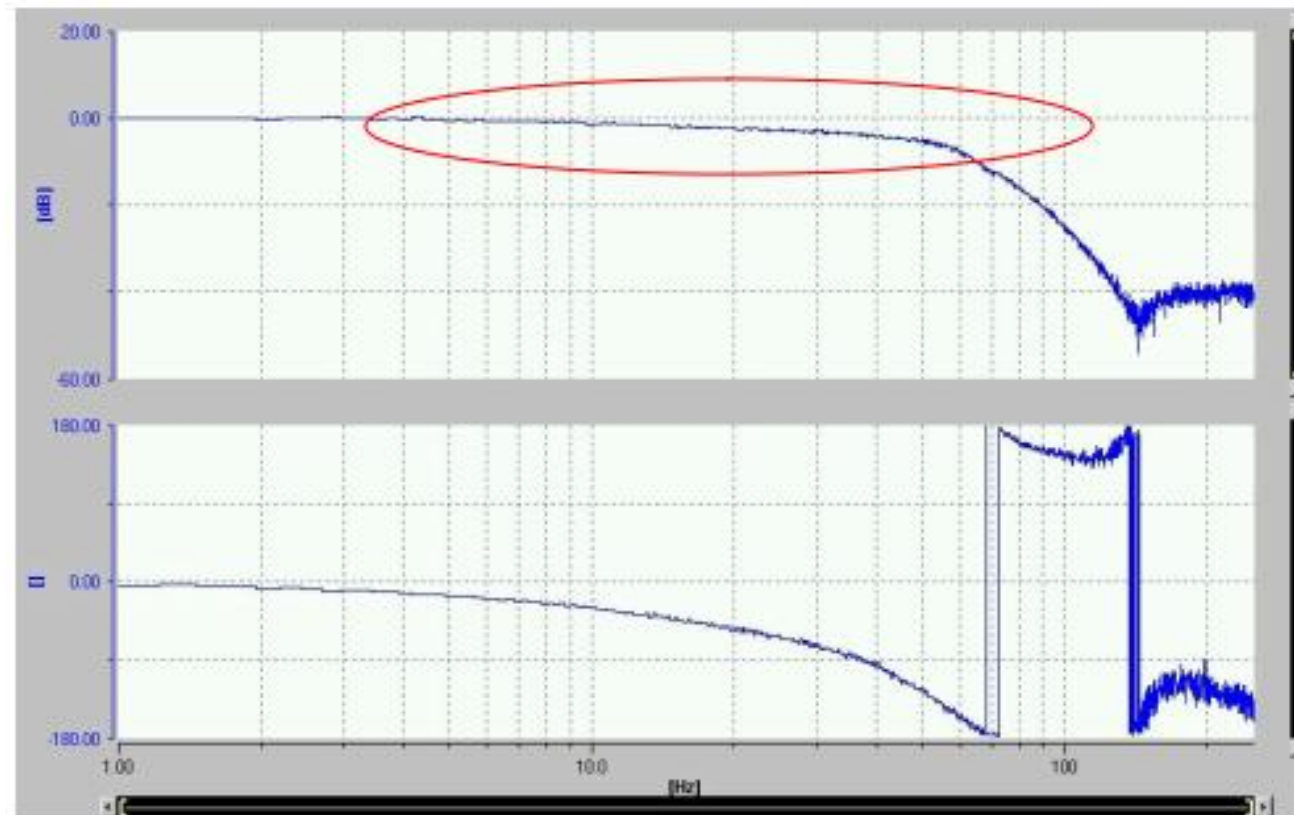
- Drive Selection D435
- Amplitude: Valor por defecto
- Offset: Offset para prevenir posibles inversiones de giro
- Measuring periods: Valor por defecto
- Desactivar el precontrol $K_{pc} = 0\%$
- Desactivar el tiempo de balanceo $vTC = 0ms$

Optimización de la Regulación Servo

Optimización del Regulador de Posición

SIEMENS

- Resultado con **K_v** muy baja



Optimización de la Regulación Servo

Optimización del Regulador de Posición

SIEMENS

- Resultado con **Kv** ideal → Siempre se ha de buscar que la Amplitud esté lo más cercana a la línea de 0 dB hasta el cambio de fase. Pero **nunca** sobrepasar dicha línea



¡Gracias por su atención!



Master Mecatrónica - Universidade de Vigo - 27-04-2016

Workshop Sizer y Optimización de la Regulación Servo