

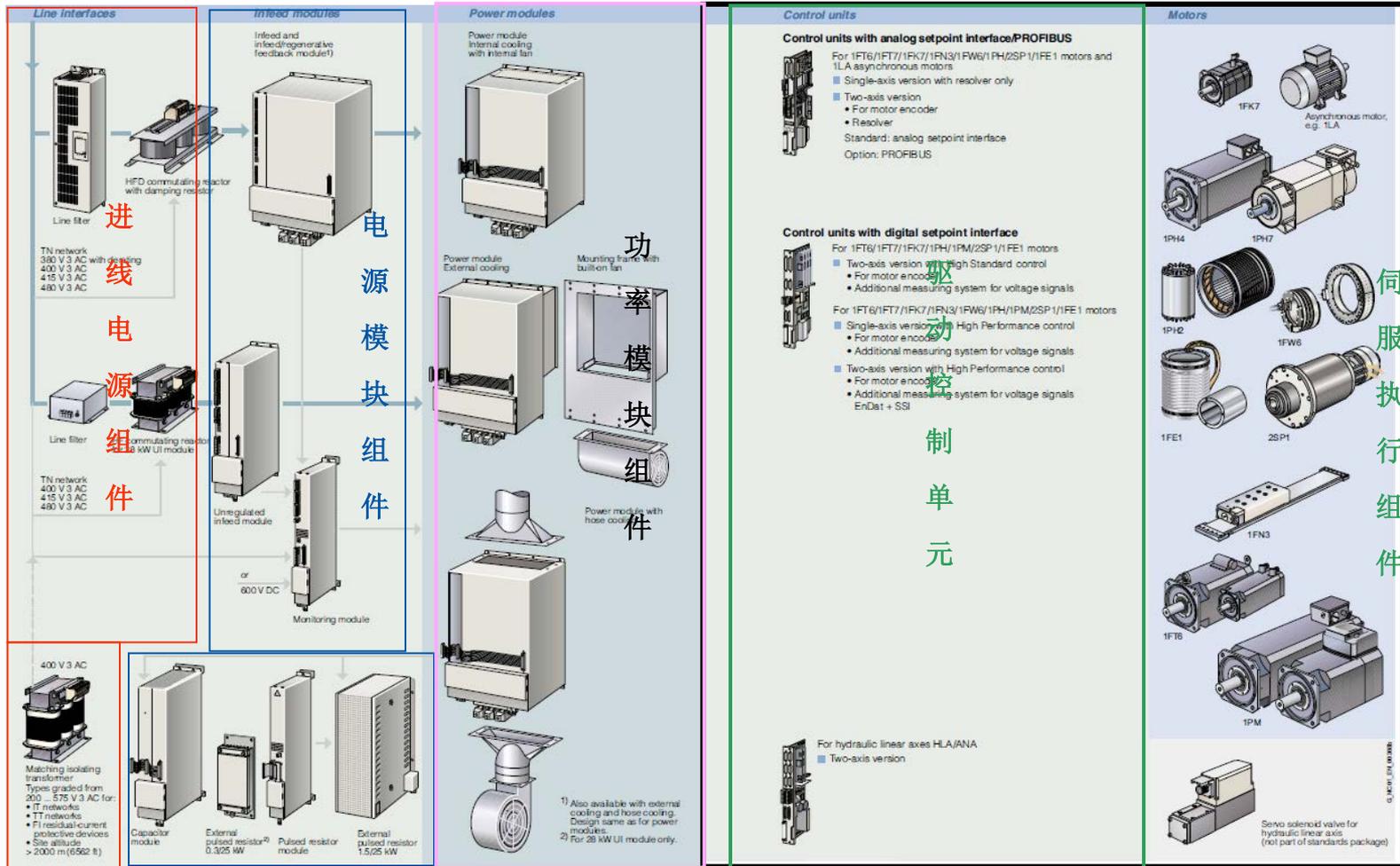


SIMODRIVE 611D 驱动基础及调试

TRAINER: YAN ZUDONG
DATE: Apr. 16th, 2010

第一部分：SIMODRIVE 611D驱动基础

611D驱动系统概览



第一部分： SIMODRIVE 611D驱动基础

■ 611D驱动系统组成

- 三相伺服变压器（可选）
- 主电源/控制电源开关及保护元件
- 线性滤波器 Line filter
- HFD电抗器 Commutating reactors
- 电源模块 Power supply
- 监控模块 Monitor module
- 功率模块 Power module
- 伺服控制单元 Control unit
- 专用模块（如液压伺服模块）
- 伺服执行组件（如电机）

■ 系统冷却方式

- 内部冷却
- 外部冷却
- 管道冷却

第一部分： SIMODRIVE 611D驱动基础

■ 电源模块 Power supply

- 用途：将进线电源转换成驱动组件可用电源（交流 \Rightarrow 直流）
- 分类：按能量流动方式可分为I/R模块和UI模块。
- I/R模块：电机制动时流入直流母排的能量可被驱动系统循环利用，常用在高动态响应，频繁启停的场合。（ $\leq 28KW$ ）
- UI模块：电机制动时流入直流母排的能量通过制动电阻以热能的形式散发到环境中，常用对动态响应要求不高，制动不多的场合。（5/10/28KW）

提醒：如果使用了HFD电抗器，必须使用I/R模块



I/R 模块

UI 模块

第一部分： SIMODRIVE 611D驱动基础

■ 电源模块 Power supply

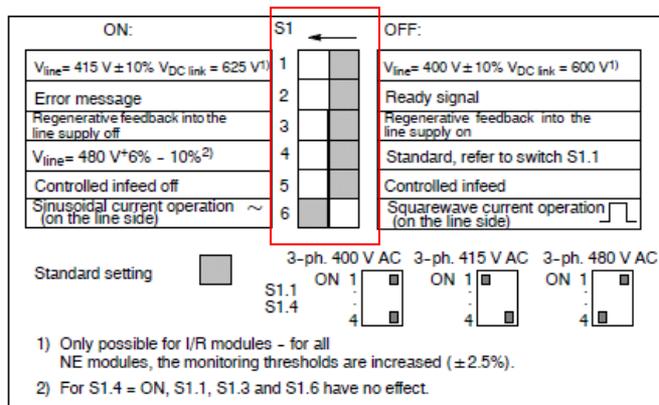


Fig. 6-5 DIL switch S1 (在模块顶部)

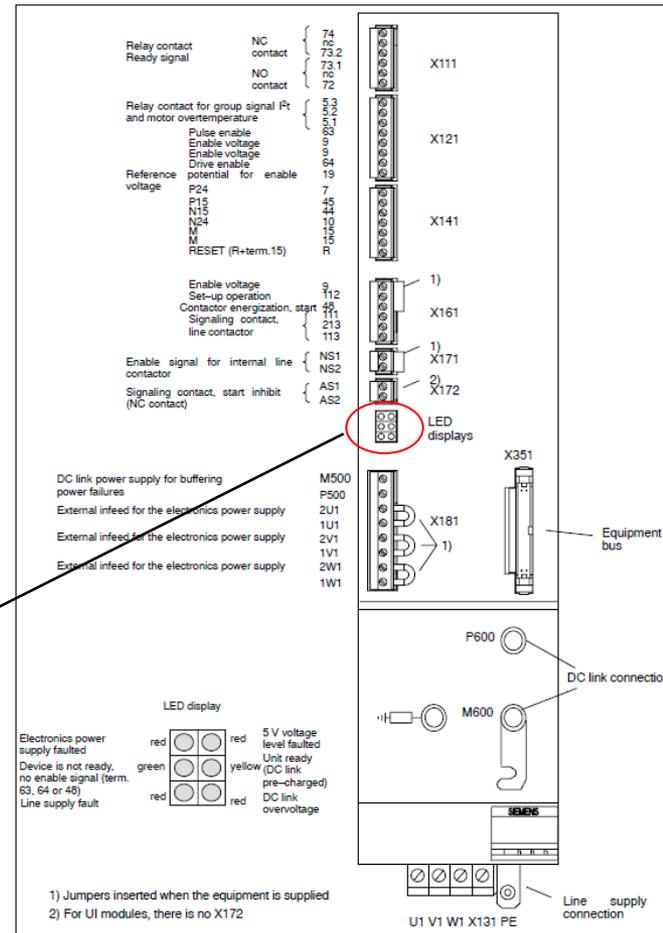


Fig. 6-2 Interfaces, infeed module (UI module) or infeed/regenerative feedback module (16 to 55 kW I/R module)

第一部分： SIMODRIVE 611D驱动基础

■ 电源模块 Power supply

➤ 主要端子功能

T72,T73.1:驱动组件正常（常开）

T73.2,T74:驱动组件正常（常闭）

T5.1,T5.2,T5.3:I2T监控

T9:使能电压 24V DC

T63:电源脉冲使能

T64:电源控制使能

T19:电子地

T7:+24V DC输出

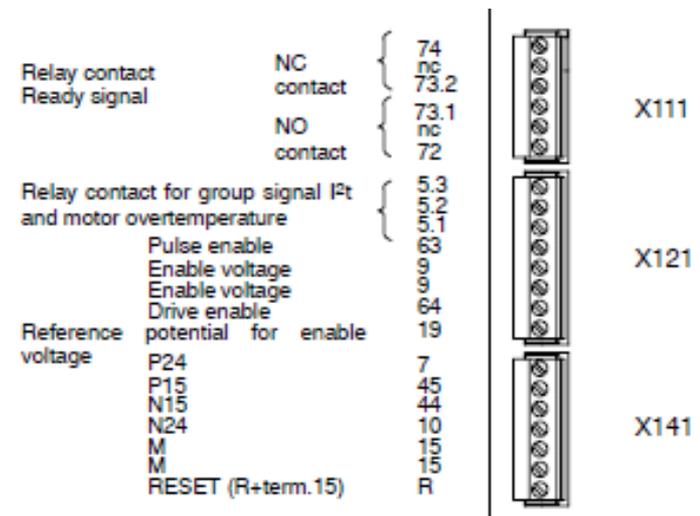
T45:+15V DC输出

T44:-15V DC输出

T10:-24V DC输出

T15:参考地M

TR:驱动组件故障复位



第一部分： SIMODRIVE 611D驱动基础

■ 电源模块 Power supply

➤ 主要端子功能

T112: 驱动组件工作建立

T48: 电源接触器得电吸合

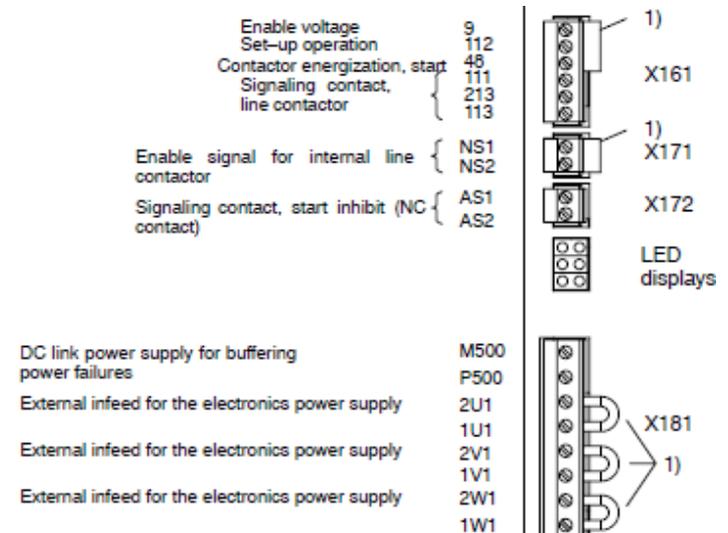
TNS1,NS2: 内部进线接触器使能

TAS1,AS2: 驱动组件启动禁止（常闭）

TM500,P500: 直流母排缓冲电源

T1U1,1V1,1W1:内部三相电源

T2U1,2V1,2W1:用于电子电源的外部进线电源



第一部分： SIMODRIVE 611D驱动基础

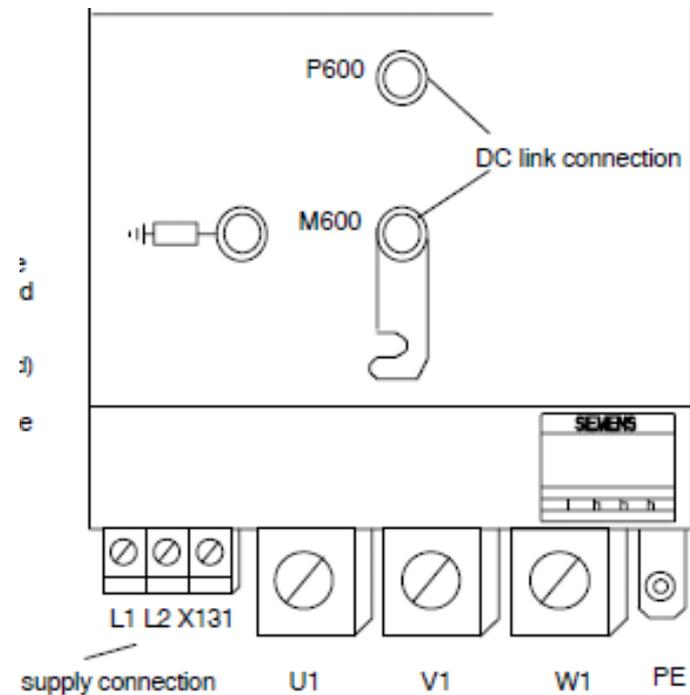
■ 电源模块 Power supply

➤ 主要端子功能

TL1,L2: 外部控制电源交流380V

TU1,V1,W1: 连伺服电机动力电缆

TP600,M600: 直流母排连接，工作时电压约600V DC。



提醒：仅80KW及以上容量的电源模块使用外部控制电源。

第一部分： SIMODRIVE 611D驱动基础

■ 电源模块 Power supply

➤ 上下电顺序

电源模块的主要端子要有 PLC 的输出来控制其顺序。

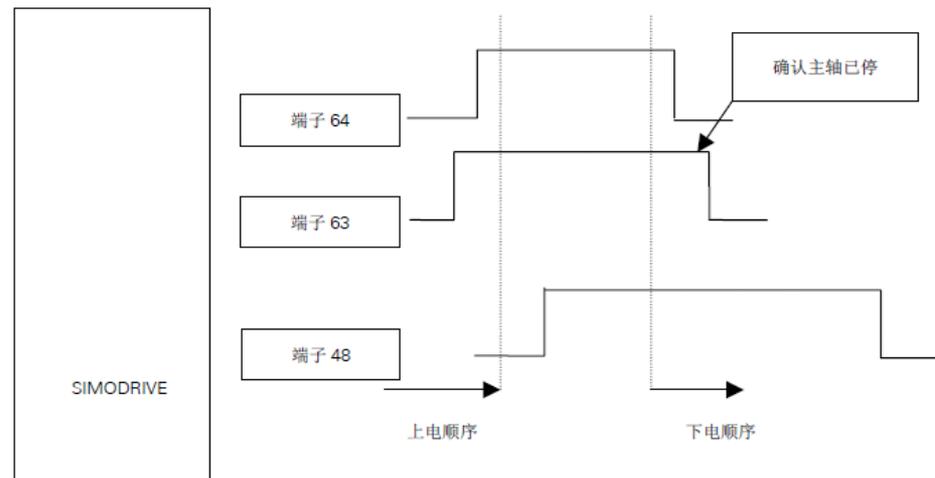
上电顺序：

- 打开主电源开关
- 释放急停开关
- 端子 48 上电
- 端子 63 上电
- 端子 64 上电

下电顺序：

- 主轴停后，按急停开关
- 端子 64 下电
- 端子 63 上电
- 端子 48 下电
- 关断主电源开关

注意：每两个步骤之间应为 0.5 秒。



第一部分： SIMODRIVE 611D驱动基础

■ 监控模块 Monitor module

- 用途：为部分驱动组件
 1. 提供电子电源
 2. 执行主要监控功能
- 工作方式：当以下监控对象位于许可范围内时，输出“驱动组件ok”信号
- 监控对象：
 - 直流母排电压
 - 控制器电源（+/-15V）
 - 5V电压电平



第一部分： SIMODRIVE 611D驱动基础

■ 监控模块 Monitor module

Table 6-12 Technical data, monitoring module

Power loss	70 W
Rated supply voltage	3-ph. 400 V – 10% up to 480 V AC + 6%
Alternatively, rated supply voltage DC link	600/625/680 V DC
Current consumption	for 3-ph. 400 V AC: approx. 600 mA
Type of cooling	Natural ventilation
Weight	approx. 5 kg
Assessment factor for the electronic points (EP)	Max. 8
Assessment factor for the gating points (AP)	Max. 17
The cross-section that can be connected to the P600, N600, X131 terminal block	<ul style="list-style-type: none"> Max 10 mm² for cables with conductor end sleeves Max 16 mm² for cables with pin-type cable lug

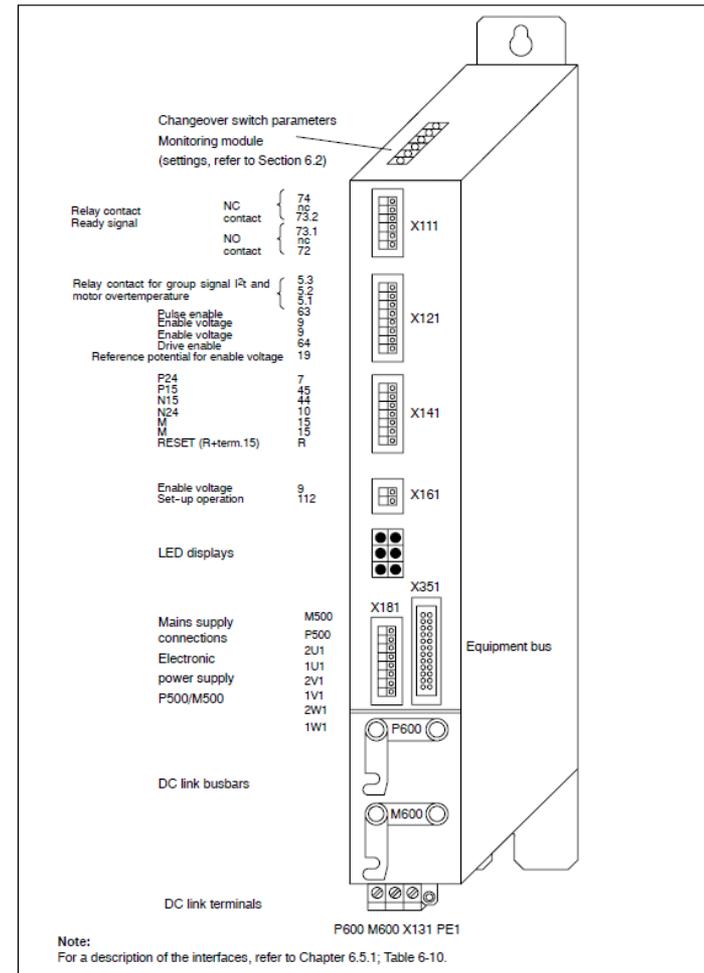


Fig. 6-12 Monitoring module 6SN1112-1AC01-0AA1

第一部分： SIMODRIVE 611D驱动基础

■ 电容模块Capacitor module

- 用途：防止电源故障；存蓄制动能量。
- 按功能分类：
 - 2.8mF和4.1mF，用作动态能量存储装置
 - 20mF，用作电源跌落缓冲



第一部分： SIMODRIVE 611D驱动基础

■ 电容模块Capacitor module

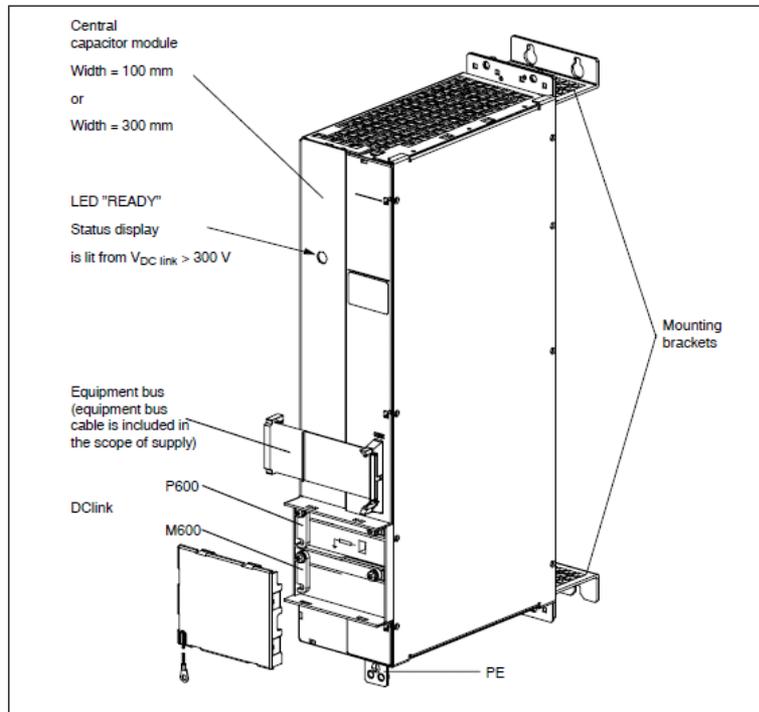


Fig. 6-15 Central capacitor module 4.1 mF

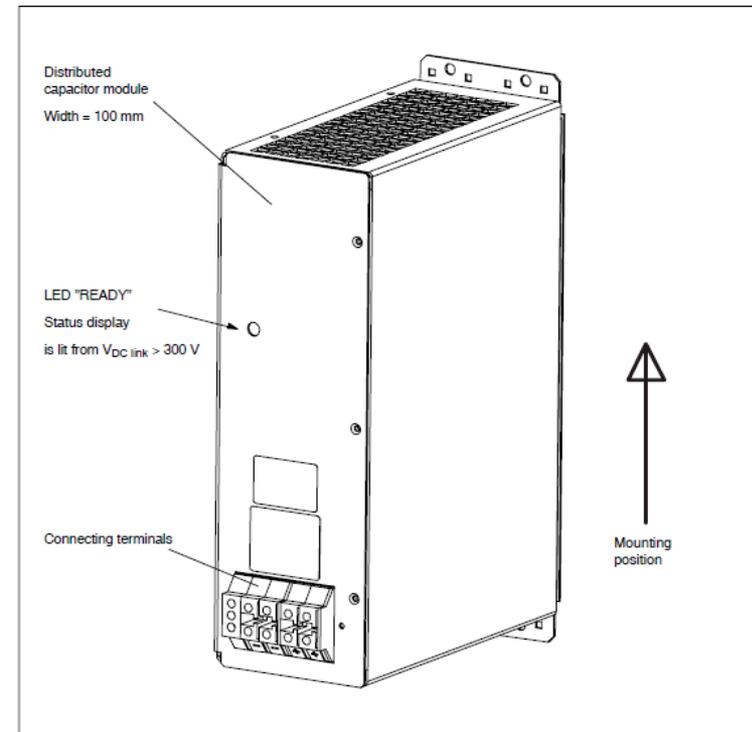


Fig. 6-16 Distributed capacitor module, 2.8 mF/4.1 mF

根据安装方式，电容模块可分为两类：集中式电容模块和分布式电容模块

第一部分： SIMODRIVE 611D驱动基础

■ 电容模块Capacitor module

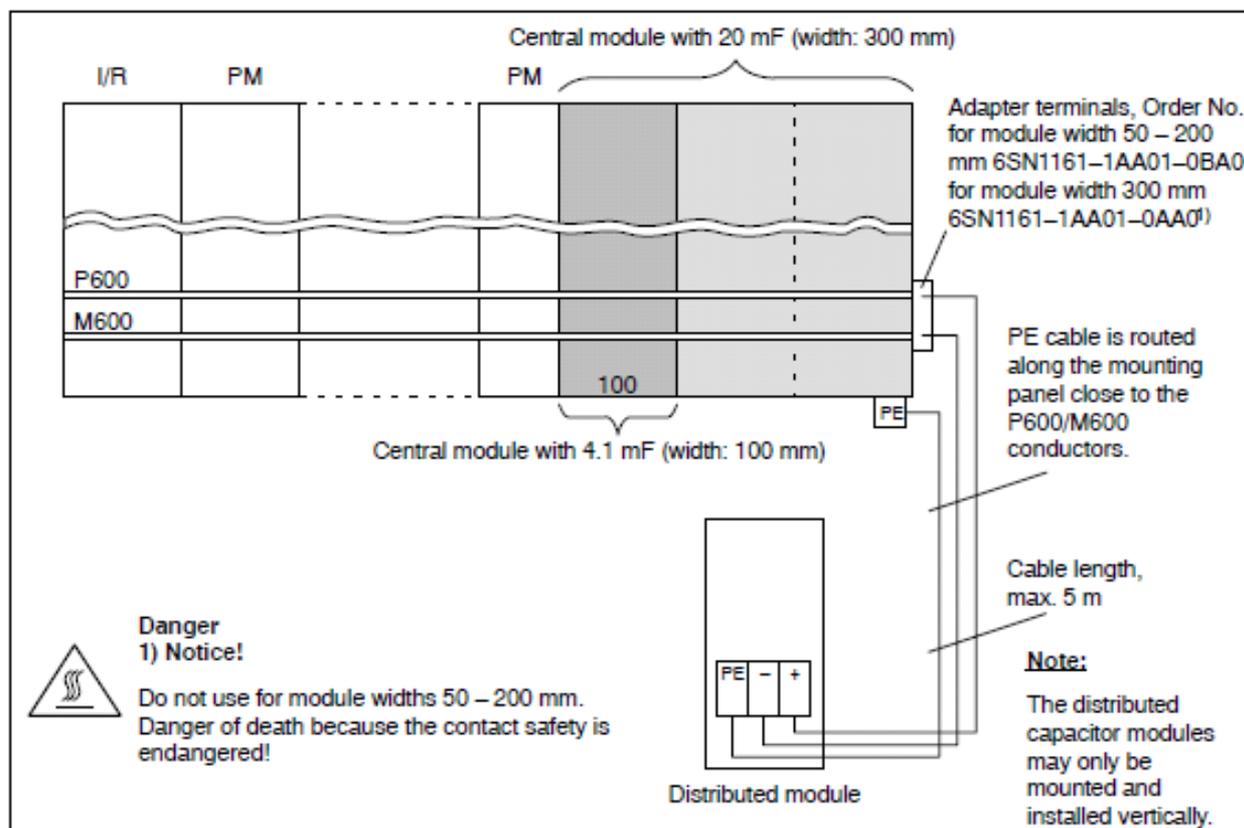


Fig. 6-17 Mounting location for the capacitor modules

第一部分： SIMODRIVE 611D驱动基础

■ 脉冲电阻模块Pulse Resistor module



Connection
PR module

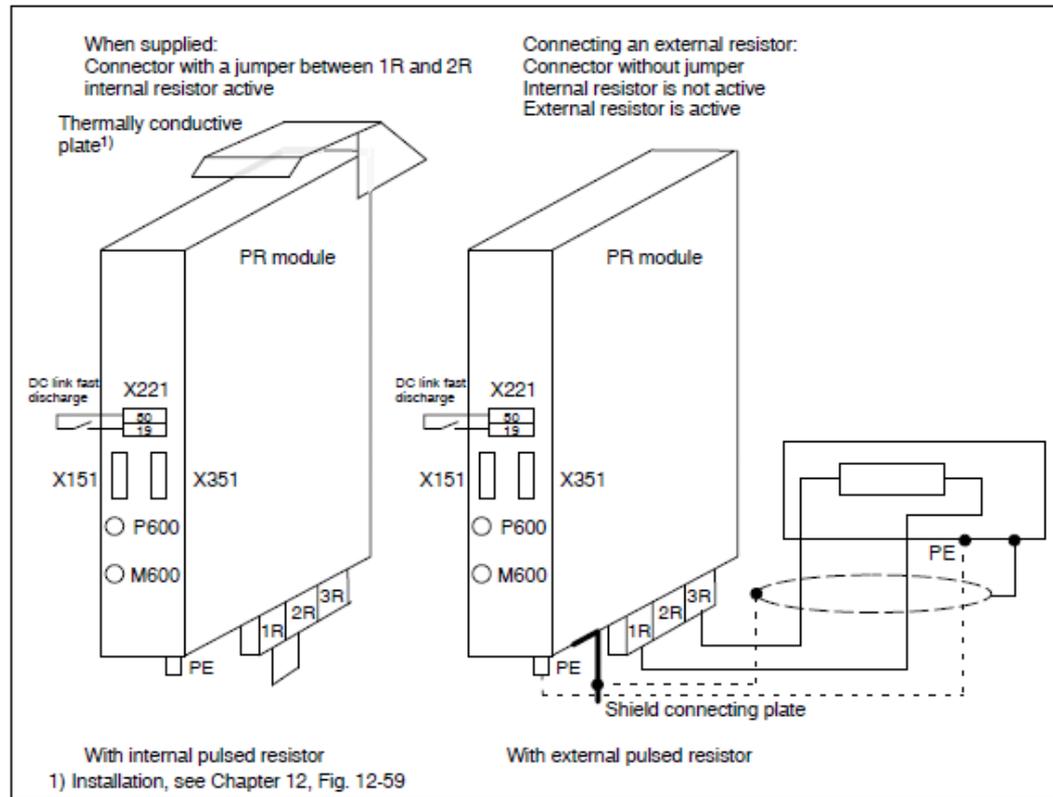


Fig. 6-18 PR module, Order No.: 6SN1113-1AB01-0BA□

第一部分： SIMODRIVE 611D驱动基础

■ 功率模块Power module

- 用途： 和控制模块共同实现进给和主轴驱动
- 分类： 根据可驱动的轴数可分为单轴模块和双轴模块
- 工作方式： 进给驱动FDD和主轴驱动MSD
- 可连接的电机类别：
 - 1、连进给： 1FT6/1FK6/1FK7/1FT7/1FW/1FN
 - 2、连主轴： 1PH/1PM/1FE/2SP1



第一部分：SIMODRIVE 611D驱动基础

■ 功率模块Power module

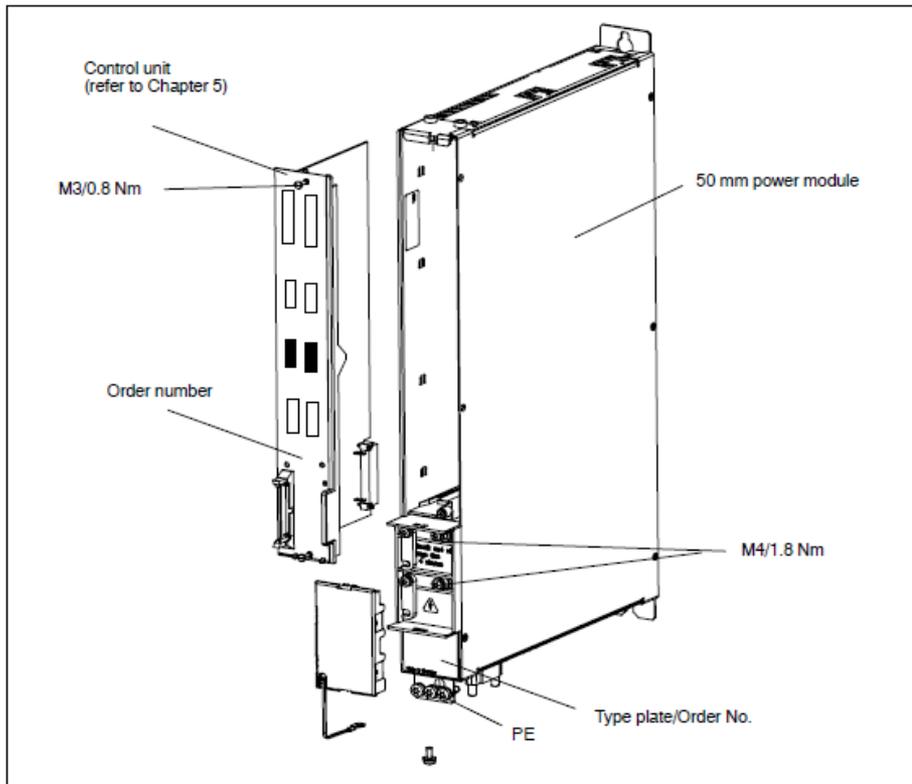


Fig. 4-1 Power module with control unit

Table 4-5 1-axis module

Term. no.	Designation	Function	Type 1)	Typ. voltage/limit values	Max. cross-section
U2 V2 W2	A1	Motor connection	O	3-ph. 430 V AC	See Chapter 4.6.2
PE		Protective conductor Protective conductor		0 V 0 V	2 screws
P600 M600		DC link DC link	I/O I/O	+300 V -300 V	Busbar Busbar

Table 4-6 2-axis module

Term. no.	Designation	Function	Type 1)	Typ. voltage/limit values	Max. cross-section
U2 V2 W2	A1	Motor connection for axis 1	O	3-ph. 430 V AC	See Chapter 4.6.2
U2 V2 W2	A2	Motor connection for axis 2	O	3-ph. 430 V AC	See Chapter 4.6.2
PE		Protective conductor		0 V	2 screws
P600 M600		DC link DC link	I/O I/O	+300 V -300 V	Busbar Busbar

1) O = Output; I = Input

Note

For 2-axis module, Order No.: 6SN1123-1AB00-0CA2/0CA3, note that the terminal arrangement of A1 and A2 differs compared to the other 2-axis modules!



第一部分：SIMODRIVE 611D驱动基础

■ 伺服控制单元 Control Unit

Table 5-1 Overview of the control units/boards

Closed-loop control module	Variant	Axes	Motor encoder	Motors ¹⁾	Optional interfaces
SIMODRIVE 611 with digital setpoint interface for FD and MSD	High Performance control	2	Incremental encoders sin/cos 1 V _{PP} , EnDat	SRM: 1FT6, 1FK, 1FE1, 1FW6, 2SP1 IM 1PH, 1PM SLM: 1FN Standard: 1LA Third-party: if suitable	High Performance: Order No.: 6SN1118-0DK2□-0AA□
SIMODRIVE 611 with digital setpoint interface for FD and MSD	High Performance control	1	Incremental encoders sin/cos 1 V _{PP} , EnDat	SRM: 1FT6, 1FK, 1FE1, 1FW6, 2SP1 IM: 1PH7, 1PM SLM: 1FN Standard: 1LA Third-party: if suitable	High Performance: Order No.: 6SN1118-0DJ2□-0AA□
SIMODRIVE 611 with digital setpoint interface for FD and MSD	High Standard control	2	Incremental encoders sin/cos 1 V _{PP} , EnDat	SRM: 1FT6, 1FK, 1FE1, 2SP1 IM: 1PH7, 1PM6 Standard: 1LA Third-party: if suitable	High Standard: Order No.: 6SN1118-0DM3□-0AA□
SIMODRIVE 611 with digital setpoint interface for hydraulic/analog Linear drives HLA/ANA		2	Incremental encoders sin/cos 1 V _{PP} , EnDat, SSI (SW 1.2.4 and higher)	Hydraulic linear axes/ana- log axis	

- 1) SRM: Synchronous rotating motor
IM: Induction rotating motor
IM: Synchronous linear motor
Standard: Standard motor
Third-party: Unlisted motor

第一部分： SIMODRIVE 611D驱动基础

■ 伺服控制单元 Control Unit

- 驱动软件的应用要求
- 驱动软件的下载：
在系统初始化阶段通过驱动总线从840D系统传入控制板

Table 5-2 Software functions

	High Performance	High Standard
MLFB	6SN1118-0DJ2□-0AA□ 6SN1118-0DK2□-0AA□	6SN1118-0DM3□-0AA□
NCU version	≥ 6.4.9	≥ 6.4.9
drive version	≥ 6.3.11	≥ 6.5.4
PCU50/PCU20	≥ 6.2.18	≥ 6.2.18
Commissioning tool for the PC	≥ 6.2.18	≥ 6.2.18
NCU hardware	≥ 573.3; ≥ 572.3; 571.3	≥ 573.3; ≥ 572.3; 571.3
Mixed operation, FD/MSD	≥ 6.2.12	≥ 6.2.12



第一部分：SIMODRIVE 611D驱动基础

■ 伺服控制单元 Control Unit

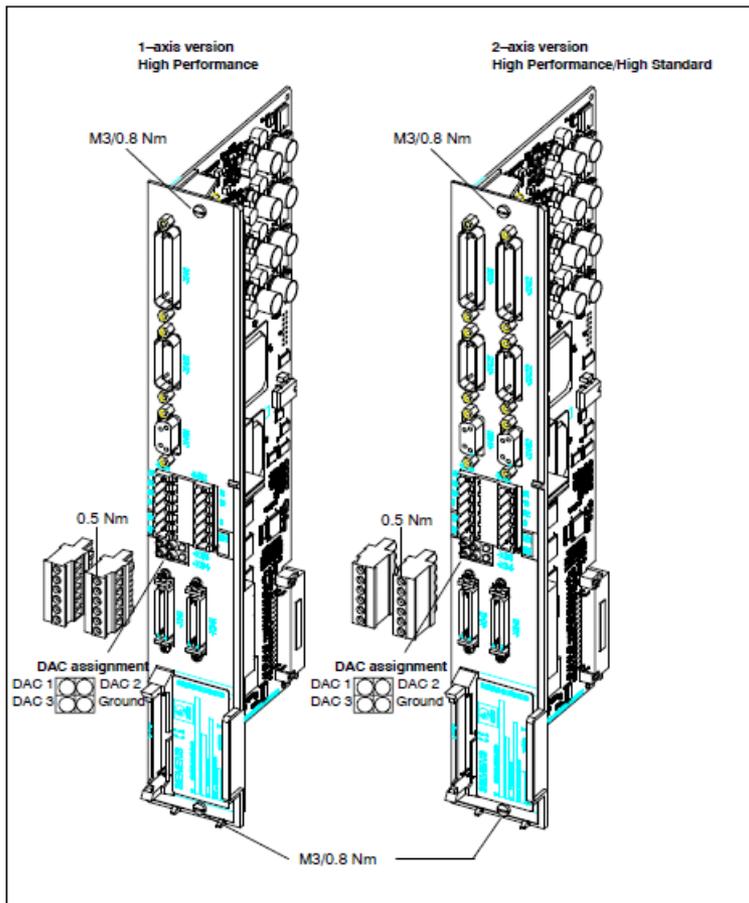


Fig. 5-1 Digital control High Performance and High Standard with direct measuring system

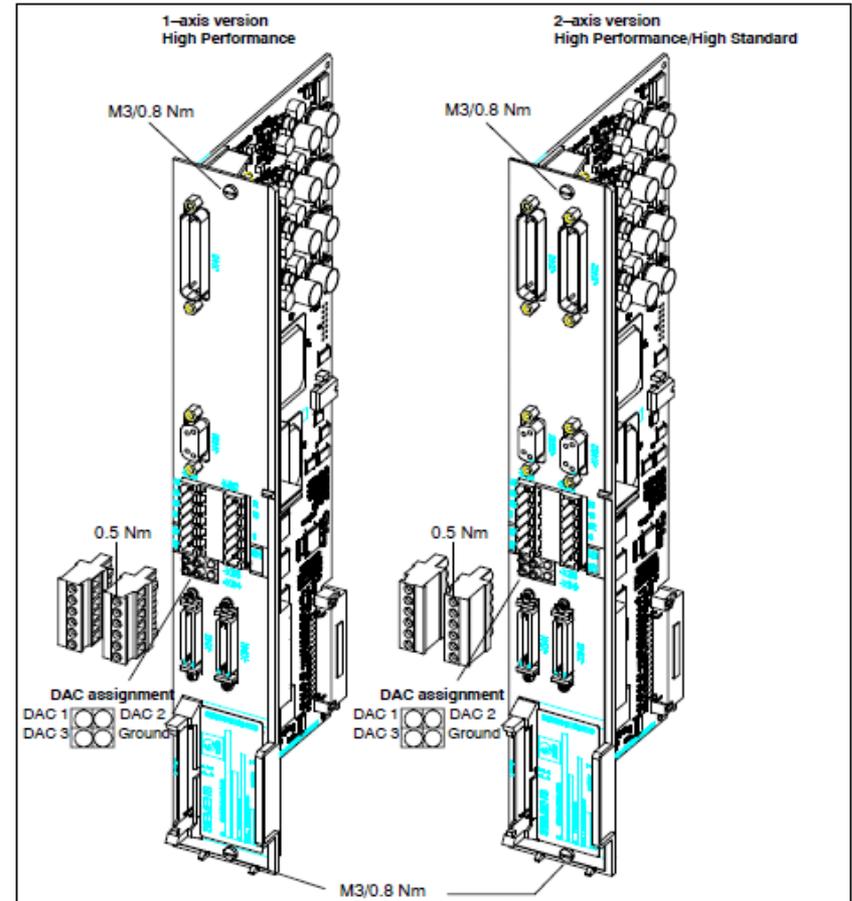


Fig. 5-2 Digital control High Performance and High Standard without direct measuring system

第一部分：SIMODRIVE 611D驱动基础

■ 伺服控制单元 Control Unit

High Standard and High Performance

Table 5-3 Interface overview, High Standard and High Performance closed-loop drive control

Term. no.	Designation	Function	Type 1)	Typ. voltage/limit values	Max. cross-section
AS1 3)	X431	Relay start inhibit (feedback signal, terminal 663) Relay start inhibit (feedback signal, terminal 663) Pulse enable: The "starting lockout" relay is operated with terminal 663. On opening, the trigger pulses are inhibited and the motor is switched into a torque-free condition.	NC	max. 250 V AC/1 A, 30 V DC/2 A	1.5 mm ²
AS2 3)	X431		I	+21 V ... 30 V	1.5 mm ²
9	X431	Enable voltage 2)	O	+24 V	1.5 mm ²
P24	X431	+24 V supply for the brake control 4)	I	+18 ... 30 V	1.5 mm ²
BE1	X431	Output, brake control, axis 1	O	max. 500 mA	1.5 mm ²
B1	X432	Input, external zero mark (BERO) axis 1	I	+13 ... 30 V	1.5 mm ²
19	X432	Negative enable voltage	O	0 V	1.5 mm ²
B2	X432	Input, external zero mark (BERO) axis 2	I	+13 ... 30 V	1.5 mm ²
9	X432	Positive enable voltage 2)	O	+24 V	1.5 mm ²
M24	X432	0 V supply for the brake control	I	0 V	1.5 mm ²
BE2	X432	Output, brake control, axis 2	O	max. 500 mA	1.5 mm ²
	X34/X35	Test socket, DAC			
	X411	Motor encoder, axis 1 ⁵⁾		For the terminal assignment, refer to Table 5-4	
	X412	Motor encoder, axis 2 ⁵⁾			
	X421	Direct position encoder, axis 1 ⁵⁾		For the terminal assignment, refer to Table	
	X422	Direct position encoder, axis 2 ⁵⁾			
	X461	BERO input, axis 1		For the terminal assignment, refer to Table 5-6	
	X462	BERO input, axis 2			
	X351	Equipment bus			
	X141/341	Drive bus			

- 1) I=Input, O=Output, NC=NO contact; NO=NO contact (for a signal, NO=High/NC=Low)
- 2) The terminal may only be used to enable the associated drive group.
- 3) When connecting contacts AS1/AS2 in series, a contact voltage drop up to max. 0.2 V must be taken into account for the lifetime of the contacts (100000 switching operations). For a 24 V switching voltage, due to the non-linear contact characteristics, from experience, five contacts can be simply connected in series without encountering any problems.
- 4) A UL-certified miniature fuse (max. 3.15 A) must be provided at the supply for the brake control.
Value: e.g. 3.15 AT/250 V; 5x20 mm UL
Company: Wickmann-Werke GmbH
Amnenstraße 113
58453 Witte, Germany
Order No.: 181
- 5) In order to increase the strength with respect to surge disturbances, for encoder cables > 30 m long, the screen connector 6SN1162-0FA00-0AA2 can be used. In order to ensure noise immunity in compliance with the standard, the encoder cable shields should be connected where the cable enters the control cabinet.
The permissible voltage range for the common mode component of the individual encoder signals (A+, A-, B+, B-, C+, C-, D+, D-, R+, R-) is 1.5...3.5 V.

Holding brake connection

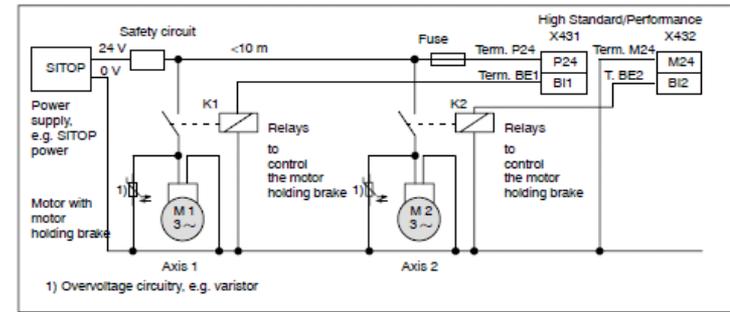


Fig. 5-3 Circuit example: Connecting a motor holding brake to a High Standard/High Performance control board

BERO input X461/X462

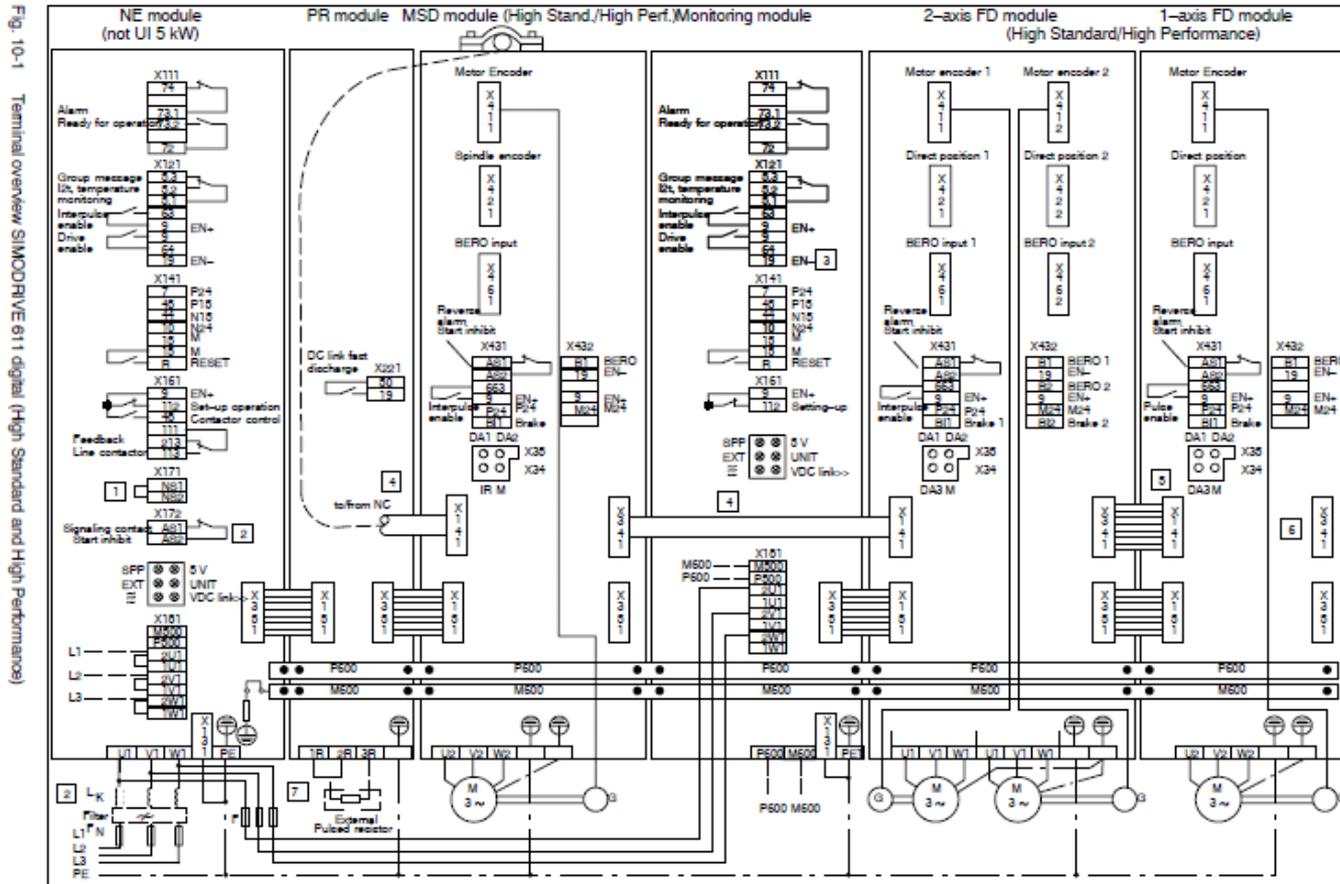
Table 5-6 BERO input X461/X462

No.	Pin Designation		Function	Type 1)	Technical specifications
	X461	X462	Type: 9-pin D-sub socket connector		
1	FRP	FRP	Internal enable voltage (jumpered with terminal 9)	O	+24 V
2	BERO1	BERO2	BERO input	I	+13 ... 30 V
3	Reserved, do not use	Reserved, do not use		-	
4				-	
5				-	
6	FRM	FRM	Internal enable voltage (jumpered with terminal 19)	O	0 V
7	Reserved, do not use	Reserved, do not use		-	
8				-	
9				-	

1) I: Input, O: Output

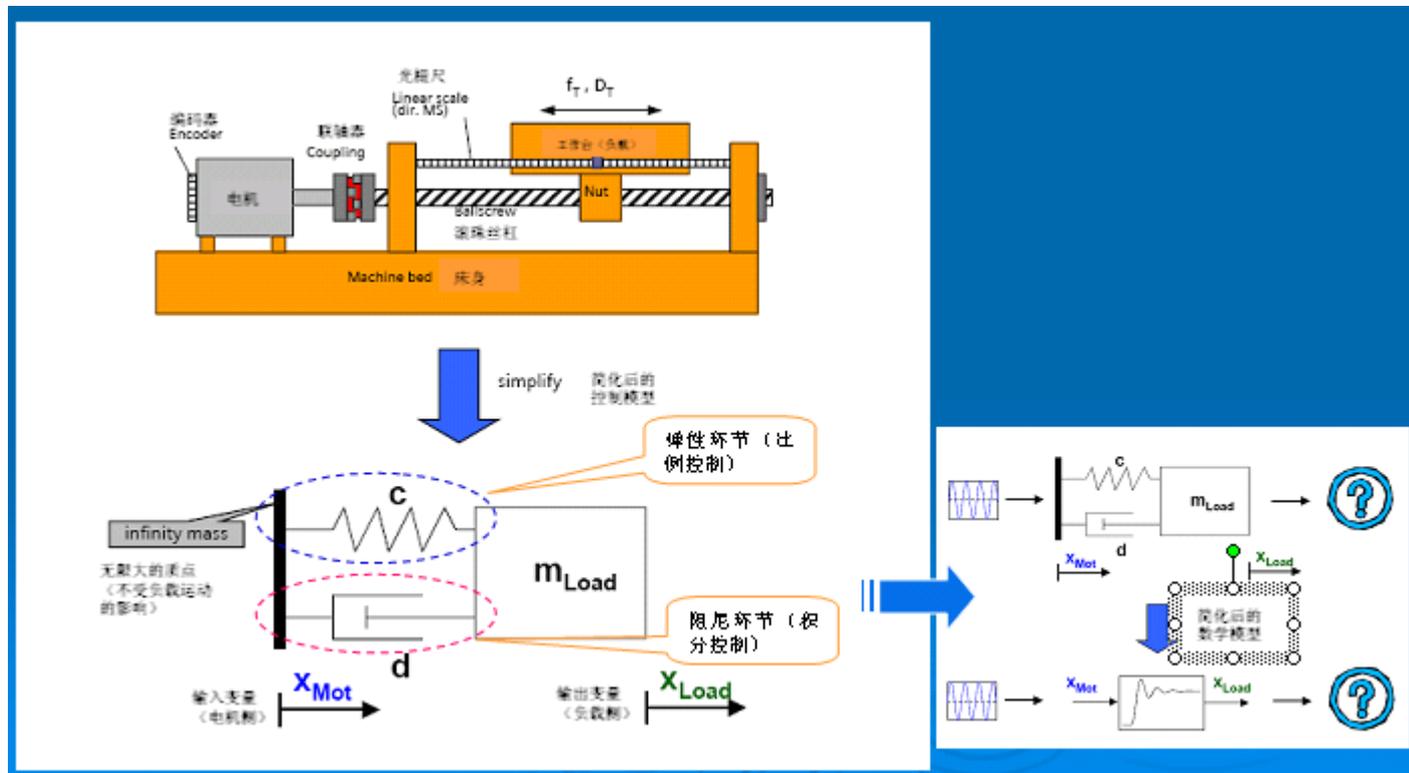
第一部分：SIMODRIVE 611D驱动基础

■ 驱动连接示意图



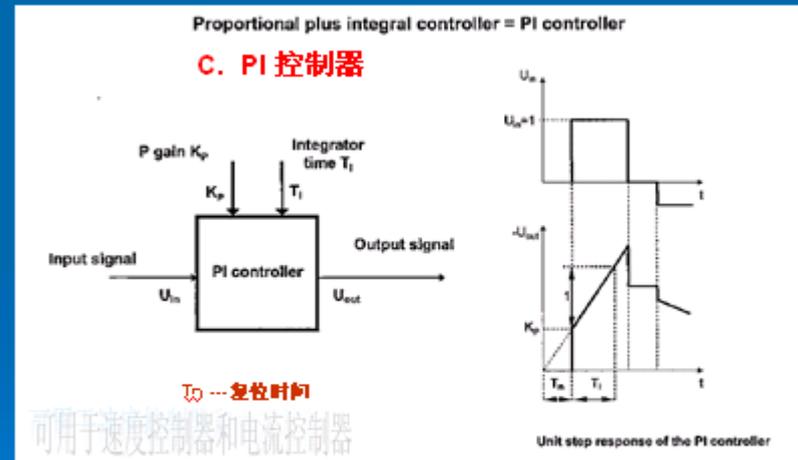
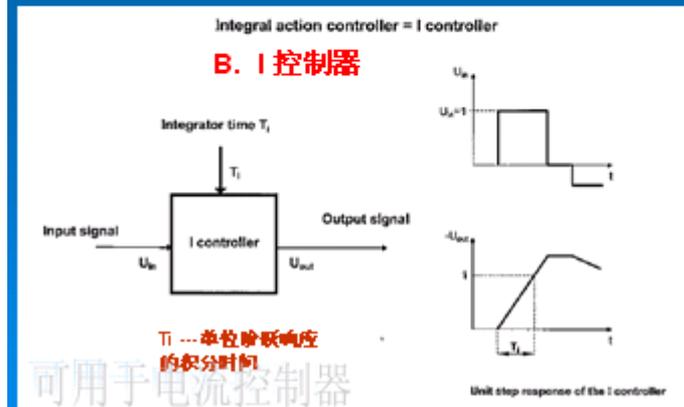
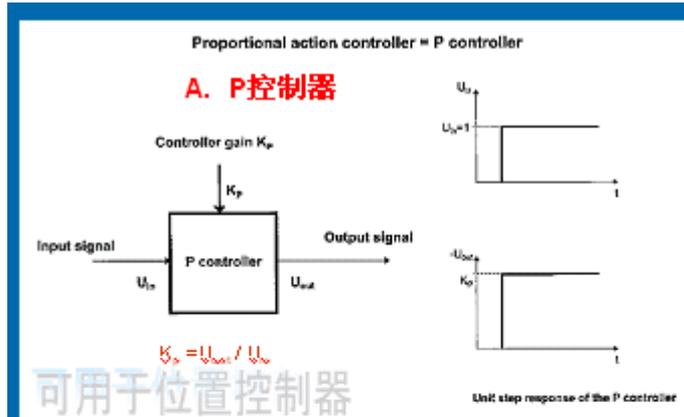
第二部分： SIMODRIVE 611D调试介绍

■ 简化的驱动控制模型



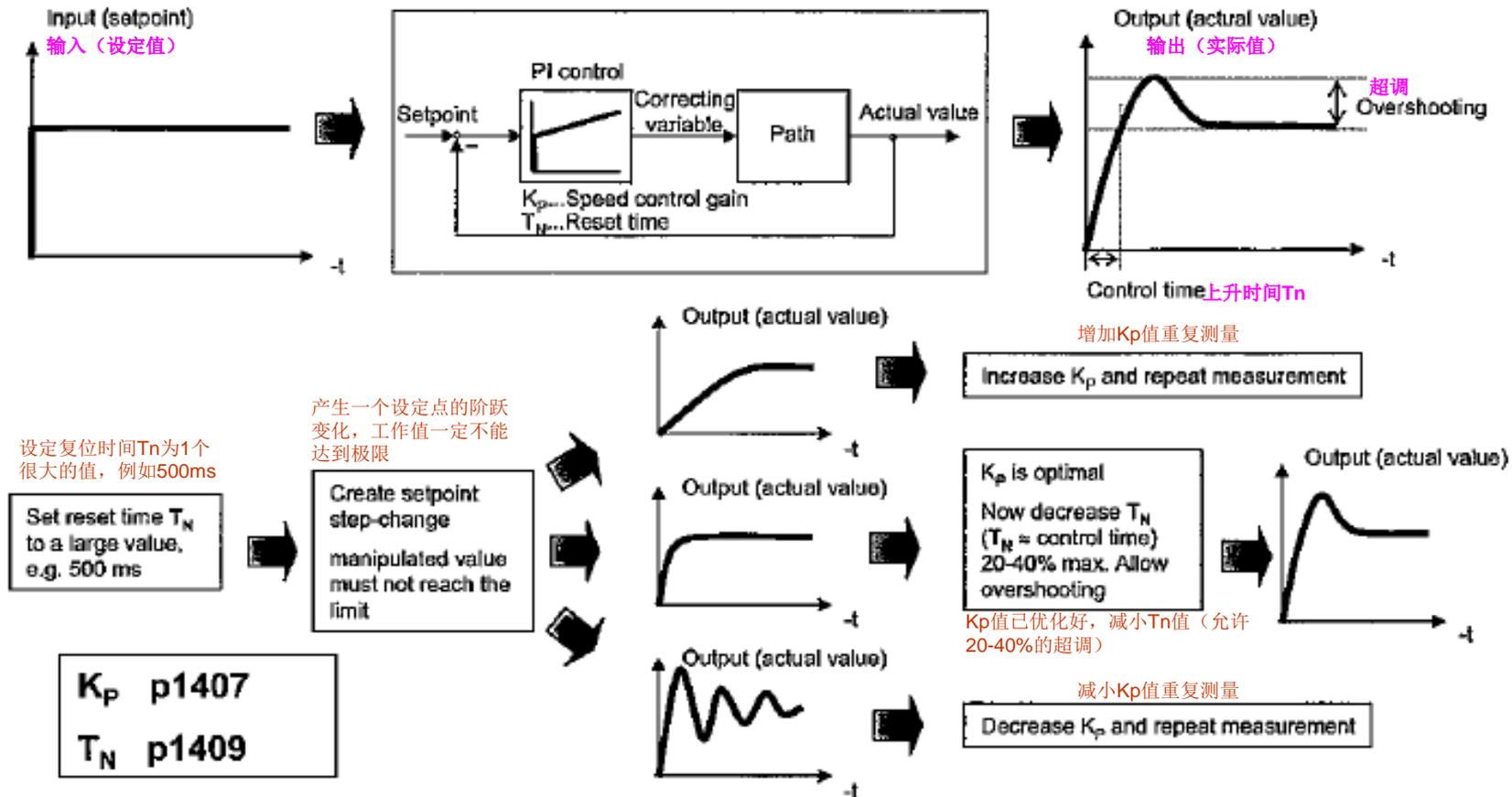
第二部分： SIMODRIVE 611D调试介绍

■ 常用控制器类型



第二部分：SIMODRIVE 611D调试介绍

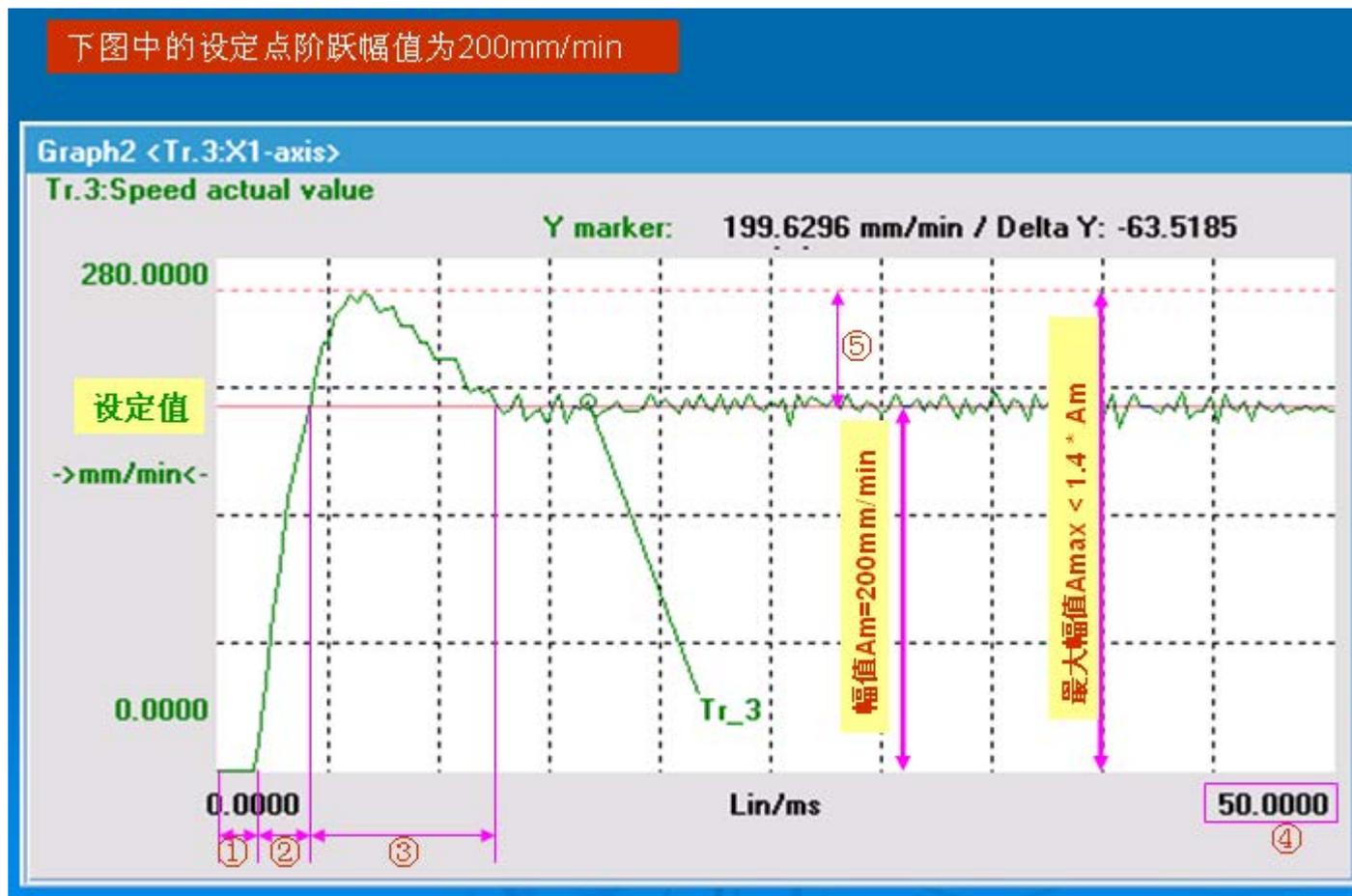
■ 时域内速度控制器优化



第二部分： SIMODRIVE 611D调试介绍

■ 时域内速度控制器优化

下图中的设定点阶跃幅值为200mm/min



第二部分：SIMODRIVE 611D调试介绍

■ 时域内速度控制器优化

参数说明:

① 迟滞时间 (Dead Time)

输入量发生变化的时刻与输出量开始随着发生变化的时刻之间的时间间隔。

② 上升时间 (Rise Time)

就阶跃响应来说，从零第一次上升到设定值所需的时间。

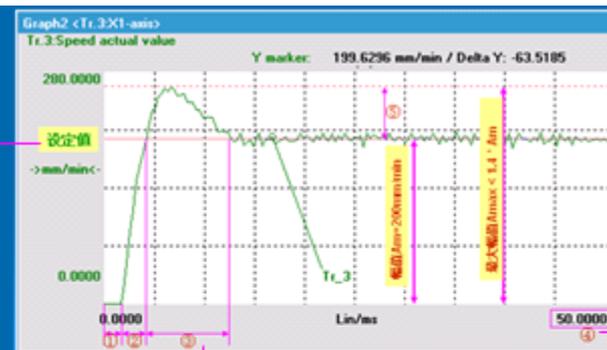
③ 稳定时间 (Settle Time)

从输入信号阶跃变化到输出信号达到以偏离其最终稳定值不超过某一规定允差（如5%）时的时间间隔。

④ 测量时间 (Measuring Time)

⑤ 超调 (Overshoot)

就阶跃响应来说，偏离输出量最终稳态值的最大瞬时偏差，以最终和初始稳态值之差的百分率表示。

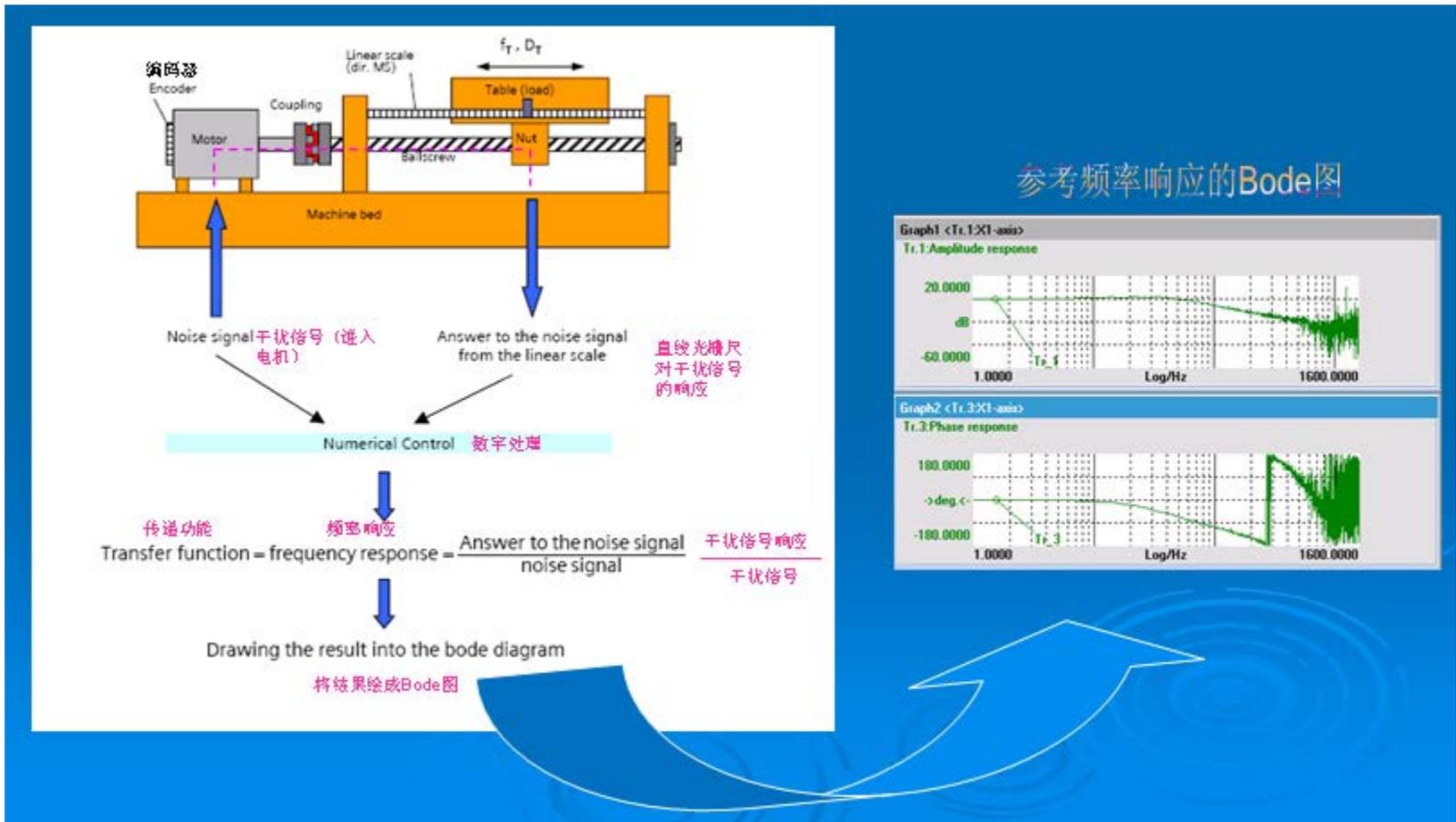


测量参数和曲线的对应关系

Speed control loop parameters		Axis:
Parameter		
Type of measurement:	Setpoint step-change	
Measured quantity 1:	Torque setpoint	
Measured quantity 2:	Speed actual value	
Amplitude:	200.000	mm/min
Measuring time:	50	ms
Settling time:	0	ms
Offset:	0.000	mm/min

第二部分：SIMODRIVE 611D调试介绍

■ 信号传递功能和频率响应



第二部分： SIMODRIVE 611D调试介绍

■ Bode图中的极点和零点

[定义]

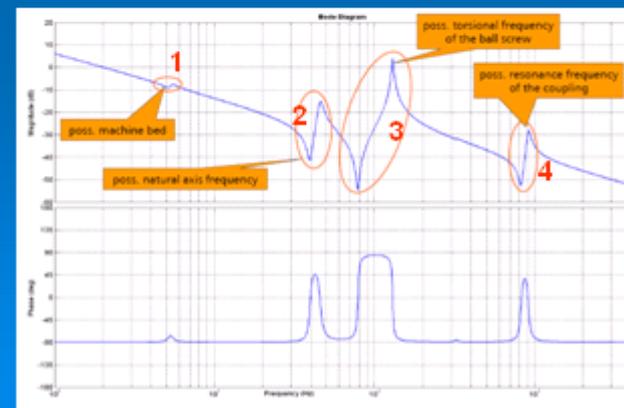
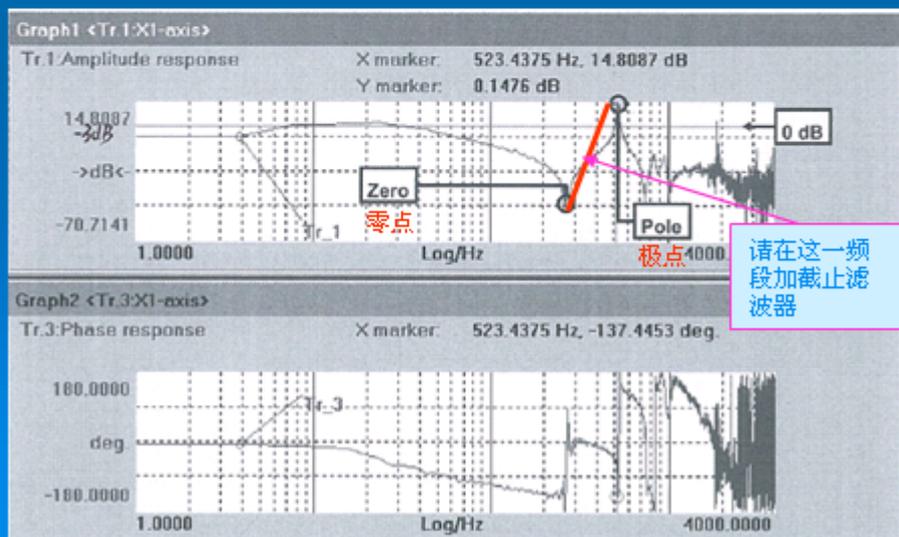
- 1、极点：幅值响应和相位差的极大值
- 2、零点：幅值响应和相位差的极小值

[用途]

系统规定，为了保证系统的稳定性，在幅频特性曲线的下降段不应有明显的极点和零点出现！我们可以通过在相邻的零点和极点之间加适当的滤波器消除极点和零点，扩大系统的工作区。

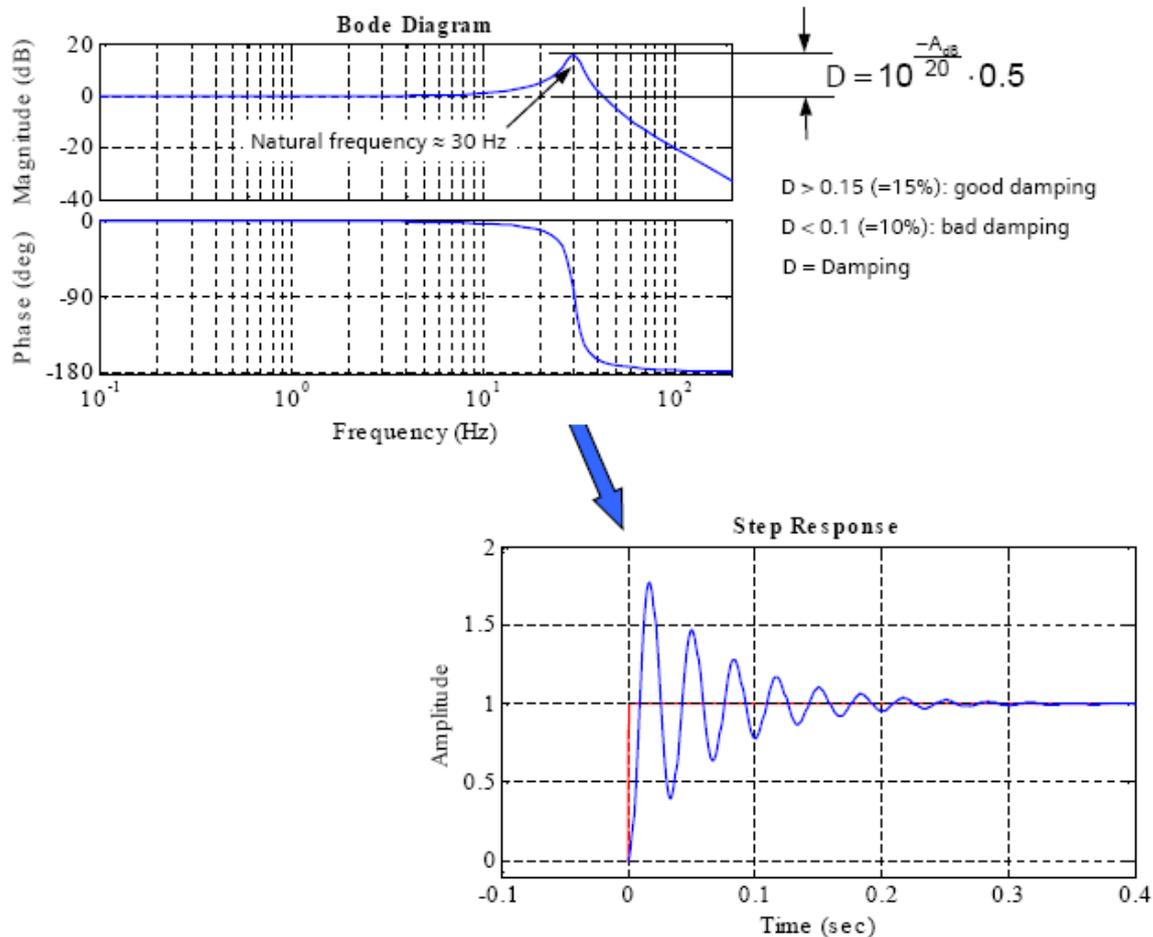
极点产生的可能原因：

- 1、床身的固有频率
- 2、轴的固有频率
- 3、滚珠丝杠的扭曲频率
- 4、联轴器的谐振频率
- 5、机床的机械部件磨损或不合理的装配产生的附加谐振



第二部分：SIMODRIVE 611D调试介绍

- 阻尼、频率和阶跃响应（Bode图和阶跃图的对应关系）



第二部分： SIMODRIVE 611D调试介绍

■ 滤波器介绍

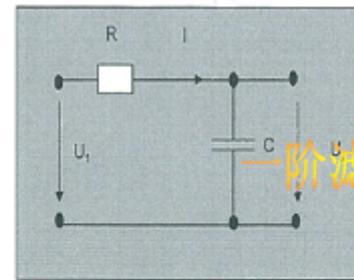
[分类]

- 1、低通滤波器（一阶滤波器）
- 2、带宽截止滤波器（二阶滤波器）

[特点]

1、低通滤波器

- (1) 假定设定的衰减频率为 ω_0 ，所有高于 ω_0 的频率部分都将被衰减。
- (2) 在幅频特性中大于 ω_0 部分的曲线会急速下降。设定的阻尼越大，频率衰减越厉害。
- (3) 如果固有频率已经很高，只能使用低通类型的滤波器。



一阶滤波器

Voltage divider

$$U_2 = \frac{1}{R + \frac{1}{j\omega C}} U_1$$

$$= \frac{1}{1 + j\omega RC} U_1 = \frac{1}{1 + j \frac{\omega}{\omega_0}} U_1$$

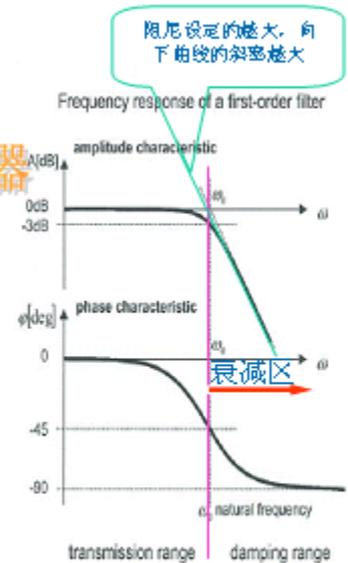
$$\omega_0 = \frac{1}{RC}$$

$$A = \left| \frac{U_2}{U_1} \right| = \left| \frac{1}{1 + j \frac{\omega}{\omega_0}} \right| = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\omega}{\omega_0} \right)^2}}$$

$$\varphi = -\arctan \frac{\omega}{\omega_0}$$

$$A(\omega) = \frac{1}{\sqrt{1+1}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \approx -3.01\text{dB}$$

$$\varphi(\omega) = -\arctan 1 = -45^\circ$$



第二部分：SIMODRIVE 611D调试介绍

■ 滤波器介绍

[特点]

2、带宽截止滤波器

(1) 对指定频带进行衰减，相关参数如下：

分子固有频率：最大阻尼时的频率

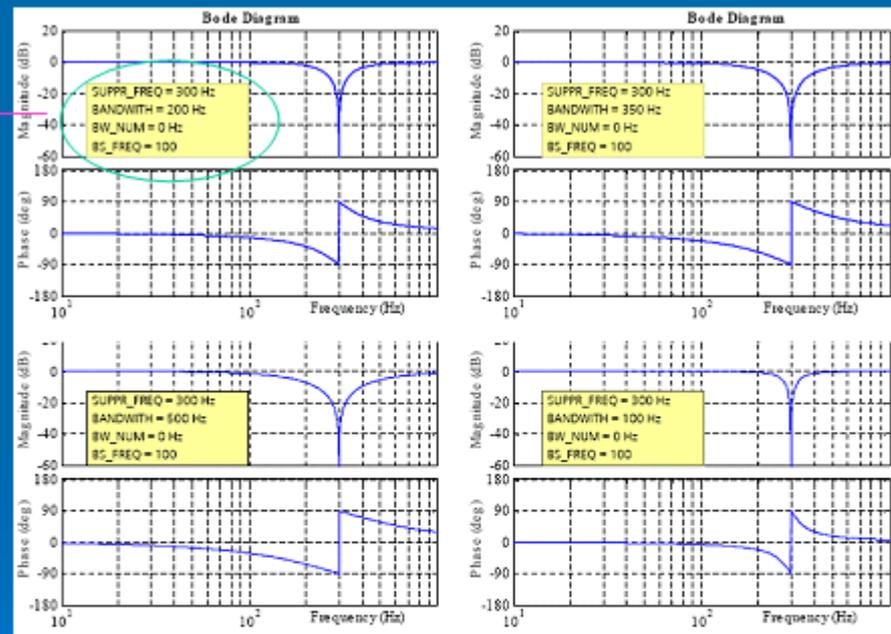
分子带宽：阻尼大于-3dB时的频率

分母固有频率：在大于陷波频率的区域增加或减小幅值的可能性

分母带宽：指定的阻尼倍乘

(2) 使用该滤波器时带宽应尽可能得窄，参数设定主要取决于经验。一般的设定步骤如下：

找到极点，利用X标志确定截止频率→将Y标志移到-3dB处→通过X标志确定与-3dB线相交处的固有角频率→截至频率和固有角频率之差设为带宽→保持带宽的分子和固有频率为缺省值。



SUPPR_FREQ = 300 Hz

BANDWIDTH = 200 Hz

BW_NUM = 0 Hz

BS_FREQ = 100

截止频率

截止带宽

分子带宽 (缺省)

滤波器固有频率

第二部分：SIMODRIVE 611D调试介绍

■ 滤波器介绍

[分类]

- 1、电流设定点滤波器
- 2、速度设定点滤波器

[特点]

1、电流设定点滤波器

(1) 在速度控制回路中用于阻尼不希望出现的振荡和谐振。

(2) 共有4个滤波器可用。第1个滤波器已经被使用，用来减少电机编码器系统的振荡，通常配制成低通滤波器，固有频率2000，阻尼0.7。其他滤波器通常使用带宽截止滤波，用来消除极点。

(3) 在速度控制器的工作区域内（幅频响应 > 0 dB）如果有谐振不能使用该滤波器，否则会严重影响控制系统的动态响应。我们可以通过设定控制器的参数来解决该问题。

2、速度设定点滤波器

(1) 仅在840D的位置控制回路中使用，共有两个滤波器可用。

(2) 滤波器是低通滤波，常用有PT1和PT2两种。

(3) 对参与插补的轴，速度滤波器的参数必须一致。

[主要设定参数]

1、电流设定点滤波器

MD 1200 已激活的滤波器数量（缺省1）

MD 1201 滤波器类型配置（缺省0H）

1低通+1截止 2H

1低通+2截止 6H

1低通+3截止 EH

MD1202/4/6/8 低通滤波的固有频率

MD1203/5/7/9 低通滤波的阻尼

MD1210/3/6/9 截止滤波的截止频率

MD1211/4/7/10 截止滤波的带宽

MD1212/5/8/11 截止滤波的带深

2、速度设定点滤波器

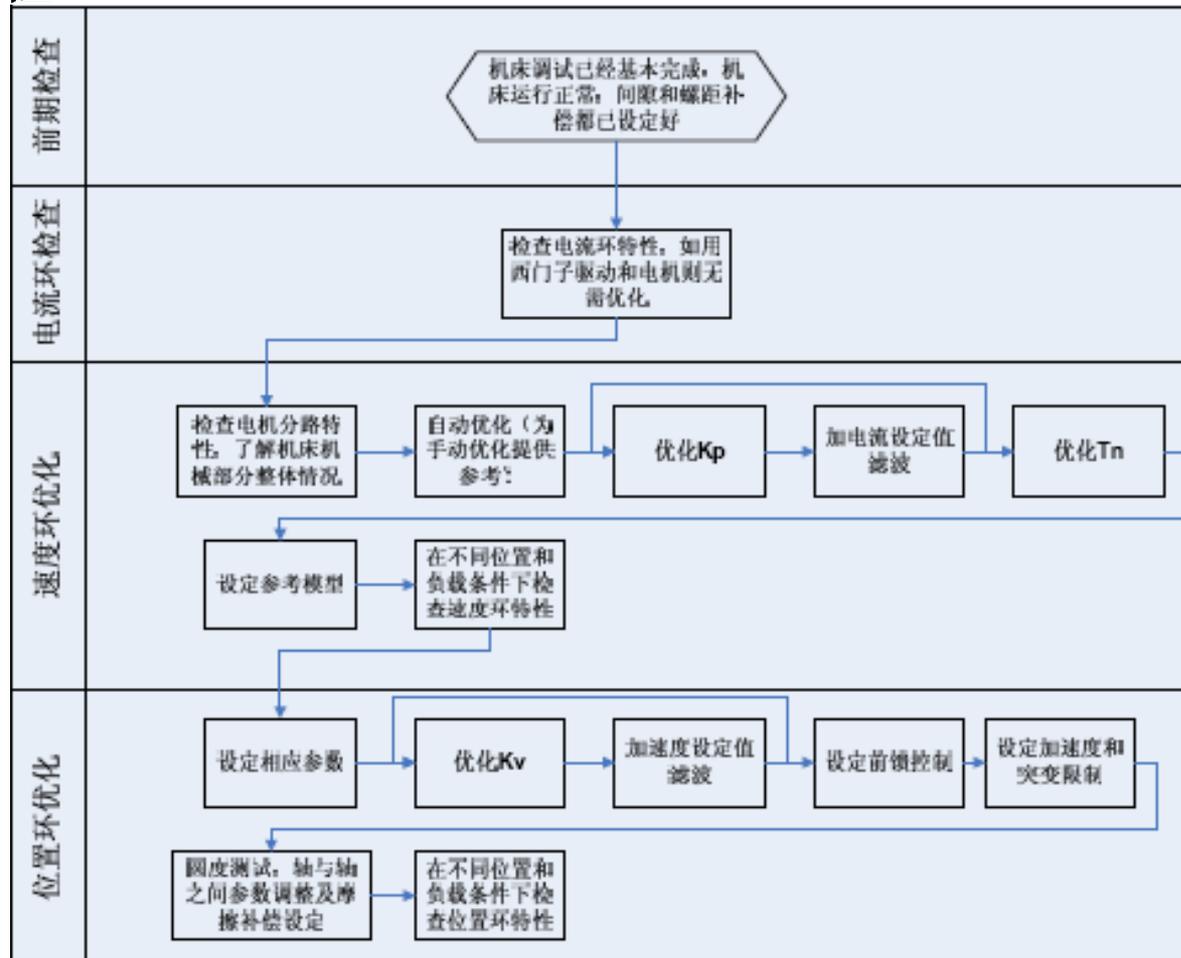
MD 1500 已激活的滤波器数量

MD1501 滤波器类型（常设为100H或200H）

MD 1502/3 滤波器时间常数

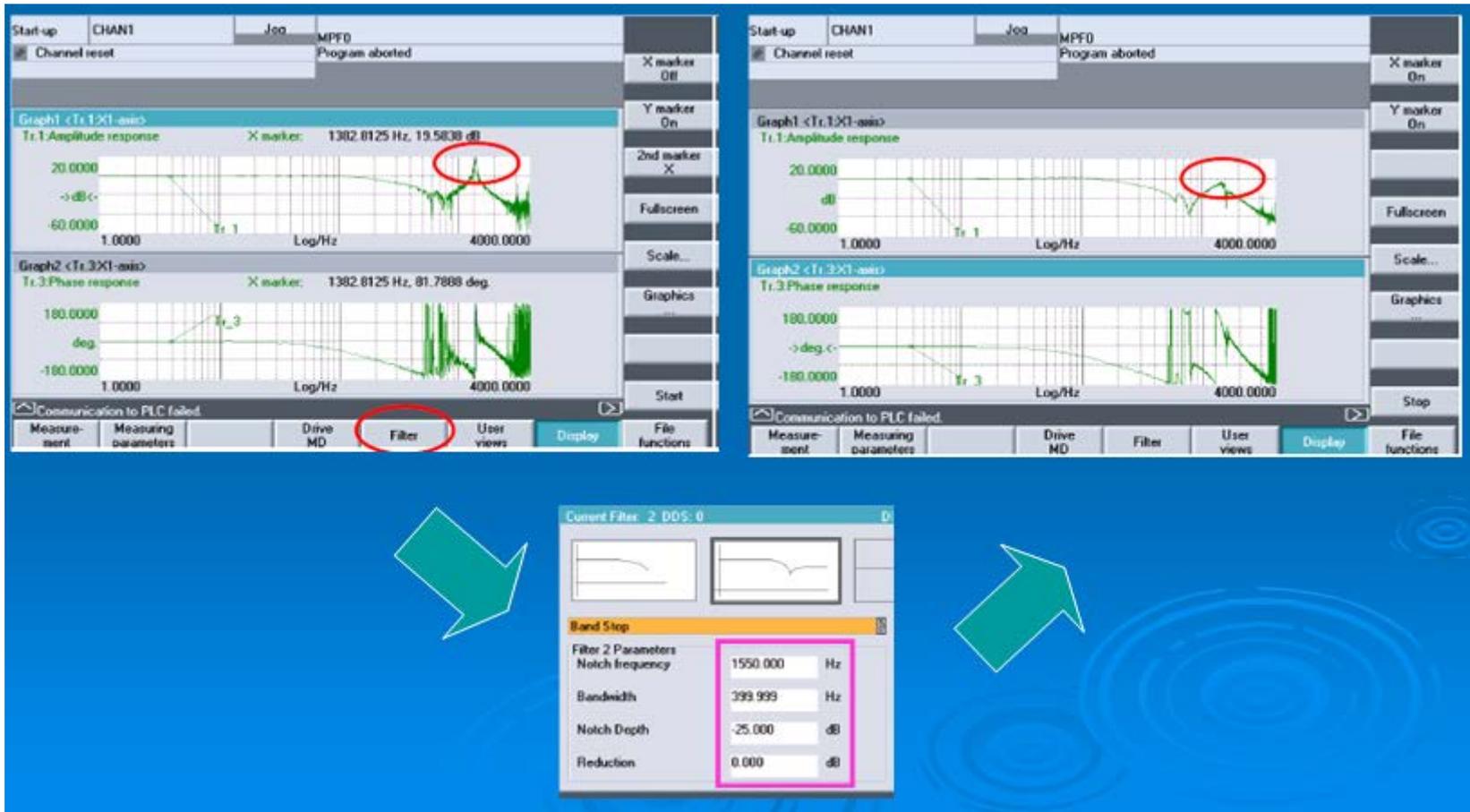
第二部分：SIMODRIVE 611D调试介绍

■ 优化基本流程



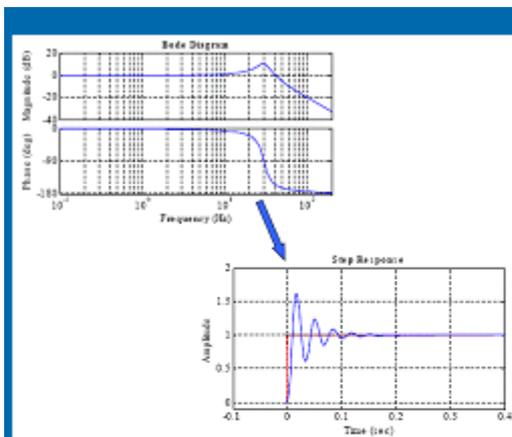
第二部分：SIMODRIVE 611D调试介绍

■ 速度环优化

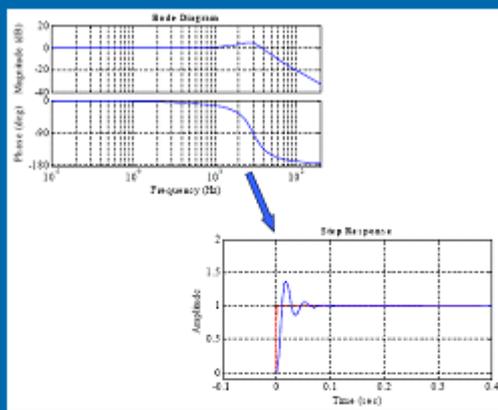


第二部分： SIMODRIVE 611D调试介绍

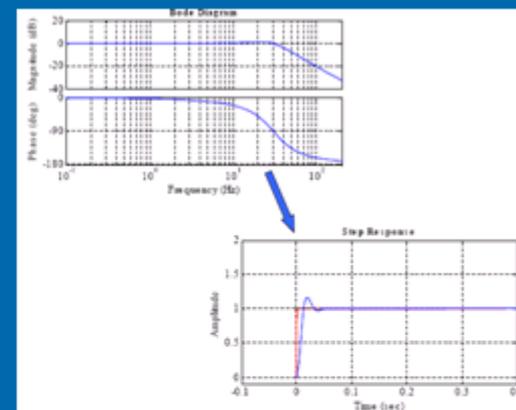
■ 速度环优化



大的 K_p 值，系统有大的振荡



K_p 值减小，系统振荡减小，有大的超调



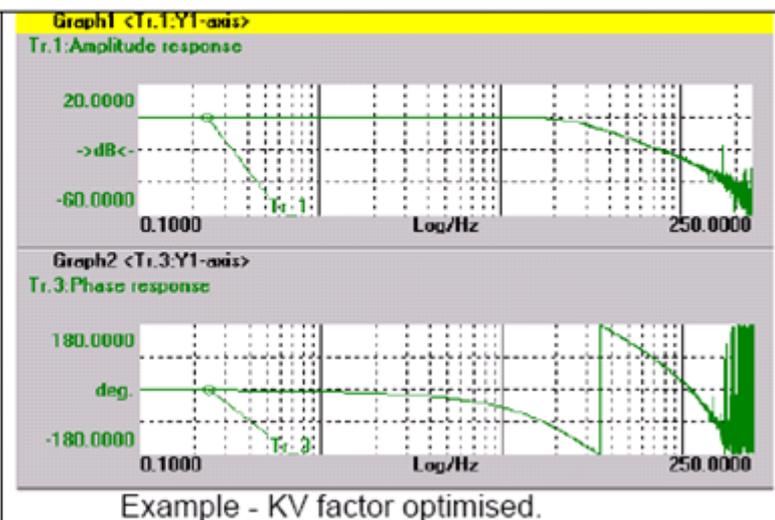
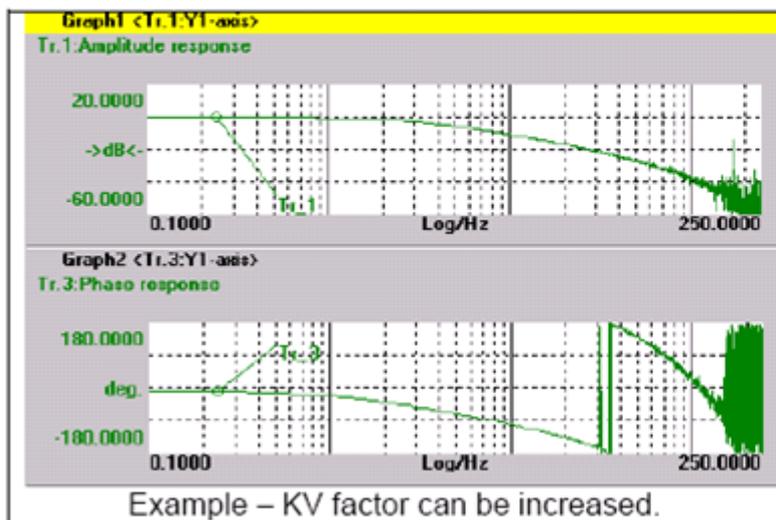
K_p 值接近最优，无振荡，超调较小

第二部分： SIMODRIVE 611D调试介绍

■ 位置环优化（间接位置反馈）

MD32200 位置环增益Kv

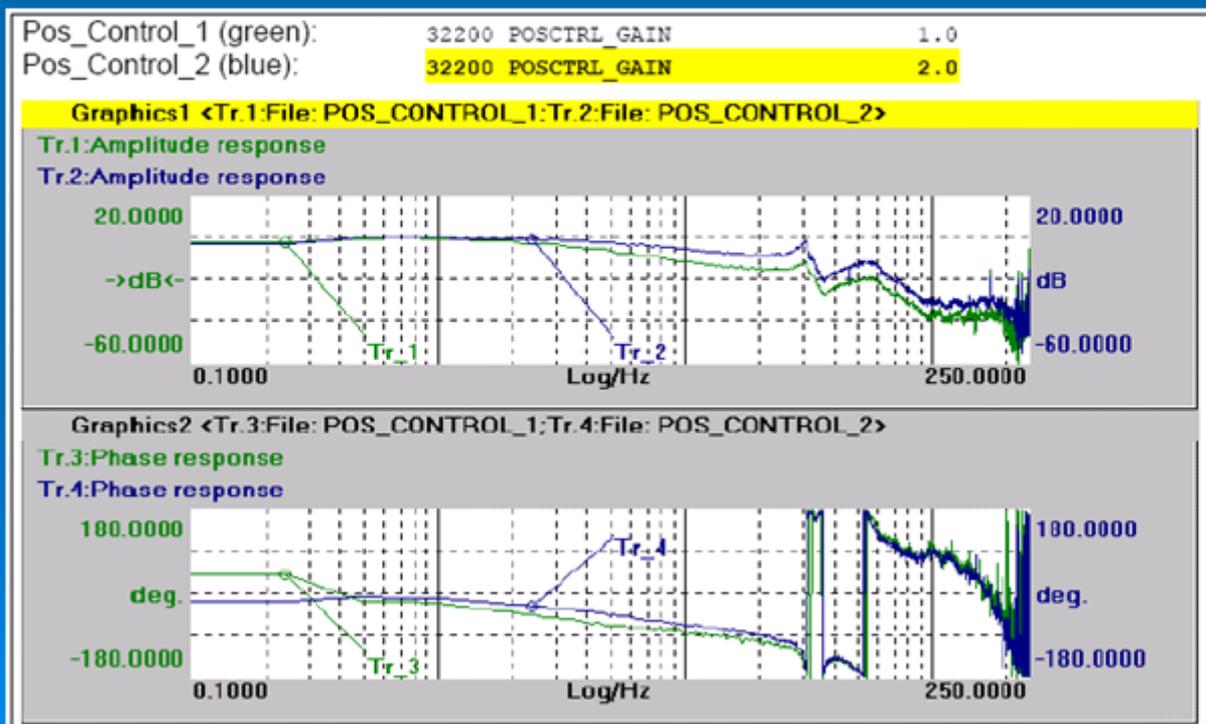
相关的机械影响在这种测量下无法体现，因此由此测量的增益可以达到相对比较大的值。



第二部分：SIMODRIVE 611D调试介绍

■ 位置环优化（直接位置反馈）

通过光栅尺反馈可以测量轴的实际位置，所有介于电机轴和工作台之间的机械部件都包含在封闭的位置环中。



第二部分： SIMODRIVE 611D调试介绍

■ 圆度测试

常用的测试程序:

```
G90 G0 X0 Y0
```

```
ANF:
```

```
G64 G02 X0 Y0 I100 J0 F5000
```

```
GOTOB ANF
```

```
M30
```

数值保持一致!

Start-up: CHAN1 MDI \SYF.DIR
OSTORE1.SYF
Channel reset Program aborted

Circularity test measurement

Measurement	Axis:	Sys. of units	Absolute position:	Status:
	X1	1 active	64.611 mm	Inactive
	Y1	2 active	93.529 mm	Inactive

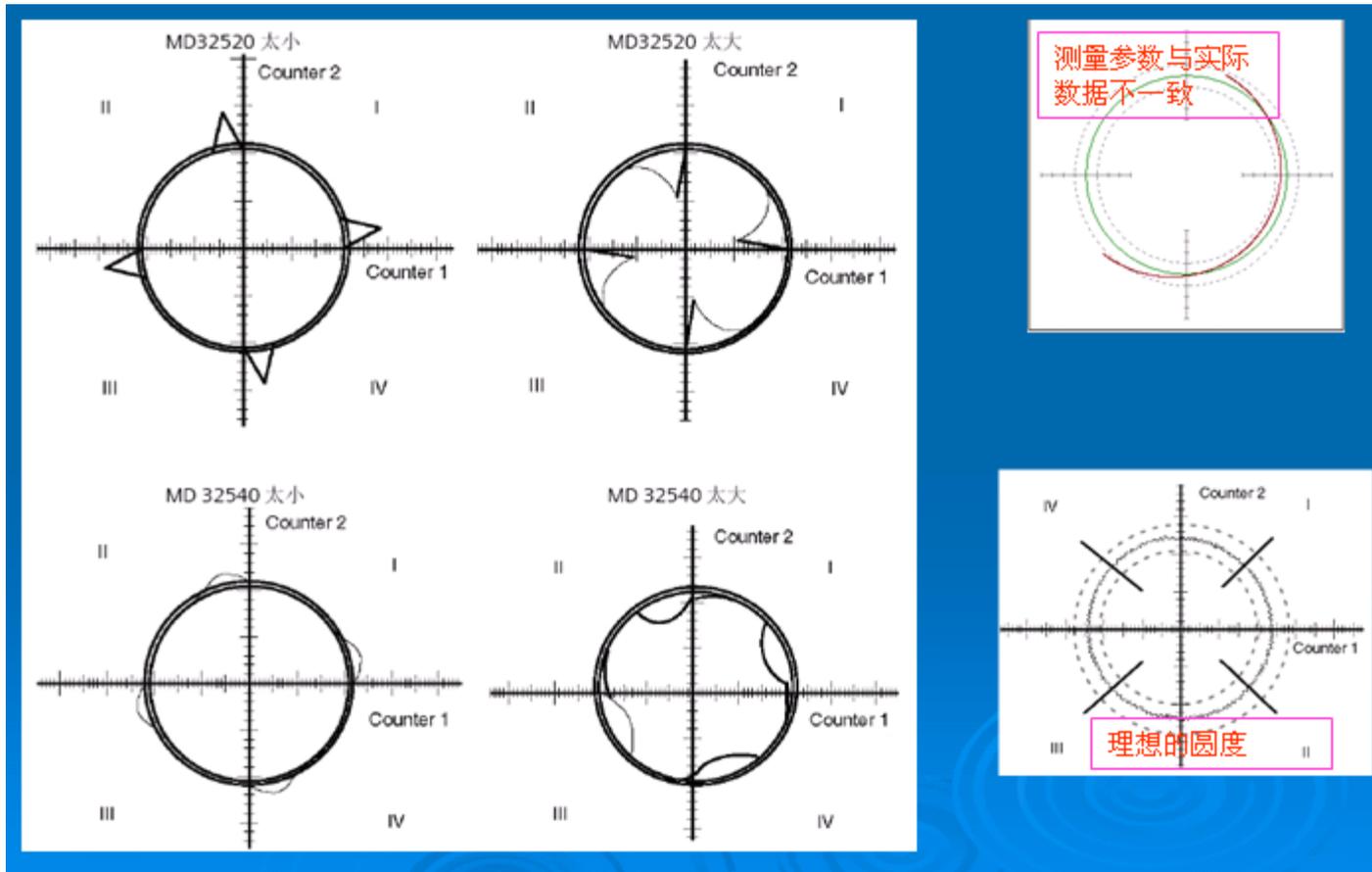
Representation:
Resolution: 0.005 mm/grad.
Represent.: Mean radius

Radius: 50.000 mm
Feedrate: 5000.000 mm/min
Multiplier: 1.000
Meas. time: 3770 ms

Measurement Service axis Axis MD Drive MD User views Display File functions

第二部分：SIMODRIVE 611D调试介绍

■ 圆度测试





Thank You!