



大讲堂

TMBH 新工程师

智能制造新工程师校企联盟
INTELLIGENT MANUFACTURING NEW ENGINEER SCHOOL ENTERPRISE ALLIANCE

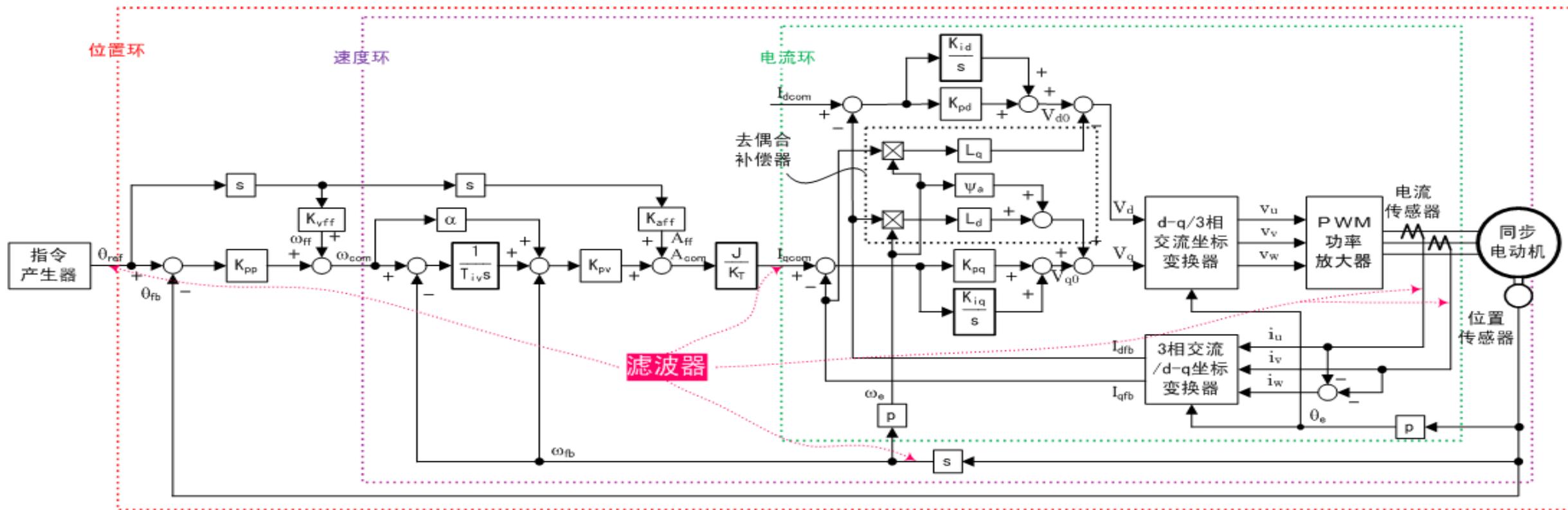
演讲主题

单轴伺服系统原理

1

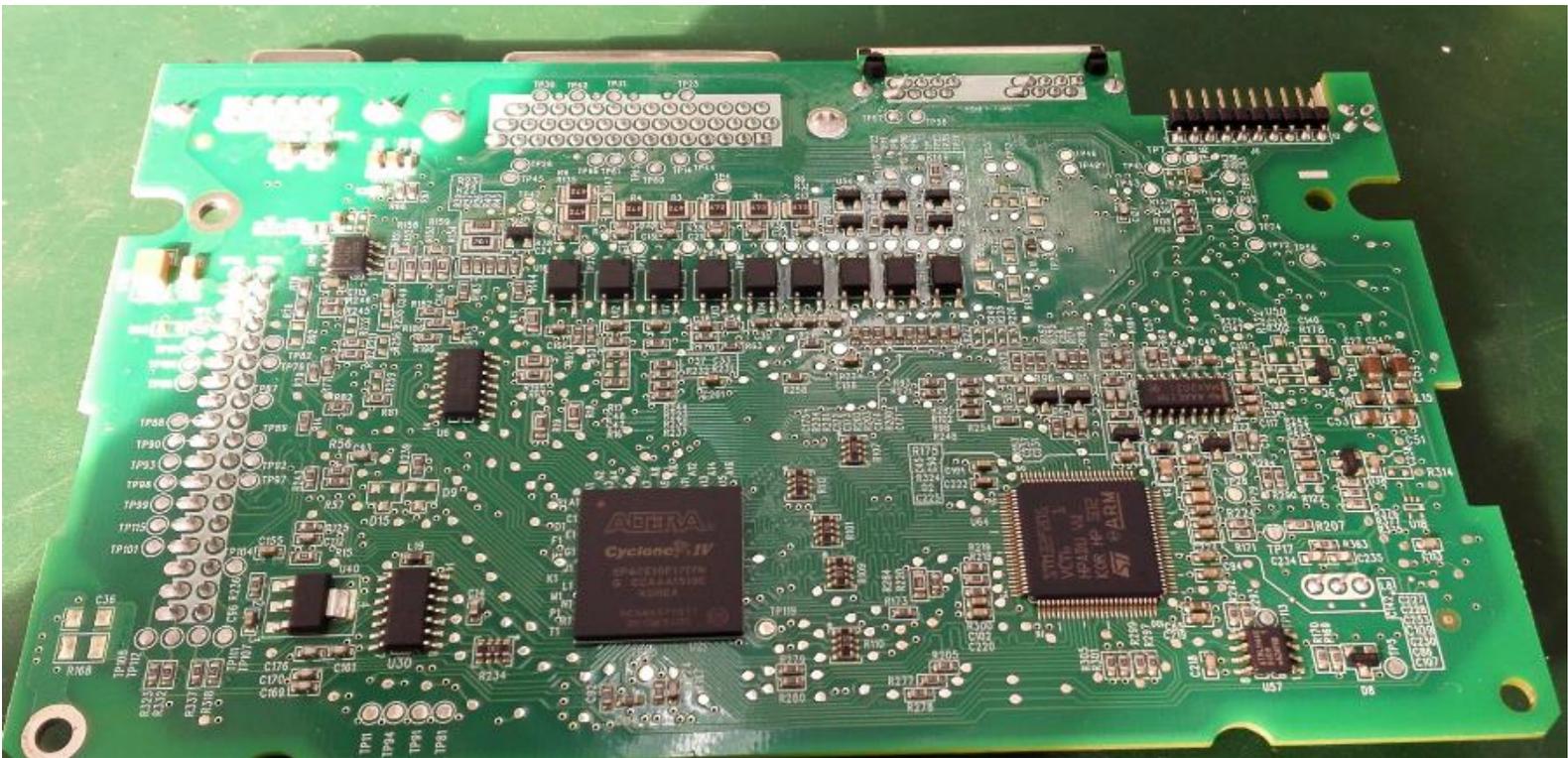
伺服驱动器的电路组成及功能介绍

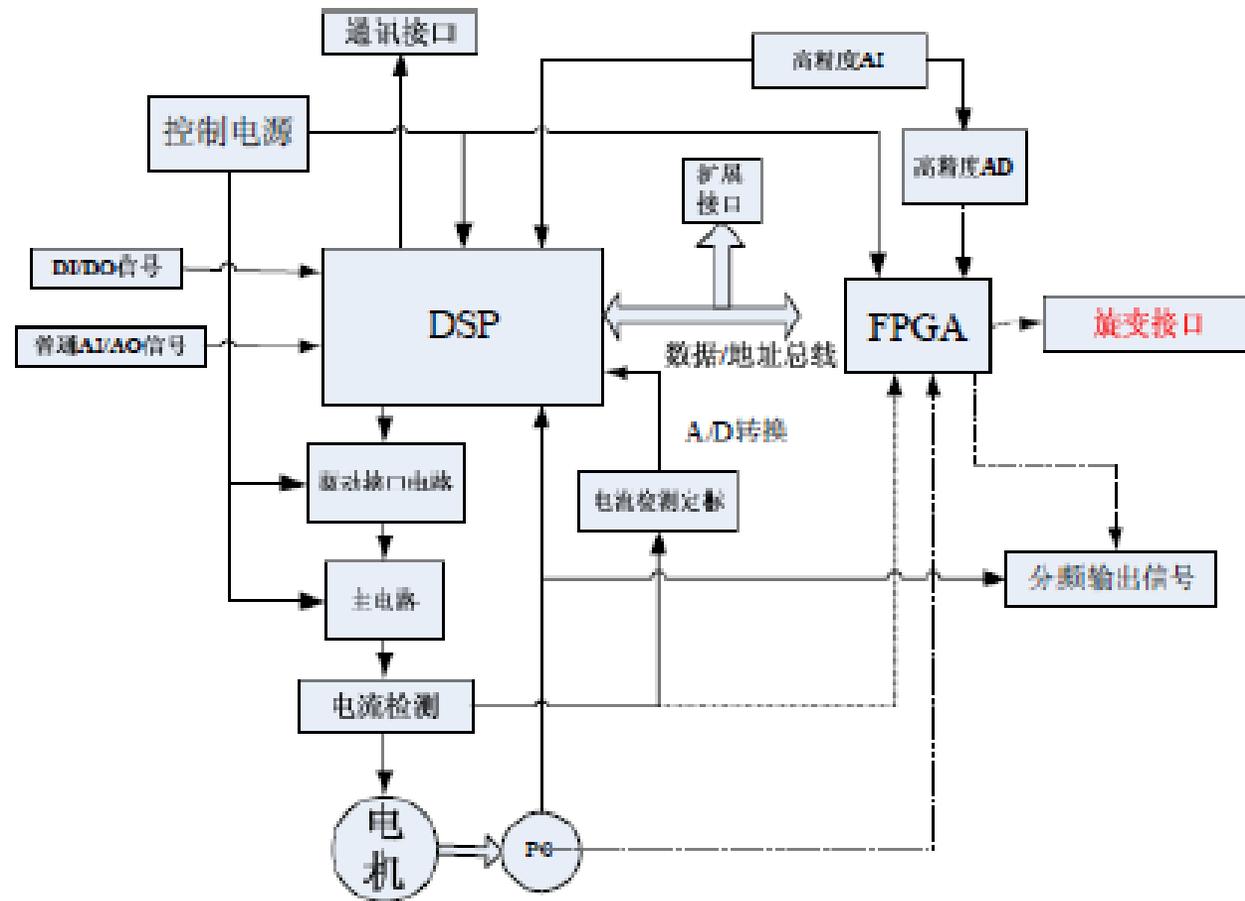
单轴伺服系统的原理框图



控制板

- 控制板：负责采集上位机的控制信号，根据参数的设定以及编码器信号、电流信号反馈等，转化成PWM波信号送给驱动板。





伺服控制板

DIDOAO电路：负责与上位机进行控制信号的交互，接收控制信号，同时按要求输出信号，如故障信号，位置到达、速度到达等等。

动作指令接收电路：伺服既然是一个执行机构，那么就要接收动作指令。指令有脉冲形式的、模拟量形式的、多段速多段位置形式的等等，那么就要有相应的接收处理电路。

编码器接收电路：驱动器要实现准确的位置控制、速度控制，就需要有位置反馈信息，就需要有码盘接收电路。客户的应用场合不同，在成本、精度、可靠性、使用环境等方面的侧重点不同，就会使用不同类型的编码器，就会有不同类型的接收电路。



伺服控制板

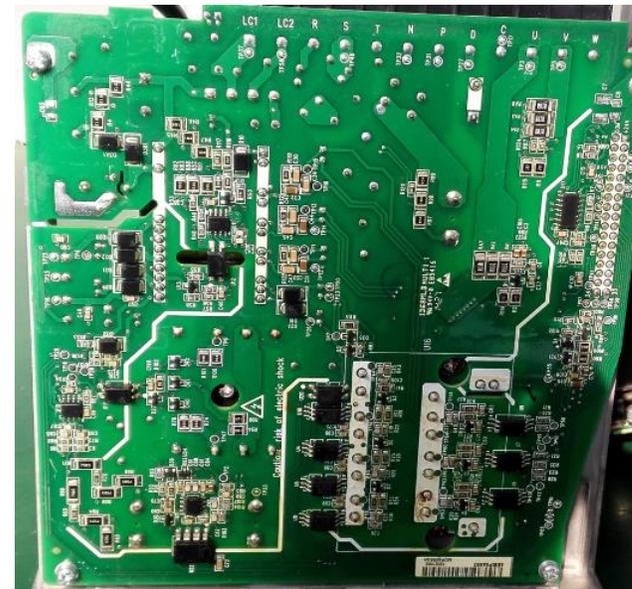
通信电路：根据现场应用的需求，伺服驱动器提供的485、232通信方式以实现后台监控、与上位机信息交互、多机组网等功能，部分驱动器还支持CAN通信、以太网通信等。

其它电路：控制板要可靠、精确地完成算法，输出PWM波及其它信息，还需要有一系列的电流采测保护，电平转换，电源供给监控，数据处理存储，DSP及FPGA相关的电路等等。

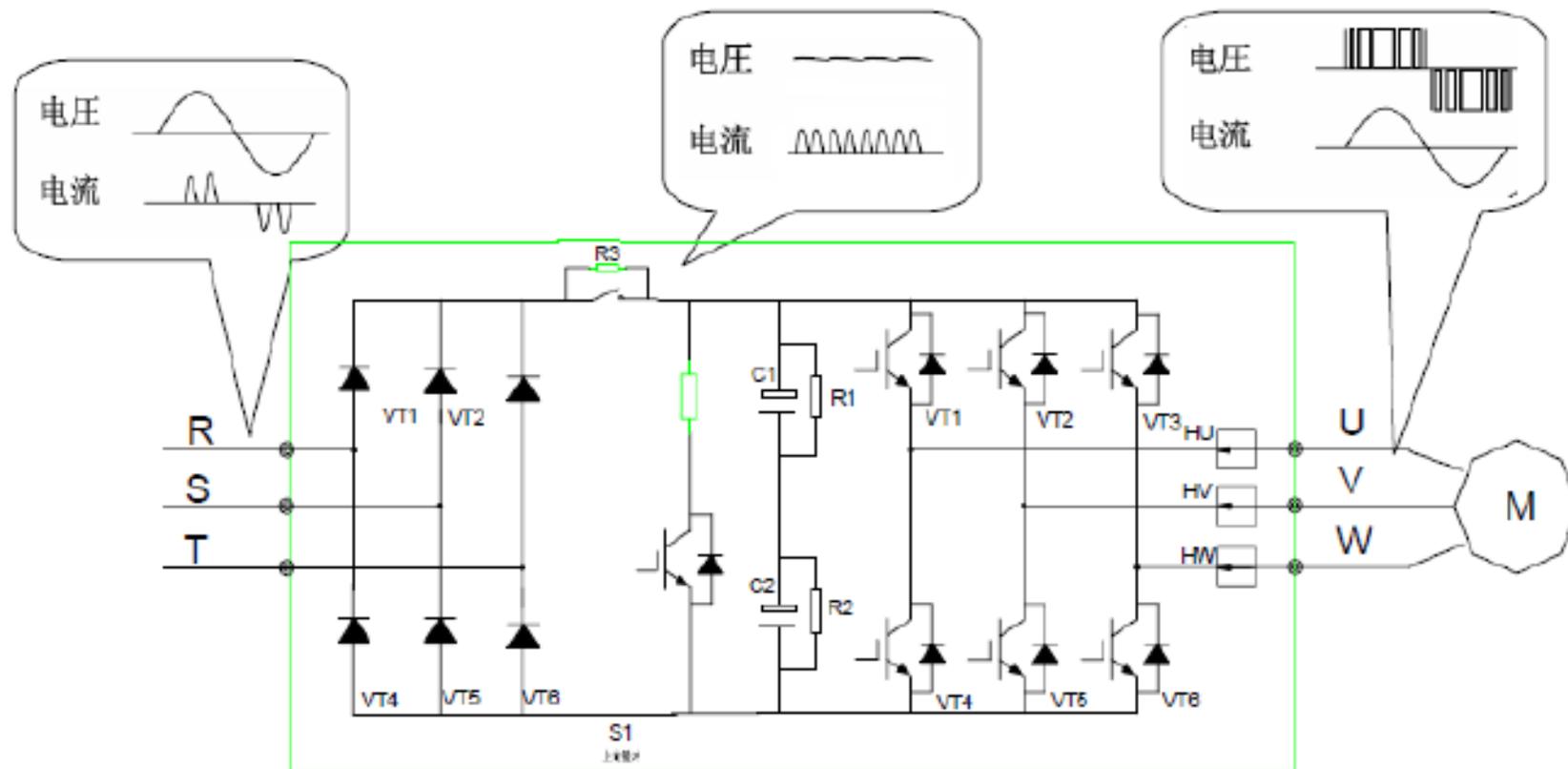


驱动板

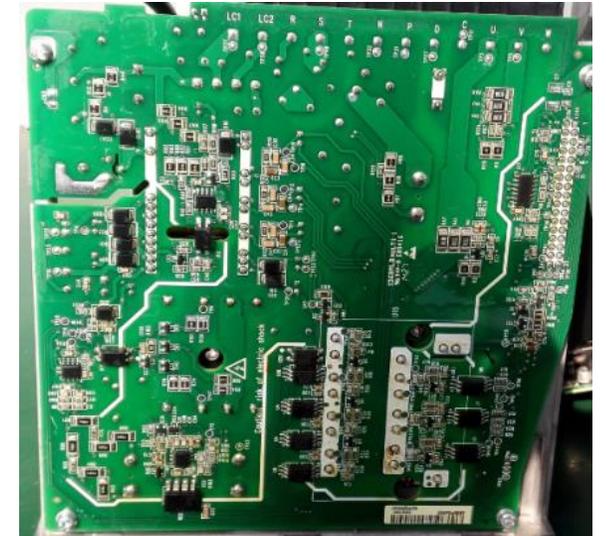
- 驱动板是伺服的主功率输出单元，主要根据要求来输出不同的交流信号。



驱动板工作拓扑

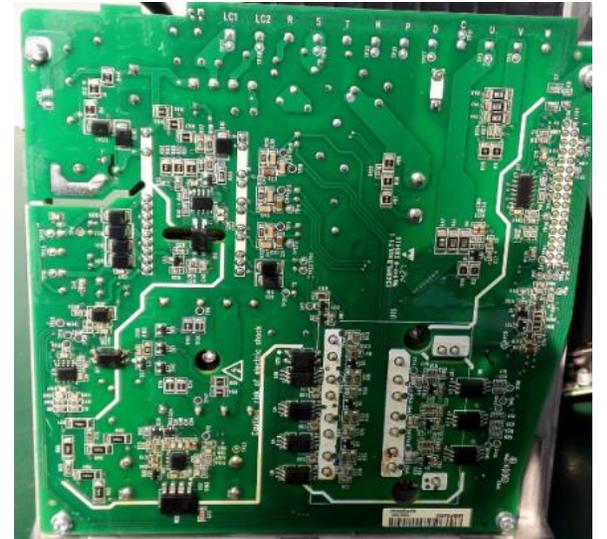


- 驱动板：把电网中的交流电整流成直流电，将控制板送过来的PWM波信号放大成功率管的开关动作，从而将直流电逆变成驱动电机动作的交流电
- 开关电源电路：控制板、驱动板上的各种电路，需要不同类型的电源供给，驱动板上的开关电源电路，就是将工频电源，转化成驱动器内部所需的各类电源的。



驱动板

- 主功率电路：驱动板上要实现交流---直流---交流的过程，就需要有整流管、逆变管（我们常用的是IGBT）、主回路电容等相关功率器件。
- 逆变管驱动电路：逆变管实现快速的开通、关断动作，就需要有驱动电路（由隔离驱动芯片+推挽电路及钳位电路组成）按PWM波的时序快速的给逆变管的控制极门极快速的充放电。

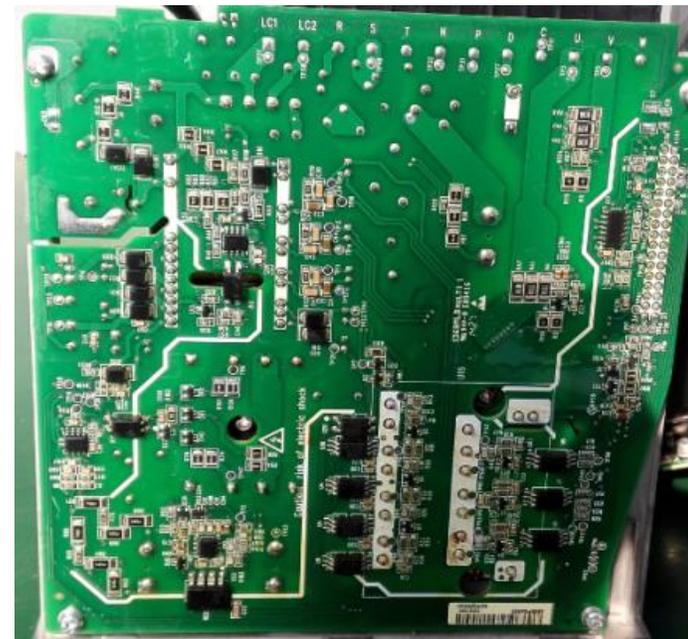


驱动板

电流采样电路: 电流环是伺服三环控制中的最底层一环，要实现高性能的电流闭环控制，就需要快速、准确地知道当前的电流。

上电缓冲电路: 驱动器上电时，主回路电容里没有电压，电网经过整流桥给主回路电容充电就会产生很大冲击电流，为了抑制这个上电时的冲击电流，需要设置上电缓冲电路。

各种采样、监控、保护电路: 驱动板要安全可靠地完成工作，得靠各种监控电路来实现。比如母线电压采样电路、散热器温度采样电路、过流保护电路、缺相监测电路等等。



2 伺服电机的原理基础介绍

为什么选择表贴式永磁同步电机?

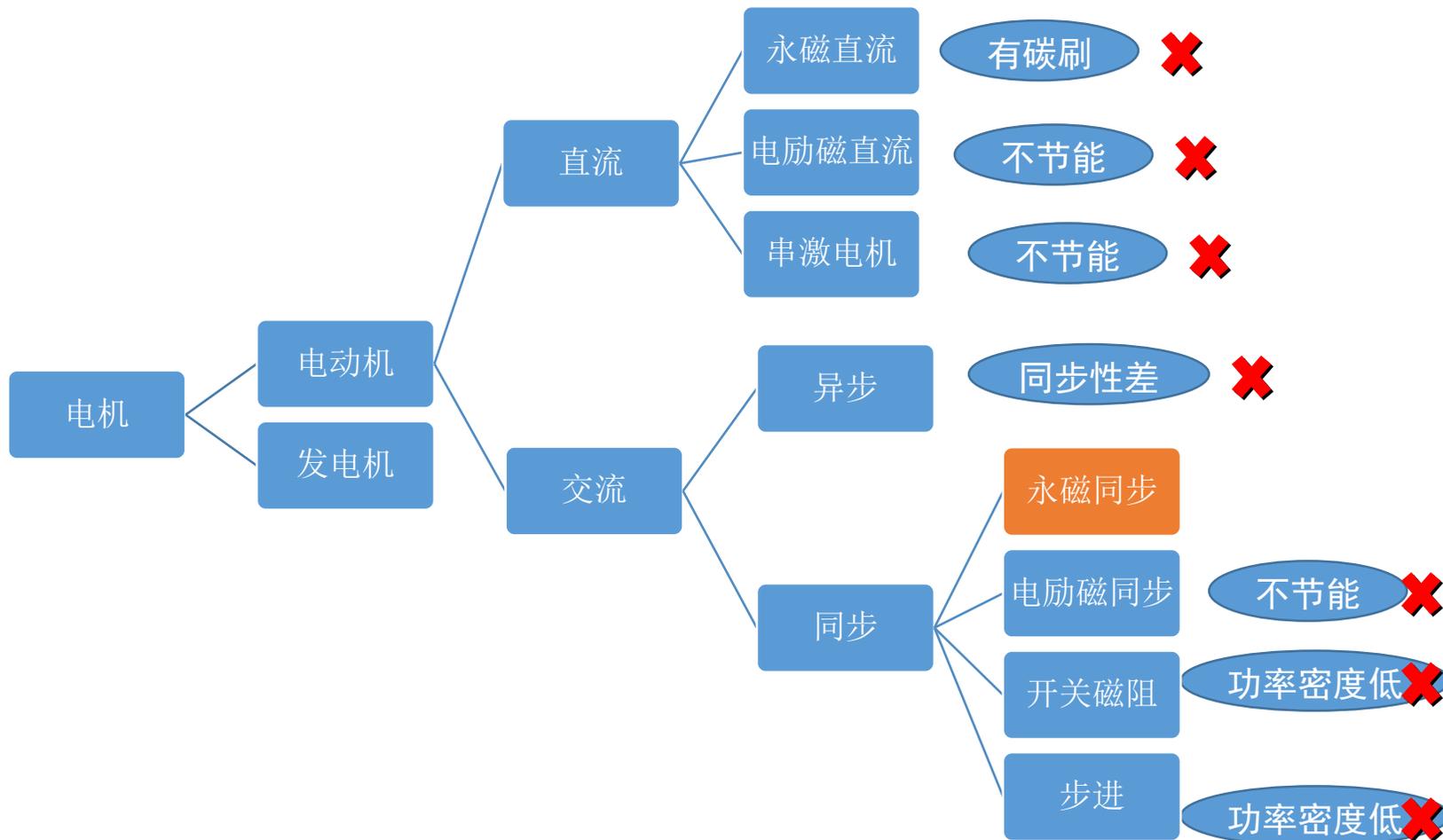
永磁电机节能

同步特性好易于实现位置控制

功率密度高

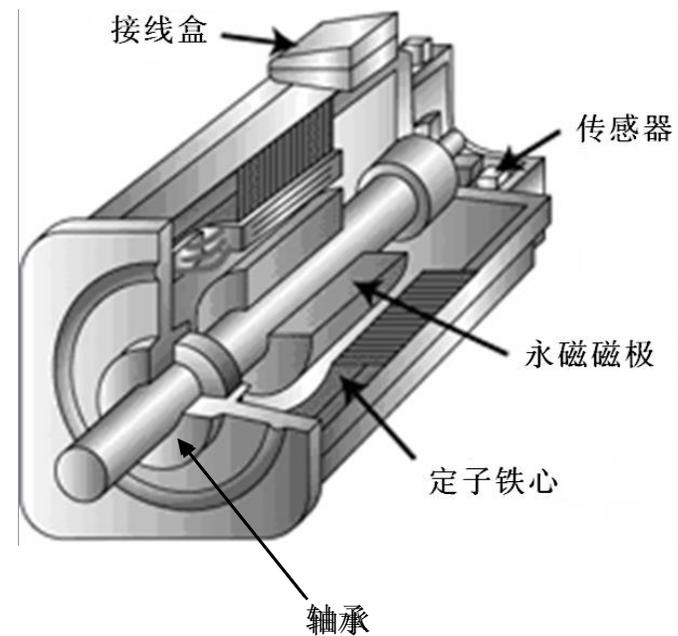
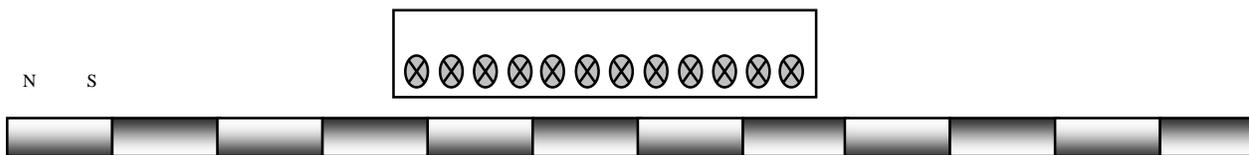
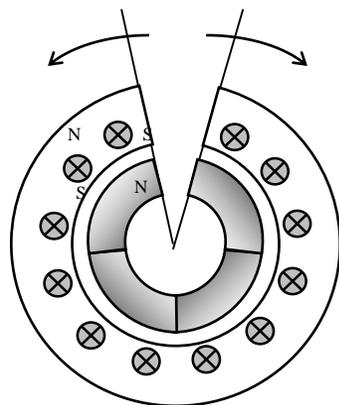
控制方式相对嵌入式永磁电机简单

为什么选择表贴式永磁同步电机?



伺服电机基础

- 伺服电机的原理
 - 交流永磁同步旋转电动机
 - 交流永磁同步直线电动机



伺服电机基础

- 同步电机定义：转子转速与同步旋转磁场旋转频率成一定比例的电机

$$n=60f/P$$

n：电机转速，单位rpm（转每分钟）

f：定子电流频率，单位Hz

P：电机极对数

- 永磁同步电机：转子通过永磁体励磁的同步电机

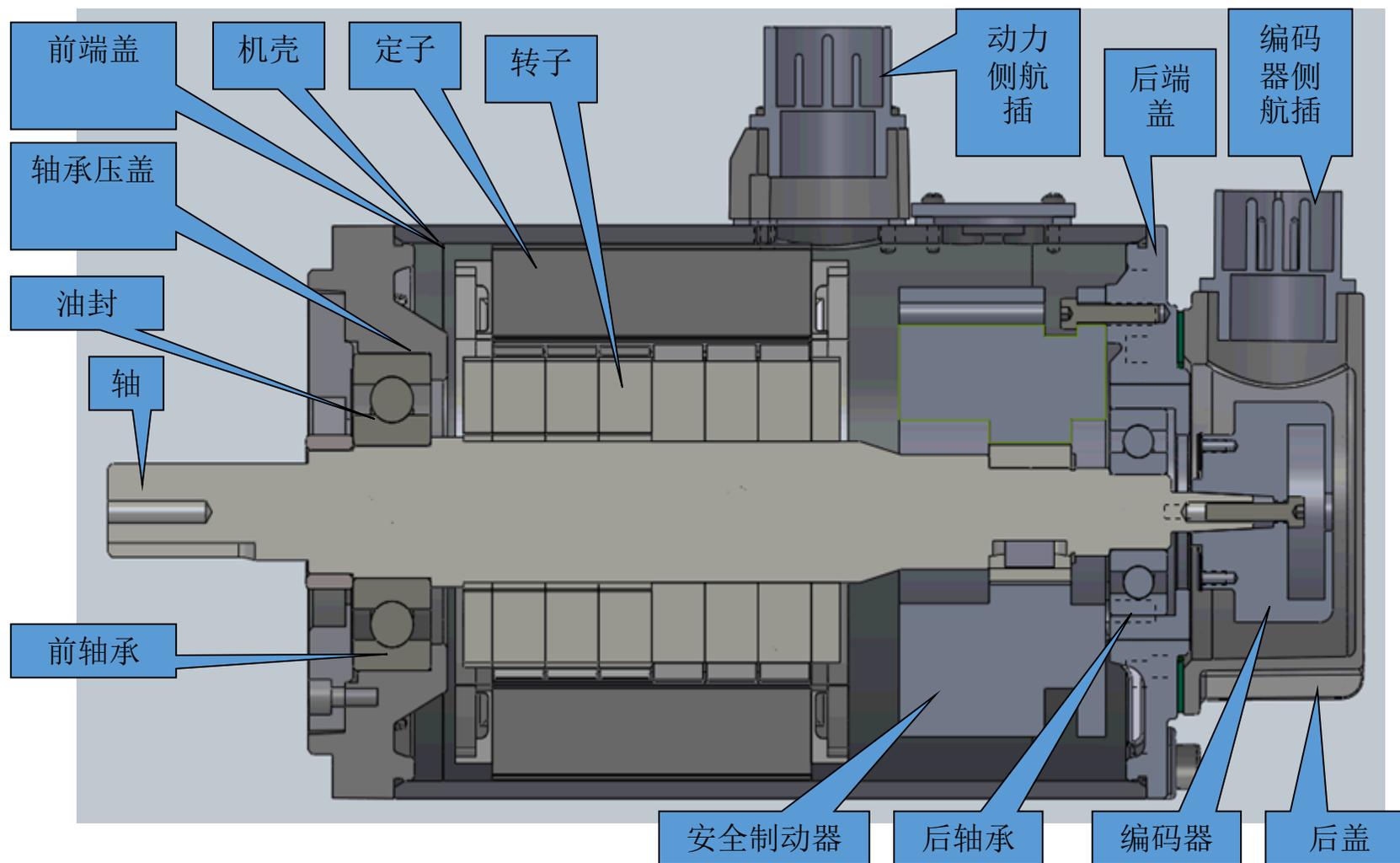
- 伺服电机的基本特点

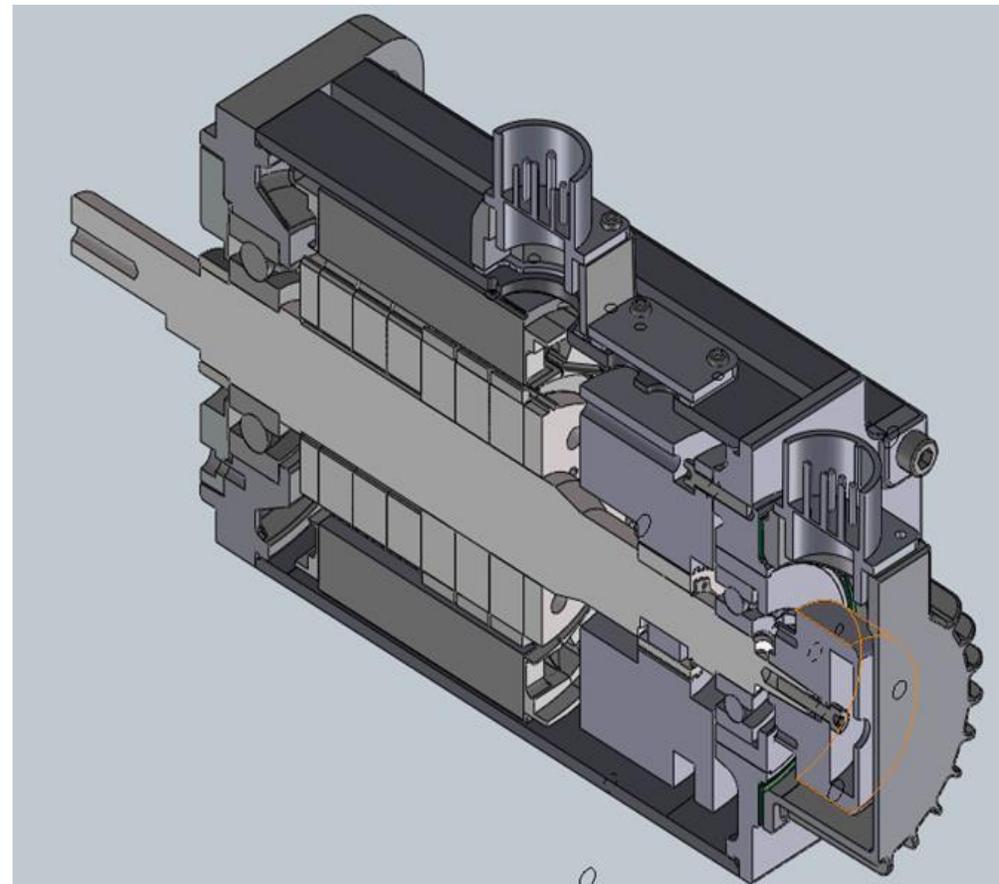
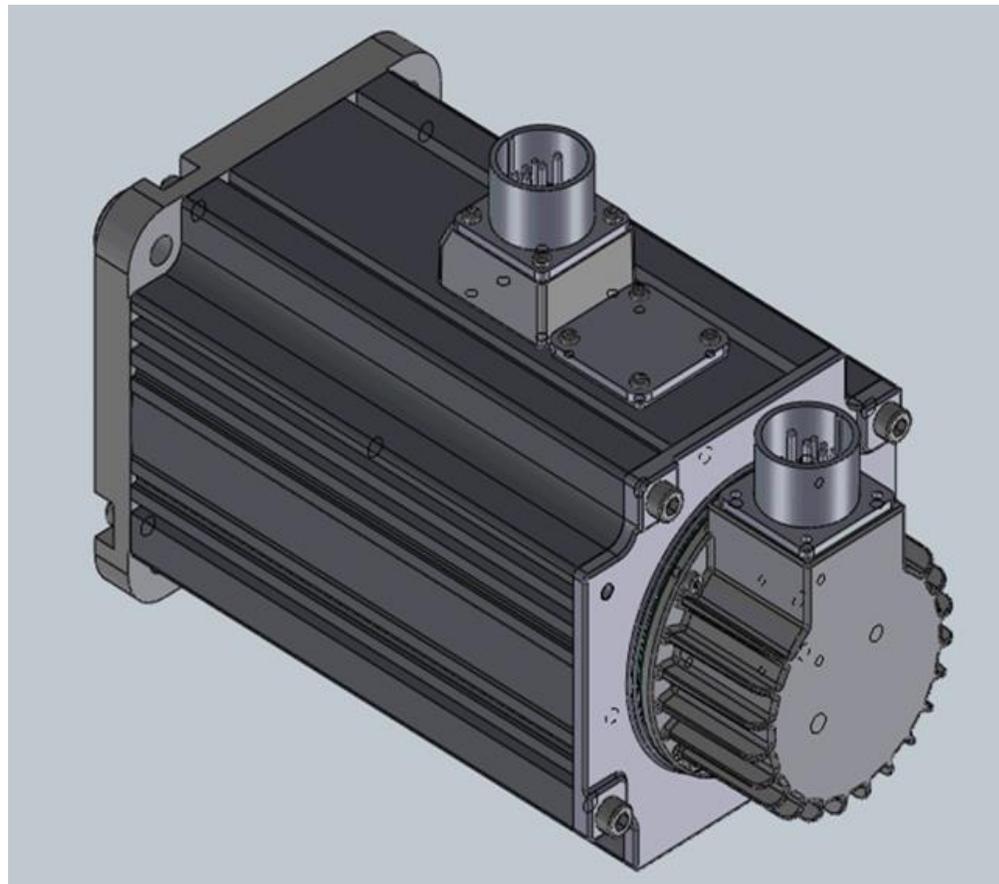
- 特性：

- 伺服电机的输出力矩和流过伺服电机的电流成正比；
- 伺服驱动器需要及时检测伺服电机速度，控制其偏差；
- 其速度与输入电流的频率成正比；

例：我公司750W伺服电机，极对数为4对极，额定频率为200Hz，则其额定转速就是： $60*200/4=3000$ rpm，在100Hz时，其转速就是1500rpm

通用伺服电机的基本结构





如何看通用伺服电机的规格?

电机振动等级，表示电机在额定转速下，空载运行时振动的振幅达到小于15um。

表示用AC1500V交流电加到机壳与引出线两端，1分钟时间，电机绝缘不会被击穿，满足国标要求

耐热等级，也叫绝缘等级，表示该电机在所规定的温度等级下可以满足绝缘要求：

- A: 105°C
- B: 130 °C
- F: 155 °C
- H: 180 °C

额定时间：连续

振动等级：V15

绝缘电阻：DC500V, 10MΩ以上

使用环境温度：0 ~ 40°C

励磁方式：永磁式

安装方式：法兰式

耐热等级：B

绝缘耐压：AC1500V 1分钟

保护方式：全闭环自冷式IP65（轴贯通部分除外）

使用环境湿度：20 ~ 80%（不得结露）

连接方式：直接连接

旋转方向：正转指令下从负载侧看时为逆时针方向（CCW）旋转

表示在DC500V的直流下测试，电机电阻为10MΩ以上，满足国标，绝缘性能良好

注：①带油封电机降额10%使用；②（ ）内为抱闸电机的参数。

表示带油封的电机由于摩擦力增加，电机发热会增加，需要降额使用。

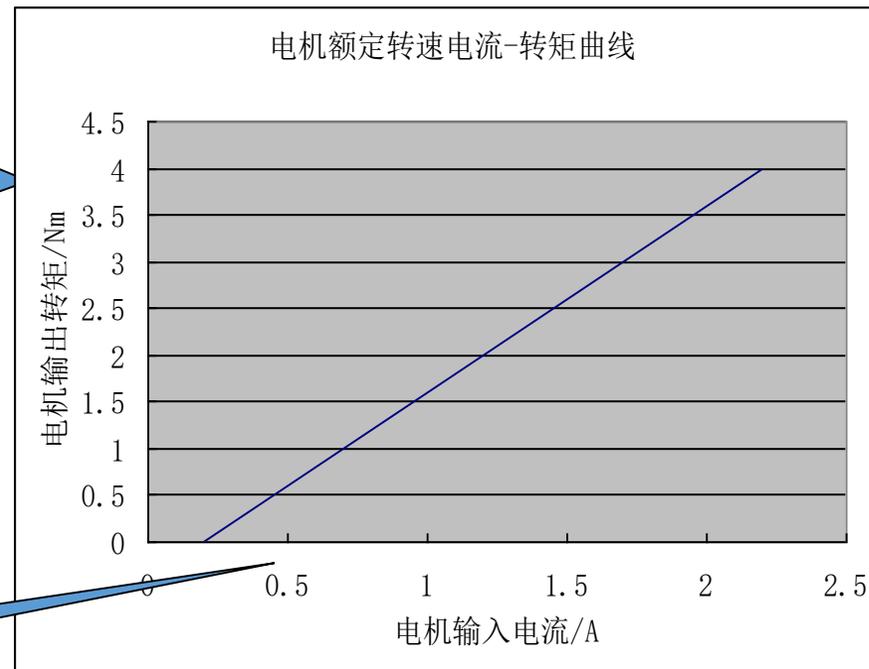
作为冷却条件，本特性为安装下列散热片时的值。
400×400×20mm(铁制)

表示电机在测试相关性能的时候是安装在这样条件规定得散热板上进行的，如果现场散热条件比较恶劣就需要考虑降额使用

如何看通用伺服电机的规格?

电机的转矩系数是指电机在额定转速下输出转矩与输入电流之间的比值，也就是图中直线的斜率。表征电机对电流的敏感程度；

这一点是电机空载电流

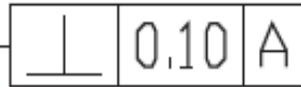


电机转动惯量表征电机转动起来后惯性大小：

实心圆饼的转动惯量是 $\frac{1}{2}mr^2$

如何看通用伺服电机的规格?

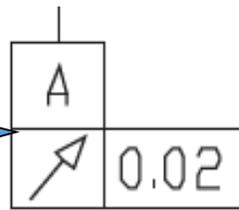
垂直度代表所在平面与基准的垂直程度。右图表示所在平面夹在两个与基准A垂直的间隔为0.1mm的两个平面内



同轴度代表所描述圆柱的轴心与基准圆柱的轴心的同轴心程度。右图表示所描述圆柱的轴心包含在在基准轴心为圆心直径0.06mm的圆柱之内



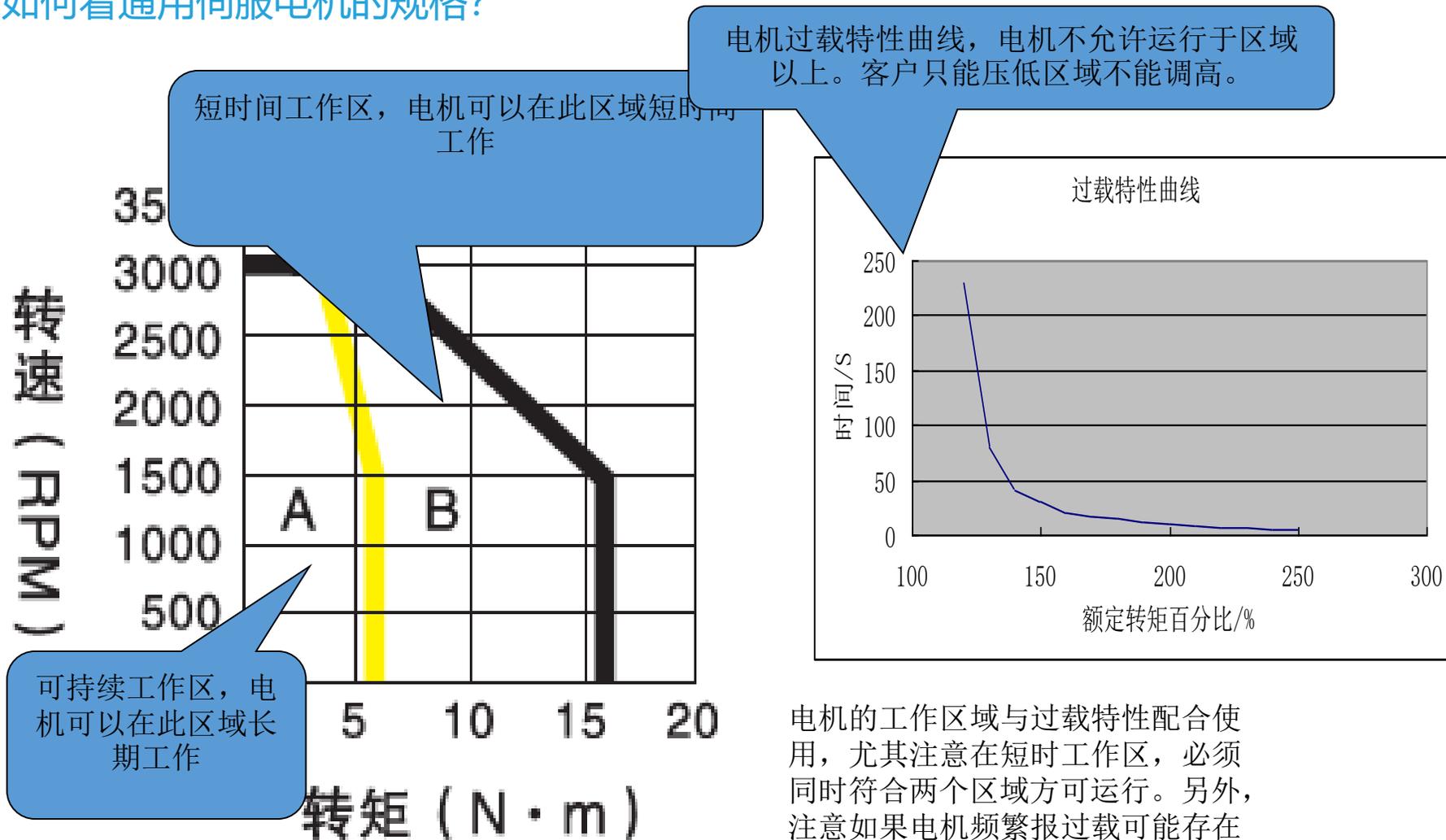
圆跳动含义比较丰富，在我司电机规格书中一般用于指轴的径向圆跳动，代表所描述圆柱面绕基准轴线做无轴向移动回转时，在任一测量平面内的径向跳动量均不得大于公差值0.02mm;



表示名义尺寸为直径110mm，上偏差为0mm，下偏差为-0.035mm，也就是说该部位直径必须在109.965mm与110mm之间

$\varnothing 110^{0}_{-0.035}$

如何看通用伺服电机的规格?



电机的工作区域与过载特性配合使用，尤其注意在短时工作区，必须同时符合两个区域方可运行。另外，注意如果电机频繁报过载可能存在选型较低问题，关于电机选型，我们专题讨论。

通用伺服电机的安装要求

1. 拿到电机与驱动器后首先通过铭牌确定是否是需要的型号；
2. 按照电机说明书的要求正确接线，并尤其注意地线与屏蔽线；
3. 在有电机移动の場合，电机所用电缆注意选用拖链电缆线；
4. 在电机未装到设备上之前先进行空载运行的调试，确保电机能够正常起停，然后再上设备试运行。
5. 电机试运行注意把键取下防止甩出。
6. 电机安装以及键装入时禁止对轴伸端进行敲击或者施加超过允许的轴向或者径向力，这些操作都容易导致编码器码盘的碎裂；
7. 尽量避免电机轴伸向上的安装，尤其在有油溅の場合，因为这样安装容易使油在电机前端聚集，即使有油封保护也有侵入的风险；

3 伺服电机编码器原理简介

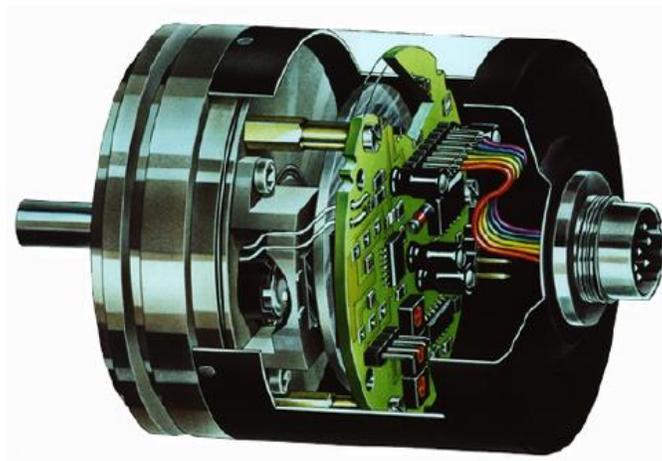
编码器简介

数据扫描系统

- LED光源&光电池
- 增量码盘/绝对值码盘
- 数据处理系统

机械系统

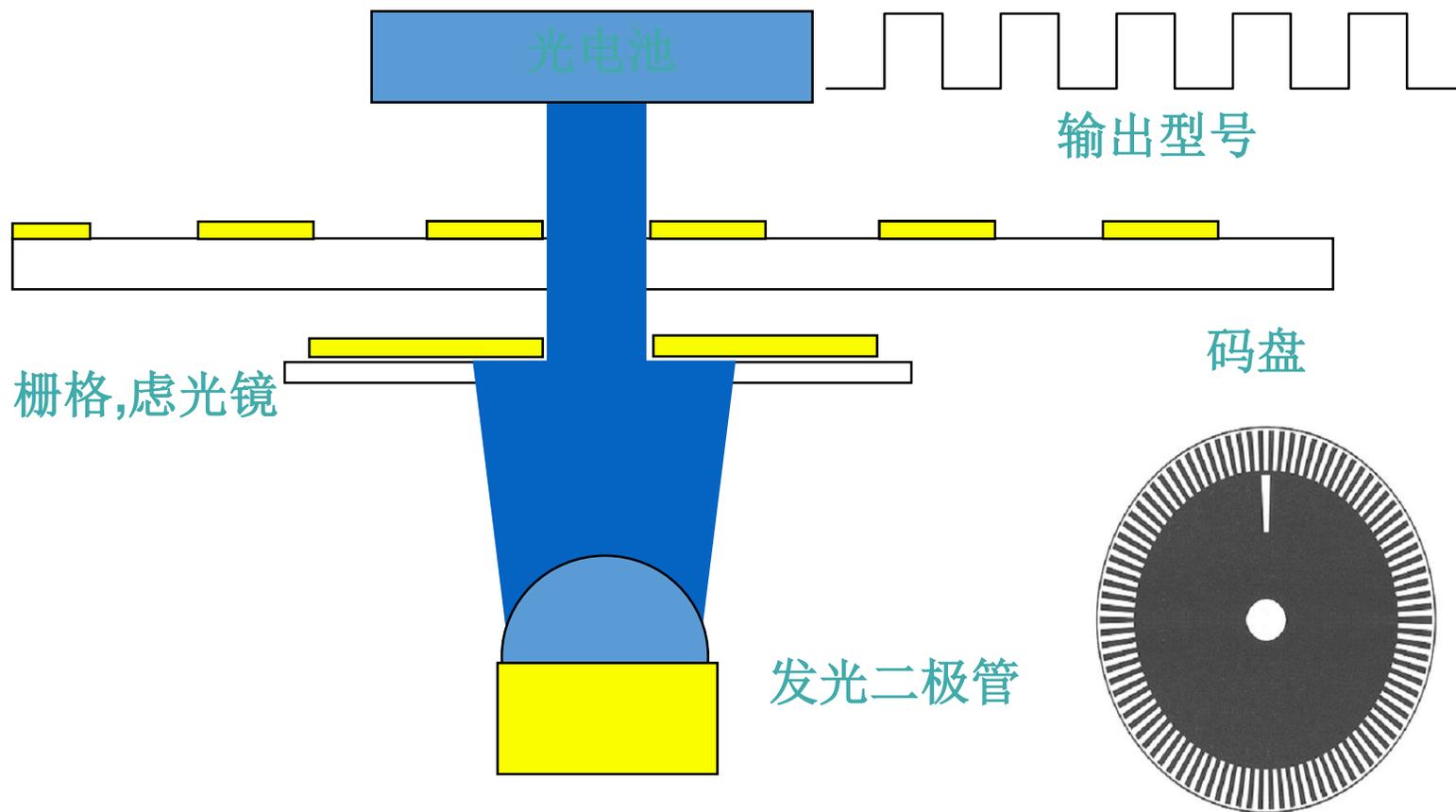
- 旋转轴
- 法兰
- 轴承系统
- 支架外壳



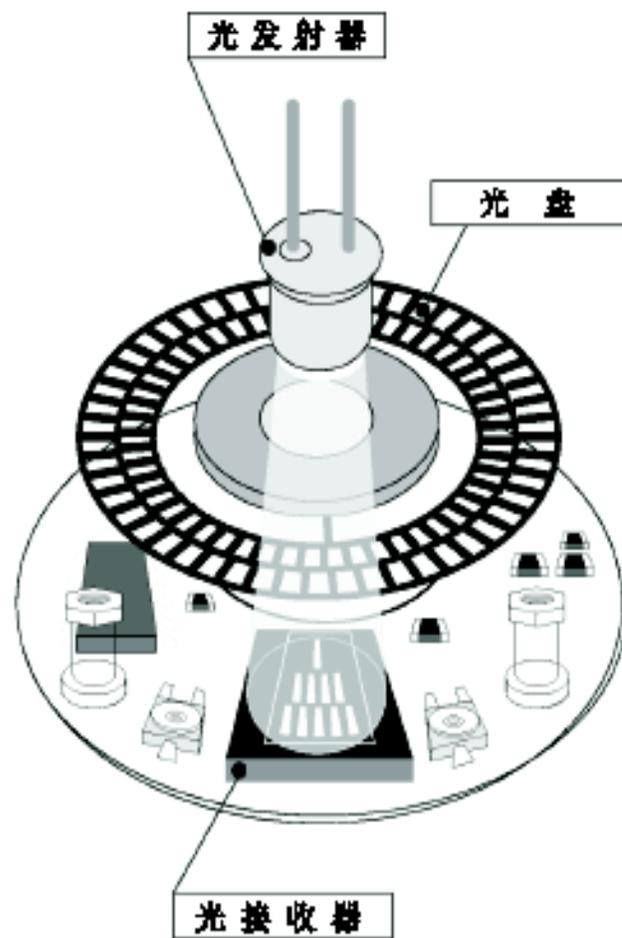
电气输出

- 短路保护
- 反极性保护
- 放大电路
- 抗干扰电路等
- 数据输出
 增量/绝对值

光电编码器读出原理



光电编码器结构原理

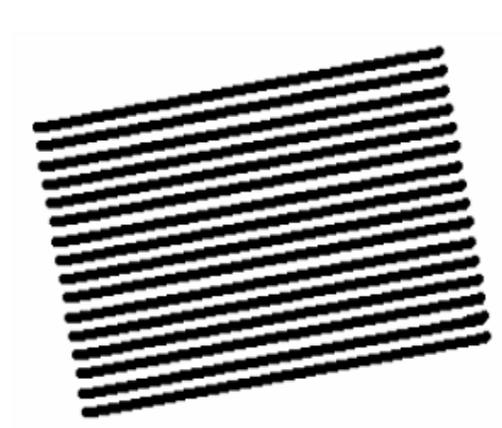


莫尔条纹的形成原理

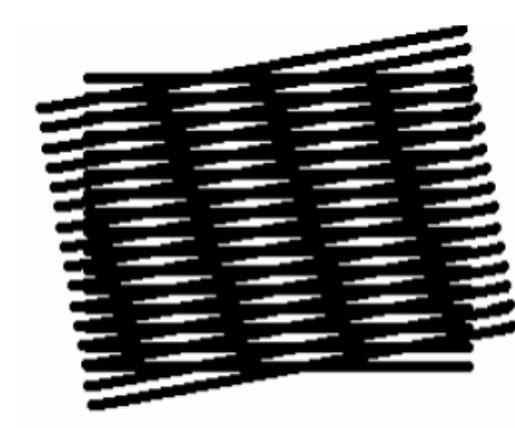
两块参数相近的透射光栅以小角度叠加，产生放大的光栅。



(a)光栅 A



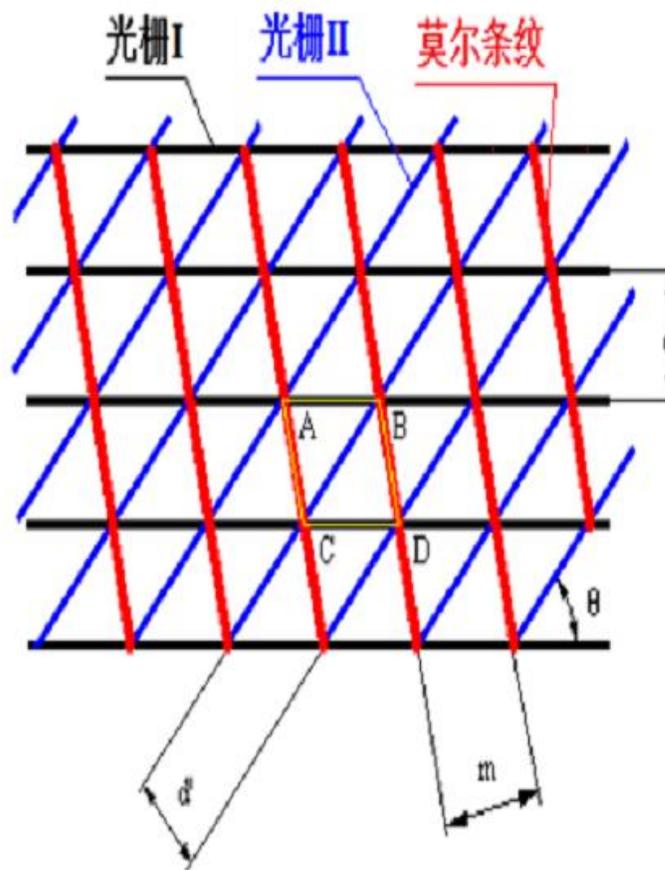
(b)光栅 B



(c)两个光栅叠加的结果

莫尔条纹的计算

为了便于分析和计算，将两个光栅及其叠加结果绘制成如右图所示的局部放大示意图。



由平行四边形ABCD的面积，有

$$S = AD \cdot m = DC \cdot d = DB \cdot d'$$

由余弦定理得 $AD^2 = BD^2 + CD^2 - 2BD \cdot CD \cos \theta$

利用以上关系可以计算出莫尔条纹的间隔，当两块光栅的光栅常数相等时，有

$$m = \frac{d}{\sqrt{2(1 - \cos \theta)}}$$

利用三角函数关系 $\cos \theta = 1 - 2\sin^2 \frac{\theta}{2}$ ，有

$$m = \frac{d}{2 \sin \frac{\theta}{2}}$$

测量微小位移

当 θ 非常小时，可以将上式进一步简化为

$$m \approx d / \theta$$

以上两块光栅，一块作为定光栅固定不动，另一块作为动光栅，固定在被测的运动物体上。若被测物体沿光栅条纹排列方向移动光栅常数 d 的距离，则莫尔条纹变化 m ，所以莫尔条纹将位移放大了 $1/\theta$ 倍。

莫尔条纹的放大倍率仅取决于两个光栅之间的角度，在测量中可以根据测量精度的需要任意调整。

测量微小角度

将上式做微分运算，并改写成有限变量的形式

$$\Delta m = -\frac{d}{\theta^2} \Delta \theta$$

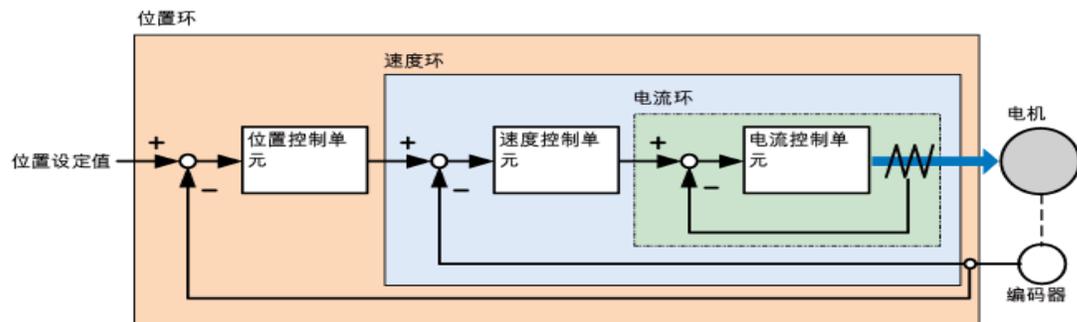
根据上式可以动光栅与静光栅之间角度的微小变化量。例如，光栅常数为 $d=0.002\text{mm}$ ，两块光栅的角度为 $\theta=0.01^\circ$ ，当动光栅与静光栅之间的角度发生 $\Delta\theta=1''$ 的变化量时，莫尔条纹宽度从11.459变到11.149，莫尔条纹的变化量为 $\Delta m=0.31$ ，这一变化量是很容易测量的。

应用莫尔条纹进行测量的优点

- ◆ 将光栅常数非常小的、高精度的、人眼不能直接观察的光栅放大，可以用人眼或仪器直接观察到莫尔条纹，测量精度可以达到 $1\mu\text{m}$;
- ◆ 条纹呈周期变化，便于读数和消除随机误差;
- ◆ 光栅尺可以印在塑料薄膜上，成本低，使用方便.

4 伺服电机和被控对象详解

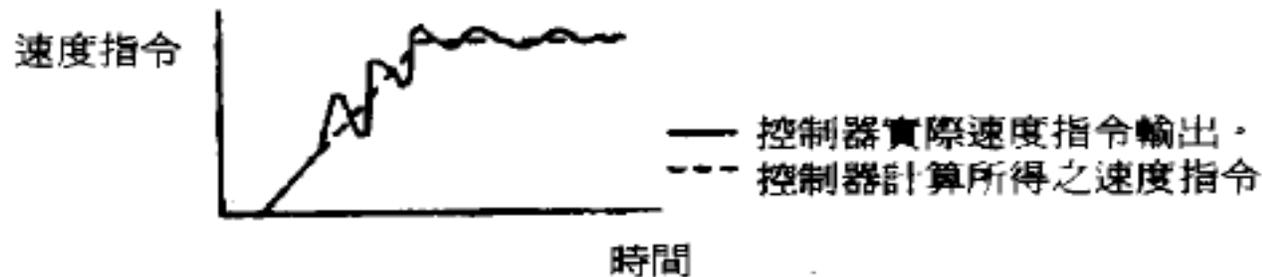
单轴伺服系统的回路组成和性能指标



如上图，V90伺服系统包括三个反馈回路（位置环、速度环以及电流环）。理论上，电流环的反应速度应最快，速度环的反应速度必须高于位置环。假设未遵守此原则，整个控制系统会振荡或响应降低。V90伺服系统的电流环已具备良好反应速度，故用户只需调整位置环与速度环。

一般而言，位置环和速度环的综合调整需要遵守以下原则：

1 若要增加位置环的增益，必须先确保速度环增益足够。这是由于如果位置环反应比速度环反应还快，位置环输出的速度指令将无法被速度环及时处理，位置环会继续累计偏差，增加速度指令。此时，电机速度会超过预期，位置环又会尝试减少速度指令输出量。周而复始，速度环表现就会如下图振荡。要是发生这种速度环振荡情形，就必须减少位置环增益或增加速度环增益。

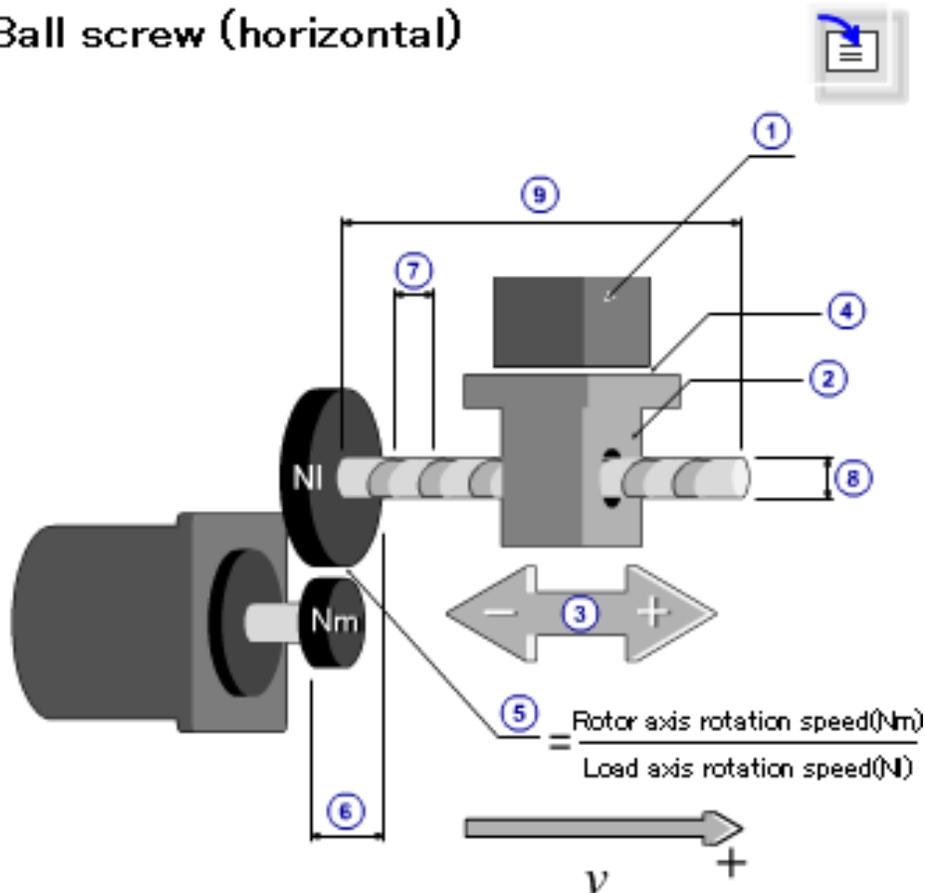


2 位置环增益不可超过机械系统的自然频率，否则会产生较大的振荡。对于低刚性连接的机械系统例如同步带，其自然频率为10~20Hz，机械系统自身刚性较低，此时可将位置环增益设定为10~20(1/s) (p29110=0.6~1.2)。对于高刚性连接的机械系统如精密丝杆或刚体直连，系统的自然频率为70Hz以上，机械系统自身刚性较高，此时可将位置环增益设定为70(1/s) (p29110=4.2)或更高。因此，当工艺应用需要执行机构高动态响应的时候，既要确保伺服系统的高响应，也必须确保机械系统的高刚性。

伺服电机和机械负载关系

丝杆连接负载

Ball screw (horizontal)



丝杠的特点

- 1、摩擦阻力小，动静摩擦力之差极小，能保证运动平稳，不易产生低速爬行现象。磨损小、寿命长、精度保持性好。
- 2、采用双螺母预紧后，可以很好地消除间隙，提高了传动刚度。
- 3、摩擦损失小，传动效率高，可达90%~96%。

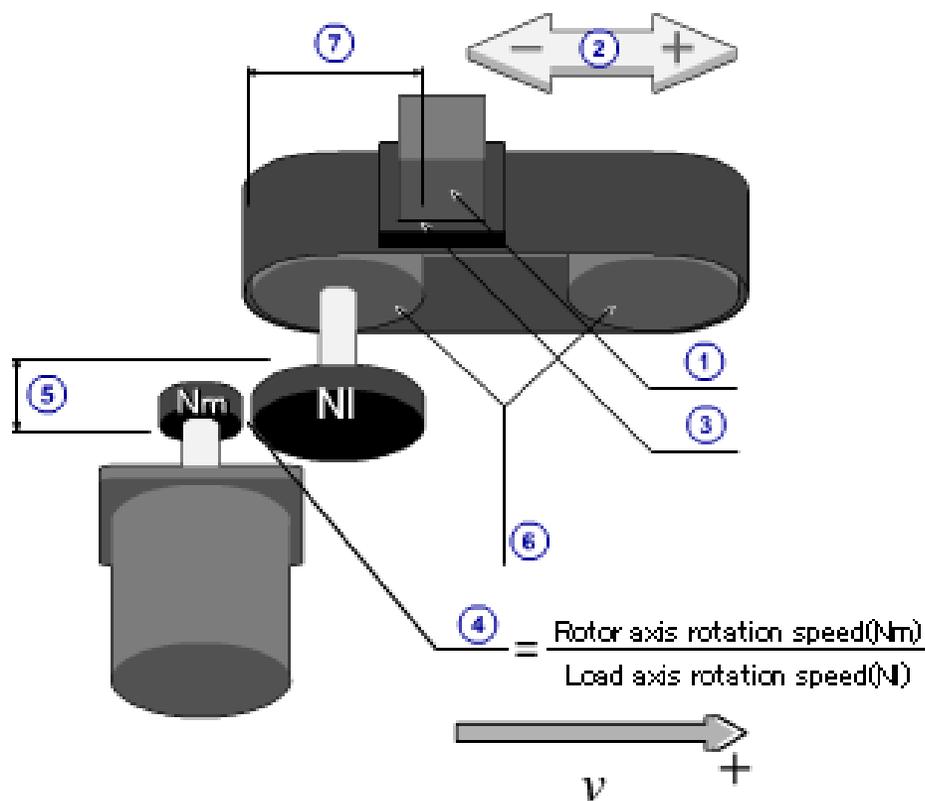
调试注意点

- 1、丝杠负载传动刚度较高，一般较容易调整，一般惯量比合理情况下只需辨识惯量，设置刚性。
- 2、如果对增益要求很高的，还需要进行必要的共振分析。

伺服电机和机械负载关系

同步带连接负载

Timing belt (horizontal)



同步传动特点

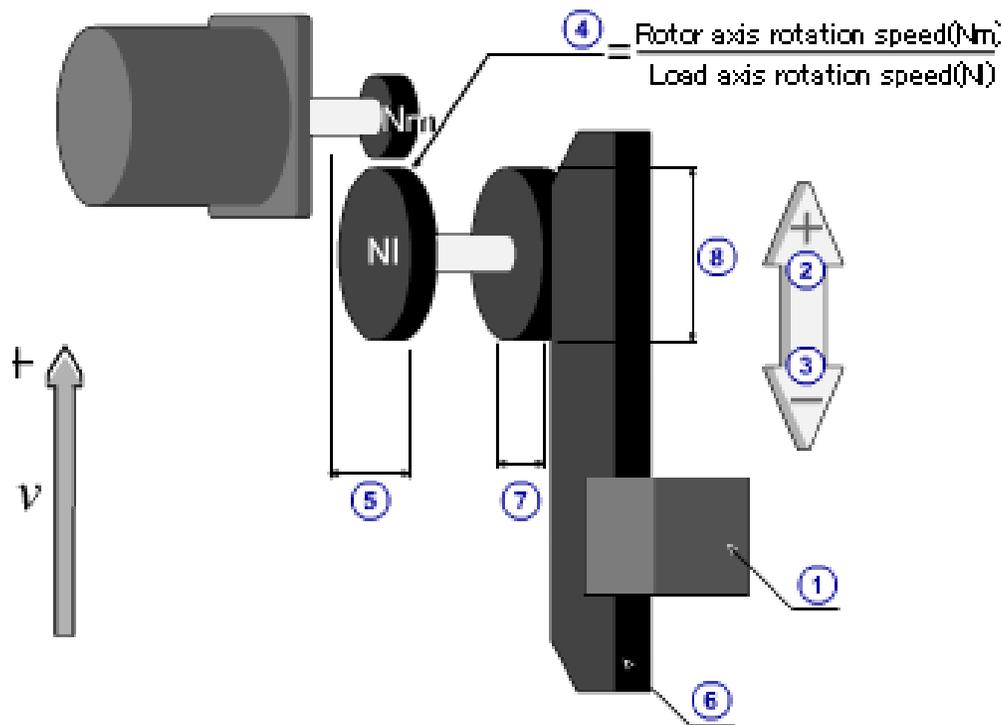
- 1、运转时，带的凸齿与带轮齿槽相啮合，来传递运动和动力。
- 2、工作时无滑动，有准确的传动比
- 3、传动效率高，节能效果好。有较高的传动效率，一般可达0.98。
- 4、传动比范围大，结构紧凑。

调试注意点

- 1、长度较短的同步带还是很容易调试的。在惯量比合理情况下，只需要辨识惯量比，设置刚性即可。
- 2、如果同步带比较长且惯量比较大，轴此时运行起来就容易产生过冲和超调。最好有较好的指令，伺服下面在加滤波进行指令优化。

伺服电机和机械负载关系

齿轮、减速机传动



齿轮、减速机传动特点

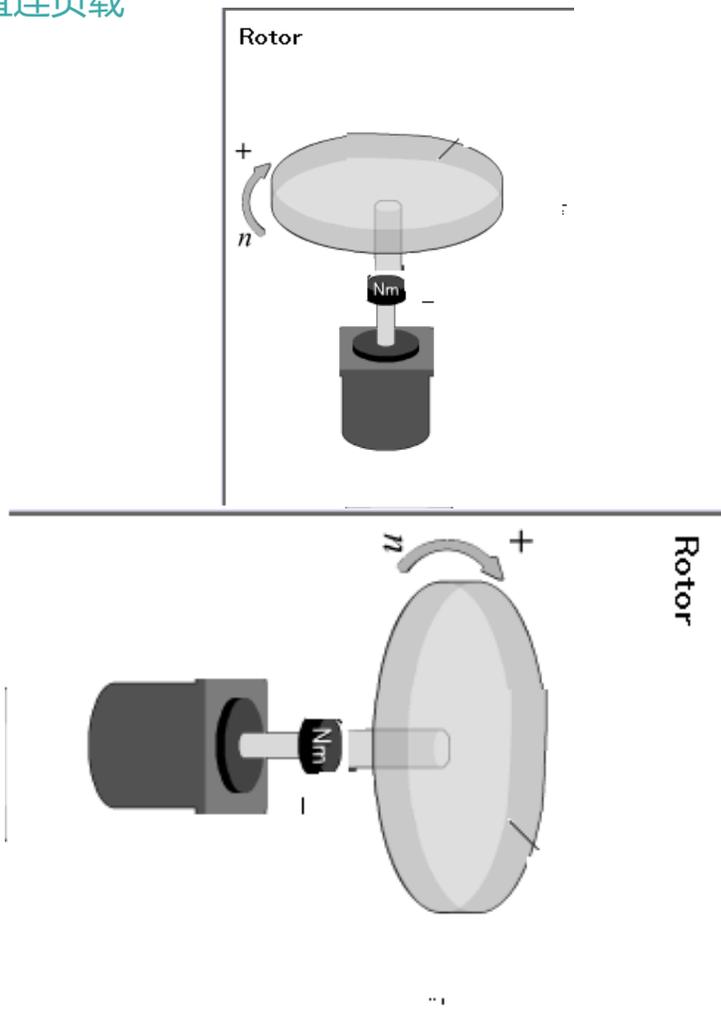
- 1、降速同时提高输出扭矩，扭矩输出比例按电机输出乘减速比，但要注意不能超出减速机额定扭矩。
- 2、减速同时降低了负载的惯量，惯量的减少为减速比的平方。大家可以看一下一般电机都有一个惯量数值。
- 3、有一定的缺点是这种减速装置存在一定的传动背隙，会损失一部分传动的精度。

调试注意点

- 1、配减速机一般都可以很有效的降低负载惯量比，所以此类设备惯量比都较小。调节起来很轻松。

伺服电机和机械负载关系

直连负载



直连特点

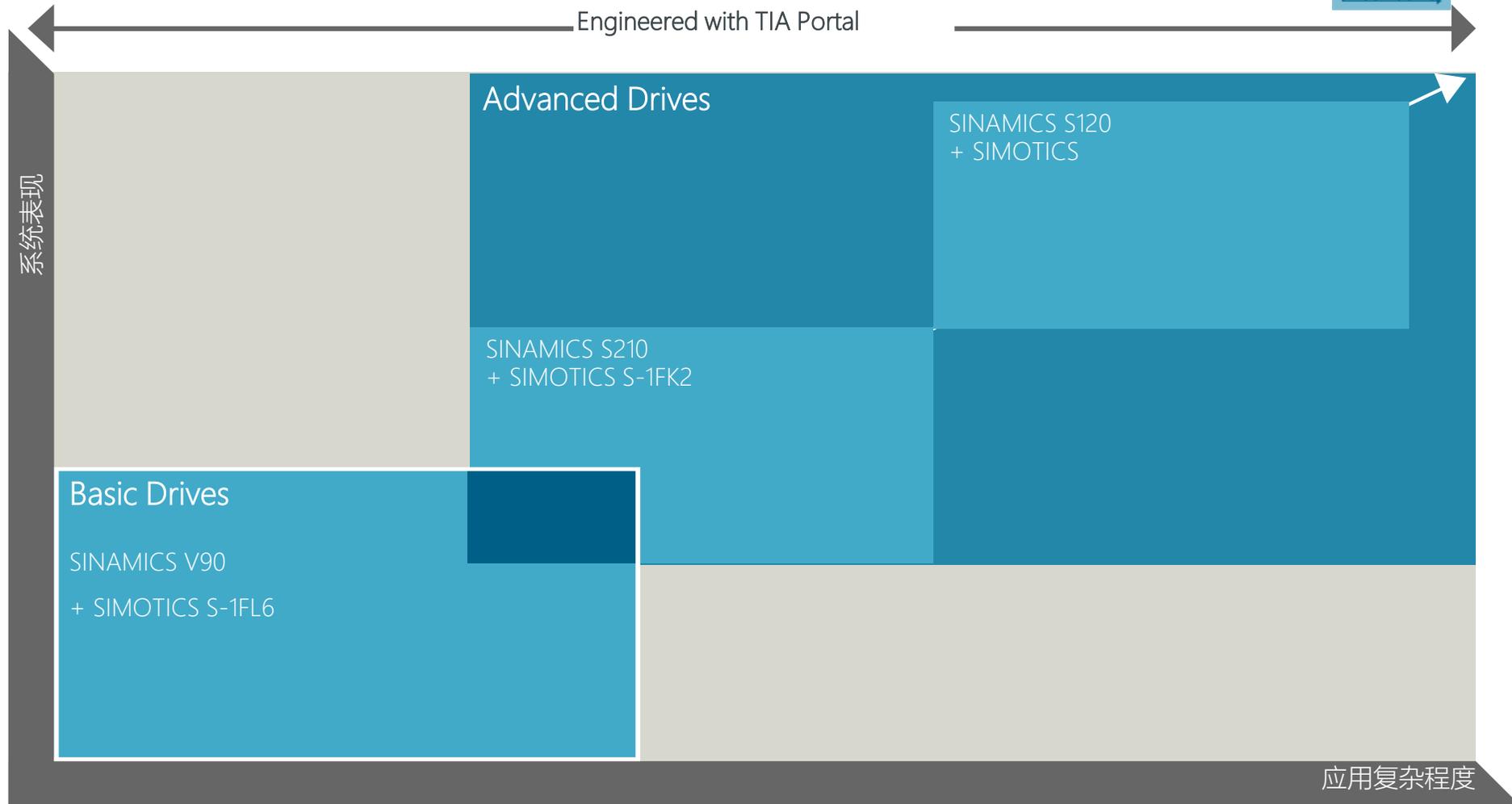
- 1、直连负载的传动精度可以直接的反馈电机的传动精度。因此直连负载有较好的冲动精度。
- 2、直连负载可以和电机高度的同步。

调试注意点

- 1、此种连接方式必然会给电机带来较大的惯量比，所系调节起来也会有些许的麻烦。
- 2、对于电机垂直放置的负载，一般用在分度控制上使用。要求快速，准确启停。可以使用增益切换进行调整。
- 3、对于电机水平放置的负载，一般惯量更大，电机更容易产生振动。一般增益不会很高，并且需要共振分析。

2 SINAMICS S210介绍

S210伺服驱动系统，定位于SINAMICS“非连续运动”产品系列 完善的产品组合



驱动技术和自动化技术无缝集成

所有组件有机结合

便于维护和使用

安全集成功能

技术功能集成

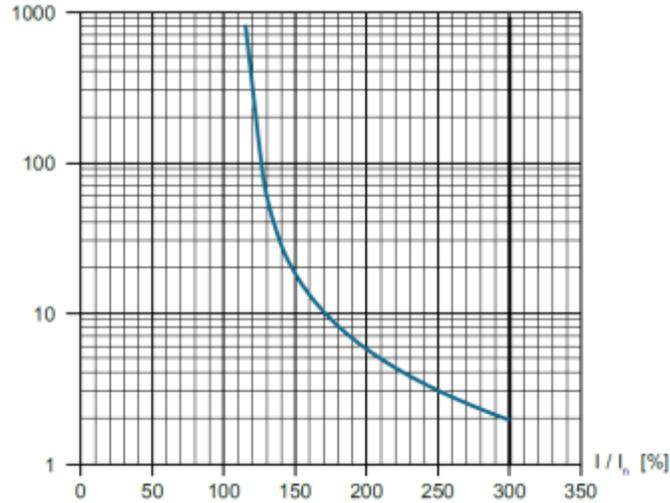
SINAMICS S210 系统包含三个部分：驱动器、电机、电缆

<p>S210 伺服驱动系统 简易 高效 安全</p> 	<p>SINAMICS S210 (6SL3210-5H...)</p> 	<p>SIMOTICS S-1FK2 (1FK21...) HD (1FK22...) CT</p> 	<p>单电缆连接 (6FX5002-8QN...) (6FX8002-8QN...)</p> 
	<ul style="list-style-type: none"> • 电压: 1AC 200-240V 3AC 200-480V • 功率: 100W-7kW* • PN IRT (250 μs 到 62,5 μs) • PROFIsafe • 安全功能: STO, SS1, SBC, ext safety): SS1, SS2, SOS, SLS, SSM, SDI, SBT • 可更换端子 • 全贴合并排安装 • 300% 过载能力 • 集成 C2 级EMC-Filter • 集成制动电阻 • DI: 1 F-DI (2 DI), 2 DI 用于 高速测量 • 集成网页功能 	<ul style="list-style-type: none"> • 转矩: 0,16-40Nm* • 功率: 50W-7kW* • 高动态(HD) 或者 紧凑 (CT) 轴高 20-100mm* • 编码器: 22 Bit. 单圈绝对值 或者多圈绝对值 (4096圈) (无电池) • 防护等级: IP64, 可选 IP65 • 滑键或者光轴 • 可选抱闸 • 北美认证  	<ul style="list-style-type: none"> • 单电缆长度达50m • 快连系统, 电机接头可旋转 • 柔性电缆弯曲半径小, 可订购拖缆 • 紧凑小巧的 M12 接头 SH20/30mm (高度 25mm) • 延长电缆和安装法兰

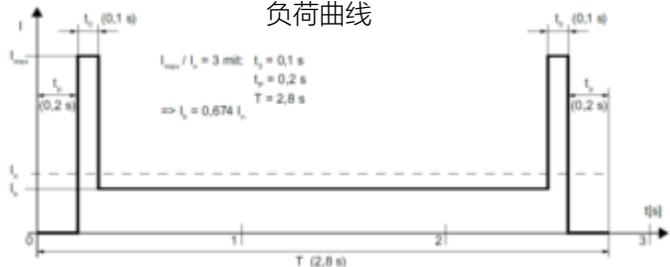
SINAMICS S210伺服驱动 技术参数

过载能力

持续时间 (s)



负荷曲线



技术参数

供电电压	1AC 200V ~ 240V; 3AC 200V ~ 480V (-10%/+10%); 50/60Hz, (-10% / +10%)
功率范围	0.1kW ~ 7kW, 0.05kW电机可连接100w驱动器
过载能力	300% x 额定电流 (参考左下角的负荷曲线)
控制电源	24V DC (-15%/+20%)
控制系统	伺服控制; 电流环周期62,5 μs, 8kHz 脉冲频率
保护功能	接地故障保护, 输出侧短路保护, 过压/欠压保护, 驱动器 I2t 过温保护, 电机 I2t 过温保护
运行温度	0 - 50 °C, 无需降容
制动电阻	内置
防护等级	IP20; 控制板带涂层
认证标准	CE, cULus, C-Tick, EAC
安全功能	通过PROFIsafe实现基本和扩展的安全功能, 安全转矩关断(STO)也可以通过端子实现
调试接口	RJ45 以太网口
数字量输入输出	2 DI for Measuring probes, 1 F-DI for STO (NPN/PNP), 1DI for Temp. monitor of external brake resistor
通讯类型	2个PROFINET接口(支持IO-Device, PROFIdrive, RT/IRT, 最小通讯周期250 μs), 环网冗余, 设备共享, PROFIsafe, PROFIenergy
SD卡槽	SD卡用于扩展的安全功能授权, 参数复制, 固件升级
EMC	1AC 230V:EMC C2类: 通过内置的EMC滤波器长度10米以内或者使用外接EMC滤波器电机电缆长度25米以内 1AC 230V:EMC C3类: 通过内置的EMC滤波器长度25米以内或者使用外接EMC滤波器电机电缆长度50米以内 3AC 400V:EMC C3类: 通过内置的EMC滤波器长度25米以内, 通过直流母线连接最长100米 (包含所有并联的轴)
电缆长度	最长支持50米
剩余电流动作断路器 (RCCB)	可选用B型剩余电流动作断路器 (RCCB Type B), 动作电流300mA

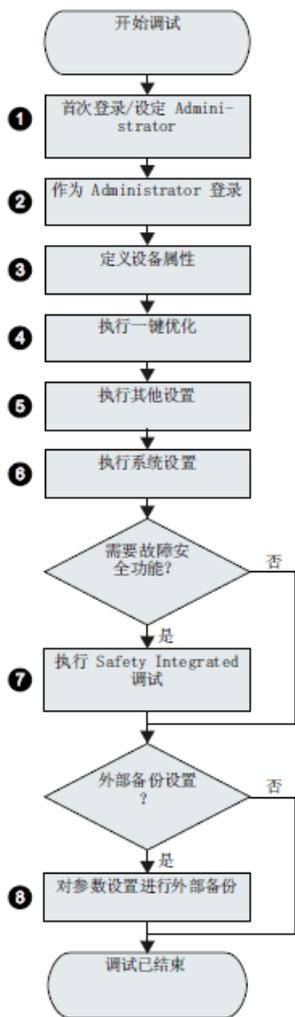
SINAMICS S210 伺服驱动系统 全新的高动态伺服驱动系统



亮点

- ✓ 集成webserver功能, 全新的一键优化功能
- ✓ 内置安全功能(PROFIsafe): 内置基本安全功能和扩展安全功能
- ✓ 专用的S-1FK2伺服电机 (紧凑型和高动态型), 采用单电缆技术连接
- ✓ 22位单圈绝对值编码器/22位+12位多圈绝对值编码器
- ✓ 测量输入功能
- ✓ UL认证
- ✓ 内置C2 EMC滤波器
- ✓ PN IRT通讯, 支持环网 (MRP/MRPD)
- ✓ 支持共直流母线应用 (仅400V)

SINAMICS S210 伺服驱动系统Webserver调试流程



更多信息参见章节:

① "首次登录和设定 Administrator 密码 (页 192)"

② "作为 Administrator 登录 (页 194)"

③ "定义设备属性 (页 204)"

④ "执行一键优化 (页 207)"

⑤ "其他设置 (页 210)"

限制,
制动控制,
数字量输入,
参数调整,
电子配重

⑥ "系统设置 (页 243)"

⑦ "Safety Integrated 调试 (页 219)"

⑧ "备份参数 (页 241)"

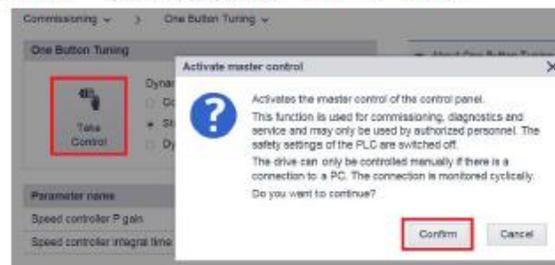
提示: 也可以在各个调试步骤后保存设置。建议在 Safety 调试之前进行备份。

选择动态设置级别, 分别为保守、标准和激进:



注意: 此处选择 Standard 标准

点击 "Take Control" 获取控制权并点击 "Confirm" 以确认:



点击 "开始优化-Start Tuning":



注意: 会弹出显示关于电机轴允许的旋转角度 (路径限制) 的界面

SINAMICS S210 伺服驱动系统在博途上的配置

1. 首先，安装 S210 GSD 文件：

2. 浏览 GSD 文件，点击“Install”按钮用于安装：

3. 在目录树中选择“设备和网络 Devices & networks”视图：

4. 在右侧面板中选择“硬件目录”选项，然后单击“其他现场设备”：

5. 从“其他现场设备”中选择 S210 PN：

6. 双击 S210 PN 或将其拖至网络视图中，重复操作两次：

7. 组态 ET200SP 到网络视图中，需要注意 ET200SP 使用的模块型号依次为：

IM 155-6 PN HF：6ES7 155-6AU00-0CNO
DI 16x24VDC ST：6ES7 131-6BH00-0BA0
DQ 16x24VDC/0.5A ST：6ES7 132-6BH00-0BA0
TM Timer DIDQ 10x24V：6ES7 138-6CG00-0BA0
AI 2xU ST：6ES7 134-6FB00-0BA1
Server module：6ES7 193-6PA00-0AA0

8. 在网络视图中，单击“未分配”并选择“PLC_1.PROFINET Interface_1”：

9. 组态网络，并且分配 IP 地址和设备名称：

10. 分配设备名称，在设备上点击右键“Assign device name”：

11. 在两个 SINAMICS S210 PN 的“设备视图”中，从子模块中选择“标准报文 105”：



智能制造新工程师校企联盟
INTELLIGENT MANUFACTURING NEW ENGINEER SCHOOL ENTERPRISE ALLIANCE