



哈爾濱工業大學(深圳)
HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY, SHENZHEN



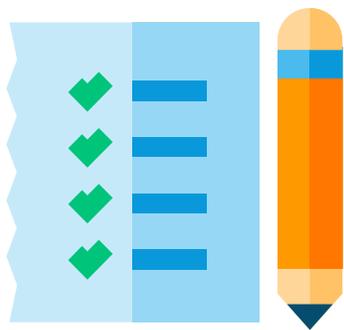
高性能运动控制的现代伺服技术

汇报人：王宏
2022-11-03

哈尔滨工业大学（深圳）



目录



- 一、个人简介
- 二、个人科研经历介绍
- 三、机器人/自动化驱控成果介绍
- 四、高性能伺服系统核心技术

王宏 (WangHong) 博士, 副教授, 电力电子与电力传动

发表文章30余篇, 授权发明专利5项, 纵向项目10余项

2010



2019-06, 研究员, 哈尔滨工业大学(深圳)

2010-06, 副教授, 哈尔滨工业大学(深圳)

2008

2008-05, 博士后, 哈工大深圳研究生院

2006



2006-01, 高工, 瑞典ABB机器人公司

2004

2004-08, 工程师, ABB集团研究中心

2000

2000-09, 博士, 哈工大电力电子

1998

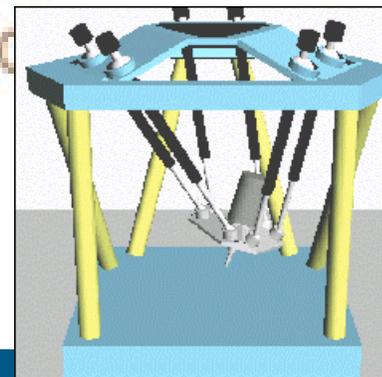
1998-09, 硕士, 哈工大机械工程

1994

1994-09, 本科, 哈工大电气工程

1975

1975-12出生, 黑龙江大庆



产品介绍—机器人专用伺服驱动器

RS60E系列机器人专用伺服驱动器是机器人中心团队专门针对机器人行业伺服驱动器的迫切需求，深入基础理论研究，持续进行技术创新而研发的高性能的6合1伺服驱动器，解决近年来机器人应用过程中对伺服驱动器提出的**高精度、快响应、高同步、易整定、小体积、低成本**等的痛点和难点问题。RS60E凭借卓越的性能、简易的操作、优良的品质等特点，在机器人领域能尽其所能、一展所长，提供完善的解决方案，为客户持续创造价值，是小型六关节机器人、DELTA机器人及SCARA机器人等的理想驱动产品选择。



季华实验室 RS60E	对比项	清能德创RC6
低	成本	中等
310*240*80	体积	315*230*76
6kw	功率	6kw
>2kHz	速度环带宽	1.2kHz
250us	Ethercat 最小同步周期	500us
62.5us	最小控制周期	125us
同时适配多种 编码器	支持的编码器	不同的编码器 需要定制
有	参数自适应算法	无
有	参数自整定算法	无
有	模型跟踪控制算法	无

产品介绍—低压伺服驱动器



调试便捷

- 图形化调试界面、显示界面友好
- 配置方便、调试简单

体积小巧

- 小体积、低重量、功率密度大
- 业内最为紧凑的低压伺服驱动器之一

性能优异

- 电流环带宽大、控制位置精度高
- 动态响应快、扭矩精度高、过载强

用途广泛

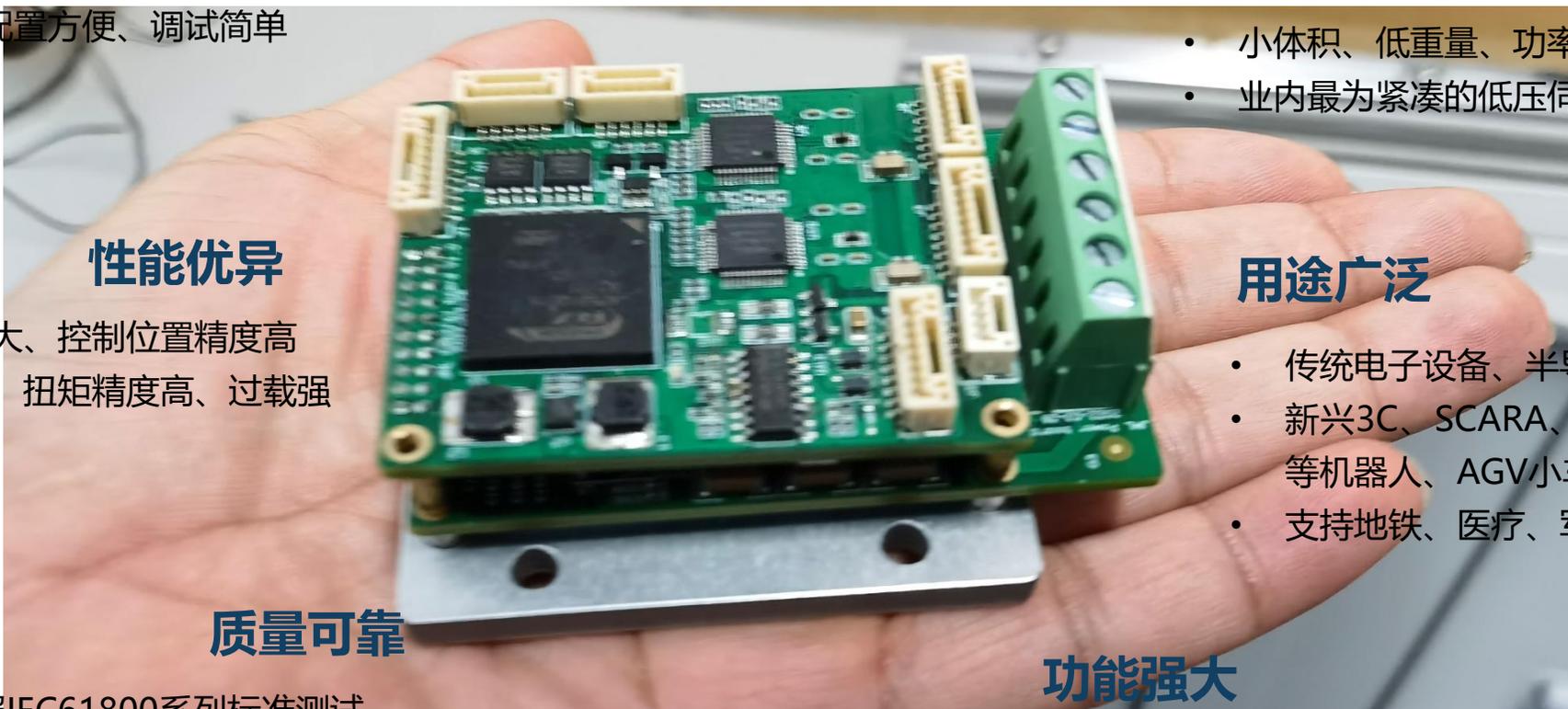
- 传统电子设备、半导体、LED生产组装等
- 新兴3C、SCARA、Delta、医疗、移动、协作等机器人、AGV小车等智能行业、仓储行业
- 支持地铁、医疗、军工等特殊行业应用

质量可靠

- 严格按照IEC61800系列标准测试
- 环境测试、EMC测试、可靠性测试等
- 保证客户在复杂环境下的稳定可靠应用

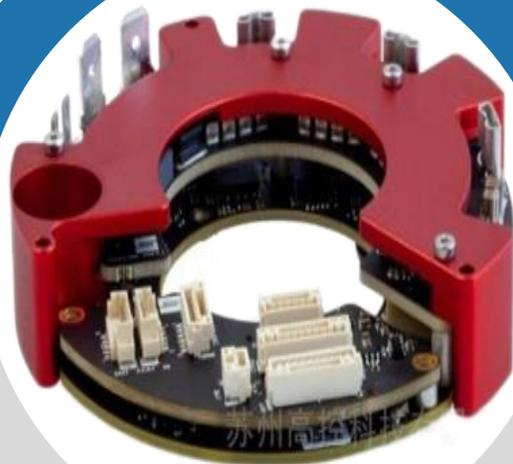
功能强大

- 支持EtherCAT/Canopen/RS485通信、softPLC及动态PID
- 支持无刷直流/永磁同步/直线电机、绝对值和增量式编码器
- 支持多种轮廓模式；支持位置指令细差分





产品介绍——一体化关节驱动



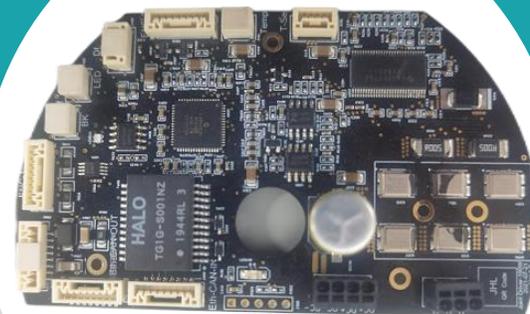
超紧凑

采样新一代功率器件、创新型设计方案
比传统电机减速器的结构节省空间30%
外径尺寸低至89mm
内径尺寸大至38mm
支持3倍以上过载



高精度

定位精度高: 23bit单圈 / 多圈绝对值编码器
同步时间短: 高速通讯周期62.5us
同步抖动低: 同时位置环控制与同步信号同步
动态响应快: 2kHz的电流环带宽



功能强

支持EtherCAT通信以及动态PID
关节可连续旋转
丰富的API
支持多种轮廓模式; 支持位置指令细差分

产品介绍—驱控一体化控制器

JHL-驱控一体机



功能特点

- 集运动控制器、机器人控制系统和六轴伺服驱动于一体
- 体积小、功率密度高、集成度高, 适合20KG以下机器人
- 采用多自由度和非线性控制算法, 实现高动态响应、高精度的电流、速度及位置控制
- 支持高速本地IO和远程扩展IO
- 支持Ethercat, Ethernet,CAN,USB, RS232等接口和协议
- 支持编码器反馈信号和抱闸信号的网络控制与传输, 支持手持盒热拔插
- 安全接口支持自动停止, 碰撞检测, 外部急停



性能指标

- 支持最大负载20KG, 功率6KW, 效率达95%以上
- 最大电机功率: 2000W*2 + 750W*2 + 200W*2
- 最大输出电流: 64A(2000W), 22A(750W), 8A(200W)
- 过载能力: 120%额定电流160秒, 300%额定电流3秒
- 电流环响应带宽>3KHz, 速度环带宽>1KHz
- 重复定位精度0.02mm, 路径定位精度0.1mm

应用场景

- 直角坐标、SCARA、Delta、多关节机器人
- 焊接、喷涂、打磨、装配、搬运、拾取



产品介绍—新型驱控一体化控制系统

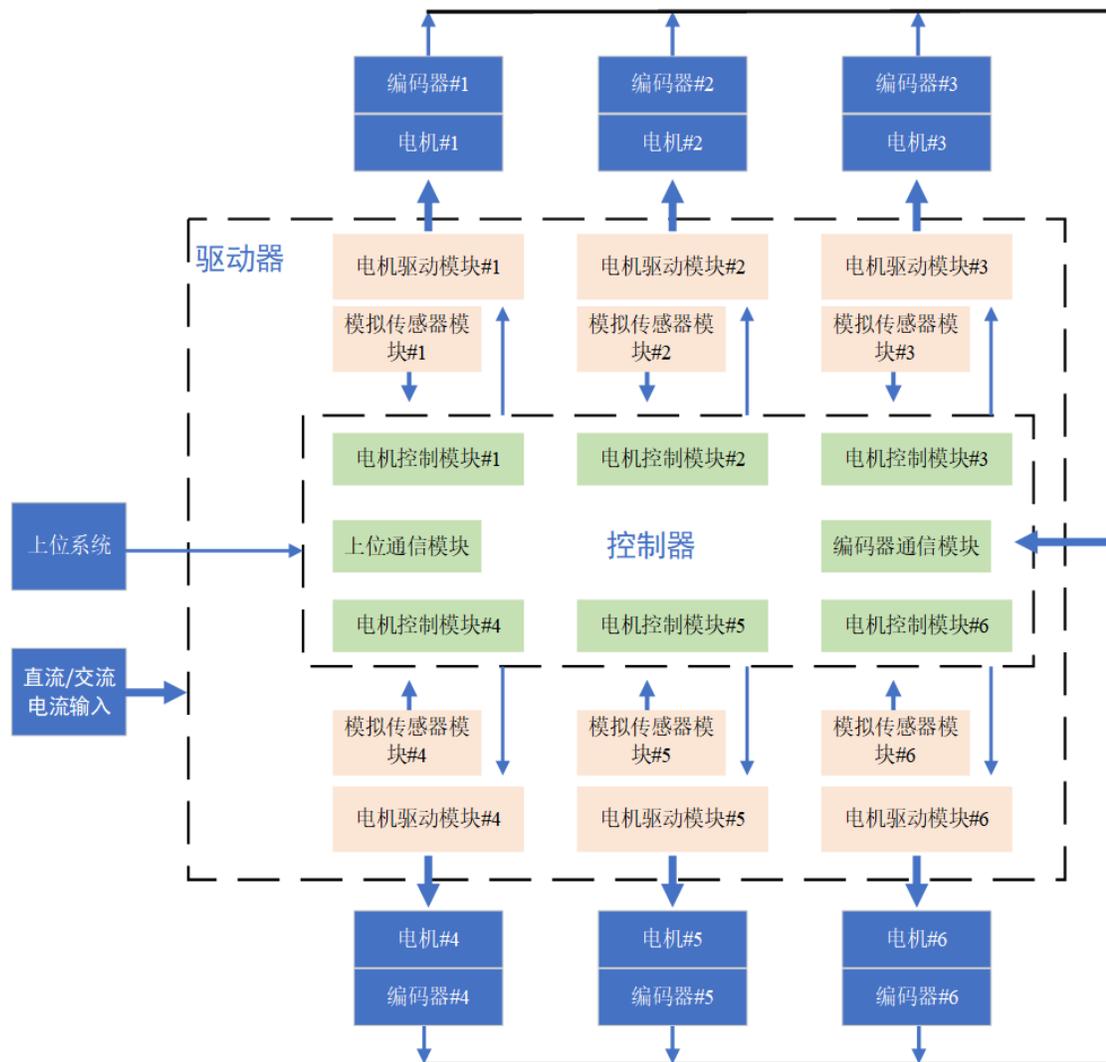
新一代驱控一体化控制器集成运动控制器、机器人控制系统和六轴伺服驱动器于一体，体积小、功率密度高、集成度高。适用于弧焊、搬运、上下料等10KG以下六自由度机器人应用场合，并且已经完成可靠性运行测试。



产品介绍—新型驱控一体化控制系统

采用多自由度和非线性控制算法，实现高动态响应、高精度的电流/速度/位置控制
 采用机器人动力学模型的自适应位置/力控制算法，实现分布式多机器人协同控制
 运动控制计算与伺服驱动环路计算完全同步

支持16路DI, 16路DO以及4路AI和4路AO
 支持二次开发，具备USB,HDMI，Ethernet等外设接口。



近期科研方向与成果-机器人驱控系统

- 机器人运动控制
- 多轴伺服驱动
- 基于物联网的控制系统
- 直线电机伺服

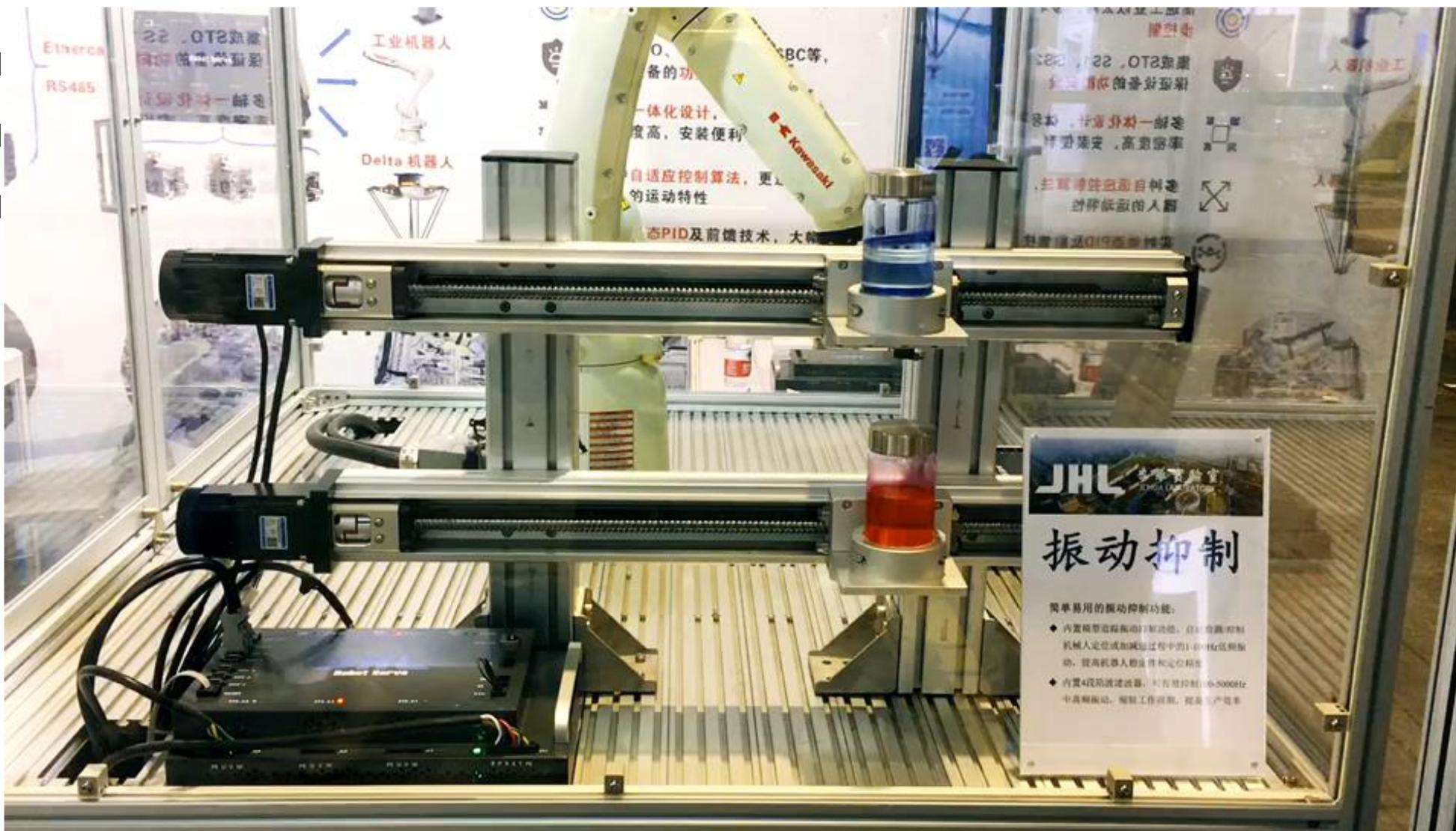




近期科研方向与成果

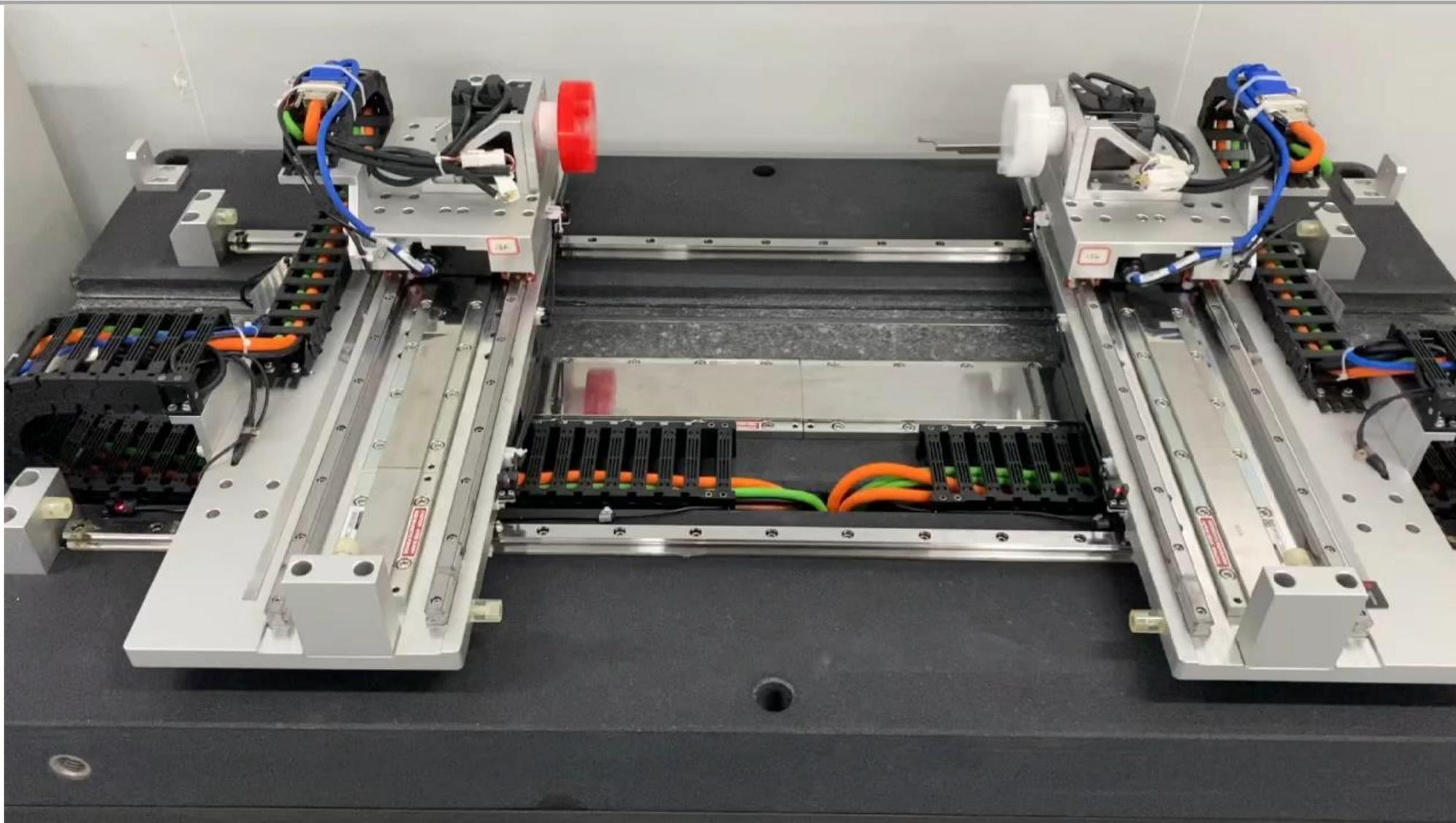


近期科研方向与成果-谐振抑制技术





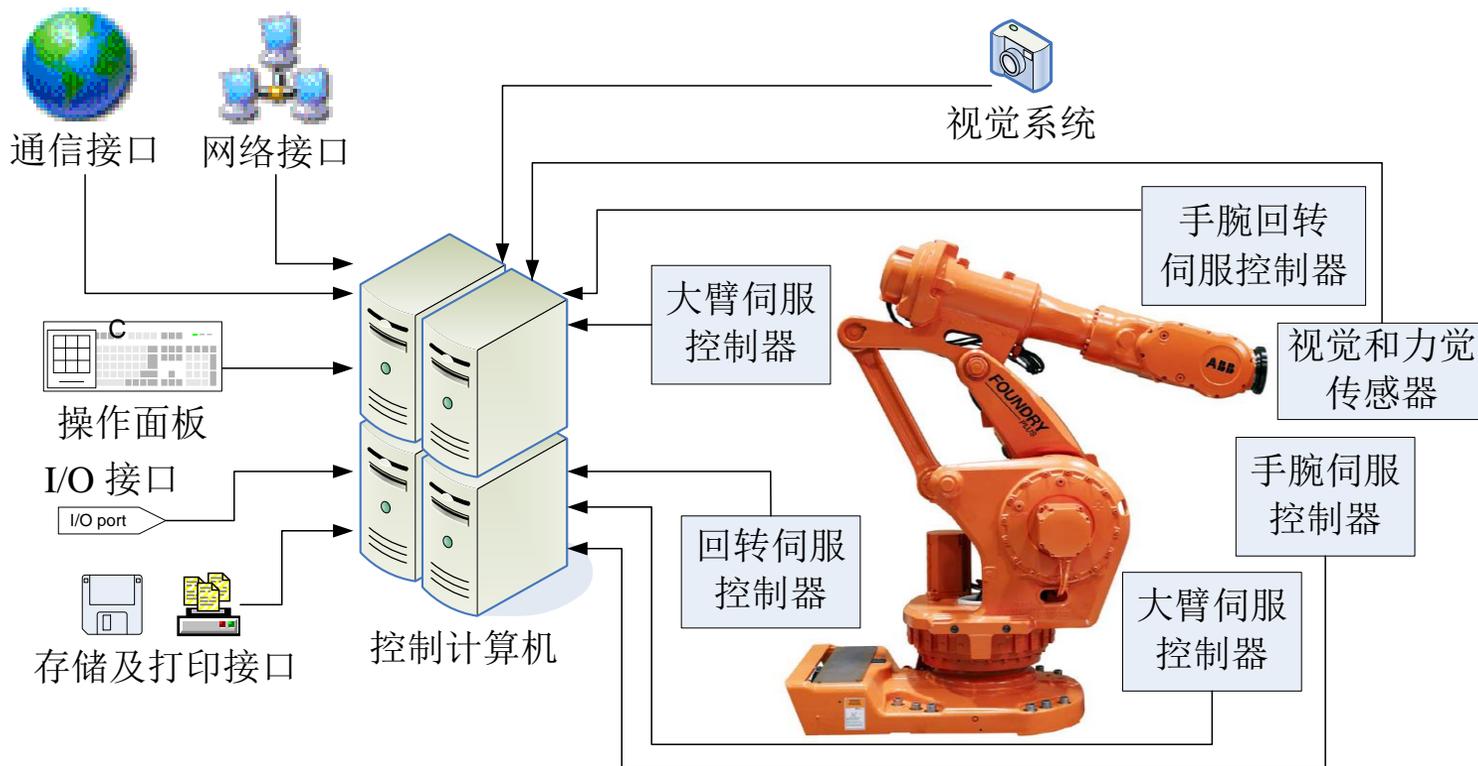
近期科研方向与成果-直线电机多轴同步控制



高性能伺服系统核心技术

■ 高性能工业机器人伺服驱动的技术要求

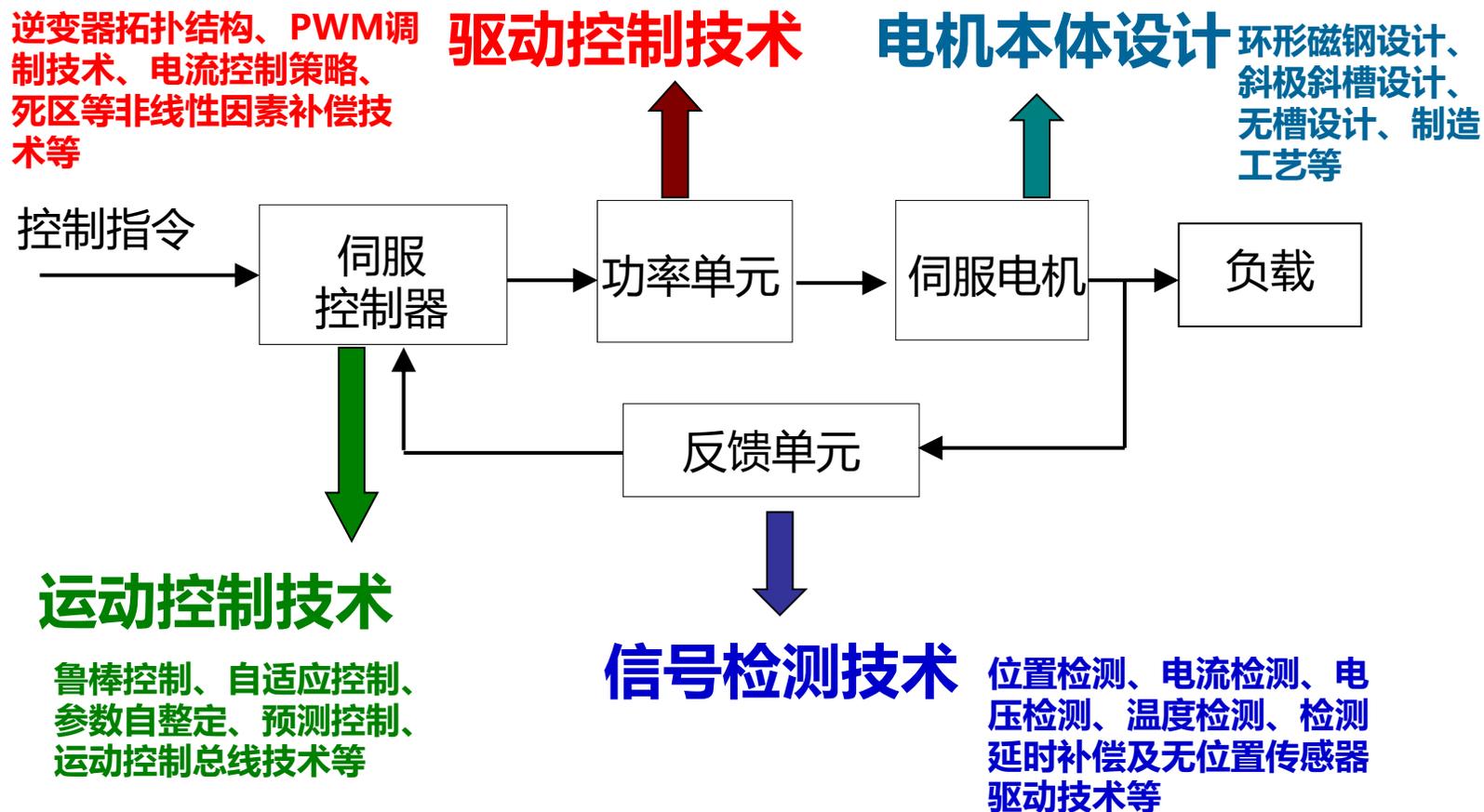
伺服系统作为工业机器人三大核心功能部件之一



- 兼容性强
- 故障诊断安全保护功能
- 高速、高精度响应
- 多方式增强稳定性
 - 速度自适应
 - 位置速度前馈
 - 实时计算惯量

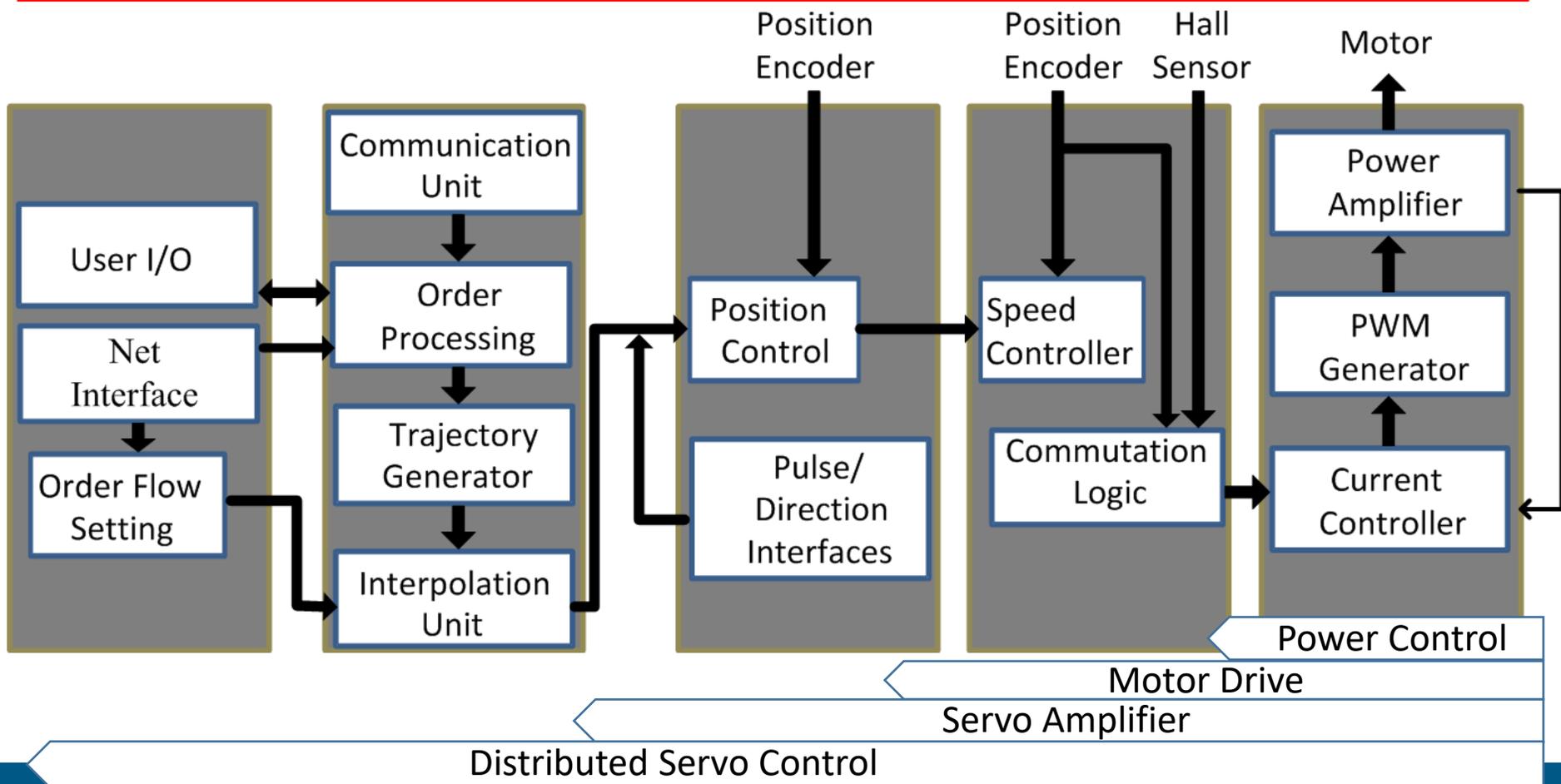
高性能伺服系统核心技术

- 根据国标GB/T 16439-2009 《交流伺服系统通用技术条件》定义，“交流伺服系统”是由交流伺服驱动器、交流伺服电动机和传感三个部分组成。



高性能伺服系统核心技术

- 伺服系统由内到外，按照控制方式可以分为转矩控制系统、速度控制系统、位置控制系统(单机系统中往往简称为三环控制系统)以及基于总线技术的集散化、分布式伺服控制系统





高性能伺服系统核心技术

■ 基本性能指标 (以1马力 (750W) 通用伺服系统为例) :

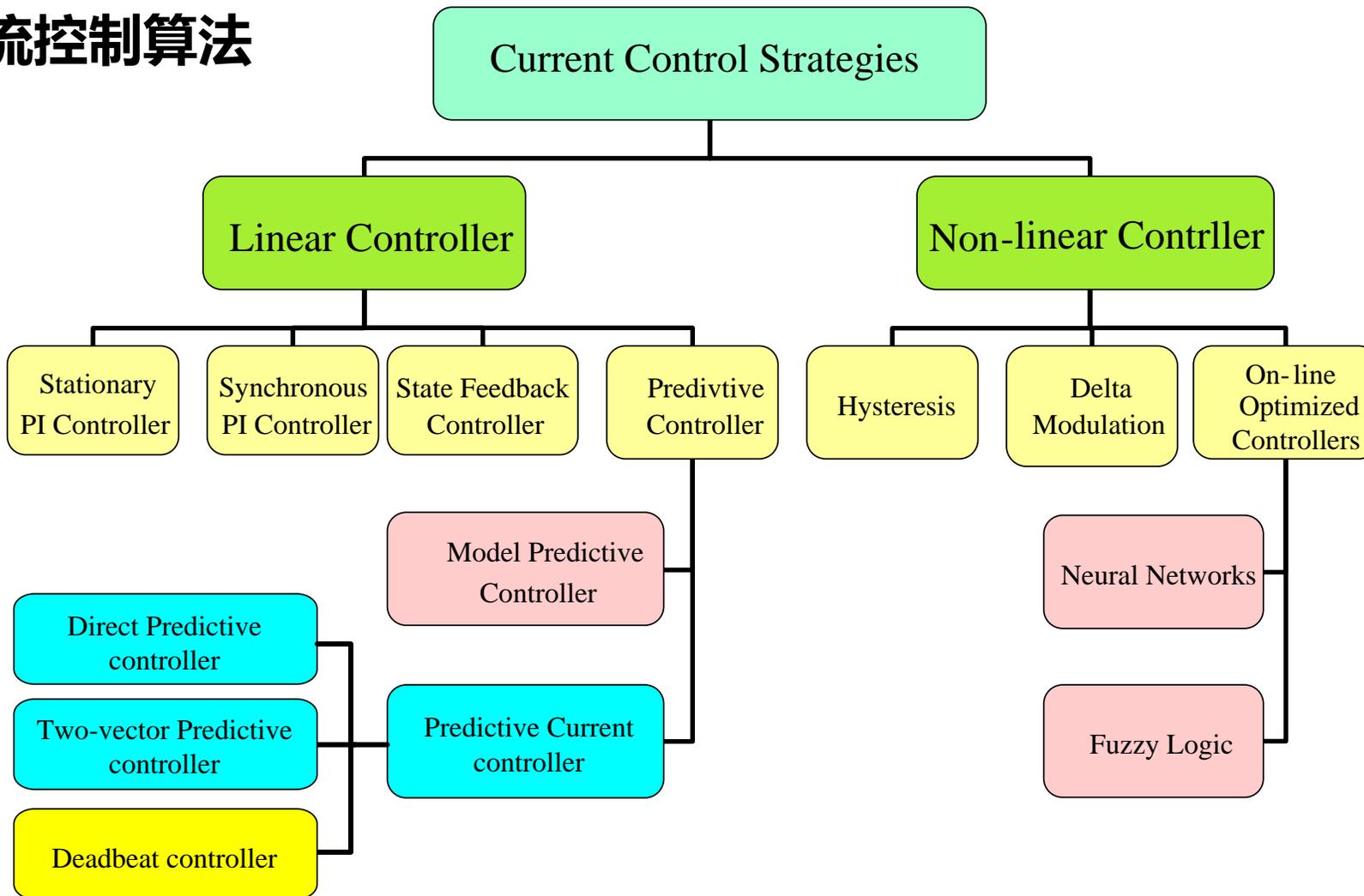
- 最高转速: 6000rpm (额定转速2倍)
- 最大扭矩: 3.5倍额定转矩
- 码盘分辨率: 24Bit
- 定位精度: 1.2纳米 (导程20mm滚珠丝杠)
- 相应速度: 速度环3.1kHz

■ 主流伺服厂商:

- 日系: 安川、三菱、松下、富士、三洋等
- 欧系: 西门子、博世力士乐、伦茨、elmo、高创等
- 国产: 汇川、禾川、埃斯顿、广数、和利时等

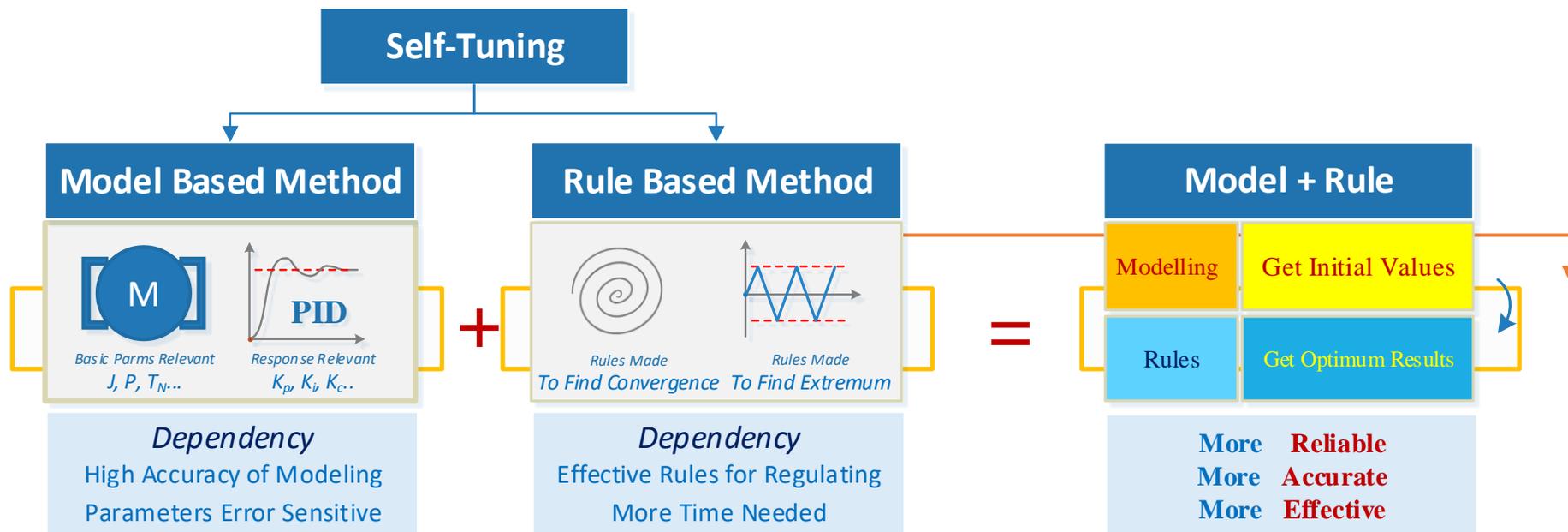
高性能伺服系统核心技术

■ 1. 电流控制算法



高性能伺服系统核心技术

■ 2. 参数自整定算法



Combination of **Model Based** and **Rule Based** Method = A better choice

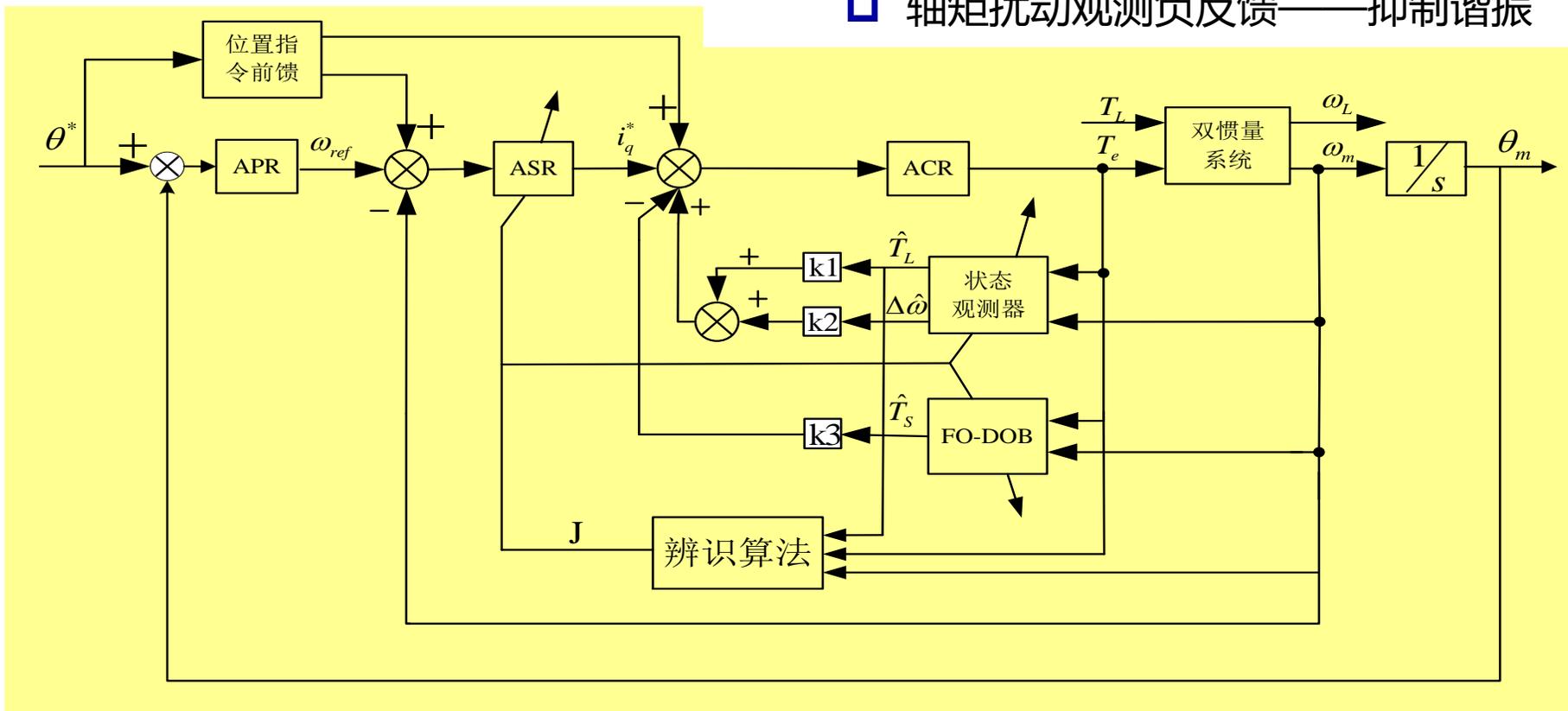
参数自整定性能是衡量高档伺服系统水平的最显著标志

高性能伺服系统核心技术

■ 2. 参数自整定 (免调试) 算法

同时解决惯量变化的刚度设置与振动抑制问题，进一步提高伺服系统的智能性

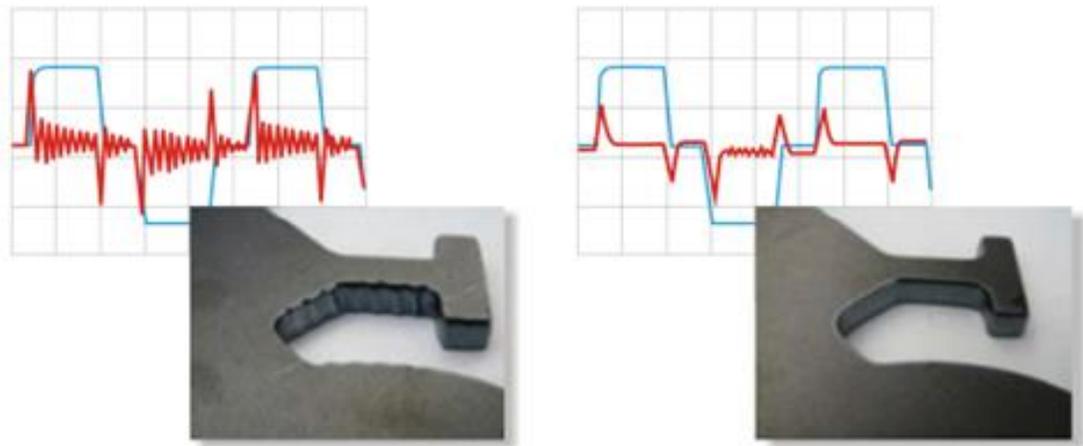
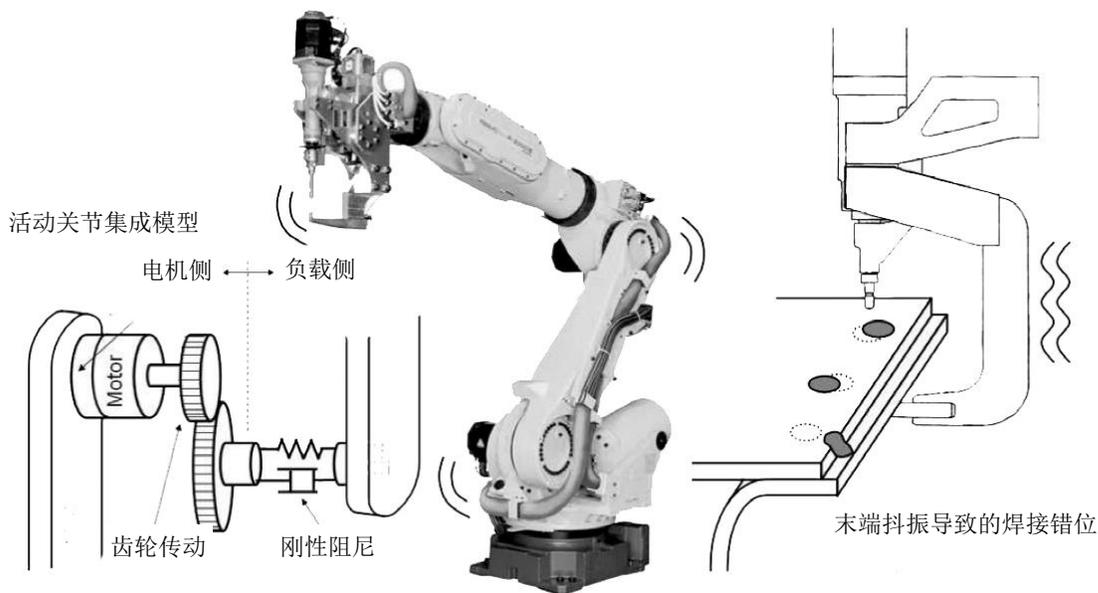
- 在线惯量辨识——自动匹配适当控制刚度
- 位置指令前馈——提高随动性
- 负载转矩观测前馈作用——提高抗扰性
- 轴矩扰动观测负反馈——抑制谐振



高性能伺服系统核心技术

■ 3. 振动抑制算法

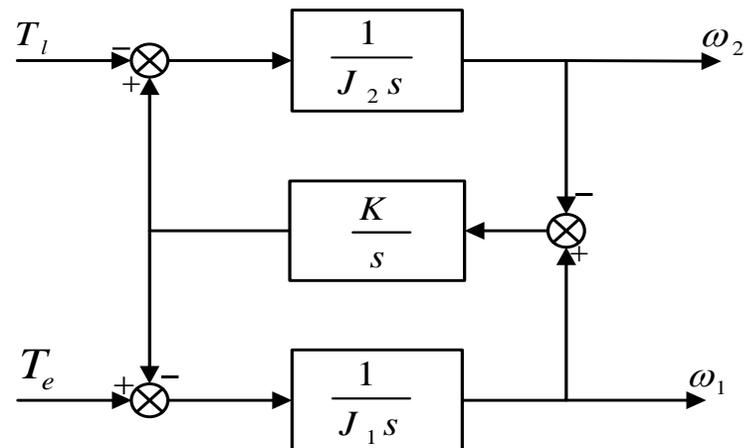
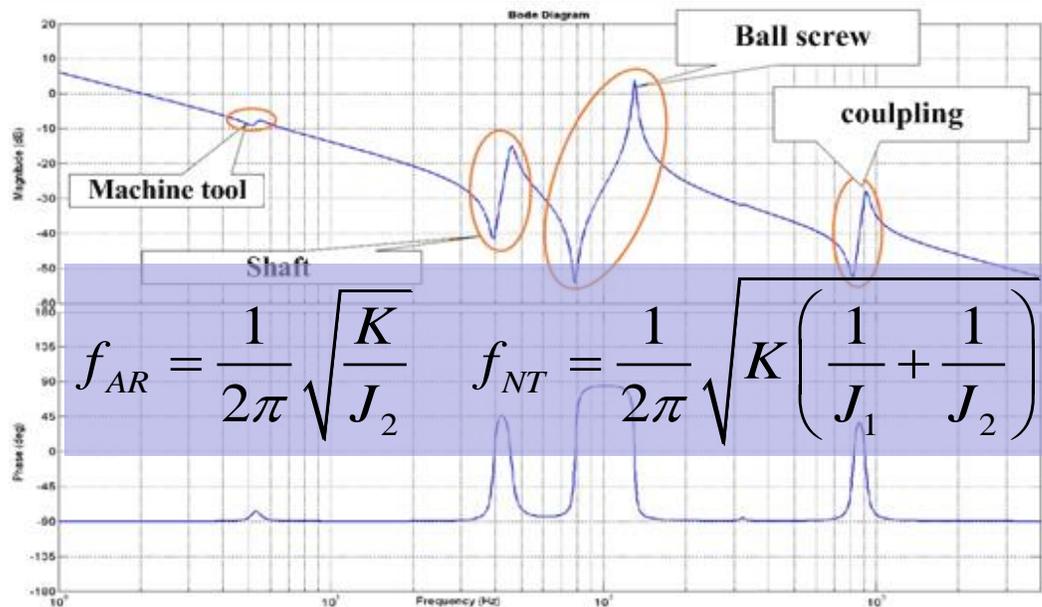
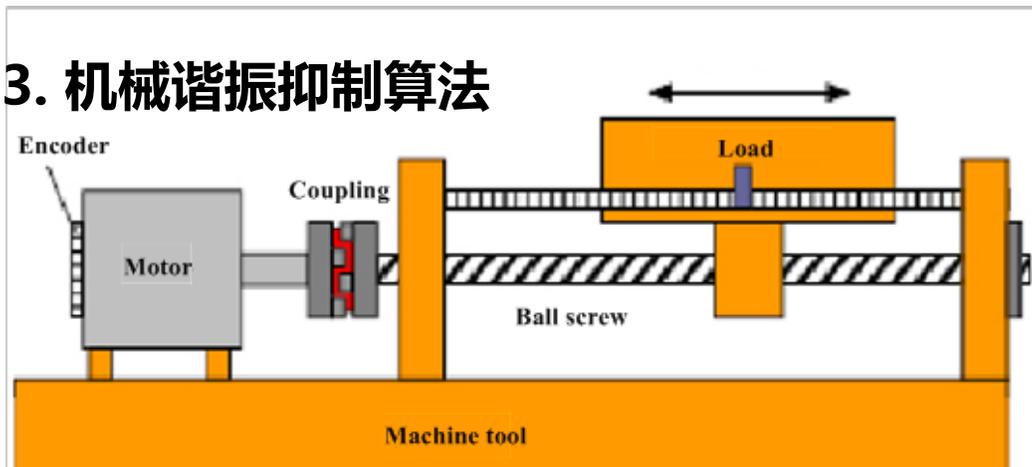
- 具备**谐振抑制**和**定位末端抖动抑制**等高级功能
- 振动问题极大地制约了机器人加工的效率，振动抑制能力是高性能机器人的重要标志



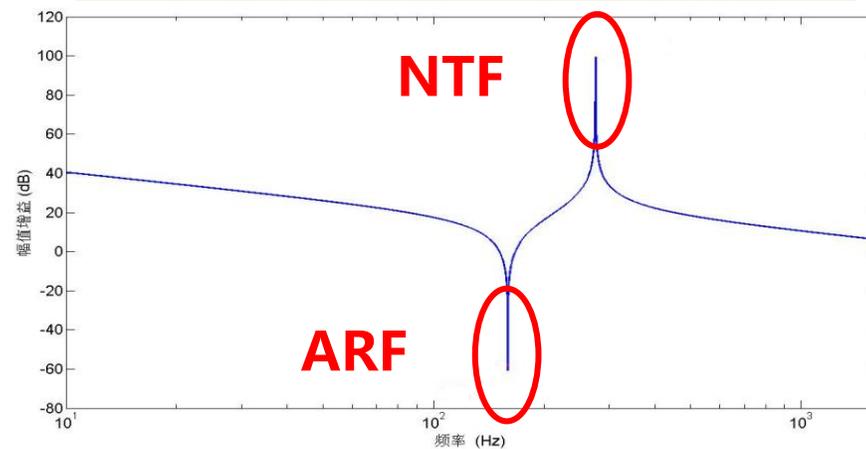
“准停” “稳停”

高性能伺服系统核心技术

3. 机械谐振抑制算法

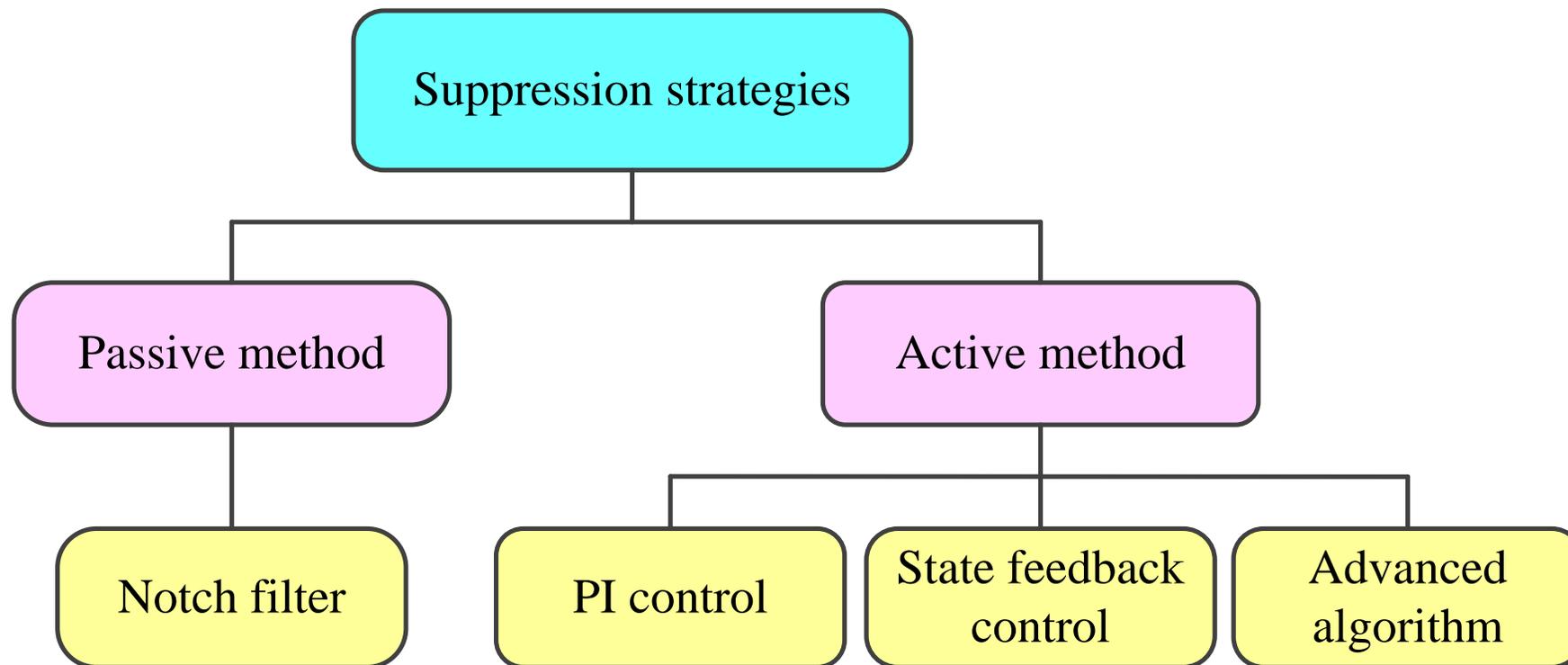


$$G_1(s) = \frac{\omega_1}{T_e} = \frac{J_2 s^2 + K}{J_1 J_2 s^3 + (J_1 + J_2) K s}$$



高性能伺服系统核心技术

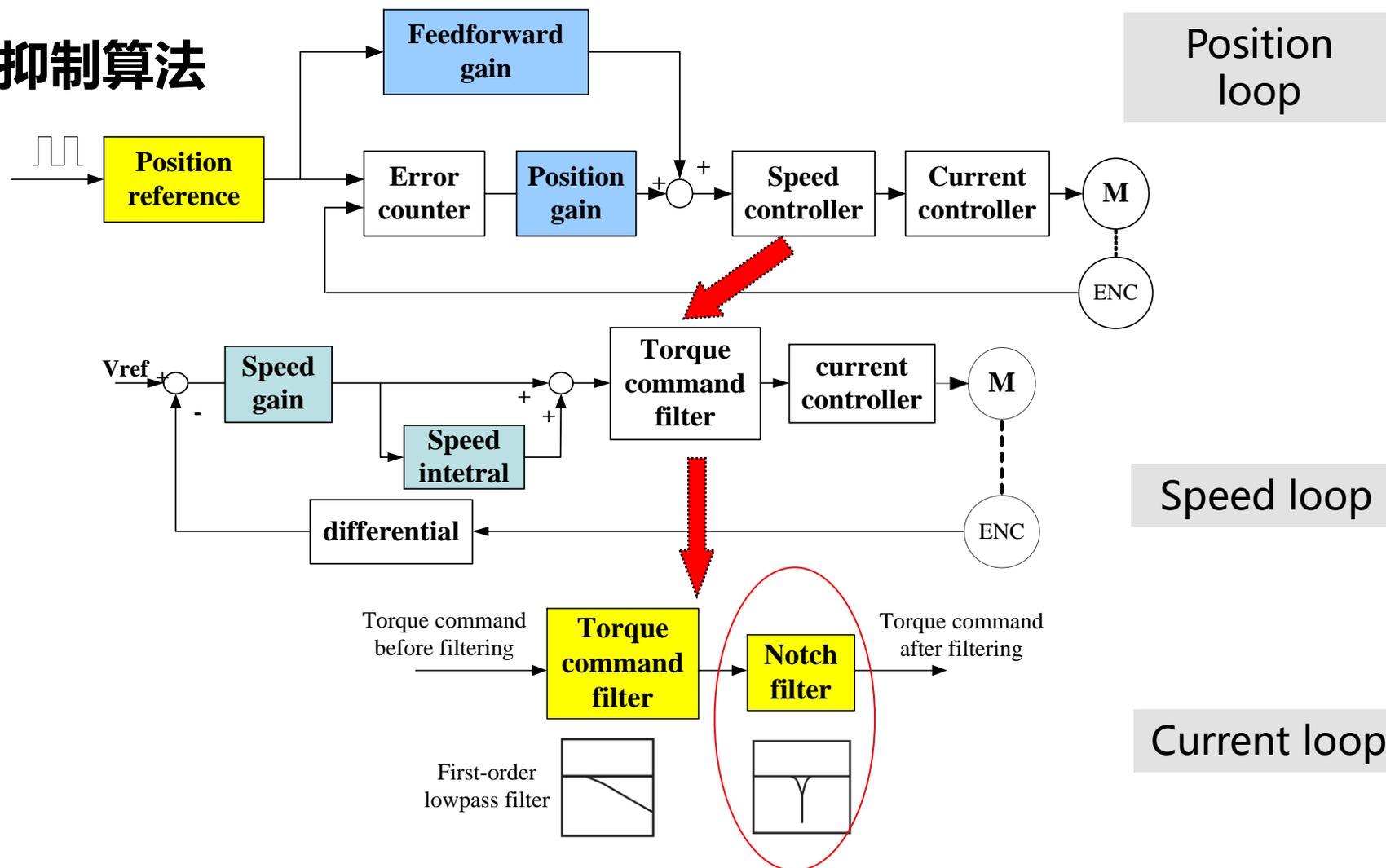
■ 3. 机械谐振抑制算法



高性能伺服系统核心技术

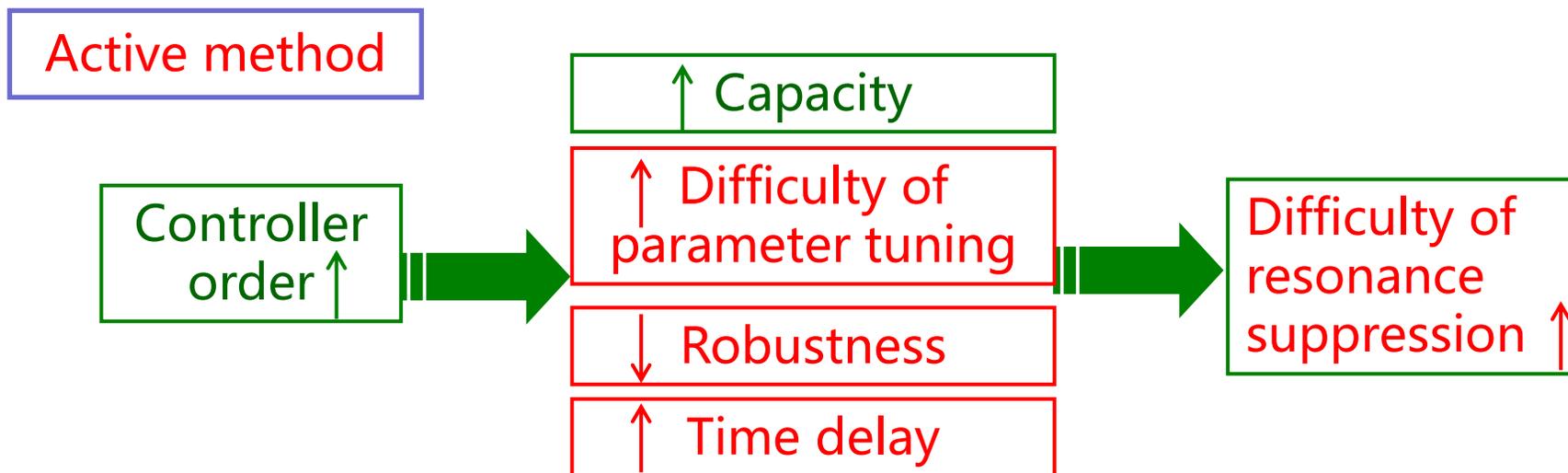
■ 3. 机械谐振抑制算法

■ Passive method:
 insert notch filter
 after speed loop
 output, without
 changing the
 control design

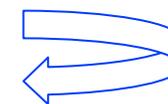


高性能伺服系統核心技術

■ 3. 機械諧振抑制算法



To solve the practical application for high-order controller will be a challenge!





谢谢
哈尔滨工业大学(深圳)
HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY, SHENZHEN



谢谢!