

交流伺服与变频器

应用技术

(三菱篇)

龚仲华 编著



交流伺服与变频器应用技术

(三菱篇)

龚仲华 编著



机械工业出版社

本书根据交流伺服驱动和变频调速系统工程设计、使用维修的实际需要,在介绍交流电机控制系统基本理论和原理的基础上,对三菱公司MR-J3 伺服驱动器和FR-A740 变频器的产品规格、电路设计、功能参数、操作调试、监控维修等内容进行了全面系统、深入细致的介绍。

全书广泛吸收了国外的先进设计思想和标准,选材典型先进、内容全面系统,理论联系实际,面向工程应用,是从事机电产品设计、使用维修的工程技术人员和高等学校师生的优秀参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

交流伺服与变频器应用技术. 三菱篇/龚仲华编著. —北京:机械工业出版社, 2012. 11

ISBN 978-7-111-40009-7

I. ①交… II. ①龚… III. ①交流伺服系统②变频器 IV. ①TM921.54
②TN773

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 239419 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:徐明煜 责任编辑:徐明煜 吕 潇

版式设计:霍永明 责任校对:刘志文

封面设计:陈 沛 责任印制:乔 宇

北京机工印刷厂印刷 (三河市南杨庄国丰装订厂装订)

2013 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 21 75 印张 · 540 千字

0 001—3 000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-40009-7

定价:58.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066 教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010) 68326294 机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010) 88379649 机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010) 88379203 封面无防伪标均为盗版

前 言

交流伺服驱动和变频器是 20 世纪 70 年代初随电力电子技术、PWM 控制技术的发展而产生的两种交流电机调速装置，由于其通用性强、可靠性好、使用方便，目前已在工业自动化控制的各领域得到了极为广泛的应用。随着科学技术的进步，当代交流伺服驱动和变频器的性能日益提高、功能日臻完善，如何正确使用交流伺服驱动和变频器，充分利用它们的功能来解决各类工程实际问题，这是从事机电一体化产品设计和应用、维修技术人员所必须掌握的知识。

日本三菱公司（MITSUBISHI ELECTRIC）是最早研发交流伺服和变频器的公司之一，其产品技术性能居世界领先水平，该公司的 MR-J3 系列交流伺服驱动器和 FR-A700 系列变频器在国内市场的应用十分广泛。本书从工程技术人员的设计、使用、调试、维修要求出发，简要阐述了交流电机控制系统的基本原理与理论，全面介绍了 MR-J3 交流伺服驱动器和 FR-A740 变频器应用技术。

全书共分 10 章，内容包括交流调速基础、MR-J3 交流伺服驱动器应用技术、FR-A740 变频器应用技术三部分。

第 1~2 章介绍了交流电机控制系统的基本类型及性能比较、交流电机控制的基本理论和运行原理、交流逆变技术等基础知识。

第 3~6 章对三菱 MR-J3 系列交流伺服驱动器的电路设计、操作调试、功能参数、监控维修等知识进行了系统、深入的介绍。

第 7~10 章对三菱 FR-A740 系列变频器的电路设计、操作调试、功能参数、监控维修等知识进行了系统、深入的介绍。

本书编写以新产品、新技术的应用为目的，三菱公司的使用手册无疑是产品使用的技术指南，但由于语言习惯、翻译等方面的原因，在实际使用时手册可能存在一定的问题，从这一意义上说，本书也是对以上技术资料的系统梳理和重新编排，因此，编写过程不可避免地存在较多引用三菱手册的内容，编写也得到了三菱公司技术人员的大力支持与帮助，在此表示衷心的感谢。

由于全书所涉及的参考资料众多，编写工作量较大，书中的缺点错误在所难免，殷切期望得到广大读者与同行专家的帮助指正。

编著者
2012 年 9 月

目 录

前言

第1章 绪论

1.1 交流电机控制系统概述	1
1.1.1 交流传动与交流伺服	1
1.1.2 发展概况	2
1.2 变频器与伺服驱动器	3
1.2.1 变频器	4
1.2.2 伺服驱动器	4
1.3 交流调速系统性能与比较	6
1.3.1 调速指标	6
1.3.2 性能比较	7
1.3.3 环境影响	10
1.4 典型产品简介	12
1.4.1 伺服驱动器	12
1.4.2 变频器	13

第2章 交流调速基础

2.1 电机控制的基本理论	15
2.1.1 电磁感应与电磁力定律	15
2.1.2 电机运行的力学基础	16
2.1.3 恒转矩和恒功率调速	18
2.2 伺服驱动原理	20
2.2.1 伺服电机运行原理	20
2.2.2 伺服电机输出特性	21
2.2.3 伺服驱动系统	22
2.3 变频调速原理	23
2.3.1 感应电机运行原理	23
2.3.2 感应电机的机械特性	25
2.3.3 变频调速系统	26
2.4 交流逆变技术	28
2.4.1 电力电子器件	28
2.4.2 PWM 逆变原理	33
2.4.3 双PWM 逆变与12脉冲整流	34
2.4.4 三电平逆变与矩阵控制变频	36

第3章 伺服驱动电路设计

3.1 性能与规格	38
3.1.1 三菱伺服简介	38

3.1.2	驱动器	39
3.1.3	伺服电机	41
3.2	硬件与连接	43
3.2.1	硬件组成	43
3.2.2	驱动器连接	45
3.2.3	伺服电机连接	48
3.3	主回路设计	51
3.3.1	电路设计与连接	51
3.3.2	元器件选择	54
3.3.3	电路设计实例	55
3.4	控制回路设计	56
3.4.1	DI 电路设计	56
3.4.2	DO 电路设计	58
3.4.3	给定与反馈电路设计	60
第 4 章	伺服驱动操作与调试	62
4.1	驱动器基本操作	62
4.1.1	操作单元说明	62
4.1.2	参数的显示与设定	65
4.1.3	驱动器测试	66
4.2	位置控制快速调试	69
4.2.1	功能与操作	69
4.2.2	参数设定	71
4.3	速度控制快速调试	75
4.3.1	功能与操作	75
4.3.2	参数与调整	76
4.4	驱动器调整	78
4.4.1	调整模式与功能	78
4.4.2	在线自动调整	80
4.4.3	手动调整	83
4.4.4	自适应调整	86
第 5 章	伺服驱动功能与参数	89
5.1	驱动器参数总表	89
5.2	DI/DO 信号功能定义	94
5.2.1	DI 功能定义	94
5.2.2	DO 功能定义	97
5.3	控制方式选择与切换	99
5.3.1	驱动器结构	99
5.3.2	控制方式选择与切换	102
5.4	常用功能与参数	104
5.4.1	加减速与停止	104
5.4.2	制动器控制	107

5.5 动态性能调整	109
5.5.1 位置调节参数	109
5.5.2 速度调节参数	111
5.5.3 转矩调节参数	112
5.5.4 转矩和速度限制	113
5.5.5 增益切换控制	115
5.6 通信与网络控制	116
5.6.1 接口与协议	116
5.6.2 通信命令格式	118
5.6.3 数据读出	121
5.6.4 数据写入和运行控制	125
5.6.5 数据通信实例	128
5.7 绝对位置传送与零点设定	133
5.7.1 绝对位置及传送	133
5.7.2 DI/DO 传送	134
5.7.3 绝对零点设定	138
第6章 驱动器监控与维修	141
6.1 状态监控与诊断	141
6.1.1 状态显示	141
6.1.2 诊断显示	143
6.1.3 模拟量输出监视	144
6.2 驱动器报警及处理	145
6.2.1 驱动器报警	145
6.2.2 驱动器警示	149
6.3 运行故障及处理	150
第7章 变频器电路设计	153
7.1 性能与规格	153
7.1.1 三菱变频器简介	153
7.1.2 产品规格	155
7.2 硬件与连接	157
7.2.1 硬件组成	157
7.2.2 选件规格	159
7.2.3 系统连接	160
7.3 主回路设计	163
7.3.1 基本要求	163
7.3.2 电路设计	165
7.4 DI/DO 回路设计	167
7.4.1 DI 回路设计	167
7.4.2 DO 回路设计	173
7.5 其他控制回路设计	176
7.5.1 AI/AO 回路设计	176

7.5.2 脉冲输入回路设计	179
7.5.3 闭环系统连接	180
7.6 工程设计范例	181
第8章 变频器基本操作与控制	187
8.1 FR-A740 基本操作	187
8.1.1 操作单元说明	187
8.1.2 参数设定	188
8.2 变频器运行控制	192
8.2.1 操作模式	192
8.2.2 运行方式	194
8.2.3 控制要求和参数	195
8.3 频率给定与调整	197
8.3.1 输出范围选择	197
8.3.2 AI 增益和偏移调整	198
8.3.3 其他频率给定方式	200
8.3.4 频率给定的调整	204
8.4 基本控制参数	207
8.4.1 电机参数与自动调整	207
8.4.2 负载类型及选择	211
8.4.3 变频控制参数	213
8.4.4 失速保护功能	215
8.5 加减速与制动控制	218
8.5.1 加减速控制	218
8.5.2 制动控制	221
8.6 DI/DO 功能定义	224
8.6.1 DI 功能定义	224
8.6.2 DO 功能定义	226
第9章 变频器功能与应用	230
9.1 升降负载控制	230
9.1.1 机械制动功能	230
9.1.2 升降负载自动变速	232
9.1.3 挡块减速定位	234
9.2 重新启动和工频切换	236
9.2.1 断电与报警的重启	236
9.2.2 工频切换	238
9.3 PID 调节	242
9.3.1 结构与连接	242
9.3.2 参数与功能	244
9.4 速度控制与优化	246
9.4.1 增益自动调整	246
9.4.2 调节器优化	248

9.5 转矩控制与限制	251
9.5.1 方式选择与 AI 定义	251
9.5.2 转矩控制	253
9.5.3 转矩限制	257
9.5.4 转矩偏置	259
9.6 位置控制	263
9.6.1 原理与参数	263
9.6.2 增量定位	266
9.6.3 连续定位	267
9.6.4 定向停止	269
9.7 通信与网络控制	273
9.7.1 接口与参数	273
9.7.2 通信控制和要求	276
9.7.3 通信命令格式	278
9.7.4 通信实例	281
9.7.5 网络控制	282
第 10 章 变频器监控与维修	286
10.1 变频器监控	286
10.1.1 PU 状态显示	286
10.1.2 AO 状态输出	290
10.1.3 节能监视	291
10.1.4 器件寿命监控	294
10.2 变频器保护和定期维护	295
10.2.1 参数保护	295
10.2.2 运行保护	298
10.2.3 定期维护	299
10.3 报警显示与处理	302
10.3.1 报警显示与清除	302
10.3.2 报警与处理	303
10.3.3 变频器故障诊断	308
附录	311
附录 A 三菱 MR-J3 伺服电机技术参数	311
附录 B 三菱 FR-A740 变频器参数总表	325
参考文献	340

第 1 章 绪 论

1.1 交流电机控制系统概述

1.1.1 交流传动与交流伺服

交流电机控制系统是以交流电动机为执行元件的位置、速度或转矩控制系统的总称。按照传统的习惯，将用于电机转速（速度）控制的系统称为传动系统；而能实现机械位移控制的系统称为伺服系统。

交流传动系统通常用于机械、矿山、冶金、纺织、化工、交通等行业，其使用最为普遍，交流传动系统的控制对象通常为感应电机[○]，变频器是当前最为常用的控制装置。交流伺服系统主要用于数控机床、机器人、航天航空等需要大范围调速与高精度位置控制的场合，其控制装置为交流伺服驱动器，系统的控制对象为专门生产的交流伺服电机。由于交流伺服系统在控制机械位移时同样需要控制运动速度，因此，调速是交流传动与交流伺服系统的共同要求。

交流电机的调速方法有很多种，常用的有图 1.1-1 所示的变极调速、调压调速、串级调速、变频调速等。

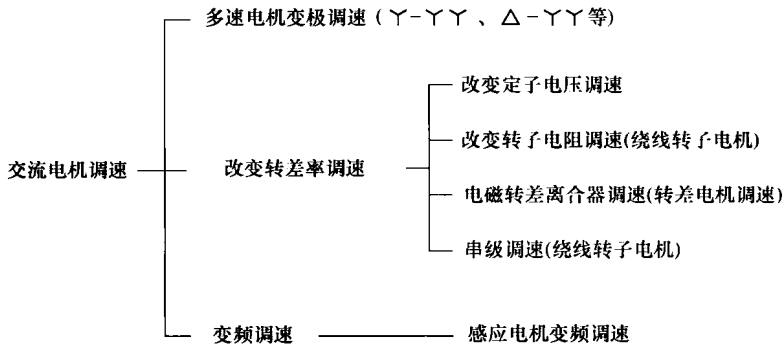


图 1.1-1 交流电机调速的分类

变极调速通过转换感应电机的定子绕组的接线方式（Y-Y、 Δ -Y），变换了电机的磁极数，改变的是电机的同步转速，它只能进行有限级（一般为 2 级）变速，故只能用于简单变速或辅助变速，且需要使用专门的变极电机。

变转差调速系统需要配套定子调压、转子变阻、转差调节、串级调速等控制装置，这些装置均为大功率部件，其体积大、效率低、成本高，且调速范围、调速精度、经济性等指标

[○] 为了从原理上区分各类交流电机，异步电机一词国外已被感应电机取代，本书采用国际通用名词。

均较低。目前，随着变频器、交流伺服驱动器的应用与普及，变频调速已经成为交流电机调速的技术发展趋势。

交流伺服系统的控制对象是中小功率的交流永磁同步电机（伺服电机），系统可实现位置、转速、转矩的综合控制，其速度调节同样需要采用变频调速技术。与感应电机调速相比，交流伺服电机的调速范围更大、调速精度更高、动态特性更好。但是，由于永磁同步电机的磁场无法改变，因此，原则上只能用于机床的进给驱动、起重机等恒转矩调速的场合，而很少用于诸如机床主轴等恒功率调速的场合。

交流伺服系统具有与直流伺服系统相媲美的优异性能，而且其可靠性更高、高速性能更好、维修成本更低，产品已在数控机床、工业机器人等高速、高精度控制领域全面取代传统的直流伺服系统。

1.1.2 发展概况

与直流电机^①相比，交流电机具有转速高、功率大、结构简单、运行可靠、体积小、价格低等一系列优点，但从控制的角度看，交流电机是一个多变量、非线性对象，其控制远比直流电机复杂，因此，在一个很长的时期内，直流电机控制系统始终在电气传动、伺服控制领域占据主导地位。

对交流电机控制系统来说，无论速度控制还是位置或转矩控制，都需要调节电机转速，因此变频是所有交流电机控制系统的基础，而电力电子器件、晶体管脉宽调制（Pulse Width Modulated, PWM）技术、矢量控制理论则是实现变频调速的共性关键技术。

利用 PWM 技术实现变频调速所需要的交流逆变（以下简称 PWM 变频），是目前公认的最佳控制方案。20 世纪 70 年代初，随着微电子技术的迅猛发展与第二代“全控型”电力电子器件的实用化，使得高频、低耗的晶体管 PWM 变频成为了可能，基于传统电机模型与经典控制理论的方波永磁同步电机（Brush Less DC Motor, BLDCM，也称为无刷直流电机）交流伺服驱动系统与 V/f 控制^②的变频调速系统被迅速实用化，交流伺服与变频器从此进入了工业自动化的各领域。

早期的交流伺服与变频器都是基于传统的电机模型与控制理论、从电机的静态特性出发所进行的控制，它较好地解决了交流电机的平滑调速问题，为交流控制系统的快速发展奠定了基础，同时由于其结构简单、控制容易、生产成本低，至今仍有所应用，但是，BLDCM 伺服采用的是方波供电，由于感性负载（电机绕组）电流不能突变，存在功率管的不对称通断与高速剩余转矩脉动等问题，严重时可能导致机械谐振。V/f 变频的缺点是无法实现电机转矩的控制，特别在电机低速工作时的转矩输出较小，因而不能用于高精度、大范围调速、恒转矩调速。

随着对电机控制理论研究的深入，20 世纪 70 年代德国 F. Blaschke 等人提出了感应电机的磁场定向控制理论、美国 P. C. Custman 和 A. A. Clark 等人申请了感应电机定子电压的坐标变换控制专利，交流电机控制开始采用全新的矢量控制理论，而微电子技术的迅速发展，则

① 电机包括“电动机”与“发电机”两类，本书中的电机专指“电动机”。

② V/f 应为英文电压/频率（Voltage/frequency）首字母的缩写，在国外无一例外地以 V/f 表示，但在国内常被表示为 U/f 控制，本书所采用的是国际通用表示法。

为矢量控制理论的实现提供了可能。20世纪80年代初,采用矢量控制的正弦波永磁同步电机(Permanent-Magnet Synchronous Motor, PMSM)伺服驱动系统与矢量控制的变频器产品相继在SIEMENS(德国)、YASKAWA(日本)、ROCKWELL(美国)等公司研制成功,并被迅速推广与普及。

经过30多年的发展,交流电机的控制理论与技术已经日臻成熟,各种高精度、高性能的交流电机控制系统不断涌现,特别是交流伺服驱动系统已经在数控机床、机器人上全面取代直流伺服驱动系统。

“变流”与“控制”是交流调速的两大共性关键技术,前者主要涉及电力电子器件应用与电路拓扑结构问题;后者是电机控制理论研究与控制技术实用化问题。以变频器为例,其技术的应用与发展过程如图1.1-2所示。

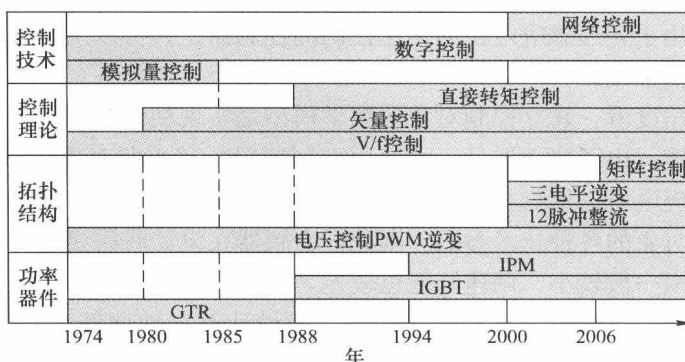


图 1.1-2 变频器的应用与发展简图

在控制理论方面,当代变频器已从最初的V/f控制发展到了今天的矢量控制、直接转矩控制;在控制技术上,则从模拟量控制发展到了全数字控制与网络控制。交流电机的速度控制范围与精度得到大幅度提高,转矩控制与位置控制功能进一步完善,并开始大范围替代直流电机控制系统。

在电力电子器件的应用上,交流伺服与变频器主要经历了第二代“全控型”器件(主要为GTR[⊖])、第三代“复合型”器件(主要为IGBT[⊖])与第四代功率集成电路(主要为IPM[⊖])三个阶段,IGBT与IPM为当代交流伺服与变频器的主流器件。在电路拓扑结构(主电路的结构形式)上,中小容量的交流伺服与变频器目前仍以“交-直-交”PWM控制型逆变为主;但12脉冲整流、双PWM变频、三电平逆变等技术已在大容量变频器上应用;新一代“交-交”逆变、矩阵控制的变频器(Matrix Converter)已经被实用化。

1.2 变频器与伺服驱动器

在以交流电机作为控制对象的速度控制系统中,尽管有多种多样的控制方式,但通过改

⊖ GTR, 即 Giant Transistor, 大功率晶体管。

⊖ IGBT, 即 Insulated Gate Bipolar Transistor, 绝缘栅双极型晶体管。

⊖ IPM, 即 Intelligent Power Module, 智能功率模块。

变频频率来改变电机转速，仍是目前绝大多数交流电机控制系统的最佳选择，从这一意义上说，当前所使用的交流调速装置都可以称为变频器。但是，由于交流伺服的主要目的是实现位置控制，速度、转矩控制只是控制系统中的一部分，因此，习惯上将其控制器称为伺服驱动器；而变频器则多指用于感应电机变频调速的控制器。

1.2.1 变频器

变频器的控制对象是感应电机，它可分为通用型与专用型两类。通用型变频器就是人们平时常说的变频器，只要容量允许，它对感应电机的生产厂家、电气参数原则上无要求。专用变频器则用于对调速性能有较高要求的控制系统，数控机床的主轴控制即属于此类情况，这样的变频器需要配套专门的主轴电机，称为交流主轴驱动器。

1. 通用变频器

通用变频器是用于普通感应电机的调速控制的控制器，它可以用于不同生产厂家、不同电气参数的感应电机控制。

从系统控制的角度看，建立控制对象的数学模型是实现精确控制的前提条件，它直接决定了系统的控制性能。由于变频器是一种通用控制装置，其控制对象为来自不同厂家生产、不同电气参数的感应电机，依靠目前的技术水平，还不能做到一个通过控制器本身来精确测试、识别任意控制对象的各种技术参数。因此，变频器在设计时需要进行大量的简化与近似处理，它的调速范围一般较小，调速性能也较差。

随着技术的发展，先进的矢量控制变频器一般设计有自动调整（自学习）功能，它可通过自动调整操作来自动测试一些必需的、简单的电机参数，可在一定范围内提高模型的准确性，其性能与早期的 V/f 控制变频器相比，已经有了很大的提高。

2. 交流主轴驱动器

交流主轴驱动器是与专用交流主轴电机配套使用的专用变频器，它通常用于金属切削数控机床的主轴等大范围、高精度调速。

实现感应电机的大范围、高精度变频调速控制的前提是建立精确的控制对象数学模型，因此，变频器在设计时必须预知控制对象（电机）的参数，并对此进行专门的控制，它只能通过特定的感应电机和专用变频器才能实现。

交流主轴驱动器的控制对象是驱动器生产厂家专门设计的交流感应电机，这种电机经过严格的测试与试验，其电气参数非常接近。交流主轴驱动器采用的是闭环矢量控制技术，它不但调速性能大大优于通用变频器控制普通感应电机的系统，而且还能够实现较为准确的转矩与位置控制。

交流主轴驱动器的调速性能好、生产成本低，但它一般需要与计算机数控系统（CNC）配套使用，且不同公司产品的性能、使用等方面的差别较大，其专用性较强，本书不再对此进行专门介绍。

1.2.2 伺服驱动器

伺服驱动器是用于交流永磁同步电机（交流伺服电机）位置、速度控制的装置，它需要实现高精度位置控制、大范围的恒转矩调速和转矩的精确控制，其调速要求的比变频器、交流主轴驱动器等以感应电机为对象的交流调速系统更高，因此，它必须使用驱动器生产厂

家专门生产、配套提供的专用伺服电机。

根据使用场合和控制系统要求的不同，伺服驱动器可分为通用型和专用型两类。通用型伺服驱动器是指本身带有闭环位置控制功能，可独立用于闭环位置控制或速度、转矩控制的伺服驱动器；专用型伺服驱动器是指必须与上级位置控制器（如 CNC）配套使用，不能独立用于闭环位置控制或速度、转矩控制的伺服驱动器。

1. 通用伺服驱动器

通用伺服驱动器对上级控制装置无要求。驱动器用于位置控制时，它可直接通过如图 1.2-1 所示的位置指令脉冲信号来控制伺服电机的位置与速度，只要改变指令脉冲的频率与数量，即可改变电机的速度与位置。

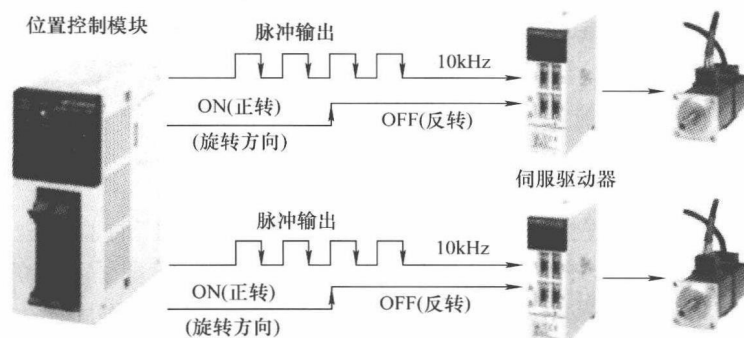


图 1.2-1 通用型伺服

为了增强驱动器的通用型，通用伺服驱动器一般可接收线驱动输出或集电极开路输出的正/反转脉冲信号、“脉冲 + 方向”信号及相位差为 90° 的 A/B 两相差分脉冲等，先进的驱动器还利用 CC - Link、PROFIBUS、Device - NET、CANopen 等通用与开放的现场总线通信，实现网络控制。

通用伺服驱动器进行位置控制时，不需要上级控制器具有闭环位置控制功能，因此，上级控制器可为经济型 CNC 装置或 PLC 的脉冲输出、位置控制模块等，其使用方便、控制容易，对上级控制装置的要求低。但是，这种系统的位置与速度检测信号没有反馈到上级控制器，因此，对上级控制器（如 CNC）来说，其位置控制是开环的，控制器既无法监控系统的实际位置与速度，也不能根据实际位置来协调不同轴间的运动，其轮廓控制（插补）精度较差。从这一意义上说，通用型伺服的作用类似于步进驱动器，只是伺服电机可在任意角度定位、也不会产生“失步”而已。

然而，由于通用伺服也可以用于速度控制，因此，它也可以通过上级控制器进行闭环位置控制，驱动器只承担速度、转矩控制功能，在这种情况下，它就可实现与下述专用伺服同样的功能，系统定位精度、轮廓加工精度将大大高于独立构成位置控制系统的情况。

由于通用伺服需要独立使用，因此，驱动器一般需要有用于驱动器参数设定、状态监控、调试的操作显示单元。

2. 专用伺服驱动器

专用伺服驱动器的位置控制只能通过上级控制器实现，它必须与特定位置控制器（一般为 CNC）配套使用，不能独立用于闭环位置控制或速度、转矩控制。专用伺服多用于数

控机床等需要高精度轮廓控制的场合，FANUC 公司 $\alpha i/\beta i$ 系列交流伺服以及 SIEMENS 公司的 611U 系列交流伺服等都是数控机床常用的典型专用型伺服产品。

为了简化系统结构，当代专用型伺服驱动器与 CNC 之间一般都采用了图 1.2-2 所示的网络控制技术，两者使用专用的现场总线进行连接，如 FANUC 的 FSSB 总线等，目前，这种系统所使用的通信协议还不对外开放，故驱动器必须与 CNC 配套使用。

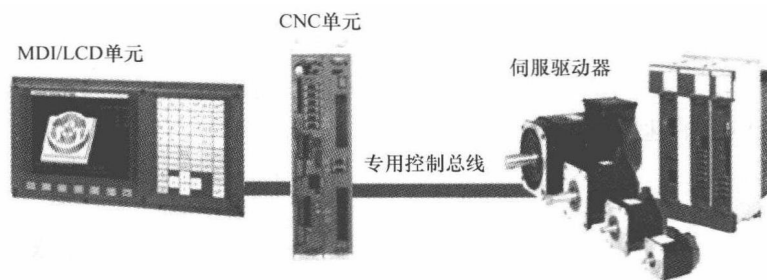


图 1.2-2 专用型伺服

专用伺服驱动系统的位置控制设计在 CNC 上，CNC 不但能实时监控坐标轴的位置，而且还能根据实际位置调整加工轨迹、协调不同坐标轴的运动，实现了真正的闭环位置控制。在大多数情况下，伺服驱动器只起到速度、转矩控制和功率放大的作用，故又称速度控制单元或伺服放大器。

采用专用伺服的 CNC 系统的定位精度、轮廓加工精度大大高于使用通用伺服实现位置控制的经济型 CNC 系统；先进的 CNC 还可通过“插补前加减速”、“AI 先行控制 (Advanced Preview Control)”等前瞻控制功能进一步提高轮廓加工精度。专用伺服驱动器的参数设定、状态监控、调试与优化一般可直接利用 CNC 的操作与显示单元进行，驱动器一般不需要配套数据设定、显示的操作面板。

由于专用型伺服一般由 CNC 生产厂家配套提供，多用于数控机床等需要高精度轮廓控制，它通常不能脱离 CNC 单独使用，本书不再对此进行专门介绍。

1.3 交流调速系统性能与比较

1.3.1 调速指标

变频器与交流伺服是新型的交流电机速度调节装置，传统意义上的调速指标已不能全面反映调速系统的性能，需要从静、动态两方面来重新定义技术指标。

调速系统不但要满足工作机械稳态运行时对转速调节与速度精度的要求，而且还应具有快速、稳定的动态响应特性，因此，除功率因数、效率等常规经济指标外，衡量交流调速系统技术性能的主要指标有调速范围、调速精度与速度响应性能三方面。

1. 调速范围

调速范围是衡量系统速度调节能力的指标。调速范围一般以系统在一定的负载下，实际可达到的最低转速与最高转速之比（如 1:100）或直接以最高转速与最低转速的比值（如

$D = 100$) 来表示。但是,对通用变频器来说,调速范围需要注意以下两点。

1) 变频器参数中的频率控制范围不是调速范围。频率控制范围只是变频器本身所能达到的输出频率范围,但是,在实际系统中还必须考虑电机的因素。一般而言,如果变频器的输出频率小于一定值(如2Hz),电机将无法输出正常运行所需的转矩,因此,变频器调速范围要远远小于频率控制范围。以三菱公司最先进的FR-A740系列变频器为例,其频率控制范围可达0.01~400Hz(1:40000),但有效调速范围实际只有1:200。

2) 变频器的调速范围不能增加传统的额定负载条件。因为,如果变频器采用V/f控制,实际只能在额定频率的点上才能输出额定转矩。目前,不同的生产厂家,对通用变频器调速范围内的输出转矩规定有所不同,例如,三菱公司一般将变频器能短时输出150%转矩的范围定义为调速范围;而安川公司则以连续输出转矩大于某一值的范围定义为调速范围等。

2. 调速精度

交流调速系统的调速精度在开环与闭环控制时有不同的含义。开环控制系统的调速精度是指调速装置控制4极标准电机、在额定负载下所产生的转速降与电机额定转速之比,其性质和传统的静差率类似,计算式如下:

$$\delta = \frac{\text{空载转速} - \text{满载转速}}{\text{额定转速}} \times 100\%$$

对于闭环调速系统和交流伺服驱动系统,计算式中的“额定转速”应为电机最高转速。调速精度与调速系统的结构密切相关,一般而言,在同样的控制方式下,采用闭环控制的调速精度是开环控制的1/10左右。

3. 速度响应

速度响应是衡量交流调速系统动态快速性的新增技术指标。速度响应是指负载惯量与电机惯量相等的情况下,当速度指令以正弦波形式给定时,输出可以完全跟踪给定变化的正弦波指令频率值。速度响应有时也称频率响应,分别用rad/s或Hz两种不同的单位表示,转换关系为 $1\text{Hz} = 2\pi\text{rad/s}$ 。

速度响应是衡量交流调速系统的动态跟随性能的重要指标,也是不同形式的交流调速系统所存在的主要性能差距。表1.3-1是当前通用变频器、主轴驱动器和伺服驱动器普遍可达到的速度响应比较表。

表 1.3-1 变频器、主轴驱动器和伺服驱动器的速度响应比较表

控制装置		速度响应/(rad/s)	频率响应/Hz
通用 变频器	V/f控制	10~20	1.5~3
	闭环V/f控制	10~20	1.5~3
	开环矢量控制	20~30	3~5
	闭环矢量控制	200~300	30~50
主轴驱动器		300~500	50~80
交流伺服驱动器		≥3000	≥500

1.3.2 性能比较

1. 输出特性

通用变频器、交流主轴驱动器、交流伺服三大类调速系统的性能有很大的差别。图

1.3-1为国外某著名公司对通用变频器控制 60Hz/4 极标准感应电机（V/f 控制）、交流主轴驱动器控制专用感应电机、交流伺服驱动器控制 PMSM 电机输出特性的实测结果。

由图可见，通用变频器控制感应电机只能在额定频率的点上才能输出 100% 转矩；采用专用感应电机的交流主轴驱动在额定转速以下区域均可输出 100% 转矩；而交流伺服驱动则可以在全范围输出 100% 转矩。因此，当通用变频器用于恒转矩负载控制时，必须“降额”使用。

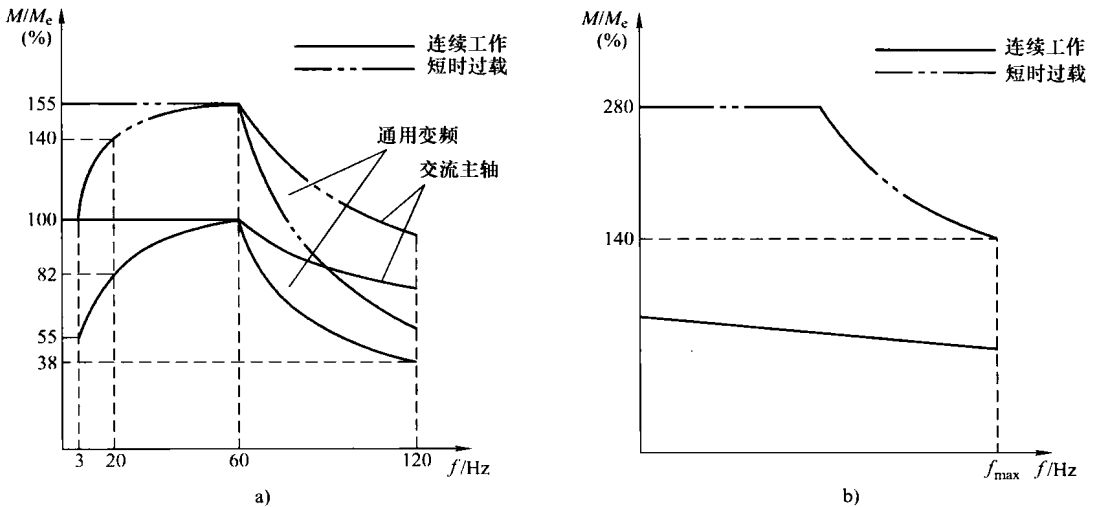


图 1.3-1 交流电机控制系统的输出特性

a) 通用变频器与主轴驱动 b) 交流伺服驱动

引起通用变频器低速输出转矩下降的一个重要原因是通用电机只是依靠转子轴上的风机进行“自通风”冷却，无独立的冷却风机，随着转速的下降，其冷却能力将显著下降，导致了电机工作电流的下降。为此，在通用感应电机上安装独立的冷却风机是提高通用变频器低速输出转矩的有效措施。

2. 控制对象

交流伺服电机的转子磁场（永久磁铁）不能调节，这是一种全范围恒转矩调速系统，适合于恒转矩负载调速，如机床进给驱动等，但不适用于机床主轴等恒功率调速。

交流主轴驱动的控制对象是专用感应电机，它可通过控制定子磁链进行弱磁升速，这是一种额定转速以下具有恒转矩调速特性、额定转速以上具有恒功率特性的调速系统，较适合于机床主轴的控制。

变频器的输出特性无规律，在调速范围内，实际可保证的输出转矩只有额定转矩的 50% 左右。因此，在选用时都必须留有足够的余量。当用于恒转矩调速时，宜按照负载转矩的 2 倍来选择电机与变频器。

3. 功率范围

通用变频器适用范围广，可控制的电机功率在三类产品中为最大，目前已可达 1000kW；交流主轴驱动多用于数控机床的主轴控制，根据实际需要，功率范围一般在 100kW 以下；而交流伺服则多用于高速、高精度位置控制，电机的功率范围一般在 15kW 以下。