



职业院校机电类“十三五”
微课版创新教材

变频及 伺服应用技术

郭艳萍 钟立 / 主编
李娟 / 副主编

- ★ **配套资源丰富** 提供 PPT 课件、微课视频和案例程序等优质教学资源
- ★ **详解实操技能** 图文结合展示硬件接线、软件编程等重点操作技能
- ★ **工程项目教学** 集场景、工程案例和项目实施为一体的项目教学



中国工信出版集团



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS



职业院校机电类“十三五”
微课版创新教材

变频及 伺服应用技术

郭艳萍 钟立 / 主编
李娟 / 副主编

人民邮电出版社
北京

图书在版编目 (C I P) 数据

变频及伺服应用技术 / 郭艳萍, 钟立主编. — 北京:
人民邮电出版社, 2016. 7
职业院校电类“十三五”微课版创新教材
ISBN 978-7-115-43034-2

I. ①变… II. ①郭… ②钟… III. ①变频器—高等
职业教育—教材②伺服系统—高等职业教育—教材 IV.
①TN773②TP275

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第155046号

内 容 提 要

本书以西门子和三菱变频器以及三菱伺服驱动器为例, 系统介绍了变频器、步进驱动器和伺服驱动器的结构、工作原理、基本使用方法和实训操作, 并介绍了 PLC 与变频器、步进驱动器以及伺服驱动器相结合的实际工程应用案例。本书分 6 个项目, 包括西门子变频器的运行与功能解析、三菱变频器的运行与操作、变频器常用控制电路、变频器与 PLC 在工程中的典型应用、步进电机的应用、伺服电机的应用。每个项目下设计有若干任务, 每个任务有相关知识介绍和详细的任务实施步骤。

本书可作为高职高专电气自动化、机电一体化、数控技术、轨道交通技术等专业的教学用书, 也可作为各类工程技术人员、在职人员的培训、自学教材以及各类企业设备管理人员的参考读物。

-
- ◆ 主 编 郭艳萍 钟 立
副 主 编 李 娟
责任编辑 李育民
责任印制 焦志炜
- ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市丰台区成寿寺路 11 号
邮编 100164 电子邮件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京隆昌伟业印刷有限公司印刷
- ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 16
字数: 380 千字
- 2016 年 7 月第 1 版
2016 年 7 月北京第 1 次印刷
-

定价: 39.80 元

读者服务热线: (010)81055256 印装质量热线: (010)81055316
反盗版热线: (010)81055315

变频与伺服技术是电力电子技术、计算机控制技术和自动控制技术等多学科融合的技术,随着自动化技术的迅猛发展,在实际生产中变频技术和伺服技术得到了越来越广泛的应用。近年来,在高职电气自动化技术专业、机电一体化技术专业、数控应用类专业及轨道交通技术专业中均开设了“变频及伺服应用技术”课程。该课程也是培养学生自动化技术核心能力的专业课。本书根据国内即将从事或已从事变频及伺服工程应用的一线工程技术人员的需求,将变频和伺服的理论基础,变频和伺服控制系统的工程应用、参数设置、系统调试、维护与实验有机地结合起来,系统地介绍变频和伺服的工程应用技术。

西门子的变频器和伺服系统是欧系产品的杰出代表,其功能强大,虽然价格高,但市场占有率也高。三菱的变频器和伺服系统是日系代表产品,也是较早进入中国市场的产品,性价比较高,在中国也有一定的市场份额,因此本书将以西门子和三菱变频器及三菱伺服驱动器为例进行介绍。本书根据自动化技术的岗位需求,将教学内容分为6个项目,即西门子变频器的运行与功能解析、三菱变频器的运行与操作、变频器常用控制电路、变频器与PLC在工程中的典型应用、步进电机的应用、伺服电机的应用。这6个项目之间是循序渐进、步步深入的关系,应用部分精选工程的实际案例,每个案例都包含软硬件的配置方案图、接线图、参数设置和程序设计,供学生模仿学习,提高学生解决实际问题的能力。学生在经过这六个模块的学习之后,可以逐步掌握变频、步进和伺服的知识点及操作技能。

本书任务驱动方式编写,按照变频、步进和伺服的知识点精心设计了21个任务,每个任务都以实际工程案例引入,由浅入深地讲述相关理论知识和实际应用案例。该书打破原有的理论知识体系,按照“任务导入”→“相关知识”→“任务实施”→“知识拓展”等方式重构课程内容,使学生每学习一个知识点都由相关的典型案例作为知识的载体,在学习每一个任务中都采用教、学、做一体化的教学模式,案例将力求尽可能简单和详细,用较多的小例子引领学生入门,让学生入门后,能完成简单的工程。

在每个任务的思考与练习中,针对重要知识点都设计相应的练习内容。通过练习,学生可加深对知识的理解与掌握。

该书配有微课,针对重点、难点及变频器的实训示范案例,以5~20分钟的小视频的形式,进一步帮助学生理解和掌握知识点和操作技能。此外,该书还配套适合教学用的课件、习题答案、西门子变频器、三菱变频器、步进驱动器以及伺服驱动器手册、变频器学习软件、编程软件、样例程序等,任课教师可到人民邮电出版社教学服务与资源网(www.ptpedu.com.cn)免费下载使用。

本书由重庆工业职业技术学院的郭艳萍和钟立任主编,并进行全书的选例、设计和统稿工作。昆明冶金高等专科学校的李娟任副主编,天津中德应用技术大学的邱美艳参与编写。其具体编写任务如下:郭艳萍编写项目1和项目3、钟立编写项目4,李娟编写项目5,邱美艳编写项目2和项目6。



本书在编写过程中参阅了大量同类书籍及西门子和三菱变频器、伺服驱动器的使用手册，在此对相关人员一并表示衷心的感谢！

限于编者的水平，书中难免有不妥之处，恳请读者批评指正，可通过 E-mail (785978419@qq.com) 与我们联系。

编者

2016 年 6 月

项目 1 西门子变频器的运行与功能

解析 1

任务 1.1 认识变频器 1

任务导入 1

相关知识 1

一、交流异步电动机的调速方法 1

二、变频调速原理 5

三、通用变频器的基本结构 7

四、变频器的分类 11

五、变频器的控制方式 13

任务实施 13

一、西门子 MM440 变频器认识 14

二、西门子 MM440 变频器的 拆装训练 15

知识拓展 19

一、变频器的安装方式 19

二、变频器的应用及主流变频器 20

思考与练习 21

任务 1.2 西门子变频器的面板运行

操作 22

任务导入 22

相关知识 22

一、MM440 变频器的端子 接线图 22

二、MM440 变频器的运行操作 模式 25

三、MM440 变频器的参数类型 25

四、MM440 变频器的快速调试及 参数解析 26

任务实施 29

一、MM440 变频器的操作面板 认识 29

二、MM440 变频器的面板操作

训练 31

知识拓展 34

一、与工作频率有关的功能 34

二、变频器的启动和制动功能 36

思考与练习 42

任务 1.3 西门子变频器的外部运行

操作 43

任务导入 43

相关知识 43

一、变频器输入控制端子的功能 43

二、变频器输出控制端子的功能 48

任务实施 50

一、变频器的外部点动操作训练 50

二、变频器的外部正反转连续 运行操作训练 51

知识拓展——MM440 变频器模拟量

输入 2 调节速度的

案例 53

思考与练习 53

任务 1.4 西门子变频器的组合运行

操作 54

任务导入 54

相关知识 54

一、工作频率给定方式 54

二、西门子变频器给定方式的 设置 56

三、频率给定线的设置及调整 57

任务实施 59

知识拓展——MM440 变频器电流给 定调节速度的案例 61

思考与练习 62



任务 1.5 西门子变频器的多段速运行

操作 62

任务导入 62

相关知识 62

任务实施 64

知识拓展——直接选择方式的多段
速运行功能 66

思考与练习 66

项目 2 三菱变频器的运行与操作 67

任务 2.1 三菱变频器的面板运行操作 67

任务导入 67

相关知识 67

一、三菱 FR-D700 系列变频器的
接线图 67二、三菱 FR-D700 系列变频器的
操作面板 71

三、三菱变频器的运行操作模式 72

任务实施 72

知识拓展——启动频率 Pr13、上限频
率 Pr1 和下限频率 Pr2
设定及运行 75

思考与练习 75

任务 2.2 三菱变频器的外部运行

操作 76

任务导入 76

相关知识 76

一、三菱变频器输入端子功能 76

二、三菱变频器输出端子功能 78

任务实施 79

知识拓展——三菱变频器的组合
运行操作 81

思考与练习 81

任务 2.3 三菱变频器的多段速运行

操作 81

任务导入 81

相关知识 82

任务实施 83

知识拓展 83

一、升降速控制端功能 83

二、变频器的两地控制 84

思考与练习 85

项目 3 变频器常用控制电路 87

任务 3.1 变频器正反转控制电路 87

任务导入 87

相关知识 88

一、变频器的外接主电路 88

二、变频器启停控制电路 89

任务实施 90

知识拓展——变频器外围电器
元件的选择 92

思考与练习 93

任务 3.2 变频器同步运行控制电路 94

任务导入 94

相关知识 94

一、模拟电压输入端子控制的
同步运行 94二、西门子变频器升降速控制端
功能 96

任务实施 97

知识拓展——升降速功能在恒压
供水控制中的应用 99

思考与练习 101

任务 3.3 变频器 PID 控制电路 101

任务导入 101

相关知识 102

一、PID 控制功能 102

二、MM440 变频器的 PID 实现 103

任务实施 106

知识拓展——多目标值的 PID
控制 108

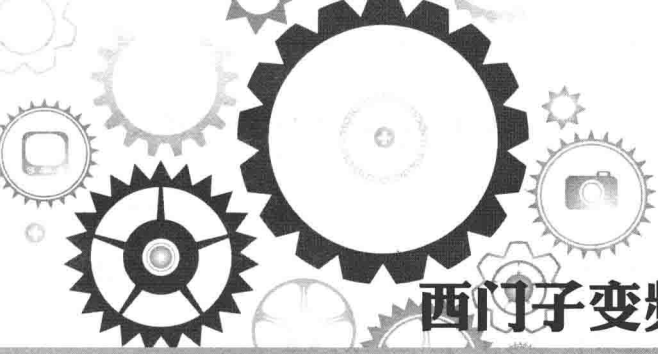
思考与练习 110

项目 4 变频器与 PLC 在工程中的
典型应用 112任务 4.1 物料分拣输送带的正反转变
频控制系统 112

任务导入	112	任务导入	136
相关知识	113	相关知识	136
一、西门子 PLC 与变频器的开关量 连接方式	113	一、西门子模拟量输入/输出扩展 模块的类型	136
二、西门子 PLC 与变频器的模拟量 连接方式	114	二、西门子模拟量输入/输出扩展 模块 EM235	137
三、西门子 PLC 与变频器的 RS-485 通信连接方式	115	任务实施	142
任务实施	116	知识拓展	145
知识拓展	119	一、变频器主电路的接线	145
一、三菱继电器输出型 PLC 与 变频器的连接方式	119	二、变频器控制电路的接线	148
二、三菱晶体管输出型 PLC 与 变频器的连接方式	119	思考与练习	149
三、三菱 PLC 的模拟量模块与 变频器的连接方式	120	任务 4.5 多泵恒压供水控制系统	149
思考与练习	120	任务导入	149
任务 4.2 离心机的多段速变频控制 系统	121	相关知识	151
任务导入	121	一、恒压变频供水系统的构成	151
相关知识	121	二、多泵恒压变频供水控制的 实现方法	152
一、变频调速系统设计原则	121	任务实施	154
二、变频调速系统设计步骤	122	知识拓展	160
任务实施	122	一、变频器的抗干扰措施	160
知识拓展——变频调速系统的调试	125	二、变频器的测量	161
思考与练习	127	三、变频器常见故障处理	163
任务 4.3 风机的变频/工频自动切换 控制系统	128	思考与练习	165
任务导入	128	项目 5 步进电机的应用	166
相关知识——变频器的频率到达 功能	128	任务 5.1 步进电机的正反转控制	166
任务实施	128	任务导入	166
知识拓展——变频器的选择	132	相关知识	166
一、变频器类型的选择	132	一、步进电机	166
二、变频器容量的选择	134	二、步进控制系统的组成	169
三、变频器选型注意事项	135	三、步进驱动器	170
思考与练习	135	四、西门子 PLC 的高速脉冲输出 PTO	173
任务 4.4 验布机的无级调速控制 系统	136	任务实施	180
		知识拓展——步进电机的调速 控制	184
		思考与练习	188
		任务 5.2 工作台的位置控制	188
		任务导入	188



相关知识	189	三、伺服驱动器的显示操作与参数设置	220
一、S7-200 PLC 运动控制实现方式	189	四、伺服电机的试运行	222
二、PTO 位置控制向导功能	189	知识拓展——主流伺服驱动器介绍	223
三、位置控制向导的基本信息	189	思考与练习	224
四、位控向导产生的子程序介绍	191	任务 6.2 伺服电机的速度控制	225
任务实施	192	任务导入	225
一、硬件电路	193	相关知识	226
二、程序设计	193	一、速度控制模式的接线图	226
三、运行操作	200	二、速度控制方式	227
知识拓展——双轴步进电机的定位控制	200	任务实施	231
思考与练习	202	知识拓展——伺服电机的转矩控制模式	234
项目 6 伺服电机的应用	203	思考与练习	236
任务 6.1 伺服驱动器的认识及试运行	203	任务 6.3 伺服电机的位置控制	236
任务导入	203	任务导入	236
相关知识	204	相关知识	237
一、伺服电机	204	一、伺服驱动器位置控制接线图	237
二、伺服驱动器的控制模式	205	二、脉冲输入形式	237
三、三菱伺服驱动器的内部结构	207	三、定位完成 (INP)	239
四、三菱伺服驱动器的外部结构	208	任务实施	239
五、三菱伺服驱动器的外围接线	209	知识拓展	245
六、三菱伺服驱动器的电源及启停保护电路	210	一、西门子 SINAMICS V60/V80 伺服驱动器	245
任务实施	211	二、西门子 SINAMICS V90 伺服驱动器	245
一、三菱伺服驱动器输入输出引脚功能认识	212	思考与练习	247
二、伺服驱动器输入输出的接线认识	217	参考文献	248



项目 1

西门子变频器的运行与功能解析

学习目标

1. 了解交流电动机调速的 3 种基本方法。
2. 掌握通用变频器的基本结构及变频原理。
3. 认识西门子 MM440 变频器的接线图、操作面板及其拆卸方法。
4. 学会西门子变频器的运行操作方式。
5. 掌握西门子变频器的常用功能。

| 任务 1.1 认识变频器 |

任务导入

MM440 系列变频器是德国西门子公司广泛应用于工业场合的多功能标准变频器。它采用高性能的矢量控制技术,提供低速高转矩输出和良好的动态特性,同时具备超强的过载能力,以满足不同的交流电动机调速应用场合。西门子 MM440 变频器的外观和结构是怎么样的,如何拆装变频器的操作面板、前盖板和 I/O 板呢?

相关知识

一、交流异步电动机的调速方法

众所周知,直流调速系统具有较为优良的静、动态性能指标,在很长的一个历史时期内,调速传动领域基本上被直流电动机调速系统所垄断。但直流电动机由于受换向器限制,使其维修工作量大,事故率高,使用环境受限,很难向高电压、高转速、大容量发展。与直流电动机相比,交流电动机具有结构简单、制造容易、维护工作量小等优点,但交流电动机的控制却比直流电动机复杂得多。早期的交流传动均用于不可调速传动,而可调速传动则用直流传动。随着电力电子技术、控制技术和计算机技术的发展,交流调速技术日益成熟,在许多



方面已经可以取代直流调速系统；特别是各类通用变频器的出现，使交流调速已逐渐成为电气传动中的主流。

异步电动机的转速公式

$$n = n_1(1-s) = \frac{60f_1}{p}(1-s) \quad (1-1)$$

式中， f_1 ——异步电动机定子绕组上交流电源的频率（Hz）；

p ——异步电动机的磁极对数；

s ——异步电动机的转差率；

n ——异步电动机的转速（r/min）。

n_1 ——异步电动机的同步转速（r/min）。

根据式（1-1）可知，交流异步电动机有下列3种基本调速方法。

① 改变定子绕组的磁极对数 p ，称为变极调速。

② 改变转差率 s ，其方法有改变电压调速、绕线式异步电动机转子串电阻调速和串级调速。

③ 改变电源频率 f_1 ，称为变频调速。

1. 变极调速

在电源频率 f_1 不变的条件下，改变电动机的极对数 p ，电动机的同步转速 n_1 就会变化，从而改变电动机的转速 n 。若极对数减少一半，同步转速就升高一倍，电动机的转速也几乎升高一倍。这种调速方法通常用改变电动机定子绕组的接法来改变极对数。这种电动机称为多速电动机。其转子均采用笼型转子，转子感应的极对数能自动与定子相适应。这种电动机在制造时，从定子绕组中抽出一些线头，以便使用时调换。下面以一相绕组来说明变极原理。先将U相绕组中的2个半相绕组 a_1x_1 与 a_2x_2 采用顺向串联，如图1-1所示，产生2对磁极。若将U相绕组中的一半相绕组 a_2x_2 反向并联，如图1-2所示，则产生1对磁极。

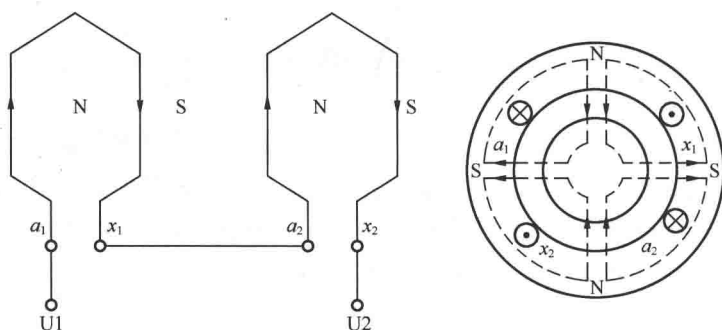


图 1-1 绕组变极原理图 ($2p=4$)

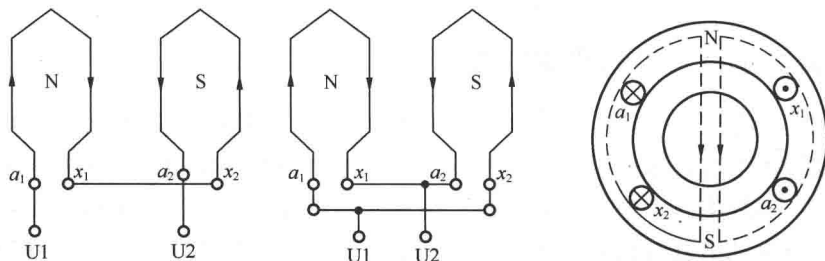


图 1-2 绕组变极原理图 ($2p=2$)

目前，我国多极电动机定子绕组连接方式常用的有两种：一种是从星形改成双星形，写

为 Y/YY，如图 1-3 所示；另一种是从三角形改成双星形，写为 Δ /YY，如图 1-4 所示，这两种接法可使电动机极对数减少一半。在改接绕组时，为了使电动机转向不变，应把绕组的相序改接一下。

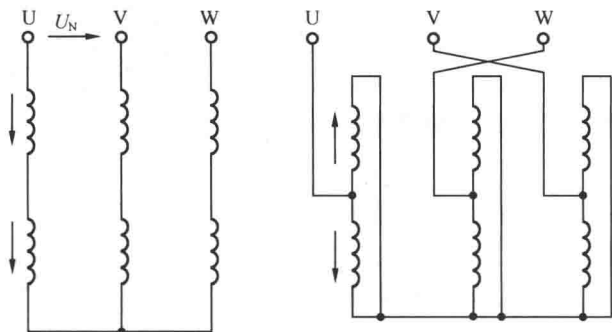


图 1-3 异步电动机 Y/YY 变极调速接线

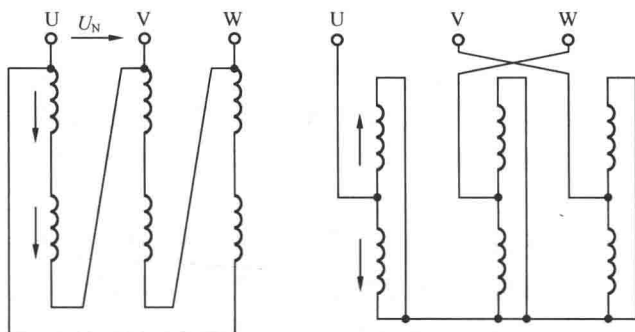


图 1-4 异步电动机 Δ /YY 变极调速接线

变极调速主要用于各种机床及其他设备上。其优点是设备简单，操作方便，具有较硬的机械特性，稳定性好；其缺点是电动机绕组引出头较多，调速级数少，级差大，不能实现无级调速，电动机体积大，制造成本高。

2. 变转差率调速

改变定子电压调速、转子串电阻调速和串级调速都属于改变转差率调速。这些调速方法的共同特点是在调速过程中都产生大量的转差功率。前两种调速方法都是把转差功率消耗在转子电路里，很不经济；而串级调速则能将转差功率加以吸收或大部分反馈给电网，提高了经济性能。

(1) 改变定子电压调速：由异步电动机电磁转矩和机械特性方程可知，在一定转速下，异步电动机的电磁转矩与定子电压的平方成正比。因此改变定子外加电压就可以改变其机械特性的函数关系，从而改变电动机在一定输出转矩下的转速。

当改变电动机的定子电压时，可以得到一组不同的机械特性曲线，从而获得不同转速。如图 1-5 所示，曲线 1 为电动机的固有机械特性，曲线 2 为定子电压是额定电压的 0.7 倍时的机械特性。从图中可以看出：

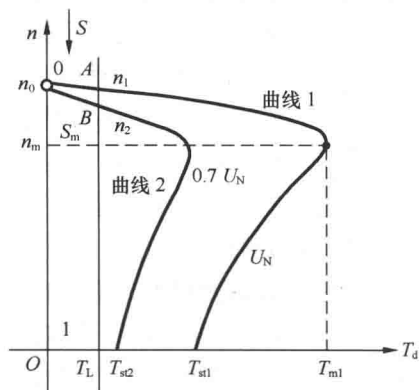


图 1-5 调压调速的机械特性

同步转速 n_0 不变, 最大转差或临界转差率 S_m 不变。当负载为恒转矩负载 T_L 时, 随着电压从 U_N 减小到 $0.7U_N$, 转速相应地从 n_1 减小到 n_2 , 转差率增大, 显然可以认为调压调速属于改变转差率的调速方法。

该调速方法的调速范围较小, 低压时机械特性太软, 转速变化大。为改善调速特性, 可采用带速度负反馈的闭环控制系统来解决该问题。

目前广泛采用晶闸管交流调压电路来实现定子调压调速。

(2) 转子串电阻调速: 绕线式异步电动机转子串电阻调速的机械特性如图 1-6 所示。转子串电阻时最大转矩 T_m 不变, 临界转差率增大。所串电阻越大, 运行段机械特性斜率越大。

若带恒转矩负载, 原来运行在固有特性曲线 1 的 a 点上, 在转子串电阻 R_1 后, 就运行在 b 点上, 转速由 n_a 变为 n_b , 依此类推。

转子串电阻调速的优点是设备简单, 主要用于中、小容量的绕线式异步电动机, 如桥式起重机等。缺点是转子绕组需经过电刷引出, 属于有级调速, 平滑性差; 由于转子中电流很大, 在串接电阻上产生很大损耗, 所以电动机的效率很低, 机械特性较软, 调速精度差。

(3) 串级调速: 串级调速方式是指绕线式异步电动机转子回路中串入可调节的附加电势来改变电动机的转差, 从而达到调速的目的。其优点是可以通过某种控制方式, 使转子回路的能量回馈到电网, 从而提高效率; 在适当的控制方式下, 可以实现低同步或高同步的连续调速。缺点是只能适应于绕线式异步电动机, 且控制系统相对复杂。

3. 变频调速

交流变频调速技术的原理是把工频 50Hz 的交流电转换成频率和电压可调的交流电, 通过改变交流异步电动机定子绕组的供电频率, 在改变频率的同时也改变电压, 从而达到调节电动机转速的目的 (即 VVVF 技术)。

交流变频调速系统一般由三相交流异步电动机、变频器及控制器组成。它与直流调速系统相比具有以下显著优点。

① 变频调速装置的大容量化。直流电动机由于受换向器限制, 单机容量、最高转速及使用环境都受到限制。其电枢电压最高只能做到一千多伏, 而交流电动机可做到 6~10kV。直流电动机的转速一般仅为每分钟数百转到一千多转, 而交流电动机的速度可以达到每分钟数千转, 以满足高速机械的运行要求。

② 变频调速系统调速范围宽, 能平滑调速, 其调速静态精度及动态品质好。

③ 变频调速系统可以直接在线启动, 启动转矩大, 启动电流小, 减小了对电网和设备的冲击, 并具有转矩提升功能, 节省软启动装置。

④ 变频器内置功能多, 可以满足不同工艺要求; 保护功能完善, 能自诊断显示故障所在, 维护简便; 具有通用的外部接口端子, 可同计算机、PLC 联机, 便于实现自动控制。

⑤ 变频调速系统在节约能源方面有着很大的优势, 是目前世界公认的交流电动机的最理想、最有前途的调速技术。其中以风机、泵类负载的节能效果最为显著, 节电率可达到 20%~60%。由于风机、水泵等负载的功率消耗与电动机转速的 3 次方成正比, 因此当负载的转速

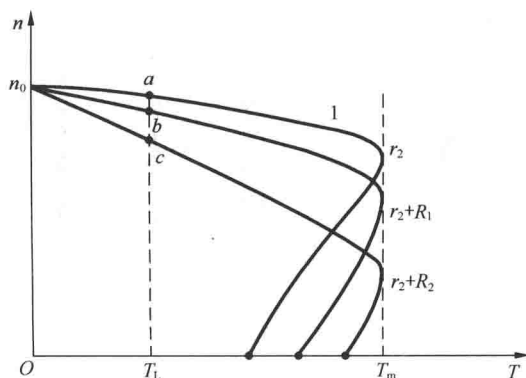


图 1-6 转子串电阻调速的机械特性

小于电动机额定转速时,其节能潜力比较大。

二、变频调速原理

1. 变频调速的条件

从式(1-1)来看,只要改变定子绕组的电源频率 f_1 就可以调节转速大小了,但是事实上只改变 f_1 并不能正常调速,而且可能导致电动机运行性能的恶化。其原因分析如下。

由电动机学原理知,三相异步电动机定子绕组的反电动势 E_1 的表达式为

$$E_1 = 4.44 f_1 N_1 K_{N1} \Phi_m \quad (1-2)$$

式中, E_1 ——气隙磁通在定子每相中感应电动势的有效值(V);

N_1 ——每相定子绕组的匝数;

K_{N1} ——与绕组结构有关的常数;

Φ_m ——电动机每极气隙磁通。

由于式(1-2)中的4.44、 N_1 、 K_{N1} 均为常数,所以定子绕组的反电动势可用式(1-3)表示,即

$$E_1 \propto f_1 \Phi_m \quad (1-3)$$

根据三相异步电动机的等效电路知, $E_1 = U_1 + \Delta U$,当 E_1 和 f_1 的值较大时,定子的漏阻抗相对比较小,漏阻抗压降 ΔU 可以忽略不计,即可认为电动机的定子电压 $U_1 \approx E_1$,因此可将式(1-3)写成

$$U_1 \approx E_1 \propto f_1 \Phi_m \quad (1-4)$$

若电动机的定子电压 U_1 保持不变,则 E_1 也基本保持不变,由式(1-4)可知,当定子绕组的交流电源频率 f_1 由基频 f_{1N} 向下调节时,将会引起主磁通 Φ_m 的增加。由于额定工作时电动机的磁通已经接近饱和, Φ_m 继续增大,将会使电动机磁路过分饱和,从而导致过大的励磁电流,严重时会使绕组过热而损坏电动机。而从基频 f_{1N} 向上调节时,主磁通 Φ_m 将减少,铁芯利用不充分,同样的转子电流下,电磁转矩 T 下降,电动机的负载能力下降,电动机的容量也得不到充分利用。因此为维持电动机输出转矩不变,我们希望在调节频率 f_1 的同时能够维持主磁通 Φ_m 不变(即恒磁通控制方式)。

以电动机的额定频率 f_{1N} 为基准频率,称为基频。变频调速时,可以从基频向上调,也可以从基频向下调。

2. 基频以下恒磁通(恒转矩)变频调速

当在额定频率以下调频,即 $f_1 < f_{1N}$ 时,为了保证 Φ_m 不变,根据式(1-3)得

$$\frac{E_1}{f_1} = \text{常数}$$

也就是说,在频率 f_1 下调时也同步下调反电动势 E_1 ,但是由于异步电动机定子绕组中的感应电动势 E_1 无法直接检测和控制,根据 $U_1 \approx E_1$,可以通过控制 U_1 达到控制 E_1 的目的,即

$$\frac{U_1}{f_1} = \text{常数} \quad (1-5)$$

通过以上分析可知:在额定频率以下调频时($f_1 < f_{1N}$),调频的同时也要调压。将这种调速方法称为变压变频(Variable Voltage Variable Frequency, VVVF)调速控制,也称为恒压频比控制方式。



当定子电源频率 f_1 很低时, U_1 也很低。此时定子绕组上的电压降 ΔU 在电压 U_1 中所占的比例增加, 将使定子电流减小, 从而使 Φ_m 减小, 这将引起低速时的最大输出转矩减小。可用提高 U_1 来补偿 ΔU 的影响, 使 E_1/f_1 不变, 即 Φ_m 不变, 这种控制方法称为电压补偿, 也称为转矩提升。定子电源频率 f_1 越低, 定子绕组电压补偿得越大, 带定子压降补偿控制的恒压频比控制特性如图 1-7 所示。

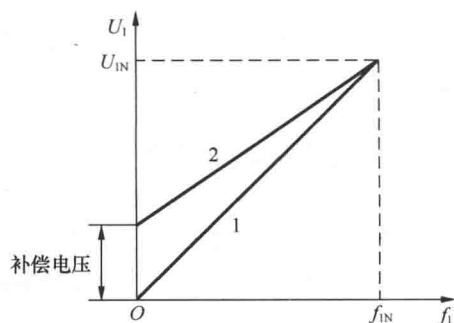


图 1-7 电压补偿示意图

如图 1-7 所示, 曲线 1 为 U_1/f_1 = 常数时的电压与频率关系曲线; 曲线 2 为有电压补偿时, 即近似的 E_1/f_1 为常数时的电压与频率关系曲线。实际上变频器装置中相电压 U_1 和频率 f_1 的函数关系并不简单地如曲线 2 一样, 通用变频器有几十种电压与频率函数关系曲线, 可以根据负载性质和运行状况加以选择。

在基频以下调速时, 采用 U/f 控制方式以保持主磁通 Φ_m 的恒定, 电动机的机械特性曲线如图 1-8 中 f_{1N} 曲线以下的曲线所示。此过程中, 电磁转矩 T 恒定, 电动机带负载的能力不变, 属于恒转矩调速。如图 1-8 所示, 曲线 f_4 中的虚线是进行电压补偿后的机械特性曲线。

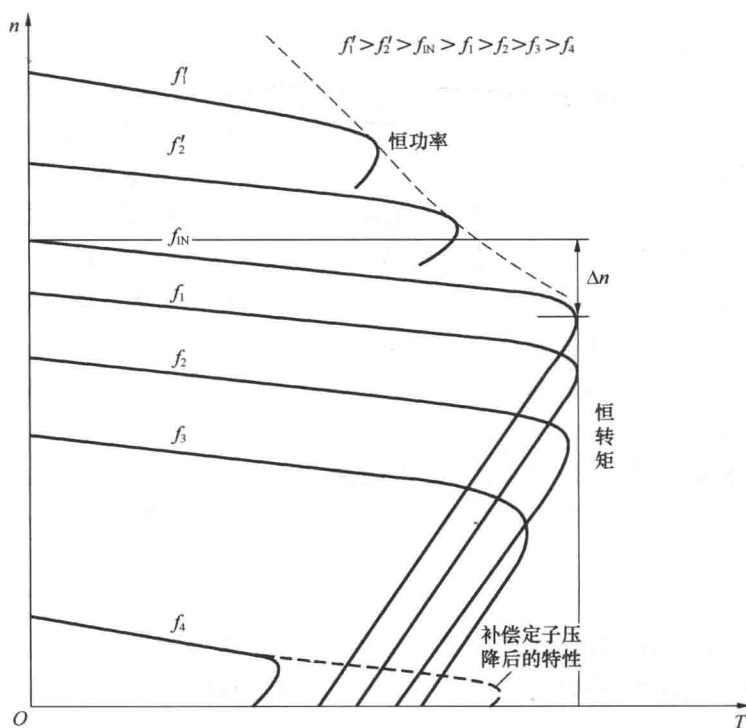


图 1-8 变频调速时的机械特性

观察各条机械特性曲线, 它们的特征如下。

- ① 从额定频率向下调频时, 理想空载转速减小, 最大转矩逐渐减小。
- ② 频率在额定频率附近下调时, 最大转矩减少, 可以近似认为不变; 频率调得很低时,

最大转矩减小很快。

③ 频率不同时, 最大转矩点对应的转差 Δn 变化不是很大, 所以稳定工作区的机械特性基本是平行的。

3. 基频以上恒功率(恒电压)变频调速

当定子绕组的交流电源频率 f_1 由基频 f_{1N} 向上调节时, 若按照 $U_1/f_1=\text{常数}$ 的规律控制, 电压也必须由额定值 U_{1N} 向上增大。由于电动机不能超过额定电压运行, 所以频率 f_1 由额定值向上升高时, 由式(1-4)可知, 定子电压不可能随之升高, 只能保持 $U_1=U_{1N}$ 不变。这样必然会使 Φ_m 随着 f_1 的升高而下降, 类似于直流电动机的弱磁调速。由电动机学原理知, Φ_m 的下降将引起电磁转矩 T 的下降。频率越高, 主磁通 Φ_m 下降得越多, 由于 Φ_m 与电流或转矩成正比, 因此电磁转矩 T 也变小。需要注意的是, 这时的电磁转矩 T 仍应比负载转矩大, 否则会出现电动机的堵转。在这种控制方式下, 转速越高, 转矩越低, 但是转速与转矩的乘积(输出功率)基本不变, 所以基频以上调速属于弱磁恒功率调速。其机械特性曲线如图1-8中 f_{1N} 曲线以上2条曲线所示。其特征如下。

① 额定频率以上调频时, 理想空载转速增大, 最大转矩大幅减小。

② 最大转矩点对应的转差 Δn 几乎不变, 但由于最大转矩减小很多, 所以机械特性斜度加大, 曲线特性变软。

4. 变频调速特性的特点

把基频以下和基频以上两种情况结合起来, 可得图1-9所示的异步电动机变频调速的控制特性。按照电力拖动原理, 在基频以下, 属于恒转矩调速的性质, 而在基频以上, 属于恒功率调速性质。

(1) 恒转矩的调速特性。这里的恒转矩是指在转速的变化过程中, 电动机具有输出恒定转矩的能力。在 $f_1 < f_{1N}$ 的范围内变频调速时, 经过补偿后, 各条机械特性的临界转矩基本为一定值, 因此该区域基本为恒转矩调速区域, 适合带恒转矩负载。从另一方面来看, 经补偿以后的 $f_1 < f_{1N}$ 调速, 可基本认为 $E/f=\text{常数}$, 即 Φ_m 不变, 根据电动机的转矩公式知, 在负载不变的情况下, 电动机输出的电磁转矩基本为一定值。

(2) 恒功率的调速特性。这里的恒功率是指在转速的变化过程中, 电动机具有输出恒定功率的能力, 在 $f_1 > f_{1N}$ 下, 频率越高, 主磁通 Φ_m 必然相应下降, 电磁转矩 T 也越小, 而电动机的功率 $P=T(\downarrow)\omega(\uparrow)=\text{常数}$, 因此 $f_1 > f_{1N}$ 时, 电动机具有恒功率的调速特性, 适合带恒功率负载。

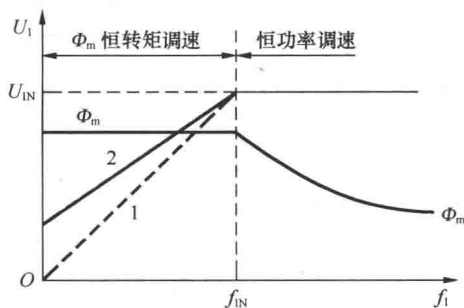


图 1-9 异步电动机变频调速控制特性

三、通用变频器的基本结构

变频器是把电压、频率固定的交流电变成电压、频率可调的交流电的变换器。它与外界的联系基本上分为主电路、控制电路2个部分, 如图1-10所示。

1. 主电路

交—直—交变频器的主电路如图1-11所示, 由整流电路、能耗电路和逆变电路组成。

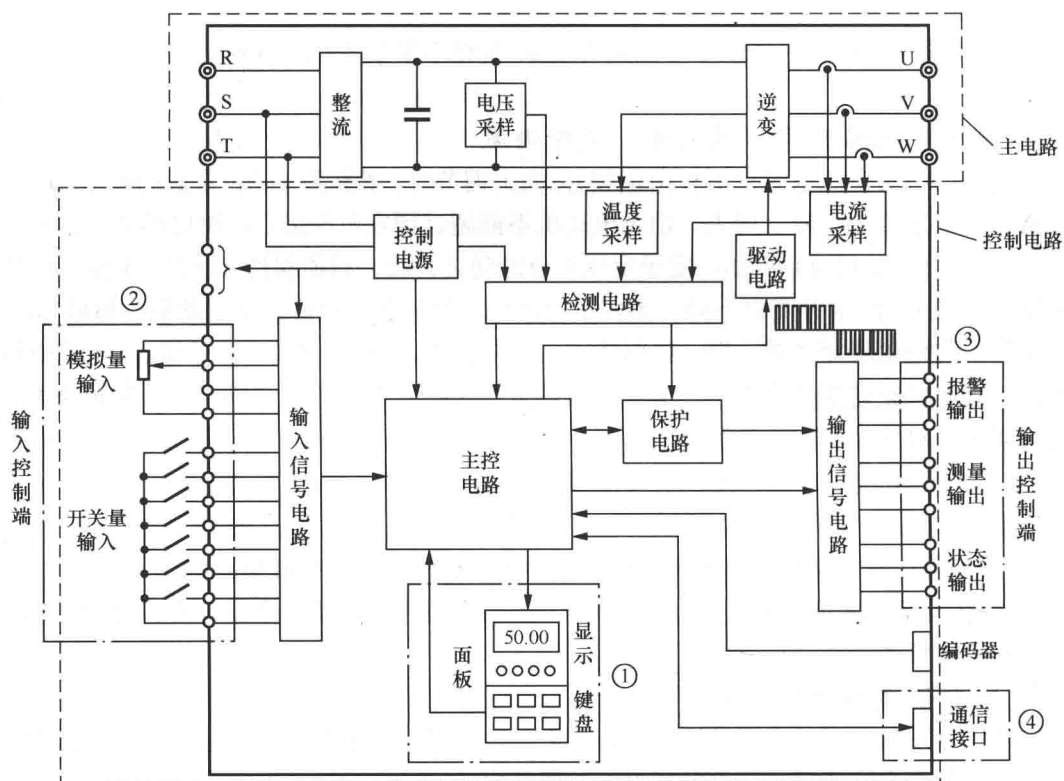


图 1-10 变频器的基本结构框图

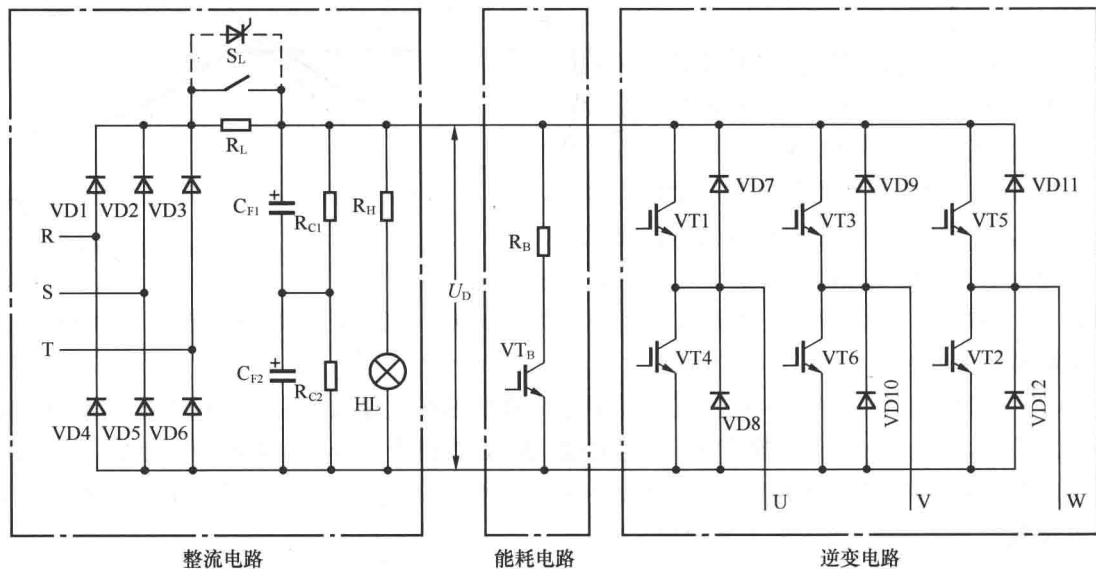


图 1-11 交—直—交变频器的主电路

(1) 整流电路。

① 整流管 $VD1 \sim VD6$ 。在图 1-11 中，二极管 $VD1 \sim VD6$ 组成三相整流桥，将电源的三相交流电全波整流成直流电。如电源的线电压为 U_L ，则三相全波整流后平均直流电压 U_D 的大小是