

技师培训教程系列

变频器、可编程序控制器及触摸屏综合应用技术实操指导书

第2版

主编 吴启红

参编 乔建伟 刘贯华 谭斌



机械工业出版社

本书根据《中华人民共和国职业技能鉴定规范》，并参考《深圳市电工技能职业标准》编写而成。全书以实践操作为重点，理论叙述为实践操作服务，共分为6章、42个配套实训项目：第1章介绍FR-A540变频器的基本知识和实用实训操作；第2章介绍FX2N系列PLC的指令系统及应用技术；第3章介绍三菱触摸屏的使用和画面工程制作软件的使用；第4章介绍FX系列设备的通信技术；第5章介绍三菱特殊功能模块的使用；第6章介绍FX系列自动化设备综合应用设计技能；附录中介绍了变频器的参数、故障代码表、PLC特殊软元件表、FR-A700变频器的操作。

本书可供技工学校、高职院校电气类或机电一体化专业使用，也可作为电工、电梯、制冷类专业技师培训及考核前的技能训练用书。对有关工业控制的设计人员也有一定的参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

变频器、可编程序控制器及触摸屏综合应用技术实操指导书/吴启红主编. —2版. —北京:机械工业出版社, 2010.6

(技师培训教程系列)

ISBN 978-7-111-30672-6

I. ①变… II. ①吴… III. ①变频器-技术培训-自学参考资料②可编程序控制器-技术培训-自学参考资料③触摸屏-技术培训-自学参考资料
IV. ①TN773②TM571.6③TP334.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第087818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:罗莉 责任编辑:罗莉 责任校对:刘志文

封面设计:陈沛 责任印制:杨曦

保定市中华美凯印刷有限公司印刷

2010年8月第2版第1次印刷

184mm×260mm·22印张·540千字

0 001—3 000册

标准书号:ISBN 978-7-111-30672-6

定价:44.00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

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010) 68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010) 88379649

读者服务部:(010) 68993821

封面无防伪标均为盗版

编委会名单

主任：黎德良

副主任：王 德 彭旭昀

委员：乔建伟 郭昕文 涂爱云 吴启红 邵 纯 陈 芸
王跃军 黄志昌 程瑞端 欧成友 郭 强 鄂永雄
岳庆来 张大明 谭 斌 黄太平 胡 洪 刘振鹏

第2版前言

随着我国经济的不断发展和产业结构的不断调整,以变频器可程序控制器(PLC)和触摸屏为主体的工厂自动化技术广泛用于各行各业。为帮助工厂自动化技术从业人员、技工学校和职业院校学生顺利通过电工及可程序控制系统设计师工种的技能鉴定,提高高学历人员的自动化技术实践技能水平,参考了相关工种的职业标准,我们编写了《变频器、可程序控制器及触摸屏综合应用技术实操指导书》,可供机电类技师、可程序控制系统设计师培训及考证训练时使用,也可作为自动化工程技术人员在生产一线解决问题的参考指南。

本书编写目的旨在帮助读者学会工厂自动化技术应用和设计能力,尤其是以变频器、可程序控制器和触摸屏为主体的工厂自动化技术综合应用技术能力。

本书编写内容有如下的几点特色:

(1) 理论知识以够用为度,努力做到理论与实践紧密结合,侧重实践操作。尤其是本书在第2章力改相同类型教科书只讲指令,而没有指令的如何应用的不足,并且本书在讲解功能指令时列举了大量的实例和实训,让广大读者学指令用指令;

(2) 技能实践增加了大量的实训项目,以培养掌握复杂操作和新技术操作的技能和增强分析、判断、排除各种实际故障的能力为重点。力求所有实训项目能满足企业生产的实际需要,同时能反映本职业工种新技术的应用,还能体现自动化技术人员的实际工作经验和技能水平,并且具有很强的可操作性,都能在实训(或实验)室里完成,便于进行培训与考核;

(3) 文字叙述尽量做到深入浅出,通俗易懂。每章都配有考核项目,做到有训有考,学以致用。引导读者为全面掌握自动化技术的实践技能打下坚实基础。

全书共分6章,第1章介绍了FR-A540变频器基本知识和实用实训操作,第2章介绍了FX2N系列PLC指令系统及应用技术,第3章介绍了三菱触摸屏的使用和画面工程制作软件的使用,第4章介绍了FX系列PLC的通信技术,第5章介绍了三菱特殊功能模块的使用,第6章介绍FX系列自动化设备综合应用设计技能。附录中介绍了变频器的参数、故障代码表,PLC特殊软元件表、三菱FR-A700变频器的操作。由于两个软件已更新,第1版介绍通信内容也较少,在教学中又发现了新的知识点和一些不合理的地方,第2版均作了增补及修改,并在每章节增加了考核项目。

吴启红编写了第1章、第2章的2.1~2.4节、第3章、第4章4.1~4.4、第6章、所有实训项目和附录部分;乔建伟编写了第4章的4.5、4.6节,刘贯华编写了第2章2.5、2.6节,谭斌编写了第5章,全书由吴启红统稿。在编写过程中得到了彭旭昀、岳庆来、肖明耀、郝瑞生、宋峰青、阮友德、周焯、周锋、陈立香、胡洪等老师的大力帮助,并得到了华南理工大学宋健教授的精心指点,在此一并表示衷心的感谢!

由于编写时间仓促,加之编者水平有限,书中的错误和不当之处在所难免,恳请读者提出宝贵意见,并将意见反馈至邮箱 qhongw@126.com,为谢!

编者

2010年1月于深圳技师学院

序

随着自动化技术的飞速发展和我国产业结构的转型升级，以及经济全球化的发展，我国已逐步成为世界的“制造中心”，使得符合企业需求的高技能人才的市场供给严重不足，而且正在成为影响我国经济进一步发展的瓶颈。为此，国家推出了全面推进技能振兴和高技能人才培养工程计划。

深圳技师学院是深圳市高技能人才培养的主要基地和主要力量，年培养技能人才 15000 人次。在高技能人才培养的教学过程中，教材处于基础地位，是课程体系设计的核心，为高质量培养高技能人才，以市场为导向、以企业需求为依据和自动化技术的发展情况，我们精心策划了这套《技师培训教程系列》，本系列丛书主要特色体现在如下几个方面：

(1) 书中内容突出一个“新”字，结合当前企业的生产实际，力求教学内容能反映本工种新技术、新工艺的应用和新设备的使用，具有一定的广度和深度。

(2) 内容编排上，努力做到理论与实践紧密结合，侧重实践操作，理论知识以够用为度，技能实训以培养掌握复杂操作和新技术应用的技能，并以培养增强分析、判断、排除各种实际故障能力为重点。

(3) 培养目标明确，强化应用。教学中注重培养学员的职业能力，坚持高技能人才的培养方向，我们把相关知识点的学习与专业技能实训有机地结合起来，摒弃以往“就知识讲知识”的传统做法。

(4) 根据人力资源和社会保障部相关技能鉴定规范，同时结合深圳市电工、电梯、制冷专业技师（模块化）和可编程序控制系统设计师等工种职业标准，力求教学内容能覆盖相应技能鉴定的要求。

本系列教材的编者来自深圳技师学院从事培训教学的一线教师和企业的部分专家，书中内容基本反映了深圳技能培训教学和社会化考核的方向，相信本书会受到中、高职类院校广大师生和广大青年读者的欢迎。

编委会主任 黎德良

第1版前言

随着我国经济的不断发展和产业结构的不断调整,在新技术的掌握程度以及操作技能的广度和深度方面对电工提出了更高、更全面的要求。为帮助电工从业人员、技工学校学生、职业技术学校学生顺利通过电工技能鉴定和提高高学历人员的电工实践技能水平,根据《中华人民共和国职业技能鉴定规范》,并参考了《深圳市电工技能职业标准》,结合目前电工的文化素质、技术状况和企业生产对电工技能的实际需要,我们编写了《变频器、可编程序控制器及触摸屏综合应用技术实操指导书》。本书可供机电类技师培训及考证训练时使用,也可供机电类工程人员自学时使用。也可作为生产一线工程技术人员解决问题的参考指南。

本书的编写思想主要从四个方面出发:一是力求所有实训项目能满足企业生产的实际需要;二是力求所有实训项目能反映本职工种新技术的应用;三是力求所有实训项目能体现机电类的实际工作经验和技能水平,且具有一定的广度和深度;四是力求所有实训项目具有很强的可操作性,都能在实训(或实验)室里完成,便于进行培训与考核。

本书在内容上努力做到理论与实践紧密结合,侧重实践操作。理论知识以够用为度,尤其是在本书第2章一改同类教科书只讲指令,不讲指令如何应用的弊端,列出了大量的实例和实训,让广大读者学指令用指令;技能实践方面以培养掌握复杂操作和新技术操作的能力和增强分析、判断、排除各种实际故障的能力为重点。本书文字叙述尽量做到深入浅出,通俗易懂,图文并茂,可以帮助广大青年读者自学,如果再加以面授培训,可全面掌握电工的实践技能,为电工技能考核打下坚实的基础。

本书是《变频器、可编程序控制器及触摸屏综合应用》一书的配套实操指导,共分6章,第1章介绍FR-A540变频器的基本原理和操作,第2章介绍FX系列可编程序控制器的指令系统及其应用实例,第3章介绍MELSEC-GOT触摸屏的使用和画面制作软件,第4章介绍FX系列设备之间数据通信的相关知识,第5章介绍FX系列可编程序控制器特殊功能模块的使用,第6章介绍FX系列设备综合应用设计技能。附录介绍FR-A540变频器参数表和常见故障代码、FX2N系列的特殊软元件、FR-A700变频器的操作、FR-A500数据代码表(部分)及10套职业技能鉴定“电工、电梯、制冷”技师模块实操试卷样题。

吴启红编写了第1章、第2章的2.1~2.4节、第3章的3.1~3.3节、第4章、第6章、全书所有实训项目和附录部分;胡洪编写了第2章的2.5~2.6节、第3章3.4节;谭斌编写了第5章;全书由吴启红统稿。在编写过程中得到了彭旭昀、岳庆来、周锋、肖明耀、郝瑞生、宋峰青、刘贯华、阮友德、周焯等老师的大力帮助,在此一并表示衷心的感谢!

本书基本反映了近年来技工学校和高职院校的实训教学和社会化考核的方向,相信本套丛书会受到中、高职类专业院校广大师生和广大青年,以及广大一线工程技术人员喜欢。

由于编写时间仓促,加之编者水平有限,书中的错误和不当之处在所难免,恳请读者提出宝贵意见,邮箱是 qhong w@126.com。

编者

2007年3月于深圳技师学院

目 录

序	
第 2 版前言	
第 1 版前言	
第 1 章 FR - A540 变频器	
的原理和操作	1
1.1 概述	1
1.2 变频器简单工作原理	1
1.2.1 变频调速的控制方式	1
1.2.2 变频器的基本构成	3
1.3 FR - A540 变频器的接线	5
1.3.1 主电路接线	5
1.3.2 控制电路接线	7
1.4 FR - A540 变频器操作使用	12
1.4.1 FR - DU04 操作面板的名称和功能	12
1.4.2 操作面板的使用	13
1.5 变频器的运行操作模式	16
1.6 变频器参数	16
实训项目一 变频器基本操作实训	19
实训 1 变频器面板基本操作实训	19
实训 2 PU 运行操作方式的操作	21
实训项目二 变频器运行操作模式实训	21
实训 3 外部运行操作方式 (Pr. 79 = 2)	22
实训 4 组合运行操作方式 (Pr. 79 = 3、4)	22
实训 5 变频器程序运行模式实训	23
实训项目三 变频器输入输出信号实训	27
实训 6 频率跳变实训	27
实训 7 输出频率检测实训	28
实训 8 多段速度实训	29
实训项目四 变频器综合操作实训	32
实训 9 PLG 闭环运行实训	33
实训 10 变频器 PID 控制功能实训	34
考核项目	40
第 2 章 FX 系列可编程序控制器	42
2.1 可编程序控制器的基本知识	42
2.1.1 PLC 的性能指标	42
2.1.2 PLC 的组成	43
2.1.3 FX 系列 PLC 的特点与规格	44
2.1.4 FX2N 系列 PLC 的软元件	47
2.2 FX2N 系列 PLC 基本指令	51
2.2.1 基本指令的概述	51
2.2.2 基本指令编程	52
实训项目五 基本指令编程实训	56
实训 11 电动机 Y - Δ 起动控制	57
实训 12 简易三层电梯的 PLC 控制	58
实训 13 五组抢答器控制设计	59
2.3 步进控制指令及状态编程方法	63
2.3.1 FX2N 系列 PLC 的步进指令	63
2.3.2 多流程步进控制	64
实训项目六 步进指令编程实训 1 (单流 程控制)	66
实训 14 简易机械手控制	67
实训 15 电镀生产线 PLC 控制	68
实训项目七 步进指令编程实训 2 (多流 程控制)	69
实训 16 十字路口交通灯控制	70
实训 17 人行交通灯控制	72
实训 18 带式输送线 PLC 控制	73
实训 19 指示灯顺序控制 (选择分 支实训)	73
实训项目八 PLC (步进指令) 与变频器 综合应用实训 1	76
实训 20 工业洗衣机程序控制系统 (变 频器程序运行控制)	76
实训 21 刨床控制	78
实训 22 中央空调冷却水泵节能循环 运行控制	82
实训 23 恒压供水 (多段速度) 控制	83
2.4 FX2N 系列 PLC 功能指令编程 及应用	86
2.4.1 功能指令的表现形式和含义	87
2.4.2 程序流控制指令	88

2.4.3 传送和比较指令	90	3.2.2 画面功能操作	169
2.4.4 四则运算及逻辑运算指令	95	3.2.3 GOT 操作键的基本操作	171
2.4.5 循环移位与移位指令	99	3.2.4 状态模式操作	173
2.4.6 数据处理指令	102	3.3 触摸屏的通信	175
2.4.7 高速处理	104	3.3.1 F940GOT 通信连接概述	175
2.4.8 方便指令	111	3.3.2 触摸屏与变频器的通信	175
2.4.9 外部 I/O 设备指令	114	3.3.3 触摸屏中通信软元件	176
2.4.10 外部设备指令	116	3.4 GT Designer 2 (中文版) 触摸屏工程	
2.4.11 实时时钟处理指令	118	创建软件的使用	178
2.4.12 触点式比较指令	121	3.4.1 软件概述	178
实训项目九 PLC 功能指令应用实训	122	3.4.2 GT Designer 2 软件安装	178
实训 24 停车场车位控制设计	123	3.4.3 触摸屏工程创建	179
实训 25 简易自动售货机控制设计	126	3.4.4 工程设计软件的使用	180
实训 26 灯光广告牌控制设计	129	3.4.5 菜单工具的使用	182
2.5 三菱 GX Developer Ver. 8 编程软		3.4.6 数据的传输	185
件的使用	131	3.4.7 GT Simulator 2 仿真软件	185
2.5.1 软件概述	131	实训项目十一 触摸屏实训操作	190
2.5.2 GX Developer 8.52 中文编程		实训 31 触摸屏基本功能画面制作	
软件安装	132	实训	191
2.5.3 工程项目	133	实训 32 触摸屏与变频器的通信控制	195
2.5.4 梯形图的制作	135	考核项目	200
2.5.5 工程描述	139	第 4 章 FX 系列设备之间数据通信	203
2.5.6 运行监控	141	4.1 通信的基础	203
2.6 GX Simulator Ver. 7 仿真软件的		4.1.1 通信的分类和任务	203
使用	142	4.1.2 数据通信方式	204
2.6.1 启动 GX Simulator Ver. 7	142	4.1.3 数据传送方向	206
2.6.2 初期画面的表示内容	143	4.1.4 串行通信接口标准	206
2.6.3 监视软元件	143	4.2 FX 系列 PLC 的通信基础	207
实训项目十 PLC (功能指令) 与变频器综		4.2.1 通信接口模块	207
合应用实训 2	144	4.2.2 FX 系列 PLC 通信分类	210
实训 27 简易四层货梯控制	144	4.2.3 FX 系列设备通信连接方式	210
实训 28 八站小推车自动控制	148	4.3 PLC 的并行通信	211
实训 29 带编码器的三层电梯控制	152	4.3.1 通信规格	211
实训 30 简易十五层电梯控制	155	4.3.2 相关软元件分配	211
考核项目	158	4.3.3 通信布线	212
第 3 章 MELSEC - GOT 触摸屏		4.3.4 编程控制实例	213
技术	165	4.4 N:N 网络	217
3.1 概述	165	4.4.1 概述	217
3.1.1 触摸屏的工作原理	165	4.4.2 通信规格	218
3.1.2 触摸屏的分类	165	4.4.3 链接的软元件	218
3.2 MELSEC - GOT 触摸屏硬件		4.4.4 接线控制	219
使用操作	168	4.4.5 编程控制实例	220
3.2.1 三菱触摸屏性能规格	168	4.5 无协议通信功能 (RS 指令)	221

4.5.1	概述	221	5.3.4	FX2N-2DA 模拟量输出模块	267
4.5.2	通信规格	222	5.4	FX0N-3A A/D、D/A 转换一 体化模块	270
4.5.3	相关软元件	222	实训项目十三	特殊功能模块实训	273
4.5.4	PLC 的通信格式	223	实训 36	A/D 特殊功能模块实训	273
4.5.5	通信编程时相关指令	224	实训 37	FX2N-2DA 应用实训	275
4.5.6	FX 系列 PLC 与三菱系列 变频器的通信	228	实训 38	特殊模块综合应用实训	277
4.6	变频器通信功能 (使用 EXTR 指令)	234	考核项目		279
4.6.1	概述	234	第 6 章 FX 系列设备综合应用		280
4.6.2	通信规格	234	6.1	综合应用控制系统设计概述	280
4.6.3	通信接线	234	6.2	PLC 的接口电路	282
4.6.4	相关参数	235	6.3	FX 系列设备综合应用示例	284
4.6.5	通信编程指令	237	6.3.1	PLC 在恒温控制过程中的 应用	284
4.6.6	变频器通信功能示例	240	6.3.2	PLC 在自动颜色分拣系统中的 应用	286
实训项目十二	FX 系列设备通信应用 实训	242	实训项目十四	FX 系列设备综合应用 实训	296
实训 33	PLC 与变频器 RS-485 的通信 控制	242	实训 39	中央空调冷冻泵节能运行 综合控制	296
实训 34	三台电动机的 PLC N:N 网络控制	249	实训 40	PLC 恒压供水 (PID) 控制	300
实训 35	PLC 与变频器通信控制电动机 程序运行	250	实训 41	Q 系列 PLC 工业现场网络 总线控制	307
考核项目		253	实训 42	步进电动机的 PLC 控制	311
第 5 章 FX 系列可编程序控制器的特 殊功能模块		255	考核项目		314
5.1	特殊功能模块的分类概述	255	附录		319
5.2	特殊功能模块的使用与编程	257	附录 A	FR-A540 变频器参数表	319
5.3	模拟量输入/输出模块	259	附录 B	FR-A540 常见故障代码	321
5.3.1	模块工作原理	259	附录 C	FX2N 系列 PLC 的特殊软元件	325
5.3.2	FX2N-4AD 模拟量输入模块	259	附录 D	FR-A700 变频器的操作	328
5.3.3	FX2N-4AD-PT 模拟量 输入模块	265	附录 E	FR-A500 部分数据代码表	333
			参考文献		339

第 1 章 FR - A540 变频器的原理和操作

1.1 概述

在过去,直流调速一直优于交流调速,因为直流系统具有较为优良的静、动态性能指标。对一些调速性能要求较高的场合大都采用直流调速。因此很长的一个历史时期,调速传动领域基本被直流电动机调速系统所垄断。

直流电动机虽有调速性能较好的优越性,但也有一些固有的难于克服的缺点,主要是机械式换向器带来的弊端,其缺点是:①维修工作量大,事故率高;②功率、电压、电流和转速均受到换向条件的制约,因此难于提高。

进入 20 世纪 80 年代,由于电力电子器件和微电子技术的发展,尤其是电力电子器件(包括半控型和全控型)的制造技术、电力电子变换技术、交流电动机的矢量变换控制技术 & 直接转矩控制技术、脉宽调制(Pulse Width Modulation, PWM)技术以及微型计算机和大规模集成电路为基础的全数字化技术取得突破性的进展,变频调速技术得到了高速的发展。

由于交流电动机具有一些固有的优点:①功率、电压、电流和转速上限不像直流电动机那样受限制;②结构简单、造价低;③坚固耐用,事故率低,易维护。但其最大的缺点是调速困难。随着交流调速技术上的突破,变频器的性能得到改善,交流调速系统已经与直流调速系统相匹敌,甚至超过了直流调速系统。

特别是近 10 多年来,变频器的性能得到了飞速发展,使得交流调速达到了与直流调速一样的水平,并且在某些方面超过了直流调速,操作者通过设置必要的参数,变频器就能控制电动机按照人们预想的曲线运行,例如:电梯运行的“S”形曲线、恒压供水控制、珍珠棉生产线的卷筒速度控制等。目前由于出现了高电压、大电流的电力电子器件,对 10kV 电动机直接进行变频调速,可以达到节能的目的。由以上例子可以看出由于绝缘栅双极型晶体管(IGBT)的出现,变频器应用日益广泛。

1.2 变频器简单工作原理

在交流异步电动机的诸多调速方法中,变频调速的性能最好,调速范围大,静态稳定性好,运行效率高。采用通用变频器对笼型异步电动机进行调速控制,由于使用方便、可靠性高,并且经济效益显著,得到了大量的推广。

1.2.1 变频调速的控制方式

从以上分析不难看出:直流电动机虽然调速性能很好,但由于构造复杂,导致使用环境及功率都受到了限制;而笼型电动机虽然构造简单,使用环境及功率都不受约束,但采用变磁极对数调速与调转差率 s 调速,其调速性能又太差,远远不能满足控制的要求。

根据异步电动机的转速表达式可知，只要平滑地调节异步电动机的供电频率 f_1 ，就可以平滑调节异步电动机的同步转速 n_0 ，从而实现异步电动机的无级调速，从机械特性分析，其调速性能比调磁极对数和转差率好得多，近似直流电动机调压的机械特性。但遗憾的是，所使用的电源都是固定的工频电源，无法变频，所以制造变频电源装置，即变频器就成了关键问题。

过去采用旋转变频发电机组作为变频电源，这种电源无法实际应用。随着晶闸管的问世、逆变器的产生，静止式的变频电源，即晶闸管式变频器就应运而生，但其性能差、效率低；近年来随着功率晶体的出现、微机控制技术的成熟，变频器调速才得到迅猛发展。

根据异步电动机的转速表达式 $n = 60(f_1/p)(1-s) = n_0(1-s)$ ，改变笼型异步电动机的供电频率，也就是改变电动机的同步转数 n_0 。就可以实现调速，这就是变频调速的基本原理。

表面看来，只要改变定子电压的频率 f_1 就可以调节转速高低了，但是事实上，只改变 f_1 并不能正常调速，而且会引起电动机因过电流而烧毁的可能。为什么呢？这是由异步电动机的特性决定的。现从基频以下与基频以上两种调速情况进行分析。

1. 基频以下恒磁通（恒转矩）变频调速

(1) 恒磁通变频调速的原因

恒磁通变频调速实质上就是调速时要保证电动机的电磁转矩恒定不变。这是因为电磁转矩与磁通是成正比的。

如果磁通太弱，铁心利用不充分，同样的转子电流下，电磁转矩就小，电动机的负载能力下降，要想负载能力恒定，就得加大转子电流，这就会引起电动机因过电流发热而烧毁。

如果磁通太强，电动机会处于过励磁状态，使励磁电流过大，同样会引起电动机过电流而发热。所以变频调速一定要保持磁通恒定。

(2) 怎样才能做到变频调速时磁通恒定

从公式 $E = 4.44Nf\Phi$ 可知：每极磁通 $\Phi_1 = E_1 / (4.44N_1f_1)$ 的值是由 E_1 和 f_1 共同决定的，对 E_1 和 f_1 进行适当控制，就可以使气隙磁通 Φ_1 保持额定值不变。由于 $4.44N_1f_1$ 对某一电动机来讲是一个固定常数，所以只要保持 $E_1/f_1 = \text{const}$ ，即保持电动势与频率之比为常数进行控制即可。

但是， E_1 难以直接检测和直接控制。当 E_1 和 f_1 的值较高时，定子的漏阻抗压降相对较小，如忽略不计，即认为 U_1 和 E_1 是近似相等的，这样则可近似地保持定子相电压 U_1 和频率 f_1 的比值为常数。这就是恒压频比控制方程式

$$U_1/f_1 = \text{const} \quad (1-1)$$

当频率较低时， U_1 和 E_1 都变得很小，此时定子电流却基本不变，所以定子的阻抗压降，特别是电阻压降，相对此时的 U_1 来说是不能忽略的。我们可以想办法在低速时人为地提高定子相电压 U_1 ，以补偿定子的阻抗压降的影响，使气隙磁通 Φ_1 保持额定值基本不变，如图1-1所示。

图中，1为 $U_1/f_1 = \text{const}$ 时的电压与频率关系曲线；2为有电压补偿时，即近似的 $E_1/f_1 = \text{const}$ 的电压与频率关系曲线。实际上变频器装置中相电压

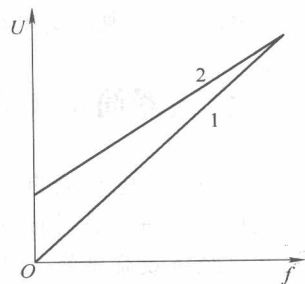


图1-1 U_1/f_1 与 E_1/f_1 的关系

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。

由上面讨论可知, 笼型异步电动机的变频调速必须按照一定的规律同时改变其定子电压和频率, 采用所谓变压变频 (Variable Voltage Variable Frequency, VVVF) 调速控制。现在的变频器都能满足鼠型异步电动机的变频调速的基本要求。

(3) 恒磁通变频调速机械特性

用 VVVF 变频器对鼠型电动机在基频以下进行变频控制时的机械特性如图 1-2 所示。其控制条件为 $E_1/f_1 = \text{const}$ 。

图 1-2a 表示在 $U_1/f_1 = \text{const}$ 的条件下得到的机械特性。在低速区, 由于定子电阻压降的影响使机械特性向左移动, 这是由于主磁通减小的缘故。图 1-2b 表示采用了定子电压补偿后的机械特性。图 1-2c 则表示出了端电压补偿的 U_1 与 f_1 之间的函数关系。

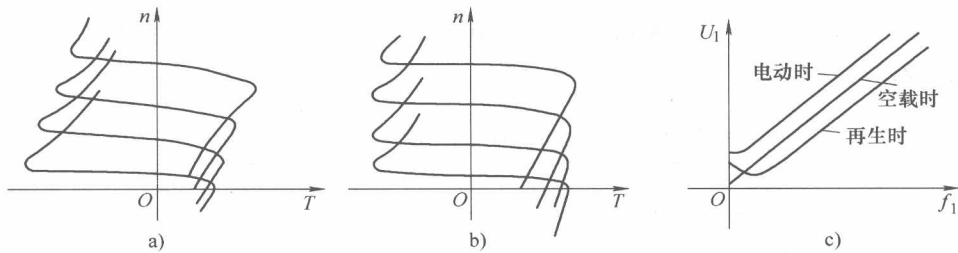


图 1-2 变频调速机械特性

a) $U_1/f_1 = \text{const}$ b) 定子电压补偿 c) 端电压补偿的 U_1 与 f_1 之间的函数关系

2. 基频以上恒功率 (恒电压) 变频调速

恒功率变频调速又称为弱磁通变频调速。这是考虑由基频 f_{1N} 开始向上调速的情况, 频率由额定值 f_{1N} 向上增大, 如果按照 $U_1/f_1 = \text{const}$ 的规律控制, 电压也必须由额定值 U_{1N} 向上增大, 但实际上电压 U_1 受额定电压 U_{1N} 的限制不能再升高, 只能保持 $U_1 = U_{1N}$ 不变。根据公式 $\Phi_1 \approx U_1 / (4.44f_1 N_1)$ 分析, 主磁通 Φ_1 随着 f_1 的上升而应减小, 这相当于直流电动机弱磁调速的情况, 属于近似的恒功率调速方式。证明如下:

在 $f_1 > f_{1N}$ 、 $U_1 = U_{1N}$ 时, 公式 $E_1 = 4.44f_1 N_1 \Phi_1$ 近似为 $U_{1N} \approx 4.44f_1 N_1 \Phi_1$ 。

可见随 f_1 升高, 即转速升高, ω_1 越大, 主磁通 Φ_1 必须相应下降, 才能保持平衡, 而电磁转矩越低, T 与 ω_1 的乘积可以近似认为不变, 即

$$P_N = T\omega_1 \approx \text{const} \quad (1-2)$$

也就是说, 随着转数的提高, 电压恒定, 磁通就自然下降, 当转子电流不变时, 其电磁转矩就会减小, 而电磁功率却保持恒定不变。对笼型异步电动机在基频以上进行变频控制时的机械特性如图 1-3 所示。其控制条件为 $E_1/f_1 \approx \text{const}$ 。综合上述, 笼型异步电动机基频以下及基频以上两种调速情况下的变频调速的控制特性如图 1-4 所示。

1.2.2 变频器的基本构成

变频器分为交-交和交-直-交两种形式。交-交变频器可将工频交流直接转换成频率、电压均可控制的交流电, 又称为直接变频器。而交-直-交变频器则是先把工频交流电

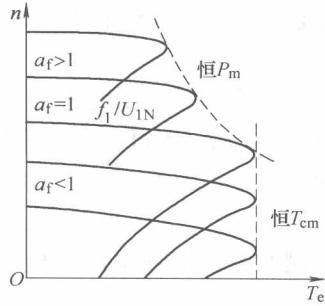


图 1-3 不同调速方式机械特性

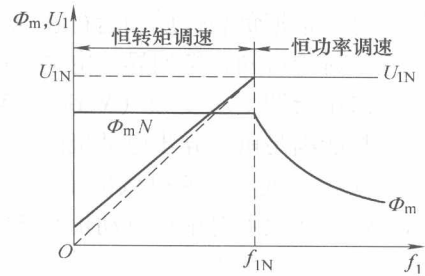


图 1-4 调频调速控制特性

通过整流器变成直流电，然后再把直流电变换成频率、电压均可控制的交流电，它又称为间接变频器。我们的目的是研究通用变频器，所以主要研究交-直-交变频器（以下简称变频器）。

变频器的基本构成如图 1-5 所示，由主电路（包括整流器、中间直流环节、逆变器）和控制电路组成，分述如下：

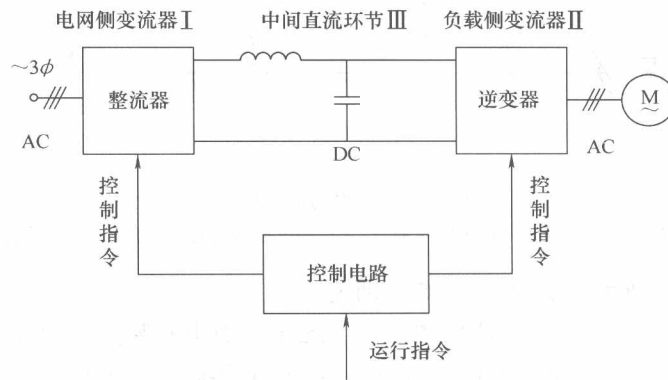


图 1-5 变频器的基本构成

1) 整流器：电网侧的变流器 I 是整流器，它的作用是把三相（也可以是单相）交流电整流成直流电。

2) 逆变器：负载侧的变流器 II 为逆变器。最常见的结构形式是利用 6 个半导体主开关器件组成的三相桥式逆变电路，有规律地控制逆变器中主开关器件的通与断，可以得到任意频率的三相交流电输出。

3) 中间直流环节：由于逆变器的负载为异步电动机，属于感性负载。无论电动机处于电动或发电制动状态，其功率因数总不会为 1。因此在中间直流环节和电动机之间总会有无功功率的交换。这种无功能量要靠中间直流环节的储能元件（电容器或电抗器）来缓冲。所以又常称中间直流环节为中间直流储能环节。

4) 控制电路：控制电路常由运算电路、检测电路、控制信号的输入输出电路和驱动电路等构成。其主要任务是完成对逆变器的开关控制、对整流器的电压控制以及完成各种保护功能等。控制方法可以采用模拟控制或数字控制。高性能的变频器目前已经采用微型计算机进行全数字控制，采用尽可能简单的硬件电路，主要靠软件来完成各种功能。由于软件的灵

活性，数字控制方式常可以完成模拟控制方式难以完成的功能。

5) 关于变流器名称的说明：对于交-直-交变频器，在不涉及能量传递方向的改变时，我们常简明地称变流器 I 为整流器，变流器 II 为逆变器（见图 1-5），而把图中 I、II、III 总称为变频器（日本资料则总称为逆变器）。实际上，对于再生能量回馈型变频器，I、II 两个变流器均可能有两种工作状态：整流状态和逆变状态。当讨论中涉及变流器工作状态转变时，I、II 不再简称为“整流器”和“逆变器”，而称为“网侧变流器”和“负载侧变流器”。

1.3 FR - A540 变频器的接线

现在市场上三菱变频器的型号有多种，如 FR - A 系列、S 系列、E 系列等。我们选取 FR - A540 变频器作为介绍，附录 D 中介绍了三菱最新的 FR - A700 变频器的简单操作。

FR - A540 变频器的各电路接线端子，如图 1-6 所示。其中，◎表示主电路接线端子，○表示控制电路输入接线端子，●表示控制电路输出接线端子。

1.3.1 主电路接线

1. 主电路接线

主电路电源和电动机的连接如图 1-7 所示。电源必须接 R、S、T，绝对不能接 U、V、W，否则会损坏变频器。在接线时不必考虑电源的相序。使用单相电源时必须接 R、S 端子。电动机接到 U、V、W 端子上。当加入正转开关（信号）时，电动机旋转方向从轴向看时为逆时针方向。

2. 主电路接线端子介绍及注意事项

(1) 主电路接线端子简介

1) 交流电源输入端子 R、S、T：连接工频电源，当使用高功率因数转换器选件时，确保这些端子不连接高功率因数转换器（FR - HC）。

2) 变频器输出端子 U、V、W：接三相笼型异步电动机。

3) 控制电路电源输入端子 R1、S1：与交流电源端子 R、S 连接。在保持异常显示和异常输出时，或当使用高功率因数转换器（FR - HC）时，必须拆下 R - R1 和 S - S1 之间的短路片，并提供外部电源到此端子。

4) 连接制动电阻器端子 P/+、PR：拆开端子 PR - PX 之间的短路片，在 P/+ 与 PR 之间连接选件制动电阻器（FR - BU）。

5) 连接制动单元端子 P/+、N/-：连接选件 FR - BU 型制动单元或电源再生单元（FR - RC）或高功率因数转换器（FR - HC）。

6) 连接改善功率因数 DC 电抗器端子 P/+、P1：拆开端子 P/+ 与 P1 间的短路片，连接选件改善功率因数用电抗器（FR - BEL）。

7) 连接内部制动电路端子 PR、PX：用短路片将 PX - PR 间短路（出厂设定）时，内部制动电路便生效（7.5kW 以下装有）。

8) 接地端子供变频器外壳接地用，必须接大地。

(2) 接线注意事项

1) 电源一定不能接到变频器输出端（U、V、W）上，否则将损坏变频器。

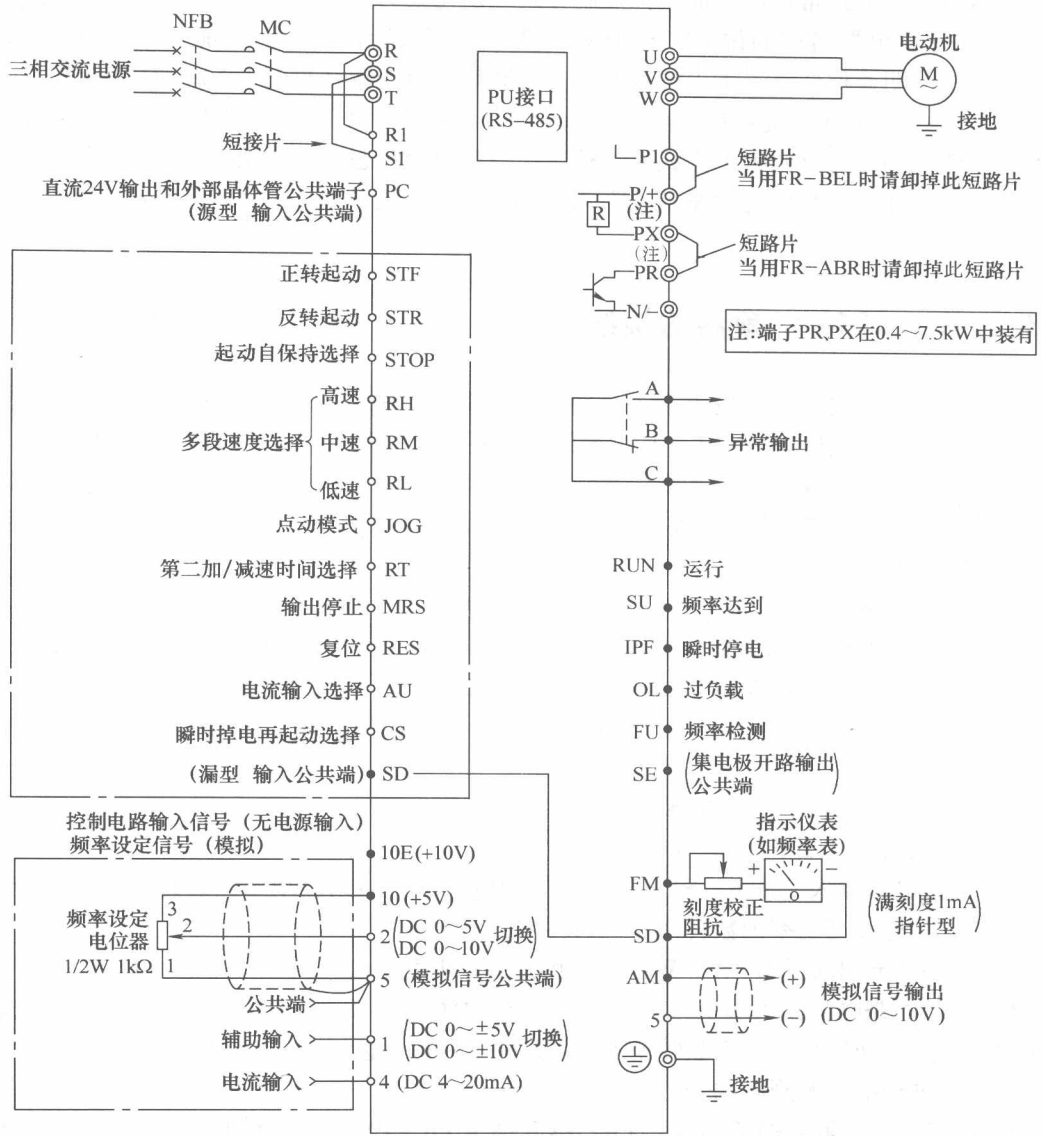


图 1-6 端子接线图

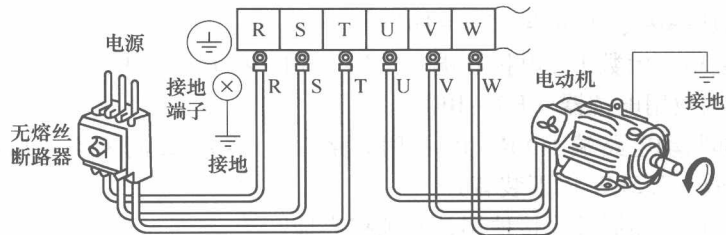


图 1-7 电源和电动机的连接

2) 接线后, 零碎线头必须清除干净, 零碎线头可能造成设备运行时发生异常、失灵和故障, 必须始终保持变频器清洁。在控制台上打孔时, 请注意不要使碎片粉末等进入变频器中。

3) 为使电压降在 2% 以内, 请用适当型号的电线接线。

4) 布线距离最长为 500m。尤其长距离布线, 由于布线寄生电容所产生的冲击电流会引起过电流保护误动作, 输出侧连接的设备可能会运行异常或发生故障。因此最大布线距离长度必须按表 1-1 所示的规定执行 (当变频器连接两台以上电动机, 总布线距离必须在要求范围以内)。

表 1-1 变频器布线距离

变频器功率/kW	0.4	0.75	1.5 以上
非超低噪声模式时布线距离/m	300	500	500
超低噪声模式时布线距离/m	200	300	500

5) 在 P/+ 和 PR 端子间建议连接指定的制动电阻选件, 端子间原来的短路片必须拆下。

6) 不要在变频器输出侧安装电力电容器、浪涌抑制器和无线电噪声滤波器 (FR - BIF 选件)。这些设备将导致变频器故障或电容和浪涌抑制器的损坏。

7) 在变频器运行后, 如进行改变接线操作, 必须在电源切断 10min 以上, 用万用表检查电压后进行。因为断电后一段时间内, 电容上仍然有危险的高压电。

1.3.2 控制电路接线

控制电路端子排列如图 1-8 所示。端子 SD、SE 和 5 为 I/O 信号的公共端子, 在接线时不能将这些端子互相连接或接地。

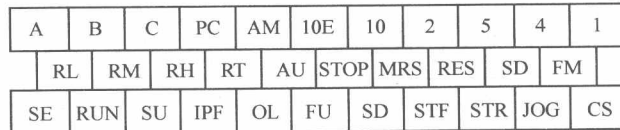


图 1-8 控制电路端子排列图

1. 控制电路输入信号接线端子简介

输入信号出厂设定为漏型逻辑。在这种逻辑中, 信号端子接通时, 电流是从相应输入端子流出。端子 SD 是触点输入信号的公共端。其结构如图 1-9 所示。

1) 正转起动信号 (STF): STF 信号处于 ON 便正转, 处于 OFF 便停止。程序运行模式时为程序运行开始的信号 (ON 开始, OFF 停止)。

2) 反转起动信号 (STR): STR 信号 ON 为逆转, OFF 为停止。当 STF 和 STR 信号同时 ON 时, 相当于给出停止指令。

3) 起动自保持选择信号 (STOP): 使 STOP 信号处于 ON, 可以选择起动信号自保持。

4) 输入信号中具有功能设定端子的有 RL、RM、RH、RT、AU、JOG、CS, 这些端子

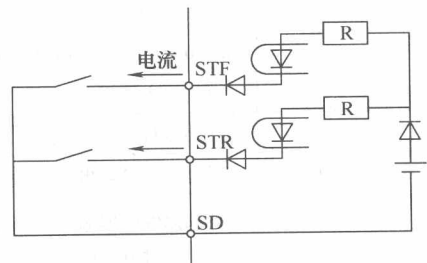


图 1-9 控制电路输入信号结构图