

电工电子技能培训 大讲堂

DIANGONG DIANZI JINENG PEIXUN DAJIANGTANG



电动机的起动控制 与变频调速

杨德印 主 编
杨电功 王道川 杨盼红 副主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



电工电子技能培训大讲堂

电动机的起动控制与 变频调速



机械工业出版社

本书较系统地介绍了高压和低压三相异步电动机的起动控制与变频调速原理, 提供了相关电路原理图。同时, 书中使用了较大的篇幅介绍变频器、软起动器以及采用数字电路、单片机等电子技术研发生产的新型控制用器件、部件, 本书将电动机的控制电路原理以及采用新型控制器件和部件的应用资料汇集整理成册, 方便相关技术人员查阅与参考。

附录部分采用问答的形式对变频器在操作、应用等实践活动中经常遇见的问题给以解答, 对变频器中大量与频率、时间相关的概念都给出了通俗易懂的解释。非常具有针对性地解决读者的一些疑难问题。

本书可供工矿企业及农村机电运行维护人员阅读, 也可供相关专业的大中专院校师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

电动机的起动控制与变频调速/杨德印主编. —北京: 机械工业出版社, 2010. 4

(电工电子技能培训大讲堂)

ISBN 978-7-111-29774-1

I. ①电… II. ①杨… III. ①三相电机: 异步电机-
起动系统: 控制系统②三相电机: 异步电机-变频调速
IV. ①TM343

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 027933 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: 吉 玲 责任编辑: 吕 潇

责任校对: 陈延翔 封面设计: 鞠 杨

责任印制: 杨 曦

保定市中华美凯印刷有限公司印刷

2010 年 5 月第 1 版第 1 次印刷

148mm × 210mm · 10.625 印张 · 312 千字

0001—3000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-29774-1

定价: 28.00 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

出版说明

随着我国经济的飞速发展,工业化与信息化的融合及节能减排等政策的层层推进,为技术创新发展提出了更高的要求;同时,我国还是一个制造业大国,并处在向制造业强国转化的过程,在拥有大量劳动者的同时,努力提高劳动者的素质,使其更好地适应技术的发展及社会的需要,不仅可以更好地服务于产业的发展,也是构建和谐社会的基本要素。

电工电子技术渗透于各行各业,吸纳的就业人口众多,向劳动者普及基本知识技能,一直是我们努力的目标。我们在电工电子技术出版领域积累了大量优秀的作者资源,出版了大批优秀的图书,受到了读者的欢迎。

我们针对初学者学习基础比较薄弱、从事的工作对技能要求比较高的特点,将优秀作者和优势作品进行整合及筛选,打造成崭新的强势丛书——《电工电子技术培训大讲堂》系列图书,本系列图书具有内容全面、系统,结构科学、合理,层次丰富、细节突出等优点,可以为学习者提供多种选择的特点,具体内容涵盖了:电工电子基础知识入门、电工技能提高、电子仪器仪表使用、家电维修等。

本系列图书在强大的策划团队努力下,力图做到:1)理论够用,内容实用,讲解清晰;2)篇幅适中,便于学习,立竿见影;3)初级入门为主,多层次扩展,适当向技能提高延伸;4)体裁形式多样,写作形式多样;5)适应性强,多行业多领域的电工电子技术学习者都可适用。

本系列图书的出版得到了众多“明星”作者的全力支持,他们在百忙之中为图书内容的撰写、修订及改写付出了大量的精力,查阅了大量的资料,进行了系统化的对比和分析,在此对他们的辛勤劳动表示感谢,希望本系列图书可以为读者提高知识技能、拓宽视野提供一些有益的、具体的帮助。

为了不断丰富和完善《电工电子技术培训大讲堂》系列图书的内容及提高图书的质量,欢迎广大读者提出宝贵意见和建议,及时向出版单位反馈信息。

机械工业出版社

前 言

电动机的变频调速技术在国际上已有几十年的发展历史, 这项技术在我国 20 世纪末开始, 从引进、消化、研发、制造以至发展到推广应用的阶段, 经过专业科技人员近二十年的努力, 目前变频器的应用已经达到相当普及的程度, 掌握变频器的基本原理、参数设置、测试测量技巧以及维修方法已经成为对电气科技人员的基本要求。

本书较系统地介绍了高压 (6kV、10kV)、低压 (380V、660V、1140V) 三相异步电动机的起动控制与变频调速原理, 提供了相关电路原理图。同时, 书中用了较大的篇幅, 介绍变频器、软起动器以及采用数字电路、单片机等电子技术研发生产的新型控制用器件、部件。这些新型器件、部件近年来已经大量应用于电动机的起动、控制、测量、保护与变频调速装置中, 为提高电动机的控制与保护水平以及电动机的节能运行能力发挥了巨大作用。技术和产品的发展日新月异, 而相关的技术信息却分别存在于各自产品的说明书或专著中, 本书将电动机的控制电路原理以及采用新型控制器件、部件的应用资料汇集整理成一册, 方便相关技术人员查阅与参考。

将传统理论技术及新型器件、部件的原理应用知识一并介绍给读者, 是本书的一大亮点。

本书分六章, 另有两个附录。

第一章介绍电动机起动控制常用电器的基本知识, 包括低压电器的分类、型号命名和各种低压电器的名称、结构、主要参数、适用范围以及故障排除等; 高压电器部分, 对真空断路器、隔离开关和真空接触器等产品的结构原理、主要规格及技术参数进行了介绍。这些都是电动机起动与控制电路的基础知识。

第二章介绍应用电子技术研究生产的新型控制保护用器件及部件, 包括 JD-6 型、XJ11 型电动机保护器, 这些保护器的性能优于热继电器, 而价格与热继电器却相差无几。微机综合保护器和多回路显示报警仪通常用于较贵重或较重要的电动机的实时监测与保护, 它们保护功能完善、性能可靠, 可显示、远传监测数据, 实现电动机的遥



控、遥测、遥调和遥信。本章内容有利于上述新技术、新产品的推广应用,提高行业的整体技术水平。

第三章介绍低压电动机的各种起动控制电路,包括软起动和变频起动电路,以及电动机的调速和制动原理电路。

第四章介绍高压电动机的各种起动控制电路,包含一次电路和二次电路。文中对高压电动机的直接起动和减压起动都有详尽描述,尤其是对二次电路的分合闸、测量、保护与信号电路进行了精辟准确的原理分析。

第五章介绍变频器的基本原理,包括变频器的内部主电路结构,外部主电路接线,外部控制端子的功能及接线、功能参数、电磁兼容性、制动方式、PID控制、多段速运行以及故障的显示、诊断与维护等知识内容,是本书的重点章节。

第六章从变频器的应用实践出发,对实现变频器功能的各种单元电路的结构、工作原理、参数设置等知识和操作技能进行介绍与剖析,并通过实例给出应用电路、参数设置表和使用注意事项等,帮助读者详尽地了解相关知识,并能帮助解决在应用实践中遇到的技术难题。

附录A是本书的一个特色栏目,它分六个主题用41个问答题的形式对变频器在操作、应用等实践活动中经常遇见的问题给以解答,对变频器中大量与频率、时间相关的概念都给出了通俗易懂的解释,非常具有针对性地解决了读者的一些疑难问题。附录B是国际单位制词头表。

本书由太原科技大学运城工学院杨德印主编。

副主编杨电功、王道川和杨盼红为本书的编写付出了辛勤工作和巨大努力。

参加本书编写的还有杨鲁、朱瑞、郭晓胜、范林、刘建仁、李俊波、袁宵玉、杨福兴、贺国强、令狐丽荣、畅孟喜、尉晓东、朱章保、王笃环、吴鹏、杨建军、崔靖等。

本书可供工矿企业及农村机电运行维护人员阅读,也可供相关专业的中大专院校师生参考。

由于编者水平有限,书中难免有错误和不足之处,恳请读者批评指正。

编 者

目 录

出版说明

前言

第一章 电动机起动控制常用电器	1
第一节 低压电器的分类及全型号组成	1
一、低压电器的分类	1
二、低压电器产品型号表示法及其意义	2
第二节 低压断路器	6
一、万能式断路器	7
二、塑料外壳式断路器	14
第三节 交流接触器	22
一、CJ12 系列交流接触器	22
二、CJ12B 系列交流接触器	23
三、CJ20 系列交流接触器	23
四、CJX2 系列交流接触器	26
五、CJT1 系列交流接触器	28
六、CJ19 系列切换电容器接触器	29
第四节 刀开关	32
一、HD、HS 系列开启式刀开关及刀型转换开关	32
二、熔断器式刀开关	35
第五节 电磁式继电器	37
一、电磁式继电器的主要参数	38
二、电磁式电压继电器与电流继电器	38
三、常用电磁式中间继电器	40
第六节 时间继电器	41
一、空气阻尼式时间继电器	41
二、晶体管时间继电器	42

第七节 热继电器	44
一、热继电器的结构与工作原理	45
二、具有断相保护的热继电器	46
三、JR28 系列热继电器简介	46
第八节 行程开关与速度继电器	48
一、行程开关	48
二、速度继电器	49
第九节 熔断器	51
一、熔断器的主要技术参数	51
二、RT0 系列有填料封闭管式刀型触头熔断器	51
三、RT14 系列圆筒帽形熔断器	52
四、RL1 系列螺旋式熔断器	53
第十节 户内高压真空断路器	54
一、ZN28A-12 系列户内高压真空断路器	55
二、ZN139-12 型户内高压真空断路器	57
第十一节 高压真空接触器	64
一、CKG3、CKG4 系列交流高压真空接触器	64
二、JCZ5-7.2/12 型高压真空接触器	64
第十二节 高压隔离开关	70
一、GN30 型户内高压隔离开关	71
二、GN19 系列户内高压隔离开关	72
第十三节 真空断路器的操动机构	74
一、电磁操动机构	74
二、弹簧储能操动机构	75
三、永磁操动机构	79
第二章 应用电子技术的功能器件	82
第一节 JD-6 型电动机综合保护器的原理与维修	82
一、工作原理分析	82
二、维修实例	85
第二节 XJ11 型电动机保护器的原理与使用	86
一、工作原理分析	86



二、应用电路	88
第三节 接触器与继电器的节电运行	89
一、交流接触器的节电运行方案	89
二、继电器的节电运行方案	90
第四节 电流互感器二次过电压保护器	91
一、原理概述及特点	91
二、使用范围	92
三、安装、使用及维护	92
第五节 电动机用软起动器	92
一、CMC-S 系列软起动器的特性	93
二、使用及安装	93
三、接线方法	94
四、参数设置	97
五、故障检测与排除	99
六、规格型号及附件选用	100
七、不同应用的基本设置	101
第六节 高压电动机微机综合保护装置	102
一、装置简介	102
二、装置主要特点	103
三、技术指标	103
四、装置硬件	104
五、装置的功能与原理	105
六、定值清单及动作信息说明	110
七、装置接线	112
八、调试及异常处理说明	115
第七节 LU-905M 系列数字式多回路显示报警仪	116
一、性能特点	117
二、技术指标	117
三、仪表参数设置	119
四、接线方法	124
五、仪表选型方法	125

六、仪表报警设置·····	126
七、仪表常见故障处理·····	128
第八节 低压电动机微机监控保护器·····	130
一、装置简介·····	130
二、主要技术指标·····	130
三、型号规格·····	131
四、操作使用方法·····	132
第三章 低压电动机的起动运行与控制·····	139
第一节 电动机的直接起动·····	139
第二节 电动机的星-三角起动·····	141
第三节 电动机的自耦减压起动·····	143
第四节 三速电动机的起动·····	147
第五节 绕线转子异步电动机的起动·····	150
第六节 电动机的延边三角形减压起动控制·····	153
第七节 电动机的软起动·····	155
一、设置参数的方法·····	155
二、软起动电路的起动控制模式·····	156
三、软起动电路的停止控制模式·····	158
四、软起动装置的运行控制·····	159
第八节 电动机的变频起动·····	161
第九节 电动机的制动·····	163
一、机械制动·····	164
二、电气制动·····	166
第十节 三相异步电动机的调速·····	177
一、变转差率调速·····	177
二、变频调速·····	178
三、变极调速·····	179
第四章 高压电动机的起动运行与控制·····	182
第一节 高压电动机起动的一次电路·····	182
一、直接起动·····	182
二、减压起动·····	183



第二节 高压电动机直接起动的二次电路	186
一、测量与检修照明电路	187
二、高压电动机的起动与停止	188
三、保护与信号电路	190
第三节 高压电动机串联电抗器减压起动的二次电路	191
一、测量与检修照明电路	192
二、高压电动机串电抗器时的起动与停止	193
三、保护与信号电路	195
第四节 采用综保装置的高压电动机起动的二次电路	196
一、二次电路的控制电源	197
二、电动机的分合闸控制	198
三、测量、保护与信号电路	199
第五章 变频器的基本知识	200
第一节 变频器的分类	201
一、按工作电源的电压等级分类	201
二、按直流电源的性质分类	201
三、按电压的调制方式分类	202
四、按电能变换的方式分类	202
第二节 变频器的内部主电路	202
一、内部主电路结构	202
二、均压电阻和限流电阻	203
三、主电路的对外连接端子	203
四、变频系统的共用直流母线	204
第三节 变频器的外接主电路	205
一、外接主电路结构	205
二、相关元件的选择	206
三、变频器与电动机之间的允许距离	206
第四节 变频器的功能参数	208
一、功能参数设置的意义	208
二、功能参数设置的方法	211
第五节 变频器对异步电动机的控制方式	213



一、V/F 恒定控制	214
二、转差频率控制	214
三、矢量控制	214
四、转矩控制	215
五、直接转速控制	215
第六节 变频器的电磁兼容性	215
一、变频器的谐波和电磁干扰	216
二、变频系统中的抗干扰措施	217
第七节 变频器的制动方式	218
一、变频器的再生制动	218
二、变频器的直流制动	219
三、变频器电容反馈制动	219
第八节 变频器的 PID 控制	221
一、如何使 PID 控制功能有效	221
二、目标信号与反馈信号	221
三、目标信号的输入通道与数值大小	222
四、PID 的反馈逻辑	223
五、反馈信号输入通道	223
六、参数值的预置与调整	224
第九节 变频器的多段速运行	224
一、端子控制的多段速运行	225
二、程序控制的多段速运行	227
第十节 变频器应用实例	229
一、变频器的广泛应用	229
二、具体应用案例	229
第十一节 变频器故障的显示、诊断与维护	235
一、变频器故障的显示	235
二、变频器故障的逻辑图诊断	236
三、变频器主电路故障诊断	237
四、变频器的维护	240
第六章 变频器应用实践电路	243



第一节 变频器中闭环控制功能的应用	243
一、PID 控制的效能	243
二、PID 控制的实现	243
三、PID 应用实例	248
第二节 变频器的制动电阻与制动单元	250
一、制动电路工作原理	250
二、制动电阻的阻值和功率	251
三、制动电路异常的处理	252
第三节 变频器功率因数的改善	253
一、变频器的无功功率与功率因数	253
二、提高功率因数的措施	254
三、电抗器的选用	254
四、交流电抗器的相关应用	255
第四节 变频器的多挡频率运行实例	255
一、如何实现多挡频率控制	256
二、多挡频率运行的实例	257
第五节 变频器的频率检测	260
一、频率检测功能简介	260
二、频率检测的功能参数	262
三、频率检测的应用实例	264
第六节 变频器的跳跃频率	265
一、跳跃频率	265
二、跳跃频率幅度	267
三、应用举例	268
第七节 变频器的 V/F 控制	269
一、变频器的 U/f 曲线	269
二、V/F 控制的参数表	271
三、通过功能参数选用 U/f 曲线	274
第八节 变频器的显示功能	275
一、博世力士乐 CVF-G3 系列变频器	275
二、富士 G11S 系列变频器	276

三、森兰 SB61 系列变频器	277
第九节 变频器的故障查询	278
第十节 变频器的过载保护	281
一、过载保护的特点	282
二、过载保护的参数设置	283
附录	286
附录 A 变频器应用答疑	286
一、变频器基本知识	286
二、变频器的键盘与功能预置	289
三、变频器应用知识	291
四、变频器的特殊功能应用	297
五、变频器在恒压供水中的应用	303
六、综合应用知识	311
附录 B 国际单位制词头表	322
参考文献	324

第一章 电动机起动控制常用电器

电动机起动控制常用电器有高压电器和低压电器两大类，分别适用于 6kV 或 10kV 的高压电动机以及 380V、660V 或 1140V 的低压电动机。也有一些电器元件如按钮、主令开关、转换开关等电器既可用于高压电动机的起动控制，也可用于低压电动机的起动控制。

第一节 低压电器的分类及全型号组成

额定交流电压在 1200V 及以下、直流电压 1500V 及以下的电路中使用的电器称作低压电器。低压电器在电路中起通断、控制、保护以及检测或调节作用。在低压电气传动系统和低压配电系统中，大量使用各种类型的低压电器。它广泛应用于发电站、变电所、工矿企业、交通运输、农业以及国防工业等电力输配与电气传动自动控制设备中。

一、低压电器的分类

低压电器可有多种分类方法，例如可以按应用场合分类，有一般工业用电器、航空用电器、船舶用电器、建筑用电器、化工用电器，矿用电器，农用电器等；按用途分类，有主令电器、控制电器、保护电器和配电电器；按操作方式分类，有手动电器和自动电器；按功能分类，可分为有触头电器和无触头电器等。这里按用途分类对低压电器给以介绍。

1. 主令电器

用于发送控制指令的电器，如主令开关，按钮，行程开关，转换开关等，这类电器要求其能够承受较高的操作频率，有较长的机械和电气寿命。

2. 控制电器

控制电器用于各种控制系统和控制电路，例如接触器，电磁继电器，时间继电器，各种功能、类型的控制器等。这类电器应有一定的



电流通断能力和较长的机械与电气寿命，允许较高的操作频率。

3. 保护电器

对输配电线路及用电设备具有保护功能的电器，如熔断器，热继电器，过（欠）电压继电器，过电流继电器，还有采用了电子技术的电动机保护器、电流互感器二次开路保护器等。对于保护类低压电器，要求其可靠性高、寿命长、动作反应灵敏、重复动作的一致性较好。

4. 配电电器

在供电、配电系统中，用来进行电能输送与分配的电器称作配电电器例如低压断路器、刀开关等。这类电器应有较强的分断能力，运行中其动稳定及热稳定性能好。

二、低压电器产品型号表示法及其意义

低压电器产品有各种各样的结构与用途，为了便于使用、制造和管理，对低压电器产品规定了型号，每一个型号代表一种类型的产品。

1. 低压电器产品全型号组成形式

全型号的组成形式及含义如下：

1 2 3—4 5/6 7

其中 “1” 是类组代号，使用两位或三位汉语拼音字母，第一位为类别代号，第二、三位为组别代号，代表产品名称，具体产品名称由表 1-1 确定。

“2” 是设计序号，用阿拉伯数字表示，位数不限，其中设计编号为 2 位及 2 位以上时，首位 “9” 表示船用；“8” 表示防爆用；“7” 表示纺织用；“6” 表示农业用；“5” 表示化工用。

“3” 是系列派生代号，用 1 位或 2 位汉语拼音字母表示全系列产品变化的特征，由型号颁发单位根据表 1-2 统一确定。

“4” 是额定等级（规格），用阿拉伯数字表示，位数不限，根据各产品的主要参数确定，一般用电流、电压或容量参数表示。

“5” 是品种派生代号，用 1 位或 2 位汉语拼音字母表示系列内个别品种的变化特征，由型号颁发单位根据表 1-2 统一确定。

“6” 是其他代号，用阿拉伯数字或汉语拼音字母表示，位数不限，表示除品种以外的需进一步说明的产品特征，如极数、脱扣方式、用途等。



表 1-1 低压电器产品型号类组代号表

类别代号及名称		第一位组别代号及名称													第二位组别代号及名称																				
		A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	P	Q	R	S	T	U	W	X	Y	Z	D	G	J	L	R	S	T	X	Z	H	
H	空气式开关、 隔离器、熔断器组 开关及熔断器 电器				隔离器			熔断器式隔离器	开关熔断器组(负荷开关)								熔断器式开关	转换隔离器			旋转式开关	其他	组合开关												
																		半导体元件保护(快速)	有填料封闭管式			熔断信号器	其他	自复						半导体元件保护(快速)					
D	断路器									真空								快速		万能式		其他	塑料外壳式					漏电			可通信	限流			
K	控制器																					其他	其他				交流				可通信		直流		