



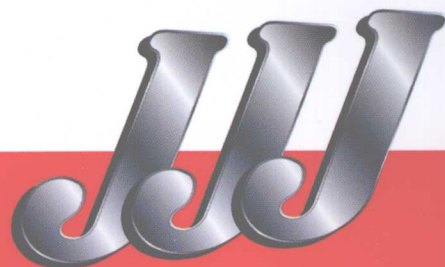
技能型人才培养用书

国家职业资格培训教材

维修电工 (技师、高级技师)

国家职业资格培训教材编审委员会 编

王兆晶 主编



依据 **劳动和社会保障部**

制定的《国家职业标准》要求编写



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



技能型人才培养用书
国家职业资格培训教材

维修电工(技师、高级技师)

国家职业资格培训教材编审委员会 编
王兆晶 主编



机械工业出版社

本书是依据《国家职业标准》维修电工技师和高级技师的知识要求和技能要求,按照岗位培训需要的原则编写的。本书的主要内容包括:电气传动与自动控制、可编程序控制器应用、复杂机械设备的电气测绘与设计、复杂机械设备电气控制电路故障检修、新技术应用、电气设备的计划管理及大修工艺编制、论文答辩及培训指导。书末附有与之配套的试题库和答案,以便于企业培训、考核鉴定和读者自测自查。

本书主要用作企业培训部门、职业技能鉴定机构的教材,也可作为高级技校、技师学院、高职、各种短训班的教学用书。

图书在版编目(CIP)数据

维修电工(技师、高级技师)/王兆晶主编. —北京:机械工业出版社, 2008.7

国家职业资格培训教材
ISBN 978-7-111-24773-9

I. 维… II. 王… III. 电工—维修—技术培训—教材 IV. TM07

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第118781号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)
责任编辑:王振国 版式设计:霍永明 责任校对:张晓蓉
封面设计:饶微 责任印制:邓博
北京四季青印刷厂印刷(三河市兴旺装订厂装订)
2008年9月第1版第1次印刷
184mm×260mm·21印张·3插页·534千字
0 001—4 000册
标准书号:ISBN 978-7-111-24773-9
定价:40.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
销售服务热线电话:(010) 68326294
购书热线电话:(010) 88379639 88379641 88379643
编辑热线电话:(010) 88379083
封面无防伪标均为盗版

国家职业资格培训教材

编审委员会

- | | | | | |
|-----------|-----------|----------|----------|----------|
| 主 任 | 于 珍 | | | |
| 副 主 任 | 郝广发 | 李 奇 | 洪子英 | |
| 委 员 | (按姓氏笔画排序) | | | |
| | 王 蕾 | 王兆晶 | 王英杰 | 王昌庚 |
| | 田力飞 | 刘云龙 | 刘书芳 | 刘亚琴 (常务) |
| | 朱 华 | 沈卫平 | 汤化胜 | 李春明 |
| | 李家柱 | 李晓明 | 李超群 (常务) | |
| | 李培根 | 李援璞 | 吴茂林 | 何月秋 (常务) |
| | 张安宁 | 张吉国 | 张凯良 | 陈业彪 |
| | 周新模 | 郑 骏 | 杨仁江 | 杨君伟 |
| | 杨柳青 | 卓 炜 | 周立雪 | 周庆轩 |
| | 施 斌 | 荆宏智 (常务) | | 柳吉荣 |
| | 徐 彤 (常务) | | 黄志良 | 潘 茵 |
| | 潘宝权 | 戴 勇 | | |
| 顾 问 | 吴关昌 | | | |
| 策 划 | 李超群 | 荆宏智 | 何月秋 | |
| 本 书 主 编 | 王兆晶 | | | |
| 本 书 副 主 编 | 阎 伟 | 刘传顺 | | |
| 本 书 参 编 | 宋明学 | 屈安山 | 周照君 | |

序 一

当前和今后一个时期，是我国全面建设小康社会、开创中国特色社会主义事业新局面的重要战略机遇期。建设小康社会需要科技创新，离不开技能人才。“全国人才工作会议”“全国职教工作会议”都强调要把“提高技术工人素质、培养高技能人才”作为重要任务来抓。当今世界，谁掌握了先进的科学技术并拥有大量技术娴熟、手艺高超的技能人才，谁就能生产出高质量的产品，创出自己的名牌；谁就能在激烈的市场竞争中立于不败之地。我国有近一亿技术工人，他们是社会物质财富的直接创造者。技术工人的劳动，是科技成果转化成为生产力的关键环节，是经济发展的重要基础。

科学技术是财富，操作技能也是财富，而且是重要的财富。中华全国总工会始终把提高劳动者素质，作为一项重要任务，在职工中开展的“当好主力军，建功‘十一五’，和谐奔小康”竞赛中，全国各级工会特别是各级工会职工技协组织注重加强职工技能开发，实施群众性经济技术创新工程，坚持从行业和企业实际出发，广泛开展岗位练兵、技术比赛、技术革新、技术协作等活动，不断提高职工的技术技能和操作水平，涌现出一大批掌握高超技能的能工巧匠。他们以自己的勤劳和智慧，在推动企业技术进步，促进产品更新换代和升级中发挥了积极的作用。

欣闻机械工业出版社配合新的《国家职业标准》，为技术工人编写了这套涵盖41个职业的172种“国家职业资格培训教材”。这套教材由全国各地技能培训和考评专家编写，具有权威性和代表性；将理论与技能有机结合，并紧紧围绕《国家职业标准》的知识点和技能鉴定点编写，实用性、针对性强；既有必备的理论和技能知识，又有考核鉴定的理论和技能题库及答案，编排科学、便于培训和检测。

这套教材的出版非常及时，为培养技能型人才做了一件大好事，我相信这套教材一定会为我们培养更多更好的高技能人才做出贡献！



(李永安 中国职工技术协会常务副会长)

序 二

为贯彻“全国职业教育工作会议”和“全国再就业会议”精神，落实国家人才发展战略目标，促进农村劳动力转移培训，全面推进技能振兴计划和高技能人才培养工程，加快培养一大批高素质的技能型人才，我们精心策划了这套与劳动和社会保障部最新颁布的《国家职业标准》配套的“国家职业资格培训教材”。

进入21世纪，我国制造业在世界上所占的比重越来越大，随着我国逐渐成为“世界制造业中心”进程的加快，制造业的主力军——技能人才，尤其是高级技能人才的严重缺乏已成为制约我国制造业快速发展的瓶颈，高级蓝领出现断层的消息屡屡见诸报端。据统计，我国技术工人中高级以上技工只占3.5%，与发达国家40%的比例相去甚远。为此，国务院先后召开了“全国职业教育工作会议”和“全国再就业会议”，提出了“三年50万新技师的培养计划”，强调各地、各行业、各企业、各职业院校等要大力开展职业技术培训，以培训促就业，全面提高技术工人的素质。那么，开展职业培训的重要基础是什么呢？

众所周知，“教材是人们终身教育和职业生涯的重要学习工具”。顾名思义，作为职业培训的重要基础，职业培训教材当之无愧！编写出版优秀的职业培训教材，就等于为技能培训提供了一把开启就业之门的金钥匙，搭建了一座高技能人才培养的阶梯。

加快发展我国制造业，作为制造业龙头的机械行业责无旁贷。技术工人密集的机械行业历来高度重视技术工人的职业技能培训，尤其是技术工人培训教材的基础建设工作，并在几十年的实践中积累了丰富的教材建设经验。作为机械行业的专业出版社，机械工业出版社在“七五”、“八五”、“九五”期间，先后组织编写出版了“机械工人技术理论培训教材”149种，“机械工人操作技能培训教材”85种，“机械工人职业技能培训教材”66种，“机械工业技师考评培训教材”22种，以及配套的习题集、试题库和各种辅导性教材约800种，基本满足了机械行业技术工人培训的需要。这些教材以其针对性、实用性强，覆盖面广，层次齐备，成龙配套等特点，受到全国各级培训、鉴定和考工部门和技术工人的欢迎。

2000年以来，我国相继颁布了《中华人民共和国职业分类大典》和新的《国家职业标准》，其中对我国职业技术工人的工种、等级、职业的活动范围、工作内容、技能要求和知识水平等根据实际需要进行了重新界定，将国家职业资格分为5个等级：初级（5级）、中级（4级）、高级（3级）、技师（2级）、高级技师（1级）。为与新的《国家职业标准》配套，更好地满足当前各级职业培训和技术工人考工取证的需要，我们精心策划编写了这套“国家职业资格培训教材”。

这套教材是依据劳动和社会保障部最新颁布的《国家职业标准》编写的，为满足各级培训考工部门和广大读者的需要，这次共编写了41个职业172种教材。在职业选择上，除机电行业通用职业外，还选择了建筑、汽车、家电等其他相近行业的热门职业。每个职业按《国家职业标准》规定的工作内容和技能要求编写初级、中级、高级、技师（含高级技师）四本教材，各等级合理衔接、步步提升，为高技能人才培养搭建了科学的阶梯型培训架构。为满足实际培训的需要，对多工种共同需求的基础知识我们还分别编写了《机械制图》、

《机械基础》、《电工常识》、《电工基础》、《建筑装饰识图》等近 20 种公共基础教材。

在编写原则上,依据《国家职业标准》又不拘泥于《国家职业标准》是我们这套教材的创新。为满足沿海制造业发达地区对技能人才细分市场的需要,我们对模具、制冷、电梯等社会需求量大又已单独培训和考核的职业,从相应的职业标准中剥离出来单独编写了针对性较强的培训教材。

为满足培训、鉴定、考工和读者自学的需要,在编写时我们考虑了教材的配套性。教材的章首有培训要点、章末配复习思考题,书末有与之配套的试题库和答案,以及便于自检自测的理论和技能模拟试卷,同时还根据需求为 20 多种教材配制了 VCD 光盘。

增加教材的可读性、提升教材的品质是我们策划这套教材的又一亮点。为便于培训、鉴定、考工部门在有限的时间内把最需要的知识和技能传授给学员,同时也便于学员抓住重点,提高学习效率,对需要掌握的重点、难点、考点和知识鉴定点加有旁白提示并采用双色印刷。

为扩大教材的覆盖面和体现教材的权威性,我们组织了上海、江苏、广东、广西、北京、山东、吉林、河北、四川、内蒙古等地相关行业从事技能培训和考工的 200 多名专家、工程技术人员、教师、技师和高级技师参加编写。

这套教材在编写过程中力求突出“新”字,做到“知识新、工艺新、技术新、设备新、标准新”;增强实用性,重在教会读者掌握必需的专业知识和技能,是企业培训部门、各级职业技能鉴定培训机构、再就业和农民工培训机构的理想教材,也可作为技工学校、职业高中、各种短训班的专业课教材。

在这套教材的调研、策划、编写过程中,曾经得到广东省职业技能鉴定中心、上海市职业技能鉴定中心、江苏省机械工业联合会、中国第一汽车集团公司以及北京、上海、广东、广西、江苏、山东、河北、内蒙古等地许多企业和技工学校的有关领导、专家、工程技术人员、教师、技师和高级技师的大力支持和帮助,在此谨向为本套教材的策划、编写和出版付出艰辛劳动的全体人员表示衷心的感谢!

教材中难免存在不足之处,诚恳希望从事职业教育的专家和广大读者不吝赐教,提出批评指正。我们真诚希望与您携手,共同打造职业培训教材的精品。

国家职业资格培训教材编审委员会

前 言

为进一步提高维修电工从业人员的基本素质和专业技能，增强各级、各类职业学校在校生的就业能力，满足本工种职业技能培训、考核、鉴定等工作的迫切需要，我们组织部分经验丰富的讲师、工程师、技师等编写了《维修电工》培训教材。

《维修电工》培训教材共分四册，即初级工、中级工、高级工、技师和高级技师。全书是根据中华人民共和国劳动和社会保障部制定的国家职业标准《维修电工》组织编写的，以现行电器维修、电气施工及验收规范为依据，以实用、够用为宗旨，力求浓缩、精炼、科学、规范、先进。本书采用双色套印，突出学习重点、施工难点、考核要点，这点请读者在学习时注意把握。

本册教材由王兆晶任主编，阎伟和刘传顺任副主编，宋明学、屈安山、周照君等老师也参与了全书的编写工作，并提出了许多宝贵意见。

编者在编写过程中参阅了大量的相关规范、规定、图册、手册、教材及技术资料等，并借用了部分图表，在此向原作者致以衷心的感谢。如有不敬之处，恳请见谅。

由于教材知识覆盖面较广，涉及的标准、规范较多，加之时间仓促、编者水平有限，书中难免存在缺点和不足，敬请各位同行、专家和广大读者批评指正，以期再版时臻于完善。

编 者

读者信息反馈表

感谢您购买《维修电工（技师·高级技师）》一书。为了更好地为您服务，有针对性地为您提供图书信息，方便您选购合适图书，我们希望了解您的需求和对我们教材的意见和建议，愿这小小的表格为我们架起一座沟通的桥梁。

姓 名		所在单位名称	
性 别		所从事工作（或专业）	
通信地址			邮 编
办公电话		移动电话	
E-mail			
1. 您选择图书时主要考虑的因素（在相应项前画√） （ ）出版社 （ ）内容 （ ）价格 （ ）封面设计 （ ）其他 2. 您选择我们图书的途径（在相应项前画√） （ ）书目 （ ）书店 （ ）网站 （ ）朋友推介 （ ）其他			
希望我们与您经常保持联系的方式： <input type="checkbox"/> 电子邮件信息 <input type="checkbox"/> 定期邮寄书目 <input type="checkbox"/> 通过编辑联络 <input type="checkbox"/> 定期电话咨询			
您关注（或需要）哪些类图书和教材：			
您对我社图书出版有哪些意见和建议（可从内容、质量、设计、需求等方面谈）：			
您今后是否准备出版相应的教材、图书或专著（请写出出版的专业方向、准备出版的时间、出版社的选择等）：			

非常感谢您能抽出宝贵的时间完成这张调查表的填写并回寄给我们，您的意见和建议一经采纳，我们将有礼品回赠。我们愿以真诚的服务回报您对机械工业出版社技能教育分社的关心和支持。

请联系我们——

地址 北京市西城区百万庄大街 22 号 机械工业出版社技能教育分社

邮编 100037

社长电话 (010) 88379080, 88379083; 68329397 (带传真)

E-mail jnfs@mail.machineinfo.gov.cn

机械工业出版社网址: <http://www.cmpbook.com>

教材网网址: <http://www.cmpedu.com>

目 录

M U L U

序一

序二

前言

第一章 电气传动与自动控制	1
第一节 电力电子器件	1
一、绝缘栅双极型晶体管	1
二、集成门极换流晶闸管	1
三、智能电力模块	2
第二节 晶闸管可逆调速系统	4
一、晶闸管有源逆变工作原理	4
二、晶闸管电动机驱动器中的环流及控制	5
三、有环流可逆调速系统	6
四、逻辑无环流可逆调速系统	9
第三节 变频调速系统	19
一、通用变频器的工作原理	19
二、通用变频器的基本结构	21
三、变频器的类别	23
四、变频器的额定值和频率指标	24
五、变频器的主电路	24
六、通用变频器的控制电路原理	26
七、变频器参数的设定和功能选择	31
八、变频调速技术的应用	40
九、变频器的安装与调试	44
十、变频器的维护	49
第四节 常用传感器	50
一、自整角机	50
二、旋转变压器	51
三、光电编码器	52
四、感应同步器	53
复习思考题	54
第二章 可程序控制器应用	55
第一节 西门子可程序控制器概述	55
一、S7-200 系列 PLC 的系统构成及性能指标	55

二、PLC 内部可编程元件	60
三、西门子 S7—200 可编程序控制器指令系统	64
四、编程注意事项及编程技巧	79
第二节 可编程序控制系统设计的基本原则和步骤	81
一、可编程序控制系统设计的基本原则	81
二、可编程序控制系统设计的步骤	82
三、提高 PLC 控制系统可靠性的措施	87
第三节 可编程序控制器应用技能训练实例	91
• 训练 1 PLC 在三相交流异步电动机控制中的应用	91
• 训练 2 PLC 在自动洗衣机控制中的应用	96
• 训练 3 PLC 在机械手控制中的应用	99
第四节 PLC + 变频器改造继电器控制系统技能训练实例	105
一、B2012A 型龙门刨床机械工艺对电气控制系统的要求	105
二、B2012A 型龙门刨床 PLC + 变频调速系统改造	108
三、龙门刨床刨台运动的控制改造	109
四、采用变频调速的主要优点	112
复习思考题	112
第三章 复杂机械设备的电气测绘与设计	114
第一节 复杂机械设备的电气测绘	114
一、机械设备电气控制技术的发展	114
二、复杂机械设备电气测绘的基本分类	116
三、复杂机械设备电气控制系统的测绘	117
第二节 复杂机械设备的电气设计	133
一、复杂机械设备的电气设计方法	134
二、经验设计法的一般原则	134
三、复杂机械设备的电气设计实例	138
复习思考题	153
第四章 复杂机械设备电气控制电路故障检修	160
第一节 复杂机械设备电气控制电路故障分析和处理方法	160
一、高级电气维护人员应具备的条件	160
二、继电器—接触器控制系统的分析步骤	161
三、大型自动化生产线电气控制电路的分析方法	162
四、复杂机械设备电气控制电路故障的一般检查和处理方法	163
第二节 复杂机械设备电气控制电路故障检修实例	165
一、B2012A 型龙门刨床电气控制电路故障检修	165
二、XN2010A 型龙门铣床电气控制电路故障检修	185
复习思考题	205
第五章 新技术应用	206
第一节 数控系统技术	206

一、数控机床电气控制系统概述	206
二、数控系统的安装	208
三、数控系统的调试	213
四、数控系统的维护	215
第二节 工业控制技术	215
一、计算机网络技术	215
二、现场总线技术	231
三、自动化设备及生产线技术	239
第三节 电气检修与诊断技术	244
一、电气设备的日常维护与保养	244
二、电气设备检修的基本方法	245
三、电气设备检修的一般步骤	247
第四节 电气抗干扰技术	249
一、干扰的基本知识	249
二、抑制干扰的措施	250
三、消除干扰的方法	255
复习思考题	256
第六章 电气设备的计划管理及大修工艺编制	257
第一节 电气设备的计划管理	257
一、计划预修制度	257
二、计划预修的类别	257
三、修理计划的编制	259
四、设备事故处理	261
第二节 电气设备大修方案的制定	263
一、龙门刨床简介	263
二、大修项目的制定	264
三、大修方案的制定	266
四、大修方案的执行	267
第三节 电气设备大修的工艺编制	268
一、确定修理项目	269
二、编制修理要求	270
三、大修准备工作	273
四、修理施工安排	274
五、试车与完工验收	274
复习思考题	275
第七章 论文答辩及培训指导	276
第一节 论文编写与答辩	276
一、论文编写的目的和要求	276
二、论文编写的一般方法	277

三、论文评阅和答辩	281
四、维修电工技师论文范例	283
第二节 理论培训与指导操作	286
一、培训与指导的方法和要求	286
二、培训与指导教学的基本环节	288
三、培训与指导的注意事项	290
复习思考题	291
试题库	292
知识要求试题	292
一、判断题 试题 (292) 答案 (320)	292
二、选择题 试题 (297) 答案 (320)	297
技能要求试题	306
一、双闭环可逆直流调速系统的接线、调试及维修	306
二、编制用 PLC 控制的车辆出入库管理控制程序	307
三、检修 B2012A 型龙门刨床的电气控制电路	308
四、数控车床电气控制系统的调试与故障排除	309
五、测绘数控机床的电气控制电路	310
六、自动调速系统工作原理的分析	310
七、B2012A 型龙门刨床电气控制系统检修工艺计划的编制	310
八、论文撰写及答辩	311
模拟试卷样例	313
参考文献	322

第一章

电气传动与自动控制



培训学习目标 掌握晶闸管直流可逆调速系统的安装、调试方法；熟悉变频器的基本工作原理；掌握变频器的安装、接线及参数设定方法；熟悉变频器的应用及维护方法。

第一节 电力电子器件

一、绝缘栅双极型晶体管

绝缘栅双极型晶体管，简称为 IGBT，集 MOSFET 和 GTR 的优点于一身，具有输入阻抗高、开关速度快、驱动电路简单、通态电压低、能承受高电压大电流等优点，已广泛用于变频器和其他调速电路中。

IGBT 的图形符号及等效电路如图 1-1 所示。

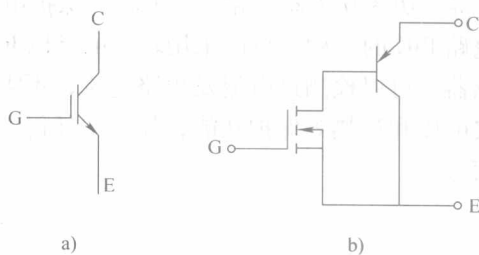


图 1-1 IGBT 的图形符号及等效电路

a) IGBT 图形符号 b) 等效电路

二、集成门极换流晶闸管

集成门极换流晶闸管 (IGCT) 是一种中压、大功率半导体开关器件。该器件将门极驱动电路与门极换流晶闸管 GCT 集成于一个整体，门极换流晶闸管 GCT 是基于 GTO 结构的电力半导体器件，不仅有 GTO 的高阻断能力和低通态压降的特点，而且有 IGBT 的开关性能，



集 GTO 和 IGBT 的优点于一身，是理想的中压（用于 6kV 和 10kV 电路）、大功率（兆瓦级）开关器件。另外，IGCT 开关过程一致性好，可以方便地实现串、并联，进一步扩大功率范围。IGCT 的图形符号和门极驱动电路如图 1-2 所示。

对于三相 IGCT 逆变器，尽管其不需要限制电压上升率的缓冲电路，但是由于 IGCT 本身不能控制电流上升率，因此，为了限制短路电流上升率，在实际电路中常常串入适当的电抗器，如图 1-3 所示。

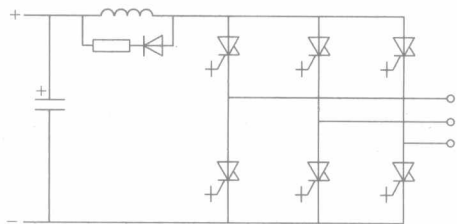
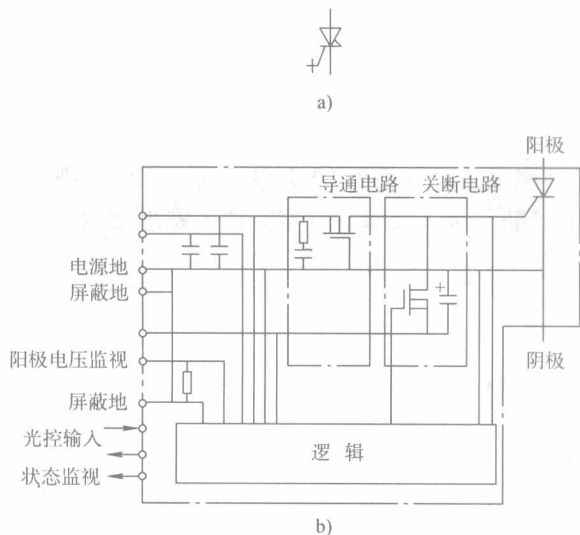


图 1-2 IGCT 的图形符号和门极驱动电路

a) IGCT 的图形符号 b) 门极驱动电路

图 1-3 三相 IGCT 逆变器原理图

三、智能电力模块

智能电力模块（IPM）将大功率开关器件和驱动电路、保护电路、检测电路等集成在同一个模块内，是电力集成电路 PIC 的一种。目前采用较多的是以 IGBT 作为大功率开关器件。

模块内集成了电流传感器，可以检测过电流及短路电流，不需外加电流检测元件。智能模块内有过电流、短路、欠电压和过热等保护功能，如其中任何一种保护功能动作，输出为关断状态，同时输出故障信号。

IPM 具有的特点如下：

- 1) 开关速度快，驱动电流小，控制驱动更为简单。
- 2) 内含电流传感器，可以高效迅速地检测出过电流和短路电流，能对功率芯片给予足够的保护，故障率大大降低。
- 3) 由于在器件内部电源电路和驱动电路配线设计上的优化，所以由浪涌电压、门极振荡、噪声引起的干扰等问题均能有效地得到控制。
- 4) 保护功能较为丰富，如电流保护、电压保护、温度保护一应俱全，随着技术的进步，保护功能将进一步日臻完善。

智能电力模块内部的基本结构如图 1-4 所示，其中包括用于电动机制动的功率控制电路和三相逆变器各桥臂的驱动电路及各种保护电路。智能电力模块应用实例如图 1-5 所示。

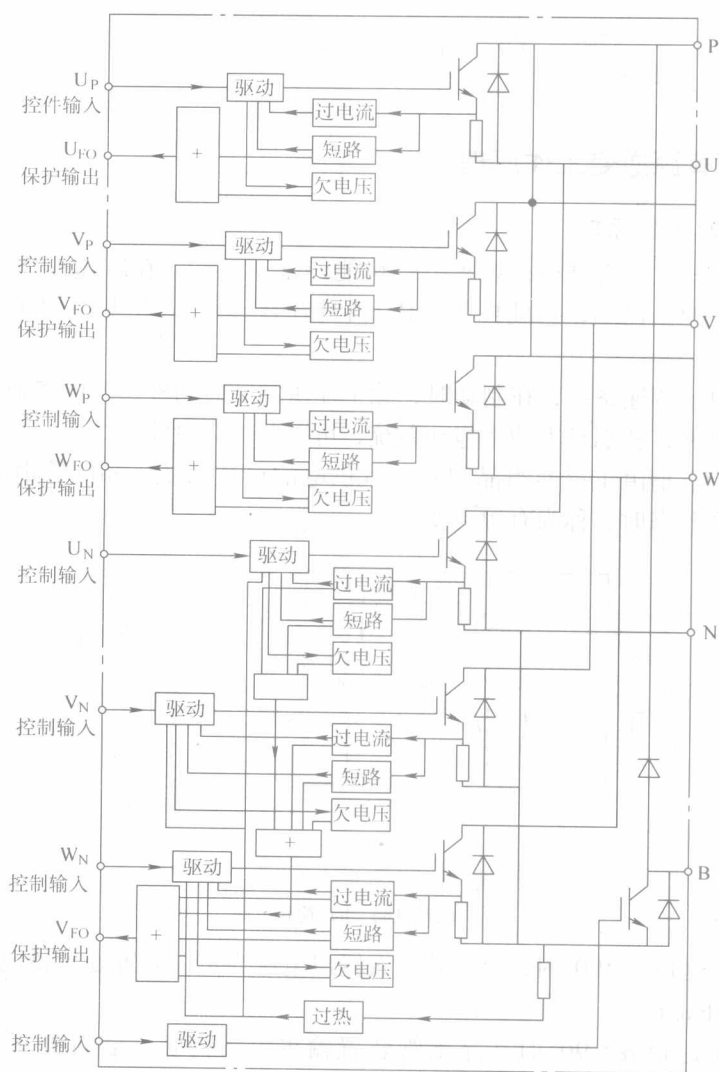


图 1-4 智能电力模块内部的基本结构

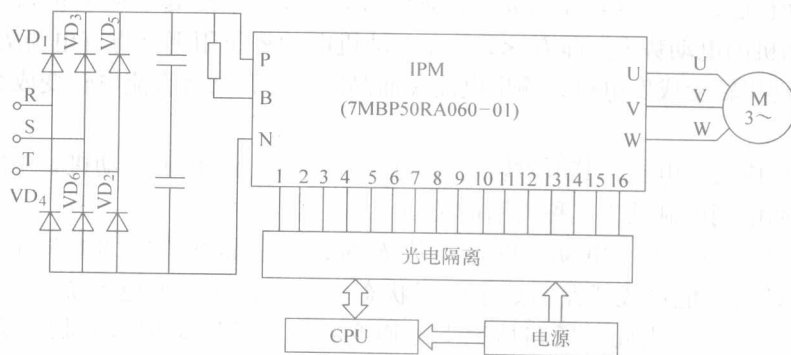


图 1-5 智能电力模块应用电路



第二节 晶闸管可逆调速系统

4

一、晶闸管有源逆变工作原理

1. 有源逆变的工作原理

在生产中，有些生产机械往往要求电动机能经常正反转，在减速或停车时要有制动作用，以缩短制动时间。例如，初轧机的主传动和辅助传动，以及龙门刨床、起重机、提升机、电梯等。

此外，采用可逆调速系统，在制动时，除了缩短制动时间外，还能将拖动系统的机械能转换成电能回送电网，特别是大功率拖动系统，可以节约大量能量。

图 1-6 所示为电枢由正反两组晶闸管装置供电的可逆系统，晶闸管电路接在交流电源上，当它处于逆变状态时，称为有源逆变。

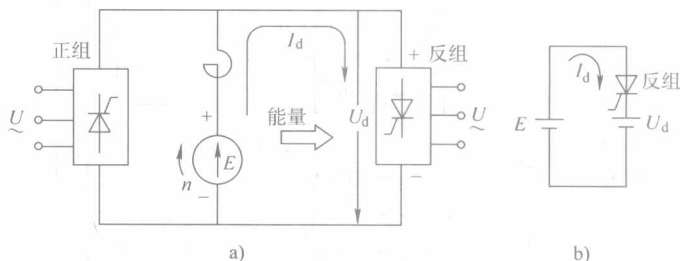


图 1-6 有源逆变工作原理

a) 原理电路 b) 简化电路

1) 当触发延迟角 $\alpha < 90^\circ$ 时，晶闸管装置输出电压为正，装置处于整流状态，它向电动机供电，电动机正常运行。

2) 当触发延迟角 $\alpha > 90^\circ$ 时，晶闸管装置输出电压为负，装置处于逆变状态，但由于晶闸管是单向导电的，电流并不能反向，逆变电路与电动机不能形成通路而处于阻断状态。

3) 设电动机已运转，其转速为 n ，电动势为 E ，且反组桥处于逆变状态。若其输出电压 U_d 小于电动机的电动势 E ，即 $U_d < E$ ，在电动机电动势作用下，将有电流 I_d 通过晶闸管装置。这时电动机转变成发电机，输出电能。而晶闸管装置则将直流电转变成交流电，并将电能送回电网。

由于电动机成为发电机，其电磁转矩的方向与转速相反，因而电动机处于制动状态。这种将能量反送回电网的制动方式称为回馈制动。

4) 当逆变电压 U_d 大于电动机的电动势 E 时，由于晶闸管中的电流不能反向流动，逆变电路与电动机不能形成通路而处于阻断状态。这在有环流可逆系统中，由于当 U_d 下降到小于 E 时，就能变为处于通路情况下的逆变状态，所以又称这种状态为“待逆变状态”。