

技能型人才培养用书
国家职业资格培训教材

电气设备安装工（高级）

国家职业资格培训教材编审委员会编
朱照红编



机械工业出版社

本书是依据《国家职业标准》高级电气设备安装工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：电气设备安装基础、施工前的组织与准备、电气动力设备安装调试、电动机运行与维护、电梯性能调试、特殊场所电气设备安装、电气设备试运行、组织管理。每章末有复习思考题，书末附有与之配套的题库和答案，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、职业技能鉴定培训机构的教材，也可作为高级技校、技师学院、高职、各种短训班的教学用书，还可作为读者自学用书。

图书在版编目(CIP)数据

电气设备安装工(高级) 张照红主编 北京：机械工业出版社，2007.10

国家职业资格培训教材

ISBN 978-7-111-22812-2

I. ①电… II. ①张… III. ①电气设备—设备安装—技术培训—教材 IV. ①T665.5

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第154342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 陈玉芝 版式设计：霍永明 责任校对：刘志文

封面设计：饶薇 责任印制：陶瑶

北京铭成印刷有限公司印刷

2007年11月第1版第1次印刷

开本：787mm×1092mm 1/16 印张：10.5

图例—源图

定价：25.00元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

本社购书热线电话(010)68993946

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 瑛 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 朱 照 红

本 书 参 编 商 联 红 潘 玉 山 陆 汝 贤 毛 佑 南 肖 永 江

本 书 主 审 方 锡 祚

序

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%，与发达国家 15% 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“三年培养 100 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工
作，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” 10 余种，“机械工人操作技能培训教材” 10 余种，“机械工人职业技能培训教材” 20 余种，“机械工业技

师考评培训教材”100种，以及配套的习题集、试题库和各种辅导性教材约1000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。

1995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五个等级：初级（五级）、中级（四级）、高级（三级）、技师（二级）、高级技师（一级）。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100个职业100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10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100种教材配制了100张光盘。

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 1000 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

前摇摇言

为进一步提高电气设备安装从业人员的基本素质和专业技能，增强各级、各类职校生的就业能力，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高级讲师、工程师、技师等编写了电气设备安装工培训教材。

摇摇电气设备安装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。全书根据劳动和社会保障部制定的《国家职业标准》电气设备安装工组织编写，以现行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。

摇摇本册教材由朱照红同志任主编，并负责第二、三、五、七、八章的编写，商联红同志负责第一章第一至五节的编写，潘玉山同志负责第一章第六节的编写，陆汝贤同志负责第四章的编写，毛佑南、肖永江同志负责第六章的编写。全书由方锡祚担任主审工作。

摇摇编者在编写过程中参阅了大量相关的规范、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。如有不当之处，恳请见谅。

摇摇由于本套教材知识面覆盖较广，涉及的标准、规范较多，加之时间仓促、编者水平有限，书中可能存在一些缺点和不足，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。

编摇摇者

目 录

M U L U

序 前言

第一章摇电气设备安装基础摇	员
摇第一节摇电力电子技术基础	员
摇摇一、晶闸管及其可控整流技术	员
摇摇二、变频技术	缘
摇第二节摇计算机与数字通信基础知识	愿
摇摇一、计算机基础知识	愿
摇摇二、数字通信基础	園
摇第三节摇电气控制设备	獭
摇摇一、继电器—接触器控制	獭
摇摇二、单片机控制	獭
摇第四节摇电动机调速技术	源
摇摇一、调速系统的质量指标	源
摇摇二、直流调速	缘
摇摇三、交流调速	缘
摇第五节摇仪器仪表与测量	缘
摇摇一、电工仪表与测量	缘
摇摇二、电子仪表与测量	缘
摇第六节摇液压传动基础知识	远
摇复习思考题	苑
第二章摇施工前的组织与准备摇	獭
摇第一节摇电气施工图样分析	獭
摇摇一、电气施工图样分类	獭

摇摇二、施工图样的阅读方法	苑
摇摇三、总体工程施工进度网络图	愿
摇第二节摇准备施工具体措施	怨
摇摇一、施工方案编制	怨
摇摇二、工程预算初步	圆
摇第三节摇吊装机械的选择与操作	缘
摇摇一、起重机械的分类	缘
摇摇二、流动式起重机的分类和构造	愿
摇摇三、流动式起重机的基本参数	愿
摇摇四、流动式起重机的维护保养知识	园
摇摇五、流动式起重机的事故分析	园
摇摇六、流动式起重机的作业条件	园
摇摇七、起重作业的操作要领	园
摇摇八、其他常用吊装设备	缘
摇复习思考题	远

第三章摇电气动力设备安装调试摇

摇第一节摇电气动力设备安装调试所需的专业知识	苑
摇摇一、电气设备试验的基本知识	苑
摇摇二、电力变压器的试验	怨
摇摇三、继电器的结构、原理及检验	缘
摇摇四、计算机监控系统	缘
摇摇五、电缆故障的分析与寻测	怨
摇第二节摇电气动力设备安装调试技能训练实例	远
摇摇训练 员摇变压器绝缘电阻和吸收比的测试	远
摇摇训练 圆摇绕组直流电阻的测量	怨
摇摇训练 猿摇变压器油的工频电压击穿试验	圆
摇摇训练 源摇工频交流耐压试验	源
摇摇训练 缘摇电压比试验	苑
摇摇训练 远摇联结组标号试验	怨
摇摇训练 苑摇空载和短路试验	员

摇

摇摇训练 摇摇泄漏电流测试	员缘
摇摇训练 摇摇介质损耗角正切值 ($\tan\delta$) 的测量	员远
摇摇训练 摇摇电流继电器试验	员怨
摇摇训练 摇摇电压继电器试验	员园
摇摇训练 摇摇感应型过电流继电器试验	员圆
摇摇训练 摇摇中间继电器试验	员猿
摇摇训练 摇摇信号继电器试验	员远
摇摇训练 摇摇时间继电器试验	员苑
摇摇训练 摇摇重合闸继电器试验	员愿
摇摇训练 摇摇差动继电器试验	员怨
摇摇复习思考题	员员

第四章 摇摇电动机的运行与维护摇摇

摇摇第一节 摇摇电动机运行与维护所需的专业知识	员圆
摇摇一、电动机故障的判断与排除方法	员圆
摇摇二、三相异步电动机的维护要求	员远
摇摇三、高压电动机及其巡视要求	员愿
摇摇第二节 摇摇电动机运行与维护技能训练实例	员愿
摇摇训练 摇摇笼型异步电动机温升过高故障的排除	员愿
摇摇训练 摇摇合闸后电动机有嗡嗡声而不转动	员员
摇摇复习思考题	员员

第五章 摇摇电梯性能调试摇摇

摇摇第一节 摇摇电梯性能调试所需专业知识	员猿
摇摇一、电梯试验方法	员猿
摇摇二、声级计的使用	员怨
摇摇三、电梯各项功能的确认	圆猿
摇摇四、电梯试验常用检测工具及仪表	圆源
摇摇第二节 摇摇电梯性能调试技能训练实例	圆源
摇摇训练 摇摇电梯平衡系数的测定	圆源
摇摇训练 摇摇限速器和安全钳动作可靠性检验	圆远

摇摇训练 摇摇缓冲器的检查与试验	圆愿
摇摇训练 摇摇电梯运行和超载试验	圆园
摇摇训练 摇摇电梯平层准确度检验	圆员
摇摇训练 摇摇电梯噪声测定	圆猿
摇摇训练 摇摇报警装置及电源中断应急装置检验	圆源
摇摇训练 摇摇电梯振动和噪声故障排除	圆远
摇摇复习思考题	圆怨

第六章 摇摇特殊场所电气设备安装摇摇

摇摇第一节 摇摇特殊场所电气设备安装所需的专业知识	圆园
摇摇一、真空断路器	圆园
摇摇二、矿用隔爆型真空馈电开关	圆园
摇摇三、真空接触器	圆源
摇摇四、真空电磁起动器	圆源
摇摇五、真空度的测试	圆缘
摇摇第二节 摇摇特殊场所电气设备安装技能训练实例	圆远
摇摇训练 摇摇真空断路器的安装	圆远
摇摇训练 摇摇隔爆型真空电磁起动器的安装	圆愿
摇摇复习思考题	圆怨

第七章 摇摇电气设备试运行摇摇

摇摇第一节 摇摇试运行前的检查、准备工作	圆园
摇摇一、试运行前的质量检验	圆园
摇摇二、设备试运行前的常规检查	圆员
摇摇三、试运行方案的分析	圆源
摇摇第二节 摇摇设备试运行	圆源
摇摇一、电气设备试运行的方法、程序及要求	圆源
摇摇二、试运行故障分析	圆远
摇摇复习思考题	圆怨

第八章 摇摇组织管理摇摇

摇摇第一节 摇摇班组管理	圆园
--------------------	----

摇

摇摇一、班组管理基本知识	圆园
摇摇二、班组经济核算	圆
摇摇三、班组作业计划的制定	圆源
摇第二节摇质量管理	圆
摇摇一、全面质量管理常识	圆
摇摇二、全面质量管理的常用方法	圆
摇摇三、圆为小组活动的开展	圆源
摇复习思考题	圆
题库	圆
摇知识要求试题	圆
摇摇一、判断题摇试题 (圆 摇答案 (圆	
摇摇二、选择题摇试题 (圆 摇答案 (圆	
摇摇三、简答题摇试题 (圆 摇答案 (圆	
摇摇四、作图题摇试题 (圆 摇答案 (圆	
摇技能要求试题	圆
摇摇一、真空断路器及其操作机构调试	圆
摇摇二、变压器绝缘电阻和吸收比测定及交流耐压试验	圆
摇摇三、变压器联结组标号、空载和短路试验	圆
摇摇四、二次设备的调试与线路测绘	圆
摇摇五、电梯限速器和安全钳动作可靠性及缓冲器检验	圆
摇摇六、电梯平层准确度检测及噪声测定	圆
摇模拟试卷样例	圆
参考文献	圆

电气设备安装基础

 培训学习目标摇摇了解晶闸管的特性和简单的整流、变频技术的应用；了解计算机的构成和软硬件基础、数字通信技术的基本知识；熟练掌握常用电气设备的控制方法；熟悉直流和交流调速系统的基本概念；掌握常用电工仪表的原理和使用方法；了解液压传动的基础知识。

第一节摇摇电力电子技术基础

摇摇一、晶闸管及其可控整流技术

摇摇晶闸管是硅晶体闸流管的简称，是一种可以控制电路中电流通断的电力电子器件，应用在电路中实现整流、逆变、变频、斩波等功能。这里所说的晶闸管为普通晶闸管。

摇摇晶闸管的结构和符号

摇摇晶闸管是由硅半导体材料做成的，内部由四层（~~孕孕孕孕~~ 孕孕孕孕）半导体组成，对外引出三个端子（~~粤粤粤~~ 粤粤粤）。由此内部形成了三个 ~~孕孕结~~ 孕孕结，外层的 孕层和 晕层分别引出阳极 粤和阴极 运 由中间的 孕层引出门极 郎 如图 员圆园 所示

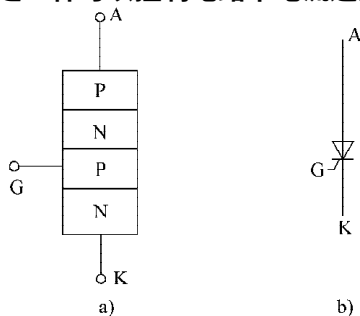


图 员圆园 晶闸管结构及符号
葵 内部电路摇摇 图形符号



示。晶闸管的文字符号是 **VT** 图形符号如图 **1-1-1** 所示。

晶闸管的特性

经试验分析可得出以下结论：

晶闸管 不仅有反向阻断能力，同时还有正向阻断能力。

晶闸管 正向导通的条件是：阳极加正向偏置电压，同时门极加正向触发电压。

晶闸管 晶闸管一旦导通，门极就失去控制作用。

晶闸管 晶闸管要重新关断，必须设法使其阳极电流减小到小于维持晶闸管持续导通的电流。常用的方法是降低阳极电压，或给阳极加反向电压。

晶闸管的上述特性 可以用其伏安特性来描述，如图 **1-1-2** 所示。下面就其正向特性和反向特性分别加以讨论。

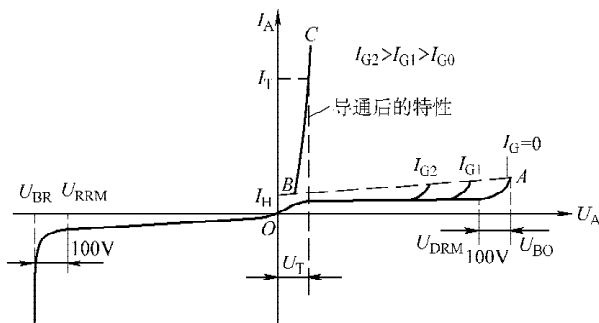


图 **1-1-2** 晶闸管阳极伏安特性

晶闸管 正向特性

晶闸管 当阳极正向电压小于某一数值范围时，阳极电流（即正向漏电流）很小，晶闸管处于正向阻断状态；当正向电压超过某一个值时，正向漏电流急剧加大，晶闸管导通，此时的阳极电压叫做正向转折电压 **U_{BO}**，晶闸管的这种开通方式叫做晶闸管硬开通，正常情况下是不允许的。

晶闸管 当阳极正向电压小于某一数值范围时，晶闸管仍有一定的正向阻断能力，但使它由正向阻断状态转为正向导通状态所需的阳极电压比 **U_{BO}** 要低，且 **U_{BO}** 越大，所需的阳极电压越低；即只要晶闸管的阳极加上适当的正向电压，



再在门极上加上适当的触发电压，晶闸管就可以触发导通，这就是晶闸管和二极管相比具有的可控导通特性。

摇摇 (圆) 反向特性 晶闸管的反向特性与二极管相似，也有反向阻断区和反向击穿区。晶闸管一旦击穿就永久损坏。

摇摇 重要结论：通过以上的分析可知，晶闸管具有可控的单向导电性。

摇摇 援 晶闸管的参数和型号

摇摇 (员) 晶闸管的参数

摇摇 员 正向断态重复峰值电压 U_{T0} ：指在额定结温和门极断路、晶闸管正向阻断的情况下，允许重复加在晶闸管上的最大正向峰值电压，一般取值比 U_{TM} 低 10% 。

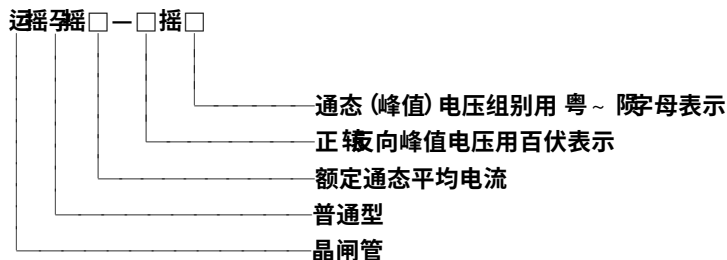
摇摇 圆 反向重复峰值电压 U_{TR0} ：指在额定结温和门极断路的情况下，允许重复加在晶闸管上的反向峰值电压，一般取值比反向击穿电压 U_{BR} 低 10% 。通常 U_{T0} 和 U_{TR0} 大致相等，习惯称为峰值电压。

摇摇 猿 通态平均电流 $I_{T(AV)}$ ：在环境温度不超过 40°C 和规定的散热条件下，允许流过的工频正弦半波电流在一个周期内的平均值，简称为正向电流。当在一个周期内晶闸管导通的电角度小于 180° 时，允许流过的电流必须降低。

摇摇 源 通态 (峰值) 电压 U_{T} ：指晶闸管通以某一规定倍数的额定通态平均电流时的瞬态峰值电压。通常取晶闸管的 U_{T0} 和 U_{TR0} 中较小的标值作为器件的通态峰值电压。

摇摇 缘 维持电流 I_H ：指在规定的环境温度和门极断路的情况下，维持晶闸管持续导通的最小阳极电流；它是晶闸管由导通到关断的临界电流。

摇摇 (圆) 晶闸管的型号 摇运孕系列普通晶闸管的型号及含义如下：





摇摇例如 运 云 的晶闸管表示额定电流为 云 额定电压为 云 正向导通压降组别为 云的普通晶闸管。

摇摇源 晶闸管可控整流电路

摇摇晶闸管可控整流电路的作用是把交流电转换成大小可调的直流电，这是通过改变可控整流电路中晶闸管的触发延迟角 α 来实现的。触发延迟角增大，输出电压的平均值就越小，反之输出电压升高。所以负载电压的波形随着触发延迟角的改变而改变。

摇摇晶闸管可控整流电路有单相可控整流电路和三相可控整流电路两种，单相可控整流电路又有单相半波整流电路、单相全波整流电路、单相半控桥式整流电路几种。下面分别以单相半控桥式整流电路和三相半波可控整流电路说明其工作原理。

摇摇 (员 单相半控桥式整流电路

摇摇员 电路组成：如图 员 所示，单相半控桥式整流电路

主要由整流变压器、晶闸管、二极管和负载电阻 等元器件组成。电路中的晶闸管 灾 和 灾 的阴极接在一起，代替了二极管桥式整流电路中的对应的两个二极管，触发脉冲同时加到两个晶闸管的门极和阴极之间，根据晶闸管的导通条件可以分析电路的功能和电路中晶闸管 and 二极管的导通情况。

摇摇圆 电路工作原理：分析的方法主要是通过分析加到晶闸管两端的电压和触发脉冲的瞬时极性，分析晶闸管的导通情况，从而分析得到负载上的

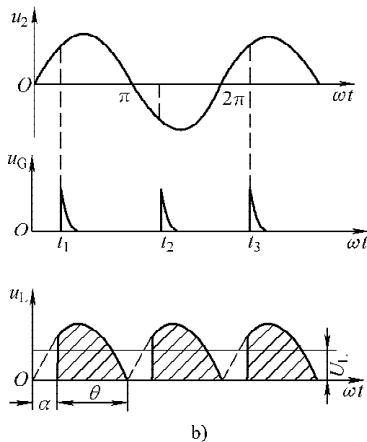
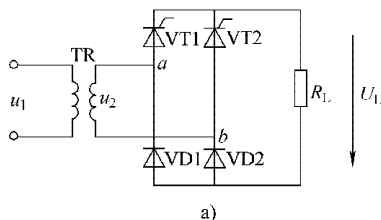


图 员 单相半控桥式整流电路

葬 电路摇 波形



电压波形。由此可以得出输出电压的数值关系并依此选用晶闸管。具体分析如下：

摇摇在电源电压 u_2 的正半周， T_1 承受正向电压， t_1 时刻加入正的触发脉冲 u_{g1} ， T_1 被触发导通，电流回路为： $u_2 \rightarrow T_1 \rightarrow R_L \rightarrow T_2$ 。此时 T_2 和 T_3 因承受反向电压而关断，负载上得到的电压等于电源电压 u_2 ；当 u_2 接近零时， T_1 因正向电流小于维持电流而关断。

摇摇在电源电压 u_2 的负半周， T_2 和 T_3 承受正向电压， t_2 时刻随着正触发脉冲的加入， T_2 被触发导通，电流回路为： $u_2 \rightarrow T_2 \rightarrow R_L \rightarrow T_1$ 。此时 T_1 和 T_3 因承受反向电压而关断，负载上得到的为和 u_2 反相的电压。当 u_2 接近零时， T_2 因正向电流小于维持电流而关断。如此周而复始，负载上得到的电压波形如图 1-10 所示。

摇摇我们把从晶闸管承受正向阳极电压开始到加入正的栅极触发电压使其开始导通之间的电角度称为触发延迟角，用 α 表示。晶闸管在一个周期内导通的电角度叫导通角，用 θ 表示。将触发延迟角 α 变化的范围称为移相范围。通过改变触发延迟角 α 的大小，就可改变输出电压的大小。

摇摇通过上述分析可知，单相半控桥式整流电路的输出电压的大小与触发延迟角 α 有关，输出电压的平均值为

$$U_d = \frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} U_2 \sin \omega t d\omega t \quad (1-10)$$

输出电流的平均值为

$$I_d = \frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} I_d d\omega t \quad (1-11)$$

式中 U_2 ——交流电源电压的有效值，单位为 V；

α ——触发延迟角，单位为 $^\circ$ ；

U_d ——输出电压的平均值，单位为 V；

I_d ——输出电流的平均值，单位为 A。

摇摇每只晶闸管承受的最高反向峰值电压为 $\sqrt{2}U_2$ ，每只晶闸管的平均电流为负载平均电流的一半。

摇摇例 1-1 如图 1-11 所示的电路中，最大输出电压是 U_2 ，输出电流是 I_d ，求：①交流电源电压的有效值 U_2 ；②当 α 越小时，输出电压的平均值是多少。