



新能源类专业教学资源库建设配套教材

电力电子技术

- 黄冬梅 马卫民 主编
- 戴裕崴 主审

DIANLI
DIANZI
JISHU



扫码看资源



化学工业出版社



新能源类专业教学资源库建设配套教材

电力电子技术

主任委员：天津轻工职业技术学院

副主任委员：天津轻工职业技术学院

黄冬梅 马卫民 主编

董爱娟 胡国武 副主编

戴裕崑 主审



化学工业出版社

· 北京 ·

本教材以调光灯电路的设计及制作、单相桥式全控整流电路的设计及制作、单相交流调光灯电路的设计及制作、三相整流电源的设计、安装及维调、开关电源电路的设计及维调、变频器电路的设计及维调 6 个工程实践项目为载体,采用项目引导、任务驱动的方式组织教学内容,由浅入深地讲述了晶闸管、双向晶闸管、大功率晶体管、功率场效应晶体管、绝缘栅门极晶体管等电力电子器件的结构、工作原理及特性,单相、三相可控整流电路、交流调压电路、逆变电路、直流斩波电路的工作原理和波形分析。

本教材可供职业院校新能源应用类专业、电气自动化专业、应用电子类专业、机电一体化专业选用,也可供工程技术人员参考并作为培训教材。

本教材在版编目(CIP)数据

电力电子技术/黄冬梅,马卫民主编. —北京:化学工业出版社,2017.8
ISBN 978-7-122-29960-4
I. ①电… II. ①黄… ②马… III. ①电力电子技术-高等学校-教材 IV. ①TM1

图书在版编目(CIP)数据

电力电子技术/黄冬梅,马卫民主编. —北京:化学工业出版社,2017.8
新能源类专业教学资源库建设配套教材
ISBN 978-7-122-29960-4

I. ①电… II. ①黄… ②马… III. ①电力电子技术-高等学校-教材 IV. ①TM1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 135310 号

责任编辑:刘 哲
责任校对:王 静

装帧设计:韩 飞

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 刷:三河市延风印装有限公司

装 订:三河市宇新装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张 12 $\frac{3}{4}$ 字数 307 千字 2017 年 9 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:32.00 元

版权所有 违者必究



新能源类专业教学资源库建设配套教材

建设委员会成员名单

主任委员：天津轻工职业技术学院

副主任委员：佛山职业技术学院

酒泉职业技术学院

委 员（按照姓名汉语拼音排列）

包头职业技术学院

常州轻工职业技术学院

哈尔滨职业技术学院

佛山职业技术学院

湖南电气职业技术学院

酒泉职业技术学院

兰州职业技术学院

乐山职业技术学院

秦皇岛职业技术学院

衢州职业技术学院

天津轻工职业技术学院



新能源类专业教学资源库建设配套教材

编审委员会成员名单

主任委员：戴裕崧

副主任委员：李柏青 薛仰全 李云梅

主审人员：刘靖 章大钧 冯黎成

委员（按照姓名汉语拼音排列）

陈文明	陈晓林	戴裕崧
段春艳	方占萍	李云梅
冯黎成	冯源	韩俊峰
胡昌吉	黄冬梅	李柏青
李良君	李云梅	廖东进
林涛	刘靖	刘秀琼
皮琳琳	王春媚	王冬云
王技德	薛仰全	章大钧
张东	张杰	张振伟
赵元元		

序

电力电子技术
DIANLI DIANJI JISHU

随着传统能源日益紧缺,新能源的开发与利用得到世界各国的广泛关注,越来越多的国家采取鼓励新能源发展的政策和措施,新能源的生产规模和使用范围正在不断扩大。《京都议定书》签署后,新的温室气体减排机制将进一步促进绿色经济以及可持续发展模式的全面进行,新能源将迎来一个发展的黄金年代。

当前,随着中国的能源与环境问题日趋严重,新能源开发利用受到越来越高的关注。新能源一方面可以作为传统能源的补充,另一方面可以有效降低环境污染。我国新能源开发利用虽然起步较晚,但近年来也以年均超过 25% 的速度增长。自《可再生能源法》正式生效后,政府陆续出台一系列与之配套的行政法规和规章来推动新能源的发展,中国新能源行业进入发展的快车道。

中国在新能源和可再生能源的开发利用方面已经取得显著进展,技术水平已有很大提高,产业化已初具规模。

新能源作为国家加快培育和发展的战略性新兴产业之一,国家已经出台和即将出台的一系列政策措施,将为新能源发展注入动力。随着投资光伏、风电产业的资金、企业不断增多,市场机制不断完善,“十三五”期间光伏、风电企业将加速整合,我国新能源产业发展前景乐观。

2015 年根据教育部教职成函【2015】10 号文件《关于确定职业教育专业教学资源库 2015 年度立项建设项目的通知》,天津轻工职业技术学院联合佛山职业技术学院和酒泉职业技术学院以及分布在全国的 10 大地区、20 个省市的 30 个职业院校,建设国家级新能源类专业教学资源库,得到了 24 个行业龙头、知名企业的支持,建设了 18 门专业核心课程的教育教学资源。

新能源类专业教育教学资源库开发的 18 门课程,是新能源类专业教学中应用比较广、涵盖专业知识面比较宽的课程。18 本配套教材是资源库海量颗粒化资源应用的一个方面,教材利用资源库平台,采用手机 APP 二维码调用资源库中的视频、微课等内容,充分满足学生、教师、企业人员、社会学习者时时、处处学习的需求,大量的资源库教育教学资源可以通过教材的信息化技术应用到全国新能源相关院校的教学过程,为我国职业教育教学改革做出贡献。

戴裕崑

2017 年 6 月 5 日

前 言

电力电子技术
DIANLI DIANZI JISHU

《电力电子技术》是高职三年制新能源类专业的一门公共平台课程，也是电气自动化技术、新能源应用技术、光伏发电技术及应用、风力发电技术、机电一体化技术、城市轨道交通控制、楼宇智能化的专业基础核心课程。本教材是根据高职院校的培养目标，按照高职院校教学改革和课程改革的要求，以企业调研为基础，确定工作任务，明确课程目标，制定课程设计的标准，以能力培养为主线，与企业合作，共同进行课程的开发和设计。通过本课程的学习，使学生熟悉各种电力电子器件的特性和使用方法，掌握各种电力电子电路的结构、工作原理、控制方法、设计的基本计算方法及基本实验技能，熟悉各种电力电子装置的应用范围及技术经济指标，培养学生在电力电子、变频器、逆变器、汇流箱等方面的职业技术能力、实践动手能力、解决实际问题的能力，基本具备电力电子线路的设计能力。

本教材共设6个学习项目、12个工作任务，参考教学时数为48~56学时。其中项目一调光灯电路的设计及制作，包括任务一单相半波调光灯电路的设计、任务二单相半波调光灯电路的制作；项目二单相桥式全控整流电路的设计及制作，包括任务一单相桥式全控整流电路的设计、任务二单相桥式全控整流电路的制作；项目三单相交流调光灯电路的设计及制作，包括任务一单相交流调光灯电路的设计、任务二单相交流调光灯电路的制作；项目四三相整流电源的设计、安装及维调，包括任务一三相整流电源的设计、任务二三相整流电源的安装及维调；项目五开关电源电路的设计及维调，包括任务一开关电源电路的设计、任务二开关电源电路的维调；项目六变频器电路的设计及维调，包括任务一变频器电路的设计、任务二变频器电路的维调。

本书力争体现以下特点。

1. 采用项目式教学，共分成6个项目12个任务，简单、通俗、易懂，易于激发学生的学习兴趣。

2. 本教材与新能源教学资源库配合使用, 与其动画资源、视频资源、习题资源等有机地结合。新能源教学资源库电信网地址: <http://180.212.82.145/resource> (专业教学资源管理系统平台); <http://180.212.82.145/learning> (微知库——专业教学平台)。以学习者身份注册, 选择《电力电子技术》课程可进行学习。本教材中加入了典型项目的动画及微课视频的二维码, 供学习者进行扫码学习 (若微信扫不出来, 可使用 qq 浏览器尝试)。

3. 实时引入最先进的 AR 技术, 把繁杂的实训教学引入手机操作, 进行实训的模拟学习, 使得学习者学习如身临其境。

4. 实时的互动系统增加了学生的学习兴趣, 使其由浅入深地掌握现代电力电子技术等知识。

本教材由哈尔滨职业技术学院黄冬梅任第一主编, 负责确定教材编写的体例、统稿工作, 并负责编写项目一、项目二、项目五; 安徽职业技术学院马卫民任第二主编, 并负责编写项目四; 秦皇岛职业技术学院董爱娟、酒泉职业技术学院胡国武任副主编, 分别负责编写项目三、项目六; 哈尔滨职业技术学院的戚本志、郑翹、肖红军、王海涛、杨兆辉, 佛山职业技术学院何金伟, 襄阳汽车职业技术学院包科杰、曾晓彤, 重庆能源职业学院王琴, 黑龙江东方学院姜斌同志参与部分项目的案例编写。

本教材由天津轻工职业技术学院戴裕崴任主审, 提出了很多修改建议。

由于编写组的业务水平和教学经验之限, 书中难免有不妥之处, 恳请指正。

编者

2017 年 5 月

为正常浏览本书中二维码资源, 请扫描二维码下载“微知库”APP。

Android 客户端下载



iOS 客户端下载



目 录

电力电子技术
DIANLI DIANZI JISHU

项目一 调光灯电路的设计及制作 1

【项目引领】	1
【学习目标】	1
任务一 单相半波调光灯电路的设计	1
任务二 单相半波调光灯电路的制作	23
【项目总结】	45
【项目提升】 脉冲变压器功能	46
【项目实战】	46
实战一 SCR 的测试	46
实战二 SCR 导通关断条件测试	46
实战三 单结晶体管 (BT33、BT35) 的测试	47
实战四 单结晶体管触发电路的维调	48
实战五 单相半波可控整流电路 (电阻性) 负载的维调	48
实战六 单相半波可控整流电路 (电感性) 负载的维调	49

项目二 单相桥式全控整流电路的设计及制作 50

【项目引领】	50
【学习目标】	50
任务一 单相桥式全控整流电路的设计	50
任务二 单相桥式全控整流电路的制作	65
【项目总结】	80
【项目提升】 晶闸管过压与过流的保护	80
【项目实战】	86
实战一 锯齿波同步触发电路的维调	86

实战二	单相桥式全控整流电路（电阻性）负载的维调	88
实战三	单相桥式全控整流电路（电阻电感性）负载的维调	90

项目三 单相交流调光灯电路的设计及制作 92

【项目引领】	92
【学习目标】	92
任务一 单相交流调光灯电路的设计	92
任务二 单相交流调光灯电路的制作	100
【项目总结】	110
【项目提升】 电阻电感性负载	110
【项目实战】	111
实战一 KS 的测试	111
实战二 KS 实现的单相交流调压电路的维调	112
实战三 普通 SCR 反并联实现的单相交流调压电路的维调	112

项目四 三相整流电源的设计、安装及维调 114

【项目引领】	114
【学习目标】	114
任务一 三相整流电源的设计	114
任务二 三相整流电源的安装及维调	125
【项目总结】	133
【项目实战】	134
实战一 三相半波可控整流电路的调试	134
实战二 三相桥式全控整流电路的调试	135

项目五 开关电源电路的设计及维调 137

【项目引领】	137
【学习目标】	137
任务一 开关电源电路的设计	137
任务二 开关电源电路的维调	163

【项目总结】	169
【项目提升】开关电源的软启动电路	169
【项目实战】	173
实战一 GTO、MOSFET、GTR、IGBT 驱动与保护电路的维调	173
实战二 直流斩波电路的维调	173

项目六 变频器电路的设计及维调 175

【项目引领】	175
【学习目标】	175
任务一 变频器电路的设计	175
任务二 变频器电路的维调	184
【项目总结】	191
【项目实战】	191
实战 三相桥式有源逆变电路的维调	191

参考文献 192

项目一

调光灯电路的设计及制作

项目引领

王好强入职在××××科技股份有限公司，该公司主要生产风力发电设备及风电运维等新能源应用产品。一上班便进行了为期两周的入职培训阶段，培训内容为风力发电设备、逆变器等电力电子产品的应用。

学习目标

- ① 通过逆变器等电力电子产品的典型应用，熟练掌握电力电子产品的特性。
- ② 熟练掌握逆变器等电力电子产品的设计原理。
- ③ 熟练掌握逆变器等电力电子产品的制作及工艺。
- ④ 掌握中级维修电工职业资格考试有关逆变器等电力电子技术的应用。

任务一 单相半波调光灯电路的设计

【任务分析】

通过完成本任务，使学生掌握逆变器等电力电子器件的特性、工作原理、器件的检测及其设计计算等实际应用，能够进行新能源技术项目的简单设计及预算。

【知识链接】

一、电力电子技术的相关知识

1. 电力电子技术定义

电力电子技术与信息电子技术（模拟电子技术与数字电子技术）构成电子技术的整体。

2. 电力电子技术特点

“电力”变换,其变换功率既可大到数百甚至数千兆瓦,亦可小到几瓦或更小。

3. 现代电力电子器件

现代电力电子器件是指全控型的电力半导体器件。

现代电力电子器件分类如下。

① 双极型器件 这类器件的通态降低、阻断电压高、电流容量大,适合于中、大容量的变流装置。常见的典型产品有门极关断晶闸管(GTO)、电力晶体管(GTR)、静电感应晶闸管(SITH)。

② 单极型器件 这类器件的开关时间短,一般在几十纳秒以下,工作频率高,抗干扰能力强。常见的典型产品有电力场效应管(电力 MOSFET)和静电感应晶体管(SIT)。

③ 混合型器件 这类器件既有 GTR、GTO 及 SCR 等双极型器件电流密度高、导通压降低的特点,又具有 MOSFET 等单极型器件输入阻抗高、响应速度快的特点。常见的典型产品有肖特基注入 MOS 门极晶体管(SINFET)、绝缘门极双极晶体管(IGBT 或 IGT)、MOS 门极晶体管(MGT)、MOS 晶闸管(MCT 或 MCTH)等。

4. 变换电路与控制技术

变换电路以电力半导体器件为核心,通过不同电路及控制方法来实现电能的转换和控制。其基本功能如下所示。

① 可控整流器(AC-DC) 把交流电压转换成为固定或可调的直流电压,如直流电机的调压调速、电镀设备、电解设备等。

② 有源逆变器(DC-AC) 把直流电压变换成为频率固定或可调的交流电压,如直流输电、牵引机车制动时的电能回馈等。

③ 交流调压器(AC-AC) 把固定或变化的交流电压变换成为可调或固定的交流电压,如灯光控制、温度控制等设备。

④ 无源逆变器(AC-DC-AC) 不固定或变化频率的交流电变换成频率可调的或恒定的交流电,如变频电源、变频调速、UPS 不间断电源。

⑤ 直流斩波器(DC-DC) 把固定或变化的直流电压变换成为可调或固定的直流电压,如电气机车、城市电车牵引等设备。

⑥ 无触点电力静态开关 接通或切断交流或直流电流通路,如电气机车、城市电车牵引等。

5. 电力半导体特点

(1) 优点

① 体积小,重量轻,耐磨损,无噪声,维修方便。

② 功率增益高,控制灵活。

③ 控制动态性能好,响应快,动态时间短。

④ 效率高,节能。

(2) 缺点

① 过载能力低。

② 某些工作条件下,功率因数低。

③ 对“电网”有公害。

调光灯、舞台灯在日常生活中应用最广泛,旋动调光灯的按钮就可以调节灯泡的明暗。

常用的调光方法有可变电阻调光法、调压器调光法、脉冲占空比调光法、晶闸管相控调光法、脉冲调频调光法等。晶闸管相控调光是通过控制晶闸管的导通角，改变输出电压的大小，实现调光。如图 1-1 所示。

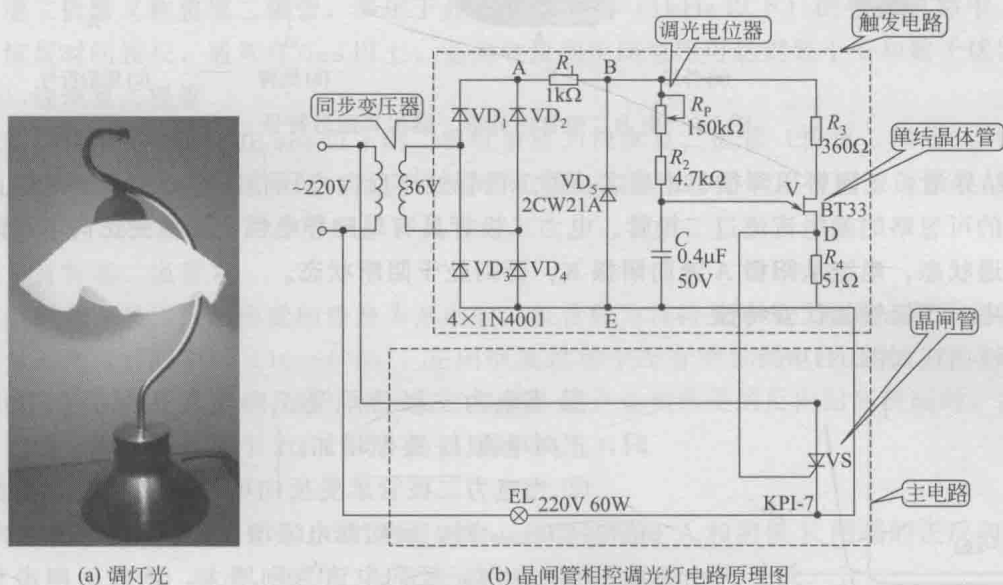


图 1-1 单相半波整流调光灯及其电路原理图

二、电力二极管

电力二极管与小功率二极管的结构、工作原理和伏安特性相似，属于不可控器件。电力二极管的开通与关断由器件所在的主电路决定，这种器件结构简单、工作可靠，广泛应用于交-直-交变频整流、大功率直流电源等电气设备中。常用电力二极管有普通二极管（又称整流二极管）、快恢复二极管和肖特基二极管，在中、高频整流和逆变以及低压高频整流场合广泛应用，如图 1-2 所示。

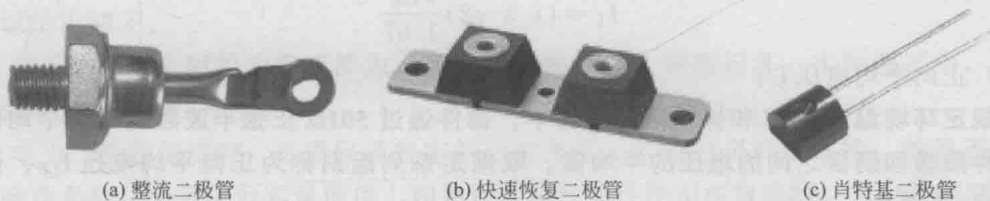


图 1-2 电力二极管

1. 电力二极管的结构

电力二极管内部有一个 PN 结组成的半导体元件，其结构及图形符号如图 1-3 所示，引出端分别称为阳极 (A)、阴极 (K)，由一个面积较大的 PN 结和两端引线以及封装组成。从外形上看，大功率的主要有螺栓型和平板型两种封装，小功率的和普通二极管一致。螺栓式二极管的阳极紧拴在散热器上。平板式二极管又分为风冷式和水冷式，其阳极和阴极分别由两个彼此绝缘的散热器紧紧夹住。

2. 电力二极管的基本特性

电力二极管和图 1-1 中的二极管 4001 工作原理一样，即若二极管处于正向电压作用下，

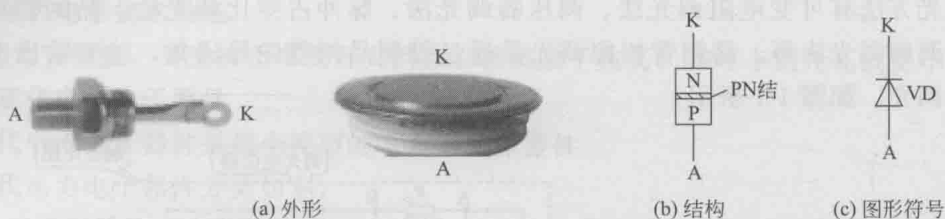


图 1-3 电力二极管的外形、结构和图形符号

则 PN 结导通, 正向管压降很小; 反之, 若二极管处于反向电压作用下, 则 PN 结截止, 仅有极小的可忽略的漏电流流过二极管。电力二极管具有单向导电性, 即承受正向电压时器件处于导通状态, 电流从阳极 A 流向阴极 K, 否则处于阻断状态。

3. 电力二极管的伏安特性

特性曲线如图 1-4 所示。

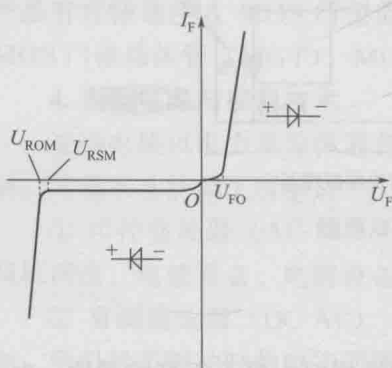


图 1-4 电力二极管的伏安特性

① 当电力二极管承受正向电压达到门槛电压 U_{FO} 时, 正向电流 I_F 逐渐增加。

② 当电力二极管承受反向电压增大到反向不重复峰值电压 U_{RSM} 时, 反向漏电流增大较大, 当达到反向击穿电压 U_{ROM} 时, 反向电流急剧增大, 造成反向击穿, 使得电力二极管永久性击穿损坏。

4. 主要参数

(1) 正向平均值电流 (额定电流) I_F

在规定的环境温度为 40°C 和标准散热条件下, 器件 PN 结温度稳定且不超过 140°C 时, 所允许长时间连续流过 50Hz 正弦半波的电流平均值, 即为器件的额定电流。

实际应用时, 应留有 $1.5 \sim 2$ 倍的安全裕量。若电力二极管所流过的最大有效电流为 I_{DM} , 则额定电流选择为

$$I_F = (1.5 \sim 2) \frac{I_{DM}}{1.57} \quad (1-1)$$

(2) 正向平均电压 U_F

在规定环境温度 40°C 和标准散热条件下, 器件通过 50Hz 正弦半波额定正向平均值电流时, 器件阳极和阴极之间的电压的平均值。取规定系列组别称为正向平均电压 U_F , 通常在 $0.45 \sim 1\text{V}$ 范围内。

(3) 反向重复峰值电压 U_{RRM}

在额定结温条件下, 取元件反向伏安特性不重复峰值电压值 U_{RSM} (图 1-4) 的 80% 称为反向重复电压 U_{RRM} 。将 U_{RRM} 值取规定的电压等级定义为该器件的额定电压。

实际应用时, 以其在电路中所承受的最大峰值电压 U_{DM} 的 $2 \sim 3$ 倍来选择反向重复峰值电压, 则其额定电压一般选择为

$$U_{RRM} = (2 \sim 3) U_{DM} \quad (1-2)$$

(4) 最高工作结温 T_{JM}

结温是指管芯 PN 结的平均温度, 用 T_J 表示。最高工作结温是指在 PN 结不致损坏的前提下所能承受的最高平均温度。 T_{JM} 取值在 $125 \sim 175^\circ\text{C}$ 范围之内。

5. 电力二极管的主要类型

实际应用中,可根据不同场合的不同要求,选择不同类型的电力二极管。

(1) 普通二极管

普通二极管又称整流二极管,多用于开关频率不高(1kHz以下)的整流电路中。特点是反向恢复时间较长,通常在 $5\mu\text{s}$ 以上,正向电流和反向电压可达到数千安和数千伏以上。

(2) 快恢复二极管

恢复过程很短,通常在 $5\mu\text{s}$ 以下的二极管被称为快恢复二极管(快速二极管)。快恢复二极管从性能上可分为快速恢复(反向恢复时间为数百纳秒或更长)和超快速恢复(100ns以下,或可达20~30ns)两个等级。

(3) 肖特基二极管

以金属和半导体接触形成的势垒为基础的二极管称为肖特基势垒二极管,简称肖特基二极管。反向恢复时间很短(10~40ns),正向恢复过程中没有明显的电压过冲。反向耐压较低的情况下其正向压降很小,好于快恢复二极管。缺点是当承受的反向耐压提高时,其正向压降不能满足要求。常用于200V以下的低压场合。

6. 电力二极管的检测

将指针式万用表打到 $R\times 100$ 挡测量电力二极管的阳极A和阴极K两端的正反向电阻。

① 如图1-5(a)所示,电力二极管的正向电阻在几十欧~几百欧。

② 如图1-5(b)所示,电力二极管的反向电阻在几千欧~几十千欧。

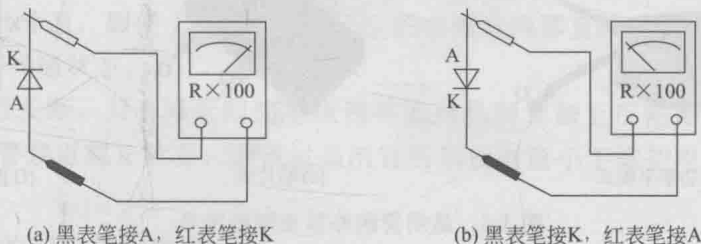


图 1-5 电力二极管的检测方法

测试结论如下。

① 若正、反向电阻都为零或都为无穷大,说明电力二极管损坏。实际测试中,严禁用绝缘电阻表测试电力二极管。

② 电力二极管使用时,必须保证规定的冷却条件,如强迫风冷或水冷。如果不能满足规定的冷却条件,必须降低容量使用。如果规定风冷器件使用在自冷时,只允许用到额定电流的 $1/3$ 左右。

③ 平板型器件的散热器一般不应自行拆装。

④ 拒绝用兆欧表检查器件的绝缘情况。若需要检查整机的耐压时,可将器件短接。



电力二极管极性鉴别1
(视频文件)



电力二极管质量测试1
(视频文件)



普通二极管的极性测试1
(视频文件)

三、晶闸管结构及导通关断条件

(一) 晶闸管的结构

1. 晶闸管结构

晶闸管是一种大功率单晶硅材料制成的4层3个PN结半导体材料,引出3个极:阳极A、阴极K、门极(控制极)G,其外形、符号及管脚名称(阳极A、阴极K、门极G)如图1-6(a)~(e)所示,图1-6(f)所示为晶闸管的图形符号。晶闸管内部结构及等效电路如图1-7所示。

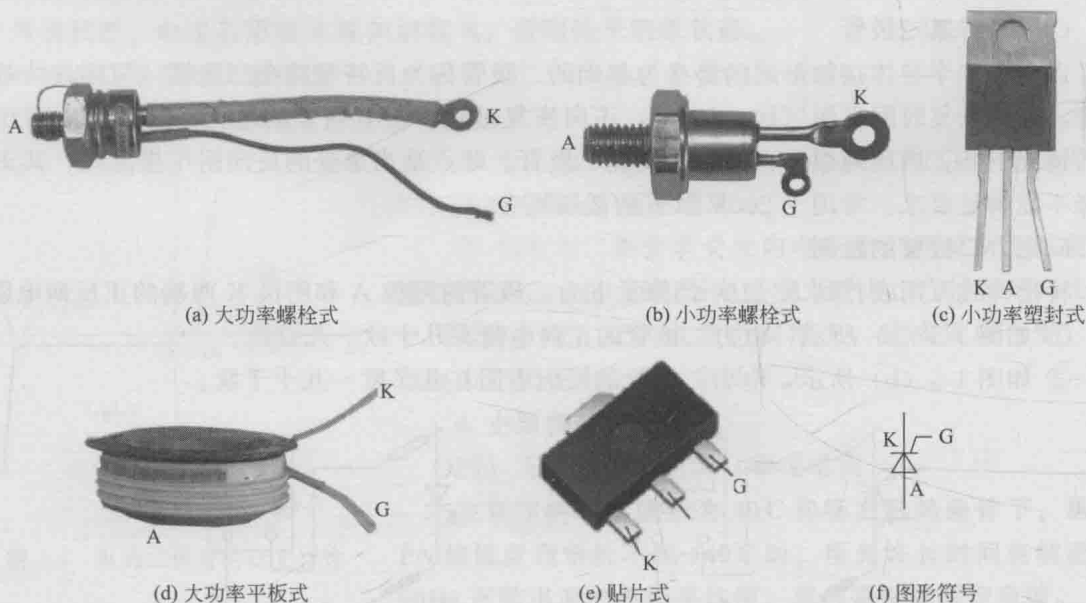


图 1-6 晶闸管的外形及图形符号

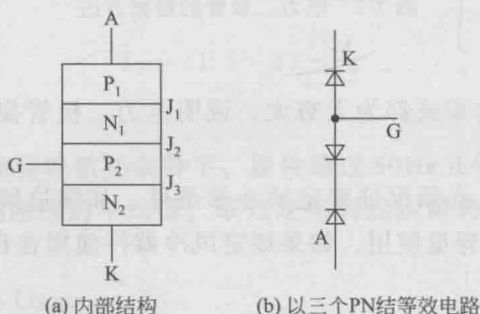


图 1-7 晶闸管内部结构及等效电路

2. 晶闸管的常见封装外形

通常有螺栓型、平板型、塑封型。而螺栓型封装,通常螺栓是其阳极,能与散热器紧密连接且安装方便;平板型封装的晶闸管可由两个散热器将其夹在中间。

3. 晶闸管的管耗和散热

管耗=流过器件的电流×器件两端的电压