



国家级职业教育规划教材
劳动保障部培训就业司推荐

高等职业院校电类专业

模拟电子技术

GH

DianLei Zhuanye

GaodengZhiyeJishuYuanxiao

劳动保障部教材办公室组织编写



中国劳动社会保障出版社

国家级职业教育规划教材
劳动保障部培训就业司推荐
高等职业技术学院电类专业

模拟电子技术

劳动和社会保障部教材办公室组织编写

中国劳动社会保障出版社

图书在版编目(CIP)数据

模拟电子技术/黄士生主编. —北京: 中国劳动社会保障出版社, 2006

高等职业技术学院电类专业教材

ISBN 7 - 5045 - 5659 - 9

I. 模… II. 黄… III. 模拟电路 - 电子技术 - 高等学校: 技术学校 - 教材 IV. TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 055852 号

中国劳动社会保障出版社出版发行

(北京市惠新东街 1 号 邮政编码: 100029)

出版人: 张梦欣

*

北京隆昌伟业印刷有限公司印刷装订 新华书店经销

787 毫米×1092 毫米 16 开本 9.5 印张 234 千字

2006 年 6 月第 1 版 2006 年 6 月第 1 次印刷

定价: 17.00 元

读者服务部电话: 010 - 64929211

发行部电话: 010 - 64927085

出版社网址: <http://www.class.com.cn>

版权专有 侵权必究

举报电话: 010 - 64911344

前 言

为贯彻落实《国务院关于大力发展职业教育的决定》精神，坚持以就业为导向的职业教育办学方针，推进高等职业技术学院课程和教材改革，劳动和社会保障部教材办公室组织一批学术水平高、教学经验丰富、实践能力强的教师与企业、行业一线专家，共同研究开发了电类专业课程的基础平台，涉及电工基础、模拟电子技术、数字电子技术、电工基本技能、金工实习等课程；还开发了电气自动化技术、应用电子、移动通信技术三个专业模块的课程。在课程开发的同时，编写了电类专业相关教材 36 种。

在教材的编写过程中，我们贯彻了以下编写原则：

第一，从职业（岗位）需求分析入手，参照国家职业标准《维修电工》《家用电子产品维修工》《电子设备装接工》《家用电器产品维修工》《用户通信终端（移动电话机）维修员》的要求，精选教材内容，切实落实“管用、够用、适用”的教学指导思想。

第二，体现以技能训练为主线、相关知识为支撑的编写思路，较好地处理了理论教学与技能训练的关系，有利于帮助学生掌握知识、形成技能、提高能力。

第三，按照教学规律和学生的认知规律，合理编排教材内容。尽量采用以图代文的编写形式，降低学习难度，提高学生的学习兴趣。

第四，突出教材的先进性，较多地编入新技术、新设备、新材料、新工艺的内容，以期缩短学校教育与企业需要的距离，更好地满足企业用人的需求。

在上述教材的编写过程中，得到有关省市教育部门、劳动和社会保障部门以及一些高等职业技术学院的大力支持，教材的诸位主编、参编、主审等做了大量的工作，在此我们表示衷心的感谢！同时，恳切希望广大读者对教材提出宝贵的意见和建议，以便修订时加以完善。

劳动和社会保障部教材办公室

2006 年 6 月

内 容 简 介

本书为国家级职业教育规划教材，根据高等职业技术学院电类专业教学计划和教学大纲，由劳动和社会保障部教材办公室组织编写。主要内容包括常用半导体器件、整流与滤波电路、基本放大电路、集成运放应用电路、信号产生电路、直流稳压电路、晶闸管应用电路、模拟电子电路读图等。

本书为高等职业技术学院电类专业教材，也可作为成人高校、广播电视大学、本科院校举办的二级职业技术学院和民办高校的电类专业教材，或作为自学用书。

本书由黄土生、巫伟钢主编，由秦益霖主审。

目 录

模块一 整流、滤波电路·····	(1)
课题一 半导体二极管的识别、检测与选用·····	(1)
课题二 单相整流电路的装配与测试·····	(8)
课题三 滤波电路的装配与测试·····	(22)
模块二 基本放大电路·····	(28)
课题一 半导体三极管的识别、检测与选用·····	(28)
课题二 共发射极放大电路的装配与调试·····	(37)
课题三 共集电极放大电路的装配与调试·····	(48)
课题四 负反馈放大电路的装配与调试·····	(53)
课题五 OTL 功率放大电路的装配、调试与检修·····	(60)
模块三 集成运放应用电路·····	(70)
课题一 比例运算放大电路的装配、调试与检修·····	(70)
课题二 电压比较电路的装配、调试与检修·····	(80)
模块四 信号产生电路·····	(87)
课题一 RC 正弦波振荡电路的装配、调试与检修·····	(87)
课题二 石英晶体正弦波振荡电路的装配、调试与检修·····	(95)
模块五 直流稳压电路·····	(100)
课题一 串联型直流稳压电源的装配、调试与检修·····	(100)
课题二 开关型直流稳压电源的装配、调试与检修·····	(107)
模块六 晶闸管应用电路·····	(116)
课题一 晶闸管、单结晶体管的识别与检测·····	(116)
课题二 调光电路的装配、调试与检修·····	(125)
课题三 单相可控整流直流电动机调速电路的装配、调试与检修·····	(131)
模块七 综合应用电路·····	(138)
课题 光控双向控制电路的装配、调试与检修·····	(138)

模块一 整流、滤波电路

能够完成将交流电变成脉动直流电的电路称为整流电路，能够将脉动直流电变成比较平滑的直流电的电路称为滤波电路。

课题一 半导体二极管的识别、检测与选用

学习目标

能够识别常用半导体二极管的种类，掌握检测二极管质量的技能及选用二极管的基本方法。

任务引入

二极管是整流电路中的关键器件，二极管的种类繁多，应用十分广泛，识别常用半导体二极管的种类，掌握检测质量及选用方法是学习电子技术必须掌握的一项基本技能。图1—1是常用半导体二极管的外形。

相关知识

一、半导体材料

半导体二极管由纯度极高的半导体晶体（硅或锗）掺入少量杂质（砷或硼）制成，依照掺入的杂质及其所体现出的性能不同分为N型半导体和P型半导体。N型半导体的多数载流子是电子，P型半导体的多数载流子是空穴。半导体材料对热、光、电场敏感。

二、二极管的基本结构

在一块完整的晶片上，通过掺杂工艺，使晶片的一边为P型半导体，另一边为N型半导体，则在这两种半导体的交界处形成一个具有特殊物理性质的带电薄层，称为PN结。如图1—2所示为二极管的结构与图形符号。

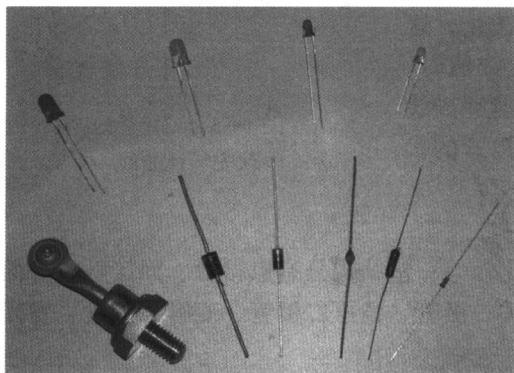


图 1—1 常用半导体二极管的外形

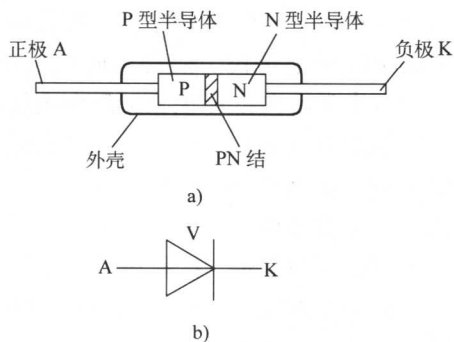


图 1—2 二极管的结构与图形符号

a) 结构 b) 符号

将 PN 结封装起来，并加上电极引线就构成了半导体二极管，简称二极管。从 P 区引出的电极为正极，用符号“A”表示，从 N 区引出的电极为负极，用符号“K”表示。二极管的文字符号为“V”（在电路图中，也用 VD 表示），图中箭头指向是二极管正向电流的方向。

三、二极管的基本特性

当二极管正极 A 接低电位，负极 K 接高电位时，如图 1—3 所示，指示灯不能发光，说明电路中没有电流通过或电流极小。此时二极管两端施加的电压是反向电压，二极管处于反向偏置状态，简称反偏。二极管反偏时，内部呈现很大的电阻值，几乎没有电流通过，二极管的这种状态称为反向截止状态。

如图 1—4 所示，当二极管的正极 A 接高电位，而负极 K 接低电位，指示灯就能够发光。此时二极管两端施加的是正向电压，二极管处于正向偏置状态，简称正偏。二极管正偏时，当正向电压达到某一数值时会使二极管导通，电流随电压的上升迅速增大，二极管内部的电阻值变得很小，进入正向导通状态。导通后二极管两端的正向电压称为正向压降，这个电压比较稳定，几乎不随流过的电流大小而变化。一般硅二极管的正向压降约为 0.7 V，锗二极管的正向压降约为 0.3 V。

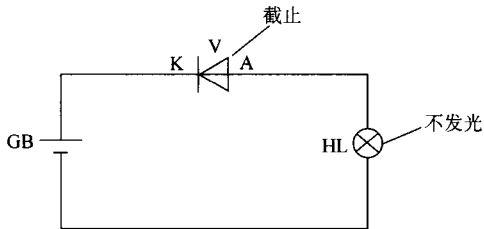


图 1—3 二极管加反向电压

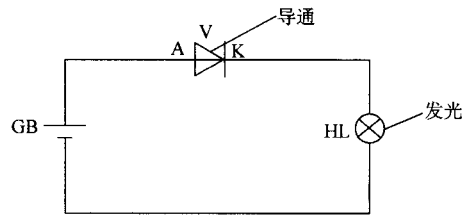


图 1—4 二极管加正向电压

二极管正偏时并不就等于导通，也就是说，虽然加了正向电压，由于外加的正向电压很小，二极管内部呈现的电阻仍很大，正向电流几乎为零，这个区域称为死区。使二极管脱离死区而开始导通的临界电压称为开启电压，通常用 U_{on} 表示，一般硅二极管的开启电压约为 0.5 V，锗二极管的开启电压约为 0.1 V。

二极管在加正向电压时导通，加反向电压时截止，这就是它的单向导电特性。但是反向电压超过一定数值时，二极管就会出现反向击穿现象，反向电流剧增。能够描绘二极管特性的电流 I 和电压 U 的关系曲线称为二极管的伏安特性曲线。如图 1—5 所示。

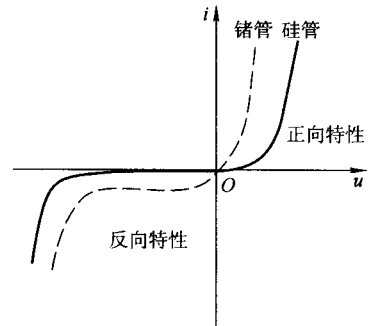


图 1—5 二极管的伏安特性曲线

四、二极管的种类

二极管的种类很多，按材料分有硅、锗、砷化镓等；按结构分有点接触、面接触、平面型等；按用途分有检波二极管、整流二极管、开关二极管、稳压二极管、变容二极管、发光二极管、光敏二极管等。

大部分二极管都是利用二极管的单向导电特性，实现检波、整流、开关等作用。稳压二极管是利用其反向击穿特性，在二极管的两端得到比较稳定的电压 U_V ，所以它是工作在反

向击穿状态；发光二极管是将电能直接转变为光能的电致发光器件，常用于指示电路、光电传感器等。

五、二极管的选用与代换

为了安全使用二极管，必须考虑电流、电压、功率、温度等参数不能超过规定的最大额定值。使用中可以通过查阅相关手册进行选用或代换，主要考虑以下参数：

1. 最大正向电流 I_{OM}

指半导体二极管在正常工作情况下，长期允许通过的最大正向电流。若超过该值时，二极管会因过热而损坏。

2. 最高反向工作电压 U_{RM}

指半导体二极管正常工作时所能承受的最大反向电压值。若超过此值时，二极管有可能因反向击穿而损坏。

3. 反向电流 I_R

指给半导体二极管加上规定的反向电压，未击穿时，通过的反向电流值。 I_R 越小，说明二极管的单向导电性能越好。应注意， I_R 对温度非常敏感。

4. 最高工作频率 f_M

指半导体二极管工作于交流电路时，保持良好工作特性所对应的交流电的最高频率。

半导体二极管在电子电路中的应用十分广泛，代换时应遵循“类型相同”“特性相近”“外形相似”的原则。例如，硅材料管不能与锗材料管互换，普通二极管不能与特殊二极管互换等。一般应采用“同型号法”和“特性相近的不同型号法”，当采用“特性相近的不同型号法”代换时，可以查阅《晶体管代换手册》得到特性相近型号的代换管进行代换。

技能训练

一、目的和要求

1. 学会用万用表检测普通半导体二极管的质量。
2. 学会用万用表判别稳压半导体二极管。
3. 学会用万用表检测发光半导体二极管的质量。

二、实训器材

1. 万用表。
2. 各种半导体二极管。

三、操作步骤

1. 普通二极管的检测

(1) 直观识别二极管的极性 二极管的正、负极一般都在外壳上标注出来，常用图形符号、色点、标志环等表示，如图 1—6 所示。标有色点的一端是正极，标志环的一端是负极。

(2) 用万用表识别二极管的极性

①万用表量程置“ $\times 1\text{ k}$ ”或“ $\times 100$ ”挡，进行“ $0\ \Omega$ ”校正，如图 1—7 所示。

②将万用表的红表笔和黑表笔分别与二极管的两个引脚相接，记下万用表的电阻值读数。注意人体不要同时与二极管的两个引脚相接，以免影响测量结果，如图 1—8 所示。

③交换与红表笔和黑表笔相接的二极管引脚，记下万用表的电阻值读数。以电阻值较小的一次为准，与黑表笔相接的半导体二极管引脚是正极，红表笔相接的半导体二极管引脚是

负极，该电阻值称为二极管的正向电阻，如图 1—9 所示。反之，较大的电阻值称为二极管的反向电阻，如图 1—8 所示。

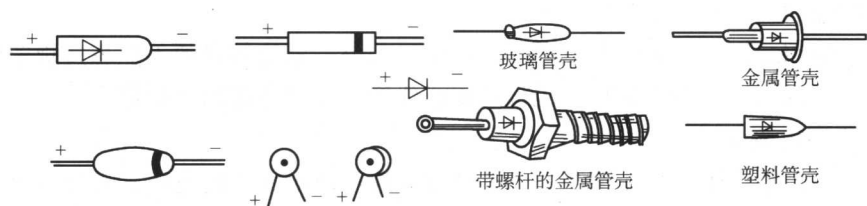


图 1—6 二极管极性的常用标志方法

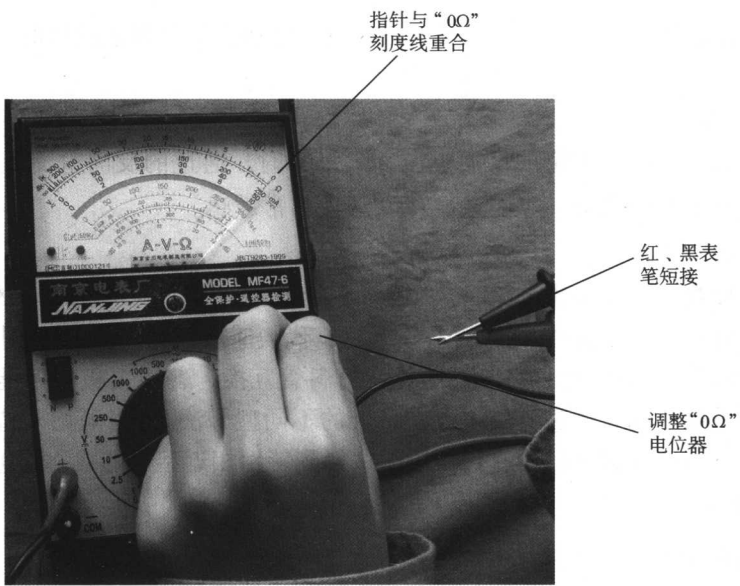


图 1—7 万用表的量程与“0 Ω”校正

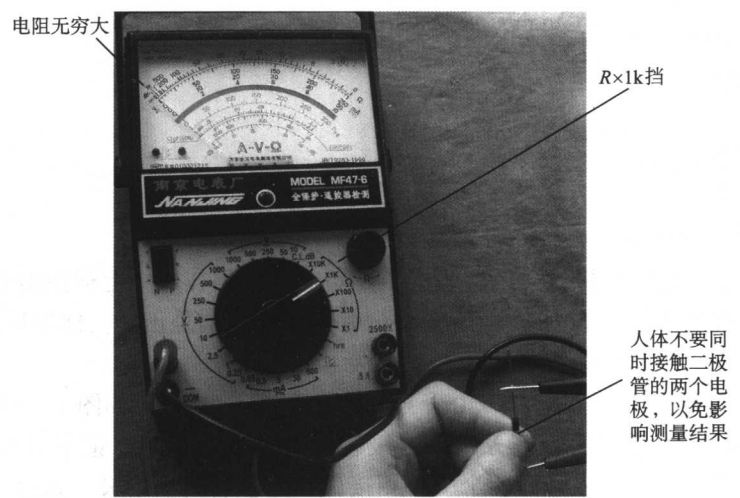


图 1—8 二极管反向电阻测量示意图

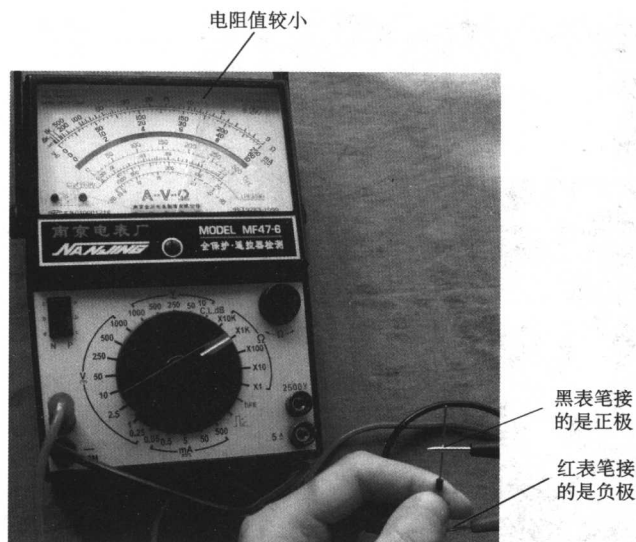


图 1—9 二极管正向电阻测量示意图

(3) 万用表检测二极管的性能 将万用表二次测量的结果，即将二极管的正向电阻与反向电阻进行比较，阻值相差越大，说明二极管的单向导电性越好。如二次测量的结果均较大或较小，说明二极管已损坏。

2. 稳压二极管的判别

首先按普通二极管的检测方法判断出稳压二极管的正、负极性。然后将万用表的量程置“ $\times 10\text{ k}$ ”挡测量二极管的反向电阻值，若此时的阻值变得较小，说明该二极管是稳压二极管。如图 1—10 所示。

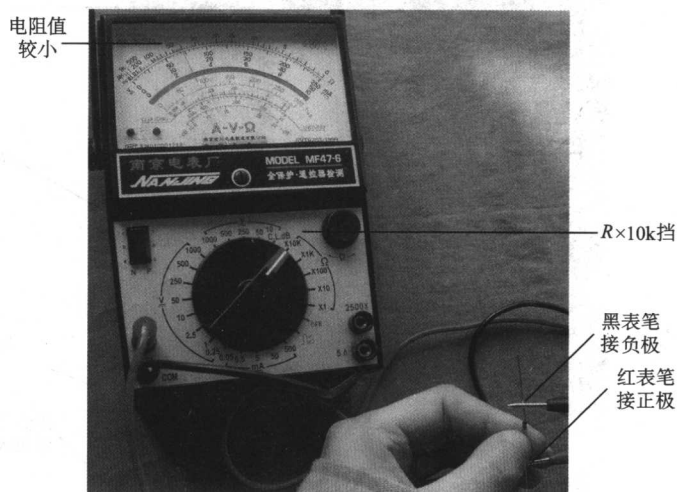


图 1—10 稳压二极管的判别

3. 发光二极管的检测

(1) 将万用表的量程置“ $\times 10\text{ k}$ ”挡测量其正、反向电阻值，判断出其正、负极。如图 1—11 所示。

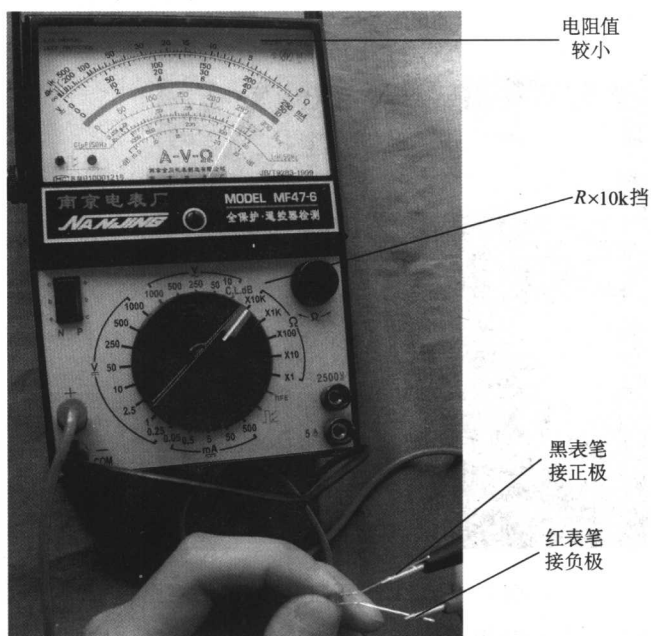


图 1—11 发光二极管的极性判别

(2) 用万用表外接 1 节 1.5 V 电池，如图 1—12 所示，万用表量程置 “ $\times 10$ 或 $\times 100$ ” 挡，黑表笔接电池负极，红表笔接发光二极管负极，电池正极接发光二极管正极，发光二极管如能正常发光则表示其质量合格。

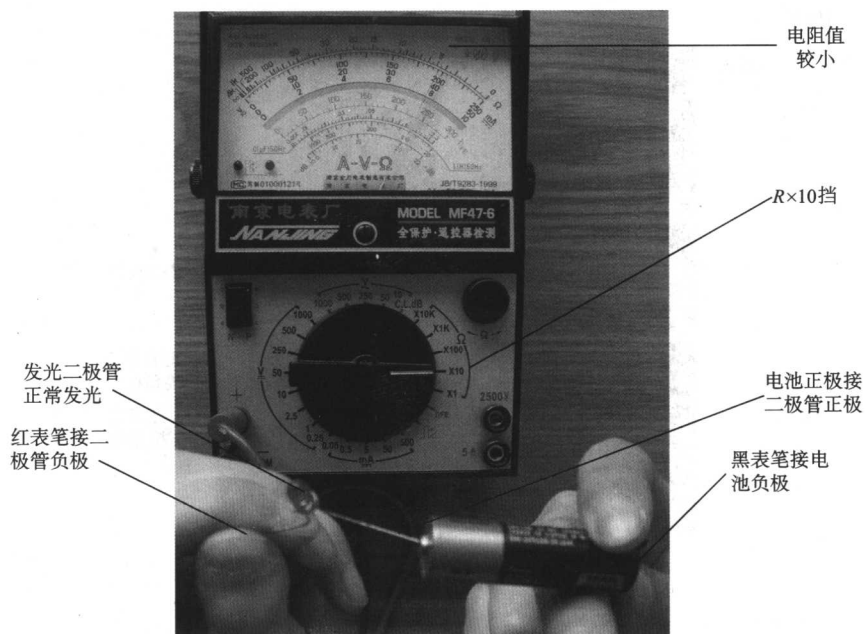


图 1—12 发光二极管的质量检测

四、练习与考核

1. 操作练习

常用半导体二极管（整流、检波、开关、稳压、发光）的识别和检测，将结果填入表 1—1；查阅相关晶体管手册将主要参数摘录填入表 1—1。

表 1—1 检测与查阅参数记录

序号	标志符号	万用表量程	正向电阻值	反向电阻值	类型判别	质量判别	I_{OM}	U_{RM}	I_R
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									

2. 课外练习

(1) 判断题

- ①半导体二极管都是硅材料制成的。 ()
- ②半导体二极管具有单向导电特性。 ()
- ③半导体二极管只要加正向电压就能导通。 ()
- ④稳压二极管应工作在正向导通状态。 ()
- ⑤锗材料半导体二极管导通时的电压降约为 0.3 V。 ()

(2) 选择题

- ①硅材料半导体二极管的开启电压约为 () V。
A. 0.1 B. 0.3 C. 0.5 D. 0.7
- ②选用二极管时，实际电路中的工作电压应 () 最高反向工作电压。
A. 大于 B. 等于 C. 小于 D. 不考虑
- ③测量普通二极管时，万用表量程应使用 () 挡。
A. $\times 10$ B. $\times 1\text{ k}$ C. $\times 10\text{ k}$ D. 任意
- ④测量发光二极管时，万用表量程应使用 () 挡。
A. $\times 10$ B. $\times 1\text{ k}$ C. $\times 10\text{ k}$ D. 任意

(3) 填空题

- ①将_____封装起来，并加上_____就构成了半导体二极管，简称二极管。
- ②最大正向电流 I_{OM} 是指半导体二极管在正常工作情况下，_____允许通过的_____正向电流。若超过该值时，二极管会_____。
- ③将二极管的正向电阻与反向电阻进行_____，阻值相差_____，说明二极管的单向导电性_____。

④当采用“特性相近的不同型号法”代换时，可以查阅_____得到代换管的_____进行代换。

3. 评分标准（见表 1—2）

表 1—2

评分标准

项目	配分	工艺标准	扣分标准	扣分记录	得分
直观识别	10 分	能正确识读标志符号，判别二极管极性	1. 识读标志符号错误，每处扣 1 分 2. 二极管极性判别错误，每处扣 2 分		
万用表检测	70 分	能正确测量二极管正、反向电阻，判别极性和质量；区分稳压二极管和普通二极管。正确使用万用表	1. 测量结果错误，每处扣 5 分；误差大，每处扣 1 分 2. 二极管极性判别错误，每处扣 5 分 3. 不能区分稳压二极管和普通二极管每处扣 5 分 4. 万用表使用不当，每次扣 2 分		
查阅手册	10 分	正确查阅主要参数	1. 参数错误，每处扣 3 分 2. 不会查阅，扣 10 分		
安全、文明	10 分	安全操作，文明操作	1. 违反安全操作规程，扣 10 分 2. 违反文明生产要求，扣 10 分		

课题二 单相整流电路的装配与测试

学习目标

能够掌握手工焊接的操作技能，并完成单相整流电路的装配和测试，了解整流电路的种类和电路特点。

任务引入

电子电路正常工作都需要稳定的直流电源提供能量，把交流电变成直流电的电路称为整流电路。图 1—13 是单相半波整流电路，图 1—14 是单相全波整流电路，图 1—15 是单相桥式整流电路。

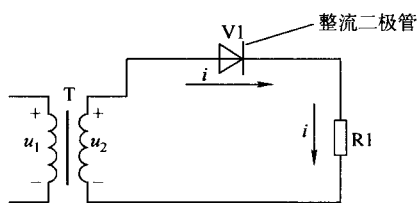


图 1—13 单相半波整流电路

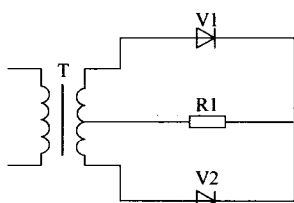


图 1—14 单相全波整流电路

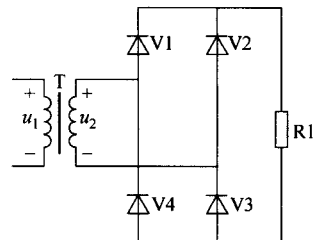


图 1—15 单相桥式整流电路

相关知识

一、单相半波整流电路

1. 单相半波整流电路的组成与工作原理

电路的基本组成如图 1—13 所示, 由变压器 T、整流二极管 V1 及负载电阻 R1 组成。变压器的作用是把电网电压 u_1 (交流 220 V、50 Hz) 变换成所需要的交流电压 u_2 , 二次侧电压的有效值为 U_2 。

当 u_2 为正半周时, 二极管 V1 正偏导通, 回路中有电流通过, 负载电阻 R1 两端的电压为 u_{R1} 。

当 u_2 为负半周时, 二极管 V1 反偏截止, 回路中没有电流通过, 负载电阻 R1 两端的电压为 0。

输入、输出电压波形图如图 1—16 所示。利用二极管的单向导电作用, 在输入交流电压的一个周期内, 负载电阻 R1 上得到一个单方向的脉动直流电压, 也就是说, 流过负载电阻的电流和负载电阻两端的电压只是半个周期的正弦波, 故被称作半波整流电路。

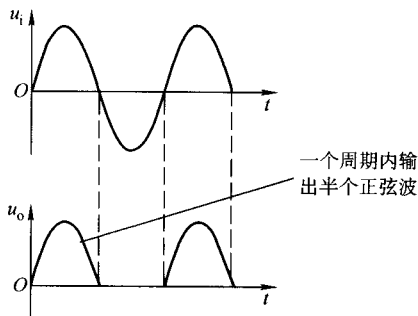


图 1—16 单相半波整流电路
输入、输出电压波形图

2. 负载电阻上的直流电压

指一个周期内的电压平均值 $U_{R1} \approx 0.45 U_2$ 。

3. 对整流二极管的选用要求

最大正向电流 I_{OM} 应大于负载电流, 最高反向工作电压 U_{RM} 应大于 $\sqrt{2} U_2$ 。

4. 单相半波整流电路的特点

- (1) 电路简单, 元件数量少, 成本低。
- (2) 输出电压低, 脉动大, 整流效率低。

二、单相全波整流电路

1. 单相全波整流电路的组成与工作原理

电路的基本组成如图 1—14 所示, 由变压器 T、整流二极管 V1、V2 及负载电阻 R1 组成, 其中变压器的二次侧绕组必须是对称双绕组 (匝数相等), 以变压器的中间抽头为基准可以得到两个幅度相等, 相位相反的交流电压输出。

当变压器二次侧电压 u_2 为正半周时, 变压器二次侧双绕组上的电动势均为上正下负, 此时整流二极管 V1 正偏导通, 整流二极管 V2 反偏截止, 电流自右至左流过负载电阻 R1, 两端电压为 u_{R1} 。如图 1—17 所示。

当变压器二次侧电压 u_2 为负半周时, 变压器二次侧双绕组上的电动势均为下正上负, 此时整流二极管 V1 反偏截止, 整流二极管 V2 正偏导通, 电流自右至左流过负载电阻 R1, 两端电压为 u_{R1} 。如图 1—18 所示。

这样, 在交流电源的正、负半个周期里, 负载电阻 R1 都有电流通过, 且方向不变, 这就称为全波整流电路。它实际上是两个半波整流电路输出的叠加。输入、输出电压波形如图 1—19 所示。

2. 负载电阻上的直流平均电压

$$U_{R1} \approx 0.9 U_2$$

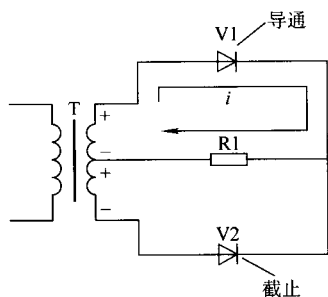


图 1—17 正半周时电流流向

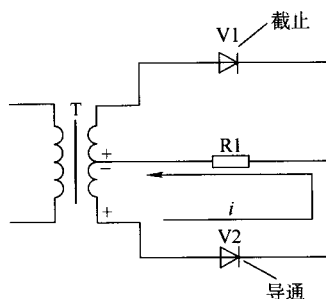


图 1—18 负半周时电流流向

3. 对整流二极管的选用要求 最大正向电流 I_{OM} 应大于 $\frac{1}{2}$ 负载电流, 最高反向工作电压 U_{RM} 应大于 $2\sqrt{2}U_2$ 。

4. 单相全波整流电路的特点

- (1) 整流效率高, 输出脉动小。
- (2) 对变压器的要求高, 整流二极管承受的反向工作电压高。

三、单相桥式整流电路

1. 单相桥式整流电路的组成与工作原理

电路的基本组成如图 1—15 所示, 由变压器 T, 整流二极管 V1、V2、V3、V4 及负载电阻 R1 组成。

当变压器二次侧电压 u_2 为正半周时, 变压器二次侧绕组的电动势为上正下负, 此时整流二极管 V1、V3 正偏导通, 整流二极管 V2、V4 反偏截止, 电流自上而下流过负载电阻 R1, R1 两端电压为 u_{R1} 。如图 1—20 所示。

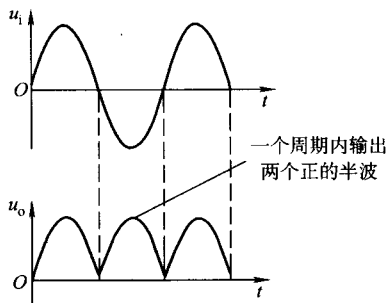


图 1—19 单相全波整流电路输入、输出波形图

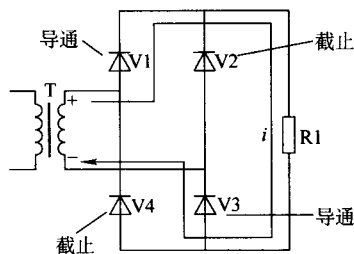


图 1—20 正半周时电流流向

当变压器二次侧电压 u_2 为负半周时, 变压器二次侧绕组的电动势为下正上负, 此时整流二极管 V1、V3 反偏截止, 整流二极管 V2、V4 正偏导通, 电流自上而下流过负载电阻 R1, R1 两端电压为 u_{R1} 。如图 1—21 所示。

输入、输出电压波形与全波整流电路相同, 如图 1—19 所示。

2. 电阻上的直流平均电压

$$U_{R1} \approx 0.9U_2$$

3. 对整流二极管的选用要求

最大正向电流 I_{OM} 应大于 $\frac{1}{2}$ 负载电流, 最高反向工作电压 U_{RM} 应大于 $\sqrt{2}U_2$ 。

4. 单相桥式整流电路的特点

(1) 整流效率高, 变压器结构简单, 输出脉动小。

(2) 整流二极管数量多, 电源内阻略大。

5. 桥式整流电路输出正、负电源

在许多实际应用电路中需要正、负电源同时供电, 若采用二次侧为双绕组的变压器, 将变压器的中间抽头接地, 电路接成桥式整流电路, 将两个负载电阻相连接, 并且将连接点接地, 如图 1—22 所示。根据桥式整流电路的工作原理, 两个负载电阻上就可以获得正、负电源供电。这是其他类型整流电路难以做到的。

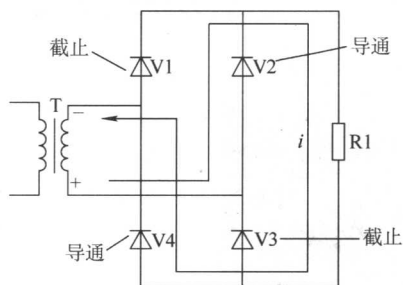


图 1—21 负半周时电流流向

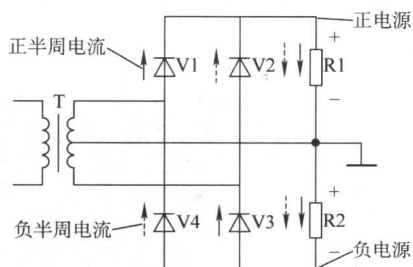


图 1—22 桥式整流电路输出正、负电源的电路

技能训练

一、目的和要求

1. 学会手工焊接操作技能。
2. 学会电路装配的布局、布线的方法。
3. 学会用示波器观察电压波形的方法。

二、实训器材

1. 常用电子组装工具, 如图 1—23 所示。

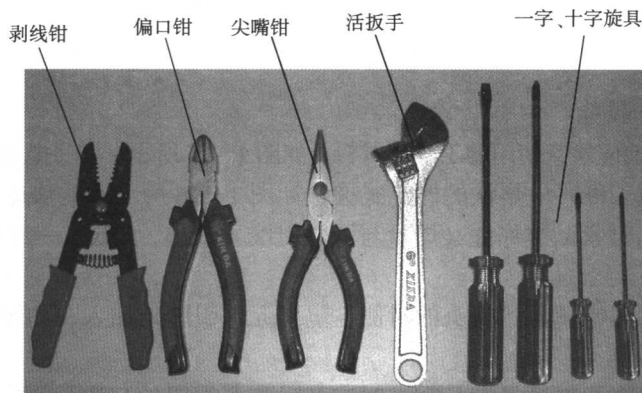


图 1—23 常用电子组装工具

2. 万用表。