

21世纪高等学校精品规划教材

实用电子技术

(模拟部分)

■ 主 编 王明洋
■ 副主编 王明慧 耿晶晶 彭仁松
■ 主 审 雷建龙

 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

21 世纪高等学校精品规划教材

实用电子技术

(模拟部分)

主 编 王明洋
副主编 王明慧 耿晶晶 彭仁松
参 编 叶 莎 刁 帅 熊再荣 李汉玲
主 审 雷建龙

 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书的主要内容包括常用半导体器件、基本放大电路、改进型放大电路、集成运算放大电路、功率放大电路、自激振荡电路、直流稳压电源、电子识图与整机装配调整。书中晶闸管部分为强电专业设置,其他专业可根据情况取舍。

本书采用了项目教学法编排模式,全书以收音机的整机结构为纲,围绕收音机的结构逐一展开,把培养学生动手能力、实践能力和可持续发展能力放在突出的地位,促进学生技能的培养。

本书适合高等院校电子类专业学生使用,并可供工程技术人员参考。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

实用电子技术. 模拟部分/王明洋主编. —北京:北京理工大学出版社, 2009. 8

ISBN 978 - 7 - 5640 - 2470 - 3

I. 实… II. 王… III. 电子技术 - 高等学校: 技术学校 - 教材
IV. TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 115060 号

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010)68914775(办公室) 68944990(批销中心) 68911084(读者服务部)

网 址 / [http:// www. bitpress. com. cn](http://www.bitpress.com.cn)

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京国马印刷厂

开 本 / 787 毫米×960 毫米 1/16

印 张 / 15.5

字 数 / 316 千字

版 次 / 2009 年 8 月第 1 版 2009 年 8 月第 1 次印刷

印 数 / 1~1000 册

定 价 / 30.00 元

责任校对 / 申玉琴

责任印制 / 边心超

图书出现印装质量问题,本社负责调换

前 言

本书在编写过程中突出了以下一些特点。

1. 采用了项目教学法编排模式。现代应用型高等教育的培养目标把培养学生的动手能力、实践能力和可持续发展能力放在了突出的地位，相应的教材内容也必须紧密结合生产实际。所以本书在编写过程中，力争在编写模式方面有所突破。全书以收音机的整机结构为纲，围绕这个纲领逐一展开，让学生通过一个具体项目的学习制作，了解模拟电子线路的核心知识，认识模拟线路的研究对象。

2. 为了让学生对二极管、三极管等元器件的功能以及各种电子线路（放大电路、振荡电路等）的功能印象深刻，在介绍相关基础知识之前，编排了一系列的小实验，这样学生就可以边做边学，边学边做，使整个学习过程融知识性、趣味性于一体。

3. 教学内容的编排上有所改进。在本书的任务二部分，为了使认识负反馈对放大电路性能的影响，书中专门介绍了含有负反馈的放大电路的计算。学生可通过对电路有无反馈两种情况的对比计算，来认识反馈的作用。

本书共分两个大的项目。耿晶晶老师编写了项目一及项目二中任务七的所有内容，王明洋老师编写了综述、项目二中的任务二和任务五，以及附录 B 和 C，并参与了书中其他环节部分内容的编写工作，王明慧老师编写了项目二中的任务三、任务四，彭仁松老师编写了项目二中的任务六，刁帅老师编写了项目二中的任务一，叶莎老师编写了附录 A，熊再荣老师编写了书中实训环节的内容，并对书中所有实验进行了实操验证，李汉玲老师参加了书中部分内容的编写工作，全书由王明洋老师统稿，由雷建龙教授主审。

总之，一本好的教材，将是广大师生的良师益友。我们将在以后的教学活动中继续努力，使之更加完善。

编 者

目 录

综述	(1)
一、学习《实用电子技术》需要的基础知识	(1)
二、《实用电子技术》的研究对象	(1)
实践活动	(5)
项目一 识别与检测常用半导体器件	(9)
任务一 二极管元件及其识别方法	(9)
预期目标	(9)
实践活动	(9)
知识链接一 半导体的基本知识	(12)
知识链接二 半导体二极管	(18)
知识链接三 特殊二极管	(20)
课外制作 双向限幅电路制作	(23)
任务二 三极管元件及其识别方法	(24)
预期目标	(24)
实践活动	(24)
知识链接一 三极管的结构和分类	(26)
知识链接二 三极管的电流分配与放大原理	(27)
知识链接三 三极管的特性曲线	(30)
知识链接四 三极管的主要参数	(32)
任务三 场效应管元件及其识别方法	(33)
预期目标	(33)
实践活动	(33)
知识链接一 场效应管的分类	(37)
知识链接二 场效应管的结构和工作原理	(37)
知识链接三 场效应管的主要参数和使用方法	(42)
任务四 晶闸管元件及其识别方法	(42)
预期目标	(42)
实践活动	(43)



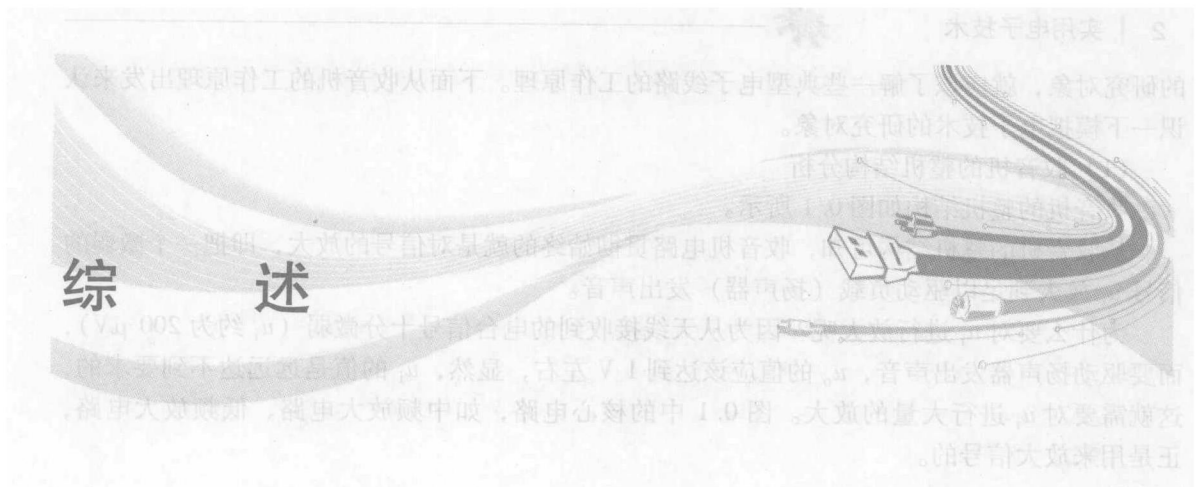
知识链接一 普通晶闸管	(45)
知识链接二 双向晶闸管	(48)
知识链接三 晶闸管的使用方法	(48)
小结	(49)
项目一习题	(50)
项目二 组装与调试收音机	(53)
收音机整机结构简介	(53)
任务一 认识基本放大电路	(54)
预期目标	(54)
实践活动	(54)
知识链接一 认识基本放大电路的组成结构	(55)
知识链接二 基本放大电路的分析方法介绍	(57)
知识链接三 多级放大电路	(61)
知识链接四 放大电路的频率特性	(64)
课外制作 组装调试收音机的前置驱动级	(65)
小结	(66)
任务一习题	(66)
任务二 认识改进型放大电路	(68)
预期目标	(68)
实践活动	(68)
知识链接一 反馈放大电路的组成及分类	(69)
知识链接二 负反馈对放大电路性能的影响	(76)
知识链接三 含有负反馈的放大电路的分析计算	(80)
课外制作	(87)
小结	(89)
任务二习题	(90)
任务三 认识集成运算放大电路	(95)
预期目标	(95)
实践活动	(95)
知识链接一 差动放大电路	(96)
知识链接二 集成运算放大器的组成和主要参数	(105)
知识链接三 理想集成运算放大器的线性应用介绍	(110)
小结	(119)



任务三习题	(119)
任务四 认识功率放大电路	(122)
预期目标	(122)
实践活动	(122)
知识链接一 功率放大电路的任务与特点	(123)
知识链接二 OCL 功率放大器	(126)
知识链接三 OTL 功率放大器	(130)
知识链接四 集成功率放大电路	(130)
课外制作 组装调试收音机的功放电路	(132)
小结	(133)
任务四习题	(133)
任务五 认识自激振荡电路	(135)
预期目标	(135)
实践活动	(135)
知识链接一 振荡电路的用途和振荡条件	(135)
知识链接二 LC 振荡电路	(138)
知识链接三 RC 振荡电路	(142)
知识链接四 石英晶体振荡电路	(144)
课外制作 组装调试收音机的输入回路和变频级	(148)
小结	(149)
任务五习题	(149)
任务六 直流稳压电源	(153)
预期目标	(153)
实践活动	(153)
知识链接一 整流电路	(154)
知识链接二 滤波电路	(156)
知识链接三 稳压二极管稳压电路	(158)
知识链接四 串联型稳压电路	(160)
知识链接五 三端集成稳压电路	(161)
知识链接六 开关稳压电源简介	(166)
小结	(170)
任务六习题	(170)
任务七 电子识图与整机装配调整	(173)
预期目标	(173)



实践活动	(173)
知识链接一 超外差技术简介	(181)
知识链接二 三点统调技术简介	(183)
知识链接三 检波原理简介	(184)
知识链接四 电子电路读图方法简介	(185)
小结	(187)
任务七习题	(188)
 附录 A 电子仿真及 Multisim 软件的使用	(189)
附录 B 常用半导体器件的命名方法	(233)
附录 C 常用符号一览表	(235)
 参考文献	(239)



综 述

一、学习《实用电子技术》需要的基础知识

在学习本课程之前，大家已经学习了《电路分析基础》，那么，《电路分析基础》与《实用电子技术》在学习上有什么关联性呢？

在即将开始的《实用电子技术》的学习中，大家可以看到，电子线路是由许许多多的电路元件连接而成的，这些元件有电阻、电感、电容、二极管、三极管、场效应管、集成电路等。那么，在进行电子电路设计的时候，就必然要考虑一个问题，即根据什么标准来选择合适的电路元件。

比如，放大电路中需要用到一个 $200\text{ k}\Omega$ 的电阻，那么，到底选用多大功率的 $200\text{ k}\Omega$ 的电阻呢？需知，一个 $200\text{ k}\Omega$ 、 $1/16\text{ W}$ 的电阻与一个 $200\text{ k}\Omega$ 、 1 W 的电阻，其差价是很大的。因此，在选用电阻之前就应该对其功率进行计算。

而《电路分析基础》的核心，正是研究在电源的作用下，电路中所有电路元件的耗能情况。元件的耗能用 p 表示，因为 $p = ui$ ，故可以通过计算流过电路元件上的电流 i 、电压 u 来确定该元件的耗能情况，并根据耗能情况来选择电路元件。因此，在学习电子线路之前，应掌握一些电路计算的基本方法。

二、《实用电子技术》的研究对象

在学习任何一门课程之前，应该首先了解该课程的研究方向和内容，只有抓住了问题的核心，以后的学习才会有一个明确的目标。电子技术的学习也是一样，实用电子技术分模拟电子技术基础和数字电子技术基础两大类，二者的研究对象是有着本质区别的，那么，它们的研究对象各是什么？本书将对此进行分析。

1. 模拟电子技术的研究对象

典型的模拟电子线路有收音机、录音机、电视机、功率放大器等，要认识模拟电子技术



的研究对象,就应该了解一些典型电子线路的工作原理。下面从收音机的工作原理出发来认识一下模拟电子技术的研究对象。

(1) 收音机的整机结构分析

收音机的整机结构如图 0.1 所示。

从收音机的整机结构可知,收音机电路贯彻始终的就是对信号的放大,即把一个微弱的信号 u_i 放大到足以驱动负载(扬声器)发出声音。

为什么要对 u_i 进行放大呢?因为从天线接收到的电台信号十分微弱(u_i 约为 $200\ \mu\text{V}$),而要驱动扬声器发出声音, u_o 的值应该达到 $1\ \text{V}$ 左右,显然, u_i 的值是远远达不到要求的,这就需要对 u_i 进行大量的放大。图 0.1 中的核心电路,如中频放大电路、低频放大电路,正是用来放大信号的。

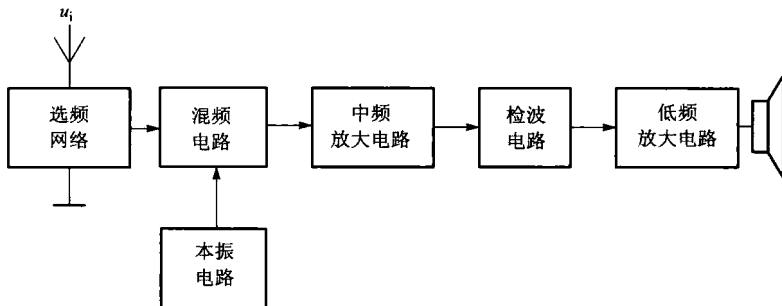


图 0.1 收音机的整机结构

(2) 模拟电子技术基础的研究对象

从收音机的整机结构分析可知,模拟电子线路研究的核心就是如何将一个微弱的电信号放大到足以驱动扬声器、显像管等负载。无论是收音机,还是录音机、电视机、功率放大器等,都是基于这样一个原理。

因此可知,模拟电子线路研究的内容之一是如何将一个微弱信号进行放大。

当然,模拟电子线路还有其他的一些应用,但只要把握了这样一个核心,就能学好模拟电路。

2. 数字电子技术的研究对象

以上分析了模拟电路的研究对象,那么数字电路的研究对象又是什么呢?

下面,通过一部电影图像信号的存储、传递过程这一实例,来认识数字电子技术有哪些作用,以及数字电子技术的研究对象。

(1) 图像信号的存储、传递过程分析

① 传统的图像信号的存储、传递过程分析

a. 图像信号的获取过程。如图 0.2 所示。简单的图像获取过程是:摄像机通过扫描摄

像,获取与图像亮暗相对应的模拟图像信号之后,经过放大等处理,以剩磁的方式存入磁带。应该注意的是,磁带中记录的是连续的模拟图像信号。

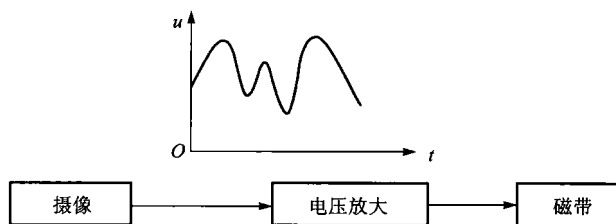


图 0.2 图像信号获取过程示意图

b. 图像重放的过程。简单的图像重放过程如图 0.3 所示。磁头从磁带上读取图像信号,进行电压放大及功率放大之后,去驱动负载(显像管)工作。

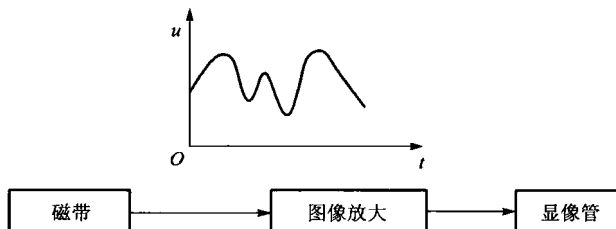


图 0.3 图像重放过程示意图

从以上分析可知,传统的图像信号的存储载体是磁带,但是磁带在录、放信号过程中存在着一系列固有的问题,如低频损耗、高频损耗等,这就使得重放所获得的图像信息必然会出现失真现象。另外,磁头读取磁带信息时是紧贴磁带的,长期的摩擦必然会损害图像信息,而且随着时间的延长,磁带上的剩磁信息也会有一个衰减过程,所以,磁带保存声、图信息的时间是不可能十分长久的。为了能够长期保存声、图信息,并使图像、声音信号在录、放过程中不出现失真,那就希望能获得更好的记录声、图信号的载体,这就是当前广泛使用的光盘。

② 用光盘存储、传递声图信息过程分析

光盘存储声、图过程如图 0.4 所示。

a. 声图记录的过程。设图像信息如图 0.5 所示,先对图像信号进行采样,若采样频率 $f=44.1\text{ kHz}$,通过采样,就得到了一系列的像素点。又设图像信号的最大值为 U_m ,并用一组 8 位二进制数 11111111 表示;最小值 0 V 用 00000000 表示,因图像信号的任意一个像素点都介于 $0 \sim U_m$ 之间,故任意一个像素点都可以用介于 00000000 ~ 11111111 之间的一组 8 位二进制代码表示,这一由模拟量转化为数字量的过程叫模/数(A/D)转换。

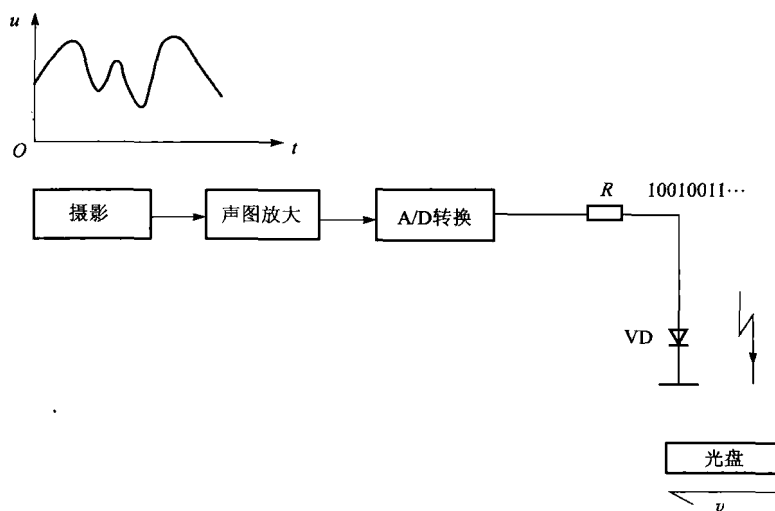


图 0.4 用光盘存储声图过程示意图

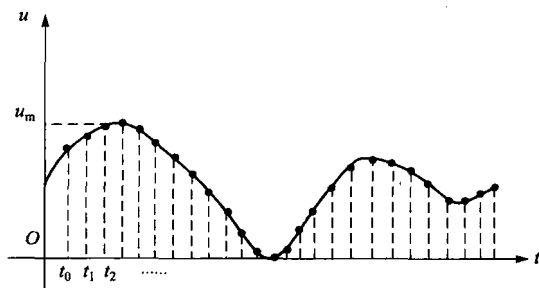


图 0.5 图像采样过程

之后，用采样获得的二进制代码按时间顺序去控制激光二极管 VD 的通断。当高电平“1”到来时，二极管导通，同时发射出激光束；当低电平“0”到来时，二极管截止，激光二极管不发光。光盘由两层结构组成，底层为塑料基片，在其表面涂上一层光刻胶，当激光束照射到光刻胶表面后，被曝光的光刻胶可以用一种化学药水冲洗掉，没有被曝光的光刻胶则保留下来，这样在光盘

表面就留下了与“0101...”相对应的“凸凹凸凹……”的坑槽，这就是数字信号记录的原理。

从以上过程可知，数字信号是以坑槽的方式记入光盘表面的，因此只要光盘表面不出现划伤等损坏，用光盘就可以长久地保存声图信息，而且信号记录的过程几乎没有失真。

b. 声图重放的过程。如图 0.6 所示。激光二极管发射激光束读取光盘表面的二进制信号“10010011...”，获得的数据送内部存储器（如内存条）暂存，并等待 CPU 对数据进行处理，之后进行数/模（D/A）转换，还原出模拟的图像和声音信号，再送显示器电路放大之后驱动显像管、扬声器工作。

通过以上分析可以发现，数字存储方式较之模拟存储方式有着极大优势，数字存储方式可以长时间地保存声、图信号，并有着极高的保真度。

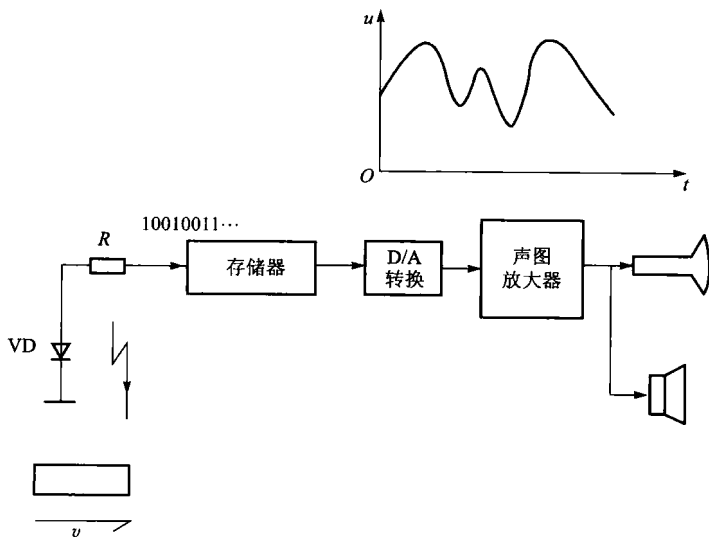


图 0.6 声图重放过程示意图

(2) 数字电子技术基础的研究对象

通过以上分析可知,数字电路与模拟电路是有着本质区别的,模拟电子线路研究的核心内容是如何将一个微弱信号进行放大;而数字电子线路却不研究信号的放大问题,它研究的是数字信号的转换(A/D、D/A)、传递、存储、计算等处理。数字电路中将要介绍的计数器、寄存器、A/D转换电路和D/A转换电路等都与这些因素有关。

当然,数字电子技术还有其他一系列的应用,这些应用将在数字电路的学习中加以介绍。同学们只要把握了数字信号如何转换、传递、存储这样一条主线,就能学好数字电路。

※ 实践活动

1. 简易印制电路板的制作

(1) 准备

一块尺寸合适的敷铜板(如酚醛纸基敷铜板)、细砂纸、铅笔、复写纸、描图纸、直尺、普通磁漆(或沥青)、三氯化铁溶液、磁盘和竹夹子等。

(2) 步骤及内容

① 印图

首先根据自选电路的需要,选用一块尺寸合适、厚度约1.0 mm的敷铜板,用细砂纸把铜箔打磨干净,然后用复写纸把比例为1:1的印制电路图复印在敷铜板上。



② 描图

描图液可以用磁漆，也可以把沥青漆溶在汽油中作描图液（这里以磁漆为例）。描图时，用小毛笔蘸上磁漆，在敷铜板上描图，要使保留部分都涂上漆。注意线条要光洁，焊点处要圆滑。描画不整齐的地方可以用软布蘸上酒精或汽油抹去后再描，也可等漆干后用小刀刮修。

③ 腐蚀

待描图液（涂上的磁漆）干后，就可以把敷铜板放入盛有三氯化铁的瓷盘或塑料盘中腐蚀。瓷盘不宜太大，能放下敷铜板即可；三氯化铁溶液不必太多，能淹没敷铜板即可。三氯化铁可在化工商店购得；溶液可按重量比例配制，三氯化铁占35%左右，水占65%左右；溶液的温度在30℃~50℃较好，温度太低，则腐蚀速度太慢；温度太高，则漆皮容易脱落，影响腐蚀质量。在腐蚀过程中，最好用竹夹子夹住敷铜板边缘来回晃动，这样可以加快腐蚀的速度。腐蚀一块敷铜板一般用15 min~20 min。

④ 清洗

当没有涂漆的铜箔被腐蚀掉以后，应立即取出敷铜板，用清水洗（一定要及时取出，否则三氯化铁溶液会继续腐蚀线条的边沿，造成线条边沿毛糙，影响质量）。水洗后用细砂纸把漆皮打磨掉。

⑤ 钻孔

用台钻或手摇钻对印制电路板上需要钻孔的地方钻孔。钻孔完毕，应去掉毛刺并用干布擦去粉尘。

⑥ 涂助焊剂

将一份松香放入两份酒精中，待溶解后，用棉球蘸此溶液涂在铜箔表面，放在通风处。待其干燥后，印制电路板就制成了。

2. 万用表的使用方法简介

万用表是万用电表的简称，是电子制作中一个必不可少的工具。万用表能测量电流、电压、电阻，有的还可以测量三极管的放大倍数、频率、电容值、逻辑电位、分贝值等。万用表有很多种，现在最流行的有机械指针式的和数字式的万用表，它们各有优点。对于电子初学者，建议使用指针式万用表，因为它对初学者熟悉一些电子知识原理很有帮助。下面将介绍一些机械指针式万用表的原理和使用方法。

（1）万用表的简单工作原理

① 测量直流电流原理

用万用表测量直流电流的原理如图0.7（a）所示，在表头上并联一个适当的电阻（分流电阻）进行分流，就可以扩展电流量程；改变分流电阻的阻值，就能改变电流测量范围。

② 测量直流电压原理

用万用表测量直流电压的原理如图0.7（b）所示，在表头上串联一个适当的电阻（倍



增电阻)进行降压,就可以扩展电压量程;改变倍增电阻的阻值,就能改变电压的测量范围。

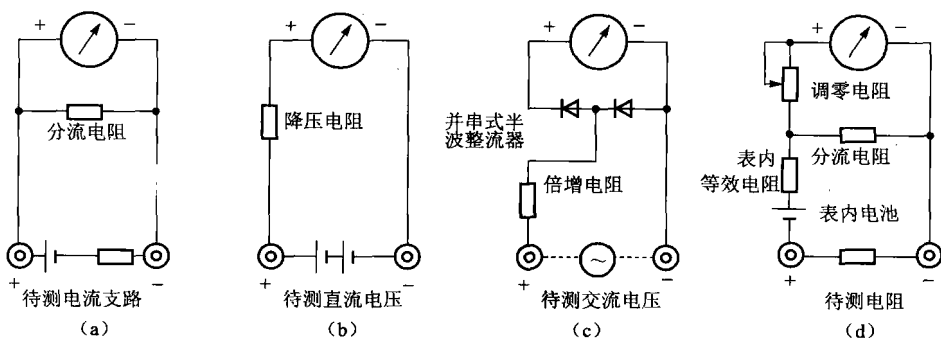


图 0.7 万用表原理图

(a) 万用表测量直流电流原理图; (b) 万用表测量直流电压原理图;

(c) 万用表测量交流电压原理图; (d) 万用表测量电阻原理图

③ 测量交流电压原理

用万用表测量交流电压的原理如图 0.7 (c) 所示,因为表头是直流表,所以测量交流电压时,需加装一个并、串式半波整流电路,将交流进行整流变成直流后再通过表头,这样就可以根据直流电的大小来测量交流电压。扩展交流电压量程的方法与直流电压量程相似。

④ 测量电阻原理

用万用表测量电阻的原理如图 0.7 (d) 所示,在表头上并联和串联适当的电阻,同时串接一节电池,使电流通过被测电阻,根据电流的大小,就可测量出电阻值。在测量电阻时,由于使用了万用表的内电源,因此,对外电路来说,此时正极性孔接的是内电源的负极,负极性孔接的是内电源的正极。改变分流电阻的阻值,就能改变电阻的量程。

(2) 万用表的使用

万用表(以 105 型为例)的表盘如图 0.8 所示,通过转换开关的旋钮来改变测量项目和测量量程。机械调零螺丝用来保持指针在静止时处在左零位;“ Ω ”调零旋钮是用来保证在测量电阻时指针对准右零位,以保证测量数值准确。

直流电压:分 5 挡——0~6 V; 0~30 V; 0~150 V; 0~300 V; 0~600 V

交流电压:分 5 挡——0~6 V; 0~30 V; 0~150 V; 0~300 V; 0~600 V

直流电流:分 3 挡——0~3 mA; 0~30 mA; 0~300 mA

电阻:分 5 挡—— $R \times 1$; $R \times 10$; $R \times 100$; $R \times 1k$; $R \times 10k$

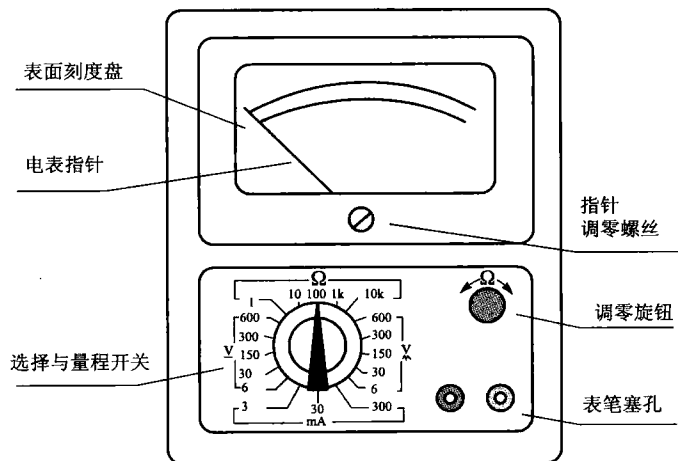


图 0.8 万用表使用示意图

项目一

识别与检测常用半导体器件

在即将开始的电子线路的学习中,同学们可以发现,组成放大电路的最基本单元是三极管、电阻、电感、电容等;组成电源电路的最基本单元是二极管、可控硅等。 R 、 L 、 C 三个电路元件在电路分析中已做介绍,故本项目将重点介绍晶体管的伏安特性,同时对在电力电子技术中广泛使用的晶闸管做简要介绍。

任务一 二极管元件及其识别方法

❖ 预期目标

知识目标: 认识二极管的组成结构;了解二极管的单向导电特性;了解二极管的主要应用;能够对含有二极管的电路进行判断、分析。

能力目标: 能够用万用表判别二极管的极性及其质量好坏;能够制作、调试、测量含有二极管的电路,如整流电路、限幅电路等,并能检修一般故障。

❖ 实践活动

1. 二极管的单向导电特性实验

(1) 实践活动任务描述

分别按图 1.1 (a) 和图 1.1 (b) 所示搭接电路,检查无误后合上开关 K 。

- 通过观察灯泡的发光情况,说明二极管的导电特性。
- 调节直流电源电压,观察使灯泡刚好发光时的直流电源电压值,并做好记录。