

中等职业教育国家规划教材配套教学用书

电子线路教学参考书

主编 周 晖

高等教育出版社

责任编辑	刘素馨
封面设计	刘晓翔
责任绘图	朱 静
版式设计	王艳红
责任校对	胡晓琪
责任印制	

内容简介

本书是中等职业教育国家规划教材配套教学用书,是参照教育部 2000 年 8 月颁发的电子线路和电子技术基础教学大纲(试行)编写的,与陈其纯主编的《电子线路》、张龙兴主编的《电子技术基础》配套。本书按照教学大纲要求,分模块编写,为教师提供教学参考,主要内容有:教学要求、每部分的重点与难点分析、教学指导、解题指导,并着重对每章的教学引入进行了设计,其间介绍了一些教学方法与学生学习中常见问题的处理方法,供教师备课、教学用。

本书适合中等职业学校电子电器应用与维修、电子技术应用、电工专业教师在讲授电子线路或电子技术基础课程时作教学参考,也可作为岗位培训用教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电子线路教学参考书 周晖主编 .—北京:高等教育出版社,2003.6

ISBN 7 - 04 - 012580 - 3

. 电... . 周... . 电子电路 - 高等学校 - 教学参考资料 . TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 024134 号

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010 - 64054588
社 址	北京市西城区德外大街 4 号	免费咨询	800 - 810 - 0598
邮政编码	100011	网 址	http: www.hep.edu.cn
总 机	010 - 82028899		http: www.hep.com.cn
经 销	新华书店北京发行所		
印 刷			
开 本	787×1092 1 16	版 次	年 月第 版
印 张	13 25	印 次	年 月第 次印刷
字 数	310 000	定 价	24.90 元(含光盘)

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

前 言

本书是为中等职业学校电子电器应用与维修、电子技术应用、电工类专业讲授电子线路或电子技术基础课程的教师编写的教学参考书,同时兼顾了信息技术类专业的教学需要。

教书容易,教好书却不容易。同样一本教材,同样的教学内容,不同的老师来讲授,教学效果却不会相同,这说明教师在教学中的地位。一位有责任心的老师,应该注意知识的积累与深化,并巧妙地将知识点进行分解,把握住教学的重点,找到解决难点问题的捷径,这样才能使有限的教学课时得到充分的利用,同时让学生乐于学,会学。本书基于个人多年从事电子课程的教学实践经验,参照教育部2000年8月颁发的电子线路和电子技术基础教学大纲(试行)的要求编写。考虑到适应多个专业的需要,采用模块的方式,分章对教学要求、教学要点、教法、解题等方面,进行了分析、汇总,为同行们提供一些参考与借鉴。

本书大体按照陈其纯先生主编的中等职业教育国家规划教材《电子线路》(以下简称“教材”)的章节顺序编写。每章分为教学要求、教学要点、教学指导、解题指导四部分。教学要求主要是对教材内容掌握程度的分析,教学要点明确教学中的重点与难点问题,教学指导是对若干知识点的剖析与教法的指导,解题指导则选取了几个典型例题来复习本章的重点内容,形成正确的求解思路。本书的特点在于注重各章节的内容引入、教学设计、解题说明。

本书由北京电视大学姚行洲老师审稿,在此表示感谢。

由于编者水平有限,书中难免会有错误、疏漏之处,恳请读者批评指正。

编者

2002年9月

目 录

第一章 晶体二极管和二极管整流电路	1	三、教学指导	96
一、教学要求	1	四、解题指导	106
二、教学要点	1	第八章 直流稳压电源	108
三、教学指导	1	一、教学要求	108
四、解题指导	14	二、教学要点	108
第二章 晶体三极管和场效应晶体管 ...	17	三、教学指导	108
一、教学要求	17	四、解题指导	113
二、教学要点	17	第九章 晶闸管及其应用	116
三、教学指导	17	一、教学要求	116
四、解题指导	27	二、教学要点	116
第三章 单级低频小信号放大器	31	三、教学指导	116
一、教学要求	31	四、解题指导	123
二、教学要点	31	第十章 脉冲基础知识和反相器	125
三、教学指导	31	一、教学要求	125
四、解题指导	44	二、教学要点	125
第四章 多级放大器和负反馈放大器 ...	47	三、教学指导	125
一、教学要求	47	四、解题指导	133
二、教学要点	47	第十一章 数字电路基础知识	137
三、教学指导	47	一、教学要求	137
四、解题指导	60	二、教学要点	137
第五章 直接耦合放大器和集成运算放大器	64	三、教学指导	137
一、教学要求	64	四、解题指导	145
二、教学要点	64	第十二章 集成触发器	149
三、教学指导	64	一、教学要求	149
四、解题指导	78	二、教学要点	149
第六章 调谐放大器和正弦波振荡器 ...	82	三、教学指导	149
一、教学要求	82	四、解题指导	156
二、教学要点	82	第十三章 时序逻辑电路	160
三、教学指导	82	一、教学要求	160
四、解题指导	92	二、教学要点	160
第七章 低频功率放大器	96	三、教学指导	160
一、教学要求	96	四、解题指导	170
二、教学要点	96	第十四章 脉冲的产生和整形电路	175
		一、教学要求	175
		二、教学要点	175

三、教学指导.....	175	第十六章 无线电广播接收机的基础	
四、解题指导.....	181	知识	194
第十五章 数字集成电路应用举例	184	一、教学要求.....	194
一、教学要求.....	184	二、教学要点.....	194
二、教学要点.....	184	三、教学指导.....	194
三、教学指导.....	184	四、解题指导.....	200
四、解题指导.....	191	参考书目	202

第一章 晶体二极管和二极管整流电路

一、教学要求

本章是本书的开始篇。半导体器件是电子线路最基本的内容,各种电子线路的工作原理及所具有的不同功能,都与电子线路中所使用的半导体器件的类型、性能、工作状态等有关。因此,熟悉并掌握半导体器件的基本知识,就成为学习与应用电子线路的关键。本章所介绍的二极管,就是一种常用的半导体器件,其用途十分广泛,如整流、限幅、检波等,其中整流是其最典型的应用之一。本章的教学要求是:

- (1) 了解 P 型半导体、N 型半导体的基本概念,掌握 PN 结的单向导电性。
- (2) 掌握二极管的伏安特性,了解二极管的类型、主要参数及简单测试方法。
- (3) 掌握二极管单相整流电路的组成、工作原理及主要参数的分析计算。
- (4) 了解电容滤波电路、硅稳压管稳压电路的作用及简单计算。

二、教学要点

1. 重点

- (1) 二极管的伏安特性及等效电路。
- (2) 二极管单相整流电路的分析计算。

2. 难点

- (1) 电容滤波电路的工作原理。
- (2) 硅稳压管稳压电路的稳压原理。

三、教学指导

(一) 内容引入

电子技术是一门研究电子线路及其应用的技术,其应用相当广泛,包括通信、控制、计算机和文化生活等领域,成为现代生活不可缺少的一部分。作为与现实生活紧密联系的学科,在教学中更应联系实际,这样才可以激发学生学习兴趣。

第一章的主题是二极管与二极管整流、电容滤波、硅稳压管稳压的直流电源电路。在课堂讲授时,可以搭建或者拆开一个简单的直流电源电路,进行实物演示性教学。以达到较好的教学效果。

(1) 了解电子电路的特点

电子电路属于弱电电路,与强电电路相比,其电压低,比较安全,故应鼓励学生在学习过

程中多动手。有条件的学校,可尝试为学生发放电子实验包,其中包括基本实验所需的元器件、导线、面包板、镊子等。条件差一些的学校,可提供实际电路板供学生参观,增加感性认识。

大多数电子电路采用印制板制作,元器件与元器件之间的连接是通过印制板上的印制铜线来实现的,这与强电电路中元器件与元器件之间采用导线来连接是不同的,因此,制作电子电路通常要进行印制板的设计。

电子电路相对于强电电路而言,比较复杂,这主要是因为电子电路中大量使用半导体器件。

(2) 了解电子器件、元件、电子电路这几个概念的区别

元件是指电阻、电容、电感、变压器和开关等,它们的特性在电工课程中介绍过。

器件是指电子管、晶体管、场效应管等,由于电子技术的迅猛发展,集成电路使用越来越广泛,目前已有将集成芯片也归为器件的趋势。

电子电路是指由电子器件和元件组成的电路。该课程内容既与电工课程有紧密的联系,但也有很大的区别。

(二) 晶体二极管

1. 晶体二极管的单向导电性

晶体二极管的单向导电性指的是在晶体二极管的两端加一定的正向电压时,二极管导通,加反向电压时二极管截止。

在教学中,可采用直观教学法。

认识几种典型的二极管,如发光二极管、整流二极管、开关管等。

做二极管单向导电性的演示实验。

关于二极管的“导通”和“截止”与理想开关的“闭合”和“断开”之间有哪些相似之处与不同之处,应向学生交待清楚。

从演示实验的结果看,二极管承受正向电压时,处于导通状态,回路连通,灯发亮,这时二极管相当于开关闭合;二极管承受反向电压时,处于截止状态,回路不通,灯不亮,这时二极管相当于开关断开。如图 1 - 1 所示。

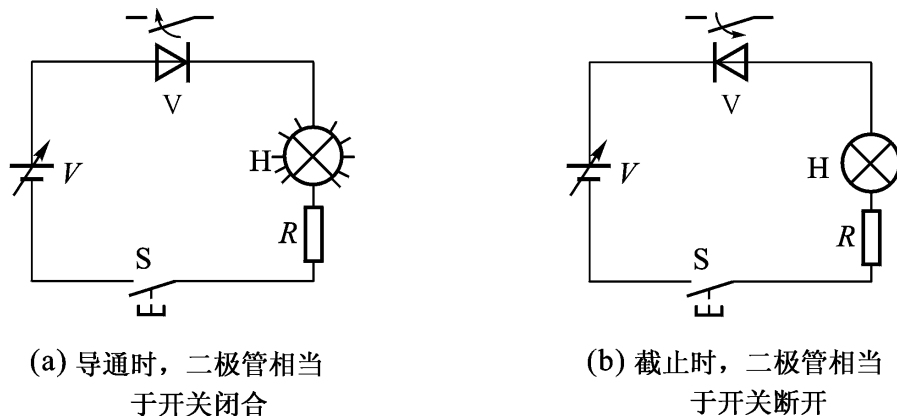


图 1 - 1 晶体二极管导通与截止时的状况与开关工作状况的比较

所以说,二极管的导通与截止的特性类似于开关特性,这是二者的相同之处。正是由于二极管具有类似于开关的特性,二极管才可以作为开关管来用,以实现电子电路中信号的接通与断开。

但二极管又与常规的开关有所不同,导通时二极管两端存在着一个管压降,硅管一般为

0.7 V, 锗管为 0.3 V。要注意的是, 在计算过程中, 由于管压降较小, 经常忽略不计。在截止时, 二极管也不像开关断开那样, 使得回路中的电流为零, 而是存在着一个微安级的反向漏电流。由于这个电流很小, 通常也将它忽略不计, 近似地认为是零。

此外, 二极管导通时, 还具有方向性, 它只能单向导通, 这也是与理想开关所不同的。

二极管的等效电路如图 1-2 所示。

从二极管的等效电路看, 二极管变成了一个多状态的元件, 在具体电路中取哪一种状态, 取决于其外部条件——外加正向电压还是反向电压。

由二极管单向导电性演示性实验, 既验证了其重要的特性, 也说明了二极管作为电子开关使用时与常规开关的区别, 并重点导出了二极管的等效电路及其应用条件。

有了这个等效电路, 学生分析电子电路的能力会大大增强。教学时可结合解题指导中的例 1-1、例 1-5 这样的题型, 以巩固这方面的内容。

需要指出的是, 教学中切忌停留在基本概念、重要特性的陈述上, 应该调动一切可以调动的因素, 为实现教学目的服务。二极管在电子电路中的应用比较灵活, 这就给分析与计算带来一定的困难, 在这种情况下学生往往束手无策。究其主要原因是学生机械地去记忆基本概念, 练习(包括读图)过少, 不清楚含有二极管的电子电路的分析方法与步骤, 不会运用二极管的等效电路。

2. PN 结

陈其纯老师编写的《电子线路》(以下简称教材), 采用的是由实验现象究其本质的教学模式, 即从二极管的单向导电性演示实验, 反过来分析产生这种实验现象的原因。

目前, 大多数专业课程的教师认为没有必要花过多的课时介绍 PN 结, 因为《电子线路》的后续专业课, 无论是电路的设计, 还是对电路的分析, 都不会牵涉到器件的内部构造, 这已得到业内人士的共识, 这次教学改革后的教材, 也体现了这种精神, 这部分基础内容已大大缩减。

实际上, 二极管的内部就是由 PN 结组成的。考虑到后面还要介绍晶体三极管、场效应管的放大特性, 这些都离不开 PN 结的基础知识, 因此在教学过程中, 建议简单地加以介绍, 但不作教学要求。这也便于学生理解半导体器件的特性, 也能使学科体系显得更为完整。

PN 结的内容可以紧紧围绕以下几个问题展开。

半导体的导电性能为什么不如导体的导电性能强

半导体 Si(硅)或者 Ge(锗), 其外层电子数都为 4 个, 外层电子间为共价键的形式形成稳定结构, 故不像导体那样有较多的载流子——自由电子, 故其导电性能较差。但因外界条件的影响, 如温度、光照等, 一部分电子得到能量, 挣脱共价键的束缚, 成为自由电子。每出现一个自由电子, 在其原所在位置就留下一个空穴, 故自由电子与空穴是成对出现的, 由于载流子数目的增加, 故半导体的导电性能加强, 如图 1-3 所示。

本征半导体指的是什么

本征半导体指的是纯净的、不含杂质的半导体。

为什么 P 型半导体中空穴数目占优势, 而 N 型半导体中自由电子数目占优势

所谓 P 型半导体就是在本征半导体内掺入微量的 +3 价元素, 外层的共价键少一个电子, 形

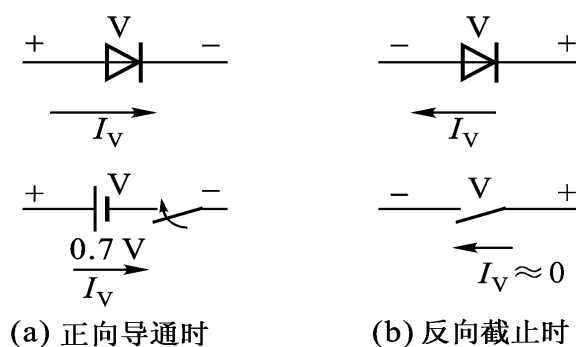


图 1-2 二极管的等效电路

成空穴,故 P 型半导体中空穴数目占优势;N 型半导体是在本征半导体内掺入微量的 +5 价元素,外层的共价键多出一个电子,成为自由电子,故 N 型半导体中是自由电子数目占优势。

PN 结是怎样形成的?其内部电场的方向如何

在硅或者锗的单晶基片上,加工出 P 型区和 N 型区,这时在它们的结合部形成一个特殊的薄层,即 PN 结。在这个部位,由于内部载流子的扩散与漂移运动,只留下了不可移动的带电荷的离子,P 区为带负电荷的离子,N 型为带正电荷的离子,这就形成了一个内部电场,其方向由 N 区指向 P 区,如图 1 - 3 所示。

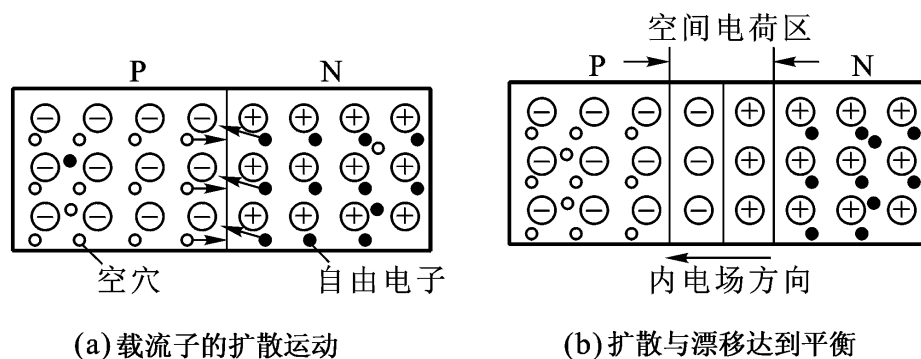


图 1 - 3 PN 结形成示意图

从 PN 结的内部结构,如何解释 PN 结的单向导电性

PN 结与电源正向连接时,即 P 区接电源的正极,N 区接电源的负极,此时外部电场的方向与 PN 结的内部电场方向相反,削弱了内电场,这有利于 P 区或 N 区多子的扩散运动,故形成较大的正向电流,PN 结处于正向导通状态。

PN 结与电源反向连接时,即 P 区接电源的负极,N 区接电源的正极,此时外部电场的方向与 PN 结的内部电场方向相同,增强了内电场,它阻碍 P 区或 N 区多子的扩散运动,却有利于 P 区少子或 N 区少子的漂移运动,故形成的电流较小,且是反向的,PN 处于反向截止状态。

综合以上两种情况,就是常说的 PN 结的单向导电性。

在以上几个问题中,是依次递进的,也就是说,每一个问题都是以前一个问题为基础,在教学中要注意这一点。

3 二极管的伏安特性

二极管的伏安特性是本章的重点。通常,学生掌握得比较好,但还有几个问题需要注意。

(1) 二极管的伏安特性与单向导电性

二极管的伏安特性全面地反映了二极管的特性,二极管的单向导电性对应于伏安特性的部分区域,即图 1 - 4 中的 I 区、II 区。所以说,伏安特性与单向导电性之间的关系是整体与部分的关系,从图 1 - 4 可以更清楚地看到这一点。

(2) 普通二极管与稳压管的区别

稳压管是特殊的二极管。该管在其反向电流小于其最大允许值的条件下,当反向电压增大到反向击穿电压时,管子仅发生电击穿而不发生热击

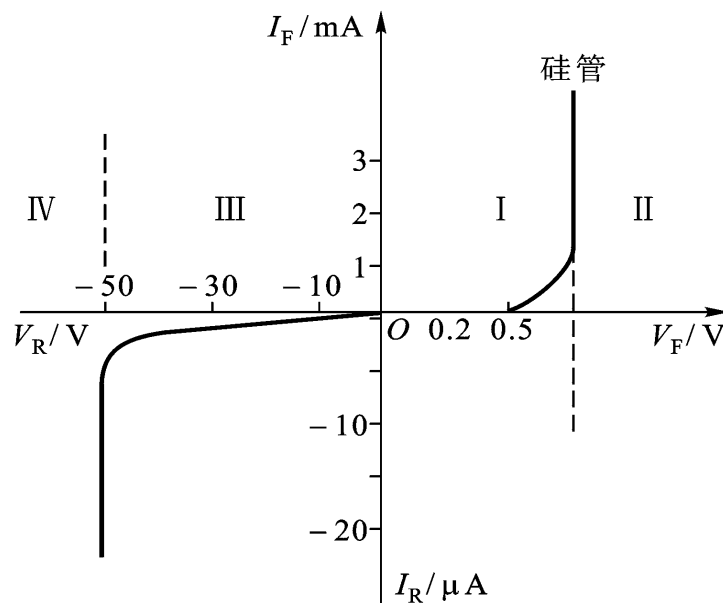


图 1 - 4 二极管的单向导电性与伏安特性曲线关系图

穿,故而不会被损坏。而普通二极管一般不能工作在击穿区。以整流二极管为例,其工作电压通常要小于反向峰值电压,而反向峰值电压约为击穿电压的一半。

其次,稳压管工作于击穿区时,尽管反向电流变化较大,但管子两端的反向电压却几乎不变,这也是稳压管之所以能稳压的原因,如图 1-5 所示。普通二极管则不能工作于击穿区。

需要注意的是,稳压管从本质上讲仍然是二极管,所以当稳压管两端加正向电压时,它处于正向导通状态,与普通二极管没有什么区别,如果是一只硅稳压管,两端的压降为 0.7 V。

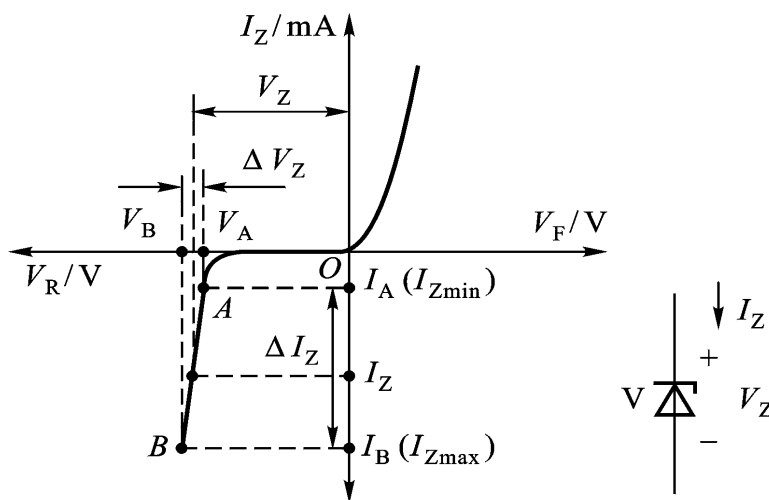


图 1-5 硅稳压管的伏安特性曲线

(3) 非线性元件概念的初步建立

在分析二极管电路时,一般是已知二极管的状态,再代之以相应的等效电路。但对于一个非线性元件,其状态可能是无穷多个,所以在进行动态分析时,利用特性曲线是少不了的。

由于课时的限制,老师不一定有足够的时间来详细讲解下面的问题,但建议把非线性元件的概念讲清楚。这是电子电路中一个非常重要的概念,它牵涉到为什么要用图解法、微变等效方法进行分析等一系列的问题,这也是学生在学习当中不容易理解的难点之一。

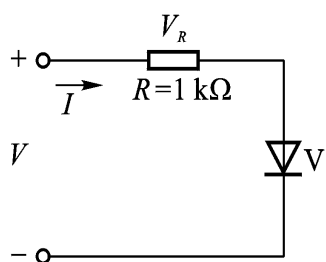


图 1-6 含非线性元件(二极管)的简单电路

例如,在图 1-6 所示电路中,设二极管为硅管,且忽略其内阻,求回路中的电流 $I = ?$

如果已知 $V = 5 \text{ V}$,很容易求出 I ,此时二极管处于导通状态,利用图 1-2(a)的等效电路,可知 $I = \frac{5 \text{ V} - 0.7 \text{ V}}{10^3} = 4.3 \text{ mA}$ 。

如果已知 $V = -5 \text{ V}$,也很容易求出 I ,此时二极管处于截止状态,利用图 1-2(b)的等效电路,可知 $I = 0$ 。

但如果 V 是一个变数, I 怎么求呢?

由于 V 的值未定,二极管处于导通状态还是处于截止状态就不好确定,故列出以下两个方程

$$V_v = V - I \cdot R \quad (1-1)$$

$$I = f(V_v) \quad (1-2)$$

其中,式(1-1)为二极管所在回路的电路方程,式(1-2)为二极管本身的伏安特性。

因为二极管是一个非线性元件,无法用某一个确定的参数来表示,故需要用其特性方程即伏安特性来表示。

假设所加的电压为正向电压,即 $V > 0$,则外部电路方程在 $I - V$ 平面坐标系中,就是一系列平行于 MN 的直线。 MN 与二极管伏安特性(近似于指数曲线)的交点如 A ,就是上述联立方程的解,这时即可求出电路的电流 I_A ,如图 1-7 所示。

如果改变外加电压 V ,则按照同样的方法,可得到交点 A_1 、 A_2 等。对于 A_1 点,由于电流 I_{A1} 较小,故二极管几乎为截止状态,这也是人们常说的二极管处于尚未克服死区电压的区域。而对 A_2 点, I_{A2} 较 I_A 增大了许多,但对应的二极管两端的电压却增加不多,这是因为这个区域为

二极管导通以后的区域,二极管的伏安特性变得比较陡,从图上可以清楚地看到, V_A 和 V_{A_2} 的值不完全相同,但两者相差不大,通常可认为它们近似相等。

因此,二极管究竟处于导通状态,还是处于截止状态,完全取决于外加电压 V 的大小。这与电工课程中的线性电路的分析有很大的不同,学生往往习惯于线性电路的分析方法,遇到二极管这样的非线性元件的分析,由于不理解采用图解法、微变等效电路法的原因,往往生搬硬套,错误百出。

因此,建立非线性元件的概念就显得十分重要。所谓非线性元件,就是说加在该元件两端的电压与通过该元件的电流的比值 V/I 不是一个常数。以二极管为例,在 A 点为 V_A, I_A , A_1 点为 V_{A_1}, I_{A_1} , A_2 点为 V_{A_2}, I_{A_2} ,它们是不相等的,类似于这样的元件,都属于非线性元件。对于这样的元件,需要采取特殊的分析方法来进行分析计算。

需要说明的是,这部分内容在教学中建议不要占用太多的时间,因为教材中对这部分的内容并没有展开讨论。但作为教师,对二极管伏安特性给予我们哪些提示,从整个教材的角度来看,它与哪些知识相关联,我们应做好哪些铺垫等应心中有数。

4. 二极管的简单测试

掌握二极管的测试方法,是培养学生动手能力的一项最基本内容。在检查电子电路的故障时,或者在安装电子电路时,都不可避免地要对二极管进行测试。

首先,介绍用万用表检测二极管的好坏或者判断二极管阴极、阳极的方法,依据是二极管器件的单向导电性。

其次,简单介绍万用表的内部结构,如黑表笔接的是万用表内部电池的正极,红表笔接的是电池的负极。由于在万用表的面板上,红表笔标的是“+”,黑表笔标的是“-”,故学生特别容易混淆,所以一定要交代清楚,如果可能的话,画出教材[8]图 1.1.8 的测试图则更好。

最后,归纳一下测试结果,其中应包括二极管是正常的还是损坏的,如果是正常的,其极性如何等。

虽然这是一个非常简单的实验,但它包含着实验的基本内容,即为什么要做这个实验(实验目的),怎么做(实验设计与步骤),结果怎样(实验数据整理与分析)。在后面的实验当中,老师可以提出第一个问题,即实验要做什么?启发学生思考;然后讨论第二个问题,即怎样才能实现实验要求,这是很好地解决理论与实验之间的联系的一种手段;至于第三个问题,可以视情况而定,有些可以作为问题提出来进行讨论,有些可以让学生通过实验去验证。

对于验证性实验来讲,通常是用于解决本章的重要内容、重要理论问题的,因此,在课堂上适当地结合将要进行的实验进行讨论,不失为一种减少学生实验盲目性,巩固所学知识的好方法,老师们可以进行尝试。

此外,为了让学生掌握好二极管的简单测试方法,可以将万用表人为地拨到非正常位置,且用于实验的二极管要丰富些,包括有故障的器件,这样可以使学生熟悉各种型号的二极管,同时

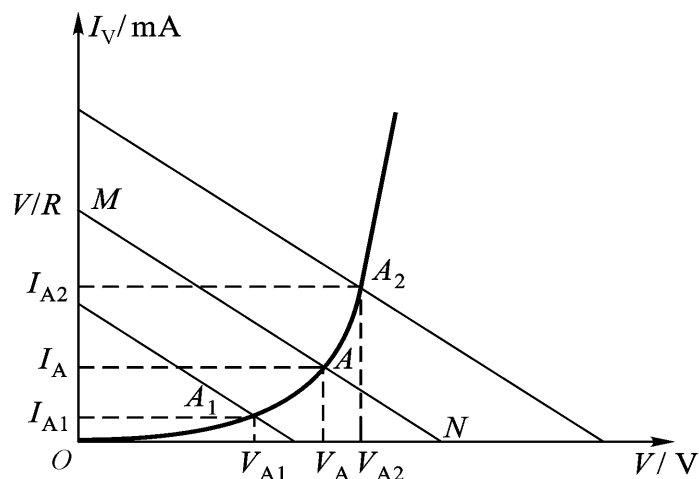


图 1 - 7 用图解法分析图 1 - 6 所示电路($V > 0$)

可以从解决问题中学到知识。

5 二极管的分类、型号和参数

在进行电子电路设计时,学生会碰到选用哪种二极管,该管的参数能否满足电路要求等问题,因此,学习有关二极管的型号和参数的知识,是十分重要的。

系统地介绍各种类型的二极管,有助于建立起一个总体的概念。附录中,国产半导体器件型号的命名方法是最基础的内容。教学中应介绍如何使用手册;哪些手册比较全面,哪些手册比较实用;在哪儿可以方便地查到或买到需要的手册;适合学生使用的是哪本手册,实际工作当中需要哪种手册;不同生产厂家同类产品的替换原则是什么,等。古人讲:“授人以鱼,不如授人以渔”。教育提倡创新,教师就应该在教学中注意扩大学生的视野,从教材出发,了解更多的相关知识。这样才有利于培养学生创造性思维方式,同时,这也对教师提出了更高的要求,即要求教师熟悉该领域的发展动态,站得高,看得远,为学生提供最有力的指导,使学生感到学有所用。

在介绍参数时,切忌平铺直叙,可结合电路设计来讲解,这样可以提高学习的兴趣,从而进一步理解器件参数的重要性。

此外,要提醒学生注意的是,每一个参数的值是在一定的条件下测得的,如反向漏电流 I_R ,就是在规定的反向工作电压和环境温度条件下测得的。因此,参数的大小是相对的,有条件的。对具体电路进行设计计算或实际测量的值可能与手册中的参数不相同,因此,应选择那些能满足工作要求的器件。从这角度来理解,器件参数就是选择器件的依据。

第一章中,二极管基础知识是本书最基础的内容。教学中要注意选用一些有趣味的二极管控制电路,如带声、光效果的电路,或者是选用实物、挂图、图片等作为辅助教具,总之要调动一切教学手段,来提高学生的兴趣。让学生感到电子世界不但离我们很近,而且可以通过学习逐渐掌握它,并不是像人们所想像的那样深不可测,教学的真谛在于如何“深入浅出”。

(三) 晶体二极管整流电路

晶体二极管整流电路的作用是利用二极管的单向导电性,把交流电转换为直流电。在这部分的教学中,有几个问题需要注意。

1 直流电、交流电、脉动信号的区别

说起直流电,很多人认为它是一个大小不变的恒定信号,如常用的小电池,5 V 意味着能提供 5 V 的恒定电动势,这是不确切的。直流电指的仅是极性不变的信号,并不包含对其大小要恒定的要求。

交流电指的其大小和极性都随时间而变化的信号,工频 50 Hz 的交流电是大家最为熟知的一种交流电,而其 2 倍频、高倍频信号也都是交流电。不少学生一谈到交流电,脑子里想的就是正弦波信号,这也是片面的。

脉动信号是直流信号的一种,因为它的极性是恒定的。由于人们错误地认为直流信号就是大小也要恒定的信号,而脉动信号大小是变化的,因此往往认为它还是交流电,这是不正确的。脉动信号是一个不规则变化的信号,如果把它按照傅里叶级数分解,可以分解出各次谐波,当然也包含直流成分,但要注意的是,这些分量合成后,总的极性是不变的。

只有把这几个基本概念讲清楚,学生才能理解什么叫整流。此外,在实验当中以及后面的理论教学中,还会经常用到这些概念。

关于交流信号、直流信号、脉动信号的区别,可用波形直观地表示,如图 1 - 8 所示。

2. 单相整流电路的工作原理

单相整流电路包括半波、桥式、全波三种形式,教材中没有把这部分内容放到第八章的直流电源里,是考虑到整流电路由整流二极管来实现整流作用,与前一节的知识联系比较紧密的缘故。

半波整流电路比较简单,主要分析整流二极管的导通与截止情况。如果学生对二极管的知识掌握得较好,就能很好地掌握半波整流电路的工作过程。

但对于全波和桥式整流电路,由于电路复杂一些,故而会存在这样或那样的问题。

对于全波整流电路,为什么在变压器的中心抽头 C(见图 1-9)处,既标正极性,又标负极性?

从图 1-9 可知,C 为变压器的中心抽头,故有 $v_{2a} + v_{2b} = v_{AB}$ 。假设变压器的次级电压在正半周时为上正下负,则有 $v_{2a} = v_{2b} = \frac{1}{2} v_{AB}$ 。C 标负极性,是相对于 A 点而言的;C 又标正极性,是相对于 B 点而言的。

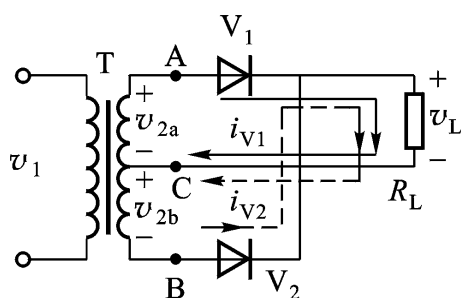


图 1-9 全波整流电路

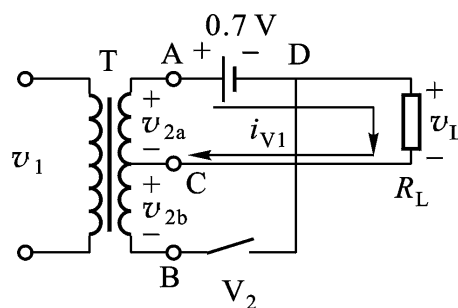


图 1-10 正半周时,全波整流电路的等效电路

由于 V_1 的阳极电压是输入信号的最高值,只要能克服二极管的死区电压,则 V_1 管导通。根据二极管导通时的特点,可以近似地认为 $v_D = v_A$,而 v_B 为最低值,显然 $v_B < v_D$,故 V_2 截止,画出其等效电路,如图 1-10 所示。

此时有 $v_L = v_{2a}$

$$v_{V2} = v_B - v_D \quad v_B - v_A = - (v_A - v_B) = - v_{AB} = - 2 v_{2a}$$

v_{V2} 为负值,表示二极管 V_2 承受的是反向电压,很显然,其最大值将是 $2 \sqrt{2} V_{2a}$ (V_{2a} 为有效值)。

依照上面的分析,学生不难理解次级电压的符号问题。负半周, v_{BC} 的波形与 v_{AC} 正好反相。为了与 v_1 对应,画出波形图,如图 1-11 所示,同教材图 1.2.2。

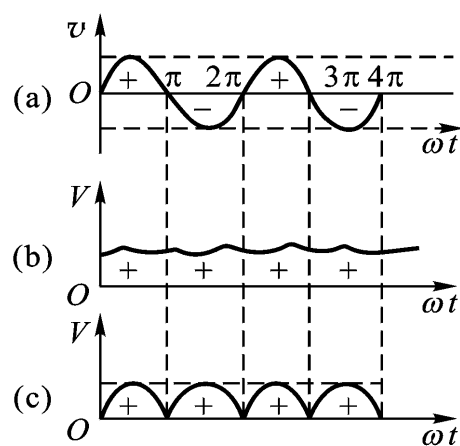
以上分析中,采用两步分析法来讲解,能减少学生在学习中的障碍,与电工知识衔接得也比较紧密。

在上面分析二极管的部分,应用了等效电路,采取这种方式,可以达到以下目的。

复习巩固了二极管的知识。

分析整流电路。

尤其是对二极管承受反向电压的情况,分析得更为清楚。



(a) 交流信号 (b) 直流信号 (c) 脉动信号

图 1-8 交流信号、直流信号、脉动信号波形

至于在 v_1 的负半周的分析,在此不再赘述,可采用课堂引导学生分析或自行练习的方式进行。

桥式整流电路见教材图 1.2.3。在桥式整流电路中,学生会问怎么正确地找出正半周回路或负半周回路呢?

回答这个问题要注意两点。

由于整流电路实际上是一个单电源回路,所以回路电压方程的列写方法是从电源的正极出发,然后回到电源的负极。

由于整流电路的输出是在 R_L 上得到的直流电压,所以,回路中一定要包括 R_L 。

根据以上原则,分析起来就比较容易了。现以 v_2 处于正半周为例加以说明,这时,A 点电位最高,B 点电位最低,故正半周构成的回路是: A V_1 管 R_L V_3 管 B,如图 1-12 所示。

同学们可能还会问,在 A 点,为什么是 V_1 导通而不是 V_4 导通?在 C 点,为什么 V_2 不导通,而经 R_L 形成回路呢?

这是因为 V_1 的阳极、 V_4 的阴极都接于 A 点,在正半周,A 点的电位最高,故 V_4 是不可能导通的,只能是 V_1 导通。当 V_1 导通时,根据二极管导通时的特点, $v_A = v_C$, V_2 的阴极接于 C 点,即近似于 A 点,而阳极接于 B 点,B 点电位最低,故 V_2 肯定截止,只能经 R_L 形成回路。在 R_L 上肯定会损失一部分压降,再回到 D 点,由于 $v_D < v_A$,故 V_4 确实是截止的,而 V_3 的阴极接于 B 点,故 V_3 导通。

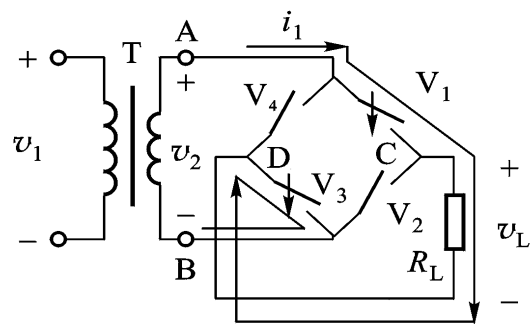


图 1-12 正半周时,桥式整流电路的分析

根据 V_1 、 V_3 导通, V_2 、 V_4 截止,分别画出它们各自的等效电路,如图 1-12 所示,可以清楚地看到, V_2 、 V_4 承受的反向电压的最大值为 $2V_2$ (V_2 为有效值)。

由于电子电路远比电工电路要丰富得多,在分析计算中还要应用不同的等效电路,考虑或忽略某些因素等,这就使得难度加大,所以教学时就要在基本概念、基本方法上下功夫,只有把教学中的关键点剖析清楚,学生才能举一反三,灵活运用。

关于整流电路输出的直流电压的极性问题。

整流电路输出的直流电压是有极性的,在做实验时,当学生用万用表的直流电压挡去测量时,如果接反的话,指针会反偏。对电压信号极性的认识,最好借助于示波器,它可以清楚地显示出输出的直流电压为正,还是为负。可以先将示波器的扫描基准线调至中间,再把要测的直流电压信号加至 Y 轴输入,可以看到不同接法时,信号显示位置的变化。建议老师做这样一个演示实验。

以上学生存在的问题,主要是对仪表的测量原理不清楚,为了让学生对交流信号、直流信号的极性有一个正确的认识,可以借助于实验仪器——示波器,从示波器上可以清楚地看到,交流信号的波形是怎样正、负交替变化的,而直流信号为正或为负时是怎样的波形。

信号的瞬时值、有效值、最大值、平均值各应用在什么地方?

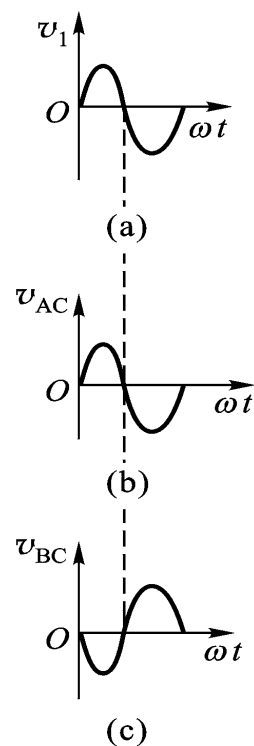


图 1-11 v_{AC} 、 v_{BC} 与 v_1 对应波形的比较

这几个概念在电工课程中已介绍过,在教学过程中可作适当地复习。

瞬时值指的是随时间变化的值,如 $v_2(t) = 2 V_2 \sin t$, 即 v_2 始终随时间变化,是时间 t 的函数。

有效值指的是信号在一个周期内的均方根值,如

$$V_2 = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T v_2^2(t) dt}$$

最大值指的是信号在考察周期内出现的最大值。如上面的信号 v_2 ,最大值为 $2 V_2$ 。

峰 - 峰值指的是信号在考察周期内,正向最大值与反向最大值之间的范围。如上面的信号 v_2 ,其峰 - 峰值为 $2 \sqrt{2} V_2$ 。

平均值指的是整流电路的输出电压瞬时值 v_o 在一个周期内的平均值,即

$$V_{O(AV)} = \frac{1}{T} \int_0^T v_o dt$$

对于上面的整流输出信号,

$$V_{O(AV)} = \frac{1}{T} \int_0^T 2 V_2 \sin t dt = \frac{2 \sqrt{2}}{\pi} V_2 = 0.9 V_2$$

瞬时值可用于交、直流电路分析当中。

有效值主要是用于正弦交流电路分析中。

最大值、峰 - 峰值主要用于极限分析情况。

平均值用在直流分析中。

如何选择整流管?

整流管的选择是设计内容。在校学习的学生,习惯于对电路进行分析,即已知电路各元件的参数,求电路中的电流、电压等参数,而不太习惯于根据已知电路性能指标的要求进行设计,即选择电路器件,而这往往又是实际工作当中经常遇到的问题,因此在教学中应重视这方面的训练,以培养学生综合运用知识的能力。

此外,通过整流电路的设计,可以使学生更深刻地理解参数的含义与用途,这可结合教材中的实例来讲解,效果会更好一些。

如教材中的例 1.2.1,计算的结果是二极管的平均电流 $I_V = 2A$,承受的最大反向电压 $V_{RWM} = 94V$ 。在选择整流管时,要求 $I_{FM} > I_V$, I_{FM} 为整流二极管允许通过的最大整流电流, $V_{RWM} = \frac{1}{2}$ 或 $\frac{1}{3} V_{RM}$, V_{RM} 为整流二极管允许承受的最高反向电压。 I_{FM} 、 V_{RM} 就是整流管的参数。

需要注意的是,在器件手册中,每一种器件的同类参数可能不止一个,在进行器件选择时,要考虑几个关键的参数。在教学中老师应就这个问题对学生加以提醒或指导。

3 滤波器和稳压器

(1) 滤波器

滤波器的电路形式有很多种,但作用大体相同,主要是通过储能元件(L 或 C)的特性,把脉动直流电中的脉动成分滤掉,获得较为平滑的直流电压。

L 或 C 的特性是电工课程中介绍的内容,在本教材中主要是其应用问题。在介绍滤波器工作原理之前,应简单地复习有关内容,重点说明 $X_L = \omega \cdot L$ 、 $X_C = \frac{1}{\omega C}$ 的含义。

根据教学要求,滤波器的分析计算不是重点,而怎么实现滤波、滤波效果怎么体现是教学中需要重点解决的问题,这点应该让学生理解清楚。

在这部分,学生遇到的主要问题是:

脉动与平滑的区别是什么?

直流电的脉动情况如何,平滑程度如何,实际上有确切的指标来描述,见参考文献[1]。而在中等职业学校教材中,不要求进行深入的分析与计算,但要求学生理解脉动与平滑。“脉动”与“平滑”表示的是直流电压起伏(或涨落)的程度,简单来理解的话,“脉动”表示的是输出的直流电压大幅度涨落,而“平滑”表示的是输出的直流电压无大幅度涨落,波动较小。如果将正弦波经整流、滤波后得到的输出波形按照傅里叶级数展开,则为

$$f(t) = b_0 + b_1 f_1(t) + b_2 f_2(2t) + \dots + b_n f_n(nt) \dots \quad (1-3)$$

其中, $b_1 \dots b_n$ 分别表示各次谐波的系数。

$b_0, f_1, f_2, \dots, f_n$ 依次为直流分量、基波、二次谐波、... n 次谐波。

波形比较平滑,意味着直流分量占主要成分;波形脉动性大,意味着交流分量占的比例大。

在分析电容滤波器的工作原理时,同学会有这样的疑问:“为什么输出电压 v_L 的波形(即 v_C 的波形)与一般的 v_C 充放电波形不一样呢?在滤波电路中, C 不也是在充放电吗?”

简单的一阶 RC 充放电电路中 v_C 上的电压,是按指数规律变化的,如图 1-13 所示。

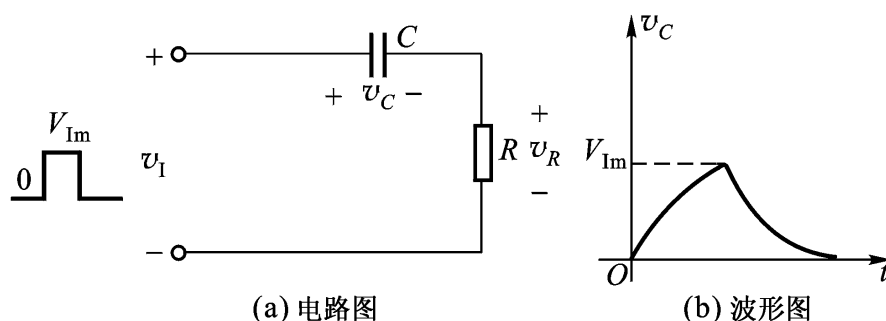


图 1-13 一阶 RC 充放电电路及其波形

电容滤波器的电路见图 1-14(a)所示,与图 1-13 所示充放电回路不同。

电容 C 与电阻 R 是并联的关系,其目的是利用电容电压不能突变的特性,使输出电压保持平稳,减少脉动。

输出电压 v_L ,不仅仅受 v_C 的制约,同时还受输入电压的制约。这一点,不少学生理解不了,认为既然 R 与 C 并联,当然 $v_L = v_C$ 。但这仅仅是事情的一个方面,因为 v_C 也受输入电压的制约。实际上,当 $v_2 > v_C$ 时, V 导通,二极管相当于开关闭合,则 $v_L = v_C = v_2$,如图 1-14(b)所示;而当 $v_2 < v_C$ 时, V 截止, $v_L = v_C$,二极管相当于开关断开, v_2 对 v_L 无影响,见图 1-14(c)所示。

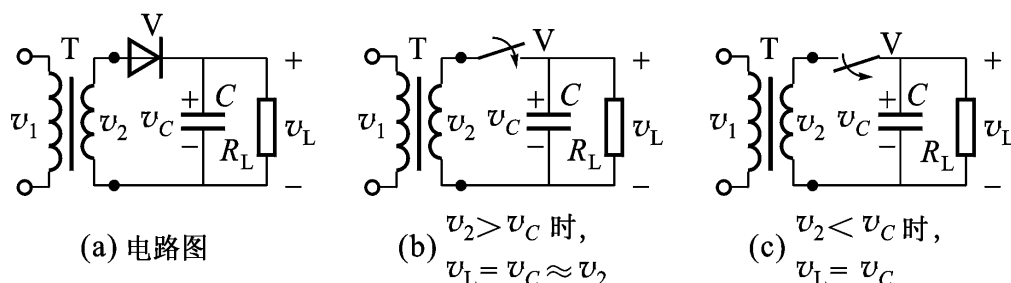


图 1-14 电容滤波电路分析