

教育部规划教材辅助用书

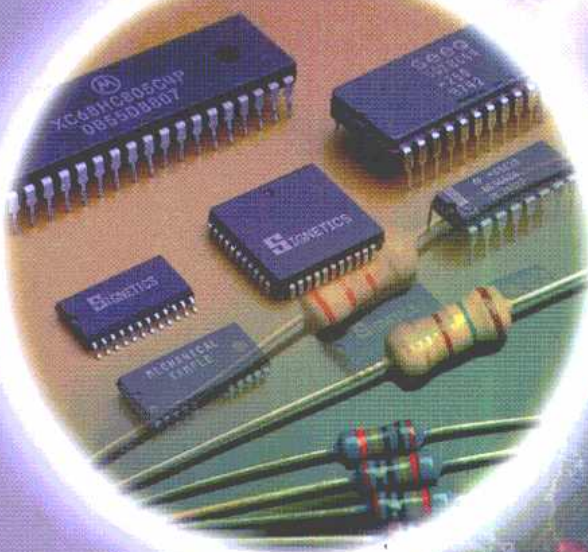
中等职业学校电子电器专业

(含岗位培训 行业中级技术工人等级考核)

电子线路教学参考书

全国中等职业学校电子电器专业教材编写组编

周 晖 主编



高等教育出版社

教育部规划教材辅助用书
中等职业学校电子电器专业
(含岗位培训 行业中级技术工人等级考核)

电子线路教学参考书

全国中等职业学校电子电器专业教材编写组 编
周 晖 主编

高等教育出版社

内容提要

本书是与中等职业学校电子电器、电子应用、电工专业教材《电子线路》(陈其纯主编)配套的教学参考书,也可配合《电子技术基础》(张龙兴主编)使用。本书按对应教材的章节顺序编写,为教师提供教学指导,主要内容有:教学要求、每章的重点与难点分析、教学指导、解题指导等,并着重对各章的引入进行了设计,介绍了一些教学方法与学生学习中常见问题及处理,是教师备课、教学的参考书。

本书可作中等职业学校电子电器、电子应用、电工专业教师的教学参考书,也可供岗位培训中授课教师使用。

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, 2000

中等职业学校教学参考书

ISBN 7-04-008144-X

I. 电... II. 周... III. 电子电路-专业学校-教学参考资料 IV. TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 15287 号

电子线路教学参考书

全国中等职业学校电子电器专业教材编写组 编

出版发行 高等教育出版社

社 址 北京市东城区沙滩后街 55 号 邮政编码 100009

电 话 010-64054588 传 真 010-64014048

网 址 <http://www.hep.edu.cn>

经 销 新华书店北京发行所

印 刷 化学工业出版社印刷厂

开 本 850×1168 1/32 版 次 2000 年 7 月第 1 版

印 张 9.125 印 次 2000 年 7 月第 1 次印刷

字 数 220 000 定 价 10.20 元

凡购买高等教育出版社图书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请在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、电子应用、电工类专业讲授电子线路这门课的教师编写的教学参考用书。

教书容易,教好书却不容易。同样一本教材,同样的教学内容,不同教师的教学效果却不同。因此,教师在平时要注意知识的积累与深化,并巧妙地将其融入教学过程里去,使有限的教学学时得到充分的利用。本书主要以个人多年从事电子课程的教学实践为基础,对教学的要求、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。

本书是依据陈其纯先生主编的《电子线路》的章节顺序编写的。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,教学要点是明确教学中的重点与难点,教学指导是对若干知识点的剖析与教法的指导,解题指导列举了几个典型例题对知识点进行复习。本书的特色在于注重各章节的内容引入与教学设计。

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

1999.10

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部分,各种电子线路的工作原理及所具备的不同功能,都与电子线路中所使用的半导体器件的类型、性能、工作状态等因素直接相关。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所在。本章的教学要求是:

- (1) 掌握晶体二极管的单向导电性。
- (2) 了解 PN 结的形成。
- (3) 掌握二极管的伏安特性及主要参数。
- (4) 掌握二极管单相整流电路的组成、工作原理及简单的分析计算。
- (5) 掌握电容滤波电路的工作原理和硅稳压管稳压电路的稳压原理。

二、教学要点

1. 重点

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

2. 难点

- (1) PN 结的形成。
- (2) 电容滤波电路的工作原理。

(3) 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科学技术,其应用领域相当广泛,包括通信、控制、计算机和文化生活。作为这样一门与现实生活紧密相联系的学科,在教学中要加强与实际的联系。第一章的主题是二极管与二极管整流、电容滤波、硅稳压管稳压电路,因此在课堂讲授时,可以拆开一个简单的稳压电路,进行演示教学。其目的是:

(1) 了解电子线路的特点。

① 电子线路属于弱电电路,与强电电路相比,其电压等级低,相对而言,比较安全,故应鼓励学生在学习过程中多动手。

② 由于电子线路大多采用印制板制作技术,元器件与元器件之间是通过敷铜的印制板连接的,而强电电路中元器件与元器件之间却采用导线连接。

③ 电子线路相对于强电电路而言,比较复杂。

(2) 了解电子器件、元件、电子线路这几个概念的区别。

元件是指电阻器、电容器、变压器和开关等。

器件是指电子管、晶体管、场效应晶体管等。

电子线路是指由电子器件和元件所组成的电路。

(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两端加一定的正向电压时二极管导通,加反向电压时截止。

在教学中,可以采用直观教学法,包括:

① 认识几种典型的二极管。

② 做二极管单向导电性的演示实验。

关于二极管的“导通”与“截止”和理想开关的“闭合”与“断开”，有什么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，二极管导通时，回路连通，负载灯发亮，这时二极管相当于开关闭合；截止时，回路不通，负载灯不亮，这时二极管相当于开关断开。见图 1-1 说明。所以说，二极管的导通与截止特性，从某种意义上讲是类似于开关特性的，这是二者的相同之处。

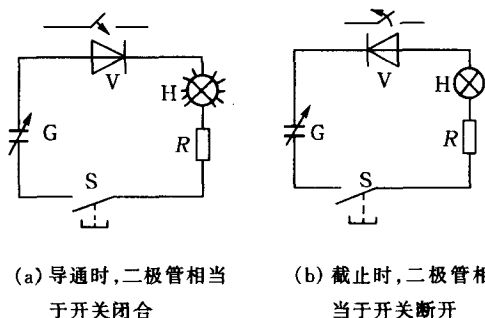


图 1-1 晶体二极管导通与截止时的状况与开关的工作状况的比较

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，以实现电子线路中信号的通断。

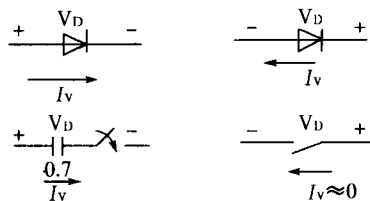
但二极管又与常规开关不同。表现在导通时，二极管两端存在着一个管压降，硅管为 0.7 V ，锗管为 0.3 V 。要注意的是，在计算过程中，由于管压降较小，经常忽略不计。而在截止时，二极管也不像开关断开那样，使得回路中的电流为零，而是存在着一个 μA 级的反向漏电流，由于这个电流很小，通常将它忽略不计，近似地认为是零。这是与开关的不同之处。

此外，二极管导通时，还具有方向性，它只能单向导电，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。

以上由二极管的单向导电性，说明了二极管的开关特性，并重点推导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地增强。



(a) 正向导通时 (b) 反向截止时

图 1-2 二极管的等效电路

为了进一步巩固这部分的内容,可结合解题指导中例 1-1、例 1-5 这样的题型,反复应用等效的概念,正确地分析电路。否则,学生虽然有二极管单向导电性的基本概念,但当分析具有二极管的电子电路时,却感到无从下手。在考试时,就曾经出现过学生对三极管电子电路会分析计算,而对二极管电子电路却不会分析计算的情况。究其原因,就是教师在教学中仅停留在基本概念的讲解上,没有深入地介绍其本质内容,即等效电路。

2. PN 结

本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入手,反过来分析产生实验现象的原因。

有不少专业课程的教师认为,没有必要讲 PN 结这样的基本知识,因为从电子线路的后续专业课的角度看,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知识。但考虑到课程体系的完整性,以及基本概念在学习中的重要性,这类基本知识还是有必要讲解清楚。因此,半导体材料的内部结构的介绍还是十分必要的。以硅管为例加以说明。

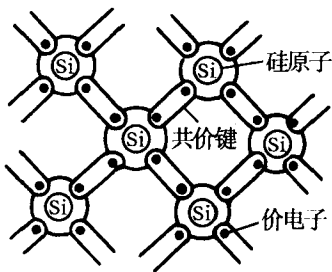


图 1-3 硅管的内部共价键形式

图 1-3 为硅元素的内部结构图,可以着重讨论以下几个问题。

- ① 半导体的导电性能为什么不如导体的导电性能那么强?
- ② 本征半导体指的是什么?
- ③ P 型半导体,为什么空穴数目占优?
- ④ N 型半导体,为什么自由电子数目占优?
- ⑤ PN 结内部电场的方向如何?
- ⑥ PN 结的单向导电性包括哪些内容?

教师在教学中应该把问题的来龙去脉讲解清楚,但怎样使学生更好地掌握这个基本知识,是一个值得探讨的问题。

在不少习题集中,同时有多种题型(如问答题、填空题、选择题)均涉及 PN 结的基本知识。这样翻来覆去地考查是否有必要?当然,利用不同题型来巩固学生所学知识,是无可非议的,但教师在教学中,应注意教学的重点与难点。由于 PN 结的基本知识概念较多且抽象,如果过多地强调定义的一字一句,就显得教学过于僵化。但若在讲完教材的内容后,选择一些较灵活的题目,采用提问的方式让学生回答,则既达到了即时复习的目的,又能活跃课堂的气氛,还充实了这部分的教学内容。

另外,关于 P 型半导体和 N 型半导体都呈电中性这个问题,学生不易理解,他们认为 P 型半导体中空穴占优,而空穴是带正电荷的,所以 P 型半导体带正电,而不是呈电中性。

对于这个问题的解答,可以这样来解释。带正电或带负电,意味着原子失去电子或得到电子。而 P 型半导体,是在 Si 本征半导体中掺入少量的 +3 价元素,如硼(Be)。用系统的概念来理解, Si 中掺入少量杂质形成的系统,并没有得到或失去电子,故而整个 P 型半导体是呈电中性的。如图 1-4 所示。

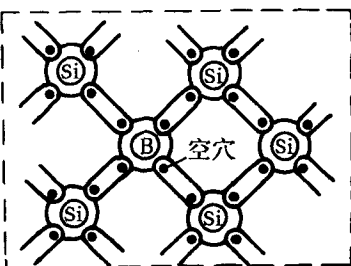
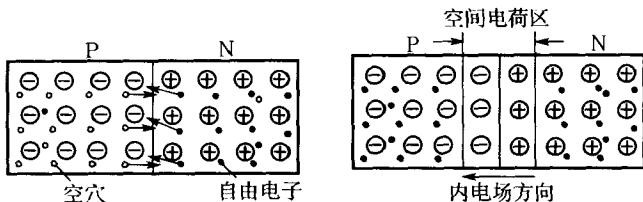


图 1-4 P 型半导体作为一个系统的构成图

而 P 型半导体中存在着的多数载流子——空穴,是在外加电

压满足一定要求时,为形成空穴电流提供了相应的条件。

PN 结的内电场是导致 PN 结具有单向导电性的内部原因,是这一部分的核心内容。由于 P 型半导体与 N 型半导体中的多数载流子分别是空穴和自由电子,这就使得载流子的浓度在 P 型与 N 型半导体的交界面上不均匀,从而产生扩散运动。这时在交界面附近只留下了不可移动的离子。N 区的自由电子扩散至 P 区后,留下的离子带正电荷,P 区的空穴扩散至 N 区后,留下的离子带负电荷,从而在交界面上就形成了内电场,其方向由 N 指向 P。此内电场将对 P 区的少数载流子——自由电子,对 N 区的少数载流子——空穴起吸引作用。这样将产生漂移运动,运动的结果使内电场又变窄。漂移运动与扩散运动方向相反,当二者达到某一动态平衡时,就形成了一定厚度的内电场,即所谓的 PN 结。如图 1-5 所示。



(a) 载流子的扩散运动

(b) 扩散与漂移达到平衡时

图 1-5 PN 结形成的示意图

PN 结的形成过程,是教学中的一个难点。建议先复习 P 型半导体、N 型半导体的基本概念,再复习原子核、自由电子、离子等基本知识及它们之间的关系,然后再提出扩散、漂移的概念,这样 PN 结的概念就能讲得比较清楚了。

3. 二极管的伏安特性

二极管的伏安特性是本章的重点。一般来说,学生掌握得比较好,但灵活性还有待提高,可从以下几个方面着手。

(1) 伏安特性与单向导电性的差异 在分析与计算中,二极管的单向导电性的知识用得比较多,而利用伏安特性的地方不太多。但伏安特性是全面地反映了二极管的特性的,而单向导电性只相当于整个伏安特性的一部分,即Ⅱ区域、Ⅲ区域。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,如图1-6所示。

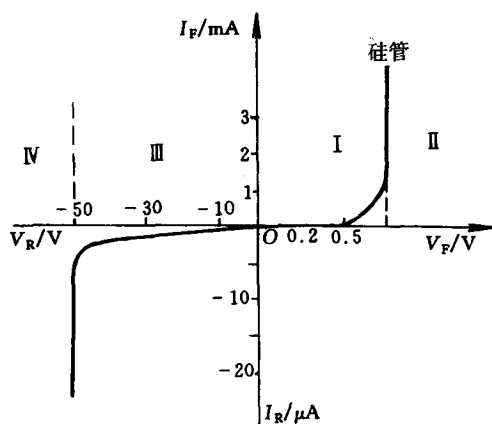


图1-6 二极管的单向导电性与伏安特性
曲线关系图

(2) 二极管与稳压管的区别 稳压管是特殊的二极管,通过工艺上的处理,可使该管在其反向电流小于其最大允许值的条件下,当反向电压增大到击穿电压时,管子仅发生电击穿而不发生热击穿,故而不会被损坏。且在击穿区内,反向电流变化较大,但管子两端电压的变化却较小,这也是稳压管之所以能稳压的原因。如图1-7所示。稳压管的其他特性与普通二极管并没有本质的区别。由于在讲稳压电路时,会具体地介绍稳压管的知识,所以在讲二极管的伏安特性时,可只作一下铺垫,说明电击穿与热击穿的区别,是在于其使用条件的要求不同。

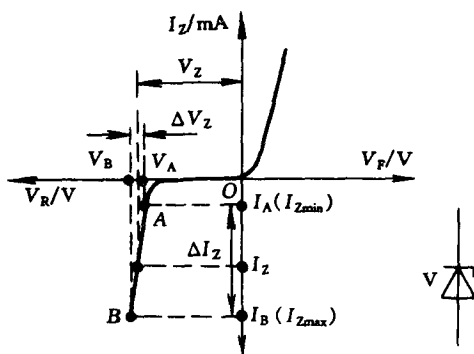


图 1-7 硅稳压管的伏安特性

(3) 一个非线性元件的概念的建立 基于前面的分析可知, 二极管的伏安特性用得较少,但在三极管的作图法里会用到非线性元件分析类似的问题。所以在这里可以简单地说明一下非线性元件的分析方法,但更重要的是介绍非线性元件的概念。

在图 1-8 所示的电路中,设二极管为硅管,且忽略内阻,求回路电流 $I = ?$

如果已知 $V = 5\text{ V}$, I 很好求, V 此时二极管处于导通状态, $I = \frac{5\text{ V} - 0.7\text{ V}}{1\text{ k}\Omega} \approx 4.3\text{ mA}$ 。

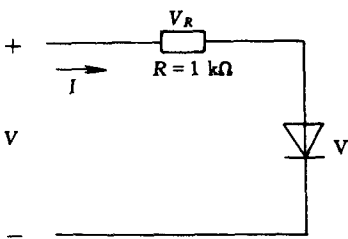


图 1-8 含非线性元件(二极管)的简单电路

但如果 V 是一个变数, I 怎么求呢?

由于 V 的值未定,故二极管是导通还是截止,就难以确定,故列出以下两个方程:

$$\begin{cases} V_V = V - RI & \text{二极管外部电路方程} \\ I = f(V_V) & \text{二极管本身的伏安特性} \end{cases}$$

因为二极管是一个非线性元件,才需要用特性方程即伏安特

性,来表示元件的特性,但它无法直接求解,故需采用作图法,即在平面直角坐标系中,画出直线方程与曲线方程,其交点 A 为上述联立方程的解,这时即可求出电路的电流 I ,见图 1-9。

由图 1-9 可以看出,由于 V 是一个变数,故 A 点也不固定,二极管究竟是导通还是截止,取决于 V 的大小。

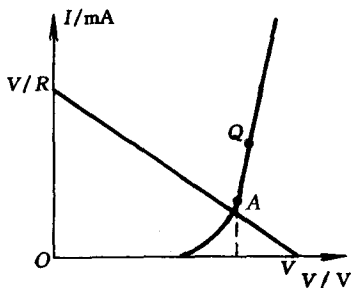


图 1-9 用图解法对电路图 1-8 的分析

对于非线性元件,经常用等效电阻这个概念。对二极管来说,在不同的外界条件下, A 点是变化的,故其等效阻值也是变化的,而不是一个固定的值,或者说, V/I 的关系是非线性的关系,所以将二极管叫做非线性元件。对于非线性元件的分析,就需要采取特殊的分析方法,如上面提到的作图法。

非线性元件(如二极管)与电工课程中的线性或者称定值的 R 、 L 、 C 等元件的分析,有很大的不同。所以在这里加入这部分内容,对学生理解非线性的概念以及后面学习三极管的知识,都是有帮助的。但要注意的是,在教学中不要占用太多的时间,因为在教材中对这部分内容并没有展开讨论。

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基本要求,在检查电子电路故障时,或者在安装电子电路时,都不可避免地需要二极管的测试技巧。

首先,介绍用万用表检测二极管的好坏或者判断正、负极性的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。如黑表笔接的是电池的正极,红表笔接的是电池的负极等。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。

最后,归纳一下测试结果,包括二极管是正常的,或者是损坏的。

在具体实验时,为了让学生掌握好二极管的简单测试方法,可人为地将万用表拨到非正常位置,且提供实验的二极管要丰富一些,包括有故障的元件,这样可以使学生熟悉各种型号的二极管,同时从问题中学到知识。

5. 二极管的分类、型号和参数

在电路设计时,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具体问题,因此,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,有助于学生掌握好总体的内容,附录中国产半导体器件型号的命名方法,是学生查手册的依据。教学中应介绍如何使用手册,市面上有哪些手册,各手册有何特点等。

讲解参数时,切忌平铺直叙,可结合电路设计中未考虑好参数条件的实例进行讲解,如二极管回路中未加限流电阻。这样可能会提高学生学习的兴趣,从而更进一步地体会到参数的重要性。

此外,要提醒学生注意,不少参数的大小是在一定条件下测得的,也就是说,不同的测试条件下,参数值可能会有变化,如反向漏电流 I_R 的条件是在规定的反向电压和环境温度的条件下测得的,因此参数的大小是相对的。

第一章中,二极管基础知识是最基础的内容,因此教学中要注意有意地选用一些有趣味性的二极管控制电路,带声、光效果,或者是选用实物、挂图、图片等辅助教具,来提高学生的兴趣,而且让学生感到电子世界不但离我们很近,而且也并不是深不可测,关键在于如何去掌握它。

(三) 晶体二极管整流电路

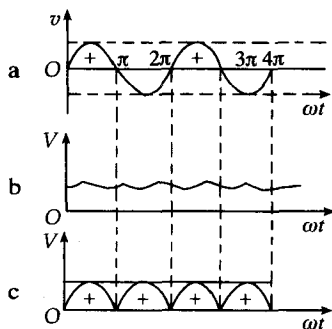
晶体二极管整流电路,不管形式如何,其目的是一样的,即利用二极管的单向导电性,把交流电转换为直流电。

1. 直流电、交流电、脉动信号的区别

说起直流,很多人认为它是一个大小不变的恒定电流,如常用的电池,5 V 意味着能提供 5V 的电动势。实际上,直流指的其极性不变,并不包含对大小恒定的要求。

交流电指的是其大小和极性都随时间变化的信号,很多人容易把直流脉动信号与交流信号相混淆。

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是大小恒定的信号,而脉动信号类似于交流信号那样大小有变化,因此把它归到交流电中去了。另外脉动信号包含有交流成分,将它分解后,有各次谐波,其中的交流成分有正有负,极性是变化的,但总的值合起来,极性是不变的,因此学生在考虑问题时,也易出现将部分代替整体这种错误。因此,只有把这几个基本概念讲清楚,学生才能理解什么叫整流。关于交流信号、直流信号、脉动信号的区别,见图 1-10。



(a) 交流电 (b) 直流电 (c) 脉动电

图 1-10 交流信号、直流信号、脉动信号波形

2. 单相整流电路工作原理的分析

(1) 工作原理 一般地说,半波整流电路比较简单,主要看整流二极管的导通与截止情况,只要学生对二极管的知识掌握得较好,就不会出现什么问题。但对于全波和桥式整流电路,由于电路

复杂一些,故而会存在着一些问题。

① 全波整流电路。

不少学生存在的疑问是:为什么变压器中心抽头 C(见图 1-11) 既标正极性,又标负极性?

因为 C 是变压器的中心抽头,故 $v_{2a} + v_{2b} = v_{AB}$ 。关于电压的方向是假设在正半周时为上正下负,那么有

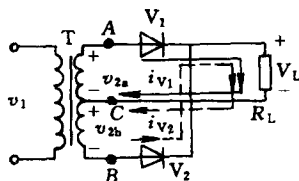


图 1-11 全波整流电路

$v_{2a} = v_{2b} = \frac{1}{2} v_{AB}$ 。C 标负极性,是相

对于 A 点而言的;C 标正极性,是相对于 B 点而言的。所以 v_{2a} 、 v_{2b} 的波形是一致的。这与教材上讲的有所不同,因为教材上假定 v_{2b} 为上负下正。鉴于学生特别容易因符号问题而混淆,所以建议采用比较易于让学生接受的分析方法。

由于 V_1 的阳极承受的是输入信号的最高值,故二极管 V_1 是导通的。根据二极管导通时的特点,可以近似地认为 $V_D \approx V_A$,由于 $V_B < V_D$,很显然, V_2 管是截止的。画出其等效电路,如图 1-12 所示。

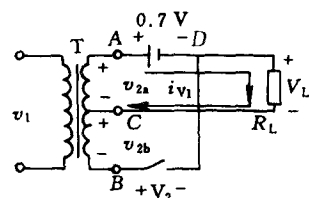


图 1-12 正半周时,全波整流电路的等效电路

此时, $v_L \approx v_{2a}$

$$v_{V2} = + v_B - (+ v_A)$$

$$\approx - v_{AB} \approx - 2 v_{2a}$$

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

采用等效电路的形式来讲解,可以达到以下目的:

- ① 复习巩固二极管部分的知识。
- ② 分析整流电路,有条不紊。
- ③ 尤其是二极管承受反向电压的情况,分析得很清楚。

负半周的情况类似,在此不再赘述,可作为在课堂上引导学生分析或自行练习用。只有掌握正确的分析方法,学生才能正确地去分析其他的电路。这部分内容可参考习题指导。

② 桥式整流电路。

学生存在的问题是不会去找正半周或负半周时的回路。究其原因,还是二极管的状态分辨不清。如图 1-13(a) 所示,正半周时,各整流管的状态如何呢?

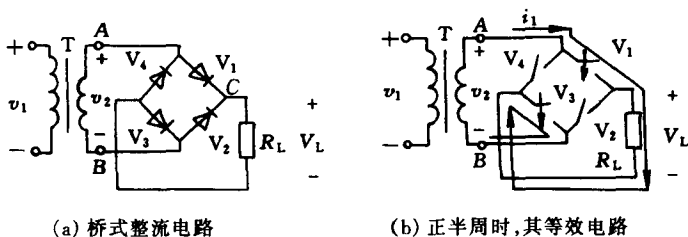


图 1-13 正半周时,桥式整流电路的分析

正半周时, A 点电位最高, V_1 管的阳极接于 A 点, V_4 管的阴极接于 A 点,故 V_1 管导通, V_4 管截止,则有 $v_C \approx v_A$,很显然, V_2 处于截止状态,其承受的反向电压为 v_{AB} , V_3 的阴极接在 B 点,所以构成回路 A— V_1 管— R_L — V_3 管—B, V_3 管是导通的。

归纳以上的分析可知,二极管的导通与截止状态,实际上还取决于它两端所承受的电压。整流管的阳极在导通时应承受高电位,阴极应承受低电位,对于截止管子正好相反。

对学生来说, V_1 管、 V_4 管的状态比较好判断,而走到 C 点,就不知所措了,导通回路是从 V_2 管走,还是经 R_L 走?就不知如何去分析了。

因此, V_1 管一旦导通, $v_C \approx v_A$,这是很关键的,而 A 点电位最高,则 V_2 管的状态很容易确定下来。在教学当中,在初期建议稳扎稳打地走,虽然画等效电路比较麻烦,但对于学生形成正确的分析电子电路的方法却十分有益。应该承认,电子电路的形式远比电工