



全国高等职业教育“十三五”规划教材

电子技术

高喜玲 张丽 张翠云 主编

Dianzi Jishu



中国矿业大学出版社
国家一级出版社 全国百佳图书出版单位

育“十三五”规划教材

电子技术

主 编 高喜玲 张 丽 张翠云

副主编 韩 静 许 波 魏 琳

中国矿业大学出版社

内 容 提 要

本书共 12 个项目,分上、下两篇。上篇为模拟电子技术,下篇为数字电子技术。本书以工作任务为导向,由任务入手引入理论知识,通过技能训练将相应的理论知识和技能实训融为一体。通过项目实施完成电路设计、制作与调试,可有效提升知识、技能的综合应用能力。

本书可作为高职高专院校电子技术课程的教材,也可作为从事电子技术的工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

电子技术/高喜玲,张丽,张翠云主编. —徐州:
中国矿业大学出版社,2018.9

ISBN 978 - 7 - 5646 - 3859 - 7

I. ①电… II. ①高… ②张… ③张… III. ①电子技
术 IV. ①TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第323918号

书 名 电子技术
主 编 高喜玲 张 丽 张翠云
责任编辑 何晓明
出版发行 中国矿业大学出版社有限责任公司
(江苏省徐州市解放南路 邮编 221008)
营销热线 (0516)83885307 83884995
出版服务 (0516)83885767 83884920
网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com
印 刷 江苏淮阴新华印刷厂
开 本 787×1092 1/16 印张 14.75 字数 370 千字
版次印次 2018 年 9 月第 1 版 2018 年 9 月第 1 次印刷
定 价 29.80 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

前 言

本书是在多年高等职业教育教学改革与实践的基础上,结合高职高专的办学定位、岗位需求、生源的具体情况,专门为电类专业编写的基于工作过程导向的电子技术课教材。在编写过程中,对教材的内容编排进行了全新的尝试,打破了传统教材的编写框架。讲解的内容由任务分析导入,然后开展理论描述,更符合教师的教学要求,也方便学生透彻地理解理论知识及其在实际中的运用。

为了符合目前高职教育“项目导向、任务驱动”的课改方向,坚持理论系统性、实践性的原则,本书侧重技能传授,弱化理论,强化实践内容。在内容安排上以培养学生的工作能力为目的,将项目制作、知识讲授、作业及技能训练有机地结合在一起,使能力培养贯穿于整个教学过程。

本书共分为 12 个项目,其理论和实践内容主要围绕项目开展,项目的制作已包含了电子技术的绝大部分知识点,且教学内容遵循由易到难、由简单到复杂、理论结合实践的原则。本书删繁就简、重点突出、实用性强。

本书由河南工业和信息化职业学院高喜玲、重庆工程职业技术学院张丽、河南工业和信息化职业学院张翠云担任主编,高喜玲负责全书统稿。山西煤炭职业技术学院韩静、河南工业和信息化职业学院许波和魏琳参加了本书的编写工作。具体分工如下:项目一、项目二、项目三由高喜玲编写,项目四由魏琳编写,项目五、项目六由张丽编写,项目七、项目九、项目十一由张翠云编写,项目八由许波编写,项目十、项目十二由韩静编写。

由于编者水平有限,时间仓促,书中难免有疏漏和不足之处,恳请读者批评指正。

编 者

2018 年 6 月

目 录

上篇 模拟电子技术

项目一 整流滤波电路的制作	3
任务一 认识二极管	4
任务二 认识整流电路	8
任务三 认识滤波电路	11
思考与练习	15
项目二 共发射极放大电路的制作	18
任务一 认识三极管	19
任务二 认识基本放大电路	21
任务三 认识多级放大电路	25
思考与练习	29
项目三 运算放大器基本应用电路制作	33
任务一 认识集成运算放大器	34
任务二 认识放大电路中的负反馈	36
任务三 集成运算放大器的线性应用	39
思考与练习	47
项目四 可调直流稳压电源的制作	51
任务一 直流稳压电源	52
任务二 稳压电路	55
任务三 开关型直流稳压电源	60
思考与练习	64
项目五 正弦波振荡器的分析与制作	67
任务一 正弦波振荡电路	68

任务二 常见的正弦波振荡电路	69
思考与练习	79
项目六 台灯调光电路的分析与制作	81
任务一 晶闸管及单相可控整流电路的分析	82
任务二 单结晶体管及触发电路的分析	86
思考与练习	91
下篇 数字电子技术	
项目七 裁判表决器的制作	95
任务一 认识脉冲与数字信号	95
任务二 认识逻辑门电路	97
任务三 逻辑函数的化简	113
任务四 组合逻辑电路的分析与设计	124
思考与练习	129
项目八 七段数码显示器电路制作	132
任务一 编码器	133
任务二 译码器	138
思考与练习	145
项目九 抢答器电路制作	147
任务一 认识 RS 触发器	148
任务二 认识 JK 触发器	151
任务三 认识 D 触发器	157
思考与练习	162
项目十 多功能数字钟的设计与调试	165
任务一 寄存器	165
任务二 计数器	169
思考与练习	186
项目十一 基于 555 定时器门铃的制作	189
任务一 认识脉冲产生电路	189
任务二 认识 555 定时器	201
思考与练习	206

项目十二 直流数字电压表的设计.....	209
任务一 数模(D/A)转换.....	210
任务二 模数(A/D)转换.....	215
思考与练习.....	223
参考文献.....	225
附录.....	226
附表1 元器件功能仿真测试评价.....	226
附表2 电路安装布线图设计评价.....	227
附表3 电路装接、调试评价.....	227

上 篇

模拟电子技术

项目一 整流滤波电路的制作

【知识要点】 半导体的基本知识;半导体二极管的结构和种类;半导体二极管的测试。整流电路的组成及其工作原理;滤波电路的基本形式。

【技能目标】 能用万用表检测元器件;可在万能电路板上设计安装线路;会用示波器观察变压器次级波形、整流后的波形以及滤波后的波形。



任务导入

在工业或民用电子产品中,其控制电路通常采用直流电源供电。对于直流电源的获取,除了直接采用蓄电池、干电池或直流发电机外,还可以将电网的 380/220 V 交流电通过电路转换的方式转换成直流电获取,这就是直流稳压电源。而整流滤波电路是直流稳压电源的主要组成部分。

本项目从整流滤波电路制作入手,分析交流电转换为直流电的方法,为后续各项目所需直流电源的设计打下基础。



任务分析

整流滤波电路如图 1-1 所示,试分析其工作原理并制作该电路。

1. 电源变压器

电网提供的交流电一般为 220 V(或 380 V),而各种电子设备所需要直流电压的幅值却各不相同,因此,常常需要将电网电压先经过电源变压器,然后将变换以后的副边电压再进行整流、滤波和稳压,最后得到所需的直流电压幅值。本项目中,电源变压器要选择降压变压器,原边电压为交流 220 V,副边电压为交流 12 V。

2. 整流电路

在图 1-1 所示电路中,利用 4 个二极管 1N4007 的单向导电性将正负交替的 12 V 正弦交流电整流成单向的脉动电压。1N4007 整流二极管的参数为 $I_F = 1 \text{ A}$, $U_{RM} = 1\,000 \text{ V}$, $I_R \leq 5 \mu\text{A}$, $f_M = 3 \text{ kHz}$,因而完全可满足需要。

3. 滤波电路

利用储能元件 C 的充放电性质,即可将单向脉动电压中的脉动成分过滤掉,使输出电压成为比较平滑的电压。在选择滤波电容时,一是要考虑容量值,二是要考虑耐压值。滤波电容的容量越大,滤波效果越好,但电容器的价格也越高,体积也越大,因此使用时应综合考

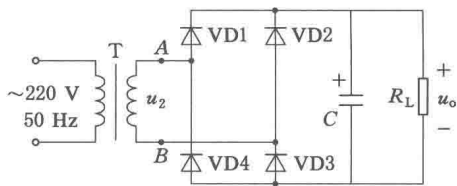


图 1-1 整流滤波电路

虑。电容器的耐压值应大于 $1.1\sqrt{2} U_2$, 且要留有一定的余量。

要完成整流滤波电路的制作以及电路的分析, 必须掌握如下知识:

- (1) 认识二极管。
- (2) 认识整流电路。
- (3) 认识滤波电路。



相关知识

任务一 认识二极管

二极管是电子产品生产中最重要器件之一。学习过程中要面向具体的应用来学习二极管的基本知识, 并且动手制作应用产品来训练自己的实践能力, 同时应了解二极管相关的产业与上下游企业, 为将来的工作做准备。

一、半导体的基本知识

自 1947 年第一个晶体管问世以来, 半导体技术有了飞跃式的发展。由于半导体器件具有质量轻、体积小、耗电少、寿命长、工作可靠等突出优点, 在现代生产与科学技术的各个领域中都得到了广泛应用。半导体器件是构成电子电路的基本元件, 它们所用的材料是经过特殊加工且性能可控的半导体材料。

物体根据导电能力的强弱可分为导体、半导体和绝缘体三大类。凡容易导电的物质(如金、银、铜、铝、铁等金属物质)称为导体; 不容易导电的物质(如玻璃、橡胶、塑料、陶瓷等)称为绝缘体; 导电能力介于导体和绝缘体之间的物质(如硅、锗、硒等)称为半导体。半导体之所以得到广泛的应用, 是因为它具有热敏性、光敏性、掺杂性等特殊性能。

(一) 本征半导体

常用的半导体材料是单晶硅(Si)和单晶锗(Ge)。半导体的原子外层电子为 4 个, 图 1-2 所示为硅和锗的原子结构。

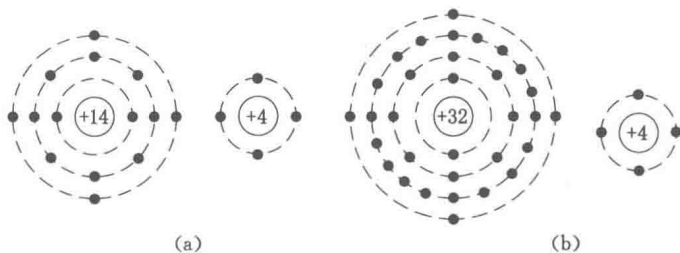


图 1-2 硅和锗的原子结构

(a) 硅; (b) 锗

纯净无杂质的半导体称为本征半导体。本征半导体晶体结构如图 1-3 所示。由图可见, 各原子间整齐而有规则地排列着, 使每个原子的 4 个价电子不仅受所属原子核的吸引, 而且还受相邻 4 个原子核的吸引, 每一个价电子都为相邻原子核所共用, 形成了稳定的共价键结构。每个原子核最外层等效有 8 个价电子, 由于价电子不易挣脱原子核束缚而成为自

由电子,因此,本征半导体导电能力较差。

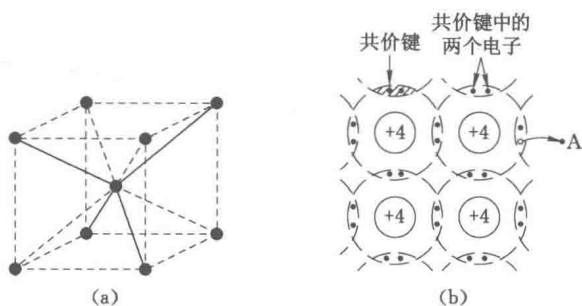


图 1-3 硅晶体结构和共价键结构

本征半导体内,处于共价键上的某些价电子,接受外界能量后,可以脱离共价键的束缚成为自由电子;这时在该电子所在位置处就会出现一个空位,称为空穴,如图 1-3(b)中 A 处所示。出现一个空穴,表示原子少了一个电子,丢失电子的原子显正电,分析时可认为空穴是一个带正电的粒子。在本征半导体中,自由电子与空穴是成对出现的,称为电子-空穴对。自由电子带负电,空穴带正电,二者电量相等、符号相反。在半导体中,自由电子和空穴都是载运电荷的粒子,称为载流子。本征半导体在温度升高时产生电子-空穴对的现象称为本征激发。温度越高,产生的电子-空穴对数目就越多,这就是半导体的热敏性。

在半导体中存在着自由电子和空穴两种载流子,而导体中只有自由电子这一种载流子,这是半导体与导体的不同之处。

(二) 杂质半导体

为增强半导体的导电性能,可在本征半导体中掺入微量的杂质元素,掺入杂质的半导体叫作杂质半导体。根据掺入杂质的不同,杂质半导体可分为 P 型半导体和 N 型半导体两大类。

1. P 型半导体

P 型半导体是在本征半导体硅(或锗)中掺入微量的 3 价元素(如硼、铟等)而形成的。因杂质原子只有 3 个价电子,它与周围硅原子组成共价键时,缺少 1 个电子,因此在晶体中便产生一个空穴,当相邻共价键上的电子受热激发获得能量时,就有可能填补这个空穴,使硼原子成为不能移动的负离子,而原来硅原子的共价键因缺少了一个电子,便形成了空穴,如图 1-4 所示。

在 P 型半导体中,由于杂质的掺入,使得空穴数目远大于自由电子数目,空穴成为多数载流子(简称多子),而自由电子则为少数载流子(简称少子)。这种以空穴导电为主的半导体叫作空穴型半导体或 P 型半导体。

2. N 型半导体

N 型半导体是在本征半导体硅中掺入微量的 5 价元素(如磷、砷、镓等)而形成的,杂质原子有 5 个价电子与周围硅原子结合成共价键时,多出 1 个价电子,这个多余的价电子易成为自由电子,如图 1-5 所示。掺入 5 价元素的半导体,自由电子的数目较空穴数目多,载流

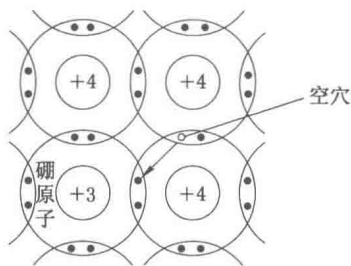


图 1-4 P 型半导体的共价键结构

子中自由电子占多数,空穴占少数,故称其为电子型半导体或N型半导体。

3. PN结的形成及特性

一块P型半导体或N型半导体虽然已有较强的导电能力,但若将它接入电路中,则只能起电阻作用,无多大实用价值。如果把一块P型半导体和一块N型半导体结合在一起,在它们的结合处就会形成一个特殊的接触面,称为PN结。PN结是构成各种半导体器件的基础,PN结的作用使半导体获得了广泛的应用。

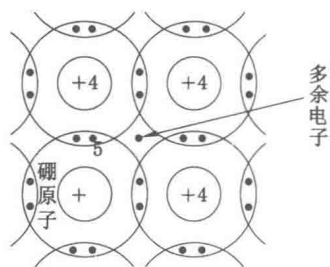


图 1-5 N型半导体的共价键结构

(1) PN结的形成

在一整块单晶体中,采取一定的工艺措施,使其两边掺入不同的杂质,一边形成P型区,另一边形成N型区。由于两侧载流子在浓度上存在差异,电子和空穴都要从浓度高的地方向浓度低的地方扩散,如图1-6(a)所示。扩散的结果是在分界处附近的P区薄层内留下一些负离子,N区薄层内留下一些正离子。于是,分界处两侧就出现了一个空间电荷区:P型侧的薄层带负电,N型侧的薄层带正电,形成了一个方向由N区指向P区的内电场,如图1-6(b)所示。内电场的作用是阻碍多子的扩散,故也把空间电荷区称为阻挡层。但内电场却有助于少子的漂移运动。为区别由浓度差造成的多子扩散运动,把内电场作用下的少子的定向运动称作漂移运动。因此,N区空穴向P区漂移,P区的电子向N区漂移,其结果使空间电荷区变窄,内电场削弱,这又将引起多子扩散以增强内电场。当达到动态平衡时,即多子的扩散电流等于少子的漂移电流,且二者方向相反,空间电荷区就相对稳定,形成PN结。此时,PN结中的电流为零,故又称其为耗尽层。

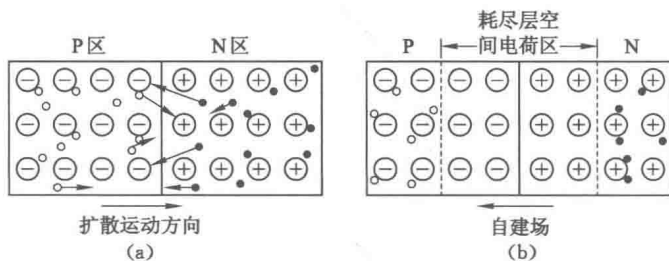


图 1-6 PN结的形成

(a) 多子扩散示意图;(b) PN结的形成

(2) PN结的单向导电性

如果在PN结上加正向电压(也称正向偏置),即P区接电源正极,N区接电源负极,如图1-7(a)所示,则这时电源 E 产生的外电场与PN结的内电场方向相反,内电场被削弱,使阻挡层变薄,于是多子的扩散运动增加,漂移运动减弱,多子在外电场的作用下顺利通过阻挡层,形成较大的扩散电流——正向电流。此时PN结的正向电阻很小,处于正向导通时,外部电源不断向半导体供给电荷,使电流得以维持。

如果给PN结加反向电压(又称反向偏置),即N区接电源正极,P区接电源负极,如图1-7(b)所示,则这时外电场与PN结内电场方向一致,增强了内电场,使阻挡层变厚,削弱了多子的扩散运动,增强了少子的漂移运动,从而形成微小的漂移电流——反向电流。此

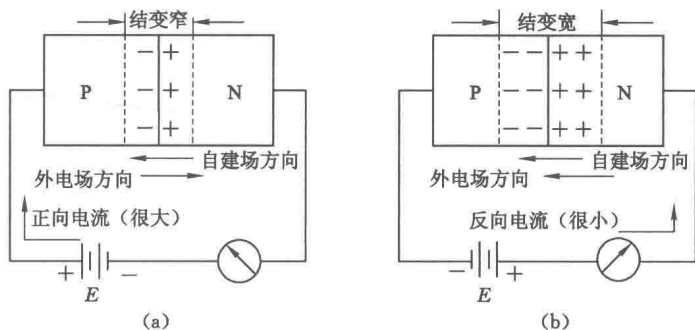


图 1-7 PN 结的单向导电性

(a) 正向连接; (b) 反向连接

时,PN 结呈现很大的电阻,处于反向截止状态。

综上所述,PN 结正向偏置时,处于导通状态;反向偏置时,处于截止状态。这就是 PN 结的单向导电性。

二、半导体二极管

半导体二极管能把一个正弦交流电变成直流电。这正是半导体二极管的神奇之处。电阻、电感、电容、变压器等只会改变正弦波的幅值和相位,不能改变波形。

(一) 半导体二极管的结构和种类

将半导体材料硅制成的 PN 结用玻璃或塑料外壳封装起来,并加上电极引线就构成了半导体二极管,简称二极管。常用二极管的外形和符号如图 1-8 所示。符号中的三角形所指方向表示允许电流通过的方向。二极管的两极分为正极和负极。圆柱形塑封二极管的白(红)色环表示负极。

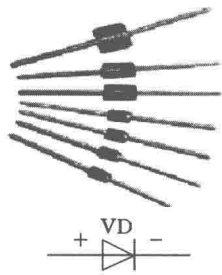


图 1-8 二极管外形和符号

二极管有多种类型,各种类型的用途不同。常用的二极管有整流二极管、稳压二极管、发光二极管、变容二极管、开关二极管等。

(二) 半导体二极管的单向导电性

用万用表测试二极管的电阻,一个方向很大,一个方向很小,这是为什么呢? 这是由二极管的单向导电性造成的。

如图 1-9(a)所示,当二极管的正极与电源正极相连、负极与电源负极相连,二极管的电阻很小,呈现导通状态,称为正向导通。正向导通时二极管两端的正向电压降只有 0.7 V 左右。这时负载(灯泡)上得到约等于 E 的电压,有电流通过灯泡,灯泡亮了。

如图 1-9(b)所示,当二极管的正极与电源负极相连、负极与电源正极相连,二极管的电阻很大,几乎没有电流通过,呈现断开状态,称为反向截止。反向截止时二极管两端的电压等于电源电压。这时负载(灯泡)上的电压为零,没有电流通过灯泡,灯泡不亮。

二极管只在一个方向导电,电流只能从正极流向负极。这是二极管最主要的特性,称为单向导电性。

(三) 半导体二极管的简易测试

如图 1-10 所示,将指针式万用表置于 $R \times 100$ 或 $R \times 1k$ 挡。当黑表棒接二极管的正

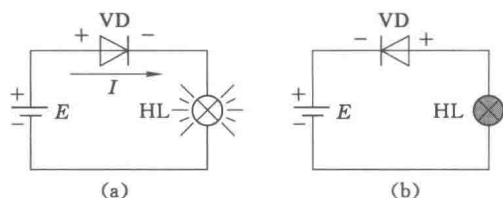


图 1-9 半导体二极管的单向导电性;

(a) 正向导通;(b) 反向截止

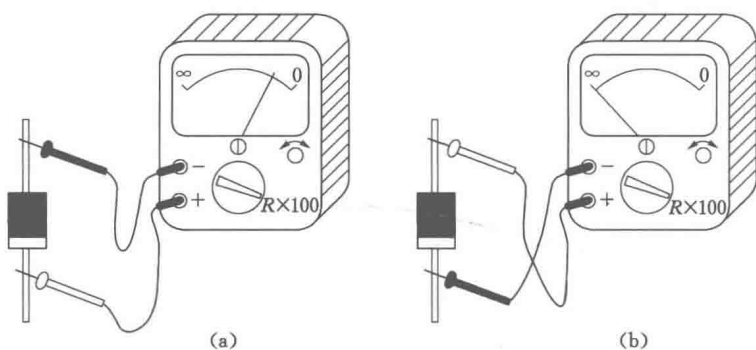


图 1-10 半导体二极管的测试

(a) 正向电阻小;(b) 反向电阻大

极、红表棒接二极管的负极,测量电阻较小时(表针偏转 $1/2 \sim 2/3$),称为正向电阻;当黑表棒接二极管的负极、红表棒接二极管的正极,测量电阻很大时(表针不偏转),称为反向电阻。若两次测量电阻都很小,说明二极管已击穿短路;若两次测量电阻都很大,说明二极管已开路。万用表内部的 1.5 V 电池对应图 1-9 中的电源,万用表的表头对应图 1-9 中的灯泡。根据二极管的单向导电性,就可以解释这种现象的原理了。同学们可自己分析。

(四) 半导体二极管的主要技术参数

(1) 最大整流电流(I_F):是指长期使用时允许通过二极管的最大正向平均电流。使用中电流长时间超过这个允许值时,管子将因过热而损坏。

(2) 反向击穿电压(U_{BR}):是二极管发生反向击穿时的电压。发生反向击穿时,二极管失去反向截止的能力,反向电流会急剧增大,有可能造成二极管发热损坏。

(3) 最高反向工作电压(U_R):是指允许加在二极管上的反向电压的最大值。最高反向工作电压是反向击穿电压的一半。

还有其他一些参数,如最高使用温度、最高工作频率、结电容等,本书在此不再赘述。

任务二 认识整流电路

利用半导体二极管的单向导电性将交流电变换成脉动直流电的过程,称为整流。用来实现这一目的电路称为整流电路。

一、单相半波整流电路

单相半波整流电路是最简单的一种整流电路,如图 1-11 所示,由电源变压器、二极管

VD 和负载电阻 R_L 等组成。通过示波器可以观察到,变压器副绕组的正弦交流电压经过二极管后,负载电阻 R_L 上的电压和电流变为单一方向的脉动直流电。图 1-12 所示为变压器副边电压 u_2 、输出电压 u_o 和二极管端电压 u_D 的波形。这样的波形是怎样产生的?

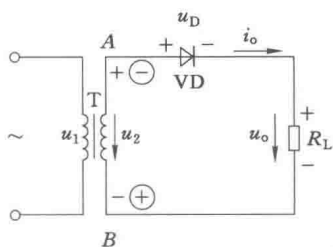


图 1-11 半波整流电路工作原理

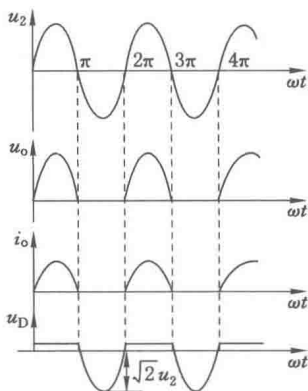


图 1-12 半波整流波形

(一) 半波整流电路工作过程

设变压器副边电压 $u_2 = \sqrt{2}U_2 \sin \omega t$ 。

在 u_2 的正半周,即在 $\omega t = 0 \sim \pi$ 期间,A 点极性为正,B 点极性为负,VD 承受正向电压而导通,电压降只有 0.7 V,负载电阻 R_L 上得到一个近似等于 u_2 的正半波电压。如图 1-11 所示。电流 i 的通路是 $A \rightarrow \text{VD} \rightarrow R_L \rightarrow B$ 。

在 u_2 的负半周,即在 $\omega t = \pi \sim 2\pi$ 期间,B 点极性为正,A 点极性为负,VD 承受反向电压而截止。负载电阻 R_L 上的电压为 0,二极管承受全部电源电压。

因此,当电源电压 u_2 变化一周时,在负载电阻 R_L 上得到的电压 u_o 和电流 i_o 是单方向半波脉动波形。

(二) 半波整流电路主要参数计算

在使用和设计整流电路时,经常需要计算整流电路输出电压平均值和输出电流平均值。输出电压平均值就是负载电阻上电压的平均值 U_o 。

$$U_o \approx 0.45U_2 \quad (1-1)$$

输出电流平均值 I_o 为:

$$I_o = \frac{U_o}{R_L} = \frac{0.45U_2}{R_L} \quad (1-2)$$

(三) 二极管的选择

首先根据二极管的工作任务来选择类型和型号,然后根据流过二极管电流的平均值和它所承受的最大反向电压来选择二极管的参数。

在单相半波整流电路中,二极管的正向平均电流等于负载电流平均值,即:

$$I_D = I_o = \frac{0.45U_2}{R_L} \quad (1-3)$$

二极管承受的最大反向电压等于变压器副边的峰值电压,即:

$$U_{R_{\max}} = \sqrt{2}U_2 \quad (1-4)$$

在选用二极管时,最大整流电流 I_F 和最高反向工作电压 U_R 均应至少保留 10% 的余量,以保证二极管安全工作,即选取:

$$I_F \geq 1.1 I_D \quad (1-5)$$

$$U_R \geq 1.1 U_{Rmax} \quad (1-6)$$

【例 1-1】在图 1-11 所示整流电路中,已知变压器副边电压有效值 $U_2 = 30 \text{ V}$,负载电阻 $R_L = 100 \Omega$,试计算:

(1) 负载电阻 R_L 上的电压平均值和电流平均值。

(2) 二极管承受的最大反向电压。

解:

(1) 负载电阻上的电压平均值:

$$U_o \approx 0.45 U_2 = 0.45 \times 30 = 13.5 \text{ (V)}$$

流过二极管和负载电阻的电流平均值:

$$I_D = I_o = \frac{U_o}{R_L} \approx \frac{13.5}{100} = 0.135 \text{ (A)}$$

(2) 二极管承受的最大反向电压:

$$U_{Rmax} = \sqrt{2} U_2 \approx 1.414 \times 30 \approx 42.4 \text{ (V)}$$

二、单相桥式整流电路

在实际电路中最常用的是单相桥式整流电路。

(一) 单相桥式整流电路的组成

电路由单相电源变压器 T, 4 只整流二极管 VD1~VD4、负载电阻 R_L 组成。4 只二极管接成桥式,故称桥式整流电路,如图 1-13 所示。

(二) 工作原理

设变压器副边电压 $u_2 = \sqrt{2} U_2 \sin \omega t$ 。

在 u_2 的正半周,即在 $\omega t = 0 \sim \pi$ 期间,A 点极性为正,B 点为负,VD1、VD3 承受正向电压而导通,VD2、VD4 承受反向电压而截止。电流 i 的通路是 $A \rightarrow \text{VD1} \rightarrow R_L \rightarrow \text{VD3} \rightarrow B$ 。负载电阻 R_L 上得到一个近似等于 u_2 的正半波电压,极性为上正下负。如图 1-13 中虚线所示。

在 u_2 的负半周,即在 $\omega t = \pi \sim 2\pi$ 期间,B 点极性为正,A 点为负,VD1、VD3 承受反向电压而截止,VD2、VD4 承受正向电压而导通。电流 i 的通路是 $B \rightarrow \text{VD2} \rightarrow R_L \rightarrow \text{VD4} \rightarrow A$ 。负载电阻 R_L 上得到一个近似等于 u_2 的负半波电压,极性仍为上正下负。如图 1-13 中点画线所示。

因此,当电源电压 u_2 变化一周时,在负载电阻 R_L 上得到的电压 u_o 和电流 i 是单方向全波正脉动波形。图 1-14 所示为单向桥式整流电路波形图。

(三) 输出电压平均值 U_o 和输出电流平均值 I_o 。

根据 u_o 的波形可知,输出电压的平均值:

$$U_o \approx 0.9 U_2 \quad (1-7)$$

输出电流的平均值(即负载电阻中的电流平均值):

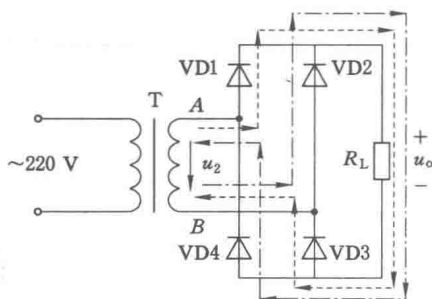


图 1-13 单相桥式整流电路