

中等职业教育国家规划教材配套教学用书

电子技术基础 教学参考书

主编 张友汉



高等教育出版社

中等职业教育国家规划教材配套教学用书

电子技术基础教学参考书

主编 张友汉

主审 罗挺前

高等教育出版社

内容提要

本书是与教育部规划教材、张龙兴主编的《电子技术基础》配套使用的教学参考书。

全书有半导体器件的基本知识、整流与滤波电路、基本放大电路、反馈与振荡的基础知识、集成运算放大器、直流稳压电源、晶闸管及其应用、逻辑门电路、数学逻辑基础、组合逻辑电路、集成触发器、时序逻辑电路、脉冲波形的产生和整形电路、数/模和模/数转换器共十四章。每章通过内容综述、教学目标与基本要求、课时安排及教学建议、解题示例及习题答案等四个方面对全部内容作了较全面的剖析。本书以教案的方式,按照一次课一个教案编写。全书共编写了81个教案(162学时,不包括实验课)。教案内容为:一、教学内容要点及难点,二、教学内容及安排,包括各章如何引入,演示实验如何做等。

作为一本教学参考书,本书以为使用本教材的教师和学生服务为宗旨;以有利于提高教学质量,最大限度地方便教师教学为目的。本书谨供从事本课程教学的教师参考,同时也可作为学生学习本课程的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电子技术基础教学参考书 / 张友汉主编. —北京: 高等教育出版社, 2005. 6

ISBN 7-04-017031-0

I. 电... II. 张... III. 电子技术 - 专业学校 - 教学参考资料 IV. TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 050660 号

策划编辑 李宇峰 责任编辑 李 刚 封面设计 于 涛 责任绘图 朱 静
版式设计 范晓红 责任校对 王效珍 责任印制 杨 明

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100011
总 机 010-58581000

经 销 北京蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 国防工业出版社印刷厂

购书热线 010-58581118
免费咨询 800-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>

开 本 787×1092 1/16
印 张 12
字 数 280 000

版 次 2005 年 6 月第 1 版
印 次 2005 年 6 月第 1 次印刷
定 价 15.10 元

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

物料号 17031-00

前 言

《电子技术基础教学参考书》是与教育部规划教材、张龙兴主编《电子技术基础》配套使用的教学参考书(参照版本:高等教育出版社2000年7月第二版,2004年1月第15次印刷),同时可作为同类国家规划教材的配套用书。

在编写这本教学参考书时,笔者本着源于教材,为使用本教材的教师和学生服务的宗旨;以有利于提高教学质量为目的;以帮助教师备课,特别是帮助青年教师深入掌握教材,最大限度地方便教师教学为前提,着重把握以下几个方面:

① 源于教材,为便于教师使用主教材是首要任务。根据教材体系,明确每一章的教学目标和教学要求,发掘教材特点。

② 注重要点及难点解析和教学方法的研讨,提供讲课参考思路。

③ 提出课时分配参考方案。

④ 以教案的方式编写,一次(两节)课一个教案。

参考书中基本按照教材章节编写,各章安排四个方面的内容:1. 内容综述,2. 教学目标与基本要求,3. 课时安排及教学建议,4. 解题示例及习题答案等。

内容综述:简要说明本章内容要点,分析本章与前后的联系、承先启后,发掘教材特点,指出教学中应注意的关键性问题;教学目标与基本要求:根据国家颁布的大纲,依照教材的顺序指明教学应达到的目标和基本要求;课时安排及教学建议:对教学目标与基本要求具体化,提供达到教学目标和要求可供采用的教学手段和方法,包括各章如何引入,演示实验如何做等,注重教学内容中要点及难点的解析和研讨,这是本书的重点;解题示例和习题答案:通过解若干例题提供解题思路和方法,本书只提供了有关计算题的示例和答案。

这本参考书以教案的方式编写,一次课一案。根据教材和教学的需要,有的地方写得比较粗浅,有的地方写得比较详尽。课时安排以大纲规定的160学时基本方案为依据,共编写了81个教案。打※号表示选用内容。教材的第十五章“智能化电子系统简介”是一篇简短的综述性内容,教师自由发挥的余地很大,本参考书没有另编教案。

教案中尽可能多地使用了配合演示实验进行教学的方法,需要观察显示波形时最好使用双踪示波器。笔者认为,教师千万不要嫌演示实验麻烦,演示实验做好了,可以收到事半功倍的效果。愿不愿意做演示实验,习惯不习惯尽可能从实验结果引出结论,事关教育思想和职业技术教育的培养目标。

近些年来,职业技术教育电子技术类教材有了长足的进步。但是,如何满足高技术素质职业人才的培养要求,如何跟上其他层次同类教材的前进步伐,缩短与现代电子技术发展的差距,仍然是一个刻不容缓的重大课题。在编写这本教学参考书的过程中,笔者深深地感到有许多基本问题仍需要探讨,仅举两例:运算放大器已是线性放大器的主流,而且运算放大器的线性应用是建立在负反馈基础上的,教材中涉及一些分立元件放大器的负反馈不是不可以,但只讨论分立而不涉及运放就显得陈旧了;在逻辑函数的卡诺图表示法中,原教材逻辑变量在卡诺图中的标法采

用了不常用的另一种方法,这习惯了也不是问题,但存在同其他书和大多数同行的“接轨”问题。在写这本参考书时,笔者选择了增补的办法,增补一些有关运算放大器的负反馈及其判别的图解;增补了逻辑变量按习惯标法的卡诺图及化简法的内容。供教学过程参考。

本书中使用全国自然科学名词审定委员会公布的电子学名词,如场效晶体管、晶闸管等,不再使用场效应管、可控硅等。

本书由张友汉编写,罗挺前主审。罗老师治学严谨,在审阅时提出了许多宝贵意见,在此表示衷心感谢。编者虽然教学已近40年,但水平和能力有限,书中问题和不足之处望各位老师和读者不吝赐教,编者将感激不尽!

编 者

2004年1月30日

录

第一篇 模拟电路基础

第一章 半导体器件的基础知识	1	第六次课 共射放大电路的估算法	32
内容综述	1	第七次课 具有稳定静态工作点的放大 电路	33
教学目标与基本要求	1	第八次课 多级放大器	35
课时安排及教学建议	1	第九次课 放大器的三种组态	36
第一次课 绪论	2	第十次课 调谐放大器的基本知识	37
第二次课 半导体二极管	2	第十一次课 调谐放大器	39
第三次课 半导体二极管的伏安特性	4	解题示例及习题答案	40
第四次课 晶体管	5	第四章 反馈与振荡的基础知识	41
第五次课 晶体管特性及主要参数	7	内容综述	41
第六次课 场效晶体管	10	教学目标与基本要求	41
解题示例及习题答案	12	课时安排及教学建议	41
第二章 整流与滤波电路	13	第一次课 反馈概念及反馈性质判别	42
内容综述	13	第二次课 反馈的性质判别	43
教学目标与基本要求	13	第三次课 反馈的基本类型	45
课时安排及教学建议	13	第四次课 负反馈对放大器性能的影响	46
第一次课 单相整流电路	13	第五次课 振荡的基本概念与原理	48
第二次课 单相桥式整流电路	15	第六次课 LC 振荡器(正弦波振荡器实用 电路)	50
第三次课 滤波电路	16	第七次课 RC 振荡器	52
第四次课 二极管应用电路	18	第八次课 石英晶体正弦波振荡器	53
解题示例及习题答案	20	第五章 集成运算放大器	57
第三章 基本放大电路	22	内容综述	57
内容综述	22	教学目标与基本要求	57
教学目标与基本要求	22	课时安排及教学建议	57
课时安排及教学建议	22	第一次课 直流放大器	58
第一次课 放大器概述 共射放大电路的 组成	23	第二次课 功率放大器	59
第二次课 放大器的静态工作点	24	第三次课 集成运算放大器的基本知识	62
第三次课 静态工作点的设置和调整	25		
第四次课 信号放大原理	28		
第五次课 共射放大电路的分析方法	30		

第四次课 运放构成的比例运算电路	64	能的措施	74
第五次课 运放的加减法运算电路	66	第三次课 串联型可调稳压电源举例	76
第六次课 集成运算放大器应用于信号 转换电路	67	第四次课 集成稳压器	78
解题示例及习题答案	70	解题示例及习题答案	80
第六章 直流稳压电源	72	第七章 晶闸管及其应用	81
内容综述	72	内容综述	81
教学目标与基本要求	72	教学目标与基本要求	81
课时安排及教学建议	72	课时安排及教学建议	81
第一次课 晶体管稳压电源	72	第一次课 晶闸管的结构和工作原理	82
第二次课 提高串联型可调稳压电源性		第二次课 晶闸管触发电路	85
		第三次课 晶闸管应用电路	86
第二篇 数字电路基础			
第八章 逻辑门电路	91	内容综述	125
内容综述	91	教学目标与基本要求	125
教学目标与基本要求	91	课时安排及教学建议	125
课时安排及教学建议	91	第一次课 组合逻辑电路的基础知识	
第一次课 数字电路概述 二极管的开关 特性	92	组合逻辑电路的分析	126
第二次课 晶体管的开关特性	94	第二次课 组合逻辑电路的设计	127
第三次课 逻辑门电路	95	第三次课 编码器	128
第四次课 常用复合逻辑门	98	第四次课 译码器	131
第五次课 TTL 集成与非门电路	100	第五次课 数字显示器件	133
第六次课 CMOS 集成逻辑门	102	第六次课 加法器	134
解题示例及习题答案	105	※第七次课 集成逻辑电路应用的有关 问题	136
第九章 数字逻辑基础	107	第十一章 集成触发器	139
内容综述	107	内容综述	139
教学目标与基本要求	107	教学目标与基本要求	139
课时安排及教学建议	107	课时安排及教学建议	139
第一次课 数制	108	第一次课 RS 触发器	140
第二次课 逻辑代数的基本公式	111	第二次课 同步 RS 触发器	141
第三次课 逻辑函数的公式化简法	113	第三次课 主从 RS 触发器	142
第四次课 逻辑变量的卡诺图表示法	115	第四次课 JK 触发器	143
第五次课 用卡诺图表示逻辑函数的 方法	118	第五次课 D 触发器和 T 触发器	145
第六次课 用卡诺图化简逻辑函数	121	第六次课 集成触发器的应用	146
第十章 组合逻辑电路	125	解题示例及习题答案	148
		第十二章 时序逻辑电路	149

内容综述	149	第二次课 多谐振荡器	162
教学目标与基本要求	149	第三次课 单稳态触发器及其应用	164
课时安排及教学建议	149	第四次课 施密特触发器	165
第一次课 时序逻辑电路及其应用概述		第五次课 555 集成定时器	167
数码寄存器	150	解题示例及习题答案	170
第二次课 移位寄存器	151	第十四章 数/模和模/数转换器	171
第三次课 二进制异步计数器	152	内容综述	171
第四次课 二进制同步计数器	154	教学目标与基本要求	171
第五次课 十进制异步计数器	155	课时安排及教学建议	171
第六次课 时序逻辑电路的应用	157	第一次课 数/模转换器	172
第十三章 脉冲波形的产生和整形电路		第二次课 倒 T 形电阻网络数/模转	
.....	159	换器	175
内容综述	159	第三次课 模/数转换器	176
教学目标与基本要求	159	第四次课 逐位比较型 A/D 转换器	178
课时安排及教学建议	159	解题示例及习题答案	179
第一次课 脉冲和 RC 波形变换电路	160		
附录 各章次学时分配表	180		

第一篇 模拟电路基础

第一章 半导体器件的基础知识

内容综述

① 模拟电子技术的教学从常用半导体器件开始,常用半导体器件主要是指半导体二极管、晶体管、场效晶体管等分立器件及集成电路等。常用半导体器件门类繁多,各成系列,产品品种难以胜数。

半导体分立器件是由半导体材料构成的,这种材料是导电性能介于导体和绝缘体之间的一种特殊物质。半导体器件重量轻、体积小、耗电少、品种齐全、工作可靠,即使是在大规模及超大规模集成电路普遍应用的今天,在许多场合,包括在集成电路的一些外部电路中,仍然是必不可少的重要部件。

② 根据本课程的任务和要求以及主教材的内容,建议教师在器件教学中,把注意力放在如何应用这些器件上,注重讨论的是把它们作为电路器件时在其外引线端表现出来的电压 - 电流及输入 - 输出关系,而各种器件的内部结构及工作时的内部物理过程则不视为本层次教学所要解决的问题。

③ 本章内容:绪论、半导体二极管、晶体管、场效晶体管。

教学目标与基本要求

① 掌握 PN 结的单向导电性,理解半导体二极管外部结构特点、伏安特性(电压 - 电流关系)及主要参数。

② 理解晶体管结构、电流放大作用、特性曲线、主要参数。

③ 了解场效晶体管结构特点、类型、电压放大作用、主要参数。

课时安排及教学建议

本章教学时数 12 学时。

序号	内 容	课 时 数		
		讲授课	拓宽或选用	实验课
1	绪论	2		
2	半导体二极管	4		
3	晶体管	4		
4	场效晶体管	2		
5	二极管伏安特性的测试			2
	小计	12		2

第一次课 绪论(2 学时)

讲好绪论课可以给本课程教学开一个好头,对于以后的教学,对于学生认真学好这门课有着重要的作用。

绪论课围绕开设本课程的意义,本课程的教学目的和要求展开,主要是以下几个方面。

一、通过介绍现代电子技术的高速发展和在四个现代化中的作用,让学生了解电子技术发展水平是国家富强的重要标志,是各行各业发展的支柱和社会进步的强大推动力,了解和具备电子技术的基本知识和技能已成为适应现代化生产、管理和人们日常生活的必要条件。

二、让学生了解电子技术具体的研究对象及发展方向,初步了解和掌握模拟及数字两种信号及其信号处理电路若干概念的含义和初步知识。

三、提出本课程的学习要求,并强调理论教学与实践学习紧密结合的重要性。

教师应通过一些具体生动的实例让学生了解电子技术,激发学生对本课程学习的浓厚兴趣、求知欲和学习积极性。

第二次课 半导体二极管(2 学时)

一、教学内容要点及难点

(一) 内容要点

① PN 结及其单向导电性。

② 半导体二极管的结构及符号。

(二) 难点:PN 结的单向导电性。

二、教学内容及安排

引入:半导体走上科学技术的舞台只有 50 余年,但却让人们看到一个接一个的奇迹。研究和应用半导体直到今天仍然是现代电子技术的主题。半导体材料是导电性能介于导体和绝缘体之间的一种特殊物质。在纯净的半导体(如硅、锗)中,通常情况下存在的自由电子和空穴两种导电粒子(称为载流子)很少,所以导电性能很差。可对纯净的半导体材料按特别的“掺杂”工艺进行加工,将其他有用的微量元素掺入纯净的半导体晶体中,若掺入的是五价元素,如磷等,就会形成以“自由电子”导电为主的半导体,称为 N 型半导体;若掺入的是三价元素,如硼等,则形成

以“空穴”导电为主的半导体,称为P型半导体。这两种半导体的导电性能大大加强,更重要的是可以通过“掺杂”工艺在硅基片或锗基片上制成PN结,PN结是P型和N型两种半导体在其交界面上形成的一种特殊结构的薄层。PN结是半导体技术的灵魂。

(一) PN结的单向导电性

1. 演示实验

按图1-1连接电路,电路中先后接入电阻 R 和PN结(二极管)。通过串接在电路中的小灯泡发亮与否,观察电路是否通路。双掷倒向开关 S 倒向右或左,可改变PN结的两端(P区端和N区端)与电源“+”、“-”极的连接方向,然后做通电测试。

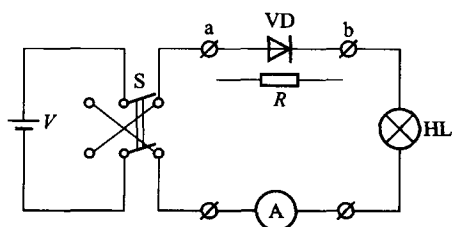


图 1-1 PN 结的单向导电性能演示电路

2. 实验现象及结论

(1) 电阻 R 的导电性能没有方向性

观察图1-1演示电路,电路中接入电阻 R ,双掷倒向开关 S 倒向右或左,串接在电路中的小灯泡都发亮,电源方向不影响电路通路。

(2) PN结的单向导电性能

实验电路中将电阻 R 改换成PN结,开关 S 倒向右,则P区接电源正极,N区接电源负极,小灯泡亮,表示电路通路,PN结导通;开关 S 倒向左,表示电源接入PN结的方向与前面相反(即PN结的N区接电源正极,P区接电源负极),小灯泡不亮,PN结截止。

PN结正向导通:在PN结上加正向电压(P区接电源正极,N区串接电源负极),这种连接称为PN结正向偏置。此时PN结处于导通状态,呈现低阻性,电路中有较大电流通过,串联在电路中的小灯泡发光。

PN结反向截止:在PN结上加入反向电压,这种连接称为PN结反向偏置。此时PN结处于截止状态,呈现高阻性,电流通过受阻,串联在电路中的小灯泡不发光。

(二) 半导体二极管的结构及符号

1. 结构

将一个PN结的两端各引出一个电极,外加玻璃或塑料的管壳封装即制成半导体二极管。它是电子电路中最常用的电子器件之一。

2. 器件符号

半导体二极管符号如图1-2所示。对应PN结图示给出半导体二极管的符号图,应在二极管的电路符号中注明正负极。

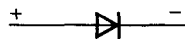


图 1-2 半导体二极管的符号

说明:半导体二极管的P端称为二极管的正极端,简称正极

(或称为二极管的阳极端,简称阳极);半导体二极管的N端,称为二极管的负极端,简称负极(或称为二极管的阴极端,简称阴极)。导通时的电流方向是由P指向N,这是PN结的正方向,也是二极管的正向。由N指向P是PN结的反方向,也是二极管的反向。

3. 分类

根据制作所用材料分类:硅二极管和锗二极管。不同材料的二极管的导电性能存在差异。

根据二极管结构分类:点结触型和面结合型。不同结构的二极管所能通过的电流大小不同。

第三次课 半导体二极管的伏安特性(2学时)

一、教学内容要点及难点

(一) 内容要点

① 半导体二极管伏安特性

② 二极管主要参数

(二) 难点:半导体二极管伏安特性。

二、教学内容及安排

引入:由概念引入,二极管的伏安特性,是指通过二极管的电流 I 与加在二极管两端的电压 V 之间的关系。用以定量描述两者关系的曲线称为伏安特性曲线。

(一) 半导体二极管的伏安特性

按图1-3(a)所示连接电路,图中VD用硅二极管。

伏安特性曲线测试的演示实验,是本教材安排的第一个学生实验。先演示实验,有利于学生仿效,这里还有一个引导学生如何做好实验的问题,教师要特别注意步骤明晰,动作规范,读数准确,不可稍有敷衍。

1. 正向特性测试

给二极管外加正向电压,外加电压很小时(小于0.5V,对锗管则外加电压小于0.1V),选定两个电压值;外加电压等于、大于0.5V再选定4~5个电压值,用毫安表测出其相应电流值,记入坐标图1-3(b)中,标以a、b、c、d、e、f、g。用连续平滑曲线连接成正向特性曲线。

说明:

① 二极管死区及死区电压值。硅二极管外加正向电压小于0.5V(或锗二极管外加正向电压小于0.1V),二极管不导通,特性曲线从0起的这一范围为二极管死区,硅管0.5V(锗管0.1V)为死区电压值。

② 二极管导通及导通电压值。硅二极管外加正向电压0.6V~0.7V导通,锗二极管外加正向电压0.2V~0.3V导通。

在做计算时为了方便,取硅二极管导通电压为正向0.7V,取锗二极管导通电压为正向0.3V。

2. 反向特性测试

二极管两端加反向电压时,自-0.1V起(电压绝对值由小到大),选定3~4个不同电压值,将电流表改用微安表,测出其相应的电流值,记入坐标图1-3(b)中,标以h、i、j、k,用连续平滑曲线连接成反向特性曲线。

说明:由二极管反向特性曲线靠近且平行于横轴说明二极管反向电流极小并保持恒定。反

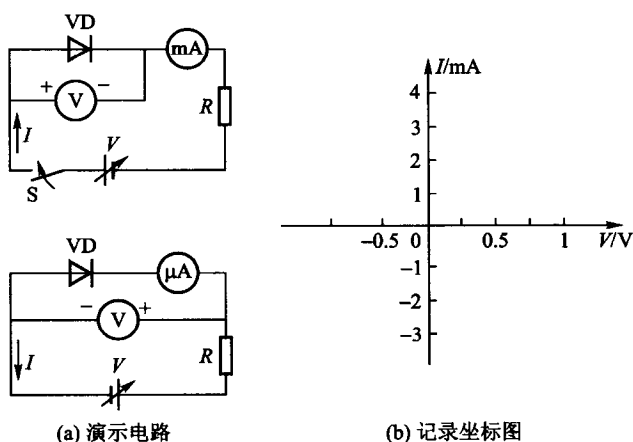


图 1-3 二极管伏安特性曲线测试演示实验

向电压大于某一特定值后二极管反向电流急速增加的现象称为击穿,常称为二极管反向击穿特性,该电压称为击穿电压。不同的二极管击穿电压值不同。

注意只按趋势作说明,不必真把管子击穿。

(二) 二极管的主要参数

二极管的性能可以用参数来表示。二极管参数是正确使用二极管的依据,二极管的种类繁多,用途不一,对其参数的要求也不一样。选用二极管时,可按需要查阅有关手册,在使用时特别要注意不要超过最大整流电流和最高反向工作电压,否则管子容易损坏。

以整流二极管为例,其主要参数有两个。

① 最大整流电流 I_F 。是指二极管长期工作时,允许通过二极管的最大正向平均电流。当电流超过该值时,长时间工作将使二极管因过热而损坏。

② 最高反向工作电压 V_{RM} 。是指二极管所能承受的最大反向电压,一般取反向击穿电压的 $\frac{1}{3} \sim \frac{1}{2}$ 值作为最高反向工作电压,以确保二极管的安全使用。

另外还有最高工作频率、极间电容等参数,可根据具体应用酌情介绍。

第四次课 晶体管(2学时)

一、教学内容要点及难点

(一) 内容要点

晶体管的类型结构及型号、电流放大作用、特性及主要参数。

(二) 难点

晶体管的电流放大作用及晶体管的输入、输出特性。

二、教学内容及安排

引入:以展示一批半导体二极管、晶体管的实物引入课题。

(一) 结构类型及型号(以 NPN 型为重点进行讨论)

晶体管是由两个 PN 结构成的三端半导体器件。

1. 结构

外部结构:晶体(发射极 E、基极 B 和集电极 C),三区(发射区、基区和集电区),两结(发射结、集电结)。

2. 类型

根据制作的基片材料分类:硅管和锗管两种,硅管性能优于锗管,故当前生产和使用的晶体管以硅管为多。

根据制作工艺分类:NPN 型及 PNP 型两种,分别有两种不同的晶体管符号。

根据管子的功能特性分类:普通管、低频管、高频管、功率管等。其中功率管又有大、中、小之分。

给出晶体管类型、外部结构、符号及 B、C、E 各个电极排列图示或挂图。

3. 型号

晶体管型号是基片材料、功能特性及制作批号的集中体现,结合教材中的附录 II 半导体器件型号命名方法(国家标准 GB 249—74)说明型号中各字母数字的意义。

以 3DG100P 为例:3 代表晶体管,D 代表 NPN 型硅材料,G 代表高频小功率管,100 代表制作批号,P 代表规格号。

(二) 晶体管的电流放大作用

电流放大作用是晶体管在模拟电路使用时表现的主要工作状态特性,以 NPN 型的 3DG100P 管为例连接成如图 1-4 所示演示实验电路。用实验数据说明较为方便和直观。

1. 演示实验

应特别注意演示实验的成败,数据的准确性对教学效果影响很大,教师课前一定要有充分准备,以保证演示实验顺利完成。

按图 1-4 所示连接电路。

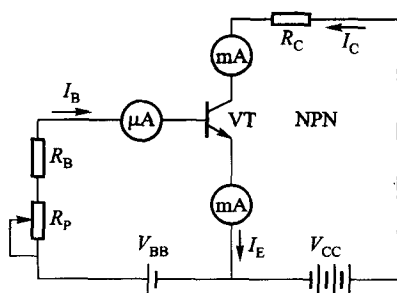


图 1-4 晶体管电流放大作用测试电路

演示实验过程如下:

调节 R_P 使 I_B 依次为 $0\ \mu\text{A}$ 、 $20\ \mu\text{A}$ 、 $40\ \mu\text{A}$ 、 $60\ \mu\text{A}$, 同时,读出与各 I_B 相应的 I_C 、 I_E 值, I_B 、 I_C 、 I_E 分别称为基极电流、集电极电流、发射极电流,记于表 1-1。

表 1-1 实验数据

实验序号	$I_B/\mu A$	I_C/mA	I_E/mA	$\beta = I_C/I_B$
1	0			
2	20			
3	40			
4	60			

2. 实验数据分析

得出如下几点重要结论:

(1) 晶体管各电极的电流分配关系

$$I_E = I_C + I_B \quad \text{且} \quad I_C \gg I_B \quad (1-1)$$

按表中数据演算归纳得出晶体管各电极的电流分配关系是:发射极电流等于集电极电流和基极电流的和。

这一电流分配关系对 NPN 管和 PNP 管都适用。

(2) 晶体管的电流放大作用

① 直流电流放大作用。基极电流 I_B 增大时, I_C 成正比例相应增大, I_C 与 I_B 的比值称为晶体管的电流放大系数, 以 $\bar{\beta}$ 表示, 即

$$\bar{\beta} = \frac{I_C}{I_B}$$

$\bar{\beta}$ 称为晶体管的直流电流放大系数, 它的大小体现了晶体管的电流放大能力。晶体管的直流电流放大系数, 手册上用 H_{FE} 表示。

② 交流电流放大作用。当基极电流发生微小变化时, 集电极电流产生较大变化。集电极电流变化量 ΔI_C 与相应基极电流变化量 ΔI_B 的比值称为晶体管的交流电流放大系数, 以 β 表示, 即

$$\beta = \frac{I_{C2} - I_{C1}}{I_{B2} - I_{B1}} = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}$$

手册上用 h_{FE} 表示。

根据表 1-1 中第三行和第四行数据, 可求得 $h_{FE} = \Delta I_C / \Delta I_B$ 。

一般情况下应有: $H_{FE} = h_{FE}$, 此处可以介绍一下 H_{FE} 及 h_{FE} 的查表方法。

第五次课 晶体管特性及主要参数(2 学时)

一、教学内容要点及难点

(一) 内容要点

① 晶体管的输入特性和输出特性。

② 晶体管主要参数。

(二) 难点: 晶体管的输入、输出特性。

二、教学内容及安排

(一) 晶体管的特性曲线

概念:晶体管的特性反映在晶体管的特性曲线上。特性曲线是用来定量描述晶体管各电极的电流 I 与加在相应极两端的电压 v 之间关系的,有输入和输出特性曲线两种形式。

了解晶体管的特性曲线对直观深入理解晶体管的特性具有重要作用。

1. 输入特性曲线

输入特性曲线是描述晶体管基极电流 I_B 与加在基极与发射极两端的电压 V_{BE} 之间关系的曲线。了解输入特性可以方便控制晶体管的工作状态。

输入特性曲线可以不作测试演示。晶体管输入特性曲线与二极管的伏安特性曲线十分相似,教师提示性地讲解一下就行,学生在掌握了二极管的伏安特性曲线的基础上,在理论与实践上接受都不应有什么问题。个别学生有兴趣,可以用课后实验解决。

若要测试:调节 R_{P2} 使 $V_{CE} = 3\text{ V}$ 并维持定值,调节 R_{P1} 至最大阻值,渐次减小 R_{P1} ,使 V_{BE} 依次为 0.1 V , 0.2 V , 0.5 V , 0.6 V , 0.7 V ,分别从微安表中读出相应的 I_B 值,记入 $I_B - V_{BE}$ 坐标图中,连接各坐标点,即得晶体管输入特性曲线。

2. 晶体管输出特性曲线

输出特性曲线是描述晶体管集电极电流 I_C (称集电极电流)与加在集电极与发射极两端的电压 V_{CE} 之间关系的曲线,曲线的高低与基极电流 I_B 的值密切相关。

(1) 晶体管的输出特性曲线的测试演示

电路如图 1-5 所示。

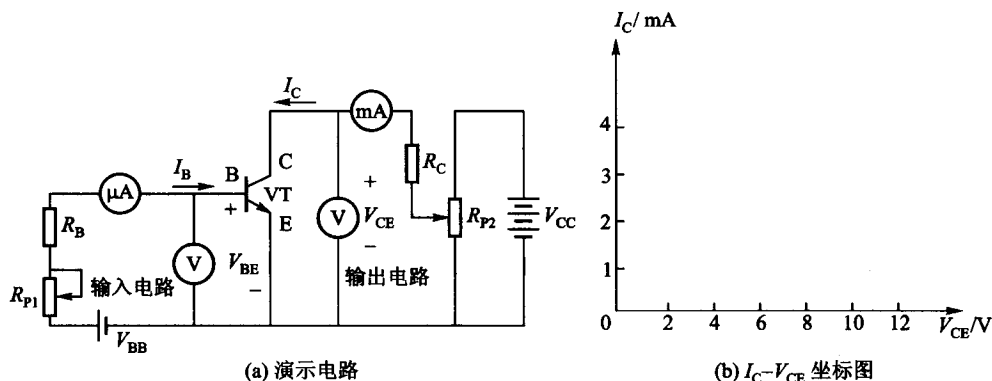


图 1-5 晶体管的输出特性曲线的测试演示

(2) 输出特性曲线测试过程及结论

① 输出特性曲线的概念。 I_B 一定时,集电极电流 I_C 与加在集电极与发射极两端的电压 V_{CE} 之间的关系,称为晶体管的输出特性,描述这一关系的坐标图称为晶体管的输出特性曲线。

② 测试过程。给定 $I_B = 40\text{ }\mu\text{A}$,由大到小调节 R_{P2} ,分别测出对应的 I_C 、 V_{CE} 值,记入 $I_C - V_{CE}$ 坐标图(图 1-5(b))中。注意应在膝点附近多选几个点。依次连接各坐标点,即得晶体管在 $I_B = 40\text{ }\mu\text{A}$ 时的输出特性曲线。

然后,给定 $I_B = 60\text{ }\mu\text{A}$ 及 $I_B = 20\text{ }\mu\text{A}$,按照同样过程,测得与 $I_B = 60\text{ }\mu\text{A}$ 及 $I_B = 20\text{ }\mu\text{A}$ 对应的晶体管输出特性曲线。

依此类推,画出 $I_B = 0\text{ }\mu\text{A}$ 、 $I_B = 80\text{ }\mu\text{A}$ 时晶体管的输出特性曲线,即得晶体管的一组输出特

性曲线族。

③ 分析。根据特性曲线的形状,分析曲线的线性上升段、膝弯段及平坦段的 I_C 、 V_{CE} 值的特点及对应晶体管的工作状态。

A. 晶体管的恒流特性。放大区内,各特性曲线平行于横轴,表示在 I_B 一定时, I_C 保持不变,且 $I_C/I_B = \beta$ 。

B. 晶体管的三个工作区。放大区、截止区和饱和区。

三个工作区对应晶体管的三种工作状态,就是放大状态、截止状态和饱和状态。这三种状态反映了晶体管的电流放大作用及开关作用。

(二) 晶体管的主要参数

晶体管的性能参数是选用晶体管的依据。主要参数有下面几个。

1. 电流放大系数 β

电流放大系数表示晶体管在共射极放大状态下的电流放大能力。交流电流放大系数与直流电流放大系数是指晶体管在共射极放大的不同状态下的电流放大能力,两者本质是一回事,在相同工作条件下, $\beta = \bar{\beta}$ 。常用晶体管的 β 值一般在 20 ~ 200 之间。

2. 极间反向饱和电流

极间反向饱和电流产生于极间反向电压,是少数载流子形成的电流。其值越小,管子对温度的稳定性越好,管子质量越好。这种电流在反向电压达到一定值后,不受电压大小变化的影响,称为饱和。

极间反向饱和电流包含两个量,集 - 基反向饱和电流 I_{CBO} 和集 - 射反向饱和电流 I_{CEO} , I_{CEO} 又称穿透电流。

基极开路电流 $I_B = 0$,但仍有一个微小的集电极电流出现,这就是穿透电流 I_{CEO} ,它和集 - 基反向饱和电流 I_{CBO} 之间应满足电流放大关系

$$I_{CEO} = (1 + \beta) I_{CBO}$$

I_{CEO} 是衡量晶体管质量的一个重要参量,此值越小,晶体管的工作越稳定。

3. 三个极限参数

集电极最大允许电流 I_{CM} 、集电极与发射极的反向工作电压 $V_{(BR)CEO}$ 、集电极最大允许耗散功率 P_{CM} ,结合晶体管的最大耗散曲线图,讲清其物理意义。

要使晶体管起电流放大作用,晶体管应工作在放大状态,必须满足其放大工作条件。也就是使发射结处于正向偏置(在 B、E 两极间加正向电压),同时使集电结处于反向偏置(在 C、E 极间加反向电压)。

(三) 小结

从以下四个方面简单归结。

① 晶体管的外部结构及分类。有三极、三区、两结;根据制作的基片材料进行分类,有硅管(一般是 NPN 型)和锗管(一般是 PNP 型)两种,硅管性能优于锗管。

② 晶体管各电极的电流分配关系: $I_E = I_C + I_B$ 且 $I_C \gg I_B$ 。

③ 晶体管具有电流放大作用,可以实现以小电流控制大电流。

④ 晶体管的工作特性以晶体管的特性曲线来表示,有输入和输出两种特性曲线。