

模拟电子技术应用 Analog Electronics 与实践教程

■ 王心环 主编
■ 马晓霞 陈亮 副主编



清华大学出版社



北京交通大学出版社

模拟电子技术应用与实践教程

王心环 主 编
马晓霞 陈 亮 副主编

清华大学出版社
北京交通大学出版社
· 北京 ·

内 容 简 介

本书是依据高职、高专培养目标的要求,本着理论够用、应用为主、注重实践的教学思想编写的实用性较强的教材。本书采用“项目化教学”,以两个综合性较强的大项目作为主线,贯穿整个教材;每个大项目分为几个模块,每个模块由若干个任务组成,通过完成任务而达到学习相应知识的目的。在每个任务中还安排了一些实用的实训题目,以供读者练习。

本书可作为高职高专类的计算机、电子、信息技术、电气自动化等专业的模拟电子技术课程的教学用书,也可供从事电子信息技术的工程技术人员或爱好者参考使用。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13501256678 13801310933

图书在版编目(CIP)数据

模拟电子技术应用与实践教程/王心环主编. —北京:清华大学出版社;北京交通大学出版社, 2011.3

ISBN 978-7-5121-0522-5

I. ①模… II. ①王… III. ①模拟电路-电子技术-高等学校:技术学校-教材
IV. ①TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 026746 号

责任编辑:谭文芳 特邀编辑:李晓敏

出版发行:清华大学出版社 邮编:100084 电话:010-62776969

北京交通大学出版社 邮编:100044 电话:010-51686414

印刷者:北京泽宇印刷有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印张:6 字数:150千字

版 次:2011年3月第1版 2011年3月第1次印刷

书 号:ISBN 978-7-5121-0522-5/TN·76

印 数:1~3 000册 定价:12.00元

本书如有质量问题,请向北京交通大学出版社质监组反映。对您的意见和批评,我们表示欢迎和感谢。

投诉电话:010-51686043, 51686008; 传真:010-62225406; E-mail: press@bjtu.edu.cn。

前 言

高等职业教育肩负着培养面向生产、建设、服务和管理第一线所需要的高素质技能型人才的使命。本书依据高职高专培养目标的要求,本着理论够用、应用为主、注重实践的教学思想而编写,符合最新的模拟电子技术教材的发展方向。

本书的编写人员均是高职高专电子技术第一线的教师,具有多年教授模拟电子技术课程的丰富经验。在多年的教学过程中,一直在不断探索适合高职高专学生的教学方法,逐步形成一套完整的电子技术教学体系:即以就业为导向,将基于工作过程的教学方法融入模拟电子技术课程的教学实践中,采用以项目带动教学的方式,先让学生动手做项目,然后再结合项目讲解理论的方法进行教学。其中两个综合性很强的大项目贯穿了整个教学过程,项目中所用的电路,是几位教师在教学过程中经过实践得到验证的。

本书在内容取材和安排上,具有以下特点。

(1) 以两个综合性较强的大项目作为主线,贯穿整个教材。每个大项目分为几个模块,每个模块由若干个任务组成,通过完成任务而达到学习相应知识的目的。

(2) 根据高职高专学生的实际情况,本书删除了烦琐的理论计算和推导,对集成电路的内部结构也不做详尽介绍,只介绍性能特点和使用方法,力求简明扼要、通俗易懂,突出重点;以应用为目的,理论只要够用就行,突出高职高专的教学特色。

(3) 为顺应模拟电子技术的发展动向,注重介绍模拟电路的新理论、新技术、新器件。如集成运算放大器、集成三端稳压器、开关电源等一些常用的模拟集成电路;还介绍了一些较新的电子器件,如 DS18B20 智能温度传感器等。

(4) 为了加强本书的实践效果,每个模块均设置一些实训题,学习者通过做实验来加强理解所学知识。尤其增加了一些如晶体管闪光电路等有趣的实训题目,以激发学习者的学习兴趣。此外,为便于教与学,本书配有多种类型的案例,以巩固基本概念、基本知识,开阔视野,掌握实际应用知识;还穿插安排了一些思考与练习,来扩充基本内容所用,以加深理解。

本书共分为 7 个模块,主要内容包括:半导体器件、基本放大电路、负反馈放大电路、功率放大电路、传感器介绍及应用、集成运算放大器电路及应用、波形发生电路、直流稳压电源。参考教学时数为 96 学时。

本书由王心环主编,马晓霞、陈亮任副主编。模块 1.1、模块 1.2、模块 1.3 由马晓霞编写;模块 2.1、模块 2.4 由王心环编写;模块 2.2、模块 2.3 由陈亮编写。全书由王心环统稿。在本书的编写过程中,李迎春老师在教学内容和方法上给予很多的指导,并提供了大量素材;胡冶刚老师给予大力的支持并提出很多宝贵建议;叶曲炜老师在编写思路上给予较大的启发,在此一并表示感谢。

由于编者水平有限,书中如有疏漏和不妥之处,恳请读者批评指正。

编 者

2011 年 3 月

目 录

项目 1 设计制作简易扩音器	1
模块 1.1 走进半导体元器件的世界	2
任务 1.1.1 认识二极管	2
任务 1.1.2 认识三极管	4
任务 1.1.3 认识场效应管	8
思考与练习	8
模块 1.2 透析放大电路	8
任务 1.2.1 基本共发射极放大电路	9
任务 1.2.2 工作点稳定的放大电路	13
任务 1.2.3 反馈放大电路	15
任务 1.2.4 共集电极放大电路	19
任务 1.2.5 多级放大电路	20
思考与练习	21
模块 1.3 功率放大电路	23
任务 1.3.1 认识功放	23
任务 1.3.2 交越失真的产生及消除	24
任务 1.3.3 OTL 功率放大电路	27
思考与练习	28
项目 2 温度报警器	29
模块 2.1 物质信息的感觉器官——传感器	29
任务 2.1.1 感应温度变化的触角——温度传感器	30
任务 2.1.2 传感器种类繁多	34
任务 2.1.3 医用传感器介绍	37
思考与练习	39
模块 2.2 信号调理电路	40
任务 2.2.1 集成运算放大器	40
任务 2.2.2 运算放大电路	45
任务 2.2.3 多级放大电路的实现	54
任务 2.2.4 电压比较器	55
任务 2.2.5 振荡电路的实现	58
任务 2.2.6 功率放大电路的实现	59
任务 2.2.7 测量与调试	60
思考与练习	60

模块 2.3 波形产生电路 62

 任务 2.3.1 正弦波信号产生电路 62

 任务 2.3.2 其他几种正弦波信号振荡电路 64

 任务 2.3.3 方波信号的产生 69

 任务 2.3.4 三角波信号的产生 70

 思考与练习 71

模块 2.4 电路的能量供应站——直流稳压电源 72

 任务 2.4.1 电网的交流电转换为稳定的直流电 72

 任务 2.4.2 利用整流电路将交流电转换为脉动直流电 73

 任务 2.4.3 滤波电路 77

 任务 2.4.4 稳压电路 80

 思考与练习 86

项目 1 设计制作简易扩音器

【项目要求】掌握简易扩音电路的有关理论知识,完成图 1-0-1 所示的各部分电路的学习,并动手制作这个简易的扩音器。在小信号的作用下,使该扩音器的喇叭发出声音,同时通过整机调试,产生不失真的波形。

【实施方案】首先建立扩音电路的基本印象,了解简单扩音器电路的几个部分;然后将扩音电路分解,逐一分析每一部分的工作现象、产生原因等;最后由扩音电路引申出三极管电路的主要知识点,使学生在做中学、学中做。

三极管是模拟电子技术的核心元器件之一,尽管现代电子行业普遍采用集成电路实现各种功能,但是掌握三极管的基本应用是学习模拟电子技术的关键。

下面先来看图 1-0-1 所示的电路(先不要考虑各元器件参数)。这个电路分为几个部分?它能实现怎样的功能呢?

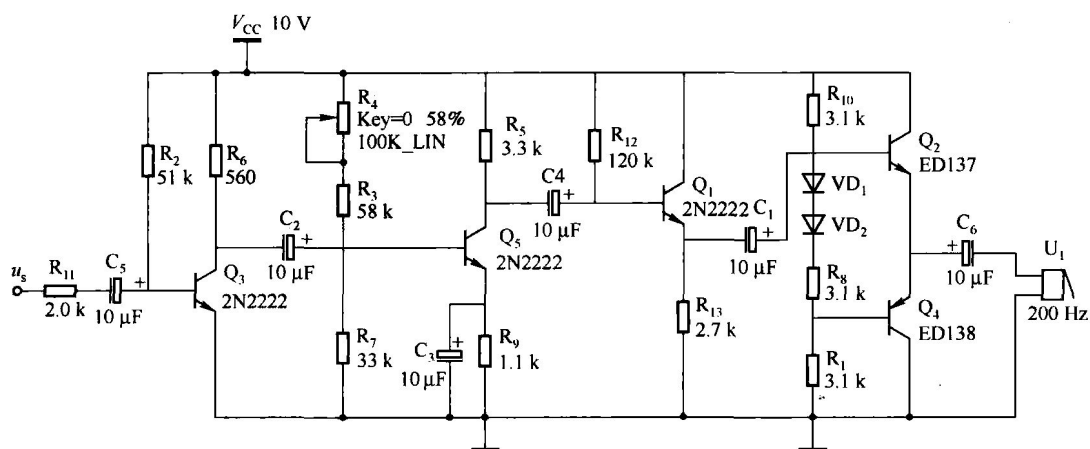


图 1-0-1 简易扩音器电路

图 1-0-1 电路是一个简易的扩音器电路,该电路可以分为图 1-0-2 所示的三大部分。扩音电路能够实现将小信号进行放大到足够幅度时,经过功率放大电路,推动喇叭发出声音。

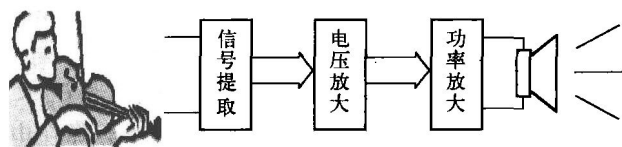


图 1-0-2 扩音电路框图

理解这个电路以后,同学们自己也能够制作一个扩音器。

模块 1.1 走进半导体元器件的世界

【学习目标】

- ◇ 掌握二极管单向导通的特性
- ◇ 理解三极管的基本特性
- ◇ 了解三极管的放大原理

任务 1.1.1 认识二极管

1. 任务与实施

- (1) 任务:分析二极管的特性。
- (2) 实施:在扩音电路中,在电路的最后一级使用,二极管主要用来消除电路中的交越失真现象。这一部分将会在后续的模块中进行具体分析。首先来认识二极管。

2. 案例分析

二极管的电路符号如图 1-1-1(a)所示,图 1-1-1(b)是二极管的外观图。从图中不难发现,二极管有两个电极。其中一个为阳极(正极 +);另一个为阴极(负极 -)。这与二极管内部微观结构是分不开的,在此不再赘述。

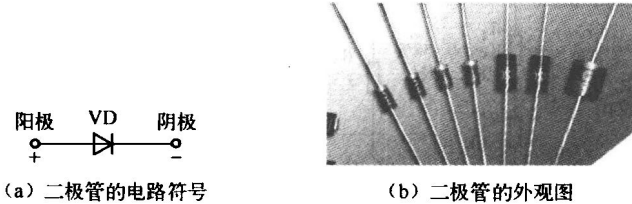


图 1-1-1 二极管

【案例 1】 下面通过一个实验体会二极管的主要特性。按照图 1-1-2 所示插接电路,注意二极管的极性。输入信号 u_i 为 5 V、1 kHz 的正弦波信号,用示波器观察输入信号 u_i 和输出信号 u_o 之间的关系。

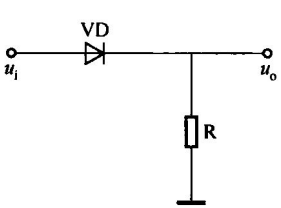


图 1-1-2 二极管特性研究电路

同学们通过示波器只看到有半个周期的波形输出,而另外半个周期的波形是一条直线。

结论是:二极管具有单向导电的特性。
根据此实验现象,完成下面案例 2。

【案例 2】 如图 1-1-3(a)所示电路,输入正弦波信号 $u_i = U_m \sin \omega t, U_m > E$, 分析输出 u_o 的波形。

分析:正半周时,开始 u_i 较小,当 $U_m < E$ 时,二极管是反偏,处于截止状态,输出为 E ;当 $U_m > E$ 时,二极管导通,信号 U_m 就会降在电阻 R 上,输出为 U_m 。
 $U_m < E$ 时,二极管又截止,输出 $u_o = E$ 。负半周时,二极管截止, $u_o = E$,故波形如图 1-1-3(b)所示。

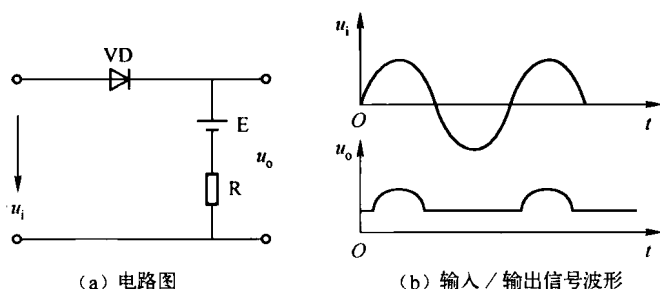


图 1-1-3 案例2 电路图和输入/输出信号波形

3. 知识链接

二极管的单向导电性源于其内部结构。二极管的两极是由两种不同的杂质半导体决定的。

小知识——杂质半导体

自然界的物质根据导电性分成：导体、半导体和绝缘体。自然界中固态的硅、锗经过复杂的提纯过程得到本征半导体。本征半导体受到外界影响，如光照等，内部的电子就会活跃起来，挣脱共价键的束缚成为自由电子，这个现象称为本征激发。自由电子产生的同时，其原有位置就会出现一个空位，称为空穴。

在本征半导体中，存在着自由电子和空穴，它们是成对出现的，称为空穴电子对。

在本征半导体中人为地掺入微量元素作为杂质，一般掺入的主要是3价元素或5价元素，掺入杂质的半导体就称为杂质半导体。

这两种杂质半导体分别是N型半导体和P型半导体，它们是由纯净的本征半导体掺入+5价元素和+3价元素得到的，在此不展开讲述。由它们结合的接触面称为PN结。PN结在外加正向电压时，有电流流过，PN结处于导通状态；而外加反向电压时不导通，也就没有电流流过，此时PN结处于截止状态。此外，PN结还具有一定的电容效应，称为结电容。

小知识——PN结

本征半导体中掺入+5价元素后，内部自由电子数目远大于空穴数，自由电子称为多数载流子，而空穴称为少数载流子。这种杂质半导体称为N型半导体（电子型半导体）。

本征半导体中掺入+3价元素后，内部空穴数目远大于自由电子数，空穴称为多数载流子，而自由电子称为少数载流子。这种杂质半导体称为P型半导体（空穴型半导体）。

当N型半导体和P型半导体结合后，自由电子和空穴由于浓度差而产生运动，在结合处形成一个耗尽层。因这个耗尽层处于N型半导体和P型半导体的交界处，故称为PN结。

将PN结装入壳内加上电极，引出引线，就构成了二极管。

对于二极管的单向导电性，可以通过二极管伏安特性曲线来进一步理解，如图1-1-4所示。

从图中不难看出，二极管在所加正向电压较小时，正向电流几乎为零，这个工作区域称为死区。当电压增大到大于死区电压时，二极管导通，把这个电压称为死区电压（或门槛电压）。一般来说，若二极管充分导通，硅管的死区电压约为0.5V，锗管的死区电压约为0.2V。当二极管充分导通后，正向电压基本不变。通常认为，硅管正向导通电压为0.7V，锗管为0.3V。

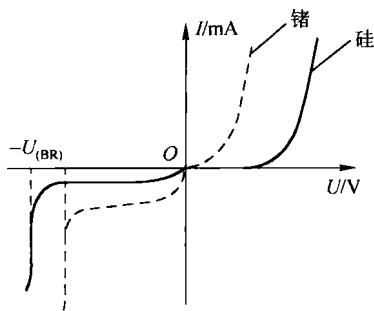


图 1-1-4 二极管伏安特性曲线

当二极管两端加反向电压时,在较大范围内,反向电流不随反向电压变化而变化,其值几乎为零。但当反向电压增大到一定程度时,反向电流迅速增加,二极管被击穿。对于普通二极管而言,一旦击穿不可恢复,二极管损坏。

以下介绍两种特殊二极管。

1) 稳压二极管

普通二极管反向击穿后就被烧毁,但稳压二极管采用特殊制作工艺,利用二极管反向击穿的特性,制成反向击穿后可恢复的二极管,就是稳压二极管。反向击穿后的压降是稳定的,而流过的电流可以在很大的范围内变化。其电路符号及特性曲线如图 1-1-5 所示。

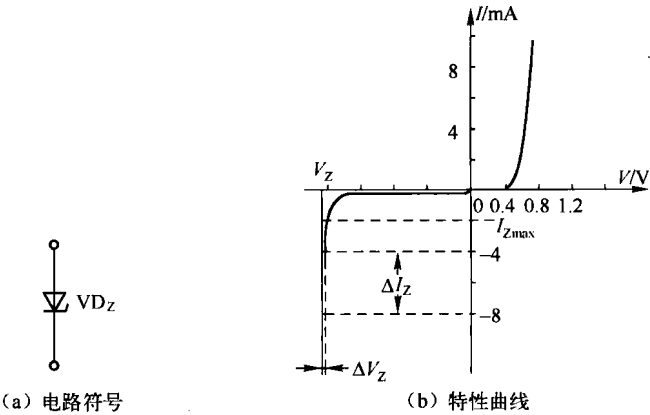


图 1-1-5 稳压二极管

2) 发光二极管

镓、砷、磷化合物中的电子与空穴复合时会产生能量,放出光子。砷化镓中加一些磷,则可发出红色光,磷化镓可以发出绿色光。使用时在二极管上加正向电压,并串接适当的限流电阻即可。

任务 1.1.2 认识三极管

如图 1-1-6 所示的元器件即为实验室常用金属壳半导体三极管外观。此外,还有大功率三极管、塑封三极管、贴片三极管等,它们的外观是有区别的,随着知识量的增多,会逐步认识它们。

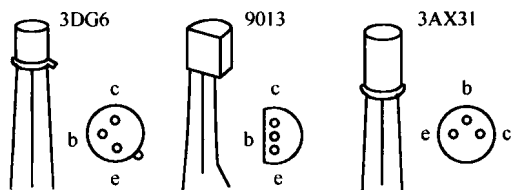


图 1-1-6 金属壳半导体三极管外观

1. 任务与实施

三极管有 3 个引脚, 分别用 B、C、E 表示, 依次代表基极、集电极和发射极。三极管分为 NPN 型和 PNP 型两种, 用图 1-1-7 所示的电路符号表示, 注意箭头的方向。这两种类型的三极管的工作原理类似, 不同的是连接电源的极性和管内电流的方向。

以 NPN 型为例进行讲解, 具体认识三极管的有关特性。

在面包板上插接如图 1-1-8 所示电路, 看看有什么现象?

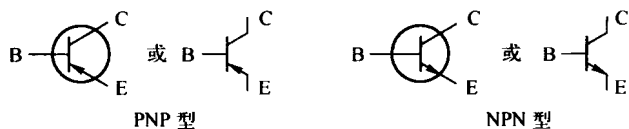


图 1-1-7 三极管电路符号

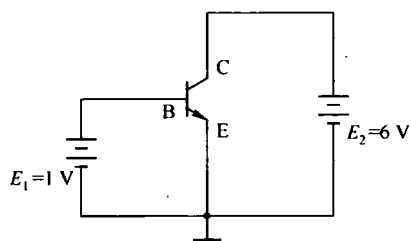


图 1-1-8 三极管功能测试电路

通过观测, 实验结果是怎样的? 基极 B 处电流的大小为_____, 集电极 C 处电流的大小为_____。有什么发现? 很显然, C 处电流表的读数远远大于 B 处电流表的读数, 这意味着三极管集电极电流远远大于基极电流。

2. 知识链接

通过上述实验得出一个结论: 三极管的基本特性是电流放大特性。由于三极管的内部结构比较复杂, 在此不作详细分析, 但是可以把它理解为由两个背靠背的 PN 结构成。

同学们需要掌握的是, 要想使三极管具有放大能力, 必须满足的外部条件: 三极管发射结正向偏置, 集电结反向偏置, 如图 1-1-9 所示三极管基本偏置电路。

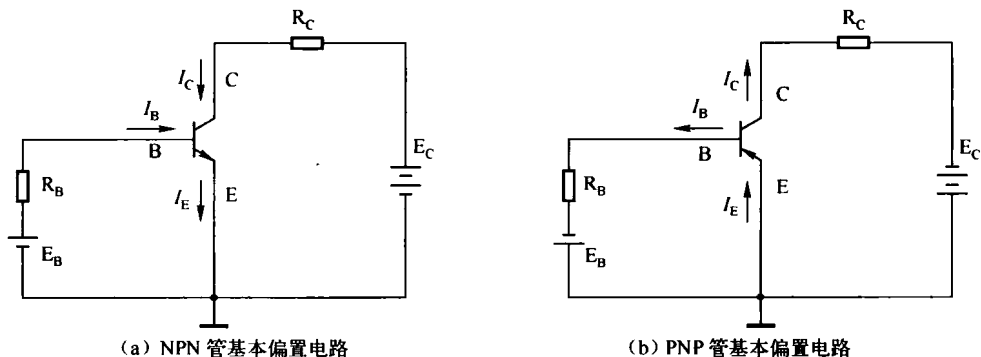


图 1-1-9 三极管基本偏置电路

三极管既然具有电流放大能力,那么到底能放大多少呢?

三极管的放大能力的多少即为电流放大倍数,用 β 或 h_{FE} (注意观察万用表)表示。首先要判断三极管的种类,是NPN型还是PNP型;然后通过万用表进行测量,就可以得到三极管的放大倍数。

三极管的电流放大倍数可以分为直流放大倍数和交流放大倍数,由于在低频状态下,两个放大倍数近似,因此可以统一用公式(1-1-1)进行测算。

$$\beta = \frac{I_C}{I_B} \quad (1-1-1)$$

在式(1-1-1)中电流 I_C 和 I_B 分别是三极管集电极电流和基极电流,还有一支发射极电流,用 I_E 表示。根据基尔霍夫定律,这三个电流之间应满足公式(1-1-2)。

$$I_E = I_C + I_B \quad (1-1-2)$$

下面,进一步认识三极管。

三极管有两种特性曲线和三种工作状态。

1) 三极管特性曲线

三极管特性曲线是描述三极管各电极之间电压与电流关系的曲线,分为输入特性曲线和输出特性曲线。以NPN型三极管为例,初步认识这两种曲线。

(1) 输入特性曲线,是指晶体管集-射极电压 U_{CE} 为一定值时,基极电流 I_B 与基-射极电压 U_{BE} 之间的关系曲线,如图1-1-10(a)所示。

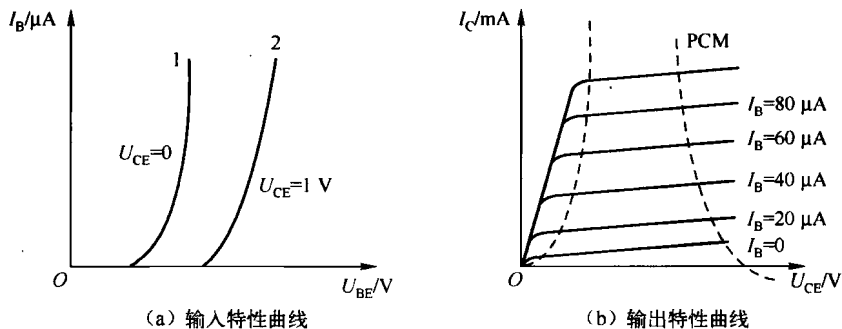


图 1-1-10 三极管特性曲线

在此,需要掌握死区电压(也称门槛电压)。低于这一死区电压值时,三极管发射结不导通;当电压大于此死区电压值时,基极电流迅速增大。死区电压与二极管介绍的一致。

(2) 输出特性曲线,是指三极管在保持基极电流 I_B 为一定值时,集电极电流 I_C 与集-射极电压 U_{CE} 之间的函数关系,如图1-1-10(b)所示。由图可见,当 I_B 不变时, I_C 不随电压 U_{CE} 变化而变化;当 I_B 改变时, I_C 和 U_{CE} 的关系是一组平行的曲线族。这组曲线可以分为以下三个工作区域。

- 截止区:一般将 $I_B \leq 0$ 的区域称为截止区。当 $I_B \leq 0$ 时, I_C 趋于0,发射结零偏或反偏,集电结反偏,三极管C-E之间相当于短路状态,电路无放大作用。
- 饱和区:图示虚线左侧以内区域称为饱和区。饱和区中发射结和集电结均处于正偏状态,集电极失去收集基区载流子的能力,故 I_C 与 I_B 几乎无关,仅与 U_{CE} 变化有关。 I_B 对 I_C 失去控制能力,故无放大作用。
- 放大区:在截止区和饱和区中间,各曲线接近水平,且间隔基本相等的区域称为放大区。在放大区发射结正偏,集电结反偏,放大器正常工作在放大状态。

2) 三极管工作状态

三极管工作在这不同的三个区域,形成三种工作状态:截止状态、饱和状态和放大状态。截止状态和饱和状态下三极管失去放大能力,而只有工作在放大状态下具有放大能力。三极管工作在放大状态的条件是:发射结正偏,集电结反偏。因此,不难得出一个结论:NPN型三极管,工作在放大状态时各极电压大小为: $V_C > V_B > V_E$;而PNP管工作在放大状态时各极电压大小为: $V_C < V_B < V_E$ 。

3) 三极管的三种组态

三极管在电路中有三种不同的连接方式,称为三种组态:共射极组态(GE)、共基极组态(GB)和共集电极组态(GC),如图1-1-11所示。不同的连接方式,其特性也不同。

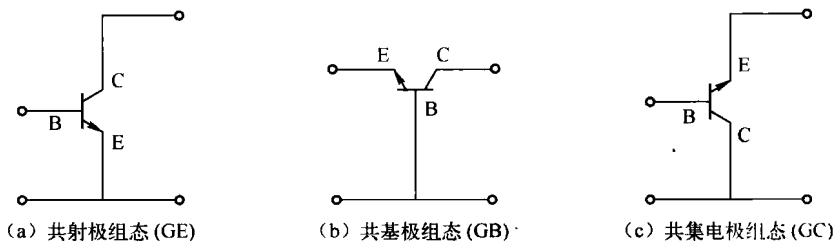


图 1-1-11 三极管的组态

简单地说,共射极电路既具有电压放大能力,也具有电流放大能力,放大电路中使用较多。共基极电路只有电压放大能力,使用较少。共集电极电路有电流放大能力,也有一定的功率放大能力,且因为其输入阻抗较高、输出阻抗较低的优点,经常应用在输出、输入端和两级放大器中间作为隔离级,进行阻抗匹配。

3. 案例分析

测得三只 NPN 型晶体三极管的直流电位如图 1-1-12 所示,试判断它们的工作状态。

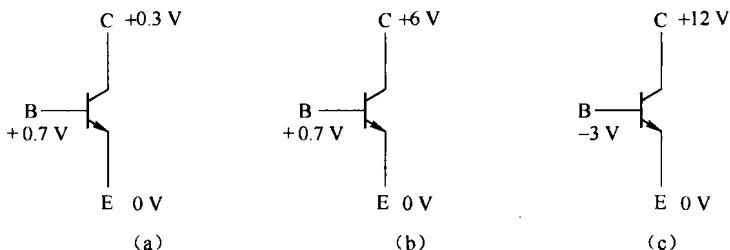


图 1-1-12 案例1 分析图

分析:图 1-1-12(a)中发射结正偏,集电结也正偏,所以该管工作在饱和状态。图 1-1-12(b)中发射结正偏,集电结反偏,所以该管工作在放大状态。图 1-1-12(c)中晶体管发射结反偏,集电结也反偏,所以该管工作在截止状态。

4. 实训题

晶体管闪光电路,如图 1-1-13 所示。观察现象,并进行分析回答下述问题。

问题:

- (1) 两个发光二极管的现象是什么?
- (2) 电路中电容起到了什么作用?

(3) 如果选用两个不同类型的三极管,现象还存在吗?

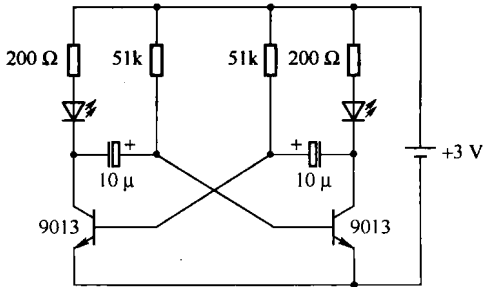


图 1-1-13 晶体管闪光电路实验

任务 1.1.3 认识场效应管

关于场效应管,需要掌握以下三点内容。

- (1) 场效应管是利用改变半导体的电场效应的强度来实现对其导电能力控制的半导体器件,它是不同于三极管的新型器件。
- (2) 场效应管分为结型和绝缘栅型两大类。
- (3) 场效应管具有体积小、重量轻、耗电低、寿命长、输入电阻高、热稳定性好、制造工艺简单、便于集成化生产等优点。

思考与练习

- (1) 怎样用万用表区分三极管是 PNP 型还是 NPN 型?
- (2) 电路如图 1-1-14 所示。设输入信号 $u_i = U_m \sin \omega t$, 试画出输出波形 u_o 。

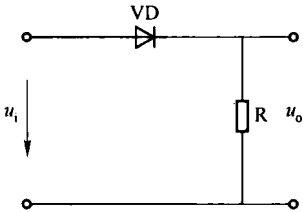


图 1-1-14 思考与练习的图

- (3) 在电视机电路中测得某三极管引脚电位分别为 $U_1 = 10\text{ V}$, $U_2 = 5.7\text{ V}$, $U_3 = 5\text{ V}$ 。试根据三极管三个极的电位,判断这个三极管是硅管还是锗管? PNP 型还是 NPN 型?

模块 1.2 透析放大电路

【学习目标】

- ✧ 掌握放大电路各元件的作用
- ✧ 掌握放大电路的静态和动态分析方法
- ✧ 理解放大电路的电路结构和工作原理
- ✧ 了解负反馈放大电路的作用
- ✧ 了解多级放大电路的耦合方式、放大能力

任务 1.2.1 基本共发射极放大电路

任务 1.2.1.1 静态和动态参数分析

1. 任务与实施

如图 1-2-1 所示,该电路是一个由两电阻构成的放大电路,在三极管功能测试电路中,得到如下结果:当集电极电阻 R_C 变化时,输出波形 u_o 发生改变,且 u_o 和 u_i 的比值也会发生变化。那么, u_o/u_i 是什么? 为什么会产生上述的实验现象?

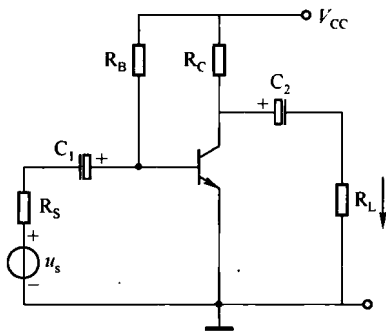


图 1-2-1 基本共发射极放大电路

下面进行具体分析。

2. 知识链接

在弄清上述问题之前,有必要了解如下知识。

如图 1-2-1 所示放大电路中三极管工作在共射级组态下,因此称这样的放大电路为共发射极放大电路,简称共射放大电路。此外还有共集电极放大电路和共基极放大电路。图 1-2-1 所示电路是哪一种呢?

图 1-2-1 是基本共发射极放大电路。在这个电路中,各元件所起的作用分别是: V_{CC} 为直流电压,为三极管提供偏置电压,同时也为电路提供能量; R_C 是集电极电阻,它将集电极电流的变化转变为集电极电压的变化; R_B 是基极偏置电阻,其阻值比 R_C 大得多,它为基极提供一个合适的电流;电容 C_1 、 C_2 称为耦合电容,在电路中起到“隔直通交”的作用; R_L 为负载电阻。

对于任意放大电路,其中既有直流成分,又有交流成分。为了方便起见,常将含直流成分的电路作为直流电路、含交流成分的电路作为交流电路分别进行分析。

1) 直流电路分析

因电容具有“隔直通交”的作用,因此画直流通路图时,电容视为开路,其他元件保持不变,可以得到图 1-2-2 所示电路。

由直流通路图可知静态工作点(也称为 Q 点)为:

$$I_{BQ} = \frac{V_{CC} - U_{BE}}{R_B} \quad (1-2-1)$$

$$I_{CQ} = \beta I_{BQ}$$

$$U_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ} R_C$$

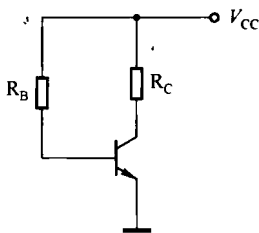


图 1-2-2 直流通路图

思考:若图 1-2-2 所示电路中各参数分别为: $V_{CC} = 12\text{ V}$, $U_{BE} = 0.7\text{ V}$, $R_B = 240\text{ k}\Omega$, $R_C = 2\text{ k}\Omega$, $\beta = 50$,求静态工作点。

2) 交流分析

三极管是一种非线性器件,为便于分析电路可以对它进行近似处理,这就是微变等效电路分析法。共发射极晶体管等效电路如图 1-2-3 所示。

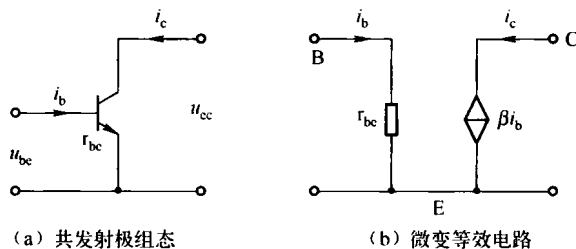


图 1-2-3 共发射极晶体管等效电路

画出微变等效电路后,就可以根据分析线性电路的方法,分析放大电路的电压放大倍数 A_u 、输入电阻 r_i 和输出电阻 r_o 。

输出信号 u_o 的幅度与输入信号 u_i 的幅度的比值就是电压放大倍数,用 A_u 表示。通过实验发现,当放大电路正常放大时, u_o 和 u_i 的相位关系是相反的,因此它们的比值带有负号,交流通路如图 1-2-4 所示。

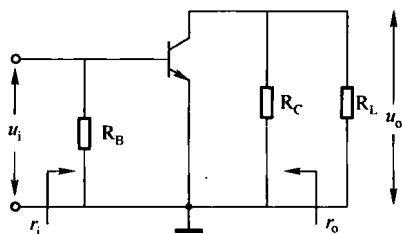


图 1-2-4 基本放大电路交流通路

根据电压放大倍数的定义可知其公式为:

$$A_u = \frac{u_o}{u_i} = -\frac{i_c R'_L}{i_b r_{be}} = -\beta \frac{R'_L}{r_{be}} \quad (1-2-2)$$

其中, $R'_L = R_C // R_L$ 。 r_{be} 是三极管基极与发射极之间的等效电阻,可以用公式(1-2-3)进行如下估算。

$$r_{be} = 300 + (1 + \beta) \frac{26}{I_{EQ}} (\Omega) \quad (1-2-3)$$

下面再了解一下输入电阻 r_i 和输出电阻 r_o 。输入电阻是指放大电路输入端对地的交流等效电阻;输出电阻是指放大电路空载时,输出端对地的交流等效电阻。由图 1-2-4 可知:

$$\begin{aligned} r_i &= R_B // r_{be} \\ r_o &\approx R_C \end{aligned} \quad (1-2-4)$$

通过上述分析不难得出,基本共发射极放大电路具有 3 个特点:一是既有电流放大能力又有电压放大能力;二是输出电压和输入电压相位相反;三是输入电阻主要由基极偏置电阻与 r_{be} 的并联值决定,而输出电阻主要由集电极电阻 R_C 决定。

3. 案例分析

根据所学内容,分析以下案例,将得出一些重要的结论。

电路如图 1-2-5 所示,已知:放大电路电源电压 $V_{CC} = 12\text{ V}$, $R_B = 300\text{ k}\Omega$, $R_C = R_L = 4\text{ k}\Omega$, $\beta = 37.5$,忽略导通电压 U_{BE} ,分析完成以下内容。

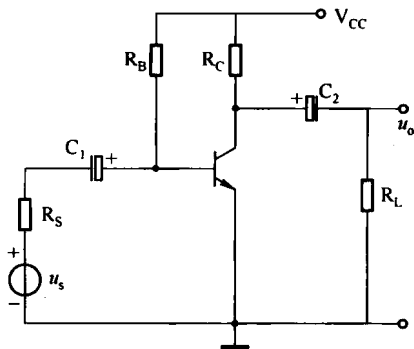


图 1-2-5 案例 1 电路图

- (1) 求解静态工作点 I_{BQ} 、 I_{CQ} 、 U_{CEQ} 。
 - (2) 求解电压放大倍数 A_u 。
 - (3) 若其他参数不变,基极电阻改变为 $R_B = 500\text{ k}\Omega$,求解(1)和(2)中的内容。
 - (4) 若其他参数不变,基极电阻改变为 $R_B = 200\text{ k}\Omega$,求解(1)和(2)中的内容。
 - (5) 若其他参数不变,集电极电阻改变为 $R_C = 2\text{ k}\Omega$,求解(1)和(2)中的内容。
- 下面先来分析案例的前两个问题。

(1) 求静态工作点,可以根据公式(1-2-1)求解。

$$I_{BQ} = \frac{V_{CC} - U_{BE}}{R_B} \approx \frac{E_C}{R_B} = \frac{12}{300} = 40\text{ }\mu\text{A}$$

$$I_{CQ} = \beta I_{BQ} = 37.5 \times 40 = 1500\text{ }\mu\text{A} = 1.5\text{ mA}$$

$$U_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ} \cdot R_C = 12 - 1.5 \times 4 = 6\text{ V}$$

(2) 求电压放大倍数,可以根据公式(1-2-2)求解。

$$r_{be} = 300 + (1 + \beta) \frac{26}{I_{EQ}} \approx 300 + (1 + 37.5) \frac{26\text{ mV}}{1.5\text{ mA}} = 967\text{ }\Omega$$

$$A_u = -\beta \frac{R'_L}{0.967} = -37.5 \times \frac{4//4}{0.967} = -78$$

补充一点,如果没有负载,则放大倍数为

$$A'_u = -\beta \frac{R_C}{r_{be}} = -37.5 \times \frac{4}{0.967} = -156$$

采用同样的方法将其余三个问题进行分析,得到如下结果。

(3) $R_B = 500\text{ k}\Omega$, $I_{CQ} = 0.9\text{ mA}$, $r_{be} = 1.41\text{ k}\Omega$, $A_u = -53$

(4) $R_B = 200\text{ k}\Omega$, $I_{CQ} = 2.25\text{ mA}$, $r_{be} = 0.74\text{ k}\Omega$, $A_u = -101$

(5) $R_C = 2\text{ k}\Omega$, $I_{CQ} = 1.5\text{ mA}$, $r_{be} = 0.967\text{ k}\Omega$, $A_u = -52$

观察案例分析的结果,由此得出以下结论。