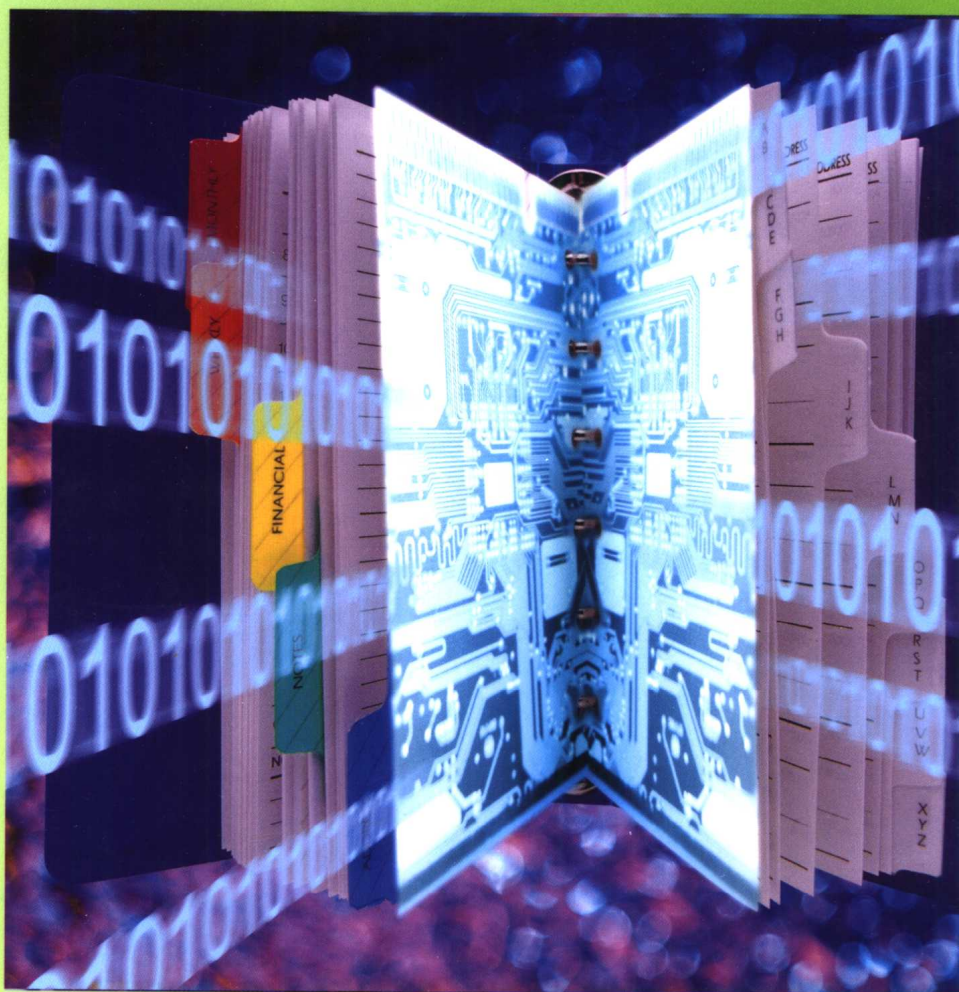


模拟电子技术基础 学习指导与习题解答

谢红 主编

MONI DIANZI JISHU JICHU
XUEXI ZHIDAO YU XITI JIEDA



哈尔滨工程大学出版社

1-44
9



哈尔滨工程大学
国家工科基础课程教学基地
电工电子类系列教材

模拟电子技术基础

学习指导与习题解答

主 编 谢 红
副主编 白红哲
主 审 段振新

哈尔滨工程大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

模拟电子技术基础学习指导与习题解答/谢红主编.
哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社,2003.6
ISBN 7-81073-450-4

I.模... II.谢... III.模拟电路-电子技术-高等学校-教学参考资料 IV.TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 022361 号

内 容 简 介

本书是“模拟电子技术基础”课程的指导书,共由三编组成。第一编是指导材料,针对教材中半导体器件、基本单元电路、多级放大电路与频率响应、集成运放、功率放大电路、放大电路中的反馈、运放的应用、信号发生电路、直流稳压电源等九章内容如何学的问题进行了指导并附有典型例题分析与计算,对各章节中的重点、难点进行了分析说明。第二编是针对各章后的思考题与习题给出参考解答。第三编是将部分历年考试试题(包括考研)及其解答公布于众,共收集了 20 道典型试题。

本书可作为通信与自动化等各电类专业模拟电子技术本科生的教学指导书,也可以作为研究生入学考试的指导书。

哈尔滨工程大学出版社出版发行
哈尔滨市南通大街145号 哈工程大学11号楼
发行部电话:(0451)2519328 邮编:150001
新华书店经销
肇东粮食印刷厂印刷

*

开本 787mm×1 092mm 1/16 印张 17 字数 407 千字

2003 年 6 月第 1 版 2003 年 6 月第 1 次印刷

印数:1—2 000 册

定价:20.00 元

前 言

“模拟电子技术基础”在电子技术专业中是一门很重要的技术基础课程,其工程性和实践性很强。本课程的特点是基本概念多、电路形式多、不易入门、涉及到的知识面宽,给学习者带来一定的困难,特别是在课时数少的情况下,需要有一本学习指导材料及习题解答。这本书就是为了帮助读者(主要是初学者)学习好这门课程而写的配套书籍。书中针对“如何学”的问题进行了讨论。编者根据自己多年的教学实践,针对教学中的重点和难点,以及学生经常出现的问题进行了强调,希望本书能对学习者有所帮助。

具体内容共分三编。第一编是指导材料,指出全课程的重点、难点所在、各章的重点内容、各章所揣的地位、教学要求等。

第二编是思考题与习题详解。通过对教材中涉及到的练习题的解答,培养学生增强分析问题与解决问题的能力,适应各种问题的灵活运用,消化、理解、熟练掌握课堂上讲授的内容,巩固所学的知识。除了实验课以外,课外作业也是一个必不可少的实践环节。练好基本功,为以后的深造打下良好的基础。

第三编是一部分历年试题(含考研)详解。考试是为了检查学生对所学知识掌握的程度,考试成绩代表了学生对这门课程学习的效果。作为学生,都希望自己能取得好成绩。因此,考试题目倍受学生的关心和重视。据反映,学生们希望见到以往的试题,这部分内容就是为了满足学生的愿望而写的,并且对每一道试题都做出了详细解答。由于受本书篇幅所限,只能将一小部分题目收入本书,其余大部分已收入“模拟电子技术基础历年试题(含考研)详解”一书中,有兴趣者可以参阅。

无论是章后习题还是考试题,解题的方法都不是惟一的。书中仅提供参考解答,读者也可以用更好的方法解题,本书表示热烈欢迎。

本书将习题(或试题)分成三级:一般题(基本题)、一级难度题和二级难度题,或者根据题目的复杂程度或综合性划分档次。在一般题的题号前面无符号标记;在一级难度题的题号前面记以“※”符号;在二级难度题的题号前面记以“※※”符号。

本书由哈尔滨工程大学谢红担任主编、哈尔滨理工大学白红哲担任副主编、哈尔滨工程大学段振新担任主审,是“模拟电子技术基础”教材的配套指导书,可供本科和考研的学生参考之用。

由于编者水平有限,书中难免有错误与不妥之处,欢迎读者批评指正。

编者

2003年3月

目 录

绪论	1
----------	---

第一编 学习指导材料

第一章 半导体器件	7
第一节 本章地位与内容	7
第二节 教学要求	7
第三节 重点难点	8
第四节 典型例题分析计算	16
第二章 基本单元电路	19
第一节 本章地位与内容	19
第二节 教学要求	20
第三节 重点难点	20
第四节 典型例题分析计算	39
第三章 多级放大电路与频率响应	45
第一节 本章地位与内容	45
第二节 教学要求	45
第三节 重点难点	46
第四节 典型例题分析计算	53
第四章 集成运算放大器	57
第一节 本章地位与内容	57
第二节 教学要求	57
第三节 重点难点	57
第五章 功率放大电路	62
第一节 本章地位与内容	62
第二节 教学要求	63
第三节 重点难点	63
第四节 典型例题分析计算	68
第六章 放大电路中的反馈	70
第一节 本章地位与内容	70
第二节 教学要求	70
第三节 重点难点	71
第四节 典型例题分析计算	79
第七章 集成运算放大器的应用	83
第一节 本章地位与内容	83
第二节 教学要求	83

第三节 重点难点	84
第四节 典型例题分析计算	104
第八章 信号发生电路	108
第一节 本章地位与内容	108
第二节 教学要求	108
第三节 重点难点	109
第四节 典型例题分析计算	117
第九章 直流稳压电源	121
第一节 本章地位与内容	121
第二节 教学要求	121
第三节 重点难点	122
第四节 典型例题分析计算	131

第二编 思考题与习题解答

第一章 思考题与习题解答	137
第二章 思考题与习题解答	145
第三章 思考题与习题解答	170
第五章 思考题与习题解答	178
第六章 思考题与习题解答	183
第七章 思考题与习题解答	199
第八章 思考题与习题解答	217
第九章 思考题与习题解答	227

第三编 历年试题(含考研)解答

试题 1	239
试题 2	239
试题 3	239
试题 4	241
试题 5	242
试题 6	243
试题 7	244
试题 8	245
试题 9	246
试题 10	247
试题 11	248
试题 12	249
试题 13	252
试题 14	253
试题 15	255
试题 16	257

试题 17	258
试题 18	258
试题 19	259
试题 20	260
参考文献	261

绪 论

“模拟电子技术基础”是电类专业的一门技术基础课。近年来,由于电子技术在各个技术领域的广泛渗透,这门课程也成为其他专业的一个重要学习内容。

电子技术的研究对象是电子器件和由电子器件构成的各种基本功能电路以及由基本功能电路组成各种用途的装置或系统,在自动控制、无线电通信、计算机等许多方面都有应用。本课程的任务是在介绍常用半导体器件的基础上,着重研究电子电路的基本概念、基本原理与基本分析方法,提供必要的知识,培养一定的分析问题和解决问题的能力,为今后的深造或直接应用打下良好基础。

电子技术并不难学。在学过数学、物理,特别是电路基础之后,学好本课程就具备了良好的条件,而且电子技术与人们物质文化生活的关系十分密切。许多人经常接触收音机、录音机、电视机、电子表、计算器等电子装置和设备,对电子技术在工业自动化和其他尖端科技领域的惊人成就也常有所闻,因此人们对电子技术并不完全陌生,担心学不好电子课程是完全没有必要的。

有些人沿用先修课中习惯的概念和方法来学习电子学,遇到了不少困难,十分苦恼。原因在于他们不了解电子学这门课程自身的特点,不懂得它虽然以数学、物理、电路等课程为基础,但是在处理问题时又与这些先修课有着明显的不同,他们的学习方法不对头。为了让这些人尽快地适应本课程的学习,我们首先介绍一下本课程的特点、学习方法及基本要求。

一、课程特点

电子学是一门发展很快、应用很广、实践性很强的技术科学。与基础课比较,数学、物理、电路等课程的理论性很强,而电子学却更强调理论与实际的结合。由于着眼于解决错综复杂的问题,就必然产生相应的一套方法与概念。

首先,本课程具有不同于数学等学科的一些工程分析方法。例如,为了突出主要矛盾、简化实际问题,经常采用近似的方法。如果不理解这种方法的重大实际意义,不愿意作必要的近似忽略,片面追求数学上的“严密”,那么必然会使问题复杂化,甚至无从解决。而且,由于电子器件性能的分散性和实际电路中各种寄生因素的影响,任何严格的计算都不可能得到与实际完全相符的精确结果,因此过分苛求“严密”计算也是不必要的。又如,为了在一定条件下实现矛盾的转化(如将非线性器件转化成线性电路,或将复杂的线性网络转化为简单的电压源),经常采用等效的方法;为了直观形象地分析全局,确定工作状态或研究变化趋势,又经常用图解的方法。这样一些工程实际中常用的方法,初学者常常不习惯、不掌握。还需要指出的是,由于实际的电子电路都不能靠单纯理论分析来解决问题,因此最后解决问题的决定性步骤是实验调整。很显然,电子学所采用的“定性分析、定量估算、实验调整”相结合的分析方法对许多人来说是陌生的。

其次,本课程具有不同于电路基础等学科的一些特有概念。例如,电路中基本上只讨论线性元件和电路,而电子学则主要与非线性器件打交道。如果不加分析地搬用某些电路原理(如欧姆定律)就会引起错误。又如,电路课中对直流电路和交流电路是分开研究的,而模拟

电子电路却几乎是交、直流共存于同一电路之中,既有直流通路,又有交流通路,它们既互相联系,又互相区别。这就带来了分析上的复杂性。再如,电路课中对受控源的研究不太多,而电子学中经常遇到受控源,而且有时要研究有关电路的单向化问题;电路课中研究网络输出对于输入的依赖关系时,不涉及输出对于输入的反作用,而实际的电子电路却几乎都带有这样或那样的反馈,从而构成了学习中的又一个难点。

最后,由于电子技术发展迅速,应用广泛,因而内容庞杂繁多。具体表现:器件种类多,电路花样多,概念方法多。初学者普遍感到所学零散,又千变万化,理不出头绪,学了没底。

针对这样的课程特点,如果不相应地改进学习方法,那么要学好电子学是很难设想的。

二、学习方法

学习本课程宜在以下几个环节下功夫。

(一) 抓基本概念

弄清基本概念是进行分析计算和实验调整的前提,是学好本课程的关键。要学会定性分析,务必防止用所谓的严密数学推导掩盖问题的物理本质。

(二) 抓规律,抓思路,抓相互联系

电子学内容繁多,总结归纳十分重要。否则,将会稀里糊涂一大片,造成问题一大堆或者索性提不出任何问题。对每个章节都要抓住问题是怎么提出的、有什么矛盾、如何解决、又如何进一步改进发展的,从而在脑子里形成一条清晰的线索。要注意,重要的不是具体的、个别的知识,不是各种电路的简单罗列,而是解决问题的一般方法和彼此的内在联系。唯此,才能举一反三,触类旁通,才能在不同的条件下灵活运用所学知识。

(三) 抓理论联系实际

实验研究在本课程中有着特殊重要的地位,它不但可以帮助学生验证并巩固所学理论、丰富扩展知识,而且可以培养学生解决实际问题的能力。

(四) 抓课后练习

与其他课程一样,我们要把做习题作为一个不可缺少的重要环节。它对于巩固概念、启发思考、熟练运算、暴露学习中的问题和不足是极其必要的。做完一道题,都要回头想一想,体会一下这道题的意图,总结自己做题中的收获。若是抱着任务观点,为做习题而做习题,做完就算,是达不到预期效果的。

此外,学习本课程要学会如何正确合理地使用材料。希望注意以下几个问题。

① 应根据讲课内容,参照教学大纲的要求,有选择、有重点地阅读教材。作为教材,为了体系的完整,内容通常较多较全,而且常有一些深入的内容以备学生在学习某些后续课或参加实际工作时参考。因此,如果在最基本的内容拿到手之前,眉毛胡子一把抓,其结果一定适得其反。

② 阅读教材要注意领会其精神实质,吃透概念的含义,掌握分析问题的思路,要多问几个“为什么”。切忌停留在字面上死啃硬背。

③ 要充分利用材料,提高听课效率。听课时不要忙于抄笔记,课上只需要记下主要精神,腾出更多时间听课和思考,然后在课下充分借助于教材进行消化,也可以补充听课笔记。注意,笔记不必也不应该是“书本搬家”。

以上几条,只是原则地谈了一些学习方法。实际上,每个人应根据自己的特点、基础、条件而有所调整。

三、课程的基本要求

本课程通过各个教学环节,要求学生掌握以下内容。

(一) 器件方面

(1) 掌握常用半导体器件的基本工作原理、特性和主要参数,并能合理选择和正确使用。

(2) 了解线性集成电路的电路结构和工作原理,掌握其主要性能和使用方法。

(二) 电路方面

(1) 熟练掌握共射与共集放大器、差动放大器、基本运算放大器的电路结构、工作原理和性能,能够定性和定量分析。

(2) 掌握功率放大器、振荡器、整流器、稳压器以及由集成运算放大器组成的某些功能电路的电路组成、工作原理、性能和应用,能定性分析。

(3) 熟练掌握放大器中的负反馈、振荡器中的正反馈,会判别负反馈的方式并定性分析它对放大器性能的影响,能定量估算深度负反馈放大器的放大倍数等性能。

(4) 熟悉阻容耦合放大器的频率响应。

(三) 分析方法方面

(1) 放大电路的近似计算法,能估算静态工作点和放大倍数。

(2) 微变等效电路分析法,能求放大倍数、输入电阻和输出电阻。

(3) 放大电路的图解分析法,能确定静态工作点、分析波形失真,估算放大器的最大不失真输出幅值。

(四) 基本技能方面

(1) 通过实验课能达到:① 熟悉一般实验中常用的电子仪器,如示波器、信号发生器、交流毫伏表、直流稳压电源等的正确使用方法;② 了解常用器件和电路的主要参数和技术指标的测量调试方法;③ 具有编写实验报告的能力。

(2) 具有查阅电子器件和集成电路手册的初步能力。

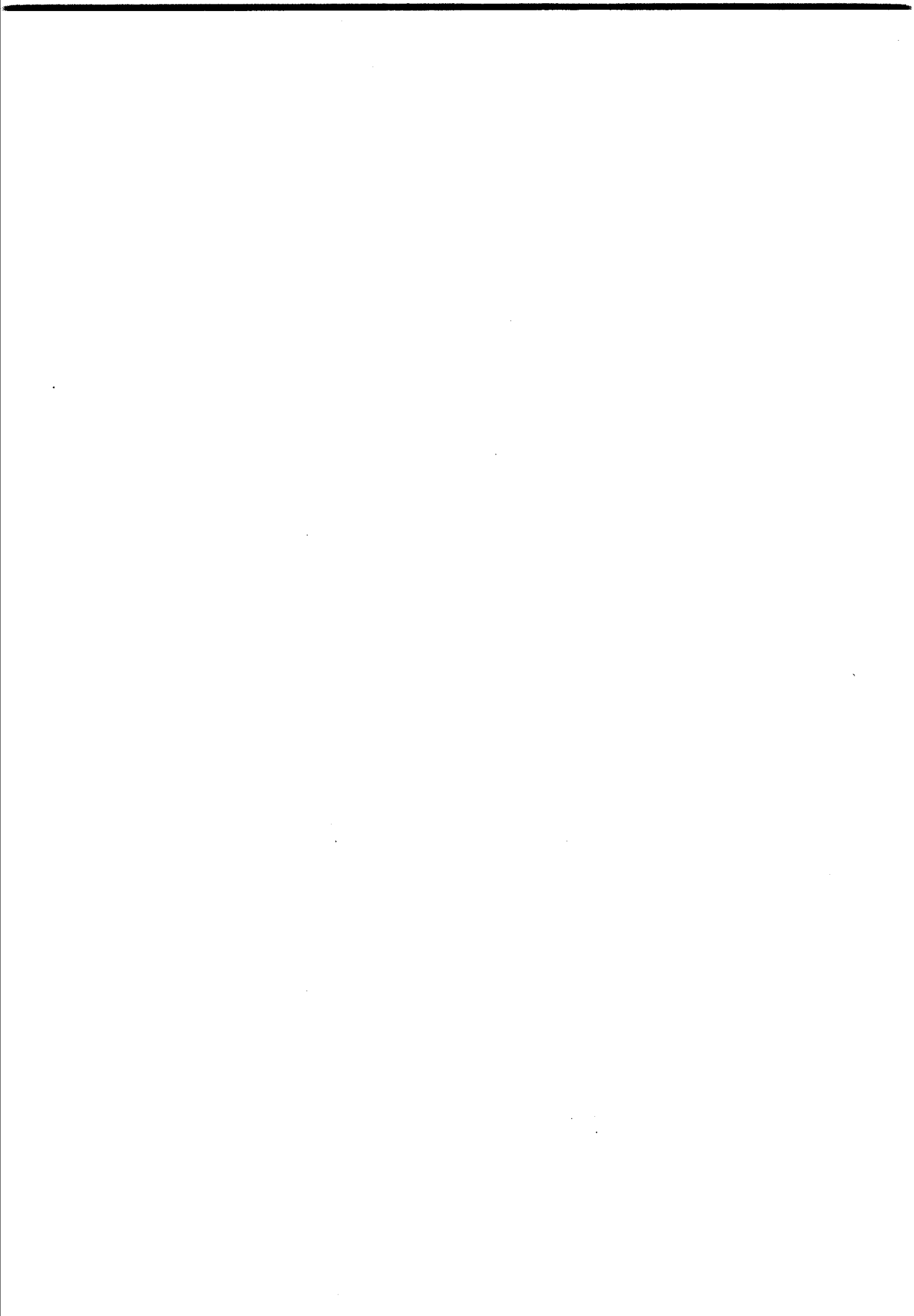
(3) 初步掌握阅读和分析电子电路原理图的方法。

第一编

学习指导材料

这部分内容包括各章的教学要求、重点与难点、电路形式、工作原理、技术指标(或电子器件的性能参数)、各章所处的地位、容易出现的问题以及如何避免错误,并给予典型例题的分析计算。

本书中将教学要求分为四个档次:熟练掌握、掌握、熟悉和了解。所谓“熟练掌握”是指不但对内容是什么、为什么都很清楚,而且反映很快,即达到纯熟的程度,这是最高要求;其次是“掌握”,不一定熟练,允许有一定时间的思考,但对内容是什么、为什么都要知道;再其次是“熟悉”,懂得内容是什么,但对为什么不一定知道得那么深、那么细,对其应用内容也不一定懂得很多,总之比前面的档次要求低,较为粗糙些;要求最低的是“了解”,只需了解结论性的内容就行了。



第一章 半导体器件

第一节 本章地位与内容

本章在全书中所处的地位不是重点,而是难点、是基础。因为我们培养的目标是器件(管子)的使用者,而不是制造者,所以我们学习的着眼点是器件的外特性,即根据外特性能够正确地选用器件就达到目的了,而对半导体内部的物理过程不必花费过多的时间和精力。

本章是难点。难就难在管子的种类很多,光场效应管就有六种,记忆起来较困难。而且关于管子特性曲线的物理解释涉及到半导体物理知识,不容易搞得很清楚。另外,有些管子的等效参数比较抽象,难以接受。本章的内容不易入门,不易引起学习兴趣,因此相对来说比较难学。

本章内容是全书的基础。本课程解决的主要问题是放大,而构成放大电路的主要核心部件是晶体管,因此,学习晶体管是为了学习放大电路服务的。

本章的主要内容讲了半导体中的两种载流子——空穴与电子;两种杂质半导体——P型与N型半导体;四种常用的半导体器件——二极管、稳压管、三极管和场效应管,它们大都是利用PN结中载流子的扩散运动和漂移运动而体现出不同性能的。例如在二极管中,利用了PN结在正向接法下以扩散运动为主、在反向接法下以漂移运动为主的特点而体现单向导电性;在三极管中,利用了基区中非平衡少数载流子的扩散与复合而体现 I_B 对 I_C 的控制作用;在场效应管中,利用外加电场改变导电沟道的宽窄,以控制漏极电流;在稳压管中,利用载流子在强电场中的漂移运动造成的击穿现象而体现稳压特性的二极管。正是由于这个缘故,它们的外特性有不少共同之处。例如,三极管的输入特性和PN结的正向特性相仿,输出特性和PN结的反向特性相仿。

第二节 教学要求

一、熟练掌握

- (1) 二极管、稳压管、三极管与场效应管的主要特点、工作原理、伏安特性及主要参数。
- (2) 三极管及场效应管简化的微变等效电路(包括[h]电路及[π]电路)的画法,三极管输入电阻 r_{be} 的计算公式,二极管电流方程式。

二、掌握

环境温度对各种晶体管特性曲线及参数的影响。

三、了解

半导体物理知识。

第三节 重点难点

一、半导体基础知识

这部分内容不是重点,但又不可缺少,只需作简要的了解即可。

(一) 半导体的导电方式——两种载流子

半导体中有两种载流子参加导电。第一种是自由电子,极性为负,导电时在自由空间做自由飞翔式的运动;第二种是空穴(所谓空穴是指由共价键上的价电子留下的空位),极性为正,导电时沿着共价键做依次递补的运动。

(二) 本征半导体的特点——导电率低

本征热激发时,价电子获得足够的能量挣脱共价键与原子核的束缚,跃入自由空间成为自由电子,同时在共价键上留下一个空穴。由于自由电子与空穴成对出现,因此称为电子—空穴对。这是本征热激发的产物。它们都是载流子。

热激发条件下仅有少数电子获得足够能量形成电子—空穴对,因此导电率极低。这样的半导体是不能用的。

(三) 杂质半导体的特点——导电率高

本征半导体掺入杂质后形成两类杂质半导体:一类称N型杂质半导体;另一类称P型杂质半导体。在N型半导体中,电子是多子,空穴是少子;而在P型半导体中,空穴是多子,电子是少子。

显然,不论是在哪一类杂质半导体中都存在着两种不等的载流子,即多子和少子。这两种载流子的形成不同:多子是由掺杂形成的,而少子是由热激发形成的。

N型与P型半导体是制造半导体器件的基本材料。

(四) PN结的特点——单向导电性

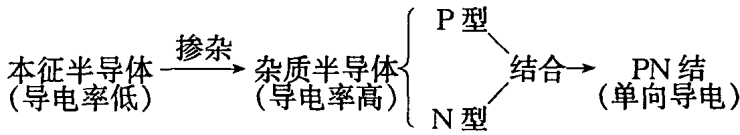
1. PN结的形成

由于在P区和N区存在着浓度差,致使多子扩散,其结果产生内建电场。在内建电场的作用下,少子作漂移运动。当扩散运动与漂移运动达到动态平衡时,在其交界面上形成一层耗尽区,这就是PN结。

2. 单向导电原理

当PN结外加正向电压(P加正,N加负)时,削弱内建电场,耗尽层变窄,扩散运动大于漂移运动。此时,PN结的结电流大(因为是多子运动形成的电流);而当外加反向电压(P加负,N加正)时,增强内电场,耗尽层变厚,扩散运动小于漂移运动,结电流很小,近似为零(因为只有由少子运动形成的电流)。

综上所述,半导体基础知识的思路:



二、二极管

二极管的主要特点是单向导电性。反映这种特性有两种方法：一是伏安特性曲线如图 1-1 所示；二是电流方程式：

$$I = I_S(e^{U/U_T} - 1) \quad (1-1)$$

其中 U_T 称温度电压当量，常温下， $U_T \approx 26 \text{ mV}$ 。二极管的电流方程式是常用公式，应该记住！在以后的学习中常用来推导问题。

二极管的参数主要抓住两个，即最大整流电流 I_f 及最大反向工作电压 U_R 。 I_f 是指二极管长期运行时允许通过的最大正向平均电流，它是由 PN 结的结面积和外界散热条件决定的。实际应用时，二极管的平均电流不能超过此值，并要满足散热条件，否则会烧管。 U_R 是指二极管在使用时所允许加的最大反向电压，若超过此值，二极管就有发生反向击穿的危险。通常取反向击穿电压 $U_{(BR)}$ 的一半作为 U_R 。

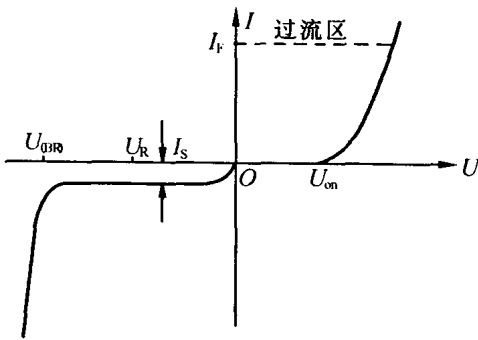


图 1-1 二极管的伏安特性

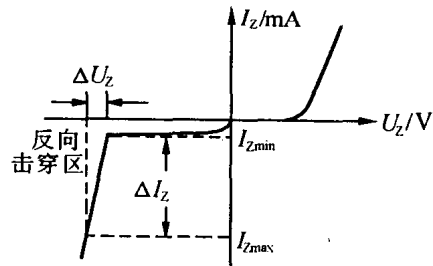


图 1-2 稳压管的伏安特性曲线

稳压管的本质是二极管，是一种特殊的二极管。它的主要特点是具有稳压效应。它的伏安特性如图 1-2 所示。

什么是稳压效应呢？请回顾一下二极管反向击穿时的特性。当二极管两端的反向电压超过击穿电压时，流过管子的电流会急剧增加，因此在利用二极管单向导电性的电路中应避免发生这种现象。但是击穿并不一定意味着管子的损坏。只要我们采取适当的措施（加限流电阻）限制通过管子的电流在一定范围内变化时，管子两端电压基本不变化，从而达到“稳压”的效果。简言之，当 ΔI_Z 较大时，对应的 $\Delta U_Z \approx 0$ 的效应称稳压效应。利用二极管的反向击穿区具有稳压效应而特制的二极管称稳压二极管，简称稳压管。该管一般作稳压之用。

在应用时必须注意两点：一是稳压管必须反向加压；二是电路中必须加限流电阻，给稳压管提供合适的工作电流。

稳压管的参数主要有两个：一是稳定电压 U_Z ，是指稳压管中的电流为规定值时，稳压管两端的电压值；二是稳定电流（工作电流） I_Z ，是指稳压管工作时的参考电流值，它必须满

足以下关系式

$$I_{Z\min} < I_Z < I_{Z\max} \quad (1-2)$$

I_Z 可由限流电阻的大小来控制。

三、三极管(BJT)

(一) 特点

三极管的主要作用是电流放大。在三极管中利用基区中非平衡少数载流子的扩散和复合而体现 U_{BE} (或 I_E 、 I_B) 对集电极电流 I_C 的控制作用。这就是为什么三极管具有电流放大作用的原因。

电流放大的含义可以用下面的式子来表示：

$$\Delta I_C = \beta \Delta I_B \quad (1-3)$$

该式表明,当基极电流有一个小的变化量 ΔI_B (μA 级) 时,将引起集电极电流有一个较大的变化量 ΔI_C (mA 级)。 β 称交流电流放大系数。

特别强调,“放大”是个很重要的概念,是针对变化量(交流)而言的,而且必须体现以小控大的作用。对直流(不变化的量)不存在放大概念。这一点必须牢记。

(二) 种类

三极管有两种类型:NPN 与 PNP。它们的代表符号如图 1-3 所示。图(a) 与图(b) 的共同点是均有 e、b、c 三个电极。所不同的是 NPN 型中的箭头指向外,PNP 型中的箭头指向里;它们三个电极中的电流方向相反,说明它们各极电位的极性也是相反的。找出它们的差异,就容易记忆了。

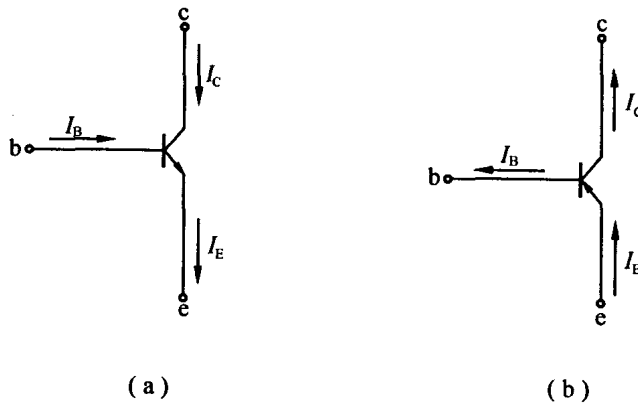


图 1-3 三极管的代表符号
(a)NPN;(b)PNP

三极管工作在放大状态时必须满足放大条件,即 e 结必须处于正偏,c 结必须处于反偏,也就是说,各极电位必须满足以下关系:

对于 NPN 型,则

$$U_c > U_b > U_e$$

对于 PNP 型,则

$$U_c < U_b < U_e \quad (1-4)$$

否则就没有放大作用。