



高等院校核心课程辅导丛书

模拟电路

答疑解惑与典型题解

MONIDIANLU

DAYIJIEHUO YU DIANXINGTIJIE

吴婷 张建兵 林涛 韩波 编著



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

模拟电路答疑解惑与典型题解

吴 婷 张建兵 林 涛 韩 波 编 著



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

本书可作为高等院校电子信息类、通信类、计算机类及相关专业的教材，也可供从事相关工作的工程技术人员参考。

内 容 简 介

本书深入浅出、系统地全面地介绍了最新的各大高校模拟电路练习题与考研题。全书共分 11 章,内容包括常用半导体器件、基本放大电路、多级放大电路、集成运算放大电路、放大电路的频率响应、放大电路中的反馈、信号的运算和处理、波形的发生和信号的转换、功率放大电路、直流电源,课程测试与考研真题等。

本书以常见疑惑解答—实践解题—考验真题讲解为主线组织编写,每一章的题型归纳都进行了详细分析评注,以便于帮助读者掌握本章的重点及提迅速回忆本章的内容。本书结构清晰、易教易学、实例丰富、学以致用、注重能力,对易混淆和历年考题中较为关注的内容进行了重点提示和讲解。

本书既可以作为复习考研的练习册,也可以作为模拟电路学习的参考书,更可以各类培训班的培训教程。此外,本书也非常适于教师的模拟电路教学以及自学人员参考阅读。

图书在版编目(CIP)数据

模拟电路答疑解惑与典型题解 / 吴婷等编著. -- 北京:北京邮电大学出版社, 2015.1
ISBN 978-7-5635-4160-7

I. ①模… II. ①吴… III. ①模拟电路—高等学校—教学参考资料 IV. ①TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 237430 号

书 名: 模拟电路答疑解惑与典型题解

著作责任者: 吴 婷 等编著

责任编辑: 满志文

出版发行: 北京邮电大学出版社

社 址: 北京市海淀区西土城路 10 号 (邮编: 100876)

发行部: 电话: 010-62282185 传真: 010-62283578

E-mail: publish@bupt.edu.cn

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京源海印刷有限责任公司

开 本: 787 mm×1 092 mm 1/16

印 张: 18.5

字 数: 462 千字

版 次: 2015 年 1 月第 1 版 2015 年 1 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5635-4160-7

定 价: 38.00 元

• 如有印装质量问题,请与北京邮电大学出版社发行部联系 •

前 言

为适应高等院校人才的考研需求,本书本着厚基础、重能力、求创新的总体思想,着眼于国家发展和培养造就综合能力人才的需要,着力提高大学生的学习能力、实践能力和创新能力。

1. 关于模拟电路

“模拟电路”是电子科学与技术、信息与通信工程、控制科学与工程、计算机科学与技术等领域的电子工程训练的重要基础课程。模拟电路课程的任务是探讨常用半导体器件(二极管、晶体管、运算放大器)内在的物理机制和外部的伏安特性;讨论和分析用这些器件构成的基本模拟电路;利用这些器件设计和构建人们所需要的功能电路。

2. 本书阅读指南

本书针对模拟电路知识点的常见的问题进行了讲解,同时分析了近几年的考研题目,并给出了翔实的参考答案,读者可以充分的了解各个学校考研题目的难度,查缺补漏,有针对性地提高自己的水平。本书共分 11 章。

第 1 章是“常用半导体器件”,主要讲解本征半导体、空穴、杂质半导体等基本概念,二极管的结构及伏安特性、微变等效电路,晶体管的结构与基本原理、特性曲线等。

第 2 章是“基本放大电路”,主要讲解基本放大电路的工作原理、特点、静态分析法和动态分析法,三组态电路。

第 3 章是“多级放大电路”,主要讲解多级放大电路的耦合方式、动态分析法,零点漂移现象,差分放大电路等。

第 4 章是“集成运算放大电路”,主要讲解集成运放的结构特点、电路组成、主要性能指标、种类及使用方法等。

第 5 章是“放大电路的频率响应”,主要讲解高通电路,低通电路,波特图,晶体管的高频等效模型,截止频率的估算等。

第 6 章是“放大电路中的反馈”,主要讲解反馈类型的判断,深度负反馈条件下放大倍数的估算,根据需要正确引入负反馈的方法,负反馈放大电路稳定性的判断和自激振荡的消除方法等。

第 7 章是“信号的运算和处理”,主要讲解理想运放的特点,比例、加减、积分、微分、乘除、对数和指数运算电路的工作原理及运算关系,滤波电路传递函数的推导和类型的判断。

第 8 章是“波形的发生和信号的转换”,主要讲解判断电路是否会产生正弦波振荡的方法,振荡频率的求解,滞回比较器和窗口比较器的传输特性分析,矩形波、三角波和锯齿波发生电路的波形分析和参数求解。

第 9 章是“功率放大电路”,主要讲解功率放大电路的作用、要求、分类、技术指标,电路组成和工作原理,最大输出功率和效率的估算等。

第 10 章是“直流电源”,主要讲解直流稳压电源的组成及各部分的作用,整流电路、滤波



电路、稳压电路的工作原理、输出电压及电流平均值的估算等。

第 11 章是“课程测试与考研真题”，提供了两套模拟题，为读者提供一个自我分析解决问题的过程。

3. 本书特色与优点

(1) 结构清晰，知识完整。内容翔实、系统性强，依据高校教学大纲组织内容，同时覆盖最新版本的所有知识点，并将实际经验融入基本理论之中。

(2) 内容翔实，解答完整。本书涵盖近几年各大高校的大量题目，示例众多，步骤明确，讲解细致，读者不但可以利用题海战术完善自己的弱项，更可以有针对性地了解某些重点院校的近年考研题目及解题思路。

(3) 学以致用，注重能力。一些例题后面有与其相联系的知识点详解，使读者在解答问题的同时，对基础理论得到更深刻的理解。

(4) 重点突出，实用性强。

4. 本书读者定位

本书既可以作为复习考研的练习册，也可以作为模拟电路学习的参考书，更可以作为各类培训班的培训教程。此外，本书也非常适于教师的模拟电路教学以及自学人员参考阅读。

本书由吴婷、张建兵、林涛、韩波主编，全书框架结构由何光明、吴婷拟定。另外，感谢王珊珊、陈莉萍、陈海燕、范荣钢、陈珍、周海霞、陈芳、史春联、许娟、史国川等同志的关心和帮助。

限于作者水平，书中难免存在不当之处，恳请广大读者批评指正。任何批评和建议请发至：bjbaba@263.net。

编者

目 录

第1章 常用半导体器件	1
1.1 答疑解惑	1
1.1.1 什么是本征半导体?	1
1.1.2 什么是杂质半导体?	1
1.1.3 什么是PN结?	2
1.1.4 二极管由哪些部分构成?	3
1.1.5 什么是二极管的伏安特性?	3
1.1.6 什么是二极管的微变等效电路?	3
1.1.7 什么是稳压管?	3
1.1.8 什么是晶体管?	3
1.1.9 晶体管放大作用体现在哪?	4
1.1.10 晶体管的共射特性曲线是什么样的?	4
1.1.11 晶体管的主要电参数有哪些?	5
1.1.12 温度对晶体管参数有哪些影响?	5
1.1.13 场效应管有哪三个工作区?	5
1.1.14 如何描述预夹断轨迹?	5
1.1.15 如何描述转移特性(场效应管工作于恒流区时)近似表达式?	5
1.1.16 如何描述低频跨导的近似表达式?	5
1.1.17 场效应管的主要参数有哪些?	6
1.2 典型题解	6
题型1 半导体基础知识	6
题型2 半导体二极管	7
题型3 晶体管	12
题型4 场效应管	18
第2章 基本放大电路	22
2.1 答疑解惑	22
2.1.1 放大电路的主要性能指标有哪些?	22
2.1.2 基本放大电路的组成原则有哪些?	23
2.1.3 什么是放大电路的静态分析和动态分析?	23
2.1.4 什么是放大电路的三种组态?	23
2.1.5 三种组态电路的特点有哪些?	24



2.1.6 什么是复合管放大电路?	24
2.1.7 什么是共射-共基放大电路?	25
2.1.8 什么是共集-共基放大电路?	25
2.1.9 什么是直流偏置电路?	25
2.2 典型题解	25
题型1 基本共射放大电路	25
题型2 放大电路的三种组态及派生电路	37
题型3 场效应管放大电路	46
第3章 多级放大电路	57
3.1 答疑解惑	57
3.1.1 什么是多级放大电路的耦合方式?	57
3.1.2 如何进行多级放大电路的动态分析?	58
3.1.3 什么是零点漂移现象?	58
3.1.4 什么是差分放大电路?	58
3.1.5 什么是直接耦合互补输出级(OCL 电路)?	60
3.2 典型题解	61
题型1 多级放大电路的动态分析	61
题型2 直接耦合放大电路	72
第4章 集成运算放大电路	84
4.1 答疑解惑	84
4.1.1 集成运放的电路结构有哪些特点?	84
4.1.2 集成运放由哪些部分组成?	84
4.1.3 如何描述集成运放的电压传输特性?	85
4.1.4 集成运放的主要性能指标有哪些?	85
4.1.5 什么是集成运放的低频等效电路?	86
4.1.6 集成运放如何分类?	86
4.1.7 集成运放中的基本电流源电路有哪些?	86
4.1.8 集成运放中的改进型电流源电路有哪些?	88
4.1.9 集成运放中的多路电路源电路是什么样的?	88
4.1.10 以电流源为有源负载的放大电路有哪些?	88
4.2 典型题解	90
题型1 集成运算放大电路概述	90
题型2 集成运放中的电流源电路	96
第5章 放大电路的频率响应	105
5.1 答疑解惑	105
5.1.1 什么是高通电路和低通电路?	105

5.1.2	什么是波特图?	106
5.1.3	放大管的高频等效模型有哪些?	106
5.1.4	单管共射放大电路的频率响应如何描述?	107
5.1.5	单管共源放大电路的频率响应如何描述?	108
5.1.6	增益带宽积如何描述?	108
5.1.7	如何进行多级放大电路频率特性的定性分析?	108
5.1.8	如何估算截止频率?	109
5.1.9	什么是密勒定理?	109
5.1.10	什么是集成运放的频率补偿?	110
5.2	典型题解	110
题型 1	单管放大电路的频率响应	110
题型 2	多级放大电路的频率响应	121
第 6 章	放大电路中的反馈	130
6.1	答疑解惑	130
6.1.1	反馈类型有哪些?	130
6.1.2	如何对反馈进行判断?	130
6.1.3	负反馈放大电路有哪四种基本组态?	131
6.1.4	反馈组态是如何判断的?	131
6.1.5	如何描述负反馈放大电路的方块图表示法?	131
6.1.6	方块图法的指导思想是什么?	132
6.1.7	方块图法的主要用途有哪些?	132
6.1.8	求解基本放大电路的法则有哪些?	132
6.1.9	深度负反馈的实质是什么?	133
6.1.10	放大倍数怎么分析?	133
6.1.11	如何计算稳定放大倍数?	133
6.1.12	改变输入电阻和输出电阻的影响有哪些?	133
6.1.13	如何计算展宽频带?	134
6.1.14	如何减小非线性失真?	134
6.1.15	放大电路中引入负反馈的一般原则有哪些?	134
6.1.16	负反馈放大电路自激振荡产生的原因和条件是什么?	135
6.1.17	为何要对负反馈放大电路进行稳定性分析?	135
6.1.18	如何对负反馈放大电路的稳定性进行判断?	135
6.1.19	负反馈放大电路自激振荡的消除方法有哪些?	136
6.2	典型题解	136
题型 1	反馈的基本概念与分类	136
题型 2	负反馈放大电路的方块图分析法	142
题型 3	深度负反馈放大电路放大倍数的分析	146
题型 4	负反馈对放大电路性能的影响	150



题型 5 负反馈放大电路的稳定性	154
第 7 章 信号的运算和处理	159
7.1 答疑解惑	159
7.1.1 什么是理想运放?	159
7.1.2 如何描述比例运算电路?	160
7.1.3 如何描述加减运算电路?	161
7.1.4 如何描述积分运算电路和微分运算电路?	162
7.1.5 如何描述对数运算电路和指数运算电路?	162
7.1.6 如何利用对数和指数运算电路实现乘法和除法运算电路?	163
7.1.7 什么是滤波电路?	163
7.1.8 什么是低通滤波器?	165
7.1.9 其他滤波电路有哪些?	166
7.2 典型题解	167
题型 1 基本运算电路	167
题型 2 有源滤波电路	179
第 8 章 波形的发生和信号的转换	191
8.1 答疑解惑	191
8.1.1 产生正弦波振荡的条件是什么?	191
8.1.2 正弦波振荡电路的组成部分有哪些?	192
8.1.3 如何判断电路是否可能产生正弦波振荡?	192
8.1.4 如何描述 RC 正弦波振荡电路?	192
8.1.5 其他正弦波振荡电路有哪些?	193
8.1.6 什么是电压比较器的传输特性?	193
8.1.7 什么是单限比较器?	193
8.1.8 什么是滞回比较器?	194
8.1.9 什么是窗口比较器?	195
8.1.10 什么是矩形波发生电路?	195
8.1.11 什么是三角波发生电路?	197
8.1.12 什么是锯齿波发生电路?	197
8.2 典型题解	197
题型 1 正弦波振荡电路	197
题型 2 电压比较器	207
题型 3 非正弦波发生电路	214
第 9 章 功率放大电路	223
9.1 典型题解	223
9.1.1 功率放大电路的作用和要求有哪些?	223

9.1.2 功率放大电路的主要技术指标有哪些?	223
9.1.3 功率放大电路的分类有哪些?	224
9.1.4 OCL 电路的组成及工作原理是什么?	224
9.1.5 如何计算 OCL 电路的输出功率及效率?	224
9.1.6 OCL 电路中晶体管怎么选择?	225
9.2 典型题解	225
题型 1 功率放大电路概述	225
题型 2 互补功率放大电路	229
第 10 章 直流电源	242
10.1 答疑解惑	242
10.1.1 直流电源由哪些部分组成?	242
10.1.2 什么是单相半波整流电路?	243
10.1.3 什么是单相桥式整流电路?	244
10.1.4 什么是电容滤波电路?	245
10.1.5 什么是倍压整流电路?	246
10.1.6 其他形式的滤波电路有哪些?	246
10.1.7 什么是稳压二极管稳压电路?	247
10.1.8 什么是串联型稳压电路?	248
10.1.9 什么是基准电压电路和保护电路?	249
10.1.10 什么是集成稳压器电路?	249
10.2 典型题解	250
题型 1 整流电路	250
题型 2 滤波电路	255
题型 3 稳压电路	258
第 11 章 课程测试及考研真题	266
11.1 课程测试	266
11.2 课程测试参考答案	269
11.3 考研真题	274
11.4 考研真题参考答案	277

第 1 章

常用半导体器件

【基本知识点】本征半导体、空穴、杂质半导体(P型半导体和N型半导体)等基本概念,PN结的形成原理及特性,二极管的结构及伏安特性、微变等效电路,晶体管的结构与基本原理、特性曲线,场效应管的特性等。

【重点】二极管的伏安特性,稳压管的稳压原理,晶体管的基本原理、特性曲线。

【难点】晶体管的基本原理。

答疑解惑

常用半导体器件

1.1 答疑解惑

1.1.1 什么是本征半导体?

纯净的具有晶体结构的半导体称为本征半导体。

(1) 半导体

半导体由于其原子结构特点,导电性能介于导体和绝缘体之间,可通过人为地掺入特定的杂质元素来控制其导电性。

(2) 本征半导体中的两种载流子

共价键中的价电子受激发获得能量并摆脱共价键的束缚成为自由电子,同时在共价键中留下一个空位置,称为空穴。空穴带正电,在本征半导体中,自由电子与空穴成对出现。

导体导电只有一种载流子,而本征半导体有两种,即自由电子和空穴。

1.1.2 什么是杂质半导体?

(1) P型半导体

在纯净半导体中掺入适量三价元素,使之取代晶格中硅原子的位置,就形成P型半导体。杂质原子的最外层只有3个价电子,故在新的共价键中形成空穴。空穴为多数载流子(简称“多子”),自由电子为少数载流子(简称“少子”)。掺入杂质越多,多子浓度越高,导电



性越强。

(2) N 型半导体

在纯净半导体中掺入适量五价元素,使之取代晶格中硅原子的位置,就形成 N 型半导体。杂质原子的最外层有 5 个价电子,与周围硅原子形成共价键后还多一个电子成为自由电子,自由电子为多子,空穴为少子。

1.1.3 什么是 PN 结?

把 P 型半导体与 N 型半导体制作在同一块硅片上,在它们的交界面就形成 PN 结。PN 结具有单向导电性。

(1) 形成原理

由于界面两侧载流子浓度差而产生载流子扩散运动,P 型区空穴向 N 型区扩散,N 型区自由电子向 P 型区扩散。在边界两侧两种载流子产生复合,形成带正电和负电的离子。在边界两侧形成空间电荷区,称为 PN 结。

(2) PN 结的单向导电性

载流子由于浓度差而产生的运动称为扩散运动,在电场力作用下的运动称为漂移运动。

当 PN 结正偏(P 端接高电位、N 端接低电位)时,空间电荷区变窄,内电场被削弱,多子的扩散运动大于少子的漂移运动,形成以多子为主体的正向扩散电流;当 PN 结反偏时,空间电荷区变宽,加强了内电场,少子的漂移运动大于多子的扩散运动,形成以少子为主体的反向漂移电流。但少子数目极少,所以反向电流可忽略不计,认为 PN 结处于截止状态。

(3) PN 结的电流方程

PN 结两端的电压 U 与流过 PN 结的电流 I 用数学方程描述如下:

$$I = I_s \left(e^{\frac{U}{V_T}} - 1 \right) \quad (1.1.1)$$

式中, I_s 为由少子漂移运动形成的反向饱和电流, $V_T = \frac{kT}{q}$ 为热电压,当室温为 27°C 时, $V_T = 26 \text{ mV}$ 。

(4) PN 结的伏安特性

由式(1.1.1)可知,当 PN 结外加正向电压且 $u \gg V_T$ 时, $i \approx I_s e^{\frac{u}{V_T}}$,即 i 随 u 按指数规律变化;当 PN 结外加反向电压且 $|u| \gg V_T$ 时, $i \approx -I_s$ 。 i 与 u 的关系曲线如图 1.1.1 所示,称为 PN 结的伏安特性。

注意: $U_{(\text{BR})} < u < 0$ 时, $i \neq 0$ 。只是因为反向电流非常小,从图中看起来好像 $i = 0$ 。可参考一下图 1.1.2。

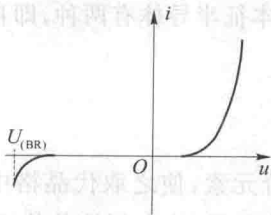


图 1.1.1

1.1.4 二极管由哪些部分构成?

半导体二极管由一个 PN 结,再加上电极、引线,封装而成。

1.1.5 什么是二极管的伏安特性?

二极管的伏安特性如图 1.1.2 所示。 U_{ON} 是使二极管开始导通的临界电压,称为开启电压。正向电压超过 U_{ON} 后,正向电流从零随端电压按指数规律增大。当二极管所加反向电压足够大时,反向电流为 I_S 。 $U_{(BR)}$ 为反向击穿电压,当外加电压超过 $U_{(BR)}$ 时二极管将被击穿。

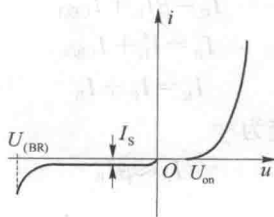


图 1.1.2

二极管的特性对温度很敏感。在室温附近,温度每升高 1°C ,正向压降减小 $2 \sim 2.5 \text{ mV}$;温度每升高 10°C ,反向电流约增大一倍。

1.1.6 什么是二极管的微变等效电路?

当二极管正向电流有微小变化时,可用如图 1.1.3 所示的电路等效。其中 r_D 称为动态电阻,可用式 (1.1.2) 近似计算:

$$r_D = \frac{U_T}{I_D}$$

(1.1.2) 图 1.1.3

式中, U_T 为热电压,当室温为 27°C 时, $U_T = 26 \text{ mV}$ 。 I_D 是瞬时电流。

注意:微变等效电路只对交流小信号有效。

1.1.7 什么是稳压管?

稳压管是一种特殊的面接触型硅二极管,其在反向击穿时,在反向电流很大变化范围内管子两端电压几乎不变,故能起到稳压作用。

主要参数:稳定电压 U_Z 、稳定电流 I_Z 、最大稳定电流 I_{ZM} 或最大允许功耗 $P_{ZM} (= U_Z \cdot I_{ZM})$ 等等。

1.1.8 什么是晶体管?

晶体管有三个电极和两个 PN 结,分别是发射极(E 或 e)、基极(B 或 b)、集电极(C 或 c)和发射结(Je)、集电结(Jc)。发射区掺杂浓度高,基区薄,集电区掺杂浓度低,集电结的面积比发射结大。

晶体管有 NPN 型和 PNP 型两大类,NPN 型形成电流的载流子是自由电子,PNP 型形成电流的载流子是空穴。



1.1.9 晶体管放大作用体现在哪?

晶体管的放大作用表现为小的基极电流可以控制大的集电极电流。实现放大作用,必须满足两大条件:一是内部条件,即发射区杂质的浓度要远大于基区的浓度,并且基区宽度要很窄;二是外部条件,即发射结正偏,集电结反偏。

在满足放大条件的情况下,由发射区发射的载流子只有极少一部分在基区复合,绝大部分被集电极收集,而在基区复合的一个载流子,就有 β 个载流子被集电区收集,其关系是 $I_C \approx \alpha I_E$, $I_C \approx \beta I_B$ 。所以控制 I_E 或 I_B 就能控制 I_C 。

各极电流之间的关系为

$$I_C = \beta I_B + I_{CEO} \quad (1.1.3)$$

$$I_B = I'_B + I_{CBO} \quad (1.1.4)$$

$$I_E = I_C + I_B \quad (1.1.5)$$

如果忽略 I_{CEO} , 则式(1.1.3)变为

$$I_C \approx \beta I_B \quad (1.1.6)$$

把 I_E 也用 I_B 表示得

$$I_E = (1 + \beta) I_B + I_{CEO} \approx (1 + \beta) I_B \quad (1.1.7)$$

1.1.10 晶体管的共射特性曲线是什么样的?

输入特性曲线描述了在管压降一定的情况下,基极电流 i_B 与发射结压降 u_{BE} 之间的函数关系,如图 1.1.4 所示。

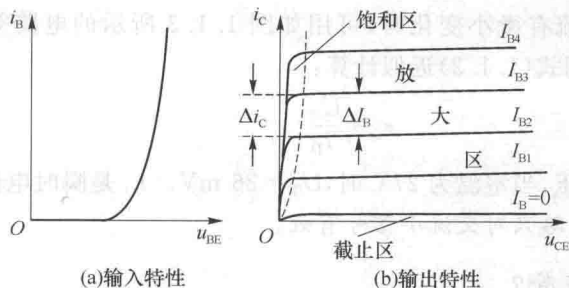


图 1.1.4 晶体管的共射特性曲线

当 $U_{CE} = 0$ 时,相当于集电极与发射极短路,即发射结与集电结并联。因此,输入特性曲线与 PN 结的伏安特性类似,呈指数关系。

当 U_{CE} 增大时曲线右移,增大到一定值以后不再明显右移。

输出特性曲线描述基极电流 I_B 为一常量时,集电极电流 i_C 与管压降 u_{CE} 之间的函数关系。对于每一个确定的 I_B ,都有一条曲线,所以输出曲线是一族曲线,如图 1.1.4 所示。

从输出特性曲线可以看出,晶体管分为三个工作区:

(1) 饱和区:特征是发射结与集电结均正偏。 i_C 与 I_B 无线性关系,随 u_{CE} 增大而增大。

(2) 截止区:发射结与集电结均反偏, $i_C \approx 0$ 。

(3) 放大区:发射结正偏,集电结反偏, $i_C \approx \beta I_B$ 。

上述三个区,分别对应于晶体管的饱和、截止、放大三种状态。

注意:要从晶体管内部电流和电流变化过程出发理解晶体管共射特性曲线的每一部分的物理意义,而不是死记。

1.1.11 晶体管的主要电参数有哪些?

(1) 直流参数:共基极直流电流放大系数 $\bar{\alpha}$;共射极直流电流放大系数 $\bar{\beta}$;极间反向电流:集电极-基极间反向饱和电流 I_{CBO} ;集电极-发射极间反向饱和电流(也称穿透电流) I_{CEO} 。

(2) 交流参数:共基极直流电流放大系数 α ;共射极直流电流放大系数 β ;频率参数:共射极截止频率 f_{β} ,共基极截止频率 f_{α} ,特征频率 f_{T} 。其中 $\alpha \approx \bar{\alpha}$, $\beta \approx \bar{\beta}$ 。

(3) 极限参数:集电极最大允许电流 I_{CM} ;集电极最大耗散功率 P_{CM} ;击穿电压: $U_{(\text{BR})\text{CBO}}$ 、 $U_{(\text{BR})\text{CEO}}$ 、 $U_{(\text{BR})\text{EBO}}$ 。

1.1.12 温度对晶体管参数有哪些影响?

(1) 温度增加使 β 增大;

(2) 温度增加使 I_{CBO} 增大。

1.1.13 场效应管有哪三个工作区?

(1) 可调电阻区:输出特性曲线中 u_{DS} 较小,且 i_{D} 几乎随 u_{DS} 增大而线性增加的那一部分。这里场效应管的沟道尚未出现预夹断,它的漏源间可看作是一个受 u_{GS} 控制的压控电阻。

(2) 恒流区:也称为饱和区或放大区。这一区间的输出特性曲线几乎水平, i_{D} 只受 u_{DS} 控制,与 u_{DS} 几乎无关。

(3) 夹断区:也称截止区,沟道全夹断, $i_{\text{D}}=0$,是输出特性曲线靠近横轴的区域。

1.1.14 如何描述预夹断轨迹?

输出特性曲线中拐点连起来的曲线称为预夹断轨迹。

耗尽型: $u_{\text{DS}} = u_{\text{GS}} - U_{\text{GS(off)}}$ (1.1.8)

增强型: $u_{\text{DS}} = u_{\text{GS}} - U_{\text{GS(th)}}$ (1.1.9)

1.1.15 如何描述转移特性(场效应管工作于恒流区时)近似表达式?

结型及耗尽型 MOS 管: $i_{\text{D}} = I_{\text{DSS}} \left(1 - \frac{U_{\text{GS}}}{U_{\text{GS(off)}}}\right)^2$ (1.1.10)

增强型 MOS 管: $I_{\text{D}} = I_{\text{DO}} \left(\frac{u_{\text{GS}}}{U_{\text{GS(th)}}} - 1\right)^2$, $g_{\text{m}} = \frac{2I_{\text{DO}}}{U_{\text{GS(th)}}} \left(\frac{u_{\text{GS}}}{U_{\text{GS(th)}}} - 1\right)$ (1.1.11)

1.1.16 如何描述低频跨导的近似表达式?

结型及耗尽型 MOS 管:由 $i_{\text{D}} = I_{\text{DSS}} \left(1 - \frac{U_{\text{GS}}}{U_{\text{GS(off)}}}\right)^2$ 可得

$$g_{\text{m}} = \frac{\partial i_{\text{D}}}{\partial u_{\text{GS}}} = -\frac{2I_{\text{DSS}}}{U_{\text{GS(off)}}} \left(1 - \frac{U_{\text{GS}}}{U_{\text{GS(off)}}}\right) = \frac{2}{|U_{\text{GS(off)}}|} \sqrt{I_{\text{DSS}} i_{\text{D}}} \quad (1.1.12)$$



增强型 MOS 管:由 $I_D = I_{DO} \left(\frac{u_{GS}}{U_{GS(th)}} - 1 \right)^2$ 可得

$$g_m = \frac{\partial i_D}{\partial u_{GS}} = \frac{2I_{DO}}{U_{GS(th)}} \left(\frac{u_{GS}}{U_{GS(th)}} - 1 \right) = \frac{2}{|U_{GS(th)}|} \sqrt{I_{DO} i_D} \quad (1.1.13)$$

1.1.17 场效应管的主要参数有哪些?

(1) 直流参数

开启电压 $U_{GS(th)}$: U_{DS} 为常量时,使 $i_D > 0$ 所需的最小 $|u_{GS}|$ 值。

夹断电压 $U_{GS(off)}$: U_{DS} 为常量时,使 i_D 为规定的微小电流时的 u_{GS} 值。

饱和漏极电流 I_{DSS} :耗尽型管在 $U_{GS} = 0$ 的情况下产生预夹断时的漏极电流。

直流输入电阻 $R_{GS(DC)}$:栅-源电压与栅极电流之比。

(2) 交流参数

低频跨导 g_m :在管子工作在恒流区且 u_{DS} 为常量的情况下, $g_m = \frac{\Delta i_D}{\Delta u_{GS}}$

g_m 数值的大小表示 u_{GS} 对 i_D 控制作用的强弱。

(3) 极限参数

最大漏极电流 I_{DM} :管子正常工作时漏极电流的上限值。

击穿电压:管子进入恒流区后,使 i_D 骤然增大的 u_{DS} 称为漏-源击穿电压 $U_{(BR)DS}$ 。

最大耗散功率 P_{DM} : $i_D u_{DS} \leq P_{DM}$ 。

典型题解

常用半导体器件

1.2 典型题解

题型 1 半导体基础知识

1. 选择题

【例 1.1.1】在 P 型半导体中,多数载流子是_____。

- A. 电子 B. 空穴 C. 离子 D. 杂质

答:本题答案为:B。

【例 1.1.2】PN 结加正向电压时,空间电荷区将_____。

- A. 变窄 B. 基本不变 C. 变宽

答:本题答案为:A。

【例 1.1.3】PN 结反向电压的数值增大,小于击穿电压,_____。

- A. 其反向电流增大 B. 其反向电流减小 C. 其反向电流基本不变

答:本题答案为:C。

2. 填空题

【例 1.1.4】在本征半导体中加入 ① 元素可形成 N 型半导体,加入 ② 元素可形成 P 型半导体。

答:本题答案为:①五价;②三价。

【例 1.1.5】在杂质半导体中,多子的浓度主要取决于 ① 。

答:本题答案为:①杂质浓度。

3. 判断题

【例 1.1.6】在 N 型半导体中如果掺入足够量的三价元素,可将其改型为 P 型半导体。

答:N 型半导体中,多出未形成共价键的电子为自由电子,此时磷原子已取代硅原子的位置,各有 4 个共价键,然后掺杂硼,但晶格中硅原子的位置已被磷取代,故不能再被硼取代。本题答案为:错。

【例 1.1.7】因为 N 型半导体的多子是自由电子,所以它带负电。

答:N 型半导体虽然以自由电子为多数载流子,但就其组成而言,原子核所带正电与电子所带负电相等,故保持电中性。同理 P 半导体也呈电中性。它们在无外激发时电流为零。本题答案为:错。

【例 1.1.8】PN 结在无光照、无外加电压时结电流为零。

答:PN 结在热激发下,耗尽层产生变化,就会产生电流。在外电场作用下,自由电子和空穴产生定向移动,就会产生电流。PN 结本身电量平衡不带电。本题答案为:对。

题型 2 半导体二极管

1. 选择题

【例 1.2.1】二极管的电流方程是_____。

- A. $I_S e^u$ B. $I_S e^{\frac{u}{V_T}}$ C. $I_S \left(e^{\frac{u}{V_T}} - 1 \right)$ D. $I_S \left(e^{\frac{u}{V_T}} + 1 \right)$

答:二极管的主体就是一个 PN 结,所以它的电流方程和 PN 结的电流方程一样。本题答案为:C。

【例 1.2.2】二极管加正向电压时,其正向电流是由_____。

- A. 多数载流子扩散形成 B. 多数载流子漂移形成
C. 少数载流子扩散形成 D. 少数载流子漂移形成

答:二极管加正向电压即 PN 结正偏。本题答案为:A。

【例 1.2.3*】在如图 1.2.1 所示电路中电源 $V=5\text{ V}$ 不变。当温度为 20°C 时测得二极管的电压 $U_D=0.7\text{ V}$ 。当温度上生到为 40°C 时,则 U_D 的大小将是_____。

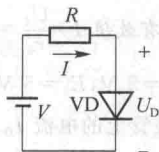


图 1.2.1

- A. 仍等于 0.7 V B. 大于 0.7 V
C. 小于 0.7 V D. 不能确定

答:本题答案为:C。

【例 1.2.4】同上题图,若电源 $V=5\text{ V}$ 时,测得 $I=1\text{ mA}$,把电源电压调整到 $V=10\text{ V}$,则电流的大小将是_____。

- A. $I=2\text{ mA}$ B. $I>2\text{ mA}$ C. $I<2\text{ mA}$ D. 不能确定

答:正向电流从零随端电压按指数规律增大。本题答案为:B。

2. 填空题

【例 1.2.5】当温度升高时,二极管的反向饱和电流将 ①_____;

答:本题答案为:①增大;

【例 1.2.6】稳压管的稳压区是其工作在 ①_____。

答:本题答案为:①反向击穿。

3. 综合题

【例 1.2.7】图 1.2.2 为二极管电路图,请对照输入电压 V_i 的波形,画出其输出电压 $V_o(t)$ 波形,设二