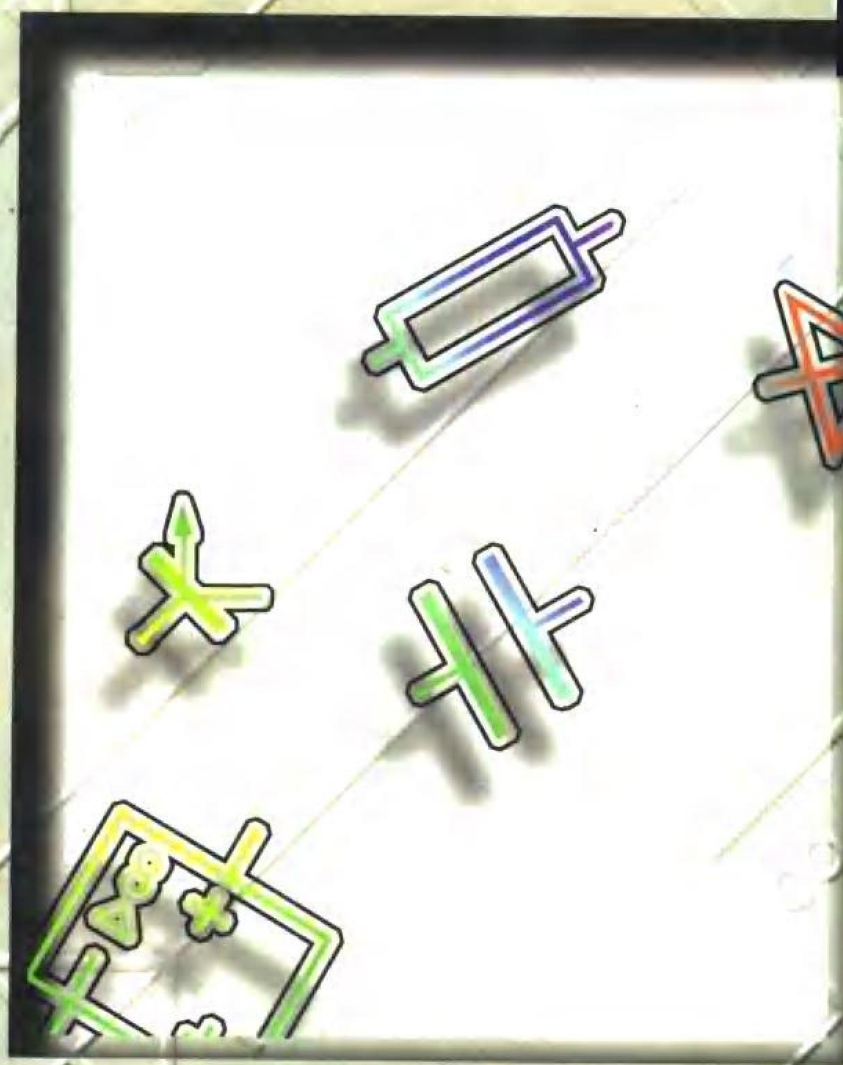


唐竞新 编著



模拟电子技术基础 解题指南



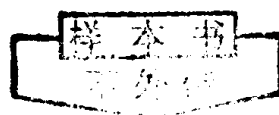
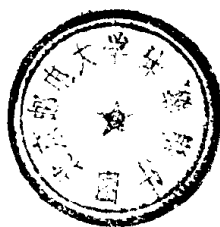
清华大学出版社

<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>

742877

唐竞新
编著

模拟电子技术基础 解题指南



21113001094734

清华大学
出版社

(京)新登字 158 号

内 容 简 介

本书配合国内现有的各种模拟电子技术基础教材,围绕模拟电路的各种典型电路与基本的分析方法编写了 117 道例题与 482 道习题。全书分为半导体器件基础,基本放大电路,多级放大电路,放大电路中的反馈,集成运算放大器,运放基本运算电路,有源滤波电路,电压比较电路,波形发生电路,功率放大电路,直流电源等 11 章。各章的主要内容都通过例题的形式进行论述,每个重要的内容同时配有相当数量的习题,并且附有答案。

本书可作为高等学校电气、电子类和其他专业学生的辅导教材,也可作为教师的教学参考书,还可供有关工程技术人员自学和参考。

图书在版编目(CIP)数据

模拟电子技术基础解题指南/唐竞新编著. —北京:清华大学出版社,1998
ISBN 7-302-02776-5

I. 模… II. 唐… III. 模拟电路-电子技术-习题 IV. TN01

中国版本图书馆 CIP 数据核字(97)第 28832 号

出版者:清华大学出版社(北京清华大学校内,邮编 100084)

因特网地址: www.tup.tsinghua.edu.cn

印刷者:北京昌平环球印刷厂

发行者:新华书店总店北京科技发行所

开 本: 787×1092 1/16 印张: 21.5 字数: 507 千字

版 次: 1998 年 3 月 第 1 版 1998 年 3 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-302-02776-5/TN·82

印 数: 0001~6000

定 价: 22.50 元

序

学习电子技术,做习题是不可缺少的教学环节,因为它能起到巩固概念、启发思路、加深理解、融会贯通的作用。经常有同学反映,上课能听懂,而遇到习题却往往不会做。尤其是自学者,在缺乏辅导的条件下,不知道如何下手,即使做了习题之后,也不知道答案是否正确,这就说明做习题需要一定的引导。为适应当前模拟电子技术的发展形势及教学要求,作者在1993年编写的《数字电子技术基础解题指南》的基础上,又新编写了《模拟电子技术基础解题指南》。该书具有以下几方面的特点:

1. 书中内容密切结合国家教委颁布的电子技术基础模拟部分的课程教学基本要求,力求做到配合国内一些通用教材的体系,从而使读者在学习这些教材后,能在本书有关例题指引下,找到解题的途径。

2. 编写的例题既侧重于对各种典型电路的理论分析,同时又注意密切联系实际。比如基本放大电路、多级放大电路、反馈放大电路、差动放大电路和功率放大电路的分析计算例题,集成运算放大器的各种典型应用电路以及各类波形发生电路和直流电源等例题都有严格的分析、计算步骤,内容也都是切合实际需要的。此外,许多习题都是结合国内常用的中、小规模集成电路来举例,因此这些例题和习题一方面可以作为对通用教材内容的补充,另一方面也有助于提高读者处理实际模拟电路问题的能力。

3. 作者重视教学法,在书中不仅阐述了解题的过程,而且突出了解题的思路。在题目的安排上,注意由浅入深,在内容的叙述上,着重启发引导,文笔流利,便于自学。

本人和本书作者在同一教研组共事多年,深信以他的丰富的教学与科研经验所写出的教材,必将受到广大读者的欢迎。

童诗白

1997年6月于清华大学

前言

根据国家教委颁发的《高等工业学校电子技术基础课程教学的基本要求》，作者在编写《数字电子技术基础解题指南》(1993年清华大学出版社出版)的基础上，又编写了《模拟电子技术基础解题指南》。

本书是多年教学实践的总结，以例题的形式系统论述了模拟电路的基本理论，各种典型电路的分析与设计。全书共分11章，主要包括半导体器件基础，基本放大电路，多级放大电路，反馈放大电路，集成运算放大器，运放基本运算电路，滤波电路，电压比较电路，波形发生电路，功率放大电路以及直流电源等内容。其中以基本放大电路，反馈放大电路，运算放大电路及其应用等内容为重点。

书中精心编写了求解各种典型电路的例题117道，习题482道，并附有答案。在例题和习题的选材上注重典型性和实用性，也兼顾了不同层次、不同水平读者的需要，在保证教学基本要求的前提下，适当增加了部分内容的深度和难度。例题与习题在内容的编排上由浅入深，逐步增加难度。

本书的编写得到了清华大学电子学教研室同行们的支持和帮助，作者在此向他们致以诚挚的谢意。

限于作者的水平，书中难免有错误和不妥之处，恳请读者批评指正。

作者

1997年9月于清华大学

• II •

目 录

第一章 半导体器件基础	1
一、例题(10)	1
例 1.1 半导体材料硅、锗的温度特性	1
例 1.2 PN 结结构特性说明	2
例 1.3 PN 结电容效应	3
例 1.4 二极管应用	4
例 1.5 稳压管稳压原理	4
例 1.6 三极管工作状态的判定	5
例 1.7 三极管工作状态的分析计算	6
例 1.8 由电极电位判定三极管的状态	8
例 1.9 绝缘栅场效应管偏置讨论	8
例 1.10 绝缘栅场效应管工作状态分析	10
二、习题(40)	11
三、答案	18
第二章 基本放大电路	22
一、例题(17)	22
例 2.1 放大电路正常放大的判断	22
例 2.2 放大电路静态工作点的计算	23
例 2.3 PNP 管单级放大电路静态工作点计算	24
例 2.4 微变等效电路法求交流参量	24
例 2.5 图解法求放大电路	25
例 2.6 工作点稳定电路参量计算	28
例 2.7 共集电路参量计算	30
例 2.8 共基电路参量计算	32
例 2.9 自给栅偏压电路参量计算	34
例 2.10 场效应管工作点稳定电路参量计算	35
例 2.11 场效应管源极输出电路参量计算	37
例 2.12 场效应管自举电路参量计算	38

例 2.13	放大电路下限截止频率的计算	39
例 2.14	三极管混合 π 等效电路模型	41
例 2.15	放大电路上限截止频率的计算	43
例 2.16	幅频、相频特性曲线的画法	44
例 2.17	放大电路综合计算	46
二、习题(51)	.....	49
三、答案	.....	61
第三章 多级放大电路	.....	70
一、例题(12)	.....	70
例 3.1	阻容耦合 CC-CE 电路计算	70
例 3.2	阻容耦合 CE-CB 电路计算	71
例 3.3	CC-CC 放大电路计算	74
例 3.4	CB-CC 放大电路计算	74
例 3.5	CC-CB 放大电路计算	77
例 3.6	共源-共射两级放大电路计算	79
例 3.7	直接耦合电路参量计算	79
例 3.8	共漏-共射放大电路计算	81
例 3.9	多级放大电路波形失真分析	82
例 3.10	多级放大电路频率响应	84
例 3.11	两级自举电路参量计算	86
例 3.12	三级放大电路参量计算	87
二、习题(28)	.....	90
三、答案	.....	97
第四章 放大电路中的反馈	.....	103
一、例题(13)	.....	103
例 4.1	反馈概念的建立	103
例 4.2	瞬时极性法判断电路中的反馈	103
例 4.3	反馈组态的判定(一)	104
例 4.4	反馈组态的判定(二)	105
例 4.5	反馈的方块图表示法	106
例 4.6	负反馈对放大倍数稳定性的影响	108
例 4.7	深度负反馈条件下,电压放大倍数计算公式的推导	108
例 4.8	深度负反馈条件下,电压放大倍数 A_{uuf} 的计算	110
例 4.9	一般反馈深度下电路参量计算	112
例 4.10	反馈的判断及修改	114
例 4.11	反馈放大电路的自激振荡	115

例 4.12 运放电路反馈分析	116
例 4.13 差动放大电路反馈分析	118
二、习题(36)	120
三、答案	128
第五章 集成运算放大器	132
一、例题(11)	132
例 5.1 长尾差动放大电路参量计算	132
例 5.2 双入单出长尾式电路计算	133
例 5.3 恒流源差动放大电路参量计算	135
例 5.4 单入单出差动放大电路参量计算	137
例 5.5 镜象电流源电路	139
例 5.6 微电流源电路	140
例 5.7 复合管结构的差动电路计算	141
例 5.8 场效应管差动放大电路计算	141
例 5.9 两级差动放大电路计算	142
例 5.10 OCL 互补对称输出电路	144
例 5.11 OCL 准互补输出电路	145
二、习题(35)	146
三、答案	155
第六章 运放基本运算电路	159
一、例题(10)	159
例 6.1 比例运算电路	159
例 6.2 求和运算电路	160
例 6.3 反相输入高阻抗比例运算电路	161
例 6.4 输入电阻自举扩展的反相比比例运算电路	162
例 6.5 求和积分运算电路	162
例 6.6 对数运算电路	164
例 6.7 乘除法运算电路	165
例 6.8 集成模拟乘法器应用	167
例 6.9 比例运算电路的误差分析	168
例 6.10 运放的综合应用	169
二、习题(73)	171
三、答案	190
第七章 有源滤波电路	197
一、例题(6)	197

例 7.1	一阶低通滤波电路	197
例 7.2	二阶低通滤波电路	198
例 7.3	二阶高通滤波电路	200
例 7.4	带通滤波电路	202
例 7.5	带阻滤波电路	204
例 7.6	移相滤波器	205
二、习题(34)	.....	206
三、答案	.....	212
第八章	电压比较电路	215
一、例题(8)	.....	215
例 8.1	过零电压比较电路	215
例 8.2	单限电压比较电路	216
例 8.3	滞回电压比较电路	217
例 8.4	集成电压比较器 BG307 的应用	219
例 8.5	集成电压比较器 LM311 的应用	220
例 8.6	双限电压比较电路	220
例 8.7	双限三态比较电路	222
例 8.8	双限三态比较电路的应用	223
二、习题(34)	.....	224
三、答案	.....	231
第九章	波形发生电路	238
一、例题(9)	.....	238
例 9.1	文氏桥式正弦波振荡电路	238
例 9.2	LC 正弦波振荡器振荡可能性判断	240
例 9.3	石英晶体振荡电路	242
例 9.4	矩形波发生电路	243
例 9.5	Schmitt FF 构成的矩形波电路	245
例 9.6	555 定时器构成的矩形波电路	246
例 9.7	三角波发生电路	249
例 9.8	锯齿波发生电路	250
例 9.9	阶梯波发生电路	252
二、习题(64)	.....	255
三、答案	.....	271
第十章	功率放大电路	280
一、例题(7)	.....	280

例 10.1	射极跟随输出电路	280
例 10.2	OTL 互补对称输出电路	281
例 10.3	OCL 互补对称输出电路	282
例 10.4	OCL 互补对称电路输出功率、效率的计算	283
例 10.5	准互补 OCL 对称输出电路	284
例 10.6	运放驱动的 OCL 功放电路	286
例 10.7	OCL 准互补功放电路	287
二、习题(25)	.....	290
三、答案	.....	296
第十一章 直流电源	.....	299
一、例题(14)	.....	299
例 11.1	单相半波整流电路	299
例 11.2	单相全波整流电路	300
例 11.3	桥式全波整流电路	301
例 11.4	电容滤波电路	302
例 11.5	RC 滤波电路	304
例 11.6	LC 滤波电路	305
例 11.7	稳压管稳压电路	307
例 11.8	具有放大环节的串联型稳压电路	308
例 11.9	具有辅助电源、差动放大环节和复合管结构的串联型稳压电路...	310
例 11.10	放大环节为集成运放的串联型稳压电路	311
例 11.11	三端集成稳压器 W7805 应用(一)	313
例 11.12	三端集成稳压器 W7805 应用(二)	314
例 11.13	三端可调式集成稳压器 W117 应用	315
例 11.14	具有过载保护环节的串联型稳压电路	315
二、习题(62)	.....	317
三、答案	.....	329

第一章 半导体器件基础

一、例 题 (10)

例 1.1 半导体材料硅、锗的温度特性

半导体材料硅(Si)和锗(Ge)的禁带宽度 E_G 和温度的关系如表例 1.1 所示。试说明:

1. 相同温度条件下哪种材料的电子-空穴对更多?
2. 温度升高时,两种材料的导电性能如何变化?
3. 用两种材料分别做成管子,哪种的温度特性更优?

解

1. 电子-空穴对的数量

禁带宽度 E_G 是描述外层电子摆脱轨道束缚成为自由电子能力强弱的物理量。通常 E_G 值越小,电子摆脱束缚的能力越强,跃迁的电子数越多,材料中生成的电子-空穴对数量也越多。由于 $E_{G\text{Si}} > E_{G\text{Ge}}$, 因此,同样温度条件下,锗材料中的电子-空穴对数量大于硅中电子-空穴对数。在 300K 时,两种材料中的电子数 n 和空穴数 p 为

$$\text{Si: } n = p = 1.5 \times 10^{10}/\text{cm}^3$$

$$\text{Ge: } n = p = 2.5 \times 10^{13}/\text{cm}^3$$

可见,相同温度条件下,锗中的电子、空穴数要远远大于硅。

2. 导电性能随温度变化

温度升高时,两种材料的禁带宽度 E_G 都变小,这样价带中将有更多的电子跃迁进入导带,产生更多的电子-空穴对。导带中自由电子的数量和价带中空穴的数量是衡量半导体材料导电性强弱的重要标志。温度升高,以电子-空穴对数量增加的角度看,有利于改善材料的导电性能。

3. 硅管、锗管温度特性比较

由表例 1.1 中 E_G 和温度的关系可知,0K 到 300K 两种材料 E_G 的相对变化量 $\delta_{\text{Si}}, \delta_{\text{Ge}}$ 分别为

$$\delta_{\text{Si}} = \frac{1.21 - 1.1}{1.21} = 9.09\%$$

$$\delta_{\text{Ge}} = \frac{0.785 - 0.71}{0.785} = 9.55\%$$

$\delta_{\text{Si}} < \delta_{\text{Ge}}$, 说明 Si 管的温度特性要优于 Ge 管。

表例 1.1

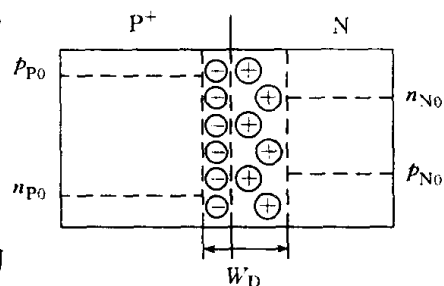
E_G/eV 温度/K	材 料	Si	Ge
0		1.21	0.785
300		1.1	0.71

例 1.2 PN 结结构特性说明

图例 1.2 所示为一个 P⁺N 结的剖面示意图。图中 p_{P0} 为平衡条件下 P⁺ 区中的多数载流子空穴的数量, n_{N0} 为 N 区的多数载流子电子的数量。

试说明:

1. 图中标出的空间电荷区 W_D 的主要特性是什么?
2. 界面两侧离子区的带电量及其展开的方向。
3. 内建电场的含义及其方向。
4. 若已知 $p_{P0} = 10^{18}/\text{cm}^3$, $n_{N0} = 10^{14}/\text{cm}^3$, 则两区中的少数载流子 n_{P0} 和 p_{N0} 各为多少?



图例 1.2

解

1. 空间电荷区 W_D 的主要特性

空间电荷区 W_D 是一个呈电中性的高阻抗的离子层。

2. 界面两侧的带电量及其展开的方向

如图例 1.2 所示, PN 结界面的左侧为带负电荷的离子层, 右侧为带正电荷的离子层, 由于总体呈电中性, 故左侧所带负电荷的总量等于右侧所带正电荷的总量。由于左侧载流子的密度要远远大于右侧 (通常高掺杂的一侧用 “+” 表示) 载流子的密度, 在带电总量相等的条件下, 右侧的宽度要大于左侧的宽度, 即 PN 结的空间电荷区的宽度应主要展向低浓度一侧。

3. 内建电场的含义及其方向

由于 PN 结界面两侧带有不同极性的电荷, 本例的 P⁺N 结为左负右正, 因而空间电荷区 W_D 内存在电场, 常称为内建电场或内建场。本例的内建场方向应为右指向左。对 PN 结而言, 内建场的方向总是由 N 指向 P。由于内建场的存在, 将阻碍 PN 结界面两侧的多数载流子向另一侧扩散。

4. 平衡条件下少数载流子数量

掺杂半导体中电子和空穴的浓度差异可以相当大, 而本征半导体中电子和空穴的数量相等, 但两种材料中的电子和空穴的数量关系满足

$$p_i \cdot n_i = p_P \cdot n_P = n_N \cdot p_N$$

式中 $p_i, n_i, p_P, n_P, p_N, n_N$ 分别为本征半导体, P 型半导体以及 N 型半导体中的空穴数和电子数。

已知平衡条件下, P 区中的多数载流子空穴 $p_{P0} = 10^{18}/\text{cm}^3$, N 区中的多数载流子电子 $n_{N0} = 10^{14}/\text{cm}^3$, 假设该 PN 结是硅材料制成的, 且处在室温 27°C (相当 300K) 条件下, 则两区中的少数载流子数量可直接用公式求得。

P 区中的电子 n_{P0} 为

$$n_{P0} = \frac{p_i \cdot n_i}{p_{P0}} = \frac{(1.5 \times 10^{10})^2}{10^{18}} = 2.25 \times 10^2/\text{cm}^3$$

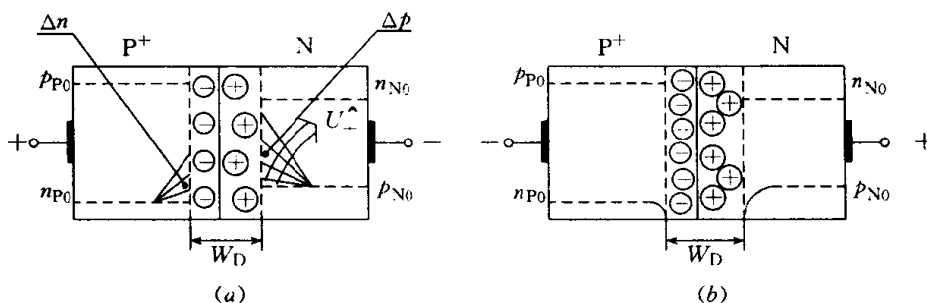
N 区中的空穴 p_{N0} 为

$$p_{N0} = \frac{p_i \cdot n_i}{n_{N0}} = \frac{(1.5 \times 10^{10})^2}{10^{14}} = 2.25 \times 10^6/\text{cm}^3$$

例 1.3 PN 结电容效应

试阐述 PN 结的外加电压极性突变时,存在的电容效应。

解 PN 结在正偏电压和反偏电压作用时载流子的分布分别如图例 1.3(a)、(b)所示。



图例 1.3

正偏电压作用下,外加电场削弱了内建场,界面两侧的多数载流子将渡越空间电荷区而进入另一区成为该区的少数载流子,亦称为非平衡载流子。非平衡载流子将随着外加正偏压的增加而增加,但随界面距离的增加而减少,其分布的状况示于图例 1.3(a)中。这时在 PN 结界面存在两种类型不同的带电粒子,一种是空间电荷层中的带电粒子,在电场作用下不能运动,另一种是堆积在离子层外侧,在电场作用下能定向运动的非平衡载流子 Δp 和 Δn 。外加电压的变化会引起这些粒子数量的增或减。粒子数量增加,电荷量也增加;粒子数量减小,电荷量也减小。电荷量的增减相当于电容的充电放电过程,常称此现象为 PN 结的电容效应。

通常将上述前一种粒子引起的电容效应称为位垒电容,用 C_b 表示,后一种粒子引起的电容效应为扩散电容,用 C_d 表示。这两种电容总称为 PN 结的结电容,用 C_j 表示。

图例 1.3(b)所示的载流子分布图是 PN 结反偏压时的情况。外电场增强了内建场的作用,可形象地看作空间电荷区 W_D 展宽了,这时紧挨着 PN 结空间电荷区 W_D 外侧的少数载流子由于热运动一旦进入空间电荷区内将被内建场迅速扫向另一区,图中的少子 n_{P0} 和 p_{N0} 曲线在靠近 PN 结 W_D 的地方呈迅速下降的趋势。

由 PN 结正偏和反偏压时的载流子分布图不难推出当加在 PN 结上的电压极性突变时载流子的分布状况。

当 PN 结由反偏压突然转为正偏压时,整个过程可用空间电荷层 W_D 变薄以及非平衡载流从无到有且随电压上升而增多来形容,前者可形象地描述为位垒电容 C_b 放电,而后者则为扩散电容 C_d 充电;反之,当 PN 结由正偏压转向反偏压时,整个过程可用非平衡载流子减少直至消失以及空间电荷区 W_D 加宽来形容,前者相当于扩散电容 C_d 放电,后者为位垒电容 C_b 充电。反偏转为正偏进入稳态后,载流子的分布图即如图例 1.3(a)所示。同样,正偏转为反偏达到稳态后载流子的分布如图例 1.3(b)所示。

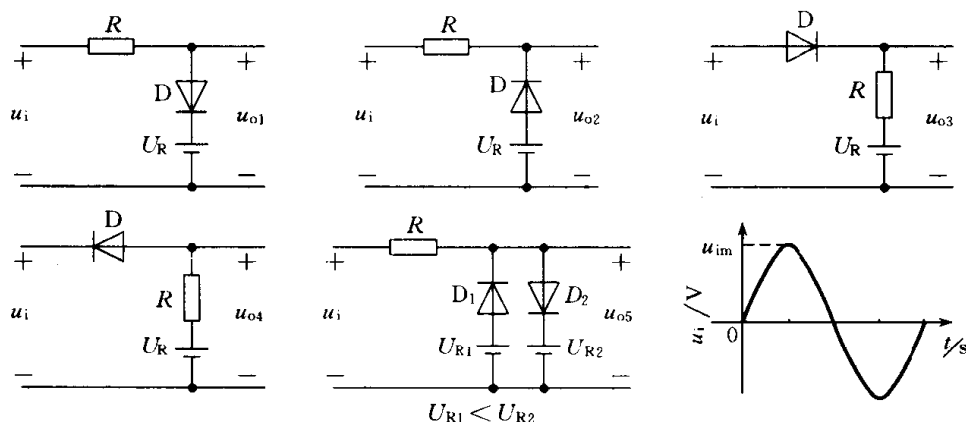
综上所述,当 PN 结外加电压极性变化时,其相应的电容效应如下:

正向电压跳为反向电压时,扩散电容 C_d 放电,位垒电容 C_b 充电;

反向电压跳为正向电压时,位垒电容 C_b 放电,扩散电容 C_d 充电。

例 1.4 二极管应用

二极管电路及其输入波形如图例 1.4(a)所示。已知输入信号的峰值 $u_{im} > U_R$ ，二极管的导通压降 U_D 可忽略，试画出输出电压 $u_{o1} \sim u_{o5}$ 的波形。



图例 1.4(a)

解 求解这类电路的思路是确定二极管 D 在信号作用下所处的状态。根据二极管单向导电的特性，即正向导通反向阻断，不难得出输出 u_o 的波形，具体分析如下。

$u_{o1} \sim u_i$: 当 u_i 值增至大于 U_R 时，二极管 D 导通，输出 u_{o1} 被 U_R 箝位，其他情况下， $u_{o1} = u_i$ 。

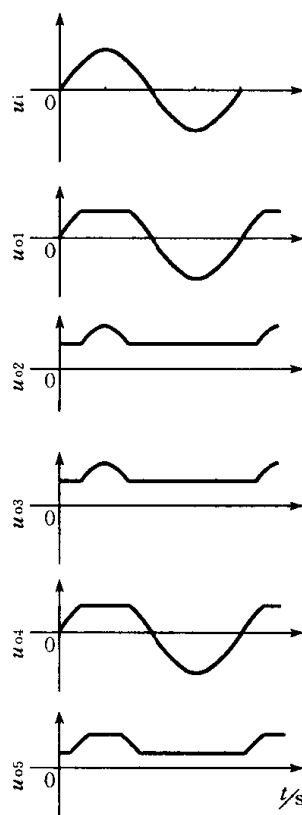
$u_{o2} \sim u_i$: 在 $u_i < U_R$ 时，D 均导通，输出 $u_{o2} = U_R$ ，只有当 $u_i > U_R$ 时，D 截止， $u_{o2} = u_i$ 。

$u_{o3} \sim u_i$: 只有当 $u_i > U_R$ 时，D 导通， $u_{o3} = u_i$ ，否则 $u_{o3} = U_R$ 。

$u_{o4} \sim u_i$: 只有当 $u_i < U_R$ 时，D 导通， $u_{o4} = u_i$ ，否则 D 截止，输出 $u_{o4} = U_R$ 。

$u_{o5} \sim u_i$: 由于 $U_{R2} > U_{R1}$ ，当 $u_i > U_{R2}$ 时， D_2 导通，输出 $u_{o5} = U_{R2}$ ；而当 $u_i < U_{R1}$ 时， D_1 导通，输出 $u_{o5} = U_{R1}$ 。

根据上述分析，画出 $u_{o1} \sim u_{o5}$ 的波形示于图例 1.4(b)中。



图例 1.4(b)

例 1.5 稳压管稳压原理

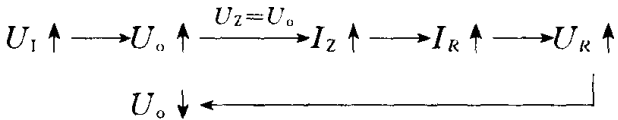
稳压管 D_Z 组成图例 1.5(a)所示的稳压电路。试分析当输入 U_i 变化时或输出负载电阻 R_L 变化时，输出 U_o 能稳压的原因。

解 稳压管的特性曲线如图例 1.5(b)所示。图中曲线表明，稳压管处于稳压状态时，在较大的电流变化范围内，稳压管上的电压变化并不大，即稳压管的等效电阻

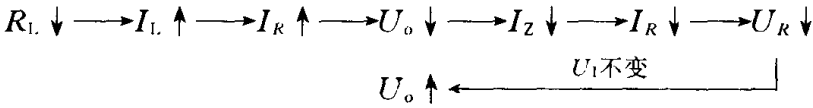
$$r_z = \frac{\Delta U_z}{\Delta I_z}$$

很小。

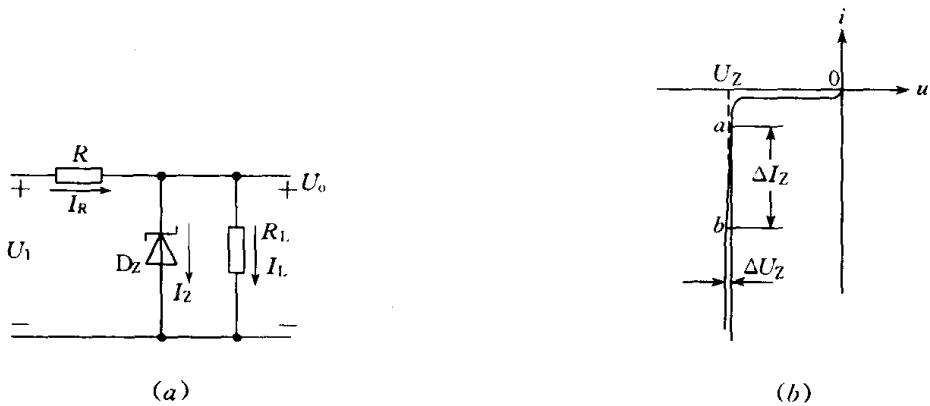
现结合图例 1.5(a) 电路讨论稳压管稳压的机理。先考虑输入信号 U_1 变化。设 $U_1 \uparrow$ ，变化过程如下：



再考虑负载变化。设 $R_L \downarrow$ ，变化过程如下：



由此可见，用稳压管 D_Z 使输出电压 U_o 得以稳定是通过稳压管中的电流 I_Z 的调节而实现的。



图例 1.5

例 1.6 三极管工作状态的判定

NPN 三极管 T 组成的共射电路如图例 1.6 所示。设 T 的 $U_{BE} = 0.7V$ ，饱和压降为 U_{CES} 。试判定三极管处于何种工作状态（放大、饱和、截止）。

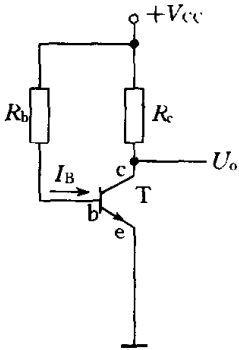
解 通常判定三极管处于何种工作状态可用下述 3 种方法。

1. 三极管结偏置的判定法

三极管发射结、集电结的偏置和管子工作状态的关系示于表例 1.6(a) 中。

表例 1.6(a)

偏置 \ 结	发射结	集电结
截止	反偏或零偏	反偏
放大	正偏	反偏
饱和	正偏	正偏或零偏



图例 1.6

2. 三极管电流关系判定法

三极管中的电流和工作状态间的关系如表例 1.6(b) 所示。表中的参量 I_{BS} 称为三极管临界饱和时基极应注入的电流, I_{BS} 大小为

$$I_{BS} = \frac{V_{CC} - U_{CES}}{\beta R_C}$$

表例 1.6(b)

电 流 关 系 工作状态	I_B	I_C	I_E
截止	0	0	0
放大	>0	βI_B	$I_B + I_C = (1 + \beta) I_B$
饱和	$I_B \geq I_{BS}$	$< \beta I_B$	$< (1 + \beta) I_B$

通常对硅管而言, 临界饱和时三极管集电极、发射极间的饱和压降 $U_{CES} = 0.7V$, 深饱和时的 $U_{CES} \approx 0.1V \sim 0.3V$ 。

当基极偏置电流 $I_B^* \geq I_{BS}$ 时, T 饱和, 而当 $0 < I_B < I_{BS}$ 时, T 处在放大状态。

3. 三极管电位判定法

共射电路三极管基极电位 U_B 、集电极电位 U_C 和三极管工作状态的关系, 如表例 1.6(c) 所示。

3 种判定方法中, 第 3 种常用于实验测定, 而第 2 种则常用于解题过程中。

表例 1.6(c)

电 位 值 /V 工作状态	U_B	U_C
截止	≤ 0	V_{CC}
放大	0.7	$U_{CES} < U_C < V_{CC}$
饱和	0.7	U_{CES}

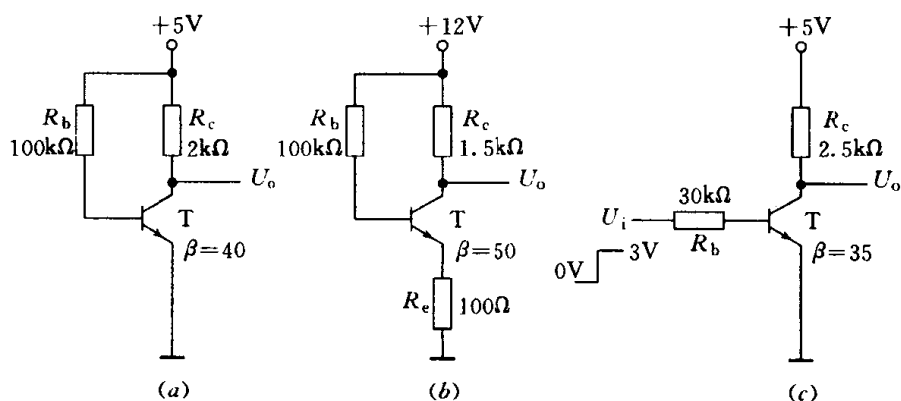
例 1.7 三极管工作状态的分析计算

NPN 型三极管接成图例 1.7 所示的 3 种电路。试分析电路中三极管 T 处于何种工作状态。设 T 的 $U_{BE} = 0.7V$ 。

解 根据例 1.6 介绍的判定三极管工作状态的第 2 种方法, 通过比较基极电流 I_B 和 I_{BS} 的大小来判定图例 1.7 中三极管 T 的状态。

对于图例 1.7(a) 电路, 基极偏置电流 I_B 为

* 本书中用 I_B 表示三极管基极偏置电流的直流量, 用 I_b 表示其交流有效值, 用 i_B 表示其直流、交流瞬时总量, 用 i_b 表示其交流瞬时量。电压量的表示方法类同。



图例 1.7

$$I_B = \frac{V_{CC} - U_{BE}}{R_b} = \frac{5 - 0.7}{100} = 0.043(\text{mA}) = 43(\mu\text{A})$$

临界饱和时的基极偏置电流 I_{BS} 为

$$I_{BS} = \frac{V_{CC} - U_{CES}}{\beta R_C} = \frac{5 - 0.7}{40 \times 2} = 0.054(\text{mA}) = 54(\mu\text{A})$$

由于 $I_B < I_{BS}$, 故三极管 T 处在放大状态。

判断图(a)电路三极管的工作状态是放大还是饱和, 也可通过直接比较电阻 R_b 和 βR_c 的大小来确定, 即

$R_b > \beta R_c$ 时, T 为放大状态;

$R_b < \beta R_c$ 时, T 为饱和状态。

这种方法更为简捷明了。

图(b)电路中考虑到三极管发射极有电阻 R_e , 故基极偏置电流 I_B 的表达式应为

$$I_B = \frac{V_{CC} - U_{BE}}{R_b + (1 + \beta)R_e} = \frac{12 - 0.7}{100 + 51 \times 0.1} = 0.11(\text{mA})$$

而 I_{BS} 的计算式为

$$I_{BS} \approx \frac{V_{CC} - U_{CES}}{\beta(R_C + R_e)} = \frac{12 - 0.7}{50 \times (1.5 + 0.1)} = 0.14(\text{mA})$$

由于 $I_B < I_{BS}$, 故图(b)电路中三极管 T 也处在放大状态。

对图(c)电路的讨论, 应分为 $U_i = 0\text{V}$ 和 $U_i = 3\text{V}$ 两种情况。

在 $U_i = 0\text{V}$ 时, 三极管的发射结无正向偏置, 故三极管 T 处于截止状态。

当 $U_i = 3\text{V}$ 时, 可直接求得 I_B , 即

$$I_B = \frac{U_i - U_{BE}}{R_b} = \frac{3 - 0.7}{30} = 0.077(\text{mA})$$

临界饱和基极偏置电流 I_{BS} 为

$$I_{BS} = \frac{V_{CC} - U_{CES}}{\beta R_C} = \frac{5 - 0.7}{35 \times 2.5} = 0.049(\text{mA})$$

因 $I_B > I_{BS}$, 故图(c)电路中的三极管 T 处在饱和状态。

三极管处于放大状态的电路通常为放大电路, 而三极管处于截止和饱和状态的电路常称为开关电路。前者主要应用于模拟电子电路中, 而后者主要出现在数字电子电路中。