

704

中等职业教育国家规划教材

711.1-41
521

电子技术

周 敏 唐永强 编 著

赖荣宗 责任主审

陈广余 李 元 审 稿

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 提 要

本书根据教育部 2000 年新颁布的《中等职业学校电子技术教学大纲(试行)》要求和新的教学体系编写,为中等职业学校工科非电类及相关专业三年制通用教材。

全书共 15 章,分为三篇。第一篇(第 1 章~第 7 章)是模拟电子技术部分。主要内容为:常用半导体元件知识;半导体三极管基本放大电路;负反馈在放大器中的应用;正弦波振荡器;集成运算放大器及其应用;功率放大器;调制与解调。第二篇(第 8 章~第 13 章)是数字电子技术部分。主要内容为:数字电路基础;组合逻辑电路;时序逻辑电路;脉冲信号的产生和交换;D/A 转换器和 A/D 转换器;半导体存储器及其他。第三篇(第 14 章、第 15 章)是电力电子技术部分。主要内容为:直流稳压电源;晶闸管和其他大功率器件及其应用。各章节的重要知识点安排了演示实验、例题、课堂练习、自测题等。根据大纲要求编写的 18 个实验(或实训)集中安排在书的最后。书中对选学内容标上 * 号,以方便不同教学要求和不同专业的自由组合。

本书除了可作为中等职业学校工科非电类及相关专业教材外,也可供机电一体化专业使用或具有初中以上文化程度的读者作为自学用书。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,翻版必究。

图书在版编目(CIP)数据

电子技术/周敏等编著. - 北京:电子工业出版社,2001.6

中等职业教育国家规划教材

ISBN 7-5053-6245-3

I. 电… II. 周… III. 电子技术 - 专业学校 - 教材 IV. TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 043057 号

丛 书 名:中等职业教育国家规划教材

书 名:电子技术

编 著 者:周 敏 唐永强

责任主审:赖荣宗

审 稿:陈广余 李 元

责任编辑:陈晓明

排版制作:电子工业出版社计算机排版室

印 刷 者:北京兴华印刷厂

装 订 者:三河市双峰装订厂

出版发行:电子工业出版社 URL:<http://www.phei.com.cn>

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

经 销:各地新华书店

开 本:787×1092 1/16 印张:13.25 字数:339 千字

版 次:2001 年 6 月第 1 版 2001 年 6 月第 1 次印刷

书 号:ISBN 7-5053-6245-3
TN·1384

印 数:10 100 册 定价:14.00 元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页、所附磁盘或光盘有问题者,请向购买书店调换;

若书店售缺,请与本社发行部联系调换。电话 68279077

前 言

本教材根据教育部 2000 年新颁布的《中等职业学校电子技术教学大纲(试行)》要求编写,为中等职业学校工科非电类及相关专业三年制通用(多学时)教材。

本教材采用模块式编排。全书包含模拟电子技术、数字电子技术、电力电子技术三大模块,各章节组成小模块。主要内容有:常用半导体器件、基本放大电路、运算放大器、数字电路基础知识、组合逻辑电路、时序逻辑电路、波形产生及变换电路、电源电路等。实验与实训集中放在全书最后。书中对选学内容标以 * 号,以方便各专业的不同要求和不同学时的需要。

本教材力求贯彻以能力为本、以应用为主线的新课程体系;面向实际,适当降低理论教学难度。如:电子器件着眼于讲清外特性;基本电路着眼于应用,简化定量分析。在选材上,注意尽可能采用贴近生产实际,反映当前新知识、新技术的内容,大纲中要求“掌握”或“理解”的知识点,一般都配以适当的课堂练习或例题,便于教师开展教学,帮助学生更好掌握、理解。教材中的基本教学要求一般都以自我检查题的形式出现,以便于学生复习。

本教材贯彻理论联系实际的原则,知识点的引入采用实物示教、演示实验等直观教学方式,每单元都配以相应的实验。教材中的演示实验大多可在 Electronics Workbench 5.0(电子工作台)上实现,使课堂教学生动活泼,学生易学易懂。

本教材由上海第一仪表电子工业学校唐永强老师、周敏老师编写,由周敏老师担任主编,上海现代职业技术学校黄亲民老师担任主审。同时,通过教育部特邀赖荣宗、陈广余、李元等对全书进行审定。

由于编写时间过于仓促,加上编者水平有限,教材中一定会有不少欠缺和错误,恳请使用本教材的师生和读者提出宝贵意见,以利于今后改进。

编者

2001 年 5 月

第一篇 模拟电子技术

第 1 章 常用半导体器件

1.1 半导体二极管(Semiconductor Diode)

1.1.1 半导体二极管的结构和符号

半导体二极管又称晶体二极管,简称二极管。世界上第一个晶体二极管诞生于 1946 年,而 1947 年第一个晶体三极管制成后,使半导体技术得到了极为迅速的发展,在这个基础上进一步发展起来的集成电路技术更把半导体器件所具有的微型化、低耗能、高可靠性等一系列优点发挥得淋漓尽致,使半导体器件在全世界各个领域都获得了广泛的应用。

半导体二极管是用半导体材料制成的。半导体是导电性能介于导体和绝缘体之间的物质,如硅、锗。纯净的半导体又称本征半导体,其原子都按一定规律整齐排列,呈晶体结构。半导体材料受热或受光照后,其导电性能会变强,这就是半导体的热敏特性和光敏特性。另外,在本征半导体中掺入微量的杂质后,导电性能会显著提高,这就是半导体的掺杂特性。在本征半导体

中掺入不同种类的杂质元素,就能得到导电性能不同的半导体材料。如果在硅晶体中掺入微量的三价硼元素,就会得到以空穴载流子为主的空穴型半导体,空穴载流子是带正电荷的,空穴型半导体又称为 P 型半导体。如果在硅晶体中掺入微量的五价磷元素,就会得到以电子载流子为主的电子型半导体,电子载流子是带负电荷的,电子型半导体又称为 N 型半导体。如果通过一定的生产工艺把 P 型半导体和 N 型半导体结合在一起,就会在它们的交界处形成一个具有特殊性能的薄层,称为 PN 结。PN 结是构成各种半导体器件的核心部分。给 PN 结装上相应的电极引出端及管壳,就制成了半导体二极管。半导体二极管的图形符号、外形及结构如图 1-1 所示。

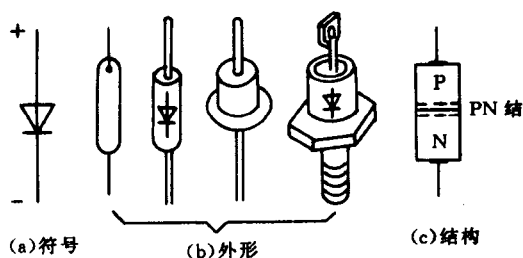


图 1-1 半导体二极管图形符号、外形及结构

1.1.2 PN 结和它的单向导电性

PN 结具有单向导电性,这是半导体二极管的一个重要特性,但其只有在外加电压时才显示出来。

演示实验:观察半导体二极管的单向导电性。

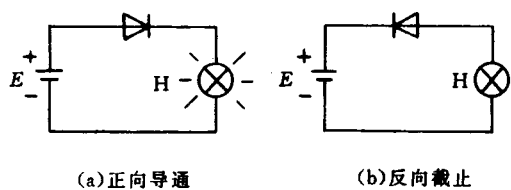


图 1-2 半导体二极管的单向导电性演示实验

表明二极管截止。

由上述演示实验可知:半导体二极管外加正偏电压时导通,外加反偏电压时截止。这就是半导体二极管的单向导电性。

1.1.3 半导体二极管的伏安特性曲线

演示实验:观察二极管的伏安特性曲线。

应用晶体管特性图示仪(如 JT-1、QT-2 等)来观察及测量半导体二极管的伏安特性曲线。图 1-3 为小功率硅二极管的伏安特性曲线。

从二极管的伏安特性曲线可知,当二极管两端加较小的正向电压时,二极管还不能导通,这一段(0A 段)称为死区电压(硅管死区电压小于 0.5V,锗管死区电压小于 0.1V)。超过死区电压后,二极管中电流开始增大,继续增加电压直至只要电压略有增加,电流便急剧增大(B 点),这时二极管称为导通(硅管导通电压约为 0.7V,锗管约为 0.3V),此时二极管在电路中相当于一个开关的接通状态。以上为二极管伏安特性曲线中正向特性的特点。

当二极管两端加反向电压(小于某一数值)时,二极管并不是理想的截止状态,它会有很小的反向

电流,而且反向电流在一定范围内基本不随反向电压变化而变化(0C 段),称为反向饱和电流(一般硅管约为几到几十 μA ,锗管约为几十到几百 μA),此时二极管在电路中相当于一个开关的断开状态。由于半导体具有热敏特性,因此反向饱和电流将随温度升高而增大。通常温度每升高 10°C ,其反向饱和电流约增大一倍。当反向电压增大至某一数值后,反向电流开始急剧增大(D 点),二极管将被击穿,有可能把普通的二极管烧坏。以上为二极管伏安特性曲线中的反向特性的特点。

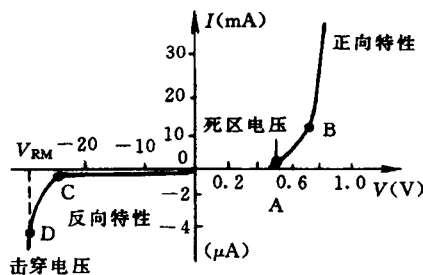


图 1-3 硅二极管的伏安特性曲线

1.1.4 半导体二极管的主要参数(Parameters)

1. 最大整流电流 I_F

指二极管在室温下长期运行允许通过的最大正向平均电流。超过这一数值二极管将因过热而烧坏。工作电流较大的大功率管子还必须按规定安装散热装置。

2. 最高反向工作电压 V_{RM}

该电压是指允许加在二极管上的反向电压的最大值。使用时应保证反向电压在任何情况下都不要超过这一数值,以避免二极管被反向击穿。

此外,还有正向压降、反向电流、工作频率等参数,选用二极管时也应视具体情况而加以考虑。

1.1.5 特殊二极管的作用

二极管的种类很多,利用 PN 结的单向导电性特点工作的有整流二极管、检波二极管、开关二极管等。此外,人们还根据 PN 结的其他特点制造出了一些具有特殊用途的二极管,如稳压二极管、变容二极管、光电二极管以及发光二极管等等。以下简单介绍常见的几种二极管。

1. 稳压二极管(其图形符号为本)

根据前面的介绍我们知道,当二极管上外加的反向电压增大到一定数值以后,二极管的反向电流会剧增,这就是反向击穿现象。对整流二极管来说,反向击穿就意味着管子失去单向导电性而损坏。但是如果利用二极管反向击穿时通过管子的电流在很大范围内变化,而管子两端的电压却几乎不变的特点,就可以实现稳压。稳压二极管就是通过对半导体进行特殊工艺处理后,使它能够有一个陡峭的反向击穿特性。稳压管实质上是工作在反向击穿状态下的二极管,未反向击穿时,和一般的整流二极管没有太大区别,因为它工作在反向击穿状态,所以反向电流较大,在实际应用中需要在外电路串联一个限流电阻,对反向电流加以限制,使稳压管能安全工作。

常用稳压管有 2CW 和 2DW 系列。主要参数有:稳压电压 V_Z 、稳定电流 I_Z 、最大稳定电流 I_{ZM} 、动态电阻 r_Z 和最大耗散功率 P_{ZM} 。

2. 发光二极管(其图形符号为)

发光二极管的 PN 结是工作在正向偏置状态的。发光二极管是用特殊的半导体材料,如砷化镓等制成的,砷化镓半导体辐射红光;磷化镓半导体辐射绿光或黄光等等。发光二极管的 PN 结正向特性比较特殊,当工作电流为 $10\text{mA} \sim 30\text{mA}$ 左右时,正向电压降约为 $1.5\text{V} \sim 3\text{V}$,这点在使用中要注意,不要与一般二极管的正向导通电压相混淆。发光二极管常用作电子设备中的显示器。它具有体积小、响应快、光度强、寿命长等特点。

自我检查题

1. 半导体二极管具有 _____ 特性,即外加 _____ 电压,二极管导通,有 _____ 的电流通过二极管;外加 _____ 电压,二极管截止,只有 _____ 的反向电流通过二极管

A. 导电; B. 单向导电; C. 正偏; D. 反偏; E. 较大; F. 很小

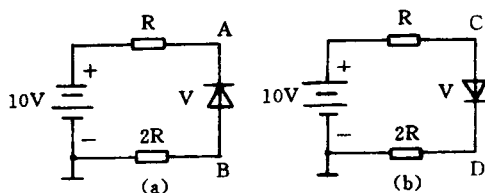


图 1-4

2. PN 结具有单向导电性,其导电方向是从_____

A. P 区到 N 区; B. N 区到 P 区

3. 通常小功率硅二极管的正向导通压降是_____ V,小功率锗二极管的正向导通压降是_____ V。

A. 0.1V; B. 0.3V; C. 0.5V; D. 0.7V

4. 电路如图 1-4 所示,试确定二极管是正偏还是反偏。设二极管正偏时的正向压降为 0.7V,分别估算 (a)图和(b)图的 V_A 、 V_B 、 V_C 、 V_D 、 V_{AB} 、 V_{CD} 。

5. 一个硅二极管的反向饱和电流在 25℃ 时是 $10\mu\text{A}$,那么在 55℃ 时它的反向饱和电流约为多少?

1.2 半导体三极管

1.2.1 半导体三极管的结构和符号

常见半导体三极管的外形及管脚排列,如图 1-5 所示。

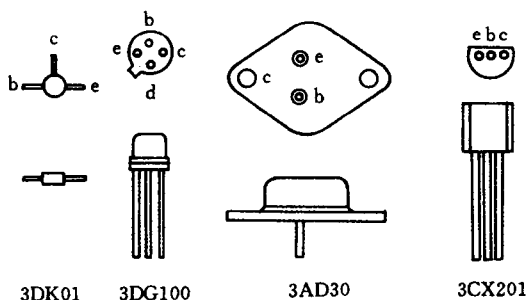


图 1-5 半导体三极管的外形和管脚排列

半导体三极管简称为三极管或晶体管,它是应用在电子电路中的很普遍的一种半导体器件。三极管的基本结构是在一块半导体基片上,用一定的工艺方法形成两个 PN 结和三个导电区,如图 1-6 所示,如果两边是 N 区中间为 P 区,就称为 NPN 型三极管;如果两边是 P 区而中间是 N 区,就称为 PNP 型三极管。三极管有三个导电区,从中分别引出三个电极。中间的一个导电区称为基区,由此引出的电极称为基极 B

(Base)。两边分别是发射区和集电区,分别引出的电极为发射极 E (Emitter)和集电极 C(Collector)。发射区用来发射载流子,集电区用来收集载流子。三极管的图形及符号如图 1-6(b)、(d)所示,其中发射极箭头方向表示发射结正向偏置时的电流方向,因此从它的方向即能判断管子是 NPN 型还是 PNP 型。

NPN 型和 PNP 型两种类型的三极管,按其所选用的本征半导体材料的不同,有硅管和锗管之分。

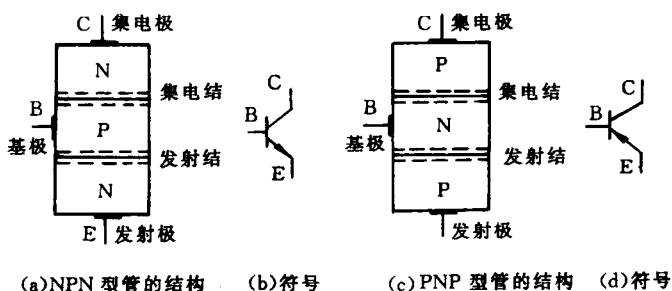


图 1-6 半导体二极管的结构和符号

1.2.2 三极管的电流放大作用

为了实现电流放大作用,半导体三极管除了内部结构上的特点之外,还必须具备合适的外部条件,既要给三极管的发射结加正向电压,又要给集电结加反向电压。以 NPN 型管为例,如图 1-7 所示,图中 $V_{CC} > V_{BB}$,基极电源 V_{BB} 的极性应保证使发射结处于正向偏置;而集电极电源

V_{CC} 的极性应保证集电结处于反向偏置。其中三个电极的电位关系是 $V_C > V_B > V_E$ 。如果是PNP型管,就应将基极电源 V_{BB} 和集电极电源 V_{CC} 的极性均反过来,这时 I_B 、 I_C 、 I_E 的方向也反过来了,三个电极的电位关系为 $V_C < V_B < V_E$ 。

在图 1-7 所示电路中, I_B 所经过的回路称为输入电路, I_C 所经过的回路称为输出电路,两个电路的公共端是三极管的发射极 E,所以上述电路称为共发射极(Common Emitter)电路,简称共射电路。此外还有共基极(Common Base)电路,简称共基电路,以及共集电极(Common Collector)电路,简称共集电路。

演示实验:测量 I_B 、 I_C 、 I_E ,并研究它们之间的相互关系。

演示电路如图 1-7 所示,改变 R_B 可以改变基极电流 I_B ,而且集电极电流 I_C 与发射极电流 I_E 也随之变化。测量结果如表 1.1 所示。从这些实验数据,我们可以得到以下结论。

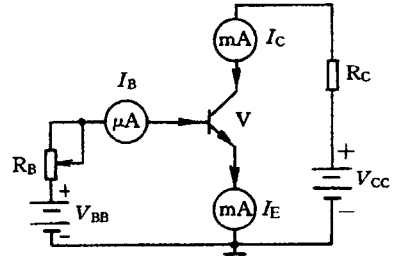


图 1-7 三极管电流放大的实验电路

表 1.1 三极管电流放大实验测试数据

电流(mA)	实验次数		
	1	2	3
I_B	0	0.02	0.04
I_C	≈ 0	1.14	2.31
I_E	≈ 0	1.16	2.34

(1) I_B 、 I_C 、 I_E 三个电流符合基尔霍夫电流定律。

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

由于 I_B 很小,所以 I_C 和 I_E 相差很小,即 $I_C \approx I_E$ 。

(2) I_C 与 I_B 的关系。对一个确定的三极管而言, I_C 与 I_B 的比值基本不变,该比值称为共发射极直流电流放大系数(Current Amplification Factor) $\bar{\beta}$ 。

$$\bar{\beta} = \frac{I_C}{I_B} \quad (1-2)$$

(3) 基极电流的微小变化(ΔI_B)能引起集电极电流的较大变化(ΔI_C), ΔI_C 和 ΔI_B 之比称为共发射极交流电流放大系数,记作 β 。

$$\beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} \quad (1-5)$$

从表 1.1 实验数据中可见,测量时由于每次三极管的工作电流大小不同,而三次测量的 β (或 $\bar{\beta}$) 也有一定的差异,这说明 β (或 $\bar{\beta}$) 与三极管的工作电流大小有关。

(4) 基极开路时(即 $I_B = 0$), I_C 不为零。这时的 I_C 值称为穿透电流,记作 I_{CEO} 。 I_{CEO} 很小,锗管为 mA 级,而硅管为 μA 级。因为 I_{CEO} 是 $I_B = 0$ 时的 I_C 值,所以 I_{CEO} 不受 I_B 的控制。

(5) β 和 $\bar{\beta}$ 的区别和联系。因为当 $I_B = 0$ 时, $I_C = I_{CEO}$;而当基极电流由 0 增至 I_B 时,集电极电流也相应地由 I_{CEO} 增至 I_C ,故有

$$\beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} = \frac{I_C - I_{CEO}}{I_B - 0}$$

于是可得出

$$I_C = \beta I_B + I_{CEO} \quad (1-4)$$

式(1-4)表明了 I_C 和 I_B 的关系,因为 I_{CEO} 很小,所以 $I_C \approx \beta I_B$ 或 $\beta \approx \bar{\beta}$,故在工程上对 β 和 $\bar{\beta}$ 不作严格区分,估算时可以通用。

根据以上分析可知, I_E 是由 I_C 和 I_B 组成的,所谓电流放大并非大电流 I_C 是由小电流 I_B 放大而来,而是大电流 I_C 受小电流 I_B 控制。以小控大,使 I_C 随 I_B 的变化而变化的过程,就是三极管电流放大作用的实质。

课堂练习:某三极管的电流分配关系数据如表 1.1 所示,求 $I_B = 0.02\text{mA}$ 时的 β 和 $\bar{\beta}$ 。

1.2.3 半导体三极管特性曲线

由于共发射极电路在电子电路中应用最为广泛,所以下面仍以 NPN 型硅管为例,分析讨论三极管共发射极接法时的特性曲线。

1. 输入特性(Input Characteristics)

指当 V_{CE} 一定时, I_B 与 V_{BE} 之间的关系曲线,即

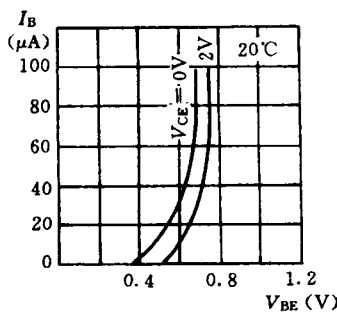


图 1-8 三极管的输入特性曲线

$$I_B = f(V_{BE})|_{V_{CE}=\text{常数}}$$

演示实验:用晶体管特性图示仪测量三极管的输入特性曲线。

实验结果如图 1-8 所示。由图可见,三极管的输入特性是非线性的,与二极管正向特性相似,也有一段死区电压(硅管约 0.5V,锗管约 0.2V)。当三极管正常工作时,发射结压降变化不大,该压降称为导通电压(硅管约 0.6V~0.7V,锗管约 0.2V~0.3V)。由实验还可知,当 V_{CE} 增大时输入特性曲线会向右平移,但 V_{CE} 大于 2V 后,该曲线基本不再向右平移而趋于重合。

2. 输出特性(Output Characteristics)

指当 I_B 一定时, I_C 与 V_{CE} 之间的关系曲线,即

$$I_C = f(V_{CE})|_{I_B=\text{常数}}$$

演示实验:用晶体管特性图示仪测量三极管的输出特性曲线。

实验结果如图 1-9 所示。由图可见,三极管的输出特性中,对应于每一个 I_B 值,就有一条特性曲线与之对应,所以三极管的输出特性是一组曲线,它可分为放大区(Active Region)、饱和区(Saturation Region)和截止区(Cutoff Region)三个工作区域。如图 1-10 所示。它们分别与三极管的三种工作状态:放大状态、饱和状态、截止状态相对应。

(1)放大区。三极管处于放大状态的条件是:发射结正偏和集电结反偏。就是在输出特性曲线上 $I_B > 0$ 和 $V_{CE} > 1\text{V}$ 的部分,即曲线平坦区域,如图 1-10 所示。可见当 I_B 不变时 I_C 基本不变,即具有恒流特性; I_B 改变, I_C 随之改变,表明 I_C 受 I_B 控制,具有电流放大作用。

(2)饱和区。如果发射结正偏且集电结也是正偏,则三极管处于饱和状态。也就是在输出特性曲线上, I_C 随 V_{CE} 的增大而增大的区域,如图 1-10 所示,此时 $I_C \approx \beta I_B$ 的关系不成立。饱和

时集电极电流 I_C 不再随 I_B 的变化而变化,此时的 I_C 记作 I_{CS} ,称为集电极饱和电流。集电极饱和电流 I_{CS} 主要由外电路决定:

$$I_{CS} = \frac{V_{CC} - V_{CES}}{R_C} \approx \frac{V_{CC}}{R_C} \tag{1-5}$$

三极管饱和时其管压降 V_{CE} 称为饱和压降 V_{CES} , V_{CES} 很小,一般小功率的硅管约 0.3V,锗管约 0.1V,此时三极管相当于开关的接通。

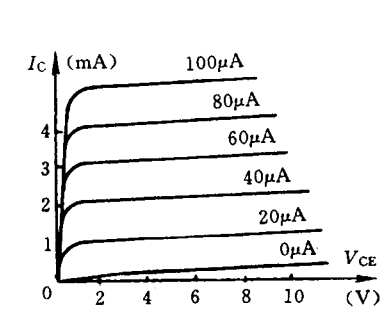


图 1-9 三极管的输出特性曲线

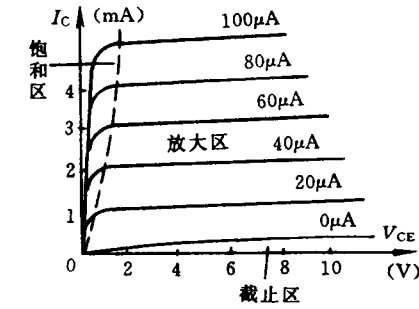


图 1-10 三极管的三个工作区域

(3)截止区.发射结反偏时,因发射结两端电压小于死区电压,由三极管的输入特性曲线可知 $I_B \approx 0$ 。由三极管的输出特性曲线可知, $I_B = 0$ 时, $I_C = I_{CEO} \approx 0$,三极管处于截止状态,即在输出特性曲线中 $I_B = 0$ 以下的区域,如图 1-10 所示,此时 V_{CE} 近似等于集电极电源电压 V_{CC} ,三极管相当于开关的断开。

NPN 型小功率三极管在三种工作状态时各极电压的典型数据如表 1.2 所示。

表 1.2 NPN 型小功率三极管各极电压的典型数据

管 型 \ 各 极 电 压	饱和区		放大区	截止区		备 注
	$V_{BE}(V)$	$V_{CE}(V)$	$V_{BE}(V)$	$V_{BE}(V)$		
				一般	可靠截止	
硅管	0.7	0.3	0.7	<0.5	0	对 PNP 型管,相应 各极电压极性相反
锗管	0.2	0.1	0.2	<0.1	-0.1	

综上所述,三极管使用时通常有两种不同的方式:第一种是三极管工作在放大状态,利用 I_B 对 I_C 的控制作用,这是三极管在模拟电子技术中的应用;第二种是三极管工作在开关状态,利用三极管在饱和与截止两个状态之间转换,使三极管相当于一个受控开关,这是三极管在脉冲数字电子技术中的应用。

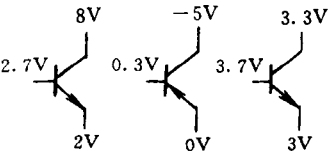


图 1-11

课堂练习:试判断图 1-11 所示的各三极管工作在什么状态? 并说明各三极管的管型。

1.2.4 三极管的主要参数

1. 共发射极直流电流放大系数 $\bar{\beta}$ 和交流电流放大系数 β

$\bar{\beta}$ 表示三极管工作点附近集电极电流与相应的基极电流之比, $\bar{\beta}$ 还可从三极管的输出特

性曲线上求出。

β 值表示三极管工作点附近集电极电流的变化量与相应的基极电流变化量之比, β 值也可以从三极管的输出特性曲线上求得。

课堂练习: 三极管的输出特性曲线如图 1-10 所示, 试求在 $V_{CE}=6V$ 处的 β 和 $\bar{\beta}$ 的值。

2. 集电极-发射极穿透电流 I_{CEO}

由于 I_{CEO} 不受 I_B 控制, 而且 I_{CEO} 对温度变化比较敏感, 所以希望 I_{CEO} 越小越好, 以免影响放大电路的稳定性。由于硅管的 I_{CEO} 远小于锗管, 因此人们在多数情况下选用硅管。

3. 极限参数

指在三极管正常工作时, 所允许的最大电流、电压和功率等极限参数, 它关系到三极管的安全使用问题。

(1) 集电极最大允许电流 I_{CM} 。工作时 I_C 若超过 I_{CM} , 三极管的 β 值将明显下降, β 值低于额定值的三分之二后, 三极管的特性将变差。

(2) 集电极-发射极反向击穿电压 $V_{(BR)CEO}$ 。工作时, V_{CE} 应小于此值, 以免击穿。另外温度升高将使 $V_{(BR)CEO}$ 降低, 因此应留有一定余量。

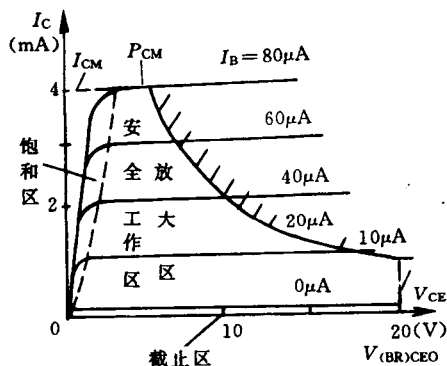


图 1-12 三极管的安全工作区

(3) 集电极最大耗散功率 P_{CM} 使用中应特别注意 I_{CM} 和 V_{CE} , 绝不能同时达到或超过规定的 I_{CM} 和 $V_{(BR)CEO}$, 否则它们的乘积将超过 P_{CM} 很多, 使三极管过热而损坏。

在输出特性曲线上, 三极管 I_C 不能超过 I_{CM} , 电压 V_{CE} 不能超过 $V_{(BR)CEO}$, 且 I_C 和 V_{CE} 的乘积不能超过 P_{CM} , 所以三极管只能工作在如图 1-12 所示的安全工作区。

半导体器件的主要缺点是热稳定性较差, 三极管的各种参数几乎都受温度变化的影响。比如, 温度上升, β 和 I_{CEO} 都将增大, 使三极管输出特性曲线中曲线与曲线之间的间隔变宽, 并且使整个输出特性曲线向上移。也就是说, 在相同的 I_B 情况下, I_C 随温度升高而增大。

课堂练习: 某三极管的输出特性如图 1-12 所示, 试求出三极管的 β 、 $V_{(BR)CEO}$ 和 I_{CM} 、 I_{CEO} 等参数。

自我检查题

1. 当半导体三极管的 _____ 结正向偏置、_____ 结反向偏置时, 三极管具有 _____ 作用, 即 _____ 能控制 _____。
2. 试判断图 1-13 所示的各三极管工作在何种状态?
3. 测得某三极管 $I_B=10\mu A$ 时, 有 $I_C=1.1mA$; $I_B=20\mu A$ 时, 有 $I_C=2.2mA$, 试求此三极管的 β 为多少? 另求当 $I_B=30\mu A$ 时, I_C 为多少?

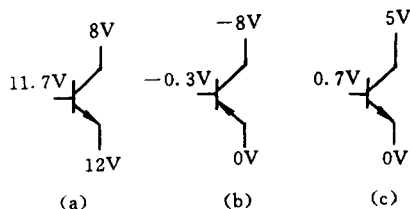


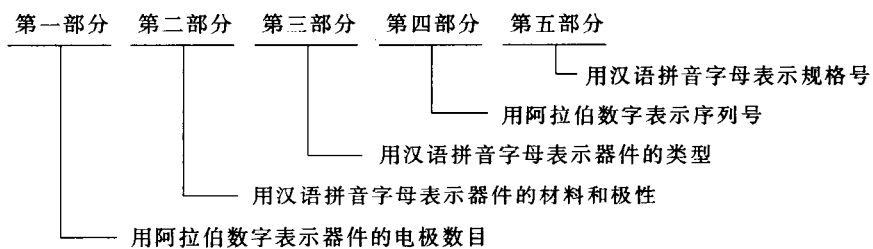
图 1-13

1.3 半导体器件产品手册查阅

1.3.1 半导体器件型号命名方法

我国半导体器件的型号是按照它们的极性、材料、类型来命名的。根据国家标准 GB249-74,一般半导体器件的型号的命名由五部分组成。

说明:场效应器件、半导体特殊器件、复合管、PIN 管、激光器件的型号命名只有三、四、五部分。



半导体器件型号各组成部分的符号及意义,如表 1.3 所示。

表 1.3 我国半导体器件型号组成部分的符号及其意义

第一部分		第二部分		第三部分				第四部分	第五部分
用数字表示器件的电极数目		用汉语拼音字母表示器件的材料和极性		用汉语拼音字母表示器件的类型				用数字表示器件序号	用汉语拼音字母表示规格号
符号	意义	符号	意义	符号	意义	符号	意义	意义	意义
2	二极管	A	N 型,锗材料	P	普通管	X	低频小功率管	反映了直流参数、交流参数和极限参数等的差别	反映了承受反向击穿电压的程度,如规格号为 A、B、C、D …… ,其中 A 承受的反向击穿电压最低, B 次之
		B	P 型,锗材料	V	微波管	G	高频小功率管		
		C	N 型,硅材料	W	稳压管	D	低频大功率管		
		D	P 型,硅材料	C	参量管	A	高频大功率管		
3	三极管	A	PNP 型,锗材料	Z	整流管	T	半导体闸流管		
		B	NPN 型,锗材料	L	整流堆	Y	体效应器件		
		C	PNP 型,硅材料	S	隧道管	B	雪崩管		
		D	NPN 型,硅材料	N	阻尼管	J	阶跃恢复管		
		E	化合物材料	U	光电管	CS	场效应器件		
				K	开关管	BT	特殊器件		
				FH	复合管	JG	激光器件		
				PIN	PIN 管				

1.3.2 常用半导体二极管、三极管主要参数查阅

常用半导体二极管、三极管主要参数可从半导体元器件产品手册上查阅,表 1.4 列出了整

流二极管(部分型号)的主要参数。表 1.5 列出了低频大功率管(部分型号)的主要参数。

表 1.4 N 型硅整流二极管(部分型号)

参 数 型 号		最大整流电流 $I_{FM}(A)$	最高反向工作电压 $U_{BM}(V)$			正向压降 $U_F(V)$		反向电流 $I_B(\mu A)$			额定结温 $T_j(^{\circ}C)$	
2CZ50A~X		0.03	25~30000 (查本表中“按规格号分档”栏)			≤ 1.2		5			150	
2CZ57A~X		5				≤ 0.8		20			140	
2CZ60A~X		50				≤ 0.8		50			140	
最高 反向电 压按规 格号分 档	规格号	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L
	电压(V)	25	50	100	200	300	400	500	600	700	800	900
	规格号	M	N	P	Q	R	S	T	U	V	W	X
	电压(V)	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2600	2800	3000

注：整流电流在 0.5A 以上者需要安装相应的散热片。

例如，已知流过二极管的正向平均电流为 20mA，反向电流小于 20 μ A，其承受的最大反向电压为 40V，试选择其合适的型号。

查表 1.4，选用 2CZ50B，其最大整流电流 30mA，反向电流小于 5 μ A，最高反向电压 50V。

表 1.5 低频大功率管(部分型号)

参 数 型 号		集电极最大 允许电流 I_{CM} (A)	集电极最大 耗散功率 P_{CM} (W)	集-射极反向 击穿电压 $V_{(BR)CEO}$ (V)	集-基极反向 饱和电流 I_{CBO} (mA)	共射极电流 放大系数 h_{fe} (β)
新型号	老型号					
3AD50A	3AD6A	3	10	≥ 18	≤ 0.3	20~140
3AD53B	3AD30B	6	20	≥ 18	≤ 0.5	20~140
3DD64C	3DD6C	5	50	≥ 80	≤ 0.5	≥ 10

例如，已知三极管的最大管耗为 8W，集电极最大电流为 2A，集-射极最高反向电压为 15V，集-基极反向饱和电流小于 0.4mA，共射极电流放大系数为 50，试选择其合适的型号。

查表 1.5，选用 3AD50A，其集电极最大耗散功率 10W，集电极最大允许电流 3A，反向击穿电压大于 18V，集-基极反向饱和电流小于 0.3mA，共射极电流放大系数在 20~140 之间。

在实际使用中，我们可以根据需要进行查阅半导体器件产品手册中的上述有关参数，选择满足需要的半导体器件的型号。

本章小结

- 1. 半导体二极管具有单向导电性。外加正偏电压二极管导通，外加反偏电压二极管截止。
- 2. 半导体三极管是一种电流控制器件，它的输出特性曲线可以分为三个工作区域：放大区、饱和区和截止区。要使三极管在放大区工作，发射结必须正偏，集电结必须反偏。在放大区较小的基极电流可以控制较大的集电极电流。

习 题

1.1 某三极管的电流放大实验测试数据如表 1.6 所示。

表 1.6

$I_B(\text{mA})$	0	0.02	0.04	0.06	0.07
$I_C(\text{mA})$	<0.01	1.00	2.50	4.10	4.90
$I_E(\text{mA})$	<0.01	1.02	2.54	4.16	4.97

试求：(1) $I_B=0.02\sim 0.07\text{mA}$ 和 $0.04\sim 0.07\text{mA}$ 之间的 β 值各为多少？(2) $I_B=0.04\text{mA}$ 和 0.07mA 时的 $\bar{\beta}$ 值各为多少？(3) 穿透电流 I_{CEO} 不超过多少？

1.2 工作在放大电路中的两个三极管，其电流分别如图 1-14 所示，试在图中分别对它们的管脚标出 E、B、C，指出它们是 NPN 型管还是 PNP 型管，并分别估算它们的 β 值。

1.3 在放大电路中测得三个三极管的电极电位如图 1-15 所示，试分别指出各管的管脚、类型及材料。

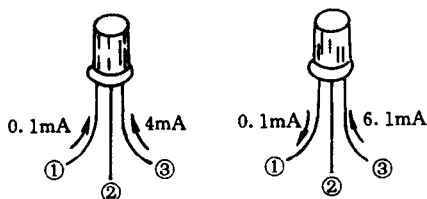


图 1-14

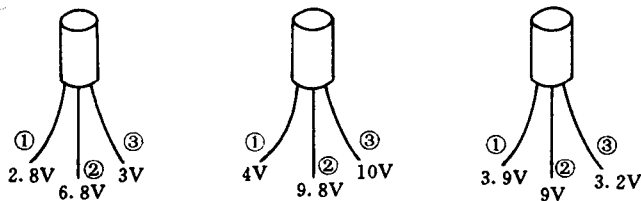


图 1-15

1.4 接在电路中的四个三极管用电压表测出它们各电极的电位如图 1-16 所示，试判断各管分别工作在何种状态(放大、饱和、截止)。

1.5 某三极管的输出特性曲线如图 1-17 所示，试写出三极管的主要参数： β 、 I_{CEO} 、 $V_{(\text{BR})\text{CEO}}$ 的值。

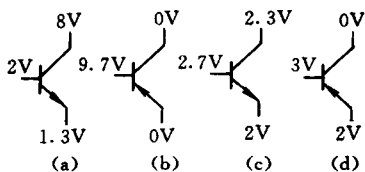


图 1-16

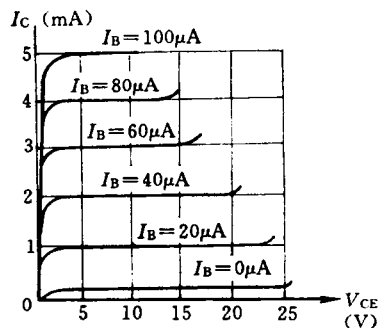


图 1-17

第2章 半导体三极管基本放大电路

2.1 共发射极放大电路的组成和工作原理

2.1.1 放大电路的组成及各元器件的作用

放大电路是电子设备中重要的组成部分。放大电路的主要功能是放大电信号,即把微弱的输入信号,通过电子器件的控制作用,将直流电源功率转换成一定强度的、随输入信号变化而变化的输出信号,因此放大电路实质上是一个能量转换器。

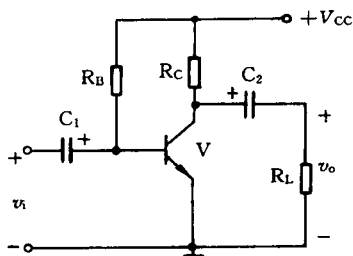


图 2-1 基本共射放大电路

如图 2-1 所示是单管电压放大电路的电原理图。被放大的交流信号电压 v_i 从三极管的基极和发射极间输入,放大后的信号电压 v_o 从集电极和发射极间输出,提供给负载 R_L 。输入回路和输出回路的公共端是发射极,所以这是一个共发射极放大电路,简称共射放大电路。

三极管 V:它是放大电路的核心器件,在正常工作时主要起电流放大作用。

电源 V_{CC} :它是放大器的能源,同时适当选定 R_B 、 R_C 的阻值,可使发射结正偏,集电结反偏,以满足三极管放大的外部条件。图 2-1 中三极管采用 NPN 型管,如三极管采用 PNP 型管,则电源 V_{CC} 的极性应与图中相反。

基极偏流电阻 R_B :它和 V_{CC} 一起,给基极提供一个合适的基极偏流 I_B 。三极管只有建立了合适的基极偏流 I_B ,输出信号才不会失真。

集电极负载电阻 R_C :串接在集电极回路,将放大后的电流 I_C 的变化转变为 R_C 上电压的变化,从而引起 V_{CE} 的变化,这个变化电压就是输出电压 v_o 。

耦合电容 C_1 和 C_2 :它们分别接在放大电路的输入端和输出端,利用电容器交流阻抗小,直流阻抗大的特点来实现耦合交流信号,隔断直流信号,从而避免信号源与放大电路之间、放大电路与负载之间直流电流的相互影响。因此耦合电容的作用是“隔直流通交流”。

从以上分析我们可以知道:放大电路中既含有直流又含有交流,直流是加偏置而产生的,为正常放大提供了必要的条件;交流就是要放大的变化信号,是放大的目的。交流信号是叠加在直流上进行放大的。

课堂练习:如图 2-1 电路中如果 R_B 开路或短路,放大电路能不能正常工作?为什么?

2.1.2 放大电路中的直流通路和交流通路

为了便于分析和讨论,对全书符号作如下规定:直流量用大写字母大写脚标符号表示,如

I_B 、 V_{BE} ；交流量用小写字母小写脚标符号表示，如 i_b 、 v_{be} 等；交流量叠加在直流量上为总变化量，用小写字母大写脚标符号表示，如 i_B 、 v_{BE} 等。

1. 放大电路的直流通路(Direct Current Path)

放大电路未加输入信号即 $v_i=0$ 时，电路的工作状态称为静态。这时电路中没有变化的信号，电路中的电压、电流都是直流信号，如图 2-2 所示，此时 I_B 、 I_C 、 V_{CE} 的值称为放大电路的静态工作点，记作 Q 。

直流通路是放大电路中直流通过的路径，所以，要分析计算放大电路中的静态工作点 I_B 、 I_C 、 V_{CE} ，就应先画出放大电路的直流通路。由于电容器具有隔断直流的作用，因此画直流通路时电容相当于开路。图 2-3 是图 2-2 放大电路的直流通路。

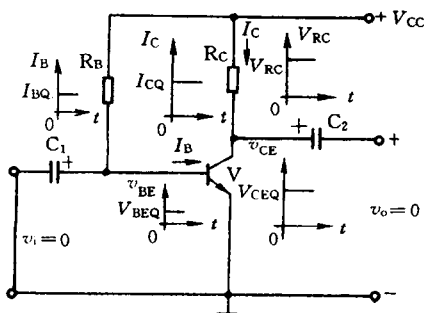


图 2-2 放大电路的静态工作情况

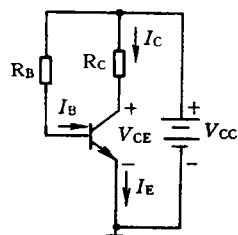


图 2-3 放大器的直流通路

课堂练习：试画出图 2-1 所示放大电路带负载 R_L 时的直流通路。

2. 放大电路的交流通路(Alternation Current Path)

放大器输入端加入信号时，电路的工作状态称为动态。这时输入信号 v_i 叠加在直流的 V_{BE} 上，即： $v_{BE}=V_{BE}+v_i$ ，这时基极电流 $i_B=I_B+i_b$ ，式中 i_b 是 v_i 引起的电流。经过放大 $i_c=I_C+i_c$ ，而 $v_{CE}=V_{CC}-R_C i_c=V_{CC}-R_C(I_C+i_c)=V_{CC}-R_C I_C-R_C i_c=V_{CE}-R_C i_c$ ，可见 v_{CE} 也是由直流分量 V_{CE} 和交流分量 $-R_C i_c$ 组成的，由于 C_2 的隔直流通交流作用，输出电压只有交流分量，即： $v_o=v_{ce}=-R_C i_c$ 。该式表明，只要 R_C 取值适当，就可使 v_o 比 v_i 大许多倍，从而实现电压放大。另外还可看出， v_o 与 $R_C i_c$ 在数值上相等，而在相位上却相反。由于 v_i 、 i_b 、 i_c 、 v_{RC} 都是同相位，所以 v_o 和 v_i 的相位相反。这就是共射放大电路输入信号与输出信号之间所具有的倒相作用，如图 2-4 所示。

演示实验：用示波器观察图 2-4 共射放大电路的电压放大与倒相作用。

实验结果表明，通过观察共射放大电路的输入波形和输出波形，可以看到 v_o 比 v_i 大得多，说明共射放大电路具有电压放大作用。还可以看到 v_o 与 v_i 反相，说明共射放大电路具有倒相作用。

交流通路是放大电路中交流通过的路径，为了分析放大电路的动态工作情况，计算放大电路的放大倍数，就应画出放大电路的交流通路。由于对频率较高的交流信号，电容器相当于短路，同时直流电源的内阻一般都很小，所以对交流信号来说，直流电源可以认为是短路的。因此对图 2-4 所示的放大电路，其交流通路如图 2-5 所示。

综上所述，放大电路中各点的电位和各支路的电流，都是直流量和交流量的叠加。直流量

组成了静态工作点,是放大电路工作的基础;交流量是由输入信号产生的,是放大电路放大的对象。交流量是叠加在直流量上进行放大的。因此静态工作点设置是否合理,将直接影响到放大电路能否正常工作。

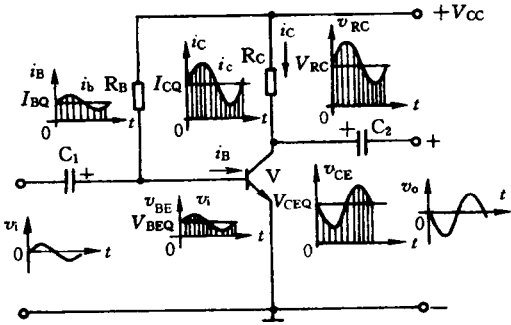


图 2-4 放大电路的动态工作情况

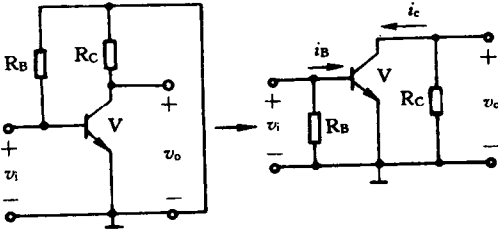


图 2-5 放大电路的交流通路

课堂练习:试画出图 2-1 放大电路带负载时 R_L 的交流通路。

3. 放大电路的非线性失真

如果静态工作点设置不合理,放大电路就不能正常工作,其输出信号将出现失真。这种失真这是由于三极管的非线性所造成的,因而称为非线性失真。

(1)截止失真(Cutoff Distortion):若静态工作点太低,接近截止区,即 I_B 、 I_C 太小,如图 2-6 所示,输入信号叠加在直流量上后,负半周仍处在发射结的死区或仍使发射结处于反偏,这样 i_B 、 i_C 、 v_{BE} 的负半周被削去,反相后 v_{CE} 和 v_o 的正半周被削去,这种失真这是由于动态工作点进入截止区所造成的,故称为截止失真。

演示实验:用示波器观察图 2-6 所示电路截止失真现象及分析克服方法。

(2)饱和失真(Cutoff Distortion):若静态工作点太高,接近饱和区,即 I_B 、 I_C 太大,如图 2-7 所示,放大后的 i_C 已经超出了三极管饱和时集电极电流 $I_{CS} \approx \frac{V_{CC}}{R_C}$,因此使 i_C 未变化到正半周的顶部即被削去,与此相应 v_{RC} 的正半周也被削去,反相后 v_{CE} 和 v_o 的负半周被削去,这种失真这是由于动态工作点进入饱和区所造成的,故称为饱和失真。

演示实验:用示波器观察图 2-7 所示电路饱和失真现象及分析克服方法。

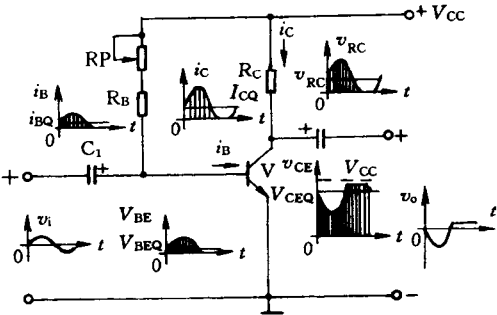


图 2-6 放大电路的截止失真

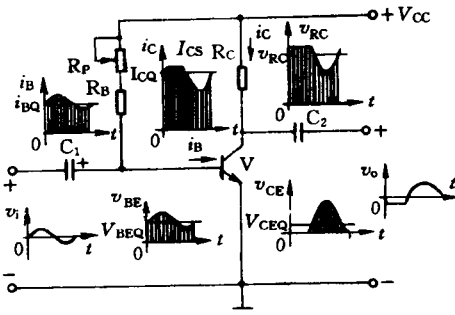


图 2-7 放大电路的饱和失真