



北京工业学院电视教育小组 编

半导体电路基础

习题解答

4(2)

科学出版社

内 容 简 介

本书是1980—1982年陆续出版的《半导体电路基础》(第一册至第四册)的习题解答。

书中所给出的159道思考题和103道练习题的解答可作为《半导体电路基础》一书的一个组成部分。读者通过对本书的阅读,可加深对半导体电路基本概念和基本工作原理的理解,有助于进一步掌握和运用这些基本概念。

本书可供具有中等文化程度的工人、知识青年阅读,也可供大专院校、中等专业学校有关专业的师生参考。

半 导 体 电 路 基 础

习 题 解 答

北京工业学院电视教育小组 编

责任编辑: 张建荣

科 学 出 版 社 出 版

北京朝阳门内大街137号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1985年7月第一版 开本: 787×1092 1/32

1985年7月第一次印刷 印张: 7 13/16

印数: 0001—60,500 字数: 179,000

统一书号: 15031·663

本社书号: 4479·15—7

定价: 1.45 元

目 录

第一章	半导体二极管和三极管	1
第二章	低频小信号放大电路	11
第三章	负反馈放大电路	35
第四章	低频功率放大电路	49
第五章	直流放大电路	68
第六章	整流和滤波电路	82
第七章	半导体直流稳压电源	96
第八章	自激正弦振荡器	108
第九章	RC 电路	118
第十章	半导体二极管和三极管的开关特性	132
第十一章	限幅电路和箝位电路	138
第十二章	双稳态触发电路	148
第十三章	射极耦合双稳态触发电路	161
第十四章	单稳态触发电路	171
第十五章	自激多谐振荡器与同步分频	184
第十六章	间歇振荡器	193
第十七章	锯齿波产生电路	200
第十八章	负阻器件及其在脉冲电路中的应用	205
第十九章	逻辑门电路	211
第二十章	布尔代数和卡诺图	225
第二十一章	集成电路触发器	231
第二十二章	计数器和寄存器	236
第二十三章	数码显示	242
第二十四章	数字-模拟和模拟-数字变换	245

第一章 半导体二极管和三极管

思 考 题

1-1 简单地把一块 P 型半导体和一块 N 型半导体接触在一起,能够形成 P-N 结吗? 为什么?

答: 不行。因为 P-N 结是在一块完整的单晶片上,用不同的掺杂工艺,使一边形成 N 型,另一边形成 P 型。这样,在两种半导体交界面,自然是严密无隙。更精确地说, P-N 型交界处是用原子共价键连接在一起的。如果简单地将一块 N 型半导体与一块 P 型半导体接触在一起,按目前的工艺,就是把两片半导体表面经过精细研磨、抛光,其平滑程度仍不能使两块半导体的原子共价键连接在一起,何况其表面上往往还有一层薄薄的氧化层,这就更加不能形成 P-N 结了。

1-2 什么是扩散电流和漂移电流?

答: 半导体中有两种载流子——电子和空穴。电流就是载流子的定向运动。我们把载流子由高浓度处向低浓度处运动所形成的电流称为扩散电流。具体说,它是由 P 型半导体和 N 型半导体形成的 P-N 结交界面两边空穴和电子的浓度差形成的。因为 P 型区内空穴浓度大于 N 型区内空穴的浓度。所以空穴要从 P 型区向 N 型区扩散。同理,电子也要从 N 型区向 P 型区扩散,这就形成了 P-N 结的扩散电流。

扩散的结果,在交界面的 P 型区一边存在着负电荷,靠近 N 型区的一边存在着正电荷,这就在 P-N 结内产生了一个由 N 型区指向 P 型区的电场,即所谓内电场。很明显,由于内

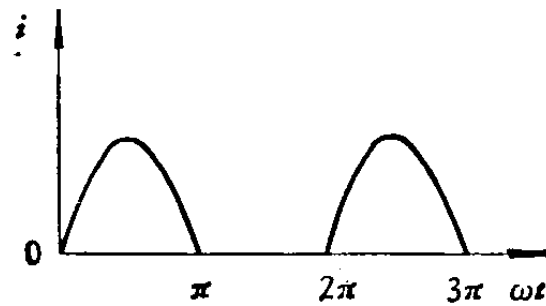
电场的作用就阻碍了多数载流子的扩散运动，也就是要使空穴流向P型区，电子流向N型区。人们就把载流子在电场作用下的运动叫做漂移运动。可见，载流子的漂移运动的方向是跟扩散运动的方向相反的。

1-3 为什么一般二极管伏安特性曲线的电压、电流坐标刻度，在正反方向上都不一致呢？

答：因为二极管正向电压小，正向电流大，而反向电压大，反向电流小。为了清楚地看出正反向电流随正反向电压变化而变化的规律，又不会因都用小单位而使管子特性曲线图太大，一般纵轴正向电流用毫安表示，反向电流用微安表示；横轴电压刻度，虽都用伏特表示，但单位距离代表的正向电压小，反向电压大。

1-4 试画出正弦交流电通过二极管时的电流波形。

答：设二极管为理想元件，即在信号为正半周时，管子导通，相当于短路；在信号为负半周时，管子截止，相当于开路。这时，正弦交流电通过二极管时的电流波形，如答图 1-4 所示。



答图 1-4

1-5 为什么用手捏着万用表的试笔，去测量二极管的反向电阻时不可靠呢？

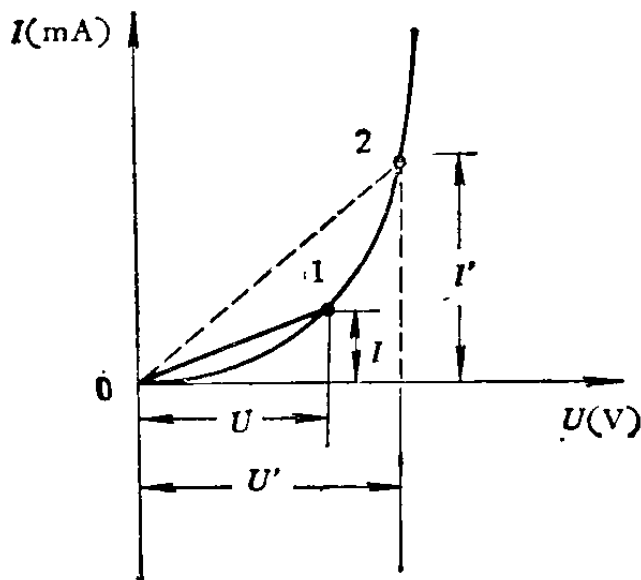
答：因为人体相当于一个较大电阻值，一般在几万欧姆到几百千欧姆之间。用手捏着万用表的试笔，去测量二极管的反向电阻（也是一个大电阻）时，相当于把人体电阻与二极

管的反向电阻相并联。所以测得的值要比实际值小。

1-6 有两只同型号二极管，都加着 1V 的正向电压，一只管流大，一只管流小，哪一只管子较好呢？为什么？

答：管流大的管子较好。因为，管流大的二极管，正向电阻小，更接近理想元件；另外，当通过两只二极管的管流相等时，原管流大的管子，本身耗散功率也小。

1-7 在用万用表测量二极管的正向电阻时，常发现用不同欧姆档测出的电阻值并不相同，用 $\Omega \times 1$ 档测出的阻值小，用 $\Omega \times 100$ 档测出的阻值大，这是什么道理？[提示：结合二极管的正向特性来分析。]

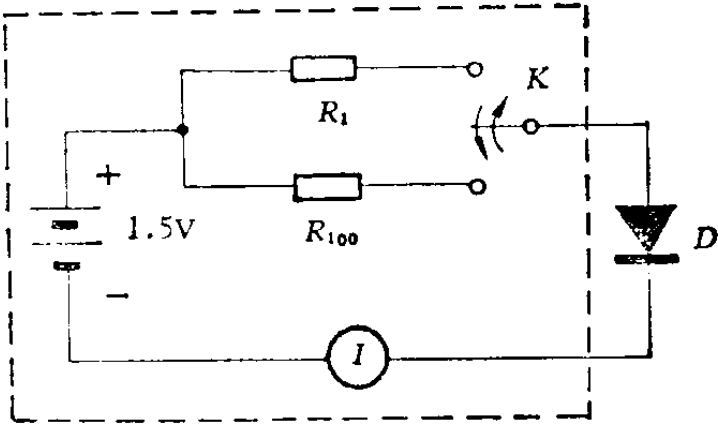


答图 1-7(a)

答：二极管的正向特性如答图 1-7(a) 所示。由图可见，在通过管子电流较小时（图中 1 点），电流 I 处于曲线的下弯曲部分，这时管子等效的直流电阻 $R = \frac{U}{I}$ 较大；而在通过管子的电流较大时（如图 2 点），电流 I 处于曲线的上升部分，这时管子的直流电阻 $R' = \frac{U'}{I'}$ 较小。

再看用万用表欧姆档测量二极管正向电阻的等效电路。因为在万用表的欧姆档中，虽然 $\Omega \times 1$ 档与 $\Omega \times 100$ 档用的都是 1.5V 的直流电源，但串联的电阻 R 值大小不同，该电路如答图 1-7(b) 所示。由于 $\Omega \times 1$ 档中，连接的电阻值 R_1 比较小，也就是流过二极管的电流较大。结合前面分析的管子

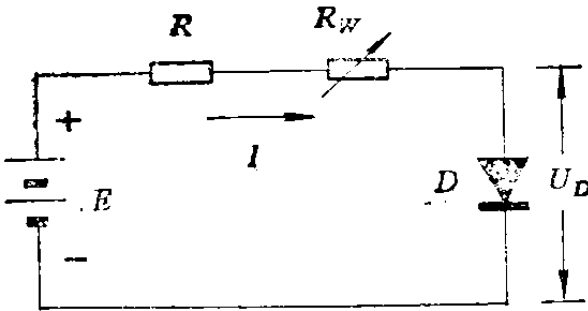
特性曲线可知,这时管流工作在特性曲线的上升部分,测得的电阻值自然较小.反之,用 $\Omega \times 100$ 档,测得的电阻值自然较大.这里就不重述了.



答图 1-7(b)

1-8 如何用简单方法辨别硅二极管和锗二极管?

答: 用答图 1-8 所示的电路, 把要辨别的二极管与电源 E 串接起来, 再调 R_w 使二极管 D 处于导通状态, 这时再用万用表测量 U_D . 如 $U_D = 0.6V$ 左右, 则为硅管; 如 $U_D = 0.2V$ 左右, 则为锗管.



答图 1-8

1-9 如何用简单方法

挑选两个伏安特性比较一致的二极管?

答: 用万用表不同欧姆档, 分别测量要挑选的二极管, 只要在测量过程中, 相对应的正反向电阻值近似, 管子的伏安特性就比较一致. 因为用欧姆档测量管子时, 其电路如答图 1-8 所示, 当用不同欧姆档测得各管子相对应的电阻值相近似时, 就表明管子各点的伏安特性近似.

1-10 测量三极管的特性时(见图 1-41), 对两个电压表

V_1 、 V_2 有什么要求？如果把 V_1 的正端改接到量 I_b 的微安表的正端将会有什么影响？

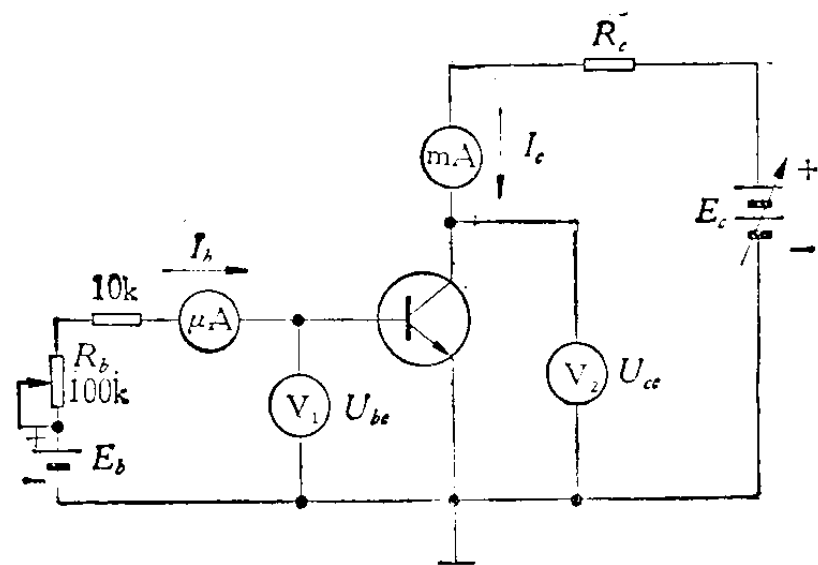


图 1-41

答：要求电压表 V_1 、 V_2 的内阻大，可选用具有高输入电阻的晶体管电压表。否则，因分流作用大，两个电流表测量

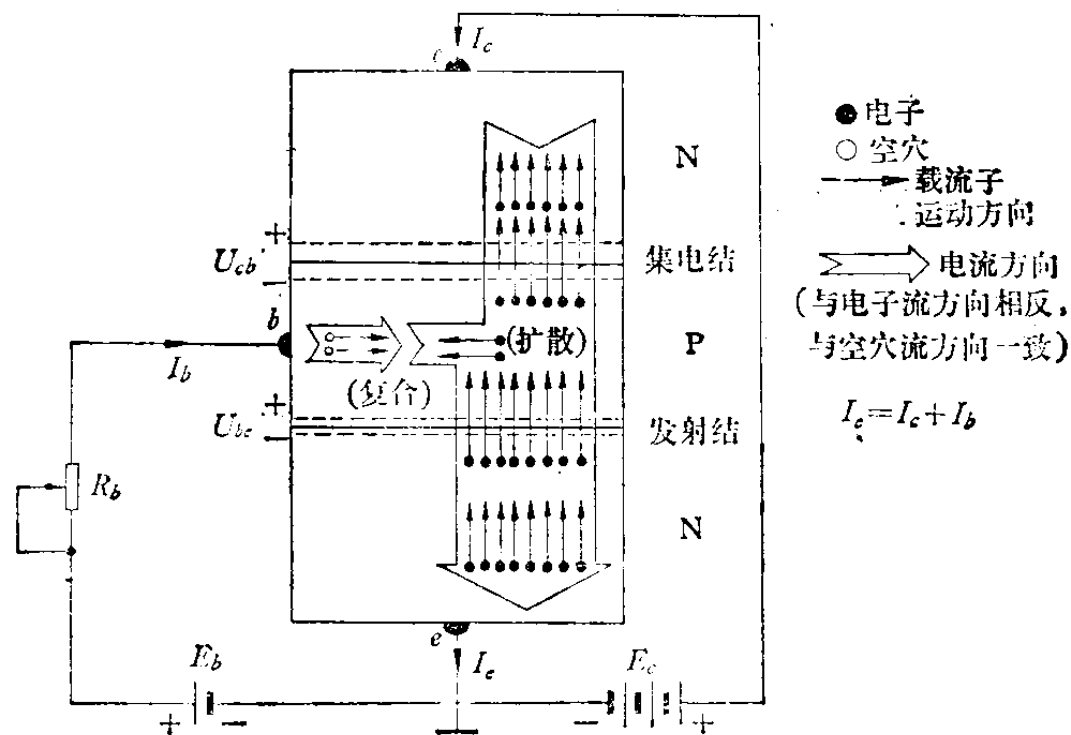


图 1-36

出来的 I_b 、 I_c 都比实际值大。如果把 V_1 的正端改接到微安

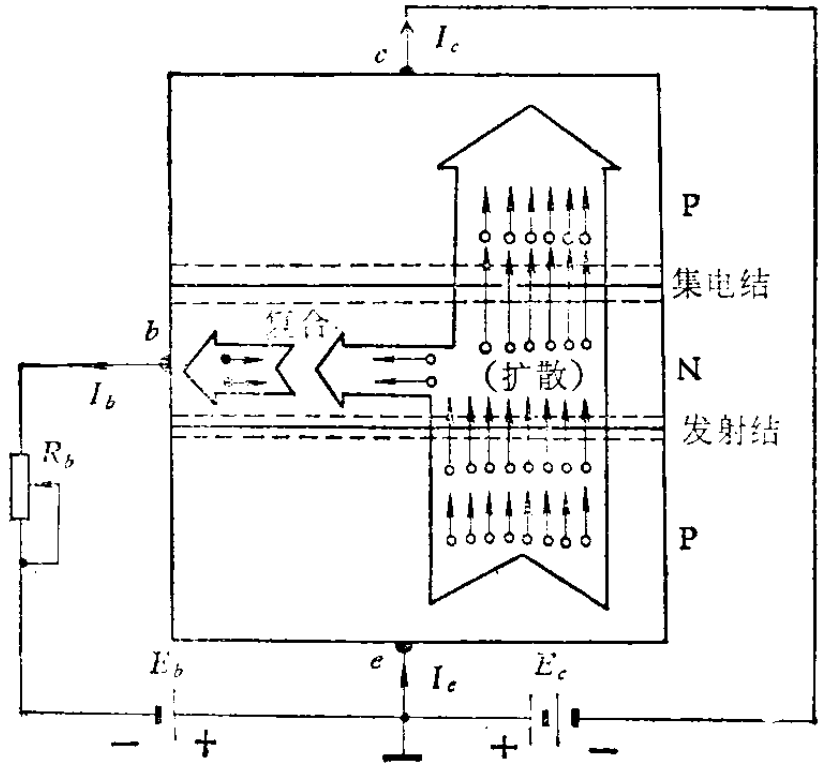
表的正端,这时微安表量出的是实际 I_b , 但 V_1 表量出的值则是 U_{be} 与微安表两端电压 $I_b \times R_n$ (R_n 微安表的内阻) 的和,即 $U_{be} + I_b R_n$, 比实际的基极对地电压 U_{be} 要大 $I_b R_n$ 伏特。

1-11 试按照图 1-36 所示的方法画出 PNP 型三极管内部载流子运动的情况。

答: 只要把图 1-36 所示图中的电流方向改变一下, 再把电子与空穴互换过来就行了, 如答图 1-11 所示。

1-12 试按照图 1-38 所示的方法画出 PNP 型三极管内部载流子运动的情况。

答: 同上题一样, 只要把图 1-38 所示图中的电流方向改变一下, 再把电子与空穴互换过来就行了。 如答图 1-12 所示。



答图 1-11

1-13 有两个管子, 一个管子的 $\beta = 200$, $I_{ceo} = 200 \mu A$, 另一个管子的 $\beta = 50$, $I_{ceo} = 10 \mu A$, 其它参数大致相同, 你

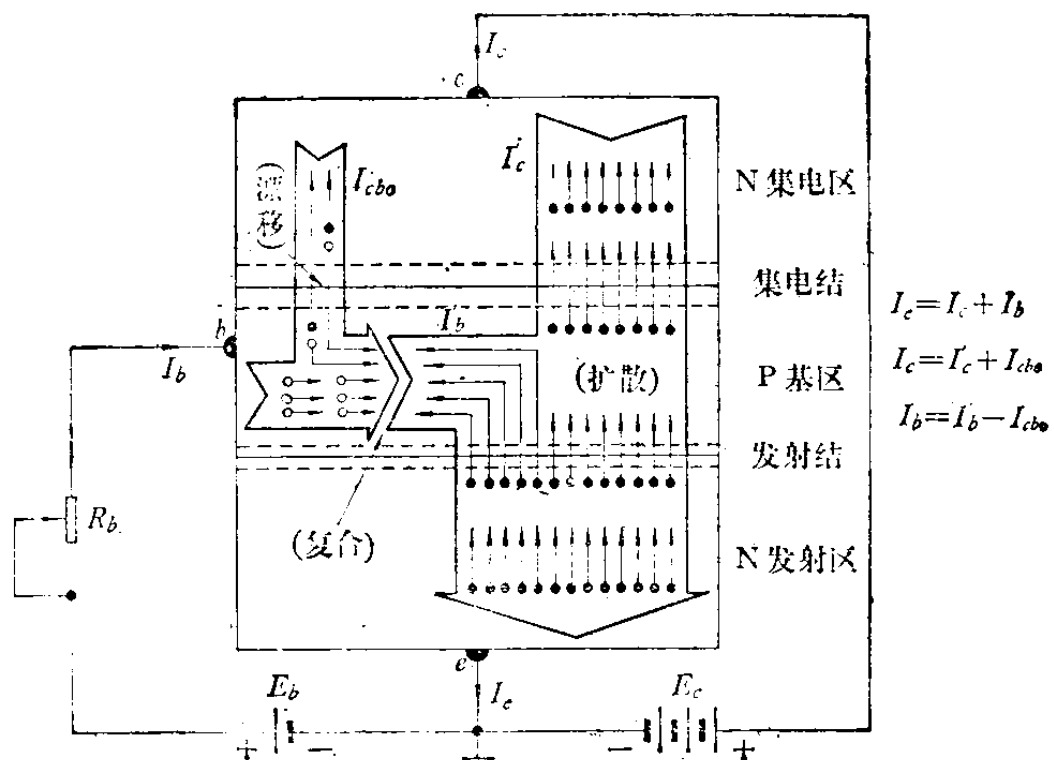
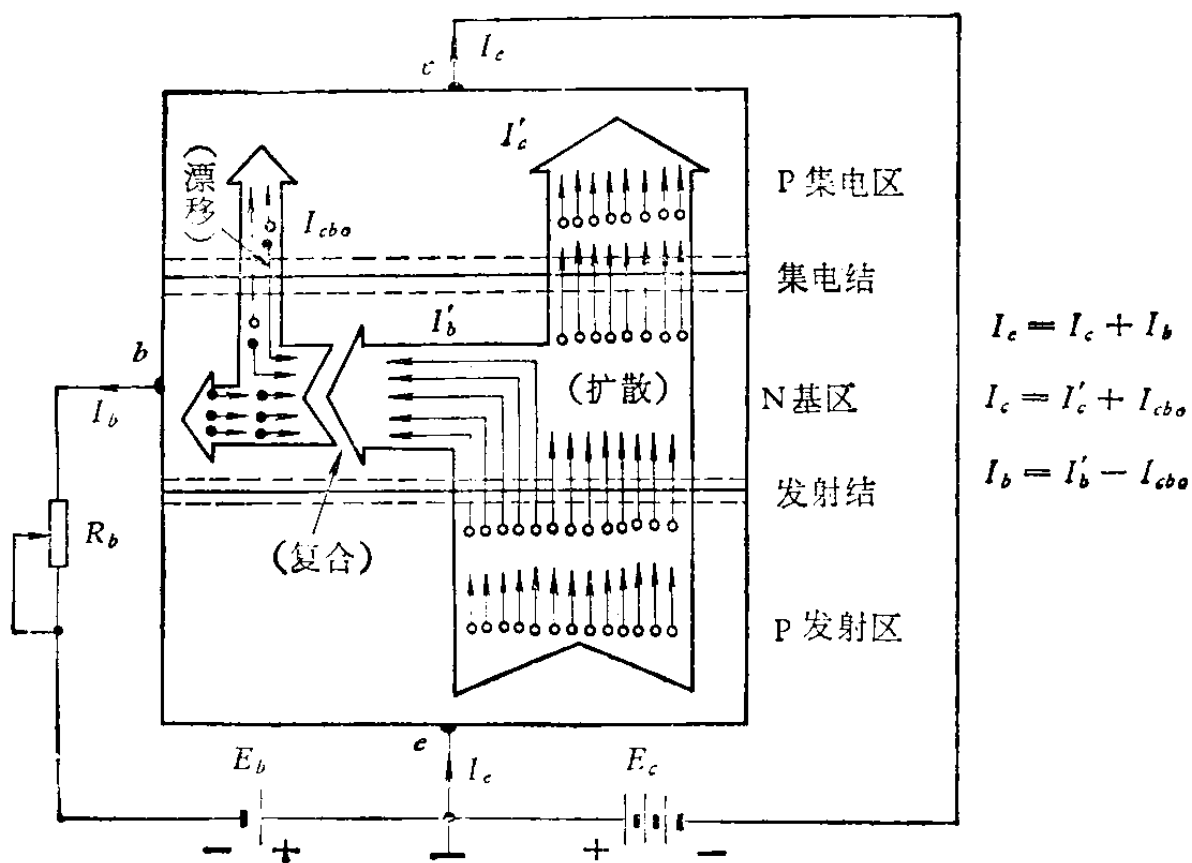


图 1-38



答图 1-12

认为应该选用哪一个可靠?

答: 选 $\beta = 50$, $I_{cco} = 10\mu\text{A}$ 的管子比较可靠. 单从放大作用来看, 似乎选 $\beta = 200$, $I_{cco} = 200\mu\text{A}$ 的管子更为有利, 但全面考虑则不然. 因为 β 小, 放大倍数不够, 可以多用一级放大电路, 而 $\beta = 200$ 所带来的管子性能不稳定, 则是任何一个电子设备中都不能允许的. 另外, I_{cco} 也是衡量管子质量的一个重要指标, I_{cco} 大, 管子的热稳定性差、噪音也大.

1-14 比较硅管 3DG6 和锗管 3AG25 的下列参数有何不同(可以查手册):

(1) 加同样的电压 U_{be} (绝对值), 所得到的 I_b 哪个大?

(2) 在 U_{ce} (绝对值) = 4V, $I_c = 2\text{mA}$ 左右的范围内, 哪一个的 β 大?

(3) 哪一个的 I_{cbo} 大?

(4) 哪一个的 P_{CM} 大?

(5) 哪一个的 BV_{ceo} 大?

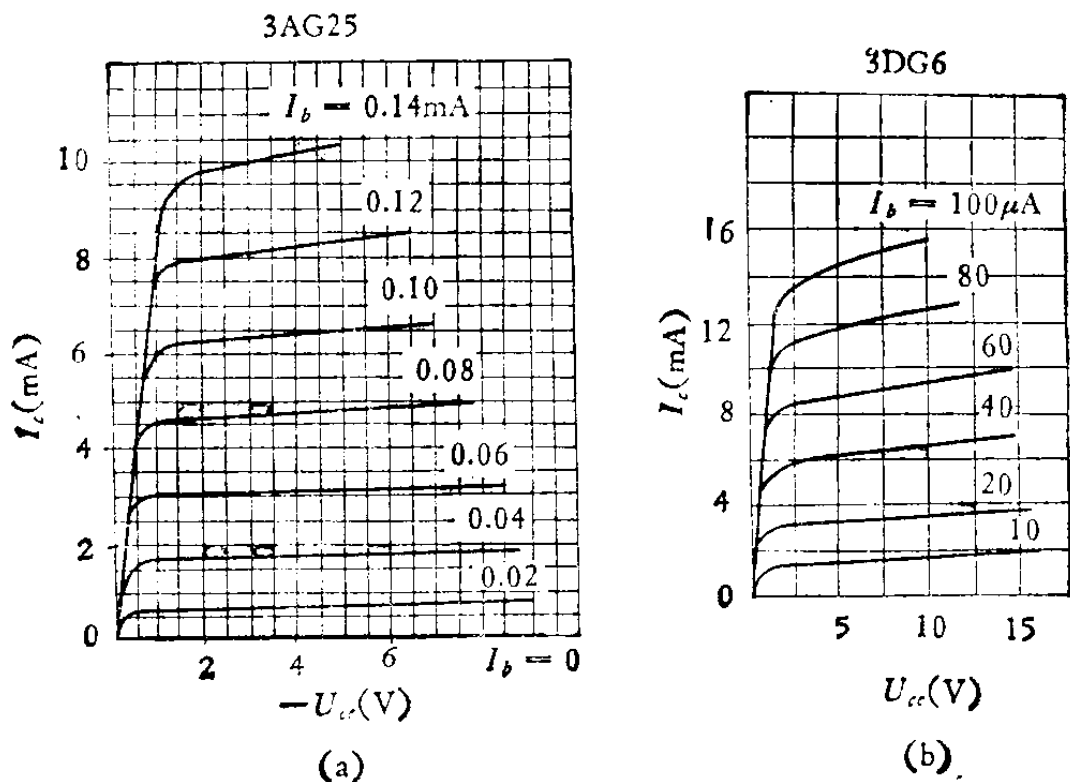
答: (1) 加同样大小的 $|U_{be}|$, 锗管 3AG25 的 I_b 要比硅管 3DG6 的大. 这是因为锗管输入特性的起始电压约 0.1V 比硅管的起始电压约 0.5V 要小.

(2) 在 $|U_{ce}| = 4\text{V}$, $I_c = 2\text{mA}$ 左右的范围内, 3AG25 的 β 值, 由答图 1-14(a) 所示的输出特性曲线可得

$$\begin{aligned}\beta &= \frac{\Delta I_c}{\Delta I_b} \\ &= \frac{3.1\text{mA} - 1.8\text{mA}}{0.06\text{mA} - 0.04\text{mA}} = 65\end{aligned}$$

而 3DG6 的 β , 由答图 1-14(b) 所示的输出特性曲线可得

$$\beta = \frac{3.1\text{mA} - 1.7\text{mA}}{0.02\text{mA} - 0.01\text{mA}} = \frac{1.4\text{mA}}{0.01\text{mA}} = 140$$



答图 1-14

但由手册查出，3DG6 的 $\beta = 20-200$ ，3AG25 的 $\beta \geq 20$ ，即管子 β 的分散性很大。

(3) 查手册，3AG25 的 $I_{cbo} \leq 10\mu A$ ，3DG6 的 $I_{cbo} \leq 0.1-0.01\mu A$ ，故锗管的 I_{cbo} 比硅管的大。

(4) 查手册，3AG25 的 $P_{cm} = 50mW$ ，3DG6 的 $P_{cm} = 100mW$ ，故 3DG6 的 P_{cm} 大。

(5) 查手册，3AG25 的 $|BV_{ceo}| \geq 10V$ ，3DG6 的 $BV_{ceo} \geq 30-45V$ ，

故 3DG6 的 BV_{ceo} 大。

由上列出的数据可见，其中有规律的是锗管输入特性的起始电压低，硅管 I_{cbo} 小；其它如 β ， P_{cm} ， $|BV_{ceo}|$ 等参数，则随管子型号不同而异。

1-15 设在一块正常放大工作的电路板上，测得某个三极管的三个脚对地的电压，第一脚对地的电压为 $-6.2V$ ，第

二脚对地的电压为 $-6V$ ，第三脚对地的电压为 $-9V$ 。你能说出这个三极管是 NPN 型的还是 PNP 型的？是硅管还是锗管？三个脚各是什么极？

答：首先找出 U_{be} 。因为硅管的 $U_{be} = 0.6V$ 左右，锗管的 $|U_{be}| = 0.2V$ 左右。如为 NPN 型，则 $U_b > U_e$ ；如为 PNP 型，则 $U_b < U_e$ 。现脚 1 与脚 2 的电位相差 $0.2V$ ，可以断定被测管是锗管。再看 U_{ce} ，如 $U_c > U_e$ 则为 NPN 型， $U_c < U_e$ 则为 PNP 型。现脚 3 最负且与脚 1、2 两端的电位差在 $3V$ 左右，故知脚 3 不能是 b 或 e ，只能是 PNP 型管的 c 。再由脚 2 的电压大于脚 1 的电压，可进一步断定脚 2 为管子的射极，脚 1 为管子的基极。

第二章 低频小信号放大电路

思 考 题

2-1 指出图 2-48 所示各电路中有无错误之处？能否起到电压放大作用？

答：图 2-48(a) 电路缺少集电极电阻 R_c ，故不能起放大

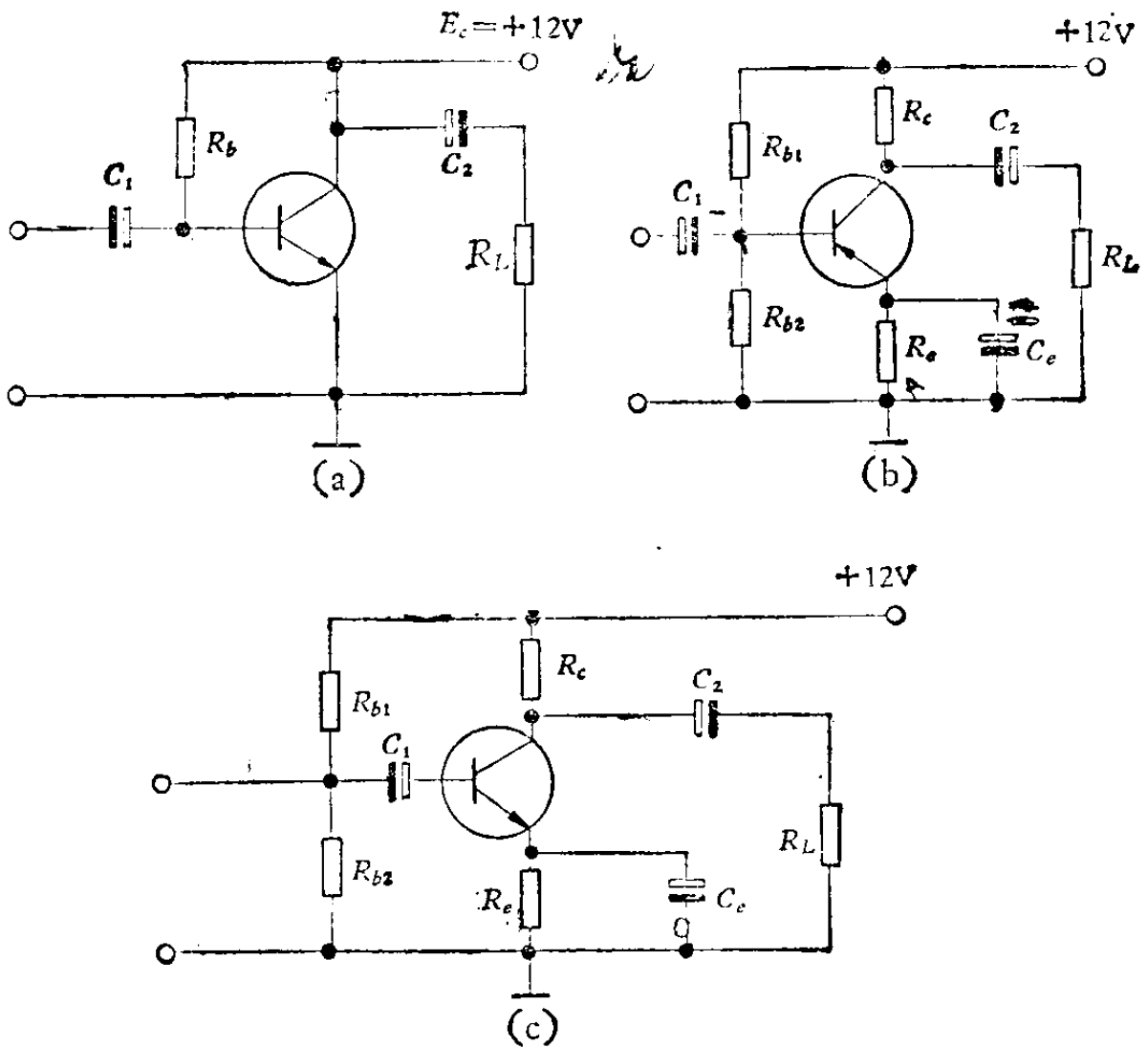
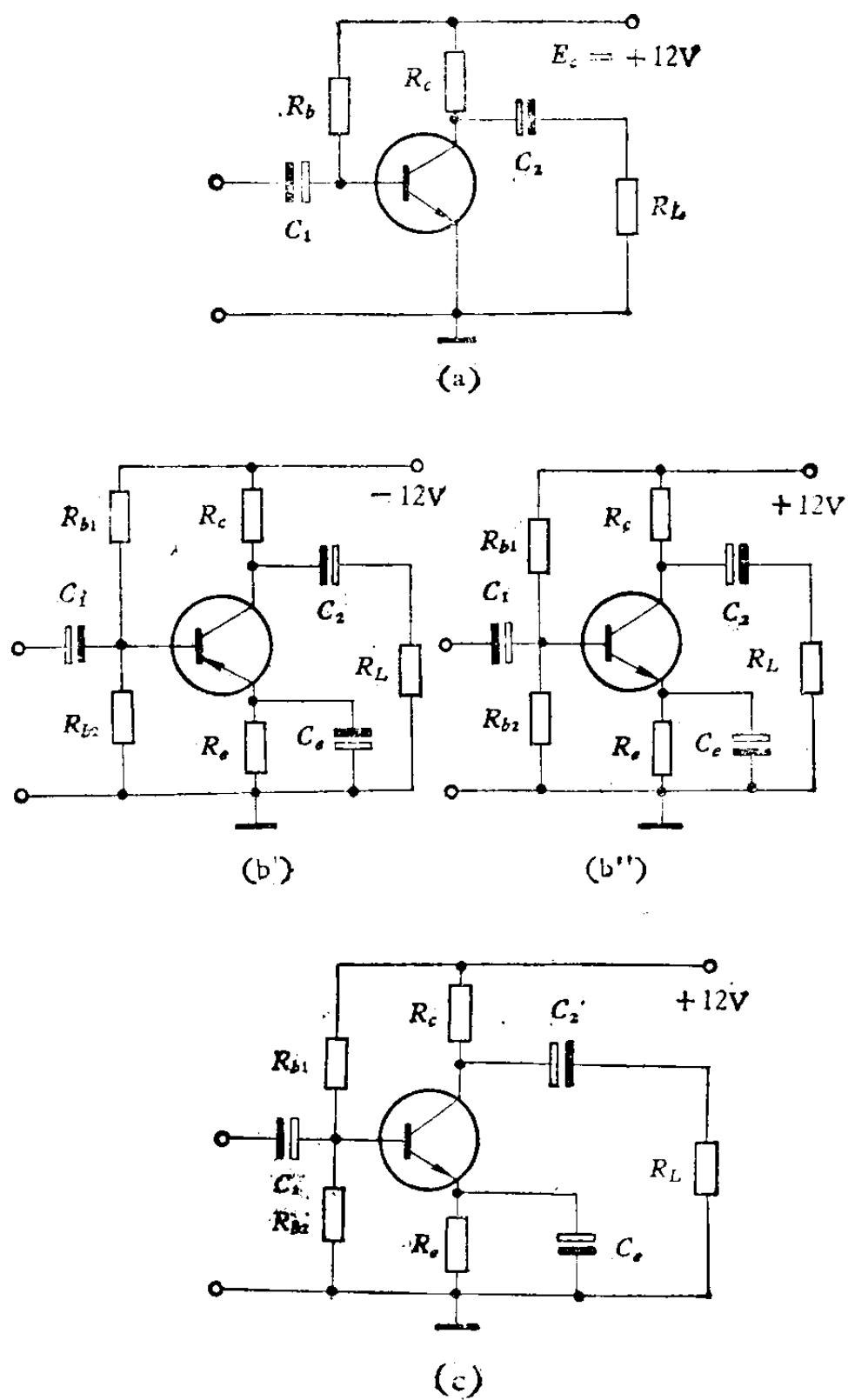


图 2-48



答图 2-1

作用,应画成答图 2-1(a) 所示电路。

图(b)电路晶体管用的是 PNP 型管,这样 E_c 应是 $-12V$,

而图中用的是 $+12\text{V}$ ，管子不能正常工作，故无放大作用，同时 C_e 的极性也接反了，应改画成答图 2-1(b') 所示的电路。或不改变电源极性，把管子换成 NPN 型管，同时还应变换 C_1 、 C_2 的极性，如答图 2-1(b'') 所示的电路。

图(c)的错误是把输入耦合电容 C_1 接在偏置电阻 R_{b1} 、 R_{b2} 的右边，管子基极直流电流 I_{bQ} 被 C_1 隔断，即 $I_{bQ} = 0$ ，故不能不失真地放大信号，应改画成答图 2-1(c) 所示的电路。

2-2 图 2-49 中各电路的接法，在调试过程中很可能使管子损坏，试说明其原因及改进措施。

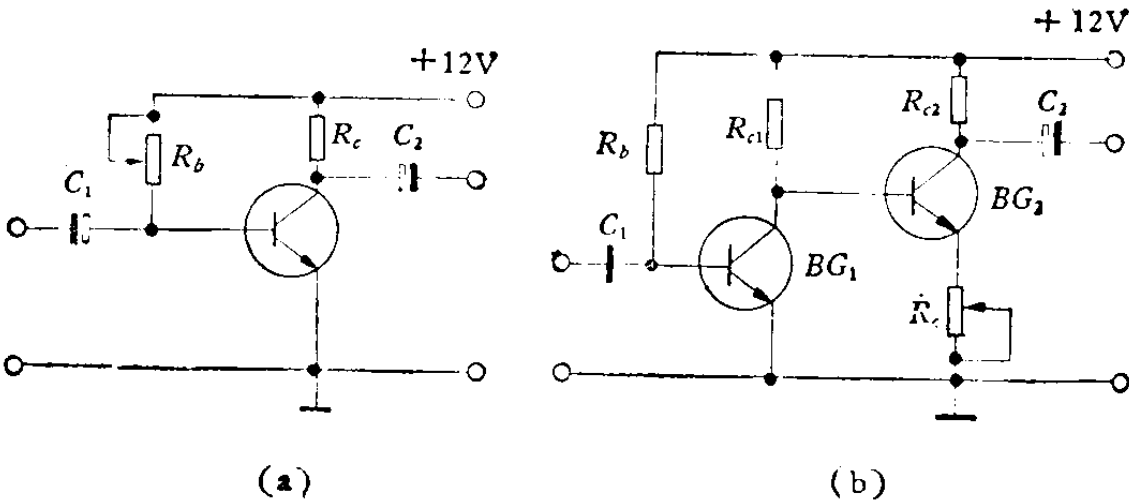
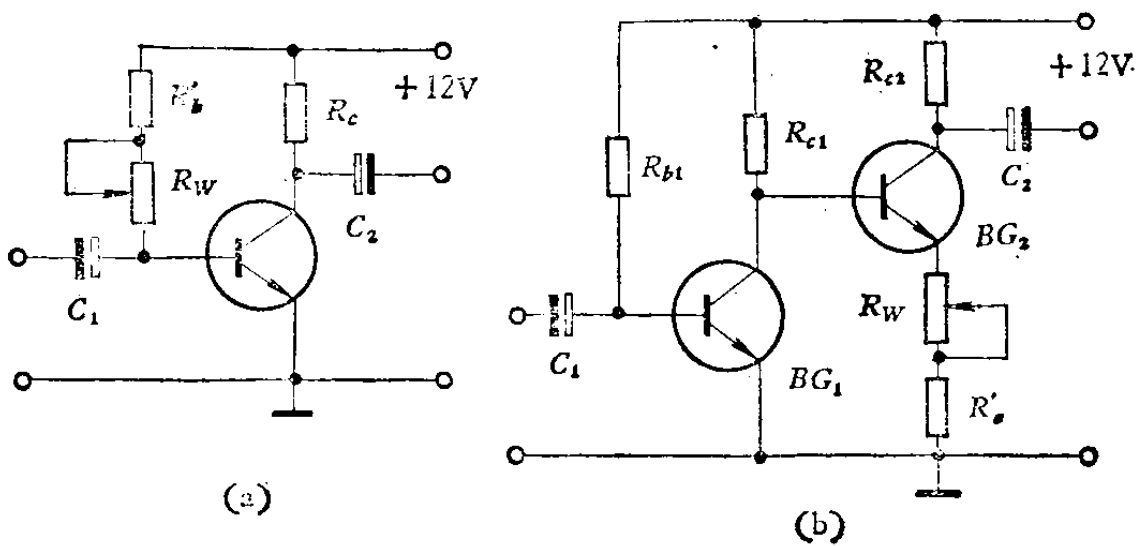


图 2-49

答：当调图 2-49(a) 电路中的偏置电阻 R_b 时，若一时不慎将 R_b 调到零，电源电压 12V 将全部加到管子的 $b-e$ 结，就很可能将它烧坏。因为管子正常工作时，硅管 $U_{beQ} \approx 0.7\text{V}$ ，锗管 $U_{beQ} \approx 0.2\text{V}$ ，现在加上 12V 的电压， I_{bQ} 将变得很大，把管子烧坏。同理，调图 2-49(b) 的电路时，若将 R_c 短路，则 BG_1 的集电极电压 U_{cQ} 就全部加在 BG_2 的 $b-e$ 结上，就可能把 BG_2 的 $b-e$ 结烧坏。

改进措施是在图 2-49(a) 的偏置电路中，加一固定电阻 R'_b (小于 R_b 的设计值)，再与 R_w 串联，如答图 2-2(a) 所



答图 2-2

示。很明显，对于图 2-49(b) 的电路，应改为如答图 2-2(b) 所示的电路。

2-3 在图 2-50 所示放大电路中，试标明静态工作电流

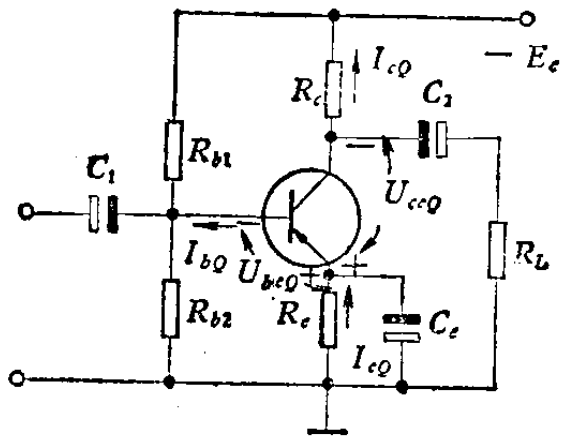


图 2-50

I_{bQ} , I_{cQ} , I_{cQ} 的方向，静态工作电压 U_{bcQ} , U_{ccQ} 和电源电压的极性。

答：各静态工作电流的方向、静态工作电压及电源电压的极性都标在图 2-50 所示的电路上。

2-4 为什么一定要用输入电阻(或称内阻)高的电压表来测量放大电路中的各部分电压？（一般真空管电压表和晶体管电压表的输入电阻都很高。）

答：当用低内阻的电压表测量电路中某两点间的电压时，相当于在该两点间并接上了一个较小的电阻；即等于并接了一个分流电路，故容易改变电路的原有工作情况，所以测量结果有较大的误差。用高内阻的电压表，基本上克服了分流