

晶体管电路习题解答

清华大学《晶体管电路习题解答》编写组

人民邮电出版社

内 容 提 要

本书是科学出版社出版的《晶体管电路》一书（清华大学电子工程系、工业自动化系编，1973年出版第一册，1974年出版第二册）的解答。内容包括半导体器件原理、交流放大器、直流放大器、反馈放大器、调制式放大器、运算放大器、功率放大器、正弦波振荡器、直流稳压电源以及可控硅元件及其应用等。可供无线电技术、自动化等专业师生以及自学电子技术的人员参考。

晶体管电路习题解答

清华大学《晶体管电路习题解答》

编写组

*

人民邮电出版社出版

北京东长安街27号

天津新华印刷一厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

*

开本：787×1092 1/32

1980年7月第一版

印张：10 8/32 页数：164

1981年10月天津第2次印刷

字数：236千字

印数：360,001—627,000册

统一书号：15045·总2426-无6115

定价：0.82 元

前 言

1973年，科学出版社曾出版《晶体管电路》一书（清华大学电子工程系、工业自动化系编，分二册出版）。为了配合教学需要，我们这两系的部分教师对书中全部习题进行解答，编成了这本书。

学习电子技术，必须将理论和实践很好地结合，在不断实践和总结的基础上来提高。但是做习题也是一个不可缺少的环节。在学懂书中基本原理的基础上再做一些习题，就可以起到巩固概念、熟练运算、启发思考的作用。

《晶体管电路》这部书发行量很大，除学校的同学外，还有很多自学的读者，他们做完习题后，希望有一个正确的解答，以便对照检查。因此，我们感到出版这本习题集是有必要的。

在内容上，本解答是按照《晶体管电路》一书中所布置的习题而编写的，题目、题号和原书相同，但习题中的图是重新编号的。由于内容的深浅不同，分析的出发点不同，近似条件不同，所以在风格上没有强求一律，而且解答也不是唯一的，只能作为参考。

这本解答1978年曾在校内少量印刷。这次公开出版，我们根据校内外同志提出的许多宝贵意见，对原稿进行了修订。特在此对提出意见的同志表示感谢。由于我们的业务水平和实践经验的限制，解答中一定还存在错误和问题，恳切希望广大读者批评指正。

清华大学《晶体管电路习题解答》编写组

1979年12月

目 录

第一章	晶体管的放大作用	1
第二章	利用PN结组成的一些半导体器件	5
第三章	交流放大器	27
第四章	直流放大器	71
第五章	反馈在放大器中的应用	102
第六章	调制式直流放大器	161
第七章	运算放大器的性能和应用	187
第八章	功率放大器	213
第九章	正弦波振荡器	244
第十章	直流稳压电源	270
第十一章	可控硅元件及其应用	300

第一章 晶体管的放大作用

《晶体管电路》一书的第一章原没有布置习题，为了帮助读者复习，现增加以下几道题。

题 1-1 我们都知道变压器能把电压升高，现若将话筒通过一个匝数比为 1:10 的变压器接到扩音器的喇叭，如图 1-1 所示，你认为喇叭放出的声音是否可以响一些？

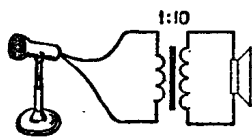


图 1-1

本题的意图是进一步理解放大的概念。

答：一个 1:10 的变压器虽然能把变化的电压提高 10 倍，但与此同时，变化的电流将减少 10 倍，因此功率并没有增大。如果考虑变压器本身的损耗，则喇叭得到的功率将比话筒输出的功率还要小。

题 1-2 某同志想利用晶体管的放大作用把光照到光敏电阻上希望能使继电器动作如图所示，你认为这个方案能否实现？

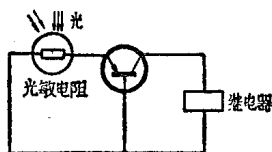


图 1-2

本题的意图同题 1-1。

答：这个方案不能实现。理由是，晶体管本身不能供给能量，它只能控制外界电源供给的能量，而在此电路中又没有能源。如果把光敏电阻换成光电池，将太阳能转化为使继电器动作所需要的电能，则这个方案将是可行的，但需要改变电路连接的形式。

题 1-3 图中的晶体管其电流关系如《晶体管电路》中表 1-1 所示。 R_C 是一个继电器，它的动作电流为 4.6 mA，释

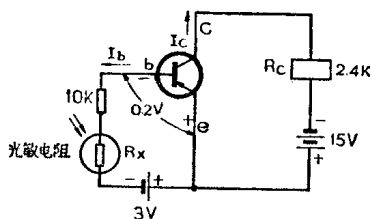


图 1-3

放电流为 2.7 mA ，要求有光时继电器动作，无光时释放，试计算光敏电阻在上述情况下的阻值应如何变化才能满足要求。设晶体管工作时其 $U_{be} = -0.2 \text{ V}$ 。

本题的意图是复习晶体管的

电流关系和电路分析方法。

解：由《晶体管电路》的表 1-1 可知，当 I_c 分别为 4.6 mA 和 2.7 mA 时， I_b 分别为 0.06 mA 和 0.03 mA 。由此算出有光时光敏电阻的阻值

$$R_{x1} = \frac{3 - 0.2}{0.06} - 10 = 36.7 \text{ k}\Omega$$

无光时光敏电阻的阻值

$$R_{x2} = \frac{3 - 0.2}{0.03} - 10 = 83.3 \text{ k}\Omega$$

光敏电阻的阻值只要在 $36.7 \text{ k}\Omega$ 和 $83.3 \text{ k}\Omega$ 之间变化就能满足要求。但实际上管子特性将受温度变化的影响，要留有余地，因此最好选用受温度影响较小的硅管，并把光敏电阻阻值变化的范围扩大为 $20 \text{ k}\Omega$ 至 $100 \text{ k}\Omega$ 。

题 1-4 在图 1-4 (a) 所示的水位控制电路中，设晶体管 T 的集电极电流 I_c 和基极电流 I_b 之比为 $20:1$ ，工作时 $U_{eb} \approx 0.2 \text{ V}$ ，试估计当 B 、 C 之间被水淹没后（水电阻可忽略），继电器的动作电流应选多大？

本题的意图是复习晶体管的电流分配关系和熟悉分析电路的方法。

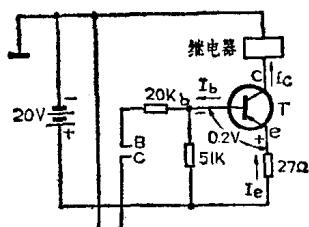


图 1-4(a)

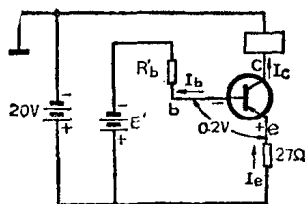


图 1-4(b)

答：为了便于计算起见，先将基极回路用等效电源 E' 和等效电阻 R'_b 代替如图(b)所示。其中

$$E' = \frac{51}{51 + 20} \times 20 = 14.37\text{V}$$

$$R'_b = \frac{51 \times 20}{51 + 20} = 14.37\text{ k}\Omega$$

eb 间的回路用电流定律可得

$$0.027 I_e + 14.37 I_b = 14.37 - 0.2 = 14.17$$

将 $I_c = I_e - I_b$, $I_b = \frac{1}{20} I_c$, $I_b = \frac{1}{21} I_e$ 代入上式得

$$\left(0.027 + 14.37 \times \frac{1}{21} \right) I_e = 14.17$$

则

$$I_e = 19.92\text{ mA}$$

$$I_c = I_e - \frac{1}{21} I_e = 18.97\text{ mA}$$

即继电器的动作电流应低于 18.97 mA，实际上可选 16 mA。

还可以作近似的估算：设 27 Ω 电阻两端的电压降和 U_{be} 均远比 E' 小，因此均可忽略，则

$$I_b \approx \frac{14.37}{14.37} = 1\text{ mA}$$

$$I_c = 20 \text{ } I_b = 20 \text{ mA}$$

它和由前面计算所得结果相比，误差为 5%，故进行估算，精度能满足要求。

第二章 利用PN结组成的一些半导体器件

题 2-1 如果把一个PN结的两端通过一个电流表短路，回路中没有其他电源，当用光线照这个PN结（例如照射一个没有涂漆的玻璃壳小功率硅二极管）时，电流表是否有读数？为什么？

本题的意图是要说明外界能源对半导体内载流子运动的影响。

答：无光照时，P型半导体和N型半导体中载流子的扩散运动和漂移运动处于动态平衡的状态，所以电流表测不出电流。当有光线照射时，外界供给能量，激发出更多的电子空穴对，使少子浓度显著增加，增强了漂移运动，破坏了原来的平衡，产生了电流。由此可以得到两点启发：

1. 二极管产生电流必须具备两方面的条件，一是内因，二是外因。内因即管子的内部结构，要存在可以移动的载流子；外因指外加能量，一般是加上电场来削弱PN结的内电场，使载流子定向移动形成电流。这里能量的形式是光能，其他形式的能（如热能、辐射能等）也能产生电流。

2. 光能激发半导体内的载流子，因此我们必须注意它对管子特性的影响，保证半导体器件达到预期的功能。正是因为这个原因，一些玻璃壳的半导体二极管和三极管的外面都涂上黑漆。

题 2-2 从表2-1中所给出的数据来看，反向电流和环境温度之间大致有什么样的关系？根据这个关系推算，在环境温度

为 -45°C 时反向电流大致是多少?

本题的意图是训练如何从实际数据总结规律。

表 2-1

环境温度 $^{\circ}\text{C}$	25	55	95	140
反向电流 (μA)	1	10	100	1000

答: 由表2-1可知, 环境温度每增加 $35\sim 45^{\circ}\text{C}$, 反向电流就增加10倍。 -45°C 和 $+25^{\circ}\text{C}$ 相差 70°C , 是 35°C 的两倍, 也就是说反向电流要比 25°C 时小两个数量级, 反向电流约为 25°C 时的0.01倍。

题 2-3 设一个二极管的 $I_S = 1\mu\text{A}$, 计算在室温为 19°C 时的电压电流关系并用表格形式来表示。

本题的意图是熟悉计算二极管电流的基本公式。

解: 由

$$I = I_S (e^{\frac{qU}{kT}} - 1)$$

式中 $q = 1.602 \times 10^{-19}$ 库仑, $k = 1.38 \times 10^{-23}$ 焦耳/ K , q, k 是两个物理常数。

在 19°C 时

$$T = 273 + 19 = 292K$$

$$\therefore \frac{q}{kT} = \frac{1.602 \times 10^{-19}}{1.38 \times 10^{-23} \times 292} = 37.8 \approx 40$$

上式可写成

$$\begin{aligned} I &= (e^{40U} - 1) \mu\text{A} \\ &= 10^{-3} (e^{40U} - 1) \text{mA} \end{aligned}$$

将给定各电压值代入式中计算, 可得出下表:

$U(V)$	-10	-1	-0.1	-0.01	0
$I(mA)$	-10^{-3}	-10^{-3}	-9.82×10^{-4}	-3.30×10^{-4}	0
$U(V)$	+0.01	+0.05	+0.1	+0.2	+0.3
$I(mA)$	4.9×10^{-4}	6.4×10^{-3}	5.4×10^{-2}	2.98	163

题 2-4 如果把题 2-3 的结果画成曲线，以电压为横坐标，以电流为纵坐标，而纵坐标取对数坐标的形式，问这时伏安特性曲线将是什么形状？

本题的意图是要说明二极管电流和电压成指数关系，即电压有很小的变化，电流就有很大的变化。

答：电流采用对数坐标，不仅可以表达电流在很大范围变化的趋势，而且在一定范围内可把这条关系曲线近似为一条直线，便于绘制和分析。图中电压与电流的关系可用数学式表达如下：

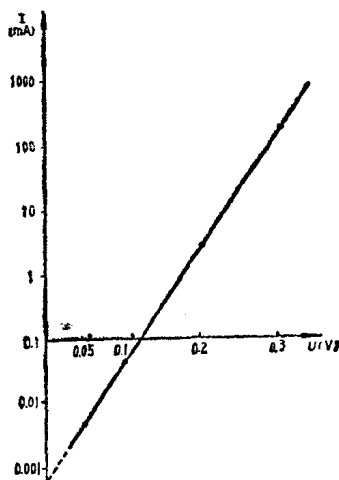


图 2-1

$$I = I_s(e^{\frac{qU}{kT}} - 1)$$

两边各取对数： $\log I = \log I_s + \log(e^{\frac{qU}{kT}} - 1)$

当 $\frac{qU}{kT} \gg 1$ 或 $U \gg \frac{kT}{q} \approx \frac{1}{40}V = 25 \text{ mV}$ 时， $e^{\frac{qU}{kT}} \gg 1$ ，则

$$\log I \approx \log I_s + \log e^{\frac{qU}{kT}}$$

$$= \log I_s + 0.434 \frac{qU}{kT}$$

$$= \log I_s + 17.3 U$$

如令 $\log I = y$, $U = x$, 把常数 $\log I_s$ 记作 A , 17.4 记作 B , 则上式可写成

$$y = A + Bx$$

上式为一直线方程式。需要指出的是, 这条直线只在 $U \gg 25$ mV 时比较正确, 当 $U < 25$ mV 时不能使用。 U 为负值时, I 不能用对数坐标表示。

题 2-5 在题 2-3 所给条件下, 如果要求 $I = 1$ A, 则二极管应该加多大的电压?

本题是要说明在二极管两端只要加很低的电压就能得到较大的电流。

解: 由上题, $\log I = \log I_s + 17.4 U$ (I 的单位为 mA, U 的单位为 V), 将 $I = 1000$ mA, $I_s = 10^{-3}$ mA 代入得:

$$3 = -3 + 17.3 U$$

$$\therefore U = \frac{6}{17.3} = 0.346 \text{ V} \approx 0.35 \text{ V}。$$

图 2-1 中看出, 当 $I = 1000$ mA 时, U 约为 0.35 V。

题 2-6 把一个 1.5 V 的干电池, 以正向接法直接接到一个二极管的两端, 会出现什么问题?

解: 将 $U = 1.5$ V 代入题 2-4 的式中可得:

$$\log I = \log I_s + 17.3 U = -3 + 17.3 \times 1.5 = 22.95$$

$$\text{则 } I = 8.9 \times 10^{22} (\text{mA}) = 8.9 \times 10^{19} (\text{A})$$

实际上二极管内部的体电阻、引线电阻以及电池的内阻都能起限流作用, 所以通过二极管的电流决不致于这样大。但无论如何, 这种情况将造成二极管烧毁或者电池由于电流过大而

发热失效。因此在工作时切不要把电源直接接到二极管的两端。

题 2-7 在实验室找一个二极管，测出它的伏安特性，并与由式 $I = I_s(e^{\frac{qU}{kT}} - 1)$ 所表示的规律相比较。观察正向特性的实验值和理论值哪个大？反向特性的实验值和理论值哪个大？为什么？

本题的意图是说明由理论公式计算得到的结果和实验数据之间有一定的差距。

答：二极管的等效电路如图 2-2 所示。理论值只考虑理想二极管和正反向电阻，但在正向特性方面，由于体电阻、接触电阻和导线电阻的存在，加上一定的正向电压后，所得到的电流将比理论值为小，此时通过漏电阻的电流，比通过二极管的电流小得多，可以忽略不计。在反向特性方面，由于表面漏电阻的存在，实际的反向电流要比理论值大。

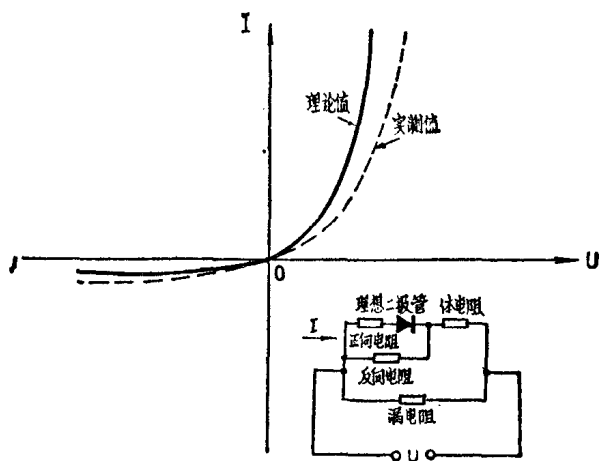
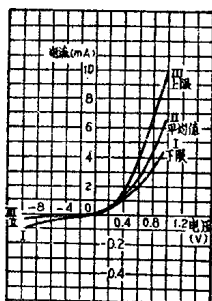
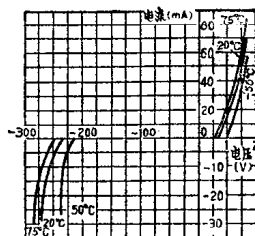


图 2-2



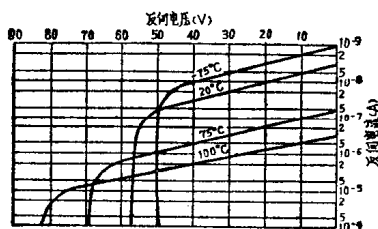
2AP伏安特性曲线

(a)



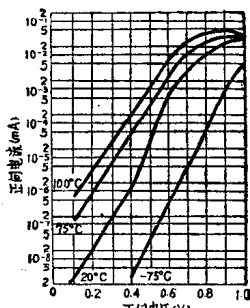
2CP伏安特性曲线

(b)



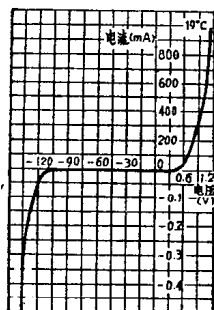
2CK9~19反何特性曲线

(c)



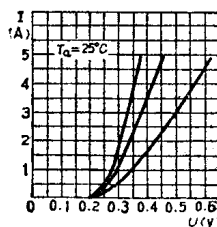
2CK9~19 正何特性曲线。

(d)



2CP31~33 伏安特性曲线

(e)



2CZ13A~13G 正何特性曲线。

(f)

图 2 3

题 2-8 从图 2-3 所示出的几种半导体二极管的特性曲线中，总结以下几条规律：

(1) 温度升高对特性曲线有什么影响？

(2) 锗管和硅管的反向电流哪一种大一些？死区电压哪一种大一些？

(3) 如果把特性曲线中的电流采用对数坐标表示，电压仍用正比坐标，这时伏安特性大致是什么形状？

(4) 2AP20 和 2CP20 两种二极管哪一种适用于较高的工作频率？

本题的意图是通过对比，加深对二极管特性的认识。

答：(1) 当温度升高时，载流子的数目增加了，所以正向电流增加，在正常工作电压下的反向电流也增加。

(2) 硅管的反向电流比锗管的小。一般硅管的反向电流小于 $1\mu\text{A}$ ，而锗管的反向电流可达几十或几百微安。硅管的死区电压则比锗管的高。

(3) 如果把特性曲线的电流采用对数坐标表示，电压仍用正比坐标，则特性曲线大致为一条直线（如图 2-1）。

(4) 2AP20 是点接触锗管，2CP20 是面结型硅管，前者适用于检波，工作频率为 $40\sim 150\text{ MHz}$ ，后者适用于小功率整流，最高工作频率为 0.05 MHz 。

题 2-9 在测二极管的正向电阻时，常发现用不同欧姆档测出的电阻值不相同，用 $R\times 10$ 档测出的阻值小，用 $R\times 100$ 档测出的阻值大，这是什么道理？

本题是通过测试二极管的内阻来说明二极管是一个非线性元件。

答：由于二极管的电压和电流不是正比关系（见图 2-4），所以当不同的电流通过管子时，管子两端的电压和电流的比值

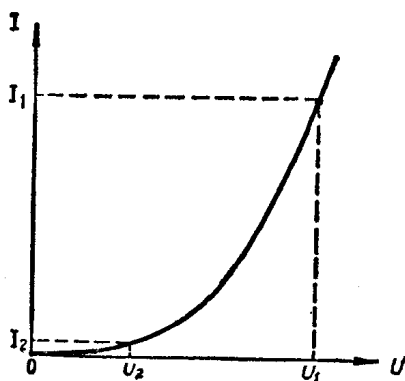


图 2-4

(就是测出的电阻值)也不同。用 $R \times 10$ 档测时,通过管子的电流较大(欧姆档一般用 1.50 V 电池,中值电阻为 150 Ω 左右,故通过的最大电流为 10 毫安左右。设此时电表的读数为满刻度的一半,则图中 $I_1 \approx 5$ mA),电

表的读数等于 $\frac{U_1}{I_1}$; 用 $R \times$

100 档测时,通过管子的电流较小(此时中值电阻为前者的 10 倍,故通过的最大电流为 1 毫安左右。设此时电表读数为满刻度的 $\frac{3}{4}$,则图中 $I_2 \approx 0.75$ mA),电表的读数等于 $\frac{U_2}{I_2}$,由图可知,前者的阻值小而后者的阻值大。

题 2-10 有人在测一个管子的反向电阻时,为了使表笔和管子接触得好一些,他用手把两端捏紧,结果发现管子的反向电阻比较小,认为不合格,但用在设备上却工作正常,这是什么原因?

本题说明,测试时要注意人体的影响。

答:人的两手之间的电阻约为几千欧至几百千欧,随人的体质、表皮湿润度和接触面大小、松紧等情况而异。在测试时用两手捏紧表笔和管子,就等于在管子两端并联一个电阻,结果量测出来的总电阻就小了,这并不说明管子本身的反向电阻小,它用在设备上完全可能是合格的。

题 2-11 如何用比较简单的办法来判断稳压管的好坏和

极性？如何分辨一个管子是整流二极管还是稳压管？

本题是要说明二极管和稳压管的个性和共性。

答：二极管和稳压管的共性是在一定范围内都具有单向导电性，所以可以用测二极管正反向电阻的办法来判断稳压管的好坏。二者不同的地方是，一般稳压管的反向击穿电压比较低（大多数是几伏到十几伏），而二极管的击穿电压则都在五十伏以上甚至二千多伏，因此如果用欧姆档内接有 15 V 或 22.5 V 电池的万用表去测一个管子的反向电阻时管子两端的电阻很小，而换成低电阻档（此时欧姆档接的电压只有 1.5 V 或 3 V）后，电阻很大，那末这个管子大概就是稳压管。

题 2-12 利用稳压管或二极管的正向电压降，是否也可以稳压？

本题的意图是要加深对于稳压概念的理解。

答：严格地说，稳压只是相对的，凡是通过它的电流有较大变化而在它两端的电压只有较小变化的元件，都可以用来作为稳压管。从这点出发，二极管和稳压管的正向伏安特性也都具有稳压的作用，但稳压值低于 1 V，而且稳压性能也比稳压管差。单独用稳压管的正向特性来稳压的情况较少见（因可用二极管来代替），但将两个稳压管串联，一个利用正向特性而另一个利用反向特性，则既能稳压又能起温度补偿的作用（如 2 DW 7 型）。

题 2-13 要使稳压性能好，稳压管的稳压值是大一些好还是小一些好？工作电流是大一些好还是小一些好？温度系数是大一些好还是小一些好？

本题的意图是要加深对稳压管稳压性能的理解。

答：表征稳压性能的主要指标是稳压值、动态电阻、和温度系数。要使稳压性能好，动态电阻要小，因此工作电流要大