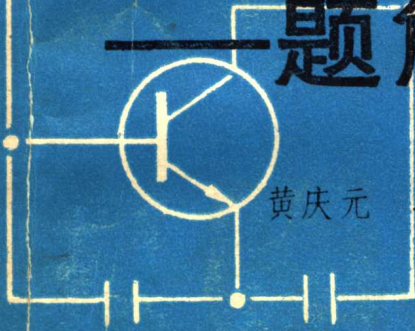
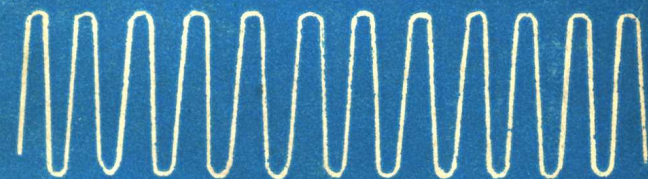


电子技术基础 ——题解与分析



黄庆元 姜瑞芝等 编



陕西科学技术出版社

《电子技术基础》

——题解与分析

黄庆元、姜瑞芝等编



陕西科学技术出版社

内容简介

本书是配合陕西科技出版社1985年7月出版的《电子技术基础》教材编写的。内容有晶体管原理、晶体管放大器基础、负反馈放大器、低频功率放大器、直接耦合放大器和运算放大器、直流稳压电源、调谐放大器、振荡器、调制与解调、晶体管收录机、脉冲电路、数字电路基础与微型计算机、电视等十三章。编者除对每章习题进行解答外，还增选了部分习题，并作了解答。

本书可供师范院校、教育学院、职工大学师生学习《电子技术》课程时参考，同时也可作为中学教师、函授学员及无线电爱好者的参考书。

责任编辑 刘可枫

电子技术基础

一题解与分析

黄庆元 姜瑞芝等编

陕西科学技术出版社出版

(西安北大街131号)

陕西省新华书店发行 西安市军航印刷厂印刷

787×1092毫米32开本 6.5印张 135千字

1986年5月第1版 1986年5月第1次印刷

印数：1—4300

统一书号：15202·143 定价：1.40元

前 言

为了满足部分大专院校师生、科技人员及无线电爱好者的需要，在陕西省高教局科研处的关怀和指导下，我们根据师范院校《电子技术基础》教学大纲精神编写，由陕西科技出版社1985年7月出版了《电子技术基础》一书。该书出版以来，已有近百所高等院校选用为教材，并受到普遍好评。应广大师生和自学者的要求，我们又组织编写了与该书配套的《电子技术基础——题解与分析》一书。

本书紧密结合《电子技术基础》一书的教材内容，对全部习题进行了解答，还增选了部分习题和题解。题解注重物理概念，突出解题思路分析，介绍多种解法，以培养学生的逻辑思维能力和解题能力。

参加本书编写的有：黄庆元、姜瑞芝、曹廷棻、仰华胄、贾风图、郑德有、李宗领等同志。另外张正喜、吴观辉、曾昌禄同志对本书的部分习题也作了解答并提出了宝贵意见，在此表示衷心的感谢。

由于时间仓促，编者水平有限，书中错误和遗漏之处，恳请广大读者批评指正。

编者

一九八六年三月一日于咸阳

目 录

第一章	晶体管原理	1
第一章	晶体管放大器基础	8
第三章	负反馈放大器	32
第四章	低频功率放大器	56
第五章	直接耦合放大器和运算放大器	67
第六章	直流稳压电源	87
第七章	调谐放大器	99
第八章	振荡器	112
第九章	调制与解调	125
第十章	晶体管收录机	132
第十一章	脉冲电路	142
第十二章	数字电路基础与微型计算机	160
第十三章	电视	178

第一章 晶体管原理

1—1 解释下列名词

空穴、N型半导体、P型半导体、扩散电流、漂移电流。

解：空穴——共价键内缺少电子的空位，它带正电荷。
空穴的移动始终是束缚电子在共价键内的移动。

N(或P)型半导体——硅或锗单晶半导体内掺入少量五，(或三)价元素形成的杂质半导体。其中电子(或空穴)是多子空穴(或电子)是少子，还有不参与导电的正(或负)离子。

扩散电流——半导体内载流子因分布不均匀而产生由密度大的地方向密度小的地方扩散所形成的电流。

漂移电流——载流子在电场力作用下，顺着或逆着电场方向运动所形成的电流。

1—2 PN结是怎样形成的？简单地把一块N型半导体和另一块P型半导体靠在一起能形成PN结吗？为什么？

答：PN结的形成过程如下：

载流子浓度不同→多子扩散→产生内电场→少子漂移。当扩散与漂移达到动态平衡时，在交界面形成一层稳定的空间电荷区称之为PN结或耗尽层。

简单地将一块N型半导体和另一块P型半导体靠在一起是不能形成PN结的。这是因为半导体材料表面尽管经过了精细的研磨、抛光，但仍然是粗糙的，而且上面往往有一层

薄薄的氧化层。这样多子的扩散就很难在两者之间进行。

1—3 用万用表测量二极管的正向电阻时，常发现用不同的欧姆档测得的电阻值是不同的，为什么？你能说出用 $R \times 100$ 档和 $R \times 1K$ 档测量二极管的正向电阻哪一个大？

答：用万用表测出的是二极管的正向直流电阻。二极管的正向直流电阻与工作电流有关，电流越大，电阻越小。测量电路如图1—1 (a) 所示。图中 R_T 为欧姆档中心电阻，使用的量程越大其值越大， E 为表内电源。设二极管的伏安特性如图1—1 (b) 所示，用图解法求解此电路。根据基尔霍夫定律 $E = IR_T + U_D$ ，将其和二极管的伏安特性曲线作于同一坐标上，如图1—1 (b)。其交点即为二极管的工作点，相应的直流电阻 $R_D = U_D / I_D$ 。由于二极管特性的非线性，当使用不同量程档时 R_T 不同，从而 Q 点不同， R_D 也就不同。

因 $R \times 100$ 档的 R_T 较 $R \times 1K$ 档的 R_T 小，相应的 Q 点较高，对应的 R_D 就较小。

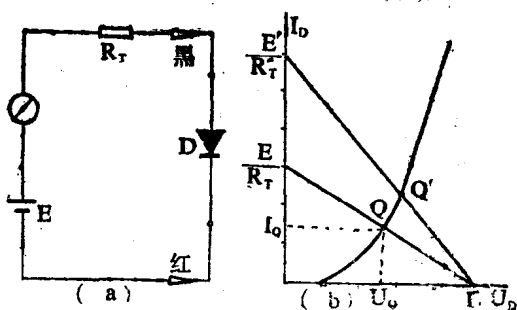


图1—1

1—4 若用一个1.5伏的干电池，正向接在二极管的两端，你估计会出现什么问题？

答：由于二极管的正向电阻及电池内阻都很小，这时将会有很大的电流通过二极管，使PN结发生热击穿而导致永久性的损坏。同时电池也会因流过很大的电流而有烧坏的危险！

1—5 二极管电路如图1—2所示。判断图中二极管是导通还是截止，并求电压 U_{AB} 。

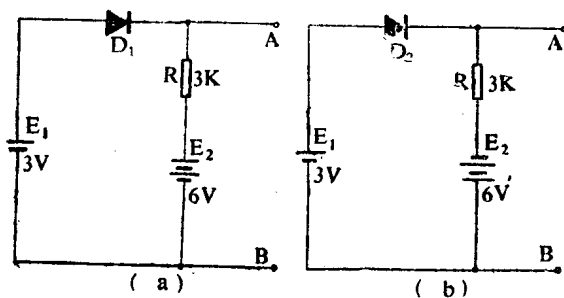


图1—2

解：(a) 应用基尔霍夫电压定律有：

$$U_D = 3 - 6 - U_R < 0, \text{ 二极管 } D_1 \text{ 因反偏而截止。}$$

$$U_{AB} = 6V.$$

(b) 同理： $U_D = 6 + 3 - U_R > 0$ 二极管 D_2 因正偏而导通。输出电压等于理想电压源 E_1 的端电压即 $U_{AB} = 3V$ 。

1—6 二极管的伏安特性如图1—3所示。试求 $I = 5\text{mA}$ 时的直流电阻和交流电阻。

解：据定义 $R_D = U_Q / I_Q$ ，由曲线查得当 $I_Q = 5\text{mA}$ 时，对应的 $U_Q = 0.4V$ ，Q点如图。由

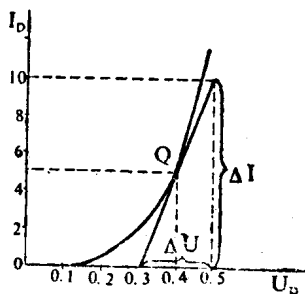


图1—3

此可得：

$$R_D = \frac{400}{5} = 80\Omega$$

又 $r_d = \left. \frac{\Delta U}{\Delta I} \right|_Q$ 它等于过Q点切线斜率的倒数。过

Q点作切线，查得当 $\Delta U = 0.2V$ 时， $\Delta I = 10mA$ ，故 $r_d = \frac{200}{10} = 20\Omega$ 。

0 1-7 三极管的发射结和集电结分别是两个PN结，那么，能否用两个二极管对接起来构成三极管呢？

答：不能。因为三极管的基区作得非常之薄，使发射结和集电结不再是两个独立的、毫无联系的PN结，而是两个紧密地联系在一起，一个结上出现的过程在一定的程度上影响着另一个结的工作情况，即使反偏的集电结中也会有较大的电流通过。这就使三极管与对接二极管有了本质的区别。

1-8 某同学在检修一台电子仪器，当接通电源测量时，不慎将晶体管的集电极与基极短路了一下，晶体管就损坏了，为什么？

答：当集电极和基极短路时， $U_{BE} = U_{CE}$ 远大于正常工作的 U_{BE} 值，由于发射结电阻很小，此时将会产生很大的基极电流 I_B ，发射结将因此而承受很大的功耗以致被烧坏。

1-9 用一个PNP型三极管（如3AX31）接成一个共发射极放大电路，并标出各极电压极性和电流方向。

解：PNP型三极管与NPN型三极管工作原理相同，仅是在使用时所加电压极性不同。用PNP型接成的共射放大电路如图1-4所示。必须指出：电源极性接反后，电解电容器的极性

也要作相应的调整。

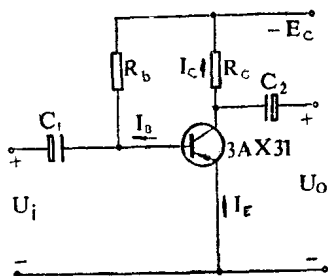


图1—4

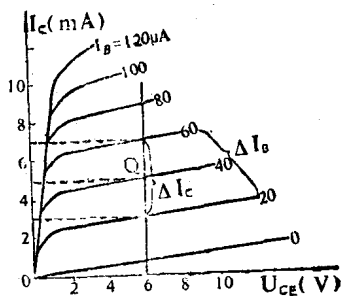


图1—5

1—10 三极管的输出特性如图1—5所示，试求当 $I_B = 40\mu A$ 、 $U_{CE} = 6V$ 时的 β 值和 $\bar{\beta}$ 值。

解：当 $I_B = 40\mu A$ 、 $U_{CE} = 6V$ 时，求得工作点如图中Q点，查得 $I_c = 5mA$ ，由定义 $\bar{\beta} \approx \frac{I_c}{I_B} \Big|_Q = \frac{5000}{40} = 125$ ，又据定

义 $\beta = \frac{\Delta I_c}{\Delta I_B} \Big|_{U_{CE}}$ ，作 $U_{CE} = 6V$ 的直线，查得当 $\Delta I_B = 40\mu A$

时， $\Delta I_c = 400\mu A$ ，故 $\beta = \frac{4000}{40} = 100$ 。

△ 1—11 场效应管的输出特性可分成哪几个区域？试述各区域的物理意义。

答：场效应管的输出特性可分为三个区域即可变电阻区、饱和区和击穿区。

在可变电阻区， $U_{DS} < |U_P|$ ，可认为PN结的反向电压基本上与 U_{DS} 无关，主要由 U_{GS} 决定，因而沟道电阻主要由 U_{GS} 决定。工作在这一区域的场效应管可作为可变电阻使用。

在饱和区, $U_{DS} > |U_P|$, I_D 不再随 U_{DS} 变化, 而达到饱和值, 此时输出特性为一组基本上与横坐标平行的水平线, 工作在这一区域的场效应管可作为放大器件。

在击穿区, 由于 U_{DS} 太大, 导致 PN 结反向击穿, 使漏极电流急剧上升, 如不加以限制, 将损坏管子。

1—12 场效应管与晶体管结构有什么不同? 它们的放大原理又有什么不同?

答: 晶体管是在本征半导体上进行掺杂, 满足一定条件形成两个 PN 结和三个区域的电流控制器件; 场效应管是在一块已掺杂的半导体上, 通过掺入另一种杂质形成两个 PN 结, 并在两个 PN 结之间形成一个导电沟道, 通过外加电压控制导电沟道的宽窄和长短来导电的。

晶体管是用 I_B 控制 I_C , 且多子与少子均参与导电的放大器件。场效应管是利用 U_{GS} 控制 I_D , 仅有多子参与导电的放大器件。

1—13 二极管电路与二极管伏安特性如图 1—6 所示。

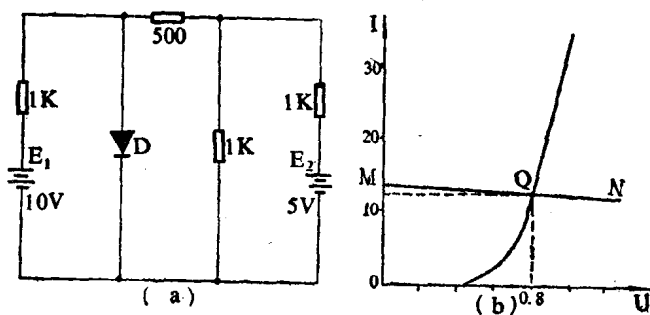


图1—6

求二极管上的压降和通过二极管的电流。

解：由于二极管是一种非线性器件，因此，对含有二极管的电路不能用迭加定理求解。利用戴文南定理将电路进一步化简为图1—7所示。

AB左侧为线性电路， $U_{AB} = E - IR$ ，

AB右侧为非线性电路， $U_{AB} =$

$f(I)$ 即二极管伏安特性。由于是同一电路，故 U_{AB} 、 I 由两

式共同决定。若将两曲线画于

同一坐标上，其交点所决定的

U 、 I 即为所求之值。这种解法

称为图解法。作直线 $U_{AB} = E - IR$ 于图1—6 (b) 即MN，它

和伏安特性的交点为Q，查得 $U = 0.8V$ ， $I = 12mA$ 。

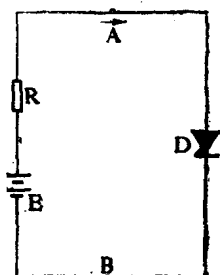


图1—7

第二章 晶体管放大器基础

2—1 图2—1所示是什么放大电路？电路中的各元件起什么作用？

答：图2—1所示电路是阻容耦合共发射极放大电路。

晶体管 T ：具有电流控制作用，即能以输入端一个能量较小的信号去控制流过集电极回路的电流，

把 E_c 的直流能量转化为与输入有相同变化规律的交流能量。

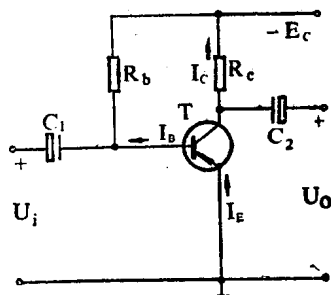


图2—1

电源 E_c ：提供整个放大器所需的能量，并提供晶体管工作在放大状态时所需的发射结正偏和集电结反偏电压。

基极偏置电阻 R_b ：首先保证晶体管能有合适的静态工作点，其次作为输入耦合电阻。

集电极负载电阻 R_c ：将集电极电流的变化转换为集电极电压的变化反映在输出端。

耦合电容 C ：导通交流，隔断直流。

2—2 试判断图2—2中各放大电路对交流正弦电压信号有无放大作用？为什么？电解电容在电路中的接法是否正确？

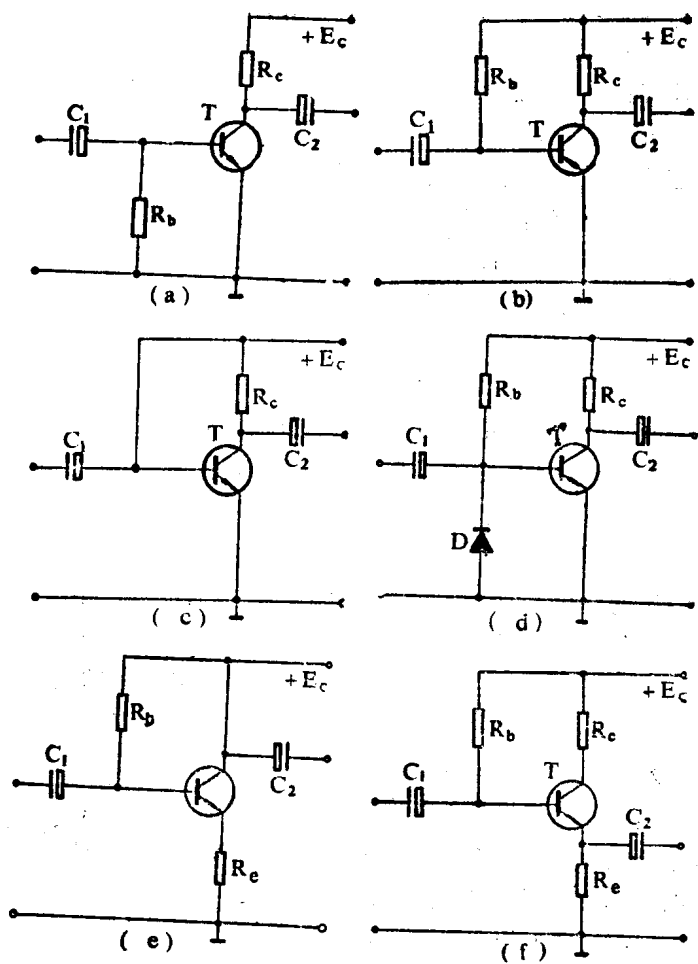


图2-2

答：判断一个电路有无放大作用的依据是基本放大电路的组成原则，即：一要保证三极管的发射结正偏、集电结反偏；二要保证信号能有效地传输，即有 U_i 时应有 U_o ；三要保证有合适的静态工作点。

关于电解电容在电路中的接法则应使它的极性与在电路中它两端所获得的直流电压极性一致。

(a) 发射结正偏的条件不满足，无放大作用。

(b) 电源 E_c 的极性接反，不能保证发射结正偏、集电结反偏的条件。没有放大作用。

(c) 基极回路 $R_b = 0$ ，则 $U_B = U_c$ ，因无限流电阻，发射结将会因通过很大的电流而被烧坏，即使三极管不损坏，也不能保证合适的静态工作点，而且输入信号还会通过 E_c 短路到地无法加入，故无放大作用。

(d) 符合放大电路组成原则，有放大作用。

(e) 由于 $R_c = 0$ ，无法将集电极电流的变化转换为集电极电压的变化，即 $\Delta u_{CE} = 0$ ，故 $u_o = 0$ ，没有放大作用。

(f) 满足放大条件，有电流放大，不过这里 $|A_u| < 1$ 。

除(b)中 C_1 、 C_2 极性接反外，其余各电路中的电解电容接法均正确。

0 2—3 放大器的静态工作点指的是什么？如果静态工作点选的不合适会产生什么结果？试计算图2—3中当开关K分别接通A、B、C时的工作点，并说明晶体管的工作状态如何？

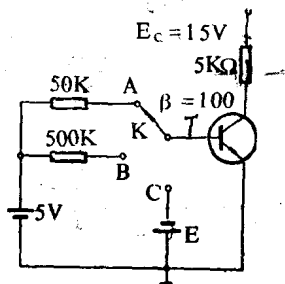


图2—3

答：当放大器输入端交流短

路时，晶体管各极的直流电流、电压在其特性曲线上对应着一个确定的点，称为静态工作点，通常就用这些电流、电压的数值来表示静态工作点。

若静态工作点选择不当，可能使输出信号失真或晶体管损坏。

当K与A接通时

$$I_B = \frac{E - U_{BE}}{R} = \frac{5 - 0.7}{50} = 86 \mu A$$

$$\text{而 } I_{BS} = \frac{E_C}{\beta R_C} = \frac{15}{5 \times 100} = 30 \mu A$$

由于 $I_B > I_{BS}$ ，晶体管工作在饱和状态，此时， $I_C = \beta I_B$ 的关系式不成立。

当K与B接通时

$$I_B = \frac{5 - 0.7}{500} = 8.6 \mu A$$

$$I_C = \beta I_B = 100 \times 8.6 = 0.86 \text{ mA}$$

$$U_{CE} = E_C - I_C R_C = 15 - 0.86 \times 5 = 10.7 \text{ V}$$

由计算可知，晶体管工作在放大状态。

当K与C接通时：

由于发射结和集电结均反偏，晶体管工作在截止状态。

2—4 图2—4所示电路中， $R_b = 400 \text{ k}\Omega$ ， $R_C = 5.1 \text{ k}\Omega$ ， $E_C = 12 \text{ V}$ ，晶体管3DG6的 $\beta \approx \beta = 50$ ， $I_{CEO} \approx 0$ 。

(1) 求静态工作点Q (I_B 、 I_C 、 U_{CE})；

(2) 如果原来的3DG6坏了，换上一只 $\beta = 76$ 的3DG6管，这时电路的放大性能是否可以改善？为什么？

解：(1) 由公式可得：

$$I_B \approx \frac{E_C}{R_b} = \frac{12}{400}$$

$$= 30\mu A$$

$$I_C = \beta I_B = 50 \times 0.03$$

$$= 1.5\text{mA}$$

$$U_{CE} = 12 - 1.5 \times 5.1$$

$$= 4.35\text{V}$$

(2) 由于 E_C 、 R_b 、

R_C 未变， I_B 不变，而 I_C 、 U_{CE} 分别为： $I_C = 76 \times 30 = 2.28\text{mA}$

$$U_{CE} = 12 - 2.28 \times 5.1 = 0.37\text{V}$$

计算表明此时的工作点已进入饱和区，放大性能没有得到改善反而变得不能正常工作。

2-5 放大电路如图2-5 (a)，晶体管的特性曲线如图2-5 (b)，要求 I_C 准确的调在 3mA ，某同学以 $330\text{K}\Omega$ 的电位器作 R_b ，稍不小心，把 R_b 调到了零。

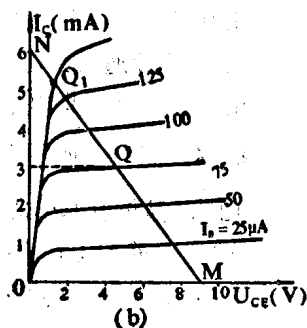
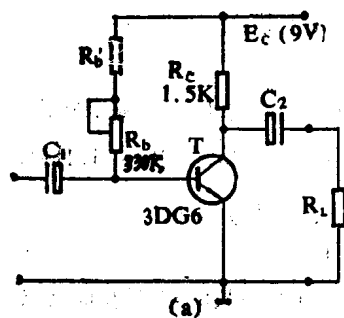


图2-5