

晶体管电路



上海市业余工业大学

毛主席语录

列宁为什么说对资产阶级专政，这个问题要搞清楚。这个问题不搞清楚，就会变修正主义。要使全国知道。

思想上政治上的路线正确与否是决定一切的。

我们的教育方针，应该使受教育者在德育、智育、体育几方面都得到发展，成为有社会主义觉悟的有文化的劳动者。

教育必须为无产阶级政治服务，必须同生产劳动相结合。

学制要缩短。课程设置要精简。教材要彻底改革，有的首先删繁就简。

前 言

在无产阶级文化大革命和批林批孔运动的推动下，广大工农兵群众，以党的基本路线为纲，认真学习无产阶级专政的理论，坚持“独立自主、自力更生”，狠批刘少奇、林彪一类鼓吹的“洋奴哲学”、“爬行主义”以及“电子中心论”和“电子神秘论”，使我国电子工业得到了迅速发展，电子技术在工业自动控制方面的应用越来越广泛。

程序控制是自动控制技术的一种类型，它是劳动人民在生产实践中创造的一门知识，广大工农兵群众就是能够掌握它，应用它。为了适应社会主义革命和建设的需要；为了适应广大工农兵掌握程控技术的需要，我们遵循毛主席“教育必须为无产阶级政治服务，必须同生产劳动相结合”的教导，成立了有工人、教师和干部参加的三结合教材编写组，在党组织的领导下，根据我校程控和数控专业教育革命的实践，调查了一些有关单位，编写了《电路与数学》、《晶体管电路》、《数字脉冲电路》、《数控技术》、《程控设备》和《机床数控》等教材。在编写中我们力求文字通俗易懂，以适合具有一定生产实践经验和相当于初中文化水平的工农兵群众阅读，或有关专业在结合典型项目进行教学中参考。

由于我们水平有限，缺乏实践经验，教材中必然会有不少缺点和错误，希望大家提出批评和修改意见。

我们在审编过程中，得到有关方面的大力支持和热情帮助，在此表示衷心感谢。

上海市业余工业大学教材编写组

一九七五年九月

目 录

第一章 晶体二极管、三极管

第一节 晶体二极管	1
一、 半导体及P型半导体、N型半导体	1
1. 半导体	1
2. 半导体的独特性能	1
3. P型半导体、N型半导体	1
二、 P—N 结	2
1. P—N 结	2
2. P—N 结的单向导电性	2
三、 晶体二极管伏安特性及主要参数	2
1. 晶体二极管的伏安特性曲线	3
2. 晶体二极管的主要参数	3
四、 晶体二极管的测量	4
1. 利用万用表测量晶体二极管	4
2. 反向击穿电压测量法	4
第二节 晶体三极管	5
一、 晶体三极管基本结构	5
二、 晶体三极管的放大作用及其输入、输出特性曲线	6
1. 晶体三极管的电流放大作用	6
2. 晶体三极管的输入、输出特性曲线	8
三、 晶体三极管的简易测试	9
四、 应用举例	12
1. 光电自动控制器	12
2. 温度控制器	13
3. 机床中的自动停车装置	13
4. 线切割机光电整形电路	14
本章小结	15

第二章 放大器

第一节 单级放大器	16
一、 静态工作点的建立	16
1. 单级交流放大器	16
2. 交流放大器为什么要设置静态工作点?	17
3. 放大电路的静态工作点和基极电压、电流的波形	18

4. 用图解法确定静态工作点	19
二、放大器的图解分析法	21
1. 放大器的特性曲线图解法	21
2. 静态工作点不合适造成的波形失真现象	23
三、偏置电路的稳定性	24
1. 固定偏置电路	25
2. 电压负反馈偏置电路	26
3. 电流负反馈偏置电路	27
4. 偏置电路的计算	28
四、单级放大器的放大倍数及几个重要概念—交流等效电路、交流负载线、输入电阻、输出电阻	29
1. 交流等效电路与交流负载线	30
2. 放大器的输入电阻	31
3. 放大器的放大倍数	31
4. 输出电阻	33
五、反馈的概念及射极跟随器	34
1. 反馈的概念	34
2. 电流负反馈和电压负反馈	34
3. 单级负反馈放大电路分析	35
4. 射极输出器	39
第二节 多级放大器	41
一、阻容耦合放大电路	41
二、阻容耦合放大器的级间相互影响	44
三、放大器的调整与测试	44
1. 静态工作点的调整	46
2. 输入交流信号测试	46
3. 放大器中的噪声与寄生振荡	48
第三节 直接耦合放大器	50
第四节 差动放大器	52
一、差动放大器的工作原理	52
1. 差动电路的放大原理	52
2. 差动电路为什么能抑制零点漂移?	54
3. 共模抑制比	54
二、差动电路的改进	54
1. 发射极串接公共电阻 R_E	54
2. 增加一个调零电位器和串接负电源	56
3. 差动放大器的输入、输出电阻	57
4. 具有恒流源的差动放大电路	58
5. “对管”差动电路	59
三、差动电路的其他几种接法	59
四、差动放大器的估算和调试	63
第五节 直流放大器的应用举例	65
一、用三级直接耦合放大线路控制滑差电机激磁电流	65
二、差动放大器在电熨斗自动恒温控制中的应用	65

1. 电路介绍·····	66
2. 工作原理·····	66
三、 磁芯读出放大器·····	67
四、 直流放大器在线性集成电路中的应用·····	68
本章小结·····	71

第三章 电 源

第一节 整流与滤波·····	72
一、 单相整流电路·····	72
1. 单相半波电阻负载整流电路·····	72
2. 单相全波电阻负载整流电路·····	74
3. 单相桥式电阻负载整流电路·····	76
二、 三相桥式电阻负载整流电路·····	77
1. 工作原理·····	78
2. 负载上的电压和电流·····	78
3. 整流元件参数的计算·····	79
三、 整流元件的过电流、过电压保护·····	80
四、 滤波电路·····	81
1. 电容滤波器·····	82
2. 电感滤波器·····	83
3. 复式滤波器·····	83
第二节 硅稳压管及简单稳压器·····	85
一、 硅稳压管的特性和参数·····	85
1. 工作原理·····	85
2. 硅稳压管的主要参数·····	85
二、 简单稳压器·····	86
1. 工作原理·····	86
2. 硅稳压管稳压器中各元件的选择·····	86
3. 举例·····	87
第三节 串联型晶体管稳压电路·····	88
一、 串联型晶体管稳压电路·····	88
1. 电路工作原理·····	88
2. 电路各部份的简单分析·····	90
二、 用差分放大器作比较放大的稳压电路·····	91
三、 具有辅助电源的稳压电路·····	92
第四节 标准系列(12V、1A)稳压电路的计算·····	92
一、 电原理图·····	94
二、 技术指标·····	94
三、 各部分的作用原理与计算·····	94
第五节 串联型负反馈稳压器的调整·····	101
第六节 开关型稳压电源·····	102

一、开关型稳压电源的基本原理	103
1. 主回路	103
2. 取样、比较放大和基准电压	105
3. 压控开关脉冲发生器	105
4. 过流保护电路	105
二、主要元件的选择	106
第七节 硅集成稳压器	107
一、5G11的电路型式及外型尺寸	107
二、5G11电参数规范	108
三、5G11典型使用	108
1. 常用的接法	108
2. 稳压保护的连接方法	109
3. 输出超压保护	109
4. 热切断保护	110
5. 提高稳定性和减少输出纹波的方法	111
6. 扩大电流的应用方法	112
7. 提高输出电压的接法	112
8. 作脉冲电流源方法	113
第八节 应用线路举例	113
一、ICK-8 简易程序控制器的直流电源	113
二、6伏5安定压式直流晶体管稳压电源	113
三、有短路保护的直流稳压电源	115
四、可调式直流晶体管稳压电源	115
五、简易群控机控制台直流电源	118
六、数控箱主机电源	120
本章小结	122

第四章 振荡器

第一节 自激振荡原理	123
一、自激振荡	123
二、振荡条件	124
1. U 反与 U 入应满足的相位关系	124
2. U 反与 U 入应满足的幅度关系	125
三、起振和幅度稳定	125
四、LC振荡回路和电路的振荡频率	126
第二节 几种LC振荡电路介绍	129
一、变压器反馈式振荡电路	129
二、电感反馈式振荡电路	130
三、电容反馈式振荡电路	131
第三节 石英晶体振荡器	134
一、简介	134

二、石英晶体谐振器电特性	135
三、石英晶体振荡电路	136
第四节 应用举例	138
一、动圈式温度指示调节仪	138
二、晶体管接近开关	138
1. LJ ₁ -24接近开关	138
2. LJ ₂ 系列接近开关	141
三、石英晶体振荡秒脉冲发生器	142
第五节 振荡器的调整与测试	143
一、振荡电路的选用	143
二、晶体管的选用	143
三、怎样使用石英晶体	143
四、振荡电路的调试	143
五、振荡频率测量	145
1. 用 PB-2 型 + 进频率仪测量频率	146
2. 用示波器估测频率	146
六、振荡幅度测量	147
本章小结	148

附 录

(一) 常用仪器使用介绍	149
一、万用表	149
1. 万用表原理	149
2. 万用表使用说明	150
二、SBM-10 型多用示波器	151
1. 示波器的工作原理	151
2. SBM-10 型多用示波器使用说明	152
3. 一般应用	154
三、JT-1 型晶体管特性图示仪	155
1. 用途与基本原理	155
2. JT-1 晶体管特性图示仪使用说明	156
3. 使用方法	157
(二) 小功率整流变压器	161
一、变压器的工作原理	161
二、变压器主要参数的计算	161
三、整流变压器的计算	162
四、C 型结构变压器的设计	165
(三) 晶体管几个极限参数的说明	173
一、晶体管的击穿电压	173
二、晶体管的最大允许电流	175
三、最大功率损耗	175
四、使用晶体管应注意的几个方面	176

第一章 晶体二极管、三极管

第一节 晶体二极管

一、半导体及P型半导体、N型半导体

一切半导体器件，如二极管、三极管、固体组件和场效应管等等，都是由半导体材料（硅、锗等）做成的。因此，应对半导体材料的基本特性有所了解。

1. 半导体：

大家知道，电线大都是用铜或铝做成的，电能通过铜线或铝线传导到需要的地方去，而在铜线或铝线外面常常包着一层橡皮或塑料与外界隔绝，起绝缘作用。

容易导电的物体我们通称为导体，象金、银、铜、铝、铁和镍等都是良好的导体。反之，不容易导电的物体我们称它们为绝缘体（又叫非导体），如玻璃、橡皮和塑料等都是绝缘体。

在我们周围世界中，除了上面说的导体和绝缘体外，还存在着一大类其他的物质，它们既不象导体那样容易导电，也不象绝缘体那样不容易导电。它们的性能介于导体和绝缘体之间，我们把这类物质叫做半导体。例如：锗、硅、砷化镓和大多数的金属氧化物以及金属硫化物等都属于半导体。

2. 半导体的独特性能：

半导体所以引起人们这么大的注意，不仅是导电能力介于金属和绝缘体之间，而在于它具有独特的性能。如果在纯净的半导体中适当地掺入极微量（例如百万分之一）的外来杂质，那么，半导体的导电能力就会有上百万倍的增加。这是半导体最显著、最突出的性质。正因为半导体具有这样奇怪的特性，人们利用掺杂质的方法，可以制造出许多不同性质、不同用途的器件——如二极管、三极管、场效应管等等。这样才使本来不受人们注意的半导体，成为今天电子技术中制造半导体器件的主要材料。

3. P型半导体、N型半导体：

如前所述，在纯净的半导体中加入极微量的杂质，半导体的导电能力有上百万倍的增加，我们称加有杂质的半导体为杂质半导体。

但在半导体中不是随便加些杂质就能使它具有我们需要的性质。亦即杂质是有选择的，不是随便加的。只有加入一定种类和一定数量的杂质，才能使半导体的性能符合我们需要。

加到半导体中的杂质可以分成二种类型：一类叫做N型杂质（如锑、磷和砷等元素），将它掺入半导体中后，半导体就成为N型半导体；另一类杂质叫做P型杂质（如镉、铝、镓

和硼等元素)，将它掺入半导体中后，半导体就成为P型半导体。因此，加入二种不同类型的杂质能制成两种不同类型的半导体——P型半导体和N型半导体。

二、P—N结

1. P—N结：

如果设法使一块完整的半导体的一部分是N型的，另一部分是P型的，象图 1—1—1 中所画的那样，这时在P型同N型半导体相结合的地方，会形成一个特殊的薄层，这个薄层我们叫它为P—N结。

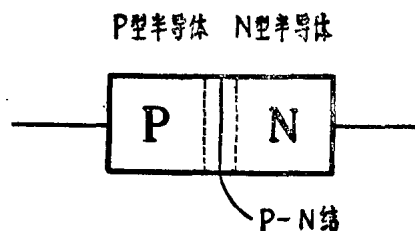


图 1—1—1

2. P—N结的单向导电性：

上面所说的P—N结具有单向导电的特性。利用这一特性，可以制成常用的晶体二极管，并用 $\begin{smallmatrix} + \\ | \\ \text{---} \end{smallmatrix} \begin{smallmatrix} | \\ \text{---} \\ - \end{smallmatrix}$ 来表示二极管，正极(+)对应于P—N结的P型区域，负极(-)对应于P—N结的N型区域。

下面我们用如图 1—1—2 所示的实验来说明这个特性。

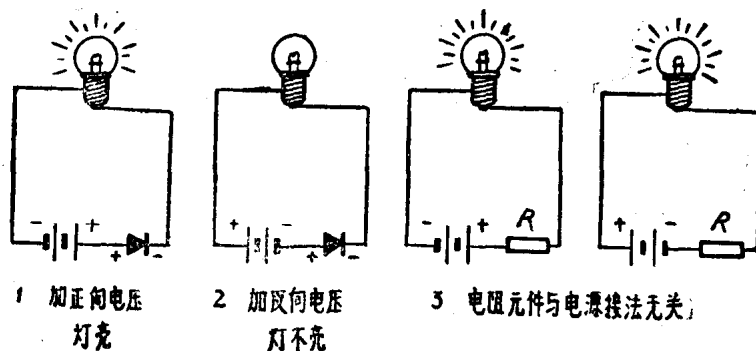


图 1—1—2

通过实验发现：电源与二极管正向连接时（加正向电压），灯亮；电源与二极管反向连接时（加反向电压），灯不亮。由此说明：加正向电压时，二极管容易导电，电阻小，电流大，灯亮；加反向电压时，二极管不容易导电，电阻大，电流小，灯不亮。这就说明二极管具有单向导电特性。

若用电阻代替二极管，则不管电源如何接法，灯都一样亮，这说明电阻没有单向导电性。

这种单向导电的特性使P—N结获得重大的用途。

三、晶体二极管*伏安特性及主要参数

上面的实验已经表明，晶体二极管有单向导电性。

为了进一步了解二极管的单向导电性，可以通过研究二极管的电压与电流的关系（伏安特性）得到进一步的认识。

1. 晶体二极管的伏安特性曲线:

用一个电源，使它和二极管正向连接（即加正向电压），再反向连接（加反向电压），同时用电流表和电压表测量流过二极管的电流和二极管二端的电压，将这种电压与电流的变化关系画成曲线，如图 1—1—3 所示。称为二极管的伏安特性曲线。

现在我们分两部份来讨论这条曲线。

(1) 正向特性:

在二极管两端加正向电压时，起初，随着两端的电压逐渐增加，流经二极管的电流也缓缓增加，如图 1—1—3 上的 OA，这段所加的电压叫做门限电压（门限电压的具体数值，随管子的类型和温度的不同而改变，一般硅管约 0.7V，锗管约 0.2V）。OA 段曲线的特点是电流上升速度很缓慢。

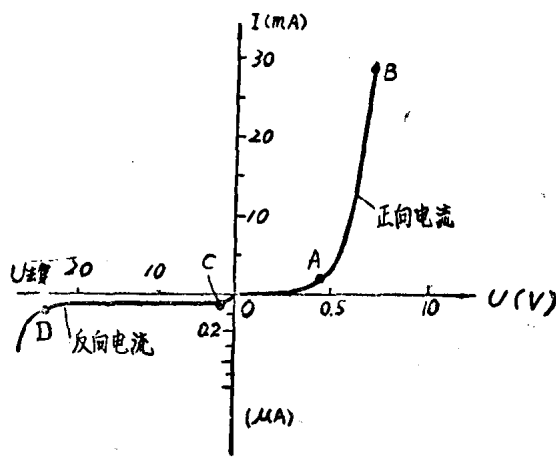


图 1-1-3

当正向电压超过这个门限电压时,正向电流随着正向电压的增加就显著地增加,如图1-1-3中AB段。

(2) 反向特性:

当二极管加反向电压时，就会产生反方向的电流，其数值是很小的。起初，随着所加反向电压的增加，反向电流也略有增加，如图1—1—3的OC段。当反向电压继续增加，反向电流几乎保持原来的值不变，如图1—1—3上的CD段。如将反向电压再继续增加，则二极管的反向电流突然急速增大，这时所加的电压我们叫它“反向击穿电压”。

2. 晶体二极管的主要参数:

我们这里简单介绍晶体二极管的三个主要参数：

(1) 最大整流电流 (I_M)：二极管导电时，仍然有一定的电阻（正向内阻），因此当电流通过管子时，二极管将产生热量，使P—N结温度上升。如果二极管工作电流太大，P—N结将会因结温过高而烧毁，所以二极管的工作电流应小于最大整流电流。二极管最大整流电流的大小，决定于P—N结的大小、材料和散热情况，可由半导体器件手册查得。

(2) 反向击穿电压 $U_{\text{击穿}}$:

在图 1—1—3 中, 反向电流突然增加时所对应的电压值, 即反向击穿电压 $U_{\text{击穿}}$ 。反向电压超过此值, 二极管就会击穿。一般从手册上查到的或二极管上所标明的反向电

• 我们知道，世界上物体若按原子排列来分可以分成晶体和非晶体两大类。绝大多数的半导体都是晶体，因此往往又把半导体材料称做晶体；半导体二极管、三极管常称为晶体二极管、晶体三极管。

压，是指二极管使用时容许的最大反向电压。（其数值较反向击穿电压低）在运用二极管时，应以此电压数值作为设计电路的依据。

（3）反向电流：

它与温度有很密切的关系，温度上升会使管子的反向电流增加。反向电流大，说明管子的单向导电性能差（常温时一般小功率硅管在几微安到几十微安，锗管则可达几百微安）。

由于二极管的用途和工作条件的不同，所以手册上还给出一些其他参数；并且，对于不同的晶体二极管，就有不同的参数，使用时可以根据管子的型号查阅手册。

四、晶体二极管的测量

1. 利用万用表测量晶体二极管：

利用普通的万用表可以粗略地测量一下晶体二极管，确定那一端是它的正极，那一端是它的负极，并约略地看出二极管的正反向电阻值（二极管正向容易导电，所以电阻小，反向不容易导电，所以电阻很大）。我们希望这两个阻值相差越大越好。若二者相差不多，那表明这个二极管性能不好或完全坏了。

测量时，把万用表拨到“欧姆”挡（ $R \times 100$ 或 $R \times 1000$ ），用两个测棒分别正反向测量二极管的两端，即可读到两个阻值，一个大，一个小，小的即是二极管正向电阻，大的即是二极管的反向电阻，图 1—1—4 就是测量过程。

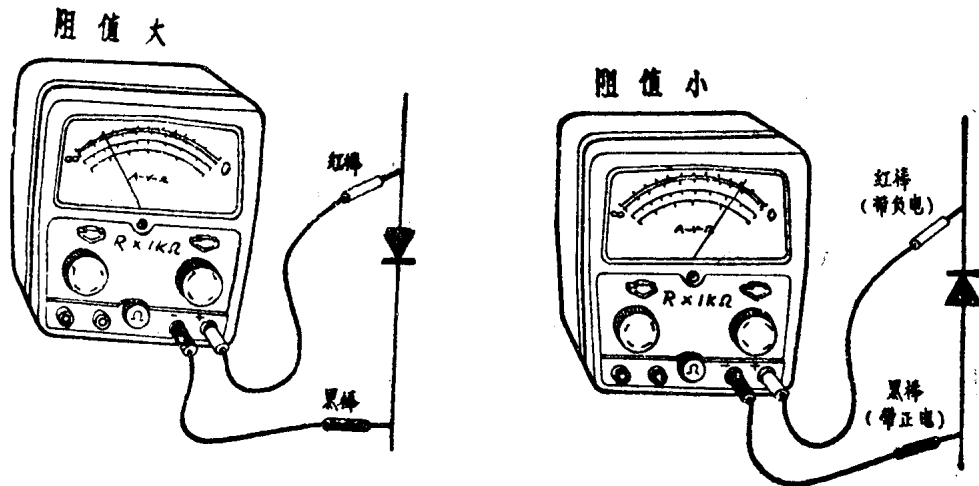


图 1—1—4

2. 反向击穿电压测量法：

根据二极管反向特性（反向电压较小时，电流甚小且基本不变，二极管具有很大的反向电阻；当反向电压升高到某一值时，电流剧增，二极管反向电阻突然变得很小），可以作成测试二极管反向击穿电压的简单线路，如图 1—1—5 所示。

图 1—1—5 中，在 AB 两端加上 500 伏直流高压，用 5.1M 电阻作限流电阻，用万用表测量管子二端的电压，其读数即为二极管反向击穿电压。

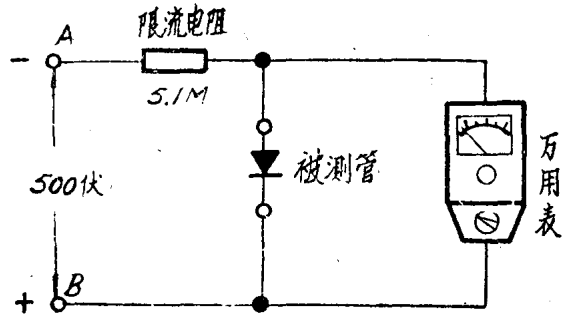


图 1—1—5

第二节 晶体三极管

一、晶体三极管基本结构

晶体三极管的外形图如图 1—2—1。

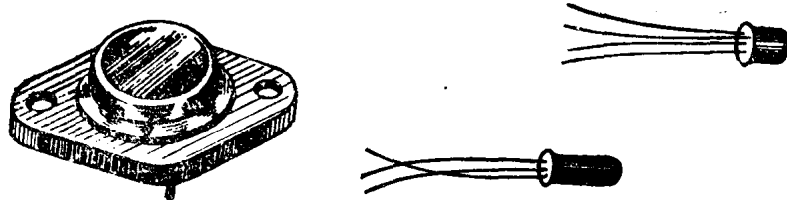


图 1—2—1

我们知道：二极管有一个 P—N 结，而晶体三极管是由二个 P—N 结组成，根据组合方式的不同，晶体三极管有 P—N—P 型和 N—P—N 型两种（见图 1—2—2）。晶体三极管共有

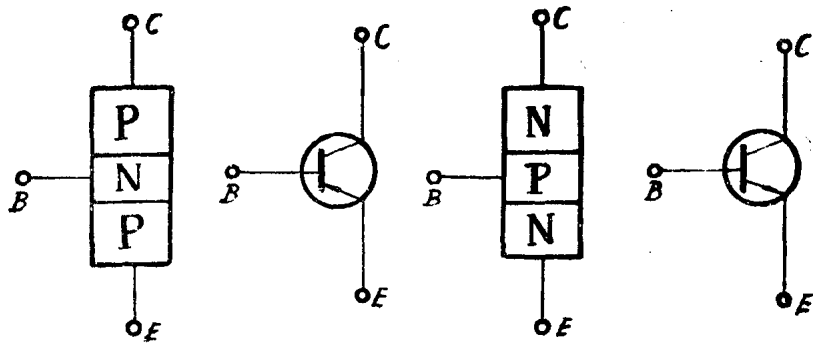


图 1—2—2

三个不同的导电区域：P—N—P型晶体管中间是N区，二边是P区；N—P—N型晶体管中间是P区，二边是N区。中间区域的电极称为基极，用B(b)来表示。其它两边一端是发射极，用E(e)来表示；另一端是集电极，用C(c)来表示。其中发射区和基区形成的P—N结叫发射结；集电区和基区形成的那个P—N结叫集电结。下面我们以P—N—P型晶体管为例来说明它的工作原理。

二、晶体三极管的放大作用及其输入、输出特性曲线

为了了解晶体三极管的电流放大作用及其输入、输出特性，我们做一个实验，把晶体三极管接成如图1—2—3所示。在电路中有三个电流和二一个电压：发射极电流用 I_E 表示；基极电流用 I_B 表示；集电极电流用 I_C 表示；B—E之间的电压用 U_{BE} 表示；C—E之间的电压用 U_{CE} 表示。

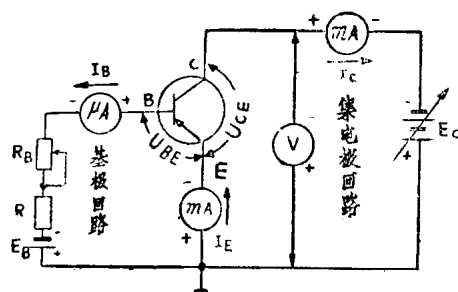


图 1—2—3

1. 晶体三极管的电流放大作用

通过调节电位器 R_B 改变基极电流 I_B ，便可相应地得到集电极电流 I_C 的相应变化，现将测得的数据列在表1—1中。

表 1—1

$I_B (\mu A)$	0	10	20	30	40	50	60	70
$I_C (mA)$	0.05	0.40	0.90	1.40	2.00	2.60	3.20	3.90
$I_E (mA)$	0.05	0.41	0.92	1.43	2.04	2.65	3.26	3.97
另外：当 $I_E = 0$ ， $I_C = I_{CBO} = 1 \mu A$								

从表1—1中可以得出下列三个重要结论：

(1) 三极管各极的电流分配满足下列关系：

$$I_E = I_C + I_B$$

即发射极电流等于基极电流和集电极电流之和。其中基极电流很小，发射极电流大部份流向集电极，我们可以形象地用图1—2—4表示之。

(2) 从表1—1中看到基极电流从 $10 \mu A$ 变化到 $50 \mu A$ ，则相应地集电极电流 I_C 从 $0.40 mA$ 变化到 $2.60 mA$ ，这二个变化量相比

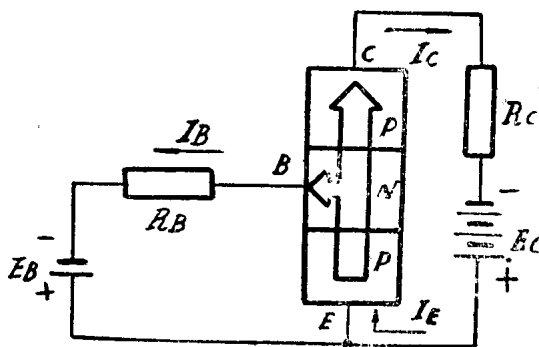


图 1—2—4

$$\frac{\text{集电极电流变化}}{\text{基极电流变化}} = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} = \frac{2.60 - 0.40}{0.05 - 0.01} = 55 \text{ 倍}$$

由此可见集电极电流比基极电流增大了55倍，这就是晶体管的电流放大作用。通常把集电极电流的变化量和基极电流的变化量之比记作 β

即
$$\beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}$$

β 是共发射极电路的电流放大系数（图1—2—3所示电路的连接方法称为共发射极电路），其数值通常是几十到一百以上。

以上所述的由集电极电流变化值及基极电流变化值之比所确定的 β ，我们称为“交流 β ”。

β 是晶体三极管的主要参数之一， β 值的大小，除了由构成晶体管的半导体材料、管子的结构和工艺决定外，还与管子的工作电流有关。

(3) 在表1—1中， $I_E = 0$ ， $I_C \neq 0$ ，这时的 I_C 用 I_{CBO} 表示。它相当于把发射极断开，集电结加上反向电压时，从基极流向集电极的电流。因此 I_{CBO} 相当于集电结的反向漏电流，如图1—2—5(a)所示。

还有表1—1中，当 $I_B = 0$ 时， $I_C \neq 0$ ，这个电流我们称它穿透电流，用 I_{CEO} 表示。电流 I_{CEO} 从发射极流向集电极，如图1—2—5(b)所示。

I_{CEO} 和 I_{CBO} 它们之间的关系为 $I_{CEO} = (1 + \beta) I_{CBO}$ ，这两个参数受外界温度影响变化非常显著。 I_{CBO} 大、 β 大的晶体管受温度影响尤其严重，故稳定性差。

上面讨论了P—N—P型晶体管的工作原理，N—P—N型晶体管工作原理与P—N—P型基本一样，只要把图1—2—3电路中外接电源极性反过来，将原来P—N—P型晶体管换上N—P—N型晶体管就可以了。不过要注意一点：N—P—N型晶体管电流方向和P—N—P型晶体管电流方向是相反的（见图1—2—6），所以，电路中所接电流表和电压表也要跟着变换极性。

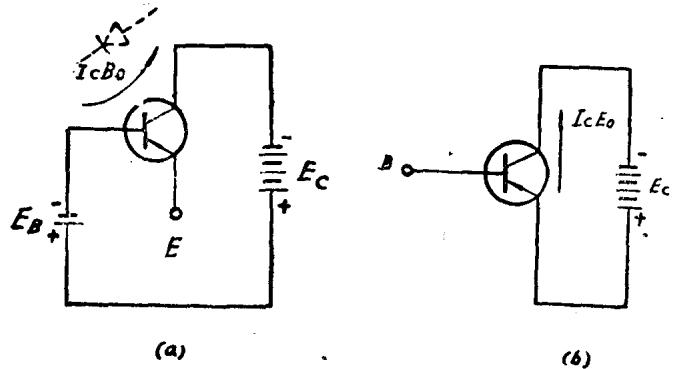


图 1—2—5

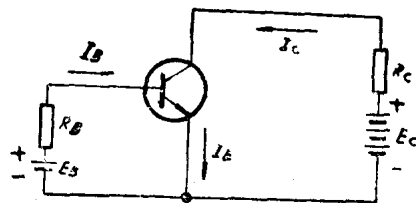


图 1—2—6

2. 晶体三极管的输入、输出特性曲线:

晶体三极管的特性曲线是表明管子“性格”的一种方法。用它就能确切地了解晶体三极管的工作性能。

什么是晶体三极管的特性曲线呢? 把晶体三极管各极上的电压及电流之间的相互变化的对应点画成连续曲线。就象二极管中我们把二极管上加的电压及流过二极管的电流画成伏安曲线一样。由于晶体三极管为二个P—N结, 因此它的电压电流特性曲线不象二极管那样简单, 它有输入特性和输出特性。

(1) 晶体管的输入特性曲线

图1—2—3的晶体管基极回路中, 改变 R_B , (此时 $U_{CE} = \text{常数}$), 就可以得出一组 U_{BE} 和 I_B 的实验数据, 用表1—2表示之。

表 1—2

$U_{BE}(\text{V})$	0	0.10	0.12	0.13	0.14	0.15	0.16	0.17	0.18
$I_B(\mu\text{A})$	0	10	20	30	40	50	60	70	100

用这一组实验数据作出的曲线即为晶体管输入特性曲线, 如图1—2—7所示, 这个特性曲线与二极管正向伏安特性曲线相似。其实, 这亦并不奇怪, 因为晶体管的发射结相当于一个P—N结, 所以当发射结加正向电压时, 其特性必然与二极管正向特性十分相似, 还需说明的一点是当 $U_{CE} \neq 0$ 时, $I_B \sim U_{BE}$ 关系曲线与 U_{CE} 大小关系不大。所以输入特性曲线只绘出典型的一条即可。

(2) 晶体管的输出特性曲线

如图1—2—3所示的电路中, 当基极电流 I_B 固定为某一数值, 改变 U_{CE} , 使晶体管集电极和发射极之间的电压 U_{CE} 变化, 则集电极电流 I_C 也作相应变化, 这种代表 I_B 固定、 I_C 随 U_{CE} 变化的曲线, 称为晶体管的输出特性曲线。显然, 用不同的 I_B , 可以作出不同的曲线来, 如图1—2—8所示, 我们称它为晶体管输出特性曲线簇。图中可以看出:

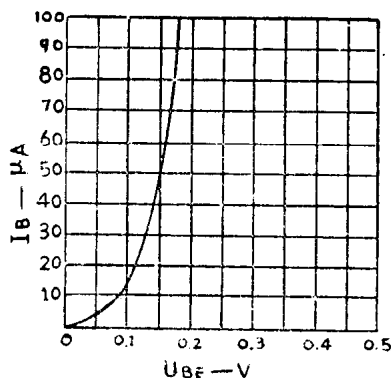


图 1—2—7

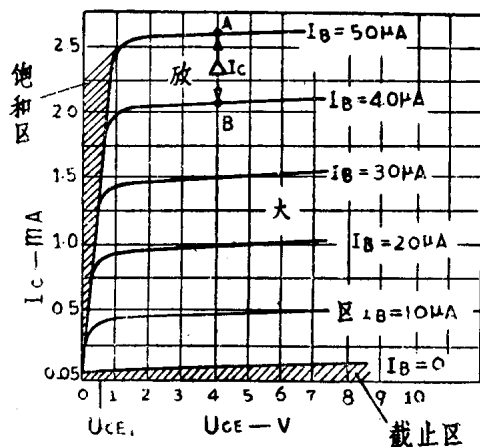


图 1—2—8

① 在 U_{CE} 超过电压 U_{CE1} （零点几伏）之后，曲线就显得比较平坦，表示 I_C 基本上不随 U_{CE} 的变动而变化，例如： U_{CE} 从1伏增大到7伏， I_C 几乎没有什么增加；

② I_B 从一个值变化到另一个值时，曲线上下平行移动，这说明当 I_B 变化时， I_C 将作相应的变化，关系为： $\Delta I_C = \beta \Delta I_B$ ；例如： I_B 从40微安增加到50微安， I_C 大约从2.1毫安增加到2.7毫安；

③ $I_B = 0$ ， I_C 并不等于零，这条曲线所代表的电流，就是前面讲过的穿透电流 I_{CEO} ，这是晶体管的一个参数；

④ 输出特性曲线可以分成三个区域，放大区，饱和区和截止区，放大区是指间隔均匀，曲线平坦的部分，这是晶体管用作放大时的工作区域；截止区是 $I_B = 0$ 这条曲线以下的阴影区域；图中还可以看到，当 $U_{CE} < U_{CE1}$ 的这一区域， I_C 随 I_B 的变化很小，称它为饱和区。设计电路时，应避免放大器工作到饱和区和截止区，否则将会造成波形失真，使放大器质量下降。

晶体管电流放大系数 β 也可从特性曲线上直接求得，例如：要求 $I_B = 50$ 微安这条曲线上A点附近的 β 值。可以看到：A点对应的 $I_C = 2.7$ 毫安，通过A点向 U_{CE} 轴作垂直线交 $I_B = 40$ 微安这条曲线于B点，找出对应于B点的 $I_C = 2.1$ 毫安，显然AB间电流 I_C 变化为： $\Delta I_C = 2.7 - 2.1 = 0.6$ 毫安，而相应的 I_B 变化 $\Delta I_B = 50 - 40 = 10$ 微安 = 0.01毫安，根据定义即可求出：

$$\beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} = \frac{0.60}{0.01} = 60$$

三、晶体三极管的简易测试

我们知道，万用表内是有电池的，将它拨到“欧姆”挡时，正（红）表棒就与表内电池的负极相通，而负（黑）表棒则与电池正极相通。这样通过测电阻的方法就可以间接估计 I_{CEO} 和 β ，除此之外，还可用万用表来判别晶体管三个极。

(1) I_{CEO} 和 β 的粗测：（见图1—2—9）

对小功率管，应使用 $R \times 100$ 或 $R \times 1000$ 档。测C-E极间电阻一般应在几十千欧以上，这是指锗管，硅管的数值就更大些。此值大，反映 I_{CEO} 小；此值小，说明 I_{CEO} 大，稳定性差；若阻值接近于零，则表示C-E间已穿通，管子不能用了。

再在B-C极间接上一个100千欧电阻，重测C-E极间电阻，阻值应比先前有明显减小。两次测量中阻值相差越大，反映管子 β 越大。

显然，进行上面的测试时，对P-N-P管，黑表棒应搭发射极，红表棒应搭集电极，对N-P-N管则相反。

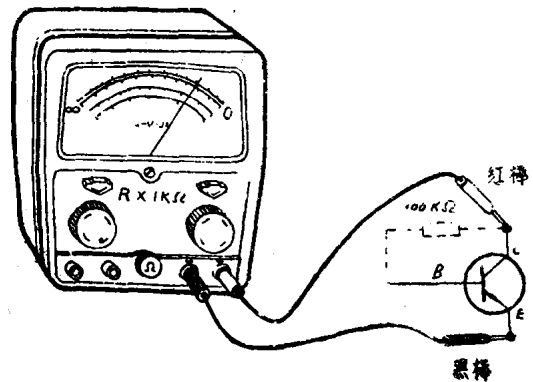


图1—2—9