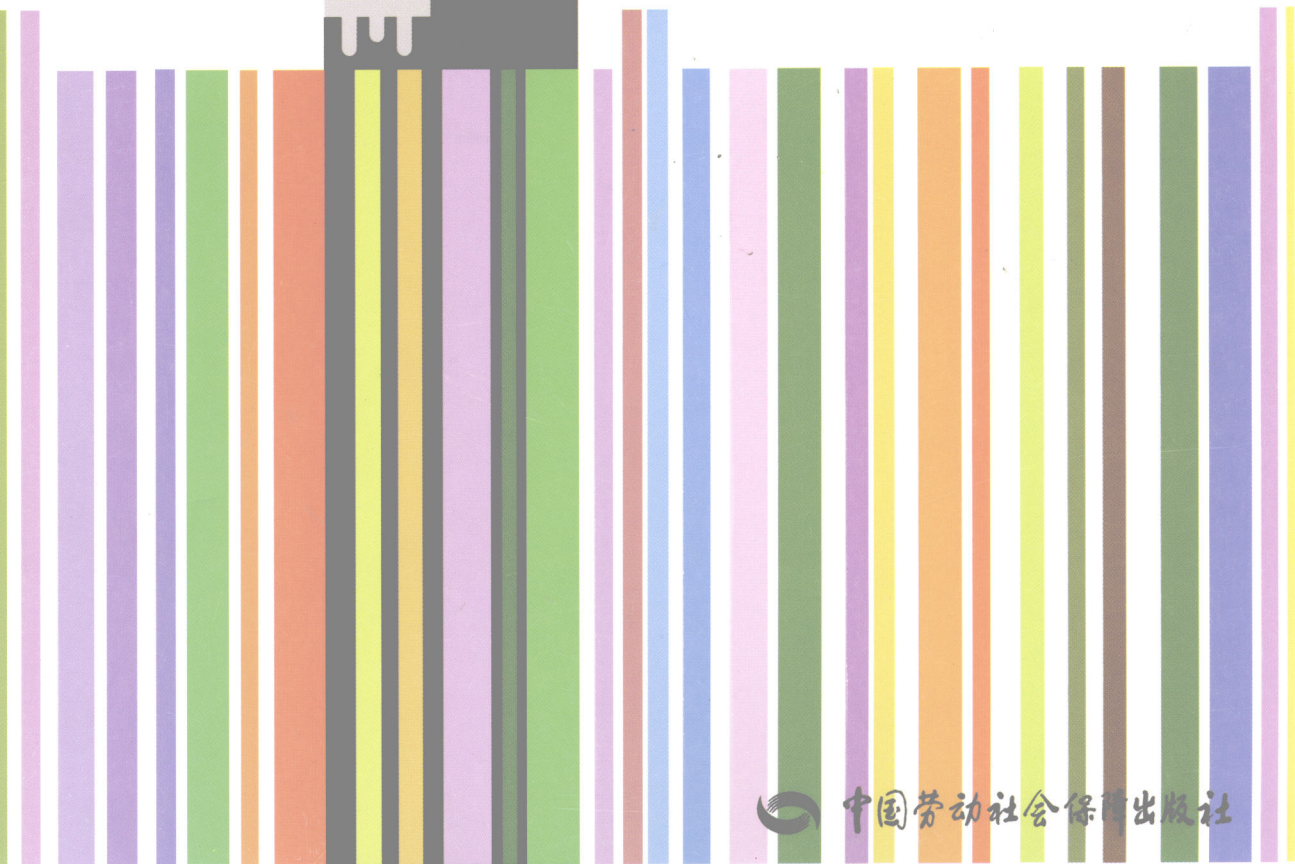
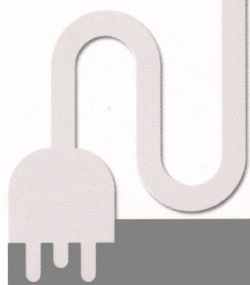
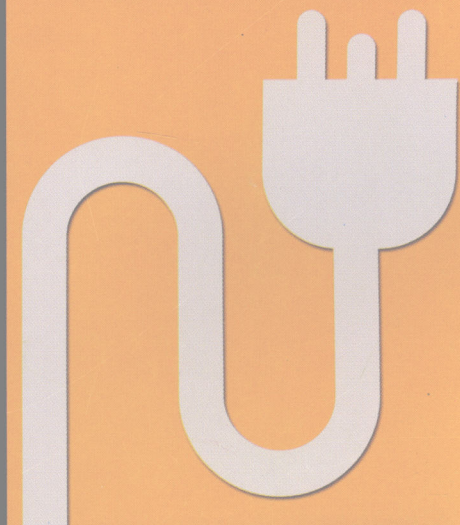


全国中等职业技术学校电工模块教材



模拟电子电路

diangongmokuaijiaocai



中国劳动社会保障出版社



国家级职业教育培训规划教材
劳动保障部培训就业司推荐

全国中等职业技术学校电工模块教材

模拟电子电路

劳动和社会保障部教材办公室组织编写

中国劳动社会保障出版社

图书在版编目(CIP)数据

模拟电子电路/李建新主编. —北京: 中国劳动社会保障出版社, 2006
全国中等职业技术学校电工模块教材

ISBN 7-5045-5558-4

I. 模… II. 李… III. 模拟电路-专业学校-教材 IV. TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 033759 号

中国劳动社会保障出版社出版发行

(北京市惠新东街1号 邮政编码: 100029)

出版人: 张梦欣

*

北京北苑印刷有限责任公司印刷装订 新华书店经销

787毫米×1092毫米 16开本 7.75印张 192千字

2006年5月第1版 2006年5月第1次印刷

定价: 11.00元

读者服务部电话: 010-64929211

发行部电话: 010-64927085

出版社网址: <http://www.class.com.cn>

版权专有 侵权必究

举报电话: 010-64911344

前 言

为了更好地适应全国中等职业技术学校电工类专业的教学要求，劳动和社会保障部教材办公室组织全国有关学校的教师和行业专家编写了这套电工模块教材。

这次教材编写工作坚持了以下几个原则：

第一，根据电工类专业毕业生所从事职业的实际需要，合理确定学生应具备的能力结构与知识结构，对教材内容的深度、难度作了较大程度的调整，坚持以能力为本位教学理念，强调基本技能的培养。

第二，吸收和借鉴各地中等职业技术学校教学改革的成功经验，以模块化教学的方式实现理论知识与技能训练相结合，以任务驱动法的编写方式导入教学内容，使教材内容更加符合学生的认知规律，易于激发学生的学习兴趣。

第三，根据科学技术发展，合理更新教材内容，尽可能多地在教材中充实新知识、新技术、新设备和新材料等方面的内容，力求使教材具有较鲜明的时代特征。

第四，努力贯彻国家关于职业资格证书与学生证书并重、职业资格证书制度与国家就业制度相衔接的政策精神，力求使教材内容涵盖有关国家职业标准（中级）的知识和技能要求。同时，在教材编写过程中，严格贯彻了国家有关技术标准的要求。

第五，教材编写模式上力求突出模块化特点，每个模块都有其明确的教学目的，并针对各自教学目的的要求展开相关知识的介绍及技能训练，且给出了每个模块的任务评分表，以供教学参考。同时，还针对每个模块设置了相应的巩固与提高练习，以便学生切实掌握相关知识与技能。

第六，在内容的承载方式上，力求图文并茂，尽可能使用图片或表格形式

将各个知识点生动地展示出来，从而提高了教材的可读性和亲和力。

本套教材主要包括《模拟电子电路》《脉冲与数字电路》《气液传动》《电动机》《变压器》《电气控制线路安装与维修》《交流技术及应用》《变频调速技术》《直流调速技术》《PLC 操作技能（松下系列）》《PLC 操作技能（西门子系列）》《电工基本技能训练》《钳工基本技能训练》《焊工基本技能训练》《工厂配电装置的安装与维修》《常用机床电气设备维修》《生产自动线结构与调试》《数控机床电气设备维修（2007年出版）》《电工 EDA（2007年出版）》等，可供中等职业技术学校电工类专业使用，也可作为职工培训教材。

本次教材的编写得到了天津、上海、江苏、广东、山东、河南、辽宁、湖南等省、市劳动和社会保障厅（局），以及天津工程师范学院、上海工程技术大学高等职业技术学院等学校的大力支持，在此我们表示诚挚的谢意。

《模拟电子电路》的主要内容有：常用半导体器件、单相整流滤波电路、放大电路、运算放大器、正弦波振荡器、直流稳压电源、晶闸管电路和电路综合训练等。

本书由李建新主编，徐军参加编写；黄士生主审。

劳动和社会保障部教材办公室

2006年5月

目 录

第一单元 常用半导体器件	(1)
课题一 二极管的识别和检测	(1)
课题二 三极管的识别和检测	(5)
第二单元 单相整流滤波电路	(11)
课题一 单相半波整流滤波电路	(11)
课题二 单相全波整流滤波电路	(16)
课题三 单相桥式整流滤波电路	(21)
第三单元 放大电路	(27)
课题一 固定偏置放大电路	(27)
课题二 射极输出器	(34)
课题三 负反馈放大器	(39)
课题四 功率放大器	(46)
第四单元 运算放大器	(53)
课题一 比例运算放大器	(53)
课题二 加法器	(58)
课题三 积分器和微分器	(61)
课题四 比较器	(66)
第五单元 正弦波振荡器	(75)
课题一 LC 振荡器	(75)
课题二 RC 振荡器	(79)
课题三 石英晶体振荡器	(83)

第六单元 直流稳压电源	(88)
课题一 串联型稳压电源	(88)
课题二 集成稳压电源	(94)
第七单元 晶闸管电路	(99)
课题一 单结晶体管触发电路	(99)
课题二 晶闸管直流调光电路	(103)
第八单元 电路综合训练	(110)
课题一 可调集成稳压电源的制作	(110)
课题二 压控振荡器的制作	(114)

第一单元

常用半导体器件

半导体器件的种类很多,被广泛地应用在各种电子电路中,其中最常用的是二极管和三极管等。

课题一 二极管的识别和检测

学习目标

1. 掌握二极管的符号和工作特点。
2. 了解二极管的型号命名方法。
3. 掌握用万用表判别二极管极性的方法。

任务引入与分析

二极管的外形如图 1—1 所示,用万用表测量二极管的正向电阻如图 1—2 所示,测量其反向电阻如图 1—3 所示。



图 1—1 二极管的外形

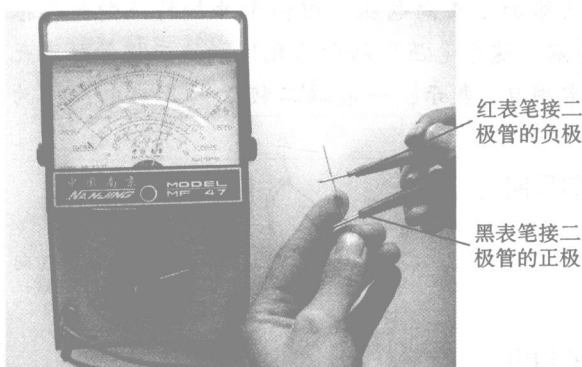


图 1—2 二极管正向电阻的测量

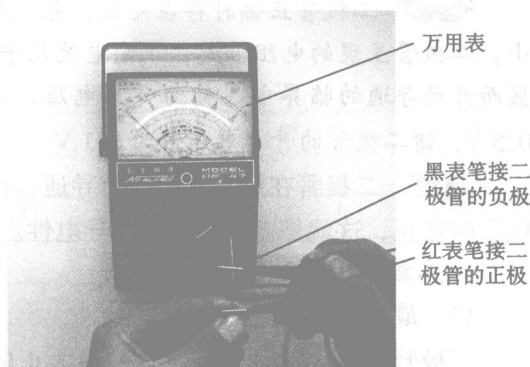


图 1—3 二极管反向电阻的测量



想一想

仔细观察万用表的读数,二极管的正向电阻和反向电阻哪个大?

二极管的知识

1. 二极管的结构和符号

二极管用符号 V (或 VD) 表示, 分为正极和负极, 分别用符号 A 和 K 表示, 如图 1—4 和图 1—5 所示。按照所用材料不同, 二极管可分为硅管和锗管两大类。

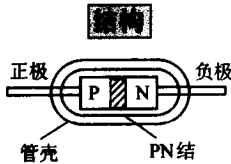


图 1—4 二极管的结构

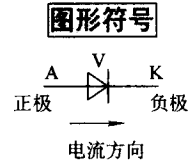


图 1—5 二极管的图形符号



二极管的内部分为 P 型半导体区和 N 型半导体区, 交界处形成 PN 结, 从 P 区引出的电极为正极, 从 N 区引出的电极为负极。

2. 二极管的单向导电性

二极管的接法分为正偏和反偏。当二极管的正极 A 接电路的高电位, 负极 K 接低电位时, 称二极管加正向电压, 二极管处于正向偏置, 简称正偏; 反之, 外加电压称为反向电压, 二极管处于反向偏置, 简称反偏。

二极管正偏且正向电压较大时会导通, 电流随电压的上升迅速增大, 二极管的电阻变得很小, 进入正向导通状态。这个电压区域称为导通区。导通后二极管两端的正向电压称为正向压降, 这个电压比较稳定, 几乎不随流过电流的变化而变化。一般, 硅二极管的正向压降约为 0.7 V, 锗二极管的正向压降约为 0.3 V。

二极管反偏时, 内部呈现很大的电阻, 几乎没有电流通过, 二极管的这种状态称为反向截止状态。



二极管正偏时存在死区, 也就是虽然加了正向电压, 但由于外加的正向电压很小, 二极管呈现的电阻很大, 正向电流几乎为零, 这个电压区域称为死区。使二极管脱离死区而开始导通的临界电压称为开启电压, 通常用 U_{on} 表示, 一般硅二极管的开启电压约为 0.5 V, 锗二极管的开启电压约为 0.1 V。

二极管在加正向电压时导通, 在加反向电压时截止, 这就是二极管的单向导电性。

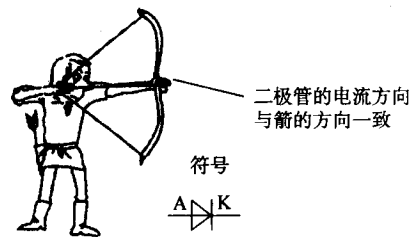
3. 二极管的主要参数

(1) 最大整流电流 I_{FM}

二极管长期运行时允许通过的最大正向平均电流。实际工作时二极管的正向平均电流不得超过此值, 否则二极管可能会因过热而损坏。

(2) 最高反向工作电压 U_{RM}

二极管正常工作时所允许外加的最高反向电压。若二极管两端电压超过此值, 有可能导



致二极管反向击穿。

上面两个参数是选用二极管的两个重要依据。

4. 国产二极管的型号命名方法

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		用拼音字母表示器件材料和极性		用拼音字母表示器件类别				用数字表示器件序号	用汉语拼音表示规格号
符号	意义	符号	意义	符号	意义	符号	意义		
2	二极管	A	N型锗材料	P	普通管	C	参量管		
		B	P型锗材料	Z	整流管	U	光电器件		
		C	N型硅材料	W	稳压管	N	阻尼管		
		D	P型硅材料	K	开关管	BT	半导体特殊器件		
				L	整流堆				

例如，2AP9表示N型锗普通二极管，而2CZ54D表示N型硅整流二极管。

技能训练

1. 实习器材

序号	名称	规格	数量
1	万用表	MF47型	1只
2	普通二极管	2AP、2CP	50只
3	整流二极管	2CZ	50只
4	稳压二极管	2CW	50只
5	开关二极管	2DK、2CK	50只

2. 训练内容

(1) 二极管的直观识别

- 1) 识别二极管外壳上符号的意义。
 - 2) 根据二极管的型号，识别其极性、材料、类别和用途。
- 将二极管直观识别的内容填入下表中。

序号	型号	极性	材料	类别	用途

(2) 二极管的测试

将万用表置于 $R \times 100$ 或 $R \times 1k$ 电阻挡，并且将两表笔短接调零，如图 1—6 所示。



此时万用表的红表笔与表内电池的负极相连，而黑表笔与表内电池的正极相连。

将红、黑两支表笔跨接在二极管的两端，再将红、黑表笔对调后接在二极管的两端，分别测量阻值，如图 1—7 所示。

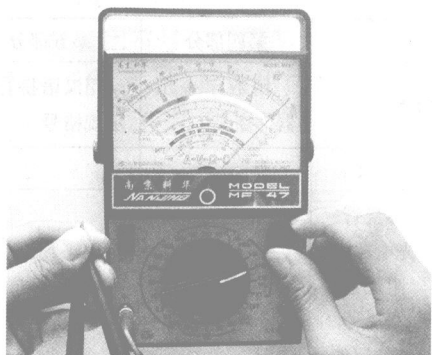


图 1—6 万用表的调零

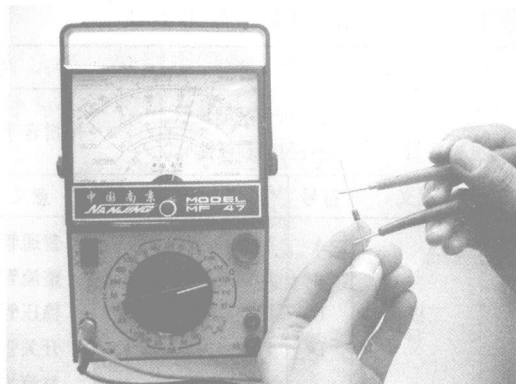


图 1—7 二极管的测试

测量分为三种情况：

1) 若一次测得的阻值较小（几千欧以下），另一次测得的阻值较大（几百千欧），则说明二极管质量良好。测得阻值较小的那一次黑表笔所接为二极管的正极，而红表笔所接为二极管的负极。

2) 若两次测量结果都很小（接近零），则说明二极管内部已经短路。

3) 若两次测量结果都很大，则说明二极管内部已经开路。

3. 评分标准

姓名：_____ 学号：_____ 合计得分：_____

内容	要求	配分	评分标准	扣分	得分
二极管的识别	正确识别极性、材料、类别，画出图形符号	50	1. 名称每漏写或者写错 1 处，扣 3 分 2. 极性、材料、类别每漏写或者写错 1 处，扣 3 分 3. 不会识别，每件扣 10 分 4. 不会画图形符号，每件扣 2 分		
二极管的检测	正确使用万用表判别引脚极性及其质量好坏	50	1. 万用表使用不正确，每步扣 3 分 2. 不会判别引脚极性，每件扣 5 分 3. 不会判别质量好坏，每件扣 5 分		

巩固与提高

1. 填空题

(1) 二极管具有_____性，即加正向电压时，二极管_____；加反向电压时，二极管_____。一般硅二极管的开启电压约为_____ V，锗二极管的开启电压约为_____ V；二极管导通后，一般硅二极管的正向压降约为_____ V，锗二极管的正向压降约为_____ V。

(2) 二极管按照用途不同可以分为_____、_____、_____和_____等。

(3) 用万用表测量二极管的正向电阻时，应当将万用表的红表笔接二极管的_____

极, 将黑表笔接二极管的_____极。

2. 判断题

- (1) 二极管有一个PN结, 所以其具有单向导电性。 ()
- (2) 用万用表欧姆挡的不同量程去测二极管的正向电阻, 其数值是相同的。 ()
- (3) 二极管的反向电阻越大, 其单向导电性能就越好。 ()
- (4) 锗二极管的导通电压约为 0.7 V。 ()

3. 选择题

- (1) 二极管两端加上正向电压时 ()。
- A. 一定导通 B. 超过死区电压才导通
- C. 超过 0.7 V 才导通 D. 超过 0.3 V 才导通
- (2) 如果二极管的正、反向电阻都很大, 则该二极管 ()。
- A. 正常 B. 已被击穿 C. 内部断路
- (3) 在测量二极管反向电阻时, 若用手把管脚捏紧, 电阻值将会 ()。
- A. 变大 B. 变小 C. 不变化

4. 图 1—8a 所示的二极管为硅管, 图 1—8b 所示的二极管为锗管, 分别求电压 U_{AB} 。

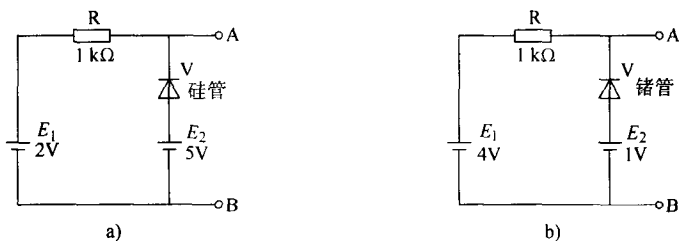


图 1—8 习题 4 电路图

课题二 三极管的识别和检测

学习目标

1. 掌握三极管的符号和工作特点。
2. 了解三极管的型号命名方法。
3. 熟悉用万用表对三极管进行测试的方法。

任务引入与分析

三极管的外形图如图 1—9 所示, 可用万用表检测三极管的三个电极和半导体类型 (见图 1—10)。



想一想

三极管在外形上与二极管有什么不同? 在使用万用表检测三极管时与二极管有何区别?

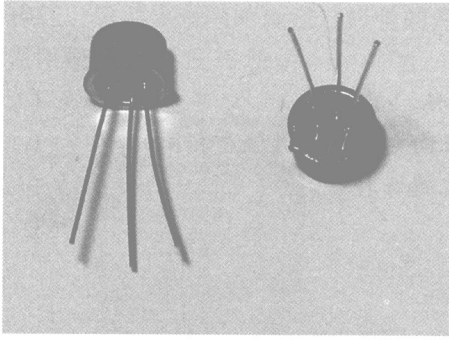


图 1—9 三极管的外形

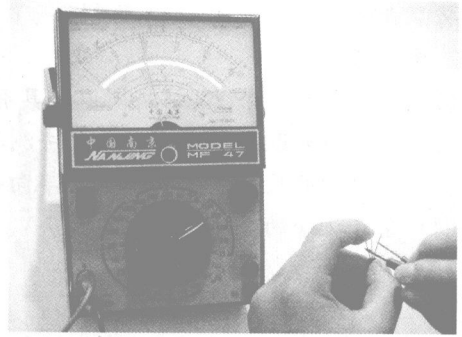


图 1—10 三极管的测量

三极管的知识

1. 结构、图形符号及其分类

三极管用符号 V (或 VT) 表示, 有三个电极, 分别为基极、集电极和发射极, 分别用符号 B、C、E 表示, 如图 1—11 所示。根据结构不同, 三极管分为 NPN 型和 PNP 型。

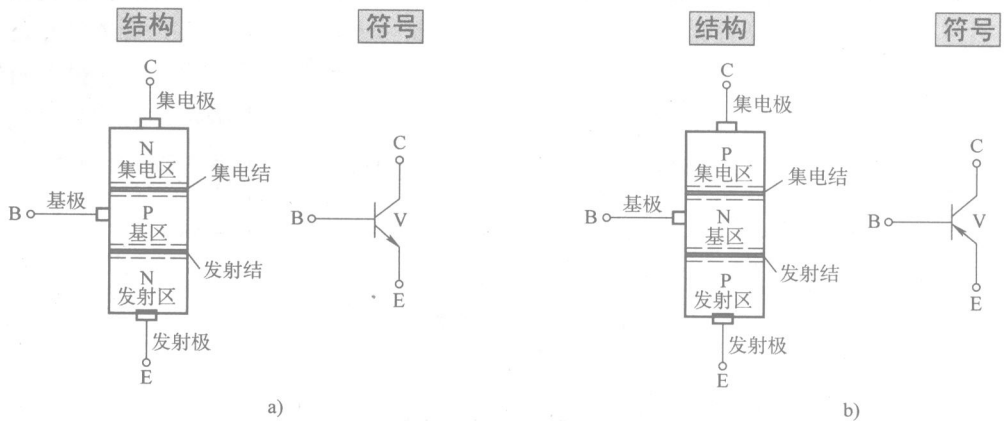


图 1—11 三极管的结构和符号

a) NPN 型三极管 b) PNP 型三极管



按照所用半导体材料的不同, 分为硅管和锗管; 按照工作频率不同, 分为高频管和低频管; 按照功率不同, 分为小功率管和大功率管; 按照用途不同, 分为普通放大三极管和开关三极管。

2. 三极管的电流分配关系

三极管的发射极电流 = 集电极电流 + 基极电流

即

$$I_E = I_C + I_B$$

由于基极电流很小, 所以集电极电流与发射极电流近似相等, 即 $I_C \approx I_E$ 。

3. 三极管的电流放大作用

三极管集电极直流电流 I_C 与相应的基极直流电流 I_B 之间的比值几乎是固定不变的, 这个比值称为共发射极直流电流放大系数, 用 β 表示。

$$\bar{\beta} = \frac{I_C}{I_B}$$

三极管集电极电流变化量 ΔI_C 与相应的基极电流变化量 ΔI_B 的比值也几乎固定不变，称为共发射极交流电流放大系数，用 β 表示， $\beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}$ 。在一般情况下，同一只三极管的 $\bar{\beta}$ 比 β 略小，实际应用中并不严格区分。

当 I_B 有微小的变化时，就引起 I_C 较大的变化，这种现象称为三极管的电流放大作用。



β 值的大小表明了三极管电流放大能力的强弱。必须强调的是，这种放大能力实质上是 I_B 对 I_C 的控制能力。

4. 三极管的工作特点

三极管工作时分为三个区域：截止区、放大区和饱和区。

区域	截止区	放大区	饱和区
条件	发射结反偏或零偏	发射结正偏，集电结反偏	发射结和集电结都正偏
特点	$I_B = 0, I_C = 0$	$\Delta I_C = \beta \Delta I_B$	I_C 几乎不变，不再受 I_B 控制



三极管饱和时的 U_{CE} 值称为饱和压降，记作 U_{CES} ，小功率硅管的 U_{CES} 约为 0.3 V，锗管的 U_{CES} 约为 0.1 V。

5. 三极管的极限参数

(1) 集电极最大允许电流 I_{CM}

集电极电流过大时，三极管的 β 值会降低，一般规定 β 值下降到正常值的 2/3 时的集电极电流称为集电极最大允许电流。

(2) 集电极—发射极反向击穿电压 $U_{(BR)CEO}$

基极开路时，加在集电极和发射极之间的最大允许电压。 U_{CE} 大于此值后， I_C 急剧增大，可能造成集电结热击穿。在使用三极管时，其集电极电源电压应低于此值。

(3) 集电极最大允许耗散功率 P_{CM}

集电极电流 I_C 流过集电结时会消耗功率而产生热量，使三极管温度升高。根据三极管的最高工作温度和散热条件来规定最大允许耗散功率 P_{CM} ，要求 $P_{CM} \geq I_C U_{CE}$ 。

6. 国产三极管的型号命名方法

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		用拼音字母表示器件材料和极性		用汉语拼音字母表示器件类别			
符号	意义	符号	意义	符号	意义	用数字表示器件序号	用汉语拼音字母表示区分代号
3	三极管	A	PNP 锗管	X	低频小功率管		
		B	NPN 锗管	G	高频小功率管		
		C	PNP 硅管	D	低频大功率管		
		D	NPN 硅管	A	高频大功率管		
		E	化合物材料	U	光电器件		

例如, 3AX31B 表示 PNP 型锗低频小功率三极管, 而 3DG12C 表示 NPN 型硅高频小功率三极管。

技能训练

1. 实习器材

序号	名称	规格	数量
1	万用表	MF47 型	1 只
2	高频小功率三极管	3DG6 ~ 12、3AG、3CG	50 只
3	低频小功率三极管	3AX、3BX、3DX	50 只
4	低频大功率三极管	3DD	50 只
5	高频大功率三极管	3DA	50 只

2. 训练内容

(1) 三极管的直观识别

- 1) 识别三极管外壳上符号的意义。
- 2) 根据三极管的型号与规格, 识别其材料、类型和用途。

将三极管直观识别的内容填入下表中。

序号	型号与规格	材料	类型	用途

(2) 三极管的检测

1) 确定基极和管型 如图 1—12 所示, 将万用表置于 $R \times 100$ 或者 $R \times 1 k$ 电阻挡, 黑表笔接三极管的任一管脚, 用红表笔分别接其余两只管脚。

- ①如果测得的阻值均较小, 则黑表笔所接管脚为基极, 管型为 NPN 型管。
- ②如果测得的阻值均较大, 则黑表笔所接管脚为基极, 管型为 PNP 型管。
- ③如果两次测得的阻值相差很大, 则应调换黑表笔所接管脚再测, 直到找出基极为止。

2) 确定集电极和发射极 在确定基极后, 如果是 NPN 型管, 可以将红、黑表笔分别接在两个未知电极上, 表针应指向无穷大处, 再用手把基极和黑表笔所接管脚一起捏紧 (注意两极不能相碰, 即相当于接入一个电阻), 如图 1—13 所示, 记下此时万用表测得的阻值。

然后对调表笔, 用同样方法再测得一个阻值。比较两次结果, 读数较小的一次黑表笔所接的管脚为集电极, 红表笔所接为发射极。若两次测量表针均不动, 则表明三极管已经失去了放大能力。

PNP 型管的测量方法与 NPN 型管相似, 但在测量时, 应当用手同时捏紧基极和红表笔所接管脚。按上述步骤测两次阻值, 读数较小的一次红表笔所接管脚为集电极, 黑表笔所接管脚为发射极。

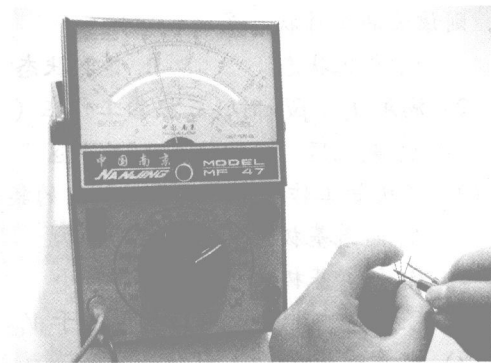


图 1—12 用万用表测试确定三极管的基极和管型

图 1—13 用万用表测试确定三极管的集电极和发射极

3. 评分标准

姓名：_____

学号：_____

合计得分：_____

内容	要求	配分	评分标准	扣分	得分
三极管的识别	正确识别电极、材料、类型，画出图形符号	50	1. 名称每漏写或者写错 1 处，扣 3 分 2. 电极、材料、类型每漏写或者写错 1 处，扣 3 分 3. 不会识别，每件扣 10 分 4. 不会画图形符号，每件扣 2 分		
三极管的检测	正确使用万用表判别电极、类型及质量	50	1. 万用表使用不正确，每步扣 3 分 2. 不会判别电极，每件扣 5 分 3. 不会判别类型及质量，每件扣 10 分		

巩固与提高

1. 填空题

- (1) 三极管有三个电极，即_____极、_____极和_____极，分别用符号_____、_____和_____表示。
- (2) 某三极管的 U_{CE} 不变，基极电流 $I_B = 30 \mu A$ 时， $I_C = 1.2 \text{ mA}$ ，则发射极电流 $I_E =$ _____ mA，如果基极电流 I_B 增大到 $50 \mu A$ 时， I_C 增加到 2 mA ，则发射极电流 $I_E =$ _____ mA，三极管的电流放大系数 $\beta =$ _____。
- (3) 当三极管的发射结_____，集电结_____时，工作在放大区；发射结_____，集电结_____时，工作在饱和区；发射结_____，集电结_____时，工作在截止区。

2. 判断题

- (1) 三极管的发射极和集电极可以互换使用。 ()
- (2) 发射结正向偏置的三极管一定工作在放大状态。 ()
- (3) 常温下硅三极管的 U_{BE} 约为 0.7 V ，且随着温度升高而减小。 ()

3. 选择题

- (1) 用直流电压表测量 NPN 型三极管中各极电位分别是 $U_B = 4.7 \text{ V}$ ， $U_C = 4.3 \text{ V}$ ， $U_E =$

4 V, 则该管的工作状态是 ()。

- A. 截止状态 B. 饱和状态 C. 放大状态

(2) 满足 $I_C = \beta I_B$ 时, 三极管工作在 ()。

- A. 截止区 B. 饱和区 C. 放大区

(3) 三极管工作在饱和状态时, 它的集电极电流将 ()。

- A. 随着基极电流的增加而增加
 B. 随着基极电流的增加而减小
 C. 与基极电流无关, 只取决于 V_{CC} 和 R_C

(4) 用万用表 $R \times 1 k$ 电阻挡测量一只良好的三极管, 若用红表笔接触一只管脚, 黑表笔分别接触另外两只管脚时测得的电阻均很大, 则该三极管是 ()。

- A. PNP 型 B. NPN 型 C. 无法确定

4. 测得工作在放大状态的某三极管, 其电流如图 1—14 所示, 在图中标出各管的管脚, 并且说明三极管是 NPN 型还是 PNP 型?

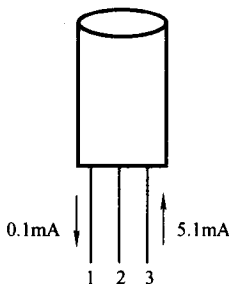


图 1—14 习题 4 图

5. 根据图 1—15 所示的各晶体三极管对地电位数据分析各管的情况 (提示: 说明是放大、截止、饱和或哪个结已经开路或者短路)。

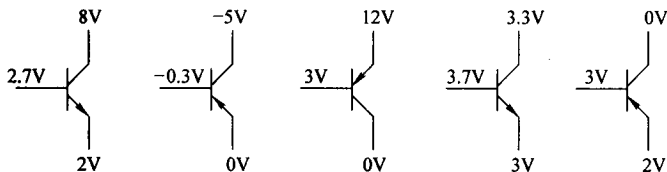


图 1—15 习题 5 图

6. 一个处于放大状态的三极管接在电路中, 看不出型号和其他标记, 用万用表测出三个电极的对地电位分别为 $U_1 = -9.5 V$, $U_2 = -5.9 V$, $U_3 = -6.2 V$, 试分析该三极管的管脚与类型。