



技工学校电子技术基础课 教 学 参 考 书



第二版

中国劳动出版社

技工学校电子技术基础课 教学参考书

(第二版)

李南阳 主编

中国劳动出版社

本书是根据全国技工学校电工类通用教材《电子技术基础》(第二版)编写的教学参考书。本书针对教材中的重点和难点内容作了必要的补充论述,对教学方法和应注意的问题提出了有益的见解。

本书是技工学校有关教师的应备用书,也可作为工人培训时授课教师的参考书。

本书由李南阳、李惠良、吕汉衡编写,诸林裕审稿。

图书在版编目(CIP)数据

技工学校电子技术基础课教学参考书/李南阳编. —2版.

北京:中国劳动出版社,1995

ISBN 7-5045-1632-5

I. 技…… II. 李… III. 电子技术-基础理论-技工学校-
教学参考资料 IV. TN01

中国版本图书馆 CIP 数据核字(95)第 03894 号

技工学校电子技术基础课 教学参考书

(第二版)

李南阳 主编

责任编辑 薛连通

中国劳动出版社出版

(100029 北京市惠新东街1号)

新华书店总店北京发行所发行

中国青年出版社印刷厂印刷

1992年3月北京第1版 1995年5月北京第2版

1998年3月北京第4次印刷

开本:787×1092毫米 1/32 印张5.25

字数:117千字 印数:3000册

定价:4.80元

目 录

第一章 晶体二极管和晶体三极管.....	(1)
目的要求.....	(1)
教材分析.....	(1)
课时分配.....	(3)
教学要求与建议.....	(3)
§ 1—1 半导体基本知识	(3)
§ 1—2 PN 结	(5)
§ 1—3 晶体二极管	(7)
§ 1—4 晶体三极管	(7)
§ 1—5 其他晶体管	(11)
习题选解	(12)
第二章 放大和振荡电路	(17)
目的要求	(17)
教材分析	(17)
课时分配	(19)
教学要求与建议	(20)
§ 2—1 单级小信号放大电路	(20)
§ 2—2 共发射极放大电路的分析	(21)
§ 2—3 工作点稳定的偏置电路	(25)
§ 2—4 多级放大电路	(26)
§ 2—5 放大电路中的负反馈	(28)
§ 2—6 功率放大器	(31)
§ 2—7 正弦波振荡电路	(38)
§ 2—8 直流放大电路	(42)

§ 2—9 集成运算放大器	(46)
习题选解	(49)
第三章 数字电路基础	(55)
目的要求	(55)
教材分析	(55)
课时分配	(56)
教学要求与建议	(56)
§ 3—1 脉冲波形及其参数	(56)
§ 3—2 二极管、三极管的开关特性	(63)
§ 3—3 基本逻辑门电路	(65)
§ 3—4 数字集成电路简介	(68)
习题选解	(70)
第四章 整流与稳压电路	(73)
目的要求	(73)
教材分析	(73)
课时分配	(74)
教学要求与建议	(74)
§ 4—1 单相整流电路	(74)
§ 4—2 三相整流电路	(80)
§ 4—3 滤波电路	(85)
§ 4—4 整流器件选用及保护	(89)
§ 4—5 稳压电路	(93)
习题选解	(101)
第五章 晶闸管及其应用	(108)
目的要求	(108)
教材分析	(108)
课时分配	(109)
教学要求与建议	(109)

§ 5—1	晶闸管的结构和工作原理	(109)
§ 5—2	晶闸管单相可控整流电路	(118)
§ 5—3	晶闸管三相可控整流电路	(125)
§ 5—4	负载类型对晶闸管整流的影响	(134)
§ 5—5	晶闸管的触发电路	(137)
§ 5—6	晶闸管的使用	(146)
§ 5—7	逆变器和斩波器	(151)
§ 5—8	特殊晶闸管及其应用	(157)
习题选解		(159)

第一章 晶体二极管和晶体三极管

目 的 要 求

1. 了解半导体的基本知识和半导体器件的分类、型号命名。
2. 理解 PN 结的形成和特性。
3. 理解晶体二极管和晶体三极管的结构、工作原理、特性曲线及主要参数。掌握它们的识别和简单检测方法。
4. 了解场效应管、光电晶体管、发光二极管、变容二极管的工作原理及主要特性。

教 材 分 析

本章为全书的基础知识。电子线路有别于一般的电工线路是因为电路中使用了半导体器件，各种电子线路的工作原理和不同功能都与电路中使用的半导体器件的类型、性能、工作状态直接有关。因此，熟悉并掌握半导体器件就成为学习与应用电子线路的关键。

半导体器件的种类多、品种繁杂，不可能一一介绍，本章主要学习应用广而又最基本的半导体器件，即晶体二极管和晶体三极管。掌握它们的工作特性，学会使用方法，为学习放大电路、整流电路等电子线路打下良好基础。理解了它

们的结构和原理，学习其他半导体器件就有了敲门砖。

随着电子技术的发展，场效应管、特殊用途的晶体管相继产生，并使用在自动控制系统与家电产品中，为扩展学生知识面，本章对场效应管与其他特殊晶体管作了介绍。

本章内容分为三个部分，第一部分包括第一节半导体基本知识，第二节 PN 结。从半导体的导电能力入手，对半导体的晶体结构、导电机理、导电特性做了介绍，对 P 型、N 型半导体材料的产生做了说明，对 PN 结的形成与其单向导电特性做了阐述。PN 结是半导体器件构造的基本构件，是这一部分的重点，也是这一部分教学之难点。

第二部分包括第三节晶体二极管，第四节晶体三极管，对晶体二极管、晶体三极管的结构、类型、符号作了介绍，对它们的工作原理、特性曲线、主要参数、检测与识别方法做了说明。这一部分是本章的中心内容，既含有实用性知识，又含有较为抽象的理论知识。教学中要全面兼顾，晶体三极管的放大原理和特性曲线理论性强，又很抽象，教学难度较大。

第三部分包括第五节其他晶体管，为扩展知识面，作为普及的知识进行介绍。

本章教材的特点是概念新，比较抽象；知识含量大、要求相关知识面宽；概念与概念之间，前后内容之间逻辑关系紧密，连贯性强；教学目的要求明确，实用性强。

根据教材特点结合学生实际，在教学中宜采用灵活多变的教学方法，在进行第一节、第二节的教学，利用结构模型、示意图、比喻等手段，使微观物理现象形象化，引导学生接受新概念、新知识。注意启发、提问，使学生从直觉的认识提高到理性的认识。要不断地归纳小结，帮助学生掌握知识梗概与重点。在第三节、第四节、第五节的教学，要

突出理论联系实际，加强实践教学环节，尽量多展示各种半导体器件，教会学生查晶体管手册，用三用表检测晶体管，增加实际知识，提高基本技能。半导体器件的工作原理、特性曲线及主要参数较难理解，宜从实验演示入手，分析现象，总结规律，达到直观性理解。再根据 PN 结特性加以解释，上升到理性认识水平。此时可安排学生进行实验，巩固教学效果。

本章的教学重点是：PN 结的形成及其特性；晶体二极管，晶体三极管。

本章的教学难点是：PN 结的形成，晶体三极管的输出特性曲线。

课 时 分 配

§ 1—1	半导体基本知识	2
§ 1—2	PN 结	2
§ 1—3	晶体二极管	3
§ 1—4	晶体三极管	7
§ 1—5	其他晶体管	5
合 计		19
实验一	晶体二极管的特性与检测	2
实验二	晶体三极管的特性与检测	2
合 计		4

教学要求与建议

§ 1—1 半导体基本知识

教学要求：

1. 了解半导体的一般概念。
2. 理解半导体的导电机理与导电特性。

3. 理解掺杂半导体的产生及其导电类型。

教学建议：

这一节概念新，理论抽象，应采用模型或挂图配合讲解，有经验的教师一般不用挂图，边讲边画。

讲半导体的一般概念，要注意“少而精”的原则，紧扣教材，不要轻易扩展内容，着重讲透半导体内部的导电机理，适时地引出载流子、空穴、电子导电、空穴导电、电子——空穴对、复合等新的名词术语。

一、半导体导电方式的特点和导电特性

1. 半导体导电方式的特点。

(1) 既有电子载流子，又有空穴载流子。

(2) 半导体导电能力的强弱，取决于半导体内自由电子与空穴两种载流子的总数量。

2. 半导体的导电特性。

(1) 常温下纯净半导体的电子——空穴对数量极微，导电能力极差，这样的半导体叫本征半导体。

(2) 受热、光照及其他能量的激发，半导体中能产生大量的电子——空穴对，导电能力明显加强，这就是半导体的敏感特性。特别是对温度、光照非常敏感。

(3) 有选择的将微量杂质元素掺入纯净半导体中，能使半导体内载流子数量猛增，其导电能力成百万倍地提高，半导体转变成导体，这种特性叫半导体的掺杂特性。

二、P 型与 N 型半导体导电性能的导电特点

正是利用了半导体的掺杂特性制造成非常有实用价值的 P 型半导体和 N 型半导体，这两种半导体容易讲授，内容对称性好，条理性较强，知识结构可表示为：

纯净半导体 $\xrightarrow{\text{掺入}}$ 五价杂质元素 $\xrightarrow{\text{晶格外}}$ 出现大量自由电

子^{产生}→N型半导体

纯净半导体^{掺入}→三价杂质元素^{晶格外}→出现大量空穴^{产生}

P型半导体

P型半导体与N型半导体的导电性能既有共性，也有个性。

1. 共性

(1) 控制杂质元素的数量就能控制杂质半导体的多数载流子的数量，也就是控制了它的导电能力。

(2) 杂质半导体内的少数载流子的数量由温度决定，也与材料有关，这一点要特别注意。

(3) 掺杂过程并不破坏晶体的共价键结构，从整体上看，既未丧失电荷，也未从外界得到电荷，对外呈电中性。

2. 个性

P型半导体中多数载流子是空穴，少数载流子是自由电子，导电主要靠空穴。N型半导体中多数载流子是自由电子，少数载流子是空穴，导电主要靠自由电子。

值得注意的是，少数载流子来源于电子——空穴对，因而少数载流子的数量受温度、光照的影响而变化。

§ 1—2 PN结

教学要求：

1. 了解PN结的概念；
2. 理解PN结形成的原理及PN结的单向导电性。

教学建议：

这一节是教学重点，首先要简述PN结的概念，让学生建立起PN结的初步形象，其次指出了解PN结原理、掌握PN结特性的重要性，从而引起学生的重视。

PN 结的形成是难点，一定要用挂图配合。分析在 P 型与 N 型半导体交界面附近载流子的运动规律：

1. 由于多数载流子的扩散运动，在交界面的两侧自由电子和空穴复合后，分别留下不能运动的正离子（边界靠 N 一侧）和负离子（边界靠 P 一侧），形成空间电荷区。扩散越强，空间电荷区越宽。

2. 空间电荷区的出现建立了内电场，电场力对继续扩散的多数载流子起阻力作用，使部分载流子不能越过界面，部分已越过界面的载流子被电场力推回原来一侧，这样能越过界面的载流子数量减小，扩散运动受到减弱，也就是说内电场对扩散运动起阻挡作用。实际上内电场力的方向与扩散运动的方向是相反的，它阻止空间电荷区无限制的扩宽。

3. 内电场对界面两侧的少数载流子产生推动力，使它们运动越过边界，通常将载流子在电场力作用下的运动称漂移运动。漂移运动的结果，使空间电荷区变窄，其作用正好抵消扩散运动的结果。

4. 综上所述，扩散运动产生了空间电荷区，建立起内电场，内电场既对扩散运动有约束作用，又引起漂移运动。漂移运动使空间电荷区变窄，扩散运动使空间电荷区扩宽，这是两种相互矛盾的运动，最后达到一种动平衡状态，在同一时刻内，扩散运动越过界面的载流子数与漂移运动越过界面的载流子数相等，空间电荷区的宽度维持不变，也就是内电场的强度稳定不变，形成了 PN 结。

掌握 PN 结的单向导电性是本节的目的，讲授方法通常有两种：一种是分析 PN 结在正偏、反偏时，内电场受到外电场的作用，使 PN 结的宽度发生变化，电路工作状态变化，得出 PN 结的单向导电性。一种是先做演示实验，从实验

直接获得单向导电的感性认识，再分析为什么 PN 结有这种单向导电性，从感性认识提高到理性认识。教师可根据学生的实际情况用之。

PN 结的其他特性，是非教学重点，只作简单介绍，内容不宜增添过多。

§ 1—3 晶体二极管

教学要求：

1. 了解二极管的结构、图形符号、型号类型。
2. 理解二极管的伏安特性及其主要参数。
3. 学会使用晶体管手册选用二极管，掌握二极管的简单检测方法。

教学建议：

晶体二极管的工作原理比较简单，伏安特性就是 PN 结单向导电性的数量化，容易讲解，容易理解，按教材一、二、三进行。

这一节的关键在二极管使用的实际知识方面，这方面内容多，面广，分割零碎，操作实践性强。必须充分使用实物、挂图，进行实际操作示范才能讲好讲活。如内部结构、封装、外形、型号这些内容，不采用实物、挂图只能照本宣科，课堂气氛呆滞。如简易测试与极性判别，不示范或实际操作练习，只在黑板上讲解，既费时，效果又差。这一节内容处理好了将有利于激发学生学习电子技术的兴趣，努力提高动手能力，这也是学生第一次接触电子实践，有较强的刺激效应。

§ 1—4 晶体三极管

教学要求：

1. 了解三极管的构造、结构特点、图形符号、型号、分类。

2. 理解三极管的放大作用和原理、特性曲线、主要参数。
3. 掌握三极管的识别和简单测试方法。

教学建议：

一、本节教学除需要注意在第三节中提到的问题之外，因为三极管的工作原理比较复杂，特性曲线又属教学难点，必须进行深入浅出的理论分析，才能有效地达到教学目的。

讲解三极管的电流放大作用，宜从演示实验出发，得出下列规律：

1. 晶体管各电极的电流一定满足关系式：

$$I_E = I_C + I_B$$

2. 在一定的范围内，集电极电流变化量 ΔI_C 与基极电流变化量 ΔI_B 之间保持一定的比例关系：

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

β 称为共发射极电路电流放大倍数。其实际意义是用基极电流的微小变化来控制三极管集电极电流获得较大的变化，这就是三极管的电流放大作用。通过集电极电流在 R_C 上产生的电压降的变化，又可转换成电压放大作用。

按教材图 1—30，以 PNP 型为例，分析三极管内部载流子的运动规律，说明三极管的电流放大原理。同样 PNP 型三极管也具有电流放大作用，只是 PNP 型三极管接电源的极性与 NPN 型三极管接电源的极性相反。PNP 型三极管发射区注入基区的是空穴流，它与 NPN 型的管脚电流方向是相反的。

必须指出：三极管的放大作用必须满足一定的条件，有内部的，也有外部的。内部条件是基区要薄且载流子浓度很低，发射区多数载流子浓度很高，这由三极管生产厂保证。外

部条件需要供电电压（电源）保证发射结正偏，集电结反偏。具体地说就是 NPN 型管的管脚电压必须符合

$$U_C > U_B > U_E$$

而 PNP 型管的管脚电压恰好相反，为

$$U_C < U_B < U_E$$

这一点由放大电路的组成来保证。

二、三极管的输入、输出特性曲线是教学难点，首先讲清定义，且详细说明由实验获得特性曲线及逐点描述的方法，如果能让学生先做实验，自己描绘出特性曲线，再讲授这部分内容效果更佳。课后指导学生完成实验报告及相应的练习便可达到复习巩固，加深对特性曲线的理解。

分析特性曲线，目的是要学生掌握其特点，用 PN 结特性来解释以帮助学生更好理解特性曲线的特点，同时对 PN 结特性起到复习和加深理解的作用。

（一）输入特性曲线的特点

1. 曲线形状与二极管伏安特性相似，且随 U_{CE} 不同有许多条曲线。当 $U_{CE} < 1$ 伏时，各条曲线之间间距较大，当 $U_{CE} > 1$ 时，各条曲线很靠拢，可以认为曲线与 U_{CE} 无关，在实际使用时常以其中一条作代表。

2. 输入特性曲线也有死区。 U_{BE} 电压小于死区电压时，发射结看作截止，基极电流为零。硅管死区电压 0.5~0.7 伏，锗管死区电压为 0.1~0.3 伏。

3. 发射结导通工作时， U_{BE} 随 I_B 增加变化不大，硅管为 0.7 伏左右，锗管为 0.3 伏左右。

（二）输出特性曲线的特点

1. 给定一个 I_B ，就可获得一条 I_C —— U_{CE} 曲线，给定不同的 I_B 值，就得到多条 I_C —— U_{CE} 曲线。实用的输出特性曲

线一般都按等间距给定 I_B 值, 因此输出特性曲线是一簇几乎间距相等的曲线簇, 见教材图 1—36。当实际的 I_B 电流不是输出特性上标定的电流, 可在相邻的两个标定的基极电流之间, 按照正比例分格的方法, 找出对应 I_B 的一条曲线。

2. 当外加电压为 U_{CE} 时, 若 $I_B=0$, $I_C \approx 0$, 但实际上 $I_C \neq 0$, 就是说当基极开路时, 集电极和发射极之间加上电压后, 有一个很小的集电极电流叫穿透电流, 用 I_{CEO} 表示。最低一条 $I_B=0$ 的曲线代表了不同的 U_{CE} 下的 I_{CEO} 值。

3. 给定 I_B 为某一值时, 将 U_{CE} 从零开始增加, 集电极收集电子 (对 NPN 型管而言) 能力由弱变强, I_C 迅速增长, 所以曲线起始部分直线上升。当 U_{CE} 继续加大, 扩散到集电结边缘的电子大部分已越过集电结, 剩余的电子数量不多, I_C 增长速度减慢, 表现为曲线的弯曲部分。当 U_{CE} 大于某一不大的值后, 集电结电场已足以把扩散到基区中的电子全部推向集电区, 此时再增加 U_{CE} , I_C 不再增加, 表现为曲线为平坦直线。

4. I_B 不同时, 曲线的平坦部分数值不同, I_B 大的 I_C 也大, I_B 小的 I_C 也小, 说明 I_C 主要由 I_B 决定, 而与 U_{CE} 值基本无关, 体现了 I_B 对 I_C 的控制作用。

5. 平坦部分之间的间距大小, 反映了基极电流变化 ΔI_B , 引起集电极电流变化 ΔI_C , 这说明三极管的电流放大能力大小。在相等的 ΔI_B 下, 间距愈大, β 值愈大; 间距愈小, β 值愈小。在曲线簇中间大部分区域, 曲线平坦曲线之间距离几乎相等, 说明在此范围内, 晶体管工作时 β 值近似为常数。

(三) 输出特性曲线簇的三个区域

输出特性曲线簇可以分为三个区域。它们分别和三极管的三种工作状态——放大、饱和、截止相对应。

1. 放大区 曲线簇的平坦等距部分。这个区域的特点是

发射结正偏,集电结反偏,能实现 I_B 对 I_C 的控制作用,满足 $\Delta I_C = \beta \Delta I_B$ 的关系,具有电流放大能力。

2. 截止区 相当于 $I_B = 0$ 时这一曲线与横坐标轴之间的区域。这个区域的特点,是发射结和集电结都处于反偏,此时 $I_B = 0, I_C = I_{CEO} \approx 0$,晶体管失去放大作用。如果忽略 I_{CEO} ,可以认为集电极——发射极之间完全截断。通常发射结电压小于死区电压时,基本上认为三极管进入了截止区。

3. 饱和区 包括弯曲部分在内的曲线左侧 I_C 随 U_{CE} 近似直线上升部分的阴影区域。这个区域的特点是,发射结和集电结都处于正偏, U_{CE} 很小。三极管的饱和程度与 I_B 、 I_C 的值大小有关,当 $U_{CE} = U_{BE}$ 时,即 $U_{BC} = 0$,相当于集电结零偏,这种状态叫临界饱和状态。当 $U_{CE} < U_{BE}$ 时,即 $U_{BC} > 0$,相当于集电结处于正偏,这种状态叫饱和状态。饱和时 U_{CE} 很小,限制了集电极收集电子的能力,此时 I_B 加大, I_C 却增加不多, I_C 不受 I_B 控制,三极管没有放大作用。

§ 1—5 其他晶体管

教学要求:

1. 了解光电晶体管、发光二极管、变容二极管的原理、图形符号、性能、应用等基本知识;
2. 理解场效应管的结构、图形符号、工作原理、特性曲线和主要参数;
3. 掌握场效应管的管脚判别,懂得使用注意事项。

教学建议:

这一节所介绍的其他晶体管,面广而课时不多,除了对结型场效应管做比较深入的分析外,对其他的晶体管只作普及性介绍。在教学中充分利用实物与挂图进行教学。

首先简述结型场效应管的导电机构,然后讲其结构及类