

● 本讲内容聚焦

● 典型例题

● 课后作业

电子技术

辅导讲案

主讲教材《电工学》(下册)(高教·第六版)

张 斌 主编

精品课程·名师讲堂丛书

电子技术 辅导讲案

——主讲教材:《电工学》(下册)

(高教·第六版)

张 斌 主编

张 斌 梁 爽 许 杰 段小虎 编

西北工业大学出版社

【内容简介】 本书是秦曾煌主编的普通高等教育“十五”国家级规划教材《电工学》(第六版)(下册)的配套辅导书。本书的内容体系、各讲顺序与原教材基本保持一致。每讲均包括本讲内容聚焦、典型例题、课后作业三个部分。附录中给出了主讲教材课后习题精选详解、课程考试真题、课后作业和课程考试真题参考答案。

全书编写条理清晰,便于阅读和自学,有助于学生分析能力和解题能力的提高,对学生总结和复习具有一定的参考和指导作用。

本书可供本科非电专业学生和广大自学读者学习电工学课程时参考之用,也可作为电工学教师的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电子技术辅导讲案/张斌主编. —西安:西北工业大学出版社.
2008.7

(精品课程·名师讲堂丛书)

ISBN 978-7-5612-2410-6

I. 电… II. 张… III. 电子技术—高等学校—教学参考资料
IV. TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 077044 号

出版发行:西北工业大学出版社

通信地址:西安市友谊西路 127 号 邮编:710072

电 话:(029)88493844 88491757

网 址:www.nwpup.com

印 刷 者:陕西丰源印务有限公司

开 本:850 mm×1 168 mm 1/32

印 张:10.125

字 数:333 千字

版 次:2008 年 7 月第 1 版 2008 年 7 月第 1 次印刷

定 价:16.00 元

前 言

电工学课程是高等院校工科非电类专业的一门技术基础课程。目前,电工和电子技术的应用极为广泛,发展非常迅速,日益渗透到其他学科领域,并且在我国当前经济建设中占有重要的地位。本课程的作用和任务是:使学生通过本课程的学习,获得电子技术必要的基本理论、基本知识和基本技能,了解电工和电子技术的应用以及我国电工和电子技术发展的概况,为学习后续课程以及从事有关的工程技术工作和科学研究工作打下一定的基础。

电工学课程涉及内容面广量大,因此编写相适应的辅导教材势在必行。本书作为高等院校电工学课程的辅导教材,它与秦曾煌主编的《电工学》(第六版)(下册)相配套,可供本科非电类专业学生和广大自学读者学习电工学课程时参考之用,也可作为电工学教师的教学参考书。

本书各讲均按本讲内容聚焦、典型例题、课后作业三个部分编写。

本讲内容聚焦中的“内容要点精讲”简要介绍本讲教学基本要求和主要概念、定理等,列出本讲的核心内容;“知识结构图解”将各讲的知识结构和要点以图形的方式加以展示,便于了解各部分内容的内在联系;“重

点、难点点击”则列出重点、难点内容以及相应考点内容，供学生复习使用。

典型例题则以期终考试题或考研题为典型范例，分析解题思路，讲方法，评注易错点及解题技巧等，着重提高学生的独立分析、独立思考和解题的能力。

课后作业与重点内容、相关考点内容相联系，既可供电工学教师课后布置作业使用，也可作为学生课后自测练习使用。

此外，本书还以附录形式提供了主讲教材课后习题精选详解、课程考试真题、课后作业和课程考试真题参考答案。每讲涉及的教学内容和教学学时分配，可供教师参考。

本书共 13 讲。第 1~5 讲和附录由张斌编写；第 6, 7 讲由许杰编写；第 8~11 讲由梁爽编写；第 12, 13 讲由段小虎编写。全书由张斌主编。

由于编者学识和经验有限，书中难免存在不足、疏漏甚至错误之处，恳请读者不吝批评指正，以便不断修改并加以完善。

编 者

2008 年 5 月

目 录

第 1 讲 常用半导体器件	1
1.1 本讲内容聚焦	1
1.2 典型例题	8
1.3 课后作业	12
第 2 讲 基本放大电路的分析	14
2.1 本讲内容聚焦	14
2.2 典型例题	18
2.3 课后作业	25
第 3 讲 差分放大电路与功率放大电路	27
3.1 本讲内容聚焦	27
3.2 典型例题	33
3.3 课后作业	39
第 4 讲 集成运算放大器	41
4.1 本讲内容聚焦	41
4.2 典型例题	48
4.3 课后作业	53
第 5 讲 电子电路中的反馈	56
5.1 本讲内容聚焦	56
5.2 典型例题	60
5.3 课后作业	66
第 6 讲 直流稳压电源	68
6.1 本讲内容聚焦	68

6.2 典型例题	73
6.3 课后作业	78
第7讲 电力电子技术	81
7.1 本讲内容聚焦	81
7.2 典型例题	86
7.3 课后作业	90
第8讲 门电路	92
8.1 本讲内容聚焦	92
8.2 典型例题	102
8.3 课后作业	105
第9讲 逻辑代数与组合逻辑电路	111
9.1 本讲内容聚焦	111
9.2 典型例题	118
9.3 课后作业	127
第10讲 触发器和时序逻辑电路	130
10.1 本讲内容聚焦	130
10.2 典型例题	145
10.3 课后作业	156
第11讲 存储器和可编程逻辑器件	163
11.1 本讲内容聚焦	163
11.2 典型例题	172
11.3 课后作业	179
第12讲 模拟量和数字量的转换	181
12.1 本讲内容聚焦	181
12.2 典型例题	186
12.3 课后作业	191

第 13 讲 现代通信技术	193
13.1 本讲内容聚焦.....	193
附录.....	197
附录一 主讲教材课后习题精选详解.....	197
附录二 课程考试真题.....	282
附录三 课后作业和课程考试真题参考答案.....	300
参考文献.....	315

第1讲

常用半导体器件

本讲涵盖了主讲教材第14章全部和第15章15.9节的部分内容(4学时)。

1.1 本讲内容聚焦



一、内容要点精讲

本讲主要介绍了常用半导体器件的工作特性及其应用,重点是半导体二极管和三极管。它们的基本结构、工作原理、特性和参数是学习电子技术和分析电子电路必不可少的基础。

本讲的教学基本要求:

- (1) 理解半导体二极管的单向导电特性、伏安特性及重要参数。
- (2) 了解稳压二极管的伏安特性、稳压原理及主要参数。
- (3) 熟练掌握晶体管的电流分配及放大作用,输入输出特性曲线。
- (4) 了解场效应管的结构类型及特性曲线。

1. 二极管

半导体的导电能力受温升、光照和掺杂的影响,尤其是掺入杂质可使半导体的导电能力增加几十万倍至几百万倍,利用这一特性制成N型半导体、P型半导体和PN结。PN结是构成半导体器件的基础。教学中应首先明确半导体的导电机理及其与金属导电机理的异同,其次应明确PN结的单向导电特性。

(1) 基本结构及符号:将PN结两边各引出一个电极便构成一个二极管。其中P型区引出阳极A(+),N型区引出阴极K(-)。实际结构有点接触式和面接触式两种。前者电流小,用于高频小功率工作;后者电流大,用于低频大功率工

作。符号: A  K。

(2) 伏安特性及参数:

二极管伏安特性如图 1.1 所示。

正向 $I_a = f(U_a)$; U_s 为死区电压(硅管为 0.5 V, 锗管为 0.1 V)。 U_a 为管压降, 随 I_a 而变化很小, 可近似取 U_a 为 0.7 V(硅管), 0.3 V(锗管)。

反向 $I_R = f(U_R)$; I_R 基本不变, 称反向饱和电流。 U_{BR} 为反向击穿电压, 若外加电压超过 U_{BR} , 则 I_R 增大, 失去单向导电性, 造成二极管损坏, 因此, 普通二极管不允许反向击穿。

二极管的参数主要有最大整流电流 I_{OM} 、反向峰值电压 U_{RM} 及反向峰值电流 I_{RM} 等, 要理解它们的意义。

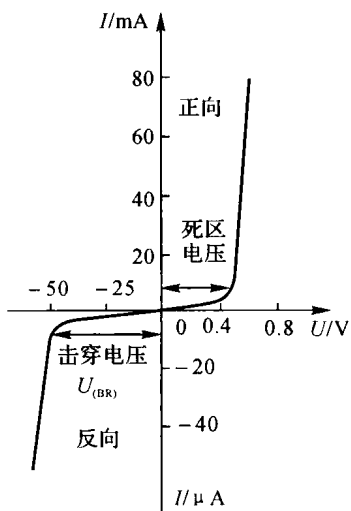


图 1.1

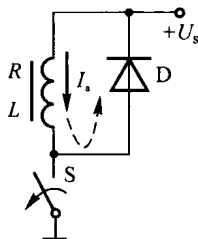


图 1.2

(3) 二极管的应用: 二极管的应用面很广, 都是利用它的单向导电性, 主要应用有钳位与隔离、整流与检波、限幅和续流等。在教材中有相应例题或习题列举了前三种应用, 续流电路如图 1.2 所示, 当开关 S 闭合时, 二极管 D 截止, 线圈中流过电流 I_a 。在开关 S 断开瞬间, 电流不能突变, 二极管为其提供继续流动的通路, 故称续流二极管。若无此二极管, 则线圈的自感电动势将可能使开关被击穿而损坏。

2. 稳压二极管

稳压二极管是一种特殊的面接触型硅二极管, 与一般二极管不同的是, 它

的反向击穿电压低,反向击穿特性陡,击穿后除去反向电压又能恢复正常。因此,可利用这一反向特性进行稳压。其符号及伏安特性分别如图 1.3 和图 1.4 所示。注意,稳压管工作在反向击穿状态时,管压降 U_z 几乎不随电流 I_z 而变化,故能起稳压作用。此外也要理解稳压二极管主要参数的意义,稳压管的应用主要是实现简单稳压及削波作用。

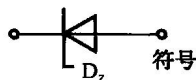


图 1.3

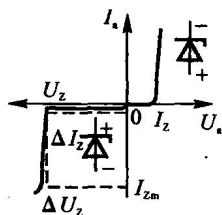


图 1.4

3. 晶体三极管

(1) 结构与基本放大原理:晶体管有三个电极和两个 PN 结,分别是发射极(E或e),基极(B或b),集电极(C或c)和发射结(Je)、集电结(Jc)。其结构分为 NPN 和 PNP 两种形式,硅晶体管多为 NPN 型,锗晶体管多为 PNP 型。两种结构形式的共射极接法电路如图 1.5 所示。

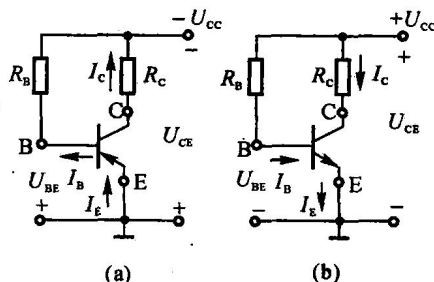


图 1.5

根据实现电流放大作用的要求,供电电源接法应保证:发射结正向偏置,集电结反向偏置,这是放大的外部条件。

三极管的构造特点表现在:

- ① 发射区面积小,掺杂浓度高,多子数量多。
- ② 基区极薄,掺杂浓度很低,多子数量很少。

③ 集电区面积大,掺杂浓度次于发射区而高于基区。

基于上述结构特点,基极电流 I_B 远小于发射极电流 I_E 和集电极电流 I_C 。只要发射结电压 U_{BE} 有微小变化,造成基极电流 I_B 有微小变化,就能引起发射极电流 I_E 和集电极电流 I_C 很大的变化,这就是三极管的电流放大作用。若在集电极电路中串入大电阻 R_C ,则将产生比发射结电压 U_{BE} 变化大得多的集电极电压 U_{CE} 的变化,实现电压放大作用。

(2) 特性曲线:三极管的输出特性 $I_C = f(U_{CE})|_{I_B=\text{常数}}$ 是一个曲线簇,如图 1.6 所示。

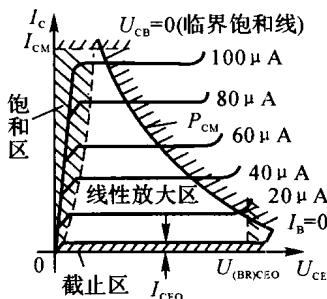


图 1.6

① 由 $U_{CE} \geq 1\text{ V}$ 到集电结击穿之前具有恒流特性,且 $I_C = \bar{\beta}I_B$, $\bar{\beta}$ 近似为常数,称为线性放大区。此时发射结为正偏,集电结为反偏。

② 当 $I_B \leq 0$ 时, $I_C \leq I_{CEO}$, 称为截止区。此时两个 PN 结均为反偏。

③ 当 $U_{CB} \leq 0$ (或 $U_{CE} \leq U_{BE}$) 时, $I_C \propto U_{CE}$, I_C 和 I_B 无线性关系,称为饱和区。此时两个 PN 结均为正偏。

④ 三极管用于放大电路时工作在线性放大区,用于数字(或开关)电路时则工作在饱和区(导通)和截止区(断开)。

(3) 主要参数:

① 电流放大系数($\bar{\beta}$ 和 β):

直流(静态)电流放大系数 $\bar{\beta} = \frac{I_C}{I_B}$;

交流(动态)电流放大系数 $\beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}$ 。

② 反向截止电流 I_{CBO} 和穿透电流 I_{CEO} :二者间的关系为 $I_{CEO} = (1 + \bar{\beta})I_{CBO}$,

随温度升高而增大,影响电路工作稳定性。

③ 集电极最大允许电流 I_{CM} : 集电极电流超过此值则 β 下降 $\frac{1}{3}$ 。

④ 反向击穿电压 $U_{(BR)CEO}, U_{(BR)CBO}, U_{(BR)EBO}$: 一般选择三极管的依据是 $U_{CC} = \frac{1}{2}U_{(BR)CEO}, U_{(BR)EBO} \leq 4V, U_{CC}$ 为电源电压。

⑤ 集电极最大允许耗散功率 P_{CM} : $P_{CM} = I_C U_{CE}$, 它和 $I_{CM}, U_{(BR)CEO}$ 三者决定了三极管的安全工作区。

晶体三极管是本讲重点,其三种工作状态及其特征归纳在表 1.1 中,以便同学们学习。

表 1.1 晶体管三种工作状态及特征

晶体管的工作状态		饱和	放大	截止
条件		$I_B > \frac{I_{C(sat)}}{\beta}$	$0 < I_B < \frac{I_{C(sat)}}{\beta}$	$I_B \leq 0$
工作特征	集电极电流	$I_{C(sat)} \approx \frac{U_{CC}}{R_C}$	$I_C = \beta I_B$	$I_{CEO} \approx 0$
	集-射极电压	$U_{CE} \approx 0$	$U_{CE} = U_{CC} - R_C I_C$	$U_{CE} \approx U_{CC}$
	C, E 极间等效电阻	很低, 约为几百欧, 相当于开关闭合	可变, I_C 增大, 电阻变小	很高, 约为几百千欧, 相当于开关断开
	偏置	发射结正偏 集电结正偏	发射结正偏 集电结反偏	发射结反偏 集电结反偏
应用场合		开关电路	放大电路	开关电路

4. 场效应晶体管

场效应晶体管作为一种新型的半导体器件,其外形与普通三极晶体管相似,但两者的控制特性却截然不同。普通晶体管是电流控制元件,而场效应晶体管则是电压控制元件。学习中应将场效应晶体管与双极型晶体管进行对比,可参阅教材表 15.9.1。

(1) 场效应晶体管的结构类型及特性曲线:场效应晶体管的结构类型很多,本讲重点了解绝缘栅型场效应晶体管。要了解其基本结构、图形符号和工作原

理, 知道如何由图形符号识别 MOS 管的类型及电极。现将其列于表 1.2 中。

表 1.2 场效应管的符号及特性曲线

种类	结构类型	工作方式	电源极性		符号及 电流方向	转移特性	输出特性
			U_{DS}	U_{GS}		$i_D = f(u_{GS}) \Big _{U_{DS}=C}$	$i_D = f(u_{DS}) \Big _{U_{GS}=C}$
绝缘栅型	N 沟道	耗尽型	+	-			
		增强型	+	+			
	P 沟道	耗尽型	-	+			
		增强型	-	-			
结型	N 沟道	/	+	-			
	P 沟道	/	+	+			

(2) 转移特性的近似计算: 转移特性直接反映了 U_{GS} 对 I_D 的控制作用。要了解耗尽型 NMOS 管和增强型 NMOS 管转移特性的形状及特点, 了解增强型 NMOS 管和增强型 PMOS 管转移特性曲线的区别, 了解 MOS 管的主要参数。

① 绝缘栅耗尽型场效应管:

$$I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{U_{GS}}{U_{GS(off)}}\right)^2 \quad \begin{cases} 0 \geq U_{GS} \geq U_{GS(off)} \text{ (N 沟道)} \\ 0 \leq U_{GS} \leq U_{GS(off)} \text{ (P 沟道)} \end{cases}$$

$$g_m = -2 \frac{I_{DSS}}{U_{GS(off)}} \left(1 - \frac{U_{GS}}{U_{GS(off)}}\right) = -\frac{2}{U_{GS(off)}} \sqrt{I_{DSS} I_D}$$

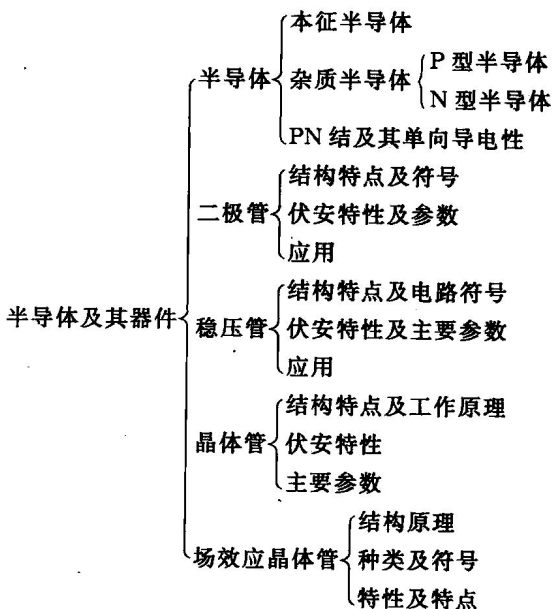
② 绝缘栅增强型场效应管:

$$I_D = K(U_{GS} - U_{GS(th)})^2 \quad \begin{cases} U_{GS} > U_{GS(th)} \text{ (N 沟道)} \\ U_{GS} < U_{GS(th)} \text{ (P 沟道)} \end{cases}$$

$$g_m = 2K(U_{GS} - U_{GS(th)}) = 2\sqrt{KI_D}$$



二、知识结构图解



三、重点、难点点击

- (1) 二极管电路的输出电压计算及输出波形分析。
- (2) 稳压管电路的分析与计算。

(3) 判断晶体三极管的类型、管脚和三种工作状态。

1.2 典型例题

例 1.1 在图 1.7 电路中, $u_i = 12\sin\omega t$ V, $U_S = 6$ V, 二极管 D 的正向压降可忽略不计, 试分别画出输出电压 u_o 的波形。

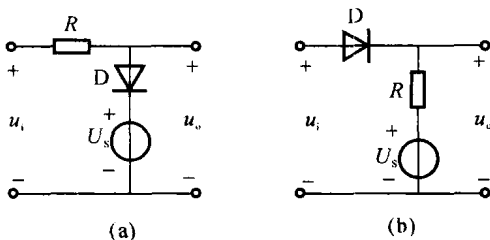


图 1.7

【分析】 判断半导体二极管导通和截止即可求解。

解 在图 1.7(a) 中, $u_i > U_S$, 二极管 D 导通, 输出电压 $u_o = U_S$; $u_i < U_S$, 二极管 D 截止, 输出电压 $u_o = u_i$ 。波形如图 1.8(a) 所示。

在图 1.7(b) 中, $u_i > U_S$, 二极管 D 导通, 输出电压 $u_o = u_i$; $u_i < U_S$, 二极管 D 截止, 输出电压 $u_o = U_S$ 。波形如图 1.8(b) 所示。

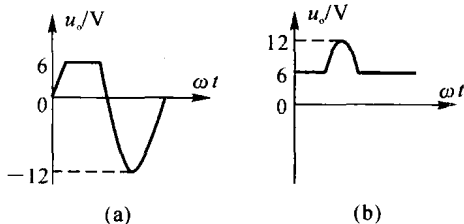


图 1.8

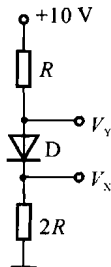


图 1.9

例 1.2 电路如图 1.9 所示, 设 D 为硅二极管, 试确定: 二极管 D 是正偏还是反偏, 计算 V_X 和 V_Y 值。

【分析】 二极管上为区间电压,故为正偏。

解 D 正偏,D 导通压降为 0.7 V。

$$V_x = \frac{10 - 0.7}{R + 2R} \times 2R = 6.2 \text{ V}$$

$$V_y = 0.7 + V_x = 6.9 \text{ V}$$

例 1.3 如图 1.10 所示电路中,已知稳压管 2CW17 的参数为: $U_z = 10 \text{ V}$, 稳定电流为 5 mA, 额定功耗 $P_z = 250 \text{ mW}$ 。试求电压源 E 分别为 8 V, 18 V, -6 V 时的 U_o 和电流 I 的大小各为多少? 为使电路正常稳压, E 的最大允许值为多大?

【分析】 稳压管正向时为二极管, 反向工作在击穿状态, 上面的电流保证在最大稳定电流之内时正常工作。

解 该管最大稳定电流 $I_{zM} = \frac{P_z}{U_z} = \frac{250}{10} = 25 \text{ mA}$

(1) $E = 8 \text{ V}$ 时, $8 \text{ V} < U_z = 10 \text{ V}$, 稳压管 D_z 未被击穿, 故 $U_o = E = 8 \text{ V}$, $I = 0$ 。

(2) $E = 18 \text{ V}$ 时, 设 $U_o = U_z = 10 \text{ V}$, $U_R = E - U_o = 18 - 10 = 8 \text{ V}$, $I = \frac{U_R}{R} = \frac{8}{1} = 8 \text{ mA} = I_z$, 而 $5 \text{ mA} < I_z < 25 \text{ mA}$, 计算成立。

(3) $E = -6 \text{ V}$ 时, 稳压管正向导通, $U_o = -0.7 \text{ V}$, $U_R = -6 + 0.7 = -5.3 \text{ V}$, $I = \frac{-5.3}{1} = -5.3 \text{ mA}$ 。

为保证稳压管正常工作, 应保证 $I \leq I_{zM} = 25 \text{ mA}$, 故最大电压

$$E_M = I_{zM}R + U_z = 25 + 10 = 35 \text{ V}$$

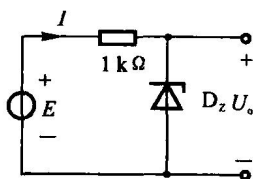


图 1.10

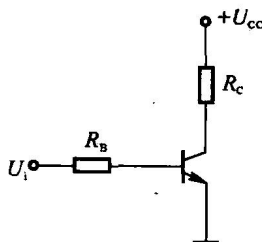


图 1.11

例 1.4 在图 1.11 所示电路中, 已知: $R_B = 10 \text{ k}\Omega$, $R_C = 1 \text{ k}\Omega$, $U_{CC} = 10 \text{ V}$, 三极管 $\beta = 50$, $U_{BE} = 0.7 \text{ V}$ 。试分析在下列情况时, 三极管工作在何种工作状