

● 本讲内容聚焦

● 典型例题

● 课后作业

电子技术基础(模拟部分)

辅导讲案

主讲教材《电子技术基础(模拟部分)》

(高教·华中理工·第四版)

主编 许杰

西北工业大学出版社

精品课·名师讲堂丛书

电子技术基础(模拟部分) 辅导讲案

——主讲教材《电子技术基础(模拟部分)》
(高教·华中理工·第四版)

主编 许 杰
编者 姬亚洲 赵红言 张小木
孙 勇 李宏博 陈永健

西北工业大学出版社

【内容简介】 电子技术基础模拟部分包括绪论、半导体二极管及其基本电路、半导体三极管及放大电路基础、场效应管放大电路、功率放大电路、集成电路运算放大器、反馈放大电路、信号的运算与处理电路、信号产生电路、直流稳压电源等内容。全书按照目前通行的教学 60 学时对上述内容进行概论总结。本书通过内容聚焦、典型例题分析、常见习题解答、课后作业、模拟试卷等形式,帮助读者学习、提高对电子技术基础课的认识。

本书是高等院校相关专业学生学习电子技术课程的指南书,也可作为学习报考研究生的参考资料,同时也可作为教师参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

电子技术基础(模拟部分)辅导讲案/许杰主编. —西安:西北工业大学出版社,2007.8

(精品课程·名师讲堂丛书)

ISBN 978-7-5612-2263-8

I. 电… II. 许… III. 模拟电路—电子技术—高等学校—教学参考资料 IV. TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 110615 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.nwpu.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:9.125

字 数:300 千字

版 次:2007 年 8 月第 1 版 2007 年 8 月第 1 次印刷

定 价:13.00 元

前 言

电子技术基础（模拟部分）是电气、控制、计算机、通讯等专业的必修课程之一，又是上述专业报考硕士研究生的专业基础考试课程，是一门实践性很强的课程。本课程通过基础理论和实际操作培训，可以提高学生的分析、开发和实际动手能力，对培养实用性人才非常重要。

电子技术基础具有理论上的抽象性和工程应用的广泛性。在讲清基本概念、基本电路的工作原理和基本分析方法的基础上，对其主要技术指标，采用工程近似方法进行计算。本书提出了在掌握基本概念、基本理论的基础上的一些具体解题思路和基本方法，旨在抛砖引玉。

本书按照华中理工大学电子学教研室康华光教授主编的《电子技术基础》（模拟部分第四版）的自然章节编排，按照 60 学时 10 讲内容讲授。每一讲内容由以下部分构成：

1. 内容聚焦：对本讲的内容进行概述、归纳、总结。明确本讲的重点内容，利于读者正确掌握基本概念、工作原理和分析计算方法。
2. 典型例题精解：精选了具有代表性的部分典型例题，包括基本掌握的例题、考试常见的例题、近年来

各高校考研的例题。通过对例题的解题分析，引导读者归纳出解题的方法和技巧，做到举一反三、触类旁通。

3. 课后作业：根据课程考试和考研要求，精选了适量的、区别于书本课后习题的、其他教材的典型例题、习题、考题等内容，供学生练习。通过这些作业，进一步掌握要领，巩固加深对基本概念的理解，增强解决问题的能力。同时附参考答案，帮助同学们检验学习效果和对所学知识掌握的程度。

此外，附录部分的课后习题精选详解给出了康华光教授主编的《电子技术基础》（模拟部分第四版）各章部分习题的解答。由于解题方法的多样性，通常只给出一种解题方法，供读者参考。

课程考试真题部分精选了3套近年来的常见考题，了解目前考题的类型和基本要求。通过模拟考试可以全面了解掌握知识的程度和能力。

本书由空军工程大学理学院副教授许杰主编。许杰、姬亚洲编写了第1讲至第10讲的内容。张小木、赵红言、孙勇、李宏博、陈永健参与了书中部分内容的编写及部分习题解答、绘图工作。

由于我们水平所限，书中难免出现错误，恳请广大读者批评指正。

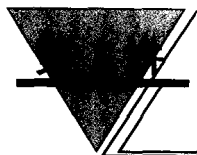
编 者

2007年7月18日

目 录

第 1 讲 绪论	1
1.1 本讲内容聚焦	1
1.2 典型例题	4
1.3 课后作业	5
第 2 讲 半导体二极管及其基本电路	6
2.1 本讲内容聚焦	6
2.2 典型例题.....	10
2.3 课后作业.....	14
第 3 讲 半导体三极管及放大电路基础	18
3.1 本讲内容聚焦	18
3.2 典型例题.....	27
3.3 课后作业.....	40
第 4 讲 场效应管放大电路	47
4.1 本讲内容聚焦	47
4.2 典型例题.....	53
4.3 课后作业.....	59
第 5 讲 功率放大电路	63
5.1 本讲内容聚焦	63
5.2 典型例题.....	66
5.3 课后作业.....	70
第 6 讲 集成电路运算放大器	74
6.1 本讲内容聚焦	74
6.2 典型例题.....	77
6.3 课后作业.....	83

第7讲 反馈放大电路	86
7.1 本讲内容聚焦	86
7.2 典型例题	95
7.3 课后作业	111
第8讲 信号的运算与处理电路	117
8.1 本讲内容聚焦	117
8.2 典型例题	126
8.3 课后作业	137
第9讲 信号产生电路	141
9.1 本讲内容聚焦	141
9.2 典型例题	146
9.3 课后作业	156
第10讲 直流稳压电源	160
10.1 本讲内容聚焦	160
10.2 典型例题	165
10.3 课后作业	171
附录	175
附录一 主讲教材课后习题精选详解	175
附录二 课程考试真题及参考答案	259
参考文献	284



绪 论

本讲涵盖了教材的第1章内容(2学时)。

1.1 本讲内容聚焦



一、内容要点精讲

作为本书的绪论,需要对本课程的前期知识作一总结回顾;需要讲解一些基本知识做基础,为学习以后章节建立概念。

1. 正确理解下列名词术语

电子系统:通常是指由若干相互连接、相互作用的基本电路组成的具有特定功能的电路整体。

信号:信号是信息的载体。

下面以正弦波电压信号为例说明信号的表达方式及其基本特征。

$$v(t) = V_m \sin(\omega t + \theta)$$

式中, V_m 是正弦波的幅值; ω 为角频率; θ 为初始相角。

当 $\omega = 0$ 时,为直流电压信号。

当 V_m, ω, θ 均为已知常数时,正弦波是最简单的信号。

频谱:当把一个信号分解为正弦信号的集合时,其正弦信号幅值随角频率变化的分布。

模拟信号:时间连续、数值连续的信号。

数字信号:(1) 时间离散、数值连续的信号。

(2) 时间离散、数值离散的信号。

(3) 时间连续、数值离散的信号。

2. 理解放大电路的表述

根据输入信号和输出信号的形式,放大电路表述如下:

电压放大电路:输入为电压,输出为电压。

电流放大电路:输入为电流,输出为电流。

互阻放大电路:输入为电流,输出为电压。

互导放大电路:输入为电压,输出为电流。

与之对应的是四种放大电路的模型见“二、知识结构图解”。

3. 放大电路的主要性能指标

输入电阻 R_i : 输入电压 $\dot{V}_i$ 与输入电流 $\dot{I}_i$ 的比值。

当输入信号是电压时,如是电压放大电路和互导放大电路, R_i 愈大,放大电路的 $\dot{V}_i$ 就愈大。

当输入信号是电流时,如是电流放大电路和互阻放大电路, R_i 愈小,放大电路的 $\dot{I}_i$ 就愈大。

输出电阻 R_o : 是在电路输出端加一测试电压 $\dot{V}_T$ 与其相应产生一测试电流 $\dot{I}_T$ 的比值。

输出电阻的大小决定它带负载的能力。对输出为电压信号的放大电路,如是电压放大电路和互阻放大电路, R_o 愈小,负载 R_L 的变化对输出电压 $\dot{V}_o$ 的影响愈小;对输出为电流信号的放大电路,如是电流放大电路和互导放大电路, R_o 愈大,负载 R_L 的变化对输出电流 $\dot{I}_o$ 的影响愈小。

增益 A : 四种放大电路分别有不同的增益,如电压增益 $\dot{A}_v$, 电流增益 $\dot{A}_i$, 互阻增益 $\dot{A}_R$ 及互导增益 $\dot{A}_G$ 。其中 $\dot{A}_v$ 和 $\dot{A}_i$ 在工程上常用分贝 dB 表示,电压增益是 $20\lg |\dot{A}_v|$ (dB), 电流增益是 $20\lg |\dot{A}_i|$ (dB)。

频率响应: 在输入正弦信号情况下,输出随频率连续变化的稳态响应。

当考虑电抗性元件的作用和信号角频率变量,放大电路电压增益可表达为

$$\dot{A}_v(j\omega) = \frac{\dot{V}_o(j\omega)}{\dot{V}_i(j\omega)} \quad \text{或} \quad \dot{A}_v = A_v(\omega) \angle \varphi(\omega)$$

$A_v(\omega)$ 表示电压增益的模与角频率之间的关系,称幅频响应。

$\varphi(\omega)$ 表示放大电路输出与输入正弦电压信号的相位差与角频率之间的关系,称为相频响应。 $A_v(\omega)$ 和 $\varphi(\omega)$ 综合起来表征放大电路的频率响应。

半功率点: 在输入信号幅值保持不变的条件下,增益下降 3 dB 的频率点,其输出功率约等于中频区输出功率的一半。

上限频率 f_H : 是频率响应的高端半功率点。

下限频率 f_L : 是频率响应的低端半功率点。

带宽: 把幅值响应的高、低两个半功率点间的频率差定义为放大电路的带

宽,即 $BW = f_H - f_L$ 。

频率失真:又称线性失真,是由于线性电抗元件所引起的。它包括幅度失真和相位失真。

幅度失真:输入信号由基波和二次谐波组成,受放大电路带宽限制,基波增益较大,而二次谐波增益较小,输出电压波形产生了失真。

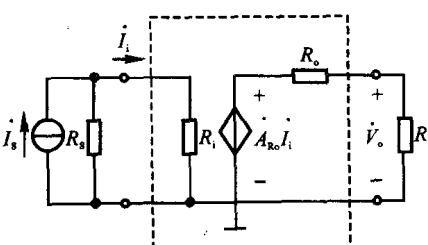
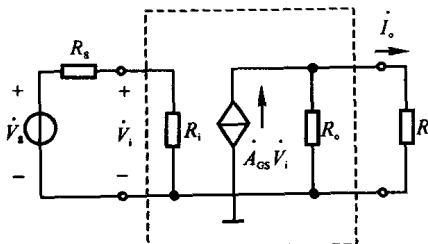
相位失真:当放大电路对不同频率的信号产生的相移不同时,产生的失真。



二、知识结构图解

放大电路模型	类型	放大增益
	电压放大	$A_v = \frac{V_o}{V_i} = A_{v0} \frac{R_L}{R_L + R_o}$ $A_{v0} \text{ 是输出开路 } (R_L \rightarrow \infty) \text{ 时的电压增益}$
	电流放大	$A_i = \frac{I_o}{I_i} = A_{is} \frac{R_o}{R_L + R_o}$ $A_{is} \text{ 是输出短路 } (R_L = 0) \text{ 时的电流增益}$

续 表

放大电路模型	类型	放大增益
	互阻放大	$A_R = \frac{V_o}{I_i} = A_{R_o} \frac{R_L}{R_L + R_o}$ $A_{R_o} \text{ 是输出开路时的互阻增益, 理想条件 } R_i \rightarrow 0, R_o \rightarrow 0$
	互导放大	$A_G = \frac{I_o}{V_i} = A_{G_s} \frac{R_o}{R_L + R_o}$ $A_{G_s} \text{ 是输出短路时的互导增益, 理想条件 } R_i \rightarrow \infty, R_o \rightarrow \infty$



三、重点、难点点击

本讲的重点是建立基本概念, 其中以放大电路四种模型以及放大倍数的类型、表达式为主。

1.2 典型例题

由于本讲是绪论部分, 因此考点主要集中在基本概念上, 常见题型偏重于四种放大电路的基本形式, 例题相对较少。

例 1.1 如图 1.1 所示电路用来测量放大器的输入、输出电阻。当开关 K_1 合上时, 电压表 $V_1 = 50 \text{ mV}$; 当 K_1 断开时, $V_1 = 100 \text{ mV}$, 求 R_i 的值。当开关 K_2 合上时, 电压表 $V_2 = 1 \text{ V}$; K_2 断开时, $V_2 = 2 \text{ V}$, 求 R_o 的值。

分析 根据已知条件得知 K_1 断开时测量的电压值实际就是 V_s 的值,合上时测量的电压值实际上就是 V_i 的值。同理分析得出, K_2 断开时测量的电压值是负载开路时电压 V'_o ,合上时测量的电压值是负载两端的电压值 V_o 。

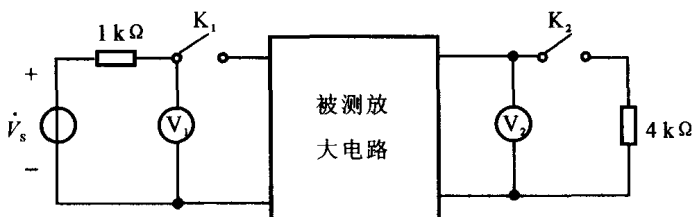


图 1.1

解

$$V_i = \frac{R_i}{R_i + R_s} V_s$$

其中 $R_s = 1 \text{ k}\Omega$, 得 $50 = 100 \frac{R_i}{R_i + 1}$, 即 $R_i = 1 \text{ k}\Omega$ 。

$$V_o = V'_o \frac{4}{R_o + 4}, \quad 1 = 2 \frac{4}{R_o + 4}$$

解得 $R_o = 4 \text{ k}\Omega$ 。

评注 容易出错的地方是源电压和外观电压的关系式。

1.3 课后作业

1. 某放大电路输入信号为 10 pA 时,输出为 500 mV ,它的增益是多少?属于哪一类放大电路?

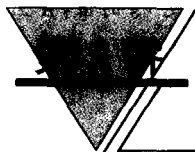
答案: $A_R = 5 \times 10^7$; 互阻放大电路

2. 某电唱机拾音头内阻为 $1 \text{ M}\Omega$,输出电压为 1 V (有效值),如果直接将它与 $10 \text{ }\Omega$ 扬声器相连,扬声器上的电压和功率各为多少?如果在拾音头和扬声器之间接入一个放大电路,它的输入电阻 $R_i = 1 \text{ M}\Omega$,输出电阻 $R_o = 10 \text{ }\Omega$,电压增益为 1。试求这时扬声器上的电压和功率,该放大电路使用哪一类电路模型最方便?

答案: $v_o = 10^{-8} \text{ V}$, $P_o = 10^{-17} \text{ W}$; $v_o = 0.25 \text{ V}$, $P_o = 6.25 \text{ mW}$; 电流

3. 某放大电路开路输出电压为 V'_o ,短路输出电流为 I_{os} 。求其输出电阻 R_o 。

答案: $R_o = \frac{V'_o}{I_{os}}$



半导体二极管及其基本电路

本讲涵盖了教材第2章的内容(4学时)。

2.1 本讲内容聚焦

1. 正确理解下列名词术语

本征半导体:是一种完全纯净的、结构完整的半导体晶体。

本征激发:温度升高时,部分价电子获得足够的随机热振动能量而挣脱共价键的束缚,形成自由电子和带正电的空穴。

空穴:当价电子挣脱共价键束缚成自由电子后,共价键中就留下一个空位叫空穴。它的出现是半导体区别于导体的一个重要标志。

杂质半导体:在本征半导体中有控制地掺入少量的有用杂质。它有N型和P型半导体之分。

P型半导体:在硅或锗的晶体内掺入少量三价元素杂质,如硼(或铟),它与周围硅原子组成共价键时,因缺少一个电子,在晶体中便产生一个空穴。控制掺入杂质的多少,便可控制空穴数量。在P型半导体中,空穴是多数载流子,自由电子为少数载流子。

N型半导体:在硅或锗的晶体内掺入少量五价元素杂质,如磷(或砷、锑),它与P型半导体掺入原理相似,只不过在N型半导体中,自由电子为多数载流子,空穴为少数载流子。

2. PN结的形成及其导电特性

PN结的形成:在P型半导体和N型半导体结合后,由于载流子浓度差使自由电子由N区向P区扩散,P区的空穴向N区扩散,使P区与N区交界面上靠N区一侧显露出正离子,靠P区一侧显露出负离子,形成空间电荷区又称内建电场。在内建电场作用下,少数载流子作漂移运动,其方向与扩散相反;当扩散运动和漂移运动达到平衡时,空间电荷区宽度一定,PN结形成。

PN 结的单向导电性:PN 结正向偏置,P 区接高电位,N 区接低电位时,PN 结导通。当外加正向电压增加时,PN 结宽度变窄,流过 PN 结的正向电流(载流子扩散形成的)增加;PN 结反向偏置时,P 区接低电位,N 区接高电位,PN 结宽度变宽,其反向电流(载流子漂移形成的)很小,基本不随外加反向电压变化。

PN 结 $V-I$ 特性的表达式为

$$i_D = I_s (e^{v_D/V_T} - 1)$$

式中, i_D 为通过 PN 结的电流; v_D 为 PN 结两端的外加电压; V_T 为温度的电压当量,在室温下 $V_T = 0.026 \text{ V}$ 。

PN 结的击穿特性:当反向电压超过某一值后,反向电流急剧增加的现象。此时 PN 结不一定损坏,只要电路中加一定的串联电阻,限制流过 PN 结的电流,使 PN 结上消耗的功率不致过热损坏,当反向电压数值降低时,PN 结的单向导电性可以恢复正常。稳定二极管就是利用 PN 结的击穿特性制成的。

PN 结的击穿分为齐纳击穿和雪崩击穿两种。

PN 结的电容特性:PN 结电压变化,空间电荷区宽度发生变化,从而引起空间电荷区内电荷变化,这种效应形成的电容称为势垒电容;PN 结正向偏置时,多数载流子在扩散过程中形成电荷积累,正向电压变化时,其积累的电荷量也变化,这种电容称为扩散电容。变容二极管就是利用 PN 结的电容特性而制成的,变容二极管在电路运用时,PN 结是处于反向偏置状态。

PN 结的温度特性:保持正向电流不变,当温度升高时,正向偏置的 PN 结其内建电场将减小,反向饱和电流将增大;温度降低时,情况刚好相反。这种随温度变化的特性是我们不希望的。

3. 半导体二极管的参数

二极管具有 PN 结的全部特性。它的参数主要有以下几个:

最大整流电流 I_F :指管子运行时,允许通过的最大正向平均电流。

反向击穿电压 V_{BR} :指管子反向击穿时的电压值。一般手册上给出的最高反向工作电压约为实际击穿电压的一半。

反向电流 I_R :指管子未击穿时的反向电流,其值愈小,则管子的单向导电性愈好。

势垒电容 C_B :是用来描述势垒区的空间电荷随电压变化而产生的电容效应。

扩散电容 C_D ：它反映了在外加电压作用下载流子在扩散过程中积累的情况。PN 结正偏时，扩散电容起主要作用；反偏时，势垒电容起主要作用。

4. 二极管基本电路及其分析方法

二极管是一种非线性器件，因此分析二极管电路时采用的是非线性电路的分析方法。实践中主要采用模型分析法，在静态情况时，根据输入信号的大小，选用不同的模型，只有当信号很微小时，才采用小信号模型。二极管的正向 $V-I$ 特性模型有以下几类：

理想模型：正向偏置时，其管压降为 0，反偏时它的电阻为无穷大，电流为零。通常当电源电压远比二极管的管压降大时，用此模型分析。

恒压降模型：二极管导通后，其管压降是恒定的，且不随电流而变，典型值是 0.7 V。通常当二极管的电流近似或大于 1 mA 时是正确的。

折线模型：二极管的管压降随着通过二极管电流的增加而增加；模型中 $V_{th} = 0.5 \text{ V}$ ， $r_D = 200 \Omega$ ，因二极管特性的分散性，所以这两个值不是固定不变的。

小信号模型：在二极管 $V-I$ 特性的某一小范围内把 $V-I$ 特性看成一条直线，其斜率的倒数就是所求的微变电阻 r_d ，其中

$$r_d = \frac{V_T}{I_D} = \frac{26 \text{ mV}}{I_D}$$

5. 齐纳二极管

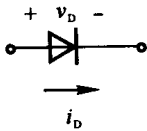
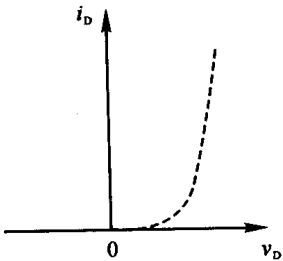
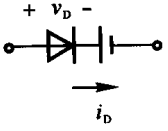
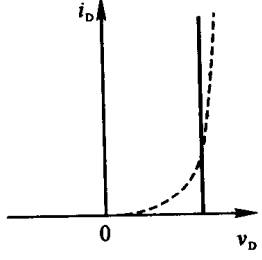
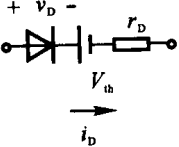
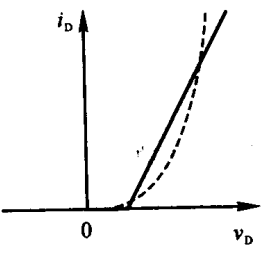
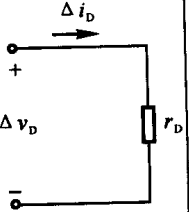
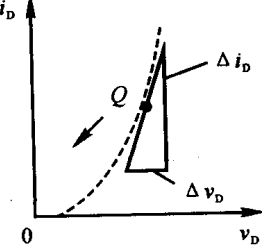
齐纳二极管又称稳压管，其原理是 PN 结工作在反偏状态，只要流过它的电流总是在 I_{min} 和 I_{max} 之间，就可以保证稳压管安全正常工作。在手册中，同一型号的稳压管的稳压值给出的是一个电压范围，这主要指这类管子中的每个管子的稳压值必定是这一范围内的某一值。稳压管在直流稳压电源中获得广泛的应用，通常采用的是并联式稳压电路。



二、知识结构图解

本讲中的重点内容主要是二极管电路的模型分析，分析模型及图示如表 2.1 所示。

表 2.1

电路模型	表示符号	V-I 特性	基本参数
理想模型			管压降为零
恒压降模型			i_D 等于或大于 1 mA 管压降为 0.7 V
折线模型			$V_{th} = 0.5 \text{ V}$ $i_D = 1 \text{ mA}$ $r_D = 200 \Omega$
小信号模型			$r_d = \frac{\Delta v_D}{\Delta i_D}$ $r_d \approx \frac{V_T}{i_D}$ 在 Q 点上



三、重点、难点点击

本讲的重点是PN结的形成及其特性,延伸到二极管的基本特性。难点是二极管的伏安特性及其四种建模方式的应用。二极管的限幅电路、开关电路、低电压稳压电路的应用。

2.2 典型例题

例 2.1 选择判断题

分析 这类题目主要考察学习者对基本概念的掌握是否熟练。

1. 二极管加正向电压时,其正向电流是由()。

- ① 多数载流子扩散形成
- ② 多数载流子漂移形成
- ③ 少数载流子漂移形成

答案:①

2. PN结反向击穿电压的数值增大,小于击穿电压,()。

- ① 其反向电流增大
- ② 其反向电流减小
- ③ 其反向电流基本不变

答案:③

3. 稳压二极管是利用PN结的()。

- ① 单向导电性
- ② 反向击穿性
- ③ 电容特性

答案:②

4. 二极管的反向饱和电流在 20°C 时是 $5\mu\text{A}$,温度每升高 10°C ,其反向饱和电流增大一倍,当温度为 40°C 时,反向饱和电流值为()。

- ① $10\mu\text{A}$
- ② $15\mu\text{A}$
- ③ $20\mu\text{A}$
- ④ $40\mu\text{A}$

答案:③

5. 变容二极管在电路中使用时,其PN结是()。

- ① 正向运用
- ② 反向运用

答案:②

例 2.2 理想二极管电路如图 2.1 所示,判断 D_1, D_2 是否导通,求出 V_o 。