

高等学校教学参考书

电工电子学 学习指导

张伯尧 叶挺秀 编



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

高等学校教学参考书

电工电子学 学习指导

张伯尧 叶挺秀 编



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

图书在版编目 (CIP) 数据

电工电子学 学习指导 / 张伯尧, 叶挺秀编. —北京:
高等教育出版社, 2002.7

ISBN 7-04-010490-3

I. 电… II. ①张… ②叶… III. ①电工学 - 高等
学校 - 自学参考资料 ②电子学 - 高等学校 - 自学参考资
料 IV. TM1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 091313 号

责任编辑 茅 炫 封面设计 张 楠 责任绘图 朱 静
版式设计 马静如 责任校对 胡晓琪 责任印制 张小强

电工电子学学习指导
张伯尧 叶挺秀 编

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市东城区沙滩后街 55 号
邮政编码 100009
传 真 010-64014048

购书热线 010-64054588
免费咨询 800-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>

经 销 新华书店北京发行所
排 版 高等教育出版社照排中心
印 刷 北京宝旺印务有限公司

开 本 850×1168 1/32
印 张 6.25
字 数 150 000

版 次 2002 年 7 月第 1 版
印 次 2002 年 7 月第 1 次印刷
定 价 9.10 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请在所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

前 言

《电工电子学》是浙江大学电气技术与电工学教研室为进一步适应高等学校非电类专业教学改革和当代科技发展的需要而编写的一本新教材。该教材将电工技术和电子技术相互贯通,与传统的电工学教材相比,在内容体系方面变化较大。为便于该教材的使用,特编写这本《电工电子学学习指导》,供有关教师和学生在学习中参考。

《电工电子学学习指导》按《电工电子学》教材的章次编写,每章包括学习提示、部分习题解答、习题答案三个部分。在学习提示中,首先对该章的编写思想、内容安排、特点和内容的重点、难点等加以总体说明,然后按每章的节次介绍各节的内容要点和教学要求。教学要求分两个层次:“理解”或“掌握”为一个层次,“了解”为另一个层次。在部分习题解答中,先对该章习题在解题过程中的共性问题作总体说明和指导,再从中选出部分习题进行分析求解,给出了较详细的解题过程。选解的习题共有 62 个(教材中习题的总数为 233 个),这些习题有一定的代表性或难度,希望通过对它们的分析,能有助于对有关基本概念和基本分析方法的进一步了解和掌握。由于《电工电子学》教材中未附习题答案,故在本书中给出了全部习题的答案(仅有个别省略)。另外,为了便于学生复习时对自己掌握知识的程度进行检查对照,我们从历年的试卷中挑选了部分试题作为自测题,编为本书的附录。自测题的类型有选择题、填空题、分析计算题。自测题的内容有的是比较基本的,有的则具有一定的灵活性与综合性。限于篇幅,所选自测题的数量不是很多,且只给出答案;考虑到能有利于促进复习时的思考和对知识理解的深入,所选自测题中具有一定灵活性和综合性的题

目占有一定比例。

本书由张伯尧编写,叶挺秀参与定稿,《电工电子学》各章的编者提供了各章习题的原始解答及答案。

本书由上海交通大学朱承高教授主审。他认真审阅书稿,对内容安排提出了很好的修改建议,对具体内容提出了宝贵的修改意见,我们表示衷心的感谢。本书在编写过程中得到浙江大学教务部和浙江大学电工电子基础教学中心有关同志的关心与支持,在此表示衷心的感谢。

限于编者的水平,书中必然存在不少缺点和疏漏,恳请使用本书的教师、学生以及其他读者批评指正。

编 者

2001年8月

关于课程教学目的和教材内容体系的说明

一、电工技术和电子技术课程教学目的

电工技术(电工学Ⅰ)和电子技术(电工学Ⅱ)是高等学校非电类专业的技术基础课,根据课程教学基本要求,本课程的作用和任务是:通过本课程的学习,使学生获得电工和电子技术必要的基本理论、基本知识及基本技能,了解电工和电子技术的应用及发展概况,为学习后续课程以及从事与本专业有关的工程技术等工作打下一定的基础。

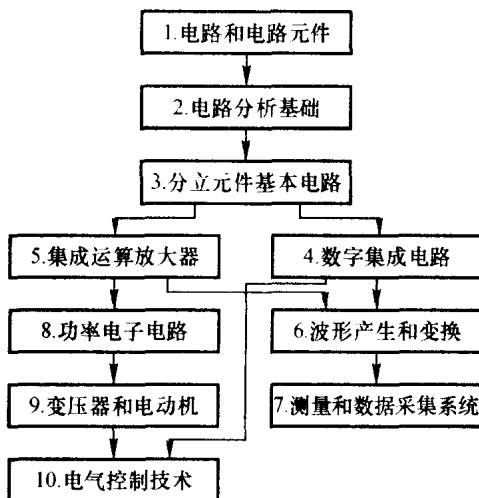
需要强调的是,非电类专业的学生将来工作时通常面向的是某一非电的工程领域,而不是电气、信息工程,他们学习本课程的重要目的是为了解电工、电子技术如何应用于非电类专业打下必要的基础,为他们今后在开发、设计、运行非电的工程系统(装置、设备)时,对所涉及的电工、电子技术具有一定的基础,必要时能和电气、电子工程师协调工作,并使他们在将来的工作中能有较宽的视野,能从学科交叉应用的角度去思考、处理问题,有利于在今后工作中开拓创新。因此电工技术和电子技术课程的教学除了保证其基础性外,要特别注意其面向非电工程领域的应用性,这也是非电类专业电工、电子技术课程和电类专业电工、电子基础课程的基本差别。

当今微电子、计算机、通信和网络技术迅速发展,人类已走向信息时代,电工、电子技术在各非电类专业的应用越来越广泛。在这种形势下,非电类专业为培养基础宽、知识面广、有创新能力的优秀人才,在学生的知识和能力结构中,电工、电子技术方面的应用能力就显得十分重要,这也正是非电类专业在教学计划中普遍设置本课程的原因。

二、《电工电子学》教材内容体系

目前国内非电类专业对电工技术和电子技术课程的设置,有的学校安排为两门课程,有的学校安排为一门课程。但教材大多是按《电工技术(电工学Ⅰ)》和《电子技术(电工学Ⅱ)》两册出版,在内容安排上,电路、电机与控制、模拟电子技术、数字电子技术几个部分相对独立,模块比较清楚,但彼此的联系较少。考虑到当代电工技术特别是电子技术的飞速发展以及课程的教学目的,作为一种改革探索,《电工电子学》教材将电工技术和电子技术相互贯穿,使电路与电子技术、模拟电子技术与数字电子技术、电子技术与测量及控制等内容适当交叉和结合,以加强电子技术应用为重点,建立了一个新的教材内容体系。希望通过这种交叉结合式结构,对课程教学内容进行整合和优化,建立从应用出发的电工技术与电子技术相对统一的教材体系,以更有利于学生对教学内容的理解和掌握,有利于教学内容的更新,有利于解决内容与学时的矛盾,使教材具有较好的针对性和适用性。

《电工电子学》共分 10 章,其结构大体上可用下面的框图表示:



有关各章内容安排上的特点将在后面各章的“学习提示”中加以介绍。

目 录

第 1 章 电路和电路元件	1
1.1 学习提示	1
1.2 部分习题解答	5
1.3 习题答案	11
第 2 章 电路分析基础	14
2.1 学习提示	14
2.2 部分习题解答	20
2.3 习题答案	38
第 3 章 分立元件基本电路	42
3.1 学习提示	42
3.2 部分习题解答	46
3.3 习题答案	54
第 4 章 数字集成电路	57
4.1 学习提示	57
4.2 部分习题解答	62
4.3 习题答案	72
第 5 章 集成运算放大器	78
5.1 学习提示	78
5.2 部分习题解答	84
5.3 习题答案	90
第 6 章 波形产生和变换	94
6.1 学习提示	94
6.2 部分习题解答	96
6.3 习题答案	103

第 7 章 测量和数据采集系统	106
7.1 学习提示	106
7.2 部分习题解答	110
7.3 习题答案	116
第 8 章 功率电子电路	118
8.1 学习提示	118
8.2 部分习题解答	121
8.3 习题答案	129
第 9 章 变压器和电动机	131
9.1 学习提示	131
9.2 部分习题解答	134
9.3 习题答案	138
第 10 章 电气控制技术	139
10.1 学习提示	139
10.2 部分习题解答	143
10.3 习题答案	148
附录 自测题选编	151
A 选择题	151
B 填空题	161
C 分析计算题	176

第 1 章 电路和电路元件

1.1 学习提示

本章从电路的基本概念出发,介绍电路的基本物理量和常用电路元件,是最基础的内容。在内容安排上考虑到适当提高教学起点,因此在介绍电路的基本物理量电流、电压、功率和无源元件电阻、电感、电容等时,直接利用物理学的结论,不再对它们的定义、概念进行详细的叙述,而把重点放在电压、电流的参考方向和无源元件的电压、电流关系上。

本章除介绍电阻、电感、电容、独立电源等传统电路元件外,还介绍了晶体二极管、三极管、MOS 管等半导体元件,这可使读者较早认识这类元件,便于比较和理解不同元件的特性,也体现电路与电子技术的结合。

本章在介绍电路元件时,侧重于元件的外部特性,强调元件的电路模型。这在学习二极管、三极管和 MOS 管时更应注意。由于在这一章介绍了基本半导体元件及其模型,因此在第 2 章电路分析中就可对含有这类元件的电路进行分析。此外,通过对三极管、MOS 管的介绍,可使学生较好地建立和理解受控源的概念。

通过本章学习,希望能理解参考方向的概念,掌握所介绍的几种电路元件的外部特性和电路模型,为学习后续章节打下较好的基础。

1.1.1 电路和电路的基本物理量(1.1 节)

1. 电路由各种元器件按一定方式连接组成,电路的具体形式

有多种多样。建立电路模型是研究电路问题的常用方法。要理解实际电路元件的电路模型和实际电路的电路模型等有关概念。

2. 电流和电压是电路的两个基本物理量。在进行电路分析时,必须先假定电路中各个电流和电压的参考方向,并标示于电路图中。要理解电流、电压参考方向的意义及标示方法。

3. 功率是电路的另一个基本物理量。当电压和电流采用关联参考方向(即电流从电压的“+”极性端流向“-”极性端)时,根据 $p = ui$ 所得功率的正负值可判别元件或电路是吸收功率还是输出功率。要了解电路功率的意义。

1.1.2 电阻、电感和电容元件(1.2 节)

1. 线性电阻、电感和电容元件的电压 - 电流关系和能量关系如表 1.1 所示,这些关系必须掌握。同时要了解线性元件和非线性元件的区别。

表 1.1 线性电阻、电感和电容元件的电压 - 电流关系和能量关系

元件名称	电压 - 电流关系	能量关系	元件性质
电 阻	$u = Ri$	$W_R = \int_{t_1}^{t_2} Ri^2 dt$	耗能元件
电 感	$u = L \frac{di}{dt}$	$W_L = \frac{1}{2} Li^2$	储能元件
电 容	$i = C \frac{du}{dt}$	$W_C = \frac{1}{2} Cu^2$	储能元件

2. 电阻器、电感器、电容器及其他各种电工电子器件或设备都有各自的额定数据,通常称为额定值。额定值是制造厂为保证元器件或设备能长期安全工作在设计制造时确定的。要了解额定值的意义,并在使用电工电子器件或设备时充分注意其额定值。

1.1.3 独立电源元件(1.3 节)

1. 电压源和电流源都是理想电源。电压源的 $U = U_s$ 恒定,

而 $I = \frac{U_s}{R}$ 由外部 R 决定; 电流源的 $I = I_s$ 恒定, 而 $U = RI_s$ 由外部 R 决定。要理解这两种理想电源的基本特性。理想电源实际上并不存在, 但可用它与电阻的组合来建立实际电源的模型。

2. 实际电源的特性可用电压源 U_s 和电阻 R_0 串联(称为电压源模型)或电流源 I_s 和电阻 R_0 并联(称为电流源模型)来描述。要理解两种电源模型及其特性。

3. 电压源模型和电流源模型可以等效互换, 要掌握等效互换的方法并学会在电路分析中加以应用。要注意等效互换是对外电路而言, 电源内部是不等效的。

1.1.4 晶体二极管(1.4 节)

1. 二极管含有一个 PN 结。要了解二极管正向导通和反向截止的条件, 了解二极管伏安特性曲线的基本形状及特点, 了解二极管的主要参数。

2. 二极管是一种非线性器件, 对含有二极管的电路, 可用图解法确定工作点。二极管电压与电流的比值称为静态电阻 R_D , 电压变化量与电流变化量之比的极限称为动态电阻 r_D 。要了解图解分析的方法及工作点位置对 R_D 和 r_D 的影响。

3. 为分析方便, 工程上常将二极管的特性理想化或近似化, 相应引入了理想二极管和折线近似的电路模型。对含有多个二极管的电路进行分析时, 应先判断二极管是否导通, 然后进行计算。

4. 稳压二极管是利用 PN 结反向击穿特性陡的特点来稳压的, 要了解其伏安特性及主要参数。在由稳压二极管构成的稳压电路中, 必须串入限流电阻 R , 并使稳压管工作在稳压区才能实现稳压, 故稳压电路的输入电压 U_i 必须大于稳压管的稳定电压 U_Z 。

1.1.5 双极型晶体管(1.5 节)

1. 三极管有 NPN 型和 PNP 型两类。要了解其基本结构、图

形符号和电流放大作用,知道如何由图形符号识别三极管的类型及电极。要注意 NPN 型三极管的共发射极电路和 PNP 型三极管的共发射极电路的电源极性是相反的。

2. 三极管的特性曲线包括输入特性和输出特性,要了解特性曲线的基本形状及特点,了解三极管的三种工作状态及其特征(见表 1.2),了解三极管的主要参数。

表 1.2 三极管三种工作状态及特征

工作状态	所需条件	基本特征	应用场合
放 大	发射结正偏,集电结反偏	$I_C = \beta I_B$	放大电路
饱 和	发射结正偏,集电结正偏	$U_{CE} < U_{BE}$, 相当于开关处于接通状态	开关电路
截 止	基极电流 $I_B \leq 0$	$I_C \approx 0$, 相当于开关处于断开状态	

3. 为建立具有受控特性的器件的电路模型,引入了受控源。在三极管小信号模型中的受控源是电流控制电流源,要了解三极管简化的小信号模型如何由三极管输入电阻 r_{be} 和受控电流源 $\beta \Delta I_B$ 组成,并能在分析由三极管组成的电压放大电路时加以应用。

1.1.6 绝缘栅型场效应管(1.6 节)

1. 绝缘栅型场效应管有 P 沟道和 N 沟道两类,每类又分耗尽型和增强型两种。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。

2. 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 管转移特性曲线的形状及特点,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。

3. 场效应管是电压型控制器件,其简化的小信号模型为电压控制电流源。要了解该模型的组成,并能在分析由场效应管组成的电压放大电路时加以应用。

1.2 部分习题解答

本章习题围绕电路基本元件展开。可将这些元件分为三类:无源元件(电阻、电感、电容),独立电源元件(电压源、电流源),半导体元件(二极管、三极管、MOS管)。在解题时,不同元件所考虑的侧重点和思路有所不同。

对于涉及电阻、电感、电容元件的习题,主要从各元件的电压-电流关系、功率关系、能量关系和额定值来考虑,解题时常会用到下列表达式: $u = Ri$, $u = L \frac{di}{dt}$, $i = C \frac{du}{dt}$, $p = Ri^2 = \frac{u^2}{R}$, $W_L = \frac{1}{2} Li^2$, $W_C = \frac{1}{2} Cu^2$ 等。

对于含有电压源或电流源的习题,主要从电源的模型、外特性以及两种电源模型的等效变换着手。

对含有二极管的电路进行分析计算时,首先必须分析判断二极管是否导通。当电路中含有多个二极管时,要搞清哪些二极管导通,哪些二极管截止。只有这样,才能根据导通的二极管的特性或模型以及电路结构来分析计算电路中的电流或电压等。对于三极管的习题,通常会涉及三极管的特性曲线、主要参数、各电极之间的电压关系、三种工作状态及其特征、小信号模型等。同时要注意不同类型(NPN 或 PNP、硅管或锗管)之间的差别。MOS管的解题思路与三极管类似。

本书习题解答的题号与《电工电子学》教材中的习题号相同。

1.2.2 一电器的额定功率 $P_n = 1 \text{ W}$, 额定电压 $U_n = 100 \text{ V}$ 。今要接到 200 V 的直流电源上,问应选下列电阻中的哪一个与之

串联,才能使该电器在额定电压下工作:(1) 电阻值 $5\text{ k}\Omega$,额定功率 2 W ;(2) 电阻值 $10\text{ k}\Omega$,额定功率 0.5 W ;(3) 电阻值 $20\text{ k}\Omega$,额定功率 0.25 W ;(4) 电阻值 $10\text{ k}\Omega$,额定功率 2 W 。

【解】 电器的额定电流

$$I_n = \frac{P_n}{U_n} = \frac{1}{100}\text{ A} = 10^{-2}\text{ A}$$

串联电阻承受的电压

$$U_R = U - U_n = 200\text{ V} - 100\text{ V} = 100\text{ V}$$

串联电阻的电流 $I_R = I_n$,其电阻值

$$R = \frac{U_R}{I_R} = \frac{U_R}{I_n} = \frac{100}{10^{-2}}\Omega = 10^4\Omega = 10\text{ k}\Omega$$

串联电阻消耗的功率

$$P_R = I_R^2 R = [(10^{-2})^2 \times 10^4]\text{ W} = 1\text{ W}$$

即串联电阻的电阻值为 $10\text{ k}\Omega$,额定功率应 $\geq 1\text{ W}$,故选电阻(4)。

1.3.4 图 1.1(a)(教材图 1.06)中已知 $U_{S1} = 6\text{ V}$, $U_{S2} = 9\text{ V}$, $R_1 = 20\Omega$, $R_2 = 30\Omega$, $R_3 = 180\Omega$, $R_4 = 270\Omega$, $R_5 = 470\Omega$ 。试用电源模型等效互换的方法求电流 I_5 。

【解】 先将图 1.1(a)中 6 V 与 20Ω 串联、 9 V 与 30Ω 串联的电压源模型分别变换为 0.3 A 与 20Ω 并联、 0.3 A 与 30Ω 并联的电流源模型,如图 1.1(b)所示。然后将 20Ω 与 180Ω 、 30Ω 与 270Ω 的并联电阻分别用 18Ω 、 27Ω 的等效电阻代替,如图 1.1(c)所示。最后将 0.3 A 与 18Ω 并联、 0.3 A 与 27Ω 并联的电流源模型分别变换为 5.4 V 与 18Ω 串联、 8.1 V 与 27Ω 串联的电压源模型,如图 1.1(d)所示。于是可得

$$I_5 = \frac{8.1 + 5.4}{470 + 27 + 18}\text{ A} = 26.2\text{ mA}$$

1.4.2 图 1.2(教材图 1.08)中,设硅二极管导通时的正向压降为 0.7 V ,试求当开关 S 分别接通“1”、“2”、“3”时的 a 点电位 V_a 和电流 I_{D1} 、 I_{D2} ,并指出各个二极管是导通还是截止。

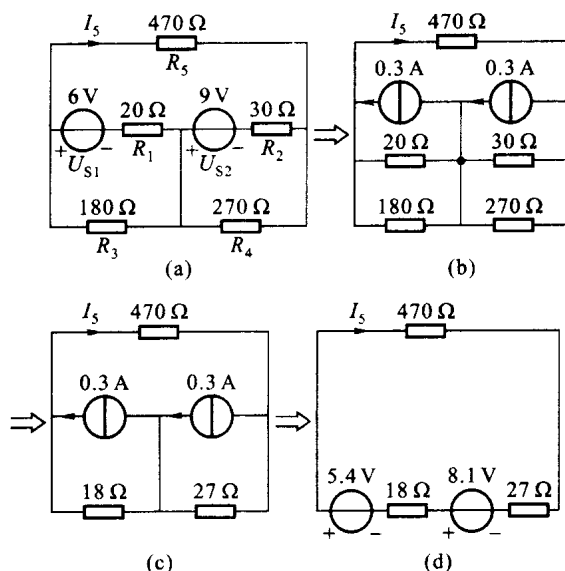


图 1.1 习题 1.3.4 的电路

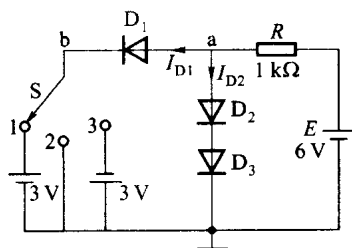


图 1.2 习题 1.4.2 的电路

【解】 在具有二极管的电路中,二极管的导通条件是阳极电位比阴极电位高 0.7 V (硅管),在图 1.2 中, D_1 与 D_2 、 D_3 是共阳极联接(阳极都接于 a 点),则判断其导通与否应分析阴极电位是哪一个低。现 D_3 阴极为固定 0 电位, D_2 、 D_3 导通时 a 点电位为 1.4 V ,此时若 D_1 亦导通,则 D_1 的阴极电位为 0.7 V ,显见若 D_1