

高等学校教学参考书

电工学学习指导

秦曾煌 编



高等教育出版社

TMI

Q53-3

446433

高等学校教学参考书

电工学学习指导

秦曾煌 编



00446433

高等教育出版社

(京) 112号

0205 03

本书是根据秦曾煌主编的《电工学》(第四版)(上、下册)编写的一本学习指导书。全书分电工技术和电子技术两篇。每篇均逐章按“基本要求”、“阅读指导”和“解题示例”三个方面加以论述。

全书体现了编者几十年从事电工学教学工作丰富的教学经验,内容简明扼要,明确指出本课程的重点和难点内容,以及学生在学习中的疑难之处与错误概念。

本书是高等工业学校电工学课程的辅导教材,它与秦曾煌主编的《电工学》(第四版)配套。本书不仅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辅导用,也可供电工学教师教学参考用。

本书由哈尔滨船舶工程学院张保郁教授审阅。

图书在版编目(CIP)数据

电工学学习指导/秦曾煌编. —北京:高等教育出版社,
1994.10 (1999 重印)
ISBN 7-04-004891-4

I. 电… II. 秦… III. 电工学-高等学校,工科(教育)-教学参考资料 IV. TM1

中国版本图书馆CIP数据核字(96)第00512号

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

电 话 010—64054588 传 真 010—64014048

网 址 <http://www.hep.edu.cn>

经 销 新华书店北京发行所

印 刷 中国科学院印刷厂

开 本 850×1168 1/32 版 次 1994年10月第1版

印 张 7.5 印 次 1999年6月第6次印刷

字 数 190 000 定 价 7.60 元

凡购买高等教育出版社图书,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

电工学课程是高等工业学校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,并且日益渗透到其它学科领域以促进其发展,在我国当前经济建设中占有重要的地位。本课程的作用与任务是:使学生通过本课程的学习,获得电工和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和我国电工和电子事业发展的概况,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。为了适应科学技术的发展水平和非电专业的用电需要,本课程在内容安排上,着重在电路与电子技术两部分。对于电机部分的内容则作了较大精简。

本书是高等工业学校电工学课程的辅导教材,它与秦曾煌主编的《电工学》(第四版)(上、下册)配套,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辅导用,也可供电工学教师教学参考用。本书分电工技术和电子技术上、下两篇,每篇均逐章按基本要求、阅读指导和解题示例三个方面论述。

基本要求是对学生学习各章主要内容所提出的要求:何者要理解或掌握,何者能分析计算,何者会正确应用,何者只须一般了解。

阅读指导是编者对教材各章各节的扼要说明和提出的学习意见:哪些内容是重点或难点,有些内容应如何安排处理和提出学习方法,指出学生在学习中的疑难之处、错误概念和应注意的问题,也补充一些加宽内容。

解题示例是指导学生如何解题。解题前,要对所学内容基本理解;解题时,要看懂题意,注意分析,用哪个理论和公式以及解题

目 录

前言	I
绪论	1
上篇 电工技术	2
第一章 电路的基本概念与基本定律	2
第二章 电路的分析方法	10
第三章 正弦交流电路	27
第四章 三相电路	50
第五章 非正弦周期电流的电路	57
第六章 电路的暂态分析	62
第七章 磁路与铁心线圈电路	82
第八章 异步电动机	96
第九章 同步电机	110
第十章 直流电机	114
第十一章 控制电机	120
第十二章 继电器接触器控制系统	125
第十三章 工业企业供电与安全用电	131
第十四章 电工测量	132
下篇 电子技术	138
第十五章 半导体二极管和三极管	138
第十六章 基本放大电路	145
第十七章 集成运算放大器	173
第十八章 正弦波振荡电路	187
第十九章 直流稳压电源	192
第二十章 晶闸管和可控整流电路	200
第二十一章 门电路和组合逻辑电路	205
第二十二章 触发器和时序逻辑电路	223
第二十三章 模拟量和数字量的转换	231

绪 论

通过学习绪论,了解电能的优越性、电气化对我国社会主义经济建设的重大意义,以及电工、电子技术的发展概况。此外,就本课程的几个教学环节提出学习中应注意之点,使读者明确学习要求和学习方法。

上篇 电工技术

第一章 电路的基本概念与基本定律

一、基本要求

1. 了解电路模型及理想电路元件的意义;
2. 理解电压、电流正方向的意义;
3. 理解电路基本定律并能正确应用;
4. 了解电路的有载工作、开路与短路状态,并能理解电功率和额定值的意义;
5. 掌握分析与计算简单直流电路和电路中各点电位的方法。

二、阅读指导

本章着重讲述电压和电流的正方向、克希荷夫定律和电路中电位的概念及计算三个问题。其他内容都已在物理课中讲过,为了课程的系统性和用电技术的需要,仍编入教材中。但本课程在处理此内容上与物理课不同,是从工程观点来阐述的,不是简单的重复。对这些内容,在教师作适当概述、并指出内容要点和学习方法后,可自学或复习,以达到温故知新和承上启下的目的。

虽然本章内容比较简单,但却含有不少基本概念(如正方向、额定值、功率平衡、参考电位等),这些概念在学习物理时并未涉及,而对用电技术来讲是极为重要的。在教材中通过较多例题、习题和练习思考题使读者建立和加深这些概念。此外,在例题和习题中,也有较多的实际问题,使初学者理解理论联系实际是本课程的特点之一。

在初学本章时必须重视它的重要性(基本定律和基本概念),切勿因其“简单”而产生“电工学没啥学”的思想。

下面我们分节讨论。

1. 电路的作用与组成部分

电路分析是本课程的基础。首先要了解电路具有传输和转换电能以及传递和处理信号两种主要作用,并了解电路由电源(或信号源)、负载和中间环节三部分组成。书上举的电力系统和扩音机两例是常见的。这里要注意信号源与一般电源的区别。

2. 电路模型

什么是理想电路元件?就是将实际电路元件理想化,即在一定条件下突出其主要的电磁性质,而忽略其次要因素。由一些理想电路元件所组成的电路,就是实际电路的电路模型。理想电路元件(如电阻元件、电感元件、电容元件和电源元件等)分别由相应的参数来表征,用规定的图形符号来表示。今后分析的都是指电路模型,简称电路。

3. 电路的基本物理量及其正方向

要分析电路,首先要讨论电路的几个基本物理量。电流、电压和电动势这几个物理量都已在物理课中讲过。本节着重讨论它们的正方向。正方向是一种分析方法,也是一个对初学者不好理解的新概念。在以后有关章节中根据不同情况还要进一步讨论正方向,反复巩固,才能深入理解。

在分析与计算电路时,要规定电流、电压和电动势的方向:

电流的方向规定为正电荷运动的方向或负电荷运动的相反方向;

电压的方向规定为由高电位端指向低电位端,即为电位降低的方向;

电源电动势的方向规定为在电源内部由低电位端指向高电位端,即为电位升高的方向。

上述规定的方向,通常作为它们的实际方向。

电路中电流和电压的方向是客观存在的。但在分析较为复杂的直流电路时,往往难于事先判断某支路中电流和电压的实际方

向;对交流讲,其方向随时间而变,在电路图上也无法用一个箭头来表示它们的实际方向。为此,在分析与计算电路时,常可任意选定某一方向作为电流或电压的正方向,或称为参考方向。所选的正方向不一定与实际方向一致。当所选的正方向与电流或电压的实际方向一致时,则电流或电压为正值;反之,则为负值。因此,在正方向选定之后,电流或电压之值才有正负之分。

上述关系清楚地表示在教材图 1-6 的电路中。注意:今后电路图上所标的都是电压和电流的正方向;同时,必须标出它们的方向,方可分析计算。

4. 欧姆定律

欧姆定律在物理课中早就学过,它是电路的基本定律之一,但在本教材中处理这个定律时并不是简单重复过去所讲的内容,而是通过它进一步加深对电压、电流正方向的理解。要注意两点:第一,应用欧姆定律列式子时,首先要在电路图上标出电流、电压或电动势的正方向,当电压和电流的正方向选得相反时,表达式须带负号(图1.1);第二,在正方向选定之后,电压和电流本身有正值或负值。所以这里有两套正负号。例如,在图 1.2 所示的电路中,上

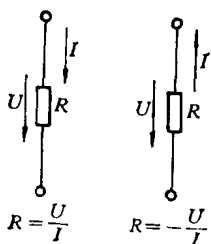


图 1.1 欧姆定律

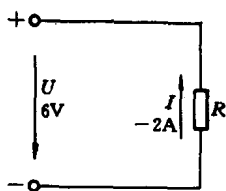


图 1.2 电压和电流的正方向

端为正(电位高),下端为负(电位低)。电压 U 的正方向与其实际方向一致,故为 $6V$; 电流 I 的正方向与其实际方向相反,故为

-2 A。这是电压和电流本身有正值和负值。此外,图中 U 和 I 的正方向相反,故应用欧姆定律列式子时得出:

$$R = -\frac{U}{I}$$

将电压和电流值代入,则得

$$R = -\frac{U}{I} = -\frac{6}{-2} = 3\Omega$$

5. 电路的有载工作状态、开路与短路

本节分别讨论电路有载工作、开路与短路这三种状态在电压、电流和功率方面的特征,在这里应了解下面几个问题。

(1) 功率的平衡

在一个电路中,电源产生的功率与负载取用的功率、电源内阻和线路电阻上所损耗的功率是平衡的(教材例 1-3 和习题 1-1)。

(2) 电源与负载

根据电路图中电压和电流的实际方向可确定某一电路元件是电源(或处于电源状态)还是负载(或处于负载状态),在图 1.3 中, U 和 I 的正方向即为实际方向:

电源 U 和 I 的实际方向相反,电流从“+”端流出,发出功率;

负载 U 和 I 的实际方向相同,电流从“+”端流入,取用功率。

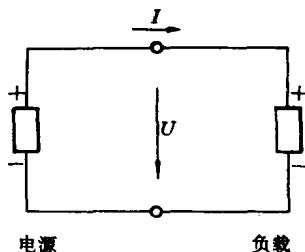


图 1.3 由 U 和 I 的实际方向确定电源与负载

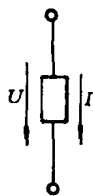


图 1.4 由 U 和 I 的正方向确定电源与负载

也可由 U 和 I 的正方向来确定电源与负载, 如果两者的正方向选得一致时, 如图 1.4 所示, 则

电源 $P = UI$ (负值)

负载 $P = UI$ (正值)

如果 U 和 I 的正方向选得相反时, 则电源的功率为正值, 负载为负值。

(3) 额定值与实际值

各种电器设备的电压、电流和功率都有一个额定值, 额定值是制造厂为了使产品能在给定的工作条件下正常运行而规定的正常容许值。

使用时的实际值不一定等于额定值。

一个原因是受到外界的影响。例如电源额定电压为 220 V, 但电源电压经常波动, 稍低于或稍高于 220 V, 这样, 额定值为 220 V、40 W 的电灯上实际所加的电压不是 220 V, 实际功率也就不等于 40 W 了。

另一个原因是, 在一定电压下电源输出的功率和电流决定于负载的大小, 就是负载需要多少功率和电流, 电源就给多少, 所以电源通常不一定处于额定工作状态。这是一个很重要的概念^①。对于电动机也是这样, 它的实际功率和电流也决定于它轴上所带的机械负载的大小, 不一定处于额定工作状态。

(4) 电源的开路与短路

电源的开路(教材图1-18)与短路(教材图1-19)这两种状态可作为分析电路的一种手段, 在后面章节中常碰到。主要概念是:

电源开路时, $I = 0, U = U_0 = E$;

电源短路时, $U = 0, I = I_s = \frac{E}{R_0}$ 。

6. 克希荷夫定律

(1) 克希荷夫电流定律, $\sum I = 0$, 反映了汇合到电路中任一

^① 见教材练习思考题 1-5-1(5) 和 1-5-3。

节点的各支路电流间相互制约的关系。其实质是电流连续性原理,即在任何一个无限小的时间间隔内,流向节点的电荷必然等于由节点流出的电荷,在节点上不能堆积电荷。

克希荷夫电流定律通常应用于节点,也可以推广应用于包围部分电路的任一假设的闭合面,见教材例1-7。

(2) 克希荷夫电压定律, $\sum U=0$, 反映了一个回路中各段电压间相互制约的关系。其实质是电位单值性原理,即在任一瞬时,从回路中任意一点出发,沿回路循行一周,电位升之和必然等于电位降之和,回到出发点时,该点的电位不会发生变化。

克希荷夫电压定律除应用于闭合回路外,也可以推广应用于回路的部分电路,见教材例1-8。

(3) 克希荷夫定律具有普遍适用性,可用于:任一瞬时对任何变化的电压和电流,也可适用于由各种不同元件所构成的电路。

(4) 应用克希荷夫定律列式子时,也先要在电路图上标出电流、电压或电动势的正方向。因为式子各项前的正负号是由它们的正方向确定的。如果正方向选得相反,则会相差一个负号。

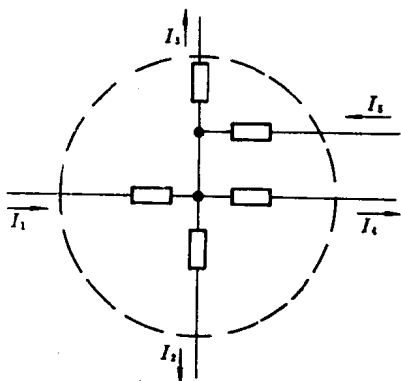


图 1.5 例题

例如对教材【练习与思考】1-6-2 的图 1-30,即本书图 1.5,应用克希荷夫电流定律根据电流的正方向可列出

$$I_1 - I_2 - I_3 - I_4 + I_5 = 0$$

此外,电流或电压本身在正方向选定之后也有正值与负值之分。因此,式中有两套正负号。例如在图 1.5 中,已知 $I_1=4\text{A}$, $I_2=-2\text{A}$, $I_3=1\text{A}$, $I_4=-3\text{A}$,求 I_5 。于是可写出

$$4 - (-2) - 1 - (-3) + I_5 = 0 \quad I_5 = -8 \text{ A}$$

得出 I_5 为负值, 这表示它的实际方向与图 1.5 中的正方向相反。

克希荷夫定律是电路的基本定律, 必须深刻理解和熟练应用。

7. 电路中电位的概念及计算

这一节是为电子电路打基础的。

在一个电路中, 如果指定某一点为参考点, 设其电位为零, 则其他各点的电位才可用数值来表示其高低。比参考零电位高的为正, 比它低的为负。正数值愈大则电位愈高, 负数值愈大则电位愈低。如果参考点选得不同, 则各点电位的数值也随之而异; 但任何两点间的电压值是不变的。

此外, 要看懂像教材图 1-39(a) 那种电路。图上虽然没有标出零电位参考点, 但实际上就是图 1-39(b) 的电路。

三、解题示例

例 1.1 在图 1.6 中, 已知 $I_1 = 3 \text{ mA}$, $I_2 = 1 \text{ mA}$ 。试确定电路元件 3 中的电流 I_3 和其两端电压 U_3 , 并说明它是电源还是负载。校验整个电路的功率是否平衡。[教材习题 1-2]

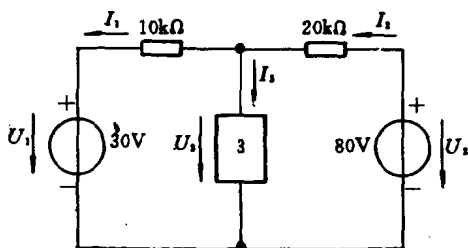


图 1.6 例 1.1 的图

解: 根据克希荷夫电流定律列出

$$-I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

$$-3 + 1 - I_3 = 0$$

得

$$I_3 = -2 \text{ mA}$$

根据克希荷夫电压定律可得

$$U_3 = 30 + 3 \times 10^{-3} \times 10 \times 10^3 = 60 \text{ V}$$

其次确定电源还是负载:

(1) 从电压和电流的实际方向判别:

电路元件 3 电流 I_3 从“+”端流出, 故为电源;

80V 元件 电流 I_2 从“+”端流出, 故为电源;

30V 元件 电流 I_1 从“+”端流入, 故为负载。

(2) 从电压和电流的正方向判别:

电路元件 3 U_3 和 I_3 的正方向相同 $P = U_3 I_3 = 60 \times (-2) \times 10^{-3} = -120 \times 10^{-3} \text{ W}$ (负值), 故为电源;

80V 元件 U_2 和 I_2 的正方向相反 $P = U_2 I_2 = 80 \times 1 \times 10^{-3} = 80 \times 10^{-3} \text{ W}$ (正值), 故为电源;

30V 元件 U_1 和 I_1 的正方向相同 $P = U_1 I_1 = 30 \times 3 \times 10^{-3} = 90 \times 10^{-3} \text{ W}$ (正值), 故为负载。

两者结果一致。

用电路的功率平衡校验(不计功率正负值):

电源发出功率

$$P = 80 \times 1 \times 10^{-3} + 60 \times 2 \times 10^{-3} = 200 \times 10^{-3} \text{ W}$$

负载取用和电阻上损耗的功率

$$\begin{aligned} P &= 30 \times 3 \times 10^{-3} + (3 \times 10^{-3})^2 \times 10 \times 10^3 + (1 \times 10^{-3})^2 \times 20 \times 10^3 \\ &= 90 \times 10^{-3} + 90 \times 10^{-3} + 20 \times 10^{-3} = 200 \times 10^{-3} \text{ W} \end{aligned}$$

两者平衡。

例 1.2 电路如图1.7所示。已知 $E_1 = 6 \text{ V}$, $E_2 = 4 \text{ V}$, $R_1 = 4 \Omega$, $R_2 = R_3 = 2 \Omega$ 。求A点电位 V_A 。

解:
$$I_1 = I_2 = \frac{E_1}{R_1 + R_2} = \frac{6}{4 + 2} = 1 \text{ A}$$

$$I_3 = 0$$

$$V_A = I_3 R_3 - E_2 + I_2 R_1$$

$$= 0 - 4 + 1 \times 2 = -2 \text{ V}$$

或

$$V_A = I_3 R_3 - E_2 - I_1 R_1 + E_1$$

$$= 0 - 4 - 1 \times 4 + 6 = -2 \text{ V}$$

例 1.3 在图1.8中, 求A点电位 V_A 。[教材习题 1-20]

解:
$$I_1 - I_2 - I_3 = 0 \quad (1)$$

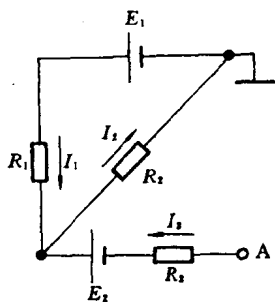


图 1.7 例 1.2 的图

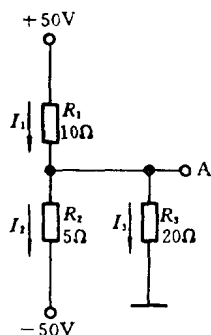


图 1.8 例 1.3 的图

$$I_1 = \frac{50 - V_A}{10} \quad (2)$$

$$I_2 = \frac{V_A - (-50)}{5} \quad (3)$$

$$I_3 = \frac{V_A}{20} \quad (1)$$

将(2)、(3)、(4)式代入(1)式,得

$$\frac{50 - V_A}{10} - \frac{V_A + 50}{5} - \frac{V_A}{20} = 0$$

$$V_A = -14.3\text{V}$$

第二章 电路的分析方法

一、基本要求

1. 掌握用支路电流法、叠加原理和戴维南定理分析电路的方法;
2. 理解实际电源的两种模型及其等效变换;
3. 了解非线性电阻元件的伏安特性及静态电阻、动态电阻的概念,以及简单非线性电阻电路的图解分析法。

二、阅读指导

本章从电阻串并联连接的等效变换开始,因为电阻的串并联最为常见,用电阻串并联等效变换的方法将一个电路化简为单回路

电路, 计算极为简便。不能用电阻串并联等效变换法化简的, 才根据不同电路结构要用后面所讲的几种分析方法。在这些分析方法中, 支路电流法最为基本, 是直接应用克希荷夫两个定律列出联立方程求解; 叠加原理和戴维南定理是重点, 在本课程中常用到。

本章的难点是电流源和理想电流源, 它比较生疏, 不像电压源那样熟悉和具体。首先, 要建立电流源和理想电流源的概念, 如何来分析它的电压、电流和功率。在本章第三节就引出电流源, 这样, 在应用后面各种方法时, 电路中就可以同时出现电压源和电流源, 比较全面。

在本章之末列入非线性电阻电路一节, 其目的: 一是给读者完整的知识, 知道有线性电阻和非线性电阻之分; 二是早些建立非线性的概念, 以备后用。

1. 电阻串并联接的等效变换

虽然这一节内容早在物理课中学过, 但是还要注意下面几个问题。

(1) 从电路结构上讲, 所谓几个电阻(或其他元件)串联, 就是它们一个联一个, 其中通过同一电流; 所谓几个电阻(或支路)并联, 就是它们联在两个公共节点之间, 其上受到同一电压。通过教材习题2-1、2-3及2-4, 看懂电阻的串联与并联。

(2) 几个串联电阻或几个并联电阻可以用一个等效电阻来代替。“等效”的概念很重要, 是分析电路的一种方法, 在本课程中常用到。所谓等效(例如等效电阻、等效电源、等效电路等), 就是在一定条件下, 两种不同的事物在某些方面具有相等的效果。

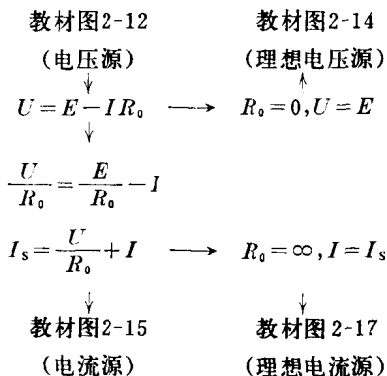
(3) 电阻串联起分压作用, 电阻并联起分流作用。教材式(2-2)和式(2-5)分别为两个电阻串联的分压式子和两个电阻并联的分流式子。这两个式子在分析与计算电路时很有用处, 应牢记。

(4) 有时不需要精确计算, 只要求估算。阻值相差很大的两个电阻串联, 小电阻的分压作用常可忽略不计; 阻值相差很大的两

个电阻并联,大电阻的分流作用常可忽略不计。见教材例2-3、【练习与思考】2-1-1。

2. 电压源与电流源及其等效变换

(1) 从电压源引出电流源



(2) 任何一个实际电源都可以等效为电压源或电流源这两种电路模型,两者对外部电路也是等效的,这反映在两者的外特性是一样的。但对电源内部,则是不等效的,见教材例2-6。至于理想电压源和理想电流源,它们是不等效的。教材表2-1是将电压源和电流源作一对照。

理想电压源和理想电流源实际上并不存在,只是抽象出来的一种元件模型。不过,当电源内阻 R_0 与负载电阻 R_L 相比, $R_0 \ll R_L$ 时, $U \approx E$,电压基本上恒定,可以认为是理想电压源;反之,当 $R_0 \gg R_L$ 时, $I \approx \frac{E}{R_0}$,电流基本上恒定,可以认为是理想电流源。

(3) 对理想电压源和理想电流源必须分别建立恒压和恒流的概念。教材【练习与思考】2-3-2和2-3-3就是要解决这个问题。在教材图2-24(a)中,与理想电压源并联电阻 R_1 后并不影响外电路电阻 R_2 上的电压 U_2 和电流 I_2 ,只是改变了理想电压源中的电流 I 。在教材2-24(b)中,与理想电流源串联电阻 R_1 后也并不影响流过 R_2 的电流和其上电压,只是改变了理想电流源上的电压 U 。