

● 高等学校教学参考书

电工学 教学参考

● 秦曾煌 编

● 高等教育出版社

本书是编者根据本人主编的《电工学》(1981年修订本)(上、中、下册)写成的一本教学法指导书。全书分电路与磁路、电子技术以及电机与控制三大部分。每一部分均逐章按“基本要求”、“教材剖析”、“解题指导”、“讲课时数”以及“参考内容”等五方面加以论述。

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,文字通顺,插图清晰。

本书可供各类高等学校电工学教师,尤其是青年教师在教学中参考。

本书责任编辑 王缉惠

高等学校教学参考书

电工学教学参考

秦曾煌 编

*

高等教育出版社出版

新华书店北京发行所发行

人民教育出版社印刷厂印装

*

开本 850×1168 1/32 印张 5.25 字数 127,000

1984年8月第1版 1985年4月第1次印刷

印数 00,001—17,900

书号 15010·0640 定价 1.20 元

前 言

本书是根据编者本人主编的《电工学》(1981年修订本)(上、中、下册)编写的,可供电工学教师(主要是青年教师)教学参考用。本书各章分为基本要求、教材剖析、解题指导、讲授学时和参考内容五个方面。

基本要求是对学生学习各章主要内容所提出的要求:何者要深刻理解,何者能分析计算,何者会正确应用,何者只须一般了解。供教学参考。

教材剖析是编者对教材各章各节的说明和提出的处理意见:哪些内容是重点和难点,有些内容应如何安排处理,教师和学生应注意的问题,以及教学方法的建议等。

解题指导是指导学生如何解题,其中也包括习题中个别难题的题解。本课程一般不设习题课,但可结合讲课在重要章节中举些典型例题进行分析计算。至于布置学生做多少题,建议选做教材每章习题的 $1/3\sim 1/2$ 。

讲授学时是根据一般教师的讲课进度提出的建议时数。如果教学方法讲究,内容处理得当,讲授学时还可以少些。此外,从培养学生能力出发,在教师指导下应多让学生自学,也可以适当进行一些课堂讨论。改进教学方法和加强学生自学,不仅可以提高教学质量,也可以减轻“内容多,学时少”的矛盾,甚至可以减少课程学时数。

参考内容不是给学生,而是给教师参考的。这些内容都直接与《电工学》有关。它包括下列两项内容:教材某些内容的补充说明和学生可能会问的问题。

当前各校使用的由编者主编的《电工学》是1981年修订的,不

妥之处甚多。就其内容来说,极待更新,要更好地反映当前电工、电子技术的发展水平;就其对专业来说,应加强针对性,要更好地符合非电专业的用电需要。所以建议在使用该教材时可以根据实际情况对教材内容作适当删减和补充。

本书承大连工学院蒋德川教授审阅,提出了宝贵的修改意见,深表谢忱。

编 者

1984年3月

目 录

前言	1
绪论	1

第一部分 电路与磁路

第一章 电路的基本概念与基本定律	1
第二章 电路的分析方法	8
第三章 正弦交流电路	19
第四章 三相电路	37
第五章 非正弦周期电流的电路	44
第六章 电路的暂态分析	48
第七章 磁路与铁心线圈电路	61

第二部分 电子技术

第八章 半导体二极管和三极管	74
第九章 交流放大电路	81
第十章 场效应管放大电路	100
第十一章 直流放大电路和运算放大器	102
第十二章 正弦波振荡电路	111
第十三章 脉冲数字电路	115
第十四章 整流电路和直流稳压电源	131
第十五章 可控硅整流电路	137

第三部分 电机与控制

第十六章 异步电动机	140
第十七章 同步电机	154
第十八章 直流电机	156
第十九章 控制电机	160
第二十章 控制电器与控制系统	160

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现代化建设的重大意义,以及电工技术和我国电气事业的发展情况。此外,教师要介绍本课程的目的与任务、基本内容、与本专业的关系和学习方法,使学生明确学习目的与要求。

第一部分 电路与磁路

第一章 电路的基本概念与基本定律

一、基本要求

1. 能正确应用电路的基本定律;
2. 理解电压、电流正方向的意义;
3. 了解电路的有载工作、开路与短路状态和额定值的意义;
4. 能分析与计算简单直流电路和电路中各点的电位。

二、教材剖析

本章着重讲授电压和电流的正方向、克希荷夫定律和电路中电位的计算三个问题。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。但本课程在处理这些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。对这些内容可让学生自学或复习,以达到温故知新和承上启下的目的。考虑到讲授的系统性和自学效果,凡是要学生通过自学掌握的内容,教师应作适当概述,并指出内容要点和学习方法。

虽然本章内容比较简单，但却含有不少基本概念(如正方向、等效、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很重要的。在教材中通过较多例题、习题和练习思考题使学生建立和加深这些概念。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。在讲授本章时，要启发学生学习的兴趣，不要让他们产生“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。首先使学生了解电路的两种作用和组成电路的三个部分，举的例是常见的。这里要注意信号源与一般电源的区别。

2. 电路的基本物理量

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。在本节中只是说明什么是正方向，为什么要用正方向，在正方向选定以后，电流或电压之值才有正负之分。在以后有关章节(欧姆定律、电路的分析方法、正弦交流电路、三相电路、交流铁心线圈电路和变压器等)中根据不同的情况还要进一步讨论正方向，反复巩固，才能使學生深入理解。

3. 欧姆定律

欧姆定律在物理课中早就学过，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。要学生注意两点：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；第二、在正方

向选定之后,电压和电流本身有正值和负值。例如,应用欧姆定律对图 1.1^①的电路列式子时得出:

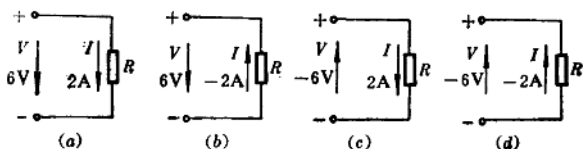


图 1.1 电压和电流的正方向

$$\text{图 1.1a} \quad R = \frac{V}{I} = \frac{6}{2} = 3 \text{ 欧}$$

$$\text{图 1.1b} \quad R = -\frac{V}{I} = -\frac{6}{-2} = 3 \text{ 欧}$$

$$\text{图 1.1c} \quad R = -\frac{V}{I} = -\frac{-6}{2} = 3 \text{ 欧}$$

$$\text{图 1.1d} \quad R = \frac{V}{I} = \frac{-6}{-2} = 3 \text{ 欧}$$

4. 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,学生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(例 1-3 和习题 1-1)。

(2) 电源与负载

由图 1.2, 根据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):

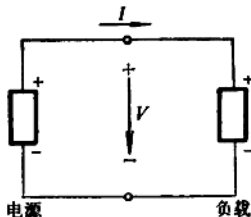


图 1.2 电源与负载

^① 为了区别图号,教材上的图号用“教材图×-×”,本书的图号用“图×.×”,下同。

电源 V 和 I 的实际方向相反, 电流从“+”端流出, 发出功率;

负载 V 和 I 的实际方向相同, 电流从“+”端流入, 取用功率。

上述关于确定电路元件是电源还是负载的方法, 在第二章讨论电流源(习题 2-6、2-7)和第三章讨论单一参数交流电路的能量转换时都要用到。

(3) 额定值与实际值

额定值是一个重要的概念。各种电气设备使用时的实际值(电压、电流和功率等)不一定等于它们的额定值。

一个原因是受到外界的影响。例如电源额定电压为 220 伏, 但它经常波动, 于是额定值为 220 伏、40 瓦的电灯的实际功率也就不等于 40 瓦了。

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, 也就是负载需要多少功率和电流, 电源就给多少, 所以通常电源不一定处于额定工作状态。这是一个很重要的概念。对电动机讲也是这样, 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

电源的开路与短路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, $I=0, V=V_0=E$;

电源短路时, $V=0, I=I_s=\frac{E}{R_0}$ 。

5. 克希荷夫定律

(1) 克希荷夫电流定律, $\Sigma I=0$, 反映了汇合到电路中任一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。克希荷夫电流定律可以推广应用于包围部分电路的任一假设的闭合面。

(2) 克希荷夫电压定律， $\Sigma V=0$ ，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，该点的电位是不会发生变化的。克希荷夫电压定律可以推广应用于开口回路。

(3) 克希荷夫定律具有普遍适用性：任一瞬时；任何变化的电压和电流；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压、电流和电动势的正方向。因为式子各项前的正负号是由它们的正方向确定的。而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。

6. 电阻的串联与并联

虽然这一节内容早在物理课中学过，但是还要学生注意下面几个问题。

(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【练习与思考】1-6-4、习题 1-12、1-15 及 1-16，看懂电阻的串联和并联。

(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、等效电路、等效电源等)，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) 电阻串联起分压的作用，电阻并联起分流的作用。式(1-

18) 和式 (1-21) 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, 应熟记。

(4) 工程计算和分析中, 常常不需要精确计算, 只要求估算。阻值相差很大的两个电阻串联, 小电阻的分压作用可以忽略不计; 阻值相差很大的两个电阻并联, 大电阻的分流作用可以忽略不计。

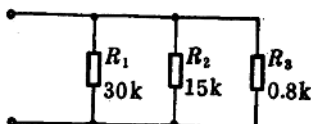


图 1.3 电阻并联

例如图 1.3 所示的电路, 等效电阻为 R , 即

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{30} + \frac{1}{15} + \frac{1}{0.8} = 1.35$$

$$R = \frac{1}{1.35} = 0.79 \text{ 千欧} \approx R_3$$

可见, 当 $R_1 \gg R_3$, $R_2 \gg R_3$ 时, R_1 和 R_2 的分流作用可以忽略不计。

7. 电路中电位的计算

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, 则各点的电位数值也随之而异; 但任何两点间的电压值是不变的。这些问题很重要, 要讲清楚。

此外, 要指导学生看懂象教材图 1-41a 那种电路, 并会分析当电路中某个电阻的阻值变化时, 各点电位高低的变化情况(例如教材【练习与思考】1-7-3)。

三、解题指导

【习题 1-14】

电路如教材图 110 所示。

a 挡:

$$V_{2a} = V_1 = 16 \text{ 伏}$$

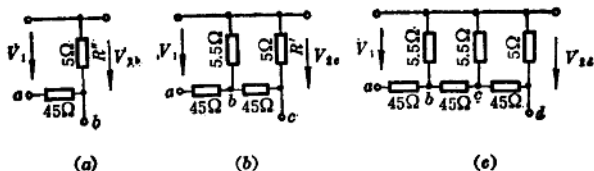


图 1.4 习题 1-14

b 挡: 由图 1.4 先求等效电阻 R'

$$R' = \frac{(45+5) \times 5.5}{(45+5) + 5.5} = \frac{275}{55.5} = 5 \text{ 欧}$$

同样可求得 $R'' = 5 \text{ 欧}$

于是由图 1.4a 可求 V_{2b} , 即

$$V_{2b} = \frac{V_1}{45+5} \times 5 = \frac{16}{50} \times 5 = 1.6 \text{ 伏}$$

c 挡: 由图 1.4b 可求 V_{2c} , 即

$$V_{2c} = \frac{V_{2b}}{45+5} \times 5 = \frac{1.6}{50} \times 5 = 0.16 \text{ 伏}$$

d 挡: 由图 1.4c 可求 V_{2d} , 即

$$V_{2d} = \frac{V_{2c}}{45+5} \times 5 = \frac{0.16}{50} \times 5 = 0.016 \text{ 伏}$$

【习题 1-23】

电路如教材图 119 所示。

(1) 开关 K 断开时

先求电流,

$$I = \frac{12 - (-12)}{20 + 3.9 + 3} = \frac{24}{26.9} = 0.89 \text{ 毫安}$$

再求 20 千欧电阻两端的电压,

$$V_{20} = 0.89 \times 20 = 17.8 \text{ 伏}$$

而后求 A 点电位 V_A ,

$$12 - V_A = 17.8 \quad V_A = 12 - 17.8 = -5.8 \text{ 伏}$$

(2) 开关 K 闭合时

20 千欧电阻两端的电压为

$$V_{20} = \frac{12-0}{20+3.9} \times 20 = 10.04 \text{ 伏}$$

A 点电位为

$$V_A = 12 - 10.04 = 1.96 \text{ 伏}$$

四、讲授学时

3 学时(包括绪论课)

第二章 电路的分析方法

一、基本要求

1. 学会分析与计算电路的几种方法,重点是叠加原理和戴维南定理;
2. 建立电压源和电流源的概念;
3. 了解非线性电阻电路的图解分析法,并要理解静态电阻和动态电阻的概念。

二、教材剖析

从非电类专业的需要考虑,电路的分析方法不必讲得过多,学会几种即可。其中以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;至于节点电压法和诺顿定理,如果学时较紧或者学生基础较差时,可以删去其中之一或全删去,删去后,除例题外,不影响教材后面的内容。

本章的难点是电流源和理想电流源,学生对它比较生疏,不象电压源那样熟悉和具体。首先,电流源的引出不能突然,要符合学生的认识规律。接着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。有些教师主张在本章开头就引出电流源,这样,在应用各种方法分析电路时,电路中就可以同时出现

电压源和电流源, 比较全面。这也可考虑。

在本章之末列入非线性电阻电路一节, 其目的: 一是给学生完整的知识, 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, 因为在铁心线圈电路就要遇到非线性的问题。本节也可以结合中册半导体器件来讲, 这样比较具体, 并和有关内容联系得更紧密些。

1. 支路电流法

简单扼要地讲清楚如何应用支路电流法即可:

- (1) 从所给电路图上找出支路 b 和节点 n 各有多少, 以支路电流为未知数, 共需列出 b 个方程;
- (2) 在电路图上标出电流和电压的正方向;
- (3) 先应用克希荷夫电流定律对节点列出 $n-1$ 个独立方程;
- (4) 再应用克希荷夫电压定律对网孔列出其余 $b-(n-1)$ 个独立方程。

网孔数恰好等于 $b-(n-1)$, 可从图 2.1 所举的几个例看出。

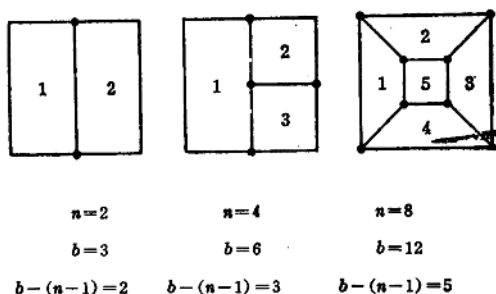


图 2.1 电路举例

2. 节点电压法

只须以二节点电路为例, 导出节点电压公式

$$V = \frac{\sum \frac{E}{R}}{\sum \frac{1}{R}}$$

说明其中 $\sum \frac{E}{R}$ 有正负号, 当 E 和 V 的正方向相反时取正号, 相同时取负号, 而与各支路电流的正方向无关。

至于具有三个节点的电路, 教材中举了例 2-5 来说明分析和计算的步骤。

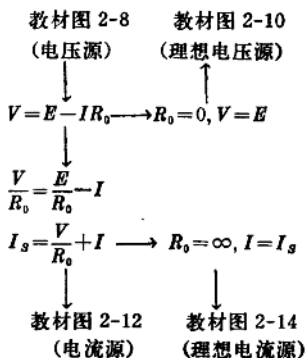
3. 叠加原理

从数学上看, 叠加原理就是线性方程的叠加性。由支路电流法和节点电压法得出的都是线性代数方程, 所以支路电流和节点电位等都可以用叠加原理来求解。但功率的计算就不能用叠加原理。在叠加过程中, 理想电压源不考虑时, 将它短路; 理想电流源不考虑时, 将它开路; 但电源内阻仍须保留。

叠加原理的重要性不在于应用它来计算复杂电路, 而在于它是分析线性电路的普遍原理, 在后面的非正弦周期电流的线性电路的分析和电路的暂态分析等章节中都要用到。

4. 电压源与电流源及其等效变换

(1) 从电压源引出电流源



教材图 2-9、2-11、2-13、2-15 的电源外特性和负载电阻伏安特性的相交图解分析法作为辅助说明，以加深理解。这可让学生自学。

(2) 任何电源都可以等效为电压源或电流源这两种形式，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。至于理想电压源和理想电流源，它们是不等效的。今列表 2.1 将电压源和电流源作一对照。

表 2.1 电压源和电流源的对照

电源 状态		电 压 源	电 流 源	理想电压源	理想电流源
		开路	V	E	$I_S R_0$
	I	0	0	0	0
短路	V	0	0	0	0
	I	$\frac{E}{R_0}$	I_S	∞	I_S
等效条件		$E = I_S R_0$ $\frac{E}{R_0} = I_S$		不 等 效	

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， $V \approx E$ ，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) 学生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。【练习与思考】2-4-2 和 2-4-3 就是要解决这个问题。在教材图 2-24a 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 V_2 和电流 I_2 ，只是改变了理想电压源中的电流

I 。在教材图 2-24b 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 V (学生常错误地认为理想电流源上的电压为零)。在教材图 2-25a 中, 理想电压源起决定作用, 而在教材图 2-25b 中, 理想电流源起决定作用。

(4) 判别电源处于电源状态还是负载状态的方法和本书第一章 1-4 节所讲的是一样的, 见教材例 2-12。

(5) 电压源与电流源的等效变换也是分析与计算电路的一种方法。

5. 等效电源定理

教材 2-4 节和 2-5 节是一气呵成的。任何电源都可以等效为电压源和电流源两种形式。因为有源二端网络可以简化为一个等效电源, 所以这个等效电源可以是电压源, 也可以是电流源。由此得出戴维南定理和诺顿定理两个等效电源定理。

戴维南定理是重点, 但不是难点, 关键是要计算等效电动势 E 和等效内阻 R_0 。是否需要证明? 我认为不必证明, 学生能正确应用就可以。

6. 非线性电阻电路

本节主要讨论三个问题:

- (1) 要区别线性电阻和非线性电阻;
- (2) 要区别非线性元件的静态电阻和动态电阻;
- (3) 非线性电阻电路的图解分析法。

三、解题指导

【习题 2-5】

电路如教材图 204 所示。

- (1) 开关 K 合在 a 点

这时电路如图 2.2a 所示, 是一个二节点的电路, 故可应用节点电压法,