

普通高等教育重点学科规划教材 电子信息
PUTONG GAODENG JIAOYU ZHONGDIAN XUEKE GUIHUA JIAOCAI
DIANZI XINXI

DIANGONG
JISHU
FUDAO
YU
SHIXI
JIAOCHENG

第 2 版

电工技术

辅导与实习教程

主编 骆雅琴 副主编 程卫群

中国科学技术大学出版社

• 普通高等教育重点学科规划教材 • 电子信息

电工技术辅导与实习教程

• 第2版 •

主 编 骆雅琴

副主编 程卫群

中国科学技术大学出版社

· 合 肥 ·

内 容 简 介

本书由“电工技术辅导”及“电工实习指导”两部分组成。“电工技术辅导”参照秦曾煌先生主编的《电工学》(上册)内容体系编写,其主要内容有:学习目标、内容综述、要点提示、应用扩展、典型题析、能力训练及试卷分析等。旨在帮助读者掌握课程重点,学会分析方法,拓宽知识视野,提高解决实际工程问题的能力。“电工实习指导”是针对实习内容——可编程控制器而编写的,通过实习帮助学生提高技术综合和实践创新能力。

本书可作为高等院校本科非电类各专业学生学习电工学的辅导教材和实习用书,也可供有关教师教学参考。

图书在版编目(CIP)数据

电工技术辅导与实习教程/骆雅琴主编.—2版.—合肥:中国科学技术大学出版社,2008.2
ISBN 978-7-312-01432-1

I. 电… II. 骆… III. 电工技术—高等学校—教学参考资料 IV. TM

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第002158号

责任编辑:张善金

出版者:中国科学技术大学出版社

地址:合肥市金寨路96号 邮编:230026

网址:<http://www.press.ustc.edu.cn>

电话:发行部 0551-3602905 邮购部 3602906

E-mail:发行部 press@ustc.edu.cn

印刷者:合肥学苑印务有限公司

发行者:中国科学技术大学出版社

经销者:全国新华书店

开本:787mm×1092mm 1/16

印张:17

字数:426千

版次:2004年2月第1版 2008年2月第2版

印次:2008年2月第2次印刷

印数:4001—9000

定价:24.00元

第2版前言

《电工技术辅导与实习教程》是普通高等教育重点学科规划教材之一。自2004年2月第1版出版以来,受到广大学生和教师的欢迎。经过4年的使用,实践证明《电工技术辅导与实习教程》的编写思路符合读者的认知规律,编写内容满足电工学教学的需要,实现了本书的编写目标。《电工技术辅导与实习教程》不仅在帮助学生学习电工技术和进行电工技术实习方面起到了积极的作用,而且也教师从事教学、教学研究和教学改革带来了很大的方便。

但是由于本书第1版的编写过于匆忙,致使书中存在一些错误,为继续发挥本书在教学实践中的作用,以适应高等学校“电工学”课程教学和广大学生学习“电工学”的需要,我们在总结第1版编写经验的基础上,结合近几年来教学改革实践和学科发展提出的新问题,重新编写了《电工技术辅导与实习教程》第2版,奉献给广大读者。

《电工技术辅导与实习教程》第2版基本保留了第1版的编写体系和风格,重新编写和修订的内容主要有:

(1) 本书第1版的第11章“电工测量与实验”的有关内容,已归编到《电工实验教程》。为避免重复,本书第2版删去了这部分内容。

(2) 本书第2版的第11章改编为“试卷分析与新编试卷及评分标准”。本章保留了第1版的5套“试卷分析”,增加了两套我校近两年的本科期末试卷。这两套试卷的标准答案和评分标准也一并给出,以利于学生备考复习时使用。“电工学”考试时间均为120分钟,新增两套试卷时间为100分钟,20分钟做实验理论试卷。《电工实验教程》收编了实验理论考试的几套样卷,本书试卷不反映这一内容。

(3) 我们对书中的所有题目进行了重新演算,修订错误,对个别难题重新编写,以突出教学重点,满足基本要求。

本书第2版由骆雅琴担任主编,负责全书的编写策划、组织、修订统稿等工作;程卫群担任副主编,负责“电工实习指导”部分的编写及修订工作。

参加本书第2版上篇修订编写工作的有：骆雅琴、周红、周春雪、唐得志、郑睿等。参加本书第2版下篇修订编写工作的有：程卫群等。

本书在编写、出版和使用过程中得到了安徽工业大学电气信息学院、安徽工业大学教务处及相关同志的大力支持，我们对支持和帮助过本书编写与出版的同志们表示衷心的感谢！

此外，本书在编写和修订过程中，我们还参阅了大量的国内外相关文献、资料和书籍，特别是秦曾煌先生的《电工学》（第六版），在此特向所有参阅文献的作者一并致谢。

由于编者的水平和经验有限，时间仓促，书中难免有疏漏和不妥，甚至是错误之处，敬请同行专家和读者批评指正。

骆雅琴

2008年1月8日于安徽工业大学

第1版前言

为适应高等学校“电工学”课程改革和广大学生学习本课程的需要，我们在总结了长期从事教学研究和教学改革的实践经验后，编写了这本《电工技术辅导与实习教程》。以帮助读者在学习电工学课程时，学懂基本内容、理解基本概念、掌握基本分析方法、提高分析问题和解决问题的能力。

本书分上、下两篇。上篇“电工技术辅导”，参照秦曾煌先生主编的《电工学》（上册）的内容体系编写。《电工学》上册中标有“△”号和“*”号的章节是选讲内容，故本书未涉及。《电工学》（上册）中的可编程控制器内容放入下篇“电工实习指导”；电工测量的部分内容已放入《电工技术实验教程》、《电子技术实验教程》（中国科学技术大学出版社），本书只作补充。

本书每章基本按学习目标、内容综述、要点提示、应用扩展、典型题析、能力训练六项内容编写。其中“学习目标”是根据高等学校“电工学”课程教学基本要求提出；“内容综述”则是先用框图将每章基本内容相互联系起来，以帮助读者整合零散的知识，然后再简述其基本知识点；“要点提示”是重点提醒；“扩展应用”则是扩展知识面；由于“电工学”课程内容多，学时少，无法安排更多的习题课，不能满足学生的学习需要，因此用本书的“典型题析”来给予弥补；为了帮助学生开拓视野，熟悉各类题型，提高解题能力，本书在各章的“能力训练”部分设计了一定数量的习题和电工学领域中的一些实际问题，要求读者自行独立完成。

下篇“电工实习指导”是针对“可编程控制器”的基本内容，按实习要求从理论和实践两方面系统地、简要地编写的。通过几年的教学实践证明，电工实习能让非电类各专业学生在较短的时间内，基本掌握可编程控制器的使用方法。

本书还编入了近年来我校本科学生期末试卷分析，以供读者参考。

参加本书上篇编写工作的有：骆雅琴（执笔第1，2，6，7章）、吴燕君（执笔第3章）、杜培明（执笔第4，5章）、周红（执笔第8章）、王培珍（执笔第9，10章）、郭华（执笔第11章）、戴慧洁、周春雪（执笔试卷分析）。

参加本书下篇编写工作的有：程卫群、孙金明、施小明。

本书由骆雅琴担任主编，负责全书的编写策划、组织、统稿等工作；程卫群担

任副主编，负责“电工实习指导”部分的编写及组织工作。游春豹参加了本书部分组织工作。

本书在编写过程中得到了安徽工业大学电气信息学院、安徽工业大学教务处及相关同志的大力支持，我们对支持和帮助过本书编写与出版的同志们表示衷心的感谢！

由于编者的水平和经验有限，加之为了适应教育教学改革之需，时间仓促，书中难免有疏漏甚至是错误之处，敬请读者批评指正。

骆雅琴

2003年11月8日于安徽工业大学

目 录

第2版前言	(I)
第1版前言	(III)

上篇 电工技术辅导

第1章 电路的基本概念与基本定律	(3)
1.1 学习目标	(3)
1.2 内容综述	(3)
1.3 要点提示	(7)
1.4 扩展应用	(10)
1.5 典型题析	(11)
1.6 能力训练	(14)
第2章 电路的分析方法	(20)
2.1 学习目标	(20)
2.2 内容综述	(20)
2.3 要点提示	(23)
2.4 扩展应用	(25)
2.5 典型题析	(27)
2.6 能力训练	(32)
第3章 正弦交流电路	(38)
3.1 学习目标	(38)
3.2 内容综述	(38)
3.3 要点提示	(43)
3.4 扩展应用	(46)
3.5 典型题析	(49)
3.6 能力训练	(56)
第4章 三相电路	(62)
4.1 学习目标	(62)
4.2 内容综述	(62)
4.3 要点提示	(63)
4.4 扩展应用	(66)

4.5 典型题析	(67)
4.6 能力训练	(71)
第5章 非正弦周期电流的电路	(75)
5.1 学习目的	(75)
5.2 内容综述	(75)
5.3 要点提示	(76)
5.4 扩展应用	(77)
5.5 典型题析	(78)
5.6 能力训练	(81)
第6章 电路的暂态分析	(85)
6.1 学习目标	(85)
6.2 内容综述	(85)
6.3 要点提示	(88)
6.4 扩展应用	(91)
6.5 典型题析	(93)
6.6 能力训练	(99)
第7章 磁路与铁心线圈电路	(105)
7.1 学习目标	(105)
7.2 内容综述	(105)
7.3 要点提示	(107)
7.4 扩展应用	(109)
7.5 典型题析	(111)
7.6 能力训练	(115)
第8章 交流电动机	(121)
8.1 学习目标	(121)
8.2 内容综述	(121)
8.3 要点提示	(126)
8.4 扩展应用	(128)
8.5 典型题析	(129)
8.6 能力训练	(133)
第9章 继电器接触器控制系统	(137)
9.1 学习目标	(137)
9.2 内容综述	(137)
9.3 要点提示	(141)
9.4 扩展应用	(143)
9.5 典型题析	(144)
9.6 能力训练	(148)
第10章 工业企业供电与安全用电	(154)
10.1 学习目标	(154)

10.2 内容综述	(154)
10.3 要点提示	(155)
10.4 典型题析	(155)
10.5 能力训练	(156)
第 11 章 试卷分析与新编试卷及评分标准	(158)
11.1 电工技术(本科)期末试卷分析	(158)
11.2 新编电工技术(本科)期末试卷及评分标准	(190)

下篇 电 工 实 习

第 12 章 电工实习指导	(207)
12.1 电工实习目的及方式	(207)
12.2 电工实习须知	(207)
第 13 章 理论指导	(209)
13.1 工业系统概述	(209)
13.2 工业系统的构成	(212)
13.3 PLC 控制系统的形成	(213)
第 14 章 实习设备使用说明	(226)
14.1 三菱 FX _{2N} PLC 简介	(226)
14.2 PLC 实验模拟装置简介	(240)
第 15 章 实习项目	(244)
15.1 PLC 操作实验	(244)
15.2 PLC 应用实验	(246)
15.3 PLC 设计性实验	(250)
附录 1 部分实习项目的参考程序	(252)
附录 2 设计自动化解决方案(PLC 硬件系统)	(255)
参考文献	(262)

上 篇

电工技术辅导

第1章 电路的基本概念与基本定律

1.1 学习目标

- 了解电路模型及理想电路元件。
- 了解电路的基本物理量，理解电压、电流参考方向的意义。
- 理解电路基本定律（欧姆定律、基尔霍夫电压定律、基尔霍夫电流定律），并能正确应用。
- 了解电源的三种状态（有载工作、开路、短路）及额定值意义。
- 理解电功率并能正确计算。
- 掌握计算电路中各点电位的方法。

1.2 内容综述

1.2.1 知识结构框图

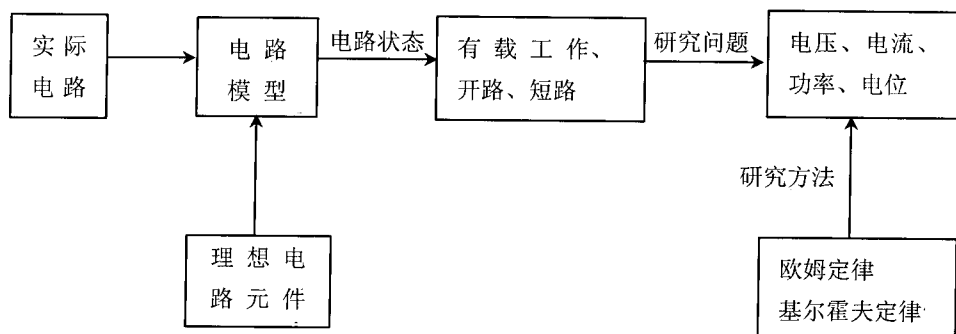


图 1.1

1.2.2 基本知识点

一、电路及其组成

1. 电路

电路是电流的通路。通路必须闭合。图 1.2 所示电阻 R' 没有形成通路，因此没有电流通过它。电路是电路模型的简称。电路模型是用理想电路元件来描述实际电路。

2. 电路的组成

电路的组成有三大部分——电源（或信号源）、负载、中间环节。

3. 电路分析

电路分析研究的是电路中电压、电流、功率等共性问题，也就是已知电路的结构和参数，讨论电路的激励和响应之间的关系。不同的实际电路可能具有相同的电路模型。如图 1.3 电路，可以是手电筒电路模型，也可以是任一直流供电电路模型。

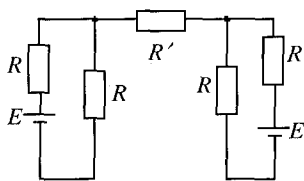


图 1.2

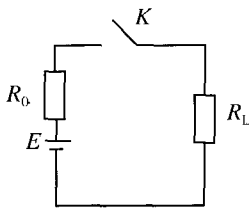


图 1.3

二、理想电路元件

理想电路元件就是将实际电路元件理想化，即在一定的条件下，突出其主要的电磁性质，而忽略次要因素。

理想电路元件分别由相应的参数表征，用规定的图形符号来表示如表 1.1 所示。

表 1.1 理想电路元件一览表

序号	元件名称	作用	符号	单位
1	电阻 R	转变 电能 $\longrightarrow$ 其他能 不可逆		欧姆 Ω , 千欧 $k\Omega$ 等
2	电感 L	储存 电能 $\longleftrightarrow$ 磁能 释放		亨利 H, 毫亨 mH 等
3	电容 C	储存 电能 $\longleftrightarrow$ 电场能 释放		法拉 F, 微法 μF 等
4	电压源 (直流 E 、 交流 $e(t)$)	供给电能		伏特 V, 毫伏 mV 等
5	电流源 (直流 I_S 、 交流 $i(t)$)	供给电能		安培 A, 毫安 mA 等

三、电路结构

电路由结点、支路、回路及元件所构成。如图 1.4 所示。

每个元件都有两个端点；流过同一电流的分支称作支路；三条及三条以上支路的连接点

叫结点；由多条支路围成的闭合路径叫回路；网孔是回路，但回路不一定是网孔。图 1.4 中闭合路径 1, 2, 3 是回路，也是网孔，但闭合路径 4 是回路不是网孔。

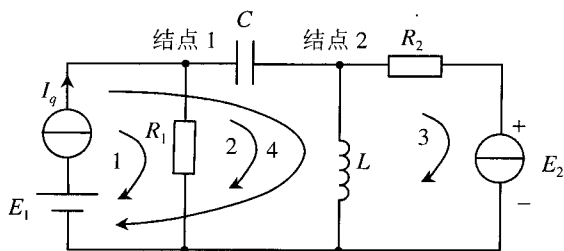


图 1.4

四、电路的基本物理量

电路的基本物理量有：电流、电压、电动势、电位。这些物理量已在物理课中讲过。重新研究它们的意义在于引入了参考方向（即正方向）。参考方向是一种重要的分析方法。

电压、电位、电动势虽然是不同的电量，但是它们之间有着极其密切的关系，可以相互描述。电动势又称电位升；电压又称电位降、电位差；电位也是一种电压，即参考点与某点之间的电压。

电源可以用电动势来描述，也可以用电压来描述，且电位升等于电位降。

两点间的电压也就是两点间的电位差。它与计算路径无关，与参考点无关。

某点电位是某点与参考点之间的电压。它与参考点有关。改变参考点，电位随之改变。

五、电路状态

电路有开路、短路和有载工作三种状态。下面以实际电压源为例来说明这三种状态的不同特征。

1. 开路

开路状态的特征是开路端没有电流，有电压，并且电压等于电动势（复杂电路为等效电动势）。

2. 短路

短路状态的特征是短路端没有电压，有电流，且电流等于电动势（或等效电动势）除以内阻（或等效内阻）。对于电压源，内阻较小，短路电流很大，因此短路被视为事故状态。电路中所需要的局部短路，不会引起事故，通常称为短接。

3. 有载

有载工作状态的特征是负载端有电压，也有电流，可以写出电路的伏安关系方程，该方程又称之为电压平衡方程式。图 1.5 所示电路的电压平衡方程式写为：

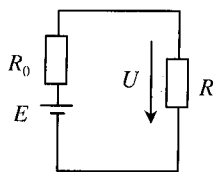


图 1.5

$$U = E - IR_0$$

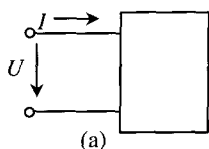
等式两边同乘电流，得 $UI = IE - I^2 R_0$ ，可写为： $P_R = P_E - P_{R_0}$ ，该式称为功率平衡方程式。

六、功率

功率在直流电路中是电压和电流的乘积，即 $P=UI$ 。这一内容要掌握以下两点：

第一, 判断电路某一元件是电源, 还是负载 (或处于负载状态) 的方法。

(1) 按以下的规定写功率公式:

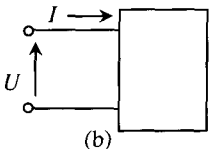


U, I 参考方向相同 (或称关联方向), 如图 1.6(a), 有:

$$P = UI \quad (1.1)$$

U, I 参考方向相反 (或称非关联方向), 如图 1.6(b), 有:

$$P = -UI \quad (1.2)$$



(2) 判断结论:

$P > 0$ 吸收功率——为负载

$P < 0$ 提供功率——为电源

注意: 按以上规定写出的功率公式才可用如上结论判断。另外

图 1.6

(1.1) 式的最终结果不一定为正, (1.2) 式的最终结果不一定为负。

因为电量 U, I 本身还有一个正、负号。

第二, 功率平衡。电源发出的功率等于负载吸收的功率。

七、欧姆定律

欧姆定律是描述线性电路伏安关系的定律, 要掌握以下两点:

1. 欧姆定律公式

U, I 参考方向相同 (或称关联方向), 如图 1.7(a), 有:

$$U = IR \quad (1.3)$$

U, I 参考方向相反 (或称非关联方向), 如图 1.7(b), 有:

$$U = -IR \quad (1.4)$$

注意: 式 (1.3) 最终结果不一定为正, 式 (1.4) 最终结果不一定为负。

因为电量 U, I 本身还有一个正、负号。

2. 一段有源支路的欧姆定律

从电路中可看出电压 U 有两部分, 一部分是电阻 R 上的电压, 一部分是电动势可用分解的方法分别描述。电阻 R 的电压用式 (1.3) 或式 (1.4) 描述, 而电动势则用电位升等于电位降写出其正、负号。

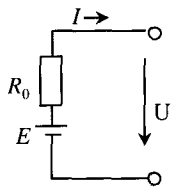


图 1.8

因此该电路欧姆定律公式为:

$$U = E - IR \quad (1.5)$$

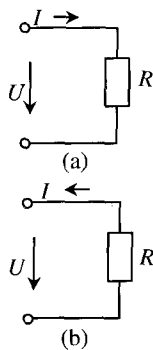


图 1.7

(1.5) 式中电流 I 与电压 U 的参考方向相反, 因而有负号。电动势的

方向 (电位升的方向) 与电压 U 的方向 (电位降的方向) 正好相反, 符合电位升等于电位降的关系, 因而为正。

八、基尔霍夫定律

1. 基尔霍夫电流定律 (Kirchhoff's current Law, 简称 KCL)

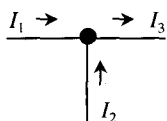


图 1.9

该定律反映了汇合到电路中任一结点的各支路电流间的相互制约关系。在图 1.9 所示电路中, 有:

$$\sum I = 0, \quad I_1 + I_2 - I_3 = 0 \quad (1.6)$$

或

$$\sum I_{\text{进}} = \sum I_{\text{出}} \quad I_1 + I_2 = I_3 \quad (1.7)$$

在式(1.6)中, 设流进的电流为正, 流出的电流就为负, 反之亦可。

2. 基尔霍夫电压定律 (Kirchhoff's voltage Law, 简称 KVL)

该定律反映了一个回路中各段电压之间相互的关系。

在图 1.10 所示的电路中, 对于回路 I, 有:

$$\sum U = 0 \quad I_1 R_1 - I_2 R_2 - E_1 + E_2 = 0 \quad (1.8)$$

$$\sum U = \sum E \quad I_1 R_1 - I_2 R_2 = E_1 - E_2 \quad (1.9)$$

在式(1.8)中, 每个元件沿绕行方向, 按其电压方向与绕行方向相同为正, 反之为负的方法写。

在式(1.9)中, 电阻元件沿绕行方向, 按其电压方向与绕行方向相同为正, 反之为负的方法写在等式左边; 电源则按其电动势方向与绕行方向相同为正, 反之为负的方法写在等式右边。值得注意的是:

- (1) 在书写符号时, 直流电均为大写, 如: 电流 I 、电压 U 、电位 V 、电动势 E 。
- (2) 在应用基尔霍夫电流定律时, 首先要设支路电流的参考方向。
- (3) 在应用基尔霍夫电压定律时, 首先要设支路电流的参考方向和回路的绕行方向。不用支路电流表示的, 就要设其元件的电压方向。

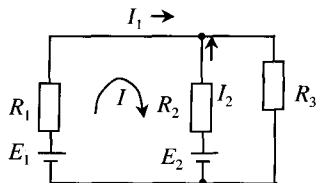


图 1.10

1.3 要点提示

主要内容:

- 电量的参考方向 (即正方向)
- 隐含在定理中的两套正、负号
- 电位的应用及计算

一、电量的参考方向 (正方向)

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电路时, 往往难以事先判断出它们的实际方向。因此在分析电路时, 往往先设一个方向, 按此方向应用电路定理列写公式进行计算, 而后根据计算结果判断实际方向。当所选的电压或电流的参考方向与实际方向一致时, 则电压或电流为正值; 反之, 则为负值。

设参考方向是一种重要的分析方法。

切记: 电路中电量的计算公式和参考方向是配套使用的, 二者缺一不可。

【举例】图 1.11 是复杂电路的一部分, 列出 U_{AB} 的计算公式。

【分析】根据题意, A , B 并非开路端口。这是一个复杂电路的部分电路, 它以简化形式出现。要列其电压方程, 首先设相关支路电流的参考方向, 如图 1.11(b)。再按参考方向, 用 KVL, 列出:

$$U_{AB} = I_1 R_1 + E_1 - I_2 R_2 - E_2 \quad (1.10)$$

$$U_{AD} = I_1 R_1 + E_1 + I_3 R_3 - E_3 \quad (1.11)$$

$$U_{BD} = I_2 R_2 + E_2 + I_3 R_3 - E_3 \quad (1.12)$$

验证: $U_{AB} = U_{AD} - U_{BD} = I_1 R_1 + E_1 - I_2 R_2 - E_2$

概念与结论: