

普通高等教育重点学科规划教材·电工电子技术

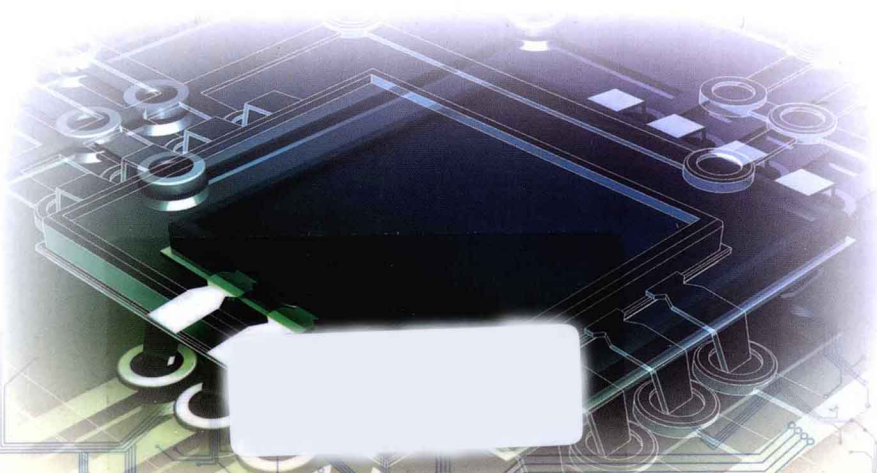
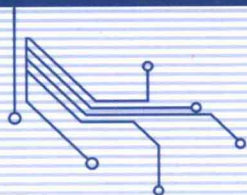
电工同步指导与实习

DIANGONG TONGBU ZHIDAO YU SHIXI

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

• 普通高等教育重点学科规划教材 • 电工电子技术

电工同步指导与实习

(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“电工同步指导”及“电工实习”上、下两篇组成。上篇“电工同步指导”是根据高等学校“电工学”课程教学基本要求,参照安徽工业大学“电工学”课程体系安排而编写的,其内容由目标、内容、要点、应用、例题、练习六部分组成。书中还收编了近年来安徽工业大学本科非电类专业学生的期末试卷及分析,以供读者参考。下篇“电工实习”是针对安徽工业大学电工课程实习内容——可编程序控制器而编写的。通过实习帮助学生提高技术综合和实践创新能力。

本书可作为普通高等学校理工科非电类本科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,还可以作为理工科电类各专业学生学习电工技术的教学参考与实习用书。

图书在版编目(CIP)数据

电工同步指导与实习/骆雅琴主编.—2版.—合肥:中国科学技术大学出版社,2013.2
ISBN 978-7-312-03169-4

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(2013)第 006749 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 0551-63606086-8810

印刷者:合肥现代印务有限公司

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:17.5

字数:437 千

版次:2010 年 9 月第 1 版 2013 年 2 月第 2 版

印次:2013 年 2 月第 2 次印刷

印数:6001—12000 册

定价:26.00 元



第2版前言

为了深化教学改革,使电工学教育更符合学生的认知规律,我们将“电工学理论”、“电工学实验”、“电工学实习”和“电工新技术与创新”等课程进行整合,使电工学系列课程既独立又相互融合,形成了具有我校特色的电工学教学新体系。电工技术是这一新体系的重要组成部分。为了满足电工技术教学的需要,我们出版了《电工技术教程:电工学上册》。为了更好地配合《电工技术教程:电工学上册》使用,我们重新修订和补充了《电工同步指导与实习》,并出版了《电工同步指导与实习》第2版。

《电工同步指导与实习》第2版主要做了以下工作:

其一,补充内容。

《电工同步指导与实习》每章的“同步指导”编写了目标、内容、要点、应用、例题和练习六项内容。但第1版的练习部分只收集了选择题。虽然《电工技术教程:电工学上册》有习题,我们还为学生印刷了作业题,但是学生们仍然希望我们在“同步指导”中增加习题。为此第2版最主要的工作是为每章“同步指导”中的练习部分增加习题。我们力争让新增习题涵盖所有的知识点。本书还编写了新增习题的答案,以供读者参考。

其二,修订内容。

我们在《电工同步指导与实习》的第2版中,进行了所有内容的重新修订,力图把问题描述得更清楚、更准确。

其三,加强应用。

电工技术是一门实用技术,为培养学生的应用能力以及提高学生的分析问题和解决问题的能力,《电工同步指导与实习》第2版注重如何有效地进行下篇的实习,并修订了不准确的图、程序和文字,让非电类各专业学生容易理解和正确使用可编程控制器。

参加第2版编写工作的有:骆雅琴、程卫群、周红、周春雪。

《电工同步指导与实习》第2版由骆雅琴担任主编,负责全书的策划、组织、统稿及“电工同步指导”的编写等工作;程卫群担任副主编,负责“电工实习”



的编写；朱志峰、顾凌明、游春豹参加了本书的文字编排、插图、审稿等工作。

我们对支持本书编写和出版的安徽工业大学教务处、电气信息学院以及对本书编写和出版给予支持和帮助的同事和朋友们表示衷心的感谢！

由于编者的水平和经验有限，书中难免有疏漏和不妥之处，敬请读者批评指正。

骆雅琴

2013年1月18日于安徽工业大学



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《电工同步指导与实习》。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。

本书参照安徽工业大学“电工学”课程体系而编写。上篇“电工同步指导”是针对《电工学》上册“电工技术”的内容进行同步指导。由于“电工技术”的理论授课学时是40学时，选讲内容有限，本书在进行同步指导时适当补充内容，以满足“电工学”课程的学习需要。

本书每章的“同步指导”编写了目标、内容、要点、应用、例题和练习六项内容。

在“同步指导”中，“目标”是根据高等学校“电工学”课程教学基本要求提出的学习目标；“内容”是用框图和简述基本知识点来帮助读者整合知识；“要点”是重点提示；“应用”则是扩展知识面。由于“电工学”课程内容多，学时少，无法安排习题课，不能满足学生的学习需要，因此用本书的“例题”给予弥补。为了帮助学生熟悉课程内容，提高思考能力，本书还编写了“练习”。练习后附有练习答案，以供读者参考。

本书下篇“电工实习”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。

为帮助学生期末复习考试，本书还编入了近年来安徽工业大学本科非电类学生期末试卷，并对试卷进行了分析，其中的新编试卷还给出了评分标准，以供读者参考。

本书是安徽工业大学“电工学”课程教学团队的集体教学研究成果，参加本



书编写工作的有：骆雅琴、程卫群、周红、周春雪等。

本书由骆雅琴担任主编，负责全书的策划、组织、统稿及“电工同步指导”的编写等工作；程卫群担任副主编，负责“电工实习”的编写；朱志峰、唐得志、程木田、郑睿、杨末（安徽工业大学工商学院）等参加了本书的录制、插图、审稿等工作。

我们对支持本书编写和出版的安徽工业大学教务处、电气信息学院以及对本书编写和出版给予支持和帮助的同事和朋友们表示衷心的感谢！

由于编者的水平和经验有限，书中难免有疏漏和不妥之处，敬请读者批评指正。

骆雅琴

2010年6月28日于安徽工业大学

目 录

第 2 版前言	(I)
前言	(III)

上篇 电工同步指导

第一部分 同步指导	(1)
第 1 章 电路的概念与定律	(3)
第 2 章 电路的分析方法	(22)
第 3 章 电路的暂态分析	(41)
第 4 章 正弦交流电路	(65)
第 5 章 三相交流电路	(94)
第 6 章 磁路与变压器	(110)
第 7 章 交流异步电动机	(127)
第 8 章 继电接触控制系统	(144)
第 9 章 工业供电与安全用电	(162)
第二部分 试卷分析	(167)
《电工技术》试卷 1	(169)
《电工技术》试卷 1 答案及分析	(172)
《电工技术》试卷 2	(176)
《电工技术》试卷 2 答案及分析	(179)
《电工技术》试卷 3	(182)
《电工技术》试卷 3 答案及分析	(185)
《电工技术》试卷 4	(188)
《电工技术》试卷 4 答案及分析	(191)
《电工技术》试卷 5	(194)
《电工技术》试卷 5 答案及分析	(197)
新编《电工技术》试卷 1	(200)
新编《电工技术》试卷 1 标准答案及评分标准	(203)
新编《电工技术》试卷 2	(207)



新编《电工技术》试卷 2 标准答案及评分标准	(211)
------------------------	-------

下篇 电工实习

第 10 章 电工实习指导	(215)
10.1 电工实习目的及方式	(215)
10.2 电工实习须知	(215)
第 11 章 理论指导	(217)
11.1 工业系统概述	(227)
11.2 工业系统的构成	(220)
11.3 PLC 控制系统的形成	(221)
第 12 章 实习设备使用说明	(235)
12.1 三菱 FX _{2N} PLC 简介	(235)
12.2 PLC 实验模拟装置简介	(250)
第 13 章 实习项目	(254)
13.1 PLC 操作实验	(254)
13.2 PLC 应用实验	(256)
13.3 PLC 设计性实验	(260)
附录 1 部分实习项目的参考程序	(262)
附录 2 设计自动化解决方案 (PLC 硬件系统)	(265)
参考文献	(272)

上 篇

电工同步指导

第一部分 同 步 指 导



第1章 电路的概念与定律

1.1 目 标

- 了解电路的组成与作用。
- 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），能够正确应用。
- 了解电源的三种状态（有载工作、开路、短路）及额定值意义。
- 理解电功率并能够正确计算。
- 掌握计算电路中各点电位的计算方法。

1.2 内 容

1.2.1 知识结构框图

电路的基本知识结构框图如图1.1所示。

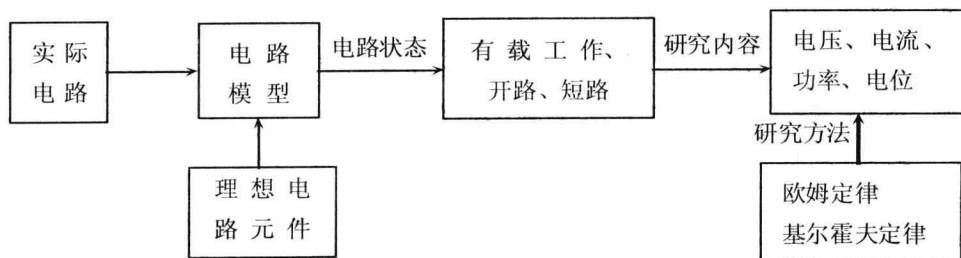


图 1.1 电路知识结构示意图

1.2.2 基本知识点

一、电路及其组成

1. 电路

电路是有电流流过的闭合通路。图 1.2 所示电阻 R' 没有电流通过，因此没有形成通路。

电路模型是用理想电路元件来描述实际电路。电路模型也简称电路。

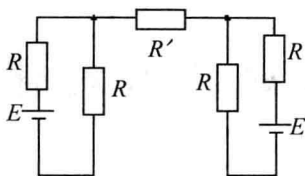


图 1.2

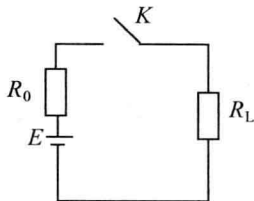


图 1.3

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。

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 $\rightleftharpoons$ 磁能 释放		亨利 (H), 毫亨 (mH) 等
3	电容 C	储存 电能 $\rightleftharpoons$ 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	直流 E 直流 E 交流 $e(t)$	伏特 (V), 毫伏 (mV) 等
5	电流源 (直流 I_S 、交流 $i(t)$)	供给电能	I $i(t)$	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。

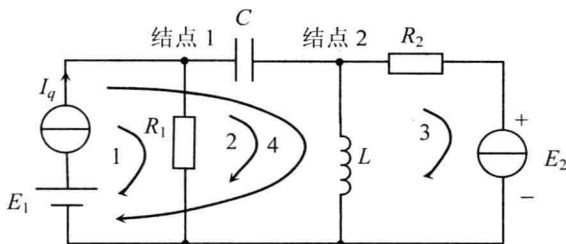


图 1.4

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，但有电压，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，但有电流，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：

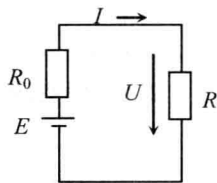


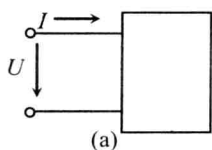
图 1.5

$$U = E - IR_0 \quad (1.10)$$

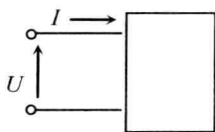
等式两边同乘电流, 得 $UI = IE - I^2 R_0$, 可以写为: $P_R = P_E - P_{R0}$, 该式称为功率平衡方程式。

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。



(a)



(b)

图 1.6

(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 (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。

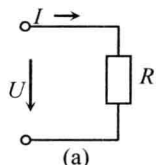
2. 一段有源支路的欧姆定律

从图 1.8 所示电路中可以看出电压 U 由两部分, 一部分是电阻 R 上的电压, 一部分是电动势 E , 可以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。

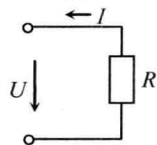
因此该电路欧姆定律公式为:

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

(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



(a)



(b)

图 1.7

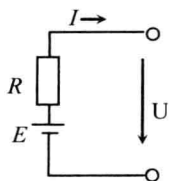


图 1.8



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)

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：

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

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

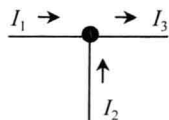


图 1.9

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的相互关系。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 (1.8) 式中，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 (1.9) 式中，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。

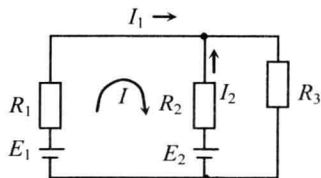


图 1.10

1.3 要 点

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，但是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：

(1) 必须先设电量的参考方向，才能列出方程。

(2) (1.11) 式中电压 U_{AD} 的计算路径是 $A \rightarrow C \rightarrow D$ 。也可以由其他路径求出。如 $U_{AD} = U_{AB} + U_{BD}$ 即 (1.10) 式加 (1.12) 式得 (1.11) 式。所以电压大小与计算路径无关。

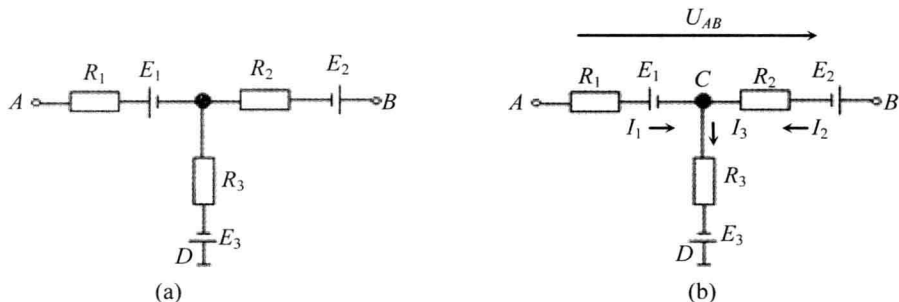


图 1.11

二、隐含在定律中的两套正负号

所谓两套正负号，即一套是用定理写公式时的正负号；另一套是电量自身的正负号。公式正负号是根据所设参考方向（正方向）来确定，而电量正负号，则说明电量的正方向与实际方向是否相同，相同为正，相反为负。两套正负号在本章中有三处应用，它们分别是：

1. 欧姆定律

公式正负号：若电阻的电压、电流正方向为关联方向，公式冠以正号，即 $U = IR$ ；若电阻的电压、电流正方向为非关联方向，公式冠以负号，即 $U = -IR$ 。

电量正负号：两式中的电流可以是正，也可以是负。如所设正方向同实际方向为正；反之为负。

由上得出结论：定律所求电量的最终结果由两套正负号共同决定。