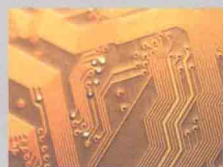


高 级 技 工 学 校 教 材

电路基础



劳动和社会保障部中国就业培训技术指导中心
全国职业培训教学工作指导委员会机电专业委员会
组织编写

中央广播电视大学出版社

高级技工学校教材

电路基础

劳动和社会保障部中国就业培训技术指导中心
全国职业培训教学工作指导委员会机电专业委员会 组织编写

中央广播电视大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

电路基础/劳动和社会保障部中国就业培训技术指导中心,全国职业培训教学工作指导委员会机电专业委员会组织编写. —北京:中央广播电视大学出版社,2004.7

高级技工学校教材

ISBN 7-304-02669-3

I. 电… II. ①劳…②全… III. 电工学—技工学校—教材 IV. TM1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 056410 号

版权所有,翻印必究。

电路基础

劳动和社会保障部中国就业培训技术指导中心
全国职业培训教学工作指导委员会机电专业委员会组织编写

出版·发行:中央广播电视大学出版社

电话:发行部:010-68519502 62529338 总编室:010-68182524

网址:<http://www.crtvup.com.cn>

地址:北京市海淀区西四环中路45号

邮编:100039

经销:新华书店北京发行所

策划编辑:苏 醒

封面设计:王 容

责任编辑:娄 澜

版式设计:张 彦

责任印制:赵联生

责任校对:汪宝明

印刷:北京宏伟双华印刷有限公司

印数:0001-3000 册

版本:2004年9月第1版 2004年9月第1次印刷

开本:787×1092 1/16

印张:12.75

字数:262千字

书号:ISBN 7-304-02669-3/TM·35

定价:24.00 元

(如有缺页或倒装,本社负责退换)

高级技工学校教材

机电类专业编审工作委员会

主 任：陈 宇 郝广发

副主任：孙长庆 张永麟 杨黎明

委 员：(按姓氏笔画排序)

于 平	王 军	王兆山	王洪琳	王晓君
付志达	付元胜	冯振君	刘大力	刘亚琴
许炳鑫	孙国庆	李 涛	李长江	李木杰
李鸿仁	李超群	杨耀双	杨君伟	杨柳青
何阳春	张 斌	张仲民	张跃英	陈 蕾
林 青	林爱平	周学奎	单渭水	郝晶卉
赵杰士	贾恒旦	董桂桥	甄国令	

《电路基础》编写人员

主 编：王改琴 尹彩萍

主 审：刘大力

编 者：王改琴 尹彩萍

序

为实施人才强国战略，加快高技能人才培养，劳动和社会保障部组织实施了国家高技能人才培养工程。为配合这项工程实施，我部委托中国就业培训技术指导中心、全国职业培训教学工作指导委员会机电专业委员会，组织专家编写了高级技工学校机床切削加工、机械设备维修、模具制造与维修、数控机床加工、电气维修 5 个专业的配套教材。

高级技工学校是我国培养高技能人才的重要基地。这次编写的 5 个专业的配套教材，是高级技工学校多年教学实践经验的积累和总结。教材依据《国家职业标准》和《高级技工学校专业教学计划》，瞄准经济发展对技能人才的要求，以职业技能为核心，注重教学内容的科学性、先进性和规范性，突出实践创新能力的培养。本套教材在编写中，特别注意了中、高级技能人才培养的衔接，教材的适用范围为具备中级职业资格水平的读者对象。本套教材同时可作为相关职业（工种）高级工、技师等企业职工培训教材，也可作为相关专业高职院校的课程教材，并且还可为相关专业技术人员作为参考。

本套教材的编写得到了学校、企业等有关方面的大力支持，30 多所高级技工学校和企业的专家参加了教材的编审工作，付出了辛勤的劳动，在此向所有参与教材编审工作的同志和给予大力支持的学校、企业表示感谢。

劳动和社会保障部培训就业司

2004 年 3 月

前 言

本书是根据 2002 年 11 月召开的高级技工学校教材编写大纲审定会审写的编写大纲编写的。编写内容依据高级技工学校教材编写原则和要求而确定。它的主要任务是为学生学习专业知识和从事实际工作打好电工技术的理论基础。

在本书中，对基本理论、基本定律和基本概念及基本分析方法作了较详尽的阐述，并通过实例、例题来说明理论的实际应用，以加深学生对电工理论知识的理解和掌握。教学学时为 80 学时，根据专业具体要求，授课内容可由教师灵活掌握，决定取舍。

本书共分七章，各章均有复习题，书后附有实验供教学选用。本书由王改琴、尹彩萍主编、刘大力主审。

由于水平有限，加之时间仓促，难免出现错误及不妥之处，恳请读者批评指正。

编 者

2004 年 6 月

目 录

第一章 电路的基本概念和基本定律.....	1
第一节 电路与电路模型.....	1
第二节 电路的基本物理量.....	3
第三节 电路的基本元件.....	6
第四节 电压源和电流源.....	11
第五节 欧姆定律及电路的工作状态.....	14
第六节 基尔霍夫定律.....	18
第七节 电路中电位的计算.....	22
第二章 电路的等效变换和一般分析方法.....	31
第一节 电阻的等效变换.....	31
第二节 电阻 Y— Δ 电路的等效变换.....	37
第三节 两种电源电路的等效变换.....	42
第四节 支路电流法.....	46
第五节 叠加原理.....	49
第六节 戴维南定律.....	53
第七节 负载获得最大功率的条件.....	56

第三章 正弦稳态电路分析	64
第一节 正弦量的基本概念及表示方法.....	64
第二节 单一元件的正弦电路.....	74
第三节 R-L-C 串联电路.....	82
第四节 R-L-C 并联电路.....	90
第五节 正弦稳态电路的一般分析.....	98
第六节 正弦电路的功率及功率因数的提高.....	102
第七节 谐振电路.....	109
第八节 并联谐振.....	113
第四章 互感与变压器	122
第一节 互感与同名端.....	122
第二节 互感线圈的连接.....	126
第三节 变压器.....	129
第五章 三相电路	138
第一节 三相电路.....	138
第二节 对称三相电路.....	142
第三节 不对称三相电路.....	148
第四节 三相电路的功率.....	149

第六章 二端口网络	153
第一节 二端口网络	153
第二节 二端口网络的 Y 参数方程和 Z 参数方程	154
第三节 二端口网络的 A 参数方程和 H 参数方程	159
第四节 线性无源二端口网络的等效电路	164
第五节 常用无源二端口网络	168
第七章 非正弦周期电路	171
第一节 非正弦电流的产生及研究方法	171
第二节 非正弦周期量的谐波分析	172
第三节 波形与谐波成分分析	174
第四节 非正弦周期量的有效值和平均功率	175
第五节 三相电路中的高次谐波	176
实验一 戴维南定理与叠加原理的验证	182
实验二 功率因数的提高	185
实验三 线性无源二端口网络的研究	187
实验四 非正弦交流电路分析	190

第一章 电路的基本概念和基本定律

本章主要讨论电路的基本物理量、电压与电流的参考方向、基尔霍夫定律、电源的工作状态及电路中电位的概念及计算。这些内容都是电路分析基础知识，将贯穿全书始终。本章从建立电路模型、认识电路的基本物理量等最基本的问题出发，重点阐述欧姆定律、基尔霍夫电流定律和电压定律。

第一节 电路与电路模型

一、电路的作用与组成部分

1. 电路的定义

电路是电流的通路，它指为了实现某种需要而将电路设备和元件按一定方式连接起来的总体。分为简单电路和复杂电路。

2. 电路的作用和组成

电路的结构形式和所能完成的任务是多种多样的。

(1) 电力系统。电路中最典型的例子是电力系统，其电路示意图如图 1-1a 所示。其作用是实现电能的传输和转换。该电路由 3 个部分组成。

① 电源。电源是给电路提供能源的设备，其作用是将化学能、光能和机械能等非电量转换为电能。电源有干电池、蓄电池、太阳能电池和发电机等。

② 负载。负载是电路中取用电能的设备，可将电能转换为其他形式的能量。负载有电灯、电动机、电炉等。

③ 中间环节。中间环节的作用是连接电源和负载，用来传输、分配和控制电能。主要包括变压器、输送电压、控制电器（如开关）等。

(2) 电路的另一种作用是传递和处理信号。常见的例子如扩音机，其电路示意图如图 1-1b 所示。先由话筒把语言或音乐（通常称为信息）转换为相应的电压和电流，即电信号，然后通过电路传递到扬声器，把电信号还原成为语言或音乐。由于由话筒输出的电信号比较微弱，不足以推动扬声器发音，因此中间还要有放大器来放大。信号这种转换和放大，称为信号的处理。

在图 1-1b 中，话筒是输出信号的设备，称为信号源，相当于电源，但与上述发电机、电池这种电源不同，信号源输出的电信号（电压和电流）的变化规律是取决于所加的信息的。扬声器是接受和转换信号的设备，也就是负载。

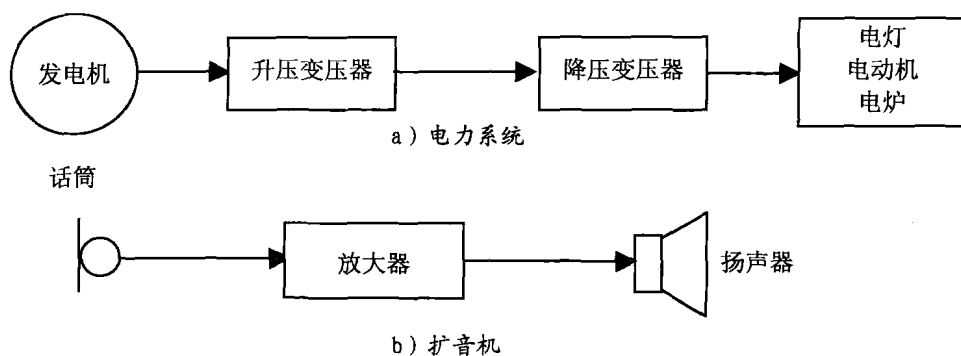


图 1-1 电路示意图

3. 电路的功能

电路的组成方式很多，但其功能可概括为以下几个方面：

- (1) 能量的传输与转换。
- (2) 信号的传递与处理。
- (3) 电量和非电量的测量。
- (4) 存储信息和逻辑运算。

二、电路模型

实际电路都是由一些需要起不同作用的实际电路元件或器件所组成，如发电机、变压器、电动机、电池、晶体管以及各种电阻器和电容器等，它们的电磁性质较为复杂。在电路分析中，都用实际电路去分析，将是十分复杂的。为了便于对电路进行实际分析计算，将实际元件理想化（或称模型化），即在一定条件下突出其主要的电磁性质，忽略其次要因素，把它近似地看作理想电路元件。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，它是对实际电路电磁性质的科学抽象、概括，在理想电路元件中（后面叙述中“理想”两字常略去），主要有电阻元件、电感元件、电容元件和电源元件等。图 1-2 所示是最基本部分组成的电路，图 1-3 便是图 1-2 的电路模型。

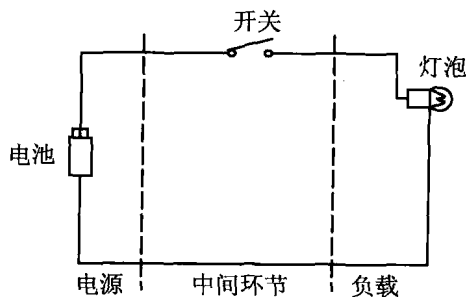


图 1-2

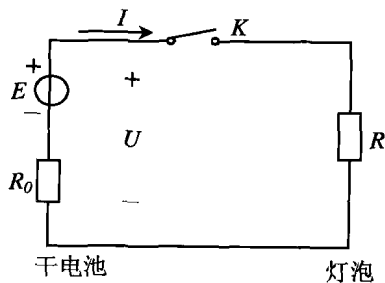


图 1-3

后面所分析的都是电路模型，简称电路。在电路中，各种电路元件用规定的图形符号表示。

第二节 电路的基本物理量

一、电流

电流是电荷做有规则定向运动形成的，我们可以通过它的各种效应（如热效应、磁效应）来感觉它的客观存在。电流既有大小，又有方向，其大小用电流强度（简称电流）来表征，其实际方向规定为正电荷运动的方向或负电荷运动的相反方向。

电流强度是单位时间内通过导体截面面积的电荷量，即

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1-1)$$

在电路中，电流的方向是客观存在的，但在分析较为复杂的直流电路中，往往难于事先判断某支路中电流的实际方向；就交流电路而言，其方向随时间而改变，在电路中也无法用一个箭头来表示它的实际方向。为此，在分析和计算电路时，可任意选定某一方向作为电流的正方向，或称为参考方向。所选定的电流正方向并不一定与电流的实际方向一致。当电流的实际方向与其正方向一致时，则电流为正值，如图 1-4a 所示；反之，则电流为负值，如图 1-4b 所示。因此，在正方向选定之后，电流之值才有正负之分。

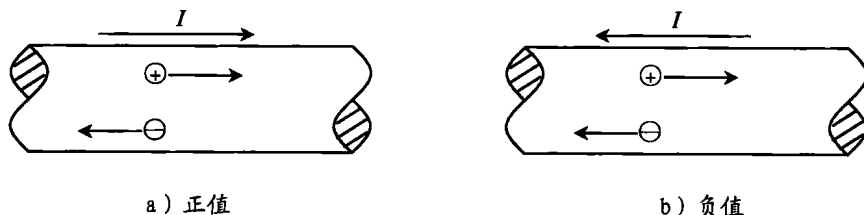


图 1-4 电流的正方向

例 1 如图 1-5a、b 所示，试确定通过电阻 R 上的电流实际方向。



图 1-5

解：图 a 中， $I=5A>0$ ，说明 I 的参考方向与实际方向相同，故图 a 中电流的实际方向为 $a \rightarrow b$ ，即 I_{ab} 。

图 b 中, $I = -5\text{A} < 0$, 说明 I 的参考方向与实际方向相反, 故图 b 中电流的实际方向为 $b \rightarrow a$, 即为 I_{ba} 。

两者之间相差一个负号, 即 $I_{ab} = -I_{ba}$ 。

我国法定计量单位是以国际单位制 (SI) 为基础的。在国际单位制中, 电流的单位是安培 (A)。实际上电流还常用到一些较小的单位: mA (毫安) 和 μA (微安), 换算关系为:

$$1\text{mA} = 10^{-3}\text{A}$$

$$1\mu\text{A} = 10^{-6}\text{A}$$

二、电压

随着带电粒子的运动, 要发生能量的转换, 电荷在电场力的作用下移动, 电场力对电荷做功。在图 1-6 中, 在电场力的作用下, 将单位正电荷从 a 点移动到 b 点, 这就是电场力对电荷做了功。a、b 两点的电压 U_{ab} 在数值上等于电场力把单位正电荷从 a 点移动到 b 点所做的功。

$$U_{ab} = \frac{W_{ab}}{Q} \quad (1-2)$$

也就是说单位正电荷从 a 点 (高电位) 移动到 b 点 (低电位) 所失去的电能。

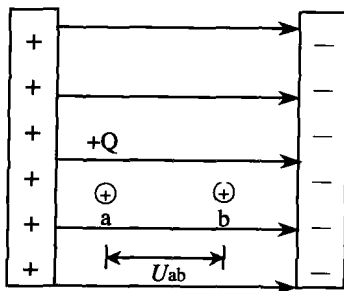


图 1-6

在电场内两点间的电压也常称为两点间的电位差, 即

$$U_{ab} = V_a - V_b \quad (1-3)$$

式中 V_a 为 a 点的电位, V_b 为 b 点的电位。

电压与电流一样既有大小, 又有方向, 电压的实际方向规定为电位降低的方向, 由高电位点指向低电位点。

三、电动势

为了维持电流不断在负载中流过并保持恒定, 必须使 a、b 间的电压 U_{ab} 保持恒定, 如图 1-7 所示。因此必须要有另一种力能克服电场力而使电极 b 上的正电荷流向电极 a。电源就能产生这种力, 我们称为电源力。

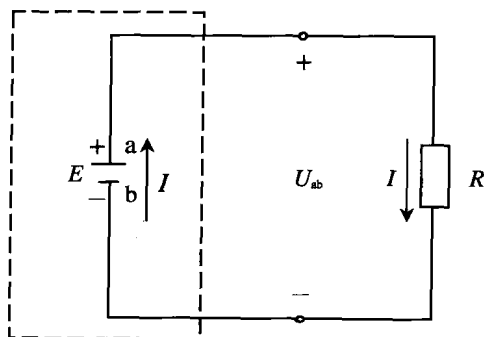


图 1-7

例如在发电机中, 当导体在磁场中运动时, 导体内便出现这种电源力; 在电池中, 电源力存在于电极与电解液接触处。我们把这种电源力对电荷做的功称为电源电动势。在数值上等于电源力把单位正电荷从电源的低电位 b 端经电源内部 (也是导体) 移到高电位 a 端所做的功, 也就是单位正电荷从 b 点 (低电位) 移动到 a 点 (高电位) 所获得的电能。在电源力的作用下, 电源不断地把其他形式的能转换为电能。

在国际单位制中, 电压的单位是伏特 (V)。当电场力把 1 库仑 (C) 的电荷量从一点移动到另一点所做的功为 1 焦耳 (J) 时, 则该两点间的电压为 1V。计算微小的电压时, 则以毫伏 (mV), 或微伏 (μV) 为单位, 计算高电压时, 则以千伏 (kV) 为单位。

$$1\text{mV}=10^{-3}\text{V}$$

$$1\mu\text{V}=10^{-6}\text{V}$$

$$1\text{kV}=10^3\text{V}$$

四、电压与电动势的参考方向

电压和电动势都是标量, 但在分析电路时与电流一样, 我们也说它具有方向性, 电压的方向规定由高电位 (“+” 极性) 端指出低电位 (“-” 极性) 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 (“-” 极性) 端指向高电位 (“+” 极性) 端, 即为电位升高的方向。

在电路图上所标的电流、电压和电动势的方向, 一般都是参考方向, 它们是正值还是负值, 视选定参考方向而定。例如在图 1-8 中, 电压 U 的参考方向与实际方向一致, 故为

正值；而 U' 的参考方向与实际方向相反，故为负值。而后者可写为 $U = -U'$ ；电流亦然， $I = -I'$ 。

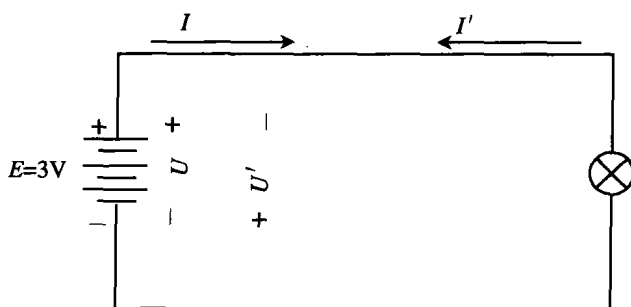


图 1-8 电压与电流的参考方向

例 2 如图 1-9a、b 所示，试确定电阻两端的电压实际方向。

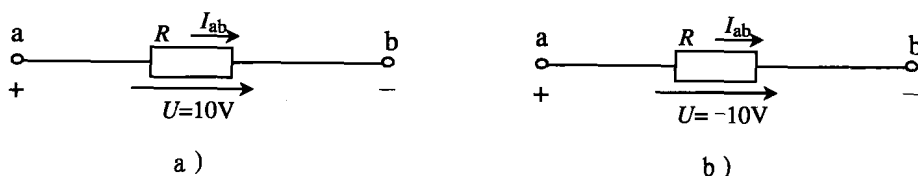


图 1-9

解：图 a 中， $U=10V>0$ ，电压的实际方向 $a \rightarrow b$ ，则为 U_{ab} 。

电压的参考方向与实际方向相同。

图 b 中， $U=-10V<0$ ，电压的实际方向 $b \rightarrow a$ ，则为 U_{ba} 。

电压的参考方向与实际方向相反。

两者之间相差一个负号： $U_{ab} = -U_{ba}$

第三节 电路的基本元件

一、电阻元件

在图 1-10 中， u 和 i 的参考方向相同，根据欧姆定律得出：

$$i = \frac{u}{R} \quad \text{或} \quad u = Ri \quad (1-4)$$

即电阻元件上的电压与电流成线性关系。表明电能全部消耗在电阻上，转换为热能。实际电阻元件只有在温度恒定，并且电压和电流值限制在适当范围内，才能用线性电阻模拟。

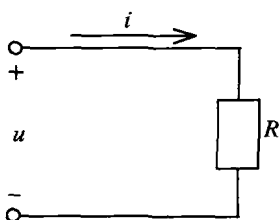


图 1-10

金属导体的电阻与导体的尺寸及导体材料的导电性能有关。即

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (1-5)$$

式中 ρ 称为电阻率，它是一个表示材料对电流起阻碍作用的物理量。在国际单位制中，电阻率的单位为欧米 ($\Omega \cdot \text{m}$)。

电阻的倒数称为电导，用符号 G 表示。电导的单位是 S (西门子)。

$$G = \frac{1}{R} \quad (1-6)$$

二、电感元件

当一个空心线圈通过电流后，这个电流的磁场使每匝线圈具有的磁通，称为自感，符号为 ϕ 。使 N 匝线圈具有的磁通称为自感磁链，符号为 ψ ，即

$$\psi = N\phi = Li \quad \text{或} \quad L = \frac{\psi}{i} = \frac{N\phi}{i}$$

式中 L 称为线圈的电感，也常称为自感，是电感元件的参数。线圈的匝数 N 愈多，其电感愈大；线圈中单位电流产生的磁通愈大，电感也愈大。电感的单位是亨利 (H)、毫亨 (mH)、微亨 (μH)，它们之间的换算关系是：

$$\begin{aligned} 1\text{H} &= 10^3 \text{mH} \\ 1\text{H} &= 1 \times 10^6 \mu\text{H} \end{aligned}$$

线圈的电感与线圈的尺寸、匝数以及附近介质的导磁性能等有关。例如，有一密绕的长线圈，其横截面积为 S (m^2)，长度 l (m)，匝数为 N ，介质的磁导率为 μ (H/m)，则其电感量为：

$$L = \frac{\mu S N^2}{l} \quad (1-7)$$

设有一单匝线圈，如图 1-11 所示，当通过它的磁通量发生变化时，线圈中要产生感生电动势。由实验可知，感生电动势 e 的大小与磁通的变化率（即变化快慢）成正比，即

$$|e| = \left| \frac{d\phi}{dt} \right| \quad (1-8)$$