

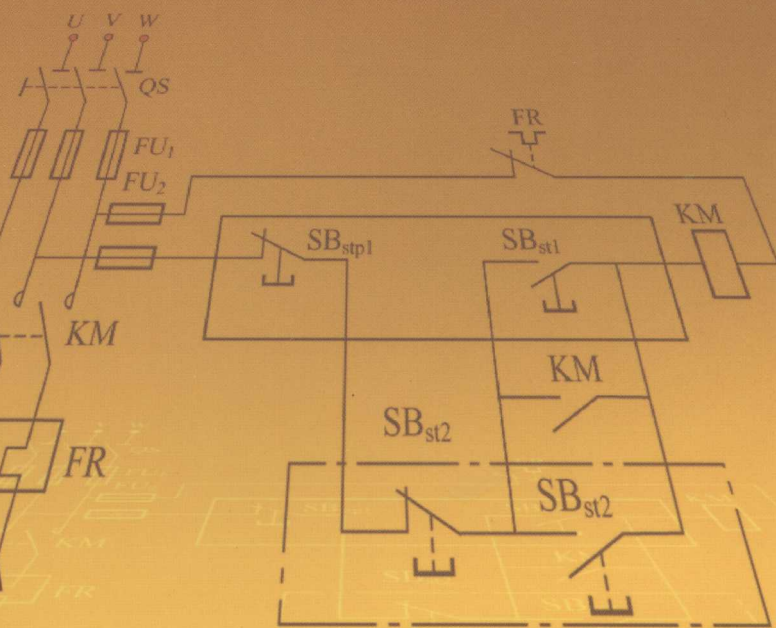


高职高专“十一五”规划教材

电 工 技术与实训

DIANGONG
JISHU YU SHIXUN

王平 主编



化学工业出版社

高职高专“十一五”规划教材

电工技术与实训

王 平 主编



化学工业出版社

· 北 京 ·

全书共分9个模块。内容包括直流电路、正弦交流电路、三相交流电路、电路的暂态过程、磁路与变压器、电动机、继电-接触器控制系统、安全用电、电工测量。各个模块后均配有思考与练习题及实训项目,有利于学生学习和实训。

书中内容层次分明,知识结构由基础到综合,实训与理论结合,强化基础知识,突出职业能力培养,体现了“理论够用,能力为本,面向应用型人才培养”的高职高专教育特色。

本书可作为高职高专院校电子类、计算机类、机械类等专业的教材,还可作为自学考试或相关工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电工技术与实训/王平主编. —北京:化学工业出版社, 2008.5

高职高专“十一五”规划教材

ISBN 978-7-122-02590-6

I. 电… II. 王… III. 电工技术-高等学校:技术学校-教材 IV. TM

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第056898号

责任编辑:廉静 张建茹

装帧设计:史利平

责任校对:凌亚男

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印装:北京市白帆印务有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张14½ 字数380千字 2008年7月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:25.00元

版权所有 违者必究

前 言

本教材根据教育部制定的《高职高专教育电工技术课程教学基本要求》，由多年从事教学、培训及科研的一线教师编写而成。

为适应高等职业教育不断发展的需要，本教材以培养应用型人才为目标，本着“理论够用，强化应用”的原则，在保证学生掌握基本知识的基础上，通过实训，强化操作技能和综合能力的培养。在编写过程中删除了繁杂的数学公式推导，力求简明扼要、通俗易懂。本教材在内容取材及安排上，具有以下特点：

1. 体现了“理论够用，能力为本，面向应用型人才培养”的高职高专教育特色；
2. 在产、学、研的基础上，充实和完善了电工教学的内容；
3. 将知识体系分成不同的模块，按照模块体系进行编写，编写过程中注意体现工程应用中的新技术；
4. 本教材层次分明，知识结构由基础到综合，实训与理论结合。每个模块均有知识点、能力点的介绍以及小结和实训项目内容；
5. 培养学生的探索精神和创新性思维，增强学生在电工技术及其相关应用领域中的创新精神和创造能力；
6. 本教材注重与其他课程的分工和衔接，后续课中专门作为教材的内容，不做讨论和研究，甚至完全删掉。

本教材共分九个模块。内容包括直流电路、正弦交流电路、三相交流电路、电路的暂态过程、磁路与变压器、电动机、继电-接触器控制系统、安全用电、电工测量。每个模块均配有思考与练习题及实训项目供学生练习，部分习题答案可供教师、学生参考，如有需要请发邮件至 Lianjing_2003@126.com。在实际教学过程中可以根据实际情况取舍教材内容。

本书由王平担任主编，刘晓阳、杨现德、贾玉凤担任副主编。参加本书编写人员分工如下：杨现德编写模块一；刘晶编写模块二、模块三；贾玉凤、刘瑞涛编写模块四；张慧香编写模块五；刘晓阳、李鸣晓编写模块六；贾玉凤、杨承惠编写模块七；王平编写模块八；杨玉丽编写模块九。全书由王平副教授负责统稿。

由于编者水平有限，加之时间仓促，本书会存在一些不当之处，敬请专家、同仁和广大读者给予批评指正。

编者

2008年2月

目 录

模块一 直流电路

任务一	电路组成及其主要物理量.....	1
	一、电路组成及其主要物理量的任务分析.....	1
	二、电路组成及其主要物理量的任务分解.....	2
任务二	电路模型及电路的工作状态.....	6
	一、电路模型及电路的工作状态的任务分析.....	6
	二、电路模型及电路的工作状态的任务分解.....	6
任务三	电压源与电流源及其等效变换	11
	一、电压源与电流源及其等效变换的任务分析	11
	二、电压源与电流源及其等效变换的任务分解	11
任务四	基尔霍夫定律	15
	一、基尔霍夫定律的任务分析	15
	二、基尔霍夫定律的任务分解	16
任务五	支路电流法	21
	一、支路电流法的任务分析	21
	二、支路电流法的任务分解	21
任务六	叠加原理	23
	一、叠加原理的任务分析	23
	二、叠加原理的任务分解	23
任务七	戴维南定理	25
	一、戴维南定理的任务分析	25
	二、戴维南定理的任务分解	25
任务八	电路中电位的计算	28
	一、电路中电位计算的任务分析	28
	二、电路中电位计算的任务分解	28
小结		30
思考与练习题		35
实训项目		39

模块二 正弦交流电路

任务一	正弦交流电的基本特征	43
	一、正弦交流电基本特征的任务分析	43
	二、正弦交流电基本特征的任务分解	44

任务二	正弦量的表示法	47
	一、正弦量表示法的任务分析	47
	二、正弦量表示法的任务分解	48
任务三	电阻、电感和电容的正弦交流电路	49
	一、电阻、电感和电容正弦交流电路的任务分析	49
	二、电阻、电感和电容正弦交流电路的任务分解	50
任务四	RLC 串联交流电路	56
	一、RLC 串联交流电路的任务分析	56
	二、RLC 串联交流电路的任务分解	56
任务五	正弦交流电路的分析方法	59
	一、正弦交流电路分析方法的任务分析	59
	二、正弦交流电路分析方法的任务分解	59
任务六	电路的谐振	62
	一、电路谐振的任务分析	62
	二、电路谐振的任务分解	63
任务七	功率因数的提高	67
	一、功率因数提高的任务分析	67
	二、功率因数提高的任务分解	67
小结		69
思考与练习题		69
实训项目		71

模块三 三相交流电路

任务一	三相电源	78
	一、三相电源的任务分析	78
	二、三相电源的任务分解	78
任务二	三相负载	80
	一、三相负载的任务分析	80
	二、三相负载的任务分解	80
任务三	三相电路的功率	82
	一、三相电路功率的任务分析	82
	二、三相电路功率的任务分解	83
小结		84
思考与练习题		84
实训项目		86

模块四 电路的暂态过程

任务一	暂态过程的产生和换路定律	89
	一、暂态过程的产生和换路定律的任务分析	89
	二、暂态过程的产生和换路定律的任务分解	89
任务二	RC 电路的暂态过程	92

一、RC 电路暂态过程的任务分析	92
二、RC 电路暂态过程的任务分解	92
任务三 RL 电路的暂态过程	96
一、RL 电路暂态过程的任务分析	96
二、RL 电路暂态过程的任务分解	96
小结	102
思考与练习题	103
实训项目	105

模块五 磁路与变压器

任务一 磁场的基本物理量	108
一、磁场基本物理量的任务分析	108
二、磁场基本物理量的任务分解	109
任务二 磁性材料的磁性质	110
一、磁性材料磁性质的任务分析	110
二、磁性材料磁性质的任务分解	110
任务三 磁路欧姆定律	112
一、磁路欧姆定律的任务分析	112
二、磁路欧姆定律的任务分解	113
任务四 变压器	115
一、变压器的任务分析	115
二、变压器的任务分解	115
小结	126
思考与练习题	127
实训项目	128

模块六 电动机

任务一 三相异步电动机的结构和工作原理	133
一、三相异步电动机的结构	133
二、三相异步电动机的工作原理	134
任务二 三相异步电动机的电磁转矩与机械特性	137
一、异步电动机的电磁转矩	137
二、异步电动机的机械特性	137
任务三 三相异步电动机的铭牌数据	138
任务四 三相异步电动机的运行	139
一、三相异步电动机的启动	139
二、三相异步电动机的调速	141
三、三相异步电动机的制动	142
四、三相异步电动机的选择	143
任务五 单相异步电动机	144
一、结构	145

	二、工作原理·····	145
	三、调速·····	145
任务六	直流电动机·····	146
	一、直流电动机的构造·····	147
	二、直流电动机的工作原理·····	148
	三、直流电动机励磁方式的分类·····	149
	四、直流电动机的机械特性·····	149
	五、直流电动机的铭牌数据·····	150
任务七	直流电动机的运行·····	151
	一、直流电动机的启动·····	151
	二、直流电动机的反转·····	151
	三、直流电动机的调速·····	152
	四、直流电动机的制动·····	152
小结	·····	152
思考与练习题	·····	153
实训项目	·····	154

模块七 继电-接触器控制系统

任务一	常用低压电器·····	158
	一、常用低压电器的任务分析·····	158
	二、常用低压电器的任务分解·····	159
任务二	电气原理图的基本规则·····	169
	一、电气原理图基本规则的任务分析·····	169
	二、电气原理图基本规则的任务分解·····	169
任务三	三相异步电动机的基本控制·····	170
	一、三相异步电动机基本控制的任务分析·····	170
	二、三相异步电动机基本控制的任务分解·····	171
任务四	行程控制·····	174
	一、行程控制的任务分析·····	174
	二、行程控制的任务分解·····	175
任务五	时间控制·····	178
	一、时间控制的任务分析·····	178
	二、时间控制的任务分解·····	178
小结	·····	180
思考与练习题	·····	181
实训项目	·····	184

模块八 安全用电

任务一	触电和防止触电的措施·····	188
	一、触电和防止触电措施的任务分析·····	188
	二、触电和防止触电措施的任务分解·····	188

任务二	静电防护	193
	一、静电防护的任务分析	193
	二、静电防护的任务分解	194
任务三	安全用电注意事项和急救措施	195
	一、安全用电注意事项和急救措施的任务分析	195
	二、安全用电注意事项和急救措施的任务分解	196
小结		198
思考与练习题		198
实训项目		198

模块九 电工测量

任务一	常用电工仪表	200
	一、常用电工仪表的任务分析	200
	二、常用电工仪表的任务分解	200
任务二	电工测量技术	203
	一、电工测量技术的任务分析	203
	二、电工测量技术的任务分解	203
任务三	万用表及兆欧表	212
	一、万用表及兆欧表的任务分析	212
	二、万用表及兆欧表的任务分解	212
小结		218
思考与练习题		219
实训项目		219
参考文献		221

模块一 直流电路

【知识点】

- 掌握电路模型的概念和电路的基本变量。
- 掌握电压、电动势、电流的参考方向与实际方向的关系及电压与电流的关联参考方向的概念。
- 掌握功率的计算，功率的吸收与发出。
- 掌握电阻、电容、电感、独立电源的定义及伏安关系。
- 掌握实际电压源、实际电流源的等效变换。
- 掌握基尔霍夫定律：KCL 和 KVL。
- 掌握电阻电路的支路电流分析方法。
- 掌握叠加定理和戴维南定理分析电路的方法。
- 掌握电位的计算。

【能力点】

- 功率的计算。
- 实际电压源、实际电流源的等效变换方法。
- 基尔霍夫定律及其应用。
- 支路电流法分析电路。
- 应用叠加定理和戴维南定理分析电路。
- 电位的计算。

电路的应用十分广泛。本章首先介绍电路的基本概念，包括电路的作用及组成、电路的基本物理量、电路模型的一般概念、电路元件的定义及基本特性、电路的三种状态。然后讨论基尔霍夫定律、电路的性质及分析方法，包括电路的等效变换和化简、支路电流分析法、叠加定理、戴维南定理。最后介绍电路中电位的计算方法。

本章所介绍的直流电路的基本概念、基本理论及基本分析方法，通过借助适当的数学工具，同样也适用于正弦交流电路及其他各种线性电路。通过本章的学习，可以为以后电工技术的学习打下重要的基础。

任务一 电路组成及其主要物理量

一、电路组成及其主要物理量的任务分析

电路是由电源、负载及中间环节三部分组成的电流的通路，它的作用是用来实现电能的传输和转换（或信号的传递及转换）。电流、电压、电动势和功率是电路的主要物理量。本

任务中主要介绍电路的组成、作用及主要物理量，重点介绍电流、电压、电动势的参考方向及功率的计算方法。

二、电路组成及其主要物理量的任务分解

1. 电路的组成

电路 (electrical circuit) 是电流通过的闭合路径，它是为了实现某种功能，由电路元件和电气设备按一定方式连接成的整体。这些电气器件包括电源、开关、负载等。在电路理论中讨论的电路是由实际器件的模型组成的，是实际电路的模型。例如，变压器、电动机等是实际器件（或设备），它们的等效电路则是它们的模型。

图 1-1 为一最简单的电路，由电源、中间环节（导线和开关）和负载组成。电源是把其他形式的能量转换为电能的装置。例如，发电机将机械能转换为电能。负载是取用电能的装置，它把电能转换为其他形式的能量。例如，电动机将电能转换为机械能，电热炉将电能转换为热能，电灯将电能转换为光能。负载性质可分为电阻元件、电感元件和电容元件三种。中间环节是连接电源和负载，负责传输、控制和分配电能的线路和装置。图 1-1 中导线和开关是中间环节，用来连接电源和负载，为电流提供通路，把电源的能量供给负载，并根据负载需要接通和断开电路。

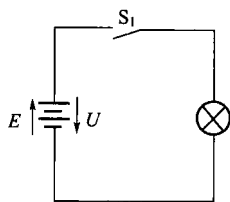


图 1-1 简单电路

实际电路种类繁多，按所加电源可分为单相电路、三相交流电路和多相电路等；按用途可分为测量电路、控制电路、滤波电路、整流电路、逆变电路等。但总体而言，电路按其功能和作用可分为两类：电力电路和信号电路。

电力电路的功能是进行能量的转换、传输和分配，也称为强电电路，如图 1-2 所示即为电力系统 (power system) 电路，由发电、变电、输电、配电和用电等环节组成的电能生产与消费系统。



图 1-2 电力系统电路

信号电路的功能是进行信号的传递与处理，也称弱电电路。例如，扩音机的输入是由声音转换而来的电信号，通过晶体管组成的放大电路，输出的便是放大的电信号，从而实现放大功能；电视机可将接收到的信号经过处理转换成图像和声音。信号电路种类很多，功能各异，各种信号的产生、放大、整形，数字信号的运算、存储都是信号电路。

2. 电路的主要物理量

① 电流 带电粒子（电子、离子）的定向移动形成电流。电子和负离子带负电荷，正离子带正电荷。电荷用符号 q 或 Q 表示，它的单位为库仑 (C)。单位时间内通过导体横截面的电荷定义为电流强度（简称电流），是衡量电流强弱的物理量。

电流的数学表达式为式(1-1)

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

式中, i 为极短的时间 dt 内通过导体横截面的微小电荷量 dq , 是一瞬时值。

如果电流不随时间变化, 则 $\frac{dq}{dt}$ 为一常数, 这时的电流称为恒定直流, 简称直流, 用符号 I 表示, 即

$$I = \frac{dq}{dt} = \frac{Q}{t} \quad (1-2)$$

式中, Q 为时间 t 内通过导体横截面的电荷量。

电流的单位是安培 (A), 在 1s 内通过导体横截面的电荷为 1C (库仑) 时, 其电流则为 1A。计算微小电流时, 电流的单位用 mA (毫安)、 μ A (微安) 或 nA (纳安), 其换算关系为

$$1\text{kA} = 10^3 \text{A}; 1\text{mA} = 10^{-3} \text{A}; 1\mu\text{A} = 10^{-6} \text{A}; 1\text{nA} = 10^{-9} \text{A}$$

习惯上, 规定正电荷的移动方向表示电流的实际方向, 如图 1-3 所示。在外电路, 电流由正极流向负极; 在内电路, 电流由负极流向正极。

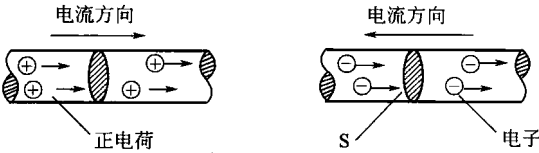


图 1-3 电流方向

式(1-2)中量值和方向均不随时间变化的电流, 称为恒定电流, 简称为直流 (dc 或 DC), 一般用符号 I 表示。式(1-1)中, 量值和方向随时间变化的电流, 称为时变电流, 一般用符号 i 表示。量值和方向作周期性变化且平均值为零的时变电流, 称为交流 (ac 或 AC)。

在分析电路时, 往往不能事先确定电流的实际方向, 而且时变电流的实际方向又随时间不断变动, 不能够在电路图上标出适合于任何时刻的电流实际方向。为了电路分析和计算的需要, 任意规定一个电流参考方向, 用箭头标在电路图上。若电流实际方向与参考方向相同, 电流取正值; 若电流实际方向与参考方向相反, 电流取负值。根据电流的参考方向以及电流量值的正负, 就能确定电流的实际方向。

今后, 在分析电路时, 必须事先规定电流变量的参考方向, 参考方向一旦选定, 就不能再动。根据电流的参考方向及其数值的正负, 即可确定电流的实际方向。所计算出的电流 $i(t) > 0$, 表明该时刻电流的实际方向与参考方向相同; 若电流 $i(t) < 0$, 则表明该时刻电流的实际方向与参考方向相反。

② 电压 电荷在电场力作用下形成电流, 在这个过程中电场力推动电荷运动做功, 电压就是表示电场力移动电荷做功的能力的物理量。

电路通电之后, 可以近似看作是限定在一定空间之内的电场, 如图 1-4 电荷 dq 从 a 点运动到 b 点所做的功是 dW , 则 a 点与 b 点之间的电压为

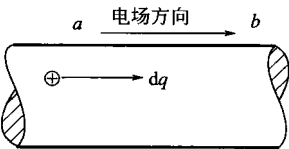


图 1-4 电压示意图

$$U_{ab} = \frac{W_{ab}}{Q} \quad (1-3)$$

电压的单位为 V (伏特), 如果电场力把 1C 电量从点 a 移到点 b 所做的功是 1J (焦耳), 则 a 与 b 两点间的电压就是 1V。计算较大的电压时用 kV (千伏), 计算较小的电压时用 mV (毫伏)。其换算关系为: $1\text{kV}=10^3\text{V}$; $1\text{mV}=10^{-3}\text{V}$; $1\mu\text{V}=10^{-6}\text{V}$ 。

电压的实际方向规定为从高电位点指向低电位点, 即由“+”极指向“-”极, 因此, 在电压的方向上电位是逐渐降低的。

量值和方向均不随时间变化的电压, 称为恒定电压或直流电压, 一般用符号 U 表示。量值和方向随时间变化的电压, 称为时变电压, 一般用符号 u 表示。

与电流类似, 电路中各电压的实际方向或极性往往不能事先确定, 在分析电路时, 必须规定电压的参考方向或参考极性, 用“+”号和“-”号分别标注在电路图的 a 点和 b 点附近。若计算出的电压 $u_{ab}(t) > 0$, 表明该时刻 a 点的电位比 b 点电位高; 若电压 $u_{ab}(t) < 0$, 表明该时刻 a 点的电位比 b 点电位低。

综上所述, 在分析电路时, 必须对电流变量规定电流参考方向, 对电压变量规定参考极

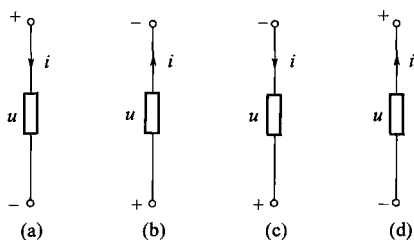


图 1-5 电压电流的关联与非关联

性。如图 1-5 所示对于二端元件电压和电流参考方向的选择有四种可能的方式。为了电路分析和计算的方便, 常采用电压电流的关联参考方向, 也就是说, 当电压的参考极性已经规定时, 电流参考方向从“+”指向“-”; 当电流参考方向已经规定时, 电压参考极性的“+”号标在电流参考方向的进入端, 如图 1-5 (a)、(b) 所示。在二端元件的电压电流采用关联参考方向的条件下, 在电路图上可以只标明电流参考方

向, 或只标明电压的参考极性。除特别声明外, 本书今后均采用电压电流的关联参考方向。

③ 电位 单位正电荷从电路中某一点移至参考点电场力所做的功称作电位, 电位的高低是相对于参考点而言的, 参考点位置不同, 特定点电位值也不同。参考点是可以任意选定的, 但一经选定之后, 各点电位的计算即以该点为准。如果换一个参考点, 则其他各点电位也随参考点的选择而异。因此, 在电路分析中不指明参考点而讨论电位是没有意义的。因为电路中任意两点间的电压等于两点的电位差, 所以电位与电压之间有相同点也有不同点。相同之处都是电场力对单位正电荷所做的功, 单位都是伏特; 不同的点是, 在电位概念中, 电场力将单位正电荷从电路上某一点移到参考点。而在电压概念中, 电场力做功的起始点是任意的, 可以含参考点, 也可不含参考点。电路中的每一点都有一定的电位, 电位的高低可以直接反映电路的工作状态。电路中各点的电位是针对参考点而言的。因此, 计算电位时, 必须首先选择电路中的某点作参考点。一般规定多个元件汇集的公共点为参考点 (零电位点)。参考点在电路图中用符号“ $\perp$ ”表示, 一个电路只能有一个参考点。电路中任一点与零电位的电位差 (电压) 就是该点的电位。

参考点 (零电位点): 在电路中任选一个基准点。约定正电荷在该点的电位能为零 (电场作用力为零), 其他各点电位能的大小都以该点为参照。电位能与物体在某一高度具有的势能相似, 不同处在于做功的是电场力而不是重力。在工程中常选大地作为参考点, 即认为大地电位为零。在电子线路中, 线路并不一定接地, 常选一条特定的公共线 (在电路图中可视为一点) 作为参考点, 这条公共线是很多元件汇集之处, 且常与底座相连, 称作“地线”。

④ 电动势 它是表征电源性能的物理量, 用于衡量电源力做功的能力, 电动势也分为直流电动势 E 和交流电动势 e , 单位是伏特。电源的电动势在数值上等于把单位正电荷从电源负极通过电源内部移到正极时非静电力所做的功。所以电动势的实际方向是在电源内部由

负极性（低电位）端指向正极性（高电位）端，是电位升高的方向，这表明了电源力做功的特点。和电压一样，电动势也引入参考方向（或参考极性），用“+”号和“-”号分别标注在电路图的 a 点和 b 点附近。如参考方向与其实方向一致，其数值为正，否则是负值。

⑤ 电功率 设在一直流电路中， a 点和 b 点之间的电压为 U ，在时间 t 内电荷 Q 受电场力作用从 a 点经负载移到 b 点，电场力所做的功是 $W_{ab}=UQ$ 。由于 $Q=It$ ，所以 $W_{ab}=UIt$ 。

把单位时间内电场力所做的功称为电功率，则有

$$P_{ab} = \frac{W_{ab}}{t} = UI \quad (1-4)$$

当电压的单位为 V（伏特），电流的单位为 A（安培），时间的单位为 s（秒）时，功的单位为 J（焦耳），电功率的单位是瓦特，简称 W（瓦），对于大功率，采用 kW（千瓦）或 MW（兆瓦）作单位，对于小功率则用 mW（毫瓦）或 μ W（微瓦）作单位。

当直流电路两端的电压为 U ，通过电路的电流强度为 I 时，电功率 $P=IU$ 是恒定的。在交流电路中，电压 $u(t)$ 、电流 $i(t)$ 都随时间变化，相应的瞬时功率 $P(t)=u(t)i(t)$ 也随时间变化。

电场力做功所消耗的电能是由电源提供的。在时间 t 内，电源力将正电荷由电源负极移到电源正极，其所做的功及电功率为

$$P=EI \quad (1-5)$$

若计算结果 $P>0$ ，说明 U 和 I 实际方向相同，该元件是耗能元件，是负载性质；若计算结果 $P<0$ ，说明 U 和 I 实际方向相反，则该元件为供能元件，是电源性质。

当已知设备的功率为 P 时，在 t 秒内消耗的电能 $W=Pt$ ，电能就等于电场力所做的功，单位是 J（焦耳）。在电工技术中，往往直接用 $W \cdot s$ （瓦特秒）作单位，实际上则用 $kW \cdot h$ （千瓦小时）作单位，俗称 1 度电。
 $1kW \cdot h = 3.6 \times 10^6 W \cdot s$

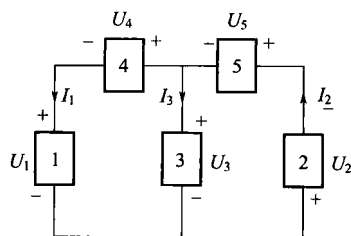


图 1-6 例 1-1 图

【例 1-1】 在图 1-6 中的 5 个元件代表电源或负载。电流和电压的参考方向如图 1-6 所示。今通过实验测量得知： $I_1=-4A$ ， $I_2=6A$ ， $I_3=10A$ ， $U_1=140V$ ， $U_2=-90V$ ， $U_3=60V$ ， $U_4=-80V$ ， $U_5=30V$ 。

- ① 试标出各电流的实际方向和各电压的实际极性（可另画一图）。
- ② 判断哪些元件是电源？哪些是负载？
- ③ 计算各元件的功率，电源发出的功率和负载取用的功率是否平衡？

解 ① 由已知可得

I_1 ， U_2 ， U_4 的参考方向与实际方向相反。

I_2 ， I_3 ， U_1 ， U_3 ， U_5 的参考方向与实际方向相同。

② 根据公式 $P=UI$ (U ， I 的参考方向关联)

$$P_{\text{流}} = -I_3 U_5 = -10 \times 2W = -20W$$

$$P_{\text{压}} = 4I = 4 \times 2W = 8W$$

1 号元件： $P_1 = U_1 I_1 = 140 \times (-4)W = -560W < 0$ 电源；

2 号元件： $P_2 = U_2 I_2 = -90 \times 6W = -540W < 0$ 电源；

3 号元件： $P_3 = U_3 I_3 = 60 \times 10W = 600W > 0$ 负载；

4 号元件： $P_4 = U_4 I_1 = -80 \times (-4)W = 320W > 0$ 负载；

5 号元件： $P_5 = U_5 I_2 = 30 \times 6W = 180W > 0$ 负载；

③ 各元件功率已由②求出。

电源发出功率与负载取用功率代数和为

$$\Sigma P = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 = 0 \text{ W}$$

可证明功率平衡。

【例 1-2】 现有一表头，满刻度电流 $I_G = 50 \mu\text{A}$ ，表头的电阻 $R_G = 3 \text{ k}\Omega$ ，若要改装成量程为 10 V 的电压表，如图 1-7 所示，试问应串联一个多大的电阻？

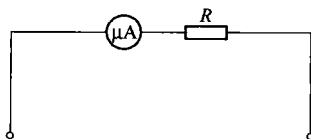


图 1-7 例 1-2 图

解 当表头满刻度时，它的端电压为 $U_G = 50 \times 10^{-6} \times 3 \times 10^3 = 0.15 \text{ V}$ 。设量程扩大到 10 V 时所需串联的电阻为 R ，则 R 上分得的电压为 $U_R = 10 - 0.15 = 9.85 \text{ V}$ ，故

$$R = \frac{U_R R_G}{U_G} = \frac{9.85 \times 3 \times 10^3}{0.15} = 197 \text{ k}\Omega$$

即应串联 $197 \text{ k}\Omega$ 的电阻，方能将表头改装成量程为 10 V 的电压表。

任务二 电路模型及电路的工作状态

一、电路模型及电路的工作状态的任务分析

由理想电路元件（简称电路元件）组成的电路称为电路模型。电路元件有电阻元件、电容元件、电感元件、理想电压源、理想电流源。电路有通路（有载）、短路、断路（空载）三种工作状态。本任务中主要介绍电路模型、电路元件及三种工作状态，重点介绍电路元件的伏安特性及电路三种工作状态的特点。

二、电路模型及电路的工作状态的任务分解

1. 电路模型

在研究电路特性时，可以用测量仪器对实际电路直接进行测量。另一种更重要的方法是将实际电路抽象为电路模型，用电路理论的方法分析计算出电路的电气特性。

在一定条件下能准确地反映电气设备或电器件的主要电气特性，从中抽象出来的一种理想化的元件，称为理想化的电路元件，例如定义电阻元件是一种只吸收电能（它可以转换为热能或其他形式的能量）的元件，电容元件是一种只存储电场能量的元件，电感元件是一种只存储磁场能量的元件。用这些电阻、电容和电感等理想化的电路元件近似模拟实际电路中每个电气器件和设备，再根据这些器件的连接方式，用理想导线将这些电路元件连接起来，就得到该电路的电路模型。图 1-8 所示为手电筒电路。

运用现代电路理论，借助于计算机，可以模拟各种实际电路的特性和设计出电气性能良好的大规模集成电路。

2. 理想电路元件

本课程所涉及的电路并非是工程实际电路，而是电路模型。电路模型又是由电路元件连接而成的。下面将简单地介绍电阻、电容、电感，它们在电路中不能产生电能，所以称为被动元件，电流源、电压源等产生电能的主动元件在任务三中介绍。

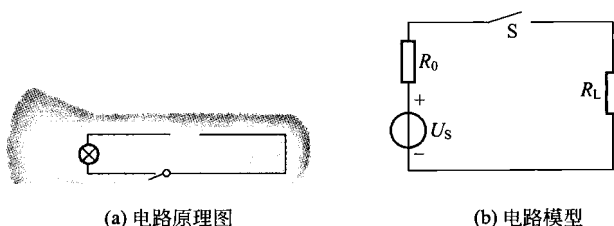


图 1-8 手电筒电路

(1) 理想电阻元件与欧姆定律 电阻元件是反映电流热效应这一物理现象的理想电路元件，在图 1-9(a) 中电压 U 和电流 I 的参考方向相同， R 是线性电阻元件，其电压电流关系（伏安特性曲线）是

$$U = RI \quad (1-6)$$

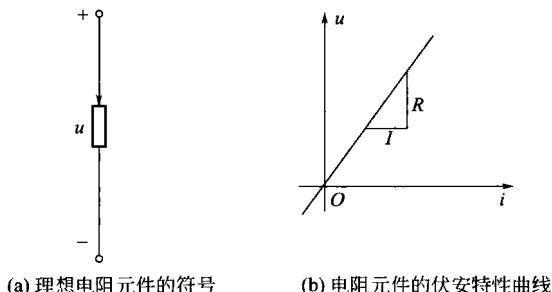


图 1-9 理想电阻元件

式(1-6) 这个关系称为欧姆定律，它表示线性电阻元件的端电压和流过它的电流成正比。比例常数 R 称为电阻，是表示电阻元件特性的参数。图 1-9(b) 是其伏安特性曲线。电阻的单位为 Ω （欧姆），较大的单位有 $k\Omega$ （千欧）、 $M\Omega$ （兆欧）。电阻吸收的功率为

$$P = UI = RI^2 = \frac{U^2}{R} \quad (1-7)$$

式(1-7) 表明：不论 U 、 I 是正值或负值， P 总是大于零，电阻元件总是取用功率，与电压、电流的实际方向无关。因而电阻是一种消耗电能并把电能转变为热能的元件。

实际工作中经常利用电阻器来实现限流、降压、分压。对于各种电热器件，如电烙铁、电阻炉及白炽灯等，常忽略其电感、电容的性质，认为它们是只具有消耗电能特性的电阻元件。

(2) 理想电容元件 电容器是一种能储存电荷或者说储存电场能量的部件。在两个金属板之间充满介质并引出两根端线就是一个实际的电容器。如果电容器接上电源，两个极板上将分别聚集起等量的异号电荷。如图 1-10(a) 所示同时建立起一个电场，当外加电源撤离后，极板上的异号电荷由于介质的隔离不能中和，电场依然存在。如果忽略极板间的介质损耗和漏电流，一个实际电容元件就抽象成一个理想电容元件。

如图 1-10(b) 所示为平板电容器，设电容器两端电压为 u ，存储的电荷为 q ，若电容器的电容量 C 不随 u 或 q 的大小而变的，则称它为线性电容元件。线性电容器的端电压发生变化时，其两端瞬时电压 u 和极板上的瞬时电荷量 q 在任何瞬间都近似的成正比，即基本上可表示为

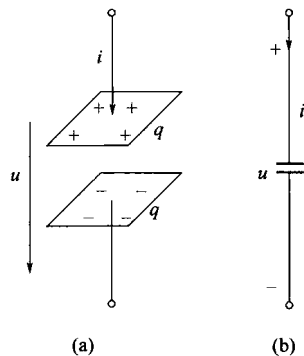


图 1-10 电容元件

$$\frac{q}{u} = C = \text{常数} \quad (1-8)$$

式中, C 为常数, 称为电容量, 简称电容; 电容的大小表示元件储存电荷能力的强弱。在同样的电容电压下, C 越大, 则储存的电荷越多。在国际单位制中, 电容量的基本单位是 F (法拉), 常用的辅助单位为 μF (微法) 或 pF (皮法), 其换算关系是 $1\mu F = 10^{-6} F$, $1pF = 10^{-12} F$ 。

又因为 $i = dq/dt$, 所以电容器两端电压、电流在其参考方向相同的前提下, 符合如下关系

$$i = \frac{Cdu}{dt} \quad (1-9)$$

这是电容器的端电压与电流的伏安关系式, 如电容两端电流电压参考方向为非关联, 则

$$i = -\frac{Cdu}{dt} \quad (1-10)$$

式(1-10)说明理想电容元件(以后简称电容)通过的电流并不和通过电压成正比, 而是和电压对时间的变化率成正比。电容的电流取决于时刻 t 其端电压的变化率。如果其端电压不变, 则 $I=0$, 因而对于直流电来说, 电容是不能作为电流通路的, 即如果电容两端间是直流电压, 则其电流为零, 因此, 在直流电路模型中, 电容相当于开路。由于实际电路提供的电流只能是有限值, 不可能是无穷大。因而 du/dt 也只能是一有限值, 这表示电容两端的电压不能突变。另外电容不消耗能量, 只是存储电场能。所存储的电场能量 W_C 由下式决定

$$W_C = \frac{1}{2} Cu^2 \quad (1-11)$$

电容是一个具备和反映上述两个特性数学表达式的抽象元件, 它不是实际的电容器。实际的电容器有时要考虑漏电现象, 常用电阻和电容相并联的电路模型来反映, 这样会更接近实际电容器。

(3) 理想电感元件 在实际的电工设备中(如变压器、电抗器和日光灯中的镇流器)是由漆包线绕制成线圈形式, 可以看成是实际的电感器件。用如图 1-11(a) 所示的导线绕制而成的线圈表示。通有电流的导体周围会产生磁场, 如果电流 I 通过一个用导线绕成的线圈。每匝线圈都将产生磁通 Φ , 具有 N 匝线圈的总磁通称为磁链, 用 Ψ 表示。如果每匝线圈产生的磁通相同, 则磁链 $\Psi = N\Phi$ 。线圈中磁链的方向可用右手螺旋定则来确定。如果忽略线圈的导线电阻和电容效应, 就形成了一个理想电感元件(以后简称电感), 理想电感元件的图形符号如图 1-11(b) 所示。

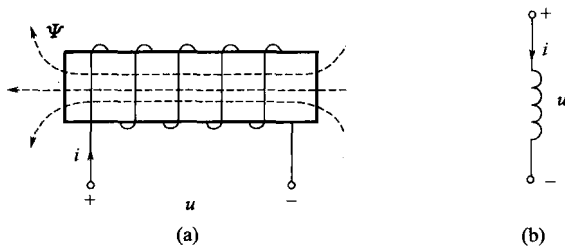


图 1-11 电感元件

若导线中的电流和在线圈中产生的磁链成正比则称为线性电感。

$$\frac{\Psi}{i} = L = \text{常数} \quad (1-12)$$

式中, L 为电感系数或自感量, 简称自感, 在国际单位制中, 自感的基本单位名称是亨利, 用符号 H 表示。辅助单位有 mH (毫亨) 和 μH (微亨), 其换算关系是 $1mH = 10^{-3} H$,