



高等职业教育机电类专业“十二五”规划教材

电工技术及应用

王晓敏 主 编
蔡德玲 副主编





高等职业教育机电类专业“十二五”规划教材

电工技术及应用

主 编 王晓敏

副主编 蔡德玲

参 编 万江丽 何朝阳 陈经文 钟雪莉

中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

内 容 简 介

本书重点介绍基本的电工技术及应用知识。全书分为6章。内容包括：直流电路、正弦交流电路、磁路与变压器、交直流电动机、电工仪表与测量、电力系统与安全用电等。每章配有相关内容的实验实训和习题，部分习题配有题解。

本书层次分明、条理清晰、结构合理、重点突出，概念阐述清楚、准确，内容深入浅出，通俗易懂。

本书适合作为高等职业院校、成人高校及本科院校举办的二级职业技术学院的机电一体化、电气自动化、工程机械、数控加工等专业的教学用书，也可作为相关专业职业培训教材、相关工程技术人员参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

电工技术及应用/王晓敏主编. —北京：中国铁道出版社，2012.12

高等职业教育机电类专业“十二五”规划教材

ISBN 978-7-113-15237-6

I. ①电… II. ①王… III. ①电工技术—高等职业教育—教材 IV. ①TM

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第195013号

书 名：电工技术及应用

作 者：王晓敏 主编

策 划：祁 云

读者热线：400-668-0820

责任编辑：鲍 闻

封面设计：付 巍

封面制作：刘 颖

责任印制：李 佳

出版发行：中国铁道出版社(100054,北京市西城区右安门西街8号)

网 址：<http://www.51eds.com>

印 刷：三河市华丰印刷厂

版 次：2012年12月第1版 2012年12月第1次印刷

开 本：787mm×1092mm 1/16 印张：16.25 字数：387千

印 数：1~3 000册

书 号：ISBN 978-7-113-15237-6

定 价：32.00元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版图书，如有印制质量问题，请与本社教材图书营销部联系调换。电话：(010) 63550836

打击盗版举报电话：(010) 63549504

前 言

电工技术是一门实践性很强、覆盖面很广的机电专业基础课程，机电一体化、电气自动化、工程机械、数控加工等专业对电工技术及应用的需求越来越迫切，本书主要是为这些专业三年制和五年制高职生编写的电工技术及应用基础课教材。

电工技术及应用教材的编写遵循以下原则：

(1) 注重教材内容的实用性。本教材在满足高职教育对理论深度要求的前提下，使讲述内容尽量深入浅出、精练易懂，避免复杂的理论推导，将定量分析转化为定性说明，以适应高职学生使用，重点阐明器件、电路、系统的工作原理，强调分析与应用、实验实训技能。

(2) 注重教材内容的先进性。内容上反映电工技术必需的基础知识和在机电领域的基础应用，接近工程实际，在讲解理论的同时结合应用实例，并注意反映当前电工技术领域的新知识、新工艺、新方法。使课程学习与生产实际有机地结合起来。

(3) 注重教材内容的连续性。本课程是一门综合性的基础课，它包括了电工基础、电机、电工测量、电力系统及安全用电等内容，在章节的编排和叙述上尽量做到前后衔接，方便教学。

在本教材的编写过程中，我们得到了三峡电力职业学院领导的大力支持，同时获得了机电工程学院、教务处领导的具体帮助，在此表示衷心的感谢；本书在编写过程中参考了一些电工、电气等专业的科技书籍，引用了部分文献材料，在此一并向有关文献的作者表示诚挚的谢意。

本书的第1章由三峡电力职业学院王晓敏副教授编写，第2章由三峡电力职业学院蔡德玲高级讲师编写，第3章由三峡电力职业学院万江丽讲师编写，第4章由三峡电力职业学院何朝阳讲师编写，第5章由三峡电力职业学院陈经文讲师编写，第6章由三峡电力职业学院钟雪莉教师编写，部分习题参考答案由蔡德玲老师提供，全书由王晓敏副教授负责统稿并任主编，蔡德玲任副主编。同时在本书的编写过程中要感谢邓唯一、罗蓉、李斌贵、李道敏、李章云、叶林勇、付正江等提供的帮助与支持。

由于作者的水平所限，时间仓促，书中错误、不妥及疏漏之处在所难免，恳切希望专家学者和读者不吝指教。

编 者

2012年7月

目 录

第 1 章 直流电路	1
1.1 电路基本概念	1
1.1.1 电路	1
1.1.2 电路的基本物理量	3
1.1.3 电路工作状态	7
1.2 电路元件	9
1.2.1 理想电路元件	9
1.2.2 电阻、电感、电容	10
1.2.3 伏安特性与欧姆定律	13
1.3 电源及其等效变换	16
1.3.1 理想电压源	16
1.3.2 理想电流源	17
1.3.3 实际电源	17
1.3.4 电压源与电流源的等效变换	18
1.4 直流电路的基本分析方法	20
1.4.1 负载电阻的连接	20
1.4.2 基尔霍夫定律	23
1.4.3 复杂电路的一般解法	25
1.4.4 叠加定理	30
1.4.5 戴维南定理	33
1.5 直流电路实训	35
1.5.1 电路元件伏安特性的测定	35
1.5.2 基尔霍夫定律的验证	37
小结	39
习题一	41
第 2 章 正弦交流电路	46
2.1 正弦交流电的基本概念	46
2.1.1 交流电的特点	46
2.1.2 正弦交流电动势的产生	47
2.1.3 交流电的三要素	48
2.1.4 相位与相位差	50
2.1.5 有效值	51
2.1.6 正弦交流电的表示法	52

2.2	正弦交流电路分析	55
2.2.1	纯电阻电路	55
2.2.2	纯电感电路	57
2.2.3	纯电容电路	59
2.2.4	交流负载的串并联	61
2.3	三相交流电路	73
2.3.1	三相交流电源	73
2.3.2	三相交流电的连接	74
2.3.3	三相负载的连接	76
2.3.4	三相负载的功率	79
2.4	电路的过渡过程	80
2.4.1	换路定律	81
2.4.2	一阶电路的零输入响应	83
2.4.3	一阶电路的零状态响应	86
2.4.4	一阶电路的三要素法	89
2.5	正弦交流电路实训	91
	RLC 串联谐振电路特性的研究	91
	小结	94
	习题二	95
第 3 章	磁路与变压器	99
3.1	磁场的基本概念	100
3.1.1	磁场	100
3.1.2	铁磁材料	103
3.2	磁路与电磁感应	105
3.2.1	磁路	105
3.2.2	磁场的力效应	106
3.2.3	电磁感应	107
3.2.4	自感与互感	108
3.3	变压器	111
3.3.1	变压器的结构	112
3.3.2	变压器的分类	115
3.3.3	变压器的型号及额定值	115
3.4	变压器工作原理与特性	117
3.4.1	变压器的空载运行	117
3.4.2	变压器的负载运行	119
3.4.3	变压器的阻抗变换	120
3.4.4	变压器的外特性	121
3.4.5	变压器的效率	122

3.5 特殊用途变压器.....	122
3.5.1 自耦变压器	122
3.5.2 电焊变压器	123
3.5.3 互感器	124
3.6 磁路与变压器实训	128
单相变压器的空和短路实训	128
小结	131
习题三	132
第 4 章 交直流电动机	135
4.1 直流电动机结构与工作原理	136
4.1.1 直流电机结构	137
4.1.2 直流电机的型号及额定值	138
4.1.3 直流电动机工作原理	140
4.1.4 直流电机磁场及电枢反应	140
4.1.5 直流电机的基本特性	142
4.2 异步电动机结构与工作原理	144
4.2.1 三相异步电机的基本结构	144
4.2.2 三相异步电动机的工作原理	146
4.2.3 三相异步电动机额定值	147
4.2.4 三相异步电动机主要系列简介	149
4.3 三相异步电动机转矩与特性	149
4.3.1 三相异步电动机的运行	149
4.3.2 三相异步电动机工作特性	152
4.3.3 三相异步电动机的功率和转矩	153
4.3.4 三相异步电动机的机械特性	155
4.4 特殊电机	157
4.4.1 单相异步电动机	157
4.4.2 测速发电机	159
4.4.3 伺服电动机	162
4.4.4 步进电动机	165
4.5 电动机实训	168
电动机的启动和制动控制	168
小结	170
习题四	170
第 5 章 电工仪表与测量	172
5.1 电工测量仪表的一般知识	173
5.1.1 电工测量仪表的分类	173
5.1.2 电工测量仪表的型号	174

5.1.3	电工测量仪表的组成	175
5.1.4	电工测量仪表的工作原理	176
5.1.5	电工测量仪表的技术要求	178
5.2	电流与电压的测量	179
5.2.1	磁电系仪表	179
5.2.2	电磁系仪表	183
5.3	功率与电能的测量	186
5.3.1	电动系功率表	186
5.3.2	电能的测量	190
5.4	万用表与兆欧表的使用	193
5.4.1	万用表	193
5.4.2	兆欧表	198
5.5	电工测量实训	201
5.5.1	磁电系电流表和电压表的使用	201
5.5.2	电磁系电流表和电压表的使用	202
5.5.3	功率表的使用	203
5.5.4	电能表的校验	204
5.5.5	万用表的使用	205
5.5.6	兆欧表的使用	206
小结		206
习题五		207
第 6 章	电力系统与安全用电	208
6.1	电力系统概述	209
6.1.1	电力系统的组成	210
6.1.2	电力系统运行特点	210
6.1.3	电力系统的优越性	210
6.1.4	电力系统的运行指标	211
6.1.5	我国电力工业的发展	213
6.2	发电厂	213
6.2.1	火力发电厂	213
6.2.2	水力发电厂	214
6.2.3	核电厂	214
6.2.4	风电厂	215
6.2.5	其他方式发电	215
6.3	电力网	216
6.3.1	输配电线路	216
6.3.2	变配电所	217
6.3.3	电力网	218

6.4 低压配电线路	218
6.4.1 低压配电线路的概念	218
6.4.2 用户与负荷	219
6.4.3 低压供电线路	220
6.4.4 住宅配电系统	224
6.4.5 工厂、车间配电系统	227
6.5 安全用电常识	229
6.5.1 常见触电原因及方式	229
6.5.2 安全用电措施	232
6.5.3 触电急救	234
6.6 安全用电实训	237
小结	238
习题六	238
部分习题参考答案	239
参考文献	248

第1章 直流电路

1.1 学习目标

- 理解电路主要物理量的定义;
- 了解电阻、电感和电容元件的特性;
- 了解电源的两种模型及工作特性;
- 理解欧姆定律和基尔霍夫定律的主要内容。



引例

随着科学技术的飞速发展,现代电器设备种类日益繁多,规模和结构更是日新月异,但无论怎样设计和制造,这些电器设备绝大多数仍是由各式各样的电路所组成的,如图1-1所示。

各种电器设备的电路结构不论多么复杂,它们和最简单的电路之间都具有许多基本的共性,遵循着相同的规律。本章的重点就是阐明这些共性及分析电路的基本规律。

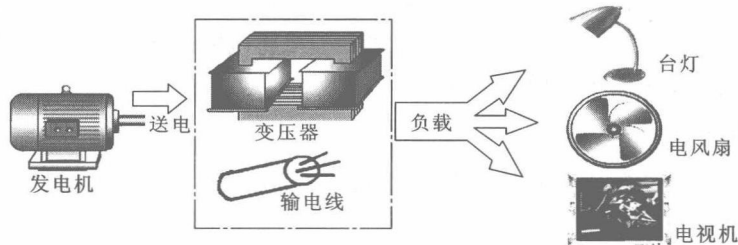


图 1-1 各种电器设备

1.1 电路基本概念

1.1.1 电路

电路是电流的流通路径,它是由一些电气设备和元器件按一定方式连接而成的。复杂的电路呈网状,又称网络。多数情况下,电路和网络这两个术语是通用的。

电路的一种作用是实现电能的传输和转换。另一种作用是实现信号的处理。由于不同的电路工作目的不尽相同,人们常将电路分为强电和弱电两大系统。

强电系统电路主要用做能量的传输和转换,如发配电、输变电、电力拖动、电热及电气照明电路。这些电路流过的电流大,产生的电压高,传输与消耗的功率大,对这些电路的使用控制不当易引起较大的设备损坏事故或严重的人身伤害事故。

弱电系统电路的主要用于电路信号的传递和处理。如无线电通信、大型生产设备的控制系统，电子计算机系统、电视机、收音机电路等。它们大多用做音像电信号、文字的传送与接收，生产过程的自动调节与数据处理。这些电路传递的功率与强电系统相比很小，但电路组成的复杂程度却是强电系统无法比拟的。

图 1-2 所示是一个手电筒的实体电路。

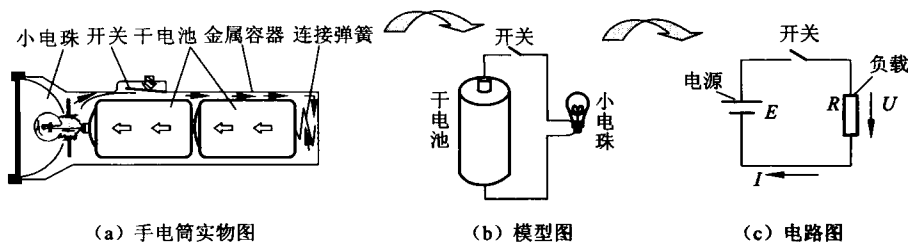


图 1-2 手电筒电路

作为一个最简单的电路，它由以下三部分组成：

1. 电源

电路中的干电池是提供电能的器件，称为电源。现实中有许多电源可提供电能，如蓄电池可将化学能转换成电能，发电机可将机械能转换成电能。

2. 负载

电路中的小电珠吸收电能，称为负载。若负载所消耗的电能被转为热能，这种负载就称为电阻性负载，如常见的灯泡、电炉、电烙铁等。如果将电能转换成磁场能，则这种负载就称为电感性负载，如工业上常用的变压器、电动机等。如果将电能转换成电场能，则这种负载就称为电容性负载，如电子电路中常用的电容器。

3. 线路控制器件

在干电池和小电珠之间引导和控制电流的导线和开关等是线路控制器件，线路控制器件用于传输、控制和分配电流。

在较复杂的电路中，为了了解电路的工作情况，还需要在电路中安装各种测量仪表。为了保障电路的正常工作，还须增加各种保护装置。这些设备常作为传输设备的辅助装置以配合控制电流的传输。

若把组成电路的元器件的所有电磁特性都考虑进去，会使电路的分析计算变得烦琐，甚至难以进行。用理想电路元器件及其组合来模拟实际电路中的各个元器件，再用理想导线将各个理想电路元器件进行串联或并联所组成的电路称为实际电路的电路模型。手电筒实体电路的电路模型如图 1-2 (c) 所示。

在图 1-2 (c) 中，小电珠是利用电流的热效应原理制成的，主要表现为电阻性，故可以把小电珠看成是一个理想化电阻器，在电路图中用一个电阻元件 R 代替。

干电池在输出电能的同时要发热，说明内部有电阻在消耗能量。假设电源的内阻 R 和小电珠的电阻 R 相比不能忽略，则它消耗的能量也不能忽略，因此在电路中可以用输出电压恒定的电压源元件 E 和电阻元件 R 串联的电路模型来表示。

电源的符号如图 1-2 (c) 所示， E 为电源的电动势，它表示电源进行能量转换的能力。必

要时电源可用理想电压源 U_s 或理想电流源 I_s 来代表。

手电筒的金属外壳在电流通过时会发热,呈现出电阻性,但因耗电量很小,可以忽略不计。故手电筒的筒体可用理想导体(导线)与开关这些中间环节表示。

手电筒实体电路的电路模型中,电阻只是小电珠的电路抽象,电压源 E 与电阻 R 的串联组合是干电池的电路抽象,导线和开关这些中间环节是筒体的电路抽象。

【提示】

电路模型具有普遍的适用意义。以图 1-2(c) 为例,电压源 E 和电阻元件 R 的串联组合既可以表示干电池,也可以表示任何直流电压源;电阻元件 R 既可以表示白炽灯,也可以表示电炉、电烙铁等电热器,只是它们的参数(电阻值)不一样。

电路模型的构建过程就是用电路元件及其组合来表示实体电路的过程。电路模型的构建需要丰富的电路知识和专业知识。必须采用正确的电路模型表示实体电路,使电路模型的计算结果与实体电路的测量结果在误差允许的范围内。

1.1.2 电路的基本物理量

1. 电流

在图 1-2 中,当小电珠发光时,我们说小电珠中通过了电流。工作中当电动机转动起来时,我们说电动机中通过了电流。人们虽然用肉眼看不见电流,但通过光热效应或电磁效应感受到了它的存在。

人们把电荷有规则的定向运动称为电流,多数情况下,电流由在金属导线中移动的自由电子组成。但电流不一定总是电子流,其他的载流子也可在一定条件下形成电流。如电解液中正负离子的运动,导电气体中离子和电子的混合运动等。

习惯上常把正电荷移动的方向规定为电流的实际方向。但在金属导体中实际移动的是带负电荷的电子,电解液中负离子的流动方向也是从负极到正极。为了分清它们之间的区别,人们规定在电源外部电流从正极流到负极,按此规定的电流方向作为正向电流方向。在今后的理论分析和工程实际应用中,我们规定采用正向电流方向,并在图上用箭头将其正方向标定出来,如图 1-3 所示。

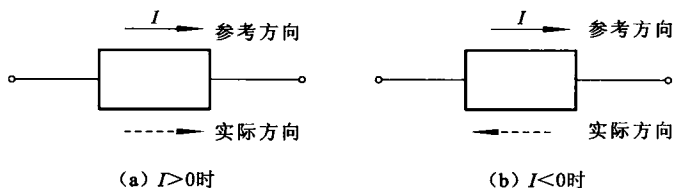


图 1-3 电流参考方向与实际方向

电流的大小用电流强度表示。电流强度在数值上等于在单位时间内通过导体某一横截面的电荷量,其符号为 I , 电流强度的单位是 A(安培)。如果在导体中每秒内流过导体横截面 6.25×10^{18} 个电子,则其电流强度为 1 A。电流强度也常简称为电流。

电流的单位除 A 外,在测量、计算大电流时更多使用 kA(千安)、MA(兆安)作单位。在测量、计算小电流时用 mA(毫安)、 μ A(微安)作单位。它们之间的关系如下:

$$1 \text{ kA} = 10^3 \text{ A}$$

$$1 \text{ MA} = 10^6 \text{ A}$$

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

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

在工程设备上, 作用于通信、电视技术、电子技术装置上的电流, 一般在 mA、 μA 级; 作用于电器设备、动力装置上的电流一般在 A、kA 级。

电流分直流和交流两种形式。当电流的量值和方向都不随时间变化时, 称为直流电流, 简称直流。直流电流常用 I 表示。量值和方向随着时间按周期性变化的电流, 称为交流电流, 常用 i 表示。若交流电流的变化符合正弦函数规律, 就称它为正弦交流电。人们平时常见的交流电多数为正弦交流电, 正弦交流电在工农业生产方面有着极其广泛的应用。

2. 电压

当图 1-2 中的小电珠长时间发光时, 可以观察到过一段时间后, 小电珠的亮度开始暗淡下来, 最后, 即使让电路保持通路状态, 小电珠也无法发光。这时, 人们会说: “电池没电了。”实际上, 这种情况说明电源已无足够的能量推动电荷从小电珠流过做功了。

人们把衡量电场力移动电荷做功能力的物理量称之为电压, 其符号表示为 U 。在电场的作用下, 正电荷从电源正极通过连接导线流向负极, 在电荷的移动过程中, 电场力做了功。设在 A 点到 B 点的距离内被移动的电荷有 1 C (库仑), 电场力作用的功为 1 J (焦耳), 则 AB 两点之间的电压值为 1 V。V (伏特) 是电压的单位。此外, 测量高电压时还用 kV (千伏) 作单位, 而在微电子技术中常用 mV (毫伏)、 μV (微伏) 作单位, 它们之间的关系如下:

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

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

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

河水之所以能够流动, 是因为有水位差; 电荷之所以能够流动, 是因为有电位差。电位差也就是电压。电压是形成电流的原因。电压的实际方向规定为正电荷在电场中受电场力作用 (电场力做正功时) 移动的方向。与电流一样, 由于电压的实际方向往往事先不知道, 因此可指定任意一个方向作为某段电路或者某一元器件上电压的参考方向。电压的参考方向可用 “+” 与 “-” 极性来表示, 如图 1-4 (a) 所示。

电压的参考方向还可以用双下标来表示, 如 U_{AB} 表示 A 和 B 之间的电压参考方向是由 A 指向 B。当电压的参考方向与它的实际方向一致时, 电压值为正; 反之, 电压值为负。因此, 在指定了电压的参考方向后, 电压值的正和负可以表示电压的实际方向。在电路的分析和计算过程中, 对一段电路或者一个元器件上的电流和电压必须先规定电压、电流的参考方向, 至于如何规定正方向则是任意的。对一段电路或者一个元器件来说, 如果电流的参考方向和电压的参考方向一致, 则称为关联参考方向, 如图 1-4 (b) 所示, 反之则称为非关联参考方向。

3. 电动势

在电压作用下, 正电荷从电源正极经负载流到负极, 形成电流。为了维持连续不断的电流, 移到电源负极的正电荷还须逆着电场方向继续移向电源正极, 此过程需要外力克服电场力做功。如电池中化学反应产生的化学力、发电机中电磁感应产生的电磁力、热电偶中热电效应产生的力, 这些外力称为非电场力。

人们把衡量非电场力移动电荷做功能力的物理量称为电源电动势, 其符号用 E 表示。电动势的单位也是 V (伏特), 与电压单位相同。电动势的方向与电压相反。它的正方向规定为: 在电源内部由低电位点指向高电位点, 如图 1-4 (c) 所示。

电源具有电动势的同时产生电压。由于非电场力在电源内部做功, 电动势只存在于电源内部。而电压除了在电源外部存在外, 还存在于电源内部。因为当电源流过电流时, 需要克服电

源内阻做功。所以，一般电源两端电压总是小于电动势。只有当负载开路时，电源两端电压才与电动势相等。

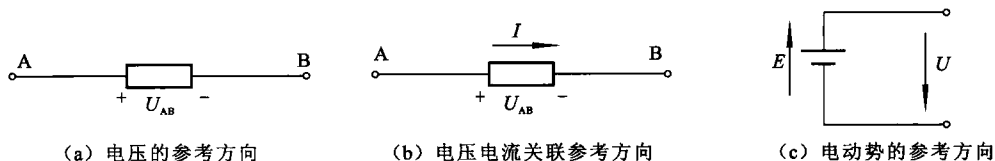


图 1-4 电压和电动势的参考方向

4. 电位

电位的概念，常用于电子线路、设备安全接地等问题中作电气性能的比较分析和计算。在这些电路中设有电位参考点或“接地”点，这些点上电位规定为零。当电路中某点“接地”时，电路中的其他各点与接地点之间的电压值，就是其他各点的电位值，电路中 A、B 两点间的电压就等于 A、B 两点间的电位差。比如，在电路中任选一点为参考点，称为零电位点，则电路中某点到参考点的电压就称为该点（相对于参考点）的电位。参考点在电路图中用符号“⊥”表示，如图 1-5（a）所示。电位的单位是 V（伏特）。为了与电压 U 相区别，电位的符号常用 V 表示。例如，选择 O 点为参考点时，则 A 点电位 $V_A = U_{AO}$ ， $V_B = U_{BO}$ ，A、B 两点的电压为

$$U_{AB} = U_{AO} + U_{OB} = U_{AO} - U_{BO} = V_A - V_B = -U_{BA}$$

因此，两点间的电压等于该两点的电位之差，电压的实际方向是由高电位点指向低电位点，所以有时也将电压称为电压降。电位与电压的关系如图 1-5（b）所示。

物理学中常选择无限远处或大地作为电位参考点。

电工技术中若研究的电路有接地点，就选择接地点为电位参考点，用符号 $\perp$ 表示。

电子线路中，常取若干导线汇集的公共点或机壳作为电位的参考点，用符号 $\perp$ 或 机壳 表示。

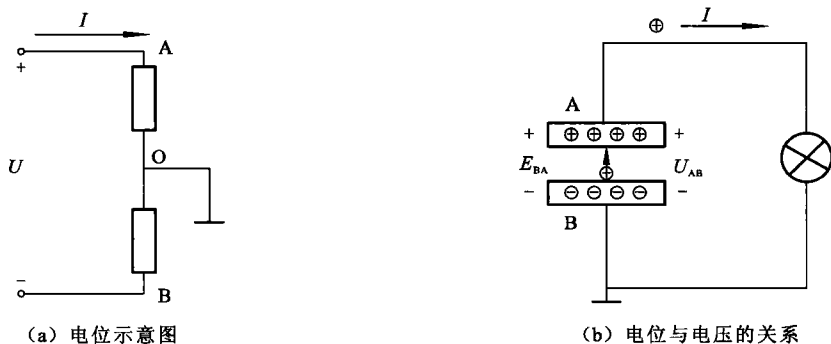


图 1-5 电位的概念

同一电路中，若选定不同的点为参考点，则同一点的电位是不同的。因此，参考点一经确定，其余各点的电位也就确定了。由于电位具有相对性，只有首先在电路中确定零电位点后，讨论计算电路各点的电位才有意义。

由此看出，虽然电位和电位差同属电压的概念，但电位指的是某点对参考点的电压，而电位差指的是某两点间的电压。当参考点改变时，电位的数值随之改变，而电位差的绝对值并不随之改变。电路中两点间的电压值是固定的，不会因参考点的不同而改变。

5. 电能和电功率

一段时间内电流在电路中所做的功称为电功。电功表达了一段时间内电路所消耗的电能；电能用符号 W 表示，单位是 J（焦耳），其表达式为

$$W = UI t \quad (1-1)$$

公式表示了在时间 t 内电场力将电荷量为 Q 的电荷移动一段距离做的功。

电流在单位时间内做的功称为电功率，用符号 P 表示，单位是 W（瓦特）。在电路两端加上 1 V 电压，通过的电流为 1 A 时，电功率等于 1 W，则

$$P = \frac{W}{t} = UI \quad (1-2)$$

电功率的单位除 W 外，还使用 kW（千瓦）、MW（兆瓦）、mW（毫瓦）、 μ W（微瓦）作单位。

$$1 \text{ kW} = 10^3 \text{ W} \quad 1 \text{ MW} = 10^6 \text{ W} \quad 1 \text{ mW} = 10^{-3} \text{ W} \quad 1 \mu\text{W} = 10^{-6} \text{ W}$$

当负载电阻为 R 时，它消耗的功率可用以下公式计算

$$P = I^2 R = \frac{U^2}{R}$$

【提示】

电气设备的功率既与电压有关，也与电流有关。在工作电压确定后，电流越大，设备所消耗的功率就越多。各个设备所消耗的功率都不应超过规定值，否则设备会因过热而受到损坏。

根据电压和电流的实际方向可以确定电路元件的功率性质。

当 U 和 I 的实际方向相同，电流由元件的“+”端流入“-”端流出，表明该元件取用（消耗）了功率，是负载性质。

当 U 和 I 的实际方向相反，电流由元件的“-”端流入“+”端流出，表明该元件发出功率，是电源性质。

由以上分析可知，在电路中当某一元件上的电压和电流的实际方向一致时， $P > 0$ ，该元件消耗功率是负载性质。如电压和电流的实际方向相反时， $P < 0$ ，该元件发出功率，是电源性质。

【例 1-1】图 1-6 中有 A、B 和 C 三个元件，其中有发出电功率的电池，也有吸收电功率的小灯泡。试判断出 A、B、C 分别是什么元件。

解：图中电流为顺时针方向。

（1）元件 A 电压与电流方向相同，为关联参考方向。

$$P_A = U_A I_A = 6 \text{ V} \times 2 \text{ A} = 12 \text{ W}$$

吸收电功率 12 W，表明元件 A 是小灯泡。

（2）元件 B 电压与电流方向相反，为非关联参考方向

$$P_B = -U_B I_B = -3 \text{ V} \times 2 \text{ A} = -6 \text{ W}$$

发出电功率 6 W，表明元件 B 是电池。

（3）元件 C 电压与电流的参考方向都是由上向下，为关联参考方向。关联参考方向时电压与电流的乘积为吸收的电功率。

$$P_C = U_C I_C = -3 \text{ V} \times 2 \text{ A} = -6 \text{ W}$$

吸收电功率 -6 W，就是发出 +6 W，表明元件 C 是电池。

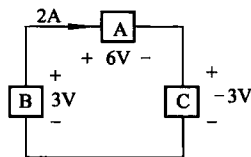


图 1-6 例 1-1 图

1.1.3 电路工作状态

电路的工作状态分为三种情况：通路、开路和短路。在不同的电路状态下电压、电流等物理量会有很大的变化，如图 1-7 所示。

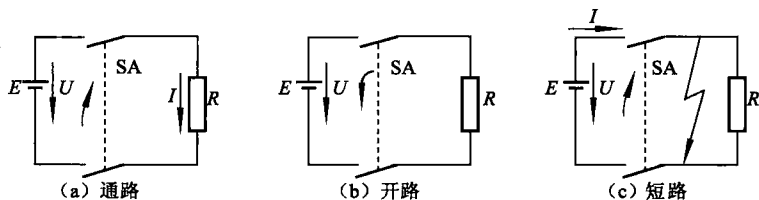


图 1-7 电路的三种状态

1. 通路

电源与负载连通的电路称为通路。在正常的通路状态下，开关处于接通状态，电源提供的是额定电压，电路中流过正常的工作电流，负载的能量转换符合规定需求。

2. 开路

电源与负载没有接成通路时，称为开路。除开关断开能使电路开路外，负载或线路上某处断线也能使电路开路。前者属正常开路，后者属故障开路。开路状态下，电路中没有电流，负载无法实现能量转换，由于电源无电能输出，人们称之为空载。

3. 短路

当负载或电源两端被电阻很小的导线连通时，称为短路。多数情况下短路都属不正常的故障状态。由于此时电路对电流的阻力大大削弱，线路上流过比正常状态大许多倍的短路电流。为防止短路电流烧坏线路和设备，通常在电路中加入熔断器或其他保护装置对负载与电源进行短路保护。

4. 负载的工作效率

负载在进行能量转换过程中，导线电阻因电流热效应产生损耗。若再考虑其他一些无功损耗，就使负载的输出功率小于电源提供的功率。负载的输出功率 P_2 与输入功率 P_1 之比称为负载的工作效率。用符号 η 表示，其表达式为

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \quad (1-3)$$

显然输出功率总是小于输入功率，所以任何用电设备的工作效率总是小于 1。

5. 额定值与工作状态之间的关系

额定值是制造厂商为了使机电设备能在给定的工作条件下正常运行而规定的正常允许值。

机电设备在使用时，电压、电流、功率的实际值不一定等于额定值。电器使用时的实际值不等于额定值的主要原因有：

- ① 电器受外界影响，如电压波动等；
- ② 负载变化时，电流、功率通常不一定处于额定工作状态。

机电设备的额定值常用有下标“e”的符号表示，如 U_e 表示额定电压， I_e 表示额定电流， P_e 表示额定功率。例如：一台电力变压器，铭牌上标有“高压、10 000 V，低压、400 V；低压

侧额定电流 808 A，额定容量 560 kV·A”。它表明当该变压器高压侧接 10 000 V 的输电线路时，低压侧线路输出额定电压 400 V，流向负载的最大电流允许有 808 A，此时它的额定总功率（视在功率）为 560 kV·A。

【提示】

为了在安全工作的前提下提高负载的工作效率，要求机电设备尽量工作在额定状态下。如果设备工作时，每个参数都满足额定值，就称设备工作在满载状态，若输出功率低于额定功率，就称设备工作在轻载状态。当输出功率高于额定功率时，设备的工作状态为超载或过载，轻载或过载都不属于设备正常的工作状态，过载严重时，易出现设备烧毁的事故。

机电设备的额定值实际上只是一个设计值，它表明设备长期正常工作时允许各参数变化的界限。实际工作中，机电设备不一定恰好在额定状态下工作，实际的工作电流和输出功率取决于负载的需要，而不是取决于设备本身的额定值。额定值只是向我们规定了一个设备长期正常工作的使用条件。作为设备的使用人员，任务之一就是要尽力使设备工作时不违反这些条件。

【应用案例】

照明电路如图 1-8 所示。若电路中有电源设备或有电源设备提供的电压，当电路中控制灯泡的开关闭合时，灯泡才会亮，这时电路中就会有电流流过灯泡，实现电能的转换。

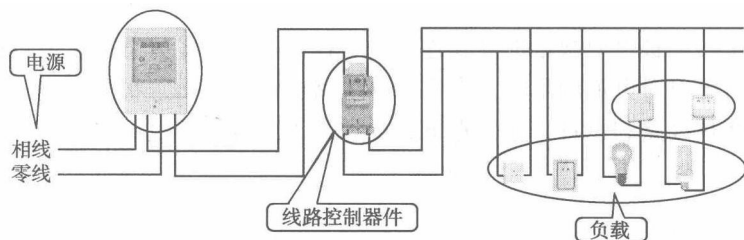


图 1-8 照明电路实例

照明电路中若开关断开，电路中虽然有电压，灯泡也不会亮。若电路中没有电源或没有电源提供的电压，只用导线把开关和灯泡连接起来，开关闭合时灯泡也不会亮。可见电路中存在电压是电路中形成电流的必要条件。

照明电路中的插座可提供电源电压，当用电器（如电视机）通过插座接通电源时，电视机才会工作，将电能转变为声音或图像信号输出；若电源停电，即使将电视机接通电源，它也不会工作。

【知识阅读】

挂在墙壁上的石英钟，当电池的电能耗尽时，指针会停止走动。在干电池用旧后，用万用表测量电池两端的电压，有时候依然比较高，但是接入电路后却不能使负载（石英钟、收音机、录音机等）正常工作。这种情况是因为电池的内电阻变大了，甚至比负载的电阻还大，但是依然比万用表的内电阻小。用万用表测量电池两端电压的时候，电池内电阻分得的电压还不大，所以万用表测得的电压依然比较高。但是电池接入电路后，电池内电