

21 世纪高职高专系列规划教材 > 电类基础课

高职高专“十二五”规划教材

电工基础与技能

DIANGONG JICHU
YU JINENG

主 编◎吕爱华
副主编◎林为农 谢海良 臧雪岩

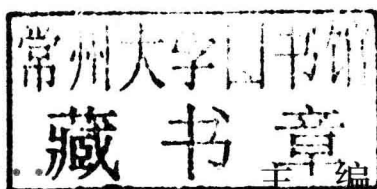


北京师范大学出版集团
BEIJING NORMAL UNIVERSITY PUBLISHING GROUP
北京师范大学出版社

21 世纪高职高专系列规划教材 > 电类基础课
高职高专“十二五”规划教材

电工基础与技能

DIANGONG JICHU
YU JINENG



主 编◎吕爱华
副主编◎林为农
参 编◎谢 恩
雷俊杰
金红莉

谢海良 臧雪岩
张 霞 陶 慧
郑 颖 吴艳花



北京师范大学出版集团
BEIJING NORMAL UNIVERSITY PUBLISHING GROUP
北京师范大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

电工基础与技能/吕爱华主编. —北京: 北京师范大学出版社, 2013.1

(21 世纪高职高专系列规划教材)

ISBN 978-7-303-15650-4

I. ①电… II. ①吕… III. ①电工学—高等职业教育—教材 IV. ①TM1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 269257 号

营销中心电话 010-58802755 58800035
北师大出版社职业教育分社网 <http://zjfs.bnup.com.cn>
电子信箱 bsdzyjy@126.com

出版发行: 北京师范大学出版社 www.bnup.com.cn

北京新街口外大街 19 号

邮政编码: 100875

印刷: 北京京师印务有限公司

经销: 全国新华书店

开本: 184 mm × 260mm

印张: 16

字数: 350 千字

版次: 2013 年 1 月第 1 版

印次: 2013 年 1 月第 1 次印刷

定价: 27.00 元 (含光盘)

策划编辑: 周光明

责任编辑: 周光明

美术编辑: 高霞

装帧设计: 华鲁印联

责任校对: 李茵

责任印制: 孙文凯

版权所有 侵权必究

反盗版、侵权举报电话: 010-58800697

北京读者服务部电话: 010-58808104

外埠邮购电话: 010-58808083

本书如有印装质量问题, 请与印制管理部联系调换。

印制管理部电话: 010-58800825

前言

《电工基础与技能》是高等职业院校机电类专业的一门基础课程,是根据高等职业教育的培养目标,以“工学结合、项目引导、教学做一体化”为原则编写的。使学生掌握必备的电工基础知识与基本技能,具有分析和处理生产和生活中电工问题的基本能力,具备继续学习后续机电类专业技能课程的基本学习能力,为获得相应的职业资格证书打下基础。着重培养学生的自主性、研究性学习的能力,为学生职业生涯的发展奠定基础。

本书在编写过程中“以应用为核心,以学生为主体”精选内容,力求实现理论与实践的有机结合,强化学生的实践操作能力,提高学生的上岗就业能力。在内容编排上采用“项目引领,任务驱动”法,以达到提高兴趣,巩固理论,知识迁移、培养能力的目的。

本书强调“学以致用”,力求体现新知识、新技术、新工艺、突出教材的实用性、适用性和科学性,尽可能体现现代高等职业教育的特点。

本书共7个项目:直流电路的分析与技能操作;正弦交流电路的分析与技能操作;三相交流电路的分析与技能操作;暂态电路的分析与技能操作;电工基本技能操作;变压器的基本知识及技能操作;三相异步电动机电气控制与技能操作。各项目分成若干任务,各任务以任务目标、任务描述、相关知识、技能操作、能力训练为主线而编写的。各项目后附有能力测试和质量评价,以检查学生学习效果。

本书可作为高职高专类院校的机电一体化、应用电子技术、机械制造及其自动化及相关专业的教材,也可供电气工程技术人员参考。

本书由襄阳汽车职业技术学院吕爱华担任主编并统稿,景德镇高等专科学校林为农、漯河职业技术学院谢海良、辽宁省交通高等专科学校臧雪岩担任副主编,其中,项目一、项目二、项目三由吕爱华编写,项目四由景德镇高等专科学校谢恩编写,项目五由襄阳汽车职业技术学院张霞和陶慧编写,项目六由林为农编写,项目七由谢海良编写。还有襄阳汽车职业技术学院雷俊杰、郑颖分别参与了项目六、项目七的编写,湖北文理学院吴艳花参与了项目二的编写,臧雪岩、北京经济管理职业学院金红莉参与了部分内容的编写。

由于编者水平有限,书中难免有错漏之处,恳请读者批评指正。

编者
2012年8月

目 录

项目一 直流电路的分析与技能操作

..... (1)

任务一 电路的基本概念及常用

电路元件认识 (1)

任务二 电路的基本定律和电源

的等效变换与实践

..... (19)

任务三 电路的基本分析方法与

实践 (29)

项目二 正弦交流电路的分析与

技能操作 (42)

任务四 正弦交流电的认识与测试

..... (42)

任务五 单一参数电路的分析与

实践 (51)

任务六 RLC 串联电路的分析与

实践 (60)

任务七 RLC 并联电路的分析与

技能操作 (67)

项目三 三相交流电路的分析与技能

操作 (78)

任务八 三相交流电源和三相负载

的连接与实践 (78)

任务九 三相交流电路的功率

与测试 (87)

项目四 暂态电路的分析与技能操作

..... (97)

任务十 RC 电路的暂态分析与

测试 (97)

任务十一 RL 电路的暂态分析与

测试 (107)

项目五 电工基本技能操作 (117)

任务十二 电工工具的识别与使用

..... (117)

任务十三 常用电工仪表的识别

与使用 (126)

任务十四 导线的连接 (138)

任务十五 线路安装与安全用电

..... (148)

项目六 变压器的基本知识与技能操作

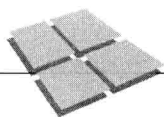
..... (164)

任务十六 磁路、磁路欧姆定律

与实践 (164)

任务十七 变压器的基础知识

与实践 (173)



项目七 三相异步电动机电气控制与

技能操作 (192)

任务十八 异步电动机的基础知识
与实践 (192)

任务十九 常用低压电器的认识
与拆装 (202)

任务二十 三相异步电动机的直接
启动控制线路与安装
..... (220)

任务二十一 三相异步电动机的
正反转控制线路与
安装 (225)

任务二十二 三相异步电动机的
降压启动线路与安装
..... (230)

任务二十三 三相异步电动机的
制动控制线路与安装
..... (235)

任务二十四 三相异步电动机的
调速控制线路与安装
..... (239)

参考文献 (250)

项目一 直流电路的分析与技能操作

>>> 项目描述

电是能量和信息的良好载体。为了实现电能和电信号的产生、传输及使用,人们往往将若干电气元件按照特定的要求连接起来,构成“电路”。由直流电源供电的电路称为直流电路,它是电路分析、研究的基础。本项目主要完成电路基本元件的测量,熟悉电路的基本定理和定律并能通过实践操作验证,学会用电路的基本分析方法计算较为复杂的直流电路。

>>> 知识目标

1. 掌握电路及基本物理量的概念和计算;
2. 掌握常用电路元件串、并和混联电路的特点;
3. 掌握基尔霍夫定律,能应用基尔霍夫定律分析和计算复杂电路;
4. 熟悉电路的等效变换和电压源与电流源的等效变换,并能用电路的等效变换分析和计算直流电路;
5. 会应用戴维南定理、诺顿定理、叠加定理和支路电流法来分析和计算复杂电路。

>>> 技能目标

1. 掌握直流电流、直流电压的测量方法,会正确使用直流电流表和直流电压表;
2. 熟练使用万用表来测量电路中的电阻、电容和电感元件;
3. 学会验证基尔霍夫定律、戴维南定理、诺顿定理。

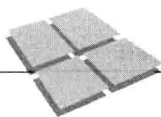
任务一 电路的基本概念及常用电路元件认识

>>> 任务目标

1. 熟悉电路的组成及其功能;
2. 认识常用电路元器件符号;
3. 正确理解电路的基本物理量和电路的三种状态;
4. 掌握 R 、 L 、 C 电路元件的电特性并能用仪表正确测试。

>>> 任务描述

电路都是由元器件组成的,常用电路主要由电阻器、电容器、电感器和各种半导体器件构成。学习并掌握这些常用元器件的分类、型号、判别与选用方法并进行训练,才能在电路中正确地选择和使用它们。任何电路都有三种状态,即有载工作状态、短路状态和断路状态。通过对电流、电压和电位的测量可直接反映出电路的工作状态。



掌握电路的这三种状态的物理特性，是学好电工基础的前提条件之一。



相关知识

一、电路的基本概念

1. 电路的组成

电路是为了实现一定目的而连接起来的若干电气元件的集合，是电流所流过的路径。电路的形式多种多样，干电池、灯泡、开关和连接导线就构成了一个最简单的电路。通常用一些规定的图形符号来代表实际的电路元件，并用连线表示它们之间的连接关系，画成原理图进行分析，电路原理图简称电路图。

一个完整的电路一般是由电源、负载、中间环节三部分组成。图 1-1 所示的电路是一个最简单的手电筒电路。

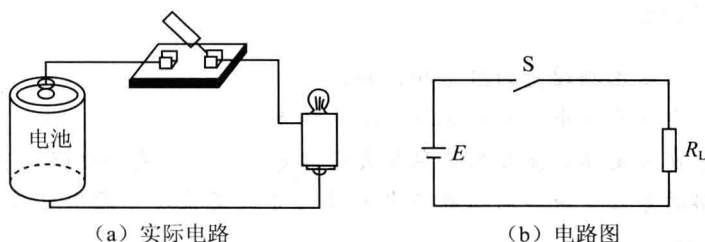


图 1-1 手电筒电路图

(1)电源：将各种非电能转换成电能，向负载提供电能的设备称为电源。常见的电源有干电池、蓄电池、发电机等。

(2)负载：也称用电器，是各种用电设备的总称，是取用电能的装置，它把电能转换为其他形式的能量。家用电器、电动机等都是负载。

(3)中间环节：连接电源和负载的部分，它起传输和分配电能、控制和保护电气设备的作用。中间环节包括导线、电气控制元件，如闸刀开关、空气开关、熔断器、热继电器等。

实际电路的分析和计算一般根据电路图来进行。因此，熟悉电路元件符号，掌握电路图的画法是十分重要的。表 1-1 中列出了部分常用电路元件的符号。

表 1-1 部分常用电路元件的符号

	开关		电阻		接机壳
	电池		电位器		接地
	线圈		电容		连接导线
	铁芯线圈		电流表		不连接导线
	电压源		电压表		熔断器
	电流源		二极管		电灯

2. 电路的功能

电路具有两个主要功能：其一，在电路中随着电流的流动，它能实现电能与其他形式能量的转换、传输和分配，例如，发电厂把热能转换成电能，再通过变压器、输电线送到各用户，用户把它们再转换为光能、热能和机械能加以使用，如图 1-2 所示是电力系统电路示意图；其二，电路可以实现信号的传递和处理。通过电路可以把输入的信号“变换”或“加工”成其他所需要的输出信号，例如，图 1-3 所示是一个扩音机电路图，传声器将接收到的声音信号转换成电信号输出，再经放大器将电信号放大后送到扬声器，扬声器将电信号转换为声音信号输出。这种将信号进行转换和放大的过程就称为信号的处理。

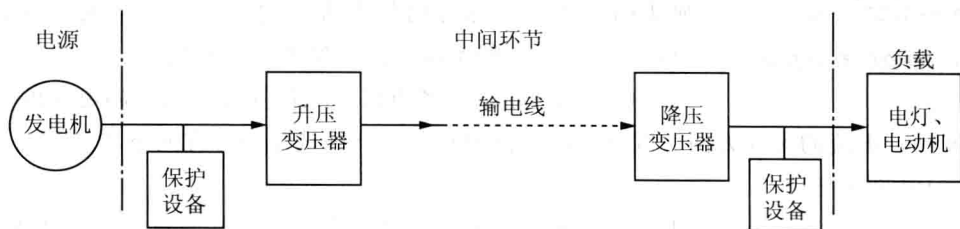


图 1-2 电力系统示意图

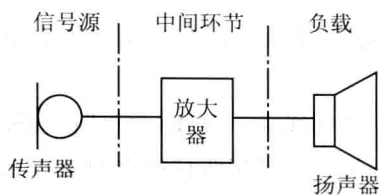


图 1-3 扩音机电路示意图

二、电路的基本物理量

电路的基本物理量有电流、电压、电位、电动势、功率和能量。

1. 电流

在电场的作用下，电荷有规则的移动形成电流。电流不仅有大小，还有方向。

(1) 电流的大小。

电流的大小由电流强度来表示，电流在数值上等于单位时间内通过某一导体横截面的电荷量。电流分两种，即直流电流(DC)和交流电流(AC)。大小和方向都不随时间的变化而变化的电流称为直流电流，常用大写字母 I 表示，即

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

大小和方向都随时间的变化而变化的电流称为交流电流，常用小写字母 i 表示，即

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1-2)$$



在国际单位制中, 电流的单位是安培, 简称安, 符号为 A。常用的单位还有千安(kA)、毫安(mA)、微安(μA), 它们之间的关系为

$$1\text{kA}=1000\text{A}, 1\text{mA}=10^{-3}\text{A}, 1\mu\text{A}=10^{-6}\text{A}$$

(2) 电流方向。

电流的实际方向习惯上规定是正电荷移动的方向。

在分析电路时, 对复杂电路由于无法确定电流的实际方向, 或电流的实际方向在不断地变化, 所以引入了“参考方向”的概念。

参考方向是一个假想的电流方向。在分析电路前, 需先任意规定未知电流的参考方向, 并用实线箭头标于电路图上, 如图 1-4 所示。

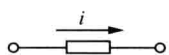


图 1-4 电流的参考方向

确定参考方向电流就成为一个代数量, 当电流为正值($i>0$)时, 则表明电流的实际方向与参考方向相同; 当电流为负值时($i<0$), 则表明电流的实际方向与参考方向相反。

这样电流在选定的参考方向下, 根据计算得出的电流的正负值就能确定电流的实际方向。因此, 电流值的正负只有在选定参考方向下才有意义。

(3) 电流的测量。

电路中的电流大小可用电流表来测量。电流表又称安培表, 其测量接线图如图 1-5 所示。

电流表使用时要注意以下几点。

①对交、直流电流应分别使用交流电流表和直流电流表测量;

②直流电流表有“+”、“-”接线柱。接线时“+”接线柱接电源正极或靠近电源正极的一端, “-”接线柱接电源负极或靠近电源负极的一端, 如图 1-5 所示;

③测量时电流表应串接在待测电路中;

④防止短路, 流过电流表的电流一定要同时流过用电器, 不能不经过用电器而直接接到电源的两极上;

⑤选择合适的量程, 电流表选用量程一般应为被测电流值的 1.5~2 倍。

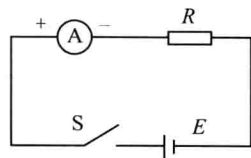


图 1-5 电流表的接线图

2. 电位与电压

(1) 电位。

在电路中, 电流的流动说明电场力对电荷做了功。正电荷在电路的某一点上具有一定的电位能。要确定电位能的大小, 必须在电路上选择一参考点作为基准点。正电荷在某点所具有的电位能就等于电场力把正电荷从某点移到参考点所做的功。在图 1-6 所示的电路中, 以 B 点为参考点, 则正电荷在 A 点所具有的电位能 W_A 与正电荷所带电量 Q 的比值, 称为电路中 A 点的电位, 用 U_A 表示。

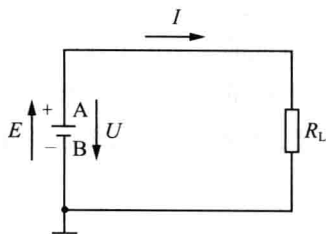


图 1-6 B 点为参考点的电路

$$U_A = \frac{W_A}{Q} \quad (1-3)$$

电位的单位是焦耳/库仑(J/C)，称为伏特，简称伏(V)。

电路中某点电位的高低是相对于参考点而言的，参考点不同，则各点电位的大小也不同。但参考点一经选定，则电路中各点的电位就是一定值。参考点的电位通常设为零，在实际电路中常以机壳或大地为参考点，即把机壳或大地的电位规定为零电位。电位高于零电位为正值，电位低于零电位为负值。

(2) 电压。

单位正电荷，在电场力的作用下从 A 点移动到 B 点，电场所做的功为这两点之间的电压差，也称为电压，其中 A 点的电动势能高于 B 点。如果电场力把正电荷 Q 从 A 点移动到 B 点所做的功为 W_{AB} ，则电场中 A 点到 B 点的电压为

$$U_{AB} = \frac{W_{AB}}{Q} \quad (1-4)$$

电场力把 1 库仑(C)的电荷量从 A 点移动到 B 点，如果所做的功为 1 焦耳(J)，那么 A、B 两点之间的电压就是 1 伏特(简称伏)，用字母 V 表示。对于较高或较低的电压，工程上还常用千伏(kV)毫伏(mV)或微伏(μ V)做单位，换算关系为

$$1\text{kV} = 10^3\text{V}, 1\text{mV} = 10^{-3}\text{V}, 1\mu\text{V} = 10^{-6}\text{V}$$

瞬时电压用小写字母 u 表示，恒定电压用大写字母 U 表示。

通常定义由高电位指向低电位，即电位降低的方向为实际电压的正方向。在分析和计算电路时，可任意设置电压的参考方向，可以用“+”、“-”号表示电压极性，“+”极对应假定的高电位的高电位端，“-”极对应低电位端；也可以用双脚标表示电压的方向，如 U_{AB} ，前标 A 表示假定的高电位端，后标 B 表示低电位端，图 1-7 给出了一些实例。

在图中一般标注的是电压参考方向。当电压的实际方向与参考方向相同，则为正值，反之为负。必须强调指出，在未标出电压参考极性的情况下，其正、负值是毫无意义的。在分析电路时，某一段电路上电流的参考方向与电压的参考方向一致，即电流从电压正极端流入，负极端流出时为关联方向，所谓“关联方向”的含义是指一个量的参考方向与另一个量的参考方向一致，如图 1-8(a) 所示；当参考方向相反时，称为非关联方向，如图 1-8(b) 所示。

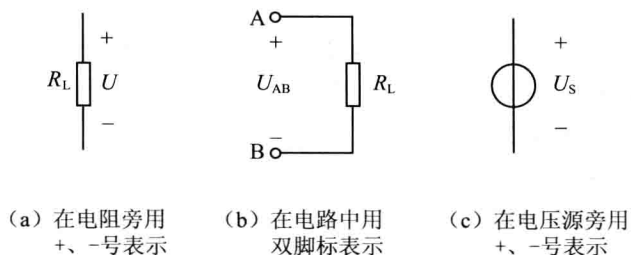


图 1-7 电压参考方向的表示方法图

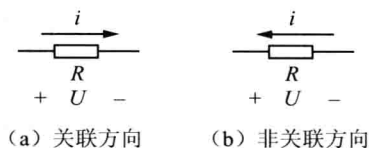
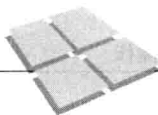


图 1-8 电压、电流参考方向的关系

(3) 电压的测量。

电源两端或某段电路两端的电压可用电压表测量。电压表又称伏特表，其测量接



线图如图 1-9 所示。

电压表使用时要注意以下几点：

①对交、直流电压应分别使用交流电压表和直流电压表测量；

②直流电压表有“+”、“-”接线柱：接线时“+”接线柱接电源正极或靠近电源正极的一端，“-”接线柱接电源负极或靠近电源负极的一端，如图 1-9 所示；

③测量时电压表应并接在待测电路中；

④选择合适的量程。

例 1-1 在图 1-10 所示的电路中，B 点为参考点，已知电压 $U_{AB} = 12\text{V}$ ， $U_{BC} = -6\text{V}$ ， $U_{CD} = 6\text{V}$ ，试求电位 U_A 、 U_B 、 U_C 和 U_D 。

解：以 B 为参考点，即 $U_B = 0$ 。

$$U_A = U_{AB} + U_B = U_{AB} = 12(\text{V})$$

$$U_C = U_B - U_{BC} = -U_{BC} = 6(\text{V})$$

$$U_D = U_C - U_{CD} = 6\text{V} - 6\text{V} = 0(\text{V})$$

3. 电动势

在电源内部电源力不断地把正电荷从低电位移到高电位。在这个过程中，电源力要反抗电场力做功，这个做功过程就是电源将其他形式的能转换成电能的过程。对于不同的电源，电源力做功的性质和大小不同，为此，引入电动势这个物理量。衡量电源的电源力大小及其方向的物理量叫做电源的电动势。

电动势的大小等于电源力把单位正电荷从电源的负极经过电源内部移送到电源的正极所做的功。如，设 W 为电源中非静电力(电源力)把正电荷量 Q 从负极经过电源内部移送到电源的正极所做的功，则电动势的大小为：

$$E = \frac{W}{Q} \quad (1-5)$$

电动势通常用符号 E 或 e 表示，电动势的国际单位为伏特，记作 V 。

电动势的方向规定为从电源的负极经过电源内部指向电源的正极，即与电源两端电压的方向相反，如图 1-11 所示。

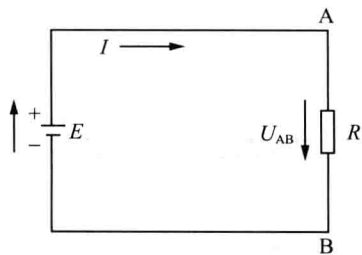


图 1-11 电动势与电压的正方向

应当指出电动势与电压是两个意义不同的物理量。电动势存在于电源内部，是衡量电源力做功本领的物理量；电压存在于电源的外部，是衡量电场力做功本领的物理量。

4. 电能与电功率

电能可以使白炽灯发光、电动机转动、电炉和电烙铁发热，这些都说明电流通过电气设备时做了功。消耗了电能，电气设备在工作时间消耗的电能(也称为电功)用 W 表示。电能的大小与通过电气设备的电

流和加在电气设备两端的电压以及通过的时间成正比，即

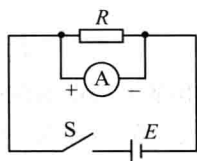


图 1-9 电压表的接线图

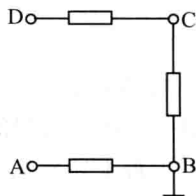


图 1-10 电路图

$$W = UI t \quad (1-6)$$

电能的单位是焦耳,简称焦(J)。在工程上常用度即千瓦小时(kW·h)作单位。
 $1\text{kW}\cdot\text{h}=3.6\times 10^6\text{J}$ 。

用电设备在单位时间内消耗的电能称为电功率(简称功率),它是用来衡量能量转换速率的量,用 P 表示。

$$P = \frac{W}{t} = \frac{UQ}{t} = \frac{UI t}{t} = UI \quad (1-7)$$

功率的单位是瓦特,简称瓦(W)。工程上,功率常用单位千瓦(kW)、兆瓦(MW)、毫瓦(mW)和微瓦(μW)表示。

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

应当指出: $P=UI$ 适用于电压与电流为关联参考方向的场合,如果取非关联参考方向,则应写成 $P=-UI$ 。在这个规定下 $P>0$,说明元件消耗电能;反之 $P<0$ 则说明元件提供电能。

电气设备的铭牌上都标出电流、电压和功率的限额,以表示其正常工作条件和工作能力称为电气设备的额定值,额定值是制造厂对设备的使用规定,使用者务必注意,尤其重要的是额定电流的概念,它是指电气设备在一定的环境温度下长期连续工作时或在规定的时间内,所容许通过的最大电流,当电气设备运行在额定值时,称为额定运行状态,简称满载;若超过额定值运行时,称为过载;若低于额定值运行时,称为欠载。电气设备运行在额定状态下时,效率高、寿命长、安全可靠,否则,会使电气设备的使用寿命和效率降低,甚至会损坏设备。额定电压、额定电流、额定功率分别用 U_N 、 I_N 、 P_N 表示。

三、电路的三种工作状态

电路有三种不同的工作状态,即有载工作状态、短路状态和断路状态。

1. 电路的有载工作状态

如图 1-12 所示电路, R_0 与 E 构成实际电源模型, R_0 为电源内阻, E 为电源电动势, R_L 为负载电阻。当开关 S 闭合,电路便处于有载工作状态。此时,电路有以下特征:

(1)电路中的电流为

$$I = \frac{E}{R_0 + R_L} \quad (1-8)$$

(2)电源的端电压为

$$U = E - R_0 I \quad (1-9)$$

由(1-9)式可知:电源的端电压 U 小于电动势 E 。若忽略线路上的电压降,则负载两端的电压 U_L ,等于电源的端电压 U ,即

$$U = U_L \quad (1-10)$$

(3)电源的输出功率为

$$P_1 = UI = (E - R_0 I) I = EI - R_0 I^2 \quad (1-11)$$

上式表明,电源发出的功率 EI 减去电源内阻上的消耗 $R_0 I^2$,才是供给负载的功率,显然,负载所吸取的功率为

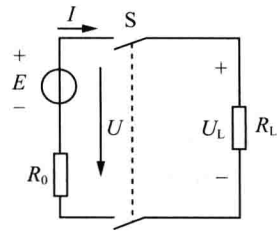


图 1-12 有载工作状态的电路



$$P_2 = U_L I = UI = P_1 \quad (1-12)$$

2. 电路的断路工作状态

如图 1-13 所示电路, 当开关断开或连接线任何一处断开时, 电路便处于断路状态, 断路状态又称开路状态, 电路处于这种状态下, 电源和负载未构成闭合电路, 这时外电路所呈现的电阻对电源来说是无穷大, 因此, 电路具有以下特征:

(1) 电路中的电流为零, 即

$$I=0$$

(2) 电源的端电压等于电源电动势, 即

$$U = E - R_0 I = E \quad (1-13)$$

(3) 电源的输出功率 P_1 和负载所吸收的功率 P_2 均为零, 即

$$P_1 = P_2 = 0 \quad (1-14)$$

3. 电路的短路工作状态

如图 1-14 所示电路, 当电源的两输出端或负载的两端由于某种原因相接触时, 电路便处于短路状态, 电路处于这种状态下, 外电路所呈现的电阻对电源来说等于零, 因此, 电路具有以下特征:

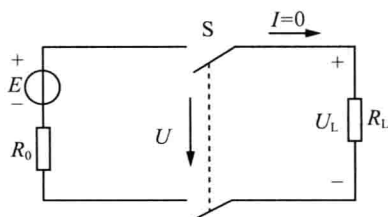


图 1-13 断路状态的电路

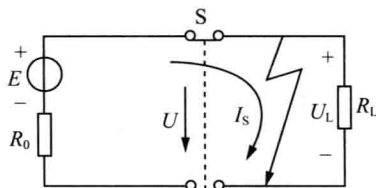


图 1-14 短路状态的电路

(1) 电源中的电流为

$$I_s = \frac{E}{R_0} \quad (1-15)$$

短路状态下电源中流过的电流称为短路电流, 用 I_s 表示。一般电源的内电阻 R_0 很小, 因此, 短路电流很大。

(2) 电源端电压和负载电压为

$$U = U_L = E - I_s R_0 = 0 \quad (1-16)$$

上式说明电源电动势大小与电源的内阻电压降相等, 方向相反, 因此, 电源端电压等于零; 换一个角度也可理解, 由于电路处于短路状态下, 外电路电阻等于零, 因此, 无论外电路电流多大, 电源端电压总是等于零。

(3) 电源供给负载的功率 P_1 及负载吸收的功率 P_2 均为零, 电源发出的功率 $E I_s$ 全部消耗在电源内阻上, 即

$$E I_s - I_s^2 R_0 = 0 \quad (1-17)$$

电路处于短路状态, 因其短路电流过大, 会导致电源或电气设备发热而烧毁, 电路在工作中应尽量避免。因此, 实际电路中往往加装熔断器等进行电路的短路保护。

例 1-2 如图 1-14 所示, 已知 $E=220$, $R_0=0.2\Omega$, 导线电阻 $r_L=0.3\Omega$, 负载电阻 $R_L=10.2\Omega$, 求: (1) 电路在正常工作情况下的电流 I ; (2) 当负载两端发生短路时, 电

源中通过的电流 I'_s ；(3)当电源两端发生短路时，电源中通过的电流 I''_s 。

解：(1)正常工作时的电流为

$$I = \frac{E}{R_0 + 2r_{L_1} + R_{L_1}} = \frac{220}{0.2 + 2 \times 0.3 + 9.2} = 20(\text{A})$$

(2)当负载两端发生短路时电流为

$$I'_s = \frac{E}{R_0 + 2r_{L_1}} = \frac{220}{0.2 + 2 \times 0.3} = 275(\text{A})$$

(3)当电源两端发生短路时电流为

$$I''_s = \frac{E}{R_0} = \frac{220}{0.2} = 1100(\text{A})$$

四、电路的基本元件

1. 电阻元件

电阻元件对电路中的电流具有阻碍作用，是耗能元件。

电阻器简称电阻，它是电路元件中应用最广泛的一种，其质量的好坏对电路工作的稳定性有极大影响。电阻的主要用途是稳定和调节电路中的电流和电压，在电路中常用于分流、分压、滤波(与电容组合)、耦合、阻抗匹配、负载等，电阻用符号 R 表示，电阻的单位用欧姆(Ω)表示。电阻的外形结构示意图如图 1-15 所示。

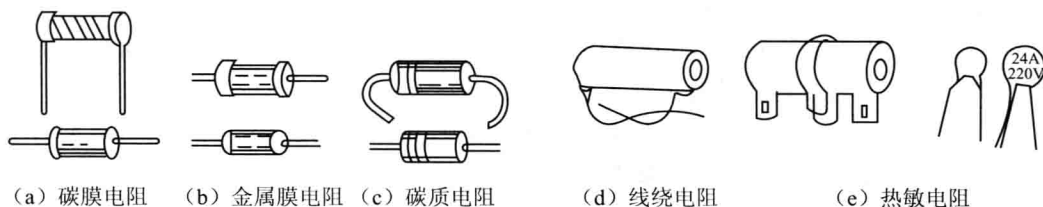


图 1-15 常用固定电阻器外形

(1)电阻的分类。

①按电阻体的材料和结构特征分有线绕电阻和非线绕电阻及敏感电阻。

②按电阻的用途分有通用电阻、精密电阻、高阻电阻、高压电阻和高频电阻等。

(2)电阻的伏安特性。

1827 年德国科学家欧姆总结出：施加于电阻元件上的电压与通过它的电流成正比。

如图 1-16 所示电路， U 、 I 的为关联参考方向，其伏安特性为

$$U = IR \quad (1-18)$$

U 、 I 的为非关联参考方向时，有

$$U = -IR$$

(3)电阻元件的连接。

①串联电路。

把电阻一个接一个地首尾依次连接起来，就组成串联电路，如图 1-17 所示。串联电路的基本特点是：

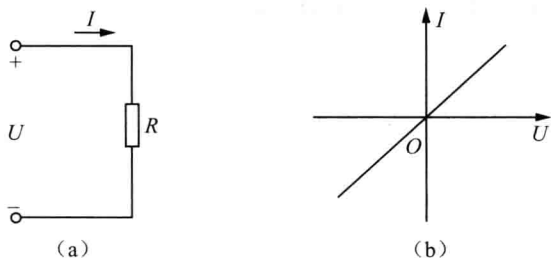
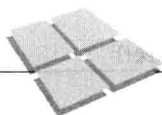


图 1-16 电阻元件及伏安特性

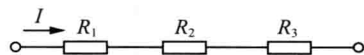


图 1-17 电阻的串联

- 电路中各处的电流强度相等；
- 电路两端的总电压等于各部分电路两端的电压之和。

串联电路的总电阻。用 R 代表串联电路的总电阻， I 代表电流强度，根据欧姆定律可得，

$$R = R_1 + R_2 + R_3 \quad (1-19)$$

即串联电路的总电阻等于各个电阻之和。

串联电路的电压分配。在串联电路中，

$$U_1 = IR_1, U_2 = IR_2, \dots, U_n = IR_n \quad (1-20)$$

即串联电路中各个电阻两端的电压与它的阻值成正比。

串联电路的功率分配。串联电路中某个电阻 R_k 消耗的功率 $P_k = IU_k$ ，而 $U_k = IR_k$ ，因此 $P_k = I^2 R_k$ ，各个电阻消耗的功率分别是：

$$P_1 = I^2 R_1, P_2 = I^2 R_2, \dots, P_n = I^2 R_n \quad (1-21)$$

即串联电路中各个电阻消耗的功率与它的阻值成正比。

② 并联电路。

把两个或两个以上电阻接到电路中的两点之间，电阻两端承受的是同一个电压的电路，叫做电阻并联电路。图 1-18 是三个电阻 R_1 、 R_2 、 R_3 组成的并联电路。并联电路的基本特点是：

- 电路中各支路两端的电压相等；
- 电路中的总电流强度等于各支路的电流强度之和。

并联电路的总电阻。用 R 代表并联电路的总电阻， U 代表电压，根据欧姆定律可得，

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \quad (1-22)$$

即并联电路总电阻的倒数，等于各个电阻的倒数之和。

若是两个电阻并联，可得

$$R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

由此可见，并联电路的总电阻小于其中任意一个电阻的电阻值。

并联电路的电流分配。在并联电路中，由于

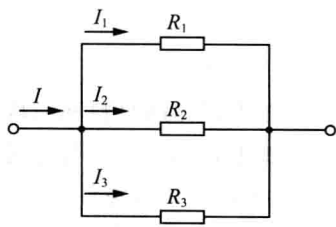


图 1-18 电阻的并联

$$I_1 = \frac{U}{R_1}, I_2 = \frac{U}{R_2}, \dots, I_n = \frac{U}{R_n} \quad (1-23)$$

即并联电路中通过各个电阻的电流强度与它的阻值成反比。

$$\begin{aligned} I_1 &= \frac{U}{R_1} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} I \\ I_2 &= \frac{U}{R_2} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} I \end{aligned} \quad (1-24)$$

式(1-24)就是两个电阻并联时的分流公式。

并联电路的功率分配。并联电路中，各个电阻消耗的功率分别是：

$$P_1 = \frac{U^2}{R_1}, P_2 = \frac{U^2}{R_2}, \dots, P_n = \frac{U^2}{R_n}$$

可得

$$P_1 R_1 = P_2 R_2 = \dots = P_n R_n \quad (1-25)$$

即并联电路中各个电阻消耗的功率与它的阻值成反比。

③混联电路。

在实际电路中，既有电阻的串联又有电阻的并联，这种电路被称为电阻的混联。分析电阻混联的一般步骤：

- 计算各串联电阻和并联电阻的等效电阻，再计算总的等效电阻；
- 用欧姆定律求出总电流；
- 根据串联电阻分压关系，并联电阻分流关系，逐步计算出各支路电流、各部分电压以及电路的其他参数。

例 1-3 如图 1-19(a) 所示， $U_{AB} = 6V$ ， $R_1 = 1\Omega$ ， $R_2 = 2\Omega$ ， $R_3 = 3\Omega$ ，当开关 S_1 、 S_2 同时开时或同时合上时，求 R 和 I 。

解：(1) 当开关 S_1 、 S_2 同时开时，相当于 3 个电阻在串联，则：

$$R = R_1 + R_2 + R_3 = 6(\Omega)$$

$$I = \frac{U}{R} = \frac{6}{6} = 1(A)$$

(2) 当开关 S_1 、 S_2 同时闭合时，等效电路如图 1-19(b) 所示。

$$R = R_1 // R_2 // R_3 = \frac{6}{11}(\Omega)$$

$$I = \frac{U}{R} = \frac{6}{\frac{6}{11}} = 11(A)$$

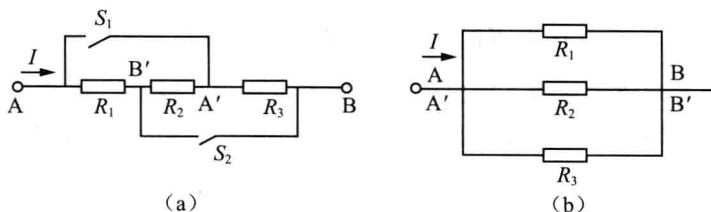


图 1-19