



机电类 **新技师** 培养规划教材

电工与电子基础

DIANGONG YU DIANZI JICHU

中国机械工业教育协会

组编

全国职业培训教学工作指导委员会

机电专业委员会

郝晶卉 主编

赠送电子教案



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

机电类新技师培养规划教材

电工与电子基础

中国机械工业教育协会

全国职业培训教学工作指导委员会机电专业委员会 组编

郝晶卉 主编



机械工业出版社

本书是根据中国机械工业教育协会和全国职业培训教学工作指导委员会机电专业委员会组织制定的技师教学计划和教学大纲编写的。本书的主要内容有直流电路及其基本规律；复杂直流电路的分析方法，正弦交流电路，磁路，模拟电路基础和数字电路基础。

本书的教学计划和大纲是依据《国家职业标准》中对技师的要求制定的，内容立足岗位，以必需、够用为度。本书配有教学计划和大纲、电子教案，部分教材还有多媒体课件和习题及其解答，可供高级技校、技师学院、高等职业院校使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

电工与电子基础/郝晶卉主编. —北京: 机械工业出版社, 2008. 9

机电类新技师培养规划教材

ISBN 978 - 7 - 111 - 25029 - 6

I. 电… II. 郝… III. ①电工技术 - 技术培训 - 教材
②电子技术 - 技术培训 - 教材 IV. TM TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 134029 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 王英杰 侯宪国

责任编辑: 王英杰 侯宪国 王 师 责任校对: 魏俊云

封面设计: 王伟光 责任印制: 邓 博

北京京丰印刷厂印刷

2009 年 1 月第 1 版 · 第 1 次印刷

184mm × 260mm · 10.25 印张 · 253 千字

0 001 — 4 000 册

标准书号: ISBN 978 - 7 - 111 - 25029 - 6

定价: 18.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

销售服务热线电话: (010) 68326294

购书热线电话: (010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话: (010) 88379078

封面无防伪标均为盗版

前 言

随着全球知识经济的快速发展,我国工业化建设也呈现迅猛发展之势,因而技术工人十分缺乏。为了顺应形势的发展要求,我国出台了一系列大力发展职业教育的政策:劳动和社会保障部颁布了最新《国家职业标准》,继续实行职业准入制度,并将国家职业资格由三级(初、中、高)改为五级(初、中、高、技师、高级技师),对技术工人的工作内容、技能要求和相关知识进行了重新界定。教育部根据国务院“大力开展职业教育”的精神进行了职业教育的改革,高职院校、中职学校相应地改制、扩招,以培养更多的技术工人。

经过几年的努力,技术工人在数量上的矛盾在一定程度上得到缓解,但在结构比例上的矛盾突显出来。高级工、技师、高级技师等高技能人才在技术工人中的比重远远低于发达国家,而且他们年龄普遍偏大,文化程度偏低,学习高技能人才比较困难。为打破这一局面,加快数量充足、结构合理、素质优良的技术技能型、复合技能型和知识技能型高技能人才的培养,劳动和社会保障部提出了“新技师培养带动计划”,即在完成“3年50万”新技师培养计划的基础上,力争“十一五”期间在全国培养技师和高级技师190万名,培养高级技工700万名,使我国从“世界制造业大国”逐步转变为“世界制造业强国”。为此,劳动和社会保障部决定:除在企业中培养和评聘技师外,要探索出一条在技师学院中培养技师的道路来。中国机械工业教育协会和全国职业培训教学工作指导委员会经研究决定,制定机电行业的技师培养方案。

在上述原则的指导下,中国机械工业教育协会和全国职业培训教学工作指导委员会机电专业委员会组织30多所高级技校、技师学院和企业培训中心等单位,经过广泛地调研论证,决定首批选定五个工种(职业)——模具工、机修钳工、电气维修工、焊工、数控机床操作工作为在技师学院培养技师的试点。对学制、培养目标、教学原则、专业设置、教学计划、教学大纲、课程设置、学时安排、教材定位、编写方式等,参照《国家职业标准》中相关工种对技师和高级技师的要求,结合各校、各地区企业的实际,经过历时三年的充分论证,完成了教学计划和教学大纲的制定和审定工作,并明确了教材编写的思想。

使用本套“机电类新技师培养规划教材”在技师学院培养技师,招收的学员必须符合的条件是:已取得高级职业资格(国家职业资格三级)的高级技校的毕业生,或具有高级职业资格证书的本职业或相近职业的人员。本套教材的编写充分体现“教、学、做”合一的职教办学原则,其特点如下:

(1) 教材内容新,贴合岗位实际,满足职业鉴定要求。当今国际经济大格局的进程加快了各类型企业的先进加工技术、先进设备和新材料的使用,作为技师必须适应这种要求。教材中也相应增加了新知识、新技术、新工艺、新设备等方面的内容。另外,教材的内容以《国家职业标准》中对技师和高级技师的知识技能要求为基础,设置的实训项目或实例从岗

位的实际需要出发,是生产实践中的综合性、典型性的技术问题,既最大限度地体现学以致用的目的,又满足学生毕业考工取得职业资格证书的需要。

(2) 针对每个工种(职业),均编写一本《相关工种技能训练》。随着全球化进程的加快,我国的生产力发展水平和职业资格体系应与国际相适应。因此,技师应该是具有高操作技能的复合型人才。例如,模具工技师不应仅是模具工方面的行家里手,还应懂得车、铣、数控、磨、刨、镗和线切割、电火花等加工技术,以适应现代制造业的发展趋势。故此《相关工种技能训练(模具工)》中,就包含上述内容。其他工种与此类似。

(3) 理论和技能有机结合。劳动和社会保障部颁布的“新技师培养带动计划”中明确指出“建立校企合作培养高技能人才”的制度,现在许多技师学院从企业中聘请具有丰富实践经验的工程技术人员作为技能课教师,各专题理论与实践融合在一起的编写方式,更适于这种教学制度。

(4) 单独编写了两本公共课教材——《实用数学》和《应用文写作》。新时代对技师的要求不仅是技术技能型人才,还应是知识技能型甚至是复合技能型的高技能人才,有一定的数学理论基础和写作能力是新技师必备的素质。《实用数学》运用微积分知识分析解决生产中的实际问题,少推理,重应用;《应用文写作》除介绍普通事务文书、经济文书、法律文书、日常事务文书的写法外,还教授科技文书的写法,其中科技论文的写法对于技师论文的写作会有很大裨益。

(5) 本套教材配有电子教案。电子教案包括教学计划、教学大纲、每章的培训目标、内容简介、重点难点,教师上课的板书,本章小结、配套习题及答案等等。

(6) 练习题是国家题库及各地鉴定考题的综合归纳和提升。

本套教材的编写得到了各技师学院、高级技工学校领导的高度重视和大力支持,编写人员都是职业教育教学一线的优秀教师,保障了这套教材的质量。在此,对为这套教材出版给予帮助和支持的所有学校、领导、老师表示衷心的感谢!

本书由郝晶卉任主编,赵晓斌、付延参加编写,周继功任主审。

由于编写时间和编者水平所限,书中难免存在不足或错误,敬请广大读者不吝赐教!

中国机械工业教育协会
全国职业培训教学工作指导委员会机电专业委员会

目 录

前言

第一章 直流电路及其基本规律 1

第一节 电路与基本物理量 1

一、电路 1

二、描述电路工作状态的几个物理量 2

第二节 欧姆定律 5

一、部分电路欧姆定律 5

二、全电路欧姆定律 6

三、电路的三种工作状态 6

第三节 电阻的连接 7

一、电阻的串联 7

二、电阻的并联 8

三、电阻的混联 9

四、电阻星形和三角形联结的等效变换 10

第四节 电功与电热 12

一、电功 12

二、电功率 13

三、电流的热效应与焦耳-楞次定律 13

四、电气设备的额定值 14

思考与练习 15

第二章 复杂直流电路分析方法 18

第一节 基尔霍夫定律 18

一、常用电路术语 18

二、基尔霍夫定律的适用范围 19

三、基尔霍夫定律的内容 19

第二节 支路电流法 20

一、支路电流法的定义 20

二、应用支路电流法求解各支路电流的步骤 20

三、支路电流法的适用范围 20

四、应用举例 21

第三节 回路电流法 22

一、回路电流法的定义 22

二、应用回路电流法求解各支路电流的步骤 22

三、应用举例 22

第四节 戴维南定理 23

一、有关概念 23

二、戴维南定理的内容 23

三、应用戴维南定理求解复杂电路的步骤 24

四、应用举例 24

五、应用戴维南定理的注意事项 25

第五节 叠加原理 25

一、叠加原理的内容 25

二、应用叠加原理的注意事项 25

三、应用叠加原理的步骤 26

四、叠加原理的适用范围 26

五、应用举例 26

思考与练习 28

第三章 正弦交流电路 31

第一节 单相交流电路 31

一、 RLC 串联电路 31

二、串联谐振电路 34

三、功率因数的提高 34

第二节 三相交流电路 35

一、对称三相交流电源 35

二、相电压和线电压的关系 36

三、相电流和线电流的关系 36

四、三相功率的计算 36

思考与练习 39

第四章 磁路 43

第一节 磁路的基本概念 43

一、磁路中常用的物理量 43

二、铁磁材料的磁性能 44

第二节 磁路的基本定律 46

一、安培环路定律 46

二、磁路的基尔霍夫第一定律 46

三、磁路的基尔霍夫第二定律 47

四、磁路的欧姆定律 47

五、磁路和电路的区别 47

第三节 电磁铁 47

一、电磁铁的分类	48	方法	87
二、电磁铁的结构与原理	48	二、常用组合逻辑电路	89
三、直流电磁铁和交流电磁铁	49	第四节 时序逻辑电路	93
思考与练习	52	一、双稳态触发器的基本性能	93
第五章 模拟电路基础	54	二、基本 RS 触发器	93
第一节 半导体二极管整流滤波电路	54	三、同步 RS 触发器	96
一、二极管	54	四、同步 D 触发器	97
二、二极管整流滤波电路	55	五、主从触发器	99
第二节 晶体管放大电路	57	六、触发器的分类与转换	101
一、晶体管	57	七、计数器	102
二、晶体管的电流放大作用	58	八、寄存器	109
三、晶体管放大电路的分类	60	思考与练习	113
第三节 直流稳压电源	62	实验	115
一、稳压二极管并联型稳压电路	62	实验一 基尔霍夫定律和戴维南定	
二、串联型稳压电路	63	理的验证	115
三、集成稳压电路	64	实验二 单相照明电路功率因数的	
第四节 晶闸管及可控整流电路	66	提高	117
一、晶闸管的结构和工作原理	66	实验三 晶体管放大电路的测试与	
二、晶闸管可控整流电路	68	调整	120
三、触发电路	70	实验四 晶闸管及单结晶体管触发	
第五节 集成运算放大器	72	电路	122
一、集成运算放大器的基本组成	72	实验五 集成门电路的功能测试和	
二、理想集成运算放大器	73	使用	124
三、集成运算放大器的基本运算		实验六 组合逻辑电路实验	128
电路	73	附录	134
思考与练习	77	附录 A 部分电气图形符号	134
第六章 数字电路基础	80	附录 B 常用电子元件型号命名方	
第一节 数字电路概述	80	法及主要技术参数	135
一、脉冲信号的波形和参数	80	一、电阻器和电位器	135
二、脉冲信号的逻辑状态	81	二、电容器	140
三、数字电路的特点与应用	81	三、电感器	142
四、数的进制	81	四、半导体分立器件	143
第二节 逻辑门电路	83	五、模拟集成电路	152
一、基本逻辑门电路	83	附录 C 常用逻辑门及其图形符号	155
二、集成门电路	85	附录 D 电子电路图的基础知识	156
第三节 组合逻辑电路	87	参考文献	158
一、组合逻辑电路的特点和分析			

第一章 直流电路及其基本规律

本章应知

1. 理解电路的概念、基本结构
2. 掌握电路的主要物理量
3. 掌握电阻电路不同连接方式的特点
4. 熟练掌握欧姆定律和焦耳-楞次定律
5. 掌握设备额定值的含义

本章应会

1. 欧姆定律的应用
2. 电阻电路的等效化简和有关计算

第一节 电路与基本物理量

一、电路

1. 电路的结构

电路是电流流通的闭合路径，是为了实现某种需要由电工设备所构成的整体。电路也称为电路网络。电路的形式多种多样，无论复杂程度如何，其结构通常都是由电源、负载、传输导线和控制电器四个部分构成的。

(1) 电源 电源是向电路提供电能的设备。它将其他形式的能量转换为电能，如发电机、干电池、蓄电池、光电池、信号源等。电源的作用是在电源的内部不断地向正极聚集正电荷向负极聚集负电荷，以持续对外供电。

(2) 负载 负载是所有用电设备的总称。它将电能转换成所需要的各种形式的能量，是电能的主要消耗者，如电焊机、电动机、电炉、电灯等。

(3) 传输导线 传输导线是用来连接电源和负载的金属线，它将电源产生的电能输送到负载，起着分配电能和传递信号的作用。常用的传输导线是由金属铜和铝以及它们的合金制成的。

(4) 控制电器 控制电器是在电路中起接通、断开和保护作用的装置，通常由开关和熔断器等保护电器构成。开关是控制电源与用电器接通或断开的装置；保护电器是承担短路、过载等功能的装置。

电路结构示意图如图 1-1 所示（省略电源部分）。电路的工作过程是先由传声器把语言或音乐（通常称为信息）转换为相应的电压和电流信号，而后通过电路传递到扬声器，把电信号还原为语言或音乐。由于传声器输出的电信号比较微弱，不足以推动扬声器发音，因此中间还要用放大器来放大。图中传声器是输出信号的设备，称为信号源，

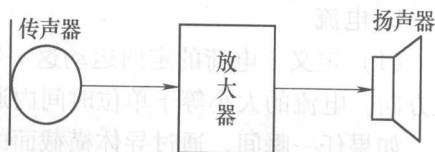


图 1-1 电路结构示意图

相当于电源,但与发电机、电池等电源不同,信号源输出的电信号(电压和电流)的变化规律取决于所加的信息。扬声器是接收和转换信号的设备,也就是负载。

2. 电路的功能

电路主要有如下功能:

(1) 转换能量 电路中的电源能将热能、水能、光能、原子能等其他形式的能量转换为电能,而负载能将电能转换为用户所需要的机械能、光能和热能等各种能量。

(2) 传输与分配电能 电能是通过变压器和传输导线进行分配并输送至负载的。

(3) 进行信息传递与处理 收音机、电视机、计算机、电话等用电设备能够进行信号的传输、放大、转换等处理。

3. 电路的分类

实际电路的种类非常多,按照电源种类的不同,可分为直流电路与交流电路;按照功能的不同,可分为电力电路和信号电路。电力电路主要是指强电流电路,如供电系统、照明电路、拖动电路等。信号电路主要是指小电流电路,如模拟电路和数字电路等。

4. 电路的表示方法

实际电路是由各种电器元件与设备组成的。为了便于对实际电路进行分析和数学描述,通常采用将实际元件理想化(或称模型化)的方法来表示电路。即在一定条件下突出其主要的电磁性质,而忽略其次要因素,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,就是实际电路的模型。它是对实际电路电磁性质的科学抽象和概括,因此可用电路模型来表示电路。构成电路模型的元件称为理想电路元件,简称电路元件,也称模型元件。将模型元件画在平面上所形成的图称为电路图。电路图只反映各理想电路元件在电路中的作用及其相互连接方式,并不反映实际设备的内部结构、几何形状及相互位置。电路图主要由元件符号(见附录A)、连线、接点、注释四大部分组成。图1-2所示为手电筒电路模型。



图1-2 手电筒电路与模型

二、描述电路工作状态的几个物理量

1. 电流

(1) 定义 电荷的定向运动这一物理现象称为电流。规定正电荷运动的方向为电流的正方向。电流的大小等于单位时间内通过导体横截面的电荷量的代数和。

如果任一瞬间,通过导体横截面的电荷量是大小和方向均不随时间变化的 Q ,则电流 I 的表达式为

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

式中 I ——导体横截面上通过的电流，单位是安培 (A)；

Q ——通过导体横截面的电荷量，单位是库仑 (C)；

t ——通过电荷量 Q 所用的时间，单位是秒 (s)。

(2) 单位 在国际单位制 (SI) 中，电流的单位为安培 (A)，在 1s 内通过导体横截面的电荷量为 1C 时的电流为 1A。有时在大型电力变压器中的电流可达几百到上千安培，常取千安 (kA) 为电流的单位；而晶体管电路中的电流往往只有千分之几安培，对于很小的电流可用毫安 (mA) 或微安 (μA) 作为电流的单位，它们之间的换算关系为

$$1\text{kA} = 10^3\text{A} \quad 1\text{A} = 10^3\text{mA} = 10^6\mu\text{A}$$

(3) 方向 电流是标量，电流方向只表明电荷的定向运动方向，通常用参考方向来表示。当电流的参考方向与实际方向一致时，电流为正，即 $I > 0$ ，如图 1-3a 所示。当电流的参考方向与实际方向相反时，电流为负，即 $I < 0$ ，如图 1-3b 所示。

(4) 三种效应 电流虽然看不见也摸不着，但可以通过电流的各种效应来判断它的存在。电流有如下三种效应：

1) 热效应，具体应用如白炽灯、电饭锅等。

2) 磁效应，具体应用如电铃等。

3) 化学效应，具体应用如电解、电镀等。

(5) 产生条件 电路中产生电流的条件有如下两个：

1) 电路中必须有电源。

2) 电路必须形成闭合通路。

(6) 测量 测量电流时使用的仪器是电流表。测量的方法是把电流表串联在被测量的电路中，接线时被测电流要从电流表的正接线柱流入，负接线柱流出，否则指针反偏。注意使被测电流不要超过电流表的最大测量值，否则会烧坏电流表。选用电流表时，要使被测电流值小于电流表的最大量程，绝对不允许不经过负载而直接把电流表连到电源两极上，因为电流表的内阻非常小，相当于一根导线，直接连接会烧坏电流表。

2. 电压

(1) 定义 电荷在电场中移动时，电场力将对电荷做功。电压是描述电场力对电荷做功能力的物理量。把单位正电荷从 a 点移到 b 点，电场力所做的功等于 a、b 两点间电压 U_{ab} 。

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

式中 U_{ab} ——a、b 两点间的电压，单位是伏特 (V)；

W ——电场力将电荷 Q 从 a 点移到 b 点所做的功，单位是焦耳 (J)；

Q ——a 点移到 b 点的电荷量，单位是库仑 (C)。

(2) 单位 在国际单位制中电压的单位为伏特 (V)，简称伏。1V 电压在数值上等于将

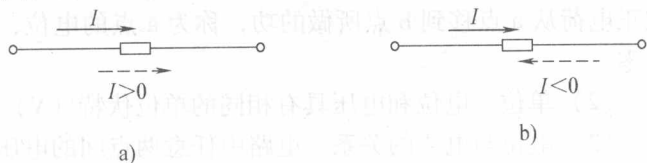


图 1-3 电流的参考方向

a) 电流的参考方向与实际方向一致 b) 电流的参考方向与实际方向相反

1C的正电荷从a点移到b点,电场力做了1J的功。计量高电压时,常取千伏(kV)为单位;计量低电压时,则取毫伏(mV)或微伏(μV)为单位。它们之间的换算关系为

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

(3) 方向 当电路中任意两点间的电压实际方向不能判断,或电压方向随时间变化时,可以选取任意点的极性为正,另一点为负,称为电压的参考极性。分析电路时,可根据计算所得结果的正、负来确定电压的实际方向,判别方法与电流相同。

(4) 作用 电压是形成电流的原因,电压使电路中的自由电荷定向移动,从而形成了电流。

(5) 测量 测量电压时使用的仪器是电压表。测量的方法是把电压表并联在被测量的电路中,接线时电流要从电压表的正接线柱流入,负接线柱流出,否则指针反偏。注意使被测电压不要超过电压表的量程,否则会烧坏电压表。

3. 电位

(1) 定义 为了分析问题方便,常在电路中指定任意点为参考点。通常把电场力将单位正电荷从a点移到b点所做的功,称为a点的电位,用符号 U_a 表示。规定参考点的电位为零。

(2) 单位 电位和电压具有相同的单位伏特(V)。

(3) 电位与电压的关系 电路中任意两点间的电压等于两点的电位差,即

$$U_{ab} = U_a - U_b \quad (1-3)$$

式中 U_{ab} ——a、b两点间的电压,单位是伏特(V);

U_a ——a点的电位,单位是伏特(V);

U_b ——b点的电位,单位是伏特(V)。

式中的 U_a 和 U_b 分别表示电场中a、b两点对零电位点的电压,当 $U_{ab} > 0$ 时,说明a点的电位比b点高;当 $U_{ab} < 0$ 时,说明a点的电位比b点低。在电路分析过程中,通常将处在高电位的a点用“+”号来表示,而用“-”来表示处在低电位的b点,电压的方向是由高电位指向低电位。即由a点指向b点,如图1-4所示。

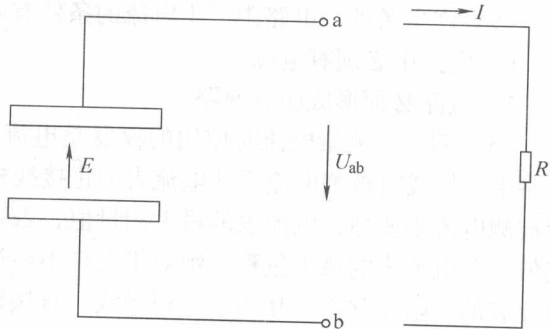


图1-4 电压的参考方向

4. 电动势

(1) 定义 电动势是表征电源特征的物理量。在图1-4中,正电荷在电场力的作用下,从高电位a点经过负载(灯泡)向低电位b点移动,形成电流 I 。正电荷由a点移到b点时,就要与下极板上的负电荷中和,使两极板上的电荷逐渐减少,两极板间的电场也逐步减小,相应的电流也将逐渐减小到中断。为了使电路中的电流能够持续不断,在a、b两极板之间必须有一种非电场力,可以将正电荷从低电位的下极板通过电源内部推向高电位的上极板,使上下极板间始终维持一定的电位差,电源是靠非电场力来完成这个任务的。非静电力在电源内部不断地把正电荷从低电位点移向高电位点就要克服电场力做功,电源的电动势就是衡量电源内部非静电力对电荷做功能力大小的物理量,用符号 E 来表示。电源的电动势在数值上等于非静电力把单位正电

荷从电源的低电位 b 点经电源内部移到高电位 a 点时所做的功, 用公式表示为

$$E_{ba} = \frac{W}{Q} \quad (1-4)$$

式中 E_{ba} ——电源电动势, 单位是伏特 (V);

Q ——电源内部由非静电力所移动的电荷量, 单位是库仑 (C);

W ——非静电力所做的功, 单位是焦耳 (J)。

(2) 单位 电动势和电压具有相同的单位伏特 (V)。

(3) 方向 电动势的参考方向规定为电源内部由负极指向正极。

(4) 电动势与电压的关系

1) 两者物理概念不同。电动势是描述电源的非电场力对电荷做功能力大小的物理量。在电源内部, 非静电力将正电荷从电源负极移到正极做功, 将非电能转化为电能; 电压是描述电源的电场力对电荷做功能力大小的物理量, 在电源外部, 电场力将正电荷从电源正极移到负极做功, 将电能转化为其他形式的能量。

2) 两者的存在不同。电源电动势仅存在于电源内部, 而电压不仅存在于电源两端, 而且也存在于电源外部。

第二节 欧姆定律

欧姆定律是德国物理学家欧姆在 19 世纪初期 (1827 年) 经过大量实验得出的一条关于电路的重要定律。欧姆研究出的结果是在有稳恒电流通过的电路中, 电流和电压 (电动势) 与电阻间的依存关系。这个定律是以后所有电路理论的开端。在不同结构的电路中, 欧姆定律有不同的表达形式。

一、部分电路欧姆定律

1. 在无源线性电路中的欧姆定律

线性电路是由负载电阻值不随其两端电压和通过的电流而改变的元件组成的电路。在没有电源的线性电路中, 欧姆定律的内容如下:

导体中流过的电流 I 跟导体两端的电压 U 成正比, 跟导体的电阻 R 成反比。

当电压和电流的参考方向选择为一致 (如图 1-5a 所示) 时。电压、电流与电阻三者之间的关系式为

$$I = U/R \text{ 或 } U = IR \quad (1-5)$$

当电压和电流的参考方向选择为不一致 (如图 1-5b 所示) 时。电压、电流与电阻三者之间的关系式为

$$I = -U/R \text{ 或 } U = -IR \quad (1-6)$$

图 1-5 与图 1-6 中, I 的单位是安培 (A); U 的单位是伏特 (V); R 的单位是欧姆 (Ω)。式中的 I 、 U 、 R 必须针

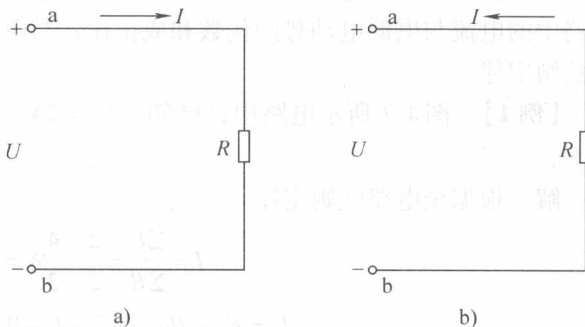


图 1-5 部分电路欧姆定律示意图

a) 电压和电流的参考方向一致时 b) 电压和电流的参考方向不一致时

对同一段电路。

2. 有源电路的欧姆定律

含有电源的电路称为有源电路。在既有电源又有电阻的含源电路中，欧姆定律还有其他的表达式。在图 1-6a 所示的电源电动势、电压、电流的参考方向中，电压 U 与电流 I 的关系式为

$$U = U_{ab} = U_{ac} + U_{cb} = E - IR \quad (1-7)$$

在图 1-6b 所示的电源电动势、电压、电流的参考方向中，电压 U 与电流 I 的关系式为

$$U = U_{ab} = U_{ac} + U_{cb} = E + IR \quad (1-8)$$

二、全电路欧姆定律

全电路是指含有电源的电路，电源电路通常用电压源的形式来表示，由电源电动势和电源内电阻串联而构成，如图 1-7 所示。

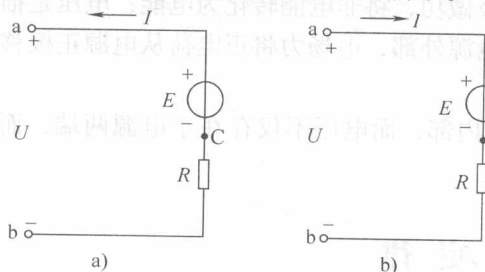


图 1-6 有源电路欧姆定律示意图

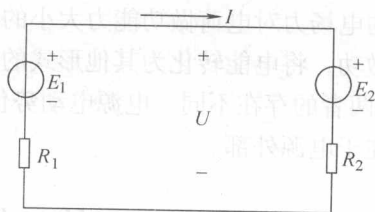


图 1-7 全电路欧姆定律示意图

根据有源电路欧姆定律可写出

$$U = E_1 - IR_1 \text{ 与 } U = E_2 + IR_2$$

$$\text{即: } E_1 - IR_1 = E_2 + IR_2$$

所以

$$I = \frac{E_1 - E_2}{R_1 + R_2} = \frac{\sum E}{\sum R} \quad (1-9)$$

分子 $\sum E$ 中，与电流 I 的正方向一致的电动势取“+”号，反之取“-”号。即闭合电路中的电流与电源电动势的代数和成正比，与电路中的电阻之和成反比。此规律称为全电路欧姆定律。

【例 1】 图 1-7 所示电路中，已知： $E_1 = 2\text{V}$ ， $E_2 = 4\text{V}$ ， $R_1 = R_2 = 2\Omega$ ，求：电流 I 和电压 U 。

解 根据全电路欧姆定律

$$I = \frac{\sum E}{\sum R} = \frac{2 - 4}{2 + 2} \text{A} = -0.5 \text{A}$$

$$U = E_1 - IR_1 = [2 - (-0.5) \times 2] \text{V} = 3\text{V}$$

三、电路的三种工作状态

电路在实际工作中根据不同的需要和负载情况，通常具有三种工作状态，即负载状态、断路状态和短路状态。

1. 负载状态

负载状态就是电路各部分接通, 构成闭合回路。在图 1-7 所示的有源电路中, 电源电动势 E 与内阻 R_0 串联表示实际电源, R 表示负载电阻。开关闭合时, 电路中有电流通过, 电源向负载供电, 电路处于负载状态。

由全电路欧姆定律可知, 当电源电动势和内阻为定值时, 电路中的电流由负载电阻决定, 负载两端电压总是低于电源电动势 (也叫电源电压)。

2. 断路状态

断路状态是电源与负载电阻没有构成闭合回路, 电路中电流为零的状态。这种情况也称为空载状态或开路状态。此时负载两端的电压等于电源电动势, 电源不输出电功率, 内阻及负载上也不消耗功率。

3. 短路状态

短路就是电源两端或负载两端直接连在一起, 如图 1-8 所示。

短路电流为

$$I = \frac{E}{R_0} \quad (1-10)$$

由于 R_0 很小, 电路中流过的电流比正常工作时大得多, 易烧毁电源和其他设备, 应杜绝短路故障

的发生。为防止短路造成不良后果, 通常在电路中串联熔断器或断路器, 发生短路时, 可迅速将故障电路切除。



图 1-8 短路示意图

第三节 电阻的连接

一、电阻的串联

1. 电阻串联电路的定义

由两个或更多个电阻一个接一个地顺序相连, 组成无分支电路, 各电阻通过同一电流, 这样的连接方式叫做电阻的串联, 如图 1-9 所示。

2. 电阻串联电路的性质

1) 流过各个电阻的电流相等, 即流过电阻 R_1, R_2, \dots, R_n 的电流均为 I

$$I = I_1 = I_2 = \dots = I_n \quad (1-11)$$

2) 串联电路两端总电压等于各串联电阻两端电压之和。设总电压为 U , 各串联电阻两端电压分别为 U_1, U_2, \dots, U_n , 则

$$U = U_1 + U_2 + \dots + U_n \quad (1-12)$$

3) 串联电路的等效电阻等于各电阻之和。设总电阻为 R , 各部分电阻分别为 R_1, R_2, \dots, R_n , 则

$$R = R_1 + R_2 + \dots + R_n \quad (1-13)$$

如果是两个电阻串联, 其等效电阻为

$$R = R_1 + R_2 \quad (1-14)$$

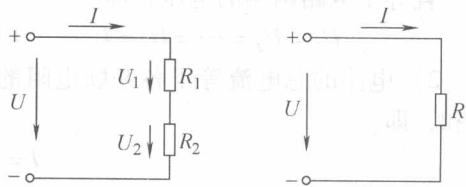


图 1-9 电阻的串联

$$U_1 = IR_1 = \frac{U}{R_1 + R_2} R_1$$

$$U_2 = IR_2 = \frac{U}{R_1 + R_2} R_2$$

即

$$\left. \begin{aligned} U_1 &= \frac{R_1}{R_1 + R_2} U \\ U_2 &= \frac{R_2}{R_1 + R_2} U \end{aligned} \right\} \quad (1-15)$$

式(1-15)为两个电阻串联时的分压公式,分得的电压与各电阻的大小成正比(即按电阻值的大小正比分配)。如果其中一个电阻比另一个电阻小得多,则小电阻分得的电压也小得多。在作近似计算时,小电阻的分压作用可忽略不计。

4) 串联电路的总功率为各个电阻消耗的功率之和。设总功率为 P ,各电阻消耗的功率分别为 $P_1, P_2, P_3 \cdots P_n$,则

$$P = P_1 + P_2 + P_3 + \cdots + P_n \quad (1-16)$$

由于电路中的电流相同,此时也可使用公式 $P = I^2 R$ 进行总功率的计算。电阻的串联电路应用很广泛。例如,电源电压若高于负载电压时,可与负载串联一个适当大小的电阻来进行分压。常用串联电阻的方法来限制电路中的电流,如稳压电路中的限流电阻。

二、电阻的并联

1. 电阻并联电路的定义

由两个或更多个电阻连接在两个公共节点之间,组成一个分支电路,各电阻两端承受同一电压,这样的连接方式叫做电阻的并联,如图1-10所示。

2. 电阻并联电路的特点

1) 电路中各并联电阻两端的电压都相等,且等于电路两端的电压,即

$$U_1 = U_2 = \cdots = U_n = U \quad (1-17)$$

2) 电路的总电流等于各并联电阻的电流之和,即

$$I = I_1 + I_2 + \cdots + I_n \quad (1-18)$$

电阻并联的分流公式

$$I_1 R_1 = I_2 R_2 = I_3 R_3 = \cdots = I_n R_n \quad (1-19)$$

$$\frac{I_n}{I} = \frac{R}{R_n} \text{ 或 } I_n = \frac{R}{R_n} I \quad (1-20)$$

式中 R/R_n ——分流比,表明了阻值越大的电阻,分配到的电流越小。

若 n 个等值相同电阻并联,则 $I_1 = I_2 = I_3 = \cdots = I_n = I/n$

若两个电阻并联,则每个电阻上流过的电流为

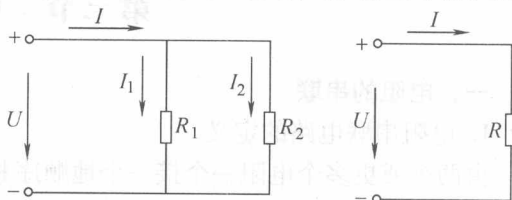


图1-10 电阻的并联与分流作用

$$\left. \begin{aligned} I_1 &= \frac{R_2}{R_1 + R_2} I \\ I_1 &= \frac{R_1}{R_1 + R_2} I \end{aligned} \right\} \quad (1-21)$$

3) 电路的总电阻 (等效电阻) 的倒数等于各电阻的倒数之和, 即

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

若两个电阻并联, 则

$$R = R_1 // R_2 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \quad (1-23)$$

式中 “//” 号为电阻并联的符号, 式 (1-23) 也称为积比和公式。

若 n 个阻值相等的电阻并联, 则

$$R = R_1 // R_2 // R_3 // \cdots // R_n = \frac{R_1}{n} = \frac{R_2}{n} = \frac{R_3}{n} = \cdots = \frac{R_n}{n} \quad (1-24)$$

4) 并联电路的总功率为其中各个电阻消耗的功率之和, 即

$$P = P_1 + P_2 + P_3 + \cdots + P_n \quad (1-25)$$

功率分配: 在并联电路中各电阻消耗的功率与电阻成反比, 即

$$\frac{P_1}{P_n} = \frac{R_n}{R_1} \quad (1-26)$$

由于电阻并联电路的端电压相同, 故应该使用公式 $P = U^2/R$ 来计算电路的总功率。

和电阻的串联方式一样, 电阻的并联方式应用得也很广泛。如工厂里的动力负载、民用电器和照明负载等, 都是以并联方式接到电网中的。当用电流表测量电流时, 如果线路中的电流值大于电流表的量程, 则可在电流表的两端并联一个合适的电阻进行分流即可扩大电流表的量程。

三、电阻的混联

1. 电阻混联电路的概念

在同一电路中, 既有电阻串联又有电阻并联的连接方式称为电阻的混联电路。根据串并联电阻的不同组合, 混联的方式多种多样。如图 1-11 所示电路是混联电路。

2. 解混联电路的方法

1) 先按照串、并联等效简化的规则, 画混联电路的等效电路。画等效电路的一般原则是:

① 无电阻导线可以缩成一点, 电路中的任一点也可以延展成无电阻导线。

② 无电流的支路化简时可以去掉。

③ 电位相同的点可以合并。

④ 理想电流表可以看成短路, 理想电压表可以看成断路, 电压稳定时, 电容器可以看成断路。

2) 运用欧姆定律和串、并联电路的特点进行计算。

3. 应用举例

【例2】如图1-11所示,已知 $R_1 = R_2 = 8\Omega$, $R_3 = R_4 = 6\Omega$, $R_5 = R_6 = 4\Omega$, $R_7 = R_8 = 24\Omega$, $R_9 = 16\Omega$, 电压 $U = 224V$ 。试求:

- 1) 电路总的等效电阻 R_{AB} 与总电流 I_{Σ} 。
- 2) 电阻 R_9 两端的电压 U_9 与通过它的电流 I_9 。

I_9 。

解 R_5 、 R_6 、 R_9 三者串联后,再与 R_8 并联, E、F两端等效电阻为

$$R_{EF} = (R_5 + R_6 + R_9) // R_8 = 24\Omega // 24\Omega = 12\Omega$$

R_{EF} 、 R_3 、 R_4 三者串联后,再与 R_7 并联, C、D两端等效电阻为

$$R_{CD} = (R_3 + R_{EF} + R_4) // R_7 = 24\Omega // 24\Omega = 12\Omega$$

总的等效电阻

$$R_{AB} = R_1 + R_{CD} + R_2 = 28\Omega$$

总电流

$$I_{\Sigma} = U/R_{AB} = 224V/28\Omega = 8A$$

利用分压关系求各部分电压

$$U_{CD} = R_{CD} I_{\Sigma} = 96V$$

$$U_{EF} = \frac{R_{EF}}{R_3 + R_{EF} + R_4} U_{CD} = \frac{12\Omega}{24\Omega} \times 96V = 48V$$

$$I_9 = \frac{U_{EF}}{R_5 + R_6 + R_9} = 2A, \quad U_9 = R_9 I_9 = 32V$$

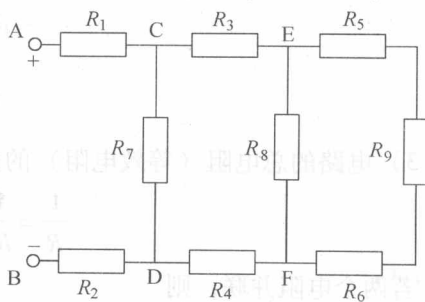


图1-11 电阻的混联电路例题图

四、电阻星形和三角形联结的等效变换

1. 电阻星形和三角形联结的概念

把三个电阻的一端联结在一点上,呈放射状的联结方式叫做电阻的星形联结,用符号 Y 表示。把三个电阻分别接在电路的三点中的每两点之间,这种联结方式叫做电阻的三角形联结用符号 Δ 表示。电阻的星形联结和三角形联结如图1-12所示。

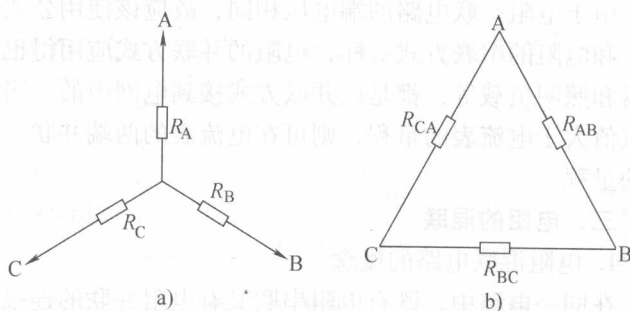


图1-12 电阻的星形联结和三角形联结示意图

a) 电阻的星形联结 b) 电阻的三角形联结

在实际应用中,负载做星形联结和三角形联结非常多,也经常需要将这两种接法互相转换和等效计算。

2. 电阻星形联结和三角形联结变换图

星形联结变换成三角形联结如图1-13a所示,三角形联结变换成星形联结如图1-13b所示。

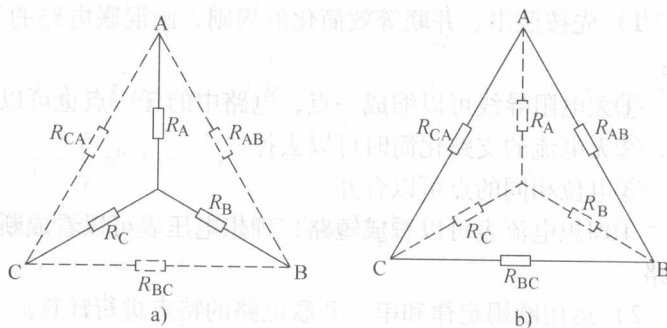


图1-13 电阻的星形联结和三角形联结变换

3. 等效变换的条件

电阻在进行星形联结和三角