



高职高专“十二五”规划教材

化工电器与 仪表自动化技术

HUAGONG DIANQI YU
YIBIAO ZIDONGHUA JISHU

张明金 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

高职高专“十二五”规划教材

化工电器与仪表自动化技术

主 编	张明金		
副主编	李 红	朱 涛	
参 编	范爱华	李 娜	
主 审	赵成民		



机械工业出版社

本书是根据高职高专人才培养的目标和高职高专院校的化工类专业的教学计划、课程标准(教学大纲),并考虑到目前多数高职高专院校进行项目化、理实一体化、任务驱动等教学方法的改革,以“工学结合、项目引导、任务驱动、‘做中学,学中做,学做一体,边学边做’一体化”为原则编写的。以工作任务引领的方式将相关知识点融入到完成工作任务所必备的工作项目中,使学生在掌握必要的基本理论知识的同时,提高自身的实践能力、职业技能、分析问题和解决问题的能力。

本书共8个项目:电工电路的分析与实践、变压器和电动机的认知与实践、电子电路分析与实践、温度自动控制系统设计与实践、压力自动控制系统设计与实践、液位自动控制系统设计与实践、流量自动控制系统设计与实践、复杂控制系统设计与实践。

本书在编写的过程中,本着“精选内容,打好基础,培养能力”的精神,力求讲清基本概念,精选有助于建立概念、掌握方法、联系实际应用的例题和习题。各项目分成若干任务,各任务以任务描述、任务目标、相关知识、实践操作、问题研讨为主线进行编写。在知识讲解中,语言力求简练流畅。

本书可作为高等职业院校、高等专科学校、成人高校的化工类专业的教材,也可供从事石油化工、轻工、制药、橡胶等行业的技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

化工电器与仪表自动化技术/张明金主编. —北京:机械工业出版社,2012.6

高职高专“十二五”规划教材

ISBN 978-7-111-38539-4

I. ①化… II. ①张… III. ①化学工程—电工学—高等职业教育—教材②化工仪表—高等职业教育—教材 IV. ①TQ083②TQ056

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第109023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:李大国 责任编辑:李大国

责任校对:张薇 封面设计:马精明

责任印制:乔宇

三河市国英印务有限公司印刷

2012年7月第1版第1次印刷

184mm×260mm·18.25印张·451千字

0001—3000册

标准书号:ISBN 978-7-111-38539-4

定价:34.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010)88361066

销售一部:(010)68326294

销售二部:(010)88379649

读者购书热线:(010)88379203

门户网:<http://www.cmpbook.com>

教材网:<http://www.cmpedu.com>

封面无防伪标均为盗版

前 言

本书是根据高职高专人才培养的目标和高职高专院校的化工类专业的教学计划、课程标准(教学大纲),并考虑到目前多数高职高专院校进行项目化、理实一体化、任务驱动等教学方法的改革,以“工学结合、项目引导、任务驱动、‘做中学,学中做,学做一体,边学边做’一体化”为原则编写的。以工作任务引领的方式将相关知识点融入到完成工作任务所必备的工作项目中,使学生在掌握必要的基本理论知识的同时,提高自身的实践能力、职业技能、分析问题和解决问题的能力。

本书共8个项目:电工电路分析与实践、变压器和电动机的认知与实践、电子电路分析与实践、温度自动控制系统设计与实践、压力自动控制系统设计与实践、液位自动控制系统设计与实践、流量自动控制系统设计与实践、复杂控制系统设计与实践。

本书在编写的过程中,本着“精选内容,打好基础,培养能力”的精神,力求讲清基本概念,精选有助于建立概念、掌握方法、联系实际应用的例题和习题。全书从“电工技术”、“电子技术”、“过程检测仪表”、“过程控制仪表”、“过程控制系统”等方面精选内容。各项目分成若干任务,各任务以任务描述、任务目标、相关知识、实践操作、问题研讨为主线进行编写。实践操作以操作内容、操作要求、设备器材、操作步骤、注意事项等方式进行编写。在知识的讲解上,力求用简练的语言循序渐进,深入浅出,尽可能地减少理论推导分析。

本书可作为高等职业院校、高等专科学校、成人高校的化工类专业的教材,也可供从事石油化工、轻工、制药、橡胶等行业的技术人员参考。

本书总学时为52~64学时。

本书由徐州工业职业技术学院张明金担任主编。徐州工业职业技术学院李红、朱涛担任副主编,扬州工业职业技术学院范爱华、江苏农林职业技术学院李娜参与了本书的编写。其中项目1、项目3的任务3.1由张明金老师编写,项目2由李娜老师编写,项目3的任务3.2由范爱华老师编写,项目4和附录由李红老师编写,项目5、项目6、项目7、项目8由朱涛老师编写。全书由张明金老师统稿。

本书由徐工轮胎集团有限公司赵成民高级工程师担任主审,他对书稿进行了认真仔细的审阅,并提出了许多宝贵的意见。

本书编写过程中,得到了编者所在学院的各级领导及同事们的支持与帮助,在此表示感谢。同时对书后所列参考文献的各位作者表示深深的感谢。

由于“项目式”课程是一种全新的教学形式,多数高职高专院校都处在学习和摸索中,加之编者水平所限,书中不妥之处在所难免,在取材新颖和实用性等方面定有不足,敬请各位读者提出宝贵意见。

目 录

前言

项目 1 电工电路的分析与实践	1
任务 1.1 直流电路的分析与实践	2
任务 1.2 交流电路的分析与实践	17
任务 1.3 电工测量与安全用电	36
项目小结	48
习题	50
项目 2 变压器和电动机的认知与实践	52
任务 2.1 变压器的认知与实践	52
任务 2.2 交流异步电动机的认知与使用	62
项目小结	82
习题	83
项目 3 电子电路分析与实践	86
任务 3.1 模拟电子电路分析与实践	86
任务 3.2 数字电子电路分析与实践	111
项目小结	125
习题	127
项目 4 温度自动控制系统设计与实践	130
任务 4.1 自动控制系统的认识	130
任务 4.2 认识对象	141
任务 4.3 认识、选用测温仪表	148
任务 4.4 使用控制器	161
任务 4.5 选用执行器	174
任务 4.6 温度控制系统的设计分析	183
项目小结	195
习题	196
项目 5 压力自动控制系统设计与实践	199
任务 5.1 压力仪表的认识与选用	199
任务 5.2 压力控制系统的设计分析	208
项目小结	213
习题	213
项目 6 液位自动控制系统设计与实践	214
任务 6.1 物位仪表的认识与选用	214
任务 6.2 液位控制系统的设计分析	224
项目小结	229
习题	229

项目 7 流量自动控制系统设计与实践	230
任务 7.1 流量仪表的认识与选用	230
任务 7.2 流量控制系统的设计分析	240
项目小结	246
习题	246
项目 8 复杂控制系统设计与实践	248
任务 8.1 串级控制系统的设计	248
任务 8.2 其他复杂控制系统的认识	260
任务 8.3 计算机控制系统的认识	267
项目小结	279
习题	280
附录	
附录 A 常用压力表的规格及型号	281
附录 B 标准化热电偶温度-热电动势对照表	282
附录 C 标准化热电阻温度-欧姆对照表	284
参考文献	286

项目 1 电工电路的分析与实践

【项目内容】

- 直流电路的分析与实践。
- 交流电路的分析与实践。
- 电工测量与安全用电。

【项目知识目标】

- 了解电路的组成、电路模型的概念。
- 理解电路中的物理量的意义，电流、电压的正方向和参考正方向的概念；掌握电路中电位、电压及电功率的计算。
- 理解电阻串联电路的等效变换及分压公式，电阻并联电路的等效变换及分流公式，能较熟练地进行一般电阻混联电路的等效变换。
- 掌握基尔霍夫电流和电压定律，能较熟练地运用基尔霍夫定律求解较复杂的电路。
- 理解交流电的基本概念，正弦交流电的三要素；掌握正弦交流电最大值与有效值的关系。
- 掌握正弦交流电的三角函数、波形图及相量表示法，会用相量图分析正弦交流电路。
- 掌握单相交流电路中的电压与电流的关系和功率计算。
- 掌握三相对称负载作星形和三角形联结时相关物理量的计算（包括相电压、线电压、相电流、线电流和三相电功率）。
- 能正确地把负载接入三相电源。
- 了解常用的电工测量方法、电工测量仪表的分类、名称和规格，测量误差的概念及减小测量误差的方法。
- 了解电流表、电压表、功率表、电能表、万用表的结构和工作原理，掌握其使用方法。
- 了解安全用电常识及电气安全技术，自觉遵守安全用电；了解节约用电。

【项目能力目标】

- 能正确地连接电路。
- 能正确使用仪器仪表检测电路元件，测量电路基本参数。

任务 1.1 直流电路的分析与实践

【任务描述】

在人们的生活、生产实践及其他各类活动中，已普遍地使用电能，可以说人们已离不开对电能的使用，电路是传输或转换电能不可缺少的“载体”。本任务学习电路的组成及作用、电路中的物理量、基尔霍夫定律及其应用和直流电路的测试。

【任务目标】

了解电路的组成，电阻器、电容器、电感器的作用；理解电路中物理量的意义，电流、电压的正方向和参考正方向的概念；掌握电路中电位、电压、电功率的计算方法，电阻、电容、电感的电流与电压的关系；学会安装电路，使用稳压电源、直流电压表、电流表并能进行测试。

【相关知识】

1.1.1 电路的组成及作用

电路是电流的流径，是为实现一定的目的将各种元器件（或电气设备）按一定方式连接起来的总体。电路一般主要由电源、负载及中间环节组成。

电源是产生电能和电信号的装置，如各种发电机、蓄电池、传感器、稳压电源、信号源等。

负载是取用电能并将其转换为其他形式能量的装置，如电灯、电动机、扬声器等。

中间环节是传输、分配和控制电能或信号的部分，如连接导线、控制电器、保护电器、放大器等。

电路的组成不同，其功能也就不同。电路的一种作用是实现电能的产生、传输、分配和转换，各类电力系统就是典型实例。图 1-1a 所示是一种简单的实际电路，它由电池、开关、灯泡和连接导线等组成。当开关闭合时，电路中有电流通过，灯泡发光，电池向电路提供电能；灯泡是耗能元件，它把电能转化为热能和光能；开关和连接导线的作用是把电池和灯泡连接起来，构成电流通路。

电路的另一种作用是实现信号的传递和处理。电话线路、有线电视电路和互联网，传递着人们需要的信息；收音机、电视机、计算机的内部电路起着接收和处理信号的重要作用。如图 1-1b 所示，传声器将语音信号转换为电信号，经放大器进行放大处理传递给扬声器，以驱动扬声器发音。

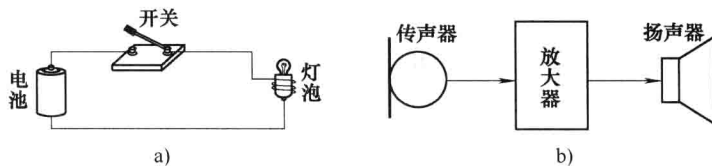


图 1-1 电路示意图

1.1.2 电路中的物理量

1. 电流

电荷有规律的定向移动形成电流。金属导体中的自由电子带负电荷，在电场力的作用下，自由电子逆着电场方向定向运动就形成电流；同样，电解液中的正离子带正电荷，在电场力的作用下，正离子沿着电场方向做定向移动也形成电流。

“电流”一词不仅可以表示电流的概念，也用来表示电流的大小。电流的数值等于单位时间内通过导体横截面的电荷量。设在极短时间 dt 内，通过导体截面的电荷量为 dq ，则电流为

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1.1)$$

如果电流的大小和方向都不随时间变化，这样的电流称为稳恒直流电流，用大写字母 I 表示，则此时电流为

$$I = \frac{Q}{t} \quad (1.2)$$

大小与方向随时间变化的电流称为交流电流，用 i 表示。

在国际单位制(SI)中，电流的单位是安[培](A)，电荷的单位是库[仑](C)，时间的单位是秒(s)，即

$$1\text{A} = 1\text{C/s}$$

在实际使用中，电流还经常用到较小的单位，如毫安(mA)、微安(μA)，它们之间的换算关系为

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

注意：直流电常用字母“DC”表示；交流电常用字母“AC”表示。

人们习惯上规定正电荷定向移动的方向为电流的正方向。

2. 电压

电压是反映电场能性质的物理量。电压的大小是用电场力移动单位正电荷做功来定义的，电场力将单位正电荷从一点移动到另一点所做的功越多，这两点间的电压就越大。

在电路中，电场力将单位正电荷从 a 点移动到 b 点所做的功，称为 a 、 b 两点间的电压。直流电压用大写字母 U 表示， a 、 b 两点间的电压表示为 U_{ab} ，即

$$U_{ab} = \frac{W_{ab}}{Q} \quad (1.3)$$

式中， U_{ab} 为 a 、 b 两点间的电压； W_{ab} 为电场力将电荷 Q 从 a 点移动到 b 点所做的功。当 $W_{ab} > 0$ 时，表示电场力做正功，若移动的电荷为正电荷，即 $Q > 0$ ，则 $U_{ab} > 0$ ；反之，当 W_{ab} 和 Q 不同符号时， $U_{ab} < 0$ 。

在实际应用中，电压的单位除伏[特](V)以外，还常常用到千伏(kV)、毫伏(mV)、微伏(μV)等单位，它们的换算关系为

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

电压的实际方向规定为正电荷所受电场力的方向。

需要强调的是，电压是对电路中两点而言，习惯中所说的某点或某导体上的电压，实际

4 化工电器与仪表自动化技术

为该点的电位(物理中所学习的电势)——该点与零电位(电势)参考点之间的电压。

通常用带双下标的字母表示某两点的电压,如用 U_{ab} 表示 a、b 两点间电压。可以证明:

$$U_{ab} = -U_{ba}$$

3. 电位

在电气设备的调试和维修中,常要测量各点的电位,在分析电子电路时,通常要用电位的概念来讨论问题。电场中某一点的正电荷所具有的电位能,称为该点的电位。电位用字母 V 表示,如 a 点的电位表示为 V_a 。

若在电路中选一参考点,则其他点的电位就是由该点到参考点的电压。如果参考点为 o,则 a 点的电位为

$$V_a = U_{ao} \quad (1.4)$$

电位的单位与电压的单位相同,为伏[特](V)。

因为参考点的电位规定为 0V,所以又叫做零电位点。其他各点的电位,比参考点电位高的为正,比参考点电位低的为负。参考点在电路中通常用符号“ $\perp$ ”表示。

在工程中常选大地作为电位参考点;在电子线路中,常选一个特定的公共点或机壳作为电位参考点。

要测量电路中某点的电位,只需用电压表测量某点到零电位参考点的电压。而计算电路中某点电位的方法是:首先确认电位参考点的位置;然后从被求点开始通过一定的路径绕到电位参考点,则该点的电位等于此路径上所有电压降的代数和。

例 1.1 如图 1-2 所示电路,已知 $E_1 = 140V$, $E_2 = 90V$, $R_1 = 20\Omega$, $R_2 = 5\Omega$, $R_3 = 6\Omega$, $I_1 = 4A$, $I_2 = 6A$, $I_3 = 10A$,试求分别以 A 点、B 点为电位参考点时,各点的电位 V_A 、 V_B 、 V_C 、 V_D 及电压 U_{CD} 。

解 当以 A 点为电位参考点时,有

$$V_A = 0V$$

$$V_B = -I_3 R_3 = -10A \times 6\Omega = -60V$$

$$V_C = I_1 R_1 = 4A \times 20\Omega = 80V$$

$$V_D = I_2 R_2 = 6A \times 5\Omega = 30V$$

$$U_{CD} = V_C - V_D = (80 - 30)V = 50V$$

当以 B 点为电位参考点时,有

$$V_B = 0V$$

$$V_A = I_3 R_3 = 10A \times 6\Omega = 60V$$

$$V_C = E_1 = 140V$$

$$V_D = E_2 = 90V$$

$$U_{CD} = V_C - V_D = (140 - 90)V = 50V$$

由此可见,电路中两点间的电压是绝对的,不随电位参考点的不同而发生变化,即电压值与电位参考点的选择无关;而电路中某一点的电位则是相对的,即电位参考点不同,该点电位值也将不同。

4. 电动势

电源是将其他形式的能转化为电能的装置。例如,干电池将化学能转化为电能,具体地说,它是利用化学反应的力量将正电荷移动到电源正极、负电荷移动到电源负极,使电荷的

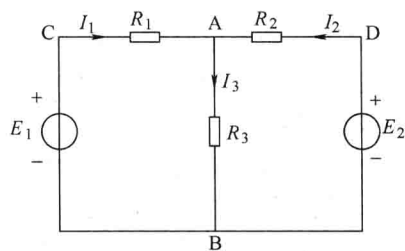


图 1-2 例 1.1 图

电势能增加,从而使电源两端产生电压。

电源将其他形式的能转化为电能的能力越强,移动单位电荷时所做的功就越大,电源提供的电压也就越大。电动势是表征电源提供电能能力大小的物理量,电动势在数值上等于电源未接入电路时两端的电压。

电源把单位正电荷从电源“-”极搬运到“+”极,外力(非静电力)克服电场力所做的功,叫做电源的电动势,用符号 E 表示。如果被移送的电荷量表示为 Q ,外力(非静电力)克服电场力所做的功为 $W_{\text{外}}$,则电动势 E 为

$$E = \frac{W_{\text{外}}}{Q} \quad (1.5)$$

电动势的单位和电压的单位相同,为伏[特](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。

5. 电功率和电能

电功率是电路分析中常用到的一个物理量。传递转换电能的速率叫做电功率,简称为功率,用 P 表示。习惯上,都把发出或吸收电能说成发出或吸收功率。功率表示为

$$P = \frac{dw}{dt} \quad (1.6)$$

在SI中,功率的单位为瓦[特](W)。在实际应用中,还常用到千瓦(kW)、兆瓦(MW)、毫瓦(mW)等单位。其换算关系为

$$1\text{MW} = 10^3\text{kW} = 10^6\text{W} = 10^9\text{mW}$$

对图1-3所示的电路,电阻两端的电压是 U ,流过的电流是 I ,电压与电流的方向一致,则电阻吸收的功率为

$$P = UI \quad (1.7)$$

若 $P = UI > 0$,则元件吸收功率;若 $P = UI < 0$,则元件发出功率。

电阻在 t 时间内所消耗的电能 W 为

$$W = Pt \quad (1.8)$$

电能的SI单位是焦[耳](J),它等于功率为1W的用电设备在1s内所消耗的电能。在实际生活中还采用千瓦[小]时(kW·h)作为电能的单位,它等于功率为1kW的用电设备在1h(3600s)内所消耗的电能,即通常所说的1度电。

$$1\text{度} = 1\text{kW} \cdot \text{h} = 10^3 \times 3600\text{J} = 3.6 \times 10^6\text{J}$$

6. 电流、电压的参考方向

在电路的分析计算中,流过某一段电路或某一元件的电流实际方向或两端电压的实际方向往往是很难确定的。为了进行分析和计算电路,需要先引入电压的参考方向以及电流的参考方向的概念,即先假设电流的方向和电压的方向。

为了分析计算电路,人为指定的电压、电流方向,称为电压、电流的参考方向。

对于电路的某个电流、某两点的电压而言,它们的实际方向只有两种可能。当任意指定了一个参考方向后,实际方向要么与参考方向一致,要么与参考方向相反。实际方向与参考方向一致时,取正值;实际方向与参考方向相反时,取负值,如图1-4a、b所示,它反映电流的实际方向与参考方向的关系。

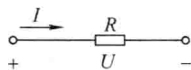


图1-3 电路示意图

关于电流和电压的参考方向, 要注意以下两点:

1) 电流、电压的参考方向可以任意选定。但一经选定, 在电路分析计算过程中不能改变。

2) 计算电路时, 一般要先标出参考方向再进行计算, 在电路中, 所有标注的电流、电压方向均可认为是电流、电压的参考方向, 而不是指实际方向。实际方向由计算结果确定。若计算结果为正, 则实际方向与参考方向一致; 若计算结果为负, 则实际方向与参考方向相反。

例 1.2 图 1-5 所示为某电路的部分电路, 已知 $E = 4\text{V}$, $R = 1\Omega$, 求: 当 $U_{ab} = 6\text{V}$, $I = ?$ 当 $U_{ab} = 1\text{V}$, $I = ?$

解 设定电路中物理量的参考方向如图 1-5 所示, 则

$$U_{ab} = IR + E$$

$$I = \frac{U_{ab} - E}{R} = \frac{6\text{V} - 4\text{V}}{1\Omega} = 2\text{A}$$

$I > 0$, 表明电流的实际方向与参考方向一致。

当 $U_{ab} = 1\text{V}$ 时

$$I = \frac{U_{ab} - E}{R} = \frac{1\text{V} - 4\text{V}}{1\Omega} = -3\text{A}$$

$I < 0$, 表明电流的实际方向与参考方向相反。

必须注意, 在计算电路的某一电流或电压时, 若不事先标明电压和电流的参考方向, 则所求得的电流和电压的符号是没有意义的。

7. 电流、电压的关联参考方向

电流和电压参考方向可以任意选取, 因此电流和电压参考方向可以选取为一致, 也可以选取为相反方向, 如图 1-6 所示。

当电流和电压的参考方向一致时, 称为关联参考方向, 如图 1-6a 所示。

在电流和电压选取关联参考方向时, 功率为

$$P = UI \quad (1.9)$$

若 $P = UI > 0$, 则元件吸收功率; 若 $P = UI < 0$, 则元件发出功率。

当电压和电流参考方向相反时, 称为非关联参考方向, 如图 1-6b 所示。

在电流和电压选取非关联参考方向时, 功率为

$$P = -UI \quad (1.10)$$

若 $P = -UI > 0$, 则元件吸收功率; 若 $P = -UI < 0$, 则元件发出功率。

需要指出的是, 一般在分析计算电路时, 电流、电压都采取关联参考方向。

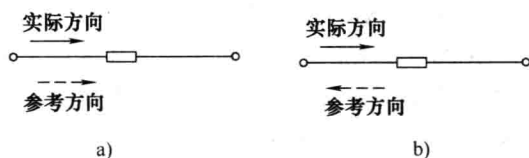


图 1-4 电流实际方向与参考方向的关系

a) $I > 0$ b) $I < 0$

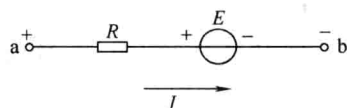


图 1-5 例 1.2 图

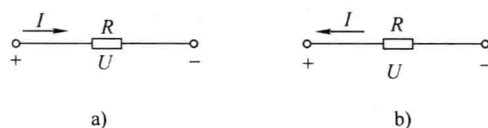


图 1-6 电流和电压参考方向的选择

a) 电压方向与电流方向一致

b) 电压方向与电流方向相反

1.1.3 电路中常用元件

1. 电阻元件

电阻常用的单位是欧[姆](Ω)。在实际使用中,有时还用到千欧(k Ω)、兆欧(M Ω),它们的换算关系为

$$1\text{M}\Omega = 10^3 \text{ k}\Omega = 10^6 \Omega$$

实际的电阻元件是利用某些对电流有阻碍作用的材料做成的,如实验用的电阻器、灯丝、电炉丝等,在使用中虽然会表现出其他的电磁特性,如产生磁场等,但人们在研究其将电能转换成热能时,可以忽略其他次要的性质,只考虑其电阻性质,于是便抽象出电阻元件这一理想元件。

电流和电压的大小成正比的电阻元件称为线性电阻元件。电阻元件两端的电压与流过的电流之间的关系,称为电阻元件的伏安特性。线性电阻的伏安特性为通过坐标原点的直线,直线的斜率反映了阻值的大小。线性电阻的伏安特性如图1-7所示,欧姆定律的表达式为

$$U = RI \quad (1.11)$$

电流和电压的大小不成正比的电阻称为非线性电阻,本书如不特别说明的电阻都指线性电阻。

电阻器是电路中应用最广泛的电子元件之一,在电路中起分压、分流、降压、限流、负载、阻抗匹配及与其他元器件配合完成相应的功能等作用。

(1) 电阻的串联 在电路中,把几个电阻元件依次首、尾连接起来,中间没有分支,这种连接方式叫做电阻的串联,如图1-8所示。

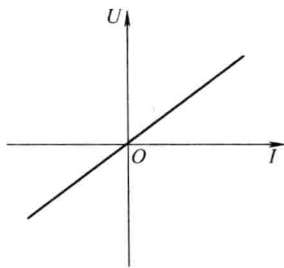


图1-7 线性电阻的伏安特性

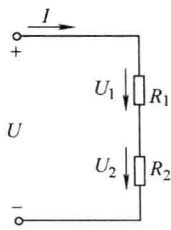


图1-8 电阻串联

电阻串联电路的具有如下特点。

- ① 通过各电阻的电流相等,即 $I = I_1 = I_2$ 。
- ② 串联电路两端的总电压等于各电阻两端电压之和,即 $U = U_1 + U_2$ 。
- ③ 总的等效电阻等于各串联电阻之和,即 $R = R_1 + R_2$ 。
- ④ 串联电阻中,各电阻上分配的电压与各电阻值成正比,即 $U_i = \frac{R_i}{R} U$ 。

此式为电阻串联电路的分压公式,它说明第*i*个电阻上分配到的电压取决于这个电阻与总的等效电阻的比值,这个比值称为分压比。特别要说明的是,当其中某个电阻较其他电阻小很多时,分压比将很小,这个小电阻两端的电压也较其他电阻上的电压低很多,因此在工程估算时,这个小电阻的分压作用就可以忽略不计。

8 化工电器与仪表自动化技术

⑤ 串联电路中, 各电阻消耗功率与电阻值成正比, 即 $P_1:P_2 = R_1:R_2$ 。

例 1.3 现有一个量程 U_g 为 3V 的电压表, 表头内阻 R_g 为 300Ω , 如图 1-9 所示。若要测量 300V 的电压, 电压表上应串联多大的分压电阻 R_f ?

解 用量程 U_g 为 3V 的电压表直接测量 300V 的电压, 电压表会损坏。解决的办法是在表头串联一个分压电阻 R_f , 使得 R_f 上分到的电压为 $U_f = (300 - 3)V = 297V$, 而电压表两端的电压仍为 3V。

将已知条件及 U_f 代入分压公式得

$$297V = \frac{R_f}{300\Omega + R_f} \times 300V$$

解得

$$R_f = 29700\Omega = 29.7k\Omega$$

(2) 电阻的并联 在电路中, 把几个电阻元件的首、尾两端分别连接在两个公共节点上, 这种连接方式叫做电阻的并联, 如图 1-10 所示。

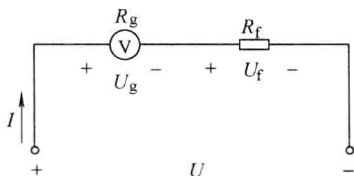


图 1-9 例 1.3 图

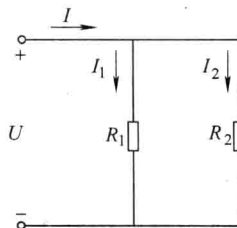


图 1-10 电阻并联

电阻并联电路具有如下特点。

① 并联电路中各电阻两端的电压相等, 即 $U = U_1 = U_2$ 。

② 并联电路的总电流等于各支路电流之和, 即 $I = I_1 + I_2$ 。

③ 总的等效电阻倒数等于各并联电阻倒数之和, 即 $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$ 。如果 n 个阻值相同的电阻并联, 其等效电阻是各支路电阻的 $1/n$ 倍。并联电阻的个数越多, 等效电阻反而越小。

④ 并联电路中, 各支路电流与支路的电阻成反比, 即 $I_i = \frac{R}{R_i} I$, 此式为电阻并联电路的分流公式。

⑤ 并联电路中, 各电阻消耗功率与电阻值成反比, 即 $P_1:P_2 = \frac{1}{R_1}:\frac{1}{R_2}$ 。

由于并联电路中各负载上电压相等, 工作情况互不影响, 因此绝大多数的工业负载、民用负载都采用并联电路。

例 1.4 如图 1-11 所示, 用一个满刻度偏转电流为 $200\mu A$ 、内阻 R_g 为 0.8Ω 的表头制成量程为 1mA 的直流电流表, 应并联多大的分流电阻 R_2 ?

解 由题意已知, $I_1 = I_g = 200\mu A$, $R_1 = R_g = 0.8\Omega$, $I = 1mA$, 代入分流式得

$$200\mu A = \frac{R_2}{0.8\Omega + R_2} \times 1 \times 10^3 \mu A$$

解得 $R_2 = 0.2\Omega$

(3) 电阻的混联 电阻的串联和并联相结合的连接方式,称为电阻的混联。只有一个电源作用的电阻串、并联电路,可用电阻串、并联化简的方法,化简成一个等效电阻和电源组成的单回路,这种电路又称为简单电路。反之,不能用串、并联等效变换化简为单回路的电路则称为复杂电路。简单电路的计算步骤是:首先将电阻逐步化简成一个总的等效电阻,算出总电流(或总电压),然后用分压、分流的公式逐步计算出化简前原电路中各电阻的电流和电压,再计算出功率。

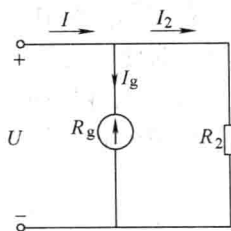


图 1-11 例 1.4 图

2. 电容元件

由物理知识知道,任何两个彼此靠近而又相互绝缘的导体都可以构成电容器。这两个导体叫做电容器的极板,它们之间的绝缘物质叫做介质。

在电容器的两极板间加上电源后,极板上分别积聚起等量的异性电荷,在介质中建立起电场,并且储存电场能量。电源移去后,由于介质绝缘,电荷仍然可以聚集在极板上,电场继续存在。所以,电容器是一种能够储存能量的器件,这就是电容器的基本电磁性能。但在实际中,当电容器两端的电压变化时,介质中往往有一定的介质损耗,而且介质也不可能完全绝缘,因而也存在一定的漏电流。如果忽略电容器的这些次要性能,就可以用一个代表其基本性能的理想两端元件作为模型,电容元件就是实际电容器的理想化模型。

电容元件是一个理想的两端元件,它的图形符号如图 1-12 所示,其中 $+q$ 和 $-q$ 代表该元件正、负极板上的电荷量。若电容元件上的电压参考方向规定为由正极板指向负极板,则任何时刻都有以下关系

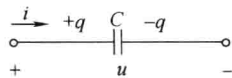


图 1-12 线性电容元件的图形符号

$$C = \frac{q}{u} \quad (1.12)$$

式中, C 是用以衡量电容元件容纳电荷本领大小的一个物理量,叫做电容元件的电容量,简称电容。

电容的 SI 单位为法[拉],符号为 F; $1\text{F} = 1\text{C/V}$ 。电容器的电容往往比 1F 小得多,因此,常采用微法(μF)和皮法(pF)作为其单位,其换算关系为

$$1\text{F} = 10^6\mu\text{F} = 10^{12}\text{pF}$$

如果电容元件的电容为常量,不随它所带电量的变化而变化,这样的电容元件即为线性电容元件。本书不特别说明时,所说的电容都指线性电容元件。

由于电容元件和电容器也简称为电容,所以,“电容”一词有时指电容元件(或电容器),有时则指电容元件(或电容器)的电容量。

由式(1.12)可知,当作用于电容器的电压变化时,电容器极板上的电荷也随之变化,电路中就有电荷转移,于是该电容电路中出现电流。若电压与电流取关联参考方向,则

$$i = C \frac{du}{dt} \quad (1.13)$$

式(1.13)为电容元件上电压与电流的伏安关系式。它表明,电容元件在任一时刻的电流不是取决于该时刻电容的电压值,而是取决于此时电压的变化率,故称电容元件为动态元件。电压变化越快,电流越大;电压变化越慢,电流越小;当电压不随时间变化时,电容电流等于零,这时电容元件相当于开路,故电容元件有隔断直流的作用。

在实际工作中,经常会遇到电容器的电容量大小不合适,或电容器的额定耐压不够高等情况。为此,就需要将若干个电容器适当地进行串联、并联以满足要求。

(1) 电容器的串联 图 1-13a 所示电路为 C_1 、 C_2 两个电容串联的电路,其等效电容 C 为

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \quad (1.14)$$

一般来说,几个电容串联时,其等效电容的倒数等于各串联电容的倒数之和。

(2) 电容器的并联 图 1-13b 所示电路为 C_1 、 C_2 两个电容并联的电路,其等效电容 C 为

$$C = C_1 + C_2 \quad (1.15)$$

一般来说,几个电容并联时,其等效电容等于各并联电容之和。

电容在电路中主要用于调谐、滤波、隔直流、交流旁路和能量转换等。

3. 电感元件

由物理学知识知道,有电流通过导线时,导线周围就会产生磁场。为了加强磁场,常把导线绕成线圈,如图 1-14 所示,其中磁通 ϕ 与电流 i 的方向总是符合右手螺旋定则的。

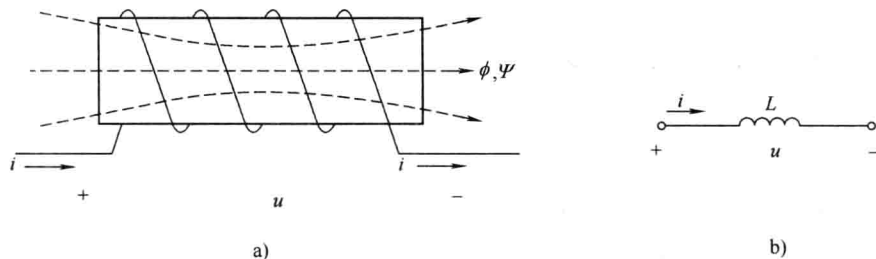


图 1-14 电感元件

a) 线圈的磁通和磁链 b) 电感元件

当线圈中的电流变化时,它周围的磁场也要变化;变化着的磁场,在线圈中将产生感应电动势,这种感应现象称为自感应,相应的器件称为自感元件,简称自感或电感。

线圈一般是由许多线匝密绕而成,与整个线圈相交链的磁通总和称为线圈的磁链 Ψ 。磁链通常是由线圈的电流产生的,当线圈中没有铁磁材料时,磁链与电流成正比,即

$$L = \frac{\Psi}{i}$$

式中,比例系数 L 称为电感元件的自感系数或电感系数,简称为电感。

电感的单位为亨[利],用 H 表示;有时也用毫亨[利](mH)和微亨[利](μ H)表示,其换算关系为

$$1\text{H} = 10^3\text{mH} = 10^6\mu\text{H}$$

如果电感元件的电感为常量,不随通过它的电流的改变而变化,则称为线性电感元件。本书如不特别说明,都指线性电感。

由于电感元件和电感线圈也称为电感,所以,“电感”一词有时指电感元件,有时则是

指电感元件或电感线圈的电感系数。

当流过电感元件的电流变化时,其磁链也随之变化,它两端将产生感应电压。如图1-14b所示,如选 u 与 i 为关联参考方向,根据电磁感应定律与楞次定律,电感元件的感应电压为

$$u = \frac{d\Psi}{dt} = \frac{d(Li)}{dt} = L \frac{di}{dt} \quad (1.16)$$

由式(1.16)可知,任一时刻电感元件的电压并不取决于这一时刻电流的大小,而是与这一时刻电流的变化率成正比。当电流不随时间变化时,电感电压为零。所以,在直流电路中,电感元件相当于短路。

当电感线圈中通入电流时,电流在线圈内及线圈周围建立起磁场,并储存磁场能量,因此,电感元件也是一种储能元件。

电感器(简称电感)也是构成电路的基本元件,在电路中有阻碍交流电通过的特性。其基本特性是通低频、阻高频,在交流电路中常用于扼流、降压、谐振等。

1.1.4 全电路欧姆定律

图1-15所示的简单电路中,只含有一个电源,它的电动势为 E ,内阻为 R_0 ,外电路电阻为 R_L 。在全电路中,电流 I 与电源电动势 E 成正比,与外电路电阻和内阻之和($R_L + R_0$)成反比,即

$$I = \frac{E}{R_L + R_0} \quad (1.17)$$

因为 $U = IR_L$,所以上式可写成

$$E = U + IR_0 \text{ 或 } U = E - IR_0 \quad (1.18)$$

式中, U 是外电路的端电压,简称路端电压。若忽略连接导线的电阻, R_L 只是负载的电阻,则 U 就是负载的端电压。

反映端电压 U 与电路中电流 I 之间关系的曲线: $U = f(I)$,称为电源的外特性曲线,简称电源外特性。一般 E 和 R_0 都是常量,按式(1.17)的函数关系可绘出电源的外特性曲线,它是一条直线,如图1-16所示。该直线在纵坐标上的截距就等于电源的电动势 E 。内阻越大的电源,其外特性越陡;反之,内阻越小,外特性越接近于水平直线。

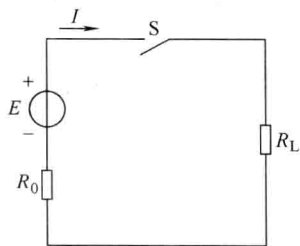


图 1-15 含有一个电源的电路

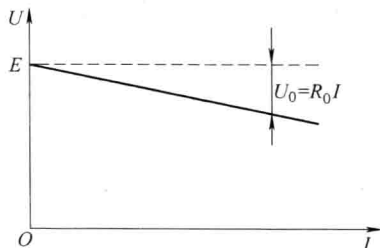


图 1-16 电源的外特性

应用全电路欧姆定律时,必须考虑电源的内阻,计算时除非指明内阻因阻值太小可以忽略不计外,一般情况下不应忽略。