

★ 服务热线: 400-615-1233
★ 配套精品教学资料包
★ www.huatengedu.com.cn



策划编辑: 马子涵
责任编辑: 马子涵
封面设计: 刘文东



定价: 59.80元

高等职业教育机械系列精品教材

电工电子技术 (第2版)

主编 赵 歆

北京邮电大学出版社



X-B

高等职业教育机械系列精品教材



电工电子技术

DIANGONG DIANZI JISHU

(第2版)



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

高等职业教育机械系列精品教材



主 编 赵 歆
副主编 姜亚萍

电工电子 技术

DIANGONG DIANZI JISHU

(第2版)



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

内 容 简 介

全书共分 12 个模块,内容包括基本直流电路、直流电路的分析与计算、交流电路、变压器和三相异步电动机、三相异步电动机控制电路、半导体元件及其特性、基本放大电路、集成运算放大器及其应用、直流稳压电源、数字逻辑基础与逻辑门电路、组合逻辑电路、触发器和时序逻辑电路。本书力求内容系统完整,讲解深入浅出。通过对本书的学习,学生能更好地掌握电工电子技术的知识和典型应用。

本书可作为高等职业院校机制、数控、数维、电气、机电、楼宇、新能源、电子信息等专业的教材使用,也可供相关技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电工电子技术 / 赵歆主编. -- 2 版. -- 北京: 北京邮电大学出版社, 2021. 6(2024. 1 重印)

ISBN 978-7-5635-6378-4

I. ①电… II. ①赵… III. ①电工技术—高等教育—教材 ②电子技术—高等教育—教材
IV. ①TM ②TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2021)第 100864 号

策划编辑: 马子涵 责任编辑: 马子涵 封面设计: 刘文东

出版发行: 北京邮电大学出版社

社 址: 北京市海淀区西土城路 10 号

邮政编码: 100876

发 行 部: 电话: 010-62282185 传真: 010-62283578

E-mail: publish@bupt.edu.cn

经 销: 各地新华书店

印 刷: 三河市龙大印装有限公司

开 本: 787 mm×1 092 mm 1/16

印 张: 23 插页 1

字 数: 471 千字

版 次: 2021 年 6 月第 2 版

印 次: 2024 年 1 月第 6 次印刷

ISBN 978-7-5635-6378-4

定 价: 59.80 元

· 如有印装质量问题,请与北京邮电大学出版社发行部联系 ·

服务电话: 400-615-1233



Preface 第2版前言

2013年,本书第1版出版,得到了全国众多高职院校的认可,许多热心读者和高职院校师生在使用本书后提出了宝贵的建议。为了使本书更能适应高等教育迅速发展和素质技能型人才培养的需要,编者在广泛吸取多方面意见和建议的基础上对第1版进行了修订。

本书深入贯彻党的“二十大”会议对教材作出的新部署新要求,将时代要求与师生需求相结合,弘扬社会主义核心价值观,坚定文化自信。在编写中采用模块化的方式,在第2版中保留了第1版的主要特色,并在第1版的基础上进行了补充和完善,主要体现在以下几个方面。

1. 注重基础的同时拓宽了专业领域。采用模块化教学模式,突出了知识的传授和操作能力的培养,在确保理论知识实用、够用的基础上,注重培养学生建立工程观点,培养学生分析问题、解决问题的能力,以及创新精神和创新意识。

2. 设计新颖,提升学习兴趣。课堂内容中设计了学生提问和老师解答环节,与工程实际相联系,更具应用性和趣味性;在每节例题后还设计了课堂实战与问题思考,丰富了教学内容,帮助学生更好地掌握和理解课堂中的核心知识点。

3. 为便于各专业学生阅读理解和考核,本书还配以大量图片和课外补充知识,充分体现了“加强针对性,注重实用性,拓宽知识面”的原则,针对学生的实际情况,对不同水平的学生要求不同,力求达到因材施教、分层教学的目的。

4. 增加了课程思政内容。将课程知识与思想政治理论同向同行,引导学生形成正确的理想信念与家国情怀。

本书编者均来自教学一线,有多年的教学实践经验。每个模块和学习单元都进行了知识引导,设置丰富的例题和练习针对各知识点进行详细讲解,包括课堂实战、温馨提示等。

本书具体学时分配如下表所示,可根据教学计划和人才培养目标进行适当调整。





模 块	学 习 内 容	学 时
基本直流电路	电路的基础知识	1
	实验一 电路中电位、电压的测定	1
	电路中的基本元器件和欧姆定律	1
	电路的基本连接	2
	实验二 电路中电阻的串、并联实验	1
直流电路的 分析与计算	简单直流电路的分析与计算	1
	电压源和电流源	1
	实验三 电路中电压源与电流源的等效变换	1
	复杂电路的分析与计算	2
	实验四 基尔霍夫定律及叠加定理的验证	2
交流电路	正弦交流电的基本概念	1
	正弦交流电路	2
	实验五 交流串联电路的基本测量	2
	三相交流电路	2
	实验六 三相交流电路的测量	2
变压器和三相 异步电动机	磁路的基本概念	1
	变压器	2
	实验七 单相变压器的空载实验、短路实验	1
	实验八 三相变压器特性的测试	1
	交流异步电动机	2
	实验九 三相异步电动机机械特性的测试	1
三相异步电动 机控制电路	常用低压电器	2
	三相异步电动机常用控制电路	2
	实验十 三相异步电动机 Y- Δ 减压起动控制	1
半导体元件及 其特性	半导体的基础知识	1
	半导体二极管	1
	半导体三极管	1
	实验十一 二极管、三极管参数测量	2
基本放大电路	共发射极放大电路	2
	分压式偏置放大电路	2
	共集电极放大电路	1
	实验十二 共发射极放大电路的测试	2
集成运算放大 器及其应用	放大电路中的反馈	1
	集成运算放大器	1
	集成运算放大器的应用	2
	实验十三 集成运算放大器的测试	2
直流稳压电源	整流电路	2
	滤波电路	1
	稳压电路	1
	集成稳压器	1



续表

模 块	学 习 内 容	学 时
数字逻辑基础 与逻辑门电路	数字电路基础	1
	逻辑代数基础	2
	三种基本逻辑电路	2
	实验十四 TTL集成与非门逻辑功能与参数测试	2
组合逻辑电路	组合逻辑电路的分析与设计	2
	实验十五 组合逻辑电路的设计与测试	1
	常用组合逻辑电路	2
	实验十六 译码器的测试	2
触发器和时序 逻辑电路	触发器	2
	寄存器	2
	计数器	1
	集成 555 定时器	1
	脉冲分配器及应用	1
	实验十七 计数器的测试	1
总计		80

本书由天津中德应用技术大学赵歆任主编,天津中德应用技术大学姜亚萍任副主编,参与编写的还有天津中德应用技术大学牛智远、刘通、王慧华和韩金玉。具体编写分工如下:模块一、模块二、模块六、模块九由赵歆编写,模块三、模块十一由刘通编写,模块四由牛智远编写,模块五由王慧华编写,模块七、模块八、模块十由姜亚萍编写,模块十二由韩金玉编写。

本书由天津大学王太勇教授和天津中德应用技术大学杨中力教授主审。两位教授在审稿过程中提出了许多宝贵意见建议,在此表示衷心感谢。

由于编者水平有限,书中难免存在疏漏之处,恳请各位读者批评指正,以便改进。

编 者





Preface 第1版前言

为适应高职高专素质技能型人才培养的需要,编者结合多年的教学 and 实践经验,本着“以就业为导向,以服务为宗旨”的培养目的,基于知识够用、加强技术应用性、难度适中、利于理解和自学的原则编写了本教材。本教材突出了基本概念和基本分析方法的讲述,简化数学推导过程,注重技术能力和工作过程适应能力的培养,能提高学生的职业素质和创新能力。

本教材内容在紧扣基本理论的同时,增加了应用实例,对电路中各元件的交直流特性做了较详细的论述,减少了动态电路的内容,适度降低了模拟电路的比重,加大了数字电路的比重。为适应各专业的不同要求,教材中还增加了变压器和电动机的详细介绍,满足了机电、电气、楼宇、新能源、电子信息等专业的教学需要。同时为了更好地提高教学效果,每个模块后面都配有小结和检测题,帮助学生复习巩固课上所学内容。本教材各部分的学时安排如下表所示,授课时也可根据教学计划和培养目标做适当调整。

模 块	学习内容	学 时
基本直流电路	电路的基本概念	1
	实验一	1
	电路中的基本元器件和欧姆定律	1
	电路的基本连接	2
	实验二	1
直流电路的分析与计算	电压源和电流源	1
	实验三	1
	电路的分析与计算	2
	实验四	1
交流电路	正弦交流电基本概念	1
	正弦交流电路	2
	实验五	1
	三相交流电路	1
	实验六	1



续表

模 块	学习内容	学 时
变压器和三相异步电动机	磁路的基本概念	1
	变压器	2
	实验七	1
	交流异步电动机	2
	实验八	1
三相异步电动机控制电路	常用低压电器	2
	三相异步电动机常用控制电路	2
	实验九	1
半导体元件及其特性	半导体的基础知识	1
	半导体二极管	1
	半导体三极管	1
	实验十	1
基本放大电路	共发射极放大电路	2
	分压式偏置放大电路	2
	共集电极放大电路	1
	实验十一	1
集成运算放大器及其应用	放大电路中的反馈	1
	集成运算放大器	1
	集成运算放大器的应用	2
	实验十二	1
逻辑门电路	数字电路基础	1
	逻辑代数基础	2
	基本数字器件与功用	2
	实验十三	1
组合逻辑电路	组合逻辑电路的分析与设计	2
	实验十四	1
	常用组合逻辑电路	2
	实验十五	1



续表

模 块	学习内容	学 时
触发器和时序逻辑电路	触发器	2
	寄存器	2
	计数器	1
	集成 555 定时器	1
	脉冲分配器及应用	1
	实验十六	1
总计		64

本教材由天津中德职业技术学院赵歆任主编,天津渤海职业技术学院许珊任副主编,参与编写的还有王滦平、牛云陞、王小岚和王敏。各模块具体分工如下:模块一、模块二和模块六由赵歆编写,模块三由王滦平编写,模块四由牛云陞编写,模块五由王敏编写,模块七、模块八由王小岚编写,模块九、模块十和模块十一由许珊编写。

由于编者水平有限,时间仓促,书中难免存在疏漏之处,恳请各位读者批评指正,以便改进。

编 者





Contents 目 录

模块一 基本直流电路 1

学习单元一 电路的基础知识	1
一、电路的组成及功能	1
二、电路的基本物理量	4
三、电路的基本状态	11
实验一 电路中电位、电压的测定	13
学习单元二 电路中的基本元器件和欧姆定律	14
一、基本元器件	14
二、欧姆定律	20
学习单元三 电路的基本连接	21
一、电池的连接	22
二、电阻的连接	22
三、电容的连接	26
四、电感的连接	27
实验二 电路中电阻的串、并联实验	31
课堂思政	32
模块小结	32
模块检测	32

模块二 直流电路的分析与计算 35

学习单元一 简单直流电路的分析与计算	35
一、基尔霍夫电流定律	35
二、基尔霍夫电压定律	37
学习单元二 电压源和电流源	40
一、电压源模型	40
二、电流源模型	41
三、电源的等效变换	42
实验三 电路中电压源与电流源的等效变换	47
学习单元三 复杂电路的分析与计算	48
一、支路电流法	48





二、节点电压法	49
三、网孔电流法	50
四、叠加定理	51
五、戴维南定理	54
实验四 基尔霍夫定律及叠加定理的验证	56
课堂思政	57
模块小结	57
模块检测	58

模块三 交流电路 61

学习单元一 正弦交流电的基本概念	61
一、正弦交流电的三要素	61
二、正弦交流电的有效值、相位、相位差	63
三、交流电的相量表示	65
学习单元二 正弦交流电路	70
一、电阻、电容、电感单一交流电路	70
二、电阻、电容、电感串/并联交流电路	78
三、复阻抗的串、并联交流电路	81
四、交流电路中的谐振	85
实验五 交流串联电路的基本测量	88
学习单元三 三相交流电路	89
一、三相交流电源	89
二、三相交流负载	91
三、三相交流电路的功率	93
实验六 三相交流电路的测量	97
课堂思政	98
模块小结	98
模块检测	98

模块四 变压器和三相异步电动机 101

学习单元一 磁路的基本概念	101
一、磁路系统	101
二、交流铁心线圈电路	105
学习单元二 变压器	108
一、变压器的用途与分类	108
二、单相变压器	109
三、三相变压器	113



四、特殊用途变压器	116
实验七 单相变压器的空载实验、短路实验	119
实验八 三相变压器特性的测试	121
学习单元三 交流异步电动机	122
一、三相异步电动机的组成与铭牌数据	122
二、三相异步电动机的工作原理	125
三、三相异步电动机的转矩特性与机械特性 ..	126
四、三相异步电动机的典型控制	128
实验九 三相异步电动机机械特性的测试	133
课堂思政	136
模块小结	137
模块检测	137

模块五 三相异步电动机控制电路 139

学习单元一 常用低压电器	139
一、手动电器	139
二、控制电器	143
三、保护电器	146
四、其他电器	152
学习单元二 三相异步电动机常用控制电路	153
一、三相异步电动机的基本运行控制	153
二、三相异步电动机的减压起动控制	158
三、三相异步电动机的制动控制	160
四、三相异步电动机的调速控制	162
实验十 三相异步电动机 Y- Δ 减压起动控制	167
课堂思政	168
模块小结	168
模块检测	169

模块六 半导体元件及其特性 171

学习单元一 半导体的基础知识	171
一、半导体的特点	171
二、半导体的分类	172
学习单元二 半导体二极管	176
学习单元三 半导体三极管	184
一、三极管的结构与分类	184
二、三极管的工作原理和伏安特性曲线	185
实验十一 二极管、三极管参数测量	190





课堂思政	191
模块小结	191
模块检测	192

模块七 基本放大电路 195

学习单元一 共发射极放大电路	195
一、共发射极放大电路的组成和特点	195
二、共发射极放大电路的分析	197
学习单元二 分压式偏置放大电路	206
一、分压式偏置放大电路的组成与特点	207
二、分压式偏置放大电路的分析	208
学习单元三 共集电极放大电路	210
一、共集电极放大电路的组成和特点	210
二、共集电极放大电路的分析	211
实验十二 共发射极放大电路的测试	216
课堂思政	217
模块小结	217
模块检测	217

模块八 集成运算放大器及其应用 220

学习单元一 放大电路中的反馈	220
一、反馈的基本概念	220
二、反馈的类型和判断	221
学习单元二 集成运算放大器	228
一、集成运算放大器的组成	228
二、集成运算放大器的技术指标	229
学习单元三 集成运算放大器的应用	231
一、理想集成运算放大器的主要参数和工作特征	231
二、集成运算放大器的线性应用电路	233
三、集成运算放大器的非线性应用电路	236
实验十三 集成运算放大器的测试	242
课堂思政	243
模块小结	243
模块检测	244

模块九 直流稳压电源 246

学习单元一 整流电路	246
一、直流稳压电源的组成	246



二、单相整流电路	247
学习单元二 滤波电路	251
一、电容滤波电路	251
二、电感滤波电路	253
三、复式滤波电路	253
学习单元三 稳压电路	255
一、稳压二极管的工作特性和主要参数	255
二、硅稳压管稳压电路	257
学习单元四 集成稳压器	259
一、三端集成稳压器的型号和参数	259
二、三端集成稳压器的应用	260
课堂思政	261
模块小结	261
模块检测	262

模块十 数字逻辑基础与逻辑门电路 264

学习单元一 数字电路基础	264
一、数字信号与数字电路	264
二、数制与代码	265
学习单元二 逻辑代数基础	271
一、逻辑电路与运算	271
二、逻辑代数基本运算定律与公式化简法	276
三、逻辑代数的卡诺图化简法	278
学习单元三 三种基本逻辑电路	284
一、分立元件逻辑门电路	284
二、TTL 集成门电路	286
三、CMOS 集成门电路	290
实验十四 TTL 集成与非门逻辑功能与参数测试	292
课堂思政	293
模块小结	293
模块检测	294

模块十一 组合逻辑电路 296

学习单元一 组合逻辑电路的分析与设计	296
一、组合逻辑电路的分析	296
二、组合逻辑电路的设计	298
实验十五 组合逻辑电路的设计与测试	301





学习单元二 常用组合逻辑电路	302
一、加法器与数值比较器	302
二、编码器	305
三、译码器	308
四、数据选择器	313
实验十六 译码器的测试	315
课堂思政	316
模块小结	316
模块检测	316

模块十二 触发器和时序逻辑电路 318

学习单元一 触发器	318
一、集成触发器的概念及分类	318
二、基本 RS 触发器	319
三、同步 RS 触发器	320
四、其他类型触发器	322
五、触发器之间的相互转换	327
学习单元二 寄存器	328
一、数码寄存器	328
二、移位寄存器	328
学习单元三 计数器	332
一、二进制计数器	332
二、十进制计数器	335
三、计数器的应用	337
学习单元四 集成 555 定时器	340
一、集成 555 定时器概述	340
二、集成 555 定时器的应用	342
学习单元五 脉冲分配器及应用	348
一、计数器型脉冲分配器	348
二、移位寄存器型脉冲分配器	348
实验十七 计数器的测试	350
课堂思政	351
模块小结	351
模块检测	352

参考文献 354

模 块

基本直流电路

在对电有具体认知之前,人们就已经知道电鱼会发电,所以电不是发明,而是发现。1879年,在历经千余次实验后,爱迪生发明了利用碳素灯丝发光的白炽灯泡。后来各地的发电厂逐步建立起来。中国最早的发电厂是1882年英国人在上海租界设立的上海电光公司乍浦路电灯厂。

直流电路是学习电工技术和电子技术的基础,是物理现象与电学知识的基本融合。本模块结合电路的基本构成和电气物理参数进行入门讲解,把物理学和本课程联系起来,起承前启后的作用。

学习单元一

电路的基础知识

▶▶▶ 引言

本学习单元主要介绍直流电路的组成及功能、电路的基本物理量、电路的基本状态等内容。通过对本学习单元的学习,学生能够对直流电路有个初步的认知,为后续课程的学习打下基础。

一、电路的组成及功能

1. 电路的概念

在电工电子技术中,为了更方便地分析和研究问题,可以将实际电路中的元器件抽象成理想化的模型,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,这种用理想电路元器件来代替实际电路元器件构成的电路称为电路模型,简称为电路。电路的转换如图1-1所示。

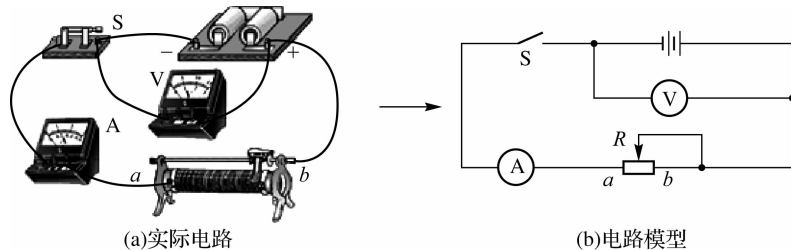


图 1-1 电路的转换





2. 电路的组成

电路也称为网络,是用一些电气设备或元件,按其所要完成的功能,以一定方式连接而成的电流通路。电路一般由电源、负载和中间环节三部分组成。

1) 电源

将其他形式的能量转换成电能的设备称为电源。例如,发电机、电池等,它们可以在电路中提供电能。电子线路中将提供信号的设备和器件称为信号源,其作用相当于电源(弱电)。在电路分析中,电源分为电压源和电流源两种。

2) 负载

将电能转换成其他形式能量的装置称为负载。例如,电灯、电动机、电炉等,它们在电路中消耗电能。电子线路中接收和转换信号的设备也称为负载,如收音机和电视机里的扬声器和显像管。

3) 中间环节

连接电源和负载的部分称为中间环节,如连接导线、开关、变压器、放大器、保护电器、控制电器等。

3. 电路的功能

1) 输送、分配和转换电能

发电机等电源将水能、热能或其他形式的能量转换为电能,通过变压器、输电线等输送到各用户,在那里电能再被转换成机械能、光能等用户需要的能量,如图 1-2 所示。

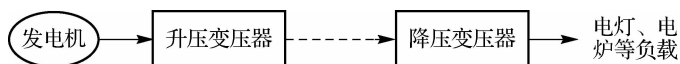


图 1-2 电能传送示意图

2) 转换、传递和处理信号

常见的信号处理电路有电视机、收音机等,它们的接收天线把音乐、图像等电磁波转换成相应的电信号,然后通过电路进行传递和处理(调谐、变频、检波和放大等),最后送到扬声器、显像管等负载,还原成原来的信息,如图 1-3 所示。

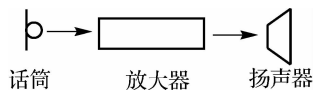


图 1-3 扩音器电路示意图

补充知识 电路图的概念

1. 电气的分类

人们习惯把电能分为强电(电力)和弱电(信息)两部分,两者既有联系又有区别。

1) 强电

强电的处理对象是能源(电力),其特点是电压高、电流大、功率大、频率低,电压通常为交流 380/220 V 及以上。强电电路包括供电工程电路、电机控制电路、家庭供电电路等。

2) 弱电

弱电的处理对象主要是信息,即信息的传送和控制,其特点是电压低、电流小、功率小、



频率高,电压通常为 36 V 及以下交、直流。弱电电路包括家用电器、医疗设备、机器人、电视工程、通信工程、消防工程、网络综合布线工程等。

2. 电气符号

电气符号是构成电路图的主要元素,电路图就是用一些规定的电气符号来反映电路的结构。下面所分析的都是简化后的电路图,各电路元件用规定的图形符号表示,如图 1-4 和图 1-5 所示。

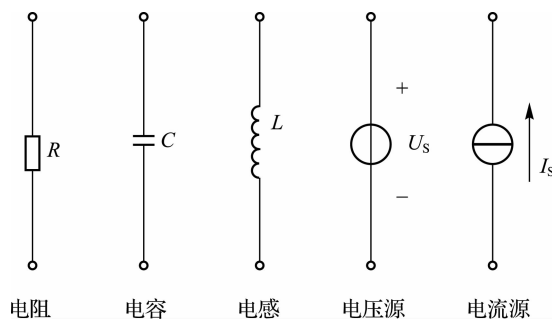


图 1-4 弱电电路元件的名称和图形符号

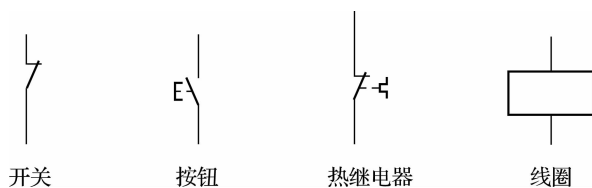


图 1-5 强电电路元件的名称和图形符号

3. 电路图的类别

电路图的种类很多,包括电工电路图、电子电路图、电气控制图等,其表现形式如图 1-6 至图 1-8 所示。

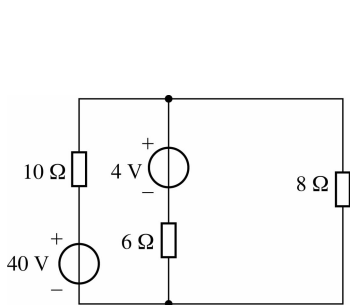


图 1-6 电工电路图

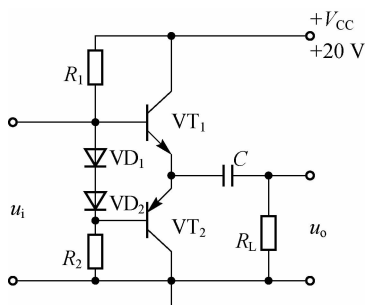


图 1-7 电子电路图



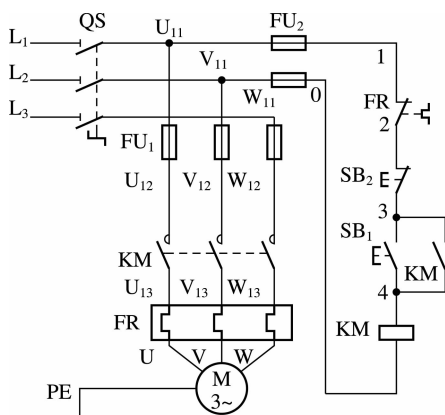


图 1-8 电气控制图

二、电路的基本物理量

1. 电流与电压

1) 电流

电荷的定向移动即形成电流, 电流是单位时间内通过导体横截面的电荷量, 如图 1-9 所示。

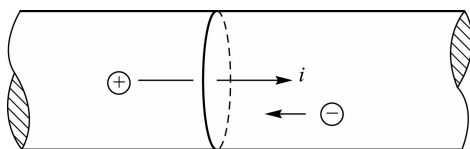


图 1-9 电流的示意图

如果电流随时间变化, 用小写字母 i 表示, 即

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

式中, i 为电流, A; dq 为通过导体横截面的电荷量, C; dt 为时间, s。

如果电流不随时间变化, 是恒定的(直流), 则用大写字母 I 表示, 即

$$I = \frac{q}{t} \quad (1-2)$$

常用的电流单位还有千安(kA)、毫安(mA)和微安(μ A)等, 它们之间的换算关系为 $1 \text{ kA} = 10^3 \text{ A} = 10^6 \text{ mA} = 10^9 \mu\text{A}$ 。

2) 电压

带电体周围存在着电场, 电荷在电场中会受到电场力, 当电场力使电荷移动时(由 a 点移动到 b 点), 电场力 F 就对电荷做了功, 电荷移动所做的功称为电压。

如果电压随时间变化, 用小写字母 u 表示, 即

$$u_{ab} = \frac{dW_{ab}}{dq} \quad (1-3)$$



式中, u_{ab} 为 a 点到 b 点的电压, V; dW_{ab} 为正电荷 dq 由 a 点移动到 b 点所做的功, J。

如果电压不随时间变化, 是恒定的(直流), 则用大写字母 U 表示, 即

$$U_{ab} = \frac{W_{ab}}{q} \quad (1-4)$$

恒定电压产生的电场称为恒定电场, 交变电压产生的电场称为交变电场。在恒定电场中, 任意两点 a 、 b 之间的电压只与 a 、 b 两点(起点与终点)的位置有关, 而和电荷移动的路径无关。

常用的电压单位还有千伏(kV)、毫伏(mV)和微伏(μ V), 它们之间的换算关系为 $1 \text{ kV} = 10^3 \text{ V} = 10^6 \text{ mV} = 10^9 \mu\text{V}$ 。

2. 电流与电压的方向

电流和电压都存在实际方向, 特别是交流电流和电压, 其实际方向总是瞬变的。电流的实际方向规定为正电荷移动的方向, 电压的实际方向规定为高电势端指向低电势端。为了便于电路分析, 可任意选定某一方向作为电流(或电压)的参考方向。当参考方向与实际方向一致时, 电流(或电压)取正值, 其值大于零; 当参考方向与实际方向相反时, 电流(或电压)取负值, 其值小于零。

电路图中电流(或电压)的参考方向可以用带箭头的直线表示, 也可以用双下标表示, 如 I_{ab} 表示电流从 a 指向 b , 如图 1-10(a)和图 1-10(b)所示; U_{ab} 表示 a 点为高电势点, b 点为低电势点, 如图 1-10(c)和图 1-10(d)所示。

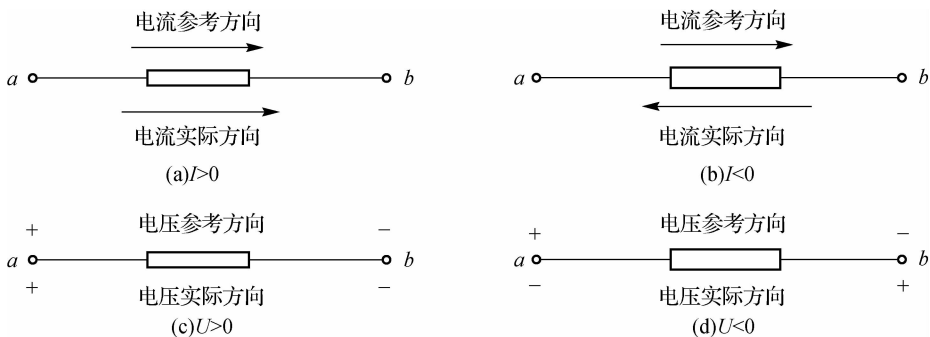


图 1-10 电流和电压的参考方向表示法

图 1-10 中, 电流(或电压)参考方向选定之后, 电流(或电压)值的正与负就决定了电流(或电压)的实际方向。

3. 电位与电动势

1) 电位

为了便于分析, 在恒定电场中选取某一点 O 为参考点, 规定参考点 O 的电位为 0 V , 即 $V_O = 0$ 。在电工电子技术中通常以大地作为参考点, 有些用电设备为了使用安全, 将机壳与大地相连, 称为接地, 用符号“ \perp ”表示。电场力把单位正电荷 q 从电路中某一点 a 沿任意路径移动到参考点 O , 电场力所做的功, 称为 a 点的电位, 记为 V_a , 那么电路中任意一点的电位, 就是该点与参考点之间的电压。而电路中任意两点之间的电压, 则等于这两点电位之差, 即

$$U_{ab} = V_a - V_b \quad (1-5)$$

电位具有相对性, 参考点可以任意选择, 因为各点的电位高低是相对于参考点而言的,





选取不同的参考点,电场中各点的电位值也就不同(电位可为正值或负值,某点的电位高于参考点,则为正,反之则为负),但是参考点一旦选定后,电场中各点的电位就只能有一个确定的数值。而电压具有绝对性,它的数值不随参考点的变化而变化,一旦 a 、 b 两点的位置确定,不管参考点如何变更, a 、 b 两点之间的电压只有一个数值。如 $U_{ab}=5\text{ V}$,当选择 a 为参考点时,则 $V_a=0, V_b=V_a-U_{ab}=-5\text{ V}$;当选择 b 为参考点时,则 $V_b=0, V_a=U_{ab}+V_b=5\text{ V}$ 。

例 1-1 电路中各参数如图 1-11 所示,当分别以 b 、 d 为参考点时,求另外点的电位和 U_{ab} 、 U_{bc} 、 U_{ac} 、 U_{ad} 和 U_{cd} 。

解 (1)以 b 点为参考点,即 $V_b=0\text{ V}$,有

$$V_a=0\text{ V}+7\text{ mA}\times 2\text{ k}\Omega=14\text{ V}$$

$$V_c=0\text{ V}-6\text{ mA}\times 3\text{ k}\Omega=-18\text{ V}$$

$$V_d=0\text{ V}-1\text{ mA}\times 6\text{ k}\Omega=-6\text{ V}$$

则

$$U_{ab}=V_a-V_b=14-0=14\text{ V}$$

$$U_{bc}=V_b-V_c=0-(-18)=18\text{ V}$$

$$U_{ac}=V_a-V_c=14-(-18)=32\text{ V}$$

$$U_{ad}=V_a-V_d=14-(-6)=20\text{ V}$$

$$U_{cd}=V_c-V_d=-18-(-6)=-12\text{ V}$$

(2)以 d 点为参考点,即 $V_d=0\text{ V}$,有

$$V_a=1\text{ mA}\times 6\text{ k}\Omega+7\text{ mA}\times 2\text{ k}\Omega=20\text{ V}$$

$$V_b=0\text{ V}+1\text{ mA}\times 6\text{ k}\Omega=6\text{ V}$$

$$V_c=6\text{ V}-6\text{ mA}\times 3\text{ k}\Omega=-12\text{ V}$$

则

$$U_{ab}=V_a-V_b=20-6=14\text{ V}$$

$$U_{bc}=V_b-V_c=6-(-12)=18\text{ V}$$

$$U_{ac}=V_a-V_c=20-(-12)=32\text{ V}$$

$$U_{ad}=V_a-V_d=20-0=20\text{ V}$$

$$U_{cd}=V_c-V_d=-12-0=-12\text{ V}$$

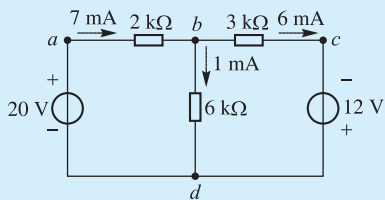


图 1-11 例 1-1 图

2) 电动势

电动势是一个专门描述电源内部特性的物理量,常用 E (或 e)表示。由于电场力的作用,正电荷不断地从 a 极经过导体移动到 b 极,这样做必然会改变电荷的分布。 a 极的正电荷数不断减少,电位逐渐下降,而 b 极不断地得到从 a 极移来的正电荷,电位不断升高。随着时间的推移, a 、 b 两极之间的电位差将越来越小,它所产生的电场也就越来越弱,一旦 a 、 b 两极的电位相等,导体中便不再有电荷的移动。

为了维持导体中电荷源源不断的移动,以产生电流,必须要有一种外力克服电场力的作用从另一途径源源不断地把正电荷从低电位端(b 极)移到高电位端(a 极),使 a 极的电位升高,以保持导体中正电荷的不断移动。在电源内部就存在这种外力,称为电源力。电源力把正电荷从低电位端 b 经过电源内部移动到高电位端 a 所做的功称为电源的电动势。



电动势是一个标量,但它和电流一样有规定的方向,即电源内部电动势 E 的方向规定为从低电位端指向高电位端。也就是说,当电动势为正数时,电动势的方向就是电位升高的方向。电动势数值的大小与电源的开路电压相等,单位也是 V ,因为当电源处于开路状态时,电源中没有电荷的移动,这时电场力与电源力相平衡,电场力和电源力对正电荷做功的能力相等。

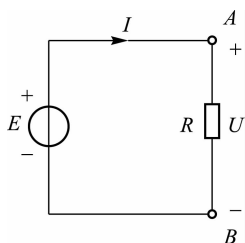


图 1-12 电阻消耗能量

4. 电功和电功率

1) 电功

电功是电流所做的功,电流做功的实质是把电能转换成其他形式的能。电场力推动电荷做功,发生了能量的转换,电源输出的能量消耗在负载上,转换成其他形式的能量,如图 1-12 所示。

在图 1-12 中,电流 I 和电压 U 参考方向一致,在时间 t 内电荷 Q 受电场力的作用从 A 点经负载移到 B 点,电场力所做的功为

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

式中, W 为电功, J 。有时电功也用度 ($kW \cdot h$) 表示, $1 \text{ 度} = 1 \text{ kW} \cdot h = 3.6 \times 10^6 \text{ J}$ 。

2) 电功率

电功率用来表示电流做功的快慢,电流在 1 s 所做的功称为电功率。电功率的表达式为

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

式中, P 为电功率, W 。

常用的电功率单位还有千瓦 (kW) 和毫瓦 (mW),它们之间的关系为 $1 \text{ kW} = 10^3 \text{ W} = 10^6 \text{ mW}$ 。

3) 电功率的性质

在电路分析中,有时不仅要计算某元件电功率的大小,还要判断功率的性质,即该元件是输出功率(起电源作用)还是消耗功率(起负载作用)。在这里把电压和电流的参考方向一致定为关联参考方向,应用公式 $P = UI$ 计算功率;否则为非关联参考方向,应用公式 $P = -UI$ 计算功率。电流与电压的关系示意图如图 1-13 所示。

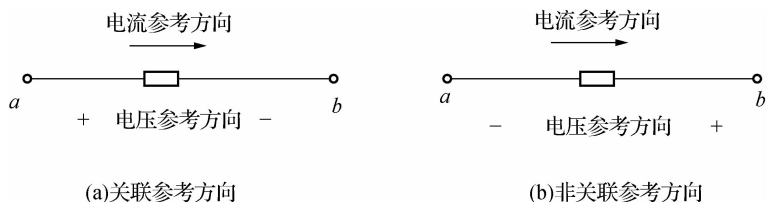


图 1-13 电流与电压的关系示意图

不管是上述情况的哪一种,如果最后得出的结果为 $P > 0$,表示该元件吸收功率,起负载作用;如果最后得出的结果为 $P < 0$,表示该元件发出功率,起电源作用。在任何一个完整的电路中,电源发出的总功率一定等于电路中各个负载吸收的总功率,即总功率为 0,符合能量守恒定律。





例 1-2 已知 $I_1=4\text{ A}$, $I_2=2\text{ A}$, $I_3=-2\text{ A}$, $R_1=10\ \Omega$, $R_2=20\ \Omega$, $E_1=10\text{ V}$, $E_2=90\text{ V}$, 参考方向如图 1-14 所示。

(1) 试求元件 ∞ 两端的电压 U_∞ , 并确定元件 ∞ 是电源还是负载。

(2) 确定电源 E_1 、 E_2 的实际状态。

(3) 判定此电路功率是否平衡。

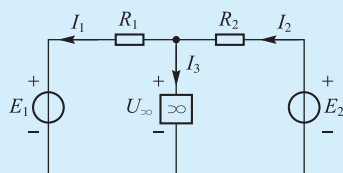


图 1-14 例 1-2 图

解 (1) $U_\infty = R_1 I_1 + E_1 = 10 \times 4 + 10 = 50\text{ V}$

$$P_\infty = U_\infty I_3 = 50 \times (-2) = -100\text{ W} < 0$$

U_∞ 与 $I_\infty(I_3)$ 为关联参考方向, 故 $P_\infty = U_\infty I_\infty$,

而 $P_\infty < 0$, 则可判定元件 ∞ 是电源。

(2) 如图所示, E_1 与 I_1 为关联参考方向, 则

$$P_{E_1} = E_1 I_1 = 10 \times 4 = 40\text{ W} > 0$$

即电源 E_1 实际作用为负载, 处于充电状态。

E_2 与 I_2 为非关联参考方向, 则

$$P_{E_2} = -E_2 I_2 = -90 \times 2 = -180\text{ W} < 0$$

即电源 E_2 实际作用为电源, 处于放电状态。

(3) 电阻上的总功率为

$$P_R = P_{R_1} + P_{R_2} = R_1 I_1^2 + R_2 I_2^2 = 10 \times 4^2 + 20 \times 2^2 = 240\text{ W}$$

电路中消耗的总功率为

$$P_{\text{消}} = P_{E_1} + P_R = 40 + 240 = 280\text{ W} > 0$$

电路中发出的总功率为

$$P_{\text{发}} = P_{E_2} + P_\infty = -180 + (-100) = -280\text{ W} < 0$$

电路的总功率 $P_{\text{总}} = 0\text{ W}$, 故此电路功率是平衡的。

课堂实战

1. 电路中有 5 个元件, 电流、电压的参考方向标定如图 1-15 所示。已知 $U_1=-70\text{ V}$, $U_2=-30\text{ V}$, $U_5=60\text{ V}$, $I_3=2\text{ A}$, $I_4=4\text{ A}$ 。请说明 U_1 、 U_2 、 U_5 、 I_3 、 I_4 的实际方向。

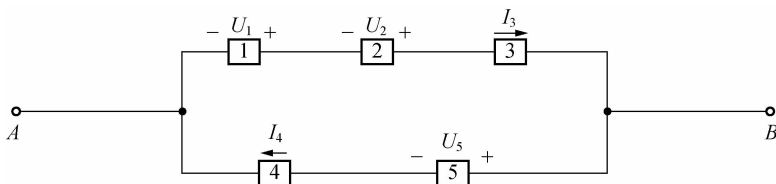


图 1-15 题 1 图





温馨提示

参考方向与实际方向是否一致,主要看最终结果的符号。

- (1) U_1 的实际方向为:
- (2) U_2 的实际方向为:
- (3) U_5 的实际方向为:
- (4) I_3 的实际方向为:
- (5) I_4 的实际方向为:

2. 电路中电动势 $E_1=30\text{ V}$, $E_2=15\text{ V}$, 方向如图 1-16 所示。请说明 U_{AB} 的实际方向。

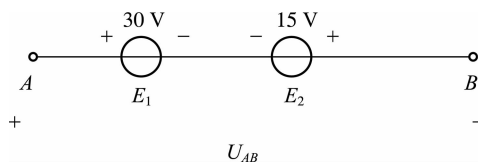


图 1-16 题 2 图

温馨提示

图 1-16 中电压 U_{AB} 的方向是参考方向, 其实际方向取决于电动势 E_1 、 E_2 的和。

3. 图 1-17 为 U 、 I 关联和非关联状态, 试说明电源是消耗功率还是发出功率。

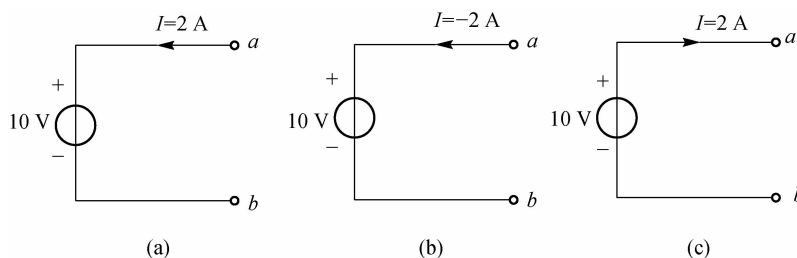


图 1-17 题 3 图





温馨提示

图 1-17(a)中, $U=10\text{ V}$, $I=2\text{ A}$, U 和 I 为关联参考方向,则 $P=UI=20\text{ W}>0$,所以此电源消耗功率,为充电状态。

图 1-17(b)中, $U=10\text{ V}$, $I=-2\text{ A}$, U 和 I 为关联参考方向,则 $P=UI=-20\text{ W}<0$,所以此电源发出功率,为向外供电状态。

图 1-17(c)中, $U=10\text{ V}$, $I=2\text{ A}$, U 和 I 为非关联参考方向,则 $P=-UI=-20\text{ W}<0$,所以此电源发出功率,为向外供电状态。

补充知识 电气设备的额定值

为了保证电气设备在使用年限内安全、可靠地运行,制造厂家给出了设备各项性能指标,对其电流、电压和功率设定了一个限额值,这个限额值就称为电气设备的额定值。电气设备的额定值主要有额定电流、额定电压和额定功率。

1. 额定电流

电气设备长时间运行以致温度达到最高允许温度时的电流,称为额定电流。额定电流用 I_N 表示。

2. 额定电压

为了限制电气设备的电流并考虑绝缘材料的绝缘性能等因素,允许加在电气设备上的电压限值,称为额定电压。额定电压用 U_N 表示。

3. 额定功率

在直流电路中,额定电压与额定电流的乘积就是额定功率,即 $P_N=U_N I_N$ 。额定功率用 P_N 表示。

电气设备的额定值都标在铭牌上,使用时必须遵守。例如,一盏日光灯,标有“220 V, 40 W”的字样,表示该灯在 220 V 电压下使用,消耗功率为 40 W。若将该灯泡接在 380 V 的电源上,则会因电流过大将灯丝烧毁;相反,若电源电压低于额定电压,虽然灯泡仍能发光,但灯光比较暗淡。在额定范围内使用,才能保证用电设备的运行安全、可靠、经济、合理,并延长使用寿命。

在额定电压下,当负载的工作电流超过额定电流时,称为超载或过载。相反,当负载的工作电流低于额定电流时,称为欠载或轻载。当工作电流等于额定电流时,称为满载。

实际使用时,白炽灯、电磁炉等设备,只要在额定电压下使用,其电流和功率都会达到额定值。但是对于电动机、变压器等设备,即使在额定电压下工作时,也有可能出现欠载或超载的现象。

学生

一台额定电流为 100 A 的发电机,只接了 60 A 的照明负载,其余的 40 A 的电流流到哪里去了?





老师

此发电机并非工作在额定工作状态,其实际输出电流就是 60 A。

三、电路的基本状态

电路在不同的工作条件下会呈现不同的工作状态,也有不同的特点。充分了解电路不同的工作状态和特点对安全用电与正确使用各种类型的电气设备是十分必要的。直流电路的状态包括有载状态、开路状态和短路状态三种。

1. 有载状态

接通电源 U_S (内阻为 R_0)和负载 R_L ,电路中产生电流 I ,即电路处于有载状态,如图 1-18 所示。

有载状态的特点是电流在电路中形成闭合回路,负载上有电压和电流,存在功率消耗。

2. 开路状态

电路中开关 S 未闭合,电路中没有电流,电路呈现开路状态(或断路状态),如图 1-19 所示。这时电源两端的端电压 U_{ab} (称为开路电压或空载电压)等于电源的电动势,因为没有负载消耗电能,所以电源不能输出功率。

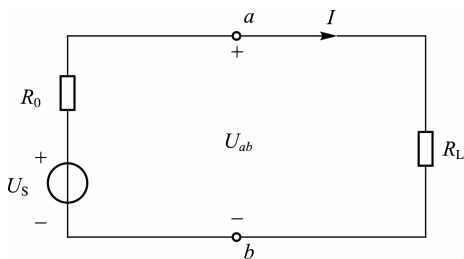


图 1-18 电路的有载状态

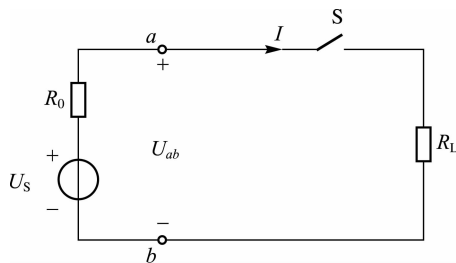


图 1-19 电路的开路状态

开路状态的特点是电路中没有电流,负载上没有电压和电流,不存在功率消耗。

3. 短路状态

电路中电源的两端 a 、 b 由于某种原因被一根导线连接起来,这时电路所呈现的状态称为短路,如图 1-20 所示。

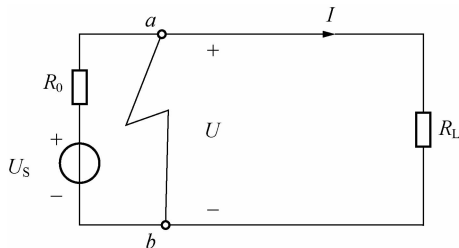


图 1-20 电源的短路状态





电源短路时,外电路的电阻可视为零,电路中的电流不再流过负载电阻 R_L ,而是通过短路导线 ab 直接流回电源。因为在电流的回路中只有很小的电源内阻 R_0 ,所以这时在电源电压作用下会产生极大的电流,这个电流被称为短路电流 I_S 。

电源短路状态的特点是负载两端的电压为零,电源也不输出功率,电源所产生的电能全部为内阻 R_0 所消耗,并转换成热能,使得电源的温度迅速上升导致损坏,并有可能引起电气火灾。



问题与思考

问题 1 电路中的基本物理量有哪些? 各有什么功能?

思考并回答:

.....

问题 2 电路的基本状态有哪几种? 各有什么性质?

思考并回答:

.....

电路中电位、电压的测定

实验目的

用实验证明电路中电位的相对性、电压的绝对性；
加深理解参考点及电压、电位参考方向的意义；
学习使用电压表、电流表，熟练使用万用表。

实验仪器与设备

可调直流稳压电源 2 台；
直流电压表 3 块；
直流电流表 3 块；
万用表 3 块；
电位、电压测定实验电路板 1 块；
连接线 1 组；
220 Ω 、470 Ω 电阻各 2 个；
1 k Ω 电阻 1 个。

实验内容

连接电路，确定各参考点；
根据参考点的不同测量各点电位、两点间电压。

实验预习要点

电压表、电流表的使用方法；
电位的测量；
电压的测量。

实验结果

根据实验数据，绘制电压、电位的变化图形；
计算各电位、电压值，并对误差做必要的分析；
总结电位相对和电压绝对的原理。

实验报告

填写实验日志；
记录实验数据；
计算电位、电压值。

实验考核评价

知识掌握考核；
能力操作考核；
职业素养考核。





学习单元二

电路中的基本元器件和欧姆定律

▶▶▶ 引言

本学习单元主要介绍电路中基本元器件的种类、性质以及在电路中的作用,同时介绍直流电路中最基本的定律——欧姆定律。通过对本学习单元的学习,学生能够对直流电路中的各类元器件有初步的认知,为后续课程的学习打下基础。

一、基本元器件

1. 电阻

金属导体中的自由电子在做定向运动时,要与金属正离子频繁碰撞,每秒的碰撞次数高达 10^{15} 次,这些碰撞阻碍了自由电子的定向运动,表示这种阻碍作用的物理量称为电阻。任何物体都有电阻,常见的电阻如图 1-21 所示。

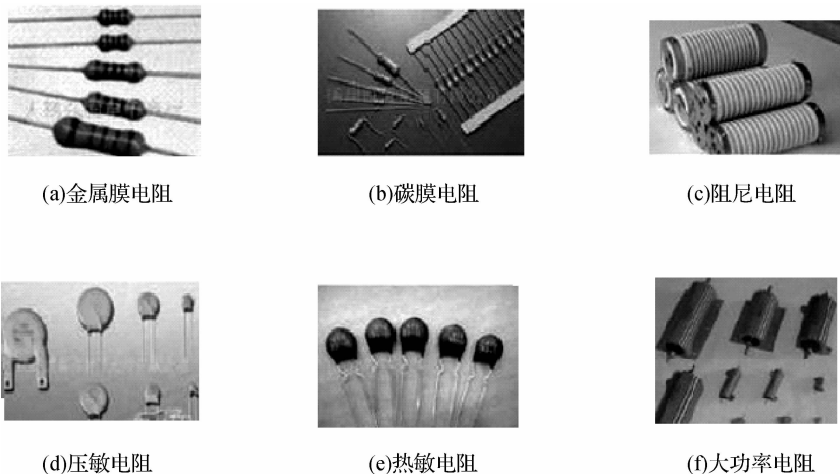


图 1-21 常见的电阻

在保持温度(如 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$)不变条件下,实验结果表明,电阻值的大小与电阻率、导体的长度、导体的横截面积有关,即

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (1-8)$$

式中, R 为导体的电阻, Ω ; ρ 为电阻率, $\Omega \cdot \text{m}$; l 为导体的长度, m ; S 为导体的横截面积, m^2 。

常用的电阻单位还有千欧($\text{k}\Omega$)和兆欧($\text{M}\Omega$),它们之间的换算关系为 $1\text{ M}\Omega = 10^3\text{ k}\Omega = 10^6\text{ }\Omega$ 。

电阻通常分为线性电阻(伏安特性曲线为直线)和非线性电阻(伏安特性曲线为曲线)。常用电阻器类型表示为:RX 表示线绕电阻器,RT 表示碳膜电阻器,RJ 表示金属膜电阻器,



RS 表示实心电阻器。

例 1-3 一台电动机的线圈由直径 1.2 mm 的漆包铜线绕成,在 20 °C 时电阻为 1.61 Ω,求共用了多长的导线。(ρ=1.69×10⁻⁸ Ω·m)

$$\begin{aligned} \text{解} \quad S &= \frac{\pi}{4} d^2 = \frac{\pi}{4} \times (1.2 \times 10^{-3})^2 \text{ m}^2 \approx 1.13 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \\ l &= R \frac{S}{\rho} = 1.61 \times 1.13 \times 10^{-6} / (1.69 \times 10^{-8}) \text{ m} \approx 108 \text{ m} \end{aligned}$$

2. 电容

电容是电路中的基本元件之一,在各种电子产品和电力设备中有着广泛的应用。在电子技术中电容常用于滤波、移相、选频等电路,还能起到隔直、旁路等作用;在电力系统中电容可用来提高系统的功率因数。常见的电容如图 1-22 所示。

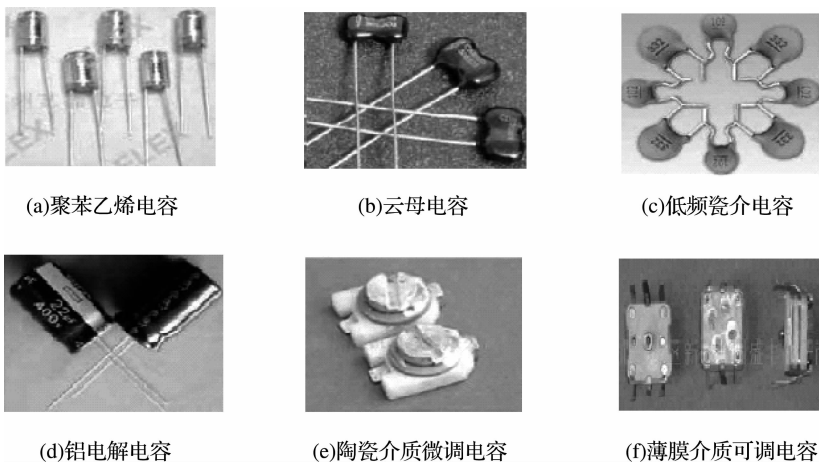


图 1-22 常见的电容

对于一定的电容,极板上所聚集的电荷与外加的电压成正比,如果比例系数是一常数,这种电容元件就是线性的,其比例系数就是电容的容量,简称电容。电容的大小为极板上聚集的电荷量 Q 与极板间电压 U 的比值,即

$$C = \frac{Q}{U} \quad (1-9)$$

式中, C 为电容,F。

常用的电容单位还有毫法(mF)、微法(μF)、纳法(nF)和皮法(pF),它们之间的换算关系为 $1 \text{ F} = 10^3 \text{ mF} = 10^6 \mu\text{F} = 10^9 \text{ nF} = 10^{12} \text{ pF}$ 。

3. 电感

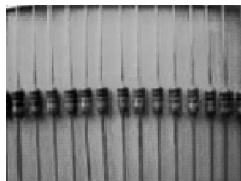
电感也是电路中的基本元件之一。在电子技术和电力系统中,常常可以看到用导线绕制而成的线圈,如收音机中的高频扼流圈、日光灯电路中的镇流器、电子电路中的扼流圈、电动机中的绕组等。常见的电感如图 1-23 所示。

当电感线圈中有电流通过时,线圈周围就建立了磁场,即有磁力线穿过线圈,形成封闭

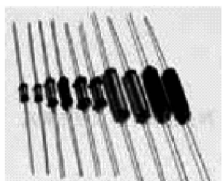




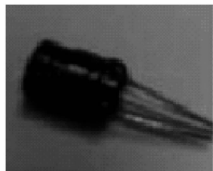
的磁力线。



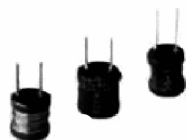
(a)色环电感



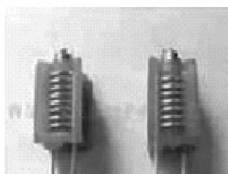
(b)卧式电感



(c)立式电感



(d)工字电感



(e)可调电感



(f)共模电感

图 1-23 常见的电感

磁链与磁通量通常是由通过线圈的电流 i 产生的,当线圈中无铁磁材料时,磁链 ψ 与电流 i 成正比,其比例系数定义为线圈的电感。比例系数为常数的电感又称为线性电感。电感的计算公式为

$$L = \frac{\psi}{i} \quad (1-10)$$

式中, L 为电感,H。

常用的电感单位还有毫亨(mH)和微亨(μH),它们之间的换算关系为 $1 \text{ H} = 10^3 \text{ mH} = 10^6 \mu\text{H}$ 。

补充知识 基本元器件相关知识

1. 电阻的特性

温度不变时,用同种材料制成的横截面积相等而长度不相等的导线,导体的电阻 R 与它的长度 l 成正比;长度相等而横截面积不相等的导线,导体的电阻 R 与它的横截面积 S 成反比;导体的电阻率 ρ 通常是指在 20°C 时,长 1 m 、横截面积为 1 m^2 的某种材料的电阻值。

2. 电导的概念

电阻的倒数称为电导,用符号 G 表示,即

$$G = \frac{1}{R} \quad (1-11)$$

由式(1-11)可见,导体的电阻越小,电导就越大,电导值大说明导体的导电性能良好。电导的单位是西门子(S),简称西。

3. 电阻率的概念

电阻成型后,其电阻值固定不变。但由于温度的变化,电阻值可能会发生改变(导体的





电阻率随温度的变化而变化)。特别是温度变化较大时,电阻值的变化就不可忽视了。例如,40 W 白炽灯的灯丝电阻在不发光时约为 100 Ω ,正常发光时,灯丝温度可达 2 000 $^{\circ}\text{C}$ 以上,这时的电阻超过 1 k Ω 。

4. 电阻的温度系数

温度每升高 1 $^{\circ}\text{C}$ 时电阻所变动的数值与原电阻值的比,称为电阻的温度系数,以字母 α 表示,单位为 $1/^{\circ}\text{C}$ 。如果在温度为 t_1 时,导体的电阻为 R_1 ,在温度为 t_2 时,导体的电阻为 R_2 ,则电阻的温度系数为

$$\alpha = \frac{R_2 - R_1}{R_1(t_2 - t_1)} \quad (1-12)$$

即

$$R_2 = R_1 [1 + \alpha(t_2 - t_1)] \quad (1-13)$$

常用的导体材料在 20 $^{\circ}\text{C}$ 时的电阻率和温度系数可参照相关的技术资料。

5. 电阻的基本参数

电阻的基本参数有标称阻值、阻值误差、额定功率、最高工作温度、最高工作电压、静噪声电动势等。选用电阻时,一般只考虑标称阻值、阻值误差和额定功率,其他几项参数只有在特殊需要时才考虑。

(1) 标称阻值。电阻的标称阻值是指电阻表面所标的阻值。例如,E24 系列中的 1.5 Ω 、15 Ω 、150 Ω 、1.5 k Ω 、15 k Ω 等。

(2) 阻值误差。实际阻值与标称阻值的差值除以标称阻值所得的百分数就是阻值误差。普通电阻的阻值误差一般为 $\pm 5\%$ 、 $\pm 10\%$ 、 $\pm 20\%$ 。

(3) 额定功率。电阻接入电路后,通过电流时便会发热,如果温度过高就会被烧毁。通常,在规定温度和 $(9.6 \sim 10.4) \times 10^5$ Pa 的大气压下,电阻在交流或直流电路中能长期连续工作所消耗的最大功率称为额定功率。

6. 电阻的标注方法

电阻的标称阻值、阻值误差、额定功率等参数一般用数字和文字符号直接标在电阻的表面上,称为直接标注法;也可用代表不同含义的颜色环表示,即色环标注法。

色环电阻是电子电路中最常用的电子元件,它是在普通电阻的封装上涂上不同颜色的色环,用来区分电阻的阻值。色环标注颜色醒目,标志清晰,不易褪色,从各方向都能看清阻值和误差,有利于电气设备的装配、调试和检修,因此国际上广泛采用色环标注法。色环电阻的基本单位有欧姆、千欧和兆欧。

色环电阻可以分为四环和五环,自左至右进行识读,其色环属性说明如图 1-23 所示。

由图 1-24 可知,四环电阻前两环为数字,第三环表示阻值倍乘的数,最后一环为误差;五环电阻前三环为数字,第四环表示阻值倍乘的数,最后一环为误差。误差标注通常是金、银和棕三种颜色,金色的误差为 $\pm 5\%$,银色的误差为 $\pm 10\%$,棕色的误差为 $\pm 1\%$,无色的误差为 $\pm 20\%$,另外偶尔还有以其他颜色代表更精确一些的误差。





颜色	第一段	第二段	第三段	倍乘	误差
黑色	0	0	0	1	
棕色	1	1	1	10	± 1%
红色	2	2	2	100	± 2%
橙色	3	3	3	1k	
黄色	4	4	4	10k	
绿色	5	5	5	100k	± 0.5%
蓝色	6	6	6	1M	± 0.25%
紫色	7	7	7	10M	± 0.10%
灰色	8	8	8		± 0.05%
白色	9	9	9		
金色				0.1	± 5%
银色				0.01	± 10%
无色					± 20%

图 1-24 电阻色环属性说明

7. 电容的充、放电

设电容元件两端电压与电流为关联参考方向,当电容两端电压有 du 变化时,电容上的电荷量也必有相应的 dq 变化,则

$$i = \frac{dq}{dt} = \frac{d(Cu)}{dt} = C \frac{du}{dt} \quad (1-14)$$

电容中随时间变化的电压与电流的乘积称为瞬时功率,即

$$p = ui = Cu \frac{du}{dt} \quad (1-15)$$

当 $p > 0$ 时,说明电容从外部电路消耗功率,这时电容充电,即把电能转换成电场能并存储在电容里;当 $p < 0$ 时,说明电容向外部电路输出功率,这时电容放电,即把电场能转换成电能释放在电路里。这说明电容只是存储能量并进行能量的转换,理想的电容元件不消耗电能。电容充、放电曲线如图 1-25 所示。

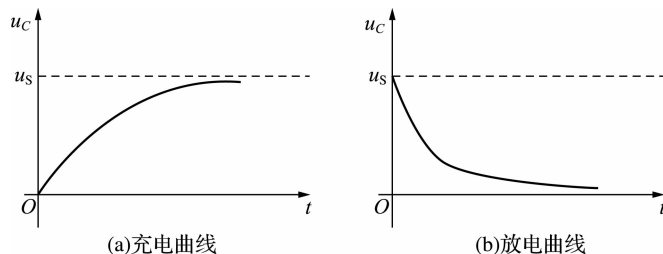


图 1-25 电容充、放电曲线



8. 电感的充、放电

理想电感元件的瞬时功率为

$$p = ui = Li \frac{di}{dt} \quad (1-16)$$

当 $p > 0$ 时,说明电感元件从外部电路消耗功率,这时电感元件充电,即把电能转换成磁场能并存储在电感元件里;当 $p < 0$ 时,说明电感元件向外部电路输出功率,这时电感元件放电,即把磁场能转换成电能释放在电路里。这说明电感元件只是存储能量并进行能量的转换,理想的电感元件不消耗电能。电感充、放电曲线如图 1-26 所示。

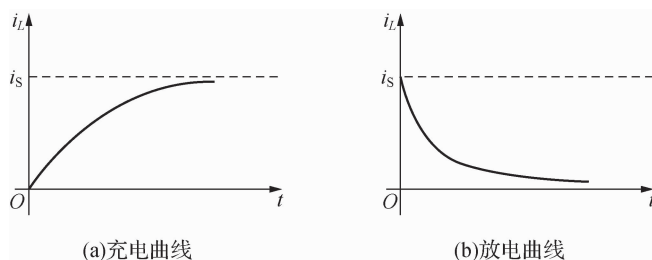
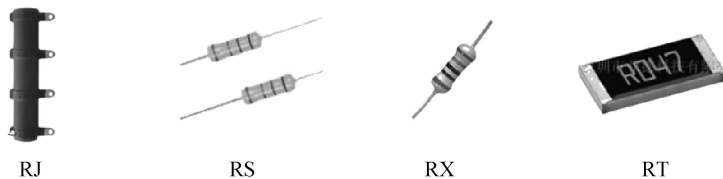


图 1-26 电感充、放电曲线

课堂实战

1. 对应连线。



2. 电阻值识读(色环电阻)。

(1) R_1 :阻值为 $3\ 300\ \Omega$,允许误差 $\pm 5\%$ 的电阻。画出该电阻的色环并标注颜色说明。

(2) R_2 :阻值为 $620\ \Omega$,允许误差 $\pm 10\%$ 的电阻。画出该电阻的色环并标注颜色说明。

(3) 根据图 1-27 所示色环电阻 R_3 ,说明该电阻的电阻值及允许误差。

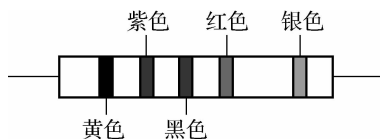


图 1-27 色环电阻 R_3



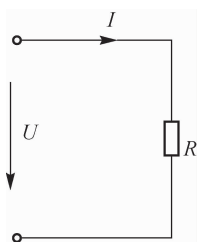


图 1-28 部分电路

二、欧姆定律

1. 部分电路欧姆定律

1826年,德国物理学家欧姆通过实验总结出,线性电阻 R 两端所加的电压 U 与其通过的电流 I 成正比,如图 1-28 所示,即

$$U=RI \quad (1-17)$$

也可以写成

$$I=\frac{U}{R} \quad (1-18)$$

式(1-17)与式(1-18)中的电阻是一个与通过它的电流无关的常数,这样的电阻称为线性电阻,线性电阻上的电压、电流的相互关系遵守欧姆定律。当流过电阻的电流或电阻两端的电压变化时,电阻的阻值也随之改变,这样的电阻称为非线性电阻。

如果在电路的某一支路中不但有电阻元件,而且有电源,如图 1-29 所示,可先设定有关电压、电流的参考方向,再列出 a 、 b 两点之间的电压方程为

$$U_{ab}=R_1 I+E_1+R_2 I-E_2$$

经整理后,可得

$$I=\frac{U_{ab}+(E_2-E_1)}{R_1+R_2}$$

如果在电路中含有多个电阻和多个电源,那么,可以写出

$$I=\frac{\pm U \pm E}{\sum R} \quad (1-19)$$

式(1-19)中,当端电压 U 与电流 I 为关联参考方向时,端电压取“+”,反之取“-”;当电动势 E 与电流 I 的参考方向一致时,电动势取“+”,反之取“-”。

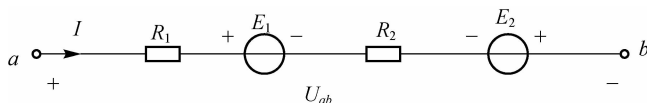


图 1-29 含有电源的支路

2. 全电路欧姆定律

一个包含电源、负载在内的闭合电路称为全电路。电源的内部一般都是有电阻的,这个电阻称为电源的内电阻,用 R_0 表示。开关 S 闭合时,负载 R_L 上就有电流通过,如图 1-30 所示,电流大小为

$$I=\frac{U_s}{R_0+R_L} \quad (1-20)$$

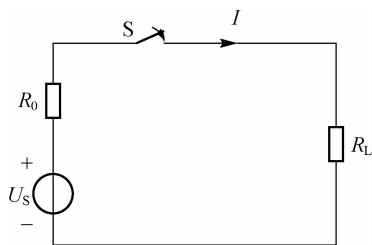


图 1-30 全电路

例 1-4 如图 1-31 所示,已知电源电压 $U=5\text{ V}$,内阻 $R_0=1\ \Omega$,外接负载 $R_L=4\ \Omega$,试计算开关 S 断开与闭合两种情况下的电压 U_{ab} 和 U_{cd} 。

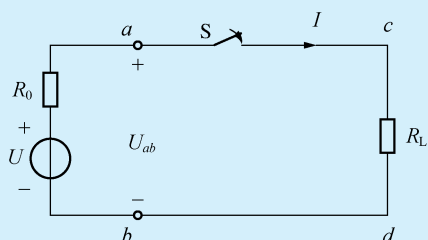


图 1-31 例 1-4 图

解 (1) 开关 S 断开时, 电流 $I=0$, 根据欧姆定律, R_0 和 R_L 上的电压为 0 V , 可得到

$$U_{ab}=5\text{ V}, U_{cd}=0\text{ V}$$

(2) 开关 S 闭合时, 根据欧姆定律可得到

$$I=\frac{U}{R_0+R_L}=\frac{5}{1+4}\text{ A}=1\text{ A}$$

$$U_{ab}=U_{cd}=IR_L=1\times 4\text{ V}=4\text{ V}$$



问题与思考

问题 1 电路中的基本元器件有哪几种? 各自的性质分别是什么?

思考并回答:

.....

.....

问题 2 欧姆定律分为哪几种情况? 各自的性质是什么?

思考并回答:

.....

.....

学习单元三

电路的基本连接

▶▶ 引言

本学习单元详细介绍电路中电池、电阻、电容及电感的串、并联性质。通过对本学习单元的学习, 学生能够掌握这几种元件的串、并联性质。

