



教育部高等职业教育示范专业规划教材

电工电子技术

DIANGONG DIANZI JISHU

明立军 刘雅琴 主编



www.cmpedu.com

赠电子课件



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



中国电力出版社 中国电力出版社 中国电力出版社

电工电子技术

DIANGONG DIANZI JISHU

王长平 王长平 主编



中国电力出版社

教育部高等职业教育示范专业规划教材

电工电子技术

主 编	明立军	刘雅琴		
副主编	李虹飞	王翠兰		
参 编	孙 彤	朱丽娟	吴 淦	
	王丽卿	郭亚红	郭 辉	
主 审	程桂芬			



机械工业出版社

本书主要由电工、电子两部分组成。电工部分包括：直流电路、正弦交流电路、磁路与变压器、三相异步电动机、电气控制基础、工厂供电与安全用电等内容。电子部分包括：半导体二极管、半导体三极管及其基本放大电路、集成运算放大电路、直流稳压电源、门电路和组合逻辑电路、触发器和时序逻辑电路等。

本书注重理论与实践相结合，教材内容以“够用为度”为原则，并配有相应的实验内容以巩固理论知识。每章后附有小结和习题，书后附有习题答案供参考。

本书适合作为高职高专机电类专业及相近其他专业的教材，也可供工程技术人员参考使用。

为方便教学，本书配有电子教案，供教师参考。凡选用本书作为授课教材的学校，均可来电索取，咨询电话：010-88379375，E-mail：cmp-gaozhi@sina.com。

图书在版编目(CIP)数据

电工电子技术/明立军，刘雅琴主编. —北京：机械工业出版社，2009.8

教育部高等职业教育示范专业规划教材

ISBN 978-7-111-27272-4

I. 电… II. ①明…②刘… III. ①电工技术—高等学校：技术学校—教材②电子技术—高等学校：技术学校—教材
IV. TM TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 095933 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：于 宁 责任编辑：曹雪伟 版式设计：张世琴
责任校对：刘志文 封面设计：马精明 责任印制：李 妍

北京铭成印刷有限公司印刷

2009 年 8 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·16.5 印张·402 千字

0001—4000 册

标准书号：ISBN 978-7-111-27272-4

定价：27.00 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)88379758

封面无防伪标均为盗版

前言

PREFACE

本书是教育部高职高专机电一体化技术专业规划教材，供高职高专机电类或机械类各专业使用，建议总学时为 120 学时。

本书根据教育部高职高专教学改革方案的要求，根据高职高专的教学特点，本着“必需”、“够用”的原则，侧重基础知识，突出实践教学。全书共有 12 章，包括电工技术和电子技术两部分内容。教材中为体现专科教学“掌握概念，强化应用”的原则，针对目前高职高专学生的知识水平和能力结构的现状，在内容上力求简单，省略了某些原理的论证和繁琐公式的推导。为便于教师教学和学生自学，在每章前面有学习目标和能力目标，学习目标通过理论教学达到，能力目标通过实验课来实现。为巩固所学知识，每章末有小结和习题，书后附有部分习题答案。

本教材承蒙沈阳工业大学的程桂芬教授精心审阅，在此深表谢意。

本书由明立军、刘雅琴担任主编；李虹飞、王翠兰担任副主编。教材中第 1 章和第 2 章由沈阳职业技术学院汽车分院明立军、孙彤、朱丽娟编写；第 3 章、第 4 章、第 5 章和第 6 章由沈阳职业技术学院汽车分院刘雅琴、吴淦编写；第 7 章和第 10 章由潍坊职业学院王丽卿编写；第 8 章由河南济源职业技术学院李虹飞编写；第 9 章由漯河职业技术学院郭亚红编写；第 11 章、第 12 章内容由漯河职业技术学院王翠兰编写；参加本书编写的还有新疆工业高等专科学校电气工程系郭辉老师；全书由明立军、刘雅琴统稿。

由于编者水平所限，教材中难免出现不足与纰漏，敬请读者批评指正。

编者

目 录

CONTENTS

前言

第1章 直流电路..... 1

1.1 电路的组成及基本物理量 1

1.1.1 电路的组成和作用 1

1.1.2 电路的基本物理量 2

1.2 电阻元件和欧姆定律 4

1.2.1 电阻元件 4

1.2.2 欧姆定律 4

1.2.3 电阻的连接 5

1.3 电路的三种状态 7

1.3.1 额定值 7

1.3.2 电源的三种状态 7

1.4 电压源和电流源及其等效变换 ... 8

1.4.1 电压源 9

1.4.2 电流源 9

1.4.3 电压源和电流源的等效变换 10

1.5 基尔霍夫定律 12

1.5.1 基尔霍夫电流定律 12

1.5.2 基尔霍夫电压定律 14

1.6 电路中电位的计算 15

1.7 支路电流法 16

1.8 叠加原理和戴维南定理 18

1.8.1 叠加原理 18

1.8.2 戴维南定理 19

1.9 实验 21

1.9.1 万用表的使用 21

1.9.2 直流电路的基本测量 24

1.9.3 叠加原理和戴维南定理的验证 ... 26

本章小结 28

习题1 29

第2章 正弦交流电路 33

2.1 正弦交流电的基本概念 33

2.1.1 正弦量的三要素 33

2.1.2 复数的相关知识 35

2.1.3 正弦量的相量表示法 36

2.2 单一元件正弦交流电路 37

2.2.1 电阻元件的交流电路 37

2.2.2 电感元件的交流电路 39

2.2.3 电容元件的交流电路 41

2.3 简单正弦交流电路的分析 43

2.3.1 RLC 串联交流电路和串联谐振 ... 43

2.3.2 RLC 并联交流电路和并联谐振 ... 48

2.3.3 功率因数及其提高的方法 49

2.3.4 交流电路的频率特性 50

2.4 三相正弦交流电路 53

2.4.1 三相交流电源 54

2.4.2 三相负载的连接及三相电路的 分析计算 55

2.4.3 三相电路的功率 57

2.5 实验 58

2.5.1 荧光灯电路的连接及功率 因数的提高 58

2.5.2 RLC 串联谐振电路 61

2.5.3 三相负载的连接及三相电路 电压、电流的测量 63

2.5.4 三相电路功率的测量 65

本章小结 68

习题2 69

第3章 磁路与变压器 72

3.1 磁路的基本知识 72

3.1.1 磁场及磁场的基本物理量 72

3.1.2 铁磁性材料 74

3.1.3 磁路及磁路欧姆定律	75	5.3 三相异步电动机的控制电路 ...	109
3.2 变压器	75	5.3.1 三相异步电动机的起动 控制电路	109
3.2.1 变压器的基本结构	75	5.3.2 三相异步电动机的运行 控制电路	111
3.2.2 变压器的工作原理及应用	75	5.3.3 三相异步电动机自动往返 控制电路	111
3.2.3 其他用途变压器	78	5.4 电气原理图的阅读	112
3.3 实验:单相变压器的特性测试 ...	80	5.4.1 图形符号和文字符号	112
本章小结	82	5.4.2 电气原理图的组成	112
习题3	83	5.4.3 电气原理图的绘制	113
第4章 三相异步电动机	84	5.4.4 识读电气原理图	113
4.1 三相异步电动机的结构和铭牌 ...	84	5.5 实验	114
4.1.1 三相异步电动机的结构	84	5.5.1 三相异步电动机的起动控制 ...	114
4.1.2 三相异步电动机的铭牌	85	5.5.2 三相异步电动机的正反转控制 ...	115
4.2 三相异步电动机的工作原理	86	本章小结	116
4.2.1 旋转磁场	86	习题5	117
4.2.2 异步电动机的工作原理	87	第6章 工厂供电与安全用电	119
4.3 三相异步电动机的特性	88	6.1 发电、输电概述	119
4.3.1 三相异步电动机的电磁转 矩特性	88	6.1.1 电能的生产	119
4.3.2 异步电动机的机械特性	89	6.1.2 电力系统的组成	119
4.4 三相异步电动机的运行	90	6.2 工厂供电概述	121
4.4.1 三相异步电动机的起动	90	6.2.1 工厂供电的基本要求	121
4.4.2 三相异步电动机的制动	91	6.2.2 工厂供电系统组成	121
4.4.3 三相异步电动机的调速	92	6.3 安全用电常识	122
4.5 单相异步电动机	93	6.3.1 触电	122
4.6 实验:三相笼型异步电动机	94	6.3.2 触电方式	123
本章小结	96	6.3.3 安全用电的意义	124
习题4	96	6.3.4 安全用电的措施	124
第5章 电气控制基础	98	本章小结	125
5.1 常用低压电器	98	习题6	125
5.1.1 开关电器	98	第7章 半导体二极管	126
5.1.2 控制按钮	100	7.1 半导体的基本知识	126
5.1.3 熔断器	100	7.1.1 半导体的导电特性	126
5.1.4 交流接触器	101	7.1.2 本征半导体	127
5.1.5 继电器	103	7.1.3 杂质半导体	128
5.1.6 行程开关	107	7.1.4 PN结的形成和特性	128
5.2 常用基本电气控制电路	107	7.2 半导体二极管	130
5.2.1 点动控制电路	107	7.2.1 半导体二极管的结构	130
5.2.2 自锁控制电路	108		
5.2.3 联锁控制电路	108		

7.2.2 半导体二极管的伏安特性	131	9.1.3 集成运算放大器的基本 分析方法	164
7.2.3 二极管的主要参数	131	9.2 基本运算电路	166
7.3 稳压二极管及其稳压电路	132	9.2.1 反相比例运算电路	166
7.3.1 稳压二极管	132	9.2.2 同相比例运算电路	167
7.3.2 稳压二极管稳压电路	133	9.2.3 加减运算电路	168
7.4 实验: 常用半导体器件的识别	134	9.2.4 微分运算电路	170
本章小结	134	9.2.5 积分运算电路	170
习题 7	134	9.3 电压比较器	171
第 8 章 半导体三极管及基本 放大电路	137	9.3.1 过零电压比较器	172
8.1 晶体管	137	9.3.2 单限电压比较器	172
8.1.1 晶体管的结构	137	9.3.3 滞回电压比较器	173
8.1.2 晶体管的电流分配与放大作用	138	9.4 振荡电路	174
8.1.3 晶体管的特性曲线	140	9.4.1 正弦波振荡电路的基本概念	174
8.1.4 晶体管的参数	142	9.4.2 RC 正弦波振荡电路	175
8.2 共发射极基本放大电路	143	9.4.3 LC 正弦波振荡电路	176
8.2.1 共发射极基本放大电路的组成	143	9.4.4 石英晶体振荡器	179
8.2.2 共发射极基本放大电路的 静态分析	144	9.5 实验: 集成运算放大器应用 电路的连接与测试	181
8.2.3 共发射极基本放大电路的 动态分析	147	本章小结	185
8.2.4 具有稳定工作点的放大电路	151	习题 9	185
8.3 场效应晶体管	153	第 10 章 直流稳压电源	187
8.3.1 N 沟道增强型绝缘栅型场效应 晶体管的原理和特性	153	10.1 二极管整流电路	187
8.3.2 场效应晶体管的参数及使用 注意事项	155	10.1.1 单相半波整流电路	187
8.3.3 场效应晶体管的选择方法	155	10.1.2 单相全波整流电路	189
8.3.4 场效应晶体管与双极型 三极管的比较	155	10.1.3 单相桥式全波整流电路	190
8.4 实验	156	10.2 滤波电路	192
8.4.1 晶体管管脚的判别	156	10.2.1 电容滤波电路	192
8.4.2 共发射极基本放大电路的测量	156	10.2.2 电感滤波电路	194
本章小结	159	10.3 稳压电路	194
习题 8	160	10.3.1 串联型稳压电路	195
第 9 章 集成运算放大电路	162	10.3.2 集成稳压器	195
9.1 集成运算放大器简介	162	10.3.3 开关型稳压电路	197
9.1.1 集成运算放大器的基本组成	162	10.4 实验	199
9.1.2 集成运算放大器的主要参数	163	10.4.1 单相半波整流、桥式整流 电路的连接与测量	199
		10.4.2 集成稳压电路的测量	201
		本章小结	202
		习题 10	202

第 11 章 门电路和组合逻辑电路	205	第 12 章 触发器和时序逻辑电路	225
11.1 数字电路概述	205	12.1 集成触发器	225
11.1.1 数字电路的基本概念	205	12.1.1 RS 触发器	225
11.1.2 数制	206	12.1.2 JK 触发器	227
11.1.3 码制	208	12.1.3 D 触发器	229
11.2 门电路	208	12.2 计数器	230
11.2.1 基本门电路	209	12.3 寄存器	231
11.2.2 集成逻辑门电路	210	12.4 集成 555 定时器	233
11.2.3 组合逻辑电路	212	12.4.1 555 定时器的电路结构	233
11.3 常用组合逻辑器件	214	12.4.2 555 定时器的逻辑功能	234
11.3.1 编码器	214	12.4.3 集成 555 定时器的应用	235
11.3.2 译码器	216	12.5 实验	237
11.3.3 数据选择器	218	12.5.1 触发器的功能测试及应用	237
11.4 实验	219	12.5.2 计数器的功能测试及应用	239
11.4.1 基本逻辑门电路逻辑 功能测试	219	12.5.3 555 定时器的功能测试及应用 ...	241
11.4.2 常用组合逻辑器件功能测试 ...	221	本章小结	242
11.4.3 译码器应用电路	222	习题 12	242
本章小结	223	部分习题答案	244
习题 11	223	参考文献	253

第1章 直流电路

【学习目标】

- 1) 掌握电路的组成和作用;
- 2) 掌握电阻的连接、欧姆定律的内容及应用;
- 3) 了解额定值的概念和电路的三种工作状态;
- 4) 掌握电压源、电流源的特点及两种电源之间的等效变换;
- 5) 掌握基尔霍夫定律的内容及应用;
- 6) 了解电位的定义及计算;
- 7) 掌握支路电流法、叠加原理和戴维南定理解题的方法。

【能力目标】

- 1) 掌握用万用表测量基本物理量的方法;
- 2) 掌握叠加原理和戴维南定理的验证方法。

1.1 电路的组成及基本物理量

直流电路中的电流和电压的大小和方向(或电压的极性)是不随时间而变化的。本章就以直流电路为分析对象,着重讨论电路的基本概念、基本定律以及电路的分析计算方法。这些内容稍加扩展即可适用于交流电路及其他线性电路。

1.1.1 电路的组成和作用

1. 电路的组成

电路就是电流通过的闭合路径,它是由各种电气器件按一定方式用导线连接组成的总体。电路的结构形式和所能完成的任务是多种多样的,从日常生活中使用的用电设备到工、农业生产中用到的各种生产设备的控制部分及计算机、各种测试仪表等,从广义说,都是电路。最简单的电路如图1-1所示的手电筒电路。

从图1-1所示的手电筒电路可知,电路主要由电源、负载和中间环节三部分组成。

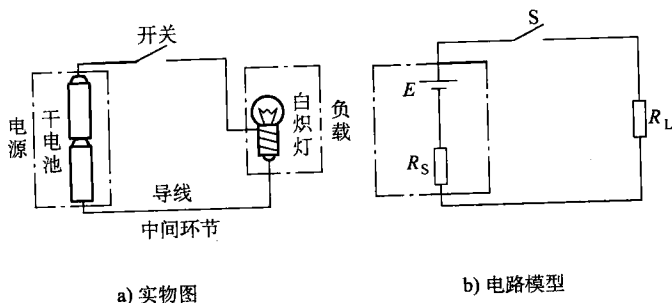


图1-1 手电筒电路

(1) 电源 是供应电能的设备。在发电厂内将化学能或机械能等非电能转换为电能,如电池、发电机等。

(2) 负载 是使用电能的设备。它将电能转换成其他形式的能量,如电灯、电炉等。

(3) 中间环节 用于连接电源和负载。起传输和分配电能或对电信号进行传递和处理的作用,如变压器、输电线等。

2. 电路模型

实际电路元件种类繁多,且电磁性质较为复杂。为便于对实际电路进行分析,需用能够代表其主要电磁特性的理想电路元件或它们的组合来表示。理想电路元件就是指只反映某一个物理过程的电路元件,包括电阻、电感、电容和电源等。图 1-2 所示为电工技术中经常用到的三种理想电路元件的符号。用理想电路元件所组成的电路即为电路模型,手电筒电路的电路模型如图 1-1b 所示。

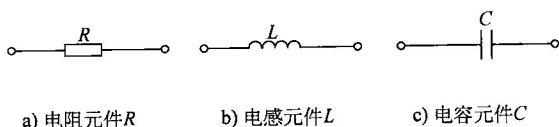


图 1-2 三种理想电路元件符号

3. 电路的作用

实际电路就其功能来说,电路的作用可概括为如下两个方面。

- 1) 实现电能的传输、分配和转换。一个典型电路是电力系统,如图 1-3a 所示。
- 2) 实现信号的传递和处理。一个典型电路是扩音机,如图 1-3b 所示。

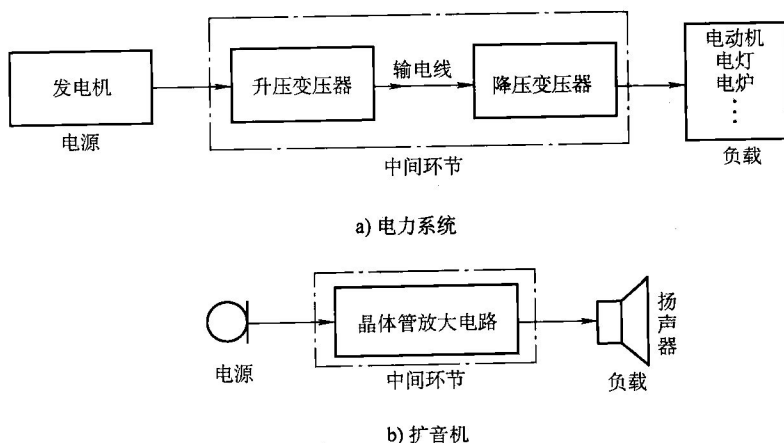


图 1-3 电路的功能

1.1.2 电路的基本物理量

1. 电流

电荷的定向移动形成电流。电流是指单位时间内通过导体横截面的电荷量。大小和方向都不随时间变化的电流称为恒定电流,也称为直流电流,用 I 表示。大小和方向随时间变化的电流称为交变电流,简称交流电流,用 i 表示。电流的单位为安[培](A),还有千安(kA)、毫安(mA)、微安(μ A)等。直流电流和交流电流的大小分别用下面的式子计算:

$$I = \frac{Q}{t}$$

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

习惯上规定正电荷移动的方向或负电荷移动的反方向为电流的实际方向。在分析电路

时,常常要知道电流的方向,但有时电路中电流的实际方向难于判断,此时常可任意选定某一方向作为电流的“参考方向(也称正方向)”。所选的参考方向不一定与实际方向一致。这时,将电流用一个代数量来表示,若电流为正值,则表示电流的实际方向与其参考方向一致;反之,若电流为负值,则表示电流的实际方向与其参考方向相反。如图1-4所示。

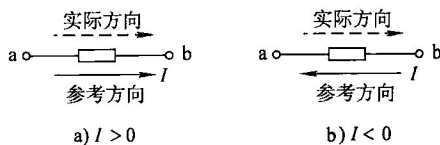


图1-4 电流的参考方向

电流的测量可以利用安培表(电流表)进行。安培表应串联在待测电路中。接线时须注意,直流电只能从电流表的正端流入而从负端流出,决不可接反。

2. 电压

由电场知识可知,电场力能够移动电荷做功。在图1-5中,极板a带正电,极板b带负电,a、b间存在电场。正极板a上的正电荷在电场力的作用下从a经过负载移到负极板b,从而形成了电流。这说明电场力做功产生了电流。规定:电场力把单位正电荷从a点移动到b点所做的功称为a、b两点之间的电压,用 U_{ab} 表示。电压的单位为伏[特](V),还有千伏(kV)、毫伏(mV)、微伏(μV)等。

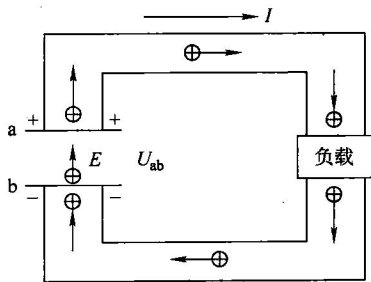


图1-5 电压与电动势

电压不仅有大小,而且有方向,电压的实际方向由高电位指向低电位。在分析电路时往往难以确定电压的实际方向,此时也可和电流一样,先任意假设电压的参考方向,再根据计算所得值的正、负来确定电压的实际方向。对于电阻性负载来说,没有电流就没有电压,有电压就一定有电流。电阻两端的电压常叫做电压降(压降)。而对于电源来说,其端电压的实际方向是正极指向负极。

电压的测量可以利用伏特表(电压表)进行。伏特表应并联在待测电路中。接线时仍然要注意直流伏特表的正负端子的接法,即高电位接正端而低电位接负端,决不可接反。

【例1-1】 电路如图1-6所示,已知 $U_1 = -6\text{V}$, $U_2 = 4\text{V}$,求: $U_{ab} = ?$



图1-6 例1-1图

解: $U_{ab} = U_1 + (-U_2) = -6\text{V} + (-4\text{V}) = -10\text{V}$

3. 电动势

在图1-5中,为维持电路中的电流流通,则必须保持电路a、b两端间的电压 U_{ab} 恒定不变,这就需要电源力(非电场力)源源不断地把正电荷从负极板b移回正极板a上。维持 U_{ab} 不变的装置称为电源。电源力克服电场力把正电荷从负极移动到正极所做的功,用物理量电动势来衡量。电动势在数值上等于电源力把单位正电荷从b点经电源内部移回到a点所做的功,用 E 表示。电动势的实际方向规定为在电源内部由负极指向正极,即电位升,其单位与电压单位相同,也是伏[特](V)。

对于一个电源来说,既有电动势,又有端电压。电动势只存在于电源内部,方向由负极指向正极;而端电压只存在于电源外部,其方向由正极指向负极。一般情况下,电源的端电压总是低于电源内部的电动势,只有当电源开路或者电源的内阻忽略不计时,电源的端电压才与其电动势相等。需要注意的是,虽然电压与电动势两者单位一样,但它们却是完全不同

的两个物理量, 物理意义不同, 方向也不相同。它们都表示极板 a 是高电位点(正极), 极板 b 是低电位点(负极)。

【例 1-2】 电路如图 1-7 所示, 已知电源电动势 $E = 10\text{V}$, 求出: $U_{ab} = ?$ $U_{ba} = ?$

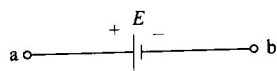


图 1-7 例 1-2 图

解: $U_{ab} = E = 10\text{V}$, $U_{ba} = -U_{ab} = -10\text{V}$ 。

4. 功率

在直流电路中, 根据电压的定义可知, 电场力所做的功是 $W = QU$ 。把单位时间内电场力所做的功称为电功率, 则有

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

功率的单位是瓦[特](W)。对于大功率, 采用千瓦(kW)或兆瓦(MW)作单位, 对于小功率则采用毫瓦(mW)或微瓦(μW)作单位。

当已知设备的功率为 P 时, 在时间 t 内消耗的电能为 $W = Pt$, 电能就等于电场力所作的功, 单位是焦[耳](J)。在电工技术中, 往往直接用瓦特·秒($\text{W} \cdot \text{s}$)做为单位, 实践中则常采用千瓦·小时($\text{kW} \cdot \text{h}$)做单位, 俗称度($1\text{kW} \cdot \text{h} = 3.6 \times 10^6 \text{J}$)。

【例 1-3】 有一功率为 60W 的电灯, 每天使用它照明时间为 4h , 如果按每月 30d 计算, 那么每月消耗的电能为多少度($\text{kW} \cdot \text{h}$)? 合多少焦耳?

解: 该电灯平均每月工作实际 $t = 4\text{h} \times 30\text{d} = 120\text{h}$, 则

$$W = Pt = 60\text{W} \times 120\text{h} = 7200\text{W} \cdot \text{h} = 7.2\text{kW} \cdot \text{h}$$

即每月消耗的电能为 $7.2\text{kW} \cdot \text{h}$, 约合 $3.6 \times 10^6 \text{J} \times 7.2\text{kW} \cdot \text{h} \approx 2.6 \times 10^7 \text{J}$ 。

1.2 电阻元件和欧姆定律

1.2.1 电阻元件

电阻元件是对电流呈现阻碍作用的耗能元件, 例如灯泡、电热炉等电器。电阻定律可表示为

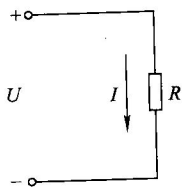
$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (1-3)$$

式中, ρ 是制成电阻的材料电阻率, 国际单位制单位为 $\Omega \cdot \text{m}$; l 是绕制成电阻的导线长度, 国际单位制单位为 m ; S 是绕制成电阻的导线横截面积, 国际单位制单位为 m^2 ; R 是电阻值, 国际单位制单位为 Ω 。常用的电阻单位还有 $\text{k}\Omega$ 、 $\text{M}\Omega$ 。

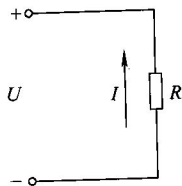
1.2.2 欧姆定律

1. 部分电路欧姆定律

图 1-8 所示电路是只含电阻的部分电路, 流过电阻的电流 I 与电阻两端的电压 U 成正比, 与电阻值 R 成反比, 称为部分电路欧姆定律。用公式表示为



a) U 、 I 参考方向一致



b) U 、 I 参考方向不一致

图 1-8 部分电路欧姆定律

$$I = \frac{U}{R} \quad (U, I \text{ 参考方向一致})$$

$$I = -\frac{U}{R} \quad (U, I \text{ 参考方向不一致}) \quad (1-4)$$

2. 全电路欧姆定律

图 1-9 所示是简单的闭合电路, R_s 为电源内阻, R_L 为外负载电阻, 在一个闭合回路中, 电流 I 与电源的电动势 E 成正比, 与电路中的内电阻和外负载电阻之和 ($R_s + R_L$) 成反比, 称为全电路欧姆定律。其表达式为

$$I = \frac{E}{R_s + R_L}$$

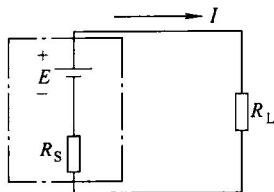


图 1-9 全电路欧姆定律

3. 电源和负载的判断

分析电路, 还要判别哪个电路元件是电源(或起电源的作用), 哪个电路元件是负载(或起负载的作用)。方法如下:

(1) 用电压电流的实际方向判断 当 U 、 I 实际方向一致时, 说明该元件是负载, 则要吸收或者消耗一定功率; 当 U 、 I 实际方向不一致时, 说明该元件是电源, 则要产生或者发出一定功率。

(2) 用电压电流的参考方向判断 当 U 、 I 参考方向一致时, 功率的公式为 $P = UI$; 当 U 、 I 参考方向不一致时, 功率的公式为 $P = -UI$ 。不管用哪个公式计算功率, 若求得 $P > 0$, 值为正, 则判定该元件为负载, 要吸收或者消耗功率; 反之, 若求得 $P < 0$, 值为负, 则判定该元件为电源, 要产生或者发出功率。

【例 1-4】如图 1-10 所示电路, 当 1) $U = 10\text{V}$, $I = -2\text{A}$; 2) $U = -10\text{V}$, $I = -2\text{A}$ 时, 试分别分析这两种情况下方框中的元件是电源还是负载, 是吸收功率还是发出功率。

解: 用参考方向判断, 由于 U 、 I 参考方向一致, 所以 $P = UI$ 。

1) $P = UI = 10\text{V} \times (-2)\text{A} = -20\text{W}$, 功率 $P < 0$, 说明此元件是电源, 要产生或发出 20W 的功率。

2) $P = UI = (-10)\text{V} \times (-2)\text{A} = 20\text{W}$, 功率 $P > 0$, 说明此元件是负载, 要吸收或消耗 20W 的功率。

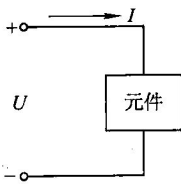


图 1-10 例 1-4 图

1.2.3 电阻的连接

在电工技术应用中, 常将许多电阻按不同的方式连接起来, 组成一个电路网络。连接的方式主要有串联、并联和混联。

1. 电阻的串联

几个电阻依次相串, 中间无分支的连接方式, 称为电阻的串联, 如图 1-11 所示。

串联电路的特点如下:

1) 等效电阻为

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + \cdots + R_n$$

2) 流经各电阻的电流相等。

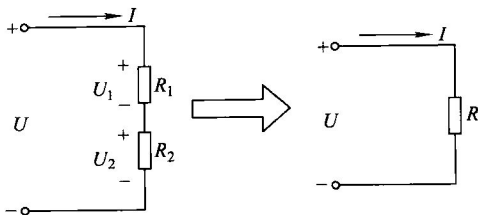


图 1-11 电阻的串联

3) 串联总电压等于各电阻上电压之和, 即

$$U = U_1 + U_2 + U_3 + \cdots + U_n$$

4) 分压关系为

$$\frac{U_1}{R_1} = \frac{U_2}{R_2} = \cdots = \frac{U_n}{R_n} = \frac{U}{R} = I$$

当两只电阻 R_1 、 R_2 串联时, 总电阻 $R = R_1 + R_2$, 则有分压公式

$$U_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} U, \quad U_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U \quad (1-5)$$

2. 电阻的并联

将几个电阻元件都接在两个公共端点之间的连接方式, 称为电阻的并联, 如图 1-12 所示。

并联电路的特点如下:

1) 等效电阻为

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \cdots + \frac{1}{R_n}$$

2) 各电阻电压相等。

3) 并联总电流等于各电阻上电流之和, 即

$$I = I_1 + I_2 + I_3 + \cdots + I_n$$

4) 分流关系为

$$I_1 R_1 = I_2 R_2 = \cdots = I_n R_n = IR = U$$

当两只电阻 R_1 、 R_2 并联时, 总电阻

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

则有分流公式

$$I_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} I, \quad I_2 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} I \quad (1-6)$$

3. 电阻的混联

既有串联又有并联的电路称为混联。混联电路形式多种多样, 但可以利用电阻串、并联关系进行逐步化简。

【例 1-5】如图 1-13 所示电路, 求电路的等效电阻。

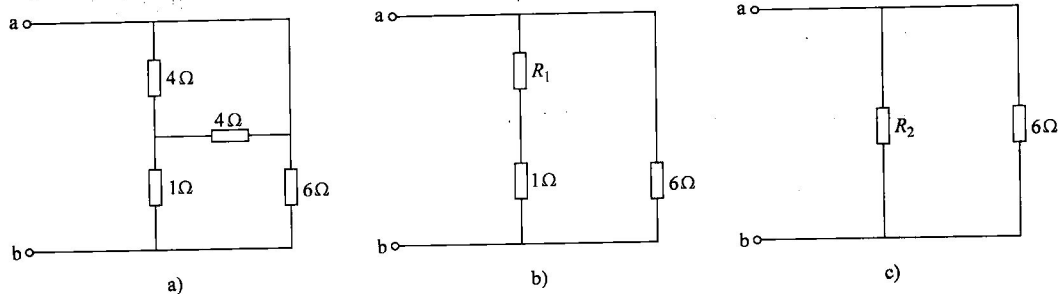


图 1-13 例 1-5 图

解：由图 1-13a 可知，两个 4Ω 电阻先并联，其等效电阻 R_1 为

$$R_1 = 4\Omega // 4\Omega = \frac{4 \times 4}{4 + 4}\Omega = 2\Omega$$

由图 1-13b 可知， R_1 与 1Ω 电阻再串联，其等效电阻 R_2 为

$$R_2 = R_1 + 1\Omega = 3\Omega$$

由图 1-13c 可知，最后 R_2 与 6Ω 电阻并联，其等效电阻 R 为

$$R = R_2 // 6\Omega = 3\Omega // 6\Omega = \frac{3 \times 6}{3 + 6}\Omega = 2\Omega$$

1.3 电路的三种状态

1.3.1 额定值

为了保证电气设备和电路元件能够长期安全地正常工作，规定了额定电压、额定电流、额定功率等铭牌数据。

1) 额定电压：电气设备或元件长期正常运行的电压允许值称为额定电压。如果电压过大，会使绝缘击穿，所以必须加以限制。

2) 额定电流：电气设备或元件长期正常运行的电流允许值称为额定电流。如果通过实际元件的电流过大，会由于温度升高使元件的绝缘材料损坏，甚至使导体熔化。

3) 额定功率：额定电压与额定电流的乘积为额定功率。

4) 通常电气设备或元件的额定值标在产品的铭牌上。如一白炽灯标有“220V/40W”，表示它的额定电压为 220V，额定功率为 40W。

5) 额定工作状态：电气设备或元件在额定值下工作的状态，也称为满载状态。电气设备满载工作时经济合理、安全可靠。

6) 轻载状态：电气设备或元件低于额定值运行的工作状态，也称为欠载状态。电气设备轻载工作时不经济。

7) 过载状态：电气设备或元件高于额定值运行的工作状态，也称为超载状态。电气设备超载工作时容易损坏或造成严重事故。

1.3.2 电源的三种状态

1. 电源的有载工作

将图 1-14a 所示电路中的开关 S 闭合，电源与负载接通，构成回路，电源处于有载工作状态。

(1) 电压与电流的关系 电路电流为

$$I = \frac{E}{R_s + R_L} \quad (1-7)$$

负载电压为

$$U_L = R_L I \quad (1-8)$$

由式(1-8)和式(1-7)得

$$U_L = E - R_s I$$

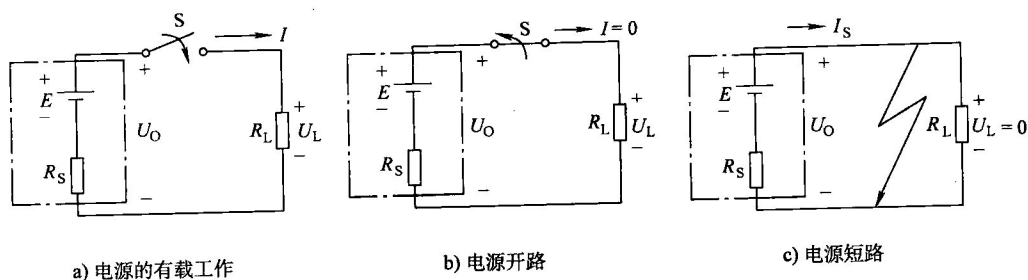


图 1-14 电源的有载工作、开路及短路

(1-9)

图 1-14a 中 $U_0 = U_L$, 故

$$U_0 = E - R_S I$$

$U_0 < E$, 当 $R_S = 0$ 时, $U_0 = E$ 。

(2) 功率和功率平衡 将式(1-9)各项乘以电流 I , 则得功率平衡式

$$U_0 I = EI - R_S I^2$$

$$P = P_E - \Delta P$$

所以有

$$P_E = P + \Delta P$$

式中, $P_E = EI$, 是电源产生的功率; $\Delta P = R_S I^2$, 是电源内阻上损耗的功率; $P = U_0 I$, 是电源输出的功率。即, 功率平衡关系为电源产生的功率等于电源输出的功率与内阻上损耗的功率之和。

功率的平衡为

电源产生的功率 = 负载取用的功率 + 内阻及线路损耗的功率

2. 电源的开路

将图 1-14b 所示电路中的开关 S 断开, 电源处于开路状态, 也称为电源的空载运行。其特点为

$$I = 0, U_L = U_0 = E$$

此时负载上的电流、电压和功率均为 0。

3. 电源的短路

如图 1-14c 所示, 电源两端由于某种原因直接接触时, 电源就被短路, 电路处于短路运行状态。其特点是: 被短路元件两端电压为 0。电路中电流称为短路电流 I_S , 且有

$$I_S = \frac{E}{R_S}$$

短路电流 I_S 很大, 如果没有短路保护, 会发生火灾。短路是电路最严重、最危险事故, 是禁止的状态。产生短路的原因主要是接线不当, 线路绝缘老化损坏等。应在电路中接入过载和短路保护。

1.4 电压源和电流源及其等效变换

实际电源有电池、发电机和信号源等。电压源和电流源是从实际电源抽象得到的电路模型。