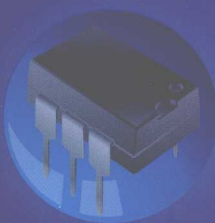




高职高专“十一五”规划教材

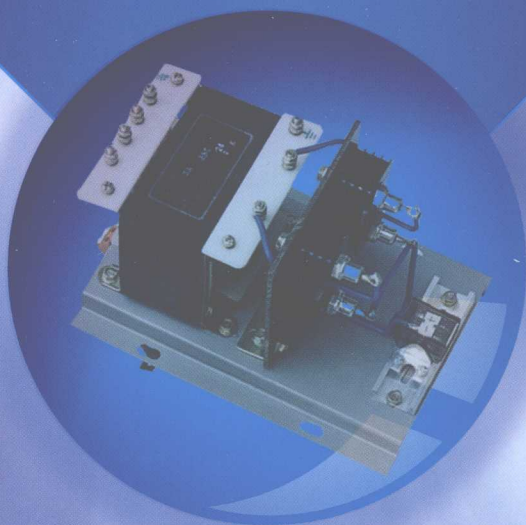
DIANGONG YU DIANZI JISHU

电工与电子技术



于宝琦 主编

刘永波 王永刚 副主编



化学工业出版社

高职高专“十一五”规划教材

电工与电子技术

于宝琦 主 编
刘永波 王永刚 副主编



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书是为了适应高职高专院校机械设计制造与自动化、冶金、材料工程技术、通信、矿山开采、数控等非电类专业的教学需要而编写的,其内容以贴近工程实际所需的电工与电子技术的基础知识和基本技能为主线,在理论上以“必需、够用”为原则,强调结论以及结论在实际中的应用,以指导实践应用为目的。

本书分为上、下两篇。上篇为电工技术,内容包括:电路的基本定律和分析方法、正弦交流电路、三相交流电路、一阶电路过渡过程的分析、变压器和三相异步电动机及其控制。下篇为电子技术,内容包括:半导体器件、基本放大电路、集成运算放大器、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、555 定时器。为了使读者更好地掌握和理解课程内容,书中配有较多的贴近实际的例题、思考题和习题;本书最后附有部分习题的参考答案和电工电子技术常用中英文名词对照。

本书可作为高职高专院校的教材和教学参考书,也可作为从事电工电子技术专业的工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电工与电子技术/于宝琦主编. —北京:化学工业出版社, 2009.5

高职高专“十一五”规划教材

ISBN 978-7-122-05235-3

I. 电… II. 于… III. ①电工技术-高等学校:技术学院-教材②电子技术-高等学校:技术学院-教材 IV. TM TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 055696 号

责任编辑:王听讲 石 磊

文字编辑:王 洋

责任校对:战河红

装帧设计:韩 飞

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装:三河市延风印装厂

787mm×1092mm 1/16 印张 16¼ 字数 436 千字 2009 年 7 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:28.00 元

版权所有 违者必究

前 言

现代电子技术的发展推动着一个新的时代的到来,各种电器设备在各个领域中均扮演着重要角色,发挥着越来越重要的作用,掌握电工电子技术的初步知识成为非电类工科各专业学生的基本技能要求,因此,各高职、高专院校均开设了电工电子技术或类似课程。

本书是为了适应高职高专电工与电子技术课程教学与改革的需要编写的。其内容以“必需、够用”为度,面向实践与应用;在编排上既重视理论教学,又重视实践环节,使学生在电路、电子技术等方面获得基本知识和基本技能,并为以后学习各专业课程和更高层次的职业技能打下良好的基础。本书可作为高职高专院校机械设计制造与自动化、冶金、材料工程技术、矿山开采、数控等非电类专业的教材,也可作为相近专业的教学参考书。

本书分为上、下两篇。上篇为电工技术,内容包括:电路的基本定律和分析方法、正弦交流电路、三相交流电路、一阶电路过渡过程的分析、变压器和三相异步电动机及其控制。下篇为电子技术,内容包括:半导体器件、基本放大电路、集成运算放大器、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、555 定时器。为了使读者更好地掌握和理解课程内容,书中配有较多的贴近实际的例题、思考题和习题;本书最后附有部分习题的参考答案和电工电子技术常用中英文名词对照。书中带“*”号的部分为选讲内容,教师可根据学时或专业需要自行选用。

本书由辽宁科技学院于宝琦担任主编,负责全书内容的组织和定稿;辽宁科技学院刘永波、辽宁对外经贸学院王永刚担任副主编;辽宁科技学院朴琴兰、孙禾、于桂君也参加了编写。第1章由于桂君编写;第2、3章由于宝琦编写;第4、8章由孙禾编写;第5、9章由刘永波编写;第6、7章由朴琴兰编写;第10~12章由王永刚编写。

辽宁科技学院高建新和辽宁对外经贸学院毕丛娣审阅了全书,并对全书的内容提出了许多宝贵意见。此外,本书在编写过程中得到了辽宁科技学院许多领导和老师的支持和帮助,在此一并表示感谢。

虽然各位都投入了很大的精力编写本书,但由于编者水平有限,书中难免有疏漏之处,恳请使用本教材的师生和读者给予批评指正,以便帮助我们不断改进和提高。

编者

2009年3月

目 录

上篇 电工技术

第1章 电路的基本定律和分析方法	2	习题2	49
1.1 电路的基本概念	2	第3章 三相交流电路	52
1.1.1 电路的作用与组成	2	3.1 三相电源	52
1.1.2 电路模型	2	3.2 三相电路的星形连接和三角形连接	53
1.1.3 电路的主要物理量及参考方向	3	3.2.1 三相电源的连接	53
1.1.4 电路的工作状态	6	3.2.2 三相电路的连接	55
1.1.5 电位的计算	7	3.3 三相电路的计算	56
1.2 电路的基本定律	8	3.3.1 对称三相电路	56
1.2.1 欧姆定律	8	3.3.2 不对称三相电路	58
1.2.2 基尔霍夫第一定律	9	3.4 三相电路的功率与测量	61
1.2.3 基尔霍夫第二定律	10	3.4.1 三相电路功率的计算	61
1.3 电路中常用元件	12	3.4.2 三相功率的测量	63
1.3.1 无源元件	12	本章小结	65
1.3.2 有源元件	14	习题3	65
1.3.3 实际电源模型及其等效变换	14	第4章 一阶电路过渡过程的分析	68
1.4 电路的基本分析方法	17	4.1 过渡过程和电路初始条件的求解	68
1.4.1 支路电流法	17	4.1.1 动态电路及其过渡过程	68
1.4.2 节点电压法	18	4.1.2 换路与电路的初始条件	68
1.4.3 叠加定理	20	4.1.3 电路初始条件的求解	69
1.4.4 等效电源定理	21	4.1.4 研究过渡过程的实际意义	69
本章小结	23	4.2 一阶电路的零输入响应	69
习题1	25	4.2.1 RC电路的零输入响应	70
第2章 正弦交流电路	29	4.2.2 RL电路的零输入响应	71
2.1 正弦交流电的基本概念	29	4.3 一阶电路的零状态响应	72
2.1.1 正弦交流电的三要素	29	4.3.1 RC电路的零状态响应	72
2.1.2 正弦量的相量表示法	32	4.3.2 RL电路的零状态响应	73
2.2 单一参数电路元件的交流电路	35	4.4 一阶电路的全响应和三要素法	75
2.2.1 纯电阻电路	35	4.4.1 一阶电路的全响应	75
2.2.2 纯电感电路	36	4.4.2 三要素法	75
2.2.3 纯电容电路	38	本章小结	77
2.3 正弦交流电路的一般分析方法	39	习题4	77
2.3.1 基尔霍夫定律的相量形式	39	第5章 变压器和三相异步电动机及其控制	79
2.3.2 阻抗的串联和并联	41	5.1 磁路的基本知识	79
2.3.3 正弦交流电路的功率	44	5.1.1 磁路的基本概念	79
2.3.4 正弦交流电路的分析	45	5.1.2 磁路的主要物理量	80
2.4 电路的谐振	46	5.1.3 磁路欧姆定律	80
2.4.1 串联谐振	46	5.1.4 交流铁芯线圈电路	81
2.4.2 并联谐振	47	5.2 变压器	83
本章小结	48	5.2.1 变压器的结构	83

5.2.2	变压器的工作原理	83
5.2.3	变压器的额定值和运行特性	85
5.3	三相异步电动机	87
5.3.1	三相异步电动机的结构	87
5.3.2	三相异步电动机的工作原理	88
5.3.3	三相异步电动机的特性	91
5.3.4	三相异步电动机的使用	93

5.3.5	三相异步电动机的铭牌数据	97
5.4	继电-接触器控制系统	98
5.4.1	常用低压电器	98
5.4.2	三相异步电动机控制电路	105
	本章小结	110
	习题5	111

下篇 电子技术

第6章	半导体器件	116
6.1	半导体基础知识	116
6.1.1	半导体的特点	116
6.1.2	本征半导体	116
6.1.3	杂质半导体	117
6.1.4	PN结	117
6.2	半导体二极管	119
6.2.1	二极管的结构	119
6.2.2	二极管的伏安特性	119
6.2.3	二极管的主要参数	120
6.2.4	二极管的应用	120
6.2.5	稳压二极管及其应用	121
6.3	半导体三极管	122
6.3.1	三极管的基本结构	122
6.3.2	三极管的电流放大作用	123
6.3.3	三极管的特性曲线	123
6.3.4	三极管的主要参数	124
6.4	场效应管	126
6.4.1	场效应管的特性曲线	126
6.4.2	场效应管的主要参数	127
	本章小结	128
	习题6	128
第7章	基本放大电路	131
7.1	放大电路的基本知识	131
7.1.1	放大的概念	131
7.1.2	放大电路的性能指标	131
7.2	放大电路的分析	133
7.2.1	直流通路和交流通路	133
7.2.2	静态分析	134
7.2.3	动态分析	135
7.3	静态工作点的稳定	136
7.3.1	静态工作点稳定的必要性	136
7.3.2	静态工作点稳定电路	137
7.4	放大电路的基本组态	140
7.4.1	共集电极放大电路	140
7.4.2	共基极放大电路	141
7.5	多级放大电路	142

7.5.1	多级放大电路的耦合方式	142
7.5.2	多级放大电路的性能指标	143
7.6	场效应管放大电路	144
7.6.1	场效应管放大电路的三种接法	144
7.6.2	静态分析	144
7.6.3	动态分析	146
	本章小结	146
	习题7	147
第8章	集成运算放大器	150
8.1	集成运算放大器电路概述	150
8.1.1	集成电路及集成运放的基本知识	150
8.1.2	集成运放的特性分析	151
8.1.3	集成运放的参数和使用时的注意事项	152
8.1.4	集成运放的理想化及分析方法	153
8.2	负反馈的概念及应用	154
8.2.1	反馈的基本概念	154
8.2.2	反馈的一般表示方法	156
8.2.3	负反馈对放大电路性能的影响	157
8.3	模拟运算电路	159
8.3.1	比例运算电路	160
8.3.2	加法与减法运算电路	161
8.3.3	积分运算电路与微分运算电路	163
8.4	信号处理电路	165
8.4.1	有源滤波电路	165
8.4.2	电压比较器	167
	本章小结	168
	习题8	169
第9章	直流稳压电源	172
9.1	单相整流滤波电路	172
9.1.1	单相半波整流电路	173
9.1.2	单相桥式整流电路	174
9.1.3	滤波电路	176
9.2	稳压电路	178
9.2.1	稳压管稳压电路	179
9.2.2	串联型稳压电路	180

9.2.3 三端集成稳压器	181	10.7.3 显示译码器	212
本章小结	182	10.8 数据选择器	215
习题 9	183	本章小结	216
第 10 章 门电路和组合逻辑电路	186	习题 10	217
10.1 数字电路概述	186	第 11 章 触发器和时序逻辑电路	218
10.1.1 数字电路的特点	186	11.1 触发器	218
10.1.2 常用数制和码制	187	11.1.1 基本 RS 触发器	218
10.2 逻辑代数基础	190	11.1.2 同步 RS 触发器	220
10.2.1 基本逻辑运算	190	11.1.3 同步 JK 触发器	221
10.2.2 逻辑代数的基本公式、定理和 规则	193	11.1.4 同步 D 触发器	222
10.2.3 逻辑函数的表示方法	194	11.2 时序逻辑电路	223
10.2.4 逻辑函数的化简	195	11.2.1 概述	223
10.3 基本逻辑门电路	201	11.2.2 寄存器	224
10.3.1 与门电路	202	11.2.3 计数器	229
10.3.2 或门电路	202	本章小结	234
10.3.3 非门电路	202	习题 11	234
10.3.4 组合逻辑门电路	203	第 12 章 555 定时器	237
10.4 组合逻辑电路的分析与设计	204	12.1 集成 555 定时器	237
10.4.1 组合逻辑电路的分析	204	12.1.1 555 定时器的结构	237
10.4.2 组合逻辑电路的设计	205	12.1.2 555 定时器的功能	238
10.5 加法器	206	12.2 555 定时器构成的脉冲波形产生与 整形电路	238
10.5.1 半加器	206	12.2.1 555 定时器构成的施密特 触发器	238
10.5.2 全加器	206	12.2.2 555 定时器构成的单稳态 触发器	239
10.6 编码器	208	12.2.3 555 定时器构成的多谐振荡器	240
10.6.1 普通编码器	208	本章小结	241
10.6.2 优先编码器	209	习题 12	242
10.7 译码器	211		
10.7.1 二进制译码器	211		
10.7.2 二十进制译码器	211		
附录	244		
附录 A 部分习题参考答案	244		
附录 B 电工电子技术常用中英文名词对照	248		
参考文献	254		

上篇 电工技术

电工技术 第一章



图 1-1-1 (a)



图 1-1-1 (b)

图 1-1-1 电压源及其负载电路

图 1-1-1 (a) 电压源及其负载电路

图 1-1-1 (b) 电压源及其负载电路

图 1-1-1 (c) 电压源及其负载电路

图 1-1-1 (d) 电压源及其负载电路



图 1-1-1 (a)



图 1-1-1 (b)



图 1-1-1 (c)



图 1-1-1 (d)



图 1-1-1 (e)

图 1-1-1 电压源及其负载电路

第 1 章 电路的基本定律和分析方法

1.1 电路的基本概念

1.1.1 电路的作用与组成

电路是由各种电气器件按一定方式用导线连接组成的总体，它提供了电流通过的闭合路径。电路的组成有电源、负载、中间环节三个基本部分。

图 1-1(a) 为一最简单的实际电路。它包含三个部分：电池、灯泡和连接导线，其中，

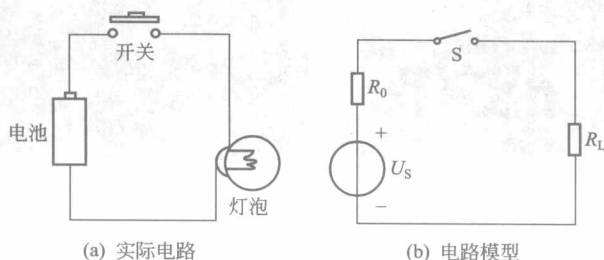


图 1-1 手电筒电路及其电路模型

电池是电源，作用是把其他形式的能量转换为电能；灯泡是负载，是取用电能的装置，它把电能转换为其他形式的能量；导线和开关为中间环节，作用是将电池和灯泡连接起来，为电流提供通路，把电源的能量供给负载，并根据负载需要接通和断开电路。

电路的功能和作用有两类：第一类功能是进行能量的转换、传输和分配；

第二类功能是进行信号的传递与处理，例如，扩音机的输入是由声音转换而来的电信号，通过晶体管组成的放大电路，输出的便是放大的电信号，从而实现了放大功能；电视机可将接收到的信号进行处理，转换成图像和声音。

1.1.2 电路模型

电路模型就是把实际电器元件构成的电路进行抽象得出来的模型，俗称电路图。电路的电器部件通过导线，按一定方式连接，由于实际电路不便分析计算，故有必要对实际的部件进行理想化而转化成电路模型。所谓对实际的部件进行理想化，就是在一定的条件下将其近似化，忽略次要性质，用一个足以表征其主要性能模型来表示。实际电路元件的运用都和电磁现象有关。常用的理想二端元件有：表示消耗电磁能，转换为其他形式能量的电阻元件；表示电场现象的电容元件；表示磁场现象的电感元件，此外，还有电压源、电流源等两种理想电源元件。它们的图形符号分别如图 1-2 所示。

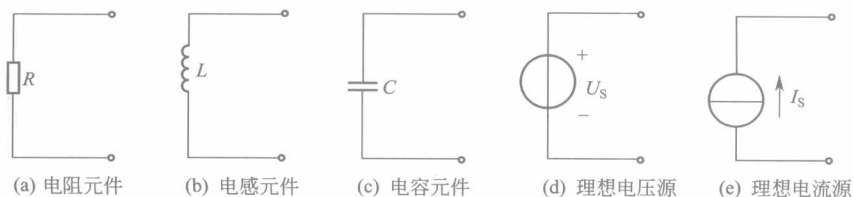


图 1-2 理想电路元件的电路模型

实际部件用模型表示以后,就可以绘出由理想元件组成的电路图,各理想元件都用一定的符号表示。

图 1-1(a) 手电筒实际电路的电路模型如图 1-1(b) 所示,图中的干电池用电压源 U_S 和内阻 R_0 表示,灯泡用电阻 R_L 表示, S 为开关,当连接导线的电阻值很小时,一般忽略不计,用理想的导线表示。

1.1.3 电路的主要物理量及参考方向

电路的基本物理量主要有电流、电压、电动势、电功率、电能、电位等,在此主要讨论前四个物理量。

1. 电流

1) 电流

电流是由电荷的定向移动而形成的。当金属导体处于电场之内时,自由电子要受到电场力的作用,逆着电场的方向做定向移动,这就形成了电流。

电流的强弱用电流强度来表示,其数值等于单位时间内通过导体某一横截面的电荷量。设在 dt 时间内通过导体某一横截面的电荷量为 dq ,则通过该横截面的电流强度为

$$i = \frac{dq}{dt}$$

大小和方向均不随时间变化的电流叫恒定电流,简称直流。对于直流, $\frac{dq}{dt} = \text{常数}$,则电流强度 I 可用单位时间内通过导体横截面的电量 Q 来表示,即

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

在国际单位制 (SI) 中,电流的单位是 A (安培),简称安。在 1s 内通过导体横截面的电荷为 1C (库仑) 时,其电流则为 1A。计算微小电流时,电流的单位用 mA (毫安)、 μA (微安) 或 nA (纳安),其换算关系为:

$$1\text{mA} = 10^{-3}\text{A}, 1\mu\text{A} = 10^{-6}\text{A}, 1\text{nA} = 10^{-9}\text{A}$$

2) 电流的参考方向

习惯上,规定正电荷的移动方向或负电荷移动的反方向为电流的实际方向。在外电路,电流由正极流向负极;在内电路,电流由负极流向正极。

在简单电路中,电流的实际方向可由电源的极性确定;在复杂电路中,电流的方向有时事先难以确定。为分析电路的需要,便引入了电流的参考方向的概念。

在进行电路计算时,先任意选定某一方向作为待求电流的正方向,这种任意指定的电流的方向即为电流的参考方向。根据此参考方向进行计算,若计算得到结果为正值,说明电流的实际方向与选定的参考方向相同;若计算得到结果为负值,说明电流的实际方向与选定的参考方向相反,如图 1-3 所示。



图 1-3 电流的参考方向与实际方向

在分析电路时,首先要假定电流的参考方向。此后,本书电路图上所标出的电流方向都是指参考方向。

3) 电流的表示方法

在一个电路中, 电流的参考方向有三种表示方法, 分别为外箭头表示法、内箭头表示法、双下标表示法。图 1-4 所示三个电流表示同一参考方向。

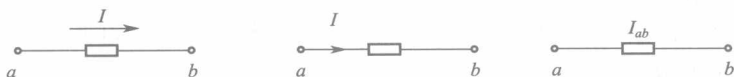


图 1-4 电流的表示方法

2. 电压

1) 电压

电场力把单位正电荷从电场中点 A 移到点 B 所做的功 W_{AB} 称为 A 、 B 间的电压, 用 U_{AB} 表示, 即

$$U_{AB} = \frac{W_{AB}}{Q}$$

在 SI 中, 电压的单位为伏特, 简称伏, 用字母 V 表示。如果电场力把 $1C$ 电量从点 A 移到点 B 所做的功是 $1J$ (1 焦耳), 则 A 与 B 两点间的电压就是 $1V$ 。

计算较大的电压时用 kV (千伏), 计算较小的电压时用 mV (毫伏)。其换算关系为

$$1kV = 10^3 V, 1mV = 10^{-3} V$$

2) 电压的方向

电压的实际方向规定为从高电位点指向低电位点, 即电压降的方向。

在分析电路时, 也需选取电压的参考方向。当标定的参考方向与电压的实际方向相同时 [图 1-5(a)], 电压为正值 ($U > 0$); 当标定的参考方向与实际电压方向相反时 [图 1-5(b)], 电压为负值 ($U < 0$)。



(a) 参考正方向与实际方向一致时 $U > 0$ (b) 参考正方向与实际方向相反时 $U < 0$

图 1-5 电压的参考方向与实际方向

3) 电压的表示方法

电压的参考方向可用箭头表示 (外箭头), 由高电位指向低电位; 可用双下标表示, 一个下标 (如 A) 代表起点, 后一个下标 (如 B) 代表终点。电压的方向则由起点指向终点, 如 U_{AB} 。电压总是相对两点之间的电位而言的, 所以用双下标表示; 也可用极性 “+”、“-” 表示。“+” 表示高电位, “-” 表示低电位, 如图 1-6 所示。

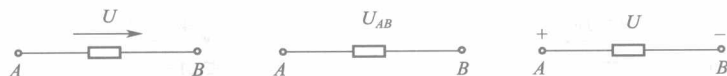


图 1-6 电压的表示方法

4) 关联参考方向

当一个元件或一段电路上的电流、电压参考方向一致时, 称为关联参考方向, 否则为非关联参考方向, 如图 1-7 所示。

3. 电动势

为了维持电路中有持续不断的电流, 必须有一种外力, 把正电荷从低电位处 (如负极

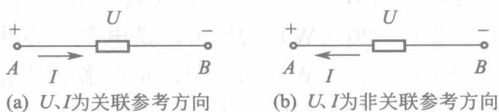
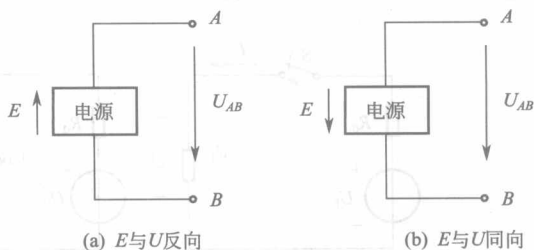


图 1-7 关联参考方向与非关联参考方向

B) 移到高电位处 (如正极 A)。在电源内部就存在着这种外力。

外力克服电场力, 把单位正电荷由低电位端移到高电位端所做的功称为电动势, 用字母 E 表示。在图 1-8 所示电路中, 电压 U_{AB} 是电场力把单位正电荷由外电路从点 A 移到点 B 所做的功, 其方向为由高电位指向低电位。电动势 E_{BA} 是非电场力在电源内部把单位正电荷从点 B 移动到点 A 克服电场力所做的功, 其方向是由低电位指向高电位。电动势的单位也是 V。若外力把 1C 的电量从 B 移到 A 所做功是 1J, 则电动势就等于 1V。

电动势的实际方向在电源内部为由从低电位指向高电位, 即电位上升的方向。由“—”极指向“+”极。对于一个电源设备, 若 E 与 U 的参考方向相反, 如图 1-8(a) 所示, 当电源内部没有其他能量转换 (如不计内阻) 时, 应有 $U=E$; 若参考方向相同, 如图 1-8(b) 所示, 则 $U=-E$ 。本书在以后论及电源时, 一般用其端电压 U 来表示。

图 1-8 电源的电动势 E 与端电压

4. 电功率

电流通过负载时, 电场力在单位时间内对电荷所做的功, 称为电功率, 简称功率, 用字母 P 表示。一个元件的电功率等于该元件两端的电压与通过该元件的电流的乘积, 即 $P=UI$ 。在直流电路中, 根据电压的定义, 电场力所做的功是 $W=QU$, 则有

$$P = \frac{W}{t} = \frac{QU}{t} = UI$$

在 SI 中, 功率的单位是瓦特, 简称瓦, 用字母 W 表示。对于大功率, 采用 kW (千瓦) 作单位; 对于小功率, 则用 mW (毫瓦) 作单位。

$$1\text{kW} = 10^3\text{W}, 1\text{mW} = 10^{-3}\text{W}$$

在电路分析中, 不仅要计算功率的大小, 有时还要判断功率的性质, 即该元件是产生功率还是消耗功率。对功率计算公式做如下规定。

① 当电流、电压取关联参考方向时 $P=UI$ (1-1)

② 当电流、电压取非关联参考方向时 $P=-UI$ (1-2)

当计算结果 $P>0$ 时, 表示元件吸收 (消耗) 功率, 该元件为负载性; 反之, 当 $P<0$ 时, 表示元件发出 (产生) 功率, 该元件为电源性。

当已知设备的功率为 P 时, 在 t 秒内消耗的电能为 $W=Pt$, 消耗的电能就等于电场力所做的功, 单位是 J (焦 [耳])。在电工技术中, 往往直接用 $\text{W} \cdot \text{s}$ (瓦 · 秒) 作单位, 实际上则用 $\text{kW} \cdot \text{h}$ (千瓦 · 时) 作单位, 俗称 1 度电。

$$1\text{kW} \cdot \text{h} = 3.6 \times 10^6 \text{W} \cdot \text{s}$$

【例 1-1】如图 1-9 所示电路, 求各元件的功率, 并说明哪些元件是电源性, 哪些元件是负载性, 电源发出的功率和负载吸收的功率是否平衡。

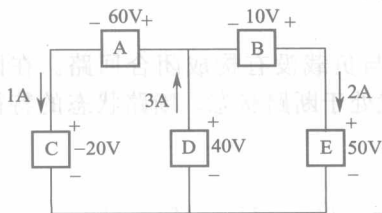


图 1-9 【例 1-1】图

解: A 元件 $P_A = 60 \times 1 = 60 \text{ (W)}$, $P > 0$, 是负载, 消耗功率;

B 元件 $P_B = -10 \times 2 = -20 \text{ (W)}$, $P < 0$, 是电源, 发出功率;

C 元件 $P_C = -20 \times 1 = -20 \text{ (W)}$, $P < 0$, 是电源, 发出功率;

D 元件 $P_D = -40 \times 3 = -120 \text{ (W)}$, $P < 0$, 是电源, 发出功率;

E 元件 $P_E = 50 \times 2 = 100 \text{ (W)}$, $P > 0$, 是负载, 消耗功率。

$P_A + P_B + P_C + P_D + P_E = 60 - 20 - 20 - 120 + 100 = 0$, 电源发出的功率等于负载取用的功率, 整个电路功率是平衡的。

1.1.4 电路的工作状态

电路在工作时有三种状态, 分别是有载、空载、短路。现以图 1-10 所示电路为例来分析电路的各种工作状态的特点。

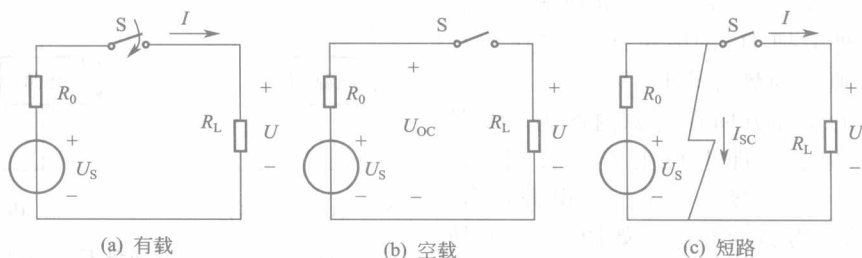


图 1-10 电路的三种工作状态

1. 有载状态

如图 1-10(a) 所示, 开关 S 闭合, 使电源与负载接成闭合回路, 电路便处于通路状态, 又称有载状态。在实际电路中, 负载都是并联的, 用 R_L 代表等效负载电阻。此时电路有以下特征。

① 电路中的电流为

$$I = \frac{U_s}{R_0 + R_L} \quad (1-3)$$

当并联的用电器增多时, 等效负载电阻 R_L 就会减小, 而 U_s 通常为一恒定值, 且内阻 R_0 很小, 电源端电压 U 变化很小, 则电源输出的电流和功率将随之增大, 这时称电路的负载增大。反之, 则负载减小。

② 电源的端电压为

$$U = U_s - IR_0 \quad (1-4)$$

电路中的负载是变动的, 电流是变化的, 所以电源端电压的大小也随之改变。

根据负载大小, 电路在有载时又分为三种工作状态: 当电气设备的电流等于额定电流时, 称为满载工作状态; 当电气设备的电流小于额定电流时, 称为轻载工作状态; 当电气设备的电流大于额定电流时, 称为过载工作状态。

③ 等效负载 R_L 消耗的功率为

$$P = UI = (U_s - IR_0)I = U_s I - I^2 R_0 \quad (1-5)$$

电源发出的功率减去内阻上消耗的功率才是供给外电路的功率, 即电源发出的功率等于电路各部分所消耗的功率。由此可见, 整个电路中功率是平衡的。

2. 空载状态

空载状态又称断路或开路状态。所谓断路, 就是电源与负载没有构成闭合回路。在图 1-10(b) 所示电路中, 当 S 断开或连接导线折断时, 电路就处于断路状态。断路状态的特征如下。

① 电路中的电流为零, 即 $I = 0$ 。

② 电路的端电压称为开路电压或空载电压, 用 U_{OC} 表示。 $U_{OC} = U_s - IR_0 = U_s$ 。

③ 电源的输出功率 P_1 和负载所吸收的功率 P_2 均为 0, 即 $P_1 = U_s I = 0$, $P_2 = UI = 0$ 。

3. 短路状态

所谓短路,就是电源未经负载而直接由导线接通成闭合回路,如图 1-10(c) 所示。图中折线是指明短路点的符号。当电源直接短路时,外电路所呈现的电阻可视为零。短路的特征如下。

- ① 外电路输出电流 I 为零,电源中的电流最大,值为 $I_{sc} = \frac{U_s}{R_0}$,称为短路电流。
- ② 负载的端电压为零,即 $U=0$ 。电源的电动势全部降落在内阻上。
- ③ 负载所吸收的功率为零。

短路通常是一种严重的事故状态,如果电源短路事故未迅速排除,很大的短路电流将会烧毁电源、导线及电气设备,所以应严加防止。为了防止发生短路事故,损坏电源,常在电路中串接熔断器。熔断器中装有熔丝。熔丝是由低熔点的铅锡合金丝或铅锡合金片做成的。一旦短路,串联在电路中的熔丝将因发热而熔断,从而保护电源免于烧坏。但有时为了满足某种需要,也可人为的将电路中的某一部分短路,这种有用的短路通常称为“短接”。

4. 电气设备的额定值

所有电气设备和元器件在工作时都有一定的使用限额,这种限额称为额定值。主要有额定电流 (I_N)、额定电压 (U_N)、额定功率 (P_N)。电气设备长时间运行时允许通过的最大电流,称为额定电流。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。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 $P_N = U_N I_N$ 。

电气设备的额定值都标在铭牌上,使用时必须遵守。如果超过或低于这些额定值,都有可能引起电气设备的损坏或降低使用寿命,或不能发挥正常的效能,例如,一盏日光灯,标有“220V 60W”的字样,表示该灯在 220V 电压下使用,消耗功率为 60W,若将该灯泡接在 380V 的电源上,则会因电流过大将灯丝烧毁;反之,若电源电压低于额定值,虽能发光,但灯光暗淡。

1.1.5 电位的计算

在分析和计算电路时,特别在电子电路中,除了使用电压外,还经常使用电位来讨论问题。电场力把单位正电荷从一点移动到参考点所做的功,称为该点的电位,用 V 来表示,单位是伏 [特]。

在电路中要求得某点的电位值,必须选择一个参考点,并将参考点的电位规定为零。参考点可以任意选择,但在同一电路中,只能选择一个参考点。在电工技术中,为了工作安全,通常把电路的某一点与大地连接,称为接地。这时,电路的接地点就是电位等于零的参考点,它是分析线路中其余各点电位高低的比较标准,用符号“ $\perp$ ”表示。

电路中任何一点与参考点之间的电压便是该点的电位。任意两点之间的电压等于这两点电位之差,如

$$U_{AB} = V_A - V_B \quad (1-6)$$

电路中某点的电位,就是从该点出发,沿任选的一条路径“走”到参考点所经过的全部电位降的代数和。以图 1-11(a) 电路为例,点 D 是参考点,各电源的极性和 I 的方向如图所示,求点 A 的电位时有三条路径:

沿 AU_1D 路径 $V_A = U_1$;

沿 ABD 路径 $V_A = I_1 R_1 + I_3 R_3 + U_3$;

沿 $ABCD$ 路径 $V_A = I_1 R_1 + I_2 R_2 - U_2$;

显然,沿 AU_1D 路径计算点 A 电位最简单,但三种计算方法的结果是完全相同的。

电子电路中一般都把电源、信号输入和信号输出的公共端接在一起作为参考点。因此,

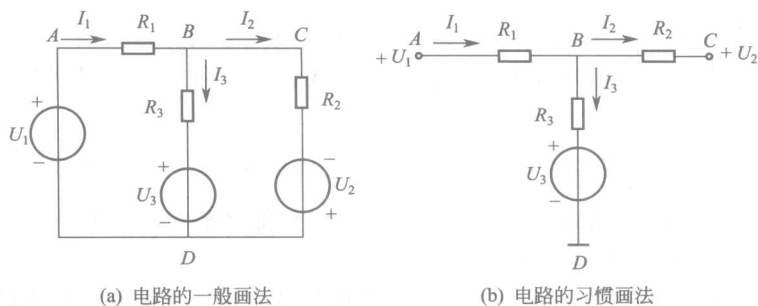


图 1-11 电位举例

电子电路有一种习惯画法，即电源不再用电源符号表示，而改为标出其电位的极性及数值。

以图 1-11(a) 为例，当以 D 为参考点时，电路可简化为如图 1-11(b) 所示。

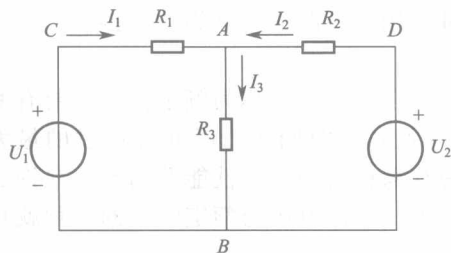


图 1-12 【例 1-2】图

【例 1-2】 在图 1-12 所示电路中，若 $R_1 = 5\Omega$ ， $R_2 = 10\Omega$ ， $R_3 = 15\Omega$ ， $U_1 = 180\text{V}$ ， $U_2 = 80\text{V}$ ， $I_1 = 12\text{A}$ ， $I_2 = -4\text{A}$ ， $I_3 = 8\text{A}$ 。若以点 B 为参考点，试求 A 、 B 、 C 、 D 四点的电位 V_A 、 V_B 、 V_C 、 V_D ，同时求出 C 、 D 两点之间的电压 U_{CD} ，改用点 D 作为参考点再求 V_A 、 V_B 、 V_C 、 V_D 和 U_{CD} 。

解：若以点 B 为参考点，则 $V_B = 0$

$$V_A = I_3 R_3 = 8 \times 15 = 120 \text{ (V)}$$

$$V_C = U_1 = 180\text{V}$$

$$V_D = U_2 = 80\text{V}$$

$$U_{CD} = V_C - V_D = 180 - 80 = 100 \text{ (V)}$$

若以点 D 为参考点，则 $V_D = 0$

$$V_A = -I_2 R_2 = -(-4) \times 10 = 40 \text{ (V)}$$

$$V_B = -U_2 = -80\text{V}$$

$$V_C = I_1 R_1 - I_2 R_2 = 12 \times 5 - (-4) \times 10 = 100 \text{ (V)}$$

$$U_{CD} = V_C - V_D = 100 - 0 = 100 \text{ (V)}$$

综上所述，可得出如下两点结论。

① 电路中任一点的电位等于该点与参考点之间的电压。

② 参考点选的不同，电路中各点的电位值不同，但是任意两点间的电压是不变的。所以各点电位的高低是相对的，而两点间的电压是绝对的。

【思考题】

1-1-1 在电路分析中，引入参考方向的目的是什么？

1-1-2 何谓理想电路元件？如何理解“理想”二字在实际电路中的含义？何谓电路模型？

1-1-3 电压、电位、电动势有何异同？

1-1-4 如图 1-7(b) 所示，若已知元件吸收功率为 -20W ，电压 $U = 5\text{V}$ ，求电流 I 。

1.2 电路的基本定律

1.2.1 欧姆定律

欧姆定律是电路分析中重要的基本定律之一，它说明流过线性电阻（导体）的电流与电阻两端的电压成正比，与导体的电阻 R 成反比。

1. 一段电路的欧姆定律

图 1-13 所示电路是不含电动势，只含有电阻的一段电路。

若 U 与 I 为关联参考方向, 如图 1-13(a) 所示, 则欧姆定律可表示为

$$U = IR \quad (1-7)$$

若 U 与 I 为非关联参考方向, 如图 1-13(b) 所示, 则欧姆定律表示为

$$U = -IR \quad (1-8)$$

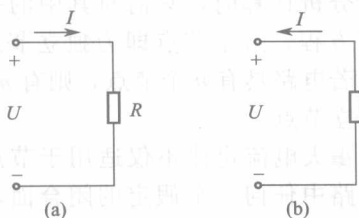


图 1-13 一段电路欧姆定律

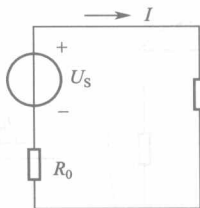


图 1-14 全电路欧姆定律

2. 全电路的欧姆定律

图 1-14 所示是简单的闭合电路, R_L 为负载电阻, R_0 为电源内阻, 若略去导线电阻不计, 则此段电路用欧姆定律可表示为

$$I = \frac{U_s}{R_L + R_0} \quad (1-9)$$

式(1-9)的意义是: 电路中流过的电流, 其大小与电动势成正比, 而与电路的全部电阻成反比。电源的电动势和内电阻一般认为是不变的, 所以, 改变外电路电阻, 就可以改变回路中的电流大小。

1.2.2 基尔霍夫第一定律

基尔霍夫定律包含两条定律: 一条是研究电路中相关支路电流之间关系的基尔霍夫电流定律 (KCL), 另一条是研究电路中各支路电压之间关系的基尔霍夫电压定律 (KVL)。

在讨论基尔霍夫定律之前, 先介绍一些基本概念。

支路: 电路中的每一个分支称为支路。如图 1-15 中, BAF 、 BCD 、 BE 等都是支路。同一支路上的各元件流过相同的电流, 即支路电流。

节点: 电路中三条或三条以上支路的连接点称为节点, 例如, 图 1-15 中的 B 、 E 都是节点。

回路: 电路中任一闭合路径称为回路, 例如, 图 1-15 中 $ABEFA$ 、 $BCDEB$ 、 $ABCDEF$ 等都是回路。

网孔: 内部不含其他支路的回路称为网孔, 例如, 图 1-15 中 $ABEFA$ 、 $BCDEB$ 都是网孔。

基尔霍夫电流定律反映电路中连接在同一节点上的各支路电流之间的关系, 它体现了电流的连续性原理。该定律内容为: 在电路中, 任何时刻, 对于任一节点而言, 流入节点电流之和等于流出节点电流之和, 即

$$\sum I_i = \sum I_o \quad (1-10)$$

如图 1-15 所示, 对节点 B 有

$$I_1 + I_2 = I_3$$

上式又可改写为

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

这表明基尔霍夫电流定律 (基尔霍夫第一定律) 又可表述为: 在任何时刻, 任意节点上电流的代数和恒等于零, 即 $\sum I_K = 0, K=1, 2, \dots, n$ (设有 n 个与该节点相连的支路电流)。

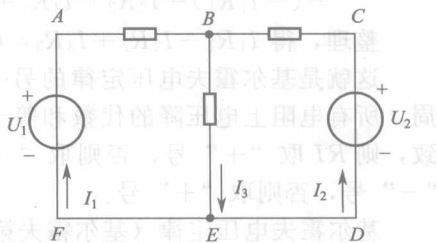


图 1-15 电路举例

若流入节点的电流取“+”，则流出节点的电流取“-”，反之亦然。这里所说的流入或流出都是针对电流的参考方向来说的。所以应用基尔霍夫电流定律时，必须首先假定各支路电流的参考方向。

对于节点 E ，也可以写出 $I_1 + I_2 = I_3$ ，显然此方程与节点 B 的完全相同，因此，在对该

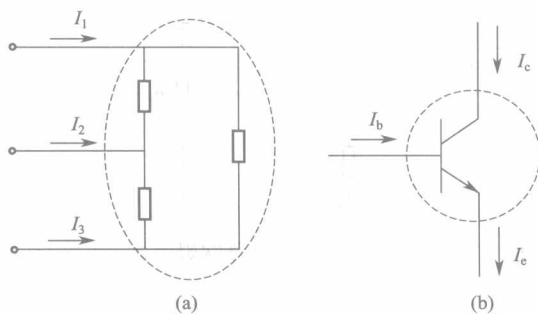


图 1-16 KCL 的推广应用

电路进行分析计算时，只需对其中的一个节点列电流方程，这个节点即为独立节点。可以证明，若电路具有 n 个节点，则有 $n-1$ 个节点是独立节点。

基尔霍夫电流定律不仅适用于节点，也适用于电路中任何一个假定的闭合面，这种闭合面称为广义节点，例如在图 1-16(a) 所示电路中，对于闭合面（图中虚线框），可以将它看做一个大节点，即广义节点，同样有 $I_1 + I_2 + I_3 = 0$ ；再如图 1-16(b) 所示，一个晶体三极管基极电流 I_b 、发射极电流 I_e

和集电极电流 I_c 之间的关系满足 $I_b + I_c - I_e = 0$ ，这就是说，晶体三极管无论工作在什么情况下，三个电极的电流之间的关系总是发射极电流等于集电极电流和基极电流之和。

1.2.3 基尔霍夫第二定律

基尔霍夫电压定律反映的是电路中任意回路各元器件电压之间的约束关系。该定律内容为：任意时刻，沿任意闭合回路绕行一周，回路中各元器件电压的代数和恒等于零，即

$$\sum U_K = 0 \quad (1-11)$$

式(1-11)中， U_K 是组成该回路的各元器件的电压， $K=1, 2, \dots, n$ （设由 n 个元件组成该回路）。

应用 KVL 定律时，必须首先假定各元器件电压的参考方向，并指定回路的循环方向（顺时针或逆时针），当元器件电压与回路方向一致时取“+”号，相反时取“-”号。在图 1-17 所示电路中，假定回路循环方向为顺时针，则有

$$-U_{R_1} + U_{R_2} + U_{R_3} + U_1 - U_2 = 0$$

如果用电阻与电流的乘积表示电阻元件两端的电压，则上式可写为

$$-(-I_1 R_1) - I_2 R_2 + I_3 R_3 + U_1 - U_2 = 0$$

整理，得 $I_1 R_1 - I_2 R_2 + I_3 R_3 = U_2 - U_1$ ，即 $\sum IR = U_K$ ， $K=1, 2, 3 \dots$

这就是基尔霍夫电压定律的另一种表达形式：任意时刻，沿电路中的任意回路循环一周，所有电阻上电压降的代数和等于电源电压的代数和。若电流的方向与回路循环方向一致，则 RI 取“+”号，否则取“-”号；若电源电压的方向与回路循环方向一致，则取“-”号，否则取“+”号。

基尔霍夫电压定律（基尔霍夫第一定律）不仅适用于闭合电路，也可以推广应用于开口电路（虚拟回路），即电路中任一虚拟回路各电压的代数和恒等于零。

例如图 1-18 所示电路不是闭合回路，但在电路的开口端存在电压 U_{AB} ，可以假想它是一个闭合回路，如按顺时针方向绕行此开口电路一周，根据 KVL，则有

$$U_1 + U_S - U_{AB} = 0$$

基尔霍夫定律是一个普遍运用的定律，既适用于线性电路，也适用于非线性电路，它仅

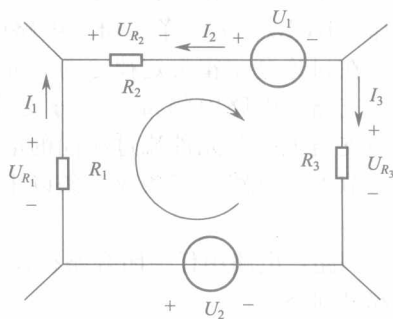


图 1-17 基尔霍夫电压定律