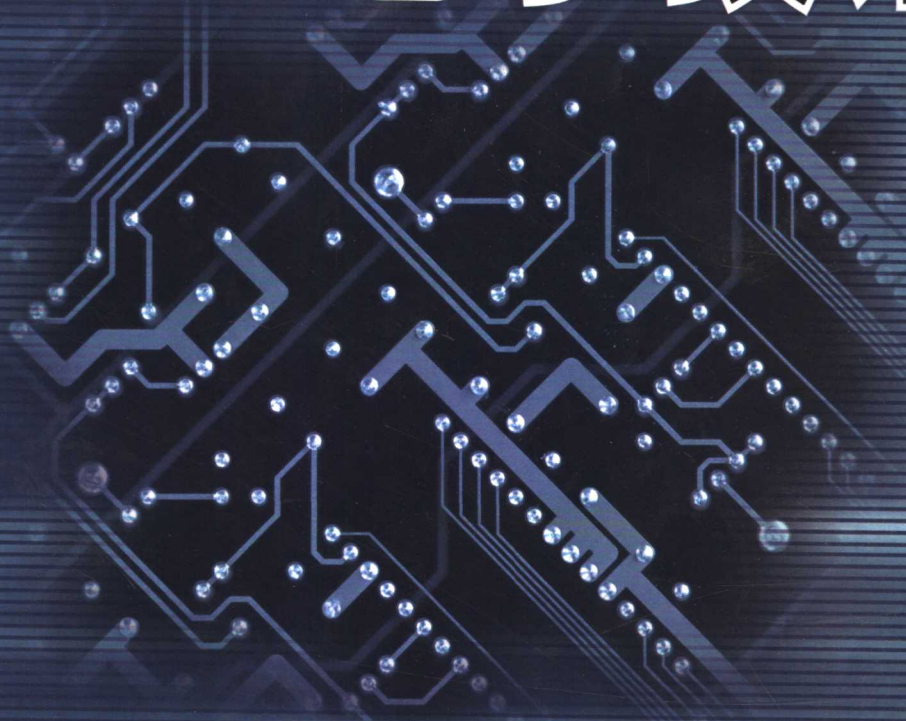




高职高专“十一五”规划教材

机电类

电工电子技术



张清枝 主编



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书内容包括电路理论基础、正弦交流电路、安全用电常识、常用晶体管、基本放大电路、集成运算放大器、直流稳压电源、数制和编码、逻辑代数基础、门电路和组合逻辑电路、双稳态触发器和时序逻辑电路等。

本书在编写中力求科学性和进步性,在内容上结合目前电工电子技术的发展,注重应用能力和基本技能的培养,注重职业能力和创新能力的培养,符合高职高专教育的要求。

本书适合高职高专数控、机电一体化、机械制造自动化等专业的学生作为教材使用,也可供自学者和技术人员参考。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

电工电子技术/张清枝主编. —北京:北京理工大学出版社, 2007.8
高职高专“十一五”规划教材.机电类
ISBN 978-7-5640-1211-3

I.电… II.张… 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.TMTN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 105185 号

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010)68914775(总编室) 68944990(批销中心) 68911084(读者服务部)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京市业和印务有限公司

开 本 / 787 毫米×1092 毫米 1/16

印 张 / 19

字 数 / 424 千字

版 次 / 2007 年 8 月第 1 版 2007 年 8 月第 1 次印刷

责任校对 / 张 宏

定 价 / 29.00 元

责任印制 / 母长新

图书出现印装质量问题,本社负责调换

前 言

为满足各地高职高专院校机电一体化、数控等专业的教学要求,加快我国高素质应用型人才培养的步伐,受北京理工大学出版社的委托,编写了此教材。考虑到高职高专教育的培养目标——应用型人才,在编写中注重应用能力和基本技能的培养,突出教育的职业性,适应当前高等职业教育的要求。本书具有以下特点:

1. 在保证基础理论、基本知识够用的前提下,充实实际应用型知识,加强基本技能的培养。在讲清基本概念、基本原理和基本分析方法的同时,尽量避免烦琐的数学计算。贯穿全书的实训突出了学生实际操作技能的培养。

2. 注意内容的先进性和实用性,加强对器件外部特性和集成器件的介绍,保证学生能够合理选择、正确使用。

3. 适应高职高专学生的实际知识水平,各章均从最基本的知识入手,由易到难、循序渐进,理论学习与实际操作交叉进行,以激发学生的学习兴趣,提高其分析问题和解决问题的能力。

本书由张清枝担任主编,由刁统山、张钦军、郭宏亮、闫学斌担任副主编,段双年、吴广祥参编。

在本书编写过程中,参阅、借鉴了大量的文献资料,在此谨向作者表示衷心的感谢。由于水平有限,难免会出现谬误和不妥之处,敬请各位专家、同行和广大读者批评指正。如读者在使用本书的过程中有其他意见或建议,恳请向编者(bjzhangxf@126.com)踊跃提出宝贵意见。

编 者

目 录

第1章 直流电路.....	1	1.10.1 实训1 电压和电位的测量.....	27
1.1 电路及其基本概念.....	1	1.10.2 实训2 戴维南定理和诺顿定理.....	28
1.1.1 电路的组成和作用.....	1	习题.....	29
1.1.2 电路的基本物理量.....	1	第2章 正弦交流电.....	32
1.1.3 电功率.....	4	2.1 正弦电压与电流.....	32
1.1.4 电阻的串联、并联和混联.....	5	2.1.1 频率与周期.....	32
1.2 电路的工作状态.....	8	2.1.2 瞬时值、幅值、有效值.....	33
1.2.1 有载工作状态.....	8	2.1.3 相位、初相位、相位差.....	35
1.2.2 空载.....	10	2.2 正弦量的相量表示法.....	37
1.2.3 短路.....	10	2.2.1 正弦量的相量表示法.....	37
1.3 电压源、电流源及其等效变换.....	10	2.2.2 用相量法计算正弦量.....	39
1.3.1 电压源.....	10	2.3 基本电路元件及其交流电路.....	40
1.3.2 电流源.....	11	2.3.1 纯电阻电路.....	41
1.3.3 电压源与电流源的等效变换.....	12	2.3.2 纯电感电路.....	42
1.4 受控源.....	12	2.3.3 纯电容电路.....	44
1.4.1 受控源电路.....	12	2.4 阻抗的串联与并联.....	47
1.4.2 有受控源电路的分析计算.....	14	2.4.1 R 、 L 、 C 串联交流电路.....	47
1.5 电路中电位的计算.....	14	2.4.2 R 、 L 、 C 并联交流电路.....	51
1.6 基尔霍夫定律.....	16	2.5 正弦交流电路的谐振.....	53
1.6.1 基尔霍夫电流定律(KCL).....	17	2.5.1 串联谐振.....	53
1.6.2 基尔霍夫电压定律(KVL).....	18	2.5.2 并联谐振.....	55
1.6.3 基尔霍夫定律应用(支路电流法).....	20	2.6 功率因数的提高.....	56
1.7 节点电压法.....	21	2.7 三相交流电路.....	58
1.7.1 节点电压.....	21	2.7.1 三相电压.....	58
1.7.2 节点方程.....	22	2.7.2 负载连接的三相电路.....	61
1.8 叠加原理.....	23	2.7.3 三相功率.....	65
1.9 戴维南定理和诺顿定理.....	24	习题.....	66
1.9.1 戴维南定理.....	24	第3章 变压器、电动机及安全用电.....	70
1.9.2 诺顿定理.....	25	3.1 磁路.....	70
1.9.3 最大功率输出条件.....	26	3.1.1 磁路的基本物理量.....	70
1.10 实训.....	27		

3.1.2 磁场的基本定律	71	4.2.4 二极管的外特性	109
3.1.3 铁磁材料的磁性能	72	4.2.5 二极管的参数	110
3.1.4 交流铁心线圈电路	73	4.2.6 二极管的识别和简易测量	110
3.2 变压器	74	4.3 晶体三极管	110
3.2.1 变压器的工作原理	74	4.3.1 晶体管的结构、 符号和类型	110
3.2.2 变压器的使用	76	4.3.2 三极管的电流放大作用	112
3.2.3 特殊变压器	77	4.3.3 三极管的特性曲线	114
3.3 三相异步电动机	78	4.3.4 三极管的主要参数	116
3.3.1 三相异步电动机的结构 及转动原理	78	4.3.5 三极管的识别和简单测试	117
3.3.2 三相异步电动机的 电磁转矩和机械特性	81	4.4 场效应管	117
3.3.3 三相异步电动机的 运行与控制	82	4.4.1 绝缘栅型场效应晶体 管的原理和特性	118
3.3.4 三相异步电动机的 选择与使用	85	4.4.2 场效应管的主要参数	119
3.4 安全用电常识	87	4.4.3 场效应管与双极性 晶体管的区别	119
3.4.1 电流对人体的作用	87	4.5 晶闸管	120
3.4.2 触电形式与触电急救	88	4.5.1 晶闸管的基本结构	120
3.4.3 保护接地和保护接零	89	4.5.2 晶闸管的工作原理	120
3.4.4 电气防雷、防火和防爆	91	4.5.3 晶闸管的主要参数	122
3.4.5 静电的防护	92	4.5.4 晶闸管的检测	123
3.5 实训	93	4.6 实训 常用组件半导体 分立件的识别与测量	124
3.5.1 实训1 互感的研究	93	习题	125
3.5.2 实训2 荧光灯电路安装	96	第5章 基本放大电路	126
3.5.3 实训3 电动机的 使用及维护	98	5.1 三极管单管放大电路	126
习题	101	5.1.1 共发射极基本放大电路的 组成及工作原理	126
第4章 常用晶体管	104	5.1.2 共发射极基本放大电路的 静态分析	127
4.1 半导体基本知识	104	5.1.3 共发射极基本放大电路的 动态分析	129
4.1.1 半导体的特性	104	5.1.4 工作点稳定的放大电路	134
4.1.2 本征半导体	104	5.1.5 射极输出器	136
4.1.3 杂质半导体	105	5.2 场效应管及其放大电路	138
4.2 PN结与晶体二极管	106	5.2.1 绝缘栅型场效应管	138
4.2.1 PN结的形成	106	5.2.2 场效应管放大电路	140
4.2.2 PN结的特性	107	5.3 多级放大电路	141
4.2.3 二极管的结构、 符号和类型	108		

5.3.1 阻容耦合多级放大电路	141	6.3.5 运算放大器工作在非线性区时的分析	172
5.3.2 直接耦合多级放大电路	142	6.3.6 有源滤波器	172
5.4 放大器中的负反馈	142	6.3.7 在波形发生方面的应用	173
5.4.1 反馈的基本概念	143	6.3.8 集成运算放大器使用常识	173
5.4.2 负反馈的四种类型及其判别方法	143	6.4 功率放大器	174
5.4.3 负反馈对放大器性能的影响	145	6.4.1 功率放大器的技术要求	175
5.4.4 负反馈放大器的分析方法	146	6.4.2 功率放大器的分类	175
5.5 正弦波振荡器	147	6.4.3 互补对称功率放大电路	176
5.5.1 自激式振荡器的基本工作原理	147	6.4.4 集成功率放大器	178
5.5.2 LC 正弦波振荡器	148	6.5 实训	180
5.5.3 石英晶体振荡器	151	6.5.1 实训 1 基本运算电路的组装与测试	180
5.5.4 RC 正弦波振荡器	152	6.5.2 实训 2 互补功率放大器的组装与测试	181
5.6 实训	153	习题	182
5.6.1 实训 1 基本放大电路	153	第 7 章 直流稳压电源	184
5.6.2 实训 2 RC 正弦波振荡电路	155	7.1 整流电路	184
习题	156	7.1.1 单相半波整流电路	184
第 6 章 集成运算放大器与功率放大器	160	7.1.2 单相桥式整流电路	186
6.1 差分放大器	160	7.2 滤波电路	188
6.1.1 直接耦合放大器中的特殊问题	160	7.2.1 电容滤波电路	188
6.1.2 基本差分放大器	161	7.2.2 其他形式的滤波电路	191
6.1.3 差分放大电路的集中接法	163	7.3 稳压电路	193
6.2 集成运算放大器的基本组成	165	7.3.1 硅稳压管稳压电路	193
6.2.1 集成运算放大器	165	7.3.2 串联稳压电路	196
6.2.2 集成运算放大器的主要参数	167	7.3.3 集成稳压器	197
6.2.3 集成运算放大器应用电路的分析方法	168	7.4 开关电源简介	199
6.3 集成运算放大器的应用	168	7.5 实训 三端集成稳压器	201
6.3.1 比例运算电路	169	习题	202
6.3.2 加法运算电路	170	第 8 章 数字电路基础知识	204
6.3.3 积分电路	170	8.1 数制和编码	204
6.3.4 微分电路	171	8.1.1 数制	204
		8.1.2 数制转换	206
		8.1.3 编码	208
		8.2 逻辑代数的基本原理	210
		8.2.1 基本和常用逻辑运算	210

8.2.2 逻辑代数的基本运算规律	217	9.5 实训	265
8.3 逻辑函数的化简方法	220	9.5.1 实训 1 门电路	265
8.3.1 逻辑函数的代数法化简	220	9.5.2 实训 2 组合逻辑电路的 设计与测试	268
8.3.2 逻辑函数的卡诺图法化简	223	习题	270
习题	230	第 10 章 时序逻辑电路	272
第 9 章 组合逻辑电路	235	10.1 触发器的基本概念及其 逻辑功能	272
9.1 集成逻辑门	235	10.1.1 基本 RS 触发器	272
9.1.1 TTL 与非门	235	10.1.2 同步 RS 触发器	273
9.1.2 其他 TTL 门电路	236	10.1.3 D 触发器	276
9.1.3 集电极开路门(OC 门)	237	10.1.4 主从结构触发器	276
9.1.4 三态门	238	10.1.5 T 和 T' 触发器	278
9.1.5 TTL 门电路多余输入 端子的处理方法	240	10.1.6 边沿触发器	279
9.1.6 MOS 集成逻辑门	241	10.2 触发器逻辑功能的表示方法	279
9.2 组合逻辑电路的分析与设计	242	10.2.1 触发器的电路结构和 逻辑功能的关系	279
9.2.1 组合逻辑电路的 分析方法	242	10.2.2 触发器逻辑功能的 表示方法	280
9.2.2 组合逻辑电路的 设计方法	245	10.3 集成触发器	282
9.3 常用中规模组合逻辑电路	249	10.4 触发器间的相互转换	284
9.3.1 编码器	249	10.5 寄存器	285
9.3.2 译码器	253	10.5.1 数码寄存器	285
9.3.3 数据选择器	257	10.5.2 移位寄存器	286
9.3.4 数据比较器	259	10.6 计数器	287
9.3.5 全加器	261	10.6.1 二进制计数器	288
9.4 组合逻辑电路中的竞争冒险	261	10.6.2 集成计数器	289
9.4.1 竞争冒险的概念及其 产生原因	261	10.6.3 任意进制计数器	291
9.4.2 冒险现象的检查方法	263	10.7 实训	293
9.4.3 冒险现象的消除方法	264	习题	293

第1章 直流电路

本章主要介绍直流电路的基本知识和基本定律、基本定理、电路中电位的计算、电源及两种电源的等效变换、直流复杂电路的分析计算方法。

本章所述定律和分析方法，虽然在直流电路中提出，但辅以适当的数学工具，仍适用于正弦交流电路及其他各种线性电路。它是进一步认识学习其他电路的基础。

1.1 电路及其基本概念

1.1.1 电路的组成和作用

电路是电流的通路。电路是为了实现某种电能或信号转换功能，由各种电器设备或元件通过导线，按一定的方式和要求互相连接而成的通路。

电路由电源、中间环节和负载三部分组成。电路能完成能量的传输、转换或信息的处理、传递。发电机将其他形式的能源转换为电能，再通过变压器和输电线路将电能输送给工厂、单位、农村和千家万户的用电设备，这些电器设备再将电能转换为机械能、热能、光能或其他形式的能量。通信系统则是建立在信息的发送者和接收者之间用来完成信息的处理和传递的实际电路。图 1-1 所示日光灯电路。其中， L 是镇流器，它是一个铁心线圈， R 是日光灯管，实际上是将电能转换为光能和热能的耗能元件， C 是电容器， Q 是启辉器， S 是开关，另外还有 220V 交流电源，以及将这些器件连接起来的导线。

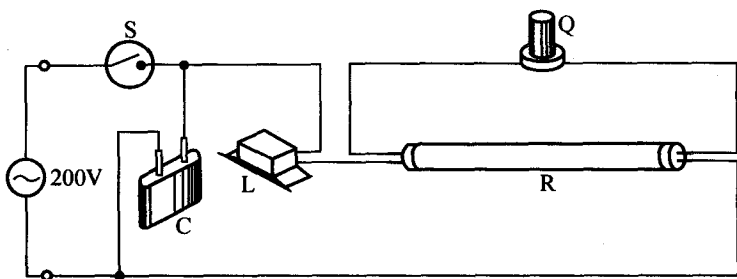


图 1-1 日光灯电路

1.1.2 电路的基本物理量

1. 电流

单位时间内流过导体截面积的电荷[量]定义为电流强度，用以衡量电流的大小。电工技术中，常把电流强度简称为电流，用 i 表示。随时间而变化的电流定义为

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

式中, q 为随时间 t 变化的电荷量。

在电场力的作用下, 电荷有规则的定向移动形成了电流。规定正电荷移动的方向为电流的方向。

当 $dq/dt = \text{常数}$ 时, 则称这种电流为恒定电流, 称作直流电流, 用大写字母 “ I ” 表示。电流为恒定量, 大小和方向不随时间变化, 简称直流。小写字母 “ i ” 表示电流随时间变化。

在国际单位制(SI)中, 在 1 s 内通过导体横截面的电荷量为 1 C 时, 其电流为 1 A。

电流的方向可用箭头表示, 也可用下角标字母的顺序表示, 如图 1-2 用双下标表示电流的方向为 i_{ab} 。

2. 电压

电场力把单位正电荷从电场中的 a 点移到 b 点所作的功称为 a 、 b 间的电压, 用 $u_{ab}(U_{ab})$ 表示。

$$u_{ab} = \frac{dw}{dq} \quad (1-2)$$

习惯上把电位降低的方向作为电压的实际方向, 可用+、-号表示, 也可用字母的双下角标表示, 有时也用箭头表示, 如图 1-3 所示。

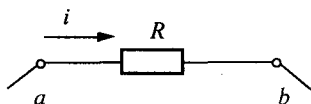


图 1-2 电流的方向

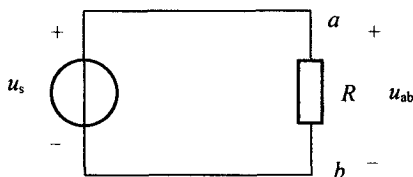


图 1-3 电压的方向

在国际单位制中, 当电场力把 1 C(库[仑])的正电荷量从一点移到另一点所做的功为 1 J(焦[耳])时, 则这两点间的电压为 1 V(伏[特])。

为了分析电路方便, 常指定电路中的任一点为参考点。我们定义: 电场力把单位正电荷从电路中某点移到参考点所作的功, 称为该点的电位。用大写字母 V 表示。电路中某点的电位, 即该点与参考点(规定电位能为零的点)之间的电压, 也可理解为单位正电荷在该点(相对于参考点)所具有的位能。电位的单位与电压的单位相同, 用 V(伏[特])表示。

由此, 电路中两点之间的电压也可用两点间的电位差来表示。

$$U_{ab} = V_a - V_b \quad (1-3)$$

电路中两点间的电压是不变的, 电位随参考点(零电位点)选择的不同而不同。

3. 电动势

在电源内部非电场力(局外力)把单位正电荷由低电位 b 端移到高电位 a 端所做的功,

称为电动势, 用字母 $e(E)$ 表示

$$e(t) = \frac{dw}{dq} \quad (1-4)$$

电动势的实际方向在电源内部从低电位指向高电位, 单位与电压相同, 用 V(伏[特]) 表示。

在图 1-4 中, 电压 u_{ab} 是电场力把单位正电荷由外电路从 a 点移到 b 点所做的功, 由高电位指向低电位。电动势是非电场力在电源内部把单位正电荷克服电场阻力, 从 b 点移到 a 点所做的功。在图 1-5 中所示的直流电源在没有与外电路连接的情况下, 电动势与两端电压大小相等方向相反。

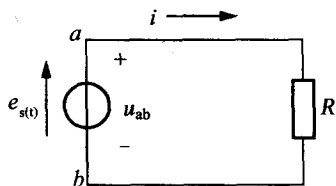


图 1-4 电源向外输出功率

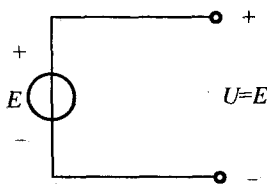


图 1-5 电动势与电压的关系

4. 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的实际方向或两端电压的实际方向往往不知道, 我们可以任意假定一个电流方向或电压方向, 当假定的电流方向或电压方向与实际方向一致时取正, 相反时取负。设定的电流、电压方向称作电流、电压的参考方向。

(1) 电流的参考方向

在图 1-6(a)中电流的参考方向与实际方向一致, $i > 0$ 。图 1-6(b)中电流的参考方向与实际方向相反, $i < 0$ 。

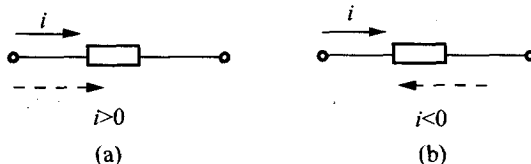


图 1-6 电流的参考方向

实际方向用虚线表示, 参考方向用实线表示。

(2) 电压的参考方向

在图 1-7(a)中电压的参考方向与实际方向一致取正, $u > 0$ 。

图 1-7(b)中电压的参考方向与实际方向相反取负, $u < 0$ 。可见电流、电压都是代数量。

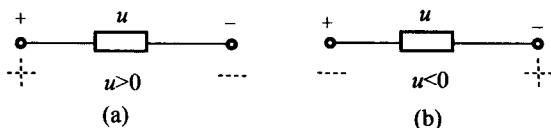


图 1-7 电压的参考方向

当电流的参考方向与电压的参考方向选取的一致，则为关联参考正方向；当选取的不一致时，则为非关联参考方向。

关于电流、电压的参考方向的几点说明：

(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应改变。

(2) 今后计算电路，一般要先标出参考方向再进行计算，在电路图中，所有标有方向的电流、电压均可认为是电流、电压的参考方向，而不是指实际方向。

(3) 一般地，同一段电路的电流和电压的参考方向可以各自选定，不必强求一致。但为了分析方便，常选定同一元件的电流的参考方向与电压的参考方向一致，即电流从正极性端流入该元件而从它的负极性端流出。

1.1.3 电功率

电能量对于时间的变化率称为电功率，即电场力在单位时间内所做的功为

$$P = \frac{dw}{dt} \quad (1-5)$$

在图 1-7(a)电路中电阻两端的电压是 U ，流过的电流是 I ，为关联参考方向，则电阻吸收的功率为

$$P = UI \quad (1-6)$$

电阻在 t 时间内所消耗的电能为

$$W = Pt \quad (1-7)$$

在国际单位制中，电压的单位为伏(V)，电流的单位为安(A)，时间的单位为秒(s)，功的单位为焦耳(J)，功率的单位为瓦特(W)，且

$$1\text{kW}(\text{千瓦})=10^3\text{W}(\text{瓦})$$

我们平时所说消耗 1 度电就是当一段电路(某一电器)功率为 1kW，在小时的时间内消耗的电能，即 1kWh。

电场力做功所消耗的电能是由电源提供的。在 t 时间内，电场力将电荷 Q 从电源负极经电源内部移到电源正极，它所做的功和功率为

$$W_{ba} = EQ = EIt \quad (1-8)$$

$$P_{ba} = EI \quad (1-9)$$

根据能量守恒的规律, 在忽略电源内部能量损耗的条件下:

$$W_{ab} = W_{ba} \quad \text{即有} \quad U = E$$

但是, 端电压 U 和电动势 E 的作用方向相反。

从以上分析还可以看出: 根据电流和电压的实际方向可以确定电路元件的功率性质; 元件两端电压和流过的电流在关联参考方向情况下时, 如图 1-8 所示。

$P = UI > 0$, 元件吸收功率;

$P = UI < 0$, 元件发出功率。

如果元件两端电压和流过的电流在非关联参考方向情况下时, 如图 1-9 所示。

$P = UI > 0$, 元件发出功率;

$P = UI < 0$, 元件吸收功率。

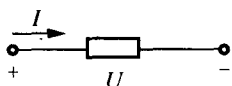


图 1-8 电压、电流方向关联

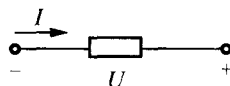


图 1-9 电压、电流方向非关联

对任一电路元件, 当流经元件的电流实际方向与元件两端电压的实际方向一致时, 元件吸收功率; 当电流和电压的实际方向相反时, 元件发出功率。

【例 1.1】 试判断图 1-10 中 (a)、(b) 是发出还是吸收功率。

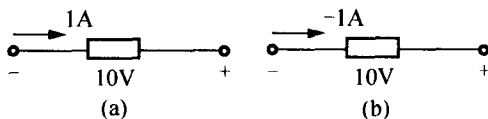


图 1-10 例 1.1 图

解: 在图 1-10(a) 中, 电压、电流是关联参考方向, 且 $P = UI = 10\text{W} > 0$, 故元件吸收功率。

在图 1-10(b) 中, 电压、电流是关联参考方向, 且 $P = UI = -10\text{W} < 0$, 故元件发出功率。

1.1.4 电阻的串联、并联和混联

1. 电阻的串联

两个及两个以上电阻首尾相连即为电阻的串联, 如图 1-11(a) 所示。串联电路的基本特点是: 电路中流经各电阻的电流都相等; 电路两端的总电压等于各电阻两端的电压之和。下面对串联电路进行进一步研究。

(1) 串联电路的等效电阻。如图 1-11(b) 中 R 代表串联电路的等效电阻, I 为串联电路的电流。根据欧姆定律有

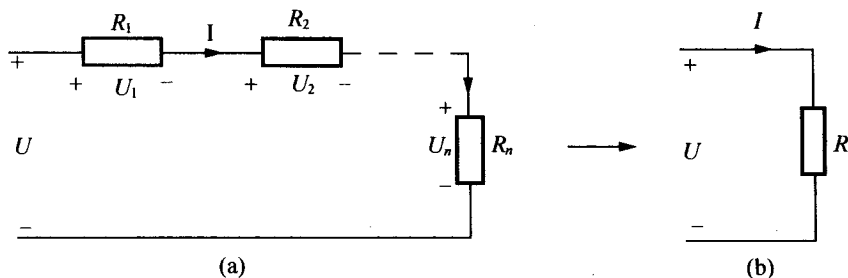


图 1-11 电阻串联

$$U = RI, \quad U_1 = R_1 I, \quad U_2 = R_2 I, \quad \dots$$

$$U_n = R_n I$$

得
$$U = U_1 + U_2 + \dots + U_n \quad (1-10)$$

所以
$$R = R_1 + R_2 + \dots + R_n \quad (1-11)$$

这就是说，电阻串联的等效总电阻，等于串联的各电阻之和。

(2) 两电阻串联的电压分配。如图 1-11 所示，若两个电阻串联时($n=2$)，根据以上计算可以得到

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

$$U_2 = R_2 I = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U \quad (1-12)$$

电阻串联时，电阻上的电压与电阻的大小成正比。

2. 电阻的并联

两个及两个以上的电阻并列的连接起来，就组成了并联电路，如图 1-12 所示。并联电路的特点就是：电路中各并联电阻的电压相等；电路中的总电流等于各并联电阻的电流之和。下面对并联电路进行进一步研究。

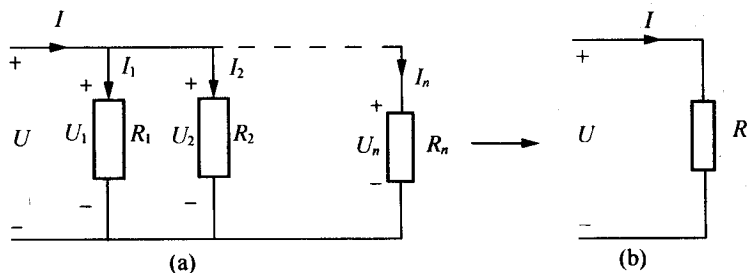


图 1-12 电阻并联

(1) 电阻并联的等效电阻。如图 1-12(b)中 R 代表并联电路的等效电阻， I 为并联电路的电流。根据欧姆定律有

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

$$I_1 = \frac{U}{R_1}, I_2 = \frac{U}{R_2}, \cdots, I_n = \frac{U}{R_n}$$

因为

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

所以

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \cdots + \frac{1}{R_n} \quad (1-13)$$

也就是说, 电阻并联的等效总电阻的倒数, 等于各电阻的倒数和。

(2) 两电阻并联的电流分配。两电阻并联时, 如图 1-12(a)所示电阻 R_1 、 R_2 的连接, 其等效电阻为

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

因为

$$U_1 = R_1 I_1 = U_2 = R_2 I_2 = U = RI$$

所以有

$$I_1 = \frac{U}{R_1} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} I$$

$$I_2 = \frac{U}{R_2} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} I \quad (1-15)$$

这就是两个电阻并联时的分流公式。电阻并联时, 电流与电阻大小成反比。

3. 电阻的混联

实际上, 在同一电路中, 电阻的连接既有串联也有并联, 这样的电阻连接称为混联电路。对于混联电路的等效计算, 只要按串联和并联的计算方法, 一步一步地把电路简化, 最后就可以求出总的等效电阻。但是, 在有些混联电路里, 往往不容易一下子就看清电阻之间的连接关系, 此时就要根据电路的具体结构, 按串联和并联电路的性质和定义, 进行电路的等效变换, 使电阻之间的关系一目了然, 然后进行计算。

【例 1.2】 如图 1-13(a)所示, 求图中总电流 I 为多少安培? 电阻 R_1 、 R_3 上的电压是多少?

解: 先根据电阻的串并联将电路进行化简, 得电路如图 1-13(b)所示。

$$R = R_1 + R_2 // [R_3 + R_4 // (R_5 + R_6)]$$

$$= 5.2 + 8 // [2 + 20 // (15 + 5)]$$

$$= 10 \text{ k}\Omega$$

$$\text{总电流} \quad I = \frac{U}{R} = \frac{24\text{V}}{10\text{k}\Omega} = 2.4\text{mA}$$

$$\text{电阻 } R_1 \text{ 上的电压 } U_1 = R_1 I = 5.2\text{k}\Omega \times 2.4\text{mA} = 12.48\text{V}$$

$$\text{根据分流公式, 流经 } R_3 \text{ 上的电流为 } I_3 = \frac{8}{12 + 8} I = 0.4 \times 2.4\text{mA} = 0.96\text{mA}$$

$$\text{电阻 } R_3 \text{ 上的电压 } U_3 = I_3 R_3 = 0.96\text{mA} \times 2\text{k}\Omega = 1.92\text{V}$$

其他电阻上的电压和流经电阻的电流读者可自己计算。

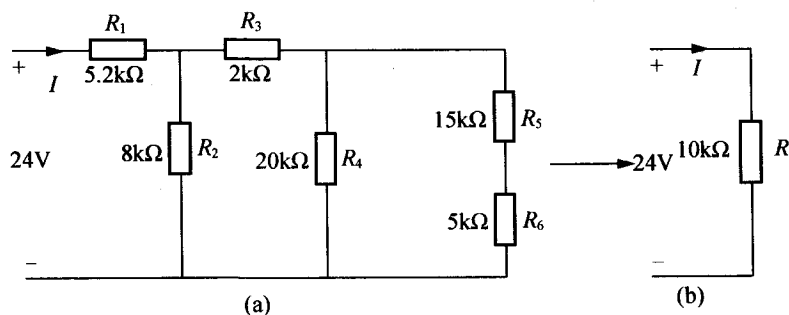


图 1-13 混联电路

1.2 电路的工作状态

电路有空载、短路、有载工作三种状态，现以图 1-14 所示简单直流电路为例来分析电路的各种工作状态。图中电动势 E 和内阻 R_0 串联组成电压源， U_1 是电源端电压。开关 S 和连接导线是中间环节。 U_2 是负载端电压， R_L 是负载等效电阻。

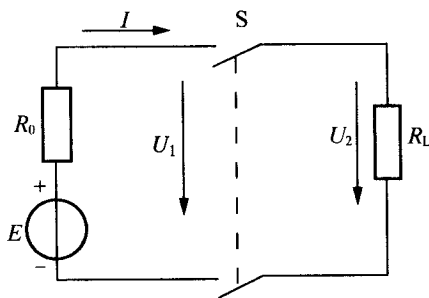


图 1-14 直流电路的工作

1.2.1 有载工作状态

当开关 S 闭合时，电路中有电流流过，电源输出电功率，负载取用电功率，称为有载工作状态。这时电路中的电流为

$$I = \frac{E}{R_0 + R_L} \quad (1-16)$$

上式说明，当电源(E 、 R_0)一定时，电路工作电流 I 取决于负载电阻 R_L ， R_L 减小， I 增大； R_L 增大， I 减小。电源的端电压为

$$U_1 = E - R_0 I \quad (1-17)$$

若忽略连接导线的电阻，则负载端电压 $U_2 = U_1$ 。当电源(E 、 R_0)一定时，若负载增加(R_L 减小、 I 增大)，则电压 U_1 和 U_2 都将减小。

电源的输出功率为

$$P_1 = U_1 I$$

将式(1-17)代入上式得

$$P_1 = EI - R_0 I^2$$

负载取用的功率为

$$P_2 = U_2 I = R_L I^2$$

由式(1-17)可得

$$E = R_0 I + R_L I$$

上式两边都乘以 I , 则有

$$EI = R_0 I^2 + R_L I^2$$

式中 EI 是电源非电能量所产生电功率; $R_0 I^2$ 是实际电源内电阻上所消耗的功率。上式说明整个电路功率是平衡的, 即由电源发出的电功率等于电路各部分所消耗的功率总和。

电源内电阻 R_0 及负载电阻 R_L 上所损耗的电能量转换成热能散发出来, 使电源设备和各种用电设备的温度升高。电流越大温度越高。当电流过大, 设备的绝缘材料会因过热而加速老化, 缩短使用寿命, 甚至损坏。另外, 当设备和器件上的电压过高时, 一方面会使电流增大而发热, 另外也可能使设备的绝缘被击穿而损坏。反之, 如电压过低, 则这将使设备不能正常工作, 如电灯不亮, 日光灯不能启辉, 电动机转速下降或无法启动等。

为了保证电气设备和器件的安全、可靠和经济的工作, 制造厂规定了每种设备和器件在工作时所允许的最大电流、最高电压和最大功率, 这称为电气设备和器件的额定值, 常用下标符号 N 表示, 如额定电流 I_N 、额定电压 U_N 和额定功率 P_N 。这些额定值常标注在设备的铭牌上。

电气设备和器件应尽量工作在额定状态, 这种状态又称为满载。其电流和功率低于额定值的工作状态叫轻载; 高于额定值的工作状态叫过载。有些电气设备如电灯、电炉等, 只要在额定电压的条件下使用, 其电流和功率就会符合额定值, 故只标明 U_N 和 P_N 。另一类电气设备如变压器、电动机, 再加上额定电压后, 其电流和功率取决于它所带负载的大小。例如, 电动机所带机械负载过大, 将会因电流过大而严重发热, 甚至烧毁。故在一般条件下, 电气设备不应过载运行。在电路中常安装自动开关、热继电器等, 用来在过载时自动断开电源, 确保设备安全。

【例 1.3】 阻值为 $2\text{k}\Omega$ 、额定功率为 0.25W 的电阻器, 在使用时其最大工作电流和电压是多少?

解: 由公式 $P=RI^2$ 可求出其最大工作电流为

$$I = \sqrt{\frac{P}{R}} = \sqrt{\frac{1}{4 \times 2 \times 10^3}} = 0.0112\text{A} = 11.2\text{mA}$$

其最大工作电压为

$$U = IR = 11.2\text{mA} \times 2\text{k}\Omega = 22.4\text{V}$$

【例 1.4】 有一只 220V 、 100W 的电灯泡, 接到 220V 电源上, 求它工作时的电流和电阻?

解: 工作时电流

$$I = \frac{P}{U} = \frac{100\text{W}}{220\text{V}} = 0.455\text{A}$$

电阻

$$R = \frac{U^2}{P} = \frac{220^2}{100\text{W}} = 484\Omega$$

1.2.2 空载

在图 1-14 所示电路中, 当开关 S 断开, 电路电流为零。这称为空载, 也称开路。开路时电源的端电压称为开路电压, 用 R_{∞} 表示, 等于电源电动势, 而负载端电压为零。显然开路时电源不输出电能, 电路的功率等于零。

如上所述, 电路空载状态的特点是

$$\begin{aligned} I &= 0 \\ U_1 &= U_{\infty} = E \\ U_2 &= 0, \quad P_1 = P_2 = 0 \end{aligned} \quad (1-18)$$

1.2.3 短路

在图 1-14 所示电路中, 当电源两端的导线由于某种事故而直接相连, 这时电源输出电流不经过负载, 只经过连接导线直接流回电源。这种状态称为短路状态, 简称短路。短路时的电流称为短路电流, 用 I_{sc} 表示。因电源内阻 R_0 很小, 故 I_{sc} 很大。短路时外电路的电阻为零, 故电源和负载的端电压均为零。这时, 电源所产生电能全部被电源内阻消耗转变为热能, 故电源输出的功率和负载取用的功率均为零。

如上所述, 电路短路状态的特征是

$$\begin{aligned} I &= I_{sc} = \frac{E}{R_0} \\ U_1 &= U_2 = 0 \\ P_E &= I^2 R_0 = \frac{E^2}{R_0} \text{ (电源内阻 } R_0 \text{ 消耗的功率)} \\ P_1 &= P_2 = 0 \end{aligned}$$

因为 I_{sc} 很大, 短路时电源本身及 I_{sc} 所流过的导线温度剧增, 将会损坏绝缘, 烧毁设备, 甚至引起火灾。因此电路短路是一种严重的事故, 应尽力避免。为防止短路所产生的严重后果, 通常在电路中接入熔断器或自动开关, 以能在短路时迅速切除故障电路, 而确保电源和其他电器设备的安全运行。

1.3 电压源、电流源及其等效变换

1.3.1 电压源

电压源如图 1-15 所示, 具有以下特点: 电压源两端的电压 $u_s(t)$ 为确定的时间函数, 与流过的电流无关。当 u_s 为直流电源时, 两端电压 $u_s(t)$ 不变, $u_s(t) = U$ 。