

高 等 学 校 教 材

电工与电子技术

(上 册)

王 鸿 明



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

高等学校教材

电工与电子技术

(上册)

王鸿明



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

5CH12/06

内容简介

本书是为工科非电类专业编写的、用于讲授电工技术、电子技术课程使用的教材。编写时按通用教材要求考虑,因而内容丰富、适用面广。本教材特点是加强基础,增强应用,注重理论联系实际,力求达到学以致用。本书上册为电工技术部分,主要内容有电路元件与电路定律、电路分析方法、正弦交流电路、周期性非正弦电流电路、电路中的谐振与电路的频率响应、三相交流电路、电路的暂态过程、磁路、交流铁心线圈与变压器、电动机、继电器控制、可编程[序]控制器(PLC)、供电与安全用电和电工测量等。本书下册为电子技术部分,主要内容有二极管、晶体管、基本放大电路、集成运算放大器、集成运放的应用、数字电路的基础知识、组合逻辑电路、时序逻辑电路、脉冲信号的产生与整形、大规模集成电路和电源等。

本书可作为高等学校工科非电类专业本、专科教学用教材或参考书,对相关的工程技术人员亦有参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

电工与电子技术. 上册/王鸿明. —北京:高等教育出版社,2005.4

ISBN 7-04-016431-0

I. 电... II. 王... III. ①电工技术-高等学校-教材②电子技术-高等学校-教材 IV. ①TM②TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 013133 号

策划编辑	金春英	责任编辑	欧阳舟	封面设计	于文燕	责任绘图	朱 静
版式设计	胡志萍	责任校对	王 超	责任印制	杨 明		

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-58581118
社 址	北京市西城区德外大街 4 号	免费咨询	800-810-0598
邮政编码	100011	网 址	http://www.hep.edu.cn
总 机	010-58581000		http://www.hep.com.cn
经 销	北京蓝色畅想图书发行有限公司	网上订购	http://www.landaco.com
印 刷	国防工业出版社印刷厂		http://www.landaco.com.cn
开 本	787×1092 1/16	版 次	2005 年 4 月第 1 版
印 张	25.25	印 次	2005 年 4 月第 1 次印刷
字 数	620 000	定 价	28.90 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 16431-00

前 言

本书是为工科非电类专业本、专科生,学习电工技术、电子技术课程而编写的教材。书中内容以教育部 1995 年颁发的电工技术、电子技术课程教学基本要求为依据,并在此基础上有扩展和加深,目的是使教材能更好地适应现代宽口径人才培养的需要和工科非电类专业对电工技术、电子技术课程教学的要求。为达此目的,编写时作者对书中内容遵循如下两个原则:

(1) 考虑到电工技术、电子技术是一门技术基础课程,课程的这个性质决定了课程的内容应具有基础性和普遍适用性,特别是近年来许多非电类专业的专业技术与电工技术、电子技术和计算机技术结合得日益紧密,为了能给专业用电打下良好基础,本教材在编写时力求将基本概念、基本理论、基本知识和分析方法的讲述作为各章、节的重点,以便使读者能具有较扎实的理论基础和分析问题的能力,使读者能在电工技术、电子技术方面具有继续学习的能力,为此,本书中所讨论的问题均本着道理应讲清楚、原因应说明白,事件的过程应有一个清楚的交代。叙述过程要力求做到简明、易懂,准确无误。

(2) 由于电工技术、电子技术课程又是一门应用类型的课程,因此,加强应用知识的介绍,学以致用是本教材编写时着重考虑的另一个问题。为了使读者能更好地理解基本概念、基本理论和能运用基本知识与分析方法去解决一些问题,本教材中根据不同的章、节,不同的要求引入了一些“案例”、即“阅读电路图”;“选择电气元件”;“分析电路原理或功能”;“设计电路”等。安排这样一些内容的目的是使读者能够将所学的一个个知识点,汇集成一个知识链,从而能建立起完整的系统(或工程)的概念,有利于提高分析问题和综合问题的能力。

教材内容较教育部颁发的课程教学基本要求有扩展和加深,对于这部分内容标有*号,可按需要选讲。

本教材(上、下册)由北京理工大学刘蕴陶教授审稿。刘蕴陶教授对本书进行了详细的审阅,提出了宝贵的意见和修改建议,并与作者还就一些问题进行了讨论。作者对刘蕴陶教授的工作表示衷心的感谢。

本书使用的一些文字符号前、后章节不尽统一,主要是考虑教学的习惯性和连续性。

由于电工技术、电子技术的内容广泛,作者学识有限,因而在理解和掌握上定有认识不足和理解错误之处,期盼使用本书的教师和读者提出批评和指正。

编 者

2004 年 9 月

目 录

第1章 电路元件与电路定律	1	2.2.2 节点电位(压)法	31
1.1 电路组成	1	2.2.3 叠加定理	36
1.1.1 电路元件	1	2.2.4 等效电源定理	39
1.1.2 电路图	2	2.2.5 负载获得最大功率的条件	42
1.2 电路的基本物理量及其参考方向	3	2.3 含受控源电路的分析	43
1.2.1 电流及其参考方向	3	2.3.1 受控源模型	43
1.2.2 电压及其参考方向	3	2.3.2 含受控源电路的分析	44
1.2.3 关联参考方向	4	习题	47
1.2.4 功率与电能	4	第3章 正弦电流电路	51
1.2.5 电气设备的额定值	5	3.1 正弦电流的基本知识	51
1.3 电阻	5	3.1.1 正弦量的特征量	52
1.3.1 线性电阻与非线性电阻	6	3.1.2 相位和相位差	52
1.3.2 电阻的计算公式	7	3.1.3 交流电的有效值	54
1.3.3 电阻元件的功率与额定值	8	3.2 正弦交流电的相量表示法	55
1.3.4 电阻器和电位器	8	3.2.1 复数的表示方法	55
1.4 电源	9	3.2.2 复数的运算	56
1.4.1 电源的电压源模型	10	3.2.3 正弦电压、电流的复数表示法	56
1.4.2 电源的电流源模型	10	3.2.4 相量图	59
1.4.3 电源模型的等效变换	11	3.3 正弦电流电路中的元件	59
1.4.4 电池	13	3.3.1 电阻元件	59
1.5 基尔霍夫定律	15	3.3.2 电感元件	61
1.5.1 基尔霍夫电流定律	16	3.3.3 电容元件	65
1.5.2 基尔霍夫电压定律	16	3.4 正弦电路电压、电流计算	70
习题	18	3.4.1 电阻 R 、电感 L 和电容 C 的串联电路	70
第2章 电路分析方法	22	3.4.2 并联电路	73
2.1 简单电路的分析与计算	22	3.4.3 阻抗的串联与并联	76
2.1.1 电阻串联电路	22	3.4.4 复杂正弦电流电路的计算	79
2.1.2 电阻并联电路	24	3.5 正弦电流电路的功率与功率因数	85
2.1.3 电阻混联	26	3.5.1 功率	85
2.1.4 近似计算	27	3.5.2 功率因数 $\cos \varphi$ 的提高	89
2.1.5 电阻星形联结与三角形联结的等效变换	28	*3.5.3 正弦电流电路负载获得最大功率的条件	90
2.2 复杂电路的分析与计算	29	习题	91
2.2.1 支路电流法	30		

第4章 周期性非正弦电流电路	95	*6.3.2 不对称三相负载的功率	154
4.1 周期性非正弦信号及其频谱	95	习题	156
4.1.1 周期性非正弦信号	95	第7章 电路的暂态过程	159
4.1.2 周期性非正弦信号的分解	96	7.1 换路定律	159
4.1.3 周期性非正弦信号的频谱	98	7.2 一阶 RC 电路	161
4.2 周期性非正弦电流、电压的		7.2.1 恒定直流激励下的一阶 RC 电路	161
有效值和平均值	100	*7.2.2 正弦激励下的一阶 RC 电路	171
4.2.1 有效值	100	*7.2.3 脉冲激励下的一阶 RC 电路	173
4.2.2 平均值	101	7.3 三要素法	176
4.2.3 波形系数	102	*7.4 含有两个电容元件的一阶	
4.3 周期性非正弦电流电路的计算	102	RC 电路	181
4.3.1 电压、电流计算	102	7.4.1 换路后出现理想电压源与电容	
4.3.2 周期性非正弦电路的功率	109	构成的回路	182
习题	111	7.4.2 换路后出现由电容元件组成	
第5章 电路中的谐振与电路的频率		的回路	183
响应	113	7.5 二阶电路的暂态过程(简介)	188
5.1 电路中的谐振	113	习题	191
5.1.1 串联谐振	113	第8章 磁路、交流铁心线圈与变	
5.1.2 并联谐振	120	压器	196
*5.1.3 谐振滤波	125	8.1 磁路	196
*5.2 电路的频率特性	127	8.1.1 磁感线、磁感应强度和磁通量	196
5.2.1 转移函数	128	8.1.2 磁场强度、安培环路定律和磁路	
5.2.2 幅频特性和相频特性	128	欧姆定律	197
5.2.3 低通、高通、带通和带阻电路	130	8.1.3 磁性材料的主要特性	199
5.2.4 波特图	135	*8.1.4 磁路问题分析	203
习题	137	*8.1.5 铁心线圈的电感	206
第6章 三相交流电路	139	8.2 交流铁心线圈	207
6.1 三相交流电源	139	8.2.1 交流励磁下铁心线圈的电压	
6.1.1 对称三相电源	139	关系式	207
6.1.2 三相电源的连接	140	8.2.2 交流励磁下电压、电流与磁通	
6.2 三相电路分析	142	的关系	208
6.2.1 三相对称负载星形联结(Y-Y系统)		8.3 变压器	211
电路分析	143	8.3.1 变压器的结构	212
6.2.2 三相对称负载三角形联结(Y-Δ系		8.3.2 变压器的工作分析	212
统)电路分析	145	8.3.3 变压器的外特性与效率	216
6.2.3 一些常见三相对称电路分析	147	8.3.4 变压器的联结组别	217
*6.2.4 不对称负载的三相电路	149	8.3.5 一些特殊变压器	219
6.3 三相电路功率	153	8.3.6 变压器的额定值及型号	221
6.3.1 对称三相电路的功率	153	习题	223

第9章 电动机	226	10.1.4 主令电器	273
9.1 三相交流异步电动机	226	10.1.5 接触器	275
9.1.1 三相交流异步电动机的结构	226	10.1.6 控制继电器	278
9.1.2 三相交流异步电动机的转动 原理	228	10.2 起 - 保 - 停控制电路与电气控制 原理图	278
9.1.3 三相交流异步电动机的转矩和 机械特性	231	10.2.1 异步电动机起 - 保 - 停控制	279
9.1.4 三相交流异步电动机的型号与 额定数据	237	10.2.2 控制电路原理图	279
9.1.5 三相交流异步电动机的使用——起 动、反转、调速和制动	239	10.2.3 热继电器与电动机过载保护	280
9.1.6 同步电动机简介与电动机节 能运行	244	10.3 继电器控制电路的逻辑函数 表达式	282
9.2 单相交流异步电动机	244	10.3.1 基本逻辑关系式	283
9.2.1 单相交流异步电动机的结构	244	10.3.2 继电器控制电路的逻辑函数 表示式	284
9.2.2 分相式单相交流异步电动机的 工作原理	245	10.4 典型控制环节	284
9.2.3 分相式单相交流异步电动机的 类型	246	10.4.1 异步电动机正、反转控制	284
9.2.4 罩极式单相交流异步电动机	246	10.4.2 行程控制	286
9.2.5 三相交流异步电动机的单相 运行	247	10.4.3 时间控制	288
9.3 直流电机	248	10.4.4 其他一些常见的控制环节	291
9.3.1 直流电机的结构与分类	248	10.5 继电器控制电路电气原理图的 阅读	293
9.3.2 直流电机的工作原理	250	10.5.1 阅读电气原理图的注意事项	293
9.3.3 直流电动机的机械特性	251	10.5.2 继电器控制电路(读图)举例	294
9.3.4 直流电动机调速	253	*10.6 继电器控制电路设计	297
9.3.5 直流电动机的使用——连接、启动、 反转和制动	256	10.6.1 继电器电路的基本控制原则	297
9.3.6 直流电机的系列与额定值	257	10.6.2 设计举例	298
9.4 控制电机	257	习题	300
9.4.1 伺服电机	258	第11章 可编程[序]控制器(PLC)	302
9.4.2 步进电机	259	11.1 可编程控制器的结构与工作 方式	302
9.5 电动机的选择	262	11.1.1 主机	303
习题	266	11.1.2 输入/输出(I/O)电路(模块)	303
第10章 继电器控制	269	11.1.3 编程器	305
10.1 低压电器	269	11.1.4 PLC的工作方式	305
10.1.1 刀开关	269	11.2 软继电器	305
10.1.2 熔断器	270	11.2.1 输入/输出(I/O)寄存器区	306
10.1.3 自动空气开关	272	11.2.2 内部辅助寄存器区	306
		11.2.3 定时器和计数器区	306
		11.3 编程语言	307
		11.3.1 梯形图语言	307
		11.3.2 指令语句表(助记符)语言	308

11.4 欧姆龙(OMRON)C系列可编程 控制器	309	13.1.1 测量及其有关概念	352
11.4.1 欧姆龙C系列P型机可编程控 制器	310	13.1.2 测量误差与准确度等级	352
11.4.2 编程器	311	13.1.3 指示仪表常用符号	354
11.4.3 编程指令	313	13.2 磁电式仪表	354
11.5 PLC的应用	322	13.2.1 磁电式测量机构的工作原理	355
11.5.1 梯形图	322	13.2.2 直流电流、电压、电阻的测量	356
11.5.2 程序输入	326	13.3 电磁式和电动力式仪表	360
习题	335	13.3.1 电磁式交流电压、电流的直读测量 仪表	360
第12章 供电与安全用电	337	13.3.2 电动力式仪表与功率测量	361
12.1 电力系统的组成	337	13.4 一些其他类型的常用直读测量 仪表	364
12.1.1 发电厂	337	13.4.1 整流式仪表	364
12.1.2 电力网	338	13.4.2 兆欧表	365
12.1.3 电能用户	340	13.4.3 数字式仪表	366
12.1.4 电力系统	341	习题	366
12.1.5 变、配电所	342	附录	368
*12.2 导线截面选择	343	附录[一] 电阻器与电位器	368
12.2.1 选择的原则	343	附录[二] 原电池与蓄电池	370
12.2.2 选择方法	345	附录[三] 电感与电容	372
12.3 用电安全常识	346	附录[四] 电动机	377
12.3.1 电流对人体的作用及安全电压	346	附录[五] 接触器	382
12.3.2 低压配电系统的接地形式	347	附录[六] 常用绝缘导线允许载 流量表	383
12.3.3 保护接地和保护接零	348	部分习题答案	387
习题	351	参考文献	395
第13章 电工测量	352		
13.1 测量的有关概念与测量误差	352		

第1章 电路元件与电路定律

本章着重介绍电路问题的基本知识和电路定律。

1.1 电路组成

电路是由电气设备或元器件组合而成,为电流的流通提供途径。图 1.1.1 是一个白炽灯的供电电路,在电源电压 U_s 的作用下,白炽灯(称为用电设备)将有电流通过。电源提供的电能经白炽灯变为光能,这是一个供电电路。

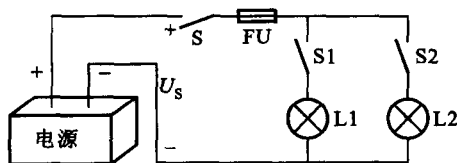


图 1.1.1 白炽灯的供电电路

一个电路通常由三个部分组成:即电源、用电设备(称为负载)和连接导线(及开关、熔断器)等组成。用电设备(负载)将电源提供的电能转换成工作所需要的能量;连接导线、开关及熔断器等,用于传送、控制电能向负载的传送;熔断器则可以在事故发生时保护电源和负载免受损坏。

电路的种类很多,但构成电路的目的一般而言不外乎进行电能的传输、分配与转换或进行信息的传递、处理与运算。不管是哪类电路,其基本部分仍然是电源、负载(用电设备)和连接导线等三部分。

1.1.1 电路元件

电路的种类与功能是多种多样的,电路中使用的电气设备也是品种繁多且电磁特性也比较复杂,为了简化电路的分析与计算,在对具体电路进行分析时,首先要建立电路模型,以便找出问题的本质,简化问题,便于计算。

电气元件的模型根据电气元件在电路内工作时表现出的电磁特性来建立。一个电气元件工作时可能表现出的电磁特性不外乎有以下几种情况:向电路提供电能;元件工作时发热(消耗电能转换而来);具有磁场或电场(储存能量)。根据每一个具体电气元件的电磁特性建立的模型称为理想电路元件,每一种理想电路元件只具有一种物理特性。这样,实际的电气元件工作时表现出的电磁特性就可以用理想电路元件或其组合来反映。

理想电路元件简称电路元件,它分为理想电源元件和理想负载元件两类。

理想电源元件用于表示各种实际电源在电路中的作用,即向电路提供电能的作用。理想电源元件(模型)有两个,一个称为理想电压源,其符号及特性如图 1.1.2(a)所示;另一个称为理想电流源,其符号及特性如图 1.1.2(b)所示。

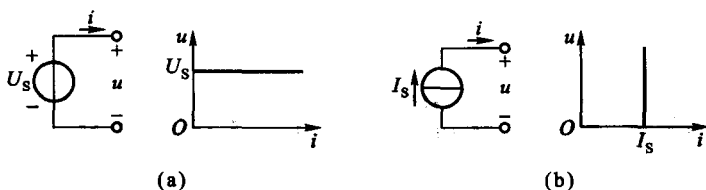


图 1.1.2 理想电源元件符号

(a) 理想电压源的文字及图形符号与特性; (b) 理想电流源的文字及图形符号与特性

电气元件工作时发热、产生磁场或电场的特性分别用电阻元件、电感元件和电容元件表示。

电阻元件的文字及图形符号如图 1.1.3 所示,电阻元件用于反映用电设备(负载)将电能转换成其他形式的能量且不可逆转换,即通常所说的消耗电能的特性。因此,电阻元件又称为耗能元件。

电感元件的文字及图形符号如图 1.1.4 所示,电感元件用于反映用电设备(负载)将电能转变成磁场能,即产生磁场、存储磁能的特性。

电容元件的文字及图形符号如图 1.1.5 所示,电容元件用于反映用电设备(负载)将电能转变成电场储能,即产生电场、存储电场能的特性。



图 1.1.3 电阻元件文字及图形符号

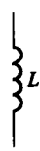


图 1.1.4 电感元件文字及图形符号

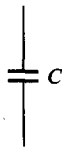


图 1.1.5 电容元件文字及图形符号

由于电感元件和电容元件具有储能的特性,这两个元件又称为储能元件。

1.1.2 电路图

图 1.1.1 所示的实体电路中的相关部分,均用能表示其电磁特性的模型元件替代,并适当地连接后得到了图 1.1.6 所示的电路,该电路称为实体电路的模型图(电路模型)。

在图 1.1.6 中, R_s 用于表示电源内部的发热损耗, R_l 用于表示输电线导线电阻, R_{L1} 和 R_{L2} 分别表示白炽灯的耗能作用。实际的电气设备用反映其电磁特性的电路元件替代后就得到了电路模型。电路模型又称为实体电路的电路图。电路分析就是对电路模型(电路图)进行分析。

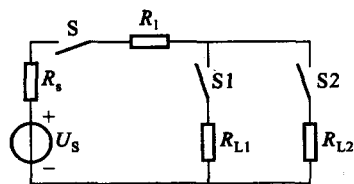


图 1.1.6 图 1.1.1 的电路模型

在图 1.1.6 中,导线电阻、白炽灯灯丝电阻分别用集总电阻 R_l 、 R_{L1} 和 R_{L2} 表示,因此,在电路图上的导线不再具有电阻,所以电路图上的导线可以根据画图的需要任意地画得长一些或短一些,即电路图只反映该电路中元件相互连接关系,并不反映元件的实际空间位置,换句话说,同一个电路可以画出几种不同形状的电路图。

实际电气元件用集总电阻、电感和电容元件表示,因此,理想电路元件又被称为集总参数元

件,由集总参数元件构成的电路又称为集总参数电路。

将实际电路用集总参数元件表示是有条件限制的,其条件就是电路的尺寸应远小于电路工作频率所对应的波长。例如,我国工业用电频率为 50 Hz,对应的波长为 6 000 km(电磁波传播速度 $v = \text{电磁波长} \times \text{频率} = 30 \times 10^4 \text{ km/s}$)。因此,在电路尺寸远小于波长的情况下用集总参数来研究电路问题是完全可以的,但是对于远距离输电电路或高频电路用集总参数研究就不合适了,这时应使用分布参数模型。有关分布参数电路问题可参阅参考文献[1]。

1.2 电路的基本物理量及其参考方向

电路的工作是以电路中的电压、电流、功率和磁通等物理量来描述的,在进行电路分析时不仅要求出电压、电流等物理量的数值还要确定它们的实际方向。电压、电流等物理量的实际方向依靠设定参考方向(或称正方向)的方法来确定。

1.2.1 电流及其参考方向

电荷定向的运动形成电流。电流即单位时间内穿过某一横截面 S 的电荷量 q 的总和。对于恒定电流 I ,其表示式为

$$I = \frac{q}{t} \quad (1.2.1)$$

若电荷 q 的单位是库[仑](C),时间 t 的单位是秒(s),则电流 I 的单位是安[培](A)。

对于变化的电流其表示式为

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1.2.2)$$

在电路中,每个电路元件中的电流均具有两种可能的流动方向,为表明电流的实际方向,采用设定参考方向的方法加以明确,方法是,在电流的两个可能流动方向中任选一个方向作为参考方向,并用箭头表示,如图 1.2.1 所示。

若电流实际方向与所选定的参考方向一致时,该电流即为正值,若相反,则电流为负值。通过电流的正、负及其参考方向可判断出电流的实际方向。

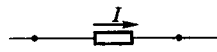


图 1.2.1 电流的参考方向

1.2.2 电压及其参考方向

电流是电荷受电场力的作用而形成的。将电荷由电场中的 A 点移至 B 点时电场对电荷做功,为衡量电场力做功的大小引入电压这一物理量。电场中 A、B 两点间的电压 U_{AB} 等于将点电荷 q 从 A 点移至 B 点电场力所做的功 W_{AB} 与该电荷 q 的比值,即

$$U_{AB} = \frac{W_{AB}}{q} \quad (1.2.3)$$

式中 W_{AB} 的单位是焦[耳](J), q 的单位是库(C), U_{AB} 的单位是伏[特](V)。

在对电路进行分析时,常取电路中的接地点 N(或任意一点亦可)作为参考点,并设该点电位为零。因此,电场中 A 点至参考点间的电压 U_{AN} 就等于 A 点的电位,并记为 V_A ,即 $V_A = U_{AN}$,这

样电路中任意两点 A、B 间的电压为

$$U_{AB} = V_A - V_B \quad (1.2.4)$$

在分析电路中某个元件两端的电压时,同样需要知道它的大小,又要确定它的方向,即哪端电位高、哪端电位低。为此,在电压两个可能的方向上任取一个方向作为参考方向,电压的参考方向可以用“+”、“-”符号表示,也可用双下标表示。如图 1.2.2 所示电路, A、B 间电压标示为 U_{AB} 时,即假设 A 点电位高于 B 点。

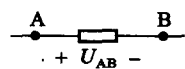


图 1.2.2 电压参考方向

在图 1.2.2 中,若元件 A 点电位确实高于 B 点,则电压 U_{AB} 为正值,即电压实际方向与参考方向一致;相反,若 A 点电位低于 B 点电位,则 U_{AB} 为负值,即电压实际方向与参考方向相反。

1.2.3 关联参考方向

一个元件的电压、电流的参考方向可以任意选定,若元件的电压、电流参考方向的选择如图 1.2.3(a) 所示,即电流从电压的“+”端流入,从电压的“-”端流出,这样选取的参考方向称为 U 、 I 参考方向一致,或称 U 、 I 参考方向关联,即关联参考方向。相反,若 U 、 I 参考方向选取如图 1.2.3(b) 所示,则称参考方向不一致,或称参考方向不关联。

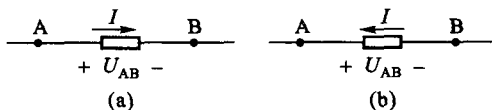


图 1.2.3 关联参考方向
(a) 关联; (b) 不关联

1.2.4 功率与电能

构成电路的最终目的还是要将一定数量的电能传送给负载,使之转换成工作所需要的那种形式的能量。因此,在电工和电子电路中,电能和电功率的计算是个很重要的问题。

电路元件在单位时间内输出或消耗的电能称为电功率,简称为功率。根据电压、电流的定义可知功率 P 的表示式为

$$P = UI \quad (1.2.5)$$

式中,电压 U 的单位为伏(V)、电流 I 的单位为安(A)时,功率 P 的单位是瓦(W)。

在应用式(1.2.5)计算电路元件的功率时,若式中的 U 、 I 取关联参考方向,在 U 、 I 值的符号相同时,则功率 P 值为正,这表明所讨论的元件吸收电功率(即它将电能变为其他形式的能量);若 U 、 I 参考方向关联,但 U 、 I 值符号不同,则功率 P 值为负,这表明所讨论的元件没有吸收电功率而是向外部输出功率。

如果元件上的 U 、 I 参考方向选择不一致,计算功率时应式(1.2.5)前增加一个负号,即

$$P = -UI \quad (1.2.6)$$

由式(1.2.6)计算出的功率值为正时,表示该元件吸收电功率;若计算出的功率值为负时,表示该元件向外部输出功率。

电能 A 的计算公式为

$$A = Pt = UIt \quad (1.2.7)$$

式中 P 的单位为瓦(W)、 t 的单位为秒(s)时, A 的单位是焦[耳](J)。

工程上通常使用千瓦时($\text{kW} \cdot \text{h}$)作为电能单位, $1 \text{ kW} \cdot \text{h}$ 过去曾称为 1 度电, 现已废弃。

例 1.2.1 图 1.2.3(a) 所示电路, A 点电位 $V_A = 100 \text{ V}$, B 点电位 $V_B = -20 \text{ V}$, 电流 $I = 2 \text{ A}$ 。求电压 U_{AB} 及它的实际方向。求所示元件的功率及 8 h 内消耗的电能是多少千瓦时。

解: 由式(1.2.4)可得

$$U_{AB} = V_A - V_B = [100 - (-20)] \text{ V} = 120 \text{ V}$$

电压 U_{AB} 的实际方向与所示参考方向一致。

由于 U_{AB} 、 I 的参考方向一致, 所以元件的功率

$$P = U_{AB}I = 120 \times 2 \text{ W} = 240 \text{ W} = 0.24 \text{ kW}$$

P 为正值表明该元件吸收电功率, 是负载。

元件 8 h 消耗的电能

$$A = Pt = 0.24 \times 8 \text{ kW} \cdot \text{h} = 1.92 \text{ kW} \cdot \text{h}$$

1.2.5 电气设备的额定值

电气设备都有一个由生产厂规定的正常使用的工作电压、工作电流或功率值, 称为额定值。电气设备按额定值要求使用则不会产生过热、绝缘击穿等问题。按额定值工作时, 工作安全可靠、经济合理并可达到规定的使用寿命。大多数电气设备的使用寿命均与其使用的绝缘材料耐热性能及耐电击穿强度有关, 若电气设备较长时间在超额定值的情况下运行, 由于损耗增加、发热增多造成绝缘材料老化, 从而降低了使用寿命, 严重时会使设备损坏造成重大事故。

电气设备的额定值确定了它的经济合理使用条件, 使用时不能超出但也不宜长期低于额定值情况下运行, 因为低于额定值运行的电气设备得不到充分利用, 效率降低同样造成浪费。对于某些电气设备(如异步电动机)低于额定值运行会出现问题, 也是不允许的。因此, 掌握设备的额定值, 根据给出的额定值正确使用电气设备是非常重要的。

电气设备的额定值一般有额定电压 U_N 、额定电流 I_N 、额定功率 P_N 等。电路中使用的电阻元件, 一般给出额定功率 P_N (习惯上称为电阻的瓦数) 及电阻值。有了这两个数值后, 该电阻元件工作时允许通过的额定电流 $I_N = \sqrt{P_N/R_N}$ 也就确定了。对电阻类负载因其 U_N 、 I_N 、 P_N 及 R 之间存在着一定的关系。因此, 只要给出任意两个值, 另外两个值也就可以确定出来了。如白炽灯这种负载通常只给出它的额定电压 U_N 和额定功率 P_N , 使用时只要作用在白炽灯上的电压与规定的额定电压相符, 这只白炽灯消耗的功率就是额定值。至于该白炽灯的额定电流 I_N , 可以根据 U_N 和 P_N 计算出来, 即 $I_N = P_N/U_N$ 。

对于电动机、变压器等设备, 由于它们的负载是变化的, 在使用时其电流值(或功率等)一般并不等于给定的额定值, 实际电流的大小要由负载决定。因此, 应尽可能合理选择这类设备, 使它们能经常在接近额定值的状态下工作。

1.3 电阻

对电路进行分析时, 将实际电气设备用电阻元件、电感元件和电容元件分别或组合起来反映

其电磁特性。在这一节只讨论电阻元件的问题,电感和电容元件将在第3章中讨论。

电阻元件在电工、电子电路中被广泛地应用,如电加热炉、金属丝白炽灯及各种电阻器等均是电阻元件的典型示例。

1.3.1 线性电阻与非线性电阻

电阻元件依其电压、电流关系曲线的不同分为两类:若作用于电阻元件两端的电压与通过电阻的电流成正比,即该电压、电流的比值为常数时,这样的电阻元件称为线性电阻;若电压、电流比值不为常数时则称为非线性电阻。

线性电阻的符号及其电压、电流关系(称伏安特性)曲线,如图1.3.1所示。

线性电阻元件的伏安(V-A)特性曲线为过坐标原点的一条直线,该直线的斜率即是它的电阻值。线性电阻的电压、电流关系式可由欧姆定律确定。当电阻元件的电压 U 、电流 I 的参考方向如图1.3.1(a)所示,即取关联参考方向时,其电压 U 、电流 I 的关系式为

$$U = RI \quad (1.3.1)$$

若 U 、 I 参考方向不相关联时,其关系式应当为

$$U = -RI \quad (1.3.2)$$

式(1.3.1)和式(1.3.2)中,电压 U 的单位是伏(V)、电流 I 的单位是安(A)时,电阻 R 的单位是欧[姆](Ω)。

式(1.3.1)又可写成

$$I = GU \quad (1.3.3)$$

式(1.3.3)中,参数 G 称为电阻元件的电导,电导的单位是西[门子](S)。电阻 R 与电导 G 互为倒数,即

$$R = \frac{1}{G} \quad \text{或} \quad G = \frac{1}{R}$$

电阻 R 反映电阻元件对电流的阻力,电导 G 反映电阻元件的导电能力。

如果电阻元件的电压 U 与电流 I 的比值不为常数,即元件的电阻值随元件的电压或电流的改变而改变时,这样的电阻称为非线性电阻。非线性电阻元件的伏安特性曲线不是过坐标原点的直线,图1.3.2所示为二极管的伏安特性曲线。

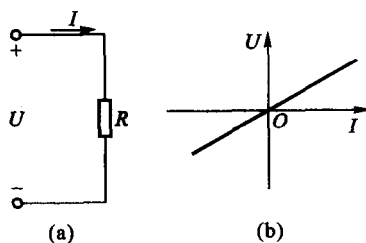


图 1.3.1 线性电阻的符号及其伏安特性曲线
(a) 线性电阻符号; (b) 伏安特性曲线

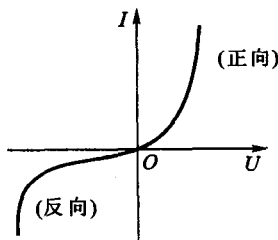


图 1.3.2 二极管伏安特性曲线

由图 1.3.2 可看出,在不同的电压值下,其电压、电流的比值不同,即非线性电阻的阻值不是常数。因此,欧姆定律不适用于非线性电阻电路的计算。有关非线性电阻问题的讨论将在本书下册中进行。

1.3.2 电阻的计算公式

在温度一定的条件下,具有均匀横截面 $S(\text{mm}^2)$ 、长度为 $l(\text{m})$ 的金属导体制成的电阻器,其电阻值 R 的计算公式为

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (\Omega) \tag{1.3.4}$$

式(1.3.4)中, ρ 为导体的电阻率,其单位为 $\Omega \cdot \text{m}$ 。在 $20\text{ }^\circ\text{C}$ 下,一些材料的电阻率如表 1.3.1 所示。

表 1.3.1 一些常用导线材料的电阻率及电阻温度系数

名称	电阻率 $\rho(20\text{ }^\circ\text{C})$ ($\Omega \cdot \text{m}$)	电阻温度系数 $\alpha(20\text{ }^\circ\text{C})(\text{ }^\circ\text{C}^{-1})$	主要用途
金	2.4×10^{-8}	3.4×10^{-3}	制作电子器材及某些特殊用途
银	1.6×10^{-8}	3.8×10^{-3}	用于航空导线、耐高温导线等
铜	1.69×10^{-8}	3.93×10^{-3}	制作各种导线、电缆等
铝	2.65×10^{-8}	4.23×10^{-3}	制作电线、电缆等
铁	9.78×10^{-8}	5.0×10^{-3}	用于输出功率不大的线路中或用于增强铝导线强度

导体的电阻率 ρ 不但与材料种类有关还和温度有关, ρ 与温度关系式如下,即

$$\rho_t = \rho_{20} [1 + \alpha(t - 20\text{ }^\circ\text{C})] \tag{1.3.5}$$

式(1.3.5)中, ρ_t 和 ρ_{20} 分别为温度 t 和 $20\text{ }^\circ\text{C}$ 时的电阻率。 α 称为电阻温度系数,一些导体的电阻温度系数如表 1.3.1 中所示。

例 1.3.1 求一条长 200 m 、横截面 $S = 4\text{ mm}^2$ 的铜导线的电阻 R 的值。

解:查表 1.3.1 知铜的电阻率 $\rho = 1.69 \times 10^{-8}\text{ }\Omega \cdot \text{m}$, $S = 4\text{ mm}^2 = 4 \times 10^{-6}\text{ m}^2$ 。由公式(1.3.4)可计算出该导线电阻

$$R = 1.69 \times 10^{-2} \times \frac{200}{4}\text{ }\Omega = 0.845\text{ }\Omega$$

例 1.3.2 用例 1.3.1 所示导线为图 1.3.3 所示电路的负载 R_L 送电。若输电线路入口处电压 $U_1 = 220\text{ V}$,输电线输送的电流 $I = 16\text{ A}$,求负载 R_L 两端电压 U_L 。

解:输电距离 100 m ,两条输电线总长共 200 m ,输电线总电阻 $R_1 = 0.845\text{ }\Omega$ 。输送电流 $I = 16\text{ A}$,输电线上的电压 $U_1 = R_1 \cdot I = 0.845 \times 16\text{ V} = 13.52\text{ V}$ 。所以负载 R_L 处的电压

$$U_R = U_1 - U_1 = (220 - 13.52)\text{ V} = 206.48\text{ V}$$

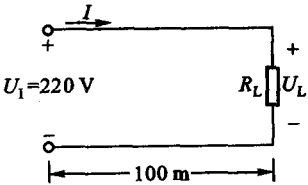


图 1.3.3 例 1.3.2 的图

例 1.3.3 例 1.3.1 的导线,在温度 $t=20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时电阻为 $0.845\text{ }\Omega$ 。当导线接通电流并经过一定时间后温度上升至 $45\text{ }^{\circ}\text{C}$,求 $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下导线电阻值。

解:查表 1.3.1 知铜导线的电阻温度系数 $\alpha=3.93\times 10^{-3}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$,所以 $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,导线电阻值为

$$R_{45}=0.845\times[1+(45-20)\times 3.93\times 10^{-3}]\text{ }\Omega\approx 0.928\text{ }\Omega$$

1.3.3 电阻元件的功率与额定值

电阻是消耗电能的元件,将所消耗的电能转变成热能。单位时间内电阻消耗的电能,即功率

$$P=UI=RI^2=\frac{U^2}{R} \quad (1.3.6)$$

式(1.3.6)中, U 的单位是 V , I 的单位是 A , P 的单位是 W 。

一段时间内所消耗的电能,可通过式(1.2.7)计算,即

$$A=Pt=UIt$$

电能 A 的单位是焦(J)。工程上用 $1\text{ kW}\cdot\text{h}$ 作为电能单位,而 $1\text{ kW}\cdot\text{h}=3.6\times 10^6\text{ J}$ 。

例 1.3.4 一只 100 W 、 220 V 的白炽灯,它在额定值下工作时,求电流 I 和白炽灯在通入电流 I 值时的电阻 R 的值,若这只白炽灯每天使用 4 h ,一个月用电多少千瓦时。

解:由 $P=UI$ 式,可知白炽灯电流

$$I=\frac{100}{220}\text{ A}\approx 0.45\text{ A}$$

白炽灯的电阻 $R=U/I=220/0.45\text{ }\Omega\approx 489\text{ }\Omega$

一个月用电 $A=30\times 4\times 0.1\text{ kW}\cdot\text{h}=12\text{ kW}\cdot\text{h}$

例 1.3.5 一个额定功率 $P_N=2\text{ W}$ 、电阻值 $R_N=500\text{ }\Omega$ 的电阻器,求出它的额定电压 U_N 、额定电流 I_N 之值。

解:由式(1.3.6)可知

$$U_N=\sqrt{R_N P_N}=\sqrt{2\times 500}\text{ V}\approx 31.62\text{ V}$$

而

$$I_N=\frac{U_N}{R_N}=\frac{31.62}{500}\text{ A}\approx 0.063\text{ A}=63\text{ mA}$$

* 1.3.4 电阻器和电位器

电阻器是电路中广泛应用的电气元件,常用的电阻器有碳膜电阻器、金属膜电阻器、金属氧化膜电阻器和线绕电阻器等。电位器是一种将机械位移转换成电压变化的机电元件,它由电阻体和可移动电刷组成。常用的电位器有合成碳膜电位器、线绕电位器和金属玻璃釉电位器等。

电阻器和电位器的型号命名方法如表 1.3.2 所示。

表 1.3.2 电阻器和电位器的型号命名方法

第一部分:主称		第二部分:电阻体材料		第三部分:类别		第四部分:序号
字母	含义	字母	含义	符号	产品类型	用数字表示
R	电阻器	T	碳膜	0		
		H	合成膜	1	普通	
		S	有机实芯	2	普通	
		N	无机实芯	3	超高频	
		J	金属膜	4	高阻	
				5	高阻	
W	电位器			6		
		Y	金属氧化膜	7	精密	
		C	化学沉积膜	8	高压	
		I	玻璃釉膜	9	特殊	
		X	线 绕	G	高功率	
				W	微调	
				T	可调	
				D	多圈	

例如:RJ73——精密金属膜电位器;

WXD3——多圈线绕电位器。

电阻器和电位器是电路中经常使用的电气元件,有关电阻器和电位器的参数、标称阻值、功率系列、电阻值表示方法、不同电阻器的特点与应用场合等使用问题见附录[一]。

1.4 电源

电源的种类很多,如电池、发电机等。电源是组成电路的重要元件,电源为电路提供电能源。电源的工作由它的输出电压与输出电流间的关系,即由电源的伏安特性(又称外特性)曲线表示。大部分电源的伏安特性如图 1.4.1 所示,即随着电源输出电流的增加,电源的输出端电压有所下降。

电源输出电流为零时,电源的输出端电压最高,这个电压称为电源的开路电压,并用字符 U_{oc} 表示。通常开路电压也就是电源的额定电压,即 $U_N = U_{oc}$ 。随着电源有电流输出,电源的内部会有损耗,所以输出电压会有所下降,当输出电流达到允许输出电流的最大值,即电源电流额定值时,电源输出端电压 U 约为开路电压 $U_{oc}(U_N)$ 的 0.95 倍左右。例如,某电源的 $U_{oc} = 230\text{ V}$,输出电流达 I_N 值时,电源输出端电压 U 约为 $0.95 \times 230\text{ V} = 218.5\text{ V}$ 。

根据电源的伏安特性,可以用两种模型将其特性描述出来,一种模型称为电源的电压源模型,另一种称为电源的电流源模型。

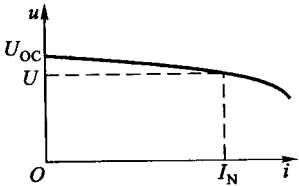


图 1.4.1 电源的伏安特性(外特性)曲线