

中等专业学校试用教材

化工类各专业适用

电 工 学

(1978年修订本)

泸州化工专科学校等合编

周膺祐 主编



人民教育出版社

中等专业学校试用教材
化工类各专业适用

电 工 学

(1978 年修订本)

泸州化工专科学校等合编
周膺祐主编

人 民 教 育 出 版 社

中等专业学校试用教材

化工类各专业适用

电 工 学

(1978年修订本)

泸州化工专科学校等合编

周膺祐主编

*

人民教育出版社出版

新华书店北京发行所发行

山东新华印刷厂潍坊厂印装

*

开本 787×1092 1/16 印张 16.5 字数 370,000

1961年7月第1版 1979年2月第3版

1979年7月第8次印刷 印数 78,501—133,500

书号 15012·0148 定价 1.20元

前 言

本书是在 1964 年出版的由贺明、徐国和、周膺祐编写的中等专业学校化工类专业用《电工学》的基础上,由泸州化工专科学校周膺祐、兰化公司化工学校徐国和以及吉林化学公司化工学校姜喜春根据 1978 年修订的中等专业学校化工类(化机、工艺、分析)各专业适用的《电工学教材编写大纲》修订的。全书分为十二章和读图练习,即直流电路,电磁,单相交流电路,三相交流电路,变压器,交流电机,电力拖动,半导体二极管与三极管,半导体放大器,正弦波振荡器,晶体管直流稳压电源,可控硅原理及其应用,阅读电子电路图方法介绍。与第二版比较,本书对陈旧的或与专业关系不大的内容作了删减,对教材编写大纲所规定的基本内容,则力图讲得比较细致清楚,以求学生能够学到手。为了适应中等专业学校学生的特点,本书文字叙述浅显易懂,推理论证深入浅出。为了便于学生自学和复习,每章之前有内容提要,每章之后有小结,并附有习题和思考题,以培养学生分析问题和解决问题的能力。

本书可以作为中等专业学校化工类(化机、工艺、分析)各专业的电工学课程的试用教材,也可供有关工程技术人员参考。

第三版序

本书是依据 1978 年中等专业学校化工类(化机、工艺、分析)各专业适用的《电工学教材编写大纲》修订的。

根据中等专业学校化工类(化机、工艺、分析)各专业教学计划,电工学是一门技术基础课程。在专业培养中的任务是:使学生在已有的物理知识的基础上,掌握电工及电子技术的基本理论知识,初步受到计算和实验技能的训练,为学习专业课和从事工程实践以及“双革”打下一定的基础。因此同 1964 年出版的中等专业学校化工类《电工学(修订本)》相比较,改动较大的是:

(1) 电工基础部分:删去了电场·电场的基本量和电工测量一章,常用的电工测量仪表的动作原理和使用方法,放在有关实验中去解决,使学生获得必要的电工测量基础知识和技能;增加了分压、分流以及克希荷夫第一、二定律,用支路电流法和等效电源定理理解复杂电路,电容器及电容器的充电与放电和电阻与电容的串联交流电路等内容。

(2) 变压器、电机和电力拖动部分:删去了直流电机一章;增加了电焊机、可逆电动机等内容,并适当介绍一些新产品、新技术。

(3) 工业电子学部分:由于科学技术的发展,第二版工业电子学部分,以电子管为主,现已陈旧,全部删去,只讲半导体常用器件和晶体管电路的基础知识(放大、振荡、整流、稳压和可控硅等)及应用,并附有阅读电子电路图的方法介绍。

本书对《电工学教材编写大纲》规定的基本内容则力图讲得比较细致清楚,注意理论联系实际,以求学生能够学到手。在处理教材深广度方面,力求作到:既考虑电工基础知识的系统性,又结合专业特点,尽可能突出重点;既考虑当前中专学生实际水平,也考虑到今后一段时间发展的需要。

本书文字叙述浅显易懂,吸收了教学实践中的经验和教训,推理论证力求深入浅出,条理清楚。为了便于学生自学和复习,每章之前有内容提要,每章之后有小结,并附有习题和思考题,以培养学生分析问题和解决问题的能力。本书习题中有“*”号的,可供成绩较好的学生去做。

本书是中等专业学校化工类专业(化机、工艺、分析)三年制适用的,教材内容是按 125 学时修订的,所以使用时应根据专业的不同,按《电工学教材编写大纲》的规定对教材内容加以选择。

化学工业部教育司委托我们修订这本教材,在这一重大而艰巨的任务面前,我们的政治思想和业务水平都显得很不足,因此,本书难免有不少缺点和谬误,衷心希望各校有关教师和学生给予批评指正。对本书的意见请寄泸州化工专科学校或人民教育出版社大学教材编辑室。

本书承吉林化学公司化工学校李晏昕,泸州化工专科学校张正纲、梁文炳等同志审阅,并提出了许多宝贵意见,谨此致谢。

编者

1978 年 12 月

目 录

绪论	1	3-6 交流电的有效值	50
第一章 直流电路	3	3-7 纯电阻电路	52
内容提要	3	3-8 纯电感电路	54
1-1 电路的组成	3	3-9 电阻与电感串联的交流电路	57
1-2 电动势·电压和电位·电流	3	3-10 电容器及电容器的充电和放电	61
1-3 电阻	5	3-11 纯电容电路	67
1-4 欧姆定律	6	3-12 电阻和电容串联的交流电路	69
1-5 电流的功和功率	7	3-13 线圈与电容器并联的交流电路	71
1-6 电能转换为热能·焦耳-楞次定律	9	小结	74
1-7 克希荷夫定律	11	思考题	76
1-8 电阻的串联·并联和混联	14	习题	77
1-9 等效电源定理	18	第四章 三相交流电路	79
1-10 直流电桥	20	内容提要	79
1-11 电位差计	21	4-1 概述	79
小结	22	4-2 三相正弦交变电动势的产生	79
思考题	23	4-3 发电机绕组的连接	80
习题	24	4-4 负载的星形连接及中线的作用	82
第二章 电磁	26	4-5 负载的三角形接法	84
内容提要	26	4-6 三相电功率	85
2-1 永久磁铁与磁场	26	小结	87
2-2 电流的磁效应	26	思考题	88
2-3 磁场的几个物理量	27	习题	89
2-4 铁磁物质的磁化及反复磁化	28	第五章 变压器	91
2-5 磁场对载流导体的作用	30	内容提要	91
2-6 简单磁路的概念	31	5-1 概述·变压器的基本构造	91
2-7 电磁感应	32	5-2 变压器的空载运行	93
2-8 自感和涡流	35	5-3 变压器的有载运行	94
小结	37	5-4 变压器的功率和效率	96
思考题	38	5-5 三相变压器	97
习题	39	5-6 自耦变压器	98
第三章 单相交流电路	40	5-7 多绕组变压器	99
内容提要	40	5-8 电焊变压器	100
3-1 概述	40	小结	100
3-2 正弦电动势的产生	41	思考题	101
3-3 相位和相位差	45	习题	101
3-4 正弦量的矢量图示法	47	第六章 交流电机	102
3-5 正弦量的相加和相减	48	内容提要	102

6-1	概述	102
6-2	三相异步电动机的基本构造	102
6-3	旋转磁场的产生	104
6-4	异步电动机的运转原理	108
6-5	转差率	109
6-6	三相异步电动机的工作过程·转子各量 与转差率的关系	109
6-7	异步电动机的转矩和转矩特性	112
6-8	异步电动机的起动	115
6-9	异步电动机的调速和反转	118
6-10	异步电动机的功率损失和效率	119
6-11	三相异步电动机的铭牌和型号	120
6-12	三相异步电动机的常见故障和维护	121
6-13	单相异步电动机	122
6-14	可逆电动机	126
6-15	同步电动机	127
6-16	反应式同步电动机	128
	小结	129
	思考题	131
	习题	132
第七章	电力拖动	134
	内容提要	134
7-1	概述	134
7-2	电动机的温升和额定功率	134
7-3	电动机运行方式的分类	135
7-4	选择电动机的一般原则	136
7-5	异步电动机的控制和保护	138
7-6	磁力起动器	140
7-7	鼠笼式异步电动机的接触控制	142
7-8	鼠笼式异步电动机的自动控制	144
7-9	化工厂的供电	146
7-10	电工安全技术	147
	小结	150
	思考题	151
第八章	半导体二极管与三极管	152
	内容提要	152
8-1	半导体的基本特性	152
8-2	PN 结	154
8-3	半导体二极管	155
8-4	半导体三极管	157

	小结	167
	思考题	168
	习题	168
第九章	半导体放大器	169
	内容提要	169
9-1	单管放大器	169
9-2	放大电路的基本分析方法	173
9-3	静态工作点设置与稳定	181
9-4	多级电压放大器	185
9-5	功率放大器	187
9-6	负反馈放大器	192
9-7	直流放大器	196
	小结	199
	思考题	201
	习题	204
第十章	正弦波振荡器	206
	内容提要	206
10-1	振荡的基本知识	206
10-2	LC 自激振荡器	209
10-3	RC 正弦波振荡器	212
	小结	214
	思考题	215
第十一章	晶体管直流稳压电源	216
	内容提要	216
11-1	单相整流电路	216
11-2	滤波器	220
11-3	稳压电源	222
	小结	228
	思考题	229
	习题	229
第十二章	可控硅原理及其应用	231
	内容提要	231
12-1	可控硅的结构及工作原理	231
12-2	可控整流	234
12-3	可控硅的触发电路	237
12-4	可控硅应用举例	240
	小结	244
	习题思考题	245
附录一	阅读电子电路图的方法介绍	246
附录二		253

绪 论

一、电能的应用和特点

在现代工业、农业、交通运输业和通讯、国防以及日常生活中,电能得到日益广泛的应用。电气化的程度,已成为衡量一个国家生产技术高低的主要标志之一。

电能之所以得到如此广泛的应用,是由于它具有下列几个重要的特点所决定的:

1. 转换容易。电能可以很方便地由水能、热能、化学能、原子能等转换而来,成为廉价的动力来源;同时电能又很容易转换成我们所需要的其它各种形式的能量,例如机械能、热能、光能、化学能等等,以应用于不同的场所。

2. 输送经济,分配方便。高压远距离输电时,电能损失小,效率很高,因而可以充分合理地利用各种动力资源。同时电能的分配也很方便,很容易分配到某一用电设备上,例如一台电动机或一盏电灯上。

3. 控制、测量迅速而准确。这是自动化生产不可缺少的条件。

4. 能以电磁波的形式在空中传播。

二、电气化对我国社会主义建设的作用

电气化是生产过程自动化的前提,而实现自动化可以大大提高劳动生产率,提高产品质量,改善劳动条件和减轻劳动强度。电气化对促进我国文化教育事业的发展也起着重大的作用。因而电气化对我国社会主义建设具有重大的意义。

解放后,在伟大领袖毛泽东主席和敬爱的周恩来总理亲切关怀下,我国的电气事业和其它事业一样,在十分薄弱的基础上迅速成长壮大起来。电气工业体系初步建成,产品的种类和数量日益增多,质量普遍提高。发电量逐年增长。30万千瓦双水内冷发电机的制成、装机容量122.5万千瓦的刘家峡大型水电站的竣工、330千伏超高压输电线的敷设、人造地球卫星的发射和返回地面、每秒运算一百万次的集成电路电子计算机的调试成功等等,标志着我国的电气事业,在毛主席革命路线的指引下,正以雄健的步伐向着世界的先进行列迈进。

今后,我们一定要在以华国锋同志为首的党中央领导下,为实现敬爱的周总理遵照毛主席的指示而在四届人大提出的宏伟目标,在本世纪内把我国建设成具有现代农业、现代工业、现代国防和现代科学技术的社会主义强国而努力奋斗。

三、学习电工学的目的和方法

电工学是研究电磁现象及其应用的科学。

电工学是一门技术基础课程,它的内容包括电工基础、电机与电力拖动以及工业电子学等。

电工学课程的目的是:使学生在已有的物理知识的基础上,掌握电工及电子技术的基本理论知识,初步受到计算和实验技能的训练,并使其能够正确地使用本专业中常见的各种电气设备,为今后从事工程实践打下一定的基础。

电工学是一门理论性和系统性较强,而且和生产实际有密切联系的课程,因此在学习中应该注意以下几点:

1. 要牢固地掌握基础理论知识,必须循序渐进地、系统地学习。对抽象的概念要弄清它的物理意义,在进行数学推导和计算时,要注意掌握推导的物理基础及分析所用的方法,而不要死记硬背公式。

2. 要把理论和实际紧密结合起来,联系实际来思考理论问题。在学习电工技术的应用部分时,要做到知其然也知其所以然,避免只注意实际而忽视理论的倾向。必须重视电工实验,通过实验巩固所学的理论,并学会一定的电工操作技能。

3. 通过习题课、习题作业、实验报告等,掌握必要的电工计算技能和熟悉分析电路的基本方法。

第一章 直流电路

内 容 提 要

电器的运行,都是靠电流的作用。为了产生电流,就需要构成电路。因此我们介绍电路中的电动势、电压、电流、电阻以及电功率等电学量的物理意义,并研究这些物理量之间的相互关系。

论述了欧姆定律和克希荷夫定律,并在此基础上介绍处理较复杂的直流电路的支路电流法、等效电源定理等方法。

介绍了直流电桥和电位差计原理及其使用方法。

直流电路是电路中最基本的电路,所以本章主要分析直流电路,为以后各章打下基础。

1-1 电路的组成

电路就是电流通过的路径。如果在电路中流动的是直流电,这种电路就叫直流电路。

为了便于分析电路的本质,我们先就图 1-1 所示的最简单的电路来讨论。

在图 1-1 中,一个小灯泡由导线和一个开关跟一个干电池连接起来。开关闭合时,灯泡就会发光。这是由于在以干电池、灯泡、连接导线和开关所构成的闭合回路中有电流流动的缘故。这个闭合回路就是电路。因此我们总结出来,电路必须由下面几个部分组成:

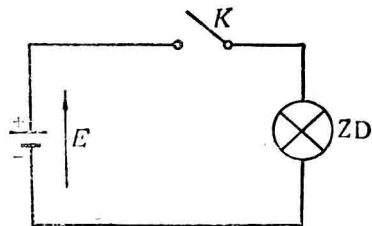


图 1-1 简单的直流电路

(1) 电源 是电路中电能的来源,是将非电能转变为电能

的设备。例如,发电机把机械能转变为电能;电池把化学能转变为电能等。

(2) 负载 就是各种用电设备。例如电动机把电能转变为机械能;电灯把电能转变为光能和热能。

(3) 连接导线 就是把电源和负载连接成一个电路的导线,是输送电能用的。最常用的导线是铜导线和铝导线。

(4) 开关 根据工作的需要,有时要用电,有时则不需要用电。为了便于控制用电,通常在电路中连接一个开关,用来操纵电路的接通与断开。需要时可接通电路使负载工作,否则可断开电路停止用电。如室内的电灯,通常每盏灯都装有一个开关,可根据需要随意的开灯或关灯。

对电源来讲,负载、连接导线和开关叫做外电路;电源内部叫做内电路。

1-2 电动势·电压和电位·电流

从上节图 1-1 的叙述中知道,当开关合上时,电路中就有电流流通,使灯泡发光。为什么开

关合上后电路中就有电流呢？为什么电流会源源不断地通过灯泡呢？这显然是由于电源的作用，图 1-1 中的电源是干电池。在电源内部存在着一种电源力，此电源力把单位正电荷从电源的负极，经过电源内部移到电源正极所做的功，叫做电源电动势。用符号 $\mathcal{E}$ 表示，它的单位是伏特或简称伏(V)，它的方向规定由负极指向正极。

电源两极的正负电荷形成电场，电荷在电场力的作用下移动，在电路中形成电流。这种迫使单位正电荷从电源的正极经过外电路到电源负极时电场力所做的功，叫做电源端电压，用字母 U 表示，单位是伏(V)，它的方向是由正极指向负极。

电荷在电场力的作用下移动而做功，有能量的消耗，这就表明单位正电荷在电路中不同的位置具有不同的能量，我们就说电路中不同的各点具有不同的电位。电位高，单位正电荷的能量大；电位低，单位正电荷的能量小。因此，电流在外电路是从高电位流向低电位。如图 1-1 所示，电流是从电池的正极出发，沿导线经过灯泡到电池的负极。这就说明电池的正极是高电位，负载是低电位。通常我们规定大地作为零电位。电路中的任意两点电位之差，叫做电位差或叫电压。电压的正方向规定由高电位指向低电位。

电压的单位是伏，但有时电压很低，常用毫伏(mV)作为单位

$$1 \text{ 毫伏(mV)} = \frac{1}{1000} \text{ 伏(V)} = 10^{-3} \text{ 伏(V)}$$

而有时电压很高，又用千伏(kV)作为单位

$$1 \text{ 千伏(kV)} = 1000 \text{ 伏(V)} = 10^3 \text{ 伏(V)}$$

下面我们再谈一下关于电流的问题。由物理学中知道：金属导线中的电流，是由带负电荷的电子定向移动而形成的。因此照理应该把电子流动的方向作为电流的方向。但是习惯上把正电荷移动的方向作为电流的方向，这对分析电工问题并无妨碍。所以以后都规定为正电荷移动的方向作为电流的方向，在外电路即由电源的正极到负极的方向作为电流的方向。

电流用字母 I 表示。电流的大小是根据单位时间内导体横截面上有多少电量通过来衡量的。电流的方向不随时间变化，而大小随时间变化的叫脉动直流。电流的大小和方向都不随时间变化的叫做恒定直流，简称直流。以后若不加声明，直流就指恒定直流而言。对于直流来说，若以 Q 表示在时间 t 内通过导体截面上的总电量，则电流的大小为

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

电量的单位用库仑，时间的单位用秒，则电流的单位为安培，简称安(A)。导体横截面上每秒有 1 库仑的电量通过，叫做 1 安的电流。

有时电流很小，用毫安(mA)或微安(μ A)作单位

$$1 \text{ 安} = 1,000 \text{ 毫安} = 10^3 \text{ 毫安}$$

$$1 \text{ 安} = 1,000,000 \text{ 微安} = 10^6 \text{ 微安}$$

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

1-3 电 阻

实验和理论证明,任何导体对电流都有一定的阻碍作用,所谓导体的电阻就是表示导体对电流起阻碍作用的物理量。从物理学中知道,金属导体的电阻是由于自由电子定向运动时与导体中的正离子发生碰撞而形成的。

电阻常用字母 R 表示,它的单位是欧姆,简称欧(Ω)。在应用中,较大的电阻用千欧($k\Omega$),或兆欧($M\Omega$)作为单位

$$1 \text{ 千欧}(k\Omega) = 1,000 \text{ 欧}(\Omega) = 10^3 \Omega$$

$$1 \text{ 兆欧}(M\Omega) = 1,000,000 \text{ 欧}(\Omega) = 10^6 \Omega$$

对于一根材料和粗细都均匀的长导体来说,在一定的温度下,它的电阻 R 跟长度 l 成正比,跟横截面积 S 成反比,并且还和材料性质有关,即

$$R = \rho \frac{l}{S} \tag{1-2}$$

式中的 ρ 是表示导体材料阻碍电流传导能力的一个物理量,叫做电阻率,它在数值上等于长 1 米,横截面积为 1 平方毫米的导体的电阻。

电阻率常用欧·毫米²/米作为单位。有时也采用欧·厘米为单位,1欧·厘米=10⁴欧·毫米²/米。不同的材料具有不同的电阻率;同一材料在不同温度下电阻率也不相同。表 1-1 中给出了一些常用金属材料在 20°C 时的电阻率和电阻温度系数。表中所列数据是近似值,这些数据随着材料纯度和成分的不同而有所区别。

表 1-1 一些常用金属材料的电阻率和电阻温度系数

材 料 名 称	电阻率(20°C) [欧姆·毫米 ² /米]	电阻温度系数(20°C) [1/°C]	材 料 名 称	电阻率(20°C) [欧姆·毫米 ² /米]	电阻温度系数(20°C) [1/°C]
银	0.0165	0.0038	镀锌铜	0.34	0.00031
铜	0.0175	0.0040	锰铜	0.42	0.000005
铝	0.0283	0.0042	康铜	0.49	0.000005
钨	0.0551	0.0045	镍铬合金	1.08	0.00013
低碳钢	0.12	0.0042	铁铬铝	1.35	0.00005
铸铁	0.5	0.001	碳	10	-0.0005
铂	0.105	0.00389			

电阻率很小的材料,电流容易通过,它能起传导电流的作用,叫做导体;电阻率很大的材料,电流很难通过,它对电流有绝缘的作用,叫做绝缘体。例如银、铜、铝、铁等金属材料都是导体;而橡皮、玻璃、云母、陶瓷、电木、塑料等都是绝缘体。导体和绝缘体都是组成电路不可缺少的材料。

我们知道,电流是沿着导体所构成的路径流动的,而绝缘体就是用来限制电流不致四处流散,即防止漏电的。我们常见的电线正是以铜或铝等良导体为芯,以橡皮或塑料等绝缘体为皮所构成的。但是在超过绝缘允许的高电压下,绝缘体可能被击穿而失去绝缘作用;在高温下,导体的导电性能变坏(电阻值大大增加);在低温下,却又出现超导电现象(电阻值为零)。半导体的导

电性能介于导体和绝缘体之间。关于半导体导电的一些特殊性能，将在本书工业电子学部分加以讨论。

当导体的温度发生变化时，它的电阻也将发生变化。一般金属导体的电阻是随温度增加而增加的。而碳的电阻却随着温度的增加而减小。也有一些导体的电阻，如锰铜、康铜等合金，它们的电阻随温度的变化极微。

一般金属导体的电阻在 0°C 到 100°C 的温度范围内，可认为电阻的相对增量与温度变化成正比，即

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

或

$$R_2 = R_1[1 + \alpha(t_2 - t_1)] \tag{1-3}$$

式中 α 为金属导体的电阻温度系数，单位是 $1/^{\circ}\text{C}$ 。它的大小反映了电阻随温度而变化的大小程度。不同的金属，它们的电阻温度系数不同。表 1-1 中给出了一些常用金属材料的电阻温度系数。

锰铜的电阻温度系数很小，因此常用它来制作标准电阻和电气测量仪表中的附加电阻。利用金属导体的电阻随温度变化的性质，可以制成电阻温度计。例如铂丝电阻温度计，它是由绕在云母片上的细铂丝做成的。在不同温度时铂丝的电阻可以预先测定。把这种温度计放在需要测量温度的地方，我们只要测量出这时铂丝的电阻大小就可确定铂丝所在处的温度。它的测温范围在 -120°C — $+500^{\circ}\text{C}$ 之间。

1-4 欧姆定律

在有电流的电路中，让我们观察一段不包括电源的电路，如图 1-2 所示。实验表明，在一般情况下，通过这段电路的电流 I ，与这段电路两端的电压 U 成正比；电压与电流的比值，叫做这段电路的电阻，用 R 表示。必须注意 R 是一个不随电压和电流而变的电路常数，它仅与这段电路的几何尺寸和组成材料有关。

上述关系可用公式表示为

$$\frac{U}{I} = R \quad \text{或} \quad I = \frac{U}{R} \tag{1-4}$$

公式(1-4)叫做一段电路的欧姆定律，可表述如下：通过一段无电源电路的电流与该段电路两端之间的电压成正比，与该段电路的电阻成反比。

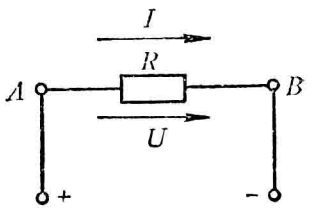


图 1-2 一段电路

应用一段电路的欧姆定律时，必须注意以下几点：

1. 电压、电流、电阻三个量必须属于同一段电路，并在同一时刻，才有上述关系。
2. 在这段电路中必须不含有电源，没有任何电动势，否则不能用式(1-4)进行计算。
3. 并不是所有电路都遵守欧姆定律。遵守欧姆定律的电路叫做线性电路；不遵守欧姆定律的电路则叫做非线性电路。

现在我们来研究一个完整电路(包括电源和外电路)中的电流、电动势和电阻之间的关系。在图 1-3 所示的最简单电路中,只含有一个电源,它的电动势为 E ,电源内部也具有电阻,叫做内电阻,用 r_0 表示,外电路的电阻为 R 。实验证明,在全电路(包括内、外电路)中,电流 I 与电源电动势 E 成正比,与外电路的电阻和内电阻之和 $R+r_0$ 成反比,即

$$I = \frac{E}{R+r_0} \quad (1-5)$$

这就是全电路欧姆定律。因为 $IR=U$,所以式(1-5)可写成

$$E = U + Ir_0$$

或

$$U = E - Ir_0 \quad (1-6)$$

上式中, U 是电源的端电压, Ir_0 叫做电源的内部电压降。式(1-6)表明,电路闭合时电源的端电压等于电源电动势减去内部电压降。

应用全电路欧姆定律时需要注意以下几点:

1. 单用全电路欧姆定律只能计算简单的电路。
2. 电源具有内电阻,除非在指明可以略去的情况下,不得在计算中自行略去。
3. 在通常情况下,可以认为电源电动势和内电阻是常数,所以当外电路的电阻 R 变化时,电流 I 、端电压 U 、内部电压降 Ir_0 均会发生变化。

由公式(1-6)可见,当外电路的电阻 R 增大(或减小)时,一般地说,电流 I 及内部电压降 Ir_0 都将减小(或增大),而端电压 U 则随之增大(或减小)。

当外电路的电阻 R 变为无限大,即电路断开时,电流和内部电压降均为零,而端电压 U 即等于电源电动势 E 。

当外电路的电阻 R 变为零,即电源两极被电阻等于零的导体所连接时,端电压 $U=0$,这种情况叫做短路。这时的电流 $I = \frac{E}{r_0}$ 叫做短路电流。电源的内阻 r_0 一般是很小的,所以短路电流会达到很大的数值,往往造成重大的人身和设备事故,是要极力防止的。

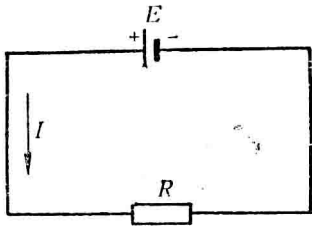


图 1-3 含有一个电源的电路

1-5 电流的功和功率

电流在闭合电路中流动时,电路中进行着能量的转换,下面我们讨论这种能量转换的规律。

假设在时间 t 内,有正电荷 Q 沿电动势 E 的方向通过电源,则电源内的电源力做功,根据电动势的定义,此功是

$$W_{\text{电源}} = EQ$$

$W_{\text{电源}}$ 是电源内由机械能或化学能或其它形式的非电能所转换成的电能,也就是电源在时间 t 内所产生的电能。电源内非电能转换为电能的速率,也就是电源在单位时间内所产生的电能,叫做电源产生的电功率,简称为电源电功率,用 $P_{\text{电源}}$ 表示,即

$$P_{\text{电源}} = \frac{W_{\text{电源}}}{t} = E \frac{Q}{t} = EI \quad (1-7)$$

由此可得出结论：电源电功率等于电源电动势与通过电源的电流的乘积。

在正电荷 Q 通过电源的同一时间内，由于电流的连续性，必有相等的正电荷由电源正极从外电路经过负载回到电源负极。在此过程中，电场力在外电路中移动电荷作功，电能转换为其它形式的能量。如电源端电压为 U ，则根据电压的定义，电场力所作的功或负载所消耗的电能是

$$W_{\text{负载}} = UQ$$

外电路中电能转换为非电能的速率，也就是负载在单位时间内所消耗的电能，叫做负载所消耗的电功率，简称为负载电功率，用 $P_{\text{负载}}$ 表示，即

$$P_{\text{负载}} = \frac{W_{\text{负载}}}{t} = U \frac{Q}{t} = UI \quad (1-8)$$

由此可得出结论：负载电功率等于电源端电压与通过电路的电流之乘积。

由于电源有内电阻 r_0 ，当电流 I 通过时产生内部电压降 $U_c = Ir_0$ ，所以电源本身还要消耗一部分电能，这一部分电能是不能利用的，叫做内部损失能量，用 $W_{\text{损失}}$ 表示。如果在时间 t 内通过电源的电量是 Q ，则

$$W_{\text{损失}} = U_0 Q$$

单位时间内电源内部消耗的电能，叫做内部损失电功率，用 $P_{\text{损失}}$ 表示，即

$$P_{\text{损失}} = \frac{W_{\text{损失}}}{t} = U_0 \frac{Q}{t} = U_0 I = I^2 r_0 \quad (1-9)$$

由能量守恒定律可知，电能在全电路中转换为其它形式能量的总和，必等于在同一时间内电源所产生的总电能，即

$$W_{\text{电源}} = W_{\text{负载}} + W_{\text{损失}} \quad (1-10)$$

式(1-10)叫做电路的能量平衡方程式，如果电路中有多个电源和负载，则可以推广为

$$\Sigma W_{\text{电源}} = \Sigma W_{\text{负载}} + \Sigma W_{\text{损失}}$$

以时间 t 除式(1-10)的两端，就得到电路中能量转换速率的关系式，即

$$P_{\text{电源}} = P_{\text{负载}} + P_{\text{损失}} \quad (1-11)$$

式(1-11)叫做电路的电功率平衡方程式，它表示电路中电源电功率等于负载电功率和内部损失电功率的和。电功率平衡方程式也可以写成下面的形式

$$EI = UI + I^2 r_0 \quad (1-12)$$

如果电路中有多个电源和负载，则电功率平衡方程式可以推广为

$$\Sigma P_{\text{电源}} = \Sigma P_{\text{负载}} + \Sigma P_{\text{损失}} \quad (1-13)$$

电源电功率、负载电功率和内部损失电功率都是电能和非电能互相转换的速率，因此它们统叫做电功率，并用字母 P 表示。

电功率的实用单位与机械功率的实用单位相同，也是瓦特，简称瓦，用字母(W)表示

$$1 \text{ 瓦} = \frac{1 \text{ 焦}}{1 \text{ 秒}}$$

因为 $1 \text{ 焦} = 1 \text{ 伏} \times 1 \text{ 库} = 1 \text{ 伏} \times 1 \text{ 安} \times 1 \text{ 秒}$
 所以 $1 \text{ 瓦} = 1 \text{ 伏} \times 1 \text{ 安}$

可见电路在 1 伏电压作用下通过 1 安电流时,这段电路的电功率即是 1 瓦。

电功率的较大单位是千瓦,用字母(kW)表示。

$$1 \text{ 千瓦} = 10^3 \text{ 瓦}$$

电流在某一段时间内所作的功,叫做电能。电能等于电功率与时间的乘积,即

$$W = Pt \quad (1-14)$$

电能的单位是瓦·秒 = 1 瓦 × 1 秒 = 1 焦,较大的单位是瓦·时和千瓦·时,1 千瓦·时也叫 1 度电。

$$1 \text{ 瓦} \cdot \text{时} = 3.6 \times 10^3 \text{ 瓦} \cdot \text{秒}$$

$$1 \text{ 千瓦} \cdot \text{时} = 3.6 \times 10^6 \text{ 瓦} \cdot \text{秒}$$

例 1-1 在图 1-4 中,直流发电机产生的电动势为 130V,并以 24A 的电流供给负载。设发电机的内电阻是 0.5Ω ,试求发电机产生的电功率、负载消耗的电功率和发电机内部损失的电功率。

解 发电机产生的电功率是

$$P_{\text{电源}} = EI = 130 \times 24 = 3,120 \text{ W}$$

负载消耗的电功率是

$$P_{\text{负载}} = UI = (E - Ir_0)I = (130 - 24 \times 0.5)24 = 2,832 \text{ W}$$

内部损失的电功率是

$$P_{\text{损失}} = U_0 I = I^2 r_0 = 24^2 \times 0.5 = 288 \text{ W}$$

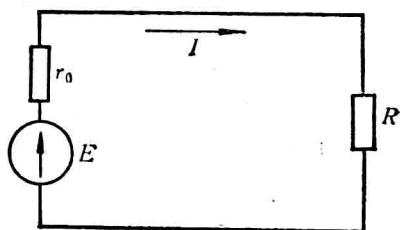


图 1-4

1-6 电能转换为热能·焦耳-楞次定律

当电流流过导体时,由于导体具有一定的电阻,因此,电能就随着电流的流动不断地转变为热能,使导体温度升高,这种现象就叫做电流的热效应。

假设有一段只含有电阻的电路,其电阻为 R ,电阻两端的电压为 U ,通过电阻的电流为 I ,则这段电路所消耗的电功率是

$$P = UI(\text{W})$$

根据欧姆定律

$$I = \frac{U}{R} \quad \text{及} \quad U = IR$$

$$\text{所以} \quad P = \frac{U^2}{R} = I^2 R(\text{W}) \quad (1-15)$$

由于这段电路只含有电阻,所以它所消耗的电能全部转换为热能,因此 P 代表在电阻上电能转换为热能的速率,它的实用单位是瓦。

如电流通过这段电路的时间是 t 秒,则电能电阻上所转换成的热量是

$$Q = UIt = I^2 R t \text{ 焦(J)} \quad (1-16)$$

式(1-16)说明,电流流过导体时所产生的热量与电流的平方、导体电阻以及电流流过的时间成正比。这一关系是英国科学家焦耳在1841年和俄国科学院院士楞次在1842年分别用实验方法独立发现的,故叫做焦耳-楞次定律。

电能转换为热能的应用,对生产和生活都有巨大的意义,如白炽电灯、电炉以及其它电热器等的使用;但是这种现象也有它的有害的一面。

由于连接着电源和负载的导线以及发电机、电动机、变压器等非电热性的电气设备的导电部分都有一定的电阻,因此在它们工作时(即有电流通过时),会有一部分电能转换成热能。这种现象不是我们所期望的;因为这部分热能通常是不能加以利用的,这就降低了电气设备的效率,同时还使设备的温度升高。这部分损失一般叫做铜损。

电气设备工作时最高容许温度各有一定数值,例如常用的橡胶绝缘导线的最高容许温度为 65°C ;电缆的最高容许温度为 $50\sim 80^{\circ}\text{C}$;电动机的最高容许温度视所用的绝缘材料而定,如A级绝缘,则为 105°C 。如果电气设备工作时温度上升过高,超过了上述温度,绝缘材料便会很快地变脆损坏,导线和电机的使用寿命便要缩短;温度再升高时,绝缘材料就开始碳化甚至燃烧起来,使电气设备完全损坏,造成严重事故。裸导线的最高容许温度,由导线的机械强度因温升而降低的程度来决定。

电气设备在开始工作时,它的温度一般与周围介质(通常为空气)的温度相等。工作开始后,由于电阻所产生的无用热量,使电气设备的温度逐渐升高,同时将部分热量散发到周围的介质中去。随着温度的升高,电气设备与周围介质的温度差也增长起来了,因而散发出来的热量也就随着增加,直到单位时间内电气设备所产生的热量与散发出的热量相等时为止。再往后,温度便不再升高,此时的温度叫做稳定温度。电气设备在长时间内连续工作时,稳定温度正好等于最高容许温度时的电流叫做电气设备的额定电流。也就是电气设备在长时间连续工作的最大容许电流。因此电气设备长时间连续工作的电流,不应该超过它的额定电流,否则电气设备将因过度发热而缩短寿命或被烧毁。各种电气设备在正常工作时,达到稳定温度所需要的时间有长有短,导线约十几分钟,电动机为几个小时。工作时电流短时间超过额定电流还是容许的,具体规定可参阅有关电气设备的运行规程。

加在电气设备上的电压,是对电气设备的电流有影响的因素,因此电气设备在工作时对于电压也有一定的限额,这个电压的限额叫做电气设备的额定电压。

电气设备的额定值都在铭牌上标出,使用时必须严格遵守。

电气设备在设计制造时,一般都规定了它的额定电压及额定电流。但某些只具有电阻的电气设备,它的电流与电压有正比的关系,因此只给出其中的一种就够了。例如白炽电灯只规定额定电压,而变阻器只规定额定电流。

在直流电路中,额定电压与额定电流的乘积即是用电设备(即负载)的额定电功率。如果实际加于用电设备的电压等于额定电压,通过的电流等于额定电流,则用电设备实际消耗的电功率就等于额定电功率;但是,用电设备所消耗的电功率,是由实际条件所决定的,一般不等于额定电功率。