

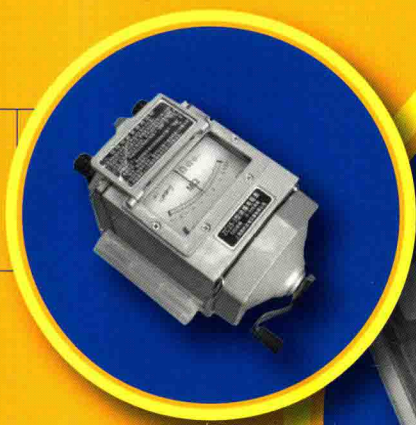
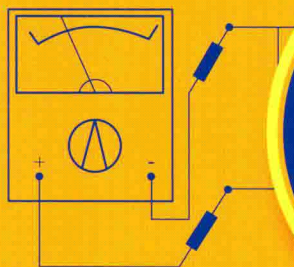
DIANGONG SHANGGANG PEIXUN DUBEN

电工上岗培训读本

电工基础

DIANGONG JICHU

邱勇进 主编



化学工业出版社

电工上岗培训读本

电工基础

DIANGONG JICHU

邱勇进 主编

李淳惠 刘佳花 副主编



化学工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

电工基础/邱勇进主编. —北京: 化学工业出版社, 2016. 7

电工上岗培训读本

ISBN 978-7-122-27253-9

I. ①电… II. ①邱… III. ①电工-岗前培训-教材 IV. ①TM1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 124110 号

责任编辑: 高墨荣

文字编辑: 孙凤英

责任校对: 宋 夏

装帧设计: 刘丽华

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: 三河市航远印刷有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张 14 $\frac{1}{4}$ 字数 349 千字 2016 年 9 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: 48.00 元

版权所有 违者必究

编写人员名单

邱勇进 高华宪 邱淑芹 李淳惠 刘佳花 邱美娜 姚 彬
陈莲莲 孔 杰 邱伟杰 韩文翀 郝 明 宋兆霞 于 贝
冷泰启 孙晓峰 高宿兰 侯丽萍 丁佃栋 王根生 刘 丛

随着我国电力事业的飞速发展，电工技术在工业、农业、国防、交通运输等各个领域得到了日益广泛的应用。为了满足大量在职职工转岗就业和城镇有志青年就业的需求，我们策划并组织具有实践经验的专家、教师和工程技术人员编写了“电工上岗培训读本”系列，本系列包括《电工基础》、《电工技能》、《电工识图》、《电工线路安装与调试》、《电子元器件及实用电路》、《维修电工》共6种。本系列试图从读者的兴趣和认知规律出发，一步一步地、手把手地引领初学者学习电工职业所必须掌握的基础知识和基本技能，学会操作使用基本的电气工具、仪表和设备。本系列图书编写时力图体现以下特点：

(1) 在内容编排上，立足于初学者的实际需要，旨在帮助读者快速提高职业技能，结合职业技能鉴定和职业院校双证书的需求，精简整合理论课程，注重实训教学，强化上岗前培训。

(2) 教材内容统筹规划，合理安排知识点、技能点，避免重复。内容突出基础知识与基本操作技能，强调实用性，注重实践，轻松直观入门。力求使读者阅读后，能很快应用到实际工作当中，从而达到花最少的时间，学最实用的技术的目的。

(3) 突出职业技能培训特色，注重内容的实用性，强调动手实践能力的培养。让读者在掌握电工技能的同时，在技能训练过程中加深对专业知识、技能的理解和应用，培养读者的综合职业能力。

(4) 突出了实用性和可操作性，编写中突出了工艺要领与操作技能，注意新技术、新知识、新工艺和新标准的传授。并配有知识拓展训练，具有很强的实用性和针对性，加深了对知识的学习和巩固。

本书为《电工基础》分册。全书共分11章，内容包括电工技术基础、电子技术基础、电工常用工具与仪表、电工识图知识、电工常用低压电器、变压器应用、电动机应用、电动机控制线路、可编程控制器 PLC、变频设备及软启动设备应用、电工安全用电知识等。

本书由邱勇进任主编，李淳惠、刘佳花任副主编。参加本书编写的还有：王根生、宋兆霞、邱伟杰、于贝、刘丛、郝明。编者对关心本书出版、热心提出建议和提供资料的单位和个人表示衷心的感谢。

本书可作为零起点读者就业培训用书，也可供电工及电气技术人员使用，还可作为高等职业院校及专科学校相关专业师生的教学参考书。

编者

第1章 电工技术基础知识

1

1.1 电路的基础知识	1
1.2 欧姆定律	6
1.3 电功、电功率和焦耳定律	7
1.4 电阻的连接方式	9
1.5 电与磁	10
1.6 交流电	13

第2章 电子技术基础知识

16

2.1 电阻器	16
2.2 电容器	20
2.3 电感器	24
2.4 变压器	26
2.5 二极管	27
2.6 三极管	31
2.7 晶闸管	34
2.8 电声器件、石英晶体	35
2.9 集成电路	37
2.10 整流电路	40
2.11 滤波电路	42
2.12 稳压及稳压电源	43

第3章 电工常用工具与仪表

46

3.1 电工常用工具	46
3.1.1 验电笔	46
3.1.2 螺丝刀	47
3.1.3 钢丝钳	48
3.1.4 尖嘴钳	49
3.1.5 斜口钳	50
3.1.6 剥线钳	51
3.1.7 活络扳手	51
3.1.8 电工刀	52

3.1.9	冲击电钻	52
3.1.10	电烙铁	53
3.2	指针万用表	54
3.2.1	指针万用表的结构	55
3.2.2	指针万用表的使用	56
3.3	数字万用表	60
3.3.1	数字万用表的结构	60
3.3.2	数字万用表的使用	62
3.4	兆欧表	64
3.4.1	兆欧表的结构	64
3.4.2	兆欧表的使用	65
3.5	钳形表	66
3.5.1	钳形表的结构	66
3.5.2	钳形表的使用	67
3.6	电子示波器	69
3.6.1	UC8040 双踪示波器操作面板	69
3.6.2	UC8040 双踪示波器的测量	71

第4章 电工识图基本知识

76

4.1	电气图的基本构成	76
4.1.1	电路图	76
4.1.2	技术说明	77
4.1.3	标题栏	78
4.1.4	图面的构成	78
4.1.5	图上位置的表示方法	80
4.2	电气符号	81
4.2.1	图形符号	81
4.2.2	文字符号	84
4.2.3	接线端子标记	84
4.3	电气图的绘制	85
4.3.1	电气原理图	85
4.3.2	电气元件布置图	87
4.3.3	电气安装接线图	88
4.4	电气图的识读	89
4.4.1	读图要点	89
4.4.2	读图练习	89

第5章 低压电器

93

5.1	闸刀开关	93
5.2	熔断器	95

5.3	低压断路器	97
5.4	接触器	100
5.5	电磁式继电器	103
5.6	时间继电器	106
5.7	热继电器	109
5.8	速度继电器	112
5.9	按钮开关	114
5.10	行程开关	116

第6章 变压器

119

6.1	变压器的基础知识	119
6.1.1	结构与工作原理	119
6.1.2	基本功能	120
6.1.3	极性	121
6.2	三相变压器	122
6.2.1	电能的传送	122
6.2.2	三相变压器	123
6.2.3	三相变压器的工作接线方法	124
6.3	电力变压器	125
6.3.1	外形与结构	125
6.3.2	型号说明	126
6.3.3	与高、低压电网的连接方式	127
6.4	自耦变压器	128
6.4.1	工作原理	128
6.4.2	实物外形	129

第7章 电动机

130

7.1	三相异步电动机	130
7.1.1	工作原理	130
7.1.2	外形与结构	132
7.1.3	绕组的接线方式	134
7.1.4	铭牌的识别	135
7.2	单相异步电动机	136
7.2.1	分相式单相异步电动机	136
7.2.2	罩极式单相异步电动机	140
7.2.3	单相异步电动机的控制线路	141
7.3	直流电动机	144
7.3.1	工作原理	144
7.3.2	外形与结构	145
7.3.3	种类与特点	145

7.4 同步电动机	148
7.4.1 外形	148
7.4.2 结构与工作原理	148
7.4.3 同步电动机的启动	149
7.5 步进电动机	150
7.5.1 外形	150
7.5.2 结构与工作原理	151
7.5.3 驱动电路	153
7.6 伺服电动机	154
7.6.1 交流伺服电动机	154
7.6.2 直流伺服电动机	155
7.7 无刷直流电动机	155
7.7.1 外形	156
7.7.2 结构与工作原理	156
7.7.3 驱动电路	157
7.8 开关磁阻电动机	159
7.8.1 外形	160
7.8.2 结构与工作原理	160
7.8.3 开关磁阻电动机与步进电动机的区别	161
7.8.4 驱动电路	162
7.9 直线电动机	162
7.9.1 外形	162
7.9.2 结构与工作原理	162

第8章 电动机控制线路

165

8.1 电动机启停控制	165
8.1.1 电动机点动控制线路	165
8.1.2 电动机单向连续运转控制线路	166
8.1.3 电动机单向点动与连续运转混合控制线路	167
8.1.4 电动机顺序控制线路	167
8.1.5 电动机多地控制线路	169
8.2 电动机正反转控制	170
8.2.1 接触器联锁正反转控制线路	170
8.2.2 按钮互锁正反转控制线路	171
8.2.3 双重互锁正反转控制	172
8.3 电动机行程控制	173
8.3.1 工作台自动往返控制线路	173
8.3.2 带限位保护的自动往返控制线路	174
8.4 电动机降压启动控制	175
8.4.1 定子绕组串电阻或电抗器降压启动	176

8.4.2 电动机 Y- Δ 降压启动	177
8.5 电动机制动控制	180
8.5.1 机械制动	180
8.5.2 电气制动	180

第9章 可编程控制器 PLC

183

9.1 PLC 的基础知识	183
9.1.1 可编程控制器的特点	183
9.1.2 可编程控制器的分类	184
9.2 PLC 的组成结构	185
9.2.1 PLC 的硬件结构	185
9.2.2 PLC 的软件结构	189
9.3 PLC 的安装	190
9.3.1 PLC 的安装环境要求	190
9.3.2 PLC 的安装	190
9.4 PLC 的使用与维护	193
9.4.1 PLC 的使用	193
9.4.2 PLC 的日常维护	194

第10章 变频器与软启动器

196

10.1 变频器的安装和使用	196
10.2 变频器的电气控制线路	197
10.3 变频器的常见故障及检修方法	201
10.4 软启动器的电气控制线路	203

第11章 电工安全用电知识

206

11.1 电流对人体的危害	206
11.2 电工应采取的安全措施	208
11.3 电工触电急救方法	212
11.4 电工安全用电常识	214

参考文献

217

电工技术基础知识

1.1 电路的基础知识

(1) 电流

当今，在各个行业中，人们都离不开电。当人们接通照明开关时，电灯灯泡就会发光，此时电灯灯丝与导线中就产生了电流。那么，电流是如何形成和工作的呢？

自然界的物质大都是由很小的原子组成的。原子又是由带正电的原子核和带负电的核外电子组成的。图 1-1 是氢原子结构的示意图。带正电或带负电的微粒也叫电荷。在金属导体中，核外电子可以脱离原子核的束缚，在原子之间做杂乱无章的运动，这种电子叫做自由电子。在这种情况下，导体中没有电流。如在外力的作用下，金属导体中的自由电子会向着一定的方向移动，从而形成电流。正电荷定向移动的方向为电流的正方向。在金属导体中，电流实际是带负电的自由电子定向移动形成的，因此金属导体中电流的方向和自由电子的实际移动方向相反，如图 1-2 所示。

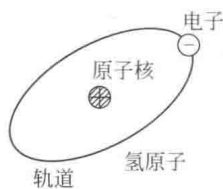


图 1-1 氢原子结构示意图

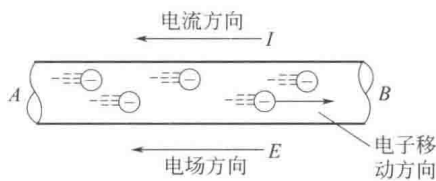


图 1-2 金属导体中电流的形成

水在水管中沿着一定方向流动，水管中就有了水流，而电荷在电路中沿着一定方向移动，电路中就有了电流，电荷的定向移动形成电流。要产生电流，必须具备两个条件：一是要有电位差；二是电路一定要闭合形成回路。电流的流动很像水在水泵的作用下在水管里流动一样，水在水管里流动，流量有多有少，故在导体流过的电流也有多有少，这就引入了电流强度的概念。

电流强度是衡量电流大小的物理量。一个截面上电流强度的大小等于单位时间内通过这个截面的总电量。故电流不但有方向，而且有强弱，并用电流强度表示电流的强弱。电流强度也简称电流，电流用符号 I 表示。电流强度的单位是安培，用字母 A 表示。在应用中，还有比安培更小的电流单位：毫安 (mA) 和微安 (μA)。

$$1 \text{ 安 (A)} = 1000 \text{ 毫安 (mA)}$$

1 毫安 (mA) = 1000 微安 (μA)

在实际应用中,有两种不同的电流,一种为直流电流,电流强度的大小和方向都不随时间变化的电流叫恒定电流,也叫做直流电流,又称直流电。例如,电动自行车用的电流为直流电,电子表中用干电池也为直流电。而另一种电流强度的大小和方向随时间变化的电流叫交流电流,也称交流电。例如,家用电冰箱用的 220V 电源,工厂电动机用的三相 380V 电源,所用电流均为交流电。

另外,对直流电流如果电流强度用 I 表示,那么在时间 t 内通过截面的总电量则为 q ,所以它们的关系式为:

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

若 1s 内有 1C 的电荷量通过导体横截面,那么导体中通过的电流就是 1A。

(2) 电压

在照明电路中,接通开关时电灯灯丝中就有了电流,关闭后灯丝中也就没有了电流,那么,导体中形成持续电流的条件是什么呢?条件是维持一定的电压。大家知道,河水总是从高处向低处流。因此要形成水流,就必须使水流两端具有一定的水位差,水位差也叫水压,如图 1-3 所示。与此相似,在电路里,使金属导体中的自由电子做定向移动形成电流的原因是导体的两端具有电压。电压是形成电流的必要条件之一。

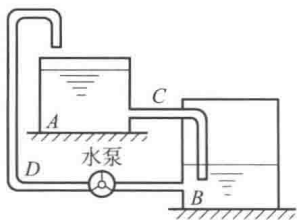


图 1-3 水压

自然界物体带电后就会带上一定的电压,一般情况下,物体所带正电荷越多,则电位越高;如果把两个电位不同的带电体用导线连接起来,电位高的带电体中的正电荷便向电位低的那个带电体流去,于是,导体中便产生了电流。就好比水,如果两点之间有高低之分,那么这两点之间如果有管道相通,则较高处的水就会向较低处流去。在电路中,任意两点之间的电位差,称为该两点间的电压。

在应用中,电压也分直流电压和交流电压,电池上的电压为直流电压,它是通过化学反应维持高低压电能量的,而交流电压是随时间周期变化的电压,一般为发电厂发出的电压,这种电压应用极为广泛。

由此可见,说到常用的民用电压、工业用电压,一定是指两点之间的电压,或者认定以一点作为参考点。所谓某点的电压,就是指该点与参考点之间的电位差。一般来讲,在电力工程中,规定以大地作为参考点,认为大地的电位等于零。如果没有特别说明的话,所谓某点的电压,就是指该点与大地之间的电压。

电压用字母 U 来表示,其单位是伏特,用符号 V 来表示,大单位可用千伏 (kV) 表示,小单位可用毫伏 (mV) 表示。有

1 千伏 (kV) = 1000 伏 (V)

1 伏 (V) = 1000 毫伏 (mV)

我国规定,标准电压有许多级,经常接触的有:安全电压为 36V,民用市电单相电压为 220V,低压三相电压为 380V,城乡高压配电电压为 10kV 和 35kV,输电电压为 110kV 和 220kV,还有长距离超高压输电电压 330kV 和 500kV。

(3) 电阻

自由电子在导体中移动时,对导体中的其他电子与原子核会发生碰撞,使移动受到一定

阻碍。有的导体对电流阻力小,就说这种导体导电能力强。有的导体对电流阻力大,就称它导电能力差,这种对于导电所表现的能力叫做导体电阻,也称电阻,用符号 R 表示。电阻的单位是欧姆,它的符号是 Ω 。比欧姆大的单位有千欧 ($k\Omega$) 和兆欧 ($M\Omega$)。它们之间的关系是:

$$1k\Omega=1000\Omega$$

$$1M\Omega=1000k\Omega$$

在实际应用中,一般物体电阻的大小与制成物体的材料、几何尺寸和温度有关。一般导线的电阻可由以下公式求得:

$$R=\rho \frac{L}{S}$$

式中, L 为导线长度, m ; S 为导线的横截面积, mm^2 ; ρ 为电阻系数,也叫电阻率, $(\Omega \cdot mm^2)/m$ 。

电阻系数 ρ 是电工计算中的一个重要物理常数。不同材料物体的电阻率各不相同,它的数值相当于用这种材料制成长 $1m$, 横截面积为 $1mm^2$ 的导线,在温度 $20^\circ C$ 时的电阻值。电阻系数直接反映着各种材料导电性能的好坏。材料的电阻系数越大,表示它的导电能力越差;电阻系数越小,则导电性能越好。常用导体材料的电阻系数如表 1-1 所示。

表 1-1 常用导体材料的电阻系数 ($20^\circ C$)

材料	电阻系数/ $[(\Omega \cdot mm^2)/m]$	材料	电阻系数/ $[(\Omega \cdot mm^2)/m]$
银	0.0165	铸铁	0.5
铜	0.0175	黄铜(铜锌合金)	0.065
钨	0.0551	铝	0.0283
铁	0.0978	康铜	0.44
铅	0.222		

各种不同的金属材料,它们的温度系数是各不相同的。例如,金属中锰铜和康铜的电阻温度系数很小,用它们制成的电阻差不多不随温度变化,所以人们常常用来制作标准电阻及变阻用电气元件。铂的电阻系数及温度系数都较大,所以人们常常用它来制造电阻温度计。在温度接近热力学零度时,金属导体的电阻变得很小。有些金属和合金,在温度低于某一数值时,其电阻会突然低到无法测量的数值,这种现象叫做超导电性。由于超导电性的实用价值很大,现在正致力于扩大它的应用范围。

(4) 电容与电容器

电容器原理是两块平行金属板相对放在一起的情形。这样的装置称为平行板电容器,它是电容器的一种,任何两个彼此绝缘又相互靠近的导体都可以构成电容器。这两个导体称为电容器的两个极板。电容器在电子技术和电工技术中都有很重要的应用。

为什么把这样的装置叫电容器呢?因为它可以储存电荷,把电容器的两个极板分别与电池的两极相连,两个极板就会带上等量异种电荷,这一过程叫充电 [图 1-4(a)],从电流计上可以观察到充电电流。电容器的一个极板所带电荷的绝对值,叫做电容器的带电量。充电后电容器的两极板间存在电场。用导线把电容器的两板接通,两板上的电荷中和,电容器不再带电,这一过程叫放电 [图 1-4(b)],从电流计上可以观察到放电电流。

充电的电容器中储存着电能,这些电能存在于电容器两极板间的电场中,因而又称电场

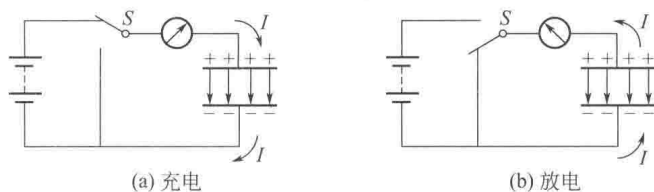


图 1-4 电容器充放电过程

能。充电的时候，电源的能量转化为电场能；放电的时候，电场能转化为其他形式的能。

电容器带电时，它的两个极板间具有电势差 U ，对于任何电容器，这个电势差都随极板所带电荷量 Q 的增加而增加，它们的比值是一个常量。但是，对于不同的电容器，这个比值一般并不相同，可见这个比值表征了电容器的特性。

电容器所带的电荷量 Q 跟它的两个极板间的电势差 U 的比值，叫做电容器的电容，用 C 表示，即

$$C = Q/U$$

在国际单位制中，电容的单位是法拉，简称法，符号为 F 。一个电容器，如果电荷量为 $1C$ ，两极板电势差恰为 $1V$ ，这个电容器的电容就是 $1F$ ，法拉这个单位太大，实际中常用较小的单位：微法 (μF) 和皮法 (pF)。

$$1\mu F = 10^{-6} F$$

$$1pF = 10^{-12} F$$

一般来说，构成电容器的两个导体的正对面积越大，距离越近，这个电容器的电容就越大，两个导体间电介质的性质也会影响电容器的电容。

从构造上看，常用电容器可以分为固定电容器和可变电容器两大类。

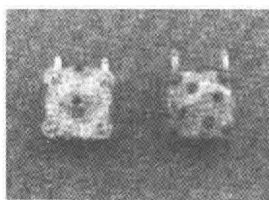
图 1-5(a) 是用在收音机中的可变电容器，它有互相绝缘的两组金属片，固定的一组金属片叫定片，可以转动的一组金属片叫动片。转动动片，两组金属片的正对面积发生变化，电容也随着改变。

固定电容器的两组极板正对面积、距离以及极板间的电介质都不能改变，因此它的电容也不能改变。按照介质的种类划分，常用的固定电容器有聚苯乙烯电容器、陶瓷电容器和电解质电容器等。

两层铝箔，分别衬上聚苯乙烯薄膜，一起卷成圆柱体，就制成了聚苯乙烯电容器 [图 1-5(b)]。改变铝箔的面积或薄膜的厚度，可以制成电容大小不同的聚苯乙烯电容器。

在陶瓷片的两面或陶瓷管的内外壁各镀一层金属薄膜，就制成了陶瓷电容器 [图 1-5(c)]。两层金属薄膜就是电容器的两个极板，陶瓷就是电容器两板间的电介质。

电解质电容器的外形如图 1-5(d) 所示。这种电容器用铝箔作一个极板，用铝箔上很薄



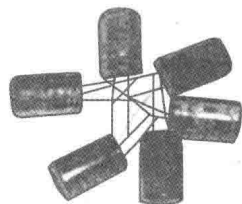
(a) 可变电容器



(b) 聚苯乙烯电容器



(c) 陶瓷电容器



(d) 电解质电容器

图 1-5 常用电容器

的一层氧化膜作电介质，用浸渍过电解液的导电纸作另一个极板，由于氧化膜很薄，电解质电容器的电容较大。

(5) 阻抗

电流在电路中流动，受到一定的阻碍，这种阻碍在直流电路中就是电阻。在交流电路中，电流的流动不但有电阻，同时由于电流流动的大小和方向是随时间而不断变化的，这种变化就会在导线或线圈里产生一种“自感电动势”，当交流电随时间不断变大变小时，自感电动势却总要阻止它的变化，于是就产生一种阻力，这个阻力就是感抗，用符号“ X_L ”表示。

电阻和感抗综合起来就叫做阻抗，常用符号“ Z ”来表示。在交流电路中，电流流动时不仅要克服电阻，还要克服由自感电动势造成的感抗，也就是阻抗造成的障碍。

(6) 导体

能良好地传导电流的物体叫做导体，用导体制成的电气材料叫做导电材料。金属是常用的导电材料。金属之所以能够良好地传导电流，是由金属的原子结构决定的。金属原子的最外层的电子与原子核结合得比较松散，因此，这部分电子很容易脱离自己的原子核，跳跃到别处和新的原子核结合，失去电子的原子又有新的电子来结合，这样一连串的过程就是导电的过程。除了金属以外，其他如大地，人体，天然水和酸、碱、盐类以及它们的溶液，都是导体。电阻系数是衡量导体导电性能的依据，物体的电阻系数 ρ 越小，表明该物体的导电性能越好；反之，电阻系数越大，则表明此物体导电性能越差。银的电阻系数最小，导电性能最好，但由于价格昂贵，除极少地方必须采用（如开关触点等处）外，在工程上极少采用。工程上用得最广泛的是铜和铝。

还有一些材料，虽然能导电，但电阻系数较一般为大，人们常常把它作为电阻材料或电热材料应用于某些电器中，如用于电炉或电烤箱中的电热丝等。

(7) 绝缘体

不能传导电流的物体，或者传导电流的能力极差而电流几乎不能通过的物体，叫做绝缘体。这种材料的原子结构与导体不同，它的电子和原子核结合得很紧密，而且极难分离，只含有极少量的自由电子。将此类物质接上电源时，流过的电流极小（几乎接近零），所以认为此类物质为绝缘体，是不导电的。它的作用在于把电位不同的带电部分隔离开来。

一般来讲，对绝缘体材料的要求是：具有极高的绝缘电阻和耐电强度，具有较好的耐热和防潮性能，同时应有较高的机械强度，加工工艺方便等。

空气作为一种自然界的天然绝缘材料而被人们广泛地加以利用，纸、矿物油、橡胶和陶瓷等，都是应用非常广泛的绝缘材料。近年来，由于有机合成工业的兴起，各种各样的绝缘材料不断问世，为新型电气设备的制造提供了良好的条件。

绝缘材料在电和热的长期作用下，特别是在有化学腐蚀的情况下，会逐步老化，降低它原有的电气性能和力学性能，有时甚至可能完全丧失绝缘性。所以，经常检查绝缘材料的绝缘性能是电气设备维修中的主要工作之一。绝缘电阻是绝缘材料的主要技术指标。常常用兆欧表来测量设备的绝缘电阻，一般低压电气设备的绝缘电阻应大于 $0.5M\Omega$ ，对于移动电器和在潮湿地方使用的电器，其绝缘电阻还应再大一点。

(8) 电路与电路图

电路就是电流所经过的路径，任何电路至少应包括电源、负载、连接导线和开关等基本部分。用来说明电气设备间连接方式的图称为电路图。

电路中的电源起维持电流的作用，它是把其他形式的能量转变为电能。例如，发电机把机械能转变为电能，电池把化学能转变成电能。而电路中的负载就是各种用电设备，它接受电源供应的电能，并把电能转变为其他形式的能量。例如，电灯把电转换成光和热能，电动机将电能转变为机械能来带动其他机器。连接导线是连接电源和负载以构成电流通路的导体。开关起通断电路的作用，有了开关，便可方便地去控制用电设备。线路和实物图见图 1-6。

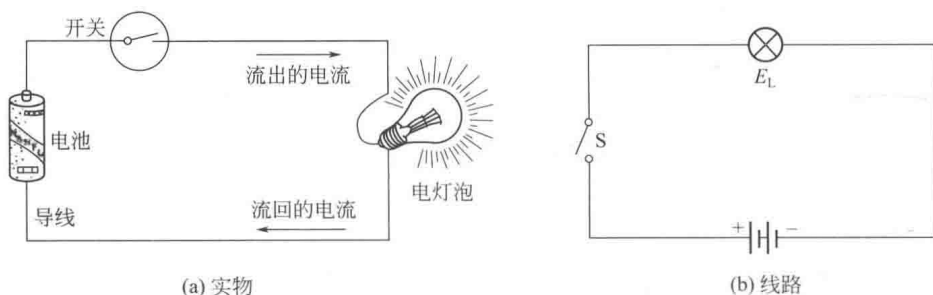


图 1-6 线路和实物

1.2 欧姆定律

欧姆定律是电工电子技术中的一个最基本的定律，它反映了电路中电阻、电流和电压之间的关系。欧姆定律分为部分电路欧姆定律和全电路欧姆定律。

(1) 部分电路欧姆定律

在一段电路两端加上电压，就能产生电流，电流流过电路，又不可避免地会遇到电阻。那么，电压、电流和电阻这三个基本物理量之间到底存在着什么关系呢？德国物理学家欧姆经过大量的实验，于 1827 年确定了电路中电流、电压和电阻三者之间的关系，总结出了一条最基本的电路定律——欧姆定律。欧姆定律指出：在一段电路中，流过该段电路的电流与电路两端的电压成正比，与该段电路的电阻成反比。表示如下：

$$I = U/R$$

式中， R 为电阻， Ω ； I 为电流， A ； U 为电压， V 。

上式可以写成以下形式

$$U = IR$$

这个式子的物理意义是：电流 I 流过电阻 R 时，会在电阻 R 上产生电压降。电流 I 越大，电阻 R 越大，电阻上降落的电压越多。欧姆定律也可用下式表示：

$$R = U/I$$

这个式子的物理意义是：在任何一段电路两端加上一定的电压 U ，可以测量出流过这段电路的电流 I ，这时，可以把这段电路等效为一个电阻 R 。这个概念很重要，在电路分析与计算中经常用到。

(2) 全电路欧姆定律

全电路欧姆定律又称为闭合电路欧姆定律，闭合电路由两部分组成：一部分是电源外部的电路，叫外电路，包括用电器和导线；另一部分是电源内部的电路，叫内电路。外电路的电阻叫外电阻；内电路也有电阻，通常叫做电源内电阻，简称内阻。在闭合电路中，电源电

电动势等于外电路电压和内电路电压之和, 即

$$E = U_{\text{外}} + U_{\text{内}}$$

在图 1-7 所示的电路中, 虚线框内表示内阻为 r , 电动势为 E 的电源。由欧姆定律可知

$$U_{\text{外}} = IR, U_{\text{内}} = Ir$$

代入 $E = U_{\text{外}} + U_{\text{内}}$ 得

$$E = IR + Ir$$

即

$$I = \frac{E}{R + r}$$

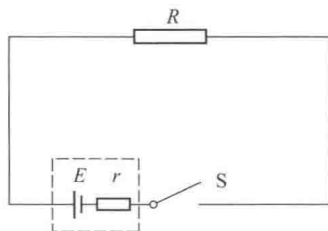


图 1-7 闭合电路

上式表明, 闭合电路中的电流跟电源的电动势成正比, 跟内外电阻之和成反比。这个结论叫闭合电路欧姆定律。

外电路的电势, 也就是外电路两端的电压, 通常叫做路端电压。电源加在用电器 (负载) 上的“有效”电压是路端电压。所以研究路端电压和负载的关系具有实际意义。

由闭合电路的欧姆定律 $E = IR + Ir$ 和路端电压 $U = IR$ 知

$$U = E - Ir$$

由此可知路端电压与负载的关系:

① 当负载电阻 R 增大时, 电流 I 减小, 路端电压增大; 反之, 当 R 减小时, I 增大, 路端电压减小。

② 当外电路断开时, R 趋于无穷大, 电流 $I \rightarrow 0$, $U \rightarrow E$, 即电路断开时的路端电压等于电源的电动势, 称为开路电压 (断路电压)。人们常根据这个道理测量电源的电动势: 将电压表直接在电源两极读数即可。

③ 当电源两端短路时, 负载电阻 $R \rightarrow 0$, 路端电压 $U \rightarrow IR \rightarrow 0$, $I = \frac{E}{r}$ 常叫短路电流。由于电源内阻一般都很小, 所以短路电流会很大, 这不仅会烧坏电源, 甚至可能引起火灾事故。因此, 绝对不允许用导线将电源两端直接接在一起。在生产和生活用电中, 防止短路是安全用电的基本要求。为此, 在照明线路和工厂的用电线路中都要安装保险装置, 以确保安全用电。

1.3 电功、电功率和焦耳定律

(1) 电功

当电流流过电灯的灯丝时, 能使电灯发热发光。当电流通过电风扇的电动机时, 能使电动机转动。电流通过用电器的时候, 要消耗电能, 并把电能转变成其他形式的能 (热能、光能、机械能)。这时就说电流做了功。电流通过用电器所做的功, 叫做电功。表示电功的符号是 W 。电功的单位是焦耳, 其符号是 J 。常用的电功单位还有千瓦时, 它的符号是 $\text{kW} \cdot \text{h}$ 。常说的 1 度电就等于 $1\text{kW} \cdot \text{h}$ 。如果某用电器的电功率是 1kW , 接通电源, 电流在 1h 内所做的功, 就是 $1\text{kW} \cdot \text{h}$, 或说用了 1 度电。千瓦时和焦耳之间的关系是:

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

一般普通电灯泡的电流, 每秒钟所做的功为几十焦。故用电器所消耗的电能, 即在一段时间内用电的度数, 通常由接在电路中的电度表来测量。

各种各样的电气设备接通电源后都在做功, 把电能转换成其他形式的能量, 如热能、光