

WEIXIU DIANGONG



职业技能鉴定培训教材

上海电气(集团)总公司 编

维修电工

(初级)

上海科学技术出版社

• 职业技能鉴定培训教材 •

维 修 电 工

(初 级)

上海电气(集团)总公司 编

上海科学技术出版社

内 容 提 要

本教材是按照 1998 年上海市职业技能鉴定中心制订的《维修电工》职业技能培训教学计划及教学大纲编写的配套教材。全套教材分为初级、中级及高级 3 册。

初级内容包括电工基础、电工测量、电工工艺及操作技能培训,共四篇。电工基础介绍直流电路、电与电磁、正弦交流电路及电子技术的基本概念;电工测量介绍常用电工仪表的结构、原理及使用方法;电工工艺介绍常用电动机、变压器、电器及电气控制电路等维修电工专业知识;操作技能介绍电动机、电器的拆装、电子线路及电气控制线路的安装、调试及检修等基本操作技能。本书每章均附有习题。

本书是初级维修电工的培训教材,也可以供同专业的技校及职校师生作为教学参考。

责任编辑 乐守琪

• 职业技能鉴定培训教材 •

维 修 电 工

(初 级)

上海电气(集团)总公司 编

上海科学技术出版社出版、发行

(上海瑞金二路 450 号 邮政编码 200020)

新华书店上海发行所经销 上海商务联西印刷厂印刷

开本 787×1092 1/16 印张 22 字数 522 000

2000 年 2 月第 1 版 2000 年 2 月第 1 次印刷

印数:1—5 200

ISBN 7-5323-5336-2/TM·119

定价:27.40 元

本书如有缺页、错装或坏损等严重质量问题,
请向本社出版科联系调换

前 言

根据《中华人民共和国劳动法》规定,国家对规定的职业制定职业技能标准,实行职业资格证书制度,由经过政府批准的考核鉴定机构负责对劳动者实施职业技能考核鉴定。

上海市职业技能鉴定中心与上海市机电控股(集团)公司[现为上海电气(集团)总公司]在1996年10月按照部颁维修电工职业技能等级标准编写出版了维修电工《鉴定规范》及维修电工《鉴定辅导丛书》,1998年1月又按照鉴定要求重新编写了维修电工职业技能的培训教学计划及各等级、各课程的培训教学大纲。为了解决课时与教学要求的矛盾,新大纲按照鉴定等级的要求划分了各门课程的教学内容,避免了以往不同等级中教学内容的大量重复,突出了教学重点。自从新的培训大纲出台以后,各培训单位都希望能有一套按照新的教学大纲编写的培训教材,以配合维修电工的培训及鉴定工作。为此以负责编写《鉴定辅导丛书》及培训大纲的教师为主,组织了本教材的编写工作。

本教材分成初级、中级及高级3册,应知部分的每门课程及操作技能部分在教材中均作为一个单独的篇目,严格按照培训大纲的教学要求进行编写,文字力求流畅通俗,深入浅出,易于教学。

本书由柴敬镛主编,徐坤泉主审,陈国春参与部分审稿。

本书由柴敬镛编写第二篇及第一篇的第四章,蔡志光编写第三篇的第一、四、五章,陈伯元编写第一篇的第一、二、三章,李定鸿编写第三篇的第二、三章,蔡克敏编写第四篇的第一、四章,顾小兰编写第四篇的第二、三章。

沈卫平对本书的编写提供了不少宝贵的意见。

由于我们水平有限,书中难免会有错误或不妥之处,敬请各位读者给予批评指正,以便改进。

上海电气(集团)总公司

2000年1月

目 录

第一篇 电工基础

第一章 直流电路	1
第一节 电路的基本概念	1
第二节 欧姆定律	5
第三节 电功率及电能	7
第四节 基尔霍夫定律	8
第五节 电阻的串联、并联和混联	10
第六节 电位的计算	13
第七节 电容器	14
第二章 磁与电磁	20
第一节 磁场及其基本物理量	20
第二节 铁磁物质及磁路	23
第三节 磁场对电流的作用	26
第四节 电磁感应	29
第五节 自感与互感	33
第三章 正弦交流电路	38
第一节 正弦交流电的基本概念	38
第二节 正弦交流电的表示法	42
第三节 纯电阻、纯电感及纯电容电路	45
第四节 $R-L$ 串联电路的分析	53
第五节 $R-L-C$ 串联电路的分析	56
第六节 交流并联电路的概念	59
第七节 三相交流电路	60
第四章 电子技术	67
第一节 半导体的基础知识	67
第二节 半导体二极管	69
第三节 半导体三极管	76
第四节 直流稳压电源	82
第五节 基本放大电路	91

第二篇 电 工 测 量

第一章 概述	97
第一节 电工测量的任务和方法	97
第二节 电工仪表的分类及符号	97
第三节 减小测量误差的方法	101
第二章 电压和电流的测量	105
第一节 直流电压和电流的测量	105
第二节 电动势的测量	113
第三节 交流电流和电压的测量	114
第四节 多用表	122
第三章 电功率和电能的测量	130
第一节 电功率的测量	130
第二节 电能的测量	135
第四章 电阻的测量	140
第一节 一般电阻的测量	140
第二节 小电阻的测量	143
第三节 绝缘电阻的测量	145

第三篇 电 工 工 艺

第一章 基本知识	150
第一节 常用电工工具	150
第二节 常用电工材料	154
第三节 照明电路的安装	156
第四节 安全用电	166
第二章 变压器	175
第一节 变压器的工作原理	175
第二节 变压器的结构和种类	180
第三章 交流异步电动机	189
第一节 异步电动机的结构	189
第二节 异步电动机的工作原理	192
第三节 异步电动机的绕组和连接	195
第四节 异步电动机的机械特性	201
第五节 异步电动机的起动、反转、调速及制动原理	204
第六节 异步电动机的常见故障及修理	210
第四章 低压电器	216
第一节 低压熔断器和刀开关	216
第二节 自动开关	218
第三节 接触器	219

第四节	电磁铁·····	223
第五节	控制继电器·····	224
第六节	其他低压电器·····	233
第五章	电气控制·····	240
第一节	电气图的绘制标准·····	240
第二节	异步电动机的起动、反转及制动·····	243
第三节	电力拖动的控制原则·····	249
第四节	典型机床的控制电路·····	250

第四篇 操作技能培训

第一章	电动机、电器的拆装及检修·····	263
第一节	小型三相鼠笼式异步电动机的拆卸及装配·····	263
第二节	小型三相鼠笼式异步电动机的测试及检修·····	265
第三节	交流接触器的拆装、测试及检修·····	268
第四节	空气式时间继电器的拆装、测试及检修·····	271
第二章	电子线路焊接及测试·····	274
第一节	锡焊知识及锡焊网格·····	274
第二节	印制电路板的制作·····	277
第三节	常用电子元器件的简单测试·····	279
第四节	直流稳压电源的安装焊接及测试·····	284
第三章	电气控制线路的安装及调试·····	288
第一节	导线加工·····	288
第二节	室内照明线路的安装·····	294
第三节	接触器起动控制线路的安装及调试·····	297
第四章	电气控制线路的检修·····	307
第一节	简单电气控制线路的检修·····	307
第二节	常用机床电气控制线路的检修·····	315
附录	·····	320
一、	电气图常用图形及文字符号新旧对照表·····	320
二、	上海市职业技能鉴定中心初级维修电工鉴定样卷·····	329
三、	初级维修电工操作技能鉴定项目表·····	332
四、	上海市职业技能鉴定中心初级维修电工操作技能评分表·····	333
五、	部颁维修电工技术等级标准·····	339
六、	上海市维修电工鉴定规范(考核大纲)·····	341

第一篇 电工基础

第一章 直流电路

第一节 电路的基本概念

一、电路的组成

简单地说,电路就是电流流通的路径。

以汽车照明电路为例,照明灯就是用电线连接开关后接到蓄电池上,当拨动开关使电流流经照明灯,灯就亮了。这就是最简单的直流照明电路。

可以看到,照明电路是由照明灯、连接电线、开关和蓄电池组成的。

一般我们把照明灯称作负载,开关称为控制电器,连接电线称为导线,蓄电池称为电源。这样就概括出电路通常是由电源、控制电器、负载与导线等四部分组成的。

显然,组成元件的不同,或者连接方式的不同,就可构成不同种类和不同用途的电路。

1. 电源

在电路中电源是电能的源泉。照明灯会发光,电动机会旋转……因为它们获得了能量,而这些能量是由电源提供的。电源中的能量又是从哪儿来的呢?不同的电源,能量的来源也是不同的。例如蓄电池和干电池的能量是由化学能转换来的,发电机的能量是由机械能转换来的,太阳能电池的能量是由太阳能转换来的。这就是说,凡是将化学能、机械能、太阳能等非电能量转换成电能的供电设备和器件,都称为电源。

2. 负载

任何电路都有负载。负载即用电设备,它的作用是将电能转换为其他形式的能量而为人们所利用。如照明灯是把电能转换为光能,电动机是把电能转换为机械能,扬声器是把电能转换为声能,电炉是把电能转换为热能等等。

3. 控制电器

控制电器是用来控制电路的,使电路按照人们的需要来运行。开关是控制电器的一种,起接通和断开电路的作用。

4. 导线

电源和负载之间是用导线来连接的,导线为电流提供通路,在电路中起到输送和分配电能的作用。一般要求导线具有尽可能小的能量损耗。

在实际工作中,表明各种电路的工作原理是用电路图来表达的。电路图不是按实物画的,而是采用国家对各种电路元件规定的图形符号,常用电路元件的图形符号见表 1-1-1。

表 1-1-1 常见电路元件的图形符号

元 件 名 称	图 形 符 号	元 件 名 称	图 形 符 号
电 池		电 感	
电 压 源		相连接的交叉导线	
电 阻		不相连接的交叉导线	
电 容			
开 关			

二、单位制

在分析计算电路时,各种物理量单位的选取是很重要的。通常在物理学中选定一些基本物理量,把它们的单位规定为基本单位,其他的物理量单位可以通过物理公式导出,它们的单位叫做导出单位。基本单位和导出单位一起组成了单位制。

当前多数国家都采用国际单位制(SI),我国目前也规定采用以国际单位制为基础的法定计量单位。例如,时间单位秒(s)、长度单位米(m)、电流单位安(A)等为基本单位,电压单位伏(V)、电阻单位欧(Ω)、电容单位法(F)、电感单位亨(H)等为导出单位。

采用词头可构成倍数单位(十进倍数单位与分数单位),例如, $1\text{kV} = 10^3\text{V}$, $1\text{mA} = 10^{-3}\text{A}$ 等。常用词头的名称及符号见表 1-1-2。

表 1-1-2 常用词头的名称及符号

因 数	名 称	符 号	因 数	名 称	符 号
10^6	兆	M	10^{-6}	微	μ
10^3	千	k	10^{-9}	纳	n
10^{-3}	毫	m	10^{-12}	皮	p

三、电流

导体中的自由电子的定向移动就形成电流,习惯上把正电荷移动的方向定为电流的实际方向。单位时间内通过导体横截面的电量定义为电流,用符号 I 表示,电流的单位是安培,简称安,用字母 A 表示,则

$$I = \frac{Q}{t}, \tag{1-1-1}$$

式中: I —— 电流(A);

Q —— 电量(C);

t —— 时间(s)。

上式表示,如果在 1s 内,通过导体某截面的电量是 1C,那么通过该导体的电流就是 1A。

在实际使用时,还采用的电流单位有千安(kA)、毫安(mA)、微安(μA)等。

在分析电路时,往往不一定清楚电流的实际方向,这时可以事先假定一个电流方向称为“参考方向”或“正方向”。如果计算出来的电流是正的,表示假定方向与实际方向相一致;如

果计算出来的电流是负的,此时表示实际方向与假定方向相反,如图 1-1-1 所示。



图 1-1-1

四、电压和电动势

1. 电压

在图 1-1-2 中,假定电流 I 从 A 端流向 B 端,即正电荷从 A 端流向 B 端。正电荷怎么会从 A 端流向 B 端的呢? 要回答这个问题,请参看图 1-1-3 所示的水的流动图。水能从 A 槽流向 B 槽,是因为 A 槽比 B 槽高,两者之间存在着位能差。换言之,在位能差的作用下形成了水流。对于电流同样如此,在图 1-1-2 中 A 端是高电位, B 端是低电位,在电位差的作用下,正电荷沿着导线从 A 端流向 B 端,形成了电流。

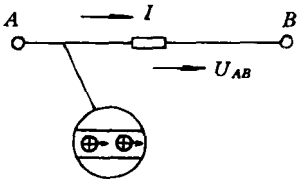


图 1-1-2

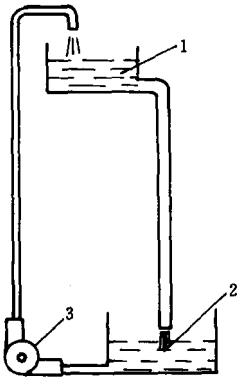


图 1-1-3

1— A 槽; 2— B 槽;
3—水泵

在电路中,把任意两点间电位的差值叫做该两点的电位差,也称为电压。

通常 A 、 B 两点的电压用 U_{AB} 表示,电压的单位是伏特,简称伏,用字母 V 表示。

电压的方向规定为高电位指向低电位,在电路中常以带箭头的实线表示。

电压的实用单位还有毫伏(mV),微伏(μV)和千伏(kV)。

2. 电动势

在电路中,把电源内部的正、负极间的电路叫内电路,把电源外部正、负极之间的电路叫外电路。在外电路中电源正极电位高于电源负极的电位,正电荷在电位差的作用下从 A 点移向 B 点形成电流,如图 1-1-4 所示。

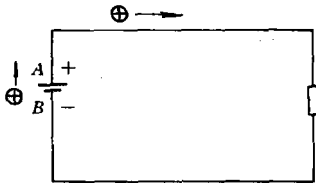


图 1-1-4

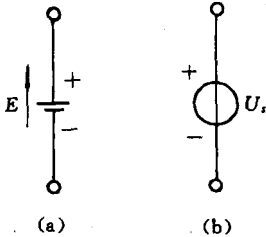


图 1-1-5

(a) E 表示电动势; (b) U_t 表示端电压

显然,要使电路中能维持电流,正电荷在电源内部必须能从电源的负极移向正极,即从低电位移向高电位,电源就具备这样的作用。电源的这一作用与图 1-1-3 中水泵的作用一

样,水泵能把水从低水位输送到高水位,而电源输送的是电荷。为了衡量电源输送电荷的能力,引入了电动势的概念。

电源电动势用字母 E 来表示,电动势的单位为伏(V)。

不同的电源,电动势也不同,电动势大小只取决于电源本身的能力而与外电路无关。电动势的方向规定为从电源的负极指向正极,如图 1-1-5a 所示。

在电路分析中,电源两端的电位关系也常用端电压 U_s 来表示,其图形符号如图 1-1-5b 所示。

U_s 的方向是从正极指向负极,在这样的规定方向下,可得

$$U_s = E. \tag{1-1-2}$$

五、电阻

电阻表示导体对电流起的阻碍作用,用字母 R 来表示。电阻的单位是欧姆,简称欧,用字母 Ω 表示。

在温度不变时,金属导体的电阻跟它的长度成正比,与它的横截面积 S 成反比,即

$$R = \rho \frac{l}{S}, \tag{1-1-3}$$

式中: l ——金属导体的长度(m);

S ——金属导体的截面积(m^2);

ρ ——材料的电阻率($\Omega \cdot \text{m}$);

R ——金属导体的电阻值(Ω)。

表 1-1-3 列出了几种常用金属材料在 20°C 时的电阻率和温度系数。

表 1-1-3 常用金属材料的电阻率和温度系数

材 料	电阻率 $\rho/\Omega \cdot \text{m}$	温度系数 $\alpha/^\circ\text{C}^{-1}$	材 料	电阻率 $\rho/\Omega \cdot \text{m}$	温度系数 $\alpha/^\circ\text{C}^{-1}$
银	1.6×10^{-8}	0.00361	锰铜(铜锌合金)	40×10^{-8}	0.00002
铜	1.72×10^{-8}	0.0041	康铜(铜镍合金)	50×10^{-8}	0.00004
铝	2.9×10^{-8}	0.00423	镍铬合金	111×10^{-8}	0.00007
铁	9.8×10^{-8}	0.00625			
锡	11.4×10^{-8}	0.00438			
铅	20.6×10^{-8}	0.0041			

常用电阻可分为固定电阻和可变电阻两类,按材料分有合成电阻、薄膜电阻、线绕电阻等。

实际使用的电阻单位还有千欧(k Ω)和兆欧(M Ω)。

导体的电阻随着温度的改变而改变。当温度升高时,导体内部分子热运动加强,对电流的阻碍作用加大,使电阻增加;但另一方面温度的升高又会使导体内的自由电子浓度增加,使电流变大而电阻相对减小。这两种相反的作用同时存在,使电阻与温度之间的关系有三种不同的情况:对于金属导体,温度升高时分子热运动加强,对电流的阻碍作用占优势,使金属导体的电阻随温度升高而增加;对于如碳素、电解液等导体,当温度升高时,自由电子浓度增

加占优势,因而电阻值随温度升高而减少;对于如康铜、锰铜等某些合金的导体,两种相反的作用几乎抵消,以致温度的变化使电阻值几乎没有变化,常用来制作标准电阻,在电工测量中应用广泛。

金属导体的电阻值随温度升高而增加,它们的关系式可表示为

$$R_2 = R_1[1 + \alpha(t_2 - t_1)], \quad (1-1-4)$$

式中: R_1 ——温度 t_1 时的电阻(Ω);

R_2 ——温度 t_2 时的电阻(Ω);

α ——电阻的温度系数($^{\circ}\text{C}^{-1}$)。

不同的金属材料,电阻的温度系数 α 也是不同的,如表 1-1-3 中所列。

例 1 有一铜导体,直径为 2mm,全长为 3140m,试求其电阻值。

解 该铜导体的截面积为

$$S = \frac{\pi d^2}{4} = 3.14 \times 10^{-6} \text{m}^2。$$

查表 1-1-3 可知铜的电阻率为 $\rho = 1.72 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$, 所以电阻

$$R = 1.72 \times 10^{-8} \times \frac{3140}{3.14 \times 10^{-6}} \Omega = 17.2 \Omega。$$

例 2 有一铜质漆包线绕成的线圈,在 20°C 时,测得电阻为 2Ω 。问温度为 81°C 时该线圈的电阻值为多少?

解 已知 $R_1 = 2\Omega$, $t_1 = 20^{\circ}\text{C}$, $t_2 = 81^{\circ}\text{C}$, 查表 1-1-3 可知铜的电阻温度系数 $\alpha = 0.0041^{\circ}\text{C}^{-1}$ 。

由式 1-1-4 得

$$\begin{aligned} R_2 &= R_1[1 + \alpha(t_2 - t_1)] \\ &= 2[1 + 0.0041(81 - 20)]\Omega \\ &= 2.5\Omega。 \end{aligned}$$

第二节 欧姆定律

欧姆定律是电路的基本定律之一,它表达了电路中电压、电流及电阻等基本物理量之间的关系。首先从一段没有电源的无源支路着手,然后再介绍简单的闭合回路的欧姆定律。

一、部分电路的欧姆定律

图 1-1-6 所示的电路就是一段无源支路,也可称为部分电路。

电压 U 和电流 I 的方向都由高电位指向低电位,此时电压 U 、电流 I 和电阻 R 三者的关系是

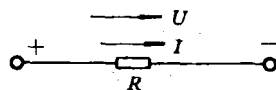


图 1-1-6

$$I = \frac{U}{R}, \quad (1-1-5)$$

式中: U ——电压(V);

I ——电流(A);

R ——电阻(Ω)。

式 1-1-5 就是部分电路的欧姆定律。

部分电路欧姆定律告诉我们,只要知道 U 、 I 、 R 三个物理量中的两个,就可求出第三个量。式 1-1-5 还可以写成

$$R = \frac{U}{I}, U = IR。$$

例 1 若某一输电线路的电阻为 1.4Ω ,流过的电流为 $5A$,问该线路上电压降为多大?

解 已知 $I = 5A$, $R = 1.4\Omega$,根据部分电路欧姆定律即可求得电压降

$$U = IR = 5 \times 1.4V = 7V。$$

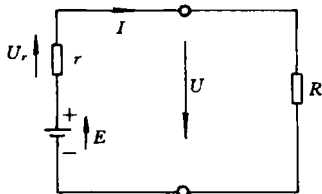


图 1-1-7

二、闭合电路的欧姆定律

最简单的闭合电路,如图 1-1-7 所示。图中电源的电动势为 E ,电源的内阻为 r ,外电路电阻为 R ,闭合电路中的电流方向在外电路中是从高电位流向低电位。

闭合电路欧姆定律的表达式为

$$I = \frac{E}{R + r}, \quad (1-1-6)$$

式中: E ——电源电动势(V);

R ——外电路电阻(Ω);

r ——电源内阻(Ω);

I ——闭合电路中的电流(A)。

同样,式 1-1-6 还可写成

$$E = IR + Ir = U + U_r, \quad (1-1-7)$$

或

$$U = E - Ir. \quad (1-1-8)$$

式 1-1-7 表示电源的电动势等于外电路上的电压降(U)与内阻上的电压降 U_r 之和。

根据闭合电路欧姆定律,我们来说明电路的两个极端状态。

1. 开路

当电源两端不接电阻 R ,即不接外电路时,电路是断开的,称为开路。显然电路中无法流过电流, $I = 0$ 。由式 1-1-8 可知,开路时 $U = E$ 。

2. 短路

如果用导线(电阻可视为零)将电源两端连接起来,形成一个闭合回路,这样的状态称为短路。通常将短路时的电流称为短路电流,若用 I_d 表示短路电流,则 $I_d = \frac{E}{r}$ 。由于电源内阻远小于外电路电阻 R ,因此短路电流通常是很大的,不加保护容易造成电器设备的损坏,所以应当尽量避免短路现象的发生。

例 2 有一电动势为 $100V$ 、内阻为 0.2Ω 的电源,外接 99.8Ω 的电阻。问如果发生短路,

则短路电流有多大?

解 电路短路时 $R=0$, 短路电流

$$I_d = \frac{E}{r} = \frac{100}{0.2} \text{A} = 500 \text{A}.$$

电路正常时的电流

$$I = \frac{E}{R+r} = \frac{100}{99.8+0.2} \text{A} = 1 \text{A},$$

可见短路电流是正常电流的 500 倍。

第三节 电功率及电能

一、电功率

电灯、电炉、电动机等电器是应用十分广泛的电路负载。在使用中可以见到有的灯泡上写有“220V 60W”的字样,这个“60W”指的是该灯泡的电功率的大小。

电功率指的是负载在单位时间内电流作功能力的大小,或者说是单位时间内消耗电能的本领。

电功率用字母 P 表示,电功率的单位为瓦特,简称瓦,用字母 W 表示,则

$$P = UI, \quad (1-1-9)$$

式中: U ——负载两端的电压(V);

I ——流过负载的电流(A);

P ——电功率(W)。

根据欧姆定律 $U = IR$, 电功率公式还可写成

$$P = I^2 R \quad \text{或} \quad P = \frac{U^2}{R}. \quad (1-1-10)$$

在实际应用中,电功率单位还用到千瓦(kW)、兆瓦(MW)等。

为了表示负载的用电能力和使用条件,在电器产品上都标有额定功率、额定电流、额定电压,这就是电器产品的额定值。

电器产品在正常温度下运行的最大功率称为额定功率,用 P_N 表示;规定使用的电压称额定电压,用 U_N 表示;在电压不变的条件下,规定最大的允许电流称额定电流,用 I_N 表示。上面提到的“220V 60W”就是那灯泡的额定值,可写成

$$U_N = 220 \text{V}, P_N = 60 \text{W}.$$

电器产品的额定值是制造厂在设计产品时确定的,电气设备超过额定值使用的情况称为过载,这是很容易损坏设备的,应注意避免。

二、电能

人们使用电器的目的是使电能转换为光能(如照明灯)、热能(如电炉、电烙铁)、机械能(如电动机)来为人类服务。

电能是指一段时间内电流做功的大小,也就是一段时间内用电器用电的能力。因此电能的大小等于电功率乘以用电时间,用公式表示为

$$W = Pt, \quad (1-1-11)$$

式中: P ——电功率(W);

t ——用电时间(s);

W ——电能(J)。

电能的单位是瓦乘以秒,称为焦(J)。

电能的单位有时也用千瓦·时(kW·h)表示, $1\text{kW}\cdot\text{h} = 3.6 \times 10^6\text{J}$ 。

电能表(也称瓦时计)就是电能的计量仪表,电能表上的读数是供电部门对用户消耗电能的计价依据。

例 有一只额定电压为 220V、额定功率为 60W 的白炽灯,求:

(1) 灯泡的电阻。

(2) 当电源电压下降到 200V 时灯泡消耗的电功率。

(3) 当电源电压上升到 240V 时灯泡消耗的电功率。

解 (1) 白炽灯可以看作纯电阻元件,当电源电压为 220V 额定电压时,它的功率就是额定功率 60W,所以

$$R = \frac{U^2}{P} = \frac{220^2}{60} \Omega = 806.6 \Omega.$$

(2) 当电源电压为 200V 时,灯泡消耗的功率为 P' ,则

$$P' = \frac{U'^2}{R} = \frac{200^2}{806.6} \text{W} = 49.6 \text{W}.$$

由于此时灯泡的实际功率小于额定功率,灯泡达不到额定的亮度。

(3) 当电源电压为 240V 时,灯泡消耗的功率为 P'' ,则

$$P'' = \frac{U''^2}{R} = \frac{240^2}{806.6} \text{W} = 71.4 \text{W}.$$

此时白炽灯的实际功率大于额定功率,所以工作不安全,灯有可能被烧毁。

第四节 基尔霍夫定律

分析电路的方法很多,但它们的依据是电路的两条基本定律——欧姆定律和基尔霍夫定律。

本节介绍基尔霍夫定律,它既适用于直流电路,也适用于交流电路。

一、基本术语

1. 支路

由一个或几个元件首尾相接的无分支电路叫做支路,在同一支路内流过所有元件的电流都相等。如图 1-1-8 所示, R_1 与 U_{s1} 构成一条支路, R_2 与 U_{s2} 构成一条支路, R_3 、 R_4 、 R_5 各构成一条支路,共有五条支路。

2. 节点

三条或三条以上支路的联接点叫做节点,图 1-1-8 中 a 点、 b 点和 c 点都是节点。

3. 回路

电路中任一闭合路径叫做回路。在图 1-1-8 中 $U_{s1}-R_1-R_3$, $R_3-R_4-R_5$, $R_4-R_2-U_{s2}$, $U_{s1}-R_1-R_5-R_4$ 等都是回路。

4. 网孔

在回路内部不含有支路的回路叫做网孔。图 1-1-8 中共有三个网孔,它们是 $U_{s1}-R_1-R_3$, $R_3-R_4-R_5$ 及 $R_4-R_2-U_{s2}$ 。

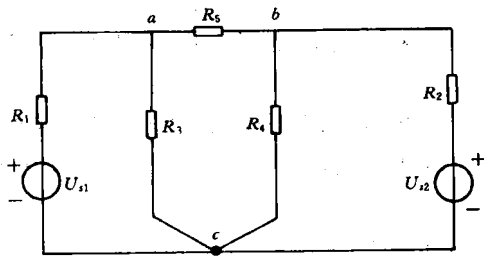


图 1-1-8

二、基尔霍夫定律

1. 基尔霍夫电流定律(KCL)

基尔霍夫电流定律是:流进一个节点的电流之和恒等于流出这个节点的电流之和,其关系式是 $\Sigma I_{\text{进}} = \Sigma I_{\text{出}}$, 也可以表达为

$$\Sigma I = 0. \quad (1-1-12)$$

基尔霍夫电流定律表明了节点上各电流之间的关系,即在电路的任一节点上,不可能发生电荷的积累,流入节点的总电量恒等于同一时间内从这个节点流出的总电量。

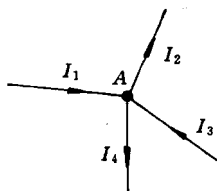


图 1-1-9

如图 1-1-9 所示,对于节点 A ,流进节点 A 的电流有 I_1 、 I_3 ,流出节点 A 的电流有 I_2 、 I_4 。那么, $I_1 + I_3 = I_2 + I_4$, 或者 $I_1 + I_3 - I_2 - I_4 = 0$, 即 $\Sigma I = 0$ 。

例 1 图 1-1-9 中,已知 $I_1 = 5\text{A}$, $I_2 = 12\text{A}$, $I_3 = 3\text{A}$, 求 I_4 的电流和方向。

解 根据 $\Sigma I_{\text{进}} = \Sigma I_{\text{出}}$ 的关系,得到 $I_1 + I_3 = I_2 + I_4$, 则

$$I_4 = I_1 + I_3 - I_2 = (5 + 3 - 12)\text{A} = -4\text{A}.$$

所以 $I_4 = -4\text{A}$, 表明 I_4 电流的实际方向是流进节点 A 的。

2. 基尔霍夫电压定律(KVL)

基尔霍夫电压定律是表达回路内元件之间电压的关系。如图 1-1-10 所示,从 a 、 b 两端的外电路看, a 、 b 两端电压等于各电阻上电压的代数和,可表示为 $U_{ab} = \Sigma IR$; 从 a 、 b 两端的内电路看, a 、 b 两端电压等于各电源端电压的代数和,可表示为 $U_{ab} = \Sigma U_s$, U_s 为电源端电压。

由于 $U_{ab} = \Sigma IR$, 所以

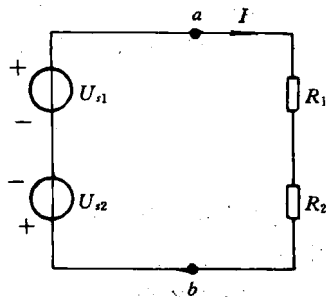


图 1-1-10

$$\Sigma U_s = \Sigma IR, \quad (1-1-13)$$

$$\Sigma U_s - \Sigma IR = 0,$$

即

$$\Sigma U = 0, \quad (1-1-14)$$

这就是基尔霍夫电压定律的表达式。

基尔霍夫电压定律是：任何时刻，在电路中任一闭合回路内各段电压的代数和恒等于零。

在应用基尔霍夫电压定律时，首先需要选定一个回路绕行的方向。凡电压的方向与绕行方向一致时，在该电压前面取“+”号；凡电压的方向与绕行方向相反时，则电压前面取“-”号。

例 2 对于图 1-1-11 所示电路，列出回路 I、回路 II 和回路 III 的回路电压方程。

解 根据基尔霍夫电压定律可列出电压方程：

回路 I
$$+U_{s3} - I_2 R_2 - I_3 R_3 = 0,$$

回路 II
$$-U_{s1} + I_1 R_1 + I_2 R_2 = 0,$$

回路 III
$$-U_{s1} + U_{s3} + I_1 R_1 - I_3 R_3 = 0.$$

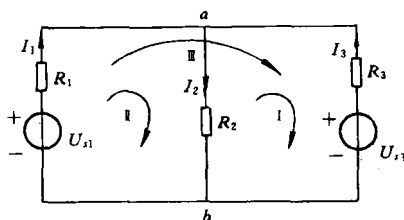


图 1-1-11

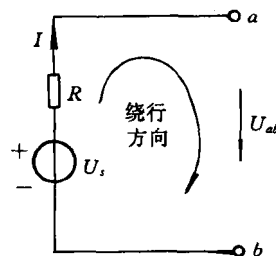


图 1-1-12

在实际应用中，常常见到如图 1-1-12 所示的一段有源支路，要求得到 a 、 b 两端的电压。同样，根据基尔霍夫电压定律，把 U_{ab} 看作电阻上的压降，则

$$-U_s + U_{ab} + IR = 0,$$

可得

$$U_{ab} = U_s - IR.$$

因此，一段有源支路两端的电压等于该支路上电源电压和电阻电压的代数和。电源电压和电阻电压的方向，若与两端电压方向相同的取“+”，反之取“-”。

第五节 电阻的串联、并联和混联

电阻在电路中的应用，根据需要常常要把几只电阻连接起来使用，电阻的连接方式可以有串联、并联和混联三种。

一、电阻的串联

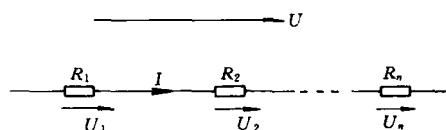


图 1-1-13

在电路中，几只电阻的首尾依次相连，中间没有分岔的连接方法叫做电阻的串联，如图 1-1-13 所示。

电阻串联的特点是：

① 电路中流过每个电阻的电流相同，都等于 I ，

即