

实用电气技术

宝钢工业技术学校 编
宝钢高级工培训中心



電子工業出版社

高级技工培训教材
(非电工类适用)

3539/09

实用电气技术

宝钢工业技术学校 编
宝钢高级工培训中心

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

内 容 提 要

本书是适用于非电气类工种高级技工和技师的电气技术培训教材。全书共分9章:电工基础,变压器、交流电动机和直流电动机,电子技术基础知识,电力拖动基本环节,电气测量,晶闸管及其控制,PLC控制操作基础知识,常用高低压电气设备,保护接地、接零和防雷。

本书内容实用,深入浅出,图文并茂。书中大量的例题有助于读者加深对电气技术知识的理解和具体应用。

本书可作为技工学校、职业学校的教材,也可供电气类工种的中、高级技术工人学习参考。

丛 书 名: 全国家用电器维修培训补充读物

书 名: **实用电气技术**

著 者: 宝钢工业技术学校 宣钢高级工培训中心 编

责任编辑: 尤兵

印 刷 者: 一二〇一工厂

装 订 者: 北京云峰印刷厂

出版发行: 电子工业出版社出版、发行

北京 3933 信箱 邮编 100039 电话 68189859

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036 发行部电话 66708594

URL: <http://www.phei.co.cn>

经 销: 各地新华书店经销

开 本: 787×1092 1/16 印张: 18 字数: 432 千字

版 次: 1997 年 3 月第 1 版 1997 年 3 月第 1 次印刷

印 数: 1—8000 册

书 号: ISBN 7-5053-2579-5
TN·756

定 价: 23.00 元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页者,本社发行部负责调换。

版权所有·翻印必究

《全国家用电器维修培训教材》编委会

主 编 梁祥丰

常务副主编 宁云鹤

副 主 编 沈成衡 吴金生

编 委 (按姓氏笔划排列)

王明臣 刘学达 李 军

陈 忠 张道远 张新华

高坦弟 谭佩香

出版说明

自1986年初中央五部委发出《关于组织家用电器维修人员培训的通知》以来,在各地有关部门的大力支持下,家用电器维修培训工作在全国蓬勃开展起来,并取得了可喜的成果。

为了使家用电器维修培训工作更加系统化、正规化,1987年4月,中国科协、商业部、国家工商行政管理局、劳动人事部、电子工业部、总政宣传部、中国电子学会联合召开“全国家电维修培训工作会议”。会议上,各部委一致指出此项工作的重要意义,同时要求对现行教材进行修改,并编写基础与专业基础教材。遵照此会议精神,全国家电协调指导小组办公室按照统一教学计划的要求,组织有一定理论知识和维修实践经验的作者,编写了较为完整的家电维修培训教材,并由科学出版社、电子工业出版社、科学普及出版社、解放军出版社、宇航出版社共同出版。

随着家电维修培训工作的深入开展,应家电维修培训班师生及社会各界读者的要求,全国家电维修培训协调指导小组办公室在完成全套教材的出版工作之后,又陆续组织出版了家电维修培训补充读物。迄今为止,已出版二十余种,有:《家用电器维修经验》、《简明英汉家用电器词汇》、《日常家用电器维修·自检·难题详解》、《怎样实现电视调频远距离接收》、《电冰箱·冷藏柜·空调器·电动机维修技术和修理经验》、《最新进口平面直角彩色电视机维修手册》(一、二、三册)、《实用电视接收天线手册——原理·选用·制作·安装·维护》、《怎样看家用电器电路图》、《快修巧修进口国产彩色电视机》、《最新进口录像机及激光放像/唱机维修手册》、《家用摄录像机(一体化)维修手册》、《卡拉OK·环绕声·混响处理器的原理与制作》及《最新音响集成电路应用手册》、《国内外彩色电视机维修资料大全》、《录像机常用集成电路手册》、《新编传感器原理·应用·电路详解》、《最新集成电路收音机原理与维修》等。

我们出版补充读物的宗旨,是对基本教材拾遗补缺,为培训班师生和不同层次的电子爱好者提供进一步的参考资料,帮助他们深化对基本教材内容的理解和拓宽知识面。因此,在编写过程中,我们注重内容新颖、实用,资料翔实,叙述力求深入浅出,通俗易懂。事实证明,补充读物的出版起到延伸培训教材深度和广度的作用,对提高广大电子爱好者的素质,提高家电维修培训质量都是大有裨益的。

由于家用电器维修培训牵涉面广,学员及广大电子爱好者的水平和要求不同,加之我们水平有限,故补充读物的出版还不能完全满足不同专业、不同层次读者的要求。我们恳切希望全国各地的家电维修培训班的学员、教师以及广大电子爱好者提出宝贵意见,并寄至北京3933信箱(邮政编码:100039)全国家电维修培训协调指导小组办公室,如在当地购不到图书可直接汇款长年供应,在此谨致诚挚谢意。

《全国家用电器维修培训教材》编委会

1993年4月

前 言

随着我国经济、技术的高速发展,各企业的技术装备日益向电气化、自动化方向发展。在此形势下,对于非电气类工种的技术工人来说,他们在各种生产岗位上,都会经常碰到与电气技术有关的各类问题;尤其是高层次的技术工人,这类问题显得更突出。所以,为了把他们安装、运行和维修电气设备的技术提高到一个新水平,使他们能更自如地驾驭自己的工作,我们根据在职培训中积累的资料,组织有一定教培经验的教师,编写了本培训教材。

本教材适用于作培训非电气类工种高层次技术工人(高级工和技师)的教材,并可供电气类工种的中、高级技术工人参考。在培训时,可根据不同工种的需要,选用本教材中相应的章节。全书培训教学时数为140~150学时。

本书内容可分为三大部分:第一部分讲述必要的基础知识,如电工基础、电子技术基础等;第二部分讲述基本电气技术,包括变压器、交流电动机、直流电动机的有关知识,以及电力拖动技术、电气测量仪表和测量技术、晶闸管控制原理、高低压电器和电气安全技术知识等;第三部分简要介绍可编程序控制器(PLC)的工作原理。

本教材由宝钢工业技术学校、宝钢高级工培训中心组织编写。第一、三两章由陈立人和姜守仁同志编写,第二、四两章由乐振祥同志编写,第五、九两章由黄根祥同志编写,第六章由蒋跃宗同志编写,第七章由许江同志编写,第八章由陆根根同志编写。黄根祥和姜守仁两同志对全书进行统稿和整理。在编写过程中,得到了宝钢(集团)公司和宝钢教委领导的支持和指导,也得到了上海市有关兄弟学校老师们的关心和支持,在此谨表衷心感谢。

由于我们水平有限,编写时间仓促,书中难免有疏漏和错误之处,恳请广大读者批评指正。

编 者

1996年8月

第一章 电工基础

第一节 直流电路

本节主要讨论电路的基本物理量、电路的基本定律,以及应用它们来分析计算各种直流电路的方法,包括分析电路的工作状态和计算电路中的电位等。这些问题虽然在本节直流电路中提出,但也同样适用于后文介绍的线性交流电路与电子电路中,是分析计算电路的重要基础。

一、电路及基本物理量

1. 电路和电路图

电路是由电工设备和元器件按一定方式连接起来的总体,它提供了电流通过的路径。如居室的照明灯电路、收音机电子电路、机床控制电气电路等。随着电流的流动,在电路中进行能量的传输和转换,通常把电能转换成光、热、声、机械等形式的能量。

电路可以是简单的,也可能是复杂的。实际的电路由元件、电气设备和连接导线连接构成。为了便于对电路进行分析和计算,通常把实际的元件加以理想化,用国家统一规定的电路图形符号表示;用这些简单明了的图形符号来表示电路连接情况的图形称为电路图。

例如,图 1-1(a)所示的符号代表干电池(电源),长线端代表正极,短线端代表负极。图 1-1(b)所示的符号代表小灯泡(负载)。图 1-1(c)所示的符号代表开关。用直线表示连接导线将它们连接起来,就构成了一个电路,如图 1-2 所示。

一般电路都是由电源、负载、开关和连接导线四个基本部分组成的。电源是把非电能能量转换成电能,向负载提供电能的设备,如干电池、蓄电池和发电机等。负载即用电器,是将电能转变成其他形式能量的元器件。如电灯可将电能转变为光能,电炉可将电能转变为热能,扬声器可将电能转变为声能,而电动机可将电能转变为机械能等。开关是控制电路接通或断开的器件。连接导线的作用是输送与分配电路中的电能。

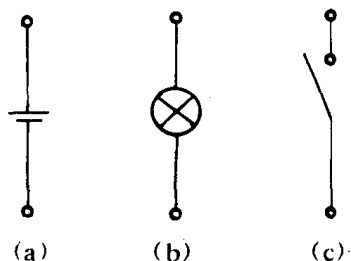


图 1-1 电池、灯泡和开关的图形符号

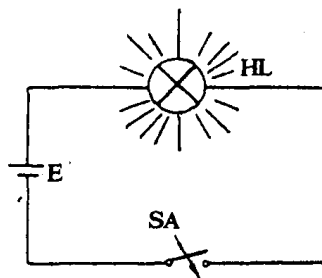


图 1-2 电路图

2. 电路的基本物理量

(1) 电流 电荷有规则的运动就形成电流。通常在金属导体内部的电流是自由电子在电场力作用下运动而形成的。而在电解液中(如蓄电池中),电流是由正、负离子在电场力作用下,沿着相反方向的运动而形成的。

电流的大小用电流强度即电荷的流动率来表示。设在极短的时间内通过导体横截面的电荷量为 dq , 则

$$\text{电流强度} \quad i = \frac{dq}{dt} \quad (1-1a)$$

其中 i 是电流强度的符号, 电流强度习惯上常被称为电流。

如果任意一时刻通过导体横截面的电荷量都是相等的, 而且方向也不随时间变化, 则称为恒定电流, 简称直流。这时的电流强度规定用大写字母 I 表示, 则

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

如电流的大小或方向随时间变化, 则称为交变电流, 用字母 i 表示。

电流强度的单位是安培, 以字母 A 表示, 在 1 秒内通过导体横截面的电量为 1 库仑时。电流强度为 1 安培。除安培外, 常用的电流强度单位还有千安(kA)、毫安(mA)和微安(μA)。

$$1 \text{ 千安(kA)} = 10^3 \text{ 安(A)}$$

$$1 \text{ 毫安(mA)} = 10^{-3} \text{ 安(A)}$$

$$1 \text{ 微安}(\mu A) = 10^{-6} \text{ 毫安(mA)} = 10^{-9} \text{ 安(A)}$$

电荷的有规则移动形成电流, 而形成电流的电荷可能是正电荷(如正离子), 也可能是负电荷(如电子或负离子)。习惯上规定以正电荷移动的方向为电流的方向(和电子运动方向相反), 如图 1-3 所示。

但在实际电路中, 电流的实际方向往往是难以确定的。例如, 图 1-4 所示电路中, 通过中间支路灯泡的电流方向和电源电动势值及两边灯泡的电阻值有关, 故必须通过设定参考方向和计算后才能确定。

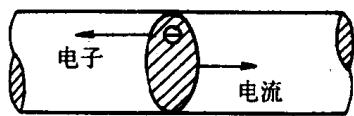


图 1-3 电流的实际方向

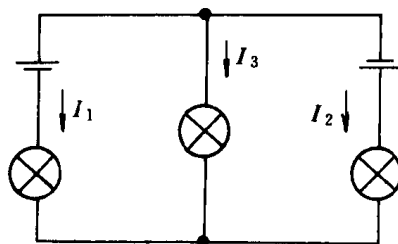


图 1-4 电流的参考方向

在分析电路时, 任意设定的电流方向, 称为电流的参考方向, 用箭头在电路图中标出, 如图 1-4 中的 I_1 、 I_2 、 I_3 所示。在设定电流参考方向以后, 求解电路得到的支路电流的数值, 如果为正值, 表示电流的实际方向和参考方向一致; 若得到的电流为负值, 表示电流的实际方向和参考方向相反。

例如, 设某支路中的电流参考方向如图 1-5 所示, 求得电流值为 2A, 则表示电流的实际方

向是由 a 到 b ；同是这一支路，若选参考方向为 I' ，如图中虚线所示，那么求得的电流值为 -2A ，因为电路中的电流实际方向只有一个。也就是说，选定电流的参考方向后，电流的大小为代数值，它既可为正，也可为负。

(2) 电压及电位 电压和电位是两个有联系但又不同的概念。

电压 电压又称电位差，是衡量电场力作功本领大小的物理量。在电路中，若电场力将电荷 Q 从 a 点移到 b 点所做的功为 A_{ab} ，则功 A_{ab} 与电量 Q 的比值就称为该两点之间的电压，用符号 U_{ab} 表示，即

$$U_{ab} = \frac{A_{ab}}{Q} \quad (1-2)$$

电压的单位为伏特(V)。若电场力将 1 库仑(C)的电荷从 a 移到 b 所做的功为 1 焦耳(J)，则 ab 间的电压值就是 1 伏特(V)，简称 1 伏。除伏特外常用的电压单位还有千伏(kV)、毫伏(mV)和微伏(μV)。

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

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

$$1 \text{ 微伏}(\mu\text{V}) = 10^{-6} \text{ 伏(V)}$$

按电压随时间变化的情况，电压也可分为恒定电压(直流电压，用大写字母 U 表示)和交变电压(交流电压，用小写字母 u 表示)两种。

电压总是对两点而言的，所以用双下标 U_{ab} 表示，前一个下标 a 表示正电荷移动的起点，后一个下标 b 表示电荷移动的终点。电压和电流一样，是代数量，不但有大小，而且有方向，即有正负。在电路中某两点间的电压方向不能确定时，也可先假定电压的参考方向，再根据计算所得数值的正负，来确定其实际方向，方法与电流相同。

例如，图 1-6 所示的某段电路，设元件两端的电压大小为 2V ，电场力的方向为 b 到 a ，如图中虚线所示。当选择参考方向由 a 到 b 时，如图(a)中实线箭头所示，这个电压的数值 $U_{ab} = -2\text{V}$ ；如果选择参考方向如图(b)所示，则电压的数值 $U_{ba} = 2\text{V}$ 。

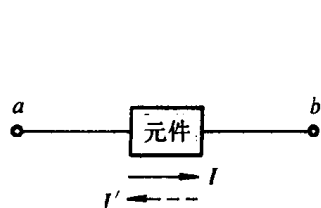


图 1-5 电流的参考方向

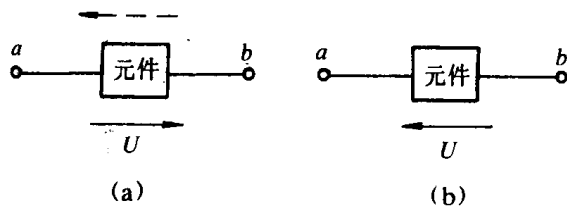


图 1-6 电压的参考方向

电位 电路中某点与参考点间的电压称为该点的电位。通常把参考点的电位规定为零电位，一般选大地为参考点，零电位的符号用 $\perp$ 表示。在电子电路中常取若干导线汇集的公共点或者机壳作为电位的参考点，并以符号 $\perp$ 表示。

常用带脚标的字母 V_a 或 φ_a 表示 a 点的电位。电位的单位仍然是伏特(V)。

电路中任意两点间的电位之差，称为该两点的电位差即电压：

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

如果以 b 点为参考点，则 a 点的电位为

$$V_a = U_{ab} \quad (1-4)$$

电位和电压的异同点是：①电位是某点对参考点的电压，电压是某两点的电位之差，因此电位相同的各点间电位差为零，电流也为零；②电位是相对值，随着参考点的变化而改变，而电压的绝对值不随着参考点的变化而改变。

(3) 电动势 电动势是衡量电源将非电能转换成电能本领的物理量，它表示在电源内部电源力将单位正电荷从电源的负极移到电源正极所做的功的大小，用字母 E 表示。电动势的单位也是伏特(V)。

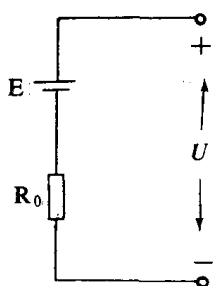


图 1-7 电动势与电压方向

能产生电动势，供给电路电流的装置称为电源。任何一种实际电源，当电流通过它的内部时，电源本身要发热，也就是说电源内部有电能的消耗。我们把这种损耗看成是电源内部存在电阻的消耗。因此，实际电源常用一个恒定的电动势 E 和内电阻 R_0 相串联来表示。电动势的方向规定为在电源内部由负极指向正极，在电路中，也用带箭头的细实线表示电动势的正方向，如图 1-7 所示。

电动势与电压是两个不同的概念，但是都可以用来表示电源正、负极之间的电位差。电源两端的开路电压(即电源两端不接负载时的电压)等于电源电动势，但二者方向相反。电源两端的电压方向规定为在电源外部正极指向负极。

(4) 电功与电功率 下面分别介绍电功与电功率。

电功 电流流过用电器时，用电器就将电能转换成其他形式的能，叫做电流做功，简称电功，用字母 A 表示。

$$A = UQ = IUt = I^2 R t = \frac{U^2}{R} t \quad (1-5)$$

在上式中，若电压单位为伏，电流单位为安，电阻单位为欧，时间单位为秒，则电功率单位为焦耳，简称焦，用字母 J 表示。

工程上，电功的单位使用瓦特一小时表示。瓦特一小时又叫“度”。通常所说的 1 度电就是指额定功率是 1kW 的电器，在额定状态下工作 1 小时所消耗的电能。

电功率 在一电阻 R 上加电压 U ，产生了电流 I ，电源供给电阻一定数量的电能；供电的时间越长，供给电阻的电能就越多，电流所做的功越多。我们把电流在 1 秒钟内做的功称为电功率，以字母 P 表示：

$$P = \frac{A}{t} = IU = I^2 \cdot R = \frac{U^2}{R} \quad (1-6)$$

在上式中，电压的单位是伏特，电流的单位是安培，则电功率(简称功率)的单位是瓦特，简称瓦，用字母 W 表示。

在实际工作中，电功率的常用单位还有千瓦(kW)、毫瓦(mW)。

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

$$1 \text{ 毫瓦(mW)} = 10^{-3} \text{ 瓦(W)}$$

从式(1-6)和串并联的概念可看出：

①在串联电路中，各电阻的功率与各电阻值成正比，即

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{R_1}{R_2}$$

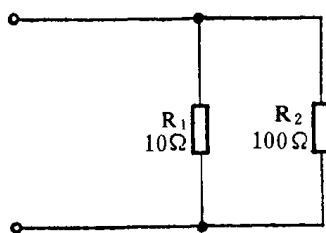
②在并联电路中,各电阻的功率与各电阻值成反比,即

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{R_2}{R_1}$$

例 1-1 在白炽灯泡上一般标注其额定电压 U_e 和额定功率值 P_e 。今有一灯泡其 $U_e = 220\text{V}$, $P_e = 100\text{W}$, 试计算额定电流 I_e 和阻值 R 。

解 $P_e = U_e \cdot I_e$, 故 $I_e = \frac{P_e}{U_e} = \frac{100}{220} = 0.455\text{A}$,

而 $R = \frac{U_e^2}{P_e} = \frac{220^2}{100} = 484\Omega$ 。



例 1-2 在图 1-8 的电路中, R_1 上消耗的功率为 1W 。问在 R_2 上消耗的功率是多少?

解 并联电路两端电压一定时,电功率与电阻值成反比,因此

$$P_2 = \frac{R_1}{R_2} \cdot P_1 = \frac{10}{100} \times 1 = 0.1\text{W}$$

二、电阻的串联、并联及其应用

1. 电阻的串联及应用

若干电阻一个接一个地连接起来,其中没有分支的连接形式,称为电阻的串联连接,如图 1-9 所示。

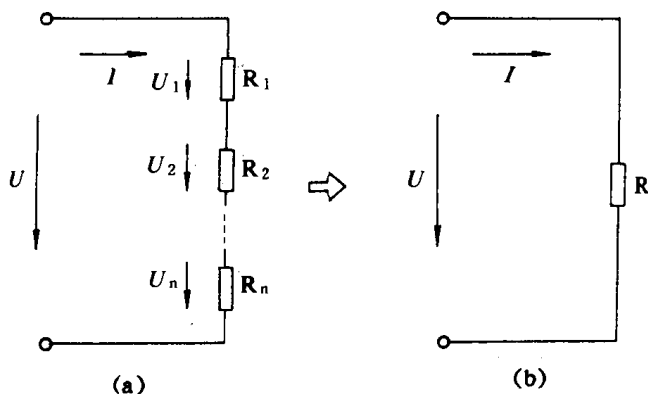


图 1-9 电阻的串联

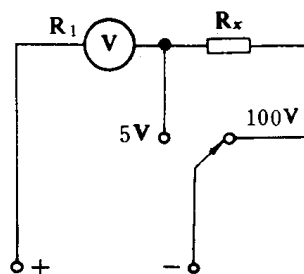


图 1-10 例题 1-4 图

电阻串联电路具有以下特性:

(1)流过各电阻的电流相等,即

$$I = I_1 = I_2 = \dots = I_n \quad (1-7)$$

(2)电路两端电压等于各电阻上的电压降之和,即

$$U = U_1 + U_2 + \dots + U_n \quad (1-8)$$

(3)电路的总电阻(入端等效电阻)等于各电阻之和,即

$$R = R_1 + R_2 + \dots + R_n \quad (1-9)$$

(4)各电阻上的电压降正比于各电阻值,即 $U_n \propto R_n$ 。若两个电阻串联,则电阻 R_1 和 R_2 的电压分别为

$$U_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot U \quad U_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot U \quad (1-10)$$

例 1-3 设有两电阻 $R_1=20\Omega$ 、 $R_2=30\Omega$ 串联接于总电压为 100V 的电源上。求:(1)总电流 I ,各电阻电压 U_1 、 U_2 ; (2)若将电阻 R_2 换成 80Ω ,再求总电流 I' 和各电阻电压 U'_1 、 U'_2 。

解 (1) $I = \frac{U}{R} = \frac{U}{R_1 + R_2} = \frac{100}{20 + 30} = 2\text{A}$

$$U_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot U = \frac{20}{20 + 30} \times 100 = 40\text{V}$$

$$U_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot U = \frac{30}{20 + 30} \times 100 = 60\text{V}$$

或者 $U_2 = U - U_1 = 100 - 40 = 60\text{V}$ 。

(2) $I' = \frac{U}{R} = \frac{U}{R_1 + R_2} = \frac{100}{20 + 80} = 1\text{A}$

$$U'_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot U = \frac{20}{20 + 80} \times 100 = 20\text{V}$$

$$U'_2 = U - U'_1 = 100 - 20 = 80\text{V}$$

此题说明:当端电压一定时,串联电阻越多(或者阻值越大)电流就越小。在电子电路中,常利用串联电阻的方法来“限流”;电阻串联时,某电阻的阻值越大,所分得的电压越高。

例 1-4 今有一只内电阻为 $1\text{k}\Omega$,满量程为 5V 的伏特计,现要求能测量 100V 的电压,应串联多大的附加电阻 R_x 。(如图 1-10 所示)

解 根据分压公式(1-10)

$$U_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_x} \cdot U$$

据题意有: $5 = \frac{1}{1 + R_x} \times 100$

$$\therefore R_x = 19\text{k}\Omega$$

由上可见:利用串联电阻的方法,可扩大电压表的量程;串联电阻值越大,测量的电压范围越大。在电工测量中广泛应用串联电阻的方法来扩大电表测量电压的量程。

2. 电阻并联及其应用

若干电阻的一端连接在电路的一点上,另一端连接在另一点上的连接形式,称为电阻的并联,如图 1-11 所示。

电阻并联电路具备以下特性:

(1)各电阻的端电压相等,即

$$U = U_1 = U_2 = \dots = U_n \quad (1-11)$$

(2)电路的总电流等于各电阻中电流之和,即

$$I = I_1 + I_2 + \dots + I_n \quad (1-12)$$

(3)电路总电阻的倒数,等于各电阻倒数之和,即

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

若是两个电阻并联,则由式(1-13)可得并联后的总电阻为

$$R = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

若并联的几个电阻值都为 R , 则总电阻为

$$R_{\text{总}} = \frac{R}{n}$$

显然, 并联电路的总电阻一定小于其中的任何一个电阻。

(4) 通过各电阻的电流大小与各电阻值成反比, 即 $I_n \propto \frac{1}{R_n}$ 。若为两个电阻并联, 则电阻 R_1 和 R_2 上的各分流为

$$I_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot I \quad I_2 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot I \quad (1-14)$$

例 1-5 今有一只内电阻 $R_g = 1\text{k}\Omega$, 满偏电流为 $I_g = 100\mu\text{A}$, 欲改制成可测 10mA 的电流表, 求并联电阻 R_x 。(如图 1-12 所示)

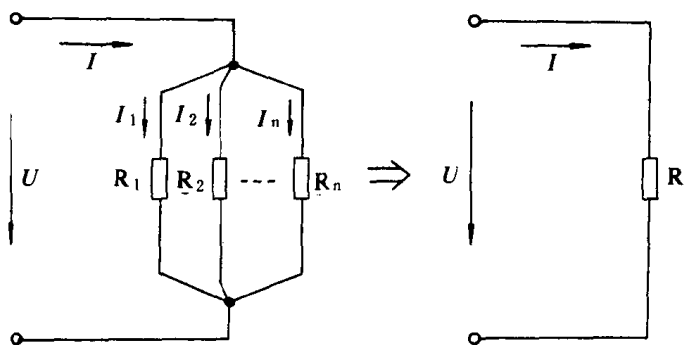


图 1-11 电阻的并联

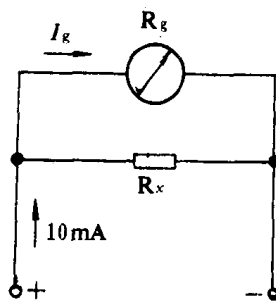


图 1-12 例题 1-5 图

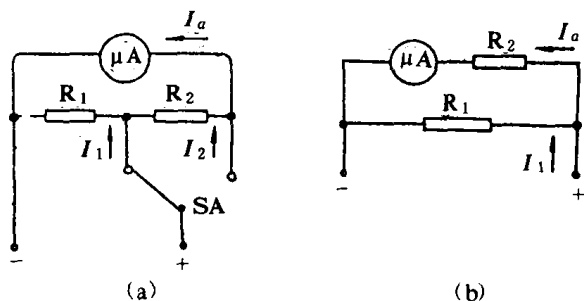


图 1-13 环形分流器

解 根据分流公式(1-14)

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

据题意有: $I_g = \frac{R_x}{R_x + R_g} \cdot I$

$$\therefore R_x = \frac{1}{99} \text{k}\Omega = 10.1\Omega$$

利用并联电阻可分流的原理, 在保持通过表头电流不变的情况下, 使被测电流的大部分通过分流电阻, 可扩大电流表的量程。

例 1-6 在实际测量中, 大多数万用表都采用图 1-13 所示的环形分流器(也叫闭路抽头式分流器)来扩大测量电流的量程。已知微安表的内阻 $R_a = 3750\Omega$, 允许流过的最大电流 $I_a = 40\mu\text{A}$ 。各量程的最大电流分别为 $I_1 = 500\text{mA}$, $I_2 = 50\mu\text{A}$ 。各分流电阻值应为多大?

解 由图 1-13(a)可知, 当使用最小量程 $I_2 = 50\mu\text{A}$ 时, 全部分流电阻串联后再与微安表并联, 则可先求出分流电阻的总电阻

$$R = R_1 + R_2 = \frac{I_a \cdot R_a}{I_2 - I_a} = \frac{40 \times 10^{-6} \times 3650}{(50 - 40) \times 10^{-6}} = 15 \text{ k}\Omega$$

当采用量程 I_1 时,图 1-13(a)可等效为图(b),此时根据并联端电压相等的原理,则

$$I_a \cdot (R_2 + R_a) = (I_1 - I_a) \cdot R_1$$

$$\text{得 } I_a = \frac{R_1}{R_1 + R_2 + R_a} \cdot I_1 = \frac{R_1}{R + R_a} \cdot I_1$$

$$R_1 = \frac{I_a \cdot (R + R_a)}{I_1} = \frac{40 \times 10^{-6} \times (15 \times 10^3 + 3750)}{500 \times 10^{-3}} = 1.5 \Omega$$

$$R_2 = R - R_1 = 15 \text{ k}\Omega - 1.5 \Omega = 14998.5 \Omega$$

三、电气设备的额定值及电路运行状态

1. 电气设备的额定值

电气设备在工作中,如果电路的电流、功率过大,可能引起电源、负载或中间环节中各电气设备的绝缘材料过热,从而降低使用寿命,甚至立即烧毁。电压过高则可能击穿绝缘材料而损坏设备,造成设备和人身事故;电压太低,又会使电气设备处于不良工作状态,甚至不能工作,如白炽灯电压偏低则灯光昏暗,半导体收音机中干电池电压过低则音量微弱失真(甚至不能收听)。因此,对一切电气设备的电流、电压和功率都规定了一个最合理的数值,称为电气设备的额定电流 I_e 、额定电压 U_e 、额定功率 P_e 。例如,一盏白炽灯的规格为 220V、100W;一只电烙铁的规格为 200V、300W;一台电动机的规格为 380V、15kW;CJ20 系列交流接触器的规格为吸引线圈额定电压 127V、额定电流 16A 等。使用电气设备时,实际电流、电压和功率的值应尽可能地和电气设备的额定值相等。

电气设备在运行中,实际工作电流、电压高于额定值称为过载;实际工作电流、电压低于额定值称为欠载;实际工作电流、电压和额定值相等称为满载。

同样,对连接电源和负载的导线上的电流也应加以限制,否则会因功率损耗过多,造成导线发热温度过高,使绝缘损坏。因此,在选择导线时,也应考虑工作电流不超过其导线的额定电流值。

例 1-7 今有两盏额定值分别为 220V/60W 和 220V/100W 的白炽灯。(1)将它们并联接于 220V 的电源下工作,实际消耗的功率为多少?(2)若将它们串联接于 440V 的电源下工作,实际消耗的功率又为多少?能否正常工作?

解 (1)因外接电源电压恰为各灯泡的额定电压值,故两灯泡处于额定状态,正常发光,消耗额定功率分别应为 6W 和 100W。

(2)两灯泡串联使用时,因为它们的电阻值并不相同,故承受的电压不等,而且不处于额定状态。

根据 $P = I \cdot U = \frac{U^2}{R}$ 可得各白炽灯的电阻为

$$R_1 = \frac{U^2}{P_1} = \frac{220^2}{60} = 806.7 \Omega$$

$$R_2 = \frac{U^2}{P_2} = \frac{220^2}{100} = 484 \Omega$$

再求各灯承受电压为

$$U_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot U = \frac{806.7}{806.7 + 484} \times 440 = 275\text{V}$$

$$U_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot U = \frac{484}{806.7 + 484} \times 440 = 165\text{V}$$

则实际消耗功率为

$$P'_1 = \frac{U_1^2}{R_1} = \frac{275^2}{806.7} = 93.75\text{W}$$

$$P'_2 = \frac{U_2^2}{R_2} = \frac{165^2}{484} = 56.25\text{W}$$

由于不处于额定状态,有一盏灯过载而导致损坏,不能正常工作。

2. 电路的运行状态

由于通常所用的电源以电压源为多,所以下面就电源为电压源的情况来讨论电路的三种运行状态,如图 1-14 所示。

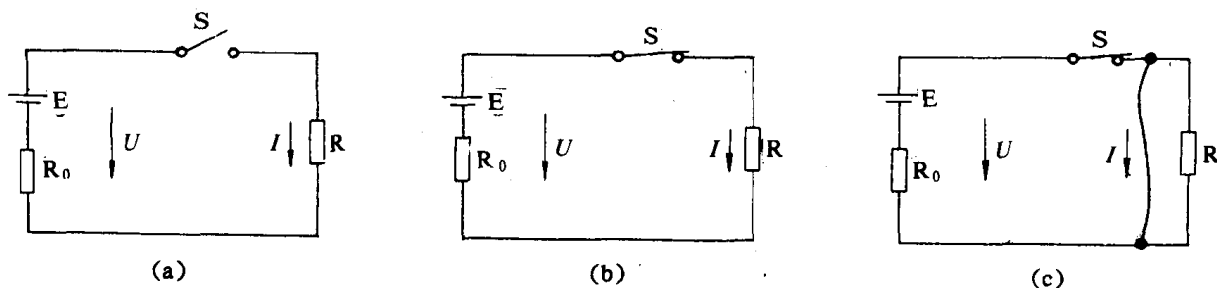


图 1-14 电路的三种状态图

(1) 开路 开路又叫断路,典型的开路状态如图 1-14(a)所示:电路中的电流为零;电源内阻压降等于零,故电源端电压等于电源电动势,利用这一特性可以测得电源的电动势;开路时电路中无功率转换,电阻不消耗功率,电源也不向负载提供功率。这种状态称为空载运行状态,即电源功率 $P_E = 0$;负载功率 $P_R = 0$ 。

(2) 通路 如图 1-14(b)所示,当电路中开关 S 闭合之后,电流通过负载,电阻消耗功率,这种工作状态称为负载状态。此时,由于电源内阻也有电压降,故电源端电压应小于电动势, $U = E - I \cdot R_0$;电源产生的总功率等于电源内阻 R_0 和负载电阻 R 所吸收的功率,即 $E \cdot I = I^2 \cdot R_0 + I^2 \cdot R$ 。

(3) 短路 当负载电阻为零时,电路的状态称为短路状态,见图 1-14(c)。发生短路的电路电流叫短路电流,其值为 E/R ,由于 R_0 一般都很小,故电路的电流很大,在电源内阻上消耗的功率也很大,产生大量热量,可能将电源立即烧毁。总之,电源短路是一种严重的事故状态,在用电过程中应注意避免。为了避免发生短路,在电路中应加有保护电器,如最常用的熔断器及工业控制电路中的自动断路器等。

四、电路的基本定律

电路的基本定律主要包括欧姆定律及基尔霍夫定律,它们阐明了一段电路或整个电路中各部分电压、电流等物理量之间的关系及必须遵循的规律,是分析与计算电路的理论基础和基

本依据。

1. 欧姆定律

欧姆定律是德国科学家欧姆(1787~1854)研究了电路中的电流、电压和电阻三者的关系,首先于1827年得出的实验定律。

(1)部分电路欧姆定律 图1-15所示为一段无源电路。在电路的两端施加电压 U ,则流过电路的电流 I 与所加电压 U 成正比,与这段电路的电阻 R 成反比。这一规律称为一段无源电路的欧姆定律。

图1-15中,在所标电压和电流的参考方向一致的情况下,电压、电流和电阻三者间的关系为

$$U=RI \quad \text{或} \quad I=\frac{U}{R} \quad (1-15a)$$

若电流或电压的参考方向选择得相反,则一段无源电路的欧姆定律的表示式应为

$$I=\frac{-U}{R} \quad (1-15b)$$

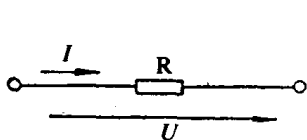


图 1-15 一段无源电路

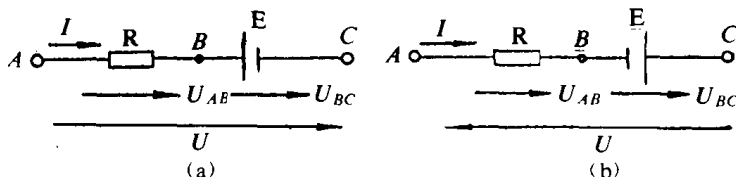


图 1-16 一段含源电路

图1-16所示的既有电阻又有电源的电路,称为含源电路。对于图(a)所示的电压、电流、电动势的参考方向,有

$$U=U_{AB}+U_{BC}=IR+E$$

$$\text{即} \quad I=\frac{-E+U}{R} \quad (1-16a)$$

对图(b)所示的电路,则有

$$U=-(U_{AB}+U_{BC})=-(IR-E)=E-IR$$

$$\text{即} \quad I=\frac{E-U}{R} \quad (1-16b)$$

E 和 U 的正、负号选取与它们参考方向有关;当参考方向与电流 I 的参考方向一致时,取正号,反之取负号。

(2)全电路欧姆定律 图1-17是一个具有电源和负载的无分支闭合回路,称为全电路。通常把电源内部的电路称为内电路,电源外部的电路称为外电路。

全电路欧姆定律的内容是:在闭合回路中,电流的大小与电源电动势成正比,与回路中内、外电阻之和成反比。其表达式为

$$I=\frac{E}{R+r} \quad (1-17)$$

式(1-17)中,电流 I 的参考方向与电动势 E 的参考方向是一致的。

2. 基尔霍夫定律

电路的两条基本定律是欧姆定律和基尔霍夫定律。掌握欧姆定律和电阻串联、并联的特性,就能对简单直流电路进行具体分析和计算。对于复杂直流电路,单用欧姆定律来计算是不行的。德国物理学家基尔霍夫于1847年发表了基尔霍夫定律,从电路的全局和整体上,阐明了各部分电流、电压之间所必须遵循的规律。它既适用于直流电路,也适用于交流电路,对于含有电子元件的非线性电路也适用。因此,它在电路的分析与计算方面具有十分重要的作用。

为了说明基尔霍夫定律的内容,首先要介绍几个有关的术语。

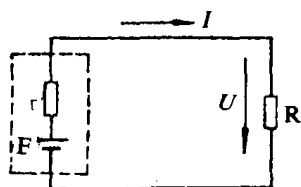


图 1-17 全电路

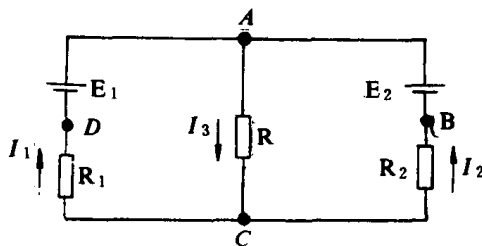


图 1-18 复杂电路电路图

节点: 电路中三条或三条以上连接有电气元件的导线的交点称为节点。如图 1-18 中有 A、C 两个节点。

支路: 两个节点之间的一段电路称为支路。如图 1-18 中有 ABC、AC、ADC 三条支路。

回路: 电路中任何一个闭合的路径称为回路。如图 1-18 中有 ABCA、ACDA、ABCD 三个回路。

网孔(独立回路): 无分支的回路,即最简单的回路称为网孔,又称独立回路。如图 1-18 中有 ABCA、ACDA 两个网孔。

(1)基尔霍夫第一定律 基尔霍夫第一定律也叫节点电流定律。它的内容是:在同一瞬间,流过电路中任一节点的电流的代数和为零。其数学式为

$$\sum I = 0 \quad (1-18)$$

对上式中电流的代数和作出了这样的规定:流入节点的电流为正,流出节点的电流为负。(电流的方向一般均指参考方向)

图 1-19 表示有五个电流汇交的节点,根据图中标出的电流参考方向及式(1-18),可列出该节点的电流方程为

$$-I_1 + I_2 - I_3 + I_4 + I_5 = 0$$

基尔霍夫第一定律的依据是电流的连续性,也就是说,流过任一节点的电荷既不能消失也不能堆积。节点电流定律也适用于电路的任意一个封闭面(假想的节点)。如图 1-20 所示电路,假定一个封闭面把电阻 R_3 、 R_4 、 R_5 所构成的三角形全部包围在里面,则流进封闭面的电流应等于从封闭面流出的电流。其方程为

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

或

$$I_1 + I_2 = I_3$$