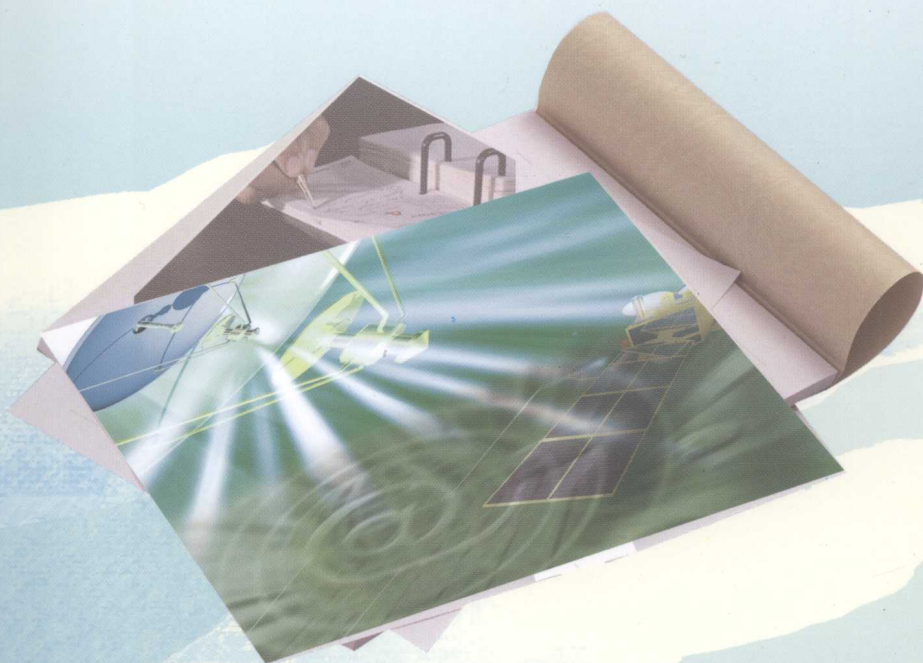


中等职业技术学校教材



电工与 电子技术

江西省技工学校教学研究室 编



中国财政经济出版社

中等职业技术学校教材

电工与电子技术

江西省技工学校教学研究室 编

中国财政经济出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

电工与电子技术/江西省技工学校教学研究室编. —北京: 中国财政经济出版社, 2007.8
中等职业技术学校教材

ISBN 978 - 7 - 5095 - 0077 - 4

I. 电… II. 江… III. ①电工技术 - 专业学校 - 教材 ②电子技术 - 专业学校 - 教材
IV. TM.TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 107392 号

中国财政经济出版社出版

URL: <http://www.cfeph.cn>

E-mail: cfeph @ cfeph.cn

(版权所有 翻印必究)

社址: 北京市海淀区阜成路甲 28 号 邮政编码: 100036

发行处电话: 88190406 财经书店电话: 64033436

北京牛山世兴印刷厂印刷 各地新华书店经销

787 × 1092 毫米 16 开 17.25 印张 413 000 字

2007 年 8 月第 1 版 2007 年 8 月北京第 1 次印刷

定价: 28.00 元

ISBN 978 - 7 - 5095 - 0077 - 4/TM · 0001

(图书出现印装问题, 本社负责调换)

江西省技工教材编审委员会

主任委员	刘奇兰		
副主任委员	张小岗	何 坚	
委 员	韩林平	邱欣群	常 青
	庞钧涛	肖 文	侯祖飞
	杨乐文	张醒清	彭有华
	欧阳枝德	章国顺	朱永刚
	汪发兴	于 涛	

前 言

为适应中等职业技术学校的教学改革,本着“实用、顶用、够用”的原则,江西省技工教材编审委员会组织了一批具有中等职业教育教学经验的教师,编写中等职业技术学校系列教材,本书是系列教材之一。

本书根据劳动和社会保障部颁发的《电工与电子技术教学大纲》编写,可供中等职业学校相关专业使用。

本书讲述了电工和电子技术的基本概念、基本规律、基本分析方法和实际应用知识。本书包括直流电路、正弦交流电路、交流铁心线圈和铁心变压器、常用电动机、低压电器和控制电路、供电及安全用电、半导体器件、放大电路及集成运放、整流及稳压电路、数字电路的基础知识、组合逻辑电路、时序逻辑电路、脉冲波形的产生与变换及数/模、模/数转换等内容。

本课程参考教学时数为 90 学时左右,为了在有限的学时内完成本课程教学,并能达到课程基本要求,本书在编排和教材处理上尽量做到结构紧凑、内容简明、脉络清晰、便于教学。

本书由李伟萍主编。第一章、第二章李伟萍编写;第三章、第四章、第五章、第六章由徐裕和编写;第七章、第八章、第九章由黎宇编写;第十章、第十三章、附录由左伟平编写;第十一章、第十二章由刘名琪编写。

在本书编写过程中,得到了萍乡市高级技工学校、江西冶金高级技工学校、赣州高级技工学校、新余市技工学校、核工业南昌技工学校的大力支持,在此表示感谢。

由于编写时间仓促,加上编者水平有限,书中难免存在不足之处,恳请使用本书的同志提出宝贵意见和建议,以便修订完善。

编 者

2007 年 5 月

目 录

第一章 直流电路	(1)
第一节 电路的作用和工作状态	(1)
第二节 电 流	(2)
第三节 电压与电位	(4)
第四节 电动势	(5)
第五节 电 阻	(5)
第六节 欧姆定律	(7)
第七节 电功和电功率	(8)
第八节 电阻的串联与并联	(8)
第九节 基尔霍夫定律	(10)
第十节 电路的分析计算	(12)
第十一节 电压源、电流源及其等效变换	(15)
第二章 正弦交流电路	(22)
第一节 正弦交流电路的基本概念	(22)
第二节 正弦交流电的三种表示方法	(25)
第三节 纯电阻交流电路	(27)
第四节 纯电感交流电路	(29)
第五节 纯电容交流电路	(31)
第六节 串联电路	(34)
第七节 线圈和电容并联的电路、功率因数的提高	(37)
第八节 三相对称电源的产生	(39)
第九节 三相电源的连接	(40)
第十节 三相负载的连接	(42)
第十一节 三相电路的功率	(45)
第三章 交流铁心线圈和变压器	(51)
第一节 铁心线圈交流电路	(51)
第二节 变压器的结构和工作原理	(52)
第三节 特殊变压器	(55)

第四章 电动机	(60)
第一节 三相异步电动机的基本结构	(60)
第二节 三相异步电动机的工作原理	(62)
第三节 三相异步电动机的机械特性	(65)
第四节 三相异步电动机的铭牌	(67)
第五节 三相异步电动机的起动、调速和制动	(68)
第六节 单相异步电动机	(69)
第七节 同步电动机、直流电动机、交流换向器电动机	(71)
第五章 低压电器和控制电路	(76)
第一节 常用低压电器	(76)
第二节 三相异步电动机的控制线路	(83)
第六章 供电及安全用电	(89)
第一节 供电系统	(89)
第二节 用电安全技术	(90)
第七章 半导体器件	(95)
第一节 半导体基础知识	(95)
第二节 半导体二极管	(97)
第三节 半导体三极管	(100)
第四节 晶闸管	(105)
第八章 放大电路及集成运放	(112)
第一节 基本共射放大电路	(112)
第二节 多级放大电路和反馈放大电路	(121)
第三节 功率放大器	(129)
第四节 集成运放及其应用	(133)
第九章 整流及稳压电路	(156)
第一节 整流滤波电路	(156)
第二节 稳压电路	(162)
第三节 晶闸管可控整流电路	(164)
第十章 数字电路的基础知识	(174)
第一节 数字信号与数字电路的基本概念	(174)
第二节 数制与码制	(175)
第三节 逻辑代数基础	(177)

第四节	逻辑门电路.....	(183)
第十一章	组合逻辑电路	(196)
第一节	组合逻辑电路的基础知识.....	(196)
第二节	加法器.....	(198)
第三节	编码器.....	(200)
第四节	译码器.....	(203)
第十二章	时序逻辑电路	(215)
第一节	时序逻辑电路的基础知识.....	(215)
第二节	触发器.....	(216)
第三节	寄存器.....	(223)
第四节	计数器.....	(228)
第十三章	脉冲波形的产生与变换及数/模、模/数转换	(241)
第一节	脉冲波形的产生与变换.....	(241)
第二节	A/D 转换器与 D/A 转换器	(247)
附 录	《Electronics Workbench》软件使用简介	(253)

第一章 直流电路

本章主要介绍电路的基本概念，电流、电压（电位）、电动势、电阻、电功、电功率等电路的基本物理量和电路的基本定律。并运用欧姆定律、基尔霍夫定律和电阻的串联、并联规律对电路进行分析和计算。

第一节 电路的作用和工作状态

一、电路及电路图

1. 电路

在日常生活中，把一个灯泡通过开关、导线和干电池直接起来，就组成了一个照明电路，如图 1-1 (a) 所示。当合上开关时，电路中就有电流通过，灯泡就发光。工厂企业中，电动机通过开关、导线和电源连接起来，组成动力电路。当电源接通时，电动机就转起来。这种把各种电气设备和元件，按一定方式连接起来构成的电流通路称为电路。简单地讲，电路就是电流通过的路径。

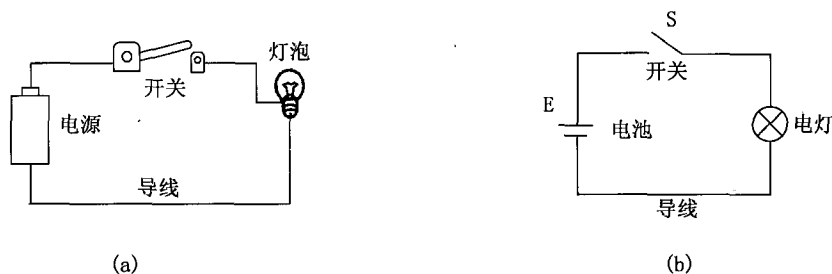


图 1-1

电路通常由电源、负载、开关和导线等基本部分组成。

电源 把其他形式的能量转变成电能的装置。发电机、干电池等都是电源。发电机把机械能转换成电能，干电池把化学能转换成电能。

负载 把电能转变成其他形式能量的装置。电灯、电动机等都是负载。电灯将电能转变成光能，电动机把电能转变成机械能。

导线和开关 导线是用来连接电源和负载的元件。开关是控制电路接通和断开的装置。

2. 电路图

为了便于分析、研究电路，通常将电路的实际元件用图形符号表示，画出其电路模型图，如图 1-1 (b) 所示。这种用统一规定的图形符号画出的电路模型图称为电路图。

常用电路元件符号如表 1-1 所示。

表 1-1 常用电路元件符号

元件名称	电路符号	元件名称	电路符号	元件名称	电路符号
电 池		电 感		电压表	
电压源		电 容		电流表	
电 阻		电 灯		开 关	
二极管		熔断器		接 地	

二、电路的工作状态

1. 通路

通路就是电源与负载接成闭合回路，也就是图 1-1 所示电路中开关合上时的工作状态，这时电路中有电流通过。必须注意，处于电路状态的各种电气设备的电压、电流、功率等数值不能超过其额定值。

2. 断路

断路就是电源与负载未接成闭合回路。在图 1-1 中，开关断开时的工作状态就是断路，电路中没有电流通过。在实际电路中，电气设备与电气设备之间、电气设备与导线连接时的接触不良也会使电路处于断路状态。断路又称开路。

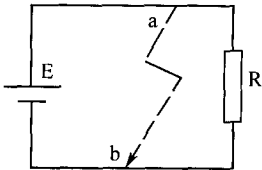


图 1-2 电路短路

3. 短路

短路就是电源两端的导线直接相连，这时电源输出的电流不经过负载直接流回电源，如图 1-2 所示。短路时，电路中流过比正常工作时大得多的电流，可能烧坏电源和其他设备。所以，应严防电路发生短路。

思考题

- 1. 电路主要由哪几个部分组成？各部分的作用是什么？
- 2. 电路有哪几种工作状态？

第二节 电 流

一、电流的形成

在金属导体中存在着大量的电子。金属原子的内层电子被原子核紧紧地束缚着，不能自由地运动。而原子的外层电子受原子核的束缚力较弱，容易脱离原子核的束缚，自由地运

动。这些自由运动的电子叫自由电子。金属中的自由电子作定向移动就形成电流。

一般情况下，导体内的自由电子是处于不规则的运动状态。如果在导体两端加一个电场，则导体内的自由电子受到电场力的作用作定向运动就形成了电流。

在某些液体或气体中，电流则是正离子或负离子在电场力作用下作定向移动形成的。

二、电流的大小和方向

电流的大小取决于在一定时间通过导体横截面的电荷量多少。我们用电流强度表示电流的大小，电流强度简称电流，用符号 I 表示。设在 t 秒内通过导体横截面的电量是 Q ，则电流为

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

在国际单位制中，电流的基本单位是安培（A）。如果每秒钟内通过导体截面的电量为 1 库仑时，则电流是 1 安培。常用电流单位还有千安（KA）、毫安（mA）、微安（ μA ）等，其关系如下：

$$1\text{ KA} = 10^3\text{ A}$$

$$1\text{ mA} = 10^{-3}\text{ A}$$

$$1\mu\text{ A} = 10^{-6}\text{ A}$$

在不同的导电物质中，形成电流的运动电荷可以是正电荷，也可以是负电荷，甚至两者都有，规定以正电荷定向移动方向为电流方向。

在分析或计算电路时，常常要求出电流的方向。但是电路比较复杂时，某段电路中电流的实际方向往往难以确定，此时可先假定电流的参考方向，然后列方程求解，当解出的电流量为正值时，就认为电流方向与参考方向一致。反之，当电流为负值时，就认为电流方向与参考方向相反，如图 1-3 所示。

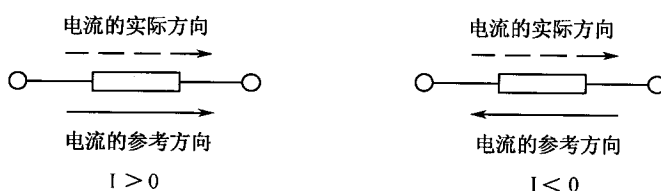


图 1-3 电流的方向

电流有直流电和交流电两种，大小和方向不随时间变化的电流叫直流电。大小和方向随时间改变的电流称为交流电。

思考题

1. 电流是如何形成的？
2. 什么是电流的实际方向和参考方向？二者有何关系？

第三节 电压与电位

一、电压

在电路中电荷之所以能定向移动，是由于电场力作用的缘故。如图 1-4 所示，电场力把正电荷从导体的 A 端移到导体 B 端，电场力对正电荷做功，正电荷所具有的电势能减小，从而把电能转换成其他形式的能。

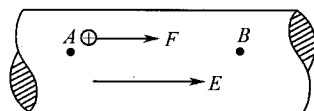


图 1-4 电压的定义

电场力 F 把正电荷从 A 端移到 B 端所做的功 W_{AB} 与被移动的电荷量 Q 的比值称为 A、B 两端间的电压，用 U_{AB} 表示，则

$$U_{AB} = \frac{W_{AB}}{Q} \quad (1-1)$$

由 (1-1) 式可知，A、B 两端间的电压在数值上等于电场力把单位正电荷从 A 端移到 B 端所做的功。

在国际单位制中，电压的单位是伏特 (V)。常用单位还有千伏 (KV)、毫伏 (mV) 和微伏 (μV) 等，它们之间的关系是

$$1 \text{ KV} = 10^3 \text{ V}$$

$$1 \text{ mV} = 10^{-3} \text{ V}$$

$$1 \mu \text{ V} = 10^{-6} \text{ V}$$

电压不但有大小也有方向，电压的实际方向为正电荷的运动方向，即电压的方向是由电源的正极到负极。在电路分析中，经常需要选定一个方向为电压的参考方向，在参考方向下计算出电压为正，说明电压的实际方向与参考方向相同；计算为负时，电压的参考方向与实际方向相反。

二、电位

在电路分析时，经常用到电位这个物理量，以便分析各点之间的电压。如图 1-5 所示，在电路中任选一点（如 O 点）作为参考点，参考点的电位为零，则某点（如 A 点）到参考点电压就叫做该点的电位。用符号 U_A 表示。即 $U_A = U_{AO}$ 。如果 A、B 两点的电位分别为 U_A 、 U_B ，则 $U_{AB} = U_A - U_B$ 。因此，两点间的电压就是该两点的电位之差。电压的实际方向是由高电位点指向低电位点。所以电压又称为电压降。

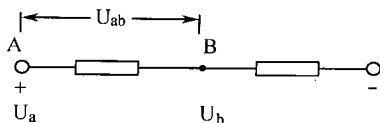


图 1-5 电压和电位

思考题

电压和电位之间有什么区别和联系？若电路中某两点的电位很高，这两点之间的电压是否就很大？

第四节 电 动 势

如图 1-6 所示电路，在电场力的作用下，a 极板上的正电荷沿着导线通过灯泡到达 b 极板，与 b 极板上的负电荷中和。正、负两极上的电荷都将逐渐减少，两极之间的电压将逐渐降低，正、负电荷完全中和后，两极之间电压为零，电流中断。

为了得到持续不断的电流，极板间就必须有一种非电场力能将正电荷从负极源源不断地移到正极。这个任务是由电源来完成的。在电源内部，由于其他形式能量的作用，产生一种对电荷的作用力，叫做电源力。正电荷在电源力（ $F_{\text{非}}$ ）的作用下，从低电位移向高电位，从而保持 a 极板的正电荷和 b 极板的负电荷恒定不变，使电源两端保持电位差。不同的电源中，电源力的来源不同，电池中的电源力是化学作用产生的，发电机的电源力则是电磁作用产生的。

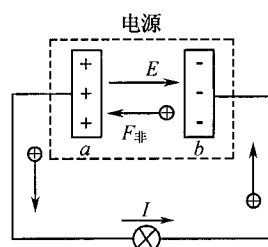


图 1-6 电源的电动势

电源力在移动正电荷的过程中做功，把其他形式的能量转化为电能。为了衡量电源力做功的能力，我们引入电动势这个物理量。在电源内部，电源力将单位正电荷从电源负极移到正极所做的功叫做电源的电动势，用符号 E 表示，即：

$$E = \frac{W_{ba}}{Q} \quad (1-2)$$

电动势的单位是 V，方向由电源负极指向正极。

思考题

什么是电动势？它与电压有何差别？

第五节 电 阻

一、电阻

当电流通过金属导体时，做定向移动的自由电子会与金属中的带电粒子发生碰撞，可见

导体对电流有阻碍作用。电阻就是反映导体对电流阻碍作用大小的物理量。用符号 R 表示，国际单位是欧（Ω）。常用单位有千欧（KΩ）和兆欧（MΩ）等，它们之间的关系是：

$$1\text{ K}\Omega = 10^3\Omega \tag{1-3}$$

$$1\text{ M}\Omega = 10^6\Omega \tag{1-4}$$

二、电阻定律

导体存在电阻，那么导体电阻的大小与哪些因素有关呢？实验证明，导体的电阻与导体的长度成正比，与导体的截面积成反比，还与导体的材料有关。其大小以下式计算：

$$R = \rho \frac{l}{S} \tag{1-5}$$

式中 l 的导体长度单位为 m；S 为导体截面积，单位为 m²；ρ 是导体的电阻率，单位是 Ω。表 1-2 列出了几种常见导体材料的电阻率。

表 1-2 几种材料在 20℃时的电阻率

材料		电阻率/Ω·m	主要用途
纯金属	银	1.6×10^{-8}	导线镀银
	铜	1.6×10^{-8}	各种导线
	铝	1.6×10^{-8}	各种导线
	钨	5.3×10^{-8}	电灯灯丝、电器触头
	铁	1.0×10^{-7}	电工材料
合金	锰铜（85%铜、12%锰、3%镍）	4.4×10^{-7}	标准电阻、滑线电阻
	康铜（54%铜、46%镍）	5.0×10^{-7}	标准电阻、滑线电阻
	铝铬铁电阻丝	1.2×10^{-6}	电炉丝
半导体	硒、锗、硅等	$10^{-4} \sim 10^7$	制造各种晶体管、晶闸管
绝缘体	赛璐珞	10^8	电器绝缘
	电木、塑料	$10^{10} \sim 10^{14}$	电器外壳、绝缘支架
	橡胶	$10^{13} \sim 10^{16}$	绝缘手套、鞋、垫

根据电工材料的导电性能可将材料分为导体、绝缘和半导体三类。

具有良好的导电性能的材料称为导体，导电性能很差的材料称为绝缘体。导电性能介于导体和绝缘体之间的材料称为半导体。

思考题

什么是导体的电阻？导体电阻与哪些因素有关？

第六节 欧姆定律

电流和电压是电路的基本物理量，电阻是电路元件的参数，分析电路就是研究电压与电流的关系。欧姆定律是确定电阻元件两端电压与电流和电阻三者之间的关系。

德国科学家欧姆通过大量的实验在 1827 年得到一个重要的结论：电阻中的电流与电阻两端电压成正比，而与电阻的阻值成反比。这就是欧姆定律，它是电路的重要定律。欧姆定律可以用下式表示：

$$I = \frac{U}{R} \quad (1-6)$$

应用上式时应注意，电压与电流参考方向应相同，即关联参考方向。如电压与电流的参考方向相反时，则欧姆定律应为：

$$I = -\frac{U}{R} \quad (1-7)$$

所以欧姆定律的公式必须与电压、电流的参考方向配合使用，如图 1-7 所示。



图 1-7 欧姆定律和电压、电流的参考方向的关系

【例 1-1】如果人体电阻的最小值为 800Ω ，通过人体的电流达到 50mA 时，会引起呼吸器官的麻痹，不能自主摆脱电源，试求人体的安全工作电压。

解：由欧姆定律可知：

$$U = IR = 50 \times 10^{-3} \times 800 = 40\text{V}$$

所以人体的安全工作电压就在 40V 以下。

【例 1-2】已知电源电压为 6V ，电阻为 $2\text{k}\Omega$ ，求在图 1-8 (a) 和图 1-8 (b) 指定的参考方向下的电流。



图 1-8

解：在 (a) 图中，电压与电流参考方向相同，由欧姆定律可知：

$$I = \frac{U}{R} = \frac{6}{2 \times 10^{-3}} = 3 \times 10^{-3}\text{A} = 3\text{mA}$$

在 (b) 图中，电压与电流参考方向相反，则：

$$I = -\frac{U}{R} = -\frac{6}{2 \times 10^3} = -3 \times 10^{-3} \text{ A} = -3 \text{ mA}$$

电流为负说明电流与电压的方向相反，正负号在电路中只代表方向、不代表大小。

思考题

欧姆定律确定了哪几个量之间的关系？

第七节 电功和电功率

一、电功

电流流过负载时，负载将电能转换成其他形式的能量，这一过程称之为电流做功，简称电功，用字母 W 表示。我们可以推导出如下计算公式：

$$W = UIt \quad (1-8)$$

在国际单位制中，功的单位为焦耳 (J)。

二、电功率

电流在单位时间内所做的功，称为电功率，简称功率。用字母 P 表示。

$$P = \frac{W}{t} = UI \quad (1-9)$$

在国际单位制中功率单位为瓦特 (W)，常用单位有千瓦 (KW)、毫瓦 (mW) 等。

第八节 电阻的串联与并联

一、电阻的串联及其分压

把两个或两个以上电阻依次连接，组成一条无分支电路，这样的连接方式叫做电阻的串联，如图 1-9 所示。

电阻串联有以下性质：

(1) 串联电路中流过每个电阻的电流相等，即：

$$I = I_1 = I_2 = \cdots = I_n$$

式中脚标 1、2、…… n 分别代表第 1、第 2、……第 n 个电阻。

(2) 串联电路两端的总电压等于各电阻两端的分电压

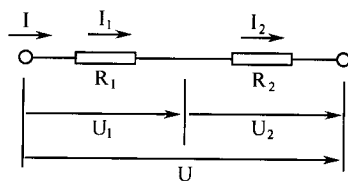


图 1-9 串联电路

之和, 即:

$$U = U_1 + U_2 + \cdots + U_n$$

(3) 串联电路的等效电阻 (总电阻) 等于各串联电阻值之和, 即:

$$R = R_1 + R_2 + \cdots + R_n$$

根据欧姆定律 $U = IR$, $U_1 = I_1 R_1$, $U_2 = I_2 R_2$ 及串联电路性质 (1) 得:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2}, \quad \frac{U_1}{U} = \frac{R_1}{R}$$

上式表明, 在串联电路中, 各电阻上分配的电压与电阻值成正比。

若两个电阻串联, 已知串联电阻总电压 U 及电阻 R_1 、 R_2 , 则有:

$$U_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} U, \quad U_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U$$

上式即为串联电路的分压公式。

【例 1-3】图 1-10 是一个万用表表头, 它的等效电阻 $R_g = 10\text{K}\Omega$, 满刻度电流 $I_g = 50\mu\text{A}$, 若改装成量程为 10V 的电压表, 则应串联多大的电阻?

解: 当表头满刻度时, 表头两端电压为:

$$U_g = I_g R_g = 50 \times 10^{-6} \times 10 \times 10^3 = 0.5\text{V}$$

显然, 用这个表头只能测 0.5V 以下的电压, 若要改装成量程为 10V 的电压表, 则应串联分压电阻 R_x , 则:

$$R_x = \frac{U_x}{I_g} = \frac{U - U_g}{I_g} = \frac{10 - 0.5}{50 \times 10^{-6}} = 1.9 \times 10^5 \Omega = 190\text{K}\Omega$$

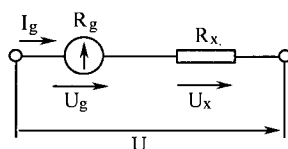


图 1-10

二、电阻的并联及分流

两个或两个以上的电阻接在电路中相同的两点之间, 承受同一电压, 这样的连接方式叫做电阻的并联, 如图 1-11 所示。

电阻并联具有以下性质:

(1) 并联电路中各电阻两端的电压相等, 且等于电路两端的总电压, 即:

$$U = U_1 = U_2 = \cdots = U_n$$

(2) 并联电路的总电流等于流过各电阻的电流之和, 即:

$$I = I_1 + I_2 + \cdots + I_n$$

(3) 并联电路的等效电阻 (总电阻) 的倒数等于各电阻的倒数之和, 即:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \cdots + \frac{1}{R_n}$$

由欧姆定律和并联电路性质 (1) 可得:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}, \quad \frac{I_1}{I} = \frac{R}{R_1}$$

上式表明, 在并联电路中, 通过各支路的电流与支路的电阻值成反比。

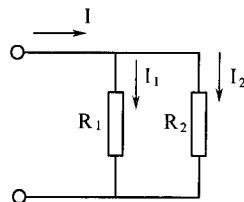


图 1-11 两个电阻并联电路