



职业院校教改规划教材

电工电子技术

马来焕 主编

陕西人民教育出版社

职业院校教改规划教材

电工电子技术

主 编 马来焕

副主编 刘公信 宋学锋 王 璞 唐惠龙

牟宏钧 史春侠 袁卫东

陕西人民教育出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

电工电子技术/马来焕主编. —西安: 陕西人民教育出版社, 2006. 8

ISBN 7-5419-9699-8

I. 电… II. 马… III. ①电工技术—职业教育—教材②电子技术—职业教育—教材 IV. ①TM②TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 101686 号

电 工 电 子 技 术

马来焕 主编

陕西人民教育出版社出版发行

(西安市长安南路 181 号 邮政编码: 710061)

各地新华书店经销 五二三振兴印刷厂印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 15 印张 336 千字

2006 年 8 月第 1 版 2006 年 8 月第 1 次印刷

ISBN7-5419-9699-8/TN·18

定价: 26.00 元

前 言

本教材依据教育部高等职业教育电工电子技术课程的教学基本要求,为高等职业技术学院机电技术应用、数控技术应用、机械设计制造、自动化及相关专业编写的电工电子技术教材。在教材编写过程中,力求在以下两个方面做一些工作:第一,在教材内容的选材上,重视基本概念、基本分析方法的介绍,淡化理论分析,降低理论难度。把握“必需、够用”的原则;第二,力求课程内容的实践性,紧密联系生产实际,将专业理论与生产实践尽可能有机结合。各章节内容安排相对独立,便于不同专业、不同学时的学生根据需要选学。

教材共分十三章内容,第一章为直流电路,第二章为正弦交流电路,第三章为三相交流电路,第四章为变压器,第五章为电动机,第六章为工厂供电与安全用电,第七章为常用半导体器件,第八章为基本放大电路,第九章为集成运算放大器,第十章为直流稳压电源,第十一章为逻辑门电路,第十二章为组合逻辑电路,第十三章为时序逻辑电路。各章后都附有一定的思考题,以便学生对所学知识的巩固和提高。

本书由宝鸡职业技术学院马来焕主编,宝鸡职业技术学院刘公信、宋学锋、王瑛、唐惠龙、牟宏钧、史春侠、袁卫东副主编。全书由唐惠龙、王瑛统稿。

本教材的编写参考了大量的文献资料,借鉴了许多同行宝贵的经验,同时,宝鸡职业技术学院领导和工学部领导给予了大力支持,在此一并表示衷心的感谢。由于编者水平有限,对于本书出现的疏漏及不足之处,恳请业界专家、学者及使用本书的广大读者批评指正。

编者

二〇〇六年七月

目 录

第一章 直流电路

§ 1—1 电路模型	(1)
§ 1—2 电路的基本物理量	(3)
§ 1—3 电阻元件	(6)
§ 1—4 电阻串联与并联	(8)
§ 1—5 电压源与电流源及其等效变换	(10)
§ 1—6 基尔霍夫定律	(14)
§ 1—7 电路的工作状态	(16)
§ 1—8 支路电流法	(18)
§ 1—9 戴维宁定理	(20)
本章小结	(21)
思考题	(22)

第二章 正弦交流电路

§ 2—1 正弦交流电量的特征	(24)
§ 2—2 正弦交流电量的表示法	(28)
§ 2—3 纯电阻电路	(30)
§ 2—4 纯电感电路	(32)
§ 2—5 纯电容电路	(35)
§ 2—6 RLC 串联电路	(38)
§ 2—7 正弦交流电路的应用举例—— 日光灯电路	(45)
本章小结	(46)
思考题	(47)

第三章 三相交流电路

§ 3—1 三相交流电源	(49)
§ 3—2 三相交流电源的连接	(50)
§ 3—3 三相交流负载的连接	(51)
§ 3—4 三相交流电路的功率	(54)
本章小结	(56)

思考题	(56)
-----------	------

第四章 变压器

§ 4—1 变压器的基本结构和分类	(58)
§ 4—2 单相变压器	(61)
§ 4—3 单相变压器的运行特性	(64)
§ 4—4 三相变压器	(65)
本章小结	(67)
思考题	(67)

第五章 电动机

§ 5—1 三相异步电动机的基本结构和 工作原理	(69)
§ 5—2 三相异步电动机的运行特性	(77)
§ 5—3 三相异步电动机的起动、调速和 制动	(78)
§ 5—4 单相异步电动机	(82)
§ 5—5 控制电机	(84)
本章小结	(88)
思考题	(88)

第六章 工厂供电与安全用电

§ 6—1 电能的产生、传输与分配	(90)
§ 6—2 工厂供电	(91)
§ 6—3 安全用电	(92)
本章小结	(95)
思考题	(95)

第七章 常用半导体器件

§ 7—1 半导体的基本知识	(97)
§ 7—2 PN 结及其单向导电性	(99)
§ 7—3 半导体二极管	(100)

§ 7—4 稳压二极管	(103)
§ 7—5 半导体三极管	(105)
本章小结	(110)
思考题	(111)

第八章 基本放大电路

§ 8—1 基本放大电路的组成及各元件 作用	(113)
§ 8—2 共发射极放大电路	(114)
§ 8—3 静态工作点的稳定——分压式 偏置电路	(121)
§ 8—4 共集电极放大电路——射极输 出器	(124)
§ 8—5 多级放大电路	(127)
§ 8—6 放大电路中的负反馈	(129)
本章小结	(132)
思考题	(133)

第九章 集成运算放大器

§ 9—1 集成运算放大器的组成	(137)
§ 9—2 理想集成运算放大器	(139)
§ 9—3 理想集成运算放大器的线性应用	(141)
本章小结	(147)
思考题	(148)

第十章 直流稳压电源

§ 10—1 整流电路	(150)
-------------------	-------

§ 10—2 滤波电路	(153)
§ 10—3 稳压电路	(155)
本章小结	(159)
思考题	(159)

第十一章 逻辑门电路

§ 11—1 数字电路概述	(161)
§ 11—2 基本逻辑门电路	(165)
§ 11—3 逻辑代数	(170)
§ 11—4 TTL 集成门电路	(173)
本章小结	(181)
思考题	(182)

第十二章 组合逻辑电路

§ 12—1 概述	(185)
§ 12—2 组合逻辑电路的分析与设计	(185)
§ 12—3 常见的组合逻辑电路	(191)
本章小结	(201)
思考题	(202)

第十三章 时序逻辑电路

§ 13—1 概述	(204)
§ 13—2 触发器	(204)
§ 13—3 寄存器	(211)
§ 13—4 计数器	(214)
§ 13—5 555 集成定时器	(221)
本章小结	(228)
思考题	(229)

第一章

直流电路

电工电子技术的广泛应用,是人类在征服自然过程中所取得的具有划时代意义的光辉成就。人类对电工技术的认识与实践,经历了不断探索、不断发现、不断发展的过程。就电路理论与实践来说,经历了从直流到交流,再到网络理论的发展过程。这一章从直流电路开始,介绍电路的基本理论和基本知识,主要包括以下内容:有关电路的基本概念,包括电路模型、电压电流的参考方向,理想元件;电路的基本定律——基尔霍夫定律;电压源与电流源及其等效变换,支路电流法,戴维宁定理。本章引出的基本概念、基本定律和定理及计算方法既适应于直流电路,也适用于交流电路。

§ 1—1 电路模型

一、电路功能和作用

电路,就是由电工设备和电子元件组成的电流的闭合路径。人们生活在电气化、信息化的社会里,广泛地应用着各种电子产品和电工设备,它们中有各种各样的电路。这些电路的基本作用是进行电能和其他形式的能量之间的转换,主要分两大类。

第一类是电力电路。它的功能是进行能量的转换、传输和分配。例如,控制各种生产设备和家用电器的控制电路;传输、分配电能的电力电路、照明电路等。这类电路的优点是传送功率要大,效率要高。

第二类是信号电路。它的功能是进行信号的传递与处理。例如,扩音机输入的是由声音转换而来的电信号,通过晶体管组成的放大电路,输出的便是放大了的电信号;从而实现了放大功能;电视机可将接收到的信号经过处理,转换成图像和声音。信号电路主要用于转换、传输信息的通信电路;交通运输中使用的各种信号的控制电路等等。

二、电路的组成

各种各样的电路,都是由一些基本部件组成的。我们以常用的手电筒为例来介绍电路的组成,其示意图如图1—1(a)所示。

组成电路的基本部件是:

(1) 电源

是一种将其他形式的能量转换为电能或电信号的装置。例如,发电机将机械能转换为电

能。电源在电路中起激励作用,产生电压和电流。

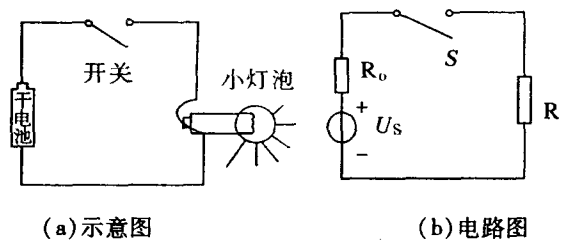


图 1—1 电路举例—手电筒电路

(2) 负载

是取用电能的装置,能将电能或电信号转换为其他形式的能量或信号。例如,电动机将电能转换为机械能,电热炉将电能转换为热能,白炽灯将电能转换为光能。

(3) 中间环节

是指导线和控制电路通断的开关。它们能将电源和负载连接起来,为电流提供通路,把电源的能量供给负载,并根据负载需要接通和断开电路。

三、电路模型

当接触到电路时,就会发现电路十分复杂。电路的大小、尺寸各不相同,大的可达数千公里,甚至连接全世界,如电力网、通信网、因特网;而小的如集成电路,只有几厘米,却是由千千万万个电路集合而成的。所以,实际使用的电路都是由一些电工设备(电源、电动机)和电阻器、电容器、电感线圈、晶体管等电子元件组成,人们使用这些电工设备和电子元件的目的是利用它的电磁性质。

使用电阻器是利用它对电流呈现阻力的性质,同时,电阻器将电能转换成热能而损耗,这种性质称电阻性。实质上,电流通过电阻器还会产生磁场,具有电感性,产生电场,具有电容性。例如:白炽灯、电炉、电烙铁等,它们的电磁特性主要是电阻性,其电感性和电容性十分微弱,在一定的频率范围内可以忽略。电容器的主要电磁特性是建立电场,储存电场能量,突出表现电容性。线圈的主要电磁特性是建立磁场,储存磁场能量,突出表现电感性。为了便于对电路进行分析和计算,可将实际的电路元件加以近似化、理想化,在一定的条件下忽略其次要性质,用足以表现其主要特性的“模型”,即理想元件来表示。每一种理想电路元件只有一种电磁特性,如理想电阻只有电阻性,理想电容只有电容性,理想电感只有电感性,电路模型中的导线也是理想的导线,电阻为零。几种理想电路元件的图形符号和文字如图 1—2 所示。

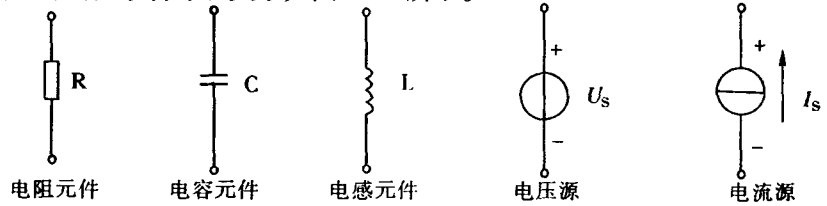


图 1—2 理想电路元件的图形符号

理想电路元件通常简称为电路元件,其特性在第二章作详细介绍。

一些电工设备或电子元件只需用一种电路元件模型来表示,而某些电工设备或电子元件则需用几种电路元件模型的组合来表示。以图 1—1(a)所示手电筒电路就可以用1—1(b)所示的电路模型来表示。在后面各章讨论的电路都是由理想电路元件组成的电路模型。

§ 1—2 电路的基本物理量

电路分析中常用到电流、电压、电位、功率等物理量,本节对这些物理量以及与它们有关的概念进行简要说明。

一、电流

电流是带电离子定向移动而形成的。例如:导体中的自由电子,电解液和半导体中的电子和空穴都是带电离子和载流子。

单位时间内通过导体横截面的电荷量定义为电流,用 i 表示。

$$\text{即 } i = \frac{dq}{dt} \quad (1-1)$$

dq 为 dt 时间内通过导体截面的电荷量。

大小和方向均不随时间变化的电流叫恒定直流,或直流电流。在直流电路中,电流的强弱用电流强度来表示,对于恒定直流,电流强度 I 用单位时间 T 内通过导体截面的电量 Q 来表示,即

$$I = \frac{Q}{T} \quad (1-2)$$

在国际单位制(SI)中,电荷的单位为库仑(C);时间单位为秒(S);电流的单位为安培,简称安(A)。有时也会用千安(kA)、毫安(mA)、微安(μA)、纳安(nA)。其换算关系为:

$$1\text{mA} = 10^{-3}\text{A}, 1\mu\text{A} = 10^{-6}\text{A}, 1\text{nA} = 10^{-9}\text{A}.$$

习惯上,以正电荷的移动方向表示电流的实际方向。在外电路,电流由正极流向负极;在内电路,电流由负极流向正极。

在简单电路中,电流的实际方向可由电源的极性确定;在复杂电路中,电流的方向有时难以确定。为了分析电路的需要,我们引入电流参考正方向的概念。

在进行电路计算时,先任意选定某一方向作为待求电流的正方向,并根据此正方向进行计算,若计算得到结果为正值,说明电流的实际方向与选定的正方向相同;若计算得到结果为负值,说明电流的实际方向与选定的正方向相反。图 1—3 表示电

流的参考正方向(图中实线所示)与实际方向(图中虚线所示)之间的关系。

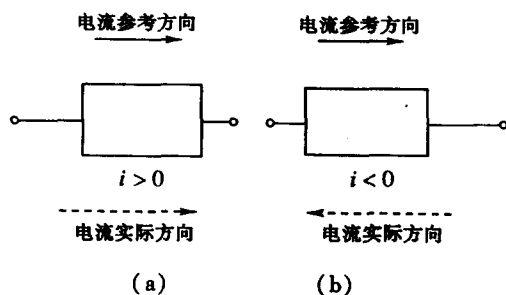


图 1—3 电流的实际方向与参考方向的关系

二、电压

电场力把单位正电荷从电场中点 a 移到点 b 所做的功 W_{ab} 称为 a、b 间的电压, 用 U_{ab} 表示, 即

$$U_{ab} = \frac{W_{ab}}{Q} \quad (1-3)$$

在国际单位制 (SI) 中, 电压的单位为伏特, 简称 (V)。如果电场力把 1C 电量从点 a 移到点 b 所作的功是 1 焦耳, 简称 1J, 则 a 与 b 两点间的电压就是 1V。

计算较大的电压时用千伏 (kV), 计算较小的电压时用毫伏 (mV)。其换算关系为:

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

电压的实际方向规定为从高电位指向低电位, 即由 “+” 极指向 “-” 极, 因此, 在电压的方向上电位是逐渐降低的。

电压是相对两点之间的电位而言的, 所以用双下标表示, 前一个下标 (如 a 代表起点, 后一个下标 (如 b) 代表终点。电压的方向则由起点指向终点, 有时用箭头在图上标明。当标定的参考方向与电压的实际方向相同时图 1—4 (a), 电压为正值; 当标定的参考方向与实际电压方向相反时图 1—4 (b), 电压为负值。

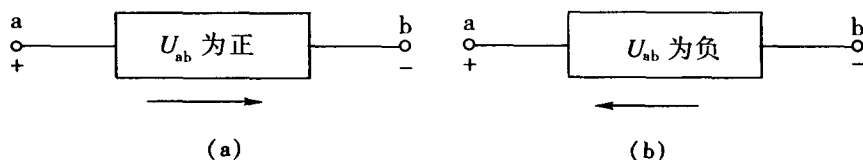


图 1—4 电压参考方向的表示

电路中某一支路或某一元件上的电压与电流参考方向的选定, 可以选一致的方向, 称为关联参考方向, 如图 1—5 (a) 所示。也可以选择不一致的参考方向, 称为非关联参考方向。如图 1—5 (b) 所示。

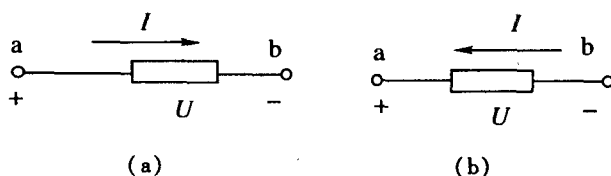


图 1—5 关联参考方向与非关联参考方向

三、电位

在电子线路中, 经常要用到电位的概念。例如, 讨论半导体二极管和三极管的工作状态时必须分析各电极电位, 在电路中任选一点, 叫做参考点, 由该点到参考点的电压就叫 a 点的电位, 用 V_a 表示。根据定义

$$V_a = U_{a0}$$

由电位的定义可知, 电位实际上就是电压。不过电压是对任意两点而言, 而电位则是某一点与参考点之间的电压。

参考点可以任意选择, 一经选定, 电路中其他各点的电位也就确定了, 参考点不同, 电

路中同一点的电位也会随之改变。因此，一个电路只能选一个参考点。

在工程实际中，通常选大地为参考点，在电子线路中，可以选择一条由多个元件汇集并与机壳相连的公共线为参考点，习惯上也称地线。

参考点在电路中用符号“⊥”表示。

通常规定参考点的电位为零，因此，参考点又叫零电位点。这样，电路中各点的电位都可以为正、为负、为零。若某点的电位比参考点高，则该点电位为正值，反之则为负值。

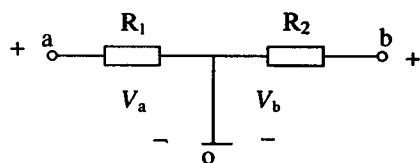


图 1—6 电位表示图

电位实质上就是电压，其单位也是伏特（V）。如图 1—5 所示，以电路中的 0 点为参考点，则有

$$V_a = U_{ao} \quad U_{ab} = U_{ao} + U_{ob} = U_{ao} - U_{bo} = V_a - V_b \quad U_{ab} = -U_{ba}$$

上式说明，电路中 a 点到 b 点的电压等于 a 点电位与 b 点电位之差。当 a 点电位高于 b 点电位时， $U_{ab} > 0$ ，反之， $U_{ab} < 0$ 。若 a 点与 b 点电位相等，则 $U_{ab} = 0$ 。

引入电位的概念后，电压的方向可定义为电位降低的方向，电动势的方向则为电位升高的方向。

四、电动势

为了维持电路中有持续不断的电流，必须有一种外力，把正电荷从低电位处（如负极 B）移到高电位处（如正极 A）。在电源内部就存在着这种外力。

如图 1—7 所示，外力克服电场力把单位正电荷由低电位 B 端移到高电位 A 端，所做的功称为电动势，用 E 表示。电动势的单位也是伏。如果外力把 1C 电量的电荷从点 B 移到点 A，所做的功是 1J，则电动势就等于 1V。

电动势的方向规定为在电源内部从低电位指向高电位，即由“-”极指向“+”极。

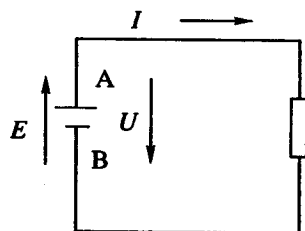


图 1—7 电动势

五、电功率

在直流电路中，根据电压的定义，电场力所做的功是

$W = QU$ 。把单位时间内电场力所做的功称为电功率，简称功率，用字母“ P ”表示，即

$$P = \frac{W}{t} = \frac{QU}{t} = UI \quad (1-4)$$

在国际单位制（SI）中，功率的单位是瓦特（W）。

对于大功率，采用千瓦（kW）或兆瓦（MW）作单位，对于小功率则用毫瓦（mW）或微瓦（ μW ）作单位。

在电源内部，外力做功，使正电荷由低电位移向高电位，电流逆着电场方向流动，将其形式的能量转变成电能，其电功率为：

$$P = EI \quad (1-5)$$

若计算结果 $P > 0$ ，说明该元件是耗能元件；若计算结果 $P < 0$ ，则该元件为供能元件。

当已知设备的功率为 P 时，在 t 秒内消耗的电能为 $W = Pt$ ，电能就等于电场力所作的功，单位是 J（焦耳）。在电工技术中，往往直接用 $W \cdot s$ （瓦特秒）作单位，实际上则用 $kW \cdot h$ （千瓦小时）作单位也称“度”。 $1kW \cdot h = 3.6 \times 10^6 W \cdot s = 1$ 度。

§ 1—3 电阻元件

电阻器是电子电器中应用最广泛的基本元件之一，在电子设备中约占元件总数的 30% 以上，其质量的好坏对电路工作的稳定性有极大影响。它的主要用途是稳定和调节电路中电流和电压，其次还作为分流器、分压器和负载使用。

一、电阻的种类

按电阻的结构形式分类：可分为固定电阻器和可调电阻器两大类。

固定电阻器：固定电阻器的电阻值是固定不变的，阻值大小就是它的标称值。

可调电位器：可调电位器主要指滑动电阻器、电位器，它们的阻值可以在小于标称值的范围内变化，按照分类：可分为碳质电阻器、膜式电阻器和绕线式电阻器三大类。

常见的膜式电阻有碳膜电阻和金属膜电阻等。

二、电阻的主要参数和阻值的表示方法

1. 电阻的主要参数：

电阻的主要参数有：标称阻值、阻值误差、额定功率、最高工作温度、最高工作电压、温度等。一般情况仅考虑前三项，后几项参数只在特殊需要时才考虑。

电阻的标称阻值是按国家规定的阻值系列标注的，如表 1—1 所示，因此选用时，必须按照国家规定的阻值范围将表中的标称值乘以 10^n 就可以得到一系列阻值。例如：表 1—1 中电阻标称值为 15 的就有 1.5Ω 、 $1.5k\Omega$ 等。

表 1—1 电阻的标称阻值系列

阻值系列	允许误差	偏差等级	电阻标称值									
			1.0	1.1	1.2	1.3	1.5	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4
E24	$\pm 5\%$	I	3.3	3.6	3.9	4.3	4.7	5.1	5.6	6.2	6.8	7.5
			1.0	1.1	1.2	1.3	1.5	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4
E12	$\pm 10\%$	II	3.3	3.9	4.7	5.6	6.8					
			1.0	1.2	1.5	1.8	2.2					
E6	$\pm 20\%$	III	3.3	3.9	4.7	5.6	6.8					
			1.0	1.5	2.2							

2. 电阻阻值的表示方法

(1) 直标法

就是将电阻器的标称值用数字和文字符号直接标在电阻体上，其允许偏差则用百分数表

示，未标偏差值的即为 $\pm 20\%$ 的允许偏差。如图 1—8 所示。

(2) 色标法

近年来新电阻材料不断出现，加之集成电路的应用，所需的电阻阻值减小，使得电阻体积越来越小，直标法遇到了困难，色标法得到了越来越多的应用。色标法就是用标注在电阻体上的四条不同颜色的色环来表示，第一道色环表示阻值第一位数字，第二道色环表示阻值第二位数字，第三道色环表示阻值的倍率，第四道色环表示电阻值的误差。色环所代表的数及数字的意义如表 1—2 所示。

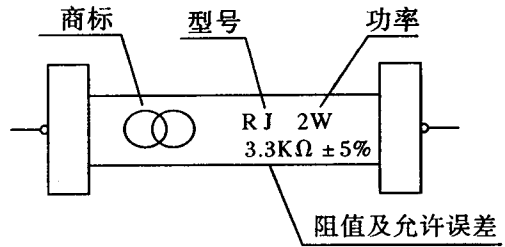


图 1—8 电阻的直标法

表 1—2 色标符号规定

颜色	有效数字	倍率	允许偏差 (%)
银	—	10^{-2}	± 10
金	—	10^{-1}	± 5
黑	0	10^0	—
棕	1	10^1	± 1
红	2	10^2	± 2
橙	3	10^3	
黄	4	10^4	
绿	5	10^5	± 0.5
蓝	6	10^6	± 0.2
紫	7	10^7	± 0.1
灰	8	10^8	—
白	9	10^9	$+5 \sim -20$
无色	—	—	± 20

误差 $\geq \pm 5\%$ 的电阻器一般采用四道色环，左起第三道色环倍率，第四道色环表示允许偏差。
 误差 $\leq \pm 1\%$ 的电阻器大多采用五道色环，左起第四道色环倍率，第五道色环表示允许偏差。

例题：

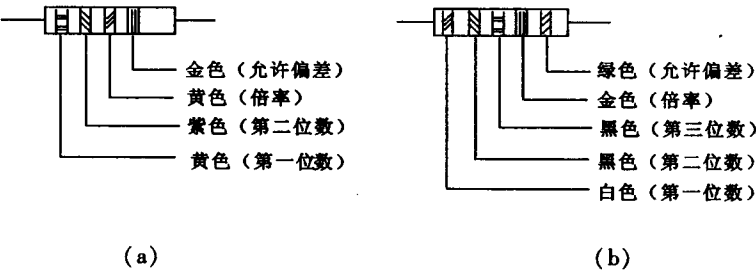


图 1—9 电阻的色环表示法

在图 1—9 (a) 中, 按色环计算: $47 \times 10^4 \Omega = 470 \text{k}\Omega$ (偏差 $\pm 5\%$)

在图 1—9 (b) 中, 按色环计算: $900 \times 10^{-1} \Omega = 90 \Omega$ (偏差 $\pm 0.5\%$)

三、欧姆定律

欧姆定律指出: 通过电阻的电流 I 与加在电阻两端的电压 U 成正比, 与导体的电阻 R 成反比。

图 1—10 所示电路, 若 U 与 I 正方向一致, 则欧姆定律可表示为

$$U = IR \quad (1-6)$$

若 U 与 I 方向不一致, 则欧姆定律表示为

$$U = -IR \quad (1-7)$$

电阻的单位是欧姆 (Ω), 计量大电阻时用千欧 ($\text{k}\Omega$) 或兆欧 ($\text{M}\Omega$)。其换算关系为: $1 \text{k}\Omega = 10^3 \Omega$, $1 \text{M}\Omega = 10^6 \Omega$ 。

电阻的倒数 $G = \frac{1}{R}$, 称为电导, 它的单位为西门子简称 (S)。

四、伏安特性

在温度一定的条件下, 把加在电阻两端的电压与通过电阻的电流之间的关系称为伏安特性。

一般金属电阻的阻值不随所加电压和通过的电流而改变, 即在一定的温度下其阻值是常数, 这种电阻的伏安特性是一条经过原点的直线, 如图 1—11 (a) 所示。把这种电阻称为线性电阻。由此可见, 线性电阻遵守欧姆定律。

电阻的阻值随电压和电流的变化而变化, 其电压与电流的比值不是常数, 这类电阻称之为非线性电阻。例如, 半导体二极管的正向电阻就是非线性的, 它的伏安特性如图 1—11 (b) 所示。半导体三极管的输入、输出电阻也都是非线性的。对于非线性电阻的电路, 欧姆定律不再适用。

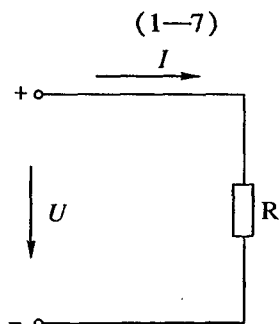
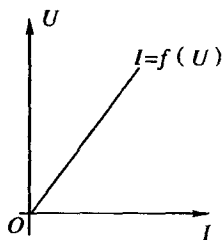
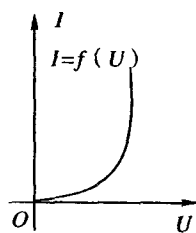


图 1—10 一段电路



(a) 线性电阻的伏安特性



(b) 二极管正向伏安特性

图 1—11

全部由线性元件组成的电路称为线性电路。本章仅讨论线性直流电路。

§ 1—4 电阻的串联与并联

为了满足不同工作的需要, 电路元件有不同的连接方式。将许多电路按不同的方式连接起来, 就组成一个电路网络。

一、电阻的串联

由若干个电阻依次连接成一条无分支的电路，各个电阻流过同一电流，这种连接形式称为串联电路。如图 1—12 所示电路，是由三个电阻串联组成的。

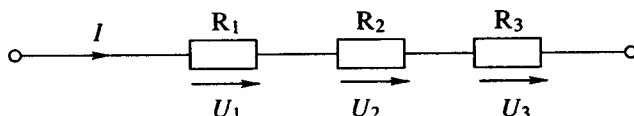


图 1—12 电阻的串联

电阻元件串联有以下几个特点：

1. 流过串联各元件的电流相等，即 $I_1 = I_2 = I_3$ ； (1—8)
2. 等效电阻 $R = R_1 + R_2 + R_3$ ； (1—9)
3. 总电压 $U = U_1 + U_2 + U_3$ ； (1—10)
4. 总功率 $P = P_1 + P_2 + P_3$ ； (1—11)
5. 电阻串联具有分压作用，即

$$U_1 = \frac{R_1 U}{R} \quad U_2 = \frac{R_2 U}{R} \quad U_3 = \frac{R_3 U}{R} \quad (1-12)$$

在实际中，电阻元件串联的应用很多，例如，为了扩大量程，就需要与电压表串联电阻；当负载的额定电压低于电源电压时，可以通过串联一个电阻来分压；为了调节电路中的电流，通常可在电路中串联一个变阻器。

例 1 图 1—13 现有一表头，满刻度电流 $I_0 = 50\mu\text{A}$ ，表头的电阻 $R_G = 3\text{k}\Omega$ ，若要改装成量程为 10V 的电压表，试问应串联一个多大的电阻？

解：当表头满刻度时，它的端电压为 $U_G = 50 \times 10^{-6} \times 3 \times 10^3 = 0.15\text{V}$ 。设量程扩大到 10V 时所需串联的电阻为 R ，则 R 上分得的电压为 $U_R = 10 - 0.15 = 9.85\text{V}$ ，故

$$R = \frac{U_R R_G}{U_G} = \frac{9.85 \times 3 \times 10^3}{0.15} = 197\text{k}\Omega$$

即应串联 $197\text{k}\Omega$ 的电阻，方能将表头改装成量程为 10V 的电压表。

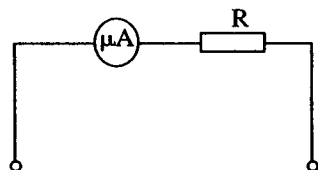


图 1—13 例 1 图

二、电阻的并联

将几个电阻元件都接在两个共同端点之间，每个电阻承受同一电压，这样的连接方式称为电阻的并联。图 1—14 所示电路是由三个电阻并联组成的。

并联电路的基本特点是：

1. 并联电阻承受同一电压，即

$$U = U_1 = U_2 = U_3; \quad (1-13)$$

2. 总电流 $I = I_1 + I_2 + I_3$ ；

$$(1-14)$$

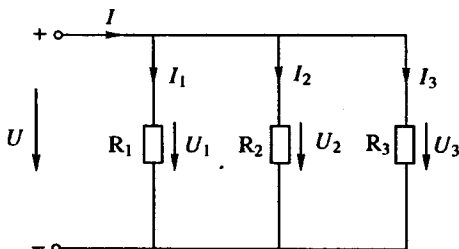


图 1—14 电阻的并联

3. 总电阻的倒数

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \quad (1-15)$$

即总电导 $G = G_1 + G_2 + G_3$;

若只有两个电阻并联, 其等效电阻 R 可用下式计算:

$$R = R_1 // R_2 = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2} \quad (1-16)$$

式中, 符号 “//” 表示电阻并联。

4. 总功率

$$P = P_1 + P_2 + P_3; \quad (1-17)$$

5. 分流作用:

$$I_1 = \frac{R}{R_1} I \quad I_2 = \frac{R}{R_2} I \quad I_3 = \frac{R}{R_3} I \quad (1-18)$$

利用电阻并联的分流作用, 可扩大电流表的量程。在实际应用中, 用电器在电路中通常都是并联运行的, 属于相同电压等级的用电器必须并联在同一电路中, 这样, 才能保证它们都在规定的电压下正常工作。

例2 有三盏电灯接在 110V 的电源上, 其额定值分别为 110 V、100W, 110 V、60W, 110V、40W, 求总功率 P 、总电流 I 以及通过各灯泡的电流及等效电阻。

解: (1) 因外接电源符合各灯泡额定值, 各灯泡正常发光, 故总功率为

$$P = P_1 + P_2 + P_3 = 100 + 60 + 40 = 200\text{W}$$

(2) 总电流与各灯泡电流为:

$$I = \frac{P}{U} = \frac{200}{110} \approx 1.82\text{A}$$

$$I_1 = \frac{P_1}{U_1} = \frac{100}{110} \approx 0.909\text{A}$$

$$I_2 = \frac{P_2}{U_2} = \frac{60}{110} \approx 0.545\text{A}$$

$$I_3 = \frac{P_3}{U_3} = \frac{40}{110} \approx 0.364\text{A}$$

(3) 等效电阻为:

$$R = \frac{U}{I} = \frac{110}{1.82} \approx 60.4\Omega$$

在实际电路中, 既含有电阻的串联, 又含有电阻的并联, 这类电路称为混联, 混联电路可以用串、并联的公式进行化简, 这里不在多述。

§ 1—5 电压源与电流源及其等效变换

常用电源中有各类电池、发电机和各种信号源, 它们都是二端有源元件。电源中能够独

立向外提供电能的电源，称为独立电源，它包括电压源和电流源。

一、电压源

理想电压源简称电压源。其特点是：它两端的电压是一个定值 U_s ，与流过它的电流无关；而流过它的电流由与之相连的外电路共同决定。

理想电压源在电路中的图形符号如图 1—15 (a) 所示，其中 U_s 为电压源的电压，“+”，“-”号是其参考极性。

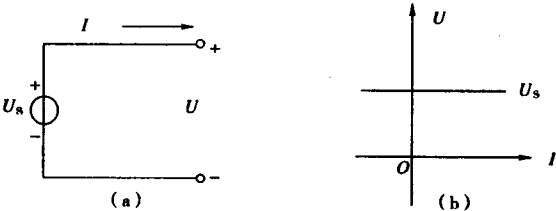


图 1—15 电压源模型及直流电压源的外特性

如果电压源的电压是定值 U_s ，则称之为直流电压源，1—15 (b) 是直流电压源的外特性。实际上，电源内部总存在一定的电阻，例如，电池是一个实际的直流电压源，当接上负载有电流流过时，内阻就会有能量损耗，电流越大，损耗越大，端电压就越低，这样，电池就不具备端电压为定值的特点，视电池内阻具有分压作用。因此，实际电压源可以用一个理想电压源 U_s 和内阻 R_s 相串联的电路模型来表示，如图 1—16 (a) 中的点划线框内所示，图中 R_L 为负载，电源外电路的关系式为

$$U = U_s - IR_s \tag{1-19}$$

上式说明，在接通负载后，实际电压源的端电压 U 是低于电压源的电压 U_s ，图 1—16 (b) 为实际直流电压源的外特性曲线。可见，实际电压源的内阻越小，其特性越接近理想电压源。工程中常用的稳压电源以及大型电网在工作时的输出电压基本不随外电路变化，都可以看作理想电压源。

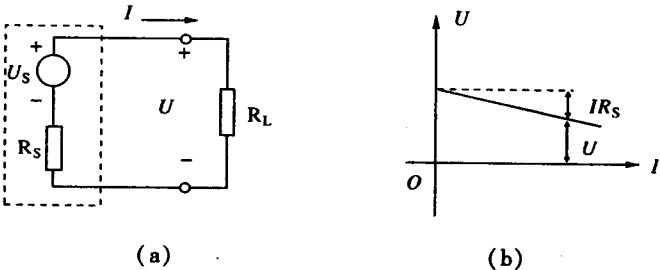


图 1—16 实际直流电压源模型及其外特性

二、电流源

理想电流源简称电流源。其特点是：它向外输出的电流是定值 I_s ，与它的端电压无关；它的端电压由与之相连的外电路共同决定。