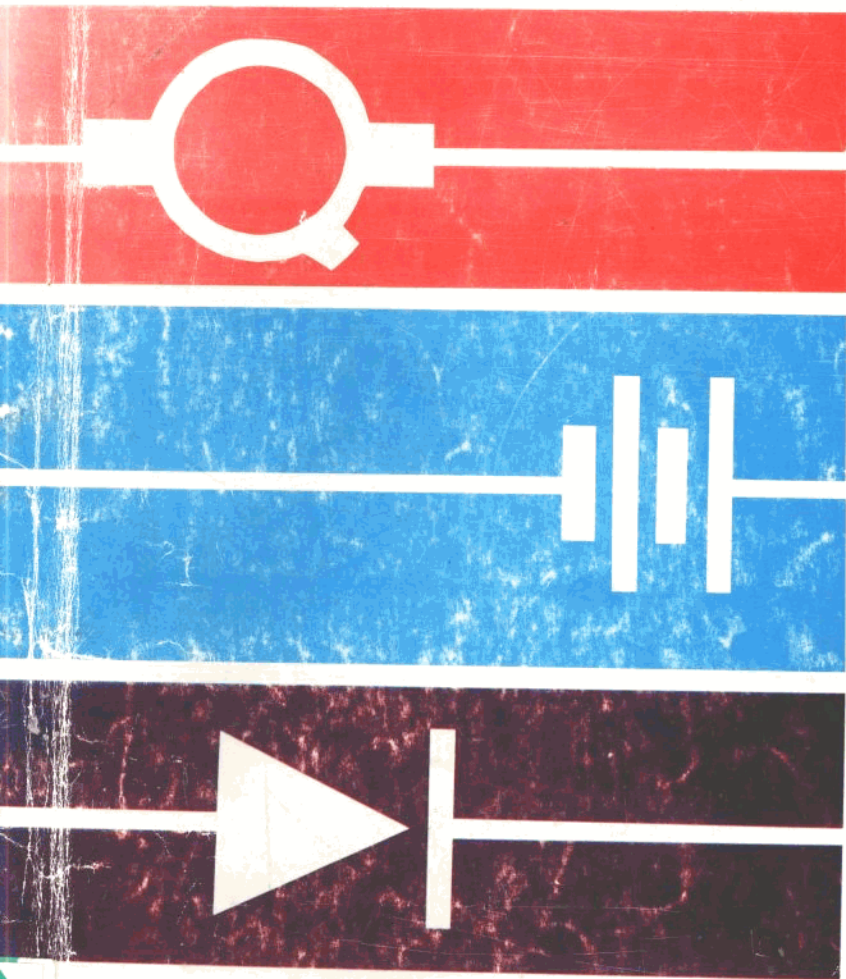


中等专业学校试用教材

电 工 学



主
编
张善方

山西
教育
出版
社

电 工 学

主 编 张善方
副主编 程立新
 镐广钊
 张立宣

山西教育出版社

〔晋〕新登字3号

责任编辑 徐亚东

封面设计 马正华

电 工 学

主编 张善方

*

山西教育出版社出版发行 (太原井州北路 11 号)

方山县印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 1/16 印张: 11 字数: 250 千字

1993 年 3 月第 1 版 1993 年 3 月山西第 1 次印刷

印数: 1—8,500 册

*

ISBN 7-5440-0222-5

G·223 定价: 4.50 元

前 言

《电工学》、《工业电子学》这两本书是适用于轻工中专工科非电专业的电工课教材。这套教材是依据国家教委1987年颁布的中专非电专业《电工学与工业电子学教学大纲》编写的,总教学时数为130学时。由于编入了一些选学内容(节前标“*”号),所以其他的专业也可参考使用。由河南省轻工业学校、山西省轻工业学校等九所学校的富有教学经验的老师编写。

电工学与工业电子学是工科非电专业开设的一门公共技术基础课。为了在这门课程中反映近年来电工领域中新技术、新工艺、新材料、新器件的发展和应用;为了适应推行电工图形符号和文字符号新的国家标准的要求,并考虑轻工中专工科非电专业的特点及电工课时较紧的实际情况;使教师易教、学生易学。本教材的主要特点是:

1. 篇幅较小,内容求精。不求内容面面俱到,而力求使学生在有限的学时内学到专业所需的最基本的和最重要的电工、电子技术知识。

2. 深度适中,掌握分寸。注意中专层次的特点,不过分追求理论的深度和严谨。以应用为目的,多用概念和原理的叙述,少用数学公式推导。

3. 注意应用,联系实际。立足于培养应用型中等技术人才,在内容的取舍、原理的阐述及例题的选择等方面,注意联系生产实际和培养学生应用知识的能力。

本教材还编写了综合性读图练习及应用实例的专章。

此外,教材注意了新技术与新器件的介绍,删除了一些较为陈旧或次要的内容,以使教材重点更加鲜明突出。

书中涉及的图形符号和文字符号,尽可能地采用了新的国家标准。

《电工学》主编为张善方(河南省轻工业学校),副主编镐广钊(河南省轻工业学校),程立新(山西省轻工业学校)、张文富(山西省轻工业学校)。李明水(辽宁省轻工业学校)担任本书的主审。此外,参加本书编写的有:河北省轻工业学校陈崇刚、张世达,陕西省轻工业学校郭崇智,河南省轻工业学校杨景荣、冯保来,大连市轻工业学校孙英娥、尹印栓,安徽省轻工业学校程周,哈尔滨市轻工业学校吴秀兰,常州市轻工业学校吴旗,广州市二轻工业学校校甘德。

本教材的编写,得到了各参编学校领导的大力支持和帮助,山西省轻工业学校校长关键同志等对本书的编写给予了具体的指导,我们在此一并表示衷心的感谢。

限于编著者的学识水平,书中错误和缺点在所难免,恳请使用本书的老师和读者提出宝贵意见。

编 者

1993年2月

目 录

绪论	(1)
第一章 直流电路	
1-1 电路基本知识	(3)
1-2 电源及其外特性	(8)
1-3 电能和电功率 电气设备的额定值	(10)
1-4 电路的工作状态	(12)
1-5 克希荷夫定律	(14)
1-6 电路中各点电位的计算	(19)
1-7 等效电源定理	(21)
习题	(25)
第二章 单相正弦交流电路	
2-1 正弦交流电的基本概念	(28)
2-2 正弦量的三种表示方法	(32)
2-3 纯电阻电路	(36)
2-4 纯电感电路	(39)
2-5 电容与纯电容电路	(41)
2-6 电阻与电感串联的交流电路	(44)
* 2-7 电阻、电感与电容串联的电路 串联谐振	(49)
2-8 感性负载与电容器并联 功率因数	(53)
习题	(58)
第三章 三相交流电路	
3-1 三相对称电源及其星形连接	(61)
3-2 三相负载的星形连接及中线的作用	(63)
3-3 三相负载的三角形连接	(67)
3-4 三相电功率	(68)
习题	(71)
第四章 磁路和变压器	
4-1 概述、磁场的几个物理量	(72)
4-2 铁磁材料的磁化和反复磁化	(75)
4-3 铁磁材料的种类、性质及应用	(77)
4-4 磁路 简单磁路的欧姆定律	(78)
4-5 直流电磁铁与交流电磁铁	(80)
4-6 变压器的基本结构	(82)

4-7 变压器的工作原理	(86)
4-8 自耦变压器	(93)
习题	(95)
第五章 异步电动机	
5-1 概述	(97)
5-2 三相异步电动机的结构	(97)
5-3 旋转磁场	(99)
5-4 三相异步电动机的运转原理、转差率	(101)
5-5 转子各量与转差率的关系	(104)
5-6 异步电动机的转矩特性和机械特性	(105)
5-7 异步电动机的起动	(107)
5-8 异步电动机的调速、反转与制动	(110)
5-9 异步电动机的铭牌和型号	(112)
5-10 单相异步电动机	(115)
5-11 可逆电动机	(120)
习题	(122)
第六章 电力拖动	
6-1 概述	(124)
6-2 常用低压控制与保护电器	(129)
6-3 鼠笼式异步电动机的接触控制	(135)
6-4 鼠笼式异步电动机的正反转控制线路	(138)
6-5 鼠笼式异步电机的自动控制	(140)
6-6 安全用电、节约用电	(145)
习题	(150)
第七章 应用实例	
7-1 C620 车床的电气原理图	(152)
7-2 线绕式异步电动机自动起动控制线路	(153)
7-3 胶印打样机的电气传动及控制线路	(155)
7-4 塑料注射成型机电气控制线路	(157)
附录	
附录一 常用文字符号	(165)
附录二 常用图形符号	(168)
部分习题答案	(170)
部分参考书目	(173)

绪 论

一 电能的应用与特点

电工学是研究电的基本规律及其在工程技术应用方面的一门学科。

电能在现代工业、农业、交通运输业、通讯、国防以及日常生活中得到日益广泛的应用。电气化和自动化的程度已成为衡量一个国家文明、强盛、生产技术高低的重要标志之一。

电能在各个领域中能发挥其它形式的能源不可替代的作用,是因为它具有以下几个重要特点。

1. 转换容易。电能可以方便地由水位能、热能、化学能、原子能、太阳能等转换而来,成为廉价的动力能源;反之,电能又很容易转换成为我们所需要的其它各种形式的能量,如机械能、热能、光能和化学能等。

电能通过电动机转换为机械能,工业生产中的机床、起重设备、各种风机和泵等,农业生产中的电力排灌设备、粮食和饲料加工设备,交通运输中的电力机车、电车,家用电器中的电风扇、洗衣机、冰箱压缩机等都要电动机来拖动。电炉将电能转换为热能,电灯将电能换为光能,这已是大家所熟知的。

2. 输送经济。电能的高压远距离输送时设备简单,电能损失小,效率高。这样可以充分利用动力资源,有利于工业的合理布局。我国目前已兴建的超高压输电线路电压高达50万伏。电能的分配也有独到的优点,通过高低压配电线路,电能可以送到每一个企业和千家万户之中。

3. 控制灵活。各种设备的起动和停止,各种电量与非电量之间的转换和检测都需要灵活和准确。只有在实现电气控制之后才能满足这些需要。电气控制不受距离的限制,采用这些电气技术控制生产过程,就为实现自动化生产创造了有利的条件。尤其在电子计算机得到广泛应用之后,电能控制灵活的优越性更为显著。

4. 能以电磁波的形式在空中传播。收音机、电视机、遥控技术等均是把电能以电磁波的形式,在空中向远距离传播的实例。

二 电工学课程的性质、目的和任务

电工学是一门实践性较强的技术基础课,它是研究电磁现象,运动规律及其应用的科学,内容包括电工基础、变压器、电动机及电力拖动等。

非电专业设置电工学课程的目的是使学生掌握电工技术的基本理论、基本知识和基

本技能。初步受到计算和实验技能的训练,并能正确使用本专业中常见的各种电气设备,为今后学习后续课程,专业课程及毕业后从事工程技术工作打下一定的基础。

现代科学技术的飞速发展,使电工学领域中所必须了解和掌握的知识范畴日益增多。电工学的理论性和实践性较强,而且与生产实际有着密切的联系,因此在学习中应特别注意以下几点:

1. 要牢固地掌握基础理论知识,如直流电路、单相和三相交流电路的基本知识,必须循序渐进、系统地学习。对抽象的概念要弄清其物理意义,在进行数学推导和计算时,要注意掌握推导的物理基础及分析方法,对基本的定律、法则要能灵活运用。

2. 理论联系实际。利用理论来分析实际问题。在学习实际应用问题时,避免只注意实际而又忽略了理论的倾向。必须重视实验,通过实验巩固所学的理论知识,并学会一些基本的电工操作技能。

3. 要掌握好重点。通过习题课、课外作业、实验报告等,掌握必要的电工计算技能和电路分析的基本方法。

第一章 直流电路

本章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与计算各种直流电路的方法。其中有些内容虽然在物理学课程中讲过,但为了加强理论的系统性,仍列入到本章中,以便使读者进一步巩固、加深和扩展这些内容。

直流电路是电路中最基本的电路,所以学习本章内容,还为以后研究其它电路打下基础。

1-1 电路基本知识

一、电路

电流通过的路径称为电路。图 1-1 是一个简单电路,它由三个基本部分组成:电源、负载及中间环节。

电源 它是电路中电能的来源,是一种把其它形式的能量转换成电能的装置。常用的有发电机和电池等。

负载 就是用电设备,是取用电能的装置,它将电能转换为其它形式的能量。例如电阻器、电灯和电动机,分别将电能转换为热能,光能和机械能等。

中间环节 是联接电源和负载的部分,它起传输、分配和控制电能的作用,它除必不可少的导线外,还包括开关和熔断器等控制与保护电器。

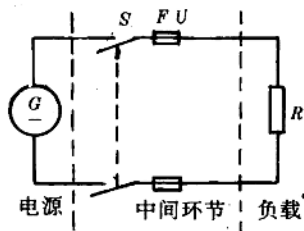


图 1-1 电路构成

在全电路中,负载和中间环节称为外电路,而电源内部电路称为内电路。

二、电流、电压和电动势

(一) **电流 I** 电荷有规则的定向运动形成电流。应当明确,在金属导体中形成电流的粒子是自由电子,而在电解液中则是正、负离子。习惯上把正电荷移动的方向(或负电荷移动的反方向)规定为电流的正方向。

电流的大小用电流强度(I)表示,其数值等于单位时间内通过某一导体横截面的电荷量。

设在 dt 时间内通过导体横截面 S (图 1-2)的电荷量为 dq ,则电流强度为

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1.1)$$

电流强度简称电流。

如果通过导体横截面的电荷量不随时间而变化,即 $\frac{dq}{dt} = \text{常数}$,则这种电流称为稳恒电流,简称直流。直流常用大写的字母 I 表示,所以式(1.1)可写为

$$I = \frac{q}{t} \quad (1.2)$$

式中 q 是在时间 t 内通过导体横截面 S 的电荷量。

在国际单位制中,电流的单位是安培,用符号(A)表示。当1秒(s)内通过导体横截面的电荷量为1库仑(C),则电流为1安培(A)。计量微小的电流时,以毫安(mA)或微安(μA)为单位。它们之间的关系为

$$1(\text{A}) = 10^3(\text{mA}) = 10^6(\mu\text{A})$$

在一段无分支的电路中,电流必然处处相等,因为在电荷移动的过程中不可能在某一点积累或消失,这一规律称为电流的连续性。

(二)电压 U 在图1-3中, a 和 b 是电源的两个电极, a 板带正电, b 带负电,在电极 a 、 b 之间产生电场,其方向由 a 指向 b 。

如果用导体(联线和负载)将 a 和 b 联接起来,则在此电场作用下,正电荷就要从电极 a 经联接导体流向 b (其实是联接导体中的自由电子在电场的作用下从 b 流向 a ,两者是等效的),电荷在流动过程中电场力对其做功。设电场力将正电荷 q 从 a 点移到 b 点所做的功为 W_{ab} ,我们把电场力做的功 W_{ab} 与电量 q 的比值称为 a 、 b 两点间的电压,用 U_{ab} 表示,即

$$U_{ab} = \frac{W_{ab}}{q} \quad (1.3)$$

所以电压是衡量电场力对电荷做功能力的物理量,其数值等于电场力把单位正电荷从 a 点移到 b 点所做的功。

在电场内两点间的电压也常称两点间的电位差,即

$$U_{ab} = V_a - V_b \quad (1.4)$$

式中 V_a 为 a 点的电位, V_b 为 b 点的电位。

习惯上,电压的方向规定为由高电位端指向低电位端,即电位降低的方向。

在国际单位制中,电压的单位是伏特,用符号(V)表示。当电场力把1库(C)的电荷量从一点移到另一点所做的功为1焦耳(J)时,则该两点间的电压为1伏特。计算微小的电压时,则以毫伏(mV)或微伏(μV)为单位。计量高电压时,则以千伏(kV)为单位。它们之间的关系是

$$1(\text{V}) = 10^3(\text{mV}) = 10^6(\mu\text{V}) = 10^{-3}(\text{kV})$$

(三)电动势 E 正电荷在电场的作用下,从高电位向低电位移动,这样正电极 a 因正电荷的减少而使电位逐渐降低,负电极 b 因正电荷的增多而使电位逐渐升高,其结果是 a

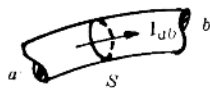


图 1-2 导体的电流

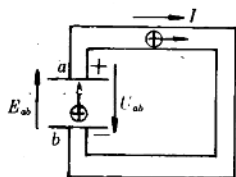


图 1-3 电荷的回路

和 b 两电极的电位差逐渐减少到零。与此同时,联接导体中的电流也相应减少到零。

为了维持电流不断地在联接导体中流通,并保持恒定,则必须使 a 、 b 间的电压 U_{ab} 保持恒定,也就是要使负电极 b 上所增加的正电荷经过电源内部流向正极 a 。但由于电场力的作用,负电极 b 上的正电荷不能自行逆电场而上,因此必须要有另一种力能克服电场力,而使负电极 b 上的正电荷流向正电极 a 。电源能产生这种力,我们称之为电源力。例如在发电机中,当导体在磁场中运动时,导体内便出现这种电源力。电源力在移动电荷过程中克服电场力做功,把其它形式能量转换成电能。为了衡量电源力对电荷做功的这种能力,引入电动势这一物理量,我们把电源力移动正电荷 q 做的功 W 与其电量之比,称为电动势,用 E 表示,即

$$E = \frac{W}{q} \quad (1.5)$$

其数值等于电源力把单位正电荷从电源的低电位端经电源内部移到高电位端所做的功。也就是单位正电荷从低电位移到高电位所获得的电能。在电源力的作用下,电源不断地把其它形式能量转换为电能。

电动势的单位为伏特(V),有时还用千伏(kV),毫伏(mV)等。

电动势的方向规定为在电源内部由低电位端指向高电位端,即由电源负极指向正极,如图 1—3 所示。

需要说明:以上几个电量(电流、电压、电动势),我们规定了方向,但均是标量。另外这些方向虽然客观存在,但在分析较为复杂的直流电路时,往往难于事先判断这些量的实际方向,而对交流电来讲,其方向又随时间而变,电路上无法用一个方向表示它的实际方向。因此,在分析与计算电路时,常可任意选定某一方向作为该量的参考正方向,称之为正方向。所选的正方向并不一定与实际方向一致。例如图 1—4 所示电流的参考方向与实际方向,当电流的实际方向与其参考方向一致时,则电流为正值;反之,当电流的实际方向与其参考方向相反时,则电流为负值。因此只有正方向选定之后,电流、电压、电动势才有正负之分。



图 1—4 电流的正方向

三、电阻及其连接

(一)电阻及其伏安特性 根据我们学过的欧姆定律,流过一段导体的电流与电压成正比,即

$$I = \frac{U}{R} \quad (1.6)$$

式中, R 是这段导体的电阻。当所加电压 U 一定时,电阻 R 越大,则电流越小。显然,电阻具有对电流起阻碍作用的物理性质、电阻值的大小取决于导体本身的材料性质、几何形状和温度等。一般金属导体的电阻随温度升高而增大,而碳的电阻却随温度增加而减小。

当温度保持不变的情况下,在一个金属电阻上加不同的电压,测得其电流,然后在 $U-I$ 坐标系平面上画出一条反映电压电流之间关系的曲线,称为这个电阻元件的伏安特性曲线,简称伏安特性,如图 1—5 所示。金属电阻的伏安特性是一条直线,故称这类电阻

为线性电阻,欧姆定律只适用于线性电阻。

还有另一类电阻,其阻值不是常数,而是随着电压或电流变动,其伏安特性不是直线,而是一条曲线,如晶体二极管正向电阻,它的伏安特性如图1-6所示。称这种电阻为非线性电阻。

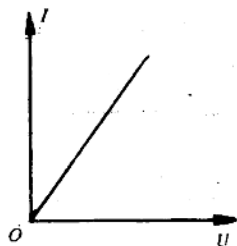


图 1-5 线性电阻的伏安特性



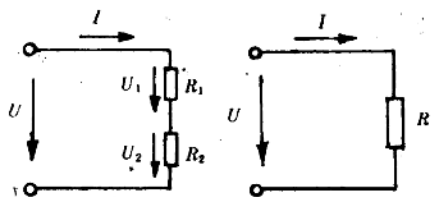
图 1-6 晶体二极管的正向伏安特性

在国际单位制中,电阻的单位是欧姆(\$\Omega\$),当电路两端的电压为 1V,通过的电流为 1A 时,则该段电路的电阻为 1\$\Omega\$。

(二)电阻的连接 电阻的连接一般有两种基本形式:串联和并联。

1. 电阻的串联

把两个或更多的电阻依次联接成无分支的电路(图 1-7),这种联接方式叫串联。



(a) 电阻的串联

(b) 等效电阻

图 1-7

串联电路的特点有:

(1)由电流的连续性原理可知,串联电路中电流处处相等。即流过各电阻的电流为同一电流 \$I\$。

(2)串联电路的总电压 \$U\$ 等于各电阻上电压的代数和,即

$$U = U_1 + U_2 \quad (1.7)$$

(3)串联电路的等效电阻 \$R\$ 等于各串联电阻之和,即

$$R = R_1 + R_2 \quad (1.8)$$

(4)串联电路每个电阻上分得的电压与其电阻的大小成正比,即

$$U_1 : U_2 = R_1 : R_2 \quad (1.9)$$

若两个电阻串联,各电阻上的电压降分别为

$$\left. \begin{aligned} U_1 &= IR_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} U \\ U_2 &= IR_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U \end{aligned} \right\} (1.10)$$

电阻串联的应用很多,例如,负载要求电压低于电源电压时,可与负载串联一个电阻,以降部分电压;有时为了限制负载中通过过大的电流,也可用与负载串联一个限流电阻的方法;在电工测量中,利用串电阻扩大电压表的量程。

例 1-1 在电子装置中,常使用由串联电阻组成的分压器,以分取部分信号电

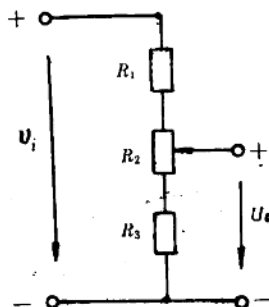


图 1-8

压。图 1—8 表示一分压电路。图中 R_2 为一电位器(即具有三个接线端的可变电阻)。若输入电压 $U_i=12$ 伏, $R_1=R_3=550$ 欧, $R_2=330$ 欧。求输出电压 U_o 的变化范围。

解 当调节电位器 R_2 的滑动触头到最下端时, 电阻 R_2 全部和 R_1 串联, 根据分压公式(1.10), 此时输出电压为

$$U_o = \frac{R_3}{R_1 + R_2 + R_3} U_i = \frac{550}{1430} \times 12 = 4.6(\text{V})$$

调节电位器 R_2 , 使它的滑动触点移到最上端时, 输出电压为

$$U_o' = \frac{R_2 + R_3}{R_1 + R_2 + R_3} U_i = \left(\frac{550 + 330}{1430} \right) \times 12 = 7.38(\text{V})$$

由计算可知, 图 1—8 所示的分压器, 其输出电压的变化范围是 4.6V~7.38V。

2. 电阻的并联

将两个或更多的电阻联接在相同的两点之间(图 1—9), 这种联接的方式叫并联。

并联电路的特点有:

(1) 加在各并联支路两端的电压相等。

(2) 并联电路的总电流等于各分支电路的电流之和。即

$$I = I_1 + I_2 \quad (1.11)$$

(3) 并联电路等效电阻 R 的倒数等于各个支路电阻倒数的和。即

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \quad (1.12)$$

(4) 并联电路中各支路中的电流与其电阻成反比。即

$$I_1 : I_2 = \frac{1}{R_1} : \frac{1}{R_2} = R_2 : R_1 \quad (1.13)$$

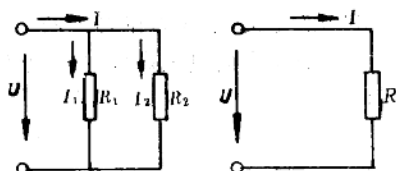
若两个电阻并联, 各电阻上的电流分别为

$$\left. \begin{aligned} I_1 &= \frac{U}{R_1} = \frac{IR}{R_1} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} I \\ I_2 &= \frac{U}{R_2} = \frac{IR}{R_2} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} I \end{aligned} \right\} \quad (1.14)$$

并联时, 各负载处于同一电压之下, 任何一个负载的工作情况基本上不受其它负载的影响。因此, 供电线路中的负载一般都采用并联接法。在电工测量中, 利用并联电阻的分流作用可扩大电流表的量程。

例 1—2 M—500 型万用表表头的最大量程 $I_g=40$ 微安, 表头内阻 $R_g=2$ 千欧, 若要改装为最大量程为 10 毫安表, 如图 1—10 所示。问分流电阻 R_1 应是多大?

解 已知 $I_g=40\mu\text{A}$ $R_g=2\text{k}\Omega$
 $I=10\text{mA}$ 代入分流公式(1.14)



(a) 电阻的并联 (b) 等效电阻

图 1—9

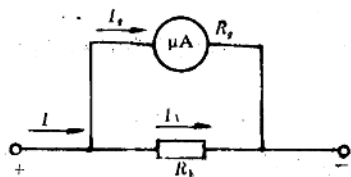


图 1—10

$$I_s = \frac{R_1}{R_1 + R_2} I$$

得

$$40 \times 10^{-6} = 10 \times 10^{-3} \times \frac{R_1}{R_1 + 2 \times 10^3}$$

$$R_1 = 8.03 (\Omega)$$

即分流电阻 R_1 应为 8.03 欧姆。

1—2 电源及其外特性

一、全电路欧姆定律

图 1—11 是含有一个电源的简单电路。电源的电动势为 E ，电源内存在的电阻为 r_0 ，简称内阻，负载电阻为 R 。当接通电路时，设在 t 时间内有电量 q 通过闭合电路的横截面。由电动势的定义，电源力做功 $W = qE$ ，由电压的定义，电场力在 R 上做功 $W_R = qU_R$ (U_R 是 R 上的电压降)，在 r_0 上做功 $W_0 = qU_0$ (U_0 是 r_0 上的电压降。)根据能量守恒定律可得

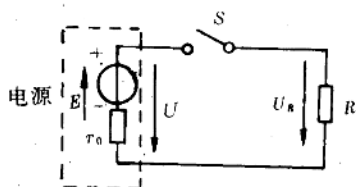


图 1—11 含有一个电源的简单电路

即

$$W = W_0 + W_R \quad (1.15)$$

$$qE = qU_0 + qU_R \quad (1.16)$$

消去 q 得：

$$E = U_0 + U_R \quad (1.17)$$

由欧姆定律，上式可写成

$$E = Ir_0 + IR \quad (1.18)$$

或

$$I = \frac{E}{r_0 + R} \quad (1.19)$$

它表示在含源的全电路中，电流 I 与电源电动势 E 成正比，与内外电路的电阻 $(r_0 + R)$ 成反比，通常把式(1.19)表达的关系称全电路欧姆定律。

例 1—3 在电源与滑动可变电阻器连接的电路里(图 1—12)，当滑动可变电阻为 $R_1 = 1$ 欧时，电流表指示值为 $I_1 = 1$ 安，当滑动可变电阻调为 $R_2 = 2.5$ 欧时，电流表指示值是 $I_2 = 0.5$ 安。试求电源电动势 E 和内阻 r_0 各为多少？

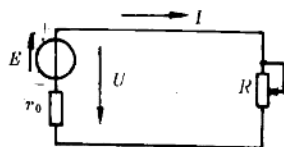


图 1—12

解 由于电源电动势 E 和其内阻 r_0 不变，依题意列方程组

$$\begin{cases} E = I_1(r_0 + R_1) \\ E = I_2(r_0 + R_2) \end{cases}$$

代入已知条件得

$$\begin{cases} E = 1 \times (r_0 + 1) \\ E = 0.5 \times (r_0 + 2.5) \end{cases}$$

解方程组得
$$\begin{cases} E = 1.5(\text{V}) \\ r_0 = 0.5(\Omega) \end{cases}$$

二、电源的外特性

在一般情况下,电源的电动势和内电阻可以认为是常量。增大电流 I ,端电压 U 将减少。电源的端电压 U 和输出电流 I 之间的关系,即 $U=f(I)$ 称为电源的外特性。如果电源输出电流逐渐增大,而端电压 U 下降很少,就说该电源的外特性较好。(即电源保持端电压恒定的能力强),反之较差。图 1—13 为电源的外特性曲线,该线斜率与电源的内阻有关。

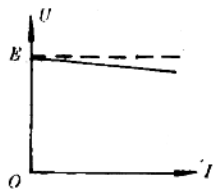


图 1—13 电源的外特性曲线

三、电压源与电流源

一个电源可以用两种不同的电路模型来表示,如图 1—14 所示。一种是用电压的形式表示,另一种是用电流的形式表示。

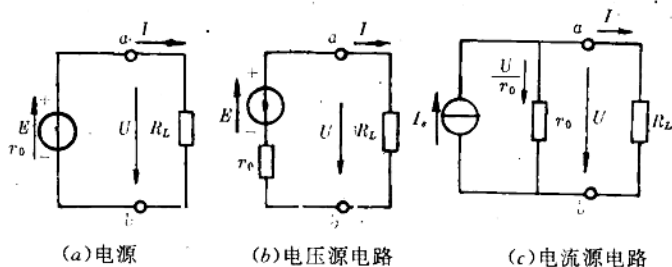


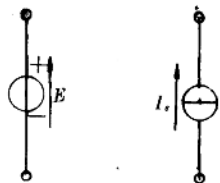
图 1—14 电源的两种表示形式

任何一个电源,例如发电机、电池等,都含有电动势 E 和内阻 r_0 ,且它们是紧密地结合在一起的,在分析与计算电路时,往往把它们分开,组成由 E 和 r_0 串联的电源的电路模型,称为电压源,如图 1—14(b)所示。其提供给负载的电压随负载的不同而改变。

若电源内阻为零时,不管负载如何变化,电源提供的端电压总是等于它的电动势,把这种具有不变电动势且内阻为零的电压源称为理想电压源,简称恒压源。恒压源的符号如图 1—15(a)。

电源还可以用另一等效电路表示,即用一个恒定电流 I_s 与内阻 r_0 相并联表示,如图 1—14(c)所示。它供给负载的电流随负载不同而有所改变,这种电源的等效电路称为电流源。

若内阻 $r_0 = \infty$, I_s 在电源内部被分走的电流等于零。因此电源向外输出的电流为恒定值,而且和负载的大小无关,我们把这种电流源称理想电流源,简称恒流源。恒流源的符号如图 1—15(b)所示。



(a) 恒压源 (b) 恒流源

图 1—15 恒压源、恒流源的图形符号

一个实际的电源,既可以将其看成电压源,也可以将其看成电流源。但对同一外电路而言,不管将其实际电源看成是电压源或是电流源,它应在外电路上产生的电压和电流是相同的,也就是说,对外电路电压源与电流源是等效的。下面讨论它们等效变换的条件。

作为电压源,外电路的电流(由图 1—14(b))

$$I = \frac{E}{r_0 + R} = \frac{Er_0}{r_0(r_0 + R)} \quad (1.20)$$

作为电流源,外电路的电流(由图 1—14(c),利用分流公式(1.14) 为

$$I = I_s \frac{r_0}{r_0 + R} \quad (1.21)$$

令: $I_s = \frac{E}{r_0}$ 或 $E = I_s r_0$, 式(1.20)与式(1.21)相同。则这两种电源对外电路是等效的。因

此,可根据需要进行两种电源的等效变换,它们等效变换的条件是: $E = I_s r_0$ 或 $I_s = \frac{E}{r_0}$ 。

在变换时应注意电流源 I_s 的方向和电源 E 的方向一致。

利用电压源和电流源之间的等效变换,往往可以简化复杂网路的计算,本书不做进一步介绍。

需要说明,理想电压源和理想电流源实际上是不存在的。但是从电路理论分析的观点看,引入这些理想电路是有用的。如果电源的内阻 r_0 远小于负载电阻 R ,于是随着外电路负载电流的增大,电源的端电压基本上保持不变;那么这种电源就接近于一个恒压源。如果电源的内阻远大于负载电阻,当外电路负载电阻改变时,电源输出的电流几乎不变,那么这种电源就可近似于一个恒流源。在恒流源与恒压源之间不能等效变换。

1—3 电能和电功率 电气设备的额定值

一、电能和电功率

电流通过用电器时,电能转变为其它形式的能量。如电灯发光,电炉发热,电动机转动等。这些负载消耗的电能用电流做功的多少来度量。

设图 1—16 所示的电路 cd 中有电流 I 通过, cd 间的电压为 U ,则根据电压的定义,当电量 q 在电场的作用下由 c 移到 d 时,电场在电路 cd 段所作的功为

$$W = qU = UI t \quad (1.22)$$

亦为 cd 段电路在 t 时间内所吸收的电能。



图 1—16

如果 cd 段的负载是电热器(电流主要表现出热效应),则此负载可用电阻 R 表示。在 t 秒内负载所吸收的电能全部转换为热能

$$W = UI t = I^2 R t = \frac{U^2}{R} t \quad (1.23)$$

在工程上常用功率这一术语。所谓功率就是能量转换率,或单位时间内电路各部分所吸收或发出的电能。电功率用 P 表示。即

$$P = \frac{W}{t} = UI \quad (1.24)$$

在国际单位制中,电功率的单位是瓦特(W),常用的其它单位有千瓦(kW),毫瓦(mW)。

电能的单位是焦耳(J)。由功率定义式,有时也用瓦时(Wh),千瓦时(kWh)。1千瓦时也称1度电,它与焦耳之间的换算关系是

$$1\text{kWh} = 3.6 \times 10^6 \text{J}$$

下面我们讨论全电路中的能量转换规律。

根据全电路欧姆定律得

$$E = IR + Ir_0 \quad (1.25)$$

或

$$E = U + U_0 \quad (1.26)$$

式中 U 为负载电压, U_0 为内阻的压降,称该式为电压平衡方程。它表示电源上的电压升(电动势)等于全电路中的电压降。

将式(1.26)乘以在某一时间 t 内通过电路截面的电荷量 q 即可得能量平衡方程式,即

$$qE = qU + qU_0 \quad (1.27)$$

或

$$W_s = W_L + W_0 \quad (1.28)$$

这表示电源提供的电能 W_s ,必等于同一时间负载消耗的能量 W_L 和内阻损耗的能量 W_0 总和。

将式(1.27)除以时间 t ,可得电路的功率平衡方程式。即

$$EI = UI + U_0 I \quad (1.29)$$

或

$$P_s = P_L + P_0 \quad (1.30)$$

它表示电源供给电路的电功率 P_s ,必等于负载取用的电功率和内阻损耗的电功率之和。

电压平衡方程式,能量平衡方程式,功率平衡方程式均体现了能量守恒原理。

例1—4 在全电路中,若电源电动势 $E=110$ 伏,负载电阻 $R=10$ 欧,电源内阻 $r_0=1$ 欧。求:负载中的电流 I ,负载两端电压 U 及电源内阻电压降 U_0 ;电源供给电路的电功率 P_s ,负载得到的电功率 P_L ,电源内部损耗的电功率 P_0 。以及该负载连续工作一昼夜所消耗的电能 W_L 。

$$\text{解 } I = \frac{E}{R + r_0} = \frac{110}{10 + 1} = 10 \text{ (A)}$$

$$U = RI = 10 \times 10 = 100 \text{ (V)}$$

$$U_0 = r_0 I = 1 \times 10 = 10 \text{ (V)}$$

$$P_s = EI = 110 \times 10 = 1100 \text{ (W)}$$

$$P_L = UI = 100 \times 10 = 1000 \text{ (W)}$$

$$P_0 = U_0 I = 10 \times 10 = 100 \text{ (W)}$$

$$W_L = P_L t = 1 \times 24 = 24 \text{ (kWh)} = 24 \text{ (度)}$$

读者可根据平衡方程式验算答案。

二、电气设备的额定值

各种电气设备的电压、电流及功率都有一个额定值。例如一盏电灯的电压是220V,功