

就业技术培训教材

电工基础

朱海隅 苏之来 编

华中工学院出版社

就业技术培训教材

电 工 基 础

朱海隅 苏之来 编

华中工学院出版社

内 容 提 要

本书是就业技术培训的系列教材之一,它是一门专业基础课程。通过该课程的学习,使人们在就业前具备一些基本的电工知识,便于今后的工作。本书包括直流电路的基本概念、变压器、电机、电气控制、电工测量、安全用电等,书中列举了较多的实例和表格并附有习题,便于读者学习。

电 工 基 础

朱海隅 苏之来 编

责任编辑 李 德

华中工学院出版社出版发行

(武昌喻家山)

新华书店湖北发行所经销

华中工学院出版社沔阳印刷厂印刷

开本:787×1092 1/16 印张:7.5 字数:151,000

1987年8月第1版 1987年10月第2次印刷

印数:4 001—17 000

ISBN 7-5609-0089-5/TM·7

统一书号:15255—118 定价:1.32元

编写说明

根据中央关于“先培训后就业”的指示精神，湘潭大学、湖南纺织专科学校、湘潭钢铁厂职工大学等单位的有关人员组成了就业技术培训教材编审委员会，编写了这套就业技术培训教材。编审委员会主编周涌明、副主编章瑞民、刘金城、杜锡珩、主审蒋建敏、副主审陈瑞林、鲁雄飞、卢骥。

这套教材是根据湖南省劳动人事厅1985年1月召开的就业技术培训教材编写会议精神组织编写的，它包括就业技术培训和职业技术培训两部分内容，主要讲述职业知识、有关企业法规的知识，以及常用技术基础知识（包括机械、电气、食品加工、轻纺、塑料等五个专业的内容，参看附表）。这些教材具有学时短、见效快、理论联系实际的特点，附有较多的插图、表格、例题和习题，技能训练的课程附有习题集和指导书，适合初中以上文化程度的待业青年集中进行4～6个月的理论学习（总授课时数550学时左右）和4～6个月的工厂实习。经过这样培训可达到一级工水平。这套教材也可以用于在职职工的初级技术培训。

在这套教材的编写过程中得到了湖南省劳动人事厅、湘潭市劳动局、湘潭市劳动服务公司、湘潭市机械化自动化学会以及有关工厂和学校的大力支持，在此表示衷心的感谢。

由于就业技术培训是一项新的工作，编写这样的教材还是一种尝试，加上我们水平有限，因此书中可能存在一些缺点和错误，热忱希望使用本套教材的老师和读者批评指正。

《就业技术培训教材》编审委员会

一九八六年十二月

前 言

本书是就业技术培训的系列教材之一，授课时间为80学时。它是一门专业基础课程，内容包括交直流电路、变压器、电机、电气控制、电工测量、安全用电等基础知识。为便于学习，书中列举了较多的实例和表格，各章均附有习题。

本书由朱海隅、苏之来同志负责编写，朱海隅同志负责统稿。陈浪琴、柳仁喜同志负责审稿。全书插图由吴湘陵同志绘制。

由于编者水平有限，书中缺点错误在所难免，敬希读者批评指正，谨此致谢。

编 者

1986年12月

目 录

第一章 直流电路

§ 1-1 电源与电动势	(1)
§ 1-2 电路的概念	(2)
§ 1-3 电能和电功率	(2)
§ 1-4 欧姆定律	(4)
§ 1-5 电阻的串联、并联、混联电路	(7)
§ 1-6 含有反电动势的电路·电位计算	(11)
§ 1-7 电流的热效应·短路·额定电流	(12)
§ 1-8 导电材料·绝缘材料·额定电压	(14)
§ 1-9 电容器	(15)

第二章 电磁

§ 2-1 电流的磁场	(20)
§ 2-2 磁场对载流导体的作用力·磁感应与磁通	(21)
§ 2-3 磁导率	(22)
§ 2-4 铁磁材料的磁性能和用途	(23)
§ 2-5 电磁感应	(24)
§ 2-6 自感应	(26)
§ 2-7 涡流	(27)

第三章 交流电·单相交流电路

§ 3-1 概述	(31)
§ 3-2 正弦交变电动势	(32)
§ 3-3 相位·相位差	(35)
§ 3-4 正弦交流电的有效值与平均值	(36)
§ 3-5 交流电路中的电阻、电感、电容元件	(37)
§ 3-6 电阻、电感串联的交流电路·功率因数	(41)

第四章 三相交流电

§ 4-1 概述	(46)
§ 4-2 三相电源的星形(Y)连接	(47)
§ 4-3 三相负载的星形和三角形连接	(48)

第五章 变压器

§ 5-1 变压器的结构和工作原理	(53)
§ 5-2 三相变压器	(56)
§ 5-3 特殊变压器	(57)

第六章 异步电动机

§ 6-1 三相异步电动机的结构	(63)
------------------	--------

§ 6-2	异步电动机的工作原理	(66)
§ 6-3	异步电动机铭牌	(69)
§ 6-4	单相异步电动机	(70)
第七章 直流电动机		
§ 7-1	直流电动机的基本原理	(74)
§ 7-2	直流电动机的构造	(74)
§ 7-3	直流电动机铭牌	(76)
第八章 低压电器和电动机控制		
§ 8-1	电力拖动与控制设备简介	(78)
§ 8-2	三相异步电动机正转控制线路	(81)
§ 8-3	鼠笼式异步电动机降压起动线路	(89)
§ 8-4	对生产机械和限位控制	(96)
第九章 电工测量知识		
§ 9-1	用途	(99)
§ 9-2	电工仪表	(99)
§ 9-3	电流与电压的测量	(102)
§ 9-4	功率的测量	(104)
§ 9-5	电能的测量	(106)
§ 9-6	电阻和绝缘电阻的测量	(106)
§ 9-7	万用表	(108)
第十章 发电、输电、配电·安全用电		
§ 10-1	发电、输电、配电简介	(110)
§ 10-2	安全用电	(110)
附表	就业技术培训教学课程安排表	(113)

第一章 直流电路

§1-1 电源与电动势

当电流通过电灯、电炉、电动机时，电能就转换成其它形态的能。只有具备一种可以把非电能转换成电能的装置，才能向电灯、电炉、电动机等不断地供给电能。把非电能转换成电能的装置称为电源。常用的电源有发电机、干电池、蓄电池等。发电机是把机械能转换成电能的一种装置；干电池和蓄电池则是把化学能转换成电能的一种装置。

在电源的两端分别聚集有正电荷和负电荷，所以在电源的两极间始终有电场存在。发电过程就是使电源两端分别保持正电荷和负电荷的过程。以直流发电机为例：当发电机中的导体切割磁力线时，导体内的正电荷和负电荷将受到磁场力（称外力，用 $F_{\text{外}}$ 表示）的作用即分别向导体的两端聚集，如图1-1所示^①。这样，由外力驱使正电荷和负电荷分别向电源两端移动所做的功就转换成了电能。

外力把正电荷从A端移到B端所做的功 W_{AB} 与被移动的电荷 Q 的比值，称为A、B两端间的电动势，用 E 表示，即

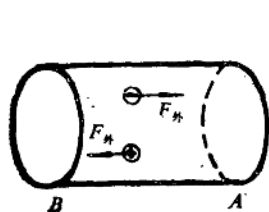


图1-1 电荷向导体两端聚集

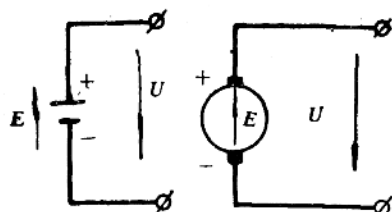
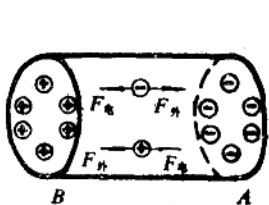


图1-2 电源的表示符号

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

由式(1-1)可见，AB两端间电动势在数值上等于外力把单位电荷从A端移到B端所做的功。

电动势的单位是伏(V)。如果外力把1库仑电量从A端移到B端所做的功是1焦耳，则AB两端间的电动势就等于1伏。

电动势的方向规定为由低电位端指向高电位端，这与电压的方向正相反。

电源中聚集正电荷的一端，称为正极，用符号“+”表示；聚集负电荷的一端，称为负极，用符号“-”表示。表示电源的符号如图1-2所示。图中电动势 E 的方向是由“-”指向“+”，即由低电位点指向高电位点；电压 U 的方向是由“+”指向“-”，即由高电位点指向低电位点。

^① 图1-1中的磁场方向是自读者指向图面，而导体的运动方向是向上的，图中未示出。

§ 1-2 电路的概念

电路就是电流所通过的路径。它由电源、负载（即用电器）和连接导线组成，如图 1-3 所示。对电源来讲，负载和连接导线叫做外电路，电源内部的电路叫做内电路。

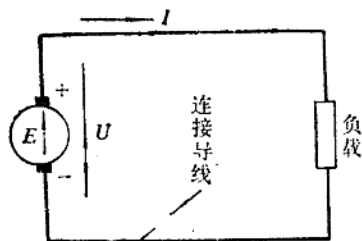


图1-3 最简单的电路

由于电源内有电动势存在，所以在电源两端就存在电位差，即电压。实际上，在电路接通后，聚集在负极上的负电荷就通过连接导线和负载流向正极。在电源内部，负电荷在外力的作用下由正极流向负极，补充负极流去的负电荷，于是在电路内形成连续不断的电流。只要在闭合回路中存在电动势，此电路中就会产生一持续的电流。

习惯上规定用正电荷移动的方向来表示电流的方向。因此，在外电路中的电流方向是由正极流向负极，亦即由高电位点流向低电位点，故在负载上顺着电流的方向电位是逐点降低的。在内电路中，电流的方向是由负极流向正极，亦即由低电位点流向高电位点，因此，在电源内顺着电流的方向电位是逐点升高的。

电流的强弱用电流强度来表示。如果电流的大小和方向均不随时间变化，则这种电流称为恒定电流，简称直流。对于直流，其电流强度是用单位时间内通过导体横截面的电量来度量的，即

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

电流的单位是安培，简称安（A）。如果在 1 秒钟内通过导体横截面的电量是 1 库，则此电流为 1 安。

流过导体某一横截面的电荷数等于同时间内流经该导体另一横截面的电荷数，这就是电流连续性原理。因此，在一条无分支的电路中，不论各段导体的横截面大小如何，其电流总是处处相等的。图 1-3 所示的电路是一无分支电路，流过电源的电流与流过负载的电流相等。根据电流连续性原理也可以知道，只有在闭合回路中才有可能产生电流。

§ 1-3 电能和电功率

在电流通过电路时，电路内就发生了能量的转换。

在电源内，正电荷在外力作用下获得了能量，把非电能转换成电能，使电位能升高。在外电路中，正电荷在电场力作用下，不断地通过负载，电荷的能量减少，电位能降低。正电荷在外电路中放出能量，把电能转换成其它形态的能。在电路中，电荷只是一种传输能量的媒介物，电荷本身并不产生或消耗任何能量。通常所说的用电，就是取用电荷所携带的能量。

由非电能转换来的电能等于电源的电动势与电荷的乘积，即

$$A = EQ = EIt$$

此电能可分为两部分：一是外电路取用的电能 A_1 ；二是内电路消耗掉的电能 A_0 。根据能量守恒定律得

$$A = A_1 + A_0$$

外电路取用的电能等于外电路两端的电压（即电源的端电压）与电荷的乘积，即

$$A_1 = UQ = UI t$$

电荷在内电路中移动时，把一部分电能转换成热能，这是不可避免的能量损失。根据上式得

$$A_0 = A - A_1 = (E - U)It$$

上式的 $E - U$ 通常用 U_0 来表示，称为电源内部电压降。于是

$$A_0 = U_0 It$$

这样，电路的能量平衡方程式可改写成

$$EIt = UI t + U_0 It$$

等式两边同除以 It ，得

$$E = U + U_0 \quad (1-3)$$

(1-3) 式称为电路的电压平衡方程式，它表示电源电动势等于电源端电压与电源内部电压降之和。

在某段时间内，电路中产生（或损失）的电能与该段时间的比值称为电功率，用 P 来表示。在闭合电路中电源产生的电功率

$$P_{\text{电源}} = \frac{EIt}{t} = EI \quad (1-4)$$

负载取用的电功率

$$P_{\text{负载}} = \frac{UI t}{t} = UI \quad (1-5)$$

内电路损失的电功率

$$P_{\text{损失}} = \frac{U_0 It}{t} = U_0 I \quad (1-6)$$

这三者的关系是

$$P_{\text{电源}} = P_{\text{负载}} + P_{\text{损失}}$$

上式称为电路的功率平衡方程式。功率的单位是瓦特，简称瓦 (W)。电能的单位是焦耳 (瓦秒)，简称焦 (J)。这些单位在实际应用中有时嫌太小，因此，功率的单位常用千瓦 (kW)，电能的单位常用千瓦·小时 (kW·h)。1 千瓦·小时的电能俗称 1 度电。

例 1-1 在如图 1-4 所示的电路中，设电动势 $E = 125$ 伏，端电压 $U = 115$ 伏，电流 $I = 4$ 安，求 $P_{\text{电源}}$ 、 $P_{\text{负载}}$ 、 $P_{\text{损失}}$ 及 U_0 。

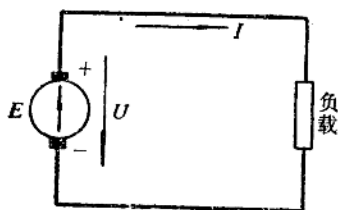


图1-4 例 1-1 图

解： $P_{\text{电源}} = EI = 125 \times 4 = 500$ 瓦

$$P_{\text{负载}} = UI = 115 \times 4 = 460 \text{ 瓦}$$

$$P_{\text{损失}} = U_0 I = (125 - 115) \times 4 = 40 \text{ 瓦}$$

$$U_0 = E - U = 125 - 115 = 10 \text{ 伏}$$

例 1-2 有一只 100 瓦的电灯接在电压为 220 伏的线路中，求电灯中通过的电流。

解：根据

$$P = UI$$

将题给数字代进, 得 $100 = 220 \times I$

所以

$$I = 0.45 \text{ 安}$$

§ 1-4 欧姆定律

欧姆定律是计算电路的最基本定律, 在应用时常表达成下列两种形成。

一、部分电路的欧姆定律

图 1-5 所示的是仅有电阻不含电动势的一段电路。对此, 欧姆定律表达为: 流过电阻的电流的大小与加在电阻两端的电压成正比, 而与电阻值成反比, 即

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

二、全电路的欧姆定律

在闭合回路中电动势和电压降的代数和为 0, 即

$$E = U + U_0$$

此即全电路的电压平衡方程式。

图 1-6 所示的是最简单的闭合回路, R 是负载电阻, r_0 是电源内阻, 略去连接导线的

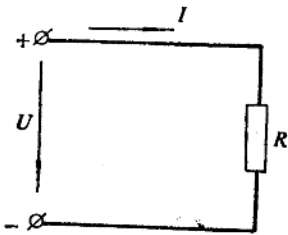


图1-5 一段电阻电路

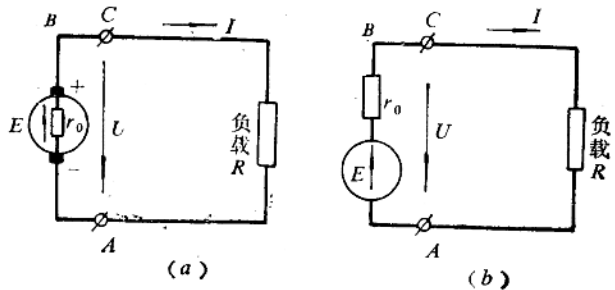


图1-6 最简单的闭合电路

电阻不计, 那末加在负载电阻两端的电压就是电源的端电压, 其值为

$$U = IR$$

电源内阻上的电压降

$$U_0 = Ir_0$$

将上两式代入电压平衡方程式得

$$E = IR + Ir_0$$

$$I = \frac{E}{R + r_0} \quad (1-8)$$

式 (1-8) 即为全电路欧姆定律的表达式, 其物理意义是: 回路中流过的电流, 其大小与电动势成正比, 而与整个电路的电阻成反比。在电源的电动势和内阻不变时, 外电路电阻的改变是影响电流大小的唯一因素。当 R 减小时, 全电路的电阻减小, 电流增大。随着输出电流的增大, 电源的端电压 $U = E - Ir_0$ 将降低。

电源的端电压 U 和电源的输出电流 I 之间的关系 $U = f(I)$, 称为电源的外特性。如果电源输出的电流 I 逐渐增大, 而端电压 U 下降很少, 则说明该电源的外特性较好; 反之则

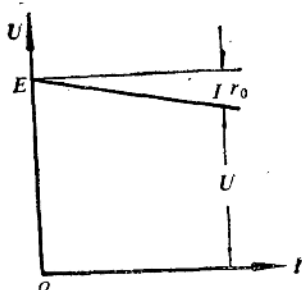


图1-7 电源的外特性曲线

较差。图1-7中曲线即为电源的外特性曲线。如果电源的内阻 $r_0 = 0$ ，则 $U = E$ 。这表示当输出电流 I 发生变化时，电源的端电压不变。这时的外特性曲线与横轴平行。这样的电源称之为电压源。

电源与负载未构成闭合回路（即未接通）的状态称为断路。在断路时，电路中的电流等于零，电源内部电压降也等于零。这时电源的端压与电动势相等，即

$$U = E$$

在闭合回路中，如果已知 E 、 r_0 和 U 的数值，则可从内电路来计算电流。由于在 ABC 这一段电路（图1-6a）中，除有 r_0 外，还有 E 存在，因此，可用电阻 r_0 与电动势相串联的电路（图1-6b）来代替。由于电压 U 不是 r_0 上的电压，所以不能用 U 除以 r_0 来计算这段电路上的电流。而要由内电路来计算电流，即从电源内部的电压降着手。由式

$$U_0 = I r_0 = E - U$$

可求出流过内电路的电流应为

$$I = \frac{E - U}{r_0} \quad (1-9)$$

负载电阻从电源吸收的功率

$$P = I^2 R = \frac{E^2}{(R + r_0)^2} R$$

上式在 $R = r_0$ 时有一个最大值，也就是说当负载电阻与电源内阻相等时电源输出的功率最大。它的数值为

$$P_{\text{最大}} = \frac{1}{4} E^2 / R$$

这个关系在电子线路中得到广泛应用。

综上所述，在计算时应该根据电路是部分电路还是全电路而正确地使用欧姆定律。

例 1-3 在如图1-6所示的电路中，设 $E = 110$ 伏， $U = 100$ 伏， $r_0 = 1$ 欧，求电流 I 、负载电阻 R 、电源内部电压降 U_0 。

解： 根据已知条件，可以从内电路来求电流。由式（1-9）得

$$I = \frac{E - U}{r_0} = \frac{110 - 100}{1} = 10 \text{ 安}$$

$$R = \frac{U}{I} = \frac{100}{10} = 10 \text{ 欧}$$

$$U_0 = E - U = 10 \text{ 伏}$$

例 1-4 在如图1-8所示的电路中，已知电路中的电源电动势 $E = 230$ 伏，求开关 K_1 及 K_2 均未闭合时的 U_{AF} 值； K_2 闭合， K_1 未闭合时的 U_{AF} 和 U_{BC} 。

解： 当 K_1 和 K_2 均未闭合时，电路处于断路状态，所以 $U_{AF} = E = 230$ 伏。

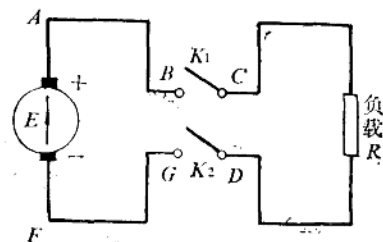


图1-8 例 1-4 图

当 K_2 闭合、 K_1 未闭合时，电路仍处于断路状态，所以得 $U_{AF} = E = 230$ 伏。

由于电路中无电流，在 AB 和 $CDGF$ 的各段电路上均无电压降，即 B 点与 A 点， C 点与 F 点的电位相同，故

$$U_{BC} = E = 230 \text{ 伏}$$

三、电 阻

导体的电阻值 R 与其长度 l 成正比，与其截面积 S 成反比，并与导体材料的性质有关，即

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

式中 ρ 是电阻率。不同材料的导体，其电阻率也不同。电阻率的倒数 $1/\rho$ 称为电导率 γ 。电阻的单位为欧姆，简称欧(Ω)。

当长度的单位为米、截面积的单位为平方毫米、电阻的单位为欧时，电阻率的单位为欧·毫米²/米。因此某导体电阻率就是长度为1米、截面积为1平方毫米的该导体所具有的电阻值。

导体的电阻除与材料的性质有关外，还与温度有关。大多数金属的电阻值随温度的升高而增大。

实验指出，温度在 $0 \sim 100^\circ\text{C}$ 范围内，金属导体的每欧电阻的变动量 $\frac{R_2 - R_1}{R_1}$ 与温度的变动量 $t_2 - t_1$ 近似地成正比关系

$$\frac{R_2 - R_1}{R_1} = \alpha(t_2 - t_1)$$

或

$$R_2 = R_1(1 + \alpha(t_2 - t_1))$$

上式中的 α 称为电阻温度系数，它等于温度每变动 1°C 时每欧电阻的变动量，其单位为 $1/^\circ\text{C}$ ； R_1 和 R_2 分别是导体在温度 t_1 和 t_2 时的电阻。

表1-1列出了几种常用导电材料的电阻率和电阻温度系数。图1-9所示是几种常用电阻元件的外形。

表 1-1* 几种常用导电材料的电阻率和电阻温度系数

材 料 名 称	电 阻 率 $\rho(20^\circ\text{C})$ (欧·毫米 ² /米)	电 阻 温 度 系 数 α ($0 \sim 100^\circ\text{C}$)(10°C)	用 途
银	0.0165	0.0036	导 线 镀 银
铜	0.0175	0.004	导线，主要的导电材料
铝	0.0283	0.004	导 线
铂	0.106	0.00392	热电偶或电阻温度计
康 铜	0.44	0.000005	标 准 电 阻
锰 铜	0.42	0.000006	标 准 电 阻
镍 铬 铁 合 金	1.12	0.00013	电 炉 丝
钢 铬 铁 合 金	1.3~1.4	0.00005	电 炉 丝
碳	10	-0.0005	电 刷

*表1-1给出的是近似值，它们随材料的纯度和成分的不同而有所改变

利用电阻值随温度的变化而变化的特性，可以制成电阻温度计，用来测量温度。例如在制造电机时，在电机绕组的内部安装铂丝电阻，便可以测出电机运转时的内部温度。

碳、电解液、半导体以及绝缘体的电阻随温度的升高而下降，它们的电阻温度系数是负值。

当有些金属或合金处在温度很低的环境时，它们的电阻会突然大幅度下降，以致变为零。例如，汞在 -268.85°C 时，铌钛合金在 -265°C 时均能表现出这种性质。具有这种性质的物体称为超导体。由于材料处于超导状态时电阻值为零，因此通电后，导体没有热损耗。在超导体内一

经激起电流之后，即使取消外电场，电流也能长期维持下去。目前，利用低温超导体物质制成的元件正用于电子计算技术、原子能技术等方面。随着低温制冷技术的发展和新型超导材料的发现，超导技术必将获得广泛的应用。

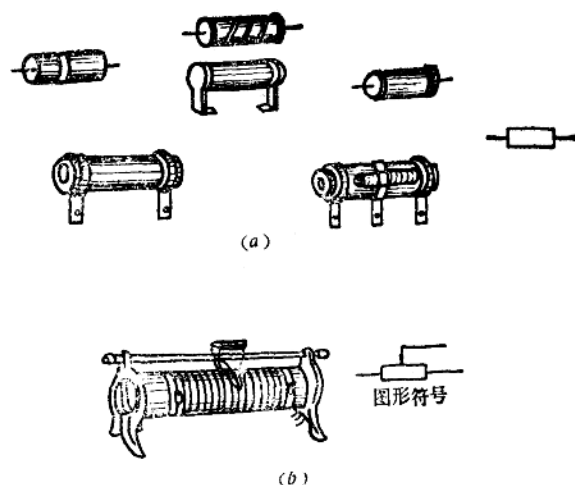


图1-9 几种常用的电阻元件
(a) 固定电阻；(b) 变阻器

§ 1-5 电阻的串联、并联、混联电路

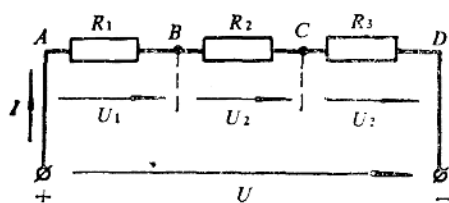


图1-10 串联电路

电流是同一个电流。

(2) 根据能量守恒定律，电路所取用的总功率等于各段电阻取用的功率之和，即

$$P = P_1 + P_2 + P_3$$

或

$$UI = U_1 I + U_2 I + U_3 I$$

由上式可得

$$U = U_1 + U_2 + U_3$$

(1-10)

(1-10)式说明，在串联电路中总电压等于各电阻电压之和。

(3) 几个电阻相串联时，可用一个等效电阻来代替。

由于

$$U = U_1 + U_2 + U_3$$

因此

$$IR = IR_1 + IR_2 + IR_3$$

在直流电路中，外电路经常是由许多电阻串联、并联或混联组成的。

一、串联电路

如果在一段电路中把几个电阻首尾相联，这种连接方式叫串联，如图1-10所示。

串联电路的特点是：

(1) 由电流的连续性原理可知，串联电路中的电流处处相同，即流过 R_1 、 R_2 、 R_3 的

$$\text{即} \quad R = R_1 + R_2 + R_3 \quad (1-11)$$

(1-11) 式说明, 在串联电路中等效电阻 R 等于各支路电阻之和。显然, 等效电阻值大于任一支路的电阻值。

(4) 如前所述, 在电阻上顺着电流的方向电位是逐点降低的, 所以 B 点的电位比 A 点低, 即 U_{BD} 小于 U_{AD} 。这表明, 当电流通过电阻时, 电阻上就有电压降产生, 因而电阻上的电压又称为电阻电压降。由于流过串联电路中各电阻的电流相同, 即

$$I = \frac{U_1}{R_1} = \frac{U_2}{R_2} = \frac{U_3}{R_3}$$

$$\text{因此} \quad U_1 : U_2 : U_3 = R_1 : R_2 : R_3$$

也就是说各段电阻上的电压降与它们的电阻值成正比。在电子线路中常用这个原理来降低电压或进行电压分配。

例 1-5 图 1-11 所示的是一最简单的供电线路图。由于连接导线有电阻, 因此在它上面就有电压降。当供电距离很短时, 导线的电阻

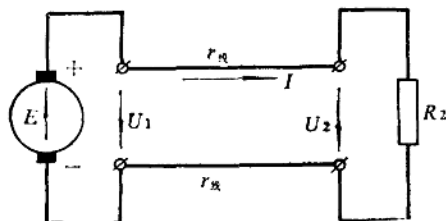


图1-11 例1-5 图

很小, 它的电压降也很小, 可以略去不计; 当供电距离较长时, 由于导线上的电压降不能忽略, 因此负载 R_2 两端的电压就比电源两端的电压小。

设 $U_1 = 226$ 伏, $r_{\text{线}} = 0.4$ 欧, $R_2 = 10.5$ 欧, 求导线上的电压降 ΔU 和负载两端的电压 U_2 。

解: 根据串联的特点可以求得外电路的等效电阻

$$R = 2r_{\text{线}} + R_2 = 2 \times 0.4 + 10.5 = 11.3 \text{ 欧}$$

电路中的电流

$$I = \frac{U_1}{R} = \frac{226}{11.3} = 20 \text{ 安}$$

因此线路电压降

$$\Delta U = 2Ir_{\text{线}} = 2 \times 20 \times 0.4 = 16 \text{ 伏}$$

负载两端的电压

$$U_2 = U_1 - 2Ir_{\text{线}} = 226 - 16 = 210 \text{ 伏}$$

二、并联电路

把几个电阻的一端连在一个点上, 把它们的另一端连在另一个点上, 这样的连接方式叫做并联, 如图1-12所示。

并联电路的特点是:

(1) 加在并联电路各支路两端的电压相等。

(2) 根据能量守恒定律, 总功率 P 为各分支电路功率之和, 即

$$P = P_1 + P_2 + P_3$$

因此

$$UI = UI_1 + UI_2 + UI_3$$

由此可得

$$I = I_1 + I_2 + I_3 \quad (1-12)$$

并联电路的总电流等于各分支电流之和。

(3) 几个并联电阻可用一个等效电阻来代替。

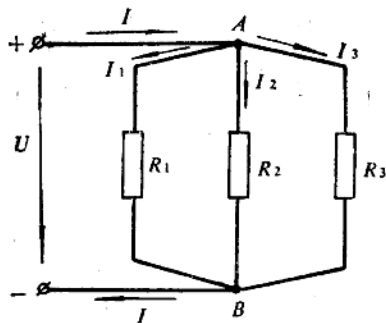


图1-12 并联电路

由于

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

因此

$$\frac{U}{R} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \frac{U}{R_3}$$

即

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \quad (1-13)$$

并联电路等效电阻的倒数等于各支路电阻的倒数的和。

由式(1-13)可得出

$$R = \frac{R_1 R_2 R_3}{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_3 R_1}$$

当 $R_1 = R_2 = R_3$ 时, 等效电阻 $R = \frac{1}{3} R_1$ 。

如果有 n 个相同的电阻并联, 则等效电阻为 $R = \frac{1}{n} R_1$ 。

由此可见, 并联电路的等效电阻值小于任一支路的电阻值。而且并联的电阻愈多, 等效电阻愈小。

(4) 由于加在各并联电阻两端的电压相等, 所以

$$I_1 R_1 = I_2 R_2 = I_3 R_3$$

$$\frac{I_1}{\frac{1}{R_1}} = \frac{I_2}{\frac{1}{R_2}} = \frac{I_3}{\frac{1}{R_3}}$$

即

$$I_1 : I_2 : I_3 = \frac{1}{R_1} : \frac{1}{R_2} : \frac{1}{R_3}$$

或

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}, \quad \frac{I_2}{I_3} = \frac{R_3}{R_2}$$

也就是说, 并联电路中流过各支路的电流值的大小与对应支路电阻成反比。

负载在线路中通常是并联的, 这是为了保证负载能正常工作。为此, 加在负载两端的电压就有所规定, 一般低压电器所用的电压有380伏、220伏、110伏等几种。对于使用电压相同 (例如均使用220伏) 的负载, 为保证它从线路上取得应有的电压, 就必须并联接在相应电压 (例如220伏) 的线路上; 这样并联也是为了在需要接通或断开某些负载时, 不会对其它正在工作着的负载产生影响。如果采用串联联接, 每一负载从线路上所取得的电压将随负载串联数目的增多而下降; 此外, 当任一负载断开时, 其他负载也就处于断路状态而无法工作。因此, 电灯、电动机等负载在线路中都是并联的。

在实际工作中, 我们常说负载增大、负载减小这类电工术语, 其含义是指电路中负载消耗功率的增大或减小。在电压不变的条件下, 电路的电阻减小就是负载增大, 电路的电阻增大就是负载减小。

例 1-6 有一台电压为220伏, 功率为1.1千瓦的直流电动机和一组220伏的电灯 (共计11盏, 每盏功率40瓦) 并联接在220伏的线路中, 如图1-13所示, 求总电流 I 。

解: 一组电灯的总电流为

$$I_1 = \frac{P_1}{U} = \frac{11 \times 40}{220} = 2 \text{ 安}$$

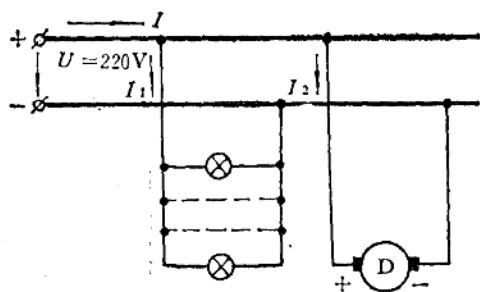


图1-13 例1-6 图

流过电动机的电流

$$I_2 = \frac{P_2}{U} = \frac{1.1 \times 1000}{220} = 5 \text{ 安}$$

线路中总电流

$$I = I_1 + I_2 = 2 + 5 = 7 \text{ 安}$$

三、混联电路

在一个电路中既有电阻的串联，又有电阻的并联，这种形式的电路称为混联电路。图1-14所示的是一种常见的混联电路，其中 r_1 和 r_2 是各段连接导线的电阻， r_0 是电源内电阻， R_1 和 R_2 是负载电阻。

由图可知， R_2 和 r_2 串联，因此B、F两点间的总电阻

$$R_{BF} = \frac{R_1(2r_2 + R_2)}{R_1 + 2r_2 + R_2}$$

整个电路的等效电阻

$$R = R_{BF} + r_0 + 2r_1$$

在混联电路的计算中，不一定要算出各部分电阻及总电阻，而应根据计算需要及串、并联电路的特点，结合欧姆定律加以灵活运用。例1-7就是计算混联电路的方法之一。

例1-7 在如图1-14所示的电路中，设 $r_0 = 0.1$ 欧， $r_1 = 0.25$ 欧， $r_2 = 0.5$ 欧，电源电压 $U = 110$ 伏， R_2 两端的电压 $U_2 = 90$ 伏， R_2 的功率 $P_2 = 900$ 瓦，求 I 、 I_1 、 I_2 、 E 和 R_1 的功率 P_1 。

解：根据 U_2 和 P_2 ，可求得

$$I_2 = \frac{P_2}{U_2} = \frac{900}{90} = 10 \text{ 安}$$

根据 U_2 和 I_2 ，即可求得

$$U_1 = U_2 + 2I_2r_2 = 90 + 2 \times 10 \times 0.5 = 100 \text{ 伏}$$

由于

$$U = U_1 + 2I_1r_1$$

故可求得总电流

$$I = \frac{U - U_1}{2r_1} = 20 \text{ 安}$$

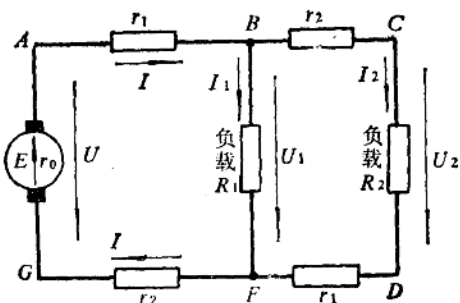


图1-14 混联电路