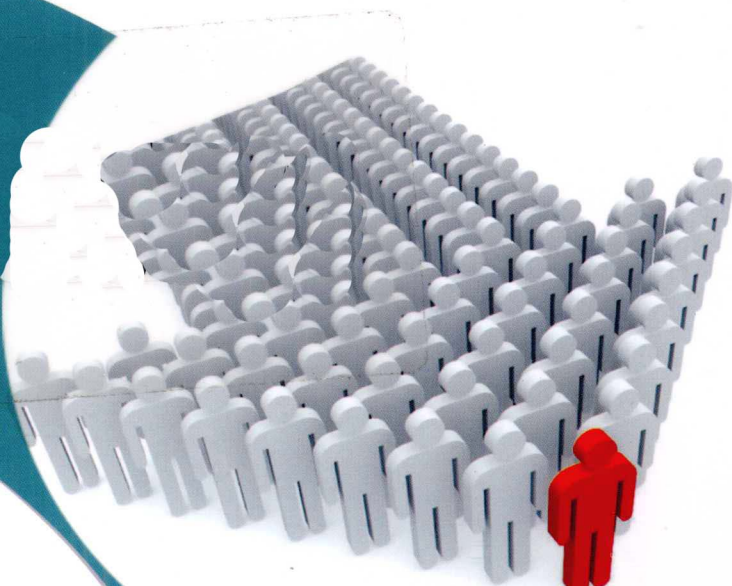


上岗就业百分百系列丛书

电 工

上岗就业**百分百**

上岗就业百分百系列丛书编委会 组编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



上岗就业百分百系列丛书

电工上岗就业百分百

上岗就业百分百系列丛书编委会 组编



机械工业出版社

本书是根据初、中级电工等级标准及职业技能鉴定规范要求,按照岗位培训需要的原则编写的。本书主要内容包括:电工学基本知识、常用电工材料及电工用具、变压器与电动机、常用低压电器、现代照明技术等相关内容,并通过实例提供详细的电工操作方法和注意事项,以加深理解,达到事半功倍的效果。

本书主要用作企业培训部门、职业技能鉴定培训机构、再就业和农民工培训机构的教材,也可作为技校、中职、各种短训班的教学用书。

图书在版编目(CIP)数据

电工上岗就业百分百/上岗就业百分百系列丛书编委会组编. —北京:机械工业出版社, 2011. 3

(上岗就业百分百系列丛书)

ISBN 978-7-111-33227-5

I. ①电… II. ①上… III. ①电工技术 IV. ①TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 013847 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:王晓洁 责任编辑:王晓洁 林运鑫

责任校对:闫玥红 封面设计:马精明

责任印制:李妍

高等教育出版社印刷厂印刷

2011 年 4 月第 1 版第 1 次印刷

169mm × 239mm · 10.5 印张 · 274 千字

0001 - 3000 册

标准书号: ISBN 978 - 7 - 111 - 33227 - 5

定价: 25.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心: (010)88361066

门户网: <http://www.cmpbook.com>

销售一部: (010)68326294

销售二部: (010)88379649

教材网: <http://www.cmpedu.com>

读者购书热线: (010)88379203

封面无防伪标均为盗版

前言

随着我国工业化进程的加速、产业结构的调整和升级，经济发展对高质量技能人才的需求不断扩大。然而，技能人才短缺已是不争事实，并日益严重，这已引起中央领导和社会各界的广泛关注。面对技能人才短缺现象，政府及各职能部门快速做出反应，采取措施加大培养力度，鼓励各种社会力量倾力投入技能人才培养领域。为认真贯彻国家中长期人才发展规划(2010~2020年)，适应全面建设小康社会对技能型人才的迫切要求，促进社会主义和谐社会建设，我们特邀请有关专家组织编写了这套“上岗就业百分百系列丛书”。

本套丛书在编写中以企业对人才需求为导向，以岗位职业技能要求为标准，以与企业无缝接轨为原则，以企业技术发展方向为依据，以知识单元体系为模块，结合职业教育和技能培训实际情况，注重学员职业能力的培养，体现内容的科学性和前瞻性。同时，在编写过程中力求体现“定位准确、注重能力、内容创新、结构合理、叙述通俗”的特色，为此在编写中从实际出发，简明扼要，没有过于追求系统及理论的深度，突出“上岗”的特点，使具有初中文化程度的读者就能读懂学会，便于广大技术工人、初学者、爱好者自学，掌握基础理论知识和实际操作技能，从而达到实用速成、快速上岗的目的。

本套上岗就业百分百系列丛书编委会的组成人员有：汪立亮、刘兴武、袁黎、徐寅生、陈忠民、张能武、黄芸、徐峰、杨光明、潘旺林、潘珊珊、兰文华、邱立功。我们真诚地希望本套丛书的出版对我国技能人才的培养起到积极的推动作用，能成为广大读者的“就业指导、创业帮手、立业之本”，同时衷心希望广大读者对这套丛书提出宝贵意见和建议。

由于编者水平有限，书中难免有错误和不妥之处，恳请广大读者批评指正。

上岗就业百分百系列丛书编委会

目 录

前言

第1单元 电工学基本知识	001
模块一 电路基本知识	001
一、电流	001
二、电压和电动势	002
三、功和功率	003
四、电路的组成	004
五、电路的作用	004
六、电阻的串、并联及其应用	004
七、电路的基本定律	008
模块二 常用电子元器件	011
一、电阻器	011
二、电容器	018
三、电感器	020
模块三 直流电流与交流电路	022
一、直流电流	022
二、交流电路	024
模块四 电气符号与识图	029
一、文字符号	029
二、图形符号	029
三、电气识图	030
四、电气识图的基本方法和步骤	033
第2单元 常用电工材料及电工用具	035
模块一 常用电工仪表	035
一、电流表及其使用方法	035
二、电压表及其使用方法	037

三、万用表及其使用方法	039
四、钳形表及其使用方法	045
五、绝缘电阻表及其使用方法	046
六、功率表及其使用方法	050
模块二 常用电工工具	054
一、验电器	054
二、钢丝钳	056
三、尖嘴钳和斜口钳	057
四、螺钉旋具	057
五、剥线钳	058
六、活扳手	058
七、电工刀	059
八、专用工具	059
模块三 常用电工材料	062
一、绝缘材料	062
二、导电材料	064
三、导线的基本操作	067
第3单元 变压器与电动机	073
模块一 变压器	073
一、变压器简介	073
二、变压器的工作原理	074
三、电力变压器的结构和铭牌	076
四、变压器的选用与安装	080
五、变压器的维护和故障检修	082
六、小型变压器的常见故障及处理方法	083
七、其他变压器	084
模块二 电动机	089
一、三相异步电动机	089
二、直流电动机	104
三、单相异步电动机	107
第4单元 常用低压电器	114
模块一 开关电器	114
一、刀开关	114
二、组合开关	116
三、断路器	117
模块二 熔断器	120
模块三 接触器	122
模块四 继电器	124

一、中间继电器	124
二、热继电器	125
三、时间继电器	126
模块五 主令电器	128
一、按钮	128
二、行程开关	130
三、凸轮控制器	131
第5单元 现代照明技术	133
模块一 照明灯具与电气装置	133
一、白炽灯	133
二、荧光灯	136
三、节能型荧光灯	140
四、荧光高压汞灯	142
五、高压钠灯	143
六、卤钨灯	144
模块二 照明线路的安装	145
一、瓷夹板线路的安装	145
二、鼓形绝缘线路的安装	146
三、槽板线路的安装	148
四、塑料护套线路的安装	150
五、管内布线的安装	151
模块三 照明线路故障检修	153
一、故障检修时的安全注意事项	153
二、短路故障的检修	154
三、断路故障的检修	155
四、漏电故障的检修	156
参考文献	158

第1单元

电工学基本知识



知识要点

- 了解电路的基本物理量，学习电路的基本规律。
- 掌握常用的电气符号，识读简单的电路。



任务目标

- 掌握常用电子元器件的性能、技术参数及标识。
- 熟悉直流电路、交流电路，并可对其电路进行简单分析。

本单元从电路的基本物理量及其单位出发，着重讨论电路的基本定律、基本知识、电路的工作状态、电位的计算以及电压和电流的正方向等。直流电路中介绍的这些内容都是分析与计算电路的基础，原则上也适用于正弦交流电路及其他各种线性电路。

模块一 电路基本知识

一、电流

电荷在电场作用下有规则的定向运动，称为电流。

在金属导体内的电流是由于导体的内部自由电子在电场力的作用下有规则地运动而形成的。电流在数值上等于单位时间内通过某一导体横截面的电荷量。如果电流用 I 表示，电荷量用 q 表示，时间用 t 表示，则

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

式中， q 为时间 t 内通过导体横截面 S 的电荷量。金属导体的电流方向如图 1-1 所示。

对于随时间变化的电流来说，则电流为

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1-2)$$

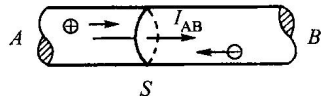


图 1-1 金属导体的电流方向

式(1-2)表示电流是随时间而变化的,是时间的函数,称为变化电流,用小写字母*i*表示。当电流的大小和方向都不随时间变化时,称为直流电流,用大写字母*I*表示。

在国际单位制(SI)中,电流的单位为安培(A)。当1s内通过导体横截面的电荷量为1库仑(C)时,则电流为1安培(A)。在电力系统中,常遇到电流为几安、几十安,甚至更大;而在电子技术中经常遇到较小的电流,是以毫安(mA)或微安(μA)为单位来计算的。它们之间的关系是1kA=10³A,1mA=10⁻³A,1μA=10⁻³mA=10⁻⁶A。

通常规定正电荷运动的方向或负电荷运动的相反方向为电流的实际方向。但是在分析电路的时候,有时电流的实际方向难以事先确定,特别是在交流电路中,电流的实际方向随时间不断地改变,在电路上也无法用一个箭头来表示它的实际方向。因此,为了分析电路方便,可任意选定某一方向作为电流的正方向,称为参考方向。当电流的正方向与其实际方向一致时,则电流为正值,如图1-2a所示;当电流的正方向与其实际方向相反时,则电流为负值,如图1-2b所示。因此,在正方向选定之后,电流值的正与负就决定了电流的实际方向。

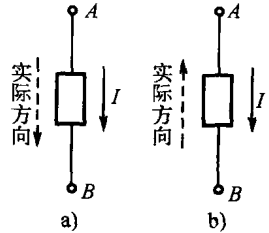


图 1-2 电流的正方向

a) $I > 0$ b) $I < 0$

本书中,电路上所标的电流方向都是正方向(参考方向)。

另外,电流的正方向除用带箭头的直线表示外,还可用双下标表示。如图1-1所示,图中 I_{AB} 表示电流的正方向是由A指向B;若选定正方向为由B指向A,则为 I_{BA} 。两者相差一个负号,即 $I_{AB} = -I_{BA}$ 。

综上所述,电流的正方向是电路中一个非常重要的概念,在学习时应注意以下几点:

- 1) 电流的实际方向是客观存在的,而其正方向是根据计算的需要任意选取的,正方向一经选定后,在电路分析和计算过程中就必须以此为依据,不能随意改动。
- 2) 同一电流若正方向选择不同,其数值相等而符号相反。因此,电流值的正负只有在选定正方向下才有意义。
- 3) 电路中的基本公式和结论,都在一定的正方向下得出来的,应用时必须注意正方向的选择。
- 4) 电流是具有大小和方向的代数量,是标量,不是矢量。电流的方向与矢量中的方向不同,它并不决定电流这一物理量的作用效果。

二、电压和电动势

1. 电压

导体内电荷的定向运动形成的电流是在电场力作用下实现的。为了衡量电场力对电荷做功的能力,引入电压这一物理量。在图1-3所示电路中,A、B两点间的电压 U_{AB} 在数值上等于电场力把单位正电荷从A点移到B点所做的功。电场内两点间的电压也常称为两点间的电位差,即电压为

$$U_{AB} = V_A - V_B \quad (1-3)$$

式中, V_A 为A点的电位, V_B 为B点的电位。物理学中电位称为电势,表示电场中某一点性质的物理量,它是相对参考点而言的。电场中某点A的电位,在数值上等于电场力把单位正电荷从该点沿任意路径移

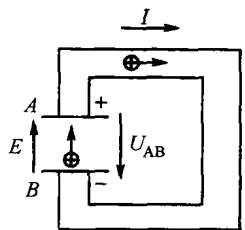


图 1-3 电荷的运动电路

到参考点所做的功。可见，电场中某点的电位就是该点到参考点间的电压。

在电场力作用下，正电荷从高电位向低电位移动。图 1-3 中， A 点称为高电位，用“+”表示；而 B 点称为低电位，用“-”表示。电压的方向是从高电位端指向低电位端的，即电位降低的方向。和电流一样，在电路上所标记的电压的方向都是正方向，用箭头或双下标表示，还可用“+”、“-”表示。在直流电路中，当已知电压的实际方向时，为了简便，常以电压的实际方向作为正方向。

在国际单位制(SI)中，电压的单位为伏特(简称为伏)，用字母 V 表示。在测量中也可用千伏(kV)、毫伏(mV)和微伏(μV)表示，它们之间的关系是 $1\text{kV} = 10^3\text{V}$ ， $1\text{mV} = 10^{-3}\text{V}$ ， $1\mu\text{V} = 10^{-6}\text{V}$ 。

2. 电动势

为了使 AB 两点间的电压保持恒定，则必须使 B 端增加的正电荷经过另一路径流向 A 端，否则 AB 间电压将降低。但由于电场力的作用，电极 B 端上的正电荷不能逆电场而上到达 A 端。因此必须有一种力能克服电场力而使 B 端的正电荷移向 A 端。电源就能产生这种力，称为电源力。电源力将单位正电荷从电源负极端 B 经过电源内部移至正极端 A 克服电场力所做的功，称为电源的电动势，用字母 E 表示。

按照电动势的定义，其单位也是伏(V)。必须注意，电动势的实际方向由负极指向正极，如图 1-3 所示。因此，电动势的实际方向与电压的实际方向相反。

专家提醒 电动势与电压是两个不同的概念。电源既可以用正负极之间的电动势表示，也可以用其间的电压表示，但要注意两者之间的区别。在图 1-3 中，电动势 E 与电压 U_{AB} 表示同一电源，即 $E = U_{AB}$ 。在以后的叙述中，常常用一个与电源的电动势大小相等、方向相反的电压等效表示电动势对外电路的作用效果。

三、功和功率

如果在电场中某两点 A 和 B 之间的电压为 U ，当电荷 q 受到电场力的作用，在时间 t 内从 A 点移到 B 点，那么电场力做的功为

$$W = Uq \quad (1-4)$$

即
$$W = UIt \quad (1-5)$$

电场力做功的结果是消耗了电能。单位时间内消耗的电能称为电功率(或功率)，即

$$P = \frac{W}{t} = UI \quad (1-6)$$

在国际单位制(SI)中，功率的单位是瓦特(简称瓦)，用 W 表示。如果电压的单位为伏(V)，电流的单位为安(A)，则功率的单位为瓦(W)，则 $1\text{W} = 1\text{V} \times 1\text{A}$ 。

工程上，较大的功率常用千瓦(kW)和兆瓦(MW)作单位，较小的功率可用毫瓦(mW)和微瓦(μW)表示。它们之间的换算关系为 $1\text{MW} = 10^3\text{kW} = 10^6\text{W}$ ， $1\text{W} = 10^3\text{mW} = 10^6\mu\text{W}$ 。

功的单位是焦耳，用 J 表示为 $1\text{J} = 1\text{W} \times 1\text{s}$ 。

电功有时也用千瓦时($\text{kW} \cdot \text{h}$)作为单位，1 千瓦时俗称 1 度电，即 $1\text{kW} \cdot \text{h} = 1\text{kW} \times 1\text{h} = 3.6 \times 10^6\text{J}$ 。

我们常说用了多少“度”电，就是指消耗了多少千瓦小时的电能。

四、电路的组成

1. 电源

电源是一种将非电能转换成电能的装置。常用的电源有干电池、蓄电池和发电机等，它们分别将化学能和机械能转换成电能。电源的符号如图 1-4 所示。图 1-4a 表示干电池或蓄电池符号。在电路分析中，电源设备一般用图 1-4b 所示的电压源表示， R_s 表示电压源的内阻。

2. 中间环节

中间环节起传输、分配和控制电能的作用。最简单的中间环节就是开关和导线。一般导线的电阻很小，所以电路分析中常把导线的电阻视为零。中间环节一般还有保护和测量设备。对于一个实际电路来说，中间环节可能是相当复杂的，它可能是由各种元器件或设备组成的网络系统。

3. 负载

负载是取用电能的设备，其作用是将电能转换成其他形式的能量(如机械能、光量、热能)。常见的负载有电灯、电动机、电炉、扬声器等。

综上所述，电源、中间环节和负载是组成一个完整电路的三个最基本的部分。

五、电路的作用

电路的组成形式和功能虽然是多种多样的，但总的来说，它的作用主要有两点：

1. 实现电能的传输和转换

在电力系统中，发电机组把热能、水能、原子能转换成电能，通过变压器、输电线路输送和分配到用户，用户则根据实际需要又把电能转换成机械能、光量和热能等。

2. 传递和处理电信号

通过电路元件，可以将信号源施加的信号变换或加工成所需的输出信号。如放大电路的作用是把微弱的输入信号放大成为满足工作需要的较强的输出信号。

专家提醒 无论电能的传输、分配和转换，还是信号的传递和处理，其中电源或信号源的电压(电流)都称为激励，它驱动电路工作。在激励作用下，电路某一元器件上的电压或通过元器件的电流称为响应。激励表示电源供给电路的能量，响应表示在电路某一元器件上能量的应用。所谓电路分析，就是在已知电路结构和元器件参数的情况下，讨论电路的激励和响应之间的关系。

六、电阻的串、并联及其应用

1. 电阻

在电场力作用下，电流在导体中流动时所受到的阻力称为电阻。它等于加在导体两端的电压和通过导体电流的比值。电阻用符号 R 表示，电阻的国际单位是欧姆(简称为欧)，用符号 Ω 表示。若导体两端电压为 1V，通过电流是 1A，则电阻是 1Ω 。常用的电阻单位还有千欧(k Ω)和兆欧(M Ω)，有 $1k\Omega = 10^3\Omega$ ， $1M\Omega = 10^6\Omega$ 。

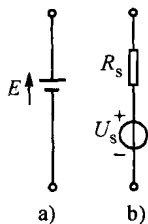


图 1-4 电源的符号
a) 干电池、蓄电池符号
b) 电压源符号

值得注意的是：导体的电阻是客观存在的，线性电阻（一般导体可视为线性）不随导体两端电压的大小变化，即使没有电压，导体仍然有电阻。实验证明：温度一定时，导体的电阻与导体长度 L 成正比，与导体的材料有关，这个规律叫做电阻定律，用公式表示为

$$R = \rho \frac{L}{S} \quad (1-7)$$

式中， ρ 是与材料性质有关的物理量，叫做电阻率，其单位是欧·米($\Omega \cdot m$)。

表 1-1 列出几种材料在 20℃ 时的电阻率及其主要用途。

表 1-1 几种材料在 20℃ 时的电阻率及其主要用途

材 料	电阻率/ $\Omega \cdot m$	主 要 用 途	
纯金属	银	1.6×10^{-8}	导线镀银
	铜	1.7×10^{-8}	制造各种导线
	铝	2.9×10^{-8}	制造各种导线
	钨	5.3×10^{-8}	电灯灯丝，电器触头
	铁	1.0×10^{-7}	电工材料，制造钢材
合金	锰铜(85%铜,12%锰,3%镍)	4.4×10^{-7}	制造标准电阻、滑线电阻
	康铜(54%铜,46%镍)	5.0×10^{-7}	制造标准电阻、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	10^3	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

由表 1-1 可见：纯金属的电阻率很小，绝缘体的电阻率很大；银的导电性能最好。由于银的价格昂贵，用它做导线太不经济。因此，目前多用铜和铝来做导线。又因我国铝矿丰富，价格便宜，所以很多场合常用铝代铜做导线。

在电工学上，为了表征导体导电性能，有时还用电导这个概念。电导即导体导电的能力。我们把电阻的倒数称为电导，用符号 G 表示，即

$$G = \frac{1}{R} \quad (1-8)$$

导体的电导越大其电阻越小，导电性能越好，电导的单位是西门子（简称西），符号是 S 。

2. 电阻的串联及其应用

两个或两个以上电阻依次相连，流过同一电流，这种连接方式叫做电阻的串联，图 1-5a 所示是两个电阻的串联电路，图 1-5b 所示是图 1-5a 的等效电路。

1) 串联电路的特性。

① 各电阻中电流处处相等。因为串联电路中间没有分路，所以流经 R_1 和 R_2 的电流 I 相同，即

$$I = I_1 = I_2 = \cdots = I_n \quad (1-9)$$

式中， I_1, I_2, \cdots, I_n 分别代表第 1、第 2、 \cdots 、第 n 个电阻流过的电流。

② 电路两端的总电压等于各电阻上的电压之和。电流流过每一个电阻都要产生电压降，因此电阻上的电压降之和必定等于电路两端的总电压，即

$$U = U_1 + U_2 + \dots + U_n \quad (1-10)$$

③ 电路的串联等效电阻(即总电阻)等于串联的各电阻之和。在分析电路时，为了方便起见，常用一个电阻来代替几个串联的总电阻，这个电阻叫做等效电阻，其值为各电阻之和。

由于

$$U = U_1 + \dots + U_n$$

则有

$$\frac{U}{I} = \frac{U_1}{I} + \frac{U_2}{I} + \dots + \frac{U_n}{I} \quad (1-11)$$

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

若有 n 个电阻的阻值都相等的串联，则式(1-10)和式(1-11)变为

$$U_1 = U_2 = \dots = U_n = \frac{U}{n} \quad (1-12)$$

$$R = nR_1$$

可见，电阻串联后，其总电阻必大于其中任何一个电阻。电阻串联越多，等效电阻越大。

④ 各电阻两端电压与其电阻值成正比。

因

$$U_1 = IR_1, U_2 = IR_2$$

故

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{IR_1}{IR_2} = \frac{R_1}{R_2}$$

所以有

$$P_1 : P_2 = R_1 : R_2 \quad (1-13)$$

2) 串联电路的应用。电阻串联的应用很广泛，在实际工作中常见的有以下几种情况。

① 增大电阻值。因为电阻串联的越多，总阻值越大。

② 分压。在实际应用中，有时一个电源要供给几种不同的电压，常采用几个电阻串联的“分压器”来得到。电阻分压器如图 1-6 所示，其分压公式为

$$U_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} U, U_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U \quad (1-14)$$

式(1-14)根据总电压和两个电阻值就能算出两个电阻上的电压。常用的电位器是可调的电阻器，常用来做分压器使用。

③ 限流。为限制通过负载的电流不超过它的额定值，可以与负载串联一个电阻，这个电阻称为限流电阻。若电路电流需要改变，也可在电路中串联一个可变电阻来进行调节，所以串联电路从电压角度来说可以分压，而从电流角度来看，可以限流。

④ 变阻。利用总电阻等于各串联电阻之和的特性，采用许多电阻串联，从不同节点引出，可以得到不同的阻值。可变电阻箱如图 1-7 所示。

⑤ 扩大电压表的量程。

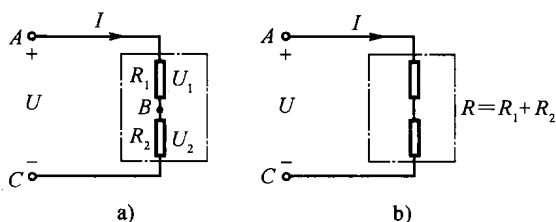


图 1-5 电阻的串联电路及其等效电路

a) 串联电路 b) 等效电路

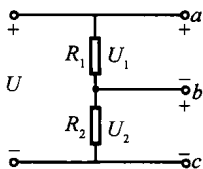


图 1-6 电阻分压器

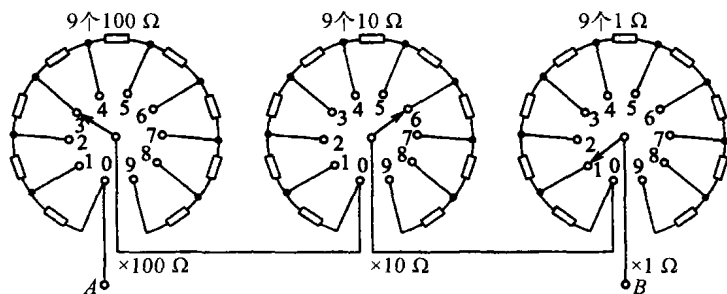


图 1-7 可变电阻箱

3. 电阻的并联及其应用

两个或两个以上电阻接在相同的两点之间，其两端电压相同，这种连接方式叫做电阻的并联。图 1-8 所示是电阻的并联电路及其等效电路。

1) 并联电路的特性。

① 各电阻两端的电压相等。因为各电阻两端电压分别接在一起，承受同一端电压，所以各支路的电压必定相等，即

$$U = U_1 = U_2 = \cdots = U_n \quad (1-15)$$

② 电路的总电流等于各支路电流之和。因为电流是连续的，而电路中又不可能积累电荷，所以 A 端流入的电流必然按一定关系分配各支路，然后汇合经 B 端流出，故有

$$I = I_1 + I_2 + \cdots + I_n \quad (1-16)$$

③ 电路的等效电阻(即总电阻)的倒数等于各分支电阻的倒数之和，即

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \cdots + \frac{1}{R_n} \quad (1-17)$$

或

$$G = G_1 + G_2 + \cdots + G_n$$

若有 n 个电阻值都为 R ，则式(1-16)和式(1-17)变为

$$I_1 = I_2 = \cdots = I_n = \frac{1}{n} I$$

$$R = \frac{R_1}{n}$$

显然，并联电路的总电阻一定比任何一个并联电阻的阻值都小。

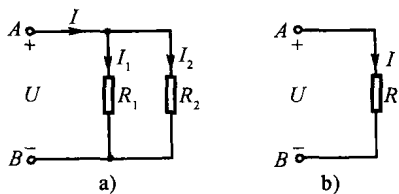
若是两个电阻并联，则由式(1-17)可得并联后的总电阻为

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

④ 各电阻上的电流与其电阻值成反比或与电导成正比。

因为

$$I_1 = \frac{U}{R_1} = UG_1, \quad I_2 = \frac{U}{R_2} = UG_2$$

图 1-8 电阻的并联电路及其等效电路
a) 并联电路 b) 等效电路

所以
$$I_1 : I_2 = \frac{1}{R_1} : \frac{1}{R_2} = G_1 : G_2 \quad (1-18)$$

⑤ 各电阻上消耗的功率与其电阻值成反比或与电导成正比。

因为
$$P_1 = \frac{U^2}{R_1}, P_2 = \frac{U^2}{R_2}$$

所以
$$P_1 : P_2 = \frac{1}{R_1} : \frac{1}{R_2} = G_1 : G_2 \quad (1-19)$$

2) 并联电路的应用。电阻并联的应用非常广泛，在实际工作中常见的主要应用有：

① 凡是工作电压相同的负载几乎全是并联，例如工厂中的各种电动机、电炉、电烙铁以及各种照明灯具都是并联使用的。这是因为负载在并联状态工作时，它们两端的电压完全相同，任何一个负载的工作情况都不影响其他负载，也不受其他负载的影响。因此人们可以根据不同需要起动或停止并联使用的各个负载。

② 减小电阻值，如用两个 100Ω 电阻并联可得到一个 50Ω 的电阻。

③ 分流。有些场合为了减小流过某元件的电流，就在这个元件两端并联一个适当数值的电阻进行分流。对于两个电阻组成的并联电路，其分流公式分别为

$$I_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} I, I_2 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} I \quad (1-20)$$

根据总电流和两个电阻值，求出每个支路电阻中的电流。

④ 扩大电流表的量程。

4. 电阻的混联电路

既有电阻串联又有电阻并联的电路叫做电阻的混联电路，如图 1-9 所示。混联电路的串联部分具有串联电路的性质，并联部分具有并联电路的性质。

计算混联电路的等效电阻方法步骤如下：

- 1) 首先要把电路整理和简化成容易看清的串联或并联关系的电路。
- 2) 把几个串联的电阻或几个并联的电阻分别用等效电阻代替。
- 3) 根据简化的电路进行计算。

计算混联电路的方法很多，主要是熟练地运用欧姆定律和电阻串、并联电路中电阻、电流、电压的关系及其特性来计算。

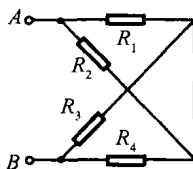


图 1-9 电阻的混联电路

七、电路的基本定律

电路元件的伏安关系反映了电路元件对其所在支路的电压和电流间所起的一种约束作用，故常把元件的伏安关系称为元件约束。当若干电路元件按某种组合构成电路后，元件上的电压、电流就不再是互不相关的变量了，在任何时刻它们除必须各自遵循其元件的约束外，同时还要遵循相互间的约束关系，即所有连在同一节点上的支路电流和任意回路中各元件上的电压之间，将受到结构的约束。基尔霍夫定律是概括这种约束的基本定律。

1. 电路结构术语

因电路结构约束必将涉及电路结构术语，为此首先介绍有关电路结构的几个术语。

1) 支路。没有分支的一段电路称为支路，用符号 b 表示。如图 1-10 所示的电路中 E_1 与 R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 、 R_5 、 E_6 和 R_6 分别称支路，所以图 1-10 所示电路有 6 条支路，即 $b=6$ 。每条支路上所有元件中流过同一个电流，该电流称为支路电流。含有电动势的支路称为有源支路，

否则称为无源支路。

2) 节点。电路中三条及其以上的支路的汇聚点称为节点, 用符号 n 表示。图 1-10 所示电路中 a 、 b 、 c 、 d 点称为节点, 即 $n=4$ 。由此可见, 支路是跨接在两节点间的一段电路, 所以电路中两节点间的电压称为支路电压。

3) 回路。从网络的一个节点出发, 经过若干支路与节点, 重回到起始节点(所有支路和节点只允许经过一次), 这样首尾相连的闭合路径称为回路, 用符号 L 表示。如图 1-10 中, $abdca$ 、 $abcda$ 、 $adbca$ 分别称为回路。按回路的定义, 还可以选择很多回路。含有电动势的回路称为有源回路, 否则称为无源回路。

4) 网孔。内部不包围任何支路的回路称为网孔, 用符号 m 表示。如图 1-10 所示电路中的回路 $abda$ 、 $cbdc$ 、 $abca$ 叫做网孔。图 1-10 所示电路的网孔 $m=3$, 网孔是相对的。

5) 二端网络。在电路分析计算时, 有时并不要求出电路的全部支路电流和电压, 而只需要求出电路中某一支路或负载元件上的响应就可以。在这种情况下, 如果将这一指定的支路或负载元件从原来的电路中划出, 而电路的其他部分连同激励源在内, 组成一新的有源电路, 这时常把除该支路以外的电路称为二端网络, 如图 1-11a 所示的阴影部分, 并用图 1-11b 所示的符号表示。若二端网络中含有电源, 则称为有源二端网络, 用 N_s 表示; 否则称为无源二端网络, 用 N_r 表示。

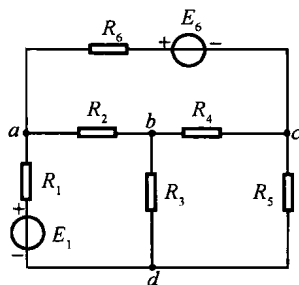


图 1-10 电路结构术语示意图

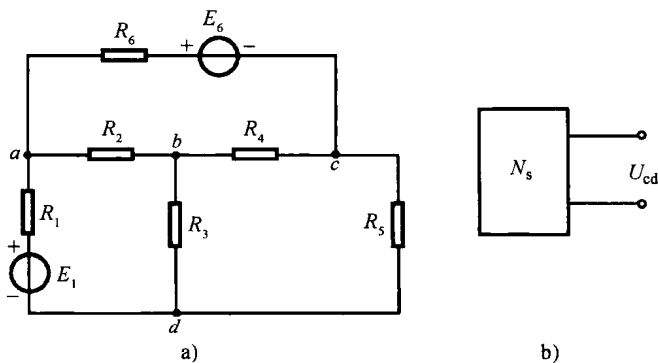


图 1-11 二端网络及其符号

a) 二端网络 b) 二端网络符号

2. 基尔霍夫定律

为了便于理解, 下面以图 1-12 所示的具体电路为例来介绍基尔霍夫定律, 首先假定各支路电流的参考方向和回路(网孔)的绕向即回路的方向, 如图 1-12 所示。

1) 基尔霍夫电流定律(KCL)。它是基于电荷守恒的电流连续性原理在电路问题中的表述。其内容为: 对于集中参数电路的任一节点, 在任一时刻, 流出该节点的所有支路电流的代数和等于零。用数学公式表示为

$$\sum i = 0 \quad (1-21)$$

在支路电流的代数和, 设参考方向离开节点的电流带正号, 参考方向指向节点的电流带

负号；反之亦然。例如，对应图 1-12 中的节点 b 有

$$I_2 - I_3 - I_4 = 0 \quad (1-22)$$

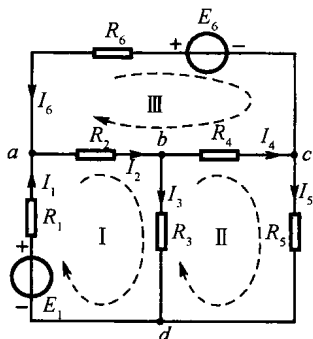


图 1-12 支路电流及回路方向

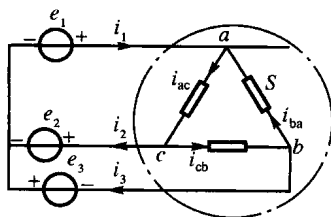


图 1-13 KCL 用于广义节点

基尔霍夫电流定律可以推广到电路中任何一个封闭曲面所包围的部分。如图 1-13 所示的电路中，封闭曲面 S 内有三个节点 a 、 b 、 c 。在三个节点处，分别有

$$i_1 + i_{ba} - i_{ac} = 0$$

$$i_2 + i_{ac} - i_{cb} = 0$$

$$-i_3 + i_{cb} - i_{ba} = 0$$

将三个式子相加，得

$$i_1 + i_2 - i_3 = 0$$

可见，流出（或流进）任一封闭曲面的电流代数和也是恒等于零的。这种假想的封闭曲面称为广义节点。

2) 基尔霍夫电压定律(KVL)。它是基于能量守恒的电位单值性原理在电路问题中的表述。其内容为：对于任一时刻，沿着回路的所有电压降的代数和等于电位升的代数和。用数学公式表示为

$$\sum u = \sum e \quad (1-23)$$

应用式(1-23)时，首先要假定电压降、电动势的参考方向，并指定回路的绕行方向即回路的方向。这里，凡是电压降、电动势的参考方向与回路的方向一致时，电压取正号，相反则取负号。例如在图 1-12 中，对回路 I 列电压方程有

$$U_1 + U_2 + U_3 = E_1$$

显然，式(1-23)适合于有源回路。对无源回路，因回路中无电动势，则 KVL 表示为

$$\sum u = 0 \quad (1-24)$$

即沿回路电压降的代数和等于零，式(1-24)是基尔霍夫电压定律的另一种表达式。同样，凡电压正方向与回路方向一致的取正号，相反的则取负号。

例如在图 1-12 中，对回路 II 列电压方程有

$$-U_3 + U_4 + U_5 = 0$$

如图 1-14 所示，基尔霍夫电压定律可以推广到开口电路，如电源的电压源模型，应用 KVL 则可以得到电压方程

$$u = e - R_0 i$$

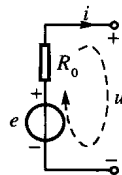


图 1-14 KVL 用于开口电路