

# QCCH

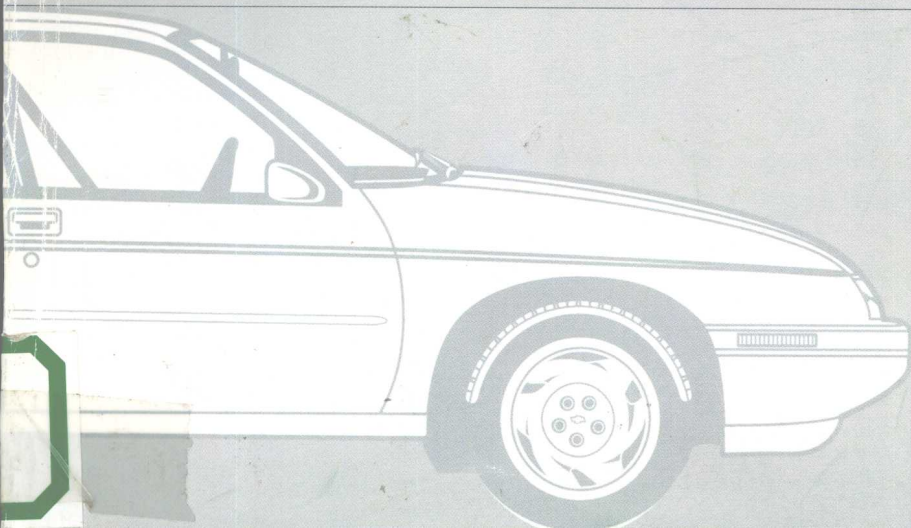
全国中等职业技术学校汽车类专业教材


QUANGUO ZHONGDENG ZHIYE JISHU XUEXIAO QICHELEI ZHUANYE JIAOCAI



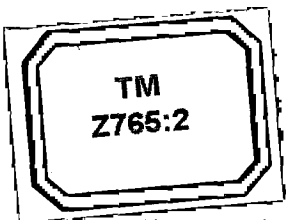
# 电工与电子 技术基础

DIANGONG YU DIANZI JISHU JICHU (第二版)



 中国劳动保障出版社

# QCCH



10

全国中等职业技术学校汽车类专业教材

# 电工与电子技术基础

(第二版)

劳动和社会保障部教材办公室组织编写

中国劳动社会保障出版社

**图书在版编目(CIP)数据**

电工与电子技术基础/周国庆主编. —2版. —北京:中国劳动社会保障出版社, 2004  
全国中等职业技术学校汽车类专业教材

ISBN 7-5045-4315-2

I. 电… II. 周… III. ①电工技术 ②电子技术 IV. ①TM ②TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 044707 号

**中国劳动社会保障出版社出版发行**

(北京市惠新东街1号 邮政编码:100029)

出版人:张梦欣

\*

世界知识印刷厂印刷装订 新华书店经销

787毫米×1092毫米 16开本 13.75印张 340千字

2004年7月第2版 2004年8月第2次印刷

印数:10100册

定价:19.00元

读者服务部电话:010-64929211

发行部电话:010-64911190

出版社网址:<http://www.class.com.cn>

版权专有 侵权必究

举报电话:010-64911344

# 前 言

进入 21 世纪, 我国的汽车工业迅速发展, 汽车保有量大幅度提高, 汽车领域先进技术不断涌现。这对汽车专业技能人才的数量和素质都提出了更高、更新的要求, 特别是汽车维修行业, 每年需要新增近 30 万从业人员。为适应汽车维修企业的需要, 培养高素质的汽车专业技能人才, 我们在广泛调研的基础上, 对 1998 年组织编写的汽车专业教材进行了全面修订, 同时, 还组织编写了汽车专业模块教材。

在整个教材编写过程中, 我们力求体现以下基本原则:

一是以企业需求为依据, 科学确定培养目标, 以学生就业为导向, 合理安排教材的知识和技能结构; 二是反映汽车专业的技术发展, 突出表现该专业领域的新知识、新技术、新工艺和新方法, 使学生更多地了解或掌握最新技术的发展及相关技能; 三是教材体系在学习内容、教学组织、学习评价等方面为学校提供较大的选择空间, 以满足各地区不同的教学需要。

基于以上原则, 在坚持培养学生综合素质的同时, 本套教材在内容设置方面, 以国家有关的职业标准(中级)为基本依据, 摒弃“繁难偏旧”的内容; 在结构安排方面, 突出学生岗位能力的培养, 不单纯强调学科体系的完整; 在确定实习车型方面, 兼顾汽车工业发展的现状和学校的办学条件, 同时, 尽量多地介绍不同层次的车型, 给学校以较大的选择空间; 在教材呈现形式方面, 力求图文并茂、通俗易懂, 使学生易于接受。

教材的编写工作得到了浙江、山东、江苏、安徽、陕西、广西、广东、天津等省、自治区、直辖市劳动保障厅(局)教研室和有关学校的大力支持, 在此表示衷心的感谢。

劳动和社会保障部教材办公室

2004 年 6 月

## 简 介

本书根据劳动和社会保障部培训就业司颁发的《汽车专业教学计划》和《电工与电子技术基础教学大纲》编写，供中等职业技术学校汽车类专业使用。内容包括：直流电路和电容器、电磁现象与磁路、正弦交流电路、二极管、晶闸管及整流电路、三极管及放大电路、直流稳压电源、数字脉冲电路等。

本书也可作为职业培训教材和自学用书。

本书由周国庆、梁振华、唐红宾、李晓东编写，周国庆主编；丁向荣审稿。

# 目 录

绪言	( 1 )
第一章 直流电路和电容器	( 2 )
§ 1—1 直流电路	( 2 )
§ 1—2 电路基本定律及电路元件的连接	( 4 )
§ 1—3 复杂电路分析	( 10 )
§ 1—4 电容器	( 16 )
复习思考题	( 21 )
第二章 电磁现象与磁路	( 24 )
§ 2—1 磁、磁场及基本物理量	( 24 )
§ 2—2 电流磁场、电磁力及应用	( 28 )
§ 2—3 电磁感应	( 34 )
§ 2—4 自感与互感	( 38 )
复习思考题	( 43 )
第三章 正弦交流电路	( 46 )
§ 3—1 正弦交流电的基本概念	( 46 )
§ 3—2 单相交流电路	( 52 )
§ 3—3 三相交流电	( 61 )
§ 3—4 变压器	( 66 )
§ 3—5 安全用电	( 70 )
复习思考题	( 72 )
第四章 二极管、晶闸管及整流电路	( 75 )
§ 4—1 半导体器件基本结构	( 75 )
§ 4—2 晶体二极管	( 76 )
§ 4—3 晶闸管	( 83 )
§ 4—4 二极管整流电路	( 87 )
§ 4—5 晶闸管整流电路	( 92 )
§ 4—6 滤波电路	( 98 )
复习思考题	( 100 )

<b>第五章 三极管及放大电路</b> .....	(102)
§ 5—1 晶体三极管.....	(102)
§ 5—2 场效应管简介.....	(109)
§ 5—3 低频电压放大器.....	(110)
§ 5—4 多级放大器.....	(118)
§ 5—5 反馈.....	(120)
§ 5—6 正弦波振荡器.....	(126)
§ 5—7 直流与集成运算放大器.....	(131)
§ 5—8 功率放大器.....	(137)
复习思考题.....	(141)
<b>第六章 直流稳压电源</b> .....	(144)
§ 6—1 硅稳压管稳压电路.....	(144)
§ 6—2 晶体管串联型稳压电路.....	(145)
§ 6—3 开关稳压电源.....	(148)
§ 6—4 集成三端稳压电源.....	(151)
复习思考题.....	(152)
<b>第七章 数字脉冲电路</b> .....	(154)
§ 7—1 二进制数及数字电路的基本概念.....	(154)
§ 7—2 晶体管的开关特性及基本逻辑门电路.....	(155)
§ 7—3 组合逻辑电路.....	(163)
§ 7—4 集成触发器.....	(169)
§ 7—5 时序逻辑电路.....	(176)
§ 7—6 集成电路构成的脉冲单元电路.....	(181)
§ 7—7 A/D 和 D/A 转换器 (电路) .....	(186)
§ 7—8 汽车用微型电子计算机.....	(189)
复习思考题.....	(192)
<b>实验</b> .....	(194)
实验一 练习使用万用表.....	(194)
实验二 电位值、电压值的测定.....	(195)
实验三 验证基尔霍夫定律.....	(196)
实验四 测定互感线圈的同名端.....	(197)
实验五 荧光灯电路.....	(198)
实验六 三相交流电.....	(198)
实验七 晶体二极管、三极管的测试.....	(199)
实验八 晶闸管导通及关断条件的验证及其简单测试.....	(201)

实验九	单管电压放大器的测试	(202)
实验十	互补对称推挽功率放大器	(204)
实验十一	单相整流和滤波电路	(206)
实验十二	晶体管串联直流稳压电路	(207)
实验十三	晶闸管单相半波整流电路	(208)
实验十四	基本逻辑门电路	(209)
实验十五	译码显示电路	(210)



# 绪 言

电能以其生产方便、使用和控制简单等特点在所有能量中占有显著地位。在工农业生产中,各种机械设备几乎都是由电力来驱动的;交通运输中,各种运输工具都离不开电能;国防科技中的雷达、飞船等也是依赖电能进行工作的;我们日常生活中应用电能进行工作的器具和设备更是数不胜数。

汽车、从它诞生第一天起,就与电能结下不解之缘。随着现代科学技术的发展,汽车应用电能的技术也发生了翻天覆地的变化。起初,汽车应用电能只是启动、照明和信号指示3个方面;如今,几乎所有运用电能领域的技术都无一例外地被汽车所采用。可以毫不夸张地说:没有电能在汽车上的应用,就没有现代汽车,就没有集现代声像、通讯、空调和各种自动控制装置于一身的高科技活动空间。由此可见,学习和掌握电工与电子技术的基础知识和基本技能,是当今从事汽车驾驶与维修工作的基本要求,也是为今后学习汽车专业后续知识做准备。因此,《电工与电子技术基础》课程是汽车专业一门十分重要的基础课。

作为专业基础课的《电工与电子技术基础》,它包含电工基础和电子技术基础两部分。前者通过研究分析电路和电磁现象的基本规律,让学生懂得电阻、电容、电感器件在交、直流电源作用下所作的响应及其构成电路的基本分析方法,掌握交、直流电路和电磁的基本概念、基本定律。后者从介绍半导体器件入手,围绕着实际应用这根主线,较为系统地介绍了整流滤波、模拟放大、直流稳压和数字脉冲基本电路的工作原理,让学生懂得常用半导体器件的基本结构、主要参数和选用方法,并掌握分析电子电路的基本方法和技巧。同时考虑到实验对学生形成技能有特殊意义,本书加重了实验方面的比重,力求通过实验培养学生的动手能力,为学生今后形成专业技能奠定基础。

为了学好本门课程,我们要求同学们在学习中,全面理解各基本物理量的定义、符号、单位及基本公式;掌握各种定律的内容、成立的条件和相关量之间的关系;逐步学会并掌握分析电路的基本方法;积极动手做实验;并能正确使用电工工具和设备;认真完成作业,理论联系实际,逐步培养分析问题和解决问题的能力。

# 第一章 直流电路和电容器

本章在电学知识的基础上，从复习电路的基本概念入手，拓宽和加深电路分析的基本规律和基本方法，全面介绍电阻、电容器件在电路中的作用及特点。

## § 1—1 直 流 电 路

### 一、电路和电路图

电路是指电流流过的路径。完整的电路由电源、负载、控制和保护装置、连接导线等 4 个基本要素组成，如图 1—1 所示。

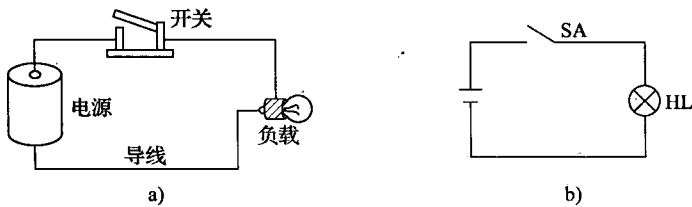


图 1—1 电路图

(1) 电源是指把化学能、机械能等非电能转化成电能的装置。如汽车上的铅蓄电池、发电机等。

(2) 负载（通常称用电设备、用电器）是指将电能转换为其他形式能的元器件或设备。如汽车上的各种照明灯、信号灯、电动机、点烟器、火花塞、扬声器、电喇叭、显示器等。

(3) 控制和保护装置是指在电路中既不会产生电，也不会消耗电（一般指消耗的电能可忽略不计）的导线、开关、保险器、继电器、测量仪表、变压器、电子放大或控制器等，是一些仅对电能起传递、控制、变换、监测、保护及报警的装置。

将电路中的实物用简单符号绘制的图称电路图。表 1—1 为电路图中常用电工图形符号。

表 1—1 常用电工图形符号

图形符号	文字符号	名称	图形符号	文字符号	名称	图形符号	文字符号	名称
	S 或 SA	开关		L	线圈		R	电阻
	E	电池		L	铁心线圈		RP	电位器
	G	发电机		L	抽头线圈		C	电容

续表

图形符号	文字符号	名称	图形符号	文字符号	名称	图形符号	文字符号	名称
	PA	电流表			接机壳			连接导线 不连接导线
	PV	电压表			接地		FU	熔断器
	V	二极管			端子		HL	照明灯 指示灯

图 1—2b 就是图 1—2a 的电路图。

根据电源性质，电路分直流电路与交流电路两类。汽车上采用直流电路，日常生活及社会生产则大多采用交流电路。

电源和用电器之间是用两根导线构成回路的。这种连接方式称双线制。在机动车（如汽车）上，为了节省导线和便于安装、维修，通常只用一根导线将电源的正极与负载一端相连。电路的负极端则由车架、发动机等金属机体代替而构成回路。这种电路称“单线制”电路，如图 1—3 所示。其正极端引线常称“火线”，负极端引线称“搭铁线”。

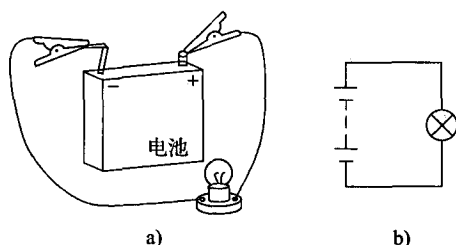


图 1—2 简单电路及电路图

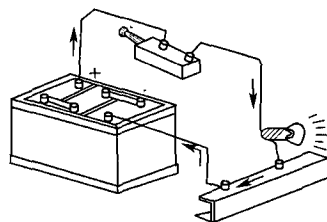


图 1—3 车辆上的单线制电路

## 二、电路状态

电路通常有通路、断路、短路及接触不良 4 种状态。

(1) 通路状态 通路是指电路按规定路径处处连通的状态。通路也称“闭路”。此时电路中有工作电流通过。

(2) 断路状态 断路是指电路中有支路被断开的状态。断路也称“开路”。此时该支路不能形成电流。

(3) 短路状态 短路是指电路电流未经过规定的路径通过，而在中途相搭接的地方通过的状态，如图 1—4 所示。

图中实线箭头表示 A、B 之间短路。由于这时回路中的电阻近似为零，因此电路中的短路电流比灯丝正常发光时电流大几十或几百倍。这样大的短路电流通过电路将产生大量的热量，使导线温度迅速升高，不仅损坏导线、电源和其他电气设备，严重时还会引起火灾。所以，一般电路上都加短路保护装置，如图 1—4 所示的熔断器 FU。

汽车电路中具有一定电位的部位与金属机体相碰时发生的短路现象称“搭铁”故障。

短路在一般的使用场合下是不允许的，但在实际工作中，常需要短路电路中电位差别不大的两点，我们把这种短路称为短接。如检查诊断汽车线路是否断路或短路、用于特定位置的测量时，用跨接线（也称 SST，是一段多股导线，它的两端分别接有鲤鱼夹或不同形式的插头）起一个旁通电路的作用来进行检测。如图 1—5 所示是跨接线的常见形式。例如，某一电气部件不工作，首先将跨接线连接在被测部件接线“—”端子与车身搭铁之间，若此时部件工作，说明其接地线路断路；如接地线路良好，将跨接线连接在蓄电池“+”极与被测部件的“+”端子之间，若此时部件工作，说明部件电源电路有故障（断路或短路）；如部件仍不工作，说明部件本身有故障，应予以更换。

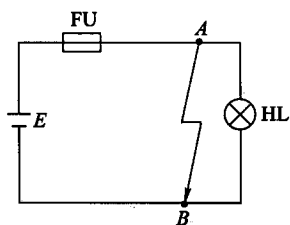


图 1—4 短路故障

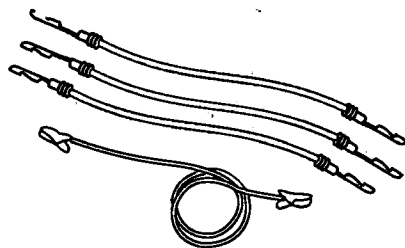


图 1—5 跨接线

使用跨接线检测时必须注意不可将跨接线错误地连接在被测部件“+”端子与搭铁之间。若被测部件的电源电压小于 12 V，则加上 12 V 电压将致使其损坏。

(4) 接触不良 接触不良是指电路在导体接触部位因接触面有氧化层、脏污、接触压力不足或接触面过小造成的电阻过大的现象。严重接触不良会造成电路断路。

## § 1—2 电路基本定律及电路元件的连接

### 一、电路基本定律

#### 1. 欧姆定律

(1) 部分电路欧姆定律 不含电源的一段电路称为部分电路。用万用表测量如图 1—6 所示部分电路中的电压  $U$ 、电流  $I$  和电阻  $R$ ，可以发现：流过导体的电流  $I$  与这段导体两端的电压  $U$  成正比，与这段导体的电阻  $R$  成反比。这个规律叫部分电路欧姆定律，其数学表达式为

$$I = U/R \quad (1-1)$$

也可以写成

$$U = IR \quad (1-2)$$

上式表明，当电流一定时，电阻越大，在电阻  $R$  上产生的压降越大，反之越小。

欧姆定律是用金属导体做实验总结出来的，对电解液介质也基本适用，但对气体介质就不适用了。

例 1—1 我国对人体安全电压是这样规定的：以通过人体电流不引起心室颤动的最大电流 30 mA 为极限，如果人体电阻按 1 000~1 200  $\Omega$  估算，则安全电压是多少？

解：当人体电阻按  $1\,000\ \Omega$  计算时，根据公式 1—2 有

$$U = IR = 30 \times 10^{-3} \times 1\,000 = 30\ \text{V}$$

当人体电阻按  $1\,200\ \Omega$  计算时，同理有

$$U = IR = 30 \times 10^{-3} \times 1\,200 = 36\ \text{V}$$

答：如果人体电阻按  $1\,000 \sim 1\,200\ \Omega$  估算，则安全电压是  $30 \sim 36\ \text{V}$ 。

(2) 全电路欧姆定律 全电路是指含有电源的闭合电路，如图 1—7 所示。虚线框中的  $E$  代表电源电动势， $r$  代表电源内阻。通常把电源内部的电路称做内电路，电源外部的电路称做外电路。

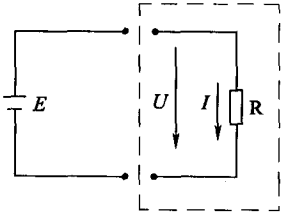


图 1—6 部分电路

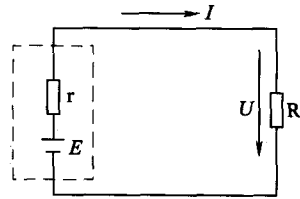


图 1—7 最简单的全电路

通过测量可以发现：全电路中的电流强度  $I$  与电源的电动势  $E$  成正比，与整个电路的电阻（即内电路电阻  $r$  与外电路电阻  $R$  的总和）成反比。这个规律叫全电路欧姆定律，其数学表达式为

$$I = E / (R + r) \quad (1-3)$$

由此可得

$$E = IR + Ir = U + U_r \quad (1-4)$$

式中  $U$ ——外电路的电压降，也称路端电压，简称端电压；

$U_r$ ——内电路电压降，也称内压降。

可见，电源的电动势等于端电压与内压降之和。或者说，电源所具有的电能通过电路被负载吸收（转换成其他能）和内阻消耗（发热），这是能量守恒定律在全电路中的一种表述。

例 1—2 已知电源的电动势为  $3\ \text{V}$ ，内阻为  $0.4\ \Omega$ ，外接负载电阻为  $9.6\ \Omega$ ，求电源端电压和内压降。

解：根据公式 1—3

$$I = E / (R + r)$$

$$I = 3 / (9.6 + 0.4) = 0.3\ \text{A}$$

内压降

$$U_r = Ir = 0.3 \times 0.4 = 0.12\ \text{V}$$

端电压

$$U = IR = 0.3 \times 9.6 = 2.88\ \text{V}$$

或

$$U = E - U_r = 3 - 0.12 = 2.88\ \text{V}$$

(3) 电源的外特性 电源的外特性就是电源的端电压  $U$  与电流  $I$  的关系。由公式

$$E = IR + Ir = U + U_r$$

可得

$$U = E - U_r = E - Ir$$

对给定电源,  $E$  和  $r$  是不变的。当负载电阻  $R \rightarrow \infty$  时 (相当于电路断开),  $I=0$ ,  $U=E$ , 即电源的电动势在数值上等于开路电压。人们利用这一特性, 常用电压表来简单测量电源的电动势。当负载电阻  $R$  变小时, 引起电流  $I$  变大, 内阻  $r$  的内压降也变大, 端电压  $U$  就跟着变小。当负载电阻  $R=0$  时 (即短路),  $I=E/r$ 。由于电源的内阻一般都很小, 因而电路的电流比正常工作电流大很多, 如果没有保护装置, 会导致电源和导线烧损。

## 2. 电功率计算

不同的用电器, 在相同的时间里, 用电量是不同的, 即电流做功快慢是不一样的。我们用功率描述电流做功的快慢, 定义为: 电流在单位时间内所做的功, 简称功率, 用符号  $P$  表示, 即

$$P = \frac{W}{t} = IU \quad (1-5)$$

式中  $W$ ——电流所做的功, 单位是焦耳 (J);

$t$ ——做功所用的时间, 单位是秒 (s);

$P$ ——功率, 单位是焦耳/秒 (J/s); 又叫瓦特, 简称瓦, 用符号  $W$  表示。

由式 1-5 可知,  $1 \text{ W} = 1 \text{ V} \cdot \text{A}$ 。电功中提到的千瓦时单位, 其意义是  $1 \text{ kW}$  的用电器  $1 \text{ h}$  内所消耗的电能。

根据式  $U=IR$ , 还可得电功率的两个专用式, 即

$$P = I^2 R \quad (1-6)$$

$$P = \frac{U^2}{R} \quad (1-7)$$

**例 1-3** 已知汽车前照灯的额定功率是  $50 \text{ W}$ , 电源电压为  $12 \text{ V}$ , 求前照灯的灯丝电阻  $R$  和灯丝电流  $I$ 。

解: 根据式 1-7 得灯丝电阻

$$R = \frac{U^2}{P} = 2.88 \Omega$$

又根据式 1-5 得灯丝电流

$$I = \frac{P}{U} = 4.17 \text{ A}$$

**例 1-4** 某家庭电度表标有“ $220 \text{ V}$ ,  $10 \text{ A}$ ”的字样。该家庭有  $1000 \text{ W}$  的电冰箱,  $80 \text{ W}$  的彩电,  $250 \text{ W}$  的洗衣机各一台,  $40 \text{ W}$  电灯 5 盏。问这些用电器能否同时使用? 如果这些用电器每天平均使用  $2 \text{ h}$ , 一个月 (按  $30$  天计算) 该表显示消耗多少千瓦时的电能?

解: 电度表允许的最大功率  $P_{\text{电}}$

$$P_{\text{电}} = IU = 10 \times 220 = 2200 \text{ W}$$

用电器同时使用所消耗的功率  $P_{\text{用}}$

$$P_{\text{用}} = 1000 + 80 + 250 + 40 \times 5 = 1530 \text{ W}$$

因为  $P_{\text{用}} < P_{\text{电}}$ , 所以这些电器能同时使用。

用电器一个月的耗电能量  $W$

$$W = Pt = 1.53 \times 2 \times 30 = 91.8 \text{ kWh}$$

特别指出, 在讨论电功、电功率时, 分别给出计算电功、电功率的定义式和专用式。所

谓定义式，是具有普遍意义的，对所有用电设备的电功和电功率都可用该式去计算。而专用式，仅适用纯电阻性设备的电功和电功率计算。如充电器对蓄电池充电，蓄电池所消耗的功率可由  $P=IU$  来计算，如果根据  $P=I^2R$  或  $P=U^2/R$  ( $R$  为蓄电池的电阻) 来计算，则为蓄电池内阻在充电时发热所消耗的功率，并非是蓄电池所消耗的全部功率 (全部功率还包括转换成蓄电池电能那一部分)。

### 3. 电流的热效应——焦耳定律

电流通过导体 (或用电器) 时会产生热量，称电流的热效应。英国物理学家焦耳通过实验证明：电流通过导体 (或用电器) 时所产生的热量  $Q$  与电流  $I$  的平方、导体 (用电器) 的电阻  $R$  以及通电时间  $t$  成正比。用公式表示为

$$Q = I^2 R t \quad (1-8)$$

这里，热量也以焦耳为单位。

电流的热效应在电工和电子技术上有利也有弊。如熔断器是利用电流的热效应熔断熔丝切断电源从而起到保护电气设备的作用；汽车上很多用电设备都是用电流热效应制成的，如电灯、点烟器、预热塞、火花塞、保险器等。另外，汽车上的油压表和水温表指针偏转，是靠电流通过加热线圈让双金属片受热变形带动的，这是电流热效应的有利应用。工厂中电弧焊也是利用电流热效应把金属熔化的。

电流热效应也有其不利的一面，电流会使不需发热的地方 (如导线等) 也发热，它不但消耗电能，而且会使电气设备温度升高，加速电路绝缘材料老化，甚至烧坏电气设备。如许多用电器加装散热片，电子电路中的功率放大管通常装在散热板上后才焊接在电路上，就是为了克服由于温度过高，容易加速电路老化，而且会烧坏电气设备等电流的热效应现象。

## 二、电路元件的连接

### 1. 电阻连接

电阻器用电阻率较大的材料 (如碳或镍铬合金等) 制成，简称电阻。它在电路中起着稳定或调节电流、电压的作用。

(1) 电阻的串联 两个以上的电阻首尾依次相连，中间无分支的连接方式，就叫电阻的串联，如图 1—8 所示。根据实验可以发现，它有如下特点：

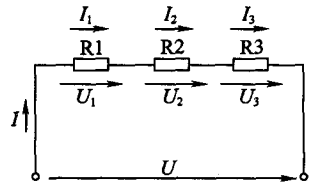


图 1—8 串联电路

1) 串联电阻中流过每个电阻的电流都相等。即

$$I_1 = I_2 = I_3 = \dots = I_n \quad (1-9)$$

2) 电阻串联后的等效电阻 (即总电阻) 等于分电阻的总和。即

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n \quad (1-10)$$

3) 总电阻两端的总电压等于各个电阻两端的电压之和。即

$$U = U_1 + U_2 + U_3 + \dots + U_n \quad (1-11)$$

4) 各电阻上的电压与总电压之比等于各电阻与总电阻之比。即

$$U_1/U = R_1/(R_1 + R_2 + R_3) \quad (1-12)$$

串联电路的这些特点，在实际中有很多应用。如电压表利用串联不同的电阻来扩大其量程，电源利用电阻串联构成的分压器来获得几种不同的电压输出等。

**例 1—5** 有一万用表，满刻度电流  $I_a = 50 \mu\text{A}$  (即允许通过的最大电流)，内阻  $R_a = 3 \text{ k}\Omega$ 。现需扩展其量程，如图 1—9 所示。当转换开关 SA 置  $a$  点时，其量程扩展为  $10 \text{ V}$ ，

当转换开关 SA 置  $b$  点时, 其量程扩展为  $50\text{ V}$ , 问扩展量程所串电阻  $R_a, R_b$  分别为多少?

解: 先求万用表满刻度时的电压  $U_a$

$$U_a = I_a R_a = 50 \times 10^{-6} \times 3 \times 10^3 = 0.15\text{ V}$$

即用万用表直接测量电路时, 只能测量小于  $0.15\text{ V}$  的电压, 当外测电压为  $10\text{ V}$ ,  $50\text{ V}$  时, 通过串联电阻  $R_a, R_b$  扩展。

当扩展为  $10\text{ V}$  时  $R_a = (U - U_a) / I = (10 - 0.15) / 50 \times 10^{-6} = 197\text{ k}\Omega$

当扩展为  $50\text{ V}$  时  $R_b = (U - U_a) / I = (50 - 0.15) / 50 \times 10^{-6} = 997\text{ k}\Omega$

例 1—6 在图 1—10 所示的分压器中输入电压  $U_i = 12\text{ V}$ ,  $R_1 = 350\ \Omega$ ,  $R_2 = 550\ \Omega$ ,  $R_p = 270\ \Omega$ , 试求输出电压  $U_o$  的变化范围。

解: 由图 1—10 可知, 输出电压  $U_o$  的变化是通过调节电位器  $R_p$  实现的。当触头调到  $b$  端时, 输出为  $U_{\text{omin}}$ , 由公式  $U = E - U_i = E - Ir$  有

$$U_{\text{omin}} = R_2 / (R_1 + R_2 + R_p) \times U_i = 550 / (350 + 550 + 270) \times 12 = 5.6\text{ V}$$

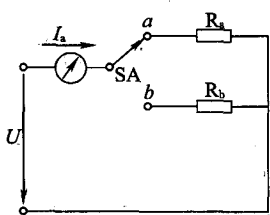


图 1—9 扩大电流表量程

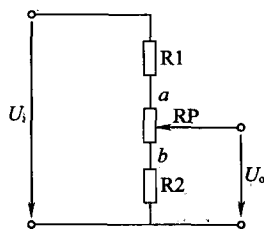


图 1—10 分压器

当触头调到  $a$  端时, 输出  $U_{\text{omax}}$

$$U_{\text{omax}} = (R_p + R_2) / (R_1 + R_2 + R_3) \times U_i = (550 + 270) / (350 + 550 + 270) \times 12 = 8.4\text{ V}$$

即分压器的输出电压  $U_o$  变化范围在  $5.6 \sim 8.4\text{ V}$  之间。

(2) 电阻的并联 将几个电阻的一端连在一起, 另一端也连在一起的连接方式, 叫做电阻的并联, 如图 1—11 所示。常用符号 “//” 表示电阻之间的并联。并联电路有如下特点:

1) 电路中各支路两端电压相等。即

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

2) 电路中的总电阻倒数等于各支路电阻倒数之和, 即

$$1/R = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3 + \dots + 1/R_n \quad (1-14)$$

3) 电路中的总电流等于各支路的电流之和。即

$$I = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n \quad (1-15)$$

并联电路的这些特点, 在实际中也获得了广泛的应用。如电流表利用并联不同的电阻扩大其量程; 汽车上的启动电动机、刮水器、照明灯等工作电压相同的设备并联使用, 可使电气设备的工作互不影响。

例 1—7 有一万用表, 满刻度电流  $I_a = 100\ \mu\text{A}$  (即允许通过的最大电流), 内阻  $r_a = 1\text{ k}\Omega$ , 如图 1—12 所示。若要改变成量程 (即测量范围) 为  $10\text{ mA}$ ,  $50\text{ mA}$  的电流表, 应并联多大的电阻  $R_a, R_b$ 。



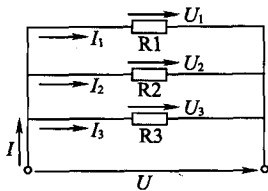


图 1—11 电阻的并联

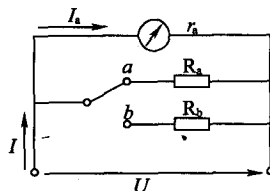


图 1—12 扩大电流表量程

解：先求万用表承受的电压  $U$

$$U = I_a \times r_a = 100 \times 10^{-6} \times 1 \times 10^3 = 0.1 \text{ V}$$

后求分流电阻分流的数值

量程为 10 mA 时

$$I_a = I - I_a = 10 - 100 \times 10^{-3} = 9.9 \text{ mA}$$

量程为 50 mA 时

$$I_b = I - I_a = 50 - 100 \times 10^{-3} = 49.9 \text{ mA}$$

再求分流电阻的阻值

$$R_a = U / I_a = 0.1 / (9.9 \times 10^{-3}) = 10.1 \Omega$$

$$R_b = U / I_b = 0.1 / (49.9 \times 10^{-3}) = 2.004 \Omega$$

即应分别并联  $10.1 \Omega$ ,  $2.004 \Omega$  的电阻, 才能把万用表扩展为 10 mA, 50 mA 的电流表。

(3) 电阻的混联 电路中既有电阻的串联又有电阻的并联叫混联, 混联电路如图 1—13 所示。

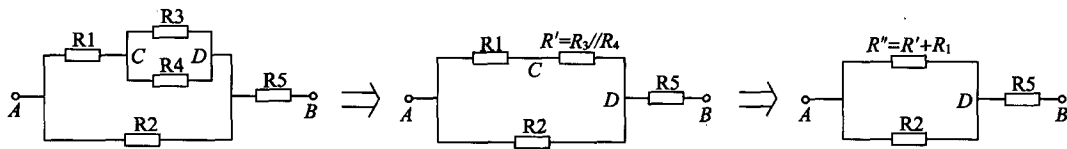


图 1—13 混联电路的简化过程

分析混联电路, 必须先搞清混联电路中各电阻之间的连接关系, 然后应用串、并联电路的特点, 求出单纯的串联和并联部分的各等效电阻, 最后求出电路的总电阻。

如果混联电路比较复杂, 各电阻之间的串、并联关系一时看不清, 可先用画等效电路图的方法找出各电阻之间的串、并联关系, 然后再分析计算。画等效电路图的方法是: 先在电路中各电阻的连接点上标注字母 (A, B, C, D), 并将各字母按顺序在水平方向排列 (一般将待求字母放两端), 然后把各电阻接入相应字母之间, 最后依次画出简化过程中的等效电路图, 如图 1—13 所示。

例 1—8 在图 1—13 电路中, 已知  $R_1 = 2 \Omega$ ,  $R_2 = 4 \Omega$ ,  $R_3 = R_4 = 4 \Omega$ ,  $R_5 = 4 \Omega$ ,  $U_{AB} = 6 \text{ V}$ , 求通过  $R_4$  的电流  $I_4$ 。

解：先求总电流  $I$ , 根据公式  $I = U/R$  得

$$I = U_{AB} / R_{AB}$$

$$R_{AB} = (R_1 + R_3 // R_4) // R_2 + R_5$$

式中  
所以

$$R_3 // R_4 = 2 \Omega, R_1 + R_3 // R_4 = 4 \Omega, (R_1 + R_3 // R_4) // R_2 = 2 \Omega$$

$$R_{AB} = 2 + 4 = 6 \Omega$$

$$I = U_{AB} / R_{AB} = 6 / 6 = 1 \text{ A}$$