



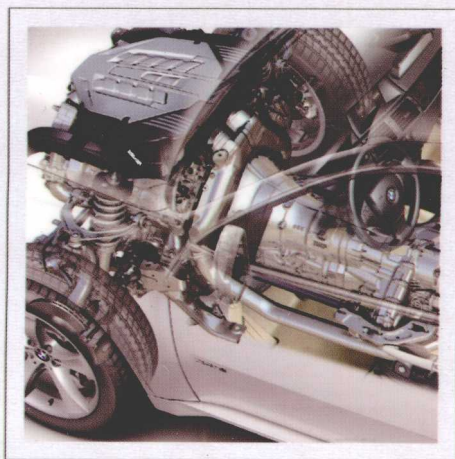
职业教育汽车专业教学改革新规划教材

ZHIYE JIAOYU QICHE ZHUANYE JIAOXUE GAIGE XIN GUIHUA JIAOCAI

汽车电气系统 维修技术基础

黎亚洲 徐丹杰 编著

QICHE DIANQI XITONG WEIXIU JISHU JICHU



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



配电子教案

职业教育汽车专业教学改革新规划教材

汽车电气系统维修技术基础

黎亚洲 徐丹杰 编著
徐思平 主审



机械工业出版社

当今汽车广泛采用电子设备,因此本书用较大篇幅介绍了电工电子基础知识,使广大读者对电气控制电路原理的理解更容易。电气设备大多由大功率晶体管驱动,本书着重介绍了晶体管和达林顿管的结构原理与检测维修。并且,当今汽车采用的电气设备越来越多,熔丝和继电器也越来越多,使电源线和搭铁线错综复杂,因此本书增加了配电系统,可以使广大读者对线路总体布置与故障检修有全面深入的了解。本书详细介绍了如何看电路图,使广大读者能举一反三、触类旁通,能看懂本书以外车型的电路图。

本书主要内容有电工与电子技术基础、汽车的整车电路、汽车电缆与配电装置、汽车电气检测工具与检测方法。

本书既可作为职业院校汽车专业教材,亦可作为广大汽车维修人员的重要参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

汽车电气系统维修技术基础/黎亚洲,徐丹杰编著. —北京:机械工业出版社,2009.9

职业教育汽车专业教学改革新规划教材

ISBN 978-7-111-27208-3

I. 汽… II. ①黎…②徐… III. 汽车-电气系统-车辆修理-职业教育-教材 IV. U472.41

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第139538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:宋学敏 责任编辑:宋学敏

封面设计:王伟光 责任校对:陈延翔

责任印制:杨曦

保定市市中画美凯印刷有限公司印刷

2009年9月第1版第1次印刷

184mm×260mm·14印张·323千字

0001—3000册

标准书号:ISBN 978-7-111-27208-3

定价:23.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话:(010) 68326294

购书热线电话:(010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010) 88379199

封面无防伪标均为盗版

前 言

近几年,有关汽车维修的书籍如雨后春笋般出现。但大多数书籍,学生们看了许多遍仍不知所云。许多问题依然弄不懂,更不用说维修汽车了。造成这些问题的主要原因有两个:一是这些书将所有有关汽车电气系统的内容编在一本书中,内容庞杂,各章节只能是蜻蜓点水、点到为止,问题没有说透;二是讲述顺序和方式不适合教学、自学的规律。本套书力求克服上述问题,选择车型全面、内容条理清晰、说理简明扼要、由浅入深,重点提高学生读图与检测维修的能力。

由于汽车机电一体化程度非常高,而且整车电路错综复杂,相互联系密切。这就有必要将电气与其所控制的机械设备的结构与维修、故障诊断与排除编在一本书中,改变过去分结构、维修、电气和新技术四本书编写的做法,使老师教学和读者自学更为方便。

近年来,汽车修理行业出现了如汽车故障诊断学,汽车故障诊断专家系统知识库,汽车故障诊断工程师,中、高级汽车故障诊断师等许多新的名词。这说明,随着汽车保有量的增加、汽车品牌的增多、汽车机电一体化程度和技术含量的提高,汽车修理难度越来越大,对汽车维修技术人员的要求越来越高。而故障判断之后的修理却越来越容易。只要故障判断准确,后面就是更换零部件的事情了。故障诊断是一种脑力工作,这预示着汽车维修行业的岗位、管理机制、人员培训、教材将面临着重大改革。本书目的正是抛砖引玉,旨在尝试这一重大改革。

汽车故障诊断技术,是一门对理论和实践要求都很高的综合技术。这种技术的发展将形成一个新的学科——汽车故障诊断学。汽车维修行业需要大量高层次技术人员担当汽车故障诊断工作。汽车故障诊断学的确立,汽车故障诊断工程师、汽车故障诊断师等相应人才的出现,都是行业发展的必然。

在实际汽车维修工作中的确需要一些具备较高水平的技术人员,他们的任务是诊断排除一些疑难的故障,进行设备管理、技术培训等技术管理工作。这一层次的技术人员与一线维修工作应该是密不可分的,但又不是专职投入维修工作。另外还需要一些人员,他们可以做一般的故障诊断,进行一些正常的维修,他们主要承担维修工作。还有一些员工则应该承担日常保养工作,尽管这些保养工作比较简单,技术含量不高,但需要工人的操作非常熟练。企业通过这样三个层次的人员配置,才能实现整体高效的运转。在这三个层次中,第一层次的人员是汽车故障诊断工程师或汽车故障诊断师。

为了提高工作效率,尽可能减少汽车使用者等候的时间,更需要有一支经验丰富、能快速诊断出疑难故障的高级技术人员队伍。中、高级汽车故障诊断师的出现,培养了一支专业化的汽车故障诊断队伍,以适应当前汽车维修市场机制。本书能成为汽车故障诊断师的培训教材,将是我最大的心愿。

本书由徐思平老师主审,徐老师提出了许多宝贵意见,在此表示感谢!

本书由黎亚洲、徐丹杰编著,徐丹杰老师编写了第一章,其余部分由黎亚洲老师

编写。

本书内容和图形都是经过精心选择和编排的,内容详实、语言精炼、图文并茂、浅显易懂、知识性强、信息量大、覆盖面广、便于组织教学和广大读者自学。本书不仅可供各类学校作为教材,也是广大驾驶员的良师益友,同样是维修人员和专业技术人员可以借鉴的、不可多得的参考书。同时,也希望使用本书的读者批评指正。

编者

目 录

前言

第一章 电工与电子技术基础	1
第一节 直流电路.....	1
第二节 磁与电磁	14
第三节 交流电与安全用电	26
第四节 发电机和电动机基础	44
第五节 常用的电子元器件及应用	56
第六节 集成电路与汽车计算机	91
练习题	95
第二章 汽车的整车电路	97
第一节 汽车电气的组成与特点	97
第二节 汽车电路图的表达方法.....	108
第三节 汽车电路图的读图方法.....	141
练习题.....	157
第三章 汽车电缆与配电装置	159
第一节 汽车导线、插接器与电缆.....	159
第二节 汽车开关.....	165
第三节 电路保护器件、继电器与电源控制盒.....	173
第四节 汽车电气配件的选用.....	190
第四章 汽车电气检测工具与检测方法	192
第一节 汽车电气检修工具.....	192
第二节 汽车电气系统故障的基本知识.....	198
第三节 判断电路故障的程序.....	204
第四节 电路故障检查的一般方法.....	206
练习题.....	215

第一章 电工与电子技术基础

第一节 直流电路

一、电路

1. 电路的基本概念

电流通过的路径称为电路。一般电路是由电源、负载、开关和连接导线组成。电源内部的通路称为内电路。对电源来说，负载、连接导线和开关等组成的通路称为外电路。图 1-1 所示为一最简单的基本电路和电路图。

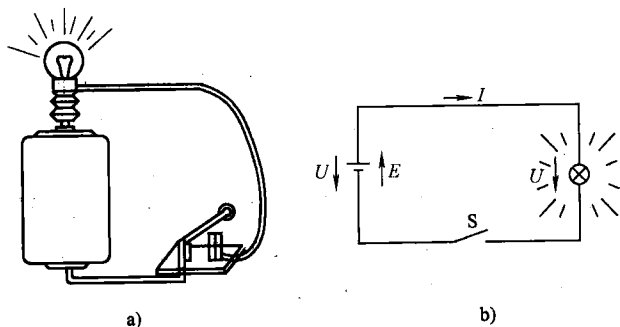


图 1-1 简单电路与电路图

a) 电路 b) 电路图

2. 电路的作用与电路图
电路的作用是实现电能的传输和转换。电路图是用国家规定的、代表各种电气元件的符号所绘制的表示电路连接情况的图形。电路图中常用的电气图形符号见表 1-1。

表 1-1 部分电气图形符号

图形符号	名称	图形符号	名称	图形符号	名称
	开关		电阻		接机壳/搭铁
	电池		电位器		接地
	直流发电机		电容		端子
	线圈		电流表		连接导线 不连接导线
	铁心线圈		电压表		熔断器
	抽头线圈		二极管		灯泡

二、物理量

电路中的基本物理量有电流、电位及电压、电动势和电阻等。电路中三种理想元件是电阻 (R)、电感 (L)、电容 (C)。 R 、 L 、 C 称为元件参数或电路参数。

1. 电流

电荷作有规则的运动形成电流。金属导体中的电流是自由电子在电场力作用下有规则地运动而形成的。在电解液或气体中, 电流是由带正电和带负电的离子在电场力的作用下有规则地运动而形成的。电流符号为 “ I ”, 交流电流的瞬时值用 “ i ” 表示。电流的单位是安培, 简称安 (A)。常用的电流单位还有千安 (kA)、毫安 (mA) 和微安 (μA)。

$$1kA = 10^3 A, 1mA = 10^{-3} A, 1\mu A = 10^{-6} A$$

若在 t 秒内通过导体截面的电荷数量是 Q 库仑, 则电流 I 可表示为

$$I = \frac{Q}{t}$$

习惯上, 规定以正电荷的运动方向为电流方向。尽管在金属导体中, 电流实际上是由电子移动形成的, 由于其效果与等量的正电荷作反向流动相同, 因此规定电流方向与电子流方向相反。

电流分为直流电流和交流电流。凡方向不随时间变化的电流称为直流电流。凡大小和方向都不随时间变化的电流称为恒直流电流。凡大小和方向都随时间变化的电流称为交流电流。本章只讨论恒直流电流。

2. 电位与电压

单位正电荷在电场中某点所具有的电位能叫做该点的电位。电位用 “ V_A ” 表示, 下标为电场中的点, 如 A 点的电位记作 V_A , 电位的单位是伏特 (V)。通常以大地为参考点, 规定其电位为 0 伏特 (V)。零电位的符号是 --- (表示接大地)。

电压也称电位差。电场力把正电荷从 a 点移到 b 点所做的功 W_{ab} 与被移动电荷的电量 Q 的比值称为 a 、 b 两点间的电压, 用符号 “ U_{ab} ” 表示。电压的单位为伏特 (V)。常用的电压单位还有千伏 (kV)、毫伏 (mV)、微伏 (μV)。

$$1kV = 10^3 V, 1mV = 10^{-3} V, 1\mu V = 10^{-6} V$$

对负载来说, 电压与电流的方向一致, 负载无电流, 也就无电压; 而电源的电压由正极指向负极, 如图 1-1b 所示。

3. 电动势

非电场力将正电荷从电源负极, 经过电源的内部移动到电源正极要做功, 这种衡量电源做功能力的物理量称为电源的电动势。电源两端的电位差称为电源的端电压, 也称电源电压。所以电源的电动势在数值上等于电源两端的开路电压, 但它们的方向是相反的, 如图 1-1b 所示 E 与 U 的方向。

4. 电阻

导体对电流起阻碍作用的物理量称为电阻。在外电路中电阻以 R 表示, 在内电路中电阻以 r 表示。电阻的单位是欧姆, 简称欧 (Ω)。常用的电阻单位有千欧 ($k\Omega$)、兆欧 ($M\Omega$) 等。

$$1\text{k}\Omega = 10^3\Omega, 1\text{M}\Omega = 10^3\text{k}\Omega = 10^6\Omega$$

试验证明, 导体的电阻与导体长度 L 成正比, 与导体横截面积 S 成反比, 并与导体材料的电阻率 ρ 有关 (20℃ 时银的电阻率为 $1.6 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$; 铜的电阻率为 $1.7 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$; 铝的电阻率为 $2.9 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$; 铁的电阻率为 $1.0 \times 10^{-7} \Omega \cdot \text{m}$), 即

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

此外, 导体的电阻还与导体的温度有关。温度升高导体的电阻也增大。

5. 电功与电功率

把电能转换成其他形式的能量 (如热能或光能) 时, 电流所做的功称为电功, 用 W 表示。电功的单位是焦耳, 简称焦 (J)。若电压为 1V, 电流为 1A, 电阻为 1Ω , 时间为 1s 时, 则电功为 1J。

单位时间内电流所做的功称电功率, 用 P 表示。若电功为 1J, 时间为 1s, 则电功率 P 为 1 焦/秒, 焦/秒又称瓦特, 简称瓦, 用 W 表示。在实际工作中, 电功率的常用单位还有千瓦 (kW)、毫瓦 (mW) 等。它们的关系为

$$1\text{kW} = 10^3\text{W}, 1\text{mW} = 10^{-3}\text{W}$$

电功 W 等于电功率 P 乘以用电时间。

6. 负载的额定值

任何电气元器件和设备在工作时都会发热。为保证电气元器件和设备能长期安全工作, 都规定有一个最高工作温度。很显然, 工作温度取决于发热量, 发热量又取决于电流、电压或电功率。我们把元器件和设备安全工作时所允许的最大电流、最大电压和最大电功率分别叫做它们的额定电流、额定电压和额定功率。一般元器件和设备的额定值都标在明显位置, 也可从产品目录中查得, 导线的额定电流也可以通过查表获得。

在实际工作中, 元器件和设备所消耗的实际功率与工作条件有关。如额定电压为 220V、额定功率为 60W 的灯泡, 只有接到 220V 电源上时, 它的功率才是 60W。当电源电压低于 220V 时, 它的实际功率就小于 60W, 当电压很低时, 灯泡甚至不会发光。当电压高于 220V 时, 灯泡的实际功率就会超过 60W, 甚至会烧坏。

把元器件或设备在额定功率时的工作状态叫做额定工作状态, 也叫满载; 低于额定功率的工作状态叫轻载; 高于额定功率的工作状态叫过载或超载。由于过载很容易烧坏用电器, 所以一般情况下都不允许出现过载。

为保证在突然发生过载时不烧坏用电器, 通常都在电路中安装保护装置。最常见的保护装置是熔断器。熔断器中的熔丝 (也叫熔体) 是由低熔点的铅锡合金或银丝制成。熔丝与用电器串联, 当电路两端的电压突然升高或电路发生短路, 导致电路中的电流增大到一定数值时, 熔丝首先被烧断, 切断电路, 从而保护了电源或用电器不被烧坏。

三、欧姆定律

1. 部分电路欧姆定律

流过导体的电流与这段导体两端的电压成正比, 与其电阻成反比, 这一规律称为欧姆定律。图 1-2a 所示电阻 R 的电流、电压、电阻三者间的关系为

$$I = \frac{U}{R}$$

式中 I ——流过负载电阻 R 的电流 (A);

U ——负载电阻 R 两端的电压 (V);

R ——负载的电阻 (Ω)。

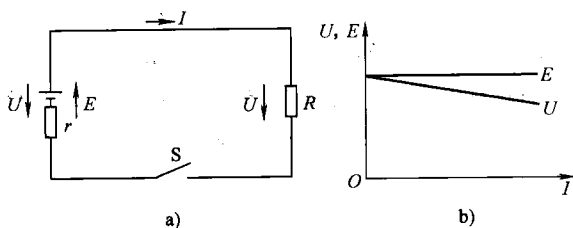


图 1-2 欧姆定律

a) 电路图 b) 电源外特性

例 1-1 如果人体电阻的最小值为 800Ω , 已知通过人体的电流

达到 50mA 时, 就会引起呼吸器官的麻痹使人不能自主摆脱电源, 试求人体的安全电压。

解 根据欧姆定律, 可得

$$U = IR = 50 \times 10^{-3} \text{A} \times 800\Omega = 40\text{V}$$

因此, 在不同的工作环境下, 生产场所规定的安全电压都在 40V 以下, 如 36V , 24V , 12V 等。

2. 全电路欧姆定律

全电路是指含有电源的闭合电路, 如图 1-2a 所示。电源内部一般都有电阻, 这个电阻称为内电阻, 用 r 表示。为看图方便, 通常在电路图中把 r 单独画出, 也可以不单独画出, 而在电源符号旁注明内阻数值即可。在一个闭合电路中, 电流与电源的电动势成正比, 与电路中内电阻和外电阻之和成反比, 这个规律称为全电路欧姆定律, 其关系如下:

$$I = \frac{E}{R + r}, \text{ 即 } E = Ir + IR = U_{\text{in}} + U_{\text{out}}$$

式中 I ——电路中的电流 (A);

E ——电源的电动势 (V), 其方向与电流方向相同;

R ——外电路电阻 (Ω);

r ——内电路电阻 (Ω);

U_{in} ——电源内电阻 r 所消耗的电压 (V);

U_{out} ——外电路电阻 R 的电压, 也是电源的端电压 (V)。

根据上式, 得端电压 $U_{\text{out}} = E - Ir$, 即随着 I 的增加, U_{out} 由 E 沿直线下降, 如图 1-2b 所示。

例 1-2 某蓄电池搬运车 (俗称电瓶车) 电路, 如图 1-3 所示。已知电源电动势 $E = 24\text{V}$, 内电阻 $r_0 = 0.01\Omega$, 若直流电动机的等效电阻 $R = 0.2\Omega$ 。试求: (1) 电路中的电流 I ; (2) 若电路中 A、B 两点短路, 求此时的短路电流 I' 。

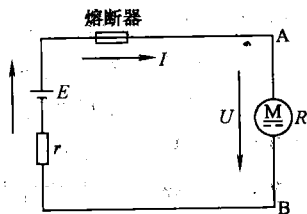


图 1-3 蓄电池搬运车电路

解 (1) 当负载电阻 $R = 0.2\Omega$ 时, 有

$$I = \frac{E}{R + r} = \frac{24}{0.2 + 0.01} \text{A} = 114.3 \text{A}$$

(2) 当 A、B 两点短路后，负载电阻 $R=0$ ，此时，有

$$I' = \frac{E}{r} = \frac{24}{0.01} \text{A} = 2400 \text{A}$$

由上例看出，短路电流比正常工作电流大几十倍，这样大的短路电流将导致电源和导线烧坏。由于电路中安装了熔断器，因此短路时熔丝立即熔断，就避免了危险。

3. 电路的三种状态

电路有通路、断路和短路三种状态。通路又称闭合回路，是指处处连通的电路，此时电路中有工作电流；断路又称开路，是指电路中某处断开，此时电路中无电流；短路是负载或电源两端被连接在一起，此时电路中有很大电流。根据全电路欧姆定律，各状态时的电阻、电流、电压关系见表 1-2。

表 1-2 电路的三种状态

电路状态	负载电阻	电路电流	外电路电压
通路	$R = \text{常数}$	$I = E / (R + r)$	$U_{\text{out}} = E - U_{\text{in}} = IR$
断路	$R \rightarrow \infty$	$I = 0$	$U_{\text{out}} = E$
短路	$R \rightarrow 0$	$I = E / r$	$U_{\text{out}} = 0$

四、电阻的联接

1. 电阻的串联及应用

两个或两个以上的电阻依次相连，中间无分支的联接方式叫电阻的串联。图 1-4 所示是三个电阻的串联。

(1) 串联电路性质

1) 串联电路中流过每个电阻的电流都相等，即

$$I = I_1 = I_2 = \cdots = I_n$$

其中，脚标 1, 2, ..., n 分别代表第 1, 第 2, ..., 第 n 个串联电阻（以下相同）。

2) 串联电路两端的总电压等于各电阻两端的电压之和，即

$$U = U_1 + U_2 + \cdots + U_n$$

3) 串联电路的等效电阻（即总电阻）等于各串联电阻之和，即

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

若串联的 n 个电阻的阻值都相等，则

$$U_1 = U_2 = \cdots = U_n = U/n, \quad R = nR_1$$

4) 根据欧姆定律 $U_1 = I_1 R_1$, $U_n = I_n R_n$, $U = IR$ 及性质 1) 可得

$$\frac{U_1}{R_1} = \frac{U_2}{R_2} = \cdots = \frac{U_n}{R_n} = I$$

电阻串联的分压公式为

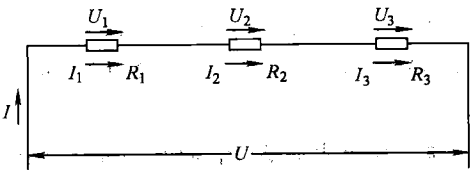


图 1-4 电阻串联各参数间的关系

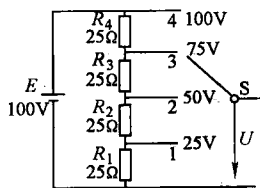
$$U_n = \frac{R_n}{R} U = \frac{R_n}{R_1 + R_2 + \cdots + R_n} U$$

上式表明, 在串联电路中, 电压的分配与电阻成正比, 即阻值越大的电阻所分配到的电压越大, 反之电压越小。式中 $\frac{R_n}{R_1 + R_2 + \cdots + R_n}$ 称为分压系数。这个结论是串联电路性质的重要推论, 用途较广。例如, 利用电阻的串联可以构成分压器, 使一个电源能输出几种不同的电压; 利用串接电阻的方法可以限制和调节电路中电流的大小; 在电工测量中, 也可以利用串联电阻的方法来扩大电压表的量程等。

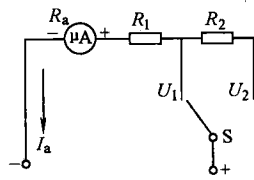
(2) 电阻串联应用 电阻串联的应用很广泛, 在实际工作中常见的有以下几方面。

1) 用几种电阻串联来获得较大阻值的电阻。

2) 采用几个电阻构成分压器, 使同一电源能供给几种不同的电压。如图 1-5a 所示, 由 $R_1 \sim R_4$ 构成的分压器, 可使电源输出四种不同数值的电压。



a)



b)

图 1-5 电阻串联的应用

a) 电阻分压器 b) 串联电阻扩大电压表的量程

3) 当负载的额定电压低于电源电压, 可用串联的方法来满足需要。

例如可将两个相同的 6V 指示灯串接后接到 12V 电源中使用。

4) 利用串联电阻的方法来限制和调节电路中电流的大小。

5) 在电工测量中, 广泛应用串联电阻的方法来扩大电压表的量程, 如图 1-5b 所示。

例 1-3 在图 1-6 所示电路中, 输入电压 $U_{in} = 12V$, $R_1 = 350\Omega$, $R_2 = 550\Omega$, $R_P = 270\Omega$, 试求输出电压 U_{out} 的变化范围。

解 调节电位器 R_P 的滑动端 c 到 b 端时, 此时输出电压应为最小值, 由分压公式可得

$$U_{outmin} = \frac{R_2}{R_1 + R_2 + R_P} U_{in} = \frac{550}{350 + 550 + 270} \times 12V = 5.6V$$

再调节 R_P 的滑动端 c 到 a 端处, 则可获得输出电压的最大值, 即

$$U_{outmax} = \frac{R_2 + R_P}{R_1 + R_2 + R_P} U_{in} = \frac{550 + 270}{350 + 550 + 270} \times 12V = 8.4V$$

所以, 该分压器的输出电压 U_{out} 的变化范围在 5.6 ~ 8.4V 之间。

2. 电阻的并联及应用

两个或两个以上电阻接在电路中相同的两点之间的联接方式, 叫做电阻的并联。图 1-7 所示是三个电阻的并联。

(1) 并联电路性质

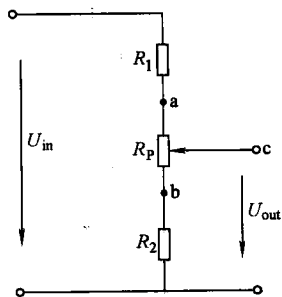


图 1-6 分压器

1) 并联电路中各电阻两端的电压相等, 且等于电路两端的电压, 即

$$U = U_1 = U_2 = \cdots = U_n$$

2) 并联电路中的总电流等于各电阻中的电流之和, 即

$$I = I_1 + I_2 + \cdots + I_n$$

3) 并联电路的等效电阻 (即总电阻) 的倒数等于各并联电阻的倒数之和, 即

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \cdots + \frac{1}{R_n}$$

若并联的几个电阻值都为 R_1 , 则

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

显然, 并联电路的总电阻一定比并联电路中任何一个电阻的阻值小。

若是两个电阻并联, 则并联后的总电阻为

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

4) 根据并联电路的性质 1) 可得

$$\frac{I_1}{I_n} = \frac{R_n}{R_1}, \quad \frac{I}{I_n} = \frac{R_n}{R}$$

上式表明, 在并联电路中, 电流的分配与电阻成反比, 即阻值越大的电阻所分配到的电流越小, 反之电流越大。这个结论是并联电路性质的重要推论, 也有较广泛用途。如在已知并联电路的总电流 I 和电阻 R_1 、 R_2 时, 可直接求出:

$$I_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} I, \quad I_2 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} I$$

(2) 电阻并联的应用

1) 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。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 (指电源的容量足够大)。因此人们就可以根据不同需要起动或停止并联使用的各个负载。

2) 用并联电阻来获得某一较小电阻, 如用两个 100Ω 电阻并联可得到一个 50Ω 的电阻。

3) 在电工测量中, 广泛应用并联电阻的方法来扩大电流表的量程, 如图 1-8 所示。

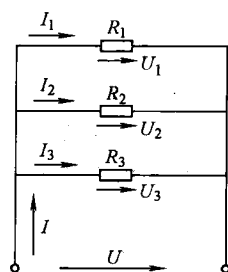


图 1-7 并联电路

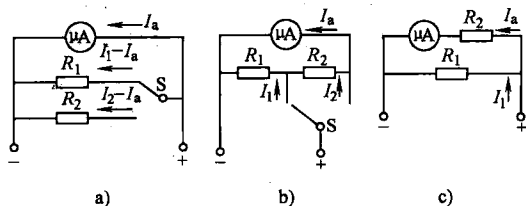


图 1-8 并联电阻扩大电流表的量程

a) 电阻与电流表并联 b) 环形分流式 c) 另一种环形分流式

例 1-4 有一个表头, 它的满刻度电流 $I_a = 100\mu\text{A}$ (即允许通过的最大电流是 $100\mu\text{A}$), 内阻 $R_a = 1\text{k}\Omega$ 。若要改成量程 (即测量范围) 为 10mA 的电流表, 应并联多大的电阻 R_b 。

解 表头与分流电阻并联的电路, 如图 1-9 所示。要改成量程为 10mA 的电流表, 则分流电阻 R_b 需要分流的数值为

$$I_b = I - I_a = 10 \times 10^3 \mu\text{A} - 100 \mu\text{A} = 9900 \mu\text{A}$$

根据并联电阻两端电压相等的特点, 可得

$$U_b = U_a = I_a R_a = 100 \times 10^{-6} \times 1 \times 10^3 \text{V} = 0.1 \text{V}$$

所以

$$R_b = \frac{U_b}{I_b} = \frac{0.1}{9900 \times 10^{-6}} \Omega = 10.1 \Omega$$

即应并联 10.1Ω 的分流电阻, 才能把表头改装成量程为 10mA 的电流表。

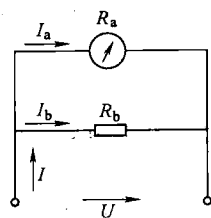


图 1-9 扩大电流表量程

3. 电阻的混联

既有电阻串联又有并联的电路叫电阻的混联电路, 如图 1-10 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的步骤大致如下:

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。为做到这一点, 除需掌握电阻串、并联的定义外, 比较有效的方法是画等效电路。其一般方法是: 先在电路中各电阻的连接点上标注一字母, 并将各字母按顺序在水平方向排列 (待求端的字母应放在最两端), 然后把各电阻填入各对应的字母之间。最后根据电阻串并联的定义依次画出等效电路。

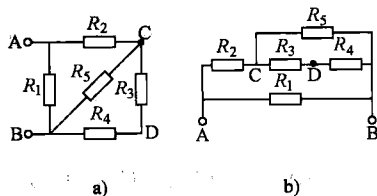


图 1-10 电阻的混联

a) 混联电阻 b) 等效电路

2) 根据简化的电路从内向外, 依次进行计算。

例 1-5 已知图 1-10a 中 $R_1 = 6\Omega$, $R_2 = 2\Omega$, $R_3 = 2\Omega$, $R_4 = 2\Omega$, $R_5 = 4\Omega$, 试求等效电阻 R 。

解 (1) 在图 1-10a 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 (待求端的字母应放在最两端), 见图 1-10b, 然后把各电阻填入各对应的字母之间, 如将 R_1 画在 A 与 B 之间。最后根据电阻串并联的定义依次画出等效电路。

(2) 由于 R_3 、 R_4 串联, 其等效电阻 $R_{34} = 2\Omega + 2\Omega = 4\Omega$ 。

R_{34} 与 R_5 并联且相等, 其等效电阻 R_{345} 为

$$R_{345} = \frac{R_5}{2} = \frac{4}{2} \Omega = 2\Omega$$

R_2 与 R_{345} 串联后, 再与 R_1 并联, 分别得出

$$R_{2345} = R_{345} + R_2 = 2\Omega + 2\Omega = 4\Omega$$

$$R = \frac{R_1}{2} = \frac{4}{2} \Omega = 2\Omega$$

五、电功与电功率

1. 电功

电流流过用电器时,用电器就将电能转换成其他形式的能(如磁、热、机械能等)。我们把电能转换成其他形式的能,叫做电流做功,简称电功,用字母 W 表示。

$$W = UQ = IUt = I^2 R t$$

其中, W 、 U 、 Q 、 I 、 R 、 t 的单位分别为 J、V、C、A、 Ω 、s。

2. 电功率

电流在 1s 内做的功称为电功率,以字母 P 表示,其数学式为

$$P = W/t = UI = I^2 R = \frac{U^2}{R}$$

其中, P 、 I 、 U 、 R 的单位分别为 W、A、V、 Ω 。

由上式可以看出:

1) 用电器的电阻一定时,电功率与电流平方或电压平方成正比。即若流过用电器的电流是原来电流的 2 倍,则电功率就是原功率的 4 倍;若加在用电器两端的电压是原电压的 2 倍,则电功率就是原功率的 4 倍。

2) 用电器的电流一定时,电功率与电阻值成正比。由于串联电路流过同一电流,则串联电阻的功率与各电阻值成正比。

3) 在用电器两端的电压一定时,电功率与电阻值成反比。因并联电路中各电阻两端的电压相等,则各电阻的功率与各电阻值成反比。如额定电压同为 220V 的白炽灯,25W 灯泡的灯丝电阻(工作时的电阻约为 1936Ω)比 40W 灯泡的工作电阻(约 1210Ω)大。若把它们并接在 220V 电源上,则 40W 灯泡比 25W 灯泡亮;但若将两个灯泡串联后接到 220V 电源上,则 25W 灯泡反而比 40W 灯泡亮。

在实际工作中,电功的单位常用千瓦时($\text{kW} \cdot \text{h}$),也叫“度”。它表示功率为 1kW 的用电器在 1h 中所消耗的电能。

$$1\text{kW} \cdot \text{h} = 1\text{kW} \times 1\text{h} = 3.6 \times 10^6 \text{J}$$

例 1-6 已知 EQ140 型汽车前照灯远光灯丝的额定功率是 50W,电源电压为 12V,求前照灯远光灯丝的电阻和通过灯丝的电流。

解 根据电功率公式 $P = \frac{W}{t} = UI = I^2 R = \frac{U^2}{R}$, 得到灯丝电阻

$$R = \frac{U^2}{P} = \frac{12^2}{50} \Omega = 2.88 \Omega$$

通过灯丝的电流

$$I = \frac{P}{U} = \frac{50}{12} \text{A} = 4.17 \text{A}$$

例 1-7 某电能表标有“220V、5A”的字样,问这只电能表最多能带 220V、60W 的电灯多少盏?若这些灯每天使用 2h,一个月(按 30 天计算)该表显示消耗了多少千瓦·时的电能?

解 电能表允许的最大功率为

$$P = UI = 220\text{V} \times 5\text{A} = 1100\text{W}$$

电能表最多可带 220V、60W 的电灯数为

$$n = \frac{P}{P_1} = \frac{1100}{60} \text{ 盏} \approx 18 \text{ 盏}$$

18 盏电灯一个月的耗电量为

$$W = Pt = 18 \times 60 \times 10^{-3} \text{ kW} \times 2\text{h} \times 30 = 64.8 \text{ kW} \cdot \text{h}$$

3. 电流的热效应

电流通过导体及用电器时会产生热量，这种现象称为电流的热效应。这是由于电流通过导体时，促使分子的热运动加剧，将其所消耗的电能转变成热能而引起的。消耗的电能越大，导体或用电器所产生的热量就越多。

试验证明：电流通过导体（或用电器）时所产生的热量，与电流的平方、导体（或用电器）的电阻以及通电的时间成正比，这就是焦耳-楞次定律。用公式表示为

$$Q = I^2 R t$$

其中，热量的单位名称是焦耳，简称焦，单位符号是 J。

电流的热效应用途相当广泛。汽车上，照明灯就是利用电流产生的热能，使灯丝达到白炽状态而发光的；熔丝是利用电流产生的热使其熔断而切断电源的；机油压力表和冷却液温度表指针的偏转是靠通过加热线圈的电流产生的热量使双金属片受热变形，从而推动并控制指针的偏转，指示出不同的机油压力值和冷却液温度值。

应该指出，电流的热效应也有不利的一面。由于构成电气设备的导线存在电阻，所以电气设备在工作时要发热，如果温度过高，将加速绝缘材料的老化，引起漏电或短路，甚至烧坏电气设备。为了保证电气设备能正常工作，各种电气设备都规定了最高限额，即额定值，如额定电流 I_e 、额定电压 U_e 和额定功率 P_e 等，其中下标“e”表示额定值。电气设备的额定值通常标在一块小金属牌上，钉在设备的外壳上，叫做铭牌。使用时应首先查看铭牌，并按照铭牌数据的规定使用电器，注意不要超过额定值。例如，一个标有“12V，50W”的汽车前照灯灯泡，就是指它的额定电压是 12V，额定功率是 50W。使用时应该接到电源为 12V 的汽车上，这时消耗的功率为 50W。如果把它接到电源为 6V 的汽车上，灯泡就很暗；如果接到电源为 24V 的汽车上，灯泡就会烧坏。

在汽车检修中，通常也可根据电气设备的工作温度来判断电气设备有无故障。若温度超过规定值，则说明该电气设备可能是由于过载或局部短路等故障而引起发热。

例 1-8 某一电阻炉，已知电热丝电阻为 10Ω ，通过它的电流为 3A，问在 1h 内，电流通过电热丝所产生的热量是多少？

解 已知： $R = 10\Omega$ ， $I = 3\text{A}$ ， $t = 3600\text{s}$ ，则

$$Q = I^2 R t$$

$$Q = (3\text{A})^2 \times 10\Omega \times 3600\text{s} = 324000\text{J}$$

六、基尔霍夫定律

在电工学中，电路可分为简单电路和复杂电路两大类。凡是能用电阻的串、并联方法

把电路简化为无分支的电路就叫做简单电路。前面我们所讨论的电路都是简单电路，只要运用欧姆定律和电阻串、并联电路的特点就能对它们进行求解。但是实际的电路往往比较复杂，不能用电阻的串、并联方法把电路简化为无分支的电路，这种电路叫做复杂电路，如图 1-11 所示。对于复杂电路必须运用基尔霍夫定律才能进行求解。

基尔霍夫定律同欧姆定律一样也是电路中的基本定律，它是分析电路中电压和电流关系的普遍规律，既适用于直流电路，也适用于交流电路和含有电子器件的非线性电路。基尔霍夫定律包括第一定律和第二定律。在讲述基尔霍夫定律以前，首先介绍电路中几个常用的术语。

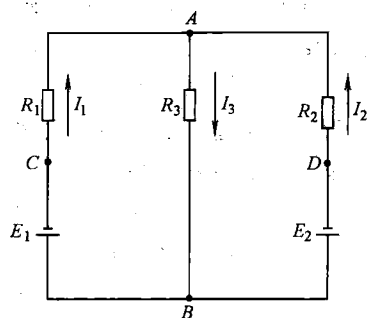


图 1-11 复杂电路

1. 电路的常用术语

1) 支路。由一个或几个元件首尾相接构成的无分支电路叫做支路。图 1-11 中共有三条支路： ACB 、 AB 和 ADB 。

2) 节点。三条或三条以上支路的连接点叫做节点。图 1-11 中有两个节点：节点 A 和节点 B 。

3) 回路。电路中的任一闭合路径叫做回路。图 1-11 中共有三个回路： $ABCA$ 、 $ADBA$ 和 $ADBCA$ 。

4) 网孔。在回路内部不含有支路的回路叫做网孔。图 1-11 中有两个网孔： $ABCA$ 和 $ADBA$ 。

2. 基尔霍夫第一定律

基尔霍夫第一定律：对于电路中的任何节点，在任一时刻，流入一个节点的电流之和恒等于流出这个节点的电流之和。它是说明电路中节点处电流关系的定律，又称节点电流定律，即

$$\sum I_{\text{in}} = \sum I_{\text{out}} \quad \text{或} \quad \sum I = 0$$

此时，若规定流入节点的电流为正，则流出节点的电流为负。对于图 1-11 中的节点 A 可列出节点电流方程为

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

基尔霍夫第一定律表明电流具有连续性，在电路的任一节点上不可能发生电荷的积累，即流入节点的总电量恒等于同一时间内从这个节点流出的总电量。

在运用基尔霍夫第一定律列节点电流方程时，必须先标出所有支路电流的参考方向，其原则是：对已知电流，按实际方向标出；对于未知电流，参考方向可任意假设。如图 1-11 所示，在列节点电流方程时，是以电流参考方向为准的，方程列好后，再根据计算结果确定电流的真实方向。若电流为正值，则说明电流的实际方向与假设的参考方向相同；若电流为负值，说明电流的实际方向与假设的参考方向相反。