



21世纪职业教育立体化精品教材

汽车电工电子技术

主 编 闵光华 杜 敏
参 编 甘星星



西北工业大学出版社

西 安

【内容简介】 本书是依据《国家中长期教育改革和发展规划纲要(2010—2020年)》的指导精神,并结合教育部《关于深化教学改革培养适应二十一世纪需要的高质量人才的意见》及普通高等院校教学特点编写而成的。

全书共分14章,内容包括直流电路、正弦交流电路、磁路与变压器、电动机、常用电动机控制电路、工厂供电与安全用电、常用半导体器件、信号放大电路、直流稳压电路、组合逻辑电路、时序逻辑电路、转换电路、汽车电子控制技术基础;为培养学生必备的实操能力,书后有针对性地安排了技能实训指导,供实训时选用。

本书通俗易懂,实用性强,学生易学,教师易教,可作为普通高等院校非电类专业电工电子技术基础课程的教材,也可供相关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

汽车电工电子技术/闵光华主编. —西安:西北工业大学出版社, 2019. 8
ISBN 978-7-5612-6567-3

I. ①汽… II. ①闵… III. ①汽车-电工技术-高等职业教育-教材 ②汽车-电子技术-高等职业教育-教材
IV. ①U463.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第 177279 号

QICHE DIANGONG DIANZI JISHU

汽车 电 工 电 子 技 术

责任编辑:孙 倩

策划编辑:肖 莎

责任校对:张 潼

装帧设计:易 帅

出版发行:西北工业大学出版社

通信地址:西安市友谊西路127号

邮编:710072

电 话:(029)88491757, 88493844

网 址:www.nwpup.com

印 刷 者:天津市蓟县宏图印务有限公司

开 本:787 mm×1 092 mm 1/16

印 张:17.5

字 数:415千字

版 次:2019年8月第1版

2019年8月第1次印刷

定 价:43.50元

如有印装问题请与出版社联系调换

本书按照“厚基础、宽口径”的指导思想，其任务是使学生具备高素质技能型人才所必需的电工电子基本知识和基本技能。同时，为学生学习后续课程、适应职业岗位变化打下一定的基础。本书在内容结构和知识安排上采用一些新颖的写法，从而使本书具有如下特色：

(1)面向院校。笔者来自教学一线，有多年的专业教学经验，因此能根据普通高等院校的培养目标，结合目前普通高等院校的教学实际编写。编写过程中始终坚持“以学生为出发点，以职业标准为依据，以职业能力为核心”的理念。

(2)面向岗位。本书对传统学科型教材进行整合，基本知识点、能力点的选取以职业岗位能力为基本依据，坚持“理论知识以够用为度”“技能训练面向岗位需求”的原则。本书列举大量的电路实例，使学生将电工电子基础知识与专业知识紧密结合，以培养学生分析专业问题和解决实际问题的能力。

(3)面向教学。本书在叙述上力求语言简练，通俗易懂，呈现形式上图文并茂，特色鲜明，结构上根据职业工作需求，采用项目导向、任务驱动的新模式，内容上科学规划，淡化学科体系，删繁就简，突出理论和实践的结合，由浅入深，环环相扣，学生易学，教师易教。

(4)面向未来。随着集成控制技术、计算机技术和网络技术的发展，电子技术已明显向集成化、智能化和网络化方向发展。本书专门安排相关内容，以满足学生了解信息化为核心的新型汽车专业未来发展趋势的需求。

全书共分 14 章，内容包括直流电路、正弦交流电路、磁路与变压器、电动机、常用电动机控制电路、工厂供电与安全用电、常用半导体器件、信号放大电路、直流稳压电路、组合逻辑电路、时序逻辑电路、转换电路、汽车电子控制技术基础；为培养学生必备的实操能力，书后有针对性地安排了实训指导，供实训时选用。

本书由闵光华主编，甘星星、杜敏参编。本书在编写过程中得到许多老师的帮助和大力支持，并参考了大量的著作和文献资料，在此一并表示衷心的感谢。

限于水平，书中难免存在不妥之处，敬请广大读者批评指正。

编 者

CONTENTS

目 录

第 1 章 直流电路

1.1 电路的基本知识	1
1.2 电路的基本物理量	2
1.3 电路的基本定律	6
1.4 支路电流法	8
1.5 戴维南定理	9
1.6 车用直流电源——蓄电池	11
本章小结	15
本章习题	16

第 2 章 正弦交流电路

2.1 正弦交流电的基本知识	19
2.2 正弦量的相量表示法	22
2.3 交流电路中的基本元件	24
2.4 单相正弦交流电路	29
2.5 串联电路	34
2.6 三相正弦交流电路	37
本章小结	44
本章习题	46

第 3 章 磁路与变压器

3.1 磁路的概述	49
3.2 交流铁芯线圈电路	52

3.3 变压器	57
3.4 特殊变压器	61
3.5 变压器在汽车上的典型应用	64
本章小结	65
本章习题	66

第4章 电动机

4.1 三相异步电动机的基本知识	69
4.2 三相异步电动机的机械特性	73
4.3 三相异步电动机的运行	76
4.4 直流电动机	79
本章小结	83
本章习题	84

第5章 常用电动机控制电路

5.1 常用低压电器	87
5.2 三相异步电动机的典型控制	96
本章小结	102
本章习题	103

第6章 工厂供电与安全用电

6.1 工厂供电概述	107
6.2 安全用电	111
6.3 触电急救	114
6.4 电气火灾的防护及急救常识	116
本章小结	118
本章习题	118

第7章 常用半导体器件

7.1 半导体的基本知识	121
7.2 PN结与二极管	124
7.3 特殊二极管	127
7.4 晶体管	129
7.5 晶闸管	133

本章小结	135
本章习题	136

第 8 章 信号放大电路

8.1 放大电路的组成和工作原理	139
8.2 放大电路的静态分析	141
8.3 放大电路的动态分析	143
8.4 集成运算放大器简介	147
8.5 放大电路中的负反馈	150
8.6 集成运算放大器的应用	154
8.7 放大电路在汽车电子电路中的应用	158
本章小结	160
本章习题	161

第 9 章 直流稳压电源

9.1 直流稳压电源基本知识	165
9.2 单相整流电路	166
9.3 滤波电路	169
9.4 稳压电路	172
本章小结	175
本章习题	175

第 10 章 组合逻辑电路

10.1 数制与码制	179
10.2 基本逻辑运算	182
10.3 集成逻辑门电路	187
10.4 组合逻辑电路	188
10.5 译码器和数字显示电路	194
本章小结	198
本章习题	198

第 11 章 时序逻辑电路

11.1 触发器	201
11.2 计数器	207

11.3 555 集成定时器	210
本章小结	215
本章习题	216

第 12 章 转换电路

12.1 D/A 转换器	219
12.2 A/D 转换器	221
本章小结	227
本章习题	227

第 13 章 汽车电子控制技术基础

13.1 汽车电子技术的发展背景	229
13.2 汽车电子控制系统的组成	232
13.3 ECU 的功能与组成	234
13.4 汽车电子控制技术的应用	236
本章小结	241
本章习题	241

第 14 章 技能实训指导

14.1 指针式万用表使用	243
14.2 验证基尔霍夫定律	245
14.3 日光灯的安装调试	247
14.4 三相交流电路的测试	249
14.5 三相异步电动机的测试	251
14.6 三相异步电动机点动与长动控制	253
14.7 三相异步电动机降压起动控制	255
14.8 二极管、晶体管的识别与检测	256
14.9 示波器的使用	258
14.10 整流滤波电路	260
14.11 单管交流放大电路	262
14.12 译码显示电路的测试	265
14.13 时序逻辑电路逻辑功能的测试	267
14.14 555 定时器的应用	269

参考文献

第 1 章

直流电路



学习目标

- (1) 理解电路的组成和作用。
- (2) 熟悉电路基本物理量的含义。
- (3) 理解电路基本定律，会利用基尔霍夫定律解决复杂电路问题。

1.1 电路的基本知识



1.1.1 电路的组成

电路，简单地说就是电流流通的路径。它是由若干电气设备或元件按照一定方式用导线连接而成的，通常由电源、负载、导线和中间环节四个部分组成。

电源是将其他形式的能量转换为电能的装置，如发电机、干电池和蓄电池等将各种非电能(如热能、化学能、机械能、水能、原子能等)转换成电能。

负载是消耗电能的设备，它将电能转换成非电形态的能量并消耗掉。例如，电动机、照明灯和电炉等，它们可将电能转换成机械能、光能和热能。

中间环节包括变压器、控制开关和保护装置等，是连接电源和负载的部分，主要起控制、保护和测量等作用。

日常生活中使用的手电筒电路如图 1-1(a)所示，其中干电池是电源，灯泡是负载，筒体(包括开关)是中间环节。电路理论中，通常用电路原理图来表示实际电路。在电路原理图中，各种电器元件都不需要画出原有的形状，而是采用统一规定的图形符号来表示。图 1-1(b)就是手电筒的电路原理图。

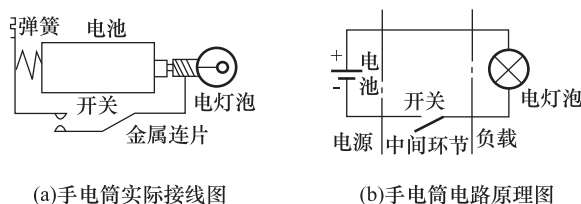


图 1-1 手电筒电路



1.1.2 电路的作用

电路种类繁多，从基本功能上可分为两类。

一类是电力电路，其主要作用是电能的传输和转换，如把发电厂电机组产生的电能，通过变压器、输电线路送到千家万户的电力系统。

一类是信号电路，其主要作用是信号的传输和处理，如各种物理量的测量电路、放大电路，声音、图像或文字处理电路。

1.2 电路的基本物理量



1.2.1 电流

电流是由带电粒子有规则的定向运动而形成的，其大小等于单位时间内通过导体横截面的电荷量，即

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

大小或方向随时间变化的电流称为交流电流，用小写字母 i 表示；不随时间变化的电流称为直流电流，用大写字母 I 表示。

习惯上规定正电荷运动的方向或负电荷运动的反方向为电流的实际方向。

在复杂电路的分析中，一段电路电流的实际方向很难预先判断出来，在电路中就无法标明电流的实际方向。为了便于分析和计算电路，人为地引入了电流参考方向的概念。所谓参考方向，就是任意选定一个方向作为电流的方向，这个方向就称为电流的参考方向，有时又称为电流的正方向。电流的参考方向一般用实线箭头表示。

图 1-2 所示为某电路的一部分，其中长方框表示一个二端元件，流过这个元件的电流为 i ，其实际方向可能是从 A 到 B ，也可能是从 B 到 A 。在该图中用实线箭头表示电流的参考方向，它不一定与电流的实际方向一致。如果电流的实际方向是由 A 到 B ，如图 1-2(a) 中虚线箭头所示，与参考方向一致，则电流为正值，即 $i > 0$ ；在图 1-2(b) 中，电流的参考方向由 B 到 A ，电流的实际方向由 A 到 B ，两者不一致，故电流为负值，即 $i < 0$ 。这样，在指定的电流参考方向的情况下，电流值的正和负就可以反映出电流的实际方向。

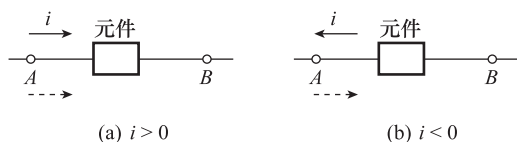


图 1-2 电流的参考方向与实际方向的关系



1.2.2 电压与电动势

电荷在电路中运动,必然受到电场力的作用,也就是说,电场力对电荷做了功。为了衡量其做功的能力,引入了“电压”这一物理量,并定义:电路中 a 、 b 两点间的电压,在数值上等于电场力把单位正电荷从电路中 a 点移动到 b 点所做的功,用 U_{ab} 表示,即

$$U_{ab} = \frac{dW_{ab}}{dq} \quad (1-2)$$

电压的实际方向规定为由高电位端指向低电位端,即指向电位降低的方向。

与电流一样,在较为复杂的电路中,往往无法事先确定电压的实际方向(或者极性)。因此,在电路图上所标出的也都是电压的参考方向。若电压的参考方向与实际方向一致,则其值为正;若电压的参考方向与实际方向相反,则其值为负。这样,在指定电压参考方向的情况下,电压值的正和负就可以反映出电压的实际方向,如图 1-3 所示。

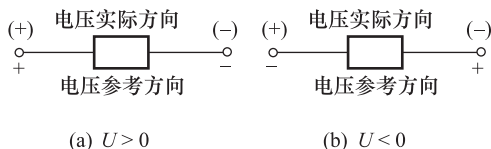


图 1-3 电压的参考方向与实际方向的关系

电动势是用来表示电源力移动单位正电荷做功本领的物理量。在图 1-4 中,电源的电动势,在数值上等于电源力把正电荷 q 从负极 b (低电位)经由电源内部移到电源的正极 a (高电位)所做的功 W_{ba} ,即

$$E = \frac{W_{ba}}{q} \quad (1-3)$$

由式(1-2)和式(1-3)可知:

$$U_{ab} = E \quad (1-4)$$

电压也称为两点间的电位差,即

$$U_{ab} = V_a - V_b \quad (1-5)$$

电源电动势的实际方向规定为在电源内部由低电位端指向高电位端,即电位升高的方向。

- Chapter 01
- Chapter 02
- Chapter 03
- Chapter 04
- Chapter 05
- Chapter 06
- Chapter 07
- Chapter 08
- Chapter 09
- Chapter 10
- Chapter 11
- Chapter 12
- Chapter 13
- Chapter 14

提醒

对于同一个元件或同一段电路上的电压和电流的参考方向的假定，原则上是任意的，但为了方便起见，习惯上常将电压和电流的参考方向设定为一致，称为关联参考方向，如图1-5所示。

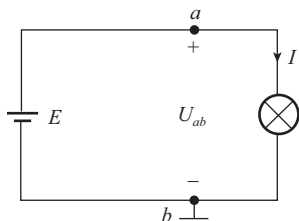


图 1-4 电动势 E 、电压 U 和电流 I 的关系

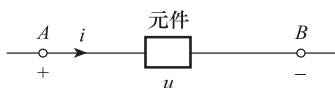


图 1-5 u 与 i 参考方向相关联



1.2.3 电位

为了分析电路方便，常指定电路中任意一点为参考点。定义：电场力把单位正电荷从电路中某点移到参考点所做的功称为该点的电位，用大写字母 V 表示。电路中某点的电位即该点与参考点之间的电压。

为了确定电路中各点的电位，必须在电路中选择一个参考点。

(1) 参考点的电位为零，图 1-6(a) 中， $V_O = 0$ 。

(2) 其他各点的电位为该点与参考点之间的电位差。图 1-6(a) 中 A 、 B 两点的电位分别为

$$V_A = V_A - V_O = U_{AO} = 1V$$

$$V_B = V_B - V_O = U_{BO} = -2V$$

(3) 参考点选取不同，电路中各点的电位也不同，但任意两点间的电位差(电压)不变。如选取点 B 为参考点，如图 1-6(b) 所示，则

$$V_B = 0$$

$$V_A = V_A - V_B = U_{AB} = 3V$$

但 A 、 B 两点间的电压不变，仍然为 $U_{AB} = 3V$ 。

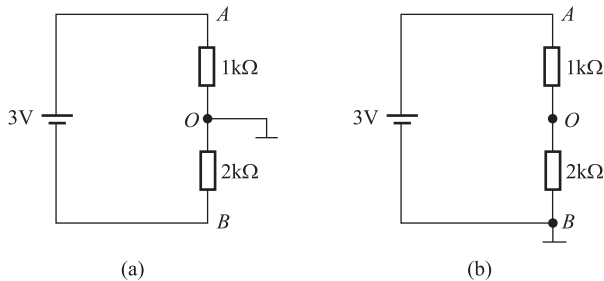


图 1-6 电位的计算示例

由以上分析可知：电压是绝对的，电位是相对的。

(4)在研究同一电路系统时，只能选取一个电位参考点。电位概念的引入，给电路分析带来了方便，因此，在电子线路中往往不再画出电源，而改用电位标出。图 1-7 是电路的一般画法与电子线路的习惯画法示例。

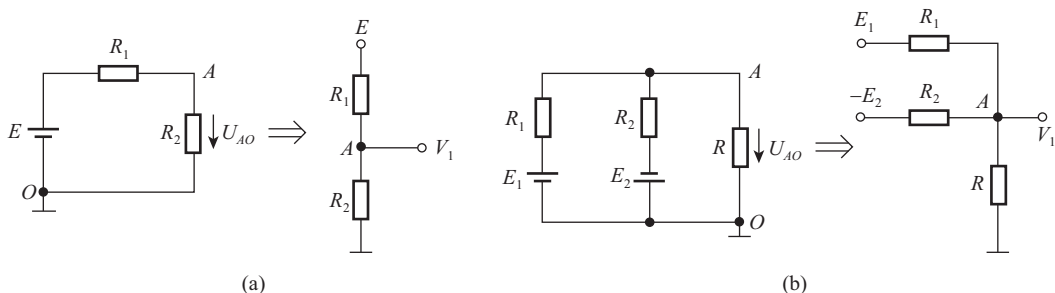


图 1-7 电路的一般画法与电子线路的习惯画法

1.2.4 功率

在直流电路中， a 、 b 两点间的电压为 U ，在 t 时间内电荷 Q 受电场力作用，从 a 点移动到 b 点，电场力所做的功为

$$W = UQ = UI t \quad (1-6)$$

若负载为电阻元件，则在 t 时间内所消耗的电能为

$$W = UI t = I^2 R t = \frac{U^2}{R} t \quad (1-7)$$

单位时间内消耗的电能为电功率(简称功率)。即

$$P = \frac{W}{t} = UI = I^2 R = \frac{U^2}{R} \quad (1-8)$$

对于某一段电路，在 U 和 I 取关联参考方向时，功率 $P = UI$ ；在 U 和 I 取非关联参考方向时，功率 $P = -UI$ 。当 $P > 0$ 时，表明元件吸收功率；当 $P < 0$ 时，表明元件释放功率。

如图 1-8(a)所示， U 和 I 取关联参考方向，功率 $P = UI$ 。若 $P > 0$ ，说明这段电路上电压和电流的实际方向是一致的，元件吸收了功率，是负载性质。

如图 1-8(b)所示， U 和 I 取非关联参考方向，功率 $P = -UI$ 。若 $P < 0$ ，则说明这段电路上电压和电流的实际方向不一致，元件释放功率，是电源性质。

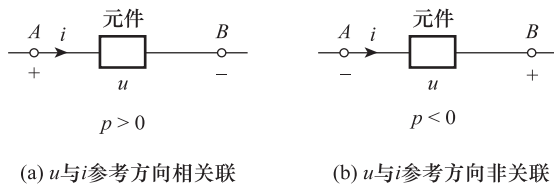


图 1-8 元件的功率

【例 1-1】 电路如图 1-8(a)所示, $U=12\text{V}$, $I=-2\text{A}$, 计算元件的功率。

解: 由电路可知, 电流和电压为关联参考方向, $P=UI=12\times(-2)=-24\text{W}<0$, 说明元件释放功率而不是吸收功率, 相当于电源。

1.3 电路的基本定律



1.3.1 欧姆定律

欧姆定律是电路的基本定律之一, 它指流过电阻的电流与电阻两端的电压成正比, 与电阻成反比。

对于图 1-9(a)所示电路, 欧姆定律可用下式表示:

$$U=IR \quad (1-9)$$

式中, R 即为该段电路的电阻。

由式(1-9)可知, 在电压 U 一定的情况下, 电阻 R 越大, 则电流 I 越小。可见, 电阻具有对电流起阻碍作用的性质。欧姆定律表示了线性电阻两端电压和电流的约束关系。因此, 欧姆定律的表达式也称为线性电阻元件约束方程。

在图 1-9(b)和(c)中, 电压和电流的参考方向非关联, 欧姆定律可用下式表示:

$$U=-IR \quad (1-10)$$

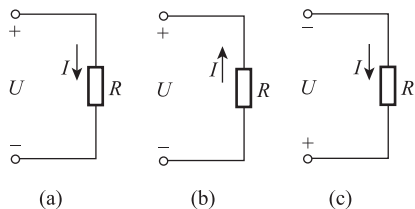


图 1-9 欧姆定律

当元件的电压 U 和电流 I 之间的关系满足欧姆定律时, 称为线性器件; 当器件的电压 U 和电流 I 之间的关系不满足欧姆定律时, 称为非线性器件。



1.3.2 基尔霍夫定律

1. 电路中几个专用名词

支路: 电路中由一个元件或多个元件组成的一条路径, 可以流过独立电流时, 就称这条路径为一条支路。如图 1-10 所示的电路中, 有 $a-c-b$ (由 E_1 和 R_1 的串联组合而成)、 $a-d-b$ (由 E_2 和 R_2 的串联组合而成)、 $a-b$ (由单个元件 R_3 构成) 三条支路。

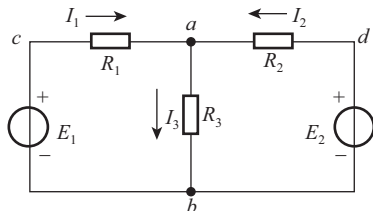


图 1-10 电路举例

节点：三条或三条以上支路的连接点称为节点。图 1-10 所示的电路中，有 a 、 b 两个节点。

回路：由若干条支路所组成的闭合路径称为回路。图 1-10 所示的电路中，有 $a-d-b-c-a$ 、 $a-b-d-a$ 、 $a-b-c-a$ 三个回路。

2. 基尔霍夫第一定律——电流定律

基尔霍夫电流定律(Kirchhoff's Current Law, KCL)指出：在任一时刻，通过电路中任一节点的各支路电流的代数和恒等于零。其数学表达式为

$$\sum I = 0 \quad (1-11)$$

式(1-11)中各支路电流的正负号的规定如下。

- (1) 选定各支路电流的参考方向。
- (2) 流进节点电流为正，流出节点电流为负。

在图 1-10 中，对节点 a 有 $I_1 + I_2 - I_3 = 0$ ，经变形得

$$I_1 + I_2 = I_3$$

可见，基尔霍夫电流定律也可以表述为，在任一时刻，流入电路中任一节点的各支路电流的代数和等于流出该节点的各支路电流的代数和。即

$$\sum I_i = \sum I_o \quad (1-12)$$

基尔霍夫电流定律充分体现了电路中，电流的连续性和电荷的守恒性。

3. 基尔霍夫第二定律——电压定律

基尔霍夫电压定律(Kirchhoff's Voltage Law, KVL)指出：在任一时刻，对电路中的任一闭合回路，沿任意方向绕行一周所有支路电压的代数和等于零。即

$$\sum U = 0 \quad (1-13)$$

各支路电压的正负号确定方法如下。

- (1) 任意规定回路的绕行方向。
- (2) 标明各支路电压的参考方向。
- (3) 凡支路电压的参考方向与回路的绕行方向一致者，此电压前面取“+”号；反之，此电压前取“-”号。

如图 1-11(a)所示的闭合电路中，以 $ABCD$ 绕行方向为回路的绕行方向，应用基尔霍夫电压定律有

$$U_{AB} + U_{BC} + U_{CD} + U_{DA} = 0$$

其中 $U_{AB} = I_1 R_1$ ， $U_{BC} = I_2 R_2$ ， $U_{CD} = I_3 R_3 + E_3$ ， $U_{DA} = -I_4 R_4 - E_4$

所以 $U_{AB} + U_{BC} + U_{CD} + U_{DA} = I_1 R_1 + I_2 R_2 + I_3 R_3 + E_3 - I_4 R_4 - E_4 = 0$

若将电阻电压写在等式的一边，电源电动势写在等式的另一边，则有

$$I_1 R_1 + I_2 R_2 + I_3 R_3 - I_4 R_4 = -E_3 + E_4$$

即

$$\sum IR = \sum E \quad (1-14)$$

这是基尔霍夫电压定律的另一种表达式。

按式(1-14)列 KVL 方程时，应遵循以下几点规定：

- (1) 在图中标明各支路电流的参考方向，并规定各回路的绕行方向。
- (2) 当支路电流的参考方向与回路的绕向一致时，电压取“+”号，反之取“-”号。

(3)当电动势的方向与回路的绕向一致时,电动势取“+”号,反之取“-”号。

基尔霍夫电压定律充分体现了电路中,能量的守恒性和任意一点电位的单值性。

【例 1-2】 如图 1-11(b)所示电路,根据所标出的电流方向,用 KVL 定律列出回路电压方程。

解:设回路绕行方向为顺时针,根据 $\sum IR = \sum E$ 得

$$E_1 - E_2 - E_3 = I_1 R_1 + I_2 R_2 - I_3 R_3 - I_4 R_4$$

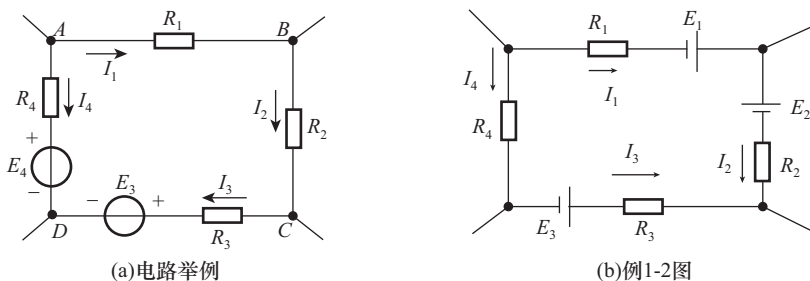


图 1-11 电路图

1.4 支路电流法

支路电流法是以支路电流为未知量,应用基尔霍夫电流定律(KCL)和基尔霍夫电压定律(KVL),列出与未知量数目相等的独立方程,然后解出未知的支路电流。

支路电流法的解题步骤:

- (1)在电路中标明各支路电流的参考方向,以各支路电流为未知量。
- (2)如果电路中有 n 个节点, b 条支路,按 KCL 列出 $(n-1)$ 个独立的电流方程。
- (3)选取回路并选定回路的绕行方向,按 KVL 列出 $b-(n-1)$ 个独立的回路电压方程。
- (4)联立求解所列方程组,即可计算出各支路电流。

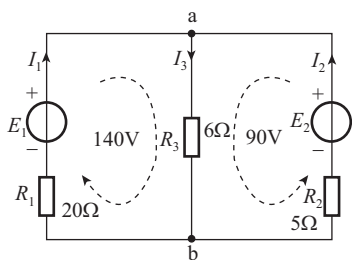


图 1-12 支路电流法

图 1-12 所示电路中有三条支路,2 个节点。所以只需列出一个独立的电流方程式和两个独立的电压方程式。

对节点,有

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0 \quad ①$$

左边回路的电压方程为

$$E_1 - I_1 R_1 = I_3 R_3 \quad ②$$

右边回路的电压方程为

$$E_2 - I_2 R_2 = I_3 R_3 \quad ③$$

联立式①②③可求出各支路电流分别为 $I_1 = 4\text{A}$, $I_2 = 6\text{A}$, $I_3 = 10\text{A}$ 。

【例 1-3】 在图 1-13 所示的电路中, 已知 $U_{S1} = 12\text{V}$, $U_{S2} = 12\text{V}$, $R_1 = 1\Omega$, $R_2 = 2\Omega$, $R_3 = 4\Omega$, $R_4 = 4\Omega$ 求各支路的电流。

解: 选择各支路电流的参考方向和回路绕行方向如图 1-13 所示, 列出节点电流和回路电压方程;

$$\text{上节点方程} \quad I_1 + I_2 - I_3 - I_4 = 0$$

$$\text{左回路方程} \quad R_1 I_1 + R_3 I_3 - U_{S1} = 0$$

$$\text{中回路方程} \quad R_1 I_1 - R_2 I_2 - U_{S1} + U_{S2} = 0$$

$$\text{右回路方程} \quad R_2 I_2 + R_4 I_4 - U_{S2} = 0$$

代入已知数据, 得

$$\begin{cases} I_1 + I_2 - I_3 - I_4 = 0 \\ I_1 + 4I_3 - 12 = 0 \\ I_1 - 2I_2 - 12 + 12 = 0 \\ 2I_2 + 4I_4 - 12 = 0 \end{cases}$$

解得 $I_1 = 3\text{A}$, $I_2 = 1.5\text{A}$, $I_3 = 2.25\text{A}$,

$I_4 = 2.25\text{A}$ 。

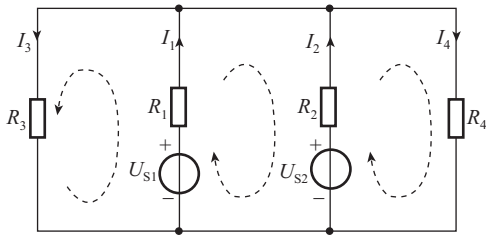


图 1-13 例 1-3 图

支路电流法是求解复杂电路最基本的方法, 在需要求解电路中全部支路电流时, 可采用此法。但如果只需要求出某一条支路电流时, 用支路电流法计算就会比较烦琐。

1.5 戴维南定理



1.5.1 二端网络

可以把一组元件连接成的电路作为一个整体来看, 这个整体就是电路网络。任何电路网络无论简单还是复杂, 只要它有两个引出端与外部电路相连, 且从一个端子流入的电流等于从另一端流出的电流, 则称这一电路结构为二端网络, 二端网络也称单口网络, 如图 1-14 所示的电路中, 电路结构 N 称为二端网络, I 称为端口电流, U 为端口电压。

通常把二端网络分为两类, 即无源二端网络和有源二端网络。内部不含电源的二端网络称为无源二端网络, 如图 1-15 所示; 内部含有电源的二端网络称为有源二端网络, 如图 1-16 所示。

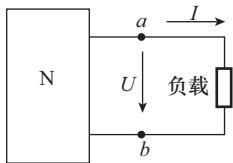


图 1-14 二端网络

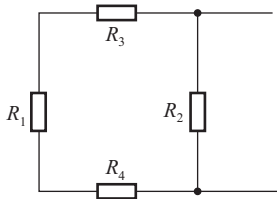


图 1-15 无源二端网络

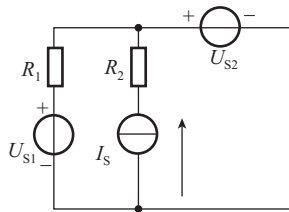


图 1-16 有源二端网络

Chapter
01

Chapter
02

Chapter
03

Chapter
04

Chapter
05

Chapter
06

Chapter
07

Chapter
08

Chapter
09

Chapter
10

Chapter
11

Chapter
12

Chapter
13

Chapter
14



1.5.2 戴维南定理

在线性电路分析中,当电路结构较为复杂,且仅仅需要计算某条支路的电压和电流,而不必对所有支路进行分析时,就可以利用戴维南定理简化处理,最后利用结构简单的等效电路来解决问题。

任何一个有源二端线性网络都可以用一个电动势为 E 的理想电压源和内阻 R_0 串联的电压源来等效代替,如图 1-17(b)所示。等效电压源的电动势 E 是有源二端网络图 1-17(a)所示的开路电压 U_{ab} ,即将负载断开后 a 、 b 两端之间的电压。内阻 R_0 是将有源二端网络变成(将理想电压源短路,理想电流源开路)无源二端网络时从 a 、 b 两端向网络看进去的内阻。这就是戴维南定理。

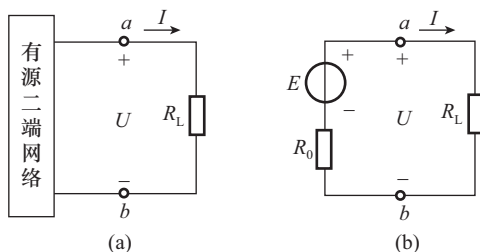


图 1-17 戴维南定理

图 1-17(b)所示的电路是一个最简单的电路,其中电流可由下式计算:

$$I = \frac{E}{R_0 + R_L} \quad (1-15)$$

等效电压源的电动势 E 和内阻 R_0 也可经过测量或计算得出。

用戴维南定理的解题步骤:

- (1) 画出把待求支路从原电路中移去后的有源二端网络。
- (2) 求有源二端网络开路电压 U_{ab} 。
- (3) 求有源二端网络内部所有独立电源作用为零时(理想电压源短路,理想电流源开路)的等效电阻 R_0 。
- (4) 画出戴维南等效电路,将待求支路接入等效电路,求出未知量。

【例 1-4】 用戴维南定理计算图 1-18(a)中的支路电流 I_3 , 已知: $E_1 = 140\text{V}$, $E_2 = 90\text{V}$, $R_2 = 5\Omega$, $R_1 = 20\Omega$ 。

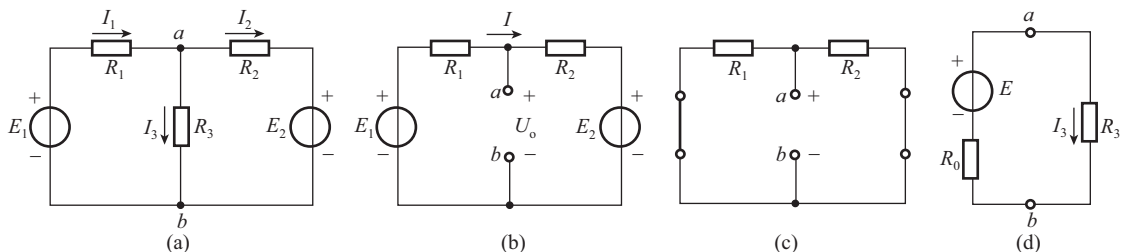


图 1-18 例 1-4 图

解：(1)先求开路电压 U_{ab} ：将电阻 R_3 从图 1-18(a)中断开，如图 1-18(b)所示。

$$I = \frac{E_1 - E_2}{R_1 + R_2} = \frac{140 - 90}{20 + 5} = 2\text{A}$$

所以

$$E = U_{ab} = E_1 - R_1 I = 140 - 20 \times 2 = 100\text{V}$$

或

$$E = U_{ab} = E_2 + R_2 I = 90 + 5 \times 2 = 100\text{V}$$

(2)求等效电压源的内阻 R_0 ：由图 1-18(c)可得

$$R_0 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{20 \times 5}{20 + 5} = 4\Omega$$

(3)由图 1-18(d)所示戴维南等效电路，得到求电流的表达式。

$$I_3 = \frac{E}{R_0 + R_3} = \frac{100}{4 + 6} = 10\text{A}$$

1.6 车用直流电源——蓄电池



1.6.1 蓄电池的结构

车用蓄电池(见图 1-19)是一种直流可逆电池，工作时可以把电能转变为化学能储存起来，也可以把化学能转变为电能释放出来。

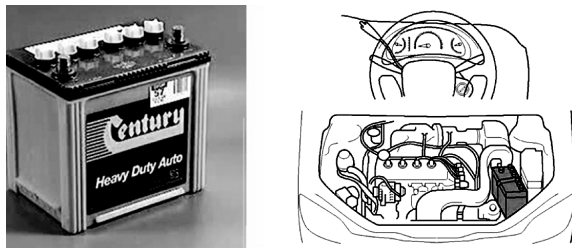


图 1-19 蓄电池外形图

1. 蓄电池的主要用途

(1)在起动发动机期间，它为起动系统、点火系统、电子燃油喷射系统和汽车的其他电气设备供电。

(2)当发动机停止运转或低怠速运转时，由它给汽车用电设备供电。

(3)当出现用电需求超过发电机供电能力时，蓄电池也参加供电。

(4)蓄电池起到了整车电气系统的电压稳定器的作用，能够缓和电气系统中的冲击电压，保护汽车上的电子设备。

(5)在发电机正常工作时，蓄电池将发电机发出多余的电能存储起来——充电。

2. 蓄电池的结构

汽车蓄电池由单个的单格电池组成。单格电池由正极板、负极板、隔板、电解液、电池盖板、加液孔塞和电池外壳组成。

Chapter
01Chapter
02Chapter
03Chapter
04Chapter
05Chapter
06Chapter
07Chapter
08Chapter
09Chapter
10Chapter
11Chapter
12Chapter
13Chapter
14

(1)极板。蓄电池极板由栅架和活性物质组成，活性物质填充在铅锑合金的栅架上。

极板是蓄电池的核心部分，它分正极板和负极板。正极板上的活性物质是深棕色二氧化铅(PbO_2)，负极板上的活性物质是青灰色海绵状铅(Pb)。在蓄电池充放电过程中，电能和化学能的相互转换，就是依靠极板上活性物质和电解液中硫酸的化学反应来实现的。 PbO_2 和 Pb 形成的原电池的电动势大约为 2V。

由于单片极板上的活性物质数量少，所存储的电量少，为了增大蓄电池的容量，通常将多片正、负极板分别并联，用横板焊接，组成正、负极板组，如图 1-20 所示。

横板上连有极桩，各片间留有间隙。安装时正、负极板相互嵌合，中间插入隔板。在每个单格电池中，负极板的数量总比正极板多一片。

(2)隔板。为了减小蓄电池的内阻和尺寸，蓄电池内部正、负极板应尽可能地靠近，但为了避免彼此接触造成短路，正、负极板之间要用隔板隔开。

隔板材料应具有多孔性且化学性能稳定，以便电解液渗出，并具有良好的耐酸性和抗氧化性。常见的隔板有木制隔板、微孔塑料隔板、微孔橡胶隔板和玻璃纤维隔板等。

(3)电解液。电解液是蓄电池内部发生化学反应的主要物质，由化学用纯硫酸和蒸馏水按一定的比例配制而成。水的密度为 $1\text{g}/\text{cm}^3$ ，硫酸的密度为 $1.83\sim 1.84\text{g}/\text{cm}^3$ ，两者以不同的比例混合后形成不同密度的电解液。

蓄电池电解液的密度一般为 $1.24\sim 1.31\text{g}/\text{cm}^3$ ，使用中的密度应根据地区、气候条件和制造厂的要求而定。

(4)外壳。蓄电池的极板组、隔板和电解液装在外壳中，外壳应耐酸、耐热、耐震动冲击。蓄电池有硬橡胶外壳和聚丙烯塑料外壳两种，如图 1-21 所示。

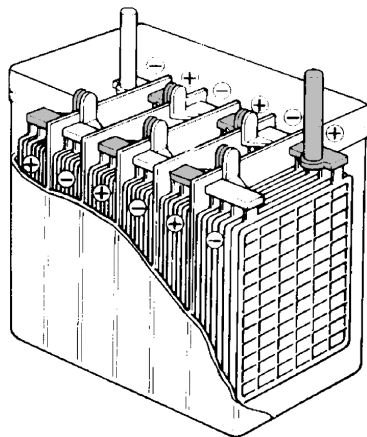


图 1-20 极板组

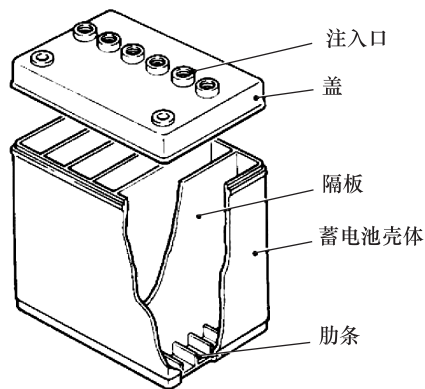


图 1-21 蓄电池外壳

蓄电池的正负极板所能产生的电动势大约为 2V，为了获得更高的电动势，通常要将多个 2V 的蓄电池单元串联起来。为此，在制造蓄电池外壳时，将一个整体的外壳分成若干个单格，一般是将整个外壳分成 3 个或 6 个互不相通的单格，安装 3 组或 6 组极

板组,形成6V或12V的蓄电池。

外壳的每个单格底部制有凸起的肋条用来搁置极板组。肋条之间的空隙可以积存极板脱落的活性物质,防止正、负极板短路。蓄电池各单格电池之间均用铅质联条串联。联条安装在盖上是一种传统的连接方式,不仅浪费材料,而且还使蓄电池内阻增大,所以此种连接方式正在被穿壁式连接所取代。采用穿壁连接方式连接单格电池时,所用联条尺寸很小,并设在蓄电池内部。

每个单格电池都有一个加液孔,旋下加液孔盖,可以加注电解液或检测电解液密度;旋入孔盖便可防止电解液溅出。孔盖上设有通气孔,该小孔应保持畅通,以便随时排出蓄电池内化学反应放出的氢气(H_2)和氧气(O_2),防止外壳胀裂和发生事故。

蓄电池盖有硬橡胶盖和聚丙烯耐酸塑料盖两种,前者与硬橡胶外壳配用,盖子与外壳之间的缝隙用沥青封口剂填封;后者与聚丙烯耐酸塑料外壳配用,其盖子为整体结构,与外壳之间采用热接合工艺黏合。蓄电池外壳上还有正负极桩。



1.6.2 蓄电池的使用与维护

1. 蓄电池的正确使用

(1)不要连续使用起动机。每次起动的的时间不得超过5s,如果一次未能起动,应停顿15s以上再作第二次起动,连续三次起动不成功者,应查明原因,排除故障后再起动发动机。

(2)安装和搬运蓄电池时,应轻搬轻放,不可敲打或在地上拖拽。蓄电池在汽车上应固定牢靠,以防行车时振动和移位。

(3)冬季使用的注意事项。

1)冬季使用蓄电池时,应特别注意保持其处于充足电状态,以免电解液密度降低而结冰。

2)冬季补加蒸馏水,应在充电前进行,以使蒸馏水较快地与电解液混合而不致结冰。

3)冬季蓄电池容量降低,因此在起动冷态发动机前,应进行预热,以减少起动阻力矩。

4)冬季气温低,充电较困难,因此可以适当调高调节器的调节电压,以改善蓄电池的充电状态,但仍须避免过量充电。

(4)要经常检查蓄电池的电解液和蓄电池的放电情况,若发现电解液不足或蓄电池充电不足,要及时进行补充和充电。

2. 蓄电池的维护

(1)经常清除蓄电池表面的灰尘污物,电解液溅到蓄电池表面时,应用抹布蘸10%浓度的苏打水或碱水擦净,电极桩和电线夹头上出现氧化物时应及时清除。

(2)经常疏通加液孔盖上的通气孔。

(3)检查各单格内电解液的液面高度,应高出极板上沿10~15mm,如发现不足应及时补充,如图1-22所示。

Chapter
01Chapter
02Chapter
03Chapter
04Chapter
05Chapter
06Chapter
07Chapter
08Chapter
09Chapter
10Chapter
11Chapter
12Chapter
13Chapter
14

(4) 检测蓄电池的存放电程度。用密度间接判断，电解液密度与放电程度的关系是密度每下降 $0.01\text{g}/\text{cm}^3$ 相当于蓄电池放电 6%，当车用蓄电池的放电程度冬季达 25%、夏季达 50% 时应充电，必要时及时进行补充充电，如图 1-23 所示。也可通过测定单格或整个蓄电池的电压来直接判断，通过高频放电计检测，当单格电池电压低于 1.7V 或整个蓄电池电压低于 10.5V 时，必须给蓄电池进行补充充电，如图 1-24 所示。

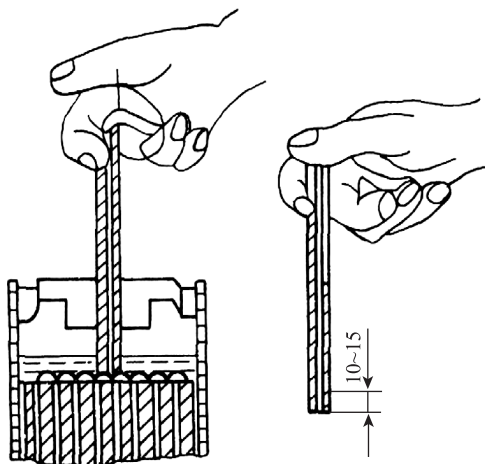


图 1-22 蓄电池液面高度检测

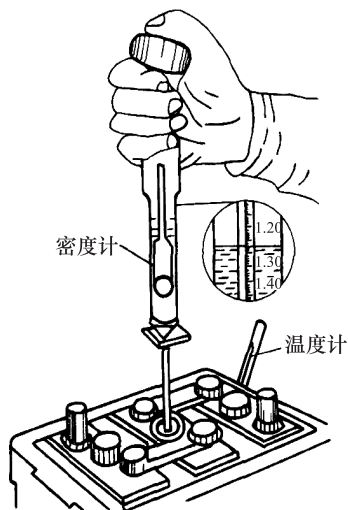
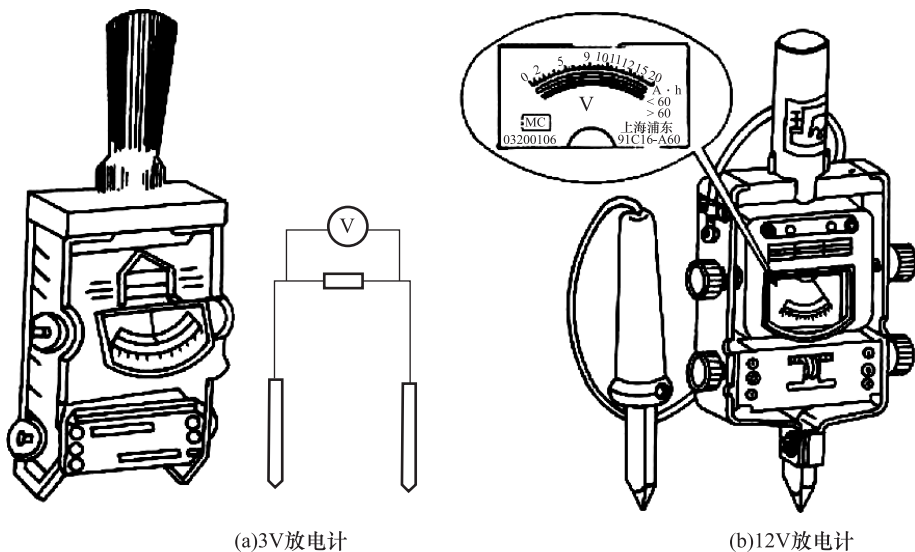


图 1-23 电解液密度检测



(a)3V放电计

(b)12V放电计

图 1-24 高频放电计及原理图

- (5) 根据当时的季节，及时调整电解液密度。
- (6) 放完电的蓄电池在 24h 内应及时充电。
- (7) 停驶车辆的蓄电池，每两个月应进行一次补充充电。

(8) 拆卸蓄电池电缆时, 应先拆下蓄电池负极, 再拆下蓄电池正极; 安装蓄电池电缆时, 应先安装蓄电池正极, 再安装蓄电池负极, 以免拆卸过程中造成蓄电池断路。

本章小结

本项目介绍电路的基本组成、基本物理量、基本概念和基本定律。着重讨论电流和电压的参考方向和基尔霍夫定律。要点归纳如下。

1. 电路

电路是电流流过的路径, 它由电源、负载、导线和中间环节四部分组成。电路的作用可以概括为两个方面:

- (1) 实现能量的传输和转换。
- (2) 实现信号的传递和处理。

2. 基本物理量

(1) 电流。电荷的定向移动形成电流, 习惯上规定正电荷移动的方向为电流的方向。

(2) 电压。电压也称电位差(或电势差), 其实际方向定义为电位降低或电压降低的方向。

(3) 电动势。电动势是用来表示电源力移动单位正电荷做功本领的物理量, 电源电动势的实际方向规定为在电源内部由低电位端指向高电位端, 即电位升高的方向。

(4) 电位。电场力把单位正电荷从电路中某点移到参考点所做的功称为该点的电位。

(5) 功率。电路中, 单位时间内电路元件的能量变化称为功率。

3. 参考方向

参考方向是一个假定的方向, 在电路的分析中, 引入参考方向后, 电压、电流是个代数量。电压、电流大于零表示电压、电流的参考方向与实际方向一致, 电压、电流小于零表示电压、电流的参考方向与实际方向相反。

4. 基本定律

KCL: 对于电路中的任一节点, 任一瞬时流入(或流出)该节点的电流代数和为零。该定律充分反映了电路中, 电流的连续性和电荷的守恒性。

KVL: 对于电路中的任一回路, 任一瞬时沿回路绕行一周, 则组成该回路的各段支路上的元件电压的代数和为零。该定律充分反映了电路中, 电位的单值性和能量的守恒性。

5. 车用蓄电池的使用与维护

车用蓄电池是一种直流可逆电池, 俗称“电瓶”。车用蓄电池工作时, 既可以把电能转变为化学能储存起来, 也可以把化学能转变为电能释放出来。

车用蓄电池用来起动车辆, 同时还派生出其他的功能。车用蓄电池主要由极板、隔板、电解液和壳体组成。其中,

(1) 极板为蓄电池的主要构件, 有正、负极板之别, 负极板比正极板多一片, 使每

Chapter 01

Chapter 02

Chapter 03

Chapter 04

Chapter 05

Chapter 06

Chapter 07

Chapter 08

Chapter 09

Chapter 10

Chapter 11

Chapter 12

Chapter 13

Chapter 14

片正极板都处在两片负极板之间，起到有效防护作用。

(2) 隔板用来防止正、负极板直接接触而造成短路。

(3) 电解液是蓄电池内部参与化学反应的主要物质，密度一般在 $1.24 \sim 1.31 \text{g/cm}^3$ 之间。

(4) 外壳用来盛装极板、隔板组件和电解液。

合理使用与维护蓄电池，可以提高蓄电池的使用效率，延长蓄电池的使用寿命。保持蓄电池清洁，严格控制起动时间，定期检测电解液液面高度和蓄电池的存放电程度。

本章习题

一、填空题

- 1.1 电路由_____、_____、_____和_____四部分组成。
- 1.2 中间环节的作用是把_____和_____连接起来，形成闭合回路，并对整个电路实行_____、_____和_____。
- 1.3 电路从基本功能上分，可将其分两大类：一类是_____电路，另一类是_____电路。
- 1.4 如图 1-25 所示的某段电路，电流表的读数为 1A，则 $I = \underline{\hspace{2cm}}$ A。
- 1.5 如图 1-26 所示的某段电路，测得电压为 2V， $I = -1\text{A}$ ，则 $U_{ab} = \underline{\hspace{2cm}}$ V，该元件的作用是_____电能。

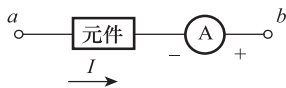


图 1-25 题 1.4 图

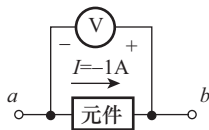


图 1-26 题 1.5 图

- 1.6 电源电动势的方向规定为从_____极指向_____极，它是_____力克服_____力移动电荷做功的结果。
- 1.7 电压的方向规定为由_____端指向_____端，是_____力移动电荷做功，通过负载把电能转换成其他形式的能。
- 1.8 如图 1-27 所示电路所标的参考方向，则电阻 R 两端的实际电位是_____端高于_____端。
- 1.9 如图 1-28 所示电路所标的参考方向，则灯泡的电流实际方向是从_____端流向_____端。

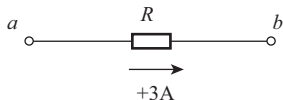


图 1-27 题 1.8 图

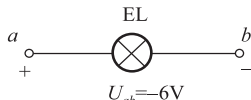


图 1-28 题 1.9 图

- 1.10 为了防止因短路而引起的事故，在实际电路中一般都串联接入_____。电路一旦发生短路或_____，它将断开电源，达到保护的目的。

1.11 将标有 10V、0.25W 和 10V、1W 的两个灯泡串联起来，接在 10V 的电源上工作，它们实际消耗的功率：10V、0.25W 灯泡 $P_1 =$ _____ W，10V、1W 灯泡 $P_2 =$ _____ W。

1.12 照明电路中相线对地线的电压 $U = 220V$ 。检修电路时，穿上绝缘胶鞋，可操作自如不会触电。设人体电阻 $R_1 = 1k\Omega$ ，胶鞋电阻 $R_2 = 210k\Omega$ ，则加在人体上的电压 $U_1 =$ _____ V。

1.13 一段粗细均匀的导线，其电阻值是 R ，若将其从中间对折合成一根导线，则这个导线的电阻是 _____。

1.14 基尔霍夫电流定律充分体现了电路中电流的 _____ 和电荷的 _____。

1.15 电压源 $E = 20V$ ， $r_0 = 10\Omega$ ，给电阻性负载供电，当负载电阻值 R_L _____ 时，负载上获得功率最大。

1.16 基尔霍夫第一定律的理论依据是 _____，其通式为 _____。

1.17 如图 1-29 所示电路中，电压 $U_{ab} =$ _____ V。

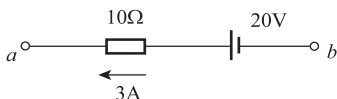


图 1-29 题 1.17 图

1.18 如图 1-30 所示某一段电路中的电压 $U_{ba} = 10V$ ，则 $I =$ _____ A。

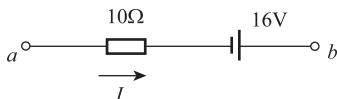


图 1-30 题 1.18 图

1.19 任何具有两个线端的电路称为 _____。若电路中有电源存在的称为 _____。

1.20 若 A、B、C 三点的电位分别为 3V、2V、-2V，则电压 U_{AB} 为 _____ V， U_{CA} 为 _____ V。若改以 C 点为参考点，则 V_A 为 _____ V， V_B 为 _____ V。

二、选择题

1.21 下列设备中，其中() 必是电源。

- A. 发电机 B. 蓄电池 C. 电视机 D. 电炉

1.22 下列设备中，不属于中间环节的是()。

- A. 测量仪表 B. 开关 C. 熔断器 D. 蓄电池

1.23 电路中标出的电流参考方向如图 1-31 所示，电流表读数为 2A，则可知电流 I 是()。

- A. 2A B. -2A C. 0 D. -4A

1.24 如图 1-32 所示的参考方向，电压表的读数是 5V，则电压 U_{ba} 及元件的作用是()。

- A. $U_{ba} = 5V$ ，吸收电能(负载) B. $U_{ba} = -5V$ ，吸收电能(负载)
C. $U_{ba} = -5V$ ，释放电能(电源) D. $U_{ba} = 5V$ ，释放电能(电源)

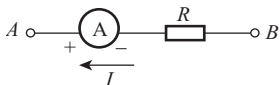


图 1-31 题 1.23 图

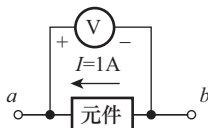


图 1-32 题 1.24 图

- Chapter 01
- Chapter 02
- Chapter 03
- Chapter 04
- Chapter 05
- Chapter 06
- Chapter 07
- Chapter 08
- Chapter 09
- Chapter 10
- Chapter 11
- Chapter 12
- Chapter 13
- Chapter 14

1.25 一根粗细均匀的电阻丝,阻值为 25Ω ,将其等分成五段,然后并联使用,则其等效电阻是()。

- A. $1/25\Omega$ B. $1/5\Omega$ C. 1Ω D. 5Ω

1.26 额定功率 10W 、阻值 500Ω 的电阻 R_1 与 15W 、 500Ω 的电阻 R_2 串联后的等效电阻值及等效电阻的额定功率分别为()。

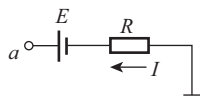
- A. 500Ω 、 10W B. $1\text{k}\Omega$ 、 20W C. $1\text{k}\Omega$ 、 25W D. $1\text{k}\Omega$ 、 15W

1.27 两个电阻 R_1 、 R_2 串联时,消耗的功率分别为 P_1 和 P_2 。已知 $P_1/P_2=2$,则 R_1/R_2 与 U_1/U_2 的比值分别是()。

- A. $R_1/R_2=2, U_1/U_2=2$ B. $R_1/R_2=2, U_1/U_2=1/2$
C. $R_1/R_2=1/2, U_1/U_2=2$ D. $R_1/R_2=1/2, U_1/U_2=1/2$

1.28 如图 1-33 所示电路中, a 点的电位是()V。

- A. $V_a=IR-E$ B. $V_a=IR+E$
C. $V_a=-IR-E$ D. $V_a=-IR+E$



1.29 若把电路中原来电位为 3V 的一点改选为参考点,则电 图 1-33 题 1.28 图中各点电位比原来()。

- A. 升高 B. 降低 C. 升高或降低 D. 不变

1.30 在下列规格的电灯泡中,电阻最大的是规格()。

- A. 200W 、 220V B. 100W 、 220V C. 60W 、 220V D. 40W 、 220V

三、判断题

- 1.31 蓄电池在电路中必是电源,总是把化学能转换成电能。 ()
- 1.32 发电机是将机械能转换成电能的设备。 ()
- 1.33 负载是电路中的用电设备,它把其他形式的能转换成电能。 ()
- 1.34 电流的参考方向,可能是电流的实际方向,也可能与实际方向相反。 ()
- 1.35 电路中某两点间的电压具有相对性,当参考点变化时,电压随着变化。 ()
- 1.36 如果电路中某两点的电位都很高,则该两点间的电压也很大。 ()
- 1.37 基尔霍夫电流定律(KCL)的通式 $\sum I=0$, 对于一个封闭曲面也是适用的。 ()
- 1.38 并联在电网上的用电设备功率越大,电能消耗越多。 ()
- 1.39 电流、电压的参考方向可以任意指定,指定的方向不同也不影响问题的最后结论。 ()
- 1.40 根据式 $P=U^2/R$, 当输出电压一定时,输电线电阻越大,则输电线功率损耗越小。 ()
- 1.41 几个电阻并联时,若其中一个电阻加大,则等效电阻将减小。 ()