



汽车运用与维修专业创新型精品教材

中国汽车工程学会
汽车应用与服务分会组织编写

汽车电工 电子基础

汽车电工电子基础



总主编 朱 军 弋国鹏
主 编 王 健 黄 芳

QICHE DIANGONG DIANZI JICHU

总主编 朱 军 弋国鹏
主 编 王 健 黄 芳

北京出版集团公司
北京出版社

北京出版集团公司
北 京 出 版 社

图书在版编目 (CIP) 数据

汽车电工电子基础 / 王健, 黄芳主编. -- 北京 :
北京出版社, 2015.11 (2021 重印)

“十二五”职业教育国家规划教材. 2015

ISBN 978-7-200-11859-9

I. ①汽… II. ①王… ②黄… III. ①汽车—电工技
术—职业教育—教材②汽车—电子技术—职业教育—教材
IV. ① U463.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 006545 号

汽车电工电子基础

QICHE DIANGONG DIANZI JICHU

主 编: 王 健 黄 芳

出 版: 北京出版集团公司

北 京 出 版 社

地 址: 北京北三环中路 6 号

邮 编: 100120

网 址: www.bph.com.cn

总发行: 北京出版集团公司

经 销: 新华书店

印 刷: 定州市新华印刷有限公司

版 次: 2015 年 11 月第 1 版 2019 年 1 月修订 2021 年 5 月第 4 次印刷

开 本: 787 毫米 × 1092 毫米 1/16

印 张: 15

字 数: 242 千字

书 号: ISBN 978-7-200-11859-9

定 价: 35.00 元

质量监督电话: 010-82685218 010-58572162 010-58572393

目 录

学习工作页

学习单元一 直流电路的应用	/ 2
学习任务一 基本电路的应用	/ 2
学习任务二 电阻元件与欧姆定律的分析与计算	/ 8
学习任务三 基尔霍夫定律的应用	/ 12
学习单元二 正弦交流电的应用	/ 16
学习任务一 正弦交流电的判断	/ 16
学习任务二 电容器与电感器的识别	/ 19
学习任务三 单相正弦交流电路的认识	/ 22
学习任务四 RLC 串联电路的解析	/ 25
学习任务五 三相正弦交流电路的学习	/ 28
学习单元三 电磁学基本知识及应用	/ 32
学习任务一 电磁感应基本定律的学习	/ 32
学习任务二 铁磁物质与磁路的认识	/ 35
学习任务三 霍尔效应的应用	/ 37
学习任务四 变压器知识的学习	/ 40
学习单元四 汽车电器元件的使用和维护	/ 43
学习任务一 直流串励式电动机的使用和维护	/ 43
学习任务二 交流发电机的检查和更换	/ 47

学习任务三	继电器与电磁阀的认识和检测	/ 50
学习任务四	开关与电路保护装置的更换	/ 53
学习单元五	常用半导体器件的认识及应用	/ 57
学习任务一	半导体器件的认识和检测	/ 57
学习任务二	晶闸管的认识和检测	/ 62
学习任务三	单相整流电路的认识和检测	/ 65
学习任务四	汽车交流发电机整流电路的认识和检测	/ 69
学习任务五	基本放大电路的认识和检测	/ 73
学习任务六	集成运算放大器的认识和检测	/ 77
学习单元六	数字电路的应用	/ 82
学习任务一	逻辑门电路的应用	/ 82
学习任务二	集成门电路的应用	/ 86
学习任务三	集成触发器的应用	/ 88
学习单元七	汽车电脑控制系统的应用	/ 92
学习任务	电脑控制系统的应用	/ 92
学习参考 _____		
学习单元一	直流电路的应用	/ 96
学习任务一	基本电路的应用	/ 96
学习任务二	电阻元件与欧姆定律的分析与计算	/ 103
学习任务三	基尔霍夫定律的应用	/ 111
学习单元二	正弦交流电的应用	/ 115
学习任务一	正弦交流电的判断	/ 115
学习任务二	电容器与电感器的识别	/ 117
学习任务三	单相正弦交流电路的认识	/ 122
学习任务四	RLC 串联电路的解析	/ 125

学习任务五 三相正弦交流电路的学习	/ 129
学习单元三 电磁学基本知识及应用	/ 132
学习任务一 电磁感应基本定律的学习	/ 132
学习任务二 铁磁物质与磁路的认识	/ 136
学习任务三 霍尔效应的应用	/ 138
学习任务四 变压器知识的学习	/ 140
学习单元四 汽车电器元件的使用和维护	/ 146
学习任务一 直流串励式电动机的使用和维护	/ 146
学习任务二 交流发电机的检查和更换	/ 152
学习任务三 继电器与电磁阀的认识和检测	/ 157
学习任务四 开关与电路保护装置的更换	/ 163
学习单元五 常用半导体器件的认识及应用	/ 170
学习任务一 半导体器件的认识和检测	/ 170
学习任务二 晶闸管的认识和检测	/ 181
学习任务三 单相整流电路的认识和检测	/ 183
学习任务四 汽车交流发电机整流电路的认识和检测	/ 187
学习任务五 基本放大电路的认识和检测	/ 188
学习任务六 集成运算放大器的认识和检测	/ 191
学习单元六 数字电路的应用	/ 196
学习任务一 逻辑门电路的应用	/ 196
学习任务二 集成门电路的应用	/ 203
学习任务三 集成触发器的应用	/ 211
学习单元七 汽车电脑控制系统的应用	/ 220
学习任务 电脑控制系统的应用	/ 220
参考答案	/ 223
参考文献	/ 228

学习工作页

北京出版

学习单元一 直流电路的应用

在日常生活和生产实践中，人们广泛地使用各种不同种类的电路。如家庭、教室等使用的照明电路，收音机和电视机中为了将微弱信号进行放大的放大电路，汽车照明的直流电路等。通过本单元的学习，学生能够了解直流串联电路和并联电路在汽车电路中的运用，能对串联电路和并联电路进行分析，并能按照生产厂家的技术规范对每个汽车基本电路进行简单的检查和更换，对常见的故障进行诊断和排除。

本单元的学习任务可以分为：

- ★ 学习任务一：基本电路的应用
- ★ 学习任务二：电阻元件与欧姆定律的分析与计算
- ★ 学习任务三：基尔霍夫定律的应用

学习任务一 基本电路的应用

[任务描述]

一支手电筒因故障不能正常使用了，观察其结构，检查其灯泡、线路及开关，并恢复其使用功能；对汽车基本电路的工作状态进行简单分析与判断；树立安全用电的意识。

[学习目标]

1. 能准确叙述电路的组成及汽车电路的特点。
2. 能准确讲述安全用电常识。

[学习准备]

一、知识准备

1. 电路基本物理量。（查阅学习参考“学习单元一的学习任务一”）
2. 安全用电知识。（查阅学习参考“学习单元一的学习任务一”）

通过查阅学习参考和相关维修手册，对应整理出完成该任务所需要的知识点和技

能点，填在表 1-1 中。

表 1-1 知识和技能要点表

知识点	1.
	2.
	3.
	4.
	5.
技能点	1.
	2.
	3.
	4.
	5.

二、工作场所

实验室。

三、工作器材

电工电子实验台，定值电阻，滑动变阻器，电流表，电压表，万用表，导线等。

[计划与实施]

通过实训，能够根据电路图连接实物电路，并能够用万用表测量电路基本物理量，能够对电路图进行简单分析。电路图如图 1-1 所示，实物连接图如图 1-2 所示。

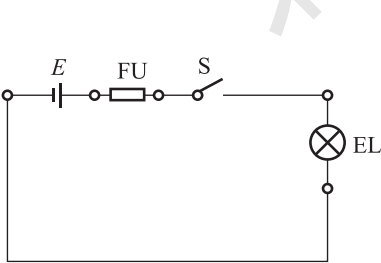


图 1-1 电路图

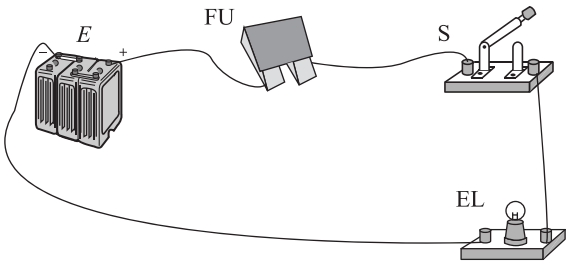


图 1-2 实物连接图

1. 工具准备:

2. 材料准备:

3. 线路的连接与检验

(1) 线路连接步骤

① 连接蓄电池正极与熔丝 FU，如图 1-3 所示。

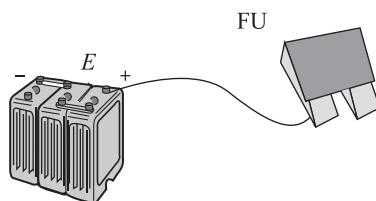


图 1-3 连接蓄电池正极与熔丝 FU

根据实物图画出相应部分的电路图：

② 连接熔丝 FU 与开关 S，如图 1-4 所示。

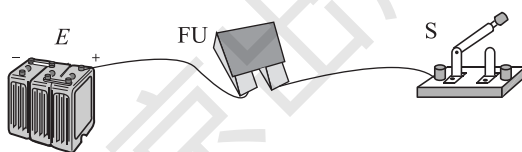


图 1-4 连接熔丝 FU 与开关 S

根据实物图画出相应部分的电路图：

③ 连接开关 S 与灯泡 EL，如图 1-5 所示。

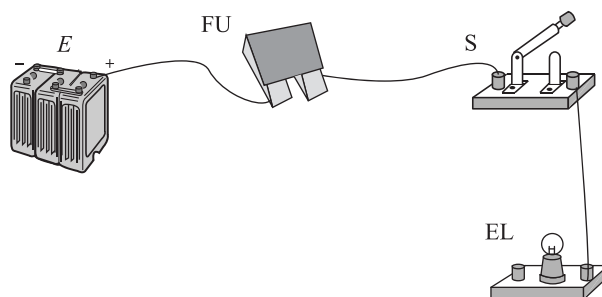


图 1-5 连接开关 S 与灯泡 EL

根据实物图画出相应部分的电路图：

④ 连接灯泡 EL 与蓄电池负极，如图 1-6 所示。

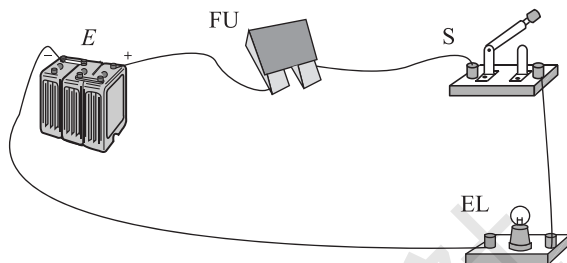


图 1-6 连接灯泡 EL 与蓄电池负极

根据实物图画出相应部分的电路图：

(2) 线路连接检验

① 开关 S 闭合，灯泡 EL 亮，如图 1-7 所示。

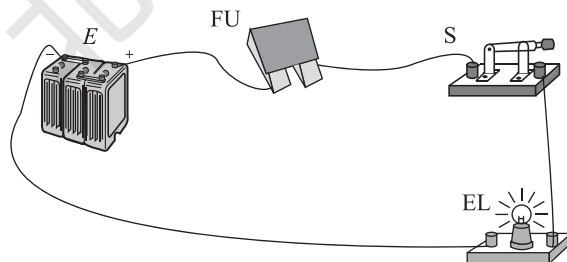


图 1-7 开关 S 闭合后的电路工作状态

② 结果评判：

4. 电路测量

(1) 测量要求：在开关 S 打开状态下，对实物连接进行电位、电流测量，并对测试数据进行简单分析。

(2) 电位测量：测量方法是把数字万用表选择在直流电压挡“20V”，黑表笔（负极）接于蓄电池负极（7 点），红表笔（正极）接触于需要测量电位的测量点，万用表显示的电压就是测量点的电位。电位测量点如图 1-8 所示。

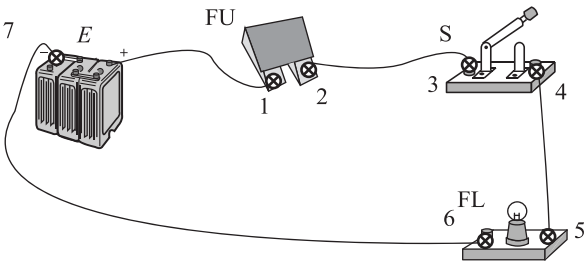


图 1-8 电位测量点实物连接图

(3) 电流测量：测量方法是把数字万用表选择在直流电流挡“20A”，断开测量电路的电线，把红、黑表笔分别接于断开电线的两端，则万用表显示的电流就是测量电路流过的电流。电流测量位置如图 1-9 所示。

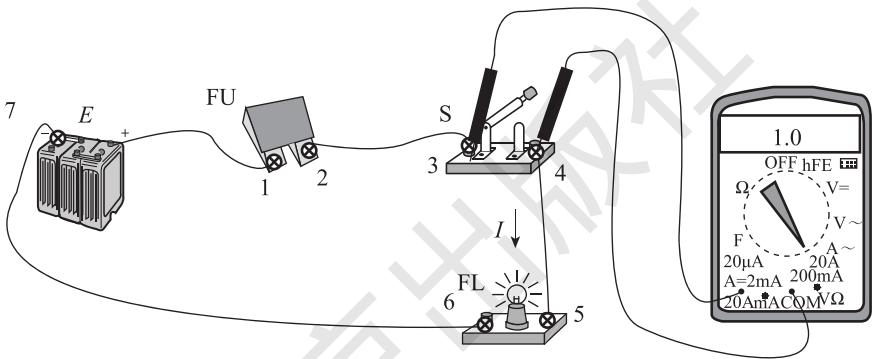


图 1-9 电流 I 的测量实物图

根据表 1-2 提供的数据与状态，分别进行电位、电流测量，并将测量结果填入表中。

表 1-2 测量数据记录表

数据与状态		开关 S 状态		
		断开	闭合	备注
测量点电位/V	3			
	4			
	5			
	6			
流过灯泡电流/A	I			

(4) 通过表 1-2 中的数据，分析电流流动方向，并画出相应的等效电路图。

[评价与反馈]

一、判断题

1. 在同一供电线路中一部分电气设备采取保护接地，另一电气设备采取保护接零的安全措施，就不会有意外间接触电事故发生。()
2. 汽车电路与日常生活电路一样都为双线制。()
3. 只要电路中有电压，电路中就必然有电流。()

二、选择题

1. 在工频交流电中，电压低于_____才能为安全电压。()
A. 220V B. 110V C. 40V
2. 能检测物体是否带电的仪器是()
A. 电能表 B. 电压表 C. 电流表 D. 验电器
3. 一般情况下，下列物体中属于绝缘体的是()
A. 铁丝 B. 橡胶棒 C. 人体 D. 盐水

三、日常表现性评价

1. 工作页填写情况如何?()
A. 填写完整 B. 缺失 20%以下
C. 缺失 20%~40% D. 缺失 40%以上
2. 工作着装是否规范?()
A. 穿校服，戴胸卡 B. 校服或胸卡缺少一项
C. 偶尔会不穿校服也不戴胸卡 D. 始终没有穿校服戴胸卡
3. 实验前有无进行安全检查并警示其他同学?()
A. 有安全检查和警示 B. 有安全检查无警示
C. 无安全检查和警示
4. 是否达到全勤?()
A. 全勤 B. 缺勤 0~20% (有请假)
C. 缺勤 0~20% (旷课) D. 缺勤 20%以上
5. 总体印象评价如何?()
A. 非常优秀 B. 比较优秀 C. 有待改进 D. 急需改进
6. 其他建议: _____

小组长签名:

年 月 日

7. 教师评价：_____

教师签名：_____ 年 月 日

学习任务二 电阻元件与欧姆定律的分析与计算

[任务描述]

一辆奥迪轿车前照灯只有远光灯亮近光灯不亮，经过检查发现近光灯丝完好，来到修理厂维修。请在 15 分钟内完成检修，并说明故障原因。

[学习目标]

- 1. 能准确讲述电阻元件的主要特点。
- 2. 能准确解析电阻元件串联、并联、混联时各电量之间的关系。

[学习准备]

一、知识准备

- 1. 电阻元件及欧姆定律。（查阅学习参考“学习单元一的学习任务二”）
- 2. 电阻的连接。（查阅学习参考“学习单元一的学习任务二”）

通过查阅学习参考和相关维修手册，对应整理出完成该任务所需要的知识点和技能点，填在表 1-3 中。

表 1-3 知识和技能要点表

知识点	1.
	2.
	3.
	4.
	5.
技能点	1.
	2.
	3.
	4.
	5.

二、工作场所

实验室。

三、工作器材

电工电子实验台，定值电阻，滑动变阻器，电流表，电压表，万用表，导线等。

[计划与实施]

1. 你想知道小灯泡的电阻有多大吗？按照以下实验步骤完成如图 1-10 所示的实验。

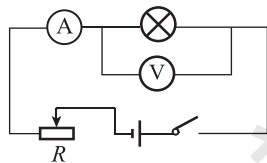


图 1-10 电路图

- (1) 检查各实验仪器。
- (2) 根据电路图连接好实物电路。
- (3) 测量电路基本物理量并记录在表 1-4 中。
- (4) 根据测量数据计算。

表 1-4 测量数据及计算结果

次数	物理量			
	U/V	I/A	$R(\Omega) = U/I$	R 的平均值
1				
2				
3				

(5) 对电路图进行简单分析，结合计算数据思考：能否说小灯泡电阻值 R 与外加电压 U 成正比，与电路中电流 I 成反比？

2. 如图 1-11 所示，已知电源 $U=12V$ ，滑动变阻器 ($R=60\Omega$, $0.8A$) $R_1=10\Omega$, $R_2=20\Omega$ ，完成串联电阻的总电阻与各分电阻之间的关系的实验，按要求回答下列问题。

- (1) 根据图 1-11 的电路图用笔补画出图 1-12 实物图相应部分的导线连接。
- (2) 根据电路图分析，在闭合开关时，滑动变阻器的滑片应滑到_____（A 或 B）端。
- (3) 根据表 1-5 测量数据分析，可以得出的结论是：_____

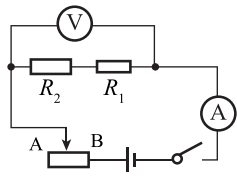


图 1-11 电路图

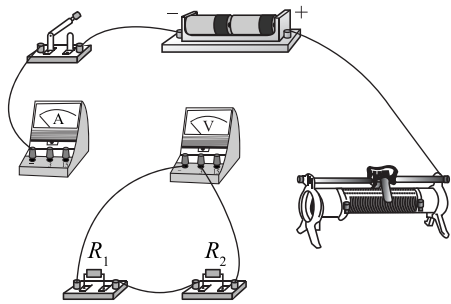


图 1-12 实物图

表 1-5 测量数据

物理量	次数		
	1	2	3
U/V	3	3.6	6
I/A	0.1	0.12	0.2

- (4) 若闭合开关后，电流表有示数，而电压表无示数，则出现的现象可能是 ()
- A. 只有 R_1 被短路 B. 只有 R_2 被短路
- C. 滑动变阻器某处断路 D. 电压表的某一接线柱接触不良

3. 把一个标有 $200\Omega/100W$ 的碳膜接到 $220V$ 的电源上，会有什么后果？

[评价与反馈]

一、判断题

1. 根据欧姆定律可知电阻值与外加电压成正比，与电阻中的电流成反比。 ()
2. 完全相同的 2 个电阻串联的总电阻是并联总电阻的 $1/4$ 。 ()
3. 关于学校的教室电路，每多一个教室开灯，学校的干路总电流会变大。 ()
4. 电阻是耗能元件，所以电阻越大，消耗的电能越多。 ()

二、选择题

1. 有 n 个电阻串联，每个电阻为 R ，则总电阻应为 ()
- A. R B. nR C. R/n
2. 有 n 个电阻并联，每个电阻为 R ，则总电阻应为 ()
- A. R B. nR C. R/n

3. 我们做电学实验时应学会检查和排除电路故障。如图 1-13 所示是研究串联电路电流、电压特点的电路图，当闭合开关时， L_1 亮， L_2 不亮，电流表和电压表均有示数，

故障的原因可能是

()

A. L_1 短路

B. L_2 短路

C. L_1 断路

D. L_2 断路

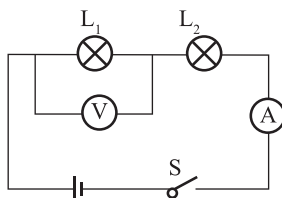


图 1-13 电路图

4. 在 220V 的电源上，并联的灯泡越多，总电阻_____，总电流_____。

()

A. 越大 越小

B. 越小 越大

C. 越大 越大

三、日常表现性评价

1. 工作页填写情况如何？

()

A. 填写完整

B. 缺失 20%以下

C. 缺失 20%~40%

D. 缺失 40%以上

2. 工作着装是否规范？

()

A. 穿校服，戴胸卡

B. 校服或胸卡缺少一项

C. 偶尔会不穿校服也不戴胸卡

D. 始终没有穿校服戴胸卡

3. 实验前有无进行安全检查并警示其他同学？

()

A. 有安全检查和警示

B. 有安全检查无警示

C. 无安全检查和警示

4. 是否达到全勤？

()

A. 全勤

B. 缺勤 0~20%（有请假）

C. 缺勤 0~20%（旷课）

D. 缺勤 20%以上

5. 总体印象评价如何？

()

A. 非常优秀

B. 比较优秀

C. 有待改进

D. 急需改进

6. 其他建议：_____

小组长签名：_____

年 月 日

7. 教师评价：_____

教师签名：_____

年 月 日

学习任务三 基尔霍夫定律的应用

[任务描述]

一辆奥迪轿车控制装置的晶体三极管损坏，需要更换。通过完成该任务，知道晶体三极管三个电极电流的方向及各极电流的关系。

[学习目标]

- 1. 能准确叙述基尔霍夫电流、电压定律的内容。
- 2. 能准确运用基尔霍夫定律对复杂电路进行分析与计算。

[学习准备]

一、知识准备

- 1. 基尔霍夫定律概述。（查阅学习参考“学习单元一的学习任务三”）
- 2. 基尔霍夫定律的电路分析。（查阅学习参考“学习单元一的学习任务三”）

通过查阅学习参考和相关维修手册，对应整理出完成该任务所需要的知识点和技能点，填在表 1-6 中。

表 1-6 知识和技能要点表

知识点	1.
	2.
	3.
	4.
	5.
技能点	1.
	2.
	3.
	4.
	5.

二、工作场所

实验室。

三、工作器材

晶体三极管，万用表，导线等。

[计划与实施]

1. 在教师的引导下通过分组完成任务描述中的工作。以小组为单位学习相关知识，并回答下列问题。

(1) 基尔霍夫电流定律的内容：

(2) 基尔霍夫电压定律的内容：

(3) 写出基尔霍夫定律的解析步骤：

2. 在教师的引导下，以小组为单位学习相关技能来深化认识基尔霍夫定律，回答下列问题。

(1) 图 1-14 为三极管电流流向图，若把晶体三极管看成一个封闭面，则有 $I_E =$ _____。

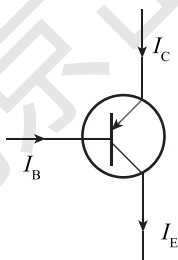


图 1-14 三极管电流流向图

(2) 在图 1-15 电路中，已知 $U_1=10\text{V}$ ， $E_1=4\text{V}$ ， $E_2=2\text{V}$ ， $R_1=4\Omega$ ， $R_2=2\Omega$ ， $R_3=5\Omega$ ，1、2 两点间处于开路状态，试计算开路电压 U_2 。

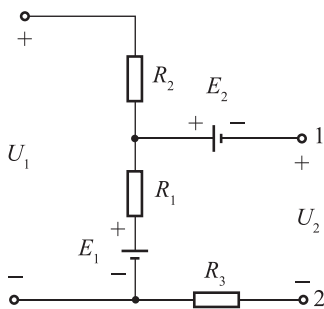


图 1-15 基尔霍夫电压图

解析：先假定该电路的参考方向为左回路 ($U_1 \rightarrow R_2 \rightarrow R_1 \rightarrow E_1 \rightarrow U_1$) 和右回路：

对左回路应用基尔霍夫电压定律有： $E_1 = I(R_1 + R_2) + \underline{\hspace{2cm}}$ ，得 $I = \underline{\hspace{2cm}}$ A。

对右回路应用基尔霍夫电压定律有： $E_1 - E_2 = U_2 + \underline{\hspace{2cm}}$ ，得 $U_2 = \underline{\hspace{2cm}}$ V。

[评价与反馈]

一、判断题

1. 不用参考方向，照样可以分析计算电路中的电压和电流。 ()
2. 当电路结构一定的情况下，电流和电压的实际方向是客观存在的，而它们的参考方向是人为引入的一种分析参考。 ()
3. 基尔霍夫定律既适用于直流电路也适用于交流电路。 ()
4. 网孔一定是回路。 ()
5. 基尔霍夫定律是电路的普遍规律，对任何电路、任何情况都适用。 ()

二、日常表现性评价

1. 工作页填写情况如何？ ()
 - A. 填写完整
 - B. 缺失 20% 以下
 - C. 缺失 20%~40%
 - D. 缺失 40% 以上
2. 工作着装是否规范？ ()
 - A. 穿校服，戴胸卡
 - B. 校服或胸卡缺少一项
 - C. 偶尔会不穿校服也不戴胸卡
 - D. 始终没有穿校服戴胸卡
3. 实验前有无进行安全检查并警示其他同学？ ()
 - A. 有安全检查和警示
 - B. 有安全检查无警示
 - C. 无安全检查和警示
4. 是否达到全勤？ ()
 - A. 全勤
 - B. 缺勤 0~20% (有请假)

C. 缺勤 0~20% (旷课)

D. 缺勤 20%以上

5. 总体印象评价如何? ()

A. 非常优秀

B. 比较优秀

C. 有待改进

D. 急需改进

6. 其他建议: _____

小组长签名: _____ 年 月 日

7. 教师评价: _____

教师签名: _____ 年 月 日

北京出版社

学习参考

北京出版

学习单元一 直流电路的应用

在日常生活和生产实践中，人们广泛地使用各种不同种类的电路。如家庭、教室等使用的照明电路，收音机和电视机中为了将微弱信号进行放大使用的放大电路，汽车照明的直流电路等。

学习任务一 基本电路的应用

一、电路的基本概念

（一）电路的组成

电路就是电流流经的路径，一般由电源、负载（用电器）、导线、控制设备等四部分组成。如图 1-1 所示，为某汽车电路结构图。

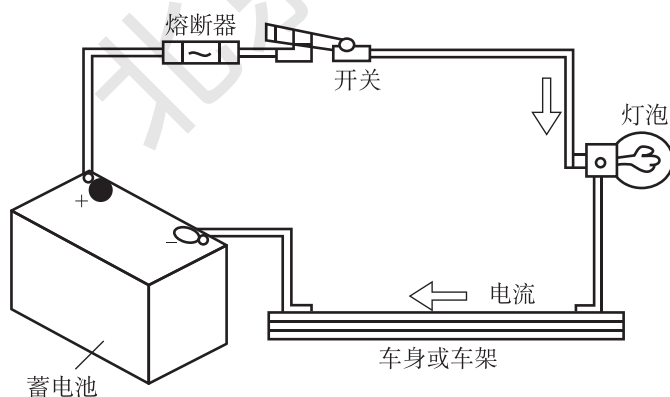


图 1-1 汽车电路结构图

电源是供应电能的装置，它将其其他形式的能量转换为电能。如在汽车电路中的电源是蓄电池和发电机，它们把化学能和机械能转换为电能。

负载是电路中各种用电设备，它们把电能转换为其他形式的能。如电灯将电能转换为光能，汽车起动机将电能转换为机械能带动发动机起动。

导线用于连接电源和负载。在汽车上为了便于安装、连接和保护导线，一般都把多条导线包扎在一起形成导线束。

控制设备用于控制电路中电流的通断。如汽车电路中的各种电器开关、继电器和熔断器。

(二) 电路的工作状态

在用电过程中,根据不同的实际需要,电路有断路(开路)、短路、通路(负载工作)三种状态。

1. 断路(开路)

断路(开路)就是电源与负载没有接通成闭合回路。如图 1-2 所示,电路中开关断开是断路工作状态,由于电路断路,电流为零,电源不输出电能,负载也不消耗电能。即

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

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

$$U_L=0 \quad (1-3)$$

$$P_L=0 \quad (1-4)$$

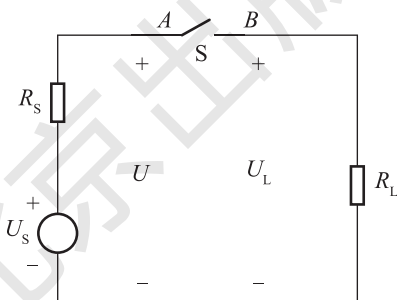


图 1-2 断路(开路)

2. 短路

短路就是电源未经过负载而直接由导线接通成闭合回路。如图 1-3 所示,短路时若忽略导线电阻,回路中只存在内阻,这时的电流称为短路电流,其特征可表示为

$$I=\frac{E}{R_0} \quad (1-5)$$

$$U=0 \quad (1-6)$$

由于内阻 R_0 很小,所以短路电流总是很大,如果不及时切断电路,很大的短路电流将会烧坏电源、导线、开关等装置,甚至会引起火灾,所以电源短路是一种严重的事故,应严加防止。为了避免短路事故造成损失,通常在电路中接入熔断丝(保险丝)FU,以便在短路发生时熔断熔断丝自动切断电源,从而保护电源、导线及电气设备。

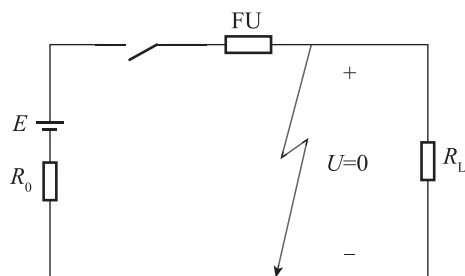


图 1-3 短路

3. 通路（负载工作）

通路（负载工作）就是电源与负载接通成闭合回路。如图 1-4 所示，电路中把开关 S 闭合，电路有电流通过，电源向负载输出功率。其特征可表示为

$$I = \frac{E}{R_0 + R} \quad (1-7)$$

由上式可得

$$E = IR_0 + IR \quad (1-8)$$

电源的总功率等于内阻和负载电阻消耗的电功率之和。即

$$P_{\text{总}} = EI = I^2 R_0 + I^2 R \quad (1-9)$$

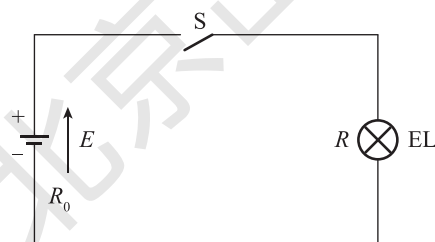


图 1-4 通路

（三）汽车电路的特点

1. 低压直流电源

根据实际应用需要，现代汽车配用电源有 12V、24V、42V 三种低压直流电源。

2. 单线制（负极搭铁）

日常生活电路中，电源和用电设备是两根导线构成的回路，这种连接称为双线制连接。在汽车上，为了便于安装、维修，电源和用电设备通常只用一根导线连接，另一根导线则由车架、发动机等金属体代替而构成回路，这种连接方式称为单线制。如图 1-5 所示，采用单线制时，汽车电源（蓄电池、发电机）的另一端必须可靠地接到车架上，也就是俗称的搭铁。

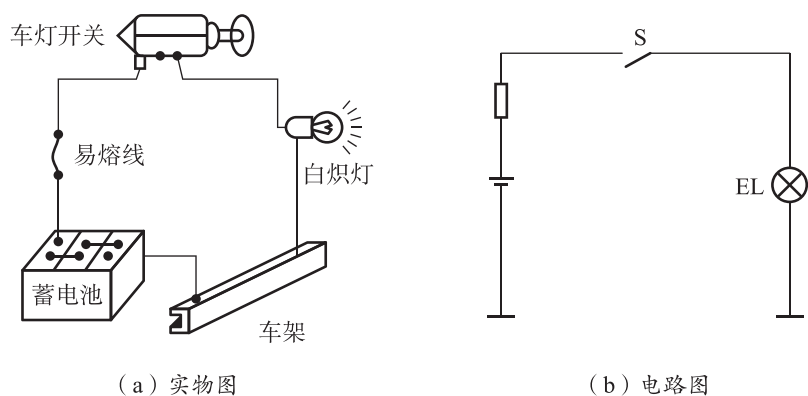


图 1-5 汽车单线制

二、电路的基本物理量

(一) 电流

电路中带电粒子在电源作用下做有规则的定向移动而形成电流。习惯上规定正电荷移动的方向为电流的实际方向，如图 1-6 所示。

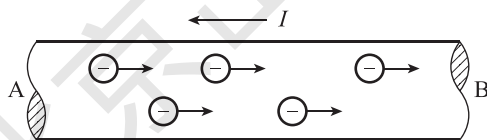


图 1-6 电流方向

电流的大小是单位时间内通过导体横截面的电荷量，用符号 I 表示。如果在 t s 内流经导体横截面的电荷量为 Q ，则电流定义表示为

$$I = \frac{Q}{t} \quad (1-10)$$

式中， I ——电流，A；

Q ——电荷量，C；

t ——时间，s。

电流的国际单位是安培 (A)，还有千安 (kA)、毫安 (mA)、微安 (μA)。它们的换算关系为

$$1\text{kA} = 10^3 \text{ A}$$

$$1\text{A} = 10^3 \text{ mA} = 10^6 \mu\text{A}$$

(二) 电位

众所周知，水管里水流的形成只有水是不行的，还必须水压的作用，同样，导

体里电流的形成只有自由电子是不行的，还必须有电场力的作用。电路中某点的电位，通常选定某一点作为参考点，把正电荷从某点移动到参考点所做的功称为该点的电位，如图 1-7 所示。

$$V_A = \frac{W}{Q} \quad (1-11)$$

式中， V_A ——电位，V；

W ——功，J；

Q ——电荷量，C。

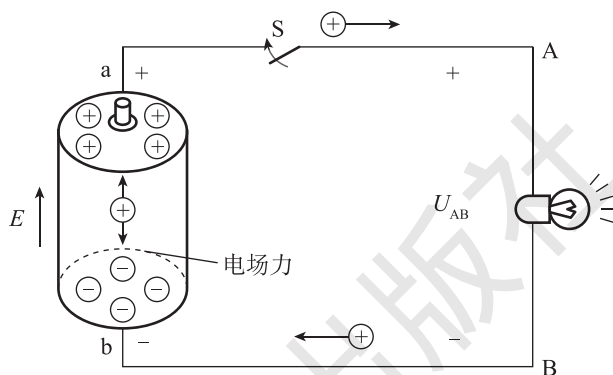


图 1-7 电位与电压

参考点的电位通常规定为零，所以又叫零电位点。零电位点一般选大地为参考点，即视大地的电位为零电位。在电子仪器和设备中又常把金属外壳或电路的公共接点的电位作为零电位。

(三) 电压

电压是衡量电场力做功本领大小的物理量。在电场中若电场力将单位正电荷 Q 从某点移动到另一点所做的功即为某两点间的电压。如图 1-7 所示，电路中任选一点（B 点）为参考点，则某点（A 点）到参考点电压 U_{AB} 为

$$U_{AB} = V_A - V_B \quad (1-12)$$

电压的国际单位是伏特（V），还有千伏（kV）、毫伏（mV）。它们的换算关系为

$$1\text{kV} = 10^3\text{V}$$

$$1\text{V} = 10^3\text{mV}$$

电路中某两点间的电压，就是该两点间的电位差。所以电压又称电位差。显然，电路某两点的电压与参考点无关。

电压的实际方向是由高电位点指向低电位点，即沿着电压的方向电位是逐渐降低的，所以我们也常称电压为电压降。

(四) 电功和电功率

1. 电功

电功是电场力移动电荷所做的功，就是电流在某段闭合回路中做的功。电功用符号 W 表示，单位为焦耳 (J)，其表达式为

$$W=UIt \quad (1-13)$$

由上式可知，电流在某段闭合回路上做的功，等于这段电路两端的电压、电路中通电电流与通电时间的乘积。

电功的单位还有日常实际广泛应用的千瓦时（俗称度）。1 千瓦时（1 度）表示功率为 1 千瓦的用电器连续工作 1 小时所消耗的电能。

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

例题 1-1：某工厂有 60W 的电灯 1200 盏，若每天打开 12 小时，每度电的费用为 0.6 元，那么一个月（30 天）需要多少电费呢？

解：电费 = 电量 × 电费单价

$$= 1200 \times 60 \div 1000 \times 12 \times 30 \times 0.6$$

$$= 25920 \times 0.6$$

$$= 15552 \text{ (元)}$$

2. 电功率

电功率就是电流在单位时间内所做的功，简称功率。电功率用符号 P 表示，单位为瓦特 (W)，其表达式为

$$P = \frac{W}{t} \quad (1-14)$$

因为

$$W = UIt$$

所以

$$P = \frac{W}{t} = UI \quad (1-15)$$

三、安全用电常识

随着电力工业的发展和电子技术的不断应用，电能已经广泛地应用于生产和生活中。电能给我们人类生活带来了巨大的变化与幸福。但如果违反操作规程、不懂安全用电知识，不仅会影响生产、破坏设备和引起火灾，甚至危及生命。因此，掌握安全用电的常识和技能，确保用电安全，避免各种电气事故的发生是非常重要的。

(一) 触电对人体的伤害

触电是指电流通过人体时对人体所造成的伤害。电流对人体的伤害有电伤、电击。

电伤是指电流对人体外部造成的伤害。如电弧烧伤、熔丝熔断飞溅的金属烫伤等。电击是指电流通过人体内部造成人体内部器官的伤害。如呼吸系统、血液循环系统、中枢神经系统、心脏等发生变化,引起机能紊乱,严重时会导致休克乃至死亡。研究和调查结果表明,人体触电的伤害程度与通过人体的电流大小、电压高低、持续时间、电流的频率以及人体的状况等因素有关。即通过人体的电流越大,持续时间越长,致命的危险性就越大。因此,一旦发生触电事故,要尽快使触电者脱离电源。

分析结果表明:50~60Hz的工频交流电流对人体的伤害最严重,40V以上的电压就是危险电压。

(二) 安全用电措施

触电的原因可能是人体直接接触带电体,也可能是绝缘体损坏人体接触带电的金属外壳而造成。为防止发生触电事故,应该做到不接触低压带电体,不靠近高压带电体,这是安全用电的基本原则。除此之外,预防触电事故还应采取以下安全用电措施:

1. 合理选择、正确使用专用电气工具、装置。
2. 定期检查电气设备和线路(绝缘情况)。
3. 正确安装电气设备,合理选用各种漏(触)电保护装置。

如电器中安装漏电保护器;电器都采用保护接地或保护接零等。

保护接地,是将电气设备的金属外壳或构架与大地可靠地连接起来,如图 1-8 所示。

如图 1-9 所示,电动机采用保护接地防漏电的安全作用,一旦电动机绝缘损坏而接触壳时,如果有人接触带电的外壳,由于外壳已接地,接地电阻 R_a (4Ω) 远远小于人体电阻 R_b , 漏电电流主要流向大地,从而通过人体的电流很小,保证了人体的安全。

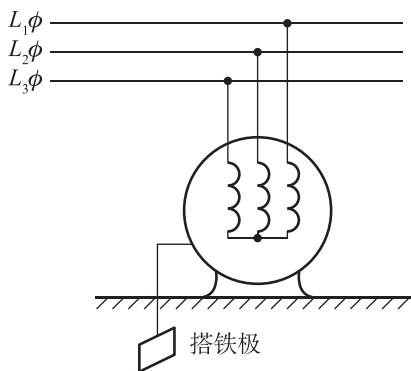


图 1-8 保护搭铁

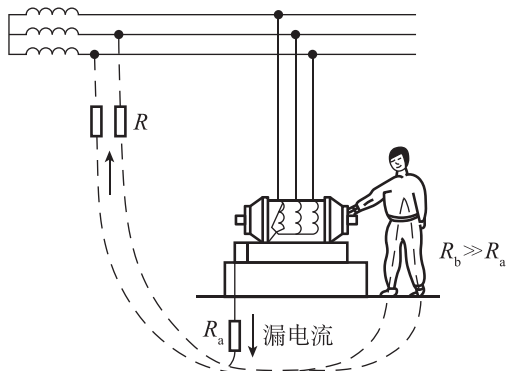


图 1-9 电动机保护接地防漏电

保护接零(中线),是将电气设备的金属外壳或构架与供电系统中的零线(中线)可靠地连接起来,如图 1-10 所示。

采用保护接零后，若电气设备某相绝缘损坏而接触壳时，则该相短路，其短路电流很大，短路电流会立即将熔丝熔断或使其他保护电器动作而切断电源，从而消除了危险，如图 1-11 所示。

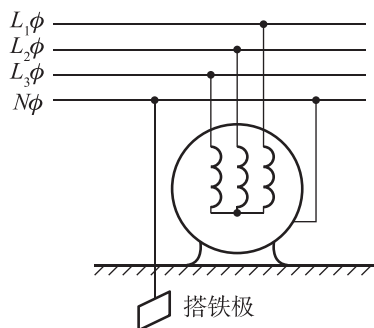


图 1-10 保护接零

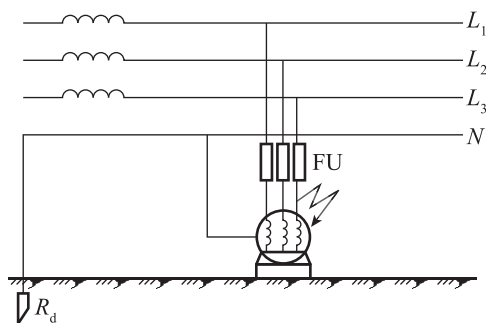


图 1-11 保护接零安全作用

（三）安全用电常识

1. 检修电气设备或更换熔丝时应先切断电源。
2. 任何情况下都不能用手来鉴定导体是否带电。
3. 使用各种电气设备，应该严格遵守安全操作规程，采取相应的安全措施。
4. 防止绝缘体破损或受潮，不得在电线上挂物件。
5. 发生电线、电气火灾时，应迅速切断电源。在带电状态下，不能用水或泡沫灭火器进行灭火，可以使用沙子或二氧化碳灭火器来灭火。
6. 若有人触电时，要立即切断电源，或者使用干燥的绝缘棒使触电者脱离电源，然后进行人工呼吸，不能打强心针。

学习任务二 电阻元件与欧姆定律的分析与计算

一、电阻元件

（一）导体电阻

导体能够通电，但同时也对电流具有阻碍作用，这种对电流的阻碍作用称为电阻。电阻是导体本身客观存在的基本特性。实验表明，当温度一定时，导体的电阻与它的长度、截面积和导体的材料有关。其表达式为

$$R = \rho \frac{L}{S} \quad (1-16)$$

式中, R ——电阻, Ω ;

L ——导体的长度, m ;

S ——导体截面积, mm^2 ;

ρ ——电阻率, $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ 。

提示: 电阻的倒数称为电导, 电导的大小反映电阻元件的导电能力, 用符号 G 表示, 国际单位为西门子 (S)。其表达式为

$$G = \frac{1}{R} \quad (1-17)$$

(二) 电阻元件

用来限制或调节电路电流的元件称为电阻元件。电阻元件是一种耗能元件 (如汽车起动机通电后将电能转换为机械能), 在电路中代表了用电设备的耗能特性。

电阻元件分为线性电阻和非线性电阻两种。

实际应用中大多数电阻元件的阻值基本都是恒定的, 这样的电阻称为线性电阻。当通过不同的电流与电压, 其电阻为不同的阻值, 这样的电阻称为非线性电阻。它们的不同主要是通过加在电阻元件两端的电压与电流的关系曲线来区别, 这种关系曲线称为伏安曲线图, 如图 1-12 所示。

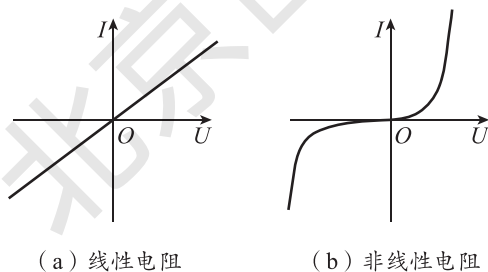


图 1-12 电阻元件伏安曲线图

二、欧姆定律

(一) 部分电路欧姆定律

德国科学家欧姆通过科学实验得出结论: 在不包含电源的电路中, 通过电阻的电流与电阻两端的电压成正比, 这个结论称为部分电路欧姆定律, 如图 1-13 所示, 其表达式为

$$I = \frac{U}{R} \text{ 或 } U = IR \quad (1-18)$$

式中, U ——电阻两端的电压, V ;

I ——电阻中的电流, A;

R ——电阻, Ω 。

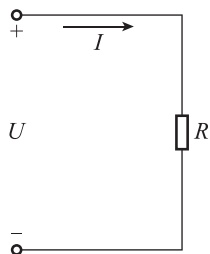


图 1-13 部分电路

例题 1-2: 一个标有 220V/60W 的电灯泡, 接在 110V 的电源上, 其消耗的功率为多少? 会产生怎样的结果?

解: 由电功率公式可得

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

$$I = \frac{60}{220} \approx 0.27 \text{ (A)}$$

根据欧姆定律可得

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

$$R = \frac{220}{0.27} \approx 815 \text{ } (\Omega)$$

接在 110V 的电源上, 由电功率公式可得

$$P = IU = I^2 R = \frac{U^2}{R}$$

$$P = \frac{110 \times 110}{815} \approx 15 \text{ (W)}$$

答: 接在 110V 的电源上, 消耗的功率约为 15W。

因为 $15\text{W} < 60\text{W}$, 即实际消耗功率小于额定功率, 所以灯泡亮度会变暗。

想一想: 将部分电路欧姆定律公式变形可得 $R = \frac{U}{I}$, 代入数据求解, 能否说, 电阻 R 与外加电压 U 成正比, 与电阻中的电流 I 成反比?

不能说电阻 R 与外加电压 U 成正比, 与电阻中的电流 I 成反比, 因为 R 是客观存在的, R 只取决于温度、材料、长度、截面尺寸, 与外加电压和电阻中的电流无关, 公式 $R = \frac{U}{I}$ 只能说明, 对于同一电阻, 当电阻两端的电压升高 (降低) 时, 流过电阻的电流将相应增加 (减小)。

(二) 全电路欧姆定律

由内电路和外电路组成的闭合电路称为全电路。如图 1-14 所示，它包括内电路（电源内部的电路， R_0 为电源内阻）和外电路（电源外部的电路， R 为外部电阻）两部分。

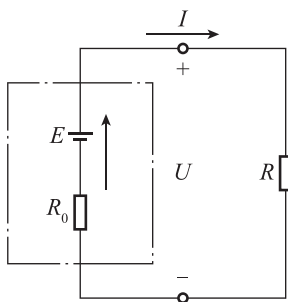


图 1-14 简单全电路

全电路中电流强度与电源的电动势成正比，与整个电路的内、外电阻之和成反比，称为全电路欧姆定律。其表达式为

$$I = \frac{E}{R + R_0} \quad (1-19)$$

整理可得

$$E = IR + IR_0 = U_{\text{外}} + U_{\text{内}} \quad (1-20)$$

上式中， $U_{\text{内}}$ 是电源内阻的电压降， $U_{\text{外}}$ 是电源向外电路输出的电压（也称端电压）。

欧姆定律是分析与计算电路的基本定律之一，适用于直流电路和交流电路。

三、电阻的连接

(一) 电阻的串联

若干个电阻依次首尾相连，并且在这些电阻中通过同一电流（两个及以上电阻依次首尾相连成无分支的唯一一条电流路径），则这样连接方式的电路称为电阻的串联电路。如图 1-15 (a) 所示为三个电阻的串联电路，图 1-15 (b) 为图 1-15 (a) 的等效电路。

1. 串联电路的特点

(1) 电流处处相等。如图 1-15 (a) 所示电路，有

$$I = I_1 = I_2 = I_3 \quad (1-21)$$

(2) 总电压等于各段分电压之和。串联电路具有分压作用。如图 1-15 (a) 所示电路，有

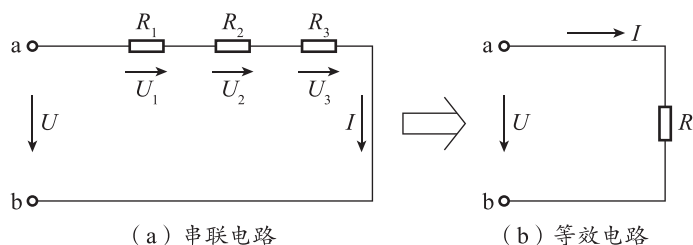


图 1-15 电阻串联

$$U = U_1 + U_2 + U_3 \quad (1-22)$$

(3) 总电阻等于串联电路中各个电阻之和。如图 1-15 (a) 所示电路, 有

$$R = R_1 + R_2 + R_3 \quad (1-23)$$

(4) 串联电路中各个电阻两端的电压与该阻值成正比。串联电阻具有分压作用, 如图 1-15 (a) 所示电路, 有

$$U_1 = IR_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2 + R_3} U \quad (1-24)$$

$$U_2 = IR_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2 + R_3} U \quad (1-25)$$

$$U_3 = IR_3 = \frac{R_3}{R_1 + R_2 + R_3} U \quad (1-26)$$

对于两个电阻的串联也可表示为

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2} \quad (1-27)$$

(5) 串联电路的总功率等于各电阻消耗的功率之和, 且各电阻消耗的功率与该阻值成正比。即

$$P = I^2 R_1 + I^2 R_2 + I^2 R_3 \quad (1-28)$$

$$P = P_1 + P_2 + P_3 \quad (1-29)$$

且

$$P_1 : P_2 : P_3 = R_1 : R_2 : R_3 \quad (1-30)$$

2. 串联电路的应用

串联电路在我们实际生产和生活中广泛被应用, 如人们常见的节日彩灯等。

(1) 电阻串联可获得较大的电阻。

(2) 电阻串联可用来限制、调节电路中的电流大小。如为了控制电动机起动或制动时电流过大, 可在电动机与电源间串联适当的电阻。

(3) 用于降压。当负载电压低于电源额定电压时, 可用负载串联来满足负载接入电源的电压需要。如可将两个相同的 12V 信号灯串联后接到 24V 电源上使用。

(4) 用电阻调压器来改变输出电压。现代汽车电控系统的很多传感器就是应用电位器的分压原理进行工作的, 如图 1-16 所示, 滑动触点就把电阻分成两部分, 当触点

a 移动到不同位置时, 输出电压 U_2 可得到不同的值。

例题 1-3: 某一串联电路如图 1-17 所示, 已知 $R_1=1\text{k}\Omega$, $R_2=2\text{k}\Omega$, 外加电压 $U=3\text{V}$, 求流过 R_1 、 R_2 的电流 I_1 、 I_2 及电压 U_1 、 U_2 。

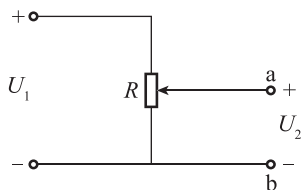


图 1-16 电阻调压器

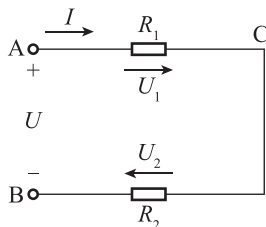


图 1-17 串联电路

解：

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

$$I = \frac{U}{R_1 + R_2} = \frac{3}{1000 + 2000} = 0.001 \text{ (A)}$$

串联电路有 $I = I_1 = I_2$

所以

$$U_1 = IR_1 = 0.001 \times 1000 = 1 \text{ (V)}$$

$$U_2 = IR_2 = 0.001 \times 2000 = 2 \text{ (V)}$$

答：流过 R_1 、 R_2 的电流 $I_1 = I_2 = I = 0.001\text{A}$, 电压 U_1 为 1V , U_2 为 2V 。

(二) 电阻的并联

电路中有两条或两条以上的电流分支路径, 即电流在某处分支, 又在另一处汇合, 这种方式称为并联。如图 1-18 所示。

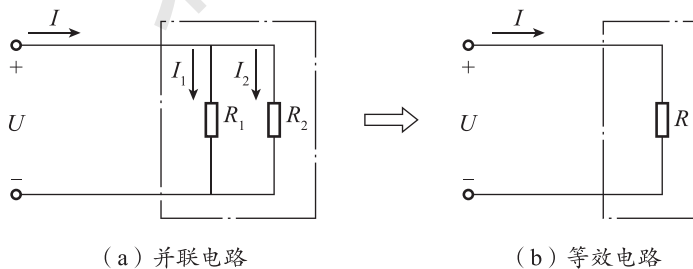


图 1-18 电阻并联

1. 并联电路的特点

(1) 并联各电阻两端的电压均相等。

(2) 总电流等于流经各电阻电流之和。如图 1-18 (a) 所示电路, 有

$$I = I_1 + I_2 \quad (1-31)$$

(3) 总电阻的倒数等于并联电路中各个电阻倒数的和。如图 1-18 (a) 所示电

路，有

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \quad (1-32)$$

可得

$$R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \quad (1-33)$$

由上式可知：并联电路中的总电阻一定比任何一个并联电阻的阻值都小，且并联的电阻越多总电阻的阻值就越小。

(4) 并联电路中任一电阻中的电流与该阻值成反比。如图 1-18 (a) 所示电路，有

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1} \quad (1-34)$$

(5) 并联电路中总功率等于各电阻消耗的功率之和，但各个电阻吸收的功率与该阻值成反比。如图 1-18 (a) 所示电路，有

$$P = \frac{U^2}{R_1} + \frac{U^2}{R_2} = P_1 + P_2 \quad (1-35)$$

得

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{R_2}{R_1} \quad (1-36)$$

2. 并联电路的应用

并联电路在实际生产和生活中应用广泛，如日常生活中的照明灯、各种家用电器都并联连接在 220V 的交流电源上，又如汽车上的照明灯、喇叭，蓄电池与发电机等都是采用并联的连接方式。

(1) 额定工作电压相同的负载接在同一电源上工作时几乎都是并联。并联电路中的各用电器能够单独控制，独立工作，互不影响。

(2) 并联电路可以获得某一较小的电阻。如两个 200Ω 的电阻并联，即可得到一个 100Ω 的电阻。

(三) 电阻的混联

在电阻电路中，既有串联连接方式又有并联连接方式的多种连接方式的综合电路称为电阻的混联。电阻混联在实际使用的电路中是十分复杂的，所以，只要能准确判断出电路中各用电器（电阻）的串联、并联的关系，根据电阻串联、并联的特点，采用逐级简化和等效的原则即可解决电路中的电路混联问题。下面将介绍混联电路的常用分析方法。

1. 节点电流法

在分析混联电路的过程中，不论导线有多长，用电器连接如何复杂，可通过节点电流法对原电路进行简化、整理，画出较为明显的能判断串联、并联关系的电路图，然后进行计算。下面通过例题说明节点电流法。

例题 1-4：画出图 1-19 (a) 所示的等效电路图。

解：

(1) 标节点。如图 1-19 (a) 所示，在图中各节点处分别用字母 a、b、c、d 表示出来。

(2) 标出电路中电流路径。从电源的正极出发的电流路径有 a、b、c 三条，即

① $a \rightarrow L_1 \rightarrow b \rightarrow d \rightarrow \text{负极}$ ；② $a \rightarrow c \rightarrow L_2 \rightarrow b \rightarrow d \rightarrow \text{负极}$ ；③ $a \rightarrow c \rightarrow L_3 \rightarrow d \rightarrow \text{负极}$ 。

(3) 按照电流路径画出等效电路图。由“节点法”可知，导线的 a 端和 c 端看成一个点，导线的 b 端和 d 端看成一个点，这样 L_1 、 L_2 和 L_3 的一端重合为一个点，另一端重合为另一个点，由此可知，该电路有三条支路，并由“电流流向法”可知，电流分三条叉，因此这个电路是三盏电灯的并联，等效电路如图 1-19 (b) 所示。

(4) 根据各连接方式（串联、并联）的特点列出所需计算的方程关系等式。

(5) 计算出结果。

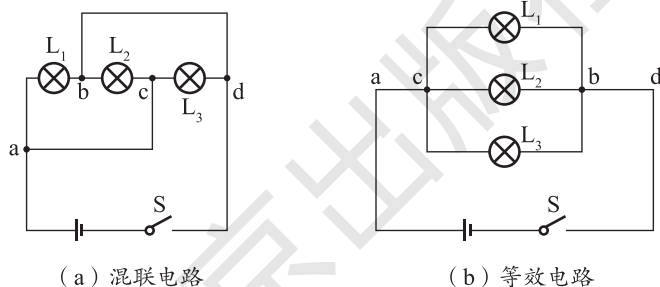


图 1-19 电阻混联

2. 简化和分析电路

通过对电路的分析，清楚电路中各电阻的连接关系后，逐级简化等效，就可用串联、并联电路的特点关系式逐步计算出电路的待求量。

例题 1-5：如图 1-20 所示电路，已知 $R_1 = R_2 = 4\Omega$ ， $R_3 = 6\Omega$ ， $R_4 = 8\Omega$ ，求 A、B 之间的等效电阻 R_{AB} 。

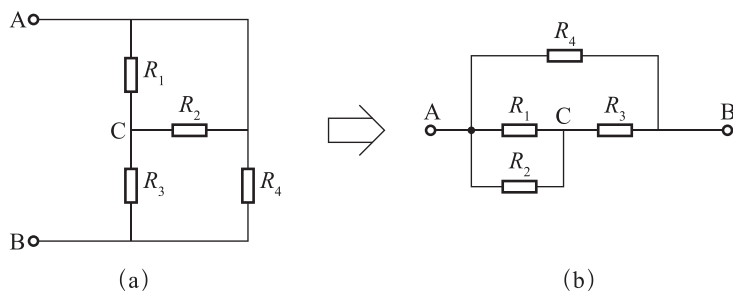


图 1-20 混联电路的整理

解：经整理逐级简化后的等效电路，其过程如图 1-21 所示。

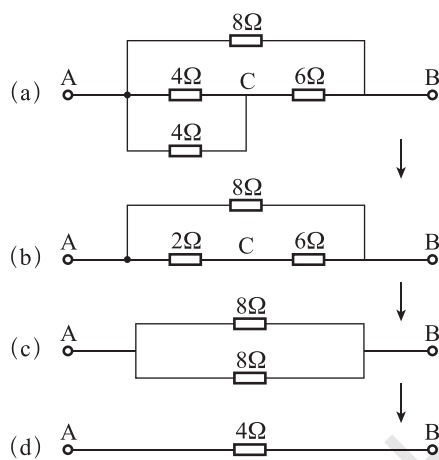


图 1-21 电路简化过程

R_1 和 R_2 并联，其等效电阻为

$$R_{AC} = \frac{4 \times 4}{4 + 4} = 2 \text{ (}\Omega\text{)}$$

R_{AC} 和 R_3 串联，其等效电阻为

$$R_{ACB} = 2 + 6 = 8 \text{ (}\Omega\text{)}$$

R_{ACB} 和 R_4 并联，其等效电阻为

$$R_{AB} = \frac{8 \times 8}{8 + 8} = 4 \text{ (}\Omega\text{)}$$

学习任务三 基尔霍夫定律的应用

一、基尔霍夫定律的概述

如果一个电路不能用电阻的串、并联方法简化成为单回路电路，这个电路就叫作复杂电路。分析复杂直流电路主要依据电路的两条基本定律——欧姆定律和基尔霍夫定律。基尔霍夫定律包括电流定律和电压定律。基尔霍夫定律既适用于直流电路，也适用于交流电路。

首先介绍几个电路结构方面的术语。

支路：电路中的每一个分支就是一条支路。图 1-22 中 abc, ab, adb 都是支路。

节点：三条或三条以上支路所汇成的交点叫节点。图 1-22 中 a 点和 b 点都是节点。

回路：电路中任一闭合路径都叫回路。图 1-22 中 abca, adba, adbca 都是回路。

网孔：电路中的回路内部不含有支路的回路叫作网孔。图 1-22 中 abca, adba 是网孔。

(一) 基尔霍夫电流定律

基尔霍夫电流定律简称 KCL，又称基尔霍夫第一定律或节点电流定律：在任一瞬间，流进某节点的电流之和恒等于流出该节点的电流之和。即

$$\sum I_i = \sum I_o \quad (1-37)$$

电流的流入、流出指参考方向是指向还是背向节点，指向为流入，背向为流出。

应用 KCL 列方程式的步骤：

1. 选定节点。
2. 标出各支路电流参考方向。
3. 针对节点应用 KCL 定律列方程。

例题 1-6：如图 1-22 所示电路中，列出节点的电流方程。

解：选定节点 a。

选定各支路的参考方向如图 1-22 所示。

根据 KCL $\sum I_i = \sum I_o$ 列出方程：

$$I_1 + I_2 = I_3$$

得

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

小提示：公式中的正负号与参考方向有关，若取流入节点的电流为“+”，则流出节点的电流就为“-”，反之这个关系仍成立。

(二) 基尔霍夫电压定律

基尔霍夫电压定律简称 KVL，又称基尔霍夫第二定律或回路电压定律：对于电路中任一闭合回路，沿着任一指定方向（顺时针或逆时针）绕行一周，回路内电压源电压（电位升）的代数和等于各电压降的代数和。

$$\sum U_s = \sum U \quad (1-38)$$

如果电路中的电压降都是电阻电压降，则上式也可写成

$$\sum U_s = \sum IR \quad (1-39)$$

小提示：当应用 KVL $\sum U_s = \sum IR$ 列方程时，式中各项符号的正负，应按照下列规则来确定：

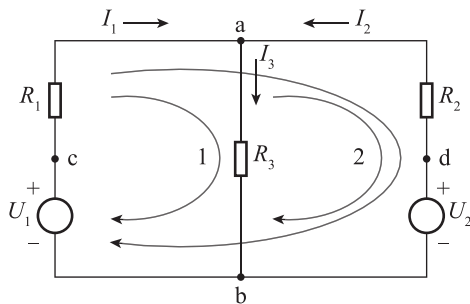


图 1-22 复杂电路

1. 先选定回路上一绕行的方向作为该电路参考方向。
2. 方程左边电压源电压，若其参考方向与绕行方向一致时，则该电压源电压取负号，反之则取正号。
3. 方程右边电阻的电压，若电流参考方向与绕行方向一致时，则电压降取正号，反之则取负号。

例题 1-7：如图 1-23 所示电路，列出回路的电压方程。

解：选定如图 1-23 所示 abdca 为绕行方向。

方程左边电压源电压有 E_1 、 E_3 ，其中 E_1 与 abdca 绕行方向不一致则取正， E_3 与 abdca 绕行方向一致则取负。

方程右边电阻的电压： I_1R_1 、 I_2R_2 、 I_3R_3 、 I_4R_4 ，其中 I_1R_1 、 I_2R_2 、 I_4R_4 取正， I_3R_3 取负。

根据 KVL $\sum U_s = \sum IR$ 列出方程：

$$E_1 - E_3 = I_1R_1 + I_2R_2 - I_3R_3 + I_4R_4$$

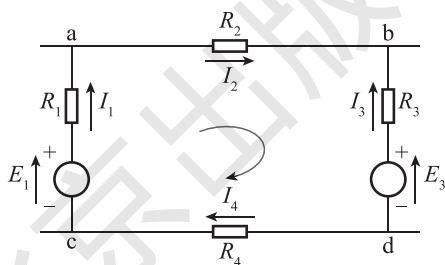


图 1-23 任一闭合回路

二、支路电流法

直接应用 KCL 和 KVL，分别对复杂电路中相应的节点和回路列出所需要的方程组，而后解出各未知的支路电流，称为支路电流法。其方法和步骤通过下面的例题来进行说明。

例题 1-8：如图 1-22 所示电路中，已知 $R_1 = 10\Omega$ ， $R_2 = R_3 = 5\Omega$ ， $U_1 = 13V$ ， $U_2 = 6V$ ，求各支路电流 I_1 、 I_2 、 I_3 。

解：

(1) 先假定各支路电流参考方向，如图 1-22 所示。

(2) 根据 KCL 列出节点电流方程，节点 a 有

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0 \quad (1-40)$$

(3) 选定回路的绕行方向，如图 1-22 所示。

(4) 根据 KVL 列出两个网孔的电压方程:

$$\text{网孔 adba} \quad -U_2 = -I_2 R_2 - I_3 R_3 \quad (1-41)$$

$$\text{网孔 abca} \quad U_1 = I_1 R_1 + I_3 R_3 \quad (1-42)$$

把已知参数代入方程 (1-41) (1-42) 得

$$-5I_2 - 5I_3 = -6 \quad (1-43)$$

$$10I_1 + 5I_3 = 13 \quad (1-44)$$

解方程组 (1-40) (1-43) (1-44) 得: $I_1 = 0.8\text{A}$; $I_2 = 0.2\text{A}$; $I_3 = 1\text{A}$

北京出版社