



“十四五”职业教育国家规划教材

高等职业教育任务工单式课证融通系列教材

QICHE

汽车电工 电子技术

(第三版)

王爱国 主 编

DIANGONG

DIANZI JISHU

🌐 资源丰富，形式多样，创新互联网教学模式

📁 任务驱动，体例科学，打通专业学习新理念

📺 AR技术，动画演示，打造360度旋转课堂

📺 教学微课，知识讲解，随时随地自主学习



中国财经出版传媒集团
中国财政经济出版社

图书在版编目(CIP)数据

汽车电工电子技术 / 王爱国主编. --北京:中国
财政经济出版社,2021.11(2024.8重印)
ISBN 978-7-5095-5335-0

I. ①汽… II. ①王… 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(2021)第255676号

策划编辑:李昊民
责任编辑:张怡然

责任印制:张健

汽车电工电子技术
QICHE DIANGONG DIANZI JISHU
中国财政经济出版社 出版
URL:<http://www.cfeph.cn>
E-mail:cfeph@cfemg.cn
(版权所有 翻印必究)
社址:北京市海淀区阜成路甲28号 邮政编码:100142
营销中心电话:010-88191522
天猫网店:中国财政经济出版社旗舰店
网址:<https://zgczjjcbs.tmall.com>
廊坊市佳艺印务有限公司印刷 各地新华书店经销
成品尺寸:203mm×260mm 16开 17.5印张 320 000字
2021年11月第1版 2024年8月河北第8次印刷
定价:49.00元
ISBN 978-7-5095-5335-0
(图书出现印装问题,本社负责调换,电话:010-88190548)
本社质量投诉电话:010-88190744
打击盗版举报热线:010-88191661 QQ:2242791300

前言

《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要》提出，深入实施制造强国战略。为助力汽车产业推进落实“中国制造 2025”，不断完善技术标准体系，促使当今的汽车技术性能朝着更加安全、环保和节能的方向发展，电工电子技术在汽车上的应用越来越广泛和重要，这就要求现代汽车的使用、维护与检测人员应当向着机电复合型人才的方向发展。因此，汽车电工电子技术日渐成为高职高专院校汽车类专业一门特别重要的必修技术基础课程。

本教材严格贯彻落实教育教改精神，并将党的二十大有关职业教育的精神融入教材中，以就业为导向，以能力为本位，以岗位需要和职业标准为依据，以讲清电工电子基本概念、工作原理及分析方法在汽车电路中的实际应用为目的，并且吸收了广大读者的意见，将电工电子技术与汽车电路更紧密地结合起来，更好地服务后续专业核心课程教学，为社会培养汽车电控技术人才。

本教材第一版于 2014 年 7 月出版，经全国职业教育教材审定委员会审定，被评为“十二五”职业教育国家规划教材。第二版于 2017 年 7 月出版，因版式新颖、内容实用、图文并茂、资源配备齐整，得到了高职院校汽车专业师生的普遍好评。

本教材在第二版的基础上做了系统修订，按照教育部高职示范建设院校汽车专业规划教材确定的编写原则，结合我国高等职业教育的现状和发展趋势，着眼于职业岗位要求，以职业能力培养为核心，具有以下特点：



一、以岗位为导向，践行“岗课赛证”内容

根据党的二十大提出的进一步推进产教融合等要求，本次编写与奇瑞汽车股份有限公司等企业深度合作。教材内容继续深化与企业岗位需求相结合，将汽车电路新知识等融入具体任务中，分析汽车电器设备的电路原理，并进行电路故障诊断分析。故障分析融入了全国职业院校技能大赛汽车赛项的故障诊断思路，注重培养学生的电路分析能力，使其形成良好的学习能力。在分析电路的过程中，将汽车“1+X”职业技能等级考核点中的电路分析部分融入教学中，真正做到结合专业对应岗位设置课程，衔接职业资格证书考试课程与专业课程教学，将课程与岗位需求、技能大赛、考证相结合，实现岗课赛证相融合。

二、以任务为驱动，理论与实践相融合

教材中的每个项目分别设置了任务目标和知识结构导图，帮助学生明确本项目主要学习内容和方法，协助老师制定好教学目标。项目下设多个任务清单，每个任务按照“任务导入→理论分析→任务实施”的流程来组织教学内容。所有任务完成后，围绕项目的知识点设置“巩固实训”和“巩固训练”，巩固实训把理论分析和实操融合起来，巩固训练加强对知识点的理解，进一步夯实教学效果。每个任务中都有微课和视频资料二维码，便于学生课前预习、课中学习、课后强化。

三、用技术整合资源，以思政升华课程

根据党的二十大报告提出的推进教育数字化等的要求，为支持“立体化”教学，本教材是国家教学资源库子项目和安徽省大规模在线开放课程“汽车电工电子技术”的配套教材，配备了电子教案、课件、AR、微课、习题答案、拓展资料、微课等丰富的电子资源，并响应“课程思政”的政策号召，融入优秀毕业生的成长经历、大国工匠的感人故事等典型事迹，培养学生的爱国情怀和立足生产一线的良好品质。

四、教材内容来源多样化，产教融合

本教材的编者均来自高职院校一线，他们深刻理解和熟悉汽车专业的课程体系及教学内容，有丰富的教材编写经验和较强的教学研究能力。在编写过程中，编者多次邀请本科院校汽车专业、教学委员会、汽车行业协会、一线汽车维修企业的相关专家参与本教材体例、内容的讨论，各位专家为教材内容实现产教融合给出了指导性意见，并提供了大量案例供编者参考。

本教材由芜湖职业技术学院安宗权教授担任主审，由安徽机电职业技术学院王爱国教授担任主编，安徽机电职业技术学院李琤、姜能惠、田苗法，广东农工商职业学院廖中文，咸宁职业技术学院胡望波担任副主编。具体分工为：河北机电职业技术学院武波涛编写项目1和项目2，田苗法编写项目3，昆明冶金高等专科学校李源编写项目4，姜能惠编写项目5和项目6，李琤编写项目7和项目8，王爱国编写项目9，廖中文、胡望波参与资源建设，并聘请奇瑞汽车股份有限公司王建国（全国技术能手）担任技术指导，将新技术、新工艺融入教学和教材建设中，并将党的二十大提出的创新理念融入教材编写中。

本教材在编写过程中参考了汽车电工电子技术方面的大量资料与文献，在此谨向相关作者表示衷心的感谢。由于时间仓促，加之水平有限，书中难免有不妥之处，敬请广大读者批评指正。

编 者
2021 年 11 月

目 录

001

项目 1 基本电路

任务 1.1 电路的基本概念 / 2

- 1.1.1 电 路 / 2
- 1.1.2 电路的基本物理量 / 3
- 1.1.3 汽车电路概述 / 6

任务 1.2 电 阻 / 8

- 1.2.1 电阻元件 / 8
- 1.2.2 欧姆定律 / 10
- 1.2.3 电阻的串并联 / 11
- 1.2.4 特殊电阻在汽车上的应用 / 13

任务 1.3 电源模型及其等效变换 / 14

- 1.3.1 电压源模型 / 15
- 1.3.2 电流源模型 / 15
- 1.3.3 两种电源模型的等效变换 / 16
- 1.3.4 汽车上的电源 / 17

任务 1.4 电路分析基本定律 / 19

- 1.4.1 基尔霍夫电流定律 / 19
- 1.4.2 基尔霍夫电压定律 / 20
- 1.4.3 叠加定理 / 21

025

项目 2 正弦交流电路

任务 2.1 电 容 / 26

- 2.1.1 电容元件 / 26
- 2.1.2 电容在汽车上的应用 / 30

任务 2.2 电感器 / 31

- 2.2.1 电感元件 / 31
- 2.2.2 电感器在汽车上的应用 / 33

任务 2.3 正弦交流电及其相量表示 / 35

- 2.3.1 正弦交流电的三要素 / 35
- 2.3.2 正弦量的相量表示法 / 37

任务 2.4 单一参数的正弦交流电路 / 40

- 2.4.1 纯电阻正弦交流电路 / 40
- 2.4.2 纯电容正弦交流电路 / 42
- 2.4.3 纯电感正弦交流电路 / 44

任务 2.5 RLC 串联的正弦交流电路 / 46

- 2.5.1 RLC 串联电路电压与电流关系 / 46
- 2.5.2 RLC 串联电路的功率 / 47

任务 2.6 三相交流电路 / 49

- 2.6.1 三相交流发电机的基本原理 / 49
- 2.6.2 三相交流电源电路 / 51
- 2.6.3 三相负载电路 / 53

任务 2.7 安全用电常识 / 56

- 2.7.1 触电危害 / 56
- 2.7.2 触电形式 / 57
- 2.7.3 接零与接地保护 / 58

062

项目 3 二极管、三极管、晶闸管及其应用

任务 3.1 半导体基础知识 / 63

- 3.1.1 半导体导电原理 / 63
- 3.1.2 P 型半导体与 N 型半导体 / 65
- 3.1.3 PN 结及其单向导电性 / 66

任务 3.2 二极管 / 68

- 3.2.1 二极管基础知识 / 68
- 3.2.2 二极管整流电路 / 72
- 3.2.3 二极管在汽车上的应用 / 76



任务 3.3 三极管 / 79

- 3.3.1 三极管基础知识 / 79
- 3.3.2 三极管基本放大电路 / 84
- 3.3.3 三极管在汽车电路上的应用 / 92

任务 3.4 晶闸管 / 94

- 3.4.1 晶闸管基础知识 / 94
- 3.4.2 晶闸管在汽车电路上的应用 / 97

104

项目 4

集成运算放大器及其应用

任务 4.1 集成运算放大器 / 105

- 4.1.1 集成运算放大器基础知识 / 105
- 4.1.2 集成运算放大电路分析依据 / 108

任务 4.2 集成运算放大器运算电路 / 110

- 4.2.1 反相比例运算放大电路 / 111
- 4.2.2 同相比例运算放大电路 / 111
- 4.2.3 电压跟随器及比较器 / 112
- 4.2.4 加法运算放大电路 / 114
- 4.2.5 减法运算放大电路 / 114

任务 4.3 集成运算放大器在汽车上的应用 / 116

- 4.3.1 进气压力传感器电路 / 116
- 4.3.2 氧传感器电路 / 116
- 4.3.3 爆燃传感器电路 / 117

122

项目 5

数字电子技术及其应用

任务 5.1 数字电路基础知识 / 123

- 5.1.1 数字信号与模拟信号 / 123
- 5.1.2 二进制 / 124

任务 5.2 逻辑门电路 / 129

5.2.1 基本逻辑门电路 / 129

5.2.2 组合逻辑门电路 / 131

任务 5.3 触发器 / 136

- 5.3.1 时序逻辑门电路 / 136
- 5.3.2 基本 RS 触发器 / 138
- 5.3.3 可控 RS 触发器 / 138
- 5.3.4 JK 触发器 / 139
- 5.3.5 D 触发器 / 140

任务 5.4 基本数字元件 / 142

- 5.4.1 数码管 / 142
- 5.4.2 3 线—8 线译码器 / 146
- 5.4.3 555 定时器 / 147

任务 5.5 车用数字式传感器电路 / 149

- 5.5.1 卡门涡旋式空气流量传感器 / 150
- 5.5.2 光电式曲轴位置传感器 / 152

159

项目 6

磁 路

任务 6.1 磁 路 / 160

- 6.1.1 磁场的基本物理量 / 160
- 6.1.2 铁磁性材料 / 161
- 6.1.3 磁路欧姆定律 / 163

任务 6.2 继电器 / 165

- 6.2.1 继电器结构及原理 / 165
- 6.2.2 喇叭继电器电路 / 166
- 6.2.3 电容式门锁控制电路 / 167
- 6.2.4 继电器控制的燃油泵控制电路 / 168

任务 6.3 变压器 / 169

- 6.3.1 变压器的结构原理与功能 / 169
- 6.3.2 变压器的功能 / 171
- 6.3.3 变压器的外特性与效率 / 174



178

项目 7 电动机

任务 7.1 三相异步交流电动机 / 179

- 7.1.1 电动机概述 / 179
- 7.1.2 三相异步交流电动机的结构 / 179
- 7.1.3 三相异步交流电动机工作原理 / 182
- 7.1.4 三相异步交流电动机的机械特性 / 185
- 7.1.5 三相异步交流电动机的控制 / 188

任务 7.2 直流电动机 / 195

- 7.2.1 直流电动机的结构与工作原理 / 196
- 7.2.2 直流电动机的励磁方式 / 202
- 7.2.3 无刷直流电动机 / 205

任务 7.3 汽车典型的直流电动机 / 209

- 7.3.1 汽车启动机 / 209
- 7.3.2 汽车雨刮电动机 / 211
- 7.3.3 汽车电动车窗 / 213
- 7.3.4 汽车电动座椅 / 215

225

项目 8 汽车常用仪器仪表的使用

任务 8.1 电工仪表概述 / 226

- 8.1.1 电工仪表基础知识 / 226
- 8.1.2 兆欧表的使用 / 227

任务 8.2 汽车万用表 / 229

- 8.2.1 数字式万用表的使用 / 229
- 8.2.2 模拟式万用表的使用 / 235

任务 8.3 汽车用示波器及函数信号发生器 / 238

- 8.3.1 示波器 / 238
- 8.3.2 函数信号发生器 / 245

250

项目 9 汽车电路分析

任务 9.1 汽车启动电路 / 251

- 9.1.1 基本启动电路组成 / 251
- 9.1.2 基本启动电路工作过程 / 251

任务 9.2 汽车仪表电路 / 253

- 9.2.1 机油压力表 / 253
- 9.2.2 燃油表 / 255
- 9.2.3 冷却液温度表 / 256
- 9.2.4 车速里程表 / 258
- 9.2.5 发动机转速表 / 260

任务 9.3 汽车喇叭电路 / 262

- 9.3.1 无继电器控制的喇叭电路 / 262
- 9.3.2 有继电器控制的喇叭电路 / 262

任务 9.4 汽车照明电路 / 264

- 9.4.1 汽车大、小灯电路 / 264
- 9.4.2 雾灯工作电路 / 266

任务 9.5 汽车辅助电器电路 / 268

- 9.5.1 雨刮电路 / 269
- 9.5.2 风挡玻璃清洗电路 / 270

参考文献 / 272

项目 1 基本电路

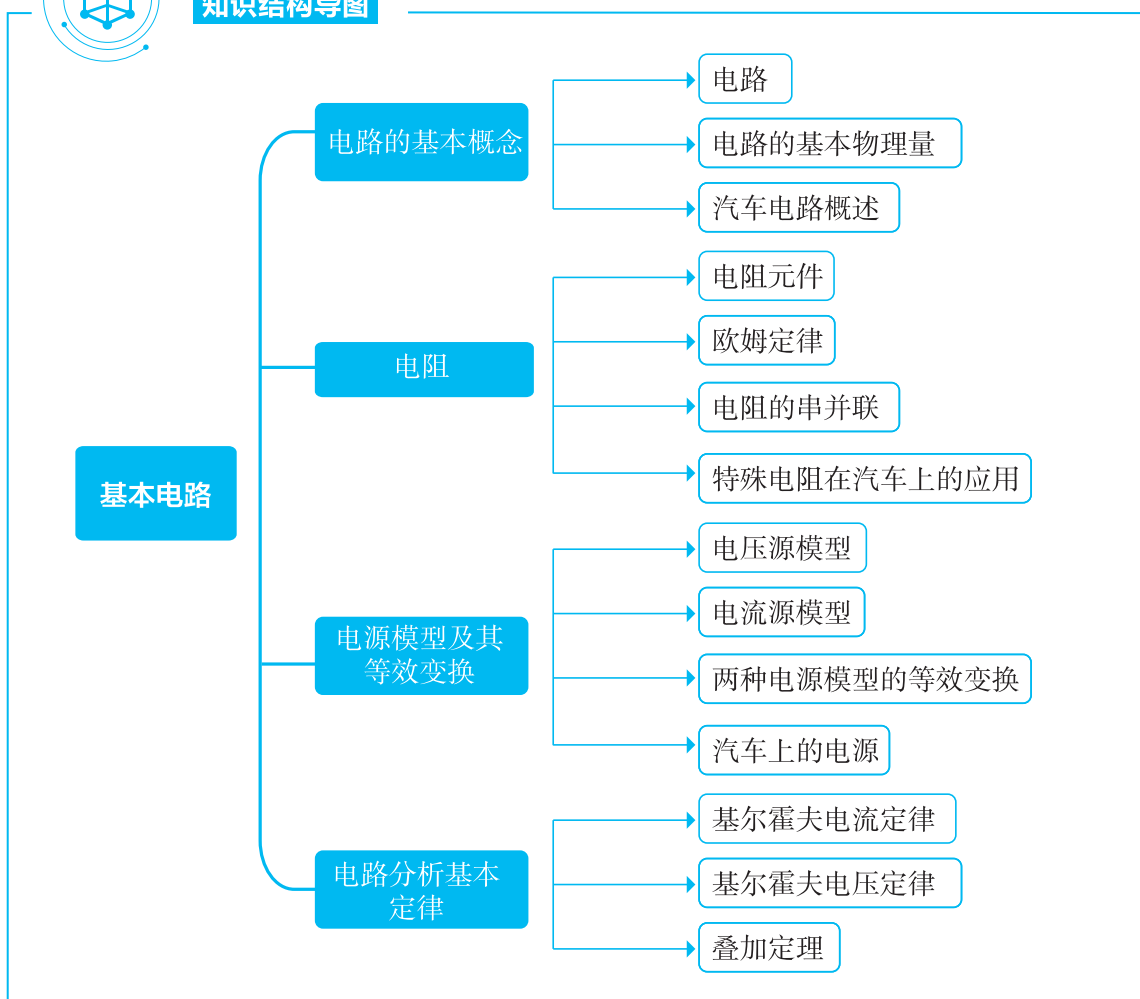


任务目标

1. 了解: 电路的基本概念; 特殊电阻在汽车上的应用。
2. 熟悉: 电阻元件的基本知识; 汽车上的电源。
3. 掌握: 电压、电流、电功率、电位等电路的基本物理量; 基尔霍夫定律和叠加定理; 欧姆定律、电阻串并联电路等效电阻的计算; 电压源模型和电流源模型的基本概念以及两种电源模型等效变换方法。



知识结构导图



任务 1.1 电路的基本概念

任务导入

汽车电路既遵循一般电路原理,又有自己的特点。那么,汽车电路有几个电源?各个电源之间有什么关系?它们是如何协调工作给全车电器供电的?

1.1.1 电路



1.电路的概念

将若干电气元件按照某种顺序用导线连接起来,组成具有一定功能的电流通路,这就是电路。电路可分为直流电路和交流电路两种,汽车电气设备就是直流电路连接。

2.电路的组成

一个完整的电路由电源、中间环节和负载三部分组成。

电源为电路提供电能,它将其他形式的能量转化为电能。例如,生活中常用的干电池和汽车上使用的蓄电池将化学能转化为电能,太阳能电池将光能转化为电能,发电机将机械能转化为电能,等等。



1+X:汽车电路查询
维修评分细则

汽车电路的中间环节包括过载保护器件、连接导线和控制器件等。过载保护器件包括熔丝、易熔线等,熔丝普遍用于前照灯、电动座椅、门锁及电动门窗等电路中,易熔线主要应用于汽车电瓶的正极连接线。除了传统的手动开关、压力开关和温控开关外,现代汽车还大量使用电子控制器件,采用电子模块控制电路的通断,实现了用电设备的自动化控制。导线用于连接各种设备及装置构成汽车电路,汽车上采用的导线为铜导线,其由多股细铜丝绞制而成,不同的电路系统因电压电流不同而采用不同粗细的铜导线。为避免震动和牵拉而引起导线损坏,一般都将汽车各电器之间的导线按最短路径排列,并用绝缘带把同一路径的若干导线包扎成束,称之为线束。

负载消耗电能,是将电能转化为其他能量形式的装置。例如,前照灯灯泡和车窗电动机,电流通过灯泡的电阻丝发热发光,将电能转化为热能和光能,又如给电动机提供电流,电动机会转动,将电能转化为机械能。

3.电路的作用

电路有两大作用:一是可以实现能量的传递和转化。例如,汽车上的发电机和蓄电池将其他形式的能量转化为电能,通过导线和保险丝等过载保护器件输送给汽车空调、汽车照明灯和电动机等用电设备,为汽车上负载的运转提供电能。二是实现信息的传递和处理。例如,汽车上的传感器将温度、压力和转速等物理量转化为电信号,再通过导线输送给汽车计算机,汽车计算机对这些信号进行分析、计算和判断,进而得出结论,并根据结论向执行元件发出控制信号,控制执行元件工作。在传感器、汽车计算机和执行元件之间传递的电信号就是信息。

4.电路图和电路模型

每种电气元件都有与之对应的电气符号,将若干个电气符号用表示导线的线段连接起来,就构成了

电路图。电路图主要用于对电路进行定性分析和定量计算。

每种电气元件都有三种电磁性质:电阻特性、电容特性和电感特性。例如,一个滑线变阻器。首先,它由若干匝电阻丝绕制而成,具有电阻特性;其次,当该滑线变阻器通电流时,根据中学物理中学到的电磁效应可知,此时会产生磁场,具有电感特性;再次,匝与匝之间构成了一个个的小电容,具有电容特性。其中,电阻特性是滑线变阻器的主要特性,而电感值和电容值很小,是滑线变阻器的次要特性。

为了便于对实际电路进行分析和用数学进行描述,只考虑电气元件的主要电磁性质,忽略其次要电磁性质,即把实际元件理想化,将实际电路转化为由理想元件组成的电路,并称其为电路模型,它是对实际电路电磁性质的科学抽象和概括。理想电路元件主要有电阻元件、电容元件、电感元件和电源元件。图 1.1 为实际电路图,而图 1.2 为理想化后的电路图。

我们分析的都是电路模型,即理想化后的电路图。在电路图中,各种电路元件用规定的符号表示。

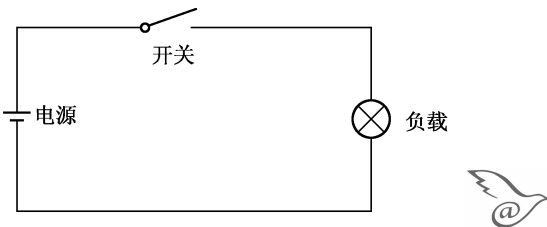


图 1.1 实际电路图

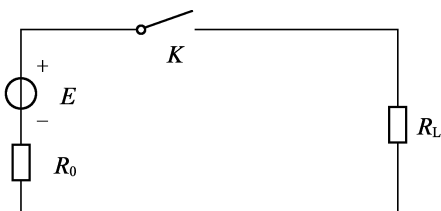


图 1.2 理想化后的电路图

1.1.2 电路的基本物理量

1. 电流和电流强度



微课: 电流

电荷的定向移动形成电流。在金属导体导电过程中,定向移动的带电粒子是自由电子;在电解液中,定向移动形成电流的是阴阳离子;而在半导体中,定向移动形成电流的带电粒子不仅包括自由电子,还包括空穴。一般规定,正电荷定向移动的方向就是电流的方向,而负电荷定向移动的反方向为电流的方向。

电流就像水流,有大电流也有小电流,我们用电流强度定量描述某一电路电流的大小。电流强度指的是单位时间内通过导体某一横截面积的电荷。若电流大小是时刻变化的,设在 dt 时间内通过某一横截面的电荷量为 dq ,则某一时刻的瞬时电流强度计算公式为

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1.1)$$

若电流大小恒定,则电流强度的计算公式为

$$I = \frac{q}{t} \quad (1.2)$$

式中, i 为电流强度; q 为电荷量; t 为时间。

在国际单位制(SI)中,电流强度的单位是安培(简称“安”),符号是 A。另外,还有毫安(mA)和微安(μA),三者换算关系为

$$1 \text{ A} = 10^3 \text{ mA} = 10^6 \mu\text{A} \quad (1.3)$$

2. 电压

电流是电荷的定向移动形成的,而电荷定向移动的动力来源于电压,即在电压的作用下,电荷开始了定向移动。

进一步说,电压是描述电场力对电荷做功的物理量。若一个电荷量为 q 的电荷在电场力的作用下由 A 点移到 B 点,电场力对该电荷做的功为 W_{AB} ,则 A 、 B 两点间的电压计算公式为

$$U_{AB} = \frac{W_{AB}}{q} \quad (1.4)$$

电场力的方向就是电压的实际方向。在电路图上标注电压方向有两种方法:一种方法是用箭头标注,另一种方法是用“+”和“-”标注,如图 1.3 所示。

电压的国际单位是伏特,用 V 表示,还有毫伏(mV)和千伏(kV),三者换算关系为

$$1 \text{ kV} = 10^3 \text{ V}, 1 \text{ V} = 10^3 \text{ mV} \quad (1.5)$$

3. 电流和电压的参考方向

我们已经知道电流和电压都有实际方向,电流的实际方向是正电荷定向移动的方向或负电荷定向移动的反方向,电压的实际方向是电场力的方向。但是我们在对电路进行分析和计算时,通常不知道电路中某一支路的电流(或电压)的方向,所以先假设出该支路的电流(或电压)方向,这个假设的方向就是电流(或电压)的参考方向。然后,根据假设的电流(或电压)方向进行计算,如果计算结果为正值,则电流(或电压)的实际方向与参考方向相同;若为负值,则实际方向与参考方向相反,即电压与电流的正负表示方向,而非大小。

当假设某一支路的电压和电流方向相同时,该参考方向称为关联参考方向,反之为非关联参考方向(如图 1.4 所示)。

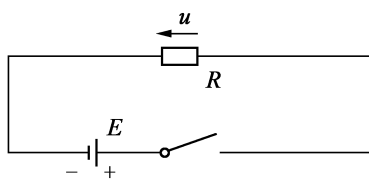


图 1.3 电压的两种标注方法

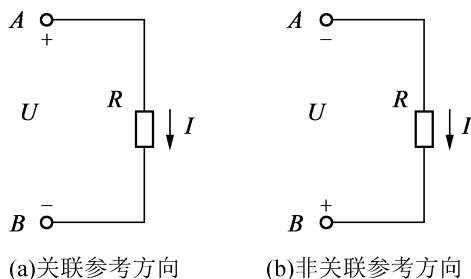


图 1.4 关联参考方向与非关联参考方向

4. 电位

为了方便对电路进行分析,通常要用到电位的概念。在电路中,任选一个参考点 O ,电路中的另一点 A 到这个参考点 O 之间的电压就是 A 点的电位。电位用大写字母 V 表示。要想知道某点的电位,首先必须选择一个参考点,参考点电位为 0 。两点之间电位的差值就是这两点之间的电压,假设电路中 A 、 B 两点的电位分别为 V_A 、 V_B ,则 A 、 B 两点间的电压为

$$U_{AB} = V_A - V_B \quad (1.6)$$

另外,要注意的是:参考点不同,同一点的电位可能不一样;电压是绝对的,而电位是相对的。在分

析汽车电路时,通常选取电源负极,即汽车搭铁部位为参考点。

【例 1.1】 如图 1.5 所示的电路,若选择 C 点为电位参考点,求 A、B 两点的电位;若选择 B 点为参考点,求 A、C 两点的电位。

解 (1) 当以 C 点为参考点时:

$$V_C = 0 \text{ V}$$

$$V_B = U_{BC} = 7 \text{ V}$$

$$V_A = U_{AB} + V_B = 10 \text{ V}$$

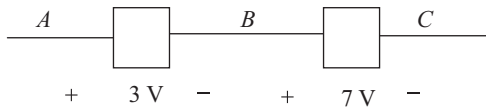


图 1.5 例 1.1 电路图

(2) 当以 B 点为参考点时:

$$V_B = 0 \text{ V}$$

$$V_A = U_{AB} = 3 \text{ V}$$

$$V_C = U_{CB} = -U_{BC} = -7 \text{ V}$$

5. 电功和电功率

电流能使电灯发光、电动机转动、电炉发热,这些都说明电流通过电气设备时做了功,消耗了电功,一般把电气设备在工作时间内消耗的电功(也称为电能)用 W 表示。电功的大小与通过电气设备的电流和加在电气设备两端的电压及电流通过的时间成正比,即

$$W = UI t \quad (1.7)$$

电功的国际单位是焦耳,简称“焦”,符号为 J。

电气设备在单位时间内消耗的电功称为电功率,简称功率,用 P 表示,即

$$P = \frac{W}{t} = UI \quad (1.8)$$

若电压、电流为非关联参考方向,则

$$P = -UI \quad (1.9)$$

功率的国际单位是瓦特,简称“瓦”,符号为 W。

在实际应用中,功率的常用单位是千瓦(kW),电功的常用单位是千瓦时(kW·h),1 kW·h 即为 1 度电。如 100 W 的灯泡,工作 10 h,其消耗的电功就是 1 kW·h。千瓦时与焦耳之间的换算关系是

$$1 \text{ kW} \cdot \text{h} = 3.6 \times 10^6 \text{ J} \quad (1.10)$$

【例 1.2】 有一 220 V、60 W 的电灯,接在 220 V 的电源上,试求通过电灯的电流和电灯在 220 V 电压下工作时的电阻。如果每晚用 3 h,问一个月(30 天)消耗多少电能?

解

$$I = \frac{P}{U} = \frac{60}{220} \text{ A} \approx 0.273 \text{ A}$$

$$R = \frac{U}{I} = \frac{220}{0.273} \Omega \approx 806 \Omega$$

一个月用电

$$W = Pt = 60 \text{ W} \times (3 \times 30) \text{ h} = 0.06 \text{ kW} \times 90 \text{ h} = 5.4 \text{ kW} \cdot \text{h} = 5.4 \text{ 度}$$

即电灯每月耗电 5.4 度。



微课:电能和电功率

1.1.3 汽车电路概述

1. 汽车电路的概念与组成

汽车电路是指用导线将汽车上的电气设备相互连接为直流电路,构成的一个完整的供用电系统。

汽车电路包括电源电路、启动电路、点火电路、照明与灯光信号电路、仪表及显示系统电路、辅助装置电路和电子控制系统电路。

(1) 电源电路

电源电路由蓄电池、发电机、调节器及充电指示装置组成,也称为充电电路。

当发电机不工作或转速较低,其电压低于蓄电池时,由蓄电池向全车用电设备供电;当用电设备接入较多时,可协助发电机向外供电。当发电机达到一定转速,其电压高于蓄电池电压时,发电机向全车用电设备(启动机除外)供电,并向蓄电池充电。电压调节器能使电压维持在某一允许的相对稳定的范围之内,保证各种汽车电器稳定工作。

(2) 启动电路

启动电路由启动机、启动继电器、启动开关及启动保护电路等组成,现代轿车普遍采用电能控制单元控制启动过程。

(3) 点火电路

点火电路是汽油机不可缺少的组成部分,其功能是按发动机工作顺序产生高压电并通过火花塞跳火,保证适时、准确地点燃气缸内的可燃混合气。现代轿车普遍采用微机控制点火系统,点火电路由点火控制单元、点火线圈、点火控制器、火花塞及点火开关等组成。

(4) 照明与灯光信号电路

照明与灯光信号电路由前照灯、雾灯、示廓灯、转向灯、制动灯、倒车灯、车内照明灯及相关控制继电器和开关组成,保证各种运行条件下的行车安全。

(5) 仪表及显示系统电路

仪表及显示系统电路是由仪表及其传感器、各种报警指示灯及控制器等组成。汽车组合仪表板上有冷却液温度表、燃油表、车速里程表、发动机转速表、数字时钟,以及发动机冷却液温度过高、机油压力不足、制动液面过低及燃油量不足等报警灯和远光灯、转向灯、充电指示灯,用以指示发动机与汽车的工作情况。

(6) 辅助装置电路

辅助装置电路是为提高车辆安全性、舒适性而设置的由各种电器装置组成的电路。由于汽车车型的不同,辅助电器装置的种类也有所差异,汽车档次越高,辅助电器装置越完善。其一般包括雨刮及清洗装置、风窗除霜装置、音响装置、空调装置、车窗电动升降装置、电控门锁、电动座椅调节装置和电动控制后视镜装置等。

(7) 电子控制系统电路

电子控制系统电路主要由发动机控制系统、定速巡航控制系统、制动防抱死系统、安全气囊控制系统等组成。

汽车电器和电子设备的组成及电源与用电设备之间的关系如图 1.6 所示。

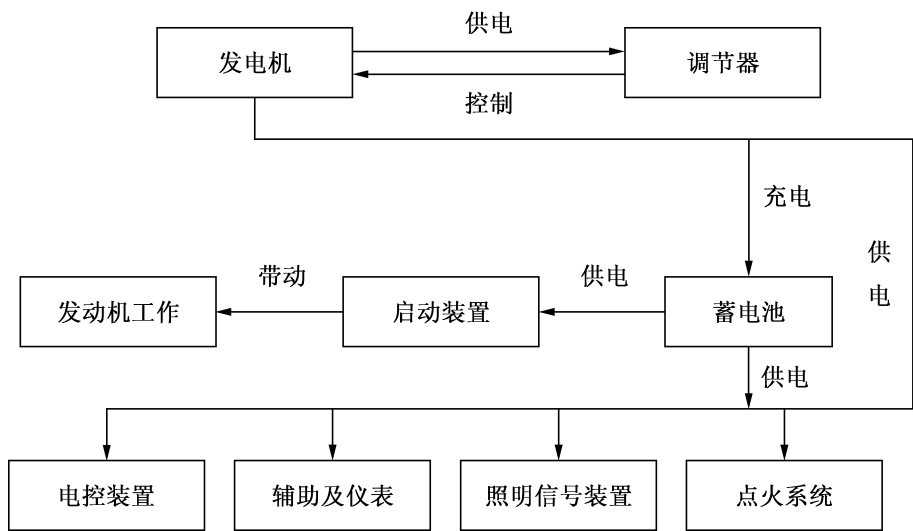


图 1.6 汽车电器和电子设备的组成及电源与用电设备之间的关系

2.汽车电路的特点

(1)低压直流

汽车电气系统采用低压直流电供电,额定电压主要有 12 V 和 24 V 两种。一般来说,轿车采用 12 V 电源,大客车、货车等大型柴油机采用 24 V 电源。低压电源取自蓄电池或发电机,两者的电压保持一致。

(2)单线制

电源到用电设备只用一根导线连接,而用金属机件作为另一根公共回路线的连接方式称为单线制。单线制导线用量少,且线路清晰、接线方便,因此在汽车上普遍采用。

(3)负极搭铁

将蓄电池和发电机正极或负极与汽车车架相连,使车架带正电或负电,从而使安装在车架上的电气设备只需一根从电源另一极引出的导线就可构成回路,称为正极或负极搭铁。我国标准规定统一采用负极搭铁。

(4)用电设备并联

汽车上所有用电设备都是用并联方式与电源连接,当某一支路用电设备损坏时,并不影响其他支路用电设备的正常工作。

(5)汽车电路有颜色和编号的特征

为了便于区别各线路的连接,汽车所有低压导线必须选用不同颜色的单色或双色线,并在每根导线上标有编号。



任务实施

通过上述内容的学习,我们一起来解决任务导入中的问题:在电动汽车中,各个电源是如何协调工作给全车电器供电的?

汽车均配有蓄电池和交流发电机两个电源。现以桑塔纳轿车电源系统为例来说明两个电源的关系(见图 1.8)。

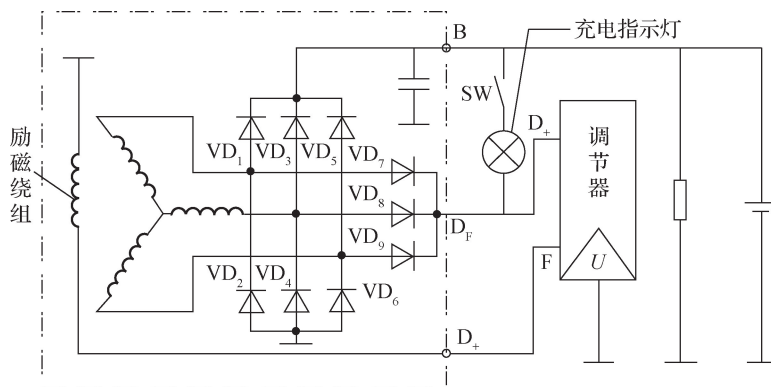


图 1.7 桑塔纳轿车电源系统电路图

蓄电池和发电机并联连接,共同给全车用电设备供电。

(1)发动机未启动。此时由蓄电池给全车用电设备供电,同时蓄电池通过充电指示灯和电压调节器给发电机励磁绕组供电,此时称为他励,充电指示灯亮。

(2)发动机启动。此时发电机运行,改由发电机 B 端子给全车用电设备供电,并给蓄电池充电。同时,D_F 端子通过电压调节器给发电机励磁绕组供电,此时称为自励,由于充电指示灯两端电位相同,充电指示灯灭。

可以看出,蓄电池和发电机是汽车既独立供电又相互依赖的两个电源,二者缺一不可。

任务 1.2 电 阻

任务导入

汽车电路会用到各种形式的电阻元件,除了普通电阻外,还有一些具有特异性能的电阻元件,比如热敏电阻、光敏电阻和压敏电阻等。冷却液温度传感器就用到了热敏电阻。那么,什么是热敏电阻?冷却液温度传感器工作的原理是什么?

1.2.1 电阻元件

1.电阻的概念

电阻元件是汽车电气、电子设备中使用最多的基本元件之一。物体对电流的阻碍作用,被称为该物体的电阻,用 R 来表示,其国际单位是欧姆,符号为 Ω 。物体的电阻越大,表示其对电流的阻碍作用越大。不同的导体,电阻一般不同,电阻是导体本身的一种特性,电阻元件是对电流呈现阻碍作用的耗能元件。

2.电阻的分类

电阻有不同的分类方法。按照阻值特性分有固定电阻、可调电阻和特种电阻(也叫敏感电阻,指器件特性对温度、电压、湿度、光照、气体、磁场、压力等作用敏感的电阻器);按照制造材料分有碳膜电阻、金属膜电阻、绕线电阻、无感电阻、薄膜电阻等;按安装方式来分有插件式电阻和贴片式电阻。在汽车电路板中,较多采用贴片式电阻。

3.电阻的标识

(1)直标法

将电阻阻值和误差直接用数字和字母印在电阻上(无误差标识时,允许误差为±20%)。

(2)色环表示法

将不同颜色的色环涂在电阻上表示电阻的标称值及允许误差,各种颜色所对应的数值见表 1.1。

表 1.1 各种颜色所对应的数值

颜色	第一位有效数字	第二位有效数字	倍乘数	允许误差/%
黑	0	0	$\times 10^0$	—
棕	1	1	$\times 10^1$	±1
红	2	2	$\times 10^2$	±2
橙	3	3	$\times 10^3$	—
黄	4	4	$\times 10^4$	—
绿	5	5	$\times 10^5$	±0.5
蓝	6	6	$\times 10^6$	±0.2
紫	7	7	$\times 10^7$	±0.1
灰	8	8	$\times 10^8$	—
白	9	9	$\times 10^9$	—
金	—	—	$\times 10^{-1}$	±5
银	—	—	$\times 10^{-2}$	±10
无色	—	—	—	±20

四色环电阻:第一色环是十位有效数字,第二色环是个位有效数字,第三色环是倍乘数,第四色环是允许误差。例如,电阻的四环颜色为绿、蓝、橙、银,其阻值为 $56 \times 10^3 = 56 \text{ k}\Omega$,允许误差为±10%。

五色环电阻:第一色环是百位有效数字,第二色环是十位有效数字,第三色环是个位有效数字,第四色环是倍乘数,第五色环是允许误差。例如,电阻的五环颜色为红、红、蓝、红、金,其阻值为 $226 \times 10^2 = 22.6 \text{ k}\Omega$,允许误差为±5%。



微课:电阻直读阻值



微课:色环电阻的辨识

1.2.2 欧姆定律

1.部分电路的欧姆定律

同一电路中,导体中的电流 I 与导体两端的电压 U 成正比,与导体的电阻阻值 R 成反比,这就是欧姆定律。欧姆定律是电路分析中的基本定律之一,用来确定电路中各部分电压与电流的关系,是分析汽车电路的关键。

如图 1.8 所示,只有电阻而不含电源的一段电路称为部分电路。根据欧姆定律可写出

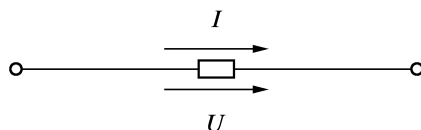


图 1.8 部分电路

$$I = \frac{U}{R} \quad (1.11)$$

或

$$U = IR, \quad R = \frac{U}{I} \quad (1.12)$$

式中, I 为电路中的电流,国际单位为 A; U 为电路两端的电压,国际单位为 V; R 为电路的电阻,国际单位为 Ω 。

此表达式称为部分电路的欧姆定律,部分电路中电阻两端的电压与流经电阻的电流之间的关系曲线称为电阻的伏安特性曲线,如图 1.9 所示。

需要注意的是,我们经常用 $R=U/I$ 测量电阻,但电阻值的大小是电阻元件的固有特征值,与电阻元件的电压值和电流值无关,其取决于电阻元件的材质、长度和横截面积。电阻元件的电阻率越大、长度越长、横截面积越小,其电阻值就越大。

2.全电路的欧姆定律

含有电源的闭合电路称为全电路,其中,电源内部的电路称为内电路,电源外部的电路称为外电路。最简单的全电路如图 1.10 所示。

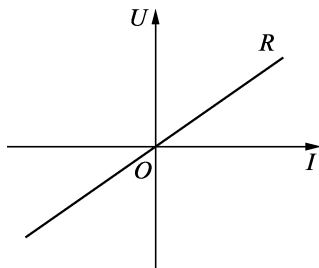


图 1.9 电阻的伏安特性曲线

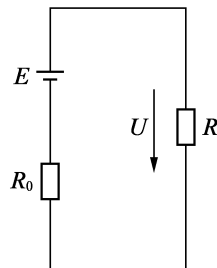


图 1.10 最简单的全电路

实验证明:在全电路中,通过电路的电流与电源电动势成正比,与电路总电阻 $(R+R_0)$ 成反比。这就是全电路的欧姆定律,可用公式表示为

$$I = \frac{E}{R + R_0} \quad (1.13)$$

式中, I 为电路中的电流,国际单位为A; E 为电源的电动势,国际单位为V; R 为外电路的电阻,国际单位为 Ω ; R_0 为内电路的电阻,即电源内阻,国际单位 Ω 。

由式(1.12)和式(1.13)可得

$$E = IR + IR_0 = U + IR_0 = U + U_0 \quad (1.14)$$

式中, U 为外电路的电压降,即电源两端的电压,或称为端电压; U_0 为内电路的电压降,也称为内阻降。

【例 1.3】 在图 1.10 所示电路中,已知电源电动势 $E=12\text{ V}$,内阻 $R_0=2\ \Omega$,负载电阻 $R=10\ \Omega$ 。求:①电路中的电流;②电源的端电压;③负载电阻 R 上的电压;④电源内阻上的电压降。

解 ① $I = \frac{E}{R + R_0} = \frac{12}{2 + 10} \text{ A} = 1 \text{ A}$

② $U = E - IR_0 = 12 \text{ V} - 1 \text{ A} \times 2 \ \Omega = 10 \text{ V}$

③ $U_R = IR = 1 \text{ A} \times 10 \ \Omega = 10 \text{ V}$

④ $U_0 = IR_0 = 1 \text{ A} \times 2 \ \Omega = 2 \text{ V}$

1.2.3 电阻的串并联

在电路中,电阻的连接形式是多种多样的,其中最简单和最常用的是串联与并联。

1.电阻的串联

如果电路中有两个或更多电阻一个接一个地顺序相连,并且在这些电阻中通过同一个电流,则这样的连接法就称为电阻的串联。图 1.11(a)所示是两个电阻串联的电路。

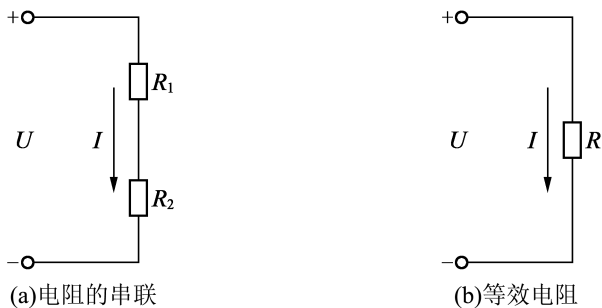


图 1.11 电阻的串联及等效电阻

两个串联电阻可用一个等效电阻 R 来代替,如图 1.11(b)所示,等效的条件是在同一电压 U 的作用下电流 I 保持不变。等效电阻等于各个串联电阻之和,即

$$R = R_1 + R_2 \quad (1.15)$$

两个串联电阻上的电压分别为

$$U_1 = IR_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} U \quad (1.16)$$

$$U_2 = IR_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U \quad (1.17)$$

式(1.15)、式(1.16)称为分压公式,显然,串联电阻上电压的分配与电阻阻值的大小成正比。当其中某个电阻比其他电阻小得多时,其两端的电压也比其他电阻上的电压低得多,所以,这个电阻的分压作用可忽略不计。

电阻串联的应用很多。例如,在负载的额定电压低于电源电压的情况下,通过在负载上串联电阻,以降低负载上的电压。有时为了限制负载中通过过大的电流,也可以与负载串联一个限流电阻。如果需要调节电路中的电流,一般也可以在电路中串联一个变阻器来进行调节。另外,通过改变串联电阻的大小以得到不同的输出电压,这也是常见的。

2. 电阻的并联

如果在一个电路中,有两个或更多电阻的首端和尾端分别连在一起,那么在电源的作用下,各电阻两端的电压相等,这种连接方式称为电阻的并联,如图 1.12(a)所示。

两个并联电阻也可以用一个等效电阻 R 来代替,如图 1.12(b)所示。等效电阻的倒数等于各个并联电阻的倒数之和,即

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \quad (1.18)$$

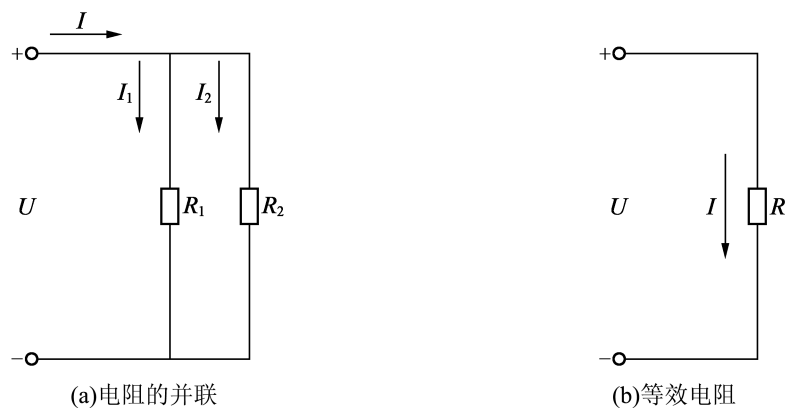


图 1.12 电阻的并联及等效电阻

两个并联电阻上的电流分别为

$$I_1 = \frac{U}{R_1} = \frac{IR}{R_1} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} I \quad (1.19)$$

$$I_2 = \frac{U}{R_2} = \frac{IR}{R_2} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} I \quad (1.20)$$

可见,等效电阻一定小于并联电阻中的任何一个,而且,并联电阻上电流的分配与电阻成反比。当其中某个电阻较其他电阻大很多时,通过它的电流就较其他电阻上的电流小很多。因此,此时这个电阻的分流作用常可忽略不计。

一般负载都是并联运用的。负载并联运用时,它们处于同一电压之下,任何一个负载的工作情况基本上不受其他负载的影响。

汽车上的用电设备,如喇叭、照明灯、电动机等都是并联在直流电压上的。并联电路的优点就在于

各个电气设备能单独工作,互不影响。所以,几个额定电压相同的负载,只要电源能满足全部负载的电流要求,就可以把它们并联在同一个电源上。

1.2.4 特殊电阻在汽车上的应用

1.热敏电阻

热敏电阻是用陶瓷半导体材料与其他的金属氧化物按适当比例混合后,高温烧结而制成的温度系数很大的电阻体。在工作温度范围内,按陶瓷半导体的电阻与温度的特性关系,热敏电阻可分为以下三种类型。

(1)正温度系数热敏电阻

在工作范围内,正温度系数热敏电阻的电阻值随温度升高而按指数函数增加。这种电阻在汽车发动机、仪器、仪表等测温部件中被广泛应用。

(2)负温度系数热敏电阻

在工作范围里,负温度系数热敏电阻的电阻值随温度升高而减小。这种电阻是把锰、铜、硅、钴、铁、镍、锌等两种或两种以上的金属氧化物进行充分混合后,高温烧结而成的,现广泛用于汽车发动机冷却水温度传感器、进气温度传感器、机油温度传感器和空调温度传感器中。

(3)临界温度系数热敏电阻

临界温度系数热敏电阻的电阻值随温度升高而按指数函数减小。

热敏电阻式温度传感器具有体积小、灵敏度高、安装简单、价格低廉等特点,因此,在汽车电子控制系统中有着越来越广泛的应用。

2.压敏电阻

压敏电阻是一种压电转换元件,是利用半导体的压阻效应制成的硅膜片,电阻值随施加在材料上的压力而改变,其变形与压力成正比,利用电桥将硅膜片的变形转换成电信号。在汽车发动机电子控制系统中,半导体压敏电阻式进气压力传感器具有体积小、精度高、成本低,以及响应性、再现性、抗震性较好等优点,得到广泛应用。

3.光敏电阻

光敏电阻是利用半导体的光电效应制成的一种电阻值随入射光的强弱而改变的电阻器。入射光强,电阻减小;入射光弱,电阻增大。

光敏电阻一般用于光的测量、光的控制和光电转换(将光的变化转换为电的变化)。常用的光敏电阻——硫化镉光敏电阻,是由半导体材料制成的。光敏电阻的阻值随入射光线(可见光)强弱的变化而变化:在黑暗条件下,它的阻值可达 $1\sim 10\text{ M}\Omega$;在强光条件下,它的阻值仅有几百至数千欧姆。

汽车中的光电式光量传感器就采用了硫化镉光敏电阻,当有光照射到传感器上时,半导体元件的电阻值就发生变化,并以电信号的形式输入给控制器。这种特性可以用在汽车上各种灯具亮灯、熄灯的自动控制中。



任务实施

通过上述内容的学习,我们一起来解决任务导入中的问题:在电动汽车中,冷却液温度传感器有什么作用?它的原理是什么?

当代汽车电控发动机在进行喷油和点火控制时,需要测量发动机冷却水的温度,作为喷油和点火正时的修正值,因此冷却液温度传感器是电控发动机重要的传感器之一。

其工作原理(见图 1.13)为:发动机工作时,冷却液温度传感器测量水温并反馈给发动机 ECU,冷却液温度传感器利用一个负温度系数的热敏电阻作为探测单元置于冷却液中,由 ECU 内置电源用 5 V 电压供电。当冷却液温度升高时,热敏电阻阻值减小,ECU 接收到电位信号降低;当冷却液温度降低时,热敏电阻阻值增大,ECU 接收到电位信号升高。ECU 以此来测定发动机水温值。

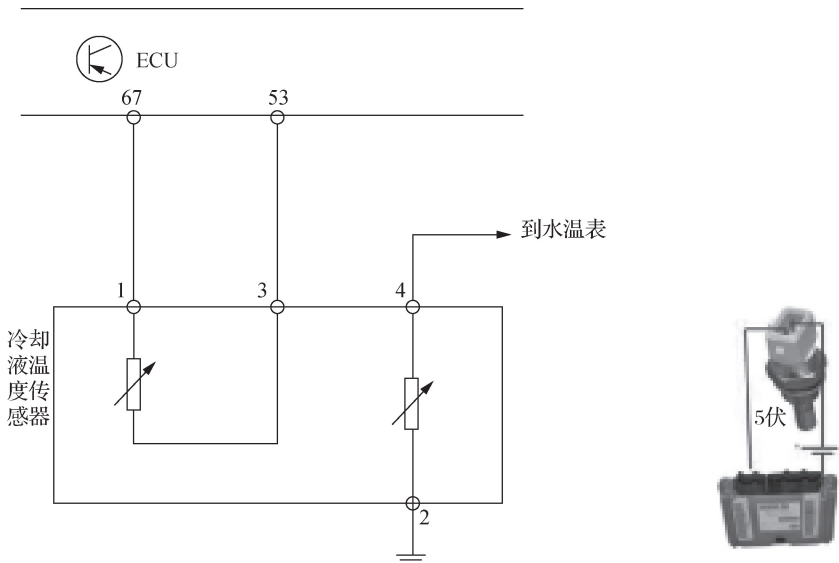


图 1.13 汽车冷却液温度传感器原理示意图

任务 1.3 电源模型及其等效变换

任务导入

蓄电池作为汽车电源是不是理想电源?其放电特性和充电特性如何?

一个电源可以用两种不同的电路模型来表示:一种是用理想电压源与电阻串联的电路模型来表示,称为电源的电压源模型;另一种是用理想电流源与电阻并联的电路模型来表示,称为电源的电流源模型。

1.3.1 电压源模型

任何一个电源,如干电池、蓄电池和发电机等都含有电动势 E 和内阻 R_0 。在分析电路时,往往将它们分开,组成的电路模型如图 1.14 所示,这就是电压源模型。在图 1.14 中, U 是电源的端电压, R_L 是负载电阻, I 是负载电流。

根据图 1.14 所示的电路,可以得到

$$U = E - IR_0 \quad (1.21)$$

式中, E 、 R_0 均为常数。所以,随着 I 的增加,内阻 R_0 上的电压增大,输出电压就降低,因此要求电压源的内阻越小越好。

根据式(1.21)可作出电压源的外特性曲线,如图 1.15 所示。当电压源开路时, $I=0$, $U=U_0=E$;当电压源短路时, $U=0$, $I=I_s=E/R_0$ 。内阻 R_0 越小,则直线越平。

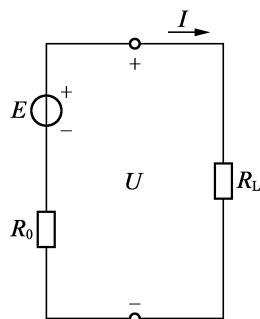


图 1.14 电压源电路

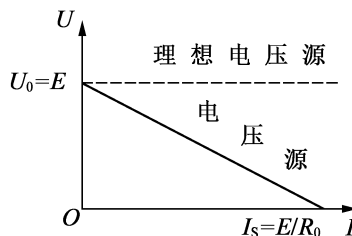


图 1.15 电压源的外特性曲线

在理想情况下, $R_0=0$,电源的端电压恒等于电动势 E , $U=E$,即为理想电压源。理想电压源实际上是不存在的,但如果电源的内阻远小于负载电阻,则端电压基本恒定,可认为这是一个理想电压源。在实际应用中,稳压电源、新电池等都可近似地认为是理想电压源。

1.3.2 电流源模型

电源除了用电压源模型来表示外,还可以用另外一种电路模型来表示。

若将式(1.21)两端除以 R_0 ,则得到

$$\frac{U}{R_0} = \frac{E}{R_0} - I = I_s - I \quad (1.22)$$

即

$$I_s = \frac{U}{R_0} + I \quad (1.23)$$

式中, $I_s=E/R_0$ 为电源的短路电流; I 为负载电流; U/R_0 是电源内部被 R_0 分去的电流。

根据式(1.23),可作出电源的另一种等效电路,如图 1.16 所示。

图 1.16 是用电流来表示电源的电路模型,即电流源模型,简称电流源。两条支路并联,其中电流分别为 I_s 和 U/R_0 ,对负载电阻 R_L 来说,与图 1.14 一样,其上的电压 U 和通过的电流 I 都没有改变。

由式(1.23)可作出电流源的外特性曲线,如图 1.17 所示。当电流源开路时, $I=0, U=U_0=R_0 I_S$;短路时, $U=0, I=I_S$ 。

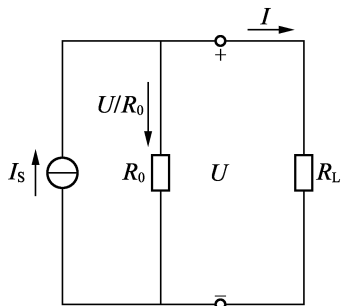


图 1.16 电流源电路

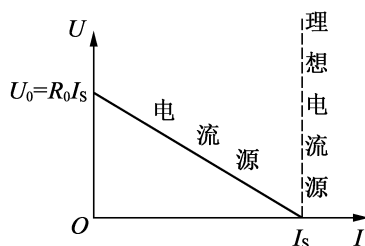


图 1.17 电流源的外特性曲线

在理想情况下, $R_0 \rightarrow \infty$ (相当于并联支路 R_0 断开), 表明负载变化时, 电流 I 恒等于电流 I_S , 是一定值, 这种电流源称为理想电流源。

理想电流源也是理想的电源。如果一个电源的内阻 R_0 远大于负载电阻 R_L , 则 $I \approx I_S$, 可认为是理想电流源, 通常稳流器和光电池等可近似认为是理想电流源。

1.3.3 两种电源模型的等效变换

如图 1.15 和图 1.17 所示, 电压源的外特性和电流源的外特性是相同的。在图 1.14 和图 1.16 中, 电阻 R_L 上的电压和电流都相同。因此, 电源的两种模型相互间是等效的, 可以进行等效变换。

上述电源的两种电路模型: 一种是电动势为 E 的理想电压源和内阻 R_0 串联的电路(如图 1.14 所示); 另一种是电流为 I_S 的理想电流源和 R_0 并联的电路(如图 1.16 所示)。

一般不限于内阻 R_0 , 只要一个电压为 U_S 的理想电压源和某个电阻 R 串联的电路, 都可以化为一个电流为 I_S 的理想电流源和这个电阻并联的电路(如图 1.18 所示), 两者是等效的。其中

$$I_S = \frac{U_S}{R} \quad (1.24)$$

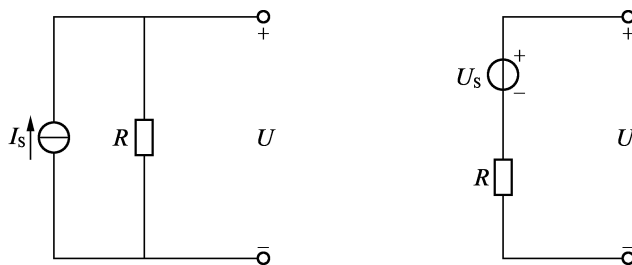


图 1.18 电压源和电流源的等效变换

进行等效变换时两种电路模型的电源极性必须保持一致, 即电流源流出电流的一端与电压源的正极端相对应。等效变换仅对外电路适用, 理想电压源和理想电流源本身之间没有等效的关系。

【例 1.4】 求如图 1.19(a) 所示电路的等效电流源模型和如图 1.19(b) 所示电路的等效电压源模型。

解 ① 图 1.19(a) 所示电路的等效电流源模型:

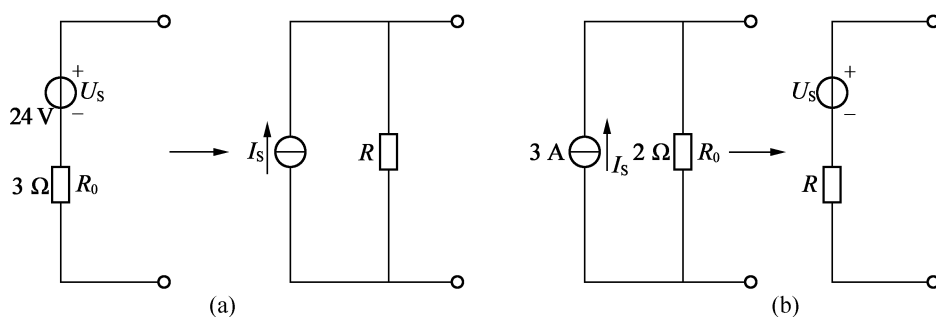


图 1.19 例 1.4 图

$$I_s = \frac{U_s}{R_0} = \frac{24 \text{ V}}{3 \Omega} = 8 \text{ A}$$

$$R = R_0 = 3 \Omega$$

②图 1.19(b)所示电路的等效电压源模型:

$$U_s = I_s R_0 = 3 \text{ A} \times 2 \Omega = 6 \text{ V}, \quad R = R_0 = 2 \Omega$$

【例 1.5】 试用电压源与电流源等效变换的方法计算图 1.20(a)中 2Ω 电阻的电流 I 。

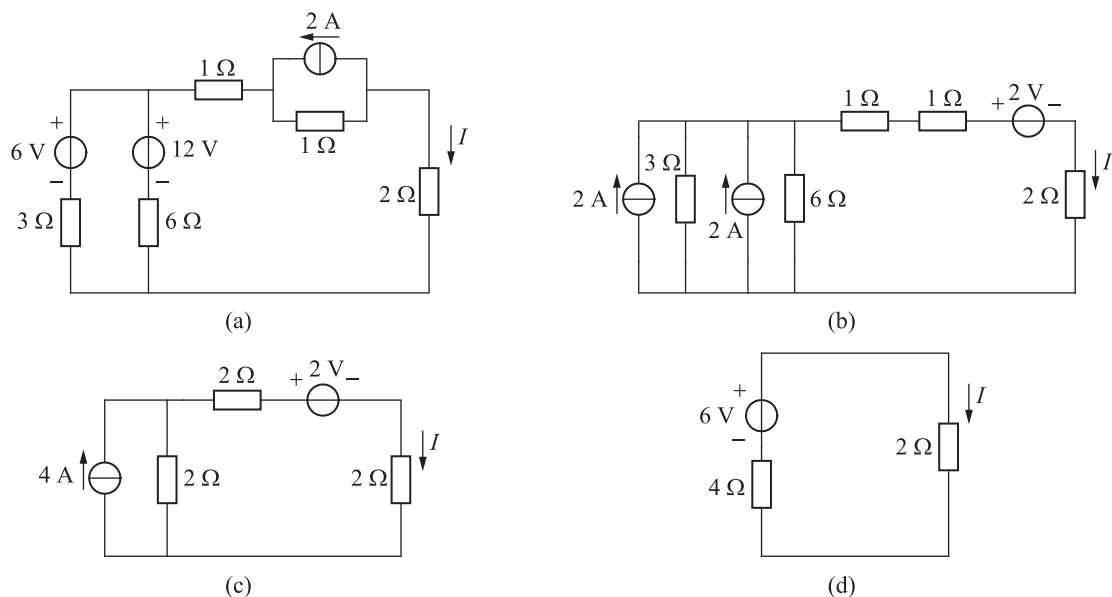


图 1.20 例 1.5 图

解 图 1.20(a)左边两条支路先变换为电流源,而 2 A 与 1Ω 并联部分电路可先变换为电压源模型电路,变换过程如图 1.20(b)、图 1.20(c)所示电路。

注意: 变换前后电流或电压方向不变。

再将图 1.20(c)中电流源等效变换成电压源,合并后得图 1.20(d)电路。计算得

$$I = \frac{6 \text{ V}}{4 \Omega + 2 \Omega} = 1 \text{ A}$$

1.3.4 汽车上的电源

汽车电路采用直流电源供电,其额定电压一般有 12 V 和 24 V 。轿车普遍采用 12 V 电源,大客车、货

车等大型柴油机多采用 24 V 电源。汽车上有两个直流低压电源:一个是启动型蓄电池,另一个是发电机。发电机是由发动机带动而发电的,蓄电池是靠内部的化学反应来储存电能和向外供电的。两个电源与全车用电设备均接成并联电路。



任务实施

通过上述内容的学习,我们一起来解决任务导入中的问题:在电动汽车中,蓄电池是不是理想电源?其放电特性和充电特性如何?

蓄电池的放电特性是指在恒流放电过程中,蓄电池的端电压 U_f 和电解液相对密度 ρ 等参数随时间而变化的规律。图 1.21 为蓄电池放电特性曲线。放电过程中,由于蓄电池内阻 R 上有压降,所以,蓄电池的端电压总是小于其电动势 E_0 。端电压的变化是不均衡的,放电开始时,端电压下降较快,中间阶段较平缓,接近放电终了时,又迅速下降。当端电压降到 1.75 V 时,若继续放电,端电压将急剧下降到 0 V,若切断放电电流,端电压又会上升到一定值。

蓄电池的充电特性是指在恒流充电过程中,蓄电池的端电压 U_c 、电解液密度 γ 和电动势 E 随充电时间变化的规律。图 1.22 为蓄电池充电特性曲线。蓄电池充电时单格端电压达到 2.4 V 时,极板活性物质基本转化为氧化铅(正极)和铅(负极),基本充足电,开始电解水生成氧气和氢气,进而“沸腾”。继续过充电 2~3 小时,可保证充电充分。当电解液产生大量气泡而“沸腾”,蓄电池端电压和电解液密度上升至最大值不变时,停止充电。

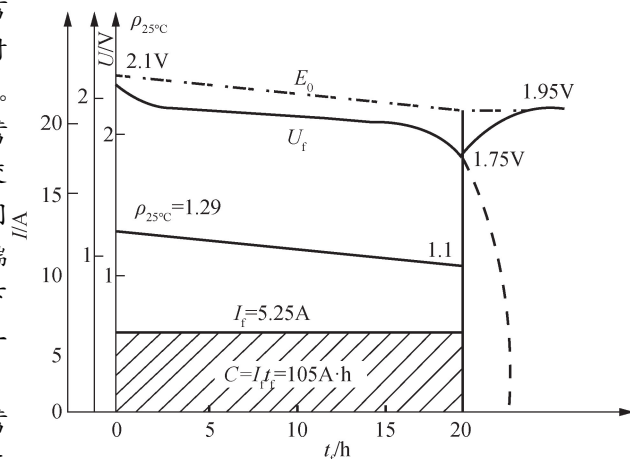


图 1.21 蓄电池放电特性曲线

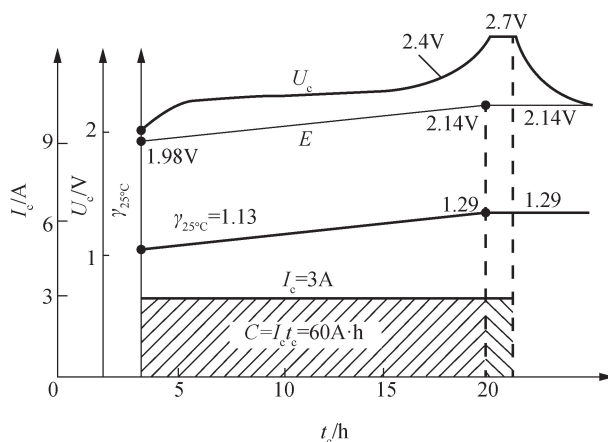


图 1.22 蓄电池充电特性曲线

通过上面的分析可知:汽车中应用的蓄电池实际并不是理想电压源,其充放电特性受实际使用条件影响较大。

任务 1.4 电路分析基本定律

任务导入

在电路分析中,除了欧姆定律,还有哪些定律?在汽车电路中如何应用这些定律使得分析实际问题变得简单?

除欧姆定律外,基尔霍夫定律也是分析计算电路的基本定律,基尔霍夫定律既适用于求解复杂电路,也适用于求解简单电路。基尔霍夫电流定律应用于节点,基尔霍夫电压定律应用于回路。

电路中的每一分支称为支路,一条支路流过一个电流,称为支路电流。图 1.23 所示的电路中共有三条支路。

电路中三条或三条以上的支路相连接的点称为节点。在图 1.23 所示的电路中共有两个节点:a 和 b。

回路是由一条或多条支路所组成的闭合回路。图 1.23 所示的电路中共有三个回路:adbca、abda 和 abca。

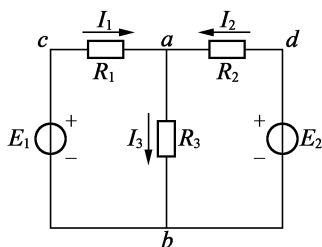


图 1.23 电路举例

1.4.1 基尔霍夫电流定律

基尔霍夫电流定律(Kirchhoff's Current Law, KCL)是用来确定连接在同一节点上的各支路电流间关系的。基尔霍夫电流定律指出,电路中任一节点,在任一瞬间流入该节点的电流之和等于从该节点流出的电流之和。

在图 1.23 所示的电路中,对节点 a 可以写出

$$I_1 + I_2 = I_3 \quad (1.25)$$

将上式改写成

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

即

$$\sum I = 0 \quad (1.26)$$

因此,基尔霍夫电流定律也可以表达为:在任一瞬间、任一节点上,各电流的代数和等于零。一般习惯以流入节点电流为正,流出节点电流为负。

在电路分析中,电流方程是根据电流参考方向列出的,若算得的结果为负值,则说明电流的实际方向与参考方向相反。

【例 1.6】图 1.24 中,已知 $I_1 = 2 \text{ A}$, $I_2 = -3 \text{ A}$, $I_3 = -2 \text{ A}$, 试求 I_4 。

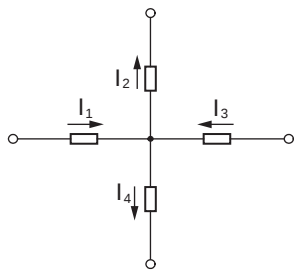


图 1.24 例 1.6 图

解 由基尔霍夫电流定律可列出

$$I_1 - I_2 + I_3 - I_4 = 0$$

代入数值

$$2 \text{ A} - (-3 \text{ A}) + (-2 \text{ A}) - I_4 = 0$$

得

$$I_4 = 3 \text{ A}$$

【例 1.7】试确定晶体三极管基极电流 I_b 、发射极电流 I_e 和集电极电流 I_c 。

解 假设一闭合面 S 将三极管包围起来,则可以视为一个“广义节点”,

$$I_e = I_b + I_c$$

所以,无论在什么情况下,晶体三极管三个电极的电流之间的关系总存在

$$\text{发射极电流} = \text{集电极电流} + \text{基极电流}$$



微课:支路电流法

1.4.2 基尔霍夫电压定律

基尔霍夫电压定律(Kirchhoff's Voltage Law, KVL)是用来确定回路中各段电压间关系的。基尔霍夫电压定律指出,从电路的任意一点出发,沿回路顺时针方向或逆时针方向绕行一周回到原点时,在绕行方向上,各部分电位降之和等于电位升之和。

以图 1.25 中回路 adbca 为例(即图 1.23 所示电路的一个回路),图中电源电动势、电流和各段电压的参考方向均已标出,按照弧线所示方向绕行一周,根据电压的参考方向可列出

$$U_1 + U_4 = U_2 + U_3$$

或将上式改写为

$$U_1 - U_2 - U_3 + U_4 = 0$$

即

$$\sum U = 0 \quad (1.27)$$

从式(1.27)得知,在任一时刻,沿任一回路绕行一周(顺时针方向或逆时针方向),回路中各段电压的代数和恒等于零。如果规定电位降取正号,则电位升就取负号。

在图 1.25 所示的回路中,电位升的是 E_2 和 $I_1 R_1$,电位降的是 E_1 和 $I_2 R_2$,得到

$$E_2 + I_1 R_1 = E_1 + I_2 R_2$$

即

$$E_2 - E_1 = I_2 R_2 - I_1 R_1$$

因此,基尔霍夫电压定律还可表达为:沿任一回路绕行一周,回路中所有电动势的代数和等于电阻上电压降的代数和,即

$$\sum E = \sum IR \quad (1.28)$$

在这里,当电动势方向与回路方向一致时,电动势取正号;反之,取负号。当电阻的电流方向与回路方向一致时,则电阻上的电压降取正号;反之,取负号。

列方程时,不论是应用基尔霍夫电流定律还是电压定律,首先都要在电路图上标出电流、电压或电动势的参考方向,因为所列方程中各项前的正负号由它们的参考方向决定。

【例 1.8】 有一闭合回路如图 1.26 所示,各支路的元件是任意的,已知: $U_{AB} = 5 \text{ V}$, $U_{BC} = -4 \text{ V}$, $U_{DA} = -3 \text{ V}$ 。试求: U_{CD} 和 U_{CA} 。

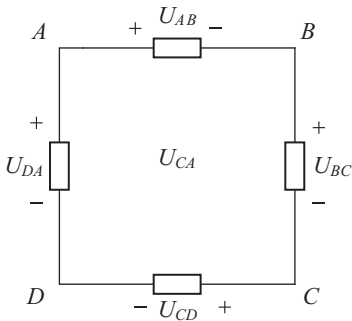


图 1.26 例 1.8 图

解 ①根据基尔霍夫电压定律可列出

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

即

$$5 + (-4) + U_{CD} - (-3) = 0$$

得

$$U_{CD} = -4 \text{ V}$$

②ABCA 不是闭合回路,也可应用基尔霍夫电压定律列出

$$U_{AB} + U_{BC} + U_{CA} = 0$$

即

$$5 + (-4) + U_{CA} = 0$$

得

$$U_{CA} = -1 \text{ V}$$

1.4.3 叠加定理

叠加定理是线性电路的一种重要的分析方法,它的内容是:由线性电阻和多个电源组成的线性电路中,任何一个支路的电流(或电压)等于各个电源单独作用时,在此支路中产生的电流(或电压)的代数和。

在应用叠加定理时,应特别注意以下两点:

第一,在考虑某一电源单独作用时,要假设其他独立电源为零值,即电压源短接,其电动势为零,电流源开路,其电流为零,但是如果它们的内阻存在,仍应计算在内。

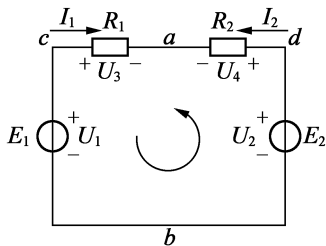


图 1.25 回路

第二,叠加定理只能用于计算线性电路的电压和电流,而不能计算功率等与电压或电流之间不是线性关系的参数。

【例 1.9】如图 1.27(a)所示,已知 $U_S=10\text{ V}$ 、 $I_S=5\text{ A}$ 、 $R_1=2\ \Omega$ 、 $R_2=3\ \Omega$,应用叠加定理求支路中的电流 I_1 和 I_2 。

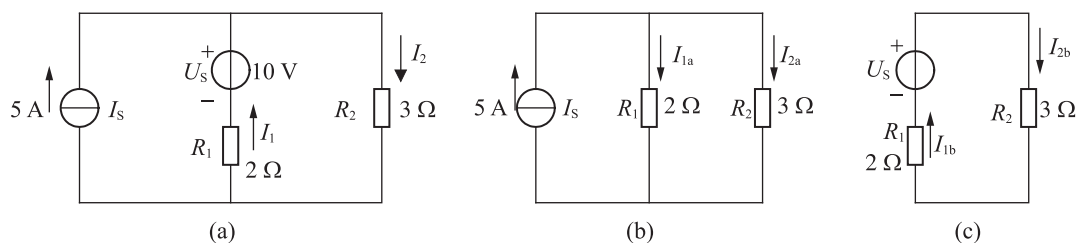


图 1.27 例 1.9 图

解 (1) 设电流源单独作用时,令 $U_S=0$,如图 1.27(b)所示,则

$$I_{1a} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \times I_S = \frac{3\ \Omega}{2\ \Omega + 3\ \Omega} \times 5\text{ A} = 3\text{ A}$$

$$I_{2a} = I_S - I_{1a} = 2\text{ A}$$

(2) 设电压源单独作用时,令 $I_S=0$,如图 1.27(c)所示,则

$$I_{1b} = I_{2b} = \frac{U_S}{R_1 + R_2} = \frac{10\text{ V}}{2\ \Omega + 3\ \Omega} = 2\text{ A}$$

(3) 将各支路电流叠加,则

$$I_1 = I_{1b} - I_{1a} = -1\text{ A}$$

$$I_2 = I_{2b} + I_{2a} = 4\text{ A}$$



微课:叠加定理



任务实施

通过上述内容的学习,我们一起来举例说明基尔霍夫定律在汽车电路中的应用。

假定汽车上两个电气系统进行连接,如图 1.28 所示。如何确定两根导线中电流 I_1 和 I_2 的关系?

不管两个电气系统内部如何复杂,若由两根导线连接,必然存在 $I_1=I_2$ 的关系。这是因为可将 A 系统视为一个广义结点,根据基尔霍夫电流定律,所以有: $I_1=I_2$ 。

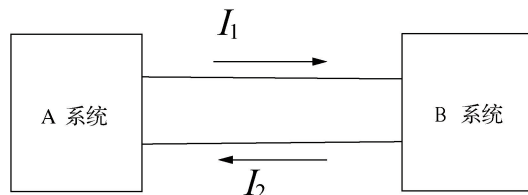
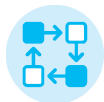


图 1.28 双导线连接系统



巩固实训

实训 基尔霍夫定律的验证

一、实训目标

- (1) 验证基尔霍夫定律的正确性。
- (2) 学会测定电路的开路电压与短路电流；加深对参考方向的理解。

二、实训设备

- (1) 直流稳压电源(两台), 分别为 12 V 和 6 V。
- (2) 万用表(一台)。
- (3) 标准电阻(三个), 分别为 100 Ω 、100 Ω 和 430 Ω 。

三、实训原理

- (1) 基尔霍夫电流定律: 电路中任意时刻, 流进和流出节点电流的代数和为零。
- (2) 基尔霍夫电压定律: 电路中任意时刻, 沿闭合回路的电压的代数和为零。

四、实训步骤

1. 验证电流定律

- (1) 用万用表测量 R_1 支路电流 I_1 。
- (2) 用万用表测量 R_2 支路电流 I_2 。
- (3) 用万用表测量 R_L 支路电流 I_3 。

将上述所得数据填写到表 1.2 中(单位: mA)。

表 1.2 验证电流定律数据记录

I_1	I_2	I_3	$\sum I$

2. 验证电压定律

用万用表分别测出各支路的电压 U_{ab} 、 U_{bc} 、 U_{cd} 、 U_{da} 。注意电压表正负接线(如图 1.29 所示)。

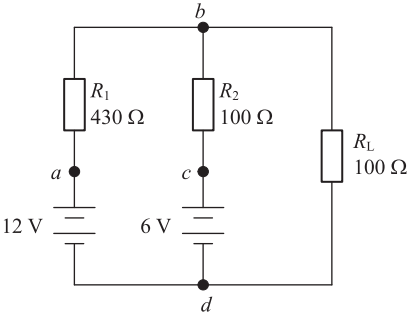


图 1.29 实验电路

记录数值,填入表 1.3 中(单位:V)。

表 1.3 验证电压定律数据记录

U_{ab}	U_{bc}	U_{cd}	U_{da}	$\sum U$

五、思考题

汽车上的电源有哪些? 它们是并联还是串联? 为什么?



巩固训练

一、选择题

1. 器件的电阻值取决于()。
A. 器件两端的电压 B. 器件的电流 C. 器件的材质、长度和横截面积
2. 当金属导体导电时, 电流的方向是()。
A. 正电荷定向移动的方向 B. 负电荷定向移动的方向 C. 负电荷定向移动的反方向
3. 关于电压的参考方向, 下列说法正确的是()。
A. 参考方向与实际方向可以一致
B. 参考方向必须和实际方向一致
C. 参考方向必须与实际方向相反
4. 某一个灯泡上写着额定电压 220 V, 这是指()。
A. 最大值 B. 有效值 C. 瞬间值
5. 在串联电路中, 总电压等于各个电阻上的分电压之()。
A. 和 B. 积 C. 差

二、填空题

1. 汽车内各电器之间采用 _____ 连接。
2. 将内阻为 0, 对外输出电压恒定不变的电源称为 _____。
3. 轿车普遍采用 _____ V 的电压连接供电系统。
4. 基尔霍夫电流定律指出, 电路中任一节点, 在任一瞬间流入该节点的电流之和 _____ 从该节点流出的电流之和。
5. 两个阻值为 10 Ω 的电阻并联以后的等效电阻为 _____ Ω 。

三、简答题

1. 简述用数字式万用表测量电阻时的注意事项。
2. 简述汽车电路的主要特点。