



“十二五”职业教育国家规划教材
经全国职业教育教材审定委员会审定



扫描二维码
共享立体资源

汽车电工与电子基础

汽车电工 与电子基础

中国汽车工程学会汽车应用与服务分会组织编写

总主编 朱 军 弋国鹏
主 编 顾 瑄 贾启阳

总主编 朱 军 弋国鹏
主 编 顾 瑄 贾启阳

北京出版集团
北京出版社

北京出版集团
北京出版社

图书在版编目(CIP)数据

汽车电工与电子基础 / 顾瑄, 贾启阳主编. —北京 :
北京出版社, 2014.5 (2023 重印)
高职“十二五”规划教材 : 2014 版
ISBN 978-7-200-10741-8

I. ①汽… II. ①顾… ②贾… III. ①汽车—电工—
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 (2014) 第 116663 号

汽车电工与电子基础

QICHE DIANGONG YU DIANZI JICHU

主 编: 顾 瑄 贾启阳

出 版: 北京出版集团

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

经 销: 新华书店

印 刷: 定州市新华印刷有限公司

版 次: 2014 年 5 月第 1 版 2023 年 5 月修订 2023 年 6 月第 6 次印刷

开 本: 787 毫米 × 1092 毫米 1/16

印 张: 14

字 数: 269 千字

书 号: ISBN 978-7-200-10741-8

定 价: 42.00 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 汽车电路的识读与测量	2
学习任务一 汽车电路的组成与识读	2
学习任务二 电路基本物理量的认识与测量	6
学习任务三 电路基本定律的认识与验证	11
学习任务四 汽车照明电路的分析与检测	16
学习单元二 汽车晶体管电路的检测与应用	22
学习任务一 二极管的识别与检测	22
学习任务二 汽车发电机整流器的分析与检测	26
学习任务三 晶体管的识别与检测	29
学习任务四 汽车晶体管电压调节器的分析	32
学习单元三 汽车常用电磁器件原理分析与检测	37
学习任务一 汽车喇叭继电器故障诊断	37
学习任务二 汽车点火线圈工作情况分析	39
学习任务三 汽车霍尔式点火信号发生器工作情况分析	44
学习单元四 汽车发电机与电动机原理分析与检测	49
学习任务一 汽车交流发电机的拆解与检测	49
学习任务二 汽车起动机用直流电动机的拆解与检测	55
学习任务三 汽车永磁式电动刮水器工作原理分析	58
学习单元五 汽车数字电路的分析与应用	61
学习任务一 汽车门锁控制电路的分析	61

学习任务二	汽车数字显示转速表的分析	64
学习任务三	集成 555 定时器构成的刮水控制器分析	68
学习任务四	汽车故障诊断仪的使用及车辆检测	70

学习参考

学习单元一 汽车电路的识读与测量 74

学习任务一	汽车电路的组成与识读	74
学习任务二	电路基本物理量的认识与测量	89
学习任务三	电路基本定律的认识与验证	104
学习任务四	汽车照明电路的分析与检测	110

学习单元二 汽车晶体管电路的检测与应用 113

学习任务一	二极管的识别与检测	113
学习任务二	汽车发电机整流器的分析与检测	120
学习任务三	晶体管的识别与检测	127
学习任务四	汽车晶体管电压调节器的分析	131

学习单元三 汽车常用电磁器件原理分析与检测 143

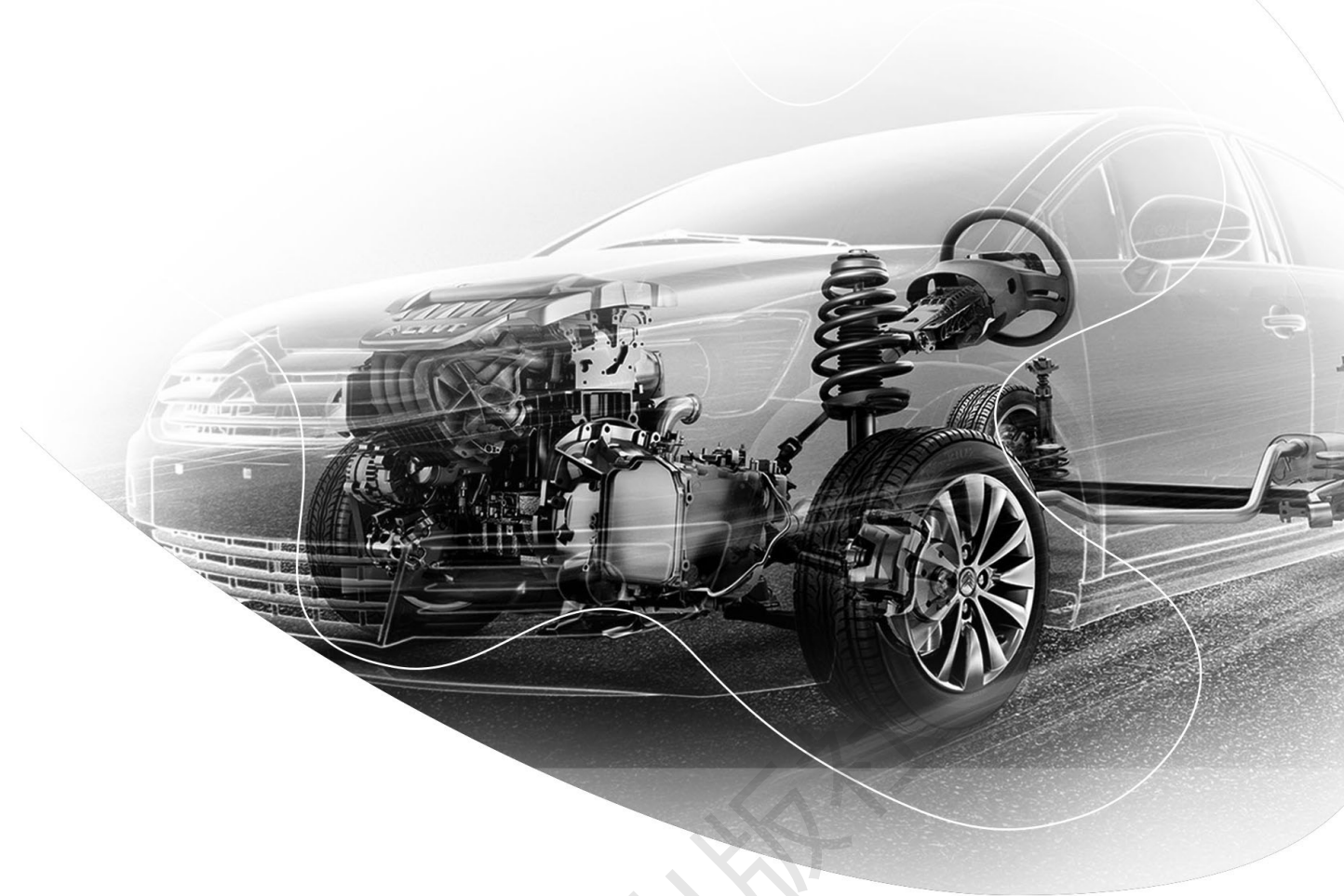
学习任务一	汽车喇叭继电器故障诊断	143
学习任务二	汽车点火线圈工作情况分析	155
学习任务三	汽车霍尔式点火信号发生器工作情况分析	162

学习单元四 汽车发电机与电动机原理分析与检测 168

学习任务一	汽车交流发电机的拆解与检测	168
学习任务二	汽车起动机用直流电动机的拆解与检测	189
学习任务三	汽车永磁式电动刮水器工作原理分析	195

学习单元五 汽车数字电路的分析与应用 197

学习任务一	汽车门锁控制电路的分析	197
学习任务二	汽车数字显示转速表的分析	200
学习任务三	集成 555 定时器构成的刮水控制器分析	203
学习任务四	汽车故障诊断仪的使用及车辆检测	209



学习工作页

学习单元一

汽车电路的识读与测量

本单元的学习任务可以分为：

学习任务一 汽车电路的组成与识读

学习任务二 电路基本物理量的认识与测量

学习任务三 电路基本定律的认识与验证

学习任务四 汽车照明电路的分析与检测

学习任务一 汽车电路的组成与识读

任务描述

汽车电路通常由电源电路、起动电路、点火电路、照明与灯光信号电路、仪表信息系统电路、辅助装置电路和电子控制系统电路组成。认识电路的基本组成和电路基础元件，学会识读汽车电路图，是汽车专业的学生必须掌握的重要内容。

学习目标

1. 知道电路的基本组成和作用。
2. 知道汽车电路的组成和特点。
3. 认识汽车电路的基础元件。
4. 学会识读汽车电路原理图。
5. 提高学生的职业素养与自主学习能力，为实现中华民族伟大复兴的中国梦，以中国式现代化推进中华民族伟大复兴而努力学习。



学习准备

一、知识内容

知识点：汽车电路的基本组成和特点、汽车电路的基础元件。

技能点：识读汽车简单电路图。

表 1-1-1

知识点	
技能点	

二、工作场所

一体化教室。

三、工作器材

汽车电气试验台、汽车整车、汽车维修常用工具等。



计划与实施

一、在汽车电路的识读前我们应该了解一些基本信息，先讨论一下识读时应注意哪些问题。

1. 了解基本信息

- (1) 实训车型 _____。
- (2) 专业工具 _____。
- (3) 常用工具 _____。

2. 识读时的注意事项

- (1) _____。
- (2) _____。
- (3) _____。
- (4) _____。
- (5) _____。

二、在教师的引导下分组，以小组为单位学习相关知识并进行技能训练。查阅桑塔纳轿车电路图及维修手册，讨论并确定识读的方法、结论（表 1-1-2）。

表 1-1-2

内容	结果确认	
查阅资料确定汽车照明设备主要功能	正确□	不正确□
在整车上找到车外照明装置,包括前照灯、雾灯、倒车灯、牌照灯等	正确□	不正确□
在整车上找到车内照明装置,包括仪表灯、顶灯、阅读灯等	正确□	不正确□
在整车上找到工作照明装置,包括行李箱灯、发动机罩灯等	正确□	不正确□
识读桑塔纳轿车照明电路原理图,并做分析	正确□	不正确□

图 1-1-1 是桑塔纳轿车照明系统电路,识读此图并做分析。

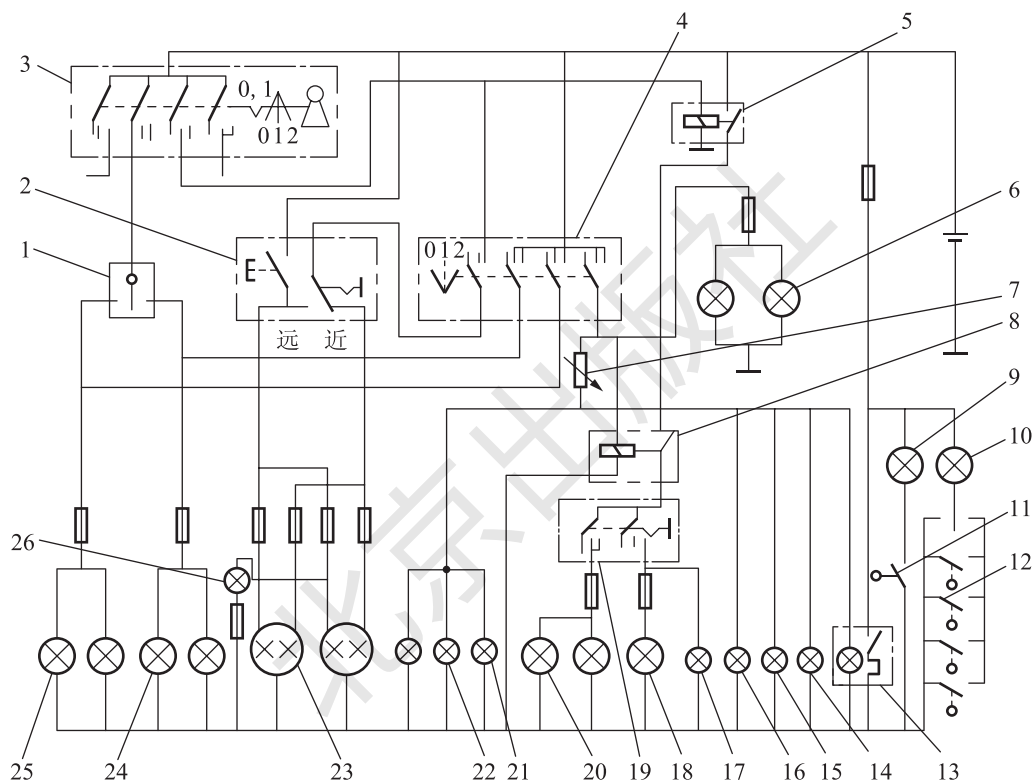


图 1-1-1 桑塔纳轿车照明系统电路

1—停车灯开关;2—变光和超车灯开关;3—点火开关;4—车灯开关;5—中间继电器;6—牌照灯;7—仪表灯调节电阻;8—雾灯继电器;9—行李箱灯;10—前顶灯;11—行李箱开关;12—前顶灯门控开关;13—点烟器照明灯;14—雾灯开关照明灯;15—后风窗除霜开关照明灯;16—空调开关照明灯;17—雾灯指示灯;18—后雾灯;19—前后雾灯开关;20—前雾灯;21—仪表灯;22—时钟照明灯;23—前照灯;24—右前后示廓灯;25—左前后示廓灯;26—远光指示灯



评价与反馈

一、知识考核

1. 请说明图 1-1-2 所示电流的实际方向。

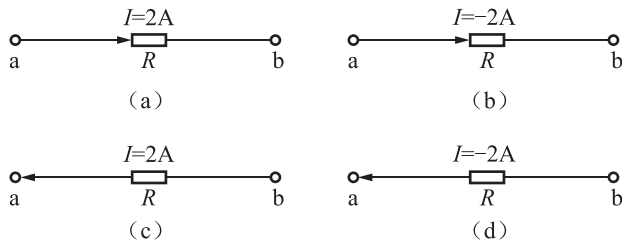


图 1-1-2

2. 电路如图 1-1-3 所示，分别选定 a、b、c 为参考点，求各结点电位。

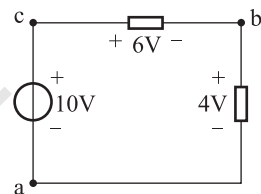


图 1-1-3

3. 有一个 220V、40W 的台灯，接到 220V 的电源上，求通过该台灯的电流和在工作电压下的电阻。若每晚使用 3 小时，每月将消耗几度电？

二、技能考核

表 1-1-3 学生实践记录表

班级		车型及年款	
姓名		车辆识别码	
学号		里 程 数	
实践项目		实践设备	发动机型号
资料查阅			
识读并分析	1. 前照灯控制电路 2. 雾灯控制电路 3. 牌照灯控制电路 4. 顶灯控制电路 5. 行李箱灯控制电路 6. 其他照明灯控制电路		
特点分析			

续表

自我评价	良好□ 合格□ 不合格□
教师评价	良好□ 合格□ 不合格□ 教师姓名： 年 月 日

表 1-1-4 测评表

序号	任务目标测评	自评	互评	师评
1	能够结合台架及整车正确说出汽车电路的各组成部分			
2	认识汽车电路的基础元件			
3	正确识读汽车电路图			
4	能够正确分析各照明灯的控制电路			

学习任务二 电路基本物理量的认识与测量

任务描述

在汽车电路中，各种汽车电子电器设备的安装位置、接线方法各不相同，但测量电路中基本物理量的方法基本相同，学会使用仪器仪表测量这些物理量，掌握其中的某些规律，将对汽车的故障诊断和排除提供很大的帮助。

学习目标

1. 知道直流电路的基本物理量。
2. 知道电阻、电容、电感元件的识别方法及其特性。
3. 学会万用表的基本使用方法。
4. 学会对直流电路中电阻、电压和电流进行测量。
5. 培养学生的专业服务意识与团队协作精神，坚持全心全意为人民服务的根本宗旨。



学习准备

一、知识内容

知识点：电阻、电容、电感元件的识别方法及其特性。

技能点：万用表的使用方法，对直流电路中的电阻、电压和电流进行测量。

表 1-1-5

知识点	
技能点	

二、工作场所

一体化教室。

三、工作器材

电工电子试验台、汽车电工维修常用工具。



计划与实施

一、在汽车电路的识读前我们应该了解一些基本信息，先讨论一下识读时应注意哪些问题。

1. 了解基本信息

- (1) 实训试验台 _____。
- (2) 专业工具 _____。
- (3) 常用工具 _____。

2. 识读时的注意事项

- (1) _____。
- (2) _____。
- (3) _____。
- (4) _____。

(5) _____。

二、在教师的引导下分组，以小组为单位学习相关知识和进行技能训练。查阅资料，讨论并确定万用表使用前的准备、注意事项及电阻、电容、电感元件的识别方法及元件的测量方法（表 1-1-6）。

表 1-1-6

内容	结果确认	
使用万用表前的准备工作	正确 ☐	不正确 ☐
使用万用表进行电阻的测量	正确 ☐	不正确 ☐
直流电路中电压和电流的测量	正确 ☐	不正确 ☐



评价与反馈

一、知识考核

1. 图 1-1-4 中 (a) (b) (c) 所示为从某一电路中取出的一条支路 AB。试问：电流的实际方向如何？

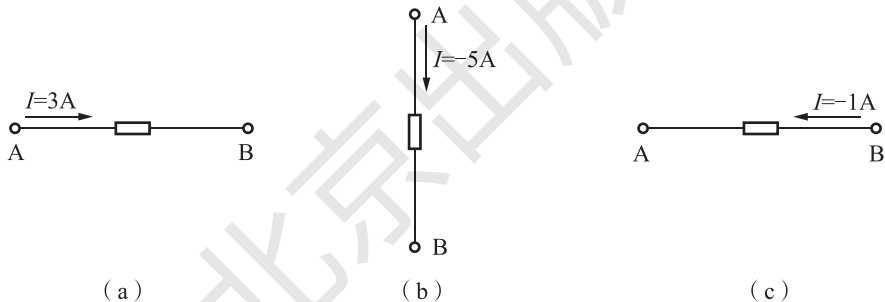


图 1-1-4

2. 某型号电热炉接在 220V 的电源上，通过的电流为 5A，求该电热炉的电阻。

3. 图 1-1-5 所示电路中，已知电源的电动势 $E=24\text{V}$ ，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。

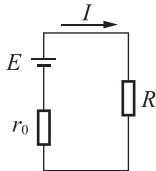
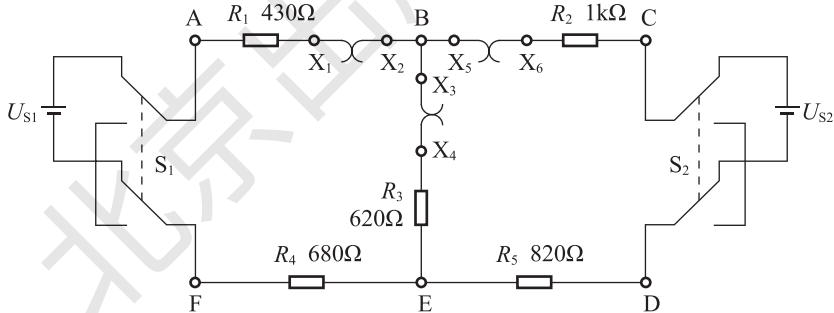


图 1-1-5

二、技能考核

表 1-1-7 学生实践记录表

班级		试验台名称																														
姓名		学号																														
实践项目		实践设备																														
资料查阅																																
识读并分析	1. 学习使用指针式万用表。 使用万用表前的准备工作：																															
	2. 使用万用表进行电阻的测量。 用指针式万用表测量图 1 所示电路中电阻的阻值，记录在表 1 中，然后再用色环法识别这些电阻的阻值，同样记录在表 1 中，并将测量和识别的 2 次结果做比较。注意：测量电阻前，应首先断开电路的电源及电阻的连接导线。因为若带电状态下测量，将损坏万用表；若在电阻连接状态下测量，将影响电阻的测量结果。																															
																																
图 1 实验电路 表 1 电阻测量数据表 <table><tr><th colspan="2">R_1/Ω</th><th colspan="2">R_2/Ω</th><th colspan="2">R_3/Ω</th><th colspan="2">R_4/Ω</th><th colspan="2">R_5/Ω</th></tr><tr><th>万用表测量</th><th>色环法识别</th><th>万用表测量</th><th>色环法识别</th><th>万用表测量</th><th>色环法识别</th><th>万用表测量</th><th>色环法识别</th><th>万用表测量</th><th>色环法识别</th></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>			R_1/Ω		R_2/Ω		R_3/Ω		R_4/Ω		R_5/Ω		万用表测量	色环法识别	万用表测量	色环法识别	万用表测量	色环法识别	万用表测量	色环法识别	万用表测量	色环法识别										
R_1/Ω		R_2/Ω		R_3/Ω		R_4/Ω		R_5/Ω																								
万用表测量	色环法识别	万用表测量	色环法识别	万用表测量	色环法识别	万用表测量	色环法识别	万用表测量	色环法识别																							
	3. 直流电路中电压和电流的测量。 按图 2 所示电路中，将开关 S_2 合在短路位置（不加直流电源 U_{S2}，只接一个直流稳压电源 U_{S1}）。用两条短导线分别将电阻 R_4 及 R_5 短路，此时 F、E、D 三点均连在一起。 （1）图中 X_1、X_2、X_3、X_4、X_5、X_6 为节点 B 的 3 条支路电流 I_1、I_2、I_3 的测																															

续表

量接口，选择使用万用表的直流电流挡测量各支路电流。如图2所示，将万用表串联在被测支路中，让电流从“+”端流进，“-”端流出，用表笔轻触电路，若发现万用表指针反偏应立即调换表笔。将直流稳压电源调在 $U_{S1}=10\text{V}$ ，用万用表分别测量电流 I_1 、 I_2 、 I_3 ，将数据记录在表2中。

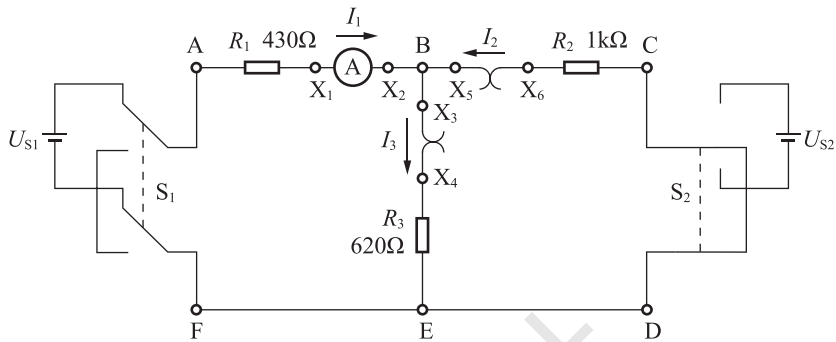


图2 测量电路中支路电流的实验电路

表2 电压、电流测量数据表 ($U_{S2}=0\text{V}$)

U_{S1}	U_1/V	U_2/V	U_3/V	I_1/mA	I_2/mA	I_3/mA
10V						
20V						

识读并分析

(2) 测量电阻两端电压时，用连接导线将3个电流接口短接，将万用表调在直流电压挡，且并联在被测电阻两端，“+”“-”极性不可接反，如图3所示。若无法区分正、负极，应先将量程选在较高挡位，用表笔轻触电路，若指针反偏，则要调换表笔。将直流稳压电源调在 $U_{S1}=10\text{V}$ ，用万用表分别测量电压 U_1 、 U_2 、 U_3 ，并记录在表2中。

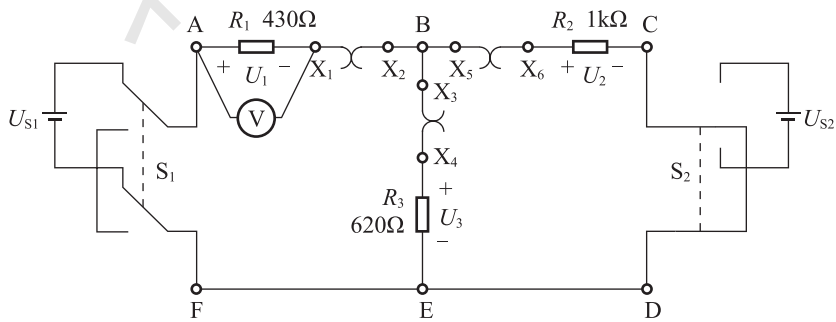


图3 测量电路中电阻两端电压的实验电路

(3) 再调 $U_{S1}=20\text{V}$ ，按照上述方法重新测量 I_1 、 I_2 、 I_3 和 U_1 、 U_2 、 U_3 ，并记录在表2中。

特点分析

续表

自我评价	良好□ 合格□ 不合格□
教师评价	良好□ 合格□ 不合格□ 教师姓名: 年 月 日

表 1-1-8 测评表

序号	工作任务测评	自评	互评	师评
1	能够正确使用万用表测量电阻			
2	能够对万用表测量和色环识别两种方法测得的电阻进行误差分析			
3	能够正确测量电路中的电流和电压			
4	万用表的量程选择是否得当			

学习任务三 电路基本定律的认识与验证

任务描述

汽车电路中经常要进行一些简单的物理量的计算,比如,汽车用电器电阻、电流和功率的估算,需要应用到一些基本的电路定律,其中欧姆定律的应用最为广泛。在复杂电路的分析和计算中,需要应用基尔霍夫电流定律和电压定律,基尔霍夫电流定律用于电路的节点分析,基尔霍夫电压定律用于电路的回路分析。通过实际电路验证基尔霍夫两个定律。

学习目标

1. 知道电路的 3 种工作状态。
2. 学会应用欧姆定律估算照明灯电阻、人体电阻的大小。
3. 学会汽车用电器的电流和功率的估算方法。
4. 通过实验验证基尔霍夫电流定律和电压定律。
5. 培养学生自我认知、勇于探索与追求真理的专业素养,加快实现高水平科技自立自强。



学习准备

一、知识内容

知识点：电路的 3 种工作状态，应用欧姆定律估算照明灯电阻、人体电阻的大小。
技能点：基尔霍夫电流定律和电压定律。

表 1-1-9

知识点	
技能点	

二、工作场所

一体化教室。

三、工作器材

电工电子试验台、汽车电工维修常用工具。



计划与实施

一、在汽车电路的识读前我们应该了解一些基本信息，先讨论一下识读时应注意哪些问题。

1. 了解基本信息

(1) 实训试验台 _____。

(2) 专业工具 _____。

(3) 常用工具 _____。

2. 计算及测量时的注意事项

(1) _____。

(2) _____。

(3) _____。

(4) _____。

(5) _____。

二、在教师的引导下分组，以小组为单位学习相关知识并进行技能训练。

表 1-1-10

内容	结果确认
欧姆定律的应用	正确 ☐ 不正确 ☐
测量验证基尔霍夫电流定律	正确 ☐ 不正确 ☐
测量验证基尔霍夫电压定律	正确 ☐ 不正确 ☐



评价与反馈

一、知识考核

1. 试求图 1-1-6 所示电路中的电流 I 。

2. 在图 1-1-7 所示的电路中， $I_1=4\text{A}$ ， $I_2=1\text{A}$ ， $I_4=-3\text{A}$ ， $I_5=-2\text{A}$ ，求电流 I_3 的数值。

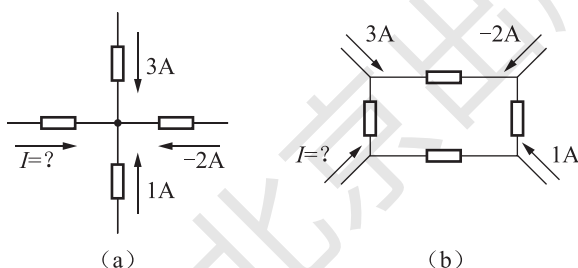


图 1-1-6

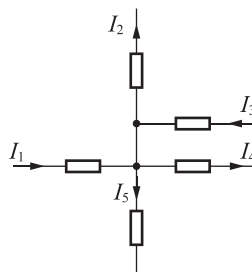


图 1-1-7

二、技能考核

表 1-1-11 学生实践记录表

班级		试验台名称	
姓名		学号	
实践项目		实践设备	
资料查阅			

续表

识读并分析

1. 欧姆定律的应用
电阻值的估算如图 1 所示，已知蓄电池的电动势 $E=12\text{V}$ ，外电阻 $R=0.3\Omega$ ，电路中电流为 30A ，问蓄电池的内阻 r 是多少？

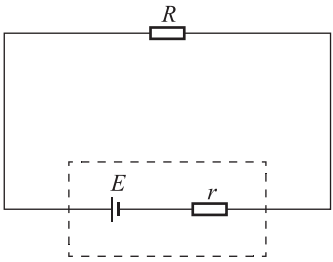


图 1 蓄电池内阻的估算电路

2. 基尔霍夫定律的验证实验
(1) 验证基尔霍夫电流定律

本实验在直流电路单元板上进行，实验电路如图 2 所示。图中 X_1 、 X_2 、 X_3 、 X_4 、 X_5 、 X_6 为节点 B 的 3 条支路电流测量接口，测量某支路电流时，将万用表串联在该支路中，读数即为被测支路电流。验证基尔霍夫电流定律（KCL）时，可假定流入该节点的电流为正，流出该节点的电流为负（反之也可），当万用表指针正向偏转时，说明该支路电流是流入节点的，与参考方向相同，取其值为正；若指针反向偏转，说明该支路电流是流出节点的，与参考方向相反，倒换表笔极性，再测量，取其值为负。将测量的结果填入表 1 中。（取 $U_{S1}=10\text{V}$ ， $U_{S2}=18\text{V}$ ）

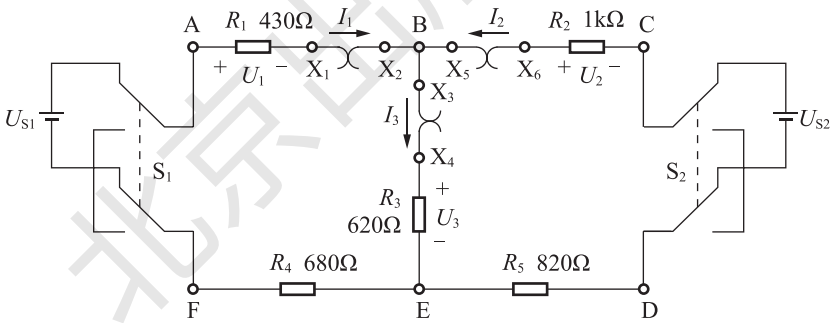


图 2 验证基尔霍夫定律电路图

表 1 验证 KCL 数据记录表

支路电流	计算值	测量值
I_1/mA		
I_2/mA		
I_3/mA		
$\sum I =$		

(2) 验证基尔霍夫电压定律
本实验在直流电路单元板上进行，实验电路如图 2 所示。测量某闭合回路各电压时，也应假定某一绕行方向为参考方向，按绕行方向测量各电压时，若万用表指针正向偏转，则该电压取正值；若万用表指针反向偏转，倒换表笔极性，

续表

识读并分析	再测量, 该电压取负值。		
	用连接导线将 3 个电流接口短接, 取两个验证回路: 回路 1 为 ABEFA, 回路 2 为 BCDEB。用万用表依次测量 ABEFA 回路中各支路电压 U_{AB} 、 U_{BE} 、 U_{EF} 和 U_{FA} ; 再依次测量 BCDEB 回路中各支路电压 U_{BC} 、 U_{CD} 、 U_{DE} 和 U_{EB} , 将测量结果填入表 2 中。测量时可选顺时针方向为回路绕行方向, 并注意指针偏转方向及取值的正与负。		
	表 2 验证 KVL 数据记录表		
	回路电压	计算值	测量值
	U_{AB}/V		
	U_{BE}/V		
	U_{EF}/V		
	U_{FA}/V		
	ABEFA 回路 $\sum U =$		
	U_{BC}/V		
	U_{CD}/V		
	U_{DE}/V		
U_{EB}/V			
	BCDEB 回路 $\sum U =$		
特点分析			
自我评价	良好 ☐ 合格 ☐ 不合格 ☐		
教师评价	良好 ☐ 合格 ☐ 不合格 ☐		
教师姓名: _____ 年 月 日			

表 1-1-12 测评表

序号	任务目标测评	自评	互评	师评
1	正确表述及运用欧姆定律			
2	能够正确地从电器标志上估算出电器的电阻和额定电流			
3	能够独立验证基尔霍夫电压定律和电流定律			
4	正确计算实验电路中各电压值和电流值			

学习任务四 汽车照明电路的分析与检测

任务描述

汽车电路具有单线制，各电路负载相互并联以及电源也是相互并联使用。而汽车上安装的熔断装置则是串联在元器件或零部件的回路中。学习汽车照明电路中串、并联电路的特点，能够利用串、并联的基本性质分析简单的汽车照明电路的电流流向，并能初步判断照明电路的故障所在位置。

学习目标

- 1. 掌握串联电路的特点及计算方法。
- 2. 掌握并联电路的特点及计算方法。
- 3. 学会应用串、并联性质分析汽车照明电路的结构。
- 4. 学会对照明电路的故障进行分析和检测。
- 5. 培养学生科学严谨的工匠精神，使其具备汽车照明电路方面的故障分析思维。



学习准备

一、知识内容

知识点：串联电路和并联电路的特点及计算方法。

技能点：应用串、并联性质分析汽车照明电路的结构，对照明电路的故障进行分析和检测。

表 1-1-13

知识点	

续表

技能点	

二、工作场所

一体化教室。

三、工作器材

桑塔纳电气系统试验台、桑塔纳整车、维修专用工具、汽车维修常用工具等。



计划与实施

一、在汽车电路的识读前我们应该了解一些基本信息，先讨论一下识读时应注意哪些问题。

1. 了解基本信息

- (1) 实训车型 _____。
- (2) 专业工具 _____。
- (3) 常用工具 _____。

2. 识读时的注意事项

- (1) _____。
- (2) _____。
- (3) _____。
- (4) _____。
- (5) _____。

二、在教师的引导下分组，以小组为单位学习相关知识和进行技能训练。查阅桑塔纳轿车电路图及维修手册，讨论并确定识读的方法、结论（表 1-1-14）。

表 1-1-14

内容	结果确认	
小灯、尾灯电路分析及检测	正确 ☐	不正确 ☐
电流流向分析	正确 ☐	不正确 ☐
前大灯电路分析及检测	正确 ☐	不正确 ☐
左前大灯不亮，判断故障位置	正确 ☐	不正确 ☐



评价与反馈

一、知识考核

1. 在图 1-1-8 所示电路中, 各支路元件是任意的, 各电压参考方向如图所示。已知 $U_{AB}=3\text{V}$, $U_{BC}=4\text{V}$, $U_{DE}=-6\text{V}$, $U_{AE}=8\text{V}$, 试求: (1) U_{CD} ; (2) U_{AD} 。

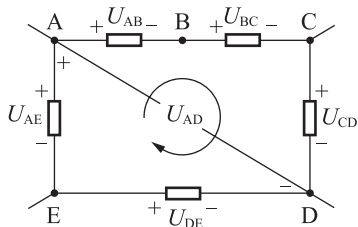
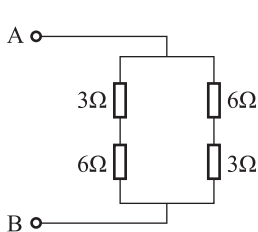
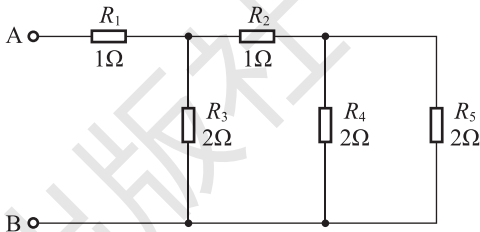


图 1-1-8

2. 求图 1-1-9 所示电路中 A、B 两端的总电阻值。



(a)



(b)

图 1-1-9

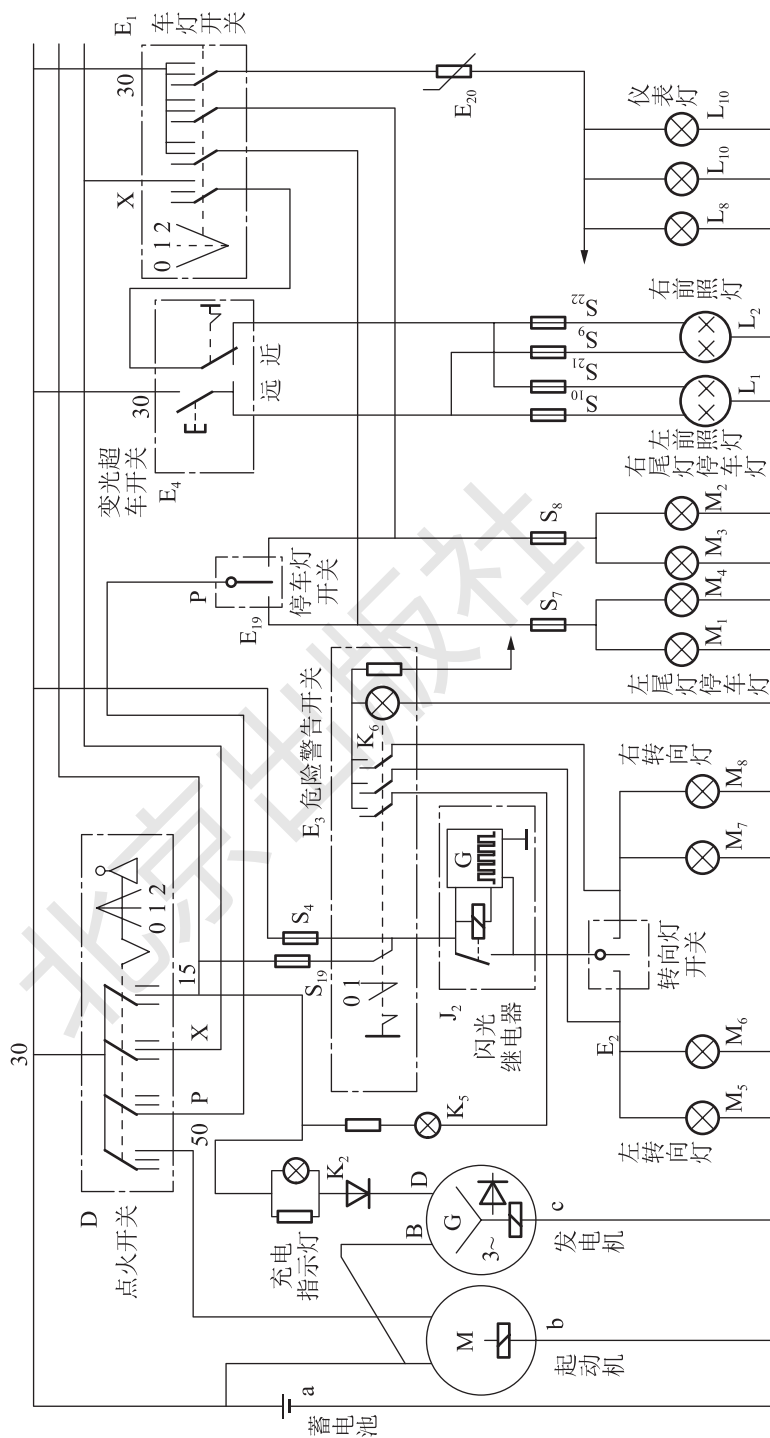
二、技能考核

表 1-1-15 学生实践记录表

班级		车型及年款	
姓名		车辆识别码	
学号		里 程 数	
实践项目		实践设备	
资料查阅			
识读并分析	1. 小灯、尾灯电路分析及检测 如图 1 所示是桑塔纳 2000 轿车照明系电路原理图。小灯与尾灯兼作停车灯使用, 当汽车停驶时, 用作停车灯; 当汽车行驶时, 用作小灯和尾灯。		

续表

识读并分析



电流流向分析:

图 1 桑塔纳 2000 轿车照明系统电路原理图

续表

检测过程在图 2 所示的桑塔纳 2000 全车电器示教台上进行。按照图 3 指示，不打开点火开关，将车灯开关闭合至 1 挡或者 2 挡，则左右小灯和尾灯立即亮起，大灯不亮，说明 _____ 直接与蓄电池相连。

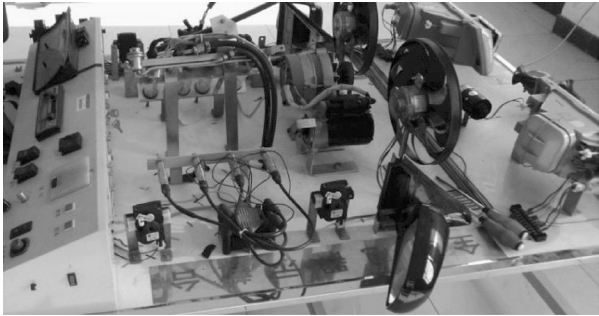


图 2 桑塔纳 2000 全车电器示教台



图 3 开关位置图

识读并分析

2. 前大灯电路分析及检测

3. 左前大灯不亮，判断故障位置

(1) 检测蓄电池到两个大灯熔丝入口处电路是否正常

(2) 检测前大灯电流流入口是否有电压

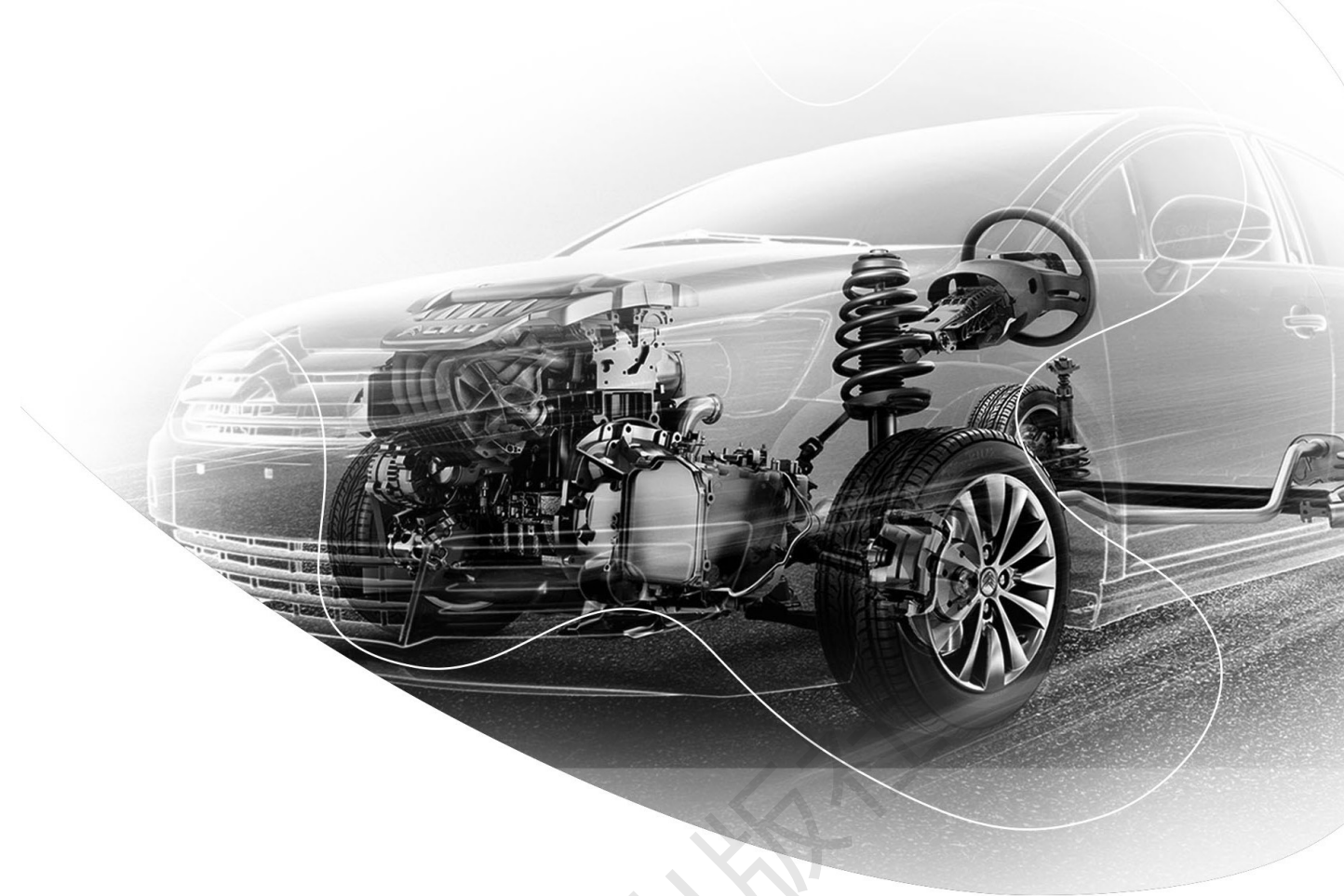
特点分析

续表

自我评价	良好 ☐ 合格 ☐ 不合格 ☐
教师评价	良好 ☐ 合格 ☐ 不合格 ☐ 教师姓名: _____ 年 月 日

表 1-1-16 测评表

序号	任务目标测评	自评	互评	师评
1	能够正确分析照明电路中串、并联部分			
2	能够叙述串、并联电路的特点			
3	正确分析出各电流通路的电流流动方向			
4	能够正确判定故障所在位置			



学习参考

学习任务一 汽车电路的组成与识读



相关知识

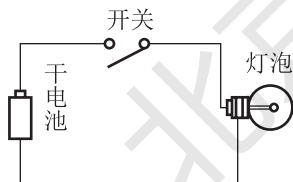
一、电路的基本概念

(一) 电路的基本组成

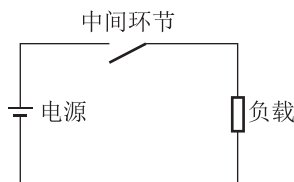
电路泛指电流通过的路径。一般实际电路（如电视机、电子计算机中的电路）都由电阻器、电感线圈、电容器、电源、晶体管、集成电路等电路元器件组成。一种最简单的实际照明电路如图 2-1-1 所示。该电路可通过开关控制电路的通与断：开关断开时，电路中没有电流通过，灯泡不亮，这种状态称为开路或断路；开关闭合时，电路中有电流通过，灯泡点亮，这种状态称为通路。



电路的基本概念



(a) 示意图



(b) 原理图

图 2-1-1 简单照明电路

电路基本上由 3 个部分组成。

1. 电源

电源是将其他形式的能量转化为电能，为电路提供电能的装置。汽车上常用的电源是蓄电池和发电机，两个电源并联。

2. 负载

负载是消耗电能的设备或器件。它的作用是把电能转化成其他形式的能（如热、光、声、机械能等）。汽车上常用负载有起动机、电喇叭、照明灯、各种电子控制装置。

3. 中间环节

电路的中间部分，称为中间环节，它是连接电源和负载的部分，具有输送、分配、控制电路通断的功能。汽车上的中间环节主要由导线、保护装置、控制装置等组成。

(二) 电路的基本作用

1. 实现电能与其他形式能量的转换、传输和分配

例如，发电厂把通过煤粉和油的燃烧产生的热量转换成电能，再通过变压器、输电线送到各用户，用户把电能再转换为光能（照明）、热能（加热器）和机械能（电动机）加以使用。汽车前照灯电路将蓄电池或发电机的电能传输给前照灯，前照灯将电能转换为光能。

2. 实现信号的传递和处理

通过电路可以把输入的信号变换或“加工”成其他所需要的输出。例如，半导体收音机天线收到的是一些很微弱的电信号，这些微弱的信号必须通过调谐环节选择到你所需要的某个频率信号，再经过一系列的放大环节，最后从输出端重现所需的信号。汽车发电机的整流电路能够将发电机产生的交流电变换为能被汽车电器所使用的直流电。

二、汽车电路的组成

(一) 电源电路

电源电路也称为充电电路，是由蓄电池（图 2-1-2）、发电机、调节器及充电指示装置等组成，电能分配及电路保护器件也可归入这一电路。



汽车电路的组成

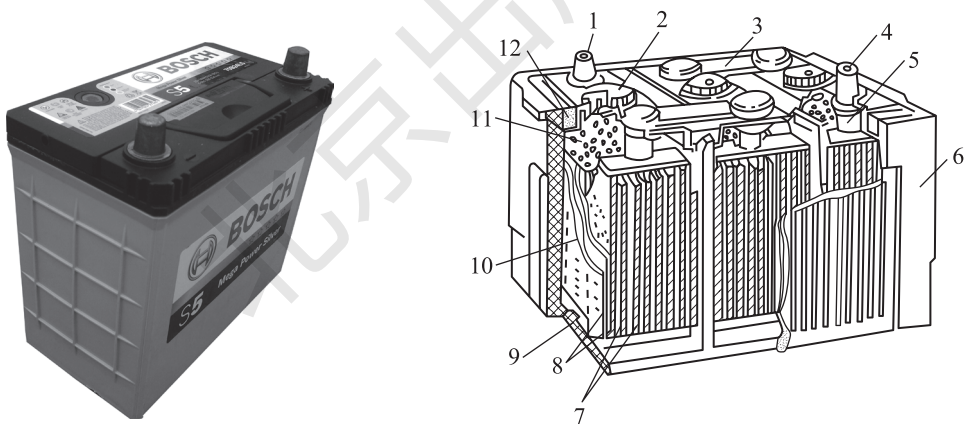


图 2-1-2 蓄电池的外形及结构

- 1—负极接线柱；2—加液孔螺塞；3—连接条；4—正极接线柱；5—电极衬套；
6—外壳；7—正极板；8—负极板；9—肋条；10—隔板；11—护板；12—封条

(二) 起动电路

起动电路是由起动机、起动继电器、起动开关及起动保护电路组成的电路，如图 2-1-3 所示，也可将低温条件下起动预热的装置及其控制电路列入这一电路内。

(三) 点火电路

点火电路是汽油发动机汽车特有的电路。汽车点火系统由点火线圈、分电器、点火控制器、火花塞及点火开关等组成，汽车点火系统主要部件如图 2-1-4 所示。



(a) 起动机

(b) 起动继电器

(c) 起动开关

图 2-1-3 汽车起动电路主要组成部件



(a) 点火线圈

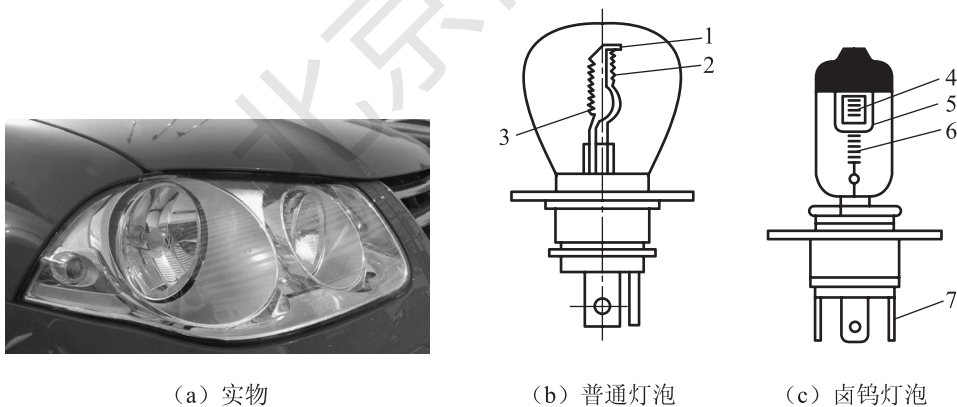
(b) 分电器

(c) 火花塞

图 2-1-4 汽车点火系统主要部件

(四) 照明与灯光信号电路

照明与灯光信号电路是由前照灯、雾灯、示廓灯、转向灯、制动灯、倒车灯、车内照明灯及有关控制继电器和开关组成的电路。汽车前照灯灯泡的结构如图 2-1-5 所示。



(a) 实物

(b) 普通灯泡

(c) 卤钨灯泡

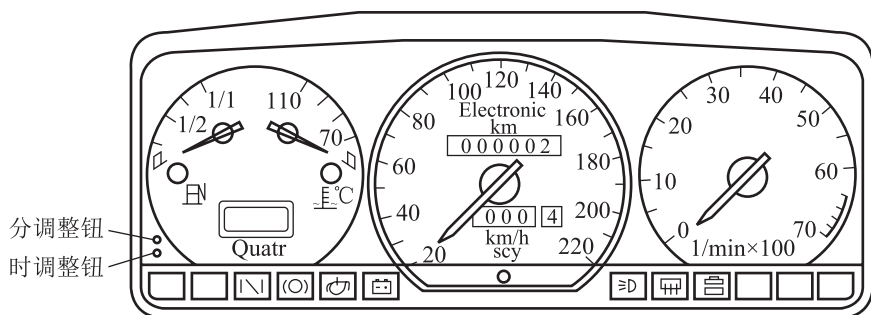
图 2-1-5 汽车前照灯的灯泡

1, 5—配光屏; 2, 4—近光灯丝; 3, 6—远光灯丝; 7—插片

(五) 仪表信息系统电路

仪表信息系统电路是由仪表及其传感器、各种报警指示灯及控制器组成的电路。图 2-1-6 所示的是汽车组合仪表, 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、燃油量不足、制动液面过低等报警灯和转向、远光、充电等指示灯。全部仪表、指示灯和报警灯都

装在仪表板框座内。



(a) 机电模拟式仪表（桑塔纳2000型）



(b) 大众速腾组合仪表实物照

图 2-1-6 汽车组合仪表

(六) 辅助装置电路

辅助装置电路是为提高车辆安全性、舒适性等设置的，由各种电器装置组成的电路。辅助电器装置的种类随车型不同而有所差异，汽车档次越高，辅助电器装置越完善。一般包括风窗刮水及清洗装置、风窗除霜（防雾）装置、空调装置、音响装置等。较高级车型上还装有车窗电动升降装置、电控门锁、电动座椅调节装置和电动后视镜等。图 2-1-7 所示为汽车音响和电动后视镜实物图。



(a) 音响装置



(b) 电动后视镜

图 2-1-7 汽车辅助装置实物照

(七) 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（包括燃油喷射、点火、排放等控制系

统)、自动变速器及定速巡航控制系统、制动防抱死系统、安全气囊控制系统等组成。图 2-1-8 所示为自动变速器换挡装置和安全气囊。

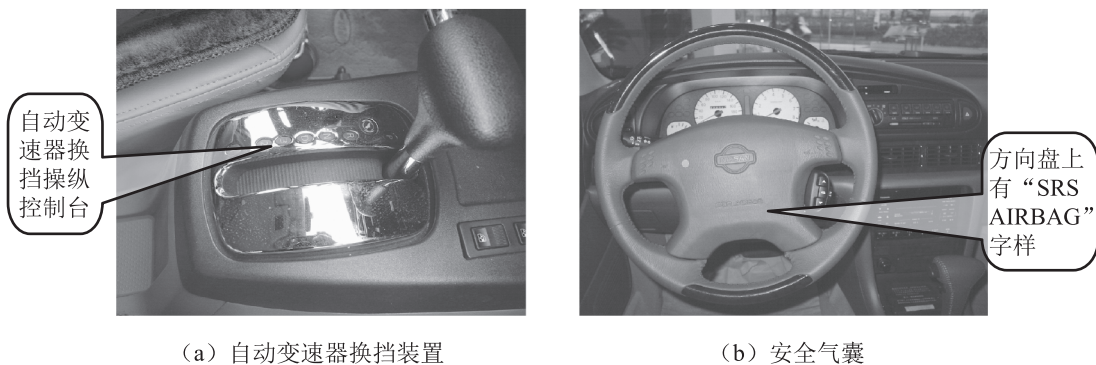


图 2-1-8 汽车常用电子控制装置

三、汽车电路基础元件的认识

(一) 保险装置

1. 熔断器

熔断器也称为保险丝、熔丝，是汽车电路中最普遍的保护装置。熔断器的外形如图 2-1-9 所示。当电路中流过超过规定的电流时，熔断器因自身发热而熔断，切断电路，起到保护电路、连接导线和用电设备的作用。通常情况下，很多熔断器组合在一起安装在熔断器盒内，并在熔断器盒盖上注明各熔断器的名称、额定容量和位置。熔断器盒通常位于仪表台里面或仪表台下面的围板上、发动机罩下等处。

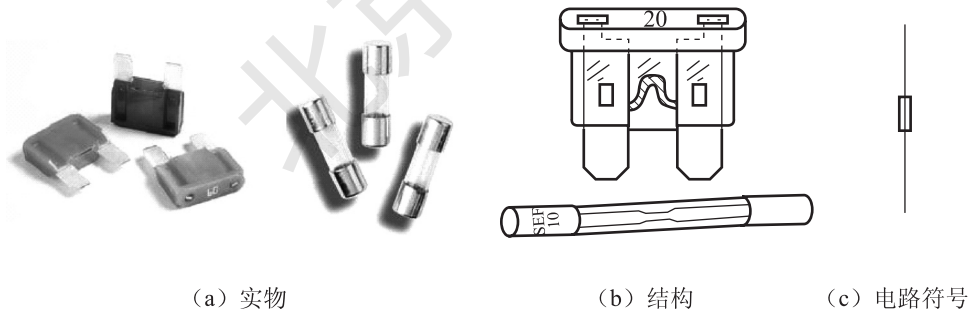


图 2-1-9 熔断器的外形、结构及电路符号

2. 易熔线

易熔线是一种大容量的熔断器，用于保护电源电路和大电流电路。一般设置在蓄电池正极与线束连接处，如图 2-1-10 所示。

3. 断路器

断路器用于正常工作时容易过载的电路中，它是利用双金属片受热变形的原理制成的，如图 2-1-11 所示。如果额外过大的电流经过双金属片，双金属片弯曲，触点开路，阻止电流通过；当电路断路器冷却，触点再次闭合，电路导通；当无电流时，双金属片冷却而使电路重新闭合，电路断路器复位。

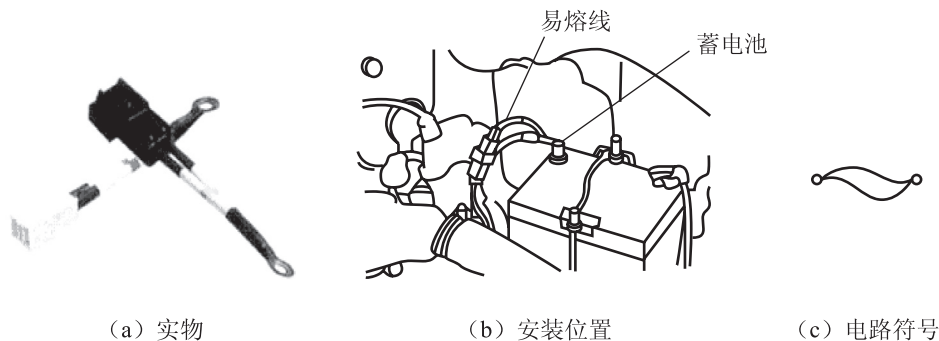


图 2-1-10 易熔线的外形、安装位置及电路符号

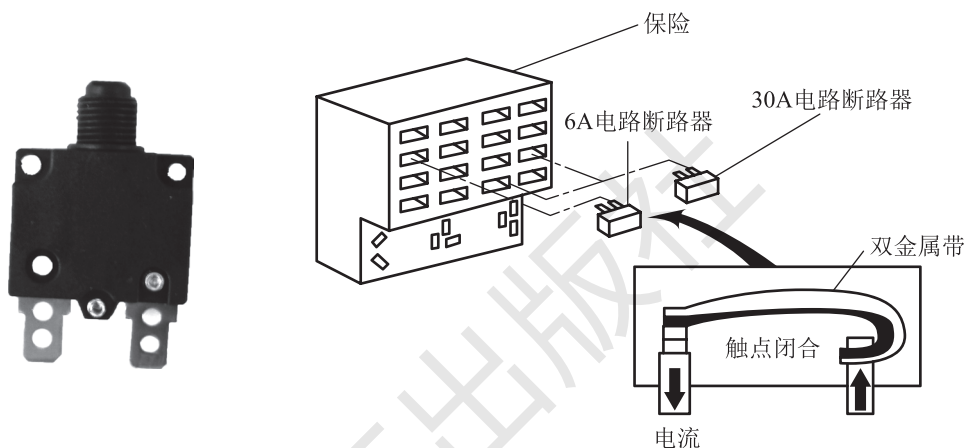


图 2-1-11 断路器的外形、结构及安装位置

(二) 继电器

继电器是利用电磁原理、机电原理或其他方法（如热电或电子），实现自动接通或切断一对或多对触点，达到用小电流控制大电流的装置。继电器可以减小控制开关触点的电流负荷，从而保护电路中的控制开关。如进气预热继电器、空调继电器、喇叭继电器、雾灯继电器、中间继电器、风窗刮水器 / 清洗器继电器、危险报警与转向闪光继电器等。

继电器通常分为：常开继电器（NO）、常闭继电器（NC）和混合型继电器。各继电器动作状态如表 2-1-1 所示。常开继电器平时触点是断开的，线圈通电，继电器动作后，触点才接通；常闭继电器平时触点是闭合的，继电器动作后触点断开；混合型继电器平时常闭触点接通，常开触点断开，继电器动作后，各触点则变成相反的状态。

(三) 电路控制开关

1. 点火开关

点火开关是汽车电路中最重要开关，是各条电路分支的控制枢纽，是多挡多接线柱开关。点火开关主要用来控制点火电路，另外还控制发电机磁场电路、仪表电路、起动继电器



点火开关的认识

电路以及一些辅助电器等。如图 2-1-12 所示，下面以轿车采用的一般点火开关为例，介绍电路中开关的表示方法。

点火开关的功能主要有：锁住转向盘转轴，LOCK 挡；接通仪表指示灯，ON 或 IG 挡；起动发动机，ST 或 START 挡；给附件供电，ACC 挡，主要是收音机、CD 机专用；给发动机预热，HEAT 挡（柴油车特有挡位）。其中起动、预热挡因为工作电流很大，开关不宜接通过久，所以这两个挡位在操作时必须用手克服弹簧力，扳住钥匙才能接通电路，一松手就会弹回点火挡（点火挡一般为起动挡，非自行定位位置，应该为 ON 位置），因此不能自行定位；其他各挡位均可自行定位。

表 2-1-1 继电器的动作状态

	常开 (NO) 继电器	常闭 (NC) 继电器	混合型继电器
正常 (不通电) 状态			
线圈通电时的情况			

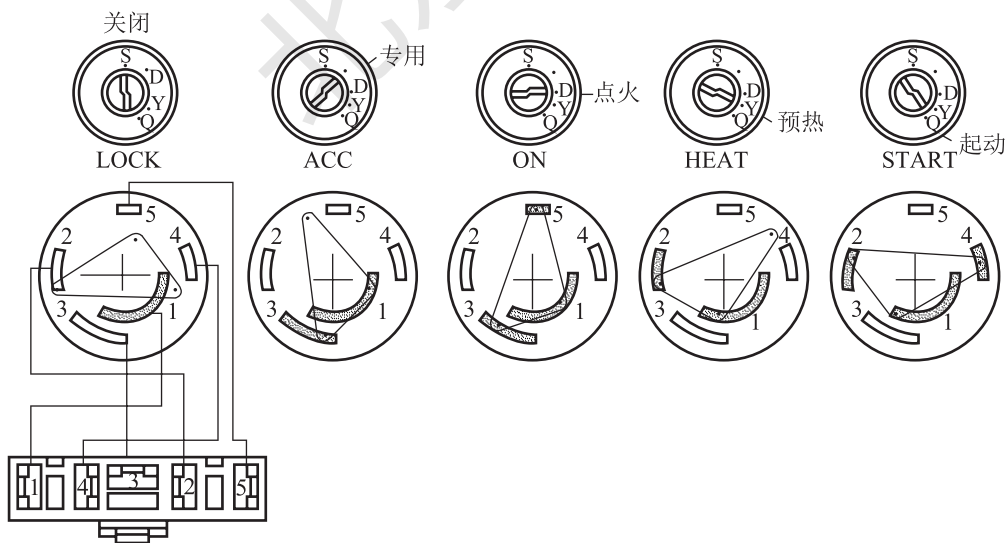


图 2-1-12 点火开关电路

1—接电源线；2—接预热线；3—接专用线；4—接起动线；5—接仪表/点火线

2. 组合开关

组合开关由 2 种或 2 种以上的开关集装在一起，可使操纵更加方便。多功能组合开关将照明开关（前照灯开关、变光开关）、信号（转向、危险警告、超车）开关、刮水器 / 清洗器开关等组合为一体，安装在便于驾驶员操纵的转向柱上。如图 2-1-13 所示为日产轿车组合开关的挡位结构介绍。

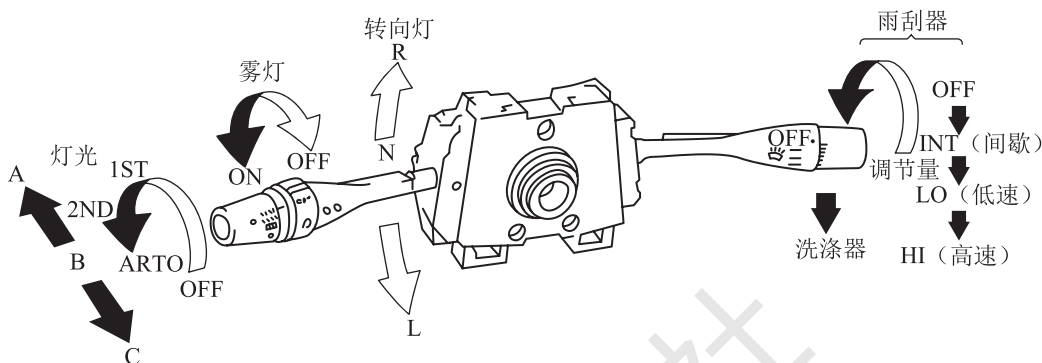


图2-1-13 日产轿车组合开关

（四）导线

在不同的汽车电路中，对导线的尺寸以及材料的要求是不一样的。汽车用的导线有高压和低压之分，二者均采用铜质多芯软线。

1. 高压导线

高压导线主要应用于汽车点火电路系统。高压线的选择主要以耐压值为主要依据，一般在 15kV 以上。高压导线用来传送高电压，由于工作电压很高，所以工作电流很小，因此高压导线的绝缘包层很厚，耐压性能好，但线芯截面积很小，约为 1.5mm^2 。

国产汽车用高压导线有铜芯线和阻尼线 2 种，为了衰减火花塞产生的电磁波干扰，目前已广泛使用了高压阻尼点火线。高压阻尼点火线可以抑制和衰减点火系统产生的高频电磁波，降低对无线电设备及电控装置的干扰。

2. 低压导线

低压导线有普通线、屏蔽线、起动电缆线和蓄电池搭铁电缆线等多种。汽车充电系统、仪表、照明、信号以及辅助电气设备等均使用低压导线。

（1）导线截面积

低压导线的截面主要根据用电设备的工作电流大小选择。但是，对于功率很小的电器，为保证导线具有一定的机械强度，汽车电气系统中所用导线截面至少不得小于 0.5mm^2 。

汽车 12V 电气系统主要线路导线截面积推荐值如表 2-1-2 所示。

表 2-1-2 汽车 12V 电气系统主要线路导线截面推荐值

电路名称	标称截面积/mm ²
尾灯、指示灯、仪表灯、牌照灯、燃油表、水温表等电路	0.5
转向灯、制动灯、停车灯、分电器等电路	0.8
前照灯、电喇叭（3A 以下）电路	1.0
前照灯、电喇叭（3A 以上）电路	1.5
其他 5A 以上电路	1.5~4.0
柴油车电热塞电路	4~6
电源电路	6~25
起动电路	16~95

（2）导线的颜色代码

随着汽车电器的增多，导线数量也不断增加，为了便于识别和维修，低压导线常采用不同的颜色。在电路图中，导线的颜色多用英文字母表示，导线的颜色应符合国家标准。单色导线采用 1 个或 1 组字母表示；双色导线采用 2 个字母表示，前面的字母为主色，后面的字母为辅色。各国车系低压导线颜色代码如表 2-1-3 所示。

表 2-1-3 各国车系低压导线颜色代码

颜色	中国	日本 丰田	本田	日本 富士	现代	日产	三菱	马自达	德国 奥迪	德国 大众	奔驰	宝马	通用	福特	克莱 斯勒
黑	B	B	BLK	B	B	B	B	B	sw	sw	BK	SW	BK	BK	BK
白	W	W	WHT	W	W	W	W	W	ws	ws	WH	WS	WH	W	WT
红	R	R	RED	R	R	R	R	R	ro	ro	RD	RT	RD	R	RD
绿	G	G	GRN	G	G	G	G	G	gn	gn	GN	GN	GN	GR	
深绿								DG					D-GN	DG	DG
淡绿		LG	LT GRN	Lg	Lg	LG	LG	LG	LG				L-GN	LG	LG
黄	Y	Y	YEL	Y	Y	Y	Y	Y	ge	ge	YL	GE	YE	Y	YL
蓝	Bl	L	BLU	L	L	L	L	L	bl	bl	BU	BL	BU	BL	BL
淡蓝			LT BLU	Lb				LB					L-BU	LB	LB
天蓝		SB				SB									
深蓝								DL					D-BU	DB	DB
粉红	P	P	PNK	P	P	P	P	P			PK	RS	PK	PK	PK
紫	V	V	PUR	V		PU	V	V	li	li	VI	VI	PU	P	VT
橙	O	Or	ORN	Or	Or	OR	O	O		or	OG	OR	OG	O	OR

续表

颜色	中国	日本 丰田	本田	日本 富士	现代	日产	三菱	马自达	德国 奥迪	德国 大众	奔驰	宝马	通用	福特	克莱 斯勒
灰	Gr	GR	GRY	Gr	Gr	GY	GR	GY	gr	gr	GY	GR	GY	GY	GY
棕	Br	BR	BRN	Br	Br	BR	BR	BR	br	br	BR	BR	BN	BR	BR
棕褐													TN	T	TN

3. 线束

为使汽车上的电气线路排列整齐有序，安装保养方便，并能保护导线的绝缘，一般都将同路的各条导线用绝缘带包扎成束，称为线束。一辆汽车电气线路可以分为几个线束所组成，线束之间用接线板或接插器连接。

安装汽车线束时，一般都事先将仪表板和各开关等装好，然后再往汽车上安装。线束一般放入开有切口的塑料波纹管、塑料套管或软管内，使其强度更高，保护性能更好，查找线路故障也方便。然后用卡箍、保持架等将线束固定在车上的相应位置，其抽头恰好在各电气设备插头附近位置，安装时装在其对应的插头上。各种车型的线束各不相同，同一车型线束按发动机、底盘和车身分为多个线束。

(五) 插接器

国产新型汽车和国外汽车上，现在均使用插接器，这有利于汽车的制造，更有利于维修。插接器又叫连接器，就是通常说的连接插头和插座，它用于导线和导线间的相互连接。连接器由插头和插座两部分构成，按使用场合不同，其端子（引脚）个数不等，如图 2-1-14 所示。

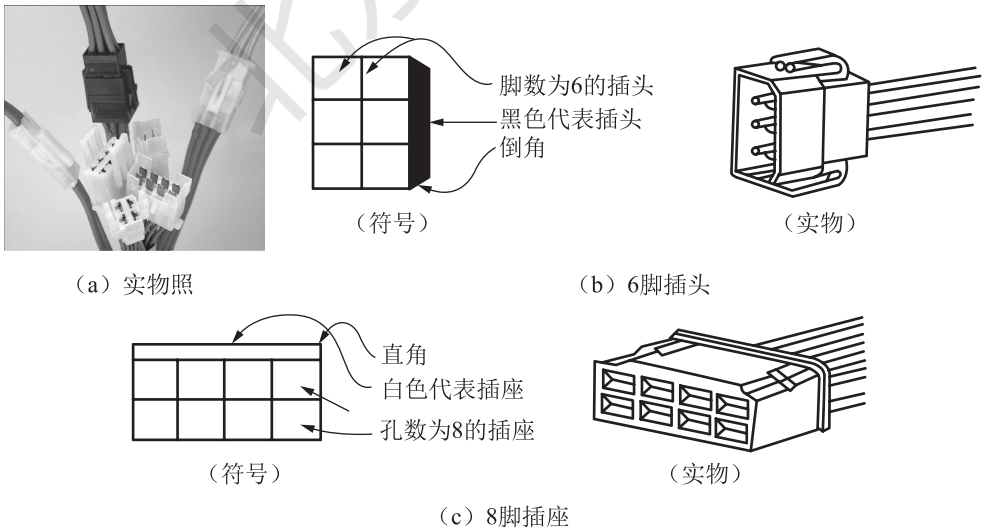


图 2-1-14 插接器的符号和实物

插接器接合时,应先将其导向槽重叠在一起,使插头与插孔对准,然后平行用力插入,这样就可以十分牢固地连接在一起。所谓插接器的导向槽,是指插接器连接时为了使其正确定位而设置的凸凹轨。一对插头、插座由于导向槽的作用一般来说不可能插错,非成对的插头与插座因其脚数及外部形状不相同,因此也不会插错。所以使用插接器连接电路十分方便可靠。

为了防止汽车行驶过程中插接器脱开,所有插接器均采用闭锁装置。插接器的闭锁装置及拆卸方法如图 2-1-15 所示。在检查及更换插接器时,应先压下闭锁,然后再将其拉开。不压下闭锁时绝不可用力猛拉导线,以防止拉坏闭锁或导线断开。

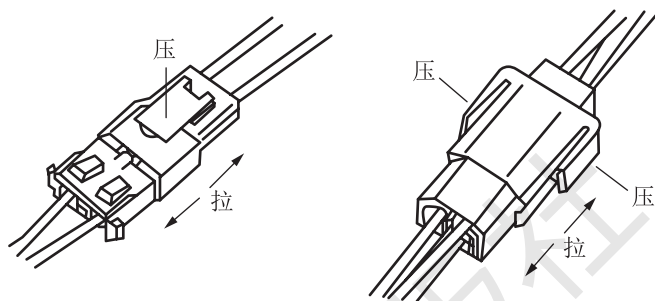


图 2-1-15 插接器的闭锁装置及拆卸方法

四、汽车电路的特点

(一) 低压直流供电

汽车电器设备采用低压直流(DC)供电。柴油车大多采用低压 24V 直流供电,汽油车大都采用 12V 直流供电。低压电源取自蓄电池或发电机,两者的电压保持一致。



汽车电路的特点

(二) 单线制

利用汽车发动机和底盘、车身等金属机件作为各种电器设备的公用连线,俗称“搭铁”,即接地,而用电设备到电源只需另设一根导线。任何一个汽车电路中的电流都是从电源的正极出发,经导线流入用电设备后,通过金属车架搭铁流回电源负极而形成回路。

(三) 负极搭铁

按电源搭铁的极性,可分为正极搭铁和负极搭铁。由于负极搭铁对无线电设备(汽车音响、通信系统)干扰较小,所以大多数国家的汽车都采用负极搭铁。

(四) 用电设备并联

汽车上的各种用电设备都采用并联方式与电源连接,每个用电设备都由各自串联在其支路中的专用开关控制,互不产生干扰。



拓展知识

汽车电路图的种类

1. 电路接线图

电路接线图是按照电气设备在汽车上的大致安装位置来绘制的电路图。接线图的优点是：整车电气设备数量准确，线路的走向清楚，有始有终，便于循线跟踪，查找起来比较方便。接线图的缺点是：图上电线纵横交错，印制版面小则不易分辨，版面过大印装又受限制；识图、画图费时费力，不易抓住电路重点、难点；不易表达电路内部结构与工作原理。因此，在电气系统复杂程度不高的情况下经常采用电路接线图。如图 2-1-16 所示是天津华利牌系列微型汽车接线图。

2. 电路原理图

电路原理图是用图形符号按工作顺序或功能布局绘制的，详细表示汽车电路的全部组成和连接关系，不考虑实际位置的简图，它具有电路清晰、简单明了、便于理解等特点。电路图既表达了电器之间的连接，又体现了电气设备内部的电路情况，容易分析各电器工作时电流的具体路径，因此应用比较广泛。电路原理图既可以是全车电路原理图，也可以是各系统电路原理图或局部电路原理图。如图 2-1-17 所示是桑塔纳轿车电源、起动、预热、点火、仪表与信号电路原理图。

由图 2-1-17 可见，在大众公司汽车电路图中经常遇到接点标记的数字及字母，它们都具有固定的含义。如数字 30 代表的是来自蓄电池正极的供电线；数字 31 代表接地线；数字 15 代表来自点火开关的点火供电线；数字 50 代表点火开关在起动挡时的起动供电线；X 代表受控的大容量用电设备供电线（来自卸荷继电器的供电线）等。无论这些标记出现在电路的什么地方，相同的标记都代表相同的接点。

3. 电路布线图

电路布线图主要是表明电线束与各用电器的连接部位、接线柱的标记、插接器的形状及位置等，它是人们在汽车上能够实际接触到的汽车电路图。也可以把一些车辆的电器元件位置图看成简化了的布线图。这种图一般不去详细描绘线束内部的线路走向，只将露在线束外面的线头与插接器作详细编号或用字母标记。它是一种突出装配记号的电路表现形式，非常便于安装、配线、检测与维修。若电路布线图能够与电路原理图或电路接线图结合起来使用，则会起到更大的作用。图 2-1-18 所示是富康 988 轿车仪表系统布线图。



86



a—蓄电池; b—起动机; c—整体式交流发电机; D—点火开关; E₂—转向灯开关; E₃—危险警告灯开关; F₁—高压油泵开关; F₂₂—低压油泵开关; F₂₆—自动阻风门温控开关; F₃₅—进气管预热器温控开关; F₆₂—换挡指示灯真空开关; F₆₆—冷却液不足指示灯开关; F₆₈—换档油耗指示器; G—燃油表传感器; G₁—燃油表; G₂—温度表传感器; G₃—温度表; G₅—转速表; G₅₁—油耗表; J₂—闪光灯; J₆—稳压器; J₈₁—进气管预热继电器; J₁₁₄—油压检查控制器; J₁₂₀—冷却液不足指示灯控制器; K—阻风门指示灯; K₂—充电指示灯; K₃—油压指示灯; K₅—转向指示灯; K₆—报警闪光灯指示灯; M₃—左前转向信号灯; M₆—左后转向信号灯; M₇—右前转向信号灯; M₈—右后转向信号灯; M₉—点火线圈; N₃—循环空气截止阀; N₅—进气管加热器的加热电阻; N₆₀—油耗表电磁阀; Q—火花塞

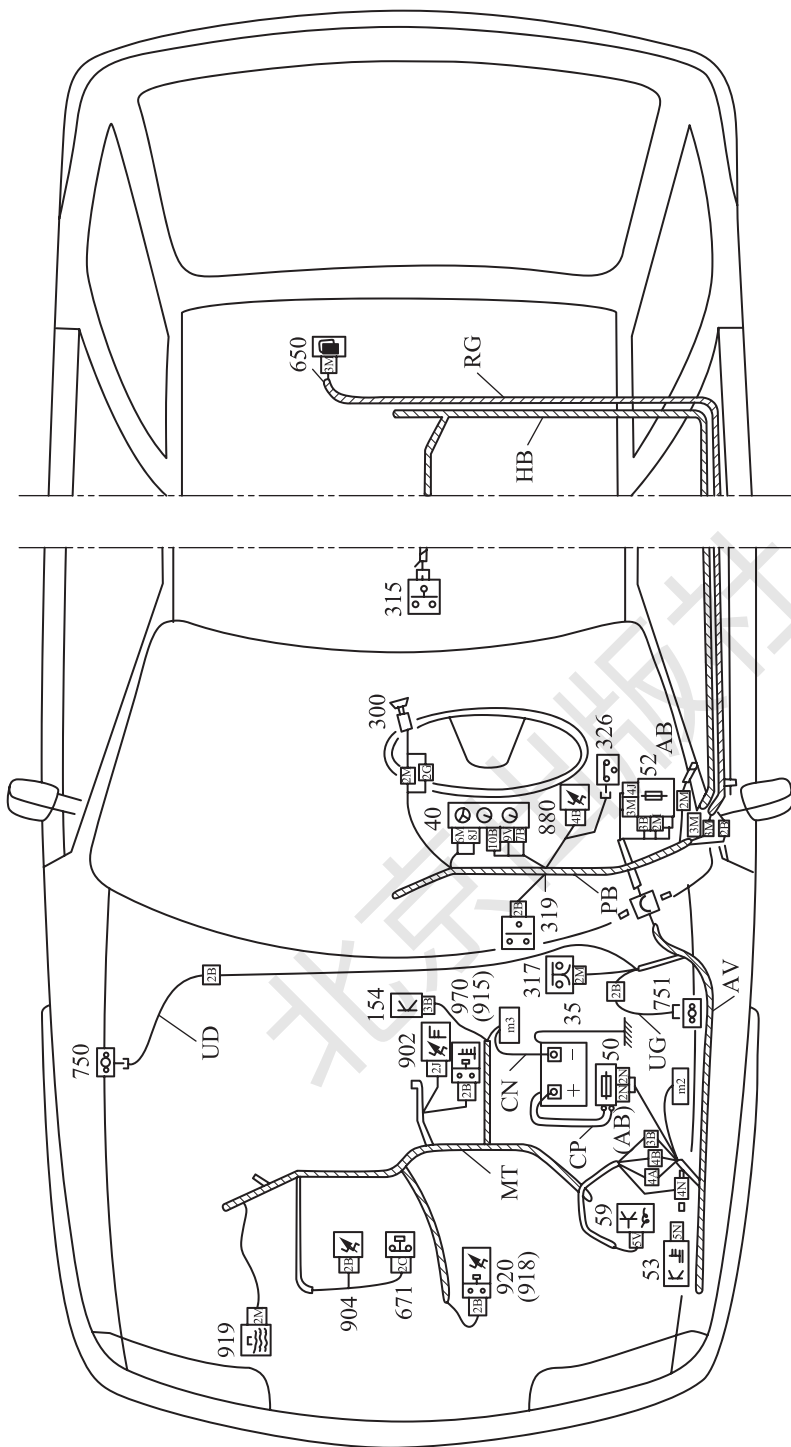


图 2-1-18 富康 988 轿车仪表系统布线图

35—蓄电池; 40—仪表板; 50—发动机罩下熔断器盒; 52—车内熔断器盒; 53—水温控制盒; 59, 902, 904, 918, 920—未用;
154—车速传感器; 300—点火开关; 315—手制动开关; 317—液面开关; 319—制动灯开关; 326—阻风门开关(未用); 650—燃油表
传感器; 671—机油压力表传感器; 750—右前制动摩擦片报警器; 751—左前制动摩擦片报警器; 880—仪表照明变阻器; 915—水温
传感器; 970—发动机温度报警开关

4. 电路线束图

整车电路线束图常用于汽车厂总装线和修理厂的连接、检修与配线。线束图主要表明电线束各用电器的连接部位、接线柱的标记、线头、连接器的形状及位置等，它是人们在汽车上能够实际接触到的汽车电路图。这种图一般不去详细描绘线束内部的

电线走向，只将露在线束外面的线头与插接器详细编号或用字母标记。它是一种突出装配记号的电路表现形式，非常便于安装、配线、检测与维修。如果再将此图各线端都用序号、颜色准确无误地标注出来，并与电路原理图和布线图结合起来使用，则会起到更大的作用且能收到更好的效果。如图 2-1-19 所示是桑塔纳轿车仪表部分线束图。

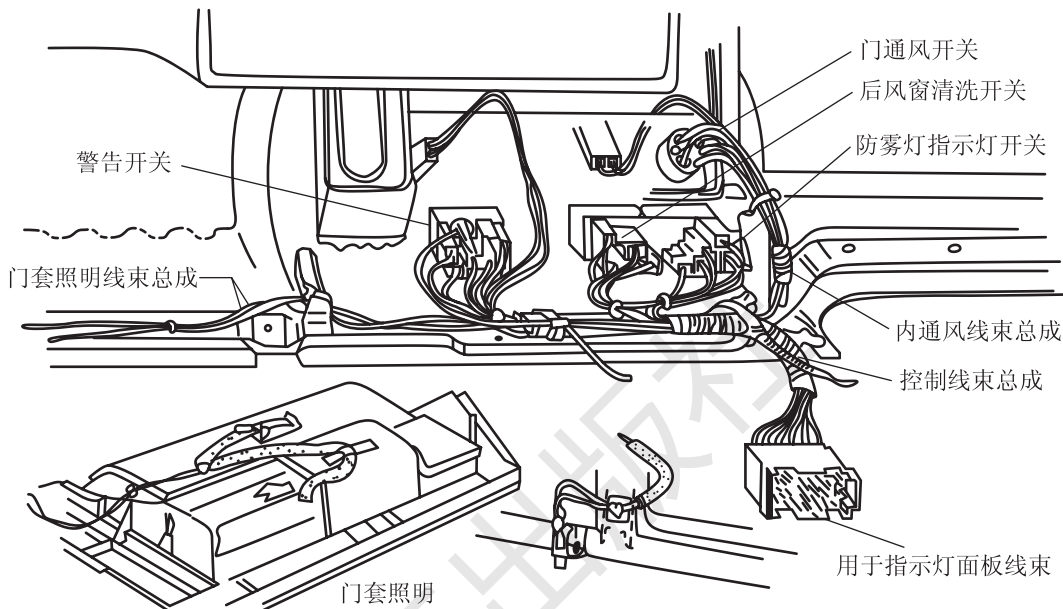


图 2-1-19 桑塔纳轿车仪表部分线束

学习任务二 电路基本物理量的认识与测量



相关知识

一、电路的基本物理量

(一) 电流

带电子有规律运动的物理现象称为电流。这些带电子在电场作用下做定向运动，即正电荷顺电场方向运动、负电荷逆电场方向运动。一般规定正电荷移动的方向或负电荷移动的反方向为电流的实际方向，如图 2-1-20 所示。

衡量电流大小、强弱的物理量称为“电流强度”，简称电流。电流是单位时间内通过导体横截面的电量，用字母 I 表示。如果在时间 t 内流经



电路的基本物理量



图 2-1-20 电流的方向

导体横截面的电量为 Q ，则电流的数学表达式为

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

式中， I ——电流，单位是安培（A）；

Q ——电量，单位是库仑（C）；

t ——时间，单位是秒（s）。

如果在 1s 内通过导体横截面的电量是 1C，则导体中的电流是 1A。

在电力系统中电流都比较大，常以千安（kA）为单位，而在电子线路中电流都较小，常以毫安（mA）、微安（ μA ）为单位，它们之间的换算关系是

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

电流的方向是客观存在的，在简单的直流电路中，我们很容易判断出电流的实际方向，但在复杂的直流电路中，电流的实际方向很难直观判定，因此引入电流的参考方向这一概念。

参考方向也称为正方向，是人为假定的方向。电流的参考方向可以任意选定，在电路中一般用箭头表示。所以，电流的参考方向不一定就是电流的实际方向。

规定当电流的参考方向与实际方向一致时，电流为正值（ $I > 0$ ），如图 2-1-21（a）所示；当电流的参考方向与实际方向相反时，电流为负值（ $I < 0$ ），如图 2-1-21（b）所示。在图 2-1-21（a）中，电流选定的参考方向是从 a 流向 b，若经计算后得到 $I=1\text{A}$ ，则表示电流的实际方向就是从 a 流向 b；若经计算后得到 $I=-1\text{A}$ ，则表示电流的实际方向是从 b 流向 a。

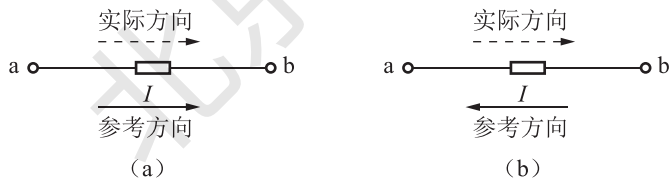


图 2-1-21 电流的参考方向与实际方向

（二）电压

在图 2-1-22 中，电池中有两个电极，a 是正极带正电荷，b 是负极带负电荷。在 a、b 两极之间产生了一个均匀而且恒定的电场，其方向从 a 指向 b。如果用导体将 a、b 两极连接起来，那么在电场作用下，电极 a 中的正电荷将通过导体移动到电极 b。由于正电荷在电场中被移动了一段距离，电场力对正电荷做了功。我们把电场力将单位正电荷 Q 从 a 点移动到 b 点所做的功，称作 a、b 两点之间的电压，数学表达式为

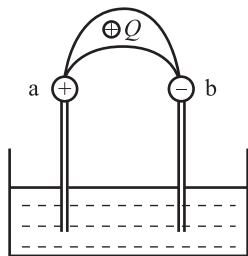


图 2-1-22 电压的示意图

$$U_{ab} = \frac{W}{Q} \quad (1-2)$$

式中, W ——电场力做的功, 单位是焦耳 (J);

Q ——被移动电荷的电量, 单位是库仑 (C);

U_{ab} ——a、b 两点之间的电压, 单位是伏特 (V)。

计量微小电压时, 常以毫伏 (mV)、微伏 (μ V) 为单位; 计量高电压时, 常以千伏 (kV) 为单位。它们之间的换算关系是

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

电压的实际方向习惯上规定为从高电位点指向低电位点, 即电压降的方向。但在分析电路时, 仍需选取电压的参考方向。当电压的参考方向与实际方向一致时, 电压为正 ($U>0$); 当电压的参考方向与实际方向相反时, 电压为负 ($U<0$), 如图 2-1-23 所示。

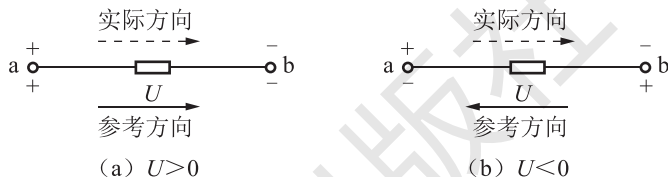


图 2-1-23 电压的参考方向与实际方向

电压的参考方向可用箭头“→”表示, 也可用双下标 ($U_{ab}=-U_{ba}$) 表示, 还可用电性“+”“-”表示, “+”表示高电位, “-”表示低电位。多数情况下采用双下标和极性表示法。图 2-1-24 所示为电压方向的 3 种表示方法。

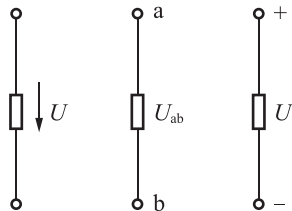


图 2-1-24 电压方向的 3 种表示方法

(三) 电位

在电路分析中, 经常要应用“电位”这个物理量。在电路中任选一个点作为参考点, 电路中某点与参考点之间的电压就称为该点的电位。参考点的电位通常规定为零, 所以又称为零电位点。A 点的电位用 V_A 表示, 电位的单位也是伏特 (V)。

电路中任意两点之间的电压, 等于这两点电位之差。因此, 电位的测量实质上就是电压的测量, 即测量该点与参考点之间的电压。电压与电位的关系为

$$U_{ab} = V_a - V_b \quad (1-3)$$

参考点可以任意选定, 各点的电位与参考点进行比较, 比它高的为正, 比它低的为负。如果换一个参考点, 则各点电位的数值也要发生变化。在工程上常选大地作为参考点, 即认为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。在汽车电路中, 常以发动机的金属壳体或车架为参考点, 即零电位点。

零电位的图形符号有 3 种, 图 2-1-25 (a) 表示接地, 图 2-1-25 (b) 和图 2-1-25 (c) 表示接公共点或接机壳。

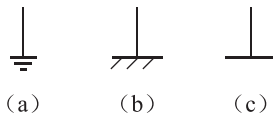


图 2-1-25 零电位的图形符号

(四) 电动势

电动势是衡量电源将非电能转换成电能本领大小的物理量。电动势的定义为: 在电源内部, 外力将单位正电荷从电源的负极移动到电源的正极所做的功。电动势用符号 E 表示, 其数学表达式为

$$E = \frac{W}{Q} \quad (1-4)$$

式中, W ——外力对电荷所做的功, 单位是焦耳 (J);

Q ——被移动电荷的电量, 单位是库仑 (C);

E ——电源的电动势, 单位是伏特 (V)。

电动势的大小只决定于电源本身的性质, 对于给定的电源, 电动势为一定值, 与外电路无关。电动势的方向规定是: 在电源内部由负极指向正极。如图 2-1-26 所示, 一个电源既有电动势, 又有端电压, 电动势只存在于电源的内部, 而端电压则是电源加在外电路两端的电压, 其方向由正极指向负极。

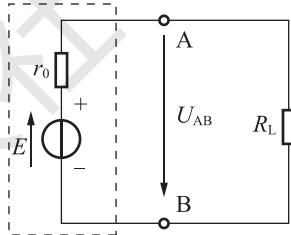


图 2-1-26 电源的电动势与端电压

(五) 电功率

电功率是电路分析中常用的一个物理量。在电气工程中, 电功率简称为功率。电功率是用来衡量单位时间内所消耗电能大小的物理量。

在图 2-1-23 所示电路中, a、b 两点的电压为 U , 流过的电流为 I , 在时间 t 内, 电荷 Q 受电场力作用从 a 点 (电源正极) 移动到 b 点 (电源负极), 电场力所做的功为

$$W = UQ = UIt$$

这个功也就是电阻 R 在 t 时间内所吸收的电能, 对于电阻来说吸收的电能全部转换成热能, 其大小为

$$W_R = UIt = I^2 R t \quad (1-5)$$

在国际单位制中, 电能、热能的单位是焦耳, 简称焦, 用字母 J 表示。

电阻吸收的功率可定义为单位时间里能量的转换率。其数学表达式为

$$P = \frac{W_R}{t} = UI = I^2 R = \frac{U^2}{R} \quad (1-6)$$

在国际单位制中, 功率的单位是瓦特, 简称瓦, 用字母 W 表示, 还可以用千瓦 (kW)、毫瓦 (mW) 作单位, 它们之间的换算关系为

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

在工程上常用千瓦小时 (或千瓦时) 来作为计量电能的实用单位, 通常电度表

上显示的读数 1 度电就是表示功率为 1 千瓦的电气设备使用 1 小时所消耗的电能, 可记为

$$1 \text{ 度电} = 1\text{kW} \cdot \text{h} \quad (1-7)$$

二、电阻、电感、电容的认识

(一) 电阻

1. 电阻元件及其特性

电子在导体中流动时会受到一些阻碍, 形成了电阻。电阻元件是对电流呈现阻碍作用的耗能元件。例如: 灯泡、电热炉等电器。电阻元件用符号 R 表示, 如图 2-1-27 (a) 所示。由图 2-1-27 (a) 可见, 电压 u 和电流 i 的参考方向相同, R 是理想电阻元件, 由欧姆定律可知, 电阻元件的伏安特性为

$$u = Ri \quad (1-8)$$

上式表示电阻元件的端电压和流过它的电流成正比。比例系数 R 称为电阻, 是表示电阻元件特性的参数。图 2-1-27 (b) 是其伏安特性曲线, 它是一条通过原点的直线。通常我们把伏安特性为直线的电阻称为线性电阻。

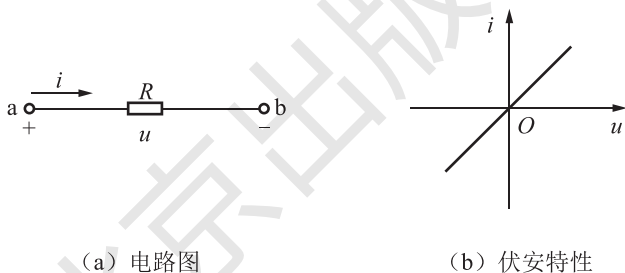


图 2-1-27 电阻元件

电路中电阻元件取用的功率为

$$p = ui = Ri^2 = \frac{u^2}{R} \quad (1-9)$$

从上式可以看出不论 u 、 i 是正值还是负值, p 总是大于零, 说明电阻元件总是消耗电功率的, 与电压、电流的实际方向无关, 故电阻是耗能元件。

电阻的单位是欧姆, 简称欧, 用符号 “ Ω ” 表示。当电路两端的电压为 1V, 通过的电流为 1A 时, 则该端电路的电阻就是 1Ω 。常用的电阻单位还有千欧 ($\text{k}\Omega$)、兆欧 ($\text{M}\Omega$), 它们之间的换算关系为

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

2. 电阻的标注方法

(1) 直标法

将电阻的阻值和误差直接用数字和字母印在电阻上 (无误差标示为允许误差 $\pm 20\%$)。

(2) 色环表示法

色环表示法是将不同颜色的色环涂在电阻上来表示电阻的标称值及允许误差，各种颜色所对应的数值如表 2-1-4 所示。

表 2-1-4 电阻色环表示各位含义

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，第三色环是倍率，第四色环是误差率。例如，四色环分别为棕、红、红、金，其阻值为 $12 \times 10^2 = 1.2\text{k}\Omega$ ，误差为 $\pm 5\%$ 。误差表示电阻值在标准值 1200Ω 上下波动 ($\pm 5\% \times 1200\Omega$) 都是允许的，即在 $1140 \sim 1260\Omega$ 之间都是好的电阻。

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，第四色环是倍率，第五色环是误差率。例如，五色环分别为红、红、黑、棕、金，其阻值为 $220 \times 10^1 = 2.2\text{k}\Omega$ ，误差为 $\pm 5\%$ 。

3. 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的比例混合后高温烧结而制成的温度系数很大的电阻体。在工作范围内，按陶瓷半导体与温度的特性关系可分为 3 种类型：第一种是负温度系数热敏电阻 (NTC)，其电阻值随温度升高而减少；第二种是正温度系数热敏电阻 (PTC)，其电阻随温度升高而按指数函数增加；第三种是临界温度系数热敏电阻 (CTR)，其电阻随温度升高而按指数函数减少。热敏电阻式温度传感器由于其灵敏度高，能够测量微小的温差，结构简单，价格低廉，经济性好，在汽车的电子控制系统中有着越来越广泛的使用。

(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,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。在当今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,因此得到广泛应用。

(3) 光敏电阻

光敏电阻是利用半导体的光制导电特性制成的。在受光照时,半导体产生载流子,由一个电极到达另一个电极,有效地参与导电,从而使光电导体的电阻率发生变化。在光敏电阻中,以硫化镉光敏电阻应用最为广泛。它的特性是光照强度越强,电阻值越小;光照强度越弱,电阻值越大。光电式光量传感器内部就装有硫化镉光敏电阻,当有光照射到传感器上时,半导体元件的电阻值就将发生变化。这种传感器可以把周围亮度的变化转换成元件电阻值的变化。这种特性可以用在汽车上各种灯具亮灯、熄灯的自动控制。

(二) 电容

1. 电容元件及其特性

电容元件是从实际电容器抽象出来的电路模型。任何两块非常靠近的金属导体,中间隔以绝缘物质就构成了一个电容器,电容器加上电压后,两块极板上将出现等量异号电荷,并在两极板间形成电场,储存电场能。电容器用符号 C 表示,如图 2-1-28 所示。电容器极板上储存的电荷量 q 与外加电压 u 成正比,即

$$C = \frac{q}{u} \quad (1-10)$$

式中, C —— 电容,是表征电容元件的特征参数。

线性电容元件的电容 C 只与电容器的结构、介质、形状有关,与电容两端的电压大小无关,是一个常数。



图 2-1-28 电容元件

电容的伏安特性为

$$i = \frac{dq}{dt} = C \frac{du}{dt} \quad (1-11)$$

上式表明,只有电容上的电压变化时,电容两端才有电流。在直流电路中,电容上即使有电压,但其对时间的变化率为 0,即 $i=0$,此时电容相当于开路状态,因此电容具有隔直作用。

将式 (1-11) 两边分别乘 u 并积分,可得电容元件极板间储存的电场能量为

$$W_C = \int_0^t u i dt = \int_0^u C u du = \frac{1}{2} C u^2 \quad (1-12)$$

W_C 的单位为焦耳 (J)。上式说明,电容元件在某时刻储存的电场能量与元件在该时刻所承受的电压的平方成正比。电容元件不消耗能量,故称为储能元件。

在国际单位制中, 电容的单位为法拉 (F)。当电容器的电压达到 1V 时, 极板上若储存了 1C 的电荷量, 则该电容器的电容就是 1F。常用的电容单位还有微法 (μF) 或皮法 (pF), 它们之间的换算关系为

$$1\text{F} = 10^6\mu\text{F} = 10^{12}\text{pF}$$

2. 电容的标识方法

(1) 数字标注法

用三位整数表示容量大小, 第一、二位为电容量的有效数字, 第三位为有效数字后面加零的个数, 单位为皮法 (pF)。如 223 表示 $22 \times 10^3 = 22000\text{pF}$ 的电容量。但应注意当第三位为 9 时, 并不表示有效数字后面加 9 个 0, 而是表示有效数字乘 10^{-1} , 如 339 表示 $33 \times 10^{-1} = 3.3\text{pF}$ 。

(2) 文字表示法

将容量的整数部分写在容量单位标注符号的前面, 小数部分写在容量单位标注符号的后面, 如图 2-1-29 所示。

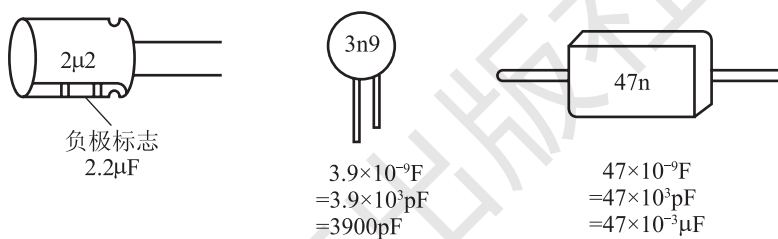


图 2-1-29 电容的文字表示法

3. 电容器在汽车上的应用

电容器是一种储存电荷的容器, 是汽车电器系统广泛应用的电路元件之一。利用电容器充电、放电和隔直流、通交流的特性, 在电路中用于隔直流、耦合交流、旁路交流、滤波、定时和组成振荡电路等。电容式闪光器主要由继电器和电容器组成。继电器铁芯上绕有串联线圈和并联线圈, 电容器是大容量电解电容器 (约 $1500\mu\text{F}$)。电容式闪光器是根据电容器充、放电特性使继电器串联线圈和并联线圈的电磁力时而相加, 时而相减, 致使触点周期性开和闭, 使转向灯和转向指示灯闪烁。电路结构如图 2-1-30 所示。

其工作过程为: 当转向开关拨至右转向时, 其电路为: 蓄电池的正极 $\rightarrow$ 线圈 $L_1 \rightarrow$ 动断触点 $\rightarrow$ 转向灯开关 $\rightarrow$ 右转向灯搭铁 $\rightarrow$ 蓄电池负极。在线圈 L_1 中有电流通过, 铁芯磁化产生电磁吸力, 当电磁力矩大于弹簧力矩时, 触点迅速打开, 转向灯不亮。

触点打开后, 蓄电池对电容充电, 充电电路为: 蓄电池正极 $\rightarrow$ 线圈 $L_1 \rightarrow$ 线圈 $L_2 \rightarrow$ 电容器 $\rightarrow$ 转向灯开关 $\rightarrow$ 搭铁 $\rightarrow$ 蓄电池负极。随着电容器充电时间的增长, 其两端的电压逐渐升高, 充电电流逐渐减小, 两个线圈吸力减小, 触点重新闭合。

触点闭合后, 电容器通过线圈 L_2 、触点放电, 线圈 L_2 产生的磁场削弱已产生的磁场, 使触点闭合时间延长, 转向信号灯和转向指示灯中有较大电流流过, 此时灯亮。

随着放电时间增长, L_2 中的电流减少, 产生的磁场减弱, 当对线圈 L_1 的削弱作用小到一定程度时, 触点重新打开, 转向信号灯熄灭。如此反复, 使转向灯闪烁。

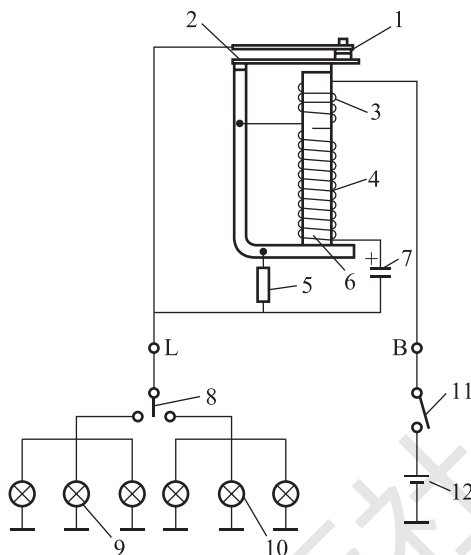


图 2-1-30 电容式闪光器

1—触点; 2—弹簧片; 3—串联线圈 L_1 ; 4—并联线圈 L_2 ; 5—灭弧电阻; 6—铁芯; 7—电解电容器; 8—转向灯开关; 9—左转向信号灯和指示灯; 10—右转向信号灯和指示灯; 11—电源开关; 12—蓄电池

（三）电感元件

1. 电感元件及其特性

电感元件是从实际电感线圈抽象出来的电路模型。当电感线圈通以电流时, 将产生磁通, 在其内部及周围建立磁场, 储存磁场能量。当忽略导线电阻及线圈匝间电容时, 可将其抽象为只具有储存磁场能量的电感元件, 电感上的磁链与电流成正比, 即

$$L = \frac{\Psi}{i} \quad (1-13)$$

式中, L ——电感, 是表征电感元件的特征参数。

实际的电感线圈是用导线绕制而成的, 因此实际线圈应包含电感和损耗电阻两部分; 如果线圈的损耗电阻很小可以忽略不计时, 则线圈可以等效为一个纯电感元件。根据电磁感应定律, 当电感线圈中的电流 i 变化时, 磁场也随之变化, 并在线圈中产生自感电动势。当电压、电流、电动势的参考方向如图 2-1-31 所示, 则有

$$u = -e_L = L \frac{di}{dt} \quad (1-14)$$

上式表明, 只有电感上的电流变化时, 电感两端才有电压。在直流电路中, 电感



电感元件

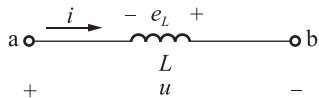


图 2-1-31 电感元件

上即使有电流通过,但其对时间的变化率为0,即 $u=0$,此时电感相当于短路状态。

将式(1-14)两边分别乘 i 并积分,可得电感元件中储存的磁场能量为

$$W_L = \int_0^i u i dt = \int_0^i L i di = \frac{1}{2} L i^2 \quad (1-15)$$

W_L 的单位是焦耳(J)。上式说明电感元件在某时刻储存的磁场能量,与该时刻流过的电流的平方成正比。电感元件不消耗能量,故称为储能元件。

在国际单位制中,电感的单位为亨利(H),当线圈中电流变化率为1A/s,产生1V的感应电动势时,则该电感线圈的电感为1H。常用的单位还有毫亨(mH)或微亨(μ H),它们之间的换算关系为

$$1\text{H} = 10^3\text{mH} = 10^6\mu\text{H}$$

2. 电感在汽车上的应用

电感线圈在汽车上的一个典型应用是舌簧开关式电流传感器。舌簧开关式电流传感器广泛用于汽车灯光系统,该传感器的结构如图2-1-32(a)所示。舌簧开关式电流传感器在其电流线圈的外面绕有电压补偿线圈,它的作用是防止电压的变化引起传感器的误动作。在骨架的中间设置有舌簧开关。

图2-1-32(b)为电流传感器电路。检测制动灯、尾灯、牌照灯及停车灯的灯丝是否断开,当有1个灯泡灯丝断开时,报警灯点亮。当开关闭合时,若灯泡全部工作正常,电流线圈中有额定电流流过,这时在线圈产生的磁力的作用下,舌簧开关闭合;如果有灯泡断丝,相应的电流线圈中的电流减小,磁力减弱,使舌簧开关断开,进行报警。

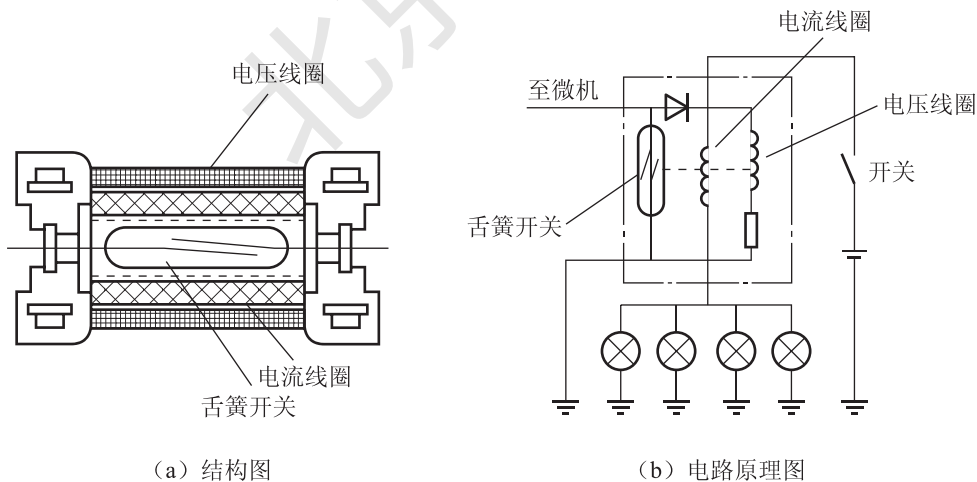


图 2-1-32 舌簧开关式电流传感器

三、万用表的使用

(一) 指针式万用表

1. 指针式万用表的结构

指针式万用表的内部结构主要是由磁电式表头（电流表）、量程选择开关和调零机构构成，而外部结构主要包括表盘、面板和两支表笔等部件。在测量的过程中，通过选择面板的选择开关，利用表笔进行测量，然后由表盘读取测量数值。图 2-1-33 是一个型号为 MF47 型的指针式万用表。



万用表的介绍与使用

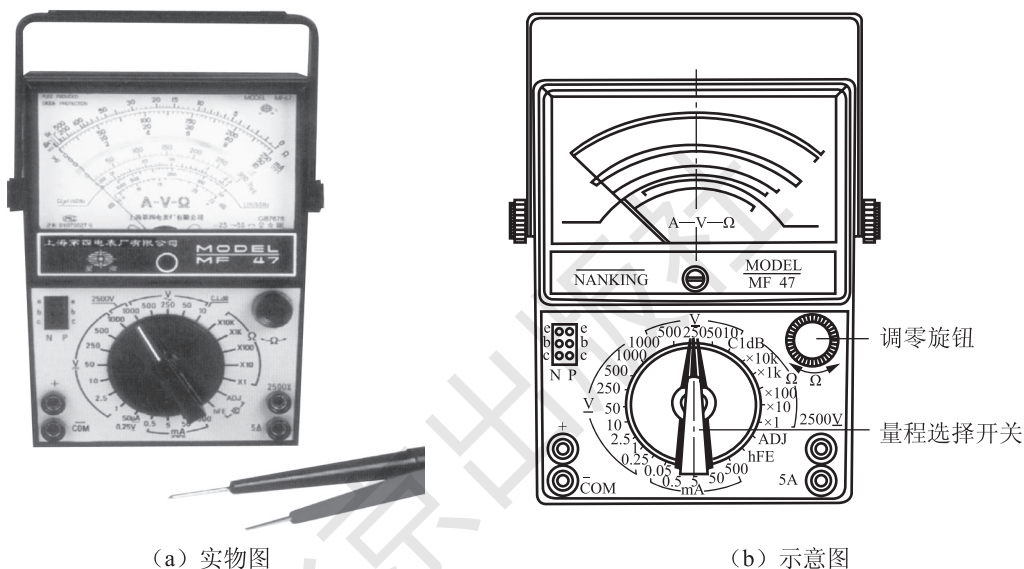


图 2-1-33 MF47 型指针式万用表

在图 2-1-33 (b) 中，面板右上角的黑色旋钮叫作“调零旋钮”，其作用是在测量电阻时对万用表进行调零。万用表中央偏下的圆形旋转开关就是“量程选择开关”，旋转这个开关可以实现两个作用：

- (1) 选定要测量的参数，如电阻、电流、电压等。
- (2) 选择合适的量程挡位。

注意：电流和电压的挡位表示的是仪表的最大量程，而电阻挡位表示的是倍率。

如图 2-1-34 所示是指针式万用表的仪表刻度盘，如图标示可以看出，表盘上的各条刻度线自上而下分别是：第 1 条表示电阻阻值刻录（值得注意，电阻刻度是自右向左读起，其他的阻值都是自左向右读起）；第 2 条表示交直流电压和直流电流刻度；第 3 条表示 10V 以下电压的测量刻度（小于 10V 的电压测量时，其刻度是单独刻度的）；第 4 条表示电容刻度值；第 5 条表示交流电流刻度；第 6 条表示负载电压刻度；第 7 条表示三极管放大倍数刻度；第 8 条表示分贝刻度。

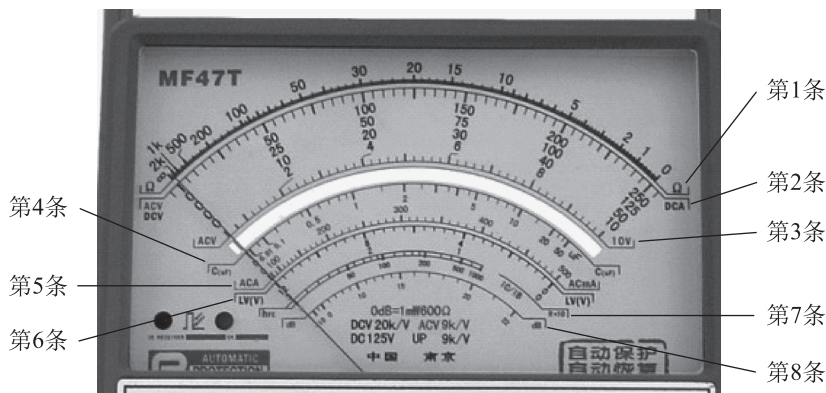


图 2-1-34 指针式万用表刻度盘

2. 指针式万用表的使用方法

(1) 选定挡位

选择电压挡、电流挡或电阻挡。若挡位弄错,就有可能损坏万用表,或者损坏被测装置。如果烧坏了万用表内部的电阻,就会造成测量误差。

(2) 选择量程

测量前先估测被测物的最大值选择合适的量程。为了提高测量精度,选取量程时,尽量使表针偏转到满刻度的 $1/2 \sim 1/3$ 处。如果预先不知道参数的大致范围,则应从最大量程开始测定,根据指针的偏转状况依次降低量程。

(3) 调零

如测量电阻前,应先将万用表的两根表笔短接,旋转欧姆调零旋钮,使指针指在所选挡位的“0”端。每换一挡电阻量程,都要重新进行调零。

(4) 测试

将两根表笔分别接触被测物的两端(注:测直流电压时,红表笔接被测电压的高电位处,黑表笔接被测电压的低电位处。交流电压无正负之分,故红、黑表笔可随意接。测电阻时,电阻必须与其他元件断开)。测量电流和电压时,应将测试表笔串入(测电流)或并入(测电压)被测电路中进行测量,如图 2-1-35 所示。提示:5A 和 2500V 量程为单独插孔,在使用 5A 直流电流插孔测直流电流时,转换开关应置于 500mA 电流量程位置;使用 2500V 电压插孔测量直流电压时,转换开关应置于直流 1000V 电压量程位置。

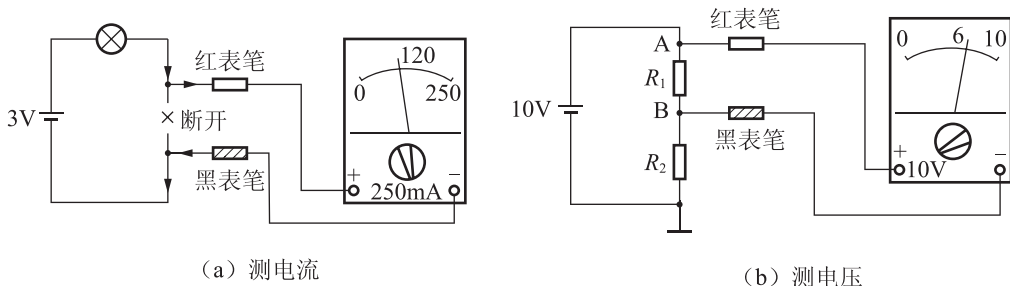


图 2-1-35 电路中电流和电压的测量方法

(5) 读数

观察表针指在何数值上, 然后根据所选挡位确定读数。(注: 电阻的数值由指针所指数值与挡位的乘积来确定)

3. 指针式万用表使用注意事项

(1) 测量电流与电压不能选错挡位。如果误将电阻挡或电流挡去测电压, 就极易烧坏电表。

(2) 测量直流电压和直流电流时, 注意“+”“-”极性, 不要接错。如发现指针反偏, 应立即调换表笔, 以免损坏指针及表头。

(3) 如果不知道被测电压或电流的大小, 应先用最高挡进行估测, 再选用合适的挡位来测试, 以免表针偏转过度而损坏表头。所选用的挡位越靠近被测元件的真实值, 测量的数值就越准确。

(4) 测量电阻时, 不要用手触及元件裸体的两端(或两支表笔的金属部分), 以免人体电阻与被测电阻并联, 使测量结果不准确。

(5) 测量电阻时, 如将两支表笔短接, 调“零欧姆”旋钮至最大, 若指针仍然达不到 0 点, 则这种现象通常是由于表内电池电压不足造成的, 应换上新电池方能准确测量。

(6) 万用表不用时, 不要旋在电阻挡, 因为内有电池, 如不小心使两根表笔相碰短路, 不仅耗费电池, 严重时甚至会损坏表头。最好将挡位旋至交流电压最高挡, 以免损坏。

(二) 数字式万用表

数字式万用表是用数字的方式直接显示测量结果大小的测量仪表, 十分便于读数。与一般的指针式万用表相比, 该表具有测量精度高、显示直观、可靠性好、功能全、体积小等优点。除此以外, 它还具有自动调零、显示极性、超量程显示及低压指示等功能, 并且内部装有快速熔断丝、过流保护电路和过压保护元件。

图 2-1-36 是一个典型的数字式万用表的外观图, 数字式万用表与指针式万用表类似, 不同之处在于表盘由指针显示改为了液晶显示, 具体的测量方法与指针式万用表基本类似。

1. 数字式万用表的使用方法

(1) 选择量程

测量前先估测被测物的大约数值, 以选择合适的挡位。

(2) 测试

交直流电压的测量: 根据需要量程开关拨至 DCV 或 ACV 的合适量程, 红表笔插入 V/ Ω 孔, 黑表笔插入 COM 孔, 并将表笔与被测线路并联, 读数即显示。

交直流电流的测量: 将量程开关拨至 DCA 或 ACA 的合适量程, 红表笔插入 A 孔 (<200mA) 或 20A 孔 (>200mA), 黑表笔插入 COM 孔, 并将万用表串联在被测电路中即可。测量直流量时, 数字万用表能自动显示极性。

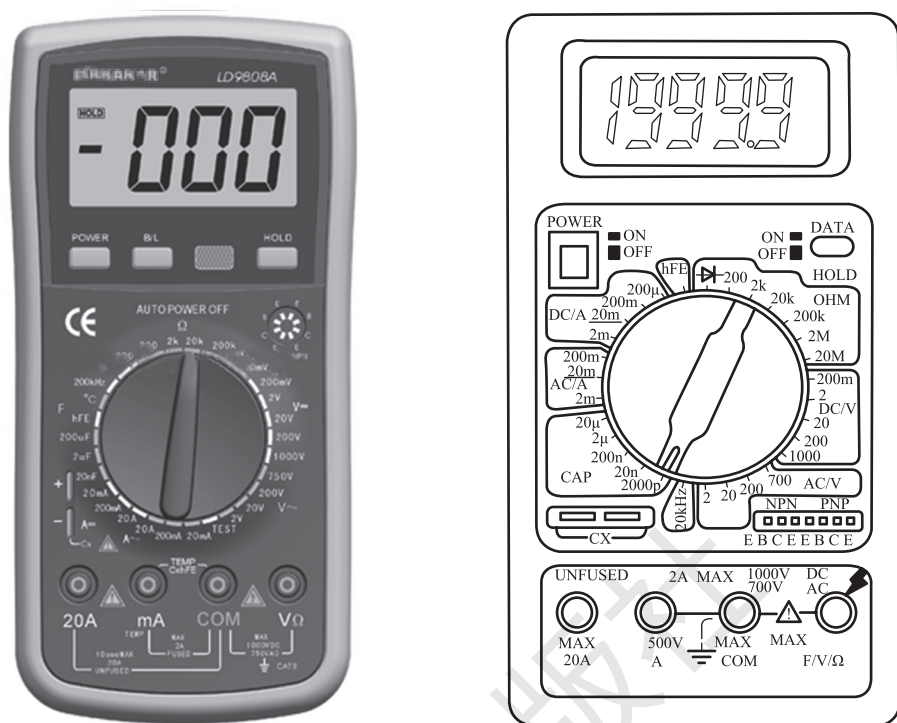


图 2-1-36 普通数字式万用表

电阻的测量：将量程开关拨至 Ω 的合适量程，红表笔插入 V/Ω 孔，黑表笔插入 COM 孔。如果被测电阻值超出所选择量程的最大值，万用表将显示“1”，这时应选择更高的量程。测量电阻时，红表笔为正极，黑表笔为负极，这与指针式万用表正好相反。因此，测量晶体管、电解电容器等有极性的元器件时，必须注意表笔的极性。

(3) 读数

显示屏上的数字为测量值。

2. 使用数字万用表的注意事项

(1) 如果无法预先估计被测物电压或电流的大小，则应先拨至最大量程挡测量一次，再视情况逐渐把量程减小到合适位置。测量完毕，应将量程开关拨到最大电压挡，并关闭电源。

(2) 满量程时，仪表仅在最高位显示数字“1”，其他位均消失，这时应选择更大的量程。

(3) 测量电压时，应将数字万用表与被测电路并联。测电流时应与被测电路串联，测直流电压时不必考虑正、负极性。

(4) 当误用交流电压挡去测量直流电压，或者误用直流电压挡去测量交流电压时，显示屏将显示“000”，或低位上的数字出现跳动。

(5) 禁止在测量高电压（220V 以上）或大电流（0.5A 以上）时换量程，以防止产生电弧，烧毁开关触点。

(6) 使用后拔出表笔, 将选择开关旋至交流电压最大挡, 并关闭电源。若长期不用, 应将表内电池取出, 以防电池电解液渗漏而腐蚀内部电路。



拓展知识

汽车专用万用表

在发动机电控系统故障的检测与诊断中, 除经常需要检测电压、电阻和电流等参数外, 还需要检测转速、闭合角、频宽比(占空比)、频率、压力、时间、电容、电感、温度、半导体元件等。这些参数对于发动机电控系统的故障检测与诊断具有重要意义。但是这些参数用一般数字式万用表无法检测, 需用专用仪表即汽车专用万用表, 如图 2-1-37 所示。

1. 汽车万用表的组成

汽车万用表主要由数字及模拟量显示屏、功能按钮、测试项目选择开关、温度测量座孔、公用座孔(用于测量电压、电阻、频率、闭合角、频宽比和转速等)、搭铁座孔、电流测量座孔等构成。

2. 汽车万用表的功能

(1) 测量交、直流电压。考虑到电压的允许变动范围及可能产生的过载, 汽车万用表应能测量大于 40V 的电压值, 但测量范围也不能过大, 否则, 读数的精度下降。

(2) 测量电阻。汽车万用表应能测量 $1\text{M}\Omega$ 的电阻, 测量范围大一些使用起来较方便。

(3) 测量电流。汽车万用表应能测量大于 10A 的电流, 测量范围再小则使用不方便。

(4) 记忆最大值和最小值。该功能用于检查某电路的瞬间故障。

(5) 模拟条显示。该功能用于观测连续变化的数据。

(6) 测量脉冲波形的频宽比和点火线圈一次侧电流的闭合角。该功能用于检测喷油器、怠速稳定控制阀、EGR 电磁阀及点火系统等工作状况。

(7) 测量转速。

(8) 输出脉冲信号。该功能用于检测无分电器点火系统的故障。

(9) 测量传感器输出的电信号频率。

(10) 测量二极管的性能。

(11) 测量大电流。配置电流传感器(霍尔式电流传感夹)后, 可以测量大电流。



图 2-1-37 汽车专用万用表

(12) 测量温度。配置温度传感器后可以检测冷却水温度、尾气温度和进气温度等。

3. 使用汽车万用表的注意事项

(1) 在检测之前, 应先检查汽车电控系统中的熔断器、插接器是否良好。

(2) 汽车蓄电池应保持充足的电量, 电控系统的电源线应接触良好, 因为当电控系统的电源电压低于 11V 时, 会使检测结果误差增大甚至测试错误。

(3) 汽车万用表的输入阻抗应大于 $10\text{M}\Omega/\text{V}$ 。

(4) 测量电子控制器各个端子的电压时, 各个连接器(插头)与各个执行器、传感器之间应保持连接状态, 只有这样才能检测出准确的电压数据。

(5) 测量电子控制器各个端子的电阻时, 不要直接用普通万用表的电阻挡测量, 特别是要注意不要将较高电压引入电子控制器内部, 以免损坏电子控制器内部的元件。

(6) 测量电子控制器、传感器及执行器时, 由于需要断开各控制线路的线束插接器, 因此应先拆下蓄电池负极搭铁线, 不可带电断开有关电子控制器的外围电路, 否则可能会损坏电子控制器。

学习任务三 电路基本定律的认识与验证



相关知识

一、电路的基本工作状态

电路在不同的工作条件下会处于不同的工作状态, 充分了解电路不同的工作状态和特点对安全用电和正确使用各种电气设备是十分有益的。现以图 2-1-38 所示的简单直流电路为例, 来分析电路的通路、开路和短路 3 种工作状态。

(一) 通路状态

将图 2-1-38 所示电路中的开关 S 合上, 接通电源和负载 R , 电路中产生了电流 I , 电路处于通路状态, 如图 2-1-39 所示。

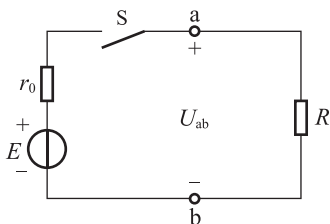


图 2-1-38 简单直流电路

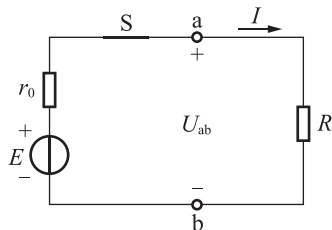


图 2-1-39 通路状态

(二) 开路状态

在图 2-1-38 所示的电路中, 将开关 S 断开, 则电路不通, 此时电路所呈现的状态称为开路状态, 也可称为空载或断路状态。电源两端的电压称为开路电压或空载电压, 用 U_0 表示, 其值等于电源的电动势 E 。

(三) 短路状态

在图 2-1-39 所示的电路中, 将 a、b 两点用一根导线连接起来, 称为短路状态, 如图 2-1-40 所示。此时, 外电路对电源来说电阻值为零, 电路中的电流不再流过负载电阻 R , 而是通过短路导线直接流回电源。在电流的回路中仅有阻值很小的电源内阻 r_0 , 所以在电源电动势的作用下将产生极大的电流, 此电流被称为短路电流, 用 I_s 表示。电源所产生的电能全部为内阻 r_0 消耗并转换成热能, 使得电源的温度迅速上升以致被损坏。

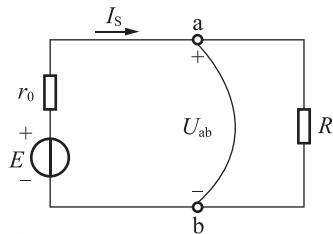


图 2-1-40 短路状态

二、欧姆定律

(一) 部分电路的欧姆定律

欧姆定律是电路分析中的基本定律之一, 用来确定电路各部分的电压与电流的关系, 是分析汽车电路的关键。欧姆定律的内容是导体中的电流 I 跟导体两端的电压 U 成正比, 跟导体的电阻 R 成反比。

图 2-1-41 所示为一段不含电源而只有电阻的部分电路。根据欧姆定律可写出

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

也可以写为 $U = IR$ 或 $R = \frac{U}{I}$ (1-16)

式中, I ——电路中的电流, 单位是安培 (A);

U ——电路两端的电压, 单位是伏特 (V);

R ——电路的电阻, 单位是欧姆 (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 2-1-42 所示。

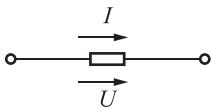


图 2-1-41 部分电路

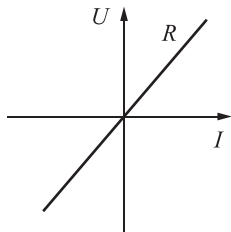


图 2-1-42 电阻伏安特性曲线

(二) 全电路的欧姆定律

含有电源的闭合电路称为全电路,如图 2-1-43 所示。全电路中的电流 I 与电源的电动势 E 成正比,与电路的总电阻(外电路的电阻 R 和内电路的电阻 r_0 之和)成反比,即

$$I = \frac{E}{R + r_0} \quad (1-17)$$

式中, I ——电路中的电流,单位是安培(A);

E ——电源的电动势,单位是伏特(V);

R ——外电路电阻,单位欧姆(Ω);

r_0 ——电源内阻,单位欧姆(Ω)。

由式(1-17)可得

$$\begin{aligned} E &= IR + Ir_0 = U + Ir_0 \\ U &= E - Ir_0 \end{aligned} \quad (1-18)$$

式中, U 是外电路中的电压降,即电源两端的电压; Ir_0 是电源内部的电压降。

一般情况下,电源的电动势是不变的,但由于电源存在一定内阻,当外电路的电阻变化时,端电压也随之改变。当外电路的电阻 R 增大时,电流 I 要减小,端电压 U 就增大;当外电路的电阻 R 减小时,电流 I 要增大,端电压 U 就减小。电源的端电压 U 与负载电流 I 变化的规律称为电源的外特性,曲线见图 2-1-44 所示。

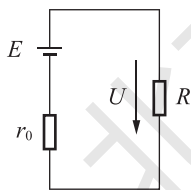


图 2-1-43 全电路

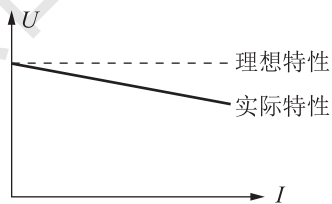


图 2-1-44 电源的外特性曲线

【例 1-1】在图 2-1-43 所示电路中,已知电源的电动势 $E=24\text{V}$,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。

$$\text{解: (1) } I = \frac{E}{R + r_0} = \left(\frac{24}{10 + 2} \right) \text{ A} = 2 \text{ A}$$

$$(2) U = E - Ir_0 = (24 - 2 \times 2) \text{ V} = 20 \text{ V}$$

$$(3) U = IR = (2 \times 10) \text{ V} = 20 \text{ V}$$

$$(4) U_{r_0} = Ir_0 = (2 \times 2) \text{ V} = 4 \text{ V}$$

三、基尔霍夫定律

(一) 基尔霍夫电流定律 (KCL)

基尔霍夫电流定律 (Kirchhoff's Current Law) 也可称为节点电流平衡方程式, 简称 KCL。基尔霍夫电流定律是用来确定连接在同一节点上的各支路电流之间的相互关系。

在图 2-1-45 所示的电路中有 5 个两端元件、3 条支路、2 个节点、3 个回路、2 个网孔。基尔霍夫电流定律叙述为: 任一瞬时, 通过电路中任一节点的各支路电流的代数和恒等于零。

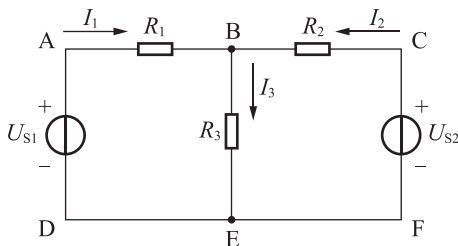


图 2-1-45 基尔霍夫定律示例

其数学表达式为

$$\sum I_i = 0 \quad (1-19)$$

该定律应用于电路中的某一节点时, 必须首先假定各支路电流的参考方向, 当假定流入节点的电流为正时, 流出节点的电流为负。这里流入或流出都是根据参考方向而定。

对节点 B:

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

或

$$I_1 + I_2 = I_3$$

对节点 E:

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

或

$$I_1 + I_2 = I_3$$

以上分析可知, 在任何一个瞬间、对任何一个节点, 流进节点的电流之和一定等于流出节点的电流之和, 即 $\sum I_{\text{入}} = \sum I_{\text{出}}$ 。对节点 B 有 $I_1 + I_2 = I_3$, 对节点 E 也有 $I_1 + I_2 = I_3$ 。

【例 1-2】 在图 2-1-46 所示的电路中, $I_1 = 2\text{A}$, $I_2 = 5\text{A}$, $I_3 = -3\text{A}$, 求电流 I_4 。

解: 基尔霍夫电流定律的推广应用于包围部分电路的任一假想闭合面 (称为广义节点)。在任何瞬间通过任一假想闭合面的电流的代数和也恒等于零。

根据 KCL 的推广, 做一个假想的闭合面 (如图中椭圆所圈), 切割了 I_1 、 I_2 、 I_3 、 I_4 四条支路, 可列方程为

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

所以

$$I_4 = -(I_1 + I_2 + I_3) = -(2 + 5 + (-3))\text{A} = -4\text{A}$$

由该例题可见, 公式的正负号与代数量的正负号不能混淆, 经计算后得到的电流为负值, 说明电流的实际方向与假设的参考方向相反。

【例 1-3】 如图 2-1-47 所示, 已知 $I_1 = 4\text{A}$, $I_2 = 2\text{A}$, $I_3 = -5\text{A}$, $I_4 = 3\text{A}$, $I_5 = 3\text{A}$, 求电流 I_6 。

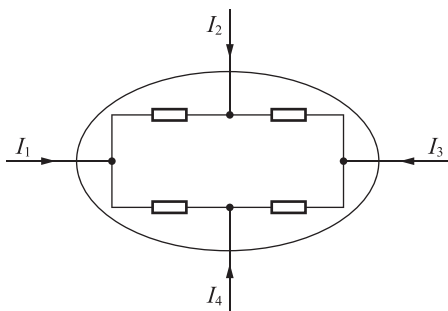


图 2-1-46 例 1-2 图

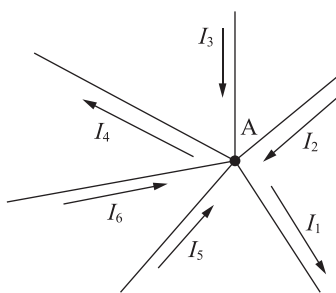


图 2-1-47 例 1-3 图

解：对节点 A，根据基尔霍夫电流定律有

$$I_2 + I_3 + I_5 + I_6 = I_1 + I_4$$

$$I_6 = I_1 + I_4 - I_2 - I_3 - I_5 = [4 + 3 - 2 - (-5) - 3] \text{ A} = 7 \text{ A}$$

(二) 基尔霍夫电压定律 (KVL)

基尔霍夫电压定律 (Kirchhoff's Voltage Law) 也可称为回路电压平衡方程式，简称 KVL。基尔霍夫电压定律是用来确定回路中各支路电压之间的相互关系。

基尔霍夫电压定律叙述为：任一瞬时，作用于电路中任一回路的各支路电压的代数和恒等于零。其数学表达式为

$$\sum U_i = 0 \quad (1-20)$$

该定律用于电路中的某一回路时，必须首先假定各支路电压、电流的参考方向，并指定回路的循行方向（顺时针方向或逆时针方向）。支路电压的参考方向与回路循行方向一致时取“+”号，相反时取“-”号；支路电流的参考方向与回路循行方向一致时，在电阻上产生的电压降取“+”号，相反时在电阻上产生的电压降取“-”号。

如图 2-1-48 所示电路中有 3 个回路：ABED 回路、BCFE 回路和 ACFD 回路。假定各支路电压的参考方向和各回路的循行方向（取顺时针方向）。

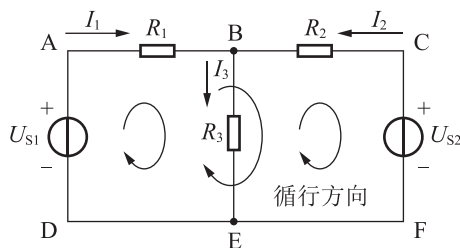


图 2-1-48 基尔霍夫电压定律电路

根据 KVL，对 ACFD 回路列方程为

$$U_{AC} + U_{CF} + U_{FD} + U_{DA} = 0$$

式中， $U_{AC} = R_1 I_1 - R_2 I_2$ ， $U_{CF} = U_{S2}$ ， $U_{FD} = 0$ ， $U_{DA} = -U_{S1}$ ，整理后得到

$$R_1 I_1 - R_2 I_2 + U_{S2} - U_{S1} = 0$$

同理，对 ABED 回路列方程得到

$$R_1 I_1 + R_3 I_3 - U_{S1} = 0$$

同理，对 BCFE 回路列方程得到

$$-R_2 I_2 + U_{S2} - R_3 I_3 = 0$$

拓展知识

惠斯通电桥

电桥电路在电学中是一种很基本的电路。利用电桥平衡原理构成的电测仪器，不仅可以测电阻，也可以测电容、电感，并可通过这些物理量的测量来间接测量非电学量，例如温度、压力等，因此电桥电路在自动化仪表和自动控制中有着广泛的应用。惠斯通电桥只是其中最简单的一种。

用惠斯通电桥测量电阻的电路原理图如图 2-1-49 所示。图中， R_1 、 R_2 是已知标准电阻， R_s 是可变标准电阻， R_x 是被测电阻，B、D 是间接检流计。

接通电路后，检流计一般不示零，说明 B、D 两点电位不相等，通过调节 R_s ，使检流计中无电流通过（ $I_g=0$ ），此时电桥达到平衡。

电桥平衡的条件是 B、D 两点电位相等，即

$$I_1 R_1 = I_2 R_2 \quad I_3 R_x = I_4 R_s$$

又

$$I_1 = I_3 \quad I_2 = I_4$$

所以有

$$R_x = \frac{R_1}{R_2} R_s \quad (1-21)$$

令 $M=R_1/R_2$ ，称为倍率，用 M 表示，则式可写为

$$R_x = M R_s \quad (1-22)$$

要使电桥平衡，一般固定比率 M ，调节 R_s 使电桥达到平衡。检流计在测量过程中起判断桥路有无电流的作用，只要检流计有足够的灵敏度来反映桥路电流的变化，则电阻的测量结果与检流计的精度无关，由于标准电阻可以制作得比较精密，所以利用电桥的平衡原理测电阻的准确度可以大大提高。

在许多汽车电子控制燃油系统中，就是应用惠斯通电桥的工作原理制成了热线式空气流量传感器，该传感器的主要功用是精确测量发动机内的空气质量，热线式空气流量传感器主要由感知空气流量的铂金热线、根据进气温度进行修正的温度补偿电阻（冷线）、控制热线电流并产生输出信号的控制线路板以及空气流量传感器的壳体组成，结构如图 2-1-50 所示。

如图 2-1-51 所示是安装在控制线路板上的精密电阻 R_A 和 R_B 与热线电阻 R_H 和温度补偿电阻 R_K 组成惠斯通电桥电路。当空气流经热线电阻 R_H 时，使热线温度降低，电阻减小，使电桥失去平衡。流经热线的进气量不同，热线的温度变化量不同，其电阻变化量也就不同。若要保持电桥平衡，就必须增加流经热线电阻的电流，以恢复其温度和阻值，精密电阻 R_A 两端的电压也相应增加。控制电路将此电压的变化输送给 ECU，从而确定进气量。

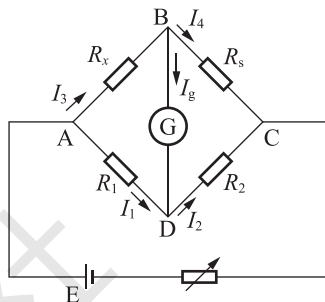


图 2-1-49 惠斯通电桥测电阻原理图

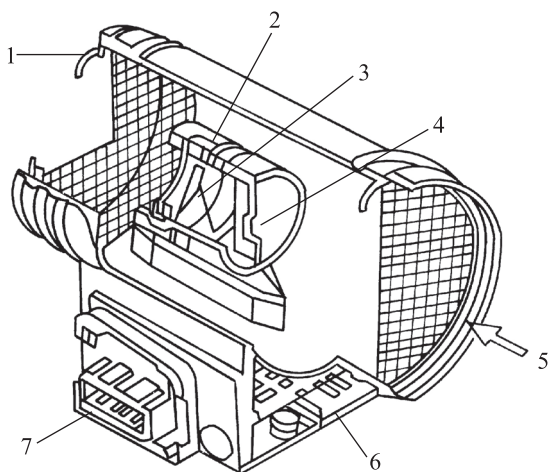


图 2-1-50 热线式空气流量传感器结构图

1—防护网；2—取样管；3—铂金热线；4—温度补偿电阻；5—空气流；6—控制线路板；7—电连接器

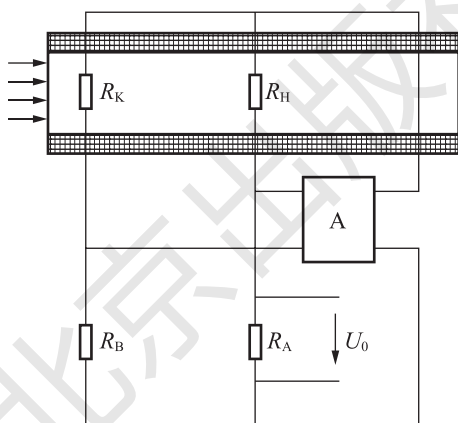


图 2-1-51 热线式空气流量传感器的工作原理图

学习任务四 汽车照明电路的分析与检测



相关知识

一、串联电路

如果一个电路中有若干个电阻按顺序首尾相连，在电源的作用下，各电阻上流过的电流相等，这种连接方式称为电阻的串联，如图 2-1-52（a）所示。

电阻在串联时，可以用一个等效电阻 R 表示，等效电阻的大小等于各个串联电阻之和，如图 2-1-52（b）所示，即

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

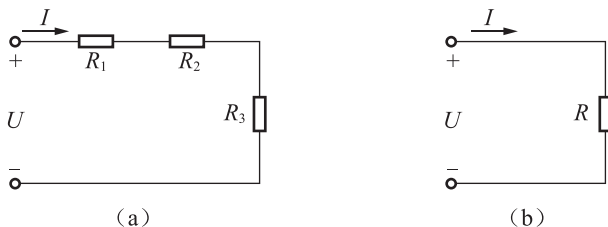


图 2-1-52 串联等效电阻

电阻在串联时, 流过各个电阻的电流相等, 但各个电阻两端的电压是不等的。电路总电压 U 等于各个电阻上的电压之和, 即

$$U = U_1 + U_2 + U_3 \quad (1-24)$$

若电路中只有两个电阻串联, 则电流为

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

各电阻两端的电压可通过下式求得

$$\left. \begin{aligned} U_1 &= R_1 I = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \times U \\ U_2 &= R_2 I = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \times U \end{aligned} \right\} \quad (1-25)$$

此表达式称为分压公式。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。

电阻串联的应用很多。例如, 当电源电压高于负载额定电压时, 可以在负载上串联电阻, 以降低负载上的电压。负载的工作状况与电流大小有直接关系, 如直流电动机的转速与电流大小有关。捷达、桑塔纳轿车空调中的风扇电机电路就串联 3 个电阻。通过风扇电机开关可以改变串联电阻的个数, 达到改变风扇电机转速的目的。

【例 1-4】电路如图 2-1-53 所示, 已知 $U_{ad} = 100V$, 求 U_{ab} 、 U_{bc} 和 U_{bd} 。

解: $100V$ 电压加在 3 个串联电阻上, 根据分压公式, 每个电阻所分到的电压与本身的电阻成正比, 可得

$$U_{ab} = \frac{10}{10 + 40 + 50} \times 100V = 10V$$

$$U_{bc} = \frac{40}{10 + 40 + 50} \times 100V = 40V$$

$$U_{bd} = \frac{40 + 50}{10 + 40 + 50} \times 100V = 90V$$

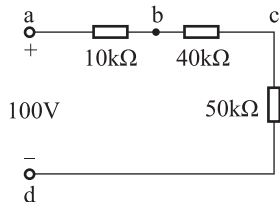


图 2-1-53 例 1-4 图

二、并联电路

如果在一个电路中,若干个电阻的首端、尾端分别相连在一起,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 2-1-54 (a) 所示。

电阻在并联时,可以用一个等效电阻 R 表示,等效电阻的倒数等于各个电阻的倒数之和,如图 2-1-54 (b) 所示,即

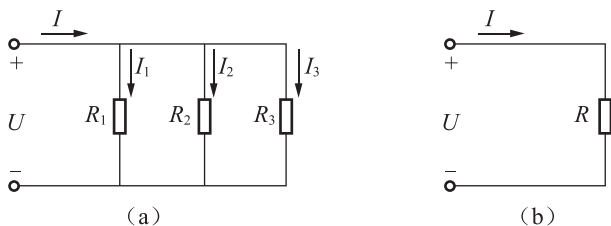


图 2-1-54 并联等效电阻

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

值得注意的是:这个等效电阻一定小于并联电阻中的任何一个。

电阻并联最简单的情况是两个电阻 R_1 和 R_2 的并联,这时等效电阻为

$$R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \quad (1-27)$$

电阻在并联时,虽然两端的电压相等,但各个电阻中流过的电流是不等的。电路总电流 I 等于各个电阻上流过的电流之和,即

$$I = I_1 + I_2 + I_3 \quad (1-28)$$

若只有两个电阻并联,在已知总电流的情况下两端的电压为

$$U = RI = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \times I$$

则两个电阻上流过的电流可以通过下式分别求得

$$\left. \begin{aligned} I_1 &= \frac{U}{R_1} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \times I \\ I_2 &= \frac{U}{R_2} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \times I \end{aligned} \right\} \quad (1-29)$$

此表达式称为分流公式。显然,并联电阻上电流的分配与电阻阻值的大小成反比。当其中某个电阻比其他电阻大得多时,通过此电阻上的电流就比其他电阻上通过的电流小得多。

一般负载都是并联接入电路中的。负载并联时,它们处于同一电压作用之下,任何一个负载的工作情况基本上不受其他负载的影响。

汽车上的用电器,如喇叭、照明灯、电动机等都是并联在直流电源上。并联电路的优点就在于各个电器能单独工作、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电压的电源上。