

高职高专汽车类教学改革规划教材

汽车电工电子技术

李子云 主 编

李树金 姜 浩 姜小东 副主编

清华大学出版社

北 京

内 容 简 介

本教材采用教、学、做一体和情境创设的模式编写。以学生为本，让学生通过自学能够看懂教材，喜欢教材，这是编写这本书的核心目标。本书具有如下特色：采用通俗易懂和循序渐进的方式进行叙述，杜绝笼统和结论性的叙述；通过图形描述工作过程或工作原理，多用实物图形建立具体情境；尽量避免设置繁杂、量大和有一定难度的知识点，多采用小模块、小模型和小实验等方式对知识和内容进行阐述；增加人文知识，提高学生的兴趣和修养；在每个任务中增加“想一想”和“探究”环节，使学生加深对相关知识的理解，开拓他们的思维。

本教材充分体现“高等”“职业”“汽车”三者并重的特色，注重开发和培养学生的实践能力、查阅资料的能力和识图能力。本教材可作为高等职业技术学院以及成人高校、中职学校汽车类各专业的教材，同时也可以作为相关从业人员的参考书。本书配有课件和视频，下载地址为：<http://www.tupwk.com.cn/downpage>。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签，无标签者不得销售。

版权所有，侵权必究。侵权举报电话：010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

汽车电工电子技术 / 李子云 主编. —北京：清华大学出版社，2014

(高职高专汽车类教学改革规划教材)

ISBN 978-7-302-35618-9

I. ①汽… II. ①李… 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(2014)第 045033 号

责任编辑：施 猛 马遥遥

封面设计：常雪影

版式设计：方加青

责任校对：曹 阳

责任印制：

出版发行：清华大学出版社

网 址：<http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址：北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编：100084

社 总 机：010-62770175 邮 购：010-62786544

投稿与读者服务：010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈：010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

课 件 下 载：<http://www.tup.com.cn>, 010-62794504

印 刷 者：

装 订 者：

经 销：全国新华书店

开 本：185mm×260mm 印 张：17.75 字 数：399 千字

版 次：2014 年 5 月第 1 版 印 次：2014 年 5 月第 1 次印刷

印 数：1~2200

定 价：29.80 元

产品编号：

前言



“汽车电工电子技术”是高职汽车类专业的基础课程，一般在大一开设。本课程十分重要，但学生学起来吃力，究其原因，看不懂教材是一个突出的问题。如何突破难点，使学生能够看得懂教材，喜欢学习本课程，编者从以下几个方面进行了改进。

一、以学生为本，让学生通过自学能够看得懂教材，喜欢这本教材。这是编写这本教材的核心目标。如何实现呢？

1. 高中和中职学过的基础知识不再叙述。

2. 概念的叙述采用剥萝卜的方式逐渐深入，避免出现概念的跳跃和断层。

3. 通过图形叙述工作过程或工作原理，一定要叙述清楚，而且采用清晰简单的语言和浅显的概念叙述，杜绝笼统和结论性的叙述。

二、建立情境，采用项目教学法，教学做一体。如何实现这一目标呢？

1. 建立具体情境，比如采用许多实物图形。

2. 理论的叙述与应用相结合，使学生知道学了这一理论是有用的。

3. 尽量不出现繁杂、量大和有一定难度的知识、图形、工作过程和项目，多采用小模块、小模型和小实验等方式引导教学。

三、增加人文知识，提高学生的兴趣和修养。

四、如何使教材系统，对学生学习专业知识既适用又够用？

1. 采用大学科、大岗位群的经验作为素材。大学科是指与本教材密切相关的学科，比如：汽车电子、汽车电气等学科。大岗位群指汽车维修、汽车检测、汽车电子、汽车钣金和美容等，将这些学科的老师和中高级技师的经验作为素材集中起来。

2. 吸收不同的实训基地和不同的汽车订单班教材的经验作为素材。

3. 吸收当前市场上优秀教材中的素材。

4. 采纳专家、国赛指导教师、高级技师的建议和意见。

五、在每一个任务中增设“想一想”和“探究”环节。“想一想”多以本任务中某一知识某一观点提出深入的思考或借以渗透思想与认识。“探究”多以小实验的方式进行，有的也需要学生查阅资料。目的是使学生能够最终实现自主学习、合作学习和探究性学习。

教材增加了实物图形与文字的配合，使教材有趣味。教材体现高职特点，基本知识点按实用、适用、先进、通俗、精炼和可操作的原则选取，教材充分体现“高等”“职业”“汽车”三者并重的特色。“高等”是指培养的目标是高等技术人才(高级技能人

才), 这类人才能够熟练掌握电子电工的综合性、导论性、系统性的知识。“职业”是指培养学生能够将知识应用于实践, 符合职业学生的认识水平。“汽车”是指知识的运用应与汽车专业紧密联系。

我们深知, 教材应紧跟时代, 教材应满足改革的需要。幸运的是武汉城市职业学院汽车技术与服务学院有一个国家级实训基地、两个华中地区实训基地, 有一个专门致力于汽车技术与服务教学的优秀团队, 这些条件的具备为本书的编写提供了便利。

本书由武汉城市职业学院李子云老师主编, 李树金、姜浩、姜小东老师担任副主编。学习情境1和学习情境2分别由武汉城市职业学院的姜浩和姜小东老师编写, 学习情境6由甘肃林业职业技术学院李树金老师编写, 其他各学习情境和内容都由武汉城市职业学院李子云老师编写, 并最终由其负责全书的统稿。“长江技能名师”、汽车售后服务高级培训师王辉老师为此书的编写提供了许多宝贵的建议和意见, 在此深表感谢。还要感谢实训基地的专家和汽车技术与服务学院这样一支优秀的团队。本教材在编写过程中参考了一些教材、论著、网页, 援引了其中的部分资料和信息, 在此致谢。

由于编者水平有限, 书中不妥之处在所难免, 恳请读者批评指正。反馈邮箱: wkservice@vip.163.com, 1981921130@qq.com。

编者
2014.1

目录



学习情境 1 汽车直流电路	1	1.4.3 汽车专用示波器的使用	39
学习目标	2	想一想	47
项目描述	2	探究	47
任务1.1 认知汽车电路组成、特点及基本物理量	2	项目实施	48
1.1.1 汽车电路的组成	2	本章小结	51
1.1.2 汽车电路的特点	4	学习情境 2 汽车交流电路	53
1.1.3 汽车电路的基本物理量	5	学习目标	54
想一想	9	项目描述	54
探究	9	任务2.1 认知单相正弦交流电	54
任务1.2 认知汽车基本电气元件	10	2.1.1 正弦交流电	54
1.2.1 电阻	10	2.1.2 交流电中的电阻、电容、电感的特性	58
1.2.2 特殊电阻器及其在汽车上的应用	15	想一想	62
1.2.3 电容	17	探究	62
1.2.4 电感	20	任务2.2 认知三相交流电路	63
想一想	23	2.2.1 三相交流电动势的产生	63
探究	23	2.2.2 三相电源的连接	64
任务1.3 电路分析与计算	23	2.2.3 三相负载的连接	67
1.3.1 常用名词	23	想一想	68
1.3.2 基尔霍夫定律	24	探究	68
1.3.3 电位的计算	29	任务2.3 汽车交流发电机	68
1.3.4 惠斯通电桥	30	2.3.1 交流发电机的类型和作用	68
想一想	32	2.3.2 交流发电机的结构	69
探究	32	2.3.3 三相交流电动势的产生	72
任务1.4 汽车电工电子常用仪表	32	想一想	74
1.4.1 使用仪表的知识	32	探究	75
1.4.2 汽车专用数字万用表的使用	34	项目实施	75
		本章小结	75

学习情境 3 汽车磁路及电磁元件	76	任务4.1 三相异步电动机	99
学习目标	77	4.1.1 异步电动机的构造	99
项目描述	77	4.1.2 三相异步电动机的工作原理	101
任务3.1 认知磁场的基本物理量	77	4.1.3 三相异步电动机的启动	103
3.1.1 磁场的基本物理量	77	4.1.4 三相异步电动机的调速	104
3.1.2 物质的磁性	78	4.1.5 三相异步电动机的制动	105
3.1.3 磁性材料及磁路	80	4.1.6 三相异步电动机的反转	105
想一想	82	4.1.7 三相异步电动机的转矩与机械特性	106
探究	82	想一想	107
任务3.2 汽车电磁阀	82	探究	107
3.2.1 电磁阀的结构	82	任务4.2 直流电动机	107
3.2.2 电磁阀的分类	83	4.2.1 直流电机的基本结构	108
3.2.3 直动式电磁阀、分步直动式电磁阀和先导式电磁阀	83	4.2.2 直流电动机的工作原理	110
3.2.4 电磁阀符号的含义	84	4.2.3 直流电动机的分类	110
3.2.5 电磁阀的工作原理	86	4.2.4 直流电动机转矩自动调节	112
3.2.6 电磁阀在汽车上的应用	89	4.2.5 直流电动机的机械特性	113
想一想	90	4.2.6 直流电动机的运行	114
探究	90	想一想	116
任务3.3 汽车继电器	91	探究	116
3.3.1 继电器概述	91	任务4.3 汽车车用电动机	117
3.3.2 继电器的图形符号、接线图、接脚和外形	92	4.3.1 步进电机	117
3.3.3 电磁式继电器	92	4.3.2 永磁式电动机在汽车上的典型应用	121
3.3.4 热继电器	93	想一想	126
3.3.5 舌簧管式继电器	94	探究	126
3.3.6 继电器的主要电气参数	94	任务4.4 电动机的控制	126
3.3.7 继电器的选用	95	4.4.1 控制电器介绍	126
3.3.8 继电器在汽车上的典型应用	95	4.4.2 三相异步电动机的直接启动	134
想一想	96	4.4.3 三相异步电动机的点动或连续控制控制线路	135
探究	96	4.4.4 三相异步电动机的正反转控制线路	136
项目实施	97	想一想	137
本章小结	97	探究	137
学习情境 4 汽车电动机	98	项目实施	137
学习目标	99		
项目描述	99		

本章小结	138	6.1.3 集成运算放大器的主要参数	183
学习情境 5 汽车模拟电路	139	6.1.4 理想运算放大器	184
学习目标	140	6.1.5 集成运算放大器的主要特性	185
项目描述	140	想一想	185
任务5.1 认知二极管	140	探究	186
5.1.1 半导体基本知识	140	任务6.2 反馈在放大电路中的应用	186
5.1.2 二极管的结构与符号	143	6.2.1 基本概念	186
5.1.3 二极管的伏安特性	144	6.2.2 常见放大器	187
5.1.4 二极管的主要参数	145	6.2.3 比较器	191
5.1.5 二极管的钳位作用	146	6.2.4 集成运算放大器在汽车电子	
5.1.6 二极管的限幅作用	146	电路中的应用	192
5.1.7 二极管的整流作用	147	想一想	196
5.1.8 特殊用途的二极管简介	151	探究	196
想一想	157	项目实施	196
探究	157	本章小结	197
任务5.2 认知晶体管	157	学习情境 7 汽车数字电路	199
5.2.1 晶体管的基本结构	157	学习目标	200
5.2.2 晶体管的分类	158	项目描述	200
5.2.3 晶体管的电流放大作用	159	任务7.1 数字电路概述	200
5.2.4 晶体管的特性曲线	161	7.1.1 模拟电路和数字电路	200
5.2.5 晶体管的主要参数	162	7.1.2 脉冲信号	202
5.2.6 晶体管的放大电路	163	7.1.3 数的进制与码制	203
5.2.7 晶体管的两个重要作用	168	想一想	204
5.2.8 特殊晶体管在汽车上的应用	170	探究	204
5.2.9 晶体管在汽车电子电路中的		任务7.2 基本门电路	204
应用	172	7.2.1 基本门电路概述	204
想一想	174	7.2.2 与门电路	205
探究	174	7.2.3 或门电路	206
项目实施	174	7.2.4 非门电路	208
本章小结	177	7.2.5 复合门	209
学习情境 6 汽车集成运算放大器	178	想一想	211
学习目标	179	探究	212
项目描述	179	任务7.3 认知汽车时序逻辑电路	212
任务6.1 运算放大器概述	179	7.3.1 RS触发器	213
6.1.1 基本概念	179	7.3.2 主从触发器	215
6.1.2 集成运算放大器的组成	182	7.3.3 D触发器	217

想一想	218	学习情境 8 汽车电路图识读	237
探究	218	学习目标	238
任务7.4 汽车模拟信号与数字信号的 转换	218	项目描述	238
7.4.1 概述	218	任务8.1 汽车电路识图概述	238
7.4.2 D/A转换器	219	8.1.1 图形符号	238
7.4.3 A/D转换器	223	8.1.2 汽车电路配电器件	239
想一想	227	8.1.3 汽车电路图的形式	246
探究	227	想一想	250
任务7.5 数字电路在汽车上的应用	228	探究	250
7.5.1 555定时器	228	任务8.2 汽车电路识图方法与示例	250
7.5.2 555定时器的基本应用电路	230	8.2.1 大众公司汽车电路图的读法	250
7.5.3 555定时器的基本应用电路在 汽车上的应用	232	8.2.2 电路图例解	257
7.5.4 汽车水箱水位过低报警器 电路	234	想一想	260
想一想	234	探究	260
探究	235	项目实施	260
项目实施	235	本章小结	261
本章小结	236	习题集	263
		习题答案	270
		参考文献	276

学习情境 1

汽车直流电路



❖ 学习目标

1. 了解汽车电路的组成及特点；
2. 掌握汽车电路的基本物理量；
3. 掌握交流电中的电阻、电容、电感的特性；
4. 掌握电阻、电容、电感的标志；
5. 理解并使用基尔霍夫定律进行复杂的电路计算；
6. 能正确使用汽车专用万用电表和汽车专用示波器。

❖ 项目描述

学习情境1将主要讲述汽车电路的组成、特点、基本物理量以及电路分析方法，介绍汽车专用万用表和汽车专用示波器，为后面分析各种电工电子电路奠定必要的基础。

众所周知，现代生活离不开电，现代社会的发展离不开汽车，在汽车中电的作用非常重要。电，神奇而重要，因此，作为21世纪的大学生，更有必要学习好与电相关的概念和知识。

任务1.1 认知汽车电路组成、特点及基本物理量

1.1.1 汽车电路的组成

1. 电路

电路是电流所流经的路径。电路或称电子回路，是由电气设备和元器件(用电器)，按一定方式连接起来的。如由电源、电阻、电容、电感、二极管、晶体管、IC(集成电路)和电键等构成的网络或回路。电路规模的大小，可以相差很大，小到硅片上的集成电路，大到高低压输电网。

根据所处理信号的不同，电子电路可以分为模拟电路和数字电路。

2. 电路的组成

1) 一般电路

一般电路由电源、负载、连接导线和辅助设备四大部分组成。实际应用的电路都比较复杂，因此，为了便于分析电路的实质，通常用符号表示组成电路实际原件及其连接线，即画成所谓电路图。其中导线和辅助设备合称为中间环节。如图1-1表示简单手电筒电路，它是由干电池(电源)、小灯泡(负载)、手电筒金属壳(开关和连接导体)(中间环节)所组成的。

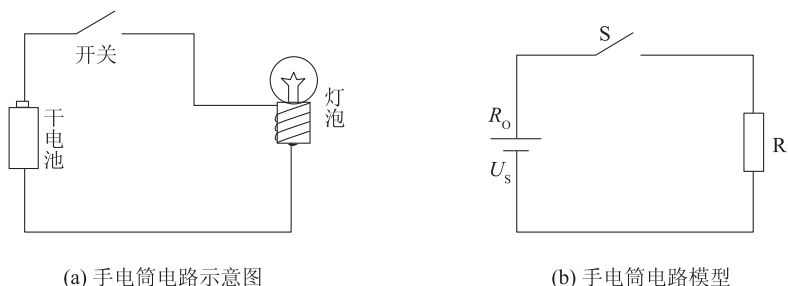


图1-1 手电筒电路

(1) 电源。电源是提供电能的设备。电源的功能是把非电能转变成电能。例如，电池是把化学能转变成电能；发电机是把机械能转变成电能。由于非电能的种类很多，转变成电能的方式也很多，所以，目前实用的电源类型也很多，最常用的电源是固态电池、蓄电池和发电机等。电源分为电压源与电流源两种，只允许同等大小的电压源并联，同样也只允许同等大小的电流源串联，电压源不能短路，电流源不能断路。图1-2是电源的种类。

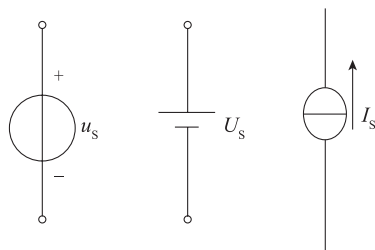


图1-2 电源的种类

(2) 负载。在电路中使用电能的各种设备统称为负载。负载的功能是把电能转变为其他形式能。例如，电炉把电能转变为内能；电动机把电能转变为机械能，等等。通常使用的照明元件、家用电器、机床等都可称为负载。

(3) 导线。连接导线用来把电源、负载和其他辅助设备连接成一个闭合回路，起着传输电能的作用。

(4) 辅助设备。辅助设备是用来实现对电路的控制、分配、保护及测量等作用的。辅助设备包括各种开关、熔断器、电流表、电压表及测量仪表等。

2) 汽车电路

汽车电路由相对独立的系统组成，全车电路一般由以下几部分组成。

(1) 电源电路。由蓄电池、发电机、调节器及工作状态指示装置(电流表、充电指示灯)等组成。

(2) 起动电路。由起动机、起动继电器、起动开关及起动保护装置组成。

(3) 点火电路。由点火线圈、分电器、电子点火器、火花塞、点火开关等组成。此外，由发动机控制单元进行点火控制时，可以不使用分电器。

(4) 照明与信号电路。由前照灯、雾灯、示宽灯、转向灯、制动灯、倒车灯、电喇叭等及其控制继电器和开关组成。

(5) 仪表与报警电路。由仪表、传感器、各种报警指示灯及控制器组成。

(6) 电子控制装置电路。由电控燃油喷射系统EFI、自动变速器系统ECT、制动防抱死系统ABS、恒速控制及悬架平衡控制等组成。

(7) 辅助装置电路。由为提高车辆安全性、舒适性、经济性等各种功能的电器装置组成。其也因车型不同而有所差异。一般由风窗刮水器/清洗装置、风窗除霜/防雾装置、启动预热装置、音响装置、车窗电动升降装置、电动座椅调节装置及中央电控门锁装置等装置组成。

1.1.2 汽车电路的特点

(1) 低压。汽车电系的额定电压有6V、12V、24V三种。如：桑塔纳汽车采用12V电源。

(2) 直流。现代汽车发动机是靠电力起动机起动的，起动机由蓄电池供电，蓄电池充电又必须用直流电源，所以汽车电系为直流系统。

(3) 单线制。单线连接是汽车线路的特殊性，它是指汽车上所有电器设备的正极均采用导线相互连接，而所有的负极则直接或间通过导线与车架或车身金属部分连接，即搭铁。任何一个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，再由电气设备自身或负极导线搭铁，通过车架或车身流回电源负极而形成回路。图1-3是灯光保护电路工作原理图，该图即采用单线制。

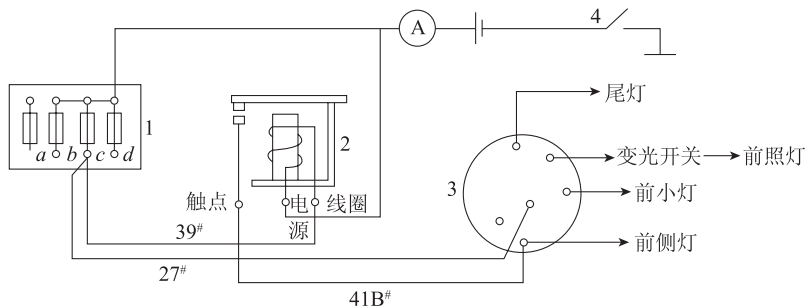


图1-3 灯光保护电路工作原理图

1-熔断丝 2-灯光继电器 3-车灯总开关 4-电源总开关

由于单线制导线用量少，线路清晰，接线方便，因此为现代汽车所广泛采用。

(4) 并联连接。各用电设备均采用并联，汽车上的两个电源(蓄电池和发电机)之间以及所有用电设备之间，都是正极接正极，负极接负极，并联连接。

(5) 负极搭铁。采用单线制时蓄电池的一个电极需接至车架或车身上，俗称“搭铁”。蓄电池的负极接车架或车身称为负极搭铁。蓄电池的正极接车架或车身称为正极搭铁。负极搭铁对车架或车身金属的化学腐蚀较轻，对无线电干扰小。我国标准规定汽车线路统一采用负极搭铁。

(6) 设有保险装置。为了防止因短路或搭铁而烧坏线束，电路中一般设有保护装置，如熔断器、易熔丝等。

(7) 汽车线路有颜色和编号特征。为了区别各线路的连接，汽车所有低压导线必须选用不同颜色的单色线或双色线，并在每根导线上编号。编号由生产厂家统一编定。

(8) 汽车电路由相对独立的分系统组成。

1.1.3 汽车电路的基本物理量

1. 电流及参考方向

1) 电流的大小与方向

电荷的定向运动形成电流，通常将正电荷移动的方向规定为电流正方向。电流的大小用电流强度来衡量，其数值等于单位时间内通过导体某一横截面的电荷量。根据定义有

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

式中： i —电流强度，简称电流。电流单位为安培(A)。

根据电流大小和方向随时间的变化情况，我们把电流分为两大类。一类电流的大小和方向都不随时间而变化，即称为恒定电流，简称直流，常用字母DC或dc表示。如图1-4(a)所示为恒定电流波形。直流电流用大写字母*I*表示。另一类是电流大小和方向都随时间变化，称为变动电流，变动电流用小写字母*i*表示，其中一个周期内电流的平均值为零的变动电流称为交变电流，简称交流，常用字母AC或ac表示。图1-4(b)为正弦交流电流波形。

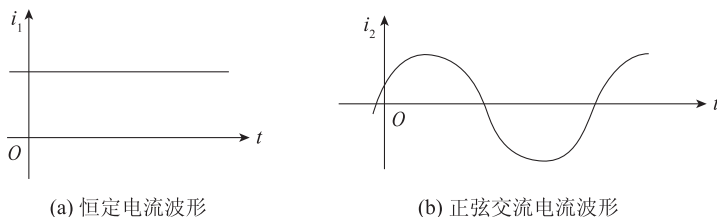


图1-4 电流波形

2) 电流的参考方向

电流的方向是客观存在的，但在电路分析中，面对一些较为复杂的电路，有时电流的实际方向难以判断，有时电流的实际方向还在随时间不断改变，于是要在电路中标出电流的实际方向较为困难。为了解决这一问题，在电路分析时，常采用“参考方向”这一概念。

在一段电路或电路元件上可以任意选定一个方向作为电流的流动方向，这个方向就是电流的参考方向，在电路图中用箭头表示。如图1-5所示，当电流的参考方向与实际方向一致时，电流为正值($I > 0$)；当电流的参考方向与实际方向相反时，电流为负值($I < 0$)。

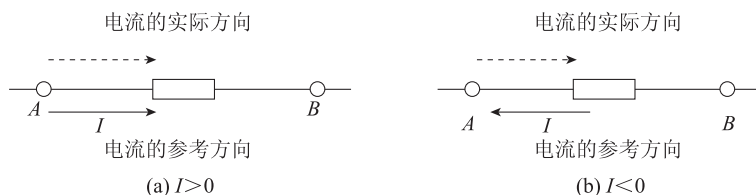


图1-5 电流的参考方向

除了用箭头来表示电流的参考方向外，还可用双下标表示，如 I_{ab} 表示电流参考方向从 a 指向 b 。

在选定的电流参考方向下，根据电流的正负，就可以确定电流的实际方向。在分析电路时，先假定电流的参考方向，并以此去分析计算，最后根据数值的正负值来确定电流的实际方向。

综上所述，电流参考方向是电路分析计算过程中很重要的概念，在学习中需要注意以下几点。

(1) 电流参考方向可随意选择，而实际电流是客观存在的。对于同一个电流，若选择的参考方向相反，则其电流的数值大小相等而符号相反。例如 $I_{ab}=-I_{ba}$ 。

(2) 电流是个代数量，电流的表达式中反映了大小与方向。例如当 $I=-2A$ ，表明电流大小为 $2A$ ，其实际方向与参考方向相反。因此在分析电路电流时，应先选择好电流的参考方向。若不选择参考方向，那么谈论电流的正负将是无意义的。

(3) 在电路图上标注的是电流参考方向而不是实际方向。在某些直流电路中，若可直接判断出电流的实际方向，一般为方便起见，选择其参考方向与实际方向一致。

2. 电压与电位

1) 电压与电位的概念

如图1-6所示，在导体内电荷定向运动是由于电场力的作用形成的。那么，电路中 a 、 b 两点间电压的大小就等于电场力将单位正电荷由 a 点移动到 b 点所做的功，用符号 u_{ab} 表示。在直流电路中电压用大写字母 U 表示。电压的单位为伏特(V)。

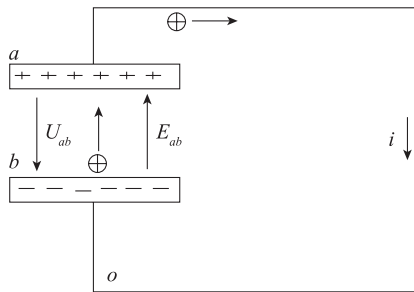


图1-6 电压与电动势

$$u_{ab} = \frac{dw_{ab}}{dq} \quad (1-2)$$

为了方便地分析电压这个物理量，我们引入了电位的概念。在电路中任选参考点 o ，则电路中某点 a 到参考点 o 的电压就称为 a 点的电位。换言之，即电位实际上就是相对于参考点的电压。

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

电位用 V 表示。电路参考点本身的电位 $V_o=0V$ ，参考点也称为零电位点。

在电路中任选参考点 o ，则 a 、 b 两点的电位分别为 $V_a=U_{ao}$ 、 $V_b=U_{bo}$ 。按照做功的定义，电场力把单位正电荷从 a 点移到 b 点所做的功，等于把单位正电荷从 a 点移到 o 点，再移到 b

点所做的功的和，即

$$U_{ab} = U_{ao} + U_{ob} = U_{ao} - U_{bo} = V_a - V_b$$

$$\text{或 } U_{ab} = V_a - V_b \quad (1-4)$$

式(1-4)表明，电路中 a 、 b 两点间的电压等于 a 、 b 两点的电位差，因而电压也称为电位差。

2) 电压的方向

两点之间电压的实际方向是由高电位点指向低电位点。所以电压也常称为电压降。为方便分析电路，与电流一样，引入电压的参考方向。如图1-7所示，对元件或电路两端，可以任意选定一个方向为电压的参考方向，当电压的实际方向与它的参考方向一致时，电压值为正，即 $U > 0$ ；反之，当电压的实际方向与它的参考方向相反时，电压值为负，即 $U < 0$ 。

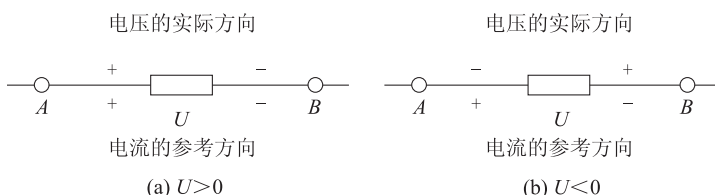


图1-7 电压的参考方向

对电压参考方向的标注除了用箭头外，还可用双下标和正(+)、负(-)极性表示。例如 U_{ab} 表明电压参考方向从 a 指向 b 。若用正负极性表示，电压参考方向从正极指向负极。

电路中电流与电压的参考方向选择是独立的，对一个电路，若元件电流与电压选择的参考方向相同，如图1-8所示，则称这个参考方向为关联参考方向，否则为非关联方向。

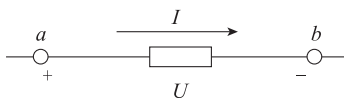


图1-8 电压和电流的关联参考方向

3) 运用电位概念时的注意事项

(1) 选择不同的参考点，同一点的电位数值不同。例如图1-9电路，若选择 O 点为电位参考点，即 $V_O = 0V$ ， $V_A = 10V$ ， $V_B = 6V$ ；若选择 B 点为电位参考点，即 $V_B = 0V$ ， $V_A = 4V$ ， $V_O = -6V$ 。

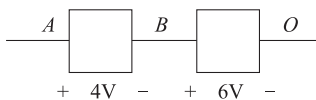


图1-9 电位分析

(2) 两点间的电压大小与参考点的选择无关，即电位的高低是相对的，而电压值是绝对的。如图1-9电路中，不论参考点选择为 O 点或是 B 点，都不会改变 U_{AB} 的大小。

(3) 与电流、电压一样，电位也可为正或负值，某点的电位高于参考点，则为正，反之则为负。

(4) 在汽车电路中，蓄电池负极直接或间接地通过导线连接在车身金属或车架上，即俗称“搭铁”。通常汽车中的搭铁点就是电路的参考点，电路中任一点的电位就是相对于

搭铁的电压。电力系统中，通常以大地作为参考点；电子电路中，一般选择电子设备的金属机壳或某公共点作为参考点。参考点的电位为零，用符号“⊥”表示。

3. 电动势

1) 电动势大小与方向

在图1-6所示的电路中，正电荷在电场力作用下不断从 a 极板通过连接导线流向 b 极板，如果没有一种外力作用，运动到 b 极板的正电荷将逐渐增多使电位逐渐升高， a 极板正电荷减少而使电位逐渐降低，则 a 、 b 两点之间的电位差就会减小，最后为零。于是，连接导线中的电流也将减小，最后为零。由于电场力的作用，电极上的正电荷不能逆电场而上，为了维持导线中的电流，就必须使 a 、 b 两极板间保持一定的电压，这必然要借助于外力使运动到 b 极板的正电荷经过另一路径再流向 a 极板，在这种过程中外力要克服电场力做功。这种外力是非电场力，称为电源力。

衡量电源力对电荷做功能力的物理量称为电动势。电动势在数值上等于电源力将单位正电荷由低电位(b 点)移到高电位(a 点)所做的功。电动势的方向规定为在电源内部由负极板指向正极板，即从低电位点指向高电位点。电动势用 E 表示，单位为伏特(V)。

2) 电动势与电压的比较

电动势与电压是不同的两个概念，它们既有区别又有联系。

(1) 电动势是指在电源内部，电源力将单位正电荷由低电位移到高电位所做的功；而电压指在电源之外，电场力将单位正电荷由高电位移到低电位所做的功。

(2) 电动势的实际方向从低电位点指向高电位点，即电位升；而电压的实际方向从高电位点指向低电位点，即电位降。

(3) 一个元件的电动势和电压是大小相等、实际方向相反的一对物理量，对外部电路而言，二者没有区别。因此在今后的叙述中，电源常常用电压来等效表示电动势对外电路的作用。

不同的电源具有不同的电压，例如，一般汽车蓄电池的电压通常为12V，干电池的电压为1.5V。

4. 电能和电功率

在图1-8所示的直流电路中， a 、 b 两点的电压为 U ，电路中的电流为 I ，电压、电流为关联方向，由电压定义可知，在 t 时间内，电场力所做的功，即元件消耗(或吸收)的电能为

$$W=UQ=UIt \quad (1-5)$$

式中： W —电功或电能(J)

U —元件两端电压(V)

I —流过元件的电流(A)

t —做功的时间(s)

单位时间内消耗的电能称为电功率(简称功率)，直流电路中用字母 P 表示，即

$$P = \frac{W}{t} = UI \quad (1-6)$$

若电压、电流非关联方向，则

$$P = -UI \quad (1-7)$$

在国际单位制中，电能的单位是焦耳(J)，功率的单位是瓦特(W)。我国法定计量单位中有时电能的单位用千瓦时(kWh)表示，1kWh就是指1千瓦功率的设备，使用1小时所消耗的电能。1kWh俗称一度电。如40W的灯泡，工作25h，其消耗的电能就是1kWh。

需要指出的是，电功率是代数量，可以为正值或负值。

(1) 在电压电流关联参考方向下， $P=UI$ ，当 $P>0$ 时表示元件消耗电能；当 $P<0$ 时表示元件释放电能。

(2) 在电压电流非关联参考方向下， $P=-UI$ ，同样当 $P>0$ 时表示元件消耗电能；当 $P<0$ 时表示元件释放电能。

因此在分析元件的功率时，首先看电路中标出的电流、电压参考方向是关联方向还是非关联方向，根据参考方向相应使用不同的公式，两个公式差一个负号。再根据求得的功率是正值还是负值，分析元件是吸收(消耗)功率还是发出(提供)功率。不论使用哪一个公式，只要 $P>0$ 就表示元件实际为吸收功率， $P<0$ 表示元件实际为发出功率。

例1-1 计算图1-10所示电路的功率，并说明电路是发出功率还是消耗功率。

解：图(a)电路为关联方向， $P=UI=2 \times 6=12(\text{W})>0$ ，电路吸收功率。

图(b)电路为关联方向， $P=UI=(-1) \times 5=-5(\text{W})<0$ ，电路发出功率。

图(c)电路为非关联方向， $P=-UI=-5 \times 4=-20(\text{W})<0$ ，电路发出功率。

图(d)电路为关联方向， $P=UI=(-3) \times (-2)(\text{W})=6(\text{W})>0$ ，电路吸收功率。

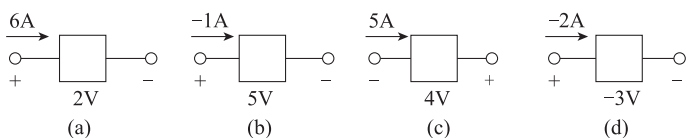


图1-10 例1-1图

🔒 想一想

类比法是科学研究的基本方法之一。判断物体是运动还是静止要选择参考方向，判断电流和电压的方向也要选择参考方向。在图1-6所示的电路中 a 、 b 两点间电压的大小就等于电场力将单位正电荷由 a 点移动到 b 点所做的功。在空间 a 、 b 两点间的高度的大小就等于将重力为1N的重物从 a 点沿竖直方向移到 b 点做的功。那么，电压可以类比高度吗？

🔍 探究

1. 汽车上有蓄电池和发电机两个电源，蓄电池的功率在什么情况下大于零和小于零？发电机的功率是否也可以大于零和小于零？

2. 请在车上找到汽车电路中的主要搭铁点，车身搭铁、发动机搭铁。

任务1.2 认知汽车基本电气元件

1.2.1 电阻

1. 电阻的定义

电荷在导体内做定向移动会遇到阻碍作用，这种阻碍称为电阻。具有一定的电阻数的元器件称为电阻器，简称为电阻。

经过大量的实验，得出了电阻定律：在一定温度下，导体的电阻 R 与它的长度 L 成正比，与它的横截面积 S 成反比，还与导体的材料有关系。其表达式是

$$R = \rho \frac{L}{S} \quad (1-8)$$

式中： R —导体的电阻(Ω)

L —导体的长度(m)

S —导体的横截面积(mm^2)

ρ —导体的电阻率($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$)

其中 ρ 叫做物体的电阻系数或电阻率，它与材料的性质有关。不同的材料的电阻率是不同的。常见材料的电阻率大小，如表1-1所示。

表1-1 常见材料的电阻率和电阻温度系数

材料名称	电阻率 $\rho/(\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m})$	平均电阻温度系数 $\alpha/(1/^\circ\text{C})$ 0 $^\circ\text{C} \sim 100^\circ\text{C}$
银	0.0165	0.0036
铜	0.0175	0.004
铝	0.0283	0.004
低碳钢	0.13	0.006
碳	35	-0.0005
锰铜	0.43	0.000 006
康铜	0.49	0.000 005
镍铬合金	1.1	0.000 13
铁铬铝合金	1.4	0.000 08
铂	0.106	0.003 89

电阻率 ρ 是反映材料导电性能大小的系数。由表1-1可见，银、铜、铝的电阻率很小，表示其对电流的阻碍小，导电能力强。因此，常用铜或铝来制造导线和电器设备的线圈。银的电阻率最小，但因价格昂贵，因而只有在有特殊要求的场合使用，如电器触头等。镍铬、铁铬铝合金的电阻率很大，而且耐高温，常用来制造发热器件的电阻丝。

2. 电阻与温度的关系

人们在生产实践或科学实验中发现，导体的电阻还与温度的变化有关。一般可分为三种情况。第一类导体电阻随温度的升高而增加，如银、铝、铜、铁、钨等金属。第二类导体电阻随温度升高而减小，如电解液、碳素和半导体材料，第三类导体的电阻几乎不随温度的改变而变化，如康铜、锰钢、镍铬合金等。因此用电阻温度系数来反映材料电阻受温度影响的程度。常见材料的电阻温度系数见表1-1。

工程上，通常用电阻温度系数极小的康铜、锰铜制造标准电阻、电阻箱以及电工仪表中的分流电阻和附加电阻等。金属导体的电阻随温度变化的特性还可用于温度的测量。例如金属铂，它是一种贵金属，电阻温度系数较大，且熔点高，因而常用于制造铂电阻温度计，一般测温范围为 $-200^{\circ}\text{C}\sim+850^{\circ}\text{C}$ 。

通常金属导体的电阻随温度的升高而增加，它们的关系是

$$R_2=R_1[1+\alpha(t_2-t_1)] \quad (1-9)$$

式中： t_1 —参考温度(通常为 20°C)

t_2 —导体实际温度($^{\circ}\text{C}$)

R_1 — t_1 时的电阻(Ω)

R_2 — t_2 时的电阻(Ω)

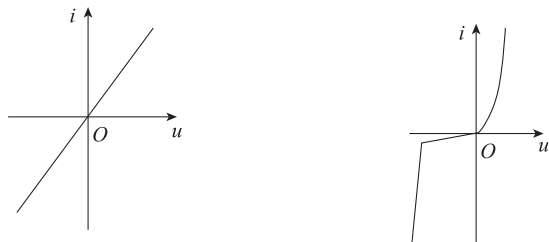
α —电阻温度系数($1/^{\circ}\text{C}$)

3. 线性电阻与非线性电阻

电阻元件的端电压 u 与通过该元件的电流 i 之间的函数关系，用 $u=f(i)$ 来表示，在坐标平面上表示电阻元件的电压电流关系曲线称为伏安特性曲线。根据伏安特性的不同，电阻元件分两大类：线性电阻和非线性电阻。

线性电阻元件的端电压 u 与电流 i 符合欧姆定律，即 $u=Ri$ ，其中 R 是一个常数，其伏安特性曲线是一条通过坐标原点的直线，如图1-11(a)所示。该直线的斜率只与元件的电阻 R 有关，与元件两端的电压 u 和通过该元件的电流 i 无关。

非线性电阻元件的端电压 u 与电流 i 的关系是非线性关系，其阻值 R 不是一个常数，随着电流或电压的变化而变化，其伏安特性曲线是一条通过坐标原点的曲线，如图1-11(b)所示。非线性电阻种类繁多，常见的如白炽灯丝、普通二极管、稳压二极管等。



(a) 线性电阻的伏安特性

(b) 非线性电阻的伏安特性

图1-11 电阻元件的伏安特性

4. 电阻的特性

在关联参考方向下，如图1-12所示，电阻元件的功率

$$P=ui=Ri^2=\frac{u^2}{R}\geq 0 \quad (1-10)$$

由式(1-10)可知：电阻总是消耗能量的。

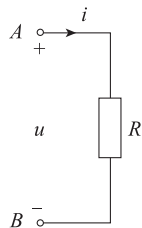


图1-12 电阻关联参考方向

5. 电阻的分类

(1) 按阻值特性分为固定电阻、可调电阻、特种电阻(敏感电阻)。不能调节的，我们称为定值电阻或固定电阻，而可以调节的，我们称之为可调电阻。常见的可调电阻是滑动变阻器，例如收音机音量调节的装置是个圆形的滑动变阻器。主要应用于电压分配的，我们称为电位器。

(2) 按制造材料分为碳膜电阻、金属膜电阻、线绕电阻、无感电阻、薄膜电阻等。薄膜电阻是用蒸发的方法将一定电阻率材料蒸镀于绝缘材料表面制成。

(3) 按安装方式分为插件电阻、贴片电阻。

(4) 按功能分为负载电阻、采样电阻、分流电阻、保护电阻等。

6. 电阻器的标称方法

在使用电阻器时，需要了解它的主要参数。对电阻器需知道其标称阻值、功率、允许偏差。电阻器的标称值和允许偏差一般都标在电阻体上，而在电路图上通常只标出标称值。

按部颁标准规定，电阻值的标称值为表1-2所列数字乘以 $10n\Omega$ ，其中， n 为正整数、负整数或零。

表1-2 电阻器的标称值

系列	允许误差	电阻器的标称值
E24	I($\pm 5\%$)	1.0, 1.1, 1.2, 1.3, 1.5, 1.6, 1.8, 2.0, 2.2, 2.4, 2.7, 3.0, 3.3, 3.6, 3.9, 4.3, 4.7, 5.1, 5.6, 6.2, 6.8, 7.5, 8.2, 9.1
E12	II($\pm 10\%$)	1.0, 1.2, 1.5, 1.8, 2.2, 3.0, 3.9, 4.7, 5.6, 6.8, 8.2
E6	III($\pm 20\%$)	1.0, 1.5, 2.2, 3.3, 4.7, 6.8

电阻的标称方法分为下列4种。

(1) 直标法。直标法是一种常见的标注方法，特别是在体积较大(功率大)的电阻器上经常采用此法。它将该电阻器的标称值和允许偏差、型号、功率等参数直接标注在电阻器表面，如图1-13(a)所示。

在4种表示方法中，直标法使用最为方便。

(2) 文字符号法。文字符号法和直标法相同，也是直接将有关参数标在电阻器上，如将 $5.7k\Omega$ 电阻器标成5K7，其中K既做单位，又做小数点。文字表示法中，偏差通常用百分数表示，如图1-13(b)所示，该电阻器阻值为 $100k\Omega$ ，偏差为 $\pm 1\%$ 。附图1-13(c)所示为碳膜电阻，阻值为 $1.8k\Omega$ ，偏差为 $\pm 20\%$ ，其中用级别符号II表示偏差。



图1-13 电阻器的直标法和文字符号法

(3) 数码法。数码法是指在电阻器上用三位数码表示标称值的标记方法。数码从左到右，第一、二位为有效值，第三位为指数，即零的个数，单位为欧姆。允许误差通常采用文字符号表示。

(4) 色环表示法。色环表示法就是将不同颜色的色环涂在电阻上来表示电阻的值及允许的误差。

四色环电阻表示如图1-14所示。紧靠电阻端的为第一色环，其余依次为第二、三、四色环。第一道色环表示阻值的第一位有效数字，第二道色环表示阻值的第二位有效数字，第三道色环表示阻值的末尾加几个零。第四道色环表示阻值的误差。

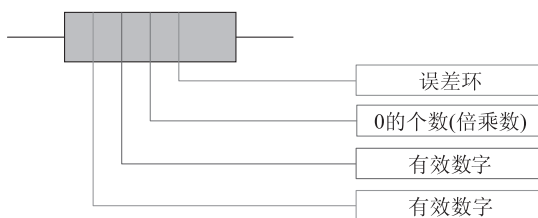


图1-14 四色环电阻

四色环电阻色环各位的含义如表1-3所示。

表1-3 四色环电阻色环各位的含义

颜色	一环	二环	三环	四环
棕	1	1	10^1	$\pm 1\%$
红	2	2	10^2	$\pm 2\%$
橙	3	3	10^3	
黄	4	4	10^4	
绿	5	5	10^5	$\pm 0.5\%$
蓝	6	6	10^6	$\pm 0.25\%$
紫	7	7	10^7	$\pm 0.1\%$
灰	8	8	10^8	
白	9	9	10^9	
黑		0	10^0	
金			10^{-1}	$\pm 5\%$
银			10^{-2}	$\pm 10\%$
无色				$\pm 20\%$

速记口诀：棕1、红2、橙为3、4黄、5绿、6为蓝、紫7、灰8、9雪白、黑色为0，须牢记。

例如，某电阻的四色环分别是棕、红、红、金，则其电阻值为 $12 \times 10^2 = 1.2\text{k}\Omega$ ；误差为 $\pm 5\%$ ，表示电阻值允许在标准值 1200Ω 上下5%的范围内波动，即在 $1140 \sim 1260\Omega$ 之间都是

合格的电阻。

五环电阻：五环电阻器为精密电阻，它属于金属膜电阻，误差环颜色有棕、红、绿、蓝、紫、金、银7种颜色，在五环电阻中两端色环总有一个色环离电阻体的边缘更近些，这条色环就是第一道色环，其余依次为第二、三、四、五色环。第一、二、三环是有效数字，第四环是0的个数(或倍乘数)，第五为误差，注意“黑色不能在第一环”。

五环电阻表示如图1-15所示。

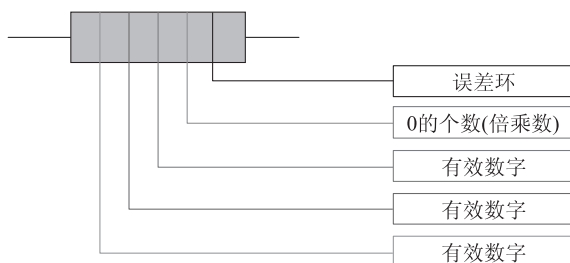


图1-15 五环电阻表示法

五色环电阻色环各位的含义如表1-4所示。

表1-4 五色环电阻色环各位的含义

颜色	一环	二环	三环	四环	五环
棕	1	1	1	10^1	$\pm 1\%$
红	2	2	2	10^2	$\pm 2\%$
橙	3	3	3	10^3	
黄	4	4	4	10^4	
绿	5	5	5	10^5	$\pm 0.5\%$
蓝	6	6	6	10^6	$\pm 0.25\%$
紫	7	7	7	10^7	$\pm 0.1\%$
灰	8	8	8	10^8	
白	9	9	9	10^9	
黑		0	0	10^0	
金				10^{-1}	$\pm 5\%$
银				10^{-2}	$\pm 10\%$

例如，某电阻的五色环分别是红、红、黑、棕、金，则其电阻值为 $220 \times 10^1 = 2.2\text{k}\Omega$ ；误差为 $\pm 5\%$ 。

7. 电阻器额定功率的识别

电阻器额定功率指电阻器在直流或交流电路中，长期连续工作所允许消耗的最大功率，有两种标记方法：功率1W或大于1W的电阻器，一律以阿拉伯数字标出；1W以下的电阻，以自身体积大小来表示功率。常用的有0.05W、0.125W、0.25W、0.5W、1W、2W、3W、5W、7W、10W，在电路图中非线绕电阻器额定功率的符号采用如图1-16所示的符号。

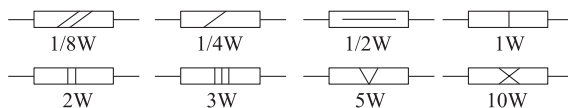


图1-16 电阻器额定功率电路符号

8. 电位器

电位器是常用的电子元件之一，种类较多，特性不同。电位器的阻值是可调的，它所用的材料与固定电阻器相同。每个电位器的外壳上都标有阻值，这是电位器的标称值，它是指电位器的最大电阻值。常见的电位器有直线式(X型)、指数式(Z型)、对数式(D型)。三种形式的电位器其阻值随活动触点的旋转角度变化的曲线如图1-17所示。图中纵坐标表示在某一角度时的实际电阻数值占电位器总电阻值的百分比，横坐标是旋转角与最大旋转角的百分比。

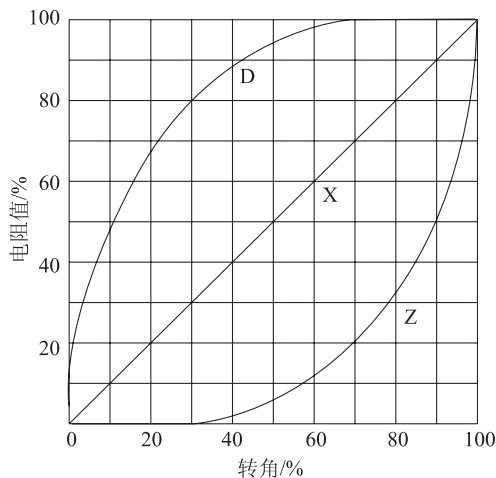


图1-17 电位器旋转角与实际阻值的变化关系

X型电位器，其阻值变化与转角成直线关系，也就是电阻体上导电物质的分布是均匀的，所以单位长度的阻值相等。它适用于一些要求均匀调节的场合，如分压器、偏流调整等电路。

Z型电位器在开始转动时阻值变化较小而在转角接近最大转角一端时，阻值的变化就比较显著，适合于音量控制电路，因为人耳对较小的声音稍有增加时，感觉很灵敏，但声音大到某一值后，即使声音功率有了较大的增加，人耳的感觉却变化不大。因此，采用这种电位器做音量控制，可获得音量与电位器转角近似于线性的关系。

D型电位器的阻值变化与Z型正好相反，它在开始转动时阻值变化很大，而在转角接近最大值附近时，阻值变化就比较缓慢。它适用于音量控制等电路。

1.2.2 特殊电阻器及其在汽车上的应用

1. 热敏电阻

热敏电阻是一种用陶瓷半导体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，热敏电阻可分为三种类型，如图1-18所示。

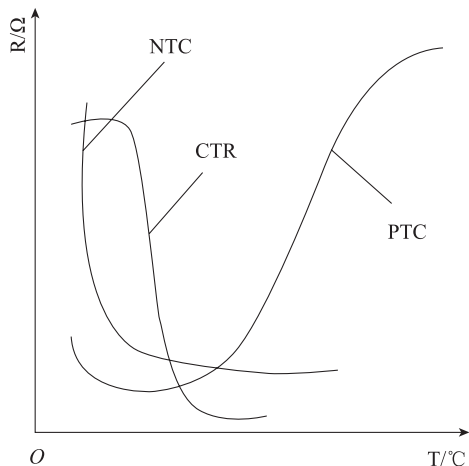


图1-18 热敏电阻的温度特性

(1) 负温度系数热敏电阻(NTC)。其电阻值随温度升高而减小。这种电阻是由镍、铜、钴、锰等金属氧化物按适当比例混合后，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用温度传感器中。

(2) 正温度系数热敏电阻(PTC)。其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、仪表等测温感温部件中广泛应用。

(3) 临界温度系数热敏电阻(CTR)。其电阻值随温度升高而按指数函数减小。

现以红旗轿车冷却液温度传感器为例来了解热敏电阻。

红旗轿车冷却液温度传感器用一个负温度系数的热敏电阻作为检测元件。当冷却液温度升高时，传感器的电阻值随之减小；反之，当冷却液温度降低时，传感器的电阻值增大。红旗轿车的冷却液温度传感器电阻与温度的关系如表1-5所示。

表1-5 红旗轿车冷却液温度传感器与温度的关系

温度/°C	-20	0	60	80	100	120
电阻/Ω	15 080	5800	603	327	187	114

热敏电阻式温度传感器，具有体积小、灵敏度高、安装简单、价格低廉的特点。因此，在汽车电子控制系统中，这种温度传感器是应用最广泛的传感器之一。

2. 光敏电阻

光敏电阻是利用半导体光电效应制成的一种特殊电阻，对光线十分敏感，它的电阻值能随着外界光照强弱(明暗)变化而变化。它在无光照射时，呈高阻状态；当有光照射时，其电阻值迅速减小。汽车中的光电式光量传感器中就采用了光敏电阻——硫化镉(CdS)光导电元件，应用了光照强度能引起电阻值变化的特性。当光线照射硫化镉(CdS)时，若周围环境暗时则电阻值大，若周围环境亮时电阻值则变小。光量传感器通过硫化镉(CdS)光导电元件，将周围光照的变化转换为电阻值的变化，并以电信号的形式输入给控制器。光电元件硫化镉特性如图1-19所示。

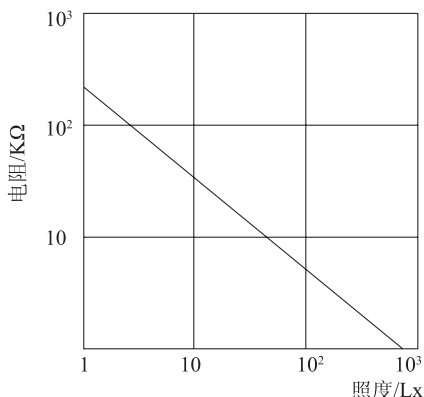


图1-19 硫化镉的特性

光电式光量传感器在汽车上可用于各种灯具亮、熄的自动控制。光电式光量传感器的结构如图1-20所示。在该传感器中，光电元件硫化镉为多晶硅结构，在传感器中把硫化镉做成曲线形状，目的是增大与电极的接触面积，从而提高该传感器的灵敏度。灯光控制器安装在仪表板的上方，到傍晚时，它使尾灯点亮，当天色变得更暗时，前照灯被点亮。当对方来车时，还具有变光功能，这些都是自动完成的。

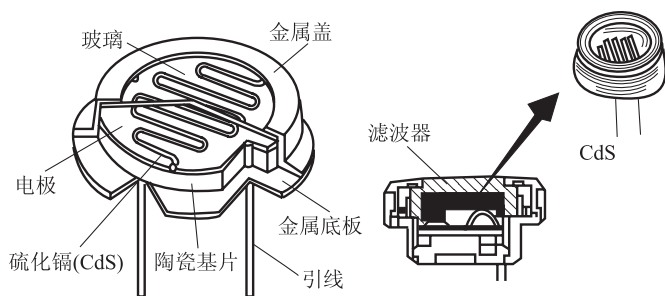


图1-20 光电式光量传感器的结构

1.2.3 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。实际电容器通常由两块金属板中间充满介质构成，电容器加上电压后，两块极板上将出现等量异种电荷，并在两极间形成电场，储存电荷和电场能。电容器极板上储存的电荷量 q 与外加电压 u 成正比，即

$$C = \frac{q}{u} \quad (1-11)$$

式中： C —电容，是表征电容元件特性的参数。

在国际单位制里，电容的单位是法拉，简称法，符号是F，由于法拉这个单位太大，所以常用的电容单位有毫法(mF)、微法(μF)、纳法(nF)和皮法(pF)等，换算关系是

$$1\text{法拉(F)}=10^3\text{毫法(mF)}=10^6\text{微法(}\mu\text{F)}$$

1微法(μF)= 10^3 纳法(nF)= 10^6 皮法(pF)

如图1-21所示,当电容上的电压与电流取关联参考方向时,有

$$i = \frac{dq}{dt} = C \frac{du}{dt} \quad (1-12)$$

式(1-12)表明,电容元件上通过的电流与元件两端的电压对时间的变化率成正比。电压变化越快,电流越大。当电容元件两端加恒定电压时,因 $\frac{du}{dt}=0$, $i=0$,这时电容元件相当于开路,所以电容元件有隔直流的作用。

将式(1-12)两边乘以 u 并积分,可得电容元件极板间储存的电场能量为

$$W_C = \int_0^u C u du = \frac{1}{2} C u^2 \quad (1-13)$$

式(1-13)说明,电容元件在某一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,与电流无关。电容元件不消耗能量,是储能元件。

2. 电容器的标称方法

(1) 直标法。就是在电容器的表面上直接标出容量大小和耐压值。如某电容“CD11— $10\mu\text{F}$ 25V”：该电容为电解电容,容量为 $10\mu\text{F}$,耐压25V。

(2) 文字符号法。用2~4位数字与字母混合表示电容容量,字母有时表示小数点(字母放在数字中间)。例:2p2表示容量为2.2pF,1F2表示容量为1.2F,15p表示容量为15pF。

(3) 三位数表示法。前两位数表示有效数字,第三位表示有效数字后面零的个数,它们的单位都是pF。例:103表示容量为10 000pF,201表示容量为200pF,683表示容量为68 000pF,104表示容量为10 000pF。

(4) 色标法。电容器的色标法与电阻的色标法大致相同。各颜色对应的参数值见表1-4或表1-3。例子如图1-22所示。

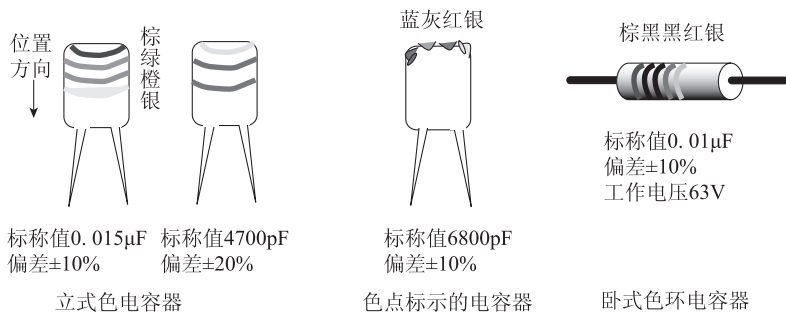


图1-22 电容器的色标表示法

3. 电容器的两个重要特性

(1) 阻隔直流电通过而允许交流电通过的特性。

(2) 充电和放电特性。①电容器的充电。充电过程中,随着电容器两极板上所带的电荷量的增加,电容器两端电压逐渐增大,充电电流逐渐减小,当充电结束时,电流为零,电

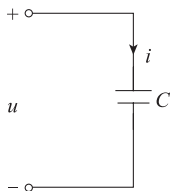


图1-21 电容元件

容器两端电压等于电源电压。②电容器的放电。放电过程中，电路中的电流从最大逐渐变成零，电容器两端的电压从最大慢慢变成零。

4. 电容器的额定直流工作电压

额定直流工作电压指在线路上能够长期可靠地工作而不被击穿时所能承受的最大直流电压(又称耐压)。额定直流工作电压的大小与介质的种类和厚度有关。如果电容器用在交流电路中，则应注意所加的交流电压的最大值不能超过额定直流工作电压。

电容器所承受的电压不能超过额定电压。在汽车上，虽然蓄电池的电压是12V，但有些电路上有超过300V的高电压，因此选用电容器时要认真研究工作状态，选用额定电压有足够余量的电容，当环境温度很高时，电容器会加速老化，所以在可靠性有要求的部件上，一般要选用云母、聚酯电容器。

5. 电容器在汽车上的典型应用

电容器是广泛应用于汽车电气系统的电路元件之一，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。

1) 电容式中控门锁系统

电容式中控门锁电路如图1-23所示。其工作原理如下所示。

正常状态时，蓄电池给电容器 C_1 充电。其电路为蓄电池→熔断器2→电阻 R_1 →电容器 C_1 →搭铁→蓄电池负极。

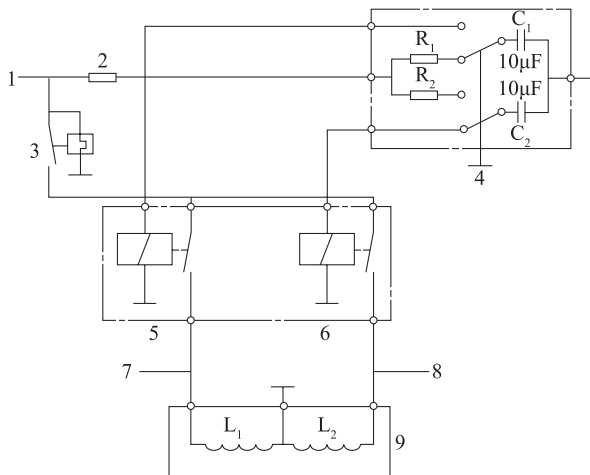


图1-23 电容式中控门锁电路

- 1-接蓄电池 2-熔断器 3-热敏断电器 4-门锁开关 5-锁门继电器 6-开门继电器
7-接其他门锁(锁) 8-接其他门锁(开) 9-门锁执行器

(1) 车门锁定。当按下门锁开关4时，电容器 C_1 放电，使锁门继电器线圈5有电流通过，继电器触点闭合；此时，门锁执行器 L_1 的电路接通而动作，通过操纵机构将车门锁定。当电容器 C_1 放电到一定程度时，锁门继电器线圈断电，门锁执行器的电路被切断。另外，当按下门锁开关4时，电容器 C_2 开始充电。

(2) 车门开锁。当按回门锁开关4后，电容器 C_2 放电，使开门继电器线圈6有电流通过，继电器触点闭合；此时，门锁执行器 L_2 的电路接通而动作，通过操纵机构将车门开启。当电容器 C_2 放电到一定程度时，开门继电器线圈断电，门锁执行器的电路被切断。另外，当按回门锁开关时，电容器 C_1 开始充电，回到原始状态。

2) 电容式闪光器

电容式闪光器主要由继电器和电容器组成。电路结构如图1-24所示。继电器铁心上绕有串联线圈3和并联线圈4，电容器是大容量电解电容器5(约1500 μ F)。电容式闪光器是根据电容器充电、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2周期性地开和闭，从而使转向信号灯和转向指示灯闪烁。

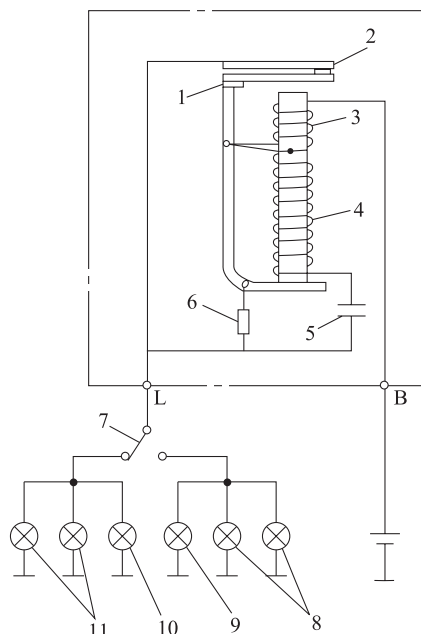


图1-24 电容式闪光电路

- 1-弹簧片 2-触点 3-串联线圈 4-并联线圈 5-电容器 6-灭弧电阻 7-转向灯开关
8-右转向信号灯 9-右转向指示灯 10-左转向指示灯 11-左转向信号灯

1.2.4 电感

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。当电感线圈通过电流时，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及匝之间的电容时，可将其抽象为只具备储存磁场能量性质的电感元件。电感上的磁链与电流成正比，即

$$L = \frac{\phi}{i} \quad (1-14)$$

式中： L —电感，是表征电感元件的特征参数。

电感的单位是亨利(H),也常用毫亨(mH)或微亨(μH)做单位。 $1\text{H}=10^3\text{mH}$, $1\text{H}=10^6\mu\text{H}$ 。

如图1-25所示,当纯电感电路中有交变电流通过时,根据电磁感应定律,线圈L上将产生自感电动势,其表达式为

$$e_L = -L \frac{di}{dt} \quad (1-15)$$

其电动势 e_L 与端电压 u 总是大小相等,方向相反。即

$$u = -e_L = -(-L \frac{di}{dt}) = L \frac{di}{dt} \quad (1-16)$$

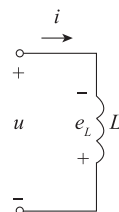


图1-25 电感元件

式(1-16)表明,电感元件两端的电压与电流对时间的变化率成正比。

电流变化越快,电感元件产生的自感电动势越大,与其平衡的电压也越大。当电感元件中流过稳定的直流电流时,因 $\frac{di}{dt}=0$, $e_L=0$,故 $u=0$,这时电感元件相当于短路。

将(1-16)两边乘上 i 并积分,可得电感元件中储存的磁场能量为

$$W_L = \int_0^i L i di = \frac{1}{2} L i^2 \quad (1-17)$$

式(1-17)说明,电感元件在某一时刻储存的磁场能量,只与该时刻流过的电流的平方成正比,与电压无关。电感元件不消耗能量,是储能元件。

2. 电感元件的标称方法

为了表明电感器的不同参数,便于在生产、维修时识别和应用,常在小型固定电感器的外壳上涂上标志,其标志方法有直标法、色标法和数码法三种。

1) 直标法

电感量用数字直接标注,用字母表示额定电流,用 I、II、III表示允许误差(允许误差含义同表1-2)。其表示方法如表1-6所示。

表1-6 电感量用数字直接标注

字母	A	B	C	D	E
意义	50mA	150mA	300mA	0.7A	1.6A

例如: C、II、330 μH 表示标称电感量为330 μH 、最大工作电流300mA,允许误差为 $\pm 10\%$ 。

2) 色标法

色标法是指在电感器的外壳涂上各种不同颜色的环,用来标注其主要参数。第一条色环表示电感量的第一位有效数字,第二条色环表示第二位有效数字,第三条色环表示倍数,第四条表示允许偏差。数字与颜色的对应关系和色环电阻标注法相同。

例如,某电感器的色环标志分别为色环颜色棕、黑、金、金的电感器的电感量为1mH,误差为 $\pm 5\%$ 。

3) 线圈命名

(1) 用拼音字母表示,如LGX型,表示小型高频电感线圈;

(2) 用字母和阿拉伯数字并列组成。如固定电感线圈LG1系列标注方法中LG1-B-560 μH

±10%，表示LG1型号、最大工作电流组别为B，标称电感量为560μH、允许误差为±10%。

3. 电感的作用

- (1) 作为滤波线圈阻止交流干扰(隔交通直)。
- (2) 可起隔离作用。
- (3) 与电容组成谐振电路。
- (4) 构成各种滤波器、选频电路等，这是电路中应用最多的方面。
- (5) 利用电磁感应特性制成磁性元件，如磁头和电磁铁。
- (6) 制成变压器传递交流信号，并实现电压的升、降。

在电子线路中，电感线圈有通直流阻交流、通低频阻高频、变压、传送信号等作用，它与电阻器或电容器能组成高通或低通滤波器及谐振电路等；变压器可以进行交流耦合、变压、变流和阻抗变换等。

电感在电路中最常见的作用就是与电容一起组成LC滤波电路。我们已经知道，电容具有“阻直流，通交流”的本领，而电感则有“通直流，阻交流”的功能。如果把伴有许多干扰信号的直流电通过LC滤波电路，如图1-26所示，那么，交流干扰信号将被电容变成热能消耗掉；变得比较纯净的直流电流通过电感时，其中的交流干扰信号也被变成磁感和热能，频率较高的最容易被电感阻抗，这就可以抑制较高频率的干扰信号。

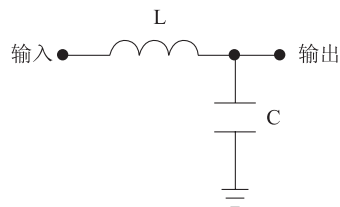


图1-26 LC滤波电路

4. 电感在汽车上的典型应用

在车内，尾灯、牌照灯及停车灯的灯丝是否断开是无法确认的，而电流传感器就可用于检测这类灯具的灯丝是否断开。舌簧开关式电流传感器的结构原理如图1-27所示，在电流线圈的周围绕有电压线圈，在线圈的中央设置舌簧开关。电压线圈的功能是防止电压变化时引起传感器的误动作。

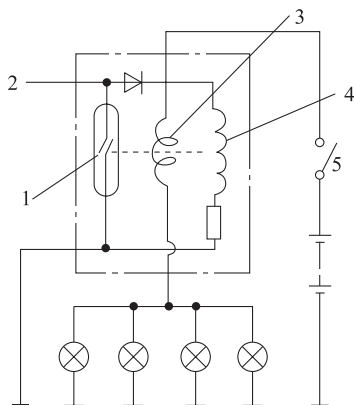


图1-27 舌簧开关式电流传感器

1-舌簧开关 2-至微机端子 3-电流线圈 4-电压线圈 5-开关

舌簧开关式电流传感器的电路如图1-27所示。当图中所示开关闭合时，因为电流线圈3中有规定的电流流过，所以在电流线圈所形成的电磁力的作用下，舌簧开关闭合，当有一个灯丝断开时，电流线圈中的电流减小，电磁力减弱，舌簧开关打开，报警处于异常状态。这样，利用舌簧开关的通断就可以发出灯丝是否正常的信号。

想一想

电阻在电路中消耗能量，电气线路中为什么还使用电阻？电容和电感储存能量，电气线路中为什么也使用电容和电感？你能总结它们的作用吗？

探究

1. 电容器能够隔直流，为什么能够通交流呢？你可以上网查阅相关的资料。
2. 请你查阅资料分析一下汽车上的电位计式的节气门位置传感器的工作原理。
3. 请你查阅资料分析一下汽车上的冷却液温度传感器的工作原理。

任务1.3 电路分析与计算

1.3.1 常用名词

下面以图1-28所示电路为例说明一些常用名词。

(1) 支路。电路中具有两个端钮且通过同一电流的无分支电路。如图1-28电路中的ED、AB、FC均为支路，该电路的支路数目为 $b = 3$ 。

(2) 节点。电路中三条或三条以上支路的连接点。如图1-28电路的节点为A、B两点，该电路的节点数目为 $n = 2$ 。

(3) 回路。电路中任一闭合的路径。如图1-28电路中的CDEFCA、AFCBA、EABDE路径均为回路，该电路的回路数目为 $l = 3$ 。

(4) 网孔。不含有分支的闭合回路。如图1-28电路中的AFCBA、EABDE回路均为网孔，该电路的网孔数目为 $m = 2$ 。

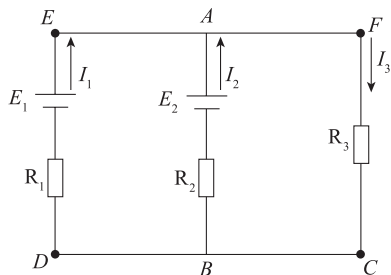


图1-28 常用电路名词的说明

(5) 网络。在电路分析范围内网络是指包含较多元件的电路。

1.3.2 基尔霍夫定律

基尔霍夫定律是电路中电压和电流所遵循的基本规律，是分析和计算较为复杂电路的基础，1845年由德国物理学家G.R.基尔霍夫(G.R.Kirchhoff, 1824~1887, 如图1-29所示)在21岁大学毕业时提出。它既可以用于直流电路的分析，也可以用于交流电路的分析，还可以用于含有电子元件的非线性电路的分析。直到现在仍然是解决复杂电路问题的重要工具。其后他与化学家本生共同创立光谱分析学，并发现了铯和锶两种元素，他还提出热辐射中的基尔霍夫辐射定律。该定律是辐射理论的重要基础，并成为量子论诞生的契机，促使天体物理学得到发展。基尔霍夫贡献卓著。基尔霍夫定律包括电流定律和电压定律。



图1-29 基尔霍夫

1. 基尔霍夫电流定律(第一定律)

1) 基尔霍夫电流定律(第一定律) 内容

第一定律又称基尔霍夫电流定律，简记为KCL，其物理背景是电荷守恒公理。基尔霍夫电流定律是确定电路中任意节点处各支路电流之间关系的定律，因此又称为节点电流定律，它的内容为：在任一瞬时，流向某一结点的电流之和恒等于由该结点流出的电流之和，即

$$\sum I_{\text{流入}} = \sum I_{\text{流出}} \quad (1-18)$$

如图1-30中，在节点A上： $I_1 + I_3 = I_2 + I_4 + I_5$ 。

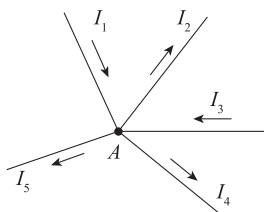


图1-30 电流定律的举例说明

电流定律的第二种表述：在任何时刻，电路中任一节点上的各支路电流代数和恒等于零，即

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

一般可在流入节点的电流前面取“+”号，在流出节点的电流前面取“-”号，反之亦可。例如图1-30中，在节点A上： $I_1 - I_2 + I_3 - I_4 - I_5 = 0$ 。

在使用电流定律时，必须注意以下几点。

(1) 对于含有 n 个节点的电路，只能列出 $n-1$ 个独立的电流方程。

(2) 列节点电流方程时，只需考虑电流的参考方向，然后再带入电流的数值。

为分析电路的方便，通常需要在所研究的一段电路中事先选定(即假定)电流流动的方向，叫做电流的参考方向，通常用“ \rightarrow ”号表示。

电流的实际方向可根据数值的正、负来判断，当 $I > 0$ 时，表明电流的实际方向与所标定的参考方向一致；当 $I < 0$ 时，则表明电流的实际方向与所标定的参考方向相反。

2) KCL的应用举例

(1) 对于电路中任意假设的封闭面来说，电流定律仍然成立。如图1-31中，对于封闭面 S 来说，有 $I_1 + I_2 = I_3$ 。

(2) 对于网络(电路)之间的电流关系，仍然可由电流定律判定。如图1-32中，流入电路B中的电流必等于从该电路中流出的电流。

(3) 若两个网络之间只有一根导线相连，那么这根导线中一定没有电流通过。

(4) 若一个网络只有一根导线与地相连，那么这根导线中一定没有电流通过。

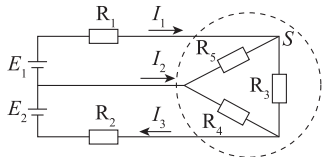


图1-31 电流定律的应用举例(1)

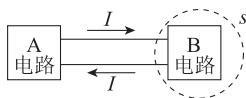


图1-32 电流定律的应用举例(2)

例1-2 已知 $I_1=3\text{A}$ 、 $I_2=5\text{A}$ 、 $I_3=-15\text{A}$ 、 $I_5=9\text{A}$ ，计算图1-33所示电路中的电流 I_6 及 I_4 。

解：对于节点 a ，四条支路上的电流分别为 I_1 和 I_2 流入节点， I_3 和 I_4 流出节点；对于节点 b ，三条支路上的电流分别为 I_4 、 I_5 、 I_6 均为流入节点，于是有

对节点 a ，根据KCL定律可知

$$I_1 + I_2 = I_3 + I_4$$

$$\text{则： } I_4 = I_1 + I_2 - I_3 = 3 + 5 + 18 = 26(\text{A})$$

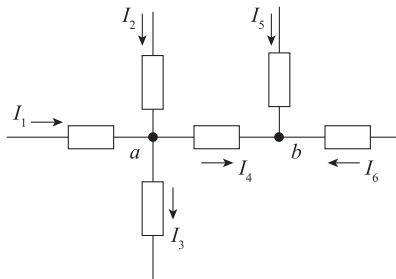


图1-33 例1-2图

对节点 b ，根据定律可知

$$I_4 + I_5 + I_6 = 0$$

$$\text{则： } I_6 = -I_4 - I_5 = -26 - 9 = -35(\text{A})$$

I_6 为负值，说明实际电流方向与图1-33中 I_6 电流方向相反，即从 b 节点流出。

例1-3 已知： $I_1=5\text{A}$ 、 $I_6=3\text{A}$ 、 $I_7=-8\text{A}$ 、 $I_5=9\text{A}$ ，试计算图1-34所示电路中的电流 I_8 。

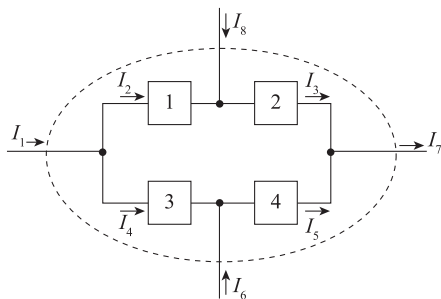


图1-34 例1-3图

解：在电路中选择一个封闭面，如图中虚线所示，根据KCL定律可知

$$I_1 + I_6 + I_8 = I_7$$

$$\text{则： } I_8 = I_7 - I_1 - I_6 = -8 - 5 - 3 = -16(\text{A}).$$

负号表示 I_8 的实际电流与图中的电流方向相反。

2. 基尔霍夫电压定律(第二定律)

1) 基尔霍夫电压定律(第二定律)内容

第二定律又称基尔霍夫电压定律，简记为KVL，其物理背景是能量守恒公理。基尔霍夫电压定律是确定电路中任意回路内各电压之间关系的定律，因此又称为回路电压定律。它的内容为：对于集中参数电路中的任何一个回路而言，在任一瞬时，沿回路绕行方向，各支路的电压代数和为零。即

$$\sum u(t) = 0 \quad (1-20)$$

应用公式(1-20)时，必须先选定回路的绕行方向，可以是顺时针，也可以是逆时针。各段(或各元件)的电压参考方向也应选定，若电压的参考方向与回路的绕行方向一致，则该项电压取正，反之则取负。同时各电压本身的值也有正负之分，所以应用基尔霍夫电压定律时也必须注意两套正负号。

例如，对于图1-35所示的回路，选择顺时针绕行方向，按各元件上电压的参考极性，可列出KVL方程式为

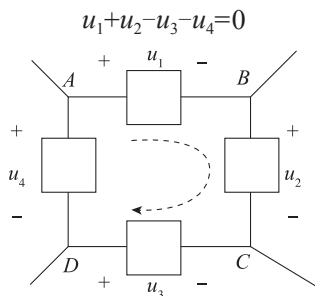


图1-35 基尔霍夫电压定律示意图

运用基尔霍夫电压定律遵循的约定如下所述。

- (1) 对各回路设定一绕行方向，作为该回路电势降落的标定方向；
- (2) 当支路上电流的标定方向与绕行方向一致时，该支路上电阻的电势降落前取加号，否则取减号；
- (3) 当电源电动势的方向(从电源的负极指向正极)与绕行方向一致时，该电源电动势前取负号，否则取加号。

2) KVL的应用举例

运用基尔霍夫定律解题应注意以下几个问题。

- (1) 对加、减号的约定与给出方程式形式相对应。本约定与公式(1-20)相对应。
- (2) 电路中若有 n 个节点，可以列出 $n-1$ 个独立的节点电流方程式，另一个可由这 $n-1$ 个组合得出。
- (3) 电路中若有 m 个独立回路，可以列出 m 个独立的回路电压方程式。判断电路中独立回路的数目，可以把电路看做渔网，其中有多少个网孔，就有多少个独立的回路。
- (4) 独立方程的数目要与未知量的数目相等，方程组才有唯一解。

例1-4 试求图1-36所示电路中元件3、4、5、6的电压。

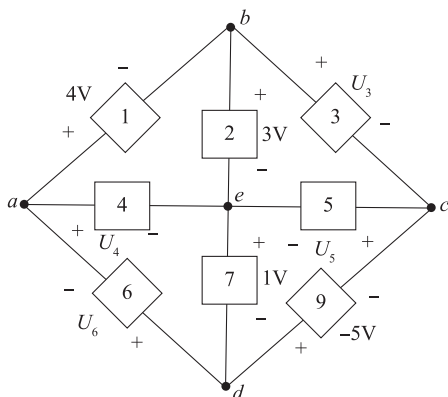


图1-36 例1-4图

解：仔细分析电路图，只有 $cedc$ 和 $abea$ 这两个回路中各含有一个未知量，因此，可先求出 U_5 或 U_4 ，再求 U_3 和 U_6 。

在回路 $cedc$ 中， $U_5+U_7+U_9=0$ ，则有

$$U_5=-U_7-U_9=-(-5)-1=4(\text{V})$$

在回路 $abea$ 中， $U_1+U_2-U_4=0$ ，则有

$$U_4=U_1+U_2=4+3=7(\text{V})$$

在回路 $bceb$ 中， $U_3+U_5-U_2=0$ ，则有

$$U_3=U_2-U_5=3-4=-1(\text{V})$$

在回路 $aeda$ 中， $U_4+U_7+U_6=0$ ，则有

$$U_6=-U_4-U_7=-7-1=-8(\text{V})$$

例1-5 图1-37所示为某电路的一部分，试确定其中的 i ， u_{ab} 。

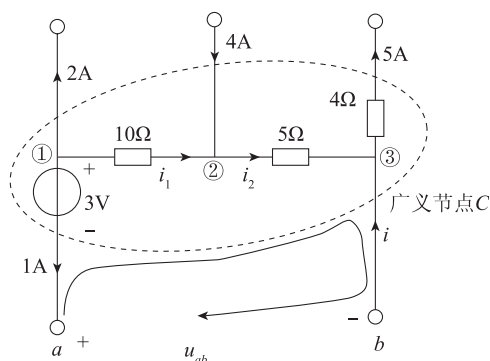


图1-37 例1-5图

解：(1)求 i 。方法一是根据KCL求出各节点的电流

$$\text{对节点①: } i_1 + 1\text{A} + 2\text{A} = 0\text{A} \quad i_1 = -3\text{A};$$

$$\text{对节点②: } i_2 = i_1 + 4\text{A} = -3\text{A} + 4\text{A} = 1\text{A};$$

$$\text{对节点③: } i = 5\text{A} - i_2 = 5\text{A} - 1\text{A} = 4\text{A}。$$

方法二是取广义节点 c ，则根据KCL可直接求得

$$i + 4\text{A} = 1\text{A} + 2\text{A} + 5\text{A}$$

$$i = 4\text{A}$$

(2)求 u_{ab} 。可以将 a 、 b 两端点之间设想有一条虚拟的支路，该支路两端的电压为 u_{ab} 。

这样，由节点 a 经过节点①、②、③到节点 b 就构成一个闭合回路，这个回路就称为广义回路；对广义回路应用KVL可得

$$u_{ab} - 3 + 10i_1 + 5i_2 = 0(\text{V})$$

$$u_{ab} = 3 - 10 \times (-3) - 5 \times 1 = 28(\text{V})$$

例1-6 如图1-38所示电路，已知电压 $U_{S1} = 10\text{V}$ ， $U_{S2} = 5\text{V}$ ，电阻 $R_1 = 5\Omega$ ， $R_2 = 10\Omega$ ，电容 $C = 0.1\text{F}$ ，电感 $L = 0.1\text{H}$ ，求(a)和(b)中电压 U_1 、 U_2 。

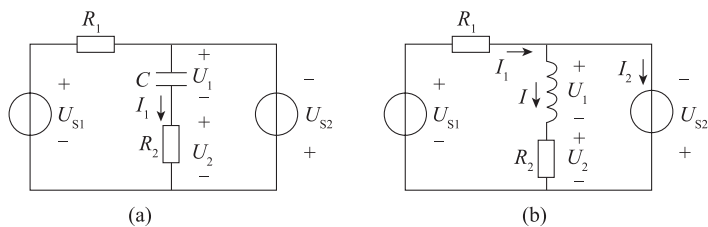


图1-38 例1-6图

解：(1)在图(a)中，在直流电路中电容 C 相当于开路， $I_1 = 0$ 。则

$$U_2 = I_1 R_2 = 0\text{V}$$

$$U_1 + U_2 + U_{S2} = 0$$

$$U_1 = -U_2 - U_{S2} = -5\text{V}$$

(2)在图(b)中，在直流电路中电感 L 相当于短路， $U_1 = 0\text{V}$ 。根据KVL得

$$U_1 + U_2 + U_{S2} = 0$$

$$U_2 = -U_1 - U_{S2} = -5(\text{V})$$

1.3.3 电位的计算

1. 电位的定义、前提条件和意义

- (1) 电位定义。电路中某点至参考点(零电位点)的电压, 就是该点的电位。
- (2) 前提条件。必须先确定零电位点(参考点)。
- (3) 意义。电位变化反映电路工作状态变化, 检测电路中各点的电位是分析电路与维修电器的重要手段。

2. 电路中各点电位的计算

电路中某点电位的计算方法与步骤有以下几个。

- (1) 确定零点电位(参考点)的位置。用符号“ \perp ”标出。
- (2) 从某点选择一条捷径(元件最少或容易计算的简捷路径)绕至零电位点, 计算出选定路径上全部电压的代数和, 即为某点的电位。
- (3) 要特别注意每项电压正负号的选择。在绕行中, 从电源正极到负极, 应选取“+”号; 反之, 则选取“-”号。如顺着电流的方向, 电阻上的电势应选取“+”号; 反之, 则应选取“-”号。

例1-7 如图1-39所示电路, 已知: $E_1 = 45\text{V}$, $E_2 = 12\text{V}$, 电源内阻忽略不计; $R_1 = 5\Omega$, $R_2 = 4\Omega$, $R_3 = 2\Omega$ 。求B、C、D三点的电位 V_B 、 V_C 、 V_D 。

解: 利用电路中A点为电位参考点(零电位点), 电流方向为顺时针方向

$$I = \frac{E_1 - E_2}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{45 - 12}{5 + 4 + 2} \text{A} = 3\text{A}$$

$$B\text{点电位: } V_B = U_{BA} = -R_1 I = -3\text{A} \times 5\Omega = -15\text{V}$$

$$C\text{点电位: } V_C = U_{CA} = E_1 - R_1 I = 45\text{V} - 15\text{V} = 30\text{V}$$

$$D\text{点电位: } V_D = U_{DA} = E_2 + R_2 I = 12\text{V} + 12\text{V} = 24\text{V}$$

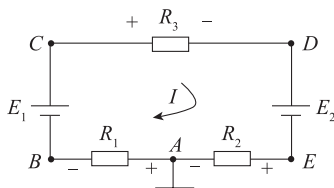


图1-39 例1-7图

例1-8 图1-40表示汽车上的发电机、蓄电池和负载相并联电路。图中 E_1 、 r_1 为发电机的电动势和内电阻, E_2 、 r_2 为蓄电池的电动势和内电阻, R_3 是车灯等用电器的电阻。已知: $E_1 = 15\text{V}$, $E_2 = 12\text{V}$, $r_1 = 1\Omega$, $r_2 = 0.5\Omega$, $R_3 = 10\Omega$, 试求: (1) I_1 、 I_2 和 I_3 各是多少? (2)以B点为参考点, A点的电位是多少?

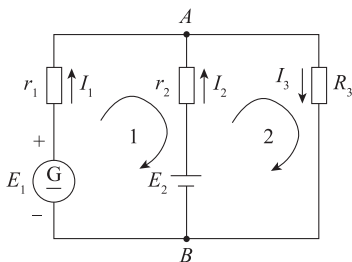


图1-40 例1-8图

解：(1) 假设各支路电流方向和回路方向，根据三条支路列出三个独立方程。列出结点A的KCL方程

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

列出回路1和回路2的KVL方程

$$r_1 I_1 - r_2 I_2 - E_1 + E_2 = 0$$

$$r_2 I_2 + R_3 I_3 - E_2 = 0$$

得到

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

$$I_1 - 0.5 I_2 - 3 = 0$$

$$0.5 I_2 + 10 I_3 - 12 = 0$$

解联立方程式，可得

$$I_1 = 2.42 \text{ (A)}, I_2 = -1.16 \text{ (A)}, I_3 = 1.26 \text{ (A)}$$

I_2 为负值表明该支路中实际电流方向与参考方向相反，此时蓄电池处于充电状态。

(2) 以B点为参考点，则A点电位为

$$V_A = U_{AB} = -r_2 I_2 + E_2 = -0.5 \times (-1.16) \text{ V} + 12 \text{ V} = 12.58 \text{ V}$$

1.3.4 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，可以用来测量电阻、电容和电感，并可通过这些物理量的测量间接测量非电量，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。

1. 惠斯通电桥原理

用惠斯通电桥测量电阻的原理图如图1-41所示。

图中 R_1 、 R_2 、 R_S 、 R_X (待测电阻)是电桥的四个臂，一般称 R_1 、 R_2 为比例臂(它们为标准电阻)， R_S 为调节臂。 b 、 d 之间有一个可调电阻 R_b (对G起保护作用)和检流计G串联，这就是所谓的“桥”，“桥”的作用是将 b 、 d 两点的电位进行比较，当 b 、 d 两点电位不相等时，检流计G就有电流通过。当 b 、 d 两点电位相等时，检流计G无电流通过，检流计G指

针无偏转(通常指针指向“0”),此时电桥平衡,电桥平衡时流过 R_1 、 R_x 的电流相等,设为 I_1 ,流过 R_2 、 R_s 的电流相等,设为 I_2 ,则

$$U_{ab}=U_{ad} \quad I_1 R_1=I_2 R_2$$

$$U_{bc}=U_{dc} \quad I_1 R_x=I_2 R_s$$

所以有

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

令 $M=\frac{R_1}{R_2}$,称为“倍率”,则(1-21)可写为

$$R_x=MR_s \quad (1-22)$$

要使电桥平衡,一般固定倍率 M ,调节 R_s 使电桥平衡。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量电阻的正确度可以大大提高。

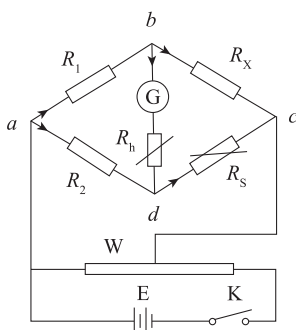


图1-41 惠斯通电桥测量电阻原理图

2. 惠斯通电桥型汽车电路分析

在汽车电子控制燃油系统中,利用惠斯通电桥的工作原理制成了热线式空气流量传感器,该传感器主要用来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热丝、根据进气温度进行修正的温度补偿电阻(冷线)、控制热丝电流并产生输出信号的控制电路板以及空气流量传感器的壳体等组成。结构如图1-42(a)所示。

热线式空气流量传感器的电路工作原理图如图1-42(b)所示。安装在控制电路板上的精密电阻 R_A 、电桥电阻 R_B 与热线电阻 R_H 、温度补偿电阻 R_K 组成了惠斯通电桥电路。当空气流经热线电阻 R_H 时,使热线温度降低,电阻减小,电桥失去平衡。流经热线的进气量不同,热线的温度变化量就不同,其电阻的变化量也不同。若要保持电桥平衡,就必须增大流经热线电阻的电流,以恢复其温度和阻值,而精密电阻 R_A 两端的电压也相应增大,控制电路将此电压的变化 U_0 输送给ECU,从而确定进气量。

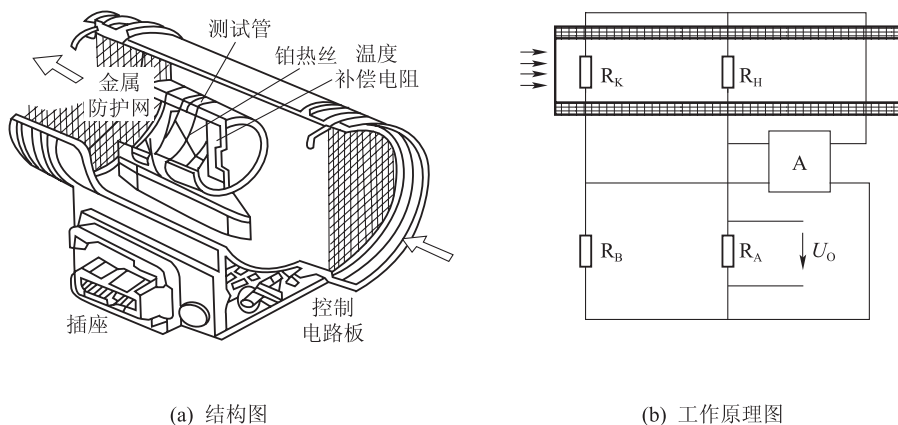


图1-42 热线式空气流量传感器

A-混合集成电路 R_H -热线电阻 R_K -温度补偿电阻 R_A -精密电阻 R_B -电桥电阻

想一想

基尔霍夫定律与中学所学的知识紧密联系，它拓展了欧姆定律的应用，对于复杂电路的计算是了不起的创新，而完成这一创新论文的是一个21岁的大学毕业生，可见，创新并不神秘！

探究

在汽车上找一找热线式空气流量传感器，看看它在汽车的什么位置。

任务1.4 汽车电工电子常用仪表

1.4.1 使用仪表的知识

电工仪表是用于测量电压、电流、电能、电功率等电量和电阻、电感、电容等电路参数的仪表，在电气设备安全、经济、合理运行的监测与故障检修中起着十分重要的作用。电工仪表的结构性能及使用方法会影响电工测量的精确度，电工必须能合理选用电工仪表，而且要了解常用电工仪表的基本工作原理及使用方法。

1. 电工电子测量仪表分类

电工电子仪表的种类繁多，分类方法也各不相同。按照电工电子仪表的结构和用途常可分为三种。

(1) 电测量指示仪表。电工测量仪表中，凡利用电磁力使其机械部分动作，并用指针或光标在刻度盘上指示出被测量值大小的仪表就称作电测量指示仪表。指示式仪表直接从仪表指示的读数来确定被测量的大小。这是应用最为广泛的一种电测量仪表，属于直读式



仪表。各种交直流电流表、电压表以及万用表等都是指示仪表。

(2) 比较式仪表。比较式仪器是将被测量与相应的标准量进行比较的仪表。需在测量过程中将被测量与某一标准量比较后才能确定其大小，如各类电桥、电位差计等。其特点是灵敏度和准确度都很高，一般用于高精度测量或校对指示仪表。

(3) 其他电测量仪表。常见的电测量仪表还有数字式仪表、记录式仪表及用来扩大仪表量程装置的仪表，如分流器、测量用互感器等。

2. 仪表选择

(1) 类型选择。除了根据用途选择仪表的种类外，还应根据使用环境和测量条件选择仪表的类型。如配电盘、开关板上仪表板所用仪表等采用垂直安装方式，而实训室大多选用水平放置方式。

(2) 准确度选择。在使用仪表时，必须合理地选择仪表的准确度。虽然测量仪表的准确度越高越好，但不要盲目追求高准确度。对一般的测量来说，不必使用高准确度的仪表。因为仪表准确度越高价格也越贵，从而使设备成本增加，这是不经济的。而且准确度越高的仪表使用时的工作条件要求也越高，如要求恒温、恒湿、无尘等，在不满足工作条件的情况下，测量结果反而不准确，这是不可取的。另一方面，也不应使用准确度过低的仪表而造成测量数据误差太大。因此仪表的准确度等级要根据实际需要确定。准确度等级为0.1和0.2级的仪表通常作为标准表以校正其他仪表。实训室一般用0.5~1.5级仪表。生产部门用做监视生产过程的仪表一般为1.0~2.5级。准确度等级为5.0级的仪表，通常只在组合式或多用途仪表上使用。

(3) 量程选择。仪表的量程应根据测量值的可能范围确定。被测量值范围较小要选用较小的量程，这样可以得到较高的准确度。如选用太大的量程，则测量结果误差就较大。下面举一个例子说明选择合适量程的重要性。有两只毫安表，量程分别为 $I_{1m}=200\text{mA}$ 和 $I_{2m}=50\text{mA}$ ，两表准确度等级均为1.0级，用来测量40mA的电流，则测量结果中可能出现的最大相对误差为：对于量程为200mA的毫安表，可能产生的最大绝对误差 ΔI_{1m} 为

$$\Delta I_{1m} = \pm 1.0\% \times 200 = \pm 2.0(\text{mA})$$

因此，表测40mA电流可能产生的最大相对误差 $\gamma_{1\max}$ 为

$$\gamma_{1\max} = \frac{\pm 2.0}{40} \times 100\% = \pm 5.0\%$$

对于量程为50mA的毫安表，可能产生的最大绝对误差 ΔI_{2m} 为

$$\Delta I_{2m} = \pm 1.0\% \times 50 = \pm 0.5(\text{mA})$$

由此，表测40mA电流可能产生的最大相对误差为 $\gamma_{2\max}$

$$\gamma_{2\max} = \frac{\pm 0.5}{40} \times 100\% = \pm 1.25\%$$

由以上计算可以看出，用200mA的毫安表测40mA电流比用50mA的毫安表所测得的结果具有更大的最大相对误差。即量程选择对测量结果的准确度有很大影响。对于同一只仪表，被测量值越小，其测量时准确性就越低。例如，在正常情况下用0.5级量程为10A的安

培表来测量8A电流时,可能产生的最大相对误差 $\gamma_{3\max}$ 为

$$\gamma_{3\max} = \frac{\pm 0.5\% \times 10}{8} \times 100\% = \pm 0.625\%$$

而用它来测量1A电流时,则可能产生的最大相对误差 $\gamma_{4\max}$ 为

$$\gamma_{4\max} = \frac{\pm 0.5\% \times 10}{1} \times 100\% = \pm 5\%$$

由此可见对于一只确定的仪表,测量值越小,其测量时准确性越低。因此在选择量程时,应尽量使被测量的值接近于满标值。另一方面,也要防止超出满标值而使仪表受损。因此可取被测量值为满标值的2/3左右。最少也应使被测量的值超过满标值的一半。当被测电流大小无法估计时,可用多量程仪表先置于大量程档,然后根据仪表的指示调整量程,使其达到合适的量程档。

(4) 仪表内阻。当仪表接入被测电路后,仪表线圈电阻会影响原有电路的参数和工作状态,以致影响测量的准确性。例如电流表是串联接入被测电路的,仪表内阻增加了电路的阻值,也就相应减小了原电路的电流,这势必影响测量结果,所以要求电流表内阻越小越好。量程越大,内阻应越小。再如,电压表是并联接入被测电路的,它的内阻减小了电路的阻值,使被测电路两端的电压发生变化,影响测量结果,所以电压表内阻越大越好。量程越大,内阻应越大。采样式数字电压表具有极高的内阻,对被测电路电压影响很小。

3. 电子仪器使用注意事项

非法操作和使用仪器,都有可能導致测量误差增大或使被测电路、元器件及电子测量仪器损坏。因此,在使用仪器的过程中,应严格遵循仪器的操作方法,按步进行操作,并且在操作中应该注意以下一些问题。

(1) 接通电源前,应仔细检查仪器的开关、旋钮、接线插头等是否接好,是否存在故障,以防止短路、开路或接触不良等人为故障。为了确保人身和仪器的安全,仪器的电源插头连接线等绝缘层应完好无损,接地要良好。

(2) 接通电源后,不能敲打仪器机壳,不能用力拖动。如要移动仪器设备,应首先切断电源,然后轻轻移动。测试结束后,应先关断电源,确保安全时再拆除电路。

(3) 使用仪器时,应注意仪器适用电压范围与电网电压是否吻合,同时应注意电网电压的波动。盲目的使用会导致仪器不能正常工作或损坏。

(4) 在将仪器和电路连接成测试系统时,要注意系统的“共地”问题,同一系统中的所有仪器和电路的接地端需可靠地连接在一起。否则,就会引起外界干扰,导致测量误差增大。有时甚至会损坏仪器或电路,造成不必要的损失。

1.4.2 汽车专用数字万用表的使用

汽车专用万用表是一种数字式万用表,在汽车检测中用途广泛,它除了具有数字式万用表的功能外,还具有一些汽车专用测试功能。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是无法检测的,需用专用仪表即汽车万用表。汽车专用万用表基本工作原理是:通过测试探针采集外部电信号后,输入万用表专用集成电路进行预处理,再通过CPU处理完成后送入显示屏进行显示。

1. 汽车专用万用表的功能要求

使用汽车专用万用表测量电流、电压和电阻同普通万用表类似,在测量前要正确选择档位和量程。不同的万用表操作方法可能有所不同,具体操作方法参考随机附带的使用说明书。这里以普通汽车万用表为例,说明测量一些专用功能的一般操作步骤和方法。

汽车专业万用表一般应具备下述功能。

(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。汽车专用万用表应能测量1MΩ的电阻,测量范围大一些使用起来较方便。

(3) 测量电流。汽车专用万用表应能测量大于10A的电流,测量范围小则使用不方便。

(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。测试项目选择开关置于频宽比(Duty cycle)档或闭合角(Dwell)档,黑线搭铁,红线接电路信号或点火线圈负接线柱,发动机运转,显示屏即显示脉冲信号的频宽比或点火线圈一次侧电路闭合角。

(7) 测量转速。测试项目选择开关置于转速(RPM)档,转速测量专用插头插入搭铁座孔与公用座孔中,感应式转速传感器(汽车万用表附件)夹在某一缸高压点火线上,在发动机工作时,显示屏即显示发动机转速。

(8) 输出脉冲信号。该功能用于检测有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。测试项目选择开关置于频率(Freq)档,黑线(自汽车万用表搭铁座孔引出)搭铁,红线(自汽车万用表公用座孔引出)接被测信号线,显示屏即显示被测频率。

(10) 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。

(11) 测量温度。配置温度传感器后可以检测冷却液温度、尾气温度和进气温度等。测试项目选择开关置于温度(Temp)档,按下功能按钮(°C/°F),将黑线搭铁,探针线插头端插入汽车万用表温度测量座孔,探针端接触被测物体,显示屏即显示被测温度。

(12) 测量二极管的性能。目前国内生产的汽车专用万用表,如“胜利-98”、笛威TWAY9206、TWAY9406A和EDA-230等型号的汽车专用万用表,都具有上述功能。有些汽车专用万用表,除了具有上述基本功能外,还有一些扩展功能。例如,EDA-230型汽车专用万用表在配用真空/压力转换器(附件)时可以测量压力和真空度,并且它还具有背光显示功能(使显示数据在光线较暗时也能被看清楚)。

2. 汽车专用万用表的基本结构

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)、搭铁用的座孔、用于电流测量用的座孔等构成。

如图1-43所示为数字型汽车万用表基本结构图。

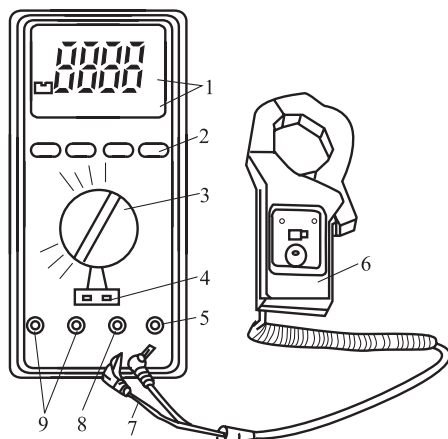


图1-43 汽车专用万用表基本结构图

1-数字及模拟量显示屏 2-功能按钮 3-测试项目选择开关 4-温度测量座孔 5-公用座孔

6-霍尔式电流传感夹 7-引线插头 8-搭铁座孔 9-电流测量座孔

3. 汽车专用万用表的量程

直流电压：400mV~400V(精度±0.5%)，(1000±1%)V；

交流电压：400mV~400V(精度±1.2%)，(750±1.5%)V；

直流电流：(400±1%)mA，(20±2%)A；

交流电流：(400±1%)mA，(20±2.5%)A；

电阻：(400±1%)Ω，4kΩ~4MΩ(精度±1%)，(400±2%)MΩ；

频率：40Hz~4kHz(±0.05%)，最小输入10Hz；

二极管检测：精度±1% Δ gt；

温度检测：18~300℃(精度±3%)，301~1100℃(精度±3%)；

转速：150~3999r/min(精度±0.3%)，4000~10 000r/min(精度±0.6%)；

闭合角：±0.5°；

频宽比：±0.2%。

4. 汽车专用万用表的使用方法

(1) 信号频率测试。测试项目选择开关置于频率(Freq)档，黑线(自汽车专用万用表搭铁用的座孔中引出)搭铁，红线(自汽车专业万用表公用的座孔中引出)接被测信号线，显示



屏即显示被测频率。

(2) 温度检测。测试项目选择开关置于温度(临时)档,按下功能按钮(°C/F),将黑线搭铁,用于探针线的插头端插入汽车万用表温度测量座孔,探针端接触被测物体,显示屏即显示被测温度。

(3) 点火线圈一次侧电路闭合角检测。测试项目选择开关置于闭合角档,黑线搭铁,红线接点火线圈负接线柱,发动机运转,显示屏即显示点火线圈一次侧电路闭合角。

(4) 频宽比测量。测试项目选择开关置于频宽比档,红线接电路信号,黑线搭铁,发动机运转,显示屏即显示脉冲信号的频宽比。

(5) 转速测量。测试项目选择开关置于转速(每分钟转数)档,转速测量专用插头插入搭铁座孔与公用座孔中,感应式转速传感器(汽车专用万用表附件)夹在某一缸高压点火线上,在发动机工作时,显示屏即显示发动机转速。

(6) 起动机起动电流测量。测试项目选择开关置于400mV档(1mV相当于1A的电流,即用测量电流传感器电压的方法来测量起动机起动电流),把霍尔式电流传感夹夹到蓄电池线上,其引线插头插入电流测量座孔,按下最小/最大功能按钮,然后拆下点火高压线,用起动机转动曲轴2~3s,显示屏即显示起动电流。

(7) 氧传感器测试。拆下氧传感器线束连接器,将测试项目选择开关置于“4V”档,按下DC功能按钮,使显示屏显示“DC”,再按下最小/最大功能按钮,将黑线搭铁,红线与氧传感器相连;然后快速(2000r/min)运转发动机,使氧传感器工作温度达360°C以上。

(8) 喷油器喷油脉冲宽度测量。测试项目选择开关置于频宽比档,测出喷油器工作脉冲频率的频宽比后,再把测试项目选择开关置于频率(Freq)档,测出喷油器工作脉冲频率(Hz),然后按公式 $S_p = \eta / f_p$ 计算喷油器喷油脉冲宽度。

式中: S_p —喷油脉冲宽度(s);

η —频宽比(%);

f_p —喷油频率(Hz)。

5. 汽车专用万用表在检查电控系统时的注意事项

(1) 除在测试过程中特殊指明者外,不能用指针式万用表测试电子控制单元(ECU)和传感器,应使用高阻抗数字式万用表,万用表内阻应不低于10kΩ。在进行测量前,必须对万用表进行调零。

(2) 首先要检查熔丝、易熔线和接线端子的状况,在排除这些地方的故障后,再用万用表进行检查。

(3) 在用万用表检查防水型连接器时,应该小心地取下皮套,如图1-44(a)所示,用测试表笔插入连接器检查时不可对端子用力过大,如图1-44(b)所示。

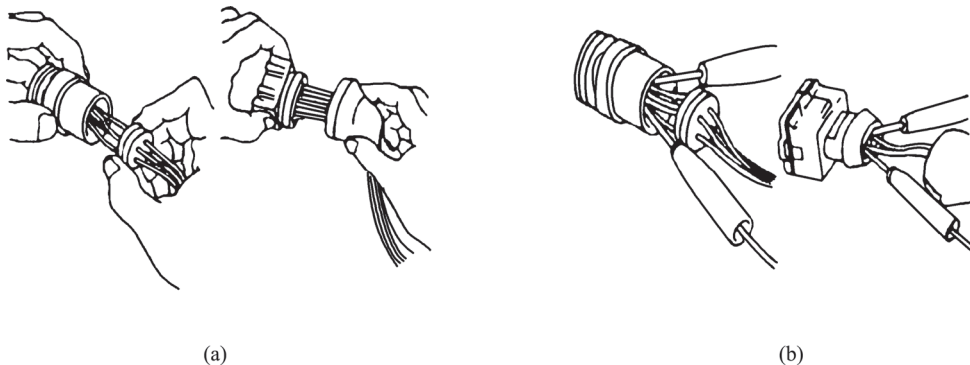


图1-44 检查防水型连接器图

检测时，测试表笔可以从带有配线的后端插入，如图1-45(a)所示，也可以从没有配线的前端插入，如图1-45(b)所示。

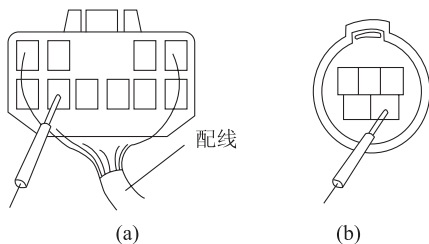


图1-45 表笔插入连接器图

(4) 检查线路断路故障时，应先脱开ECU和相应传感器的连接器，然后测量连接器相应端子间的电阻，以确定是否有断路或接触不良故障。

(5) 在拆卸发动机电子控制系统线路之前，应首先切断电源，即将点火开关断开(关)，拆下蓄电池极柱上的接线。

(6) 连接器上接地端子的符号因车型的不同而不同，应注意对照维修手册加以辨认。

(7) 测量两个端子间或两条线路间的电压时，应将万用表(电压档)的两个表笔与被测量的两个端子或两根导线接触；而测量某个端子或某条线路的电压时，应将万用表的正表笔与被测的端子或线路接触，而将万用表的负表笔与地线接触。

(8) 检查端子、触点或导线等的导通性，是指检查端子、触点或导线等是否通电或断开，可用万用表电阻档测量其电阻值的方法进行检查。

(9) 所有传感器、继电器等装置都是和ECU连接的，而ECU又通过导线和执行部件连接，所以在检查故障时，可以在ECU连接器的相应端子上进行测试。

6. 汽车专用万用表在汽车电控系统中检修实例

目前国内的电控汽车类型很多，各种车都有自己的检修方法和检测仪器。要掌握所有电控汽车的修理方法、维修数据是不现实的，只有通过不断的维修实践，加深对工作原理的认识，积累经验，正确掌握各种检测仪器的使用，借助维修手册提供的有关技术资料、标准数据，才可能准确、迅速地判断和查找故障。



1) 诊断与排除

首先检查点火系统，对不符合要求的火花塞进行了更换；然后清洁空气滤芯，并检测汽油供给系统压力、喷油器，均显示工作正常。在发动机怠速时检查空气流量计，触碰进气管时发动机熄火，仔细观察后发现进气管上有裂口。由于裂口在波纹管内侧，不仔细很难观测到。更换新管后试车，故障消失。该故障产生的原因是进气管上有裂口，启动暖机后，塑胶管变软，发动机振动使空气从扩大的裂口进入，混合气过稀而造成发动机熄火。

2) 故障分析

发动机电控系统是根据进入气缸的空气量来决定喷油量的，因此进气系统出现问题对发动机的工作影响较大。进行进气系统检修前，先要进行目视检查。查看空气管、真空管接口有无松动，软管上有无破损，确认没有问题后再进行其他的检查。

(1) 叶片式空气流量计的检查。这种流量计是通过机构动作把空气流量转变为电信号，由滑动触点、开关触点、转动机构及调整装置等组成，容易出现触点烧蚀、接触不良、动作不灵活和位置变动等故障。

(2) 涡流式空气流量计的检修。涡流式空气流量计的种类较多，输出信号不同，检测的方法和使用的仪器也不一样。

(3) 进气歧管压力传感器的检修。

1.4.3 汽车专用示波器的使用

1. 汽车专用示波器简介

汽车电子设备的有些信号的变化速度非常快，其变化周期达到0.001s，许多故障信号是间歇的，时有时无，这就需要仪器的测试速度高于故障信号的速度。通常要求测试仪器的扫描速度是被测信号的5~10倍。数字示波器完全可以胜任这个速度，它不仅可以快速捕捉电路信号，还可以用较慢的速度来显示这些波形，以便可以一面观察，一面分析。它还可以用储存的方式记录信号波形，可以倒回来观察发生过的快速信号，这就为故障分析提供了极大方便。

将数字示波器加以改进，设置汽车专用的参数指标的测量，就形成了汽车专用示波器。在汽车专用示波器的使用过程中，有以下几点需要注意。

(1) 测试点火高压线时，必须使用专用的电容探头，不能将示波器探头直接接入点火次级电路。

(2) 使用汽车专用示波器时，注意远离热源(如排气管、催化器等)，温度过高会损坏仪器。

(3) 汽车专用示波器在测试时，测试线应尽量离开风扇叶片、传动带等转动部分。

(4) 测试时确认发动机盖是好的，防止发动机盖自动下降时伤及头部或损坏汽车专用示波器。

(5) 路试中，不要将汽车示波器放在仪表台上方，最好拿在手中。

2. 汽车专用示波器的基本使用方法

目前市场上流行的汽车专用示波器有金德KT600和远征X431。现以金德KT600为例说明汽车专用示波器的基本使用方法。

金德KT600汽车专用示波器，它可以实时采集点火、喷油、电控系统传感器的波形。通过对传感器波形的分析可以准确地诊断传感器是否故障，通过对点火波形的分析不仅可以诊断点火系统的火花塞、高压线、点火线圈等各元器件故障，还可以分析出进气系统和燃油系统的可能故障点，为汽车的运行技术状况和故障诊断提供科学的依据。

1) 基本功能

(1) 金德KT600的示波器功能的研发在国内首次真正实现了次级点火波形的实时显示，KT600装备业内领先的32位主控CPU+高速数字处理芯片，保证在高达20MHZ采样频率的情况下仍能实时地处理信号。

(2) 金德KT600是高速五通道汽车专用示波器，并可以进行参考波形存储。

(3) 金德KT600可以进行汽车初级、次级点火波形分析；有纵列、三维、阵列、单缸等多种次级波形显示方式，并显示点火击穿电压、闭合角、燃烧时间等。精确的点火同步，自动检测点火信号极性，无论是分电器点火，独立点火，双头点火都能可靠检测，相当于一台手持式发动机分析仪。

(4) 金德KT600具有通用示波器功能。

(5) 金德KT600具有记录仪功能。

(6) 金德KT600具有发动机分析仪功能(选配其他的配件)。

2) 设备配置及参数

各设备参数如表1-7、表1-8、表1-9所示。

表1-7 主机参数

项 目	指 标
供电电压	12VDC
操作温度	-30℃~+50℃
相对湿度	小于90%
串行口	标准RS232(ps/2口)
CF 卡接口 供插拔CF 卡	

表1-8 示波器性能参数

项 目	指 标
通道数目	5通道
采样频率	20MHz
采样精度	双8位
电压量程	20mV~20V/格
扫描时间	2.50μs~2s/格

表1-9 硬件配置

系统硬件	指标
CPU	32位嵌入式芯片
主频	80MHz
闪存	超大容量FLASH可反复擦写
外存	CF卡，可任意扩展
显示器	6.4寸LCD触摸真彩屏
打印机	热敏式微型打印机

3) 设备结构

KT600主机正面视图如图1-46所示。



1-触摸屏 2-返回上级菜单、退出 3-进入菜单、确认所选项目 4-电源开关 5-方向选择键 6-多功能辅助键

图1-46 KT600主机正面视图

KT600主机背面视图如图1-47所示。

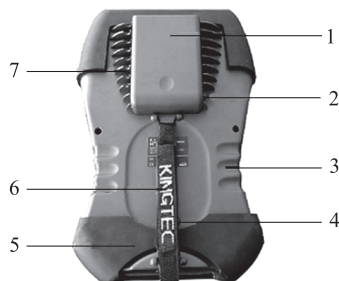


图1-47 KT600主机背面视图

1-打印盒 2-打印机卡扣 3-手持处 4-卡锁 5-胶套 6-保护带 7-触摸笔槽

KT600主机上接口视图如图1-48所示。

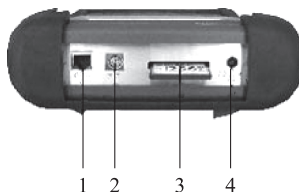


图1-48 KT600主机上接口视图

1-网口 2-PS/2 3-CF卡 4-POWER

KT600主机下接口视图(示波盒)如图1-49所示。



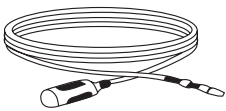
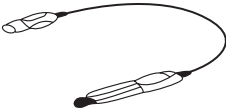
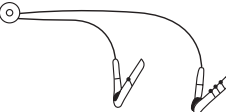
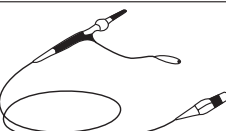
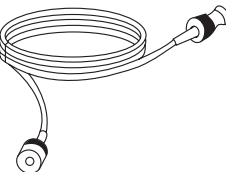
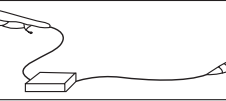


图1-49 KT600主机下接口视图(示波盒)

CH1、CH2、CH3、CH4-示波通道 CH5-触发通道

4) 随机附件

KT600汽车专用示波器的随机附件包括示波测试连接线、电源线、自诊断接头等。具体说明见表1-10。

表1-10 KT600汽车专用示波器的随机附件

图 片	名 称	功 能
	电源延长线	给主机提供电源，可以连接汽车点烟器接头或汽车鳄鱼夹
	汽车点烟器接头	连接电源延长线和汽车点烟器给主机供电
	汽车鳄鱼夹	连接电源延长线和汽车电瓶给主机供电
	测试探针	连接到通道CH1、CH2、CH3、CH4输入，带接地线，可以×1或者×10衰减
	示波延长线	连接CH1、CH2、CH3、CH4通道，主要功能是延长输入信号线
	一缸信号夹	连接CH5通道，可以检测发动机转速和触发
	容性感应夹	可以接CH1、CH2通道，感应次级点火信号
	示波连接线	可以对地线或者信号线延长

5) 基本功能与操作

在主界面上选择示波器分析仪，确认进入如图 1-50所示菜单。

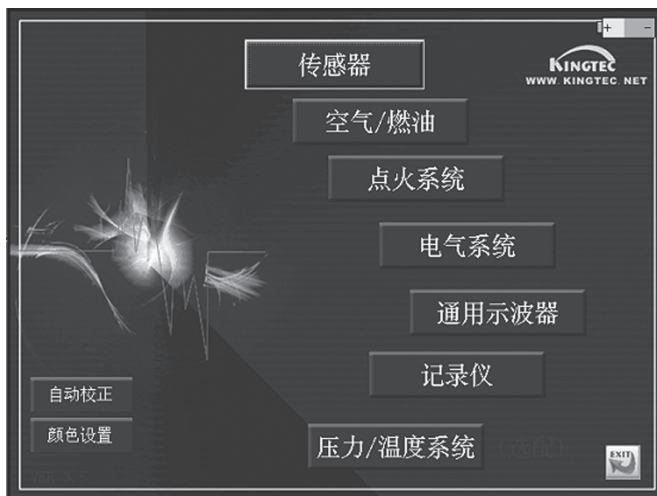


图1-50 在主界面上选择示波器分析仪

只要在KT600的菜单里按上下方向键选择需要检测项目，按[ENTER]键可以进入下一级菜单，直到选择到需要的测试项目，按[EXIT]键可以返回上级菜单。

6) 通用型示波器的调整方法

一般情况下，汽车专用示波器的波形显示不需要调整，当要做超出汽车专用示波器标准菜单以外的测试内容时，可以选择通用示波器功能，也就需要掌握一定的调整方法，在汽车专用示波器测试过程中如果有相似菜单，调整方法也相同。

选择通用示波器，按[ENTER]键确认，如图1-51所示，在屏幕上有十二个选项：通道、周期、电平、幅值、位置、停止、存储、载入、光标、触发、打印、退出。三个功能选项：通道设置、自动设置、配置取存，按左右方向键可以对选择项目进行调整。

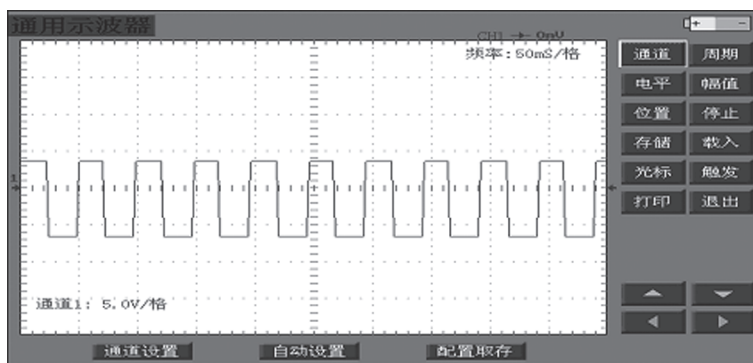


图1-51 选择通用示波器

(1) 通道调整。按功能键可以选择通道1(CH1)、通道2(CH2)、通道3(CH3)、通道4(CH4)任意组合方式，如图1-52所示。

(2) 周期调整。选择周期调整，按上下键可以改变每单格时间的长短，如果开机时设定的是10ms/格，按向下键则会变为5ms/格，波形就会变稀，按向上键则会变为20ms/格，波形会变密。

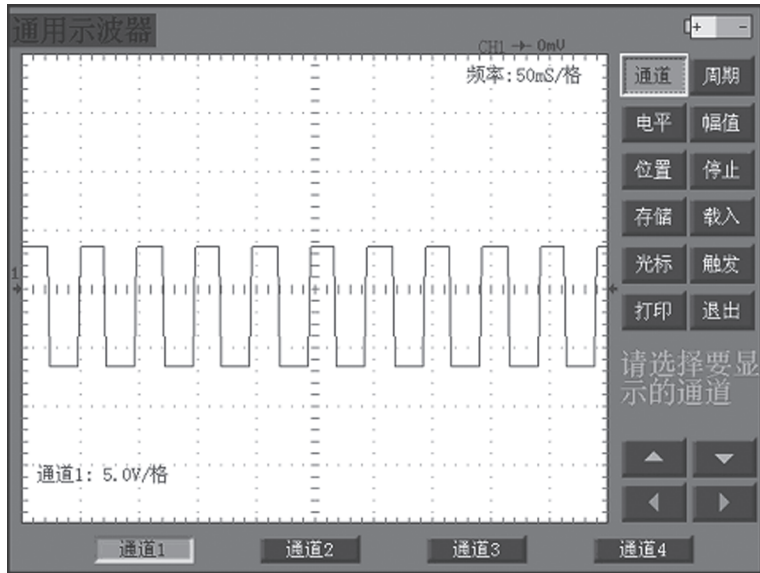


图1-52 通道调整

(3) 电平调整。对纵轴的触发电平进行调整，对于同一波形，选择不同的触发电平，波形在显示屏上的位置就会跟着变化，如果触发电平的数值超出波形的最大最小范围时，波形将产生游动，在屏幕上不能稳定住。

(4) 幅值调整。按上下方向键可以调整纵向波形幅值的大小，KT600可以选择1：500、1：200、1：100、1：0.5、1：1.0、1：2.5、1：5、1：10和1：20。

(5) 位置调整。选择位置调整可以对波形的上下显示位置进行调整，按向上方向键，波形就会上移，按向下方向键，波形就会向下移动。

(6) 触发方式调整。选择触发方式调整在高频(<50ms/格)可以对波形的触发起点进行调整，使用功能键可以选择触发的方式：上升沿触发，下降沿触发，电平触发，如图1-53所示。

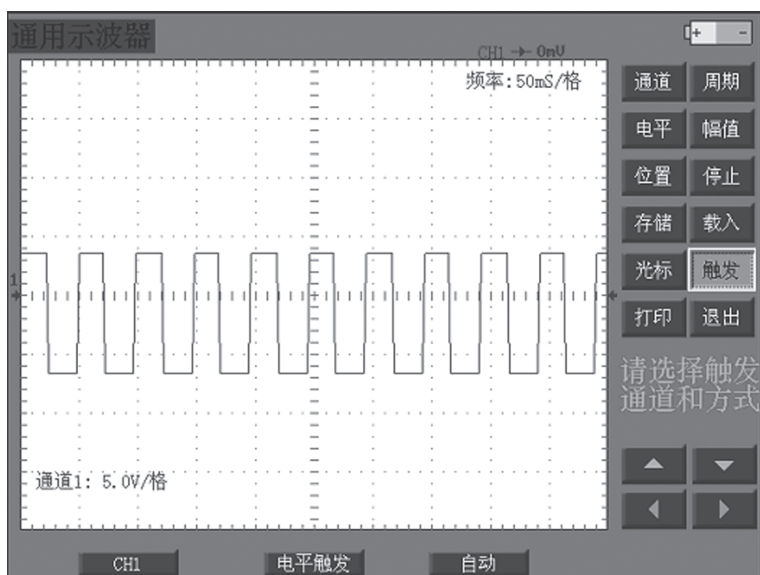


图1-53 触发方式调整

(7) 波形的存储和载入。在选择通用示波器时，如果要存储当前波形，选择存储，如果是刷新频率($\geq 50\text{Hz/格}$)，系统会等待采集完当前屏波形后自动冻结波形。弹出文件存储的人机界面，用户可以设定存储波形的名字，然后保存波形数据(最多支持保存64个文件)，保存完以后系统会自动退出存储界面。

如果要载入已储存的波形，选择载入，要是波形文件存在，系统将会自动浏览到系统已保存的文件，用户可以根据自己需要调出波形。点击“退出”/按“ESC”可以退出载入界面，如图1-54所示。

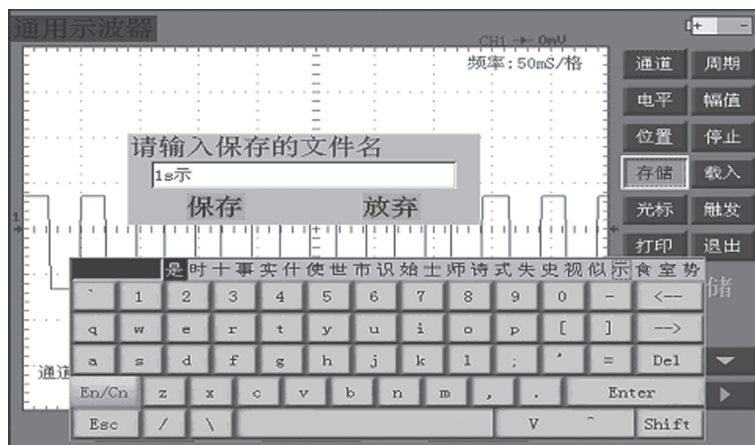


图1-54 波形的存储和载入

7) 传感器信源参数选择调整

在传感器菜单中可以通过选择信源参数选择调整所需要观察的通道的参数，如图1-55所示。

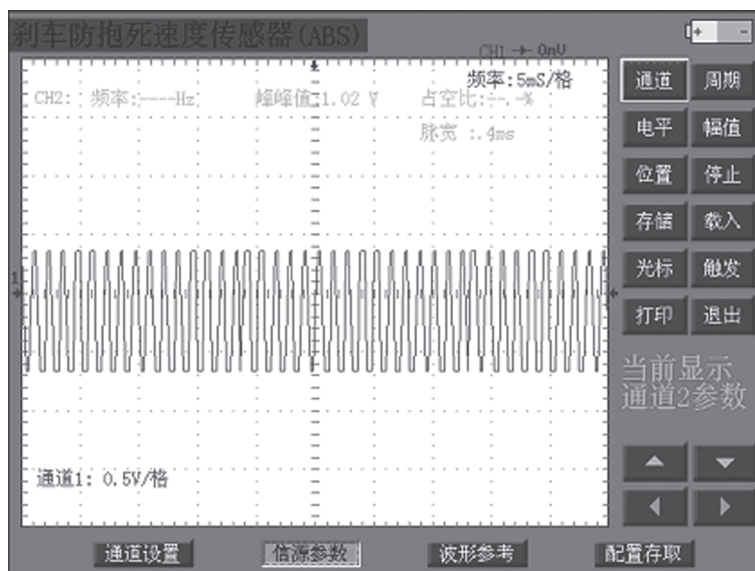


图1-55 传感器信源参数选择调整

8) 传感器波形参考功能

该功能方便用户在测试传感器波形的时候，可以把标准的传感器波形和当前测试的传感器作比较，用户可以直观地看出来当前传感器的好坏。为实现该功能，用户先要采集标准的传感器波形，存储到系统中，然后才可以做回放波形、波形比较。系统最多可以存储64个波形文件。

波形参考有三种功能：采集波形、回放波形、波形比较，如图1-56所示。

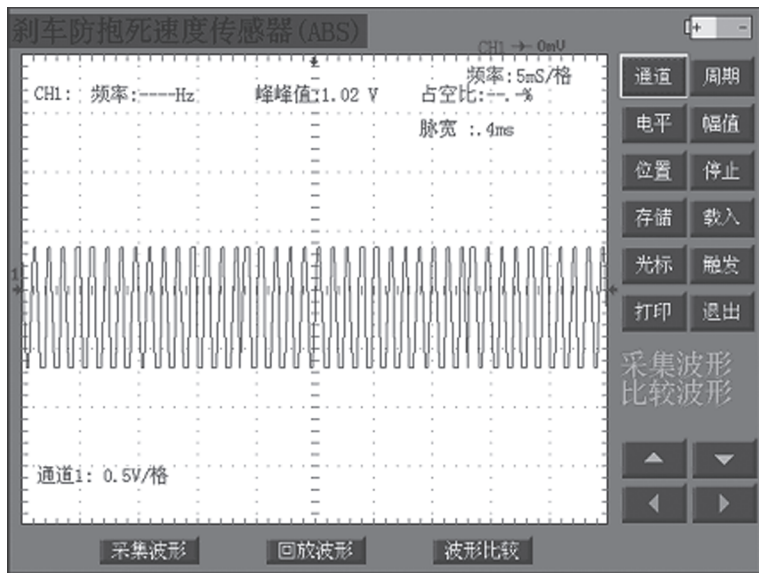


图1-56 传感器波形参考功能

选择采集波形，可将当前波形保存，其文件名可以是：字母、数字、中文字符，如图1-57所示。

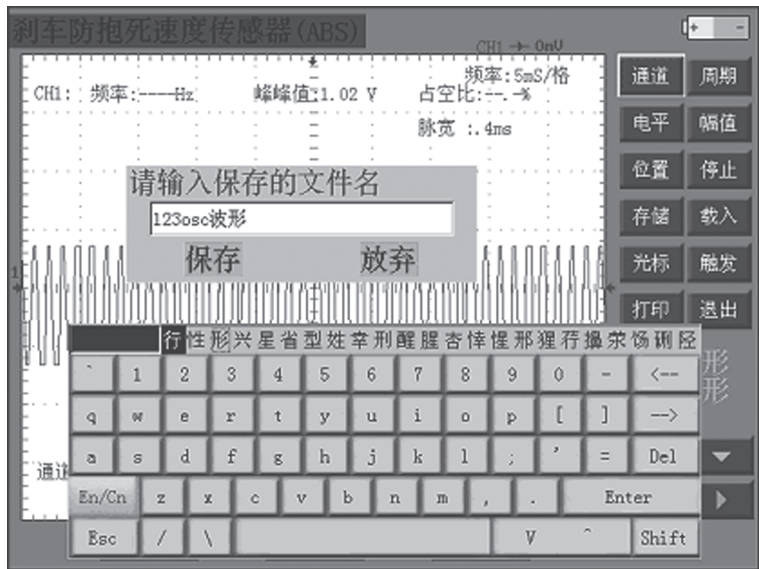


图1-57 选择采集波形

选择回放波形，可将采集的波形回放，如图1-58所示。

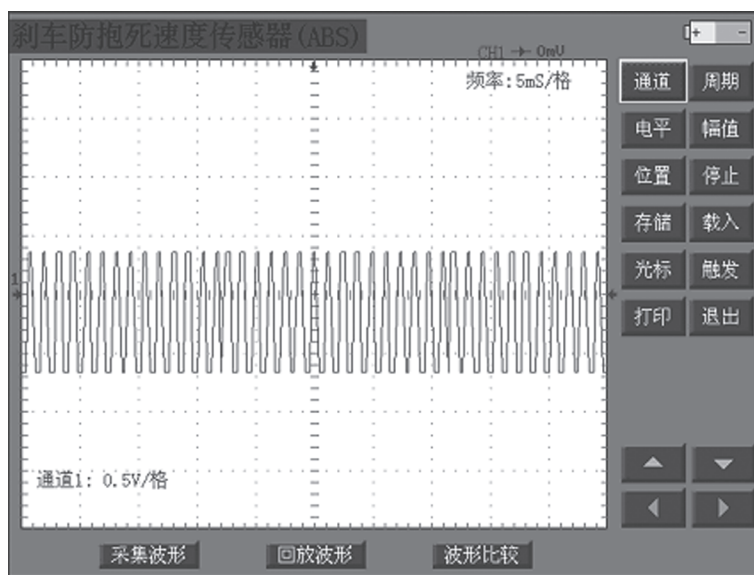


图1-58 选择回放波形

选择波形比较，可将采集的波形与当前波形进行比较。载入采集波形后，会与当前波放在同一位置，可以调整其位置来比较两波形，如图1-59所示。

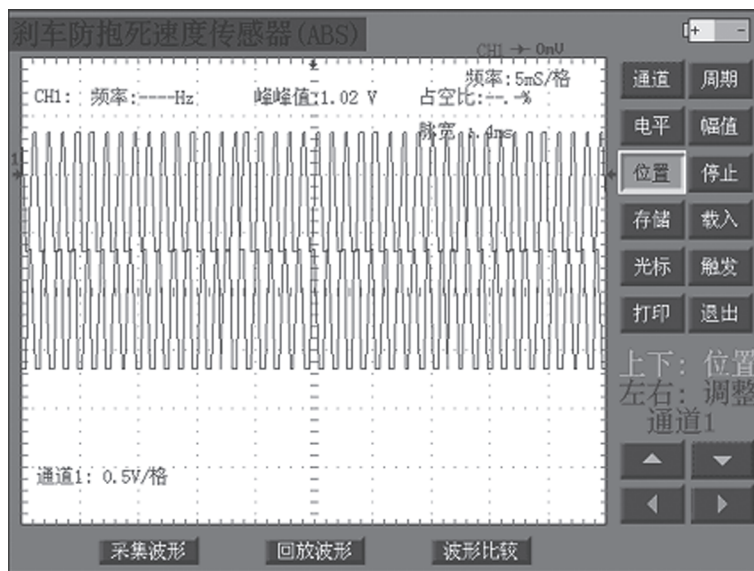


图1-59 选择波形比较

想一想

汽车专用万用表和指针式万用表相比有何优点？

探究

如何使用KT600检测汽车的喷油波形？

项目实施

汽车数字万用表的使用

一、实训内容及目的

1. 掌握汽车专用万用表的功能、使用方法和使用注意事项。
2. 通过对以上内容学习，学生应能根据被测电路合理地进行测量工具的选择。
3. 学会书写实训报告。

二、实训器材和用具

汽车专用万用表若干台。

三、实训注意事项

使用数字万用表检测时，应当注意档位的选择。

四、实训操作步骤

1. 练习使用汽车专用万用表进行一般功能的测试。

详情见“1.4.2 汽车专用数字万用表的使用”中“1.汽车专用万用表的功能要求”。
选取若干项进行测试。

2. 练习使用汽车专用万用表进行专用功能的测试。

详情见“1.4.2 汽车专用数字万用表的使用”中“4.汽车专用万用表的使用方法”。
选取若干项进行测试。

五、完成实训报告

汽车专用示波器的使用——点火次级波形分析

一、实训内容及目的

1. 掌握汽车示波器的功能、使用方法和使用注意事项。
2. 学生可以正确地采集波形、分析波形。

二、实训器材和用具

汽车专用示波器金德KT600、奇瑞A3车一台。

三、实训注意事项

1. 操作本仪器需有一定汽车检测维修基础，对被测汽车电控系统有一定认识。
2. 在良好的通风条件下进行检测，如果没有足够的通风，则将汽车排气管接到室外。
3. 起动发动机前，拉好手制动，特别应挡好前轮，并将排档杆置于P档或空档，以免起动发动机时，车辆冲出伤人。

四、实训操作步骤

1. 连接设备

由于被测试发动机的点火方式和点火系统的连接方式不尽相同，所以连接的方法也不一样，在测试次级点火波形前，请先确认被测试发动机点火方式。下面我们就常见的三种点火方式说明测试连接方法。

连接KT600和电源延长线，根据被测试车型的电瓶位置选择电瓶供电或者点烟器供

电,本说明书连接图都是以电瓶供电为例,如果选择点烟器接头,请先确认点烟器是否有12V电瓶电压。

(1) 传统点火。在包装箱中找出一缸信号夹和一个容性感应夹,一缸信号夹一端接KT600的CH5端口,信号夹夹住发动机一缸的高压线,请查看信号夹上有“此面朝向火花塞”,注意不要夹反;容性感应夹一端接CH1端口,然后用其中的一个夹子夹住高压总线,请参考图1-60的连接方法。

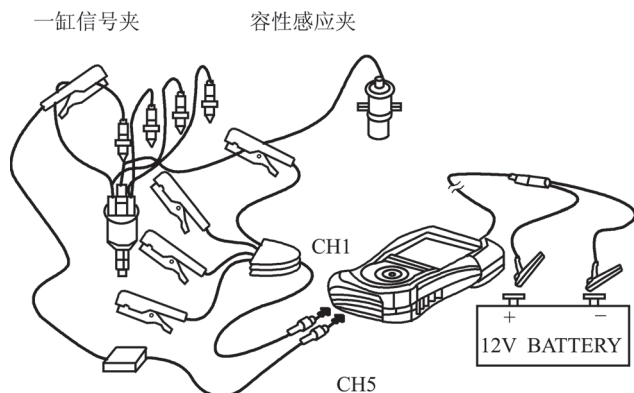


图1-60 传统点火测试

(2) 直接点火。在包装箱中找出一缸信号夹和一个容性感应夹,一缸信号夹一端接金德KT600的CH5端口,信号夹夹住发动机一缸的高压线,请查看信号夹上有“此面朝向火花塞”,注意不要夹反;容性感应夹一端接CH1端口,然后将容性夹分别夹到各气缸高压线上。

(3) 双头点火。在包装箱中找出一缸信号夹和两个容性感应夹,一缸信号夹一端接金德KT600的CH5端口,信号夹夹住发动机一缸的高压线,请查看信号夹上有“此面朝向火花塞”,注意不要夹反;查看点火线圈的极性,假设一侧是正,那么另一侧肯定为负,相同侧的极性相同,共用同一个容性夹,连接方法见图1-61所示。

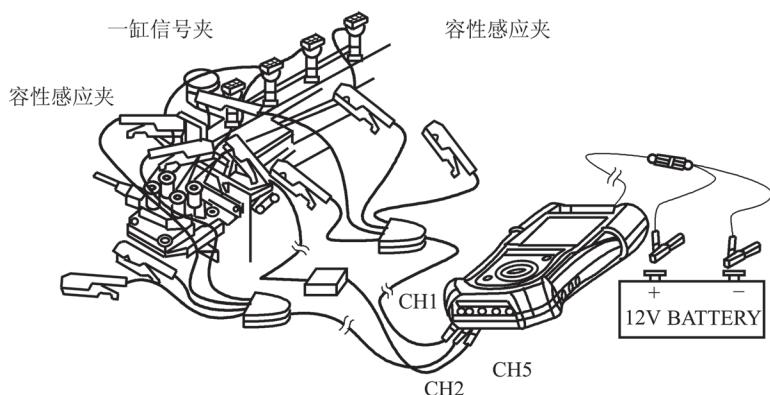


图1-61 双头点火测试

2. 测试条件

起动发动机,在不同负荷及速度下测试检验元件的性能,火花塞、点火连线头及其他次级电路的元件可能在高负荷时功能不正常,在负荷状态下进行这些测试(在功率试验机上或路试)以精确地确定系统发生故障的位置。

3. 测试步骤

- (1) 按照图1-61连接好设备，打开金德KT600电源开关；
- (2) 在金德仪器主菜单下按上下方向键选择示波分析仪器，按[ENTER]键确认；
- (3) 在汽车专用示波器菜单下选择点火系统，按[ENTER]键进入点火系统选择菜单；
- (4) 选择次级点火，按[ENTER]键确认；
- (5) 选择发动机参数设定，按[ENTER]键，屏幕显示如图1-62所示；



图1-62 次级点火参数设置

(6) 根据被测试发动机可以更改参数，按上、下方向键选择需要更改项目，按左、右方向键可以更改参数，更改完毕，按[EXIT]键返回上级菜单；

(7) 按向下方向键选择次级点火测试，按[ENTER]键确认，按照测试条件，屏幕显示波形；

(8) 必要时可以通过选择周期、幅值、电平等参数，然后按上下方向键改变波形，也可以选择停止，冻结波形后，选择存储，保存波形供以后修车时参考。如图1-63所示。

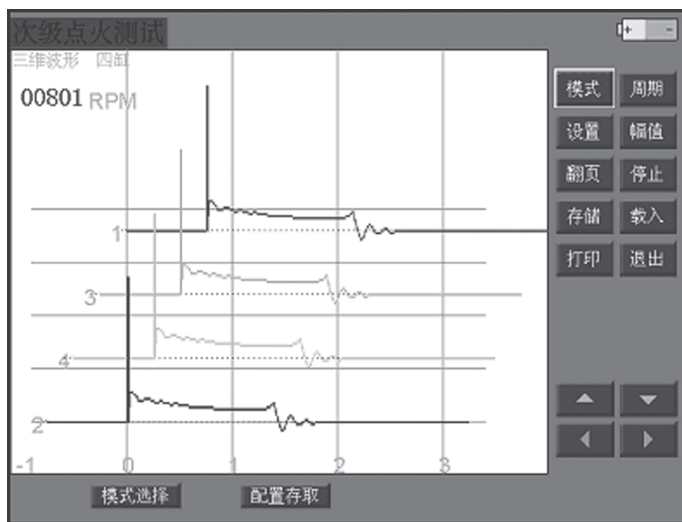


图1-63 次级点火测试

说明:

(1) 选择模式,按左、右方向键可以更改次级点火波形的显示模式,如三维波形、并列波形、纵列波形和单缸显示;

(2) 按向右方向键选择参数,按[ENTER]键确认,可以返回发动机参数设定界面,重新更改。

4. 波形分析

点火次级波形分为三个部分:闭合部分、点火部分、中间部分。传统次级点火的特征波形请参考图1-64。

(1) 闭合部分。此段时间是三级管导通或者白金触点结合时间,应保持波形下降沿一致,表示各缸闭合角相同以及点火正时正确。

(2) 点火部分。由一条点火线和一条火花线(燃烧线)组成,点火显示一条垂直线,代表的是击穿电压,火花线则是一条近似水平的线,代表维持电流通过火花塞间隙所需的电压。

(3) 中间部分。显示点火线圈中通过初级和次级的振荡来耗散剩余的能量,一般最少有两个振荡波。

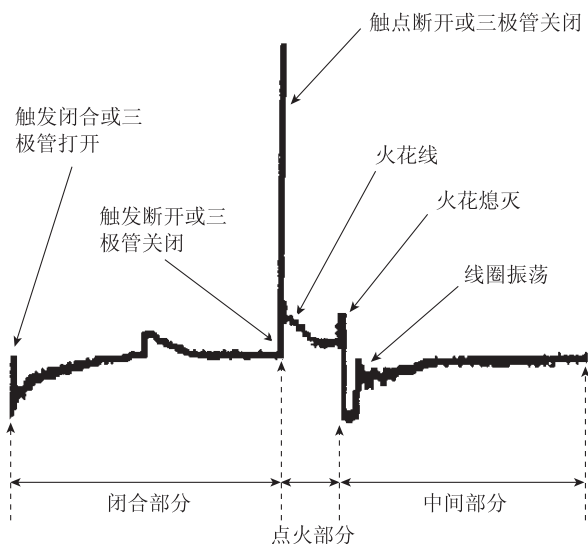


图1-64 传统次级点火的特征波形

本章小结

1. 一般电路由电源、负载、连接导线和辅助设备四大部分组成。汽车电路由相对独立的系统组成。汽车电路的特点是低压、直流、单线制、负极搭铁、设有保险装置、汽车线路有颜色和编号特征、由相对独立的分系统组成。

2. 电流、电压和电动势的实际方向: 电流实际方向规定为正电荷移动的方向,或负电荷定向运动的相反方向;电压实际方向是以在电路中,由高电位端指向低电位端,电位降低的方向;电动势实际方向是以在电源内部由低电位端指向高电位端,电位升高的方向。在分析计算电路时,当电路中电压、电流和电动势的实际方向无法确定时,可以任意假定

并标注在电路图上,这称为参考方向,但一经选定,在解题过程中就不能更改。当求得的电压或电流为正值,表明假定的参考方向与实际方向相同;否则相反。

根据电压和电流的实际方向可以确定电路元件的功率性质:在同一元件上,当 U 、 I 的实际方向相同,电流从“+”端流入,表明该元件是取用(消耗)功率,是负载性质;如 U 、 I 实际方向相反,电流从“+”流出,表明该元件是发出功率,是电源性质。

3. 电路中某一点的电位等于该点与参考点之间的电压。参考点改变,则各点的电位值相应改变,但任意两点间的电位差(电压)不变。

4. 本章介绍了电阻、电容和电感元件,读者应深入理解其含义、性质并对其加以识别,还应熟悉这些元件的伏安特性。

5. 基尔霍夫定律包括电流定律(KCL)和电压定律(KVL)。

电流定律表述为:在任何时刻,电路中任一节点上的各支路电流代数和恒等于零,即 $\sum I=0$ 。基尔霍夫电压定律是确定电路中任意回路内各电压之间关系的定律,因此又称为回路电压定律,它的内容为:对于集中参数电路中的任何一个回路而言,在任一瞬时,沿回路绕行方向,各支路的电压代数和为零。即 $\sum u(t)=0$ 。

6. 要求在学习完本章后,能够正确使用汽车专用万用表和汽车专用示波器。