



“十三五”高等职业教育核心课程规划教材·汽车类

汽车电学知识与传感技术

主 编 马明金 宋晨媛

副主编 徐静航 于海涛 刘晓兵

李 虹 王贵荣



西安交通大学出版社
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY PRESS



“十三五”高等职

教材·汽车类

汽车电学知识与传感技术

主 编 马明金 宋晨媛

副主编 徐静航 于海涛 刘晓兵

李 虹 王贵荣

常州大学图书馆
藏书章



西安交通大学出版社
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY PRESS

内容简介

本书针对汽车专业初学者的学习需求,将电工学、电子学、电磁学、汽车电路识图、汽车维修工具与设备、车载网络、传感与检测技术等学习汽车电气所必须掌握的多学科知识,进行了充分整合,选取最基础、最主要的知识点,运用通俗易懂的语言,简明扼要的方法,图文并茂的形式,做了深入浅出的叙述与讲解。

全书共分六个章节,分别为汽车电学基础、汽车维修常用工具与设备、车载网络技术、汽车电路识图方法、汽车传感器与检测技术以及汽车典型传感器的结构原理等内容。

本书适合作为高职高专汽车类专业教材,也可供汽车维修人员和工程技术人员学习参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

汽车电学知识与传感技术/马明金,宋晨媛主编. —西安:
西安交通大学出版社,2016.6
ISBN 978-7-5605-8661-8

I. ①汽… II. ①马…②宋… III. ①汽车-电气设备-
高等职业教育-教材②汽车-传感器-高等职业教育-教材
IV. ①U463.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 147712 号

书 名 汽车电学知识与传感技术
主 编 马明金 宋晨媛
责任编辑 雷萧屹 季苏平

出版发行 西安交通大学出版社
(西安市兴庆南路 10 号 邮政编码 710049)
网 址 <http://www.xjtupress.com>
电 话 (029)82668357 82667874(发行中心)
(029)82668315(总编办)
传 真 (029)82668280
印 刷 虎彩印艺股份有限公司

开 本 787mm×1092mm 1/16 印张 17.5 字数 427 千字
版次印次 2017 年 1 月第 1 版 2017 年 1 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 978-7-5605-8661-8
定 价 50.00 元

读者购书、书店添货如发现印装质量问题,请与本社发行中心联系、调换。
订购热线:(029)82665248 (029)82665249
投稿热线:(029)82669097 QQ:8377981
电子信箱:lg_book@163.com

版权所有 侵权必究

前 言

随着我国汽车工业的发展,汽车保有量越来越多,作为汽车维护后市场的规模也越来越大,汽车维护的参与者也越来越广,同时伴随着汽车技术的不断提升,尤其是智能电子控制技术在汽车上的大量应用,学习好汽车电气也就变得越来越重要。学习汽车电子控制技术涉及到多学科领域,这就给汽车技术的初学者带来了严峻的挑战。

本书针对汽车专业初学者的学习需求,将电工学、电子学、电磁学、汽车电路识图、汽车维修工具与设备、车载网络、传感与检测技术等学习汽车电气所必须掌握的多学科知识,进行了充分整合,选取最基础、最主要的知识点,运用通俗易懂的语言,简明扼要的方法,图文并茂的形式,做了深入浅出的叙述与讲解。

全书共分六个章节,分别为汽车电学基础、汽车维修常用工具与设备、车载网络技术、汽车电路识图方法、汽车传感器与检测技术以及汽车典型传感器的结构原理等内容。对汽车电气学习所应该掌握的电工电子电磁学的基本概念、基本公式、基础定律做了有针对性、总结性的归类,对于初学者不好弄懂的车载网络做出了概述性归纳,对汽车维修常用设备的使用方法和注意事项,汽车电路识图基本方法和准则,以及在汽车上担负着重要使命的传感器获取信息的原理、故障检测方法和它们在汽车上的典型应用等做了详细的阐述。

本书特点是实用性强、内容适中、对象具体、图文并茂,适合作为高职高专汽车类专业教材,也可供从事汽车维修人员和工程技术人员学习参考使用。

本书在编写时,参阅了许多同类教材和资料,得到了很多收益和启发,在此向文献作者致以诚挚的感谢。

参加本书编写的主要人员有马明金、宋晨媛、徐静航、李虹、于海涛、刘晓兵、王贵荣老师等,另外,张凌雪、王强、韩伟、杜林钰、曲晓红等老师也参与收集资料、修改图片和校准文稿等工作。

由于编者水平有限,书中难免出现错误和不当之处,殷切希望广大读者给予批评指正。

编 者

2016年5月

目 录

绪论	(1)
项目 1 汽车电学基础	(5)
1.1 电工、电子学	(5)
1.2 汽车电路基础	(32)
1.3 汽车电路识读原则	(40)
复习与思考	(42)
项目 2 常用工具仪表设备	(44)
2.1 工 具	(44)
2.2 仪 表	(50)
2.3 设 备	(69)
复习与思考	(79)
项目 3 车载网络系统	(80)
3.1 车载网络技术发展与应用	(80)
3.2 多路传输系统	(83)
3.3 车载网络基本术语	(85)
3.4 车载网络技术要求	(90)
3.5 车载网络的应用	(93)
3.6 车载网络协议标准	(96)
复习与思考	(105)
项目 4 汽车电路图识图方法	(106)
4.1 汽车电路图基本知识	(106)
4.2 典型轿车电路图实例分析	(134)
复习与思考	(147)
项目 5 汽车传感与检测技术	(149)
5.1 传感器的定义与分类	(149)
5.2 检测方法	(150)
5.3 传感器在汽车上的应用范围	(154)
复习与思考	(159)
项目 6 典型传感器的结构原理	(160)
6.1 温度传感器的结构、原理与检测	(160)

6.2 压力传感器的结构、原理与检测..... (171)

6.3 位置传感器的结构、原理与检测..... (182)

6.4 速度、加速度传感器的结构、原理与检测 (206)

6.5 流量传感器的结构、原理与检测..... (219)

6.6 爆震和碰撞传感器的结构、原理与检测..... (240)

6.7 气体浓度传感器的结构、原理与检测..... (253)

6.8 其它传感器的结构、原理与检测..... (263)

复习与思考..... (273)

参考文献..... (274)

绪 论

1. 电的起源

电的起源有两种说法:一种说法是大概在公元前 600 年,希腊哲学家泰利斯(Thales)发现了琥珀与毛皮摩擦后可以吸引像羽毛那样较轻的物体,现在我们都知道,这是静电的作用。还有另一种说法是在同一个年代,土耳其的一个牧羊人发现一块天然的石头可以吸附在他的拐杖端部的铁上,现在我们都懂得这是天然磁铁石的作用。但是那个年代人们仅仅是发现了一种现象,根本不知道原因。直到 1672 年,德国人奥托·冯·格里克(Otto Von Guericke)总结前人的经验,他将一个硫磺球装在一根转动的轴上,然后用手握住硫磺球对其进行静电充电,发明了第一个电气装置。

事实上,奥托·冯·格里克的实验比英国物理学家威廉·沃森(William Watson)、美国科学家本杰明·富兰克林(Benjamin Franklin)在 18 世纪 40 年代所提出的这一理论早了几十年。该理论认为,电存在于所有物质中,可以通过摩擦转移电荷。

本杰明·富兰克林为了证明闪电也是电的一种形式,冒着很大的风险,在暴雨中放了一个风筝,并且成功观察到拴在风筝线上的钥匙产生了火花,为其日后发明避雷针奠定了基础,也为电在后来的应用提供了知识的积累。

继意大利贵族亚历山大·沃尔塔(Alessandro Volta)发现在一组盛有盐水的容器中插入金属锌片和铜片,连接两个金属片即可发生电击现象后,1859 年法国物理学家加斯顿·普兰士(Gaston Planche)发明了蓄电池。加斯顿·普兰士所发明的就是现在汽车上所使用的铅酸蓄电池,蓄电池中的化学反应能够产生与外电路相反方向流动的电流。

19 世纪 20 年代,英国人威廉·斯特金(William Sturgeon)又造出了第一台直流电动机。

1831 年,马克尔·法拉第(Michael Faraday)和他的助手发明了第一台发电机。这台在磁极中间转动的大铜盘,通过铜条可以不断地对外提供电流,解决了蓄电池不能连续供电的问题。

但是,真正在工业领域应用发电机的应该是德国人厄恩斯特·沃纳·冯·西门子(Ernst Werner Von Siemens),他于 1867 年制造出被称为 dymamo 的发电机,也就是今天所说的直流发电机,而能够发出交流电的发电机被称为 alternator。

大约 1866 年,包括两位英国人克伦威尔·华莱(Cromwell Varley)和亨利·威尔德(Henry Wile)在内的几位发明家制造出了永久磁铁。在此之后,又出现了交流驱动的电动机、变压器、感应线圈、断路器、磁电机……

人类进入 20 世纪后,半导体技术又掀起了新的技术革命。1947 年晶体管问世。1958 年第一个集成电路被制造成功。从此,计算机及其相关技术与我们变得越来越紧密。现在智能技术已经深入到了人类生产、生活的方方面面,当然,汽车技术领域更是首当其冲。

2. 汽车电气的发展史

100 多年前,汽车诞生之初,汽车电气还构不成系统,根本谈不到汽车电子控制技术,但是

随着汽车结构的不断改进,以及人们对汽车性能的无限追求,尤其是电子工业的发展,电子技术在汽车上的应用越来越广,车用电子装置、各种新产品不断涌现。特别是最近被炒得火热的智能汽车更是占据了未来工业智能发展版面,给人以无限的想象空间。下面我们就以审视的态度探求一下汽车电气的发展历程。

一般来说,汽车电气设备的发展可以划分为四个历史阶段:初始阶段、性能改善阶段、飞速发展阶段和高技术融合阶段。

1) 初始阶段

汽车电气的初始阶段一般是指 1965 年以前。在这个阶段伴随着一个个发明创造,不断有新的电气产品被应用于汽车。例如:

1800 年亚历山大·沃尔塔(Alessandro Volta)发明的蓄电池。

1830 年汉弗莱·大卫(Humphery Davy)发现的断路点火器。

1851 年伦科夫(Ruhmkorff)制造的电磁感应线圈。

1860 年勒诺(Lenoir)制作了第一个火花塞。

1886 年戴姆勒(Daimler)利用四轮马车制造的第一台四轮汽车。

1888 年艾尔顿(Ayrton)制造的第一台试验电动汽车。

1895 年埃米尔·莫尔斯(Emile Mors)制造出由传动机构驱动直流发动机为蓄电池充电的装置。

1897 年博世(Bosch)和西莫斯(Simm)发明用磁电机为发动机点火。

1902 年博世(Bosch)制造出了高压磁电机。

1905 年米勒·里斯(Miller Reese)发明电喇叭。

1908 年汽车照明被首次应用。

1921 年首次在汽车上安装收音机。

1930 年蓄电池点火取代磁电机点火。

1931 年史密斯(Smiths)发明了电磁燃油表。

1939 年首次安装了自动点火提前装置。

1939 年汽车电路首次开始采用熔断器盒。

1951 年博世(Bosch)开发了燃油喷射系统。

1955 年钥匙起动成为汽车起动标准模式。

1958 年第一个集成电路问世。

1960 年开始交流发电机取代直流发电机。

1963 年电子闪光器问世。

1965 年开始开发汽车制动防抱死装置(ABS)。

1965 年开始重新采用负搭铁系统。

这段时间的汽车电气设备主要是为了完善各个系统、装置的基本功能,还构不成体系,多数还属于汽车附属功能。主导汽车性能的还主要是发动机、变速器的机械装置,除发电机、点火系统外,其它还属于补充功能。

2) 性能改善阶段

这段时间一般是指 1965—1975 年,汽车电器产品逐渐影响整个汽车的各项性能指标,但汽车的电气产品还多属于分立元件和部分小规模集成 IC。

1967 年博世(Bosch)公司开始正式生产燃油喷射系统发动机。

1967 年诞生电子车速表。

1970 年交流发电机开始批量取代直流发电机。

1974 年第一套无触点电子点火装置诞生使用。

这是电子工业发展初期的结果,大量的还不算怎么成熟的电子过渡产品被汽车所采用,使汽车各个装置的性能不断完善。

3) 飞速发展阶段

这一阶段一般指 1975—1985 年。伴随着电子技术的发展和计算机在汽车上的广泛应用,这一阶段出现了多个专业独立系统,功能非常先进,性能极为可靠,技术也更为成熟,如电子控制燃油喷射、电子控制点火系统、防抱死自动装置等。

1976 年氧传感器问世。

1980 年首批四轮驱动汽车进入市场。

1981 年宝马(BMW)开始采用车载计算机技术。

1981 年 ABS 技术被普通车辆普遍采用。

随着大量石油被开发,几十年和平的世界环境及经济的高速发展,汽车已经不是发达国家或富人独享的产品,开始逐渐走进普通国家的千家万户。

4) 高技术融合阶段

这个阶段主要开发完成了各种功能的综合系统,通过车辆整体的智能微机控制系统,实现发动机点火时刻、空燃比、怠速转速、废气再循环、自动变速器、制动防抱死、自动巡航、自动防碰撞、变道警示、自动泊车、无人驾驶、故障自动报警、多功能显示仪表以及各种安全提示等功能。这些都极大地提高了汽车动力性、经济性、安全性,并且对汽车的舒适性、操纵稳定性、通过性、平顺性有质的提升,同时使废气排放污染也大大降低。

目前,汽车电气设备自动化和智能化程度的高低已经成为衡量一个国家制造业的重要指标。

3. 汽车传感与检测技术

汽车传感器担负着信息的采集和传输任务,因此,要想完成对发动机点火时刻、空燃比、自动防碰撞等诸多尖端技术的控制,不仅需要电子控制单元快速处理信息数据的能力,而且及时、高效地获取正确信息也显得极为重要。

20 世纪 60 年代半导体微缩化技术的发展,使得小小的传感器有着巨大的感知能力。

20 世纪 80 年代热敏、光敏、压敏、磁致伸缩等新一代高速、灵敏半导体传感器不断发明、发现,薄膜技术、厚膜技术、陶瓷技术等这些特殊用途的新材料、新技术广泛应用,批量生产、功能改进和高可靠性让这些新产品不仅性能先进,而且价格低廉,使我们检测温度、压力、位置、转速变得更加简单、快捷。

现在,传感器在许多方面表现突出,它们小小的尺寸开创了力学、光学、电磁学等检测技术的新领域。可以相信,传感和检测技术的提升对汽车进一步智能化发展会提供了积极的因素。

4. 汽车的未来

未来的汽车应该是什么样子?

多数的制造商还在对当前的技术不断改进,智能电子控制技术将会被应用到汽车的更多

领域,电气系统将会有更多的变化。为了进一步发展远程信息处理,使汽车能够采用更多的信控系统,已经沿用了 100 多年的全车 12 V 电压工作体系将部分被 42 V 工作电压所取代;在没有完全实现自动驾驶之前,通过数码摄像机监视驾驶员的眼睛,防止开车打瞌睡会很快被利用;全集成、高速率的卫星宽带通信系统将满足我们长途旅行兼顾办公和娱乐的需要;磁致空气悬架也将不是高级大型客车的专利,会应用于普通的家庭汽车;电动汽车的蓄电池一次充电可以行使几百千米,甚至更远;汽车从零加速到 96 km/h 的时间会低于 6 s;坐上汽车后,智能座椅调节系统会认出其主人,自动调节好供其使用;温度调节、按摩等设施会在适当的时间自动进行;开车迷路将是不可能的事情,只要发出指令,汽车会在 10 min 之内原路返回;最终无人驾驶的汽车会带着人类徜徉在这缤纷绚丽的世界……

项目 1 汽车电学基础

学习目标

掌握电学主要基本物理量、定义、定律的名称及其含义。

掌握汽车主要基本电气元件及其电路图标识别、检查方法。

掌握基本电路的结构、规律、工作原理。

了解汽车电路的识别规则。

随着越来越多先进的电子技术、计算机技术和信息技术应用于汽车领域,汽车的整体技术含量迅速提高,可以说现代的汽车已经进入了智能控制时代。

因此,要想成为汽车后市场人,必须学好汽车电气知识,而要想掌握汽车电气的工作原理与检测,学习好汽车电学是非常必要的。

本章主要讲解学习汽车电器所必要的一些基础知识。

1.1 电工、电子学

学习汽车电器时经常会用到电压、电流、功率等物理量,它们一般是时间的函数。本节介绍在汽车电器中常见的一些物理量以及和它们有关的概念。

1.1.1 电路的基本物理量

1. 电路的组成

电路是电流的通路,为了实现某种功能,各种电气设备、器件按照一定的规律,相互连接构成了电路。

整体完整的电路由电源、负载和中间环节三部分组成。其中,中间环节最为复杂,它不仅包括导线、开关、熔断丝,还包括为实现负载的需求所设置的其它电气元件。

2. 电流

带电粒子在导体内的定向移动就形成了电流。用电流强度来表示电流的强弱,电流强度简称电流,定义为单位时间内通过导体截面的电荷量,用 i 表示。

根据定义有

$$i = dq/dt \quad (1-1)$$

式中, dq 为在 dt 时间内通过导体截面的电量。单位是安培,用 A 表示。

通常规定正电荷的移动方向为电流方向。

当电流的大小和方向不随时间而变化时,称为直流电流,用 DC 表示。而随时间变化的电流称为交流,用 AC 表示。式(1-1)在直流时,应写为

$$I=Q/t \quad (1-2)$$

各种用电设备都有一个额定值,例如额定电流,还有下面要学到的电压、功率等。一般将其标在铭牌上或写在说明书中。

额定值是制造厂为了使产品能在给定的工作条件下正常运行而规定的允许值。在使用时应该特别注意,一般不应超过这些额定值,以免损坏设备或元器件。

额定电流是指允许长时间通过电气设备的最大工作电流。

3. 电压

电荷在电场力的作用下在电路中运动,电场力对电荷做了功。我们把电场力移动正电荷所做的功称为电压。如果电场力将电荷由 A 点移动到 B 点,那么两点的电压可表示为 u_{AB} ,即

$$u_{AB} = d\tau_{AB}/dq \quad (1-3)$$

式中, $d\tau_{AB}$ 表示电场力将电荷 dq 的正电荷移动时所做的功。电压的单位为伏特,用 V 来表示。式(1-3)在直流时,应写为

$$U_{AB} = W_{AB}/Q \quad (1-4)$$

额定电压是指为了限制设备绝缘材料所承受的电压和限制其电流,对施加在电气设备上的电压规定的限定值。

4. 电位

在电路中任选某一点作为参考点,则该电路中另外一点相对于这个参考点之间的电压就称为这一点的电位。例如,电路中 A 点的电位就用 u_A 来表示,单位伏特,与电压相同,也用 V 表示。参考点一般用 O 表示,因电路参考点一般选电位为零的点,故参考点也称零电位点,根据定义则有

$$u_A = u_{AO} \quad (1-5)$$

5. 电平

电平是指电路中两点或几点在相同阻抗下电量的相对比值,即电量水平,这里的电量是指电功率、电压、电流。

电平常常应用于逻辑电路,要了解逻辑电平的内容,首先要知道以下几个概念的含义:

(1)输入高电压(V_{ih}):保证逻辑门的输入为高电平时所允许的最小输入高电平,当输入电平高于 V_{ih} 时,则认为输入电平为高电平。

(2)输入低电压(V_{il}):保证逻辑门的输入为低电平时所允许的最大输入低电平,当输入电平低于 V_{il} 时,则认为输入电平为低电平。

(3)输出高电压(V_{oh}):保证逻辑门的输出为高电平时的输出电平的最小值,逻辑门的输出为高电平时的电平值都必须大于此 V_{oh} 。

(4)输出低电压(V_{ol}):保证逻辑门的输出为低电平时的输出电平的最大值,逻辑门的输出为低电平时的电平值都必须小于此 V_{ol} 。

(5)阈值电平电压(V_t):数字电路芯片都存在一个阈值电压,就是电路刚刚勉强能翻转动作时的电平。它是一个介于输入高电压和输入低电压之间的电压值,对于 CMOS 电路的阈值电平电压,基本上是二分之一的电源电压值,但要保证稳定的输出,则必须要求输出高电压 $>$ 输入高电压,输出低电压 $<$ 输入低电压。如果输入电压在阈值上下,也就是 $V_{il} \sim V_{ih}$ 这个区

域,电路的输出会处于不稳定状态。

6. 电动势

我们知道,正电荷在电场力的作用下,通过导体从高电位向低电位移动,如图 1-1 所示。这样,电极 a 因正电荷的减少电位逐渐下降,电极 b 因正电荷的增多而电位逐渐增高,其结果是 a、b 两电极之间的电位差逐渐减小到零。与此同时,连接导体中的电流也相应地减小到零。

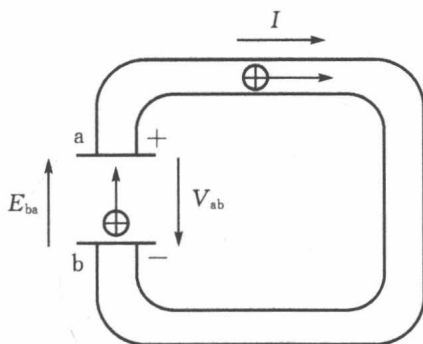


图 1-1 电荷回路

为了维护电流不断地在导体中流通,并保持恒定,则必须使 a、b 之间的电压保持恒定,也就是要使电极 b 上所增加的正电荷回到电极 a。但是,由于电场力的作用,电极 b 上的正电荷不能逆电场而上,因此必须要有另一种力能克服电场力而使电极 b 上的正电荷流向电极 a。电源就能产生这种力,我们称它为电源力。我们用电动势这个物理量来衡量电源力对电荷所做的功。

电动势在数值上等于电源力把单位正电荷从电源的低电位端 b 经电源内部移到高电位端 a 所做的功。

7. 功率及功率因数

大家都知道,直流电路的功率等于电流与电压的乘积,即 $P=VI$,但在交流电路则不然。在计算交流电路的平均功率时,还要考虑电压与电流之间的相位差 φ 。即

$$P=VI\cos\varphi \quad (1-6)$$

式中的 $\cos\varphi$ 称为功率因数。因此,当电压和电流之间有相位差时,功率因数会小于 1,电路中会发生能量互换,出现了无功功率 $Q=VI\sin\varphi$ 。

额定功率等于额定电压和额定电流的乘积。

1.1.2 磁路的基本物理量

1. 磁感应强度

磁感应强度也叫磁通密度,常用 B 来表示,是表示磁场内某点的磁场强弱和方向的物理量,它是一个矢量。它与产生磁场的电流之间的方向关系可用右手螺旋定则来确定,其大小可用下面公式来计算。

$$B=\frac{F}{LI} \quad (1-7)$$

如果磁场内各点的磁感应强度的大小相等,方向相同,这样的磁场则称为均匀磁场。

2. 磁通量

磁通量又称磁通或磁通密度,是表示通过某一截面磁力线数量多少的物理量,用 Φ 来表示。其物理意义是:磁感应强度 B (如果不是均匀磁场,则取 B 的平均值)与垂直于磁场方向的面积 S 的乘积即为通过该面积的磁通量。磁通的单位是伏·秒,通常称为韦伯(Wb),简称韦。

$$\Phi = BS \quad (1-8)$$

3. 磁场强度

磁场强度 H 是在作磁场计算时所引用的一个物理量,也是一个矢量,通过它来确定磁场与电流之间的关系。即

$$\oint \mathbf{H} \cdot d\mathbf{l} = \sum I \quad (1-9)$$

式(1-9)是安培环路定律的数学表示式,它是计算磁路的基本公式。式中的 $\oint \mathbf{H} \cdot d\mathbf{l}$ 是磁场矢量 $\mathbf{H}$ 沿任意闭合回线 l 的线积分, $\sum I$ 是穿过该闭合回线所围面积的电流的代数和。其电流的正负是这样规定的:任意选定一个闭合回线的围绕方向,凡是电流的方向与闭合回线围绕方向之间符合右手螺旋定则的电流为正,反之为负。

4. 磁导率

磁导率 μ 是一个用来表示磁场媒质磁性的物理量,也就是衡量物质导磁能力的物理量。它与磁场强度的乘积就等于磁感应强度,即

$$B = \mu H \quad (1-10)$$

1.1.3 电工、电子学的基本定律

1.1.3.1 欧姆定律

电阻元件电流和电压的方向总是一致的,它的电流和电压的大小成代数关系。

电流和电压的大小成正比的电阻元件叫线性电阻元件。元件的电流与电压的关系曲线叫做元件的伏安特性曲线。

线性电阻元件的伏安特性为通过坐标原点的直线,这个关系称为欧姆定律。

在电流和电压的关联参考方向下,线性电阻元件的伏安特性如图 1-2 所示,欧姆定律的表达式为

$$U = IR \quad (1-11)$$

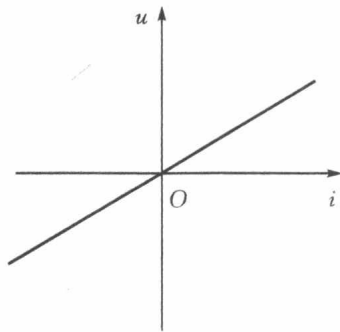


图 1-2 伏安特性曲线

1.1.3.2 基尔霍夫定律

基尔霍夫定律包括电流定律和电压定律,它是阐明集总电路中流入和流出节点的各电流间以及沿回路的各段电压间的约束关系的定律。

1. 基尔霍夫电流定律(KCL)

在集总电路中,任何时刻,对任一节点,所有流出(流入)节点的支路电流代数和恒等于零。就参考方向而言,流出节点的电流在式中取正号,流入节点的电流取负号。即对任一节点,有

$$\sum i = 0$$

KCL 也可以表述为:流出节点的支路电流等于流入该节点的支路电流,即

$$\sum i_{\text{出}} = \sum i_{\text{入}}$$

基尔霍夫电流定律不仅适用于电路中任意节点,而且还可以推广应用于电路中任何一个假定的闭合面——广义节点,它是电流连续性和电荷守恒定律在电路中的体现。

2. 基尔霍夫电压定律(KVL)

在集总电路中,任何时刻,沿着任一回路,所有支路电压的代数和恒等于零。就参考方向而言,电压的参考方向与回路的绕行方向相同时,该电压在式中取正号,否则取负号。即对任一闭合回路,有

$$\sum u = 0$$

基尔霍夫电压定律不仅适用于电路中任一闭合的回路,而且还可以推广应用于任何一个假想闭合的一段电路,它是电位单值性和能量守恒定律在电路中的体现。

1.1.3.3 磁路的欧姆定律

考虑到磁路和电路在分析思路上基本一致,所以在分析磁路时,可以将全电流定律应用到磁路中来。

在磁路中,通过磁路的磁通与磁动势成正比,而与磁路的磁阻成反比。即磁路中的磁通 Φ 等于作用在该磁路上的磁动势 F 与磁路的磁阻 R_m 的比值,这就是磁路的欧姆定律。这个定义可以表示为

$$\Phi = F / R_m \quad (1-12)$$

其中: Φ ——磁通量,单位为韦伯;

F ——磁动势,单位为安培匝;

R_m ——磁阻,单位为安培匝每韦伯,或匝数每亨利。

磁通量总是形成一个闭合回路,但路径与周围物质的磁阻有关,它总是集中于磁阻最小的路径。空气和真空的磁阻较大,而容易磁化的物质,例如软铁,则磁阻较低。

因为铁磁物质的磁阻 R_m 不是常数,它会随励磁电流 I 的改变而改变,因而通常不能用磁路的欧姆定律直接计算,但可以用于定性分析很多磁路问题。

1.1.3.4 楞次定律

楞次定律表述为:感应电流的磁场总是要阻碍引起感应电流的磁场的磁通量的变化。其中,感应电流的方向可以用安培定则(右手螺旋定则)来判断。

1.1.3.5 安培定则(右手螺旋定则)

安培定则表述为:伸开右手让姆指跟其余四指垂直,并且都跟手掌在同一平面内,让磁感

线垂直从手心进入,拇指指向导体运动方向,其余四指的方向就是感应电流的方向。

1.1.4 电路的基本元件

1.1.4.1 电阻

1. 电阻的概念

电阻是能耗元件,从电源获取的电能量全部转化为热能。电阻通常用 R 来表示,单位是欧姆,简称欧,用 Ω 来表示,电阻使用级别是以功率来区分的。

若电阻与电流、电压是线性关系,称为线性电阻,如通常使用的电阻器。若电阻和电压、电流不是线性关系,则称为非线性电阻,如电子电路中常用的二极管就是一个非线性电阻。

2. 固定电阻的分类

如图 1-3 所示,常用固定电阻按材料可分为十几种,一般主要可分为碳膜电阻,电路符号为 T;金属氧化膜电阻,电路符号为 J;绕线电阻,电路符号为 X;压敏电阻,电路符号为 M;光敏电阻,电路符号为 C;热敏电阻,电路符号为 R。

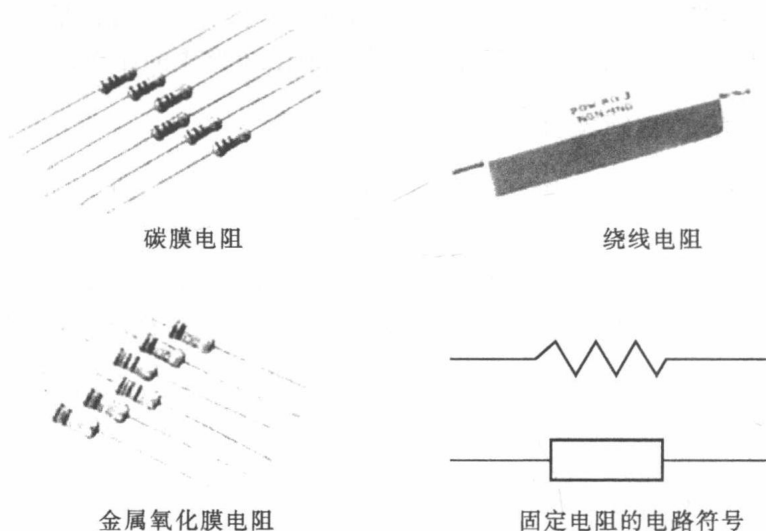


图 1-3 各种电阻及符号

碳膜电阻是最常见的固定电阻,它利用碳的导电性制成,电阻内部的碳越少,阻值就越大,所以经常被用作限流电阻。通常碳膜固定电阻电路级别为 $0.125 \sim 2.0 \text{ W}$ 之间。

金属氧化膜电阻有较好的热稳定性,电路级别为 2.0 W 或更高。

绕线电阻可以在更高的电路级别上使用。

压敏电阻、光敏电阻和热敏电阻是伴随半导体的出现而研制的新型电阻,非常适用于制作各类传感器。

3. 固定电阻阻值的识别

如图 1-4 所示,固定电阻阻值可以通过其外表面的色带识读。根据色带的不同颜色,第一、二条色带表示数值,第三条色带表示倍乘数,第四条色带(一般第四条色带与前面的色带的

间隔较远)表示误差允许值。例如,第一条色带为绿色代表“5”,第二条色带为红色代表“2”,第三条色带为灰色代表“倍乘数为“8”,第四条色带(间隔带)为银色代表误差为“10%”,则该电阻的阻值为 $52 \times 10^8 \Omega \pm 10\%$ 。色带颜色所表示的内容如表 1-1 所示。

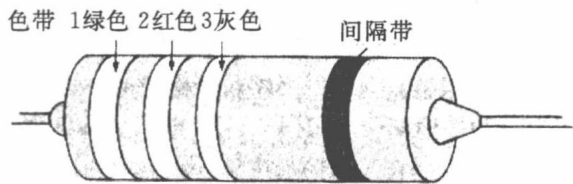


图 1-4 色环电阻的识别

表 1-1 色带颜色所表示的内容

色名	第一条色带数字	第二条色带数字	第三条色带倍乘数	第四条色带允许误差值
黑色	0	0	10^0	—
棕色	1	1	10^1	$\pm 1\%$
红色	2	2	10^2	$\pm 2\%$
橙色	3	3	10^3	—
黄色	4	4	10^4	—
绿色	5	5	10^5	0.5%
青色	6	6	10^6	—
紫色	7	7	10^7	—
灰色	8	8	10^8	—
白色	9	9	10^9	—
金色	—	—	10^{-1}	$\pm 5\%$
银色	—	—	10^{-2}	$\pm 10\%$
—	—	—	—	$\pm 20\%$

1.1.4.2 电感

我们把用导线绕制的线圈称为电感线圈或电感器。

电感线圈能把电能转化为磁场能,这个磁场能的物理量叫做电感,用 L 来表示,单位为亨利,简称为亨,用 H 来表示。

为了增大电感量,有的线圈中装有铁芯,称为铁芯线圈。铁芯线圈是非线性的,且有铁芯损耗,如图 1-5 所示。

电感器的主要物理量是额定电流和电感量。当电感线圈中有电流通过时,将在其周围产生电磁场,电磁场的大小与经过线圈的电流、线圈的尺寸、线圈的匝数和线圈的导磁性有关。

电感线圈是一个储能元件。当增加通过电感线圈的电流时,电感线圈将电能转化为磁场能储存起来;当减小通过电感线圈的电流时,电感线圈将磁场能转变成电能送回到电路中去。

如果使用单个电感线圈不能满足要求,可将几个电感线圈串联或并联使用。电感串联