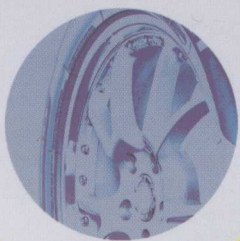


高等职业院校国家技能型紧缺人才培养培训工程规划教材
汽车运用与维修专业

汽车电路分析 及检测

刘甫勇 主编 吕爱华 王怀玲 包科杰 副主编 任成尧 主审



<http://www.phei.com.cn>



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

高等职业院校国家技能型紧缺人才培养培训工程规划教材·汽车运用与维修专业

汽车电路分析及检测

刘甫勇 主编

吕爱华 王怀玲 包科杰 副主编

任成尧 主审

责任编辑：陈国良

封面设计：刘 凡

北京中石油兴印厂

北京中石油兴印厂

北京市通州区张家湾镇173号 邮编：100036

开 本：787×1092 1/16 印张：20.2 字数：254.8千字

印 次：2008年7月第1次印刷

印 数：4000册 定价：35.00元

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书主要介绍了与汽车相关的电工电子基础知识(电路的基础知识、常见电子元件及基本电路)、汽车电路基础知识(汽车电路的形成及发展、组成及特点、汽车电路的基本元件、汽车电路图的识读方法、汽车电路图的读图示例)、汽车电源电路分析、启动电路的分析及检测、电控发动机电路分析及检测、自动变速器电路分析及检测、全自动空调系统电路分析及检测、汽车安全控制系统电路分析及检测、汽车舒适性电控系统的电路分析及检测、汽车电路故障诊断,共十部分的内容,并以大众、丰田、雪铁龙、通用等常见车系电路为基础进行电路分析。全书图文并茂,内容简洁明了,实用性强,对读者掌握汽车电路的识读方法和分析技巧有很好的指导作用。

本书可作为大专院校和各级职业院校汽车及相关专业的教材,也可作为汽车维修技术人员和自学人员的参考书。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

汽车电路分析及检测 / 刘甫勇主编. —北京: 电子工业出版社, 2008.7

高等职业院校国家技能型紧缺人才培养培训工程规划教材·汽车运用与维修专业

ISBN 978-7-121-06493-7

I. 汽… II. 刘… III. 汽车—电路分析—高等学校: 技术学校—教材 IV. U463.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 100438 号

策划编辑: 程超群

责任编辑: 刘 凡

印 刷:

装 订: 北京牛山世兴印刷厂

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×1092 1/16 印张: 20.5 字数: 524.8 千字

印 次: 2008 年 7 月第 1 次印刷

印 数: 4 000 册 定价: 32.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010) 88258888。

前 言

本书是根据教育部等部委确定的“职业院校制造业和现代服务业技能型紧缺人才培养培训工程”的指导思想,从劳动力市场的实际需要出发,坚持“以就业为导向,以培养全面素质为基础,以拓展能力为本位,努力提高学生的职业能力,加强实践”的原则,紧密联系现代汽车新技术的发展,结合当前职业教育的特点进行编写的。

随着汽车新技术的发展,人们对汽车的安全性、可靠性、舒适性、节能和环保的要求越来越高,汽车电子控制技术在汽车上得到了广泛的应用。汽车电器与电子设备经历了从少到多、从简到繁、从辅助到主要的发展过程,已成为汽车不可或缺的重要组成部分,但同时也给汽车维修人员和驾驶员带来了不少困难。很多维修人员和驾驶员由于电路基础知识不够,对汽车电路的特点、规定及表示方法不了解,面对复杂的汽车电路往往束手无策。因此,如何顺利地认识和读懂汽车电路图,对汽车维修人员正确和快速地检修汽车显得尤为重要。

本书在编写过程中,注意体现以下几方面的特点:

- (1) 力求图文并茂,内容讲解深入浅出,教材难度适中,便于读者自学。
- (2) 在内容上,突出基础理论知识的实用性和实践能力的培养。
- (3) 书中选用的车型以轿车为主,着重反映当前汽车的新技术,让读者能学到更多的知识。
- (4) 内容编排模块化,教学时可以根据实际需要进行适当取舍。

本书首先介绍了与汽车相关的电工电子基础知识和汽车电路的基础知识,并举例说明了汽车电路图的识读方法。在读者掌握汽车电路图的识读方法和技巧后,再对汽车各系统电路进行分析,使读者熟悉并真正读懂汽车电路图。本书可作为大专院校和各级职业院校汽车及相关专业的教材,也可作为汽车维修技术人员和自学人员的参考书。

本书由刘甫勇担任主编,吕爱华、王怀玲、包科杰担任副主编。其中,第1章由吕爱华编写,第2章、第9章由刘甫勇编写,第3章、第7章由山西交通职业技术学院的张丽凤编写,第4章、第10章由山西交通职业技术学院的田振芳编写,第5章由平顶山工业技术学院的王怀玲编写,第6章、第8章由包科杰编写。全书由山西交通职业技术学院的任成尧主审。

参与本书编写工作的还有袁幼梅、赵亮、孙莉、陈爱群、孙振勇、雷俊杰、夏炜。本书在资料的收集过程中,得到了方香华、寇德明老师的帮助;在本书初稿文字编排过程中,陈艺、卜文刚、游志平同志做了大量具体的工作;在编写过程中还得到了余晓俊、张斌、张显辉、陈勃、刘建军等同志的大力支持,在此一并向他们表示感谢。

在本书的编写过程中,编者参考了大量相关的书籍资料,从中汲取了许多知识和经验,在此向这些书的作者表示感谢。由于编写时间紧迫,编者水平有限,书中错误在所难免,恳请读者批评指正。

编者
2008年5月

目 录

第1章 汽车电工电子基础知识	(1)
1.1 电路的基础知识	(1)
1.1.1 电路的组成	(1)
1.1.2 电路的基本物理量	(1)
1.1.3 电路的工作状态	(3)
1.1.4 电路中电阻的串联与并联	(4)
1.2 磁场与磁路的基本概念	(5)
1.2.1 磁场与电磁感应	(5)
1.2.2 磁路的概念及基本定律	(7)
1.3 电路中基本元件	(8)
1.3.1 电阻元件的基本特性	(8)
1.3.2 电容元件的基本特性	(9)
1.3.3 电感元件的基本特性	(10)
1.3.4 变压器	(11)
1.3.5 继电器	(12)
1.4 电子元件	(13)
1.4.1 PN 结及其特性	(13)
1.4.2 二极管	(15)
1.4.3 稳压管	(17)
1.4.4 三极管	(18)
1.4.5 晶闸管(可控硅)	(20)
1.4.6 集成电路	(21)
1.5 基本电路单元	(23)
1.5.1 RC 电路单元	(23)
1.5.2 LR 电路单元	(23)
1.5.3 LRC 电路单元	(24)
1.5.4 晶体管开关电路	(24)
1.5.5 脉冲数字电路	(25)
复习思考题1	(29)
第2章 汽车电路基础知识	(31)
2.1 汽车电子技术和电路的形成及发展	(31)
2.1.1 传统汽车电气设备	(31)
2.1.2 现代汽车电气设备	(32)
2.1.3 当前与未来汽车电子技术的发展趋势	(32)
2.2 汽车电路的组成及特点	(35)
2.2.1 汽车整车电路的划分	(35)

2.2.2	汽车电路的基本组成	(36)
2.2.3	汽车电路的特点	(37)
2.3	汽车电路的基本元件	(38)
2.3.1	导线	(38)
2.3.2	接线柱	(41)
2.3.3	导线接头与插接器	(43)
2.3.4	线束	(46)
2.3.5	电路保护器	(46)
2.3.6	开关和继电器	(49)
2.3.7	显示装置	(53)
2.3.8	电子控制单元 (ECU)	(56)
2.3.9	中央控制盒	(57)
2.4	汽车电路图的识读	(57)
2.4.1	汽车电路图的识读方法	(58)
2.4.2	原理框图	(59)
2.4.3	原理图	(60)
2.4.4	接线图	(65)
2.4.5	线束图	(66)
2.5	汽车电路图识读示例	(68)
2.5.1	东风 EQ1091 型汽车电气总线路原理图识读	(69)
2.5.2	大众汽车电路原理图识读	(72)
2.6	汽车电路与网络	(76)
2.6.1	汽车网络技术形成原因	(76)
2.6.2	汽车网络分类	(77)
2.6.3	汽车网络通信介质	(77)
2.6.4	汽车网络的开发与应用	(77)
2.6.5	不同通信协议的互连	(79)
2.6.6	车内网络应用举例	(81)
	复习思考题 2	(84)
第 3 章	汽车电源电路分析	(85)
3.1	汽车电源电路识读	(85)
3.1.1	汽车电源电路的组成	(85)
3.1.2	汽车电源电路的分析	(85)
3.2	常见车型电源电路分析与检测	(85)
3.2.1	硅整流发电机电路	(85)
3.2.2	带充电指示灯继电器的电路	(87)
3.2.3	集成电路图调节器电路	(88)
3.2.4	整体式硅整流发电机电路	(89)
	复习思考题 3	(90)

第4章 启动电路的分析及检测	(91)
4.1 启动电路的识读	(91)
4.1.1 启动电路的组成	(91)
4.1.2 启动开关直接控制式启动电路的分析	(91)
4.1.3 启动继电器控制式启动电路的分析	(92)
4.2 常见车型启动电路的分析与检测	(93)
4.2.1 东风 EQ1090 型汽车启动电路	(93)
4.2.2 上海桑塔纳轿车启动电路	(94)
4.2.3 预热启动电路	(94)
复习思考题 4	(96)
第5章 电控发动机电路分析及检测	(97)
5.1 汽油发动机燃油喷射电路	(97)
5.1.1 汽油发动机燃油喷射的基本电路	(97)
5.1.2 汽油发动机典型燃油喷射系统	(104)
5.2 电控发动机点火系统电路的组成	(106)
5.2.1 有分电器的点火系统电路	(106)
5.2.2 无分电器的点火系统电路	(114)
5.3 电控发动机怠速和进、排气控制电路	(121)
5.3.1 电控发动机怠速控制电路	(121)
5.3.2 电控发动机进气控制电路	(125)
5.3.3 电控发动机废气排放控制电路	(132)
5.4 典型的发动机电控系统实例	(141)
5.4.1 北京切诺基 2.5L、4.0L 发动机控制系统	(141)
5.4.2 日本丰田系列 TCCS 发动机电控系统	(158)
5.4.3 奇瑞 QQ 轿车发动机电控系统电路	(161)
5.4.4 IUZ-FE 型发动机电控系统电路	(163)
5.5 电控发动机控制系统部件检测	(164)
5.5.1 ECU 电源电压的检查	(165)
5.5.2 各传感器和开关信号的电路及检测	(168)
5.5.3 点火系统电路的检测	(177)
5.5.4 燃油供给系统电路的检修	(180)
复习思考题 5	(186)
第6章 自动变速器电路分析及检测	(188)
6.1 自动变速器的组成	(188)
6.1.1 电子控制传统自动变速器 EC-AT	(188)
6.1.2 电子控制无级变速器 CVT	(188)
6.1.3 无级变速器和自动变速器的发展情况	(188)
6.2 自动变速器的基本电路	(189)
6.2.1 换挡杆锁止电路	(189)
6.2.2 变速杆锁止系统	(190)

6.2.3	点火开关联锁机构	(192)
6.2.4	倒车挡报警装置	(193)
6.3	自动变速器典型电路	(194)
6.3.1	电控系统的故障诊断	(194)
6.3.2	电控系统的检修	(195)
	复习思考题 6	(200)
第 7 章	全自动空调系统电路分析及检测	(201)
7.1	全自动空调系统的组成	(201)
7.2	全自动空调系统的基本电路	(201)
7.2.1	送风温度控制电路	(202)
7.2.2	鼓风机转速控制电路	(203)
7.2.3	工作模式控制电路	(204)
7.2.4	进气模式控制电路	(205)
7.3	全自动空调系统的典型电路	(205)
7.3.1	汽车全自动空调各传感器电路及检测	(205)
7.3.2	汽车全自动空调各执行元件电路及检测	(215)
	复习思考题 7	(216)
第 8 章	汽车安全控制系统电路分析及检测	(217)
8.1	照明、仪表与信号电路的分析及检测	(217)
8.2	制动防抱死系统 (ABS) 的电路分析与检测	(230)
8.2.1	线路图	(230)
8.2.2	奥迪 A6 轿车 ABS 系统电气检测	(230)
8.3	汽车驱动防滑控制系统的电路分析与检测	(234)
8.3.1	凌志 LS400ABS/ASR 系统电路图	(234)
8.3.2	凌志 LS400 ASR 系统的电路检测	(236)
8.4	汽车动力转向电路分析与检测	(238)
8.4.1	概述	(238)
8.4.2	电控动力转向系统电控装置的检查实例	(239)
8.5	汽车安全气囊系统的电路分析与检测	(240)
8.5.1	安全气囊概述	(240)
8.5.2	安全气囊系统的检测	(241)
8.6	汽车防盗系统电路分析与检测	(245)
8.6.1	概述	(245)
8.6.2	防盗系统的检修	(247)
	复习思考题 8	(251)
第 9 章	汽车舒适性电控系统的电路分析及检测	(253)
9.1	汽车电动车窗、车顶天窗和后视镜控制电路的分析及检测	(253)
9.1.1	桑塔纳 2000 型轿车的电动车窗电路	(253)
9.1.2	电动天窗电路分析	(255)
9.1.3	电动后视镜电路分析	(257)

9.2	汽车刮水器及洗涤器控制电路的分析及检测	(262)
9.3	汽车电动座椅电路的分析及检测	(265)
9.3.1	电动座椅的主要组成及功用	(265)
9.3.2	电动座椅的控制	(266)
9.3.3	电动座椅的电路故障检测	(267)
9.4	汽车巡航控制系统电路的分析及检测	(269)
9.4.1	巡航控制系统的类型及功能	(269)
9.4.2	巡航控制系统的组成	(270)
9.4.3	巡航控制系统电路及控制过程	(272)
9.4.4	巡航控制系统的使用与检测	(273)
9.5	汽车导航系统电路分析及检测	(278)
9.5.1	汽车导航系统的组成及工作原理	(278)
9.5.2	汽车导航系统基本工作过程	(279)
9.5.3	汽车导航系统的检测	(280)
9.6	汽车电子控制悬架系统电路的分析及检测	(280)
9.6.1	电子控制悬架系统的组成及工作原理	(280)
9.6.2	电子控制悬架的控制组成及过程	(281)
9.6.3	丰田凌志 LS400 轿车的电子控制悬架系统实例	(283)
9.6.4	电子控制悬架系统电路的检查	(286)
	复习思考题 9	(286)
第 10 章	汽车电路故障诊断	(287)
10.1	汽车电路故障诊断方法概述	(287)
10.1.1	汽车电路常见故障	(287)
10.1.2	常用的检测工具	(287)
10.1.3	常用的诊断方法	(291)
10.2	典型车系汽车电路的分析与故障诊断	(292)
10.2.1	大众车系汽车电路图的电路	(292)
10.2.2	雪铁龙车系汽车电路图的电路	(302)
10.2.3	丰田车系汽车电路图的电路	(306)
10.2.4	通用车系汽车电路图的电路	(311)
	复习思考题 10	(316)
	参考文献	(317)

第1章 汽车电工电子基础知识

1.1 电路的基础知识

1.1.1 电路的组成

电路是电流通过的路径。电路是由一些电气设备、电气元件按一定的方式组合起来，构成的电流的通路。图 1-1 (a) 所示为由电池、小灯泡、开关和连接导线构成的一个简单电路。当合上开关时，电池向外输出电流，电流流过小灯泡，小灯泡就会发光。

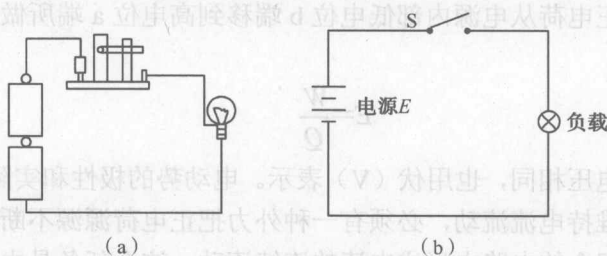


图 1-1 灯泡发光的电路图

电路一般是由电源、负载、中间环节三部分组成的，如图 1-1 (b) 所示。

(1) 电源是提供电能的装置，它把其他形式的能量转换为电能，如干电池、发电机等。

(2) 负载是取用电能的装置，是各种用电设备的总称。它把电能转换为其他形式的能量，如电灯、电炉、电动机等。

(3) 导线、开关等称为中间环节。它是用来传送、分配电能，控制电路的通/断，保护电路安全正常运行。

1.1.2 电路的基本物理量

1. 电流

电荷的定向移动便形成电流，正电荷和负电荷的定向移动都形成电流。在金属导体中，电流是自由电子有规则的定向运动形成的。

电流的大小用电流强度来表示。电流强度简称为“电流”，它等于单位时间内通过某一导体横截面的电荷量。电流分两种，即直流电流和交流电流。电流强度单位是安培，简称安，符号为 A。

2. 电压和电位

电压是电路中两点之间的电位差，它反映了电场力对电荷做功的能力，数值上等于电场力把单位正电荷从电源的正极经外电路移到负极所做的功。其单位是伏特，简称伏，符号为 V。

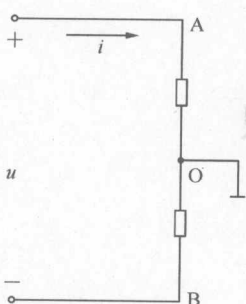


图 1-2 电位的表示

在电路中任选一点为参考点，则某点到参考点的电压就叫做这一点（相对于参考点）的电位。参考点在电路图中用符号“⊥”表示，如图 1-2 所示。在电气设备和汽车中常用大地、机壳及汽车车身作为接地点。电位用符号 V 表示，如 A 点电位记做 V_A ，当选择 O 点为参考点时，则 $V_A = U_{AO}$ 。电路中某一点的电位实质上就是将单位正电荷从电路中的某一点移到参考点时获得或失去的能量大小。

电位与电压的关系：① 电路中某一点的电位等于该点与参考点之间的电压。因此，离开参考点讨论电位是没有意义的。② 参考点选的不同，电路中各点的电位值也不同，但是，任意两点之间的电压是不变的。所以，电路中各点的电位值的大小是相对的，而两点之间的电压值是绝对的。

3. 电动势

非电场力把单位正电荷从电源内部低电位 b 端移到高电位 a 端所做的功，称为电动势，用字母 E 表示

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

电动势的单位与电压相同，也用伏（V）表示。电动势的极性和实际方向是客观存在的。

在电路中，要想维持电流流动，必须有一种外力把正电荷源源不断地从低电位处移到高电位处，才能在整个闭合的电路中形成电流的连续流动，这个任务是由电源来完成的。在电源内部，由于电源力的作用，正电荷从低电位移向高电位。在不同类型的电源中，电源力的来源不同。例如，电池中的电源力是由化学作用产生的；发电机的电源力则是由电磁作用产生的。电源电动势的实际方向由负极指向正极，即由电源的低电位指向高电位，也就是电位升高的方向。

4. 电能与电功率

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

$$W = UIt \quad (1-2)$$

电能的单位是焦耳，简称焦（J）。

电气设备在单位时间内消耗的电能称为电功率，简称功率，用 P 表示，即

$$P = \frac{W}{t} = \frac{UQ}{t} = \frac{UIt}{t} = UI \quad (1-3)$$

电功率的单位是瓦特，简称瓦（W）。

在电工应用中，功率的常用单位是千瓦（kW），电能的常用单位是千瓦时（kW·h），1 千瓦时即为 1 度电。千瓦时与焦耳之间的换算关系是：

$$1 \text{ 度} = 1 \text{ kW} \cdot \text{h} = 1000 \text{ W} \cdot \text{h} = 3.6 \times 10^6 \text{ J}$$

电气设备在给定的工作条件下正常运行的规定最大允许值称为额定值。实际工作时，如果超过额定值工作，会使电气设备使用寿命缩短或损坏；如果小于额定值，则会使电气设备的利用率降低甚至不能正常工作。额定电压、额定电流、额定功率分别用 U_N 、 I_N 、 P_N 来表示。

5. 电阻与欧姆定律

电路中具有阻碍电流通过的作用称为电阻,电阻的单位为欧姆,简称欧(Ω)。电路中流过电阻值 R 的电流值 I 与电阻两端的电压值 U 成正比,这就是欧姆定律,其表达式如下:

$$R = \frac{U}{I} \quad (1-4)$$

1.1.3 电路的工作状态

1. 有载工作状态

在有负载的工作状态下,负载电流的变化将引起端电压的变化。在图 1-3 所示电路中,当开关合上之后,就是电路的有载工作状态。电路中的电流为:

$$I = \frac{U_s}{R_L + R_0} \quad (1-5)$$

当电压源 U_s 和内电阻值 R_0 一定时,由上式可见,负载电阻越小,则电路中的电流越大。

负载电阻两端的电压为

$$U = R_L I = U_s - R_0 I \quad (1-6)$$

2. 开路状态

若图 1-4 所示电路中的开关是断开的,或者电流过大使熔断器熔断等,电路即处于开路状态,又叫做断路状态或空载状态。

开路时,外电路的电阻对电源来说等于无穷大,因此电路中的电流为零。此时负载上的电流、电压、功率都等于零。开路时电源的端电压叫做开路电压,用 U 表示。

由于开路时电流 $I=0$,故开路电压 $U = U_s - IR = U_s$,即开路电压等于电源电压。

3. 短路状态

在正常状态下工作的电路中,如果电路由于绝缘损坏或接线不当或操作不慎等原因,使负载端或电源端造成电源线直接接触或搭接,则形成电路的短路状态。电源和负载都被短路状况如图 1-5 所示。此时,电流不再流经负载,外电路的电阻对电源来讲为零。短路电流为:

$$I_s = \frac{U_s}{R_0} \quad (1-7)$$

由于 R_0 很小,所以短路电流 I_s 很大,一般超过电源的额定电流许多倍,这样大的电流不仅在内阻 R_0 上会产生很大的功率损失,使电源严重发热,而且会产生很大的电磁力使设备发生机械损伤。

短路后,负载上的电压、电流和功率都为零,电源所产生的电能全部被内阻 R_0 所消耗。即

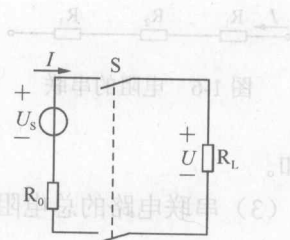


图 1-3 电路的有载工作状态

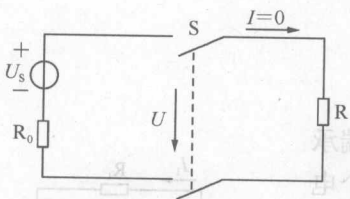


图 1-4 电路的开路状态



图 1-5 电路的短路状态

$$P_s = P_0 = R_0 I_s^2 \quad (1-8)$$

短路通常是一种严重故障，应该尽量防止。为此，电路中一般都要接入熔断器或其他自动保护装置，以便在发生短路时在规定的时限内自动切断故障电路与电源的联系。

1.1.4 电路中电阻的串联与并联

1. 串联电路

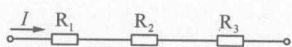


图 1-6 电阻的串联

把电阻一个接一个地首尾依次连接起来，就组成了串联电路，如图 1-6 所示。串联电路的基本特点如下。

(1) 电路中各处的电流强度相等。

(2) 电路两端的总电压等于各部分电路两端的电压之和。

(3) 串联电路的总电阻等于各个电阻之和，即

$$R = R_1 + R_2 + R_3 \quad (1-9)$$

(4) 串联电路的电压分配，串联电路中各个电阻两端的电压与它的阻值成正比，即

$$U_1 = IR_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2 + R_3} U$$

$$U_2 = IR_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2 + R_3} U \quad (1-10)$$

$$U_3 = IR_3 = \frac{R_3}{R_1 + R_2 + R_3} U$$

2. 并联电路

把两个或两个以上电阻接到电路中的两点之间，电阻两端承受的是同一个电压的电路，叫做电阻并联电路。图 1-7 是三个电阻 R_1 、 R_2 、 R_3 组成的并联电路。并联电路的基本特点如下。

(1) 电路中各支路两端的电压相等。

(2) 电路中的总电流强度等于各支路的电流强度之和。

(3) 并联电路的总电阻，即

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \quad (1-11)$$

图 1-7 电阻的并联

这就是说，并联电路总电阻的倒数，等于各个电阻的倒数之和。

(4) 并联电路的电流分配，并联电路中通过各个电阻的电流强度与它的阻值成反比，即

$$\left. \begin{aligned} I_1 &= \frac{U}{R_1} = I \frac{R}{R_1} \\ I_2 &= \frac{U}{R_2} = I \frac{R}{R_2} \\ I_3 &= \frac{U}{R_3} = I \frac{R}{R_3} \end{aligned} \right\} \quad (1-12)$$

1.2 磁场与磁路的基本概念

1.2.1 磁场与电磁感应

1. 磁场

静止不动的带电粒子（电荷）周围存在着电场，电场对静止的电荷有电场力的作用。而运动的电荷周围不仅有电场，还有另一种看不见的物质存在，这种由运动电荷产生的物质叫做磁场，磁场对运动的电荷有力的作用。

2. 电流的磁效应

电流是电荷的运动形成的，因此，电流的周围就有磁场。

(1) 通电导体的磁场

如果把磁场想象成布满沿磁场方向的磁力线，通电导体周围的磁场就是围绕导体的同心圆，磁场的方向可用右手螺旋定则判定，如图 1-8 所示。

(2) 线圈的磁场

线圈的磁场实际上是通电导体弯曲成螺旋状时的另一种形式，磁场的分布形式和方向判定如图 1-9 所示。

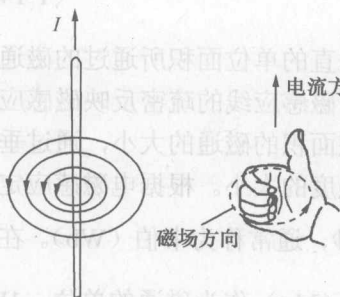


图 1-8 通电直导体周围的磁场

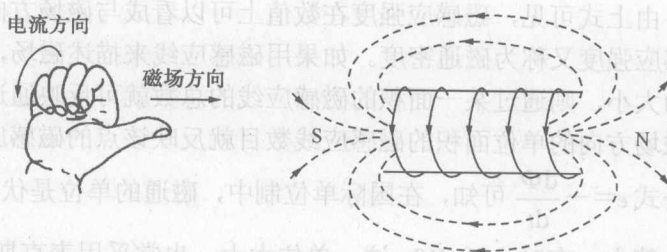


图 1-9 螺旋线圈产生的磁场

3. 磁场的基本物理量

(1) 磁感应强度

磁场的重要特性之一就是磁场对磁场中的载流导体有力的作用（电磁力）。若把长度为 Δl 、电流为 I 的直导体按垂直于磁感应线的方向放入一磁场中，如图 1-10 (a) 所示，则作用于导体上的电磁力 ΔF 与导体中通过的电流 I 以及导体的长度 Δl 成正比。力的方向和磁感应线的方向以及电流的方向垂直，三者的关系可用左手定则来确定，如图 1-10 (b) 所示。若把同一载流导体按垂直于磁感应线的方向放入不同的磁场中或同一磁场的不同位置中，电磁力的大小可能各不相同，而且磁场越强的地方电磁力也越大。可见，电磁力不仅与电流 I 和导体的长度 Δl 成正比，还与导体所在位置的磁场强弱有关。因此，需要引入一个用来描述磁场中各点的磁场强度和方向的物理量，这个物理量称为磁感应强度，用 B 来表示。磁感应强度 B 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。磁感应强度与电流之间的方向关系可用右手螺旋定则来确定，其大小可用公式来衡量。

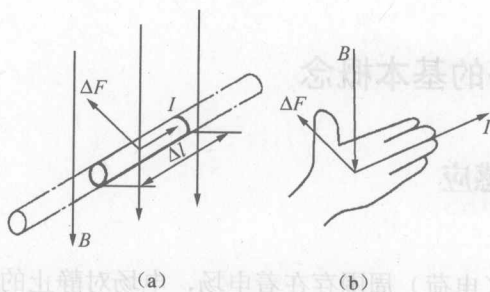


图 1-10 磁场对载流导体的作用力

$$B = \frac{\Delta F}{\Delta l I} \quad (1-13)$$

磁感应强度的单位是特斯拉 (T)。在工程计算中,有时,由于特斯拉单位太大,也常采用高斯 (Gs) 作为磁感应强度的单位,1T 相当于 10^4 Gs。

如果磁场内各点的磁感应强度的大小相等,方向相同,则这样的磁场称为均匀磁场。

(2) 磁通

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,称为通过该面积的磁通 Φ ,即

$$\Phi = BS \text{ 或 } B = \frac{\Phi}{S} \quad (1-14)$$

由上式可见,磁感应强度在数值上可以看成与磁场方向垂直的单位面积所通过的磁通,故感应强度又称为磁通密度。如果用磁感应线来描述磁场,用磁感应线的疏密反映磁感应强度的大小,则通过某一面积的磁感应线的总数就可反映通过该面积的磁通的大小,通过垂直于磁场方向的单位面积的磁感应线数目就反映该点的磁感应强度的大小。根据电磁感应定律的公式 $e = -\frac{d\Phi}{dt}$ 可知,在国际单位制中,磁通的单位是伏·秒,通常称为韦伯 (Wb)。在工程计算中,有时由于 Wb 这一单位太大,也常采用麦克斯韦 (Mx) 作为磁通的单位。1Wb 相当于 10^8 Mx。

(3) 磁导率

各种物质在磁场中表现是不一样的,有的会增强磁场,有的会削弱磁场,这主要与各种物质的导磁性能有关。为了衡量物质的导磁性能,引入了磁导率这个物理量,用符号 μ 表示,它的物理单位是亨/米 (H/m)。

经测定,真空中的磁导率为一个常数,用 μ_0 表示,有

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ (H/m)}$$

自然界中,大多数的物质对磁场强弱影响甚微,有的物质使磁场略比在真空中增强,如空气、锡、铝等;有的物质使磁场略比在真空中减弱,如铜、银、石墨等,它们的磁导率 $\mu \approx \mu_0$ 。而只有铁、镍、钴及其合金,它们的磁导率 μ 很大,能使磁场大为增强,我们将这类物质称为铁磁材料。

铁磁材料的磁导率是真空的几百倍,它能使磁场大大增强,故而通电线圈一般都绕在铁磁材料制成的铁芯外,这样就能以较小的电流产生较强的磁场,使线圈的圈数、体积、重量减小。所以在电气设备中,铁磁材料得到了广泛的应用。

(4) 磁场强度

磁感应强度 B 的计算在实际中往往很难求得,因为它不仅与电流、导体的形状、位置有关,而且还与物质的磁导率有关。为了方便地计算出 B ,我们引入了一个辅助物理量,称为磁场强度,用符号 H 表示。

在电工技术中,用简单的形式来计算出某一区域的磁场强度,而要计算主的磁感应强度 B ,则可用公式来表示:

$$B = \mu H \quad (1-15)$$

式中, μ 为该点处的物质磁导率。

磁场强度也是一个矢量,磁场中某点的磁场强度的方向即为该点的磁感应强度 B 方向。它的物理量单位是 A/m 。磁场强度的引入不仅简化了磁场计算,而且常用来分析铁磁材料的磁化状况。

1.2.2 磁路的概念及基本定律

1. 磁路

磁路就是磁通通过的路径。磁路实质上是局限在一定路径内的磁场。常见的磁路如图 1-11 所示,磁路中的磁通由励磁电流产生,经过铁芯和空气隙而闭合,如图 1-11 (a)、图 1-11 (b) 所示;也可由永久磁铁产生,如图 1-11 (c) 所示。

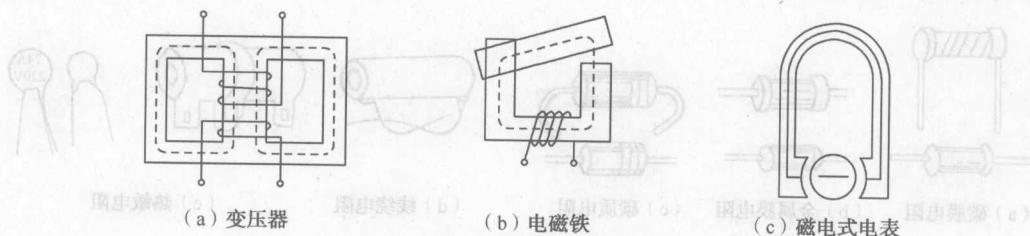


图 1-11 常见电气设备的磁路

2. 磁路欧姆定律

图 1-12 所示为绕有线圈的铁芯,当线圈中通入电流 I 时,在铁芯中就会有磁通 Φ 通过。实验可知,铁芯中的磁通 Φ 与通过线圈的电流 I 、线圈匝数 N 、磁路的截面积 A 及磁导率 μ 成正比,与磁路的长度 l 成反比,即

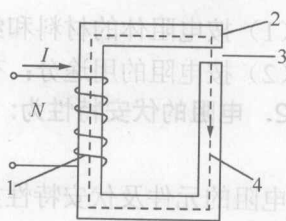
$$\Phi = \frac{INA\mu}{l} = \frac{IN}{\frac{l}{\mu A}} = \frac{F_m}{R_m} \quad (1-16)$$

式 (1-16) 中, $F_m = IN$ 称为磁通势,由此而产生磁通;

$R = \frac{l}{\mu A}$ 称为磁阻,是表示磁路对磁通具有阻碍作用的物理

量。上式可以与电路中的欧姆定律 $\left(I = \frac{U}{R}\right)$ 对应,因而称为磁路欧姆定律。

为了更好地理解磁路及其基本物理量,下面把磁路与电路的有关物理量一一对应,见表 1-1。



1—通电线圈(磁源); 2—铁芯; 3—空气隙;

4—磁路

图 1-12 磁路

表 1-1 磁路与电路有关物理量对照

磁路	电路	磁路	电路
磁通势 F	电动势 E	磁阻 $R_m = \frac{l}{\mu S}$	电阻 $R = \frac{l}{rS}$
磁通 Φ	电流 I	磁导率 μ	导电率 r
磁感应强度 B	电流密度 J	磁通 $\Phi = \frac{F}{R_m}$	电流 $I = \frac{F}{R}$

1.3 电路中基本元件

1.3.1 电阻元件的基本特性

电阻元件对电路中的电流具有阻碍作用，是耗能元件。

电阻器简称电阻，它是电路元件中应用最广泛的一种，其质量的好坏对电路工作的稳定性有极大影响。电阻的主要用途是稳定和调节电路中的电流和电压，在电路中常用作于分流、分压、滤波（与电容组合）、耦合、阻抗匹配、负载等，电阻用 R 符号表示。电阻的外形结构示意图如图 1-13 所示。

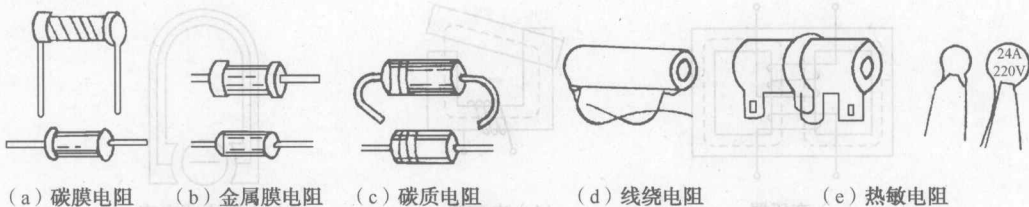


图 1-13 常用固定电阻器外形

1. 电阻的分类

- (1) 按电阻体的材料和结构特征分：有线绕电阻、非线性电阻及敏感电阻。
- (2) 按电阻的用途分：有通用电阻、精密电阻、高阻电阻、高压电阻和高频电阻等。

2. 电阻的伏安特性为：

$$U=IR \tag{1-17}$$

电阻的元件及伏安特性如图 1-14 所示。

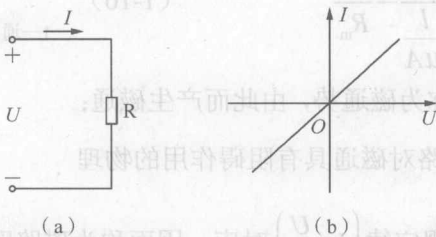


图 1-14 电阻元件及伏安特性

应当指出，式（1-17）适用于电压与电流的参考方向是关联方向，如果是非关联方向，则欧姆定律应写成 $U=-IR$ 。