

汽车电工 实用技术

吴政清 吴文民 主编



金盾出版社
JINDUN CHUBANSHE

汽车电工实用技术

主 编:吴政清 吴文民
副主编:李晓华 孙家豪 李矿理

金盾出版社

内 容 提 要

本书在简要介绍电工电子知识的基础上,系统地介绍了汽车传统电气设备、汽车发动机燃油喷射系统、微机控制点火系统、电控自动变速器、防抱死制动系统、驱动防滑转控制系统、安全气囊系统、电控悬架系统、电控转向系统、巡航控制系统、汽车防盗系统的结构、工作原理、正确使用与维修方法。本书内容实用,针对性强,既可作为汽车维修电工的培训教材,也可供广大汽车维修工和汽车运用工程技术人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

汽车电工实用技术/吴政清,吴文民主编. —北京:金盾出版社,2007.9
ISBN 978-7-5082-4609-3

I. 汽… II. ①吴…②吴… III. 汽车—电工—维修—基本知识 IV. U463.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 089035 号

金盾出版社出版、总发行

北京太平路 5 号(地铁万寿路站往南)

邮政编码:100036 电话:68214039 83219215

传真:68276683 网址:www.jdcbs.cn

封面印刷:北京 2207 工厂

正文印刷:北京大天乐印刷有限公司

装订:东杨庄装订厂

各地新华书店经销

开本:787×1092 1/16 印张:28 字数:828 千字

2007 年 9 月第 1 版第 1 次印刷

印数:1—8000 册 定价:46.00 元

(凡购买金盾出版社的图书,如有缺页、
倒页、脱页者,本社发行部负责调换)

前 言

本书是根据劳动和社会保障部培训就业司颁发的《技工学校汽车专业教学计划与教学大纲》中“汽车电工模块”的要求,由具有多年教学和实践经验的教授编写而成。全书共十九章,在简要介绍汽车电工电子知识的基础上,通俗而全面系统地介绍了汽车传统电气设备(包括蓄电池、交流发电机、起动机、传统点火系统及普通电子点火系统、照明与信号装置、仪表、空调系统、辅助电器)和汽车电子控制装置(包括发动机燃油喷射系统、微机控制点火系统、电控自动变速器、防抱死制动系统、驱动防滑转系统、电控悬架系统、电控转向系统、巡航控制系统、安全气囊系统、汽车防盗系统)的结构、工作原理、正确使用与维修方法。本书图文并茂,内容实用,针对性强,是广大汽车维修电工不可多得的学习教材,既可作为汽车运用工程技术人员工作的重要参考资料,也可供大中专院校和技工学校有关专业在校学生学习参阅。

本书由副教授吴政清、吴文民主编,李晓华、孙家豪、李矿理副主编。书中第一章、第二章由吴文民编写,第三章至第十二章、第十六章至第十九章由吴政清编写,第十三章至第十五章由李矿理、罗俊杰、孙家豪、田边编写。另外,参加编写工作的还有朱宏、刘文鸿、廖祥兵、李俄收、朱会田、黄卫东、王军、吴君辉、吴敏洁、陈兴生、李锐、蒋孝华、杨汉林、杨大柱、孙文芳、周琍、丁磊、朱成敏、陈海涛、成成等专业老师。在编写过程中,参阅了国内外大量的有关著作、论文及资料,在此,谨向为本书编写和出版付出辛勤劳动的同志以及参考文献的作者表示衷心的感谢。由于编者水平所限,书中差错和不当之处在所难免,竭诚欢迎广大读者批评指正。

编 者

2007年1月

目 录

第一章 电工基础知识..... 1	六、TECH2 型故障诊断仪..... 30
第一节 直流电路..... 1	七、431ME 型解码器..... 31
一、电路的组成..... 1	第二章 电子技术基础..... 33
二、电路的状态..... 1	第一节 晶体二极管和整流电路..... 33
三、电路中的基本元件..... 2	一、晶体二极管..... 33
四、欧姆定律..... 3	二、整流电路..... 34
五、电阻的连接..... 3	第二节 稳压管和稳压电路..... 35
六、电源(电池)的连接..... 4	一、稳压管..... 35
七、基尔霍夫定律..... 4	二、稳压电路..... 35
第二节 磁和电磁..... 5	第三节 晶体三极管和放大电路..... 36
一、磁的基本概念..... 5	一、晶体三极管..... 36
二、电流的磁场..... 6	二、晶体三极管放大电路..... 38
三、磁路和磁路欧姆定律..... 6	第四节 集成电路及其应用..... 39
四、电磁力..... 7	一、常用集成电路(IC)的外形结构及分类..... 39
五、电磁铁..... 7	二、集成电路的应用..... 40
六、电磁感应..... 7	三、逻辑门电路..... 43
第三节 交流电路..... 9	第五节 汽车常用电工电子器件的 检测与选用..... 46
一、正弦交流电..... 9	一、电阻器..... 46
二、基本交流电路..... 10	二、电容器..... 48
三、三相交流电..... 11	三、二极管..... 49
四、三相四线制供电..... 12	四、三极管..... 49
五、三相三线制供电..... 12	五、集成电路..... 51
六、负载的星形连接..... 12	六、熔断器..... 52
七、负载的三角形连接..... 13	七、继电器..... 52
八、三相电功率..... 13	八、汽车用 ECU 单板机的结构简介..... 54
第四节 变压器和电动机..... 13	第三章 蓄电池..... 56
一、变压器..... 13	第一节 概述..... 56
二、交流电动机..... 14	一、蓄电池的分类..... 56
三、电动机常用控制器件及控制电路..... 15	二、蓄电池的功用..... 56
四、安全用电常识..... 17	三、对蓄电池的要求..... 56
第五节 汽车电器常用检测设备..... 20	第二节 蓄电池的构造与型号..... 56
一、指针式万用表的正确使用..... 20	一、蓄电池的构造..... 56
二、数字式万用表的正确使用..... 21	二、蓄电池的型号及选用..... 58
三、汽车检修专用数字万用表的正确使用..... 22	第三节 蓄电池的工作原理..... 58
四、前照灯检测仪..... 26	
五、V·A·G1552 型故障测试仪..... 28	

一、蓄电池放电时的电化学反应	58	一、起动系统的组成	90
二、蓄电池充电时的化学反应	59	二、起动机的分类	90
第四节 蓄电池的技术参数	60	三、起动机型号	91
一、静止电动势	60	第二节 直流电动机	92
二、内阻	60	一、直流电动机构造	92
三、蓄电池的容量及其影响因素	60	二、直流电动机工作原理与特性	93
第五节 蓄电池的充电	61	第三节 起动机的传动机构	94
一、充电方法	61	一、传动机构的作用	94
二、充电工艺	62	二、滚柱式单向离合器	94
三、充电注意事项	63	三、摩擦片式单向离合器	95
第六节 干式荷电蓄电池和免维护		四、弹簧式单向离合器	95
蓄电池	63	第四节 起动机的控制装置	96
一、干式荷电蓄电池	63	一、电磁式起动开关	96
二、免维护蓄电池	64	二、起动继电器	96
第七节 蓄电池的使用与常见故障		三、起动系统的工作过程	96
预防	65	四、起动机保护电路	97
一、蓄电池日常使用注意事项	65	第五节 减速式起动机	98
二、蓄电池技术状况的检查	65	一、减速齿轮装置	98
三、蓄电池的常见故障及其预防	67	二、北京切诺基用 12VDW1.4 型减速式	
四、蓄电池储存与保管	68	起动机	99
第四章 交流发电机及其调节器	69	第六节 起动机的使用与检修	100
第一节 交流发电机	69	一、起动机的使用与维护	100
一、交流发电机的构造与型号	69	二、起动机的故障检查	101
二、交流发电机的工作原理	72	三、起动机的检修	101
三、交流发电机的工作特性	73	四、起动机的调整	104
四、其他形式的交流发电机	74	五、起动机检修后的试验	104
第二节 电压调节器	76	第六章 传统点火系统	106
一、电压调节器的功用与工作原理	76	第一节 传统点火系统的组成及工作	
二、晶体管调节器	77	原理	106
三、集成电路(IC)调节器	77	一、传统点火系统的组成	106
第三节 交流发电机及其调节器的使		二、传统点火系统的工作原理	113
用与检修	78	第二节 传统点火系统的工作特性	114
一、交流发电机及调节器的使用注意事项	78	一、工作特性	114
二、交流发电机的维护要点	78	二、影响二次电压的主要因素	115
三、交流发电机的不解体检验	79	第三节 传统点火系统的使用与检修	116
四、交流发电机的解体与检修	79	一、传统点火系统点火正时的检查与调整	116
五、交流发电机的装复与调试	82	二、传统点火系统的维护要点	117
六、无刷交流发电机的总体检验	84	三、传统点火系统的故障诊断与排除	117
七、电子电压调节器的检修	84	四、传统点火系统主要点火装置的检修	119
八、有刷交流发电机充电系统故障诊断		第七章 普通电子点火系统	124
与排除	85	第一节 概述	124
九、常见车型充电系统故障检修方法及		一、普通电子点火系统的特点	124
实例	86	二、普通电子点火系统的种类与结构形式	124
第五章 起动系统	90	第二节 磁感应式电子点火系统	124
第一节 起动系统概述	90	一、磁感应式电子点火系统的组成	124

二、磁感应式分电器	124	一、电流表	156
三、点火控制器	126	二、电压表	156
四、高能点火线圈	128	第二节 油压表	157
第三节 霍尔式电子点火系统	128	一、结构与工作原理	157
一、霍尔效应	128	二、故障检查	158
二、霍尔式电子点火系统的组成	128	第三节 水温表与仪表电源稳压器	158
三、霍尔式电子点火系统的工作情况	133	一、电源稳压器	158
第四节 电子点火系统的使用与检修	134	二、带稳压器的电热式水温表	159
一、电子点火系统使用注意事项	134	三、水温表的故障检查	159
二、电子点火系统主要装置的检修	135	第四节 燃油表	159
第八章 照明与灯光信号装置	139	一、双金属式燃油表的构造与工作原理	159
第一节 汽车灯具的种类与用途	139	二、燃油表的故障检查	160
一、照明设备	139	第五节 车速里程表和发动机转速表	160
二、灯光信号装置	139	一、车速里程表	160
第二节 前照灯	140	二、发动机转速表	161
一、前照灯的照明要求	140	第六节 电子仪表装置	161
二、前照灯光学系统的结构和工作原理	141	一、电子显示器件	161
三、防止炫目的措施	141	二、汽车电子仪表	163
四、前照灯的形状、类型	142	三、汽车电子仪表装置的故障自诊断	165
五、前照灯的使用注意事项	143	第七节 汽车组合式仪表盘	165
六、前照灯的检验与调整	143	一、普通仪表盘	166
七、前照灯的保养和故障诊断	144	二、电子仪表盘	166
第三节 转向信号闪光灯	145	第十章 汽车空调系统	168
一、闪光灯用途和种类	145	第一节 汽车空调系统的组成与工作原理	168
二、电热丝式闪光灯	145	一、制冷系统	168
三、电容式闪光灯	145	二、制热系统	168
四、电子闪光灯	146	第二节 汽车空调制冷系统部件的结构	169
第四节 灯光电路开关与继电器	147	一、压缩机	169
一、车灯开关	147	二、冷凝器	170
二、灯光继电器	149	三、膨胀阀	171
第五节 警报指示灯系统	150	四、蒸发器	172
一、转向信号指示灯	150	五、储液干燥器	172
二、发电机警报灯(充电指示灯)	150	六、制冷剂、冷冻油	172
三、冷却液温度/液面警报灯	150	第三节 汽车空调控制与空气净化装置	175
四、机油压力警报灯	150	一、电磁离合器	175
五、远光指示灯	151	二、压力开关	176
六、倒车警报器	151	三、控制电路	177
七、制动系统真空度警报装置	152	四、空气净化装置	178
八、制动气压警报装置	152	第四节 汽车空调系统的检修	179
第六节 电喇叭	153	一、检修设备	179
一、电喇叭结构与工作原理	153	二、制冷剂的充放	182
二、电喇叭故障诊断与排除	154	三、汽车空调系统主要部件的检修	186
第九章 电气仪表	156		
第一节 电流表和电压表	156		

第五节 汽车空调系统的使用与故障	
诊断排除	189
一、汽车空调系统的正确使用	189
二、汽车空调系统的常规检查	189
三、汽车空调系统的故障诊断与排除	190
四、桑塔纳 2000 系列轿车空调系统的检修	191
第十一章 其他电气设备	198
第一节 晶体管电动燃油泵	198
一、构造和工作原理	198
二、使用注意事项	199
第二节 电动刮水器	199
一、构造和工作原理	199
二、间歇式电动刮水器	200
三、后刮水器	201
四、电动刮水器的保养	201
五、电动刮水器故障诊断与排除	201
第三节 洗涤器与后窗除霜器	202
一、洗涤器的构造和工作原理	202
二、风窗除霜(雾)装置	202
第四节 柴油发动机起动预热装置	202
一、电热式预热器	202
二、热胀式电火焰预热器	203
三、电磁式火焰预热器	203
四、电网式预热器	204
第五节 其他辅助电器	204
一、电动车窗	204
二、电动座椅	206
三、电动后视镜	209
四、汽车防盗系统	211
第十二章 汽车电气设备总电路	216
第一节 导线、电源总开关与保险装置	216
一、导线	216
二、电源总开关	217
三、熔断器	218
四、中央配电器(熔丝盒)	218
第二节 识读汽车电路图	220
一、汽车电路特点	220
二、汽车电路分析	221
第三节 全车电气设备总电路实例	222
一、东风 EQ1090E 型汽车电路布线图	222
二、东风 EQ1090E 型汽车电线束图	224
三、东风 EQ1090E 型汽车电路原理图	224
四、桑塔纳 2000 型轿车整车电路图的识读	225
第十三章 汽车发动机电子控制系统	236
第一节 汽油发动机电子控制系统的组成与类型	236
一、汽油发动机电子控制系统的组成	236
二、电子控制汽油喷射系统的类型	239
第二节 汽油发动机电控系统传感器	240
一、空气流量传感器	240
二、曲轴与凸轮轴位置传感器	241
三、压力传感器	245
四、节气门位置传感器	246
五、温度传感器	248
六、氧传感器	249
七、爆燃传感器	250
第三节 汽油发动机电控系统执行器	252
一、电动汽油泵及其控制电路	252
二、汽油分配管和油压调节器	255
三、电磁喷油器	256
四、怠速控制阀	257
第四节 汽油喷射系统的控制过程	260
一、燃油喷射控制原理	260
二、喷油器的控制	261
三、喷油正时的控制	261
四、发动机起动时喷油量的控制	262
五、发动机起动后喷油量的控制	263
六、发动机断油控制	263
七、发动机怠速控制	264
八、发动机空燃比反馈控制	266
第五节 微机控制点火系统	267
一、微机控制点火系统的控制功能	267
二、微机控制点火系统的组成	267
三、微机控制点火系统的工作过程	269
第六节 发动机电子控制系统故障诊断与检修	273
一、发动机电子控制系统故障诊断检修程序与方法	273
二、发动机电子控制系统故障征兆表	274
三、故障诊断仪(或阅读器)的正确使用	274
四、发动机不能起动	285
五、发动机起动困难	286
六、发动机怠速不良	286
七、发动机加速不良	289
八、发动机动力不足	289

九、发动机油耗过大	289	六、液压试验	355
第七节 发动机电子控制系统检修	290	七、故障自诊断	357
一、发动机电子控制系统电路故障 的检修	290	第六节 电控自动变速器的检修	365
二、供油系统的检修	292	一、液力变矩器的检修	365
三、传感器的检修	293	二、齿轮变速器的检修	366
四、执行器的检修	299	三、油泵的检修	366
五、微机控制点火系统的检修	304	四、电子控制系统的检修	367
第八节 柴油发动机电控燃油喷射 系统	308	五、电控自动变速器常见故障诊断 与排除	370
一、柴油发动机电控燃油喷射系统的 类型	308	第十五章 防滑控制系统(ABS/ASR)	377
二、电控共轨蓄压式燃油喷射系统 (EDC-CR)的结构	308	第一节 防抱死制动系统(ABS)	377
三、博世 MS6.3 共轨蓄压式燃油喷射系统 控制电路	317	一、ABS 系统的基本组成与工作原理	377
四、博世 MS6.3 共轨蓄压式燃油喷射系统 故障诊断与检修	319	二、ABS 系统的结构	378
第十四章 电子控制自动变速器	324	三、ABS 系统的工作原理	382
第一节 电子控制自动变速器的组成 与分类	324	第二节 ABS 系统的检修	383
一、电子控制自动变速器的组成	324	一、ABS 系统的拆装	383
二、电子控制自动变速器的动力传递与控 制过程	325	二、ABS 系统的检修	385
三、自动变速器的分类	325	三、ABS 系统的故障诊断	386
第二节 锁止式液力变矩器	327	第三节 驱动防滑系统(ASR)	389
一、锁止式液力变矩器的结构	327	一、ASR 系统的组成	390
二、锁止式液力变矩器的工作情况	327	二、防止驱动轮滑转的控制方法	390
第三节 行星齿轮机构	328	三、ASR 系统的工作原理	391
一、行星齿轮机构的结构特点	328	第十六章 电子控制悬架系统	393
二、行星齿轮机构的变速原理	329	第一节 电子控制悬架系统概述	393
三、行星齿轮机构的组合类型	332	一、电子控制悬架系统的功用	393
四、换挡执行机构	333	二、电子控制悬架系统的类型	393
五、行星齿轮机构换挡原理	335	第二节 电子控制悬架系统的结构和 工作原理	393
第四节 电控自动变速器的控制 系统	336	一、电子控制悬架系统的组成	393
一、液压控制系统	336	二、电子控制悬架系统传感器	394
二、电子控制系统	341	三、悬架电子控制器(ECU)	396
第五节 电控自动变速器的基本检查 与性能测试	349	四、电子控制悬架系统执行元件	396
一、基本检查	349	第三节 电子控制悬架系统的检修	398
二、道路试验	351	一、丰田凌志 LS400 型轿车电控悬架系统 组成	398
三、失速试验	353	二、系统故障诊断	402
四、时滞试验	354	第十七章 电子控制动力转向系统	405
五、手动换挡试验	355	第一节 电子控制动力转向系统组 成及工作原理	405
		一、液压式电子控制动力转向系统	405
		二、电动式电子控制动力转向系统	409
		第二节 电子控制动力转向系统故障 诊断	411
		一、凌志 LS400 型轿车液压式动力转向系	

统的故障诊断	411
二、三菱米尼卡牌轿车电子控制的电动式 动力转向系统的故障诊断	412
三、液压式动力转向系统转向油的更换与 空气的排除方法	412
第十八章 巡航控制系统	414
第一节 巡航控制系统的组成	414
一、巡航执行元件	415
二、操作开关	416
三、巡航电子控制器(ECU)	416
四、巡航控制系统恒速原理	417
第二节 巡航控制系统主要部件的 检修	417
一、安全电磁离合器的检修	417
二、伺服电动机的检修	418
三、控制臂位置传感器的检修	418
四、停车灯开关的检查	418
五、巡航控制系统的故障自诊断	418
第十九章 安全气囊系统	421

第一节 安全气囊的组成及工作 过程	421
一、安全气囊系统的类型	421
二、安全气囊系统的基本组成	421
三、安全气囊系统的工作原理	422
四、安全气囊系统的动作过程	422
五、安全气囊系统的有效范围及减速度 阈值的设定	422
第二节 SRS 气囊系统的主要组件	423
一、碰撞传感器	423
二、安全气囊 ECU	424
三、SRS 气囊组件	424
第三节 安全气囊系统的故障诊断 与检修	426
一、安全气囊系统检修注意事项	426
二、凌志 LS400 型轿车安全气囊系统的 检测诊断	427
三、各种情形下气囊的处理	429
附录 汽车电路图形符号	431

第一章 电工基础知识

第一节 直流电路

一、电路的组成

电路就是电流经过的路径。一个完整的电路一般由电源、负载(即用电设备)、连接导线和电气辅助设备等组成,如图 1-1 所示。其中电源用电源电动势 E 及其内阻 R_0 串联表示。负载用电阻 R 表示。

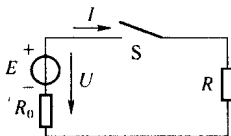


图 1-1 电路示意图

电源是提供电能的装置;它把其他形式的能量转换成电能。如汽车上所用的电源是发电机和蓄电池,它们分别把机械能和化学能转换成为电能。

负载是取用电能的装置。如汽车上的照明灯、起动机,它们分别把电能转换成为光能、机械能。

电气辅助设备包括开关、熔断器等;连接导线是连接电源和负载的部分,它们起传输、控制和分配电能的作用。

二、电路的状态

1. 通路

当开关 S 闭合,电路中电流由电源的正极经过电气设备流回到电源负极,电流构成了回路,这种状态叫做通路,如图 1-2 所示。

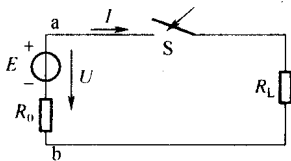


图 1-2 电路的有载工作状态

在通路状态电源的端电压 U 低于电源的电动势 E ,即: $U = E - IR_0$,电路中的电流为

$$I = \frac{E}{R_L + R_0}$$

各种电气设备的电压、电流和功率都有一个额定值。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正常允许值。在使用时应特别注意一般不应超过这些额定值,以免损坏元器件或设备。

额定电压指的是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。

额定电流是指允许长时间通过电气设备的最大工作电流,以保证电气设备的使用寿命。

额定功率等于额定电压和额定电流的乘积。

由于使用中受到外界的影响,如电源电压经常波动,可能低于或高于其额定电压,则电气设备的电压、电流和功率的实际值不一定等于它们的额定值。

2. 开路

将电路中的开关 S 断开或电路发生断线,电路中没有电流通过,这种状态叫开路(也叫断路),如图 1-3 所示。

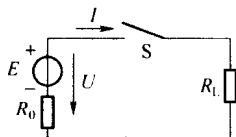


图 1-3 电路的开路状态

开路时,电源两端的电压(称为开路电压或空载电压) U 等于电源的电动势。即:

$$\begin{cases} I = 0 \\ U = E \\ P = 0 \end{cases}$$

3. 短路

若电流不经过电气设备,而是经由电源一端直接流回到电源另外一端,致使电路中电流(称为短路电流 I_s)很大,这种状态叫做短路,如图 1-4

所示。

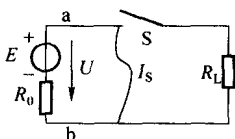


图 1-4 电路的短路状态

此时

$$\begin{cases} I = I_s = \frac{E}{R_0} \\ U = 0 \\ P_E = \Delta P = I^2 R_0 \\ P = 0 \end{cases}$$

例如某汽车蓄电池的电动势 $E = 12\text{V}$, 内阻 $R_0 = 0.01\Omega$, 当某种原因引起蓄电池短路时的电流是

$$I = I_s = \frac{E}{R_0} = \frac{12}{0.01} = 1200\text{A}$$

由此可见, 电源短路时的电流很大, 将会损坏电源, 且易引起火灾, 使用中应尽量避免。为了防止电路短路引起的后果, 通常在电路中串联熔断器或自动断路器。

三、电路中的基本元件

电路中常用的元件有电阻元件、电感元件和电容元件, 也就是通常所说的电阻器、电感器和电容器, 分别用 R 、 L 和 C 表示, 如图 1-5 所示。

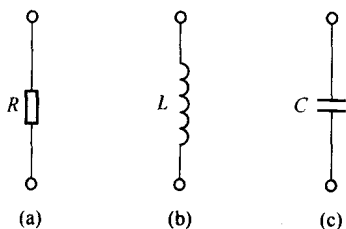


图 1-5 电阻、电感和电容元件

(a) 电阻元件 (b) 电感元件 (c) 电容元件

1. 电阻

电阻是耗能元件, 从电源吸收的电能量全部转化为热能。若电阻元件的电压和电流间的关系是线性的, 则称为线性电阻, 如通常使用的电阻器。若电阻元件的电压和电流间不是线性关系, 则称为非线性电阻, 如电子电路中常用的晶体二极管就是一个非线性电阻。电阻的单位为欧姆, 简称

欧, 用 Ω 表示。另外辅助单位有千欧 ($\text{k}\Omega$) 和兆欧 ($\text{M}\Omega$)。它们的关系是

$$1\text{k}\Omega = 1000\Omega$$

$$1\text{M}\Omega = 1000\text{k}\Omega$$

2. 电感

电感器是指用导线绕制成的线圈。简称为电感, 用 L 表示。单位为亨利, 简称亨, 用 H 表示。另外辅助单位有毫亨 (mH) 和微亨 (μH)。它们的关系是

$$1\text{H} = 1000\text{mH}$$

$$1\text{mH} = 1000\mu\text{H}$$

为了增大电感量, 有的线圈含有铁芯, 称为铁芯线圈。这种线圈是非线性的, 而且有铁芯损耗。

电感器的主要参数是额定电流和电感量。例如某 LG4 型电感器, 其最大直流工作电流为 150mA , 电感量的标称值为 820mH 。

当电感线圈有电流通过时, 将在其周围产生磁场。若经过线圈的电流变化引起磁场变化时, 就在线圈中产生感应电动势 e_L 。线圈的电感与线圈的尺寸、匝数及线圈的导磁性能等有关。

电感元件是一个储能(磁场能量)元件。当通过电感线圈中的电流增加时, 电感线圈将电能转变成磁场能储存在线圈中, 而当电流减小时, 磁场能转变成电能送回到电路中。若忽略其电阻, 则不消耗能量。在直流电路中, 由于电流恒定, 产生的磁场也不发生变化, 则线圈中不产生感应电动势, 故电感 L 在直流电路中相当于短路(线圈电阻很小)。

若在使用中单个电感线圈不能满足要求时, 可将几个电感线圈串联或并联使用, 其等效电感为

$$\text{两个电感串联时 } L = L_1 + L_2$$

$$\text{两个电感并联时}$$

$$\frac{1}{L} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2}$$

3. 电容

电容元件简称为电容, 用 C 表示。当电容两端加电压 u 时, 它的极板上储存有电荷量 q 。当电容两端的电压 u 随时间变化时, 极板上储存的电荷量 q 也随之变化, 就会有电流 i 通过电容。

电容器极板上储存的电量 q 与其极板上的电压 u 成正比, 即

$$q = uC$$

式中, C ——电容器的电容量, 是一个与电荷

量 q 和电压 u 无关的常数,单位为法拉,简称法(F),由于法拉这个单位太大,常用微法(μF)、皮法(pF)作单位。它们的关系是:

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

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

电容 C 的容量与极板的尺寸、介质的介电常数等有关。

通过电容 C 的电流 i 与其端电压 u 的变化率成正比。当电容元件两端的电压是恒定电压时,通过电容元件的电流 i 等于零,所以电容元件对直流电路来说相当于开路,电容器不能通过直流电。在直流电路中,电容器只在电路开关接通或断开时才有电流通过,即充电和放电,其充电和放电的快慢与电容量和电路中的电阻有关,通常称为时间常数,用 τ 表示, $\tau = RC$, 单位为秒(s),式中电阻单位是 Ω , 电容的单位是 F。

与电感元件相类似,电容元件也不消耗电源的能量,是一个储能(电场能量)元件,即将电能变成电场能量储存在电容器极板之间。当电容两端的电压 u 减小时,储存的电场能量将释放出来送还给电源(即电容器的充电和放电)。若将电容 C 接在直流电路中,由于电容两端的电压不变化,则没有电流通过,即电容不能通过直流电,在直流电路中相当于开路。

在实际使用中,如果仅用单个电容器不能满足要求时,可以将几个电容元件串联或并联使用。

电容并联使用时的等效电容为

$$C = C_1 + C_2$$

电容串联时的等效电容为

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

四、欧姆定律

实验证明,通过导体电流 I 的大小与加在导体两端的电压 U 成正比,与导体的电阻 R 成反比,这个关系称为欧姆定律,用公式表示为

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

若考虑电源的电动势 E 和内阻 R_0 ,则电路中的电流

$$I = \frac{E}{R + R_0}$$

五、电阻的连接

在电路中,电阻的连接形式是多种多样的,常

用的有串联和并联。

1. 电阻的串联

将几个电阻依次相连接,各个电阻通过的电流相等,这种连接方法称为电阻的串联,如图 1-6 所示。

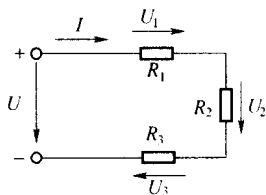


图 1-6 电阻的串联

电阻串联电路具有下面一些特点:

- (1) 串联电路中流过每个电阻的电流都相等。
- (2) 电路两端的总电压 U 等于各电阻两端的电压之和,即 $U = U_1 + U_2 + U_3$ 。
- (3) 串联电路的等效电阻(即总电阻 R)等于各串联电阻之和,即 $R = R_1 + R_2 + R_3$ 。
- (4) 在串联电路中,各电阻上分配的电压与各电阻值成正比。

在电路中,若电源的电压比负载的额定电压高时,可 adopt 电阻串联的方法进行分压。有时为了限制某些器件中通过的电流不至于过大,通常采用串接限流电阻的办法解决;如果需要改变电路中的电压和电流,也可在电路中串联一个变阻器调节。

2. 电阻的并联

将几个电阻并列连接在电路两端,各个电阻承受的电压相等,这种连接方式称为电阻的并联,如图 1-7 所示。

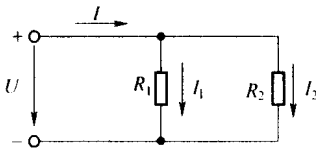


图 1-7 电阻的并联

电阻并联电路具有下面一些特点:

- (1) 并联电路中各支路两端的电压相等,且等于电路两端的电压 U 。
- (2) 并联电路中的总电流等于各支路电阻的电流之和,即 $I = I_1 + I_2$ 。
- (3) 并联电路的等效电阻(即总电阻)的倒数,等于各并联电阻的倒数之和,即 $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$ 。

(4)在电阻并联电路中,各支路分配的电流与支路的电阻值成反比。

电阻的并联应用很广泛。一般负载都是并联的,承受的电压相等,各个支路的工作彼此不受影响。

实际应用中,电阻的连接方式既有串联,又有并联,称之为混联或复联。分析这类电路时,要根据电路的具体结构,运用电阻的串、并联关系简化电路。

六、电源(电池)的连接

1. 电源的串联

把几个电池的正、负极依次串联起来,使电流只有一个通路,这样的连接方法叫做电源的串联,如图 1-8 所示。

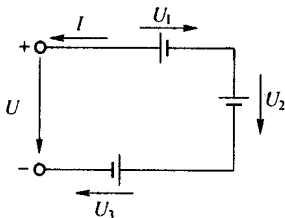


图 1-8 电源的串联

电源串联电路的特点是：

(1)通过各个电池的电流相等。

(2)总电压等于各个电池电压之和。 $U = U_1 + U_2 + U_3$ 。

(3)总电源内阻等于各个电池内阻之和。 $R_0 = R_{01} + R_{02} + R_{03}$ 。

2. 电源的并联

把几个电池的正极分别与正极连接,负极与负极连接起来,最后从正极和负极引出接线,这样的连接方法叫做电源的并联,如图 1-9 所示。

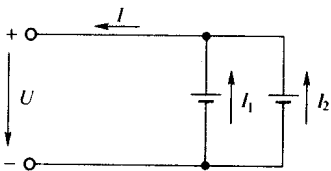


图 1-9 电源的并联

电源并联的特点是：

(1)总电流等于各个电池电流之和。

$$I = I_1 + I_2$$

(2)总电压与各个并联电池的电压相等。

(3)总电源内阻的倒数等于各个电池内阻的倒数之和。

$$\frac{1}{R_0} = \frac{1}{R_{01}} + \frac{1}{R_{02}}$$

注意:各个并联电池的电压应相等。如果电压不相等则不能并联。

3. 电源的混联

把几个电池分别串联成电压相等的几个分路,然后再将各分路并联起来,这种既有串联又有并联的连接方法叫做电源的混联,如图 1-10 所示。

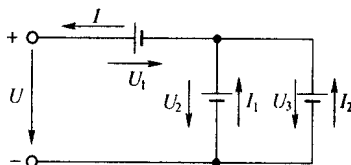


图 1-10 电源的混联

因为这种连接是由电源串联和并联组合而成的,所以它具有电源串联、并联时的特点。例如,电源的总电压等于各分路上的电压,各分路上的电压等于各单个电池电压之和,电源总电流等于各分路电流之和。

在实际应用中,当需要电源供给较高的电压和较大的电流时,可采用这种混联的方法。

七、基尔霍夫定律

基尔霍夫定律包含两部分内容,即基尔霍夫电流定律,简称 KCL,又称节点电流定律,适用于节点;基尔霍夫电压定律,简称 KVL,又称回路电压定律,适用于回路。基尔霍夫定律和欧姆定律一样都是分析和计算电路的基本定律。特别是在复杂电路中常用基尔霍夫定律来分析和计算。在介绍基尔霍夫定律之前,先介绍有关复杂电路的几个名词。

支路:电路中含有电路元件的每一个分支称为支路。一条支路流过同一个电流,称为支路电流。

在如图 1-11 所示电路中共有三条支路。支路电流分别用 I_1 、 I_2 和 I_3 表示,方向如图所示。在支路 acb 和 adb 支路中含有电源,称为有源支路;而 ab 支路中只含有电阻,没有电源,称为无源支路。

节点:电路中三条或三条以上的支路的连接

点称为节点。在图 1-11 中共有两个节点(节点 a 和节点 b)。

回路:电路中任一闭合路径称为回路。在图 1-11 所示电路中共有三个回路(adba、abca 和 abda)。

网孔:在电路中,如果回路没有包围与之相连的另外的支路,这样的回路称为网孔。在图 1-11 所示的电路中,有两个网孔(acba 和 adba)。因回路 acbda 含有支路 ab,故不是网孔。

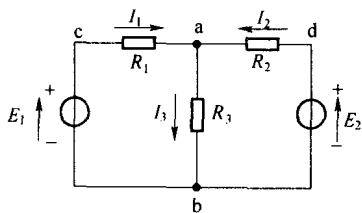


图 1-11 电路举例

1. 基尔霍夫电流定律

基尔霍夫电流定律是用来确定连接在电路中任一节点上的各支路电流间关系的。其内容是:在任一瞬时,通过任一节点的电流的代数和恒等于零。即

$$\sum I = 0$$

上式规定流入节点的电流为正,流出节点的电流为负。

在图 1-11 所示电路中的节点 a,根据 KCL 可以得出

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0 \quad \text{或} \quad I_1 + I_2 = I_3$$

即在任一瞬时,流入某一节点的电流之和必等于流出该节点的电流之和。

利用基尔霍夫电流定律列写节点电流方程时,必须首先确定每个支路电流的方向。如果某一支路电流方向未知时,可任意假设其方向;若计算结果为正值,说明假设方向与实际方向相同。

2. 基尔霍夫电压定律

基尔霍夫电压定律是用来确定回路中各段电压间关系的。其内容是:在任一瞬间,电路中任一回路绕行一周,各段电压的代数和等于零。即

$$\sum U = 0$$

在应用上式列回路电压方程时,必须确定各部分电压的正负号;通常规定当各部分电压的参考方向与绕行方向一致时取正号,反之,取负号。

在图 1-11 所示的电路中,各段电压的参考方向已在图中标出,根据 KVL,可列出以下回路电

压方程。

$$\text{回路 abca: } I_1 R_1 + I_3 R_3 - E_1 = 0$$

$$\text{回路 adba: } E_2 - I_2 R_2 - I_3 R_3 = 0$$

第二节 磁和电磁

在电机、变压器、电磁铁等电工设备中,既有电路,也有磁路,而且电路与磁路是密切相关的,故需研究磁路以及电路与磁路的关系。

一、磁的基本概念

1. 磁场

通过实验表明,在永久磁铁或载流导体的周围存在着磁场。磁场具有方向性,若将一小磁针放在磁场中,则小磁针的北(N)极所指的方向即为磁场的方向。

通常用磁力线来形象地描绘磁场。磁力线是闭合的曲线,它的切线方向即为该点的磁场方向。磁场的强弱用磁力线的疏密程度来表示。

2. 磁场的基本物理量

(1) 磁感应强度(B)和磁通(Φ)

磁感应强度 B 的大小等于同磁力线方向垂直、载有单位电流、单位长度的直导体在该点所受的电磁力。即

$$B = \frac{F}{Il}$$

磁感应强度 B 的方向即为磁场中各点的磁场方向。单位为特斯拉,简称特,用 T 表示。通常将磁场中各点的磁感应强度相同的磁场称为匀强磁场,在匀强磁场中,垂直通过某一面积 S 的磁力线数称为磁通 Φ。在数值上等于 B 与和 B 垂直的面积 S 的乘积。即

$$\Phi = BS$$

磁通的单位为韦伯,简称韦,用 Wb 表示。

可见,磁感应强度 B 即为垂直穿过某一面积 S 的磁力线。磁感应强度又称为磁通密度。

(2) 磁导率(μ)

磁导率 μ 用来衡量物质的导磁性能。单位为亨/米(H/m)。

真空的磁导率 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ (H/m)}$,为一常数。而任一物质的磁导率 μ 和真空的磁导率 μ_0 的比值,称为该物质的相对磁导率 μ_r :

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0}$$

钢、铁、钴、镍及其合金的磁导率很大,能使磁场大大增强,称为铁磁物质。如电机、变压器和电磁铁线圈中的铁芯是用铁磁物质制成的,以增强磁场。

磁场中某一点磁感应强度 B 与磁导率 μ 的比值称为该点的磁场强度 (H),其单位为安/米 (A/m)。

$$H = \frac{B}{\mu}$$

3. 磁化曲线

磁场强度 H 与磁感应强度 B 的关系可用磁化过程的磁化曲线来表示,如图 1-12 所示。

磁化是指原来呈中性状态的磁性物质得到磁性的过程。磁化开始时,磁感应强度 B 从 0 随磁场强度 H 的增加而增加,当 B 达到一定程度时, H 再增加, B 基本上不再增加,如图 1-12 所示。这种现象称为磁饱和。可见磁化曲线上各点的 μ 不是一个常数,它随 H 而变,即铁磁材料的磁导率是非线性的。当 H 由 0 增加至某一值 ($+H_m$) 后,若减小 H , B 也随之减小,但 B 并不沿原来的曲线返回,当 H 减小至 0 时, $B = B_r$,称为剩磁感应强度,简称剩磁。只有当 H 反方向变化到 $-H_c$ 时, B 才降至 0, H_c 称为矫顽力。可见, B 的变化滞后于 H 的变化,这种现象称为磁滞现象。即铁磁材料具有磁滞性。

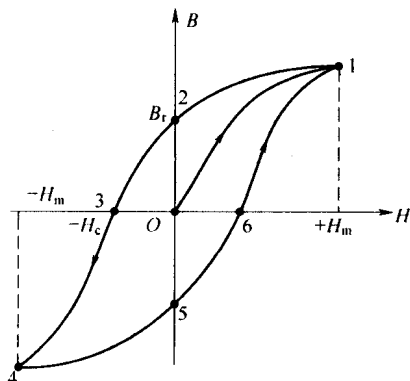


图 1-12 磁化曲线

若继续增大反向 H 达 $-H_m$ 时,再减小 H 至 0,并逐渐使 H 正向增加至 $+H_m$,如此进行反复磁化,得到一条如图 1-12 所示的闭合曲线,称为磁滞回线。不同的铁磁材料,其磁滞回线也不同。如纯铁、硅钢等材料的磁滞回线较狭窄,剩磁感应强度 B_r 低,矫顽力较小,称为软磁材料,常用来做电机和变压器的铁芯。而碳钢、稀土、铝镍钴等材

料的磁滞回线较宽,具有较高的剩磁感应强度和较大的矫顽力,称为硬磁材料或永磁材料,用来制造永久磁铁。

磁滞现象使铁磁材料在交变磁化过程中产生磁滞损耗和涡流损耗,称为铁损耗,它使铁芯发热,使交流发电机和变压器等损耗增加,效率降低。通常采用片状的硅钢片叠成,以减小铁损耗,如图 1-13 所示。

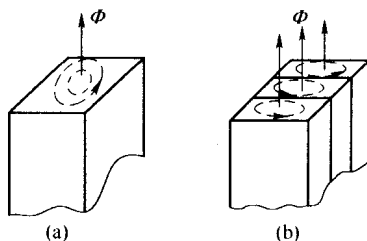


图 1-13 减少铁损耗的方法

(a) 整体铁芯的铁损耗 (b) 硅钢片叠成以减小铁损耗

二、电流的磁场

通常将载流导体产生磁场的现象称为电流的磁效应。磁场的强弱与电流和线圈的匝数成正比;磁场的方向与电流和线圈的绕向有关,可用右手螺旋定则确定。其方法是:

(1) 对于通电直导线,用右手握住导线,拇指指向通电电流方向,则弯曲的四指所指的方向即表示磁场的方向,如图 1-14 所示。

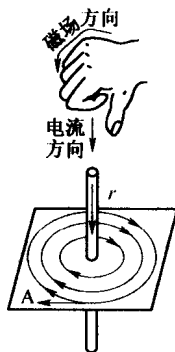


图 1-14 通电直导线产生的磁场

(2) 对于通电线圈,用右手握住线圈,将弯曲的四指指向通电电流的方向,则拇指的指向即为磁场的方向,如图 1-15 所示。

三、磁路和磁路欧姆定律

1. 磁路

在变压器、电机和电磁铁中常用铁磁材料做

铁芯,将磁力线约束在一定的闭合路径上,而把磁力线通过的闭合路径称为磁路。如图 1-16 所示。

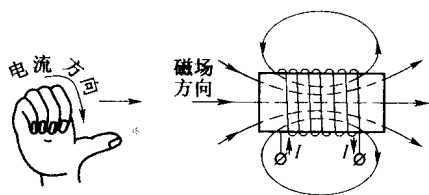


图 1-15 通电线圈产生的磁场

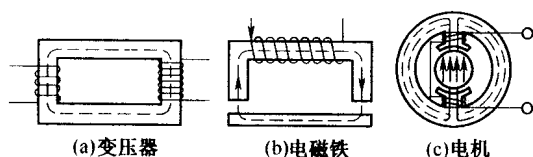


图 1-16 磁路

磁路经过铁芯(即磁路的主要部分)、空气隙(有时磁路没有空气隙)而闭合。通常将通过铁芯的磁通量称为主磁通,而通过铁芯外的磁通量称为漏磁通。一般漏磁通远小于主磁通,故常忽略不计。

2. 磁路的欧姆定律

磁路中的磁通量 Φ 与磁通势 NI (线圈的匝数和电流的乘积)成正比,与磁阻 R_m 成反比,如图 1-17 所示,这一关系与电路中的欧姆定律在形式上相近,通常称为磁路的欧姆定律。可用下式表示

$$\Phi = \frac{NI}{R_m}$$

磁阻 R_m 的大小与磁路的材料和几何尺寸有关,其计算公式为

$$R_m = \frac{L}{\mu S}$$

式中 L ——磁路的平均长度(m);
 S ——磁路的截面面积(m^2);
 μ ——该种磁路材料的磁导率。

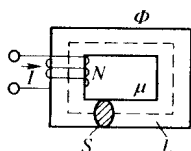


图 1-17 磁路欧姆定律

四、电磁力

磁场对载流导体的作用力即为电磁力,其大小为

$$F = BIl \sin \alpha$$

式中 B ——磁感应强度(T);

I ——通过导体的电流(A);

l ——通电导体的有效长度(m);

α ——通电导体与磁感应强度 B 方向间的夹角(弧度 rad 或度)。

电磁力的方向用左手定则判定。其方法是,伸开左手,使四指与拇指在一个平面内垂直,让磁力线穿过手心,四指指向电流的方向,则拇指的指向即为电磁力的方向,如图 1-18 所示。

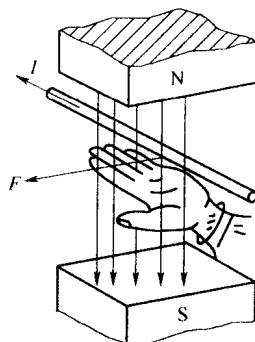


图 1-18 左手定则

载流导体在电磁力的作用下会发生运动,电动机就是利用这一原理工作的。左手定则又称为电动机定则。

五、电磁铁

电磁铁是利用铁芯线圈通电后产生的吸引力使衔铁动作的一种电器。常用来实现对电路的各种控制和保护。电磁铁衔铁吸力的大小与磁铁的磁性强弱成正比。分为直流和交流两种,在汽车上应用的是直流电磁铁。结构如图 1-19 所示。

六、电磁感应

1. 感应电动势大小和方向

通过实验发现,当导体相对于磁场做切割磁力线运动时,在导体中就会产生感应电动势,这种现象称为电磁感应。

导体中感应电动势的大小与磁感应强度 B 、导体的有效长度 L 及导体切割磁力线运动的速