

21世纪汽车电工

(修订版)

姚国平 舒 华 主编
吕玉明 白雪峰 主审



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

21 世纪汽车电工

(修订版)

姚国平 舒 华 主 编
吕玉明 白雪峰 主 审

 **北京理工大学出版社**

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书以桑塔纳、捷达、奥迪、夏利和丰田等轿车电气与电子控制系统为例,全面系统地介绍了汽车电源系统、启动系统、发动机燃油喷射系统、微机控制点火系统、电子控制自动变速系统、电子控制主动安全系统、电子控制被动安全系统、汽车巡航控制系统、电子控制悬架系统的结构原理、控制过程、零部件检修、故障自诊断测试以及故障诊断与排除方法。

本书可供汽车电工、驾驶员、修理工、管理人员和工程技术人员阅读参考;既可作为汽车维修和管理人员电器与电子控制技术培训教材,也可作为有关院校汽车运用与维修专业大、中专教学的补充教材。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

21 世纪汽车电工/姚国平,舒华主编;吕玉明,白雪峰主审.—2
版.—北京:北京理工大学出版社,2005.8

ISBN 7-81045-695-4

I. 2… II. ①姚…②舒…③吕…④白… III. 汽车—电气设备—
基本知识 IV. U463.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 25867 号

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010)68914775(办公室) 68944990(发行部)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

电子邮箱 / chiefedit@bitpress.com.cn

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京地质印刷厂

开 本 / 787 毫米×1092 毫米 1/16

印 张 / 26.75

字 数 / 625 千字

版 次 / 2005 年 8 月第 2 版 2005 年 8 月第 2 次印刷

印 数 / 6001~11000 册

定 价 / 38.00 元

责任校对 / 张 宏

责任印制 / 吴皓云

图书出现印装质量问题,本社负责调换

本书编委会

主 编：姚国平 舒 华

主 审：吕玉明 白雪峰

副主编：曹海泉 陈 韬

编 委：陈建勤 刘仁森 曹 彬 许玉新

王家林 王 征 徐开启 张晓平

周建平 邵如峰 陈志华 李佑林

黄 毅 庞 宏 邹 乐 刘 磊

张绪鹏 高 斐 赵劲松 刘 凯

訾 辉 张晓军 杨 建 韦明月

修订版前言

《21 世纪汽车电工》一书自 2000 年 7 月出版以来,承蒙广大读者的厚爱,我们感到十分荣幸!为使此书能够适应汽车电器与电子控制技术的发展潮流,满足广大读者学习汽车新技术、新知识的需求,在北京理工大学出版社的大力支持下,我们以“保持原貌,重在更新”为原则,对原书内容进行了修订,主要目的是:压缩总篇幅、增加新知识、补充新内容。主要修订情况如下:

鉴于国产轿车都已采用微机控制点火系统,因此,删除了电子点火系统一章。新增了微机控制点火系统汽车电子控制系统的组成与分类、汽车故障自诊断系统、电子控制制动力分配技术、驱动轮防滑转控制系统、汽车巡航控制系统、电子控制悬架系统等内容。除第一、二章图片外,其余近 400 幅图片采用了计算机描绘。力求做到文字简练、附图清晰、图文并茂。

全书修订为十八章,由军事交通学院姚国平高级工程师与舒华教授主编,吕玉明、白雪峰主审,曹海泉、陈韬任副主编,全体编委提供素材,舒华教授亲自执笔修订。第一、二章介绍汽车电工必备的电工学与电子学基础知识;第三、四章介绍汽车电源系统和启动系统的结构原理、使用维修、故障诊断与排除方法;第五章介绍汽车电子控制系统的组成与分类;第六至十八章介绍发动机燃油喷射系统、微机控制点火系统、电子控制自动变速系统、电子控制主动安全系统、电子控制被动安全系统、汽车巡航控制系统、电子控制悬架系统的组成、分类、结构原理、控制过程、自诊断测试方法以及故障诊断与检修方法。

本书既可作为汽车电工和汽车专业院校汽车运用与修理专业教材,也可供汽车驾驶员、修理工、管理人员和工程技术人员阅读参考。

在编写过程中,得到了湖南长丰集团公司、沈阳军区汽车检测维修中心、南京军区空军汽车修理厂、总参四部基地、大连北凯汽车技术服务有限公司、天津市优耐特汽车电控技术服务有限公司、天津市汽车研究所、天津市太脱拉汽车修理厂、总后军交运输研究所以及军事交通学院图书馆等单位的大力支持,在此一并致谢!

由于编者水平有限,书中不妥或错误之处在所难免,恳请读者批评指正。

作 者

2005 年 4 月于天津

目 录

第一篇 汽车电工必备知识

第一章 电工学知识	1
第一节 电工基本知识	1
第二节 电磁学知识	10
第二章 电子学知识	16
第一节 半导体二极管及其应用	16
第二节 半导体三极管及其应用	27
第三节 发光二极管与数码管	38
第四节 光电二极管与光电耦合器	39
第五节 集成电路及其应用	40
第六节 逻辑门电路	44

第二篇 汽车电气系统使用与维修

第三章 电源系统	49
第一节 蓄电池的结构与原理	49
第二节 蓄电池的容量与选型	53
第三节 蓄电池的使用与检验	58
第四节 交流发电机的结构与工作过程	65
第五节 电子调节器的结构与电压调节过程	74
第六节 新型交流发电机的结构特点	77
第七节 交流发电机的使用与维修	80
第八节 桑塔纳轿车整体式交流发电机的检修	84
第九节 交流发电机与调节器的试验	86
第十节 电源系统故障诊断与排除	89
第四章 启动系统	95
第一节 起动机的分类与型号	95
第二节 启动系统的结构原理	97
第三节 减速起动机的结构原理	105
第四节 启动系统的检修与试验	111
第五节 启动系统的故障诊断与排除	120

第三篇 汽车电子控制系统使用与维修

第五章 汽车电子控制系统的组成与分类	123
第一节 汽车电子控制系统的组成	123
第二节 汽车电子控制系统的分类	127
第六章 发动机燃油喷射系统的组成与分类	131
第一节 发动机燃油喷射系统的组成	131
第二节 发动机燃油喷射系统的分类	134

第七章 燃油喷射系统传感器的结构原理	145
第一节 空气流量传感器	145
第二节 曲轴与凸轮轴位置传感器	154
第三节 节气门位置传感器	165
第四节 压力传感器	167
第五节 温度传感器	170
第六节 氧传感器	173
第七节 开关控制信号	178
第八章 燃油喷射系统执行器的结构原理	181
第一节 电动燃油泵	181
第二节 燃油分配管与油压调节器	183
第三节 电磁喷油器	185
第四节 怠速控制阀	187
第九章 汽车电子控制单元的结构原理	193
第一节 汽车电子控制单元的结构组成	193
第二节 汽车电子控制单元 ECU 的工作流程	197
第十章 燃油喷射系统的控制过程	198
第一节 燃油喷射的控制原理	198
第二节 油喷量的控制	203
第三节 空燃比反馈控制	210
第四节 发动机断油控制	212
第五节 发动机怠速控制	214
第十一章 微机控制点火系统	218
第一节 微机控制点火系统的组成	218
第二节 爆震传感器的结构原理	220
第三节 微机控制点火系统的控制过程	223
第四节 微机控制点火系统高压电的分配方式	227
第五节 发动机爆震的控制过程	230
第十二章 故障自诊断系统	233
第一节 故障自诊断系统的组成与功能	233
第二节 故障自诊断系统的诊断原理	237
第十三章 发动机控制系统故障诊断与检修	241
第一节 故障诊断检修程序与方法	241
第二节 故障自诊断测试方式与内容	243
第三节 故障自诊断测试工具	245
第四节 故障自诊断测试方法	246
第五节 燃油喷射系统传感器的检修	259
第六节 燃油喷射系统执行器的检修	269
第七节 发动机电子控制单元的检修	277
第八节 燃油喷射式发动机供油系统的检修	284
第九节 微机控制点火系统的使用与检修	286
第十四章 电子控制自动变速系统	292
第一节 电子控制自动变速系统的组成	292
第二节 自动变速器的分类	293
第三节 齿轮变速系统的结构原理	296
第四节 液压控制系统的结构原理	306

第五节	电子控制系统的结构原理	319
第六节	电子控制自动变速系统的控制过程	325
第七节	自动变速系统故障诊断与排除	330
第八节	自动变速系统控制部件的检修	335
第十五章	电子控制主动安全系统	339
第一节	防抱死制动的基本原理	339
第二节	防抱死制动系统的组成	341
第三节	防抱死制动系统的分类	343
第四节	防抱死制动电子控制系统	345
第五节	防抱死制动液压控制系统	350
第六节	防抱死制动系统控制过程	355
第七节	电子控制制动力分配技术	358
第八节	驱动轮防滑转的控制原理	360
第九节	防滑转控制系统控制过程	364
第十节	防抱死制动系统故障自诊断测试	366
第十六章	电子控制被动安全系统	372
第一节	安全气囊系统组成与分类	372
第二节	安全气囊系统的控制过程	374
第三节	安全气囊系统的结构特点	376
第四节	安全气囊系统的保险装置	382
第五节	座椅安全带控制系统	386
第十七章	汽车巡航控制系统	388
第一节	汽车巡航控制系统的组成	388
第二节	汽车巡航控制系统的控制原理	389
第三节	汽车巡航控制系统的结构特点	391
第四节	汽车巡航控制系统的控制过程	398
第五节	汽车巡航控制系统故障自诊断测试	401
第十八章	电子控制悬架系统	404
第一节	电子控制悬架系统的组成	404
第二节	电子控制变高度悬架系统	406
第三节	电子控制变刚度悬架系统	408
第四节	电子控制变阻尼悬架系统	409
第五节	变高度变刚度变阻尼悬架系统	413
参考文献		418

第一篇 汽车电工必备知识

第一章 电学知识

第一节 电工基本知识

一、电工常用计算公式

(一) 电流

电荷做定向移动就会形成电流。电学中将正电荷定向移动的方向规定为电流的方向。自然界中只有正、负两种电荷。众所周知,物质是由分子组成。分子由原子组成。原子由原子核和电子组成。原子核由质子和中子组成。电子带负电,称为负电荷或负离子,用“-”号表示;中子不带电;质子带正电,称为正电荷或正离子,用“+”号表示。

电流的大小用电流强度来衡量。在单位时间内通过导体横截面的电荷[量](电量)称为电流强度,简称电流,用 I 表示。电流的单位为安[培],简称安,用 A 表示。

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

式中 q 为电荷[量],库[仑](C); t 为时间(s)。

(二) 电压

电路两端点之间的电势差称为电路两端的电压,也就是电场力将正电荷从一点移到另一点所做的功,用 U 表示,单位为伏[特],用 V 表示。当电场力将 1 C 正电荷从一点移到另一点所做的功为 1 J 时,则该两点间的电压为 1 V 。

$$U = \frac{W}{q} \quad (1-2)$$

式中 W 为功,焦[耳](J); q 为电荷[量](C)。

(三) 电阻

1. 电阻定律

电流在导体中流动时,都要受到一定的阻力。导体对通电表现的阻力称为电阻,用 R 表示,单位为欧[姆],用 Ω 表示。电阻器型号的命名方法及标称值请参考电子元器件手册。实验证明:在温度不变时,导线的电阻与其长度成正比,与其横截面积成反比,这就是电阻定律。

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S} \quad (1-3)$$

式中 l 为导体长度(m); S 为导体的横截面积(m^2); ρ 为导体的电阻率($\Omega \cdot m$)。

常用电器材料在 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时的电阻率如表 1-1 所示。

表 1-1 常用电器材料的电阻率(20℃)

材料名称	电阻率/(Ω·m)	材料名称	电阻率/(Ω·m)
银	1.6×10^{-8}	锰铜(85%铜+3%镍+12%锰)	4.4×10^{-7}
铜	1.7×10^{-8}	康铜(54%铜+46%镍)	5.0×10^{-7}
铝	2.9×10^{-8}	镍铬合金(67.5%镍+15%铬+16%铁+1.5%锰)	1.0×10^{-6}
钨	5.3×10^{-8}	电木	$10^{10} \sim 10^{14}$
铁	1.0×10^{-7}	橡胶	$10^{13} \sim 10^{16}$

2. 电阻与温度的关系

当温度升高时,导体中分子的热运动将加剧,导体的电阻将增大。电阻与温度的关系为

$$R_2 = R_1[1 + \alpha(t_2 - t_1)] \quad (1-4)$$

式中 t_1, t_2 分别为导体的温度(℃); R_1, R_2 分别是温度为 t_1, t_2 时导体的电阻(Ω); α 为导体电阻的温度系数(1/℃)。铜导线的电阻温度系数为0.0043; 康铜导线的电阻温度系数为0.000 002。

3. 超导现象

当温度降低到绝对零度附近时,某些材料的电阻率突然减小到零。这种现象称为超导现象,处于这种超导状态的物体称为超导体。目前我国对超导体的研究已经进入实用阶段。

(四)欧姆定律

1. 部分电路欧姆定律

不含电源的一段电路称为部分电路。1827年德国物理学家欧姆经过实验得出结论:导体中的电流强度 I 与导体两端的电压 U 成正比,与导体的电阻 R 成反比。这就是欧姆定律,用公式表达为

$$I = \frac{U}{R} \quad (1-5)$$

式中 I 为电路的电流(A); U 为导体两端的电压(V); R 为电路的电阻(Ω)。

2. 全电路欧姆定律

含有电源的闭合电路称为全电路,如图 1-1 所示。在闭合电路中,电流 I 与电源的电动势 E 成正比,与电路的总电阻($R + r$)成反比,这就是全电路的欧姆定律。用公式表达为

$$I = \frac{E}{R + r} \quad (1-6)$$

式中 I 为电路的电流(A); E 为电源的电动势(V); R 为电路的电阻(Ω); r 为电源的内阻(Ω)。

3. 全电路欧姆定律的应用

(1) 测量电源的电动势。电源的电动势等于电源没有接入电路时两极间的电压。由式(1-6)可得

$$E = IR + Ir = U + U_i \quad (1-7)$$

式中 U 为外电路的电压,称为路端电压或端电压; U_i 为内电路的电压,称为电源内阻压降或内压降。

当开关 SW 断开时,用电压表测量电源两端的端电压就是

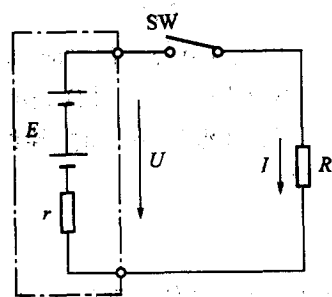


图 1-1 闭合电路

电源的电动势。当然,这时电压表本身构成了外电路,因此测出的端电压并不准确地等于电动势。不过由于电压表的电阻 R 很大,电流 I 很小,内压降 Ir 也很小,因此 U 与 E 相差很小,只要不要求特别精确(如测量汽车蓄电池的电动势),此法测量电动势特别方便。

(2) 测量电源的内阻。在实际工作中,测量电源的内阻是许多电工比较关心的问题。下面以测量蓄电池的内阻为例,说明利用全电路欧姆定律来测量电源内阻的方法。检测电路如图 1-2 所示,电阻 $R_1 = 50 \Omega$, $R_2 = 36 \Omega$ 。开关 S 接通位置 1 时,测得电流为 $I_1 = 239.6 \text{ mA}$;开关 S 接通位置 2 时,测得电流为 $I_2 = 332.6 \text{ mA}$ (注意:检测时必须使用精确的电流表)。根据全电路欧姆定律,可列出方程式

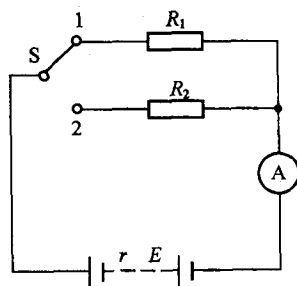


图 1-2 电源内阻检测电路

$$E = I_1 R_1 + I_1 r$$

$$E = I_2 R_2 + I_2 r$$

消去 E 可得电源的内阻

$$r = \frac{I_1 R_1 - I_2 R_2}{I_2 - I_1} = \frac{239.6 \times 50 - 332.6 \times 36}{332.6 - 239.6} = 69 \text{ m}\Omega$$

电源的电动势为

$$E = I_1 R_1 + I_1 r = 239.6 \times 50 + 239.6 \times 0.069 = 12 \text{ V}$$

(五) 焦耳定律

英国物理学家焦耳实验证明:电流通过导体时产生的热量与电流的平方成正比、与导体的电阻和通电时间成正比。这就是焦耳定律,用公式表达为

$$Q = I^2 R t \quad (1-8)$$

式中 Q 为导体发出的热量,焦[耳](J); I 为流过导体的电流(A); R 为导体的电阻(Ω); t 为导体的通电时间(s)。

(六) 电功与电功率

1. 电功

电流使起动机电动机转动、使汽车灯泡发光,表示电流经过负载时做了功。电流所做的功称为电功,用 W 表示,单位为焦[耳](J)。

$$W = qU = qIt = I^2 R t = \frac{U^2}{R} \cdot t \quad (1-9)$$

式中 q 为电量(C); U 为导体两端的电压(V); I 为流过导体的电流(A); R 为导体的电阻(Ω); t 为导体的通电时间(s)。

2. 电功率

单位时间内电流所做的功称为电功率,简称功率,用 P 表示。单位为瓦[特](W)。

$$P = \frac{W}{t} = UI = I^2 R = \frac{U^2}{R} \quad (1-10)$$

常用电功单位为“度”。1 度电表示功率为 1 千瓦(kW)的电器使用 1 小时(h)所消耗的电,即

$$1 \text{ 度} = 1 \text{ 千瓦} \cdot \text{小时} (1 \text{ kW} \cdot \text{h}) = 3.6 \times 10^6 \text{ 焦[耳]} (\text{J})$$

(七) 克希荷夫定律

克希荷夫定律不仅适用于简单电路的计算,而且更适用于复杂电路的计算。其内容有节

点电流定律(称为第一定律)和回路电压定律(称为第二定律)。

1. 第一定律

对于任何一个节点,如图 1-3 中 a 点,所有流入节点的电流之和等于流出该节点的电流之和

$$I_1 + I_2 + I_4 + I_6 = I_3 + I_5 \quad (1-11)$$

即对于任何一个节点,流入或流出该节点电流的代数和恒等于零

$$I_1 + I_2 + I_4 + I_6 - I_3 - I_5 = 0 \quad (1-12)$$

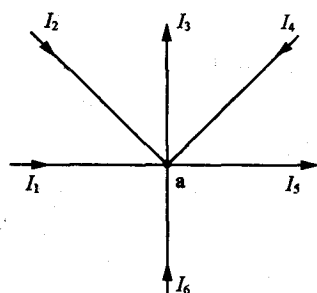


图 1-3 克希荷夫第一定律

2. 第二定律

对于任何一个闭合回路,各段电阻上电压降的代数和等于电动势的代数和。由图 1-4 可得

$$I_1 R_1 + I_2 R_2 + I_3 R_3 = E_1 - E_2 \quad (1-13)$$

即在任何一个闭合回路中,各段电路电压的代数和恒等于零

$$I_1 R_1 + I_2 R_2 + I_3 R_3 - E_1 + E_2 = 0 \quad (1-14)$$

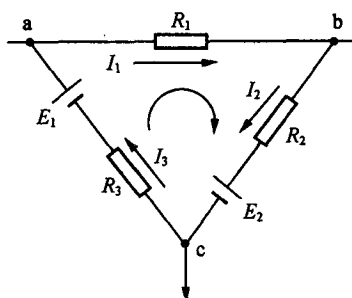


图 1-4 克希荷夫第二定律

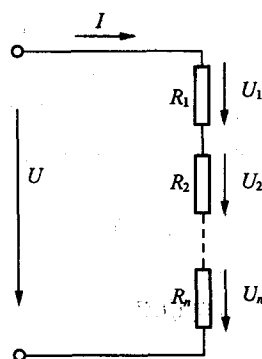


图 1-5 电阻串联电路

(八) 电阻的连接

1. 电阻的串联

将电路元件依次逐个连接起来组成一个无分支的电路称为串联电路。串联电路(如图 1-5 所示)具有以下特点:

(1) 总电阻 R 等于各个电阻之和

$$R = R_1 + R_2 + \cdots + R_n \quad (1-15)$$

(2) 电路两端的总电压 U 等于各电阻两端的分电压之和

$$U = U_1 + U_2 + \cdots + U_n \quad (1-16)$$

(3) 流过各个电阻的电流相等并等于总电流 I

$$I = I_1 = I_2 = \cdots = I_n \quad (1-17)$$

(4) 每个电阻上分配到的电压与电阻成正比

$$\frac{U_1}{R_1} = \frac{U_2}{R_2} = \cdots = \frac{U_n}{R_n} = \frac{U}{R} = I \quad (1-18)$$

由式(1-18)可得电阻串联的分压公式

$$U_n = \frac{R_n}{R} U = \frac{R_n}{R_1 + R_2 + \cdots + R_n} U = kU \quad (1-19)$$

式中 k 称为分压系数。

2. 电阻的并联

将电路元件并列连接在电路中,在元件两端之间所构成的电路称为并联电路。并联电路(如图 1-6 所示)具有以下特点:

(1) 总电阻 R 的倒数等于各个电阻的倒数之和

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \cdots + \frac{1}{R_n} \quad (1-20)$$

(2) 各电阻两端的电压相等并等于总电压 U

$$U = U_1 = U_2 = \cdots = U_n \quad (1-21)$$

(3) 总电流 I 等于流过各个电阻上的电流之和

$$I = I_1 + I_2 + \cdots + I_n \quad (1-22)$$

(4) 每个电阻上分配到的电流与电阻成反比

$$I_1 R_1 = I_2 R_2 = \cdots = I_n R_n = IR = U \quad (1-23)$$

由式(1-23)可知,两只电阻组成的并联电路的分流公式为

$$I_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot I \quad I_2 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot I \quad (1-24)$$

3. 电阻的混联

在电路中,既有电阻串联又有电阻并联的电路称为电阻的混联电路。分析混联电路时,可根据电阻之间的连接关系,利用串联和并联公式分别进行计算。

(九) 电源的连接

1. 电源的串联

电源的连接方式与电阻的连接方式相同。电池组串联电路如图 1-7 所示,具有以下特点:

(1) 串联电池组的电动势 E_s 等于各个电池的电动势之和

$$E_s = E_1 + E_2 + \cdots + E_n \quad (1-25)$$

在汽车上,24 V 电系柴油发动机汽车用 2 只 12 V 蓄电池串联,便可得到 24 V 电源。

(2) 串联电池组的内电阻(简称内阻) r_s 等于各个电池内电阻之和

$$r_s = r_1 + r_2 + \cdots + r_n \quad (1-26)$$

(3) 流过负载的电流 I 与流过各只电池的电流相等

$$I = I_1 = I_2 = \cdots = I_n \quad (1-27)$$

(4) 当各只电池的电动势 E 和内阻 r 相等时

$$I = \frac{nE}{R + nr} \quad (1-28)$$

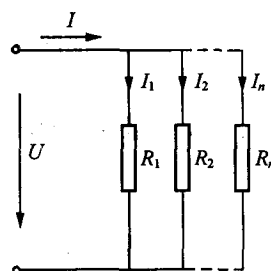


图 1-6 电阻并联电路

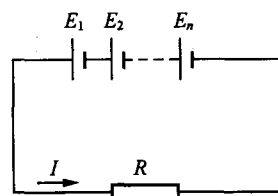


图 1-7 电池组串联电路

$$\text{当 } R \geq r \text{ 时} \quad I = \frac{nE}{R} \quad (1-29)$$

$$\text{当 } R \leq r \text{ 时} \quad I = \frac{E}{r} \quad (1-30)$$

2. 电源的并联

由 n 个电动势和内阻都相等的电池组并联的电路如图 1-8 所示, 电源并联电路具有以下特点:

(1) 并联电池的电动势 E 与各个电池的电动势相等

$$E = E_1 = E_2 = \cdots = E_n \quad (1-31)$$

(2) 并联电源的内阻 r_p 等于一个电池内阻的 n 分之一

$$r_p = \frac{r_1}{n} = \frac{r_2}{n} = \cdots = \frac{r_n}{n} \quad (1-32)$$

(3) 流过负载的电流 I 等于流过各只电池的电流之和

$$I = I_1 + I_2 + \cdots + I_n \quad (1-33)$$

(4) 当各只电池的电动势 E 和内阻 r 相等时

$$I = \frac{E}{R + \frac{r}{n}} \quad (1-34)$$

$$\text{当 } R \geq r \text{ 时} \quad I = \frac{E}{R} \quad (1-35)$$

$$\text{当 } R \leq r \text{ 时} \quad I = \frac{nE}{r} \quad (1-36)$$

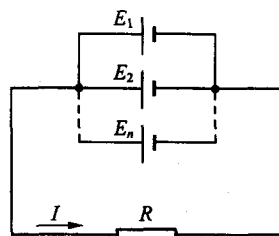


图 1-8 电池组并联电路

(十) 电容的计算及其充放电特性

1. 电容

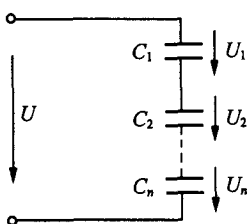
在两个导体之间夹上一层绝缘物质(也叫电介质)所构成的电器元件称为电容器。电容器是容纳电荷的电器元件。使电容器带电称为充电;使充电后的电容器失去电荷[量]称为放电。使电容器在单位电压作用下所能储存的电荷[量]称为该电容器的电容,用 C 表示,计算公式为

$$C = \frac{q}{U} \quad (1-37)$$

式中 C 为进入电容器的电荷[量](C); q 为电容器的电容,法[拉](F); U 为电容器两端的电压(V)。

2. 电容器的串联

电容器的串联电路如图 1-9 所示。电容器串联具有以下特点:



(1) 电容器总电容 C 的倒数等于各只电容器电容的倒数之和

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \cdots + \frac{1}{C_n} \quad (1-38)$$

(2) 各个电容器的电荷[量]相等并等于总电荷[量] q

$$q = q_1 = q_2 = \cdots = q_n \quad (1-39)$$

(3) 串联电容器两端的总电压 U 等于各只电容器上的电压之和

图 1-9 电容器的串联电路

$$U = U_1 + U_2 + \cdots + U_n \quad (1-40)$$

3. 电容器的并联

电容器的并联电路如图 1-10 所示。电容器并联具有以下特点：

并联电容器的总电容 C 等于各只电容器的电容之和

$$C = C_1 + C_2 + \cdots + C_n \quad (1-41)$$

并联电容器的总电荷[量] q 等于各个电容器所带电荷[量]之和

$$q = q_1 + q_2 + \cdots + q_n \quad (1-42)$$

在并联电路中,各并联电容器两端的电压相等

$$U = U_1 = U_2 = \cdots = U_n \quad (1-43)$$

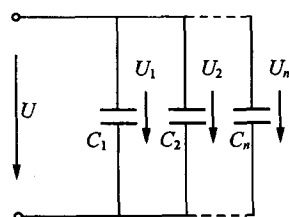
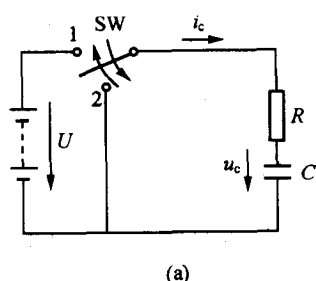


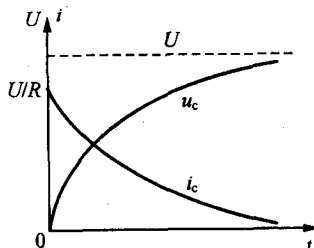
图 1-10 电容的并联电路

4. 电容器的充电特性

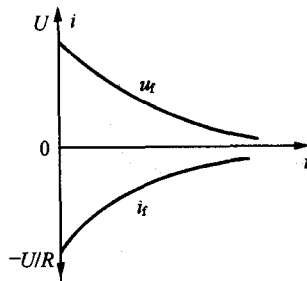
电容器的充放电电路如图 1-11(a)所示。当开关与电压为 U 的电源接通(转到位置 1)时,电容器 C 即被充电,充电电流 i_c 和充电电压 u_c 随时间 t 而变化的关系称为电容器的充电特性,如图 1-11(b)所示。由图可见,电容器充电时具有以下特点:



(a)



(b)



(c)

图 1-11 电容器充放电电路及充电特性

(a) 充放电电路; (b) 充电特性; (c) 放电特性

(1) 在充电电路接通瞬间,充电电流 $i_c (= U/R)$ 很大,电容器相当于短路。

(2) 在充电过程中,电容器 C 具有一个电荷积累的过程,其上的充电电压 u_c 不可能产生跃变,而是按指数规律随时间增长而趋于稳定值。指数曲线开始变化较快,而后逐渐缓慢变化,经过 5τ 时间后,即可认为达到稳定状态。

(3) 充电时间常数 τ 为

$$\tau = RC \quad (s) \quad (1-44)$$

充电时间 t 与充电电压 u_c 的关系如下:

当 $t = 1\tau$ 时, $u_c = 63.2\% U$

当 $t = 2\tau$ 时, $u_c = 86.5\% U$

当 $t = 5\tau$ 时, $u_c = 99.3\% U$

充电时间常数 τ 愈大,电容器充电就愈慢。因为在相同的电压下,电容 C 愈大,则容纳的电量就愈多;而电阻 R 愈大,则使电量送入电容器的速率愈小。因此,改变 R 或 C 的数值,即改变时间常数,就可改变充放电的快慢。

(4) 当电路达到稳定状态时,充电电流 i_c 很小($i_c \approx 0$),电容器相当于断路。

5. 电容器的放电特性

在图 1-11(a)所示电路中,当开关从位置 1 转到位置 2 时,电容器即经过电阻 R 放电。放电电流 i_f 的方向与充电电流方向相反,放电电流与放电电压 u_f 随时间 t 而变化的关系称为电容器的放电特性,如图 1-11(c)所示。由图可见,电容器放电时具有以下特点:

(1) 在放电电路接通瞬间,放电电流 $i_f (\approx -U/R)$ 很大,电容器相当于短路。

(2) 在放电过程中,电容器 C 具有一个电荷释放的过程,其上的放电电压 u_f 不可能产生跃变,而是按指数规律随时间增长而逐渐衰减,直到电容器中存储的电量释放完毕为止。

二、万用表的结构与使用

万用表是一种多用途电表,可测量电阻、直流电压、直流电流、交流电压和交流电流;多数万用表还能测量电容、电感、频率等等。在检测、维修或调试汽车电器设备或电控系统过程中,万用表是必不可少的测量工具之一。

万用表的种类很多,常用的有指针式和数字式两类。不同型号规格的万用表具有不同的功能和测量精度。指针式万用表是用磁电测量机构(简称表头,数字式万用表用数字显示系统)和测量线路通过功能转换开关来实现各种测量。MF9 型指针式万用表的外形如图 1-12 所示。万用表的测量原理如图 1-13 所示。

1. 万用表的结构

(1) 表头:表头是一块高灵敏度的磁电式电流表。其满刻度偏转电流一般只有几微安至几百微安。满刻度偏转电流越小,表头的灵敏度就越高。MF 系列万用表表头的灵敏度一般为 $10 \sim 100 \mu\text{A}$ 。

(2) 测量线路:测量线路是由多量限直流电流表、

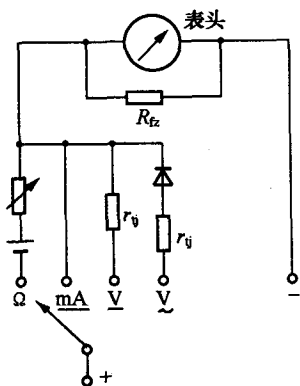


图 1-13 万用表测量原理图

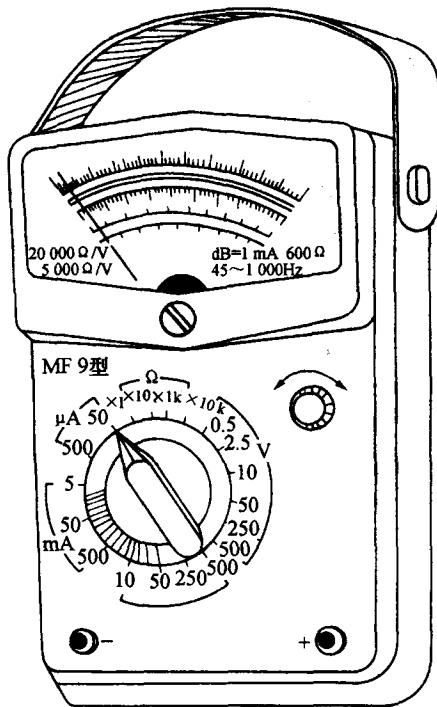


图 1-12 MF9 型指针式万用表外形

多量限直流电压表、多量限整流式交流电压表以及多量限欧姆表等线路组合而成。MF9 型万用表的测量线路如图 1-14 所示。

(3) 功能转换开关:万用表的各种测量功能是靠转换开关切换不同的测量线路来实现。万用表型号不同,所使用的转换开关也不同。在原理图中,通常将功能转换开关画成平面图形。

2. 万用表使用注意事项

(1) 在检测之前,首先需要检查功能转换开关是否处在所测参数的正确挡位。如被测参数是电压而将转换开关拨到了电流或电阻挡位,则会损坏仪表。实践证明,多数万用表损坏都是因挡位拨错所致。

(2) 在测量电压或电流时,如果不知被测电量大小,应将量程

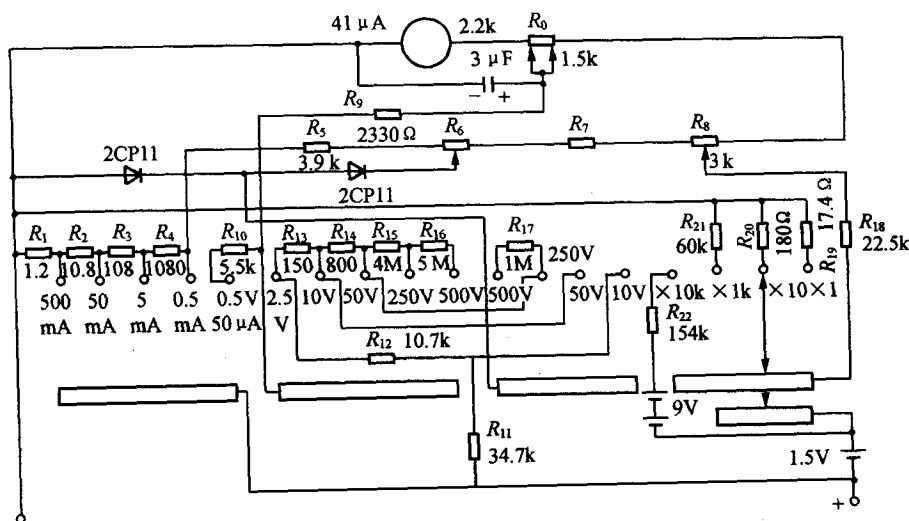


图 1-14 MF9 型万用表测量线路

置于最高挡试测,以防表针打坏。然后根据试测结果将转换开关转到合适挡位,以减小测量误差(表针指在满量程的 $1/2$ 刻度附近时,测量误差较小)。注意:转换量程时,不可带电转换。

(3) 测量直流电压或直流电流时,需要注意被测电路的极性。仪表正负极应与被测电路的正负极相对应。测量电压时必须将仪表与被测电路并联;测量电流时仪表必须串联在电路中。

(4) 测量 2500 V 交流或直流高压时,必须注意安全,防止触电。电路中有固定的大容量电容时,应事先放电。

(5) 测量交流电压时,需要考虑被测电压的波形。万用表只适用于测量正弦波电压或电流的有效值,不能测量非正弦量。

(6) 测量电阻时,被测电阻至少有一端与电路完全断开,并切断电源后再进行测量。测量电阻的量程应选得合适,原则上是指针停在表头刻度中心位置附近为宜,因为中心位置的测量误差最小。测量低电阻时,需要注意接触电阻;测量高电阻(大于 $10\text{ k}\Omega$)时,注意不要形成并联电路,即勿将双手分别触及两只表笔金属部位或触及电阻两端引线。除此之外,在测量电阻时,当量程选择合适后,还需短路两只表笔,调整欧姆挡的调零旋钮将指针调到零位。如指针无法调到零位,说明表内电池电压过低或接触不良,需检查或更换电池,否则测量误差很大或无法测量。每换一次挡位,都需先调零后再测量。

(7) 测量二极管或三极管等半导体器件的极性时,需注意万用表电源的极性。指针式万用表的正极(+)是与表内电池的负极连接,而数字式万用表的正极是与表内电池的正极连接。这一点在检测汽车交流发电机整流器时,需要特别注意,当万用表导通(电阻约为 $10\text{ }\Omega$)时,指针式万用表的正极表笔(红表笔)连接的是二极管的负极(阴极),数字式万用表的正极表笔连接的是二极管的正极(阳极);反之,当万用表截止(电阻为 ∞)时,指针式万用表的正极表笔(红表笔)连接的是二极管的正极,数字式万用表的正极表笔连接的是二极管的负极。

(8) 每次测量完毕,都应将转换开关拨到交流电压最高一档,以免误用挡位损坏仪表,同时也能避免功能开关在电阻挡时,两只表笔碰在一起形成短路而消耗电能。