

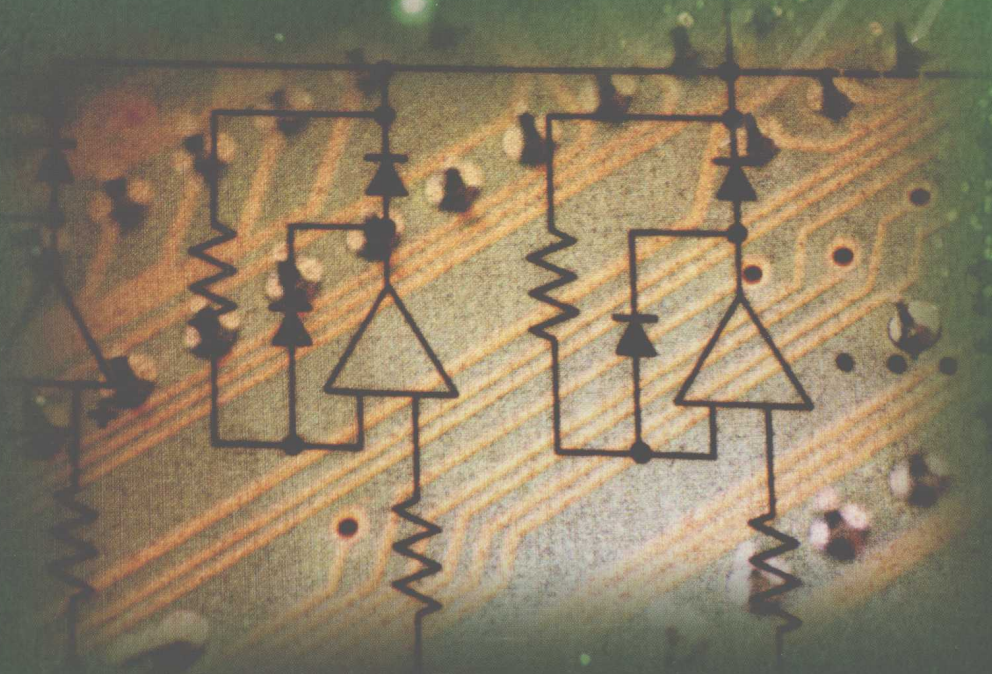


普通高等教育“十一五”国家级规划教材

电工电子技术概论

INTRODUCTION TO ELECTRICAL AND ELECTRONIC ENGINEERING

主编 唐 介



大连理工大学出版社
DALIAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS



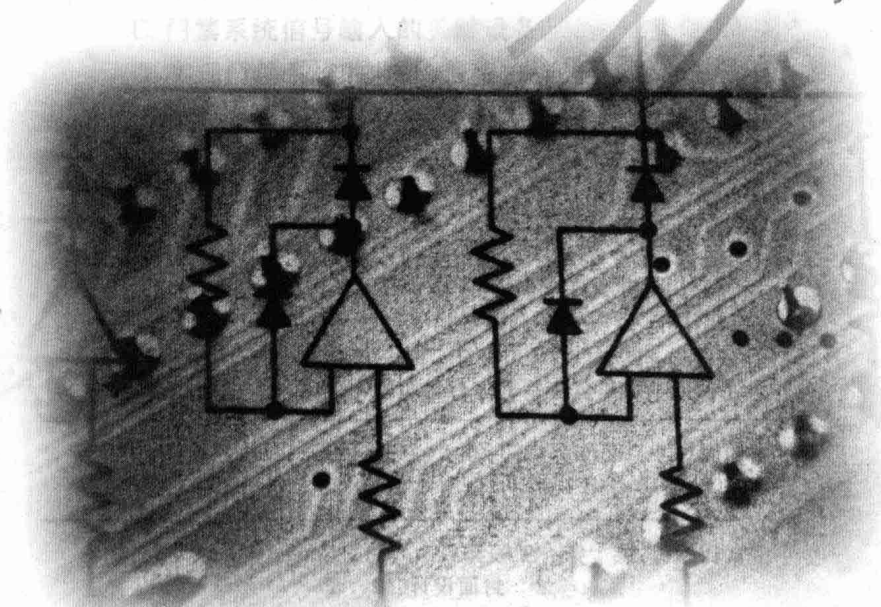
普通高等教育“十一五”国家级规划教材

电工电子技术概论

INTRODUCTION TO ELECTRICAL AND ELECTRONIC ENGINEERING

主 编 唐 介

副主编 张 莉 盛贤君



元 00.86: 册 5

ISBN 978-7-311-4438-8



大连理工大学出版社
DALIAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

图书在版编目(CIP)数据

电工电子技术概论 / 唐介主编. —大连:大连理工大学出版社, 2008. 10

ISBN 978-7-5611-4439-8

I. 电… II. 唐… III. ①电工技术—高等学校—教材
②电子技术—高等学校—教材 IV. TM TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 149357 号

大连理工大学出版社出版

地址:大连市软件园路 80 号 邮政编码:116023

发行:0411-84708842 邮购:0411-84703636 传真:0411-84701466

E-mail: dulp@dulp.cn URL: <http://www.dulp.cn>

大连天正华延彩色印刷有限公司印刷 大连理工大学出版社发行

幅面尺寸: 185mm×260mm	印张: 21.25	字数: 491 千字
2008 年 10 月第 1 版	2008 年 10 月第 1 次印刷	

责任编辑: 梁 锋 王颖鑫	责任校对: 杨焕玲
封面设计: 宋 蕾	

ISBN 978-7-5611-4439-8

定 价: 38.00 元

前 言

本书是普通高等学校“十一五”国家级规划教材,是从 21 世纪人才培养的要求出发,结合我校的教学改革成果,参照教育部新修订的电工学课程教学基本要求和中华人民共和国注册工程师执业资格证书考试中的电工电子技术部分的要求编写的。

本书可作为普通高等学校本科非电类专业,尤其是学时较少,对理论深度要求较低的非电类专业的电工学课程或相近课程的教材。也可供职业学院、民办大学、成人教育学院和大专院校专用。

本书在结构体系、内容安排、叙述方法和习题形式等方面与以往的电工学教材相比,改革力度较大,这主要体现在以下几个方面:

1. 知识范围大幅扩大,几乎涵盖了现代生活和工作中经常遇到的电工电子知识,以适应社会和科技的发展,做到与时俱进。

2. 理论深度降低、计算要求从简,使之更符合本课程在非电类专业人才培养计划中的地位和要求。

3. 考虑到电工电子实验课单独设课已成为大多数学校改革的趋势或已成为事实,所以电工测量部分的内容未包括在本书之内。

4. 练习题改为以选择题为主,既考虑到上述改革的情况,也可以为改革考试方法,例如采用计算机考试等打下基础。

书中的图形符号、文字符号和名词术语尽量遵照国家标准的规定。

本书共有 17 章,各章分工如下:张莉负责编写第 1、2、3 章;刘娆负责编写第 5、6、7 章;盛贤君负责编写第 8、9、10 章;王宁负责编写第 11、12、13 章;刘蕴红负责编写第 15、16、17 章;章艳负责编写第 4、14 章,唐介负责统稿。

由于水平所限,时间仓促,书中错误和不妥之处在所难免,殷切期望使用教材的师生和读者给予批评指正。

编者

2008 年 8 月

目 录

第0章 绪论 / 1

第1章 电能的生产 / 2

1.1 直流电源 / 2

1.1.1 干电池 / 2

1.1.2 可充电电池 / 3

1.1.3 燃料电池 / 5

1.1.4 太阳能电池 / 6

1.1.5 直流发电机 / 7

1.2 交流电源 / 8

1.2.1 正弦交流电的三要素 / 8

1.2.2 正弦交流电的相量表示法 / 11

1.2.3 三相交流电源 / 14

1.2.4 发电站 / 18

练习题 / 25

第2章 电能的转换 / 27

2.1 电能转换成光能 / 27

2.1.1 热辐射光源 / 27

2.1.2 气体放电光源 / 29

2.2 电能转换成热能 / 31

2.2.1 电烙铁 / 32

2.2.2 电取暖器 / 33

2.2.3 电炊具 / 35

2.3 电能转换成机械能 / 36

2.3.1 直流电动机 / 37

2.3.2 三相异步电动机 / 37

2.3.3 单相异步电动机 / 50

练习题 / 57

第3章 电能的控制 / 60

3.1 三相异步电动机的起停控制 / 60

3.1.1 起停手动控制 / 60

3.1.2 起停自动控制 / 63

3.2 三相异步电动机的正反转控制 / 69

3.3 可编程控制器简介 / 70

3.3.1 可编程控制器的基本组成 / 71

3.3.2 可编程控制器的工作原理 / 73

3.3.3 可编程控制器的基本指令与 编程方法 / 75

练习题 / 83

第4章 电能的输送 / 86

4.1 电力系统 / 86

4.1.1 电力系统运行的特点及 基本要求 / 87

4.1.2 电力系统的接线方式 / 88

4.1.3 电力系统的发展 / 89

4.2 交流输电系统 / 90

4.2.1 变压器 / 91

4.2.2 变电站 / 92

4.2.3 交流输电系统的特点 / 94

4.3 直流输电系统 / 94

4.3.1 直流输电系统的构成 / 95

4.3.2 直流输电系统的特点 / 96

4.4 低压配电系统 / 97

4.4.1 低压配电方式 / 97

4.4.2 住宅供电 / 99

4.4.3 楼宇供电 / 99

练习题 / 100

第5章 直流电路的分析 / 101

5.1 理想有源元件 / 101

5.1.1 电压源 / 101

5.1.2 电流源 / 102

5.2 理想无源元件 / 102

5.2.1 电阻 / 103

5.2.2 电容 / 103

5.2.3 电感 / 104

5.3 欧姆定律 / 106

5.4 基尔霍夫定律 / 106

5.4.1 基尔霍夫电流定律 / 106

5.4.2 基尔霍夫电压定律 / 107

5.5 叠加定理 / 108

练习题 / 109

第6章 交流电路的分析 / 112

6.1 交流电路欧姆定律 / 112

6.2 交流电路基尔霍夫定律 / 113

6.2.1 基尔霍夫电流定律 / 113

6.2.2 基尔霍夫电压定律 / 114

6.3 交流电路的阻抗 / 114

6.3.1 理想无源元件的阻抗 / 114

6.3.2 R 、 C 、 L 串联电路的阻抗 / 117

6.3.3 阻抗的串联和并联 / 118

6.4 交流电路的功率 / 119

6.4.1 瞬时功率 / 119

6.4.2 有功功率 / 120

6.4.3 无功功率 / 121

6.4.4 视在功率 / 121

6.4.5 功率因数 / 121

6.5 三相交流电路 / 124

6.5.1 三相负载 / 124

6.5.2 三相功率 / 126

练习题 / 127

第7章 安全用电 / 131

7.1 触电事故 / 131

7.2 安全电压 / 132

7.3 保护接地和保护接零 / 132

7.3.1 IT 系统 / 133

7.3.2 TN 系统 / 133

7.3.3 TT 系统 / 134

7.4 漏电开关 / 134

7.5 静电防护 / 135

7.6 电器防火和防爆 / 136

练习题 / 136

第8章 电子器件 / 138

8.1 半导体基础知识 / 138

8.1.1 本征半导体 / 138

8.1.2 杂质半导体 / 138

8.1.3 PN 结 / 139

8.2 半导体器件 / 140

8.2.1 半导体二极管 / 140

8.2.2 稳压二极管 / 142

8.2.3 双极型晶体管 / 143

8.2.4 场效晶体管 / 149

8.3 光电显示器件 / 152

8.3.1 发光二极管 / 152

8.3.2 光电二极管 / 153

8.3.3 光电三极管 / 153

8.3.4 光电耦合器 / 153

8.3.5 半导体激光器 / 154

8.4 电子显示器件 / 154

8.4.1 发光二极管显示器 / 154

8.4.2 液晶显示器 / 155

8.4.3 等离子显示器 / 156

8.4.4 阴极射线显示器 / 156

8.5 集成电路 / 157

8.5.1 集成电路简介 / 157

8.5.2 模拟集成电路 / 158

8.5.3 数字集成电路 / 158

练习题 / 158

第9章 模拟电子技术 / 161

9.1 双极型晶体管放大电路 / 161

9.1.1 放大电路工作原理 / 161

9.1.2 放大电路的静态工作点 / 164

9.1.3 放大电路的主要性能指标 / 165

9.2 场效晶体管放大电路 / 168

9.2.1 增强型 MOS 管共源放大电路 / 168

9.2.2 耗尽型 MOS 管共源放大电路 / 169

9.3 多级放大电路的概念 / 169

9.4 差分放大电路 / 170

9.4.1	抑制零点漂移原理 / 170
9.4.2	主要特点 / 171
9.5	集成运算放大器 / 172
9.5.1	集成运算放大器的组成 / 172
9.5.2	集成运算放大器电压传输特性及主要参数 / 173
9.5.3	理想运算放大器 / 174
9.5.4	反馈的基本概念 / 176
9.5.5	基本运算电路 / 177
9.5.6	单限电压比较器 / 183
9.5.7	RC 正弦波振荡电路 / 184
	练习题 / 187
第 10 章	数字电子技术 / 191
10.1	门电路 / 191
10.1.1	基本门电路 / 191
10.1.2	复合门电路 / 194
10.2	组合逻辑电路的分析 / 196
10.3	组合逻辑电路的设计 / 200
10.3.1	半加器 / 200
10.3.2	全加器 / 201
10.4	编码器 / 203
10.4.1	普通编码器 / 203
10.4.2	优先编码器 / 205
10.5	译码器 / 205
10.5.1	二进制译码器 / 206
10.5.2	显示译码器 / 207
10.6	双稳态触发器 / 208
10.6.1	基本双稳态触发器 / 208
10.6.2	钟控双稳态触发器 / 211
10.7	计数器 / 223
10.7.1	同步二进制减法计数器 / 224
10.7.2	异步五进制加法计数器 / 225
10.7.3	中规模集成计数器及其应用 / 225
10.8	寄存器 / 228
10.8.1	数码寄存器 / 228
10.8.2	移位寄存器 / 229
	练习题 / 231

第 11 章 数字信号与模拟信号的相互转换 / 236

11.1 D/A 转换器 / 236

11.2 A/D 转换器 / 239

练习题 / 241

第 12 章 直流稳压电源 / 242

12.1 直流稳压电源的组成 / 242

12.2 整流电路 / 243

12.2.1 不控整流电路 / 243

12.2.2 可控整流电路 / 244

12.3 滤波电路 / 245

12.3.1 电容滤波电路 / 245

12.3.2 电感滤波电路 / 246

12.3.3 复式滤波电路 / 246

12.4 稳压电路 / 247

12.4.1 硅稳压管稳压电路 / 247

12.4.2 集成稳压器稳压电路 / 247

练习题 / 249

第 13 章 传感器及其应用 / 251

13.1 传感器 / 251

13.1.1 参量传感器 / 251

13.1.2 半导体传感器 / 253

13.1.3 发电传感器 / 256

13.1.4 光传感器 / 259

13.1.5 气体传感器 / 262

13.2 传感器的应用 / 264

13.2.1 电子秤 / 264

13.2.2 温度检测 / 265

13.2.3 烟雾报警器 / 266

13.2.4 煤气泄漏报警器 / 266

练习题 / 267

第 14 章 通信系统 / 269

14.1 现代通信系统概述 / 269

14.1.1 通信系统的组成和分类 / 269

14.1.2 基带传输与调制解调 / 270

14.1.3 主要性能指标 / 271

14.2 有线通信 / 272

14.3 光纤通信 / 273

14.4 无线通信 / 275

14.4.1 电磁波的传播 / 275

14.4.2 无线通信的频段 / 276

14.4.3 无线通信方式 / 277

14.5 移动通信 / 278

14.5.1 公众移动电话系统 / 279

14.5.2 专用移动通信系统 / 280

14.5.3 无线寻呼系统 / 280

14.5.4 无绳电话系统 / 281

14.5.5 集群移动通信系统 / 281

14.6 卫星通信系统 / 282

练习题 / 284

第15章 广播音响系统 / 286

15.1 广播音响系统概述 / 286

15.1.1 广播音响系统的种类 / 286

15.1.2 广播音响系统的基本组成 / 286

15.2 广播音响系统的设备 / 287

15.2.1 节目源设备 / 287

15.2.2 信号放大和处理设备 / 290

15.2.3 终端设备 / 293

15.3 公共广播系统设计实例 / 295

15.3.1 公共广播简易系统 / 295

15.3.2 公共广播最小系统 / 296

15.3.3 公共广播典型系统 / 296

15.3.4 公共广播智能系统 / 298

练习题 / 298

第16章 共用天线电视系统 / 300

16.1 共用天线电视系统概述 / 300

16.1.1 共用天线电视系统的构成 / 300

16.1.2 共用天线电视系统的种类 / 300

16.2 共用天线电视系统设备 / 301

16.2.1 信号源及信号接收系统 / 301

16.2.2 前端系统 / 303

16.2.3 干线传输系统 / 305

16.2.4 用户分配网络 / 308

16.2.5 用户终端 / 310

16.3 机顶盒与双向有线电视系统 / 311

16.3.1 数字电视的编解码 / 311

16.3.2 数字电视机顶盒的基本原理 / 311

16.3.3 双向有线电视系统 / 312

练习题 / 312

第17章 办公设备及其智能化 / 314

17.1 打印机 / 314

17.1.1 打印机的种类 / 314

17.1.2 打印机的工作原理 / 314

17.1.3 打印机的性能指标 / 317

17.2 复印机 / 317

17.2.1 复印机的分类 / 317

17.2.2 静电复印机 / 318

17.2.3 数码复印机 / 319

17.3 扫描仪 / 320

17.3.1 扫描仪的种类 / 320

17.3.2 扫描仪的结构 / 321

17.3.3 扫描仪的工作原理 / 321

17.3.4 扫描仪的工作过程 / 322

17.3.5 扫描仪的性能指标 / 322

17.3.6 扫描仪的选择 / 323

17.4 传真机 / 323

17.4.1 传真机的种类 / 323

17.4.2 传真机的基本结构 / 324

17.4.3 传真机的工作原理 / 324

17.5 智能卡技术 / 325

17.5.1 智能卡的概念 / 325

17.5.2 智能卡的种类 / 326

17.5.3 常见的智能卡 / 326

17.5.4 智能卡的主要应用领域 / 327

17.5.5 智能卡系统构成 / 327

17.5.6 典型系统举例:IC卡门禁系统 / 328

练习题 / 330

参考文献 / 332

绪论

电工电子技术是一门研究电磁现象的自然规律在工程上应用的学科。自 1800 年化学电池的发明揭开了人类利用电能的序幕以来,至今已经历了两个世纪,电工技术和电子技术在理论和技术上都取得了迅速发展。电的应用几乎涉及所有领域,无论是工业、农业、国防建设和科学技术的各个方面,还是人们日常的衣、食、住、行以及文化生活和办公设施,电都已经是不可须臾或缺的了。仅就工业而言,各种生产机械,例如水泵、鼓风机、起重机、切削机床和锻压设备等等,都用电动机拖动;许多制造工艺,例如电解、电镀、电焊、高频淬火、电炉冶炼以及电火花加工等等,都要靠电来完成;生产过程中的一些物理量,例如温度、流量、压力、转速等等,都可以用电的方法来测量和控制;产品的辅助设计和企业的管理工作,还能够由电子计算机来实现;电子信息系统的发展更使人类进入了信息化的时代。由此可见,电的应用是何等广泛!究其原因,乃是电能具有其他形态能量所无可比拟的优越性的缘故。

电能是最容易转换的中间形态的能量。它可以很方便地由原子能、水位能、热能、风能和化学能等转换而来,也可以相反的转换为机械能、光能和热能等。这就使得人们能够从各种能源中获得电能,同时又能将它转换成为其他形态的能量以满足各种不同的需要。

电能能够迅速而且经济地进行远距离输送,因而使工业建设的布局问题得到了合理的解决。我们可以在储藏有大量动力资源的地方,例如煤矿的坑口和河川的附近兴建火力发电厂和水力发电厂,而使其他工厂尽量接近原料产地,通过长距离的输电线路将电能从发电厂输送到工厂中去,借以提高社会生产整体的经济效益。

电能以及与其相关联的一些电学量(例如电压或电流)可以用来代表信息,以有线或无线的方式高速而精确地进行传递、控制和处理,为远程通信和生产自动化提供了可靠的技术基础。特别是电子计算机发明之后,它在自动化方面的应用不仅减轻了人们繁重的体力劳动,而且也代替了脑力劳动的某些职能,带来了社会生产力的新的飞跃,促使世界上出现了新的技术革命的浪潮。

如上所述,电工技术和电子技术的发展和应用已成为我们所处时代的特征。它所涉及的基本知识已成为当今所有高等教育和职业教育所必须了解的工程素质教育的基本内容。当然,对于不同专业,其目的、要求、内容和深度会有所不同。

本教材共分 17 章,其中 1~7 章为电工技术部分;8~12 章为电子技术部分;13~17 章为综合应用部分。

本教材的讨论,是以读者学习过普通物理学和高等数学等基础课程为依据的,因而希望能在学习过程中及时适当地复习一下物理学和高等数学有关的内容。

第1章

电能的产生

电源是将其他形态的能量转变为电能的装置。如干电池将化学能转变成电能;发电机将机械能转变成电能,等等。电源又分为直流电源和交流电源,蓄电池是直流电源,民用电源是交流电源。本章以电能产生的途径为出发点,介绍各种电源的工作原理。

1.1 直流电源

直流电源是指能够给电路提供直流电流的电源,如干电池、蓄电池、直流发电机等。通常用来表征直流电源的重要物理量有两个:一个是电动势 E ,另一个是内电阻 R ,简称内阻。

1.1.1 干电池

干电池 (dry cell) 又称原电池,或一次电池,它是一种化学电源,是一种将化学能转变为电能的装置。因为在这种电源装置中,电解质是一种不能流动的糊状物,所以叫做干电池,它是相对于具有可流动电解质的电池来说的。干电池主要用于手电筒、半导体收音机、照相机、玩具等,也适用于国防、科研、电信、航空、医学等领域。

以普通(酸性)锌-锰干电池为例,电池的结构如图1.1.1所示。电池的中心是碳棒,作为正极集流体,其周围充满了包括碳黑和二氧化锰等混合物组成的电芯,也称为正极碳包。外壳为锌筒兼作容器和负极,在正极和负极之间是糊状的氯化铵和氯化锌电解液胶状物作为隔离层,碳棒顶部的铜帽作为正极端,锌筒的底部作为负极端,为了防止漏液,常在锌筒外面包裹热塑套或铁皮。

干电池放电时,负极锌失去电子,被氧化成 Zn^{2+} 后进入电解液,电解液中的 NH_4^+ 获得电子被还原成 NH_3 ,正极二氧化锰得到电子后被还原为 $\text{MnO}(\text{OH})$ 。这样就分别在碳棒上聚集了许多正电荷,在锌筒表面上聚集了许多负电荷,因而在正极和负极两端形成了电动势 E 。

电池中两极反应如下:

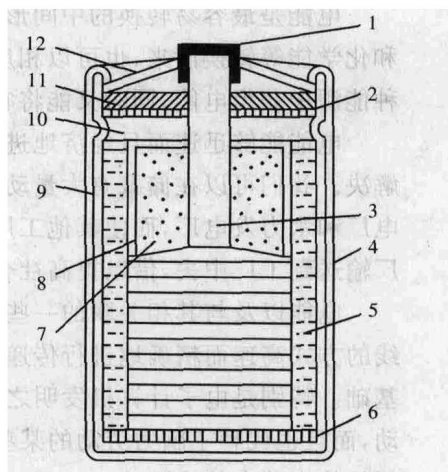
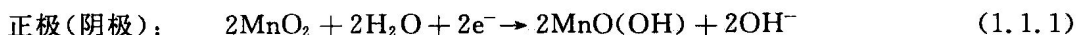


图 1.1.1 锌-锰干电池

- 1—铜帽;2—垫圈;3—碳棒;
4—锌筒;5—糊状电解质;6—垫片;
7—正极碳包;8—棉纸;9—硬壳纸;
10—空气室;11—封口剂;12—胶纸盖



电池中总反应可表示为



干电池的主要性能参数如下:

(1) 开路电压 U_{oc} : 开路时电池两端的电压与电池的电动势 E 数值相等, 为 $1.7 \sim 1.8 \text{ V}$ 。

(2) 内阻 R : 电池的欧姆电阻。如未放电的 R20 型电池的欧姆电阻约为 $0.2 \sim 0.5 \Omega$ 。

(3) 工作电压 U : 电池放电时, 正、负极之间的端电压。

(4) 容量: 当外部电路以一定的电流或一定的负载电阻放电, 达到终止电压时的持续放电时间, 称为干电池的容量, 用安·时 (A·h) 或瓦·时 (W·h) 表示。其中安·时是电量的单位, 瓦·时是能量的单位。有时电池的容量又以单位体积的容量或单位质量的容量进行衡量, 分别称为体积比容量和质量比容量, 单位分别是 $\text{W} \cdot \text{h}/\text{cm}^3$ 和 $\text{W} \cdot \text{h}/\text{kg}$ 。

实际上, 在干电池外壳的两端分别标有“+、-”符号, 中间注明“电压 1.5 V”的字样, 表明了它的极性和电压。干电池使用一段时间后, 电池化学反应能力逐渐下降, 电池存储的电荷减少, 导致输出电压下降, 当输出电压下降到小于 1.10 V 的终止电压时, 电池就不能正常使用了。

干电池的优点是型号多样, 如有 1~7 号等, 原材料丰富, 价格低廉, 携带方便, 适用于间歇式放电场合。缺点是在使用过程中电压不断下降, 不能提供稳定的电压, 且放电功率低, 比容量小, 低温性能差, 在 -20°C 时就不能工作了, 所以, 在高寒地区只能使用碱性锌-锰干电池。

随着科学技术的发展, 干电池已经发展成为一个大家族, 到目前为止已经有 100 多种。常见的有普通锌-锰干电池、碱性锌-锰干电池、镁-锰干电池、锌-空气电池、锌-氧化汞电池、锌-氧化银电池、锂-锰电池等。干电池是易腐蚀商品, 在规定的贮存期内, 电池不应发生正、负极锈蚀、气胀、鼓底、电解液外溢等现象。电池在贮存和运输过程中, 应避免日晒、火烤、雨淋、水浸、高温和潮湿等; 搬运中应注意轻拿轻放, 避免碰撞、重跌和挤压。贮存场所还应清洁、干燥、通风, 温度不得超过 35°C , 相对湿度不应大于 85% 等。

1.1.2 可充电电池

一次电池又称为不可充电电池, 它只能将化学能一次性地转化为电能, 不能将电能还原回化学能, 或者说它的还原性能极差。可充电电池 (recharge cell) 又称为二次电池或蓄电池 (storage battery), 二次电池由充电器充电, 将电能转换为化学能存储起来, 在使用中将化学能转化为电能放电, 即二次电池可以多次存储能量并转换为电能。

可充电电池的种类可分为: 镍镉电池 (Ni-Cd battery)、镍氢电池 (Ni-Mh battery)、锂离子电池 (Li-Ion battery) 等。

以锂离子电池为例, 其内部结构如图 1.1.2 所示。其中正极材料采用含锂的过渡金属氧化物, 如 LiCoO_2 、 LiMn_2O_4 等; 负极采用各种碳素电极材料, 如: 天然石墨、碳纤维等; 电解质一般选择含锂盐的有机聚合物胶体。当对电池充电时, 电池的正极材料有锂离子生成, 生成的锂离子经过电解液进入到负极, 到达负极的锂离子吸附在碳素电极材料的微孔里, 吸附的锂离子越多, 充电容量越高。当电池放电时, 吸附在负极的锂离子脱出, 又返回到正极, 返回

到正极的锂离子越多,放电容量越高。我们通常所说的电池的容量指的就是放电容量。

可充电电池的主要性能参数如下:

(1) 标称电压 电池刚出厂时,正负极之间的电位差称为电池的标称电压。如 US18650 型锂离子电池的标称电压是 3.7 V。

(2) 充电终止电压 电池充足电时,极板上的活性物质已达到饱和状态,若继续充电,电压也不会上升了,此时的电压称为充电终止电压。如 US18650 型锂离子电池的充电终止电压是 4.2 V。

(3) 放电终止电压 电池放电时允许达到的最低电压。如果电池的电压低于放电终止电压后继续放电,电池两端电压会迅速下降,形成深度放电,从而影响电池的寿命。如 US18650 型锂离子电池的放电终止电压为 2.5 V。

(4) 开路电压 电池在非工作状态下,正负极之间的电压。如 US18650 型锂离子电池刚充满电时的开路电压约为 4.2 V,放电后的开路电压为 2.5 V。

(5) 实际电压 指放电过程中实际测得的电池端电压。

(6) 额定容量 指处于完全充电状态的电池,按一定的放电条件,放电到所规定的终止电压时,电池能够提供的电量。单位是安·时(A·h)或瓦·时(W·h)。

可充电电池的充电电流和放电电流通常表示为额定容量的倍数,简称为 C 率。例如额定容量为 1 安·时(1A·h)的电池,C/10 的放电电流为 $1\text{ A}\cdot\text{h}/10 = 100\text{ mA}$ 。

可充电电池具有记忆效应,所谓记忆效应是指电池长时间经受特定的工作循环后,会有自动保持这一特定状态的倾向。当某些电池用小于全放电的放电深度连续进行多次放电后,由于电池具有记忆效应,会将此放电终止电压值记忆住。当电池不再以此放电深度放电时,电压一旦下降到小于被记忆的电压值后,会突然崩溃性地下降。这种现象称为电池的记忆效应,实际上这是一种放电终止电压衰减的现象。镍镉电池和镍氢电池都有明显的记忆效应,而锂离子电池的记忆效应不明显。在实际应用中,可以定期采用适当的方法消除记忆效应,如连续做三至五次完全充放电来释放记忆。

一般可充电电池在使用时,过充电和过放电都会影响电池的使用寿命,所以应避免过充电和过放电现象发生。可充电电池的充电方法主要有:

(a) 恒流充电 以某一恒定电流充电。所以,起始电压上升较快,充电曲线如图 1.1.3(a) 所示。通常蓄电池在进行试验和使用时,采用此方法充电。但该方法的不足之处是在开始充电阶段电流过小,充电较慢,使得整个充电时间过长,而在充电后期充电电流又过大,充电时间一般均在 15 小时以上。

(b) 恒压充电 以某一恒定电压充电。所以,在充电初期电流很大,随着充电的不断进行,电流逐渐减小,在充电终期只有很小的电流流过,这样在整个充电过程中不必调整电流,充电曲线如图 1.1.3(b) 所示。该方式的不足之处是充电初期充电电流过大,电池可能会受

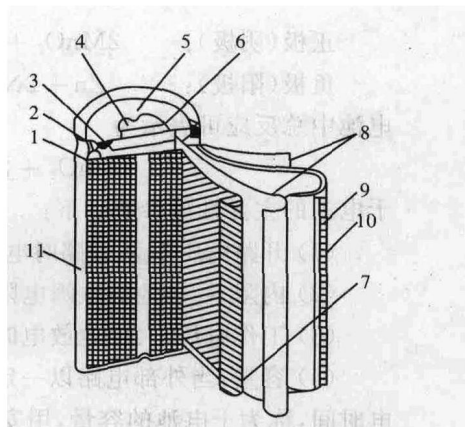


图 1.1.2 锂离子电池

- 1—绝缘体;2—垫圈;3—PTC 元件;
4—正极端子;5—排气孔;6—防爆阀;
7—正极;8—隔膜;9—负极;
10—负极引线;11—外壳

到损害,一般较少使用。

(c) 恒流/恒压充电 在充电初期采用恒流充电,电压上升很快,但电流不大;当电压上升到接近终止电压时,改用恒压充电,电流逐渐减小,电压变化不大。充电曲线如图 1.1.3(c) 所示。锂离子电池一般采用此方法。

(d) 恒压限流充电 为弥补恒压充电的缺点,在充电电源与可充电电池之间串联一个电阻,称为限流电阻。当电流较大时,限流电阻上的电压较大,从而减小了充电电流;当电流较小时,限流电阻上的电压较小,充电设备输出电压的损失就小,这样就自动调整了充电电流,使之不超过电流限值。充电曲线如图 1.1.3(d) 所示。

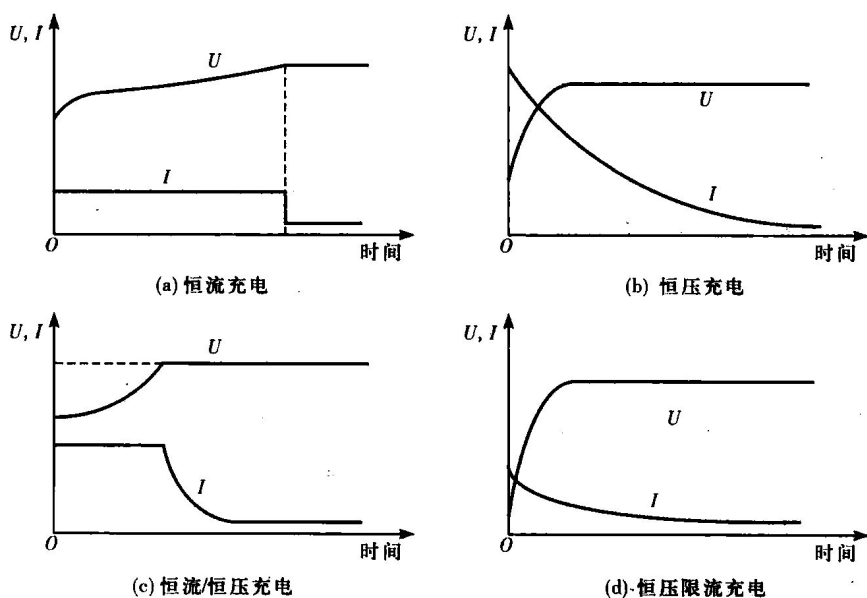


图 1.1.3 可充电电池的充电方法

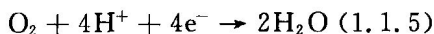
1.1.3 燃料电池

燃料电池(fuel cell)是一种无公害的绿色能源,也是一种化学电池,它将物质发生化学反应时释放出的能量直接转变为电能。目前它的技术正在一些发达国家崛起,并以急起直追的势头快速进入工业规模发电的行列。

具体地说燃料电池不是电池,而是一种发电装置。它不像一般的非充电电池那样用完就废弃,也不像可充电电池那样用完又可以继续充电使用,燃料电池是以不断地添加燃料的方式来维持其电力的。通常燃料电池是由正极(阴极)、负极(阳极)、夹在正负极中间的隔板和电解质所组成,其结构图如图 1.1.4 所示。在电池工作时,连续给负极供给燃料——氢气,给正极供给氧化剂——氧气。氢气在负极经由催化剂的作用,分解成氢离子 H^+ 和电子 e^-



氢离子进入电解质中,而电子则沿外部电路,达到正极形成电流。氧气在正极获得氢离子和电子后,反应生成水



这正是水的电解反应的逆过程,可见燃料电池唯一的排放物是水。为保持电池连续工作,除需不断地供应电池所消耗的氢气和氧气外,还需要排出电池反应所生成的水,以维持电解质浓度的恒定。

燃料电池与化学电池一样,输出的是直流电压,单个燃料电池的输出电压 $0.3 \sim 0.7 \text{ V}$ 。在实际使用时,通常需要采用多个电池串联来提高电压,因而成本很高,一般需要配合专用的升压电路,以便为电子电路供电。燃料电池的能量转换效率可高达 $60\% \sim 70\%$ 。

氢氧燃料电池不需要燃料燃烧,无转动部件,具有能量转化率高、无污染、无噪音、运行寿命长、可靠性高、维护性能好等特点,受到了国际能源界的广泛关注。早在 1969 年,美国“阿波罗号”宇宙飞船登月,飞船上使用的就是氢氧燃料电池。燃料电池不仅可以用于一定规模的发电装置,近年来开发一种薄膜燃料电池,这种电池结构简单,便于携带,可用作小型应急电源使用。

燃料电池由于具有上述优点,在小范围内应用取得了良好的效果,但是由于技术问题,至今还没有达到大规模民用商业化的程度。目前需要解决的关键技术主要是:① 成本高;② 高温时的寿命和稳定性;③ 完善的燃料供应体系。

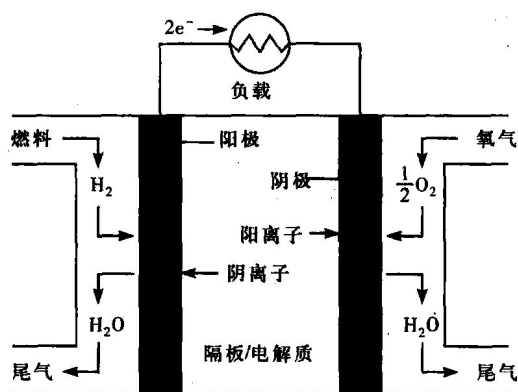


图 1.1.4 燃料电池

1.1.4 太阳能电池

太阳能是人类取之不尽用之不竭的可再生能源。它也是一种清洁能源,不会产生任何的环境污染。太阳能电池(solar cell)又称光伏电池,是一种可以将太阳能直接转化为电能的半导体装置。

根据所用材料的不同,太阳能电池可分为:① 硅太阳能电池;② 多元化合物薄膜太阳能电池;③ 功能高分子材料多层修饰电极型太阳能电池;④ 纳米晶太阳能电池等。其中硅太阳能电池是目前发展最成熟的,在应用中占主导地位。

以单晶硅太阳能电池为例,它是由金属基片电极(正极)、硅半导体材料、反射保护膜和金属梳状电极(负极)等基本部分组成,如图 1.1.5 (a) 所示。它的工作原理主要是利用半导体的光电效应,当太阳光照射到晶体硅的表面时,光电材料吸收太阳光能后,发生光电转换反应,即硅晶片受光后,在 PN 结中,N 型半导体的空穴往 P 型区移动,而 P 型区中的自由电子往 N 型区移动,从而形成从 N 型区到 P 型区的电流。这样,在 PN 结上就形成了电势差。

按照实际应用的需求,通常太阳能电池经过一定数量(通常是 36 个)的串并联组合,达到一定的额定输出功率和输出电压,构成一组太阳能电池组件(solar module),也称为光伏组件。现在可以购买到的光伏组件的输出电压主要有 12 V , 24 V 和 48 V 等。根据光伏电站的

大小和规模,由光伏组件可组成各种大小不同的阵列,构成太阳能电池板,如图 1.1.5 (b) 所示。太阳能电池可以大、中、小并举,大到百万千瓦的中型电站,小到只供一户用的太阳能电池组,这是其他电源无法比拟的。

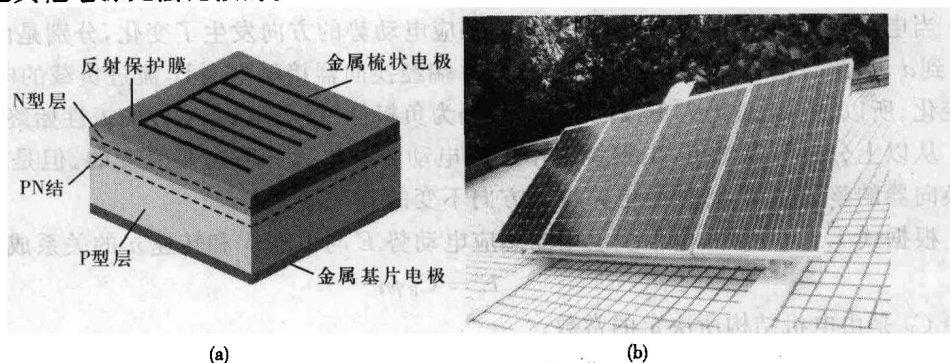


图 1.1.5 太阳能电池

自太阳能电池问世以来,晶体硅作为主要材料保持着统治地位。目前太阳能电池的能量转换效率不到 20 %,因而,对硅电池转换率的研究成为热点,主要围绕加大吸能面,如双面电池,减小反射,运用吸杂技术减小半导体材料的复合等。

太阳能电池具有性能稳定、工作可靠、应用方便等特点。1945 年,第一个实用硅太阳能电池在美国贝尔实验室制成,随即应用于人造卫星。迄今为止,太空中的飞行器,大多数都配备了太阳能电池发电系统,除此之外,太阳能电池还应用于交通、邮电、农牧业、轻工业、通讯及军事部门,尤其在输电困难的山区、牧区、沙漠地区更受人们的欢迎。

1.1.5 直流发电机

如上所述,电池提供的电能是有限的,更充足和更强大的电能要通过发电机获取。发电机是将机械能转变为电能的电磁装置。

图 1.1.6 是直流发电机的原理图,其中 N 和 S 是主磁极,该磁极是由直流电流通入绕在铁心上的励磁绕组产生的,励磁绕组中的电流称为励磁电流。由于这部分是固定不动的,故称为定子。直流发电机转动的部分称为电枢,也称为转子,它是由圆柱形铁心和绕在铁心上的电枢绕组组成的,图中只画出了代表电枢绕组的一个线圈,线圈的两端 a 和 d 分别与两个彼此绝缘的圆弧形铜片相连,此铜片称为换向器,在换向器上分别压着两个固定不动的电刷 A 和 B。

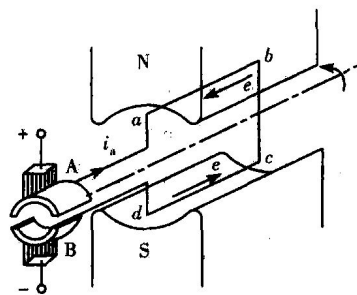


图 1.1.6 直流发电机原理图

在工作时,原动机拖动电枢以恒定转速 n 旋转,电枢绕组的有效边 ab 和 cd 将切割磁感线,这样便在其中产生了感应电动势 e ,其大小为

$$e = Blv(\text{V}) \quad (1.1.6)$$

式中 B 为导体所在处的磁通密度,单位是 T; l 为导体的有效长度,单位是 m; v 为导体与磁场的相对运动速度,单位是 m/s。

感应电动势的方向可根据右手定则确定。如图 1.1.6 所示,设电枢逆时针旋转,则这一

时刻线圈上产生感应电动势的方向分别是由 d 到 c 和由 b 到 a , 此时 a 端经换向器接触电刷 A, d 端经换向器接触电刷 B。如果在两电刷之间接上负载, 就有电流从电刷 A 经负载流向电刷 B, 所以电刷 A 为正极性, 电刷 B 为负极性。

当电枢转过 180° 时, 在线圈中产生的感应电动势的方向发生了变化, 分别是由 a 到 b 和由 c 到 d , 但此时 d 端经换向器接触电刷 A, a 端经换向器接触电刷 B, 流过负载的电流方向没有变化。所以, 电刷 A 仍为正极性, 电刷 B 仍为负极性。可见电刷 A、B 的极性始终不变。

从以上分析可以看出, 电枢绕组中感应电动势和电流的方向是交变的。但是, 经过电刷和换向器的整流作用, 可使外电路得到方向不变的直流电。

根据式 1.1.6 可知, 电枢绕组中的感应电动势 E 与磁通 ϕ 和转速 n 的关系成正比, 即

$$E = C_E \phi n \quad (1.1.7)$$

式中 C_E 是由电机结构所决定的常数。

直流发电机的励磁方式是指给励磁绕组提供励磁电流的接线方式。可分为他励式和自励式两大类。他励式是指励磁绕组由其他独立的直流电源供电, 自励式是指励磁绕组的励磁电流由发电机自身提供的。自励式又分为并励、串励和复励式三种。其接线方式如图 1.1.7 所示。

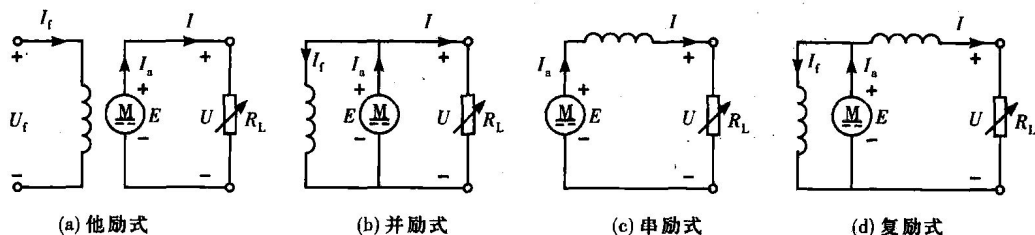


图 1.1.7 直流发电机的励磁方式

1.2 交流电源

正弦交流电是交流电的主要形式, 也是目前供电和用电的主要形式之一。这是因为交流发电机等供电设备要比其他波形的电源供电设备性能好、效率高。另外, 交流电压的大小也可以通过变压器进行变换, 所以正弦交流电的应用最为广泛。本节首先介绍正弦交流电的基本概念及相量表示法, 然后介绍三相交流电的产生及其主要发电形式。

1.2.1 正弦交流电的三要素

大小和方向都随着时间周期性地变化、并且在一个周期内的平均值为零的电压、电流和电动势统称为交流电。交流电的种类很多, 如果按波形来分有正弦波、三角波、矩形波和脉冲波等等, 在工程实际中所用的交流电主要是正弦交流电。以正弦交流电流为例, 其数学表达式为

$$i = I_m \sin(\omega t + \phi) \quad (1.2.1)$$

波形图如图 1.2.1 所示。式中 i 表示正弦量的瞬时值 (instantaneous value), 它是随着时间变化的, I_m 为正弦量的最大值 (maximum value) 或幅值 (amplitude), ω 为正弦量的角频率

(angular frequency), ψ 为正弦量的初相位 (initial phase) 或初相角 (initial phase angle)。很显然, 当最大值、角频率和初相位一定时, 正弦交流电的表达式也就一定, 所以把最大值、角频率和初相位称为正弦交流电的三要素。

1. 周期、频率和角频率

通常用周期、频率和角频率来表示正弦交流电变化的快慢。

周期(period) 交流电周期性地变化一个循环所需要的时间称为周期, 用 T 表示, 单位是秒(s)。

频率(frequency) 正弦交流电每秒完成的周期数称为频率, 用 f 表示, 单位是赫兹(Hz)。

从上面的定义可知, 周期 T 与频率 f 互为倒数。

$$T = \frac{1}{f} \quad (1.2.2)$$

正弦交流电在一个周期内变化了 2π 弧度, 即 $\omega T = 2\pi$, 故角频率与周期、频率的关系为

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f \quad (1.2.3)$$

单位是弧度每秒(rad/s)。

我国和世界上大多数国家使用的工业标准频率简称工频(power frequency) 都是 50 Hz, 还有少数国家, 如美国的工业标准频率为 60 Hz。除工业标准频率外, 某些领域还需要使用其他频率, 如无线通信的频率为 30 kHz ~ 30 000 MHz, 有线通信的频率为 300 ~ 5 000 Hz 等。

2. 瞬时值、最大值和有效值

瞬时值 正弦交流电在任一瞬时的数值称为瞬时值, 它是随时间变化的。用小写字母表示, 例如用 i 、 u 和 e 分别表示正弦电流、电压和电动势的瞬时值。

最大值 交流电在变化过程中出现的最大瞬时值, 称为最大值或幅值。用带有下标的大写字母表示, 例如用 I_m 、 U_m 和 E_m 分别表示正弦电流、电压和电动势的最大值。

上述两个物理量都是表征某一瞬间正弦交流电的大小, 反映的仅是一个特定瞬间的值, 不能用来计量交流电。因此我们引入一个用来计量交流电大小的量, 即交流电的有效值(effective value), 用大写字母来表示, 例如用 I 、 U 和 E 分别表示正弦电流、电压和电动势的有效值。它是这样定义的, 当交流电流 i 通过某一个电阻 R 时, 如果在一个周期 T 内消耗的电能与某直流电流 I 通过这一电阻在同样长的时间 T 内消耗的电相等的话, 就把这一直流电流 I 的数值定义为交流电流的有效值。根据这一定义, 有

$$\int_0^T Ri^2 dt = RI^2 T \quad (1.2.4)$$

由此可求得有效值和瞬时值的关系为

$$I = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt} \quad (1.2.5)$$

即有效值等于瞬时值的平方在一个周期内的平均值的开方, 故有效值又称为方均根值

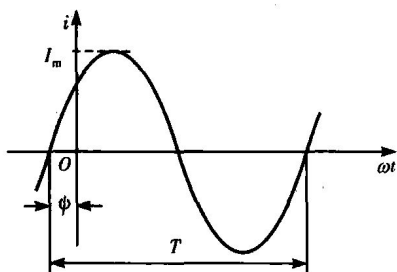


图 1.2.1 正弦交流电的波形