普通高等教育“十三五”规划教材
电子电气基础课程规划教材

飞行特色

电工电子技术基础

■ 程继航　李正魁　主编



中国工信出版集团
電子工業出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
http://www.phei.com.cn

需要全本请访问 www.ertongbook.com

电子电气基础课程规划教材

电工电子技术基础

程继航　李正魁　主编

石静苑　李　姝　郑　炜　焦　阳　副主编

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书是根据《飞行人才培养方案》，按照飞行学员培养需求，以打牢基础知识、贴近飞行实战和紧跟技术发展前沿为特色编写的电工电子基础课程教材。全书分为上、下篇，共 19 章。上篇为电工技术部分，系统地介绍电路的基本概念和基本定律、直流电路、暂态电路、正弦交流电路的分析方法、变压器、电机和继电器等内容；下篇为电子技术部分，介绍半导体器件、三极管及其放大电路、集成运算放大电路、反馈电路、直流稳压电源、数字电路基础、逻辑代数、组合逻辑电路、时序逻辑电路、脉冲信号产生与整形、A/D 转换器和 D/A 转换器等内容。

全书各章节将大量的航空理论知识和飞行应用实例融入电工电子基础内容之中，并引入大量与电子科技发展和航空电子设备相关的习题，激发学生的学习兴趣，培养学生的应用能力与创新能力，提高教学的针对性和有效性。

本书可作为高等军事院校或航空航天院校非电类专业本科“电工电子技术”课程的教材，也可作为工程技术人员的参考用书。

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

电工电子技术基础 / 程继航，李正魁主编. —北京：电子工业出版社，2016.9
电子电气基础课程规划教材
ISBN 978-7-121-29657-4

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2016）第 187471 号

责任编辑：凌　毅
印　　刷：涿州市京南印刷厂
装　　订：涿州市京南印刷厂
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：787×1 092　1/16　印张：24　字数：646 千字
版　　次：2016 年 9 月第 1 版
印　　次：2016 年 9 月第 1 次印刷
定　　价：56.00 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)88254888，88258888。

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。

本书咨询联系方式：(010)88254528，lingyi@phei.com.cn。

前　言

当今社会，创新已经成为时代的主旋律，对优秀人才的评价，已不仅仅局限于其卷面分数，而更看重一个人的理论创新能力和解决实际问题的能力。“电工电子技术”是高等院校工科专业的一门专业基础课程，可以说是大学教育阶段学生接触到的第一门理论与实践应用结合紧密的课程，本门课程的学习对学生创新思维和创新能力的培养具有非常重要的意义。

近年来，电工电子技术的发展极为迅速，已经深入到国民经济的各个领域，是现代经济发展、经济建设不可或缺的财富。同样，电工电子技术在国防军事领域的普及程度和所起的作用也是惊人的，作战指挥、武器控制、作战保障、后勤保障、军事训练、人员培训、行政管理、军事科研等，到处都有电工电子技术的影子；而且武器小型化、智能化、自动化，精确制导系统和卫星航天系统的实现也离不开电工电子技术。实践表明，电工电子技术是现代航空作战行动中的一种重要作战手段和保证手段，是赢得战争胜利的关键因素。

本教材是为高等院校工科非电类专业，特别是为具有飞行特色的航空类专业学习电工电子技术课程而编写的。教材在具有基础性和普遍适用性的基础上，更加突出了航空航天特色，增加了大量与航空电子设备相关的基本应用知识和思考练习题。

本教材分为上、下两篇，上篇为电工技术，下篇为电子技术，由程继航教授和李正魁教授担任主编。上篇主要由郑炜副教授和焦阳副教授负责，参加编写工作的有王兆欣、栾爽、翟艳男、赵黎黎、张晖、陈大川、张耀平、冯志斌、马骋、刘晶、陈辉等；下篇主要由李姝副教授和石静苑副教授负责，参加编写工作的有杨坤、丁长虹、李君、金美善、李晶、张伟东、高玲、李井泉、裘昌利、和思铭、宋暖、孙金志、汤艳坤、王蔚等。主审为李彦志教授和董兴文副教授。

在教材编写过程中，空军航空大学杨建波教授、郭纲副教授和沧州试训基地的改装教员提出了大量宝贵意见和修改建议，在此深表谢忱。

由于时间仓促，书中难免有错误和不妥之处，恳请读者予以指正，不胜感谢。

程继航

2016 年 8 月

目　录

上篇　电工技术

第 1 章　电路的基本概念与基本定律 …… 2
1.1　电路与电路模型 …… 2
1.1.1　电路的概念 …… 2
1.1.2　电路的作用 …… 3
1.1.3　电路的组成 …… 3
1.1.4　电路模型 …… 4
1.2　电路的基本物理量 …… 5
1.2.1　电流 …… 5
1.2.2　电压 …… 5
1.2.3　电流与电压的参考方向 …… 5
1.2.4　电功率 …… 6
1.3　电阻元件与欧姆定律 …… 7
1.3.1　电阻元件 …… 7
1.3.2　欧姆定律 …… 8
1.4　基尔霍夫定律 …… 9
1.4.1　基尔霍夫电流定律 …… 10
1.4.2　基尔霍夫电压定律 …… 11
1.5　电路中电位的概念及计算 …… 12
小结 …… 14
习题 1 …… 15
第 2 章　电路的分析方法 …… 19
2.1　电阻的串联与并联 …… 19
2.1.1　电阻的串联 …… 20
2.1.2　电阻的并联 …… 21
2.2　电压源与电流源及其等效变换 …… 22
2.2.1　电压源 …… 22
2.2.2　电流源 …… 23
2.2.3　电压源与电流源的等效变换 …… 24
2.3　支路电流法 …… 24
2.4　节点电压法 …… 26
2.5　叠加原理 …… 27
2.6　戴维南定理 …… 28
2.7　最大功率传输定理 …… 30
2.8　受控源 …… 31
小结 …… 32
习题 2 …… 33
第 3 章　电路的暂态分析 …… 36
3.1　储能元件 …… 36
3.1.1　电容元件 …… 36
3.1.2　电感元件 …… 38
3.2　暂态过程与换路定则 …… 40
3.2.1　暂态过程 …… 40
3.2.2　换路定则 …… 41
3.2.3　暂态过程初始值的计算 …… 41
3.3　RC 电路的响应 …… 42
3.3.1　RC 电路的零输入响应 …… 43
3.3.2　RC 电路的零状态响应 …… 45
3.3.3　RC 电路的全响应 …… 46
3.4　RL 电路的响应 …… 46
3.4.1　RL 电路的零输入响应 …… 47
3.4.2　RL 电路的零状态响应 …… 48
3.4.3　RL 电路的全响应 …… 49
3.5　一阶电路的三要素法 …… 49
3.6　微分电路和积分电路 …… 52
3.6.1　微分电路 …… 52
3.6.2　积分电路 …… 52
小结 …… 53
习题 3 …… 53
第 4 章　正弦交流电路 …… 56
4.1　正弦交流电的基本概念 …… 56
4.1.1　正弦交流电压和电流 …… 56
4.1.2　交流电的幅值和有效值 …… 57
4.1.3　交流电的周期、频率与角频率 …… 57
4.1.4　交流电的相位、初相位与相位差 …… 58

需要全本请访问 www.ertongbook.com

4.2 正弦量的相量表示法 …… 59
4.2.1 复数 …… 59
4.2.2 相量 …… 60
4.2.3 相量图 …… 60
4.3 单一参数的正弦交流电路 …… 61
4.3.1 电阻元件交流电路 …… 61
4.3.2 电感元件交流电路 …… 62
4.3.3 电容元件交流电路 …… 63
4.4 RLC 串联电路 …… 65
4.4.1 阻抗、阻抗模和阻抗角 …… 66
4.4.2 电压与电流的关系 …… 67
4.4.3 电路性质讨论 …… 67
4.5 正弦交流电路的功率 …… 69
4.5.1 瞬时功率 …… 70
4.5.2 平均功率 …… 71
4.5.3 无功功率 …… 71
4.5.4 视在功率 …… 72
4.5.5 功率因数及感性负载功率因数的提高 …… 73
4.6 滤波电路 …… 74
4.6.1 低通滤波电路 …… 75
4.6.2 高通滤波电路 …… 76
4.7 电路中的谐振 …… 77
4.7.1 串联谐振 …… 77
4.7.2 并联谐振 …… 79
小结 …… 81
习题 4 …… 82
第 5 章 三相电路 …… 86
5.1 三相电源 …… 86
5.1.1 三相交流电 …… 86
5.1.2 三相电源的星形连接 …… 88
5.2 三相负载 …… 89
5.2.1 三相负载的星形连接 …… 89
5.2.2 三相负载的三角形连接 …… 91
5.3 三相功率 …… 92
5.4 安全用电 …… 92
5.4.1 电流对人体的危害 …… 92
5.4.2 触电类型 …… 93
5.4.3 接地和接零 …… 94
小结 …… 95
习题 5 …… 95
第 6 章 变压器 …… 98
6.1 变压器的基本结构 …… 98
6.1.1 铁心 …… 99
6.1.2 绕组 …… 99
6.2 变压器的工作原理 …… 99
6.2.1 空载运行 …… 100
6.2.2 有载运行 …… 101
6.3 变压器绕组的极性 …… 104
6.4 三相变压器 …… 105
6.4.1 三相变压器的磁路系统 …… 105
6.4.2 三相变压器绕组的连接组别 …… 106
6.5 特殊变压器 …… 108
6.5.1 自耦变压器 …… 108
6.5.2 仪用互感器 …… 109
小结 …… 110
习题 6 …… 111
第 7 章 电动机 …… 114
7.1 三相异步电动机的结构和铭牌数据 …… 114
7.1.1 三相异步电动机的结构和转动原理 …… 114
7.1.2 三相异步电动机的铭牌 …… 116
7.2 三相异步电动机的转动原理 …… 117
7.2.1 旋转磁场的产生 …… 118
7.2.2 电动机的转动原理 …… 120
7.2.3 转差率 s …… 121
7.3 三相异步电动机的转矩和机械特性 …… 122
7.3.1 定子电路 …… 122
7.3.2 转子电路 …… 122
7.3.3 三相异步电动机的转矩 …… 124
7.3.4 三相异步电动机的机械特性 …… 124
7.4 三相异步电动机的使用 …… 127
7.5 单相异步电动机 …… 132
7.5.1 分相式单相异步电动机 …… 132
7.5.2 罩极式单相异步电动机 …… 134
7.6 直流电机 …… 135
7.6.1 直流电机的基本结构和原理 …… 135
7.6.2 直流电机的额定值及其型号 …… 138
7.6.3 直流电机的换向 …… 139
7.6.4 无刷直流电动机 …… 139

小结 …… 141
习题 7 …… 142
第 8 章 继电器及其控制系统 …… 144
8.1 电磁铁的一般结构和动作原理 …… 144
8.1.1 电磁铁的基本结构和动作原理 …… 144
8.1.2 典型的直流电磁铁 …… 145
8.2 常用电磁控制器件 …… 147
8.2.1 电磁式接触器 …… 147
8.2.2 继电器 …… 150
8.3 其他常用低压控制器件 …… 154
8.3.1 热继电器 …… 154
8.3.2 速度继电器 …… 155
8.3.3 开关(电门) …… 155
8.3.4 保护器件 …… 159
8.4 基本继电器的控制电路与电气控制原理图 …… 162
8.4.1 异步电动机启-保-停控制 …… 162
8.4.2 控制电路原理图 …… 163
8.4.3 继电器控制电路图的阅读方法 …… 163
8.5 典型的控制环节 …… 164
8.5.1 三相异步电动机点动控制电路 …… 164
8.5.2 三相异步电动机连续运转控制电路 …… 165
8.5.3 三相异步电动机既连续又能点动运转控制电路 …… 165
8.5.4 三相异步电动机的正/反转控制 …… 166
8.5.5 三相异步电动机的过载保护 …… 167
小结 …… 167
习题 8 …… 169

下篇 电 子 技 术

第 9 章 半导体二极管及其基本应用电路 …… 172
9.1 半导体基础知识 …… 172
9.1.1 本征半导体 …… 172
9.1.2 杂质半导体 …… 173
9.1.3 PN 结 …… 173
9.2 二极管 …… 174
9.2.1 二极管的构造 …… 174
9.2.2 伏安特性 …… 175
9.2.3 主要参数 …… 176
9.2.4 主要应用 …… 176
9.3 特殊二极管 …… 180
9.3.1 稳压二极管 …… 180
9.3.2 光电二极管 …… 182
9.3.3 发光二极管 …… 182
9.3.4 光电耦合器 …… 183
小结 …… 184
习题 9 …… 184
第 10 章 双极结型晶体管及其放大电路 …… 187
10.1 双极结型晶体管 …… 187
10.1.1 基本结构 …… 187
10.1.2 工作原理 …… 188
10.1.3 共射极电路特性曲线 …… 190
10.1.4 主要参数 …… 191
10.2 共射极基本放大电路 …… 193
10.2.1 放大电路的组成 …… 193
10.2.2 静态分析 …… 194
10.2.3 动态分析 …… 196
10.2.4 非线性失真 …… 200
10.3 静态工作点的稳定 …… 200
10.3.1 温度对静态工作点的影响 …… 201
10.3.2 分压式射极偏置电路 …… 201
10.4 共集电极放大电路——射极输出器 …… 203
10.4.1 静态分析 …… 204
10.4.2 动态分析 …… 204
10.5 差分放大电路 …… 206
10.5.1 基本差分放大电路 …… 206
10.5.2 输入和输出方式 …… 207

10.6 功率放大电路 208
10.6.1 功率放大电路的一般概念 208
10.6.2 乙类互补对称功率放大电路 209
10.6.3 甲乙类无输出电容互补对称功率放大电路(OCL 电路) 210
10.6.4 甲乙类无输出变压器的互补对称功率放大电路(OTL 电路) 211
10.6.5 集成功率放大器 213
10.7 多级放大电路 213
10.7.1 阻容耦合多级放大电路 213
10.7.2 直接耦合多级放大电路 214
小结 217
习题 10 217
第 11 章 集成运算放大器 221
11.1 集成运算放大器概述 221
11.1.1 集成运算放大器的组成 221
11.1.2 理想运算放大器 223
11.1.3 集成运放的电压传输特性 223
11.1.4 主要参数 224
11.2 集成运放在信号运算中的应用 225
11.2.1 比例运算电路 225
11.2.2 加法运算电路 227
11.2.3 减法运算电路 228
11.2.4 积分运算电路 228
11.2.5 微分运算电路 229
11.3 集成运放在信号处理中的应用 231
11.3.1 单门限电压比较器 231
11.3.2 滞回电压比较器 232
11.4 使用集成运算放大器应注意的问题 233
小结 234
习题 11 235
第 12 章 反馈电路 238
12.1 反馈的基本概念 238
12.1.1 直流反馈和交流反馈 238
12.1.2 负反馈与正反馈 238
12.1.3 串联反馈与并联反馈 240
12.1.4 电压反馈与电流反馈 241
12.2 负反馈放大电路的 4 种组态 241
12.2.1 电压串联负反馈 241
12.2.2 电压并联负反馈 242
12.2.3 电流串联负反馈 242
12.2.4 电流并联负反馈 243
12.3 负反馈对放大电路的影响 244
12.3.1 降低放大倍数 245
12.3.2 提高了放大倍数的稳定性 246
12.3.3 改善了非线性失真 247
12.3.4 扩展通频带 247
12.3.5 改变了输入电阻和输出电阻 247
12.4 振荡电路中的正反馈 248
12.4.1 自激振荡 248
12.4.2 正弦波振荡电路 249
小结 254
习题 12 254
第 13 章 直流稳压电源 257
13.1 整流电路 257
13.1.1 单相半波整流电路 258
13.1.2 单相桥式整流电路 259
13.2 滤波电路 261
13.2.1 电容滤波电路 261
13.2.2 电感电容滤波电路 263
13.2.3 π 形滤波电路 263
13.3 稳压电路 264
13.3.1 稳压管稳压电路 264
13.3.2 集成稳压电路 265
小结 266
习题 13 267
第 14 章 数字电路基本知识 269
14.1 数字电路与数字信号 269
14.1.1 模拟信号 269
14.1.2 数字信号 269
14.1.3 模拟量的数字表示 270

14.1.4 数字电路的优点 …… 271
14.2 数制及其相互转换 …… 271
14.2.1 十进制数 …… 272
14.2.2 二进制数 …… 272
14.2.3 八进制数和十六进制数 …… 273
14.2.4 数制之间的转换 …… 274
14.3 二进制代码 …… 276
14.3.1 二-十进制代码 …… 276
14.3.2 格雷码 …… 277
小结 …… 279
习题 14 …… 280
第 15 章 逻辑代数 …… 281
15.1 基本逻辑关系和门电路 …… 281
15.1.1 与逻辑运算(逻辑与) …… 281
15.1.2 或逻辑运算(逻辑或) …… 282
15.1.3 非逻辑运算(逻辑非) …… 283
15.2 常用复合逻辑关系 …… 285
15.2.1 与非逻辑运算 …… 285
15.2.2 或非逻辑运算 …… 285
15.2.3 与或非逻辑运算 …… 286
15.2.4 异或逻辑运算 …… 287
15.2.5 同或逻辑运算 …… 287
15.3 逻辑代数运算法则 …… 287
15.4 逻辑函数的表示方法 …… 288
15.4.1 真值表 …… 289
15.4.2 逻辑函数式 …… 289
15.4.3 逻辑图 …… 289
15.5 逻辑函数代数化简法 …… 290
15.5.1 化简的意义与标准 …… 290
15.5.2 逻辑函数的代数化简法 …… 291
小结 …… 293
习题 15 …… 293
第 16 章 组合逻辑电路 …… 297
16.1 数字集成门电路 …… 297
16.1.1 数字集成电路分类 …… 297
16.1.2 集成逻辑门 …… 298
16.1.3 集成逻辑门电路的工作特性和参数 …… 299
16.2 组合逻辑电路的分析与设计 …… 302
16.2.1 组合逻辑电路分析 …… 302
16.2.2 组合逻辑电路设计 …… 303
16.3 常用集成组合逻辑电路 …… 306
16.3.1 编码器 …… 307
16.3.2 译码器 …… 309
16.3.3 加法器 …… 313
小结 …… 315
习题 16 …… 315
第 17 章 触发器和时序逻辑电路 …… 319
17.1 基本概念 …… 319
17.2 触发器 …… 320
17.2.1 RS 触发器 …… 320
17.2.2 边沿 D 触发器 …… 328
17.2.3 JK 触发器 …… 331
17.3 寄存器 …… 332
17.3.1 数码寄存器 …… 332
17.3.2 移位寄存器 …… 333
17.4 计数器 …… 335
17.4.1 计数器分类 …… 335
17.4.2 集成计数器 …… 336
小结 …… 340
习题 17 …… 340
第 18 章 脉冲信号的产生与整形 …… 345
18.1 矩形脉冲信号的基本知识 …… 345
18.2 555 定时器及其应用电路 …… 346
18.2.1 555 定时器的原理电路与功能 …… 346
18.2.2 555 定时器构成的单稳态触发器 …… 347
18.2.3 555 定时器构成的多谐振荡器 …… 349
18.2.4 555 定时器构成的施密特触发器 …… 350
小结 …… 351
习题 18 …… 352
第 19 章 模拟信号与数字信号转换器 …… 356
19.1 模拟信号和数字信号转换 …… 356
19.1.1 模拟设备和数字设备与计算机的连接 …… 356
19.1.2 信息信号的转换 …… 357

19.2 模数转换器(ADC)…… 358
19.2.1 模数转换的一般步骤 …… 359
19.2.2 模数转换器的主要参数 …… 362
19.2.3 模数转换基本原理 …… 363
19.3 数模转换器(DAC)…… 366
19.3.1 数模转换基本原理 …… 366
19.3.2 数模转换器的主要参数…… 369
小结…… 369
习题 19…… 370
参考文献…… 372

第 1 章　电路的基本概念与基本定律

引言

目前飞机上的电子设备种类日益繁多，以中国研制的多用途轻型战斗机 FC-1“枭龙”为例，如图 1-1 所示，该战斗机包括雷达、通信导航与识别、大气数据等系统，熟悉这些电子系统能帮助飞行员顺利执行各种战术操作，突显作战能力。在飞机系统中，从简单的飞机照明电路，到复杂的飞机供电系统；从单个的机载通话设备，到卫星通信网络，它们都是由电路元器件构成的，如电源、电阻、电容、电感、变压器、集成电路等。可以说，只要在涉及电的地方就离不开电路理论的支持。本章主要介绍电路的基本概念与基本定律，为分析复杂电路奠定理论基础，本章的内容贯穿全书，要求在学习中给予足够的重视。



图 1-1　FC-1“枭龙”战斗机

学习目标：

1. 了解电路的概念，知道电压、电流参考方向的含义；
2. 了解如何计算电路元件的功率，并能确定该元件起电源作用还是负载作用；
3. 能够阐述欧姆定律、基尔霍夫定律，并能熟练使用定律分析简单电路；
4. 理解电位的概念。

1.1　电路与电路模型

1.1.1　电路的概念

电路，即电流的通路，是电气设备或元器件为了某种需要按一定方式组合的整体。图 1-2 是电力系统电路示意图。图 1-3 是飞机供电系统电路示意图。图 1-4(a)是某型通用超短波跳频电台设备，是我军各军兵种团、营、连级固定、机动的通用装备，图 1-4(b)是它的电路示意图。

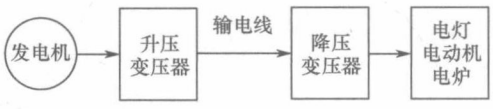


图 1-2　电力系统示意图

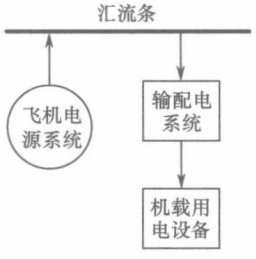
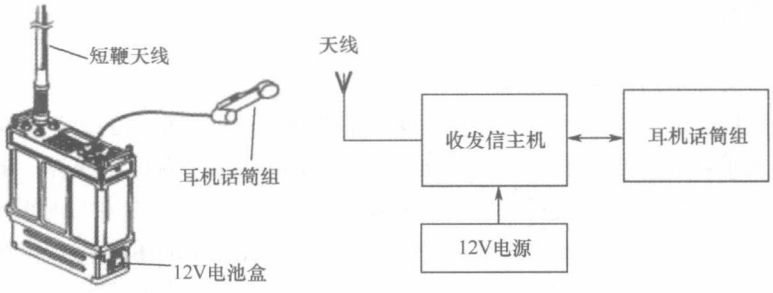


图 1-3　某型飞机供电系统示意图

需要全本请访问 www.ertongbook.com



(a) 某型通用超短波跳频电台设备　　(b) 某型通用超短波跳频电台系统示意图

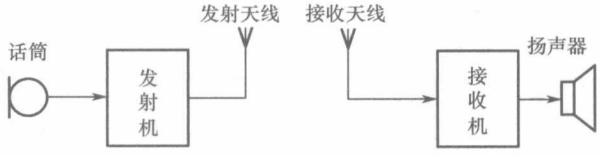
图 1-4　某型通用超短波跳频电台

1.1.2　电路的作用

电路的结构形式是多种多样的，所实现的功能也是千差万别的，但从电路的作用上看，可将其分为两大类。

一类电路是用来进行电能的传输和转换的。典型的例子如图 1-2 所示的电力系统和图 1-3 所示的飞机供电系统。这类电路一般电压高、频率低、电流大，用来驱动大功率的设备，称为“强电”。“强电”是一种用作动力的能源，主要研究电能，属于电工技术部分。

另一类电路是用来传递和处理信号的。图 1-4(b)所示的超短波电台系统可以拆分成如图 1-5 所示的机载收/发射机系统。发射机和接收机是机载电台的主体(机载电台用来完成飞机与地面、飞机与舰艇、飞机与飞机之间的通信联络)。图 1-5(a)所示的机载发射机先把声音、图像、符号等信息转换为相应的电压信号和电流信号，再通过放大等环节将这些信号变换成无线电波，并通过天线发射出去；图1-5(b)所示的机载接收机用来把接收到的无线电波还原成声音、图像、符号等信息，这些电路都是用来传递和处理信号的。这类电路电流小、频率高、电压小，称为“弱电”。“弱电”主要研究电信号及信号的流动，属于电子技术部分。



(a) 机载发射机系统示意图　　(b) 机载接收机系统示意图

图 1-5　机载发射机和接收机示意图

1.1.3　电路的组成

实际电路用来完成不同的任务，不论电路采取何种结构、电路的复杂程度如何，电路一般都由电源、负载和中间环节 3 个部分组成。

例如在图 1-3 中，飞机电源系统包括从电源设备到电源汇流条之间的全部设备，是提供电能的设备。飞机用电设备属于负载，如各种航空仪表、导航设备、雷达设备、飞行控制系统、火力控制系统等，是取用电能的设备。此外，要将电能安全、可靠地输送到用电设备上，还需要一套连接电源和负载的输配电系统，也称作飞机电网，属于中间环节，它包括从电源汇流条到机载用电设备之间的全部设备，起传输和分配电能的作用。又如在图 1-5(b)中，天线接收到的信号相当于信号源，扬声器是负载，接收机等设备属于中间环节。

1.1.4 电路模型

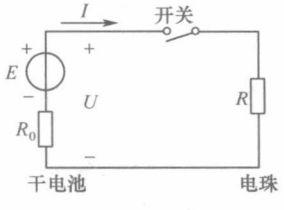
电路模型是由实际电路抽象而成的，它近似地反映实际电路的电气特性，电路模型由一些理想元件用理想导线连接而成。理想元件是具有某种确定电磁性质并有精确的数学定义的基本结构，是组成电路模型的最小单元。基本的理想电路元件(理想两字常略去)有电阻元件、电感元件、电容元件、电压源和电流源 5 种，它们分别用相应的参数来表征。表 1-1 为常用的理想元件的电路模型及符号。实际电路中的电气装置或器件，如发电机、蓄电池等电源元件和灯泡、电炉、电动机等负载元件，种类很多，形态各异，电磁性质复杂。由实际电路元件画成的电路结构复杂，不便进行分析计算。为此，需要将实际电路元件理想化、模型化，即突出其主要电磁特性，忽略其次要因素，用足以表征其主要特性的单一理想电路元件或其组合来代替。由一些理想电路元件组成的电路，就是实际电路的电路模型。例如，图 1-6(a)所示的手电筒，就可以等效成图 1-6(b)所示的电路模型，其中 E、U 和 R_0 分别为电源的电动势、端电压和内阻，R 为负载电阻。再例如图 1-7(a)所示的相控雷达，它的偏转线圈就可以视为由损耗电阻 R、偏转线圈电感 L 和分布电容 C_0 组成的等效电路，如图 1-7(b)所示，在一定条件下 C_0 的影响也可以忽略。通过分析电路模型，可以揭示实际电路所遵循的普遍规律。

表 1-1　常用理想元件及其常用电路符号

名称	符号	名称	符号
电阻		电压表	
电池		接地	
电灯		熔断器	
开关		电容	
电流表		电感	
电压源		电流源	



(a) 手电筒

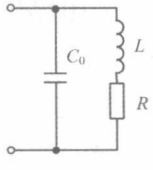


(b) 手电筒的电路模型

图 1-6　手电筒及其等效电路



(a) 雷达



(b) 偏转线圈等效电路

图 1-7　雷达偏转线圈等效电路

1.2 电路的基本物理量

1.2.1 电流

在电路中，电荷沿着导体定向运动称为电流。电流的大小等于在单位时间内通过导体横截面的电荷量，称为电流强度，简称为电流，用字母 I 来表示。当电路中电流变量随时间变化时，一般用小写字母 i 表示，大写字母 I 则表示对应的变量是恒定量。电流的公式表示为

$$I=\frac{q}{t}, \qquad i=\frac{\mathrm{d}q}{\mathrm{d}t} \tag{1-1}$$

式中，i，I 为电流，电流的国际单位为安培(A)；t 为通过电量所用的时间，单位是秒(s)；q 为通过导体横截面积的电量，单位是库仑(C)。

常用的电流单位还有毫安(mA)、微安(μA)、千安(kA)等。换算关系为 $1\mathrm{mA}=10^{-3}\mathrm{A}$，$1\mu\mathrm{A}=10^{-6}\mathrm{A}$，$1\mathrm{kA}=10^{3}\mathrm{A}$。

1.2.2 电压

电荷在电场力作用下会做功。电压就是衡量电场力做功本领的物理量。在电场中，a，b 两点间电压 U_{ab} 在数值上等于电场力把单位正电荷从 a 点移动到 b 点所做的功。当电路中电压变量随时间变化时，一般用小写字母 u 表示，大写字母 U 则表示对应的变量是恒定量。电压的公式表示为

$$U=\frac{W}{q}, \qquad u=\frac{\mathrm{d}W}{\mathrm{d}q} \tag{1-2}$$

式中，u，U 为电压，电压的国际单位为伏特(V)；W 为电场力所做的功，单位是焦耳(J)；q 为被移动的电荷电量，单位是库仑(C)。

常用的电压单位还有毫伏(mV)、微伏(μV)、千伏(kV)等。换算关系为 $1\mathrm{mV}=10^{-3}\mathrm{V}$，$1\mu\mathrm{V}=10^{-6}\mathrm{V}$，$1\mathrm{kV}=10^{3}\mathrm{V}$。

电动势是反映电源把其他形式的能转换成电能的本领的物理量。电动势使电源两端产生电压。在电路中，电动势常用 E 表示，单位是伏(V)。电动势的方向规定为从电源的负极经过电源内部指向电源的正极，即与电源两端电压的方向相反。

1.2.3 电流与电压的参考方向

图 1-6(b)手电筒等效电路是最简单的直流电阻电路，将开关闭合后，电路中有电流 I 产生。电流 I、电压 U 和电动势 E 是电路的基本物理量，在分析电路时必须在电路图上用箭头或“+”、“−”来标出它们的方向或极性[如图 1-6(b)手电筒等效电路所示]，才能正确列出电路方程。关于电压和电流的方向，有实际方向和参考方向之分，要加以区别。

电流的实际方向与参考方向：习惯上规定正电荷运动的方向或负电荷运动的相反方向为电流的方向(实际方向)。电流的方向是客观存在的。但在分析较为复杂的直流电路时，往往难于事先判断某支路中电流的实际方向；对交流来讲，其方向随时间而变，在电路图上也无法时刻表示它的实际方向。为此，在分析与计算电路时，常可任意选定某一方向作为电流的参考方向，或称为正方向。电流的参考方向可以用箭头或者加双下标的方法来表示，如图 1-8(a)所示。

电压的实际方向与参考方向：电压和电动势都是标量，但在分析电路时，和电流一样，也说它

们具有方向。电压的实际方向规定为由高电位(“+”极性)端指向低电位(“−”极性)端，即为电位降低的方向。电源电动势的实际方向规定为在电源内部由低电位(“−”极性)端指向高电位(“+”极性)端，即为电位升高的方向。

电压的参考方向除用极性“+”、“−”表示外，也可用双下标或箭头表示，如图1-8(b)所示。图中a、b的电压U_{ab}，表示a为假想的高电位(“+”)，b为假想的低电位(“−”)，其参考方向是从a指向b。如果参考方向选为由b指向a，则为U_{ba}，$U_{ab}=-U_{ba}$。



(a) 电流参考方向表示方法　　(b) 电压参考方向表示方法

图 1-8　电压和电流的参考方向

在电路图中所标的电流、电压和电动势，一般都是参考方向。当参考方向设定以后，根据假设的参考方向列写电路方程，求解电路中未知的电流、电压或电动势，它们可以为正值，也可以为负值。当所得结果为正值时，说明物理量的实际方向与其参考方向一致；反之，当所得的结果为负值时，说明物理量的实际方向与其参考方向相反。若事先没有标出参考方向，则所得结果的正、负是没有任何意义的。所以在分析电路之前，一定要先确定参考方向。

一个元件的电流或电压的参考方向可以独立地任意指定。如果指定流过元件的电流的参考方向是从电压正极性的一端指向负极性的一端，即两者的参考方向一致，则把电流和电压的这种参考方向称为关联参考方向，如图 1- 6(b)中电阻元件 R 上的 U 和 I。当选取关联参考方向时，只标出电压的或者电流的参考方向就可以。当二者选取不一致时，称为非关联参考方向。

1.2.4　电功率

电功率是描述电流做功快慢程度的物理量。电流在单位时间内所做的功称作电功率。用字母 P 表示，则根据式(1-1)和式(1-2)可得到电功率的公式表示为

$$P=\frac{W}{t}=\frac{Uq}{t}=UI,\qquad p=\frac{\mathrm{d}W}{\mathrm{d}t}=\left(\frac{\mathrm{d}W}{\mathrm{d}q}\right)\left(\frac{\mathrm{d}q}{\mathrm{d}t}\right)=ui \tag{1-3}$$

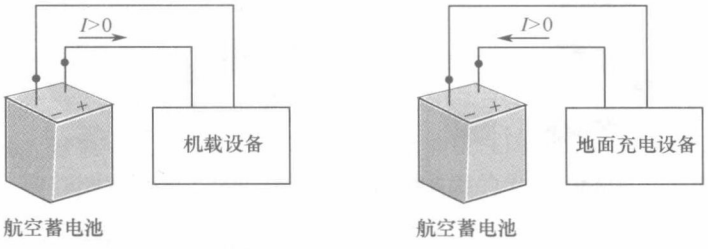
在国际单位制中，电功率的单位是瓦特，简称瓦，符号为(W)。常用的电功率单位还有毫瓦(mW)、千瓦(kW)等。

有时还要判断电路中的某个元件究竟是电源(或起电源的作用)，还是负载(或起负载的作用)，这要从功率的正、负来分析。由于电路中的电压、电流可以是正数或者负数的代数量，所以功率也是可正可负的代数量。

如果某元件的电压 U 和电流 I 为关联参考方向，则 $P=UI$ 表示该元件吸收功率。这时 $P>0$(此时，电压和电流的实际方向相同)，元件吸收功率，具有负载的电路性质；$P<0$(此时电压和电流的实际方向相反)，元件释放电能，发出功率，具有电源的电路性质。

如果 U 和 I 的参考方向相反，则 $P=UI$ 表示发出功率。这时 $P>0$，元件发出功率，具有电源的电路性质；$P<0$，元件吸收功率，具有负载的电路性质。

另一种方法可以先判断出电压和电流的实际方向，再判断功率情况。比如图 1-9 所示的航空蓄电池充放电电路，电流的实际方向有两种可能性。如果电流为正且流出电池正极性端，那么电池为飞机提供电能，起到电源的作用，如图 1-9(a)所示；如果电流为正且流进电池正极性端，那么电池从发电机吸收能量而被充电，起到负载的作用，如图 1-9(b)所示。求解电路以后，校核所得结果的方法之一是核对电路中所有元件的功率平衡，即一部分元件发出的总功率应等于其他元件吸收的总功率。



(a) 蓄电池起到电源的作用　　(b) 蓄电池起到负载的作用

图 1-9　航空蓄电池的工作电路

额定值是设备的一个重要技术指标。一般来说，电流过大，会引起发热甚至烧坏设备；电压过高，则会击穿电气绝缘，从而损坏设备。反之，如果电压太低，电流太小，不仅得不到正常合理的工作情况，也不经济。任何电气设备都有一个安全、经济和合理使用的最佳工作电压、电流和功率，称为电气设备的额定值。例如，直流发电机在设计制造时都规定有额定工作状态，在额定工作状态时所输出的功率称作额定功率，所输出的电压、电流，就称作额定电压、额定电流。如某型飞机的直流发电机，其额定电压为 27.5V，额定电流为 50A，额定功率为 1.5kW(在标称电压为 30V 时)。当设备在额定值下工作时称为满载，低于额定值工作时称为欠载，高于额定值工作时称为过载。一般短时间的少量的过载或欠载是允许的。

1.3　电阻元件与欧姆定律

电路是由元件连接组成的，各种元件都有自身的精确定义，由此可确定每一元件电压与电流之间的关系，即伏安关系。元件的伏安关系连同电路的基本定律构成了电路分析的基础。

1.3.1　电阻元件

电阻是物质阻碍电流(或电荷)流动的能力。模拟这种行为的电路元件称为电阻，电阻的英文名称为 resistance，通常缩写为 R。电阻值的大小与物质的尺寸、材料、温度有关。事实上，“电阻”说的是一种性质，而通常在电子产品中所指的电阻，是指电阻器这样一种元件。图 1-10 所示即为实际电路板中的电阻器。各类电阻如图 1-11 所示。

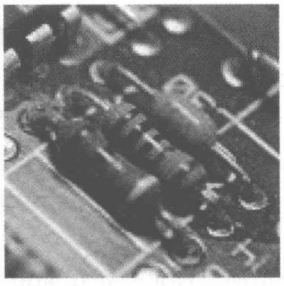


图 1-10　电路板中的电阻器

电阻器是电气、电子设备中用得最多的基本元件之一，主要用于控制和调节电路中的电流和电压，或用作消耗电能的负载。电阻器的种类有很多，通常分为 3 大类：固定电阻、可变电阻、特种电阻，在电子产品中，以固定电阻应用最多。而固定电阻以其制造材料的不同又可分为好多类，但常用、常见的有 RT 型碳膜电阻、RJ 型金属膜电

阻、RX 型线绕电阻，还有近年来开始广泛应用的片状电阻。可变电阻也就是通常所说的滑动变阻器。常见的特殊电阻有熔断电阻器(又叫保险丝电阻)，还有一些敏感电阻如光敏电阻和压敏电阻。



图 1-11　不同种类的电阻器

1.3.2　欧姆定律

1826 年，德国物理学家欧姆用实验证明，当电阻上的电压与电流参考方向选取的相同时[见图 1-12(a)]，则得

$$U = RI \tag{1-4}$$

当电压和电流的参考方向选得相反时[见图 1-12(b)和图 1-12(c)]，则得

$$U = -RI \tag{1-5}$$

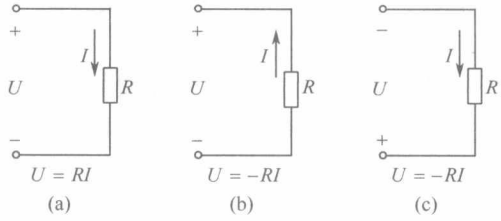


图 1-12　欧姆定律

式(1-4)和式(1-5)通称欧姆定律，电阻的单位是欧姆，用符号Ω表示。计量大电阻时，则以千欧(kΩ)或兆欧(MΩ)为单位。电阻的倒数称为电导，符号是 G，G=1/R，电导的单位是西门子(S)，例如一个 4Ω电阻的电导是 0.25S。

【例 1-1】 在图 1-12(b)中，$I = -2.5\text{A}$，$R = 3\Omega$，求 P。

解　　$U = -RI = -3 \times (-2.5) = 7.5\text{V}$

这里应注意，一个式子中有两套正负号，上式中的第一个正负号是根据电压和电流的参考方向得出的。此外，电压和电流本身还有正值和负值之分。

在图 1-12(a)所示的关联参考方向下，$U = RI$，于是

需要全本请访问 www.ertongbook.com