

The Handbook for Electrical Engineer

电气工程师手册

(专业基础篇)

杨贵恒 主 编

陈绍荣 龚利红 严 健 潘小兵 张 伟 副主编

- ➔ 为电气工程师夯实专业基础量身打造
- ➔ 注册电气工程师（供配电、发输变电专业）考试品牌图书
- ➔ 解析历年考点，为考生提供复习要点指南
- ➔ 每道习题详细讲解，思路清晰，为考生考试保驾护航



化学工业出版社

The Handbook for Electrical Engineer

电气工程师手册

(专业基础篇)

杨贵恒 主 编

陈绍荣 龚利红 严 健 潘小兵 张 伟 副主编



化学工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

电气工程师手册. 专业基础篇/杨贵恒主编. —北京:
化学工业出版社, 2018. 11
ISBN 978-7-122-32971-4

I. ①电… II. ①杨… III. ①电工技术-手册
IV. ①TM-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 207313 号

责任编辑: 高墨荣
责任校对: 宋 夏

文字编辑: 孙凤英
装帧设计: 王晓宇

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)
印 装: 三河市延凤印装有限公司
787mm×1092mm 1/16 印张 45¼ 字数 1191 千字 2019 年 3 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 售后服务: 010-64518899
网 址: <http://www.cip.com.cn>
凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 168.00 元

版权所有 违者必究

《电气工程师手册（专业基础篇）》编委会

主 编：杨贵恒

副主编：陈绍荣 龚利红 严 健 潘小兵 张 伟

成 员：杨贵恒 陈绍荣 龚利红 严 健 潘小兵

张 伟 甘剑锋 张寿珍 李 龙 强生泽

张颖超 曹均灿 贺明智 向成宣 阮 喻

李 锐 张瑞伟 文武松 聂金铜 金丽萍

刘 凡 赵 英 刘小丽 杨 翱 余佳玲

王裕文 张海呈 张传富 杨科目 雷少英

杨桂英 杨香梅 杨咏梅 杨秀梅 李光兰

温中珍 杨楚渝 温中云 唐贵碧 温廷文

杨贵文 徐树清 杨 岱 杨 盼 杨 鹏

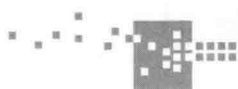
王 红 付保良 杨 芳 付 洋 张万娜

杨 胜 邓红梅 杨沙沙 杨 洪 汪二亮

杨 蕾 汪 哲 杨 青 陈 红 杨锡莲

杨昆明 邹 展 李凤兰 曹柏年 魏秀梅

汪 涛 吴伟丽 余 江 蒋王莉 余俊呈



为了适应社会主义市场经济体制，使工程设计管理体制和人事制度体制尽快与国际接轨并加强对勘察设计行业的管理，保证工程质量，维护社会公共利益和人民生命财产安全，规范设计市场，2001年1月，人事部、建设部以人发[2001]5号文正式出台了《勘察设计行业注册工程师制度》总体框架及实施规划，全面启动了我国注册工程师制度，电气工程师也列入其中。随着职业资格考试制度的健康发展、不断规范与完善，注册电气工程师执业资格考试已成为社会关注、行业重视、个人迫切需求的人才选拔制度之一。为了帮助电气设计工作者全面、系统掌握全国注册电气工程师执业资格考试专业基础考试大纲，提高复习效率，编者在参考相关文献的基础上特编写出版《电气工程师手册（专业基础篇）》。

本书依据全国勘察设计注册工程师管理委员会颁布的《注册电气工程师执业资格专业基础考试大纲》编写而成，内容涵盖了注册电气工程师（供配电、发输变电专业）执业资格考试要求的全部内容。全书共分为四章，内容包括：电路与电磁场、模拟电子技术基础、数字电子技术基础和电气工程基础。电路与电磁场包括电路的基本概念和基本定律、电路分析方法、正弦交流电路、非正弦周期电流电路、简单动态电路的时域分析、静电场、恒定电场、恒定磁场以及均匀传输线等内容；模拟电子技术基础包括半导体及二极管、放大电路基础、线性集成运算放大器和运算电路、信号处理电路、信号发生电路、功率放大电路以及直流稳压电源等内容；数字电子技术基础包括数字电路基础知识、集成逻辑门电路、逻辑代数及逻辑函数化简、集成组合逻辑电路、触发器、时序逻辑电路、脉冲波形的产生以及数模（D/A）和模数（A/D）转换等内容；电气工程基础包括电力系统基本知识、电力线路和变压器的参数与等值电路、简单电网的潮流计算、无功功率平衡和电压调整、短路电流计算、变压器、感应电动机、同步电机、过电压及绝缘配合、高压断路器、互感器、直流电机、电气主接线以及电气设备选择等内容。

本书由杨贵恒、陈绍荣、龚利红、严健、潘小兵、张伟、甘剑锋、强生泽、张颖超、曹均灿、贺明智、向成宣、阮喻、张瑞伟、文武松、聂金铜、金丽萍、王裕文、刘凡、赵英和杨翱等共同编写，最后由杨贵恒统稿。

全书内容紧扣考试大纲范围，叙述条理分明，概念清晰，为电气工程师夯实专业基础量身打造；详细解析注册电气工程师（供配电、发输变电专业）历年考点，给考生提供复习指导与解题技巧，为考生考试保驾护航。本书也可作为高等院校电气工程、电力系统及其自动化、电力电子与电力传动等相关专业师生的教学参考书，还可供相关专业技术人员用于提高专业基础理论水平。

由于编者学识所限，加之编写时间仓促，书中难免存在不妥之处，恳请广大读者提出宝贵意见和建议，邮箱 gmr9825@163.com 或 ygh700912@163.com。

目录

Contents

第 1 章

电路与电磁场

001

注册电气工程师考试大纲 / 001

1.1 电路的基本概念和基本定律 / 002

1.1.1 电路元件 / 002

1.1.2 电流和电压的参考方向 / 008

1.1.3 基尔霍夫定律 / 011

1.1.4 历届真题解析 / 015

1.2 电路分析方法 / 024

1.2.1 电路等效变换方法 / 024

1.2.2 节点电压法 / 041

1.2.3 网孔(回路)电流法 / 044

1.2.4 常用电路定理 / 047

1.2.5 历届真题解析 / 053

1.3 正弦交流电路 / 062

1.3.1 正弦量的三要素和有效值 / 062

1.3.2 基尔霍夫定律的相量形式 / 065

1.3.3 正弦交流电路分析 / 072

1.3.4 正弦交流电路的功率 / 081

1.3.5 (谐振电路)频率特性 / 085

1.3.6 三相交流电路基础 / 097

1.3.7 对称三相电路分析 / 100

1.3.8 不对称三相电路分析 / 102

1.3.9 历届真题解析 / 104

1.4 非正弦周期电流电路 / 132

1.4.1 非正弦周期量的傅里叶级数分解 / 133

1.4.2 非正弦周期量的有效值与平均值 / 137

1.4.3 非正弦周期电流电路的分析方法 / 140

1.4.4 历届真题解析 / 143

1.5 简单动态电路的时域分析 / 146

1.5.1 换路定则及电压与电流初始值 / 146

1.5.2 一阶电路分析的基本方法 / 149

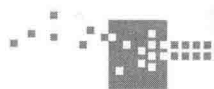
1.5.3 二阶电路分析的基本方法 / 155

1.5.4 历届真题解析 / 156

1.6 静电场 / 166

1.6.1 电场强度与电位 / 166

1.6.2 高斯定律 / 169



- 1.6.3 静电场边值问题的镜像法和电轴法 / 170
- 1.6.4 电场力及其计算 / 177
- 1.6.5 电容和部分电容及其计算 / 179
- 1.6.6 历届真题解析 / 182
- 1.7 恒定电场 / 185**
 - 1.7.1 恒定电场的几个基本概念 / 185
 - 1.7.2 恒定电场的基本定律与方程 / 187
 - 1.7.3 电导和接地电阻 / 191
 - 1.7.4 历届真题解析 / 192
- 1.8 恒定磁场 / 193**
 - 1.8.1 磁感应强度 / 193
 - 1.8.2 恒定磁场的基本方程及边界条件 / 194
 - 1.8.3 电感(自感和互感)及其计算 / 199
 - 1.8.4 磁场能量和磁场力的计算 / 201
 - 1.8.5 历届真题解析 / 204
- 1.9 均匀传输线 / 205**
 - 1.9.1 均匀传输线的基本方程与正弦稳态分析 / 205
 - 1.9.2 均匀传输线的特性阻抗与阻抗匹配 / 210
 - 1.9.3 历届真题解析 / 212

- 2.1 半导体及二极管 / 216**
 - 2.1.1 半导体基础 / 216
 - 2.1.2 PN结的形成及其特性 / 218
 - 2.1.3 二极管 / 222
 - 2.1.4 三极管 / 225
 - 2.1.5 历届真题解析 / 231
- 2.2 放大电路基础 / 233**
 - 2.2.1 基本放大电路 / 233
 - 2.2.2 放大电路的基本分析方法 / 235
 - 2.2.3 放大电路的主要技术指标 / 241
 - 2.2.4 反馈的基本概念及反馈电路的分析 / 242
 - 2.2.5 负反馈对放大电路性能的影响 / 247
 - 2.2.6 自激的原因及其消除方法 / 250

第2章 模拟电子技术基础

215

注册电气工程师考试大纲 / 215

第2章

模拟电子技术基础

215

注册电气工程师考试大纲 /215

2.2.7 历届真题解析 / 250

2.3 线性集成运算放大器和运算电路 / 256

2.3.1 差动放大电路 / 256

2.3.2 集成运放的特点与组成 / 262

2.3.3 多级放大电路 / 264

2.3.4 基本运放电路 / 266

2.3.5 对数与指数运算电路 / 273

2.3.6 乘法器的应用 / 275

2.3.7 历届真题解析 / 278

2.4 信号处理电路 / 283

2.4.1 有源滤波器 / 283

2.4.2 电压比较器 / 294

2.4.3 采样保持电路 / 299

2.4.4 历届真题解析 / 301

2.5 信号发生电路 / 302

2.5.1 正弦波振荡电路 / 302

2.5.2 非正弦波发生电路 / 308

2.5.3 压控振荡器 / 313

2.5.4 历届真题解析 / 315

2.6 功率放大电路 / 317

2.6.1 互补推挽功率放大电路 / 317

2.6.2 集成功率放大电路 / 322

2.6.3 功放管的散热问题 / 323

2.6.4 历届真题解析 / 325

2.7 直流稳压电源 / 326

2.7.1 整流滤波电路 / 326

2.7.2 串联型稳压电路 / 330

2.7.3 三端集成稳压器 / 332

2.7.4 历届真题解析 / 334



- 3.1 数字电路基础知识 / 337**
 - 3.1.1 数字电路的基本概念 / 337
 - 3.1.2 数制和码制 / 337
 - 3.1.3 半导体器件的开关特性 / 341
 - 3.1.4 三种基本逻辑关系及其表达方式 / 343
 - 3.1.5 历届真题解析 / 345
- 3.2 集成逻辑门电路 / 345**
 - 3.2.1 TTL 集成逻辑门电路 / 345
 - 3.2.2 MOS 集成逻辑门电路 / 349
 - 3.2.3 历届真题解析 / 351
- 3.3 逻辑代数及逻辑函数化简 / 351**
 - 3.3.1 逻辑代数的复合运算 / 351
 - 3.3.2 逻辑代数的基本公式和定理 / 352
 - 3.3.3 逻辑函数的建立和表达方法 / 354
 - 3.3.4 逻辑函数的标准表达形式 / 356
 - 3.3.5 逻辑函数的代数化简法 / 359
 - 3.3.6 逻辑函数的卡诺图化简法 / 359
 - 3.3.7 历届真题解析 / 365
- 3.4 集成组合逻辑电路 / 370**
 - 3.4.1 组合逻辑电路输入输出的特点 / 370
 - 3.4.2 组合逻辑电路的分析与设计 / 370
 - 3.4.3 组合逻辑模块及其应用 / 372
 - 3.4.4 历届真题解析 / 398
- 3.5 触发器 / 402**
 - 3.5.1 触发器工作原理 / 402
 - 3.5.2 触发器时钟脉冲的触发方式 / 408
 - 3.5.3 触发器逻辑功能的转换 / 409
 - 3.5.4 CMOS 触发器 / 410
 - 3.5.5 历届真题解析 / 411
- 3.6 时序逻辑电路 / 411**
 - 3.6.1 时序逻辑电路简介 / 411
 - 3.6.2 时序逻辑电路分析 / 412
 - 3.6.3 计数器 / 414
 - 3.6.4 寄存器 / 422
 - 3.6.5 历届真题解析 / 428

第3章

数字电子技术基础

336

注册电气工程师考试大纲 / 336

第4章

电气工程基础

449

注册电气工程师考试大纲 / 449

3.7 脉冲波形的产生 / 432

- 3.7.1 多谐振荡器 / 432
- 3.7.2 单稳态触发器 / 434
- 3.7.3 施密特触发器 / 436
- 3.7.4 历届真题解析 / 437

3.8 数模 (D/A) 和模数 (A/D) 转换 / 438

- 3.8.1 数模转换器 (D/A 转换器) / 439
- 3.8.2 模数转换器 (A/D 转换器) / 442
- 3.8.3 历届真题解析 / 446

4.1 电力系统基本知识 / 451

- 4.1.1 电力系统运行特点和基本要求 / 451
- 4.1.2 电能质量的各项指标 / 452
- 4.1.3 电力系统中各种接线方式及其特点 / 454
- 4.1.4 我国电力系统的额定电压 / 455
- 4.1.5 电力系统中性点运行方式 / 456
- 4.1.6 历届真题解析 / 460

4.2 电力线路和变压器的参数与等值电路 / 463

- 4.2.1 输电线路的参数计算及其等值电路 / 463
- 4.2.2 变压器的等值电路及其参数计算 / 470
- 4.2.3 电网等效电路中有名值和标么值参数的计算 / 473
- 4.2.4 历届真题解析 / 479

4.3 简单电网的潮流计算 / 482

- 4.3.1 电压降落、电压损耗和功率损耗 / 482
- 4.3.2 潮流简单计算方法 / 487
- 4.3.3 输电线路中功率流向与电压相角和幅值的关系 / 496
- 4.3.4 输电线路的空载与负荷运行特性 / 497
- 4.3.5 历届真题解析 / 498

4.4 无功功率平衡和电压调整 / 505

- 4.4.1 无功功率平衡的基本概念与要求 / 505
- 4.4.2 系统中各类无功电源的调节特性 / 506



- 4.4.3 电力系统主要调压措施 / 508
- 4.4.4 历届真题解析 / 512
- 4.5 短路电流计算 / 519**
 - 4.5.1 实用短路电流计算的近似条件 / 519
 - 4.5.2 简单系统三相短路电流的实用计算方法 / 520
 - 4.5.3 短路容量的概念 / 524
 - 4.5.4 冲击电流、最大有效值电流的定义和关系 / 524
 - 4.5.5 同步发电机、变压器以及输电线的正、负、零序等值电路 / 526
 - 4.5.6 简单电网的正、负、零序网络的制定方法 / 530
 - 4.5.7 不对称短路的故障边界条件和相应的复合序网 / 531
 - 4.5.8 不对称短路的电流与电压计算 / 536
 - 4.5.9 正、负、零序电流与电压经过 Yd11 变压器后的相位变化 / 537
 - 4.5.10 历届真题解析 / 538
- 4.6 变压器 / 557**
 - 4.6.1 变压器的主要类型 / 557
 - 4.6.2 变压器的基本结构 / 557
 - 4.6.3 变压器的工作原理 / 560
 - 4.6.4 变压器的电气参数 / 561
 - 4.6.5 变压器的连接方式 / 562
 - 4.6.6 变压器的并联运行 / 564
 - 4.6.7 变压器的选择 / 565
 - 4.6.8 历届真题解析 / 567
- 4.7 感应电动机 / 570**
 - 4.7.1 三相感应电动机的基本结构 / 571
 - 4.7.2 三相感应电机的工作原理与运行状态 / 572
 - 4.7.3 感应电动机的电压、功率与转矩方程 / 574
 - 4.7.4 感应电动机的工作特性 / 582
 - 4.7.5 感应电动机的启动特性 / 584
 - 4.7.6 感应电动机常用的启动方法 / 584

第4章 电气工程基础

449

注册电气工程师考试大纲 / 449

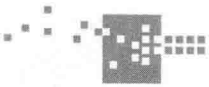
第4章

电气工程基础

449

注册电气工程师考试大纲 / 449

- 4.7.7 感应电动机常用的调速方法 / 586
- 4.7.8 转子电阻对感应电动机转动性能的影响 / 591
- 4.7.9 电机的发热、绝缘与冷却 / 594
- 4.7.10 感应电动机的拖动形式及其特点 / 596
- 4.7.11 感应电动机的运行维护 / 597
- 4.7.12 历届真题解析 / 598
- 4.8 同步发电机 / 603**
 - 4.8.1 同步发电机的额定值 / 603
 - 4.8.2 同步发电机的空载运行 / 604
 - 4.8.3 同步发电机对称负载时的电枢反应 / 607
 - 4.8.4 同步发电机的运行特性 / 611
 - 4.8.5 同步发电机并入电网的条件和方法 / 621
 - 4.8.6 同步发电机的功角特性 / 625
 - 4.8.7 同步发电机的绝缘系统、温升要求和冷却方式 / 628
 - 4.8.8 同步发电机的励磁系统 / 629
 - 4.8.9 同步发电机的运行维护 / 633
 - 4.8.10 历届真题解析 / 634
- 4.9 过电压及绝缘配合 / 637**
 - 4.9.1 电力系统过电压的种类 / 637
 - 4.9.2 雷电过电压特性 / 638
 - 4.9.3 接地与接地电阻、接触电压和跨步电压 / 638
 - 4.9.4 电涌保护器 / 640
 - 4.9.5 避雷针、避雷线的保护范围 / 642
 - 4.9.6 历届真题解析 / 648
- 4.10 高压断路器 / 652**
 - 4.10.1 开关电器常用的熄弧方法 / 652
 - 4.10.2 高压断路器的作用、功能与分类 / 655
 - 4.10.3 高压断路器的主要性能与参数 / 658
 - 4.10.4 高压断路器的运行维护 / 659
 - 4.10.5 历届真题解析 / 662
- 4.11 互感器 / 663**

- 
- 4. 11. 1 电流互感器 / 663
 - 4. 11. 2 电压互感器 / 666
 - 4. 11. 3 历届真题解析 / 669
 - 4. 12 直流电机 / 671**
 - 4. 12. 1 直流电机的分类 / 671
 - 4. 12. 2 直流电机的励磁方式 / 672
 - 4. 12. 3 直流电动机和直流发电机的工作原理 / 673
 - 4. 12. 4 并励直流发电机建立稳定电压的条件 / 674
 - 4. 12. 5 直流电动机的运行特性 / 675
 - 4. 12. 6 直流电动机稳定运行条件 / 679
 - 4. 12. 7 直流电动机的启动、调速及制动方法 / 680
 - 4. 12. 8 历届真题解析 / 683
 - 4. 13 电气主接线 / 686**
 - 4. 13. 1 电气主接线的基本要求 / 686
 - 4. 13. 2 电气主接线的主要形式 / 687
 - 4. 13. 3 各种主接线中主要电气设备的作用和配置原则 / 695
 - 4. 13. 4 各种电压等级电气主接线限制短路电流的方法 / 696
 - 4. 13. 5 历届真题解析 / 698
 - 4. 14 电气设备选择 / 700**
 - 4. 14. 1 电气设备的选择与校验 / 700
 - 4. 14. 2 硬母线的选择与校验 / 702
 - 4. 14. 3 历届真题解析 / 707

第4章

电气工程基础

449

注册电气工程师考试大纲 / 449

参考文献

709



第 1 章 电路与电磁场

注册电气工程师考试大纲

1. 电路的基本概念和基本定律

- 1.1 掌握电阻、独立电压源、独立电流源、受控电压源、受控电流源、电容、电感、耦合电感、理想变压器诸元件的定义、性质
- 1.2 掌握电流、电压参考方向的概念
- 1.3 熟练掌握基尔霍夫定律

2. 电路分析方法

- 2.1 掌握常用的电路等效变换方法
- 2.2 熟练掌握节点电压方程的列写方法，并会求解电路方程
- 2.3 了解回路电流方程的列写方法
- 2.4 熟练掌握叠加定理、戴维南定理和诺顿定理

3. 正弦交流电路

- 3.1 掌握正弦量的三要素和有效值
- 3.2 掌握电感、电容元件电流电压关系的相量形式及基尔霍夫定律的相量形式
- 3.3 掌握阻抗、导纳、有功功率、无功功率、视在功率和功率因数的概念
- 3.4 熟练掌握正弦交流电路分析的相量方法
- 3.5 了解频率特性的概念
- 3.6 熟练掌握三相电路中电源和负载的连接方式及相电压、相电流、线电压、线电流、三相功率的概念和关系
- 3.7 熟练掌握对称三相电路分析的相量方法
- 3.8 掌握不对称三相电路的概念

4. 非正弦周期电流电路

- 4.1 了解非正弦周期量的傅里叶级数分解方法
- 4.2 掌握非正弦周期量的有效值、平均值和平均功率的定义和计算方法
- 4.3 掌握非正弦周期电流电路的分析方法

5. 简单动态电路的时域分析

- 5.1 掌握换路定则并能确定电压、电流的初始值
- 5.2 熟练掌握一阶电路分析的基本方法
- 5.3 了解二阶电路分析的基本方法

6. 静电场

- 6.1 掌握电场强度、电位的概念
- 6.2 了解应用高斯定律计算具有对称性分布的静电场问题
- 6.3 了解静电场边值问题的镜像法和电轴法，并能掌握几种典型情形的电场计算
- 6.4 了解电场力及其计算
- 6.5 掌握电容和部分电容的概念，了解简单形状电极结构电容的计算

7. 恒定电场

7.1 掌握恒定电流、恒定电场、电流密度的概念

7.2 掌握微分形式的欧姆定律、焦耳定律、恒定电场的基本方程和分界面上的衔接条件，能正确地分析和计算恒定电场问题

7.3 掌握电导和接地电阻的概念，并能计算几种典型接地电极系统的接地电阻

8. 恒定磁场

8.1 掌握磁感应强度、磁场强度及磁化强度的概念

8.2 了解恒定磁场的基本方程和分界面上的衔接条件，并能应用安培环路定律正确分析和求解具有对称性分布的恒定磁场问题

8.3 了解自感、互感的概念，了解几种简单结构的自感和互感的计算

8.4 了解磁场能量和磁场力的计算方法

9. 均匀传输线

9.1 了解均匀传输线的基本方程和正弦稳态分析方法

9.2 了解均匀传输线特性阻抗和阻抗匹配的概念

1.1 电路的基本概念和基本定律

1.1.1 电路元件

组成电路模型的最小单元是电路元件。简单地讲，电路就是元件的相互连接。电路分析就是确定电路中流过某些元件的电流或该元件两端的电压，因此必须明确元件的电压与电流之间的关系。电压、电流之间的关系简称为伏安关系（Volt Ampere Relation, VAR），是表征电路元件的常用手段。用于描述伏安关系的曲线，我们称之为伏安关系曲线。

电路中的元件，根据其产生能量的能力分为两大类：有源元件和无源元件。有源元件具有产生能量的功能，无源元件不能产生能量。在电路分析中，无源元件主要有电阻元件、电容元件、电感元件、理想变压器等；有源元件主要有独立电源、受控电源等。

电路元件根据其端子个数，可分为二端元件和多端元件。二端元件也称为单端口（单口元件）。需要注意的是“端口”的概念和“端子”（端钮）的概念是不同的：一个端口是由两个端钮构成的，但不是任意两个端钮都可以构成端口。构成一个端口的条件是：在任意时刻，从一个端钮流入的电流等于从另一个端钮流出的电流。如图 1.1.1 所示，端钮 a、b 是一个端口，c、d 是一个端口，e、f 也是一个端口，但 c、e 就不是。

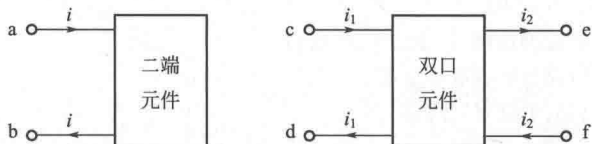


图 1.1.1 二端元件和多端元件

(1) 电阻元件

电阻元件是实际电阻器的理想化模型，是无源二端元件。电阻元件的定义：任何一个二端元件，如果在任意时刻的电压 $u(t)$ 和电流 $i(t)$ 之间的关系（伏安关系）可以由 ui （或 iu ）平面上的一条曲线所决定，则此二端元件就称为电阻元件。

电阻元件按照其伏安特性曲线进行分类。根据伏安特性曲线是否是过原点的直线可分为线性电阻和非线性电阻,如图 1.1.2 所示图中过原点的直线代表线性电阻。另外根据伏安特性曲线是否随时间变化又可分为时变电阻和非时变电阻。

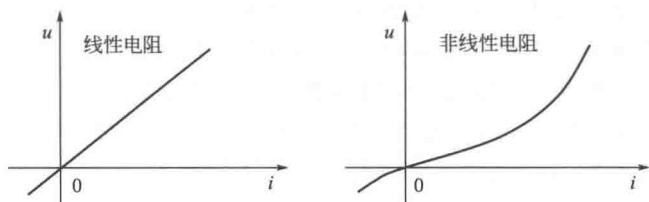


图 1.1.2 线性电阻及非线性电阻

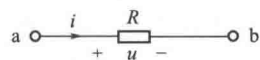


图 1.1.3 线性非时变电阻元件

这些曲线都是在规定 u 、 i 关联参考方向条件下测得的。以前学过的欧姆定理实际上就是指线性非时变电阻,其电路符号如图 1.1.3 所示。

通常说的电阻元件,习惯上就是指线性非时变电阻元件,简称电阻。显然,在电压、电流参考方向关联的情况下,有

$$u = Ri \quad (1.1.1)$$

如果电压、电流参考方向非关联,则

$$u = -Ri \quad (1.1.2)$$

在式(1.1.1)、式(1.1.2)中的 R 表征的是线性非时变电阻的特性,是一个与电压、电流无关的量,是一种电路参数。电阻的单位为欧姆(简称欧,符号为 Ω)。在线性非时变电阻的伏安特性曲线中,它是该直线的斜率。

电阻元件的伏安关系还可以表示为另外一种形式:

$$i = Gu \quad (1.1.3)$$

式(1.1.3)中的 G 是表征线性非时变电阻的另一个参数——电导。在一定的电压下,电导的增大将使电流增大,因此电导是表征电阻元件传导电流能力的大小。电导的单位为西门子(符号为 S)。显然,有

$$G = 1/R \quad (1.1.4)$$

同样,在电压、电流参考方向非关联的条件下,有

$$i = -Gu \quad (1.1.5)$$

当电阻 $R=0$ 时,电阻元件相当于理想的导线,称为“短路”,此时有 $G \rightarrow \infty$ 。

通常,电阻是一种耗能元件。在参考方向关联的情况下,线性非时变电阻的功率为

$$p = ui = i^2 R = u^2 / R \quad (1.1.6)$$

常用的实际电阻从结构上分有线绕电阻、金属膜电阻、碳膜电阻等;按封装形式可分为直插式和表面安装;按使用方式可分为固定电阻和可调电阻等。

实际电阻在一定条件下,比如温度恒定,电压、电流限制在某些范围内,可以用线性非时变电阻作为其模型。理想的电阻元件完全满足欧姆定律。但实际电阻在使用时对电压、电流和功率都有一定的限制,否则会造成器件的损坏。因此在电子设备中的电阻根据其使用场合可能有不同的额定电流、额定电压及额定功率。

(2) 电压源

理想电源是从实际电源抽象出来的一种电路模型,是有源元件。

表示电源特性的参数仅由电源本身结构确定,与电路其他部分的电压、电流无关的电源,称为独立源。独立源又分为独立电压源和独立电流源。

一个二端元件,在任一电路中,不论流过它的电流是多少,其两端的电压始终能保持为

某给定的时间函数 $u_s(t)$ 或定值 U_s , 则该二端元件称为独立电压源, 简称电压源。

电压源的主要特性有两个:

- ① 电压源的电压为定值 U_s 或某给定的时间函数 $u_s(t)$, 与流过元件的电流无关;
- ② 流过电压源的电流可以是任意的, 由与该电压源连接的外电路决定。

电压源分为直流电压源和时变电压源两大类。如果电压源的端电压保持为定值 U_s , 则该电压源称为直流电压源, 如果端电压保持为某给定的时间函数 $u_s(t)$, 则该电压源称为时变电压源。电压源的符号如图 1.1.4(a) 所示, 图中的“+”“-”表示电压源的参考极性。如果是直流电压源, 也可用如图 1.1.4(b) 所示的符号表示。

电压源的伏安关系可以用式(1.1.7)表示:

$$u(t) = u_s(t) \quad (\text{对任意的 } i) \quad (1.1.7)$$

直流电压源的伏安特性曲线如图 1.1.5 所示。流经电压源的电流是由外电路决定的, 电流可能从电压源的正极性端流出, 也可能从外电路流进电压源的正极性端, 因此电压源可能输出能量, 也可能吸收能量。上述特性表现在图 1.1.5 中, 就是电流 i 的值可能是正的, 也可能是负的。

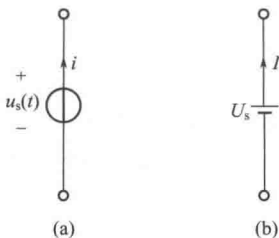


图 1.1.4 电压源符号

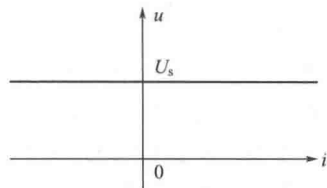


图 1.1.5 直流电压源的伏安特性曲线

(3) 电流源

一个二端元件, 在任一电路中, 不论其两端的电压是多少, 流经它的电流始终能保持为某给定的时间函数 $i_s(t)$ 或定值 I_s , 则该二端元件称为独立电流源, 简称电流源。

电流源的主要特性有两个:

- ① 电流源的电流为定值 I_s 或某给定的时间函数 $i_s(t)$, 与元件两端的电压无关;
- ② 电流源两端的电压可以是任意的, 由与该电流源连接的外电路决定。

电流源分为直流电流源和时变电流源两大类。如果电流源的电流保持为定值 I_s , 则该电流源称为直流电流源, 如果端电流保持为某给定的时间函数 $i_s(t)$, 则该电流源称为时变电流源。电流源的符号如图 1.1.6 所示, 图中箭头表示电流源的参考方向。电流源的伏安关系可以用式(1.1.8)表示:

$$i(t) = i_s(t) \quad (\text{对于任意的 } u) \quad (1.1.8)$$

直流电流源的伏安特性曲线如图 1.1.7 所示。电流源两端的电压是由外电路决定的, 因此电流源可能对外电路提供能量, 也可能消耗能量。

(4) 受控源

电压源及电流源都是独立源。所谓独立, 指的是表征电压源和电流源的特征只与电源本身有关, 而与电源以外的其他电路无关。具体来讲, 电压源的输出电压和电流源的输出电流都与电源以外的电路无关。

如果电源的参数(输出电压或输出电流)受电源以外其他支路的电压或电流控制, 这种电源称为受控源。例如, 在电子电路中的电压放大器, 其输出电压 u_2 通常是输入电压 u_1 的函数, 其表达式为