



# 全国注册电气工程师 执业资格考试**精讲精练**

## 专业基础

主编 陈志新



中国电力出版社  
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

2011

全国注册电气工程师  
执业资格考试精讲精练

# 专业基础

主编 陈志新

参编 王 佳 刘辛国 龚 静



中国电力出版社  
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

## 内 容 提 要

本书是根据全国勘察设计注册工程师管理委员会公布的《注册电气工程师执业资格专业基础考试大纲》，结合考试的特点，组织曾多次参与注册工程师考试培训、教材编写，并具有深厚的专业基础知识和丰富的教学经验的专家、教授编写的。本书包含了注册电气工程师资格考试所要求的专业基础的4章内容，即电路与电磁场、模拟电子技术、数字电子技术和电气工程基础，每章之后还精选适量的练习题并给出答案和提示，有些是前几年的考试真题，以便考生练习，提高应试能力。全书以考试大纲为准，简明扼要，内容全面，难度适宜，实用为主，够用为止。

本书特别适合参加注册电气工程师执业资格考试的考生复习之用，是参加资格考试人员必备的参考书。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

全国注册电气工程师执业资格考试精讲精练. 专业基础/陈志新主编. —北京: 中国电力出版社, 2011. 4  
ISBN 978-7-5123-1558-7

I. ①全… II. ①陈… III. ①电气工程-工程技术人员-资格考试-自学参考资料 IV. ①TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 058662 号

中国电力出版社出版发行

北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>

责任编辑: 杨淑玲 责任印制: 郭华清 责任校对: 崔燕菊

汇鑫印务有限公司印刷·各地新华书店经售

2011 年 5 月第 1 版·第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16·23.25 印张·564 千字

定价: 59.80 元

### 敬告读者

本书封面贴有防伪标签, 加热后中心图案消失

本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

本社购书热线电话 (010-88386685)

## 编写人员名单

主 编 陈志新

参 编 (以编写章节为序)

王 佳 刘辛国 陈志新 龚 静

各章编写人员名单如下:

第 1 章 电路与电磁场 王 佳 刘辛国

第 2 章 模拟电子技术 刘辛国

第 3 章 数字电子技术 陈志新

第 4 章 电气工程基础 龚 静 刘辛国

# 前 言

原建设部和人事部于 2005 年开始实施勘察设计注册电气工程师执业资格考试制度，这对于加强我国电气工程设计管理和电气工程师执业管理等具有重要的意义。

为配合注册电气工程师执业资格考试，我们组织了曾多次参与注册工程师考试培训、教材编写的具有深厚的专业基础知识和丰富的教学经验的专家、教授，按照全国勘察设计注册工程师电气专业管理委员会公布的专业基础考试大纲编写了这本复习教材。该书适用于从事发电、输变电、供配电、建筑电气、电气传动、电力系统等工程设计及相关业务的专业技术人员参加专业基础考前复习之用。

2007 年和 2008 年中国电力出版社出版曾经出版过相关考试辅导用书，受到广大准备参加注册电气工程师考试的读者欢迎，并被很多注册电气工程师考前培训班定为首选辅导教材。为帮助考生更好地考前复习，通过考试，本书以前两版为基础，进行修订、扩充内容后再次出版。

本书包含了注册电气工程师资格考试大纲（专业基础）要求的 4 章内容，即电路与电磁场、模拟电子技术、数字电子技术和电气工程基础。鉴于考生大都是在职人员，工作繁忙，复习时间短，同时还考虑到考生虽都曾系统学习过这些内容，但内容多且已搁置久远。本书力求紧扣大纲，简明扼要，内容全面，重点突出，各章独立，难度适宜，实用为主，够用为止。每章之后还精选适量的练习题并给出答案和提示，有些是选自近几年的考试真题，以便考生练习，提高应试能力。

本书在编写过程中难免有疏漏之处，恳请读者指正。

编 者

# 目 录

## 前 言

|                             |    |
|-----------------------------|----|
| 第1章 电路与电磁场                  | 1  |
| 考试大纲                        | 1  |
| 1.1 电路的基本概念和基本定律            | 2  |
| 1.1.1 电路元件                  | 2  |
| 1.1.2 电流和电压的参考方向            | 7  |
| 1.1.3 基尔霍夫定律                | 8  |
| 1.2 电路的分析方法                 | 9  |
| 1.2.1 电路的等效变换方法             | 9  |
| 1.2.2 节点电压法                 | 14 |
| 1.2.3 回路电流法                 | 15 |
| 1.2.4 电路定理                  | 16 |
| 1.3 正弦交流电路                  | 18 |
| 1.3.1 预备知识——复数的基本知识         | 18 |
| 1.3.2 正弦量                   | 19 |
| 1.3.3 电路定律的相量形式             | 20 |
| 1.3.4 阻抗和导纳                 | 22 |
| 1.3.5 正弦稳态电路的功率             | 24 |
| 1.3.6 正弦稳态电路的分析             | 25 |
| 1.3.7 频率特性                  | 26 |
| 1.3.8 三相电路                  | 27 |
| 1.4 非正弦周期电流电路               | 29 |
| 1.4.1 周期函数的傅里叶分解            | 29 |
| 1.4.2 非正弦周期电量的有效值与平均值       | 29 |
| 1.5 简单动态电路的时域分析             | 30 |
| 1.5.1 换路定则及电压、电流的初始值初始条件    | 30 |
| 1.5.2 一阶电路分析的基本方法           | 31 |
| 1.5.3 二阶电路分析的基本方法           | 33 |
| 1.6 静电场                     | 35 |
| 1.6.1 电场强度、电位               | 35 |
| 1.6.2 应用高斯定理计算具有对称性分布的静电场问题 | 38 |
| 1.6.3 静电场边值问题的镜像法和电轴法       | 39 |
| 1.6.4 电场力及其计算               | 44 |

|                                |     |
|--------------------------------|-----|
| 1.6.5 电容和部分电容的概念及简单形状电极结构电容的计算 | 45  |
| 1.7 恒定电场                       | 47  |
| 1.7.1 恒定电流、恒定电场及电流密度           | 47  |
| 1.7.2 恒定电场的基本方程                | 48  |
| 1.7.3 电导和接地电阻                  | 51  |
| 1.8 恒定磁场                       | 52  |
| 1.8.1 磁感应强度、磁场强度及磁化强度          | 52  |
| 1.8.2 恒定磁场的基本方程及边界条件           | 57  |
| 1.8.3 自感、互感及其计算                | 58  |
| 1.8.4 磁场能量和磁场力                 | 60  |
| 1.9 均匀传输线                      | 60  |
| 1.9.1 分布参数电路的概念                | 61  |
| 1.9.2 无损耗均匀传输线方程               | 61  |
| 1.9.3 无损耗均匀传输线的传播特性            | 62  |
| 1.9.4 无损耗传输线中波的反射和透射           | 64  |
| 1.9.5 无损耗传输线的入端阻抗              | 65  |
| 1.9.6 无损耗均匀传输线的阻抗匹配            | 65  |
| 电路与电磁场复习题                      | 66  |
| 电路与电磁场复习题答案及提示                 | 87  |
| <b>第2章 模拟电子技术</b>              | 101 |
| 考试大纲                           | 101 |
| 2.1 半导体及二极管                    | 102 |
| 2.1.1 半导体基础                    | 102 |
| 2.1.2 PN结                      | 103 |
| 2.1.3 半导体二极管                   | 104 |
| 2.2 半导体三极管                     | 105 |
| 2.3 基本放大电路                     | 108 |
| 2.3.1 基本放大电路的组成及工作原理           | 108 |
| 2.3.2 基本放大电路的静态分析              | 108 |
| 2.3.3 基本放大电路的动态分析              | 110 |
| 2.4 放大电路的频率特性                  | 113 |
| 2.5 集成运算放大电路                   | 114 |
| 2.5.1 多级放大电路的耦合方式              | 114 |
| 2.5.2 差分放大电路                   | 115 |
| 2.5.3 集成运算放大器的组成和参数            | 118 |
| 2.5.4 运算放大器的符号                 | 119 |
| 2.6 互补功率放大电路                   | 120 |
| 2.6.1 三极管的工作状态                 | 120 |
| 2.6.2 双电源甲乙类互补输出电路             | 120 |

|                               |     |
|-------------------------------|-----|
| 2.7 负反馈放大电路 .....             | 123 |
| 2.7.1 反馈的概念 .....             | 123 |
| 2.7.2 反馈基本方程式 .....           | 123 |
| 2.7.3 反馈的组态及判断方法 .....        | 124 |
| 2.7.4 四种负反馈放大电路的分析 .....      | 125 |
| 2.7.5 负反馈对放大电路性能的影响 .....     | 126 |
| 2.7.6 负反馈放大电路的自激振荡 .....      | 128 |
| 2.8 集成运算放大器在运算电路中的应用 .....    | 128 |
| 2.8.1 运算放大器线性应用的特点 .....      | 128 |
| 2.8.2 比例运算电路 .....            | 129 |
| 2.8.3 求和运算电路 .....            | 131 |
| 2.8.4 积分和微分运算电路 .....         | 132 |
| 2.9 集成运算放大器在信号处理电路中的应用 .....  | 133 |
| 2.9.1 有源滤波器 .....             | 133 |
| 2.9.2 采样保持电路 .....            | 135 |
| 2.9.3 电压比较器 .....             | 135 |
| 2.10 集成运算放大器在信号产生电路中的应用 ..... | 136 |
| 2.10.1 正弦波振荡电路 .....          | 136 |
| 2.10.2 矩形波发生电路 .....          | 142 |
| 2.10.3 三角波发生器 .....           | 143 |
| 2.10.4 锯齿波发生器 .....           | 144 |
| 2.11 直流稳压电源 .....             | 144 |
| 2.11.1 直流稳压电源的组成 .....        | 144 |
| 2.11.2 整流电路 .....             | 145 |
| 2.11.3 电容滤波电路 .....           | 146 |
| 2.11.4 稳压电路 .....             | 148 |
| 模拟电子技术复习题 .....               | 152 |
| 模拟电子技术复习题答案及提示 .....          | 158 |
| <b>第3章 数字电子技术</b> .....       | 161 |
| 考试大纲 .....                    | 161 |
| 3.1 数字电路基础知识 .....            | 162 |
| 3.1.1 数字电路基本概念 .....          | 162 |
| 3.1.2 数制和码制 .....             | 162 |
| 3.1.3 半导体器件的开关特性 .....        | 165 |
| 3.1.4 三种基本逻辑关系及其表达方式 .....    | 166 |
| 3.2 集成逻辑门电路 .....             | 167 |
| 3.2.1 TTL 集成逻辑门电路的组成和特性 ..... | 167 |
| 3.2.2 MOS 集成逻辑门电路的组成和特性 ..... | 168 |
| 3.3 数字基础及逻辑函数化简 .....         | 169 |

|       |                                     |     |
|-------|-------------------------------------|-----|
| 3.3.1 | 逻辑代数基本运算关系 .....                    | 169 |
| 3.3.2 | 逻辑代数的基本公式和原理 .....                  | 169 |
| 3.3.3 | 逻辑函数的建立和四种表达方法及其相互转换 .....          | 169 |
| 3.3.4 | 逻辑函数的最小项和最大项及标准与或式 .....            | 171 |
| 3.3.5 | 逻辑函数的代数化简方法 .....                   | 171 |
| 3.3.6 | 逻辑函数的卡诺图画法、填写及化简方法 .....            | 172 |
| 3.4   | 集成组合逻辑电路 .....                      | 173 |
| 3.4.1 | 组合逻辑电路输入输出的特点 .....                 | 173 |
| 3.4.2 | 组合逻辑电路的分析、设计方法及步骤 .....             | 173 |
| 3.4.3 | 编码器、译码器、显示器、多路选择器及多路分配器的原理和应用 ..... | 174 |
| 3.4.4 | 加法器、数码比较器、存储器、可编程逻辑阵列的原理和应用 .....   | 177 |
| 3.5   | 触发器 .....                           | 181 |
| 3.5.1 | RS 触发器 .....                        | 181 |
| 3.5.2 | 同步 D 触发器 .....                      | 182 |
| 3.5.3 | 主从 JK 触发器 .....                     | 183 |
| 3.5.4 | T 触发器 .....                         | 184 |
| 3.5.5 | 触发器的触发方式 .....                      | 184 |
| 3.5.6 | 触发器逻辑功能的转换 .....                    | 185 |
| 3.6   | 时序逻辑电路 .....                        | 186 |
| 3.6.1 | 时序逻辑电路的特点及组成 .....                  | 186 |
| 3.6.2 | 时序逻辑电路的分析步骤和方法 .....                | 186 |
| 3.6.3 | 计数器 .....                           | 189 |
| 3.6.4 | 寄存器 .....                           | 191 |
| 3.7   | 脉冲波形的产生 .....                       | 192 |
| 3.7.1 | 多谐振荡器 .....                         | 192 |
| 3.7.2 | 单稳态触发器 .....                        | 193 |
| 3.7.3 | 施密特触发器 .....                        | 194 |
| 3.8   | 数模和模数转换 .....                       | 196 |
| 3.8.1 | D/A 转换器 .....                       | 196 |
| 3.8.2 | A/D 转换器 .....                       | 196 |
| 3.8.3 | 采样保持器的工作原理 .....                    | 197 |
|       | 数字电子技术复习题 .....                     | 199 |
|       | 数字电子技术复习题答案及提示 .....                | 203 |
| 第 4 章 | 电气工程基础 .....                        | 206 |
|       | 考试大纲 .....                          | 206 |
| 4.1   | 电力系统基本知识 .....                      | 208 |
| 4.1.1 | 电力系统运行特点和基本要求 .....                 | 208 |
| 4.1.2 | 电能质量的各项指标 .....                     | 209 |
| 4.1.3 | 电力系统中各种接线方式及特点 .....                | 211 |

|       |                                                  |     |
|-------|--------------------------------------------------|-----|
| 4.1.4 | 我国规定的网络额定电压与发电机、变压器等元件的额定电压 .....                | 212 |
| 4.1.5 | 电力系统中性点运行方式及对应的电压等级 .....                        | 214 |
| 4.2   | 电力线路、变压器的参数与等效电路 .....                           | 215 |
| 4.2.1 | 输电线路4个参数所表征的物理意义及输电线路的等效电路 .....                 | 215 |
| 4.2.2 | 应用普通双绕组、三绕组变压器空载与短路试验数据计算变压器<br>参数及制定其等效电路 ..... | 218 |
| 4.2.3 | 电网等效电路中有名值和标幺值参数的简单计算 .....                      | 221 |
| 4.3   | 简单电网的潮流计算 .....                                  | 223 |
| 4.3.1 | 电压降落、电压损耗、功率损耗的定义 .....                          | 223 |
| 4.3.2 | 已知不同点的电压和功率情况下的潮流简单计算方法 .....                    | 224 |
| 4.3.3 | 输电线路中有功功率、无功功率的流向与功角、电压幅值的关系 .....               | 228 |
| 4.3.4 | 输电线路的空载与负载运行特性 .....                             | 229 |
| 4.4   | 无功功率平衡和电压调整 .....                                | 230 |
| 4.4.1 | 无功功率平衡概念及无功功率平衡的基本要求 .....                       | 230 |
| 4.4.2 | 系统中各无功电源的调节特性 .....                              | 231 |
| 4.4.3 | 利用电容器进行补偿调压的原理与方法 .....                          | 231 |
| 4.4.4 | 变压器分接头进行调压时,分接头的选择计算 .....                       | 234 |
| 4.5   | 短路电流计算 .....                                     | 237 |
| 4.5.1 | 实用短路电流计算的近似条件 .....                              | 237 |
| 4.5.2 | 简单系统三相短路电流的实用计算方法 .....                          | 237 |
| 4.5.3 | 短路容量的概念 .....                                    | 238 |
| 4.5.4 | 冲击电流、最大有效值电流的定义和关系 .....                         | 238 |
| 4.5.5 | 同步发电机、变压器、单回、双回输电线路的正、负、零序等效电路 .....             | 241 |
| 4.5.6 | 简单电网的正、负、零序序网的制定方法 .....                         | 245 |
| 4.5.7 | 不对称短路的故障边界条件和相应的复合序网 .....                       | 246 |
| 4.5.8 | 不对称短路的电流、电压计算 .....                              | 249 |
| 4.5.9 | 正、负、零序电流、电压经过Yd11变压器后的相位变化 .....                 | 252 |
| 4.6   | 变压器 .....                                        | 255 |
| 4.6.1 | 三相组式和心式变压器 .....                                 | 255 |
| 4.6.2 | 变压器的额定值 .....                                    | 256 |
| 4.6.3 | 变压器的变比 $k$ .....                                 | 257 |
| 4.6.4 | 变压器的基本工作原理 .....                                 | 257 |
| 4.6.5 | 变压器电压调整率的定义 .....                                | 260 |
| 4.7   | 感应电动机 .....                                      | 261 |
| 4.7.1 | 感应电动机的原理、种类及主要结构 .....                           | 261 |
| 4.7.2 | 感应电动机转矩、额定功率、转差率的概念及其等效电路 .....                  | 264 |
| 4.7.3 | 功率转换过程与转矩 .....                                  | 265 |
| 4.7.4 | 感应电动机的三种运行状态 .....                               | 266 |
| 4.7.5 | 感应电动机的运行特性 .....                                 | 267 |

|        |                                   |     |
|--------|-----------------------------------|-----|
| 4.7.6  | 感应电动机的起动特性 .....                  | 267 |
| 4.7.7  | 感应电动机常用起动方法 .....                 | 267 |
| 4.7.8  | 感应电动机常用调速方法 .....                 | 267 |
| 4.7.9  | 转子电阻对感应电动机转动性能的影响 .....           | 268 |
| 4.7.10 | 电动机的发热过程、绝缘系统、允许温升及其确定冷却方式等 ..... | 269 |
| 4.7.11 | 感应电动机拖动形式及各自的特点 .....             | 271 |
| 4.7.12 | 异步电动机的维护 .....                    | 271 |
| 4.8    | 同步电机 .....                        | 272 |
| 4.8.1  | 同步电机的原理和结构 .....                  | 272 |
| 4.8.2  | 同步发电机励磁方式简介 .....                 | 274 |
| 4.8.3  | 同步电机电枢反应的概念 .....                 | 275 |
| 4.8.4  | 电枢反应电抗和同步电抗 .....                 | 277 |
| 4.8.5  | 同步发电机并入电网的条件与方法 .....             | 278 |
| 4.8.6  | 同步发电机有功功率及无功功率的调节方法 .....         | 280 |
| 4.8.7  | 同步电动机时运行特性 .....                  | 282 |
| 4.8.8  | 同步发电机的绝缘、温升要求、冷却方式 .....          | 284 |
| 4.9    | 过电压及绝缘配合 .....                    | 285 |
| 4.9.1  | 电力系统过电压的种类 .....                  | 285 |
| 4.9.2  | 雷电过电压特性 .....                     | 286 |
| 4.9.3  | 接地和接地电阻、接触电压和跨步电压的基本概念 .....      | 287 |
| 4.9.4  | 氧化锌避雷器的基本特性 .....                 | 288 |
| 4.9.5  | 避雷针、避雷线保护范围的确定 .....              | 289 |
| 4.10   | 断路器 .....                         | 292 |
| 4.10.1 | 断路器的作用、功能、分类 .....                | 292 |
| 4.10.2 | 断路器的主要性能与参数的含义 .....              | 293 |
| 4.10.3 | 断路器常用的熄弧方法 .....                  | 295 |
| 4.10.4 | 断路器的运行和维护工作要点 .....               | 299 |
| 4.11   | 互感器 .....                         | 301 |
| 4.11.1 | 电流、电压互感器的工作原理、接线形式及负载要求 .....     | 301 |
| 4.11.2 | 电流、电压互感器在电网中的配置原则及接线形式 .....      | 306 |
| 4.11.3 | 各种形式互感器的构造及性能特点 .....             | 306 |
| 4.12   | 直流电机 .....                        | 308 |
| 4.12.1 | 直流电机的基本原理与结构 .....                | 308 |
| 4.12.2 | 直流电机的励磁方式与分类 .....                | 309 |
| 4.12.3 | 直流电机感应电动势和电磁转矩的计算 .....           | 312 |
| 4.12.4 | 直流电机的运行原理 .....                   | 314 |
| 4.12.5 | 直流电动机的机械特性 .....                  | 316 |
| 4.12.6 | 直流电动机的起动、制动及调速方法 .....            | 317 |
| 4.13   | 电气主接线 .....                       | 321 |

|                               |     |
|-------------------------------|-----|
| 4.13.1 电气主接线的主要形式及对电气主接线的基本要求 | 321 |
| 4.13.2 各种主接线中主要电气设备的作用和配置原则   | 327 |
| 4.13.3 各种电压等级电气主接线限制短路电流的方法   | 328 |
| 4.14 电气设备选择                   | 330 |
| 4.14.1 电气设备选择和校验的基本原则和方法      | 330 |
| 4.14.2 硬母线的选择和校验的原则和方法        | 333 |
| 电气工程基础复习题                     | 335 |
| 电气工程基础复习题答案及提示                | 350 |
| 参考文献                          | 360 |

# 第1章 电路与电磁场

## ➡ 考试大纲

### 1.1 电路的基本概念和基本定律

1.1.1 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

1.1.2 掌握电流、电压参考方向的概念

1.1.3 熟练掌握基尔霍夫定律

### 1.2 电路的分析方法

1.2.1 掌握常用的电路等效变换方法

1.2.2 熟练掌握节点电压方程的列写方法，并会求解电路方程

1.2.3 了解回路电流方程的列写方法

1.2.4 熟练掌握叠加定理、戴维宁定理和诺顿定理

### 1.3 正弦电流电路

1.3.1 掌握正弦量的三要素和有效值

1.3.2 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

1.3.3 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

1.3.4 熟练掌握正弦电流电路分析的相量方法

1.3.5 了解频率特性的概念

1.3.6 熟练掌握三相电路中电源和负载的联结方式及相电压、相电流、线电压、线电流、三相功率的概念和关系

1.3.7 熟练掌握对称三相电路分析的相量方法

1.3.8 掌握不对称三相电路的概念

### 1.4 非正弦周期电流电路

1.4.1 了解非正弦周期量的傅里叶级数分解方法

1.4.2 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

1.4.3 掌握非正弦周期电路的分析方法

### 1.5 简单动态电路的时域分析

1.5.1 掌握换路定则并能确定电压、电流的初始值

1.5.2 熟练掌握一阶电路分析的基本方法

1.5.3 了解二阶电路分析的基本方法

### 1.6 静电场

1.6.1 掌握电场强度、电位的概念

1.6.2 了解应用高斯定律计算具有对称性分布的静电场问题

1.6.3 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

#### 1.6.4 了解电场力及其计算

#### 1.6.5 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

### 1.7 恒定电场

#### 1.7.1 掌握恒定电流、恒定电场、电流密度的概念

1.7.2 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

#### 1.7.3 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

### 1.8 恒定磁场

#### 1.8.1 掌握磁感应强度、磁场强度及磁化强度的概念

1.8.2 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

#### 1.8.3 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

#### 1.8.4 了解磁场能量和磁场力的计算方法

### 1.9 均匀传输线

#### 1.9.1 了解均匀传输线的基本方程和正弦稳态分析方法

#### 1.9.2 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

电路是电流的通路,它是为了某种需要由某些电气设备或元件按一定方式组合起来的。电路包括电源、负载和中间环节三个组成部分,其中电源或信号源的电压或电流称为激励,它推动电路工作;由激励在电路各部分产生的电压和电流称为响应。

### 1.1.1 电路元件

#### 1. 电阻元件

电阻元件的电路模型如图 1-1 所示。

##### (1) 欧姆定律

$$u = Ri \quad (1-1)$$

注意:图 1-1 中的  $u$ 、 $i$  参考方向相同,即为关联参考方向,此时式 (1-1) 成立。若  $u$ 、 $i$  参考方向相反,即为非关联参考方向,如图 1-2 所示,式 (1-1) 变为  $u = -Ri$ 。

对于  $u = Ri$ ,当  $u$ 、 $i$  为关联正向时,若  $R > 0$  时,则称  $R$  为正电阻;若  $R < 0$  时,则称为负电阻。工程实际中可用有源电子器件实现负电阻。

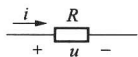


图 1-1 电阻元件 ( $u$ 、 $i$  为关联参考方向)

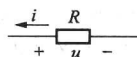


图 1-2 电阻元件 ( $u$ 、 $i$  为非关联参考方向)

##### (2) 线性正电阻消耗功率

$$P = ui = (Ri)i = Ri^2 = (u^2/R) \geq 0$$

正电阻的功率  $P > 0$ ,即为耗能元件,而负电阻的功率  $P < 0$ ,即它在电路中是向外输送功率的。

##### (3) 当电阻元件的阻值 $R = 0$ 时,可用一根短路线替代;当 $R = \infty$ 时,其等价于“开

路”，可用“断路”表示。

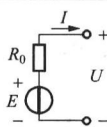
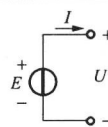
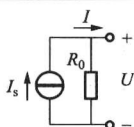
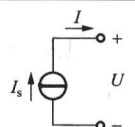
(4) 电导。电导定义式为  $G = 1/R$ ，单位为 S（西门子）。

## 2. 独立电源

独立电源是指其输出不受外界的影响，独立电源分为独立电压源和独立电流源两种电路模型。

(1) 独立电压源。电压源是能向外部输出随时间按某种规律变化的电压的元件，它是有源元件。可以分为标准电压源和理想电压源，见表 1-1。

表 1-1 独立源及其特性总结

| 类型    | 电 压 源                                                                             |                                                                                   | 电 流 源                                                                             |                                                                                     |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|       | 标准电压源                                                                             | 理想电压源                                                                             | 标准电流源                                                                             | 理想电流源                                                                               |
| 性质    |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                     |
| 电路符号  |  |  |  |  |
| 内 阻   | $R_0 = \frac{E - U}{I}$                                                           | $R_0 = 0$                                                                         | $R_0 = \frac{U}{I_s - I}$                                                         | $R \rightarrow \infty$                                                              |
| 电压或电流 | $U = E - R_0 I$                                                                   | $U = E$                                                                           | $I = I_s - \frac{u}{R_0}$                                                         | $I = I_s$                                                                           |
| 特 点   | 内阻小，输出电压恒定                                                                        |                                                                                   | 内阻大，输出电流恒定                                                                        |                                                                                     |

1) 理想电压源特点：① 输出电压不变，其值恒等于电动势，即  $U \equiv E$ ；② 电源中的电流由外电路决定。

2) 电路中，电压源既是输出功率（即产生功率），也是吸收功率（此时其表现和电阻一样，在电路中消耗能量）。不要误以为电压源在电路总是能提供能量的。

3) 电压源的电路符号中，务必给出其端电压的参考极性。

(2) 独立电流源。电流源是有源元件，可以分为标准电流源和理想电流源，电流源电路符号见表 1-1。

1) 理想电流源特点：① 输出电流不变，其值恒等于电流源电流  $I_s$ ；② 输出电压由外电路决定。

2) 电路中，电流源既可向外部提供功率，也可自身消耗功率，这取决于其两端电压的真实极性。

表 1-1 归纳了各种独立源的主要特性。

## 3. 受控电源

受控电源是为模拟电子器件中的物理过程而提出的一种理想化的电路元件。受控电源不同于独立电源，受控电源的输出则受控于其他支路的某个电量。受控电源为四端元件，是由控制支路和输出支路构成的。

受控电源有电压控制型电压源（VCVS）、电压控制型电流源（VCCS）、电流控制型电压源（CCVS）和电流控制型电流源（CCCS）四种类型。这四种类型受控电源电路符号见表 1-2。

表 1-2

受控源及其特性总结

| 代 号      | VCVS            | VCCS          | CCVS          | CCCS              |
|----------|-----------------|---------------|---------------|-------------------|
| 名 称      | 电压控制型电压源        | 电压控制型电流源      | 电流控制型电压源      | 电流控制型电流源          |
| 电路符号     |                 |               |               |                   |
| 控制量      | $u_1$           | $u_1$         | $i_1$         | $i_1$             |
| 被控量      | $u_2$           | $i_2$         | $u_2$         | $i_2$             |
| 被控支路伏安关系 | $u_2 = \mu u_1$ | $i_2 = g u_1$ | $u_2 = r i_1$ | $i_2 = \beta i_1$ |

当电路中含有受控电源时，其分析处理方法有着许多特殊之处，应予以注意。

表 1-2 归纳了各种受控源的主要特性。

#### 4. 电容元件

(1) 特征方程。当电压、电流取关联正向时，如图 1-3 所示，电容元件的特征方程（即伏安关系式）为

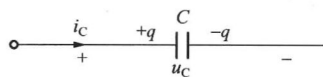


图 1-3 电容元件

$$i_C = C \frac{du_C}{dt} \quad (1-2)$$

$$u_C(t) = u_C(0) + \frac{1}{C} \int_0^t i(\xi) d\xi \quad (1-3)$$

(2) 电容元件的电流与电压的变化率成正比，这是电容元件与电阻元件的一个重要的不同之处。称电容元件为动态元件。

(3) 在直流电路中，通过电容的电流恒为零，此时电容相当于开路，称之为电容元件的隔直作用；而在电路工作频率极高时，电容元件两端电压近似为零，即相当于短路。

(4) 式 (1-3) 说明，当前时刻  $t$  的电容电压不仅与现时的电流相关，而且与电容的初始状态有关，故称电容元件为记忆元件。

(5) 当电容电流为有界函数时，电容电压不可能发生“突变”（或跳变），只能连续变化，称之为电容电压的连续性，这是电容元件一个很重要的性质。

(6) 电容元件中储藏的电场能量计算式为

$$W_C = \frac{1}{2} C u_C^2$$

(7) 由于在任意时刻  $t$ ，均有  $W_C \geq 0$ ，这表明电容元件是无源元件。同时，它能存储电场能量，但不消耗能量，故电容元件是非耗能元件，且称它为储能元件。

#### 5. 电感元件

(1) 当电流和磁链的参考方向符合右手螺旋法则时，线性电感元件的磁链  $\Psi_L$ 、电感量  $L$  及电感电流  $i_L$  之间关系式为  $\Psi_L = L i_L$ 。

(2) 特征方程。当电压、电流取关联正向时，如图 1-4 所示，电容元件的特征方程（即伏安关系式）为

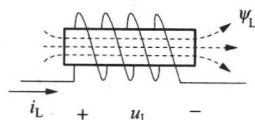


图 1-4 电感元件

$$u_L = L \frac{di_L}{dt}$$

$$i_L(t) = i_L(0) + \frac{1}{L} \int_0^t u(\xi) d\xi$$

(3) 由电容、电感元件的伏安关系式可知,  $i_C$  与  $u_L$ 、 $u_C$  与  $i_L$  具有类比性, 称电感、电容元件为对偶元件。

(4) 电感元件也是动态元件。在直流电路中, 电感元件两端的电压为零, 相当于短路; 而当电路的工作频率极高时, 电感元件近似为开路。

(5) 当电感元件两端的电压为有界函数时, 电感电流不能跳变, 称之为电感电流的连续性。

(6) 电感元件是储能元件, 其储藏的磁场能量的计算式为

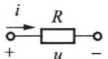
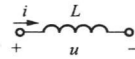
$$W_L = \frac{1}{2} Li_L^2$$

(7) 与电容元件相似, 电感元件是无源元件, 也是非耗能元件。

表 1-3 中归纳总结了电阻、电感、电容元件的特性。

表 1-3

电阻、电感、电容元件的特性

| 元件<br>性质 | 电 阻 $R$                                                                           | 电 感 $L$                                                                           | 电 容 $C$                                                                             |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 电路符号     |  |  |  |
| 参数意义     | $R = \frac{u}{i}$                                                                 | $L = N \frac{\Phi}{i}$                                                            | $C = \frac{q}{u}$                                                                   |
| 伏安关系     | $u = Ri$                                                                          | $u = L \frac{di}{dt}$                                                             | $i = C \frac{du}{dt}$                                                               |
| 储 能      | 0                                                                                 | $W = \frac{1}{2} Li^2$                                                            | $W = \frac{1}{2} Cu^2$                                                              |

## 6. 耦合电感与理想变压器

### (1) 耦合电感的基本概念。

1) 耦合系数。当两个线圈在电路中相距较近时, 各自线圈上电流的变化会通过磁场相互影响, 这两个线圈称为耦合电感 (或互感)。耦合电感的相互影响程度与线圈的结构、相互位置及周围的磁介质有关, 用耦合系数  $K$  或互感  $M$  表示其大小, 它们与两个线圈的电感量  $L_1$ 、 $L_2$  之间的关系为

$$K = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}}$$

当  $M^2 \leq L_1 L_2$  时,  $0 \leq K \leq 1$ ; 当  $K = 0$  ( $M = 0$ ) 时, 两线圈互不影响; 当  $K = 1$  ( $M^2 = L_1 L_2$ ) 时, 称为耦合。

2) 同名端。耦合线圈中磁通量的相助或相消, 取决于线圈的绕向和电流的方向。为了易于辨认, 规定了一种标志, 称为同名端。