

# 电工技术与电子技术

(上册)

唐庆玉 编著

清华大学出版社  
北 京

## 内 容 简 介

《电工技术与电子技术》全书分上、下两册。上册内容是：电路理论及分析方法，正弦交流电路，三相电路，周期性非正弦波形，电路的暂态分析，磁路与变压器，电动机，继电器控制，可编程控制器（介绍西门子 S7-200 型 PLC），Multisim 电路仿真。下册内容是：半导体器件，交流放大电路，集成运算放大器及其应用，功率放大电路，直流稳压电源，晶闸管及可控整流电路，门电路与逻辑代数，组合逻辑电路，触发器及时序逻辑电路，多谐振荡器和单稳态触发器，D/A 转换器和 A/D 转换器，半导体存储器，可编程逻辑器件（PLD，CPLD），模拟电路和数字电路的 Multisim 仿真。

作者主讲的电工学课程于 2003 年被评为北京市精品课程，本书是作者多年从事电工学教学实践和教学改革经验的总结，可作为高等学校非电类专业电工学课程的教科书，也可作为工程技术人员参考书和培训用书。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签，无标签者不得销售。

版权所有，侵权必究。侵权举报电话：010-62782989 13501256678 13801310933

## 图书在版编目(CIP)数据

电工技术与电子技术. 上册/唐庆玉编著. —北京：清华大学出版社，2007.3

ISBN 978-7-302-14697-1

I. 电… II. 唐… III. ①电工技术 ②电子技术 IV. TMTN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 021458 号

责任编辑：张占奎

责任校对：焦丽丽

责任印制：

出版发行：清华大学出版社

<http://www.tup.com.cn>

[c-service@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:c-service@tup.tsinghua.edu.cn)

社总机：010-62770175

投稿咨询：010-62772015

地 址：北京清华大学学研大厦 A 座

邮 编：100084

邮购热线：010-62786544

客户服务：010-62776969

印 刷 者：

装 订 者：

经 销：全国新华书店

开 本：185×260 印张：21.5 字数：497 千字

版 次：2007 年 3 月第 1 版 印次：2007 年 3 月第 1 次印刷

印 数：1~3000

定 价：.00 元

---

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题，请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话：010-62770177 转 3103 产品编号：

# 作者简介

唐庆玉,1945年生,1970年毕业于清华大学工程化学系,1983年获清华大学电机系硕士学位,1988—1990年在美国亚特兰大佐治亚理工学院做访问学者。

现任清华大学电机系教授,清华大学电机系电工学教研室主任,电工学课程负责人。

主要社会学术兼职有:中国电子学会高级会员,中国电子学会生物医学电子学分会理事,中国仪器仪表学会医疗仪器分会理事,中国电工学会理事。

从1978年起一直从事电工学基础课的教学和生物医学工程方面的科研及教学工作,发表科研和教学研究论文80余篇,出版教材3部,获得国家专利2项,获得省、部级科研和教学成果奖多项。





# 前言

电工技术与电子技术(电工学)是高等学校非电类专业的一门专业基础课程,是某些专业的后续课程,如微机原理、单片机原理及应用、仪表测量及控制、汽车电子、核电子学等课程的先修课程。通过该课程的学习,学生可以掌握关于电路的基本理论和分析方法、初步了解电工基本技术(包括三相交流电、变压器、电动机及其控制技术)、模拟电子技术、数字电子技术以及电子设计自动化(EDA)技术。

本书是参照教育部 1995 年颁发的《电工技术》(电工学 I)和《电子技术》(电工学 II)两门课程的基本要求,参考美国 1999—2002 年间出版的有关教材(参考文献[5]~[10]),并结合清华大学电工学精品课建设和教学改革成果编写的。

清华大学电工学课程 2002 年被评为清华大学精品课程,2003 年被评为北京市精品课程。多年来,该课程进行了许多改革,参考美国著名大学的教材和教学大纲,调整了该课程的教学大纲,去除了许多陈旧内容,补充了许多新内容。在课时大大压缩的情况下,仍能做到“宽”和“新”,既符合教育部的基本教学要求,又具有先进性。

本书第 1~第 8 章是传统内容,在继承的基础上保留了其经典成分,并根据技术的发展作了部分补充和修改。第 1 章介绍最基本的电路理论和分析方法。第 2 章介绍正弦交流电路的分析与计算。第 3 章介绍三相电路中电流、电压及功率的计算。第 4 章介绍周期性非正弦波形的分析计算方法。第 5 章介绍电路的暂态分析方法。第 6 章介绍磁路与变压器。第 7 章介绍电动机。第 8 章介绍继电器控制。在第 9 章介绍可编程控制器(PLC)及西门子 S7-200 型 PLC 的原理与应用。第 10 章介绍 Multisim 电路仿真及 Multisim7 仿真软件。

电工技术和电子技术是一门实践性很强的课程,仅仅会做习题还不能很好地掌握,必须理论联系实际,重视实际动手能力的训练。计算机仿真和虚拟仪器的应用可以弥补实验课时和实验室条件的不足,是实现电工学课程研究型教学的良好手段。本书第 10 章介绍了 Multisim7 仿真软件在电路仿真和继电器控制仿真中的应用。在实际教学过程中,建议将仿真穿插在每章内容中,每节课除了布置一般习题外还应布置一道仿真习题,注重训练学生对虚拟仪器的使用。另

外,为便于与第 8 章内容对照,将第 9 章可编程控制器的内容安排在上册,但该内容属于数控技术,在学习下册中有关数字电路的内容后再讲授效果会更好。

本书每章都配有适量的思考题和习题,第 1~第 7 章以计算题为主,而第 8~第 10 章以设计题为主,设计题尽量结合实际,以培养学生的创新能力。此外,考虑双语教学的需要,本书还配写有英文习题,方便学生了解国外同类课程的有关内容,掌握英文名词术语和电路符号。书后附有大部分习题的参考答案(图形略)。

本书的编写力求文字简练,条理清楚,一些基本原理多用图形说明,避免冗长的文字叙述,以利于学生课后复习和自学。

编者还为本书编写了配套中文电子课件、英文电子课件、实验指导、习题解答、英文习题及解答等,感兴趣者可登录北京市精品课网站,网址: [http://166.111.92.10/jpkcgc/aao\\_70/index.jsp](http://166.111.92.10/jpkcgc/aao_70/index.jsp)。这些资源将作为本教材的配套产品出版。

鉴于作者水平有限,书中难免有错误和不妥之处,恳请读者予以指正,不胜感谢。

唐庆玉

2007 年 1 月于清华园

tangqy@tsinghua.edu.cn

# 目 录

|       |                   |    |
|-------|-------------------|----|
| 第 1 章 | 电路理论及分析方法 .....   | 1  |
| 1.1   | 电路的基本概念 .....     | 1  |
| 1.1.1 | 电路模型 .....        | 1  |
| 1.1.2 | 电路元件 .....        | 2  |
| 1.1.3 | 电压和电流的参考方向 .....  | 5  |
| 1.1.4 | 电路中电位的概念 .....    | 6  |
| 1.1.5 | 欧姆定律 .....        | 7  |
| 1.1.6 | 电路的功率和电能 .....    | 8  |
| 1.2   | 基尔霍夫定律 .....      | 9  |
| 1.2.1 | 基尔霍夫电流定律 .....    | 9  |
| 1.2.2 | 基尔霍夫电压定律 .....    | 11 |
| 1.3   | 电路的分析方法 .....     | 12 |
| 1.3.1 | 电阻网络的等效变换 .....   | 12 |
| 1.3.2 | 电源模型的等效变换 .....   | 17 |
| 1.3.3 | 支路电流法 .....       | 19 |
| 1.3.4 | 结点电位法 .....       | 20 |
| 1.3.5 | 叠加原理 .....        | 22 |
| 1.3.6 | 戴维宁定理和诺顿定理 .....  | 24 |
| 1.3.7 | 最大功率传输原理 .....    | 29 |
| 1.4   | 受控源电路的分析 .....    | 30 |
| 1.4.1 | 受控源模型 .....       | 30 |
| 1.4.2 | 含受控源电路的分析方法 ..... | 31 |
|       | 主要公式 .....        | 34 |
|       | 思考题 .....         | 34 |
|       | 习题 .....          | 36 |
|       | PROBLEMS .....    | 40 |

|       |                       |    |
|-------|-----------------------|----|
| 第 2 章 | 正弦交流电路 .....          | 42 |
| 2.1   | 正弦电压与电流 .....         | 43 |
| 2.1.1 | 正弦量的参考方向和交流电源模型 ..... | 43 |

|                           |                       |            |
|---------------------------|-----------------------|------------|
| 2.1.2                     | 周期、频率和角频率 .....       | 44         |
| 2.1.3                     | 相位、初相位和相位差 .....      | 44         |
| 2.1.4                     | 最大值和有效值 .....         | 46         |
| 2.2                       | 正弦量的相量表示法和复数表示法 ..... | 46         |
| 2.3                       | 正弦交流电路中的元件 .....      | 50         |
| 2.3.1                     | 电阻元件 .....            | 50         |
| 2.3.2                     | 电感元件 .....            | 51         |
| 2.3.3                     | 电容元件 .....            | 55         |
| 2.4                       | 正弦交流电路的分析与计算 .....    | 57         |
| 2.4.1                     | $RLC$ 串联电路 .....      | 57         |
| 2.4.2                     | 阻抗网络与等效阻抗 .....       | 63         |
| 2.4.3                     | 复杂正弦交流电路的计算 .....     | 65         |
| 2.5                       | 正弦交流电路的功率 .....       | 69         |
| 2.5.1                     | 正弦交流电路的功率 .....       | 69         |
| 2.5.2                     | 功率因数的提高 .....         | 71         |
| 2.5.3                     | 最大功率传输原理 .....        | 73         |
| 2.6                       | 电路中的谐振 .....          | 74         |
| 2.6.1                     | 串联谐振 .....            | 74         |
| 2.6.2                     | 并联谐振 .....            | 79         |
| 2.7                       | 电路的频率特性 .....         | 82         |
| 2.7.1                     | 传递函数与电路的频率特性 .....    | 83         |
| 2.7.2                     | 滤波器与波特图 .....         | 84         |
|                           | 主要公式 .....            | 92         |
|                           | 思考题 .....             | 92         |
|                           | 习题 .....              | 94         |
|                           | PROBLEMS .....        | 102        |
| <br><b>第3章 三相电路</b> ..... |                       | <b>103</b> |
| 3.1                       | 三相交流电源 .....          | 103        |
| 3.1.1                     | 三相交流电源的产生 .....       | 103        |
| 3.1.2                     | 三相交流电源的联接 .....       | 105        |
| 3.2                       | 三相电路的负载 .....         | 106        |
| 3.2.1                     | 三相负载的星形联接 .....       | 106        |
| 3.2.2                     | 三相负载的三角形联接 .....      | 110        |
| 3.3                       | 三相电路的功率 .....         | 111        |
| 3.3.1                     | 三相电路的功率 .....         | 111        |
| 3.3.2                     | 三相电路的功率测量 .....       | 113        |
|                           | 主要公式 .....            | 115        |

|                              |            |
|------------------------------|------------|
| 思考题 .....                    | 115        |
| 习题 .....                     | 116        |
| PROBLEMS .....               | 118        |
| <br>                         |            |
| <b>第 4 章 周期性非正弦波形 .....</b>  | <b>120</b> |
| 4.1 周期性非正弦波形 .....           | 120        |
| 4.2 傅里叶级数 .....              | 121        |
| 4.3 傅里叶频谱 .....              | 124        |
| 4.4 周期性非正弦波形的有效值 .....       | 125        |
| 4.5 周期性非正弦电路的计算 .....        | 126        |
| 4.6 周期性非正弦电路的平均功率 .....      | 128        |
| 4.7 失真度 .....                | 130        |
| 主要公式 .....                   | 131        |
| 思考题 .....                    | 131        |
| 习题 .....                     | 132        |
| PROBLEMS .....               | 135        |
| <br>                         |            |
| <b>第 5 章 电路的暂态分析 .....</b>   | <b>137</b> |
| 5.1 换路定理 .....               | 137        |
| 5.2 一阶 $RC$ 电路的暂态分析 .....    | 139        |
| 5.2.1 经典法 .....              | 139        |
| 5.2.2 时间常数 .....             | 141        |
| 5.3 一阶 $RL$ 电路的暂态分析 .....    | 141        |
| 5.4 三要素法 .....               | 143        |
| 5.5 脉冲激励下的 $RC$ 电路 .....     | 147        |
| 5.5.1 单脉冲激励下的 $RC$ 电路 .....  | 147        |
| 5.5.2 序列脉冲激励下的 $RC$ 电路 ..... | 149        |
| 5.6 含有多个电容的一阶电路 .....        | 150        |
| 5.6.1 多个电容可以等效为一个电容 .....    | 150        |
| 5.6.2 换路后出现电容并联 .....        | 151        |
| 5.6.3 换路后恒压源与电容构成回路 .....    | 152        |
| * 5.7 $RLC$ 二阶电路的暂态过程 .....  | 154        |
| 思考题 .....                    | 157        |
| 习题 .....                     | 158        |
| PROBLEMS .....               | 164        |
| <br>                         |            |
| <b>第 6 章 磁路与变压器 .....</b>    | <b>166</b> |
| 6.1 磁路 .....                 | 167        |

|            |                        |            |
|------------|------------------------|------------|
| 6.1.1      | 磁场与电磁场 .....           | 167        |
| 6.1.2      | 磁通与磁感应强度 .....         | 167        |
| 6.1.3      | 直流励磁下的磁路和磁通势 .....     | 168        |
| 6.1.4      | 磁场强度 .....             | 170        |
| 6.1.5      | 安培环路定律 .....           | 170        |
| 6.1.6      | 磁性材料的特性、磁导率和磁化曲线 ..... | 171        |
| 6.1.7      | 直流励磁下的磁路计算 .....       | 173        |
| 6.1.8      | 铁心线圈的电感 .....          | 177        |
| 6.2        | 交流励磁下的铁心线圈 .....       | 178        |
| 6.2.1      | 电压、电流与磁通的关系 .....      | 178        |
| 6.2.2      | 功率损耗和等效电路 .....        | 180        |
| 6.3        | 变压器 .....              | 182        |
| 6.3.1      | 变压器的结构与工作原理 .....      | 182        |
| 6.3.2      | 变压器绕组的极性 .....         | 184        |
| 6.3.3      | 映射阻抗 .....             | 187        |
| 6.3.4      | 实际铁心变压器的等效模型 .....     | 188        |
| 6.3.5      | 变压器的额定参数、外特性及效率 .....  | 189        |
| 6.3.6      | 变压器的应用 .....           | 191        |
| 6.3.7      | 其他类型变压器 .....          | 194        |
|            | 主要公式 .....             | 195        |
|            | 思考题 .....              | 196        |
|            | 习题 .....               | 197        |
|            | PROBLEMS .....         | 201        |
| <b>第7章</b> | <b>电动机 .....</b>       | <b>204</b> |
| 7.1        | 三相异步电动机 .....          | 205        |
| 7.1.1      | 三相异步电动机的结构和转动原理 .....  | 205        |
| 7.1.2      | 三相异步电动机的转矩和机械特性 .....  | 210        |
| 7.1.3      | 三相异步电动机的铭牌和技术数据 .....  | 216        |
| 7.1.4      | 三相异步电动机的使用 .....       | 218        |
| 7.2        | 单相异步电动机 .....          | 223        |
| 7.2.1      | 分相式单相异步电动机 .....       | 224        |
| 7.2.2      | 罩极式单相异步电动机 .....       | 226        |
| 7.3        | 直流电机 .....             | 227        |
| 7.3.1      | 直流电机的结构和工作原理 .....     | 227        |
| 7.3.2      | 直流电动机的机械特性 .....       | 230        |
| 7.3.3      | 直流电动机的调速 .....         | 233        |
| 7.3.4      | 直流电动机的使用 .....         | 235        |

|                             |            |
|-----------------------------|------------|
| 7.4 控制电机 .....              | 236        |
| 7.4.1 步进电机 .....            | 236        |
| 7.4.2 伺服电机 .....            | 240        |
| 主要公式 .....                  | 242        |
| 思考题 .....                   | 242        |
| 习题 .....                    | 243        |
| PROBLEMS .....              | 246        |
| <br>                        |            |
| <b>第8章 继电器控制 .....</b>      | <b>247</b> |
| 8.1 低压电器 .....              | 247        |
| 8.1.1 开关 .....              | 247        |
| 8.1.2 熔断器 .....             | 248        |
| 8.1.3 自动空气开关 .....          | 248        |
| 8.1.4 按钮 .....              | 249        |
| 8.1.5 行程开关 .....            | 249        |
| 8.1.6 接触器 .....             | 250        |
| 8.1.7 热继电器 .....            | 251        |
| 8.1.8 时间继电器 .....           | 252        |
| 8.1.9 中间继电器及其他控制继电器 .....   | 254        |
| 8.2 基本控制电路 .....            | 254        |
| 8.2.1 起动、停止控制 .....         | 254        |
| 8.2.2 点动控制 .....            | 256        |
| 8.2.3 两地控制 .....            | 257        |
| 8.2.4 正、反转控制 .....          | 257        |
| 8.2.5 行程控制 .....            | 259        |
| 8.2.6 顺序控制 .....            | 260        |
| 8.2.7 时间控制 .....            | 261        |
| 8.3 应用举例 .....              | 262        |
| 思考题 .....                   | 264        |
| 习题 .....                    | 265        |
| PROBLEMS .....              | 268        |
| <br>                        |            |
| <b>第9章 可编程控制器 .....</b>     | <b>269</b> |
| 9.1 PLC 的结构和工作原理 .....      | 269        |
| 9.1.1 PLC 控制系统 .....        | 269        |
| 9.1.2 PLC 的结构 .....         | 270        |
| 9.1.3 PLC 的存储器类型及寻址方式 ..... | 272        |
| 9.2 PLC 的编程语言及工作方式 .....    | 273        |

|                                          |            |
|------------------------------------------|------------|
| 9.2.1 梯形图 .....                          | 273        |
| 9.2.2 语句表 .....                          | 275        |
| 9.2.3 PLC 的工作方式 .....                    | 275        |
| 9.3 PLC 的基本指令 .....                      | 276        |
| 9.3.1 位逻辑指令 .....                        | 276        |
| 9.3.2 逻辑堆栈指令 .....                       | 278        |
| 9.3.3 定时器指令 .....                        | 281        |
| 9.3.4 计数器指令 .....                        | 283        |
| 9.3.5 跳变检测指令 .....                       | 284        |
| 9.3.6 置位和复位指令 .....                      | 286        |
| 9.3.7 数据传送指令 .....                       | 287        |
| 9.3.8 移位和循环移位指令 .....                    | 287        |
| 9.4 PLC 的应用举例 .....                      | 290        |
| 9.4.1 三相异步电动机Y- $\Delta$ 起动 PLC 控制 ..... | 290        |
| 9.4.2 十字路口交通灯 PLC 控制 .....               | 290        |
| 思考题 .....                                | 294        |
| 习题 .....                                 | 294        |
| <b>第 10 章 Multisim 电路仿真 .....</b>        | <b>298</b> |
| 10.1 Multisim7 的使用方法 .....               | 299        |
| 10.1.1 操作界面 .....                        | 299        |
| 10.1.2 电路的建立与仿真分析方法 .....                | 306        |
| 10.2 基本电路的仿真 .....                       | 308        |
| 10.2.1 电路习题解答仿真 .....                    | 308        |
| 10.2.2 电路的频率特性仿真 .....                   | 310        |
| 10.2.3 电路的暂态过程仿真 .....                   | 312        |
| 10.3 继电器控制仿真 .....                       | 313        |
| 10.3.1 三相异步电动机控制 .....                   | 313        |
| 10.3.2 时间控制 .....                        | 314        |
| 10.4 傅里叶分析 .....                         | 315        |
| 习题 .....                                 | 317        |
| PROBLEMS .....                           | 320        |
| <b>附录 中外电路常用符号对照表 .....</b>              | <b>321</b> |
| <b>部分习题答案 .....</b>                      | <b>323</b> |
| <b>参考文献 .....</b>                        | <b>332</b> |