



国家电工电子教学基地系列教材

# 现代电子线路 (下册)

Modern Electronic Circuits

◎王志刚 主 编  
◎龚杰星 副主编  
◎谢嘉奎 主 审



清华大学出版社  
<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>



北方交通大学出版社  
<http://press.njtu.edu.cn>



国家电工电子教学基地系列教材

# 现代电子线路

下 册

王志刚 主 编  
龚杰星 副主编  
谢嘉奎 主 审

清华大学出版社  
北方交通大学出版社  
·北京·

## 内 容 简 介

本套教材共9章,分上、下两册。下册包括:第5章电源电路,第6章基本通信电路,第7章传感器与信号调整电路,第8章数模和模数转换器,第9章构成电子系统的工程问题。相对同类教材而言,后3章是新增内容,其中第7章介绍了电桥放大器、电荷放大器、耐高共模电压的诺顿放大器、隔离放大器、自稳零放大器、双线发送器及对传感器进行非线性校正的一些专用电路技术。第8章主要介绍A/D、D/A转换器内容,此外还介绍了 $\Sigma$ - $\Delta$ 过采样转换器原理。第9章介绍了电子系统设计、低噪声设计、电磁兼容设计、可靠性设计等重要概念。本书大量精简了分立元件电路的分析设计篇幅,加强了专用新器件和应用技术介绍。

本教材强调集成电路,强调应用原理和应用技术,增加了一些从事模拟电子系统设计的入门知识。上下两册适合总学时为120~200(两个学期)的本科教学用,也可供本科毕业生、研究生和从事实际电子系统设计的工程师参考。

**版权所有,翻印必究。**

**本书封面贴有清华大学出版社激光防伪标签,无标签者不得销售。**

### 图书在版编目(CIP)数据

现代电子线路·下册 / 王志刚主编. —北京: 北方交通大学出版社, 2003. 10

(国家电工电子教学基地系列教材)

ISBN 7-81082-123-7

I. 现… II. 王… III. 电子电路—高等学校—教材 IV. TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核定(2003)第 067169

责任编辑: 韩 乐      特邀编辑: 李 莉

印 刷 者: 北京东光印刷厂

出版发行: 北方交通大学出版社    邮编: 100044    电话: 010-51686045, 62237564

清 华 大 学 出 版 社    邮编: 100084

经 销: 各地新华书店

开 本: 787×960 1/16    印张: 27.25    字数: 610 千字

版 次: 2003 年 10 月第 1 版    2003 年 10 月第 1 次印刷

印 数: 5 000 册      定价: 35.00 元

# 国家电工电子教学基地系列教材

## 编审委员会成员名单

主 任 谈振辉

副主任 张思东 赵尔沅 孙雨耕

委 员 (以姓氏笔画为序)

王化深 卢先河 刘京南 朱定华 沈嗣昌

严国萍 杜普选 李金平 李哲英 张有根

张传生 陈后金 邹家驊 郑光信 屈 波

侯建军 贾怀义 徐国治 徐佩霞 廖桂生

薛 质 戴瑜兴

# 总 序

当今信息科学技术日新月异,以通信技术为代表的电子信息类专业知识更新尤为迅猛。培养具有国际竞争能力的高水平的信息技术人才,促进我国信息产业发展和国家信息化水平的提高,都对电子信息类专业创新人才的培养、课程体系的改革、课程内容的更新提出了富有时代特色的要求。近年来,国家电工电子教学基地对电子信息类专业的技术基础课程群进行了改革与实践,探索了各课程的认知规律,确定了科学的教育思想,理顺了课程体系,更新了课程内容,融合了现代教学方法,取得了良好的效果。为总结和推广这些改革成果,在借鉴国内外同类有影响教材的基础上,决定出版一套以电子信息类专业的技术基础课程为基础的“国家电工电子教学基地系列教材”。

本系列教材具有以下特色:

- 在教育思想上,符合学生的认知规律,使教材不仅是教学内容的载体,也是思维方法和认知过程的载体。

- 在体系上,建立了较完整的课程体系,突出了各课程内在联系及课群内各课程的相互关系,体现微观与宏观、局部与整体的辩证统一。

- 在内容上,体现现代与经典、数字与模拟、软件与硬件的辩证关系,反映当今信息科学与技术的新概念和新理论,内容阐述深入浅出,详略得当。增加工程性习题、设计性习题和综合性习题,培养学生分析问题和解决问题的素质与能力。

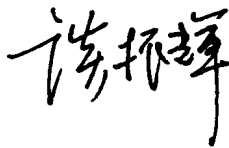
- 在辅助工具上,注重计算机软件工具的运用,使学生从单纯的习题计算转移到基本概念、基本原理和基本方法的理解和应用,提高了学习效率和效果。

本系列教材包括:

《基础电路分析》、《现代电路分析》、《模拟集成电路基础》、《信号与系统》、《电子测量技术》、《微机原理与接口技术》、《电路基础实验》、《电子电路实验及仿真》、《数字实验一体化教程》、《数字信号处理综合设计实验》、《电路基本理论》、《现代电子线路》(含上、下册)、《电工技术》。

本系列教材的编写和出版得到了教育部高等教育司的指导、北方交通大学教务处及电子与信息工程学院的支持,在教育思想、课程体系、教学内容、教学方法等方面获得了国内同行们的帮助,在此表示衷心的感谢。

北方交通大学  
“国家电工电子教学基地系列教材”  
编审委员会主任

A handwritten signature in black ink, reading '陈振军' (Chen Zhenjun), written in a cursive style.

2003年8月

# 序 言

两年前,我到郑州信息工程大学讨论有关这本教材修改问题时,顺便参观了王志刚教授领导的科研工作,对他们不畏艰难,精诚合作,勇于科研实践,取得丰硕成果深受教育,更为他们以奉献教育事业的高度责任感将长期科研实践中积累的经验和教训融合到教学中,编写出一本体现高度应用性和科学性的“现代电子线路”教材的设想和实践表示由衷的敬佩,我当即表示,愿为提高这本教材的质量尽微薄之力。

这本教材不受传统教材的束缚,提出了一套全新的编写思路和内容处理方法,给人一种新鲜感。就其编写思路而言,整本教材在分立元件电路基础上十分强调集成电路;在集成电路方面,不刻意追求内部电路原理,而十分强调集成电路的应用原理和应用技术;在内容取舍上,不拘泥于电路的分析,而强调电路设计思路和方法。同时增加 A/D 和 D/A 变换的内容,使模拟电子学更趋于完整。就其内容处理而言,又有许多独到之处,力求将分散的内容融合成一个整体(例如用 Ebers-Moll 模型统一处理晶体三极管各工作区的特性);不追求分析过程的严密性和系统性,而十分重视突出基本概念和基本结论;不过多地纠缠在细节问题上,而把着眼点放在学生必须掌握的基本内容上。

这是一次大胆而有益的尝试,不可避免地存在一些不足之处,但已走出了可喜的一步,我期望教材编者能锲而不舍,精益求精,使教材质量进一步提高,也期望同行们能重视这次尝试,汲取他们有益的做法,编写出有新意,便于教学的高质量教材。

谢嘉奎

2003 年 10 月

# 前 言

目前,国内已经出版了多种有关电子线路的优秀教材,如谢嘉奎教授主编的《电子线路》,童诗白教授主编的《模拟电子技术基础》,康华光教授主编的《电子技术基础》等都已出了四个版本并多次重印。这些教材经过多年的锤炼,具有非常好的使用效果。那么,为什么我们还要编写一本《现代电子线路》呢?这要从我们教研室老师们的经历谈起。我们教研室从1982年开始,至今一直参与军用、民用各种电子设备的科研开发,有多种产品目前还在广泛使用,还有少量出口。许多老师从中小规模集成电路到超大规模集成电路都使用过。从事科研开发的老师都有一些感触:在20年科研中没有一个人使用过分立器件放大器,只在极个别情况下使用过晶体管缓冲器(跟随器);在非理想的实际工程中必须了解和使用的一些知识,在大学所有课程中很难找到;在数字信号处理(DSP)广泛用于原来传统的模拟系统(如软件无线电)的情况下,需要对A/D、D/A有关模拟信号的各项性能指标有更深入的理解;对一些非传统的新功能器件,例如可以达到电源极限的低功耗、大动态范围放大器(rail-to-rail)的原理渴望了解;从事电子系统设计的工程师再也不需要精心设计单元功能电路了(因为需要的功能电路应有尽有),可是把性能优良的集成电路连接成系统时,常常不能满足设计要求。在教学工作中我们也很愿意使用简单明了、易于理解的方法解释电子器件和电路的各种问题,不但省力,而且教学效果也好,但也常产生一些困惑:用载流子从浓度高向浓度低的地方扩散的现象来解释PN结的形成固然容易理解,可是用扩散现象不能解释金属与N型半导体接触时,电子会从浓度低的N型半导体向浓度高的金属中“扩散”;PN结两边有势垒电压存在,为什么把二极管的两个电极引线相接不会出现电流?既然金属与半导体相接触就产生肖特基整流结,那么二极管的金属引线 with 半导体接触为什么不显示肖特基整流结而只出现欧姆特性呢?既然电压并联负反馈只改善互阻增益,那么为什么集成运放的电压并联负反馈的补偿电容却对电压增益产生频率补偿呢?这些思索和困惑使我们产生一个念头:编写一本“另类”教材。对这本教材要有以下要求。

- (1) 尽可能精简关于分立元器件放大电路原理的分析计算和综合设计。
- (2) 关于半导体器件原理,必须能经得起推敲,在教材范围内能“自圆其说”。
- (3) 尽可能多介绍一些新的、专用的集成电路。
- (4) 尽可能多介绍一些实际工程应用知识。

要满足以上要求,必然增加教材的内容和难度。放弃以上要求,显然教和学都容易,也不需要编写新教材。还可以有另一种选择:另开一门课,把难度高的内容放到这门课中讲解。如果换一种思维方法:把两门课的学时加到一起集中使用,不也同样可以使用内容多,难度较高一点的教材吗?因此,我们决心编写一本教材,它的目标不是替代现有的优秀教材,但至少可以作为它们的补充。老师授课时,可以指定主要教材和难度不同的参考书。这本教材试用



了3届,师生普遍反映难度高,信息量大,开始不易接受,到后来逐渐适应。除因编者经验不足之外,试用期间安排学时太少也是试用中反映难度高的原因之一(上、下册各安排60学时,扣去长假等,实际最多只有54~56学时)。根据这本教材的信息量,上、下册各安排80学时比较合适。电子线路是一门实践性强的课程,单靠课堂教学,即使教材内容丰富,教材中增加很多的电子系统实际工程内容,也不能取代实践教学。

全书共9章,分上、下两册。上册4章,包括:第1章半导体器件基础;第2章放大器基础;第3章集成运算放大器基础;第4章集成运算放大器应用。下册5章,包括:第5章电源电路;第6章基本通信电路;第7章传感器与信号调整电路;第8章数模和模数转换器;第9章电子系统设计的工程问题。

按照对本教材的第(1)、第(2)两条要求,我们精简了过时的内容,适当加强了基础理论。这主要体现在以下几个方面。

(1)在解释半导体器件工作原理时,除使用通俗的解释方法外,还增加了能级和能带的概念(可选学);全部用Ebers-Moll模型描述双极型晶体管特性,从而使各种应用状态都可得到明晰的理论结果;大大精简了图解分析和偏置电路的分析计算。

(2)在讲述分立器件放大器基础时,重点放在半导体器件放大原理和分立器件放大器的局限性及其克服方法上,完全是为后面的集成电路打基础,而不拘泥于分立器件放大器的设计和分析。放大器频率响应部分重点给出分析方法、通频带受限制的原因;用增益带宽乘积大小衡量各种组态放大器的优劣和适用场合。负反馈放大器内容压缩成一节,明确指出负反馈放大器对放大器性能的任何改善均可以用降低增益灵敏度来解释,并证明了负反馈(无论是哪种负反馈)对四种源增益中的任何一种都降低相同的倍数。

(3)在集成运放中分析了限制带宽和摆率的原因,以及改进措施,特别强调了宽带、高速运放中满功率带宽和摆率这两个性能指标比小信号带宽更重要。

按照对本教材的第(3)、第(4)两条要求,我们增加了如下一些内容。

(1)在集成运算放大器一章中,讨论了测量放大器、互导放大器、缓冲放大器、电压比较器和电源限(rail-to-rail)放大器原理,重点是它们与通用放大器的性能要求和拓扑结构上的区别,以及不同的使用场合。如果不用Ebers-Moll模型就无法解释双极型电源限(rail-to-rail)放大器之所以输入和输出信号都可以达到电源电压的原理。介绍了电流模技术原理,并用线性跨导原理分析差动放大器输入级和乘法器,结果表明在这类特定场合用线性跨导原理比原来的方法更加简单而有效。

(2)集成运算放大器应用部分,除了讨论常见的应用外,专门讨论了在实际工程应用中正确使用集成运放的注意事项。

(3)在通信电路一章中介绍了直接数字合成(DDS)技术原理,以及DDS技术在现代通信和其他领域的广泛应用。

(4)增加了传感器信号处理电路一章,这也是出于向实际应用倾斜的考虑。因为模拟放大器电路最难处理的信号之一便是微弱的传感器信号。本章介绍了电桥放大器、电荷放大

器、耐高共模电压的诺顿放大器、隔离放大器、自稳零放大器、双线发送器,以及对传感器进行非线性校正的一些专用电路技术。

(5)增加了 A/D 和 D/A 转换原理一章。传统上这个内容安排在数字电路中,但实际上它是模拟与数字世界的桥梁,凡是应用 A/D/A 的场合都离不开模拟系统。对 A/D/A 的主要性能指标要求是由模拟系统的性能指标决定的,而数字电路只需注重它的操作控制。在这一章中还介绍了可以实现高分辨率(高于 24 位)的过采样 A/D 转换器( $\Sigma\text{-}\Delta$  A/D)。

(6)增加了专门介绍电子系统设计中的工程实际问题的一章,主要内容有:系统设计的一般方法、低噪声设计、可靠性设计、电磁兼容设计。

我们清醒地知道,要让本科生“掌握”以上所有内容是不可能的。但可至少让他们了解毕业之后从事模拟电子系统设计时,除了需要模拟电路的基本知识之外,还有更多需要了解的知识,有更多的方法可以使用,有更多可以利用的器件,有更多需要考虑解决的实际问题。显然,这些切合实际的期望是可以实现的。这对于扩大学生的知识面有好处,对于从事模拟电子系统硬件设计的毕业生,也有一定的参考价值。

最初的编写大纲曾经华南理工大学的丘水生教授、武汉大学的甘良才教授、国防科技大学的陈善思教授审阅;试用初稿由东南大学的谢嘉奎教授和华南理工大学的丘水生教授审阅。谢嘉奎教授还同编者逐章讨论修改意见。他们宝贵的意见和建议使我们顺利地编写了试用初稿和第 2 稿,现在奉献给作者的已是第 3 稿,由谢嘉奎教授主审。全体编者对他的宝贵意见和热情支持表示深深的感谢,对他的辛勤劳动和敬业精神表示崇高的敬意。

全书由王志刚任主编,龚杰星任副主编。王志刚编写第 1,2,3,7,9 章和第 8 章的 8.4 节;龚杰星编写第 5 章;侯之鸾编写第 6 章;陆利忠编写第 4 章;赵晶编写第 8 章的 8.1~8.3 节。刘文珂、罗晓丹、海涛、程保玮在试用本教材过程中提出过许多中肯的修改意见和建议。编者对他们的支持表示衷心感谢,还要感谢许许多多关心和支持本教材的编写、为编写工作提供可贵帮助的老师 and 同学。

书中带 \* 号的内容为选学内容。

限于编者水平,本教材可能达不到我们预想的目的,错误和不当之处在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

2003 年 10 月

# 目 录

|                               |     |
|-------------------------------|-----|
| 第 5 章 电源电路 .....              | 365 |
| 5.1 小功率整流与滤波电路 .....          | 365 |
| 5.1.1 整流电路 .....              | 365 |
| 5.1.2 滤波电路 .....              | 368 |
| 5.2 稳压电路 .....                | 370 |
| 5.2.1 并联型稳压电路 .....           | 371 |
| 5.2.2 串联型稳压电路 .....           | 372 |
| 5.3 集成稳压器 .....               | 380 |
| 5.3.1 三端固定式集成稳压器 .....        | 380 |
| 5.3.2 三端可调式集成稳压器 .....        | 383 |
| 5.3.3 基准电压源 .....             | 385 |
| 5.4 DC/DC 变换器 .....           | 391 |
| 5.4.1 降压型 DC/DC 变换器 .....     | 391 |
| 5.4.2 升压型 DC/DC 变换器 .....     | 393 |
| 5.4.3 极性反转型 DC/DC 变换器 .....   | 395 |
| 5.4.4 集成 DC/DC 变换器的应用电路 ..... | 397 |
| 5.5 开关型稳压电源 .....             | 400 |
| 5.5.1 开关型稳压电源的基本组成 .....      | 400 |
| 5.5.2 开关型稳压电源的实用电路 .....      | 402 |
| 5.5.3 功率因数和谐波校正电路 .....       | 408 |
| 5.6 UPS 电源 .....              | 411 |
| 5.6.1 UPS 电源系统的组成和工作原理 .....  | 412 |
| 5.6.2 PWM 逆变器的基本工作原理 .....    | 413 |
| 5.6.3 UPS 电源的选择和使用 .....      | 423 |
| 习题 .....                      | 428 |
| 第 6 章 基本通信电路 .....            | 433 |
| 6.1 通信系统的一般组成 .....           | 433 |
| 6.1.1 通信系统的基本概念 .....         | 433 |
| 6.1.2 模拟通信系统 .....            | 435 |
| 6.1.3 数字通信系统 .....            | 438 |
| 6.1.4 现代通信系统 .....            | 440 |
| 6.2 小信号选频放大电路 .....           | 442 |

|          |                         |     |
|----------|-------------------------|-----|
| 6.2.1    | 单级单调谐放大器 .....          | 443 |
| 6.2.2    | 多级单调谐放大器 .....          | 446 |
| 6.2.3    | 调谐放大器的稳定性 .....         | 448 |
| 6.2.4    | 集成调谐放大器 .....           | 449 |
| 6.2.5    | 非调谐式放大器 .....           | 450 |
| 6.3      | 大信号选频放大电路 .....         | 456 |
| 6.3.1    | 基本电路和工作原理 .....         | 456 |
| 6.3.2    | 输出动特性和负载特性 .....        | 458 |
| 6.3.3    | 馈电路 .....               | 460 |
| 6.3.4    | 集成高频功放简介 .....          | 462 |
| 6.4      | 宽带功率放大电路 .....          | 464 |
| 6.4.1    | 传输线变压器 .....            | 465 |
| 6.4.2    | 功率合成(或分配)网络 .....       | 467 |
| 6.4.3    | 宽放电路举例 .....            | 470 |
| 6.5      | 振荡电路 .....              | 472 |
| 6.5.1    | 振荡原理 .....              | 472 |
| 6.5.2    | LC 正弦波振荡器 .....         | 476 |
| 6.5.3    | 石英晶体振荡器 .....           | 480 |
| 6.5.4    | 压控振荡器(VCO) .....        | 482 |
| 6.6      | 振幅调制与解调电路 .....         | 487 |
| 6.6.1    | 调幅波的性质 .....            | 487 |
| 6.6.2    | 调幅电路 .....              | 489 |
| 6.6.3    | 检波电路 .....              | 501 |
| 6.6.4    | 自动增益控制电路 .....          | 506 |
| ** 6.6.5 | 数字振幅调制与解调电路 .....       | 507 |
| 6.7      | 角度调制与解调电路 .....         | 514 |
| 6.7.1    | 调角波的性质 .....            | 514 |
| 6.7.2    | 调角电路 .....              | 517 |
| 6.7.3    | 鉴频电路 .....              | 525 |
| ** 6.7.4 | 调频制中的噪声、门限效应和特殊电路 ..... | 531 |
| ** 6.7.5 | 数字角度调制与解调电路 .....       | 541 |
| 6.8      | 变频电路 .....              | 553 |
| 6.8.1    | 晶体管和场效应管混频器 .....       | 554 |
| 6.8.2    | 乘积混频器 .....             | 558 |
| 6.8.3    | 二极管混频器 .....            | 560 |
| 6.8.4    | 变频干扰 .....              | 564 |
| 6.9      | 锁相与频率合成电路 .....         | 567 |
| 6.9.1    | 锁相电路的构成和工作原理 .....      | 567 |

|                                         |            |
|-----------------------------------------|------------|
| 6.9.2 频率合成电路 .....                      | 583        |
| 6.9.3 锁相调制与解调电路 .....                   | 587        |
| 6.9.4 锁相接收机 .....                       | 589        |
| 习题 .....                                | 590        |
| <b>第7章 传感器与信号调整电路 .....</b>             | <b>607</b> |
| 7.1 传感器概述 .....                         | 607        |
| 7.1.1 传感器 .....                         | 607        |
| 7.1.2 传感器的主要特性 .....                    | 611        |
| 7.1.3 传感器的工作环境与噪声 .....                 | 616        |
| 7.2 电桥与电桥放大器 .....                      | 618        |
| 7.2.1 电阻型传感器的信号转换 .....                 | 618        |
| 7.2.2 桥式差分放大器 .....                     | 623        |
| 7.2.3 线性电桥放大器 .....                     | 625        |
| 7.2.4 电感电桥和电容电桥 .....                   | 626        |
| 7.3 传感信号放大器 .....                       | 629        |
| 7.3.1 电压信号放大器 .....                     | 629        |
| 7.3.2 电流信号放大器 .....                     | 631        |
| 7.3.3 电荷信号放大器 .....                     | 631        |
| 7.3.4 耐高共模电压放大器 .....                   | 636        |
| 7.3.5 隔离放大器 .....                       | 639        |
| 7.3.6 低零漂和自稳零放大器 .....                  | 641        |
| 7.4 传感器信号调整专用电路技术 .....                 | 644        |
| 7.4.1 双线发送器(Two Wire Transmitter) ..... | 645        |
| 7.4.2 微弱信号放大器 .....                     | 647        |
| 7.4.3 传感器非线性校正 .....                    | 652        |
| 习题 .....                                | 663        |
| <b>第8章 数模和模数转换器 .....</b>               | <b>665</b> |
| 8.1 数模转换器的工作原理及其主要性能指标 .....            | 665        |
| 8.1.1 基本工作原理 .....                      | 665        |
| 8.1.2 DAC 的主要性能指标 .....                 | 669        |
| ** 8.1.3 几种典型的 DAC .....                | 674        |
| 8.2 模数转换器的工作原理及其主要性能指标 .....            | 678        |
| 8.2.1 基本工作原理 .....                      | 679        |
| 8.2.2 ADC 的主要性能指标 .....                 | 682        |
| ** 8.2.3 几种典型的 ADC .....                | 687        |

|                                                                         |            |
|-------------------------------------------------------------------------|------------|
| 8.3 DAC 和 ADC 的应用及数字模拟混合系统 .....                                        | 696        |
| 8.3.1 DAC 的基本使用知识 .....                                                 | 696        |
| 8.3.2 ADC 的基本使用知识 .....                                                 | 699        |
| 8.3.3 DAC 和 ADC 的实际应用 .....                                             | 702        |
| 8.3.4 DAC 和 ADC 在工程应用中的有关问题 .....                                       | 706        |
| <b>** 8.4 过采样技术和<math>\Sigma</math>-<math>\Delta</math> 模数转换器 .....</b> | <b>707</b> |
| 8.4.1 过采样技术 .....                                                       | 707        |
| 8.4.2 $\Sigma$ - $\Delta$ 转换器的工作原理 .....                                | 707        |
| 8.4.3 如何由 $c(n)$ 序列计算出模数转换结果 .....                                      | 710        |
| 8.4.4 抽取和抽取滤波器 .....                                                    | 710        |
| 8.4.5 $\Sigma$ - $\Delta$ A/D 转换器的优点 .....                              | 712        |
| 习题 .....                                                                | 712        |
| <br><b>第 9 章 电子系统设计的工程问题 .....</b>                                      | <b>715</b> |
| 9.1 电子系统设计 .....                                                        | 715        |
| 9.1.1 电子系统设计的过程 .....                                                   | 715        |
| 9.1.2 方案设计的灵魂是创新 .....                                                  | 717        |
| 9.1.3 方案论证 .....                                                        | 717        |
| 9.1.4 方案设计中的约束条件 .....                                                  | 717        |
| 9.1.5 方案设计中的优先条件和折中 .....                                               | 718        |
| 9.1.6 “代价交换”原则在系统设计中的应用 .....                                           | 719        |
| 9.1.7 标准化 .....                                                         | 721        |
| 9.1.8 高速电路设计问题 .....                                                    | 721        |
| 9.2 低噪声设计 .....                                                         | 725        |
| 9.2.1 噪声和线性电路 .....                                                     | 725        |
| 9.2.2 常见电子元器件中的噪声 .....                                                 | 728        |
| 9.2.3 级联放大器的噪声 .....                                                    | 731        |
| 9.2.4 低噪声设计 .....                                                       | 732        |
| 9.3 电磁兼容设计 .....                                                        | 737        |
| 9.3.1 电磁干扰源及其传播途径 .....                                                 | 737        |
| 9.3.2 降低干扰源强度的措施 .....                                                  | 739        |
| 9.3.3 阻断干扰传播途径 .....                                                    | 740        |
| 9.3.4 电源的电磁兼容措施 .....                                                   | 747        |
| 9.3.5 接地 .....                                                          | 748        |
| 9.3.6 印制板和装配中的电磁兼容技术 .....                                              | 750        |
| 9.4 电子系统可靠性设计 .....                                                     | 752        |
| 9.4.1 可靠性基本概念 .....                                                     | 753        |

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| 9.4.2 系统的可维修性和有效度 ..... | 754 |
| 9.4.3 系统可靠性的数学模型 .....  | 756 |
| 9.4.4 系统可靠性设计 .....     | 758 |
| 9.4.5 可靠性预计 .....       | 763 |
| 9.4.6 电路的可靠性设计原则 .....  | 765 |
| 9.4.7 系统的维修性设计 .....    | 769 |
| 习题 .....                | 772 |
| 附录 A 串并联谐振回路的参数 .....   | 774 |
| 附录 B 双耦合回路的参数 .....     | 776 |
| 附录 C 阻抗变换电路 .....       | 777 |
| 附录 D 匹配网络 .....         | 778 |
| 参考文献 .....              | 779 |

## 第5章 电源电路

一切电子设备都离不开电源,没有电源或者电源出了故障,整个电子设备就要停止工作,因此可以说电源是电子设备的核心。电子设备不但需要电源,还需要考虑电源的性能,因为电源的性能在很大程度上决定了现代电子设备的性能。电源是现代电子技术的重要基础之一。直流稳压电源是电源的基础技术,是最基本的稳压电路。直流稳压电源的基本组成如图 5.0.1 所示,其包括电源变压器 Tr、整流电路、滤波电路和稳压电路 4 个基本部分。变压器 Tr 将市电 220 V 的交流电压转变为所需要的电压  $v_2$ ,  $v_2$  经过整流电路转变为单向脉动电压  $V_R$ ,然后经过滤波取出  $v_R$  中的直流电压分量  $V_F$ ,实际工作中  $V_F$  是不稳定的,需加稳压电路。经过稳压电路后,输出电压  $V_o$  成为稳定的直流电压。

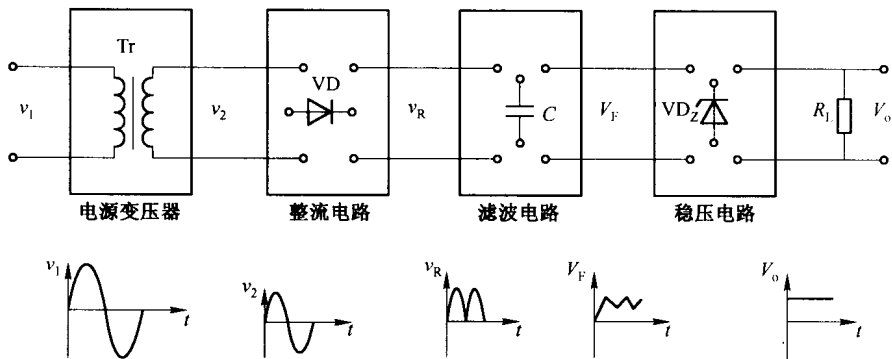


图 5.0.1 直流稳压电源的组成和简要工作过程

本章首先讨论整流电路、滤波电路及典型的稳压电路;然后再讨论现代电子线路中广泛使用的三端集成稳压器、开关型稳压电源、DC/DC 变换器、不间断电源(UPS)、基准电压源以及学习与电源相关的功率因数方面的知识。

### 5.1 小功率整流与滤波电路

#### 5.1.1 整流电路

整流电路的功能是利用二极管的单向导电性,将正弦交流电压转换成单向脉动电压。整流电路有半波整流、全波整流、桥式整流、倍压整流 4 种类型。这里只讨论其中应用非常普遍



的桥式整流,其他的电路采用习题方式由学生自学。

## 1. 小功率单相桥式整流电路

### (1) 电路组成

单相桥式整流电路如图 5.1.1(a)所示,它由两部分组成,一部分是电源变压器  $T_r$ ,另一部分是由 4 只二极管组成的四边形桥,该电路由此得名。在工程实践中 4 个二极管可以用两个半桥或者一个全桥代替。 $R_L$  为整流电路带动的负载。

### (2) 整流原理

为了分析方便,设  $VD_1 \sim VD_4$  为理想二极管。 $v_2$  的正半周(记为  $v_2^+$ )时,  $VD_1$ 、 $VD_3$  正偏而导通,  $VD_2$ 、 $VD_4$  反偏而截止,  $R_L$  并接在  $T_r$  的次级,  $v_o = v_2^+$ 。相应的电路形式及  $v_o$  的波形如图 5.1.1(b)和(d)所示。 $v_2$  的负半周(记为  $v_2^-$ )时,  $v_2^-$  使  $VD_1$ 、 $VD_3$  反偏而截止,  $VD_2$ 、 $VD_4$  正偏而导通,  $T_r$  的次级翻转后与  $R_L$  并接,  $v_o = v_2^-$ ,  $v_o$  仍然是正电压,相应的电路形式和  $v_o$  的波形如图 5.1.1(c)和(e)所示。在  $v_2$  的一个周期内,  $v_o$  的波形如图 5.1.1(f)所示。

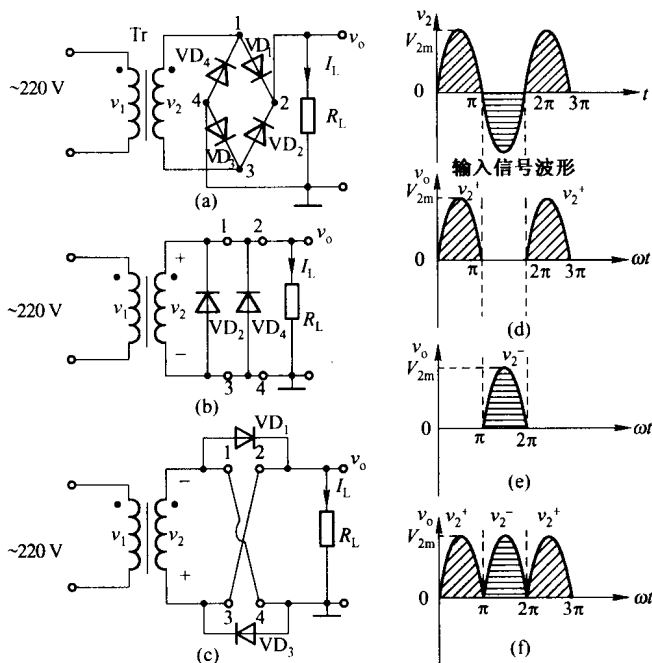


图 5.1.1 桥式电路的整流过程图

## 2. 桥式整流电路的技术指标

整流电路的技术指标包括整流电路的工作性能指标和整流二极管的性能指标。整流电路的工作性能指标有输出电压的平均值  $V_{o,AV}$  和脉动系数  $S$ 。二极管的性能指标有流过二极管的正向平均电流  $I_{VD,AV}$  和管子所承受的最大反向电压  $V_{VD,RM}$ 。下面就来分析桥式整流电