

四川省示范性高职院校建设项目成果

主编◎唐 林 黄世瑜 主审◎聂 勇

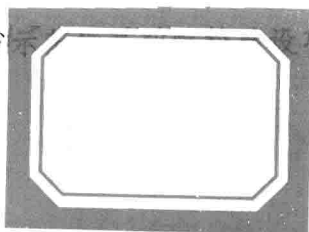
# 小型电子产品设计与制作

*XIAOXING DIANZI CHANPIN SHEJI YU ZHIZUO*



西南交通大学出版社  
[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)

四川省



项目成果

# 小型电子产品设计与制作

主 审 聂 勇

主 编 唐 林 黄世瑜

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

## 内容提要

本书以项目任务为载体,采用教、学、做相结合的教学模式,结合区域电子信息产业岗位需求与全国大学生电子设计竞赛理论和实践要求,选用全国大学生电子设计竞赛具有典型代表性的低频功率放大器、简易智能小车、数控直流电流源以及电压控制 LC 振荡器等赛题作为教学项目情境载体,通过实现情境载体任务,学习放大类、控制类、电源类以及信号源类电子产品的设计方法、设计流程、典型应用电路及工程案例等,教学过程中注重培养学生技术应用能力与实践技能,突出职教特色,强调工程实践应用,注重培养学生团队协作与思维创新,以提高工程开发与社会适应能力。

本书可作为高职院校应用电子技术、电子信息工程技术、通信技术及相近专业学生学习电子产品设计教材,同时也可作为毕业设计、课程设计、电子设计竞赛的参考书及培训教材。

---

### 图书在版编目(CIP)数据

小型电子产品设计与制作 / 唐林, 黄世瑜主编. —  
成都: 西南交通大学出版社, 2013.11  
四川省示范性高职院校建设项目成果  
ISBN 978-7-5643-2640-1

I. ①小… II. ①唐… ②黄… III. ①电子工业—产品设计②电子工业—产品—生产工艺 IV. ①TN602  
②TN05

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 206464 号

---

### 小型电子产品设计与制作

主编 唐 林 黄世瑜

责任编辑	李芳芳
特邀编辑	张少华
封面设计	墨创文化
出版发行	西南交通大学出版社 (四川省成都市金牛区交大路 146 号)
发行部电话	028-87600564 87600533
邮政编码	610031
网 址	<a href="http://press.swjtu.edu.cn">http://press.swjtu.edu.cn</a>
印 刷	四川森林印务有限责任公司
成品尺寸	185 mm × 260 mm
印 张	18
字 数	458 千字
版 次	2013 年 11 月第 1 版
印 次	2013 年 11 月第 1 次
书 号	ISBN 978-7-5643-2640-1
定 价	38.00 元

图书如有印装质量问题 本社负责退换  
版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

# 序

在大力发展职业教育、创新人才培养模式的新形势下，加强高职院校教材建设，是深化教育教学改革、推进教学质量工程、全面培养高素质技能型专门人才的前提和基础。

近年来，四川职业技术学院在省级示范性高等职业院校建设过程中，立足于“以人为本，创新发展”的教育思想，组织编写了涉及汽车制造与装配技术、物流管理、应用电子技术、数控技术等四个省级示范性专业，以及体制机制改革、学生综合素质训育体系、质量监测体系、社会服务能力建设等四个综合项目相关内容的系列教材。在编撰过程中，编著者立足于“理实一体”、“校企结合”的现实要求，秉承实用性和操作性原则，注重编写模式创新、格式体例创新、手段方式创新，在重视传授知识、增长技艺的同时，更多地关注对学习者专业素质、职业操守的培养。本套教材有别于以往重专业、轻素质，重理论、轻实践，重体例、轻实用的编写方式，更多地关注教学方式、教学手段、教学质量、教学效果，以及学校和用人单位“校企双方”的需求，具有较强的指导作用和较高的现实价值。其特点主要表现在：

一是突出了校企融合性。全套教材的编写素材大多取自行业企业，不仅引进了行业企业的生产加工工序、技术参数，还渗透了企业文化和管理模式，并结合高职院校教育教学实际，有针对性地加以调整优化，使之更适合高职学生的学习与实践，具有较强的融合性和操作性。

二是体现了目标导向性。教材以国家行业标准为指南，融入了“双证书”制和专业技术指标体系，使教学内容要求与职业标准、行业核心标准相一致，学生通过学习和实践，在一定程度上，可以通过考级达到相关行业或专业标准，使学生成为合格人才，具有明确的目标导向性。

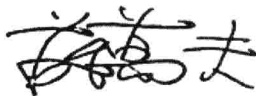
三是突显了体例示范性。教材以实用为基准，以能力培养为目标，着力在结构体例、内容形式、质量效果等方面进行了有益的探索，实现了创新突破，形成了系统体系，为同级同类教材的编写，提供了可借鉴的范样和蓝本，具有很强的示范性。

与此同时，这是一套实用性教材，是四川职业技术学院在示范院校建设过程中的理论研究和实践探索的成果。教材编写者既有高职院校长期从事课程建设和实践实训指导的一线教师和教学管理者，也聘请了一批企业界的行家里手、技术骨干和中高层管理人员参与到教材的编写过程中，他们既熟悉形势与政策，又了解社会和行业需求；既懂得教育教学规律，又深谙学生心理。因此，全套系列教材切合实际，对接需要，目标明确，指导性强。

尽管本套教材在探索创新中存在有待进一步锤炼提升之处，但仍不失为一套针对高职学生的好教材，值得推广使用。

此为序。

四川省高职高专院校  
人才培养工作委员会主任  
二〇一三年一月二十三日



# 前 言

随着电子技术的不断发展与进步,电子产品的设计方法发生了很大的变化。大规模集成电路的广泛应用,使得电子技术正朝着专用电子集成电路及硬件和软件合为一体的电子系统方向发展。电子产品的设计与开发变得越来越快速与广泛,小型电子产品设计与制作已成为许多高职高专院校电子信息类专业学生必须掌握的一门重要技术。

本书在传统理论教学基础上,力求在内容、结构、理论教学与实践教学等方面充分体现高职教育的特点,因此本书具有以下特点:

(1) 教、学、做相结合,将理论与工程实践应用融为一体。

小型电子产品设计与制作是一门应用性、综合性很强的课程,在本书的内容编排上采用项目任务驱动型教学模式,理实一体教学的方式,将抽象的概念和难于理解的知识,通过演示教学、实践动手操作或参观等形式变得形象直观。以课题形式开展教学,便于加强学生的创新意识和实践能力的培养。

(2) 结合岗位需求,精选内容,突出课程的综合性与实用性。

结合电子产品开发和设计岗位需求,在教学内容上选用全国大学生电子设计竞赛具有典型代表性的低功率放大器、简易智能小车、数控直流电流源以及电压控制 LC 振荡器赛题作为教学项目情境载体,贯穿模拟电子技术、数字电子技术、单片机技术、传感器技术以及 EDA 应用技术的课程核心知识与技能,设计放大类电子产品设计、控制类电子产品设计、电源类电子产品设计和信号源类电子产品设计 4 个教学单元,对基础知识不做过于繁杂的理论讲解,重点放在设计思路与应用工艺方面。

(3) 以项目为中心,以实际任务为载体,贯穿整个电子产品设计开发流程。

在教材的编排上按情境任务及其目标、情境资讯、情境决策与实施、情境评价的顺序,通过任务分析、知识储备、案例设计与目标任务实施,体现电子产品设计开发流程。

(4) 结构新颖,层次分明,语言简练,易于教学及自学。

以实际电子产品为载体,过程中依靠任务载体使学生掌握不同电路结构形态下的电子产品开发设计方法,尽可能让学生在直观、有趣的情景中学习和运用知识。培养学生的团队协作和电子创新设计能力。

本书的参考学时为 50 学时,各项目的参考学时见下表的学时分配表。

序号	教学单元	参考任务载体	参考学时
1	放大类电子产品设计	低功率放大器设计与实现	16
2	控制类电子产品设计	简易智能小车设计与实现	10

续表

3	电源类电子产品设计	数控直流电源设计与实现	12
4	信号源类电子产品设计	电压控制 LC 振荡器设计与实现	12
合 计			50

全书体现了应用电子技术专业示范建设教学改革成果，由四川职业技术学院唐林、黄世瑜任主编。本书由唐林、黄世瑜共同制定编写提纲，唐林、黄世瑜、施尚英、高峰编写并定稿。绪论部分由唐林、黄世瑜共同编写，项目一放大类电子产品设计由唐林编写，项目二控制类电子产品设计由黄世瑜编写，项目三电源类电子产品设计由施尚英编写，项目四信号源类电子产品设计由高峰编写。

本书主审四川电信有限公司高级工程师聂勇仔细审阅了全书，并对全书提出了许多宝贵的意见和建议。在教材编写及审定过程中，四川职业技术学院电子电气工程系的教师们提出了宝贵的意见和建议。在此，对聂勇、电子电气工程系的教师们及书后所列参考书籍的各位作者，表示诚挚的感谢。

现代电子设计技术是发展的，相应的教学内容和教学方法也应不断改进，其中一定有许多问题值得深入探讨。由于编者水平有限，书中不足和不妥之处在所难免，望广大读者给予批评和指正。

欢迎您把对本书的建议发至：[Tanglin125@tom.com](mailto:Tanglin125@tom.com)。

编 者  
2013年5月

# 目 录

绪 论	1
0.1 现代电力电子技术的发展方向	1
0.2 小型电子产品生产过程	2
0.3 小型电子产品设计课程与其他课程的关系	3
0.4 本课程主要学习内容	4
项目一 放大类电子产品设计与实现	6
1.1 情境任务及其目标	6
1.2 低频功率放大器设计情境资讯	8
1.3 情境决策与实施	51
1.4 情境评价	72
1.5 小 结	73
项目二 控制类电子产品设计	75
2.1 情境任务及目标	75
2.2 简易智能电动车设计情境资讯	78
2.3 情境决策与实施	143
2.4 情境评价	159
2.5 小 结	161
项目三 电源类电子产品设计	165
3.1 情境任务及目标	165
3.2 数控直流电流源情境资讯	167
3.3 情境决策与实施	199
3.4 情境评价	215
3.5 小 结	217
项目四 信号源类电子产品设计	222
4.1 情境任务及目标	222
4.2 数控直流电流源情境资讯	224
4.3 情境决策与实施	257
4.4 情境评价	274
4.5 小 结	276
参考文献	279

# 绪 论

电子技术是根据电子学的原理，运用电子元器件设计和制造具有一定功能的电路以解决实际问题的科学，包括信息电子技术和电力电子技术两大分支。信息电子技术包括模拟（Analog）电子技术和数字（Digital）电子技术。

## 0.1 现代电力电子技术的发展方向

现代电子技术的发展方向是以低频技术处理问题为主的传统电子技术向以高频技术处理问题为主的现代电子学方向转变。从 1950 年起，电子技术经历了晶体管时代、集成电路时代以及超大规模集成电路时代，直至现代经历了微电子技术时代的纳米技术、EDA 技术以及嵌入式技术等。

### 1. 微电子技术

微电子学是研究在固体（主要是半导体）材料上构成的微小型化电路、子系统及系统的电子学分支，是一门主要研究电子或离子在固体材料中的运动及应用，并利用它实现信号处理功能的科学。

微电子技术在近半个世纪以来得到迅猛发展，是现代电子工业的心脏和高科技的原动力。微电子技术与机械、光学等领域结合而诞生的微机电系统（MEMS）技术、与生物工程技术结合的 DNA 生物芯片成为新的研究热点。目前，微电子技术已经成为衡量一个国家科学技术和综合国力的重要标志。微电子技术的发展方向是高集成、高速度、低功耗和智能化。

### 2. 纳米电子技术

纳米电子学主要在纳米尺度空间内研究电子、原子和分子运动规律和特性，研究纳米尺度空间内的纳米膜和纳米线。纳米点和纳米点阵构成的基于量子特性的纳米电子器件的电子学功能、特性以及加工组装技术。其性能涉及放大、振荡、脉冲技术、运算处理和读写等基本问题。其新原理主要基于电子的波动性、电子的量子隧道效应、电子能级的不连续性、量子尺寸效应和统计涨落特性等。

从微电子技术到纳米电子器件将是电子器件发展的第二次变革，与从真空管到晶体管的第一次变革相比，它含有更深刻的理论意义和丰富的科技内容。在这次变革中，传统理论将不再适用，需要发展新的理论，并探索出相应的材料和技术。

### 3. EDA 技术

电子设计技术的核心就是 EDA 技术。EDA 是指以计算机为工作平台，融合应用电子技



术、计算机技术以及智能化技术最新成果而研制成的电子 CAD 通用软件包。EDA 技术主要包含 IC 芯片设计、电子电路辅助设计以及 PCB 制板设计。其中 IC 设计软件供应商主要有 Cadence、Mentor Graphics 以及 Synopsys 等公司。电子电路设计与仿真软件主要包括 SPICE/PSPICE、Proteus、Multisim 和 System View 等。PCB 设计软件种类很多，如 Protel、OrCAD、Viewlogic 和 PCB Studio 等。而 PLD 设计软件主要包括 Altera、Xilinx 和 Atmel 等。EDA 技术应用广泛、工具多样且软件功能强大，开发的产品向超高速、高密度、低功耗、低电压和复杂的片上系统器件方向发展。

在当前电子技术领域，知识更新的速率相当快。社会各学科的交叉、自然科学与社会科学的交叉、生产与经营的交叉以及高新技术的广泛性和渗透性等，对复合型人才的需求日益增多。新时期对人才素质的新要求迫在眉睫，从而引起对教育的新挑战。要求尽快把知识、技能和创新等有机结合起来，树立工程意识，创新意识、团队协作意识，为迎接新的挑战而做好充分的准备。

## 0.2 小型电子产品生产过程

电路与系统学科是研究电路与系统的理论、分析、测试、设计和物理实现。它是信息与通信工程和电子科学与技术这两个学科之间的桥梁，同时又是信号与信息处理、通信、控制、计算机乃至电力、电子等诸方面研究和开发的理论与技术基础。因为电路与系统学科的有力支持，才使得利用现代电子科学技术和最新元器件实现各种复杂、高性能的信息和通信网络与系统成为现实。

系统定义为：由若干要素以一定结构形式联结构成的具有某种功能的有机整体。在系统定义中包括了系统、要素、结构、功能 4 个概念，表明了要素与要素、要素与系统、系统与系统三方面的关系。

系统的基本特征主要包含整体性、关联性、等级结构性、动态平衡性以及时序性等。这是所有系统的共同的基本特征。

电子系统定义：所谓电子系统是指由一组电子元器件及其附属材料或基本电子单元电路相互连接、相互作用而形成的电路整体，能按特定的控制信号执行所规范的功能。

目前，电子产品已然成为我们生活中不可或缺的东西。那么什么是电子产品呢？简言之，就是以电子电路为基本技术，运用电子元器件或各种规模的集成电路经过一定的装配工艺和流程而形成具有某种特定用途的产品。例如收音机、电视机、手机、MP3 以及鼠标等都属于电子产品范畴。如图 0.2.1 所示，都是电子产品。

电子产品生产，是指产品从研制、开发到商品售出及售后维护维修的全过程。该过程包括设计、试制和批量生产 3 个主要阶段，而每一阶段又分为若干层次。

(1) 在设计阶段中，生产适销、对路的产品是每个生产厂家最大期望。因此，产品设计阶段应从市场调研分析开始，分析市场信息、用户需求和市场行情，掌握用户对产品的功能、性能和品质需求。通过市场调查确定产品的设计方案，对方案进行可行性论证，找出实现产品开发的技术关键和难点，并对原理方案进行试验与测试，并在试验的基础上修改设计方案

并进行样机设计。这一阶段应检验设计功能和技术指标是否符合用户的需求，根据需要进行技术鉴定与认证。

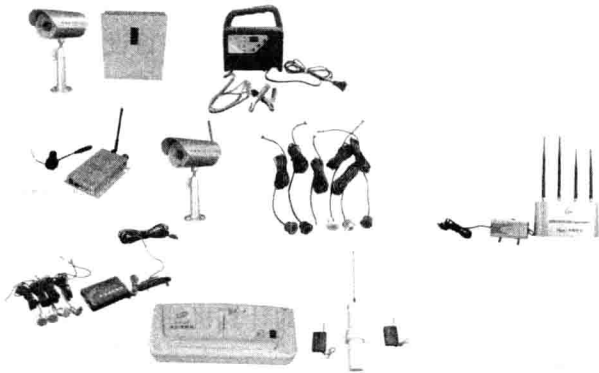


图 0.2.1 电子产品实例

(2) 产品试制阶段主要包括样机试制、产品定型设计和小批量试制 3 个步骤。依据第 1 阶段的样机及其设计资料进行产品试制，实现产品开发的预期性能指标。验证产品的工艺设计，制定产品生产工艺及其相关资料，进行小批量试生产，并完善全套工艺技术资料。根据需要，应进行产品鉴定。

(3) 批量生产阶段产品开发的最终目标是希望实现批量生产。生产批量越大，越容易降低生产成本，提高经济效益。

电子产品生产的基本要求包括：生产企业的设备情况、技术和工艺水平、生产能力、生产周期以及生产管理等方面。

### 0.3 小型电子产品设计课程与其他课程的关系

《小型电子产品设计与制作》课程是将电子技术基础、模拟电子技术、数字电子技术、高频电子技术、单片机控制技术以及 EDA 电子设计自动化技术等有机结合并应用的一门综合性专业核心课程。通过《小型电子产品设计与制作》课程学习，可使学生进一步掌握基本的相关理论知识，进一步强化实践动手能力，使学生初步具有电子系统工程设计能力，熟悉对小型电子系统开发与设计的方法，获得创新意识和团队协作能力，逐步成为具有电子产品开发与设计能力的应用型专门化人才。

电子系统设计是让学生对相关知识的理解和应用上升到电子工业生产制造的一个学习过程。通过理实结合，实现拉近抽象的理论符号与真实元器件、材料和产品之间的距离，理解理论的学习最终目标是实现电子产品的制造和生产。让学生掌握和熟悉现代电子企业的产品制造设备、生产工艺及技术管理等方面的知识，为学生将来从事电子企业生产技术和生产管理工作打下良好的技术基础。

本书在简要介绍相关理论知识的前提下，更加偏重于实践环节，其内容主要包括以下几方面：  
(1) 基本电子技术的简要介绍，主要包含模拟电路、数字电路、微控制器以及 EDA 设计；

- (2) 常用电子元器件的分类、技术参数和特性、识别和选用；
- (3) 电子产品生产中的装配、调试及维修技术；
- (4) 电子产品生产中的调试及工艺流程、工艺文件和工艺管理工作。

学生在整个理实一体教学过程中，以小型电子产品项目设计与制作为载体进行完整、规范的操作训练和生产劳动等，在教学过程中要求应具备以下两个方面的要求。

### 1. 基础知识及操作能力方面

(1) 初步掌握电工、电子、电路分析（电路基础、模拟电路、数字电路）及设计的基本理论知识，掌握以单片微计算机为核心的应用系统设计方法；

(2) 通过安全教育和基本技能的训练，掌握安全用电知识、常用电器元器件的识别与测试、操作技能及工艺等知识，熟悉印刷电路板的计算机辅助设计及电子线路的绘制，为进一步学习建立良好的基础；

(3) 掌握主要工具的基本操作技能，规范使用，注意与生产实践相结合，重视工艺规程，为后续实践性教学打下坚实的基础；

(4) 掌握电子线路的安装调试的基本操作技能，并且能正确地使用和调整该工种的常用设备及仪器，能根据工作原理图、接线图和装配图等技术资料作一般性的独立操作。

### 2. 工程素养与人文素质方面

(1) 具备自学能力和独立分析问题、解决问题的能力；

(2) 树立正确的劳动观，培养学生的动手实践能力的同时，力争在实践中有所改进和创造。

## 0.4 本课程主要学习内容

本课程在传统理论教学基础上，采用任务驱动型教学模式，理实一体教学的方式，将抽象的概念、难于理解的知识，通过演示教学、实践动手操作或参观等形式变得形象直观。参照全国大学生电子设计竞赛要求设计了放大类电子产品设计、控制类电子产品设计、电源类电子产品设计以及信号源类电子产品设计 4 个教学单元，如表 0.4.1 所示。涵盖了电子类专业学生前期学习的模拟电子线路、数字电子线路以及单片机等几大基础学科，通过系统综合与运用使学生掌握电子设计的新技术、新手段和新方法。在教学过程中依靠任务载体使学生掌握不同电路结构形态下的电子产品开发设计方法，尽可能让学生在直观、有趣的情景中学习和运用知识。培养学生的团队协作能力和电子创新设计精神。

表 0.4.1 课程教学内容及参考学时

序号	教学单元	参考任务载体	参考学时
1	放大类电子产品设计	低频功率放大器设计与实现	16
2	控制类电子产品设计	简易智能小车设计与实现	10
3	电源类电子产品设计	数控直流电流源设计与实现	12
4	信号源类电子产品设计	电压控制 LC 振荡器设计与实现	12
合 计			50

## 1. 放大类电子产品设计

放大器是增加信号幅度或功率的装置，它是处理信号的重要单元。放大器的放大作用就是用输入信号控制能源来实现的，放大所需功耗由能源提供。对于线性放大器，输出就是输入信号的复现和增强；对于非线性放大器，输出则与输入信号成一定函数关系。放大器应用领域非常广泛，电路结构形式多样。

在教学单元中选用具有典型代表的低频功率放大器设计作为教学任务，通过实现低频功率放大器设计，学习放大类电子产品电路设计方法、传统电子线路设计流程等知识。

## 2. 控制类电子产品设计

以电子电路为信息采集、处理核心，并根据设计需求输出控制指令的电子产品。在现代控制类电子产品中已经离不开微控制器、可编程逻辑器件和 EDA 设计工具，掌握先进的系统设计方法可以获得事半功倍的效果。

本项目载体选用全国大学生电子设计竞赛 2003 年赛题(第六届)简易电动车为情境载体，通过完成简易电动车设计与制作，学习和储备掌握控制类电子产品设计必备的知识。

## 3. 电源类电子产品设计

当今社会人们极大的享受着电子设备带来的便利，但是任何电子设备都有一个共同的电路——电源电路。大到超级计算机、小到袖珍计算器，所有的电子设备都必须在电源电路的支持下才能正常工作。当然这些电源电路的样式、复杂程度千差万别。超级计算机的电源电路本身就是一套复杂的电源系统。通过这套电源系统，超级计算机各部分都能够得到持续稳定、符合各种复杂规范的电源供应。袖珍计算器则是简单多的电池电源电路。不过你可不要小看了这个电池电源电路，比较新型的电路完全具备电池能量提醒、掉电保护等高级功能。可以说电源电路是一切电子设备的基础，没有电源电路就不会有如此种类繁多的电子设备。

通过以“全国大学生电子设计竞赛 2005 年赛题(第六届)数控直流电流源”赛题为情境载体，实现数控直流电流源设计与制作，初步掌握电源类电子产品设计开发方法。

## 4. 信号源类电子产品设计

凡是产生测试信号的仪器，统称为信号源。也称为信号发生器，它用于产生被测电路所需特定参数的电测试信号。在测试、研究或调整电子电路及设备时，为测定电路的一些电参量，如测量频率响应、噪声系数，为电压表定度等，都要求提供符合所定技术条件的电信号，以模拟在实际工作中使用的待测设备的激励信号。当要求进行系统的稳态特性测量时，需使用振幅、频率已知的正弦信号源。当测试系统的瞬态特性时，又需使用前沿时间、脉冲宽度和重复周期已知的矩形脉冲源。并且要求信号源输出信号的参数，如频率、波形、输出电压或功率等，能在一定范围内进行精确调整，有很好的稳定性，有输出指示。

通过以“全国大学生电子设计竞赛 2003 年赛题(第六届)电压控制 LC 振荡器”赛题为情境载体，涉及的基础知识与制作能力包含：PCB 制板、单片机(或者可编程逻辑器件)、锁相环 PLL、LC 振荡器，数字显示与控制，滤波器，高频功率放大器等。实现电压控制 LC 振荡器设计与制作，初步掌握信号源类电子产品设计开发方法。

# 项目一 放大类电子产品设计与实现

放大器是增加信号幅度或功率的装置，它是处理信号的重要单元。放大器的放大作用就是用输入信号控制能源来实现的，放大所需功耗由能源提供。

放大器分为两大类，即线性放大器和非线性放大器。对于线性放大器，输出就是输入信号的复现和增强；对于非线性放大器，输出则与输入信号成一定函数关系。

放大器按所处理信号对象（物理量）分为机械放大器、机电放大器、电子放大器、液动放大器和气动放大器等，其中用得最广泛的是电子放大器。

电子放大器按所用有源器件（放大器件）分为真空管放大器、半导体放大器、固体放大器和磁放大器，其中又以半导体放大器应用最广，如双结型三极管共射放大器和集成运算反比例放大器等。在应用电子产品中半导体放大器常用于信号的电压放大和电流放大，主要形式有单端放大和差动放大等。此外，还常用于阻抗匹配、隔离、电流——电压转换、电荷——电压转换（如电荷放大器）以及利用放大器实现输出与输入之间的一定函数关系（如运算放大器）。

## 1.1 情境任务及其目标

放大器应用领域非常广泛，电路结构形式多样，在本项目中选用具有典型代表的低频功率放大器设计作为教学任务，通过以实现低频功率放大器设计为载体，学习放大类电子产品电路设计方法和传统电子线路设计流程等知识。

### 1.1.1 低频功率放大器设计任务书

本项目载体选用全国大学生电子设计竞赛 1995 年赛题（第二届）实用低频功率放大器设计。通过实现“实用低频功率放大器设计”设计与制作，掌握实现放大类电子产品设计的基本方法。

#### 1.1.1.1 设计任务

设计并制作具有弱信号放大能力的低频功率放大器。其原理示意图如图 1.1.1 所示。

#### 1.1.1.2 设计要求

##### 1. 基本要求

(1) 在放大通道的正弦信号输入电压幅度为 5 ~ 700 mV，等效负载电阻  $R_L$  为 8  $\Omega$  下，放

大通道应满足：

- ① 额定输出功率  $P_{OR} \geq 10 \text{ W}$ ；
- ② 带宽  $BW \geq 50 \sim 10\,000 \text{ Hz}$ ；
- ③ 在  $P_{OR}$  下和  $BW$  内的非线性失真系数  $\leq 3\%$ ；
- ④ 在  $P_{OR}$  下的效率  $\geq 55\%$ ；
- ⑤ 在前置放大级输入端交流短接到地时， $R_L = 8 \Omega$  上的交流声功率  $\leq 10 \text{ mW}$ 。

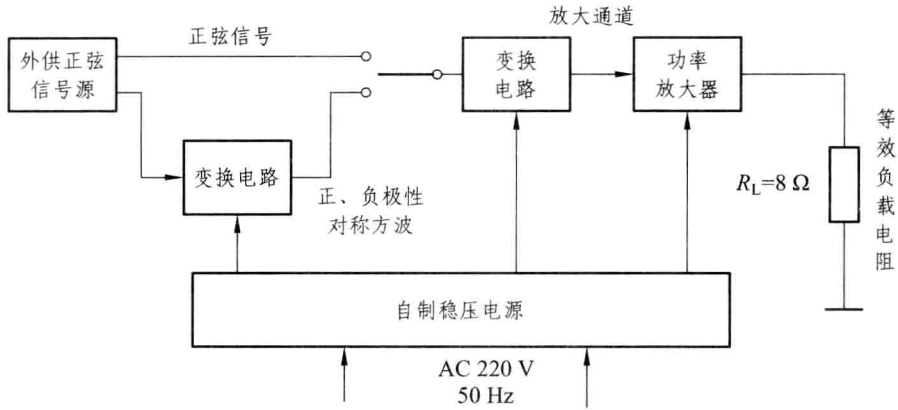


图 1.1.1 低频功率放大器示意图

(2) 自行设计并制作满足本设计任务要求的稳压电源。

## 2. 发挥部分

(1) 放大器的时间响应。

方波产生：由外供正弦信号源经变换电路产生正、负极性的对称方波：频率为  $1\,000 \text{ Hz}$ 、上升时间  $\leq 1 \mu\text{s}$ 、峰-峰值电压为  $200 \text{ mV}_{p-p}$ 。

用上述方波激励放大通道时，在  $R_L = 8 \Omega$  下，放大通道应满足：

- ① 额定输出功率  $P_{OR} \geq 10 \text{ W}$ ；带宽  $BW \geq 50 \sim 10\,000 \text{ Hz}$ ；
- ② 在  $P_{OR}$  下输出波形上升时间和下降时间  $\leq 12 \mu\text{s}$ ；
- ③ 在  $P_{OR}$  下输出波形顶部斜降  $\leq 2\%$ ；
- ④ 在  $P_{OR}$  下输出波形过冲量  $\leq 5\%$ 。

(2) 放大通道性能指标的提高和实用功能的扩展（例如提高效率、减小非线性失真等）。

## 1.1.2 情境教学目标

通过以“全国大学生电子设计竞赛 1995 年赛题（第二届）实用低频功率放大器设计”赛题为情境载体，实现实用低频功率放大器设计与制作，初步掌握放大类电子产品设计开发方法，达到以下几个目标。

### 1.1.2.1 知识目标

- (1) 熟悉电子测量的意义,掌握基本测量误差的定义和分类,理解误差形成的基本原理;
- (2) 熟悉电子线路设计思想、方法和电子线路设计基本设计流程;
- (3) 熟悉“自底向上”(即传统电子线路设计)设计方法;
- (4) 掌握电子线路系统设计基本的方案论证、选取以及系统框架设计方法;
- (5) 掌握系统参数指标设计方法;
- (6) 掌握由三极管、场效应管以及集成运算放大器构成的典型小信号线性放大器应用电路基本分析方法;
- (7) 熟悉大功率放大器的分类以及典型功率放大应用电路原理分析;
- (8) 熟悉常用放大类电子元器件基本参数特性及元件选型;
- (9) 产品设计报告书写规范。

### 1.1.2.2 能力目标

- (1) 能熟练操作万用表、函数信号发生器、示波器、电子电压表以及稳压电源等常用电子仪表;
- (2) 能熟练使用常用电子产品装配工具完成电路的安装与维修;
- (3) 能根据电路基本工作原理与技术指标参数选择合适的测试方法进行电路的数据测试;
- (4) 会基本测量误差分析与数据处理,能合理地运用测量数据进行电路优化设计;
- (5) 会根据“自底向上”的设计方法,制定低频功率放大器开发计划和实施步骤,完成低频功率放大器系统设计;
- (6) 会根据任务技术指标要求查阅并选择合适的典型电路;
- (7) 能熟练查阅常用电子元器件和芯片的规格、型号和使用方法等技术资料;
- (8) 会进行设计资源的收集与整理,能撰写产品制作文件和产品说明书。

### 1.1.2.3 素质目标

- (1) 具有良好的职业道德和规范操作意识;
- (2) 具备良好的团队合作精神;
- (3) 具备良好的组织协调能力;
- (4) 具有求真务实的工作作风;
- (5) 具有开拓创新的学习精神;
- (6) 具有良好的语言文字表达能力。

## 1.2 低频功率放大器设计情境资讯

### 1.2.1 测量误差分析与数据处理

在电子测量过程中,任何测量仪器的测量值都不可能完全准确地等于被测量的真值。测

量误差自始至终存在于一切科学实验和各种测量活动中。测量误差分析与数据处理在科学实验和生产实践中占有极其重要的地位，它是提高测量准确度，保证获取信息可靠性的重要手段。在科学研究中，测量准确度的提高和测量误差的深入研究，往往是重大科学新发现的前导。为了充分认识并进而减小误差，必须对测量过程和科学实验中始终存在的误差进行研究。

### 1.2.1.1 测量误差定义

#### 1. 绝对误差

测量值  $x$  与被测量的真值  $x_0$  间的偏差称为绝对误差，用  $\Delta x$  来表示，即

$$\Delta x = x - x_0 \quad (1.2.1)$$

绝对误差是一个具有确定的大小、符号及单位的量，其单位与测得值相同。

#### 2. 相对误差

真值是一个理想的概念，一般情况下是无法准确得到的。在误差较小，要求不太严格的场合，作为一种近似计算，在实际应用中，通常用实际值来代替真值  $x_0$ 。

测量的绝对误差  $\Delta x$  与真值  $x_0$  (实际值) 的比值称为相对误差，用  $\gamma$  符号来表示，常用百分数来表示其值，即

$$\gamma = \frac{\Delta x}{x_0} \times 100\% \quad (1.2.2)$$

#### 3. 满度相对误差

由于绝对误差不能说明测量的准确程度，所以很少单独用它来表示仪器误差。相对误差虽然可以较好地反应测量的准确程度，但它不能评价仪器的准确程度，也不便于划分仪器的准确度等级。因此，提出了满度相对误差，亦称为引用误差。这里所说的“满度”和“量程”的意义基本相同，但与“测量范围”是不同的。测量范围是指在允许误差限内计量器具的被测量值的范围。

测量的绝对误差  $\Delta x$  与测量仪器仪表的测量量程满度值  $x_n$  的比值来表示的误差称为满度相对误差，用  $\gamma_n$  符号来表示，即

$$\gamma_n = \frac{\Delta x}{x_n} \times 100\% \quad (1.2.3)$$

测量中的满度相对误差  $\gamma_n$  不能超过测量仪器、仪表的准确度等级  $S$  的百分值  $S\%$ ，即

$$\gamma_n = \frac{\Delta x}{x_n} \times 100\% \leq S\% \quad (1.2.4)$$

其中  $S$  分为 0.1, 0.2, 0.5, 1.0, 1.5, 2.5, 5.0 级 7 个等级。

在实际应用中，如果仪表的等级为  $S$ ，被测量的真值为  $x_0$ ，选满度值为  $x_n$ ，则测量的相对误差为



$$\gamma_n = \frac{\Delta x}{x_n} \leq \frac{x_n \times S\%}{x_0} \quad (1.2.5)$$

上式说明，当仪器、仪表的等级  $S$  选定后， $x_n$  越接近  $x_0$ ，测量的相对误差就越小。使用这类仪表时，要尽量使仪器、仪表的满量程接近被测量的真值。比如使用指针式万用表时，调节测量量程，使测量指针落在满量程的  $2/3$  以上区间内，测量误差较小。

#### 4. 分贝误差

用对数形式表示的误差称为分贝误差。常用于表示增益、功率或声强等传输函数的值，即

$$\gamma_{dB} = 20 \lg \left( 1 + \frac{\Delta A}{A_0} \right) \text{dB} \text{ 或 } \gamma_{dB} = 10 \lg \left( 1 + \frac{\Delta P}{P_0} \right) \text{dB} \quad (1.2.6)$$

式中， $\Delta A/A_0$  为电压增益的相对误差； $\Delta P/P_0$  为功率增益的相对误差。

分贝误差与相对误差的直接转换关系为

$$\gamma_{dB} = 8.69 \frac{\Delta A}{A_0} \text{ 或 } \frac{\Delta A}{A_0} = 0.115 \gamma_{dB} \quad (1.2.7)$$

### 1.2.1.2 测量误差的分类

根据测量误差的性质、特点及其产生原因，可将测量误差可分为系统误差、随机误差和粗大误差 3 类。

#### 1. 系统误差

在相同条件下，对同一被测量进行无限多次测量所得的误差的绝对值和符号均保持不变，或在条件变化时按照某种确定的规律变化的误差称为系统误差。

系统误差是由固定不变的或按确定规律变化的因素造成，在条件充分的情况下这些因素是可以掌握和避免的。系统误差主要来源于以下几个因素：

(1) 测量装置方面的因素。测量装置中的标准器具经上级计量检定后发现的误差，仪器设计原理缺陷、仪器制造和安装的不正确等引起的误差。

(2) 环境方面的因素。测量时的实际温度对标准温度的偏差以及测量过程中的温度和湿度按一定规律变化的误差，该误差可以按确定规律（如温度补偿等）修正。

(3) 测量方法的因素。采用近似的测量方法或计算公式引起的误差。

(4) 测量人员的因素。测量人员固有的测量习性引起的误差，如读出刻度上读数时，习惯于偏向某一个方向等。

#### 2. 随机误差

在相同条件下，对同一被测量进行多次重复测量所得的误差的绝对值和符号以不可预定方式变化，或在条件变化时误差的绝对值和符号无规律变化的误差称为随机误差，又称为偶然误差。

随机误差产生的原因：实验条件的偶然性微小变化，如温度波动、噪声干扰、电磁场微