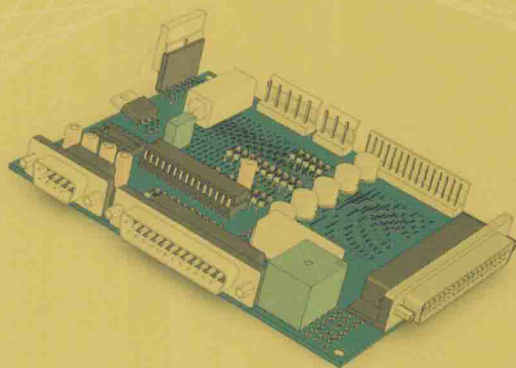




高等院校信息与通信工程实验实训教材

实用电子电路设计 及应用实例

陈书旺 安胜彪 武瑞红 主编



SHIYONG DIANZI DIANLU

SHEJI JI YINGYONG SHILI



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

高等院校信息与通信工程实验实训教材

实用电子电路设计及应用实例

陈书旺 安胜彪 武瑞红 主编



北京邮电大学出版社
[www. buptpress. com](http://www.buptpress.com)

内 容 简 介

本书重点介绍了应用于家庭、医疗、工业和农业等方面的一些实用电子电路。全书共分7章,重点介绍了有关电子电路设计的基础知识,一些常用的电子元器件,简单的单元电路、家用报警电路、医用电子电路、不同工业参数的检测电路和应用于农业的电子电路。本书中的示例典型,应用性强,在选题上特别侧重电子电路方面的设计,培养读者分析问题和解决问题的能力。

本书可以作为电子信息工程、自动化控制技术、测试计量技术及仪器等专业在校学生课程设计或毕业设计的参考书,也可为相关行业的技术人员提供实际参考例证。

图书在版编目(CIP)数据

实用电子电路设计及应用实例 / 陈书旺, 安胜彪, 武瑞红主编. -- 北京: 北京邮电大学出版社, 2014. 11
ISBN 978-7-5635-4079-2

I. ①实… II. ①陈…②安…③武… III. ①电子电路—电路设计 IV. ①TN702

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 176099 号

书 名: 实用电子电路设计及应用实例

著作责任者: 陈书旺 安胜彪 武瑞红 主编

责任编辑: 徐凤琨

出版发行: 北京邮电大学出版社

社 址: 北京市海淀区西土城路 10 号(邮编: 100876)

发 行 部: 电话: 010-62282185 传真: 010-62283578

E-mail: publish@bupt.edu.cn

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京源海印刷有限责任公司

开 本: 787 mm×1 092 mm 1/16

印 张: 17.5

字 数: 436 千字

印 数: 1—3 000 册

版 次: 2014 年 11 月第 1 版 2014 年 11 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5635-4079-2

定 价: 35.00 元

• 如有印装质量问题, 请与北京邮电大学出版社发行部联系 •

前 言

本书重点介绍了电子电路在家庭、医疗、工业和农业等方面的一些实际应用案例,精选了在国内杂志上发表的及编者在实践中总结的实用电路,书中还介绍了电子电路的基础知识,详细介绍了各种元器件的选型及电路分析。全书共分7章:第1章介绍了有关电子电路设计的基础知识,包括基本概念和基本设计思路;第2章介绍了一些常用的电子元器件,包括电阻、电容、电感等;第3章介绍了一些常见的单元电路,包括运放电路、数字逻辑电路、滤波电路、显示电路和电源电路等;第4章介绍了家用报警电路,主要分析了报警电路的元件选型及工作原理;第5章介绍了医用电子电路,包括电子血糖仪、体温计以及血压计等;第6章介绍了工业用电子电路,主要以不同工业参数的检测为主,包括温湿度、压力、液位、速度、位移等;第7章介绍了农业用电子电路,包括粮食中的水分检测、恒温装置等。每种应用均附有实际应用电路图或应用设计原理图。

本书具有以下特点:

(1) 根据当前电子电路的实际状况,从家庭、医疗、工业、农业等方面的应用实例入手,按不同应用领域进行分章节讲述,示例典型,应用性强。

(2) 基础知识和实际应用相结合,检测的方法种类较多,应用领域广阔。本书从实际应用入手,在选题上特别侧重电子电路方面的设计,培养读者的分析问题和解决问题的能力。

(3) 信息量大,知识面宽,便于读者触类旁通,灵活运用。对于不同领域的应用,均以实际应用电路为例,针对性强。

(4) 针对不同的应用电路,分析了主要元器件的选型以及工作原理,实用性强。

本书从家用、医用、工业和农业等方面,用实际的示例,详细阐述了电子电路在这些领域的应用,而且这些典型电路可以推广引申应用到其他领域的实际中。所举示例典型,原理分析透彻,紧密结合实际。本书可以作为电子信息工程、自动化控制技术、测试计量技术及仪器等专业在校学生课程设计或毕业设

计的参考书,也可为相关行业的技术人员提供实际参考例证。

本书由陈书旺、安胜彪、武瑞红任主编,负责全书的策划、内容安排、文稿修改及审订工作。其中,陈书旺、王军星、杜利波、高双喜编写了第1、5、6章,安胜彪、邢德胜、苏越、王书海、薛玉玺、范文会编写了第2、3章,武瑞红、左珺、尹少东、闫鑫、刘建辉、杨亚静编写了第4、7章。

由于作者水平有限,加之编写时间仓促,书中难免存在错误及不足之处,恳请读者批评指正。

编者

目 录

| | |
|---------------------|------|
| 第 1 章 电子电路系统设计的基础知识 | (1) |
| 1.1 概述 | (1) |
| 1.2 电子电路系统的设计方法 | (3) |
| 1.2.1 电子电路系统的设计过程 | (3) |
| 1.2.2 电子电路系统的设计步骤 | (4) |
| 1.2.3 电子电路系统的设计工具 | (8) |
| 第 2 章 常用电子元器件的基本知识 | (10) |
| 2.1 电阻器 | (10) |
| 2.1.1 电阻器的分类 | (10) |
| 2.1.2 电阻器的型号命名 | (15) |
| 2.1.3 电阻器的主要性能指标 | (16) |
| 2.1.4 电阻器的选择 | (20) |
| 2.1.5 电位器 | (21) |
| 2.2 电容器 | (23) |
| 2.2.1 电容器的分类 | (23) |
| 2.2.2 电容器的特性参数 | (23) |
| 2.2.3 几种常用电容器的结构及特点 | (25) |
| 2.2.4 电容器的选用及使用注意事项 | (27) |
| 2.2.5 电容器的老化和筛选 | (28) |
| 2.2.6 电容器的检测 | (28) |
| 2.3 电感器 | (29) |
| 2.3.1 电感器的分类 | (29) |
| 2.3.2 电感器的主要性能指标 | (29) |
| 2.3.3 常用电感器的结构及特点 | (30) |
| 2.3.4 电感器的简单检测方法 | (32) |
| 2.4 半导体二极管 | (33) |
| 2.4.1 二极管的特性 | (34) |
| 2.4.2 稳压二极管 | (35) |
| 2.4.3 发光二极管 | (36) |
| 2.4.4 光电二极管 | (38) |
| 2.4.5 变容二极管 | (39) |

| | |
|--------------------------|-------------|
| 2.5 半导体三极管 | (40) |
| 2.5.1 结构特性 | (40) |
| 2.5.2 三极管的工作状态 | (40) |
| 2.5.3 三极管极性和类型的判断 | (42) |
| 2.5.4 三极管的使用注意事项 | (42) |
| 2.6 场效应管 | (42) |
| 2.6.1 场效应管的主要参数 | (43) |
| 2.6.2 场效应管的选择和使用注意事项 | (43) |
| 2.6.3 场效应管与晶体管的比较 | (43) |
| 2.6.4 场效应管好坏与极性判别 | (44) |
| 第3章 常见基本单元电路和应用实例 | (45) |
| 3.1 运算放大器 | (45) |
| 3.1.1 运算放大器基础知识 | (45) |
| 3.1.2 运算放大器的选型 | (50) |
| 3.2 数据放大器和可编程数据放大器 | (53) |
| 3.2.1 数据放大器 | (53) |
| 3.2.2 可编程数据放大器 | (54) |
| 3.3 跨导放大器 | (56) |
| 3.3.1 双极型集成 OTA | (58) |
| 3.3.2 OTA 电路的应用原理 | (60) |
| 3.4 逻辑电路基本电路单元及应用 | (66) |
| 3.4.1 TTL 门电路单元及应用 | (66) |
| 3.4.2 MOS 电路单元及应用 | (68) |
| 3.4.3 集成逻辑门的基本应用 | (69) |
| 3.5 集成电路的应用 | (71) |
| 3.5.1 集成电路定时器 555 及其基本应用 | (71) |
| 3.5.2 集成运算放大器的参数及分类 | (79) |
| 3.5.3 集成运算放大器在信号运算方面的应用 | (85) |
| 3.5.4 集成运算放大器在信号处理方面的应用 | (92) |
| 3.6 电桥电路 | (96) |
| 3.6.1 电桥电路的 5 个关键因素 | (97) |
| 3.6.2 单运算放大器的应用 | (100) |
| 3.7 整流电路 | (100) |
| 3.7.1 半波整流电路 | (100) |
| 3.7.2 全波整流电路 | (101) |
| 3.7.3 桥式整流电路 | (102) |
| 3.8 滤波电路 | (104) |
| 3.8.1 常用滤波电路 | (104) |
| 3.8.2 RC 有源滤波器的设计 | (107) |

| | |
|----------------------------|--------------|
| 3.8.3 滤波器的快速设计方法 | (109) |
| 3.9 集成稳压电源 | (115) |
| 3.10 A/D转换器 | (118) |
| 3.10.1 A/D转换器的主要技术指标 | (118) |
| 3.10.2 A/D转换器的应用知识 | (120) |
| 3.11 D/A转换器 | (121) |
| 3.11.1 D/A转换器的主要技术指标 | (121) |
| 3.11.2 D/A转换器的应用 | (123) |
| 3.12 取样/保持电路 | (123) |
| 3.12.1 工作原理及主要指标 | (123) |
| 3.12.2 应用示例 | (124) |
| 3.13 常见传感器电路 | (125) |
| 3.13.1 传感器的参数 | (126) |
| 3.13.2 常用传感器的简介和选用 | (128) |
| 3.13.3 传感器接口 | (138) |
| 第4章 家用报警电子电路 | (141) |
| 4.1 家用煤气泄漏检测装置 | (141) |
| 4.1.1 工作原理 | (141) |
| 4.1.2 主要元器件选型 | (142) |
| 4.1.3 电路原理分析 | (143) |
| 4.2 红外防盗报警器 | (148) |
| 4.2.1 工作原理 | (148) |
| 4.2.2 主要元器件选型 | (153) |
| 4.2.3 电路原理分析 | (154) |
| 4.3 超声波防盗报警器 | (159) |
| 4.3.1 工作原理 | (159) |
| 4.3.2 主要元器件选型 | (161) |
| 4.3.3 电路原理分析 | (164) |
| 4.4 家用热水加热报警器 | (168) |
| 4.4.1 加热管 T 系列 | (169) |
| 4.4.2 加热管插座 | (169) |
| 4.4.3 温度探头 | (170) |
| 4.4.4 支撑臂和横梁 | (170) |
| 4.4.5 底座 | (170) |
| 4.4.6 控制电路设计及其计算 | (170) |
| 4.4.7 监测报警电路 | (171) |
| 4.4.8 延时电路 | (171) |
| 4.4.9 设计计算及元件的选择 | (172) |
| 4.5 居家老人无线监测报警系统 | (173) |

| | | |
|------------|---------------------|--------------|
| 4.5.1 | 工作原理 | (173) |
| 4.5.2 | 系统设计方案 | (174) |
| 4.5.3 | 中心控制电路的设计 | (175) |
| 4.5.4 | 家居对外通信模块的设计 | (180) |
| 4.5.5 | 腕带式生命信息采集终端的设计 | (185) |
| 4.5.6 | 无线传输电路的设计 | (186) |
| 4.5.7 | 家居安全防范报警电路的设计 | (188) |
| 4.5.8 | 安防信息无线发送电路的设计 | (192) |
| 4.6 | 防火防盗报警器 | (193) |
| 4.6.1 | 系统的基本工作原理 | (193) |
| 4.6.2 | 传感器的正确选择 | (194) |
| 4.6.3 | 系统组成及框图 | (196) |
| 4.6.4 | 声光报警电路的组成及原理 | (197) |
| 4.6.5 | 显示电路的组成及原理 | (198) |
| 第5章 | 医用电子电路 | (200) |
| 5.1 | 电子血糖仪 | (200) |
| 5.1.1 | 工作原理 | (200) |
| 5.1.2 | 主要元器件选型 | (201) |
| 5.2 | 电子体温计 | (204) |
| 5.2.1 | 工作原理 | (204) |
| 5.2.2 | 硬件设计 | (205) |
| 5.3 | 电子血压计 | (207) |
| 5.3.1 | 电子血压计测量血压的一般方法 | (208) |
| 5.3.2 | 基于 SoPC 的系统硬件的设计 | (209) |
| 5.3.3 | 系统工作流程简图 | (210) |
| 5.4 | 超声波微型雾化器 | (210) |
| 5.4.1 | 多用途家用超声波微型雾化器 | (210) |
| 5.4.2 | 医用超声波雾化器 | (211) |
| 5.5 | 心电图机 | (212) |
| 5.5.1 | 性能参数 | (213) |
| 5.5.2 | 心电图机的分类 | (214) |
| 5.5.3 | 心电图机在使用及检定过程中的干扰及排除 | (215) |
| 5.6 | 脑电图机 | (216) |
| 5.6.1 | 工作原理 | (216) |
| 5.6.2 | 脑电图机干扰的排除 | (217) |
| 第6章 | 工业检测电子电路 | (218) |
| 6.1 | 温湿度检测 | (218) |
| 6.1.1 | 温湿度计的测量原理 | (218) |

| | |
|---------------------------|--------------|
| 6.1.2 温湿度传感器举例 | (225) |
| 6.1.3 温湿度传感器的实际应用 | (227) |
| 6.1.4 温湿度传感器的发展前景 | (231) |
| 6.2 压力检测 | (231) |
| 6.2.1 工作原理 | (231) |
| 6.2.2 测量电路分析 | (233) |
| 6.3 液位检测 | (234) |
| 6.3.1 电容式液位计工作原理 | (234) |
| 6.3.2 主要元器件选型 | (236) |
| 6.3.3 电路分析 | (237) |
| 6.4 速度检测 | (238) |
| 6.4.1 工作原理 | (238) |
| 6.4.2 主要元器件选型 | (239) |
| 6.4.3 电路分析 | (241) |
| 6.5 位移检测 | (242) |
| 6.5.1 工作原理 | (242) |
| 6.5.2 主要元器件选型 | (244) |
| 6.5.3 电路分析 | (246) |
| 第7章 农业中的电子电路 | (248) |
| 7.1 粮食水分检测仪 | (248) |
| 7.1.1 粮食水分检测方法 | (248) |
| 7.1.2 水分检测技术的发展方向 | (251) |
| 7.1.3 工作原理 | (252) |
| 7.1.4 主要元器件选型 | (254) |
| 7.1.5 电路分析 | (254) |
| 7.2 水果成熟度无损检测技术 | (255) |
| 7.2.1 水果成熟度检测方法 | (255) |
| 7.2.2 无损检测成熟度检测仪的设计 | (257) |
| 7.3 小型畜、禽舍恒温控制仪 | (263) |
| 7.3.1 主要元器件选型 | (263) |
| 7.3.2 电路分析 | (264) |
| 7.4 智能化禽舍环境控制器的设计 | (264) |
| 7.4.1 控制单元设计 | (265) |
| 7.4.2 检测及辅助单元设计 | (268) |
| 参考文献 | (270) |

电子电路系统设计的基础知识

1.1 概 述

目前,现代社会已经进入了电子信息时代,大到全球各大洲,小到每个家庭,无不与电子和信息产业相关,学会并掌握电子电路系统的设计与开发方法尤为重要。因此,电子电路系统是什么?它有什么特点?包括哪些内容?设计思路如何?这些都要有所了解。

电子电路系统有大有小,大到航天飞机的控制系统,小到出租车的计价器,它们都是电子电路系统。概括地讲,凡是完成一个特定功能的电子装置都可称为电子电路系统。一个典型的电子电路系统的组成框图如图 1.1.1 所示。

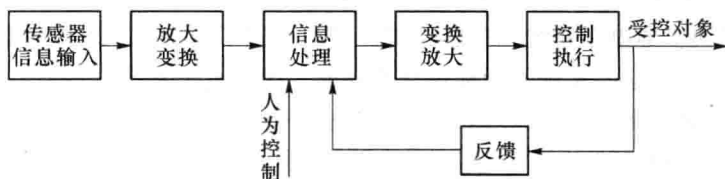


图 1.1.1 电子电路系统组成框图

从电子系统的组成来看,一个电子系统一般包括模拟系统——传感、高低频放大、模/数、数/模变换以及执行机构等;数字系统——信息处理、决策和控制。但是,对于软、硬件结合的电子系统而言,它的信息处理、决策与控制部分大部分可用含有 CPU 微处理机(如单片机)的电子系统来实现。所以从组成来讲,一般可以把电子系统看成由三大部分组成:模拟子系统、数字子系统与微处理机子系统。之所以把以上三个部分称为三个子系统,是因为这些部分一般已不是由一两块简单模块电路可以实现的,它们本身也构成了一个具有特定功能且相对完整的电路系统。实现电子系统的器件比较广泛,基本上包括了大部分电子元器件。它们是中、大规模或超大规模集成电路、专用集成电路、可编程器件以及不可缺少的少量分立元件和机电元件。

从电子系统的类型来看,电子系统又可分为智能型与非智能型两种。顾名思义,非智能型电子系统应该是那些功能简单或功能固定的电子系统,如简单的巡回检测报警系统等。可以参照人类活动规律,找出智能型系统所应具有的特点,从而得出必要的结论。智能型的第一个特点是必须有记忆能力,如果没有记忆力则根本不可能由此及彼地全面地进行分析;

第二个特点是具有学习能力以便于学习各种知识,而且这些知识可运用于实践;第三个特点是易于接收信息和命令;第四个特点是具有分析、判断和决策能力;最后一个特点是可以控制或执行所作的决定。

对照以上特点,显然纯硬件的电子系统是不可能被划在智能型范围内。它的最大弱点是硬件与功能是一一对应的,增加一个功能必须增加一组硬件,改变功能必须改变电路结构。所以纯硬件结构不具有便于学习的能力,因此它不具有智能型的特点。只有由带有CPU的微机(如单片机)配以必要的外围电路从而构成软、硬件结合的电子系统才具有智能型的特点。首先,它具有存储单元及输入/输出接口,可以接收并记忆信息、数据、命令以及输出并控制决策的执行;其次它便于学习,只要将合适的软件装入系统,人们不必改动系统结构就可使它具有某种新功能。有了记忆能力,它就可以进行必需的分析与判断,完成一些决策,从而具有智能型的特点。因此,人们把以微机(如单片机)为核心组成的软、硬件结合的电子系统称为智能型电子系统。

根据不同功能,电子系统大概分为以下几种类型。

(1) 测控系统:大到航天器的飞行轨道控制系统,小到自动照相机快门系统以及工业生产控制等;

(2) 测量系统:电量及非电量的精密测量;

(3) 数据处理系统:语音、图像、雷达信号处理等;

(4) 通信系统:数字通信、微波通信等;

(5) 计算机系统:计算机本身就是一个电子系统,可以单台工作也可以多台联网;

(6) 家电系统:多媒体彩电、数字式视频光盘机等。

以上列举了众多的电子系统,它们的功能不同、规模不同、使用场合不同,因此对它们的要求也不同,从而衡量这些系统的指标也是不同的。衡量电子系统的指标可以有功能、工作范围、容量、精度、灵敏度、稳定性、可靠性、响应速度和使用场合、工作环境、供电方式、功耗、体积、重量等。对不同系统而言,系统指标要求也不同。例如:航天器中轨道控制系统的动态工作范围、精度、响应速度、可靠性、体积、重量、功耗、工作环境等必须重点考虑;通信系统则重视容量、灵敏度、稳定性、使用场合等;家电系统则主要考虑功能、稳定性、可靠性、成本及价格等,而对供电方式、精度、响应速度等指标不作过多考虑。系统设计人员应根据系统类型、功能要求及指标要求,细化出每个特定的子系统的技术指标以便进行设计。在细化过程中必须注意尽量符合国家标准或部级标准,有可能时还应符合国际标准,以便产品走向世界。应该注意系统的档次定位合适、技术含量恰当、符合发展趋势、性能价格比高,以满足市场需求。

根据待设计的电子系统的特点以及使用的技术层次,可将电子系统设计分成三种类型。

(1) 新系统开发型设计:开拓、研制一个崭新的电子系统,所用的部分技术、电路、器件有待于同期开发,属于创新、开拓、科研型的设计类型;

(2) 新产品开发型设计:利用现有成熟技术、电路及器件,开发出满足市场需求的新产品、新设备,属于开发型的设计类型;

(3) 新技术应用型开发设计:介于以上两种类型之间,将新技术、新器件应用于电子系统的开发,将电子系统的性能提高到一个新的档次。

根据以上介绍的电子系统功能、应用范围以及设计类型可知,电子系统设计牵涉的范围

非常广,而且涉及的技术层次也大不相同。本书的内容将注重于设计一个实用的、完整的小型电子系统,如工业参数控制系统、家用报警系统、农业用温湿度控制检测系统等,属于新产品开发型设计类型。通过对实用型电子系统的介绍,集中篇幅给读者提供一个由单元电路、基本原理、实用器件到实用小系统的桥梁,使读者学会并掌握电子系统设计与开发的方法。

根据以上目的,同时根据电子系统的组成和使用器件,本书的主要内容包括:

(1) 电子系统的设计方法,包括各个子系统的设计方法;

(2) 电子系统可能涉及的一些器件,诸如传感器、输入/输出设备、执行机构以及一些实用器件的特性及使用方法;

(3) 若干实用性很强的设计实例分析,供学习设计方法时参考;

(4) 电子系统的调试及实现方法,用以指导读者的实际应用。

本书既有理论方法又有实际设计举例,具有很强的实用性。同时它又是一本自学参考书,是广大读者进入电子系统设计领域的得力助手和工具。

1.2 电子电路系统的设计方法

1.2.1 电子电路系统的设计过程

在大多数情况下,电子系统的设计方法采用自上而下(top-down)的设计方法,设计人员根据用户要求进行设计。用户要求一般表示为无二义性的自然描述语言、硬件描述语言以及系统的总体技术指标等,以系统设计要求或系统说明书方式提供。有些资料把用户要求这一层次概括为功能级。设计人员首先根据对设计要求的理解及系统可能的工作方式、结构等知识构成系统总体方框图。在构成总体方框图时应不断地消化并理解用户要求,必要时与用户磋商讨论,进一步明确一些可能存在的不明确的地方,补充确定一些设计要求中未曾列出的必要的技术要求及指标等。总体方框图由若干个方框构成,每一个方框都是一个功能相对单一的子系统,例如:存储器系统、数据处理系统、输入/输出系统等。同时,根据设计要求及指标,规定每个子系统的性能指标,类似于把用户要求层次概括为功能级,把带有技术指标要求的系统总体方框图概括为处理器级;然后,设计人员应对总体方框图中的每一个方框(子系统)的结构进行分析及设计,根据它在系统中的功能及指标构成该部分(子系统)的详细方框图,要使每个小方框都落实到通用中、大规模集成电路层次,同时规定一些关键器件的指标以保证该子系统的性能指标的实现,通常把这个层次概括为寄存器级。对于一个初级的电子系统设计人员而言,构成了寄存器级方框图就等于初步完成了子系统设计的理论部分。还应该说明的是,自上而下的设计方法是一个不断求精、逐步细化与分解的过程,但并不是单一方向的。在下一级的构成及设计过程中可能会发现上一级的问题或不足,从而必须反过来对上一级的构成及设计加以修正。所以自上而下的设计过程是一个不断反复修正的过程,最后制定出可行的方案。完成了理论设计后,下一步的工作就是根据框图及要求,采购器件、设计印刷电路板、装配与调试。如果在调试中发生问题还要修改部分设计及更换器件,以保证性能合乎要求。最后还应完成必需的设计报告、测试报告及各种文档资

料的整理,从而完整地结束系统的设计过程。

如果还希望进一步提高结果的档次,可考虑用可编程器件实现部分电路或者直接设计成专用集成电路(ASIC)。在获得了寄存器级方框图后,设计人员应该用寄存器描述语言(当前通用 VHDL 语言)或软件规定的语言对寄存器级方框图进行描述,经过编译、仿真等操作后生成可编程器件或专用集成电路的版图供集成电路厂家去生产专用集成电路。电子系统的理论设计过程可用图 1.2.1 表示。

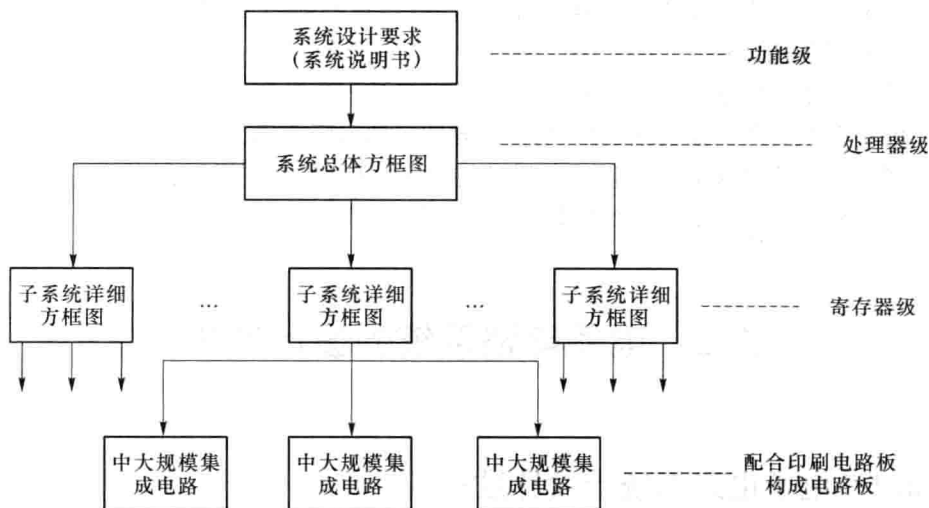


图 1.2.1 电子系统的理论设计过程

应该说明的是,以上的系统设计过程实际上主要是数字子系统硬件的设计过程。一个智能型电子系统应包括软、硬件两部分,同时还应有模拟子系统部分。对于一个智能型电子系统而言,在设计开始时就应该有一个软、硬件分工的安排,然后再分别进行硬件系统设计和软件系统设计。有关模拟子系统的设计应在系统设计的同时,根据模拟信号的特点采用数据流法对模拟子系统的结构进行安排。因为在一个电子系统中,一般占主要部分的是数字子系统,模拟子系统只在信号的输入、输出等局部电路中起主要作用,而且总是根据模拟信号的流向及对模拟信号的要求安排模拟子系统的各个环节。设计人员可用方框图及技术指标来描述模拟子系统,然后再用硬件实现。但由于模拟集成电路的集成度较低、品种不齐、覆盖面不广,以致个别电路还必须用小规模电路或是分立元件来实现,因此模拟子系统的方框图中最后应落实到硬件可以实现的层次,而不只局限于集成电路。

还应该明确指出的是,以上全部设计过程都是手工设计过程(可编程器件及专用集成电路实现除外),这也是目前小系统常用的设计方法。对初学者及简单用户来讲是有实用价值的,它是电子系统设计的基础知识,也是本书介绍的主要内容。

1.2.2 电子电路系统的设计步骤

1.2.2.1 总体方案的设计与选择

一个复杂的系统需要进行原理方案的构思,也就是用什么原理来实现系统要求。因此,应对课题的任务、要求和条件进行仔细的分析与研究,找出其关键问题是什么,然后根据此

关键问题提出实现的原理与方法,并画出其原理框图(即提出原理方案)。提出原理方案关系到设计全局,应广泛收集与查阅有关资料,广开思路,开动脑筋,利用已有的各种理论知识,提出尽可能多的方案,以便作出更合理的选择。所提方案必须对关键部分的可行性进行讨论,一般应通过实验加以确认。

原理方案提出后,必须对所提出的几种方案进行分析比较。在详细的总体方案尚未完成之前,只能就原理方案的简单与复杂、方案实现的难易程度进行分析比较,并作出初步的选择。如果有两种方案难以敲定,那么可对两种方案都进行后续阶段设计,直到得出两种方案的总体电路图,然后就性能、成本、体积等方面进行分析比较,最后才能确定下来。

原理方案选定以后,便可着手进行总体方案的确定,原理方案只着眼于方案的原理,不涉及方案的许多细节,因此,原理方案框图中的每个框图也只是原理性的、粗略的,它可能由一个单元电路构成,也可能由许多单元电路构成。为了把总体方案确定下来,必须把每一个框图进一步分解成若干个小框,每个小框为一个较简单的单元电路。当然,每个框图不宜分得太细,亦不能分得太粗。太细对选择不同的单元电路或器件不利,并使单元电路之间的相互连接复杂化;太粗将使单元电路本身功能过于复杂,不好进行设计或选择。总之,应从单元电路和单元之间连接的设计与选择出发,恰当地分解框图。

1.2.2.2 单元电路的设计与选择

按已确定的总体方案框图,对各功能框分别设计或选择出满足其要求的单元电路。因此,必须根据系统要求,明确功能框对单元电路的技术要求,必要时应详细拟定出单元电路的性能指标,然后进行单元电路结构形式的选择或设计。在选择单元电路的结构形式时,最简单的办法是从过去学过的和所了解的电路中选择一个合适的电路,同时还应去查阅各种资料,通过学习、比较来寻找更好的电路形式。一个好的电路结构应该是满足性能指标的要求,功能齐全,结构简单合理,技术先进等。

满足功能框图要求的单元电路可能不止一个,因此必须进行分析比较,择优选择。元器件的选择作为电子电路设计的重要组成部分如何进行呢?简单来说,只要弄清“供”与“求”两个问题就行了。

所谓“求”,就是“需求”,是指所设计的单元电路需要什么样的元器件,也就是选用的元器件应有怎样的性能指标?所谓“供”,就是“供给”,是指有哪些可供选用的元器件,如哪些元器件实验室里有,哪些型号可以替换,它们的性能各是什么,体积多大等。要做到更多地了解元器件(了解性能、特点与使用要点等),必须多查资料。这样不但对电路的合理选择与设计有利,而且对以后实验调试的正常进行也有很大帮助。

元器件的品种规格十分繁多,性能、价格和体积各异,而且新品种不断涌现,这就需要我们经常关心元器件的信息和新动向,多查阅器件手册和有关的科技资料,尤其要熟悉一些常用的元器件型号、性能和价格,这对单元电路和总体电路设计极为有利。选择什么样的元器件最合适,需要进行分析比较。首先应考虑满足单元电路对元器件性能指标的要求,其次是考虑价格、货源和元器件体积等方面的要求。

众所周知,由于集成电路具有体积小、功耗低、工作性能好、安装调试方便等一系列的优点而得到了广泛的应用,成为现代电子电路的重要组成部分之一。随着微电子技术的飞速发展,各种集成电路大量涌现,集成电路的应用越来越广泛。因此,在电子电路设计中,优先选用集成电路已成为人们所认可的一致观点。例如在模拟电子电路中,有大量的模拟信号

需要进行处理,而品种繁多、功能齐全的各类模拟集成电路为这些应用电路提供了极大的方便与灵活性。相比之下,若改用分立元件来实现这些功能电路则逊色许多。

但是也不要以为采用集成电路就一定比分立元件好。例如有些功能相当简单的电路,只要用一只三极管或二极管就能解决问题,就不必选用集成电路了。如数字电路中的缓冲、倒相、驱动等应用场合就是如此。另外有些特殊应用情况(如高电压、大电流输出),采用分立元件往往比用集成电路更切合实际。

集成电路的品种很多,可分为模拟集成电路、数字集成电路和模数混合集成电路三大类。按功能分,模拟集成电路有:集成运算放大器、比较器、模拟乘法器、集成功率放大器、集成稳压器、集成函数发生器以及其他专用模拟集成电路等;数字集成电路有:集成门、驱动器、译码器/编码器、数据选择器、触发器、寄存器、计数器、存储器、微处理器、可编程器件等;混合集成电路有:定时器、A/D转换器、D/A转换器、锁相环等。

按集成电路中有源器件的性质又可分为双极型和单极型两种集成电路。同一功能的集成电路可以是双极型的,亦可以是单极型的。双极型与单极型集成电路在性能上的主要差别是:双极型器件工作频率高、功耗大、温度特性差、输入电阻小等,而单极型器件正好相反。至于采用哪一种,这要由单元电路所要求的性能指标来决定。

数字集成电路有:双极型的 TTL、ECL 和 I^2C 等,单极型的 CMOS、NMOS 和 动态 MOS 等。选择集成电路的关键因素主要包括性能指标、工作条件、性能价格比等,集成电路选择流程如图 1.2.2 所示。

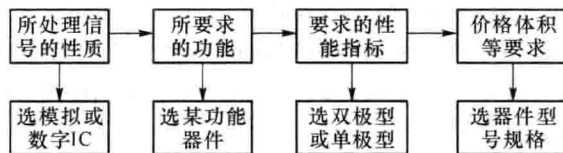


图 1.2.2 集成电路选择的流程

设计中选择模拟集成电路的方法一般是先粗后细,先根据总体设计方案考虑选用什么类型的集成电路,如运算放大器有通用型、低漂移型、高阻型、高速型等;然后再进一步考虑它的性能指标与主要参数,如运算放大器的差模和共模输入电压范围、输出失调参数、开环差模电压增益、共模抑制比、开环带宽、转换速率等,这些参数是选择集成运算放大器的主要参考依据;最后应综合考虑价格等其他因素而决定选用什么型号的器件。

数字集成电路(简称数字 IC)的发展速度非常快,经过近几十年的更新换代,到目前为止,已形成多种系列化产品同时并存的局面,各系列品种的功能配套齐全,可供用户自由选择。在选择数字集成电路时,必须了解数字集成电路的种类和特点,主要是要考虑数字集成电路的运行速度(频率)和逻辑功能。

1.2.2.3 各单元电路的级联设计

各单元电路确定以后,还要认真仔细地考虑它们之间的级联问题,如:电气特性的相互匹配、信号耦合方式、时序配合以及相互干扰等问题。

关于单元电路之间电气性能相互匹配的问题主要有:阻抗匹配、线性范围匹配、负载能力匹配、高低电平匹配等。前两个问题是模拟单元电路之间的匹配问题,最后一个问题是数字单元电路之间的匹配问题,而负载能力匹配是两种电路都必须考虑的问题。从提高放大

倍数和负载能力考虑,希望后一级的输入电阻要大,前一级的输出电阻要小。但从改善频率响应角度考虑,则要求后一级的输入电阻要小。

对于线性范围匹配问题,这涉及前后级单元电路中信号的动态范围。显然,为保证信号不失真地放大,要求后一级单元电路的动态范围大于前一级。

负载能力的匹配实际上是前一级单元电路能否正常驱动后一级的问题。这在各级之间均存在,但特别突出的是在后一级单元电路中,因为末级电路往往需要驱动执行机构。如果驱动能力不够,则应增加一级功率驱动单元。在模拟电路里,如对驱动能力要求不高,可采用运放构成的电压跟随器,否则需采用功率集成电路,或互补对称输出电路。在数字电路里,则采用达林顿驱动器、单管射极跟随器或单管反向器。电平匹配问题在数字电路中经常遇到,若高低电平不匹配,则不能保证正常的逻辑功能。为此,必须增加电平转换电路。尤其是CMOS集成电路与TTL集成电路之间的连接,当两者的工作电源不同时(如CMOS为+15V, TTL为+5V),此时两者之间必须加电平转换电路。

单元电路之间信号作用的时序在数字系统中是非常重要的。哪个信号作用在前,哪个信号作用在后,以及作用时间长短等,都是根据系统正常工作的要求而决定的。换句话说,一个数字系统有一个固定的时序,时序配合错乱,将导致系统工作失常。

时序配合是一个十分复杂的问题,为确定每个系统所需的时序,必须对该系统中各个单元电路的信号关系进行仔细地分析,画出各信号的波形关系图——时序图,确定出保证系统正常工作下的信号时序,然后提出实现该时序的措施。

1.2.2.4 总体电路实验

单元电路和它们之间连接关系确定后,就可以进行总体电路图的绘制。总体电路图是电子电路设计的结晶,是重要的设计文件,它不仅仅是电路安装和电路板制作等工艺设计的主要依据,而且是电路实验和维修时不可缺少的文件。总体电路涉及的方面和问题很多,不可能一次就把它画好,因为尚未通过实验的检验,所以不能算是正式的总体电路图,而只能是一个总体电路草图。

对总体电路图的要求是:能清晰工整地反映出电路的组成、工作原理、各部分之间的关系以及各种信号的流向。因此,图纸的布局、图形符号、文字标准等都应规范统一。

由于电子元器件品种繁多且性能分散,电子电路设计与计算中又采用工程估算,加之设计中要考虑的因素相当多,所以,设计出的电路难免会存在这样或那样的问题甚至差错。实践是检验设计正确与否的唯一标准,任何一个电子电路都必须通过实验检验,未经过实验的电子电路不能算是成功的电子电路。通过实验可以发现问题、分析问题、找出解决问题的措施,从而修改和完善电子电路设计。只有通过实验,证明电路性能全部达到设计的要求后,才能画出正式的总体电路图。

电子电路实验应注意以下几点:

(1) 审图。电子电路组装前应对总体电路草图全面审查一遍,尽早发现草图中存在的问题,以避免实验中出现过多次反复或重大事故。

(2) 电子电路组装。一般先在面包板上采用插接方式组装,或在多功能印刷板上采用焊接方式组装,有条件时亦可试制印刷板后焊接组装。

(3) 选用合适的实验设备。一般电子电路实验必备的设备有:直流稳压电源、万用表、信号源、双踪示波器等,其他专用测试设备视具体电路要求而定。