



“教育部电子信息科学与工程类基础课程教学指导分委员会”组织

电工电子实验系列教材

电子系统设计与实践

王建校 张虹 金印彬 编



高等教育出版社

TN02/25

2008



“教育部电子信息科学与电气信息类基础课程教学指导分委员会”组织

电工电子实验系列教材

电子系统设计与实践

王建校 张虹 金印彬 编



高等教育出版社

内容简介

本书是由“教育部高等学校电子信息与电气信息类基础课程教学指导分委员会”与高等教育出版社共同策划、组织的电工电子实验系列教材。

本书为西安交通大学国家工科基础课程电工电子教学基地改革成果。全书共分为9章,分别是电子系统设计基础、传感器及其应用、电子系统设计中常用的数值处理方法、PID控制技术、电子系统的数据传输与通信、现场可编程应用技术、电子系统设计实例、电子系统调试技术和电子系统电路设计中硬件的选择。

本书适合学习过电路、信号与系统、电子技术(含数字电路、模拟电路)、单片机(或者微机原理)等课程的读者。可作为电子系统设计与实践课程的教材,也可以作为电子竞赛参赛前的培训教材或参考书。对于希望提高电子系统设计能力的读者及电子业余爱好者,也是不可多得的参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

电子系统设计与实践/王建校,张虹,金印彬编. —北京:高等教育出版社,2008. 5

ISBN 978-7-04-023634-7

I. 电… II. ①王…②张…③金… III. 电子系统-系统设计 IV. TN02

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 039418 号

策划编辑	韩颖	责任编辑	王莉莉	封面设计	李卫青	责任绘图	尹莉
版式设计	陆瑞红	责任校对	杨凤玲	责任印制	朱学忠		

出版发行 高等教育出版社
社址 北京市西城区德外大街4号
邮政编码 100120
总机 010-58581000

经销 蓝色畅想图书发行有限公司
印刷 人民教育出版社印刷厂

开本 787×1092 1/16
印张 22.5
字数 560 000
插页 2

购书热线 010-58581118
免费咨询 800-810-0598
网址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landrace.com>
<http://www.landrace.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版次 2008年5月第1版
印次 2008年5月第1次印刷
定价 28.70元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 23634-00

总 序

如何通过实践环节来培养工科大学生的创新意识以及如何更好地开展实验教学等问题已成为当前高等院校工科专业教学改革的热点与难点问题。“教育部关于启动高等学校教学质量与教学改革工程精品课程建设工作的通知”(教高[2003]1号文件)中明确指出:“理论教学与实践教学并重。要高度重视实验、实习等实践性教学环节,通过实践培养和提高学生的创新能力。要大力改革实验教学的形式和内容,鼓励开设综合性、创新性实验和研究型课程。”但是,目前实验教材的现状却不容乐观,正式出版的实验教材品种很少;多数院校的实验教材都是校内讲义,验证性实验内容偏多,综合性、设计性实验内容很少,不利于学生能力培养;优秀实验教材不多,与理论教材相比尤其明显。这样,众多学校很难选到合适的优秀实验教材。

鉴于上述情况,“教育部高等学校电子信息与电气信息类基础课程教学指导分委员会”与高等教育出版社共同策划组织了示范性电工电子实验系列课程教材的建设项目,该项目以国家电工电子教学基地院校为基础,发挥这些院校在理论教学和实践教学方面的示范作用,组织编写电工电子实验系列教材。

2003年12月在云南大学召开了“电工电子实验系列课程教学与教材建设研讨会”,成立了“电工电子实验系列教材编审委员会”(见附件)。30余所院校的参会代表围绕电工电子实践教学所涉及的知识点进行了充分研讨,确定了电工电子实践教学基本要求,为实验教材的编写提供参考依据。通过研讨达成了以下共识:(1)实验教学是非常重要的教学环节,是学生学习科技知识的重要手段。学生应能通过实验获取科学知识、验证相关理论,培养创新能力。(2)从培养学生能力的角度,实验一定要单独设课,而且要有不同于理论课程的实验课程体系。要改变依附于某一理论课程的原有模式。(3)实验能力培养包括实验设计、测试与仪器使用、仿真、简单故障排除、数据分析、实验报告与总结、查阅器件手册等方面的能力。(4)实验教学应按基础性、设计性、综合性等不同层次、循序渐进地提出要求。

2004年4月14日~15日在华中科技大学召开了由全体编审委员会成员参加的教材评审会。本着保证水平、突出特色、宁缺毋滥的原则,编审委员会成员对东南大学、华中科技大学、西安交通大学、哈尔滨工业大学、西安电子科技大学、上海交通大学、浙江大学等15所院校申报的38种实验教学改革成果教材进行了评审。评出首批入选的教材有:东南大学、西安交通大学的两套实验系列教材,上海交通大学、哈尔滨工业大学和浙江大学的3种电路课程实验教材,华中科技大学、浙江大学和南京航空航天大学的3种电子技术课程实验教材,北京交通大学的信号处理课程实验教材,西安电子科技大学的电磁场课程实验教材,上海交通大学、西安交通大学、厦门大学和中国计量学院的4种非电类电工学课程实验教材。

II 总序

希望这些优秀实验系列教材的出版能推动各高校的实验教学改革,真正达到培养学生创新能力的目的。

南 总

教育部高等学校电子信息与电气信息类基础课程 教学指导分委员会主任

王 卫 华

2004年6月

“电工电子实验系列教材” 编审委员会成员名单

专 家 组

主 任 委 员

副主任委员

委 员

秘 书

蔡惟铮

唐 介

孙肖子

谢自美

朱承高

王志功

孙雨耕

马西奎

胡仁杰

陈洪亮

陈后金

王小海

王永军

杨 浩

殷瑞祥

段哲民

王成华

罗 杰

朱 红

林育兹

韩 颖

哈尔滨工业大学

大连理工大学

西安电子科技大学

华中科技大学

上海交通大学

东南大学

天津大学

西安交通大学

东南大学

上海交通大学

北京交通大学

浙江大学

东北大学

重庆大学

华南理工大学

西北工业大学

南京航空航天大学

华中科技大学

电子科技大学

厦门大学

高等教育出版社

前 言

加强实践教学环节、提高实际能力培养已是教育工作者的共识，并越来越多地引起人们的重视。高等教育的不断深化，科学技术日新月异的进步，对高等教育提出了新的要求，为了适应这一发展的需要，培养合格的社会主义建设人才，我们编写了《电子系统设计与实践》一书，其目的在于为电子系统设计的初学读者提供最基本的基础知识，为推动“加强实践教学环节、提高实际能力培养”的教学要求做出一点贡献。

社会主义建设的合格人才，不仅要有扎实的理论基础知识，还应该具有很强的实际工作能力。可以肯定，目前各个高等院校在理论教学上下了很大的功夫，取得了可喜的成绩，但在实际工作能力的培养方面还存在着不足之处，甚至还有空白点或者缺陷。很多大学生毕业后，不会把所学的理论知识与具体应用相结合，还停留在初级的理论理解阶段，甚至对理论的理解还存在着很多死角，思维还不够开阔，不能适应现代高科技工作的需要。这一现象严重地影响着大学生的就业和事业的定位！近几年来我们看到很多用人单位，很欢迎参加过电子竞赛的学生。原因在于，参加过电子竞赛的学生比较适合于用人单位的工作要求。我校从1994年开始参加全国大学生电子竞赛，培养了一批比较好的学生，受到了用人单位的好评，也为我们在这方面的探索增强了信心和勇气。沿着这一方向，我们从1999年增设了一门“电子系统设计与实践”课程，在一定程度上，提高了大学生理论结合实际的设计能力。应该清醒地看到，我们的工作，距离我们理想的目标还有很大的差距，这主要有四个方面的因素，其一是现在的大学生，他们是在应试教育模式下成长起来的，还很不适应素质教育的新模式；其二是他们在学完大学阶段的基础理论之后，正面临着考研问题，由于社会大气候的影响，有相当一部分学生，选择了考研的唯一路线，甚至放弃大学三年级时的其他所有课程，采取了背水一战、破釜沉舟的姿态；其三是相应的教材未能跟上，这一点通过我们的努力可以解决；最后一个因素是教学设备问题，要全面提高学生的实践能力，只靠有限的实验室的设备是远远不能满足需要的，要考虑“无围墙”实验室。

前两个因素涉及的范围很宽，与社会环境密切相关，我们只能通过呼吁方式，动员社会力量一道逐步解决问题。对于上述的最后一个因素，我们已经做了很多工作，自主研制出了多功能电子学习机，向“无围墙”实验室的目标坚实地迈进了一大步，并取得了教学管理和教学实施方面的宝贵经验。我们编写这本书就是基于上述的第三个原因。

本书由蔡惟铮教授和杨春玲教授审阅，提出了许多宝贵的意见，在此表示衷心的感谢。

本书适合于相关专业的在校大学生使用，亦可供电子工程师和业余爱好者选读。

限于编者水平，错漏之处在所难免，请读者批评指正。联系信箱：wjxdzx@sohu.com

作 者

2007年10月18日

目 录

1 电子系统设计基础

1.1 电子系统概论	1
1.1.1 电子系统	1
1.1.2 现代电子系统设计的新特点	2
1.2 电子系统设计教学环节	4
1.2.1 目的与要求	4
1.2.2 系统设计的教学过程	4
1.3 电子系统设计的一般方法与步骤	5
1.3.1 电子系统设计基本方法	6
1.3.2 电子系统设计一般步骤	6
1.4 电子系统的安装与调试	14
1.4.1 电子系统的安装	14
1.4.2 电子系统的调试	15
1.5 电子系统的故障分析与排除	17
1.5.1 常见故障的原因	17
1.5.2 常见故障的诊断方法	18
1.5.3 常见故障及其排除	21
1.6 电子系统的抗干扰技术	24
1.6.1 常见干扰源	24
1.6.2 常见的抗干扰措施	25
主要参考文献	29

2 传感器及其应用

2.1 传感器概论	30
2.1.1 传感器的分类	30
2.1.2 传感器的基本性能参数	31
2.1.3 传感器输出信号的特点	32
2.2 传感器电子电路	33
2.2.1 传感器电子电路的设计要求	33
2.2.2 典型传感器电子电路的组成	33
2.3 常用传感器及其应用实例	34

录

2.3.1 温度传感器	34
2.3.2 霍尔元件及霍尔传感器	45
2.3.3 光电传感器	48
2.3.4 压阻式压力传感器	52
2.3.5 超声波传感器	55
主要参考文献	57

3 电子系统设计中常用的数值处理方法

3.1 非线性补偿技术	58
3.1.1 非线性函数补偿法	59
3.1.2 线性插值法(多段折线逼近法)	59
3.1.3 曲线拟合的最小二乘法(二次抛物线插值法)	61
3.1.4 三次样条函数插值法	62
3.1.5 查表法	64
3.2 数值积分与数值微分	66
3.2.1 数值微分	66
3.2.2 数值积分	67
3.3 标度变换	68
3.3.1 标度变换原理	68
3.3.2 线性信号的标度变换	69
3.3.3 非线性信号的标度变换	69
3.4 数字滤波技术	70
3.4.1 滤波器的原理与分类	71
3.4.2 数字滤波器的设计方法	75
3.4.3 IIR 与 FIR 滤波器的比较	78
3.4.4 常用的简单数字滤波器	79
主要参考文献	92

4 PID 控制技术

4.1 引言	93
4.2 数字 PID 控制算法	95
4.2.1 位置式 PID 控制算法	95

4.2.2 增量式数字 PID 控制算法	96
4.3 数字 PID 控制算法的改进	97
4.3.1 积分分离 PID 控制算法	97
4.3.2 遇限削弱积分 PID 控制算法	99
4.3.3 不完全微分 PID 控制算法	99
4.3.4 微分先行 PID 控制算法	100
4.3.5 带死区的 PID 控制	101
4.4 PID 控制器参数整定	102
4.4.1 模拟 PID 控制器参数整定	102
4.4.2 数字 PID 控制器的参数选择和 采样周期选择	104
4.5 PID 程序设计	108
4.5.1 位置式 PID 算法程序设计	108
4.5.2 增量式 PID 算法程序设计	110
主要参考文献	113

5 电子系统的数据传输与通信

5.1 RS-232C 串行接口及应用	114
5.1.1 RS-232C 总线接口标准 及电气特性	114
5.1.2 RS-232C 电平转换芯片介绍	116
5.1.3 RS-232C 接口的主要缺点	116
5.1.4 RS-422A/485 总线接口标准 及其应用	116
5.1.5 PC 机与单片机的串行通信	118
5.2 并行接口及数据传输	122
5.2.1 PC 机并行打印机接口各 信号作用	123
5.2.2 EPP 模式的端口寄存器	124
5.2.3 PC 机与单片机的并行数据传输	125
5.3 USB 接口简介	129
5.3.1 USB 接口的背景	129
5.3.2 适用对象和目标	130
5.3.3 设计原则	131
5.3.4 USB 性能	132
5.3.5 USB2.0	134
5.3.6 USB 总线接口控制器芯片 CH375 简介	135
5.3.7 USB 总线接口控制器芯片 CH375 应用举例	145

主要参考文献	153
--------------	-----

6 现场可编程应用技术

6.1 现场可编程门阵列 FPGA	154
6.1.1 概述	154
6.1.2 FPGA 器件的基本结构	155
6.1.3 FPGA 器件的配置	159
6.1.4 FPGA 器件设计流程	165
6.1.5 图形输入文件	181
6.2 现场模拟可编程技术	183
6.2.1 AN10E40 芯片介绍	184
6.2.2 AN10E40 工作模式 0 使 用方法举例	203
6.2.3 借助 I ² C EEPROM 的工 作模式 0 使用方法举例	207
6.2.4 AN10E40 工作模式 1 使 用方法举例	218
主要参考文献	220

7 电子系统设计实例

7.1 简易数字频率计	221
7.1.1 总体方案设计与论证	222
7.1.2 模块电路设计与参数计算	223
7.1.3 系统电路的实现	225
7.1.4 误差分析	228
7.1.5 软件设计	229
7.1.6 系统调试与指标测试	229
7.2 数字式工频有效值多用表	231
7.2.1 总体方案设计与论证	232
7.2.2 模块电路设计与参数计算	233
7.2.3 软件设计及流程	236
7.2.4 系统调试与指标测试	236
7.3 简易数字式存储示波器	237
7.3.1 总体方案设计与论证	238
7.3.2 模块电路设计与实现	238
7.3.3 软件设计	247
7.3.4 系统调试与指标测试	249
7.3.5 系统性能分析	249
7.4 简易逻辑分析仪	250

7.4.1	总体方案设计与论证	252
7.4.2	系统设计	254
7.4.3	软件设计	260
7.4.4	系统调试与指标测试	260
7.5	低频数字式相位测量仪	262
7.5.1	总体方案设计与论证	263
7.5.2	理论分析与具体电路实现	266
7.5.3	软件设计与流程图	273
7.5.4	系统调试与指标测试	276
7.5.5	结果与误差分析	278
7.6	液体点滴速度监控装置	279
7.6.1	总体方案设计与论证	280
7.6.2	理论分析与计算	285
7.6.3	系统测试及数据	289
7.6.4	数据分析和处理	290
7.6.5	设计完成情况	291

8 电子系统调试技术

8.1	开环系统调试方法	293
8.1.1	电子秒表的调试	293
8.1.2	单级放大器模块电路的调试	295
8.1.3	反相比例放大器	296
8.2	闭环系统调试方法	296
8.2.1	3个反相器构成的多 谐振荡器的调试	297
8.2.2	集成运算放大器构成的 三角波发生器的调试	298

8.3	单片机系统调试方法	299
8.3.1	简单单片机程序调试	299
8.3.2	单片机最小系统验证	301
8.3.3	单片机 P1 口的测试	301
8.3.4	调试软件延时程序	302
8.3.5	单片机串口的测试	303
8.3.6	调试 A/D 转换模块电路	305
8.3.7	调试 D/A 转换模块电路	307
8.3.8	单片机扩展外部数 据存储器的测试	308
8.3.9	调试中断服务程序	310

9 电子系统电路设计中硬件的选择

9.1	处理器选择	312
9.1.1	单片机	312
9.1.2	嵌入式处理器	314
9.1.3	数字信号处理器	316
9.1.4	现场可编程器件	318
9.2	接口电路选择	319
9.3	外围元器件选择	320
9.4	系统设计的造价考量	321

附录 A 电子系统设计思

考题及答案	323
-------------	-----

附录 B 单片机基本概念检测题

.....	344
-------	-----

1

电子系统设计基础

1.1 电子系统概论

电子系统设计是电子技术课程的实践性教学环节，是大学学习中一个非常重要的综合性训练阶段。它是在学生完成模拟电路、数字电路、微处理器等课程学习后，在教师指导下，独立完成某一课题的电子系统设计、安装和调试工作的全过程。通过电子系统设计培养学生具备一定专业技术能力和将几门课程加以综合运用的理论水平，达到理论联系实际、独立解决实际问题的目的。

1.1.1 电子系统

由一组相互连接、相互作用的基本电路组成的具有特定功能的电路整体称为电子系统，它能够按照特定的输入控制信号，去执行所设想的功能。

一般将电子系统分为模拟、数字或模拟-数字混合型，通常包括输入、输出、信息处理和控制的三部分，可实现信号的处理、变换、控制或负载驱动。图 1-1 为电子系统的基本组成框图。

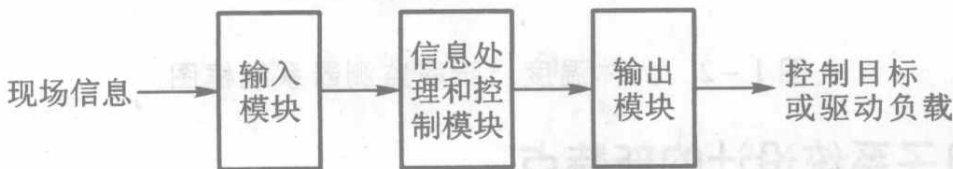


图 1-1 电子系统的基本组成框图

1. 模拟电子系统

自然界中大多数信号是时间、幅度连续变化的模拟信号，可以是电流、电压，也可以是温度、位移、速度等非电量。完成对模拟信号检测、处理和变换的电子电路称为模拟电子系统。放大、滤波、信号调理、驱动是组成模拟电子系统的主要单元电路。一般来讲，模拟电子系统输入电路主要完成系统与信号源的阻抗匹配、信号幅度的变换等功能，输出电路则主要起到与负载或被控对象的阻抗匹配、负载驱动等作用。

2. 数字电子系统

数字电子系统主要用来对不随时间做连续变化的数字信号进行传输、处理和控制在。数字电子系统一般由控制器和若干逻辑功能较单一的子系统构成，如存储器、译码器、比较器、计数器等。

控制器是数字电子系统中必需的，也是区别系统和功能部件的标志。凡是有控制器的数字电路，不管规模大小都称为数字电子系统，否则只能称之为部件。控制器不一定是一个复杂的电路，有时比较简单的电路也可以起到控制器的作用。

3. 模拟 - 数字混合型电子系统

包含模拟电子电路和数字电子电路的系统称为混合型电子系统。目前，在大多数仪器仪表和过程控制中，都采用模拟 - 数字混合电子电路实现系统功能。利用集成电路，如集成运算放大器、比较器、A/D 转换器、D/A 转换器、F/V 转换器、V/F 转换器等，并采用微处理器，组成功能强大的电子系统。通常所指的电子系统均是指这类混合型电子系统。

图 1-2 给出了一个可测量人体温度、脉率等指标的人体健康监测器系统框图。这是一个以单片机为主控制器，适当扩展外围电路，可完成多项健康指标检测功能的仪表。系统通过传感器将人体的温度、动脉血压等非电量信号分别转换为电信号进行测量。其中，温度传感器将人体温度转换成相应的电压信号，经过放大电路调理后，由单片机通过 A/D 转换获得对应的数字量，再根据温度 - 电压关系，得到人体体温。压力传感器将人体的脉搏跳动，转换成电信号，经过放大整形后，由单片机内部定时/计数器，测量脉搏跳动的周期，并换算成脉率。测量结果可通过 LED 或 LCD 显示器显示。通过键盘设置温度、脉率的阈值，还可利用声光电路进行报警。该系统结构简单，测量精度高，是一个较典型的模拟 - 数字混合型电子系统。

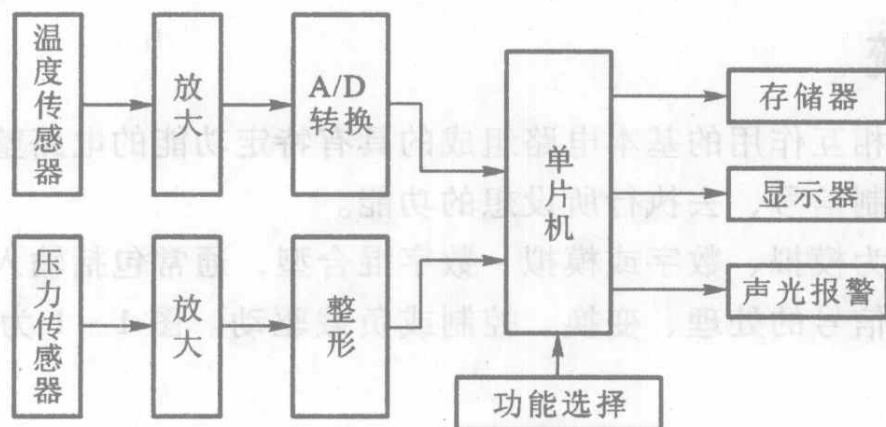


图 1-2 人体温度、脉率监测器系统框图

1. 1. 2 现代电子系统设计的新特点

随着微电子技术的不断进步，集成电路技术、计算机应用技术以及可编程技术得到了快速发展，现代电子技术迎来了一个新的发展阶段，出现了许多新的设计特点。

1. 中、大规模集成电路和专用芯片设计电路

中、大规模集成电路的发展和应用，使设计者只要了解这些集成电路芯片各引脚的功能及外围特性，即可实现各芯片电路间的互连，使复杂电子系统的设计、调试、生产和维护得以大大地简化。

另外，随着集成电路技术的发展，加快了多种专用芯片的出现。例如，单片函数发生器

ICL8038, 将比较器、触发器、缓冲器、三角波-正弦波变换电路等集成在一块芯片上, 只需外接少量电阻、电容, 便可得到方波、三角波、正弦波输出, 工作频率范围在几赫至几百千赫之间。单片函数发生器 MAX038 的最高振荡频率则可达到 40 MHz, 而且由于在芯片内采用了多路选择器, 可使方波、三角波、正弦波这三种输出波形通过编程从同一个引脚输出, 输出波形的切换在 $0.3\ \mu\text{s}$ 内完成, 使用更加方便。双积分型 A/D 转换器分别将模拟与数字电路集成在一块电路中, 外接少量元件, 便可组成一个三位半的数字电压表, 例如 CC7106 和 MC14433。单片集成数字频率测量芯片 ICM7216D, 将计数、锁存、译码、位和段驱动、量程及小数点选择等电路集成于一体, 只需外接少量元件, 便可构成频率范围为 10 MHz 的数字频率计。

2. 现代电子系统设计方法

集成电路技术和计算机辅助技术的迅猛发展改变了电子系统的传统设计方法, 它使电子设计自动化(EDA)和电子系统设计自动化(ESDA)成为现代电子系统设计和制造中的主要技术手段, 使电子系统的设计从传统的单纯硬件设计方法变为计算机软/硬件协同设计的方法, 大大地简化了设计过程, 缩短了设计周期。特别是片上系统可编程逻辑器件的应用, 可以在不改变硬件设置的情况下, 在现场对系统进行组态(例如用户可配置 CPU 及其外部设备), 并可实现电子系统的遥控升级。硬件描述语言 HDL 的应用使系统设计实现了硬件的“软化”和软件的“硬化”。这些可编程模拟器件、可编程数字器件的使用, 使电子系统设计发生了根本性的变革。

采用 Proteus、PSpice、Multisim、Protel 等设计软件可方便地实现电路的设计、仿真和电路板的制作。利用 EDA 设计软件包, 如 QUARTUS II、PAC - Designer、AnadigmDesigner 等可迅速完成对 Altera 公司的现场可编程门阵列 FPGA(Field Programmable Gates Array)或复杂可编程逻辑器件 CPLD(Complex Programmable Logic Device)、Lattice 公司的在系统可编程模拟器件 isp-PAC(In System Programmable Analog Circuit)、Anadigm 公司的在现场可编程模拟阵列 FPAA(Field Programmable Analog Array)等的设计工作。可编程器件的使用, 使得电子系统的可靠性和稳定性得以大幅度提高, 同时大大缩短了系统的开发周期。

3. 系统设计模式的开放化和对象化

网络技术的发展, 共享 IP(Intellectual Property)知识产权的开放式系统设计成为新的设计模式。在芯片设计中采用 IP 是集成电路设计进入 SoC(System on Chip)时代的必然选择, 它可以达到提高设计效率、节省人力、满足及时上市的要求。

IP 核模块有行为(Behavior)、结构(Structure)和物理(Physical)三级不同程度的设计, 对应描述功能行为的不同分为三类, 即软核(Soft IP Core)、完成结构描述的固核(Firm IP Core)和基于物理描述并经过工艺验证的硬核(Hard IP Core)。软核主要是用硬件描述语言(Hardware Description Language, HDL)编写而成, 通常是用 HDL 文本形式提交给用户。它已经过设计优化和功能验证, 但其中不包含任何具体的物理信息。据此, 用户可以综合出正确的门电路级设计网表, 并可以进行后续的结构设计。借助于 EDA 综合工具可以很容易地与其他外部逻辑电路合成一体, 根据各种不同半导体工艺, 设计成具有不同性能的器件, 具有很大的灵活性。硬核是经过流片(通过一系列工艺步骤制造芯片的过程)验证过的版图形式的设计, 在集成到芯片中时已有具体的物理形态和尺寸, 与特定生产厂家的工艺相关。因此, 硬核提供给用户的形式是电路物理结构掩模版图和全套工艺文件, 是可以拿来就用的全套技术。在实际的商用芯片设计中, IP 硬核的主要来源是国外的 IP 专职供应商、设计服务公司和生产厂等。固核是在软

核的基础上开发的,是一种可综合的并带有布局规划的软核。除完成了所有软核的设计外,还完成了门级电路综合和时序仿真等设计环节,一般以门级电路网表的形式提供给用户。因此,IP 固核的设计程度则介于软核和硬核之间。

1.2 电子系统设计教学环节

1.2.1 目的与要求

电子系统设计是对学生进行综合训练,培养学生理论联系实际,独立解决实际问题的能力,为今后从事相关工程设计和科学研究奠定基础。

电子系统设计课程应达到以下基本要求:

- ① 能够运用电子技术、微处理器技术等课程中所学到的理论知识独立完成设计方案。
- ② 掌握查阅手册和文献资料,尤其是利用网络资源搜集相关信息的本领,提高独立分析和解决实际问题的能力。
- ③ 进一步熟悉常用电子元器件的类型与特性,学会使用一些常用的集成电路芯片,包括一些专用芯片、可编程器件。
- ④ 掌握现代电子技术设计工具和 EDA 技术的基本知识。
- ⑤ 学会电子电路的安装与调试技巧。
- ⑥ 进一步熟悉电子仪器的正确使用方法。
- ⑦ 学会撰写系统设计总结报告,培养严谨的作风与科学的态度。

1.2.2 系统设计的教学过程

电子系统设计是在教师指导下,学生独立完成某个课题,达到综合性训练的目的。一般在学生选题确定后,就可开始系统设计。系统设计流程如图 1-3 所示,总体可分为三个阶段。

1. 方案设计与参数计算

学生根据所选课题的任务、要求和条件,首先进行课题分析,然后进行系统级设计、电路级设计、芯片级设计(可编程器件)和电路板级设计四个层次。即通过论证与选择,确定总体设计方案,进行系统软/硬件的划分,选择和计算单元电路参数,确定元器件,绘制电路原理图及印制电路板。

2. 系统安装与调试

设计方案经教师审查通过后,学生可领取所需元器件,在试验板或所制作的 PCB 板上进行电路组装、调试,排查故障,测试技术指标。若设计指标和系统性能均符合设计要求,则可撰写设计报告,否则需进行局部修改,甚至推倒重来,直至系统指标达到设计要求。

3. 设计报告的撰写

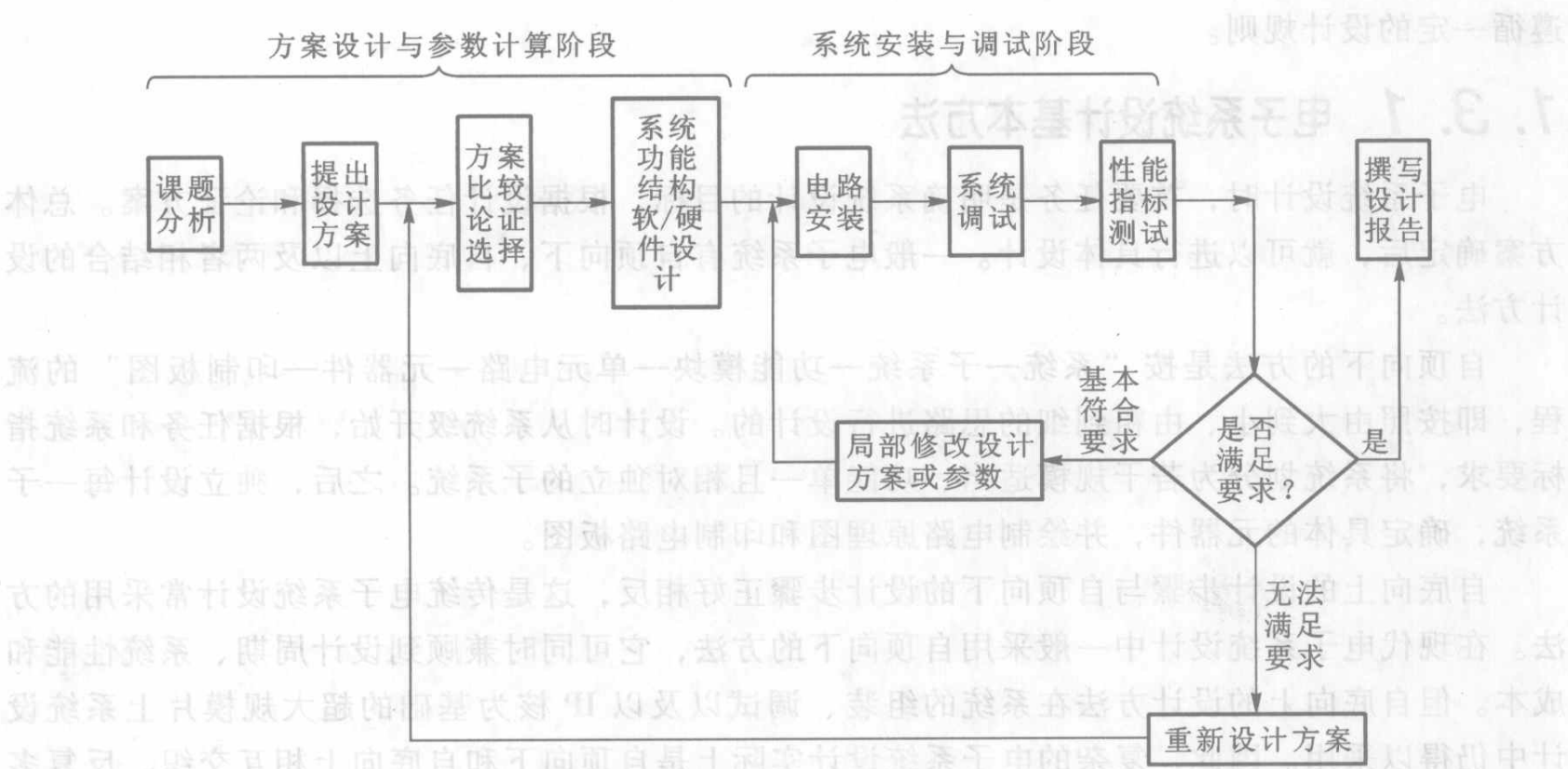


图 1-3 电子系统设计过程

通过撰写设计报告，可以促使学生将设计、安装、调试和技术参数加以全面总结。该阶段是对学生归纳技术资料、撰写科学论文和科研总结报告能力的训练。通常，设计报告应包括：

- ① 设计题目。
- ② 设计任务与要求。
- ③ 内容摘要，即用简练的文字概括主要的设计思路、特色和结论。
- ④ 方案选择与论证，系统方案原理，设计思路，软硬件的划分。
- ⑤ 单元电路设计，参数计算和元器件的确定。
- ⑥ 绘制系统电路原理图、程序流程图等，并说明工作原理。
- ⑦ 使用的主要仪器仪表、调试方法，调试中出现问题的分析和解决方法。
- ⑧ 总结系统的优缺点，存在问题并提出改进意见。
- ⑨ 心得体会。
- ⑩ 列出参考文献。

系统设计结束后，教师可根据以下几方面评定学生成绩：

- ① 设计方案的正确性与合理性。
- ② 设计作品性能指标的完成情况。
- ③ 设计过程中的工作作风和科学态度。
- ④ 实验动手能力。
- ⑤ 设计报告的规范性、逻辑性和合理性。

1.3 电子系统设计的一般方法与步骤

电子系统种类繁多，千差万别，设计方法和步骤也各不相同。但不论具体方法如何，都应

遵循一定的设计规则。

1.3.1 电子系统设计基本方法

电子系统设计时,首要任务是明确系统设计的目标,根据设计任务选择和论证方案。总体方案确定后,就可以进行具体设计。一般电子系统有自顶向下、自底向上以及两者相结合的设计方法。

自顶向下的方法是按“系统—子系统—功能模块—单元电路—元器件—印制板图”的流程,即按照由大到小、由粗到细的思路进行设计的。设计时从系统级开始,根据任务和系统指标要求,将系统划分为若干规模适当、功能单一且相对独立的子系统。之后,独立设计每一子系统,确定具体的元器件,并绘制电路原理图和印制电路板图。

自底向上的设计步骤与自顶向下的设计步骤正好相反,这是传统电子系统设计常采用的方法。在现代电子系统设计中一般采用自顶向下的方法,它可同时兼顾到设计周期、系统性能和成本。但自底向上的设计方法在系统的组装、调试以及以 IP 核为基础的超大规模片上系统设计中仍得以采用。因此,复杂的电子系统设计实际上是自顶向下和自底向上相互交织、反复多次的过程。

系统设计无论采用何种方法,都应遵循相应的原则:

- ① 确保每一级设计的正确性和合理性,技术指标应留有余地。
- ② 各子系统之间、模块之间,其功能上应尽量相对独立。
- ③ 各层设计中遇到的问题应及时解决,不可以将问题传给下层。如果本层解决不了,必须将问题反馈到上层,在上一层中解决。
- ④ 软件、硬件协同设计,充分利用微控制器和可编程逻辑器件的可编程功能,在软件、硬件之间寻找平衡。

1.3.2 电子系统设计一般步骤

一般电子系统设计包括:总体方案设计与论证;单元电路设计与参数计算;电路图绘制和相关设计文件的建立。这三个步骤构成了电子系统设计的基本模式。

下面结合我们设计的 1997 年全国大学生电子设计竞赛题目“简易数字频率计”,来说明系统设计的主要步骤。

该题目要求设计一台简易数字频率计。具体性能、指标要求如下:

① 频率测量:

- a. 测量范围 信号:方波、正弦波信号
幅度:0.5 ~ 5 V
频率:1 Hz ~ 1 MHz

b. 测量误差 $\leq 0.1\%$ 。

② 周期测量:

- a. 测量范围 信号:方波、正弦波信号
幅度:0.5 ~ 5 V
频率:1 Hz ~ 1 MHz

b. 测量误差 $\leq 0.1\%$ 。

③ 脉冲宽度测量：

a. 测量范围 信号：脉冲波

幅度：0.5 ~ 5 V

脉冲宽度 $\geq 100 \mu\text{s}$

b. 测量误差 $\leq 1\%$ 。

④ 显示器：十进制数字显示，显示刷新时间 1 ~ 10 s 连续可调。

⑤ 具有自校功能，时标信号频率为 1 MHz。

⑥ 自行设计并制作满足本设计任务要求的稳压电源。

说明：不能采用频率计专用芯片。

1. 总体方案设计与论证

(1) 课题分析

课题分析就是根据技术指标的要求，做好充分的调查研究，弄清楚系统所要求的功能和性能指标，以及目前该领域中所达到的水平，有无相似电路可供借鉴，如果有类似的电子产品，存在什么不足或缺陷，需要做何种改动或电路参数调整。新设计的电路性能有何指标要求，对可行性做出切合实际的判断。对设计者来讲，除了具备公共的基础知识外，还应具备特定设计题目所应有的知识背景，否则就无法理解题意，更不知如何开始设计工作。

对于本课题，要求制作一台简易的数字频率计，可测量方波、正弦波信号的频率、周期以及脉冲信号的宽度。因此，设计者应当了解实现频率计各项功能所采取的数字化测量方法，有关测量频率、测量周期的基本原理以及误差计算、中介频率计算等基本知识。只有在具备了这些知识的前提下，才能进行具体的设计工作。

根据分析，目前工程上测量频率和周期的方法一般可分为无源测频法、有源比较测频法及电子计数器法三种。其中，无源测频法又可分为谐振法和电桥法，常用于频率粗测，精度在 1% 左右。有源比较测频法则是利用标准频率与被测频率进行比较，调节标准频率与被测频率相等使仪表指到零，此时的标准频率即为被测信号的频率。该方法又包括拍频法和差频法，前者常用于低频测量，误差在零点几赫；后者常用于高频测量，误差为 $\pm 20 \text{ Hz}$ 左右。但目前有源比较测频法很少使用。而电子计数法目前多采用单片机进行控制。由于单片机的较强控制与运算功能，电子计数法的测量频率范围宽，精度高，易于实现。因此，在目前的频率测量中电子计数法占据着重要地位。于是，经分析可选择电子计数法实现本系统。

电子计数法的基本原理就是在一定的时间间隔 t 内，对周期性脉冲的重复次数利用计数器或单片机进行计数。若周期性脉冲的周期为 T_A ，则计数结果为

$$N = t/T_A \quad (1-1)$$

计数法原理如图 1-4 所示，周期为 T_A 的脉冲信号①加到闸门的输入端，宽度为 t 的门控信号②加到闸门的控制端，只有在闸门开通时间 t 内才输出计数脉冲③进行计数。于是，如果闸门在打开前计数器先清零，则关闭时，计数器的计数值 N 由 t 和 T_A 决定。只要 t 和 T_A 有一个为已知标准量，则从计数值和已知标准量便可求得未知待测量。电子计数器法一般都具有测频和测周等两种以上的测量功能。由于门控信号 t 和 T_A 两个量是不相关的， t 的开启时间与被测信号之间不同步，可使计数值 N 产生 ± 1 的量化误差。