



电子信息与电气学科规划教材·电子信息科学与工程类专业

复杂电子系统设计与实践

刘克刚 陈 曦 王卫兵 张 兰 编著



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

电子信息与电气学科规划教材·电子信息科学与工程类专业

复杂电子系统设计与实践

刘克刚 陈 曦 王卫兵 张 兰 编著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书以复杂电子系统设计为目标,其内容围绕电子系统的设计与实现方法来安排。全书共 19 章,第 1 章至第 8 章详细介绍微机应用系统的设计与实践,第 9 章至第 15 章主要阐述 EDA 的典型应用——FPGA/CPLD 电路设计与实践,第 16 章至第 18 章重点分析若干复杂电子应用系统的设计思想和设计方法,第 19 章简要讨论电子系统设计中涉及的工程实现方面的有关问题。为方便教学,本书配有免费电子教学课件。

本书取材广泛,内容上既有深度又有广度,叙述由浅入深,理论、分析与设计相结合,前后连贯,系统性较强。为了体现本书的实践性,书中对每一种典型电子系统都提供了设计方案和设计方法,同时在进行各种电子系统设计时尽可能采用能反映近代电子技术发展的新器件、新技术,注重内容的新颖性和实用性。

本书可作为高等院校电子科学与技术及信息与通信类专业高年级本科生和研究生的教材及参考书,也可作为全国大学生电子设计竞赛赛前训练和大学生从事电子技术方面的课外科技创新等实践环节的教材,还可作为工程设计人员的参考书。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

复杂电子系统设计与实践/刘克刚等编著. —北京:电子工业出版社,2010.6

电子信息与电气学科规划教材. 电子信息科学与工程类专业

ISBN 978-7-121-11032-0

I. ①复… II. ①刘… III. ①电子系统—系统设计—高等学校—教材 IV. ①TN02

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 104132 号

策划编辑:段丹辉

责任编辑:段丹辉 特约编辑:王纲

印 刷:北京市海淀区四季青印刷厂

装 订:涿州市桃园装订有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本:787×1092 1/16 印张:23.5 字数:695 千字

印 次:2010 年 6 月第 1 次印刷

印 数:4000 册 定价:42.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010)88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888。

前 言

综合性、设计性实践训练已成为高等工程教育体系中不可或缺的课程之一，它与传统模式下的实验教学最大的不同之处在于：传统模式下的实验教学一般给出实验原理(或电原理)、实验器材、实验步骤及方法，以验证性实验为主，缺乏对学生综合素质能力的训练和培养。近年来由于电子技术的发展，电子产品设计理念、方法及环境都有了重大的变化。尤其是设计环境的变化、微电子技术的迅猛发展及 EDA 技术的引入，使现代电子产品的复杂性大大上升。当代电子系统的设计方法与环境所发生的巨大变化，是对高等院校理工科电子科学与技术及信息与通信类专业大学生的一个强有力的挑战。但目前的现状是，电子科学与技术及信息与通信类专业大学生在电子系统设计及应用上获得的训练远远少于传统模式下的验证性实验的训练和指导，满足不了现代社会在工业应用及科研实践活动中对综合型应用人才的需求。基于对这种状况的反思，武汉大学电子信息学院从 1996 年开始设置了“电子系统设计与实践”的实验课程，并编写了相应的讲义。经过多年的教学实践取得了较好的效果，2001 年获湖北省高等学校省级教学成果三等奖，2005 年获湖北省高等学校省级教学成果二等奖。2007 年武汉大学国家电工电子实验教学示范中心的建立为实验教学的改革注入了新的动力，为了进一步深化实验教学改革，满足高校电子科学与技术及信息与通信类专业培养具有综合电子系统设计能力与创新素质人才的需要，在总结经验与吸收各方面意见的基础上，我们组织编写了《复杂电子系统设计与实践》这本书。

本书是依据高等院校电子技术实践教学大纲的基本要求，并结合作者多年教学与科研的经验而编写的。本书以普通高等院校电子科学与技术及信息与通信类本科三、四年级学生为主要对象，以具有较大难度的基于微处理器和大规模可编程器件的测控和通信系统及具有严格技术指标的集成化功能产品为设计目标，旨在通过提供系统的综合性、设计性的电子系统设计的训练，来提高学生的综合素质能力。本书在正式出版前，曾作为校内选修课和电子设计竞赛赛前培训的内部教材，使用过程中得到了学生的肯定和好评。

本书共 19 章，主要内容大体分为三个部分：第一部分(第 1 章~第 8 章)为微机应用系统的设计与实践，主要介绍基于 MCS-51/52 单片机应用系统的设计，内容涉及数字信号源、数字频率计、数据采集与回放、数据传输、控制策略与算法研究及简单测试仪器的设计与实现等；第二部分(第 9 章~第 15 章)为 EDA 应用——FPGA/CPLD 电路设计与实践，在简单介绍 FPGA/CPLD 的设计流程的基础上，通过若干设计实例讨论了基于 FPGA 的外设控制电路、协议转换电路、数字信号处理电路及其他复杂系统的设计；第三部分(第 16 章~第 19 章)为复杂电子系统设计，内容涉及基于 NiosII 处理器、DSP 处理器和 ARM 处理器的应用电路系统的设计思想、设计方法及其他细节。对于电子系统设计中所涉及的工程实现方面的有关问题，如抗干扰及电磁兼容、热特性、可测性、可靠性及信号完整性等，也进行了讨论。

本书具有如下主要特点：

(1) 以综合性、设计性的实验作为训练手段，以素质教育为目标，具体内容围绕基于微型计算机平台的复杂电子系统的设计与应用而展开。本书强调了对构成电子系统的三种基本子系统——模拟系统、数字系统及微机子系统的设计问题及电子系统工程实现中的难点的训练。对 DSP(数字信号处理)子系统的设计与应用也有专门章节讨论。

(2) 以新颖、实用的综合性、设计性课题为牵引点, 带动学生的学习积极性, 强调学生的动手能力的培养和提高。采用引导、开放式的教学形式, 由浅入深, 逐步引导, 注重学生理性逻辑思维能力及综合能力的提高。

(3) 本书的着眼点是让学生从理论学习的轨道逐步走向实际应用与工程设计实现, 把理论上的定性分析与定量计算、实验调整等手段结合起来, 掌握电子系统工程设计的步骤和方法, 了解和熟悉科学实验的程序和实施办法, 为以后的工程技术及科研实践工作奠定基础。

(4) 采用与计算机技术、微电子技术及电路系统理论平行发展起来的 EDA 技术完成现代电子系统的设计是本书内容的另一重点。本书强调了在选择和使用 EDA 工具及从设计方法学的观点出发掌握 EDA 工具设计系统流程的重要性。

(5) 注重拓宽学科基础、扩展知识面, 使强电与弱电结合、硬件和软件结合, 注重新技术、新知识、新方法、新器件的学习和应用。

(6) 选题均为综合性、设计性课题, 涵盖内容广泛, 包括了低频、高频、模拟电路、数字电路、通信原理、微机原理、单片机技术、可编程器件、数字信号处理器件、嵌入式系统 ARM 等课程的知识, 培养学生对相关理论知识的综合应用能力。

(7) 注意选题与设计的合理性及难度的综合分析与把握。选题的多样化及不同难度的搭配, 方便教师在组织教学过程中采取分层次的教学方法, 使不同水平的同学都能得到符合自身能力特点的训练。

(8) 强调和突出自我能力的培养, 给出了设计范例及方案论证, 但要求学生独立进行系统设计。由于题目及内容的多样化、实用性, 有助于培养学生独立获取资料及信息的能力, 以获得好的设计思想。

本书由刘克刚教授负责统稿与定稿。第 1~8, 19 章由刘克刚、张兰编写, 第 9~11, 14, 15, 18 章由陈曦编写, 第 12, 13, 16, 17 章由王卫兵编写。孙世磊、徐江丰、徐心毅、王春林也参与了本书部分章节的编写。

为了方便教师教学, 本书配有免费电子教学课件, 可以登录华信教育资源网 (<http://www.hxedu.com.cn>) 注册下载或发送电子邮件至 duandh@phei.com.cn 索取。

本书的编写既是对多年教学成果的总结和升华, 也是一种尝试, 虽然付了很大的努力, 但由于编者水平有限, 书中难免有错误和不妥之处, 恳请读者批评指正。如果读者在阅读本书的过程中发现了错误或有改进的建议, 请通过电子邮件 LKG@eis.whu.edu.cn 与编者联系。

编 者
于武汉大学

目 录

第 1 章 电子系统设计导论	(1)	3.2 频率测量原理及误差分析	(37)
1.1 电子系统概述	(1)	3.2.1 频率或脉冲速率的数字测量方法 ...	(39)
1.1.1 相关概念	(1)	3.2.2 时间参数的数字测量方法	(39)
1.1.2 电子系统的构成	(2)	3.2.3 电子计数器的测量误差	(39)
1.2 电子系统的设计	(2)	3.3 数字频率计系统设计	(44)
1.2.1 电子系统设计的一般方法	(2)	3.3.1 设计任务的分析及方案论证	(45)
1.2.2 电子系统设计的一般步骤	(3)	3.3.2 等精度测量的技术实现难点分析 ...	(47)
1.2.3 传统手工设计步骤	(5)	3.3.3 周期脉冲信号占空比测量原理 ...	(50)
1.2.4 电子系统设计的 EDA 方法	(5)	3.3.4 系统具体的设计和实现	(50)
1.3 各种电子系统设计步骤综述	(6)	3.3.5 基于 CPLD 的数字频率计的设计 ...	(53)
1.3.1 数字系统的设计步骤	(7)	3.4 相位测量	(55)
1.3.2 模拟系统的设计步骤	(7)	3.4.1 相位测量方案分析与论证	(55)
1.3.3 以微机(单片机)为核心的电子 系统的设计步骤	(7)	3.4.2 系统设计与实现	(57)
第 2 章 简单系统的设计与实践	(8)	3.5 本章小结	(58)
2.1 引言	(8)	第 4 章 数字信号源的设计与实现	(59)
2.2 通用 MCS-51/52 单片机最小系统 ...	(9)	4.1 引言	(59)
2.2.1 通用 MCS-51/52 单片机最小系统的 主要组成部分介绍	(10)	4.2 频率合成技术及常用方法介绍	(59)
2.2.2 通用 MCS-51/52 单片机最小系统的 应用实验举例	(14)	4.2.1 直接频率合成(DFS)	(60)
2.3 基于单片机系统的简易电子琴的设计 与实现	(19)	4.2.2 采用锁相环(PLL)电路的频率 合成	(60)
2.3.1 设计任务的分析及设计模型的 建立	(19)	4.2.3 直接数字频率合成(DDS)	(61)
2.3.2 系统具体的设计和实现	(22)	4.3 基于 PLL 的数控信源的设计	(63)
2.3.3 提高部分难点提示	(25)	4.3.1 系统设计方案分析	(63)
2.4 LED 显示屏系统的设计与实现	(26)	4.3.2 系统模块分析和设计	(64)
2.4.1 设计任务的分析	(27)	4.3.3 系统软件设计	(68)
2.4.2 以单片机为控制核心的 LED 显示 屏的设计	(27)	4.3.4 系统调试	(68)
2.4.3 系统的设计思路与实现方式	(30)	4.4 基于 DDS 的数控信源的设计	(69)
2.4.4 基于 PC 平台的 LED 显示屏系统 分析	(34)	4.4.1 DDS 的相关分析	(69)
2.5 本章小结	(36)	4.4.2 系统设计分析与理论计算	(71)
第 3 章 时间(频率)的数字化测量	(37)	4.4.3 系统整体设计	(74)
3.1 引言	(37)	4.4.4 系统硬件设计	(74)
		4.4.5 系统软件设计	(76)
		4.4.6 噪声分析和降噪措施	(77)
		4.5 任意波形发生器的设计与实现	(80)
		4.5.1 波形发生器系统设计方案	(80)
		4.5.2 系统设计关键点分析	(81)
		4.5.3 系统软件设计	(84)

4.6	数字移相器的设计	(85)	7.2.2	自适应控制	(134)
4.6.1	系统设计原理分析	(86)	7.2.3	预测控制	(134)
4.6.2	系统设计方案和难点分析	(88)	7.2.4	鲁棒控制	(134)
4.6.3	系统软件设计	(90)	7.2.5	变结构控制	(135)
4.7	本章小结	(91)	7.2.6	智能控制	(135)
第 5 章	数据采集与回放系统的设计与实现 ...	(92)	7.3	恒温控制系统的设计与实现	(136)
5.1	引言	(92)	7.3.1	设计任务分析	(136)
5.2	数据采集与回放系统设计方法概述 ...	(92)	7.3.2	系统硬件电路方案设计及分析 ...	(138)
5.2.1	采集系统分类	(92)	7.3.3	控制策略及算法实现与比较 ...	(146)
5.2.2	数据采集过程	(93)	7.3.4	系统设计	(152)
5.2.3	A/D 转换器与 D/A 转换器的选取 ...	(93)	7.3.5	系统调整与性能测试	(154)
5.3	高精度数据采集与回放系统的设计 ...	(99)	7.4	本章小结	(155)
5.3.1	系统分析与设计	(100)	第 8 章	简单测试仪器的设计与实现	(156)
5.3.2	系统各模块的设计	(100)	8.1	引言	(156)
5.3.3	工作模式分析与设计	(105)	8.2	数字电容测量仪	(157)
5.3.4	数据采集系统的误差调整 ...	(106)	8.2.1	测量原理分析与论证	(157)
5.3.5	系统软件设计	(109)	8.2.2	系统参数的计算	(160)
5.3.6	系统抗干扰措施	(109)	8.2.3	系统硬件电路设计	(161)
5.4	语音存储与回放系统的设计	(110)	8.2.4	软件设计	(162)
5.4.1	系统分析与参数计算	(110)	8.3	数字工频多用表	(162)
5.4.2	数据编码与存储	(111)	8.3.1	系统设计方案分析和理论计算 ...	(163)
5.4.3	系统整体设计框图	(114)	8.3.2	各模块电路设计与分析	(165)
5.4.4	系统各模块电路的设计方案 ...	(114)	8.3.3	系统软件设计	(168)
5.4.5	三种模式软件设计流程图 ...	(117)	8.4	简易数字存储示波器	(169)
5.4.6	噪声分析与降噪措施	(117)	8.4.1	简易数字存储示波器的系统设计 方案	(170)
5.5	本章小结	(118)	8.4.2	主要技术指标与设计参数计算 ...	(170)
第 6 章	数据传输系统的设计	(119)	8.4.3	系统各模块电路设计	(173)
6.1	引言	(119)	8.4.4	系统软件设计	(177)
6.2	数据采集与传输系统的设计	(119)	8.5	简易逻辑分析仪设计	(178)
6.2.1	系统设计方案分析	(120)	8.5.1	任务分析与方案论证	(178)
6.2.2	调制方案的确定与相应数学模型 的建立	(120)	8.5.2	理论分析和参数计算	(179)
6.2.3	噪声模拟发生器的设计和模型 分析	(124)	8.5.3	系统各个模块的设计与实现 ...	(180)
6.2.4	系统各模块设计分析	(126)	8.5.4	系统软件设计	(183)
6.2.5	系统软件设计	(129)	8.6	本章小结	(185)
6.3	本章小结	(130)	第 9 章	基于 FPGA/CPLD 的电路设计流程 简介	(186)
第 7 章	控制策略与算法的研究	(131)	9.1	引言	(186)
7.1	引言	(131)	9.2	FPGA 设计软件	(186)
7.2	基于非线性、纯时滞被控对象的控制 策略及算法的分析	(132)	9.2.1	HDL 设计输入	(188)
7.2.1	Smith 预估控制和大林算法 ...	(132)	9.2.2	原理图设计输入	(194)
			9.3	FPGA 器件的使用	(199)

9.3.1	FPGA 与 CPLD 器件的比较 …	(199)	12.2	设计任务的提出与傅里叶变换的理论分析 ……	(237)
9.3.2	FPGA 器件的使用 ……	(200)	12.2.1	离散傅里叶变换 ……	(238)
9.3.3	FPGA 实验开发平台的介绍 …	(201)	12.2.2	傅里叶变换的相关讨论 ……	(240)
9.4	本章小结 ……	(202)	12.2.3	基于 FPGA 的 FFT 算法设计的相 关讨论 ……	(244)
第 10 章	基于 FPGA 的外设控制电路的 设计 ……	(203)	12.3	基于 FPGA 的 FFT 算法的实现…	(245)
10.1	引言 ……	(203)	12.3.1	FFT 基础知识 ……	(245)
10.2	LED 数码管的控制与显示 ……	(203)	12.3.2	基- r Cooley-Tukey FFT 算法	(246)
10.2.1	LED 数码管的显示原理 …	(203)	12.3.3	基-2 Cooley-Tukey FFT 算法的 FPGA 实现 ……	(247)
10.2.2	FPGA 实现 LED 显示控制	(204)	12.3.4	离散傅里叶逆变换 (IDFT) 的快速 计算方法 ……	(249)
10.2.3	模块功能实现 ……	(204)	12.3.5	改进的 DFT 实现方法 ……	(249)
10.3	A/D 转换电路的控制与实现…	(206)	12.4	Goertzel 算法及其在 FPGA 上的 实现 ……	(250)
10.3.1	ADC0809 模数转换芯片的工作 时序 ……	(206)	12.4.1	基本 Goertzel 算法 ……	(250)
10.3.2	模块功能实现 ……	(207)	12.4.2	Goertzel 优化算法 ……	(250)
10.3.3	系统整体设计 ……	(209)	12.4.3	Goertzel 算法在 FPGA 上的 实现 ……	(253)
10.4	D/A 转换电路的控制与实现…	(210)	12.5	本章小结 ……	(253)
10.4.1	D/A 芯片的时序和控制方式分析	(210)	第 13 章	基于 FPGA 的其他复杂电路设计与 实现 ……	(254)
10.4.2	模块功能实现 ……	(211)	13.1	引言 ……	(254)
10.4.3	系统整体设计 ……	(214)	13.2	基于 FPGA 的电子密码锁的设计与 实现 ……	(254)
10.5	LED 点阵的控制与显示 ……	(215)	13.2.1	电子密码锁原理 ……	(255)
10.5.1	LED 点阵的显示原理 ……	(215)	13.2.2	系统设计描述 ……	(256)
10.5.2	模块功能实现 ……	(216)	13.2.3	密码锁各模块的设计 ……	(257)
10.6	步进电机的转速 / 方向控制…	(217)	13.3	基于全数字锁相环的频率合成器的 设计 ……	(260)
10.6.1	步进电机的工作原理 ……	(217)	13.3.1	全数字锁相环的性能分析 …	(260)
10.6.2	模块功能实现 ……	(218)	13.3.2	系统整体设计 ……	(261)
10.7	本章小结 ……	(222)	13.3.3	全数字锁相环设计…	(262)
第 11 章	基于 FPGA 的协议转换电路设计	(223)	13.3.4	自适应频合器的设计…	(270)
11.1	引言 ……	(223)	13.3.5	频合器系统仿真分析测试 …	(270)
11.2	简易 UART 接收模块的设计与实现	(223)	13.4	本章小结 ……	(272)
11.2.1	UART 的基本通信原理 …	(224)	第 14 章	基于 FPGA 的 JPEG 图像压缩	(273)
11.2.2	系统总体分析 ……	(225)	14.1	引言 ……	(273)
11.2.3	关键模块设计 ……	(226)	14.2	JPEG 图像压缩的原理与实现 …	(273)
11.3	基于 USB2.0 数据收发模块的设计 与实现 ……	(228)	14.2.1	JPEG 图像压缩算法分析 …	(274)
11.3.1	USB2.0 简介及传输类型 …	(228)	14.2.2	图像分割 ……	(275)
11.3.2	USB 控制器 CY7C68013 …	(229)			
11.3.3	基于 USB2.0 从设备数据收发 模块的实现 ……	(231)			
11.4	本章小结 ……	(236)			
第 12 章	基于 FPGA 的 FFT 算法实现 …	(237)			
12.1	引言 ……	(237)			

14.2.3	离散余弦变换	(275)	17.2	嵌入式实时操作系统的基本概念 ..	(318)
14.2.4	量化与游程编码	(277)	17.2.1	嵌入式实时操作系统的特点...	(318)
14.2.5	熵编码	(279)	17.2.2	嵌入式实时操作系统的相关 概念	(318)
14.3	本章小结	(286)	17.3	常见嵌入式实时操作系统介绍 ..	(322)
第 15 章	基于 FPGA 的神经网络对数-S 形 函数的设计与实现	(287)	17.4	嵌入式实时操作系统 $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 及其 移植	(328)
15.1	引言	(287)	17.4.1	$\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 的基本组成	(328)
15.2	设计任务的提出与神经网络的基础 知识	(287)	17.4.2	$\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 的移植	(333)
15.2.1	人工神经网络	(287)	17.5	本章小结	(336)
15.2.2	神经元模型	(288)	第 18 章	数码相机伴侣系统的设计与实现	(337)
15.2.3	神经网络结构	(290)	18.1	引言	(337)
15.3	坐标旋转数字计算机(CORDIC) 算法	(290)	18.2	数码相机伴侣系统的设计	(337)
15.3.1	CORDIC 算法	(290)	18.2.1	系统分析	(338)
15.3.2	混合 CORDIC 算法	(293)	18.2.2	硬件系统设计	(338)
15.4	基于 FPGA 的对数-S 形函数模块的 硬件设计与实现	(294)	18.2.3	软件系统设计	(339)
15.5	本章小结	(297)	18.3	本章小结	(350)
第 16 章	基于 TMS320C55XX 系列 DSP 的 系统硬件和软件设计	(298)	第 19 章	电子系统工程实现中的问题	(351)
16.1	引言	(298)	19.1	概述	(351)
16.2	TMS320C55XX 系列 DSP 简介	(298)	19.2	电子系统的抗干扰设计	(351)
16.2.1	DSP 芯片的特点	(298)	19.2.1	电磁干扰与电磁兼容问题 ..	(351)
16.2.2	TI 公司 DSP	(299)	19.2.2	干扰的类型	(352)
16.2.3	DSP 芯片选型	(300)	19.2.3	干扰传播的途径	(353)
16.3	TI DSP 开发集成环境 CCS 简介	(301)	19.2.4	抗干扰设计方法	(353)
16.3.1	CCS 的简介	(301)	19.3	电子设备热设计	(355)
16.3.2	CCS 的安装与使用	(302)	19.3.1	功率器件的散热	(355)
16.4	基于 DSP 的水声通信终端设计 ..	(305)	19.3.2	整机的散热	(356)
16.4.1	水声通信系统介绍	(305)	19.4	可靠性设计	(356)
16.4.2	前端信号处理模块	(305)	19.5	数字电路的可测试性设计	(357)
16.4.3	A/D 数据采集接口	(307)	19.6	印制电路板(PCB)的设计与装配 ..	(359)
16.4.4	DSP 信号处理模块	(308)	19.6.1	PCB 的设计	(359)
16.5	卷积码编解码实现	(310)	19.6.2	PCB 的装配与焊接	(361)
16.5.1	卷积码编码	(310)	19.7	电子系统的调试	(361)
16.5.2	卷积码解码	(311)	19.7.1	通电调试之前的检查	(361)
16.5.3	交织器及维特比译码算法的部分 程序代码	(312)	19.7.2	调试的一般顺序与步骤	(362)
16.6	本章小结	(316)	19.7.3	做好调试记录	(362)
第 17 章	嵌入式操作系统	(317)	19.7.4	模拟电路的调试	(362)
17.1	引言	(317)	19.7.5	数字电路系统的调试	(363)
			19.7.6	带微处理器系统的软件调试 ..	(364)
			19.8	本章小结	(364)
			参考文献		(365)

第1章 电子系统设计导论

1.1 电子系统概述

1.1.1 相关概念

1. 电子系统的概念

系统是由两个以上各不相同且相互联系、相互制约的单元组成的、在给定环境下能够完成一定功能的综合体。系统的基本特征是：在功能与结构上具有综合性、层次性和复杂性。这些特征决定了系统的设计与分析方法将不同于简单的对象。电子系统通常是指由电子元器件或部件组成的、能够产生、传输或处理电信号及信息的客观实体，典型的电子系统包括通信系统、计算机系统、电子测量系统、自动控制系统等。

通信系统的种类很多，现以移动电话为例来看其组成。图 1.1 是一个简化的 GSM900 蜂窝移动电话的子系统组成方框图。该系统是一个包括了发射机、接收机、微型计算机和音频及数字信号处理器 (DSP)、SIM 卡等子系统的复杂系统。下面通过该移动电话系统来看一下一个复杂系统在结构上的层次性。框图中的每一个子系统又可分解为由若干部件组成的系统，例如，其中的微型计算机子系统就是由微处理器、存储器、键盘及显示器等几个部件组成的。而组成子系统的每个部件又可分解为由许多元件组成的电路。类似地，发射机、接收机也可由顶层(子系统级)向下，一层一层地分解，直到元件级(底层)。一般情况下，稍微复杂一点的电子系统均具有如图1.2 所示的层次式结构。

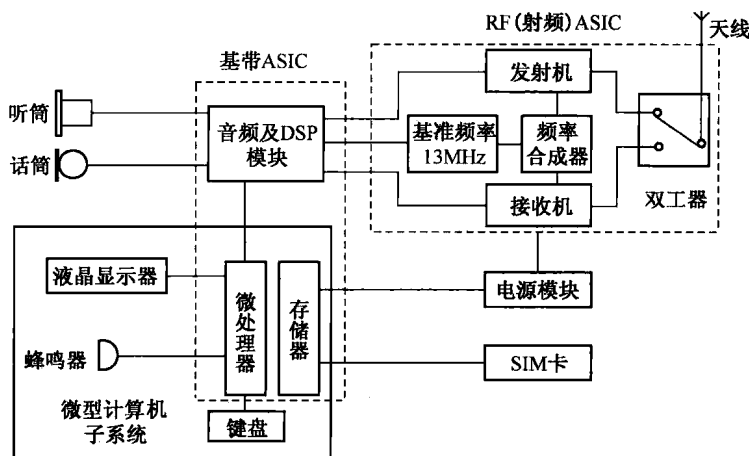


图 1.1 简化的 GSM900 蜂窝移动电话子系统组成方框图

2. 电子系统、网络与集成

组成电子系统的主要部件中包括了大量的、多种类型的电子元器件和电路。电路也称为电网络或网络。当研究一般的抽象规律时多用网络一词；反之，讨论一些指定的具体问题时则称之为电路。一般来说，系统比网络更复杂、规模更大的组合体。然而，实际中常常将一些简单的网络或电路也称为系统。同一个事物当作为系统问题研究时应注意其全局，而作为网络问题研究时则关心其局部。

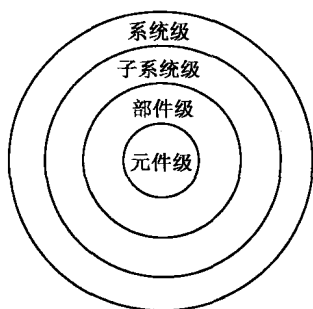


图 1.2 电子系统结构的层次性

而在电子系统中的集成大多是指集成电路或集成系统，集成电路最简单的例子是利用电路实现时序功能时，可以把不同的触发器和门电路组合在一个芯片上构成锁存器或寄存器。也可以通过将一串触发器连接在一起构成计数器。集成系统一般是指 PCB 上集成系统，它是由若干功能不同但又相互联系的子系统组成的，在给定环境下能够完成一定功能的综合体。由于技术的进步，已有越来越多的 PCB 上集成系统被片上集成系统 (SoC) 所替代，单片机取代单板机就是这样的例子。电子系统的构成就是由若干电路 (包括集成电路和分立电路) 及由不同电路组成的不同子系统的集成。

1.1.2 电子系统的构成

如前所述，电子系统是由若干不同的相互连接、相互作用的子系统构成的，尽管子系统的类型很多，但是归纳起来不外乎 5 种基本类型：模拟子系统、数字子系统、微机子系统、模拟与数字混合子系统和 DSP (数字信号处理) 子系统。从设计的基本方法上来讲，掌握了模拟子系统、数字子系统和微机子系统这 3 种最基本的子系统的设计方法，就可以设计上述 5 种子系统。DSP 子系统的设计可在掌握 DSP 的理论和算法的前提下，借助数字子系统的设计方法、微机程序设计方法和硬件配置方法去完成；模拟与数字混合子系统的设计可通过将模拟子系统与数字子系统的设计方法结合起来去完成。读者一般已经接受过上述 3 种最基本子系统的设计与分析的学习和实践训练，在此基础上，通过本书的学习可以掌握更为复杂的电子系统的设计和分析方法。

1.2 电子系统的设计

1.2.1 电子系统设计的一般方法

因为电子系统的复杂性，必须用有效的方法去管理其复杂性才能使系统设计得到成功。基于系统的功能与结构上的层次性，演化出了如下 3 种设计方法。

1. 自顶向下法 (Top-Down)

自顶向下法是一种概念驱动的设计方法。该方法要求在整个设计过程中尽量运用概念 (即抽象) 去描述和分析设计对象，而不要过早地考虑实现该设计的具体电路、元器件和工艺，以便抓住主要矛盾，避免纠缠在具体细节上，这样才能控制好设计的复杂性。整个设计从顶层到底层，应当逐步由概括到具体，由粗略到精细。只有当整个设计在概念上得到验证与优化后，才能考虑“采用什么电路、元器件和工艺去实现该设计”这类具体问题。该设计方法首先从系统级设计开始。系统级的设计任务是：根据原始设计指标或用户的需求，将系统的功能 (或行为) 全面、准确地描述出来，即将系统的输入-输出关系描述出来，然后进行子系统级设计。进行一项大型、复杂系统设计的过程，实际上是在自顶向下的过程中包括了由底层返回到上层进行修改的多次反复的过程，如图 1.3 所示。

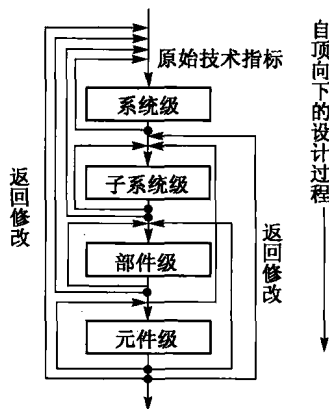


图 1.3 实际的自顶向下的设计过程

2. 自底向上法(Bottom-Up)

该方法是根据要实现的系统的各个功能的要求,从现有可用的元件中选出适用的,设计成一个个的部件,当一个部件不能直接实现系统的某个功能时,就需要设计由多个部件组成的子系统去实现该功能,上述过程一直进行到系统所要求的全部功能都实现为止。该方法的优点是可以继承使用经过验证的、成熟的部件与子系统,从而实现设计重用,以减少设计的重复劳动和提高设计时效性。其缺点是设计过程中设计人员的思想受限于现有可用的元件,故不容易实现系统化的、清晰易懂的、可靠性高及可维护性好的设计。然而自底向上法,在系统的组装和测试过程中确是行之有效的,因此该方法常用于这些场合。此外,对于以IP核为基础的VLSI片上系统的设计,自底向上法也得到了重视和采用。

3. 以自顶向下法为主导,并结合使用自底向上法(TD & BU Combined)的方法

在近代的系统设计中,为了实现设计重用及对系统进行模块化测试,通常采用以自顶向下法为主导,并结合使用自底向上法的方法。这种方法既能保证实现系统化的、清晰易懂的、可靠性高及可维护性好的设计,又能减少设计的重复劳动,提高设计生产率。这对于以IP核为基础的VLSI片上系统的设计特别重要,因而得到了普遍采用。

上面所述的电子系统的一般设计方法,从方法学上来说与大型软件的设计方法是完全一致的。如果读者在软件设计方面已经具有一定的实践经验,在学习硬件设计的方法和原则时不妨将其与软件设计中的方法和原则做一个对照,从而加深理解。

1.2.2 电子系统设计的一般步骤

为了介绍电子系统设计的一般步骤,首先引入描述所要设计的电子系统属性的Y图。在图1.2的基础上,从圆心出发画出3个坐标轴(呈倒立的大写英文字母Y状),分别代表系统属性的行为域、结构域和物理域,如图1.4所示。可以认为该图是描述系统特性的三维坐标系。它全面地表示出了系统设计在各个层次和域上所涉及的信息及其内在联系。一个完整的电子系统设计过程,均是由顶层(系统级)从行为域出发,沿Y图以一种向心式螺旋线行迹逆时针旋转,每转一圈下降一层,直至底层(元件级)的设计全部完成为止。不论在哪一级(层)上逆时针转一圈,均要经历如下3个设计步骤:

- (1) 行为描述与设计;
- (2) 结构描述与设计;
- (3) 物理描述与设计。

下面分别对每一个设计步骤予以具体说明。

1. 行为描述与设计

行为域的设计一般按照自顶向下的设计方法,首先从系统级开始。设计人员首先要对用户需求与市场状况做深入细致的调查研究,然后对收集来的原始信息进行需求分析,最后用工程语言将所要设计的系统的各项功能和技术指标、与外部世界的接口方式和协议等描述或定义出来。例如,移动电话的双工通话功能、短信息功能、来电显示功能、存储功能、时钟/闹钟功能及与传真机/计算机接口的功能,接收/发射频率、调制方式、待机时间、连续通话时间、供电电池电压、尺寸和质量等。而子系统级、部件级和元件级上的行为则由各个层次上所用单元的功能——即输入-输出关系来描述。它们是由设计人员从系统级逐层向下进行功能划分并逐步推演和定义出来的。显然,不同的设计人员会得出不同的结果,这是一种一对多的映射关系。

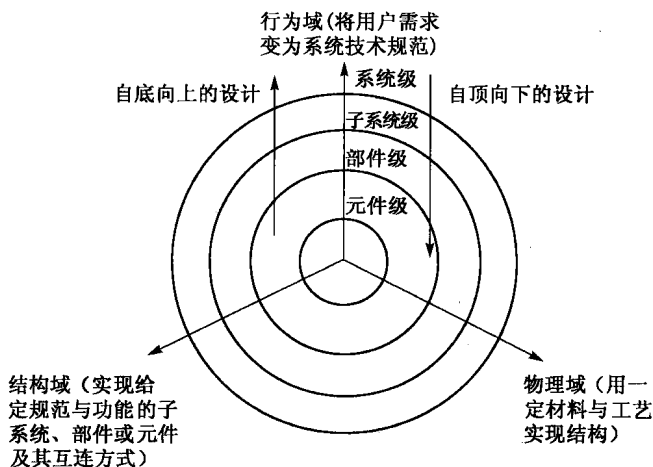


图 1.4 电子系统属性的 Y 图

2. 结构描述与设计

(1) 行为域到结构域的映射

完成了行为域的描述与设计后，下一步就要将行为映射为结构。即以行为域的设计结果作为原始输入信息，选用或设计一定的单元并按一定方式(含规则)互连起来，实现给定层次上的行为(功能)。系统从行为域到结构域的映射又称为综合。

(2) 设计表达

系统级上结构设计任务就是确定系统与外部世界(包括使用者、其他系统或部件等)的相互作用、互连方式与协议。子系统级、部件级和元件级上的由行为域到结构域的映射是大家所熟悉的，这些级上的结构设计结果通常用方框图、电路图来表达。例如，移动电话系统级的结构设计就是确定用户操作界面和该移动电话与 GSM 网之间信息交换的方式与协议，确定与传真机、计算机之间的连接方式与协议等关系。在子系统级上，移动电话的结构可用图 1.1 所示的方框图来描述。一张详细的移动电话的电路图就是对该系统元件级或者元件级、部件级、子系统级混合结构的描述。当然，实际的结构设计文档除了图之外，还应有相应的文字说明。

3. 物理描述与设计

(1) 物理描述与设计的一般性过程

结构域的描述与设计完成后，最后一步就是进行从结构域到物理域的映射。即用结构域的设计结果作为原始输入信息，选用一定的材料、技术与工艺去实现给定的结构。仍以移动电话为例，其系统级上的物理设计包括机壳、主机板、操作按键、显示屏窗口、与外部互连的接插件等的外形、尺寸、材料及工艺的确定，还要决定是否采用 VLSI 专用芯片(ASIC)来实现整个系统(即片上系统)；子系统级与部件级上的物理设计的内容基本相同，包括每个子系统或部件的尺寸、安放位置、互连线的材料与布局的确定，还要决定是否采用 ASIC 来实现子系统或部件、是否需要屏蔽与散热等；元件级上的物理设计包括每个元件的型号与尺寸、主机印制底板布线的设计、是否需要屏蔽与散热等。如果系统、子系统或部件决定采用 ASIC，那么物理设计还需要进行集成电路版图的设计。根据物理设计提供的完备而正确的设计文档，就可以送交工厂制造出系统的样机。

(2) 正确性验证

必须强调指出的是，设计过程中必须适时地进行正确性验证。传统的做法是靠人工检查及搭试电路和制作样机来实现。随着系统的规模与复杂度的增加，单靠人工方法去设计与验证不但无能为

力,也是根本不可能的。必须采用下面所要介绍的 EDA(电子设计自动化)方法。设计验证所用的基本方法是分析,利用电子设计自动化(Electronics Design Automation, EDA)工具进行模拟就是以分析为基础的验证过程。一个完整的系统分析过程其步骤正好与设计过程相反,即物理域→结构域→行为域(在图1.4所示 Y 图上是按顺时针方向旋转的)。

(3) 设计的层次问题

最后还要说明的一个问题就是设计的层次问题。按照自顶向下的设计方法,当考虑到设计重用时,某个层次的设计中所用的单元可以是不限于该层次上的。这是因为引用已有的成熟单元时,是不用关心其内部结构的,只需知道其外部特性与技术指标就够了。这样一来,当设计由顶层向底层过渡时,被引用的单元就不必再细化(即不必重新设计)而保持原样。结果,在部件级上出现的单元除了部件外,还会夹有在上一级设计中被引用的子系统;同理,在元件级上会出现元件、部件和子系统相混合的情况。这种将不同层次上的单元混合使用的设计方式,称为混合层次设计方法。现代各种先进的 EDA 工具均支持这种混合层次设计方法。实际中还会遇到一些较简单的系统,不宜按层次再做任何分解,否则就难以理解该系统的功能。这种仅在一个层次上完成系统所有功能元件的详细设计的方法,称为平坦式设计方法。

1.2.3 传统手工设计步骤

传统的手工设计包括审题、方案选择与可行性论证、单元电路的设计与参数计算,以及元器件选择、组装与调试、编写设计文档与总结报告等步骤,具体过程为:

(1) 通过审题对给定任务或设计课题进行具体分析,以明确所要设计的系统的功能、性能、技术指标及要求。

(2) 把系统所要实现的功能分配给若干单元电路,并画出一个能表示各单元功能的整机原理框图,提出几种不同的方案,对它们的可行性进行论证,即从完成的功能的齐全程度、性能和技术指标的高低程度、经济性、技术的先进性及完成的进度等方面进行比较,最后选择一个较好的方案。

(3) 对各个单元电路可能的组成形式进行分析与比较,单元电路的形式一旦确定,就可以开始选择元器件,然后根据某种原则或依据先确定好单元电路中部分元件的参数,再去计算其余的元件参数和电路参数(如放大倍数、振荡频率等)。

(4) 将设计的系统在面包板或印制电路板上进行组装,并用仪器进行测试,发现问题时随时修改,直到所要求的功能和性能指标全部符合要求为止。

(5) 从设计的第一步开始就要编写文档。文档的组织应当符合系统化、层次化和结构化的要求。总结报告是在组装与调试结束之后开始撰写的,是整个设计工作的总结。

1.2.4 电子系统设计的 EDA 方法

随着电子技术的不断发展,电子系统设计方法得到了不断的改进和创新,基于 EDA 的方法成为电子系统设计的主流。

1. 用 EDA 工具设计电子系统的流程

要用 EDA 工具设计电子系统,除了需要坚实的电路与系统的理论知识外,还必须具备两个条件:一是要会选择和使用 EDA 工具;二是要清楚地知道用 EDA 工具设计电子系统的流程。虽然不同公司的 EDA 软件有不同的使用方法,但用这些 EDA 工具设计电子系统的基本流程却是一样的,具有普遍意义。如图 1.5 所示,这是一个采用自顶向下设计方法的流程图。为了控制设计复杂性和规范设计文档,通常采用硬件描述语言来描述系统的行为与结构,并且在部件级或子系统级以上同

时伴以方框图来描述系统结构。当系统级的模拟验证通过后,就可进行子系统级以下的设计了。这时根据子系统、部件的类型需要选择不同的设计工具,常用的工具有数字模拟软件工具、模拟电路模拟软件工具、DSP 模拟软件工具及软件设计工具,如图 1.5 所示。经过模拟验证后的各个子系统电路,在进入物理设计与实现之前,首先按其实现的物理类型将电路的组成模块做一个划分,每个模块选择一种最合适的实现方式。选择何种实现方法,是由系统设计目标决定的,涉及性能、价格等多方面的因素,属于一种多目标优化的工程问题。一个完整的电子系统设计,除了电路和软件的设计外,还要做电磁兼容性(EMC)、热学、机械等方面的设计,并由专业人员使用相应的工具去完成这些工作。

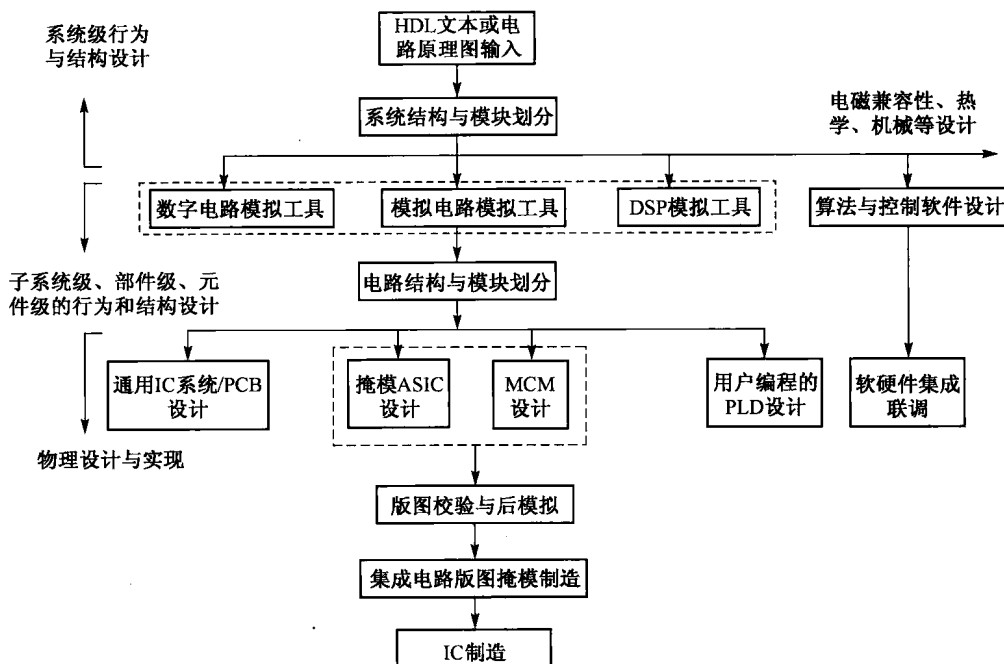


图 1.5 用 EDA 工具设计电子系统的简略流程图

2. 本课程用到的部分 EDA 工具

表 1.1 中的 EDA 软件均是 PC 版的,可安装在 PC 上,用起来很方便。读者可根据自己的设计任务与设计流程选择其中的一种或几种。关于这些软件的使用方法可查阅有关书籍、手册及软件自带的帮助文件。

表 1.1 部分 EDA 软件

EDA 工具名称	功 能
Protel	画电路图、印制电路版图
EWB (Electronics Workbench)	模拟电路、数字电路、混合电路模拟分析; 电路图输入
Maxplus II, Quartus II	CPLD, FPGA 设计、仿真、下载; 电路图及文本输入 (VHDL, Verilog HDL, ABEL)
MATLAB	矩阵运算、高级绘图; 控制和信息处理等系统问题的分析与设计

1.3 各种电子系统设计步骤综述

前面介绍过电子系统的一般设计步骤,它与下面所列出的三类系统的设计步骤之间的关系是一般与具体、共性与个性及原则与实施的关系。由此决定了前者对后者将起着导向、规范与统筹的作

用,从而保证后者遵循正确的理念与方法。虽然下面所列的这些设计步骤,最初是面向采用通用集成电路和印制电路板去实现电子系统的的方法的,但只要将使用新器件、新工艺来实现电子系统的新方法绑定到这些设计步骤上去,它们也适用于诸如以用户可编程的 PLD 或者 ASIC 芯片等新器件来进行电子系统的设计。

1.3.1 数字系统的设计步骤

数字系统的设计步骤包括:明确设计要求(完成系统功能示意框图);确定系统方案[完成系统总体方框图——将控制器与受控器分开,拟定系统的详细算法状态机(Algorithm State Machine, ASM)流程图];设计受控器;设计控制器和实现与调试工程。

1.3.2 模拟系统的设计步骤

模拟系统的设计步骤包括:任务分析、方案比较、确定总体方案;将系统划分为若干相对独立的功能块,画出系统的总体组成框图;以实现各功能块的集成电路为中心,通过选择和计算完成各个功能单元外接电路与元件的配置;通过单元之间耦合的核算及电路的整体配合与调整,得到一个比较切合实际的系统整体电路原理图;根据结果,重新核算系统的主要指标,检查是否满足要求且留有一定裕量;画出系统元器件布置图和印制电路板的布线图,并考虑其测试方案,设置相关的测试点。

1.3.3 以微机(单片机)为核心的电子系统的设计步骤

1. 确定任务,完成总体设计

- (1) 确定系统功能指标,编写设计任务书;
- (2) 确定系统实现的硬件、软件子系统划分,分别画出硬件子系统与软件子系统的方框图。

2. 硬件、软件设计与调试

- (1) 按模块进行硬件设计,力求标准化、模块化,要有高的可靠性和抗干扰能力;
- (2) 按模块进行软件设计,力求结构化、模块化,要有高的可靠性和抗干扰能力;
- (3) 选择合适的单片机开发系统和测试仪器,进行硬、软件的调试。

3. 系统总调、性能测定

将调试好的硬、软件装配到系统样机中,进行整机总体联调。排除硬、软件故障后,进行系统的性能指标测试。

第2章 简单系统的设计与实践

2.1 引言

虽然在第1章中已经阐述了多种电子系统的设计方法和设计步骤,但初次接触电子系统设计的学习者仍然会有很多困惑。由于电子系统的设计具有很强的实践性,从理论学习逐步走向实际应用与工程设计实现,需要学习者亲身经历工程设计的每一个阶段,仔细体会其中的每一个细节,发现和解决在系统设计中所面临的每一个问题,它是一个完整的过程。然而,大多数学习者并没有这样的经历,因此自然会产生很多的困惑。诸如,什么是设计?什么是工程设计?设计很难吗?在没有电子系统设计经历的情况下,如何在较短的时间内提高自己的系统设计和管理能力,参与到复杂电子系统设计的实践之中?解开这些困惑,对于后面的学习和训练是非常必要的。

什么是设计?由于设计的范畴很大,所以不可能用很短的文字加以说明。仅就设计本身而言,设计是处理人与物、人与泛义的机器之间的问题的最重要的活动。也就是说,所谓设计,是指把一种设想、规划、问题解决的方法,通过恰当的方式(通常为视觉方式)传达出来的活动过程,它的核心内容包括以下三个方面:

- (1) 计划、构思的形成;
- (2) 视觉传达方式;
- (3) 计划通过传达之后的具体应用。

一般来说,现代设计的计划、构思是以社会需求为目标的。而传达这种计划和构思的方式,可以从简单的、传统的手工绘图、模型到复杂的计算机设计预想表现,因具体的设计要求而不同。最后的设计应用,则与具体设计所涉及的生产方式的技术条件密切相关。

多数初学者认为,设计十分玄妙,设计很难,它是少数人做的事情,其实并非如此。现代设计所涉及的面非常广泛,从复杂的宇宙飞船、飞机、汽车、手机、电视到简单的包装、服装服饰及商业广告,我们生活的空间中几乎没有一样东西是没有经过设计处理的。正因为现代社会中设计活动的广泛性,可以说设计活动充斥我们工作生活的每一个侧面,或许我们已经参与了和生活相关的设计活动,只是有自觉和不自觉的区别而已。比如,孩提时在地下画的游戏格子,自制的一份贺卡或是自己组装的一台单管收音机等,其本身就是一个设计的过程。由此看来,设计本身并不玄妙,设计就在我们身边,它是一个大家都可以参与的活动。

所谓工程设计,是指解决人造物(如机械、设备、交通工具、建筑等)中物与物之间关系的问题。显然,我们所关注的复杂电子系统设计属于工程设计的范畴。比如说,对于本章的训练中简易电子琴的设计,从工程设计的视角来看,主要解决的问题是如何产生乐音,其中微处理器和扬声器之间的关系显然就是工程设计的问题。同样,在LED显示屏的设计中,微处理器、接口电路和LED阵列之间的关系也是工程设计的问题。工程设计具有鲜明的特点,这就是设计具有的可操作性及高度的应用性,设计表达应能实现预想的功能,而功能的实现又必须满足一定的技术指标。

如前所述,设计与工程设计是有区别的,设计的范围非常繁杂,所以不可能有一个统一的设计界定范围,而只能根据具体不同的设计情况来决定它的属性。比如,平面设计、包装设计、广告设计等与工程技术的关系比较疏远,与美感的敏感表现关系比较密切,因此自然就多偏向美术设计。工业