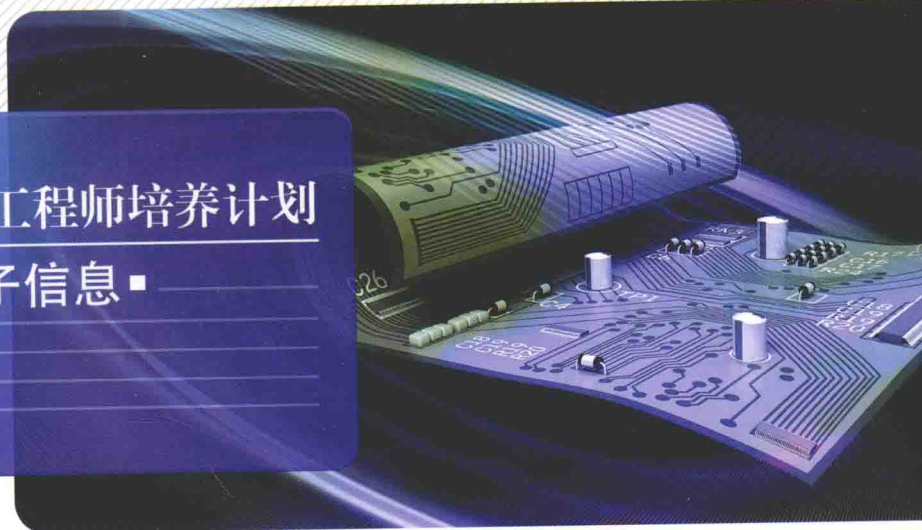




卓越工程师培养计划

■ 电子信息 ■



张金周生主编



电子工艺 实践教程

电子工艺实训是高等院校电类工科专业一门非常重要的实践课程，也是教育部“卓越工程师培养计划”中电子信息类课程群中的重要一环。



中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

卓越工程师培养计划——电子信息

电子工艺实践教程

主 编：张 金 周 生

副主编：余凯平 张 锋

岳伟甲 韩 玮



電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书是作者在多年电子系统设计工程实践及教学基础上,以电子工艺、装配、调试技术为主,为电子工艺实训教学而编写的。本书内容包括安全用电、常用工具及材料、电子读图制图、焊接工艺、装配工艺、调试工艺、表面贴装工艺等,系统地介绍了电子工艺的基本常识。本书体系完整,内容充实,实例丰富,实用性强,叙述浅显易懂,可帮助高校学生掌握电子制作和设计的基本技能。

本书可作为培养应用电子方向技能型、实用型人才的操作用书,也可作为高等院校电子信息类、电气类等工科学生的专业教材,以及职业教育、技术培训和有关技术人员的参考书。

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

电子工艺实践教程/张金,周生主编. —北京:电子工业出版社,2016.10

(卓越工程师培养计划)

ISBN 978-7-121-30014-1

I. ①电… II. ①张… ②周… III. ①电子技术-教材 IV. ①TN

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第236469号

策划编辑:王敬栋

责任编辑:底波

印 刷:三河市良远印务有限公司

装 订:三河市良远印务有限公司

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:20 字数:512千字

版 次:2016年10月第1版

印 次:2016年10月第1次印刷

定 价:49.80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)88254888,88258888。

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

本书咨询联系方式:(010)88254451。

前言

Introduction

电子工艺实训是高等院校电类工科专业一门非常重要的实践课程,也是教育部“卓越工程师教育培养计划”中电子信息类课程群中的重要一环。特别是新世纪以来,信息技术的发展对具有创新性、实践性人才的需求越来越高,使得在工科学生的培养上必须加强实践环节,提高学生的动手能力、养成工程素质,为社会输送合格的应用型人才。

本书是根据多年的实践教学经验,结合电子工艺实训课程的教学特点而编写的,由陆军军官学院张金教授统稿,参与本书编写工作的还有陆军军官学院周生讲师、余凯平讲师、张锋讲师、岳伟甲讲师、韩玮讲师等。全书共8章,以电子设计与制作流程为主线,系统介绍电子工艺涉及的用电安全、常用工具及检测仪表的使用,模拟及数字电路读图训练,Altium Designer原理图及印制电路板图设计制作方法,手工焊接技术及实例,自动焊接工艺,电子产品装配工艺,检测调试工艺及实例等内容,最后还详细讨论了表面贴装工艺及其元器件的手工焊接方法。

在本书编写过程中,参考了大量相关专业教材和资料,无法一一列出,在此向有关作者表示衷心的感谢。

由于作者水平有限,特别是电子工艺技术和工程实践的飞速发展,使得纰漏、不妥之处在所难免,敬请读者批评指正,并欢迎与作者联系,JGXZYhangJin@163.com。

编者

2015年9月 合肥

目 录

CONTENTS

第 1 章 电子工艺基础	1
1.1 电子系统概述	1
1.1.1 电子系统基本类型	1
1.1.2 电子系统设计的基本内容与方法	3
1.2 电子制作概述	8
1.2.1 电子制作基本概念	8
1.2.2 电子制作基本流程	8
1.3 电子工艺概述	11
1.4 安全用电	12
1.4.1 触电危害	12
1.4.2 安全电压	13
1.4.3 触电引起伤害的因素	13
1.4.4 触电原因	13
1.4.5 安全用电技术	14
1.4.6 常见的不安全因素及防护	16
1.4.7 安全常识	17
第 2 章 常用工具及材料	18
2.1 普通工具	18
2.1.1 螺钉旋具	18
2.1.2 钳具	19
2.1.3 扳手	20
2.1.4 其他五金工具	21
2.2 焊接工具及材料	21
2.2.1 焊接工具	21
2.2.2 焊接材料	25
2.3 检测调试工具	28
2.3.1 验电笔	29
2.3.2 万用表	29
2.3.3 毫伏表	34
2.3.4 信号发生器	36

2.3.5 示波器	38
2.4 其他工具与材料	44
2.4.1 基本材料	44
2.4.2 其他工具	49
第3章 电子电路读图	54
3.1 电子电路图	54
3.1.1 概述	54
3.1.2 分类	54
3.2 模拟电路读图	57
3.2.1 电路图用符号	57
3.2.2 读图的思路及步骤	63
3.2.3 模拟电路基本分析方法	66
3.2.4 模拟电路读图实例	68
3.3 数字电路读图	80
3.3.1 数字逻辑电路	80
3.3.2 脉冲变换和整形电路	94
3.3.3 555 集成时基电路	97
3.3.4 数字电路读图实例	99
第4章 电子制图及制板	106
4.1 Altium Designer 制图	106
4.1.1 概述	106
4.1.2 原理图设计绘制	106
4.1.3 建立原理图库	114
4.1.4 创建 PCB 元器件封装	119
4.1.5 PCB 图设计	128
4.2 印制电路板	136
4.2.1 概述	136
4.2.2 印制电路板的类型和特点	136
4.2.3 印制电路板板材	138
4.2.4 印制电路板对外连接方式的选择	139
4.3 印制电路板制板	141
4.3.1 印制电路板的排版布局	141
4.3.2 一般元器件的布局原则	143
4.3.3 布线设计	144
4.3.4 焊盘与过孔设计	145
4.3.5 印制电路板制造的基本工序	146
4.3.6 印制电路板的简易制作	149
4.3.7 多层印制电路板制作简介	150
4.4 STC89C51 单片机最小系统制图制板	151

4.4.1	任务分析	151
4.4.2	任务实施	153
4.4.3	利用热转印技术制作印制电路板	184
第5章	焊接工艺	186
5.1	焊接的基础知识	186
5.1.1	概述	186
5.1.2	锡焊机理	187
5.1.3	焊接基本条件	188
5.2	手工焊接	189
5.2.1	焊接操作姿势	189
5.2.2	电烙铁头清洁处理	190
5.2.3	元件镀锡	190
5.2.4	五步法	192
5.2.5	手工焊接工艺	193
5.2.6	手工焊接方法	194
5.3	焊接质量分析	195
5.3.1	良好焊点的标准	196
5.3.2	焊点的质量要求	196
5.3.3	焊点的检查步骤	197
5.3.4	焊点的常见缺陷及原因分析	197
5.4	点阵板手工焊接实践	202
5.4.1	焊接前的准备	202
5.4.2	点阵板的焊接方法	203
5.4.3	点阵板的焊接步骤与技巧	203
5.5	拆焊工艺	205
5.5.1	拆焊工具及使用	206
5.5.2	拆焊方法	208
5.5.3	拆焊操作要点	209
5.6	自动焊接技术	210
5.6.1	波峰焊	210
5.6.2	浸焊	211
5.6.3	再流焊	211
第6章	装配工艺	214
6.1	装配工艺流程	214
6.1.1	电子产品装配的分级	214
6.1.2	装配工艺流程	214
6.2	电子产品机械装配工艺	216
6.2.1	紧固件螺接工艺	216
6.2.2	铆装和销钉连接	218

6.2.3	胶接工艺	218
6.2.4	压接工艺	219
6.2.5	绕接工艺	220
6.2.6	接插件连接工艺	221
6.3	导线加工及安装工艺	222
6.3.1	绝缘导线加工工艺	222
6.3.2	屏蔽导线加工工艺	224
6.3.3	绝缘同轴射频电缆的加工	225
6.3.4	扁平电缆的加工	225
6.3.5	导线的走线	226
6.3.6	导线的扎制	227
6.3.7	导线的安装	227
6.4	印制电路板装配工艺	228
6.4.1	印制电路板装配工艺流程	228
6.4.2	元器件在印制电路板上的安装方法	229
6.4.3	元器件引线成型工艺	231
6.4.4	印制电路板电子元器件安装工艺	234
6.5	电子产品整机总装工艺	238
第7章	调试工艺	240
7.1	调试的内容和步骤	240
7.1.1	通电前的检查	240
7.1.2	通电调试	241
7.1.3	整机调试	241
7.2	整机调试的工艺流程	241
7.2.1	样机调试的工艺流程	241
7.2.2	整机产品调试的工艺流程	241
7.3	静态的测试与调整	242
7.3.1	直流电流的测试	242
7.3.2	直流电压的测试	243
7.3.3	电路静态的调整方法	243
7.4	动态的测试与调整	243
7.4.1	波形的测试与调整	244
7.4.2	频率特性的测试与调整	244
7.5	调试举例	246
7.5.1	基板调试	246
7.5.2	整机调试	249
7.5.3	整机全性能测试	250
7.6	整机调试中的故障查找及处理	250
7.6.1	故障特点和故障现象	250

7.6.2	故障处理步骤	251
7.6.3	故障查找方法	251
7.6.4	故障检修实例	253
7.7	调试的安全措施	254
7.7.1	调试的供电安全	254
7.7.2	调试的操作安全	255
7.7.3	调试的仪器设备安全	255
7.7.4	调试时应注意的问题	256
7.8	整机老化试验	257
7.8.1	加电老化的目的	257
7.8.2	加电老化的技术要求	258
7.8.3	加电老化试验的一般程序	258
7.9	整机检验	258
7.9.1	检验的概念和分类	258
7.9.2	外观检验	259
7.9.3	性能检验	259
7.10	整机产品的防护	259
7.10.1	防护的意义与技术要求	259
7.10.2	防护工艺	260
第8章	表面贴装技术	261
8.1	SMT 概述	261
8.1.1	表面贴装技术的特点	262
8.1.2	为什么要用表面贴装技术	263
8.1.3	表面贴装技术的发展	263
8.1.4	SMT 相关技术	263
8.2	SMT 工艺流程	264
8.2.1	单面贴装工艺	264
8.2.2	单面插贴混装工艺	264
8.2.3	双面贴装工艺	265
8.2.4	双面插贴混装工艺	265
8.3	表面贴装元器件	266
8.3.1	概述	266
8.3.2	表面贴装元件 (SMC)	267
8.3.3	表面贴装器件 (SMD)	274
8.4	表面贴装印制电路板 (SMB)	278
8.4.1	SMB 的主要特点	278
8.4.2	几种常用元器件的焊盘设计	278
8.4.3	SMB 相关设置	282
8.4.4	元器件布局设置	284

8.4.5	基准标志	287
8.4.6	SMT 电子产品 PCB 设计	288
8.5	表面贴装工艺材料	291
8.5.1	焊膏的分类及组分	291
8.5.2	焊膏的选择依据及管理使用	293
8.5.3	无铅焊料	293
8.6	表面贴装设备	295
8.6.1	印刷设备	295
8.6.2	SMT 元器件贴装设备	297
8.6.3	再流焊炉	299
8.6.4	自动光学检测设备	300
8.7	表面贴装元器件手工焊接	301
8.7.1	工具和材料的特殊需要	302
8.7.2	控温电烙铁操作说明	303
8.7.3	焊接方法	305
8.7.4	BGA 元件手工焊接方法	307
参考文献		308

第 1 章

电子工艺基础

1.1 电子系统概述

系统是由两个以上各不相同且互相联系、互相制约的单元组成的，在给定环境下能够完成一定功能的综合体。这里所说的单元，可以是元器件、部件或子系统。一个系统又可能是另一个更大系统的子系统。

1.1.1 电子系统基本类型

1. 电子系统

通常将由电子元器件或部件组成的能够产生、传输、采集或处理电信号及信息的客观实体称为电子系统。例如，通信系统、雷达系统、计算机系统、电子测量系统、自动控制系统等。这些应用系统在功能与结构上具有高度的综合性、层次性和复杂性。当今电子产品的两大特点：产品的复杂性加深，根据 Moore 定律 IC 的复杂性，大约每 6 年增加 10 倍；产品的上市时间与市场寿命减小，竞争加剧，如图 1.1 所示。

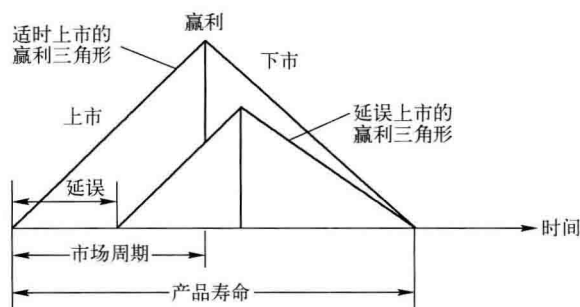


图 1.1 电子产品上市时间与市场寿命减小

当前 VCD 与 DVD 播放机已成为大众化的家电产品。该产品看似普通然而它们也属于集

多种高新技术的复杂系统，必须在 VLSI 微电子技术的基础上才能实现。DVD 播放机的框图如图 1.2 所示。

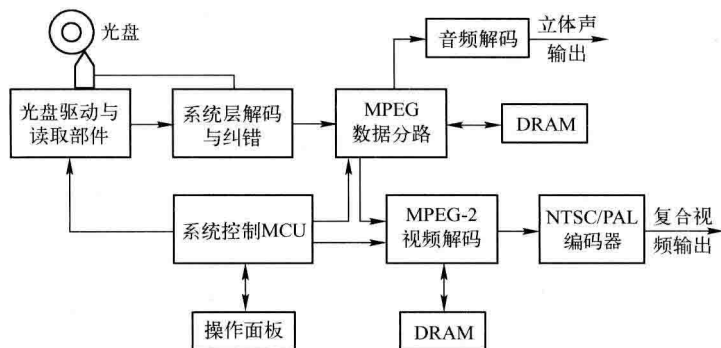


图 1.2 DVD 播放机系统框图

2. 电子系统的基本类型

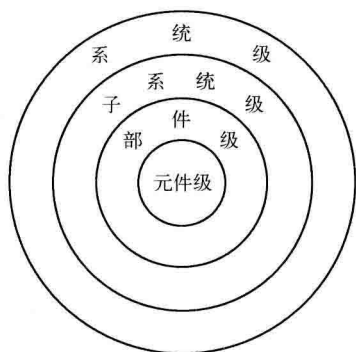


图 1.3 复杂电子系统结构层次

复杂电子系统结构层次关系如图 1.3 所示。

常用电子系统的基本类型如下。

(1) 模拟系统

模拟电路是构成各种电子系统的基础，模拟系统是将各类待处理物理量通过各种传感器转换为电信号，使电信号的电压、电流、相位、频率等参数与某物理量具有直接的对应关系。经过处理的电信号有的需要还原成模拟量，如电视系统将光信号转换成电信号，再将电信号转换成光信号；有的则转换成其他物理量，如测量温度的仪表将温度转换成电信号后经处理再转换成磁信号，通过指针表示温度值。模拟系统的主要优点：在整个处理过程中，电信号的有关参数始终与原始的物理量有着直接的对应关系——模拟关系。应该注意，不管是模拟系统，还是数字系统都要用到模拟电子电路，切不可将模拟系统与数字系统混为一谈，认为在某个领域中模拟系统将被取代，或是模拟电路将被数字电路取代。应当明确，模拟电子电路在各类电子信息系统中都有重要的作用。目前，模拟电路的设计有两种方法：人工设计与计算机辅助设计（CAD）。

(2) 数字系统

含有控制电路（或称控制器）和受控电路（或称数据处理器）的数字电路称为数字系统。已集成化为一片集成块的电路，尽管器件内部含有控制量和受控量部分，一般将其看成器件而不是数字系统。数字系统的规模大小不一，有的内部逻辑关系复杂，若直接对这样大的系统进行逻辑电路一级的设计是十分困难的，往往需要把较大规模的系统划分为若干较小规模的小型数字系统（或称子系统），再注意对各个小型数字系统进行逻辑电路级设计（逻辑电路级设计是指选用具体的集成器件并设计出正确的连接关系，以实现逻辑要求）。数字系统可分为两大类：同步数字系统和异步数字系统。目前异步数字系统还没有统一规范的设计方法，主要采用模块设计法——依靠经验，采用试凑的方法。异步教学系统设计方法还包

括：寄存器传输语言 RTL（Register Transfer Language）设计法、ASM（Algorithmic State Machine）图设计法、MDS（Menmonic Documented Stale）图设计法、MCU 图设计法等。

（3）模拟、数字混合系统

现代电子产品一般既有模拟电路部分，又包含数字电路部分，是典型的模拟、数字混合系统。

（4）微处理器（单片机、嵌入式）系统

用微处理器构成的各类应用系统已深入到各个应用领域。单片机应用系统是指微处理器用于工业测量控制功能所必备的硬件结构系统。它包括微处理器（单片机）及其扩展电路、过程输入/输出通道、人机会话和接口电路等，如图 1.4 所示。

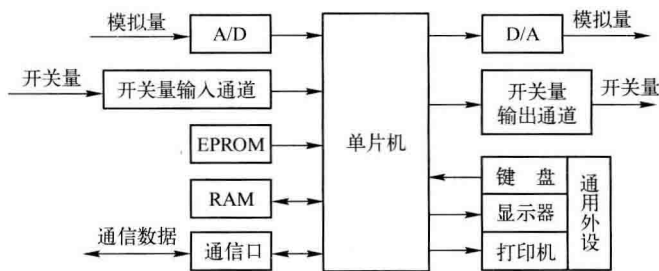


图 1.4 单片机应用系统

单片机及其扩展电路用于存储程序、数据并进行一系列运算处理。如微处理器内部组成不能满足系统要求时，尚有外部扩展程序存储器、数据存储器以及 I/O 等。

输入/输出通道包括模拟量输入/输出通道和开关量输入/输出通道两大部分。对模拟量信号的采集，需要经过模拟量输入通道的 A/D 转换器转换成数字信号，再通过接口送入微处理器进行加工处理、分析运算等。其结果通过模拟量输出通道的 D/A 转换器，转换为模拟量的输出控制，通常为伺服驱动控制。开关量输入/输出通道用来输入/输出开关量信号。

人机对话部分沟通操作者与系统之间的联系，通常由键盘、显示器、打印机等通过接口与单片机相连接。

通信接口实现系统与外界的数据交换，通常用串行标准接口 RS-232C，随着技术的发展，通用串行总线 USB 接口和以太网网络接口的应用也逐渐普及。

（5）DSP（数字信号处理）系统

现代大型、复杂的电子系统一般总是上述 5 种类型或前 4 种类型的集成，而一些简单的系统，可能就是其中的某一种。以硬件实现的 DSP 系统的设计可在掌握 DSP 的理论和算法的前提下，借助数字系统的设计方法完成设计；以软件实现的 DSP 系统的设计可在掌握 DSP 的理论和算法的前提下，借助微型计算机系统的程序设计方法和硬件配置方法来完成；混合系统的设计可将模拟电子系统与数字电子系统的设计方法结合起来完成。从设计的角度来说，掌握了模拟电子系统、数字电子系统、微处理器系统的基本设计方法，就能够设计出复杂现代复杂的电子系统。

1.1.2 电子系统设计的基本内容与方法

设计是构思和创造以最佳方式将设想向现实转化的活动过程，一般是根据已经提出的技



术设想, 制定出具体明确并付诸实施的方案。在一定条件下, 以当代先进技术满足社会需求为目标, 寻求高效率、高质量完成设计的方法。

1. 电子系统设计的基本内容

通常所说的电子系统设计, 一般包括: 拟定性能指标、电子系统的预设计、试验与修改设计等环节。分为: 方案论证、初步设计、技术设计、试制与实验、设计定型五个阶段。衡量设计的标准: 工作稳定可靠, 能达到所要求的性能目标, 并留有适当的余量; 电路简单, 成本低; 所采用的元器件品种少, 体积小, 且货源充足便于生产、测试和维修。电子系统设计的基本内容如下。

- 明确电子信息系统设计的技术条件 (任务书)。
- 选择电源的种类。
- 确定负荷容量 (功耗)。
- 设计电路原理图、接线图、安装图、装配图。
- 选择电子、电器元件以及执行元件, 制定电子、电器元器件明细表。
- 画出电动机、执行元件、控制部件及检测元件总布局图。
- 设计机箱、面板、印制电路板、接线板以及非标准电器和专用安装零件。
- 编写设计文档。

2. 电子系统设计的一般方法

传统的电子系统设计一般是采用搭积木式的方法进行的, 即由器件搭成电路板, 由电路板搭成电子系统。系统常用的“积木块”是固定功能的标准集成电路, 如运算放大器、74/54系列 (TTL)、4000/4500 系列 (CMOS) 芯片和一些具有固定功能的大规模集成电路。设计者根据需求选择合适的器件, 由器件组成电路板, 最后完成系统设计。传统的电子系统设计只能对电路板进行设计, 通过设计电路板来实现系统功能。

20 世纪 90 年代以后, EDA (电子设计自动化) 技术的发展和普及给电子系统的设计带来了革命性的变化。在器件方面, 微控制器、可编程逻辑器件等飞速发展。利用 EDA 工具, 采用微控制器、可编程逻辑器件, 正在成为电子系统设计的主流。

采用微控制器、可编程逻辑器件通过对器件内部的设计来实现系统功能, 是一种基于芯片的设计方法。设计者可以根据需要定义器件的内部逻辑和引脚, 将电路板设计的大部分工作放在芯片的设计中进行, 通过对芯片设计实现电子系统的功能。灵活的内部功能块组合、引脚定义等, 可大大减轻电路设计和电路板设计的工作量和难度, 有效地增强设计的灵活性, 提高工作效率。同时采用微控制器、可编程逻辑器件, 设计人员在实验室可反复编程, 修改错误, 以尽快开发产品, 迅速占领市场。基于芯片的设计可以减少芯片的数量, 缩小系统体积, 降低能源消耗, 提高系统的性能和可靠性。

基于系统功能与结构上的层次性, 电子系统设计的一般方法有: 自顶向下 (Top - Down) 法, 自底向上 (Bottom - Up) 法及自顶向下与自底向上相结合的设计方法, 所谓顶是指系统的功能件, 底是指最基本的元件、器件, 甚至是版图。

(1) 自底向上法 (Bottom - Up)

自底向上法是根据要实现的系统功能要求, 首先从现有的可用的元件中选出合适的元件, 设计成一个个部件, 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要求的全部功能都实现为止。设计

步骤如图 1.5 所示。

该方法的优点是可以继承使用经过验证、成熟的部件与子系统，从而可以实现设计重用，减少设计的重复劳动，提高设计效率；缺点是设计过程中设计人员的思想受限于现成可用的元件，故不容易实现系统化、清晰易懂、可靠性高和维护性好的设计。该方法一般应用于小规模电子系统设计以及组装与测试。

(2) 自顶向下法 (Top - Down)

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，将系统的功能全面、准确地描述出来，即将系统的输入/输出 (I/O) 关系全面准确地描述出来，然后进行子系统级设计。具体地讲，就是根据系统级设计所描述的功能，将系统划分和定义为一个适当的能够实现某一功能的相对独立的子系统。每个子系统的功能（即输入/输出关系）必须全面、准确地描述出来，子系统之间的联系也必须全面、准确地描述出来。例如，移动电话应有收信和发信的功能，就必须分别安排一个接收机子系统和一个发射机子系统，还必须安排一个微处理器作为内务管理和用户操作界面管理子系统，此外天线和电源等子系统也必不可少。子系统的划分定义和互连完成后从下级部件向上级去进行设计，即设计或选用一些部件去组成实现既定功能的子系统。部件级的设计完成后再进行最后的元件级设计，选用适当的元件去实现该部件的功能，设计步骤如图 1.6 所示。



图 1.5 自底向上法的设计步骤

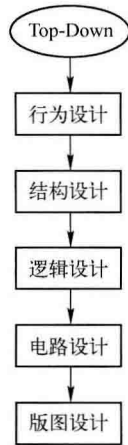


图 1.6 自顶向下法设计步骤

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，而不要过早地去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，避开具体细节，这样才能控制住设计的复杂性。整个设计在概念上的演化从顶层到底层应当由概括到展开，由粗略到精细。只有当整个设计在概念上得到了验证与优化后，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。此外，设计人员在运用该方法时还必须遵循下列原则。

①正确性和完备性原则；②模块化，结构化原则；③问题不下放原则；④高层主导原则；⑤直观性、清晰性原则。

采用“Top - Down”（自顶向下）设计方法必须注意以下问题。



① 在设计的每一个层次中，必须保证所完成的设计能实现所要求的功能和技术指标。注意功能上不能够有残缺，技术指标要留有余地。

② 注意设计过程中问题的反馈。解决问题采用“本层解决，下层向上层反馈”的原则，遇到问题必须在本层解决，不可以将问题传向下层。如果在本层解决不了，必须将问题反馈到上层，在上层中解决。完成一个设计，存在从下层向上层多次反馈修改的过程。

③ 功能和技术指标的实现采用子系统、部件模块化设计。要保证每个子系统、部件都可以完成明确的功能，达到确定的技术指标。输入/输出信号关系应明确、直观、清晰。应保证可以对子系统、部件进行修改与调整以及替换，而不牵一发而动全身。

④ 软件/硬件协同审计，充分利用微控制器和可编程逻辑器件的可编程功能，在软件与硬件利用之间寻找一个平衡。软件/硬件协同设计的一般流程如图 1.7 所示。

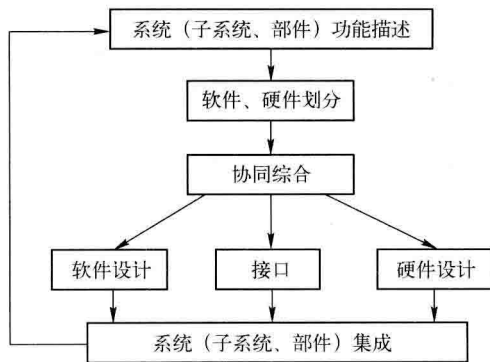


图 1.7 软件/硬件协同设计的一般流程

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

近代的电子信息系统设计中，为实现设计可重复使用，以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。这种方法既能保证实现系统化、清晰易懂以及可靠性高、可维护性好的设计，又能减少设计的重复劳动提高设计效率。这对于以 IP 核为基础的 VLSI 片上系统的设计特别重要，因此得到普遍采用。

进行一项大型的、复杂的系统设计，实际上是一个自顶向下的过程，是一个上下多次反复进行修改的过程。

由于现代电子系统所采用的技术越来越先进，功能越来越强，结构越来越复杂，用传统的手工设计方法是无法设计的，也不能满足越来越短的研制周期要求，只有采用先进的 EDA 工具才能完成设计任务。设计者必须具备坚实的电路与系统的理论知识，对模拟、数字、微处理器和 DSP 的工程设计均要熟悉，还要熟悉使用 EDA 工具设计电子信息系统的流程。另外，EDA 工具必须配有丰富的库（元器件图形符号库、元器件模型库、工艺参数库、标准单元库、可重用的电路模块库、IP 库等），才有高的设计功能与效率以及具体工艺实现的可行性（由设计文档变成产品）。

电子系统设计方法如图 1.8 所示，一般称之为电子系统设计的 Y 图。

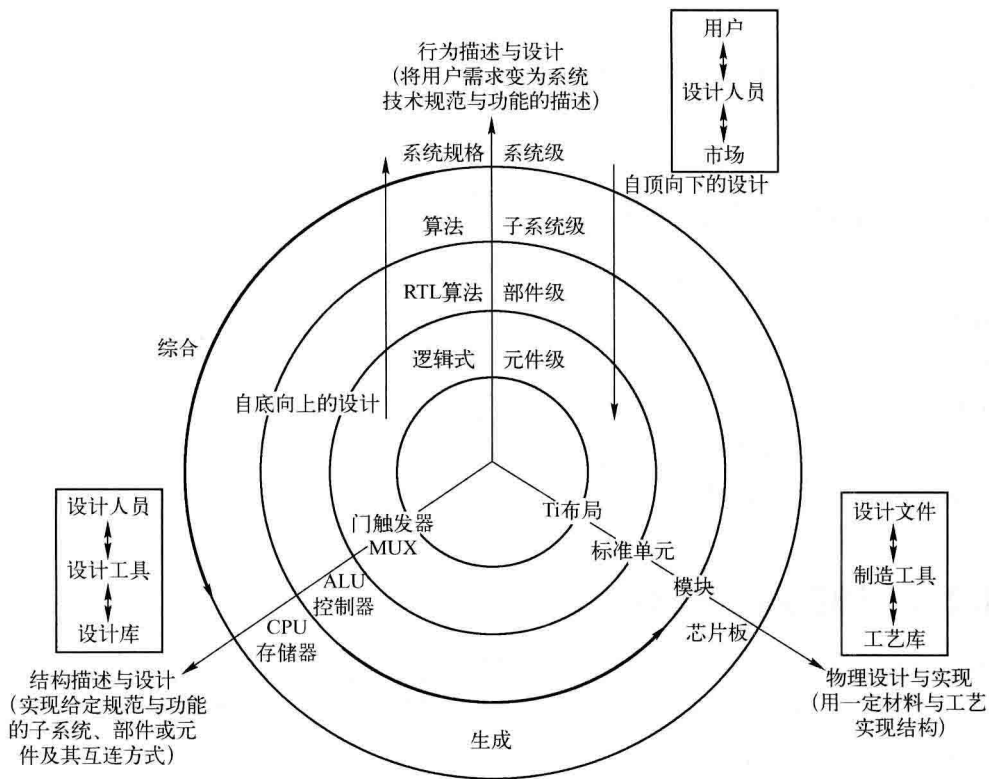


图 1.8 电子系统设计 Y 图

(4) 设计的划分与步骤

采用“Bottom - Up”（自底向上）设计方法或“Top - Down”（自顶向下）设计方法，一般都可以将整个设计划分为系统级设计、子系统级设计、部件级设计、元器件级设计 4 个层次，如图 1.9 所示。对于每一个层次都可以采用如下 3 步进行考虑。

第 1 步：行为描述与设计。将设计要求变为技术性能指标与功能的描述。

第 2 步：结构描述与设计。实现技术性能指标与功能的子系统、部件或元器件，以及相互连接关系、输入/输出信号、接口等。

第 3 步：物理描述与设计。实现结构的材料、元器件、工艺、加工方法、设备等。

例如，设计一个数字控制系统，行为描述与设计完成传递函数和逻辑表达式，结构描述与设计完成逻辑图和电路图，物理描述与设计确定使用的元器件、印制电路板的设计、安装方法等。

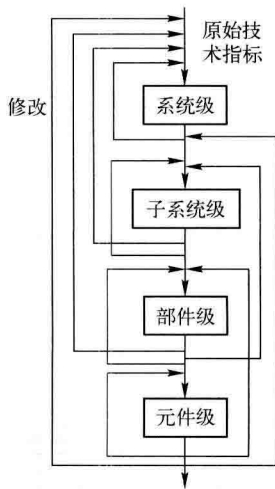


图 1.9 设计的层次划分