

创新·设计·实践系列丛书

# 综合电子系统设计与实践

陈兴文摇李摇敏摇编著

黎树斌摇白日霞摇主审

东北大学出版社

• 沈摇阳 •



# 前 摇 摇 言

为了适应社会需求，电气信息类人才的培养必须注重系统设计能力的培养。本书面向本科电气信息类专业高年级大学生以及相关专业技术人员，要求使用本书的人员学过并掌握《模拟电路》（低频、高频）、《数字逻辑设计》、《单片机与微机原理》等专业基础课。本书将以此为起点，讨论电子系统的设计方法，介绍常用设计软件和开发工具的使用方法，为学生提供较为全面的电子系统设计的理论，同时提供各种电子系统的开发实例。这些实例来自作者的科研项目或作者在指导学生开展电子创新实践活动中取得的成果。因此，本书不是针对哪一个专业的专业教材，它的主要目的就是提供一个完整的电子系统的设计方法和概念。通过众多的实用性的设计举例，使学生学会并掌握电子系统的设计方法以及一定的实践技能。因此，本书也可以作为大学生电子设计竞赛、课程设计等实践环节的参考用书。

本书的主要目的是提高学生电子系统设计能力，让学生掌握完整的电子系统设计方法。为此，本书在讨论电子系统的设计理论和调试方法的同时，结合实例进行分析和设计实现，并注重了电子系统设计的理论和实际相结合。此外，由于本书涉及的面相当广泛，有数字系统、模拟系统、单片机系统、数字信号处理器等电子系统的设计，限于篇幅，不可能对相关的知识都作全面深入的介绍，所以，本书在每一相关领域中都不是“精品”，在深度上也不能与该领域的专著相提并论。书中列举的系统的实例规模也不大，只涉及实际系统的核心技术。

本书是大连民族学院五年来开展大学生创新教育研究与实践的总结，同时也是该院创新教育系列课程建设的成果。本书的编写和出版与大连民族学院的领导和相关部门同志的关心、支持和帮助是分不开的。在此，对他们表示衷心的感谢。

由于作者水平有限，书中难免存在一些不当之处，敬请读者批评和指正。

作 摇 者  
圆 圆 圆 年 愿 月



第 9 章 综合电子系统设计题目 ..... 圆园

    圆园 双路信号采集存储系统 ..... 圆园

    圆园 温度遥测 ..... 圆园

    圆园 工频标准信号源 ..... 圆园

    圆园 语音识别系统 ..... 圆园

    圆园 隔离变送器 ..... 圆园

    圆园 虚拟仪器 ..... 圆园

    圆园 热电偶温度测试仪 ..... 圆园

    圆园 温度控制测试仪 ..... 圆园

    圆园 无线电调频收 转 信机 ..... 圆园

    圆园 移动通信中工作信道的自动切换系统  
        ..... 圆园

    圆园 云运信令传输系统 ..... 圆园

    圆园 小区住宅楼宇电表计费系统 ..... 圆园

    圆园 多功能数字显示仪 ..... 圆园

    圆园 自动起吊重物往返吊车 ..... 圆园

    圆园 短距离多发一收无线地址显示系统  
        ..... 圆园

    圆园 简易数控直流电源 ..... 圆园

    圆园 多路数据采集系统 ..... 圆园

    圆园 实用低频功率放大器 ..... 圆园

    圆园 实用信号源的设计和制作 ..... 圆园

    圆园 简易无线电遥控系统 ..... 圆园

    圆园 简易电阻、电容和电感测试仪 ..... 圆园

    圆园 直流稳定电源 ..... 圆园

    圆园 简易数字频率计 ..... 圆园

    圆园 水温控制系统 ..... 圆园

    圆园 测量放大器 ..... 圆园

    圆园 数字式工频有效值多用表 ..... 圆园

    圆园 波形发生器 ..... 圆园

    圆园 简易数字存储示波器 ..... 圆园

    圆园 自动往返电动小汽车 ..... 圆园

    圆园 高效率音频功率放大器 ..... 圆园

    圆园 数据采集与传输系统 ..... 圆园

    圆园 电压控制 蕴 兑 振荡器 ..... 圆园

    圆园 宽带放大器 ..... 圆园

    圆园 低频数字式相位测量仪 ..... 圆园

    圆园 简易逻辑分析仪 ..... 圆园

    圆园 简易智能电动车 ..... 圆园

    圆园 液体点滴速度监控装置 ..... 圆园

参考文献 ..... 圆园

## 第 员章 摇电子系统设计导论

### 员员 概 述

现代社会已经进入电子与信息时代，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，这就要求即将工作于电子和信息领域的学生学会并掌握电子系统的设计与开发的方法。为此，首先应该知道什么是电子系统，它有什么特点，包括了哪些主要内容。

电子系统有大有小，大到航天飞机的测控系统，小到出租车计价器，它们都是电子系统。可以概括地讲，凡是可以完成一个特定功能的完整的电子装置都可称为电子系统。图 员员员 是电子系统可能的组成框图之一。

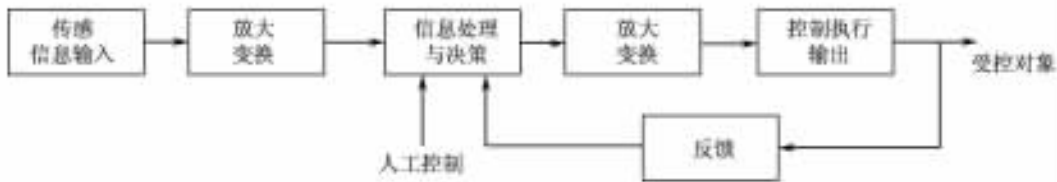


图 员员员 是电子系统可能的组成框图之一

从组成来看，一个电子系统一般包括模拟系统和数字系统。数模系统包括传感、高低频放大、模数、数模变换以及执行机构等；数字系统包括信息处理、决策和控制。但是，对于软硬结合的电子系统而言，它的信息处理、决策与控制的大部分可由含有微处理机（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简单模块电路可以实现的，它们本身也构成了一个有特定功能、相对完整的电路系统。实现电子系统的器件种类繁多，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，例如，简单的巡回检测报警系统等。可是什么是智能型电子系统呢？至今还没见到过一个简单明确的权威论述。虽然如此，我们仍可参照人类活动规律，找出智能型所应具有的特点，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和便于学习各种知识，而且这些知识可运用于实践；第三个特点是易于接收信息、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的。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

悦载的微机（单片机）配以必要的外围电路从而构成软硬结合的电子系统才具有智能型的特点。首先它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。其次它善于并且便于学习，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、判断，完成一些决策，从而具有智能型的特点。因此我们把以微机（单片机）为核心组成的软硬结合的电子系统称为智能型电子系统。

从功能来看，大概有以下几种电子系统，例如：

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：例如语音、图像、雷达信息处理等；

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连网；

⑥ 家电系统：多媒体彩电、数字式视频光盘机等。

以上例举的众多电子系统，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不同。衡量电子系统的指标可分为功能、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，等等。对不同系统而言，系统指标要求不同，例如，航天器中的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、指标要求，细化出每个待设计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颁标准，有可能时还应符合国际标准，以便产品走向世界。在细化中应该注意系统的档次定位、技术含量恰当、符合发展潮流、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。那么本书的内容将设定在什么范围呢？根据本书所面向的读者及使用范围，其内容将限于设计一个实用的完整的小电子系统，诸如温控系统、信号产生器、出租车计价器等，属于新产品开发型设计类型，但不能过多涉及一些实际生产中的问题，只能集中篇幅给读者提供一个从单元电路、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，诸如数字子系统设计方法、模

拟子系统设计方法、微机（单片机）子系统设计方法以及数字信号处理技术；

② 应用新器件——可编程逻辑器件设计数字系统的方法；

③ 电子系统可能涉及到的一些器件，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，但它们的原理将不过多涉及；

④ 以若干实用性很强的设计举例贯穿于全书的各章节，以供学习设计方法时参考；

⑤ 电子系统的调试及实现方法，用以指导读者的实践活动。

本书是一本既有理论方法又有实际设计举例（理论与实际相结合），又具有很强实用性的教学指导书。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有力助手和工具。

## 1.1 电子系统设计方法

### 1.1.1 电子系统设计过程

在大多数情况下，电子系统的设计方法采用自上而下（**瀑布模型**）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，以系统设计要求和系统说明书方式提供。有些资料把用户要求这个层次概括为功能级。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、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方框（子系统）的详细方框图，要使详细方框图中的每一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、分解的过程，但并不是单方向的。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，最后制订出可行的方案。完成了理论之后，下一步的工作就是根据框图以及要求，采购器件、设计印刷电路板、装配、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。最后还应完成必要的设计报告、测试报告及各种文档整理，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，例如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 **Verilog** 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，形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 **1-1** 表示。

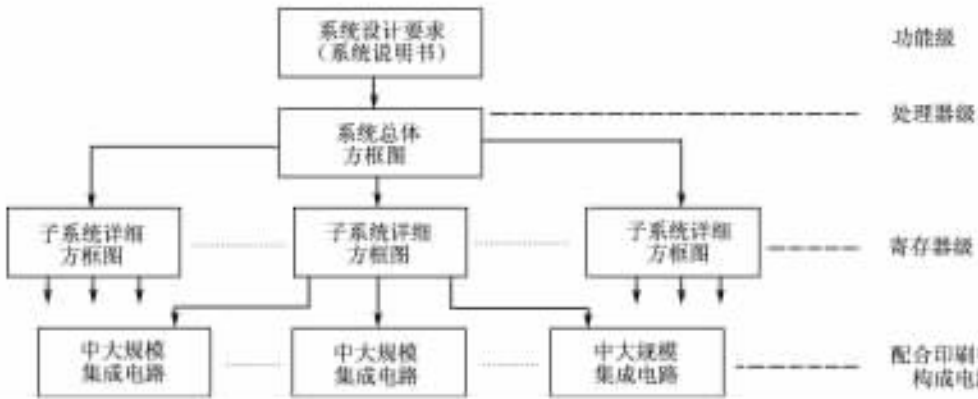


图 1-1-1 智能电子系统的理论设计过程

一个智能电子系统应包括有软、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。而有关模拟子系统的设计则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，而不只限于集成电路。

还应该明确的是，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。

### 1.1.2 现代电子系统的设计方法及工具

由于电子技术的飞速发展，集成电路和电子系统的复杂程度大概是每 10 年提高 10 倍，因此电子设计的复杂程度也在相应提高。简单的手工设计方法已无法满足现代电子系统设计的要求。因此许多软件公司纷纷研制采用自上而下设计方法的计算机辅助设计系统。在 20 世纪 70 年代中叶有了基于手工布局布线的第一代 计算机辅助设计工具（计算机辅助设计），80 年代出现了基于原理图设计仿真的第二代 系统（电子设计自动化），到了 90 年代又推出了基于 硬件描述语言（寄存器传输语言）的设计、仿真、逻辑综合的第三代 技术。时至今日，又是 10 年过去了，电子系统的复杂程度又提高了 10 多倍，第三代 工具面临着以下四大难题：

① 功能验证需要花费大量时间，可能要花费半年左右时间才可能对实用的电子系统，诸如图像、信号处理、无线通信及网络应用方面的设计进行模拟验证。

② 控制系统的设计相当复杂，描述、设计、修改困难，而且非常容易出错，稍一不慎就会导致重新设计。

③ 体系结构的优化代价太大，由于实现一个方案需经过大量时间的设计及验证，人们无法对多种方案进行优化选择。

④ 理论设计与实际器件性能在时间延迟方面存在严重不同, 由于深亚微米 (0.5 μm 以下) 的器件工艺导致理论设计与实际器件之间在时间延迟等方面相差很大, 人们很难在设计阶段发现并解决。

为了解决以上难题, 世界上各大软件公司纷纷推出新一代 CAD 设计软件, 其中以新思公司 (Synopsys) 于近两年推出的高级 IC 系统设计工具 HSPICE 及行为级综合优化工具 HSPICE 最为具有代表性。在数据处理以及一些通信领域中, 以 HSPICE 及 HSPICE 为代表的新一代 CAD 设计软件为设计人员提供了一个完整的系统设计环境, 使人们摆脱了手工设计所带来的各种弊端。HSPICE 软件的最基本的特点是人们只需要将系统的功能 (行为) 计算法用类似于 C 语言的程序写出源代码, 在 HSPICE 的框图编辑环境中调用一些模块连同源代码即构成了一个完整的仿真环境并进行仿真, 最后得到要求的行为级 IC 描述。这个描述相当于手工设计中的处理器“框图”。与此同时还得出软、硬件分配的安排, 保证了系统的最佳配置。有了行为级的 IC 描述, 再加上一些必要的约束条件一起送入 HSPICE 进行行为级综合, 则可同时生成寄存器级和门级的 IC 描述, 自动地完成了手工设计的第二步。人们通过修改约束条件可以得到不同结构的门级电路, 为优化设计方案提供了方便。而且由于行为级的抽象层次较高, 多种控制信号相对地减少许多, 很复杂的电路也可以一次仿真完成, 所以行为级描述又具有仿真速度快、结果精确的优点。由以上介绍可知, 新一代的 CAD 设计软件已经实现了真正的设计自动化, 但目前还只限于数据处理、通信及多媒体领域。可以预见, 在不久的将来还会有更新、功能更全的设计软件出现, 使得电子系统设计工作有进一步的飞跃。以上介绍的行为级设计软件都是数字系统的设计软件。由于模拟电路的复杂性, 目前实用的模拟行为级模型的建立刚刚开始, 要达到数字系统设计的水平可能还要一定时间。

电子设计自动化的广泛使用, 使得设计者可以集中精力于系统的高层设计, 诸如算法、功能等概念设计方面, 而把大量的具体设计过程留给 CAD 软件去完成, 改变了传统设计过多地依赖设计者的知识和经验, 代之以定性化的系统级目标设计和由软件完成的量化的多层次设计计算。同时在 CAD 软件中集成了大量的成熟经验、算法及工具, 保证了设计的可靠性及水平, 加快了设计速度, 满足了日益复杂的设计需要。而且, 由于 CAD 的广泛应用, 具有一定电路基础知识及计算机技能的人员经过培训即可胜任这项工作。由此可见, 电子设计自动化是现代电子系统设计的基本手段, 是电子设计人员走向市场、走向社会、走向国际的基本技能。不会使用电子设计自动化工具就无法适应现代信息与电子社会的要求。

## 5.1 数字系统设计

### 5.1.1 概述

数字系统是一个能完成一系列复杂操作的逻辑单元。它可以是一台数字计算机, 一个自动控制系统, 一个数据采集系统, 或者是日常生活中用的电子秤, 也可以是一个更大系统中的一个子系统。例如三相变压器的温度监控系统就是一个典型的数字系统, 它的工作过程是这样的: 由传感器测得浸在油内的变压器的温度, 用模数转换器或电压频率变换器将此模拟温度值转换为数字信号, 再将此数字温度值与设定的各极限温度值相比较后, 决定应采取的控制措施, 如显示、开关风机、报警、跳闸, 等等。还可以对它提出测量精度、测量可靠

性、测量灵敏度、存储信息以及系统故障自诊断能力的要求等，这就构成了一个比较复杂的、能完成温度监控任务的数字系统。

谈到数字系统设计，首先要找到描述数字系统的方法。在数字电路课程中我们已学会了用逻辑表达式、真值表、卡诺图、状态图等来描述并设计数字电路。在这一节里我们将进一步介绍两种描述数字系统操作功能的方法，即用流程图和描述语言来描述数字系统功能，然后将这些描述转变为逻辑图（或逻辑图）来设计数字系统。

用逻辑图、状态图、流程图等来描述数字系统的方法称之为系统模型描述法，这种方法适用于相对简单的系统，这种系统的输入、输出变量以及系统的状态都比较少，所需要的寄存器也比较少。当系统的输入、输出变量增多、状态很多时，就很难用系统模型法来描述，这时多采用描述语言法，并称该描述语言表达的算法为系统的算法模型。

有了描述数字系统的工具，就可以讨论数字系统的设计方法了。设计一个大系统，必须从高层次的系统级入手，先进行总体方案框图的设计与分析论证、功能描述，再进行任务和指标分配，然后逐步细化得出详细设计方案，最终得出完整的电路。这就是自上而下的设计方法。这种设计方法将主要的精力放在系统级的设计上，并尽可能采用各种辅助软件，对系统进行综合、优化、验证以及测试，以保证在整个系统的电路制作完成之前对系统的全貌有一个预见，在设计阶段就可以把握住系统的最终外部特性指标，从而大大节约人力和物力。

### 5.1.1 数字系统的基本组成

我们所设计的数字系统一般只限于同步时序系统，所执行的操作是由时钟控制分组按序进行的。一般的数字系统可划分为受控器与控制器两大部分，受控器又称为数据子系统或信息处理单元，控制器又称为控制子系统。数字系统的方框图如图 5-1-1 所示。

数据子系统主要完成数据的采集、存储、运算处理和传输，它主要由存储器、运算器、数据选择器等部件组成。它与外界进行数据交换，而它所有的存取、运算等操作都是在控制子系统发出的控制信号下进行的。它与控制子系统之间的联系是：接收由控制子系统来的控制信号，同时将自己的操作进程作为条件信号输出给控制子系统。数据子系统是根据待完成的系统功能的算法得出的。

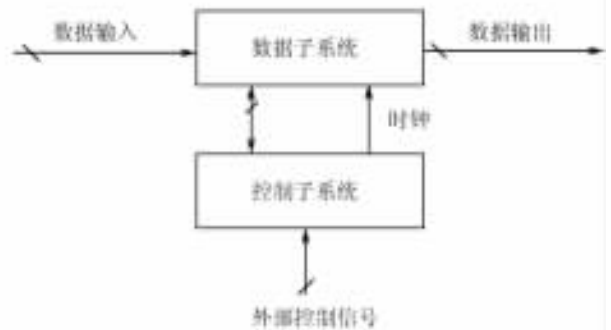


图 5-1-1 数字系统方框图

控制子系统是执行算法的核心，它必须具有记忆能力，因此是一个时序系统。它由一些组合逻辑电路和触发器等元件组成。它与数据子系统共享一个时钟。它的输入是外部的控制信号和由数据子系统来的条件信号，按照设计方案中既定的算法程序，按序地进行状态转换，与每个状态以及有关条件对应的输出作为控制信号去控制数据子系统的操作顺序。控制子系统是根据系统功能及数据子系统的要求而设计出来的。

## 4.1 设计数字系统的基本步骤

自上而下地设计数字系统的基本步骤可以归纳为以下几点：

1. 明确设计要求。拿到一个设计任务，首先要对它进行消化理解，将设计要求罗列成条，每一条都应是无二义的。这一步是明确待设计系统的逻辑功能及性能指标。在明确了设计要求之后应能画出系统的简单示意方框图，标明输入、输出信号及必要的指标。

2. 确定系统方案。明确了设计要求之后，就要确定实现系统功能的原理和方法，这一步是最具创造性的工作。同一功能可能有不同的实现方案，而方案的优劣直接关系到系统的质量及性能价格比，因此要反复比较与权衡。常用方框图、流程图或描述语言来描述系统方案。系统方案确定后要画出系统方框图、详细的流程图或用描述语言写出算法，如有需要还应画出必要的时序图。

3. 受控器的设计。根据系统方案，选择合适的器件构成受控器的电原理图。根据设计要求可能还要对此电原理图进行时序设计，最后得到实用的受控器电原理图。

4. 控制器的设计。根据描述系统方案的模型导出逻辑图或流程图，按照规则及受控器的要求选择电路构成控制器，必要时也要进行时序设计，最后得到实用的控制器电原理图。然后再将控制器和受控器电路合在一起，从而得到整个系统的电原理图。

5. 在整个设计过程中应尽可能多地利用 CAD 软件，及时地进行逻辑仿真、优化，以确保设计工作优质快速地完成。

## 4.2 模拟系统设计方法

### 4.2.1 概述

当前的应用电子系统，一般都同时使用数字和模拟两类技术，两者互为补充，充分发挥各自优势。但对一个具体应用系统而言，使用技术的侧重点有所不同，有的以数字技术为主，有的以模拟技术为主。两类系统在设计上有其共性，也有其个性，因此本节重点拟对模拟系统在设计中的特点作一描述，而不是系统地描述一个模拟电子系统设计的全过程。

假如一个应用电子系统对获得的模拟信号不需要作复杂的处理，也不需要作远距离传送，而且最后的执行机构也是用模拟信号去驱动的，在这样的系统中用模拟技术来处理是比较合理的。因为自然界中的各类物理量（例如温度、速度、压力、流量等）大都是非电量的模拟量，将各类物理量转变成电信号（电压、电流），它们通常也是模拟信号，而最终的执行机构（例如电机、扬声器、示波管等）所需的输入信号一般也是模拟信号，所以直接在模拟领域中来完成信号加工，是顺理成章的事，而不必经过将模拟信号经 A/D 转换器转换成数字量，对数字量进行处理后再经 D/A 转换器恢复到模拟信号这样的复杂过程。反之，假如这个系统要求功能很复杂或要求自动化程度很高，或其性能指标要求很高，或要进行远距离传送等，这时通常需要通过数字技术对信号进行处理及用数字压缩编码方法进行远距离传送以保证精确、可靠、节省信道容量。这时必须将模拟信号转换成数字信号，在数字领域中实现信号加工。

与数字电子系统设计相比，模拟电子系统的设计有以下一些特点：

1. 工作于模拟领域中单元电路的类型较多，例如形形色色的传感器电路，各种类型的

电源电路、放大电路，式样繁多的音响电路、视频电路，以及性能各异的振荡、调制、解调等通信电路和大量涉及机电结合的执行部件电路等等，因此涉及面很广，要求设计者具有宽广的知识面。

模拟单元电路一般要求工作于线性状态，因此它的工作点选择、工作点的稳定性、运行范围的线性程度、单元之间的耦合形式等都较重要，而且对模拟单元电路的要求，不只是能实现规定的功能，更要它达到规定的精度指标。特别是为实现一些高精度指标，会有许多技术问题要予以解决。

电子系统设计中的重点之一是系统的输入单元与信号源之间的匹配和系统的输出单元与负载（执行机构）之间匹配。在这方面模拟单元与数字单元有较大的区别。模拟系统的输入单元要考虑输入阻抗匹配以提高信噪比，要抑制各种干扰和噪声，例如为抑制共模干扰可以用差分输入，为减少内部噪声应选择合理的工作点等。输出单元与负载的匹配，例如与扬声器的匹配、与发射天线的匹配，则主要为了能输出最大功率和提高效率等。

调试工作的难度。一般来说模拟系统的调试难度要大于数字系统的调试难度，特别对于高频系统或高精度的微弱信号系统是这样。这类系统中的元器件布置、连线、接地、供电、去耦等对性能指标影响很大。人们要想实现所设计的模拟系统，除了正确设计外，设计人员是否具备细致的工作作风和丰富的实际工作经验就显得非常重要。

当前电子系统设计工作的自动化发展很快，但主要是在数字领域中，模拟系统的自动化设计进展比较缓慢，人工的介入还是起着重要的作用，这与上述诸特点有关。

### 模拟系统的设计方法与步骤

任务分析、方案比较、确定总体方案。在电子系统设计中，这一步是非常关键的。从当前的模拟系统设计来看，如高频系统或音响系统，有分立器件、功能级集成块、系统级集成块，甚至集成电路，它们都可能适用于某一系统。这就要求设计人员在深入分析任务的基础上，对功能、性能、体积、成本等多方面作权衡比较，而且还要考虑到具体的实际情况而最后确定方案。因此这一阶段对设计人员的知识面、对任务分析的透彻程度和对最新单元器件掌握的情况等都有较高要求。

划分各个相对独立的功能块，得出总体的原理框图。根据系统的功能、总体指标，按信号输入到输出的流向划分各个独立的功能方框，例如在扩音系统中，可划分成前置放大器（以完成对输入信号的匹配、频率特性的均衡）、音调控制放大器（以完成音调的调节范围为主）、功率放大器（以实现输出功率为主要目标）。又如在数据采集系统中的前向通道，通常划分为输入放大器、滤波器、取样保持电路、多路模拟开关、转换器等等，这些都是根据每个单元完成某一种特定功能来划分的。当然在划分各独立功能级时，除依据完成的功能外，还要顾到系统指标的分配、装配连接的合理性等。例如在扩音系统中，若总的增益已给定，则分配到各单元级的增益就可大体确定。又如在采集系统的前向通道中，若总的误差已规定，则要把总的误差合理地分配到各单元级。完成这样的工作后，就可以得到一个初步的总体原理框图，在图上标明各级的功能和主要指标。

以集成块为中心，完成各功能单元配置的外电路设计。根据前述的各单元的功能和指标，人们应首先选择合适的集成块，然后计算该集成块有关外电路的参数，例如运算放大器的反馈网络参数的计算、音调控制放大器的调节网络的参数计算、转换器外加双极性量程电路参数的计算、取样保持电路的保持电容的计算等等。在实际的设计工作中，本

步骤与第二步骤是不能截然分开的，常是一个交互作用的过程。因为目前集成块种类繁多，各有特色，有些芯片已具有多个功能甚至已进入到系统级。对于输入单元和输出单元的集成块的选择应特别关注，因为这时的信号源已确定（通常传感器已选定，或系统中已给出），同样输出负载已确定（执行机构已给出或选定，相应的负载特性已给出），通常要求输入单元的输入特性与信号源匹配，而输出单元的输出特性与负载相匹配。这里的匹配是指使输入和输出单元工作在“最佳状态”，所谓“最佳状态”是指在规定的工作条件下，能获得最好的结果。例如某些系统要求输入单元能获得尽可能大的信噪比；输出单元在规定的条件下要使负载上获得尽可能大的功率，以满足扬声器或天线的要求；或者要求输出单元工作在尽可能的高效率状态，以减少发热等。

单元之间的耦合及整体电路的配合——得到整体系统电原理图。本阶段主要工作有以下两点：

（1）单元间耦合。因为模拟电路的工作情况和性能通常与直流工作点有关，而有些单元之间连接时，其前级的工作点会影响到后级的工作情况（例如直接耦合），甚至可能造成系统工作不正常。同时后级的输入阻抗也会给前级的性能指标带来影响，从而影响总的指标。这些在划分功能级时，虽已初步考虑，但在每个单元的外电路参数确定后，应根据实际参数进行核算

（2）系统整体的配合。目前的模拟系统普遍地应用负反馈技术来改善品质，不论音响系统、控制系统或通信系统都不例外。作为系统的主反馈，通常是根据要求来计算外接参数，再通过调试最后予以确定。

另外，为了使系统稳定，有时要人为地加入校正网络。为了消除电源纹波对系统的影响，要在适当的地方接入滤波电路等等。这些除了在设计中应全面考虑外，还要在以后的调试工作中进行仔细的调整。至此，可得出完整的电原理图。

根据第 1 步和第 2 步得到的结果，重新核算系统的主要指标。系统的主要指标除了要满足要求外，最好留有一定的裕量（例如增益裕量、误差裕量、稳定性裕量、功率裕量等），以备系统应用后、器件老化或工作条件变化后系统仍能可靠工作。

画出系统元器件的布置图和印刷电路板的布线图，并考虑好测试方案，设置测试点。由于模拟系统的特殊性，元件的布置和印刷电路板的布线显得更为重要和复杂。因为有的系统的有用输入信号很小（可小到微伏级），且各单元电路大都处于线性工作状态，对干扰的影响极为敏感；传感器的敏感元件种类繁多，影响对象各异；环境和元器件的杂散电磁场和地线电流的存在，极易形成寄生反馈；有时还可能发生声、光、电等物理量交互作用的寄生反馈，等等。作为一个完善的系统设计，这些因素也都应考虑。最终所设计的模拟系统能否达到预期要求，要经过调试和测量才能得出，而且调试过程能否顺利完成，与调试者是否具有严谨作风和工作经验密切相关。

综上所述，可见模拟系统设计与数字系统设计的主要差别在于：

① 模拟系统自动化设计工具少，器件种类多，实际因素影响大，其人工设计成分比数字系统中的大得多，故对设计者的知识面和经验要求高。

② 由于客观环境的影响，模拟电路特别是小信号、高精度电路以及高频、高速电路的实现远不可能单由理论设计解决。它们与实际环境、元器件性能、电路结构等有着密切关系。因此在设计模拟系统时，不单单是设计电路，还要设计出实现电路功能指标的结构，如印刷板的配置、屏蔽、抗干扰措施、选用正确的元器件等，这样才有可能最终实现设计要求。

## 智能型电子系统的设计

### 智能型电子系统的概述

所谓智能型电子系统是指具有一定智能行为的系统，具体地说，若对于一个问题的激励输入，系统具备一定的智能行为，它能够产生适合求解问题的响应，这样的系统称为智能系统。例如，对于智能控制系统，激励输入是任务要求及反馈的传感信息，产生的响应则是合适的决策和控制作用。因此，从系统的角度看，智能行为是一种从输入到输出的映射关系，这种映射关系并不一定能用数学的方法精确地加以描述。

以上虽然给出了智能系统的定义，但它没有提出一个明确的界限，规定什么样的系统才算是智能系统。事实上，即使是智能系统，其智能程度也有高低。一般认为，一个智能型电子系统应具备数据采集、处理、判断、分析和控制输出的能力，在智能化程度较高的电子系统中，还应该具备预测、自诊断、自适应、自组织和自学习控制功能。这些功能的实现是传统控制理论向纵深发展到高级阶段的产物，也是高智能化电子系统所具备的几个主要的功能特点。

正是由于智能型电子系统研究的对象往往具有不确定性的模型、高度的非线性和复杂的任务要求，因而以经典控制理论和简单的逻辑控制电路与模拟电路组成的常规电子系统已难以甚至根本不可能解决复杂系统的控制问题。例如，在智能机器人系统中，它要求系统对一个复杂的任务具有自行规划和决策的能力，有自动躲避障碍运动到目标位置的能力。又如，在复杂的工业过程控制系统中，它除了要求对被控物理量实现定值调节外，还要求能实现整个系统的自动启停、故障自动诊断以及紧急情况的自动处理等功能。而这些问题在微处理器出现之前是不可能得到有效解决的。

随着电子技术的不断发展，集成电路芯片的集成度越来越高，特别是微处理器芯片的出现，以微机（包括单片机）为核心的电子系统，可以很容易地将计算技术与测量控制技术结合在一起，组成新一代的所谓“智能型电子系统”，上述问题才得到有效解决。可以预测，随着计算机技术和智能控制理论不断发展，智能型电子系统的智能程度也必将会越来越高。

智能型电子系统的组成。智能型电子系统的大小不一，功能各异，结构也千差万别，但从完成系统功能的角度看，大致可以分为四个部分：广义对象部分、传感部分、信息处理部分和执行机构部分，如图 10-1 所示。



图 10-1 智能型电子系统组成

(1) 广义对象部分。广义对象包括通常意义下的控制对象和对象所处的外部环境。

(2) 传感部分。传感部分相当于人的感觉器官，它把系统工作过程中的系统本身和外

界环境的各种参数和状态检测出来，经过一定的变换处理成一种可测定的物理量，传送到系统的信息处理部分。

(獭) 信息处理部分。在智能型电子系统中，信息处理部分往往由微型计算机控制系统组成，这部分相当于人的大脑。从各传感部分传来的信息集中到这里，经过处理之后再对执行机构发出指令，它是智能型电子系统的核心和关键部分。

(源) 执行机构部分。执行机构相当于人的手足。当接到信息处理部分发出的指令后就执行，具体地去实现指令所要求的动作和功能。

■ 智能型电子系统应用领域。由于大规模集成电路的飞速发展，计算机的微型化很快，其性能价格比也大为提高，因而以微型计算机（包括单片机）为核心的智能型电子系统应用越来越广泛，其应用范围达到了前所未有的广度和深度，极大地推动了现代科技的发展。智能型电子系统应用的主要领域有以下四个：

(员) 智能产品。智能型电子系统与传统的机械产品相结合，使传统机械产品结构简化、控制智能化，构成了新一代的机电一体化产品。例如：在电传打字机的设计中采用了单片机，取代了近千个机械部件；用微型计算机或单片机控制提花织机，实现了多功能自动操作、信息显示、控制提织花样选择。

智能产品不只局限于诸如照相机、玩具、磁卡、打印机、复印机等家用电器和办公设备，目前已发展到机床、纺织机械、工业设备、医疗仪器、交通运输、商业、农业、公安、教育等国民经济各部门和国防工业部门，成为现代社会的一个特征。

(圆) 智能仪器仪表。智能化仪器、仪表又称微机化仪器、仪表，通常指应用微型计算机技术，具有一定的数据处理和逻辑分析功能，能够替代或部分替代人的脑力劳动的仪器、仪表。在这些智能仪器、仪表中，使用最多的微处理器就是单片机。用单片机改造原有的测量、控制仪表，能促进仪表向数字化、智能化、多功能化、综合化、柔性化发展。长期以来测量仪器的误差修正、线性化处理等难题也可迎刃而解。由单片机构成的智能仪表集测量、处理、控制功能于一体，赋予仪表以崭新的面貌。由于单片机的引入，可使各类仪器、仪表产品的生产劳动量减少、价格降低、可靠性提高、体积缩小、能耗降低，并为产品提供了十分有效的保密措施。单片机智能仪表的这些特点不仅使传统的仪器、仪表发生了根本的变革，也为传统的仪器仪表行业技术改造带来曙光。

(獭) 工业测控系统。用微型计算机可构成各种工业控制系统、自适应控制系统、数据采集系统等，尤其是单片微型计算机，硬件中集成了计算机系统必需的组成部件和专用控制部件，软件系统具有丰富的位指令和逻辑操作指令，特别适用于实时控制，又可作为多机控制中的前沿处理机。因此，以单片机为核心的智能电子系统在过程控制、数据采集、各类生产线、流水线的监视和测量控制等方面都得到了广泛的应用。

(源) 计算机网络与通信。微型计算机和高档的单片机都具有通信接口，因而为它们在计算机网络和通信设备中的应用创造了很好的条件。在微波通信、短波通信、载波通信、光纤通信、程控交换等通信设备、仪器中都能找到智能型电子系统的应用。例如通信系统的监控、自适应控制系统、频率合成、信道搜索等任务和自动拨号无线电话网、自动呼叫应答设备及程控调度电话分机等等。单片机网络系统的出现，也使以单片机为核心的智能系统应用进入了一个新的水平。目前单片机构成的网络系统主要是分布式测控系统，单片机主要用于系统中的通信控制，以及构成各种测控子站系统。

仅从上面列举的部分应用就可以看出，智能型电子系统几乎在人类生活的各个领域都表现

出强大的生命力,并将随着计算机技术和智能控制理论不断发展,向更高智能化程度发展。

### 典型微型计算机应用系统的组成与分类

典型微型计算机应用系统的组成。典型微型计算机应用系统的组成如图 所示。

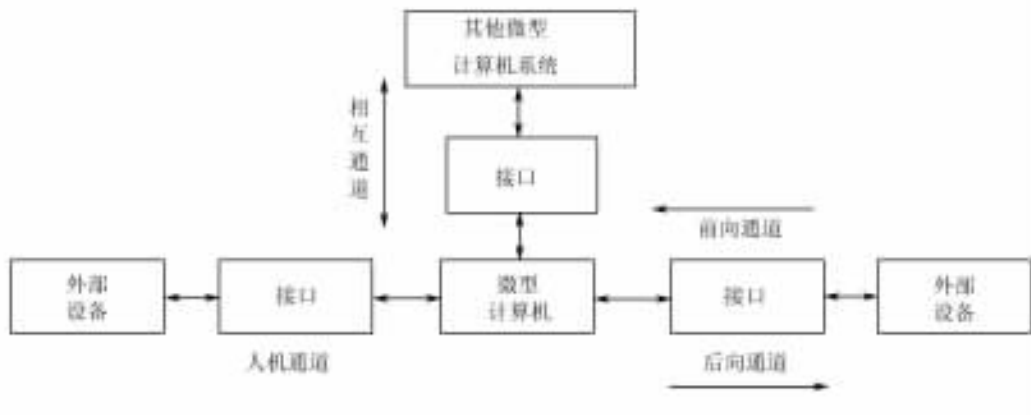


图 典型微型计算机应用系统的组成

它以微型计算机系统为核心,以人机通道、前向通道、后向通道和相互通道为桥梁,实现功能扩展,完成对被控对象的测控任务。图中的微型计算机主要是由微处理器(悦裁)、组成内存的磁盘和磁碟等部分组成,这是微型计算机的主要内部设备。左边为计算机的外部设备,其中包括打印机(孕晒)、显示器(悦晒)、键盘(运月)以及外部存储磁带(悦晒)或软硬盘。它们都通过各自相应的接口才能与计算机内部总线相连,也是计算机系统主要的人机通道。右边是外用设备,总称为用户,它们只有四种形式的信号,即模拟量、数字量、开关量和脉冲量。这四种形式的信号可以是输入信号也可以是输出信号。由模拟量传感器、数字量传感器、开关量传感器和脉冲量传感器以及相应的接口组成的输入通道也称为前向通道。输出通道则可以产生相应的控制量:模拟量输出、数字量输出、开关量输出和脉冲量输出,输出通道也被称为后向通道。在较大规模的测、控系统中,不可避免地要采用多机系统,各微型计算机之间为实现相互之间的通信与控制而设计的通道接口被称为相互通道。

典型微型计算机应用系统的分类。随着计算机硬件技术的发展,计算机芯片技术水平不断提高,人们构成计算机应用系统的随意性越来越大,可以按照各种测量、控制功能要求,构成各种类型的计算机应用系统。按照硬件系统的组合形式,微型计算机应用系统的构成大致可分为三类:通用计算机应用系统、专用计算机应用系统和混合型计算机应用系统。与此对应,微型计算机的应用也分为三种类型:数据处理型、检测控制型和混合型。

(员) 通用计算机构成数据处理型应用系统。这种系统的计算机部分是通用计算机系统,其主要特点:

① 有较强的系统配置和软、硬件支持。通用计算机的软、硬件资源都可以用来支持应用系统进行工作。

② 具有自开发能力。应用系统的功能由通用计算机的悦裁控制,通用计算机都具备较强的操作系统及人机对话功能,给设计和调试应用系统带来方便。

③ 对于小规模应用场合,系统的软、硬件应用配置比较小,系统的成本也较高,但二次开发时软、硬件扩展能力较好。