



10年口碑积累，成功培养50000多名研发工程师，铸就专业品牌形象

华清远见的企业理念是不仅要做好良心教育、做专业教育，更要做受人尊敬的职业教育。

## 《51 单片机应用开发实战手册》

作者：华清远见

专业始于专注 卓识源于远见

### 第 3 章 单片机应用系统设计的必备知识

---

#### 本章目标

---

单片机应用系统是指以单片机为核心，配有一定的外围电路和软件，实现一定功能的应用系统。它由硬件系统和软件系统两部分组成。本章将着重介绍单片机应用系统的结构、开发过程及软硬件设计，还将对单片机系统的电磁兼容性设计进行简单介绍。

专业始于专注 卓识源于远见

# 3.1 单片机应用系统的结构



单片机的系统结构一般是以单片机为核心向外部扩展相关电路的形式。主要包括系统中的单片机、存储器及相关的 I/O 接口。

随着单片机的应用领域不断扩大与深入，单片机系统的规模也越来越大。单片机系统也从传统的单机系统结构向多机系统结构发展。

## 3.1.1 单机系统结构

单机系统是指在单片机应用系统中只有一个单片机。这种结构是目前单片机应用系统中采用最多的一种结构，它适合于小规模单片机应用系统。

典型的单机系统结构如图 3.1 所示。

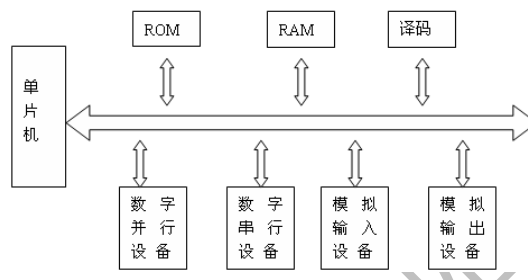


图 3.1 典型的单机系统结构

在单机系统中，单片机是整个系统的核心，单片机的性能高低也决定了系统的性能强弱。在系统工作时，单片机一般采用分时的方式来处理所有事务。

单机结构的优点是设计简单、系统紧凑，对于小规模的系统应用具有极高的性价比。但是单机结构难以实现多任务处理和高速运行，因而无法满足大规模系统的应用需求。

## 3.1.2 多机系统结构

多机系统是指在单片机应用系统中有多个单片机同时工作。这种结构主要是为了解决单机结构在大规模应用系统中的不足。由于拓扑结构不同，多机结构又分为多级多机分散控制结构与局部网络结构。其中多级多机分散控制结构应用的比较广泛。

多级多机分散控制结构的典型代表是两级分散控制系统，其结构如图 3.2 所示。

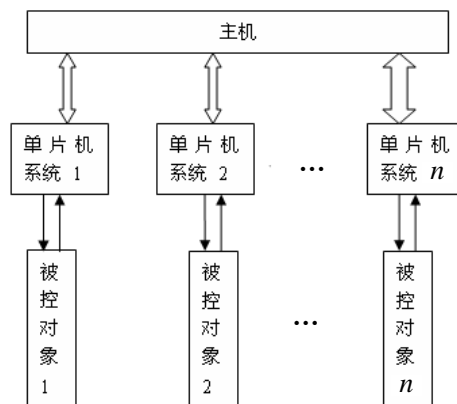
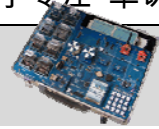


图 3.2 两级分散控制系统

应用系统的任务被分散到各微机和单片机上。其中，第一级主要承担与控制对象直接交互任务。彼此相互独立地完成对被控对象的控制任务。第二级（一般为微机系统）主要承担系统的综合处理任务。负责监督管理各单片机系统的工作，与各单片机系统进行通信，处理系统信息。

## 3.2 单片机应用系统的开发过程



通常，随着用途的不同，单片机应用系统的硬件和软件结构也不同，但是其开发过程基本相同，大致如下：

- (1) 系统需求分析。
- (2) 可行性研究。
- (3) 系统总体方案设计。
- (4) 系统硬件、软件和抗干扰设计。
- (5) 系统的硬件和软件调试。
- (6) 印制电路板及外形设计。
- (7) 系统组装与调试。
- (8) 系统方案局部修改、再调试。
- (9) 固化应用程序，试运行。
- (10) 生成正式产品。

## 3.3 单片机应用系统的硬件设计



系统的硬件功能由系统总体方案设计所规定。硬件设计的任务就是根据总体设计要求，在所选择的机型基础上，具体确定系统中所要使用的元器件，绘制系统原理图、PCB、硬件模块及样机的组装调试等。

### 1. 程序存储器和数据存储器

对于没有片内 ROM/EPROM 的单片机而言，只要扩展一片 EPROM 作为程序存储器即可灵活使用，仍然保持单片机的各种优点，性价比较高。对带片内 ROM/EPROM 的单片机，要根据代码的大小和是否为软件的升级扩展留有余地来决定是否扩展 EPROM，这点在总体设计时就已完成。

对于数据存储器容量的需求，不同系统的要求不尽相同。对于常规测量仪器和控制器，片内 RAM (128B~256B) 已能满足要求。数据采集系统往往要求有较大容量的 RAM 存储器，要尽可能地选择大容量的 RAM 芯片以减少其数量。这样，不仅性价比较高而且减少了硬件设计工作量。

### 2. I/O 接口

单片机应用系统一般需要扩展 I/O 接口。在选择 I/O 接口电路时应从体积、价格、负载、功能等方面考虑。一般应选用标准大、可编程的 I/O 接口芯片（如 8255），这样接口简单，适用方便，对总线负载小。

模拟电路应根据系统对它的速度和精度要求来选择，同时还需要和传感器等设备的性能相匹配。

### 3. 地址译码电路设计

MCS-51 系统有充足的存储器空间。在一般的应用系统中，往往不需要这么大的容量。为了简化电路设计，同时使所用到的存储空间地址连续，在进行地址译码电路设计时可以采用译码器与线选相结合的方式。

## 4. 总线驱动器的设计

MCS-51 系列单片机功能比较强,但扩展总线负载能力有限。若扩展的电路负载超过总线负载总能力,这时就必须在总线上加驱动器。总线驱动器不仅能提高端口总线的驱动能力,还可以提高系统的抗干扰能力。

## 5. 其他外围电路设计

除了上述 4 类设计,在一个应用系统中,还有众多的单片机外围电路硬件设计。这些电路主要完成对一些现场物理量进行测量或将采集来的信号进行处理后再反过去控制被测设备,如键盘、显示器、打印机、采样放大电路、A/D、D/A、开关量输入/输出设备。

在进行硬件设计时,所涉及的具体电路可借鉴他人在这方面已有的成果,因为经过别人调试验证过的电路一般都具有一定的合理性。在此基础上,结合自己的项目进行一定的修改,是一种快捷有效的做法。

## 6. 硬件设计应注意的问题

在进行系统的硬件设计时,应注意以下几个方面:

尽可能选择标准化、模块化的电路,提高设计的成功率和结构的灵活性。

尽可能选择功能强、集成度高的集成电路芯片,这样可以减少元器件数量,使系统可靠性增强。

在对系统总体结构设计时,要注意通用性的问题。一个大的系统往往是由各个不同的模块组成,这样模块间的接口问题就显得尤为重要。有时可以选择通用的接口形式,必要时,可选择现成的模块板作为系统的一部分,尽管成本可能偏高,但大大缩短研发周期。

在设计电路时,要充分考虑系统各部分的驱动能力。不同的电路有不同的驱动能力,对后一级系统的输入阻抗要求也不一样。如果阻抗匹配不一致,系统驱动能力不够,将导致系统工作不可靠甚至无法工作。

注意选择通用性强、市场货源充足的元器件,尤其对需要大批量生产的场合,更应注意这方面的问题。

这样,一旦某种器件无法获得,也能用其他元器件代替或稍作改动后用其他器件替换。

工艺设计也是十分重要的问题,包括机箱、面板、印制电路板、配线、接插件等。当然,有些还涉及结构设计的问题。

在系统硬件设计时,要尽可能充分利用单片机的片内资源,使自己设计的电路标准化、模块化。

硬件设计结束后,应编写出硬件电原理图及硬件设计说明书。

# 3.4 单片机应用系统的软件设计



单片机应用系统软件的设计是工作量最大也是最重要的环节。一般计算机应用系统的软件包括系统软件 and 用户软件,而单片机应用系统中的软件只有用户软件,没有系统软件。软件设计的关键是确定软件应完成的任务及选择相应的软件结构。

软件设计的一般步骤为:系统定义、软件结构设计、选择程序设计技术、程序设计。

### 3.4.1 系统定义

系统定义也就是根据系统软硬件功能的分工确定该系统软件应该完成的任务。主要包括:

定义各输入/输出的功能、信号类别、电平范围、接口方式、占用口地址等。

分配存储空间。包括主程序、功能子程序块的划分、常数表、入口地址表等。

人机交互等输入/输出量的定义。

明确程序应达到的精度、速度指标。对于过程控制，速度指标是主要的；对于事务处理，精度指标显得更加重要。

是否加入容错设计。针对可能出现的由干扰引起的错误进行容错设计，给出错误处理方案，以达到提高软件可靠性的目的。一种最简单的错误处理就是软件引导重新启动系统。

单片机软件的设计流程如图 3.3 所示。

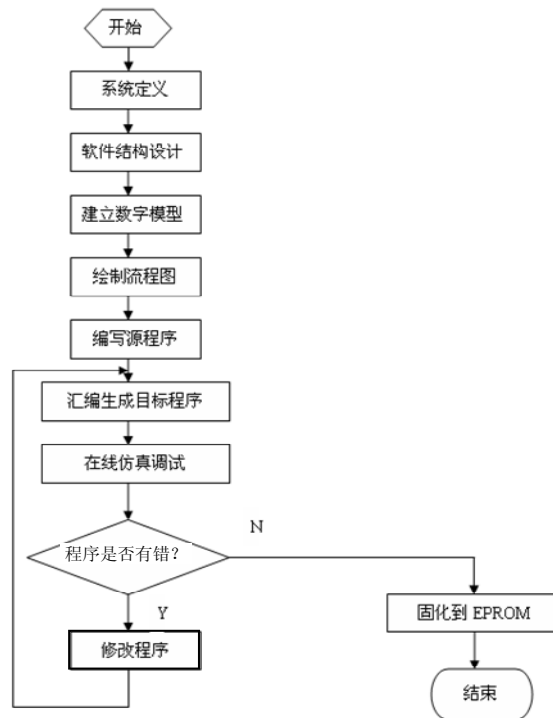


图 3.3 单片机软件的设计流程

### 3.4.2 软件结构设计

合理的软件结构是设计一个性能优良的单片机应用软件的基础。常用软件结构设计方法有如下两种。

#### 1. 顺序程序设计

对一般简单的单片机应用系统，通常采用顺序设计方法。这种系统的软件由主程序和若干个中断服务程序所构成。

主程序是一个顺序执行的无限循环的程序，不停地顺序查询各种软件标志，以完成对日常事务的处理。顺序程序设计方法容易理解和掌握，也能满足很多简单的应用系统对软件的功能要求，因此是一种应用很广的方法。顺序程序设计的缺点是，软件的结构不够清晰，软件的修改和扩充比较麻烦，实时性能差。

#### 2. 采用实时多任务操作系统

由于对单片机系统的性能要求越来越高，尤其要对多个任务同时处理，对各个对象的信息进行实时快速处理，常规的顺序程序设计方法难以达到规定的技术指标，只有采用实时多任务操作系统才能从根本上提高系统的实时性，才能使软件内结构标准化、模块化。

本书所有的案例软件均是采用顺序程序设计方法，关于采用实时多任务操作系统，有兴趣的读者可参阅相关书籍。



### 3.4.3 程序设计技术

常用的程序设计技术主要有模块程序设计、自顶向下的程序设计等。

#### 1. 模块程序设计

模块程序设计具有结构清晰、功能明确、设计简便、程序模块可共享、便于功能扩展及便于程序维护等特点。进行模块程序设计，首先要将软件功能划分为若干子功能模块，然后确定各个模块的输入/输出及相互间的联系。

模块程序需要在管理程序的管理下方可有效运行，其结构如图 3.4 所示。

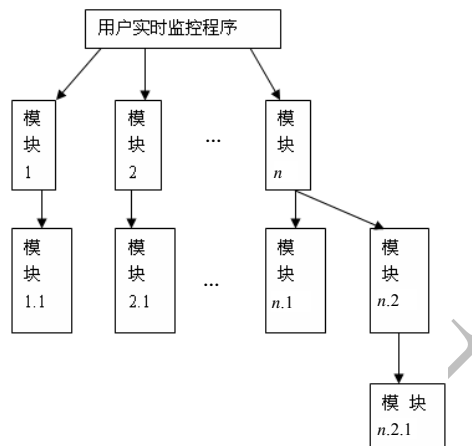


图 3.4 单片机应用软件的一般结构

实际应用中，模块划分的好坏直接影响实时监控程序对模块的管理效率。模块划分没有固定的标准，一般原则是模块不宜过长，功能相对独立。

#### 2. 自顶向下的程序设计

当采用自顶向下的程序设计技术时，先从主程序开始设计，子程序用符号来代替。主程序编制好后再去编制各子程序，最后完成整个系统软件的设计。

自顶向下设计的优点是比较符合人们的日常思维，设计、调试、连接同时按一个线索进行，程序错误可以尽早发现。缺点是上一级的程序错误将对整个程序产生影响。一处修改可能引起对整个程序的修改。

### 3.4.4 程序设计

在选择好软件结构和所采用的程序设计技术后，即可着手进行具体程序设计。首先绘制程序流程图，先画出简单的功能性流程图，然后对其进行扩充和具体化。要明确规定数据来源、流向及存储位置。其次着手编写程序。单片机应用程序大多用汇编语言或 C 语言编写。在编写程序时，应采用符合标准的格式来书写，并配以必要的注释，以利于阅读和调试。

## 3.5 单片机应用系统的抗干扰设计



单片机系统广泛的应用在工业现场，而工业现场环境比较恶劣，所以必须提高单片机的抗干扰能力。单片机的抗干扰设计通常分为硬件抗干扰设计和软件抗干扰设计。

### 3.5.1 单片机应用系统硬件抗干扰设计

单片机的硬件抗干扰设计是整个单片机应用系统抗干扰设计的基础，它为软件的抗干扰设计提供了良好的条件。

影响单片机系统可靠安全运行的因素主要来自系统内部和外部的各种电气干扰，并受系统结构设计、元器件选择、安装、制造工艺影响等。这些都构成单片机系统的干扰因素，常会导致单片机系统运行失常，轻则影响产品质量和产量，重则会导致事故，造成重大经济损失。

#### 1. 形成干扰的基本要素

**干扰源：**指产生干扰的元件、设备或信号。用数学语言描述如  $di/dt$ 。 $di/dt$  大的地方就是干扰源，如雷电、继电器、可控硅、电机、高频时钟等都可能成为干扰源。

**传播路径：**指干扰从干扰源传播到敏感器件的通路或媒介。典型的干扰传播路径是通过导线的传导和空间的辐射。

**敏感器件：**指容易被干扰的对象。如 A/D 及 D/A 转换器、单片机、数字 IC、弱信号放大器等。

#### 2. 干扰的分类

干扰的分类有好多种，通常可以按照噪声产生的原因、传导方式、波形特性等进行不同的分类。

按产生的原因可分为放电噪声、高频振荡噪声、浪涌噪声；按传导方式可分为共模噪声和串模噪声；按波形可分为持续正弦波、脉冲电压、脉冲序列等。

#### 3. 干扰的耦合方式

干扰源产生的干扰信号是通过一定的耦合通道对测控系统产生作用的。因此，我们有必要看看干扰源和被干扰对象之间的传递方式。干扰的耦合方式无非是通过导线、空间、公共线等。细分下来，主要有以下几种：

**直接耦合：**这是最直接的方式，也是系统中存在的最普遍的一种方式。例如，干扰信号通过电源线侵入系统。对于这种形式，最有效的方法就是加入去耦电路，从而很好的抑制干扰信号。

**公共阻抗耦合：**这也是常见的耦合方式，这种形式常常发生在两个电路电流有共同通路的情况下。为了防止这种耦合，通常在电路设计上就要考虑，使干扰源和被干扰对象间没有公共阻抗。

**电容耦合：**又称电场耦合或静电耦合，是由于分布电容的存在而产生的耦合。

**电磁感应耦合：**又称磁场耦合，是由于分布电磁感应而产生的耦合。

**漏电耦合：**这种耦合是纯电阻性的，在绝缘不好时就会发生。

#### 4. 硬件抗干扰技术

下面简单介绍常用的硬件抗干扰技术。针对形成干扰的 3 要素，采取的抗干扰措施主要有以下手段。

##### 1) 抑制干扰源

抑制干扰源就是尽可能地减小干扰源的  $du/dt$ 、 $di/dt$ 。这是抗干扰设计中最优先考虑和最重要的原则，常常会起到事半功倍的效果。减小干扰源的  $du/dt$  主要是通过干扰源两端并联电容来实现；减小干扰源的  $di/dt$  则是在干扰源回路串联电感或电阻及增加续流二极管来实现。

抑制干扰源的常用措施如下：

继电器线圈增加续流二极管，消除断开线圈时产生的反电动势干扰。仅加续流二极管会使继电器的断开时间滞后，增加稳压二极管后继电器在单位时间内可动作更多的次数。

在继电器接点两端并接火花抑制电路（一般是 RC 串联电路，电阻一般选几千到几十千欧，电容选 0.01  $\mu\text{F}$ ），减小电火花影响。

给电机加滤波电路，注意电容、电感引线要尽量短。

电路板上每个 IC 要并接一个 0.01 ~ 0.1  $\mu\text{F}$  高频电容，以减小 IC 对电源的影响。注意高频电容的布线，连线应靠近电源端并尽量粗短，否则，等于增大了电容的等效串联电阻，会影响滤波效果。

布线时避免 90° 折线，减少高频噪声发射。

可控硅两端并接 RC 抑制电路，减小可控硅产生的噪声（这个噪声严重时可能会把可控硅击穿的）。

## 2) 切断干扰传播路径

按干扰的传播路径可分为传导干扰和辐射干扰两类。

所谓传导干扰是指通过导线传播到敏感器件的干扰。高频干扰噪声和有用信号的频带不同，可以通过在导线上增加滤波器的方法切断高频干扰噪声的传播，有时也可加隔离光耦来解决，电源噪声的危害最大，要特别注意处理。

所谓辐射干扰是指通过空间辐射传播到敏感器件的干扰。一般的解决方法是增加干扰源与敏感器件的距离，用地线把它们隔离和在敏感器件上加屏蔽罩。

切断干扰传播路径的常用措施如下：

充分考虑电源对单片机的影响。电源做得好，整个电路的抗干扰就解决了一大半。许多单片机对电源噪声很敏感，要给单片机电源加滤波电路或稳压器，以减小电源噪声对单片机的干扰。例如，可以利用磁珠和电容组成  $\pi$  形滤波电路，当然条件要求不高时也可用 100  $\Omega$  电阻代替磁珠。

如果单片机的 I/O 口用来控制电机等噪声器件，在 I/O 口与噪声源之间应加隔离（增加  $\pi$  形滤波电路）。

注意晶振布线。晶振与单片机引脚尽量靠近，用地线把时钟区隔离起来，晶振外壳接地并固定。

电路板合理布局。如强、弱信号、数字、模拟信号，尽可能把干扰源（如电机、继电器）与敏感元件（如单片机）远离。

用地线把数字区与模拟区隔离。数字地与模拟地要分离，最后在一点接于电源地。A/D、D/A 芯片布线也以此为原则。

单片机和大功率器件的地线要单独接地，以减小相互干扰。大功率器件尽可能放在电路板边缘。

在单片机 I/O 口、电源线、电路板连接线等关键地方使用抗干扰元件如磁珠、磁环、电源滤波器、屏蔽罩，可显著提高电路的抗干扰性能。

## 3) 提高敏感器件的抗干扰性能

提高敏感器件的抗干扰性能是指从敏感器件的角度考虑尽量减少对干扰噪声的拾取，以及从不正常状态尽快恢复的方法。

提高敏感器件抗干扰性能的常用措施如下：

在布线时尽量减少回路环的面积，以降低感应噪声。

布线时，电源线和地线要尽量粗，除减小压降外，更重要的是降低耦合噪声。

对于单片机闲置的 I/O 口，不要悬空，要接地或接电源。其他 IC 的闲置端在不改变系统逻辑的情况下接地或接电源。

对单片机使用电源监控及看门狗电路，如 IMP809、IMP706、IMP813、X5043、X5045 等。可大幅度提高整个电路的抗干扰性能。

在速度能满足要求的前提下，尽量降低单片机的晶振和选用低速数字电路。

IC 器件尽量直接焊在电路板上，少用 IC 座。

## 3.5.2 单片机应用系统软件抗干扰设计

单片机应用系统的抗干扰设计主要是硬件方面的抗干扰设计，在提高系统硬件抗干扰能力的同时，软件抗干扰以其设计灵活、节省硬件资源、可靠性好等特点越来越受到重视。

软件抗干扰的方法很多，限于篇幅，这里只介绍一些常用的方法。



## 1. 数据采集系统中的软件抗干扰设计

针对数据采集系统的软件抗干扰设计，主要是采用软件数字滤波。常用的如下。

算术平均值法：对同一点数据连续多次采样，然后取平均值。这种方法可以降低系统的随机干扰对采样结果的影响。

比较取舍法：对一点数据连续多次采样，比较数值的变化规律，剔出偏差数据。

中值法：对一点数据连续多次采样，取中值作为采样结果。

## 2. 开关量控制系统的软件抗干扰

可采取软件冗余、设置当前输出状态寄存单元、设置自检程序等软件抗干扰措施。

## 3. 程序运行异常的软件抗干扰

外界环境干扰系统运行，致使 PC 值改变，造成程序无法运行甚至进入死循环。程序运行异常的软件抗干扰设计就是在程序出现异常状况时，及时引导系统恢复到原始状态。常用的方法有：

设置软件陷阱。

指令冗余技术。

使用 Watchdog 技术。

## 联系方式

集团官网：[www.hqyj.com](http://www.hqyj.com)

嵌入式学院：[www.embedu.org](http://www.embedu.org)

移动互联网学院：[www.3g-edu.org](http://www.3g-edu.org)

企业学院：[www.farsight.com.cn](http://www.farsight.com.cn)

物联网学院：[www.topsight.cn](http://www.topsight.cn)

研发中心：[dev.hqyj.com](http://dev.hqyj.com)

集团总部地址：北京市海淀区西三旗悦秀路北京明园大学校内 华清远见教育集团

北京地址：北京市海淀区西三旗悦秀路北京明园大学校区，电话：010-82600386/5

上海地址：上海市徐汇区漕溪路 250 号银海大厦 11 层 B 区，电话：021-54485127

深圳地址：深圳市龙华新区人民北路美丽 AAA 大厦 15 层，电话：0755-25590506

成都地址：成都市武侯区科华北路 99 号科华大厦 6 层，电话：028-85405115

南京地址：南京市白下区汉中路 185 号鸿运大厦 10 层，电话：025-86551900

武汉地址：武汉市工程大学卓刀泉校区科技孵化器大楼 8 层，电话：027-87804688

西安地址：西安市高新区高新一路 12 号创业大厦 D3 楼 5 层，电话：029-68785218

广州地址：广州市天河区中山大道 268 号天河广场 3 层，电话：020-28916067