



CESE 全国电子信息优秀教材



电子信息与电气学科规划教材

单片机原理实用教程

——基于Proteus虚拟仿真(第2版)

徐爱钧 编著



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY <http://www.phei.com.cn>



含光盘1张

全国电子信息优秀教材
电子信息与电气学科规划教材

单片机原理实用教程

——基于 Proteus 虚拟仿真

(第 2 版)

徐爱钧 编著

电子工业出版社
Publishing House of Electronics Industry
北京·BEIJING

内 容 简 介

本书是湖北省省级精品课程《单片机原理与应用》教材，并获得全国电子信息优秀教材二等奖。教材系统地阐述了基于 Proteus 虚拟仿真技术的 8051 单片机原理与接口技术，以及其应用系统设计的原理和方法；主要包括 8051 单片机基本结构、中断系统、定时器/计数器，以及串行口的工作原理，8051 指令系统，汇编语言及高级语言 Keil C51 应用程序设计技术，DAC 与 ADC 接口技术，键盘与显示器接口技术等；以实例方式介绍了在 Proteus 平台上进行单片机应用系统虚拟仿真设计的方法，给出了大量在 Proteus 集成环境 ISIS 中绘制的原理电路图和仿真程序。

为方便读者学习，本教材随书附赠光盘一张，光盘内容包括书中全部应用实例、一个完整的 Proteus 设计仿真演示视频和一个 Proteus DEMO 安装软件，其中所有实例均可在 Proteus 软件平台上直接运行。

本书可作为高等学校工业自动化、电子信息工程、电子测量仪器、计算机应用等相关专业单片机原理与应用课程的教材，也可供广大从事单片机应用系统开发的工程技术人员阅读。

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

单片机原理实用教程——基于 Proteus 虚拟仿真/徐爱钧编著. —2 版. —北京：电子工业出版社，2011.3
电子信息与电气学科规划教材
ISBN 978-7-121-12773-1

I. ①单… II. ①徐… III. ①单片微型计算机—高等学校—教材 IV. ①TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 006610 号

策划编辑：索蓉霞

责任编辑：索蓉霞

印 刷：北京市李史山胶印厂

装 订：

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：20.75 字数：598 千字

印 次：2011 年 3 月第 1 次印刷

印 数：4000 册 定价：39.00 元(含光盘 1 张)

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 zlt@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

近年来单片机技术得到了突飞猛进的发展,以单片机为核心设计各种智能化电子设备,周期短、成本低、易于更新换代、维修方便,已成为电子设计中最为普遍的应用手段。目前各种单片机开发工具层出不穷,英国 Labcenter 公司推出的 Proteus 软件是一款极好的单片机开发平台,它以其特有的虚拟仿真技术很好地解决了单片机及其外围电路的设计和协同仿真问题,可以在没有单片机实际硬件的条件下,利用 PC 进行虚拟仿真实现单片机系统的软、硬件协同设计。采用 Proteus 虚拟仿真技术,可以在原理图设计阶段对系统性能进行评估,验证所设计电路是否达到技术指标要求,使设计过程变得简单容易。

Proteus 软件涵盖了 PIC、AVR、MCS8051、68HC11、ARM 等微处理器模型,以及多种常用电子元器件,包括 74 系列、CMOS4000 系列集成电路、A/D 和 D/A 转换器、键盘、LCD 显示器、LED 显示器,还提供示波器、逻辑分析仪、通信终端、电压/电流表、PC/SPI 终端等各种虚拟仪表,这些都可以直接用于仿真设计,极大地提高了设计效率和设计水平。

Proteus 软件已有 20 多年的历史,在国外应用较为普遍,尤其在教育界的口碑极佳。Proteus 软件被引入国内,在多所高等工科院校中获得成功应用。单片机教学中采用 Proteus 软件,使单片机的学习过程变得直观形象。可以直接在基于原理图的虚拟模型上进行编程,并实现源码级的程序仿真调试。例如,有显示及输出,还能看到程序运行后的输入、输出效果,配合各种虚拟仪表来展现整个单片机系统的运行过程,很好地解决了长期以来困扰单片机教学过程中软件和硬件无法很好结合的难题。采用 PC 进行虚拟仿真实验要比采用单片机实验箱更为有效,可以根据需要随时对原理电路图进行修改,并立即获得仿真结果。由于在 PC 上修改原理电路图要比在实验箱上修改硬件电路容易得多,而且还可以根据设计要求采用不同元器件,或者修改元器件参数以获得不同输出结果。在成功进行虚拟仿真并获得期望结果的条件下,再制作实际硬件进行在线调试,可以获得事半功倍的效果。学生普遍反映,在 Proteus 软件平台上学习单片机知识,比以往单纯学习书本知识更易于接受,以原理图虚拟模型进行程序仿真调试更易于提高单片机编程能力,还可以通过绘制和修改原理电路图增加很多实践经验。

本书是湖北省省级精品课程《单片机原理与应用》教材,并获得全国电子信息优秀教材二等奖,教程在构思及选材上,注意尽量符合单片机应用系统的发展要求,并给出了在 Proteus 软件平台上予以实现的设计实例。2009 年出版以来已 3 次重印,得到读者广泛好评。这次再版进行了修订,将原书内容安排做了调整以更利于学习,同时增加单片机高级语言程序设计的内容。

全书共分为 10 章:

第 1 章阐述 8051 单片机的基本组成、存储器结构及 CPU 时序。

第 2 章阐述 8051 单片机的指令系统与汇编语言程序设计。

第 3 章~第 5 章分别阐述 8051 单片机的中断系统、定时器/计数器,以及串行口的工作原理与应用方法。

第 6 章阐述 8051 单片机系统扩展的方法。

第7章阐述DAC及ADC接口技术,介绍了传统并行接口及新型串行接口D/A、A/D转换器芯片与单片机的接口方法。

第8章阐述键盘与显示器接口技术,介绍了LED/LCD显示器、矩阵键盘与单片机的接口方法。

第9章阐述单片机高级语言Keil C51应用程序设计,介绍了C51的基本语句、数据类型、Keil C51对ANSI C的扩展及库函数等。

第10章阐述Proteus虚拟仿真技术,介绍了在ISIS集成环境中绘制原理电路图、汇编语言源代码调试,以及与Keil环境联机仿真,给出了6个完整的Proteus虚拟仿真设计实例及其汇编和C51源程序。

本教程每一章都配有 Proteus 设计范例,并随本书配套光盘提供给读者,配套光盘中还包括一个完整的Proteus设计仿真演示视频和一个Proteus DEMO安装软件。通过本教程的学习,可以较快地掌握单片机基本原理及接口应用技术,为实际工作打下坚实的基础。在编写过程中得到广州风标信息技术有限公司(Proteus中国大陆总代理)匡载华总经理的大力支持和热情帮助,还得到朱镛涛、杨青胜、彭秀华、徐阳、刘冰、贺媛、许雪怡、陈夔蛟、方小玲、吴雄慧、郑鹏鹏、秦波、黄存坚、朱艳丽等的协助,在此一并表示感谢。由于作者水平有限,书中难免会有错误和不妥之处,恳请广大读者批评指正,读者可通过电子邮件ajxu@tom.com、ajxu41@sohu.com直接与作者联系。Proteus的DEMO软件可在Proteus官方网站<http://www.labcenter.co.uk>下载,或者与该软件的国内代理商广州风标信息技术有限公司联系,网址为<http://www.windway.cn/>。

徐爱钧 于长江大学

2011年2月

目 录

第 1 章 8051 单片机的基本组成	1	复习思考题 3	51
1.1 8051 单片机的特点与基本结构	1	第 4 章 定时器/计数器及其应用	52
1.2 8051 单片机的存储器结构	5	4.1 定时器/计数器的工作方式与 控制	52
1.3 CPU 时序	7	4.2 定时器/计数器应用举例	55
1.4 复位信号与复位电路	9	4.2.1 初值和最大定时时间计算	55
1.5 并行 I/O 端口结构	10	4.2.2 定时器方式应用	56
复习思考题 1	12	4.2.3 计数器方式应用	60
第 2 章 指令系统与汇编语言程序设计 ..	13	4.3 利用定时器产生音乐	63
2.1 指令助记符和字节数	13	复习思考题 4	67
2.2 寻址方式	14	第 5 章 串行口及其应用	68
2.2.1 寄存器寻址	14	5.1 串行通信方式	68
2.2.2 直接寻址	15	5.2 串行口的工作方式与控制	69
2.2.3 立即寻址	15	5.3 串行口应用举例	73
2.2.4 寄存器间接寻址	16	5.3.1 串口/并口转换	73
2.2.5 变址寻址	16	5.3.2 单片机之间的通信	75
2.2.6 相对寻址	17	5.3.3 单片机与 PC 之间的通信	83
2.2.7 位寻址	17	复习思考题 5	88
2.3 指令分类详解	18	第 6 章 8051 单片机系统扩展	89
2.3.1 算术运算指令	18	6.1 程序存储器扩展	89
2.3.2 逻辑运算指令	20	6.2 数据存储器扩展	90
2.3.3 数据传送指令	21	6.3 并行 I/O 端口扩展	92
2.3.4 控制转移指令	22	6.4 利用 I ² C 总线进行系统扩展	103
2.3.5 位操作指令	25	6.5 新型 Flash 单片机简介	113
2.4 汇编语言程序格式与伪指令	25	6.5.1 Atmel 公司的 AT89x51	113
2.5 应用程序设计	27	6.5.2 SST 公司的 89E564RD	117
2.6 定点数运算符程序	29	6.6 8051 单片机的节电工作方式	121
复习思考题 2	39	6.6.1 空闲和掉电工作方式	122
第 3 章 8051 单片机的中断系统	41	6.6.2 节电方式的应用	123
3.1 中断的概念	41	复习思考题 6	124
3.2 中断系统结构与中断控制	42	第 7 章 DAC 及 ADC 接口技术	125
3.3 中断响应	45	7.1 A/D 及 D/A 转换器的主要技术 指标	125
3.4 中断系统应用举例	47		
3.4.1 中断源扩展	47		
3.4.2 中断嵌套	48		

7.2 DAC 接口技术	126	8.4.3 点阵图形液晶显示模块接口 技术	210
7.2.1 无内部锁存器的 DAC 接口 方法	127	复习思考题 8	217
7.2.2 DAC0832 与 8051 单片机的 接口方法	128	第 9 章 单片机高级语言 Keil C51 应用 程序设计	218
7.2.3 DAC1208 与 8051 单片机的接口 方法	131	9.1 Keil C51 程序设计的基本语法	218
7.2.4 串行 DAC 与 8051 单片机的接口 方法	133	9.1.1 Keil C51 程序的一般结构	218
7.2.5 利用 DAC 接口实现波形 发生器	138	9.1.2 数据类型	219
7.3 ADC 接口技术	143	9.1.3 常量、变量及其存储模式	220
7.3.1 比较式 ADC 0809 与 8051 单片机 的接口方法	144	9.1.4 运算符与表达式	221
7.3.2 积分式 ADC 7135 与 8051 单片机 的接口方法	148	9.2 C51 程序的基本语句	225
7.3.3 串行 ADC 与 8051 单片机的接口 方法	154	9.2.1 表达式语句	225
复习思考题 7	158	9.2.2 复合语句	225
第 8 章 键盘与显示器接口技术	159	9.2.3 条件语句	225
8.1 LED 显示器接口技术	159	9.2.4 开关语句	226
8.1.1 七段 LED 数码显示器	159	9.2.5 循环语句	226
8.1.2 串行接口 8 位共阴极 LED 驱动器 MAX7219	163	9.2.6 goto、break、continue 语句	227
8.2 键盘接口技术	168	9.2.7 返回语句	227
8.2.1 编码键盘接口技术	170	9.3 函数	228
8.2.2 非编码键盘接口技术	172	9.3.1 函数的定义与调用	228
8.2.3 键值分析	176	9.3.2 中断服务函数与寄存器组定义	229
8.3 8279 可编程键盘/显示器芯片接口 技术	187	9.4 Keil C51 编译器对 ANSI C 的 扩展	230
8.3.1 8279 的工作原理	187	9.4.1 存储器类型与编译模式	230
8.3.2 8279 的数据输入、显示输出及 命令格式	189	9.4.2 关于 bit, sbit, sfr 和 sfr16 数据类型	231
8.3.3 8279 的接口方法	194	9.4.3 一般指针与基于存储器的指针及 其之间转换	234
8.4 液晶显示器 LCD 接口技术	198	9.4.4 C51 编译器对 ANSI C 函数定义 的扩展	235
8.4.1 LCD 显示器的工作原理和 驱动方式	198	9.5 C51 编译器的数据调用协议	238
8.4.2 点阵字符液晶显示模块接口 技术	199	9.5.1 数据在内存中的存储格式	238
		9.5.2 目标代码的段管理	240
		9.6 与汇编语言程序的接口	242
		9.7 绝对地址访问	246
		9.7.1 采用扩展关键字 _at_ 或指针定义 变量的绝对地址	246
		9.7.2 采用预定义宏指定变量的绝对 地址	247

9.8 Keil C51 库函数	247	10.6.2 硬件电路设计	265
9.8.1 本征库函数	247	10.6.3 软件程序设计	267
9.8.2 字符判断转换库函数	248	10.7 数字温度计设计	276
9.8.3 输入/输出库函数	249	10.7.1 功能要求	276
9.8.4 字符串处理库函数	249	10.7.2 硬件电路设计	276
9.8.5 类型转换及内存分配库 函数	250	10.7.3 软件程序设计	279
9.8.6 数学计算库函数	251	10.8 红外遥控系统设计	293
复习思考题 9	252	10.8.1 功能要求	293
第 10 章 Proteus 虚拟仿真设计		10.8.2 硬件电路设计	293
实例	253	10.8.3 软件程序设计	294
10.1 集成环境 ISIS	253	10.9 简易电子琴设计	300
10.2 绘制原理图	255	10.9.1 功能要求	300
10.3 创建源代码仿真文件	257	10.9.2 硬件电路设计	300
10.4 在原理图中进行源代码仿真 调试	259	10.9.3 软件程序设计	300
10.5 原理图与 Keil 环境联机仿真 调试	260	10.10 电子万年历设计	305
10.6 数字多用表设计	265	10.10.1 功能要求	305
10.6.1 功能要求	265	10.10.2 硬件电路设计	305
		10.10.3 软件程序设计	308
		复习思考题 10	319
		附录 A 8051 指令表	320

第 1 章 8051 单片机的基本组成

1.1 8051 单片机的特点与基本结构

8051 系列单片机是在美国 Intel 公司于 20 世纪 80 年代推出的 MCS-51 系列高性能 8 位单片机的基础上发展而来的，它在单一芯片内集成了并行 I/O 口、异步串行口、16 位定时器/计数器、中断系统、片内 RAM 和片内 ROM 以及其他一些功能部件。现在 8051 系列单片机已经有了很大的发展，除 Intel 公司之外，Philips、Siemens、AMD、Fujitsu、OKI、Atmel、SST、Winbond 等公司都推出了以 8051 为核心的新一代 8 位单片机，这种新型单片机的集成度更高，在片内集成了更多的功能部件，如 A/D、PWM、PCA、WDT 及高速 I/O 口等。不同公司推出的 8051 具有各自的功能特点，但它们的内核都是以 Intel 公司的 MCS-51 为基础的，并且指令系统兼容，从而给用户带来了广阔的选择范围，同时又可以采用相同的开发工具。

8051 系列单片机可分为无片内 ROM 型和带片内 ROM 型两种。对于无片内 ROM 型的芯片，必须外接 EPROM 才能应用（典型芯片为 8031）。带片内 ROM 型的芯片又分为片内 EPROM 型（典型芯片为 87C51）、片内 Flash 型（典型芯片为 89C51）、片内掩模 ROM 型（典型芯片为 8051），一些公司还推出了一种带有片内一次性可编程 ROM（One Time Programming，简称 OTP）的芯片（典型芯片为 97C51）。一般来说，片内 EPROM 型或片内 Flash 型芯片适合于开发样机和需要现场进一步完善的场合，当样机开发基本成功后，可以采用 OTP 型芯片进行小批量试生产，完全成功后再采用带掩模 ROM 的 8051 进行大批量生产。

8051 系列单片机在存储器的配置上采用所谓的“哈佛”结构，即在物理上具有独立的程序存储器和数据存储器，而在逻辑上则采用相同的地址空间，利用不同的指令和寻址方式进行访问，可分别寻址 64 KB 的程序存储器空间和 64 KB 的数据存储器空间，充分满足工业测量控制的需要。8051 系列单片机共有 111 条指令，其中包括乘除指令和位操作指令。中断源有 5 个（8032/8052 为 6 个），分为两个优先级，每个中断源的优先级是可编程的。

在 8051 系列单片机的内部 RAM 区中开辟了 4 个通用工作寄存器区，共有 32 个通用寄存器，可以适用于多种中断或子程序嵌套的情况。另外还在内部 RAM 中开辟了 1 个位寻址区，利用位操作指令可以对位寻址区中每个单元的每一个位直接进行操作，特别适合于解决各种开关控制和逻辑问题。ROM 型 8051 在单芯片应用方式下其 4 个并行 I/O 口（P0~P3）都可以作为输入/输出之用，在扩展应用方式下则需要采用 P0 和 P2 口作为片外扩展地址总线之用。8051 单片机内部集成了两个（8032/8052 为 3 个）16 位定时器/计数器，可以十分方便地进行定时和计数操作，还集成了一个全双工的异步串行接口，可同时发送和接收数据，为单片机之间的相互通信或与上位机通信带来极大的方便。

8051 单片机的基本组成如图 1.1 所示，一个单片机芯片内包括：

- 中央处理器 CPU，它是单片机的核心，用于产生各种控制信号，并完成对数据的算术逻辑运算和传送；
- 内部数据存储器 RAM，用以存放可以读/写的数据；
- 内部程序存储器 ROM，用以存放程序指令或某些常数表格；

- 4 个 8 位的并行 I/O 接口 P0、P1、P2 和 P3，每个口都可以用做输入或者输出；
- 两个（8051）或三个（8052）定时器/计数器，用来作为外部事件计数器，也可用来定时；
- 内部中断系统具有 5 个中断源，两个优先级的嵌套中断结构，可实现二级中断服务程序嵌套，每一个中断源都可用软件程序规定为高优先级中断或低优先级中断；
- 一个串行接口，可用于异步接收/发送器；
- 内部时钟，但晶体和微调电容需要外接，振荡频率可以高达 40 MHz。

以上各部分通过内部总线相连接。

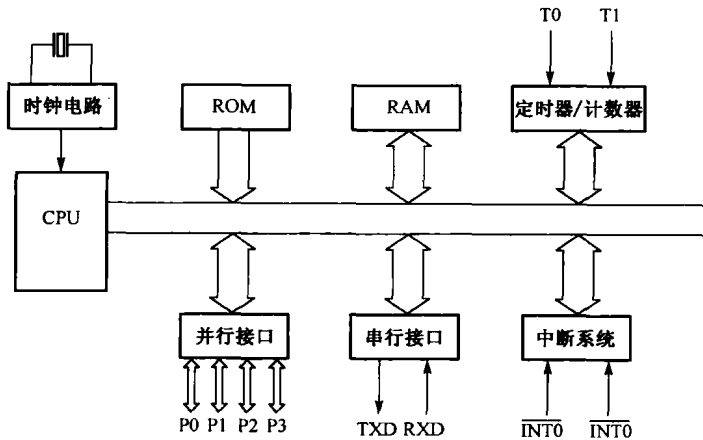


图 1.1 8051 单片机的基本组成

在很多情况下，单片机还要和外部设备或外部存储器相连接，连接方式采用三总线（地址、数据、控制）方式，但在 8051 单片机中，没有单独的地址总线和数据总线，而是与通用并行 I/O 口中的 P0 口及 P2 口共用的，P0 口分时作为低 8 位地址线和 8 位数据线，P2 口则作为高 8 位地址线用，可形成 16 条地址线和 8 条数据线。

一定要建立一个明确的概念，即单片机在进行外部扩展时的地址线 and 数据线都不是独立的总线，而是与并行 I/O 口公用的，这是 8051 单片机结构上的一个特点。

图 1.2 所示为 8051 单片机内部结构图，其中中央处理器 CPU 包含运算器和控制器两大部分，运算器完成各种算术和逻辑运算，控制器在单片机内部协调各功能部件之间的数据传送和运算操作，并对单片机外部发出若干控制信息。

1. 运算器

运算器以算术逻辑单元 ALU 为核心，加上累加器 ACC、暂存寄存器 TMP 和程序状态字寄存器 PSW 等所组成。ALU 主要用于完成二进制数据的算术和逻辑运算，并通过对运算结果的判断影响程序状态字寄存器 PSW 中有关位的状态。累加器 ACC 是一个 8 位的寄存器（在指令中一般写为 A），它通过暂存寄存器 TMP 与 ALU 相连，ACC 的工作最为繁忙，因为在进行算术逻辑运算时，ALU 的一个输入多为 ACC 的输出，而大多数运算结果也需要送到 ACC 中，在进行乘除运算时，B 寄存器用来存放一个操作数，它也用来存放乘除运算后的一部分结果，在不进行乘除操作时，B 寄存器可用做通用寄存器。程序状态字寄存器 PSW 也是一个 8 位寄存器，用于存放运算结果的一些特征，格式如下：

D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
CY	AC	F0	RS1	RS0	OV	\	P

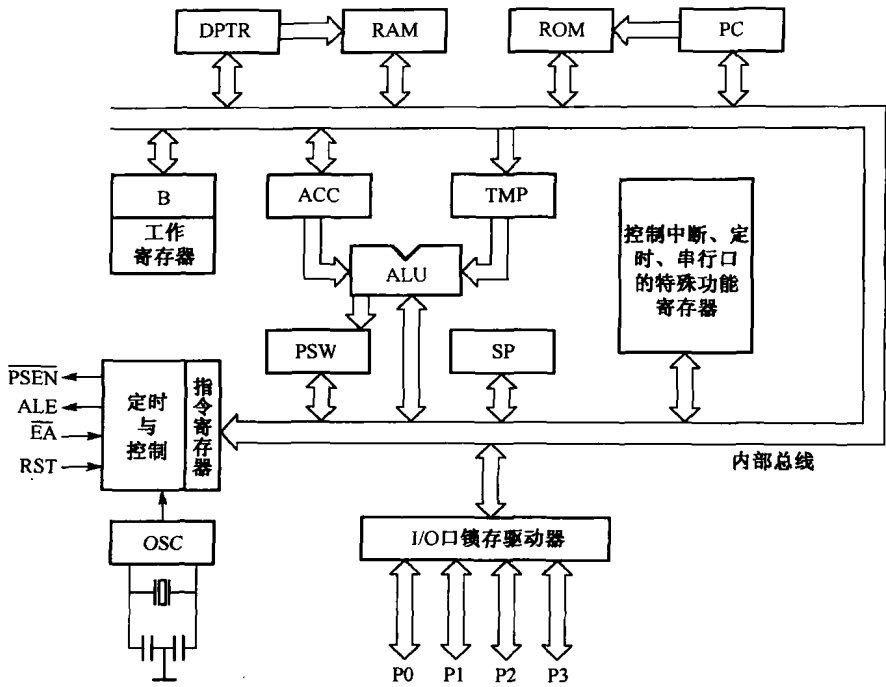


图 1.2 8051 单片机的内部结构

其中 D7~D0 各标志位的意义如下：

CY：进位标志。在进行加法或减法运算时，若运算结果的最高位有进位或借位，CY=1，否则 CY=0，在执行位操作指令时，CY 作为位累加器。

AC：辅助进位标志。在进行加法或减法运算时，若低半字节向高半字节有进位或借位，AC=1，否则 AC=0，AC 还作为 BCD 码运算调整时的判别位。

F0：用户标志。用户可根据自己的需要对 F0 赋以一定的含义，例如，可以用软件来测试 F0 的状态以控制程序的流向。

RS1 和 RS0：工作寄存器组选择。可以用软件来置位或复位。它们与工作寄存器组的关系如表 1.1 所示。

表 1.1 RS1 和 RS0 与工作寄存器组的关系

RS1	RS0	工作寄存器组	片内 RAM 地址
0	0	第 0 组	00H~07H
0	1	第 1 组	08H~0FH
1	0	第 2 组	10H~17H
1	1	第 3 组	18H~1FH

OV：溢出标志。当两个带符号的单字节数进行运算，结果超出-12~+127 的范围时，OV=1，表示有溢出，否则 OV=0 表示无溢出。

D1：PSW 中的 D1 位为保留位，对于 8051 来说没有意义，对于 8052 来说为用户标志，与 F0 相同。

P：奇偶校验标志。每条指令指行完毕后，都按照累加器 A 中“1”的个数来决定 P 值，当“1”的个数为奇数时，P=1，否则 P=0。

2. 控制器

控制器包括定时控制逻辑、指令寄存器、指令译码器、程序计数器 PC、数据指针寄存器 DPTR、堆栈指针 SP、地址寄存器和地址缓冲器等。它的功能是对逐条指令进行译码，并通过定时和控制电路在规定的时刻发出各种操作所需的内部和外部控制信号，协调各部分的工作。下面简单介绍其中主要部件的功能。

程序计数器 PC: 用于存放下一条将要执行指令的地址。当一条指令按 PC 所指向的地址从程序存储器中取出之后，PC 的值会自动增加，即指向下一条指令。

堆栈指针 SP: 用来指示堆栈的起始地址。8051 单片机的堆栈位于片内 RAM 中，而且属于“上长型”堆栈，复位后 SP 被初始化为 07H，使得堆栈实际上由 08H 单元开始。必要时可以给 SP 装入其他值，重新规定栈底的位置。堆栈中数据操作规则是“先进后出”，每往堆栈中压入一个数据，SP 的值自动加 1，随着数据的压入，SP 的值将越来越大，当数据从堆栈弹出时，SP 的值将越来越小。

堆栈弹出时，SP 的值将越来越小。

指令译码器: 当指令送入指令译码器后，由译码器对该指令进行译码，即把指令转变成为所需要的电平信号，CPU 根据译码器输出的电平信号使定时控制电路产生执行该指令所需要的各种控制信号。

数据指针寄存器 DPTR: 它是一个 16 位寄存器，由高位字节 DPH 和低位字节 DPL 组成，用来存放 16 位数据存储器的地址，以便对片外 64 KB 的数据 RAM 区进行读/写操作。

采用 40 引脚双列直插封装 (DIP) 的 8051 单片机引脚分配如图 1.3 所示，其引脚功能如下。

- V_{SS} (20):** 接地。
- V_{CC} (40):** 接+5 V 电源。

XTAL1 (19) 和 XTAL2 (18): 在使用单片机内部振荡电路时，这两个端子用来外接石英晶体和微调电容，如图 1.4(a)所示。

在使用外部时钟时，则用来输入时钟脉冲，但对 NMOS 和 CMOS 芯片接法不同，图 1.4(b)所示为 NMOS 芯片 8051 外接时钟，图 1.4(c)所示为 CMOS 芯片 80C51 外接时钟。

图 1.3 8051 系列单片机引脚分配图

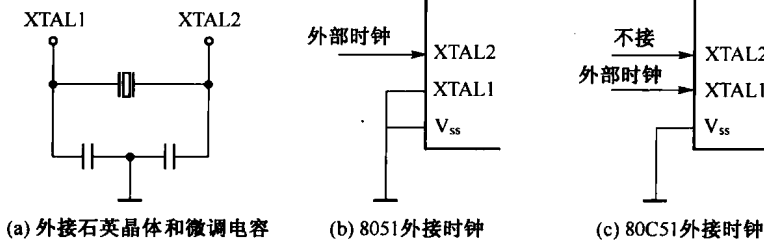
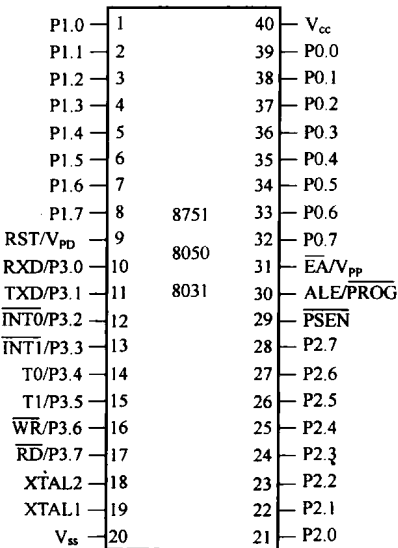


图 1.4 80C51 单片机的时钟接法

RST/V_{PD} (9): RST 是复位信号输入端。当此输入端保持两个机器周期 (24 个振荡周期) 的高电平，就可以完成复位操作。此引脚的第二功能是 V_{PD}，即备用电源输入端，当主电源发生故障，降低到规定的低电平以下时，V_{PD} 将为片内 RAM 提供备用电源，以保证存储在 RAM 中的信息不丢失。

ALE/ $\overline{\text{PROG}}$ (30): ALE 是地址锁存允许信号, 在访问外部存储器时, 用来锁存由 P0 口送出的低 8 位地址信号。在不访问外部存储器时, ALE 以振荡频率 1/6 的固定速率输出脉冲信号。因此它可用做对外输出的时钟。但要注意, 只要外接有存储器, 则 ALE 端输出的就不再是连续的周期脉冲信号了。第二功能 $\overline{\text{PROG}}$ 是用于对 8751 片内 EPROM 编程的脉冲输入端。

$\overline{\text{PSEN}}$ (29): 它是外部程序存储器 ROM 的读选通信号。在执行访问外部 ROM 指令的时候, 会自动产生 $\overline{\text{PSEN}}$ 信号, 而在访问外部数据存储器 RAM 或访问内部 ROM 时, 不产生 $\overline{\text{PSEN}}$ 信号。

$\overline{\text{EA}}/\text{V}_{\text{pp}}$ (31): 访问外部存储器的控制信号。当 $\overline{\text{EA}}$ 为高电平时, 访问内部程序存储器, 但当程序计数器 PC 的值超过 0FFFH (对于 8051/8051/8751 单片机) 或 1FFFH (对于 8052 单片机) 时, 将自动转向执行外部程序存储器内的程序。当 $\overline{\text{EA}}$ 保持低电平时, 则只访问外部程序存储器, 而不管是否有内部程序存储器。该引脚的第二功能 V_{pp} 为对 8751 片内 EPROM 的 21V 编程电源输入。

P0.0~P0.7 (39~32): 双向 I/O 口 P0。P0 口首先作为双向 I/O 功能, 其第二功能是在访问外部存储器时, 可分时用做低 8 位地址和 8 位数据线, 在对 8751 编程和校验时, 用于数据的输入和输出。P0 口能以吸收电流的方式驱动 8 个 LS 型 TTL 负载。

P1.0~P1.7 (1~8): 双向 I/O 口 P1。P1 口能驱动 (吸收或输出电流) 4 个 LS 型 TTL 负载。在对 EPROM 编程和程序验证时, 它接收低 8 位地址。在 8052 单片机中, P1.0 还用做定时器 2 的计数触发输入端 T2, P1.1 还用做定时器 2 的外部控制端 T2EX。

P2.0~P2.7 (21~28): 双向 I/O 口 P2。P2 口可以驱动 (吸收或输出电流) 4 个 LS 型 TTL 负载。其第二功能是在访问外部存储器时, 输出高 8 位地址。在对 EPROM 编程和校验时, 它接收高位地址。

P3.0~P3.7 (10~17): 双向 I/O 口 P3。P3 口能驱动 (吸收或输出电流) 4 个 LS 型 TTL 负载。P3 口的每条引脚都有各自的第二功能。

1.2 8051 单片机的存储器结构

图 1.5 所示为 8051 系列单片机的存储器结构图。在物理上它有 4 个存储器空间: 片内程序存储器和片外程序存储器; 片内数据存储器 and 片外数据存储器。在访问这几个不同的存储器时应采用不同形式的指令。

8051 系列单片机的程序存储器 ROM 地址空间为 64 KB, 其中带片内 ROM 型单片机具有 4 KB 的片内 ROM。CPU 的控制器专门提供一个控制信号 $\overline{\text{EA}}$ 来区分片内 ROM 和片外 ROM 的公用地址区: 当 $\overline{\text{EA}}$ 接高电平时, 单片机从片内 ROM 的 4 KB 存储器区取指令, 当指令地址超过 0FFFH 后, 就自动地转向片外 ROM 取指令; 当 $\overline{\text{EA}}$ 接低电平时, 所有的取指操作均对片外程序存储器进行, 这时片外程序存储器的地址范围为 0000H~0FFFFH。

目前一些新型的 8051 单片机已经可以将 64 KB 的 ROM 存储器全部集成到芯片内部, 使用时将 $\overline{\text{EA}}$ 接高电平, 可以减少外部辐射干扰。对于无 ROM 型的单片机, $\overline{\text{EA}}$ 端必须接地。程序存储器中有些单元是保留给系统使用的: 0000H~0002H 单元是所有执行程序入口地址, 复位后 CPU 总是从 0000H 单元开始执行指令; 0003H~002AH 单元均匀地分为五段, 用于 5 个中断服务程序的入口。

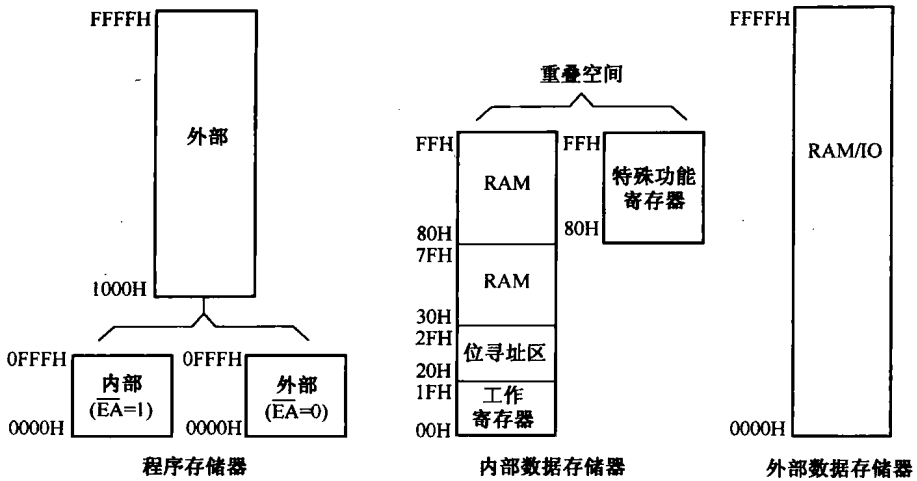


图 1.5 8051 系列单片机存储器结构图

8051 系列单片机的片外数据存储器 RAM 也有 64 KB 的寻址区，在地址上是与 ROM

重叠的。8051 单片机通过不同的信号来选通 ROM 或 RAM。当从外部 ROM 中取指令时，用选通信号 \overline{PSEN} ，而从外部 RAM 中读/写数据时则采用读/写信号 \overline{RD} 或 \overline{WR} 来选通，因此不会因地址重叠而发生混乱。在某些特殊应用场合，如单片机的开发系统等，需要执行存放在数据存储器 RAM 内的程序，这时可采用将 \overline{PSEN} 和 \overline{RD} 信号作逻辑与的方法，将 8051 单片机的外部程序存储器和数据存储器合并为一个 64 KB 的存储器空间， \overline{PSEN} 和 \overline{RD} 信号逻辑与的结果产生一个低电平有效的读选通信号，用于合并的存储器空间寻址。

8051 系列单片机的片内数据存储器 RAM 有 256 字节，其中 00H~7FH 地址空间是直接寻址区，该区域内 00H~1FH 地址为工作寄存器区，安排了 4 组工作寄存器，每组占用 8 个地址单元，记为 R0~R7，在某一时刻，CPU 只能使用其中任意一组工作寄存器，究竟选择哪一组工作寄存器由程序状态字寄存器 PSW 中 RS0 和 RS1 的状态决定，见表 1.1。片内 RAM 的 20H~2FH 地址单元为位寻址区，共 16 字节，每个字节的每一位都规定了位地址，该区域内每个地址单元除了可以进行字节操作之外，还可进行位操作，图 1.6 所示为片内 RAM 的位地址分配。

片内 RAM 的 80H~FFH 地址空间是特殊功能寄存器（SFR）区，8051 子系列单片机只在该区域内安排了 21 个特殊功能寄存器，8052 子系

RAM 地址	MSB								LSB												
7FH																	127				
2FH	7F	7E	7D	7C	7B	7A	79	78	79	78	77	76	75	74	73	72	71	70	47		
2EH	77	76	75	74	73	72	71	70	70	69	68	67	66	65	64	63	62	61	60	46	
2DH	6F	6E	6D	6C	6B	6A	69	68	68	67	66	65	64	63	62	61	60	59	58	45	
2CH	67	66	65	64	63	62	61	60	59	58	57	56	55	54	53	52	51	50	49	44	
2BH	5F	5E	5D	5C	5B	5A	59	58	48	47	46	45	44	43	42	41	40	39	38	43	
2AH	57	56	55	54	53	52	51	50	37	36	35	34	33	32	31	30	29	28	27	42	
29H	4F	4E	4D	4C	4B	4A	49	48	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	41	
28H	47	46	45	44	43	42	41	40	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	40	
27H	3F	3E	3D	3C	3B	3A	39	38	4	3	2	1	0							39	
26H	37	36	35	34	33	32	31	30													38
25H	2F	2E	2D	2C	2B	2A	29	28													37
24H	27	26	25	24	23	22	21	20													36
23H	1F	1E	1D	1C	1B	1A	19	18													35
22H	17	16	15	14	13	12	11	10													34
21H	0F	0E	0D	0C	0B	0A	09	08													33
20H	07	06	05	04	03	02	01	00													32
1FH	工作寄存器3区																			31	
18H	工作寄存器2区																				24
17H	工作寄存器2区																				23
10H	工作寄存器2区																				16
0FH	工作寄存器1区																				15
08H	工作寄存器1区																				8
07H	工作寄存器0区																				7
00H	工作寄存器0区																				0

图 1.6 8051 单片机片内 RAM 的位地址分配

列单片机则在该区域内安排了 26 个特殊功能寄存器，同时扩展了 128 字节的间接寻址片内 RAM，地址也为 80H~FFH，与 SFR 区地址重叠，但在使用时，可通过指令加以区别。表 1.2 所示为 8051 单片机特殊功能寄存器地址及符号表，表中带*号的为可位寻址的特殊功能寄存器。

内部 RAM 中的各个单元，都可以通过其地址来寻找，而对于工作寄存器，一般使用 R0~R7 表示，对于特殊功能寄存器，也是直接用其符号名较为方便。需要指出的是，8051 单片机的堆栈必须使用片内 RAM，而片内 RAM 空间十分有限，因此要仔细安排堆栈指针 SP 的值，以保证不会发生堆栈溢出而导致系统崩溃。

表 1.2 8051 单片机特殊功能寄存器地址及符号表

特殊功能寄存器符号	片内 RAM 地址	说 明
*ACC	E0H	累加器
*B	F0H	乘法寄存器
*PSW	D0H	程序状态字寄存器
SP	81H	堆栈指针
DPL	82H	数据指针（低 8 位）
DPH	83H	数据指针（高 8 位）
*IE	A8H	中断允许寄存器
*IP	B8H	中断优先级寄存器
*P0	80H	P0 口锁存器
*P1	90H	P1 口锁存器
*P2	A0H	P2 口锁存器
*P3	B0H	P3 口锁存器
PCON	87H	电源控制及波特率选择寄存器
*SCON	98H	串行口控制寄存器
SBUF	99H	串行数据缓冲器
*TCON	88H	定时器控制寄存器
TMOD	89H	定时器方式选择寄存器
TL0	8AH	定时器 0 低 8 位
TH0	8BH	定时器 0 高 8 位
TL1	8CH	定时器 1 低 8 位
TH1	8DH	定时器 1 高 8 位

1.3 CPU 时序

8051 单片机内部有一个高增益反相放大器，用于构成振荡器，反相放大器的输入端为 XTAL1，输出端为 XTAL2，分别是 8051 的第 19 脚和 18 脚。在 XTAL1 和 XTAL2 之间接一个石英晶体及两个电容，就可以构成稳定的自激振荡器，当振荡在 6~12MHz 时通常取 30pF 左右的电容进行微调，如图 1.7 所示。晶体振荡器的振荡信号经过片内时钟发生器进行二分频，向 CPU 提供两相时钟信号 P1 和 P2。时钟信号的周期称为状态时间 S，它是振荡周期的两倍，在每个状态的前半周期 P1 信号有效，在每个状态的后半周期 P2 信号有效，CPU 就以这两相时钟信号为基本节拍指挥单片机各部分协调工作。

CPU 执行一条指令所需要的时间是以机器周期为单位的，8051 单片机的一个机器周期包括 12 个振荡周期，分为 6 个 S 状态：S1~S6，每个状态又分为两拍，即前面介绍的 P1 和 P2 信号，因此一个机器周期中的 12 个振荡周期可表示为 S1P1, S1P2, S2P1, ..., S6P1, S6P2。

当采用 12 MHz 的晶体振荡器时，一个机器周期为 1 μ s。CPU 执行一条指令通常需要 1~4 个机器周期，指令的执行速度与其需要的机器周期数直接有关，所需机器周期数越少，速度越快。8051 单片机只有乘、除两条指令需要 4 个机器周期，其余均为单周期或双周期指令。

图 1.8 所示为几种典型的取指令和执行周期时序，从图中可以看到，在每个机器周期之内，地址锁存信号 ALE 两次有效，第一次出现在 S1P2 和 S2P1 期间，第二次出现在 S4P2 和 S5P1 期间。单周期指令的执行从 S1P2 开始，此时操作码被锁存在指令寄存器内。若是双字节指令，

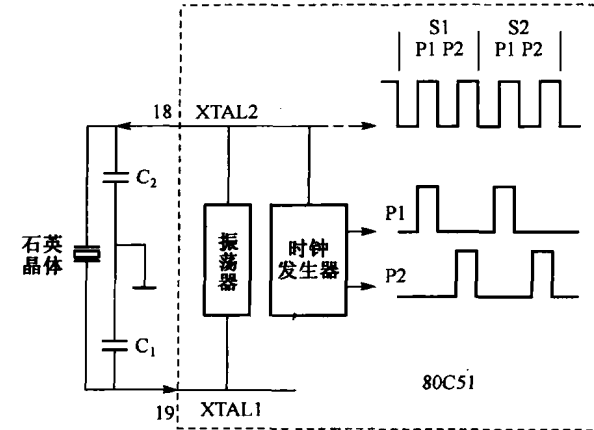


图 1.7 8051 的片内振荡器及时钟发生电路

则在同一机器周期的 S4 状态读第 2 个字节。若是单字节指令，在 S4 状态仍进行读，但操作无效，且程序计数器 PC 的值不加 1。

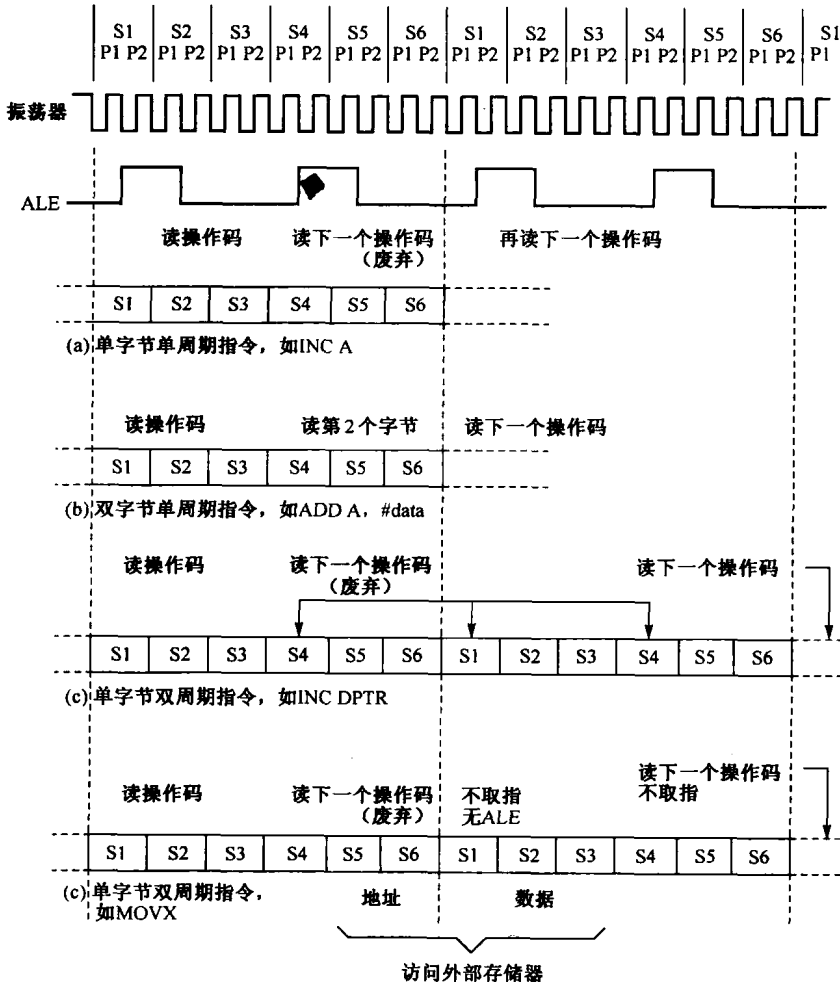


图 1.8 8051 单片机的取指令和执行周期时序

图 1.8(a)和图 1.8(b)分别为单字节单周期和双字节单周期指令的时序，它们都在 S6P2 结束时完成操作。

图 1.8(c)为单字节双周期指令的时序，在两个机器周期内进行 4 次操作，由于是单字节指令，所以后面的 3 次操作无效。

图 1.8(d)为 CPU 访问片外数据存储器指令“MOVX”的时序，它是一条单字节双周期指令，在第一个机器周期的 S5 状态开始送出片外数据存储器的地址，进行数据的读/写操作。在此期间没有 ALE 信号，所以在第二个周期不会产生取指操作。

1.4 复位信号与复位电路

8051 单片机与其他微处理器一样，在启动时都需要复位，使 CPU 和系统的各个部件都处于一种确定的初始状态。复位信号从单片机的 RST 引脚输入，高电平有效，其有效电平应维持至少两个机器周期，若采用 6 MHz 的晶体振荡器，则复位信号至少应持续 4 μs 以上，才可以保证可靠复位。

复位操作有上电自动复位和按键手动复位两种方式。上电自动复位是通过外部复位电路的电容充电来实现的，其电路如图 1.9(a)所示，只要电源 V_{cc} 电压上升时间不超过 1 ms，通过在 V_{cc} 和 RST 引脚之间加一个 22 μF 的电容，RST 和 V_{ss} 引脚（即地）之间加一个 1 k Ω 的电阻，就可以实现上电自动复位。

按键手动复位电路如图 1.9(b)所示，它是在上电自动复位电路的基础上增加一个电阻 R1 和一个按键 Reset 实现的，它不仅具有上电自动复位的功能，在按下 Reset 按钮后，电容 C 通过 R1 放电，同时电源 V_{cc} 通过 R1 和 R2 分压，而 R2 要比 R1 大许多，大部分电压降落在 R2 上，从而使 RST 端得到一个高电平导致单片机复位。

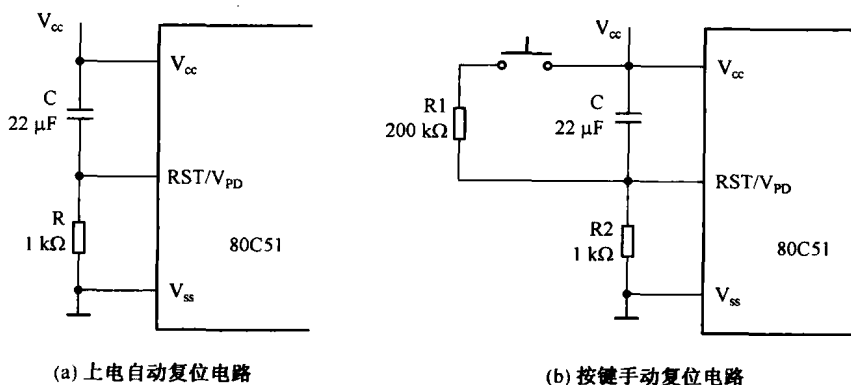


图 1.9 复位电路

上述电路中的电阻、电容参数适用于 6 MHz 的外接晶振，能保证复位信号持续两个机器周期的高电平。复位电路虽然简单，但其作用非常重要，一个实际单片机应用系统能否正常工作，首先要检查能否产生正确的复位信号。复位以后，单片机内部各寄存器的状态如表 1.3 所示。

复位不影响片内 RAM 的内容，当加上电源电压 V_{cc} 以后，RAM 的内容是随机的。