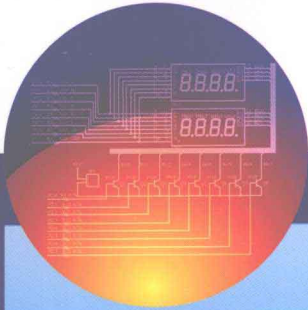


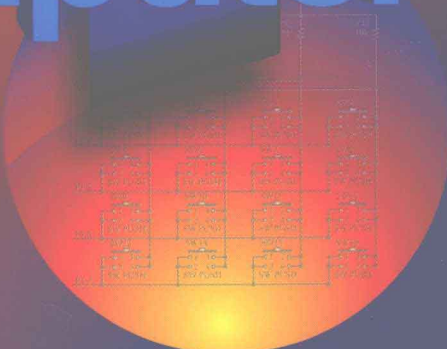
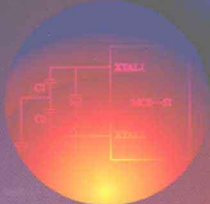
电子工程设计与应用百例系列

# 51 单片机 应用设计百例

兰吉昌 编著



Single Chip  
Microcomputer



化学工业出版社

电子工程设计与应用百例系列

# 51 单片机 应用设计百例

兰吉昌 编著



# Single Chip Microcomputer



化学工业出版社

北京

## 图书在版编目(CIP)数据

51 单片机应用设计百例/兰吉昌编著. —北京: 化学工业出版社, 2008.12

ISBN 978-7-122-04140-1

I. 51… II. 兰… III. 单片微型计算机-系统设计  
IV. TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 178529 号

---

责任编辑: 宋 辉  
责任校对: 周梦华

装帧设计: 张 辉

---

出版发行: 化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装: 北京白帆印务有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张 15½ 字数 377 千字 2009 年 2 月北京第 1 版第 1 次印刷

---

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

---

定 价: 36.00 元

版权所有 违者必究

# 前 言

单片机是一种集成电路芯片,采用超大规模技术把具有数据处理能力(如算术运算,逻辑运算、数据传送、中断处理)的微处理器(CPU)、随机存取数据存储器(RAM)、只读程序存储器(ROM)、输入输出电路(I/O 口),可能还包括定时计数器、串行通信口(SCI)、显示驱动电路(LCD 或 LED 驱动电路)、脉宽调制电路(PWM)、模拟多路转换器及 A/D 转换器等电路集成到一个单块芯片上,构成一个最小然而完善的计算机系统。这些电路能在软件的控制下准确、迅速、高效地完成程序设计者事先规定的任务。

随着计算机及电子信息技术的飞速发展,单片机也在不断更新换代,并成为电子系统中进行数据采集、信息处理、通信联络和实施控制的重要器件。

本书以 51 系列单片机为模型,讲解常用的单片机设计实例。本书强调实践环节,侧重系统构成与应用设计。力求通过实践环节,软、硬结合,培养初步的单片机开发能力,并使单片机原理的基本概念得到综合与深化。

本书共分 8 章。

第 1 章 51 单片机基本应用系统设计实例,主要介绍 51 单片机基本的硬件电路设计及应用。

第 2 章 定时器/计数器设计实例,主要介绍 51 单片机定时器/计数器的应用。

第 3 章 中断系统设计实例,主要介绍单片机中用于管理各类中断的应用。

第 4 章 人机交互设计应用实例,主要介绍 51 单片机在人机交互中的应用。

第 5 章 通信实例,主要介绍 51 单片机之间通信的应用。

第 6 章 算法实例,主要讲解 51 单片机基本算法的应用。

第 7 章 数模与模数转换实例,主要介绍 51 单片机的数模与模数转换功能的应用。

第 8 章 综合实例,主要介绍 51 单片机的综合应用。

参与本书编写的还有兰婵丽、赵光、李长林、王烁、王波波、刘文涛、张瑞雪、刘群等。限于我们的水平,书中难免存在不足之处,敬请读者批评指正!

编 者

# 目 录

|                                   |    |
|-----------------------------------|----|
| 第1章 51 基本应用系统设计实例.....            | 1  |
| 【例 1-1】时钟电路设计实例 .....             | 1  |
| 【例 1-2】复位电路设计实例 .....             | 2  |
| 【例 1-3】4×4 矩阵键盘电路设计实例 .....       | 3  |
| 【例 1-4】7 段数码管电路设计实例 .....         | 5  |
| 【例 1-5】LED 灯电路设计实例 .....          | 6  |
| 【例 1-6】LCD 接口电路设计实例 .....         | 6  |
| 【例 1-7】AT24C02 电路设计实例 .....       | 7  |
| 【例 1-8】仿真外扩接口设计实例 .....           | 7  |
| 【例 1-9】USB 取电接口设计实例 .....         | 8  |
| 【例 1-10】RS232 电路设计实例 .....        | 9  |
| 【例 1-11】ISP 接口电路设计实例 .....        | 9  |
| 【例 1-12】MCS-51 最小应用系统设计实例 .....   | 10 |
| 【例 1-13】串行外围接口电路设计实例 .....        | 11 |
| 【例 1-14】并行口扩展电路设计实例 .....         | 13 |
| 【例 1-15】基于 51 单片机的信号发生器电路设计 ..... | 13 |
| 【例 1-16】单片机串行口扩展电路设计实例 .....      | 17 |
| 第2章 定时器/计数器 .....                 | 19 |
| 【例 2-1】定时器/计数器的设置实例 .....         | 19 |
| 【例 2-2】定时方式 0 实例 .....            | 20 |
| 【例 2-3】定时方式 1 实例 .....            | 21 |
| 【例 2-4】定时方式 2 实例 .....            | 23 |
| 【例 2-5】定时方式 3 实例 .....            | 24 |
| 【例 2-6】计数方式 0 实例 .....            | 25 |
| 【例 2-7】计数方式 1 实例 .....            | 26 |
| 【例 2-8】计数方式 2 实例 .....            | 26 |
| 【例 2-9】计数方式 3 实例 .....            | 27 |
| 第3章 中断系统 .....                    | 29 |
| 【例 3-1】中断函数的定义实例 .....            | 29 |
| 【例 3-2】外中断程序实例 .....              | 30 |
| 【例 3-3】两个外中断实例 .....              | 31 |
| 【例 3-4】计时中断程序实例 .....             | 33 |

|                                      |     |
|--------------------------------------|-----|
| 【例 3-5】计时中断与外中断实例 .....              | 34  |
| 第 4 章 人机交互设计应用实例 .....               | 36  |
| 【例 4-1】变调报警程序实例 .....                | 36  |
| 【例 4-2】流水灯程序实例 .....                 | 37  |
| 【例 4-3】1602 液晶显示程序实例 .....           | 38  |
| 【例 4-4】取表程序实例 .....                  | 45  |
| 【例 4-5】输入端口程序实例 .....                | 46  |
| 【例 4-6】按键扫描程序 1 实例 .....             | 50  |
| 【例 4-7】按键扫描程序 2 实例 .....             | 56  |
| 【例 4-8】按键扫描程序 3 实例 .....             | 62  |
| 【例 4-9】按键扫描程序 4 实例 .....             | 71  |
| 【例 4-10】同时按键程序实例 .....               | 75  |
| 【例 4-11】组合按键程序实例 .....               | 79  |
| 【例 4-12】按键音程序实例 .....                | 83  |
| 【例 4-13】用按键控制音乐实例 .....              | 88  |
| 【例 4-14】按键液晶显示程序实例 .....             | 93  |
| 【例 4-15】音乐门铃 .....                   | 102 |
| 【例 4-16】电子琴 .....                    | 108 |
| 【例 4-17】99s 计时器 .....                | 114 |
| 【例 4-18】99s 马表 .....                 | 115 |
| 【例 4-19】LED 移位 .....                 | 116 |
| 【例 4-20】128×64 带字库液晶显示程序 .....       | 117 |
| 第 5 章 通信实例 .....                     | 125 |
| 【例 5-1】红外遥控程序实例 .....                | 125 |
| 【例 5-2】利用 UART 的 MODE0 做串行发送实例 ..... | 127 |
| 【例 5-3】8051 做单工发送和接收数据实例 .....       | 128 |
| 【例 5-4】使用串行中断发送和接收数据实例 .....         | 129 |
| 【例 5-5】两个 8051 做串行多工数据传输实例 .....     | 131 |
| 【例 5-6】两个 8051 做串行多工数据传输之中断法实例 ..... | 132 |
| 【例 5-7】PC 对 8051 做单工发送数据实例 .....     | 133 |
| 【例 5-8】8051 对 PC 做单工发送数据实例 .....     | 134 |
| 【例 5-9】8051 与 PC 间做多工串行通信实例 .....    | 135 |
| 【例 5-10】8051 与 TNC 全多工无线串行通信实例 ..... | 136 |
| 第 6 章 算法实例 .....                     | 140 |
| 【例 6-1】压缩 BCD 码转换成 ASCII 码 .....     | 140 |
| 【例 6-2】ASCII 码转成压缩 BCD .....         | 141 |
| 【例 6-3】片外数据传输 .....                  | 142 |
| 【例 6-4】求两数平方和 .....                  | 143 |

|                                                         |     |
|---------------------------------------------------------|-----|
| 【例 6-5】位移 .....                                         | 143 |
| 【例 6-6】片内数据传片外 .....                                    | 144 |
| 【例 6-7】求算术平均值 .....                                     | 145 |
| 【例 6-8】求数据块对应项之和 .....                                  | 146 |
| 【例 6-9】统计正数、负数、零的个数 .....                               | 147 |
| 【例 6-10】片外数据传片内并清零 .....                                | 148 |
| 【例 6-11】将数据块降序排列 .....                                  | 149 |
| 【例 6-12】找 ASCII 码 .....                                 | 151 |
| 【例 6-13】二进制转换成十六进制 .....                                | 151 |
| 【例 6-14】十六进制转换成二进制 .....                                | 152 |
| 【例 6-15】十进制转换成二进制 .....                                 | 154 |
| 【例 6-16】二进制转换成十进制 .....                                 | 155 |
| 【例 6-17】BCD 转换成十六进制 (HEX) 程序 .....                      | 159 |
| 【例 6-18】十六进制转换成 BCD 程序 .....                            | 161 |
| 第 7 章 数模与模数转换实例 .....                                   | 163 |
| 【例 7-1】按键控制模数转换 .....                                   | 163 |
| 【例 7-2】液晶显示及模数转换 .....                                  | 167 |
| 【例 7-3】ADC0809 程序 .....                                 | 175 |
| 【例 7-4】ADC0832 程序 .....                                 | 177 |
| 第 8 章 综合实例 .....                                        | 183 |
| 【例 8-1】I <sup>2</sup> C 方式 E <sup>2</sup> PROM 程序 ..... | 183 |
| 【例 8-2】CPU 编程器程序 .....                                  | 188 |
| 【例 8-3】93C46 应用程序 .....                                 | 193 |
| 【例 8-4】DS1302 实时时钟程序 .....                              | 200 |
| 【例 8-5】PWM 控制 LED 程序 .....                              | 204 |
| 【例 8-6】用按键控制蜂鸣器演奏歌曲 .....                               | 206 |
| 【例 8-7】七段码动态显示 .....                                    | 212 |
| 【例 8-8】4×3 键盘控制及六位数显示 .....                             | 214 |
| 【例 8-9】4×4 键盘控制及六位数显示 .....                             | 216 |
| 【例 8-10】按键闪烁程序 .....                                    | 218 |
| 【例 8-11】4 个按键控制 4 级变速的跑马灯程序 .....                       | 220 |
| 【例 8-12】16×16 LED 点阵显示程序 .....                          | 221 |
| 【例 8-13】译码器程序 .....                                     | 225 |
| 【例 8-14】电动机启停程序 .....                                   | 226 |
| 【例 8-15】多级控制程序 .....                                    | 227 |
| 【例 8-16】顺序控制程序 .....                                    | 228 |
| 【例 8-17】歌曲程序设计 .....                                    | 229 |
| 【例 8-18】按键液晶循环显示信息程序 .....                              | 230 |
| 参考文献 .....                                              | 240 |

# 第 1 章 51 基本应用系统设计实例

一个单片机系统一般由电源电路、时钟电路、复位电路、外部接口电路等组成。本章将通过 16 个实例对单片机基本的硬件电路设计及其应用进行详细介绍。

## 【例 1-1】时钟电路设计实例

MCS-51 的时钟信号可以由两个方式产生，一种是内部方式，即利用芯片内部的振荡电路产生时钟信号；另一种是外部方式，时钟信号由外部引入。MCS-51 单片机有 HMOS 型和 CHMOS 型，它们的时钟电路有一定区别，在实际使用时应注意。

### 1. 内部时钟方式

内部方式是常见的方式。MCS-51 内部有一个高增益反相放大器，用于构成振荡器。其引脚 XTAL1 和 XTAL2 分别为输入端和输出端。该放大器与作用反馈元件的片外晶体或晶振一起构成自激振荡器。

如图 1-1 所示是 MCS-51 片内振荡器电路。MCS-51 单片机虽然有内部振荡电路，但要形成时钟，必须外接元件，如图 1-2 所示。

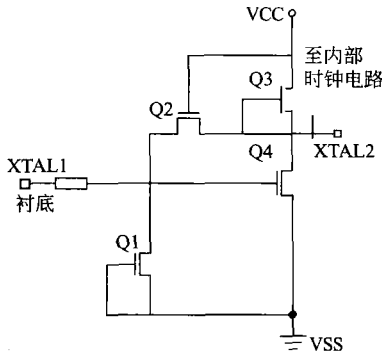


图 1-1 MCS-51 片内振荡器电路

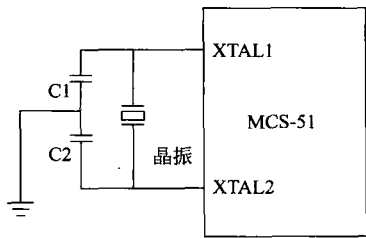


图 1-2 内部时钟方式的电路

外接晶振与电容 C1 和 C2 构成并联谐振电路，这种方式称为内部时钟方式。如果振荡器已起振，则在 XTAL2 引脚上输出 3V 左右的正弦波。振荡频率  $f_{osc}$  取决于晶振的频率。不同型号的产品，可选择的频率范围也有所不同，一般在 0.5~12MHz 之间。常用的晶振有 6MHz、11.0592MHz、12MHz。电容 C1 和 C2 的主要作用是帮助起振，称为谐振电容，其值的大小对振荡频率也有一定影响。因此常用调节 C1 和 C2 值大小的方法实现对频率的微调，电容容量通常在 20~100pF 之间选择，当时钟频率为 12MHz 时典型值为 30pF。

在设计印刷电路板时，为了减少寄生电容，更好地保持振荡器稳定和可靠工作，晶体和

电容应尽可能安装的与单片机芯片靠近。此外，由于晶振高频振荡相当于一个内部干扰源，所以晶振外壳一般要良好接地。

## 2. 外部时钟方式

MCS-51 的内部工作时钟也可以由外部振荡器提供，外部时钟引入方式如图 1-3 所示。

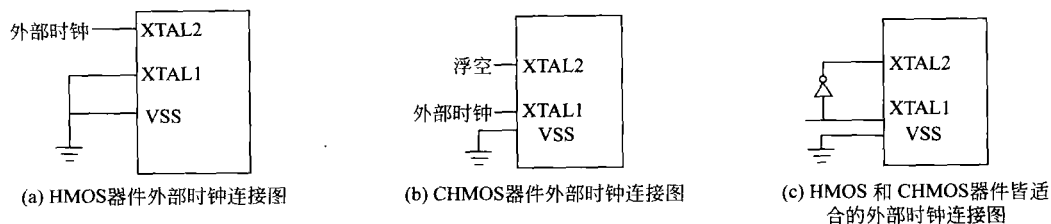


图 1-3 外部时钟引入方式

对外部振荡器的信号没有特殊的要求，一般为 4~12MHz 的方波，方波的波形应尽量规范。

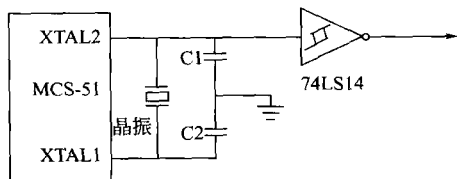


图 1-4 时钟信号的输出

## 3. 时钟信号输出

当使用内部时钟方式时，单片机可为外设或其他设备提供时钟信号，通常从 XTAL2 引脚取出信号。晶振起振后，可以将该信号经 74LS14 整形后使用。经过 74LS14 整形后，不仅波形变成方波，而且驱动能力提高了。TTL 电路输入低电平为 0~0.8V，2V 以上为高电平输入。时钟信号的输出如图 1-4 所示。

## 【例 1-2】复位电路设计实例

单片机的复位就是它的初始化操作。单片机启动时，都需要先复位，以使 CPU 和系统中其他部件处于一个确定的初始状态，并开始从这个状态工作。因此，复位是单片机非常重要的操作方式之一。但是单片机本身不能自动复位，必须配合相应的外部电路才能实现复位操作。

当单片机的复位引脚 RESET 出现 2 个机器周期以上的高电平时，单片机将开始执行复位操作。如果 RESET 持续为高电平，单片机将处于循环复位的状态。

本设计复位电路具有上电复位和手动复位两种方式。

### 1. 自动复位方式

对于 MCS-51 单片机，只要在 RST 复位端接一个电容至 VCC 和一个电阻至 VSS 即可。上电复位电路如图 1-5 所示。

在加电的瞬间，RST 端出现一定时间的高电平，只要高电平保持时间足够长，就可以使 MCS-51 有效地复位。RST 端在加电时应保持的高电平时间包括 VCC 的上升时间和振荡器起振的时间。VCC 上升时间约为 10μs，振荡器起振时间和频率有关，频率为 10MHz 时约为 1μs，频率为 1MHz

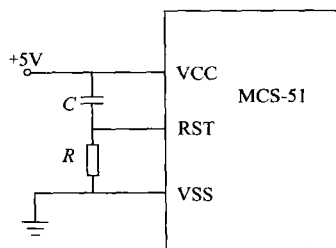


图 1-5 上电复位电路

时约为  $10\mu\text{s}$ ，所以一般为了可靠地复位，RST 在上电时保持  $20\mu\text{s}$  以上高电平即可。

在图 1-5 中，时间常数  $RC$  越大，上电时 RST 端保持高电平的时间越长，当振荡频率  $f_{\text{osc}}=12\text{MHz}$  时，典型值  $C=10\mu\text{F}$ ， $R=8.2\text{k}\Omega$ ；当时钟频率选用  $6\text{MHz}$  时， $C$  取  $22\mu\text{F}$ ， $R$  取  $1\text{k}\Omega$ ，上述参数比实际要求的值大很多，但通常设计人员并不关心多出的复位时间。

若上电复位失效，用户加电后，CPU 从一个随机状态开始工作，系统则不能正常运行。上电复位后，RAM 单元数据是随机的。

## 2. 人工复位

除了上电复位外，有时还需要人工复位。将一个按钮开关并联于上电自动复位电路，如图 1-6 所示，按一下开关就会在 RST 端出现一段时间的高电平，使单片机复位。当时钟频率选用  $6\text{MHz}$  时， $C$  取  $22\mu\text{F}$ ， $R1$  约为  $200\Omega$ ， $R2$  约为  $1\text{k}\Omega$ 。 $C$ 、 $R2$  的选取由上电复位参数决定，然后确定  $R1$ ，为了保证在 RST 引脚上得到高电平，应使  $R1$  取  $R2$  的  $1/5\sim 1/10$ 。

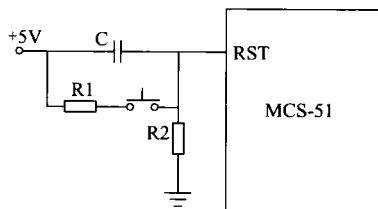


图 1-6 上电与按钮复位电路

## 【例 1-3】 $4\times 4$ 矩阵键盘电路设计实例

本实例应用单片机 P1 端口实现矩阵键盘的扫描输入。电路设计图如图 1-7 所示。

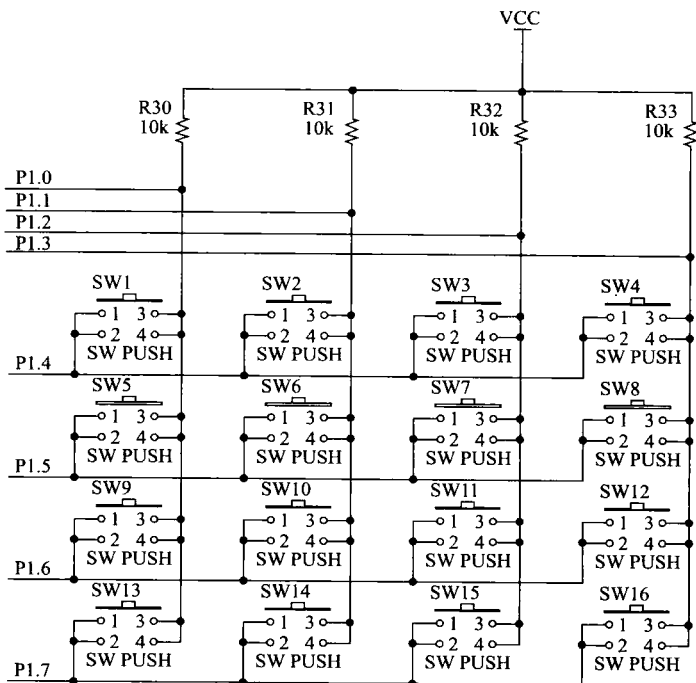


图 1-7  $4\times 4$  矩阵键盘电路图

以下为单片机  $4\times 4$  的矩阵键盘程序：

```
#include<AT89X51.h>
#include<intrins.h>
```

```

void delay(unsigned int i);
const unsigned char leddigit[12]={0x28,0x7e,0xa2,0x62,0x74,0x61,0x21,0x7a,
                                0x20,0x60,0xff,0xdf}; //字符 0-9 编码,0xff 为关显示, 0xdf 为小数点
#define disp(a,b) P2=~(1<<(a));P0=leddigit[b]
#define uchar unsigned char
#define uint unsigned int
void key()
{
    uchar k;
    P1 = 0xf0;           //低位置 0, 准备查询按键
    k = P1;              //取得当前 P1 口的状态
    if(k != 0xf0)
    {
        //如果有变化则表示有键按下
        k = 0xfe;
        do{
            //循环扫描每一行
            P1 = k;
            if(k != P1)
            {
                switch(P1)
                {
                    //第一行
                    case 0x77:{disp(1,1);break;}
                    case 0xb7:{disp(1,2);break;}
                    case 0xd7:{disp(1,3);break;}
                    case 0xe7:{disp(1,4);break;}
                    //第二行
                    case 0x7b:{disp(1,5);break;}
                    case 0xbb:{disp(1,6);break;}
                    case 0xdb:{disp(1,7);break;}
                    case 0xeb:{disp(1,8);break;}
                    //第三行
                    case 0x7d:{disp(1,9);break;}
                    case 0xbd:{disp(1,10);break;}
                    case 0xdd:{disp(1,11);break;}
                    case 0xed:{disp(4,11);break;}
                    //第四行
                    case 0x7e:{disp(2,1);break;}
                    case 0xbe:{disp(2,2);break;}
                    case 0xde:{disp(3,3);break;}

```

```

case 0xee:{disp(4,4);break;}
}
}
k = _crol_(k,1);           //移位，进入下一行扫描
}while(k !=0xef);          //超过范围退出
}
}

main()
{
while(1)
{
key();
}
}

```

### 【例 1-4】7 段数码管电路设计实例

数码管按段数可分为七段和八段数码管；按能显示几个“8”可分为1位、2位、4位等数码管；按发光二极管单元连接方式分为共阳极和共阴极数码管。将所有发光二极管的阳极

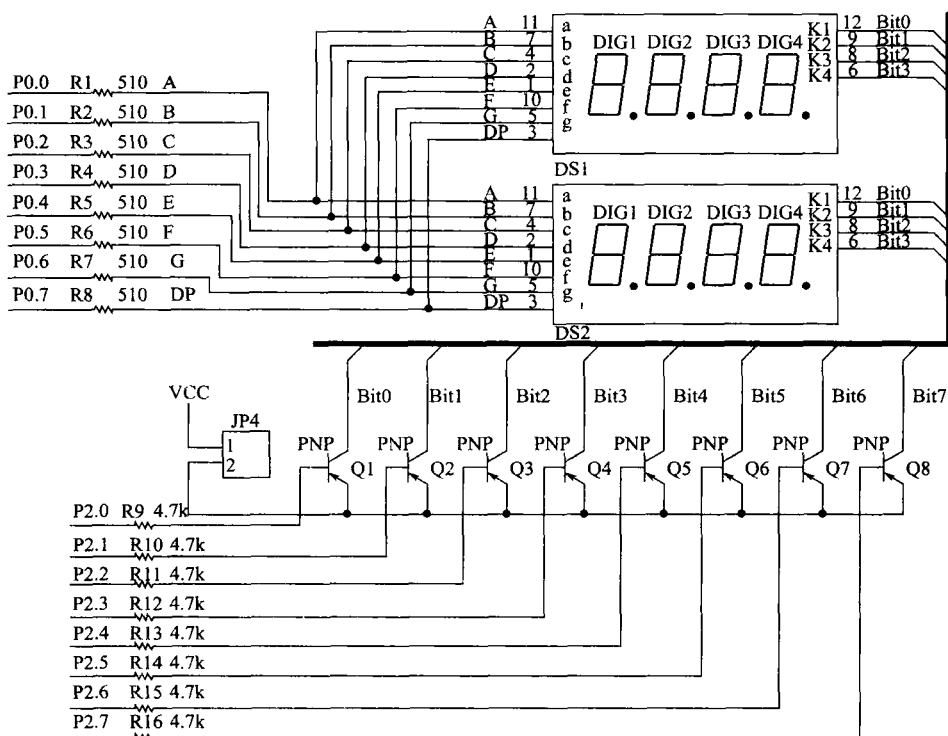


图 1-8 八位 7 段数码管电路图

接在一起形成公共阳极(COM)的数码管称为共阳极数码管。共阳极数码管在应用时应将公共极接至+5V, 当某一字段发光二极管的阴极为低电平时, 相应字段点亮。当某一字段的阴极为高电平, 相应字段不亮。将所有发光二极管的阴极接在一起形成公共阴极(COM)的数码管称为共阴极数码管。共阴极数码管在应用时应将公共极接至地线 GND 上, 当某一字段发光二极管的阳极为高电平时, 其相应字段就点亮。当某一字段的阳极为低电平时, 其相应字段就不亮。

如图 1-8 所示, 是八位 7 段数码管的电路设计, 短接上 JP4, 这部分电路将正常工作。

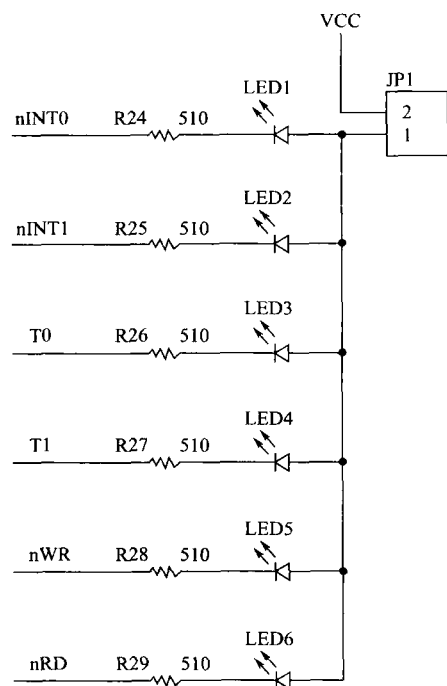


图 1-9 LED 灯连接图

### 【例 1-5】LED 灯电路设计实例

LED (Light Emitting Diode), 称为发光二极管, 它是一种可以直接把电转化为光的固态的半导体器件。LED 的重要组成部分是一个半导体的晶片, 其一端附在一个支架上, 一端为负极, 另一端连至电源正极, 环氧树脂封装着整个晶片。此半导体晶片由两个部分组成, 一端是 P 型半导体, 在其内部空穴占主导地位, 另一端是 N 型半导体, 在这边主要是电子。当这两种半导体连接到一起时, 它们之间就形成了一个 P-N 结。当电流作用于这个晶片时, 电子就会被推向 P 区, 在 P 区里电子与空穴复合, 就会以光子的形式发出能量, 这就是 LED 发光的基本原理, 而形成 P-N 结的材料决定着光的波长。

本实例将实现 51 单片机与 LED 的连接。设计图如图 1-9 所示。

短接 JP1, LED 灯电路将有效工作, 主要完成的程序有流水灯实验、交通灯实验等。

### 【例 1-6】LCD 接口电路设计实例

液晶显示模块是一种常见的人机界面, 其在单片机系统中的应用极其广泛。液晶显示模块既可以显示字符, 又可以显示简单的图形。

本设计提供了 1602 和 12864 两种类型的 LCD 接口, 如图 1-10 所示。

1602 是一种点阵字符型液晶显示模块, 可以显示两行共 32 个字符, 字符的点阵为 5×8 点, 是一种很常用的小型液晶显示模块。12864 是一种具有 4 位/8 位并行、2 线/3 线串行多种接口方式, 内部含有国际一级、二级简体中文字符的点阵图形液晶显示模块。其显示分辨率为 128×64, 内置 8192 个 16×16 点汉字和 128 个 16×8 点 ASCII 字符集。根据 LCD 型号不同, 所需要的背光电阻大小会略有差别, 可自行调整 R17、R18、R19 的大小。另外这两种 LCD 接口的第一脚在接口的左面。

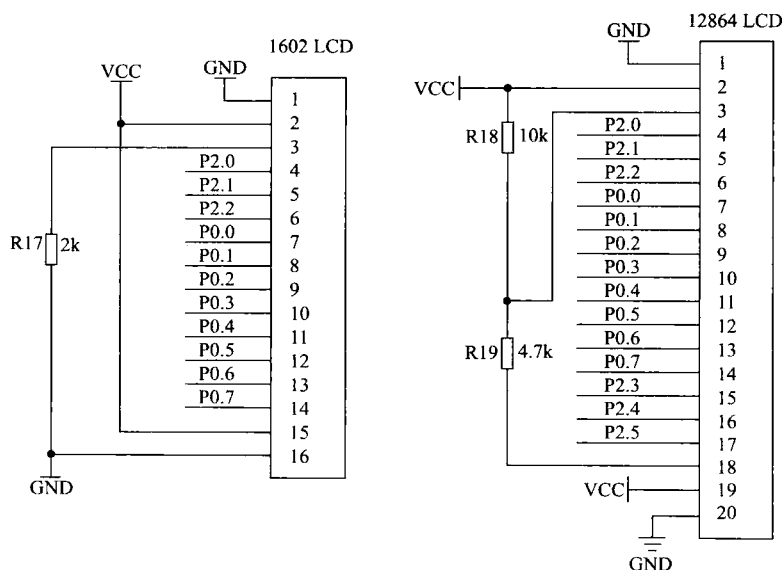


图 1-10 LCD 接口电路图

### 【例 1-7】AT24C02 电路设计实例

AT24C02 是一个 2K 位串行 CMOS E<sup>2</sup>PROM，内部含有 256 个 8 位字节，它有一个 16 字节的写缓冲器，该器件通过 I<sup>2</sup>C 总线接口进行操作，有一个专门的写保护功能。AT24C02 支持 I<sup>2</sup>C 总线数据传送协议，I<sup>2</sup>C 总线协议规定，任何将数据传送到总线的器件为发送器，任何从总线接受数据的器件为接收器。

如图 1-11 所示，为 AT24C02 与单片机的接口电路图。

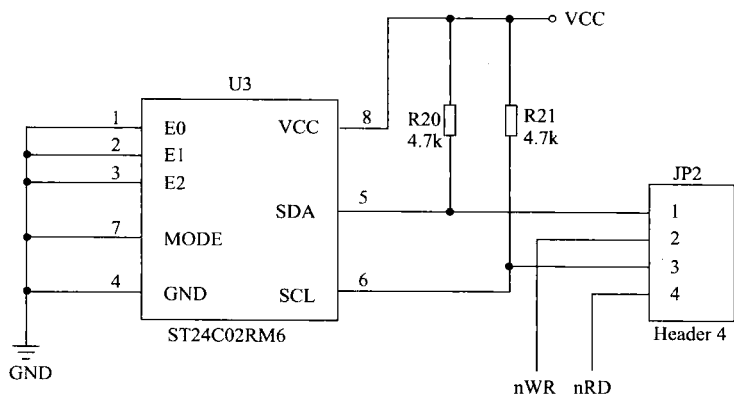


图 1-11 接口电路图

### 【例 1-8】仿真外扩接口设计实例

本实例为单片机仿真外扩接口设计。40Pin 外扩接口以及标准 40Pin 仿真连接头，与 Keil

C51 调试软件  $\mu$  Vision2 配合，可按单步、断点、连续等方式调试实际应用程序。既可仿真调试学习系统内部资源，也可仿真调试用户目标板资源。具体电路设计如图 1-12 所示。

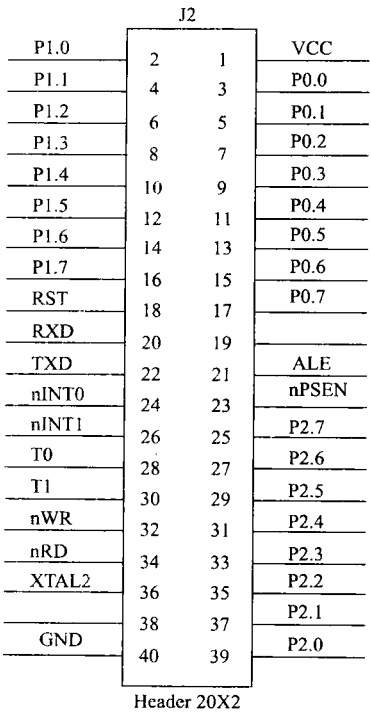


图 1-12 仿真外扩接口图

【例 1-9】USB 取电接口设计实例

USB (Universal Serial Bus)，称为通用串行总线。它是连接外部设备的一个串口总线标准。USB 最大的特点是支持热插拔 (Hot plug) 和即插即用 (Plug & Play)。当设备插入时，主机枚举此设备并加载所需的驱动程序，因此比其他类型的总线使用方便。以下为单片机的 USB 接口实例。其电路连接如图 1-13 所示。

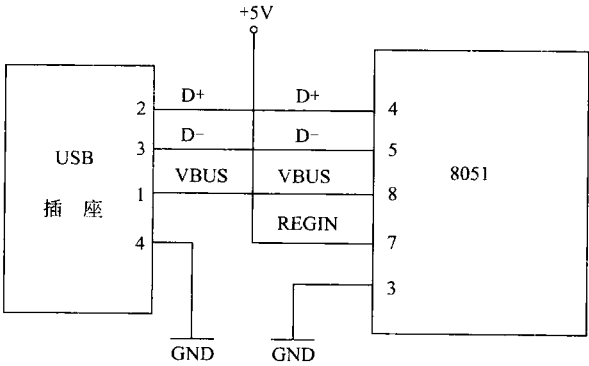
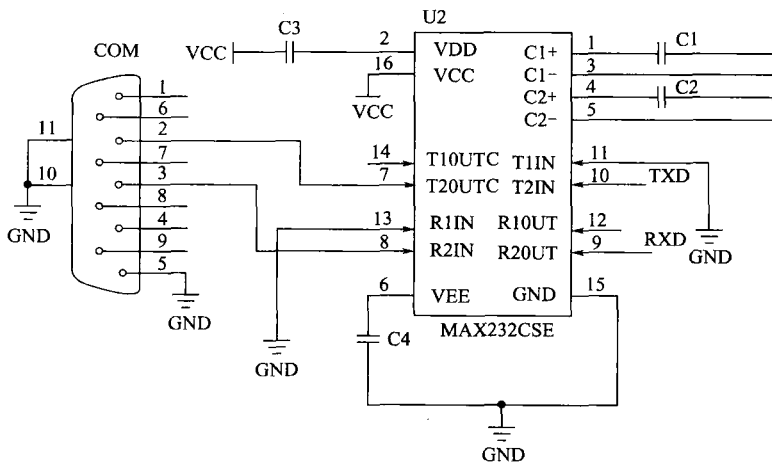
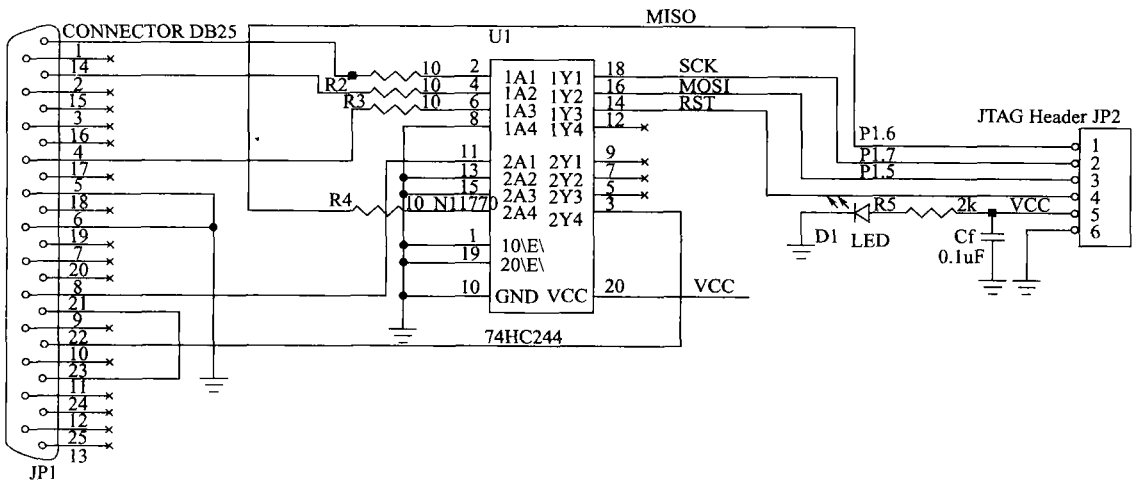


图 1-13 USB 接口电路图

LEUNG, S. AND C. CHAN. 1997. *Journal of Fish Biology* 50: 103-114.



— *W. J. G. & J. W. G.*



1997, 1998, 1999, 2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023, 2024, 2025, 2026, 2027, 2028, 2029, 2030, 2031, 2032, 2033, 2034, 2035, 2036, 2037, 2038, 2039, 2040, 2041, 2042, 2043, 2044, 2045, 2046, 2047, 2048, 2049, 2050, 2051, 2052, 2053, 2054, 2055, 2056, 2057, 2058, 2059, 2060, 2061, 2062, 2063, 2064, 2065, 2066, 2067, 2068, 2069, 2070, 2071, 2072, 2073, 2074, 2075, 2076, 2077, 2078, 2079, 2080, 2081, 2082, 2083, 2084, 2085, 2086, 2087, 2088, 2089, 2090, 2091, 2092, 2093, 2094, 2095, 2096, 2097, 2098, 2099, 2100, 2101, 2102, 2103, 2104, 2105, 2106, 2107, 2108, 2109, 2110, 2111, 2112, 2113, 2114, 2115, 2116, 2117, 2118, 2119, 2120, 2121, 2122, 2123, 2124, 2125, 2126, 2127, 2128, 2129, 2130, 2131, 2132, 2133, 2134, 2135, 2136, 2137, 2138, 2139, 2140, 2141, 2142, 2143, 2144, 2145, 2146, 2147, 2148, 2149, 2150, 2151, 2152, 2153, 2154, 2155, 2156, 2157, 2158, 2159, 2160, 2161, 2162, 2163, 2164, 2165, 2166, 2167, 2168, 2169, 2170, 2171, 2172, 2173, 2174, 2175, 2176, 2177, 2178, 2179, 2180, 2181, 2182, 2183, 2184, 2185, 2186, 2187, 2188, 2189, 2190, 2191, 2192, 2193, 2194, 2195, 2196, 2197, 2198, 2199, 2200, 2201, 2202, 2203, 2204, 2205, 2206, 2207, 2208, 2209, 2210, 2211, 2212, 2213, 2214, 2215, 2216, 2217, 2218, 2219, 2220, 2221, 2222, 2223, 2224, 2225, 2226, 2227, 2228, 2229, 2230, 2231, 2232, 2233, 2234, 2235, 2236, 2237, 2238, 2239, 2240, 2241, 2242, 2243, 2244, 2245, 2246, 2247, 2248, 2249, 2250, 2251, 2252, 2253, 2254, 2255, 2256, 2257, 2258, 2259, 2260, 2261, 2262, 2263, 2264, 2265, 2266, 2267, 2268, 2269, 2270, 2271, 2272, 2273, 2274, 2275, 2276, 2277, 2278, 2279, 2280, 2281, 2282, 2283, 2284, 2285, 2286, 2287, 2288, 2289, 2290, 2291, 2292, 2293, 2294, 2295, 2296, 2297, 2298, 2299, 2300, 2301, 2302, 2303, 2304, 2305, 2306, 2307, 2308, 2309, 2310, 2311, 2312, 2313, 2314, 2315, 2316, 2317, 2318, 2319, 2320, 2321, 2322, 2323, 2324, 2325, 2326, 2327, 2328, 2329, 2330, 2331, 2332, 2333, 2334, 2335, 2336, 2337, 2338, 2339, 2340, 2341, 2342, 2343, 2344, 2345, 2346, 2347, 2348, 2349, 2350, 2351, 2352, 2353, 2354, 2355, 2356, 2357, 2358, 2359, 2360, 2361, 2362, 2363, 2364, 2365, 2366, 2367, 2368, 2369, 2370, 2371, 2372, 2373, 2374, 2375, 2376, 2377, 2378, 2379, 2380, 2381, 2382, 2383, 2384, 2385, 2386, 2387, 2388, 2389, 2390, 2391, 2392, 2393, 2394, 2395, 2396, 2397, 2398, 2399, 2400, 2401, 2402, 2403, 2404, 2405, 2406, 2407, 2408, 2409, 2410, 2411, 2412, 2413, 2414, 2415, 2416, 2417, 2418, 2419, 2420, 2421, 2422, 2423, 2424, 2425, 2426, 2427, 2428, 2429, 2430, 2431, 2432, 2433, 2434, 2435, 2436, 2437, 2438, 2439, 2440, 2441, 2442, 2443, 2444, 2445, 2446, 2447, 2448, 2449, 2450, 2451, 2452, 2453, 2454, 2455, 2456, 2457, 2458, 2459, 2460, 2461, 2462, 2463, 2464, 2465, 2466, 2467, 2468, 2469, 2470, 2471, 2472, 2473, 2474, 2475, 2476, 2477, 2478, 2479, 2480, 2481, 2482, 2483, 2484, 2485, 2486, 2487, 2488, 2489, 2490, 2491, 2492, 2493, 2494, 2495, 2496, 2497, 2498, 2499, 2500, 2501, 2502, 2503, 2504, 2505, 2506, 2507, 2508, 2509, 2510, 2511, 2512, 2513, 2514, 2515, 2516, 2517, 2518, 2519, 2520, 2521, 2522, 2523, 2524, 2525, 2526, 2527, 2528, 2529, 2530, 2531, 2532, 2533, 2534, 2535, 2536, 2537, 2538, 2539, 2540, 2541, 2542, 2543, 2544, 2545, 2546, 2547, 2548, 2549, 2550, 2551, 2552, 2553, 2554, 2555, 2556, 2557, 2558, 2559, 2560, 2561, 2562, 2563, 2564, 2565, 2566, 2567, 2568, 2569, 2570, 2571, 2572, 2573, 2574, 2575, 2576, 2577, 2578, 2579, 2580, 2581, 2582, 2583, 2584, 2585, 2586, 2587, 2588, 2589, 2590, 2591, 2592, 2593, 2594, 2595, 2596, 2597, 2598, 2599, 2600, 2601, 2602, 2603, 2604, 2605, 2606, 2607, 2608, 2609, 2610, 2611, 2612, 2613, 2614, 2615, 2616, 2617, 2618, 2619, 2620, 2621, 2622, 2623, 2624, 2625, 2626, 2627, 2628, 2629, 2630, 2631, 2632, 2633, 2634, 2635, 2636, 2637, 2638, 2639, 2640, 2641, 2642, 2643, 2644, 2645, 2646, 2647, 2648, 2649, 2650, 2651, 2652, 2653, 2654, 2655, 2656, 2657, 2658, 2659, 2660, 2661, 2662, 2663, 2664, 2665, 2666, 2667, 2668, 2669, 2670, 2671, 2672, 2673, 2674, 2675, 2676, 2677, 2678, 26

ISP 功能具有如下优点：

- (1) 不需要移出微控制器，而直接实现在系统中编程。
- (2) 不需并行编程器，仅需用串口（RXT 和 RXD）。
- (3) 结合上位机软件即可实现 PC 对其编程，硬件电路连接简单。

如图 1-15 所示，为 51 单片机的标准 ISP 接口形式。

【例 1-12】MCS-51 最小应用系统设计实例

最小应用系统设计就是单片机能工作的最小系统，一般包括 CPU、时钟电路系统和复位系统。

1. 总线方式的最小应用系统结构

MCS-51 单片机引脚提供了外围并行扩展的三总线结构，P2、P0 口构成了 16 位的地址总线，P0 口构成了 8 位的数据总线， $\overline{\text{PSEN}}$ 、 $\overline{\text{RD}}$ 、 $\overline{\text{WR}}$ 、ALE、 $\overline{\text{EA}}$  构成控制总线。当必须通过总线进行外围扩展时，才使用到这种结构。

如图 1-16 所示是总线方式的最小应用系统结构，它由单片机、复位电路、I/O 及并行扩展总线组成。

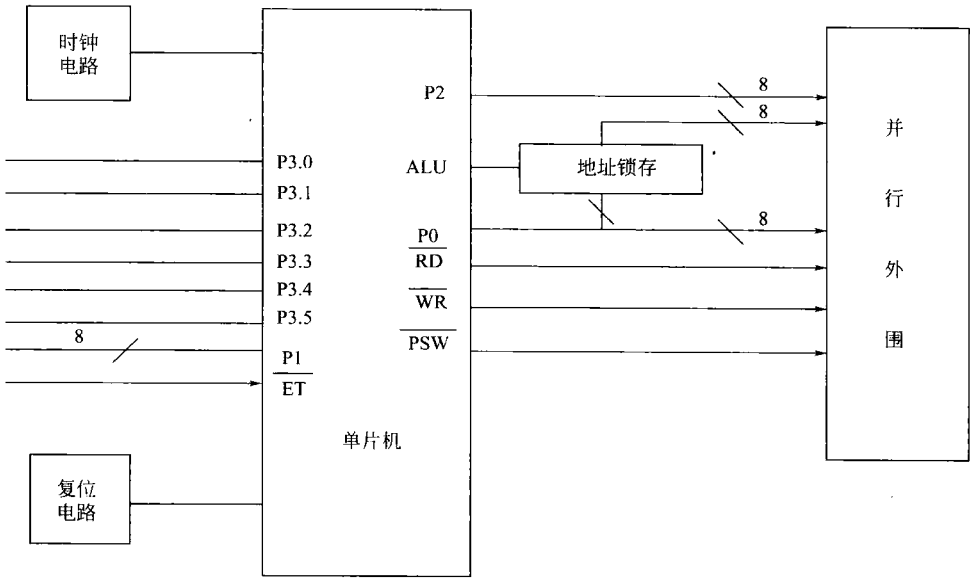


图 1-16 总线方式的最小应用系统结构

这种系统采用总线方式扩展外围器件或接口，具有数据传输速度快，实时性好等优点，常用来扩展传输速度较高的存储器、I/O 口、中断源、A/D 及 D/A 等。但由于使用了并行总线，且必须采用地址译码和锁存，占用系统的引脚数量多、扩展电路复杂，可用的 I/O 资源较少。

2. 非总线方式的最小应用系统结构

在此方式单片机内有程序存储器，且外部无扩展 RAM。该系统中只有单片机、时钟电