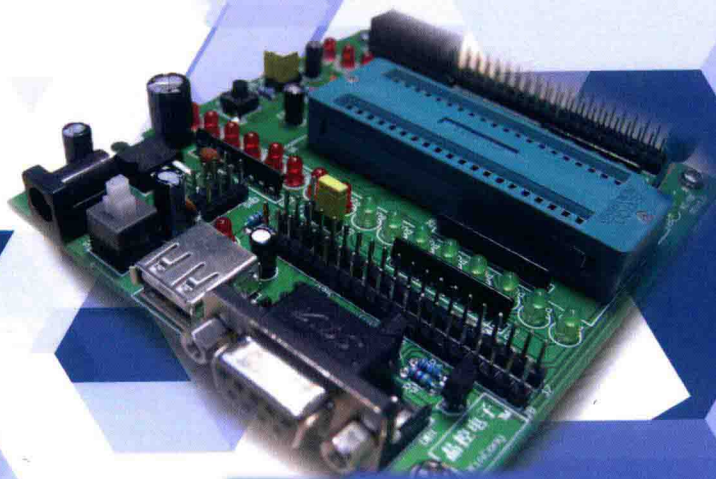
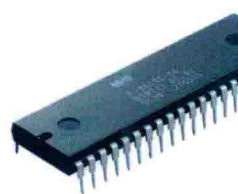


51单片机C语言编程实战

51 DANPIANJI C YUYAN BIANCHENG SHIZHAN

高传贤 主 编





51单片机C语言编程实战

51 DANPIANJI C YUYAN BIANCHENG SHIZHAN

主 编：高传贤

副主编：张 健 章 勇

参 编：高 舒 罗国庆 夏进全 吴存凤

王亚梅 柳继军 仇进军



江苏大学出版社
JIANGSU UNIVERSITY PRESS

镇 江

图书在版编目(CIP)数据

51 单片机 C 语言编程实战 / 高传贤主编. — 镇江 :
江苏大学出版社, 2016. 11
ISBN 978-7-5684-0338-2

I. ①5… II. ①高… III. ①单片微型计算机—C 语言
—程序设计 IV. ①TP368.1②TP312

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 241379 号

内容提要

本书是基于 MCS-51 系列单片机之 STC89C52RC 控制 C 语言编程的项目式实战教程。全书共设计了 14 个项目,引入 28 个实例,既涉及单片机对 LED 发光二极管、LED 数码管静态和动态显示、键盘、蜂鸣器和继电器、步进电机、与 PC 串行通信、DS18B20 温度显示、16×16 LED 点阵显示汉字、1602 LCD 液晶显示字符、AT24C02 数据存储及 AD 和 DA 转换的基本控制,还涉及电子温度计/航标灯的综合控制。叙述遵循教学规律,循序渐进,深入浅出,将单片机 C 语言程序设计开发基础寓于项目实战之中,易于初学者理解,便于自学,同时通过自制的编程器将程序下载运行,检测实战结果,能极大地提高读者学习的兴趣,并加大操作训练的力度。本书可作为职业院校及培训班的教材及单片机爱好者的自学和参考用书。

51 单片机 C 语言编程实战

51 Danpianji C Yuyan Biancheng Shizhan

主 编/高传贤

责任编辑/李经晶 吕亚楠

出版发行/江苏大学出版社

地 址/江苏省镇江市梦溪园巷 30 号(邮编:212003)

电 话/0511-84446464(传真)

网 址/http://press. ujs. edu. cn

排 版/镇江华翔票证印务有限公司

印 刷/虎彩印艺股份有限公司

开 本/787 mm×1 092 mm 1/16

印 张/10.25

字 数/243 千字

版 次/2016 年 11 月第 1 版 2016 年 11 月第 1 次印刷

书 号/ISBN 978-7-5684-0338-2

定 价/28.00 元

如有印装质量问题请与本社营销部联系(电话:0511-84440882)

前 言

单片机即单片微型计算机,它是在一块半导体基片上集成中央处理器(CPU)、存储器(包括数字存储器 RAM 和程序存储器 ROM)、定时/计数器、中断控制系统及输入/输出(I/O)系统等,同时外接一些元器件组成基本的控制电路,通过执行写入 ROM 中的应用程序控制所连接的外部设备,实现所需的控制功能。单片机具有可靠性高、体积小、价格低、易于产品化等特点,在自动化仪器仪表、实时工业控制、智能终端、导航系统、家用电器等领域获得了广泛应用。职业院校机械、电气、电子信息类专业学生学习单片机控制技术,有利于提高他们的职业技能和就业创业能力,有利于他们的继续学习和终身学习。单片机的种类很多,本书基于结构典型、应用广泛的 MCS-51 系列,书中各案例均采用由深圳宏晶科技有限公司生产的 STC89C52RC 型单片机,项目实践采用不涉及单片机内部结构、易于理解且移植性好的 C 语言进行程序设计。

本书为单片机学习的项目式实战教程。全书共设计了 14 个项目,引入了 28 个程序编制实例。项目一(最小控制系统/串口程序下载电路的制作)和项目二(Keil C51 和 STC-ISP 软件的使用),解决了单片机的最小模式、程序编译与下载方法的问题;项目三至项目十三先后通过单片机对 LED 发光二极管的控制,LED 数码管静态、动态显示,单片机的键盘控制,对蜂鸣器、继电器的控制,对步进电机的控制,单片机与 PC 的串行通信,DS18B20 温度控制,16×16 LED 点阵显示汉字,1602 LCD 液晶显示字符,AT24C02 数据存储及 A/D、D/A 转换等,涉及单片机的基本控制、单片机与并行 I/O 接口、单片机与按键接口、单片机与串行接口、单片机与 A/D 的接口,涵盖了单片机的输入/输出通道、中断控制系统、定时/计数器和串行通信等重要内容和基本原理,所选项目具有基础性和实用性;项目十四(电子温度计/航标灯的控制)更具有一定的综合性与提高性。

各项目的完成以“实体电路设计+程序编制”展开,对所需理论即用即学,不追求对结构原理掌握、理解的完整性及深入度,强化以实战为主的教学模式,彻底摒弃“先理论,后实践”、理论与实践相脱节的教学模式,巧妙地将单片机 C 语言程序设计开发基础寓于操作实践之中,可以说完全是“以零基础学习单片机 C 语言编程”;通过电路设计、基于 PCB 或万能板的实用模块制作、程序编制并下载运行,使各训练项目原理和程序语句能被充分认识与理解,每个实战项目的结果都能得到切实验证,让初学

者看到自己学习的价值,有利于提高他们的学习兴趣。

本书由高传贤主编,张健、章勇副主编,高舒、罗国庆、夏进全、吴存凤、王亚梅、柳继军、仇进军编写,由高传贤统稿。在本书编写过程中参考了不少文献资料,在此向这些文献的作者一并表示衷心感谢。由于编写时间短促,书中疏漏在所难免,敬请诸位读者批评指正。

编 者
2016 年 9 月

Contents

目 录

项目一 最小控制系统/串口程序下载电路的制作	1
1.1 MCS-51 系列单片机的主要结构	2
1.1.1 内部结构	2
1.1.2 外部引脚及功能	3
1.2 单片机最小控制系统电路的制作	4
1.2.1 最小控制系统电路的构成	5
1.2.2 最小控制系统电路的制作	5
1.3 串口程序下载电路的制作	7
1.3.1 MAX232 电平转换电路	7
1.3.2 单片机串口程序下载电路的安装搭接	8
项目二 Keil C51 和 STC-ISP 软件的使用	9
2.1 Keil C51 软件的使用方法	10
2.2 STC-ISP 软件的使用方法	17
2.3 发光二极管单灯发光程序的功能验证	20
2.3.1 单片机控制 LED 发光二极管模块的安装搭接	21
2.3.2 第一个 LED 发光二极管发光程序的功能验证	21
项目三 LED 发光二极管的控制	22
3.1 单片机控制 LED 发光二极管电路原理	22
3.2 第一个 LED 发光二极管发光程序的分析解读	23
3.3 LED 发光二极管单灯闪烁发光程序编制	24
3.4 LED 发光二极管流水灯程序编制	26
项目四 LED 数码管静态、动态显示	28
4.1 LED 数码管显示模块的制作	29
4.1.1 数码管的结构和工作原理	29



4.1.2 数码管显示电路的搭接安装	31
4.2 LED 数码管静态显示程序的编制	33
4.3 LED 数码管动态显示程序的编制	34
4.3.1 简单延时的数码管动态显示程序的编制	34
4.3.2 利用定时/计数器及中断的数码管动态显示程序的编制	35
项目五 键盘的识别与控制	42
5.1 矩阵键盘模块的制作	43
5.1.1 键盘的结构与原理	43
5.1.2 4×4 行列式键盘模块的搭接安装	45
5.2 独立按键的检测与消抖程序的编制	45
5.3 矩阵键盘的识别与控制程序的编制	47
项目六 蜂鸣器与继电器的控制	52
6.1 蜂鸣器与继电器的原理和电路	53
6.1.1 蜂鸣器的发声原理与控制电路	53
6.1.2 继电器的驱动电路	54
6.2 蜂鸣器与继电器控制模块的安装搭接	54
6.3 蜂鸣器与继电器控制程序的编制	56
6.3.1 蜂鸣器控制程序的编制	56
6.3.2 继电器控制程序的编制	59
项目七 步进电机的控制	61
7.1 步进电机原理及其驱动电路	62
7.2 步进电机控制模块的安装搭接	63
7.3 步进电机控制程序的编制	64
项目八 单片机与 PC 的串行通信	70
8.1 串行通信基本知识	71
8.1.1 串行接口的特点与串行控制寄存器	71
8.1.2 波特率的选择	72
8.2 单片机与 PC 串行通信程序的编制	72
8.2.1 串行通信的接口电路	72
8.2.2 串行通信程序的编制	72
项目九 DS18B20 温度控制	77
9.1 DS18B20 的主要结构及操作	78

9.1.1 DS18B20 的内部结构	78
9.1.2 DS18B20 的操作	78
9.2 单片机与单总线器件 DS18B20 的接口电路	79
9.3 单片机控制 DS18B20 温度显示程序的编制	80
项目十 16 × 16 LED 点阵显示汉字	85
10.1 16 × 16 LED 点阵显示模块的制作	86
10.1.1 LED 点阵显示模块结构及显示原理	86
10.1.2 16 × 16 LED 点阵显示模块的安装搭接	90
10.2 单片机控制 16 × 16 LED 点阵显示汉字程序的编制	91
项目十一 1602 LCD 液晶显示字符	99
11.1 1602 LCD 液晶显示控制模块制作	100
11.1.1 1602 LCD 液晶结构及显示原理	100
11.1.2 1602 LCD 液晶显示模块的制作	103
11.2 单片机控制 1602 LCD 液晶显示字符程序的编制	103
项目十二 AT24C02 数据存储	109
12.1 I ² C 总线的组成及工作原理	110
12.1.1 I ² C 总线的概念	110
12.1.2 I ² C 总线协议	110
12.1.3 数据传送格式	111
12.2 单片机与双总线器件 AT24C02 的接口	112
12.3 单片机控制 AT24C02 数据存储的程序编制	113
项目十三 D/A 转换、A/D 转换	122
13.1 集成 D/A 转换器、A/D 转换器及其控制模块制作	124
13.1.1 集成 D/A 转换器	124
13.1.2 集成 A/D 转换器	126
13.2 单片机控制 DAC0832 数模转换的程序编制	127
13.3 单片机控制 ADC0804 模数转换的程序编制	129
项目十四 电子温度计/航标灯的控制	133
14.1 航标灯控制模块制作	134
14.1.1 航标灯电路结构及控制原理	134
14.1.2 航标灯控制模块的安装搭接	135



14.2 单片机控制航标灯/电子温度计程序的编制	136
附录 A C 语言的关键字和 C51 编译器的扩展关键字	146
附录 B C51 编译器能识别的数据类型	148
附录 C C 语言运算符的优先级和结合性	149
附录 D Keil 软件的仿真调试方法	151
参考文献	155



项目一

最小控制系统/串口程序下载电路的制作



基本任务

制作并安装 51 单片机最小控制系统/串口程序下载电路试验板。



主要目标

- (1) 认识 51 系列单片机 STC89C52RC 的基本结构,了解其引脚功能。
- (2) 掌握 51 单片机最小控制系统/串口程序下载电路的组成,学会其硬件制作。



软硬件准备

本项目所用的元器件见表 1-1。

表 1-1 项目一所用的元器件

序号	标号	名称	说明	标注	封装形式
1	U1	STC89C52RC	单片机(51 系列)	STC89C52RC	DIP40
2	U2	MAX232	串口电平转换芯片	MAX232	DIP16
3	Y1	CRYSTAL	晶振	11.0592 MHz	XTAL1
4	D1	LED	发光二极管 Φ3,红色		LED - 100
5	C1	ELECTRO2	电解电容	10 μF/16 V	RB. 2/. 4
6	C2	ELECTRO2	电解电容	100 μF/16 V	RB. 2/. 4



续表

序号	标号	名称	说明	标注	封装形式
7	C3, C4	CAP	瓷片电容	30 pF	CAP - 100
8	C5	ELECTRO2	电解电容	1 μ F/16 V	RB. 2/. 4
9	C6 ~ C9	CAP	独石电容	105	CAP - 200
10	R1	RES2	碳膜电阻	10 k Ω	AXIAL0. 3
11	R2	RES2	碳膜电阻	1 k Ω	AXIAL0. 3
12	S1	PW	按键, 6 $\times$ 6 $\times$ 5 mm		XEF - 4
13	S2	KCD1 T55	船形开关		KCD - 1
14	J1 ~ J4	CON8	8 位单排针, 扩展 I/O 口用		SIP8
15	J5, J6	CON4	4 位单排针, 扩展电源端用		SIP4
16	J7	USB	USB 母头(连线), 由电脑取电用	USB	USB - 20
17	J8	DB9	九针弯脚座(阴头)		DB - 9RA/F
18	J9	Header2 $\times$ 2	2 位双排针, 电路连接用		HDR2X2
19		锁紧 IC 座	STC89C52 芯片插入用		DIP40
20		IC 座	MAX232 芯片插入用		DIP16
21		USB - ISP 线	USB 转串口线, 串行通信用		
22		PCB	最小控制系统/串口程序 下载电路印制板	(75 mm $\times$ 100 mm)	

1.1 MCS - 51 系列单片机的主要结构

MCS - 51 系列单片机在种类很多的单片机中结构典型、应用广泛, 后来发展的单片机产品尽管在存储器形式、片内存储容量、计数器个数上与之有所区别, 但它们的内核和寄存器是相同的, 有着共同的基本结构。

1.1.1 内部结构

51 系列单片机由中央处理器(CPU)、内部数据存储器(RAM)、内部程序存储器(ROM)、定时/计数器、中断系统、输入/输出(I/O)接口和时钟电路组成, 内部结构示意图如图 1-1 所示。

1. CPU

CPU 由运算器和控制器组成, 用于完成算术运算和逻辑运算, 控制各部件协调一致地工作。

2. ROM

ROM 用于存放应用程序, 掉电后程序(数据)不会丢失。要使单片机有控制作用, 必须将编制的应用程序下载到单片机的 ROM 中。

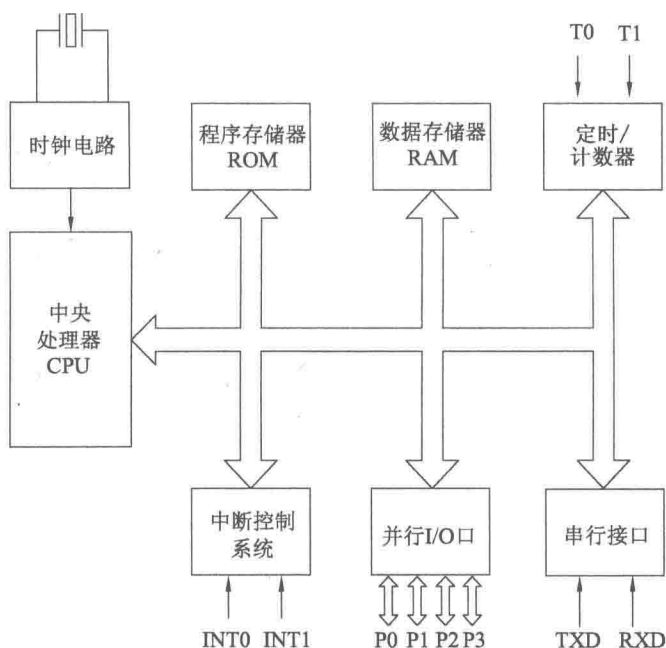


图 1-1 MCS-51 单片机的内部结构示意图

3. RAM

RAM 主要用来存放实时数据或作为通用寄存器、堆栈或数据缓冲器使用,用户区的存储单元可存放用户输入/输出的数据。RAM 单元的数据可读写,掉电后信息会丢失。

4. 定时/计数器

定时/计数器实现对内部时钟和外部信号的计数功能,以实现单片机的定时控制。

5. 中断系统

中断系统使单片机能应对外部突发事件的发生,及时响应并进行相应的处理,提高单片机的效能和及时处理能力。

6. I/O 接口

I/O 接口电路有串行和并行两种。串行 I/O 接口用于串行数据传输,把单片机内部的并行数据变成串行数据一位一位向外传输,也可将一位一位串行接收的外部送来的数据变成并行数据传输给 CPU 处理。并行 I/O 接口可以使单片机和存储器或外设之间实现并行数据传输,可以按 8 位并行方式使用,也可一位一位使用。

7. 时钟电路

时钟电路提供统一的时钟脉冲,使单片机各部件在统一的节拍下协同工作。

1.1.2 外部引脚及功能

图 1-2 是 51 系列单片机 40 引脚双列直插式(DIP)集成电路芯片 STC89C52RC 的引脚图。

1. 电源引脚

VCC(40 脚):接 +5 V 电源正极。



VSS(20 脚):接电源地。

2. 外接时钟引脚

XTAL1(19 脚)、XTAL2(18 脚):各外接石英晶体振荡器的一端,与片内反相放大器构成片内时钟振荡器。

3. 控制信号引脚

(1) RST(9 脚):单片机上电复位端。当开机后出现持续两个机器周期的高电平,即可实现系统复位,使单片机回到初始状态。

(2) ALE(30 脚):地址锁存允许信号。当访问外部存储器时,在每个机器周期内会出现两个正脉冲,用于锁存出现在 P0 口的低 8 位地址信息。

(3) PSEN(29 脚):片外程序存储器读选通信号输出端。在读外部 ROM 时,PSEN 有效(低电平),以实现片外 ROM 单元的读写操作。

(4) EA(31 脚):访问外部程序存储器控制信号。当 EA 端为低电平时,只访问外部程序存储器,当 EA 端为高电平时,对 ROM 的操作从内部程序存储器开始,延伸至外部程序存储器。

4. 输入/输出(I/O)引脚

(1) P0 口(39 脚~32 脚):P0.0~P0.7。双向 8 位输入/输出端口。

(2) P1 口(1 脚~8 脚):P1.0~P1.7。双向 8 位输入/输出端口。

(3) P2 口(21 脚~28 脚):P2.0~P2.7。双向 8 位输入/输出端口。

(4) P3 口(10 脚~17 脚):P3.0~P3.7。双向 8 位输入/输出端口,当该端口不作为输入/输出端口使用时,每一个引脚也可以有第二功能:

P3.0/RXD:串行输入口

P3.1/TXD:串行输出口

P3.2/INT0:外部中断 0 请求输入口

P3.3/INT1:外部中断 1 请求输入口

P3.4/T0:定时/计数器 0 外部事件脉冲输入口

P3.5/T1:定时/计数器 1 外部事件脉冲输入口

P3.6/ $\overline{\text{WR}}$:外部数据存储器写选通信号输出口

P3.7/ $\overline{\text{RD}}$:外部数据存储器读选通信号输出口

1	P1.0	VCC	40
2	P1.1	P0.0	39
3	P1.2	P0.1	38
4	P1.3	P0.2	37
5	P1.4	P0.3	36
6	P1.5	P0.4	35
7	P1.6	P0.5	34
8	P1.7	P0.6	33
9	RST/VPD	P0.7	32
10	P3.0/RXD	$\overline{\text{EA}}/\text{VPP}$	31
11	P3.1/TXD	ALE/PROG	30
12	P3.2/INT0	PSEN	29
13	P3.3/INT1	P2.7	28
14	P3.4/T0	P2.6	27
15	P3.5/T1	P2.5	26
16	P3.6/ $\overline{\text{WR}}$	P2.4	25
17	P3.7/ $\overline{\text{RD}}$	P2.3	24
18	XTAL2	P2.2	23
19	XTAL1	P2.1	22
20	VSS	P2.0	21

图 1-2 51 单片机 40DIP 引脚图

1.2 单片机最小控制系统电路的制作

单片机最小控制系统就是一块精简的单片机开发板,是只有单片机能够运行的最低配置,尚没有连接上外部接口电路。这种全开放式的控制便于人们根据需求和可能灵活地连接外设,以更好地从软硬件的结合上认识、理解单片机,有利于初学者的学习。

1.2.1 最小控制系统电路的构成

单片机最小控制系统由电源电路、时钟电路、复位电路三部分构成,其电路图如图 1-3 所示。

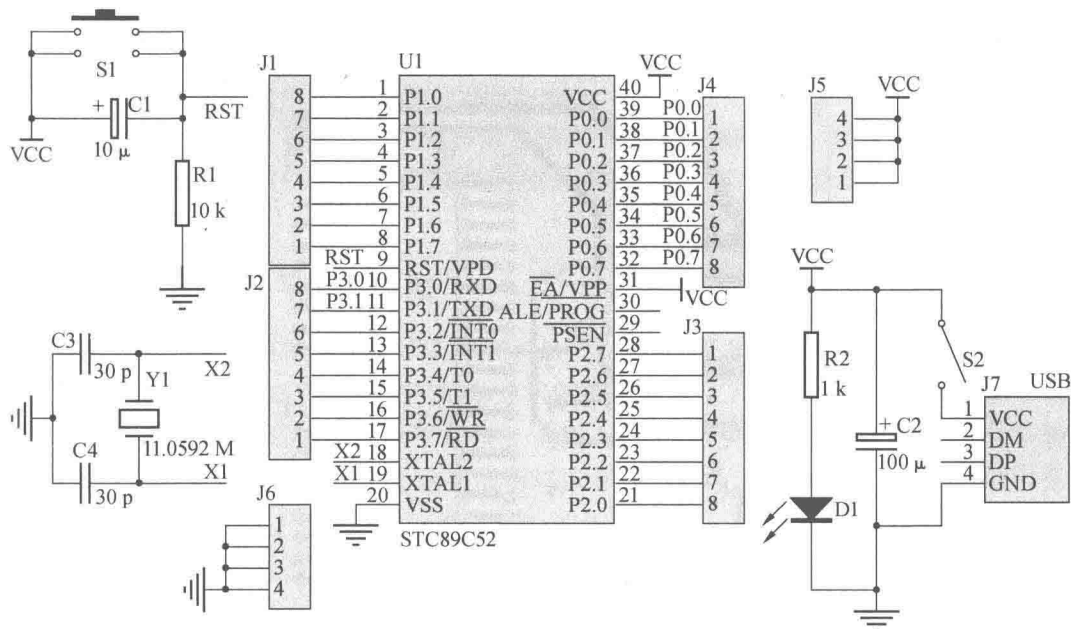


图 1-3 单片机最小控制系统电路图

1. 电源电路

用于供电。可用 +5 V 稳压电源供电,也可用电脑的 USB 口供电。本制作用电脑 USB 口供电,以 USB 线将单片机 USB 座与电脑的 USB 接口相连即可。

2. 时钟电路

采用内部时钟方式,由片内的高增益反相放大器通过 XTAL1, XTAL2 外接晶振和两个片电容构成,晶振频率取 11.0592 MHz 或 12 MHz,电容具有频率微调作用,通常取 30 pF。

3. 复位电路

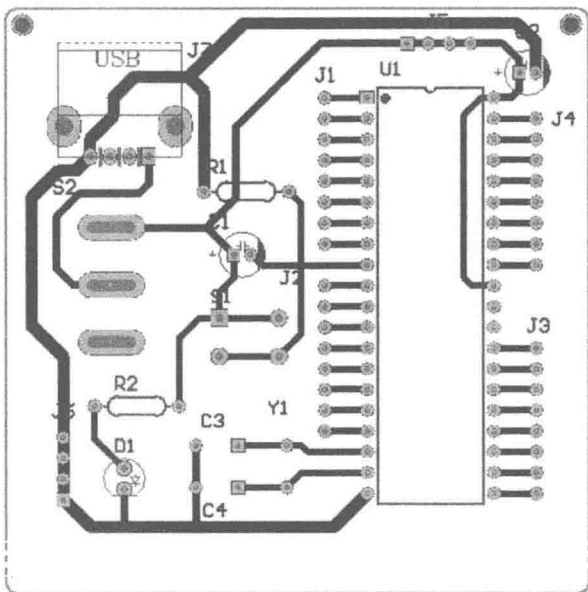
采用上电复位(也称自动复位)和按钮复位(也称手动复位)的组合电路。图中 R1, C1 组成上电复位电路。接通电源瞬间,RST 端与 VCC 同电位,随着电容上的电压逐渐上升,RST 端的电压逐渐下降,于是在 RST 端便形成了一个正脉冲,只要该脉冲宽度持续两个机器周期的高电平,就可实现系统自动复位;当人工按下 S1 按键后就可实现手动复位,使单片机回到初始状态。

1.2.2 最小控制系统电路的制作

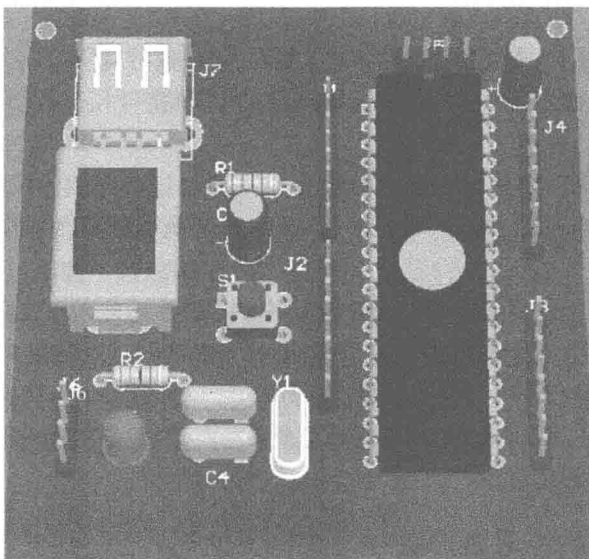
按照图 1-3 将单片机最小系统电路元器件安装并搭接到 PCB 或万能板上。注意单片机芯片插入锁紧 IC 座时,应确保芯片缺口方向与插座手杆的方向一致。板上 USB 座安装目的是从电脑取电,只需搭接电源两引脚即可,但要注意区分正负极端子。电源引



入后应通过船形开关 S2 控制电路的通断。除 4 组 I/O(输入/输出)接口 P0 口、P1 口、P2 口、P3 口要分别引出 8 位单排插针接口外,电源正负极也要各引出 4 位单排插针接口,以便通过杜邦线与外部被控设备连接。最小控制系统板上还应搭接一路由发光二极管 D1 和限流电阻 R2 组成的电源通电指示,发光管可选用 $\Phi 3$ 红色普通型,限流电阻取值 $1\text{ k}\Omega$,二者串联使发光管正向连接于 $+5\text{ V}$ 、 -5 V 电源间。图 1-4 所示为最小控制系统的 PCB 图和指导读者进行制作安装的 3D 效果图。



(a) PCB图



(b) 3D效果图

图 1-4 单片机最小控制系统

1.3 串口程序下载电路的制作

要使单片机具有控制作用,必须把预先编写的控制程序写入(下载)到单片机内部的 ROM 中,单片机通电后执行这些应用控制程序,在有关输入/输出端口就会产生相应的高、低电平信号,从而实现对所连接的外部设备实时控制和检测的功能。

单片机内部有一个串行输入/输出端口,深圳宏晶公司生产的 STC89C52RC 等型号单片机利用这个串行口可以很方便地将由上位机(PC)编写的程序下载到该单片机中,同时该公司网站提供下载所需的配套软件,这就是本书选用 STC 型单片机进行项目实战的主要原因。

1.3.1 MAX232 电平转换电路

计算机串行通信通常采用 RS232 标准。从 PC 向单片机串行下载程序,由于 PC 串行接口输出的信号是 RS232 标准电平,而单片机的信号电平是 TTL 电平,因此 PC 与单片机的串行通信要进行 RS232/TTL 电平转换。常用 MAX232 芯片进行 RS232/TTL 电平转换,既可以把 TTL 电平 0 V 和 5 V 转换成 RS232 的 3 ~ 15 V 和 -3 ~ -15 V,也可以把 RS232 的 3 ~ 15 V 和 -3 ~ -15 V 转换成 TTL 的 0 V 和 5 V。图 1-5 是由 MAX232 组成的单片机串行通信电平转换电路。在单片机最小系统基础上加上这一串行电平转换电路,就能为单片机下载程序了。

在图 1-5 中,MAX232 内部通过管脚 1,2,3,4,5,6 外接 4 只 $1\mu\text{F}$ 的电容组成电荷泵电路,产生 +12 V 和 -12 V 电压,以提供 RS232 串口电平;管脚 7,8,9,10,11,12,13,14 组成两个数据转换通道,其中管脚 13,12,11,14 为第一数据通道,管脚 8,9,10,7 为第二数据通道,电路中使用的是第一数据通道。TTL 从管脚 11(T1IN)输入,转换成 RS232 数据从管脚 14(T1OUT)送到 PC 的 DB9 插座引脚 2;DB9 插座引脚 3 的 RS232 数据从管脚 13(R1IN)输入,转换成 TTL 数据后从管脚 12(R1OUT)输出。管脚 15(GND),16(VCC, +5 V)为供电端。

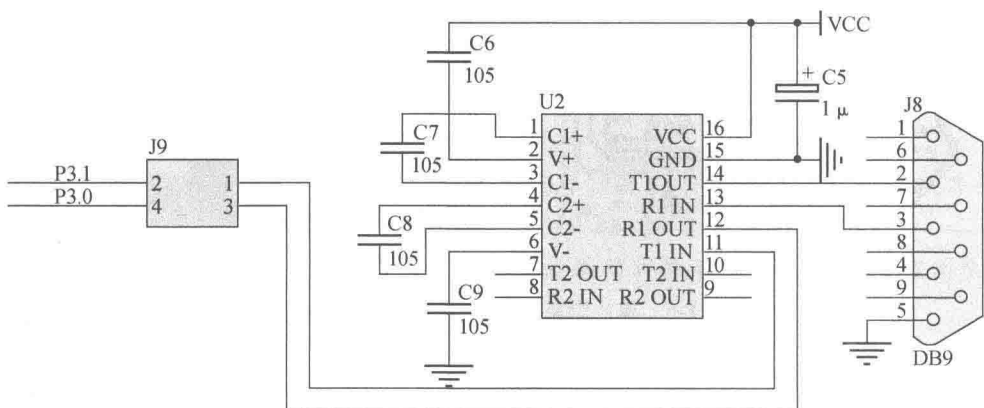


图 1-5 MAX232 电平转换电路



1.3.2 单片机串口程序下载电路的安装搭接

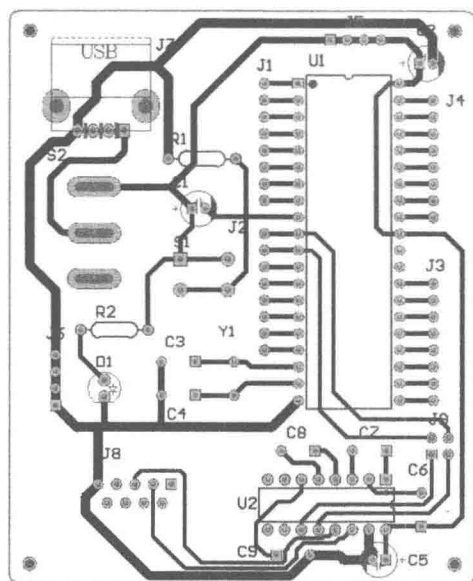
(1) 按照图 1-5 在单片机最小系统 PCB 或万能板上安装搭接 MAX232 电平转换电路。应注意集成芯片及其插座管脚的线序,并使 MAX232 芯片的缺口与其 DIP16 IC 座的缺口位置处在同一边。图中九针弯脚座 DB9(串口,母头)引脚定义除作声明外均指外侧(非焊接端),这一点绝不能弄错。

(2) 将 MAX232 管脚 11(T1IN)与单片机管脚 11,即 P3.1(TXD)相连接,将 MAX232 管脚 12(R1OUT)与单片机管脚 10,即 P3.0(RXD)相连接。

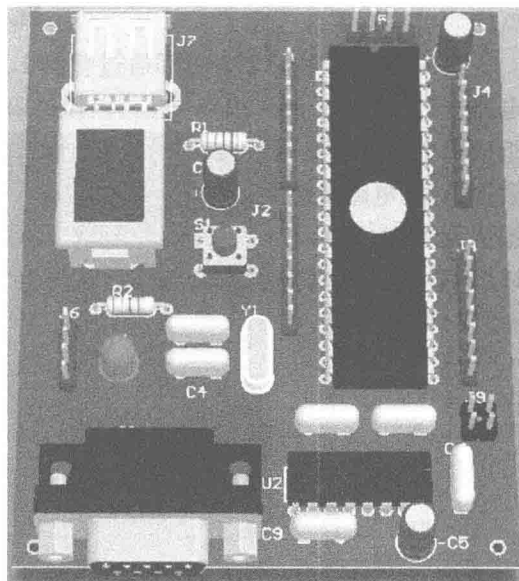
(3) PC 的九针弯脚座 DB9 与单片机只需搭接 3 根线,即引脚 2(PC 的 RXD)与 MAX232 管脚 14(T1OUT)相连接,引脚 3(PC 的 TXD)与 MAX232 管脚 13(R1IN)相连接,引脚 5 接地。而 DB9 与 PC 之间是用普通串口线(电脑上有九针串口时)或是用 USB 转串口线(电脑上无九针串口而用 USB 口时)相连通的。

(4) 将本电路供电与最小系统板的电源端相连接,电路统一从电脑取电。

至此,若装接无误,单片机最小控制系统/串口程序下载电路(主控板)制作即告结束,图 1-6 所示分别是单片机最小系统/串口下载电路的 PCB 图和指导读者进行制作安装的 3D 效果图。该试验板的功能验证要等进一步学习简单程序的编制并进行程序下载时进行,但对于串行通信电平转换电路,可以在通电情况下测量 MAX232 的电荷泵管脚 2 的正电压和 6 脚的负电压,若在正常范围内,就基本上可判定电路能正常工作。



(a) PCB图



(b) 3D效果图

图 1-6 单片机最小系统/串口程序下载电路