

第3章

CHAPTER 3

STM32F103学习平台

本书使用的 STM32F103 学习平台如图 3-1 所示,包括 1 台 ULINK2 仿真器、1 根 USB 转串口线和 1 台正电原子 STM32F1 战舰 V3 开发板,板载 1 片 STM32F103ZET6 微控制器、1MB 大小的 SRAM 存储器 IS62WV51216 和 1 块 800×480 点阵 TFT LCD 屏等资源。在图 3-1 的基础上,将 +5V 电源适配器连接到 STM32F1 战舰 V3 开发板上,将 ULINK2 仿真器的另一端连接到计算机的一个 USB 口,同时,将 USB 转串口线的另一端连接到计算机的另一个 USB 口上。本书使用的笔记本电脑配置为 Intel Core i7 9750H 处理器、24GB 内存、1TB 硬盘、15.6 寸液晶显示屏和 Windows 10 操作系统,现有流行的计算机配置均可实现本书的学习与实验工作。在计算机上,需要安装 Keil MDK v5.37(截至本书收稿时的最新

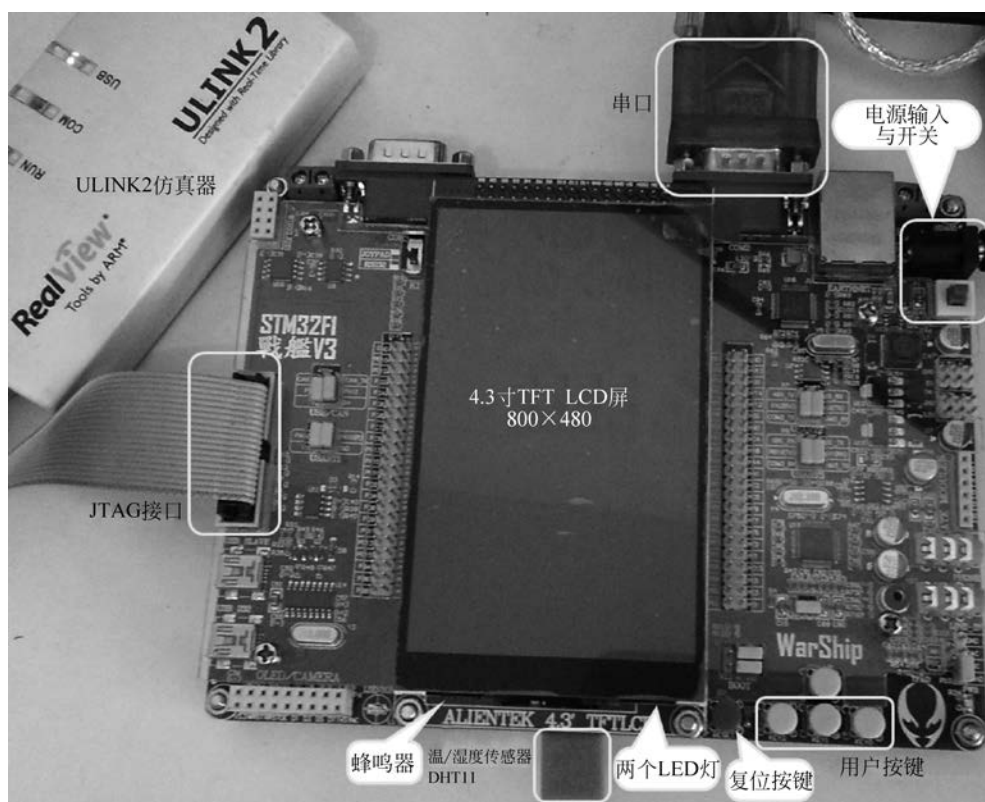


图 3-1 STM32F103 学习平台

版本,由于软件系统具有向下兼容性,建议使用 Keil 公司最新发布的版本)集成开发环境和串口调试助手等软件。这样,STM32F103ZET6 微控制器的学习实验环境就建立起来了。

为了教学方便,本章将展示后续章节中用到的 STM32F1 战舰 V3 开发板的各个硬件模块的原理图,包括 STM32F103 核心电路模块、电源电路与按键电路模块、LED 灯模块与蜂鸣器驱动电路模块、串口通信电路模块、Flash 与 EEPROM 电路模块、温/湿度传感器电路模块、LCD 屏接口电路模块、JTAG 仿真实接口与复位电路模块以及扩展 SRAM 电路模块等。需要说明的是,本章给出的这些电路原理图也是完整的,可组合成一个简易的 STM32F103ZET6 教学实验平台,考虑到与 STM32F1 战舰 V3 开发板完全兼容,使用了与其完全相同的器件名称和网络标号。

本章的学习目标:

- ▶ 了解嵌入式系统通用硬件电路的结构;
- ▶ 熟悉 STM32F103 核心电路与常用外设电路;
- ▶ 掌握 STM32F103 最小系统。

3.1 STM32F103 核心电路

STM32F103ZET6 有 144 个引脚,其中,通用目的输入/输出口有 7 组,记为 GPIOA~GPIOG,或记为 PA~PG,有时也被称为 P10A~P10G,每组有 16 位,即占用 16 个引脚,因此,全部 GPIOA~GPIOG 占用了 112 个引脚,绝大部分 GPIO 口都复用了多个功能。其余的 32 个引脚为电源管理和时钟管理等相关的引脚。

STM32F103 核心电路如图 3-2~图 3-9 所示。

图 3-2 为 PA 口的连接电路,其中,第 36 脚和第 37 脚借助于网络标号 U2_TX 和 U2_RX 分别与 3.4 节图 3-14 的 SP3232 芯片相连接,用作标准异步串行口的发送与接收数据线,实现与上位机的串口通信功能。图 3-2 中的第 105、109 和 110 脚与图 3-3 中的第 133、134 脚,通过网络标号 JTMS、JTCK、JTDI、JTDO、JTRST 与 3.8 节的图 3-19 相连接,实现在线仿真功能。

U2A	
34	PA0-WKUP/USART2_CTS/ADC123_IN0/TIM5_CH1/TIM2_CH1_ETR/TIM8_ETR
35	PA1/USART2_RTS/ADC123_IN1/TIM5_CH2/TIM2_CH2
U2_TX	36 PA2/USART2_TX/TIM5_CH3/ADC123_IN2/TIM2_CH3
U2_RX	37 PA3/USART2_RX/TIM5_CH4/ADC123_IN3/TIM2_CH4
40	PA4/SPI1_NSS/DAC_OUT1/USART2_CK/ADC12_IN4
41	PA5/SPI1_SCK/DAC_OUT2/ADC12_IN5
42	PA6/SPI1_MISO/TIM8_BKIN/ADC12_IN6/TIM3_CH1
43	PA7/SPI1_MOSI/TIM8_CH1N/ADC12_IN7/TIM3_CH2
100	PA8/USART1_CK/TIM1_CH1/MCO
101	PA9/USART1_TX/TIM1_TX/TIM1_CH2
102	PA10/USART1_RX/TIM1_CH3
103	PA11/USART1_CTS/CANRX/TIM1_CH4/USBDM
104	PA12/USART1_RTS/CANTX/TIM1_ETR/USBDP
JTMS	105 PA13/JTMS-SWDIO
JTCK	109 PA14/JTCK-SWCLK
JTDI	110 PA15/JTDI/SPI3_NSS/I2S3_WS

STM32F103ZET6

图 3-2 STM32F103ZET6 芯片 PA 口

图 3-3 为 PB 口的连接电路,其中,第 46 脚通过网络标号 LCD_BL 与 3.7 节的图 3-18 的 LCD4.3 模块的第 23 脚相连,实现 LCD 屏背光亮度的控制;第 47、48 脚和图 3-7 的第 21、22、49 脚通过网络标号 T_SCK、T_MISO、T_MOSI、T_PEN 和 T_CS 与图 3-18 的 LCD4.3 模块第 34、29、30、31 和 33 脚相连,通过串行数据接口控制触摸屏;第 135 脚通过网络标号 LED0 与 3.3 节图 3-12 的电路相连接,用于控制 LED0 灯的闪烁;第 136、137 脚通过网络标号 IIC_SCL 和 IIC_SDA 与 3.5 节的图 3-16 中的 AT24C02 芯片相连接,作为 I²C 总线通信的时钟与数据线路;第 139 脚的网络标号 BEEP 与图 3-13 相连接,用于控制蜂鸣器;第 73、74、75 和 76 脚的网络标号 F_CS、SPI2_SCK、SPI2_MISO 和 SPI2_MOSI 与图 3-15 中的 Flash 芯片 W25Q128 的第 1、6、2 和 5 脚相连,借助 SPI 通信总线实现对 Flash 存储器的数据读/写操作。

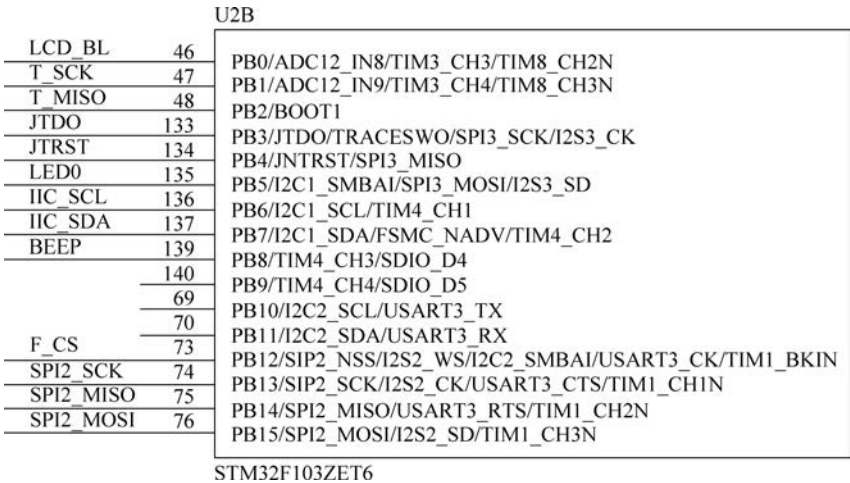


图 3-3 STM32F103ZET6 芯片 PB 口

图 3-4 为 PC 口的连接电路。在图 3-4 中,第 8 和 9 脚外接 32.768kHz 晶体振荡器,用于为片内实时时钟 RTC 模块提供高精度的时钟信号。

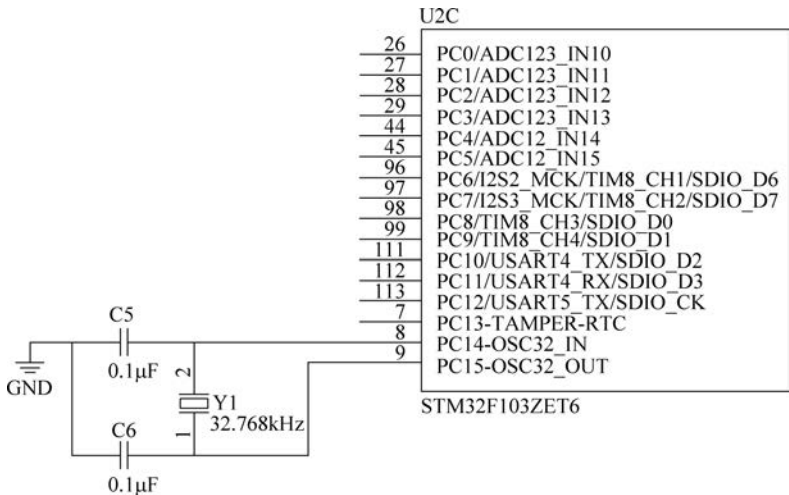


图 3-4 STM32F103ZET6 芯片 PC 口

图 3-5 为 PD 口的连接电路,其中,第 85、86、114、115 脚和图 3-6 中的第 58~67 脚以及图 3-5 中的第 77~79 脚的网络标号为 FSMC_D0~FSMC_D15,它们与图 3-18 中的 LCD4.3 模块的 DB0~DB15 相连接,用于访问 LCD 屏的显存数据,同时,也与图 3-21 的 SRAM 芯片的数据总线 I/O0~I/O15 相连,用于读/写 SRAM 数据;图 3-7 中的第 10~15 脚与第 50、53、54、55 脚和图 3-8 中的第 56、57、87、88、89、90 脚以及图 3-5 中的第 80~82 脚的网络标号依次为 FSMC_A0~FSMC_A18,共 19 根线,连接到图 3-21 的 SRAM 芯片的地址总线 A0~A18 处,其中,FSMC_A10 也连接到图 3-18 的 LCD4.3 模块的 RS 脚,用于 LCD 显示控制;图 3-5 中的第 118、119 脚的网络标号 FSMC_NOE 和 FSMC_NWE 以及图 3-8 中的第 127 脚的网络标号 FSMC_NE4 与图 3-18 中 LCD4.3 模块的第 4、3 和 1 脚相连,用于 LCD 屏显示控制,其中 FSMC_NOE 和 FSMC_NWE 还与图 3-8 中第 125 脚的网络标号 FSMC_NE3、图 3-6 中第 141、142 脚的网络标号 FSMC_NBL0、FSMC_NBL1 连接到图 3-21 的 SRAM 芯片的第 41、17、6、39、40 脚,用于 SRAM 芯片的数据读/写控制。

U2D	
FSMC_D2	114
FSMC_D3	115
	116
	117
FSMC_NOE	118
FSMC_NWE	119
	122
	123
FSMC_D13	77
FSMC_D14	78
FSMC_D15	79
FSMC_A16	80
FSMC_A17	81
FSMC_A18	82
FSMC_D0	85
FSMC_D1	86
PD0/FSMC_D2	
PD1/FSMC_D3	
PD2/TIM3_ETR/USART5_RX/SDIO_CMD	
PD3/FSMC_CLK	
PD4/FSMC_NOE	
PD5/FSMC_NWE	
PD6/FSMC_NWAIT	
PD7/FSMC_NE1/FSMC_NCE2	
PD8/FSMC_D13	
PD9/FSMC_D14	
PD10/FSMC_D15	
PD11/FSMC_A16	
PD12/FSMC_A17	
PD13/FSMC_A18	
PD14/FSMC_D0	
PD15/FSMC_D1	

STM32F103ZET6

图 3-5 STM32F103ZET6 芯片 PD 口

图 3-6 为 PE 口的连接电路,其中,第 4 脚通过网络标号 LED1 与图 3-12 中的 LED1 相连接,用于控制 LED1 灯;第 3、2 和 1 脚通过网络标号 KEY0、KEY1 和 KEY2 与图 3-11 中的 3 个用户按键相连接。

U2E	
PE0/TIM4_ETR/FSMC_NBL0	141
PE1/FSMC_NBL1	142
PE2/TRACECK/FSMC_A23	1
PE3/TRACED0/FSMC_A19	2
PE4/TRACED1/FSMC_A20	3
PE5/TRACED2/FSMC_A21	4
PE6/TRACED3/FSMC_A22	5
PE7/FSMC_D4	58
PE8/FSMC_D5	59
PE9/FSMC_D6	60
PE10/FSMC_D7	63
PE11/FSMC_D8	64
PE12/FSMC_D9	65
PE13/FSMC_D10	66
PE14/FSMC_D11	67
PE15/FSMC_D12	68
	FSMC_NBL0
	FSMC_NBL1
	KEY2
	KEY1
	KEY0
	LED1
	FSMC_D4
	FSMC_D5
	FSMC_D6
	FSMC_D7
	FSMC_D8
	FSMC_D9
	FSMC_D10
	FSMC_D11
	FSMC_D12

STM32F103ZET6

图 3-6 STM32F103ZET6 芯片 PE 口

U2F		
PF0/FSMC_A0	10	FSMC_A0
PF1/FSMC_A1	11	FSMC_A1
PF2/FSMC_A2	12	FSMC_A2
PF3/FSMC_A3	13	FSMC_A3
PF4/FSMC_A4	14	FSMC_A4
PF5/FSMC_A5	15	FSMC_A5
PF6/ADC3_IN4/FSMC_NIORD	18	
PF7/ADC3_IN5/FSMC_NREG	19	
PF8/ADC3_IN6/FSMC_NIOWR	20	
PF9/ADC3_IN7/FSMC_CD	21	T_MOSI
PF10/ADC3_IN8/FSMC_INTR	22	T_PEN
PF11/FSMC_NIOS16	49	T_CS
PF12/FSMC_A6	50	FSMC_A6
PF13/FSMC_A7	53	FSMC_A7
PF14/FSMC_A8	54	FSMC_A8
PF15/FSMC_A9	55	FSMC_A9
STM32F103ZET6		

图 3-7 STM32F103ZET6 芯片 PF 口

图 3-7 为 PF 口的连接电路,图 3-8 为 PG 口的连接电路。在图 3-8 中,第 126 脚通过网络标号 1WIRE_DQ 与 3.6 节图 3-17 的温/湿度传感器相连接,用于读取温度和湿度值。

U2G		
PG0/FSMC_A10	56	FSMC_A10
PG1/FSMC_A11	57	FSMC_A11
PG2/FSMC_A12	87	FSMC_A12
PG3/FSMC_A13	88	FSMC_A13
PG4/FSMC_A14	89	FSMC_A14
PG5/FSMC_A15	90	FSMC_A15
PG6/FSMC_INT2	91	
PG7/FSMC_INT3	92	
PG8	93	
PG9/FSMC_NE2/FSMC_NCE3	124	
PG10/FSMC_NCE4_1/FSMC_NE3	125	FSMC_NE3
PG11/FSMC_NCE4_2	126	1WIRE_DQ
PG12/FSMC_NE4	127	FSMC_NE4
PG13/FSMC_A24	128	
PG14/FSMC_A25	129	
PG15	132	
STM32F103ZET6		

图 3-8 STM32F103ZET6 芯片 PG 口

图 3-9 为 STM32F103ZET6 电源与时钟管理相关的电路部分,其中,第 17、39、52、62、72、84、95、108、121、131 和 144 脚的 $V_{dd_x}(x=1,2,\dots,11)$ 连接 VCC3.3 网络标号,表示芯片工作在 3.3V 电压下;第 16、38、51、61、71、83、94、107、120、130 和 143 脚的 $V_{ss_x}(x=1,2,\dots,11)$ 与网络标号 GND 相连接,即接地;第 138 脚的 BOOT0 接地,表示从片内 Flash 启动;第 6 脚的 VBAT 是内部 RTC 时钟专用电源供给端,同时连接了 VCC3.3 和电池 BAT,用两个二极管 1N4148 隔离它们,当 STM32F103 电路板掉电时,电池 BAT 通过 VBAT 端口给 RTC 时钟模块提供能量,使得电路板的时间和日期正常计时。

在图 3-9 中,第 23 脚和第 24 脚外接了高精度的 8MHz 晶体振荡器,为整个系统提供时钟源。STM32F103ZET6 片内集成了 8MHz 的 RC 振荡器,精度可达到 1%,当对振荡频率精度要求不高时,可省略外部晶振电路。

在图 3-9 中,第 106 脚为悬空脚。第 25 脚为外部复位输入脚,通过网络标号 RESET 与 3.8 节图 3-20 的复位电路相连接。此外,STM32F103ZET6 芯片带有上电复位电路,外部

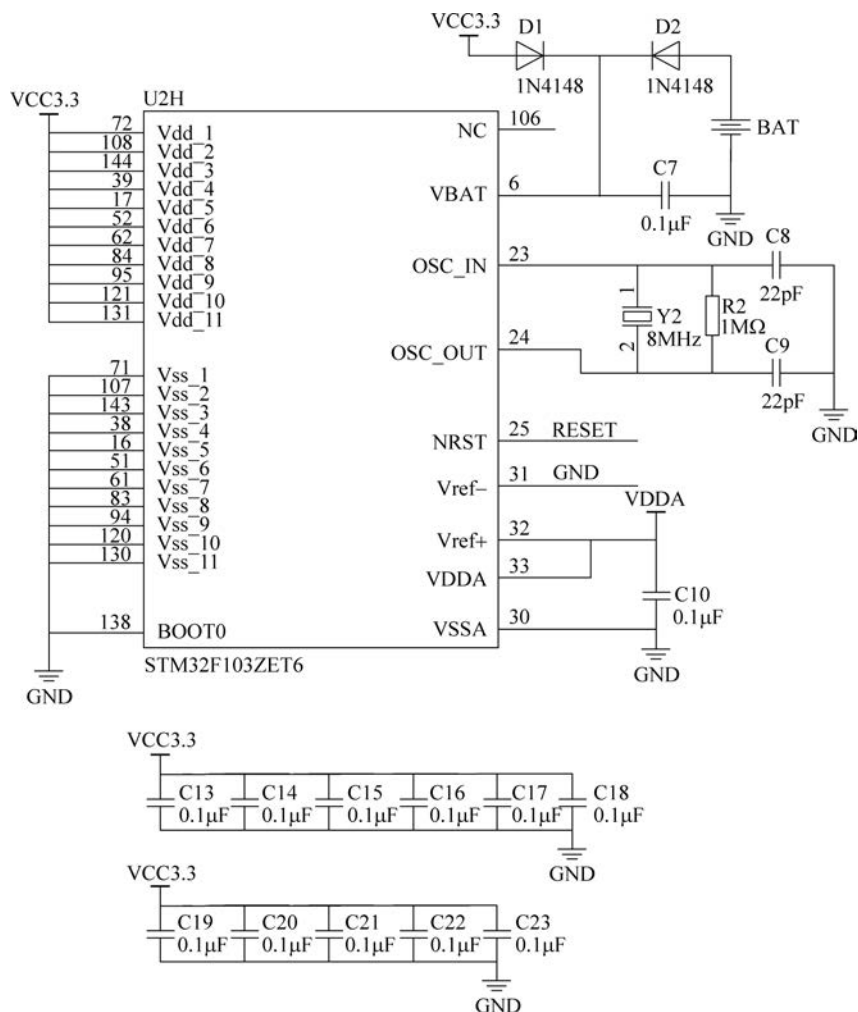


图 3-9 STM32F103ZET6 芯片电源与时钟管理部分

复位电路可以省略。这里的网络标号 RESET 同时与图 3-18 中 LCD4.3 模块的第 5 脚 RST 相连接,用于复位 LCD 屏,同时还与图 3-19 中 JTAG 模块的 RESET 脚相连接,在 JTAG 仿真时,JTAG 模块的 RESET 为输出端。

图 3-9 中的第 32 和 31 脚为片内 ADC 模块的参考电压输入端 Vref+ 和 Vref-,这里 Vref-接地,而 Vref+与模拟电源 VDDA 相连接。VDDA 通过一个 10Ω 的电阻与 VCC3.3(电压为+3.3V)相连接。第 33 和 30 脚分别为芯片模拟电源(VDDA)和模拟地(VSSA)的输入端,分别与网络标号 VDDA 和 GND 相连。一种推荐的做法是,模拟电源 VDDA 与数字电源 VCC3.3 之间以及模拟地 VSSA 和数字地 GND 之间,分别用滤波电路进行隔离。

图 3-9 中有 11 个 0.1μF 的滤波电容,这些电容被用在第 17、39、52、62、72、84、95、108、121、131 和 144 脚的 Vdd_x(x=1,2,⋯,11)附近,当制作印制电路板(PCB)时,每个滤波电容应放置在对应的电源引脚附近,从而起到电源滤波的效果。

本节将 STM32F103ZET6 微控制器的核心电路原理图分成了 8 个子图,即 7 个 GPIO 口对应 7 个子图,以及 1 个电源和时钟管理相关的电路子图。在图 3-2~图 3-9 中,使用网

络标号与 3.2 节~3.9 节的其他电路模块进行电气连接,从而形成完整的 STM32F103 学习与实验硬件电路原理图。

3.2 电源电路与按键电路

STM32F103 实验电路板的外部输入电源电压为+5V,网络标号为 VCC5,由图 3-10 中的 K2 接口输入,通过直流电源调压芯片 AMS1117 后输出+3.3V 直流电源,网络标号为 VCC3.3,用作整个电路板上的数字电源,经过 10Ω 的电阻 R42 后的电源用作电路板上的模拟电源,用网络标号 VDDA 表示。在 STM32F103 学习实验电路板上,没有区分数字地和模拟地,均用网络标号 GND 表示,在做印制电路板时,数字地和模拟地应分开布线和敷铜,最后在一个焊盘处相连接。

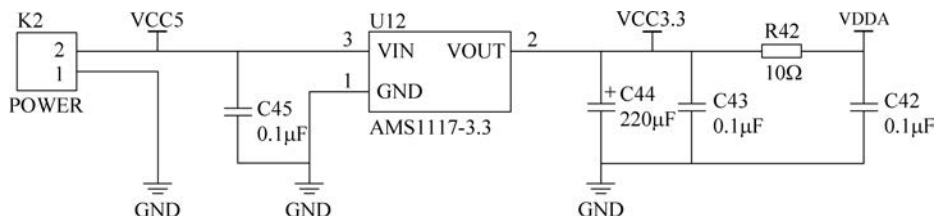


图 3-10 电源电路

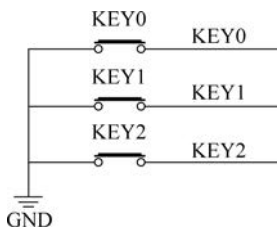


图 3-11 按键电路

图 3-11 为按键电路,按键直接与 STM32F103ZET6 芯片的引脚相连(参看图 3-6),3 个按键均为常开按键,当按键被按下时,输入低电平;当按键弹出后,相应的引脚被内部上拉电路拉高,相当于输入高电平。

按键是最重要的外部输入设备之一,可以通过按键阵列支持更多的按键输入,或者通过扩展 ZLG7289B 芯片,支持高达 64 个按键输入(和 64 个 LED 灯显示)。

3.3 LED 与蜂鸣器驱动电路

图 3-12 为 LED 灯驱动电路,其中,名称为 PWR 的 LED 灯为电源指示灯,当+3.3V 电源工作正常时,该 LED 灯常亮。名称为 DS0 和 DS1 的两个 LED 灯为用户控制 LED 灯,直接与 STM32F103ZET6 芯片相连接(参考图 3-3 和图 3-6),当网络标号 LED0 连接的引脚为低电平时,LED0 灯亮;当网络标号 LED0 连接的引脚为高电平时,LED0 熄灭。LED1 的工作原理与 LED0 相同,即网络标号 LED1 为低电平时,LED1 灯点亮;当网络标号 LED1 为高电平时,LED1 灯熄灭。

需要特别指出的是,图 3-2~图 3-12 可视为 STM32F103ZET6 微控制器的最小系统(这时,图 3-2~图 3-9 中仅包含网络标号 KEY0~KEY2 和 LED0~LED1 以及电源和地相关的网络标号),即 STM32F103ZET6 微控制器的最小系统应包括电源电路、用户按键电路、LED 灯指示电路、复位电路(内部复位)、晶体振荡器电路和相应的核心电路。

图 3-13 为蜂鸣器驱动电路,这里使用了有源蜂鸣器(即内部有振荡器和发声器,只需要

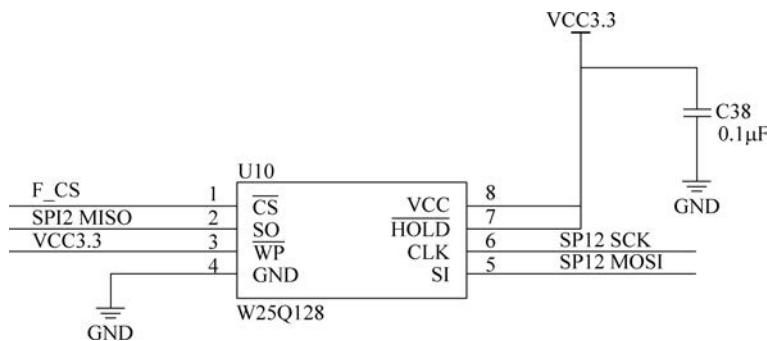


图 3-15 Flash 芯片 W25Q128 电路

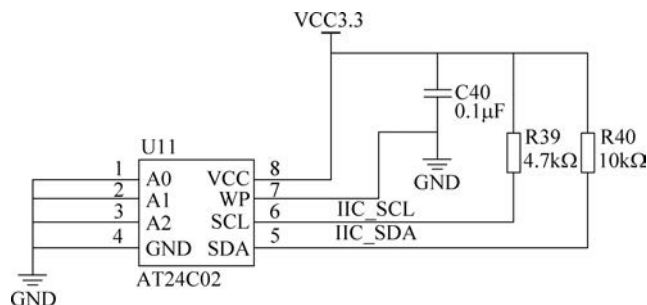


图 3-16 EEPROM 芯片 AT24C02 电路

3.6 温/湿度传感器电路

常用的单线读/写式温/湿度传感器 DHT11 如图 3-7 所示,其通过一根总线 1WIRE_DQ 与 STM32F103ZET6 微控制器相连接(参考图 3-8)。

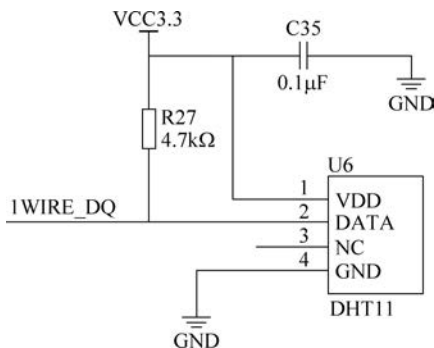


图 3-17 温/湿度传感器 DHT11 接口电路

3.7 LCD 屏接口电路

图 3-18 为 LCD 屏的接口电路,其端口包括 3 部分,即数据读/写端口、控制端口以及触摸屏数据与控制端口。这里的 LCD 屏是指 LCD 显示模块,LCD 显示模块包括 4 部分,即 LCD 屏显示部分、LCD 屏驱动部分、LCD 屏控制部分和 LCD 屏显示存储器(简称显存)。对于一些高级微控制器,例如基于 Cortex-M3 内核的 LPC1788 芯片,片内集成了 LCD 控制

器,它可以直接与 LCD 屏相连接,此时的 LCD 屏只含有 LCD 显示面板和 LCD 驱动器。由于 STM32F103ZET6 中没有集成 LCD 显示控制器,所以它只能连接 LCD 显示模块(简称 LCM 模块)。而图 3-18 的接口是专门针对星翼电子设计的 4.3 英寸(1 英寸 $\approx$ 3.33 厘米) TFT LCD 显示模块的接口,其中 LCD_CS 为选通信号输入端,RS 为命令或数据选择输入端,WR 和 RD 为读、写信号输入端,DB15~DB0 为数据输入/输出端。

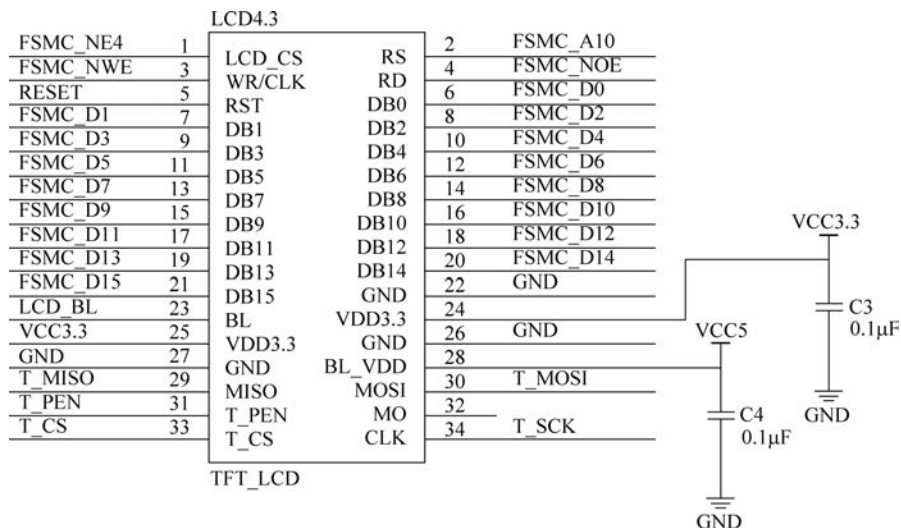


图 3-18 TFT LCD 屏接口电路

在图 3-18 中,MISO、MOSI、T_CS 和 CLK 为触摸屏的数据读入、数据输出、片选和时钟端,T_PEN 是触摸屏的中断输出端。

3.8 JTAG 与复位电路

ARM Cortex-M3 内核的全部微控制器芯片,甚至几乎 ARM 系列的全部芯片,都支持 JTAG (或 SW)在线仿真调试,这使得学习 ARM Cortex-M3 微控制器只需要一套仿真器(与单片机多种多样的编程与仿真环境不同)。常用的仿真器有 ULINK2 和 J-LINK V8 等,本书使用了 ULINK2 仿真器。图 3-19 为标准的 20 脚 JTAG 接口电路,可直接与 ULINK2 仿真器相连接。

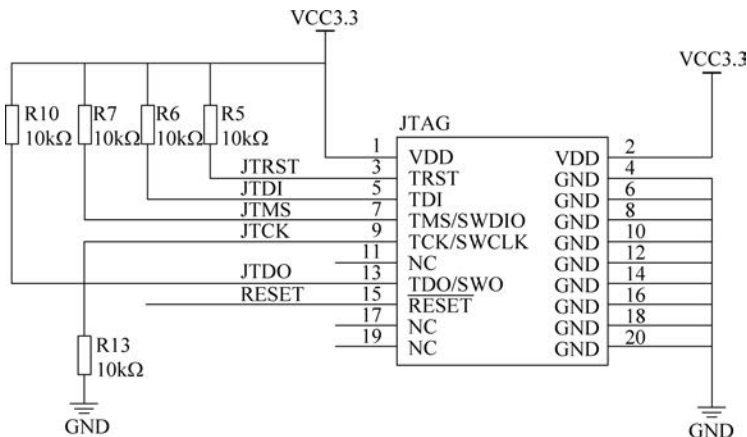


图 3-19 JTAG 接口电路

图 3-20 为复位电路。STM32F103ZET6 微控制器为低电平复位芯片,在图 3-20 所示的 RC 电路中,上电以后,网络标号 RESET 将由 0V 逐渐抬升到 3.3V,实现 STM32F103ZET6 微控制器复位。实际上,在 STM32F103ZET6 微控制器内部的 NRST 引脚(参考图 3-9 第 25 脚)接有约 40kΩ 的上拉电阻,因此,图 3-20 中的 R3 可以省略。在图 3-20 中,由于添加了一个按键 RESET,因此支持手动复位操作。

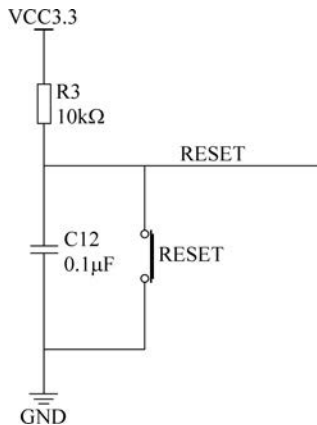


图 3-20 带按键功能的上电复位电路

3.9 SRAM 电路

STM32F103ZET6 学习实验板上还扩展了一个 1MB 大小的 SRAM 存储器 IS62WV51216,该高速静态 SRAM 的访问速度可达 55ns,其电路连接如图 3-21 所示。

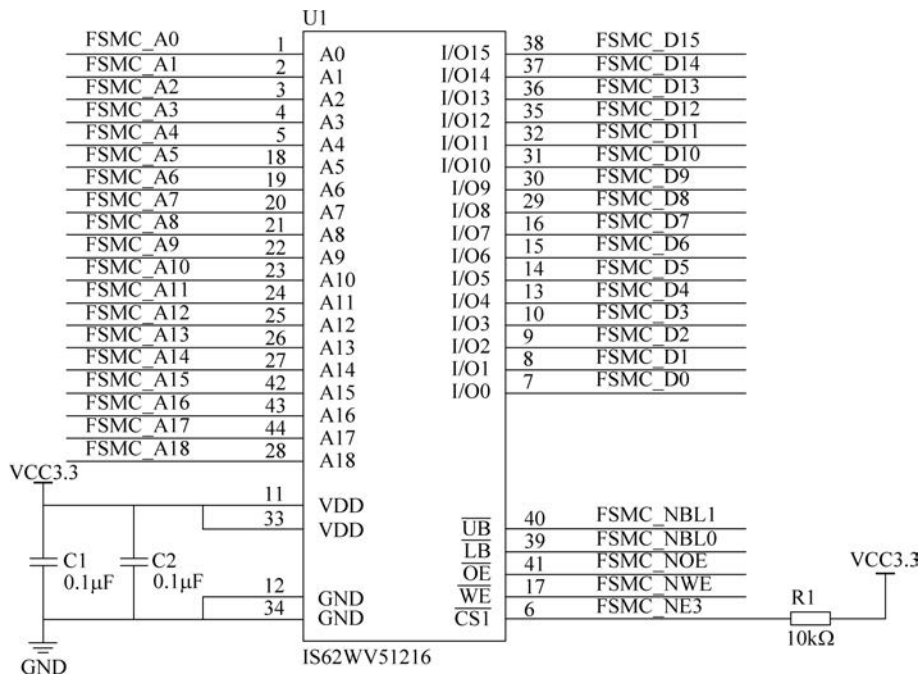


图 3-21 SRAM 存储器 IS62WV51216 电路

如图 3-21 所示,IS62WV51216 芯片的 I/O15~I/O0 为 16 位数据输入/输出总线,A18~A0 为 19 根地址输入总线,选址能力为 $2^{19}=524288=512\text{K}(1\text{K}=1024)$ 的地址空间,每个地址空间的大小为半字(16 位)。IS62WV51216 芯片支持半字读/写和字节读/写方式,读/写指令的要求如表 3-1 所示。CS1、OE、WE、UB 和 LB 引脚分别表示片选、输出有效、写入有效、高字节有效和低字节有效输入控制端。

表 3-1 IS62WV51216 芯片读/写指令要求

序号	方 式	CS1	WE	OE	UB	LB	I/O[7:0]	I/O[15:8]
1	无效	H	X	X	X	X	高阻态	高阻态
2	无效	L	H	H	X	X	高阻态	高阻态
3	读低字节	L	H	L	L	H	低字节数据	高阻态
4	读高字节	L	H	L	H	L	高阻态	高字节数据
5	读半字	L	H	L	L	L	低字节数据	高字节数据
6	写低字节	L	L	X	L	H	低字节数据	高阻态
7	写高字节	L	L	X	H	L	高阻态	高字节数据
8	写半字	L	L	X	L	L	低字节数据	高字节数据

注: H、L 分别表示高电平、低电平,X 表示任意电平

3.10 本章小结

本章详细介绍了以 STM32F103ZET6 微控制器为核心电路的学习实验板电路原理图,这些原理图是完整的,可以做成一块简易的 STM32F103 学习实验板,并且保持了与正电原子 STM32F103 战舰 V3 电路板的完美兼容。这些电路原理图使用 Altium Designer 15 制作,共分为 STM32F103 核心电路、电源电路与按键电路、LED 灯与蜂鸣器驱动电路、串口通信电路、Flash 与 EEPROM 存储器电路、温/湿度传感器电路、LCD 屏接口电路、JTAG 与复位电路以及 SRAM 电路等 13 个电路模块,要求读者结合各个硬件模块的芯片资料进一步加强对电路原理的认识,这需要一定的学习时间,这些电路是后续章节程序设计内容的硬件基础。第 4 章将介绍 LED 灯闪烁控制的工程程序设计方法。

习题

1. 设计一个 STM32F103ZET6 最小电路系统。
2. 简要阐述本章给出的学习平台实现的功能。
3. 简要阐述 SRAM 存储器 IS62WV51216 的访问方法。
4. 说明 LED 驱动电路的工作原理。
5. 借助 Altium Designer 软件设计本章给出的学习平台,并制作 PCB 板进行焊装、调试。