第 3 章 STM32 单片机的最小系统

CHAPTER 3

STM32 单片机应用系统由硬件和软件两部分构成。本章简要概述 STM32 系列单片机的总体特性，STM32F103C8T6 单片机内部资源、引脚，并针对 STM32F103C8T6 单片机最小系统构成展开介绍，使读者能轻松利用 STM32 某个具体型号的单片机构建最小系统，进行具体应用的开发。

3.1 STM32F103C8T6 单片机

STM32 单片机目前有 16 个系列，每个系列又有不同性能特性的型号以适应不同应用的选择。不同型号 STM32 单片机内部资源存在差异，但相同功能单元的使用方法是相同的。本书以 STM32F103C8T6 单片机为例对 STM32 单片机各功能单元的具体使用展开讲解。为便于后续章节知识点的学习，本节对 STM32F103C8T6 单片机引脚、复位、启动模式等进行概述，使读者能掌握 STM32F103C8T6 芯片的具体细节，为后续各功能单元的学习奠定基础。

3.1.1 STM32F103 系列概述

基于 ARM Cortex-M3 内核的 STM32F1 系列单片机属于主流 STM32 单片机，其中增强型 STM32F103 子系列单片机的 CPU 主频高达 72 MHz，片内 Flash 容量高达 1MB，芯片引脚数量多达 144 个，有 QFN、LQFP、CSP、BGA 等多种芯片封装形式，并具有多种片内外设、USB 接口和 CAN 接口。根据 STM32F103 单片机片内 Flash 容量的不同，ST 公司将其分为小容量(16～32KB)、中等容量(64～128KB)、大容量(256KB～1MB)3 种。由于芯片片内 Flash 容量的不同，能实现的片内外设、内部资源也存在一定的差异，如表 3.1 所示。

小容量和大容量 MCU 是中等容量 MCU 的延伸，小容量 MCU 具有较小的 Flash 存储器、RAM 空间，较少的定时器和片内外设，而大容量 MCU 则具有较大的 Flash 存储器、RAM 空间和更多的片上外设，如 SDIO、FSMC、I^2S 和 DAC 等。不同容量的 STM32F103 单片机根据片上外设及内部资源，提供包括 36～144 引脚的不同封装形式，同时保持与其他同系列 MCU 的兼容。根据 MCU 片内 Flash 容量、引脚数量、芯片封装的不同，STM32F103 单片机又细分为多个具体型号，如图 3.1 所示。

表 3.1 STM32F103 子系列 MCU 容量划分及片内资源

引脚数目	小容量 MCU		中等容量 MCU		大容量 MCU		
	16KB 内存	32KB 内存	64KB 内存	128KB 内存	256KB 内存	384KB 内存	512KB 内存
	6KB RAM	10KB RAM	20KB RAM	20KB RAM	48KB RAM	64KB RAM	64KB RAM
144	—	—	—	—	5 个 USART＋2 个 UART 4 个 16 位定时器、2 个基本定时器 3 个 SPI、2 个 I^2S、2 个 I^2C USB、CAN、2 个 PWM 定时器 3 个 ADC、1 个 DAC、1 个 SDIO FSMC(100 脚和 144 脚封装)		
100	—	—	2 个 USART 3 个 16 位定时器 2 个 SPI、2 个 I^2C、USB、CAN、1 个 PWM 定时器 1 个 ADC				
64	2 个 USART 2 个 16 位定时器 1 个 SPI、1 个 I^2C、USB、CAN、1 个 PWM 定时器 2 个 ADC						
48					—	—	—
36			—	—	—	—	—

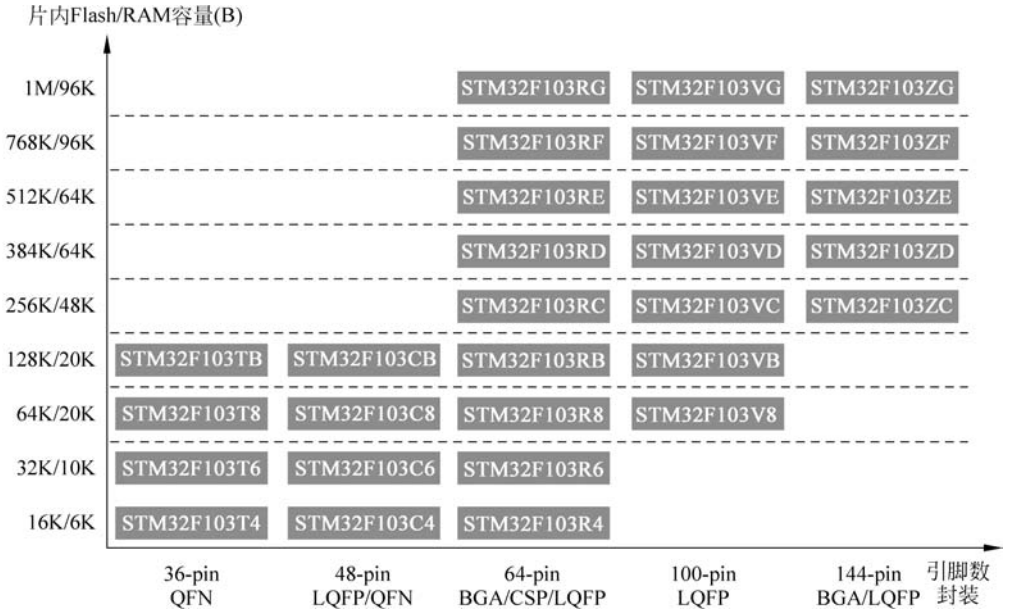


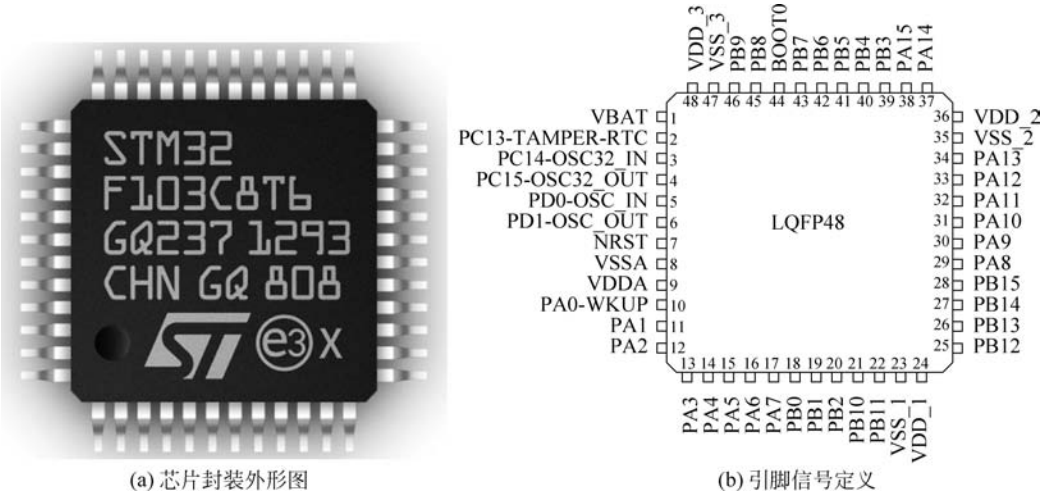
图 3.1 STM32F103 子系列单片机

STM32F103 子系列单片机之间引脚是完全兼容的，其软件和功能也是兼容的，为应用开发 MCU 选择提供了更大的自由度。丰富的外设配置使得增强型 STM32F103 系列微控制器适用于电机驱动和应用控制、医疗和手持设备、PC 游戏外设和 GPS 平台、变频器、打印机、扫描仪、警报系统、视频对讲和暖气通风空调系统等多种应用场合。

3.1.2 STM32F103C8T6 引脚定义

STM32F103C8T6 是基于 ARM Cortex-M3 内核的 32 位增强型单片机，片内 Flash 为 64KB、RAM 为 20KB，引脚数为 48，采用 LQFP 封装，工作温度为－40～＋85℃。芯片封装

外形如图 3.2(a)所示，各引脚信号定义如图 3.2(b)所示。



(a) 芯片封装外形图　　(b) 引脚信号定义

图 3.2　STM32F103C8T6 封装及引脚信号定义

STM32F103C8T6 单片机的主频为 72MHz，总线宽度为 32 位，输入/输出端口为 37 个，供电电源电压为 2.0～3.6V，各引脚信号的具体定义如表 3.2 所示。

表 3.2　STM32F103C8T6 单片机引脚信号的具体定义

引脚 LQFP48	引脚名称	类型	I/O 电平	主功能（复位后）	可选的复用功能	
					默认复用功能	重定义功能
1	VBAT	S	—	VBAT	—	—
2	PC13-TAMPER-RTC	I/O	—	PC13	TAMPER-RTC	—
3	PC14-OSC32_IN	I/O	—	PC14	OSC32_IN	—
4	PC15-OSC32_OUT	I/O	—	PC15	OSC32_OUT	—
5	PD0-OSC_IN	I	—	OSC_IN	—	PD0
6	PD1-OSC_OUT	O	—	OSC_OUT	—	PD0
7	NRST	I/O	—	NRST	—	—
8	VSSA	S	—	VSSA	—	—
9	VDDA	S	—	VDDA	—	—
10	PA0-WKUP	I/O	—	PA0	WKUP/USART2_CTS/ADC12 _ IN0/TIM2 _ CH1_ETR	—
11	PA1	I/O	—	PA1	USART2_RTS/ADC12_IN1/TIM2_CH2	—
12	PA2	I/O	—	PA2	USART2_ TX/ADC12_IN2/TIM2_CH3	—
13	PA3	I/O	—	PA3	USART2_ RX/ADC12_IN3/TIM2_CH4	—
14	PA4	I/O	—	PA4	SPI1 _ NSS/USART2 _ CK/ADC12_IN4	—
15	PA5	I/O	—	PA5	SPI1_SCK/ADC12_IN5	—

续表

引脚 LQFP48	引脚名称	类型	I/O 电平	主功能（复位后）	可选的复用功能	
					默认复用功能	重定义功能
16	PA6	I/O	—	PA6	SPI1_MISO/ADC12_IN6/TIM3_CH1	TIM1_BKIN
17	PA7	I/O	—	PA7	SPI1_MOSI/ADC12_IN7/TIM3_CH2	TIM1_CH1N
18	PB0	I/O	—	PB0	ADC12_IN8/TIM3_CH3	TIM1_CH2N
19	PB1	I/O	—	PB1	ADC12_IN9/TIM3_CH4	TIM1_CH3N
20	PB2	I/O	FT	PB2/BOOT1	—	—
21	PB10	I/O	FT	PB10	I2C2_SCL/USART3_TX	TIM2_CH3
22	PB11	I/O	FT	PB11	I2C2_SDA/USART3_RX	TIM2_CH4
23	VSS_1	S	—	VSS_1	—	—
24	VDD_1	S	—	VDD_1	—	—
25	PB12	I/O	FT	PB12	SPI2_NSS/I2C2_SMBAI/USART3_CK/TIM1_BKIN	—
26	PB13	I/O	FT	PB13	SPI2_SCK/USART3_CTS/TIM1_CH1N	—
27	PB14	I/O	FT	PB14	SPI2_MISO/USART3_RTS/TIM1_CH2N	—
28	PB15	I/O	FT	PB15	SPI2_MOSI/TIM1_CH3N	—
29	PA8	I/O	FT	PA8	USART1_CK/TIM1_CH1/MCO	—
30	PA9	I/O	FT	PA9	USART1_TX/TIM1_CH2	—
31	PA10	I/O	FT	PA10	USART1_RX/TIM1_CH3	—
32	PA11	I/O	FT	PA11	USART1_CTS/USBDM/CAN_RX/TIM1_CH4	—
33	PA12	I/O	FT	PA12	USART1_RTS/USBDP/CAN_TX/TIM1_ETR	—
34	PA13	I/O	FT	JTMS/SWDIO	—	PA13
35	VSS_2	S	—	VSS_2	—	—
36	VDD_2	S	—	VDD_2	—	—
37	PA14	I/O	FT	JTCK/SWCLK		PA14
38	PA15	I/O	FT	JTDI		TIM2_CH1_ETR/PA15/SPI1_NSS

续表

引脚 LQFP48	引脚名称	类型	I/O电平	主功能（复位后）	可选的复用功能	
					默认复用功能	重定义功能
39	PB3	I/O	FT	JTDO		PB3/TRACESWO/TIM2_CH2/SPI1_SCK
40	PB4	I/O	FT	NJTRST		PB4/TIM3_CH1/SPI1_MISO
41	PB5	I/O	—	PB5	I2C1_SMBAI	TIM3_CH2/SPI1_MOSI
42	PB6	I/O	FT	PB6	I2C1_SCL/TIM4_CH1	USART1_TX
43	PB7	—	—	PB7	I2C1_SDA/TIM4_CH2	USART1_RX
44	BOOT0	I	—	BOOT0	—	—
45	PB8	I/O	FT	PB8	TIM4_CH3	I2C1_SCL/CAN_RX
46	PB9	I/O	FT	PB9	TIM4_CH4	I2C1_SDA/CAN_TX
47	VSS_3	S	—	VSS_3	—	—
48	VDD_3	S	—	VDD_3	—	—

说明：

（1）I表示输入，O表示输出，S表示电源。

（2）FT表示引脚兼容5V电平。

（3）“主功能（复位后）”列的标识符表明芯片复位完成后引脚的默认功能，“默认复用功能”列的标识符表明该引脚可以复用为片内外设的引脚功能（注意，多个复用功能在同一时刻仅可使能一个复用功能），“重定义功能”列的标识符表明该引脚可以通过软件重新定义该引脚的功能为重定义标识符的功能。

（4）PC13、PC14和PC15引脚通过片内的电源开关进行供电，且只能够吸收有限的电流（3mA）。因此这3个引脚作为输出引脚时有以下限制：在同一时间只有一个引脚能作为输出，作为输出引脚时只能工作在2MHz模式下，最大驱动负载为30pF，并且不能作为电流源（如驱动LED）。

（5）PC13、PC14和PC15引脚在备份区域第一次上电时处于“主功能（主功能（复位后））”状态下。之后即使复位，这些引脚的状态均由备份区域寄存器控制（这些寄存器不会被主复位系统所复位）。

（6）在芯片复位后第5和第6引脚默认配置为OSC_IN和OSC_OUT功能引脚，可以在软件中重新设置这两个引脚为PD0和PD1功能引脚。在输出模式下，PD0和PD1只能配置为50MHz输出模式。

（7）第20引脚在系统复位后的前4个系统时钟SYSCLK周期作为BOOT1功能引脚，用于确定系统的启动模式。在复位完成后该引脚作为PB2功能引脚。

（8）第34、37、38、39、40引脚在上电复位时默认作为JTAG/SWD编程功能引脚，可以在软件中重新设置这些引脚作为其他功能引脚。

（9）默认复用功能引脚名称标注中出现的ADC12_INx（x表示0～15的整数），表示这个引脚可以是ADC1_INx或ADC2_INx。例如，ADC12_IN9表示这个引脚可以配置为ADC1_IN9，也可以配置为ADC2_IN9。

（10）表中第10引脚PA0对应的“默认复用功能”中的TIM2_CH1_ETR，表示可以配置该功能为TIM2_CH1或TIM2_ETR。同理，表中第38引脚PA15对应的“重定义功能”中的TIM2_CH1_ETR具有相同的意义。

STM32F103C8T6的48个功能引脚大体可以分为3类。

（1）电源引脚。STM32F103C8T6单片机共有9个电源引脚，分别是第1、8、9、23、24、35、36、47、48引脚，如表3.2中浅色阴影部分引脚所示。其中，VBAT是备用电源引脚，接1.8～3.6V电池电源，为RTC时钟提供电源；VDDA是接模拟电源，为芯片中模拟电路部分提供电源；VSSA是接模拟电源地；VSS_x（x=1,2,3）接芯片供电电源地；VDD_x（x=1,2,3）接2.0～3.6V电源，一般接3.3V电源，为芯片的数字电路部分供电。

（2）特殊功能引脚。STM32F103C8T6单片机有2个特殊功能引脚，分别是第7引脚NRST和第44引脚BOOT0，如表3.2中深色阴影部分引脚所示。其中，NRST是芯片复位

引脚，低电平有效（该引脚为低电平时将使芯片复位）；BOOT0 是芯片启动模型功能选择引脚，复位时，该引脚与 BOOT1 功能引脚（第 20 引脚）共同决定系统的启动模式。有关系统启动模式说明见 2.1.3 节。

（3）输入/输出（I/O）端口引脚。剩余 37 个引脚为 STM32F103C8T6 的 I/O 端口引脚，其默认主功能可以分为时钟功能引脚、编程功能引脚和通用输入输出（GPIO）引脚。时钟功能引脚为第 5（OSC_IN）和第 6（OSC_OUT）引脚，用于外接有源时钟或时钟晶振。编程功能引脚为第 34、37、38、39、40 引脚，支持标准 JTAG 编程或 SWD 串行编程。

3.1.3 STM32F103C8T6 片内资源

STM32F103C8T6 单片机内部集成了多个片上功能单元，为实时控制应用设计提供了灵活性。片上集成的内部资源如下所述。

（1）内嵌 8MHz 高速 RC 振荡器、40kHz 低速 RC 振荡器，可为芯片提供高速时钟（为芯片提供系统时钟）、低速时钟（为实时时钟 RTC、独立看门狗 IWDG 提供时钟）。

（2）内嵌 4～16MHz 晶体振荡器，可外接 4～16MHz 无源晶振，为芯片提供外部高速系统时钟。

（3）内嵌 32kHz RTC 振荡器，可外接 32.768kHz 无源晶振，为芯片实时时钟 RTC 单元提供时钟。

（4）集成了 PLL 时钟倍频单元，可对低速时钟进行倍频，产生所需的高速系统时钟。

（5）集成了上电/断电复位（POR/PDR）功能单元，可以对供电进行监测复位。

（6）集成了 7 个定时器：1 个 16 位带死区控制及紧急刹车的高级定时器，3 个 16 位的通用定时器，1 个 24 位自减型系统嘀嗒定时器，2 个看门狗定时器（独立门狗和窗口门狗）。

（7）集成了 2 个 12 位模数转换器，最快 1μs 转换时间，多达 16 个模拟输入通道。

（8）集成了片上温度传感器和实时时钟 RTC。

（9）集成了 9 个外部通信接口：3 个 USART、2 个 I^2C、2 个 SPI（18Mb/s）、1 个 CAN（2.0B）、1 个 USB 2.0 全速接口。

（10）集成了循环冗余校验（CRC）计算单元，可进行硬件 CRC 计算。

（11）集成了嵌套中断向量控制器 NVIC，支持 16 级中断优先级、60 个中断和 10 个异常处理。

（12）集成了 7 通道 DMA 控制器，支持定时器、ADC、I^2C、SPI 和 USART 进行 DMA。

（13）具有 37 个高速通用输入/输出（GPIO）端口，可从其中任选 16 个作为外部中断/事件输入端口，几乎全部 GPIO 可兼容 5V 输入。

（14）具有睡眠、停止、待机 3 种低功耗工作模式。

（15）具有串行单线调试 SWD 接口和标准 JTAG 接口。

（16）具有 96 位全球唯一编号。

3.2 STM32 单片机最小系统构成

单片机最小系统就是让单片机能正常运行并发挥其功能所必需的硬件组成部分，也可理解为单片机正常运行的最小环境。STM32 单片机应用系统一般由硬件和软件两部分构

成，硬件是实现的基础，软件是在硬件基础上对资源进行合理调用，从而完成应用系统所要求的任务。STM32 单片机硬件一般由功能应用电路和最小系统电路构成。功能应用电路是实现具体应用所需的功能电路，与具体应用相关。不同应用涉及的功能应用电路也存在差异，一般涉及输入/输出控制电路、信号采集电路、存储电路、人机接口电路、显示电路等。最小系统电路是 STM32 单片机正常运行的必要电路，是 STM32 单片机应用系统硬件的核心部分，包括电源电路、复位电路、时钟电路、启动模式设置电路和编程接口电路。最小系统电路在任意应用系统硬件电路中都存在，本节以 STM32F103C8T6 单片机为例，对其最小系统电路构成进行详细的讲解。

3.2.1　电源电路

电源对电子设备的重要性不言而喻，它是保证系统稳定运行的基础，而保证系统能稳定运行后，又有低功耗的要求。在很多应用场合都对电子设备的功耗有非常苛刻的要求，STM32 单片机有专门的电源管理单元监控内部电源并管理片上外设的运行，确保系统正常运行，并尽量降低功耗。为了方便进行电源管理，STM32 单片机根据功能将内部电源区域划分为数字、模拟、后备域、内核等供电区域，其内部电源结构框图如图 3.3 所示。

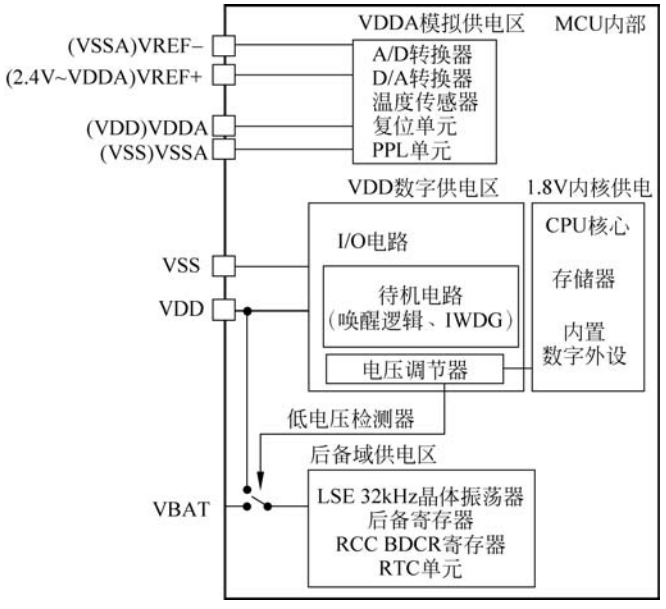


图 3.3　STM32 单片机内部电源结构

在图 3.3 中，VBAT 是后备域供电引脚，为 32kHz 外部低速时钟振荡器 LSE、实时时钟 RTC 和后备寄存器供电。VDD 和 VSS 是数字部分供电引脚。VDDA 和 VSSA 是模拟部分供电引脚，且必须分别连接到 VDD 和 VSS；VREF＋和 VREF－是 A/D 转换器(Analog-to-Digital Converter，ADC)外部参考电压供电引脚，为其提供精确参考电压。如果芯片提供引脚 VREF－(根据封装而定)，那么它必须连接到 VSSA 引脚。

注意：100 引脚和 144 引脚封装的 MCU 提供引脚 VREF＋和 VREF－，64 引脚或更少引脚封装的 MCU 未提供引脚 VREF＋和 VREF－，在芯片内部与 ADC 的电源引脚 VDDA

和地引脚 VSSA 相连。

STM32 单片机的工作电压 VDD 为 2.0～3.6V，通过内置的电压调节器提供内核所需的 1.8V 电源。当主电源 VDD 掉电后，通过 VBAT 为 32kHz 外部低速时钟振荡器 LSE、实时时钟 RTC 和后备寄存器提供电源。为了提高 ADC 转换的精确度，ADC 使用独立电源 VDDA 供电，过滤和屏蔽来自印制电路板上的毛刺干扰。STM32 单片机的供电方案如图 3.4 所示，其中的 4.7μF 电容必须连接到 VDD3。VREF＋引脚电压范围为 2.4V～VDDA，可以直接连接到 VDDA 引脚。如果 VREF＋采用单独的外部参考电源供电，则必须在 VREF＋引脚上连接一个 10nF 和一个 1μF 的电容。

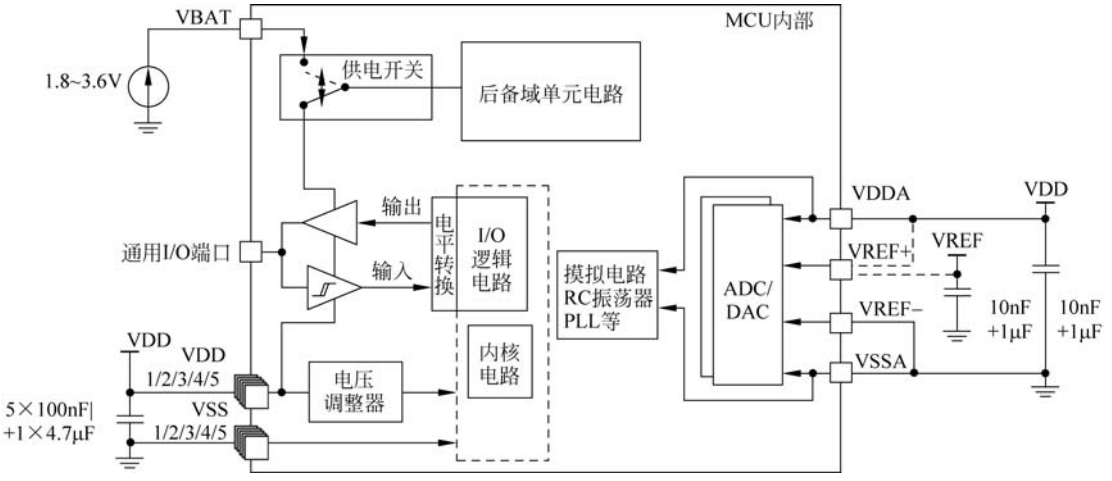


图 3.4　STM32 单片机供电方案

STM32F103 系列单片机的工作电压为 2.0～3.6V，一般采用 3.3V 供电。由于常用电源为 5V，必须采用转换电路将 5V 电压转换为 2.0～3.6V。电源转换芯片 ASM1117-3.3 是一款正电压输出的低压降三端线性稳压电路，输入 5V 电压，输出固定的 3.3V 电压，其电路如图 3.5 所示。转换得到的 3.3V 电源直接与 STM32 单片机的 VDD 引脚连接，为 MCU 提供工作电源。3.3V 和 VSS 分别经电感 L1、L2 滤波后得到 VDDA 和 VSSA，分别连接到单片机的 VDDA 和 VSSA 引脚，为模拟单元供电。

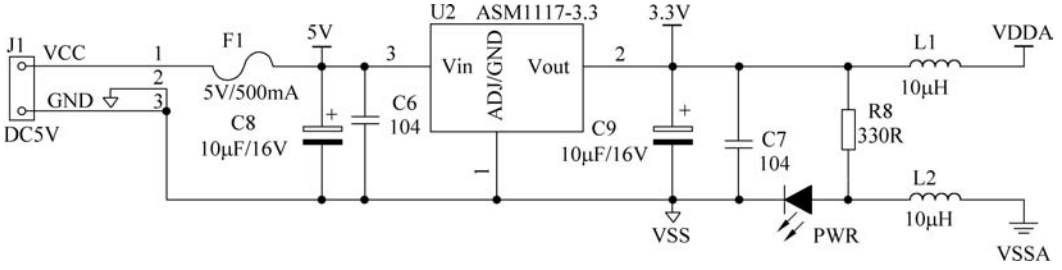


图 3.5　5V 转 3.3V 电路

VBAT 是后备域供电引脚，为 LSE、RTC 和后备寄存器供电，备用电源供电电路如图 3.6 所示。一般选择纽扣电池作为备用电池，其电压低于主电源 3.3V。当主电源 VDD 掉电后，外部备用电池 BAT1 通过 D1 为 VBAT 引脚供电；当主电源 VDD 未掉电时，主电

源 3.3V 经 D2 为 VBAT 引脚供电，节省备用电池 BAT1 的电源。若系统无备用电池，则 VBAT 引脚必须和 100nF 的瓷片电容一起连接到主电源 VDD 上。

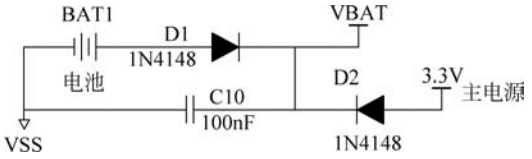


图 3.6　VBAT 备用电源供电电路

3.2.2　复位电路

当单片机在正常运行中，由于外界干扰等因素可能会使单片机程序陷入死循环状态或“跑飞”。要使其进入正常状态，唯一的办法是将单片机复位，以重新启动。复位就是把单片机当前的运行状态恢复到起始状态的操作，其作用是复位单片机的程序计数器 PC，使单片机从代码存储器的 0x00000000 单元重新开始执行程序，并将相关寄存器复位到默认初始值。STM32 单片机的程序计数器初始值为 00000004H，00000000H 留给主堆栈指针 MSP。STM32 单片机支持 3 种形式的复位，分别是系统复位、电源复位和备份区域复位，其复位电路结构如图 3.7 所示。

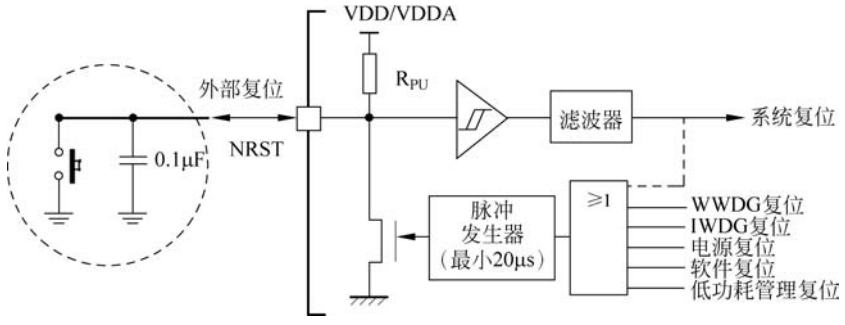


图 3.7　STM32 单片机复位电路结构

1. 系统复位

除了复位和时钟控制（Reset and Clock Control，RCC）的控制状态寄存器 RCC_CSR（Control/Status Register，RCC_CSR）的复位标志位和后备域寄存器外，系统复位将复位所有的寄存器。当发生以下任一事件时，都将产生系统复位。

（1）NRST 引脚上出现低电平（外部复位）；

（2）窗口看门狗计数终止（WWDG 复位）；

（3）独立看门狗计数终止（IWDG 复位）；

（4）软件复位（SW 复位）；

（5）低功耗管理复位。

当发生系统复位时，可通过查看 RCC_CSR 控制状态寄存器中的复位状态标志位识别复位事件来源。

2. 电源复位

STM32 单片机内部集成了一个上电复位(POR)电路和掉电复位(PDR)电路,形成电源复位电路。当工作电源 VDD 达到 2V 时,系统就能正常工作;当工作电源 VDD 低于指定的阈值 VPOR/PDR 时,系统保持为复位状态,而无需外部复位电路。电源复位能复位除后备域寄存器以外的所有寄存器,当发生上电/掉电复位(POR/PDR 复位)或从待机模式中返回时,将产生电源复位。

图 3.7 中任意一个复位源发生复位事件时,脉冲发生器输出有效,最终作用于 NRST 引脚。在复位过程中保持 NRST 低电平,使复位入口向量被固定在地址 0x00000004。芯片内部的复位信号会在 NRST 引脚上输出,且脉冲发生器保证每一个(外部或内部)复位源都能有至少 20μs 的脉冲延时;当 NRST 引脚被拉低产生外部复位时,它也将产生复位脉冲。

3. 备份区域复位

备份区域拥有两个专门的复位,它们只影响备份区域寄存器。当发生下列事件之一时,产生备份区域复位。

(1) 软件复位:后备区域复位可由设置备份域控制寄存器(RCC_BDCR)中的 BDRST 位产生。

(2) 电源复位:在 VDD 和 VBAT 两者均掉电的前提下,VDD 或 VBAT 上电将引发备份区域复位。

最简单、最常用的复位电路是在 NRST 引脚上产生一个低电平信号(外部复位)引发系统复位,它由电容串联电阻构成,如图 3.8 所示。当按键 RESET 被按下时,NRST 引脚和地相接,从而被拉低,产生一个低电平信号,实现复位。在系统上电瞬间,电容开始充电,由于电容电压不能突变,导致 NRST 引脚在上电瞬间被拉成低电平,这个低电平持续的时间由复位电路的电阻、电容值决定($t=1.1RC=1.1\times10000\Omega\times0.0000001F=0.011s=11000\mu s$)。STM32 单片机的 NRST 引脚检测到持续 20μs 以上的低电平后,会对单片机进行复位操作。所以,适当选择 RC 的值就可以保证可靠的复位。

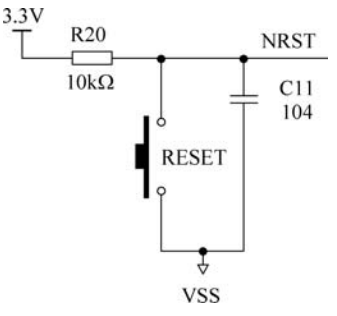


图 3.8 外部复位电路

3.2.3 时钟电路

时钟电路是单片机系统中用于产生并发出原始“嘀嗒”节拍信号的、必不可少的信号源电路,常常被视为单片机系统的心脏。时钟节拍是处理器、存储器、I/O 接口等正常工作的必备条件,它的每一次跳动(振荡节拍)都控制着单片机执行代码的工作节奏。振荡得慢时,系统工作速度就慢;振荡得快时,系统工作速度就快。

为简化 STM32 单片机系统时钟电路,在单片机内部集成了 8MHz 高速 RC 振荡器(HSI RC)、40kHz 低速 RC 振荡器(LSI RC)、4～16MHz 晶体振荡器(HSE OSC)和 32.768kHz RTC 晶体振荡器(LSE OSC),其时钟单元及接口框图如图 3.9 所示。当利用 STM32 单片机内部集成的 HSI RC、LSI RC(又称为内部时钟)作为单片机内部功能单元的时钟信号源时,HSE OSC 和 LSE OSC 被禁用,外部 OSC_OUT、OSC_IN、OSC32_IN 和

OSC32_OUT 引脚可以作为其他功能引脚使用。当使用 HSE OSC、LSE OSC(又称为外部时钟)作为单片机内部功能单元的时钟信号源时，HSI RC 和 LSI RC 被禁用，可从 OSC_OUT、OSC_IN、OSC32_IN 和 OSC32_OUT 引脚输入外部时钟信号或外接石英晶体产生所需的时钟信号。

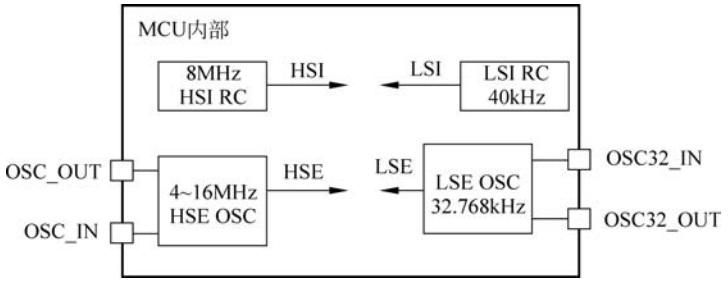
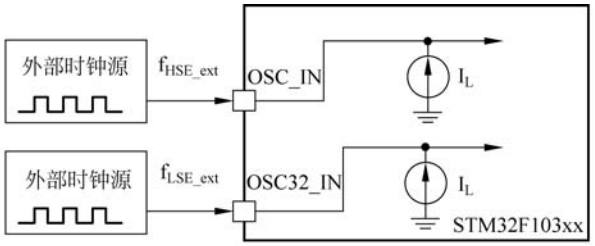
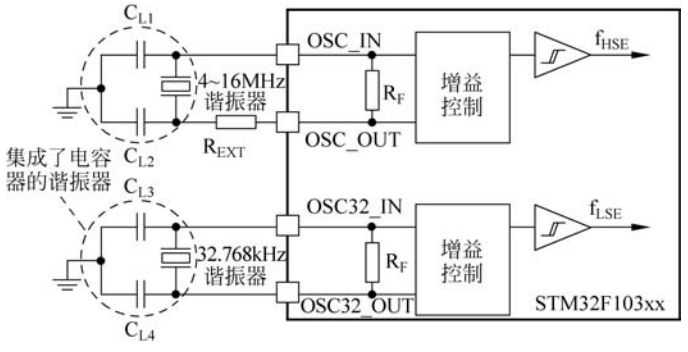


图 3.9　STM32 单片机的时钟接口

内部时钟单元 HSI RC、LSI RC 虽然可以产生时钟信号供单片机内部功能单元使用，但时钟精度不高，仅适用于时钟精度要求不高的应用场合。为了获取稳定、精确的时钟信号，可以使用外部无源石英晶体配合单片机内部的振荡电路(HSE OSC 或 LSE OSC)来产生时钟信号，也可以从单片机外部直接输入有源时钟信号作为单片机的时钟信号，外部时钟电路框图如图 3.10 所示。



(a) 外接有源时钟源



(b) 外接无源石英晶体

图 3.10　外部时钟电路框图

当外接外部时钟源时，必须连到 OSC_IN 和 OSC32_IN 引脚，同时保证 OSC_OUT 和 OSC32_OUT 引脚悬空，如图 3.10(a)所示。负载电容推荐使用高质量的陶瓷电容，其值须根据所选择的振荡器来调整，取值范围为 10～40pF，典型值为 20pF 或 30pF。对于晶体振

荡器的电容来说，电容值越小越容易起振，但振荡器相对不稳定；电容值越大振荡器越稳定，但会增加起振时间，不容易起振。为减少时钟输出的失真和缩短启动稳定时间，石英晶体/陶瓷谐振器和负载电容器必须尽可能地靠近振荡器引脚。根据如图 3.10 所示的外部时钟电路框图，外部时钟电路原理图如图 3.11 所示。

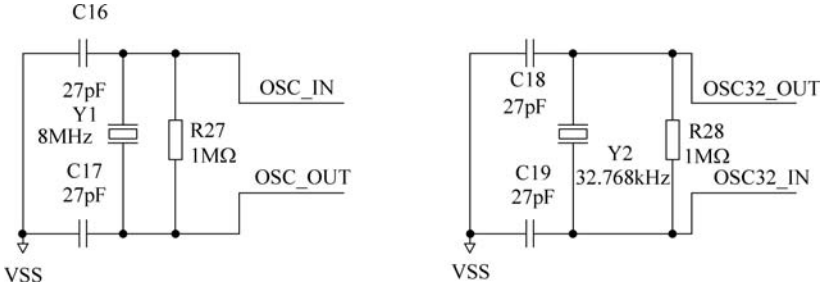


图 3.11　外部时钟电路

内嵌的 HSI RC 或 HSE OSC 可为单片机提供高速时钟，为 MCU 的系统时钟 SYSCLK 提供时钟。内嵌的 LSI RC 或 LSE OSC 可单片机提供低速时钟，为 MCU 的实时时钟 RTC、独立看门狗 IWGD 提供时钟。当不使用 LSI RC 或 LSE OSC 时，可以禁用，OSC32_IN 和 OSC32_OUT 引脚可以作为其他功能引脚使用。

3.2.4　启动模式设置电路

STM32 单片机启动时需要根据 BOOT0 和 BOOT1 引脚的状态来确定系统的启动模式，启动模式设置详见 2.1.4 节启动模式的详细描述，此处不再赘述。为方便根据需要调整 STM32 单片机的启动模式，设计的模式设置电路如图 3.12 所示。

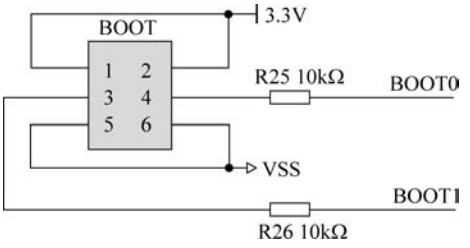


图 3.12　启动模式设置电路

若需要从 Flash 存储区启动，需要设置 BOOT1＝X，BOOT0＝0，因此可以用跳线帽同时短接 BOOT 接口的 3-5 和 4-6；若需要从系统存储区启动（ISP 串口下载程序时），需要设置 BOOT1＝0，BOOT0＝1，因此可以用跳线帽同时短接 BOOT 接口的 3-5 和 4-2；若需要从内部 SRAM 存储区启动，需要设置 BOOT1＝1，BOOT0＝1，因此可以用跳线帽同时短接 BOOT 接口的 3-1 和 4-2。STM32 单片机一般工作在闪存存储区启动模式，上电启动时运行 Flash 存储区中保存的用户程序。

3.2.5　编程接口电路

1. JTAG/SWD 编程接口

STM32 单片机支持标准 JTAG 协议编程和串行调试 SWD（Serial Wire Debug）编程，STM32F103C8T6 芯片的编程引脚如表 3.3 所示。PA13 和 PA14 引脚既作为 JTAG 编程引脚，又作为 SWD 编程引脚。

表 3.3　JTAG /SWD 编程引脚

引脚(LQFP48)	引脚名称	类型	I/O 电平	主功能(复位后)
34	PA13	I/O	FT	JTMS/SWDIO
37	PA14	I/O	FT	JTCK/SWCLK
38	PA15	I/O	FT	JTDI
39	PB3	I/O	FT	JTDO
40	PB4	I/O	FT	NJTRST

STM32 单片机上电复位时，引脚 PA13、PA14、PA15、PB3、PB4 默认作为 JTAG/SWD 编程功能引脚。JTAG 编程时需要 JTMS、JTCK、JTDI、JTDO 和 NJTRST 5 个信号引脚，SWD 编程时仅需要 SWDIO 和 SWCLK 两个信号引脚。在 Flash 存储器启动模型下，可以通过 JLink、ULink、ST-Link、CMSIS-DAP 等仿真器将用户程序代码编程到单片机的 Flash 存储器中，也可以通过仿真器对程序进行单步调试。标准 JTAG 编程接口和 SWD 编程接口电路图如图 3.13 所示。在实际应用时，JTAG 和 SWD 编程接口选择其中一种即可。一般选择 SWD 编程接口，以节约引脚和减小接口面积。

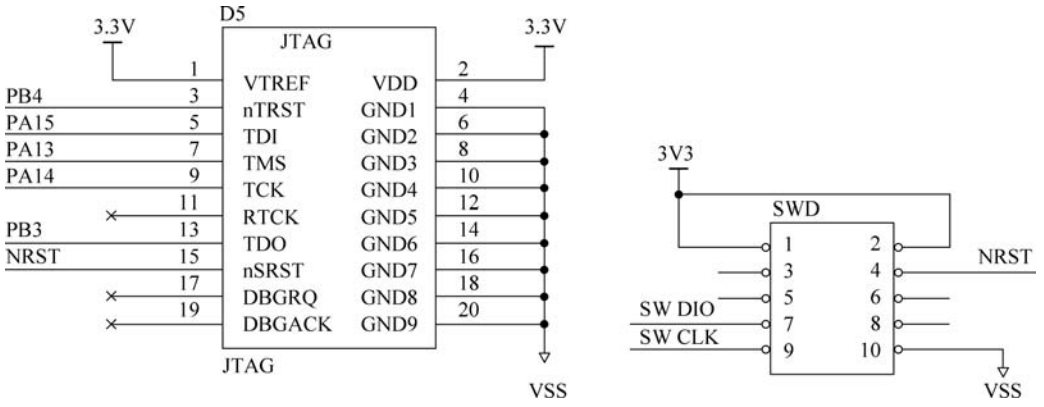


图 3.13　JTAG/SWD 编程接口

2. ISP 编程接口

STM32 单片机内嵌 ISP Bootloader 自举程序存放在系统存储区，由 ST 公司在生产线上写入，用于通过串行通信接口对 Flash 存储器进行重新编程。对于小容量、中容量和大容量 STM32 单片机而言，可以通过 USART1 串行通信接口启用自举程序进行编程；对于互联型 STM32 单片机而言，可以通过 USART1 、USART2(重映射的)、CAN2(重映射的)或 USB OTG 全速接口的设备模式(通过设备固件更新 DFU 协议)启用自举程序进行编程。

使用内嵌的 ISP Bootloader 自举程序进行 Flash 存储器重新编程时，STM32 单片机需要工作在系统存储器启动模式，随后通过 USART1 进行编程。编程成功后若需要让单片机运行 Flash 存储器中的用户程序，则需要将启动模式重新设置为 Flash 存储器启动模式，这样上电启动时才能运行 Flash 存储器中保存的用户程序。另外，新型台式计算机或笔记本电脑很少有串行通信接口，但有 USB 通信接口，因此可以利用 USB 转 UART 接口芯片 CH340G 设计 ISP 编程接口电路。鉴于反复设置启动模式会给 USART1 串行 ISP 编程带来不便，可以将启动模式固定设置成 Flash 存储器模式，再利用 CH340G 芯片的 ♯RST 和

#DTR 引脚在 ISP 编程时自动设置启动模式，设计的一键 ISP 编程电路原理图如图 3.14 所示。

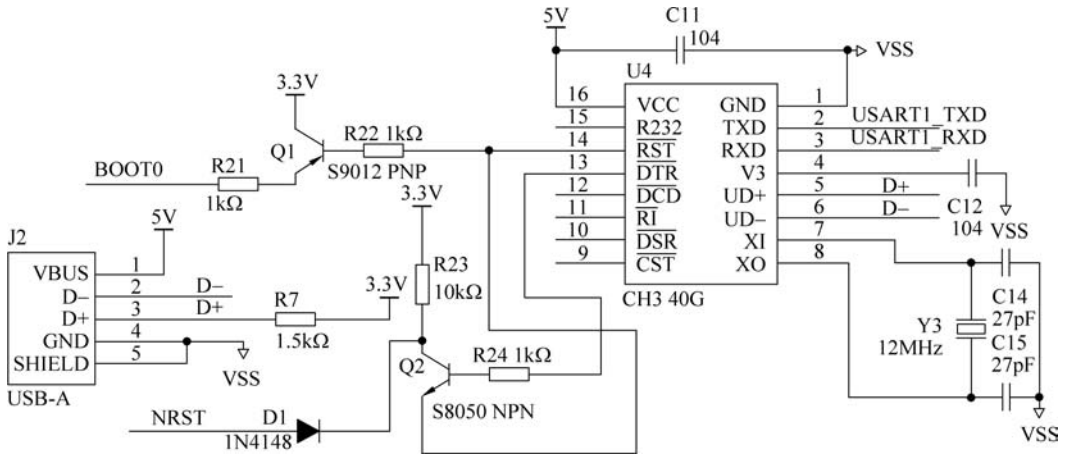


图 3.14　一键 ISP 编程电路图