



带 LCD 驱动和触控按键的超低功耗 A/D Flash 单片机

BS67F2563

版本：V1.10 日期：2020-03-05

www.holtek.com

目录

特性	7
CPU 特性	7
周边特性	7
概述	8
方框图	8
引脚图	9
引脚说明	11
极限参数	16
直流电气特性	16
工作电压特性	16
待机电流特性	16
工作电流特性	17
交流电气特性	18
内部高速振荡器 – HIRC – 频率精确度	18
内部低速振荡器电气特性 – LIRC	18
低速晶体振荡器电气特性 – LXT	18
工作频率电气特性曲线图	19
系统上电时间电气特性	19
输入 / 输出口电气特性	20
输入 / 输出口 (非多电源引脚) 直流电气特性	20
输入 / 输出口 (多电源引脚) 直流电气特性	20
存储器电气特性	22
LVD/LVR 电气特性	22
内部参考电压电气特性	23
A/D 转换器电气特性	23
LCD 电气特性	24
上电复位特性	25
系统结构	25
时序和流水线结构	25
程序计数器	26
堆栈	27
算术逻辑单元 – ALU	27
Flash 程序存储器	28
结构	28
特殊向量	28
查表	28
查表范例	29
在线烧录 – ICP	30
片上调试 – OCDS	30
在线应用编程 – IAP	31

数据存储器	46
结构	46
数据存储器寻址	47
通用数据存储器	47
特殊功能数据存储器	47
特殊功能寄存器	49
间接寻址寄存器 – IAR0, IAR1, IAR2	49
存储器指针 – MP0, MP1H/MP1L, MP2H/MP2L	49
程序存储区指针 – PBP	50
累加器 – ACC	51
程序计数器低字节寄存器 – PCL	51
表格寄存器 – TBLP, TBHP, TBLH	51
状态寄存器 – STATUS	51
EEPROM 数据存储器	53
EEPROM 数据存储器结构	53
EEPROM 寄存器	53
从 EEPROM 中读取数据	54
写数据到 EEPROM	54
写保护	55
EEPROM 中断	55
编程注意事项	55
振荡器	56
振荡器概述	56
系统时钟配置	56
内部 RC 振荡器 – HIRC	57
外部 32.768kHz 晶体振荡器 – LXT	57
内部 32kHz 振荡器 – LIRC	58
工作模式和系统时钟	58
系统时钟	58
系统工作模式	59
控制寄存器	60
工作模式切换	62
待机电流的注意事项	65
唤醒	65
看门狗定时器	66
看门狗定时器时钟源	66
看门狗定时器控制寄存器	66
看门狗定时器操作	67
复位和初始化	68
复位功能	68
复位初始状态	72
输入 / 输出端口	77
上拉电阻	78
PA 口唤醒	79

输入 / 输出端口控制寄存器	79
输入 / 输出端口电源控制	79
引脚共用功能	80
输入 / 输出引脚结构	85
编程注意事项	85
定时器模块 – TM	86
简介	86
TM 操作	86
TM 时钟源	86
TM 中断	86
TM 外部引脚	87
编程注意事项	88
简易型 TM – CTM	89
简易型 TM 操作	89
简易型 TM 寄存器介绍	89
简易型 TM 工作模式	93
标准型 TM – STM	99
标准型 TM 操作	99
标准型 TM 寄存器介绍	99
标准型 TM 工作模式	103
A/D 转换器	112
A/D 转换器简介	112
A/D 转换寄存器介绍	113
A/D 转换器参考电压	115
A/D 转换器输入信号	115
A/D 转换器操作	116
A/D 转换率及时序图	116
A/D 转换步骤	117
编程注意事项	118
A/D 转换功能	118
A/D 转换应用范例	119
通用串行接口模块 – USIM	121
SPI 接口	121
PC 接口	128
UART 模块串行接口	138
串行外设接口 – SPI	152
SPI 接口操作	152
SPI 寄存器	153
SPI 通信	155
SPI 使能 / 除能	157
SPI 操作步骤	157
LCD 驱动	159
LCD 数据存储	159
LCD 时钟源	160

LCD C 型充电泵时钟源	160
LCD 寄存器	160
LCD 电压源和偏压	161
LCD 复位状态	163
LCD 驱动输出	163
编程注意事项	166
触控按键功能	167
触控按键结构	167
触控按键寄存器	167
触控按键操作	176
触控按键中断	183
编程注意事项	184
中断	184
中断寄存器	184
中断操作	190
外部中断	191
多功能中断	192
TM 中断	192
LVD 中断	192
EEPROM 中断	192
USIM 中断	192
SPI 中断	193
A/D 转换器中断	193
触控按键时隙计数器溢出中断	193
触控按键模块阈值中断	193
时基中断	194
中断唤醒功能	195
编程注意事项	195
低电压检测 – LVD	196
LVD 寄存器	196
LVD 操作	197
配置选项	197
应用电路	198
指令集	199
简介	199
指令周期	199
数据的传送	199
算术运算	199
逻辑和移位运算	199
分支和控制转换	200
位运算	200
查表运算	200
其它运算	200

指令集概要	201
惯例	201
扩展指令集	204
指令定义	206
扩展指令定义	218
封装信息	228
64-pin LQFP (7mm×7mm) 外形尺寸	229
80-pin LQFP (10mm×10mm) 外形尺寸	230

特性

CPU 特性

- 工作电压
 - ◆ $f_{SYS}=4\text{MHz}$: 1.8V~5.5V
 - ◆ $f_{SYS}=8\text{MHz}$: 2.2V~5.5V
 - ◆ $f_{SYS}=12\text{MHz}$: 2.7V~5.5V
- $V_{DD}=5\text{V}$, 系统时钟为 12MHz 时, 指令周期为 0.33 μs
- 暂停和唤醒功能, 以降低功耗
- 振荡器类型
 - ◆ 内部高速 4/8/12MHz RC 振荡器 – HIRC
 - ◆ 外部低速 32.768kHz 晶振 – LXT
 - ◆ 内部低速 32kHz RC – LIRC, 仅用于上电复位和 LVD/LVR 功能
- 完全集成的内部振荡器, 无需外接元器件
- 多种工作模式: 快速模式、低速模式、空闲模式和休眠模式
- 所有指令都可在 1~3 个指令周期内完成
- 查表指令
- 115 条功能强大的指令系统
- 16 层硬件堆栈
- 位操作指令

周边特性

- Flash 程序存储器: 16K $\times$ 6
- 数据存储器: 2304 $\times$ 8
- True EEPROM 存储器: 128 $\times$ 8
- 完全集成触控按键功能 – 无需外部元器件
- 一键唤醒功能, 以减少功耗
- 看门狗定时器功能
- 在线应用编程功能 – IAP
- 31 个双向 I/O 口
- 4 个与 I/O 口复用的外部中断
- 多个定时器模块用于时间测量、捕捉输入、比较匹配输出、PWM 输出功能及单脉冲输出功能
- 通用串行接口模块 – USIM, 用于 SPI、I²C 或 UART 通信
- 单个串行外设接口 – SPI
- 7 个外部通道 12-bit 分辨率的 A/D 转换器
- 双时基功能, 用于产生固定时间的中断信号
- LCD 驱动功能
 - ◆ SEGs $\times$ COMs: 32 $\times$ 4
 - ◆ 占空比类型: 1/4
 - ◆ 偏压电平: 1/3 偏压

- ◆ 偏压类型：C 型
- ◆ 波形：A 型或 B 型
- 低电压复位功能 – LVR
- 低电压检测功能 – LVD
- 封装类型：64-pin LQFP

概述

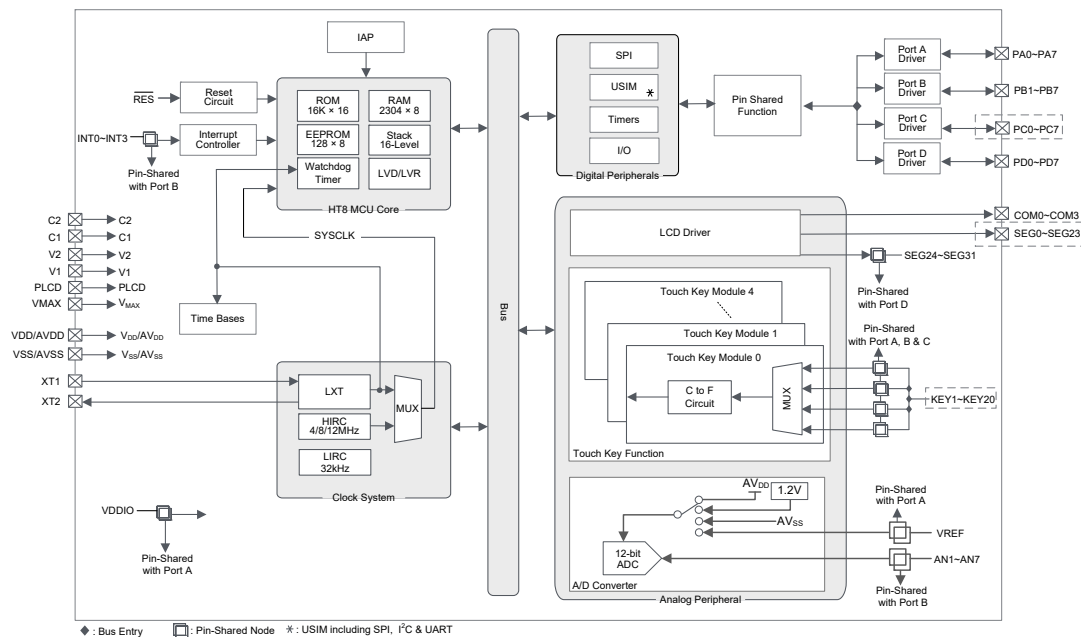
BS67F2563 是一款具有 8 位高性能精简指令集的 Flash 单片机，专门为带 LCD 显示的触控按键产品而设计。该单片机含有内部触控按键功能和可多次编程的 Flash 存储器特性，为各种触控按键产品应用提供了一种简单而又有效的实现方法。触控按键功能完全集成于单片机内，无需外部元器件。除了 Flash 程序存储器，该单片机还包含 RAM 数据存储器和用于存储序列数据、校准数据等非易失性数据的 True EEPROM 存储器。

在模拟特性方面，该单片机包含一个多通道 12 位 A/D 转换。还带有多个使用灵活的定时器模块，可提供定时功能、脉冲产生功能及 PWM 产生功能。内建完整的 SPI、I²C 和 UART 接口功能，为设计者提供了一个易与外部硬件通信的接口。内部看门狗定时器、低电压复位和低电压检测等内部保护特性，外加优秀的抗干扰和 ESD 保护性能，确保单片机在恶劣的电磁干扰环境下可靠地运行。

该单片机提供了丰富的外部低速和内部高速振荡器功能选项，且内建完整的系统振荡器无需外围元器件。其不同工作模式之间动态切换的能力，为用户提供了一个优化单片机操作和减少功耗的手段。

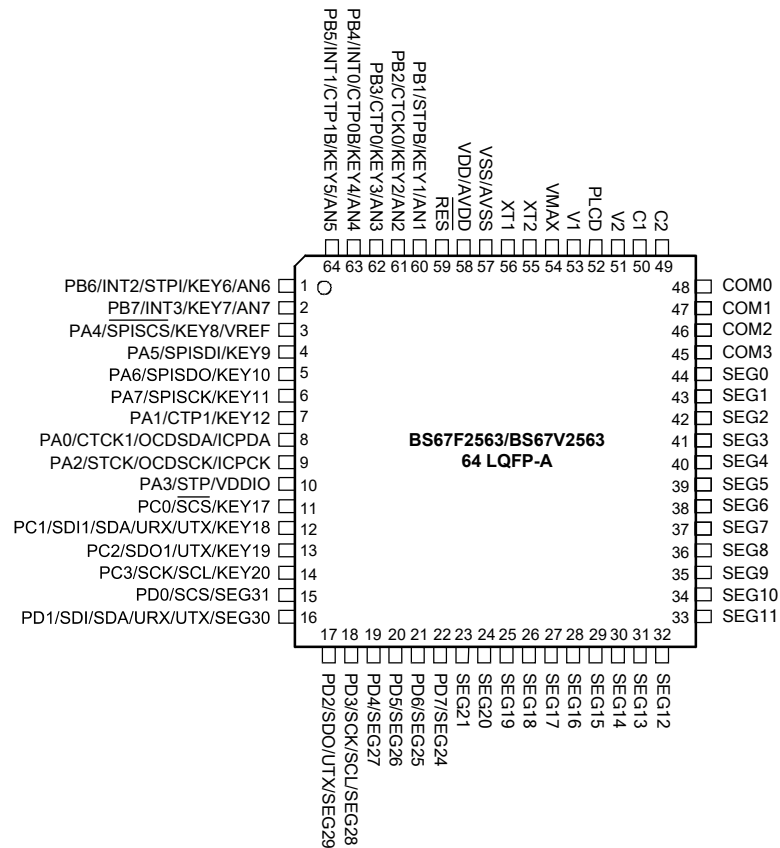
包含 I/O 使用灵活、时基功能和其它特性确保了该单片机可以广泛应用于各种产品中，例如可视卡，电子标签，物联网产品等。

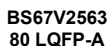
方框图



注：在虚线处，SEG22~SEG23 和 PC4/KEY13~PC7/KEY16 引脚只能用于 80-pin LQFP OCDS EV 芯片和特定的封装。

引脚图





注：1. 若共用脚同时有多种输出，所需引脚共用功能由相应的软件控制位决定。
2. OCSDSA 和 OCDSCK 引脚为片上调试功能专用引脚，仅存在于 BS67F2563 的 OCDS EV 芯片 BS67V2563。
3. 在较小封装中可能含有未引出的引脚，需合理设置其状态以避免输入浮空造成额外耗电，详见“待机电流注意事项”和“输入 / 输出端口”章节。
4. 80-pin LQFP-A 的封装类型仅用于 OCDS EV 芯片。

引脚说明

除了电源引脚、LXT 振荡器引脚、一些 LCD COM 引脚和 SEG 引脚外，该单片机的所有引脚都以它们的端口名称进行标注，例如 PA0、PA1 等，用于描述这些引脚的数字输入 / 输出功能。然而，这些引脚也与其它功能共用，如定时器模块引脚等。每个引脚的功能如下表所述，而引脚配置的详细内容见规格书其它章节。

注意，此引脚说明是针对最大封装单片机而言的，对于小封装的单片机并非所有引脚都存在。

引脚名称	功能	OPT	I/T	O/T	说明
PA0/CTCK1/ OCSDSA/ICPDA	PA0	PAPU PAWU	ST	CMOS	通用 I/O 口，可通过寄存器设置上拉电阻和唤醒功能
	CTCK1	—	ST	—	CTM1 时钟输入
	OCSDSA	—	ST	CMOS	OCDS 数据 / 地址，仅用于 EV 芯片
	ICPDA	—	ST	CMOS	ICP 数据 / 地址
PA1/CTP1/KEY12	PA1	PAWU PAPU PAS0	ST	CMOS	通用 I/O 口，可通过寄存器设置上拉电阻和唤醒功能
	CTP1	PAS0	—	CMOS	CTM1 输出
	KEY12	PAS0	AN	—	触控按键输入
PA2/STCK/ OCDSCK/ ICPCK	PA2	PAPU PAWU	ST	CMOS	通用 I/O 口，可通过寄存器设置上拉电阻和唤醒功能
	STCK	—	ST	—	STM 时钟输入
	OCDSCK	—	ST	—	OCDS 时钟引脚，仅用于 EV 芯片
	ICPCK	—	ST	—	ICP 时钟引脚
PA3/STP/ VDDIO	PA3	PAPU PAWU PAS0	ST	CMOS	通用 I/O 口，可通过寄存器设置上拉电阻和唤醒功能
	STP	PAS0	—	CMOS	STM 输出
	VDDIO	PAS0 PMPS	PWR	—	PC0~PC3 正电源
PA4/SPISCS/ KEY8/VREF	PA4	PAPU PAWU PAS1	ST	CMOS	通用 I/O 口，可通过寄存器设置上拉电阻和唤醒功能
	SPISCS	PAS1	ST	CMOS	SPI 从机选择
	KEY8	PAS1	AN	—	触控按键输入
	VREF	—	AN	—	A/D 转换器外部参考输入
PA5/SPISDI/KEY9	PA5	PAPU PAWU PAS1	ST	CMOS	通用 I/O 口，可通过寄存器设置上拉电阻和唤醒功能
	SPISDI	PAS1	ST	—	SPI 串行数据输入
	KEY9	PAS1	AN	—	触控按键输入
PA6/SPISDO/ KEY10	PA6	PAPU PAWU PAS1	ST	CMOS	通用 I/O 口，可通过寄存器设置上拉电阻和唤醒功能

引脚名称	功能	OPT	I/T	O/T	说明
PA6/SPISDO/ KEY10	SPISDO	PAS1	—	CMOS	SPI 串行数据输出
	KEY10	PAS1	AN	—	触控按键输入
PA7/SPISCK/ KEY11	PA7	PAPU PAWU PAS1	ST	CMOS	通用 I/O 口，可通过寄存器设置上拉电阻和唤醒功能
	SPISCK	PAS1	ST	CMOS	SPI 串行时钟
	KEY11	PAS1	AN	—	触控按键输入
PB1/STPB/ KEY1/AN1	PB1	PBPU PBS0	ST	CMOS	通用 I/O 口，可通过寄存器设置上拉电阻
	STPB	PBS0	—	CMOS	STM 反相输出
	KEY1	PBS0	AN	—	触控按键输入
	AN1	PBS0	AN	—	A/D 转换器外部输入
PB2/CTCK0/ KEY2/AN2	PB2	PBPU PBS0	ST	CMOS	通用 I/O 口，可通过寄存器设置上拉电阻
	CTCK0	—	ST	—	CTM0 时钟输入
	KEY2	PBS0	AN	—	触控按键输入
	AN2	PBS0	AN	—	A/D 转换器外部输入
PB3/CTP0/ KEY3/AN3	PB3	PBPU PBS0	ST	CMOS	通用 I/O 口，可通过寄存器设置上拉电阻
	CTP0	PBS0	—	CMOS	CTM0 输出
	KEY3	PBS0	AN	—	触控按键输入
	AN3	PBS0	AN	—	A/D 转换器外部输入
PB4/INT0/CTP0B/ KEY4/AN4	PB4	PBPU PBS1	ST	CMOS	通用 I/O 口，可通过寄存器设置上拉电阻
	INT0	PBS1 INTEG INTC0	ST	—	外部中断输入 0
	CTP0B	PBS1	—	CMOS	CTM0 反相输出
	KEY4	PBS1	AN	—	触控按键输入
	AN4	PBS1	AN	—	A/D 转换器外部输入
PB5/INT1/CTP1B/ KEY5/AN5	PB5	PBPU PBS1	ST	CMOS	通用 I/O 口，可通过寄存器设置上拉电阻
	INT1	PBS1 INTEG INTC0	ST	—	外部中断输入 1
	CTP1B	PBS1	—	CMOS	CTM1 反相输出
	KEY5	PBS1	AN	—	触控按键输入
	AN5	PBS1	AN	—	A/D 转换器外部输入

引脚名称	功能	OPT	I/T	O/T	说明
PB6/INT2/STPI/ KEY6/AN6	PB6	PBPU PBS1	ST	CMOS	通用 I/O 口，可通过寄存器设置上拉电阻
	INT2	PBS1 INTEG INTC2	ST	—	外部中断输入 2
	STPI	PBS1	ST	—	STM 捕捉输入
	KEY6	PBS1	AN	—	触控按键输入
	AN6	PBS1	AN	—	A/D 转换器外部输入
PB7/INT3/KEY7/ AN7	PB7	PBPU PBS1	ST	CMOS	通用 I/O 口，可通过寄存器设置上拉电阻
	INT3	INTEG INTC2	ST	—	外部中断输入 3
	KEY11	PBS1	AN	—	触控按键输入
	AN7	PBS1	AN	—	A/D 转换器外部输入
PC0/ $\overline{\text{SCS}}$ /KEY17	PC0	PCPU PCS0	ST	CMOS	通用 I/O 口，可通过寄存器设置上拉电阻
	$\overline{\text{SCS}}$	PCS0 IFS	ST	CMOS	SPI 从机选择
	KEY17	PCS0	AN	—	触控按键输入
PC1/SDI/SDA/ URX/UTX/KEY18	PC1	PCPU PCS0	ST	CMOS	通用 I/O 口，可通过寄存器设置上拉电阻
	SDI	PCS0 IFS	ST	—	SPI 串行数据输入
	SDA	PCS0 IFS	ST	NMOS	I ² C 数据线
	URX/ UTX	PCS0 IFS	ST	CMOS	UART 串行数据输入 (全双工通信模式) 或 UART 串行数据输入 / 输出 (单线通信模式)
	KEY18	PCS0	AN	—	触控按键输入
PC2/SDO/UTX/ KEY19	PC2	PCPU PCS0	ST	CMOS	通用 I/O 口，可通过寄存器设置上拉电阻
	SDO	PCS0	—	CMOS	SPI 串行数据输出
	UTX	PCS0	—	CMOS	UART 串行数据输出
	KEY19	PCS0	AN	—	触控按键输入
PC3/SCK/SCL/ KEY20	PC3	PCPU PCS0	ST	CMOS	通用 I/O 口，可通过寄存器设置上拉电阻
	SCK	PCS0 IFS	ST	CMOS	SPI 串行时钟
	SCL	PCS0 IFS	ST	NMOS	I ² C 时钟线
	KEY20	PCS0	AN	—	触控按键输入
PC4/KEY13	PC4	PCPU PCS1	ST	CMOS	通用 I/O 口，可通过寄存器设置上拉电阻
	KEY13	PCS1	AN	—	触控按键输入

引脚名称	功能	OPT	I/T	O/T	说明
PC5/KEY14	PC5	PCPU PCS1	ST	CMOS	通用 I/O 口，可通过寄存器设置上拉电阻
	KEY14	PCS1	AN	—	触控按键输入
PC6/KEY15	PC6	PCPU PCS1	ST	CMOS	通用 I/O 口，可通过寄存器设置上拉电阻
	KEY15	PCS1	AN	—	触控按键输入
PC7/KEY16	PC7	PCPU PCS1	ST	CMOS	通用 I/O 口，可通过寄存器设置上拉电阻
	KEY16	PCS1	AN	—	触控按键输入
PD0/ $\overline{\text{SCS}}$ /SEG31	PD0	PDPU PDS0	ST	CMOS	通用 I/O 口，可通过寄存器设置上拉电阻
	$\overline{\text{SCS}}$	PDS0 IFS	ST	CMOS	SPI 从机选择
	SEG31	PDS0	—	SEG	LCD SEG 输出
PD1/SDI/SDA/ URX/UTX/SEG30	PD1	PDPU PDS0	ST	CMOS	通用 I/O 口，可通过寄存器设置上拉电阻
	SDI	PDS0 IFS	ST	—	SPI 串行数据输入
	SDA	PDS0 IFS	ST	NMOS	I ² C 数据线
	URX/ UTX	PDS0 IFS	ST	CMOS	UART 串行数据输入 (全双工通信模式) 或 UART 串行数据输入 / 输出 (单线通信 模式)
	SEG30	PDS0	—	SEG	LCD SEG 输出
PD2/SDO/UTX/ SEG29	PD2	PDPU PDS0	ST	CMOS	通用 I/O 口，可通过寄存器设置上拉电阻
	SDO	PDS0	—	CMOS	SPI 串行数据输出
	UTX	PDS0	—	CMOS	UART 串行数据输出
	SEG29	PDS0	—	SEG	LCD SEG 输出
PD3/SCK/SCL/ SEG28	PD3	PDPU PDS0	ST	CMOS	通用 I/O 口，可通过寄存器设置上拉电阻
	SCK	PDS0 IFS	ST	CMOS	SPI 串行时钟
	SCL	PDS0 IFS	ST	NMOS	I ² C 时钟线
	SEG28	PDS0	—	SEG	LCD SEG 输出
PD4/SEG27	PD4	PDPU PDS1	ST	CMOS	通用 I/O 口，可通过寄存器设置上拉电阻
	SEG27	PDS1	—	SEG	LCD SEG 输出
PD5/SEG26	PD5	PDPU PDS1	ST	CMOS	通用 I/O 口，可通过寄存器设置上拉电阻
	SEG26	PDS1	—	SEG	LCD SEG 输出

引脚名称	功能	OPT	I/T	O/T	说明
PD6/SEG25	PD6	PDPUPDS1	ST	CMOS	通用 I/O 口，可通过寄存器设置上拉电阻
	SEG25	PDS1	—	SEG	LCD SEG 输出
PD7/SEG24	PD7	PDPUPDS1	ST	CMOS	通用 I/O 口，可通过寄存器设置上拉电阻
	SEG24	PDS1	—	SEG	LCD SEG 输出
XT2	XT2	—	—	LXT	LXT 振荡器输出引脚
XT1	XT1	—	LXT	—	LXT 振荡器输入引脚
SEG0~SEG21	SEG0~SEG21	—	—	SEG	LCD SEG 输出
COM0~COM3	COM0~COM3	—	—	COM	LCD COM 输出
VMAX	VMAX	—	PWR	—	LCD 最大电压，连接至 VDD 或 V1
PLCD	PLCD	—	PWR	AN	LCD 电源
V1	V1	—	PWR	AN	LCD 电源
V2	V2	—	PWR	AN	LCD 电源
C1	C1	—	—	AN	LCD 充电泵
C2	C2	—	—	AN	LCD 充电泵
RES	RES	—	ST	—	外部复位输入
VDD/AVDD	VDD	—	PWR	—	数字正电源
	AVDD	—	PWR	—	A/D 转换器正电源
VSS/AVSS	VSS	—	PWR	—	数字负电源
	AVSS	—	PWR	—	A/D 转换器负电源
仅适用于 80-pin LQFP OCDS EV 芯片和特定的封装					
PC4/KEY5	PC4	PCPU PCS1	ST	CMOS	通用 I/O 口，可通过寄存器设置上拉电阻
	KEY5	PCS1	AN	—	触控按键输入
PC5/KEY6	PC5	PCPU PCS1	ST	CMOS	通用 I/O 口，可通过寄存器设置上拉电阻
	KEY6	PCS1	AN	—	触控按键输入
PC6/KEY7	PC6	PCPU PCS1	ST	CMOS	通用 I/O 口，可通过寄存器设置上拉电阻
	KEY7	PCS1	AN	—	触控按键输入
PC7/KEY8	PC7	PCPU PCS1	ST	CMOS	通用 I/O 口，可通过寄存器设置上拉电阻
	KEY8	PCS1	AN	—	触控按键输入
SEG22~SEG23	SEG22~SEG23	—	—	SEG	LCD SEG 输出

注：I/T：输入类型；
OPT：通过寄存器选项来配置；
CMOS：CMOS 输出；
SEG：LCD SEG 输出；
AN：模拟信号；
LXT：低频晶体振荡器

O/T：输出类型；
ST：施密特触发输入；
NMOS：NMOS 输出；
COM：LCD COM 输出；
PWR：电源；

极限参数

电源供应电压	$V_{SS}-0.3V\sim 6.0V$
输入电压	$V_{SS}-0.3V\sim V_{DD}+0.3V$
储存温度	$-50^{\circ}C\sim 125^{\circ}C$
工作温度	$-40^{\circ}C\sim 85^{\circ}C$
I_{OL} 总电流	80mA
I_{OH} 总电流	-80mA
总功耗	500mW

注：这里只强调额定功率，超过极限参数所规定的范围将对芯片造成损害，无法预期芯片在上述标示范围外的工作状态，而且若长期在标示范围外的条件下工作，可能影响芯片的可靠性。

直流电气特性

以下表格中参数测量结果可能受多个因素影响，如振荡器类型、工作电压、工作频率、引脚负载状况、温度和程序指令等等。

工作电压特性

$T_a=-40^{\circ}C\sim 85^{\circ}C$

符号	参数	测试条件	最小	典型	最大	单位
V_{DD}	工作电压 – HIRC	$f_{SYS}=4MHz$	1.8	—	5.5	V
		$f_{SYS}=8MHz$	2.2	—	5.5	
		$f_{SYS}=12MHz$	2.7	—	5.5	
	工作电压 – LXT	$f_{SYS}=32768Hz$	1.8	—	5.5	V

待机电流特性

$T_a=25^{\circ}C$ ，除非另有说明

符号	待机模式	测试条件		最小	典型	最大	最大 @85°C	单位
		V_{DD}	条件					
I_{STB}	休眠模式	1.8V	WDT off, Time Base off (LXT on)	—	0.10	0.15	0.70	μA
		3V		—	0.12	0.15	1.00	
		5V		—	0.2	0.5	1.2	
		1.8V	WDT on, Time Base on (LXT on)	—	0.12	0.22	0.70	
		3V		—	0.15	0.22	1.00	
		5V		—	0.23	0.60	1.20	
		1.8V	WDT on, Time Base on 周期性自动模式和一键唤醒，(LXT on)	—	0.16	0.21	1.50	
		3V		—	0.20	0.25	2.00	
		5V		—	0.40	0.50	4.00	

符号	待机模式	测试条件		最小	典型	最大	最大 @85°C	单位
		V _{DD}	条件					
I _{STB}	空闲模式 0 – LXT	1.8V	f _{SUB} on	—	2.4	4.0	4.8	μA
		3V		—	3	5	6	
		5V		—	5	10	12	
	空闲模式 1 – HIRC	1.8V	f _{SUB} on, f _{SYS} =4MHz	—	144	200	240	μA
		3V		—	180	250	300	
		5V		—	400	600	720	
		2.2V	f _{SUB} on, f _{SYS} =8MHz	—	288	400	480	μA
		3V		—	360	500	600	
		5V		—	600	800	960	
		2.7V	f _{SUB} on, f _{SYS} =12MHz	—	432	600	720	μA
		3V		—	540	750	900	
		5V		—	800	1200	1440	

注：当使用该表格电气特性数据时，以下几点需注意：

1. 任何数字输入都设置为非浮空的状态。
2. 所有测量都在无负载且所有外围功能关闭的条件下进行。
3. 无直流电流路径。
4. 所有待机电流数值都是在 HALT 指令执行后测得，因此 HALT 后停止执行所有指令。

工作电流特性

T_a=-40°C~85°C

符号	工作模式	测试条件		最小	典型	最大	单位
		V _{DD}	条件				
I _{DD}	快速模式 – HIRC	1.8V	f _{SYS} =4MHz	—	0.3	0.5	mA
		3V		—	0.4	0.6	
		5V		—	0.8	1.2	
		2.2V	f _{SYS} =8MHz	—	0.8	1.2	mA
		3V		—	1.0	1.5	
		5V		—	2.0	3.0	
		2.7V	f _{SYS} =12MHz	—	1.2	2.2	mA
		3V		—	1.5	2.7	
		5V		—	3.0	4.5	
	低速模式 – LXT	1.8V	f _{SYS} =32768Hz	—	8	16	μA
		3V		—	10	20	
		5V		—	30	50	

注：当使用该表格电气特性数据时，以下几点需注意：

1. 任何数字输入都设置为非浮空的状态。
2. 所有测量都在无负载且所有外围功能关闭的条件下进行。
3. 无直流电流路径。
4. 所有工作电流数据都是通过执行连续 NOP 指令程序回路进行测量。

交流电气特性

以下表格中参数测量结果可能受多个因素影响，如振荡器类型、工作电压、工作频率和温度等等。

内部高速振荡器 – HIRC – 频率精确度

程序烧录时，烧录器可调整 HIRC 振荡器使其工作在用户选择的 HIRC 频率和工作电压 (3V 或 5V) 条件下。

符号	参数	测试条件		最小	典型	最大	单位
		V _{DD}	温度				
f _{HIRC}	通过烧录器调整后的 4MHz HIRC 频率	3V/5V	25°C	-1%	4	+1%	MHz
			-40°C~85°C	-2%	4	+2%	
		2.2V~5.5V	25°C	-2.5%	4	+2.5%	
			-40°C~85°C	-3%	4	+3%	
		1.8V~5.5V	25°C	-4%	4	+4%	
			-40°C~85°C	-5%	4	+5%	
	通过烧录器调整后的 8MHz HIRC 频率	3V/5V	25°C	-1%	8	+1%	MHz
			-40°C~85°C	-2%	8	+2%	
		2.2V~5.5V	25°C	-2.5%	8	+2.5%	
			-40°C~85°C	-3%	8	+3%	
	通过烧录器调整后的 12MHz HIRC 频率	5V	25°C	-1%	12	+1%	MHz
			-40°C~85°C	-2%	12	+2%	
		2.7V~5.5V	25°C	-2.5%	12	+2.5%	
			-40°C~85°C	-3%	12	+3%	

- 注：1. 烧录器可在 3V/5V 这两个可选的固定电压下对 HIRC 频率进行调整，在此提供 V_{DD}=3V/5V 时的参数值。
2. 3V/5V 表格列下面提供的是全压条件下的参数值。当应用电压范围是 2.2V~3.6V 时，建议烧录器电压固定在 3V；当应用电压范围是 3.3V~5.5V 时，建议烧录器电压固定在 5V。
3. 表格中提供的最小和最大误差值仅在对应的烧录器调整频率下有效。当烧录器已将 HIRC 调整为某一固定频率，此后再通过程序中振荡器控制位将其频率改为其它值时，频率误差范围将增加到 ±20%。

内部低速振荡器电气特性 – LIRC

符号	参数	测试条件		最小	典型	最大	单位
		V _{DD}	温度				
f _{LIRC}	LIRC 振荡器频率	2.2V~5.5V	-40°C~85°C	-10%	32	+10%	kHz
t _{START}	LIRC 启动时间	—	-40°C~85°C	—	—	100	μs

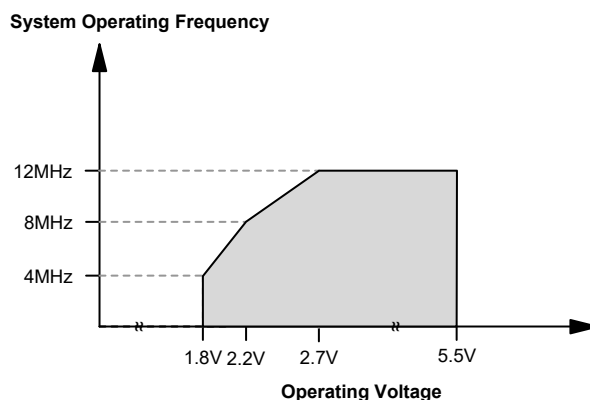
低速晶体振荡器电气特性 – LXT

Ta=-40°C~85°C

符号	参数	测试条件		最小	典型	最大	单位
		V _{DD}	条件				
f _{LXT}	振荡器频率	1.8V~5.5V	—	—	32768	—	Hz
Duty Cycle	占空比	—	—	48	50	52	%
t _{START}	启动时间	3V/5V	—	—	—	600	ms
R _{NEG}	负阻 (注)	1.8V	—	3×ESR	—	—	Ω

注：C1、C2 为外部元器件。C1=C2=7pF，C_L≤7pF，ESR=65kΩ (最大值)。

工作频率电气特性曲线图



系统上电时间电气特性

Ta=-40°C~85°C

符号	参数	测试条件		最小	典型	最大	单位
		V _{DD}	条件				
t _{SST}	系统启动时间 (从 f _{SYS} off 的状态下唤醒)	—	f _{SYS} =f _H ~f _H /64, f _H =f _{HIRC}	—	16	—	t _{SYS}
		—	f _{SYS} =f _{SUB} =f _{LXT}	—	1024	—	t _{SYS}
	系统启动时间 (从 f _{SYS} on 的状态下唤醒)	—	f _{SYS} =f _H ~f _H /64, f _H =f _{HIRC}	—	2	—	t _{SYS}
		—	f _{SYS} =f _{SUB} =f _{LXT}	—	2	—	t _{SYS}
	系统速度切换时间 (快速模式 → 低速模式或 低速模式 → 快速模式)	—	f _{HIRC} off → on	—	16	—	t _{HIRC}
		—	f _{LXT} off → on	—	1024	—	t _{LXT}
t _{RSTD}	系统复位延迟时间 (上电复位或 LVR 硬件复位)	—	RR _{POR} =5V/ms	42	48	54	ms
	系统复位延迟时间 (LVRC/WDTC/RSTC 软件复位)	—	—				
	系统复位延迟时间 (WDT 溢出)	—	—	14	16	18	ms
t _{SRESET}	软件复位最小延迟脉宽	—	—	45	90	120	μs

- 注：1. 系统启动时间里提到的 f_{SYS} on/off 状态取决于工作模式类型以及所选的系统时钟振荡器。更多相关细节请参考系统工作模式章节。
2. t_{HIRC} 等符号所表示的时间单位，是对应频率值的倒数，相关频率值在前面表格有说明。例如，t_{HIRC}=1/f_{HIRC}，t_{SYS}=1/f_{SYS} 等等。
3. 系统速度切换时间实际上是指新使能的振荡器的启动时间。

输入 / 输出口电气特性

Ta=-40°C~85°C

输入 / 输出口 (非多电源引脚) 直流电气特性

符号	参数	测试条件		最小	典型	最大	单位
		V _{DD}	条件				
V _{IL}	I/O 口低电平输入电压 (PC0~PC3 引脚除外)	5V	—	0.0	—	1.5	V
		—	—	0.0	—	0.2V _{DD}	
	RES 引脚低电平输入电压	—	—	0.0	—	0.4V _{DD}	
V _{IH}	I/O 口高电平输入电压 (PC0~PC3 引脚除外)	5V	—	3.5	—	5.0	V
		—	—	0.8V _{DD}	—	V _{DD}	
	RES 引脚高电平输入电压	—	—	0.9V _{DD}	—	V _{DD}	
I _{OL}	I/O 口灌电流 (PC0~PC3 引脚除外)	3V	V _{OL} =0.1V _{DD}	16	32	—	mA
		5V		32	65	—	
I _{OH}	I/O 口源电流 (PC0~PC3 引脚除外)	3V	V _{OH} =0.9V _{DD}	-4	-8	—	mA
		5V		-8	-16	—	
R _{PH}	I/O 口上拉电阻 (注)	3V	LVPU=0, P _x PU=FFH (P _x : PA, PB, PC, PD)	20	60	100	kΩ
		5V		10	30	50	
		3V	LVPU=1, P _x PU=FFH (P _x : PA, PB, PC, PD)	6.67	15.00	23.00	
		5V		3.5	7.5	12.0	
I _{LEAK}	输入漏电流 (PC0~PC3 引脚除外)	5V	V _{IN} =V _{DD} 或 V _{IN} =V _{SS}	—	—	±1	μA
t _{TPI}	TM TPI 输入引脚最小脉宽	—	—	0.3	—	—	μs
t _{TCK}	TM TCK 输入引脚最小脉宽	—	—	0.3	—	—	μs
t _{INT}	外部中断最小输入脉宽	—	—	10	—	—	μs
t _{RES}	外部复位输入引脚最小脉宽	—	—	10	—	—	μs

输入 / 输出口 (多电源引脚) 直流电气特性

符号	参数	测试条件		最小	典型	最大	单位
		V _{DD}	条件				
V _{DD}	PC0~PC3 引脚电源 V _{DD}	—	—	1.8	5	5.5	V
V _{DDIO}	PC0~PC3 引脚电源 V _{DDIO}	—	—	1.8	—	V _{DD}	V
V _{IL}	PC0~PC3 引脚低电平输入电压	5V	引脚电源 = V _{DD} 或 V _{DDIO} , V _{DDIO} =V _{DD}	0.0	—	1.5	V
		—	引脚电源 = V _{DD} 或 V _{DDIO}	0.0	—	0.2 (V _{DD} /V _{DDIO})	
V _{IH}	PC0~PC3 引脚高电平输入电压	5V	引脚电源 = V _{DD} 或 V _{DDIO} , V _{DDIO} =V _{DD}	3.5	—	5.0	V
		—	引脚电源 = V _{DD} 或 V _{DDIO}	0.8V _{DD}	—	V _{DD} /V _{DDIO}	

符号	参数	测试条件		最小	典型	最大	单位
		V _{DD}	条件				
I _{OL}	PC0~PC3 引脚灌电流	3V	V _{OL} =0.1 (V _{DD} /V _{DDIO}) V _{DDIO} =V _{DD}	16	32	—	mA
		5V	V _{OL} =0.1 (V _{DD} /V _{DDIO}) V _{DDIO} =V _{DD}	32	65	—	
			V _{OL} =0.1V _{DDIO} V _{DDIO} =3V	20	40	—	
I _{OH}	PC0~PC3 引脚源电流	3V	V _{OH} =0.9 (V _{DD} /V _{DDIO}) V _{DDIO} =V _{DD}	-4	-8	—	mA
		5V	V _{OH} =0.9 (V _{DD} /V _{DDIO}) V _{DDIO} =V _{DD}	-8	-16	—	
			V _{OH} =0.9V _{DDIO} V _{DDIO} =3V	-2.5	-5.0	—	
R _{PH}	PC0~PC3 引脚上拉电阻 (注)	3V	V _{DDIO} =V _{DD} , LVPU=0 PxPU=FFH (Px: PA, PB, PC, PD)	20	60	100	kΩ
		5V	V _{DDIO} =V _{DD} , LVPU=0 PxPU=FFH (Px: PA, PB, PC, PD)	10	30	50	
			V _{DDIO} =3V, LVPU=0 PxPU=FFH (Px: PA, PB, PC, PD)	36	110	180	
		3V	V _{DDIO} =V _{DD} , LVPU=1 PxPU=FFH (Px: PA, PB, PC, PD)	6.67	15.00	23.00	
		5V	V _{DDIO} =V _{DD} , LVPU=1 PxPU=FFH (Px: PA, PB, PC, PD)	3.5	7.5	12.0	
			V _{DDIO} =3V, LVPU=1 PxPU=FFH (Px: PA, PB, PC, PD)	9.0	27.5	45.0	
I _{LEAK}	PC0~PC3 引脚输入漏电流	5V	V _{IN} =V _{SS} 或 V _{IN} =V _{DD} 或 V _{DDIO}	—	—	±1	μA

注: R_{PH} 内部上拉电阻值的计算方法是: 将引脚接地并设置为输入且使能上拉电阻功能, 然后在特定电源电压下测量该引脚上电流, 最后电压除以测量的电流值从而得到此上拉电阻值。

存储器电气特性

Ta=-40°C~85°C，除非另有说明

符号	参数	测试条件		最小	典型	最大	单位
		V _{DD}	条件				
Flash 程序存储器 / 数据 EEPROM 存储器							
V _{DD}	读工作电压	—	—	1.8	—	5.5	V
	擦除 / 写工作电压	—	—	2.2	—	5.5	V
t _{DEW}	擦除 / 写周期时间 – Flash 程序存储器	—	—	—	2	3	ms
	写周期 – 数据 EEPROM 存储器	—	—	—	4	6	
I _{DDPGM}	V _{DD} 电压下烧录 / 擦除电流	—	—	—	—	5.0	mA
E _P	电容耐久性 – Flash 程序存储器	—	—	10K	—	—	E/W
	电容耐久性 – 数据 EEPROM 存储器	—	—	100K	—	—	
t _{RETD}	ROM 数据保存时间	—	Ta=25°C	—	40	—	Year
RAM 数据存储							
V _{DD}	读 / 写工作电压	—	—	V _{DDmin}	—	V _{DDmax}	V
V _{DR}	RAM 数据保存电压	—	单片机处于休眠模式	1.0	—	—	V

LVD/LVR 电气特性

Ta=-40°C~85°C

符号	参数	测试条件		最小	典型	最大	单位
		V _{DD}	温度				
V _{LVR}	低电压复位电压	—	LVR 使能, 电压选择 1.7V	-5%	1.7	+5%	V
		—	LVR 使能, 电压选择 1.9V		1.9		
		—	LVR 使能, 电压选择 2.55V	-3%	2.55	+3%	
		—	LVR 使能, 电压选择 3.15V		3.15		
		—	LVR 使能, 电压选择 3.8V		3.8		
V _{LVD}	低电压检测电压	—	LVD 使能, 电压选择 1.8V	-5%	1.8	+5%	V
		—	LVD 使能, 电压选择 2.0V		2.0		
		—	LVD 使能, 电压选择 4V		2.4		
		—	LVD 使能, 电压选择 2.7V		2.7		
		—	LVD 使能, 电压选择 3.0V		3.0		
		—	LVD 使能, 电压选择 3.3V		3.3		
		—	LVD 使能, 电压选择 3.6V		3.6		
		—	LVD 使能, 电压选择 4.0V		4.0		

符号	参数	测试条件		最小	典型	最大	单位
		V _{DD}	温度				
I _{LVRLVDBG}	工作电流	3V	LVD 使能, LVR 使能, V _{LVR} =1.9V, V _{LVD} =2V, VBGEN=0	—	—	10	μA
		5V	LVD 使能, LVR 使能, V _{LVR} =1.9V, V _{LVD} =2V, VBGEN=0	—	8	20	
		3V	LVD 使能, LVR 使能, V _{LVR} =1.9V, V _{LVD} =2V, VBGEN=1	—	—	200	
		5V	LVD 使能, LVR 使能, V _{LVR} =1.9V, V _{LVD} =2V, VBGEN=1	—	210	245	
t _{LVDS}	LVDO 稳定时间	—	LVR 使能, VBGEN=0, LVD off → on	—	—	18	μs
		—	LVR 除能, VBGEN=0, LVD off → on	—	—	150	μs
t _{LVR}	产生 LVR 复位的低电压 最短保持时间	—	—	120	240	480	μs
t _{LVD}	产生 LVD 中断的低电压 最短保持时间	—	—	60	120	240	μs
I _{LVR}	LVR 使能的额外电流	5V	LVD 除能, VBGEN=0	—	—	10	μA
I _{LVD}	LVD 使能的额外电流	5V	LVR 除能, VBGEN=0	—	—	10	μA

内部参考电压电气特性

Ta=-40°C~85°C

符号	参数	测试条件		最小	典型	最大	单位
		V _{DD}	条件				
V _{BG}	Bandgap 参考电压	—	—	-5%	1.2	+5%	V
t _{BGS}	V _{BG} 启动稳定时间	—	无负载	—	—	50	μs
I _{BG}	Bandgap 参考电压使能的额外 电流	—	LVR 除能, LVD 除能	—	—	230	μA

注: V_{BG} 电压可以用作 A/D 转换器内部信号输入。

A/D 转换器电气特性

Ta=-40°C~85°C

符号	参数	测试条件		最小	典型	最大	单位
		V _{DD}	条件				
V _{DD}	A/D 转换器工作电压	—	—	1.8	—	5.5	V
V _{ADI}	A/D 转换器输入电压	—	—	0	—	V _{REF}	V
V _{REF}	A/D 转换器参考电压	—	—	1.8	—	V _{DD}	V
N _R	分辨率	—	—	—	—	12	Bit

符号	参数	测试条件		最小	典型	最大	单位
		V _{DD}	条件				
DNL	A/D 转换非线性微分误差	—	V _{REF} =V _{DD} , t _{ADCK} =0.5μs	-3	—	3	LSB
INL	A/D 转换非线性微分误差	—	V _{REF} =V _{DD} , t _{ADCK} =0.5μs	-4	—	4	LSB
I _{ADC}	A/D 转换器使能的额外电流	1.8V	无负载, t _{ADCK} =0.5μs	—	300	420	μA
		3V		—	340	500	μA
		5V		—	500	700	μA
t _{ADCK}	A/D 转换器时钟周期	—	—	0.5	—	10.0	μs
t _{ON2ST}	A/D 转换器 On-to-Start 时间	—	—	4	—	—	μs
t _{ADS}	A/D 转换器采样时间	—	—	—	4	—	t _{ADCK}
t _{ADC}	A/D 转换时间 (包括采样和保持时间)	—	—	—	16	—	t _{ADCK}
GERR	A/D 转换增益误差	—	V _{REF} =V _{DD}	-4	—	4	LSB
OSRR	A/D 转换偏置误差	—	V _{REF} =V _{DD}	-4	—	4	LSB

LCD 电气特性

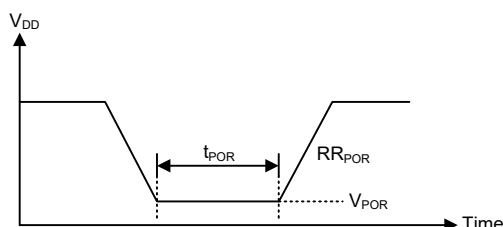
Ta=-40°C~85°C

符号	参数	测试条件		最小	典型	最大	单位
		V _{DD}	条件				
V _{IN}	LCD 工作电压	—	电源电压来自 PLCD 引脚	2.0	—	3.7	V
		—	电源电压来自 V1 引脚	3.0	—	5.5	
		—	电源电压来自 V2 引脚	1.0	—	1.8	
		—	电源电压来自 V _A	3.0	—	5.5	
		—	电源电压来自 V _B	2.0	—	3.7	
		1.8~5.5V	电源电压来自 V _C (C 型)	-10%	1.04	+10%	
I _{LCD}	使能 LCD 的额外 电流 (C 型)	3V	无负载, V _A =V _I =V _{DD} , 1/3 偏压	—	0.3	0.6	μA
		5V	LCDP[1:0]=11B, LCDPCK[2:0]=000B	—	0.5	1.0	
		3V	无负载, V _A =V _I =V _{DD} , 1/3 偏压	—	1.6	3.0	
		5V	LCDP[1:0]=01B, (V _C =V _{REFIN}), LCDPCK[2:0]=000B	—	1.8	5.0	
I _{LCDOL}	LCD COM 与 SEG 灌电流	3V	V _{OL} =0.1V _A	210	420	—	μA
		5V		350	700	—	
I _{LCDOH}	LCD COM 与 SEG 源电流	3V	V _{OH} =0.9V _A	-80	-160	—	μA
		5V		-180	-360	—	

上电复位特性

Ta=25°C

符号	参数	测试条件		最小	典型	最大	单位
		V _{DD}	条件				
V _{POR}	上电复位电压	—	—	—	—	100	mV
RR _{POR}	上电复位电压速率	—	—	0.035	—	—	V/ms
t _{POR}	V _{DD} 保持为 V _{POR} 的最小时间	—	—	1	—	—	ms



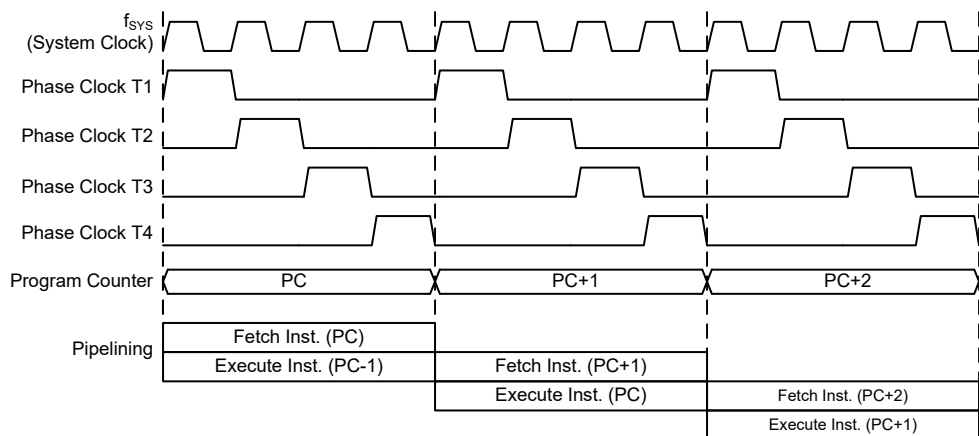
系统结构

内部系统结构是 Holtek 单片机具有良好性能的主要因素。由于采用 RISC 结构，该单片机具有高运算速度和高性能的特点。通过流水线的方式，指令的获取和执行同时进行，此举使得除了跳转和调用指令需多一个指令周期外，其它大部分标准指令或扩展指令都能分别在一个或两个指令周期内完成。8 位 ALU 参与指令集中所有的运算，它可完成算术运算、逻辑运算、移位、递增、递减和分支等功能，而内部的数据路径则是以通过累加器和 ALU 的方式加以简化。有些寄存器在数据存储器中被实现，且可以直接或间接寻址。简单的寄存器寻址方式和结构特性，确保了在提供具有最大可靠度和灵活性的 I/O 和 A/D 控制系统时，仅需要少数的外部器件。这使得该单片机适用于低成本和大量生产的控制应用。

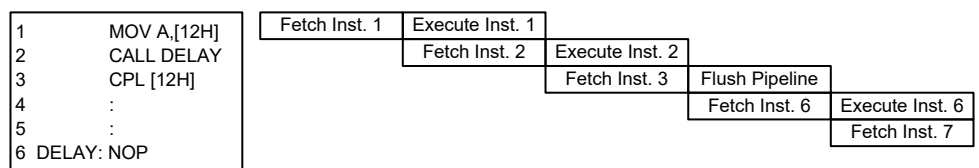
时序和流水线结构

主系统时钟由 HIRC 或 LXT 振荡器提供，它被细分为 T1~T4 四个内部产生的非重叠时序。在 T1 时间，程序计数器自动加一并抓取一条新的指令。剩下的时间 T2~T4 完成译码和执行功能，因此，一个 T1~T4 时钟周期构成一个指令周期。虽然指令的抓取和执行发生在连续的指令周期，但单片机流水线结构会保证指令在一个指令周期内被有效执行。除非程序计数器的内容被改变，如子程序的调用或跳转，在这种情况下指令将需要多一个指令周期的时间去执行。

如果指令牵涉到分支，例如跳转或调用等指令，则需要两个指令周期才能完成指令执行。需要一个额外周期的原因是程序先用一个周期取出实际要跳转或调用的地址，再用另一个周期去实际执行分支动作，因此用户需要特别考虑额外周期的问题，尤其是在执行时间要求较严格的时候。



系统时序和流水线



指令捕捉

程序计数器

在程序执行期间，程序计数器用来指向下一个要执行的指令地址。除了“JMP”和“CALL”指令需要跳转到一个非连续的程序存储器地址之外，它会在每条指令执行完成以后自动加一。由于单片机存储器容量大于 8K 个字，程序存储器地址可能位于某一程序存储区，可通过程序存储区指针的 PBP0 位来选择。只有较低的 8 位，即所谓的程序计数器低字节寄存器 PCL，可以被用户直接读写。

当执行的指令要求跳转到不连续的地址时，如跳转指令、子程序调用、中断或复位等，单片机通过加载所需要的地址到程序寄存器来控制程序，对于条件跳转指令，一旦条件符合，在当前指令执行时取得的下一条指令将会被舍弃，而由一个空指令周期来取代。

程序计数器	
高字节	低字节 (PCL)
PBP0, PC12~PC8	PCL7~PCL0

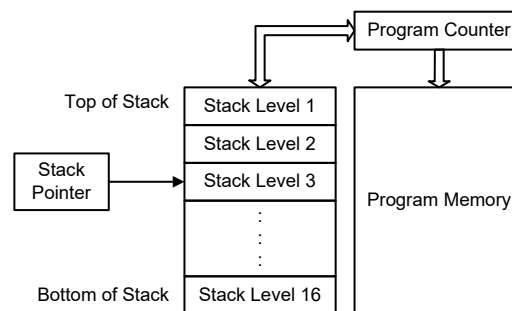
程序计数器

程序计数器的低字节，即程序计数器的低字节寄存器 PCL，可以通过程序控制，且它是可以读取和写入的寄存器。通过直接写入数据到这个寄存器，一个程序短跳转可直接执行，然而只有低字节的操作是有效的，跳转被限制在存储器的当前页中，即 256 个存储器地址范围内，当这样一个程序跳转要执行时，会插入一个空指令周期。程序计数器的低字节可由程序直接进行读取，PCL 的使用可能引起程序跳转，因此需要额外的指令周期。

堆栈

堆栈是一个特殊的存储空间，用来存储程序计数器中的内容。该单片机有 16 层堆栈，堆栈既不是数据部分也不是程序空间部分，而且它既不是可读取也不是可写入的。当前层由堆栈指针 (SP) 加以指示，同样也是不可读写的。在子程序调用或中断响应服务时，程序计数器的内容被压入到堆栈中。当子程序或中断响应结束时，返回指令 (RET 或 RETI) 使程序计数器从堆栈中重新得到它以前的值。当一个芯片复位后，堆栈指针将指向堆栈顶部。

如果堆栈已满，且有非屏蔽的中断发生，中断请求标志会被置位，但中断响应将被禁止。当堆栈指针减少 (执行 RET 或 RETI)，中断将被响应。这个特性提供程序设计者简单的方法来预防堆栈溢出。然而即使堆栈已满，CALL 指令仍然可以被执行，而造成堆栈溢出。使用时应避免堆栈溢出的情况发生，因为这可能导致不可预期的程序分支指令执行错误。若堆栈溢出，则首个存入堆栈的程序计数器数据将会丢失。



算术逻辑单元 – ALU

算术逻辑单元是单片机中很重要的部分，执行指令集中的算术和逻辑运算。ALU 连接到单片机的数据总线，在接收相关的指令码后执行需要的算术与逻辑操作，并将结果存储在指定的寄存器，当 ALU 计算或操作时，可能导致进位、借位或其它状态的改变，而相关的状态寄存器会因此更新内容以显示这些改变，ALU 所提供的功能如下：

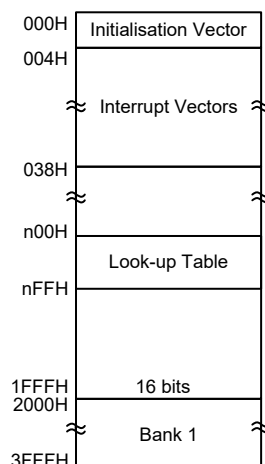
- 算术运算：
ADD, ADDM, ADC, ADCM, SUB, SUBM, SBC, SBCM, DAA
LADD, LADDM, LADC, LADCM, LSUB, LSUBM, LSBC, LSBCM, LDAA
- 逻辑运算：
AND, OR, XOR, ANDM, ORM, XORM, CPL, CPLA
LAND, LANDM, LOR, LORM, LXOR, LXORM, LCPL, LCPLA
- 移位运算：
RRA, RR, RRCA, RRC, RLA, RL, RLCA, RLC
LRR, LRRCA, LRRCA, LRRC, LRLA, LRL, LRLCA, LRLC
- 递增和递减：
INCA, INC, DECA, DEC
LINCA, LINC, LDECA, LDEC
- 分支判断：
JMP, SZ, SZA, SNZ, SIZ, SDZ, SIZA, SDZA, CALL, RET, RETI
LSNZ, LSZ, LSZA, LSIZ, LSIZA, LSDZ, LSDZA

Flash 程序存储器

程序存储器用来存放用户代码即储存程序。程序存储器为 Flash 类型意味着可以多次重复编程，方便用户使用同一芯片进行程序的修改。使用适当的单片机编程工具，此单片机提供用户灵活便利的调试方法和项目开发规划及更新。

结构

程序存储器的容量为 16K×6 位，程序存储器用程序计数器来寻址，其中也包含数据、表格和中断入口。数据表格可以设定在程序存储器的任何地址，由表格指针来寻址。



程序存储器结构

特殊向量

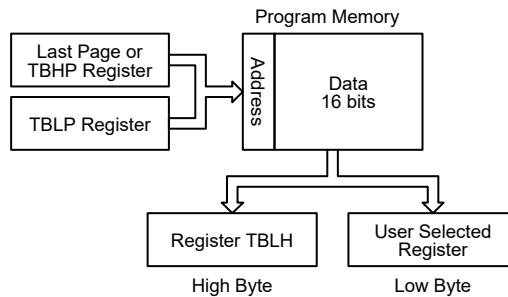
程序存储器内部某些地址保留用做诸如复位和中断入口等特殊用途。地址 0000H 是芯片复位后的程序起始地址。在芯片复位之后，程序将跳到这个地址并开始执行。

查表

程序存储器中的任何地址都可以定义成一个表格，以便储存固定的数据。使用表格时，表格指针必须先行设定，其方式是将表格的地址放在表格指针寄存器 TBLP 和 TBHP 中。这些寄存器定义表格总的地址。

在设定完表格指针后，当数据存储器 [m] 位于 Sector 0，表格数据可以使用如“TABRD [m]”或“TABRDL [m]”等指令分别从程序存储器查表读取。如果存储器 [m] 位于其它 Sector，表格数据可以使用如“LTABRD [m]”或“LTABRDL [m]”等指令分别从程序存储器查表读取。当这些指令执行时，程序存储器中表格数据低字节，将被传送到使用者所指定的数据存储器 [m]，程序存储器中表格数据的高字节，则被传送到 TBLH 特殊寄存器。

下图是查表中寻址 / 数据流程：



查表范例

以下范例说明表格指针和表格数据如何被定义和执行。这个例子使用的表格数据用 ORG 伪指令储存在存储器中。ORG 指令的值“1F00H”位于 Bank 1，指向的地址是 16K 程序存储器中最后一页的起始地址。表格指针低字节寄存器的初始值设为 06H，这可保证从数据表格读取的第一笔数据位于程序存储器地址“3F06H”，即最后一页起始地址后的第六个地址。值得注意的是，假如“TABRD [m]”或“LTABRD [m]”指令被使用，则表格指针指向 TBLP 和 TBHP 指定的页。在这个例子中，表格数据的高字节等于零，而当“TABRD [m]”或“LTABRD [m]”指令被执行时，此值将会自动的被传送到 TBLH 寄存器。

TBLH 寄存器为可读 / 写寄存器，且能重新储存，若主程序和中断服务程序都使用表格读取指令，应该注意它的保护。使用表格读取指令，中断服务程序可能会改变 TBLH 的值，若随后在主程序中再次使用这个值，则会发生错误，因此建议避免同时使用表格读取指令。然而在某些情况下，如果同时使用表格读取指令是不可避免的，则在执行任何主程序的表格读取指令前，中断应该先除能，另外要注意的是所有与表格相关的指令，都需要两个指令周期去完成操作。

表格读取程序范例

```

rombank 1 code1
ds .section 'data'
tempreg1 db ?      ; temporary register #1
tempreg2 db ?      ; temporary register #2
:
:
code0 .section 'code'
mov a,06h           ; initialise low table pointer - note that this address
                    ; is referenced
mov tblp,a          ; to the last page or the page that tbhp pointed
mov a,3Fh           ; initialise high table pointer
mov tbhp,a          ; It is not necessary to set tbhp register if executing
                    ; "tabrdl" instruction
:
:
tabrd tempreg1       ; transfers value in table referenced by table pointer
                    ; data at program memory address "3F06H" transferred to
                    ; tempreg1 and TBLH
dec tblp             ; reduce value of table pointer by one
tabrd tempreg2       ; transfers value in table referenced by table pointer
                    ; data at program memory address "3F05H" transferred to
                    ; tempreg2 and TBLH in this example the data "1AH" is
                    ; transferred to tempreg1 and data "0FH" to register
                    ; tempreg2

```

```
:
code1 .section 'code'
org 1F00h          ; sets initial address of program memory
dc 00Ah, 00Bh, 00Ch, 00Dh, 00Eh, 00Fh, 01Ah, 01Bh
:
```

在线烧录 – ICP

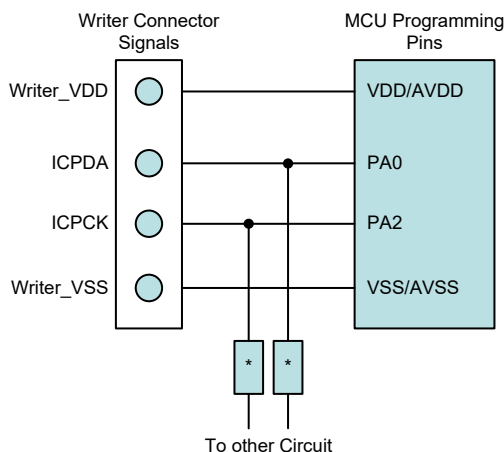
Flash 型程序存储器提供用户便利地对同一芯片进行程序的更新和修改。另外，Holtek 单片机提供 4 线接口的在线烧录方式。用户可将进行过烧录或未经过烧录的单片机芯片连同电路板一起制成，最后阶段进行程序的更新和程序的烧录，在无需去除或重新插入芯片的情况下方便地保持程序为最新版。

Flash 单片机与烧录器引脚对应表如下所示：

烧录器引脚名称	MCU 烧录引脚名称	引脚描述
ICPDA	PA0	烧录串行数据 / 地址
ICPCK	PA2	烧录时钟
VDD	VDD/AVDD	电源
VSS	VSS/AVSS	地

程序存储器可以通过 4 线的接口在线进行烧录。其中一条线用于数据串行下载或上传、一条线用于串行时钟、剩下两条用于提供电源。芯片在线烧写的详细说明超出此文档的描述范围，将由专门的参考文献提供。

烧录过程中，用户必须确保 ICPDA 和 ICPCK 这两个引脚没有连接至其它输出脚。



注：* 可能为电阻或电容。若为电阻则其值必须大于 1kΩ，若为电容则其必须小于 1nF。

片上调试 – OCDS

EV 芯片用于单片机仿真。此 EV 芯片提供片上调试功能 (OCDS) 用于开发过程中的单片机调试。除了片上调试功能，单片机和 EV 芯片在功能上几乎是兼容的。用户可将 OCSDA 和 OCDSCK 引脚连接至 Holtek HT-IDE 开发工具，从而实现 EV 芯片对单片机的仿真。OCSDA 引脚为 OCDS 数据 / 地址输入 / 输出脚，OCDSCK 引脚为 OCDS 时钟输入脚。当用户用 EV 芯片进行调试时，单片机 OCSDA 和 OCDSCK 引脚上的其它共用功能对 EV 芯片无效。应注意即使 EV 芯片进入休眠模式，LIRC 振荡器也始终使能，但不为处于休眠模式下的外设提供时钟源。由于这两个 OCDS 引脚与 ICP 引脚共用，因此在线烧录时仍用作 Flash 存储器烧录引脚。关于 OCDS 功能的详细描述，请参考相关文件。

Holtek e-Link 引脚名称	EV 芯片引脚名称	引脚描述
OCSDA	OCSDA	片上调试串行数据 / 地址输入 / 输出
OCDSCK	OCDSCK	片上调试时钟输入
VDD	VDD/AVDD	电源
VSS	VSS/AVSS	地

在线应用编程 – IAP

Flash 型程序存储器便于用户在同一芯片上对程序进行更新和修改。单片机提供的 IAP 功能使用户可以方便地对 Flash 程序存储器进行多次编程。IAP 功能可以通过内部固件进行程序的更新，而无需外接烧录器或 PC。此外，IAP 接口通过 I/O 引脚可以设置为任何类型的通信协议，例如 UART。关于内部固件，用户可以选择 Holtek 提供的版本或创建自己的内部固件。以下章节说明了如何实现 IAP 固件程序。

Flash 存储器读取 / 写入容量

Flash 存储器以页为单位进行擦 / 写操作，以字为单位进行读出操作。页的大小和写入缓冲器的大小都为 64 字。注意，在执行写入操作之前必须先执行擦除操作。

Flash 存储器擦 / 写功能成功使能时 CFWEN 位会被硬件置高，当该位被置高，便可写入数据到“写入缓冲器”。FWT 位用于启动写入程序，并指示写入操作的状态。当该位由应用程序置高时将开始一个写入程序，当写入操作结束后该位将由硬件清零。

读出操作是通过一个特定的读出程序来执行的。FRDEN 位用于使能读出功能，由应用程序设置 FRD 位来启动读出程序，并指示读出操作的状态。当读出操作结束后该位将由硬件清零。

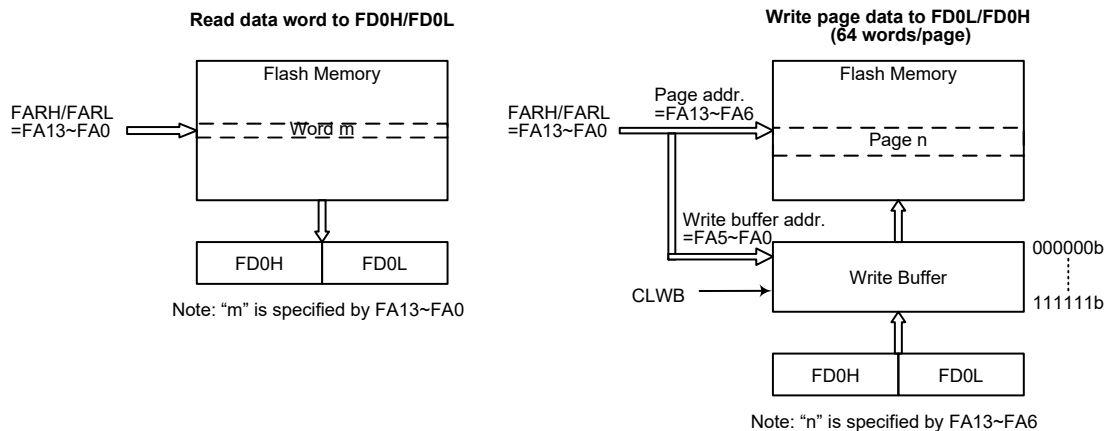
操作	格式
擦除	64 字 / 页
写入	64 字 / 次
读出	1 字 / 次
注：页大小 = 写入缓冲器大小 = 64 字	

IAP 操作格式

擦除页	FARH	FARL[7:6]	FARL[5:0]
0	0000 0000	00	xx xxxx
1	0000 0000	01	xx xxxx
2	0000 0000	10	xx xxxx
3	0000 0000	11	xx xxxx
4	0000 0001	00	xx xxxx
:	:	:	:
:	:	:	:
254	0011 1111	10	xx xxxx
255	0011 1111	11	xx xxxx

“x”：无关

擦除页数及选择



Flash 存储器 IAP 读 / 写结构

写入缓冲器

执行写入操作时写入缓冲器用于临时存储写入的数据。通过执行 Flash 存储器擦 / 写使能程序成功使能 Flash 存储器擦 / 写功能后，才可将要写入的数据填入到写入缓冲器。通过配置 FC2 寄存器中的 CLWB 位可以清除写入缓冲器。置高 CLWB 位可以使能清除写入缓冲器程序，完成后该位会被硬件自动清零。建议第一次使用写入缓冲器或更新写入缓冲器内的数据时，应先置高 CLWB 位将写入缓冲器清零。

写入缓冲器的大小为每页 64 字。写入缓冲器的地址与存储器地址位 FA13~FA6 指定的 Flash 存储器页的地址相对应。写入到 FD0L 和 FD0H 寄存器的数据会被加载到写入缓冲器。当写入数据到高字节数据寄存器 FD0H 时，会将存储在 FD0L 和 FD0H 数据寄存器内的数据都加载到写入缓冲器，并使 Flash 存储器地址自动加一，之后新的地址会被加载到 FARH 和 FARL 地址寄存器。当 Flash 存储器地址到达当前页的最大地址，即 64 字的页为 111111b，地址将不再增加，并停在该页的最后一个地址，此时需要再设定一个新的页地址才可进行其它擦 / 写操作。

写入程序结束后，硬件会自动清除写入缓冲器。注意，如果在比对步骤时发现写入到 Flash 存储器的数据不正确，则需通过应用程序手动清除写入缓冲器，在写入缓冲器被清零之后再重新对其写入数据。

IAP Flash 程序存储器寄存器

与 IAP 相关的 Flash 存取寄存器有两个地址寄存器、四个 16-bit 数据寄存器和三个控制寄存器，这些寄存器都位于 Sector 0。使用地址、数据和控制寄存器可以对 Flash 存储器执行 16 位数据读 / 写操作。内部 Flash 程序存储器所有操作由一系列寄存器控制，即地址寄存器 FARL 和 FARH，数据寄存器 FDnL 和 FDnH，控制寄存器 FC0、FC1 和 FC2。由于地址寄存器对、数据寄存器对和控制寄存器位于 Sector 1 中，它们可通过相应的扩展指令直接被访问，或者通过存储器指针 MP1H/MP1L 或 MP2H/MP2L 和间接寻址寄存器 IAR1 或 IAR2 进行间接读取或写入。

寄存器名称	位							
	7	6	5	4	3	2	1	0
FC0	CFWEN	FMOD2	FMOD1	FMOD0	FWPEN	FWT	FRDEN	FRD
FC1	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
FC2	—	—	—	—	—	—	—	CLWB
FARL	FA7	FA6	FA5	FA4	FA3	FA2	FA1	FA0
FARH	—	—	FA13	FA12	FA11	FA10	FA9	FA8
FD0L	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
FD0H	D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8
FD1L	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
FD1H	D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8
FD2L	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
FD2H	D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8
FD3L	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
FD3H	D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8

IAP 寄存器列表

● FARL 寄存器

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Name	FA7	FA6	FA5	FA4	FA3	FA2	FA1	FA0
R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
POR	0	0	0	0	0	0	0	0

Bit 7~0 **FA7~FA0:** Flash 存储器地址 bit 7 ~ bit 0

● FARH 寄存器

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Name	—	—	FA13	FA12	FA11	FA10	FA9	FA8
R/W	—	—	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
POR	—	—	0	0	0	0	0	0

Bit 7~6 未定义，读为“0”

Bit 5~0 **FA13~FA8:** Flash 存储器地址 bit 13~ bit 8

● FD0L 寄存器

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Name	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
POR	0	0	0	0	0	0	0	0

Bit 7~0 **D7~D0:** 第一个 Flash 存储器数据 bit 7 ~ bit 0

注意写入低字节数据寄存器 FD0L 的数据只能存储在 FD0L 寄存器，不会加载到低 8 位写入缓冲器。

● **FD0H 寄存器**

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Name	D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8
R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
POR	0	0	0	0	0	0	0	0

Bit 7~0 **D15~D8**: 第一个 Flash 存储器数据 bit 15 ~ bit 8

注意当写入 8 位数据到高字节数据寄存器 FD0H 时，存储在 FD0H 和 FD0L 寄存器内的 16 位数据将同时加载到 16 位写入缓冲器中，此时 Flash 存储器地址寄存器 FARH 和 FARL 的内容将自动加一。

● **FD1L 寄存器**

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Name	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
POR	0	0	0	0	0	0	0	0

Bit 7~0 **D7~D0**: 第二个 Flash 存储器数据 bit 7 ~ bit 0

● **FD1H 寄存器**

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Name	D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8
R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
POR	0	0	0	0	0	0	0	0

Bit 7~0 **D15~D8**: 第二个 Flash 存储器数据 bit 15 ~ bit 8

● **FD2L 寄存器**

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Name	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
POR	0	0	0	0	0	0	0	0

Bit 7~0 **D7~D0**: 第三个 Flash 存储器数据 bit 7 ~ bit 0

● **FD2H 寄存器**

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Name	D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8
R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
POR	0	0	0	0	0	0	0	0

Bit 7~0 **D15~D8**: 第三个 Flash 存储器数据 bit 15 ~ bit 8

● **FD3L 寄存器**

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Name	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
POR	0	0	0	0	0	0	0	0

Bit 7~0 **D7~D0**: 第四个 Flash 存储器数据 bit 7 ~ bit 0

● FD3H 寄存器

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Name	D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8
R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
POR	0	0	0	0	0	0	0	0

Bit 7~0 **D15~D8**: 第四个 Flash 存储器数据 bit 15 ~ bit 8

● FC0 寄存器

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Name	CFWEN	FMOD2	FMOD1	FMOD0	FWPEN	FWT	FRDEN	FRD
R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
POR	0	0	0	0	0	0	0	0

Bit 7 **CFWEN**: Flash 存储器擦 / 写功能使能控制

- 0: Flash 存储器擦 / 写功能除能
- 1: Flash 存储器擦 / 写功能已成功使能

当此位由应用程序清零后, Flash 存储器擦 / 写功能除能。注意, 对此位直接写“1”不会使能擦 / 写功能。此位可用于指示 Flash 存储器擦 / 写功能状态。当此位由硬件置为“1”时, 表明 Flash 存储器擦 / 写功能已经成功使能, 若为“0”, 表明 Flash 存储器擦 / 写功能除能。

Bit 6~4 **FMOD2~FMOD0**: Flash 存储器模式选择

- 000: 写入模式
- 001: 页擦除模式
- 010: 保留
- 011: 读出模式
- 100: 保留
- 101: 保留
- 110: Flash 存储器擦 / 写功能使能模式
- 111: 保留

这几位用于选择 Flash 存储器的操作模式。注意在执行擦 / 写 Flash 存储器操作之前必须先成功使能“Flash 存储器擦 / 写使能模式”。

Bit 3 **FWPEN**: Flash 存储器擦 / 写功能使能程序触发控制位

- 0: 擦 / 写功能使能程序未被触发或程序定时器发生溢出
- 1: 擦 / 写功能使能程序被触发且程序定时器开始计时

该位用于启动 Flash 存储器擦 / 写使能程序和内部定时器。此位由应用程序置高, 当内部定时器计时溢出后由硬件清零。需在 FWPEN 置高后尽快写入正确数据序列到 FD1L/FD1H、FD2L/FD2H 和 FD3L/FD3H 寄存器对。

Bit 2 **FWT**: Flash 存储器写入控制位

- 0: 未开始 Flash 存储器写入程序或 Flash 存储器写入程序已完成
- 1: 开始 Flash 存储器写入程序

此位由软件置“1”, 当 Flash 存储器写入程序完成后由硬件清零。

Bit 1 **FRDEN**: Flash 存储器读出使能位

- 0: Flash 存储器读出除能
- 1: Flash 存储器读出使能

此位为 Flash 存储器读出使能位, 在执行 Flash 存储器读出操作之前需将此位置高。将此位清零则禁止 Flash 存储器读出操作。

Bit 0 **FRD**: Flash 存储器读出控制位

- 0: 未开始 Flash 存储器读出程序或 Flash 存储器读出程序已完成
- 1: 开始 Flash 存储器读出程序

此位由软件置“1”, 当 Flash 存储器读出程序完成后由硬件清零。

注: 1. 在同一条指令中 FWT、FRDEN 和 FRD 位不可同时设置为“1”。

2. 需确保 f_{SUB} 时钟运行稳定后才可执行擦 / 写操作。

3. 应注意，当读 / 写 / 擦操作成功启动后，CPU 将停止运行。
4. 需确保读 / 写 / 擦操作已执行完毕后方可执行其它操作。

● FC1 寄存器

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Name	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
POR	0	0	0	0	0	0	0	0

Bit 7~0 **D7~D0:** 整个芯片复位
当用户写“55H”到该寄存器，将产生一个复位信号将整个单片机复位。

● FC2 寄存器

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Name	—	—	—	—	—	—	—	CLWB
R/W	—	—	—	—	—	—	—	R/W
POR	—	—	—	—	—	—	—	0

Bit 7~1 未定义，读为“0”

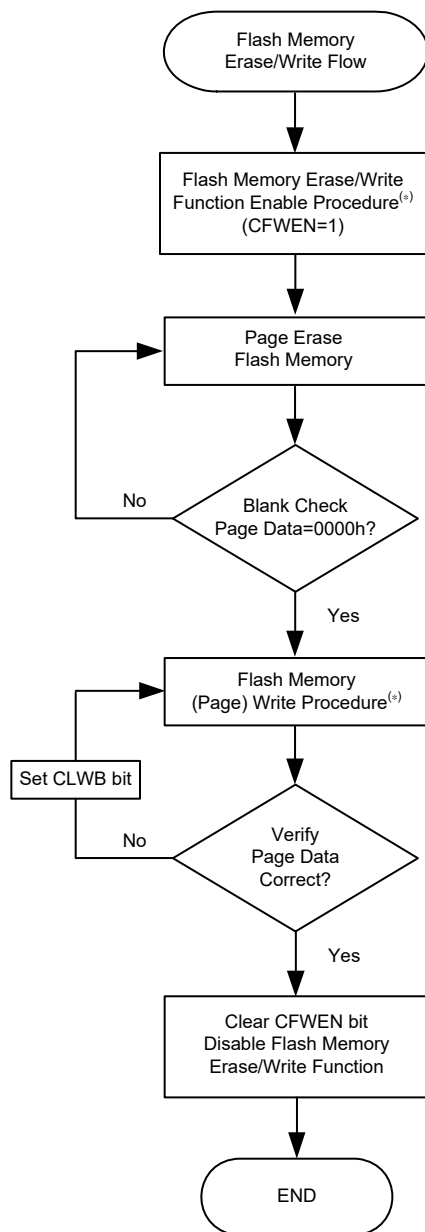
Bit 0 **CLWB:** Flash 存储器写入缓冲器清除控制位
0: 未开始写入缓冲器清除或写入缓冲器清除程序已完成
1: 开始写入缓冲器清除程序
此位由软件置“1”，当写缓冲区清除过程完成后由硬件清零。

Flash 存储器擦 / 写流程

在开始更新 Flash 存储器之前，先了解 Flash 存储器擦 / 写流程操作是很重要的，用户可参考下列步骤进行 IAP 程序开发，以确保 Flash 存储器内容更新正确。

Flash 存储器擦 / 写流程说明

1. 先启动“Flash 存储器擦 / 写使能程序”。当 Flash 存储器擦 / 写功能成功使能后，FC0 寄存器中的 CFWEN 位会由硬件自动置高，此时才可执行 Flash 存储器擦或写操作。详细内容请参考“Flash 存储器擦 / 写使能程序”。
2. 配置 Flash 存储器地址以指定要擦除的页，然后擦除此页。
3. 查空确认是否擦除成功，可采用 TABRD 指令进行读取并比对是否为“0000h”，如果擦除不成功返回步骤 2 再执行页擦除。
4. 写入数据至该页，详细内容请参考“Flash 存储器写入程序”。
5. 采用 TABRD 指令进行读取并比对写入数据是否正确，如果读出的数据与写入数据不符，即写入不成功，设置 CLWB 位为“1”清除“写入缓冲器”再返回步骤 4，再写入相同数据。
6. 完成当前页擦 / 写后，如果无需擦 / 写其它页，可清除 CFWEN 位来除能“Flash 存储器擦 / 写使能模式”。



Flash 存储器擦 / 写流程

注：“Flash 存储器擦 / 写功能使能程序”和“Flash 存储器写程序”将在后面介绍。

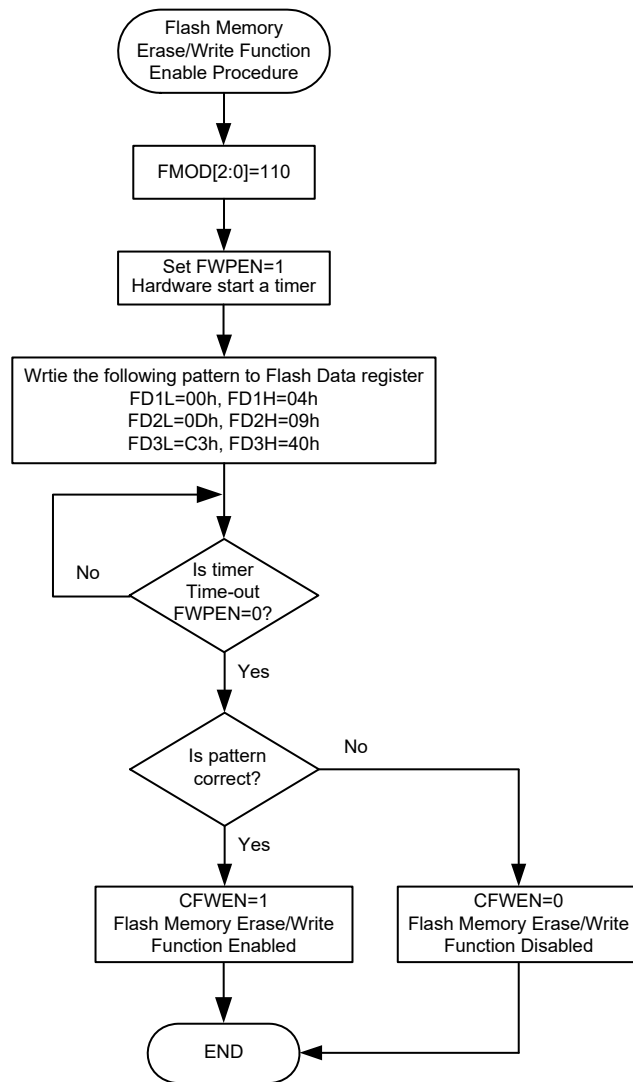
Flash 存储器擦 / 写使能步骤

Flash 存储器擦 / 写使能模式是专门为保护 Flash 存储器内容不被轻易地修改而设计的。用户必须先使能 Flash 存储器擦 / 写功能，才能通过 IAP 控制寄存器来更改 Flash 存储器数据。

Flash 存储器擦 / 写使能步骤说明

1. 写入数值“110”至 FC0 寄存器中的 FMOD[2:0] 位，选择 Flash 存储器擦 / 写使能模式。
2. 设置 FC0 寄存器中的 FWPEN 位为“1”，启动 Flash 存储器擦 / 写使能程序，此时内部硬件线路会启动一个内部定时器。
3. 使用者必须在 FWPEN 位置高后尽快填入正确数据序列至 FD1L~FD3L 和 FD1H~FD3H 寄存器中，数据序列为 FD1L=00h、FD1H=04h、FD2L=0Dh、FD2H=09h、FD3L=C3h、FD3H=40h。
4. 一旦定时器计时结束，无论写入的数据序列是否正确，FWPEN 位将由硬件自动清零。
5. 如果写入的数据序列不正确，表示 Flash 存储器擦 / 写功能没有成功使能，需重复以上步骤。如果写入的数据序列正确，表示 Flash 存储器擦 / 写功能成功使能。
6. 一旦 Flash 存储器擦 / 写功能成功使能，即可通过 IAP 控制寄存器进行页擦 / 写操作来更新 Flash 存储器内容。

将 FC0 寄存器中的 CFWEN 位清零，可除能 Flash 存储器擦 / 写功能，此时不必再执行以上步骤。



Flash 存储器擦 / 写功能使能步骤

Flash 存储器写入步骤

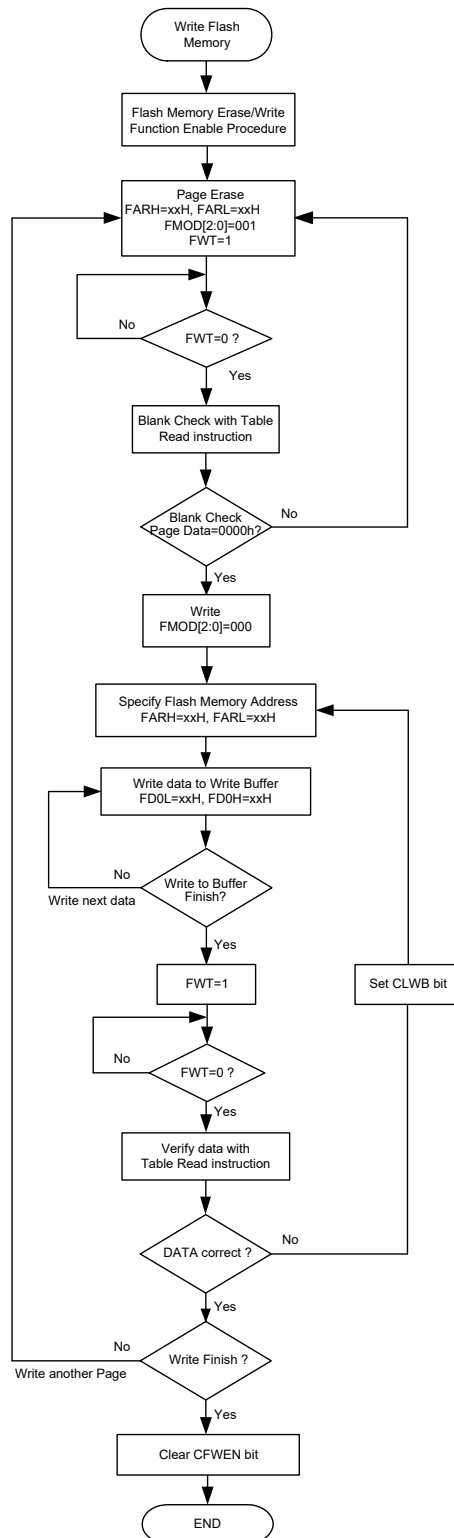
当 Flash 擦 / 写功能成功使能后，CFWEN 位会被硬件置高，此时要写入 Flash 存储器的数据才能加载到写入缓冲器。在开始写入程序之前，应先正确配置 IAP 控制寄存器，将所选的 Flash 存储器页的数据擦除。

写入缓冲器的大小为每页 64 个字，其地址与 FA13~FA6 指定的 Flash 存储器页的地址为相对应关系。注意，写入缓冲器的地址与对应存储器的地址必须在相同页。

Flash 存储器连续地址写入步骤说明

对于写入操作每次写入的数据最多为 64 字。多笔连续地址的数据写入时，写入缓冲器的地址将自动加“1”。用户只需将第一笔数据的地址填入 FARL 和 FARH，并将第一笔数据依序填入 FD0L 和 FD0H 寄存器。先写 FD0L 再写 FD0H，才会将 FD0L 和 FD0H 数据一起填入写入缓冲器。写入缓冲器的地址将自动加“1”，因此，要填入第二笔数据时，可不用修改 FARL 和 FARH 重新指定地址。当连续地址到达当前页的最后一个地址时，写入缓冲器的地址将不会再自动加“1”，保持在最后一个地址。

1. 启动“Flash 存储器擦 / 写使能程序”，确认 CFWEN 的值，如果 CFWEN 被硬件置高，表示可进行 IAP 擦 / 写操作。详细内容请参考“Flash 存储器擦 / 写使能程序”。
2. 设定 FMOD[2:0] 为“001”，选择擦除模式。设定 FWT 位为“1”，擦除 FARH 和 FARL 指定的目标页，直到 FWT 变为“0”。
3. 通过查表指令读出方式进行查空，以确保擦除操作已成功完成。
如果擦除操作不成功则返回步骤 2。
如果擦除操作成功则接着执行步骤 4。
4. 设定 FMOD[2:0] 为“000”，选择写入模式。
5. 先将目标起始地址写入 FARL 和 FARH 寄存器中，将要往连续地址所在页写入的数据依序写入 FD0L 和 FD0H 寄存器。最多可写入 64 个字。
6. 设定 FWT 位为“1”，将写入缓冲器的数据写入到对应的 Flash 存储器中，直到 FWT 变为“0”。
7. 通过查表指令读出方式进行数据比对，以确保写入操作已成功完成。
如果写入操作不成功，设置 CLWB 位为“1”清除写入缓冲器，再返回步骤 5。
如果写入操作成功则接着执行步骤 8。
8. 将 CFWEN 位清零以除能 Flash 存储器擦 / 写功能。



Flash 存储器连续地址写入步骤

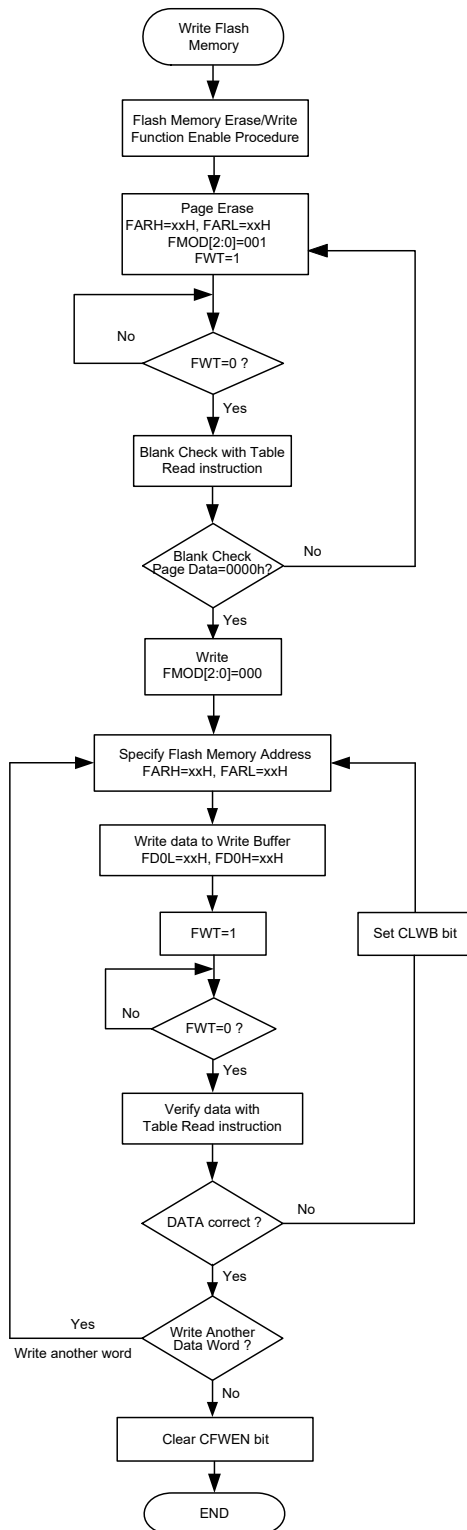
注：1. 当擦 / 写操作成功启动时，所有 CPU 相关的操作将暂停。
2. FWT 位状态由高变低所需的典型时间为 2.2ms。

Flash 存储器非连续地址写入步骤说明

连续地址写入操作与非连续地址写入操作的主要差别在于要写入的数据是否位于连续地址。如果要写入的数据不是位于连续的地址，当一笔数据成功写入到 Flash 存储器后需重新配置另一个目标地址。

以两笔非连续的数据写入操作为例，说明如下：

1. 启动“Flash 存储器擦 / 写使能程序”，确认 CFWEN 位的值，如果 CFWEN 被硬件置高，表示可进行 IAP 擦 / 写操作。详细内容请参考“Flash 存储器擦写使能程序”。
2. 设定 FMOD[2:0] 为“001”，选择擦除模式。设定 FWT 位为“1”，擦除 FARH 和 FARL 指定的目标页，直到 FWT 变为“0”。
3. 通过查表指令读出方式进行查空，以确保擦除操作已成功完成。
如果擦除操作不成功则返回步骤 2。
如果擦除操作成功则接着执行步骤 4。
4. 设定 FMOD[2:0] 为“000”，选择写入模式。
5. 先将目标地址 ADDR1 写入 FARL 和 FARH 寄存器中，将要写入的数据 DATA1 先写入 FD0L 寄存器再写入 FD0H 寄存器。
6. 设定 FWT 位为“1”，将写入缓冲器的数据写入到对应的 Flash 存储器中，直到 FWT 变为“0”。
7. 通过查表指令读出方式进行数据比对，以确保写入操作已成功完成。
如果写入操作不成功，设置 CLWB 位为“1”清除写入缓冲器，再返回步骤 5。
如果写入操作成功则接着执行步骤 8。
8. 再将目标地址 ADDR2 写入 FARL 和 FARH 寄存器中，将要写入的数据 DATA2 先写入 FD0L 寄存器再写入 FD0H 寄存器。
9. 设定 FWT 位为“1”，将写入缓冲器的数据写入到对应的 Flash 存储器中，直到 FWT 变为“0”。
10. 通过查表指令读出方式进行数据比对，以确保写入操作已成功完成。
如果写入操作不成功，设置 CLWB 位为“1”清除写入缓冲器，再返回步骤 8。
如果写入操作成功则接着执行步骤 11。
11. 将 CFWEN 位清零以除能 Flash 存储器擦 / 写功能。



Flash 存储器非连续地址写入步骤

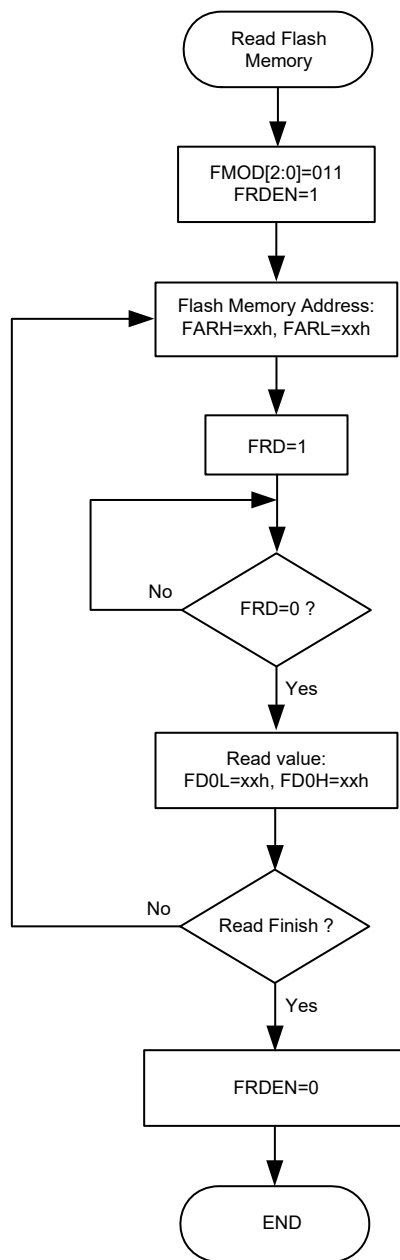
- 注：1. 当擦 / 写操作成功启动时，所有 CPU 相关的操作将暂停。
2. FWT 位状态由高变低所需的典型时间为 2.2ms。

Flash 存储器写入操作注意事项

1. 要开始对 Flash 存储器进行 IAP 擦 / 写操作之前，必须先完成“Flash 存储器擦 / 写使能程序”。
2. Flash 存储器擦除操作以页为单位进行擦除。
3. 写入缓冲器中的数据填入 Flash 存储器是以页为单位进行的，且写入时不可跨页填写。
4. 数据写入 Flash 存储器后，必须以查表指令“TABRD”读出方式比对所写数据是否正确，若比对发现写入数据不正确时，通过置高 CLWB 位将写入缓冲器清除，然后重新写入数据。无需清除对应的 Flash 存储器页，直接再写入，然后再比对，直到写入正确。
5. IAP 写入与数据比对时需与最高应用频率相同。

Flash 存储器读出步骤

要启动 Flash 存储器读出程序，需将 FMOD[2:0] 位设为“011”选择 Flash 存储器读出模式，将 FRDEN 位设为“1”使能读出功能。将要读出的地址填入 FARH 和 FARL 地址寄存器中，并将 FRD 位设为“1”，然后便可开始 Flash 存储器读出操作。当 FRD 被硬件清为“0”时，则可从 FD0H 和 FD0L 寄存器中取得 Flash 存储器中该地址数据。进行 Flash 存储器读出操作前，无需执行 Flash 存储器擦 / 写使能程序。



Flash 存储器读出步骤

- 注：1. 当读操作成功启动时，所有 CPU 相关的操作将暂停。
2. FRD 位状态由高变低所需的典型时间为三个指令周期。

数据存储器

数据存储器是内容可更改的 8 位 RAM 内部存储器，用来储存临时数据。

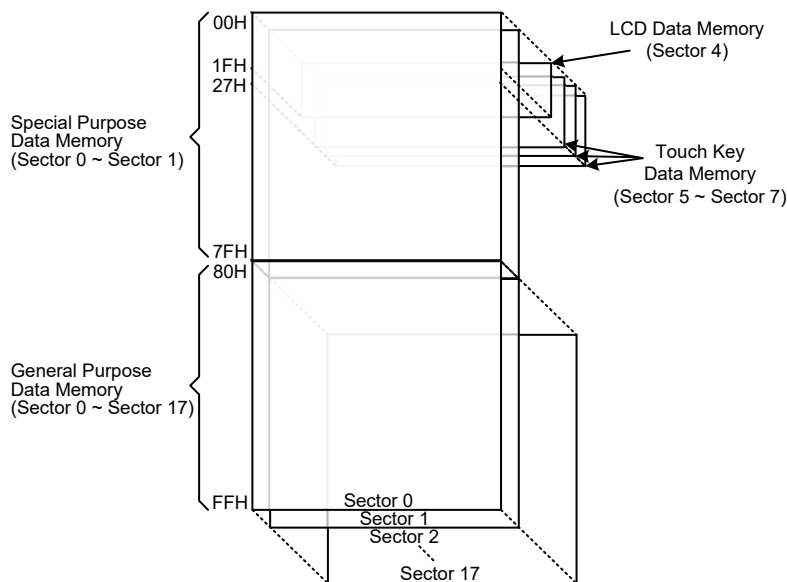
数据存储器分为两种类型，第一种是特殊功能数据存储器。这些寄存器有固定的地址且与单片机的正确操作密切相关。大多特殊功能寄存器都可在程序控制下直接读取和写入，但有些被加以保护而不对用户开放。第二种数据存储器是做一般用途使用，都可在程序控制下进行读取和写入。该单片机还包含两个额外的区域，分别用于存放触控按键数据存储器 and LCD 数据存储器。LCD 数据存储器直接映射到 LCD 显示，因此写入此区域的数据将直接影响显示数据。

结构

数据存储器被分为多个 Sector，都是 8 位存储器。在该单片机中，除了 LCD 显示数据存储器 and 触控按键数据存储器，特殊功能数据存储器的地址范围为 00H~7FH，通用数据存储器的地址范围为 80H~FFH。LCD 显示数据存储器位于 Sector 4 的 00H~1FH。触控按键数据存储器则位于 Sector 5~Sector 7 的 00H~27H。若使用间接寻址，切换不同的数据存储器 Sector 可通过设置正确的存储器指针值实现。单片机的数据存储器起始地址为 00H。

特殊功能 数据存储器	通用 数据存储器		LCD 数据存储器		触控按键 数据存储器	
可用 Sector	容量	Sector: 地址	容量	Sector: 地址	容量	Sector: 地址
0, 1	2304×8	0: 80H~FFH 1: 80H~FFH : 17: 80H~FFH	32×8	4: 00H~1FH	48×8	5: 00H~27H 6: 00H~27H 7: 00H~27H

数据存储器概要



数据存储器结构

数据存储器寻址

此单片机支持扩展指令架构，它并没有可用于数据存储器的存储区指针。对于数据存储器，使用间接寻址访问方式时所需的 Sector 是通过 MP1H 或 MP2H 寄存器指定，而所选 Sector 的某一数据存储器地址是通过 MP1L 或 MP2L 寄存器指定。

直接寻址可用于所有 Sector，通过扩展指令可以寻址所有可用的数据存储器空间。当所访问的数据存储器位于除 Sector 0 外的任何数据存储器 Sector 时，扩展指令可代替间接寻址方式用来访问数据存储器。标准指令和扩展指令的主要区别在于扩展指令中的数据存储器地址“m”有 13 个有效位，高字节表示 Sector，低字节表示指定的地址。

通用数据存储器

所有的单片机程序需要一个读/写的存储区，让临时数据可以被储存和再使用，该 RAM 区域就是通用数据存储器。这个数据存储区可让使用者进行读取和写入的操作。使用位操作指令可对个别的位做置位或复位的操作，极大地方便了用户在数据存储器内进行位操作。

特殊功能数据存储器

这个区域的数据存储器是存放特殊寄存器的，这些寄存器与单片机的正确操作密切相关，大多数的寄存器可进行读取和写入，只有一些是被写保护而只能读取的，相关细节的介绍请参看有关特殊功能寄存器的部分。要注意的是，任何读取指令对存储器中未定义的地址进行读取将返回“00H”。

	Sector 0	Sector 1		Sector 0	Sector 1
00H	IAR0		40H	LVDC	EEC
01H	MP0		41H	EEA	
02H	IAR1		42H		
03H	MP1L		43H	EED	FC0
04H	MP1H		44H		FC1
05H	ACC		45H		FC2
06H	PCL		46H	PAS0	
07H	TBLP		47H	PAS1	
08H	TBLH		48H	PBS0	
09H	TBHP		49H	PBS1	
0AH	STATUS		4AH	PCS0	
0BH	PBP		4BH	PCS1	
0CH	IAR2		4CH	PDS0	
0DH	MP2L		4DH	PDS1	
0EH	MP2H		4EH	STMC0	
0FH	RSTFC		4FH	STMC1	
10H	INTC0	TKTMR	50H	STMDL	TKM4C0
11H	INTC1	TKC0	51H	STMDH	TKM4C1
12H	INTC2	TKC1	52H	STMAL	TKM4C2
13H	INTC3	TKC2	53H	STMAH	TKM416DL
14H	PA	TK16DL	54H	STMRP	TKM416DH
15H	PAC	TK16DH	55H	CTM0C0	TKM4ROL
16H	PAPU	TKM0C0	56H	CTM0C1	TKM4ROH
17H	PAWU	TKM0C1	57H	CTM0DL	TKM4TH16L
18H	PB	TKM0C2	58H	CTM0DH	TKM4TH16H
19H	PBC	TKM016DL	59H	CTM0AL	TKM4THS
1AH	PBPU	TKM016DH	5AH	CTM0AH	
1BH	PC	TKM0ROL	5BH		
1CH	PCC	TKM0ROH	5CH		
1DH	PCPU	TKM0TH16L	5DH	CTM1C0	
1EH	PD	TKM0TH16H	5EH	CTM1C1	
1FH	PDC	TKM0THS	5FH	CTM1DL	
20H	PDPU	TKM1C0	60H	CTM1DH	
21H	PSC0R	TKM1C1	61H	CTM1AL	
22H	PSC1R	TKM1C2	62H	CTM1AH	
23H	SADOH	TKM116DL	63H		
24H	SADOL	TKM116DH	64H	TB0C	
25H	SADC0	TKM1ROL	65H	TB1C	
26H	SADC1	TKM1ROH	66H	UUCR3	
27H		TKM1TH16L	67H	SIMC0	
28H		TKM1TH16H	68H	SIMC1/UUCR1	
29H		TKM1THS	69H	SIMC2/SIMA/UUCR2	
2AH		TKM2C0	6AH	SIMD/UTXR_RXR	
2BH		TKM2C1	6BH	SIMTOC/UBRG	
2CH		TKM2C2	6CH	UUSR	
2DH	IFS	TKM216DL	6DH	SPIC0	
2EH	RSTC	TKM216DH	6EH	SPIC1	
2FH	PMPS	TKM2ROL	6FH	SPID	
30H	LVPUC	TKM2ROH	70H		
31H		TKM2TH16L	71H		
32H		TKM2TH16H	72H		
33H	MF10	TKM2THS	73H		
34H	MF11	TKM3C0	74H	FARL	
35H	MF12	TKM3C1	75H	FARH	
36H		TKM3C2	76H	FD0L	
37H		TKM316DL	77H	FD0H	
38H		TKM316DH	78H	FD1L	
39H	INTEG	TKM3ROL	79H	FD1H	
3AH	SCC	TKM3ROH	7AH	FD2L	
3BH	HIRCC	TKM3TH16L	7BH	FD2H	
3CH		TKM3TH16H	7CH	FD3L	
3DH	LXTC	TKM3THS	7DH	FD3H	
3EH	WDTC		7EH		
3FH	LVRC		7FH	LCDC	

□ : Unused, read as 00H

特殊功能数据存储结构

特殊功能寄存器

大部分特殊功能寄存器的细节将在相关功能章节描述，但有几个寄存器需在此章节单独描述。

间接寻址寄存器 – IAR0, IAR1, IAR2

间接寻址寄存器 IAR0、IAR1 和 IAR2 的地址虽位于数据存储区，但其并没有实际的物理地址。间接寻址的方法使用这些间接寻址寄存器和存储器指针做数据操作，以取代定义实际存储器地址的直接存储器寻址方法。在间接寻址寄存器 IAR0、IAR1 和 IAR2 上的任何动作，将对存储器指针 MP0、MP1L/MP1H 或是 MP2L/MP2H 所指定的存储器地址产生对应的读 / 写操作。它们总是成对出现，IAR0 和 MP0 可以访问 Sector 0，而 IAR1 和 MP1L/MP1H、IAR2 和 MP2L/MP2H 可以访问任何 Sector。因为这些间接寻址寄存器不是实际存在的，直接读取将返回“00H”的结果，而直接写入此寄存器则不做任何操作。

存储器指针 – MP0, MP1H/MP1L, MP2H/MP2L

该单片机提供五个存储器指针，即 MP0、MP1L、MP1H、MP2L 和 MP2H。由于这些指针在数据存储区中能像普通的寄存器一般被操作，因此提供了一个寻址和数据追踪的有效方法。当对间接寻址寄存器进行任何操作时，单片机指向的实际地址是由存储器指针所指定的地址。MP0、IAR0 用于访问 Sector 0，而 MP1L/MP1H 和 IAR1、MP2L/MP2H 和 IAR2 可根据 MP1H 或 MP2H 寄存器访问所有的 Sector。使用扩展指令可对所有的数据 Sector 进行直接寻址。

以下例子说明如何清除一个具有 4 个 RAM 地址的区块，它们已事先定义成地址 adres1 到 adres4。

间接寻址程序举例 1

```
data .section 'data'
adres1 db ?
adres2 db ?
adres3 db ?
adres4 db ?
block db ?
code .section at 0 'code'
org 00h
start:
    mov a,04h                ; setup size of block
    mov block,a
    mov a,offset adres1      ; Accumulator loaded with first RAM address
    mov mp0,a                ; setup memory pointer with first RAM address
loop:
    clr IAR0                  ; clear the data at address defined by MP0
    inc mp0                   ; increment memory pointer
    sdz block                  ; check if last memory location has been cleared
    jmp loop
continue:
    :
```

间接寻址程序举例 2

```
data .section 'data'
adres1 db ?
adres2 db ?
adres3 db ?
adres4 db ?
block db ?
code .section at 0 'code'
org 00h
start:
    mov a,04h                ; setup size of block
    mov block,a
    mov a,01h                ; setup the memory sector
    mov mp1h,a
    mov a,offset adres1      ; Accumulator loaded with first RAM address
    mov mp1l,a               ; setup memory pointer with first RAM address
loop:
    clr IAR1                 ; clear the data at address defined by MP1
    inc mp1l                 ; increment memory pointer MP1L
    sdz block                ; check if last memory location has been cleared
    jmp loop
continue:
    :
```

在上面的例子中有一点值得注意，即并没有确定 RAM 地址。

使用扩展指令直接寻址程序举例

```
data .section 'data'
temp db ?
code .section at 0 'code'
org 00h
start:
    lmov a,[m]               ; move [m] data to acc
    lsub a,[m+1]             ; compare [m] and [m+1] data
    snz c                    ; [m]>[m+1]?
    jmp continue            ; no
    lmov a,[m]               ; yes, exchange [m] and [m+1] data
    mov temp,a
    lmov a,[m+1]
    lmov [m],a
    mov a,temp
    lmov [m+1],a
continue:
    :
```

注：“m”是位于任何数据存储器 Sector 的某一地址。例如，m=1F0H 表示 Sector 1 中的地址 0F0H。

程序存储区指针 – PBP

该单片机程序存储器被分为几个 Bank，可以通过设置程序存储区指针 PBP 来访问不同的程序存储区。PBP 寄存器应在单片机使用“JMP”或“CALL”指令执行“分支”操作前正确地配置。在分支指令执行后会跳转到一个非连续的程序存储器地址，此地址位于程序存储区指针所选 Bank 内。

● PBP 寄存器

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Name	—	—	—	—	—	—	—	PBP0
R/W	—	—	—	—	—	—	—	R/W
POR	—	—	—	—	—	—	—	0

Bit 7~1 未定义，读为“0”

Bit 0 **PBP0**: 程序存储区指针

0: Bank 0

1: Bank 1

累加器 – ACC

对任何单片机来说，累加器是相当重要的，且与 ALU 所完成的运算有密切关系，所有 ALU 得到的运算结果都会暂时存在 ACC 累加器里。若没有累加器，ALU 必须在每次进行如加法、减法和移位的运算时，将结果写入到数据存储器，这样会造成程序编写和时间的负担。另外数据传送也常常牵涉到累加器的临时储存功能，例如在使用者定义的一个寄存器和另一个寄存器之间传送数据时，由于两寄存器之间不能直接传送数据，因此必须通过累加器来传送数据。

程序计数器低字节寄存器 – PCL

为了提供额外的程序控制功能，程序计数器低字节设置在数据存储器的特殊功能区域内，程序员可对此寄存器进行操作，很容易的直接跳转到其它程序地址。直接给 PCL 寄存器赋值将导致程序直接跳转到程序存储器的某一地址，然而由于寄存器只有 8 位长度，因此只允许在本页的程序存储器范围内进行跳转，而当使用这种运算时，要注意会插入一个空指令周期。

表格寄存器 – TBLP, TBHP, TBLH

这三个特殊功能寄存器对存储在程序存储器中的表格进行操作。TBLP 和 TBHP 为表格指针，指向表格数据存储的地址。它们的值必须在任何表格读取指令执行前加以设定，由于它们的值可以被如“INC”或“DEC”的指令所改变，这就提供了一种简单的方法对表格数据进行读取。表格读取数据指令执行之后，表格数据高字节存储在 TBLH 中。其中要注意的是，表格数据低字节会被传送到使用者指定的地址。

状态寄存器 – STATUS

这 8 位的状态寄存器由 SC 标志位、CZ 标志位、零标志位 (Z)、进位标志位 (C)、辅助进位标志位 (AC)、溢出标志位 (OV)、暂停标志位 (PDF) 和看门狗定时器溢出标志位 (TO) 组成。这些算术 / 逻辑操作和系统运行标志位是用来记录单片机的运行状态。

除了 PDF 和 TO 标志外，状态寄存器中的位像其它大部分寄存器一样可以被改变。任何数据写入到状态寄存器将不会改变 TO 或 PDF 标志位。另外，执行不同的指令后，与状态寄存器有关的运算可能会得到不同的结果。TO 标志位只会受系统上电、看门狗溢出或执行“CLR WDT”或“HALT”指令影响。PDF 标志位只会受执行“HALT”或“CLR WDT”指令或系统上电影响。

SC、CZ、Z、OV、AC 和 C 标志位通常反映最近运算的状态。

- C: 当加法运算的结果产生进位，或减法运算的结果没有产生借位时，则 C 被置位，否则 C 被清零，同时 C 也会被带进位的移位指令所影响。

- **AC**: 当低半字节加法运算的结果产生进位, 或低半字节减法运算的结果没有产生借位时, AC 被置位, 否则 AC 被清零。
- **Z**: 当算术或逻辑运算结果是零时, Z 被置位, 否则 Z 被清零。
- **OV**: 当运算结果高两位的进位状态异或结果为 1 时, OV 被置位, 否则 OV 被清零。
- **PDF**: 系统上电或执行“CLR WDT”指令会清零 PDF, 而执行“HALT”指令则会置位 PDF。
- **TO**: 系统上电或执行“CLR WDT”或“HALT”指令会清零 TO, 而当 WDT 溢出则会置位 TO。
- **CZ**: 不同指令不同标志位的操作结果。详细资料请参考寄存器定义部分。
- **SC**: 当 OV 与当前指令操作结果 MSB 执行“XOR”所得结果。

另外, 当进入一个中断程序或执行子程序调用时, 状态寄存器不会自动压入到堆栈保存。假如状态寄存器的内容是重要的且子程序可能改变状态寄存器的话, 则需谨慎的去做正确的储存。

● STATUS 寄存器

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Name	SC	CZ	TO	PDF	OV	Z	AC	C
R/W	R/W	R/W	R	R	R/W	R/W	R/W	R/W
POR	x	x	0	0	x	x	x	x

“x”：未知

- Bit 7 **SC**: 当 OV 与当前指令操作结果 MSB 执行“XOR”所得结果
- Bit 6 **CZ**: 不同指令不同标志位的操作结果
对于 SUB/SUBM/LSUB/LSUBM 指令, CZ 等于 Z 标志位。
对于 SBC/SBCM/LSBC/LSBCM 指令, CZ 等于上一个 CZ 标志位与当前零标志位执行“AND”所得结果。对于其它指令, CZ 标志位无影响。
- Bit 5 **TO**: 看门狗溢出标志位
0: 系统上电或执行“CLR WDT”或“HALT”指令后
1: 看门狗溢出发生
- Bit 4 **PDF**: 暂停标志位
0: 系统上电或执行“CLR WDT”指令后
1: 执行“HALT”指令
- Bit 3 **OV**: 溢出标志位
0: 无溢出
1: 运算结果高两位的进位状态异或结果为 1
- Bit 2 **Z**: 零标志位
0: 算术或逻辑运算结果不为 0
1: 算术或逻辑运算结果为 0
- Bit 1 **AC**: 辅助进位标志位
0: 无辅助进位
1: 在加法运算中低四位产生了向高四位进位, 或减法运算中低四位不发生从高四位借位
- Bit 0 **C**: 进位标志位
0: 无进位
1: 如果在加法运算中结果产生了进位, 或在减法运算中结果不发生借位
C 标志位也受循环移位指令的影响。

EEPROM 数据存储

该单片机内建 EEPROM 数据存储器，由于其非易失的存储结构，即使在电源掉电的情况下存储器内的数据仍然保存完好。这种存储区扩展了存储空间，对设计者来说增加了许多新的应用机会。EEPROM 可以用来存储产品编号、校准值、用户特定数据、系统配置参数或其它产品信息等。EEPROM 的数据读取和写入过程也会变的更简单。

EEPROM 数据存储器结构

该单片机的 EEPROM 数据存储器容量为 128×8 位。由于映射方式与程序存储器和数据存储器不同，因此不能像其它类型的存储器一样寻址。使用 Sector 0 中的一个地址寄存器和一个数据寄存器以及 Sector 1 中的一个控制寄存器，可以实现对 EEPROM 的单字节读写操作。

EEPROM 寄存器

有三个寄存器控制内部 EEPROM 数据存储器总的操作，地址寄存器 EEA、数据寄存器 EED 及控制寄存器 EEC。EEA 和 EED 位于 Sector 0 中，它们能像其它特殊功能寄存器一样直接被访问。EEC 位于 Sector 1 中，仅可通过 MP1L/MP1H 和 IAR1 或 MP2L/MP2H 和 IAR2 进行间接读取或写入。若使用间接寻址方式，由于 EEC 控制寄存器位于 Sector 1 中的“40H”，在 EEC 寄存器上的任何操作被执行前，MP1L 或 MP2L 必须先设为“40H”，MP1H 或 MP2H 被设为“01H”。

寄存器名称	位							
	7	6	5	4	3	2	1	0
EEA	—	EEA6	EEA5	EEA4	EEA3	EEA2	EEA1	EEA0
EED	EED7	EED6	EED5	EED4	EED3	EED2	EED1	EED0
EEC	—	—	—	—	WREN	WR	RDEN	RD

EEPROM 寄存器列表

• EEA 寄存器

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Name	—	EEA6	EEA5	EEA4	EEA3	EEA2	EEA1	EEA0
R/W	—	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
POR	—	0	0	0	0	0	0	0

Bit 7 未定义，读为“0”

Bit 6~0 EEA6~EEA0: 数据 EEPROM 地址 bit 6 ~ bit 0

• EED 寄存器

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Name	EED7	EED6	EED5	EED4	EED3	EED2	EED1	EED0
R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
POR	0	0	0	0	0	0	0	0

Bit 7~0 EED7~EED0: 数据 EEPROM 地址 bit 7 ~ bit 0

• EEC 寄存器

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Name	—	—	—	—	WREN	WR	RDEN	RD
R/W	—	—	—	—	R/W	R/W	R/W	R/W
POR	—	—	—	—	0	0	0	0

Bit 7~4 未定义，读为“0”

Bit 3 **WREN**: 数据 EEPROM 写使能位

0: 除能

1: 使能

此位为数据 EEPROM 写使能位，向数据 EEPROM 写操作之前需将此位置高。将此位清零时，则禁止向数据 EEPROM 写操作。

Bit 2 **WR**: EEPROM 写控制位

0: 写周期结束

1: 写周期有效

此位为数据 EEPROM 写控制位，由应用程序将此位置高将激活写周期。写周期结束后，硬件自动将此位清零。当 WREN 未先置高时，此位置高无效。

Bit 1 **RDEN**: 数据 EEPROM 读使能位

0: 除能

1: 使能

此位为数据 EEPROM 读使能位，向数据 EEPROM 读操作之前需将此位置高。将此位清零时，则禁止向数据 EEPROM 读操作。

Bit 0 **RD**: EEPROM 读控制位

0: 读周期结束

1: 读周期有效

此位为数据 EEPROM 读控制位，由应用程序将此位置高将激活读周期。读周期结束后，硬件自动将此位清零。当 RDEN 未首先置高时，此位置高无效。

注：1. 在同一条指令中 WREN、WR、RDEN 和 RD 不能同时置为“1”。WR 和 RD 不能同时置为“1”。

2. 需确保 f_{SUB} 时钟运行稳定后才可执行写操作。

3. 需确保写操作已执行完毕后才可改动 EEC 寄存器内容。

从 EEPROM 中读取数据

从 EEPROM 中读取数据，EEPROM 中读取数据的地址要先放入 EEA 寄存器中。EEC 寄存器中的读使能位 RDEN 先置为高以使能读功能。若 EEC 寄存器中的 RD 位被置高，一个读周期将开始。若 RD 位已置为高而 RDEN 位还未被设置则不能开始读操作。若读周期结束，RD 位将自动清除为“0”，数据可以从 EED 寄存器中读取。数据在其它读或写操作执行前将一直保留在 EED 寄存器中。应用程序可轮询 RD 位以确定数据可以有效地被读取。

写数据到 EEPROM

写数据至 EEPROM，EEPROM 中写入数据的地址要先放入 EEA 寄存器中，写入的数据需存入 EED 寄存器中。EEC 寄存器中的写使能位 WREN 先置为高以使能写功能，然后 EEC 寄存器中的 WR 位需立即置高以开始写操作，这两条指令必须在两个连续的指令周期内执行。总中断位 EMI 在写周期开始前应当被清零，写周期开始后再将其使能。若 WR 位已置为高而 WREN 位还未被设置则不能开始写操作。由于控制 EEPROM 写周期是一个内部时钟，与单片机的系统时钟异步，所以数据写入 EEPROM 的时间将有所延迟。可通过轮询 EEC 寄存器中的 WR 位或判断 EEPROM 写中断以侦测写周期是否完成。若写周期完成，WR 位将自动清除为“0”，通知用户数据已写入 EEPROM。因此，应用程序可轮询 WR 位以确定写周期是否结束。

写保护

防止误写入的写保护有以下几种。单片机上电后控制寄存器中的写使能位将被清除以杜绝任何写入操作。上电后存储器指针高字节寄存器将重置为“0”，这意味着数据存储区 Sector 0 被选中。由于 EEPROM 控制寄存器位于 Sector 1 中，这增加了对写操作的保护措施。在正常程序操作中确保控制寄存器中的写使能位被清除将能防止不正确的写操作。

EEPROM 中断

EEPROM 写周期结束后将产生 EEPROM 写中断，需先通过设置相关中断寄存器的 DEE 位使能 EEPROM 中断。由于 EEPROM 中断包含在多功能中断中，相应的多功能中断使能位也需被设置。当 EEPROM 写周期结束，DEF 请求标志位及其相关多功能中断请求标志位将被置位。若总中断、EEPROM 中断和多功能中断使能且堆栈未满的情况下将跳转到相应的多功能中断向量中执行。当中断被响应，只有多功能中断标志位将自动复位，而 EEPROM 中断标志将通过应用程序手动复位。更多细节可参考中断章节。

编程注意事项

必须注意的是数据不会无意写入 EEPROM。在没有写动作时写使能位被正常清零可以增强保护功能。存储器指针高字节寄存器 MP1H 或 MP2H 也可以正常清零以阻止进入 EEPROM 控制寄存器所在的 Sector 1。尽管没有必要，写一个简单的读回程序以检查新写入的数据是否正确还是应该考虑的。

WREN 位置位后，EEC 寄存器中的 WR 位需立即置位，以确保写周期正确地执行。写周期执行前总中断位 EMI 应先清零，写周期开始执行后再将此位重新使能。注意，单片机不应在 EEPROM 读或写操作完全完成之前进入空闲或休眠模式，否则 EEPROM 读或写操作将失败。

程序举例

从 EEPROM 中读取数据 – 轮询法

```
MOV A, EEPROM_ADRES      ; user defined address
MOV EEA, A
MOV A, 40H                ; setup memory pointer low byte MP1L
MOV MP1L, A               ; MP1L points to EEC register
MOV A, 01H                ; setup Memory Pointer high byte MP1H
MOV MP1H, A
SET IAR1.1                ; set RDEN bit, enable read operations
SET IAR1.0                ; start Read Cycle - set RD bit
BACK:
SZ IAR1.0                 ; check for read cycle end
JMP BACK
CLR IAR1                  ; disable EEPROM read if no more read operations
                           ; are required

CLR MP1H
MOV A, EED                ; move read data to register
MOV READ_DATA, A
```

注：即使目标地址是连续的，每次执行读操作仍需重新定义地址寄存器，接着置位 RD 以启动一个读周期。

写数据到 EEPROM – 轮询法

```
MOV A, EEPROM_ADRES      ; user defined address
MOV EEA, A
MOV A, EEPROM_DATA       ; user defined data
MOV EED, A
MOV A, 40H                ; setup memory pointer low byte MP1L
MOV MP1L, A               ; MP1L points to EEC register
MOV A, 01H                ; setup Memory Pointer high byte MP1H
MOV MP1H, A
CLR EMI
SET IAR1.3                ; set WREN bit, enable write operations
SET IAR1.2                ; start Write Cycle - set WR bit-executed
                           ; immediately after set WREN bit

SET EMI
BACK:
SZ IAR1.2                 ; check for write cycle end
JMP BACK
CLR MP1H
```

振荡器

不同的振荡器选择可以让使用者在不同的应用需求中实现更大范围的功能。振荡器的灵活性使得在速度和功耗方面可以达到最优化。振荡器选择和操作是通过配置选项和相关的控制寄存器共同完成的。

振荡器概述

振荡器除了作为系统时钟源，还作为看门狗定时器和时基中断以及 LCD 驱动器的时钟源。外部振荡器需要一些外围器件，而集成的内部振荡器不需要任何外围器件。它们提供的高速和低速系统振荡器具有较宽的频率范围。所有振荡器选择是通过配置选项和相关的控制寄存器共同完成的。较高频率的振荡器提供更高的性能，但要求有更高的功率，反之亦然。动态切换快慢系统时钟的能力使单片机具有灵活而优化的性能 / 功耗比，此特性对功耗敏感的应用领域尤为重要。

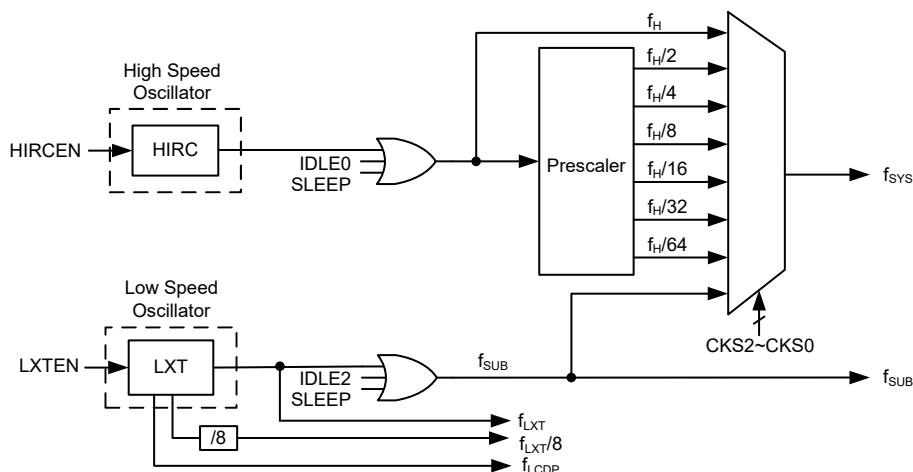
类型	名称	频率	引脚
内部高速 RC	HIRC	4/8/12MHz	—
外部低速晶振	LXT	32.768kHz	XT1/XT2
内部低速 RC	LIRC	32kHz	—

振荡器类型

系统时钟配置

该单片机有两个系统振荡器，包括一个高速振荡器和一个低速振荡器。高速振荡器为内部 4/8/12MHz 高速振荡器 HIRC，低速振荡器为外部 32.768kHz 晶振 LXT。使用高速或低速振荡器作为系统时钟的选择是通过设置 SCC 寄存器中的 CKS2~CKS0 位决定的，系统时钟可动态选择。

低速振荡器的实际时钟源由寄存器选择。低速或高速系统时钟频率由 SCC 寄存器的 CKS2~CKS0 位决定的。请注意，两个振荡器必须做出选择，即一个高速和一个低速振荡器。



系统时钟配置

内部 RC 振荡器 – HIRC

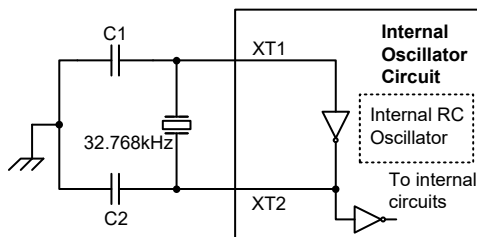
内部 RC 振荡器是一个集成的系统振荡器，不需其它外部器件。内部 RC 振荡器具有三种固定的频率：4MHz、8MHz 和 12MHz，可通过配置选项选择。此外 HIRCC 寄存器中的 HIRC1~HIRC0 位设置的频率必须与配置选项中选定的频率一致，以确保能够达到交流电气特性中标示的 HIRC 频率精度。芯片在制造时进行调整且内部含有频率补偿电路，使得振荡频率因 V_{DD} 、温度以及芯片制造工艺不同的影响减至最低程度。在电源为 3V 或 5V 且温度为 25°C 时，所选中的调整后的振荡频率误差将在 1% 内。

外部 32.768kHz 晶体振荡器 – LXT

外部 32.768kHz 晶体振荡器是一个低频振荡器，且始终使能。时钟频率固定为 32.768kHz，此时 XT1 和 XT2 引脚间必须连接 32.768kHz 的晶体振荡器。除了提供 32.768kHz 的 f_{LXT} 频率，该时钟源还为看门狗定时器和时基功能提供了一个分频频率 $f_{LXT}/8$ 。应当注意，LXT 振荡器为 LCD 充电泵产生一个 f_{LCDP} 时钟，其频率由 LCDC 寄存器的 LCDPCK2~LCDPCK0 位决定，更多内容请参考“LCD 寄存器”章节。需要连接外部电容到 32.768kHz 晶振以帮助起振。对于那些要求精确频率的场合中，可能需要这些元件来对由制程产生的误差提供频率补偿。LXT 振荡器使能后，LXT 振荡器启动需要一定的延时。

然而，对于一些晶体，为了保证系统频率的启动与精度要求，需要外接两个小容量电容 C1 和 C2，具体数值与客户选择的晶体规格有关。

为了确保振荡器的稳定性及减少噪声和串扰的影响，晶体振荡器及其相关的电容以及它们之间的连线都应尽可能的接近单片机。



- Note: 1. C1 and C2 are required.
2. Although not shown pins have a parasitic capacitance of around 7pF.
3. Although not shown the oscillator circuit has several output frequencies of f_{LXT} , $f_{LXT}/8$ and f_{LCDP} , in which the f_{LCDP} frequency is determined by the LCDPCK[2:0] bits.

外部 LXT 振荡器

LXT 振荡器 C1 和 C2 值		
晶体频率	C1	C2
32.768kHz	7pF	7pF

注：C1 和 C2 数值仅作参考

32.768kHz 振荡器电容推荐值

内部 32kHz 振荡器 – LIRC

内部 32kHz 振荡器是一个完全集成 RC 振荡器，在 3V 下运行的典型频率值为 32kHz 且无需外部元件。注意内部 32kHz 振荡器仅用作上电复位，低电压检测和低电压复位功能的时钟源。芯片在制造时进行调整且内部含有频率补偿电路，使得振荡器因电源电压、温度及芯片制成工艺不同的影响减至最低。在 3V~5.5V 全压范围下且温度为 -40°C~85°C 时，32kHz 的固定振荡频率误差将在 10% 内。

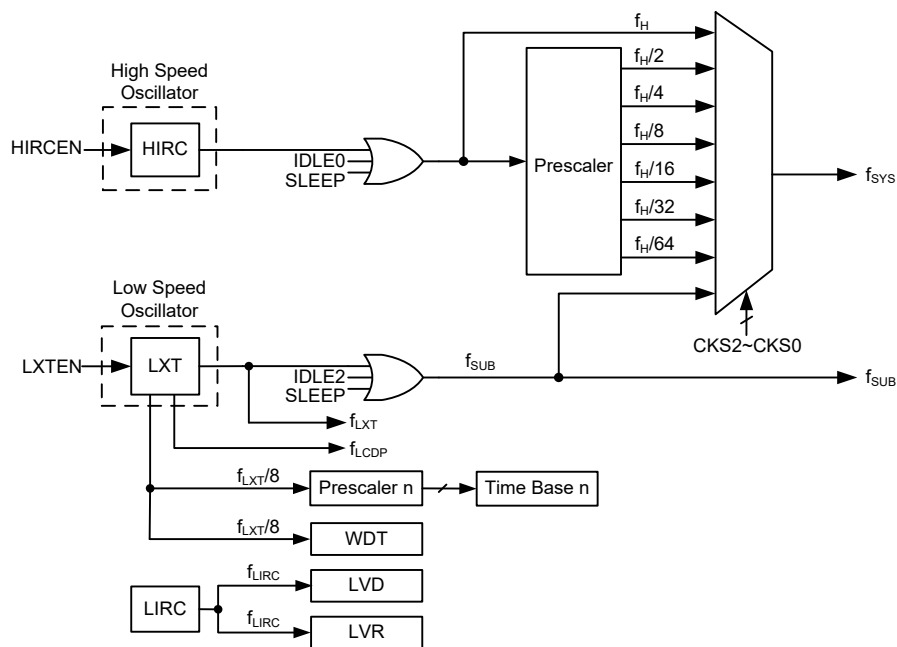
工作模式和系统时钟

现今的应用要求单片机具有较高的性能及尽可能低的功耗，这种矛盾的要求在便携式电池供电的应用领域尤为明显。高性能所需要的高速时钟将增加功耗，反之亦然。此单片机提供高、低速两种时钟源，它们之间可以动态切换，用户可通过优化单片机操作来获得最佳性能 / 功耗比。

系统时钟

单片机为 CPU 和外围功能操作提供了多种不同的时钟源。用户使用寄存器编程可获取多种时钟，进而使系统时钟获取最大的应用性能。

主系统时钟可来自高频时钟源 f_H 或低频时钟源 f_{SUB} ，通过 SCC 寄存器中的 CKS2~CKS0 位进行选择。高频时钟来自 HIRC 振荡器。低频系统时钟源来自内部时钟 f_{SUB} ，若 f_{SUB} 被选择，低频时钟来自 LXT 振荡器。其它系统时钟还有高速系统振荡器的分频 $f_H/2 \sim f_H/64$ 。应注意 LIRC 振荡器仅用于上电复位，低电压检测与低电压复位功能。即使在单片机进入休眠模式且 WDT 功能关闭的情况下，LXT 振荡器始终使能。



单片机时钟配置

注：当系统时钟源 f_{SYS} 由 f_H 到 f_{SUB} 转换时，可以通过设置相应的高速振荡器使能控制位，选择停止以节省耗电，或者继续振荡，为外围电路提供 $f_H \sim f_H/64$ 频率的时钟源。

系统工作模式

单片机有 6 种不同的工作模式，每种有它自身的特性，根据应用中不同的性能和功耗要求可选择不同的工作模式。单片机正常工作有两种模式：快速模式和低速模式。剩余的 4 种工作模式：休眠模式、空闲模式 0、空闲模式 1 和空闲模式 2 用于单片机 CPU 关闭时以节省耗电。

工作模式	CPU	寄存器设置			f_{SYS}	f_H	f_{SUB}	f_{LXT}	$f_{LXT}/8$
		FHIDEN	FSIDEN	CKS2~CKS0					
快速模式	On	x	x	000~110	$f_H \sim f_H/64$	On	On	On	On
低速模式	On	x	x	111	f_{SUB}	On/Off ^(注)	On	On	On
空闲模式 0	Off	0	1	000~110	Off	Off	On	On	On
				111	On				
空闲模式 1	Off	1	1	xxx	On	On	On	On	On
空闲模式 2	Off	1	0	000~110	On	On	Off	Off	On
				111	Off				
休眠模式	Off	0	0	xxx	Off	Off	Off	Off	On

“x”：无关

注：在低速模式中， f_H 开启或关闭由相应的振荡器使能位控制。

快速模式

这是主要的工作模式之一，单片机的所有功能均可在此模式中实现且系统时钟由一个高速振荡器提供。该模式下单片机正常工作的时钟源来自 HIRC 振荡器。高速振荡器频率可被分为 1~64 的不等比率，实际的比率由 SCC 寄存器中的 CKS2~CKS0 位选择。单片机使用高速振荡器分频作为系统时钟可减少工作电流。

低速模式

此模式的系统时钟虽为较低速时钟源，但单片机仍能正常工作。该低速时钟源可来自 f_{SUB} ，而 f_{SUB} 可来自于 LXT 振荡器。

休眠模式

执行 HALT 指令后且 SCC 寄存器中的 FHIDEN 和 FSIDEN 位都为低时，系统进入休眠模式。在休眠模式中，CPU 停止运行， f_{SUB} 停止为外围功能提供时钟。看门狗定时器功能是否使能取决于 WDTC 寄存器设置。

空闲模式 0

执行 HALT 指令后且 SCC 寄存器中的 FHIDEN 位为低、FSIDEN 位为高时，系统进入空闲模式 0。在空闲模式 0 中，CPU 停止，但低速振荡器会开启以驱动一些外围功能。

空闲模式 1

执行 HALT 指令后且 SCC 寄存器中的 FHIDEN 和 FSIDEN 位都为高时，系统进入空闲模式 1。在空闲模式 1 中，CPU 停止，但高速和低速振荡器都会开启以确保一些外围功能继续工作。

空闲模式 2

执行 HALT 指令后且 SCC 寄存器中的 FHIDEN 位为高、FSIDEN 位为低时，系统进入空闲模式 2。在空闲模式 2 中，CPU 停止，但高速振荡器会开启以确保一些外围功能继续工作。

控制寄存器

寄存器 SCC、HIRCC 和 LXTC 用于控制系统时钟和相应的振荡器配置。

寄存器名称	位							
	7	6	5	4	3	2	1	0
SCC	CKS2	CKS1	CKS0	—	—	—	FHIDEN	FSIDEN
HIRCC	—	—	—	—	HIRC1	HIRC0	HIRCF	HIRCEN
LXTC	—	—	—	—	—	—	LXTF	LXTEN

系统工作模式控制寄存器列表

• SCC 寄存器

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Name	CKS2	CKS1	CKS0	—	—	—	FHIDEN	FSIDEN
R/W	R/W	R/W	R/W	—	—	—	R/W	R/W
POR	0	0	1	—	—	—	0	0

Bit 7~5 **CKS2~CKS0:** 系统时钟选择位

000: f_H
001: $f_H/2$
010: $f_H/4$
011: $f_H/8$
100: $f_H/16$
101: $f_H/32$
110: $f_H/64$
111: f_{SUB}

这三位用于选择系统时钟源。除了 f_H 或 f_{SUB} 提供的系统时钟源外，也可使用高频振荡器的分频作为系统时钟。

- Bit 4~2 未定义，读为“0”
- Bit 1 **FHIDEN**: CPU 关闭时高频振荡器控制位
0: 除能
1: 使能
此位用来控制在 CPU 执行 HALT 指令关闭后高速振荡器是被激活还是停止。
- Bit 0 **FSIDEN**: CPU 关闭时低频振荡器控制位
0: 除能
1: 使能
此位用来控制在 CPU 执行 HALT 指令关闭后低速振荡器是被激活还是停止。

● HIRCC 寄存器

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Name	—	—	—	—	HIRC1	HIRC0	HIRCF	HIRCEN
R/W	—	—	—	—	R/W	R/W	R	R/W
POR	—	—	—	—	0	0	0	1

- Bit 7~4 未定义，读为“0”
- Bit 3~2 **HIRC1~HIRC0**: HIRC 频率选择位
00: 4MHz
01: 8MHz
10: 12MHz
11: 4MHz
当 HIRC 振荡器使能或通过应用程序改变 HIRC 频率选择位时，在 HIRCF 标志位置高后时钟频率会自动改变。
建议这里选择的频率与配置选项中选定的频率保持一致，以确保能够达到交流电气特性中标示的 HIRC 频率精度。
- Bit 1 **HIRCF**: HIRC 振荡器稳定标志位
0: HIRC 未稳定
1: HIRC 稳定
此位用于表明 HIRC 振荡器是否稳定。HIRCEN 位置高使能 HIRC 振荡器，HIRCF 位会先被清零，在 HIRC 稳定后会被置高。
- Bit 0 **HIRCEN**: HIRC 振荡器使能控制位
0: 除能
1: 使能

● LXTC 寄存器

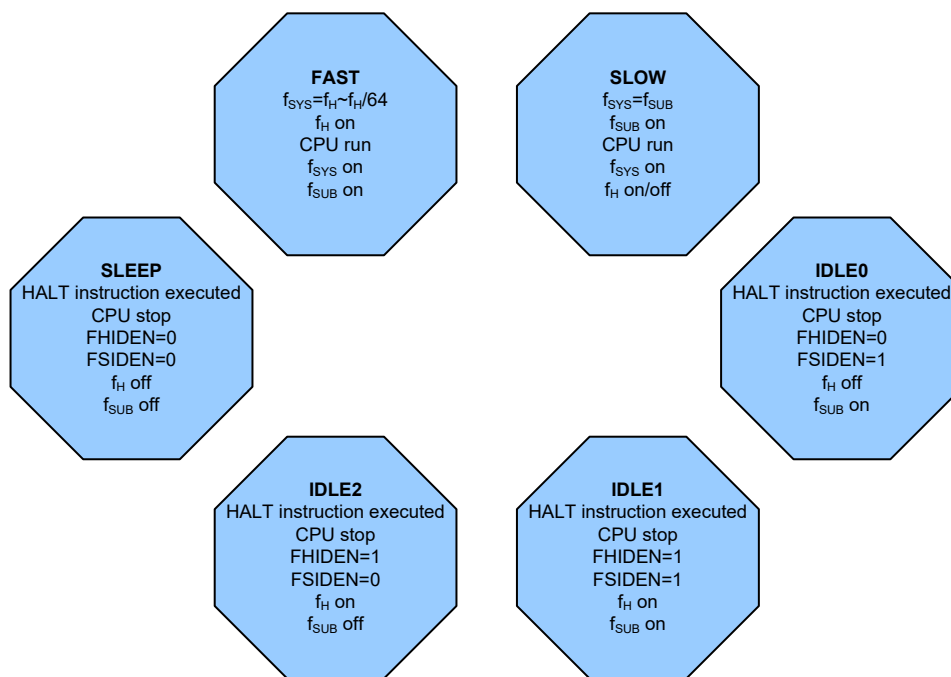
Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Name	—	—	—	—	—	—	LXTF	LXTEN
R/W	—	—	—	—	—	—	R	R
POR	—	—	—	—	—	—	0	1

- Bit 7~2 未定义，读为“0”
- Bit 1 **LXTF**: LXT 振荡器稳定标志位
0: LXT 未稳定
1: LXT 稳定
此位用于表明 LXT 振荡器是否稳定。LXT 振荡器使能后，LXTF 位会先被清零，在 LXT 稳定后会被置高。
- Bit 0 **LXTEN**: LXT 振荡器使能控制位 (只读)
1: 使能

工作模式切换

单片机可在各个工作模式间自由切换，使得用户可根据所需选择最佳的性能 / 功耗比。用此方式，对单片机工作的性能要求不高的情况下，可使用较低频时钟以减少工作电流，在便携式应用上延长电池的使用寿命。

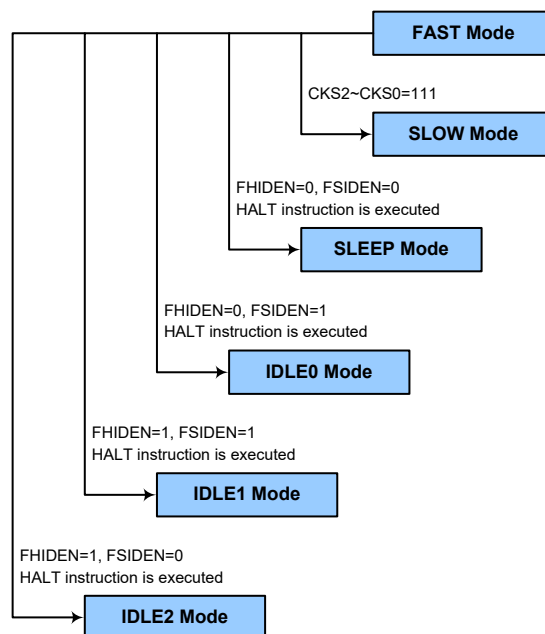
简单来说，快速模式和低速模式间的切换仅需设置 SCC 寄存器中的 CKS2~CKS0 位即可实现，而快速模式 / 低速模式与休眠模式 / 空闲模式间的切换经由 HALT 指令实现。当 HALT 指令执行后，单片机是否进入空闲模式或休眠模式由 SCC 寄存器中的 FHIDEN 和 FSIDEN 位决定的。



快速模式切换到低速模式

系统运行在快速模式时使用高速系统振荡器，因此较为耗电。可通过设置 SCC 寄存器中的 CKS2~CKS0 位为“111”使系统时钟切换至运行在低速模式下。此时将使用低速系统振荡器以节省耗电。用户可在对性能要求不高的操作中使用此方法以减少耗电。

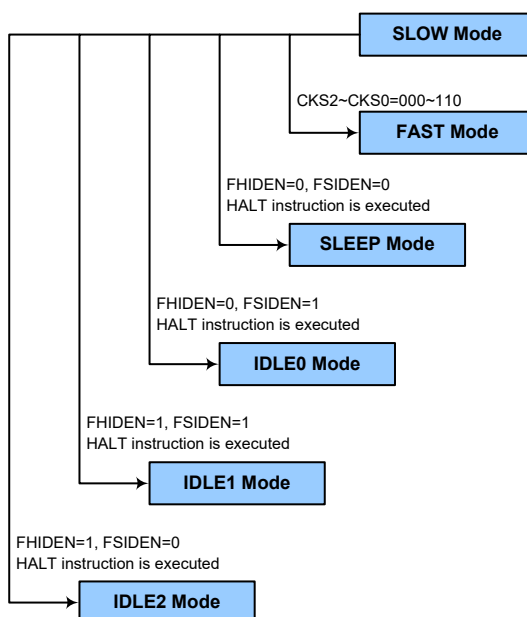
低速模式的时钟源来自 LXT 振荡器，因此要求这些振荡器在所有模式切换动作发生前稳定下来。



低速模式切换到快速模式

在低速模式时系统时钟来自 f_{SUB} 。切换回快速模式时，需设置 CKS2~CKS0 位为“000”~“110”使系统时钟从 f_{SUB} 切换到 $f_H \sim f_H/64$ 。

然而，如果在低速模式下 f_H 因未使用而关闭，那么从低速模式切换到快速模式时，它需要一定的时间来重新起振和稳定，可通过检测 HIRCC 寄存器中的 HIRCF 位进行判断，所需的高速系统振荡器稳定时间在相关电气特性中有说明。



进入休眠模式

进入休眠模式的方法仅有一种，即应用程序中执行“HALT”指令前需设置 SCC 寄存器中的 FHIDEN 和 FSIDEN 位都为“0”。在这种模式下，除了 WDT 功能以外的所有时钟和功能都将关闭。在上述条件下执行该指令后，将发生的情况如下：

- 系统时钟停止运行，应用程序停止在“HALT”指令处。
- 数据存储器中的内容和寄存器将保持当前值。
- 输入 / 输出将保持当前值。
- 状态寄存器中暂停标志 PDF 将被置起，看门狗溢出标志 TO 将被清除。
- 如果 WDT 功能使能，WDT 将被清零并重新开始计数。如果 WDT 功能除能，WDT 将被清零并停止计数。

进入空闲模式 0

进入空闲模式 0 的方法仅有一种，即应用程序中执行“HALT”指令前需设置 SCC 寄存器中的 FHIDEN 位为“0”且 FSIDEN 位为“1”。在上述条件下执行该指令后，将发生的情况如下：

- f_H 时钟停止运行，应用程序停止在“HALT”指令处，但 f_{SUB} 时钟将继续运行。
- 数据存储器中的内容和寄存器将保持当前值。
- 输入 / 输出将保持当前值。
- 状态寄存器中暂停标志 PDF 将被置起，看门狗溢出标志 TO 将被清除。
- 如果 WDT 功能使能，WDT 将被清零并重新开始计数。如果 WDT 功能除能，WDT 将被清零并停止计数。

进入空闲模式 1

进入空闲模式 1 的方法仅有一种，即应用程序中执行“HALT”指令前需设置 SCC 寄存器中的 FHIDEN 和 FSIDEN 位都为“1”。在上述条件下执行该指令后，将发生的情况如下：

- f_H 和 f_{SUB} 时钟开启，应用程序停止在“HALT”指令处。
- 数据存储器中的内容和寄存器将保持当前值。
- 输入 / 输出将保持当前值。
- 状态寄存器中暂停标志 PDF 将被置起，看门狗溢出标志 TO 将被清除。
- 如果 WDT 功能使能，WDT 将被清零并重新开始计数。如果 WDT 功能除能，WDT 将被清零并停止计数。

进入空闲模式 2

进入空闲模式 2 的方法仅有一种，即应用程序中执行“HALT”指令前需设置 SCC 寄存器中的 FHIDEN 位为“1”且 FSIDEN 位为“0”。在上述条件下执行该指令后，将发生的情况如下：

- f_H 时钟开启， f_{SUB} 时钟关闭，应用程序停止在“HALT”指令处。
- 数据存储器中的内容和寄存器将保持当前值。
- 输入 / 输出将保持当前值。
- 状态寄存器中暂停标志 PDF 将被置起，看门狗溢出标志 TO 将被清除。

- 如果 WDT 功能使能，WDT 将被清零并重新开始计数。如果 WDT 功能除能，WDT 将被清零并停止计数。

待机电流的注意事项

由于单片机进入休眠或空闲模式的主要原因是将单片机的电流降低到尽可能低，可能到只有几个微安的级别（空闲模式 1 和空闲模式 2 除外），所以如果要将电路的电流降到最低，电路设计者还应有其它的考虑。应该特别注意的是单片机的输入 / 输出引脚。所有高阻抗输入脚都必须连接到固定的高或低电平，因为引脚浮空会造成内部振荡并导致耗电增加。这也应用于有不同封装的单片机，因为它们可能含有未引出的引脚，这些引脚也必须设为输出或带有上拉电阻的输入。

另外还需注意单片机设为输出的 I/O 引脚上的负载。应将它们设置在有最小拉电流的状态或将它们和其它的 CMOS 输入一样接到没有拉电流的外部电路上。还应注意的是，如果选择 LXT 振荡器，会导致耗电增加。

在空闲模式 1 和空闲模式 2 中，高速振荡器开启。若外围功能时钟源来自高速振荡器，额外的待机电流也可能会有几百微安。

唤醒

单片机进入休眠模式或空闲模式后，系统时钟将停止以降低功耗。然而单片机再次唤醒，原来的系统时钟重新起振、稳定且恢复正常工作需要一定的时间。

系统进入休眠或空闲模式之后，可以通过以下几种方式唤醒：

- PA 口下降沿
- 外部 $\overline{\text{RES}}$ 引脚复位
- 系统中断
- WDT 溢出

若单片机由外部复位引脚唤醒，系统会完全复位；若由 WDT 溢出唤醒，则会发生看门狗定时器复位。这两种唤醒方式都会使系统复位，可通过状态寄存器中的 TO 和 PDF 位来判断唤醒源。系统上电或执行清除看门狗的指令，PDF 将被清零；执行 HALT 指令，PDF 将被置位。看门狗定时器溢出会将 TO 置位并唤醒系统，这种复位会重置程序计数器和堆栈指针，其它标志保持原有状态。

PA 口中的每个引脚都可以通过 PAWU 寄存器使能下降沿唤醒功能。PA 端口唤醒后，程序将在“HALT”指令后继续执行。如果系统是通过中断唤醒，则有两种可能发生。第一种情况是：相关中断除能或是中断使能且堆栈已满，则程序会在“HALT”指令之后继续执行。这种情况下，唤醒系统的中断会等到相关中断使能或有堆栈层可以使用之后才执行。第二种情况是：相关中断使能且堆栈未满，则中断可以马上执行。如果在进入休眠或空闲模式之前中断标志位已经被设置为“1”，则相关中断的唤醒功能将无效。

看门狗定时器

看门狗定时器的功能在于防止如电磁的干扰等外部不可控制事件，所造成的程序不正常动作或跳转到未知的地址。

看门狗定时器时钟源

WDT 定时器时钟源由内部时钟 f_{WDT} 提供，该时钟来自 LXT 振荡器的输出频率 $f_{LXT}/8$ 。看门狗定时器的时钟源可分频为 $2^8 \sim 2^{18}$ 以提供更大的溢出周期，分频比由 WDTC 寄存器中的 WS2~WS0 位来决定。

看门狗定时器控制寄存器

WDTC 寄存器用于控制 WDT 功能的使能 / 除能，选择溢出周期以及复位单片机功能。

• WDTC 寄存器

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Name	WE4	WE3	WE2	WE1	WE0	WS2	WS1	WS0
R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
POR	0	1	0	1	0	0	1	0

Bit 7~3 **WE4~WE0**: WDT 软件控制

10101: 除能

01010: 使能

其它值: 单片机复位

如果由于不利的环境因素使这些位变为其它值，单片机将复位。复位动作发生在一段延迟时间 t_{SRESET} 后，且 RSTFC 寄存器的 WRF 位将置为“1”。

Bit 2~0 **WS2~WS0**: WDT 溢出周期选择位

000: $2^8/f_{LIRC}$

001: $2^{10}/f_{LIRC}$

010: $2^{12}/f_{LIRC}$

011: $2^{14}/f_{LIRC}$

100: $2^{15}/f_{LIRC}$

101: $2^{16}/f_{LIRC}$

110: $2^{17}/f_{LIRC}$

111: $2^{18}/f_{LIRC}$

这三位控制 WDT 时钟源的分频比，从而实现对 WDT 溢出周期的控制。内部时钟 f_{WDT} 由 LXT 振荡器的输出频率 $f_{LXT}/8$ 提供。

• RSTFC 寄存器

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Name	—	—	—	—	RSTF	LVRF	LRF	WRF
R/W	—	—	—	—	R/W	R/W	R/W	R/W
POR	—	—	—	—	0	x	0	0

“x”: 未知

Bit 7~4 未定义，读为“0”

Bit 3 **RSTF**: 复位控制寄存器软件复位标志位

详见“内部复位控制”章节

Bit 2 **LVRF**: LVR 复位标志位

详见“低电压复位”章节

Bit 1 **LRF**: LVR 控制寄存器软件复位标志位

详见“低电压复位”章节

Bit 0 **WRF:** WDT 控制寄存器软件复位标志位
 0: 未发生
 1: 发生
 当 WDT 控制寄存器软件复位发生时, 此位被置为“1”, 且只能通过应用程序清零。

看门狗定时器操作

当 WDT 溢出时, 它产生一个单片机复位的动作。这也就意味着正常工作期间, 用户需在应用程序中看门狗溢出前有策略地清看门狗定时器以防止其产生复位, 可使用清除看门狗指令实现。无论什么原因, 程序失常跳转到一个未知的地址或进入一个死循环, 这条清除指令都不能被正确执行, 此种情况下, 看门狗将溢出以使单片机复位。看门狗定时器控制寄存器 WDTC 中的 WE4~WE0 位可提供使能 / 除能控制以及控制看门狗定时器复位操作。当 WE4~WE0 设置为“10101B”时除能 WDT 功能, 而当设置为“01010B”时使能 WDT 功能。如果 WE4~WE0 设置为除“01010B”和“10101B”以外的值时, 单片机将在一段延迟时间 t_{SRESET} 后复位。上电后这些位初始化为“01010B”。

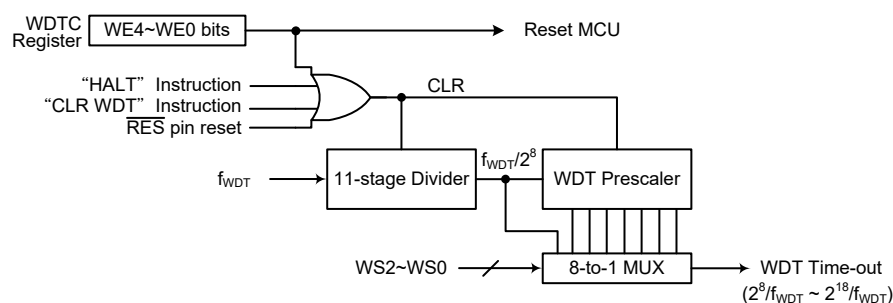
WE4~WE0	WDT 功能
10101B	除能
01010B	使能
其它值	单片机复位

看门狗定时器使能 / 除能控制

程序正常运行时, WDT 溢出将导致单片机复位, 并置位状态标志位 TO。若系统处于休眠或空闲模式, 当 WDT 发生溢出时, 状态寄存器中的 TO 应置位, 仅 PC 和堆栈指针复位。有四种方法可以用来清除 WDT 的内容。第一种是 WDT 复位, 即将 WE4~WE0 位设置成除了 01010B 和 10101B 外的任意值; 第二种是通过软件清除指令, 而第三种是通过“HALT”指令。最后一种是外部硬件复位, 即当 RSTC 寄存器选择外部复位引脚功能后, 此引脚上发生的低电平。

该单片机只使用一条清看门狗指令“CLR WDT”。因此只要执行“CLR WDT”便清除 WDT。

当设置分频比为 2^{18} 时, 溢出周期最大。例如, 时钟源为 32kHz f_{WDT} , 分频比为 2^{18} 时最大溢出周期约 8s, 分频比为 2^8 时最小溢出周期约 8ms。



看门狗定时器

复位和初始化

复位功能是任何单片机中基本的部分，使得单片机可以设定一些与外部参数无关的先置条件。最重要的复位条件是在单片机首次上电以后，经过短暂的延迟，内部硬件电路使得单片机处于预期的稳定状态并开始执行第一条程序指令。上电复位以后，在程序执行之前，部分重要的内部寄存器将会被设定为预先设定的状态。程序计数器就是其中之一，它会被清除为零，使得单片机从最低的程序存储器地址开始执行程序。

除了上电复位外，即使单片机处于正常工作状态，有些情况的发生也会迫使单片机复位。譬如当单片机上电后已经开始执行程序， $\overline{\text{RES}}$ 引脚被强制拉为低电平。这种复位为正常操作复位，单片机中只有一些寄存器受影响，而大部分寄存器不会改变，在复位引脚恢复至高电平后，单片机可以正常运行。

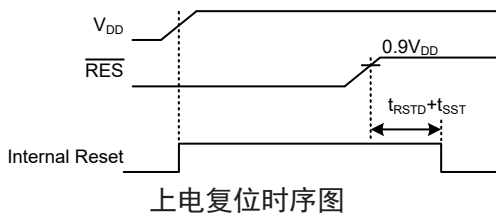
另一种复位为低电压复位即 LVR 复位，在电源供应电压低于 LVR 设置值时，系统会产生 LVR 复位。这种复位与 $\overline{\text{RES}}$ 引脚拉低复位方式相似。此外还有一种复位为看门狗溢出单片机复位。不同方式的复位操作会对寄存器产生不同的影响。

复位功能

单片机的几种内部和外部复位方式将在此处做具体介绍。

上电复位

这是最基本且不可避免的复位，发生在单片机上电后。除了保证程序存储器从开始地址执行，上电复位也使得其它寄存器被设定在预设条件。所有的输入/输出端口控制寄存器在上电复位时会保持高电平，以确保上电后所有引脚被设定为输入状态。



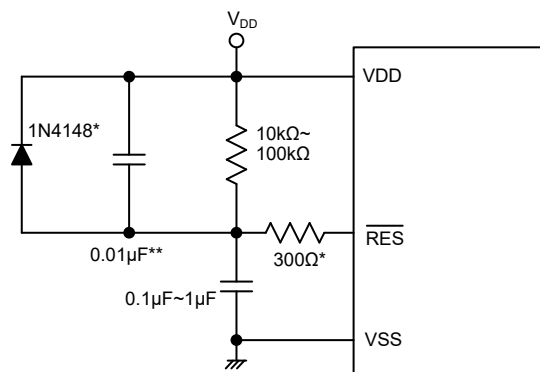
上电复位时序图

$\overline{\text{RES}}$ 引脚复位

$\overline{\text{RES}}$ 复位功能必须通过 RSTC 控制寄存器选择。虽然单片机有一个内部 RC 复位功能，如果电源上升缓慢或上电时电源不稳定，内部 RC 振荡可能导致芯片复位不良，所以推荐使用和 $\overline{\text{RES}}$ 引脚连接的外部 RC 电路，由 RC 电路所造成的时间延迟使得 $\overline{\text{RES}}$ 引脚在电源供应稳定前的一段延长周期内保持在低电平。在这段时间内，单片机的正常操作是被禁止的。 $\overline{\text{RES}}$ 引脚达到一定电压值后，再经过延迟时间 t_{RSTD} 单片机可以开始进行正常操作。下图中 SST 是系统延迟周期 System Start-up Timer 的缩写。

在许多应用场合，可以在 V_{DD} 和 $\overline{\text{RES}}$ 之间接入一个电阻，在 V_{SS} 与 $\overline{\text{RES}}$ 之间接入一个电容作为外部复位电路。与 $\overline{\text{RES}}$ 脚上所有相连接的线段必须尽量短以减少噪声干扰。

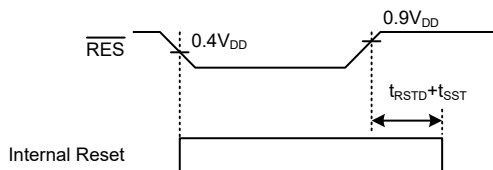
当系统在较强干扰的场合工作时，建议使用增强型的复位电路，如下图所示。



注：“*”表示建议加上此元件以加强静电保护。
“**”表示建议在电源有较强干扰场合加上此元件。

外部 RES 电路

RES 引脚通过外部硬件强迫拉至低电平时，此种复位形式即会发生。这种复位方式和其它的复位方式一样，程序计数器会被清除为零且程序从头开始执行。



RES 复位时序图

内部复位控制寄存器 RSTC 用于为单片机在受到环境噪声干扰而异常工作时提供复位。如果 RSTC 寄存器的内容被设置为除 01010101B 或 10101010B 以外的任何值，单片机会在 t_{SRESET} 延迟时间后发生复位。上电后寄存器的值为 01010101B。

RSTC7~RSTC0	复位功能
01010101B/10101010B	RES 引脚
其它值	单片机复位

内部复位功能控制

● RSTC 寄存器

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Name	RSTC7	RSTC6	RSTC5	RSTC4	RSTC3	RSTC2	RSTC1	RSTC0
R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
POR	0	1	0	1	0	1	0	1

Bit 7~0 **RSTC7~RSTC0**: 复位功能控制位

01010101/10101010: RES 引脚

其它值: MCU 复位

如果由于不利的环境因素使这些位发生改变，单片机将复位。复位动作发生在 t_{SRESET} 延迟时间后，且 RSTFC 寄存器的 RSTF 位将置为“1”。

除了 WDT 溢出硬件复位外，其它所有复位发生时此寄存器恢复至上电复位值。

• RSTFC 寄存器

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Name	—	—	—	—	RSTF	LVRF	LRF	WRF
R/W	—	—	—	—	R/W	R/W	R/W	R/W
POR	—	—	—	—	0	x	0	0

“x”：未知

Bit 7~4 未定义，读为“0”

Bit 3 **RSTF**：复位控制寄存器软件复位标志位

0：未发生

1：发生

当 RSTC 控制寄存器软件复位发生时，此位被置为“1”，且只能通过应用程序清零。

Bit 2 **LVRF**：LVR 复位标志位

详见其它章节

Bit 1 **LRF**：LVR 控制寄存器软件复位标志位

详见其它章节

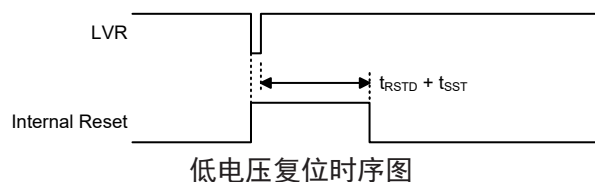
Bit 0 **WRF**：WDT 控制寄存器软件复位标志位

详见其它章节

低电压复位 – LVR

单片机具有低电压复位电路，用来监测它的电源电压。当电源电压低于预设值时，它将复位单片机。

在快速和低速模式中，LVR 始终使能，并使能于特定的 LVR 电压值， V_{LVR} 。例如在更换电池的情况下，单片机供应的电压可能会在 $0.9V \sim V_{LVR}$ 之间，这时 LVR 将会自动复位单片机且 RSTFC 寄存器中的 LVRF 标志位置位。所谓有效的 LVR 信号，即在 $0.9V \sim V_{LVR}$ 的低电压状态的时间，必须超过 LVD/LVR 电气特性中 t_{LVR} 参数的值。如果低电压存在不超过 t_{LVR} 参数的值，则 LVR 将会忽略它且不会执行复位功能。 V_{LVR} 参数值可通过 LVRC 寄存器中的 LVS7~LVS0 位设置。若由于受到干扰 LVS7~LVS0 变为其它值时，需经过一段延迟时间 t_{SRESET} 后才响应复位。此时 RSTFC 寄存器的 LRF 位被置位。上电后寄存器的值为 01010101B。LVR 会于休眠或空闲时自动除能关闭。



• LVRC 寄存器

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Name	LVS7	LVS6	LVS5	LVS4	LVS3	LVS2	LVS1	LVS0
R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
POR	0	1	1	0	0	1	1	0

Bit 7~0 **LVS7~LVS0**: LVR 电压选择

01100110B: 1.7V

01010101B: 1.9V

00110011B: 2.55V

10011001B: 3.15V

10101010B: 3.8V

11110000B: LVR 除能

其它值: 单片机复位 – 寄存器复位为 POR 值

若低电压情况发生且满足以上定义的低电压复位值, 则单片机复位。当低电压状况保持时间大于 t_{LVR} 后, 响应复位。此时复位后的寄存器内容保持不变。

除了以上定义的低电压复位值外, 其它值也能导致单片机复位。需要经过一段延迟时间 t_{SRESET} 才响应复位。但此时寄存器内容将复位为 POR 值。

• RSTFC 寄存器

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Name	—	—	—	—	RSTF	LVRF	LRF	WRF
R/W	—	—	—	—	R/W	R/W	R/W	R/W
POR	—	—	—	—	0	x	0	0

“x”: 未知

Bit 7~4 未定义, 读为 “0”

Bit 3 **RSTF**: 复位控制寄存器软件复位标志位

详见 “RES 引脚复位” 章节

Bit 2 **LVRF**: LVR 复位标志位

0: 未发生

1: 发生

当特定的低电压复位条件发生时, 此位被置为 “1”, 且只能通过应用程序清零。

Bit 1 **LRF**: LVR 控制寄存器软件复位标志位

0: 未发生

1: 发生

如果 LVRC 寄存器包含任何非定义的 LVR 电压值, 此位被置为 “1”, 这类似于软件复位功能, 且只能通过应用程序清零。

Bit 0 **WRF**: WDT 控制寄存器软件复位标志位

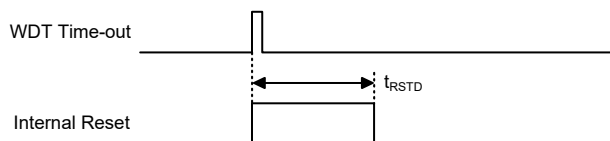
详见 “看门狗定时器控制寄存器” 章节

IAP 复位

当写值 “55H” 至 FC1 寄存器时, 将产生一个复位信号将整个单片机复位。详见 IAP 章节。

正常运行时看门狗溢出复位

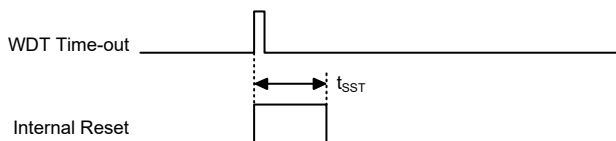
正常运行时看门狗溢出标志位 TO 将被设为“1”。



正常运行时看门狗溢出复位时序图

休眠或空闲时看门狗溢出复位

休眠或空闲时看门狗溢出复位和其它种类的复位有些不同，除了程序计数器与堆栈指针将被清零及 TO 位被设为“1”外，绝大部份的条件保持不变。图中 t_{SST} 的详细说明请参考系统上电时间电气特性。



休眠或空闲时看门狗溢出复位时序图

复位初始状态

不同的复位形式以不同的途径影响复位标志位。这些标志位，即 PDF 和 TO 位存放在状态寄存器中，由休眠或空闲模式功能或看门狗计数器等几种控制器操作控制。复位标志位如下所示：

TO	PDF	复位条件
0	0	上电复位
u	u	快速模式或低速模式时的 $\overline{\text{RES}}$ 复位或 LVR 复位
1	u	快速模式或低速模式时的 WDT 溢出复位
1	1	空闲或休眠模式时的 WDT 溢出复位

“u”：不改变

在单片机上电复位之后，各功能单元初始化的情形，列于下表。

项目	复位后情况
程序计数器	清除为零
中断	所有中断被除能
看门狗定时器，时基	都清除，且 WDT 重新计数
定时器模块	所有定时器模块停止
输入 / 输出口	I/O 口设为输入模式
堆栈指针	堆栈指针指向堆栈顶端

不同的复位形式对单片机内部寄存器的影响是不同的。为保证复位后程序能正常执行，了解寄存器在特定条件复位后的设置是非常重要的。下表即为不同方式复位后内部寄存器的状况。注意对于存在多种封装的单片机，下表反映的是较大封装类型的情况。

寄存器	上电复位	复位 (正常操作)	LVR 复位 (正常操作)	WDT 溢出 (正常操作)	WDT 溢出 (空闲 / 休眠)
IAR0	0000 0000	0000 0000	0000 0000	0000 0000	uuuu uuuu
MP0	0000 0000	0000 0000	0000 0000	0000 0000	uuuu uuuu
IAR1	0000 0000	0000 0000	0000 0000	0000 0000	uuuu uuuu
MP1L	0000 0000	0000 0000	0000 0000	0000 0000	uuuu uuuu
MP1H	0000 0000	0000 0000	0000 0000	0000 0000	uuuu uuuu
ACC	xxxx xxxx	uuuu uuuu	uuuu uuuu	uuuu uuuu	uuuu uuuu
PCL	0000 0000	0000 0000	0000 0000	0000 0000	0000 0000
TBLP	xxxx xxxx	uuuu uuuu	uuuu uuuu	uuuu uuuu	uuuu uuuu
TBLH	xxxx xxxx	uuuu uuuu	uuuu uuuu	uuuu uuuu	uuuu uuuu
TBHP	--xx xxxx	--uu uuuu	--uu uuuu	--uu uuuu	--uu uuuu
STATUS	xx00 xxxx	uuuu uuuu	uu01 uuuu	uu1u uuuu	uu11 uuuu
PBP	---- ---0	---- ---0	---- ---0	---- ---0	---- ---u
IAR2	0000 0000	0000 0000	0000 0000	0000 0000	uuuu uuuu
MP2L	0000 0000	0000 0000	0000 0000	0000 0000	uuuu uuuu
MP2H	0000 0000	0000 0000	0000 0000	0000 0000	uuuu uuuu
RSTFC	---- 0x00	---- uuuu	---- uuuu	---- uuuu	---- uuuu
INTC0	-000 0000	-000 0000	-000 0000	-000 0000	-uuu uuuu
INTC1	0000 0000	0000 0000	0000 0000	0000 0000	uuuu uuuu
INTC2	0000 0000	0000 0000	0000 0000	0000 0000	uuuu uuuu
INTC3	-000 -000	-000 -000	-000 -000	-000 -000	-uuu -uuu
PA	1111 1111	1111 1111	1111 1111	1111 1111	uuuu uuuu
PAC	1111 1111	1111 1111	1111 1111	1111 1111	uuuu uuuu
PAPU	0000 0000	0000 0000	0000 0000	0000 0000	uuuu uuuu
PAWU	0000 0000	0000 0000	0000 0000	0000 0000	uuuu uuuu
PB	1111 1111	1111 1111	1111 1111	1111 1111	uuuu uuuu
PBC	1111 1111	1111 1111	1111 1111	1111 1111	uuuu uuuu
PBPU	0000 0000	0000 0000	0000 0000	0000 0000	uuuu uuuu
PC	1111 1111	1111 1111	1111 1111	1111 1111	uuuu uuuu
PCC	1111 1111	1111 1111	1111 1111	1111 1111	uuuu uuuu
PCPU	0000 0000	0000 0000	0000 0000	0000 0000	uuuu uuuu
PD	1111 1111	1111 1111	1111 1111	1111 1111	uuuu uuuu
PDC	1111 1111	1111 1111	1111 1111	1111 1111	uuuu uuuu
PDPU	0000 0000	0000 0000	0000 0000	0000 0000	uuuu uuuu
PSC0R	---- ---0	---- ---0	---- ---0	---- ---0	---- ---u
PSC1R	---- ---0	---- ---0	---- ---0	---- ---0	---- ---u
SADOL	xxxx ----	xxxx ----	xxxx ----	xxxx ----	uuuu ---- (ADRFS=0)
					uuuu uuuu (ADRFS=1)

寄存器	上电复位	复位 (正常操作)	LVR 复位 (正常操作)	WDT 溢出 (正常操作)	WDT 溢出 (空闲 / 休眠)
SADOH	xxxx xxxx	xxxx xxxx	xxxx xxxx	xxxx xxxx	uuuu uuuu (ADRF5=0) ---- uuuu (ADRF5=1)
SADC0	0000 0000	0000 0000	0000 0000	0000 0000	uuuu uuuu
SADC1	0000 0000	0000 0000	0000 0000	0000 0000	uuuu uuuu
IFS	---- -000	---- -000	---- -000	---- -000	---- -uuu
RSTC	0101 0101	0101 0101	0101 0101	0101 0101	uuuu uuuu
PMPS	---- --00	---- --00	---- --00	---- --00	---- --uu
LVPUC	---- ---0	---- ---0	---- ---0	---- ---0	---- ---u
MFIO	0000 0000	0000 0000	0000 0000	0000 0000	uuuu uuuu
MFI1	--00 --00	--00 --00	--00 --00	--00 --00	--uu --uu
MFI2	--00 --00	--00 --00	--00 --00	--00 --00	--uu --uu
INTEG	0000 0000	0000 0000	0000 0000	0000 0000	uuuu uuuu
SCC	001- --00	001- --00	001- --00	001- --00	uuu- --uu
HIRCC	---- 0001	---- 0001	---- 0001	---- 0001	---- uuuu
LXTC	---- --01	---- --01	---- --01	---- --01	---- --uu
WDTC	0101 0010	0101 0010	0101 0010	0101 0010	uuuu uuuu
LVRC	0110 0110	0110 0110	uuuu uuuu	0110 0110	uuuu uuuu
LVDC	--00 0000	--00 0000	--00 0000	--00 0000	--uu uuuu
EEA	-000 0000	-000 0000	-000 0000	-000 0000	-uuu uuuu
EED	0000 0000	0000 0000	0000 0000	0000 0000	uuuu uuuu
PAS0	00-- 00--	00-- 00--	00-- 00--	00-- 00--	uu-- uu--
PAS1	0000 0000	0000 0000	0000 0000	0000 0000	uuuu uuuu
PBS0	0000 0000	0000 0000	0000 0000	0000 0000	uuuu uuuu
PBS1	00000000	0000 0000	0000 0000	0000 0000	uuuu uuuu
PCS0	0000 0000	0000 0000	0000 0000	0000 0000	uuuu uuuu
PCS1	0000 0000	0000 0000	0000 0000	0000 0000	uuuu uuuu
PDS0	0000 0000	0000 0000	0000 0000	0000 0000	uuuu uuuu
PDS1	0000 0000	0000 0000	0000 0000	0000 0000	uuuu uuuu
STMC0	0000 0---	0000 0---	0000 0---	0000 0---	uuuu u---
STMC1	0000 0000	0000 0000	0000 0000	0000 0000	uuuu uuuu
STMDL	0000 0000	0000 0000	0000 0000	0000 0000	uuuu uuuu
STMDH	0000 0000	0000 0000	0000 0000	0000 0000	uuuu uuuu
STMAL	0000 0000	0000 0000	0000 0000	0000 0000	uuuu uuuu
STMAH	0000 0000	0000 0000	0000 0000	0000 0000	uuuu uuuu
STMRP	0000 0000	0000 0000	0000 0000	0000 0000	uuuu uuuu
CTM0C0	0000 0000	0000 0000	0000 0000	0000 0000	uuuu uuuu
CTM0C1	0000 0000	0000 0000	0000 0000	0000 0000	uuuu uuuu
CTM0DL	0000 0000	0000 0000	0000 0000	0000 0000	uuuu uuuu

寄存器	上电复位	复位 (正常操作)	LVR 复位 (正常操作)	WDT 溢出 (正常操作)	WDT 溢出 (空闲 / 休眠)
CTM0DH	---- --00	---- --00	---- --00	---- --00	---- --uu
CTM0AL	0000 0000	0000 0000	0000 0000	0000 0000	uuuu uuuu
CTM0AH	---- --00	---- --00	---- --00	---- --00	---- --uu
CTM1C0	0000 0000	0000 0000	0000 0000	0000 0000	uuuu uuuu
CTM1C1	0000 0000	0000 0000	0000 0000	0000 0000	uuuu uuuu
CTM1DL	0000 0000	0000 0000	0000 0000	0000 0000	uuuu uuuu
CTM1DH	---- --00	---- --00	---- --00	---- --00	---- --uu
CTM1AL	0000 0000	0000 0000	0000 0000	0000 0000	uuuu uuuu
CTM1AH	---- --00	---- --00	---- --00	---- --00	---- --uu
TB0C	0--- -000	0--- -000	0--- -000	0--- -000	u--- -uuu
TB1C	0--- -000	0--- -000	0--- -000	0--- -000	u--- -uuu
UUCR3	---- ---0	---- ---0	---- ---0	---- ---0	---- ---u
SIMC0	1110 0000	1110 0000	1110 0000	1110 0000	uuuu uuuu
SIMC1 (UMD=0)	1000 0001	1000 0001	1000 0001	1000 0001	uuuu uuuu
UUCR1* (UMD=1)	0000 00x0	0000 00x0	0000 00x0	0000 00x0	uuuu uuuu
SIMD/UTXR_RXR	xxxx xxxx	xxxx xxxx	xxxx xxxx	xxxx xxxx	uuuu uuuu
SIMA/SIMC2/ UUCR2	0000 0000	0000 0000	0000 0000	0000 0000	uuuu uuuu
SIMTOC (UMD=0)	0000 0000	0000 0000	0000 0000	0000 0000	uuuu uuuu
UBRG* (UMD=1)	xxxx xxxx	xxxx xxxx	xxxx xxxx	xxxx xxxx	uuuu uuuu
UUSR	0000 1011	0000 1011	0000 1011	0000 1011	uuuu uuuu
SPIC0	111- --00	111- --00	111- --00	111- --00	uuu- --uu
SPIC1	--00 0000	--00 0000	--00 0000	--00 0000	--uu uuuu
SPID	xxxx xxxx	xxxx xxxx	xxxx xxxx	xxxx xxxx	uuuu uuuu
FARL	0000 0000	0000 0000	0000 0000	0000 0000	uuuu uuuu
FARH	--00 0000	--00 0000	--00 0000	--00 0000	--uu uuuu
FD0L	0000 0000	0000 0000	0000 0000	0000 0000	uuuu uuuu
FD0H	0000 0000	0000 0000	0000 0000	0000 0000	uuuu uuuu
FD1L	0000 0000	0000 0000	0000 0000	0000 0000	uuuu uuuu
FD1H	0000 0000	0000 0000	0000 0000	0000 0000	uuuu uuuu
FD2L	0000 0000	0000 0000	0000 0000	0000 0000	uuuu uuuu
FD2H	0000 0000	0000 0000	0000 0000	0000 0000	uuuu uuuu
FD3L	0000 0000	0000 0000	0000 0000	0000 0000	uuuu uuuu
FD3H	0000 0000	0000 0000	0000 0000	0000 0000	uuuu uuuu
LCDC	0000 0000	0000 0000	0000 0000	0000 0000	uuuu uuuu
TKTMR	0000 0000	0000 0000	0000 0000	0000 0000	uuuu uuuu
TKC0	0000 0010	0000 0010	0000 0010	0000 0010	uuuu uuuu
TKC1	0000 0011	0000 0011	0000 0011	0000 0011	uuuu uuuu
TKC2	---- -001	---- -001	---- -001	---- -001	---- -uuu
TK16DL	0000 0000	0000 0000	0000 0000	0000 0000	uuuu uuuu
TK16DH	0000 0000	0000 0000	0000 0000	0000 0000	uuuu uuuu

寄存器	上电复位	复位 (正常操作)	LVR 复位 (正常操作)	WDT 溢出 (正常操作)	WDT 溢出 (空闲 / 休眠)
TKM0C0	--0- 0000	--0- 0000	--0- 0000	--0- 0000	--u- uuuu
TKM0C1	0-00 0000	0-00 0000	0-00 0000	0-00 0000	u-uu uuuu
TKM0C2	1110 0100	1110 0100	1110 0100	1110 0100	uuuu uuuu
TKM016DL	0000 0000	0000 0000	0000 0000	0000 0000	uuuu uuuu
TKM016DH	0000 0000	0000 0000	0000 0000	0000 0000	uuuu uuuu
TKM0ROL	0000 0000	0000 0000	0000 0000	0000 0000	uuuu uuuu
TKM0ROH	---- --00	---- --00	---- --00	---- --00	---- --uu
TKM0TH16L	0000 0000	0000 0000	0000 0000	0000 0000	uuuu uuuu
TKM0TH16H	0000 0000	0000 0000	0000 0000	0000 0000	uuuu uuuu
TKM0THS	0000 0000	0000 0000	0000 0000	0000 0000	uuuu uuuu
TKM1C0	--0- 0000	--0- 0000	--0- 0000	--0- 0000	--u- uuuu
TKM1C1	0-00 0000	0-00 0000	0-00 0000	0-00 0000	u-uu uuuu
TKM1C2	1110 0100	1110 0100	1110 0100	1110 0100	uuuu uuuu
TKM116DL	0000 0000	0000 0000	0000 0000	0000 0000	uuuu uuuu
TKM116DH	0000 0000	0000 0000	0000 0000	0000 0000	uuuu uuuu
TKM1ROL	0000 0000	0000 0000	0000 0000	0000 0000	uuuu uuuu
TKM1ROH	---- --00	---- --00	---- --00	---- --00	---- --uu
TKM1TH16L	0000 0000	0000 0000	0000 0000	0000 0000	uuuu uuuu
TKM1TH16H	0000 0000	0000 0000	0000 0000	0000 0000	uuuu uuuu
TKM1THS	0000 0000	0000 0000	0000 0000	0000 0000	uuuu uuuu
TKM2C0	--0- 0000	--0- 0000	--0- 0000	--0- 0000	--u- uuuu
TKM2C1	0-00 0000	0-00 0000	0-00 0000	0-00 0000	u-uu uuuu
TKM2C2	1110 0100	1110 0100	1110 0100	1110 0100	uuuu uuuu
TKM216DL	0000 0000	0000 0000	0000 0000	0000 0000	uuuu uuuu
TKM216DH	0000 0000	0000 0000	0000 0000	0000 0000	uuuu uuuu
TKM2ROL	0000 0000	0000 0000	0000 0000	0000 0000	uuuu uuuu
TKM2ROH	---- --00	---- --00	---- --00	---- --00	---- --uu
TKM2TH16L	0000 0000	0000 0000	0000 0000	0000 0000	uuuu uuuu
TKM2TH16H	0000 0000	0000 0000	0000 0000	0000 0000	uuuu uuuu
TKM2THS	0000 0000	0000 0000	0000 0000	0000 0000	uuuu uuuu
TKM3C0	--0- 0000	--0- 0000	--0- 0000	--0- 0000	--u- uuuu
TKM3C1	0-00 0000	0-00 0000	0-00 0000	0-00 0000	u-uu uuuu
TKM3C2	1110 0100	1110 0100	1110 0100	1110 0100	uuuu uuuu
TKM316DL	0000 0000	0000 0000	0000 0000	0000 0000	uuuu uuuu
TKM316DH	0000 0000	0000 0000	0000 0000	0000 0000	uuuu uuuu
TKM3ROL	0000 0000	0000 0000	0000 0000	0000 0000	uuuu uuuu
TKM3ROH	---- --00	---- --00	---- --00	---- --00	---- --uu
TKM3TH16L	0000 0000	0000 0000	0000 0000	0000 0000	uuuu uuuu
TKM3TH16H	0000 0000	0000 0000	0000 0000	0000 0000	uuuu uuuu
TKM3THS	0000 0000	0000 0000	0000 0000	0000 0000	uuuu uuuu

寄存器	上电复位	复位 (正常操作)	LVR 复位 (正常操作)	WDT 溢出 (正常操作)	WDT 溢出 (空闲 / 休眠)
EEC	---- 0000	---- 0000	---- 0000	---- 0000	---- uuuu
FC0	0000 0000	0000 0000	0000 0000	0000 0000	uuuu uuuu
FC1	0000 0000	0000 0000	0000 0000	0000 0000	uuuu uuuu
FC2	---- --0	---- --0	---- --0	---- --0	---- --u
TKM4C0	--0- 0000	--0- 0000	--0- 0000	--0- 0000	--u- uuuu
TKM4C1	0-00 0000	0-00 0000	0-00 0000	0-00 0000	u-uu uuuu
TKM4C2	1110 0100	1110 0100	1110 0100	1110 0100	uuuu uuuu
TKM416DL	0000 0000	0000 0000	0000 0000	0000 0000	uuuu uuuu
TKM416DH	0000 0000	0000 0000	0000 0000	0000 0000	uuuu uuuu
TKM4ROL	0000 0000	0000 0000	0000 0000	0000 0000	uuuu uuuu
TKM4ROH	---- --00	---- --00	---- --00	---- --00	---- --uu
TKM4TH16L	0000 0000	0000 0000	0000 0000	0000 0000	uuuu uuuu
TKM4TH16H	0000 0000	0000 0000	0000 0000	0000 0000	uuuu uuuu
TKM4THS	0000 0000	0000 0000	0000 0000	0000 0000	uuuu uuuu

注：“u”表示不改变

“x”表示未知

“-”表示未定义

“*”：UUCR1 和 SIMC1 寄存器共用同一个存储器地址，UBRG 和 SIMTOC 寄存器共用同一个存储器地址。复位发生后，通过应用程序手动设置 UMD 位为“1”后可获得 UUCR1 和 UBRG 寄存器的默认值

输入 / 输出端口

Holtek 单片机的输入 / 输出控制具有很大的灵活性。大部分引脚可在用户程序控制下被设定为输入或输出。所有引脚的上拉电阻设置以及指定引脚的唤醒设置也都由软件控制，这些特性也使得此类单片机在广泛应用上都能符合开发的需求。

该单片机提供 PA~PD 双向输入 / 输出。这些寄存器在数据存储器有特定的地址。所有 I/O 口用于输入输出操作。作为输入操作，输入引脚无锁存功能，也就是说输入数据必须在执行“MOV A, [m]”，T2 的上升沿准备好，m 为端口地址。对于输出操作，所有数据都是被锁存的，且保持不变直到输出锁存被重写。

寄存器名称	位							
	7	6	5	4	3	2	1	0
PA	PA7	PA6	PA5	PA4	PA3	PA2	PA1	PA0
PAC	PAC7	PAC6	PAC5	PAC4	PAC3	PAC2	PAC1	PAC0
PAPU	PAPU7	PAPU6	PAPU5	PAPU4	PAPU3	PAPU2	PAPU1	PAPU0
PAWU	PAWU7	PAWU6	PAWU5	PAWU4	PAWU3	PAWU2	PAWU1	PAWU0
PB	PB7	PB6	PB5	PB4	PB3	PB2	PB1	D0
PBC	PBC7	PBC6	PBC5	PBC4	PBC3	PBC2	PBC1	D0
PBPU	PBPU7	PBPU6	PBPU5	PBPU4	PBPU3	PBPU2	PBPU1	D0
PC	PC7	PC6	PC5	PC4	PC3	PC2	PC1	PC0
PCC	PCC7	PCC6	PCC5	PCC4	PCC3	PCC2	PCC1	PCC0
PCPU	PCPU7	PCPU6	PCPU5	PCPU4	PCPU3	PCPU2	PCPU1	PCPU0

寄存器名称	位							
	7	6	5	4	3	2	1	0
PD	PD7	PD6	PD5	PD4	PD3	PD2	PD1	PD0
PDC	PDC7	PDC6	PDC5	PDC4	PDC3	PDC2	PDC1	PDC0
PDPUC	PDPUC7	PDPUC6	PDPUC5	PDPUC4	PDPUC3	PDPUC2	PDPUC1	PDPUC0
LVPUC	—	—	—	—	—	—	—	LVPUC

“—”：未定义

D0：保留，固定为“0”

I/O 逻辑功能寄存器列表

上拉电阻

许多产品应用在端口处于输入状态时需要外加一个上拉电阻来实现上拉的功能。为了免去外部上拉电阻，当引脚规划为数字输入时，可由内部连接到一个上拉电阻。这些上拉电阻可通过相应的上拉控制寄存器 PxPU 和寄存器 LVPUC 来设置，它用一个 PMOS 晶体管来实现上拉电阻功能。PxPU 寄存器用于确定是否使能上拉功能，而 LVPUC 寄存器用于为低电压电源供电应用选择上拉电阻值。

需要注意的是，当 I/O 引脚设为数字输入或 NMOS 输出时，上拉功能才会受相关上拉控制寄存器控制开启，其它状态下上拉功能不可用。

• PxPU 寄存器

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Name	PxPU7	PxPU6	PxPU5	PxPU4	PxPU3	PxPU2	PxPU1	PxPU0
R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
POR	0	0	0	0	0	0	0	0

PxPUn：I/O Px 口上拉电阻控制位

0：除能

1：使能

PxPUn 位用于控制上拉电阻功能。这里的 x 可以是端口 A、B、C 或 D。但是，每个 I/O 端口实际有效位可能不同。

• LVPUC 寄存器

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Name	—	—	—	—	—	—	—	LVPUC
R/W	—	—	—	—	—	—	—	R/W
POR	—	—	—	—	—	—	—	0

Bit 7~1 未定义，读为“0”

Bit 0 **LVPUC**：低电压电源供电下上拉电阻选择

0：所有引脚上拉电阻为 60kΩ (typ.) @ 3V

1：所有引脚上拉电阻为 15kΩ (typ.) @ 3V

此位用于为低电压电源供电的应用选择上拉电阻值。LVPUC 位仅在通过置位相关上拉控制位使能相应引脚上拉功能后有效。上拉功能除能时此位无效。

PA 口唤醒

当使用暂停指令“HALT”迫使单片机进入休眠或空闲模式，单片机的系统时钟将会停止以降低功耗，此功能对于电池及低功耗应用很重要。唤醒单片机有很多种方法，其中之一就是使 PA 口的其中一个引脚从高电平转为低电平。这个功能特别适合于通过外部开关来唤醒的应用。PA 口的每个引脚可以通过设置 PAWU 寄存器来单独选择是否具有唤醒功能。

需要注意的是，只有当引脚功能为通用输入功能且单片机处于空闲 / 休眠模式时，唤醒功能才会受 PAWU 控制开启，其它状态下此唤醒功能不可用。

• PAWU 寄存器

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Name	PAWU7	PAWU6	PAWU5	PAWU4	PAWU3	PAWU2	PAWU1	PAWU0
R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
POR	0	0	0	0	0	0	0	0

PAWUn: PA 端口引脚唤醒功能控制位

0: 除能

1: 使能

输入 / 输出端口控制寄存器

每一个输入 / 输出口都具有各自的控制寄存器用来控制输入 / 输出状态。从而每个 I/O 引脚都可以通过软件控制，动态的设置为 CMOS 输出或输入。所有的 I/O 端口的引脚都各自对应于 I/O 端口控制的某一位。若 I/O 引脚要实现输入功能，则对应的控制寄存器的位需要设置为“1”。这时程序指令可以直接读取输入脚的逻辑状态。若控制寄存器相应的位被设定为“0”，则此引脚被设置为 CMOS 输出。当引脚设置为输出状态时，程序指令读取的是输出端口寄存器的内容。注意，如果对输出口做读取动作时，程序读取到的是内部输出数据锁存器中的状态，而不是输出引脚上实际的逻辑状态。

• PxC 寄存器

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Name	PxC7	PxC6	PxC5	PxC4	PxC3	PxC2	PxC1	PxC0
R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
POR	1	1	1	1	1	1	1	1

PxCn: I/O Px 口类型选择位

0: 输出

1: 输入

PxCn 位用于控制引脚类型。这里的 x 可以是端口 A、B、C 或 D。但是，每个 I/O 端口实际有效位可能不同。

输入 / 输出端口电源控制

该单片机的 PC0~PC3 引脚支持不同的 I/O 口电源。它们的端口电源可来自电源引脚 VDD 或 VDDIO，通过 PMPS 寄存器的 PMPS1~PMPS0 位选择。除 RES 引脚和 OCDS 专用引脚外，多电源功能仅适用于选择引脚作为数字输入或输出时的引脚共用功能。该端口电源可用于各种电压接口应用，如 SPI/I²C/UART。若端口电源选择来自 VDDIO 引脚，需先通过相关的引脚共用功能选择位选择 VDDIO 引脚功能。特别注意，当 VDDIO 引脚被选作端口电源时，其输入电源电压必须等于或小于单片机的电源电压。

● PMPS 寄存器

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Name	—	—	—	—	—	—	PMPS1	PMPS0
R/W	—	—	—	—	—	—	R/W	R/W
POR	—	—	—	—	—	—	0	0

Bit 7~2 未定义，读为“0”

Bit 1~0 **PMPS1~PMPS0**: PC0~PC3 引脚电源选择位

0x: VDD

1x: VDDIO

若 PA3 引脚共用功能切换为 VDDIO，则可通过设置 PMPS[1:0] 的值为“1x”，将 VDDIO 输入电压用作 PC0~PC3 I/O 端口电源。注意 VDDIO 引脚上的输入电源电压应等于或小于单片机电源电压。

引脚共用功能

引脚的多功能可以增加单片机应用的灵活性。有限的引脚个数将会限制设计者，而引脚的多功能将会解决很多此类问题。此外，这些引脚功能可以通过一系列寄存器进行设定。

引脚共用功能选择寄存器

封装中有限的引脚个数会对某些单片机功能造成影响。然而，引脚功能共用和引脚功能选择，使得小封装单片机具有更多不同的功能。单片机包含端口“x”输出功能选择寄存器“n”，记为 PxSn，和输入功能选择寄存器记为 IFS，这些寄存器可以用来选择共用引脚的特定功能。

要注意的最重要一点是，确保所需的引脚共用功能被正确地选择和取消。对于大多数的引脚共用功能，要选择所需的引脚共用功能，首先应通过相应的引脚共用控制寄存器正确地选择该功能，然后再配置相应的外围功能设置以使能外围功能。但是，在设置相关引脚控制字段时，一些数字输入引脚如 INTn、xTCKn 等，与对应的通用 I/O 口共用同一个引脚共用设置选项。要选择这些引脚功能，除了上述的必要的引脚共用控制和外围功能设置外，还必须将其对应的端口控制寄存器位设置为输入。要正确地取消引脚共用功能，首先应除能外围功能，然后再修改相应的引脚共用控制寄存器以选择其它的共用功能。

寄存器名称	位							
	7	6	5	4	3	2	1	0
PAS0	PAS07	PAS06	—	—	PAS03	PAS02	—	—
PAS1	PAS17	PAS16	PAS15	PAS14	PAS13	PAS12	PAS11	PAS10
PBS0	PBS07	PBS06	PBS05	PBS04	PBS03	PBS02	D1	D0
PBS1	PBS17	PBS16	PBS15	PBS14	PBS13	PBS12	PBS11	PBS10
PCS0	PCS07	PCS06	PCS05	PCS04	PCS03	PCS02	PCS01	PCS00
PCS1	PCS17	PCS16	PCS15	PCS14	PCS13	PCS12	PCS11	PCS10
PDS0	PDS07	PDS06	PDS05	PDS04	PDS03	PDS02	PDS01	PDS00
PDS1	PDS17	PDS16	PDS15	PDS14	PDS13	PDS12	PDS11	PDS10
IFS	—	—	—	—	—	SCKSCLPS	SCSBPS	RXPS

引脚共用功能选择寄存器列表

● PAS0 寄存器

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Name	PAS07	PAS06	—	—	PAS03	PAS02	—	—
R/W	R/W	R/W	—	—	R/W	R/W	—	—
POR	0	0	—	—	0	0	—	—

Bit 7~6 **PAS07~PAS06:** PA3 引脚共用功能选择
00/01: PA3
10: STP
11: VDDIO

Bit 5~4 未定义, 读为 “0”

Bit 3~2 **PAS03~PAS02:** PA1 引脚共用功能选择
00/01: PA1
10: CTP1
11: KEY12

Bit 1~0 未定义, 读为 “0”

● PAS1 寄存器

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Name	PAS17	PAS16	PAS15	PAS14	PAS13	PAS12	PAS11	PAS10
R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
POR	0	0	0	0	0	0	0	0

Bit 7~6 **PAS17~PAS16:** PA7 引脚共用功能选择
00/01: PA7
10: SPISCK
11: KEY11

Bit 5~4 **PAS15~PAS14:** PA6 引脚共用功能选择
00/01 PA6
10: SPISDO
11: KEY10

Bit 3~2 **PAS13~PAS12:** PA5 引脚共用功能选择
00/01: PA5
10: SPISDI
11: KEY9

Bit 1~0 **PAS11~PAS10:** PA4 引脚共用功能选择
00: PA4
01: SPISCS
10: KEY8
11: VREF

● PBS0 寄存器

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Name	PBS07	PBS06	PBS05	PBS04	PBS03	PBS02	D1	D0
R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
POR	0	0	0	0	0	0	0	0

Bit 7~6 **PBS07~PBS06:** PB3 引脚共用功能选择
00: PB3
01: CTP0
10: KEY3
11: AN3

- Bit 5~4 **PBS05~PBS04:** PB2 引脚共用功能选择
 00: PB2/CTCK0
 01: PB2/CTCK0
 10: KEY2
 11: AN2
- Bit 3~2 **PBS03~PBS02:** PB1 引脚共用功能选择
 00: PB1
 01: STPB
 10: KEY1
 11: AN1
- Bit 1~0 **D1~D0:** 保留, 固定为“00”

● **PBS1 寄存器**

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Name	PBS17	PBS16	PBS15	PBS14	PBS13	PBS12	PBS11	PBS10
R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
POR	0	0	0	0	0	0	0	0

- Bit 7~6 **PBS17~PBS16:** PB7 引脚共用功能选择
 00: PB7/INT3
 01: PB7/INT3
 10: KEY7
 11: AN7
- Bit 5~4 **PBS15~PBS14:** PB6 引脚共用功能选择
 00: PB6/INT2/STPI
 01: PB6/INT2/STPI
 10: KEY6
 11: AN6
- Bit 3~2 **PBS13~PBS12:** PB5 引脚共用功能选择
 00: PB5/INT1
 01: CTP1B
 10: KEY5
 11: AN5
- Bit 1~0 **PBS11~PBS10:** PB4 引脚共用功能选择
 00: PB4/INT0
 01: CTP0B
 10: KEY4
 11: AN4

● **PCS0 寄存器**

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Name	PCS07	PCS06	PCS05	PCS04	PCS03	PCS02	PCS01	PCS00
R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
POR	0	0	0	0	0	0	0	0

- Bit 7~6 **PCS07~PCS06:** PC3 引脚共用功能选择
 00/01: PC3
 10: SCK/SCL
 11: KEY20
- Bit 5~4 **PCS05~PCS04:** PC2 引脚共用功能选择
 00/01: PC2
 10: SDO/UTX
 11: KEY19

- Bit 3~2 **PCS03~PCS02:** PC1 引脚共用功能选择
00/01: PC1
10: SDI/SDA/URX/UTX
11: KEY18
- Bit 1~0 **PCS01~PCS00:** PC0 引脚共用功能选择
00/01: PC0
10: $\overline{SCS}$
11: KEY17

● **PCS1 寄存器**

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Name	PCS17	PCS16	PCS15	PCS14	PCS13	PCS12	PCS11	PCS10
R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
POR	0	0	0	0	0	0	0	0

- Bit 7~4 **PCS17~PCS16:** PC7 引脚共用功能选择
00/01/10: PC7
11: KEY16
- Bit 5~4 **PCS15~PCS14:** PC6 引脚共用功能选择
00/01/10: PC6
11: KEY15
- Bit 3~2 **PCS13~PCS12:** PC5 引脚共用功能选择
00/01/10: PC5
11: KEY14
- Bit 1~0 **PCS11~PCS10:** PC4 引脚共用功能选择
00/01/10: PC4
11: KEY13

● **PDS0 寄存器**

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Name	PDS07	PDS06	PDS05	PDS04	PDS03	PDS02	PDS01	PDS00
R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
POR	0	0	0	0	0	0	0	0

- Bit 7~6 **PDS07~PDS06:** PD3 引脚共用功能选择
00/01: PD3
10: SCK/SCL
11: SEG28
- Bit 5~4 **PDS05~PDS04:** PD2 引脚共用功能选择
00/01: PD2
10: SDO/UTX
11: SEG29
- Bit 3~2 **PDS03~PDS02:** PD1 引脚共用功能选择
00/01: PD1
10: SDI/SDA/URX/UTX
11: SEG30
- Bit 1~0 **PDS01~PDS00:** PD0 引脚共用功能选择
00/01: PD0
10: $\overline{SCS}$
11: SEG31

● **PDS1 寄存器**

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Name	PDS17	PDS16	PDS15	PDS14	PDS13	PDS12	PDS11	PDS10
R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
POR	0	0	0	0	0	0	0	0

Bit 7~6 **PDS17~PDS16:** PD7 引脚共用功能选择
00/01/10: PD7
11: SEG24

Bit 5~4 **PDS15~PDS14:** PD6 引脚共用功能选择
00/01/10: PD6
11: SEG25

Bit 3~2 **PDS13~PDS12:** PD5 引脚共用功能选择
00/01/10: PD5
11: SEG26

Bit 1~0 **PDS11~PDS10:** PD4 引脚共用功能选择
00/01/10: PD4
11: SEG27

● **IFS 寄存器**

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Name	—	—	—	—	—	SCKSCLPS	SCSBPS	RXPS
R/W	—	—	—	—	—	R/W	R/W	R/W
POR	—	—	—	—	—	0	0	0

Bit 7~3 未定义，读为“0”

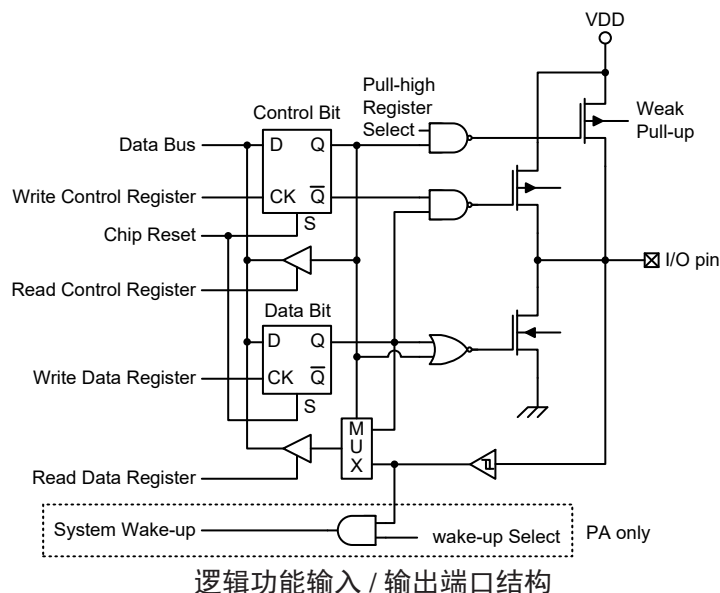
Bit 2 **SCKSCLPS:** SCK/SCL 输入源引脚选择
0: PC3(默认)
1: PD3

Bit 1 **SCSBPS:** $\overline{\text{SCS}}$ 输入源引脚选择
0: PC0(默认)
1: PD0

Bit 0 **RXPS:** SDI/SDA/URX/UTX 输入源引脚选择
0: PC1(默认)
1: PD1

输入 / 输出引脚结构

下图为输入 / 输出引脚逻辑功能的内部结构图。输入 / 输出引脚的准确逻辑结构图可能与此图不同，这里只是为了方便对 I/O 引脚逻辑功能的理解提供一个参考。由于存在诸多的引脚共用结构，在此不方便提供所有类型引脚功能结构图。



编程注意事项

在编程中，最先要考虑的是端口的初始化。复位之后，所有的输入 / 输出数据及端口控制寄存器都将被设为逻辑高。所有输入 / 输出引脚默认为输入状态，而其电平则取决于其它相连接电路以及是否选择了上拉电阻。如果端口控制寄存器将某些引脚设定为输出状态，这些输出引脚会有初始高电平输出，除非端口数据寄存器在程序中被预先设定。设置哪些引脚是输入及哪些引脚是输出，可通过设置正确的值到对应的端口控制寄存器，或使用指令“SET [m].i”及“CLR [m].i”来设定端口控制寄存器中个别的位。注意，当使用这些位控制指令时，系统即将产生一个读 - 修改 - 写的操作。单片机需要先读入整个端口上的数据，修改个别的位，然后重新把这些数据写入到输出端口。

PA 口的每个引脚都带唤醒功能。单片机处于休眠或空闲模式时，有很多方法可以唤醒单片机，其中之一就是通过 PA 任一引脚电平从高到低转换的方式，可以设置 PA 口一个或多个引脚具有唤醒功能。

定时器模块 – TM

控制和测量时间在任何单片机中都是一个很重要的部分。该单片机提供几个定时器模块 (简称 TM)，来实现和时间有关的功能。定时器模块是包括多种操作的定时单元，提供的操作有：定时 / 事件计数器，捕捉输入，比较匹配输出，单脉冲输出以及 PWM 输出等功能。每个定时器模块有两个独立中断。每个 TM 外加的输入输出引脚，扩大了定时器的灵活性，便于用户使用。

这里只介绍各种 TM 的共性，更多详细资料请参考简易型和标准型定时器章节。

简介

该单片机包含多个 TM，每个 TM 可被划分为一个特定的类型，即简易型 TM 或标准型 TM。虽然性质相似，但不同 TM 特性复杂度不同。本章介绍简易型和标准型 TM 的共性，更多详细资料分别见后面各章。两种类型 TM 的特性和区别见下表。

TM 功能	CTM	STM
定时 / 计数器	√	√
捕捉输入	—	√
比较匹配输出	√	√
PWM 输出	√	√
单脉冲输出	—	√
PWM 对齐方式	边沿对齐	边沿对齐
PWM 调节周期 & 占空比	占空比或周期	占空比或周期

TM 功能概要

TM 操作

不同类型的 TM 提供从简单的定时操作到 PWM 信号产生等多种功能。理解 TM 操作的关键是比较 TM 内独立运行的计数器的值与内部比较器的预置值。当计数器的值与比较器的预置值相同时，则比较匹配，TM 中断信号产生，清零计数器并改变 TM 输出引脚的状态。用户选择内部时钟或外部时钟来驱动内部 TM 计数器。

TM 时钟源

驱动 TM 计数器的时钟源很多。通过设置 xTMn 控制寄存器的 xTnCK2~xTnCK0 位，选择所需的时钟源，其中 x 代表 C 或 S 类型，n 代表具体 TM 编号。由于该单片机只含有一个 STM，STM 相关的引脚，寄存器和控制位都不带编号。该时钟源来自系统时钟 f_{sys} 的分频比或内部高速时钟 f_H 或 f_{SUB} 时钟源或外部 xTCKn 引脚。xTCKn 引脚时钟源用于允许外部信号作为 TM 时钟源或用于事件计数。

TM 中断

每个简易型或标准型 TM 都有两个内部中断，分别是内部比较器 A 或比较器 P，当比较匹配发生时产生 TM 中断。当 TM 中断产生时，计数器清零并改变 TM 输出引脚的状态。

TM 外部引脚

无论哪种类型的 TM，都有一个 TM 输入引脚 xTCKn。xTMn 输入引脚 xTCKn 作为 xTMn 时钟源输入脚，通过设置 xTMnC0 寄存器中的 xTnCK2~xTnCK0 位进行选择。外部时钟源可通过该引脚来驱动内部 TM。TM 引脚可选择上升沿有效或下降沿有效。其中 STCK 引脚还可用作 STM 单脉冲输出模式的外部触发引脚。

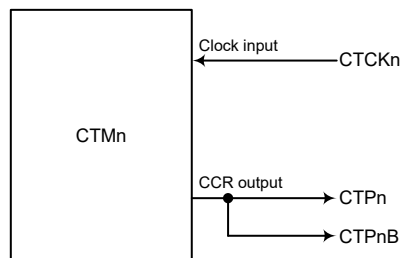
STM 的另一个输入引脚 STPI 作为捕捉输入脚，其有效边沿有上升沿、下降沿和双沿，通过设置 STMC1 寄存器中的 STIO1~STIO0 位来选择有效边沿类型。

每个 TM 都有两个输出引脚 xTPn 和 xTPnB。当 TM 工作在比较匹配输出模式且比较匹配发生时，这些引脚会由 TM 控制切换到高电平或低电平或翻转。外部 xTPn 和 xTPnB 输出引脚也被 TM 用来产生 PWM 输出波形。

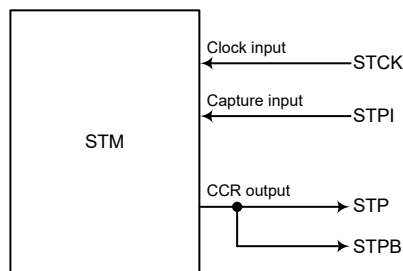
当 TM 输入 / 输出引脚与其它功能共用时，TM 输入 / 输出功能需要事先通过相关引脚共用功能选择寄存器设置。更多引脚共用功能选择详见引脚共用功能章节。

CTM		STM	
输入	输出	输入	输出
CTCK0 CTCK1	CTP0, CTP0B CTP1, CTP1B	STCK, STPI	STP, STPB

TM 外部引脚



CTMn 功能引脚框图 (n=0~1)

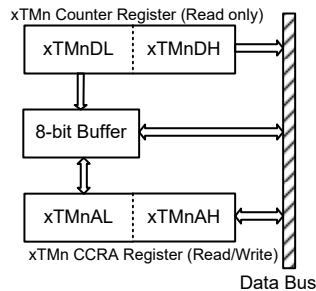


STM 功能引脚框图

编程注意事项

TM 计数寄存器和捕捉 / 比较寄存器 CCRA，含有低字节和高字节结构。高字节可直接访问，低字节则仅能通过一个内部 8-bit 的缓存器进行访问。值得注意的是 8-bit 缓存器的存取数据及相关低字节的读写操作仅在其相应的高字节读取操作执行时发生。

CCRA 寄存器访问方式如下图所示，读写这些成对的寄存器需通过特殊的方式。建议使用“MOV”指令按照以下步骤访问 CCRA 低字节寄存器，即 xTMnAL，否则可能导致无法预期的结果。

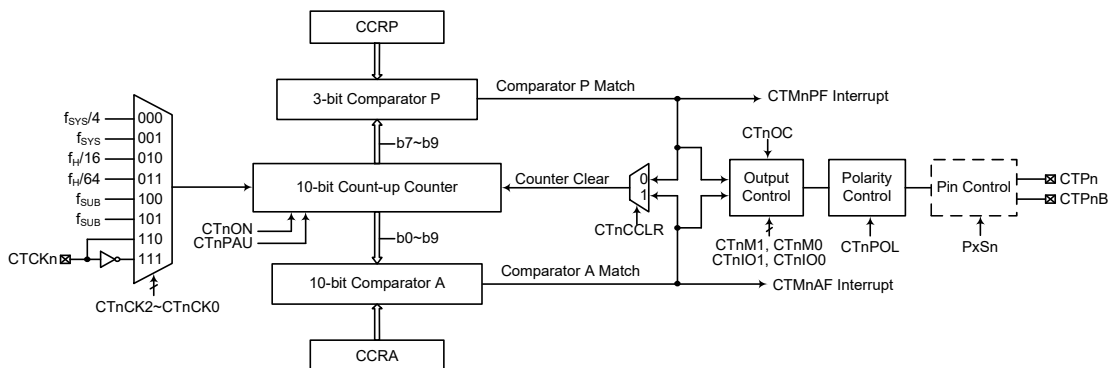


读写流程如下步骤所示：

- 写数据至 CCRA
 - ◆ 步骤 1. 写数据至低字节寄存器 xTMnAL
 - 注意，此时数据仅写入 8-bit 缓存器。
 - ◆ 步骤 2. 写数据至高字节寄存器 xTMnAH
 - 注意，此时数据直接写入高字节寄存器，同时锁存在 8-bit 缓存器中的数据写入低字节寄存器。
- 由计数器寄存器和 CCRA 中读取数据
 - ◆ 步骤 1. 由高字节寄存器 xTMnDH、xTMnAH 读取数据
 - 注意，此时高字节寄存器中的数据直接读取，同时由低字节寄存器读取的数据锁存至 8-bit 缓存器中。
 - ◆ 步骤 2. 由低字节寄存器 xTMnDL、xTMnAL 读取数据
 - 注意，此时读取 8-bit 缓存器中的数据。

简易型 TM – CTM

简易型 TM 包括三种工作模式，即比较匹配输出，定时 / 事件计数器和 PWM 输出模式。简易型 TM 由一个外部输入脚控制并驱动两个外部输出脚。



注：CTPnB 为 CTPn 引脚的反相输出。

简易型 TM 方框图 (n=0~1)

简易型 TM 操作

简易型 TM 核心是一个由用户选择的内部或外部时钟源驱动的 10 位向上计数器，它还包括两个内部比较器即比较器 A 和比较器 P。这两个比较器将计数器的值与 CCRP 和 CCRA 寄存器中的值进行比较。CCRP 是 3 位的，与计数器的高 3 位比较；而 CCRA 是 10 位的，与计数器的所有位比较。

通过应用程序改变 10 位计数器值的唯一方法是使 CTnON 位发生上升沿跳变清除计数器。此外，计数器溢出或比较匹配也会自动清除计数器。上述条件发生时，通常情况会产生 CTMn 中断信号。简易型 TM 可工作在不同的模式，可由包括来自输入脚的不同时钟源驱动，也可以控制一个输出脚。所有工作模式的设定都是通过设置相关寄存器来实现的。

简易型 TM 寄存器介绍

简易型 TM 的所有操作由对应的几个寄存器控制。一对只读寄存器用来存放 10 位计数器的值，一对读 / 写寄存器存放 10 位 CCRA 的值，剩下两个控制寄存器设置不同的操作和控制模式以及 CCRP 的 3 个位。

寄存器名称	位							
	7	6	5	4	3	2	1	0
CTMnC0	CTnPAU	CTnCK2	CTnCK1	CTnCK0	CTnON	CTnRP2	CTnRP1	CTnRP0
CTMnC1	CTnM1	CTnM0	CTnIO1	CTnIO0	CTnOC	CTnPOL	CTnDPX	CTnCCLR
CTMnDL	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
CTMnDH	—	—	—	—	—	—	D9	D8
CTMnAL	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
CTMnAH	—	—	—	—	—	—	D9	D8

10-bit 简易型 TM 寄存器列表 (n=0~1)

• CTMnC0 寄存器

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Name	CTnPAU	CTnCK2	CTnCK1	CTnCK0	CTnON	CTnRP2	CTnRP1	CTnRP0
R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
POR	0	0	0	0	0	0	0	0

Bit 7 **CTnPAU**: CTMn 计数器暂停控制

0: 运行
1: 暂停

通过设置此位为高可使计数器暂停，清零此位恢复正常计数器操作。当处于暂停状态时，CTMn 保持上电状态并继续耗电。当此位由低到高转换时，计数器将保留其剩余值，直到此位再次改变为低电平，从此值开始继续计数。

Bit 6~4 **CTnCK2~CTnCK0**: 选择 CTMn 计数时钟

000: $f_{SYS}/4$
001: f_{SYS}
010: $f_H/16$
011: $f_H/64$
100: f_{SUB}
101: f_{SUB}
110: CTCKn 上升沿时钟
111: CTCKn 下降沿时钟

此三位用于选择 CTMn 的时钟源。外部引脚时钟源能被选择在上升沿或下降沿有效。 f_{SYS} 是系统时钟， f_H 和 f_{SUB} 是其它的内部时钟源，细节方面请参考振荡器章节。

Bit 3 **CTnON**: CTMn 计数器 On/Off 控制位

0: Off
1: On

此位控制 CTMn 的总开关功能。设置此位为高则使能计数器使其运行，清零此位则除能 CTMn。清零此位将停止计数器并关闭 CTMn 减少耗电。当此位由低到高转换时，内部计数器值将复位为零；当此位由高到低转换时，内部计数器将保持其剩余值。

若 CTMn 处于比较匹配输出模式或 PWM 输出模式时，当 CTnON 位经由低到高的转换时，CTMn 输出脚将复位至 CTnOC 位指定的初始值。

Bit 2~0 **CTnRP2~CTnRP0**: CTMn CCRP 3-bit 寄存器，与 CTMn 计数器 bit 9~bit 7 比较器 P 匹配周期 =

000: 1024 个 CTMn 时钟周期
001: 128 个 CTMn 时钟周期
010: 256 个 CTMn 时钟周期
011: 384 个 CTMn 时钟周期
100: 512 个 CTMn 时钟周期
101: 640 个 CTMn 时钟周期
110: 768 个 CTMn 时钟周期
111: 896 个 CTMn 时钟周期

此三位设定内部 CCRP 3-bit 寄存器的值，然后与内部计数器的高三位进行比较。如果 CTnCCLR 位设定为 0 时，该比较结果用于清除内部计数器。CTnCCLR 位设为低，内部计数器在比较器 P 比较匹配发生时被重置；由于 CCRP 只与计数器高三位比较，比较结果是 128 时钟周期的倍数。CCRP 被清零时，实际上会使得计数器在最大值溢出。

• CTMnC1 寄存器

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Name	CTnM1	CTnM0	CTnIO1	CTnIO0	CTnOC	CTnPOL	CTnDPX	CTnCCLR
R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
POR	0	0	0	0	0	0	0	0

Bit 7~6 **CTnM1~CTnM0**: 选择 CTMn 工作模式

- 00: 比较匹配输出模式
- 01: 未定义
- 10: PWM 输出模式
- 11: 定时 / 计数器模式

这两位设置 CTMn 需要的工作模式。为了确保操作可靠，CTMn 应在 CTnM1 和 CTnM0 位有任何改变前先关掉。在定时 / 计数器模式，CTMn 输出脚状态未定义。

Bit 5~4 **CTnIO1~CTnIO0**: 选择 CTPn 输出功能位

比较匹配输出模式

- 00: 无变化
- 01: 输出低
- 10: 输出高
- 11: 输出翻转

PWM 输出模式

- 00: 强制无效状态
- 01: 强制有效状态
- 10: PWM 输出
- 11: 未定义

定时 / 计数器模式

未使用

此两位用于决定在一定条件达到时 CTMn 输出脚如何改变状态。这两位值的选择取决于 CTMn 运行在何种模式下。

在比较匹配输出模式下，CTnIO1 和 CTnIO0 位决定当比较器 A 比较匹配输出发生时 CTMn 输出脚如何改变状态。当比较器 A 比较匹配输出发生时 CTMn 输出脚能设为切换高、切换低或翻转当前状态。若此两位同时为 0 时，这个输出将不会改变。CTMn 输出脚的初始值通过 CTMnC1 寄存器的 CTnOC 位设置取得。注意，由 CTnIO1 和 CTnIO0 位得到的输出电平必须与通过 CTnOC 位设置的初始值不同，否则当比较匹配发生时，CTMn 输出脚将不会发生变化。在 CTMn 输出脚改变状态后，通过 CTnON 位由低到高电平的转换复位至初始值。

在 PWM 输出模式，CTnIO1 和 CTnIO0 用于决定比较匹配条件发生时怎样改变 CTMn 输出脚的状态。PWM 输出功能通过这两位的变化进行更新。仅在 CTMn 关闭时改变 CTnIO1 和 CTnIO0 位的值是很有必要的。若在 CTMn 运行时改变 CTnIO1 和 CTnIO0 的值，PWM 输出的值是无法预料的。

Bit 3 **CTnOC**: CTPn 输出控制位

比较匹配输出模式

- 0: 初始低
- 1: 初始高

PWM 输出模式

- 0: 低有效
- 1: 高有效

这是 CTMn 输出脚输出控制位。它取决于 CTMn 此时正运行于比较匹配输出模式还是 PWM 输出模式。若 CTMn 处于定时 / 计数器模式，则其不受影响。在比较匹配输出模式时，比较匹配发生前其决定 CTMn 输出脚的逻辑电平值。在 PWM 输出模式时，其决定 PWM 信号是高有效还是低有效。

- Bit 2 **CTnPOL**: CTPn 输出极性控制位
0: 同相
1: 反相
此位控制 CTPn 输出脚的极性。此位为高时 CTMn 输出脚反相，为低时 CTMn 输出脚同相。若 CTMn 处于定时 / 计数器模式时其不受影响。
- Bit 1 **CTnDPX**: CTMn PWM 周期 / 占空比控制位
0: CCRP – 周期; CCRA – 占空比
1: CCRP – 占空比; CCRA – 周期
此位决定 CCRA 与 CCRP 寄存器哪个被用于 PWM 波形的周期和占空比控制。
- Bit 0 **CTnCCLR**: 选择 CTMn 计数器清零条件位
0: CTMn 比较器 P 匹配
1: CTMn 比较器 A 匹配
此位用于选择清除计数器的方法。简易型 TM 包括两个比较器 – 比较器 A 和比较器 P。这两个比较器每个都可以用作清除内部计数器。CTnCCLR 位设为高，计数器在比较器 A 比较匹配发生时被清除；此位设为低，计数器在比较器 P 比较匹配发生或计数器溢出时被清除。计数器溢出清除的方法仅在 CCRP 被清零时才能生效。CTnCCLR 位在 PWM 输出模式时未使用。

• CTMnDL 寄存器

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Name	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
R/W	R	R	R	R	R	R	R	R
POR	0	0	0	0	0	0	0	0

- Bit 7~0 **D7~D0**: CTMn 计数器低字节寄存器 bit 7~bit 0
CTMn 10-bit 计数器 bit 7~bit 0

• CTMnDH 寄存器

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Name	—	—	—	—	—	—	D9	D8
R/W	—	—	—	—	—	—	R	R
POR	—	—	—	—	—	—	0	0

- Bit 7~2 未定义，读为“0”
Bit 1~0 **D9~D8**: CTMn 计数器高字节寄存器 bit 1~bit 0
CTMn 10-bit 计数器 bit 9~bit 8

• CTMnAL 寄存器

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Name	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
POR	0	0	0	0	0	0	0	0

- Bit 7~0 **D7~D0**: CTMn CCRA 低字节寄存器 bit 7~bit 0
CTMn 10-bit CCRA bit 7~bit 0

● CTMnAH 寄存器

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Name	—	—	—	—	—	—	D9	D8
R/W	—	—	—	—	—	—	R/W	R/W
POR	—	—	—	—	—	—	0	0

Bit 7~2 未定义，读为“0”

Bit 1~0 **D9~D8**: CTMn CCRA 高字节寄存器 bit 1~bit 0
CTMn 10-bit CCRA bit 9~bit 8

简易型 TM 工作模式

简易型 TM 有三种工作模式，即比较匹配输出模式，PWM 输出模式或定时 / 计数器模式。通过设置 CTMnC1 寄存器的 CTnM1 和 CTnM0 位选择任意工作模式。

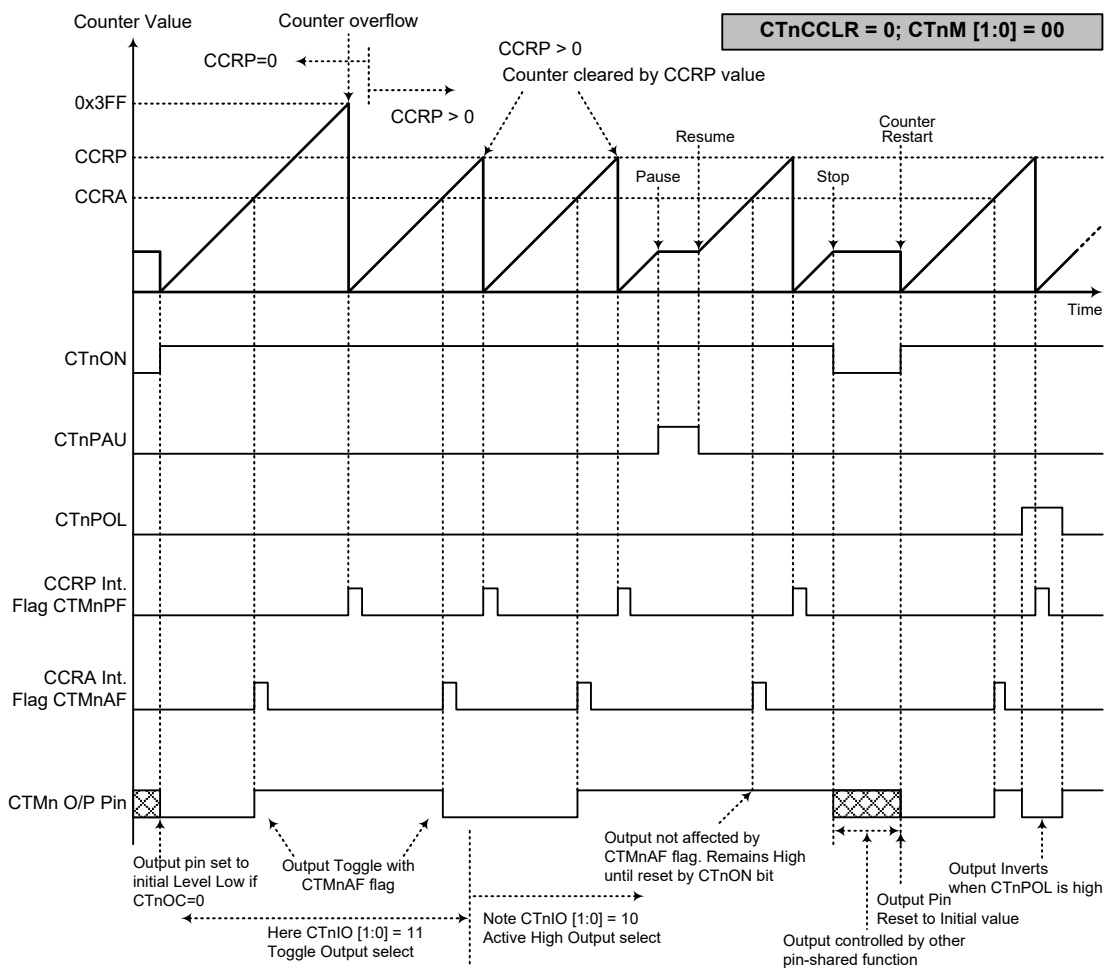
比较匹配输出模式

为使 CTMn 工作在此模式，CTMnC1 寄存器中的 CTnM1 和 CTnM0 位需要设置为“00”。当工作在该模式，一旦计数器使能并开始计数，有三种方法来清零，分别是：计数器溢出，比较器 A 比较匹配发生和比较器 P 比较匹配发生。当 CTnCCLR 位为低，有两种方法清除计数器。一种是比较器 P 比较匹配发生，另一种是 CCRP 所有位设置为零并使得计数器溢出。此时，比较器 A 和比较器 P 的请求标志位 CTMnAF 和 CTMnPF 将分别置起。

如果 CTMnC1 寄存器的 CTnCCLR 位设置为高，当比较器 A 比较匹配发生时计数器被清零。此时，即使 CCRP 寄存器的值小于 CCRA 寄存器的值，仅 CTMnAF 中断请求标志产生。所以当 CTnCCLR 为高时，不产生 CTMnPF 中断请求标志。

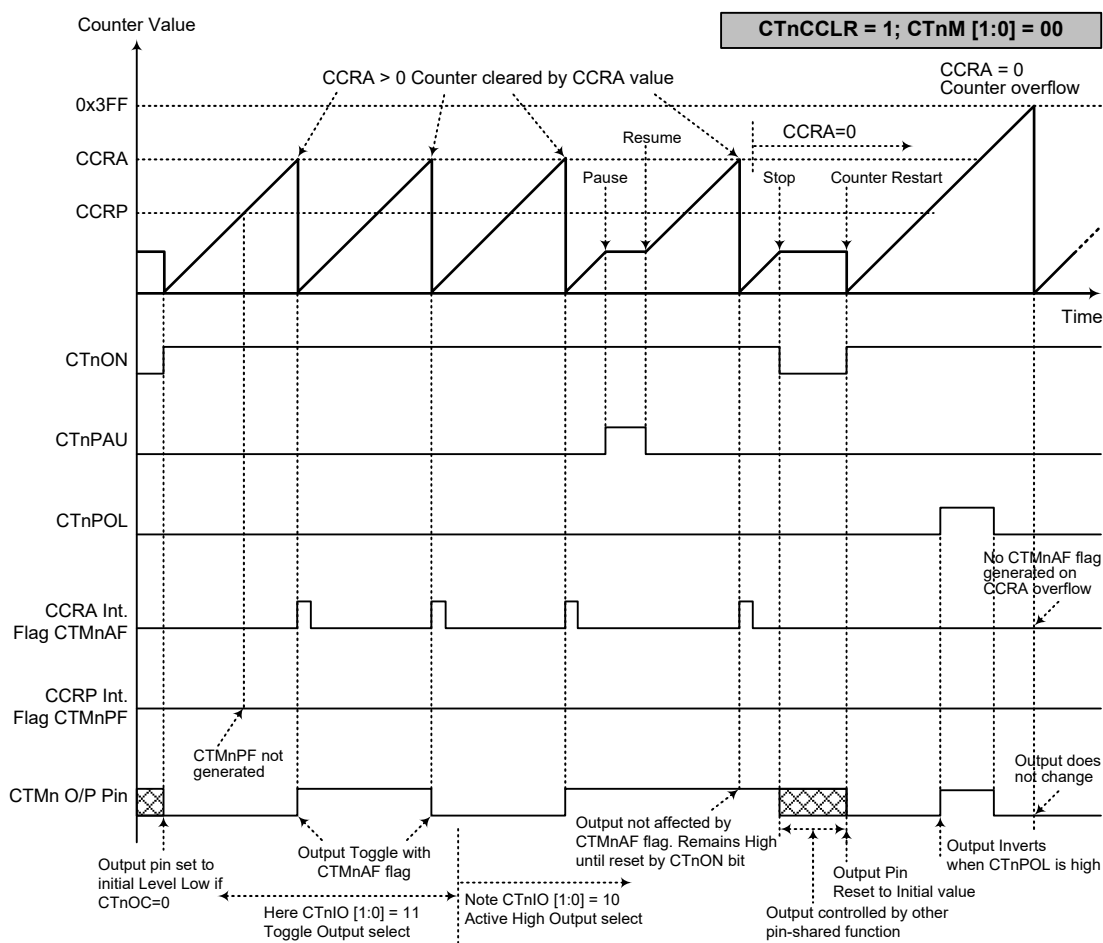
如果 CCRA 被清零，当计数达到最大值 3FFH 时，计数器溢出，而此时不产生 CTMnAF 请求标志。

正如该模式名所言，当比较匹配发生后，CTMn 输出脚状态改变。当比较器 A 比较匹配发生后 CTMnAF 标志产生时，CTMn 输出脚状态改变。比较器 P 比较匹配发生时产生的 CTMnPF 标志不影响 CTMn 输出脚。CTMn 输出脚状态改变方式由 CTMnC1 寄存器中 CTnIO1 和 CTnIO0 位决定。当比较器 A 比较匹配发生时，CTnIO1 和 CTnIO0 位决定 CTMn 输出脚输出高，低或翻转当前状态。CTMn 输出脚初始值，在 CTnON 位由低到高电平的变化后通过 CTnOC 位设置。注意，若 CTnIO1 和 CTnIO0 位同时为 0 时，引脚输出不变。



比较匹配输出模式 – CTnCCLR=0 (n=0~1)

- 注：1. CTnCCLR=0，比较器 P 匹配将清除计数器
2. CTMn 输出脚仅由 CTMnAF 标志位控制
3. 在 CTnON 上升沿 CTMn 输出脚复位至初始值



比较匹配输出模式 – CTnCCR=1 (n=0~1)

- 注：1. CTnCCR=1，比较器 A 匹配将清除计数器
2. CTMn 输出脚仅由 CTMnAF 标志位控制
3. 在 CTnON 上升沿 CTMn 输出脚复位至初始值
4. 当 CTnCCR=1 时，CTMnPF 标志位不会产生

定时 / 计数器模式

为使 CTMn 工作在此模式，CTMnC1 寄存器中的 CTnM1 和 CTnM0 位需要设置为“11”。定时 / 计数器模式与比较输出模式操作方式相同，并产生同样的中断请求标志。不同的是，在定时 / 计数器模式下 CTMn 输出脚未使用。因此，比较匹配输出模式中的描述和时序图可以适用于此功能。该模式中未使用的 CTMn 输出脚用作普通 I/O 脚或其它功能。

PWM 输出模式

为使 CTMn 工作在此模式，CTMnC1 寄存器中的 CTnM1 和 CTnM0 位需要设置为“10”。CTMn 的 PWM 功能在马达控制，加热控制，照明控制等方面十分有用。给 CTMn 输出脚提供一个频率固定但占空比可调的信号，将产生一个有效值等于 DC 均方根的 AC 方波。

由于 PWM 波形的周期和占空比可调，其波形的选择就极其灵活。在 PWM 输出模式中，CTnCCLR 位不影响 PWM 操作。CCRA 和 CCRP 寄存器决定 PWM 波形，一个用来清除内部计数器并控制 PWM 波形的频率，另一个用来控制占空比。哪个寄存器控制频率或占空比取决于 CTMnC1 寄存器的 CTnDPX 位。所以 PWM 波形频率和占空比由 CCRA 和 CCRP 寄存器共同决定。

当比较器 A 或比较器 P 比较匹配发生时，将产生 CCRA 或 CCRP 中断标志。CTMnC1 寄存器中的 CTnOC 位决定 PWM 波形的极性，CTnIO1 和 CTnIO0 位使能 PWM 输出或将 CTMn 输出脚置为逻辑高或逻辑低。CTnPOL 位对 PWM 输出波形的极性取反。

• 10-bit CTMn, PWM 输出模式，边沿对齐模式，CTnDPX=0

CCRP	1~7	0
Period	CCRP×128	1024
Duty	CCRA	

若 $f_{sys}=8\text{MHz}$ ，CTMn 时钟源选择 $f_{sys}/4$ ，CCRP=2，CCRA=128，

CTMn PWM 输出频率 = $(f_{sys}/4)/(2 \times 128) = f_{sys}/1024 = 7.812\text{kHz}$ ，duty = $128/(2 \times 128) = 50\%$ ，

若由 CCRA 寄存器定义的 Duty 值等于或大于 Period 值，PWM 输出占空比为 100%。

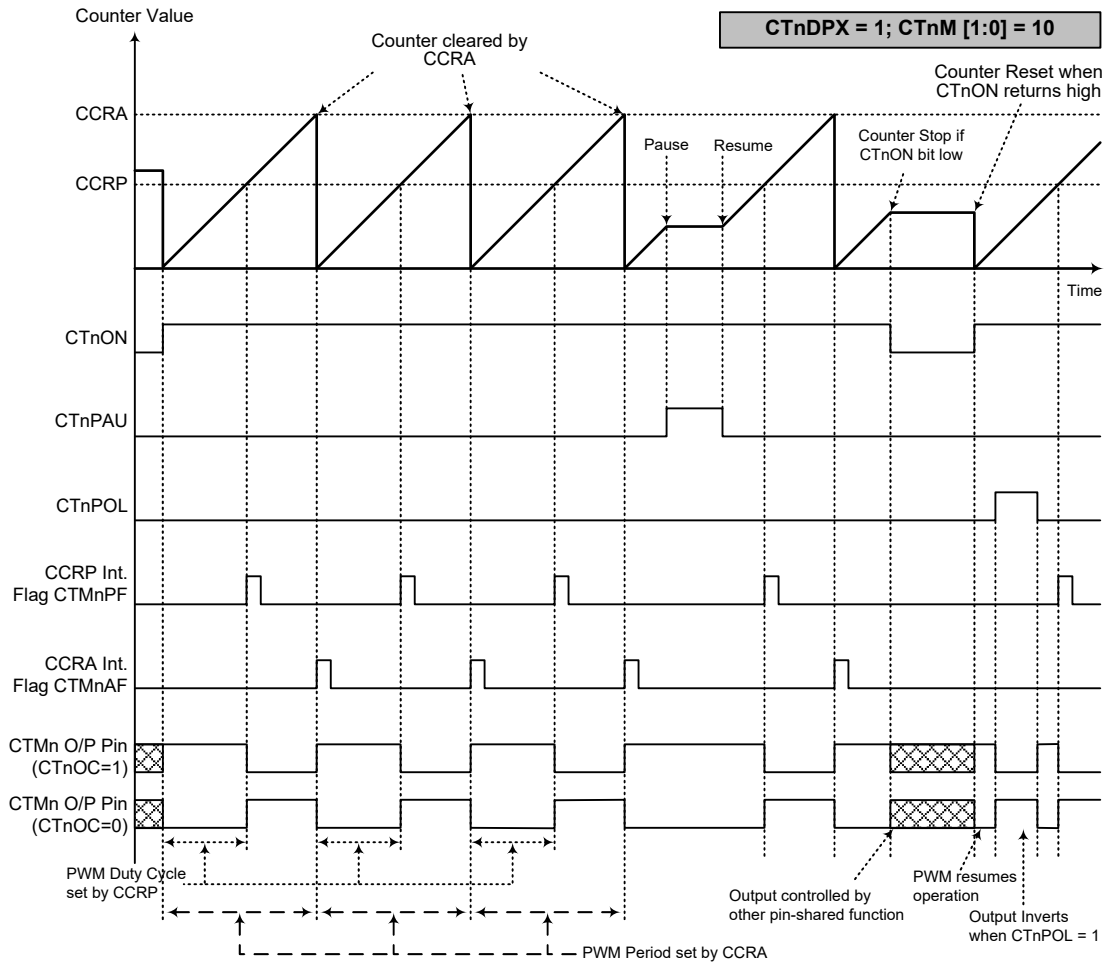
• 10-bit CTMn, PWM 输出模式，边沿对齐模式，CTnDPX=1

CCRP	1~7	0
Duty	CCRA	
Period	CCRP×128	1024

PWM 的输出周期由 CCRA 寄存器的值与 CTMn 的时钟共同决定，PWM 的占空比由 CCRP 寄存器的值决定。



2020-03-05

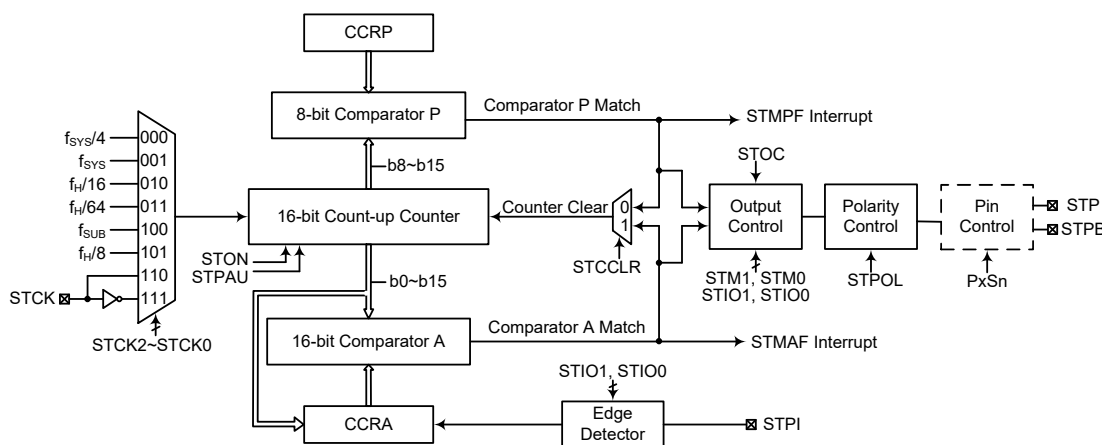


PWM 输出模式 – CTnDPX=1

- 注：1. CTnDPX=1，CCRA 清除计数器
2. 计数器清零并设置 PWM 周期
3. 当 CTnIO[1:0]=00 或 01，PWM 功能不变
4. CTnCCLR 位不影响 PWM 操作

标准型 TM – STM

标准型 TM 包括 5 种工作模式，即比较匹配输出，定时 / 事件计数器，捕捉输入，单脉冲输出和 PWM 输出模式。标准型 TM 由两个外部输入脚控制并驱动两个外部输出脚。



注：STPB 为 STP 的反相输出。

标准型 TM 框图

标准型 TM 操作

标准型 TM 核心是一个由用户选择的内部或外部时钟源驱动的 16 位向上计数器，它还包括两个内部比较器即比较器 A 和比较器 P。这两个比较器将计数器的值与 CCRP 和 CCRA 寄存器中的值进行比较。CCRP 是 8 位宽度，与计数器的高 8 位比较；而 CCRA 是 16 位的，与计数器的所有位比较。

通过应用程序改变 16 位计数器值的唯一方法是使 STON 位发生上升沿跳变清除计数器。此外，计数器溢出或比较匹配也会自动清除计数器。上述条件发生时，通常情况会产生 STM 中断信号。标准型 TM 可工作在不同的模式，可由包括来自输入脚的不同时钟源驱动，也可以控制一个输出脚。所有工作模式的设定都是通过设置相关寄存器来实现的。

标准型 TM 寄存器介绍

标准型 TM 的所有工作由一系列寄存器控制。一对只读寄存器用来存放 16 位计数器的值，一对读 / 写寄存器存放 16 位 CCRA 的值，一个读 / 写寄存器 STMCRP 存放 8 位 CCRP 的值。剩下两个控制寄存器设置不同的操作和控制模式。

寄存器名称	位							
	7	6	5	4	3	2	1	0
STMC0	STPAU	STCK2	STCK1	STCK0	STON	—	—	—
STMC1	STM1	STM0	STIO1	STIO0	STOC	STPOL	STDPX	STCCLR
STMDL	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
STMDH	D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8
STMAL	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
STMAH	D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8
STMCRP	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0

16-bit 标准型 TM 寄存器列表

● STMC0 寄存器

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Name	STPAU	STCK2	STCK1	STCK0	STON	—	—	—
R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	—	—	—
POR	0	0	0	0	0	—	—	—

Bit 7 **STPAU**: STM 计数器暂停控制位

0: 运行

1: 暂停

通过设置此位为高可使计数器暂停，清零此位恢复正常计数器操作。当处于暂停条件时，STM 保持上电状态并继续耗电。当此位由低到高转换时，计数器将保留其剩余值，直到此位再次改变为低电平，并从此值开始继续计数。

Bit 6~4 **STCK2~STCK0**: 选择 STM 计数时钟位

000: $f_{SYS}/4$

001: f_{SYS}

010: $f_H/16$

011: $f_H/64$

100: f_{SUB}

101: f_{SUB}

110: STCK 上升沿时钟

111: STCK 下降沿时钟

此三位用于选择 STM 的时钟源。外部引脚时钟源能被选择在上升沿或下降沿有效。 f_{SYS} 是系统时钟， f_H 和 f_{SUB} 是其它的内部时钟源，细节方面请参考振荡器章节。

Bit 3 **STON**: STM 计数器 On/Off 控制位

0: Off

1: On

此位控制 STM 的总开关功能。设置此位为高则使能计数器使其运行，清零此位则除能 STM。清零此位将停止计数器并关闭 STM 减少耗电。当此位经由高到低转换时，内部计数器将复位清零；当此位经由高到低的转换时，内部计数器将保持其剩余值，直到此位再次改变为高电平。若 STM 处于比较匹配输出模式、PWM 输出模式或单脉冲输出模式，当 STON 位经由低到高的转换时，STM 输出脚将复位至 STOC 位指定的初始值。

Bit 2~0 未定义，读为“0”

● STMC1 寄存器

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Name	STM1	STM0	STIO1	STIO0	STOC	STPOL	STDPX	STCCLR
R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
POR	0	0	0	0	0	0	0	0

Bit 7~6 **STM1~STM0**: 选择 STM 工作模式位

00: 比较匹配输出模式

01: 捕捉输入模式

10: PWM 输出模式或单脉冲输出模式

11: 定时 / 计数器模式

这两位设置 STM 需要的工作模式。为了确保操作可靠，STM 应在 STM1 和 STM0 位有任何改变前先关掉。在定时 / 计数器模式，STM 输出脚状态未定义。

Bit 5~4 **STIO1~STIO0**: STM 外部引脚 STP 功能选择位

比较匹配输出模式

00: 无变化

01: 输出低

10: 输出高

11: 输出翻转

PWM 输出模式 / 单脉冲输出模式

- 00: PWM 输出无效状态
- 01: PWM 输出有效状态
- 10: PWM 输出
- 11: 单脉冲输出

捕捉输入模式

- 00: 在 STPI 上升沿输入捕捉
- 01: 在 STPI 下降沿输入捕捉
- 10: 在 STPI 双沿输入捕捉
- 11: 输入捕捉除能

定时 / 计数器模式

未使用

此两位用于决定在满足特定条件时 STM 外部引脚如何改变状态。这两位值的选择取决于 STM 运行在何种模式下。

在比较匹配输出模式下，STIO1 和 STIO0 位决定当从比较器 A 比较匹配输出发生时 STM 输出脚 STP 如何改变状态。当从比较器 A 比较匹配输出发生时 STP 输出脚能设为切换高、切换低或翻转当前状态。若此两位同时为 0 时，这个输出将不会改变。STP 输出脚的初始值通过 STMC1 寄存器的 STOC 位设置取得。注意，由 STIO1 和 STIO0 位得到的输出电平必须与通过 STOC 位设置的初始值不同，否则当比较匹配发生时，STP 输出脚将不会发生变化。在 STM 输出脚改变状态后，通过 STON 位由低到高电平的转换复位至初始值。

在 PWM 输出模式，STIO1 和 STIO0 决定比较匹配条件发生时怎样改变 STM 输出脚的状态。PWM 输出功能通过这两位的变化进行更新。仅在 STM 关闭时改变 STIO1 和 STIO0 位的值是很有必要的。若在 STM 运行时改变 STIO1 和 STIO0 的值，PWM 输出的值将无法预料。

Bit 3 **STOC:** STM 输出脚 STP 输出控制位

比较匹配输出模式

- 0: 初始低
- 1: 初始高

PWM 输出模式 / 单脉冲输出模式

- 0: 低有效
- 1: 高有效

这是 STM 输出脚输出控制位。它取决于 STM 此时正运行于比较匹配输出模式还是 PWM 输出模式 / 单脉冲输出模式。若 STM 处于定时 / 计数器模式，则其不受影响。在比较匹配输出模式时，其决定比较匹配发生前 STM 输出脚 STP 的逻辑电平值。在 PWM 输出模式时，其决定 PWM 信号是高有效还是低有效。在单脉冲输出模式，其决定 STON 位由低变为高时 STM 输出脚 STP 的逻辑电平值。

Bit 2 **STPOL:** STM STP 输出极性控制位

- 0: 同相
- 1: 反相

此位控制 STP 输出脚的极性。此位为高时 STP 输出脚反相，为低时 STP 输出脚同相。若 STM 处于定时 / 计数器模式时其不受影响。

Bit 1 **STDPX:** STM PWM 周期 / 占空比控制位

- 0: CCRP – 周期；CCRA – 占空比
- 1: CCRP – 占空比；CCRA – 周期

此位决定 CCRA 与 CCRP 寄存器哪个被用于 PWM 波形的周期和占空比控制。

Bit 0 **STCCLR:** 选择 STM 计数器清零条件位

- 0: STM 比较器 P 匹配
- 1: STM 比较器 A 匹配

此位用于选择清除计数器的方法。标准型 TM 包括两个比较器 -- 比较器 A 和比较器 P。这两个比较器每个都可以用于清除内部计数器。STCCLR 位设为高，计数器在比较器 A 比较匹配发生时被清除；此位设为低，计数器在比较器 P 比较匹配发生或计数器溢出时被清除。计数器溢出清除的方法仅在 CCRP 被清除为 0 时才能生效。STCCLR 位在 PWM 输出模式、单脉冲输出模式或输入捕捉模式时未使用。

● STMDL 寄存器

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Name	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
R/W	R	R	R	R	R	R	R	R
POR	0	0	0	0	0	0	0	0

Bit 7~0 **D7~D0**: STM 计数器低字节寄存器 bit 7~bit 0
STM 16-bit 计数器 bit 7~bit 0

● STMDH 寄存器

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Name	D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8
R/W	R	R	R	R	R	R	R	R
POR	0	0	0	0	0	0	0	0

Bit 7~0 **D15~D8**: STM 计数器高字节寄存器 bit 7~bit 0
STM 16-bit 计数器 bit 15~bit 8

● STMAL 寄存器

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Name	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
POR	0	0	0	0	0	0	0	0

Bit 7~0 **D7~D0**: STM CCRA 低字节寄存器 bit 7~bit 0
STM 16-bit CCRA bit 7~bit 0

● STMAH 寄存器

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Name	D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8
R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
POR	0	0	0	0	0	0	0	0

Bit 7~0 **D15~D8**: STM CCRA 高字节寄存器 bit 7~bit 0
STM 16-bit CCRA bit 15~bit 8

● STMRP 寄存器

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Name	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
POR	0	0	0	0	0	0	0	0

Bit 7~0 **D7~D0**: STM CCRP 8-bit 寄存器，与 STM 计数器 bit 15~bit 8 比较
比较器 P 匹配周期
0: 65536 个 STM 时钟周期
1~255: (1~255)×256 个 STM 时钟周期

此八位设定内部 CCRP 8-bit 寄存器的值，然后与内部计数器的高八位进行比较。如果 STCCLR 位设为 0 时，此比较结果可用于清零内部计数器。STCCLR 位设为低，CCRP 比较匹配结果将重置内部计数器。由于 CCRP 只与计数器高八位比较，比较结果是 256 时钟周期的倍数。CCRP 被清零时，实际上会使得计数器在最大值溢出。

标准型 TM 工作模式

标准型 TM 有五种工作模式，即比较匹配输出模式，PWM 输出模式，单脉冲输出模式，捕捉输入模式或定时 / 计数器模式。通过设置 STMC1 寄存器的 STM1 和 STM0 位选择任意模式。

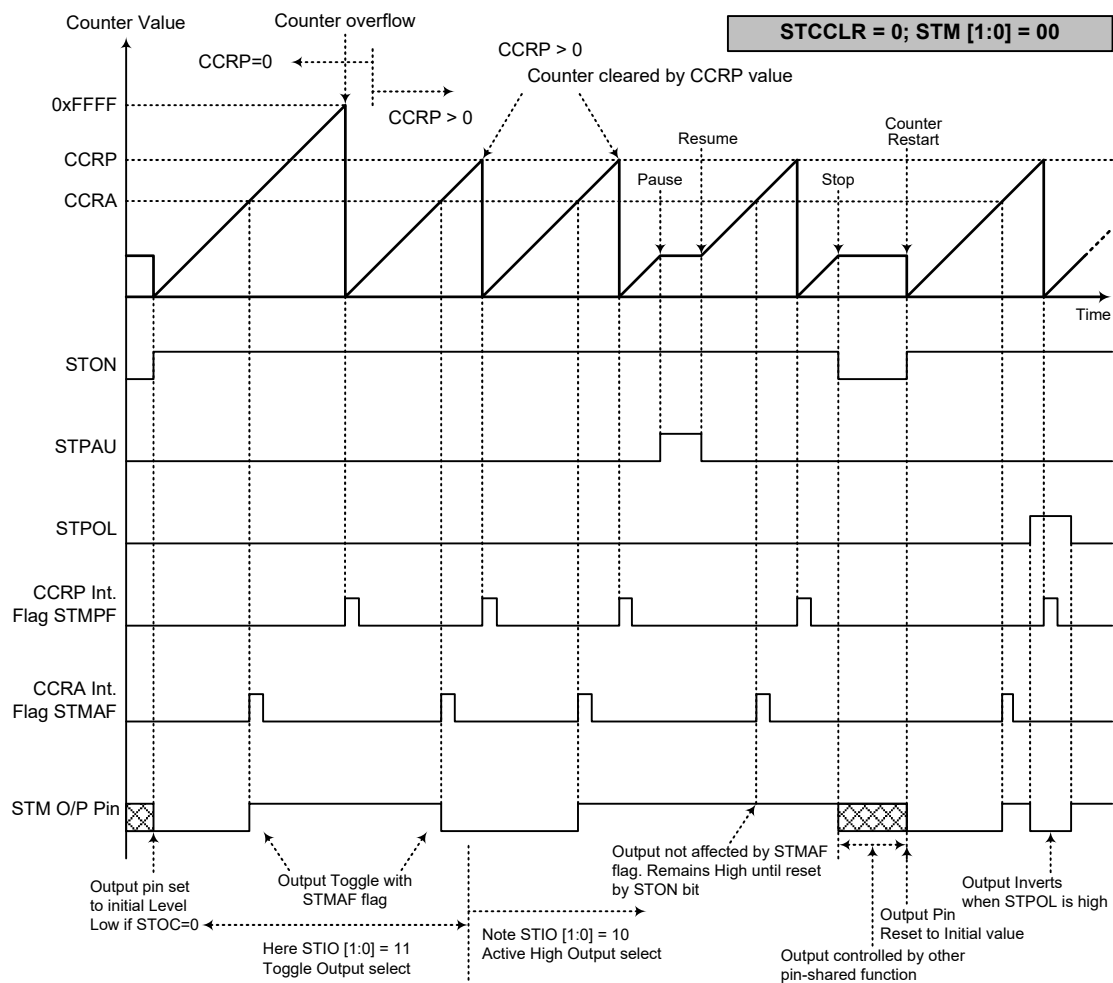
比较匹配输出模式

为使 TM 工作在此模式，STMC1 寄存器中的 STM1 和 STM0 位需要设置为“00”。当工作在该模式，一旦计数器使能并开始计数，有三种方法来清零，分别是：计数器溢出，比较器 A 比较匹配发生和比较器 P 比较匹配发生。当 STCCLR 位为低，有两种方法清除计数器。一种是比较器 P 比较匹配发生，另一种是 CCRP 所有位设置为零并使得计数器溢出。此时，比较器 A 和比较器 P 的请求标志位 STMAF 和 STMPF 将分别置位。

如果 STMC1 寄存器的 STCCLR 位设置为高，当比较器 A 比较匹配发生时计数器被清零。此时，即使 CCRP 寄存器的值小于 CCRA 寄存器的值，仅产生 STMAF 中断请求标志。所以当 STCCLR 为高时，不会产生 STMPF 中断请求标志。在比较匹配输出模式下，CCRA 不能设为“0”。

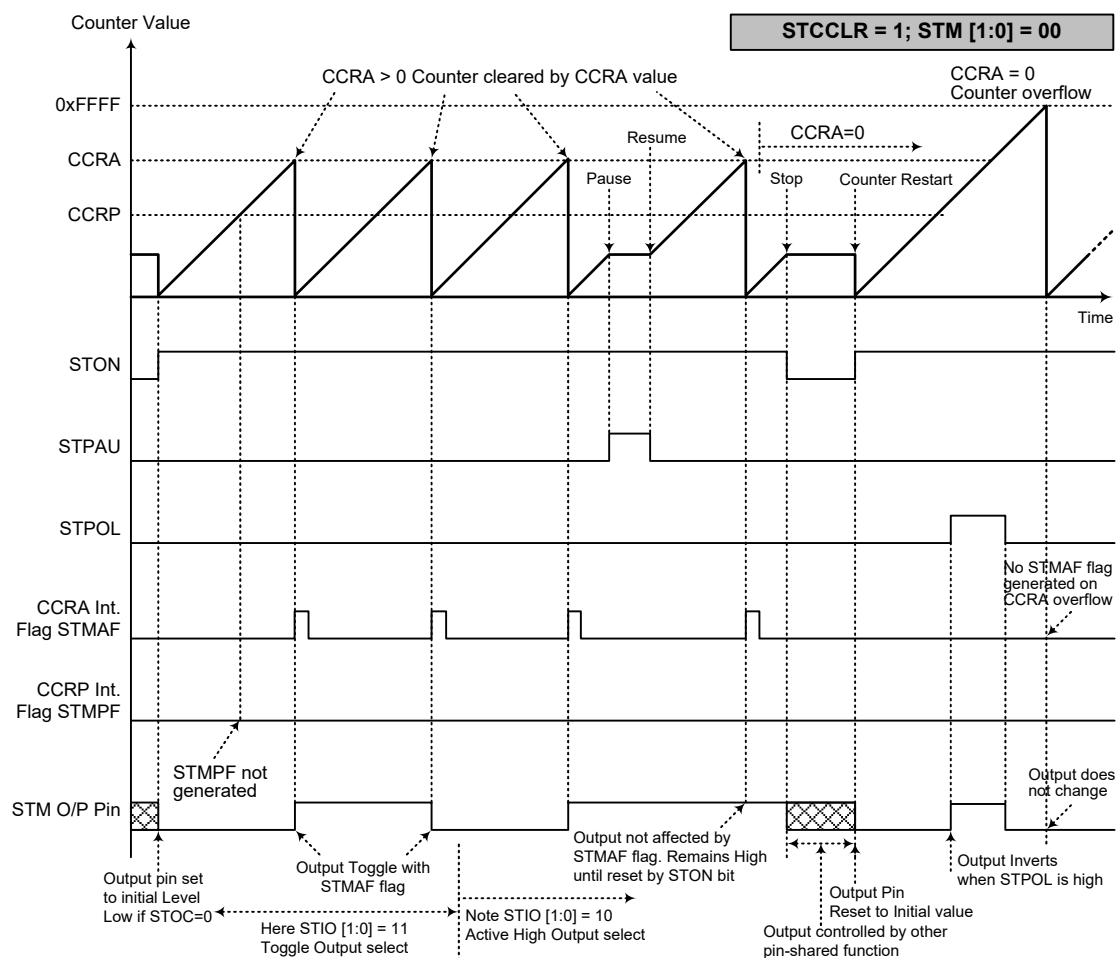
如果 CCRA 位都清除为零，当计数器的值达到 16 位最大值 FFFFH 时将溢出，但此时不会产生 STMAF 中断请求标志。

正如该模式名所言，当比较匹配发生后，STM 输出脚状态改变。当比较器 A 比较匹配发生后 STMAF 标志产生时，STM 输出脚状态改变。比较器 P 比较匹配发生时产生的 STMPF 标志不影响 STM 输出脚。STM 输出脚状态改变方式由 STMC1 寄存器中 STIO1 和 STIO0 位决定。当比较器 A 比较匹配发生时，STIO1 和 STIO0 位决定 STM 输出脚输出高、低或翻转当前状态。STM 输出脚初始值，在 STON 位由低到高电平的变化后通过 STOC 位设置。注意，若 STIO1 和 STIO0 位同时为 0 时，引脚输出不变。



比较匹配输出模式 – STCCLR=0

- 注：1. STCCLR=0，比较器 P 匹配将清除计数器
2. STM 输出脚仅由 STMAF 标志位控制
3. 在 STON 上升沿 TM 输出脚复位至初始值



比较匹配输出模式 – STCCLR=1

- 注：1. STCCLR=1，比较器 A 匹配将清除计数器
2. STM 输出脚仅由 STMAF 标志位控制
3. 在 STON 上升沿 TM 输出脚复位至初始值
4. 当 STCCLR=1 时，不会产生 STMPF 标志

定时 / 计数器模式

为使 STM 工作在此模式，STMC1 寄存器中的 STM1 和 STM0 位需要设置为“11”。定时 / 计数器模式与比较输出模式操作方式相同，并产生同样的中断请求标志。不同的是，在定时 / 计数器模式下 STM 输出脚未使用。因此，比较匹配输出模式中的描述和时序图可以适用于此功能。该模式中未使用的 STM 输出脚用作普通 I/O 脚或其它功能。

PWM 输出模式

为使 STM 工作在此模式，STMC1 寄存器中的 STM1 和 STM0 位需要设置为“10”，且 STIO1 和 STIO0 位也需要设置为“10”。STM 的 PWM 功能在马达控制，加热控制，照明控制等方面十分有用。给 STM 输出脚提供一个频率固定但占空比可调的信号，将产生一个有效值等于 DC 均方根的 AC 方波。

由于 PWM 波形的周期和占空比可调，其波形的选择就极其灵活。在 PWM 输出模式中，STCCLR 位不影响 PWM 周期。CCRA 和 CCRP 寄存器决定 PWM 波形，一个用来清除内部计数器并控制 PWM 波形的频率，另一个用来控制占空比。哪个寄存器控制频率或占空比取决于 STMC1 寄存器的 STDPX 位。所以 PWM 波形由 CCRA 和 CCRP 寄存器共同决定。

当比较器 A 或比较器 P 比较匹配发生时，将产生 CCRA 或 CCRP 中断标志。STMC1 寄存器中的 STOC 位决定 PWM 波形的极性，STIO1 和 STIO0 位使能 PWM 输出或将 STM 输出脚置为逻辑高或逻辑低。STPOL 位对 PWM 输出波形的极性取反。

● 16-bit STM，PWM 输出模式，边沿对齐模式，STDPX=0

CCRP	1~255	0
Period	CCRP×256	65536
Duty	CCRA	

若 $f_{SYS}=8\text{MHz}$ ，STM 时钟源选择 $f_{SYS}/4$ ，CCRP=2，CCRA=128，

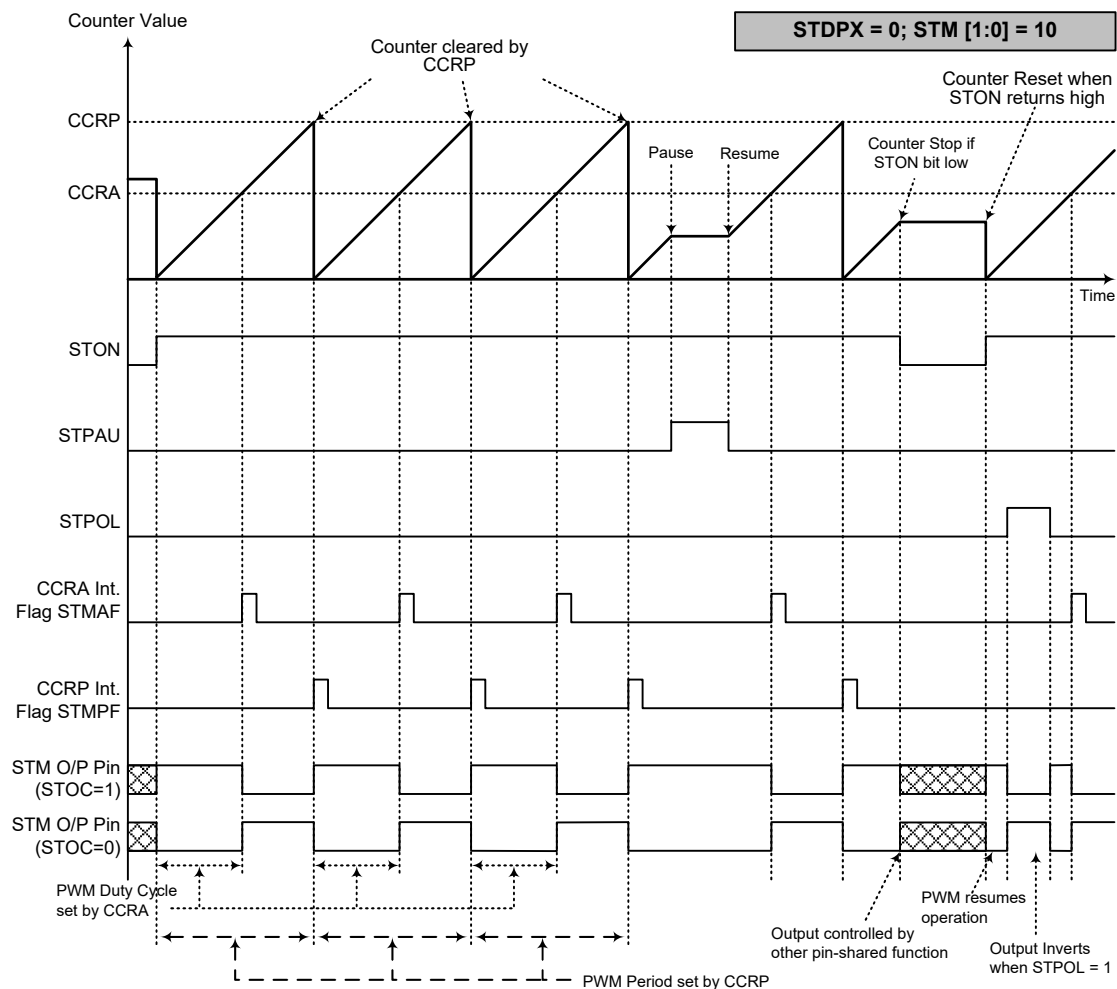
STM PWM 输出频率 = $(f_{SYS}/4)/(2 \times 256) = f_{SYS}/2048 = 4\text{kHz}$ ，duty = $128/(2 \times 256) = 25\%$ ，

若由 CCRA 寄存器定义的 Duty 值等于或大于 Period 值，PWM 输出占空比为 100%。

● 16-bit STM，PWM 输出模式，边沿对齐模式，STDPX=1

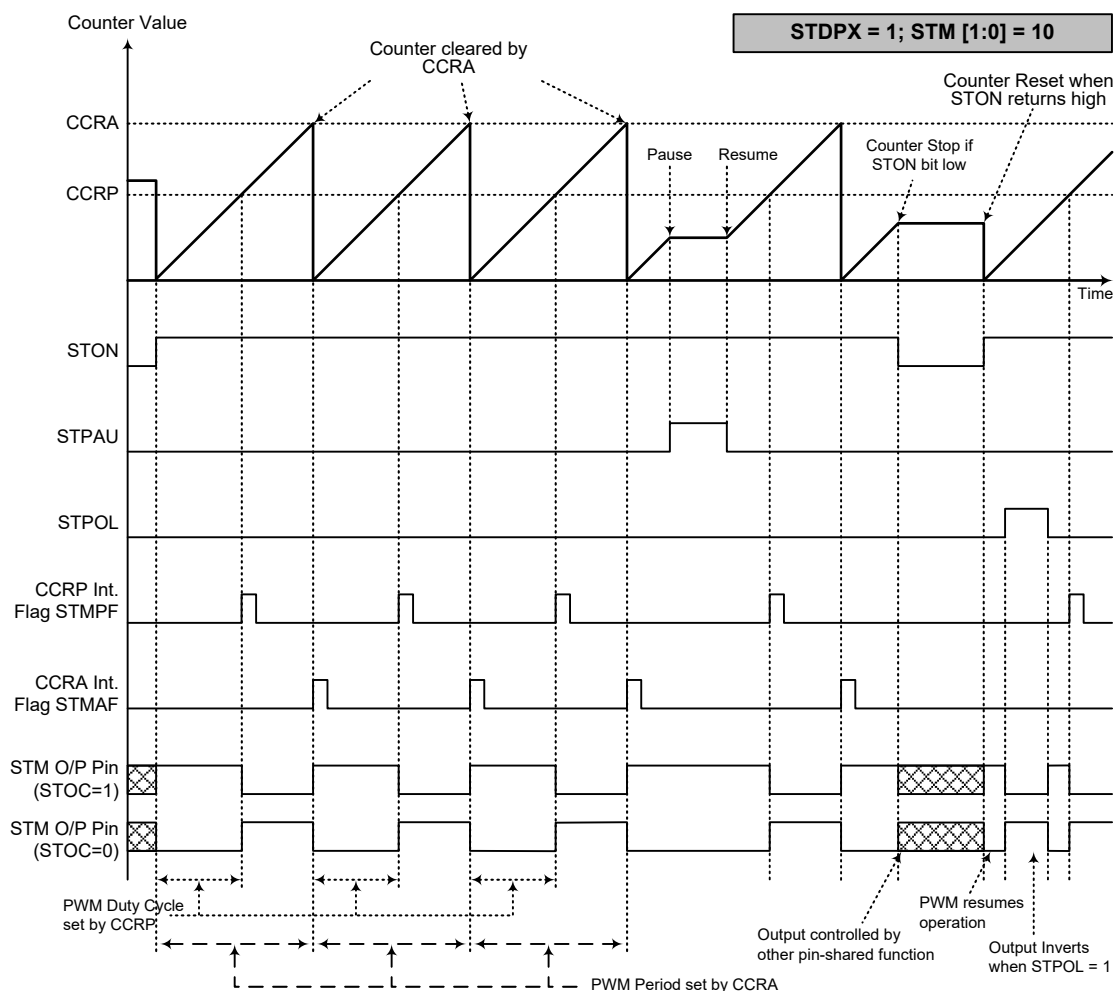
CCRP	1~255	0
Period	CCRA	
Duty	CCRP×256	65536

PWM 的输出周期由 CCRA 寄存器的值与 STM 的时钟共同决定，PWM 的占空比由 CCRP×256 (除了 CCRP 为“0”外) 的值决定。



PWM 输出模式 – STDPX=0

- 注：1. STDPX=0, CCRP 清除计数器
2. 计数器清零并设置 PWM 周期
3. 当 STIO[1:0]=00 或 01, PWM 功能不变
4. STCCLR 位不影响 PWM 操作



PWM 输出模式 – STDPX=1

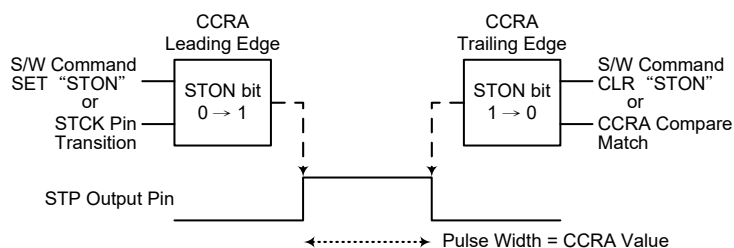
- 注：1. STDPX=1, CCRA 清除计数器
2. 计数器清零并设置 PWM 周期
3. 当 STIO[1:0]=00 或 01, PWM 功能不变
4. STCCLR 位不影响 PWM 操作

单脉冲输出模式

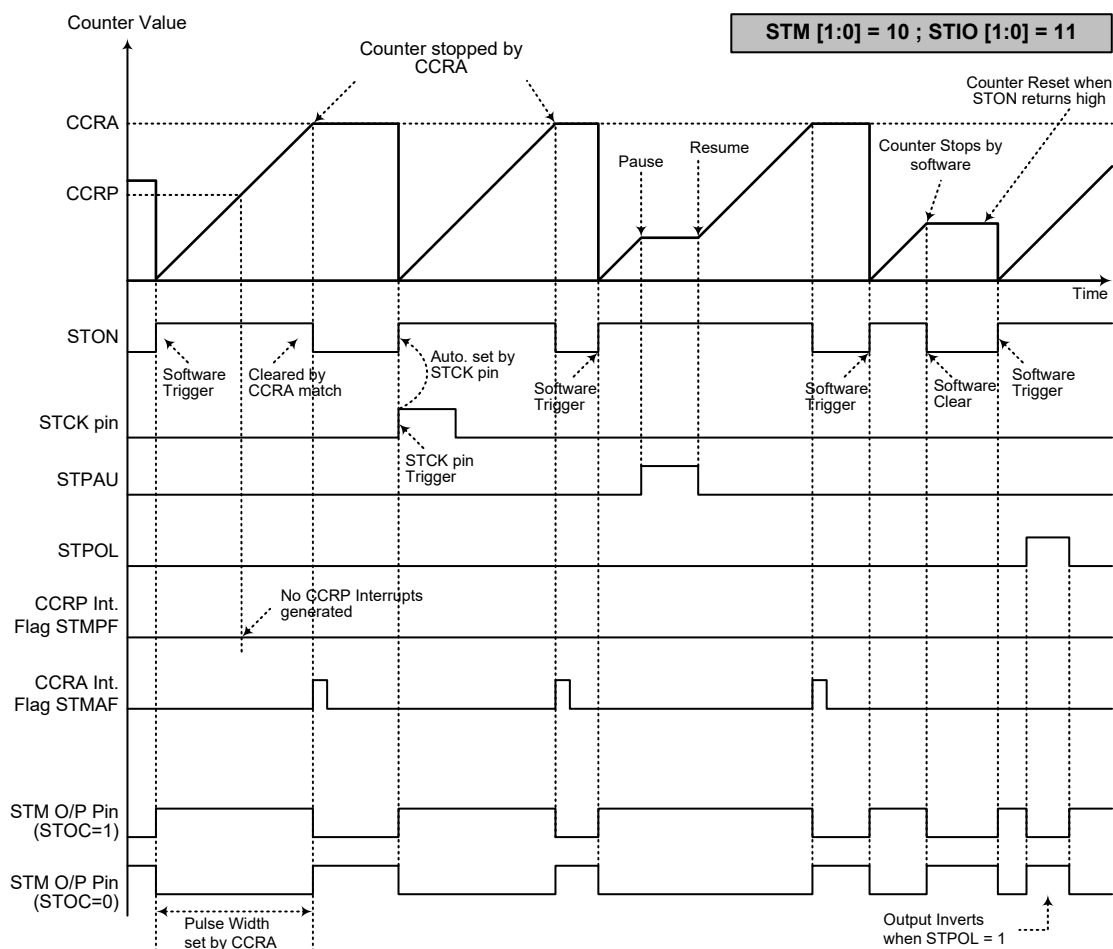
为使 STM 工作在此模式，STMC1 寄存器中的 STM1 和 STM0 位需要设置为“10”，同时 STIO1 和 STIO0 位需要设置为“11”。正如模式名所言，单脉冲输出模式，在 STM 输出脚将产生一个脉冲输出。

通过应用程序控制 STON 位由低到高的转变来触发脉冲前沿输出。而处于单脉冲输出模式时，STON 位可在 STCK 脚发生有效边沿跳转时自动由低转变为高，进而开始单脉冲输出。当 STON 位转变为高电平时，计数器将开始运行，并产生脉冲前沿。当脉冲有效时 STON 位保持高电平。通过应用程序使 STON 位清零或比较器 A 比较匹配发生时，产生脉冲后沿。

然而，比较器 A 比较匹配发生时，会自动清除 STON 位并产生单脉冲输出边沿跳变。CCRA 的值通过这种方式控制脉冲宽度。比较器 A 比较匹配发生时，也会产生 STM 中断。STON 位在计数器重启时会发生由低到高的转变，此时计数器才复位至零。在单脉冲输出模式中，CCRP 寄存器、STCCLR 和 STDPX 位未使用。



单脉冲产生示意图



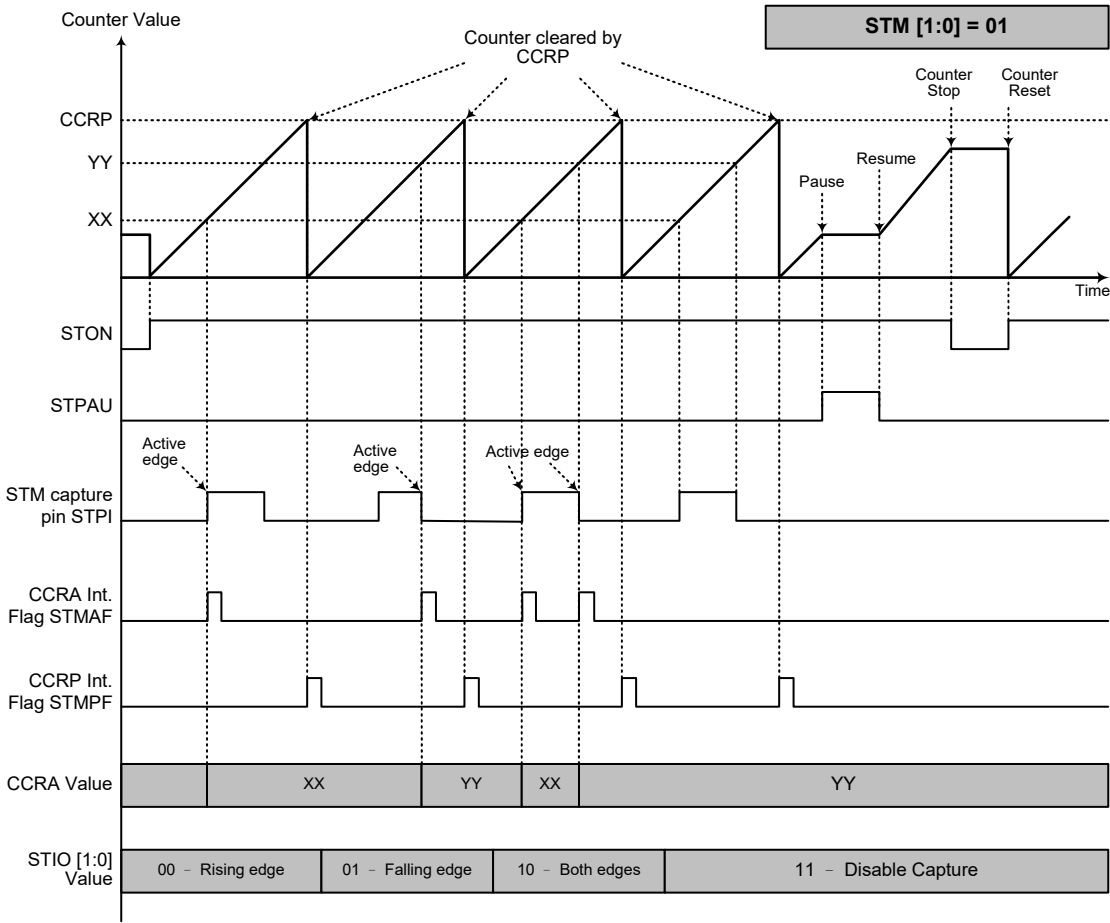
单脉冲输出模式

- 注：
1. 通过 CCRA 匹配停止计数器
 2. CCRP 未使用
 3. 通过 STCK 脚或设置 STON 位为高来触发脉冲
 4. STCK 脚有效沿会自动置高位 STON
 5. 单脉冲输出模式中，STIO[1:0] 需置为“11”，且不能更改。

捕捉输入模式

为使 STM 工作在此模式，STMC1 寄存器中的 STM1 和 STM0 位需要设置为“01”。此模式使能外部信号捕捉并保存内部计数器当前值，因此被用于诸如脉冲宽度测量的应用中。STPI 脚上的外部信号，通过设置 STMC1 寄存器的 STIO1 和 STIO0 位选择有效边沿类型，即上升沿，下降沿或双沿有效。通过应用程序将 STON 位由低置为高时，计数器启动。

当 STPI 脚出现有效边沿转换时，计数器当前值被锁存到 CCRA 寄存器，并产生 STM 中断。无论 STPI 引脚发生哪种边沿转换，计数器继续工作直到 STON 位发生下降沿跳变。当 CCRP 比较匹配发生时计数器复位至零；通过这种方式 CCRP 的值可控制计数器的最大值。当比较器 P CCRP 比较匹配发生时，也会产生 STM 中断。记录 CCRP 溢出中断信号的值可以测量长脉宽。通过设置 STIO1 和 STIO0 位选择 STPI 引脚为上升沿，下降沿或双沿有效。如果 STIO1 和 STIO0 都设置为高，无论 STPI 引脚发生哪种边沿转换都不会产生捕捉操作，但计数器仍会继续运行。STCCLR 和 STDPX 位在此模式中未使用。



捕捉输入模式

- 注：1. STM[1:0]=01 并通过 STIO1 和 STIO0 位设置有效边沿
2. STM 捕捉输入脚的有效边沿将计数器的值转移到 CCRA 中
3. STCCLR 位未使用
4. 无输出功能 – STOC 和 STPOL 位未使用
5. 计数器值由 CCRP 决定，在 CCRP 为“0”时，计数器计数值可达最大

A/D 转换器

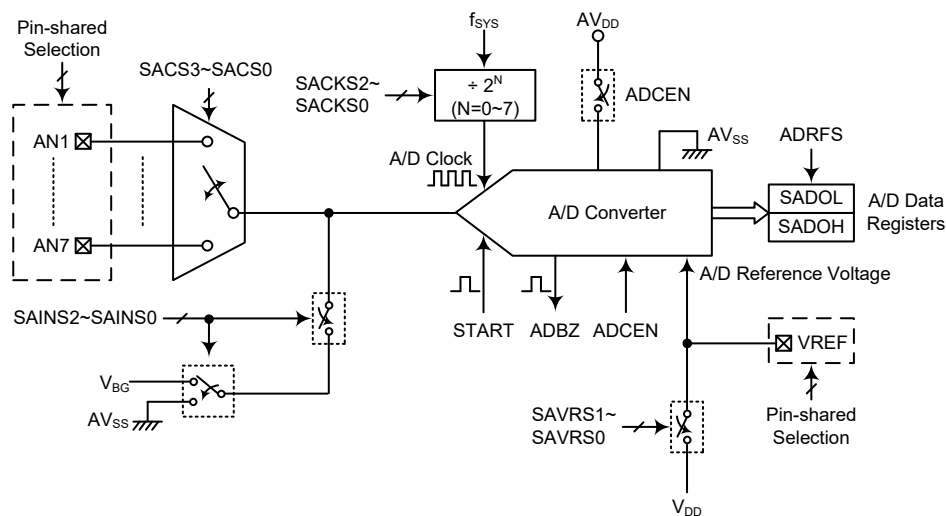
对于大多数电子系统而言，处理现实世界的模拟信号是共同的需求。为了完全由单片机来处理这些信号，首先需要通过 A/D 转换器将模拟信号转换成数字信号。将 A/D 转换器电路集成入单片机，可有效的减少外部器件，随之而来，具有降低成本和减少器件空间需求的优势。

A/D 转换器简介

此单片机包含一个多通道的 A/D 转换器，它可以直接接入外部模拟信号（例如传感器或其它控制信号）或内部模拟信号（Bandgap 参考电压 V_{BG} 和 A/D 转换器负电源电压 AV_{SS} ）并直接将这些信号转换成 12 位的数字量。选择转换外部或内部模拟信号由 SAINS2~SAINS0 位和 SACS3~SACS0 位共同控制。若要转换外部模拟信号，首先应正确设置好相应的共用引脚控制位，然后再通过 SAINS 和 SACS 字段选择所需的外部输入通道。注意，若要转换内部模拟信号，SAINS 和 SACS 字段也应正确设置。关于 A/D 输入信号的详细描述请参考“A/D 转换器控制寄存器”和“A/D 转换器输入信号”两节内容。

外部输入通道	内部信号	A/D 信号选择位
7: AN1~AN7	2: V_{BG} , AV_{SS}	SAINS2~SAINS0, SACS3~SACS0

下图显示了 A/D 转换器内部结构和相关的寄存器及控制位。



A/D 转换器结构

A/D 转换寄存器介绍

A/D 转换器的所有工作由 4 个寄存器控制。一对只读寄存器来存放 12 位 A/D 转换数据的值。剩下两个控制寄存器 SADC0 和 SADC1 设置 A/D 转换器的操作和控制功能。

寄存器名称	位							
	7	6	5	4	3	2	1	0
SADOL (ADRFS=0)	D3	D2	D1	D0	—	—	—	—
SADOL (ADRFS=1)	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
SADOH (ADRFS=0)	D11	D10	D9	D8	D7	D6	D5	D4
SADOH (ADRFS=1)	—	—	—	—	D11	D10	D9	D8
SADC0	START	ADBZ	ADCEN	ADRFS	SACS3	SACS2	SACS1	SACS0
SADC1	SAINS2	SAINS1	SAINS0	SAVRS1	SAVRS0	SACKS2	SACKS1	SACKS0

A/D 转换器寄存器列表

A/D 转换器数据寄存器 – SADOL, SADOH

对于具有 12 位 A/D 转换器的芯片，需要两个数据寄存器存放转换结果，一个高字节寄存器 SADOH 和一个低字节寄存器 SADOL。在 A/D 转换完毕后，单片机可以直接读取这些寄存器以获得转换结果。由于寄存器只使用了 16 位中的 12 位，其数据存储格式由 SADC0 寄存器的 ADRFS 位控制，如下表所示。D0~D11 是 A/D 转换数据结果位。未使用的位读为“0”。当 A/D 转换器除能时，数据寄存器的值将保持不变。

ADRFS	SADOH								SADOL							
	7	6	5	4	3	2	1	0	7	6	5	4	3	2	1	0
0	D11	D10	D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	D11	D10	D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0

A/D 转换器数据寄存器

A/D 转换器控制寄存器 – SADC0, SADC1

寄存器 SADC0 和 SADC1 用来控制 A/D 转换器的功能和操作。这些 8 位的寄存器定义包括选择连接至内部 A/D 转换器的模拟通道，数字化数据格式，A/D 时钟源，并控制和监视 A/D 转换器的开始和忙碌状态。由于该单片机只包含一个实际的模数转换电路，因此这些外部和内部模拟信号中的每一个都需要分别被发送到转换器。SADC0 寄存器中的 SACS3~SACS0 位用于选择哪个外部模拟输入通道被连接到内部 A/D 转换器。SADC1 寄存器中的 SAINS2~SAINS0 位用于选择外部模拟输入通道或内部模拟信号被连接到内部 A/D 转换器。

引脚共用功能选择寄存器的相关位用来定义 I/O 端口中的哪些引脚为 A/D 转换器的模拟输入，哪些引脚不作为 A/D 转换输入。当引脚作为 A/D 输入时，其原来的 I/O 或其它引脚共用功能消失，此外，其内部上拉电阻也将自动断开。

● SADC0 寄存器

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Name	START	ADBZ	ADCEN	ADRF5	SACS3	SACS2	SACS1	SACS0
R/W	R/W	R	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
POR	0	0	0	0	0	0	0	0

- Bit 7 **START**: 启动 A/D 转换位
0→1→0: 启动
此位用于初始化 A/D 转换过程。通常此位为低，但如果设为高再被清零，将启动 A/D 转换过程。
- Bit 6 **ADBZ**: A/D 转换忙碌标志位
0: A/D 转换结束或未开始转换
1: A/D 转换中
此位用于表明 A/D 转换过程是否完成。当 START 位由低变为高再变为低时，ADBZ 位为高，表明 A/D 转换已初始化。A/D 转换结束后，此位被清零。
- Bit 5 **ADCEN**: A/D 转换器使能 / 除能控制位
0: 除能
1: 使能
此位控制 A/D 内部功能。该位被置高将使能 A/D 转换器。如果该位设为低将关闭 A/D 转换器以降低功耗。当 A/D 转换器除能时，A/D 数据寄存器 SADOH 和 SADOL 的内容将保持不变。
- Bit 4 **ADRF5**: A/D 转换数据格式选择位
0: A/D 转换数据格式 → SADOH=D[11:4]; SADOL=D[3:0]
1: A/D 转换数据格式 → SADOH=D[11:8]; SADOL=D[7:0]
此位控制存放在两个 A/D 数据寄存器中的 12 位 A/D 转换结果的格式。细节方面请参考 A/D 转换器数据寄存器章节。
- Bit 3~0 **SACS3~SACS0**: A/D 转换器外部模拟输入通道选择位
0000: 保留，不可使用
0001: AN1
0010: AN2
0011: AN3
0100: AN4
0101: AN5
0110: AN6
0111: AN7
1000~1111: 无通道，输入浮空
这几位用于选择要转换的外部模拟输入通道。

● SADC1 寄存器

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Name	SAINS2	SAINS1	SAINS0	SAVRS1	SAVRS0	SACKS2	SACKS1	SACKS0
R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
POR	0	0	0	0	0	0	0	0

- Bit 7~5 **SAINS2~SAINS0**: A/D 转换器输入信号选择位
000: 外部信号 – 外部模拟通道输入 ANn
001: 内部信号 – 内部 Bandgap 参考电压 V_{BG}
010~100: 内部信号 – A/D 转换器负电源电压, AV_{SS}
101~111: 外部信号 – 外部模拟通道输入 ANn
必须注意当 SAINS2~SAINS0 位为 001~100 选择转换内部模拟信号时，外部输入通道一定不能作为 A/D 输入即 SACS3~SACS0 位需设置为 1000~1111 中的一个值。否则，外部输入通道将与内部模拟信号相连接，这将导致不可预期的后果，甚至不可逆的损坏。

Bit 4~3 **SAVRS1~SAVRS0**: A/D 转换器参考电压选择位

- 00: 外部 VREF 引脚
- 01: 内部 A/D 转换器电源 AV_{DD}
- 1x: 外部 VREF 引脚

这几位用于选择 A/D 转换器的参考电压。必须注意当 SAVRS1~SAVRS0 为“01”选择内部 A/D 转换器电源作为参考电压时，需正确的设置相应的共用引脚功能控制位，不可使能 VREF 引脚参考电压输入功能。否则，从 VREF 引脚上输入的外部电压也会连接到内部 A/D 转换器电源，这将导致无法预期的结果。

Bit 2~0 **SACKS2~SACKS0**: A/D 转换器时钟源选择位

- 000: f_{sys}
- 001: f_{sys}/2
- 010: f_{sys}/4
- 011: f_{sys}/8
- 100: f_{sys}/16
- 101: f_{sys}/32
- 110: f_{sys}/64
- 111: f_{sys}/128

这三位用于选择 A/D 转换器的时钟源。

A/D 转换器参考电压

A/D 转换器参考电压可以来自 A/D 转换器电源电压 AV_{DD} 或外部参考源引脚 VREF，可通过 SAVRS1~SAVRS0 位来选择。当 SAVRS 字段为“01”时，A/D 转换器参考电压来自 AV_{DD}。否则，当 SAVRS 字段为“01”以外其它值时，A/D 转换器参考电压来自 VREF 引脚。由于 VREF 引脚与其它功能共用，当选择 VREF 引脚作为参考电压源时，需合理设置相关引脚共用控制位使能 VREF 引脚功能。然而，若选择 A/D 转换器电源作为 A/D 转换器的参考电压，需设置相关的引脚共用控制位除能 VREF 引脚功能，以避免 VREF 引脚输入电压与 A/D 转换器电源 AV_{DD} 内部相连接。模拟输入值一定不能超过所选的参考电压值。

A/D 转换器输入信号

所有的 A/D 转换器外部模拟输入引脚都与 I/O 口及其它功能共用。使用引脚共用功能选择寄存器中的相应位，可以将它们设置为 A/D 转换器模拟输入脚或其它共用功能。如果对应的引脚作为 A/D 转换输入，那么它原来的引脚功能将除能。通过这种方式，引脚的功能可由程序来控制，灵活地切换引脚功能。如果将引脚设为 A/D 输入，则通过寄存器编程设置的所有上拉电阻会自动断开。请注意，端口控制寄存器不需要为使能 A/D 输入而先设定为输入模式，当 A/D 输入功能选择位使能 A/D 输入时，端口控制寄存器的状态将被重置。

A/D 转换器包含两个内部模拟信号即 Bandgap 参考电压 V_{BG} 和 A/D 转换器负电源电压 AV_{SS} 可通过设置 SAINS2~SAINS0 位将其连接到 A/D 转换器作为模拟输入信号。如果选择外部输入通道，SAINS2~SAINS0 位应设为“000”，及“101~111”中任一值，具体使用哪个外部通道由 SACS3~SACS0 位决定。如果选择内部模拟信号，那么 SACS3~SACS0 位必须设置为 1xxx 以关闭外部模拟通道输入，否则外部输入通道将与内部模拟信号相连接，从而导致不可预期的后果。

SAINS[2:0]	SACS[3:0]	输入信号	说明
000, 101~111	0000	—	保留，不可使用
	0001~0111	AN1~AN7	外部模拟通道输入 AN _n
	1xxx	—	输入浮空，未选择外部通道
001	1xxx	V _{BG}	内部 Bandgap 参考电压
010~100	1xxx	AV _{SS}	A/D 转换器负电源电压

A/D 转换器输入信号选择

A/D 转换器操作

SADC0 寄存器中的 START 位用于打开 A/D 转换器。当单片机设置此位从逻辑低到逻辑高，然后再到逻辑低，就会开始一个模数转换周期。

SADC0 寄存器中的 ADBZ 位用于表明模数转换过程是否正在进行。A/D 转换成功启动后，ADBZ 位会被单片机自动置为“1”。在转换周期结束后，ADBZ 位会自动置清零。此外，也会置位中断控制寄存器内相应的 A/D 中断请求标志位，如果中断使能，就会产生对应的内部中断信号。A/D 内部中断信号将引导程序跳转到相应的 A/D 内部中断地址。如果 A/D 内部中断被禁止，可以让单片机轮询 SADC0 寄存器中的 ADBZ 位，检查此位是否被清除，作为另一种侦测 A/D 转换周期结束的方法。

A/D 转换器的时钟源为系统时钟 f_{SYS} 或其分频，而分频系数由 SADC1 寄存器中的 SACKS2~SACKS0 位决定。虽然 A/D 时钟源是由系统时钟 f_{SYS} 和 SACKS2~SACKS0 位决定，但可选的 A/D 时钟源速度则有一些限制。由于允许的 A/D 时钟周期 t_{ADCK} 的范围为 $0.5\mu s \sim 10\mu s$ ，所以选择系统时钟速度时必须小心。如果系统时钟速度为 8MHz 时，SACKS2~SACKS0 位不能设为“000”，“001”或“111”。必须保证设置的 A/D 转换时钟周期不小于时钟周期的最小值或大于时钟周期的最大值，否则将会产生不准确的 A/D 转换值。使用者可以参考下面的表格，被标上星号 * 的数值是不允许的，因为它们超出了 A/D 转换时钟周期规定的范围。

f_{SYS}	A/D 时钟周期 (t_{ADCK})							
	SACKS[2:0] = 000 (f_{SYS})	SACKS[2:0] = 001 ($f_{SYS}/2$)	SACKS[2:0] = 010 ($f_{SYS}/4$)	SACKS[2:0] = 011 ($f_{SYS}/8$)	SACKS[2:0] = 100 ($f_{SYS}/16$)	SACKS[2:0] = 101 ($f_{SYS}/32$)	SACKS[2:0] = 110 ($f_{SYS}/64$)	SACKS[2:0] = 111 ($f_{SYS}/128$)
1MHz	1 μs	2 μs	4 μs	8 μs	16 μs *	32 μs *	64 μs *	128 μs *
2MHz	500ns	1 μs	2 μs	4 μs	8 μs	16 μs *	32 μs *	64 μs *
4MHz	250ns *	500ns	1 μs	2 μs	4 μs	8 μs	16 μs *	32 μs *
8MHz	125ns *	250ns *	500ns	1 μs	2 μs	4 μs	8 μs	16 μs *
12MHz	83ns *	167ns *	333ns *	667ns	1.33 μs	2.67 μs	5.33 μs	10.67 μs *

A/D 时钟周期范例

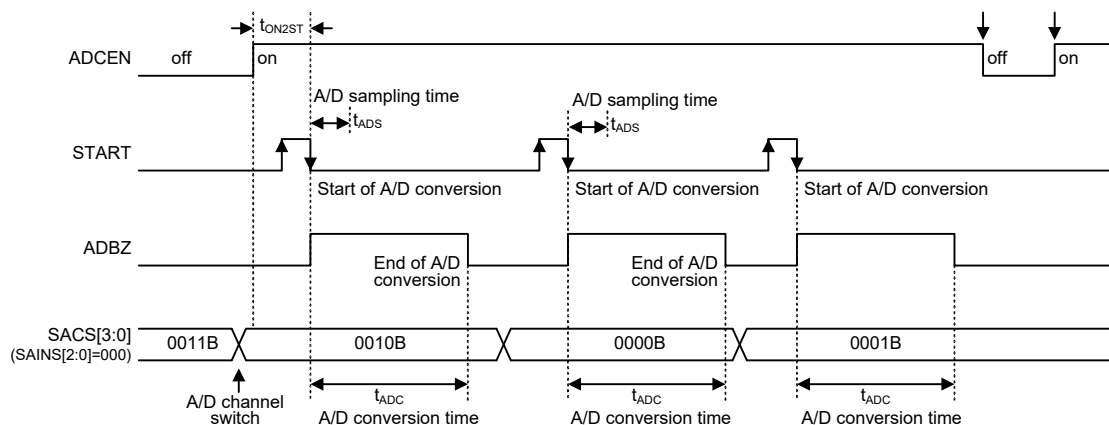
SADC0 寄存器中的 ADCEN 位用于控制 A/D 转换电路电源的开启和关闭。该位必须置高以开启 A/D 转换器电源。当设置 ADCEN 位为高开启 A/D 转换器内部电路时，在 A/D 转换成功开启前需一段延时。即使通过相关引脚共用控制位选择无引脚作为 A/D 输入，如果 ADCEN 设为“1”，那么仍然会产生功耗。因此在功耗敏感的应用中，当未使用 A/D 转换器功能时，建议设置 ADCEN 为低以减少功耗。

A/D 转换率及时序图

一个完整的 A/D 转换包含两部分，数据采样和数据转换。数据采样时间定义为 t_{ADS} ，需要 4 个 A/D 时钟周期，而数据转换需要 12 个 A/D 时钟周期。所以一个完整的 A/D 转换时间 t_{ADC} ，一共需要 16 个 A/D 时钟周期。

$$\text{最大 A/D 转换率} = \text{A/D 时钟周期} \div 16$$

下列时序图表示外部通道输入信号模数转换过程中不同阶段的图形与时序。由应用程序控制开始 A/D 转换过程后，单片机的内部硬件就会开始进行转换，在这个过程中，程序可以继续其它功能。A/D 转换时间为 $16t_{ADCK}$ ， t_{ADCK} 为 A/D 时钟周期。



A/D 转换时序图 - 外部通道输入

A/D 转换步骤

下面概述实现 A/D 转换过程的各个步骤。

- 步骤 1
通过 SADC1 寄存器中的 SACKS2~SACKS0 位，选择所需的 A/D 转换时钟。
- 步骤 2
将 SADC0 寄存器中的 ADCEN 位置高使能 A/D 转换器。
- 步骤 3
通过 SADC1 寄存器中的 SAINS2~SAINS0 位，选择连接至内部 A/D 转换器的信号。
若选择外部通道输入，接着执行步骤 4。
若选择内部模拟信号，接着执行步骤 5。
- 步骤 4
若已通过 SAINS2~SAINS0 位选择 A/D 输入信号来自外部通道输入，接着应设置相关的引脚共用控制位将该引脚规划为 A/D 输入引脚。通过设置 SACS3~SACS0 位选择哪个外部通道接至 A/D 转换器。接着执行步骤 6。
- 步骤 5
在 SAINS2~SAINS0 位选择 A/D 输入信号来自内部模拟信号之前，需设置 SACS3~SACS0 为 1xxx 以断开外部通道输入，然后再通过 SAINS2~SAINS0 位选择所需内部模拟信号。接着执行步骤 6。
- 步骤 6
通过 SADC1 寄存器中的 SAVRS1~SAVRS0 位选择参考电压源。若选择 A/D 转换器电源电压为参考电压，则外部参考输入引脚 VREF 功能必须通过正确配置相应的引脚共用控制位除能。
- 步骤 7
设置 SADC0 寄存器中的 ADRFS 位选择 A/D 转换器输出数据格式。
- 步骤 8
如果要使用 A/D 转换器中断，则中断控制寄存器需要正确地设置，以确保 A/D 中断功能是激活的。总中断控制位 EMI 需要置位为“1”，以及 A/D 转换器中断位 ADE 也需要置位为“1”。

- 步骤 9
现在可以通过设置 SADC0 寄存器中的 START 位从“0”到“1”再回到“0”，开始模数转换的过程。
- 步骤 10
如果 A/D 转换正在进行中，ADBZ 位会被置为逻辑高。A/D 转换完成后，ADBZ 位会被置为逻辑低，并可从 SADOH 和 SADOL 寄存器中读取输出数据。
注：若使用轮询 SADC0 寄存器中 ADBZ 位的状态的方法来检查转换过程是否结束时，则中断使能的步骤可以省略。

编程注意事项

在编程时，如果 A/D 转换器未使用，通过设置 SADC0 寄存器中的 ADCEN 为低，关闭 A/D 内部电路以减少电源功耗。此时，不考虑输入脚的模拟电压，内部 A/D 转换器电路不产生功耗。如果 A/D 转换器输入脚用作普通 I/O 脚，必须特别注意，输入电压为无效逻辑电平也可能增加功耗。

A/D 转换功能

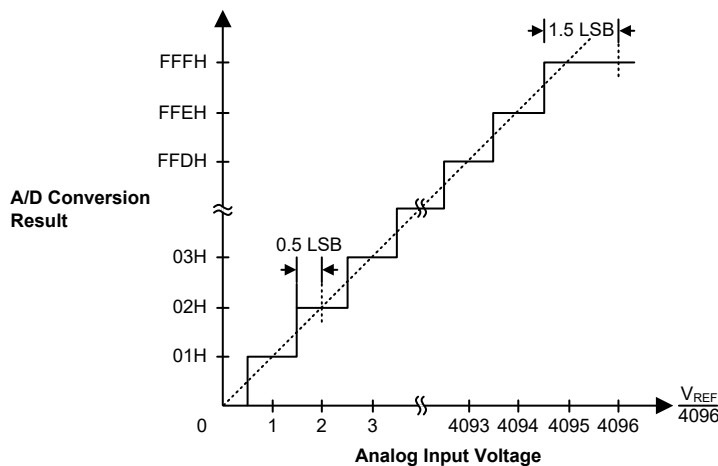
单片机含有一组 12 位的 A/D 转换器，它们转换的最大值可达 FFFH。由于模拟输入最大值等于实际 A/D 转换器参考电压值 V_{REF} ，因此每一位可表示 $V_{REF}/4096$ 的模拟输入值。

$$1 \text{ LSB} = V_{REF} \div 4096$$

通过下面的等式可估算 A/D 转换器输入电压值：

$$\text{A/D 输入电压} = \text{A/D 数字输出值} \times (V_{REF} \div 4096)$$

下图显示 A/D 转换器模拟输入值和数字输出值之间理想的转换功能。除了数字化数值 0，其后的数字化数值会在精确点之前的 0.5 LSB 处改变，而数字化数值的最大值将 V_{REF} 之前的 1.5 LSB 处改变。注意，这里的 V_{REF} 电压指代的是通过 SAVRS[1:0] 位选择的实际 A/D 转换器参考电压。



理想的 A/D 转换功能

A/D 转换应用范例

下面两个范例程序用来说明怎样使用 A/D 转换。第一个范例是轮询 SADC0 寄存器中的 ADBZ 位来判断 A/D 转换是否完成；第二个范例则使用中断的方式判断。

范例 1：使用查询 ADBZ 的方式来检测转换结束

```
clr ADE                                ; disable ADC interrupt
mov a, 03H                             ; select fsys/8 as A/D clock
mov SADC1, a                           ; A/D input signal comes from external channel
                                        ; select VREF pin as A/D reference voltage source

mov a, 03h
mov PAS1, a                            ; set PAS1 to configure pin VREF
mov a, 0Ch
mov PBS0, a                            ; set PBS0 to configure pin AN1

mov a, 21h
mov SADC0, a                           ; enable the A/D converter and connect AN1
                                        ; channel to A/D converter

:
start_conversion:
clr START                              ; high pulse on start bit to initiate conversion
set START                              ; reset A/D
clr START                              ; start A/D
polling_EOC:
sz ADBZ                                ; poll the SADC0 register ADBZ bit to detect end
                                        ; of A/D conversion
jmp polling_EOC                        ; continue polling
mov a, SADOL                            ; read low byte conversion result value
mov SADOL_buffer, a                    ; save result to user defined register
mov a, SADOH                            ; read high byte conversion result value
mov SADOH_buffer, a                    ; save result to user defined register
:
:
jmp start_conversion                    ; start next A/D conversion
```

范例 2：使用中断的方式来检测转换结束

```
clr ADE                      ; disable ADC interrupt
mov a,03H                    ; select fsys/8 as A/D clock
mov SADC1,a                  ; A/D input signal comes from external channel
                              ; select VREF pin as A/D reference voltage source

mov a,03h
mov PAS1,a                   ; set PAS1 to configure pin VREF
mov a,0Ch
mov PBS0,a                   ; set PBS0 to configure pin AN1
mov a,21h
mov SADC0,a                  ; enable the A/D converter and connect AN1
                              ; channel to A/D converter

:
start_conversion:
clr START                    ; high pulse on START bit to initiate conversion
set START                    ; reset A/D
clr START                    ; start A/D
clr ADF                      ; clear ADC interrupt request flag
set ADE                      ; enable ADC interrupt
set EMI                      ; enable global interrupt
:
:
; ADC interrupt service routine
ADC_ISR:
mov acc_stack,a              ; save ACC to user defined memory
mov a,STATUS
mov status_stack,a           ; save STATUS to user defined memory
:
:
mov a,SADOL                  ; read low byte conversion result value
mov SADOL_buffer,a           ; save result to user defined register
mov a,SADOH                  ; read high byte conversion result value
mov SADOH_buffer,a           ; save result to user defined register
:
:
EXIT_INT_ISR:
mov a,status_stack
mov STATUS,a                 ; restore STATUS from user defined memory
mov a,acc_stack              ; restore ACC from user defined memory
reti
```


通用串行接口模块 – USIM

此单片机内有一个通用串行接口模块，包括三种易与外部设备通信的串行接口：四线 SPI、两线 / 单线 I²C 和两线 UART 接口。这三种接口具有相当简单的通信协议，单片机可以通过这些接口与传感器、闪存或 EEPROM 内存等硬件设备通信。因为 USIM 接口引脚是与其它 I/O 引脚共用，因此在使用 USIM 功能前，要先通过相应的引脚共用功能选择寄存器选定 USIM 引脚功能。因为这三种接口共用引脚和寄存器，所以要先通过 SIMC0 寄存器中的 UART 模式选择位 UMD 和 SPI/I²C 工作模式控制位 SIM2~SIM0 选择哪一种通信接口。若 USIM 功能使能，可通过上拉电阻控制寄存器选择与输入 / 输出共用的 USIM 脚的上拉电阻。

SPI 接口

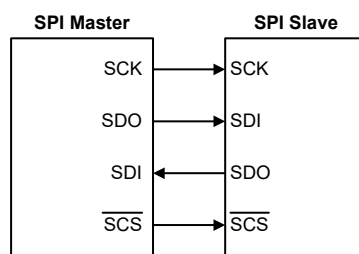
此 SPI 接口属于串行接口模块中的一种，不要与另一章节介绍的独立的 SPI 接口功能混淆

SPI 接口常用于与外部设备如传感器、闪存或 EEPROM 内存等通信。四线 SPI 接口最初是由摩托罗拉公司研制，是一个有相当简单的通信协议的串行数据接口，这个协议可以简化与外部硬件的编程要求。

SPI 通信模式为全双工模式，且能以主 / 从模式的工作方式进行通信，单片机既可以做为主机，也可以做为从机。虽然 SPI 接口理论上允许一个主机控制多个从机，但此处的 SPI 中只有一个片选信号引脚 $\overline{SCS}$ 。若主机需要控制多个从机，可使用输入 / 输出引脚选择从机。

SPI 接口操作

SPI 接口是一个全双工串行数据传输器。SPI 接口的四线为：SDI、SDO、SCK 和 $\overline{SCS}$ 。SDI 和 SDO 是数据的输入和输出线。SCK 是串行时钟线， $\overline{SCS}$ 是从机的选择线。SPI 的接口引脚与普通 I/O 口和 I²C/UART 的功能脚共用。通过设定相关引脚共用选择位和 SIMC0/SIMC2 寄存器的对应位，来使能 SPI 接口。连接到 SPI 接口的单片机以从主 / 从模式进行通信，所有的数据传输由主机发起，时钟信号也由主机控制。由于单片机只有一个 $\overline{SCS}$ 引脚，所以只能拥有一个从机设备。可通过软件控制 $\overline{SCS}$ 引脚使能与除能，设置 CSEN 位为“1”使能 $\overline{SCS}$ 功能，设置 CSEN 位为“0”， $\overline{SCS}$ 引脚将处于浮空状态。

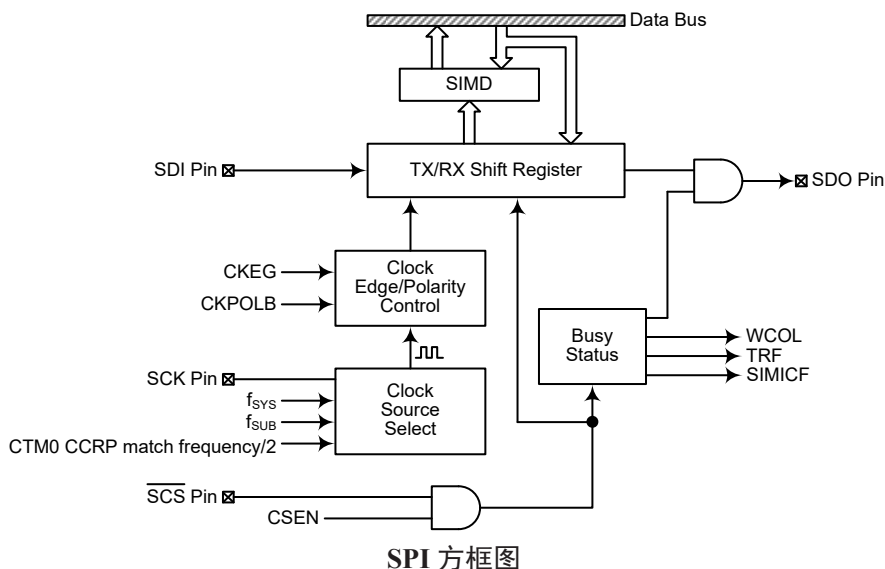


SPI 主 / 从机连接方式

该单片机的 SPI 功能具有以下特点：

- 全双工同步数据传输
- 主从模式
- 最低有效位先传或最高有效位先传的数据传输模式
- 传输完成标志位
- 时钟源上升沿或下降沿有效

SPI 接口状态受很多因素的影响，如单片机处于主机或从机的工作模式以及 CSEN、SIMEN 位的状态。



SPI 方框图

SPI 寄存器

有三个内部寄存器用于控制 SPI 接口的所有操作，其中有一个数据寄存器 SIMD、两个控制寄存器 SIMC0 和 SIMC2。注意，只有在合理设置 SIMC0 寄存器中的 UMD 位和 SIM2~SIM0 位选择 SPI 模式后，SIMC2 和 SIMD 寄存器以及它们的上电复位值才有效。

寄存器名称	位							
	7	6	5	4	3	2	1	0
SIMC0	SIM2	SIM1	SIM0	UMD	SIMDEB1	SIMDEB0	SIMEN	SIMICF
SIMC2	D7	D6	CKPOLB	CKEG	MLS	CSEN	WCOL	TRF
SIMD	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0

SPI 寄存器列表

SPI 数据寄存器

SIMD 用于存储发送和接收的数据。这个寄存器由 SPI 和 I²C 功能所共用。在单片机将数据写入到 SPI 总线之前，要传输的数据应先存在 SIMD 中。SPI 总线接收到数据之后，单片机就可以从 SIMD 数据寄存器中读取。所有通过 SPI 传输或接收的数据都必须通过 SIMD 实现。

• SIMD 寄存器

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Name	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
POR	x	x	x	x	x	x	x	x

“x”：未知

Bit 7~0 D7~D0: USIM SPI/I²C 数据寄存器位 bit 7 ~ bit 0

SPI 控制寄存器

单片机中也有两个控制 SPI 接口功能的寄存器，SIMC0 和 SIMC2。寄存器 SIMC0 用于控制使能 / 除能功能和设置数据传输的时钟频率。寄存器 SIMC2 用于其它的控制功能如 LSB/MSB 选择，写冲突标志位等。

• SIMC0 寄存器

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Name	SIM2	SIM1	SIM0	UMD	SIMDEB1	SIMDEB0	SIMEN	SIMICF
R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
POR	1	1	1	0	0	0	0	0

Bit 7~5 SIM2~SIM0: USIM SPI/I²C 工作模式控制位
 000: SPI 主机模式; SPI 时钟为 $f_{SYS}/4$
 001: SPI 主机模式; SPI 时钟为 $f_{SYS}/16$
 010: SPI 主机模式; SPI 时钟为 $f_{SYS}/64$
 011: SPI 主机模式; SPI 时钟为 f_{SUB}
 100: SPI 主机模式; SPI 时钟为 CTM0 CCRP 匹配频率 / 2
 101: SPI 从机模式
 110: I²C 从机模式
 111: 未使用模式

当 UMD 位清零时，这几位用于设置 USIM SPI/I²C 功能的工作模式，除了选择 USIM 模块的 I²C 或 SPI 功能，还可选择 SPI 的主从模式和 SPI 的主机时钟频率。SPI 时钟源可来自于系统时钟和 f_{SUB} ，也可以选择来自 CTM0。若选择的是作为 SPI 从机，则其时钟源从外部主机而得。

Bit 4 UMD: UART 模式选择位
 0: SPI 或 I²C 模式
 1: UART 模式

此位为 UART 模式选择位。当此位清零时，选择 SPI 或 I²C 模式，而实际 SPI 或 I²C 模式是通过 SIM2~SIM0 位选择。注意当选择 SPI 或 I²C 模式时，此位必须清零。

Bit 3~2 SIMDEB1~SIMDEB0: I²C 去抖时间选择位
 这些位只有在 USIM 设置成 I²C 接口模式时才有效。请参考 I²C 寄存器部分。

Bit 1 SIMEN: USIM SPI/I²C 使能控制位
 0: 除能
 1: 使能

此位为 USIM SPI/I²C 接口的开 / 关控制位。此位为“0”时，USIM SPI/I²C 接口除能，SDI、SDO、SCK 和 $\overline{SCS}$ 或 SDA 和 SCL 脚将失去 SPI 或 I²C 功能，USIM 工作电流减小到最小值。此位为“1”时，USIM SPI/I²C 接口使能。若 USIM 经由 UMD 位和 SIM2~SIM0 位设置为工作在 SPI 接口，当 SIMEN 位由低到高转变时，SPI 控制寄存器中的设置不会发生变化，其首先应在应用程序中初始化。若 USIM 经由 UMD 位和 SIM2~SIM0 位设置为工作在 I²C 接口，当 SIMEN 位由低到高转变时，I²C 控制寄存器中的设置，如 HTX 和 TXAK，将不会发生变化，其首先应在应用程序中初始化，此时相关 I²C 标志，如 HCF、HAAS、HBB、SRW 和 RXAK，将被设置为其默认状态。

Bit 0 SIMICF: USIM SPI 未完成标志位
 0: 未发生
 1: 发生

此位仅当 USIM 配置在 SPI 从机模式时有效。如果 SPI 工作在从机模式且 SIMEN 和 CSEN 位都为“1”，但在 SPI 数据传输完全结束前 $\overline{SCS}$ 线被外部主机拉高，SIMICF 和 TRF 位都会被置高。在这种情况下，如果相应的中断功能使能将产生一个中断。然而，如果 SIMICF 位是由软件应用程序设为 1，那么 TRF 位将不会置高。

● SIMC2 寄存器

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Name	D7	D6	CKPOLB	CKEG	MLS	CSEN	WCOL	TRF
R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
POR	0	0	0	0	0	0	0	0

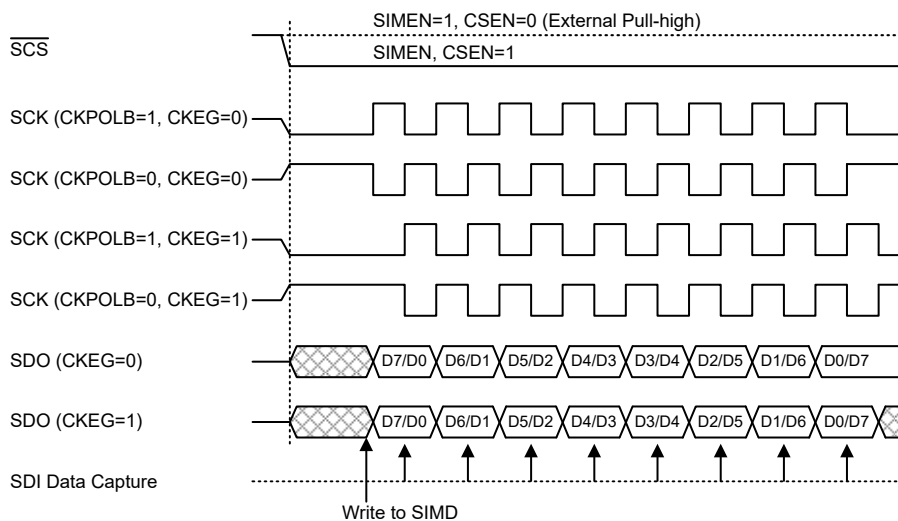
- Bit 7~6 D7~D6:** 未定义位
用户可通过应用程序对这两位进行读写。
- Bit 5 CKPOLB:** SPI 时钟线的基础状态选择位
0: 当时钟无效时, SCK 引脚为高电平
1: 当时钟无效时, SCK 引脚为低电平
此位决定了时钟线的基础状态, 若此位为高, 当时钟无效时 SCK 为低电平, 若此位为低, 当时钟无效时 SCK 为高电平。
- Bit 4 CKEG:** SPI 的 SCK 有效时钟边沿类型位
CKPOLB=0
0: SCK 为高电平且在 SCK 上升沿抓取数据
1: SCK 为高电平且在 SCK 下降沿抓取数据
CKPOLB=1
0: SCK 为低电平且在 SCK 下降沿抓取数据
1: SCK 为低电平且在 SCK 上升沿抓取数据
CKEG 和 CKPOLB 位用于设置 SPI 总线上时钟信号输入和输出方式。这两位必须在执行数据传输前被设置好, 否则将产生错误的时钟边沿信号。CKPOLB 位决定时钟线的基本状态, 若时钟无效且此位为高, 则 SCK 为低电平, 若时钟无效且此位为低, 则 SCK 为高电平。CKEG 位决定有效时钟边沿类型, 取决于 CKPOLB 的状态。
- Bit 3 MLS:** SPI 数据移位命令位
0: LSB 优先
1: MSB 优先
数据移位选择位, 用于选择数据传输时高位优先传输还是低位优先传输。此位设置为高时高位优先传输, 为低时低位优先传输。
- Bit 2 CSEN:** SPI $\overline{SCS}$ 引脚控制位
0: 除能
1: 使能
CSEN 位用于 $\overline{SCS}$ 引脚的使能 / 除能控制。此位为低时, $\overline{SCS}$ 除能并处于浮空状态。此位为高时, $\overline{SCS}$ 作为选择脚。
- Bit 1 WCOL:** SPI 写冲突标志位
0: 无冲突
1: 冲突
WCOL 标志位用于监测数据冲突的发生。此位为高时, 表示在传输过程中有数据被写入 SIMD 寄存器。若数据正在被传输时, 此写操作无效。此位可被应用程序清零。
- Bit 0 TRF:** SPI 发送 / 接收结束标志位
0: 数据正在发送
1: 数据发送结束
TRF 位为发送 / 接收结束标志位, 当 SPI 数据传输结束时, 此位自动置为高, 但须通过应用程序设置为“0”。此位也可用于产生中断。

SPI 通信

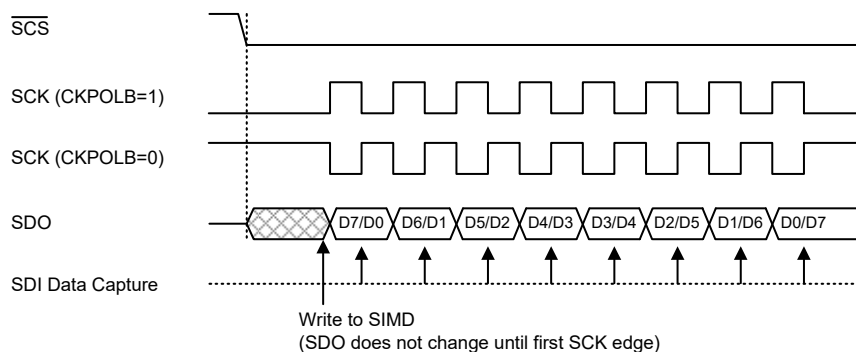
将 SIMEN 设置为高, 使能 SPI 功能之后, 若单片机处于主机模式, 当数据写入到寄存器 SIMD 的同时传输 / 接收开始进行。数据传输完成时, TRF 位将自动被置位但清除只能通过应用程序完成。若单片机处于从机模式, 收到主机发来的信号之后, 会传输 SIMD 中的数据, 而且在 SDI 引脚上的数据也会被移位到 SIMD 寄存器中。主机应在输出时钟信号之前先输出一个 $\overline{SCS}$ 信号以使能从

机，从机的数据传输功能也应在与 SCK 信号相关的适当时候准备就绪，这由 CKPOLB 和 CKEG 位决定。所附时序图表明了在不同 CKPOLB 和 CKEG 位设置情况下从机数据与 SCK 信号的关系。

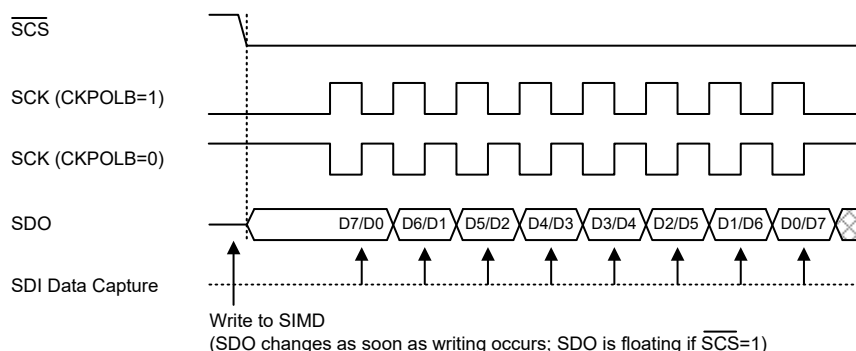
即使在单片机处于空闲模式时，若 SPI 接口使用的时钟源仍开启，SPI 功能仍将继续执行。



SPI 主机模式时序

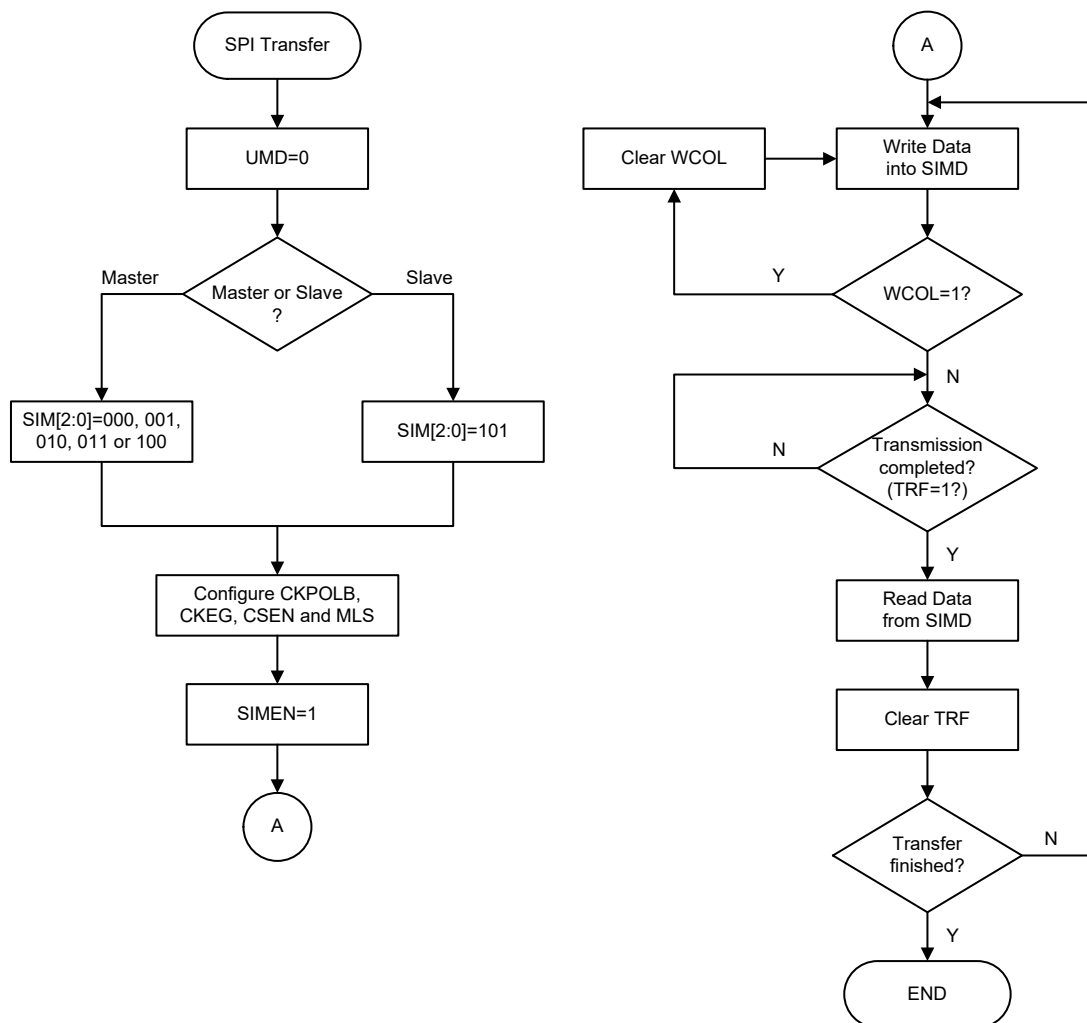


SPI 从机模式时序 – CKEG=0



Note: For SPI slave mode, if SIMEN=1 and CSEN=0, SPI is always enabled and ignores the $\overline{SCS}$ level.

SPI 从机模式时序 – CKEG=1



SPI 传输控制流程图

SPI 使能 / 除能

设置 $CSEN=1$ 、 $\overline{SCS}=0$ 将使能 SPI 总线，然后等待写数据到 SIMD 寄存器 (TXRX 缓存器)。单片机处于主机模式，数据写入 SIMD 寄存器后，自动开始数据传输或接收操作。数据传输完成时，TRF 位将自动被置位。单片机处于从机模式，SCK 引脚上收到脉冲信号之后，会传输 TXRX 中的数据，并将 SDI 引脚上的数据移入。

当 SPI 总线除能时，通过设置相应引脚共用控制位，SCK、SDI、SDO、 $\overline{SCS}$ 可作为 I/O 口或其它功能引脚使用。

SPI 操作步骤

四线制 SPI 接口可完成所有主 / 从模式通信工作。

在 SIMC2 寄存器中，CSEN 位控制 SPI 接口的所有功能。设置此位为高， $\overline{SCS}$ 信号线有效将使能 SPI 接口。设置此位为低，SPI 接口将除能， $\overline{SCS}$ 信号线处于浮空状态因此不能控制 SPI 接口。CSEN 位和 SIMC0 寄存器中的 SIMEN 位设置为高，使得 SDI 信号线处于浮空状态且 SDO 信号线为高电平。主机模式中，如果 SCK 信号线为高还是低取决于 SIMC2 寄存器中的时钟极性选择位

CKPOLB。从机模式中，SCK 信号线处于浮空状态。如果 SIMEN 位设置为低，SPI 接口被除能，通过设置相应引脚共用控制位， $\overline{SCS}$ 、SDI、SDO 和 SCK 可作为 I/O 口或其它功能引脚使用。主机模式中，当数据被写入 SIMD 寄存器后，主机发起数据传输，并控制时钟信号。从机模式中，由外部主机发出数据传送 / 接收时钟信号。下面介绍主从模式中数据传输步骤。

主机模式：

- 步骤 1
设置 SIMC0 控制寄存器中的 UMD 和 SIM2~SIM0 位，选择 SPI 主机模式和时钟源。
- 步骤 2
设置 CSEN 和 MLS 位，选择高位或低位数据优先传送，这必须与从机设备一致。
- 步骤 3
设置 SIMC0 控制寄存器中的 SIMEN 位，使能 SPI 接口功能。
- 步骤 4
对于写操作：写数据到 SIMD 寄存器，实际上此时数据会被存储在 TXRX 缓存器中。再使用 SCK 和 $\overline{SCS}$ 信号线将数据输出。跳至步骤 5。
对于读操作：从 SDI 信号线移入的数据将被存储在 TXRX 缓存器中，直到所有数据接收完毕，此时数据全部锁存至 SIMD 寄存器。
- 步骤 5
检测 WCOL 位，若此位为高，则发生数据冲突并跳回至步骤 4；若为低，则继续执行下面的步骤。
- 步骤 6
检测 TRF 位或等待 USIM SPI 串行总线中断发生。
- 步骤 7
从 SIMD 寄存器中读数据。
- 步骤 8
清除 TRF。
- 步骤 9
跳回至步骤 4。

从机模式：

- 步骤 1
设置 SIMC0 控制寄存器中的 UMD 和 SIM2~SIM0 位，选择 SPI 从机模式。
- 步骤 2
设置 CSEN 和 MLS 位，选择高位或低位数据优先传送，这必须与主机设备一致。
- 步骤 3
设置 SIMC0 控制寄存器中的 SIMEN 位，使能 SPI 接口功能。
- 步骤 4
对于写操作：写数据到 SIMD 寄存器，实际上此时数据会被存储在 TXRX 缓存器中。等待主机时钟 SCK 信号和 $\overline{SCS}$ 信号。跳至步骤 5。
对于读操作：从 SDI 信号线移入的数据将被存储在 TXRX 缓存器中，直到所有数据接收完毕，此时数据全部锁存至 SIMD 寄存器。

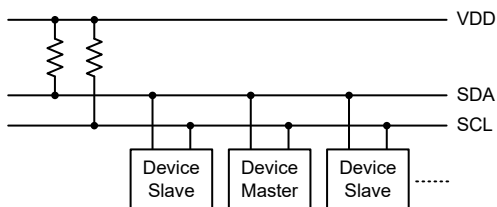
- 步骤 5
检测 WCOL 位，若此位为高，则发生数据冲突并跳回至步骤 4；若为低，则继续执行下面的步骤。
- 步骤 6
检测 TRF 位或等待 USIM SPI 串行总线中断发生。
- 步骤 7
从 SIMD 寄存器中读数据。
- 步骤 8
清除 TRF。
- 步骤 9
跳回至步骤 4。

错误侦测

SIMC2 寄存器中的 WCOL 位用于数据传输期间监测数据冲突的发生。此位由 SPI 串行接口设置为高，而由应用程序来清除为零。在数据传输期间如果写数据到 SIMD，此位被置高提示数据冲突发生，并阻止数据继续被写入。

I²C 接口

I²C 可以和传感器、EEPROM 内存等外部硬件接口进行通信。最初是由飞利浦公司研制，是适用于同步串行数据传输的双线式低速串行接口。I²C 接口具有两线通信，非常简单的通信协议和在同一总线上和多个设备进行通信的能力的优点，使之在很多的场合中大受欢迎。

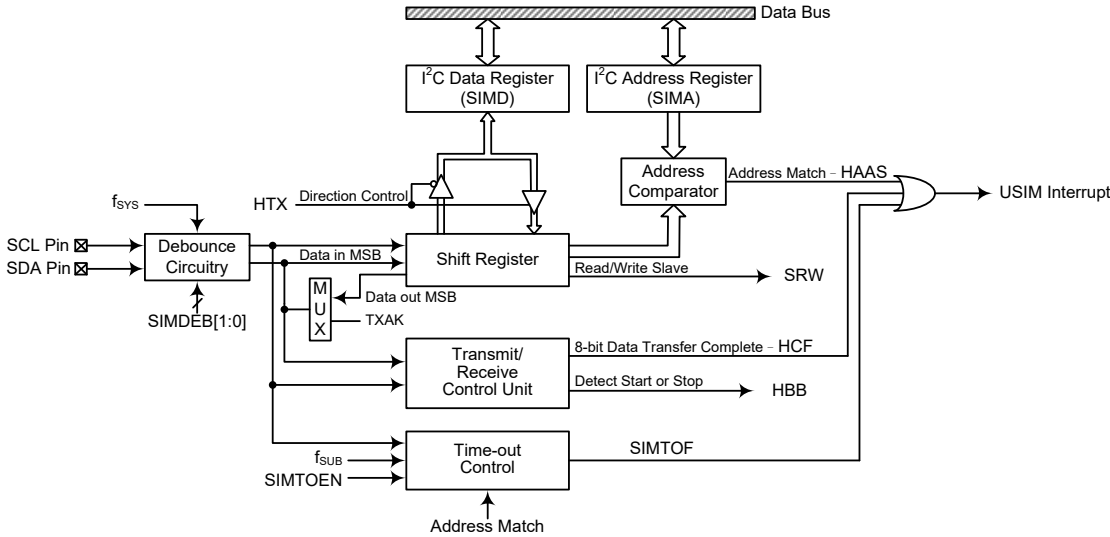


I²C 主从总线连接图

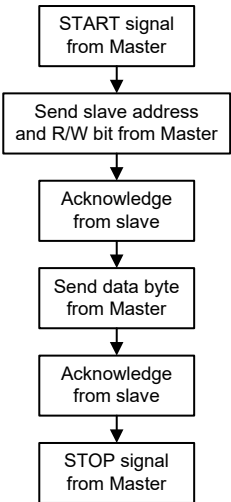
I²C 接口操作

I²C 串行接口是一个双线的接口，有一条串行数据线 SDA 和一条串行时钟线 SCL。由于可能有多个设备在同一条总线上相互连接，所以这些设备的输出都是开漏型输出。因此应在这些输出端口上都加上拉电阻。应注意的是，I²C 总线上的每个设备都没有选择线，但分别与唯一的地址一一对应，用于 I²C 通信。

如果有两个设备通过双向的 I²C 总线进行通信，那么就存在一个主机和一个从机。主机和从机都可以用于传输和接收数据，但只有主机才可以控制总线动作。那些处于从机模式的设备，要在 I²C 总线上传输数据只有两种方式，一是从机发送模式，二是从机接收模式。即使 I²C 设备被激活，与 SCL/SDA 引脚共用的 I/O 口上拉电阻控制功能仍有效，其上拉电阻功能由相应的上拉电阻控制寄存器控制。



I²C 方框图



I²C 接口操作

SIMDEB1 和 SIMDEB0 位决定 I²C 接口的去抖时间。这个功能可以使用内部时钟在外部时钟上增加一个去抖间隔，减小时钟线上毛刺发生的可能性，以避免单片机发生误动作。如果选择了这个功能，去抖时间可以选择 2 个或 4 个系统时钟。为了达到需要的 I²C 数据传输速度，系统时钟 f_{sys} 和 I²C 去抖时间之间存在一定的关系。I²C 标准模式或者快速模式下，用户需注意所选的系统时钟频率与标准匹配去抖时间的设置，其具体关系如下表所示。

I ² C 去抖时间选择	I ² C 标准模式 (100kHz)	I ² C 快速模式 (400kHz)
无去抖时间	f _{sys} > 2MHz	f _{sys} > 5MHz
2 个系统时钟去抖时间	f _{sys} > 4MHz	f _{sys} > 10MHz
4 个系统时钟去抖时间	f _{sys} > 8MHz	f _{sys} > 20MHz

I²C 最小 f_{sys} 频率要求

I²C 寄存器

I²C 总线有三个控制寄存器 SIMC0、SIMC1 和 SIMTOC，一个地址寄存器 SIMA 以及一个数据寄存器 SIMD。注意，只有在合理设置 SIMC0 寄存器中的 UMD 位和 SIM2~SIM0 位选择 I²C 模式后，SIMC1、SIMD、SIMA 和 SIMTOC 寄存器以及它们的上电复位值才有效。

寄存器名称	位							
	7	6	5	4	3	2	1	0
SIMC0	SIM2	SIM1	SIM0	UMD	SIMDEB1	SIMDEB0	SIMEN	SIMICF
SIMC1	HCF	HAAS	HBB	HTX	TXAK	SRW	IAMWU	RXAK
SIMD	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
SIMA	SIMA6	SIMA5	SIMA4	SIMA3	SIMA2	SIMA1	SIMA0	D0
SIMTOC	SIMTOEN	SIMTOF	SIMTOS5	SIMTOS4	SIMTOS3	SIMTOS2	SIMTOS1	SIMTOS0

I²C 寄存器列表

I²C 数据寄存器

SIMD 用于存储发送和接收的数据。这个寄存器由 SPI 和 I²C 功能所共用。在单片机将数据写入到 I²C 总线之前，要传输的数据应先存在 SIMD 中。I²C 总线接收到数据之后，单片机就可以从 SIMD 数据寄存器中读取。所有通过 I²C 传输或接收的数据都必须通过 SIMD 实现。

• SIMD 寄存器

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Name	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
POR	x	x	x	x	x	x	x	x

“x”：未知

Bit 7~0 **D7~D0**: USIM SPI/I²C 数据寄存器位 bit 7 ~ bit 0

I²C 地址寄存器

SIMA 寄存器也在 SPI 接口功能中使用，但其名称改为 SIMC2。SIMA 寄存器用于存放 7 位从机地址，寄存器 SIMA 中的 bit 7 ~ bit 1 是单片机的从机地址，bit 0 未定义。如果接至 I²C 的主机发送出的地址和寄存器 SIMA 中存储的地址相符，那么就选中了这个从机。

• SIMA 寄存器

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Name	SIMA6	SIMA5	SIMA4	SIMA3	SIMA2	SIMA1	SIMA0	D0
R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
POR	0	0	0	0	0	0	0	0

Bit 7~1 **SIMA6~SIMA0**: I²C 从机地址位

SIMA6~SIMA0 是 I²C 从机地址 bit 6 ~ bit 0。

Bit 0 **D0**: 保留位，此位可通过软件程序进行读写。

I²C 控制寄存器

单片机中有三个控制 I²C 接口功能的寄存器，SIMC0、SIMC1 和 SIMTOC。寄存器 SIMC0 用于控制使能 / 除能功能和设置数据传输的时钟频率。寄存器 SIMC1 包括多个用于指示 I²C 传输状态的相关标志位。SIMTOC 寄存器用于控制 I²C 超时功能，此寄存器在 I²C 超时一节介绍。

• SIMC0 寄存器

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Name	SIM2	SIM1	SIM0	UMD	SIMDEB1	SIMDEB0	SIMEN	SIMICF
R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
POR	1	1	1	0	0	0	0	0

Bit 7~5

SIM2~SIM0: USIM SPI/I²C 工作模式控制位

- 000: SPI 主机模式; SPI 时钟为 $f_{sys}/4$
- 001: SPI 主机模式; SPI 时钟为 $f_{sys}/16$
- 010: SPI 主机模式; SPI 时钟为 $f_{sys}/64$
- 011: SPI 主机模式; SPI 时钟为 f_{sub}
- 100: SPI 主机模式; SPI 时钟为 CTM0 CCRP 匹配频率 / 2
- 101: SPI 从机模式
- 110: I²C 从机模式
- 111: 未使用模式

当 UMD 位清零时，这几位用于设置 USIM SPI/I²C 功能的工作模式，除了选择 USIM 模块的 I²C 或 SPI 功能，还可选择 SPI 的主从模式和 SPI 的主机时钟频率。SPI 时钟源可来自于系统时钟和 f_{sub} ，也可以选择来自 CTM0。若选择的是作为 SPI 从机，则其时钟源从外部主机而得。

Bit 4

UMD: UART 模式选择位

- 0: SPI 或 I²C 模式
- 1: UART 模式

此位为 UART 模式选择位。当此位清零时，选择 SPI 或 I²C 模式，而实际 SPI 或 I²C 模式是通过 SIM2~SIM0 位选择。注意当选择 SPI 或 I²C 模式时，此位必须清零。

Bit 3~2

SIMDEB1~SIMDEB0: I²C 去抖时间选择位

- 00: 未定义
- 01: 2 个系统时钟去抖时间
- 1x: 4 个系统时钟去抖时间

当设置 UMD 位为“0”、SIM2~SIM0 位为“110”将 USIM 设置为 I²C 接口功能时，这两个位用于选择 I²C 去抖时间。

Bit 1

SIMEN: USIM SPI/I²C 控制位

- 0: 除能
- 1: 使能

此位为 USIM SPI/I²C 接口的开 / 关控制位。此位为“0”时，USIM SPI/I²C 接口除能，SDI、SDO、SCK 和 $\overline{SCS}$ 或 SDA 和 SCL 脚将失去 SPI 或 I²C 功能，USIM 工作电流减小到最小值。此位为“1”时，USIM SPI/I²C 接口使能。若 USIM 经由 UMD 位和 SIM2~SIM0 位设置为工作在 SPI 接口，当 SIMEN 位由低到高转变时，SPI 控制寄存器中的设置不会发生变化，其首先应在应用程序中初始化。若 USIM 经由 UMD 位和 SIM2~SIM0 位设置为工作在 I²C 接口，当 SIMEN 位由低到高转变时，I²C 控制寄存器中的设置，如 HTX 和 TXAK，将不会发生变化，其首先应在应用程序中初始化，此时相关 I²C 标志，如 HCF、HAAS、HBB、SRW 和 RXAK，将被设置为其默认状态。

Bit 0

SIMICF: USIM SPI 未完成标志位

此位仅当 USIM 配置在 SPI 从机模式时有效。请参考 SPI 寄存器部分。

• SIMC1 寄存器

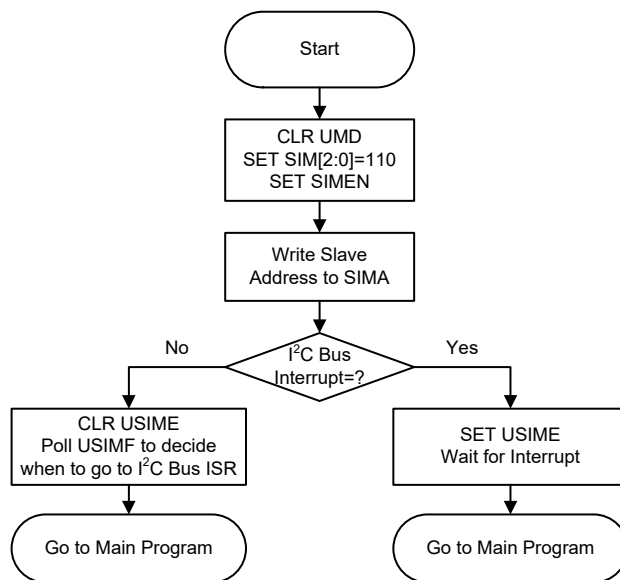
Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Name	HCF	HAAS	HBB	HTX	TXAK	SRW	IAMWU	RXAK
R/W	R	R	R	R/W	R/W	R	R/W	R
POR	1	0	0	0	0	0	0	1

- Bit 7 **HCF**: I²C 总线数据传输结束标志位
0: 数据正在被传输
1: 8 位数据传输完成
数据正在传输时该位为低。当 8 位数据传输完成时, 此位为高并产生一个中断。
- Bit 6 **HAAS**: I²C 地址匹配标志位
0: 地址不匹配
1: 地址匹配
HAAS 位是地址匹配标志位。此标志位用于决定从机地址是否与主机发送的地址相同。若地址匹配此位为高, 否则此位为低。
- Bit 5 **HBB**: I²C 总线忙标志位
0: I²C 总线闲
1: I²C 总线忙
HBB 是 I²C 总线忙标志位。当检测到 START 信号时 I²C 忙, 此位变为高电平。当检测到 STOP 信号时 I²C 总线空闲, 该位变为低电平。
- Bit 4 **HTX**: 从机处于发送或接收模式标志位
0: 从机处于接收模式
1: 从机处于发送模式
- Bit 3 **TXAK**: I²C 总线发送应答标志位
0: 从机发送应答标志
1: 从机没有发送应答标志
TXAK 位是发送应答标志位。从机接收完 8 位数据之后, 该位将在第九个从机时钟时被传到总线上。如果从机想要接收更多的数据, 则应在接收数据之前将此位设置为“0”。
- Bit 2 **SRW**: I²C 从机读 / 写位
0: 从机应处于接收模式
1: 从机应处于发送模式
SRW 位是从机读写位。决定主机是否希望传输数据或接收来自 I²C 总线的数据。当传输地址和从机的地址相同时, HAAS 位会被设置为高, 从机将检测 SRW 位来决定进入发送模式还是接收模式。如果 SRW 位为高时, 主机请求从总线上读数据, 此时从机处于传输模式。当 SRW 位为“0”时, 主机往总线上写数据, 从机处于接收模式以读取数据。
- Bit 1 **IAMWU**: I²C 地址匹配唤醒控制位
0: 除能
1: 使能
此位设置为“1”则使能 I²C 地址匹配使系统从休眠或空闲模式中唤醒的功能。若进入休眠或空闲模式前 IAMWU 已经置高以使能 I²C 地址匹配唤醒功能, 在系统唤醒后须软件清除此位以确保单片机正确地运行。
- Bit 0 **RXAK**: I²C 总线接收应答标志位
0: 从机接收到应答标志
1: 从机没有接收到应答标志
RXAK 位是接收应答标志位。如果 RXAK 位为“0”, 即表示 8 位数据传输之后, 从机在第九个时钟有接收到一个应答信号。如果从机处于发送状态, 从机作为发送方会检查 RXAK 位来判断主机接收方是否愿意继续接收下一个字节。因此发送方会一直发送数据, 直到 RXAK 为“1”时才停止发送数据。这时, 发送方将释放 SDA 线, 主机方可发出停止信号从而释放 I²C 总线。

I²C 总线通信

I²C 总线上的通信需要四步完成，一个起始信号，一个从机地址发送，一个数据传输，还有一个停止信号。当起始信号被写入 I²C 总线时，总线上的所有从机都会接收到这个起始信号并且被通知总线上即将有数据到达。数据的前 7 位是从机地址，高位在前，低位在后。如果发出的地址和从机地址匹配，SIMC1 寄存器的 HAAS 位会被置位，同时产生 USIM 中断。进入中断服务程序后，系统要检测 HAAS 位和 SIMTOF 位，以判断中断源是来自从机地址匹配，还是来自 8 位数据传输完毕，或是来自 I²C 超时。在数据传输中，要注意的是，在 7 位从机地址被发送后，接下来的一位，即第 8 位，是读 / 写控制位，该位的值会反映到 SRW 位中。从机通过检测 SRW 位以确定自己是要进入发送模式还是接收模式。在 I²C 总线开始传送数据前，需要先初始化 I²C 总线，初始化 I²C 总线步骤如下：

- 步骤 1
设置 SIMC0 寄存器中 UMD 位为“0”、SIM2~SIM0 位为“110”和 SIMEN 位为“1”，以使能 I²C 总线。
- 步骤 2
向 I²C 总线地址寄存器 SIMA 写入从机地址。
- 步骤 3
设置中断控制寄存器中的 USIME 位以使能 USIM 中断。



I²C 总线初始化流程图

I²C 总线起始信号

起始信号只能由连接 I²C 总线的主机产生，而不是由从机产生。总线上的所有从机都可以侦测到起始信号。如果有从机侦测到起始信号，则表明 I²C 总线处于忙碌状态，并会置位 HBB。起始信号是指在 SCL 为高电平时，SDA 线上发生从高到低的电平变化。

I²C 从机地址

总线上的所有从机都会侦测由主机发出的起始信号。发送起始信号后，紧接着主机会发送从机地址以选择要进行数据传输的从机。所有在 I²C 总线上的从机接收到 7 位地址数据后，都会将其与各自内部的地址进行比较。如果从机从主机上接收到的地址与自身内部的地址相匹配，则会产生一个 USIM I²C 总线中断信号。地址位接下来的一位为读 / 写状态位 (即第 8 位)，将被保存到 SIMC1 寄存器的 SRW 位，从机随后发出一个低电平应答信号 (即第 9 位)。当从机地址匹配时，从机将状态标志位 HAAS 置位。

USIM I²C 总线中断有三个中断源，当程序运行至中断服务子程序时，通过检测 HAAS 位和 SIMTOF 位，以判断 USIM I²C 总线中断是来自从机地址匹配，还是来自 8 位数据传递完毕，或是来自 I²C 超时。当是从机地址匹配发生中断时，则从机或是用于发送模式并将数据写进 SIMD 寄存器，或是用于接收模式并从 SIMD 寄存器中读取空值以释放 SCL 线。

I²C 总线读 / 写信号

SIMC1 寄存器的 SRW 位用来表示主机是要从 I²C 总线上读取数据还是要将数据写到 I²C 总线上。从机通过检测该位以确定自己是作为发送方还是接收方。当 SRW 置 “1”，表示主机要从 I²C 总线上读取数据，从机则作为发送方，将数据写到 I²C 总线；当 SRW 清 “0”，表示主机要写数据到 I²C 总线上，从机则做为接收方，从 I²C 总线上读取数据。

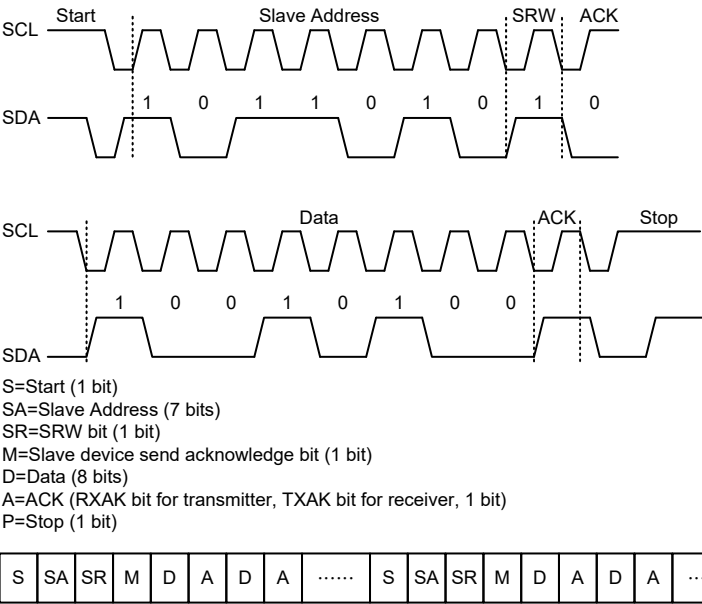
I²C 总线从机地址应答信号

主机发送呼叫地址后，当 I²C 总线上的任何从机内部地址与其匹配时，会发送一个应答信号。此应答信号会通知主机有从机已经接收到了呼叫地址。如果主机没有收到应答信号，则主机必须发送停止 (STOP) 信号以结束通信。当 HAAS 为高时，表示从机接收到的地址与自己内部地址匹配，则从机需检查 SRW 位，以确定自己是作为发送方还是作为接收方。如果 SRW 位为高，从机须设置成发送方，这样会置位 SIMC1 寄存器的 HTX 位。如果 SRW 位为低，从机须设置成接收方，这样会清零 SIMC1 寄存器的 HTX 位。

I²C 总线数据和应答信号

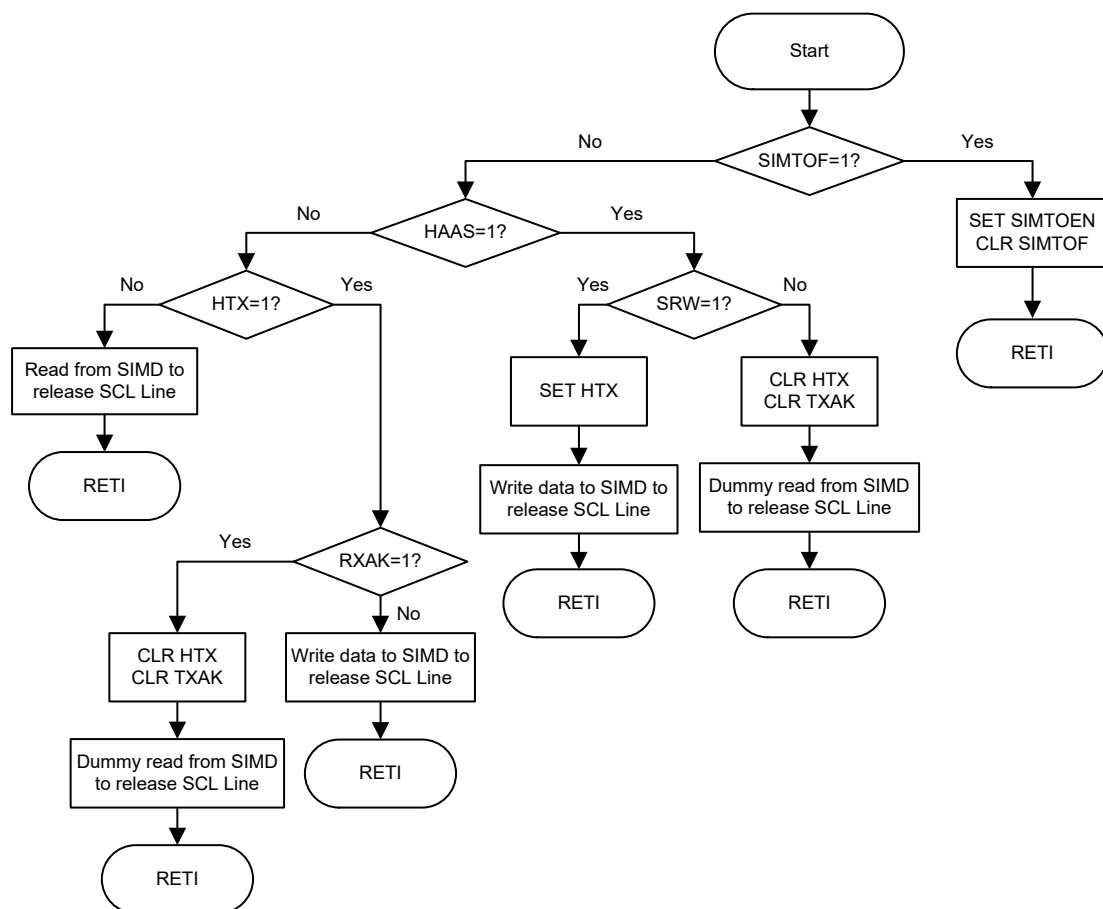
在从机确认接收到从地址后，会进行 8 位宽度的数据传输。这个数据传输顺序是的高位在前，低位在后。接收方在接收到 8 位数据后必须发出一个应答信号 (“0”) 以继续接收下一个数据。如果从机发送方没接收到来自主机接收方的应答信号，发送方将释放 SDA 线，此时主机方可发出 STOP 信号以释放 I²C 总线。所传送的数据存储在 SIMD 寄存器中。如果设置成发送方，从机必须先将欲传输的数据写到 SIMD 寄存器中；如果设置成接收方，从机必须从 SIMD 寄存器读取数据。

当接收器想要继续接收下一个数据时，必须在第 9 个时钟发出应答信号 (TXAK)。被设为发送方的从机将检测寄存器 SIMC1 中的 RXAK 位以判断是否传输下一个字节的数据，如果从机不传输下一个字节，那么它将释放 SDA 线并等待接收主机的停止信号。



I²C 通信时序图

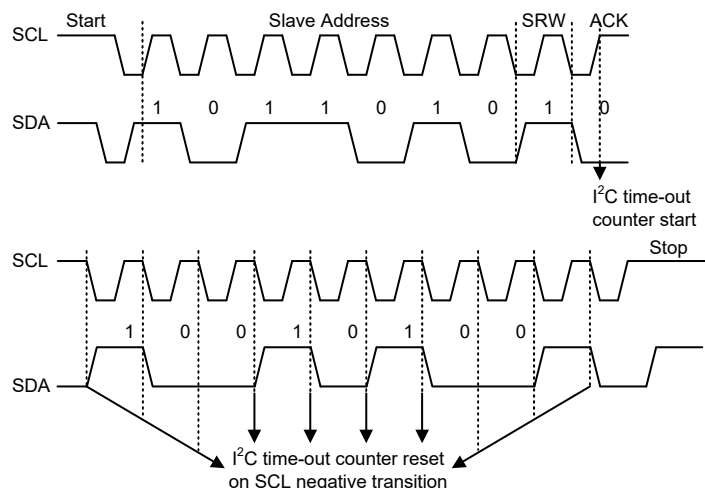
注：当从机地址匹配时，单片机必须选择设置为发送模式还是接收模式。若设置为发送模式，需写数据至 SIMD 寄存器；若设置为接收模式，需立即从 SIMD 寄存器中虚读数据以释放 SCL 线。



I²C 总线 ISR 流程图

I²C 超时控制

超时功能可减少 I²C 接收错误的时钟源而引起的锁死问题。如果连接到 I²C 总线的时钟源经过一段时间还未接收到，则在一定的超时周期后，I²C 电路和寄存器将复位。超时计数器在 I²C 总线“START”和“地址匹配”条件下开始计数，且在 SCL 下降沿清零。在下一个 SCL 下降沿到来之前，如果超时时间大于 SIMTOC 寄存器指定的超时周期，则超时发生。I²C “STOP”条件发生时超时功能终止。



I²C 超时时序图

当 I²C 超时计数器溢出时，计数器将停止计数，SIMTOEN 位被清零，且 SIMTOF 位被置高以表明超时计数器中断发生。超时计数器中断使用的也是 USIM 中断向量。当 I²C 超时发生时，I²C 内部电路会被复位，寄存器也将发生如下复位情况。

寄存器	I²C 超时发生后
SIMD, SIMA, SIMC0	保持不变
SIMC1	复位至 POR

超时发生后的 I²C 寄存器

SIMTOF 标志位由应用程序清零。共有 64 个超时周期，可通过 SIMTOC 寄存器的 SIMTOS 位进行选择。超时周期可通过公式计算： $((1 \sim 64) \times 32) / f_{SUB}$ 。由此可得超时周期范围为 1ms~64ms。

● SIMTOC 寄存器

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Name	SIMTOEN	SIMTOF	SIMTOS5	SIMTOS4	SIMTOS3	SIMTOS2	SIMTOS1	SIMTOS0
R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
POR	0	0	0	0	0	0	0	0

Bit 7 **SIMTOEN**: USIM I²C 超时控制位

0: 除能
1: 使能

Bit 6 **SIMTOF**: USIM I²C 超时标志位

0: 超时未发生
1: 超时发生

当发生超时，此位由硬件自动置位；此位必须通过应用程序清零。

Bit 5~0 **SIMTOS5~SIMTOS0**: USIM I²C 超时时间选择位

I²C 超时时钟源是 $f_{SUB}/32$ 。

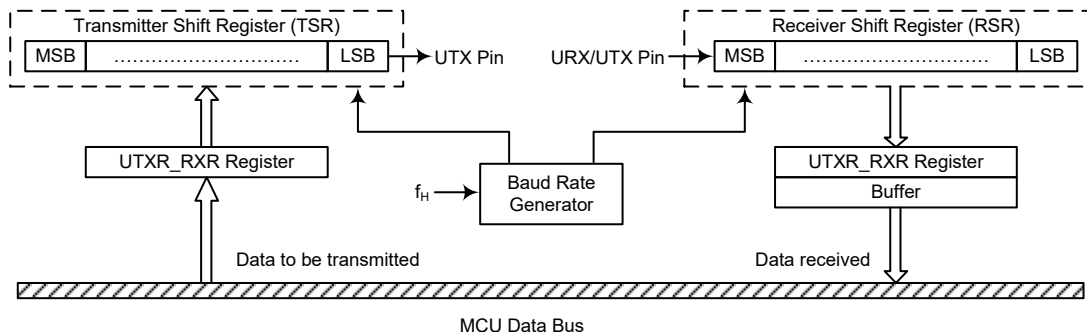
I²C 超时时间计算方法： $(SIMTOS[5:0] + 1) \times (32 / f_{SUB})$ 。

UART 模块串行接口

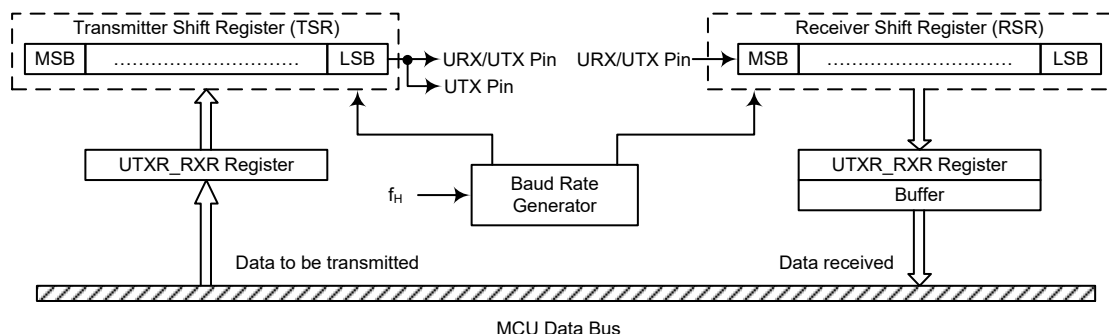
该单片机具有一个全双工或半双工的异步串行通信接口 –UART，可以很方便的与其它具有串行口的芯片通信。UART 具有许多功能特性，发送或接收串行数据时，将数据组成一个 8 位或 9 位的数据块，连同数据特征位一并传输。具有检测数据覆盖或帧错误等功能。UART 功能与 SPI 和 I²C 接口共用一个内部中断向量，当接收到数据或数据发送结束，触发中断。

内置的 UART 功能包含以下特性：

- 全双工或半双工 (单线通信模式) 通用异步接收器 / 发送器
- 8 位或 9 位传输格式
- 奇校验、偶校验或无校验
- 1 位或 2 位停止位
- 8 位预分频的波特率发生器
- 奇偶、帧、噪声和溢出检测
- 支持地址匹配中断 (最后一位 = 1)
- 独立的发送和接收使能
- 2-byte FIFO 接收缓冲器
- URX/UTX 引脚唤醒功能
- 发送和接收中断
- 中断可由下列条件触发：
 - ◆ 发送器为空
 - ◆ 发送器空闲
 - ◆ 接收完成
 - ◆ 接收器溢出
 - ◆ 地址匹配



UART 数据传输方框图 – USWM=0



UART 数据传输方框图 - USWM=1

UART 外部引脚

内部 UART 有两个外部引脚 UTX 和 URX/UTX，可与外部串行接口进行通信。UTX 和 URX/UTX 分别为 UART 发送脚和接收脚，与 I/O 口或其它功能共用引脚。在使用 UART 功能前，应先通过相应的引脚共用功能选择寄存器，选择 UTX 和 URX/UTX 引脚功能。当 UMD、UREN、UTXEN 和 URXEN 位置高时，将自动设置这些 I/O 脚或其它共用功能脚作为 UTX 和 URX/UTX 引脚功能，并且除能 UTX 和 URX/UTX 引脚上的上拉电阻功能。当 UMD、UREN、UTXEN 或 URXEN 位清零除能 UTX 或 URX/UTX 引脚功能后，UTX 或 URX/UTX 引脚将处于浮空状态。这时 UTX 或 URX/UTX 引脚是否连接内部上拉电阻是由相应的 I/O 上拉电阻控制位决定的。

UART 单线模式

UART 功能支持单线模式通信，通过 UUCR3 寄存器中的 USWM 位选择。当设置该位为高，UART 将工作在单线模式。在单线模式下，单个 URX/UTX 引脚通过相关控制位的不同设置即可完成数据的发送与接收。设置 URXEN 位为高，URX/UTX 引脚用作接收引脚。将 URXEN 位清零，同时设置 UTXEN 位为高，URX/UTX 引脚用作发送引脚。

在单线模式下建议不要将 URXEN 位和 UTXEN 位同时设置为高。若 URXEN 位和 UTXEN 位同时为高，URXEN 位具有更高的优先级，此时 UART 为接收器状态。

需特别注意的是，UART 章节所有内容是基于 UART 全双工通信来对 UART 功能进行描述，相关的说明除引脚的使用外，对半双工通信(单线模式)同样适用。在理解单线模式通信时，全双工通信中使用的 UTX 引脚需取代为 URX/UTX 引脚。

在单线模式下，通过合理的软件配置，数据也可以在 UTX 引脚发送。因此数据可通过 URX/UTX 和 UTX 引脚输出。

UART 数据传输方案

UART 数据传输方框图显示了 UART 的整体结构。需要发送的数据首先写入 UTXR_RXR 寄存器，接着此数据被传输到发送移位寄存器 TSR 中，然后在波特率发生器的控制下将 TSR 寄存器中数据一位位地移到 UTX 引脚上，低位在前。UTXR_RXR 寄存器被映射到单片机的数据存储器中，而发送移位寄存器没有实际地址，所以发送移位寄存器不可直接操作。

数据在波特率发生器的控制下，低位在前高位在后，从外部引脚 URX/UTX 进入接收移位寄存器 RSR。当数据接收完成，数据从接收移位寄存器移入可被用户程序操作的 UTXR_RXR 寄存器中。UTXR_RXR 寄存器被映射到单片机数据

存储器中，而接收移位寄存器没有实际地址，所以接收移位寄存器不可直接操作。

需要注意的是，发送和接收都是共用同一个地址的数据寄存器，即 UTXR_RXR 寄存器。

UART 状态和控制寄存器

与 UART 功能相关的有七个寄存器，SIMC0 寄存器中的 UMD 位用于选择 UART 接口功能。UUCR3 寄存器中的 USWM 位用于使能/除能 UART 单线模式。其它包括控制 UART 模块整体功能的 UUSR、UUCR1 和 UUCR2 寄存器，控制波特率的 UBRG 寄存器，管理发送和接收数据的数据寄存器 UTXR_RXR。注意，只有在 SIMC0 寄存器中的 UMD 位设置为“1”后，UART 相关的寄存器以及它们的上电复位值才有效。

寄存器名称	位							
	7	6	5	4	3	2	1	0
SIMC0	SIM2	SIM2	SIM0	UMD	SIMDEB1	SIMDEB0	SIMEN	SIMICF
UUSR	UPERR	UNF	UFERR	UOERR	URIDLE	URXIF	UTIDLE	UTXIF
UUCR1	UREN	UBNO	UPREN	UPRT	USTOPS	UTXBRK	URX8	UTX8
UUCR2	UTXEN	URXEN	UBRGH	UADDEN	UWAKE	URIE	UTHIE	UTEIE
UUCR3	—	—	—	—	—	—	—	USWM
UTXR_RXR	UTXRX7	UTXRX6	UTXRX5	UTXRX4	UTXRX3	UTXRX2	UTXRX1	UTXRX0
UBRG	UBRG7	UBRG6	UBRG5	UBRG4	UBRG3	UBRG2	UBRG1	UBRG0

UART 寄存器列表

• SIMC0 寄存器

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Name	SIM2	SIM1	SIM0	UMD	SIMDEB1	SIMDEB0	SIMEN	SIMICF
R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
POR	1	1	1	0	0	0	0	0

- Bit 7~5 **SIM2~SIM0**: USIM SPI/I²C 工作模式控制位
当 UMD 位清零时，这几位用于设置 USIM SPI/I²C 功能的工作模式。更多细节详见 SPI 或 I²C 寄存器章节。
- Bit 4 **UMD**: UART 模式选择位
0: SPI 或 I²C 模式
1: UART 模式
此位为 UART 模式选择位。当此位清零时，选择 SPI 或 I²C 模式，而实际 SPI 或 I²C 模式是通过 SIM2~SIM0 位选择。
- Bit 3~2 **SIMDEB1~SIMDEB0**: I²C 去抖时间选择位
详见 I²C 寄存器章节。
- Bit 1 **SIMEN**: USIM SPI/I²C 控制位
0: 除能
1: 使能
此位仅当 UMD 位设置为“1”选择 SPI 或 I²C 模式时才有效。详见 SPI 或 I²C 寄存器章节。
- Bit 0 **SIMICF**: USIM SPI 未完成标志位
详见 SPI 寄存器章节。

● UUSR 寄存器

寄存器 UUSR 是 UART 的状态寄存器，可以通过程序读取以得知当前 UART 状态。所有 UUSR 位是只读的。详细解释如下：

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Name	UPERR	UNF	UFERR	UOERR	URIDLE	URXIF	UTIDLE	UTXIF
R/W	R	R	R	R	R	R	R	R
POR	0	0	0	0	1	0	1	1

Bit 7 **UPERR**: 奇偶校验出错标志位

- 0: 奇偶校验正确
- 1: 奇偶校验出错

UPERR 是奇偶校验出错标志位。若 UPERR=0，奇偶校验正确；若 UPERR=1，接收到的数据奇偶校验出错。只有使能了奇偶校验此位才有效。可使用软件清除该标志位，即先读取 UUSR 寄存器再读 UTXR_RXR 寄存器来清除此位。

Bit 6 **UNF**: 噪声干扰标志位

- 0: 没有受到噪声干扰
- 1: 受到噪声干扰

UNF 是噪声干扰标志位。若 UNF=0，没有受到噪声干扰；若 UNF=1，UART 接收数据时受到噪声干扰。它与 URXIF 在同周期内置位，但不会与溢出标志位同时置位。可使用软件清除该标志位，即先读取 UUSR 寄存器再读 UTXR_RXR 寄存器将清除此标志位。

Bit 5 **UFERR**: 帧错误标志位

- 0: 无帧错误发生
- 1: 有帧错误发生

UFERR 是帧错误标志位。若 UFERR=0，没有帧错误发生；若 UFERR=1，当前的数据发生了帧错误。可使用软件清除该标志位，即先读取 UUSR 寄存器再读 UTXR_RXR 寄存器来清除此位。

Bit 4 **UOERR**: 溢出错误标志位

- 0: 无溢出错误发生
- 1: 有溢出错误发生

UOERR 是溢出错误标志位，表示接收缓冲器是否溢出。若 UOERR=0，没有溢出错误；若 UOERR=1，发生了溢出错误，它将禁止下一组数据的接收。可通过软件清除该标志位，即先读取 UUSR 寄存器再读 UTXR_RXR 寄存器将清除此标志位。

Bit 3 **URIDLE**: 接收状态标志位

- 0: 正在接收数据
- 1: 接收器空闲

URIDLE 是接收状态标志位。若 URIDLE=0，正在接收数据；若 URIDLE=1，接收器空闲。在接收到停止位和下一个数据的起始位之间，URIDLE 被置位，表明 UART 空闲，URX/UTX 引脚处于逻辑高状态。

Bit 2 **URXIF**: 接收寄存器状态标志位

- 0: UTXR_RXR 寄存器为空
- 1: UTXR_RXR 寄存器含有有效数据

URXIF 是接收寄存器状态标志位。当 URXIF=0，UTXR_RXR 寄存器为空；当 URXIF=1，UTXR_RXR 寄存器接收到新数据。当数据从移位寄存器加载到 UTXR_RXR 寄存器中，如果 UUCR2 寄存器中的 URIE=1，则会触发中断。当接收数据时检测到一个或多个错误时，相应的标志位 UNF、UFERR 或 UPERR 会在同一周期内置位。读取 UUSR 寄存器再读 UTXR_RXR 寄存器，如果 UTXR_RXR 寄存器中没有新的数据，那么将清除 URXIF 标志。

Bit 1 **UTIDLE**: 数据发送完成标志位

- 0: 数据传输中
- 1: 无数据传输

UTIDLE 是数据发送完成标志位。若 UTIDLE=0，数据传输中。当 UTXIF=1 且数据发送完毕或者暂停字被发送时，UTIDLE 置位。UTIDLE=1，UTX 引脚空闲且处于逻辑高状态。读取 UUSR 寄存器再写 UTXR_RXR 寄存器将清除 UTIDLE 位。数据字符或暂停字就绪时，不会产生该标志位。

Bit 0

UTXIF: 发送数据寄存器 UTXR_RXR 状态位

0: 数据还没有从缓冲器加载到移位寄存器中

1: 数据已从缓冲器加载到移位寄存器中 (UTXR_RXR 数据寄存器为空)

UTXIF 是发送数据寄存器为空标志位。若 UTXIF=0，数据还没有从缓冲器加载到移位寄存器中；若 UTXIF=1，数据已从缓冲器中加载到移位寄存器中。读取 UUSR 寄存器再写 UTXR_RXR 寄存器将清除 UTXIF。当 UTXEN 被置位，由于发送缓冲器未满，UTXIF 也会被置位。

● UUCR1 寄存器

UUCR1、UUCR2 和 UUCR3 是 UART 的三个控制寄存器，用来定义各种 UART 功能，例如 UART 的使能与除能、奇偶校验控制、传输数据的长度以及单线模式通信等等。详细解释如下：

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Name	UREN	UBNO	UPREN	UPRT	USTOPS	UTXBRK	URX8	UTX8
R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R	W
POR	0	0	0	0	0	0	x	0

“x”未知

Bit 7

UREN: UART 功能使能位

0: UART 除能，UTX 和 URX/UTX 引脚处于浮空状态

1: UART 使能，UTX 和 URX/UTX 引脚作为 UART 功能引脚

此位为 UART 的使能位。UREN=0，UART 除能，URX/UTX 和 UTX 处于浮空状态；UREN=1，若 UMD 位置高，UART 使能，UTX 和 URX/UTX 将分别由 USWM 模式选择位、UTXEN 和 URXEN 控制。当 UART 被除能将清除缓冲器，所有缓冲器中的数据将被忽略，另外波特率计数器、错误和状态标志位被复位，UTXEN、URXEN、UTXBRK、URXIF、UOERR、UFERR、UPERR 和 UNF 清零，而 UTIDLE、UTXIF 和 URIDLE 置位，UUCR1、UUCR2、UUCR3 和 UBRG 寄存器中的其它位保持不变。若 UART 工作时 UREN 清零，所有发送和接收将停止，模块也将复位成上述状态。当 UART 再次使能时，它将在上次配置下重新工作。

Bit 6

UBNO: 发送数据位数选择位

0: 8-bit 传输数据

1: 9-bit 传输数据

UBNO 是发送数据位数选择位。UBNO=1，传输数据为 9 位；UBNO=0，传输数据为 8 位。若选择了 9 位数据传输格式，URX8 和 UTX8 将分别存储接收和发送数据的第 9 位。

Bit 5

UPREN: 奇偶校验使能位

0: 奇偶校验除能

1: 奇偶校验使能

此位为奇偶校验使能位。UPREN=1，使能奇偶校验；UPREN=0，除能奇偶校验。

Bit 4

UPRT: 奇偶校验选择位

0: 偶校验

1: 奇校验

奇偶校验选择位。UPRT=1，奇校验；UPRT=0，偶校验。

Bit 3

USTOPS: 停止位的长度选择位

0: 有一位停止位

1: 有两位停止位

此位用来设置停止位的长度。USTOP=1，有两位停止位；USTOP=0，只有一位停止位。

- Bit 2 **UTXBRK**: 暂停字发送控制位
0: 没有暂停字要发送
1: 发送暂停字
UTXBRK 是暂停字发送控制位。UTXBRK=0, 没有暂停字要发送, UTX 引脚正常操作; UTXBRK=1, 将会发送暂停字, 发送器将发送逻辑“0”。若 UTXBRK 为高, 缓冲器中数据发送完毕后, 发送器输出将至少保持 13 位宽的低电平直至 UTXBRK 复位。
- Bit 1 **URX8**: 接收 9-bit 数据传输格式中的第 9 位 (只读)
此位只有在传输数据为 9 位的格式中有效, 用来存储接收数据的第 9 位。UBNO 是用来控制传输位数是 8 位还是 9 位。
- Bit 0 **UTX8**: 发送 9-bit 数据传输格式中的第 9 位 (只写)
此位只有在传输数据为 9 位的格式中有效, 用来存储发送数据的第 9 位。UBNO 是用来控制传输位数是 8 位还是 9 位。

• UUCR2 寄存器

UUCR2 是 UART 的第二个控制寄存器, 它的主要功能是控制发送器、接收器以及各种 USIM UART 模式中断源的使能或除能。它也可用来控制波特率, 使能接收唤醒和地址侦测。详细解释如下:

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Name	UTXEN	URXEN	UBRGH	UADDEN	UWAKE	URIE	UTIE	UTEIE
R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
POR	0	0	0	0	0	0	0	0

- Bit 7 **UTXEN**: UART 发送使能位
0: UART 发送除能
1: UART 发送使能
此位为发送使能位。UTXEN=0, 发送将被除能, 发送器立刻停止工作。另外发送缓冲器将被复位, 此时 UTX 引脚将处于浮空状态。若 UTXEN=1 且 UMD=1 及 UREN=1, 则发送将被使能, UTX 引脚将由 UART 来控制。在数据传输时清除 UTXEN 将中止数据发送且复位发送器, 此时 UTX 引脚将处于浮空状态。
- Bit 6 **URXEN**: UART 接收使能位
0: UART 接收除能
1: UART 接收使能
此位为接收使能位。URXEN=0, 接收将被除能, 接收器立刻停止工作。另外接收缓冲器将被复位, 此时 URX/UTX 引脚将处于浮空状态。若 URXEN=1 且 UMD=1 及 UREN=1, 则接收将被使能, URX/UTX 引脚将由 UART 来控制。在数据传输时清除 URXEN 将中止数据接收且复位接收器, 此时 URX/UTX 引脚将处于浮空状态。
- Bit 5 **UBRGH**: 波特率发生器高低速选择位
0: 低速波特率
1: 高速波特率
此位为波特率发生器高低速选择位, 它和 UBRG 寄存器一起控制 UART 的波特率。UBRGH=1, 为高速模式; UBRGH=0, 为低速模式。
- Bit 4 **UADDEN**: 地址检测使能位
0: 地址检测除能
1: 地址检测使能
此位为地址检测使能和除能位。UADDEN=1, 地址检测使能, 此时数据的第 8 位 (UBNO=0) 或第 9 位 (UBNO=1) 为高, 那么接到的是地址而非数据。若相应的中断使能且接收到的值最高位为 1, 那么中断请求标志将会被置位, 若地址检测功能使能且最高位为 0, 那么将不会产生中断且收到的数据也会被忽略。
- Bit 3 **UWAKE**: URX/UTX 引脚下降沿唤醒 UART 功能使能位
0: URX/UTX 引脚下降沿唤醒 UART 功能除能
1: URX/UTX 引脚下降沿唤醒 UART 功能使能

此位用于控制 URX/UTX 引脚下降沿时是否唤醒 UART 功能。此位仅当 UART 时钟源 f_{H1} 关闭时有效。若 UART 时钟源 f_{H1} 还开启，则无 URX/UTX 引脚唤醒 UART 功能无效。若此位置高且 UART 时钟 f_{H1} 关闭，当 URX/UTX 引脚发生下降沿时会产生 UART 唤醒请求。若相应的中断使能，将产生 URX/UTX 引脚唤醒 UART 的中断，以告知单片机使其通过应用程序开启 UART 时钟源 f_{H1} ，从而唤醒 UART 功能。否则，若此位为低，即使 URX/UTX 引脚发生下降沿也无法恢复 UART 功能。

Bit 2 **URIE**: 接收中断使能位

0: 接收中断除能

1: 接收中断使能

此位为接收中断使能或除能位。若 URIE=1，当 UOERR 或 URXIF 置位时，USIM 的中断请求标志 USIMF 置位；若 URIE=0，USIM 中断请求标志 USIMF 不受 UOERR 和 URXIF 影响。

Bit 1 **UTIE**: 发送器空闲中断使能位

0: 发送器空闲中断除能

1: 发送器空闲中断使能

此位为发送器空闲中断的使能或除能位。若 UTIE=1，当发送器空闲触发 UTIDLE 置位时，USIM 的中断请求标志 USIMF 置位；若 UTIE=0，USIM 中断请求标志 USIMF 不受 UTIDLE 的影响。

Bit 0 **UTEIE**: 发送寄存器为空中断使能位

0: 发送寄存器为空中断除能

1: 发送寄存器为空中断使能

此位为发送寄存器为空中断的使能或除能位。若 UTEIE=1，当发送器为空中断触发 UTXIF 置位时，USIM 的中断请求标志 USIMF 置位；若 UTEIE=0，USIM 中断请求标志 USIMF 不受 UTXIF 的影响。

● UUCR3 寄存器

UUCR3 寄存器用于使能 UART 单线模式通信。顾名思义，在单线模式下 UART 只需要使用一条线，URX/UTX，在 UUCR2 寄存器中的 URXEN 和 UTXEN 位控制下即可完成通信。

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Name	—	—	—	—	—	—	—	USWM
R/W	—	—	—	—	—	—	—	R/W
POR	—	—	—	—	—	—	—	0

Bit 7~1 未定义，读为“0”

Bit 0 **USWM**: 单线模式使能控制

0: 除能，URX/UTX 引脚仅用作 UART 接收功能

1: 使能，URX/UTX 引脚在 URXEN 和 UTXEN 位控制下可用作接收或发送功能
需注意的是，单线模式使能时，若将 URXEN 和 UTXEN 位同时设置为高，URX/UTX 引脚用作接收功能。

UTXR_RXR 寄存器

UTXR_RXR 是一个数据寄存器，用来存储 UTX 引脚将要发送或 URX/UTX 引脚正在接收的数据。

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Name	UTXRX7	UTXRX6	UTXRX5	UTXRX4	UTXRX3	UTXRX2	UTXRX1	UTXRX0
R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
POR	x	x	x	x	x	x	x	x

“x”: 未知

Bit 7~0 **UTXRX7~UTXRX0**: UART 发送 / 接收数据位 Bit 7~Bit 0

• UBRG 寄存器

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Name	UBRG7	UBRG6	UBRG5	UBRG4	UBRG3	UBRG2	UBRG1	UBRG0
R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
POR	x	x	x	x	x	x	x	x

Bit 7~0 **UBRG7~UBRG0:** 波特率值

软件设置 UUCR2 寄存器中的 UBRGH 位 (设置波特率发生器的速度) 和 UBRG 寄存器 (设置波特率的值), 一起控制 UART 的波特率。

注: 若 UBRGH=0, 波特率 = $f_H/[64 \times (N+1)]$;

若 UBRGH=1, 波特率 = $f_H/[16 \times (N+1)]$ 。

波特率发生器

UART 自身具有一个波特率发生器, 通过它可以设定数据传输速率。波特率是由一个独立的内部 8 位计数器产生, 它由 UBRG 寄存器和 UUCR2 寄存器的 UBRGH 位来控制。UBRGH 是决定波特率发生器处于高速模式还是低速模式, 从而决定计算公式的选用。UBRG 寄存器的值 N 可根据下表中的公式计算, N 的范围是 0 到 255。

UUCR2 的 UBRGH 位	0	1
波特率 (BR)	$f_H/[64 (N+1)]$	$f_H/[16 (N+1)]$

为得到相应的波特率, 首先需要设置 UBRGH 来选择相应的计算公式从而算出 UBRG 的值。由于 UBRG 的值不连续, 所以实际波特率和理论值之间有一个偏差。

下面举例怎样计算 UBRG 寄存器中的值 N 和误差。

波特率和误差的计算

若选用 4MHz 时钟频率且 UBRGH=0, 若期望的波特率为 4800, 计算它的 UBRG 寄存器的值 N, 实际波特率和误差。

根据上表, 波特率 $BR = f_H/[64 (N+1)]$

转换后的公式 $N = [f_H/(BR \times 64)] - 1$

带入参数 $N = [4000000/(4800 \times 64)] - 1 = 12.0208$

取最接近的值, 十进制 12 写入 UBRG 寄存器, 实际波特率如下

$BR = 4000000/[64 \times (12+1)] = 4808$

因此, 误差 = $(4808 - 4800)/4800 = 0.16\%$

UART 模块的设置与控制

UART 采用标准的不归零码传输数据, 这种方法通常被称为 NRZ 法。它由 1 位起始位, 8 位或 9 位数据位和 1 位或者两位停止位组成。奇偶校验是由硬件自动完成的, 可设置成奇校验、偶校验和无校验三种格式。常用的数据传输格式由 8 位数据位, 1 位停止位, 无校验组成, 用 8、N、1 表示, 它是系统上电的默认格式。数据位数、停止位数和奇偶校验由 UUCR1 寄存器的 UBNO、UPRT、UPREN 和 USTOPS 设定。用于数据发送和接收的波特率由一个内部的 8 位波特率发送器产生, 数据传输时低位在前高位在后。尽管 UART 发送器和接收器在功能上相互独立, 但它们使用相同的数据传输格式和波特率, 在任何情况下, 停止位是必须的。

UART 的使能和除能

UART 是由 UUCR1 寄存器的 UREN 位来使能和除能的。当 SIMC0 寄存器中的 UMD 位已设置为“1”选择 UART 模式，若 UREN、UTXEN 和 URXEN 都为高，则 TX 和 URX/UTX 分别为 UART 的发送端口和接收端口。若没有数据发送，UTX 引脚默认状态为高电平。

UREN 清零将除能 UTX 和 URX/UTX，通过设置相关引脚共用控制位，这两个引脚可用作普通 I/O 口或其它引脚共用功能。当 UART 被除能时将清空缓冲器，所有缓冲器中的数据将被忽略，另外一些使能控制、错误标志和状态标志将被复位，如 UTXEN、URXEN、UTXBRK、URXIF、UOERR、UFERR、UPERR 和 UNF 清零，而 UTIDLE、UTXIF 和 URIDLE 置位，UUCR1、UUCR2、UUCR3 和 UBRG 寄存器中的其它位保持不变。若 UART 工作时 UREN 清零，所有发送和接收将停止，模块也将复位成上述状态。当 UART 再次使能时，它将在上次配置下重新工作。

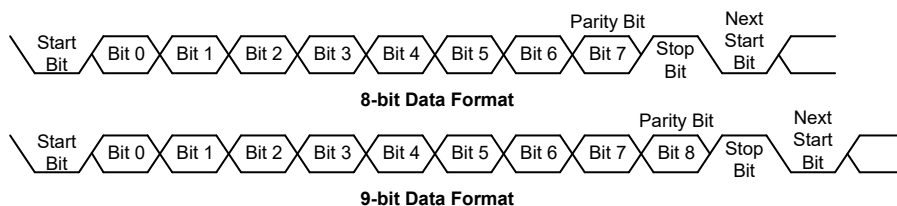
数据位、停止位位数以及奇偶校验的选择

数据传输格式由数据长度、是否校验、校验类型、地址位以及停止位长度组成。它们都是由 UUCR1 寄存器的各个位控制的。UBNO 决定数据传输是 8 位还是 9 位；UPRT 决定校验类型；UPREN 决定是否选择奇偶校验；而 USTOPS 决定选用 1 位还是 2 位停止位。下表列出了各种数据传输格式。若地址检测功能使能，地址位，即数据字节的最高位，用来确定此帧是地址还是数据。停止位的长度和数据位的长度无关，且只有发送器需设置停止位长度。接收器只接收一个停止位。

起始位	数据位	地址位	校验位	停止位
8 位数据位				
1	8	0	0	1
1	7	0	1	1
1	7	1	0	1
9 位数据位				
1	9	0	0	1
1	8	0	1	1
1	8	1	0	1

发送和接收数据格式

下图是传输 8 位和 9 位数据的波形。



UART 发送器

UUCR1 寄存器的 UBNO 位是控制数据传输的长度。UBNO=1 其长度为 9 位，第 9 位 MSB 存储在 UUCR1 寄存器的 UTX8 中。发送器的核心是发送移位寄存器 TSR，它的数据由发送寄存器 UTXR_RXR 提供，应用程序只须将发送数据写入 UTXR_RXR 寄存器。上组数据的停止位发出前，TSR 寄存器禁止写入。

如果还有新的数据要发送，一旦停止位发出，待发数据将会从 UTXR_RXR 寄存器加载到 TSR 寄存器。TSR 不像其它寄存器一样映射到数据存储器，所以应用程序不能对其进行读写操作。UTXEN=1，发送使能，但若 UTXR_RXR 寄存器没有数据或者波特率没有设置，发送器将不会工作。先写 UTXR_RXR 寄存器再置高 UTXEN 也会触发发送。当发送器使能，若 TSR 寄存器为空，数据写入 UTXR_RXR 寄存器将会直接加载到 TSR 寄存器中。发送器工作时，UTXEN 清零，发送器将立刻停止工作并且复位，此时通过设置相关引脚共用控制位，UTX 引脚用作普通 I/O 口或其它引脚共用功能。

发送数据

当 UART 发送数据时，数据从移位寄存器中移到 UTX 引脚上，其低位在前高位在后。在发送模式中，UTXR_RXR 寄存器在内部总线和发送移位寄存器间形成一个缓冲。如果选择 9 位数据传输格式，最高位 MSB 取自 UUCR1 寄存器的 UTX8。

发送器的启动可由如下步骤完成：

- 正确地设置 UBNO、UPRT、UPREN 和 USTOPS 位以确定数据长度、校验类型和停止位长度。
- 设置 UBRG 寄存器，选择期望的波特率。
- 置高 UTXEN，使能 UART 发送器且使 UTX 作为 UART 的发送端。
- 读取 UUSR 寄存器，然后将待发数据写入 UTXR_RXR 寄存器。注意，此步骤会清除 UTXIF 标志位。

如果要发送多个数据只需重复上一步骤。

当 UTXIF=0 时，数据将禁止写入 UTXR_RXR 寄存器。可以通过以下步骤来清除 UTXIF：

1. 读取 UUSR 寄存器
2. 写 UTXR_RXR 寄存器

只读标志位 UTXIF 由 UART 硬件置位。若 UTXIF=1，UTXR_RXR 寄存器为空，其它数据可以写入而不会覆盖之前的数据。若 UTEIE=1，UTXIF 标志位会产生中断。在数据传输时，写 UTXR_RXR 指令会将待发数据暂存在 UTXR_RXR 寄存器中，当前数据发送完毕后，待发数据被加载到发送移位寄存器中。当发送器空闲时，写 UTXR_RXR 指令会将数据直接加载到 TSR 寄存器中，数据传输立刻开始且 UTXIF 置位。当发送完停止位或暂停帧后，表示一帧数据已发送完毕，此时 UTIDLE 位将被置位。

可以通过以下步骤来清除 UTIDLE：

1. 读取 UUSR 寄存器
2. 写 UTXR_RXR 寄存器

清除 UTXIF 和 UTIDLE 软件执行次序相同。

发送暂停字

若 UTXBRK=1 且此状态保持时间超过 $[(BRG+1) \times t_{th}]$ ，下一帧将会发送暂停字。它是由一个起始位、 $13 \times N$ ($N=1, 2, \dots$) 位逻辑 0 组成。置位 UTXBRK 将会发送暂停字，而清除 UTXBRK 将产生停止位，传输暂停字不会产生中断。需要注意的是，暂停字至少 13 位宽。若 UTXBRK 持续为高，那么发送器会一直发送暂停字；当应用程序将 UTXBRK 清零后，发送器结束最后一帧暂停字的发送后接着发送一位或两位停止位。最后一帧暂停字的结尾自动为高电平，以确保下一帧数据起始位的检测。

UART 接收器

UART 接收器支持 8 位或者 9 位数据接收。若 UBNO=1，数据长度为 9 位，而最高位 MSB 存放在 UUCR1 寄存器的 URX8 中。接收器的核心是串行移位寄存器 RSR。URX/UTX 引脚上的数据送入数据恢复器中，它在 16 倍波特率的频率下工作，而串行移位器工作在正常波特率下。当在 URX/UTX 引脚上检测到停止位，若 UTXR_RXR 寄存器为空，数据从 RSR 寄存器中加载到 UTXR_RXR 寄存器。URX/UTX 引脚上的每一位数据会被采样三次以判断其逻辑状态。RSR 不像其它寄存器一样映射在数据存储区，所以应用程序不能对其进行读写操作。

接收数据

当 UART 接收数据时，数据低位在前高位在后，连续地从 URX/UTX 引脚进入移位寄存器。UTXR_RXR 寄存器在内部总线和接收移位寄存器间形成一个缓冲。UTXR_RXR 寄存器是一个两层的 FIFO 缓冲器，它能保存两帧数据的同时接收第三帧数据，应用程序必须保证在接收完第三帧前读取 UTXR_RXR 寄存器，否则忽略第三帧数据并且发生溢出错误。

接收器的启动可由如下步骤完成：

- 正确地设置 UBNO、UPRT 和 UPREN 位以确定数据长度和校验类型。
- 设置 UBRG 寄存器，选择期望的波特率。
- 置高 URXEN，使能 UART 接收器且使 URX/UTX 作为 UART 的接收端。

此时接收器被使能并检测起始位。

接收数据将会发生如下事件：

- ◆ 当 UTXR_RXR 寄存器中包含有效数据时，UUSR 寄存器中的 URXIF 位将会置位，溢出错误发生之前至多还有一帧数据可读。
- ◆ 若 URIE=1，数据从 RSR 寄存器加载到 UTXR_RXR 寄存器中将产生中断。
- ◆ 若接收器检测到帧错误、噪声干扰错误、奇偶出错或溢出错误，那么相应的错误标志位置位。

可以通过如下步骤来清除 URXIF：

1. 读取 UUSR 寄存器
2. 读取 UTXR_RXR 寄存器

接收暂停字

UART 接收任何暂停字都会当作帧错误处理。接收器只根据 UBNO 位的设置外加一个停止位来确定一帧数据的长度。若暂停字数大于 UBNO 位指定的长度外加一个停止位，接收器认为接收已完毕，URXIF 和 UFERR 置位，UTXR_RXR 寄存器清 0，若相应的中断允许且 URIDLE 为高将会产生中断。暂停字只会被认为包含信息 0 且会置位 UFERR 标志位。如果检测到较长的暂停信号，接收器会将此信号视为包含一个起始位、数据位和无效的停止位的数据帧并且置位 UFERR 标志位。在下个开始位到来之前，接收器必须等待一个有效的停止位。接收器不会假定线上的暂停信号是下一个开始位。暂停字将会加载到缓冲器中，在接收到停止位前不会再接收数据，没有检测到停止位也会置位只读标志位 URIDLE。

UART 接收到暂停字会产生以下事件：

- 帧错误标志位 UFERR 置位。
- UTXR_RXR 寄存器清零。
- UOERR、UNF、UPERR、URIDLE 或 URXIF 可能会置位。

空闲状态

当 UART 接收数据时，即在起初位和停止位之间，UUSR 寄存器的接收状态标志位 URIDLE 清零。在停止位和下一帧数据的起始位之间，URIDLE 被置位，表示接收器空闲。

接收中断

UUSR 寄存器的只读标志位 URXIF 由接收器的边沿触发置位。若 URIE=1，数据从移位寄存器 RSR 加载到 UTXR_RXR 寄存器时产生中断，同样地，溢出也会产生中断。

接收错误处理

UART 会产生几种接收错误，下面部分将描述各错误以及怎样处理。

溢出 – UOERR 标志

UTXR_RXR 寄存器是一个两层的 FIFO 缓冲器，它能保存两帧数据的同时接收第三帧数据，应用程序必须保证在接收完第三帧前读取 UTXR_RXR 寄存器，否则发生溢出错误。

产生溢出错误时将会发生以下事件：

- UUSR 寄存器中 UOERR 被置位。
- UTXR_RXR 寄存器中数据不会丢失。
- RSR 寄存器数据将会被覆盖。
- 若 URIE=1，将会产生中断。

先读取 UUSR 寄存器再读取 UTXR_RXR 寄存器可将 UOERR 清零。

噪声干扰 – UNF 标志

数据恢复时多次采样可以有效的鉴别出噪声干扰。当检测到数据受到噪声干扰时将会发生以下事件：

- 在 URXIF 上升沿，UUSR 寄存器中只读标志位 UNF 置位。
- 数据从 RSR 寄存器加载到 UTXR_RXR 寄存器中。
- 不产生中断，但此位置位发生在 URXIF 置位产生中断的同周期内。

先读取 UUSR 寄存器再读取 UTXR_RXR 寄存器可将 UNF 清零。

帧错误 – UFERR 标志

若在停止位上检测到 0，UUSR 寄存器中只读标志 UFERR 置位。若选择两位停止位，此两位都必须为高，否则将置位 UFERR。此标志位同接收的数据分别记录在 UUSR 寄存器和 UTXR_RXR 寄存器中，此标志位可被任何复位清零。

奇偶校验错误 – UPERR 标志

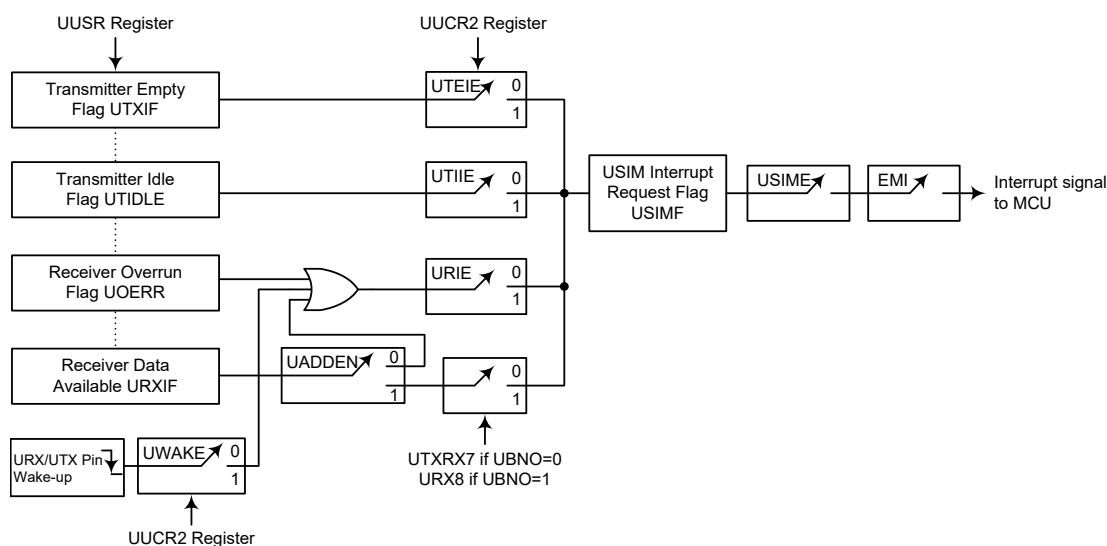
若接收到数据出现奇偶校验错误，UUSR 寄存器中只读标志 UPERR 置位。只有使能了奇偶校验，选择了校验类型，此标志位才有效。此标志位同接收的数据分别记录在 UUSR 寄存器和 UTXR_RXR 寄存器中，此标志位可被任何复位清零。注意，在读取相应的数据之前必须先访问 UUSR 寄存器中的 UFERR 和 UPERR 错误标志位。

UART 模块中断结构

几个独立的 UART 条件可以产生一个 USIM 中断。当条件满足时，会产生一个低脉冲信号。发送寄存器为空、发送器空闲、接收器数据有效、溢出和地址检测和 URX/UTX 引脚唤醒都会产生中断。若总中断使能、USIM 中断允许且堆栈未满，程序将会跳转到相应的中断向量执行中断服务程序，而后再返回主程序。其中四种情况，若其 UUCR2 寄存器中相应中断允许位被置位，则 UUSR 寄存器中对应中断标志位将产生 USIM 中断。发送器相关的两个中断情况有各自对应的中断允许位，而接收器相关的两个中断情况共用一个中断允许位。这些允许位可用于禁止个别的 USIM UART 模式中断源。

地址检测也是 USIM UART 模式的中断源，它没有相应的标志位，若 UUCR2 寄存器中 UADDEN=1，当检测到地址将会产生 USIM 中断。URX/UTX 引脚唤醒也可以产生 USIM 中断，它没有相应的标志位，当 UART 时钟源 fH 关闭且 UUCR2 中的 UWAKE 和 URUE 位被置位，URX/UTX 引脚上有下降沿时会产生 USIM 中断。

注意，UUSR 寄存器标志位为只读状态，软件不能对其进行设置，和其它一些中断一样，在进入相应中断服务程序时也不能清除这些标志位。这些标志位仅在 UART 特定动作发生时才会自动被清除，详细解释见 UART 寄存器章节。整体 UART 中断的使能或除能可由 USIM 中断控制寄存器中的相关中断使能控制位控制，其中断请求由 UART 模块决定。



UART 中断框图

地址检测模式

置位 UUCR2 寄存器中的 UADDEN 将启动地址检测模式。若此位为“1”，可产生接收数据有效中断，其请求标志位为 URXIF。若 UADDEN 有效，只有在接收到数据最高位为 1 才会产生中断，中断允许位 USIME 和 EMI 也要使能才会产生中断。地址的最高位为第 9 位 (UBNO=1) 或第 8 位 (UBNO=0)，若此位为高，则接收到的是地址而非数据。只有接收的数据的最后一位为高才会产生中断。若 UADDEN 除能，每接收到一个有效数据便会置位 URXIF，而不用考虑数据的最后一位。地址检测和奇偶校验在功能上相互排斥，若地址检测模式使能，为了确保操作正确，必须将奇偶校验使能位清零以除能奇偶校验。

UADDEN	9th Bit (UBNO=1) 8th Bit (UBNO=0)	产生 USIM 中断
0	0	√
	1	√
1	0	×
	1	√

UADDEN 位功能

UART 模块暂停和唤醒

UART 时钟 f_{H} 关闭后 UART 模块将停止运行。当传送数据时 UART 时钟 f_{H} 关闭，发送将停止直到 UART 模块时钟再次使能。同样地，当接收数据时单片机进入空闲或休眠模式，数据接收也会停止。当单片机进入空闲或休眠模式，UUSR、UUCR1、UUCR2、UUCR3、接收 / 发送寄存器以及 UBRG 寄存器都不会受到影响。建议在单片机进入空闲或休眠模式前先确保数据发送或接收已完成。

UART 功能中包括了 URX/UTX 引脚的唤醒功能，由 UUCR2 寄存器中 UWAKE 位控制。当 UART 时钟 f_{H} 关闭时，若 UWAKE 位与 UART 模式选择位 UMD、UART 允许位 UREN、接收器使能位 URXEN 和接收器中断使能位 URIE 都被置位，则 URX/UTX 引脚的下降沿可触发产生 URX/UTX 引脚唤醒 UART 的中断。唤醒后系统需延时一段时间才能正常工作，在此期间，URX/UTX 引脚上的任何数据将被忽略。

若要产生唤醒 UART 的中断，除了唤醒使能控制位和接收中断使能控制位需置位外，全局中断允许位 EMI 和 USIM 中断使能控制位 USIME 也必须置位；若这两控制位没有被置位，那么，可发生唤醒事件但不会产生中断。唤醒后系统需一定的延时才能正常工作，然后才会产生 USIM 中断。

串行外设接口 – SPI

该单片机内含一个独立的 SPI 功能。重要的是，不要将此 SPI 功能与 USIM 模块中的 SPI 功能混淆，其具体描述详见规格书的另一章节。

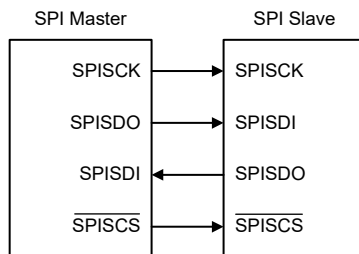
SPI 接口常用于与外部设备如传感器、闪存或 EEPROM 存储器等通信。四线 SPI 接口最初是由摩托罗拉公司研制，是一个有相当简单的通信协议的串行数据接口，这个协议可以简化与外部硬件的编程要求。

SPI 通信模式为全双工模式，且能以主 / 从模式的工作方式进行通信，单片机既可以做为主机，也可以做为从机。虽然 SPI 接口理论上允许一个主机控制多个从机，但此单片机 SPI 只提供了一个从机选择引脚 $\overline{\text{SPISCS}}$ 。若需要单个主机同时控制多个从机，可使用输入 / 输出引脚选择从机。

SPI 接口操作

SPI 接口是一个全双工串行数据传输器。SPI 接口的四线为：SPISDI、SPISDO、SPISCK 和 $\overline{\text{SPISCS}}$ 。SPISDI 和 SPISDO 是数据的输入和输出线。SPISCK 是串行时钟线， $\overline{\text{SPISCS}}$ 是从机的选择线。SPI 的接口引脚与普通 I/O 口共用。通过设定相关引脚共用选择位来使能 SPI 接口。连接到 SPI 接口的单片机以从主 / 从模式进行通信，且主机完成所有的数据传输初始化，并控制时钟信号。由于单片机只有一个 $\overline{\text{SPISCS}}$ 引脚，所以只能拥有一个从机设备。

可通过软件控制 $\overline{\text{SPISCS}}$ 引脚使能与除能，设置 SPICSEN 位为“1”使能 $\overline{\text{SPISCS}}$ 功能，设置 SPICSEN 位为“0”， $\overline{\text{SPISCS}}$ 引脚将处于浮空状态。

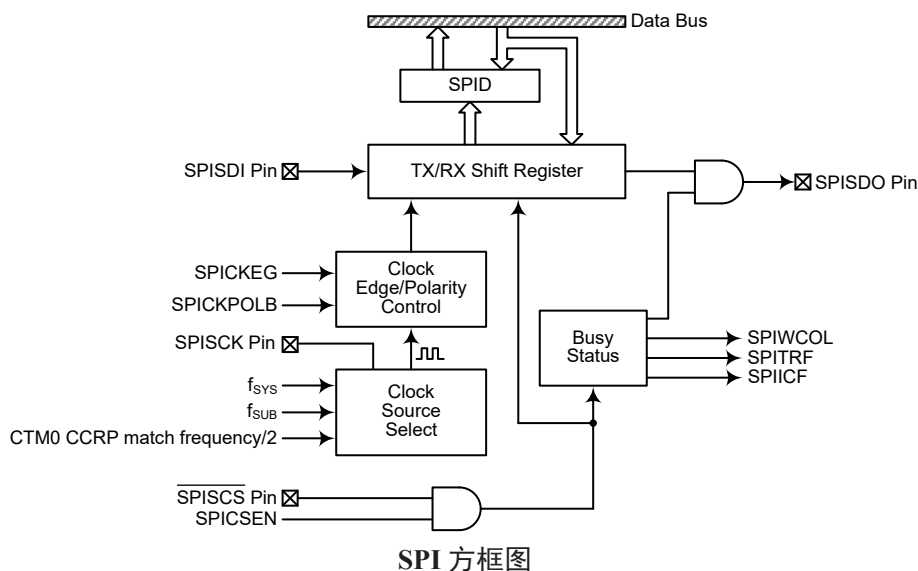


SPI 主 / 从机连接方式

该单片机的 SPI 功能具有以下特点：

- 全双工同步数据传输
- 主从模式
- 最低有效位先传或最高有效位先传的数据传输模式
- 传输完成标志位
- 时钟源上升沿或下降沿有效

SPI 接口状态受很多因素的影响，如单片机处于主机或从机的工作模式以及 SPICSEN、SPIEN 位的状态。



SPI 方框图

SPI 寄存器

有三个内部寄存器用于控制 SPI 接口的所有操作，其中有一个数据寄存器 SPID、两个控制寄存器 SPIC0 和 SPIC1。

寄存器名称	位							
	7	6	5	4	3	2	1	0
SPIC0	SPIM2	SPIM1	SPIM0	—	—	—	SPIEN	SPIICF
SPIC1	—	—	SPICKPOLB	SPICKEG	SPIMLS	SPICSEN	SPIWCOL	SPITRF
SPID	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0

SPI 寄存器列表

SPI 数据寄存器

SPID 用于存储发送和接收的数据。在单片机将数据写入到 SPI 总线之前，要传输的数据应先存在 SPID 中。SPI 总线接收到数据之后，单片机就可以从 SPID 数据寄存器中读取。所有通过 SPI 传输或接收的数据都必须通过 SPID 实现。

• SPID 寄存器

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Name	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
POR	x	x	x	x	x	x	x	x

“x”：未知

Bit 7~0 **D7~D0**: SPI 数据寄存器位 bit 7 ~ bit 0

SPI 控制寄存器

单片机中也有两个控制 SPI 接口功能的寄存器，SPIC0 和 SPIC1。寄存器 SPIC0 用于控制使能 / 除能功能和设置数据传输的时钟频率。寄存器 SPIC1 用于其它的控制功能如 LSB/MSB 选择，写冲突标志位等。

• SPIC0 寄存器

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Name	SPIM2	SPIM1	SPIM0	—	—	—	SPIEN	SPIICF
R/W	R/W	R/W	R/W	—	—	—	R/W	R/W
POR	1	1	1	—	—	—	0	0

Bit 7~5 **SPIM2~SPIM0**: SPI 工作模式控制位

000: SPI 主机模式; SPI 时钟为 $f_{SYS}/4$

001: SPI 主机模式; SPI 时钟为 $f_{SYS}/16$

010: SPI 主机模式; SPI 时钟为 $f_{SYS}/64$

011: SPI 主机模式; SPI 时钟为 f_{SUB}

100: SPI 主机模式; SPI 时钟为 CTM0 CCRP 匹配频率 / 2

101: SPI 从机模式

110: SPI 除能

111: SPI 除能

这几位用于选择 SPI 的主从模式和 SPI 的主机时钟频率。SPI 时钟源可来自于系统时钟和 f_{SUB} 也可以选择来自 CTM0。若选择的是作为 SPI 从机, 则其时钟源从外部主机而得。

Bit 4~2 未定义, 读为 “0”

Bit 1 **SPIEN**: SPI 控制位

0: 除能

1: 使能

此位为 SPI 接口的开 / 关控制位。此位为 “0” 时, SPI 接口除能, SPISDI、SPISDO、SPISCK 和 SPISCS 脚将失去 SPI 功能, SPI 工作电流减小到最小值。此位为 “1” 时, SPI 接口使能。

Bit 0 **SPIICF**: SPI 未完成标志位

0: 未发生

1: 发生

此位仅当 SPI 配置在 SPI 从机模式时有效。如果 SPI 工作在从机模式且 SPIEN 和 SPICSEN 位都为 “1”, 但在 SPI 数据传输完全结束前 SPISCS 线被外部主机拉高, SPIICF 和 SPITRF 位都会被置高。在这种情况下, 如果相应的中断功能使能将产生一个中断。然而, 如果 SPIICF 位是由软件应用程序设为 1, 那么 SPITRF 位将不会置高。

• SPIC1 寄存器

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Name	—	—	SPICKPOLB	SPICKEG	SPIMLS	SPICSEN	SPIWCOL	SPITRF
R/W	—	—	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
POR	—	—	0	0	0	0	0	0

Bit 7~6 未定义, 读为 “0”

Bit 5 **SPICKPOLB**: SPI 时钟线的基础状态位

0: 当时钟无效时, SPISCK 引脚为高电平

1: 当时钟无效时, SPISCK 引脚为低电平

此位决定了时钟线的基础状态, 若此位为高, 当时钟无效时 SPISCK 为低电平, 若此位为低, 当时钟无效时 SPISCK 为高电平。

Bit 4 **SPICKEG**: SPI 的 SPISCK 有效时钟边沿类型位

SPICKPOLB=0

0: SPISCK 为高电平且在 SPISCK 上升沿抓取数据

1: SPISCK 为高电平且在 SPISCK 下降沿抓取数据

SPICKPOLB=1

0: SPISCK 为低电平且在 SPISCK 下降沿抓取数据

1: SPISCK 为低电平且在 SPISCK 上升沿抓取数据

SPICKEG 和 SPICKPOLB 位用于设置 SPI 总线上时钟信号输入和输出方式。这两位必须在执行数据传输前被设置好，否则将产生错误的时钟边沿信号。SPICKPOLB 位决定时钟线的基本状态，若时钟无效且此位为高，则 SPISCK 为低电平，若时钟无效且此位为低，则 SPISCK 为高电平。SPICKEG 位决定有效时钟边沿类型，取决于 SPICKPOLB 的状态。

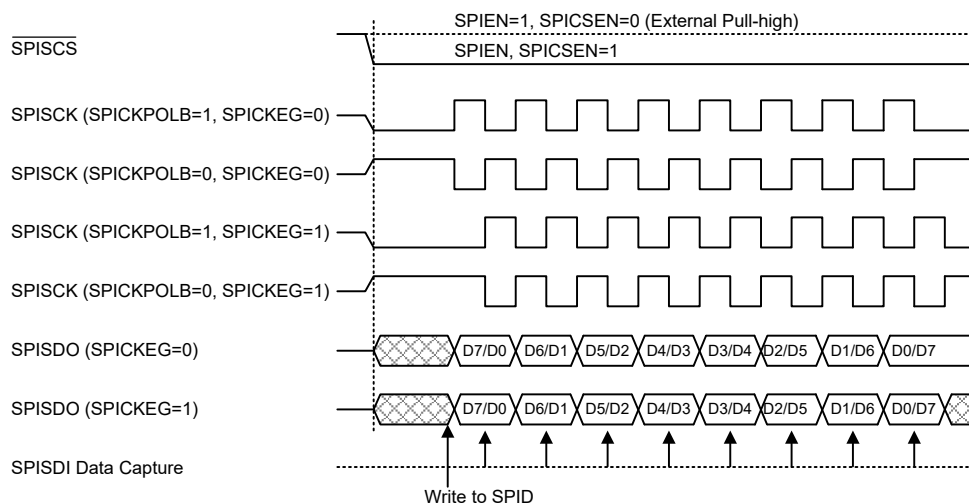
- Bit 3 **SPIMLS**: SPI 数据移位顺序选择位
0: LSB 优先
1: MSB 优先
数据移位顺序选择位，用于选择数据传输时高位优先传输还是低位优先传输。此位设置为高时高位优先传输，为低时低位优先传输。
- Bit 2 **SPICSEN**: SPI SPISCS 引脚控制位
0: 除能
1: 使能
SPICSEN 位用于 $\overline{\text{SPISCS}}$ 引脚的使能 / 除能控制。此位为低时， $\overline{\text{SPISCS}}$ 除能并处于浮空状态。此位为高时，SPISCS 作为从机选择引脚。
- Bit 1 **SPIWCOL**: SPI 写冲突标志位
0: 无冲突
1: 冲突
SPIWCOL 标志位用于监测数据冲突的发生。此位为高时，表示在传输过程中有数据被写入 SPID 寄存器。若数据正在被传输时，此写操作无效。此位可通过应用程序清零。
- Bit 0 **SPITRF**: SPI 发送 / 接收结束标志位
0: 数据正在发送
1: 数据发送结束
SPITRF 位为发送 / 接收结束标志位，当 SPI 数据传输结束时，此位自动置为高，但须通过应用程序设置为“0”。此位也可用于产生中断。

SPI 通信

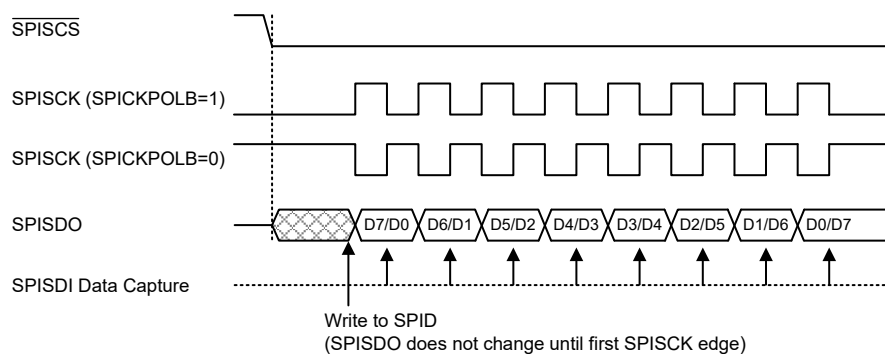
将 SPIEN 设置为高，使能 SPI 功能之后，单片机处于主机模式，当数据写入到寄存器 SPID 的同时传输 / 接收开始进行。数据传输完成时，SPITRF 位将自动被置位但清除只能通过应用程序完成。单片机处于从机模式时，收到主机发来的信号之后，会传输 SPID 中的数据，而且在 SPISDI 引脚上的数据也会被移位到 SPID 寄存器中。

主机应在输出时钟信号之前先输出一个 $\overline{\text{SPISCS}}$ 信号以使能从机，从机的数据传输功能也应在与 SPISCK 信号相关的适当时候准备就绪，这由 SPICKPOLB 和 SPICKEG 位决定。所附时序图表明了 SPICKPOLB 和 SPICKEG 位各种设置情况下从机数据与 SPISCK 信号的关系。

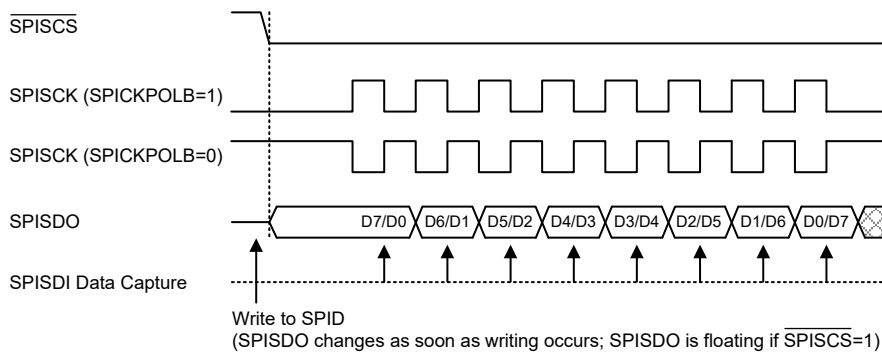
即使单片机空闲模式时，若 SPI 接口使用的时钟源开启，SPI 功能仍将继续执行。



SPI 主机模式时序

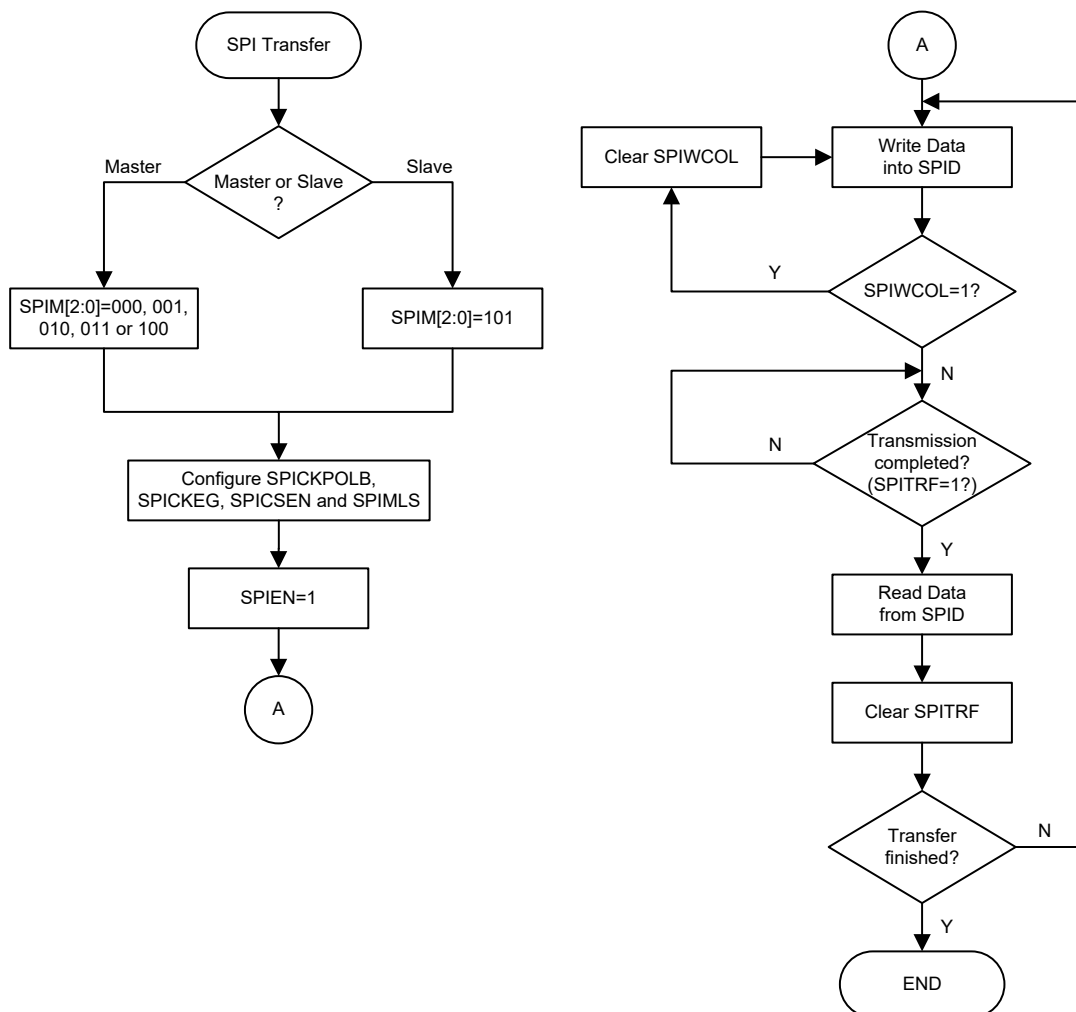


SPI 从机模式时序 – SACKEG=0



Note: For SPI slave mode, if SPIEN=1 and SPICSEN=0, SPI is always enabled and ignores the SPISCS level.

SPI 从机模式时序 – SACKEG=1



SPI 传输控制流程图

SPI 使能 / 除能

设置 $SPICSEN=1$ 、 $\overline{SPISCS}=0$ 将使能 SPI 总线，然后等待写数据到 SPID 寄存器 (TXRX 缓存器)。单片机处于主机模式，数据写入 SPID 寄存器后，自动开始数据传输或接收操作。数据传输完成时，SPITRF 位将自动被置位。单片机处于从机模式，SPISCK 引脚上收到脉冲信号之后，会传输 TXRX 中的数据，或将 SPISDI 引脚上的数据移入。

当 SPI 总线除能时，通过设置相应引脚共用控制位，SPISCK、SPISDI、SPISDO、 $\overline{SPISCS}$ 可作为 I/O 口或其它功能引脚使用。

SPI 操作步骤

四线制 SPI 接口可完成所有主 / 从模式通信工作。

在 SPIC1 寄存器中，SPICSEN 位控制 SPI 接口的所有功能。设置此位为高， $\overline{SPISCS}$ 信号线有效将使能 SPI 接口。设置此位为低，SPI 接口将除能， $\overline{SPISCS}$ 信号线处于浮空状态因此不能控制 SPI 接口。SPICSEN 位和 SPIC0 寄存器中的 SPIEN 位设置为高，使得 SPISDI 信号线处于浮空状态且 SPISDO 信号线为高电平。主机模式中，如果 SPISCK 信号线为高还是低取决于 SPIC1 寄存器中的时钟极性

选择位 SPICKPOLB。从机模式中，SPISCK 信号线处于浮空状态。如果 SPIEN 位设置为低，SPI 接口被除能，通过设置相应引脚共用控制位，SPISCS、SPISDI、SPISDO 和 SPISCK 可作为 I/O 口或其它功能引脚使用。主机模式中，当数据被写入 SPID 寄存器后，主机完成所有的数据传输初始化，并控制时钟信号。从机模式中，由外部主机发出数据传送 / 接收时钟信号。下面介绍主从模式中数据传输步骤。

主机模式：

- 步骤 1
设置 SPIC0 控制寄存器中的 SPIM2~SPIM0 位，选择 SPI 主机模式和时钟源。
- 步骤 2
设置 SPICSEN 和 SPIMLS 位，选择高位或低位数据优先传送，这必须与从机设备一致。
- 步骤 3
设置 SPIC0 控制寄存器中的 SPIEN 位，使能 SPI 接口功能。
- 步骤 4
对于写操作：写数据到 SPID 寄存器，实际上此时数据会被存储在 TXRX 缓存器中。再使用 SPISCK 和 SPISCS 信号线将数据输出。跳至步骤 5。
对于读操作：从 SPISDI 信号线移入的数据将被存储在 TXRX 缓存器中，直到所有数据接收完毕，此时数据全部锁存至 SPID 寄存器。
- 步骤 5
检测 SPIWCOL 位，若此位为高，则发生数据冲突并跳回至步骤 4；若为低，则继续执行下面的步骤。
- 步骤 6
检测 SPITRF 位或等待 SPI 串行总线中断发生。
- 步骤 7
从 SPID 寄存器中读数据。
- 步骤 8
清除 SPITRF。
- 步骤 9
跳回至步骤 4。

从机模式：

- 步骤 1
设置 SPIC0 控制寄存器中的 SPIM2~SPIM0 位，选择 SPI 从机模式。
- 步骤 2
设置 SPICSEN 和 SPIMLS 位，选择高位或低位数据优先传送，这必须与主机设备一致。
- 步骤 3
设置 SPIC0 控制寄存器中的 SPIEN 位，使能 SPI 接口功能。
- 步骤 4
对于写操作：写数据到 SPID 寄存器，实际上此时数据会被存储在 TXRX 缓存器中。等待主机时钟 SPISCK 信号和 SPISCS 信号。跳至步骤 5。
对于读操作：从 SPISDI 信号线移入的数据将被存储在 TXRX 缓存器中，直到所有数据接收完毕，此时数据全部锁存至 SPID 寄存器。

- 步骤 5
检测 SPIWCOL 位，若此位为高，则发生数据冲突并跳回至步骤 4；若为低，则继续执行下面的步骤。
- 步骤 6
检测 SPITRF 位或等待 SPI 串行总线中断发生。
- 步骤 7
从 SPID 寄存器中读数据。
- 步骤 8
清除 SPITRF。
- 步骤 9
跳回至步骤 4。

错误侦测

SPIC1 寄存器中的 SPIWCOL 位用于数据传输期间监测数据冲突的发生。此位由 SPI 串行接口设置为高，而由应用程序来清除为零。在数据传输期间如果写数据到 SPID，此位被置高提示数据冲突发生，并阻止数据继续被写入。

LCD 驱动

对于设计中带有 LCD 功能的大批量应用，选择定制而非较昂贵的基于字符的显示方式可以有效地降低成本。然而，驱动此类定制的显示器需要振幅及时间可变的 COM 和 SEG 信号，且需很多特殊的考虑以正确地操作 LCD。此单片机有内部 LCD 信号产生电路，可以自动地产生时间与振幅可变的信号直接驱动 LCD，与用户 LCD 的接口连接也相当容易。

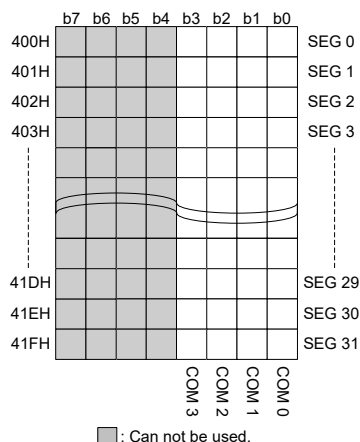
驱动数目	占空比	偏压	偏压类型	波形类型
32×4	1/4	1/3	C	A 或 B

LCD 数据存储器

数据存储器中有一部分区域是专门为 LCD 的显示数据而保留，即 LCD 显示数据存储器。单片机内部显示驱动电路会自动读取任何写入此处的数据并据此产生 LCD 驱动信号。因此任何写入 LCD 存储器的数据，会立即映射到连接单片机的 LCD 显示器上。应注意的是，未引出的 LCD SEG 引脚所对应的 LCD 显示存储数据位不可用。

LCD 存储器的地址与通用数据存储器重叠，这个区域位于独立的 Sector 4。要用到的数据存储器 Sector 通过使用存储器指针高字节寄存器指定。当要存取 LCD 存储器时，首先要将 MP1H 或 MP2H 的值设为“04H”来选择对 Sector 4 操作。此后，用户可以通过 MP1L 或 MP2L 使用间接寻址方式来对存储器进行操作。选择了 Sector 4 之后，使用 MP1L 或 MP2L 可以对地址范围从“00H”开始的存储器操作，就可以直接对显示存储器进行读或者写的操作了，亦可通过扩展指令对 LCD 显示存储器进行全范围的寻址。

下方的 LCD 存储器映射图显示了内部 LCD 存储如何映射到单片机显示的 SEG 和 COM 引脚。



注意：SEG22~SEG23 引脚仅用于 80-pin LQFP OCDS EV 芯片和特定的封装。

LCD 存储器映射图

LCD 时钟源

LCD 时钟源由内部时钟信号 f_{LCD} 获得，该时钟来自 LXT 振荡器的输出频率 $f_{LXT}/8$ 。该方法可产生理想的 4kHz 频率的 LCD 时钟，以获得更好的 LCD 显示效果。

LCD C 型充电泵时钟源

LCD C 型充电泵时钟源 f_{LCDP} 由外部 LXT 振荡器时钟源 f_{LXT} 提供，其中， f_{LXT} 通过内部分频电路进行 1、2、4 或 8 分频获得。实际分频由 LCDC 寄存器的 LCDPCK2~LCDPCK0 位决定。

LCDPCK[2:0] 位	f_{LCDP}	频率
000~011	$f_{LXT}/8$	4kHz
100	$f_{LXT}/4$	8kHz
101	$f_{LXT}/2$	16kHz
110~111	f_{LXT}	32kHz

LCD 寄存器

LCD 控制寄存器 LCDC 用于设置 LCD 驱动器的各种特性。

LCDC 寄存器中的位用于控制 LCD 波形类型和波形帧、LCD 电源和 LCD 充电泵时钟源选择以及整个 LCD 的使能 / 除能控制。LCDC 寄存器中的 LCDEN 位控制整个 LCD 的使能 / 除能功能。LCDC 寄存器中的 TYPE 位用于选择 A 型或 B 型的 LCD 波形信号。LCDC 寄存器中的 LCDWFC 位用于选择使用正常模式 (64Hz) 还是帧频率减半模式 (32Hz) 的 LCD 波形帧。LCDC 寄存器中的 LCDP1 和 LCDP0 位用于选择电源来提供给 C 型 LCD 面板正确的偏差电压。LCDPCK2~LCDPCK0 位用于决定 LCD C 型充电泵时钟。

● LCDC 寄存器

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Name	TYPE	LCDWFC	LCDP1	LCDP0	LCDPCK2	LCDPCK1	LCDPCK0	LCDEN
R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
POR	0	0	0	0	0	0	0	0

Bit 7 **TYPE**: LCD 波形类型选择位

0: A 型

1: B 型

Bit 6 **LCDWFC**: LCD 波形帧选择位

0: 正常模式 (64Hz)

1: 帧频率减半模式 (32Hz)

若 LCDWFC=1, LCD 波形帧选择帧频率减半模式, 这将减少 LCD 驱动器的功耗。

Bit 5~4 **LCDP1~LCDP0**: LCD C 型电源选择位

00: 电源来自外部引脚 PLCD、V1 或 V2

01: 电源来自内部 VC, $V_C=V_{REFIN}$

10: 电源来自内部 VB, $V_B=V_{DD}$

11: 电源来自内部 VA, $V_A=V_{DD}$

V_{REFIN} 是内部参考电压, 其电平约为 1.04V。

Bit 3~1 **LCDPCK2~LCDPCK0**: LCD C 型充电泵时钟分频

000: 250Hz ($f_{LCDP}/16$, $f_{LCDP}=4kHz$)

001: 500Hz ($f_{LCDP}/8$, $f_{LCDP}=4kHz$)

010: 1kHz ($f_{LCDP}/4$, $f_{LCDP}=4kHz$)

011: 2kHz ($f_{LCDP}/2$, $f_{LCDP}=4kHz$)

100: 4kHz ($f_{LCDP}/2$, $f_{LCDP}=8kHz$)

101: 8kHz ($f_{LCDP}/2$, $f_{LCDP}=16kHz$)

110: 16kHz ($f_{LCDP}/2$, $f_{LCDP}=32kHz$)

111: 16kHz ($f_{LCDP}/2$, $f_{LCDP}=32kHz$)

注: 这些频率的选择是在 LCD 充电泵时钟频率 f_{LCDP} 的基础上计算出来的。实际频率 f_{LCDP} 由 LCDPCK2~LCDPCK0 位配置决定, 列在“LCD C 型充电泵时钟源”部分。

Bit 0 **LCDEN**: LCD 使能控制

0: 除能

1: 使能

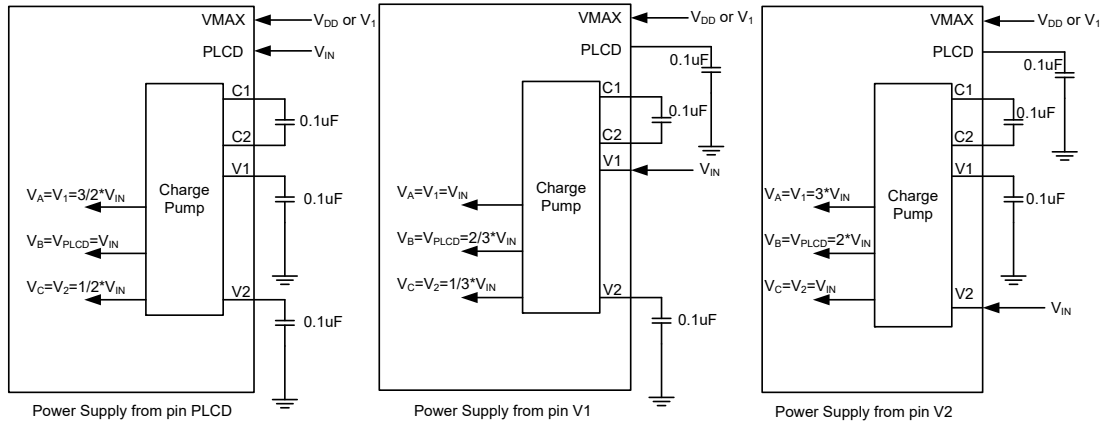
在快速、低速、空闲和休眠模式下, LCD 使能 / 除能可由此位控制。

LCD 电压源和偏压

对于 C 型偏压, LCD 驱动器的电压源可以通过 LCDC 寄存器 LCDP1~LCDP0 位选择来自内部电源还是外部电源引脚 PLCD、V1 或 V2。C 型偏压方案可使用内部充电泵电路, 产生高于 PLCD 或 V2 引脚上的电压。这项特性在单片机提供电压小于 LCD 所需电压时非常有用。C 型充电泵时钟分频选择是通过 LCDC2 寄存器的 LCDPCK2~LCDPCK0 位实现的。为了产生所需的电压值, 必须要在引脚 C1 与 C2 之间连接充电泵电容。

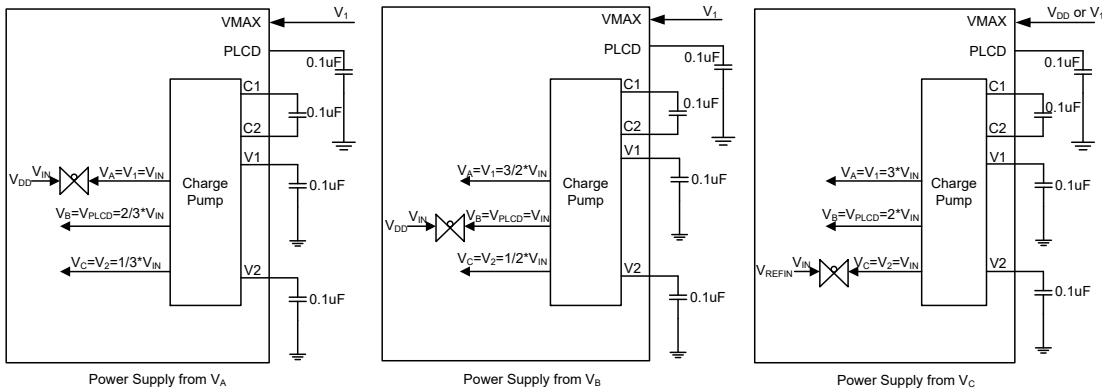
对于 C 型 1/3 偏压外部电源方案, LCD 电源由外部引脚 PLCD、V1 或 V2 提供。

对于 C 型 1/3 偏压内部电源选项, LCD 电源由内部 V_A 、 V_B 或 V_C 提供, 要用到 V_{SS} 、 V_A 、 V_B 和 V_C 四种电压值。这些偏压值的大小取决于 LCD 电源连接方案。



Note: The pin VMAX must be connected to the maximum voltage to prevent from the pad current leakage.

C 型偏压外部电源配置 – 1/3 Bias



Note: The pin VMAX must be connected to the maximum voltage to prevent from the pad current leakage.

C 型偏压内部电源配置 – 1/3 Bias

LCD 电源		VA 电压	VB 电压	VC 电压
外部电源	V _{IN} 来自 V1	V _{IN}	2/3 × V _{IN}	1/3 × V _{IN}
	V _{IN} 来自 PLCD	3/2 × V _{IN}	V _{IN}	1/2 × V _{IN}
	V _{IN} 来自 V2	3 × V _{IN}	2 × V _{IN}	V _{IN}
内部电源	V _{DD} 来自 V _A	V _{DD}	2/3 × V _{DD}	1/3 × V _{DD}
	V _{DD} 来自 V _B	3/2 × V _{DD}	V _{DD}	1/2 × V _{DD}
	V _{REFIN} 来自 V _C	3 × V _{REFIN}	2 × V _{REFIN}	V _{REFIN}

C 型偏压电源方案

连接到 VMAX 引脚的电压取决于 LCD 电源连接方案，但需要注意的是，要确保充电泵产生的内部电压值不能超过 V_{DD} 最大值，5.5V。

条件	VMAX 连接方式
V _{DD} > V _{IN} × 1.5	VMAX 连接至 VDD
其它	VMAX 连接至 V1

C 型偏压 VMAX 引脚连接方式

LCD 复位状态

LCD 具有内部复位功能。清零 LCDEN 位将复位 LCD 功能。当 LCDEN 被置位以使能 LCD 驱动功能，若此时发生单片机复位，则 LCD 将被复位，复位期间 COM 与 SEG 输出将处于浮空状态。复位操作将持续一个 $t_{RSTD}+t_{SST}$ 时间。 $t_{RSTD}+t_{SST}$ 的详细信息参考系统上电时间特性表。

MCU 复位	LCDEN	LCD 复位	COM 与 SEG 电压电平
否	1	否	正常运行
否	0	是	低
是	x	是	浮空

注：1. 此处的单片机复位条件不包括空闲或休眠模式下的看门狗定时器溢出复位。
2. “x”：无关。

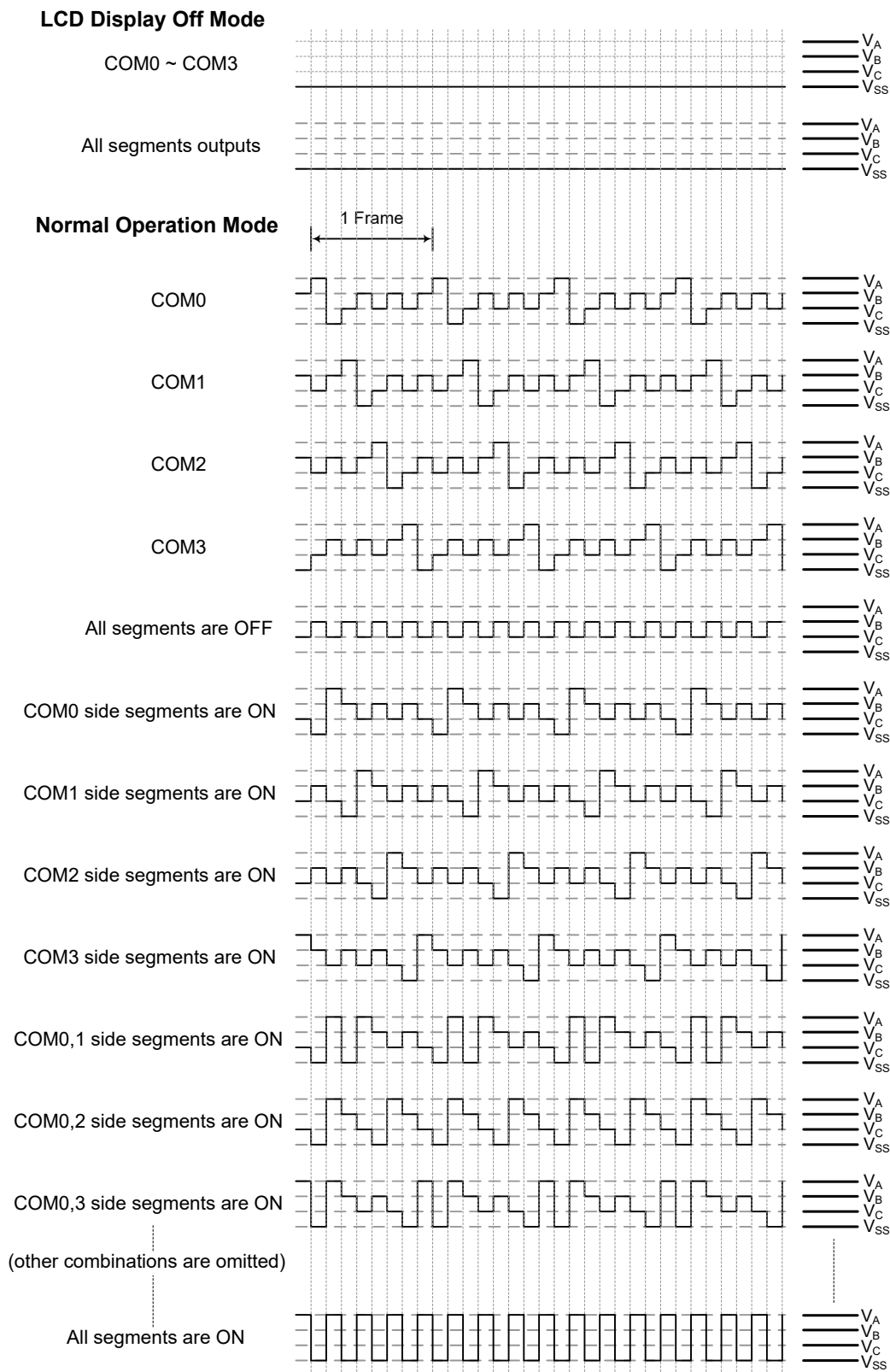
LCD 复位状态

LCD 驱动输出

LCD 驱动的输出结构为 32×4 。LCD 驱动偏压类型为 C 型，且偏压值固定为 $1/3$ 。

由于 LCD 基本性质的缘故，它们的像素点只能加上 AC 电压，如果加上 DC 电压，将会引起永久性的损害。因此 LCD 显示器的对比度由提供到每个像素的实际 RMS 电压控制，这个值等于 COM 引脚上的电压值减去 SEG 引脚上电压值的结果的 RMS 值。RMS 电压必须大于 LCD 的饱和电压，以便能打开像素点，但同时也要小于阈值电压，以便能关闭像素点。

因为要将 DC 电压限制为 0 且以最少的连接数来控制尽可能多的像素点，因此需要产生时间振幅可变的信号供给 LCD 使用。这些时间与振幅都可变的信号由单片机内的 LCD 驱动电路自动产生。占空比决定使用 COM 口的个数，也称为底板或 COM。例如，占空比为 $1/4$ ，表示 COM 的数目为 4，因此该值定义了每个 LCD 信号帧内的时间片数。单片机提供两种类型的信号即 A 型和 B 型，通过寄存器 LCDC 中的 TYPE 位加以选择。B 型提供较低频率的信号，然而，较低的频率可能引起闪烁，从而影响显示的清晰度。



LCD 驱动输出 – A 型, 1/4 Duty, 1/3 Bias

COM0 ~ COM3

Normal Operation Mode

COM3

All segments are ON

1

2020-03-05

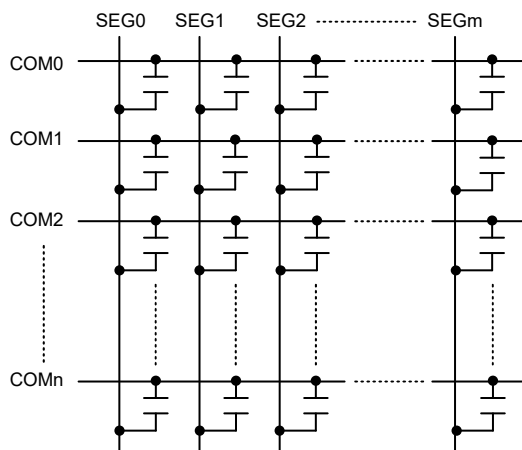
编程注意事项

LCD 编程时要注意几点，其中之一就是在单片机上电后，要保证 LCD 存储器正确地初始化。与通用数据存储器一样，在上电后，LCD 存储器的内容是未知的。由于 LCD 存储器的内容会映射到实际的 LCD 显示，所以上电后，为获得正确的显示图形，初始化此存储器内容是非常重要的。

在实际应用中，必须要考虑 LCD 的实际容性负载。对于单片机来说，LCD 的像素点一般可以看作电容性的负载，要确保所连接的像素点不能过多。这点对于可以连接多个 LCD 像素点的 COM 口来说尤为重要。接下来的流程图描述 LCD 的等效电路。

另外还有一个要注意的就是当单片机进入空闲模式或低速模式后所发生的变化。LCDC 控制寄存器中的 LCD 使能控制位 LCDEN 会清零以降低功耗。当此位被清零，就会停止产生显示的驱动信号，并处于一种低功耗的空白显示的状态。

要注意当上电复位后，LCDEN 位会被清零，显示功能关闭。



LCD 面板等效电路

触控按键功能

该单片机提供多触控按键功能。触控按键功能完全内部集成不需外接元件，通过内部寄存器的简单操作即可实现此功能。

触控按键结构

触控按键与 I/O 引脚共用。通过寄存器的位来选择所需功能。按键被分成几个组，每组为一个模块，编号为 M0~M4。每个模块为独立的一组，包含四个触控按键且每个按键有各自的振荡器。每个模块具有单独的控制逻辑电路和配套的寄存器系列。寄存器的名称和它相关的模块编号相对应。

触控按键数量	触控按键模块		共用 I/O 脚
20	Mn (n=0~4)	M0	KEY1~KEY4
		M1	KEY5~KEY8
		M2	KEY9~KEY12
		M3	KEY13~KEY16
		M4	KEY17~KEY20

注：PC4/KEY13~PC7/KEY16 引脚只能用于 80-pin LQFP OCDS EV 芯片和特定的封装。

触控按键结构

触控按键寄存器

每个触控按键模块包含四个触控按键功能，且都有其配套的寄存器。以下表格显示了每个触控按键模块的寄存器系列。

寄存器名称	作用
TKTMR	触控按键时隙 8-bit 计数器预载寄存器
TKC0	触控按键功能控制寄存器 0
TKC1	触控按键功能控制寄存器 1
TKC2	触控按键功能控制寄存器 2
TK16DL	触控按键功能 16-bit 计数器低字节
TK16DH	触控按键功能 16-bit 计数器高字节
TKMn16DL	触控按键模块 n 16-bit C/F 计数器低字节
TKMn16DH	触控按键模块 n 16-bit C/F 计数器高字节
TKMnROL	触控按键模块 n 参考振荡器电容选择低字节
TKMnROH	触控按键模块 n 参考振荡器电容选择高字节
TKMnC0	触控按键模块 n 控制寄存器 0
TKMnC1	触控按键模块 n 控制寄存器 1
TKMnC2	触控按键模块 n 控制寄存器 2
TKMnTH16L	触控按键模块 n 16-bit 阈值低字节
TKMnTH16H	触控按键模块 n 16-bit 阈值高字节
TKMnTHS	触控按键模块 n 阈值比较标志位

触控按键模块寄存器定义 (n=0~4)

寄存器名称	位							
	7	6	5	4	3	2	1	0
TKTMR	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
TKC0	TKRAMC	TKRCOV	TKST	TKCFOV	TK16OV	TKMOD1	TKMOD0	TKBUSY
TKC1	D7	D6	D5	TSCS	TK16S1	TK16S0	TKFS1	TKFS0
TKC2	—	—	—	—	—	TSC	ASMP1	ASMP0
TK16DL	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
TK16DH	D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8
TKMn16DL	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
TKMn16DH	D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8
TKMnROL	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
TKMnROH	—	—	—	—	—	—	D9	D8
TKMnTH16L	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
TKMnTH16H	D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8
TKMnTHS	MnK4THF	MnK3THF	MnK2THF	MnK1THF	MnK4THS	MnK3THS	MnK2THS	MnK1THS
TKMnC0	—	—	MnDFEN	—	MnSOFC	MnSOF2	MnSOF1	MnSOF0
TKMnC1	MnTSS	—	MnROEN	MnKOEN	MnK4EN	MnK3EN	MnK2EN	MnK1EN
TKMnC2	MnSK31	MnSK30	MnSK21	MnSK20	MnSK11	MnSK10	MnSK01	MnSK00

触控按键功能寄存器列表 (n=0~4)

• TKTMR 寄存器

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Name	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
POR	0	0	0	0	0	0	0	0

Bit 7~0

D7~D0: 触控按键时隙 8-bit 计数器预载寄存器

触控按键时隙计数器预载寄存器用于确定触控按键时隙溢出时间。时隙单元周期为 t_{STC} 或 $32t_{STC}$ ，时隙单元周期为 32 个时隙时钟周期，通过一个 5-bit 计数器获得；时隙单元周期为 1 个时隙时钟周期，通过旁路 5-bit 计数器获得。因此，时隙计数器溢出时间可由下面的等式算出。

当 MnTSS=0 时，时隙计数器溢出时间 = $(256 - TKTMR[7:0]) \times 32t_{STC}$ ；当 MnTSS=1 时，时隙计数器溢出时间 = $(256 - TKTMR[7:0]) \times t_{STC}$ ，此处的 t_{STC} 为时隙计数器时钟周期。

• TKC0 寄存器

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Name	TKRAMC	TKRCOV	TKST	TKCFOV	TK16OV	TKMOD1	TKMOD0	TKBUSY
R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R
POR	0	0	0	0	0	0	1	0

Bit 7

TKRAMC: 触控按键 RAM 存取控制位

0: 由 MCU 读 / 写

1: 由触控按键模块读 / 写

该位用于确定触控按键模块 RAM 是由 MCU 还是触控按键模块使用。但若触控按键模块工作在自动扫描模式或周期性自动扫描模式 (当 TKMOD1~TKMOD0 位为 00, 10 或 11 时, TKST 位由 0 转为 1 可进入自动扫描模式或周期性自动扫描模式), 由触控按键模块可优先存取 RAM 内容。当结束自动扫描或周期性自动扫描后 (例如 TKBUSY 位状态由 1 转为 0), 触控按键模块 RAM 存取才可通

过 TKRAMC 位控制。因此建议当触控按键模块工作在自动扫描模式或周期性自动扫描模式时，将 TKRAMC 位置为“1”。否则，若选择 MCU 存取 RAM，在自动扫描或周期性自动扫描阶段，触控按键的 RAM 内容可能会被改动。

Bit 6 **TKRCOV**: 触控按键时隙计数器溢出标志位

- 0: 无溢出
- 1: 溢出

此位可通过应用程序读 / 写。当触控按键时隙计数器溢出将此位置为“1”时，相应的触控按键中断请求标志位也会同时置位。然而若是通过应用程序将此位设置为“1”时，相应的触控按键中断请求标志位不会受到影响。因此，该位不能通过应用程序置位，但必须通过应用程序清零。

在自动扫描模式时，如果由 TSCS 位选择的模块 0 或所有模块的时隙计数器溢出，但自动扫描还未完成，TKRCOV 位将不会被置位，同时所有触控按键模块 16 位 C/F 计数器、触控按键功能 16 位计数器、5 位时隙单位周期计数器将会自动清零，但 8 位时隙定时计数器将会从 8 位时隙定时计数器预置寄存器 (TKTMR 寄存器) 重新加载数据。当自动扫描工作结束，TKRCOV 位及触控按键中断请求标志位 TKMF 将被置位同时所有模块按键振荡器和参考振荡器自动停止。所有触控按键模块的 16 位 C/F 计数器、触控按键功能 16 位计数器、5 位时隙单位周期计数器和 8 位时隙定时计数器都会自动关闭。

在周期性自动扫描模式时，在自动扫描工作周期内，TKRCOV 位将被清零。仅在 WDT 溢出周期内的最后一次扫描结束时，16 位 C/F 计数器内容将被写入相应的触控按键 RAM，TKRCOV 位将被硬件电路置高。除了以上提到的，该模式下的其它动作和自动扫描模式一样。

在手动扫描模式时，如果由 TSCS 位选择的模块 0 或所有模块的时隙计数器溢出，TKRCOV 位及触控按键中断请求标志位 TKMF 将被置位同时所有模块按键振荡器和参考振荡器自动停止。所有触控按键模块的 16 位 C/F 计数器、触控按键功能 16 位计数器、5 位时隙单位周期计数器和 8 位时隙定时计数器也都会自动关闭。

Bit 5 **TKST**: 触控按键检测开启控制位

- 0: 检测停止或无操作
- 0→1: 启动检测

当该位为“0”时，所有触控按键模块的 16 位 C/F 计数器、触控按键功能 16 位计数器和 5 位时隙单位周期计数器会自动清零但 8 位可编程时隙定时计数器不会被清零。当该位由 0→1 时，16 位 C/F 计数器、触控按键功能 16 位计数器、5 位时隙单位周期计数器和 8 位时隙定时计数器都会自动开启，并使能按键振荡器和参考振荡器以驱动相应的计数器。

Bit 4 **TKCFOV**: 触控按键模块 16 位 C/F 计数器溢出标志位

- 0: 无溢出
- 1: 溢出

该位由触控按键模块 16 位 C/F 计数器溢出置位，必须通过应用程序清零。

Bit 3 **TK16OV**: 触控按键功能 16 位计数器溢出标志位

- 0: 无溢出
- 1: 溢出

该位由触控按键功能 16 位计数器溢出置位，必须通过应用程序清零。

Bit 2~1 **TKMOD1~TKMOD0**: 触控按键扫描模式选择位

- 00: 自动扫描模式
- 01: 手动扫描模式
- 1x: 周期性自动扫描模式

在手动扫描模式时，应在扫描开始之前，合理的设置参考振荡器电容值，并在扫描结束后通过应用程序读取触控按键模块 16 位 C/F 计数器值。

在自动扫描模式时，上面所说的数据的读取或写入是通过硬件完成。有一个专用的触控按键模块数据存储区可存放所有被扫描按键的参考振荡器电容值及 16 位 C/F 计数器值。自动扫描按键的顺序是由 TKMnC2 寄存器的 MnSK3[1:0]~MnSK0[1:0] 位设置。直至扫描完所有计划扫描的按键后，自动扫描工作才会停止。

在周期性自动扫描模式时，触控按键扫描工作将自动周期性地地进行，可由寄存器 TKC2 的 ASMP1~ASMP0 位决定。仅在 WDT 溢出周期内的最后一次扫描结束时，16 位 C/F 计数器内容将被写入相应的触控按键 RAM。另外，当 MnKmTHS 位为 0 时，任何一个按键 C/F 计数器值小于下限阈值，或 MnKmTHS 为 1 时，任何一个按键 C/F 计数器值大于上限阈值，TKTH 信号都将被置高。除了以上提到的，该模式下的其它动作和自动扫描模式一样。

Bit 0

TKBUSY: 触控按键扫描忙碌标志位

- 0: 空闲 – 没有在执行按键扫描或按键扫描已完成
- 1: 忙碌 – 正在扫描中

该位用于指示触控按键扫描工作是否在执行中。当 TKST 位置高启动扫描工作，该位被置“1”。

在手动扫描模式中，当由 TSCS 位选择的模块 0 或所有模块触控时隙计数器溢出时，该位会自动清零。在自动扫描模式中，当触控按键扫描工作完成时，该位会自动清零。在周期性自动扫描模式时，若在 WDT 溢出周期内完成最后一次扫描工作，或当 MnKmTHS 位为 0，任何一个按键 C/F 计数器值小于下限阈值时，或当 MnKmTHS 为 1，任何一个按键 C/F 计数器值大于上限阈值时，这些情况下，该位都会被清零。

• TKC1 寄存器

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Name	D7	D6	D5	TSCS	TK16S1	TK16S0	TKFS1	TKFS0
R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
POR	0	0	0	0	0	0	1	1

Bit 7~5

D7~D5: 测试数据位

这些位仅供内部测试使用，正常工作时，要保持 D7~D5 为“000”。

Bit 4

TSCS: 触控按键时隙计数器选择位

- 0: 每个模块使用自己的时隙计数器
- 1: 所有触控按键模块使用模块 0 的时隙计数器

Bit 3~2

TK16S1~TK16S0: 触控按键功能 16 位计数器时钟选择位

- 00: f_{sys}
- 01: $f_{sys}/2$
- 10: $f_{sys}/4$
- 11: $f_{sys}/8$

Bit 1~0

TKFS1~TKFS0: 触控按键振荡器和参考振荡器频率选择位

- 00: 1MHz
- 01: 3MHz
- 10: 7MHz
- 11: 11MHz

• TKC2 寄存器

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Name	—	—	—	—	—	TSC	ASMP1	ASMP0
R/W	—	—	—	—	—	R/W	R/W	R/W
POR	—	—	—	—	—	0	0	1

Bit 7~3

未定义，读为“0”

Bit 2

TSC: 时隙控制

- 0: 时隙 0~3
- 1: 仅时隙 0

此位用于配置时隙，若 TSC 位设为“1”，只有时隙 0 有效且执行触控按键相关操作，时隙 0~3 无效。在空闲或休眠模式下可以减少功耗并执行一键唤醒功能。在时隙 0 内唤醒 MCU 所需的按键由 TKMnC2 寄存器的 MnSK01~MnSK00 位选择。

Bit 1~0 ASMP1~ASMP0: 周期性自动扫描模式周期选择位

00: $2^{14}/f_{TK}$

01: $2^{13}/f_{TK}$

10: $2^{12}/f_{TK}$

11: $2^{11}/f_{TK}$

$f_{TK}=f_{LXT}/8$

这些位用来决定触控按键扫描周期，仅当触控按键功能被配置为工作在周期性自动扫描模式时有效。触控按键扫描次数可通过 WDT 溢出周期 t_{WDT} 得到，周期性自动扫描模式周期 t_{KEY} 可通过等式 $N=t_{WDT}/t_{KEY}$ 得到。

例如：若将 WS[2:0] 位设为 010，选择 WDT 溢出周期为 $2^{12}/f_{WDT}$ ， t_{WDT} 等于 1.024s。内部时钟 f_{WDT} 由 LXT 振荡器提供，其输出频率为 $f_{LXT}/8$ 。因此，在一个 WDT 溢出周期内，当 ASMP[1:0] 位分别设为 00/01/10/11 时，触控按键扫描次数为 2/4/8/16 次。在应用上确保周期性自动扫描模式周期 t_{KEY} 不会超过 WDT 溢出周期 t_{WDT} 是非常重要的。

● TK16DH/TK16DL – 触控按键功能 16-bit 计数器寄存器对

寄存器	TK16DH								TK16DL							
Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	7	6	5	4	3	2	1	0
Name	D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
R/W	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
POR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

该寄存器对用于存储触控按键功能 16-bit 计数器值。该 16-bit 计数器可用于校准参考振荡器或按键振荡器频率。在手动扫描模式中，当触控按键时隙计数器溢出，此 16-bit 计数器将停止，计数器内容保持不变。在自动扫描模式或周期性自动扫描模式中，该 16-bit 计数器内容将在时隙 0~2 结束时被清零但在时隙 3 结束时保持不变。当 TKST 位置低，该寄存器对将被清零。

● TKMn16DH/TKMn16DL – 触控按键模块 n 16-bit C/F 计数器寄存器对

寄存器	TKMn16DH								TKMn16DL							
Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	7	6	5	4	3	2	1	0
Name	D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
R/W	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
POR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

该寄存器对用于存储触控按键模块 n 16-bit C/F 计数器值。在手动扫描模式中，当触控按键时隙计数器溢出，该 16-bit C/F 计数器将被停止，其内容保持不变。若选择自动扫描模式或周期性自动扫描模式，此 16-bit C/F 计数器内容在写入到触控按键存储器后，将在时隙 0~2 结束时被清零，在时隙 3 结束时保持不变。当 TKST 位置低，该寄存器对将被清零。

● TKMnROH/TKMnROL – 触控按键模块 n 参考振荡器电容选择寄存器对

寄存器	TKMnROH								TKMnROL							
Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	7	6	5	4	3	2	1	0
Name	—	—	—	—	—	—	D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
R/W	—	—	—	—	—	—	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
POR	—	—	—	—	—	—	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

该寄存器对用于存储触控按键模块 n 参考振荡器电容值。当选中自动扫描模式或周期性自动扫描模式时，该寄存器将在当前时隙结束时从专用的触控按键数据存储器中载入相应的下一个时隙电容值。

参考振荡器内部电容值 = $(TKMnRO[9:0] \times 50pF) / 1024$

• TKMnC0 寄存器

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Name	—	—	MnDFEN	—	MnSOFC	MnSOF2	MnSOF1	MnSOF0
R/W	—	—	R/W	—	R/W	R/W	R/W	R/W
POR	—	—	0	—	0	0	0	0

Bit 7~6 未定义，读为“0”

Bit 5 **MnDFEN**: 触控按键模块 n 倍频功能控制位

0: 除能

1: 使能

此位用于控制触控按键振荡器频率的倍频功能。当此位置“1”，按键振荡器频率将为原来的倍频。

Bit 4 未定义，读为“0”

Bit 3 **MnSOFC**: 触控按键模块 n C/F 振荡器跳频功能选择位

0: 软件处理跳频功能，由 MnSOF2~MnSOF0 位决定

1: 硬件处理跳频功能，MnSOF2~MnSOF0 位无作用

该位用来选择触控按键振荡器跳频功能控制方式，当此位置 1，按键振荡器跳频功能由硬件电路控制，而不受 MnSOF2~MnSOF0 位影响。

Bit 2~0 **MnSOF2~MnSOF0**: 触控按键模块 n 参考和按键振荡器跳频选择位

000: 1.020MHz

001: 1.040MHz

010: 1.059MHz

011: 1.074MHz

100: 1.085MHz

101: 1.099MHz

110: 1.111MHz

111: 1.125MHz

这些位用于为跳频功能选择触控按键振荡器频率。应注意的是这些位仅在 MnSOFC 位清零时有效。

上述频率会随着外部或内部电容值的不同而变化。若触控按键振荡器频率选择 1MHz，用户选择其它频率时，可依此比例调整。

• TKMnC1 寄存器

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Name	MnTSS	—	MnROEN	MnKOEN	MnK4EN	MnK3EN	MnK2EN	MnK1EN
R/W	R/W	—	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
POR	0	—	0	0	0	0	0	0

Bit 7 **MnTSS**: 触控按键模块 n 时隙计数器时钟选择位

0: 触控按键模块 n 参考振荡器

1: f_{LXT}

MnTSS 位置高时，触控按键模块 n 时隙计数器时钟来自 f_{LXT} 振荡器，即使在空闲和休眠模式下该时钟也继续运行。触控按键模块 n 时隙计数器时钟可旁路 5-bit 计数器以缩短溢出时间。在自动扫描模式下，设置 MnTSS=1 且 TSC=1，可降低按键的待机功耗。

注：如果旁路了 5-bit 计数器，触控按键模块 n 参考和按键振荡器跳频频率由 MnSOF2~MnSOF0 位控制，无论 MnSOFC 位的设置为何值。

Bit 6 未使用，读为“0”

Bit 5 **MnROEN**: 触控按键模块 n 参考振荡器使能控制位

0: 除能

1: 使能

该位用于使能触控按键模块 n 参考振荡器。在自动扫描模式或周期性自动扫描模式时，若选择使用参考振荡器作为时隙时钟源，当 TKST 位由低到高变化时，必须通过将 MnROEN 位置高使能参考振荡器。MnTSS 位和 MnK4EN~MnK1EN 位共同决定了是否选用参考振荡器。当 TKBUSY 位从高变为低时，MnROEN 位将被自动清零来除能参考振荡器。

在手动扫描时，若选择使用参考振荡器，在将 TKST 位设置为低到高前，必须先使能参考振荡器，当 TKBUSY 位从高变为低时，参考振荡器将除能。

Bit 4 **MnKOEN**: 触控按键模块 n 按键振荡器使能控制位

0: 除能

1: 使能

该位用于使能触控按键模块按键振荡器。在自动扫描模式或周期性自动扫描模式时，当 TKST 位由低到高变化时，必须通过将 MnKOEN 位置高使能按键振荡器。当 TKBUSY 位由高到低变化时，MnKOEN 位将被自动清零来除能按键振荡器。

在手动扫描模式时，若使能相应的按键进行扫描时，在将 TKST 位设置为低到高前，必须先使能按键振荡器。当 TKBUSY 位从高变为低时，按键振荡器将除能。

Bit 3 **MnK4EN**: 触控按键模块 n KEY4 使能控制

MnK4EN	触控按键模块 n – Mn				
	M0	M1	M2	M3	M4
0: 除能	I/O 或其它功能				
1: 使能	KEY4	KEY8	KEY12	KEY16	KEY20

Bit 2 **MnK3EN**: 触控按键模块 n KEY3 使能控制

MnK3EN	触控按键模块 n – Mn				
	M0	M1	M2	M3	M4
0: 除能	I/O 或其它功能				
1: 使能	KEY3	KEY7	KEY11	KEY15	KEY19

Bit 1 **MnK2EN**: 触控按键模块 n KEY2 使能控制

MnK2EN	触控按键模块 n – Mn				
	M0	M1	M2	M3	M4
0: 除能	I/O 或其它功能				
1: 使能	KEY2	KEY6	KEY10	KEY14	KEY18

Bit 0 **MnK1EN**: 触控按键模块 n KEY1 使能控制

MnK1EN	触控按键模块 n – Mn				
	M0	M1	M2	M3	M4
0: 除能	I/O 或其它功能				
1: 使能	KEY1	KEY5	KEY9	KEY13	KEY17

● TKMnC2 寄存器

该寄存器用于选择触控按键模块 n 在时隙 0~3 时要被扫描的按键。应注意的是，如果任意时隙内对应的按键除能时，此时隙内的参考和按键振荡器均不振荡。

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Name	MnSK31	MnSK30	MnSK21	MnSK20	MnSK11	MnSK10	MnSK01	MnSK00
R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
POR	1	1	1	0	0	1	0	0

Bit 7~6 **MnSK31~MnSK30**: 触控按键模块 n 时隙 3 扫描按键选择位

00: KEY1
01: KEY2
10: KEY3
11: KEY4

这两位用于选择在时隙 3 时要被扫描的按键，当 TKMOD1~TKMOD0=01 或 TSC=1 时这两位设置无效。

Bit 5~4 **MnSK21~MnSK20**: 触控按键模块 n 时隙 2 扫描按键选择位

00: KEY1
01: KEY2
10: KEY3
11: KEY4

这两位用于选择在时隙 2 时要被扫描的按键，当 TKMOD1~TKMOD0=01 或 TSC=1 时这两位设置无效。

Bit 3~2 **MnSK11~MnSK10**: 触控按键模块 n 时隙 1 扫描按键选择位

00: KEY1
01: KEY2
10: KEY3
11: KEY4

这两位用于选择在时隙 1 时要被扫描的按键，当 TKMOD1~TKMOD0=01 或 TSC=1 时这两位设置无效。

Bit 1~0 **MnSK01~MnSK00**: 触控按键模块 n 时隙 0 扫描按键选择位

00: KEY1
01: KEY2
10: KEY3
11: KEY4

这两位用于选择在自动扫描模式或周期性自动扫描模式下时隙 0 时要被扫描的按键或在手动模式时选择要扫描的按键。

● TKMnTH16H/TKMnTH16L – 触控按键模块 n 16-bit 阈值寄存器对 ($n=0\sim4$)

寄存器	TKMnTH16H								TKMnTH16L							
Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	7	6	5	4	3	2	1	0
Name	D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
POR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

TKMnTH16L/TKMnTH16L 寄存器对用来存储触控按键模块 n 16-bit 上限 / 下限阈值。当选中周期性自动扫描模式时，该寄存器将在当前时隙结束时，由硬件自动从专用的触控按键数据存储寄存器中载入相应的下一个 16-bit 上限 / 下限阈值。当触控按键模块要扫描的按键 KEY m ($m=1\sim4$)，完成扫描工作后，16-bit C/F 计数器内容 TKMn16DH/TKMn16DL 将和 TKMnTH16H/TKMnTH16L 值将通过硬件进行比较。当 MnKmTHS=0，该值小于下限阈值时或当 MnKmTHS=1，该值大于上限阈值，MnKmTHF 标志位将置高，中断信号将产生。

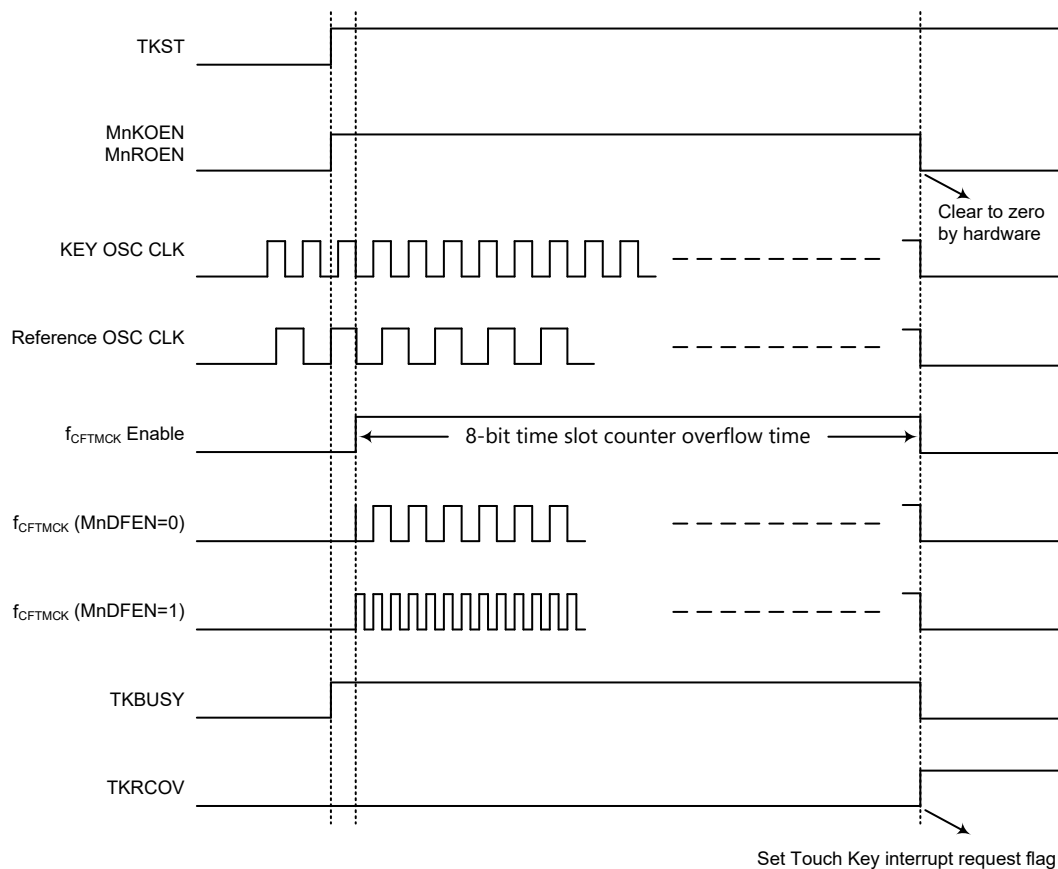
● TKMnTHS 寄存器

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Name	MnK4THF	MnK3THF	MnK2THF	MnK1THF	MnK4THS	MnK3THS	MnK2THS	MnK1THS
R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
POR	0	0	0	0	0	0	0	0

- Bit 7 **MnK4THF**: 触控按键模块 n KEY4 上限 / 下限阈值比较标志位
0: 不小于下限阈值或不大于上限阈值
1: 小于下限阈值或大于上限阈值
- Bit 6 **MnK3THF**: 触控按键模块 n KEY3 上限 / 下限阈值比较标志位
0: 不小于下限阈值或不大于上限阈值
1: 小于下限阈值或大于上限阈值
- Bit 5 **MnK2THF**: 触控按键模块 n KEY2 上限 / 下限阈值比较标志位
0: 不小于下限阈值或不大于上限阈值
1: 小于下限阈值或大于上限阈值
- Bit 4 **MnK1THF**: 触控按键模块 n KEY1 上限 / 下限阈值比较标志位
0: 不小于下限阈值或不大于上限阈值
1: 小于下限阈值或大于上限阈值
- Bit 3 **MnK4THS**: 触控按键模块 n KEY4 上限 / 下限阈值比较选择位
0: 下限阈值比较
1: 上限阈值比较
- Bit 2 **MnK3THS**: 触控按键模块 n KEY3 上限 / 下限阈值比较选择位
0: 下限阈值比较
1: 上限阈值比较
- Bit 1 **MnK2THS**: 触控按键模块 n KEY2 上限 / 下限阈值比较选择位
0: 下限阈值比较
1: 上限阈值比较
- Bit 0 **MnK1THS**: 触控按键模块 n KEY1 上限 / 下限阈值比较选择位
0: 下限阈值比较
1: 上限阈值比较

触控按键操作

手指接近或接触到触控面板时，面板的电容量会增大，电容量的变化会轻微改变内部感应振荡器的频率，通过测量频率的变化可以感知触控动作。参考时钟通过内部可编程分频器能够产生一个固定的时间周期。在这个时间周期内，通过在此固定时间周期内对感应振荡器产生的时钟周期计数，可确定触控按键的动作。



触控按键手动扫描模式时序图

每个触控按键模块包含四个与 I/O 引脚共用的触控按键，即 KEY1~KEY4，通过寄存器可设置相应引脚功能。每个触控按键具有独立的感应振荡器，因此每个模块包含四个感应振荡器。

在参考时钟固定的时间间隔内，感应振荡器产生的时钟周期数是可以测量的。测到的周期数可以用于判断触控动作是否有效发生。在手动扫描模式下，在最后一个时间间隔后，会产生一个触控按键中断信号。

通过设置 TKC1 寄存器中的 TSCS 位可以选择模块 0 的时隙计数器作为所有模块的时隙计数器。全部的触控按键模块共用一个起始信号，即 TKC0 寄存器中的 TKST。在此位清零时，所有模块的 16-bit C/F 计数器、16-bit 计数器和 5-bit 时隙计数器会自动清零，而 8-bit 可编程时隙计数器不清零，由用户设置溢出时间。在 TKST 上升沿时，16-bit C/F 计数器、16-bit 计数器、5-bit 时隙计数器和 8-bit 时隙计数器会自动开启。

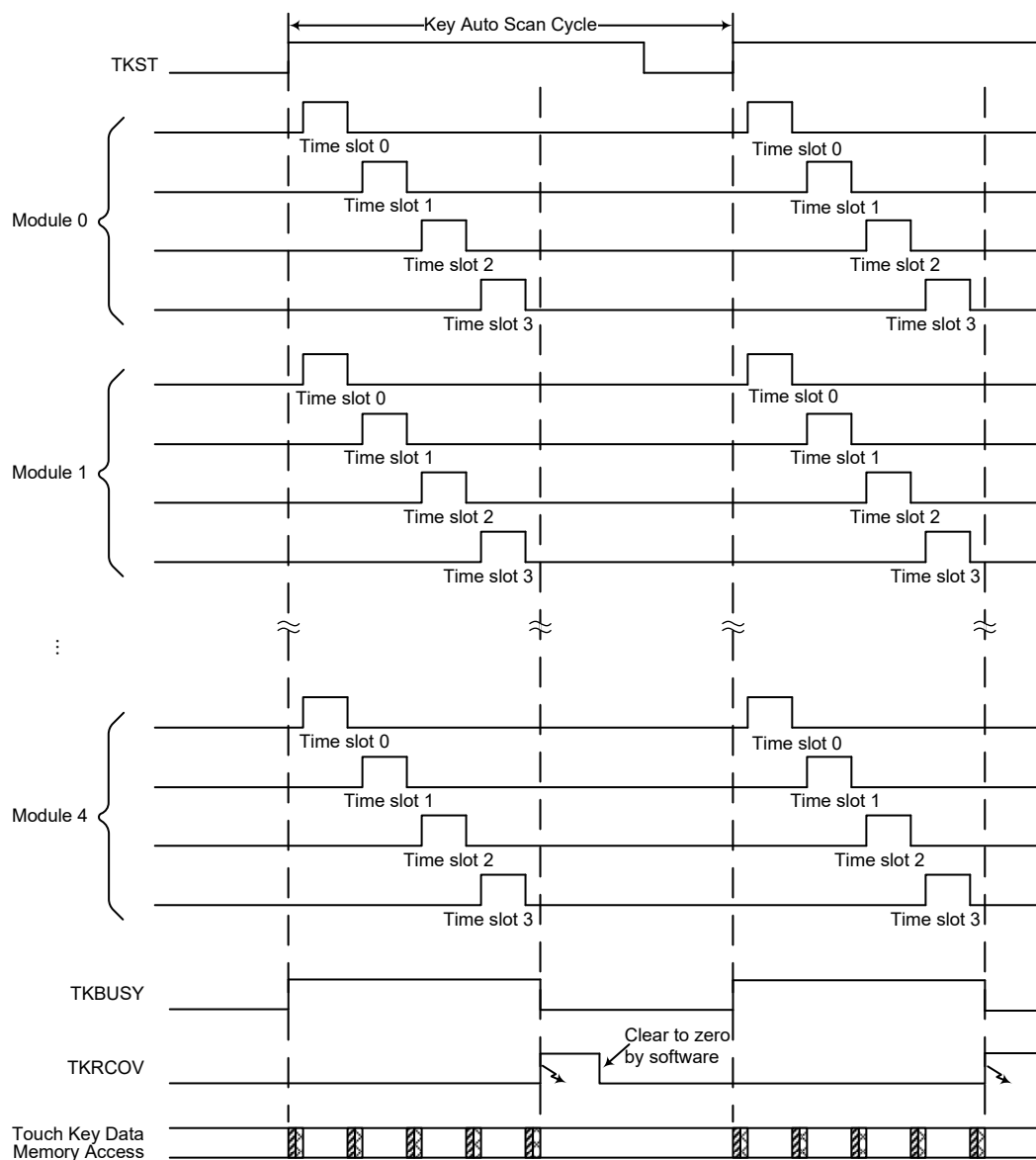
当时隙计数器溢出，所有模块的按键振荡器和参考振荡器都会自动停止且 16-bit C/F 计数器、16-bit 计数器、5-bit 时隙计数器和 8-bit 时隙计数器会自动停止。时隙计数器和 5-bit 时隙计数器和 8-bit 时隙计数器时钟源可通过 TKMnC1 寄存器中的 MnTSS 位选择来自参考振荡器或 f_{LXT} 。通过设置 TKMnC1 寄存器中的 MnROEN 位和 MnKOEN 为“1”，可使能参考振荡器和按键振荡器。

当所有触控按键模块的时隙计数器都溢出时，或模块 0 时隙计数器溢出，将产生触控按键中断。这里所有的触控按键是指已使能的触控按键。

每 4 个按键为一个模块，所以 KEY1~KEY4 为模块 0，KEY5~KEY8 为模块 1，KEY9~KEY12 为模块 2，KEY13~KEY16 为模块 3，KEY17~KEY20 为模块 4，每个模块都是相同的架构。

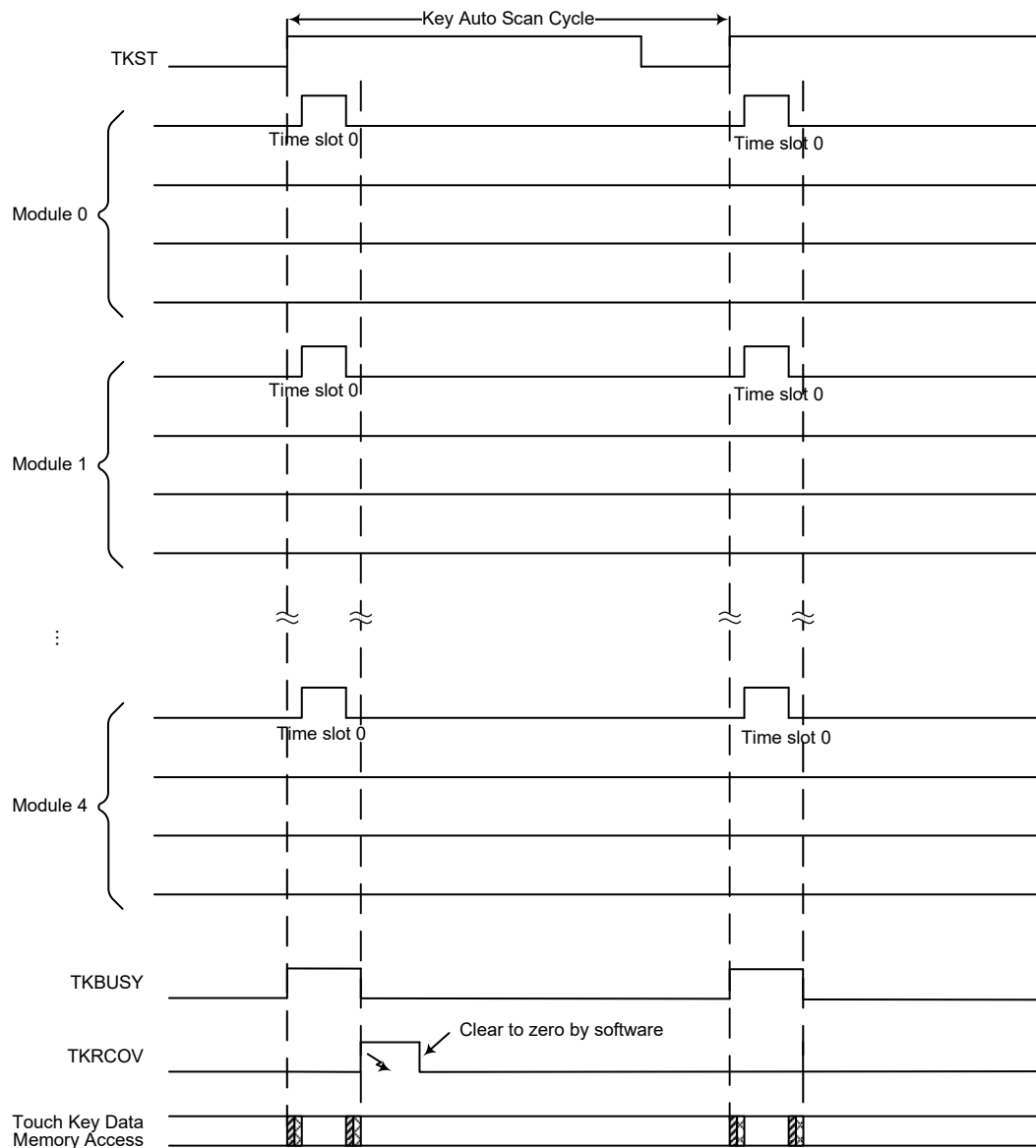
自动扫描模式

触控按键功能包含三种按键扫描模式，即自动扫描模式、周期性自动扫描模式和手动扫描模式，可通过寄存器 TKC0 的 TKMOD1~TKMOD0 位选择。自动扫描模式可以最大程度的减少程序负担并能提高按键扫描执行效率。设置 TKMOD[1:0] 位为 00 可选择自动扫描模式，在此模式下以指定顺序自动扫描模块按键。扫描顺序及按键由 TKMnC2 寄存器的 MnSK3[1:0]~MnSK0[1:0] 位决定。TKC2 寄存器的 TSC 位用于配置时隙。



- ↘ : Set Touch Key interrupt request flag
 - ▨ : Read 2N bytes from Touch Key Data Memory to TKMnROH/TKMnROL registers
 - ▤ : Write 2N bytes from TKMn16DH/TKMn16DL registers to Touch Key Data Memory
- N = Touch Key Module Number; n = Module Serial Number

触控按键自动扫描模式时序图 – TSC=0



 : Set Touch Key interrupt request flag

 : Read 2N bytes from Touch Key Data Memory to TKMnROH/TKMnROL registers

 : Write 2N bytes from TKMn16DH/TKMn16DL registers to Touch Key Data Memory

N = Touch Key Module Number; n = Module Serial Number

触控按键自动扫描模式时序图 – TSC=1

在自动扫描模式时，按键振荡器和参考振荡器在 TKST 位由低变为高时，自动使能，在 TKBUSY 位由高到低时，自动除能。在自动扫描模式时，若清零 TSC 位，时隙 0~3 有效，当设置 TKST 位由低到高，硬件会自动从专用触控按键数据存储区指定位置读取时隙 0 选择扫描的按键对应的参考振荡器的电容值，并写入相应的 TKMnROH/TKMnROL 寄存器对中。并将 16-bit C/F 计数器的值写回到专用触控按键数据存储区时隙 3 扫描的按键对应的位置。之后开始扫描选择的时隙 0 的按键。时隙 0 按键扫描结束时，硬件会自动从专用触控按键数据存储区读取下一个要扫描按键对应的参考振荡器电容值并写入相应的 TKMnROH/TKMnROL 寄存器对中。并将当前 16-bit C/F 计数器的值写回到专用触控按键数据存储区对应位置。整个自动扫描操作会按上述指定的方式从时隙 0 到时隙 3 有序的执行。时隙 3 按键扫描结束时，硬件会再次从专用触控按键数据存储区读取时隙 0 选择扫描的按键对应的参考振荡器的电容值，并写入相应的 TKMnROH/TKMnROL 寄存器对中。16 位 C/F 计数器值也会被再次写回到专用触控按键数据存储区时隙 3 扫描的按键对应的位置。四个按键全部扫描后，TKRCOV 位将被置高同时 TKBUSY 位拉低，意味着自动扫描模式下的扫描工作已完成。若 TSC 位置高，仅有时隙 0 有效，时隙 0 执行触控按键相关操作而时隙 1~3 无效。

周期性自动扫描模式

除了在自动扫描模式中提到的动作，周期性自动扫描模式还提供了周期自动扫描和 C/F 计数器上限 / 下限阈值比较功能。设置 TKMOD1~TKMOD0 位为 10 或 11，可选择周期性自动扫描模式用来自动和周期性地扫描模块按键。需注意的是，该模式通常在空闲模式下使用，用来监测触控按键状态，并尽量减少功耗。

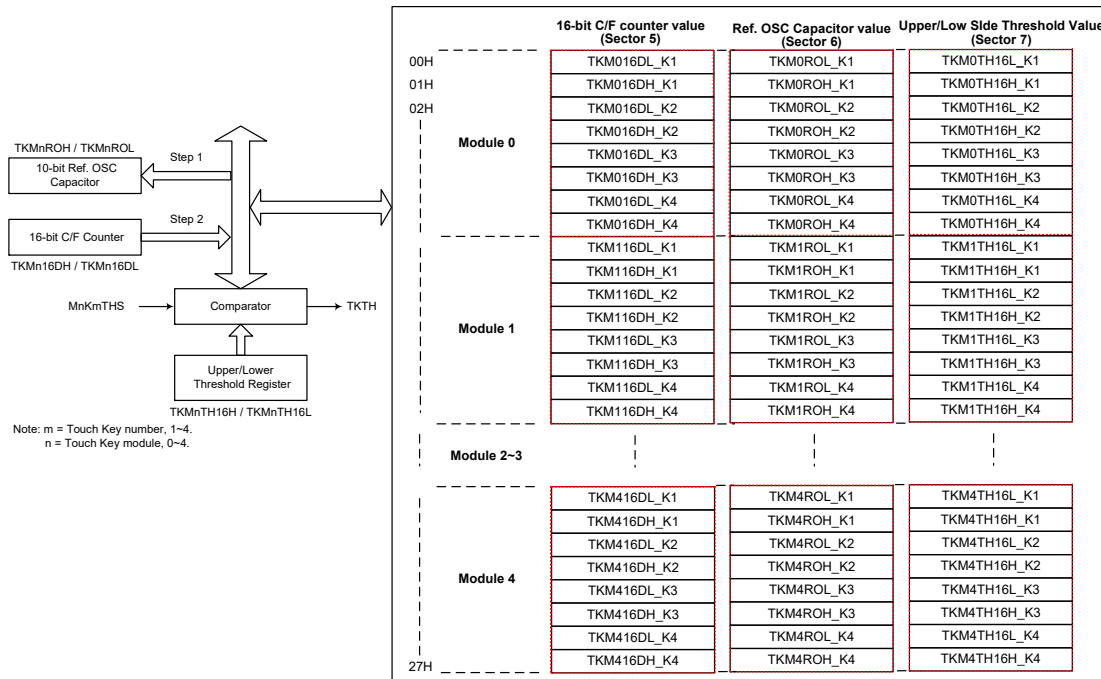
在周期性自动扫描模式时，触控按键扫描工作将周期性地自动执行，可由寄存器 TKC2 的 ASMP1~ASMP0 位决定。触控按键扫描次数取决于 WDT 溢出周期和周期性自动扫描模式周期。整个周期性自动扫描操作会像自动扫描模式一样按指定的方式从时隙 0 到时隙 3 有序的执行。每个时隙选择扫描的按键对应的参考振荡器的电容值将会被自动从专用触控按键数据存储区指定位置读取出来，并写入相应的 TKMnROH/TKMnROL 寄存器对中。然而，仅在 WDT 溢出周期内最后一次扫描工作结束时，16-bit C/F 计数器的值才会被写回到专用触控按键数据存储区所有扫描的按键对应的位置。

另外，开始扫描选择的时隙 0 的按键前，硬件会自动从专用触控按键数据存储区指定位置读取时隙 0 选择扫描的按键对应的上限 / 下限阈值比较值，并写入相应的 TKMnTH16H/TKMnTH16L 寄存器对中。TKMnTH16H/TKMnTH16L 寄存器将在当前时隙结束时，由硬件自动从专用的触控按键数据存储区中载入相应的下一个 16-bit 上限 / 下限阈值。在周期性自动扫描模式时，上限 / 下限阈值比较功能将自动使能。当 MnKmTHS=0，任何按键 C/F 计数器值小于下限阈值，或 MnKmTHS=1，按键 C/F 计数器值大于上限阈值，这表明触控按键状态发生了变化，MnKmTHF 标志位将被硬件置高，中断信号产生。应注意，因为在 16-bit C/F 计数器内容 TKMn16DH/TKMn16DL 和 TKMnTH16H/TKMnTH16L 值比较的同时 TKMnROH/TKMnROL 寄存器从专用的触控按键数据存储区中载入相应的下一个时隙电容值，所以触控按键模块中断发生时，将有 1-byte 数据写入到 TKMnROL 寄存器。

使用 WDT 计数器时钟进行周期性自动扫描可减少功耗，当 WDT 被清除时，WDT 计数器将复位，周期性自动扫描工作时间将会受到影响，但触控按键次数却不受影响。

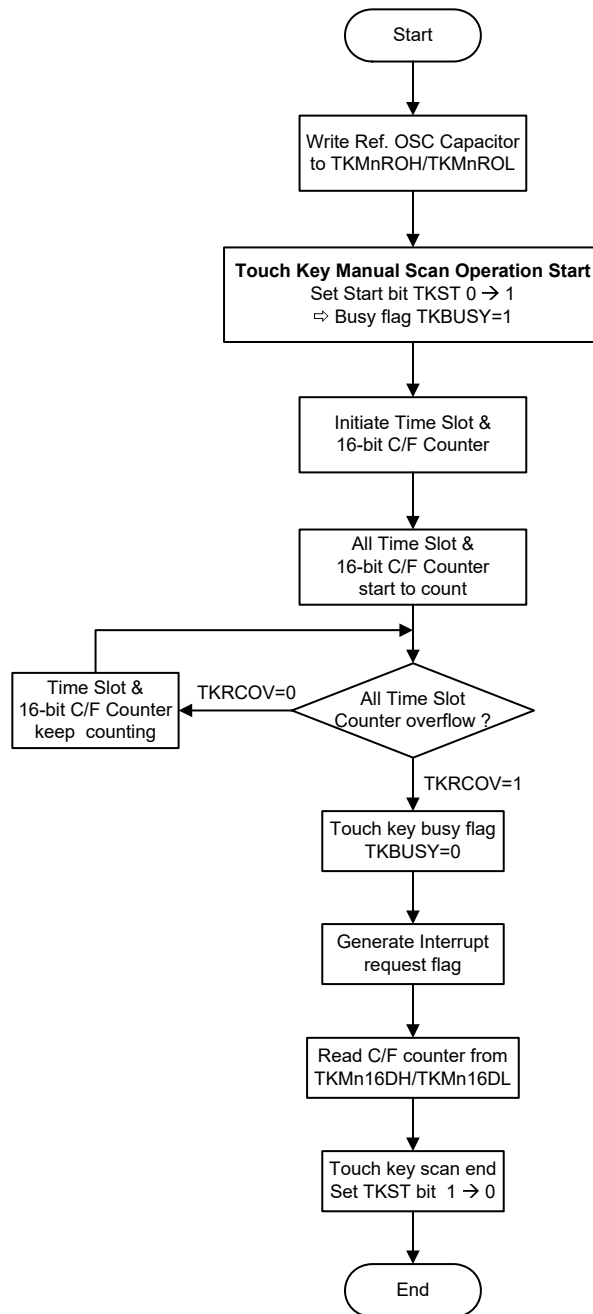
触控按键数据存储

该单片机提供了 3 个专用的数据存储区域。第一个位于数据存储区 5 用于存储触控按键模块 16 位 C/F 计数器值，第二个位于数据存储区 6 用于存储触控按键模块参考振荡器内部电容值，最后一个位于数据存储区 7 用于存储触控按键模块 16-bit 上限 / 下限阈值。

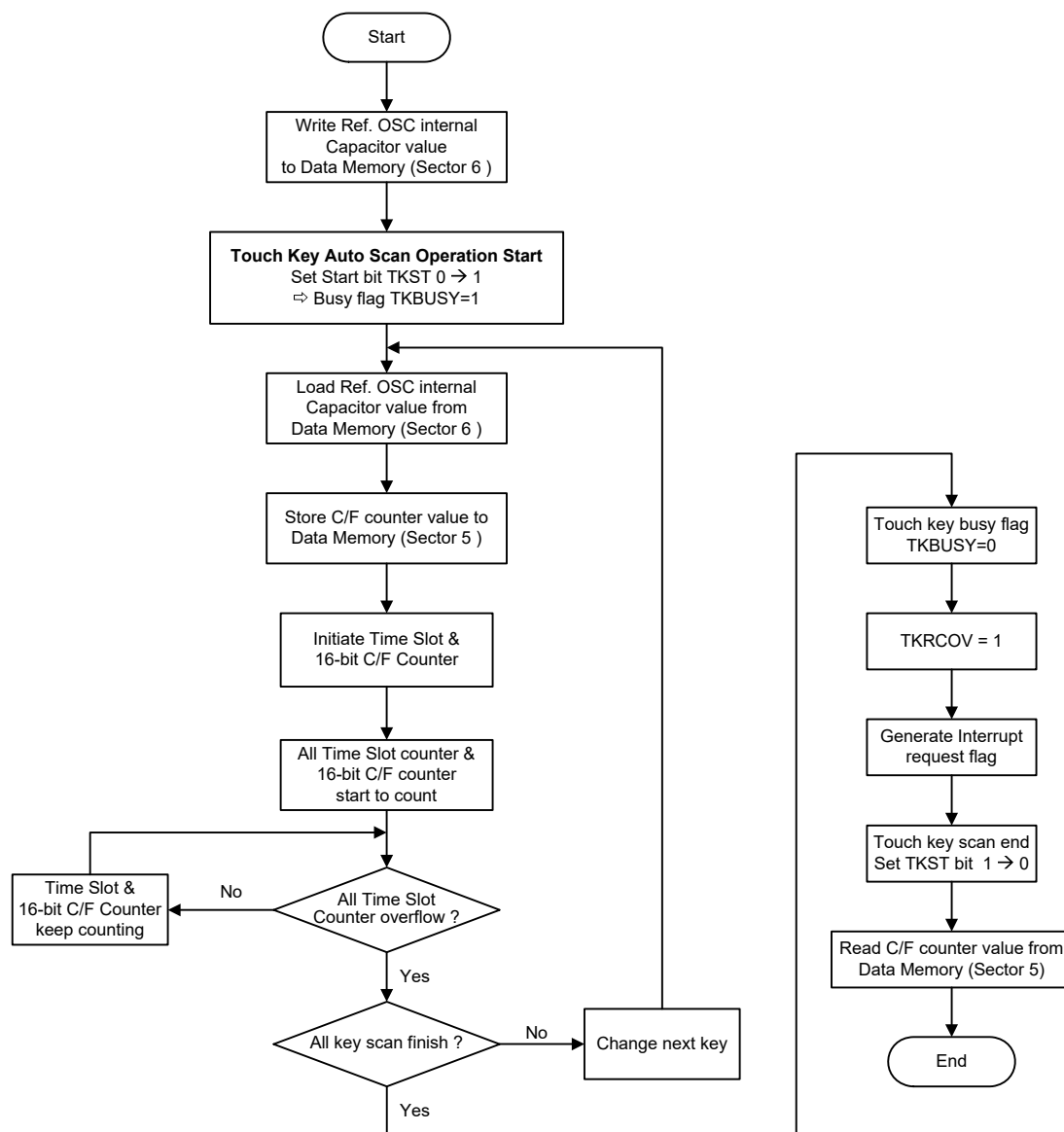


触控按键数据存储分布

触控按键扫描流程图



触控按键手动扫描模式流程图



触控按键自动扫描模式流程图

触控按键中断

触控按键有两个独立的中断，分别为触控按键时隙计数器溢出中断和触控按键阈值中断。当触控按键模块的时隙计数器溢出时，才会产生触控按键中断，注意，此处提到的触控按键是指已被使能的触控按键。此时 16 位 C/F 计数器、16 位计数器，5 位时隙单位周期计数器和 8 位时隙定时计数器会自动清零。当 MnKmTHS=0，SPI、A/D 转换器 C/F 计数器值小于下限阈值，或 MnKmTHS=1，按键 C/F 计数器值大于上限阈值，将产生触控按键模块阈值中断。更多关于触控按键时隙计数器溢出中断和触控按键模块 TKTH 中断的详细内容见规格书中断章节。

编程注意事项

相关寄存器设置后，将 TKST 位由低电平变为高电平会启动触控按键检测程序初始化。此时所有相关的振荡器将同步使能。当计数器溢出时，时隙计数器标志位 TKRCOV 将变为高电平。计数器溢出发生时，会产生一个中断信号。当某一阈值比较条件发生时，阈值比较指示信号 TKTH 信号将变为高电平。某一阈值比较条件发生时将会产生一个中断信号。

当触控按键模块 16-bit C/F 计数器溢出时，16-bit C/F 计数器溢出标志位 TKCFOV 将变高。由于此标志位不会自动清零，它只能通过应用程序清除。

当 16-bit 计数器溢出时，16-bit 计数器溢出标志位 TK16OV 将变高。由于此标志位不会自动清零，它只能由应用程序清除。触控按键中断的详细说明见中断部分

当外部触控按键的大小和布局确定时，其相关的电容将决定感应振荡器的频率。

中断

中断是单片机一个重要功能。当外部事件或内部功能如定时器模块有效，并且产生中断时，系统会暂时中止当前的程序而转到执行相对应的中断服务程序。此单片机提供多个外部中断和内部中断功能，外部中断由 INT0~INT3 引脚动作产生，而内部中断由各种内部功能产生，如定时器模块、时基、LVD、EEPROM、USIM、SPI、A/D 转换器和触控按键等等。

中断寄存器

中断控制基本上是在一定单片机条件发生时设置请求标志位，应用程序中中断使能位的设置是通过位于专用数据存储器中的一系列寄存器控制的。寄存器总的分为三类。第一类是 INTC0~INTC3 寄存器，用于设置基本的中断；第二类是 MFI0~MFI2 寄存器，用于设置多功能中断；最后一种有 INTEG 寄存器，用于设置外部中断边沿触发类型。

寄存器中含有中断控制位和中断请求标志位。中断控制位用于使能或除能各种中断，中断请求标志位用于存放当前中断请求的状态。它们都按照特定的模式命名，前面表示中断类型的缩写，紧接着的字母“E”代表使能/除能位，“F”代表请求标志位。

功能	使能位	请求标志	注释
总中断	EMI	—	—
INTn 引脚	INTnE	INTnF	n=0~3
多功能中断	MFnE	MFnF	n=0~2
时基	TBnE	TBnF	n=0~1
LVD	LVE	LVF	—
EEPROM	DEE	DEF	—
USIM	USIME	USIMF	—
SPI	SPIE	SPIF	—
A/D 转换器	ADE	ADF	—
触控按键	TKRCOVE	TKRCOVF	—
	TKTHE	TKTHF	—

功能	使能位	请求标志	注释
TM	CTMnPE	CTMnPF	n=0~1
	CTMnAE	CTMnAF	
	STMPE	STMPF	—
	STMAE	STMAF	

中断寄存器位命名模式

寄存器名称	位							
	7	6	5	4	3	2	1	0
INTEG	INT3S1	INT3S0	INT2S1	INT2S0	INT1S1	INT1S0	INT0S1	INT0S0
INTC0	—	USIMF	INT1F	INT0F	USIME	INT1E	INT0E	EMI
INTC1	MF2F	MF1F	MF0F	SPIF	MF2E	MF1E	MF0E	SPIE
INTC2	INT3F	INT2F	TB1F	TB0F	INT3E	INT2E	TB1E	TB0E
INTC3	—	ADF	TKTHF	TKRCOVF	—	ADE	TKTHE	TKRCOVE
MF10	CTM1AF	CTM1PF	CTM0AF	CTM0PF	CTM1AE	CTM1PE	CTM0AE	CTM0PE
MF11	—	—	STMAF	STMPF	—	—	STMAE	STMPE
MF12	—	—	DEF	LVF	—	—	DEE	LVE

中断寄存器列表

• INTEG 寄存器

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Name	INT3S1	INT3S0	INT2S1	INT2S0	INT1S1	INT1S0	INT0S1	INT0S0
R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
POR	0	0	0	0	0	0	0	0

Bit 7~6 **INT3S1~INT3S0:** INT3 脚中断边沿控制位

00: 除能
01: 上升沿
10: 下降沿
11: 双沿

Bit 5~4 **INT2S1~INT2S0:** INT2 脚中断边沿控制位

00: 除能
01: 上升沿
10: 下降沿
11: 双沿

Bit 3~2 **INT1S1~INT1S0:** INT1 脚中断边沿控制位

00: 除能
01: 上升沿
10: 下降沿
11: 双沿

Bit 1~0 **INT0S1~INT0S0:** INT0 脚中断边沿控制位

00: 除能
01: 上升沿
10: 下降沿
11: 双沿

• INTC0 寄存器

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Name	—	USIMF	INT1F	INT0F	USIME	INT1E	INT0E	EMI
R/W	—	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
POR	—	0	0	0	0	0	0	0

- Bit 7 未定义，读为“0”
- Bit 6 **USIMF**: USIM 中断请求标志位
0: 无请求
1: 中断请求
- Bit 5 **INT1F**: INT1 中断请求标志位
0: 无请求
1: 中断请求
- Bit 4 **INT0F**: INT0 中断请求标志位
0: 无请求
1: 中断请求
- Bit 3 **USIME**: USIM 中断控制位
0: 除能
1: 使能
- Bit 2 **INT1E**: INT1 中断控制位
0: 除能
1: 使能
- Bit 1 **INT0E**: INT0 中断控制位
0: 除能
1: 使能
- Bit 0 **EMI**: 总中断控制位
0: 除能
1: 使能

• INTC1 寄存器

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Name	MF2F	MF1F	MF0F	SPIF	MF2E	MF1E	MF0E	SPIE
R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
POR	0	0	0	0	0	0	0	0

- Bit 7 **MF2F**: 多功能中断 2 请求标志位
0: 无请求
1: 中断请求
- Bit 6 **MF1F**: 多功能中断 1 请求标志位
0: 无请求
1: 中断请求
- Bit 5 **MF0F**: 多功能中断 0 请求标志位
0: 无请求
1: 中断请求
- Bit 4 **SPIF**: SPI 中断请求标志位
0: 无请求
1: 中断请求
- Bit 3 **MF2E**: 多功能中断 2 控制位
0: 除能
1: 使能

- Bit 2 **MF1E**: 多功能中断 1 控制位
0: 除能
1: 使能
- Bit 1 **MF0E**: 多功能中断 0 控制位
0: 除能
1: 使能
- Bit 0 **SPIE**: SPI 中断控制位
0: 除能
1: 使能

● **INTC2 寄存器**

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Name	INT3F	INT2F	TB1F	TB0F	INT3E	INT2E	TB1E	TB0E
R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
POR	0	0	0	0	0	0	0	0

- Bit 7 **INT3F**: 外部中断 3 请求标志位
0: 无请求
1: 中断请求
- Bit 6 **INT2F**: 外部中断 2 请求标志位
0: 无请求
1: 中断请求
- Bit 5 **TB1F**: 时基 1 中断请求标志位
0: 无请求
1: 中断请求
- Bit 4 **TB0F**: 时基 0 中断请求标志位
0: 无请求
1: 中断请求
- Bit 3 **INT3E**: 外部中断 3 控制位
0: 除能
1: 使能
- Bit 2 **INT2E**: 外部中断 2 控制位
0: 除能
1: 使能
- Bit 1 **TB1E**: 时基 1 中断控制位
0: 除能
1: 使能
- Bit 0 **TB0E**: 时基 0 中断控制位
0: 除能
1: 使能

• INTC3 寄存器

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Name	—	ADF	TKTHF	TKRCOVF	—	ADE	TKTHE	TKRCOVE
R/W	—	R/W	R/W	R/W	—	R/W	R/W	R/W
POR	—	0	0	0	—	0	0	0

- Bit 7 未定义，读为“0”
- Bit 6 **ADF**: A/D 转换器中断请求标志位
0: 无请求
1: 中断请求
- Bit 5 **TKTHF**: 触控按键模块 TKTH 中断请求标志位
0: 无请求
1: 中断请求
- Bit 4 **TKRCOVF**: 触控按键 TKRCOV 中断请求标志位
0: 无请求
1: 中断请求
- Bit 3 未定义，读为“0”
- Bit 2 **ADE**: A/D 转换器中断控制位
0: 除能
1: 使能
- Bit 1 **TKTHE**: 触控按键模块 TKTH 中断控制位
0: 除能
1: 使能
- Bit 0 **TKRCOVE**: 触控按键 TKRCOV 中断控制位
0: 除能
1: 使能

• MFIO 寄存器

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Name	CTM1AF	CTM1PF	CTM0AF	CTM0PF	CTM1AE	CTM1PE	CTM0AE	CTM0PE
R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
POR	0	0	0	0	0	0	0	0

- Bit 7 **CTM1AF**: CTM1 比较器 A 匹配中断请求标志位
0: 无请求
1: 中断请求
- Bit 6 **CTM1PF**: CTM1 比较器 P 匹配中断请求标志位
0: 无请求
1: 中断请求
- Bit 5 **CTM0AF**: CTM0 比较器 A 匹配中断请求标志位
0: 无请求
1: 中断请求
- Bit 4 **CTM0PF**: CTM0 比较器 P 匹配中断请求标志位
0: 无请求
1: 中断请求
- Bit 3 **CTM1AE**: CTM1 比较器 A 匹配中断控制位
0: 除能
1: 使能
- Bit 2 **CTM1PE**: CTM1 比较器 P 匹配中断控制位
0: 除能
1: 使能

- Bit 1 **CTM0AE**: CTM0 比较器 A 匹配中断控制位
0: 除能
1: 使能
- Bit 0 **CTM0PE**: CTM0 比较器 P 匹配中断控制位
0: 除能
1: 使能

● **MF11 寄存器**

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Name	—	—	STMAF	STMPF	—	—	STMAE	STMPE
R/W	—	—	R/W	R/W	—	—	R/W	R/W
POR	—	—	0	0	—	—	0	0

- Bit 7~6 未定义，读为“0”
- Bit 5 **STMAF**: STM 比较器 A 匹配中断请求标志位
0: 无请求
1: 中断请求
- Bit 4 **STMPF**: STM 比较器 P 匹配中断请求标志位
0: 无请求
1: 中断请求
- Bit 3~2 未定义，读为“0”
- Bit 1 **STMAE**: STM 比较器 A 匹配中断控制位
0: 除能
1: 使能
- Bit 0 **STMPE**: STM 比较器 P 匹配中断控制位
0: 除能
1: 使能

● **MF12 寄存器**

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Name	—	—	DEF	LVF	—	—	DEE	LVE
R/W	—	—	R/W	R/W	—	—	R/W	R/W
POR	—	—	0	0	—	—	0	0

- Bit 7~6 未定义，读为“0”
- Bit 5 **DEF**: 数据 EEPROM 存储器中断请求标志位
0: 无请求
1: 中断请求
- Bit 4 **LVF**: LVD 中断请求标志位
0: 无请求
1: 中断请求
- Bit 3~2 未定义，读为“0”
- Bit 1 **DEE**: 数据 EEPROM 中断控制位
0: 除能
1: 使能
- Bit 0 **LVE**: LVD 中断控制位
0: 除能
1: 使能

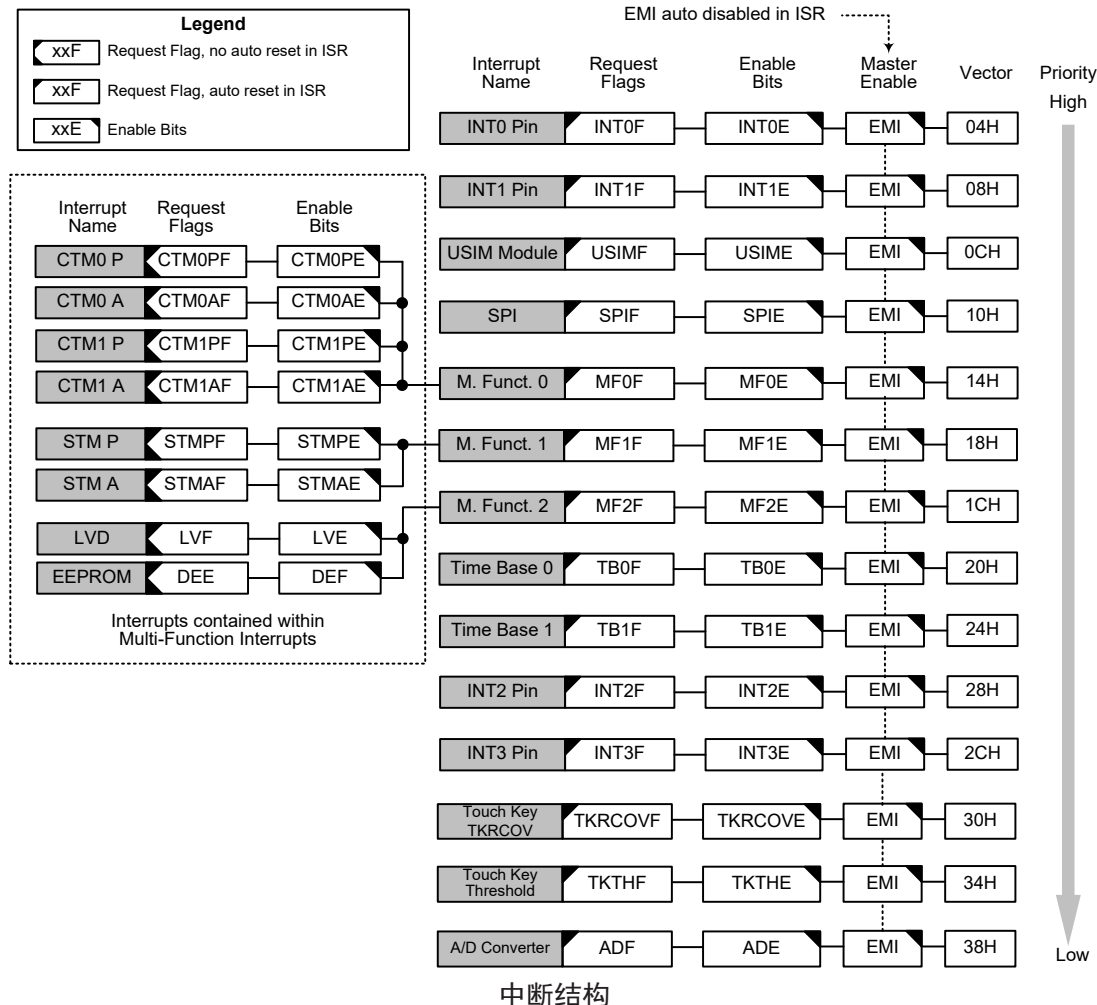
中断操作

若中断事件条件产生，如一个 TM 比较器 P、比较器 A 匹配或 EEPROM 写周期结束等等，相关中断请求标志将置起。中断标志产生后程序是否会跳转至相关中断向量执行是由中断使能位的条件决定的。若使能位为“1”，程序将跳至相关中断向量中执行；若使能位为“0”，即使中断请求标志置起中断也不会发生，程序也不会跳转至相关中断向量执行。若总中断使能位为“0”，所有中断都将除能。

当中断发生时，下条指令的地址将被压入堆栈。相应的中断向量地址加载至 PC 中。系统将从此向量取下条指令。中断向量处通常为“JMP”指令，以跳转到相应的中断服务程序。中断服务程序必须以“RETI”指令返回至主程序，以继续执行原来的程序。

各个中断使能位以及相应的请求标志位，以优先级的次序显示在下图。一些中断源有自己的向量，但是有些中断却共用多功能中断向量。一旦中断子程序被响应，系统将自动清除 EMI 位，所有其它的中断将被屏蔽，这个方式可以防止任何进一步的中断嵌套。其它中断请求可能发生在此期间，虽然中断不会立即响应，但是中断请求标志位会被记录。

如果某个中断服务子程序正在执行时，有另一个中断要求立即响应，那么 EMI 位应在程序进入中断子程序后置位，以允许此中断嵌套。如果堆栈已满，即使此中断使能，中断请求也不会被响应，直到 SP 减少为止。如果要求立刻动作，则堆栈必须避免成为储满状态。请求同时发生时，执行优先级如下流程图所示。所有被置起的中断请求标志都可把单片机从休眠或空闲模式中唤醒，若要防止唤醒动作发生，在单片机进入休眠或空闲模式前应将相应的标志置起。



外部中断

通过 INT0~INT3 引脚上的信号变化可控制外部中断。当触发沿选择位设置好触发类型，INT0~INT3 引脚的状态发生变化，外部中断请求标志 INT0F~INT3F 被置位时外部中断请求产生。若要跳转到相应中断向量地址，总中断控制位 EMI 和相应中断使能位 INT0E~INT3E 需先被置位。此外，必须使用 INTEG 寄存器使能外部中断功能并选择触发沿类型。外部中断引脚和普通 I/O 口共用，如果相应寄存器中的中断使能位被置位，并且通过引脚共用寄存器选择外部中断脚，此引脚将被作为外部中断脚使用。此时该引脚必须通过设置控制寄存器，将该引脚设置为输入口。

当中断使能，堆栈未满并且外部中断脚状态改变，将调用外部中断向量子程序。当响应外部中断服务子程序时，中断请求标志位 INT0F~INT3F 会自动复位且 EMI 位会被清零以除能其它中断。注意，即使此引脚被用作外部中断输入，其上拉电阻仍保持有效。寄存器 INTEG 被用来选择有效的边沿类型，来触发外部中断。可以选择上升沿还是下降沿或双沿触发都产生外部中断。注意 INTEG 也可以用来除能外部中断功能。

多功能中断

此单片机中有几种多功能中断，与其它中断不同，它没有独立源，但由其它现有的中断源构成，即 TM 中断、LVD 中断和 EEPROM 写中断。

当多功能中断中任何一种中断请求标志 MF_nF 被置位，多功能中断请求产生。当中断使能，堆栈未满，包括在多功能中断中的任意一个中断发生时，将调用多功能中断向量中的一个子程序。当响应中断服务子程序时，相关多功能请求标志位会自动复位且 EMI 位会自动清零以除能其它中断。

但必须注意的是，在中断响应时，虽然多功能中断标志会自动复位，但多功能中断源的请求标志位不会自动复位，必须由应用程序清零。

TM 中断

简易型和标准型 TM 各自有两个中断，分别来自比较器 P、A 匹配，都属于多功能中断。所有类型的 TM 都有两个中断请求标志位及两个使能位。当 TM 比较器 P、A 匹配情况发生时，相应 TM 中断请求标志被置位，TM 中断请求产生。

若要程序跳转到相应中断向量地址，总中断控制位 EMI、相应 TM 中断使能位和相关多功能中断使能位 MF_nE 需先被置位。当中断使能，堆栈未满且 TM 比较器匹配情况发生时，可跳转至相关多功能中断向量子程序中执行。当 TM 中断响应，EMI 将被自动清零以除能其它中断，相关 MF_nF 标志也可自动清除，但 TM 中断请求标志需在应用程序中手动清除。

LVD 中断

LVD 中断属于多功能中断。当低电压检测功能检测到一个低电源电压，LVD 中断请求标志 LVF 被置位，LVD 中断请求产生。若要程序跳转到相应中断向量地址，总中断控制位 EMI、低电压中断使能位 LVE 和相应多功能中断使能位需先被置位。当中断使能，堆栈未满且低电压条件发生时，可跳转至相关多功能中断向量子程序中执行。当 LVD 中断响应，EMI 将被自动清零以除能其它中断，多功能中断请求标志也可自动清除，但 LVF 标志需在应用程序中手动清除。

EEPROM 中断

EEPROM 中断属于多功能中断。当写周期结束，EEPROM 中断请求标志 DEF 被置位，EEPROM 中断请求产生。若要程序跳转到相应中断向量地址，总中断控制位 EMI、EEPROM 中断使能位 DEE 和相应多功能中断使能位需先被置位。当中断使能，堆栈未满且 EEPROM 写周期结束时，可跳转至相关多功能中断向量子程序中执行。当 EEPROM 中断响应，EMI 将被自动清零以除能其它中断，多功能中断请求标志也可自动清除，但 DEF 标志需在应用程序中手动清除。

USIM 中断

通用串行接口模块中断，即 USIM 中断。当 USIM 接口中断标志位 USIMF 置位时，产生中断请求。由于 USIM 接口可工作在三个模式下：SPI 模式、I²C 模式和 UART 模式，USIMF 标志位置位可由不同情况触发，取决于所选择的接口模式。

若选择 SPI 或 I²C 模式，当一个字节数据已由 USIM SPI 或 I²C 接口接收或发送完，或 I²C 从机地址匹配，或 I²C 超时，中断请求标志 USIMF 被置位，USIM 中断请求产生。若选择 UART 模式，USIM 中断由几种 UART 传输条件控制。当发送器为空、发送器空闲、接收器数据有效、接收器溢出、地址检测和 URX/UTX 引脚唤醒，USIM 中断请求标志 USIMF 被置位，USIM 中断请求产生。

若要程序跳转到相应中断向量地址，总中断控制位 EMI 和通用串行接口模块中

断使能位 USIME 需先被置位。当中断使能，堆栈未满且以上任一种情况发生时，将调用相应的 USIM 中断向量子程序。当响应中断服务子程序时，通用串行接口模块中断标志位 USIMF 会自动复位且 EMI 将被自动清零以除能其它中断。

注意，当 USIM 中断是由 UART 接口触发产生时，当中断响应后，UUSR 寄存器里的标志位只有在对 UART 执行特定动作时才会被清零，详细参考 UART 章节。

SPI 中断

串行外设接口模块中断，即 SPI 中断。当一个字节数据已由 SPI 接口接收或发送完，中断请求标志 SPIF 被置位，SPI 中断请求产生。若要程序跳转到相应中断向量地址，总中断控制位 EMI、串行接口中断使能位 SPIE 需先被置位。当中断使能，堆栈未满且一个字节数据已被传送或接收完毕时，可跳转至相关中断向量子程序中执行。当响应中断服务子程序时，串行接口中断标志位 SPIF 会自动复位且 EMI 将被自动清零以除能其它中断。

A/D 转换器中断

A/D 转换器中断由 A/D 转换动作的结束来控制。当 A/D 转换器中断请求标志被置位，即 A/D 转换过程完成时，中断请求发生。当总中断使能位 EMI 和 A/D 中断使能位 ADE 被置位，允许程序跳转到各自的中断向量地址。当中断使能，堆栈未满且 A/D 转换动作结束时，将调用 A/D 中断向量子程序。当响应中断服务子程序时，相应的中断请求标志位 ADF 会自动清零。EMI 位也会被清零以除能其它中断。

触控按键时隙计数器溢出中断

触控按键时隙计数器溢出中断属于多功能中断。当触控按键时隙计数器溢出，触控按键时隙计数器溢出中断请求标志位 TKRCOVF 被置位，触控按键时隙计数器溢出中断请求发生。若要跳转到相应中断向量地址，总中断使能位 EMI、触控按键时隙计数器溢出中断使能位 TKRCOVE 和相应多功能中断使能位需先被置位。当中断使能，堆栈未满且触控按键时隙计数器溢出或扫描模式完成时，将调用位于多功能中断向量处的子程序。当触控按键时隙计数器溢出中断响应，EMI 将被自动清零以除能其它中断，多功能中断请求标志也可自动清除，但 TKRCOVF 标志需在应用程序中手动清除。

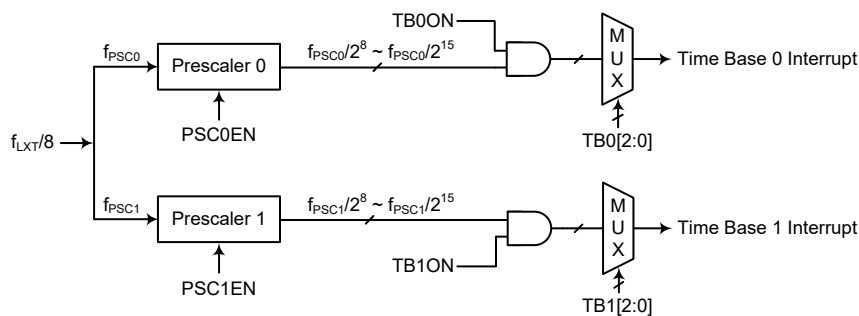
触控按键模块阈值中断

触控按键模块 TKTH 中断属于多功能中断。当 MKnTHS=0，触控按键模块 16 位 C/F 计数器值小于下限阈值时，或当 MKnTHS=1，触控按键模块 16 位 C/F 计数器值大于上限阈值时，触控按键模块阈值中断请求标志位 TKTHF 被置位，触控按键模块阈值中断请求发生。若要跳转到相应中断向量地址，总中断使能位 EMI、触控按键模块阈值中断使能位 TKTHE 和相应多功能中断使能位必须先被置位。当中断使能，堆栈未满且任何上述的阈值比较条件发生时，将调用位于多功能中断向量处的子程序。当触控按键模块 TKTH 中断响应，EMI 将被自动清零以除能其它中断。但 TKTHF 标志需在应用程序中手动清除。

时基中断

时基中断提供一个固定周期的中断信号，由各自的定时器功能产生溢出信号控制。当溢出信号发生事，各自的中断请求标志 $TBnF$ 被置位，中断请求发生。若要跳转到各自的中断向量地址，总中断使能位 EMI 和时基使能位 $TBnE$ 需先被置位。当中断使能，堆栈未满且时基溢出时，将调用它们各自的中断向量子程序。当响应中断服务子程序时，相应的中断请求标志位 $TBnF$ 会自动复位且 EMI 位会被清零以除能其它中断。当时基中断响应，相应的中断请求标志 $TBnF$ 会自动复位且 EMI 也将被自动清零以除能其它中断。

时基中断的目的是提供一个固定周期的中断信号，其时钟源 f_{PSC0} 或 f_{PSC1} 来自内部时钟源 $f_{LXT}/8$ 。 f_{PSCn} 输入时钟首先经过分频器，分频率由程序设置 $TBnC$ 寄存器相关位获取合适的分频值以提供更长的时基中断周期。



时基中断

• PSCnR 寄存器 (n=0~1)

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Name	—	—	—	—	—	—	—	PSCnEN
R/W	—	—	—	—	—	—	—	R/W
POR	—	—	—	—	—	—	—	0

Bit 7~1 未定义，读为“0”

Bit 0 **PSCnEN**: 预分频器 n 时钟源选择

0: 除能

1: 使能

此位为预分频器 n 时钟使能 / 除能控制位。除能预分频时钟可减少额外的功耗。预分频器 n 时钟源来自 LXT 振荡器输出频率 $f_{LXT}/8$ 。

• TB0C 寄存器

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Name	TB0ON	—	—	—	—	TB02	TB01	TB00
R/W	R/W	—	—	—	—	R/W	R/W	R/W
POR	0	—	—	—	—	0	0	0

Bit 7 **TB0ON**: 时基 0 控制

0: 除能

1: 使能

Bit 6~3 未定义，读为“0”

Bit 2~0 **TB02~TB00**: 选择时基 0 溢出周期
 000: $2^8/f_{PSC0}$
 001: $2^9/f_{PSC0}$
 010: $2^{10}/f_{PSC0}$
 011: $2^{11}/f_{PSC0}$
 100: $2^{12}/f_{PSC0}$
 101: $2^{13}/f_{PSC0}$
 110: $2^{14}/f_{PSC0}$
 111: $2^{15}/f_{PSC0}$

● TB1C 寄存器

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Name	TB1ON	—	—	—	—	TB12	TB11	TB10
R/W	R/W	—	—	—	—	R/W	R/W	R/W
POR	0	—	—	—	—	0	0	0

Bit 7 **TB1ON**: 时基 1 控制
 0: 除能
 1: 使能

Bit 6~3 未定义, 读为 “0”

Bit 2~0 **TB12~TB10**: 选择时基 1 溢出周期位
 000: $2^8/f_{PSC1}$
 001: $2^9/f_{PSC1}$
 010: $2^{10}/f_{PSC1}$
 011: $2^{11}/f_{PSC1}$
 100: $2^{12}/f_{PSC1}$
 101: $2^{13}/f_{PSC1}$
 110: $2^{14}/f_{PSC1}$
 111: $2^{15}/f_{PSC1}$

中断唤醒功能

每个中断都具有将处于休眠或空闲模式的单片机唤醒的能力。当中断请求标志由低到高转换时唤醒动作产生, 其与中断是否使能无关。因此, 尽管单片机处于休眠或空闲模式且系统振荡器停止工作, 如有外部中断脚上产生外部边沿跳变或低电源电压都可能导致其相应的中断标志被置位, 由此产生中断, 因此必须注意避免伪唤醒情况的发生。若中断唤醒功能被除能, 单片机进入休眠或空闲模式前相应中断请求标志应被置起。中断唤醒功能不受中断使能位的影响。

编程注意事项

通过禁止相关中断使能位, 可以屏蔽中断请求, 然而, 一旦中断请求标志位被设定, 它们会被保留在中断控制寄存器内, 直到相应的中断服务子程序执行或请求标志位被软件指令清除。

多功能中断中所含中断相应程序执行时, 多功能中断请求标志 MFnF 可以自动清零, 但各自的请求标志需在应用程序中手动清除。

建议在中断服务子程序中不要使用 “CALL 子程序” 指令。中断通常发生在不可预料的情况或是需要立刻执行的某些应用。假如只剩下一层堆栈且没有控制好中断, 当 “CALL 子程序” 在中断服务子程序中执行时, 将破坏原来的控制序列。

所有中断在休眠或空闲模式下都具有唤醒功能, 当中断请求标志发生由低到高的转变时都可产生唤醒功能。若要避免相应中断产生唤醒动作, 在单片机进入休眠或空闲模式前需先将相应请求标志置为高。

当进入中断服务程序，系统仅将程序计数器的内容压入堆栈，如果中断服务程序会改变状态寄存器或其它的寄存器的内容而破坏控制流程，应事先将这些数据保存起来。若从中断子程序中返回可执行 RET 或 RETI 指令。除了能返回至主程序外，RETI 指令还能自动设置 EMI 位为高，允许进一步中断。RET 指令只能返回至主程序，清除 EMI 位，除能进一步中断。

低电压检测 – LVD

该单片机具有低电压检测功能，即 LVD。该功能使能用于监测电源电压 V_{DD} ，若低于一定值可提供一个警告信号。此功能在电池类产品中非常有用，在电池电压较低时产生警告信号。低电压检测也可产生中断信号。

LVD 寄存器

低电压检测功能由 LVDC 寄存器控制。VLVD3~VLVD0 位用于选择 8 个固定电压中的一个参考点。LVDO 位被置位时低电压情况发生，若 LVDO 位为低表明 V_{DD} 电压工作在当前所设置低电压水平值之上。LVDEN 位用于控制低电压检测功能的开启/关闭，设置此位为高使能此功能，反之，关闭内部低电压检测电路。低电压检测会有一定的功耗，在不使用时可考虑关闭此功能，此举在功耗要求严格的电池供电应用中值得考虑。

• LVDC 寄存器

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Name	—	—	LVDO	LVDEN	VBGEN	VLVD2	VLVD1	VLVD0
R/W	—	—	R	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
POR	—	—	0	0	0	0	0	0

Bit 7~6 未定义，读为“0”

Bit 5 **LVDO**: LVD 输出标志位
0: 未检测到低电压
1: 检测到低电压

Bit 4 **LVDEN**: 低电压检测控制位
0: 除能
1: 使能

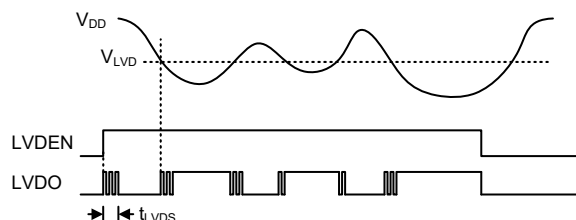
Bit 3 **VBGEN**: Bandgap 电压输出控制位
0: 除能
1: 使能

注意，当 LVD 或 LVR 使能或当 VBGEN 置位时，Bandgap 会自动使能。

Bit 2~0 **VLVD2~VLVD0**: LVD 参考点电压选择位
000: 1.8V
001: 2.0V
010: 2.4V
011: 2.7V
100: 3.0V
101: 3.3V
110: 3.6V
111: 4.0V

LVD 操作

通过比较电源电压 V_{DD} 与存储在 LVDC 寄存器中的预置电压值的结果，低电压检测功能工作。其设置的范围为 1.8V~4.0V。当电源电压 V_{DD} 低于预置电压值时，LVDO 位被置为高，表明低电压产生。当单片机进入休眠模式时，即使 LVDEN 位为高，低电压检测器将被除能。低电压检测器使能后，读取 LVDO 位前，电路稳定需要一定的延时 t_{LVDS} 。注意， V_{DD} 电压可能上升或下降比较缓慢，在 V_{LVD} 电压值附近时，LVDO 位可能有多种变化。



LVD 操作

低电压检测器中断功能属于多功能中断的一种，它是除了轮询 LVDO 位之外的另一种检测低电压的方法。中断条件产生置位 LVDO 并延时 t_{LVD} 后，中断产生。若 V_{DD} 降至小于 LVD 预置电压值时，中断请求标志位 LVF 将被置位，中断产生，单片机将从空闲模式中被唤醒。若不要求低电压检测的唤醒功能使能，在单片机进入空闲模式前应将 LVF 标志置为高。

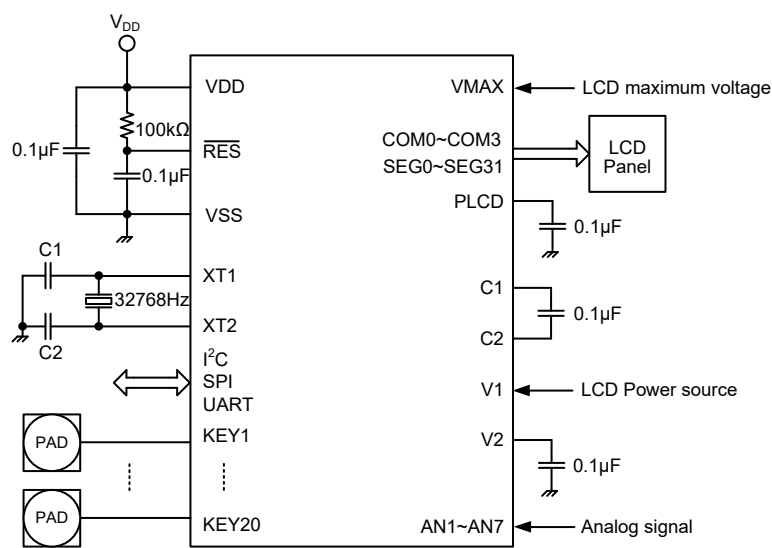
配置选项

配置选项在烧写程序时写入芯片。通过 HT-IDE 的软件开发环境，使用者在开发过程中可以选择配置选项。所有位必须按系统的需要定义，具体内容可参考下表：

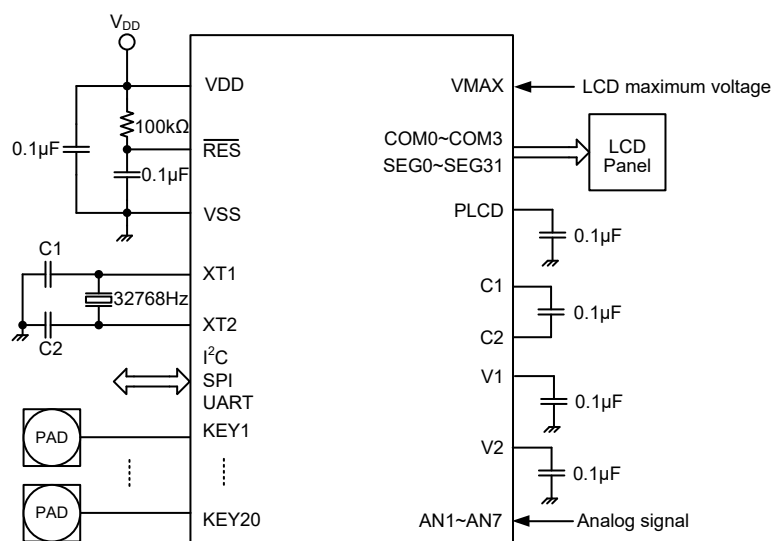
序号	选项
振荡器选项	
1	HIRC 频率选择 – f_{HIRC} ： 4MHz, 8MHz 或 12MHz

注：当 HIRC 配置选项已选定上表中的一个频率，HIRC1 和 HIRC0 位选择的频率应与其保持一致，以确保能够达到交流电气特性中标示的 HIRC 频率精度。

应用电路



LCD Power Source from External



LCD Power Source from Internal Regulator

指令集

简介

任何单片机成功运作的核心在于它的指令集，此指令集为一组程序指令码，用来指导单片机如何去执行指定的工作。在 Holtek 单片机中，提供了丰富且灵活的指令，共超过六十条，程序设计者可以事半功倍地实现它们的应用。

为了更加容易理解各种各样的指令码，接下来按功能分组介绍它们。

指令周期

大部分的操作均只需要一个指令周期来执行。分支、调用或查表则需要两个指令周期。一个指令周期相当于四个系统时钟周期，因此如果在 8MHz 的系统时钟振荡器下，大部分的操作将在 0.5 μ s 中执行完成，而分支或调用操作则将在 1 μ s 中执行完成。虽然需要两个指令周期的指令通常指的是 JMP、CALL、RET、RETI 和查表指令，但如果牵涉到程序计数器低字节寄存器 PCL 也将多花费一个周期去加以执行。即指令改变 PCL 的内容进而导致直接跳转至新地址时，需要多一个周期去执行，例如“CLR PCL”或“MOV PCL, A”指令。对于跳转指令必须注意的是，如果比较的结果牵涉到跳转动作将多花费一个周期，如果没有则需一个周期即可。

数据的传送

单片机程序中数据传送是使用最为频繁的操作之一，使用三种 MOV 的指令，数据不但可以从寄存器转移至累加器（反之亦然），而且能够直接移动立即数到累加器。数据传送最重要的应用之一是从输入端口接收数据或传送数据到输出端口。

算术运算

算术运算和数据处理是大部分单片机应用所必需具备的能力，在 Holtek 单片机内部的指令集中，可直接实现加与减的运算。当加法的结果超出 255 或减法的结果少于 0 时，要注意正确的处理进位和借位的问题。INC、INCA、DEC 和 DECA 指令提供了对一个指定地址的值加一或减一的功能。

逻辑和移位运算

标准逻辑运算例如 AND、OR、XOR 和 CPL 全都包含在 Holtek 单片机内部的指令集中。大多数牵涉到数据运算的指令，数据的传送必须通过累加器。在所有逻辑数据运算中，如果运算结果为零，则零标志位将被置位，另外逻辑数据运用形式还有移位指令，例如 RR、RL、RRC 和 RLC 提供了向左或向右移动一位的方法。不同的移位指令可满足不同的应用需要。移位指令常用于串行端口的程序应用，数据可从内部寄存器转移至进位标志位，而此位则可被检验，移位运算还可应用在乘法与除法的运算组成中。

分支和控制转换

程序分支是采取使用 JMP 指令跳转至指定地址或使用 CALL 指令调用子程序的形式，两者之不同在于当子程序被执行完毕后，程序必须马上返回原来的地址。这个动作是由放置在子程序里的返回指令 RET 来实现，它可使程序跳回 CALL 指令之后的地址。在 JMP 指令中，程序则只是跳到一个指定的地址而已，并不需如 CALL 指令般跳回。一个非常有用的分支指令是条件跳转，跳转条件是由数据存储器或指定位来加以决定。遵循跳转条件，程序将继续执行下一条指令或略过且跳转至接下来的指令。这些分支指令是程序走向的关键，跳转条件可能是外部开关输入，或是内部数据位的值。

位运算

提供数据存储器中单个位的运算指令是 Holtek 单片机的特性之一。这特性对于输出端口位的设置尤其有用，其中个别的位或端口的引脚可以使用“SET [m].i”或“CLR [m].i”指令来设定其为高位或低位。如果没有这特性，程序设计师必须先读入输入口的 8 位数据，处理这些数据，然后再输出正确的新数据。这种读入 - 修改 - 写出的过程现在则被位运算指令所取代。

查表运算

数据的储存通常由寄存器完成，然而当处理大量固定的数据时，它的存储量常常造成对个别存储器的不便。为了改善此问题，Holtek 单片机允许在程序存储器中建立一个表格作为数据可直接存储的区域，只需要一组简易的指令即可对数据进行查表。

其它运算

除了上述功能指令外，其它指令还包括用于省电的“HALT”指令和使程序在极端电压或电磁环境下仍能正常工作的看门狗定时器控制指令。这些指令的使用则请查阅相关的章节。

指令集概要

当要操作的数据存储器位于数据存储器 Sector 0 时，下表说明了与数据存储器存取有关的指令。

惯例

x: 立即数
m: 数据存储器地址
A: 累加器
i: 第 0~7 位
addr: 程序存储器地址

助记符	说明	指令周期	影响标志位
算术运算			
ADD A,[m]	ACC 与数据存储器相加，结果放入 ACC	1	Z, C, AC, OV, SC
ADDM A,[m]	ACC 与数据存储器相加，结果放入数据存储器	1 注	Z, C, AC, OV, SC
ADD A, x	ACC 与立即数相加，结果放入 ACC	1	Z, C, AC, OV, SC
ADC A,[m]	ACC 与数据存储器、进位标志相加，结果放入 ACC	1	Z, C, AC, OV, SC
ADCM A,[m]	ACC 与数据存储器、进位标志相加，结果放入数据存储器	1 注	Z, C, AC, OV, SC
SUB A, x	ACC 与立即数相减，结果放入 ACC	1	Z, C, AC, OV, SC, CZ
SUB A,[m]	ACC 与数据存储器相减，结果放入 ACC	1	Z, C, AC, OV, SC, CZ
SUBM A,[m]	ACC 与数据存储器相减，结果放入数据存储器	1 注	Z, C, AC, OV, SC, CZ
SBC A,[m]	ACC 与数据存储器、进位标志的反相减，结果放入 ACC	1	Z, C, AC, OV, SC, CZ
SBCM A,[m]	ACC 与数据存储器、进位标志相减，结果放入数据存储器	1 注	Z, C, AC, OV, SC, CZ
SBC A, x	ACC 与立即数、进位标志相减，结果放入 ACC	1	Z, C, AC, OV, SC, CZ
DAA [m]	将加法运算中放入 ACC 的值调整为十进制数，并将结果放入数据存储器	1 注	C
逻辑运算			
AND A,[m]	ACC 与数据存储器做“与”运算，结果放入 ACC	1	Z
OR A,[m]	ACC 与数据存储器做“或”运算，结果放入 ACC	1	Z
XOR A,[m]	ACC 与数据存储器做“异或”运算，结果放入 ACC	1	Z
ANDM A,[m]	ACC 与数据存储器做“与”运算，结果放入数据存储器	1 注	Z
ORM A,[m]	ACC 与数据存储器做“或”运算，结果放入数据存储器	1 注	Z
XORM A,[m]	ACC 与数据存储器做“异或”运算，结果放入数据存储器	1 注	Z
AND A, x	ACC 与立即数做“与”运算，结果放入 ACC	1	Z
OR A, x	ACC 与立即数做“或”运算，结果放入 ACC	1	Z
XOR A, x	ACC 与立即数做“异或”运算，结果放入 ACC	1	Z
CPL [m]	对数据存储器取反，结果放入数据存储器	1 注	Z
CPLA [m]	对数据存储器取反，结果放入 ACC	1	Z
递增和递减			
INCA [m]	递增数据存储器，结果放入 ACC	1	Z
INC [m]	递增数据存储器，结果放入数据存储器	1 注	Z
DECA [m]	递减数据存储器，结果放入 ACC	1	Z
DEC [m]	递减数据存储器，结果放入数据存储器	1 注	Z

助记符	说明	指令周期	影响标志位
移位			
RRA [m]	数据存储器右移一位，结果放入 ACC	1	无
RR [m]	数据存储器右移一位，结果放入数据存储器	1 ^注	无
RRCA [m]	带进位将数据存储器右移一位，结果放入 ACC	1	C
RRC [m]	带进位将数据存储器右移一位，结果放入数据存储器	1 ^注	C
RLA [m]	数据存储器左移一位，结果放入 ACC	1	无
RL [m]	数据存储器左移一位，结果放入数据存储器	1 ^注	无
RLCA [m]	带进位将数据存储器左移一位，结果放入 ACC	1	C
RLC [m]	带进位将数据存储器左移一位，结果放入数据存储器	1 ^注	C
数据传送			
MOV A,[m]	将数据存储器送至 ACC	1	无
MOV [m],A	将 ACC 送至数据存储器	1 ^注	无
MOV A, x	将立即数送至 ACC	1	无
位运算			
CLR [m].i	清除数据存储器的位	1 ^注	无
SET [m].i	置位数据存储器的位	1 ^注	无
转移			
JMP addr	无条件跳转	2	无
SZ [m]	如果数据存储器为零，则跳过下一条指令	1 ^注	无
SZA [m]	数据存储器送至 ACC，如果内容为零，则跳过下一条指令	1 ^注	无
SNZ [m]	如果数据存储器不为零，则跳过下一条指令	1 ^注	无
SZ [m].i	如果数据存储器的第 i 位为零，则跳过下一条指令	1 ^注	无
SNZ [m].i	如果数据存储器的第 i 位不为零，则跳过下一条指令	1 ^注	无
SIZ [m]	递增数据存储器，如果结果为零，则跳过下一条指令	1 ^注	无
SDZ [m]	递减数据存储器，如果结果为零，则跳过下一条指令	1 ^注	无
SIZA [m]	递增数据存储器，将结果放入 ACC，如果结果为零，则跳过下一条指令	1 ^注	无
SDZA [m]	递减数据存储器，将结果放入 ACC，如果结果为零，则跳过下一条指令	1 ^注	无
CALL addr	子程序调用	2	无
RET	从子程序返回	2	无
RET A, x	从子程序返回，并将立即数放入 ACC	2	无
RETI	从中断返回	2	无
查表			
TABRD [m]	读取特定页的 ROM 内容，并送至数据存储器 and TBLH	2 ^注	无
TABRDL [m]	读取最后页的 ROM 内容，并送至数据存储器 and TBLH	2 ^注	无
ITABRD [m]	读表指针 TBLP 自加，读取当前页的 ROM 内容，并送至数据存储器 and TBLH	2 ^注	无
ITABRDL [m]	读表指针 TBLP 自加，读取最后页的 ROM 内容，并送至数据存储器 and TBLH	2 ^注	无
其它指令			
NOP	空指令	1	无
CLR [m]	清除数据存储器	1 ^注	无
SET [m]	置位数据存储器	1 ^注	无

助记符	说明	指令周期	影响标志位
CLR WDT	清除看门狗定时器	1	TO, PDF
SWAP [m]	交换数据存储器的高低字节，结果放入数据存储器	1 ^注	无
SWAPA [m]	交换数据存储器的高低字节，结果放入 ACC	1	无
HALT	进入暂停模式	1	TO, PDF

注：1. 对跳转指令而言，如果比较的结果牵涉到跳转即需多达 3 个周期，如果没有发生跳转，则只需一个周期。
 2. 任何指令若要改变 PCL 的内容将需要 2 个周期来执行。
 3. 对于“CLR WDT”指令而言，TO 和 PDF 标志位也许会受执行结果影响，“CLR WDT”被执行后，TO 和 PDF 标志位会被清除，否则 TO 和 PDF 标志位保持不变。

扩展指令集

扩展指令用来提供更大范围的数据存储器寻址。当被存取的数据存储器位于 Sector 0 之外的任何数据存储器 Sector，扩展指令可直接存取数据存储器而无需使用间接寻址，此举不仅可节省 Flash 存储器空间的使用，同时可提高 CPU 执行效率。

助记符	说明	指令周期	影响标志位
算术运算			
LADD A,[m]	ACC 与数据存储器相加，结果放入 ACC	2	Z, C, AC, OV, SC
LADDM A,[m]	ACC 与数据存储器相加，结果放入数据存储器	2 ^注	Z, C, AC, OV, SC
LADC A,[m]	ACC 与数据存储器、进位标志相加，结果放入 ACC	2	Z, C, AC, OV, SC
LADCM A,[m]	ACC 与数据存储器、进位标志相加，结果放入数据存储器	2 ^注	Z, C, AC, OV, SC
LSUB A,[m]	ACC 与数据存储器相减，结果放入 ACC	2	Z, C, AC, OV, SC, CZ
LSUBM A,[m]	ACC 与数据存储器相减，结果放入数据存储器	2 ^注	Z, C, AC, OV, SC, CZ
LSBC A,[m]	ACC 与数据存储器、进位标志的反相减，结果放入 ACC	2	Z, C, AC, OV, SC, CZ
LSBCM A,[m]	ACC 与数据存储器、进位标志相减，结果放入数据存储器	2 ^注	Z, C, AC, OV, SC, CZ
LDAA [m]	将加法运算中放入 ACC 的值调整为十进制数，并将结果放入数据存储器	2 ^注	C
逻辑运算			
LAND A,[m]	ACC 与数据存储器做“与”运算，结果放入 ACC	2	Z
LOR A,[m]	ACC 与数据存储器做“或”运算，结果放入 ACC	2	Z
LXOR A,[m]	ACC 与数据存储器做“异或”运算，结果放入 ACC	2	Z
LANDM A,[m]	ACC 与数据存储器做“与”运算，结果放入数据存储器	2 ^注	Z
LORM A,[m]	ACC 与数据存储器做“或”运算，结果放入数据存储器	2 ^注	Z
LXORM A,[m]	ACC 与数据存储器做“异或”运算，结果放入数据存储器	2 ^注	Z
LCPL [m]	对数据存储器取反，结果放入数据存储器	2 ^注	Z
LCPLA [m]	对数据存储器取反，结果放入 ACC	2	Z
递增和递减			
LINCA [m]	递增数据存储器，结果放入 ACC	2	Z
LINC [m]	递增数据存储器，结果放入数据存储器	2 ^注	Z
LDECA [m]	递减数据存储器，结果放入 ACC	2	Z
LDEC [m]	递减数据存储器，结果放入数据存储器	2 ^注	Z
移位			
LRRA [m]	数据存储器右移一位，结果放入 ACC	2	无
LRR [m]	数据存储器右移一位，结果放入数据存储器	2 ^注	无
LRRCA [m]	带进位将数据存储器右移一位，结果放入 ACC	2	C
LRRC [m]	带进位将数据存储器右移一位，结果放入数据存储器	2 ^注	C
LRLA [m]	数据存储器左移一位，结果放入 ACC	2	无
LRL [m]	数据存储器左移一位，结果放入数据存储器	2 ^注	无
LRLCA [m]	带进位将数据存储器左移一位，结果放入 ACC	2	C
LRLC [m]	带进位将数据存储器左移一位，结果放入数据存储器	2 ^注	C
数据传送			
LMOV A,[m]	将数据存储器送至 ACC	2	无
LMOV [m],A	将 ACC 送至数据存储器	2 ^注	无

助记符	说明	指令周期	影响标志位
位运算			
LCLR [m].i	清除数据存储器的位	2 注	无
LSET [m].i	置位数据存储器的位	2 注	无
转移			
LSZ [m]	如果数据存储器为零，则跳过下一条指令	2 注	无
LSZA [m]	数据存储器送至 ACC，如果内容为零，则跳过下一条指令	1 注	无
LSNZ [m]	如果数据存储器不为零，则跳过下一条指令	2 注	无
LSZ [m].i	如果数据存储器的第 i 位为零，则跳过下一条指令	2 注	无
LSNZ [m].i	如果数据存储器的第 i 位不为零，则跳过下一条指令	2 注	无
LSIZ [m]	递增数据存储器，如果结果为零，则跳过下一条指令	2 注	无
LSDZ [m]	递减数据存储器，如果结果为零，则跳过下一条指令	2 注	无
LSIZA [m]	递增数据存储器，将结果放入 ACC，如果结果为零，则跳过下一条指令	2 注	无
LSDZA [m]	递减数据存储器，将结果放入 ACC，如果结果为零，则跳过下一条指令	2 注	无
查表			
LTABRD [m]	读取当前页的 ROM 内容，并送至数据存储器 and TBLH	3 注	无
LTABRDL [m]	读取最后页的 ROM 内容，并送至数据存储器 and TBLH	3 注	无
LITABRD [m]	读表指针 TBLP 自加，读取当前页的 ROM 内容，并送至数据存储器 and TBLH	3 注	无
LITABRDL [m]	读表指针 TBLP 自加，读取最后页的 ROM 内容，并送至数据存储器 and TBLH	3 注	无
其它指令			
LCLR [m]	清除数据存储器	2 注	无
LSET [m]	置位数据存储器	2 注	无
LSWAP [m]	交换数据存储器的高低字节，结果放入数据存储器	2 注	无
LSWAPA [m]	交换数据存储器的高低字节，结果放入 ACC	2	无

注：1. 对扩展跳转指令而言，如果比较的结果牵涉到跳转即需多达 4 个周期，如果没有发生跳转，则只需两个周期。
2. 任何扩展指令若要改变 PCL 的内容将需要 3 个周期来执行。

指令定义

ADC A, [m]	Add Data Memory to ACC with Carry
指令说明	将指定的数据存储器、累加器内容以及进位标志相加，结果存放到累加器。
功能表示	$ACC \leftarrow ACC + [m] + C$
影响标志位	OV、Z、AC、C、SC
ADCM A, [m]	Add ACC to Data Memory with Carry
指令说明	将指定的数据存储器、累加器内容和进位标志位相加，结果存放到指定的数据存储器。
功能表示	$[m] \leftarrow ACC + [m] + C$
影响标志位	OV、Z、AC、C、SC
ADD A, [m]	Add Data Memory to ACC
指令说明	将指定的数据存储器和累加器内容相加，结果存放到累加器。
功能表示	$ACC \leftarrow ACC + [m]$
影响标志位	OV、Z、AC、C、SC
ADD A, x	Add immediate data to ACC
指令说明	将累加器和立即数相加，结果存放到累加器。
功能表示	$ACC \leftarrow ACC + x$
影响标志位	OV、Z、AC、C、SC
ADDM A, [m]	Add ACC to Data Memory
指令说明	将指定的数据存储器和累加器内容相加，结果存放到指定的数据存储器。
功能表示	$[m] \leftarrow ACC + [m]$
影响标志位	OV、Z、AC、C、SC
AND A, [m]	Logical AND Data Memory to ACC
指令说明	将累加器中的数据和指定数据存储器内容做逻辑与，结果存放到累加器。
功能表示	$ACC \leftarrow ACC \text{ “AND” } [m]$
影响标志位	Z

AND A, x	Logical AND immediate data to ACC
指令说明	将累加器中的数据和立即数做逻辑与，结果存放到累加器。
功能表示	$ACC \leftarrow ACC \text{ “AND” } x$
影响标志位	Z
ANDM A, [m]	Logical AND ACC to Data Memory
指令说明	将指定数据存储器内容和累加器中的数据做逻辑与，结果存放到数据存储器。
功能表示	$[m] \leftarrow ACC \text{ “AND” } [m]$
影响标志位	Z
CALL addr	Subroutine call
指令说明	无条件地调用指定地址的子程序，此时程序计数器先加 1 获得下一个要执行的指令地址并压入堆栈，接着载入指定地址并从新地址继续执行程序，由于此指令需要额外的运算，所以为一个 2 周期的指令。
功能表示	$Stack \leftarrow Program\ Counter + 1$ $Program\ Counter \leftarrow addr$
影响标志位	无
CLR [m]	Clear Data Memory
指令说明	将指定数据存储器的内容清零。
功能表示	$[m] \leftarrow 00H$
影响标志位	无
CLR [m].i	Clear bit of Data Memory
指令说明	将指定数据存储器的 i 位内容清零。
功能表示	$[m].i \leftarrow 0$
影响标志位	无
CLR WDT	Clear Watchdog Timer
指令说明	WDT 计数器、暂停标志位 PDF 和看门狗溢出标志位 TO 清零。
功能表示	WDT cleared $TO \ \& \ PDF \leftarrow 0$
影响标志位	TO、PDF

CPL [m]	Complement Data Memory
指令说明	将指定数据存储器中的每一位取逻辑反， 相当于从 1 变 0 或 0 变 1。
功能表示	$[m] \leftarrow \overline{[m]}$
影响标志位	Z
CPLA [m]	Complement Data Memory with result in ACC
指令说明	将指定数据存储器中的每一位取逻辑反，相当于从 1 变 0 或 0 变 1，而结果被储存回累加器且数据存储器中的内容 不变。
功能表示	$ACC \leftarrow \overline{[m]}$
影响标志位	Z
DAA [m]	Decimal-Adjust ACC for addition with result in Data Memory
指令说明	将累加器中的内容转换为 BCD (二进制转成十进制) 码。 如果低四位的值大于“9”或 AC=1，那么 BCD 调整就执 行对原值加“6”，否则原值保持不变；如果高四位的值大 于“9”或 C=1，那么 BCD 调整就执行对原值加“6”。
	BCD 转换实质上是根据累加器和标志位执行 00H, 06H, 60H 或 66H 的加法运算，结果存放到数据存储器。只有进 位标志位 C 受影响，用来指示原始 BCD 的和是否大于 100，并可以进行双精度十进制数的加法运算。
功能表示	$[m] \leftarrow ACC + 00H$ 或 $[m] \leftarrow ACC + 06H$ 或 $[m] \leftarrow ACC + 60H$ 或 $[m] \leftarrow ACC + 66H$
影响标志位	C
DEC [m]	Decrement Data Memory
指令说明	将指定数据存储器内容减 1。
功能表示	$[m] \leftarrow [m] - 1$
影响标志位	Z
DECA [m]	Decrement Data Memory with result in ACC
指令说明	将指定数据存储器的内容减 1，把结果存放回累加器 并保持指定数据存储器的内容不变。
功能表示	$ACC \leftarrow [m] - 1$
影响标志位	Z

HALT	Enter power down mode
指令说明	此指令终止程序执行并关掉系统时钟，RAM 和寄存器的内容保持原状态，WDT 计数器和分频器被清“0”，暂停标志位 PDF 被置位 1，WDT 溢出标志位 TO 被清 0。
功能表示	$TO \leftarrow 0$ $PDF \leftarrow 1$
影响标志位	TO、PDF
INC [m]	Increment Data Memory
指令说明	将指定数据存储器的内容加 1。
功能表示	$[m] \leftarrow [m] + 1$
影响标志位	Z
INCA [m]	Increment Data Memory with result in ACC
指令说明	将指定数据存储器的内容加 1，结果存放回累加器并保持指定的数据存储器内容不变。
功能表示	$ACC \leftarrow [m] + 1$
影响标志位	Z
JMP addr	Jump unconditionally
指令说明	程序计数器的内容无条件地由被指定的地址取代，程序由新的地址继续执行。当新的地址被加载时，必须插入一个空指令周期，所以此指令为 2 个周期的指令。
功能表示	Program Counter $\leftarrow$ addr
影响标志位	无
MOV A, [m]	Move Data Memory to ACC
指令说明	将指定数据存储器的内容复制到累加器。
功能表示	$ACC \leftarrow [m]$
影响标志位	无
MOV A, x	Move immediate data to ACC
指令说明	将 8 位立即数载入累加器。
功能表示	$ACC \leftarrow x$
影响标志位	无

MOV [m], A	Move ACC to Data Memory
指令说明	将累加器的内容复制到指定的数据存储器。
功能表示	$[m] \leftarrow ACC$
影响标志位	无
NOP	No operation
指令说明	空操作，接下来顺序执行下一条指令。
功能表示	$PC \leftarrow PC + 1$
影响标志位	无
ORA, [m]	Logical OR Data Memory to ACC
指令说明	将累加器中的数据和指定的数据存储器内容逻辑或，结果存放到累加器。
功能表示	$ACC \leftarrow ACC \text{ "OR" } [m]$
影响标志位	Z
ORA, x	Logical OR immediate data to ACC
指令说明	将累加器中的数据和立即数逻辑或，结果存放到累加器。
功能表示	$ACC \leftarrow ACC \text{ "OR" } x$
影响标志位	Z
ORM A, [m]	Logical OR ACC to Data Memory
指令说明	将存在指定数据存储器中的数据和累加器逻辑或，结果放到数据存储器。
功能表示	$[m] \leftarrow ACC \text{ "OR" } [m]$
影响标志位	Z
RET	Return from subroutine
指令说明	将堆栈寄存器中的程序计数器值恢复，程序由取回的地址继续执行。
功能表示	Program Counter ← Stack
影响标志位	无
RET A, x	Return from subroutine and load immediate data to ACC
指令说明	将堆栈寄存器中的程序计数器值恢复且累加器载入指定的立即数，程序由取回的地址继续执行。
功能表示	Program Counter ← Stack $ACC \leftarrow x$
影响标志位	无

RETI	Return from interrupt
指令说明	将堆栈寄存器中的程序计数器值恢复且中断功能通过设置 EMI 位重新使能。EMI 是控制中断使能的主控制位。如果在执行 RETI 指令之前还有中断未被相应，则这个中断将在返回主程序之前被相应。
功能表示	Program Counter $\leftarrow$ Stack
影响标志位	EMI $\leftarrow$ 1 无
RL [m]	Rotate Data Memory left
指令说明	将指定数据存储器的内容左移 1 位，且第 7 位移到第 0 位。
功能表示	[m].(i+1) $\leftarrow$ [m].i (i=0~6) [m].0 $\leftarrow$ [m].7
影响标志位	无
RLA [m]	Rotate Data Memory left with result in ACC
指令说明	将指定数据存储器的内容左移 1 位，且第 7 位移到第 0 位，结果送到累加器，而指定数据存储器的内容保持不变。
功能表示	ACC.(i+1) $\leftarrow$ [m].i (i=0~6) ACC.0 $\leftarrow$ [m].7
影响标志位	无
RLC [m]	Rotate Data Memory Left through Carry
指令说明	将指定数据存储器的内容连同进位标志左移 1 位，第 7 位取代进位标志且原本的进位标志移到第 0 位。
功能表示	[m].(i+1) $\leftarrow$ [m].i (i=0~6) [m].0 $\leftarrow$ C C $\leftarrow$ [m].7
影响标志位	C
RLC A [m]	Rotate Data Memory left through Carry with result in ACC
指令说明	将指定数据存储器的内容连同进位标志左移 1 位，第 7 位取代进位标志且原本的进位标志移到第 0 位，移位结果送回累加器，但是指定数据寄存器的内容保持不变。
功能表示	ACC.(i+1) $\leftarrow$ [m].i (i=0~6) ACC.0 $\leftarrow$ C C $\leftarrow$ [m].7
影响标志位	C

RR [m]	Rotate Data Memory right
指令说明	将指定数据存储器的内容循环右移 1 位且第 0 位移到第 7 位。
功能表示	$[m].i \leftarrow [m].(i+1) (i=0\sim6)$ $[m].7 \leftarrow [m].0$
影响标志位	无
RRA [m]	Rotate Data Memory right with result in ACC
指令说明	将指定数据存储器的内容循环右移 1 位，第 0 位移到第 7 位，移位结果存放到累加器，而指定数据存储器的内容保持不变。
功能表示	$ACC.i \leftarrow [m].(i+1) (i=0\sim6)$ $ACC.7 \leftarrow [m].0$
影响标志位	无
RRC [m]	Rotate Data Memory right through Carry
指令说明	将指定数据存储器的内容连同进位标志右移 1 位，第 0 位取代进位标志且原本的进位标志移到第 7 位。
功能表示	$[m].i \leftarrow [m].(i+1) (i=0\sim6)$ $[m].7 \leftarrow C$ $C \leftarrow [m].0$
影响标志位	C
RRCA [m]	Rotate Data Memory right through Carry with result in ACC
指令说明	将指定数据存储器的内容连同进位标志右移 1 位，第 0 位取代进位标志且原本的进位标志移到第 7 位，移位结果送回累加器，但是指定数据寄存器的内容保持不变。
功能表示	$ACC.i \leftarrow [m].(i+1) (i=0\sim6)$ $ACC.7 \leftarrow C$ $C \leftarrow [m].0$
影响标志位	C
SBC A, [m]	Subtract Data Memory from ACC with Carry
指令说明	将累加器减去指定数据存储器的内容以及进位标志的反，结果存放到累加器。如果结果为负，C 标志位清除为 0，反之结果为正或 0，C 标志位设置为 1。
功能表示	$ACC \leftarrow ACC - [m] - \overline{C}$
影响标志位	OV、Z、AC、C、SC、CZ

SBC A, x	Subtract immediate data from ACC with Carry
指令说明	将累加器减去立即数以及进位标志，结果存放到累加器。 如果结果为负，C 标志位清除为 0，反之结果为正或 0，C 标志位设置为 1。
功能表示	$ACC \leftarrow ACC - [m] - \bar{C}$
影响标志位	OV、Z、AC、C、SC、CZ
SBCM A, [m]	Subtract Data Memory from ACC with Carry and result in Data Memory
指令说明	将累加器减去指定数据存储器的内容以及进位标志的反，结果存放到数据存储器。如果结果为负，C 标志位清除为 0，反之结果为正或 0，C 标志位设置为 1。
功能表示	$[m] \leftarrow ACC - [m] - \bar{C}$
影响标志位	OV、Z、AC、C、SC、CZ
SDZ [m]	Skip if Decrement Data Memory is 0
指令说明	将指定的数据存储器的内容减 1，判断是否为 0，若为 0 则跳过下一条指令，由于取得下一个指令时会要求插入一个空指令周期，所以此指令为 2 个周期的指令。如果结果不为 0，则程序继续执行下一条指令。
功能表示	$[m] \leftarrow [m] - 1$ ，如果 $[m]=0$ 跳过下一条指令执行
影响标志位	无
SDZA [m]	Decrement data memory and place result in ACC, skip if 0
指令说明	将指定数据存储器内容减 1，判断是否为 0，如果为 0 则跳过下一条指令，此结果将存放到累加器，但指定数据存储器内容不变。由于取得下一个指令时会要求插入一个空指令周期，所以此指令为 2 个周期的指令。如果结果不为 0，则程序继续执行下一条指令。
功能表示	$ACC \leftarrow [m] - 1$ ，如果 $ACC=0$ 跳过下一条指令执行
影响标志位	无
SET [m]	Set Data Memory
指令说明	将指定数据存储器的每一位设置为 1。
功能表示	$[m] \leftarrow FFH$
影响标志位	无

SET [m].i	Set bit of Data Memory
指令说明	将指定数据存储器的第 i 位置位为 1。
功能表示	$[m].i \leftarrow 1$
影响标志位	无
SIZ [m]	Skip if increment Data Memory is 0
指令说明	将指定的数据存储器的内容加 1，判断是否为 0，若为 0 则跳过下一条指令。由于取得下一个指令时会要求插入一个空指令周期，所以此指令为 2 个周期的指令。如果结果不为 0，则程序继续执行下一条指令。
功能表示	$[m] \leftarrow [m] + 1$ ，如果 $[m]=0$ 跳过下一条指令执行
影响标志位	无
SIZA [m]	Skip if increment Data Memory is zero with result in ACC
指令说明	将指定数据存储器的内容加 1，判断是否为 0，如果为 0 则跳过下一条指令，此结果会被存放到累加器，但是指定数据存储器的内容不变。由于取得下一个指令时会要求插入一个空指令周期，所以此指令为 2 个周期的指令。如果结果不为 0，则程序继续执行下一条指令。
功能表示	$ACC \leftarrow [m] + 1$ ，如果 $ACC=0$ 跳过下一条指令执行
影响标志位	无
SNZ [m].i	Skip if bit i of Data Memory is not 0
指令说明	判断指定数据存储器的第 i 位，若不为 0，则程序跳过下一条指令执行。由于取得下一个指令时会要求插入一个空指令周期，所以此指令为 2 个周期的指令。如果结果为 0，则程序继续执行下一条指令。
功能表示	如果 $[m].i \neq 0$ ，跳过下一条指令执行
影响标志位	无
SNZ [m]	Skip if Data Memory is not 0
指令说明	判断指定存储器，若不为 0，则程序跳过下一条指令执行。由于取得下一个指令时会要求插入一个空指令周期，所以此指令为 2 个周期的指令。如果结果为 0，则程序继续执行下一条指令。
功能表示	如果 $[m] \neq 0$ ，跳过下一条指令执行
影响标志位	无

SUB A, [m]	Subtract Data Memory from ACC
指令说明	将累加器的内容减去指定的数据存储器的数据，把结果存放到累加器。如果结果为负，C 标志位清除为 0，反之结果为正或 0，C 标志位设置为 1。
功能表示	$ACC \leftarrow ACC - [m]$
影响标志位	OV、Z、AC、C、SC、CZ
SUBM A, [m]	Subtract Data Memory from ACC with result in Data Memory
指令说明	将累加器的内容减去指定数据存储器的数据，结果存放到指定的数据存储器。如果结果为负，C 标志位清除为 0，反之结果为正或 0，C 标志位设置为 1。
功能表示	$[m] \leftarrow ACC - [m]$
影响标志位	OV、Z、AC、C、SC、CZ
SUB A, x	Subtract immediate Data from ACC
指令说明	将累加器的内容减去立即数，结果存放到累加器。如果结果为负，C 标志位清除为 0，反之结果为正或 0，C 标志位设置为 1。
功能表示	$ACC \leftarrow ACC - x$
影响标志位	OV、Z、AC、C、SC、CZ
SWAP [m]	Swap nibbles of Data Memory
指令说明	将指定数据存储器的低 4 位和高 4 位互相交换。
功能表示	$[m].3 \sim [m].0 \leftrightarrow [m].7 \sim [m].4$
影响标志位	无
SWAPA [m]	Swap nibbles of Data Memory with result in ACC
指令说明	将指定数据存储器的低 4 位与高 4 位互相交换，再将结果存放到累加器且指定数据寄存器的数据保持不变。
功能表示	$ACC.3 \sim ACC.0 \leftarrow [m].7 \sim [m].4$ $ACC.7 \sim ACC.4 \leftarrow [m].3 \sim [m].0$
影响标志位	无
SZ [m]	Skip if Data Memory is 0
指令说明	判断指定数据存储器的内容是否为 0，若为 0，则程序跳过下一条指令执行。由于取得下一个指令时会要求插入一个空指令周期，所以此指令为 2 个周期的指令。如果结果不为 0，则程序继续执行下一条指令。
功能表示	如果 $[m]=0$ ，跳过下一条指令执行
影响标志位	无

SZA [m]	Skip if Data Memory is 0 with data movement to ACC
指令说明	将指定数据存储器内容复制到累加器，并判断指定数据存储器的内容是否为 0，若为 0 则跳过下一条指令。由于取得下一个指令时会要求插入一个空指令周期，所以此指令为 2 个周期的指令。如果结果不为 0，则程序继续执行下一条指令。
功能表示	$ACC \leftarrow [m]$ ，如果 $[m]=0$ ，跳过下一条指令执行
影响标志位	无
SZ [m].i	Skip if bit i of Data Memory is 0
指令说明	判断指定数据存储器的第 i 位是否为 0，若为 0，则跳过下一条指令。由于取得下一个指令时会要求插入一个空指令周期，所以此指令为 2 个周期的指令。如果结果不为 0，则程序继续执行下一条指令。
功能表示	如果 $[m].i=0$ ，跳过下一条指令执行
影响标志位	无
TABRD [m]	Read table (specific page) to TBLH and Data Memory
指令说明	将表格指针对 TBHP 和 TBLP 所指的程序代码低字节 (指定页) 移至指定数据存储器且将高字节移至 TBLH。
功能表示	$[m] \leftarrow$ 程序代码 (低字节) $TBLH \leftarrow$ 程序代码 (高字节)
影响标志位	无
TABRDL [m]	Read table (last page) to TBLH and Data Memory
指令说明	将表格指针 TBLP 所指的程序代码低字节 (最后一页) 移至指定数据存储器且将高字节移至 TBLH。
功能表示	$[m] \leftarrow$ 程序代码 (低字节) $TBLH \leftarrow$ 程序代码 (高字节)
影响标志位	无
ITABRD [m]	Increment table pointer low byte first and read table to TBLH and data memory
指令说明	将自加表格指针 TBLP 所指的程序代码低字节 (当前页) 移至指定的数据存储器且将高字节移至 TBLH。
功能表示	$[m] \leftarrow$ 程序代码 (低字节) $TBLH \leftarrow$ 程序代码 (高字节)
影响标志位	无

ITABRDL [m]	Increment table pointer low byte first and read table (last page) to TBLH and data memory
指令说明	将自加表格指针 TBLP 所指的程序代码低字节 (最后一页) 移至指定的数据存储器且将高字节移至 TBLH。
功能表示	$[m] \leftarrow \text{程序代码 (低字节)}$ $TBLH \leftarrow \text{程序代码 (高字节)}$
影响标志位	无
XOR A, [m]	Logical XOR Data Memory to ACC
指令说明	将累加器的数据和指定的数据存储器内容逻辑异或, 结果存放到累加器。
功能表示	$ACC \leftarrow ACC \text{ "XOR" } [m]$
影响标志位	Z
XORM A, [m]	Logical XOR ACC to Data Memory
指令说明	将累加器的数据和指定的数据存储器内容逻辑异或, 结果放到数据存储器。
功能表示	$[m] \leftarrow ACC \text{ "XOR" } [m]$
影响标志位	Z
XOR A, x	Logical XOR immediate data to ACC
指令说明	将累加器的数据与立即数逻辑异或, 结果存放到累加器。
功能表示	$ACC \leftarrow ACC \text{ "XOR" } x$
影响标志位	Z

扩展指令定义

扩展指令被用来直接存取存储在任何数据存储器 Sector 中的数据。

LADC A, [m]	Add Data Memory to ACC with Carry
指令说明	将指定的数据存储器、累加器内容以及进位标志相加，结果存放到累加器。
功能表示	$ACC \leftarrow ACC + [m] + C$
影响标志位	OV、Z、AC、C、SC
LADCM A, [m]	Add ACC to Data Memory with Carry
指令说明	将指定的数据存储器、累加器内容和进位标志位相加，结果存放到指定的数据存储器。
功能表示	$[m] \leftarrow ACC + [m] + C$
影响标志位	OV、Z、AC、C、SC
LADD A, [m]	Add Data Memory to ACC
指令说明	将指定的数据存储器和累加器内容相加，结果存放到累加器。
功能表示	$ACC \leftarrow ACC + [m]$
影响标志位	OV、Z、AC、C、SC
LADDM A, [m]	Add ACC to Data Memory
指令说明	将指定的数据存储器和累加器内容相加，结果存放到指定的数据存储器。
功能表示	$[m] \leftarrow ACC + [m]$
影响标志位	OV、Z、AC、C、SC
LAND A, [m]	Logical AND Data Memory to ACC
指令说明	将累加器中的数据和指定数据存储器内容做逻辑与，结果存放到累加器。
功能表示	$ACC \leftarrow ACC \text{ “AND” } [m]$
影响标志位	Z
LANDM A, [m]	Logical AND ACC to Data Memory
指令说明	将指定数据存储器内容和累加器中的数据做逻辑与，结果存放到数据存储器。
功能表示	$[m] \leftarrow ACC \text{ “AND” } [m]$
影响标志位	Z

LCLR [m]	Clear Data Memory
指令说明	将指定数据存储器的内容清零。
功能表示	$[m] \leftarrow 00H$
影响标志位	无
LCLR [m].i	Clear bit of Data Memory
指令说明	指将指定数据存储器的 i 位内容清零。
功能表示	$[m].i \leftarrow 0$
影响标志位	无
LCPL [m]	Complement Data Memory
指令说明	将指定数据存储器中的每一位取逻辑反， 相当于从 1 变 0 或 0 变 1。
功能表示	$[m] \leftarrow \overline{[m]}$
影响标志位	Z
LCPLA [m]	Complement Data Memory with result in ACC
指令说明	将指定数据存储器中的每一位取逻辑反，相当于从 1 变 0 或 0 变 1，结果被存放回累加器且数据寄存器的内容保持 不变。
功能表示	$ACC \leftarrow \overline{[m]}$
影响标志位	Z
LDAA [m]	Decimal-Adjust ACC for addition with result in Data Memory
指令说明	将累加器中的内容转换为 BCD (二进制转成十进制) 码。 如果低四位的值大于“9”或 AC=1，那么 BCD 调整就执行 对低四位加“6”，否则低四位保持不变；如果高四位的 值大于“9”或 C=1，那么 BCD 调整就执行对高四位加“6”。 BCD 转换实质上是根据累加器和标志位执行 00H，06H， 60H 或 66H 的加法运算，结果存放到数据存储器。只有进 位标志位 C 受影响，用来指示原始 BCD 的和是否大于 100，并可以进行双精度十进制数的加法运算。
功能表示	$[m] \leftarrow ACC + 00H$ 或 $[m] \leftarrow ACC + 06H$ 或 $[m] \leftarrow ACC + 60H$ 或 $[m] \leftarrow ACC + 66H$
影响标志位	C

LDEC [m]	Decrement Data Memory
指令说明	将指定数据存储器的内容减 1。
功能表示	$[m] \leftarrow [m] - 1$
影响标志位	Z
LDECA [m]	Decrement Data Memory with result in ACC
指令说明	将指定数据存储器的内容减 1，把结果存放回累加器并保持指定数据存储器的内容不变。
功能表示	$ACC \leftarrow [m] - 1$
影响标志位	Z
LINC [m]	Increment Data Memory
指令说明	将指定数据存储器的内容加 1。
功能表示	$[m] \leftarrow [m] + 1$
影响标志位	Z
LINCA [m]	Increment Data Memory with result in ACC
指令说明	将指定数据存储器的内容加 1，结果存放回累加器并保持指定的数据存储器内容不变。
功能表示	$ACC \leftarrow [m] + 1$
影响标志位	Z
LMOV A, [m]	Move Data Memory to ACC
指令说明	将指定数据存储器的内容复制到累加器中。
功能表示	$ACC \leftarrow [m]$
影响标志位	无
LMOV [m], A	Move ACC to Data Memory
指令说明	将累加器的内容复制到指定数据存储器。
功能表示	$[m] \leftarrow ACC$
影响标志位	无
LOR A, [m]	Logical OR Data Memory to ACC
指令说明	将累加器中的数据和指定的数据存储器内容逻辑或，结果存放到累加器。
功能表示	$ACC \leftarrow ACC \text{ "OR" } [m]$
影响标志位	Z

LORM A, [m]	Logical OR ACC to Data Memory
指令说明	将存在指定数据存储器中的数据 and 累加器逻辑或，结果放到数据存储器。
功能表示	$[m] \leftarrow ACC \text{ "OR" } [m]$
影响标志位	Z
LRL [m]	Rotate Data Memory left
指令说明	将指定数据存储器的内容左移 1 位，且第 7 位移到第 0 位。
功能表示	$[m].(i+1) \leftarrow [m].i \ (i=0\sim6)$ $[m].0 \leftarrow [m].7$
影响标志位	无
LRLA [m]	Rotate Data Memory left with result in ACC
指令说明	将指定数据存储器的内容左移 1 位，且第 7 位移到第 0 位，结果送到累加器，而指定数据存储器的内容保持不变。
功能表示	$ACC.(i+1) \leftarrow [m].i \ (i=0\sim6)$ $ACC.0 \leftarrow [m].7$
影响标志位	无
LRLC [m]	Rotate Data Memory Left through Carry
指令说明	将指定数据存储器的内容连同进位标志左移 1 位，第 7 位取代进位标志且原本的进位标志移到第 0 位。
功能表示	$[m].(i+1) \leftarrow [m].i \ (i=0\sim6)$ $[m].0 \leftarrow C$ $C \leftarrow [m].7$
影响标志位	C
LRLC A [m]	Rotate Data Memory left through Carry with result in ACC
指令说明	将指定数据存储器的内容连同进位标志左移 1 位，第 7 位取代进位标志且原本的进位标志移到第 0 位，移位结果送回累加器，但是指定数据寄存器的内容保持不变。
功能表示	$ACC.(i+1) \leftarrow [m].i \ (i=0\sim6)$ $ACC.0 \leftarrow C$ $C \leftarrow [m].7$
影响标志位	C

LRR [m]	Rotate Data Memory right
指令说明	将指定数据存储器的内容循环右移 1 位且第 0 位移到第 7 位。
功能表示	$[m].i \leftarrow [m].(i+1) (i=0\sim6)$ $[m].7 \leftarrow [m].0$
影响标志位	无
LRRA [m]	Rotate Data Memory right with result in ACC
指令说明	将指定数据存储器的内容循环右移 1 位，第 0 位移到第 7 位，移位结果存放到累加器，而指定数据存储器的内容保持不变。
功能表示	$ACC.i \leftarrow [m].(i+1) (i=0\sim6)$ $ACC.7 \leftarrow [m].0$
影响标志位	无
LRRC [m]	Rotate Data Memory right through Carry
指令说明	将指定数据存储器的内容连同进位标志右移 1 位，第 0 位取代进位标志且原本的进位标志移到第 7 位。
功能表示	$[m].i \leftarrow [m].(i+1) (i=0\sim6)$ $[m].7 \leftarrow C$ $C \leftarrow [m].0$
影响标志位	C
LRRC A [m]	Rotate Data Memory right through Carry with result in ACC
指令说明	将指定数据存储器的内容连同进位标志右移 1 位，第 0 位取代进位标志且原本的进位标志移到第 7 位，移位结果送回累加器，但是指定数据寄存器的内容保持不变。
功能表示	$ACC.i \leftarrow [m].(i+1) (i=0\sim6)$ $ACC.7 \leftarrow C$ $C \leftarrow [m].0$
影响标志位	C
LSBC A, [m]	Subtract Data Memory from ACC with Carry
指令说明	将累加器减去指定数据存储器的内容以及进位标志的反，结果存放到累加器。如果结果为负，C 标志位清除为 0，反之结果为正或 0，C 标志位设置为 1。
功能表示	$ACC \leftarrow ACC - [m] - \overline{C}$
影响标志位	OV、Z、AC、C、SC、CZ

LSBCM A, [m]	Subtract Data Memory from ACC with Carry and result in Data Memory
指令说明	将累加器减去指定数据存储器的内容以及进位标志的反，结果存放到数据存储器。如果结果为负，C 标志位清除为 0，反之结果为正或 0，C 标志位设置为 1。
功能表示	$[m] \leftarrow ACC - [m] - \bar{C}$
影响标志位	OV、Z、AC、C、SC、CZ
LSDZ [m]	Skip if Decrement Data Memory is 0
指令说明	将指定的数据存储器的内容减 1，判断是否为 0，若为 0 则跳过下一条指令，由于取得下一个指令时会要求插入一个空指令周期，所以此指令为 2 个周期的指令。如果结果不为 0，则程序继续执行下一条指令。
功能表示	$[m] \leftarrow [m] - 1$ ，如果 $[m]=0$ 跳过下一条指令执行
影响标志位	无
LSDZA [m]	Skip if decrement Data Memory is zero with result in ACC
指令说明	将指定数据存储器内容减 1，判断是否为 0，如果为 0 则跳过下一条指令，此结果将存放到累加器，但指定数据存储器内容不变。由于取得下一个指令时会要求插入一个空指令周期，所以此指令为 2 个周期的指令。如果结果不为 0，则程序继续执行下一条指令。
功能表示	$ACC \leftarrow [m] - 1$ ，如果 $ACC=0$ 跳过下一条指令执行
影响标志位	无
LSET [m]	Set Data Memory
指令说明	将指定数据存储器的每一个位置位为 1。
功能表示	$[m] \leftarrow FFH$
影响标志位	无
LSET [m].i	Set bit of Data Memory
指令说明	将指定数据存储器的第 i 位置位为 1。
功能表示	$[m].i \leftarrow 1$
影响标志位	无

LSIZ [m]	Skip if increment Data Memory is 0
指令说明	将指定的数据存储器的内容加 1，判断是否为 0，若为 0 则跳过下一条指令。由于取得下一个指令时会要求插入一个空指令周期，所以此指令为 2 个周期的指令。如果结果不为 0，则程序继续执行下一条指令。
功能表示	$[m] \leftarrow [m] + 1$ ，如果 $[m]=0$ 跳过下一条指令执行
影响标志位	无
LSIZA [m]	Skip if increment Data Memory is zero with result in ACC
指令说明	将指定数据存储器的内容加 1，判断是否为 0，如果为 0 则跳过下一条指令，此结果会被存放到累加器，但是指定数据存储器的内容不变。由于取得下一个指令时会要求插入一个空指令周期，所以此指令为 2 个周期的指令。如果结果不为 0，则程序继续执行下一条指令。
功能表示	$ACC \leftarrow [m] + 1$ ，如果 $ACC=0$ 跳过下一条指令执行
影响标志位	无
LSNZ [m].i	Skip if bit i of Data Memory is not 0
指令说明	判断指定数据存储器的第 i 位，若不为 0，则程序跳过下一条指令执行。由于取得下一个指令时会要求插入一个空指令周期，所以此指令为 2 个周期的指令。如果结果为 0，则程序继续执行下一条指令。
功能表示	如果 $[m].i \neq 0$ ，跳过下一条指令执行
影响标志位	无
LSNZ [m]	Skip if Data Memory is not 0
指令说明	判断指定数据存储器，若不为 0，则程序跳过下一条指令执行。由于取得下一个指令时会要求插入一个空指令周期，所以此指令为 2 个周期的指令。如果结果为 0，则程序继续执行下一条指令。
功能表示	如果 $[m] \neq 0$ ，跳过下一条指令执行
影响标志位	无
LSUB A, [m]	Subtract Data Memory from ACC
指令说明	将累加器的内容减去指定的数据存储器的数据，把结果存放到累加器。如果结果为负，C 标志位清除为 0，反之结果为正或 0，C 标志位设置为 1。
功能表示	$ACC \leftarrow ACC - [m]$
影响标志位	OV、Z、AC、C、SC、CZ

LSUBM A, [m]	Subtract Data Memory from ACC with result in Data Memory
指令说明	将累加器的内容减去指定数据存储器中的数据，结果存放到指定的数据存储器。如果结果为负，C 标志位清除为 0，反之结果为正或 0，C 标志位设置为 1。
功能表示	$[m] \leftarrow ACC - [m]$
影响标志位	OV、Z、AC、C、SC、CZ
LSWAP [m]	Swap nibbles of Data Memory
指令说明	将指定数据存储器的低 4 位和高 4 位互相交换。
功能表示	$[m].3 \sim [m].0 \leftrightarrow [m].7 \sim [m].4$
影响标志位	无
LSWAPA [m]	Swap nibbles of Data Memory with result in ACC
指令说明	将指定数据存储器的低 4 位和高 4 位互相交换，再将结果存放到累加器且指定数据寄存器的数据保持不变。
功能表示	$ACC.3 \sim ACC.0 \leftarrow [m].7 \sim [m].4$ $ACC.7 \sim ACC.4 \leftarrow [m].3 \sim [m].0$
影响标志位	无
LSZ [m]	Skip if Data Memory is 0
指令说明	判断指定数据存储器的内容是否为 0，若为 0，则程序跳过下一条指令执行。由于取得下一个指令时会要求插入一个空指令周期，所以此指令为 2 个周期的指令。如果结果不为 0，则程序继续执行下一条指令。
功能表示	如果 $[m]=0$ ，跳过下一条指令执行
影响标志位	无
LSZA [m]	Skip if Data Memory is 0 with data movement to ACC
指令说明	将指定数据存储器内容复制到累加器，并判断指定数据存储器内容是否为 0，若为 0 则跳过下一条指令。由于取得下一个指令时会要求插入一个空指令周期，所以此指令为 2 个周期的指令。如果结果不为 0，则程序继续执行下一条指令。
功能表示	$ACC \leftarrow [m]$ ，如果 $[m]=0$ ，跳过下一条指令执行
影响标志位	无

LSZ [m].i	Skip if bit i of Data Memory is 0
指令说明	判断指定数据存储器的第 i 位是否为 0，若为 0，则跳过下一条指令。由于取得下一个指令时会要求插入一个空指令周期，所以此指令为 2 个周期的指令。如果结果不为 0，则程序继续执行下一条指令。
功能表示	如果 [m].i=0，跳过下一条指令执行
影响标志位	无
LTABRD [m]	Move the ROM code to TBLH and data memory
指令说明	将表格指针 TBLP 所指的程序代码低字节 (当前页) 移至指定数据存储器且将高字节移至 TBLH。
功能表示	[m] ← 程序代码 (低字节) TBLH ← 程序代码 (高字节)
影响标志位	无
LTABRDL [m]	Read table (last page) to TBLH and Data Memory
指令说明	将表格指针 TBLP 所指的程序代码低字节 (最后一页) 移至指定数据存储器且将高字节移至 TBLH。
功能表示	[m] ← 程序代码 (低字节) TBLH ← 程序代码 (高字节)
影响标志位	无
LITABRD [m]	Increment table pointer low byte first and read table to TBLH and data memory
指令说明	将自加表格指针 TBHP 和 TBLP 所指的程序代码低字节移至指定的数据存储器且将高字节移至 TBLH。
功能表示	[m] ← 程序代码 (低字节) TBLH ← 程序代码 (高字节)
影响标志位	无
LITABRDL [m]	Increment table pointer low byte first and read table (last page) to TBLH and data memory
指令说明	将自加表格指针 TBLP 所指的程序代码低字节 (最后一页) 移至指定的数据存储器且将高字节移至 TBLH。
功能表示	[m] ← 程序代码 (低字节) TBLH ← 程序代码 (高字节)
影响标志位	无

LXOR A, [m]	Logical XOR Data Memory to ACC
指令说明	将累加器的数据和指定的数据存储器内容逻辑异或， 结果存放到累加器。
功能表示	$ACC \leftarrow ACC \text{ "XOR" } [m]$
影响标志位	Z
 LXORM A, [m]	 Logical XOR ACC to Data Memory
指令说明	将累加器的数据和指定的数据存储器内容逻辑异或， 结果放到数据存储器。
功能表示	$[m] \leftarrow ACC \text{ "XOR" } [m]$
影响标志位	Z

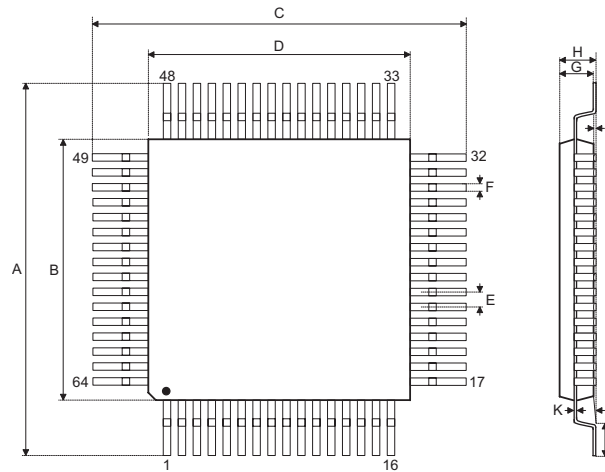
封装信息

请注意，这里提供的封装信息仅作为参考。由于这个信息经常更新，提醒用户咨询 [Holtek 网站](#) 以获取最新版本的[封装信息](#)。

封装信息的相关内容如下所示，点击可链接至 Holtek 网站相关信息页面。

- 封装信息 (包括外形尺寸、包装带和卷轴规格)
- 封装材料信息
- 纸箱信息

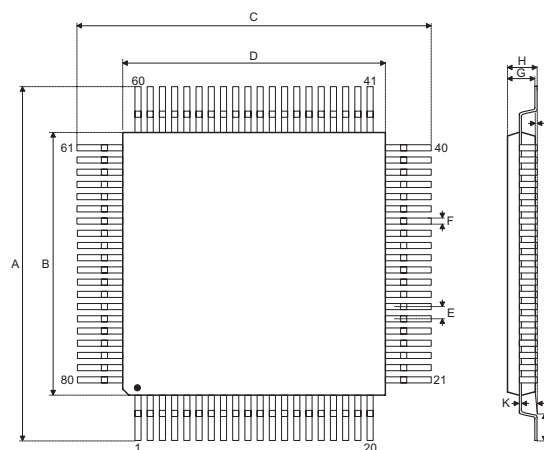
64-pin LQFP (7mm×7mm) 外形尺寸



符号	尺寸 (单位: inch)		
	最小值	典型值	最大值
A	—	0.354 BSC	—
B	—	0.276 BSC	—
C	—	0.354 BSC	—
D	—	0.276 BSC	—
E	—	0.016 BSC	—
F	0.005	0.007	0.009
G	0.053	0.055	0.057
H	—	—	0.063
I	0.002	—	0.006
J	0.018	0.024	0.030
K	0.004	—	0.008
α	0°	—	7°

符号	尺寸 (单位: mm)		
	最小值	典型值	最大值
A	—	9.00 BSC	—
B	—	7.00 BSC	—
C	—	9.00 BSC	—
D	—	7.00 BSC	—
E	—	0.40 BSC	—
F	0.13	0.18	0.23
G	1.35	1.40	1.45
H	—	—	1.60
I	0.05	—	0.15
J	0.45	0.60	0.75
K	0.09	—	0.20
α	0°	—	7°

80-pin LQFP (10mm×10mm) 外形尺寸



符号	尺寸 (单位: inch)		
	最小值	典型值	最大值
A	—	0.472 BSC	—
B	—	0.394 BSC	—
C	—	0.472 BSC	—
D	—	0.394 BSC	—
E	—	0.015 BSC	—
F	0.005	0.007	0.009
G	0.053	0.055	0.057
H	—	—	0.063
I	0.002	—	0.006
J	0.018	0.024	0.030
K	0.004	—	0.008
α	0°	—	7°

符号	尺寸 (单位: mm)		
	最小值	典型值	最大值
A	—	12.00 BSC	—
B	—	10.00 BSC	—
C	—	12.00 BSC	—
D	—	10.00 BSC	—
E	—	0.40 BSC	—
F	0.13	0.18	0.23
G	1.35	1.40	1.45
H	—	—	1.60
I	0.05	—	0.15
J	0.45	0.60	0.75
K	0.09	—	0.20
α	0°	—	7°

Copyright© 2020 by HOLTEK SEMICONDUCTOR INC.

使用指南中所出现的信息在出版当时相信是正确的，然而 **Holtek** 对于说明书的使用不负任何责任。文中提到的应用目的仅仅是用来做说明，**Holtek** 不保证或表示这些没有进一步修改的应用将是适当的，也不推荐它的产品使用在会由于故障或其它原因可能会对人身造成危害的地方。**Holtek** 产品不授权用于救生、维生从机或系统中做为关键从机。**Holtek** 拥有不事先通知而修改产品的权利，对于最新的信息，请参考我们的网址 <http://www.holtek.com/zh/>.